

災害対策技術の現状と動向

報 告 書

平成 2 1 年 5 月

社団法人 土木学会

建設技術研究委員会 災害対策技術研究小委員会

はじめに

我が国では、2004年の新潟県中越地震、2005年の福岡県西方沖地震、2007年の新潟県中越沖地震と、ここ数年続けて震度6以上の大規模な地震に見舞われている。

また、台風・高波による被災に加え、近年顕著となっている局所的な集中豪雨による被害は、地球温暖化問題とも絡めて世間の関心を集めているとともに、その対策には一刻の猶予も許されない状況となってきた。

これら、近年の災害形態の変容とともに、少子・高齢化に代表されるような社会情勢の変化も、被災形態の変化に影響を及ぼす重要な要素である。

このように、災害の発生原因から被災形態の変化までを含めた近年の災害に対し、土木学会 建設技術研究委員会災害対策技術研究小委員会では、主に建設会社に所属するメンバーが主体であることから、災害対策および復旧に対して、その取り組み技術の現状と最新の技術について、また、今後の展望に関する調査研究を主に行うこととした。これらの問題に取り組むに際しては、その背景となる法制度についての整理を行うとともに、従来取り組まれてきた災害対策技術の思想・概念についても調査を行った。

加えて、建設技術研究委員会 会委員各社に協力いただいて、近年各社で行った災害対策・復旧工事において成果を上げられた事例に関して、今後類似の取り組みの参考となるような資料を提示いただいた。

本報告は、今後の災害に対する防災・減災のためのハード技術として大きな役割を担う災害対策・復旧に伴う建設技術について、現状の認識と今後の技術の発展に対して一助となるよう編纂をおこなった。本報告書が会員各社の方々の災害対策技術を考える上で役立てば幸いである。

2009年5月

土木学会建設技術研究委員会
災害対策技術研究小委員会委員長
加藤康司

土木学会 建設技術研究委員会 災害対策技術研究小委員会 メンバー

委員長	加藤 康司	(株)不動テトラ 建設本部 営業統轄部 総合評価対策室
前委員長 (現委員)	松尾 庄二	鉄建建設(株) 東京鉄道支店 土木営業部 施工計画・積算グループ
副委員長	石原 慎太郎	(財)沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員
委員	石井 清	清水建設(株) 技術研究所 安全安心技術センター 上席研究員
委員	今井 久	(株)間組 技術・環境本部 技術研究第一部 主任研究員
委員	神山 英雄	オリエンタル白石(株) 施工・技術本部 土木技術部 土木技術チーム 副部長
委員	菊池 伸嘉	大日本土木(株) 土木本部 エンジニアリング部 担当係長
前委員	坂井 隆之	大日本土木(株) 土木本部 エンジニアリング部 担当係長
委員	五味 信治	りんかい日産建設(株) 技術研究所 所長
委員	菅野 友紀	竹中技術研究所 建設技術研究部 地盤・基礎部門 地下工法グループ
委員	土田 克美	戸田建設(株) 土木工事統轄部 土木工事技術部 技術管理課
前委員	斉藤 隆幸	戸田建設(株)土木工事統轄部 土木工事技術部 技術課
委員	友近 宏治	(株)錢高組 土木事業本部 営業・生産本部 技術部 技術課
前委員	橋本 崇	(株)錢高組 土木事業本部 営業・生産本部 技術部 技術課 課長
前委員	谷野 洋一	(株)錢高組 土木事業本部 営業・生産本部 生産システム部 生産計画課 課長
委員	中嶋 滋	清水建設(株) 関東支店 土木生産計画部 主査
委員	浜井 邦彦	(株)大林組 土木本部 プロポーザル部
委員	前田 泰芳	五洋建設(株) 土木部門 土木本部 土木設計部 課長
委員	森川 義人	大成建設(株) 土木本部 土木技術部 臨海・地盤環境技術室 副主査

(五十音順)

災害対策技術の現状と動向 報告書

目 次

はじめに

土木学会 建設技術研究委員会 災害対策技術研究小委員会 メンバー

1. 概説	P 1
2. 災害対策に関する制度について	P 8
2.1 災害対策基本法と防災基本計画	P 8
2.2 災害対策に関する制度	P17
2.3 災害復旧事業の基本手順	P25
2.4 災害対策に関する制度（法令）	P30
2.5 災害対策・災害復旧事業に関する方策への提言	P35
3. 災害への対応の変化と設計・解析手法	P37
3.1 災害への対応の変化：新しい防災および設計思想	P37
3.2 設計・解析法の現状	P46
3.3 現状の課題と解析法の合理化	P52
4. 災害対策技術の現状と事例	P57
4.1 震災（構造物）	P57
4.2 震災（地盤）	P97
4.3 風水害（土砂災害）	P125
4.4 風水害（河川災害）	P163
4.5 風水害（都市型災害）	P193
4.6 沿岸災害（津波・高潮）	P214
4.7 火山災害	P225
5. 災害対策技術における今日の課題	P245

1. 概説

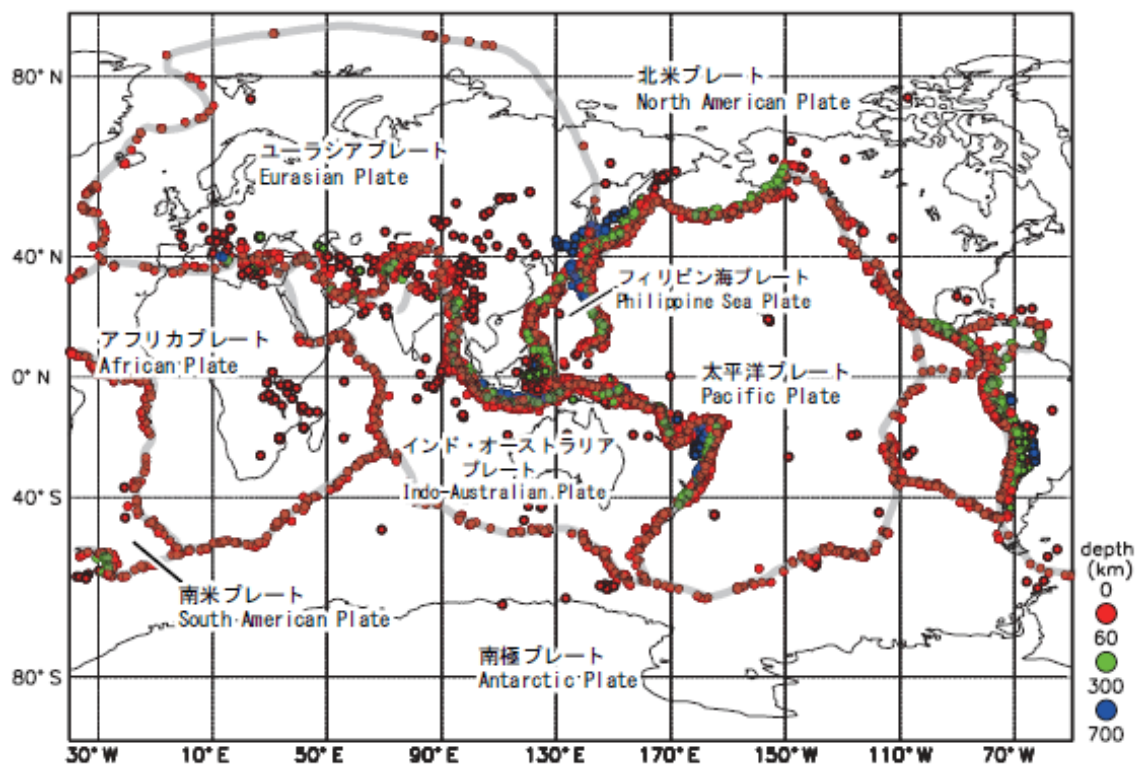
1.1 災害対策技術の背景（自然災害の発生状況）

我が国は、環太平洋造山帯の一部に属することから、地震や火山活動も活発で、地震・津波・火山噴火などの災害が発生しやすい国土となっている。また、その地理的な条件から降水量が多く、急峻な地形や軟弱な地盤・地質とあいまって、台風・豪雨・浸水・土砂災害などの自然災害が多い。

我が国の国土の成り立ちから気象条件については、以下のような特徴が挙げられる。

地球上における日本の位置（地震多発地域）：

- ・ 環太平洋火山帯に位置し、全世界の約7%にあたる108の活火山が分布している。
- ・ 世界全体に占める日本の災害発生割合は、マグニチュード6以上の地震回数20.8%、活火山数7.0%、死者数0.4%、災害被害額18.3%など、世界の0.25%の国土面積に比して、非常に高い。
- ・ 兵庫県南部地震以降も新潟県中越地震などの地震災害を経験しており、災害時の緊急対応やその後の復旧計画のあり方が問われている。また、東海・東南海・南海地震などのプレート上の大規模地震や大都市圏の地震対策にも関心が高まっている。

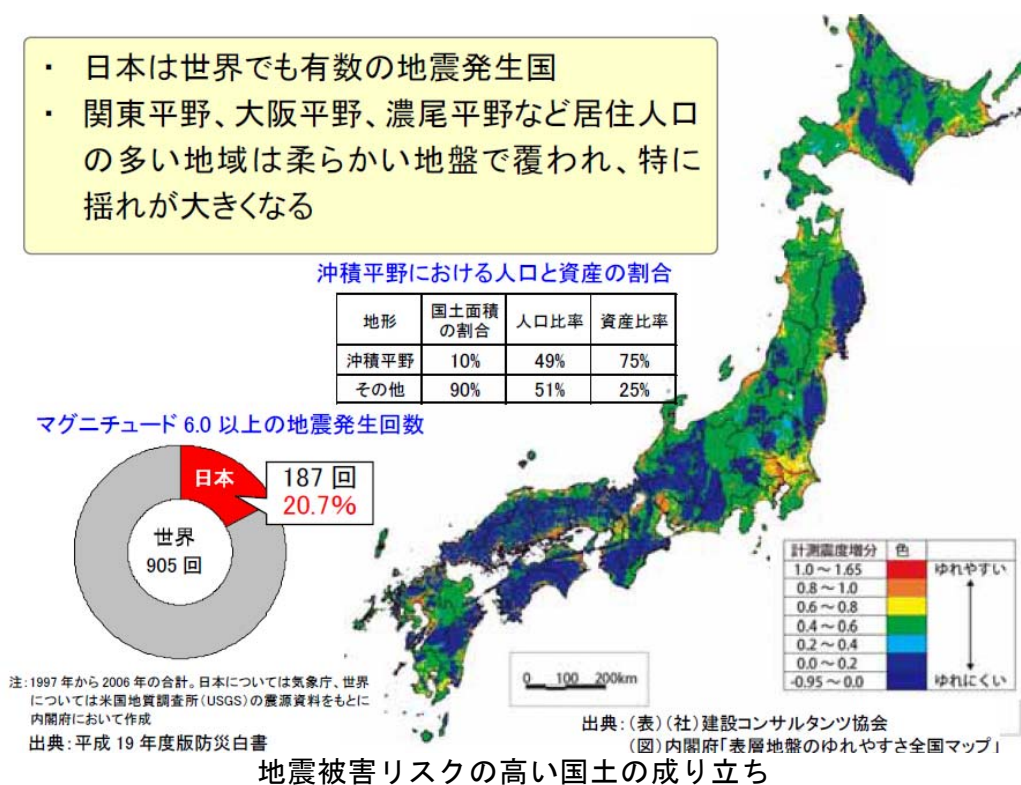


(注) 1998～2007年，マグニチュード5以上。
資料：アメリカ地質調査所の震源データをもとに気象庁において作成。

世界の震源分布とプレート

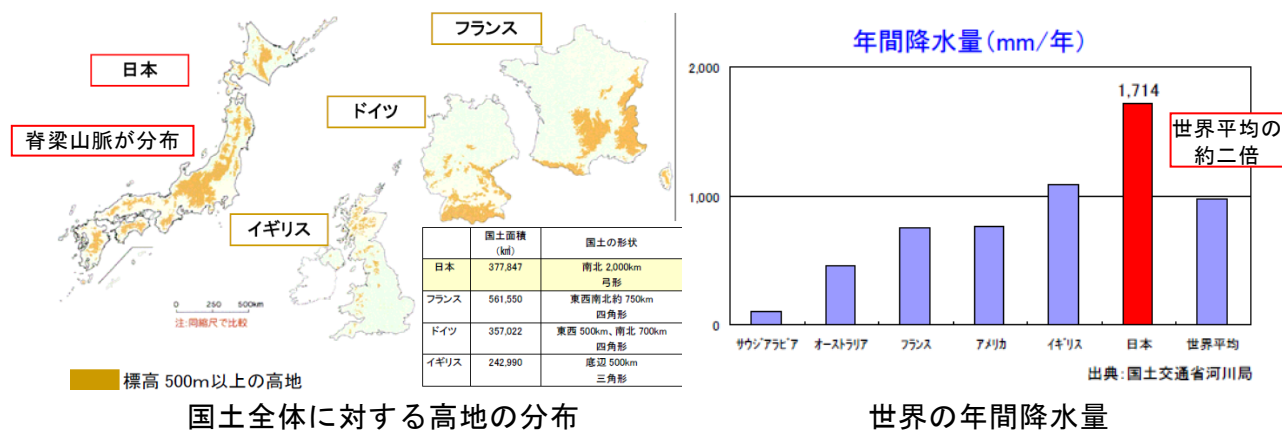
国土利用状況（軟弱な都市の地盤）：

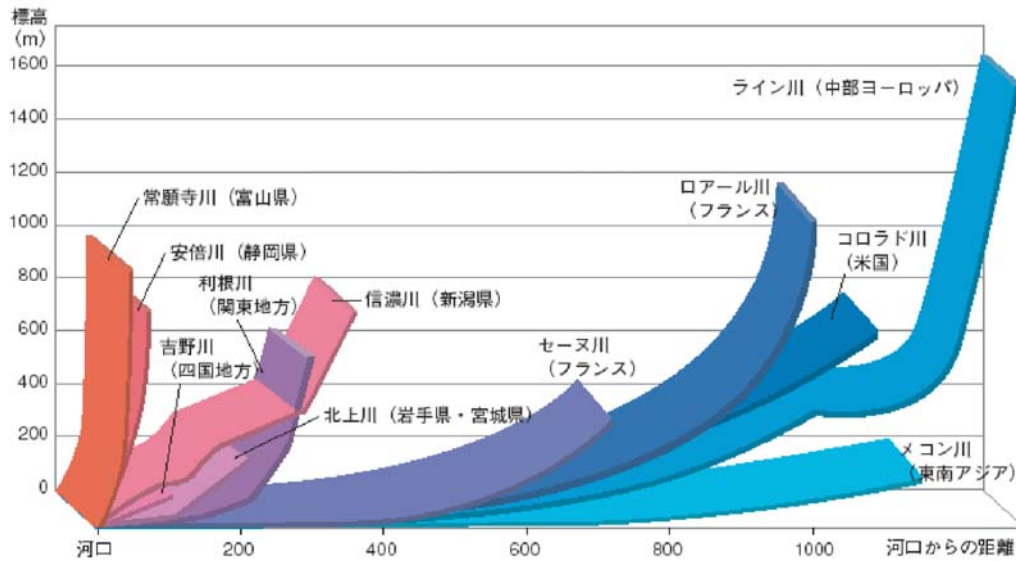
- ・ 都市の大半は沖積平野の上に立地し、軟弱地盤上にある。
- ・ 工業生産及び住居可能な地域である平野部は極めて狭い範囲にある。（国土の 10%の沖積平野上（河川氾濫地域）に人口の 50%と資産の 75%が集中）



国土の形状と気象条件（降雨量が多い）：

- ・ 中央を走る山脈を水源地とする河川は欧米に比べて距離が短く、急勾配であるとともに、年間平均降水量は世界平均に対して約 2 倍である。
- ・ 降雨が梅雨期と台風期に集中し、その結果、例えば利根川では洪水時の流量が平常時の流量の約 100 倍に達する。日本の河川は、瞬時に大洪水となって流下し、瞬時に減少する特徴がある。





日本と世界各地の河川の比較

以上のような国土の特徴を持つことに加え特に近年、巨大台風の上陸に伴う水害、土砂災害、竜巻などの災害が増加する傾向にあり、海面上昇に伴う高潮・津波災害の影響拡大の議論と併せて、地球温暖化との関連も取りざたされている。さらに、ゲリラ豪雨と呼ばれる局地的な集中豪雨により、特に都市部において甚大な被害を与える事例が頻発している。

1.2 災害の変質と社会構造の変化

(1) 災害原因の変化

突発事象である地震、火山活動を除くと自然現象起因の災害のほとんどが気象条件によるもので、風水害はほぼ毎年のように繰り返される。

これらの気象条件は、地球温暖化、都市部への人口・産業の集中によるヒートアイランド現象（都市部の気温は、アスファルト舗装、ビルの輻射熱や冷房の排気熱、車の排気熱などにより、夏場に周辺地域よりも数度高くなる現象）が影響による変化の可能性が指摘されている。

地球温暖化現象に関しては昨年気候変動の政府間組織 IPCC 第四次評価報告書が公表され、世界規模の気温や海水位の上昇、北半球の積雪面積の減少（図-1.1）が示された。同報告書によると、これら変動は、90%以上の確率で人間活動による温暖化ガス排出が原因であるとされている。

わが国における具体的な気象データとして、図-1.2 に時間雨量 50 mm以上と 100 mm以上の降雨の発生回数を示す。これによると、50mm や 100mm を超す集中豪雨が増加傾向にあることがわかる。図-1.3 には日本の年降水量の経年変化を示す。各年の降雨量はばらついてはいるが、全体的傾向（トレンド）は減少傾向を示している。また、図中破線で示す降水量

の上限は増加，下限は減少傾向を示し，降雨量のばらつきが大きく，不安定化の様相を示し，洪水と干ばつが発生しやすくなる傾向を示唆しており，治水上も利水上もリスクが増大すると予想される。

また，東京，大阪，愛知，福岡などの都市部において集中豪雨による水害が発生している。この集中豪雨をもたらす積乱雲の発生の一因としてヒートアイランド現象が考えられている。都市部では建物が密集し，道路は舗装され降雨は地盤に浸透せず地表を流れ，速やかに排水施設に流入するため排水施設があふれ，内水氾濫をもたらす。さらに，溢れた水が地下鉄や地下室など地下施設に流れ込む新たな災害も懸念されている。これにより地下に配置された都市施設のインフラが浸水被害を受けることにより大規模な都市の機能不全に陥ることが経済的な被害の拡大に繋がっていることが指摘されている。

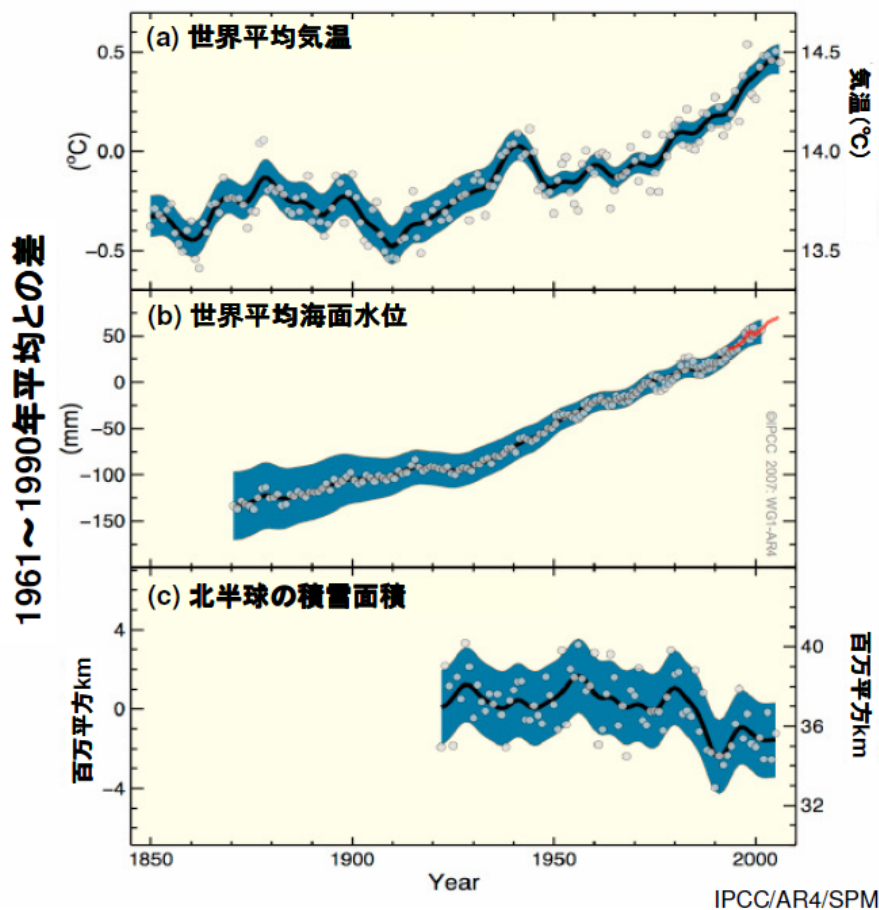


図-1.1 世界平均地上気温、世界平均海面水位、北半球の積雪面積（環境省）¹⁾

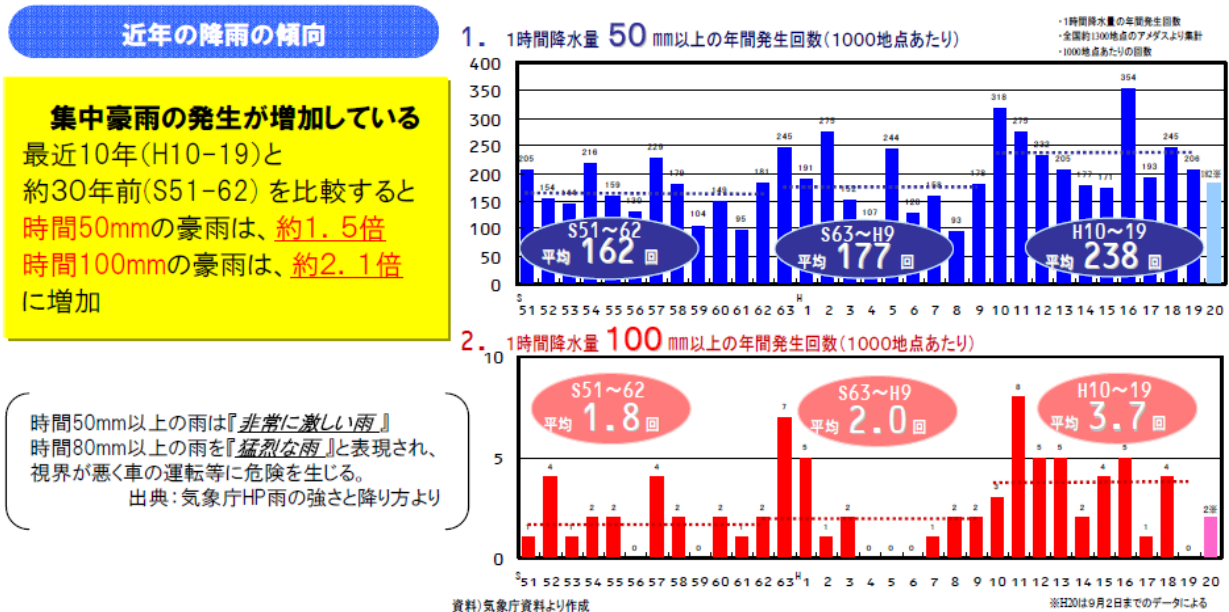


図-1.2 時間雨量 50 mm以上と 100 mm以上の降雨の発生回数（国土交通省河川局資料）

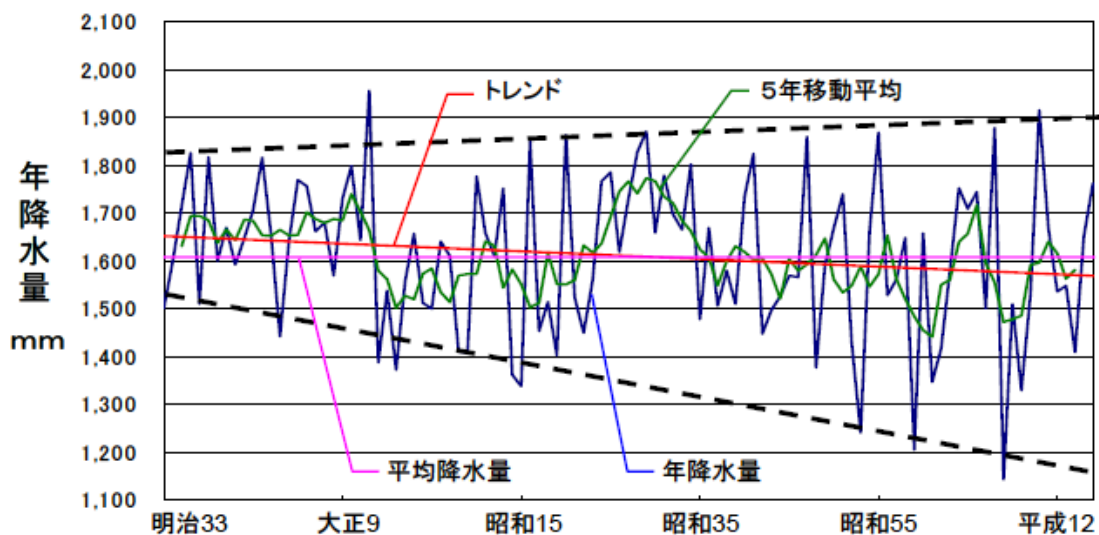


図-1.3 日本の年降水量の経年変化（国土交通省河川局資料）

(2) 社会情勢の変化

都市への人口や産業の集中、その一方で生じる中間山村における産業衰退と人口減少や高齢化により社会構造が変化し、この変化に伴い災害の内容も変化している。都市化に伴う災害の変化の一例として、朝日新聞において2007年1月15日から1月19日の5回に分けて「災害と都市」と題して組まれた特集記事を示す。IT化、超高層化や地下利用など活動範囲の変化、家族構成の変化、災害定策への行政の限界と市民意識変革の必要性を示し、これら災害の種類や被災者側の高齢化などの変化に対して望まれる災害への心構えを示している。



図-1.4 都市化に伴う災害形態の変化と対応 (朝日新聞 2007/01/16-20)

1.3 報告書のねらいと調査方法

以上のような背景を踏まえ、土木学会 建設技術研究委員会 災害対策技術小委員会では、建設会社を主体とした委員構成であることから、今後の災害に対する防災・減災のためのハード技術としての災害対策・復旧に伴う建設技術について、現状の認識と今後の技術の発展に対する一助となるような構成で調査研究を行った。

- ・ 災害対策に関する制度について (第2章)
- ・ 災害への対応の変化と設計・解析手法 (第3章)
- ・ 災害種別毎の対策技術の現状と事例 (第4章)

第2章の災害対策に関する制度の章については、災害対策に関わる諸制度の変遷から、

災害対策基本法を中心に事業の流れに関する整理を行った。

第3章の災害への対応の変化と設計・解析手法については、災害形態の変化を受け、それへの対応の変化から、従来の災害対策に関わる設計法の整理とそれらの抱える問題点について述べる。

第4章については、7つの災害種別：震災（構造物）、震災（地盤）、風水害（土砂災害）、風水害（河川災害）、風水害（都市型災害）、沿岸災害（津波・高潮）、火山災害、に対して、それぞれに関する災害の実態と具体的な対策技術について事例を交えて示した。

なお各災害種別の事例については、今後の実務において参考となるよう、会員各社の災害対策工事实績に関して、直面した問題とその克服事例について紹介いただいたものを加えて示した。

参考文献：

- 1) 「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第4次評価報告書第1作業部会報告書」 文部科学省
<http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/19/02/07020521/001.htm>

2. 災害対策に関する制度について

2.1 災害対策基本法と防災基本計画

(1) 我が国の災害対策に関する制度の歩み

我が国の災害対策に係る制度は、災害予防、災害応急対策から災害復旧に至るまで、広範囲の分野を対象としている。現在、我が国の災害対策制度の根幹をなしているのが、**災害対策基本法**とそれに基づき策定された**防災基本計画**である。

災害対策基本法をはじめとする諸制度は、これまでに激甚な災害に数多く見舞われた経験を踏まえて整備・充実が図られてきた。

我が国の災害対策制度は、明治時代に罹災困窮者に対する食料、小屋掛料、農具および種穀料の支給や租額の補助・貸与などを行う、窮民救助のための**備荒儲蓄法**（明治13年）に端を発している。同法は、その後、罹災者救助基金法に形を変えて、昭和22年に**災害救助法**が制定されるまでの間、これによって被災者の救助が行われた。

災害予防に関しては、明治中期以降に、大河川の氾濫による大規模な水害の発生を契機に**河川法**、**砂防法**および**森林法**のいわゆる**治水三法**が制定された。戦後、昭和28年の東海地方の災害を契機とした**海岸法**、32年の諫早水害での地すべり、崖くずれによる被害を教訓に**地すべり等防止法**、34年の伊勢湾台風の被害を契機として**治山治水緊急措置法**等が制定された。

災害復旧としては、明治32年に**災害準備基金特別会計法**および**災害土木費国庫補助規定**の設定により制度化された。明治44年にはこの基金は廃止され、代わって**府県災害土木費国庫補助に関する法律**が制定され、一般会計からおおむね従前と同様の内容の助成がなされ、昭和26年に現在の**公共土木施設災害復旧事業費国庫負担法**が制定されるまで、災害復旧の一般的制度として適用された。

このように、明治に始まった我が国の災害対策制度は、戦後、逐次整備・拡充されてきたが、それらの対策の相互連携を推進し、災害対策の総合性・計画性を確保するとともに、広域大災害に対処する体制を一層整備することが望まれるようになった。そのような中で、昭和34年の伊勢湾台風による大災害が発生した際に、従来の防災対策の不備が指摘され、総合的かつ計画的な防災行政体制の整備を図るため、「災害対策基本法案」が国会に提案された。その後、国会審議における紆余曲折を経て、**災害対策基本法**は昭和36年11月に公布、翌年7月に施行された。この中で、これまで、災害対策への総合性・計画性の欠如という課題に対して、国・地方公共団体等において**防災基本計画**を作成し公表することが義務付けられた。また、災害対策基本法の制定以前は、大きな災害が発生するたびに特別に国庫補助の嵩上げ措置等を講ずるための特例法を制定せざるを得ないという問題があった。そこで、災害対策基本法では、別の法律を定めるところにより、著しく激甚である災害が発生した際に、応急措置およ

び災害復旧が迅速かつ適切に行われるよう措置するとともに、地方公共団体等の経費負担の適正化を図るために必要な施策を講じることとし、それを受けて、昭和 37 年に**激甚災害に対処するための特別の財政援助等に関する法律（激甚法）**が制定された。

その後、昭和 40 年代の**急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律**の制定や、昭和 50 年代に**大規模地震対策特別措置法**などが施行されるなど、災害対策制度における諸制度の充実がなされてきた。

平成 7 年 1 月 17 日に発生した阪神・淡路大震災は、死者数が 6,400 名を超える西日本の地震では未曾有の大災害となった。本大震災が社会・経済に与えた影響は大きく、我が国の防災対策のターニングポイントとなった。阪神・淡路大震災の復旧・復興のために平成 6 年度に制定・改正された法律等は 16 にのぼった。平成 7 年度には阪神・淡路大震災の経験を踏まえて、災害対策基本法を 2 回にわたり改正した他、地震対策、建築物の耐震改修の促進、消防組織、自衛隊法に係る法令の制定・改正を行った。

我が国の災害対策法制度の歩みを表-2.1に示す。

表-2.1 我が国の災害対策法制度の歩み

年代	災害予防		災害応急対策	災害復旧		我が国の主な自然災害 昭和20年以降(地震は明治以降)
	自然災害の予防	災害の予防		災害復旧事業	援護・融資等	
戦前	河川法(明29) -昭39全面改正- 砂防法(明30) 森林法(明30) -昭26全面改正-		行旅病人及行旅死亡人取扱法(明32) 水難救護法(明32) 水害予防組合法(明41)	伝染病予防法(明30) 災害準備基金特別会計法(明32) -明44廃止- 府県災害土木費国库補助ニ関スル法律(明44)	備荒儲蓄法(明13) -明治32廃止- 罹災者救助基金法(明32) 農工商組合中央金庫法(昭11) 森林国家保険法(昭12)	濃尾地震(明24) 明治三陸地震津波(明29) 関東大地震(大12) 北丹後地震(昭2) 昭和三陸地震津波(昭8) 鳥取地震(昭18) 東南海地震(昭19)
昭和二十年代	土地改良法(昭24) 漁港法(昭25) 港湾法(昭25) 森林法(昭26) 特殊土じょう地帯災害防除及び振興臨時措置法(昭27) 道路法(昭27) 保安林整備臨時措置法(昭29)	港則法(昭23) 鉱山保安法(昭24) 火薬類取締法(昭25) 建築基準法(昭25) 毒物及び劇物取締法(昭25) 高圧ガス取締法(昭26)	災害救助法(昭22) 消防組組法(昭22) 警察官職務執行法(昭23) 消防法(昭23) 水防法(昭24) 海上運送法(昭24) 電波法(昭25) 放送法(昭25) 土地収用法(昭26) 道路運送法(昭26) 気象業務法(昭27) 公衆電気通信法(昭28) -昭59廃止- 有線電気通信法(昭28) 警察法(昭29) 自衛隊法(昭29)	生活保護法(昭25) 農林水産施設災害復旧事業費国库補助の暫定措置に関する法律(昭25) 地方交付税法(昭25) 昭和25年度における災害復旧事業国库負担の特例に関する法律(昭25) 公共土木施設災害事業費国库負担法(昭26) 公営住宅法(昭26) 臨時石炭炭害復旧法(昭27) 公立学校施設災害復旧費国库負担法(昭28) 空港整備法(昭28) 地方鉄道軌道整備法(昭28)	災害被害者に対する租税の減免徴収猶予等に関する法律(昭22) 農業災害補償法(昭22) 所得税法(昭22) 国民金融公庫法(昭24) 災害救助法(昭22) 住宅金融公庫法(昭25) 中小企業信用保険法(昭25) 漁船損害等補償法(昭27) 農業共済基金法(昭27) 農林漁業金融公庫法(昭27) 中小企業金融公庫法(昭28) 産業労働者住宅資金融通法(昭28)	三河地震(昭20) 枕崎台風(昭20) 南海地震(昭20) 福井地震(昭22) 浅間山噴火(昭22) カスリーン台風(昭22) アイオン台風(昭23) ジェーン台風(昭25) ルース台風(昭26) 十勝沖地震(昭27) 大雨(昭28) 南紀豪雨(昭28) 風雪(昭29) 洞爺丸台風(昭29)
昭和三十年代	積雪寒冷特別地域における道路交通の確保に関する特別措置法(昭31) 海岸法(昭31) 特定多目的ダム法(昭32) 地すべり等防止法(昭33) 台風常設地帯における災害の防除に関する特別措置法(昭33) 治山治水緊急措置法(昭35) 港湾整備緊急措置法(昭36) 豪雪地帯対策特別措置法(昭37) 河川法(昭39)	核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律(昭32) 放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律(昭32) 宅地造成等規制法(昭36) 建築物用地地下水の採取の規制に関する法律(昭37)	水道法(昭32) 下水道法(昭33) 道路交通法(昭35)		天災による被害農林漁業者等に対する資金の融通に関する暫定措置法(昭30) 医療金融公庫法(昭35)	疎早豪雨(昭32) 阿蘇山噴火(昭33) 狩野川台風(昭33) 伊勢湾台風(昭34) チリ地震津波(昭35) 豪雪(昭38) 新潟地震(昭39)
昭和四十年代	山村振興法(昭40) 急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律(昭44) 防災のための集団移転促進事業に係る国の財政上の特別措置等に関する法律(昭47) 活動火山対策特別措置法(昭48) 水源地域対策特別措置法(昭48)	液化石油ガスの保安の確保及び取引の適正化に関する法律(昭42) 環境汚染及び海上災害の防止に関する法律(昭45)	廃棄物の処理及び清掃に関する法律(昭45)		地震保険に関する法律(昭41) 地震再保険特別会計法(昭41) 環境衛生金融公庫法(昭42) 漁船積荷保険臨時措置法(昭48) 災害早期金の支給等に関する法律(昭48)	台風23、24、25号(昭40) 台風24、26(昭41) 7、8月豪雨(昭42) 十勝沖地震(昭43) 台風6、7、9号及び7月豪雨(昭47) 伊豆半島沖地震(昭49)
昭和五十年代	大規模地震対策特別措置法(昭53) 地震防災対策強化地域における地震対策緊急整備事業に係る国の財政上の特別措置に関する法律(昭55)	石油コンビナート等災害防止法(昭50) 特定ガス消費機 設置工事に関する法律(昭54)	電気通信事業法(昭59)		森林組合法(昭53)	台風17号及び9月豪雨(昭51) 有珠山噴火(昭52) 伊豆大島近海地震(昭53) 宮城県沖地震(昭53) 台風20号(昭54) 7、8月豪雨及び台風10号(昭57) 日本海中部地震(昭58) 梅雨前線豪雨(昭58) 三宅島噴火(昭58) 長野県西部地震(昭59) 豪雪(昭59)
昭和十年代 平成			鉄道事業法(昭61) 国際緊急援助隊の派遣に関する法律(昭62)		日本体育・学校センター法(昭60)	豪雪(昭60) 伊豆大島噴火(昭61) 雲仙岳噴火(平2) 北海道南西沖地震(平5) 8月豪雨(平5)
阪神・淡路大震災 平成七年一月十七日以降	地震防災対策特別措置法(平7) 土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律(平12)	建築物の耐震改修の促進に関する法律(平7) 密集市街地における防災街区の整備の促進に関する法律(平9)	郵便振替の預り金の民間災害救援事業に対する寄付の委託に関する法律(平8) 原子力災害対策特別措置法(平11)	阪神・淡路大震災復興の基本方針及び組織に関する法律(平7) 被災市街地復興特別措置法(平7) 被災区分所有建物の再建等に関する特別措置法(平7) 阪神・淡路大震災に伴う法人の破産宣言及び会社の最低資本金の制限の特例に関する法律(平7) 特定非常災害の被害者の権利利益の保全等を図るための特別措置に関する法律(平8)	被災者生活再建支援法(平10)	阪神・淡路大震災(平7) 土石流(平8) 土石流(平9) 8月末豪雨(平10) 台風7号、8号、豪雨(平10) 台風18号(平10) 梅雨前線豪雨(平11) 強い熱帯低気圧による大雨(平11) 台風18号(平11) 有珠山噴火(平12) 三宅島噴火及び新島・神津島近海地震(平12) 台風14号(平12) 鳥取県西部地震(平12) 芸予地震(平13)

(2) 災害対策基本法

(a) 災害対策基本法制定の経緯

昭和 36 年に成立した災害対策基本法は、総合的かつ計画的な防災行政の整備及び推進を図るものであり、我が国の災害対策を講じていく上で最も基本となる法律である。

災害対策基本法成立以前は、100 から 150 におよぶと言われている災害に関する法律間での関係等については十分に考慮されたものではなく、災害が起きた場合にその対策がばらばらで、防災行政は十分な効果が上げられていなかった。防災組織については、総合的防災行政を推進する体制にはなっておらず、国、都道府県および市町村等の責任が不明確であり、防災活動にあたっては、計画性・全体としての統一性を欠いていることが多かった。災害の復旧に関しても、災害が発生する都度、個別的に臨時特例法が制定され、それに基づき災害復旧対策が講じられる状態であった。

このような、防災体制の根本的な不備、欠陥を是正し、災害対策全体の体系化を図り、総合性、計画性を与えることを目的として災害対策基本法が制定された。制定にあたっては、従来の法律は原則として存置し、災害対策基本法により、従来の法律で不足している部分を補填し、それぞれの法律を有機的に関連付けて調整した。そのため、災害対策基本法は、他の災害関係法律に対しては一般法の性格を有している。すなわち、他の災害関係法律に対して優先度が劣後することになる。

(b) 災害対策基本法の構成

第一章 総則（第一条から第十条）

第二章 防災に関する組織

第一節 中央防災会議（第十一条から第十三条）

第二節 地方防災会議（第十四条から第二十三条）

第三節 非常災害対策本部及び緊急災害対策本部（第二十四条から第二十八条の六）

第四節 災害時における職員の派遣（第二十九条から第三十三条）

第三章 防災計画（第三十四条から第四十五条）

第四章 災害予防（第四十六条から第四十九条）

第五章 災害応急対策

第一節 通則（第五十条から第五十三条）

第二節 警報の伝達等（第五十四条から第五十七条）

第三節 事前措置及び非難（第五十八条から第六十一条）

第四節 応急措置（第六十二条から第八十六条）

第六章 災害復旧（第八十七条から第九十条）

第七章 財政金融措置（第九十一条から第百四条）

第八章 災害緊急事態（第百五条から第百九条の二）

第九章 雑則（第百十条から百十二条）

第十章 罰則（第百十三条から第百十七条）

(c) 災害対策基本法の主たる内容

(i) 防災責任の明確化

【国・地方公共団体等の責務】※特別区は市とみなされる（第百十条）

国の責務（第三条）、都道府県の責務（第四条）、市町村の責務（第五条）、指定公共機関及び指定地方公共機関の責務（第六条）、住民等の責務（第七条）、施策における防災上の配慮等（第八条）、政府の措置及び国会に対する報告（第九条）

【国・地方公共団体等の権限と責任】

例）警察官等にたいする出動の要請等（第五十八条）、警戒区域の設定（第六十三条）、応急措置のための物的、人的応急公用負担（第六十四条および第六十五条）、自衛隊の災害派遣の要請の要求等（第六十八条の二）

(ii) 総合的防災行政の推進

【災害発生前】

中央防災会議の設置（第一節）、都道府県防災会議ならび市町村防災会議の設置（第二節）

【災害発生後】

国における非常災害対策本部及び緊急災害対策本部の制度（第三節）、都道府県および市町村における災害対策本部の制度（第二十三条）、災害時における専門技術職員の不足に対処するための都道府県および市町村に対する職員の派遣（第二章第四節）

(iii) 計画的防災行政の推進

【中央防災会議】

防災基本計画の作成、防災業務計画および地域防災計画における重点事項等の明確化（第三十四条および第三十五条）

【指定行政機関および指定公共機関】

防災業務計画の作成（第三十六条および第三十九条）

【都道府県防災会議、市町村防災会議】

都道府県防災計画ならび市町村防災計画の作成（第四十条）、都道府県防災計画に関する内閣総理大臣との協議（第四十条）、市町村防災計画に関する都道府県知事との協議（第四十二条）

(iv) 激甚災害等に対する財政援助

激甚被害に対する別途法律による国の特別の財政援助・被災者への助成等（第九十七条および第九十九条）

(v) 災害緊急事態に対する措置

災害緊急事態の布告（第百五条）、金銭債務の支払いの延期等に関する措置（第百九条）、海外からの緊急支援の受入（第百九条の二）

(3) 防災基本計画

災害対策基本法第三章防災計画において、中央防災会議は防災基本計画を作成し、防災に関する総合的かつ長期的な計画を定めるとともに、防災業務計画および地域防災計画において重点をおくべき事項等を明らかにすることとしている。また、指定行政機関および指定公共機関は、防災基本計画に基づきその所管事務またはその業務に関し防災業務計画を作成しなければならないとされている。

都道府県防災会議は、当該都道府県の地域に係る都道府県防災計画を作成しなければならないと、また、この計画は防災基本計画に基づき作成するものとし、かつ、防災業務計画に抵触するものであってはならないとされている。市町村防災会議も同様に当該市町村の地域に係る市町村防災計画を作成しなければならないと、また、この計画は防災基本計画に基づいて作成するものとし、かつ、防災業務計画および都道府県地域防災計画に抵触するものであってはならないとされている。

このように、国、公共機関、地方公共団体が災害の発生を予防しまたは災害の発生の場合にその被害をできる限り軽減するため平常から周到な防災計画を作成し、関係機関、団体の緊密な連絡調整を確保し、適時適切な対策を講ずることができる全国ネットワークを形成し、これに基づいて総合的かつ計画的な災害対策を実施できることとしている。図-2.1、図-2.2 に防災基本計画の構成と体系を示す。

防災基本計画は昭和 38 年に策定され、その後何回かの修正を経て、最近では、平成 17 年 7 月に災害への備えを実践する国民運動の展開、地震防災戦略の策定、インド洋津波災害を踏まえた津波防災対策の充実、集中豪雨時等の情報伝達及び高齢者等の避難支援の強化等、最近の災害対策の進展を踏まえ、新たな対応体制を確立するために修正されている。

防災基本計画では、対象とする災害と、**震災・風水害・火山災害・雪害の自然災害**と、**海上災害・航空災害・鉄道災害・道路災害・原子力災害・危険物等災害・大規模火事災害・林野火災の事故災害**に大別している。また、これらの災害に対する防災には、時間の経過とともに**災害予防・災害応急対策・災害復旧・復興の 3 段階**があるとし、それぞれの段階において国、公共機関、地方公共団体、事業者、住民等が一体となって最善の対策をとることが被害の軽減につながるとしている。図-2.3 に指定行政

機関および指定地方行政機関の一覧を、図-2.4に指定公共機関の一覧を示す。

防災基本計画に記述されている前述3段階における防災の基本方針と主な内容は以下のとおりである。

○周到かつ十分な災害予防

- ・災害に強い国づくり，まちづくりを実現するための，主要交通・通信機能の強化，国土保全事業及び市街地開発事業等による災害に強い国土とまちの形成，並びに住宅，学校や病院等の公共施設等の構造物・施設，ライフライン機能の安全性の確保等
- ・発災時の災害応急対策，その後の災害復旧・復興を迅速かつ円滑に行うための事前の体制整備，施設・設備・資機材等の整備・充実，食料・飲料水等の備蓄，防災訓練の実施等
- ・予知・予測研究，工学的，社会学的分野の研究を含めた防災に関する研究の推進，観測の充実・強化，及びこれらの防災施策への活用

○迅速かつ円滑な災害応急対策

- ・災害発生の兆候が把握された際の警報等の伝達，住民の避難誘導及び災害未然防止活動
- ・大規模な事故が発生した場合等における速やかな情報の連絡
- ・発災直後の被害規模の早期把握，災害に関する情報の迅速なる収集及び伝達，並びにそのための通信手段の確保
- ・災害応急対策を総合的，効果的に行うための関係機関等の活動体制の確立，並びに他機関との連携による応援体制の確立
- ・円滑な救助・救急，医療及び消火活動等を支え，また被災者に緊急物資を供給するための，交通規制，施設の応急復旧，障害物除去等による交通の確保，並びに優先度を考慮した緊急輸送
- ・被災者の生活確保に資するライフライン，交通施設等の施設・設備の応急復旧

○適切かつ速やかな災害復旧・復興

- ・被災地域の復旧・復興の基本方向の早急な決定と事業の計画的推進
- ・被災施設の迅速な復旧
- ・再度災害の防止とより快適な都市環境を目指した防災まちづくり
- ・迅速かつ適切ながれき処理

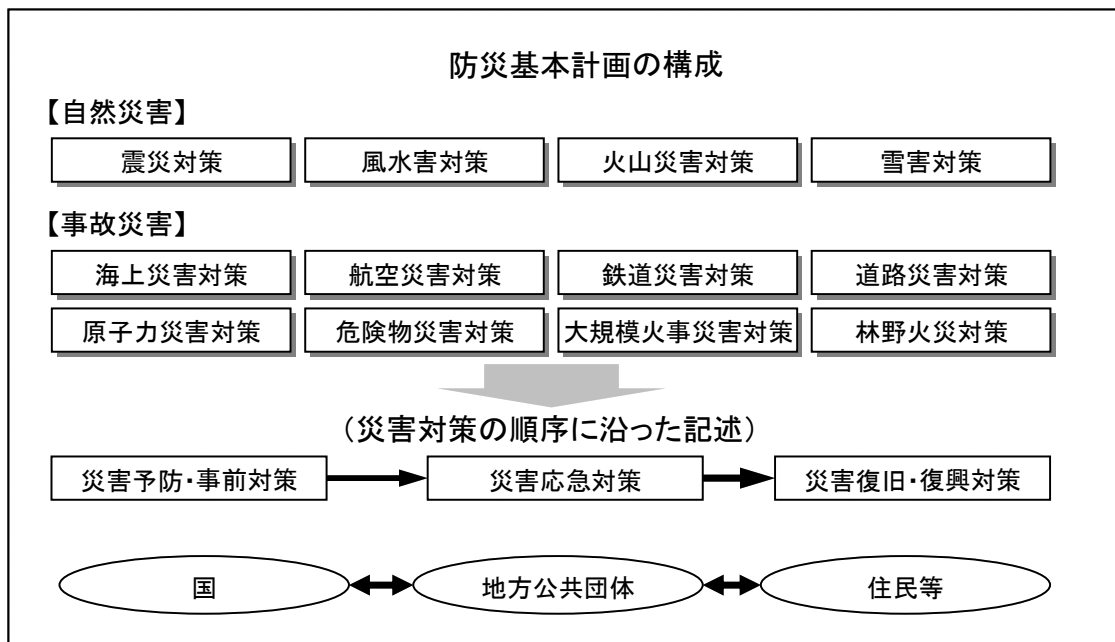


図-2.1 防災基本計画の構成

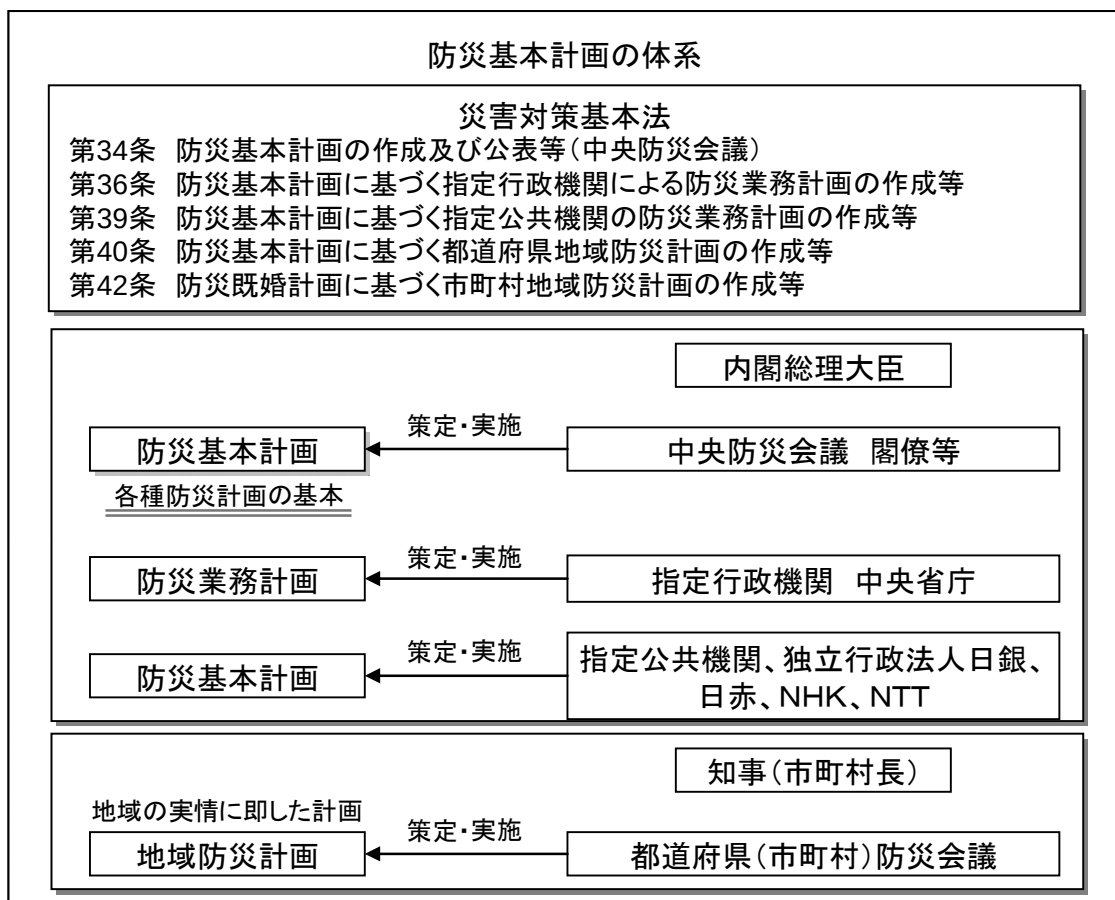


図-2.2 防災基本計画の体系

指定行政機関の指定 (平成19年1月9日内閣府告示第1号)	指定地方行政機関の指定 (平成17年9月30日内閣府告示第771号)
内閣府	沖縄総合事務局
国家公安委員会	管区警察局
警察庁	防衛施設局
金融庁	総合通信局
総務省	沖縄総合通信事務所
消防庁	財務局
法務省	水戸原子力事務所
外務省	地方厚生局
財務省	都道府県労働局
文部科学省	地方農政局
文化庁	北海道農政事務所
厚生労働省	森林管理局
農林水産省	経済産業局
経済産業省	産業保安監督部
資源エネルギー庁	那覇産業保安監督事務所
原子力安全・保安院	地方整備局
中小企業庁	北海道開発局
国土交通省	地方運輸局
国土地理院	地方航空局
気象庁	管区気象台
海上保安庁	沖縄気象台
環境省	管区海上保安本部
防衛省	地方環境事務所

図-2.3 指定行政機関および指定地方行政機関

○独立行政法人(13) 独立行政法人防災科学技術研究所、独立行政法人放射線医学総合研究所、独立行政法人日本原子力研究開発機構、独立行政法人国立病院機構、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構、独立行政法人森林総合研究所、独立行政法人水産総合研究センター、独立行政法人土本研究、独立行政法人建築研究所、独立行政法人海上技術安全研究所、独立行政法人港湾空港技術研究所、独立行政法人水資源機構、独立行政法人日本高速道路保有・債務返済機構 ○公社(1) 日本郵政公社 ○認可法人(2) 日本銀行、日本赤十字社 ○その他(47) 日本放送協会、東日本高速道路株式会社、首都高速道路株式会社、中日本高速道路株式会社、西日本高速道路株式会社、阪神高速道路株式会社、本州四国連絡高速道路株式会社、成田国際空港株式会社、関西国際空港株式会社、中部国際空港株式会社、北海道旅客鉄道株式会社、東日本旅客鉄道株式会社、東海旅客鉄道株式会社、西日本旅客鉄道株式会社、四国旅客鉄道株式会社、九州旅客鉄道株式会社、日本貨物鉄道株式会社、日本電信電話株式会社、東日本電信電話株式会社、西日本電信電話株式会社、東京瓦斯株式会社、大阪瓦斯株式会社、東邦瓦斯株式会社、日本通運株式会社、北海道電力株式会社、東北電力株式会社、東京電力株式会社、北陸電力株式会社、中部電力株式会社、関西電力株式会社、中国電力株式会社、四国電力株式会社、九州電力株式会社、沖縄電力株式会社、電源開発株式会社、日本原子力発電株式会社、KDDI株式会社、株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ、株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ北海道、株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ東北、株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ北陸、株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ東海、株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ関西、株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ中国、株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ四国、株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ九州、エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社 計63機関

図-2.4 指定公共機関

2.2 災害対策に関する制度

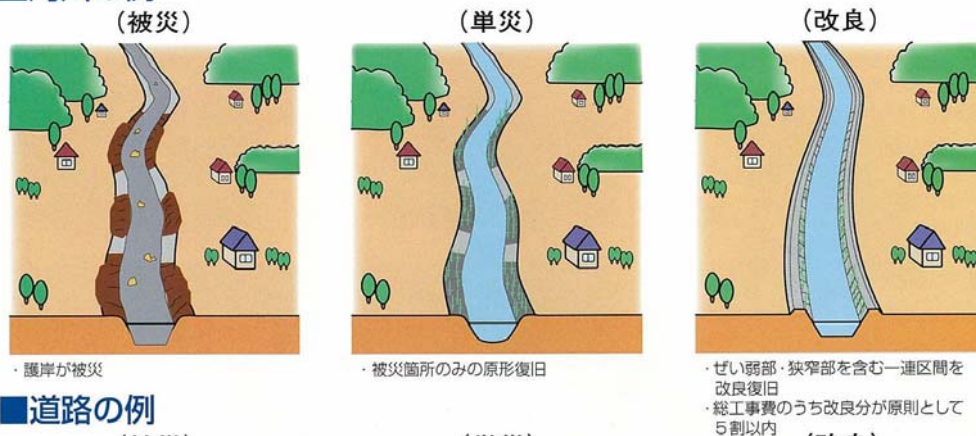
(1) はじめに

(a) 災害対策に係る事業の分類

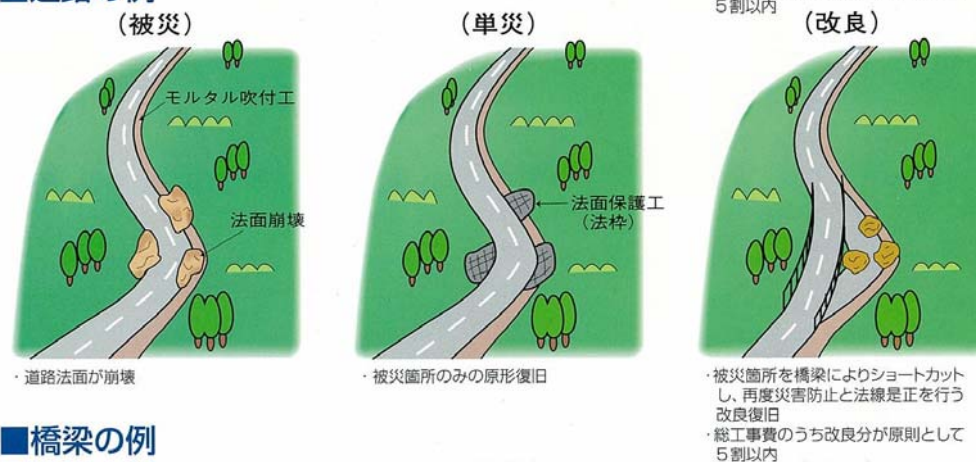
我が国における災害に係る事業には、災害復旧事業費（国庫補助率 2/3 以上）のみをもって原形復旧する災害復旧事業（単災）と、それに改良事業費を加えて改良復旧する災害関連事業（広義）がある。

河川・道路・橋梁における原形復旧（単災）と改良復旧のイメージを図-2.5 に示す。

■河川の例



■道路の例



■橋梁の例

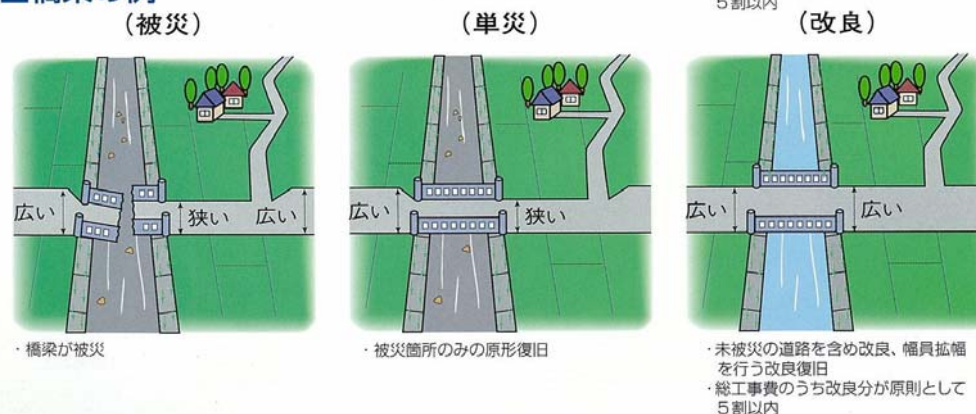


図-2.5 原形復旧（単災）と改良復旧のイメージ

災害復旧事業（単災）は、被災した施設を原形復旧する事を基本としているが、広範囲にわたり激甚な被害を受けた場合で、ある一定区間内の被災していない区間も含め（例えば河川において堤防または河岸の完全決壊区間が復旧する区間延長の8割程度以上ある場合）、一定の計画に基づいて全額災害復旧費で改良工事（河道拡幅、築堤、掘削等）を実施する**災害復旧事業（一定災）**がある。

一方で、災害関連事業（広義）は、原状復旧を原則とする災害復旧事業では、同等以上の災害があった場合に、再度災害復旧事業を必要とする等の事態が想定され、国民生活の安定や経済的見地から問題がある場合に、災害復旧事業と合併して実施される改良事業である。

我が国における災害対策事業の区分を図-2.6に示す。

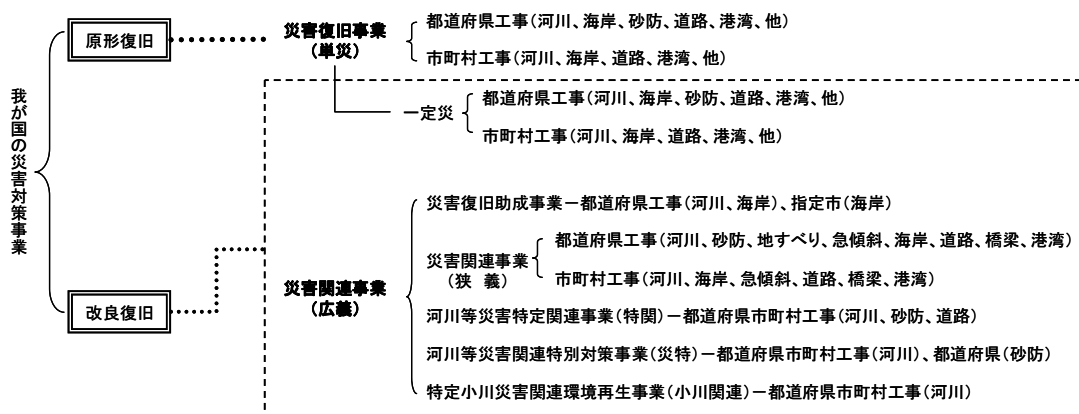


図-2.6 我が国における災害対策事業の区分

(2) 災害復旧事業

(a) 概要

国土交通省では、所管する公共土木施設が豪雨や地震などの異常な天災現象によって被災した場合に災害復旧を行う。また、天然の河岸および海岸の決壊についても、維持上または公益上特に必要と認められるものは、災害復旧を行うことができる。これらの施設の復旧事業は、被災した施設の管理者等が実施することとなるが、一定の要件に該当する復旧事業については、国庫負担または国庫補助制度が設けられている。国土交通省が関連する災害復旧事業には、公共土木施設災害復旧事業費国庫負担法を根拠法とする公共土木施設災害復旧とその他の施設の災害復旧がある。その他の施設とは、都市施設（街路、都市排水施設等）、公営住宅等、空港、地方鉄道軌道等が該当し、それぞれの根拠法等は、都市災害復旧事業国庫補助に関する基本方針、公営住宅法、空港整備法、鉄道軌道法である。

いずれの災害復旧事業も、原則として直轄災害復旧事業については2か年、補

助災害復旧事業については3か年で事業を完了させることとしている。

(b) 災害復旧事業制度の特色

(i) 対象施設

公共土木施設災害復旧事業費国庫負担法の対象となる施設は、河川、海岸、砂防設備、林地荒廃防止施設、地すべり防止施設、急傾斜地崩壊防止施設、道路、港湾、漁港、下水道、公園である。

(ii) 災害の範囲

災害復旧事業における災害の範囲は、暴風、洪水、高潮、地震その他の異常な天然現象により生じる災害である。具体的には、公共土木施設災害復旧事業査定方針の中で以下のように定められている。

○ 河川災害（河川沿いの道路を含む）

- ・ 警戒水位以上の水位
- ・ 河岸高（低水位から天端までの高さ）の5割程度以上の水位（計回水位の定めのない場合）
- ・ ただし、河床低下等河状の変動により警戒水位の定めが不適当な場合の、警戒水位未満の出水
- ・ または比較的長時間にわたる融雪出水等

○ 河川以外の施設災害

- ・ 最大24時間雨量80mm以上の降雨（ただし、80mm未満であっても、時間雨量が20mm以上の場合も含む）

○ 最大風速（10分間平均風速の最大）15m以上の風

○ 高潮、波浪（うねりを含む）、津波による災害で被害の程度が比較的軽微と認められないもの

○ 地震、地すべり等によって発生した施設災害（地すべりは降雨量等に関係なく単独で異常な天然現象となりうる）

○ 積雪深が過去10か年間の最大積雪深の平均値を超え、かつ、1m以上の積雪により発生した災害

○ 平成13年6月の舗装の構造に関する技術基準の通達により気温が10年確率凍結指数を超える低温により発生した災害

(iii) 復旧の程度

災害復旧事業は、災害にかかった施設を原形に復旧することを目的とし、**災害復旧の4要素である位置・形状・寸法・材質**を変えずに復旧することである。しかし、災害の状況によっては、原形に復旧することが著しく困難または不適当な場合（**原形復旧不可能、原形復旧困難、原形復旧不適当の3ケース**）があり、このような場合には、原形復旧に代わるものを実施することも災害復旧事業とみな

される。原形復旧不可能とは、前述の災害復旧の4要素のうち、位置は変えないが、河床、地形等の変動によって、形状、寸法または材質を変更しなければ施工出来ない（不可能）場合のことをいう。原形復旧困難とは、原形復旧（不可能も含む）は可能であるが、技術的あるいは経済的にみて、法線、工法または前述4要素を変更して施工した方が現実的である場合のことをいう。原形復旧不适当とは、被災河川の河床、地形、地盤等が従前より著しく変動したため技術的にみて、または、被害が甚大であったり、背後の一般資産等に大きな被害を与えているため、投資効果、民生の安定など社会通念上の視点から復旧の程度を上げる場合をいう。図-2.7に原形復旧困難と原形復旧不适当の例を示す。

ただし、これらの条件を満たす災害復旧事業であっても、1か所の工事費が一定の基準に達しない額のもの（都道府県および指定都市に係るもので120万円、市町村に係るもので60万円）、工事の費用に比してその効果が著しく小さいもの、管理者の責に起因するもの、維持工事とみるべきもの等については、国庫補助の対象から除外される。

(iv) 国の負担または補助の率

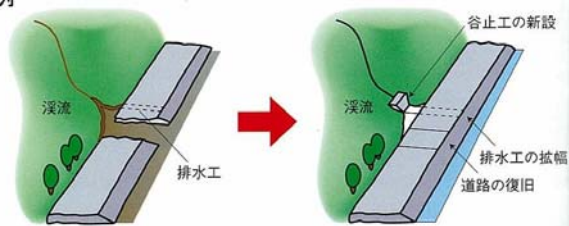
災害復旧事業は、公共土木施設等の管理者等にとって、臨時的に巨額の出費を必要とし、また、その事業の実施はできるだけ早期に行う必要があることから、当該事業について国が負担または補助する比率は、これら施設の新設、改良の場合に比較し、一般的に高率となっている（2/3以上）。

(v) 査定と立会い

災害が発生した場合、地方公共団体は主務大臣に対して災害（被害）報告を行うこととされており、また、災害復旧事業を実施しようとするときは、事業の設計書等を添付して、その旨を主務大臣に申請することとされている。この場合、災害復旧事業費の決定は、地方公共団体の提出する資料、実施調査の結果等により、主務大臣が行うこととされているが、通常の手続としては、主務省から派遣される災害査定官が災害現地において調査したところに従い決定されることとなる（災害復旧事業費の査定）。なお、この際、財政を主管する財務省の立場から、財務局の係官がその調査に立ち会う（災害復旧事業費の査定立会）こととされており、現地において主務省の査定官と財務局等の立会官との間において合意された事業費は、そのまま予算措置に反映されることとなっている。

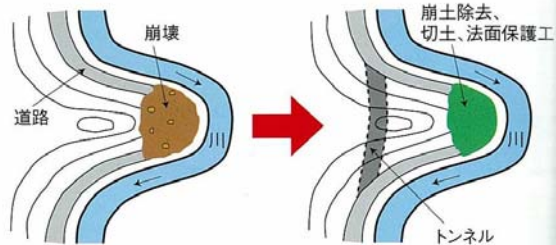
●原形に復旧することが不適当な道路災害の例

道路災害復旧とともに、被災原因の除去として、谷止め工と排水工の拡幅を行う。



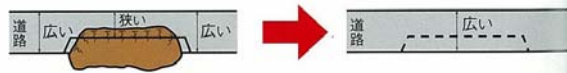
●原形に復旧することが困難な道路災害の例

在来の道路位置に復旧することが著しく困難であるため、必要最小限の工事として、トンネルで復旧する。



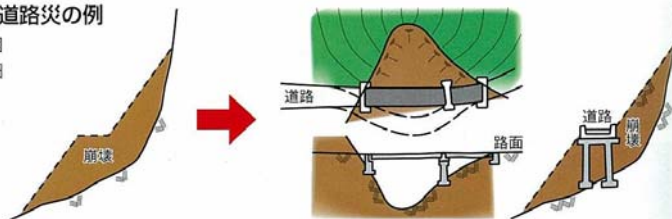
●原形に復旧することが不適当な道路災害の例

被害施設の前後がいずれも改良済みであり、あわせて復旧した場合、一連の施設の効用が増大される場合に、前後の道路に合わせて復旧する。



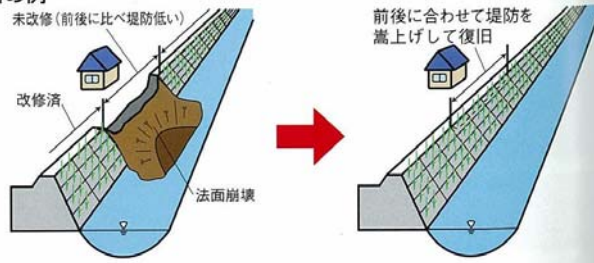
●原形に復旧することの困難な道路災の例

道路を盛土で復旧するのは、著しく困難かつ高価となるため、橋梁で復旧する。



●原形に復旧することが不適当な河川災害の例

上下流が改修済みで、それら施設と合わせて一連の効用が増大される場合に堤防を嵩上げて復旧する。



●原形に復旧することが不適当な橋梁災害の例

被災した橋梁の前後が改良済みであり、合わせて復旧した場合、一連の施設の効用が増大される場合に、前後の道路に合わせて復旧する。

一般国道 $\ell \leq 20\text{m}$
 主要地方道 $\ell \leq 15\text{m}$ } の場合
 一般都道府県道
 市町村道

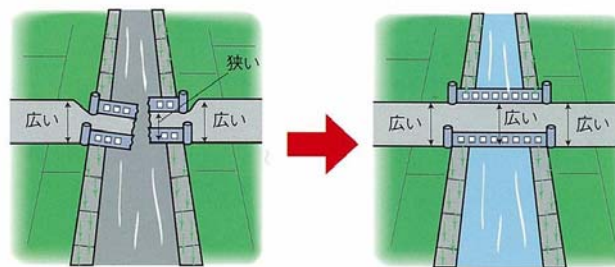


図-2.7 原形復旧困難と原形復旧不適当の例

(3) 災害関連事業

(a) 概要

災害関連事業（広義）は、激甚な被害を受けた施設において、被災箇所の原形復旧のみでは事業の効果が限定されるような場合、未災箇所も含む一連区間について再度災害の防止と安全度の向上を図るために、災害復旧事業に改良費を加えて一定区間を改良復旧する制度である。

災害関連事業（広義）のには、河川・海岸において大規模な災害を受けた場合に、再度災害防止のため一定計画に基づき実施する一級・二級河川，都道府県・指定都市管理の海岸で改良工事費が6億円を超えるものを対象とする**災害復旧助成事業（助成）**（総工事費のうち改良分の割合が5割を超える場合にも採択される。事業の経済効果が重視される）と，総工事費のうち改良部分の割合が原則として5割以内の**災害関連事業（関連）（狭義）**（河川・海岸においては災害復旧助成事業の対象以外の事業。それ以外の事業については6億円を超えても対象となる）がある。

その他、河川・砂防・道路において、前年に採択された災害復旧事業に関連して、当該災害の発生原因となった障害物を除去または是正する制度であって、全額改良費で行われる**河川等災害特定関連事業（特関）**，河川助成事業および河川または砂防関連事業の上下流において、これら改良復旧事業に支障となる障害物等の除去または是正を行う**河川等災害関連特別対策事業（災特）**，平成2年度より緩勾配護岸等の環境に配慮した復旧を行う**特定小川災害関連環境再生事業（小川）**がある。図-2.8に、改良復旧事業に係る枠組みを示す。

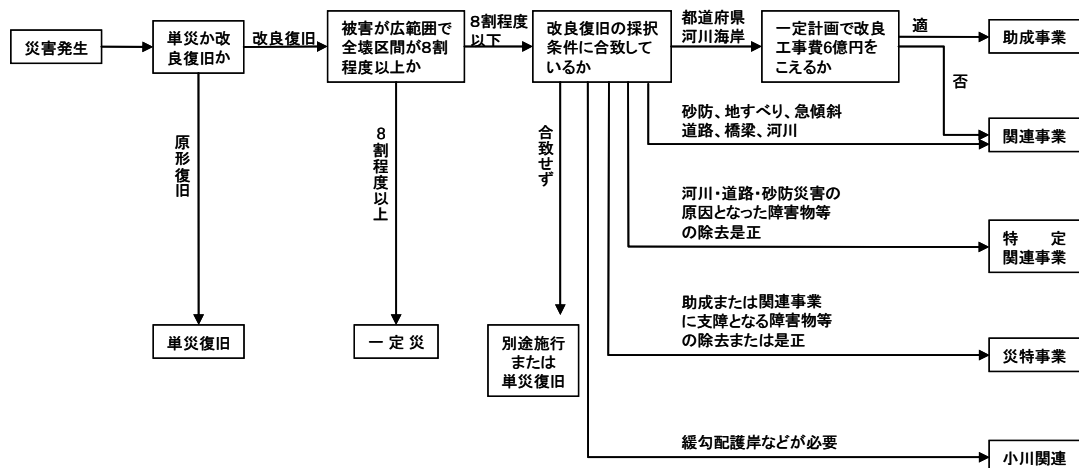


図-2.8 改良復旧事業の枠組み

(b) 災害関連事業（関連）（狭義）

災害関連事業（関連）（狭義）は、災害復旧事業の施行のみでは再度災害の防止に十分な効果が期待できない判断される場合に、災害復旧事業とあわせて行わ

れる改良事業である。施行期間は災害復旧事業と同じく3年間である。

採択基準は、

- 災害復旧事業の対象となる施設において、総工事費のうち災害関連工事費の占める割合が原則として5割以下で下記の限度額以上のもの

- ・ 河川等 都道府県・指定都市 2,400 万円以上
市（指定都市を除く）町村 1,800 万円以上
- ・ 港湾，漁港，農地海岸
都道府県・指定都市 800 万円
市（指定都市を除く）町村 600 万円
- ・ 治山 200 万円

- 他の改良計画がないもの
 - 事業効果が大きいもの
- である。

補助率は1/2である（ただし、砂防、治山および道路は2/3）。

(c) 災害復旧助成事業（助成）

災害復旧事業の目的は災害関連事業（関連）（狭義）と同様であり、対象施設は、現在のところ、1級河川（指定区間）および2級河川ならびに海岸（海岸法に基づき都道府県知事もしくは指定市の長の管理するもの）である。

採択基準は、

- 被害激甚であって災害復旧工事のみでは十分な効果を期待できないもの
 - 総工事費のうち助成工事費の占める割合が原則として5割以下のものであって助成工事費が6億円を超えるもの
 - 他の改良計画がないもの
 - 事業効果が大きいもの
 - 上下流（前後）に悪影響を与えないもの
- である。

補助率は1/2である。

(d) 河川等災害特定関連事業（特関）

河川および道路の災害復旧事業に関連して、災害発生の原因となった障害物（寄洲，中洲狭搾部，屈曲部，橋梁，堰等）の除去または是正を行う。

採択基準は、

- 他の改良計画がないもの
- 事業効果が大きいもの
- 関連する災害復旧事業が前年に採択されたものであって、当該災害の発生した年の翌年の4月1日の属する会計年度において採択するものとし、当該災

害復旧事業箇所との距離がおおむね 300m 以内のもの（堰、橋梁等の工作物の改築に係る事業にあつては、おおむね 450m 以内）

- 工事が原則として災害復旧事業の工事費を超えないものであり、かつ、1 か所あたりおおむね 900 万円以上 4,500 万円未満のもの（堰、橋梁等の工作物の改築等に係る事業について一連の効果を発揮させるため必要がある場合にあっては、おおむね 7,000 万円未満）である。

補助率は 1/2（北海道 5.5/10，沖縄県 6/10）である。

(e) 河川等災害関連特別対策事業（災特）

災害復旧助成事業または災害関連事業における改良復旧効果の確保に支障（寄洲，中洲狭搾部，屈曲部，橋梁，堰等）となる原因の除去を行う（当該事業箇所との距離はおおむね 200m 以内）。

採択基準は、

- この事業の直上下流において、災害復旧助成事業または災害関連事業（河川または砂防）が採択されていること
- 他の改良計画がないもの
- 事業効果が大きいもの
- 工事費は原則として災害復旧事業の工事費を超えないものとし、おおむね都道府県・指定都市 1,600 万円，市町村（指定都市以外）1,200 万円以上 1 億円未満のもの
- この事業は関連する災害復旧助成事業または災害関連事業と同年度に採択するものとする

である。

補助率は 2/5（北海道，沖縄県 1/2）である。

(f) 特定小川災害関連環境再生事業（小川）

災害復旧事業が採択された河川のうち，市街地もしくは市街地周辺部または付近に学校・公園・病院等の公共施設もしくは史跡・歴史的記念物が存在する地域を流下する小規模な河川において実施される事業。

採択基準は、

- 他の改良計画がないもので，関連する災害復旧事業箇所の全部または一部を含むものとする。
- 総工事費のうち災害関連工事費の占める割合が 5 割以下のもの
- 関連する災害復旧事業と同年度に採択するものとする

である。

補助率は 1/2 である。

2.3 災害復旧事業の基本手順

災害発生時には、被災施設の管理者が復旧の主体者となる。特に、防災基本計画で被災地における復旧の主体者とされる地方公共団体は、関連する法制度等を活用し、必要に応じて国に人的支援や財政支援を要請し、迅速に災害復旧事業を進める。ここでは、地方公共団体が災害復旧事業を進める手順と概要を示す。

(1) 災害復旧事業の概要

地方公共団体が管理する施設が災害を受けたとき、国の負担金や補助金により復旧事業を行なう法律上の制度としては、次の2つが国庫補助制度の二大根幹となっている。

a. 「農林水産業施設災害復旧事業費国庫補助の暫定措置に関する法律」（昭和25年法律169号、以下「暫定法」という。）

b. 「公共土木施設災害復旧事業費国庫負担法」（昭和26年法律97号、以下「負担法」という。）

このほかにも激甚災害が発生した場合の特別措置として、「激甚災害に対処するための特別の財政援助等に関する法律」（昭和37年法律第150号、以下「激甚法」という）が制定されている。

一般的な公共土木施設における災害復旧事業は、概ね以下の手順で進められる。

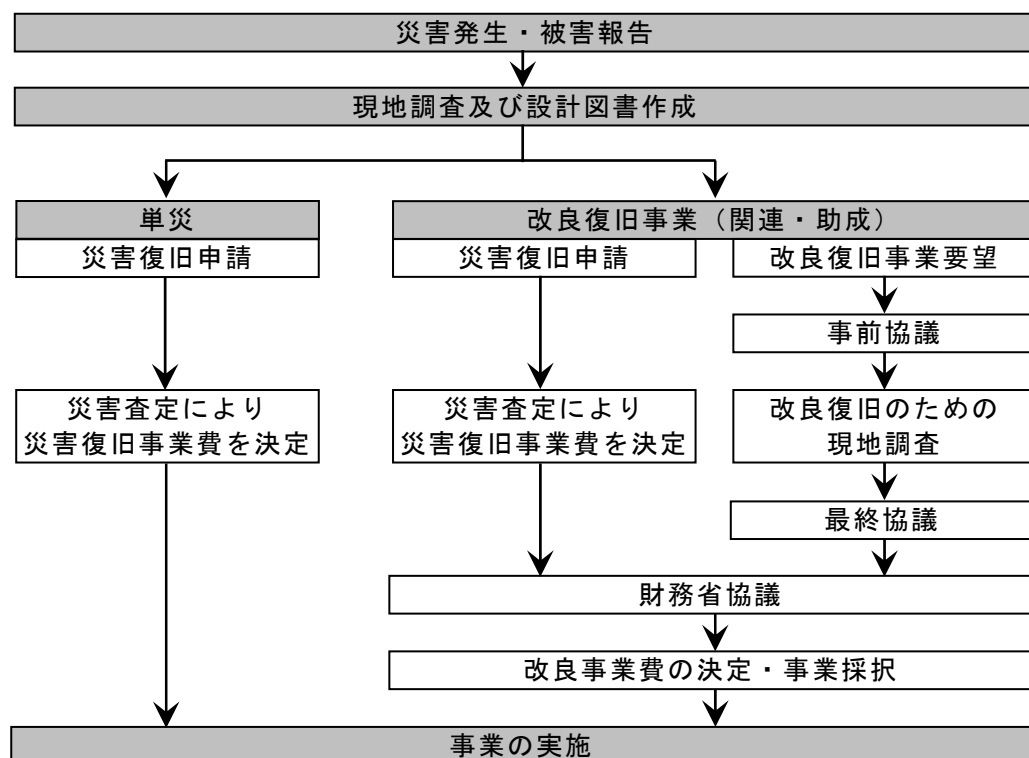


図-2.9 災害復旧事業の手順

(2) 災害復旧事業の手順

災害復旧事業の手順として、①被害の把握・報告、②応急工事、③復旧の基本方針等、④災害査定、⑤災害復旧関係技術職員等の確保について順次示す。

(a) 被害の把握・報告

災害を受けた施設の管理者等は早急に被害状況の把握と報告を行い、被害状況によっては激甚災害の指定を働きかける。

(i) 被害状況の把握と国への報告

迅速な災害復旧を行うためには、被害状況を早期に把握して関係各省庁に報告し、災害復旧に向けた支援を受ける必要がある。施設の管理者若しくは市町村又は出先機関から都道府県の所管課へ報告が行われ、被害状況の報告を受けた都道府県は、速やかに全体の集計を行い、その結果を国の主務省庁に対し報告（速報、概要報告及び確定報告）する。

(ii) 災害緊急調査の要請

大災害が発生し、緊急を要する場合には、主務省に災害査定の担当官の派遣を要請して災害緊急調査を実施することで、現地において被災した公共土木施設に対する応急措置や復旧方針などについての助言を得ることができる。

(iii) 激甚災害指定の検討と激甚災害指定の推進

都道府県（所管課）は、市町村からの被害状況報告に基づいて被害状況等を検討し、都道府県内において著しく激甚である災害が発生したと判断される場合には、「激甚法」に基づく激甚災害（本激）又は局地激甚災害（局激）の指定を受けるため、必要な調査を実施する。

調査の結果、激甚法に定める激甚災害が発生したと認められるとき、当該所管課は消防防災担当課に対しその旨を報告する。消防防災担当課は、当該所管課と連携を図りながら、国（内閣府）に対し激甚法に基づく激甚災害の指定を働きかけるなど、早期に激甚災害の指定が受けられるよう努める。

(b) 応急工事

被害の把握・報告と併行して、被害の拡大を防ぎ、被災した施設の従前の効用を一刻も早く回復させるために、必要に応じて応急工事を実施する。応急工事は原則として管理者の負担で施行されるが、主務大臣が特別の事情があると認める場合にはその全部又は一部が国庫負担の対象となる。

(i) 被災事実を示す写真等の撮影

応急工事等を災害査定前に実施する場合、写真が被災事実確認の重要な資料となるので、メジャー等を添え、被災範囲、数量、規格等が確認できるように写真等を撮影しておく必要がある。

(ii) 負担法・暫定法による応急工事

主務大臣が特別の事情があると認める応急工事費には、次の2種類がある。

「応急本工事」：査定を待たずに被災施設を短期間に原形に復旧する工事の全部又は一部を施工する工事。

「応急仮工事」：復旧工事(本復旧)が完了するまでの短期間に、査定を待たずに被災した施設の効用を最小限必要な範囲で確保する工事。

応急工事については、復旧工事に利用できるような工法・材料で施工された場合には、最終的に災害復旧の中に含めて採択されることとなっている。なお、一定の金額以上の応急復旧工事は事前協議の対象となる。

(c) 復旧の基本方針の決定等

暫定法及び負担法等の法律において、災害復旧事業とは、「災害に因って必要を生じた事業で、災害にかかった施設を原形に復旧する」ことを目的としている。しかし、被災の状況によっては原形復旧のみでは事業の効果が限定され、再度同様の自然災害で被災するおそれのある場合には、再度の災害発生を未然に防止する改良復旧事業がある。

(i) 復旧の基本方向の決定

都道府県は、被害の状況及び被災地の特性並びに被害を受けた公共施設等の管理者及び市町村の意向等を勘案するとともに、迅速な原形復旧又はさらに災害に強いまちづくり等の中長期的な振興計画等に配慮し、復旧の基本方向を定める。

(ii) 災害復旧計画概要書（査定設計書）の作成

被害を受けた公共施設等の管理者は、復旧の基本方向に基づき、速やかに災害復旧計画概要書（査定設計書）を作成する。なお、被害を受けた公共土木施設等の復旧にあたっては、原形復旧を基本にしつつも、再度の災害防止の観点から、可能な限り改良復旧を行う。

(d) 災害査定

災害査定とは、地方公共団体からの国庫負担申請を受けて、主務省の災害査定の担当官が現地に赴き、設計書の審査や被災箇所の実地調査を行い、復旧工法や事業規模そして事業費を事実上決定する行為である。この災害査定には、財務局等の職員がその調査に立ち会うこととされており、これが「災害復旧事業費の査定立会制度」である。このように、復旧事業を早期に実施するという観点から、現地において事業費を即決する仕組みになっている。

なお、災害発生後、被害の拡大防止や救援活動のためなど、緊急に措置しなければならない場合には、災害査定を待たずに被災後ただちに地方公共団体において応

急復旧工事を実施しており、これに要した費用についても後日の査定の対象となる。ただし、その応急復旧工事が恒久復旧にも利用できることが必要となる。

また、査定及び立会での詳細な査定基準として、各省各施設毎に査定要綱、査定要領、あるいは査定方針が定められており、査定事務の具体的な運用はこれらの方針等によって行われる。

(i) 災害査定申請

都道府県（所管課）は、復旧事業費の早期決定により災害復旧事業の円滑な実施を図るため、都道府県営災害復旧事業について、国（関係省庁）に対し国庫負担申請を行う。また、市町村営災害事業については、副申を行う。

(ii) 査定計画の作成と協議

都道府県（所管課）は、国に対する国庫負担申請に合わせて、査定計画（日程）を作成の上、国（関係省庁）と協議を行い、被害を受けた公共施設等について国の査定が速やかに受けられるよう努める。災害査定は原則として1度限りであることから、スケジュール、説明者、提出資料等について十分な準備を行う必要がある。

(iii) 査定の迅速化

災害査定を迅速に実施するため、総合単価や机上査定限度額の引き上げを要請する。

「総合単価」：災害復旧の申請額を算定する作業を簡素化、迅速化するために、総合単価が設定されている。総合単価とは、施設ごとにあらかじめ定めた地区別の平均的な労務単価、材料単価、機械経費等を用い、諸経費も含めて算出した単価で、これに災害箇所長さや面積を掛けることによって、災害復旧事業費が求められる。申請額が一定額未満の災害申請箇所で使用でき、大災害の場合には、この限度額が引き上げられることがある。

「机上査定」：実際に現場で行う査定のほかに、写真等の資料を基に行う机上査定がある。これは、負担法関連では通常300万円以下、暫定法関連及び文教施設では200万円以下の案件が対象となる。大災害の場合には、この限度額が引き上げられることがある。

(e) 災害復旧関係技術職員等の確保

災害復旧に係る業務を担当する技術職員若しくは災害復旧業務の実践経験を積んだ技術者が不足する場合、それら技術職員の人的支援を要請する。

(i) 技術職員等の確保

被災地を管轄する都道府県出先機関や被災市町村において、災害復旧事業に係

る業務を担当する技術職員等に不足を生じたときは、当該出先機関を所管する本庁の主管課や当該災害復旧事業を所管する都道府県の部局の主幹課に対し、技術職員等の応援派遣を協議する。

要請を受けた本庁主管課や都道府県の部局の主幹課は、被災地外から所要数の技術職員等を派遣するべく、必要な措置を講じる。

(ii) 災害復旧技術専門家派遣制度

大規模な災害発生時には、災害復旧業務の実践経験を積んだ技術者が不足がちなことから、地方公共団体からの要請により、災害復旧制度に熟知し、復旧工法に関する高度な技術的知識や実践経験が豊富な専門家を災害現地に派遣し、災害復旧活動の支援・助言をボランティア活動として行うことを目的として平成15年に創設された制度である。派遣要請は、地方公共団体等が(社)全国防災協会を通じて行う。

図-2.10、図-2.11に派遣制度のフローおよび手続きを示す。

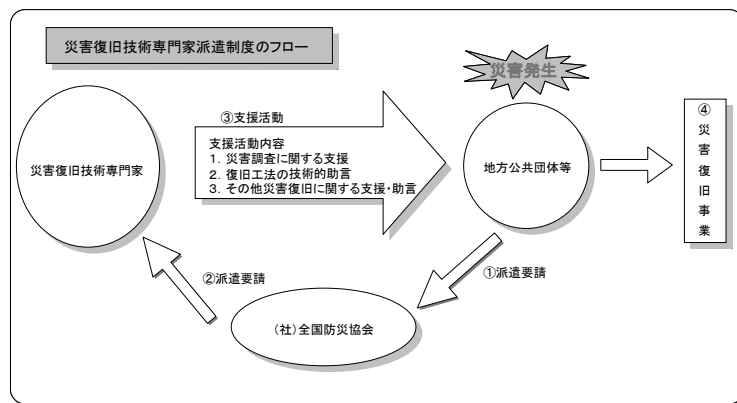


図-2.10 災害復旧技術専門家派遣制度のフロー

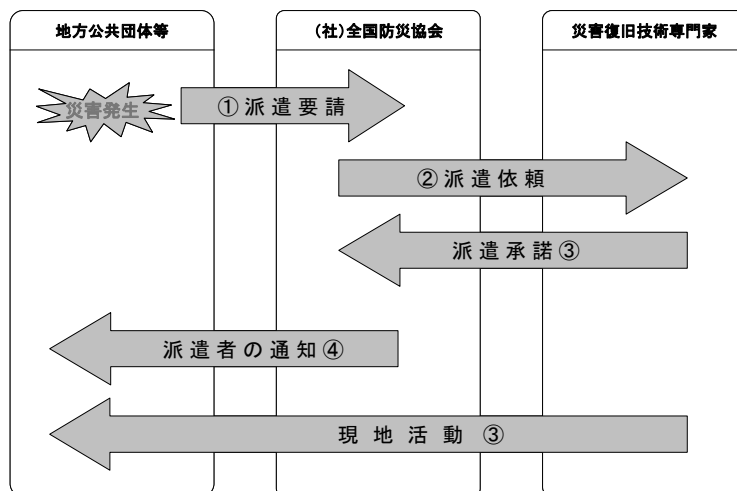


図-2.11 災害復旧技術専門家の派遣要請手続き

2.4 災害対策に関する制度（法令）

(1) はじめに

我が国の災害対策に関する制度（法令）は、国の災害対策に係る基本政策を示す災害対策基本法を最上位とし、これと特に大規模地震対策に対する特別措置法を加えた災害に関する①基本法と、②災害の予防に関連する法律、③災害発生後の応急対策に関する法律、④および災害復旧・復興とそれらに関する財政金融措置に関連する法律の4つに大別される。

ここでは、特に土木構造物の災害対策に関連する法律の中で、内閣府・国土交通省が管轄する主な法律名とそれらが対象とする施設および災害を表-2.2に示し、それぞれの法律の目的を以下にまとめる。

表-2.2 災害対策に関する法律と施設・災害種別の関係

	施 設												災 害			
	河川	海岸	砂防	地すべり	急傾斜地	道路	下水道	公園	港湾	漁港	空港	鉄道	震災	火山災害	風水害	雪害
【基本法関係】																
災害対策基本法	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
大規模地震対策特措法	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			
東南海・南海地震に係る地震防災対策の推進に関する特措法	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			
日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に係る地震防災対策の推進に関する特措法	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			
【予防関係】																
河川法	●												●			●
特定都市河川浸水被害対策法	●															●
海岸法		●											●			●
砂防法			●											●	●	
港湾法							●						●			●
地すべり等防止法				●									●			●
急傾斜の崩壊による災害の防止に関する法律					●								●			●
特殊土じょう地帯災害防除及び振興臨時措置法	●	●														●
土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律				●	●								●			●
活動火山対策特措法															●	
豪雪地帯対策特措法																●
台風常襲地帯における災害の防除に関する特措法	●	●	●	●												●
【災害応急対策関係】																
水防法	●	●														●
【災害復旧・復興関係】																
激甚災害に対処するための特別の財政援助等に関する法律	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●	●	●
公共土木施設災害復旧事業費国庫負担法	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●	●	●
鉄道軌道整備法												●	●	●	●	●
空港整備法												●	●	●	●	●

(2) 主要な災害対策に関する法律の概要

(a) 基本法関係

(i) 災害対策基本法（内閣府・消防庁）（昭和36年11月15日、法律第223号）

前述 2.2(2) 参照

(ii) 大規模地震対策特別措置法（内閣府・消防庁）（昭和53年6月15日、法律第

73号)

大規模な地震による災害から国民の生命，身体及び財産を保護するため，地震防災対策強化地域の指定，地震観測体制の整備その他地震防災体制の整備に関する事項及び地震防災応急対策等に関する事項について特別の措置を定めることにより，地震防災対策の強化を図り，もって社会の秩序の維持と公共の福祉の確保に資することを目的としている。

(iii) 東南海・南海地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法（内閣府・消防庁）

東南海・南海地震による災害から国民の生命，身体及び財産を保護するため，東南海・南海地震防災対策推進地域の指定，東南海・南海地震防災対策推進基本計画等の作成，地震観測施設等の整備，地震防災上緊急に整備すべき施設等の整備等について特別の措置を定めることにより，東南海・南海地震に係る地震防災対策の推進を図ることを目的としている。

(iv) 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法（内閣府・消防庁）

日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震による災害から国民の生命，身体及び財産を保護するため，日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震防災対策推進地域の指定，日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震防災対策推進基本計画等の作成，地震観測施設等の整備，地震防災上緊急に整備すべき施設等の整備等について特別の措置を定めることにより，日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に係る地震防災対策の推進を図ることを目的としている。

(b) 予防関係（災害種別ごと）

(i) 河川法（国土交通省）（昭和 39 年 7 月 10 日，法律第 167 号）

河川について，洪水，高潮等による災害の発生が防止され，河川が適正に利用され，流水の正常な機能が維持されるように総合的に管理することにより，国土の保全と開発に寄与し，もって公共の安全を保持し，かつ，公共の福祉を増進することを目的としている。

(ii) 海岸法（農林水産省，国土交通省）（昭和 31 年 5 月 12 日，法律第 101 号）

津波，高潮，波浪その他海水又は地盤の変動による被害から海岸を防護するとともに海岸環境の整備と保全及び公衆の海岸の適正な利用を図り，もって国土の保全に資することを目的としている。

(iii) 砂防法（国土交通省）

旧河川法（明治 29 年施行），旧森林法（明治 30 年施行）と同様に，国土保全という目的から明治 30 年に施行され，施行当時から昭和 40 年代にかけて，砂防えん堤などの砂防設備を整備することでハゲ山などの荒廃や溪岸浸食，下流域へ

の土砂流出を抑制してきた。地すべり等防止法（昭和 33 年）、急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律（昭和 44 年）とあわせて「砂防三法」と呼ばれている。

(iv) 港湾法（国土交通省）（昭和 25 年 5 月 31 日，法律第 218 号）

交通の発達及び国土の適正な利用と均衡ある発展に資するため、港湾の秩序ある整備と適正な運営を図るとともに、航路を開発し、及び保全することを目的として制定された法律である。港湾を港湾法に基づき適切に管理運営するため、本法においては港湾管理者の行う業務を種々定めているが、その業務の一つとして、「港湾の開発，利用及び保全並びに港湾に隣接する地域の保全のため必要な港湾施設の建設及び改良に関する港湾工事をする。」があげられていることから判るように、港湾法においても、港湾区域内における国土保全の責務を有している。港湾区域内において、海岸保全区域の認定等がなされていなくても、港湾区域背後地域への海水の侵入等を防止する必要がある場合にあっては、港湾管理者は、港湾法の定めに従い、これらの地域を保全するための施設を設置し国土の保全を図ることになる。

(v) 地すべり等防止法（農林水産省，国土交通省）

地すべり及びぼた山の崩壊による被害を除却し、又は軽減するため、地すべり及びぼた山の崩壊を防止し、もつて国土の保全と民生の安定に資することを目的としている。

(vi) 急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律（国土交通省）

急傾斜地（傾斜度 30 度以上）の崩壊による災害から国民の生命を保護するため、急傾斜地の崩壊を防止するために必要な措置を講じ、もつて民生の安定と国土の保全とに資することを目的としている。

(vii) 特殊土じょう地帯災害防除及び振興臨時措置法（総務省，農林水産省，国土交通省）

特殊土壌地帯に対し、適切な災害防除と農地改良対策を樹立し、これに基づく事業を実施することによって、その保全と農業生産力の向上を図ることを目的としている。特殊土壌地帯とは、しばしば台風の来襲を受け、雨量が極めて多く、かつ特殊土壌（シラス等特殊な火山噴出物等）に覆われているために、災害が発生しやすく農業生産力が低い地帯を国土交通大臣，総務大臣及び農林水産大臣が指定した地帯である。

(viii) 土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律（国土交通省）

土砂災害から国民の生命及び身体を保護するため、土砂災害が発生するおそれがある土地の区域を明らかにし、当該区域における警戒避難体制の整備を図ると

ともに、著しい土砂災害が発生するおそれがある土地の区域において一定の開発行為を制限するほか、建築物の構造の規制に関する所要の措置を定めること等により、土砂災害の防止のための対策の推進を図り、もって公共の福祉の確保に資することを目的としている。この法律で、土砂災害とは、急傾斜地の崩壊、土石流または地滑りを発生原因として国民の生命又は身体に生ずる被害をいう。

(ix) 活動火山対策特別措置法（内閣府，農林水産省）（昭和 48 年 7 月 24 日，法律第 61 号）

火山の爆発その他の火山現象により著しい被害を受け、又は受けるおそれがあると認められる地域等について、避難施設等の特別の措置を講じ、もって当該地域における住民等の生命及び身体の安全並びに住民の生活等の安定を図ることを目的としている。

(x) 豪雪地帯対策特別措置法（総務省，農林水産省，国土交通省）

積雪が特にはなはだしいため、産業の発展が停滞的で、かつ、住民の生活水準の向上が阻害されている地域について、雪害の防除その他産業等の基礎条件の改善に関する総合的な対策を樹立し、その実施を推進することにより、当該地域における産業の振興と民生の安定向上に寄与することを目的としている。

(xi) 地震防災対策特別措置法（内閣府，文部科学省）

地震による災害から国民の生命、身体及び財産を保護するため、地震防災対策の実施に関する目標の設定並びに地震防災緊急事業五箇年計画の作成及びこれに基づく事業に係る国の財政上の特別措置について定めるとともに、地震に関する調査研究の推進のための体制の整備等について定めることにより、地震防災対策の強化を図り、もって社会の秩序の維持と公共の福祉の確保に資することを目的としている。

(xii) 台風常襲地帯における災害の防除に関する特別措置法（内閣府）（昭和 33 年 4 月 22 日，法律第 72 号）

台風常襲地帯における台風(豪雨を含む。)による災害を防除するために行われる公共土木施設等に関する事業について特別の措置を定め、もって国土の保全と民生の安定を図ることを目的としている。

(c) 災害応急対策関係

(i) 水防法（国土交通省）（昭和 24 年 6 月 4 日，法律第 193 号）

洪水又は高潮に際し、水災を警戒し、防御し、及びこれによる被害を軽減し、もって公共の安全を保持することを目的としている。この法律に基づき、市町村はその区域における水防を十分に果すべき責任を有しており、都道府県は、その区域における水防管理団体が行う水防が十分に行なわれるように確保すべき責任を有している。水防管理者(水防管理団体である市町村の長等)等は随時区域内の

河川、海岸堤防等を巡視し、水防上危険であると認められる箇所があるときは、直ちに当該河川あるいは海岸堤防等の管理者に連絡して必要な措置を求めなければならないことになっている。

(d) 災害復旧・復興関係

(i) 激甚災害に対処するための特別の財政援助等に関する法律（内閣府）（昭和 37 年 9 月 6 日，法律第 150 号）

災害対策基本法に規定する著しく激甚である災害が発生した場合における国の地方公共団体に対する特別の財政援助又は被災者に対する特別の助成措置について規定している。従って、公共土木施設の災害復旧事業が、本法に定める激甚災害の基準に該当することになった場合には、国は、当該事業の費用を負担する地方公共団体に対して、その費用の負担軽減をするため、交付金を交付する等の措置が講ぜられることになる。

(ii) 公共土木施設災害復旧事業費国庫負担法（農林水産省，国土交通省）（昭和 26 年 3 月 31 日，法律第 97 号）

地方公共団体又はその機関の維持管理に属する公共土木施設に係る災害復旧事業の費用について、地方公共団体の財政力に適応するよう国の負担を定めて、災害の速やかな復旧を図り、もって公共の福祉を確保することを目的としている。

(iii) 鉄道軌道整備法（国土交通省）（昭和二十八年八月五日法律第百六十九号）

鉄道事業に対する特別の助成措置を講じて鉄道の整備を図ることにより、産業の発達及び民生の安定に寄与することを目的として制定された法律である。災害対策に関しては、産業の維持振興上特に重要な鉄道であって、運輸の確保又は災害の防止のため大規模な改良を必要とするものや、洪水、地震その他の異常な天然現象により大規模の災害を受けた鉄道であって、すみやかに災害復旧事業を施行してその運輸を確保しなければ国民生活に著しい障害を生ずるおそれのあるものを対象としている。鉄道事業者がその資力のみでは、当該災害復旧事業を施行することが著しく困難であると認めるとき、予算の範囲内で、当該災害復旧事業に要する費用の一部を国が補助することができるとしている。

(iv) 空港整備法（国土交通省）（昭和三十一年四月二十日法律第八十号）

空港の整備を図るため、その設置、管理、費用の負担等に関する事項を定め、もって航空の発達に寄与することを目的して制定された法律である。第二種空港および第三種空港の災害復旧工事における、国、都道府県、地方公共団体の費用負担について定めている。

2.5 災害対策・災害復旧事業に関する方策への提言

近年各地で地震や水害・豪雪等の想定を越える大規模災害が頻発しており、さらに都市化の進展や少子高齢化等の社会的要因が加わった災害の複合化もみられる。

このように、従来に比べて、発災時の初期対応を始め、復旧における諸課題が顕在化しており、より迅速、的確に個々の災害へ対応することが求められている。

このため、災害時の復旧活動においては従来の人力を中心とした対応に加え、災害現場のニーズに対応した適切な機械力や専門工事業者等の技術力の活用を強力に推進し、対策の迅速化・効率化を進めることが不可欠である。さらに、近年の災害復旧・復興において活躍がめざましいボランティアと行政との連携においても機械力の活用は不可欠な要素となっている。

このような基本認識の下、災害対策・災害復旧事業に関する方策について、「建設機械等による災害対処・復旧支援に関する懇談会（座長：京都大学 防災研究所 所長 河田恵昭）」では、以下の提言を行っている。

1) 災害時のニーズとシーズのマッチングを図る体制の整備

災害対策に対して行政が的確に災害対応していくためには、災害現場の最前線で復旧作業に当たる実務担当者やボランティアのニーズに対して、実践的な建設技術に通曉した専門工事業者・建設機械メーカなどと十分に連携し、適切な機械力や先端的な技術力を対策に反映することが重要である。さらに、この連携では、国・地方公共団体及び関係団体等、道路、河川などの管理主体の枠組みを超えて、優先して復旧すべき工事を決定するとともに、行政あるいは民間が保有する資機材を適切に配分することが重要である。このために、平常時から都道府県等の地方公共団体を含む行政と関係団体・ボランティア等が連携した調整会議を設置し、この会議の中で、建設機械・建設技術等の関係者の英知を結集した対策方法、有効な建設機械・資材と被災状況に関する情報の共有化、復旧において優先すべき工事の確認や建設機械や資材の調整、技術協力等の強力な推進を図るべきである。

2) 大規模災害に対応した建設機械、資材の迅速な調達・運用体制の整備

被害の拡大を抑えるためには、特に初動段階における対応の迅速化が極めて重要であり、日頃から災害発生時の体制・基本方針を定め、災害時にはそれに基づいた計画的対応を行うことが求められる。大規模災害に備えて被害想定シミュレーションを行い、被害規模と範囲の予想と復旧に必要な建設機械・資材の整備水準を想定しておくことにより、災害発生時に計画的な建設機械・資材の配備と有効活用のための体制構築が可能となる。また、災害発生後の数時間の対応による減災効果が大きいことから、平常時からの建設機械及びオペレータ、資材等の所在情報を把握しておき、初動の円滑化を図るべきである。なお、これらの施策について、国土交通省は、防災業務計画や業務継続計画（BCP:Business Continuity Plan）に反映

すべきであり、段階的に都道府県に対して地域防災計画に反映するよう働きかけていくべきである。

3) 災害時の現場ニーズに的確に対応できる建設機械の配備

災害対応を迅速に行うためには、調整会議を通じて、災害現場の状況・ニーズを的確かつ迅速に把握していくとともに、ニーズに対応した適切な建設機械の積極的な活用を図るために、様々な法律の周知徹底、整備水準に基づく計画的な建設機械・資材の配備、民間が保有することが難しい災害対策用機械の行政保有、技術開発の推進、専門技術者の早期派遣に向けた環境整備、建設機械の配備を迅速にする許認可に関する処理等に取り組んでいく必要がある。

4) 行政機関と民間団体等の関係機関の組織間連携体制の構築

災害対応においては、縦割り行政の弊害を排除し、自助・共助・公助の適切な役割分担のもと、関係機関が連携した対処行動が極めて重要であり、これを支えるための協定の強化、充実等を図る必要がある。このため、国土交通省は、関係省庁・自治体・関係団体・マスコミ等との協定について、未締結区域を解消していくべきであり、締結する協定等については、建設機械・資材等を重複して手配すること、不足すること、情報混乱することがないように改善していく必要がある。また、行政が円滑な自助・共助活動を支援するため、災害ボランティアをサポートする制度の創設や保険制度の周知等の環境整備にも取り組んでいくべきである。

参考資料

- 1) 災害対策制度研究会，新日本の災害対策，編著 ぎょうせい，2002.4.20
- 2) 防災行政研究会，逐条解説 災害対策基本法〔改訂版〕，編集 ぎょうせい，2000.7.3
- 3) (社)全国防災協会，公共土木施設「災害復旧技術講習テキスト」，2006.7
- 4) (社)全国防災協会，わかりやすい災害復旧関係事業のあらまし
- 5) 建設機械等による災害対処・復旧支援に関する懇談会，建設機械等による災害対処・復旧支援について，2007.2.16

3. 災害への対応の変化と設計・解析手法

技術の進歩，タイプの異なる地震災害（兵庫県南部地震，新潟県中越地震，新潟県中越沖地震）および気候や社会の変化にともない災害に対する考え方や取り組みが変化しつつある。本章ではこのような変化に対応する新しい防災対策の動向や設計・解析手法について示す。

3.1 災害への対応の変化：新しい防災および設計思想

災害への対処方法が変化すると災害対策や災害対応技術も変化する。ここでは，災害への対応の変化：新しい防災および設計思想の代表的事例として下記 4 例を示す。

- ①緊急地震速報
- ②業務継続計画（BCP）
- ③溢れさせる治水：「封じ込め」から「減災」への政策変更（国土交通省河川局）
- ④地震動の大きさに対してセンシティブでない構造設計

3.1.1 緊急地震速報

（1）緊急地震速報の概要

緊急地震速報は地震の発生直後に，震源に近い地震計でとらえた観測データを解析して震源や地震の規模（マグニチュード）を直ちに推定し，これに基づいて各地での主要動の到達時刻や震度を推定し，可能な限り素早く知らせる情報で，平成 19 年 10 月 1 日 9 時から一般への提供を開始した。図-3.1.1 にその概要を示す。緊急地震速報とは，地震発生後に最も早く到達する P 波（縦波：地殻の中では速さ 6～7 km/s）と遅れて到達して主要な破壊現象を引き起こす S 波（横波：地殻の中では速さ 3.5～4km/s）の時間差を利用して，震源に近い地点で P 波を検知し直ちに処理することにより，震源の位置や地震の規模，各地における S 波の到達時刻や震度の予測を行い，発表する情報である。

この情報を利用して，受信して列車やエレベータをすばやく制御させて危険を回避したり，工場，オフィス，家庭などで避難行動をとることによって被害を軽減させたりすることが期待される。

地震予知が極めて困難な現状にあって，地震発生後に大きな揺れが襲うまでの数秒から数十秒を利用した緊急地震速報の実用化に向けた取組も，多くの命を救う技術として期待される。

（2）緊急地震速報の活用

緊急地震速報を活用したシステムは現在各企業等で盛んに研究され，適用事例等が発表されている。緊急地震速報を活用したイメージを図に示す。列車やエレベータの制御，施設内での事前の避難誘導，津波に対する水文閉鎖，生産設備の制御，危険作業業者への通知とその安全確保などの活用が考えられている。

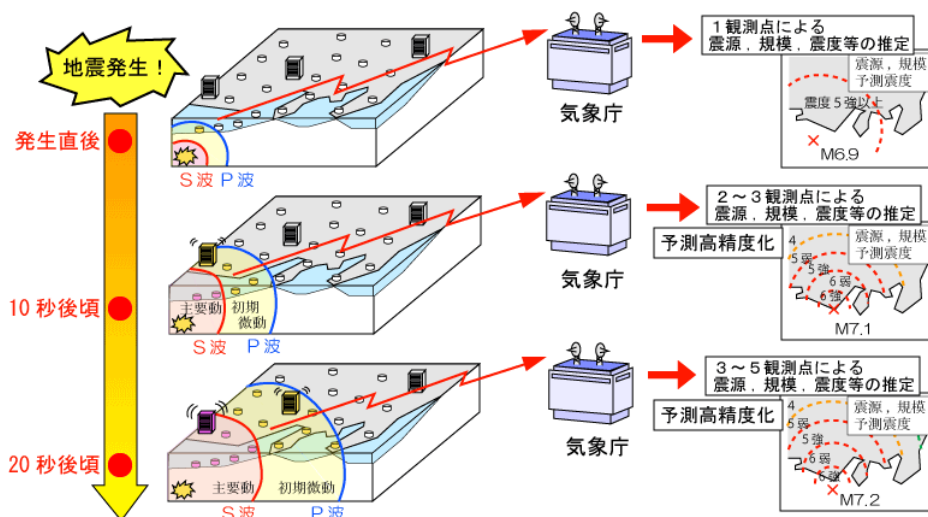


図-3.1.1 緊急地震速報の概要（気象庁 WEB サイトより）

（3） 緊急地震速報の限界

緊急地震速報には、情報を発表してから主要動が到達するまでの時間は、長くても十数秒から数十秒と極めて短く、震源に近いところでは情報が間に合わないことがある。また、ごく短時間のデータだけを使った情報であることから、予測された震度に誤差を伴うなどの限界もある。緊急地震速報を適切に活用するためには、このような特性や限界を十分に理解する必要がある。

< 時間 >

- ・情報を発表してから大きな揺れが到達するまでに時間は長い場合でも十数秒～数十秒
- ・震源に近いところでは、情報の提供が主要動の到達に間に合わない。

< 誤報 >

- ・1観測点のデータを使っている段階ではノイズにより情報を発表する可能性がある（事故、落雷、機器の故障）

< 地震規模の推定の限界 >

- ・特に大規模な地震に対しての推定精度の限界

地下の断層の破壊の途中に情報を発表（断層の大きさと位置が未確定）

- ・複数の地震が時間的・空間的に近接して発生した場合に、地震を適切に分離できず、的確な情報を発表できないことがある。

< 震度推定の課題 >

- ・統計的な距離減衰式による震度推定の精度の限界
- ・表層地盤における増幅予測の限界

緊急地震速報の活用のイメージ（１）



緊急地震速報の活用のイメージ（２）



図-3.1.2 緊急地震速報の活用（気象庁 WEB）

3.1.2 業務継続計画（BCP：Business Continuity Plan）

（1）BCP の概念

BCPとは、バックアップシステムの整備，バックアップオフィスの確保，要員の確保，安否確認の迅速化などにより，災害時に事業活動が中断した場合に可能な限り短期間で重要な機能を再開させ，業務中断に伴う顧客取引の競合他社への流出，マーケットシェアの低下，企業評価の低下などから企業を守るための経営戦略のことである。図-3.1.3にBCPの概念を示す。

企業が被災しても重要事業を中断させず，中断しても可能な限り短期間で再開させ，中断に伴う顧客取引の競合他社への流出，マーケットシェアの低下，企業評価の低下などから企業を守るための経営戦略。トップマネジメントが参画して策定すべき計画で，バックアップシステムの整備，代替オフィスの確保，即応した要員の確保，迅速な安否確認などが具体策の典型である。

内閣府では，事業継続計画の普及・促進を進めるため，中央防災会議「民間と市場の力を活かした防災力向上に関する専門調査会」の下に設置した，企業評価・業務継続計画ワーキンググループにおいてガイドラインを作成している。

これは，兵庫県南部地震における神戸製鋼の被災，新潟県中越地震における半導体工場の被害により企業存続の危機に陥った事例などよりその必要性がいわれ出した。一種の危機管理対策である。

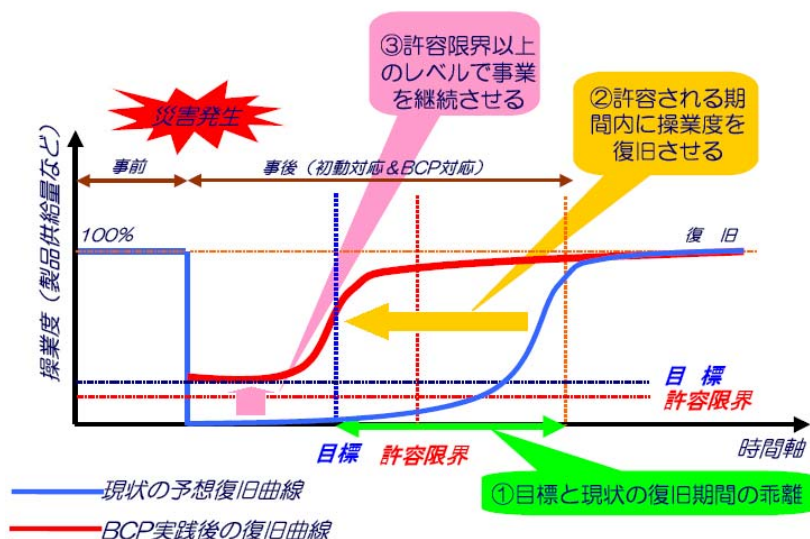


図-3.1.3 BCP の概念（内閣府 WEB）

（2）事業継続の取組みの特徴

企業が必要な検討を行って事業継続計画を策定し，訓練し，計画の見直しを行っていくという事業継続の取組みは，従来の防災対策と異なる以下の特徴をもっている。

る。

- ① 事業に著しいダメージを与えかねない重大被害を想定して計画を作成する。
- ② 災害後に活用できる資源に制限があると認識し、継続すべき重要業務を絞り込む。
- ③ 各重要業務の担当ごとに、どのような被害が生じるとその重要業務の継続が危うくなるかを抽出して検討を進める。結果としてあらゆる災害が想定される。
- ④ 重要業務の継続に不可欠で、再調達や復旧に時間や手間がかかり、復旧の制約となりかねない重要な要素（ボトルネック）を洗い出し、重点的に対処する。
- ⑤ 重要業務の目標復旧時間を設定し、その達成に向け知恵を結集し事前準備をする。
- ⑥ 緊急時の経営や意思決定、管理などのマネジメント手法の1つに位置づけられ、指揮命令系統の維持、情報の発信・共有、災害時の経営判断の重要性など、危機管理や緊急時対応の要素を含んでいる。

（3）事業継続と共に求められるもの

災害時に企業が考慮すべき重要事項としては、事業継続の他に、少なくとも以下の3点がある。これらは、従来わが国において行われてきた災害対応の基本的要求事項といえる。これらは重なり合う部分も大きいのも事実であり、一方、事業継続のみを極端に優先する考えは理解を得られない可能性が高い。実際にどれをどの程度優先させるかは個々の企業の判断に委ねられ、その責任を自ら負うことになる。

○ 生命の安全確保

顧客が来店したり、施設内に留まったりすることが想定されている業種においては、まず顧客の生命の安全確保が求められる。企業の役員、従業員、関連会社、派遣社員、協力会社など、業務に携わる人々の生命の安全を確保することがその次に重要なのは言うまでもない。

○ 二次災害の防止

例えば製造業などにおいて、火災の防止、建築物・構築物の周辺への倒壊阻止、薬液の漏洩防止など、周辺地域の安全確保の観点から二次災害防止のための取組みが必要である。

○ 地域貢献・地域との共生

災害が発生した際には、市民、行政、取引先企業などと連携し、地域の一日も早い復旧を目指したい。地域貢献には、援助金、敷地の提供、物資の提供などが一般的であるが、このほかにも技術者の派遣、ボランティア活動など企業の特徴を活かしたサポートが望まれる。平常時からこれら主体との連携を密にしておくことも望まれる。

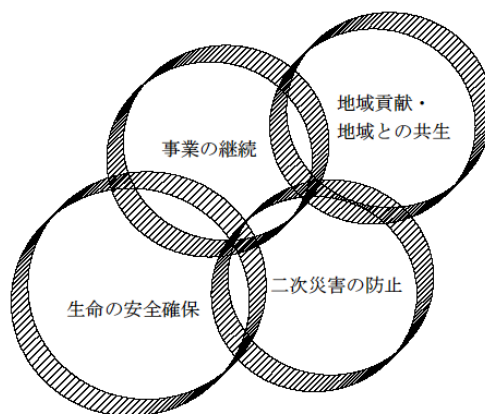


図-3.1.4 事業継続と共に求められるもの（内閣府 WEB）

3.1.3 溢れさせる治水：「封じ込め」から「減災」への政策変更

国土交通省河川局は、集中豪雨の頻発等を踏まえ、災害に対する安全度を確実に向上させるため、平成 19 年度概算要求において、河川行政の新たな展開として、新たな治水対策の考え方を示した。これは、連続堤防等によるこれまでの整備手法にとらわれることなく、土地利用状況など地域の実情・意向を踏まえつつ、流域一体となった対策を展開するものである。この概要は朝日新聞 2007 年 8 月 13 日朝刊にも取り上げられ「あふれさせる治水」として紹介されている。

この方針は、従来の「洪水を川から氾濫させない対策」に加え、「氾濫した場合でも被害を最小化させる対策」を実施するもので、洪水氾濫域対策（氾濫した場合でも床上浸水等を防止）もあわせた地域全体での減災対策制度を創設するとしている。図-3.1.5 にこの基本方針とその目指す方向を示す。

洪水氾濫域減災対策の具体的な施策を以下に挙げ、図-3.1.6 に洪水氾濫域減災対策のイメージを示す。

- ・ 洪水氾濫域減災対策の対象地域を指定
- ・ 土地利用状況に応じた氾濫対策を定めた地域全体の減災計画を、地方自治体等の関係機関が策定
- ・ 洪水氾濫拡大防止施設（二線堤等）の整備
- ・ 洪水氾濫区域における遊水機能の保全のための規制
- ・ 排水ポンプの運転ルールの設定
- ・ 地方自治体等への助成・支援措置

本施策では、洪水氾濫域減災対策事業が創設され、地方自治体による洪水氾濫拡大防止のためのハード整備・ソフト対策への助成措置がなされる。具体的には以下の施策が示されている。

- ・ 都道府県等による洪水氾濫域減災対策の対象地域指定のための調査について助成する制度を創設

- ・ 市町村による土地利用状況を考慮した洪水氾濫拡大防止施設（二線堤等）の整備について助成する制度を創設

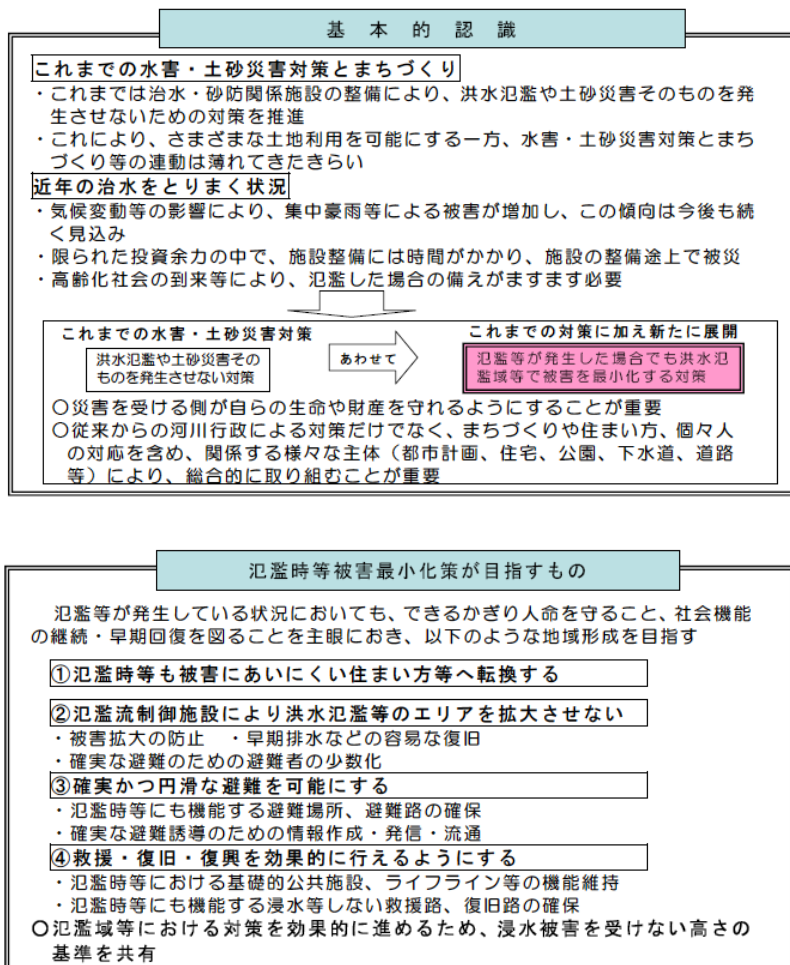


図-3.1.5 大規模降雨災害対策の基本方針（国土交通省河川局 2006.8）

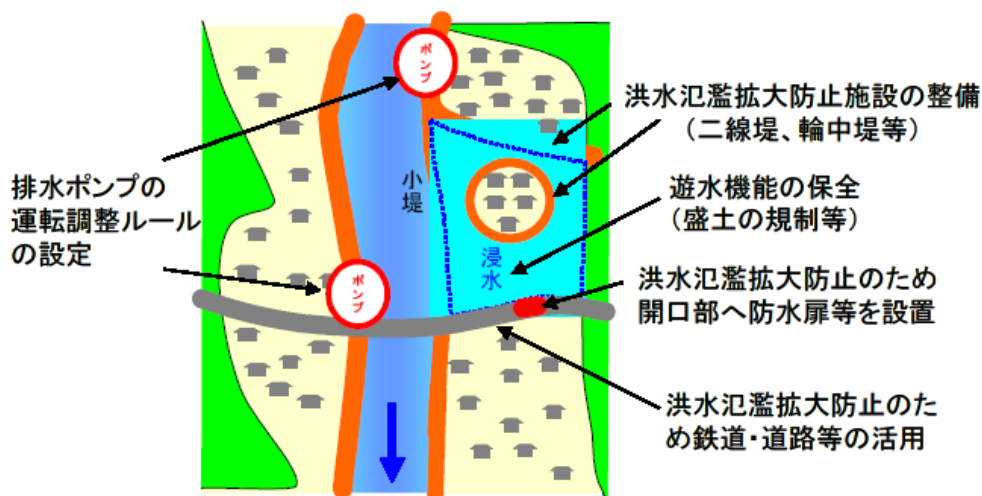


図-3.1.6 洪水氾濫域減災対策のイメージ（国土交通省河川局 2006.8）

3.1.4 地震動の大きさに対してセンシティブでない構造設計

高架橋など、構造物の耐震設計は、大きな地震を経験するたびに設計基準が変わり地震力が変わってきた経緯がある。地震そのものはまだ、未解明のことも多く（石橋，2006），今後新たな地震が発生して地震の大きさも変わってくることは否定できない。そのため，新たな大きな地震が発生するたびにさらなる設計基準の見直しがなされる可能性も想定されるがあまり望ましいものではない。

これに対して，地震波の大きさに敏感に影響されない構造物（地震動の大きさに対してセンシティブでない構造）の設計という考え方が現れつつある。図-3.1.7 に運上（2006）により示されたこの考え方を地震の大きさの影響を受けない次世代耐震構造のコンセプトとして示す。従来の耐震設計法では，要求性能を実現するためには地震作用が大きくなればそのまま保有性能も高めなければならないが，地震作用が大きくなってもそれに対応する感度がセンシティブでなければ保有性能を高める必要が無いという考え方である。この考えを取り入れた設計方法として，損傷制御と靱性設計，さらに免震設計などがある。

一つの具体例として，JR 東日本による内巻きスパイラル筋の開発（石橋，2005）があげられる。過去に経験した大地震に伴い橋脚などの鉄筋コンクリートの柱には，せん断抵抗力を増加し，変形性の大きな粘りのある構造性能が求められるようになってきた。内巻きスパイラル筋の設置された橋脚（図-3.1.8）では，大きな変形性能を示し，一方で橋脚外周は損傷するが，内巻きスパイラル筋の内側のコアコンクリート部は損傷しないという性能を有す。このため，大地震により柱の損傷部は柱の外周に限られ，致命的損傷を回避し，外周部の修復で復旧が可能で，復旧しやすい構造体が得られる。

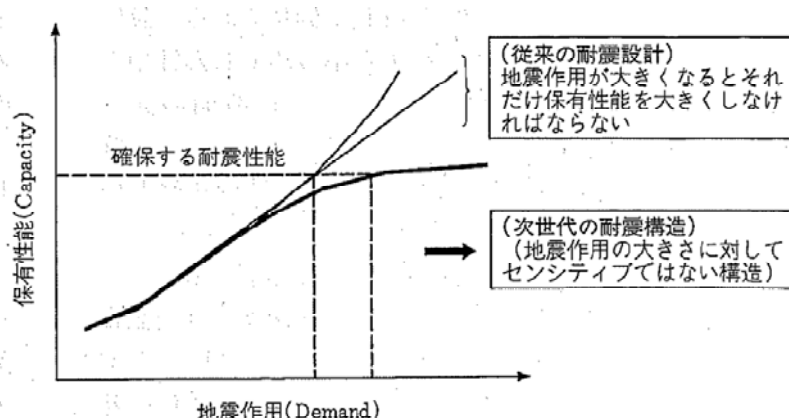


図-3.1.7 地震の大きさの影響を受けない次世代耐震構造のコンセプト（運上 2006）

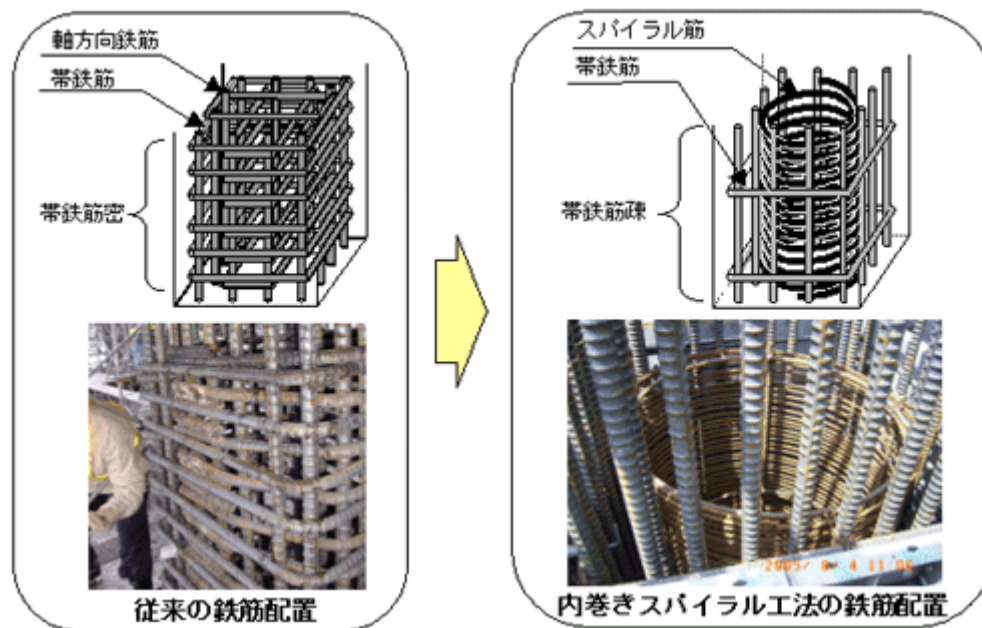


図-3.1.8 従来の鉄筋配筋と内巻きスパイラル工法の配筋（JR 東日本 WEB）

【参考文献】

- 1) 気象庁 WEB : http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/EEW/kaisetsu/Whats_EEW.html
- 2) 国土交通省河川局：平成 19 年度河川局関係予算概算要求概要，2006.8.
- 3) 運上茂樹：次世代耐震設計論に関する一考，土木施工，Vol.46,No.1,pp.27-32,2005.
- 4) 内閣府 WEB : <http://www.bousai.go.jp/MinkanToShijyou/kihonteigen.pdf>
- 5) 石橋忠良：地震災害と耐震設計の変遷，JREA，Vol.49,No.6，pp.31686-31689,2006.
- 6) 石橋忠良，菅野貴浩，木野淳一，小林薫，小原和宏：軸方向鉄筋の内側に円形帯鉄筋を配置した鉄筋コンクリート柱の正負水平交番載荷実験，土木学会論文集，No.795／V-68,pp.95-110,2005.8.
- 7) JR 東日本株式会社 WEB : <http://www.rail-act.org/uchimaki.html>

3.2 設計・解析法の現状

3.2.1 土構造物に関する主な耐震設計規準類

災害の進化と社会情勢の変化に対して、構造物の設計についても見直しが行われ、さらに解析手法についても多くの提案がなされている。例えば、平成7年（1995年）に発生した兵庫県南部地震は、死者6,435名を出した都市型の直下型地震であるが、土木学会は「土木構造物の耐震規準等に関する提言（第一次（平成7年5月）、第二次（平成8年1月））において、地震動をレベル1およびレベル2地震動にわけて、構造物の安全性照査を行うように提言している。

ここで、レベル1およびレベル2地震動というのは次のように説明されている。

- ・レベル1地震動は、原則として、それが作用しても構造物が損傷しないことを要求する水準を示す。
- ・レベル2地震動は、きわめて希であるが、非常に強い地震動を定式化したもので、構造物が損傷を受けることを考慮して、その損傷過程にまで立ち入って、構造物の耐震性能を照査する水準を示す。

さらに、土木構造物は、橋梁・ダムなどの地上構造物、岸壁・堤防・盛土などの土構造物、トンネル・埋設管路などの地中構造物、および橋梁・タンクなどの各種基礎構造等、極めて多種であり、かつ地盤条件や構成材料も多様であるため、これら多種・多様な構造物が保有すべき耐震性能を一律に論ずるのは困難である。それぞれの構造物の耐震設計法等の見直しに当たっては兵庫県南部地震による被害レベルの異なる構造物の被害原因の究明を十分行い、その結果を反映させることが重要であり、引き続き詳細な検討が実施されなければならないとして、(i)地上構造物、(ii)地下鉄・埋設管路などの地中構造物、および(iii)盛土・基礎などの地盤・基礎構造物の3つに大別して耐震設計法について記述している。

ここでは、(iii)についてさらに見てみると、次のような記述がある。

『(1) 構造物基礎の耐震性能

- ・レベル1地震動に対して上部および地中構造の機能を維持することを構造物基礎の耐震性能の目標とする。液状化発生の可能性がある地盤に関しては、地盤改良により液状化を発生させないことを一応の原則とするがそれが困難な場合には基礎構造の工夫や強化により上部構造の機能を保持できるようにする。
- ・レベル2地震動に対しては、上部および地中構造に重大な損傷が発生しないことを耐震性能の目標とする。地盤改良による液状化防止が困難な場合には、地盤の側方流動や沈下により基礎に過大な変位が発生し、上部構造に重大な被害が生じないように、基礎構造の強化や構造全体系の見直しを行うものとする。

(2) 岸壁、堤防および盛土の耐震性

・岸壁・堤防等は延長距離が長く、ある程度の損傷は復旧が容易であるということを斟酌すると、全延長にわたって同じレベルの耐震性を持たせることは、経済的に見て妥当な方策と考えにくい。重要度の高い区間に対して、重点的に耐震性を強化するという施策を採用することが望ましい。

・レベル1地震動に対して、重要度の高い区間の岸壁、堤防、擁壁、盛土はその構造物自体の機能を維持すると同時に、地震後も当初の設計条件を保持するものとする。その他の一般区間については、周辺に悪影響を及ぼさない軽度の損傷は許容するが短期間に復旧が可能で、全体系としての機能が早急に回復できることを耐震性能の目標とする。

・レベル2地震動に対して、重要度の高い区間の岸壁、堤防、擁壁、盛土はそれらが支持する構造物や周辺の諸施設に重大な被害を生じさせないことを耐震性能の目標とする。なお、被災地への緊急輸送路の確保を目的とする重要施設（たとえば、耐震性強化岸壁）は、レベル2地震動に対して、その所期の機能を維持することを耐震性能の目標とする。その他の一般区間については、周辺に二次災害等の悪影響を及ぼさないことを目標とする。』引用終わり

さて、土木学会の「土木構造物の耐震規準等に関する提言」を反映している指針類として、「道路土工 のり面工・斜面安定工指針」（（社）日本道路協会，平成11年3月）と「鉄道構造物等設計基準・同解説 土構造物」（（財）鉄道総合研究所，平成19年1月）などがある（詳細は、紙面の都合により省く）。

なお、鉄道構造物等設計標準・同解説（土構造物編）では、従来の設計法との断絶をさけると同時に、設計者の便宜のため、要求性能水準が満足されていることを事前に検証されている具体的な構築方法，材料，形状等の仕様で置換する，「適合みなし仕様」による従来の設計法も引き続き適用できるようにしている。これは，鋼構造物であれば，限界状態法と許容応力度設計法というふたつの設計法を引き続き使うというのと類似できるのかもしれない。「適合みなし仕様」によらず性能照査型設計を行う場合としては，(a)土構造物の構成要素の一部もしくは全部が標準的な仕様・構成（適合みなし仕様）で対応できない場合，(b)大規模工事などにおいて，標準的な仕様を用いるときよりも更に合理的な設計にしたい場合，(c)新しい形式の土構造物を採用する場合，(d)擁壁や橋台の代替として土構造物を使用する際において，他構造物と同等以上の性能であることを証明する必要がある場合などとされている。

3.2.2 斜面の安定解析法

設計法において「適合みなし仕様」による従来の設計法によらない場合には、例えば土構造物の設計にあたっては、円弧すべりによる安定解析法と変形解析が必要となる。ここで、円弧すべりによる安定解析法のモデル化には、表－3.2.1 に示されるような多くの仮定が含まれている。

表－3.2.1 円弧すべり法による安定解析に含まれる仮定条件

仮定条件		内 容
解析時に導入される仮定	a. 地盤のモデル化	ボーリング等の情報の集約化。複雑な地層構成の単純化。ばらつきのある土質定数を特性値（平均値等）で代表させる。地下水位の仮定など
	b. すべり面の規模	調査結果からすべり土塊の範囲を推定。円弧の中心と半径を仮定
	c. すべり土塊の分割	スライスの分割数は任意
	d. すべり面上に作用するせん断抵抗	実際にすべる方向とせん断試験すべり面との異方性。排水条件の仮定
解析法上の仮定	e. すべり土塊は剛体	すべり面の変位以外は変形しない
	f. すべり面の形状	円弧や直線などで近似
	g. 不静定問題の静定化	不静定次数を補う数の仮定条件式を設定

これらの2つの解析法は、設計時に留まらず、施設の供用後、日常点検等により変状が見出され、対応が求められるようになった段階、さらには対策工を検討する段階では、より一層、重要度を増してくる。また不幸にも土構造物が破壊したとき、同じことを繰り返さないようにするためには、本来的には、破壊した原因を知り、その原因を取り除く、もしくは影響を十分に小さくできるような有効な対策が講じられるべきである。

地盤内の応力－ひずみ状態を知る、地盤内にある対策工との相互作用を考慮する、過去の履歴と現状を再現して将来を予測する、地震動入力して塑性変形を求める、といったことを行うためには、構成式を数値解析で解く方法が便利であり、特に、有限要素法（FEM）が多く採用されている。FEMによる安定解析では、モデル化された数多くのFEMの変形が考慮できることから、表－3.2.1のeの仮定、土塊をn個のスライスに分け、各スライスについて静定化条件を仮定するというcおよびgの仮定、さらに（後述のSSRFEMによれば）最小安全率をもつすべり面の探索をしなければならないというbおよびfの仮定をそれぞれはずすことができる。さらに、aの仮定に対しては、3次元の斜面安定解析法により2次元平面モデルという仮定を除き、土質定数のばらつき等を考慮できるような確率論的なFEMも提案されている。

FEMにより斜面の安定性を評価する方法には二つの方法がある。ひとつは、FEMにより地すべりや斜面内の応力分布を計算し、計算した応力分布を用いて、あるすべり面

の安全率を計算する。必要があれば、従来の分割法のように全体安全率および臨界すべり面を探索するという方法である。もうひとつは、全体安全率および臨界すべり面を直接算定する「せん断強度低減有限要素法 (SSRFEM)」と呼ばれる方法である。ここで、SSRFEM は、弾完全塑性モデルを用いて応力計算を行う。弾完全塑性モデルでは、せん断強度係数 c および $\tan \phi$ を係数 F で除した見かけの粘着力 $c_F (=c/F)$ と見かけの内部摩擦角 ϕ_F ($\tan \phi_F = (\tan \phi) / F$) を用いて定義されるモール・クーロン式を利用して、土の破壊基準 f と塑性ポテンシャル g を次のように表す。

$$f = (\sigma_1 - \sigma_2)/2 - c_F \cos \phi_F - \{(\sigma_1 + \sigma_3)/2\} \sin \phi_F \quad \text{式 (3.2 - 1)}$$

$$g = (\sigma_1 - \sigma_2)/2 - \{(\sigma_1 + \sigma_3)/2\} \sin \phi \quad \text{式 (3.2 - 2)}$$

ここで、 σ_1 , σ_3 : それぞれ最大と最小有効主応力, ϕ : 土のダイレイタンシー角

SSRFEM の計算手順はおおよそ次のようである。まず、最初の係数 F を小さな値に設定すると、 c_F および ϕ_F は十分大きくなるので、斜面の大部分は弾性応力状態になる。次に F を ΔF ずつ段階的に増加させていくと、 F がある値に達したときに、斜面内のある要素において破壊が生じ、見掛けの c_F と ϕ_F で定義される上式が釣り合うようになる ($f = g$)。 F をさらに増加させると、上式は満足できなくなる。実際には、モール・クーロン則の強度を越えるような応力状態は存在し得ないので、モール・クーロン則を満たす応力に対応する等価接点力と増加した外力 (接点力) との残差力は、まだ破壊していない近傍の要素に振り分けられる。この残差力に基づく応力の再分配は、繰り返し計算により、所定の誤差範囲に収まるまで繰り返される。この計算を繰り返していくと、破壊が生じている要素が段々と増えていく。さらに、 F を増加させていくと、残差力の再配分に要する繰り返しの回数も増えていく。やがて計算回数を増やしても、所定の計算回数では、残差力を解消できないような事態になる。これは、残差力の再配分に困難が生じており、弾塑性計算が発散状態にあると考えられる。このとき、斜面の変形は非常に大きくなっており、斜面は破壊 (崩壊) に至ったと判断する。斜面の全体安全率は、繰り返し計算が集束しないときの係数 F の値と直前の F の値の間にあると考えられる。さらに、臨界すべり面は、破壊直前の最大せん断ひずみ増分の分布から推定できる。したがって、SSRFEM では、分割法などのようにあらかじめすべり面を仮定する必要がなく、計算結果として自動的に臨界すべり面が求められることになる。

有効応力で斜面の安定性を評価する場合には、しばしば浸透流解析や連成解析によ

り水圧を計算する。ここで、浸透流解析や連成解析において SSRFEM と同じメッシュ分割を用いれば、浸透流解析や連成解析で得られた水圧を安定解析に直接、入力データとして、組み入れることができる。さらに、動的解析ができる安定解析プログラムであれば、地震時の応答を求めることができる。

岩盤斜面の安定解析では、斜面に無数の亀裂がある場合は、亀裂によって破壊・変形しやすい機構を反映した等価な連続体としてモデル化できる。一方、卓越した亀裂によって比較的大きい岩塊が形成されている場合は、亀裂を不連続面として、岩塊をそのままモデル化することができる。むろん、表面からの岩塊の観察により、十分な深さ、広がりをもつモデルを作成することは、實際上、困難であるかもしれないが、(i)崩壊機構の解明、(ii)緩み域の推定など、対策工や情報化施工に役立つと考えられる。ここでは、参考として、不連続岩盤に関する解析手法の主な特徴を表－3.2.2 に示す。

表－3.2.2 不連続岩盤に対する主な解析手法

解析手法	概 説	変形挙動のモデリング		破壊 形態の 解析	要素の 特性	応力・ひずみ ・局部安全率 など
		せん断 変形	回転・ 分離			
FEMジョイント 要素法 ：JFEM	不連続面をジョイント要素でモデル化。応力と変位の精度に優れる	基本的に 微小変形	要素は分離せず、 小変形に限られる	難しい	弾性体、 弾塑性、 粘弾塑性	求められる
剛体ばね モデル ：RBSM	解析対象を剛体要素で離散化し、要素の境界面を不連続面とする。収束性が良い				剛体	要素内の応力は求められない
個別要素法 ：DEM	各要素が分離して剛体運動することが可能であり、大変形の解析に向く	大変形の 追跡に向く	回転・分離も可能	可能	剛体、 弾性体、 弾塑性	変形する要素を用いれば求められる
不連続 変形法 ：DDA					弾性体、 弾塑性	FEM 要素を合わせて用いれば可能

3.2.3 豪雨時の斜面の安定解析法

斜面の安定解析の基本は、円弧すべり面を仮定した震度法による安定計算法と変わるわけではない。ただし、豪雨時の斜面崩壊においては、すべり面が浅く、非円弧すべり面が多い。このことから、円弧すべり面による解析モデルを使えることは少なく、非円弧すべり面に適用できる簡便法や簡易 Janbu 法が多く用いられている。この方法が、斜面安定解析ではよく用いられ、多くの実績が蓄積されている。また、すべり面上での力の釣り合いを求める方法（極限平衡法）の欠点を補うために、3.2.2 で紹介し

た SSRFEM が適用されることもある。

雨水浸透に伴う力学的な変化のうち、斜面安定に大きく影響するのは、①間隙水圧の発生、②せん断強度の低下、③自重の増加であることから、豪雨時の斜面安定解析はほとんどの場合、有効応力解析による。

参考文献：

- 1) 土木学会：「土木構造物の耐震規準等に関する第二次提言」，平成 8 年 1 月 10 日
- 2) (社) 日本道路協会編：「道路土工 のり面工・斜面安定解析」，470p，平成 11 年 3 月
- 3) 国土交通省鉄道局監修，鉄道総合技術研究所編：「鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物」，平成 19 年 1 月，703p，丸善出版
- 4) 運輸省鉄道局監修，鉄道総合技術研究所編：「鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計」，平成 11 年 10 月，467p，丸善出版
- 5) 国土交通省鉄道局監修，鉄道総合技術研究所編：「鉄道構造物等設計標準・同解説 変位制限」，平成 18 年 2 月，177p，丸善出版
- 6) 国土交通省河川局治水課：「河川構造物の耐震性能照査指針(案)・同解説－II. 堤防編－」，5p，平成 19 年 3 月
- 7) (社) 地盤工学会編：「斜面の安定・変形解析－基礎から実例まで－」，入門シリーズ 32，338p，平成 18 年 8 月
- 8) (社) 日本地すべり学会：「有限要素法による地すべり解析 対策工の合理的な設計に向けて」，131p，平成 18 年 8 月，山海堂
- 9) (社) 地盤工学会：「豪雨時における斜面崩壊のメカニズムおよび危険度予測」，地盤工学・実務シリーズ 23，184p，平成 18 年 8 月
- 10) Cai, F. and Ugai K.: Numerical Analysis of Rainfall Effects on Slope Stability ., Int. Journal of Geomechanics, ASCE, Vol.4, No.2, pp.69－78, 2004.

3.3 現状の課題と解析法の合理化

最近では、自然環境との調和、既設構造物の維持管理、防災(地震、自然災害、・・・)の課題が重要になっている。これらの課題に対しては、できるだけ低い費用で高い機能、安全性、耐災性、自然環境との調和を達成する必要がある。災害を大別すると、地震被害、風水害、火山災害および雪害の4項目になる。この中で、設計法とその解析法が確立されているのは地震被害と風水害であり、この視点から見ると、現状の課題と解析法の合理化について今日の課題は次の2つである。

- 1) 盛土・地盤・基礎構造物の性能を従来よりも明確に判定可能な設計法の開発
- 2) 合理的な地盤改良工法、補強土工法、新しい基礎構造形式等を積極的に導入

両者の課題に対して満足のいく解決は難しい。特に、従来から慣れ親しんだ設計の基本的考え方、古典土質力学に基づく慣用設計法、従来からの土構造物・基礎構造物の工法・形式を乗り越えることは大変なことである。災害対策の設計評価上の観点から、ここでは1)に関連した地盤材料のせん断強度特性と盛土・地盤・基礎構造物の解析関係を中心に述べる。

3.3.1 構造物の被害

1995年阪神・淡路大震災や2004年新潟県中越地震では、土構造物が多数崩壊した。阪神・淡路大震災では、社会基盤構造物が多数崩壊して深刻な社会的影響を与え、このような構造物は復旧が容易ではない甚大な崩壊は生じてはいけないことが社会的に合意された。これを契機にレベルⅡ設計地震動が土木学会から提案され、その後鉄筋コンクリート(RC)構造物の耐震設計法は刷新されて既存RC構造物の耐震補強は進み、新潟県中越地震ではこれらの方法の有効性が証明された¹⁾。しかし、土構造物については、阪神・淡路大震災で盛土、擁壁、橋台等も多数崩壊したが人的被害が少なく、RC構造物と比較すると社会的影響度は低かったため、土構造物における耐震設計の合理化と耐震補強の課題は社会的に認識されなかった。2004年新潟県中越地震では、土構造物が多数崩壊し、道路・鉄道盛土に敷設されていた通信設備などのライフラインの被害も甚大で、その被害規模と社会的影響度はRC構造物を上回るものであった。土構造物が多いという地域性の問題もあるが、以上のことから土構造物の耐震化と耐震設計の合理化の課題は重要であり、構造物の被害として土構造物を取り上げることにした。

阪神・淡路大震災以前でも擁壁・橋台およびロックフィルダムは震度法による耐震設計がなされていたが、レベルⅡ設計地震動は考慮されなかった。また、道路、鉄道、

河川、宅地などの盛土では積極的な耐震設計を行っていない。この主な理由は、土構造物は崩壊しても社会的影響が小さく復旧が容易なので、崩壊しても現状復旧すればよいという方針が社会的認識だったことによる。しかし、社会が高度化してきた現在、土構造物の崩壊による社会的影響度は大きく、我々は認識を新たにしなければならない。阪神・淡路大震災後、土木学会に設置された土木構造物の耐震設計法に関する特別委員会では、土構造物および地中構造物の耐震設計法に関する見直しと提言を行っている²⁾。以下に、この提言に沿った具体的提案例を示す。

3.3.2 地盤・盛土の実挙動と実務設計

盛土の従来設計では、法面勾配などの構造仕様を決め、盛土材を規定し締固め度を管理することによって施工される。安定解析は実施しない場合が多いが、実施する場合は、古典土質力学理論に基づき極限釣り合い解析によるすべり破壊に対する安全率を求める。この方法には、解析を実施するために必要な多くの仮定と簡略化が含まれているので、ワンパターンの活用ではなく現場の条件を考慮した使い方が必要である。

鋼材やコンクリートと異なり、土は成分特定が難しく、多種多様な構成要素からなり、乾燥・拘束圧などに対して可変で、物性は複雑である。締め固まった土では、ピーク応力発揮後粒径に応じた厚さを持つせん断層が発達し応力は低下する（ひずみ軟化、図-3.3.1の[1]）。破壊する時のピーク強度は、すべり面に沿って同時に発揮されず、進行に伴い発揮されるので、完全塑性体と仮定して、設計せん断強度としてピーク強度を用いると強度を過大評価することになる。古典土質力学を使用した慣用安定解析法では地盤を等方剛完全塑性体でせん断層の厚さはなしと単純化している図-3.3.1の[2]。つまり、すべり面全体でピーク強度は同時に発揮され、破壊の進行性は全く考慮されない。

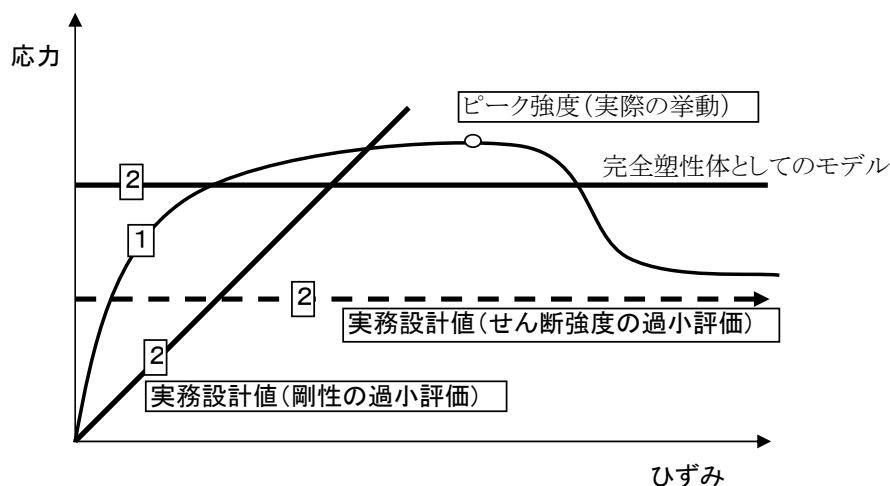


図-3.3.1 土の実挙動と実務設計値

次は、土の実際のせん断強度と設計強度の関係である。線状構造物の場合、個々の現場で試験をして設計強度を決定することはまれで、標準的な設計強度を使用することが多い。安全側の値（例えば、 $C=0$ 、 $\phi=30^\circ$ ）を採用するので、よく締め固めた盛土材のせん断強度を過小評価している。また、試験に基づく方法では、ロックフィル材の場合、排水三軸圧縮試験のピーク応力の下限破壊包絡線としてモールクーロンの直線破壊規準をあてはめ、 $C=0$ として $\tau=\sigma\cdot\tan\phi$ を設計に用いる（図-3.3.2）。この設計強度は残留強度に近い。ロックフィル材には、粘着力がないので $C=0$ として、 $\tau=\sigma\cdot\tan\phi$ を使用すると、特に粒子破壊性が高い材料では破壊崩壊線は大きく曲がるので ϕ は小さくなる。したがって、 $\tau=\sigma\cdot\tan\phi$ は残留強度以下になり、実際の強度を過小評価する。

また、完全塑性体と仮定して、設計せん断強度としてピーク強度を用いると、盛土や地盤の安定性を過大評価する。残留強度を用いれば安全側となるが、実務設計にはよい盛土材を使用してよく締め固めをする努力を評価するシステムが必要である。残留強度を用いる方法は、締め固め密度を反映しない。

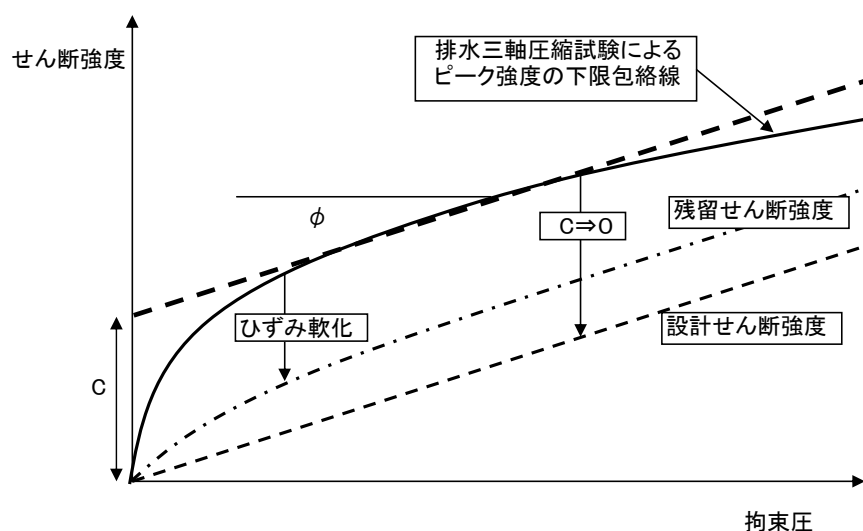
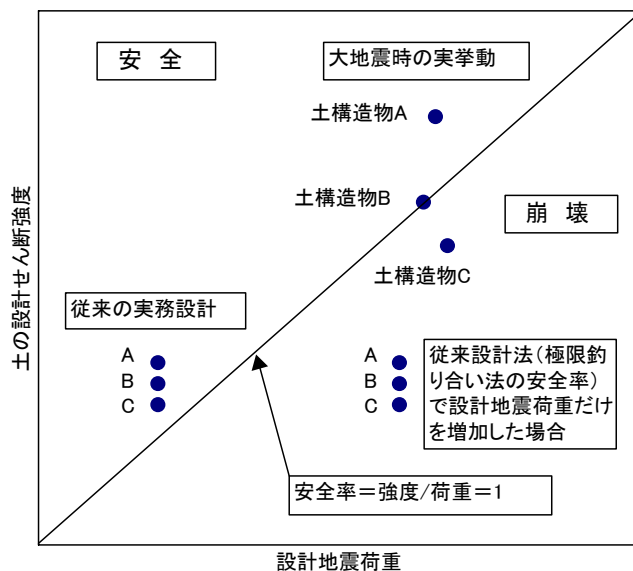


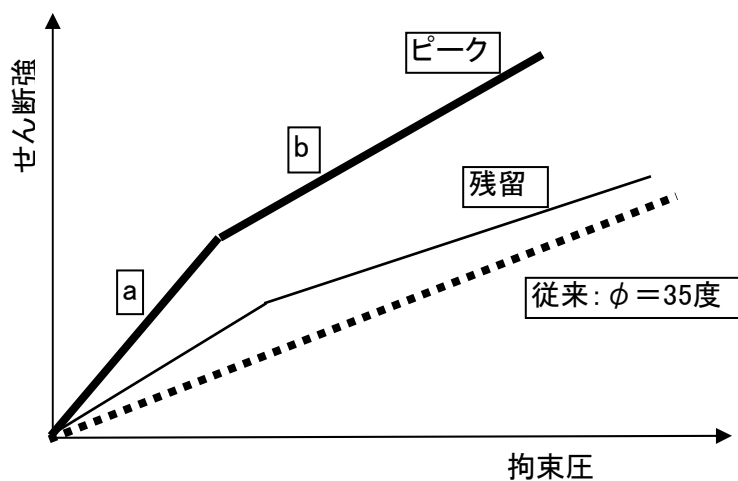
図-3.3.2 ロックフィル材のせん断強度

従来の実務設計法として使用されている慣用安定解析法では、土の残留強度に近い一律の設計せん断強度とともにレベルⅡ設計地震動よりも低い設計地震荷重を使用している。図-3.3.3に土構造物の地震時実挙動と従来の実務設計の関係を示す。図-3.3.3において、設計震度だけを増加すると、実際には安定な土構造物を崩壊すると判定したりして崩壊の可能性のある土構造物を選別できない。また、土構造物は地震時に一時的に安全率が1.0に達しても残留変形が許容値よりも小さければ破壊してはいない。

図-3.3.3 土構造物の大地震時の実挙動と従来の実務設計の関係³⁾

このように、残留変形によって耐震性を判定する方法が考えられる。残留変形の予測には土の軟化特性が必要になる。そのためには、図-3.3.4の例のようにピーク強度と残留強度の両方が必要になる。ピーク強度は図-3.3.2に示す破壊包絡曲線を採用する提案⁴⁾があり、この提案の方法によれば、土の種類・締固め度などによって変化するピーク強度を設計で考慮することになるので、せん断実験を実施する目的が明らかになり、現場でよい盛土材を使い、締め固め管理をした結果を評価できる。

	ピークせん断強度	残留せん断強度
a線	C=0, $\phi=45$ 度	C=0, $\phi=40$ 度
b線	C=30kpa, $\phi=45$ 度	C=25kpa, $\phi=30$ 度

図-3.3.4 盛土材（砂質土）の設計せん断強度のモデル⁵⁾

3.3.3 従来の設計法の問題点と今後の設計法

土構造物の実挙動と実務上の設計から、今後の方向性を以下に示す。

- 1) 土構造物の従来の耐震設計法はこのような強い地震動に対して必ずしも安全側でなく、合理化する必要がある。
- 2) 土質力学の古典理論に基づく従来の設計法で設計震度だけを増加すると、非常に不経済な土構造物になる場合が多い。
- 3) 土のせん断強度として、従来のように安全側で一律の残留強度に近い値を用いるのではなく、残留強度に加えて盛土材の粒度分布などの土質と締固め度によって差がつくピーク強度を同時に考慮する必要がある。
- 4) 盛土や地山に対する補強土工法などの新工法によって土構造物を経済的で効果的に耐震化する必要がある。

土構造物の形式の合理化。従来の擁壁は片持ち梁構造物が多い。ジオテキスタイルを多層に配置して盛土に自立性を与えれば、壁面は多数の支点で支持された連続梁となり滑動と転倒モーメントを激減できる。結果として、低い建設費と短い工期で安定な擁壁を建設できる。

参考文献

- 1) 土木学会・第二次調査団(2004)：平成 16 年新潟県中越地震，社会基盤システムの被害等に関する総合調査，「調査結果と緊急提言」Ⅰ報告・提言編，2004.12.6
- 2) 土木学会土木構造物の耐震設計法に関する特別委員会：土構造物の耐震設計法等に関する第三次提言と解説，2000.12.10
- 3) 龍岡文夫：地盤工学における今日の課題，古典理論・設計法・土の物性の関連，土木学会誌 vol. 91, No. 9, 2006.
- 4) 松本徳久・渡辺和夫：ロック材のせん断強度，土と基礎，地盤工学会，pp.49-54, 1987.
- 5) 大窪克己・浜崎智洋他：高速道路盛土の大規模地震時の耐震性検討(その 2)変位量による耐震性能評価法の検討，第 39 回地盤工学研究発表会

4. 災害対策技術の現状と事例

4.1 震災(構造物)

(1) 地震による構造物災害の実態

(a) 阪神大震災の概要

平成7年1月17日5時46分、淡路島北部の深さ16kmを震源とするマグニチュード7.3の地震が発生した。この地震は内陸部の活断層で発生した、いわゆる内陸直下型地震であり神戸海洋気象台では最大818galの加速度を観測した。この地震により、神戸と洲本で震度6を観測したほか、神戸市の一部の地域等において震度7を記録し、神戸市は壊滅状態に陥った。

この震災による人的被害は、死者6,434名、行方不明者3名、負傷者43,792名という戦後最悪の極めて深刻な被害となった。住家については、全壊が約10万5,000棟、半壊が約14万4,000棟にものぼった。交通関係については、港湾関係で埠頭の沈下等、鉄道関係で山陽新幹線の高架橋等の倒壊・落橋による不通を含むJR西日本等合計13社において不通となり、道路関係では地震発生直後、高速自動車国道、阪神高速道路等の27路線36区間について通行止めになるなどの被害を生じた。ライフライン関係では、水道で約123万戸の断水、下水道で8処理場の処理能力に影響が生じ、工業用水道で最大時289社の受水企業の断水、地震直後の約260万戸の停電、都市ガスは大阪ガス(株)管内で約86万戸の供給停止、加入電話は、交換設備の障害により約29万、家屋の倒壊、ケーブルの焼失等によって約19万3,000件の障害が発生するなどの被害が生じた。

橋梁構造物も大きな被害を受けたが、橋脚では昭和46年「道路橋耐震設計指針」以前の基準が適用された橋脚は被害が大きく、一方、昭和55年「道路橋示方書」以後の基準が適用された橋脚では被害は少なかった。連続した高架橋という点で構造が類似した阪神高速道路3号神戸線と5号湾岸線では昭和46年以前の示方書が適用された3号神戸線では損傷度A以上(被災度区分表参照)は全体の約14%であるのに対し、昭和55年以降の示方書が適用されている5号湾岸線では損傷度A以上の被害を受けた橋脚は無い。

上部構造の被災は支承部損傷が目立った。その内、主要路線である国道2号・43号・171号・176号、阪神高速3号神戸線・5号湾岸線および名神・中国高速道路の橋梁の内、金属沓は全体の約21%が被災度A(被災度区分表参照)であるのに対し、ゴム沓ではAランクの被害を受けた沓は無かった。



写-4.1.1 阪神高速3号神戸線ピルツ高架橋の倒壊(提供:読売新聞)

(a) 橋 脚		(c) 支 承	
被災度	定 義	被災度	定 義
As	倒壊したもの 損傷変形が著しく大きなもの	A	セットボルト、アンカーボルトの破断やソールプレート、ボス部の被害があるもの 沓座コンクリートが破壊したもの
A	亀裂、座屈、鉄筋の破断等の損傷、または変形が大きなもの	B	ビンの切断、上沓ストップの破断があるもの ローラ、アンカーボルトの抜出しがあるもの 移動制限装置が破損したもの 沓座モルタルが破壊したもの
B	鋼材の座屈や部材の変形が部分的にみられるもの 鉄筋の一部の破断やはらみだし及び部分的な被りコンクリートの剥離や亀裂がみられるもの	C	上沓、下沓が変形したもの セットボルトが緩んだもの 移動制限装置に変形もしくは亀裂が生じたもの 沓座コンクリート・沓座モルタルに亀裂が生じたもの 僅かな層間剥離、層間ずれ、変形を生じたもの
C	鋼材の座屈や変形が局部的かつ軽微なもの ひび割れの発生や局部的な被りコンクリートの剥離が見られるもの	D	損傷がないか、あっても耐荷力に影響のない極めて軽微なもの
D	損傷がないか、あっても耐荷力に影響のない極めて軽微なもの		

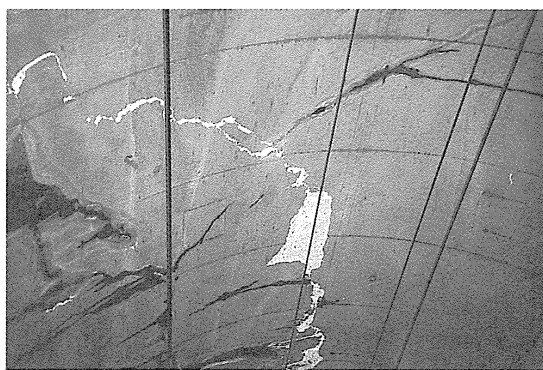


写 4.-1.2 阪神高速3号神戸線
沓座コンクリートの破壊¹³⁾

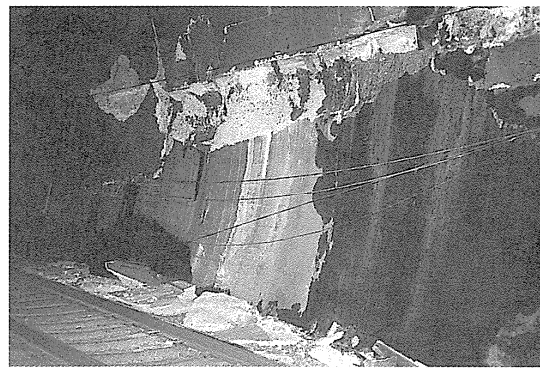


写-4.1.3 阪神高速3号神戸線
ローラー支承の損傷¹³⁾

阪神・淡路大震災の被災範囲内には100を越える山岳トンネルが存在するが、このうち補修・補強を要する被害を受けたものは約10本で、地上構造物の甚大な被害に比べて被害は軽微であった。トンネルの被害箇所は断層破碎帯の周辺に集中している。主な被害はジョイントの目開き、打継目の剥落、段差、ひび割れであった。



写-4.1.4 六甲トンネル
アーチ部の被害¹⁶⁾



写-4.1.5 六甲トンネル
側壁部の被害¹⁶⁾

(b) 新潟県中越地震の概要

平成16年の10月23日17時56分、わが国地震観測史上初の最大震度7を川口町で観測した新潟県中越地震が発生し、地震加速度は強震観測史上最大となる最大加速度2,515galを川口町で観測した。この地震により、長岡市や小千谷市をはじめとする都市部及び川口町や山古志村などの中山間地域を中心に死者51名、重軽傷者4,795名、被害住宅129,041世帯の甚大な被害を受け、多数の人命と財産が失われた。震度5弱以上の強い余震は12月28日までの67日間に計18回発生し、避難者は最大で103,178人にもものぼった。

地震発生直後、北陸自動車道は柏崎IC～三条・燕ICの上下線、関越自動車道は上り線で

(a) 橋 脚		(c) 支 承	
被災度	定 義	被災度	定 義
As	倒壊したもの 損傷変形が著しく大きなもの	A	セットボルト、アンカーボルトの破断やソールプレート、ボス部の被害があるもの 沓座コンクリートが破壊したもの
A	亀裂、座屈、鉄筋の破断等の損傷、または変形が大きなもの	B	ビンの切断、上沓ストップの破断があるもの ローラ、アンカーボルトの抜出しがあるもの 移動制限装置が破損したもの 沓座モルタルが破壊したもの
B	鋼材の座屈や部材の変形が部分的にみられるもの 鉄筋の一部の破断やはらみだし及び部分的な被りコンクリートの剥離や亀裂がみられるもの	C	上沓、下沓が変形したもの セットボルトが緩んだもの 移動制限装置に変形もしくは亀裂が生じたもの 沓座コンクリート・沓座モルタルに亀裂が生じたもの 僅かな層間剥離、層間ずれ、変形を生じたもの
C	鋼材の座屈や変形が局部的かつ軽微なもの ひび割れの発生や局部的な被りコンクリートの剥離が見られるもの	D	損傷がないか、あっても耐荷力に影響のない極めて軽微なもの
D	損傷がないか、あっても耐荷力に影響のない極めて軽微なもの		

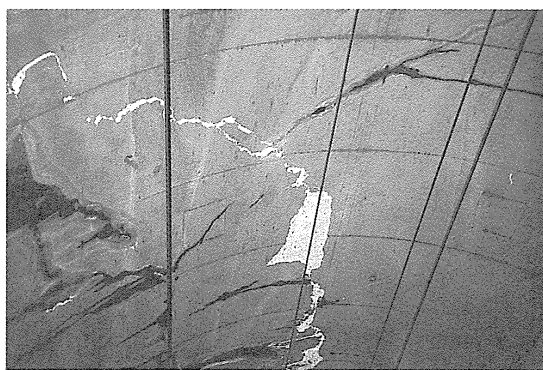


写 4.-1.2 阪神高速3号神戸線
沓座コンクリートの破壊¹³⁾

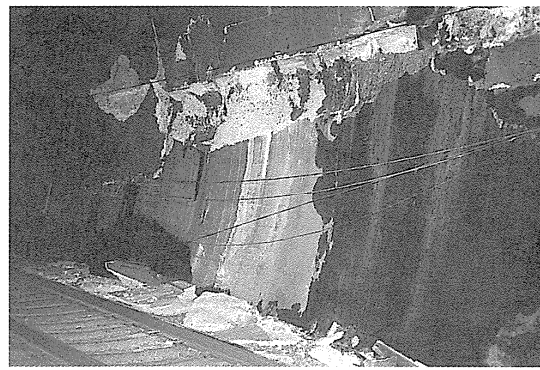


写-4.1.3 阪神高速3号神戸線
ローラー支承の損傷¹³⁾

阪神・淡路大震災の被災範囲内には100を越える山岳トンネルが存在するが、このうち補修・補強を要する被害を受けたものは約10本で、地上構造物の甚大な被害に比べて被害は軽微であった。トンネルの被害箇所は断層破碎帯の周辺に集中している。主な被害はジョイントの目開き、打継目の剥落、段差、ひび割れであった。



写-4.1.4 六甲トンネル
アーチ部の被害¹⁶⁾



写-4.1.5 六甲トンネル
側壁部の被害¹⁶⁾

(b) 新潟県中越地震の概要

平成16年の10月23日17時56分、わが国地震観測史上初の最大震度7を川口町で観測した新潟県中越地震が発生し、地震加速度は強震観測史上最大となる最大加速度2,515galを川口町で観測した。この地震により、長岡市や小千谷市をはじめとする都市部及び川口町や山古志村などの中山間地域を中心に死者51名、重軽傷者4,795名、被害住宅129,041世帯の甚大な被害を受け、多数の人命と財産が失われた。震度5弱以上の強い余震は12月28日までの67日間に計18回発生し、避難者は最大で103,178人にもものぼった。

地震発生直後、北陸自動車道は柏崎IC～三条・燕ICの上下線、関越自動車道は上り線で

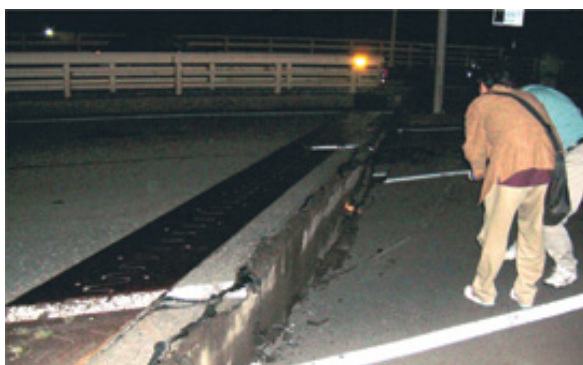
長岡 JCT～湯沢 IC、下り線で月夜野 IC（群馬県）～長岡 JCT が通行止めとなった。一般国道は、国道 8 号・17 号・116 号・117 号・252 号・291 号など、55 箇所で開催止めまたは片側交互通行規制を余儀なくされた。

（国道 8 号線）

見附市上新田では見附大橋（L=148m）の橋台背面盛土が沈下し、約 40cm の車道段差が生じた他、支承等も損傷を受けた。

長岡市宮本町の宮本橋（L=40.2m）の橋台背面盛土が沈下し、観音橋（L=29m）のパラペットにひび割れが生じた他、盛土崩壊も発生した。

これらの被災により、国道 8 号では全 7 箇所で開催止めとなった。



写-4.1.6 国道 8 号見附大橋 路面段差⁹⁾



写-4.1.7 国道 8 号観音橋 路面段差⁹⁾

（国道 17 号線）

被災箇所は 31 箇所及び、特に川口町の和南津トンネル（L=300m）では覆工コンクリートのクラウン部が剥離（長さ約 20m、幅約 2m、体積約 20m³、重量約 50t）、側壁も一部内側に押し出された。和南津橋（L=300m）では支承が損傷した。その他、各地で路面沈下・擁壁倒壊・斜面崩壊が発生し、小千谷市では、路面が約 55cm 陥没し、一級河川信濃川を渡河する小千谷大橋（L=300m）の支承、主げたが変形、橋脚表面も剥離し鉄筋が露出した。長岡市十日町では、十日町高架橋（L=534.8m）が車道段差（約 30cm）を生じ、対傾構も座屈した。これらの被災により、国道 17 号で 9 箇所で開催止めとなった。



写-4.1.8 国道 17 号川口町和南津 トンネル損壊⁹⁾



写-4.1.9 国道 17 号小千谷大橋 橋脚損傷⁹⁾

(2) 震災対策技術

(a) 取り組み状況

戦後最大の惨事となった阪神・淡路大震災は、我が国の震災対策を推進していく上で大きな課題を残した。阪神・淡路大震災において大量の犠牲者を出す最大の要因となったのは、全死者数の8割以上を占める昭和56年以前に建築されたいわゆる既存不適格住宅の倒壊による圧死であり、さらに住宅密集地における火災である。

また、交通施設の損壊や道路交通の集中が原因となって発生した極度の渋滞により、避難・救急救命・消火・緊急輸送等の応急活動に著しい支障をきたしたことのほか、物資提供・医療活動・ボランティア活動・高齢者等の災害時要援護者に係る生活再建等多くの面で課題が明らかになった。

これらを教訓として、阪神・淡路大震災以降様々な対策が講じられ、災害対策基本法の改正や防災基本計画の抜本的な見直しが行われたのをはじめ、地震防災対策特別措置法、建築物の耐震改修の促進に関する法律、集市街地における防災街区の整備の促進に関する法律等の制定、公共施設の耐震基準の見直し等による建築物等の耐震性の強化や都市の不燃化の推進等、さまざまな施策の推進が図られている。

(i) 構造物の耐震診断・改修の推進

道路、鉄道、港湾、住宅・建築物、ライフライン施設等のそれぞれの構造物により設計概念が異なっていた耐震基準について、以下のような共通の設計概念の下で新しい耐震基準へと見直した。

[1] 構造物の使用期間中に1～2回発生することが見込まれる一般的な地震に対してはそのまま使用が可能であること、[2] 使用期間中に発生する可能性は低いが、ひとたび発生すれば甚大な災害となる大地震（関東大地震や兵庫県南部地震等）に対しては人命に重大な影響を与えないこと。この考え方に基づいて、既存施設のうち耐震性の十分でないものについては耐震改修を進め、かつ補強のための技術開発にも取り組んでいる。

1) 橋梁の耐震補強

国土交通省では、平成16年の新潟県中越地震の発生や東海地震、東南海・南海地震、首都直下地震等の大規模地震の逼迫性が指摘されている状況をかんがみ、道路橋の耐震補強を効果的・効率的に推進するため、「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム」（平成17年度～19年度）並びに「新幹線や高速道路をまたぐ橋梁の耐震補強3箇年プログラム」（平成17年度～平成19年度）を策定し、これに基づき、平成19年度までの3箇年で重点的に耐震補強等を実施する。

また、新幹線の高架橋柱については、平成19年度末の完了を目標に耐震補強を実施している。

「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム」の概要

被災時における緊急輸送道路の機能確保を目的とし、対象路線にある昭和55年道路橋示方書より古い基準を適用した橋梁のうち、特に優先的に耐震補強を行う必要のある橋梁について具体的選定方法や対策工法を示した。

橋脚補強の対象構造

- ① 段落とし部のある鉄筋コンクリート製単柱橋脚 繊維材巻立て補強
- ② 鋼製単柱橋脚 コンクリート充填
- ③ 連続橋の段落とし部のある鉄筋コンクリート製固定橋脚 . . . 繊維材巻立て補強

落橋防止システム設置の対象構造

- ① 両端が橋台でない単純桁 ケーブル等による連結
- ② ゲルバー桁 ケーブル等による連結
- ③ 流動化の影響を受ける可能性のある連続桁 ケーブル等による連結

2) 耐震補強技術の開発

構造物の耐震性を各部材毎ではなく全体構造系で評価する手法や、各種構造物や地盤の地震時耐力・変形に関する性能評価法の開発や、高強度材料を導入した構造物の耐震性を明らかにするなど、合理的かつ経済的な耐震補強技術の開発や補強対策が困難な既設道路橋に対する耐震補強法の開発に取り組んでいる。(防災白書 H18)

3) 震災を受けた道路橋の応急復旧技術の開発

新潟県中越地震では、橋梁構造物の被災発見後、復旧工事の完了までに約1週間を要し、この間通行止めを必要とする事例が見られた。このため、被災発見後に余震の影響を適切に考慮して速やかに被災診断を行うとともに、即効性のある復旧工法を用いて迅速かつ合理的に機能回復を図るための応急復旧技術の開発を行う。独立行政法人 土木研究所 HP

(ii) 地震観測データを活用した地殻活動の評価及び予測

基盤的地震観測網（高感度地震観測網（Hi-net）、広帯域地震観測網（F-net）、強震観測網（K-net, KiK-net）等の安定的な運用を継続し、良質な地震観測データの生産・流通を図り、地震調査研究の着実な進展に貢献する。

また、基盤的地震観測網から得られるデータの解析を通じて、地殻活動モニタリング及び監視手法の高度化に関する研究を行い、地殻活動のモニタリング精度を向上させ、さらに、地震発生メカニズムの解明、発生予測に関する研究開発を推進する。(防災白書 H18)

(iii) 地震動予測・地震ハザード評価

日本及びその周辺で規模の大きな地震が発生した場合、地震発生直後の防災機関の的確な初動対応や国民への情報提供のため、気象庁は地震に関係した各種の情報を発表する。平成19年10月から、緊急地震速報の一般への提供を開始した。(防災白書 H19)

また、東海地震の直前予知に有効と考えられる観測データを、地震活動等総合監視システム（EPOS）により、リアルタイムで処理し、総合的に監視を行っている。東海地震に係る異

常現象を観測した場合、気象庁は「東海地震観測情報」、「東海地震注意情報」、「東海地震予知情報」を発表する。

(4) 長周期地震動対策

海溝型地震のような巨大地震では、震源域が大きいこと等から、周期 2～20 秒程度のやや長周期の地震動（以下「長周期地震動」という。）がより多く含まれる傾向がある。

このような長周期地震動は、大振幅で継続時間が長いという特徴があり、2003 年 9 月も十勝沖地震での苫小牧における石油タンク火災は長周期地震によるスロッシング現象によって大きな被害となった。長周期地震動が構造物に及ぼす影響について調査研究を進めるよう検討している。（防災白書 H19）（巨大地震災害への対応検討特別委員会報告 H18.3 土木学会）

(b) 耐震設計の考え方

(i) 橋 梁

既設橋梁に対する耐震補強設計は、想定される地震動に対して、橋の重要度に応じた耐震性能を確保することを目的として行うこととなる。

耐震設計で考慮する地震動としては、橋の供用期間中に発生する確率が高い地震動（レベル1地震動）および供用期間中に発生する確率は小さいが大きな地震動（レベル2地震動）の2段階の地震動を考慮する。

橋の重要度は道路種別と橋の構造・機能により分類され高速道路・一般国道・緊急輸送道路等が重要度が高く（B種の橋）、それ以外の橋は重要度が標準的な橋（A種の橋）とされる。

設計法としては、地震による損傷を適切な部位に誘導し、そこでエネルギー吸収を図ることにより、橋全体構造系としての安定性を確保し、レベル2地震動に対しても限定された損傷にとどめる（耐震性能2）、落橋などの致命的な被害を防止する（耐震性能3）等の耐震性能を確保する。

表-4.1.1、4.1.2に道路橋示方書に規定される設計地震動と耐震性能を示す。

表-4.1.1 耐震性能の観点¹⁷⁾

橋の耐震性能	耐震設計上の安全性	耐震設計上の供用性	耐震設計上の修復性	
			短期的修復性	長期的修復性
耐震性能1： 地震によって橋としての健全性を損なわない性能	落橋に対する安全性を確保する	地震前と同じ橋としての機能を確保する	機能回復のための修復を必要としない	軽微な修復でよい
耐震性能2： 地震による損傷が限定的なものにとどまり、橋としての機能の回復が速やかに行い得る性能	落橋に対する安全性を確保する	地震後橋としての機能を速やかに回復できる	機能回復のための修復が応急修復で対応できる	比較的容易に恒久復旧を行うことが可能である
耐震性能3： 地震による損傷が橋として致命的とならない性能	落橋に対する安全性を確保する	—	—	—

表-4.1.2 設計地震動と目標とする橋の耐震性能¹⁷⁾

設計地震動		A種の橋	B種の橋
レベル1地震動		地震によって橋としての健全性を損なわない性能（耐震性能1）	
レベル2地震動	タイプⅠの地震動（プレート境界型の大規模な地震）	地震による損傷が橋として致命的とならない性能（耐震性能3）	地震による損傷が限定的なものにとどまり、橋としての機能の回復が速やかに行い得る性能（耐震性能2）
	タイプⅡの地震動（兵庫県南部地震のような内陸直下型地震）		

既設橋梁の補強では橋全体系のじん性と耐力の向上が求められるが、耐力を向上させると橋梁躯体から基礎構造へ伝達される地震動も大きくなり、基礎も含めた大規模な補強が必要

となる。しかし、耐力を小さくし、じん性の向上だけに期待すると、地震後に大きな残留変位が生じ、橋の機能回復が困難になる場合もあり、じん性と耐力の向上をバランスさせた補強手段を用いることが重要である。

なお、既設橋の耐震検討は一般にレベル2地震動を対象に行い、レベル1地震動に対する検討は行わない場合が多い。これは、レベル1地震動に対する照査は許容応力度を基本としたものであり、仮に多少超過したとしても、レベル2地震動に対する照査を満足できていれば、その超過が即機能喪失や致命的被災に結びつかないと考えられるためである。

橋脚の耐震補強では構造条件、施工条件、経済性などから橋脚の耐震補強が合理的か否かを判断し、これが合理的であれば橋脚の部材としての耐震補強を実施する。

橋脚に対する補強が困難な場合や、橋脚部材のみの補強対策ではその効果が十分でない場合には橋全体系の耐震性能を向上させることを検討する。

(ii) トンネル

山岳トンネルは一般に坑口部分を除くと比較的堅硬な岩盤内に設けられており、地震の際には地山と一体となって変位すると考えられる。このため、従来地震の被害を受けにくいと考えられてきた。実績としても良好な岩盤におけるトンネルの被害は少なく、このため耐震対策についても坑口部分での斜面安定に関するものを除いては、実施された例がきわめて少なく、対策工法として確立されていない。

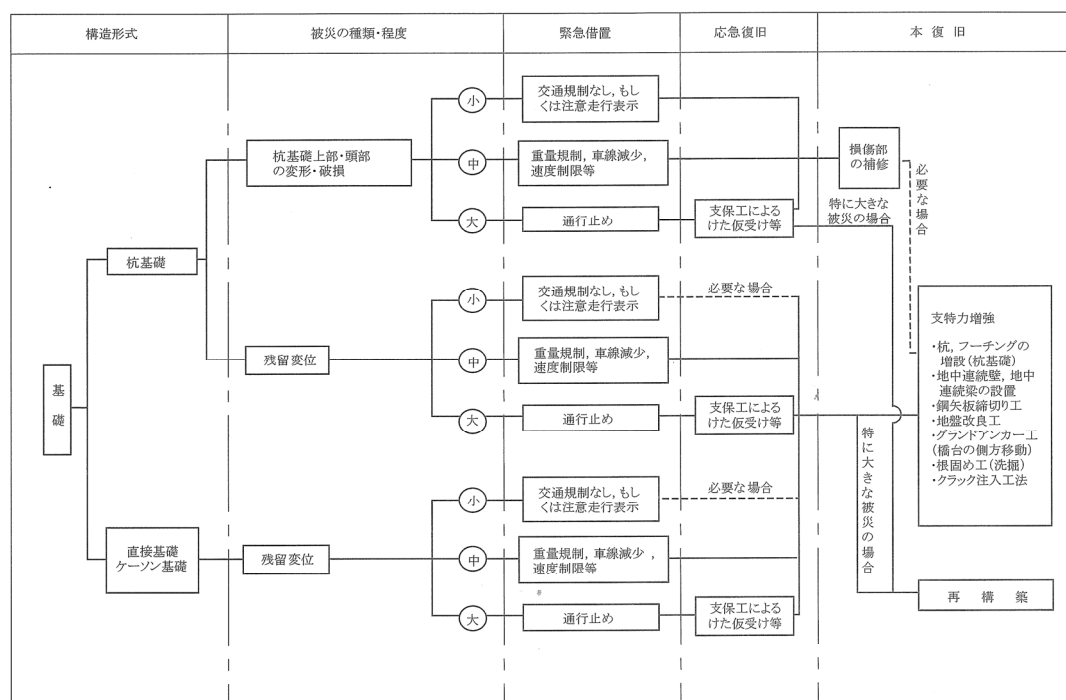
しかし、過去の被害事例において坑口部での斜面被害や地表地震断層、トンネルおよび周辺地山に欠陥があるなどの特殊条件が原因になることが多いことから、特殊条件のある箇所に対する補強がトンネルの耐震対策と考えることができる。すなわち必要に応じて耐震性を考慮した適切な覆工構造の設計・施工を行うことや、点検・調査結果から覆工の健全度を判定し、必要に応じて補修補強を行うことが耐震対策となる。このためにはトンネル施工段階における地山評価結果、採用した対策工法、施工管理結果などを整理し、記録として保存する事や、点検事のトンネル変状展開図などを記録に残すなど、データの有効利用を図ることが重要である。

なお、共同溝および開削トンネルは震災によって大きな被害を受けた例は少なく、耐震対策の工法も少ないことから、本論では主に山岳トンネルについて考察する。

(c) 災害復旧技術

(i) 橋 梁

1) 典型的な地震被害と復旧手順

図-4.1.1 基礎の復旧の手順¹⁾

a) 基礎の被災度

基礎の被害は一般に掘削しないと発見できない場合が多いが、既往の地震被害では基礎に大被害が生じた場合には、橋脚・上部構造等に大きな変状が生じる場合が多いことから、応急判定では表-4.1.3のように判定して良い。

表-4.1.3 被災度の応急判定

変 状	判 定
橋脚、上部構造等に大きな変状が生じていない場合	小被害もしくは被害なし
基礎の損傷が原因で上部構造に残留傾斜等大きな変状が生じている場合	大被害
周辺地盤に洗掘や広範囲な液状化による亀裂、軟弱地盤のすべりが認められる場合	基礎の残留変位・傾斜に着目し、明らかな以上がある場合には試掘等による被災確認を行い被災度を判定する。

表-4.1.4～4.1.6は兵庫県南部地震で用いられた被災度判定である。

表-4.1.4 杭基礎の被災度区分¹⁾

被災度	定 義
A	基礎の沈下と同時に大きな残留水平変位が見られるもの
B	基礎に大きな残留水平変位が見られるもの 杭体に曲げきれつが見られるもの
C	杭体に小さな曲げきれつが見られるもの
D	杭体に損傷がないか、曲げきれつがあっても軽微なもの

表-4.1.5 ひび割れ幅の点数評価による判定例¹⁾

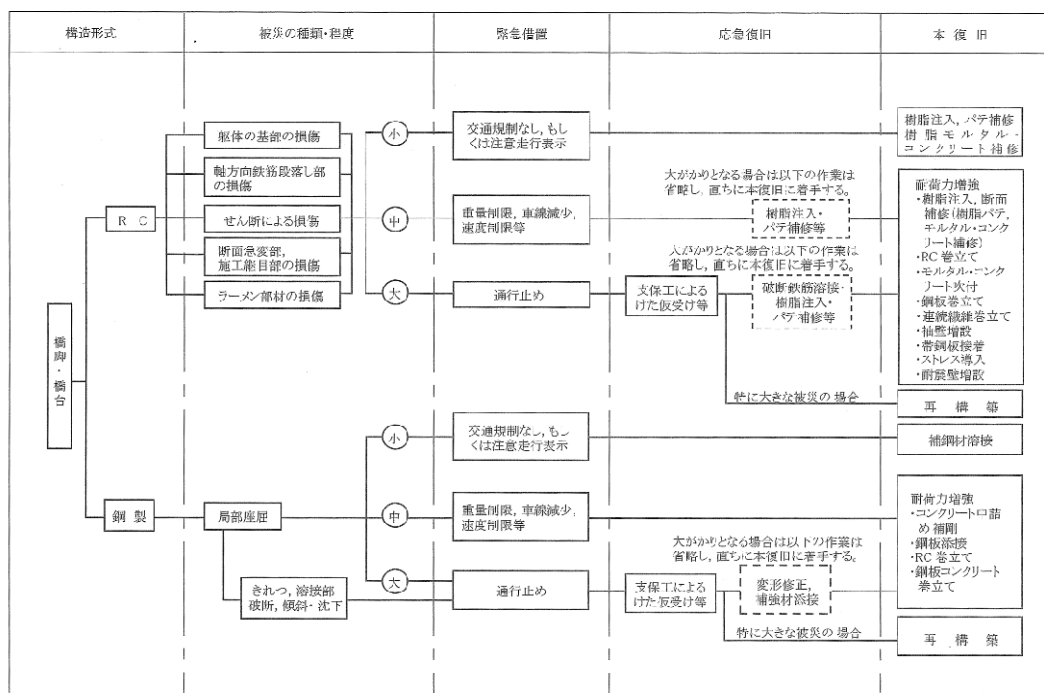
ひびわれ幅	評価点	評価基準
0～0.5 mm未満	0点	鉄筋降伏以前の残留ひびわれ
0.5～1.4 mm	1点	鉄筋降伏範囲のひびわれ
1.5～2.9 mm	2点	鉄筋のひずみ硬化域に入ったひびわれ
3.0 mm以上	3点	ひずみ硬化域に入った大きなひびわれ

表-4.1.6 杭体被災度の評価点による判定例¹⁾

損傷度数	9点以上	5～8点	1～4点
被災度	B	C	D

被災度区分	被災の程度
被災度A	大被害
被災度B	中被害
被災度C	小被害
被災度D	被害無し

b) 橋脚・橋台の復旧手順

図-4.1.2 橋脚、橋台の復旧の手順¹⁾

c) 橋脚、橋台の被災度

橋脚の地震による被災の種類および程度は、材料および構造特性によって異なるため、橋脚の材料および構造特性を考慮して被災判定を行う必要がある。

橋台の被災判定は以下の橋脚被災判定に準じる。ただし、パラペット・ウイングのひびわれ等の損傷は小被害と判定する。

[RC 橋脚]

表-4.1.7 RC 橋脚のせん断による損傷が生じている場合の被災判定表¹⁾

観測される損傷		①水平ひびわれのみ	②斜めひびわれ（貫通せず）	③斜めひびわれ貫通（ひびわれ幅 $W < 0.5$ mm）	④斜めひびわれ幅 $0.5 \text{ mm} \leq W < 2 \text{ mm}$	⑤斜めひびわれ幅 $W \geq 2 \text{ mm}$ 、コンクリート剥落・剥離	⑥せん断面でのずれ・沈下
損傷状況	側面図						
	正面図						
被災度		C：小被害	B：中被害	B：中被害	B：中被害	A：大被害	A s：半倒壊
残留強度		Pu	Pu	Pu	Py 程度	Py 以下	
残留変形性能 $\frac{\delta u - \delta}{\delta u} \times 100 (\%)$		100%	100%	50～100%	0～50%	0%	

注) Py：降伏耐力 Pu：終局耐力 δy ：降伏変位 δu ：終局変位 δ ：最大履歴変位

表-4.1.8 RC 橋脚基部に損傷が生じている場合の被災判定表¹⁾

観測される損傷			①水平ひびわれのみ	②斜めひびわれ (貫通せず)	③斜めひびわれ貫通	④かぶりコンクリート剥離	⑤鉄筋はらみ出し	⑥軸方向鉄筋破断 および躯体傾斜	
損 傷 状 況	通常 の 場 合	側 面 図							
		正 面 図							
	$p \geq 0.5\%$	側 面 図							
			正 面 図						
		$p < 0.5\%$	側 面 図						
			正 面 図						
被災度			C : 小被害	C : 小被害	C : 小被害	B : 中被害	B : 中被害	A : 大被害	
残留強度			P_u ($1.1P_y \sim 1.3P_y$)	P_u ($1.1P_y \sim 1.3P_y$)	$1.1P_y$	$1.0P_y$	P_y 以下	P_y 以下	
残留変形性能 $\frac{\delta u - \delta_y}{\delta u - \delta_y} \times 100 (\%)$			70%	50%	30%	10%	0%	0%	

注) p : 軸方向鉄筋比 P_y : 降伏耐力 P_u : 終局耐力 δ_y : 降伏変位 δu : 終局変位 δ : 最大履歴変位

表-4.1.9 RC 橋脚軸方向鉄筋段落とし部に損傷が生じている場合の被災判定表¹⁾

観測される損傷		①水平ひびわれのみ	②斜めひびわれ ($D/2$ 以下)	③斜めひびわれ ($D/2$ 以上)	④斜めひびわれ貫通 (鉛直ひびわれ進展)	⑤かぶりコンクリート剥離	⑥鉄筋はらみ出し	⑦鉄筋破断 コアコンクリート砕石状
損 傷 状 況	側面図							
	正面図							
被災度		C : 小被害	C : 小被害	C : 小被害	B : 中被害	B : 中被害	A : 大被害	Δs : 半倒壊
残留強度		P_u ($1.05P_y \sim 1.1P_y$)	P_u ($1.05P_y \sim 1.1P_y$)	$1.0P_y$	$1.0P_y$	P_y 以下	P_y 以下	
残留変形性能 $\frac{\delta u - \delta}{\delta u - \delta_y} \times 100 (\%)$		100%	70%	40%	10%	0%	0%	

注) P_y : 降伏耐力 P_u : 終局耐力 δ_y : 降伏変位 δu : 終局変位 δ : 最大履歴変位 D : 軀体厚

〔鋼製橋脚〕

表-4.1.10 鋼製橋脚軸の被災判定表¹⁾

	C：小被害	B：中被害	A：大被害	A s：落橋	備考
座屈	へこみもしくは ふくらみ $d_f \leq 0.01 l_b$ 	へこみもしくは ふくらみ $0.01 l_b \leq d_f < 0.03 l_b$ 	へこみもしくは ふくらみ $0.03 l_b \leq d_f$ もしくは 溶接部の破断 	完全圧壊 	a) 4面（円周の場合は全周程度）が座屈している場合 b) 部分的に曲率の小さい屈曲部がある場合 c) 角溶接部に変形をともなう場合 d) l_b ：横リブ間隔， d_f ：ふくらみ（くぼみ）量
きれつ	1/4周以上のきれつ 	1/4周以上のきれつ （周辺にきれつの進展の可能性のあるもの） 	溶接部きれつ （周辺にきれつの進展の可能性のあるもの） 	—	
根巻きコンクリートのきれつ	根巻きコンクリートのきれつ 	—	根巻き部鋼板隅肉溶接部のきれつ 	—	
主要部位以外の塗膜のはがれ	主要部位以外の塗膜のはがれ 	主要部位の塗膜のはがれ 	他主要部位のきれつ 	—	
ボルト接合部	溶接部周囲の塗膜のはがれ アンカーボルト部 A：破断，B：変形，C：ゆるみ 	ボルト欠損 （1溶接部当たり1割程度以下） 	ボルト欠損 （1溶接部当たり1割程度以上） 	—	

d) 上部構造の復旧手順

構造形式	被災の種類・程度	緊急措置	応急復旧	本復旧
上部構造	コンクリート橋	文点上上げた等の損傷	小：交通規制なし、もしくは注意走行表示 中：重量制限、車線減少、速度制限等 大：通行止め	大がかりとなる場合は以下の作業は省略し、直ちに本復旧に着手する。 樹脂注入、パテ補修 耐荷力補強・RC巻立て・鋼板接着 再構築（上部構造架替え、新橋架設）
		けた移動、文点沈下	小：交通規制なし、もしくは注意走行表示 中：重量制限、車線減少、速度制限等 大：通行止め	路面段差、目開きなどがある場合 橋面覆工 けた移動 橋座拡張、桁端切断、支承位置変更、支承形状変更 支取替え、支承高変更 再構築（上部構造架替え、新橋架設）
		文点上上げた等の損傷	小：交通規制なし、もしくは注意走行表示 中：重量制限、車線減少、速度制限等 大：通行止め	大がかりとなる場合は以下の作業は省略し、直ちに本復旧に着手する。 変形修正、補剛材溶接 耐荷力補強・補強材部接・部材取替え・リベット・ボルト取替え 再構築（上部構造架替え、新橋架設）
	鋼橋	文点上上げた等の損傷	小：交通規制なし、もしくは注意走行表示 中：重量制限、車線減少、速度制限等 大：通行止め	大がかりとなる場合は以下の作業は省略し、直ちに本復旧に着手する。 変形修正、補剛材溶接 耐荷力補強・補強材部接・部材取替え・リベット・ボルト取替え 再構築（上部構造架替え、新橋架設）
		けた移動、文点沈下	小：交通規制なし、もしくは注意走行表示 中：重量制限、車線減少、速度制限等 大：通行止め	路面段差、目開きなどがある場合 橋面覆工 けた移動 橋座拡張、桁端切断、支承位置変更、支承形状変更 支取替え、支承高変更 再構築（上部構造架替え、新橋架設）
		文点上上げた等の損傷	小：交通規制なし、もしくは注意走行表示 中：重量制限、車線減少、速度制限等 大：通行止め	大がかりとなる場合は以下の作業は省略し、直ちに本復旧に着手する。 変形修正、補剛材溶接 耐荷力補強・補強材部接・部材取替え・リベット・ボルト取替え 再構築（上部構造架替え、新橋架設）

図-4.1.3 上部構造の復旧の手順¹⁾

e) 上部構造の被災度

上部構造の地震による被災の種類および程度は、材料および構造特性によって異なるため、上部構造の材料および構造特性を考慮して被災判定を行う必要がある。

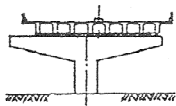
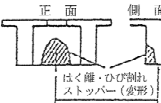
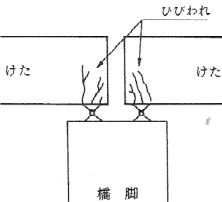
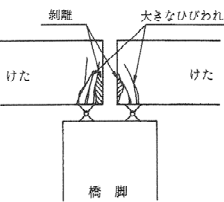
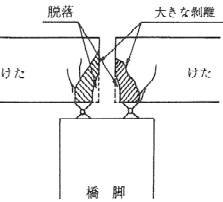
	D：被害無し	C：小被害	B：中被害	A：大被害
一次部 材損傷	損傷が軽微なもの	主げたに損傷がみられるものの、短期的には問題のないもの	支承部からはずれ、所定の位置から大きくずれている場合 	
二次部 材損傷	中程度の損傷を受けている場合	・著しい損傷を受け、取替えや補修・補強を必要とする場合 ・横げた・ストッパーなどの損傷 		
支点部		ひびわれ 	剥離 大きなひびわれ 	脱落 大きな剥離 

図-4.1.4 コンクリート橋の被災度判定表¹⁾

f) 支承部の復旧手順

構造部分		被災の種類・程度		緊急措置		応急復旧		本復旧	
支 承 部	支 承	番本体、ソールプレートの 変形・破損	小	路面段差、著しい損傷がある場合 落橋の危険性がある場合	速度制限、重量制限、 車線減少等	ジャッキ等による けた仮受け等	必要な場合	取 替 え	
			大		通行止め		必要な場合		
		移動制限装置の変形・破損 (上巻ストッパー、下巻 サイドブロック、アンカー 鉄筋(ゴム支承)等)	小	路面段差、著しい損傷がある場合 落橋の危険性がある場合	速度制限、重量制限、 車線減少等	ジャッキ等による けた仮受け等	必要な場合	取替え、補強伸装置、鉄筋 ガス切断、ボルト溶接 取替え等、橋座拡張、落橋防 止装置設置	
			大		通行止め		必要な場合		
		アンカーボルトの抜出し・ 変形・破損	小	路面段差、著しい損傷がある場合 落橋の危険性がある場合	速度制限、重量制限、 車線減少等	ジャッキ等による けた仮受け等	必要な場合	取替え、ガス切断、 ボルト溶接 取替え等、橋座拡張、落石防 止装置	
			大		通行止め		必要な場合		
		セットボルトのゆるみ・破断 (ピン支承、ローラー支承)	小	路面段差、著しい損傷がある場合 落橋の危険性がある場合	速度制限、重量制限、 車線減少等	ジャッキ等による けた仮受け等	必要な場合	取替え、ワッシャー挿入・締 直し 取替え等、橋座拡張、落橋防 止装置設置	
			大		通行止め		必要な場合		
		ピンキヤップの抜出し、ピンの 破断 (ピン支承、ローラー支承)	小	路面段差、著しい損傷がある場合 落橋の危険性がある場合	速度制限、重量制限、 車線減少等	ジャッキ等による けた仮受け等	ピンの 復 元	取 替 え 取替え、橋座拡張、落橋防止 装置設置	
			大		通行止め		必要な場合		
ローラー・ロッカーの逸脱 (ローラー支承、ロッカー支承)	小	路面段差、著しい損傷がある場合 落橋の危険性がある場合	速度制限、重量制限、 車線減少等	ジャッキ等による けた仮受け等	ローラー・ ロッカーの 復 元	取 替 え 取替え、橋座拡張、落橋防止 装置設置			
	大		通行止め		必要な場合				
浮上り防止装置の変形・破 損(サイドプレート等)	小	路面段差、著しい損傷がある場合 落橋の危険性がある場合	速度制限、重量制限、 車線減少等	ジャッキ等による けた仮受け等	必要な場合	取 替 え・変形・修正 取替え、橋座拡張、落橋防止 装置設置			
	大		通行止め				必要な場合		
省 座 モルタル	ひびわれ・破損	小	路面段差、著しい損傷がある場合 落橋の危険性がある場合	速度制限、重量制限、 車線減少等	ジャッキ等による けた仮受け等	ひびわれ	樹脂注入 モルタル打直し		
		大		通行止め		損 壊			
省 座 コンクリート	ひびわれ・破損	小	路面段差、著しい損傷がある場合 落橋の危険性がある場合	速度制限、重量制限、 車線減少等	ジャッキ、 支承工等による けた仮受け等	軽微なひびわれ 大がかりとなる場合は以下の作業は 省略し、直ちに本復旧に着手する。	樹脂注入 RC巻立て、鋼板接着、橋座拡 幅、落橋防止装置設置		
		大		通行止め		損 壊			

図-4.1.5 支承部の復旧の手順¹⁾

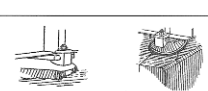
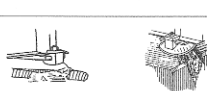
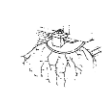
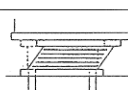
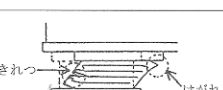
g) 支承部の被災度判定

死傷部の被災度判定は表-4.1.11、4.12によって判定する。なお、けた移動が生じ、けた端から下部構造頂部縁端までの桁の長さもしくは桁のかけ違い長さが不足している場合には、落橋防止装置の有無、および支承付近の上下部構造の損傷状況等を考慮して、落橋の可能性のある場合には大被害と判定する。ただし、単に可動沓の遊間が無くなって程度の場合は小被害と判定してよい。

表-4.1.11 支承部の被災度判定表¹⁾

	C：小被害	B：中被害	A：大被害
上沓・下沓の縛物部	 上沓の変形 下沓の変形・破断	 上沓のわれ	
セットボルト	 セットボルトの緩み	 セットボルトの破断	 セットボルトの破断やソールプレート、ボス部の被害
ローラー	 ローラーの抜け出し	 ローラーの抜け出し	
ピンおよびピンキャップ	 ピンキャップの抜け出し	 ピンの切断	
上沓ストッパー	 上沓ストッパーのきれつ	 上沓ストッパーの破断	

表-4.1.12 支承部の被災度判定

	C：小被害	B：中被害	A：大被害
サイドブロック	 サイドブロックの変形 下沓ストッパーのきれつ	 サイドブロック止めボルトの破断 上沓ストッパーの破断	
アンカーボルト	 アンカーボルトの抜け出し (1cm 以下)	 アンカーボルトの抜け出し (1cm 以上)	 アンカーボルトの破断
沓座モルタルおよび沓座コンクリート	 沓座モルタルのきれつ 沓座コンクリートのきれつ	 沓座モルタルの破壊 沓座コンクリートの破壊	 沓座コンクリート破壊
ゴム支承	 ゴム支承本体の移動	 きれつ はがれ ゴム支承本体のきれつ・破断	

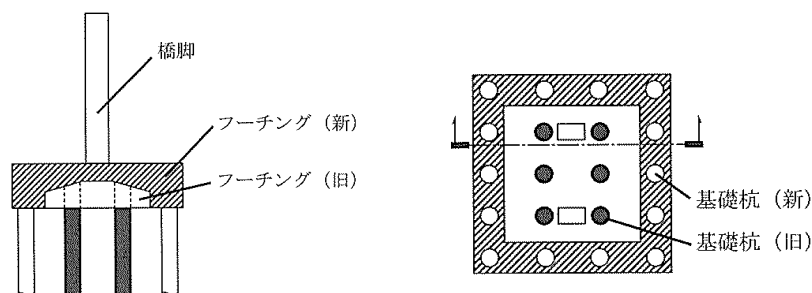
1) 復旧・耐震補強工法

震災を受けた橋梁の復旧に当たっては、長期的な橋の機能および耐荷力を確保するため、被災原因を十分検討し、対策の必要性が認められる場合は上部構造の連続化・軽量化、免震化等の構造形式の変更、あるいは落橋防止システムの整備を含め、当該橋梁の地震時要求性能を満たす本復旧工法を選定しなければならない。

a) 基礎

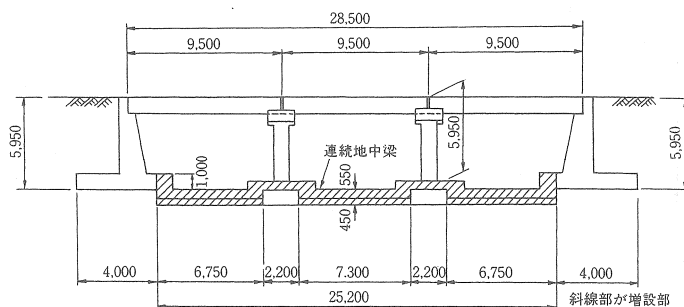
① 杭，フーチングの増設

増設の杭ならびに増厚されたフーチング部によって地震時荷重の分担を図り、基礎の支持力および全体の杭耐力の増加によって耐震性向上を図る方法。

図-4.1.6 増杭による補強例⁵⁾

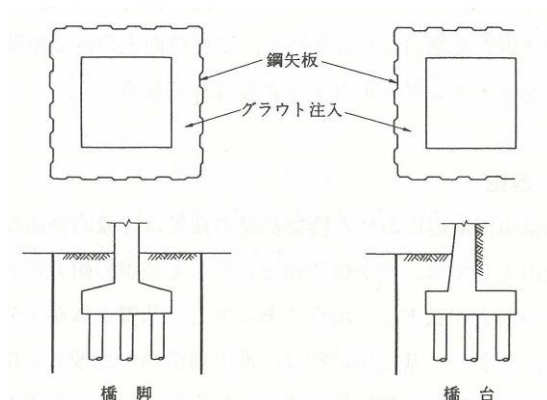
② 地中連続壁，地中連続梁の設置

地中連続壁または地中連続はりによって荷重の分担を図り、基礎の支持力を高めることによって耐震性向上を図る方法

図-4.1.7 連続地中壁、連続地中ばりによる対策例²⁾

③ 鋼矢板締切り工

基礎周面の地盤支持力または強度を高めることによって耐震性向上を図る工法。

図-4.1.8 地盤固化法による補強例⁵⁾

④ 地盤改良工

基礎周面の地盤支持力または強度を高めることによって耐震性向上を図る工法と、液状化防止および液状化抵抗を高める液状化対策工法がある。

(地盤支持力または強度を高める方法)

図-4.1.9 は高圧噴射攪拌工法によりフーチング下面地盤強化し、直接基礎として安定が可能となるような事例である。

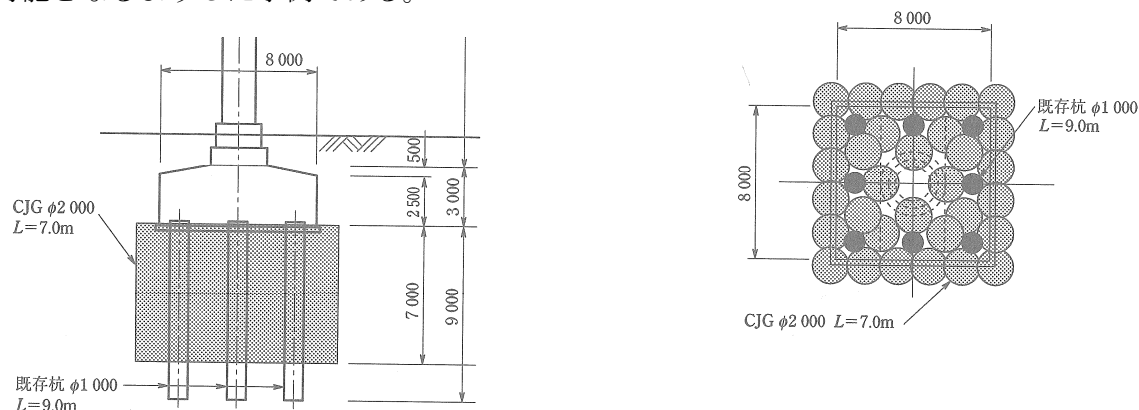


図-4.1.9 地盤改良により直接基礎化した補強例⁵⁾

(液状化防止および液状化抵抗を高める方法)

図-4.1.10 は液状化層と群杭の間に高圧噴射攪拌工法によって遮断壁を設置する方法である。液状化によって水平抵抗力が不足する場合に適用できる。

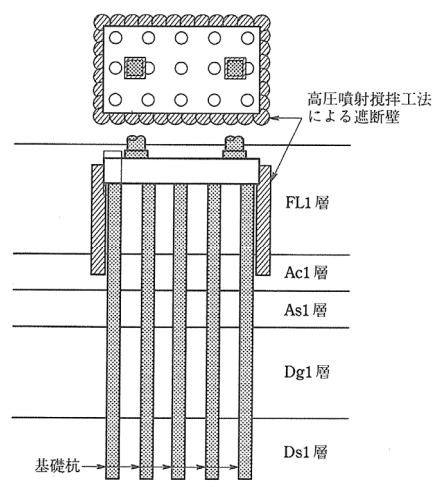


図-4.1.10 周辺地盤の液状化の影響を避けるための地盤改良例⁵⁾

⑤ 根固め工

洗掘によって基礎の支持力が不足している場合に、根固め工により地盤の支持力を高めることによって耐震性向上を図る工法

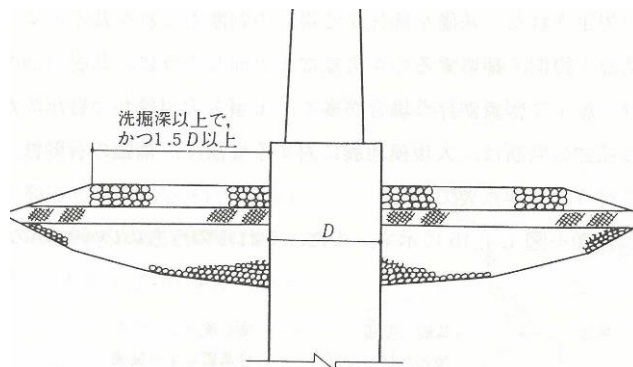


図-4.1.11 洗掘防止根固め工の例⁵⁾

⑥ マイクロパイルによる増し杭

ボーリングマシンまたは専用機によって地中に小径の削孔を行い、異形鉄筋、鋼管などを補強材として挿入し、周囲にグラウトを注入して小口径杭（300mm 以下）を築造する工法であり、以下の種類がある。

・高耐力マイクロパイル工法

異形棒鋼および削孔ケーシングとして用いた鋼管を補強材とし、定着部分にグラウトを加圧注入し、高い周面摩擦力が期待できる高耐力・高支持力のマイクロパイルを築造する。施工機械がコンパクトなため桁下空間が小さい場所でも施工可能であり、騒音・振動も小さい。

・ST マイクロパイル工法

マイクロパイル（小口径鋼管とグラウトの加圧注入）に高圧噴射攪拌による地盤改良技術を併用し、高耐力・高支持力を確保する工法。施工機械がコンパクトなため桁下空間が小さい場所でも施工可能であり、騒音・振動も小さい。

・ねじ込み式マイクロパイル工法

小口径（最大φ300mm 程度）の鋼管にドーナツ状の鋼板をらせん状に取り付けた杭を回転させて地盤に貫入する工法。無排土で貫入し、施工機械も回転オーガのみのため騒音振動が少なく、またセメントミルクを使用しないため環境に優しい。

⑦ 地盤改良を併用した杭基礎の耐震補強工法

既設基礎フーチングを鋼矢板で所要の深さまで取り囲み増フーチングで一体化し、鋼矢板内部を固化改良する工法。この構造により水平・回転挙動を抑制し、さらに固化改良体により杭体変形を拘束して応力を低減することにより基礎構造の耐震性能を向上させる。従来の増杭工法と比較して以下の特長を有する。

- ・既設フーチングの地中壁を掘削時の土留めと兼用でき、仮設土留め工が低減できる。
- ・低空頭作業空間における太径杭打設・構築作業が省略、低減できる。
- ・増しフーチング躯体の鉄筋組立、コンクリート打設ボリュームが低減できる。
- ・施工占用幅が小さくなり、施工時の交通規制を低減できる。

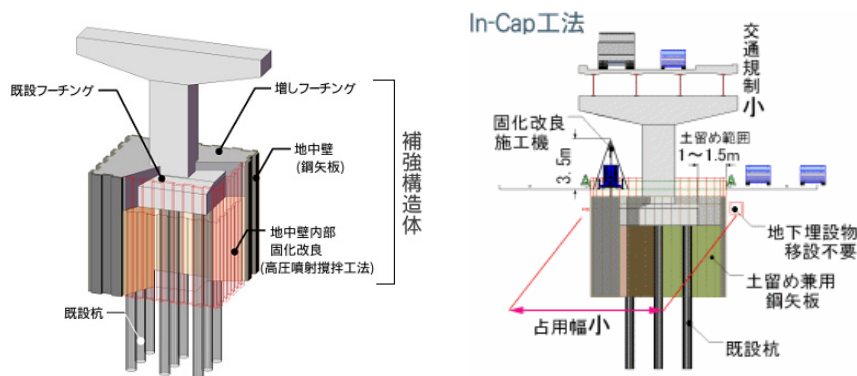


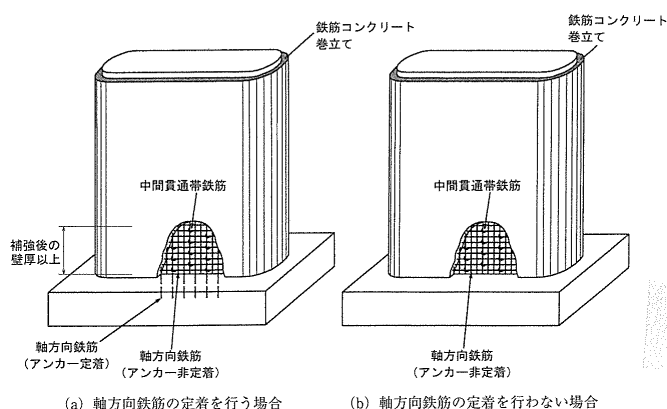
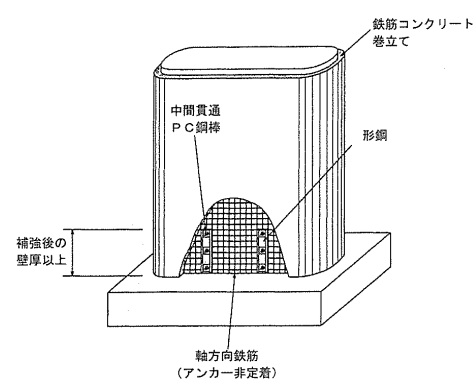
図-4.1.12 地盤改良を併用した杭基礎の耐震補強工法（IN-CAP 工法）⁶⁾

b) RC 橋脚

① RC 巻立て

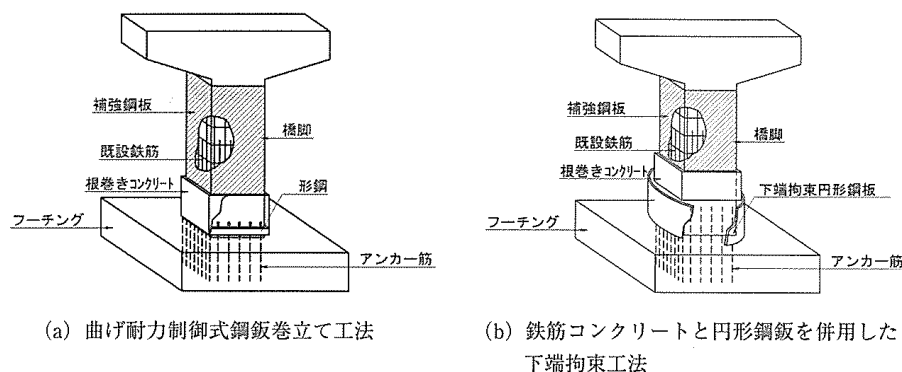
被災度が比較的強く、耐力の低下が顕著な場合もしくはぜい性的な破壊をした場合に、RC 巻立てを行って耐力を回復するものである。RC 巻立ては、損傷した橋脚を補修する方法であり、一般には補強も兼ねて行われている。

RC 巻立てにより曲げ耐力向上のための補強効果を確実に得るためには、主鉄筋を十分フーチングに定着し、打継面の表面処理を十分に行うとともに、さし筋を設けることにより一体化を図るのがよい。

図-4.1.13 鉄筋コンクリート巻立て工法²⁾図-4.1.14 形鋼と中間貫通 PC 鋼棒による横拘束²⁾

② 鋼板巻立て

比較的小断面の部材の損傷部に鋼板巻立てを行って、せん断耐力および曲げ耐力を回復するものである。鋼板巻立てによる復旧は、断面を大きくすることが困難な場合に有利であるが、曲げ耐荷力を大きくする目的で実施する場合にはフーチングへのアンカーが必要となる。兵庫県南部地震では RC 巻立て工法と併用し、せん断補強効果およびコンクリートの横拘束改善を期待した復旧も行われた。

図-4.1.15 鋼板巻立て工法²⁾

③ 連続繊維巻立て

連続繊維の特徴としては、大きな引張強度が期待でき補強による重量増がほとんどなく、軽量であるため施工性に優れている点である。したがって、建築限界や施工空間等の制約

条件が厳しい箇所で採用される場合が多い。一方、問題点としては、曲げ耐力向上を期待した場合の基部定着方法、劣化や外力に対する防護法などが挙げられる。

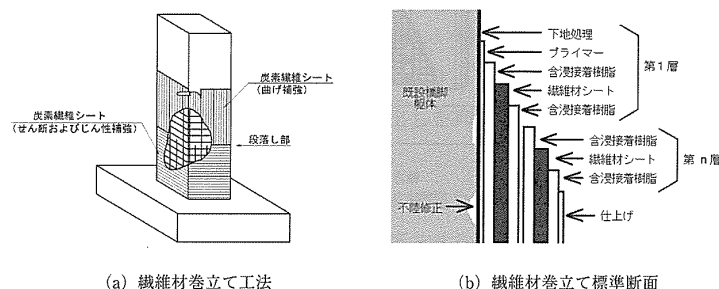


図-4.1.16 繊維材巻立て工法²⁾

c) 鋼製橋脚

鋼製橋脚の復旧工法は基本的に次の2つに大別する事ができる。

① 中詰めをして補剛する方法

コンクリートの中詰めがこれに相当する。中詰めが可能であり、また鋼製橋脚に破断が生じないような場合には、鋼製橋脚が中詰めコンクリートを拘束すると同時に中詰めコンクリートが鋼製橋脚の変形・局部座屈の進行を防止する役目を持つことから、両者の共同作用により耐荷力およびねばりの向上が期待できる。ただし、橋脚の重量が大きく増加する場合には、基礎に対する荷重増加の影響を検討し、必要な場合には基礎の補強も検討する必要がある。

② 外側から補剛する方法

基本的には添え木をして補剛する方法で、補剛材に何を用いるかによってさらに以下のように分けられる。

(補剛材(鋼板)添接による方法)

下図のように各種の方法が考えられるが、いずれの場合にも、鋼製橋脚の変形に合わせて補剛材を製作する必要がある。また、この場合には、溶接に伴う熱応力により悪影響を及ぼさないように配慮することが重要である。特に、けた受け仮受け等をしないで軸力が入ったまま補修する場合には、この点に十分注意する必要がある。

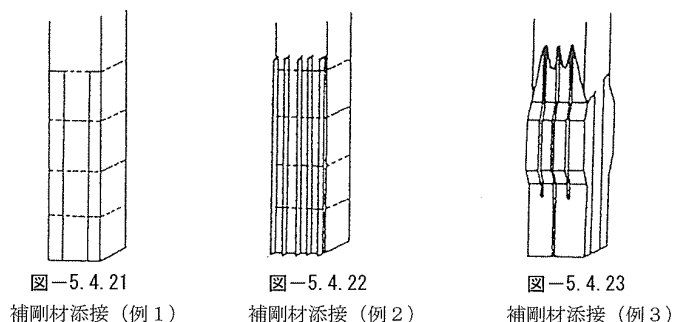


図-4.1.17 補剛板添接¹⁾

(RC 巻立てによる方法)

RC 巻立てを行う場合には、どのようにして鋼製橋脚と巻立てたコンクリートとの共同作用を発揮させるかがポイントとなる。このためには、スタッドを打つなどの対策を検討しておくのがよい。ただし、橋脚重量が大幅に増加した場合の基礎に対する配慮は、中詰めコンクリート工法の場合と同じである。

(上記を併用する方法)

鋼板コンクリート巻立てがこれに相当する。

兵庫県南部地震では初めて多数の鋼製橋脚が被害を受けたが、RC 橋脚に比べるとその被災度は大きくなかったため、座屈損傷部を加熱矯正などにより補修し、補修分やマンホール部等の弱点箇所をリブ補強するとともに、鋼単独断面が座屈しない高さまで中詰めコンクリートを充填する方法が採用された。

また、中詰めコンクリート天端付近で円周方向に局部座屈が発生したため、中詰めコンクリートを一部はつり取り、座屈影響範囲を撤去して新たに取替えて復活した例もある。

d) 上部構造

被災箇所に応じて以下の工法から適切なものを選定して復旧を行うのがよい。

① コンクリート橋

コンクリート橋の損傷は基本的に RC 橋脚に準拠して復旧する。工法の特徴は RC 橋脚で示した通りである。既往の地震では支承直上のけた端部に損傷が生じた場合が多いが、これに対する補修例を挙げる。

(樹脂モルタル補修、樹脂注入)

支承上のけた端部の小さなひびわれに沿って V カットし、カット面をを十分清掃した後、セメントペースト、モルタルで充填するものである。強度を必要とする場合には、低粘度エポキシ樹脂、パテ状エポキシ樹脂、樹脂モルタルなどを用いる。

(鋼板接着工法)

鋼板をアンカーボルトとエポキシ樹脂系の接着剤で張り付けるもので、鋼板接着の方法によって、圧着工法と注入圧着工法がある。

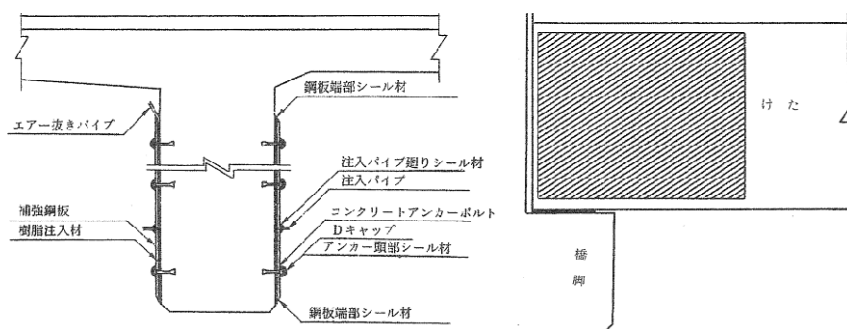


図-4.1.18 鋼板接着工法¹⁾

② 主げたの移動

主げた移動に対する復旧工法には一般に（主げたを原位置に移動修正する方法）、（主げたを原位置に移動修正しない方法）があるが、けたを移動修正しないで対処できる場合はけたを移動しないで復旧される場合が多い。

（主げたを原位置に移動修正する方法）

主げたをジャッキ、レバブロックなどにより元の位置に戻し、沓破損部の補修あるいは取り替え、およびジョイント部の補修を行う。

（主げたを原位置に移動修正しない方法）

・沓位置の変更

けたの仮受けを行い、旧沓を撤去し、必要に応じて上部構造に補剛材等を添接補強した後、新しい沓の据付けを行うものである。

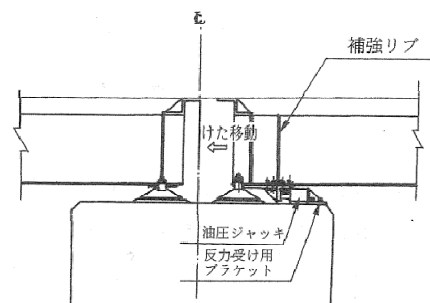


図-4.1.19 けたを移動する方法 1)

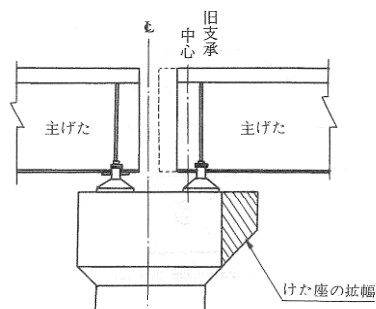


図-4.1.20 けた移動しないで復旧する方法 1)

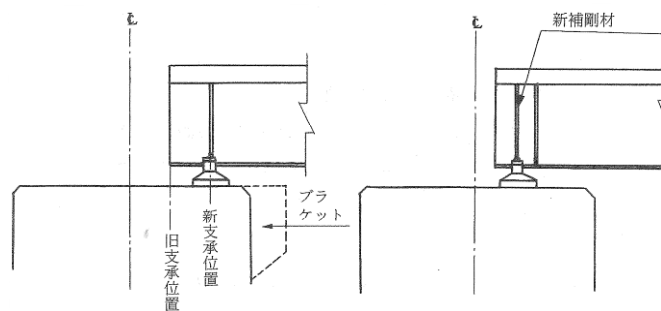


図-4.1.21 けた移動しないで復旧する方法 2)

・沓形状の変更

トラス橋のピン・ローラー支承の場合、上下部構造の相対移動によりトラスの格点と沓中心がずれる場合がある。このような場合、沓の取替え、沓位置の変更等は比較的大規模な工事が必要となるが、移動量が上沓形状変更で対処できる範囲であれば図-4.1.22のような対策工が可能である。

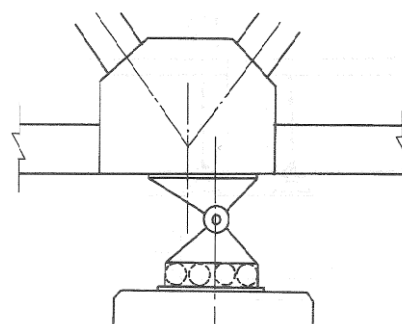


図-4.1.22 けた移動しないで復旧する方法 3)

③ 支点沈下

支点沈下に対する復旧工法は、支点沈下の原因が支承の破損である場合には、旧支承を撤去し、新しい支承を据え付ける。

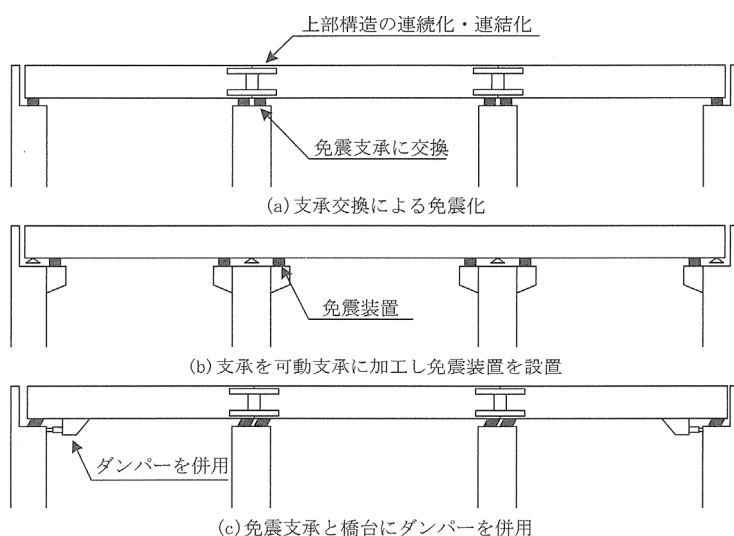
下部構造の沈下による場合には、長期的な安定性を検討した上で、支承高さを変更することが考えられる。この際に、沓座モルタルをむやみに厚くすると再び地震被害を受けやすくなるので、5cm程度以上となる場合には、鉄筋コンクリート台座を新設するのがよい。

e) 橋全体系の補強

① 免震工法

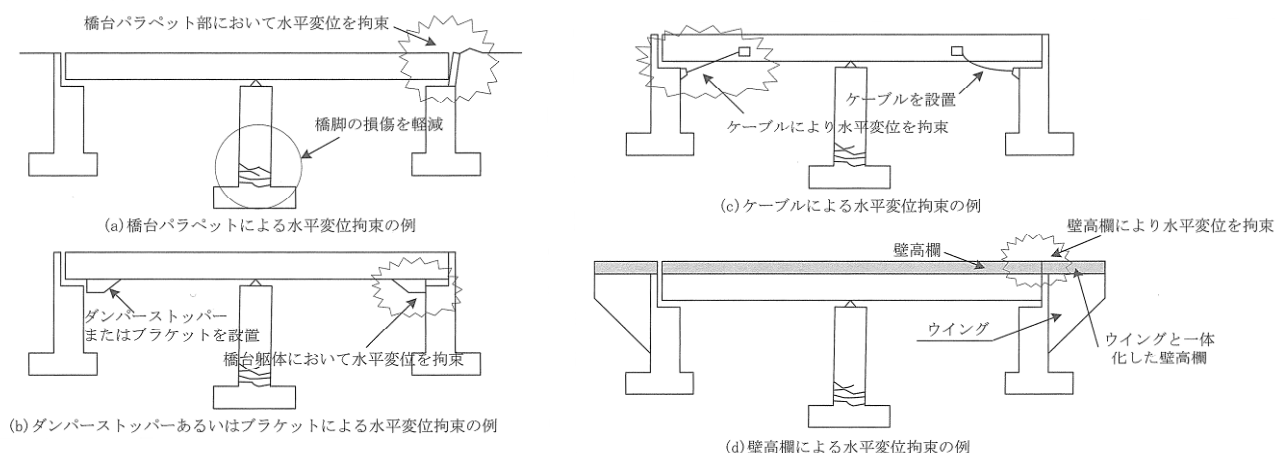
免震支承、ダンパー等を併用して長周期化を図るとともに、減衰性能を高めて、地震時に橋梁に作用する慣性力の低減あるいは遮断を図る工法である。既設支承を免震支承に交換、あるいは免震装置を新たに追加することにより免震化を図る。必要に応じて上部構造の連続化・連結化を行う。

免震工法のみでは橋全体系の耐震性照査を満足できない場合は橋台部においてダンパーを併用するなどにより免震装置の機能強化を図ることも出来る。

図-4.1.23 免震工法⁴⁾

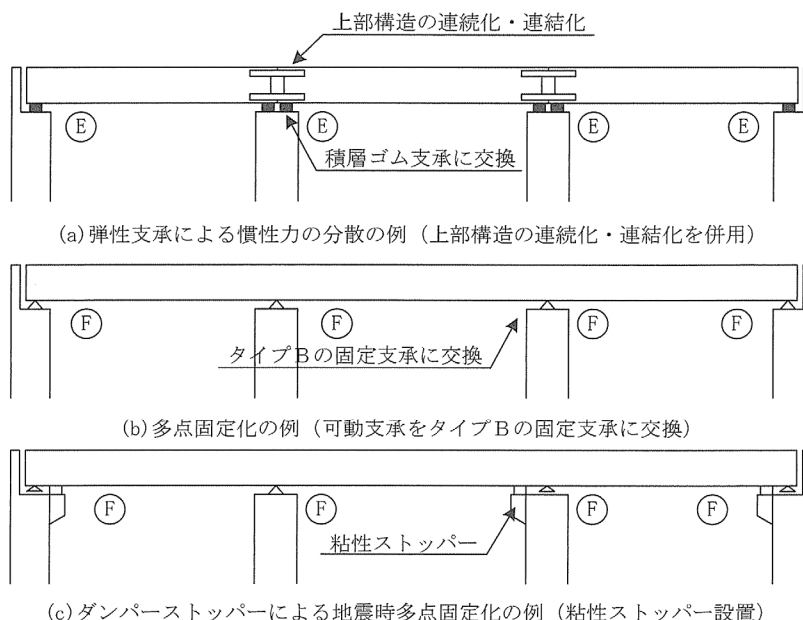
② 変位拘束工法

地震時に上部構造に生じる水平変位を拘束する工法で、橋脚に作用する慣性力の低減を図る。橋台により橋軸方向に対する水平変位の拘束を期待する工法、あるいは橋台の補強によって変位拘束効果を増強する工法である。必要に応じて上部構造の連続化・連結化を行う。図-4.1.24は橋台の水平抵抗を強化して上部構造の変位を拘束した工法の例である。

図-4.1.24 変位拘束工法の種類⁴⁾

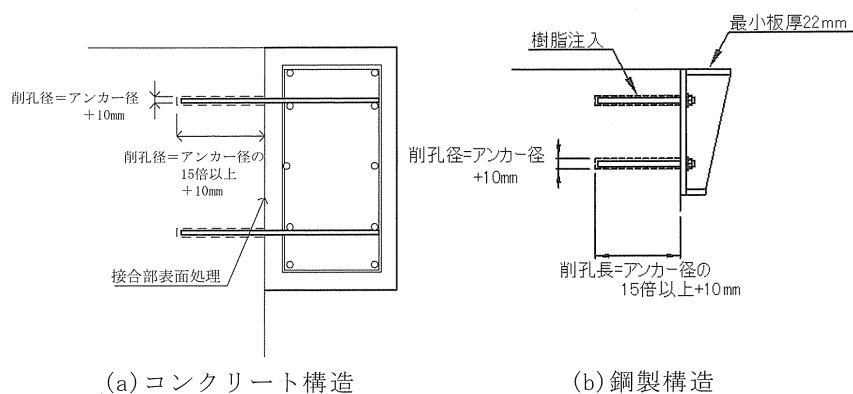
③ 慣性力分散工法

地震時に負担する慣性力を他の下部構造に分散することにより、橋全体として地震力に対して抵抗する工法である。各下部構造への地震時慣性力の分散方法としては、ゴム支承による方法・多点固定による方法・地震時のみ固定として機能するダンパーストッパーによる方法などがある。必要に応じて上部構造の連続化・連結化を行う。

図-4.1.25 地震時多点固定化の例⁴⁾

f) 落橋防止対策

けたかかり長が不足し、縁端拡幅の必要がある場合は、鉄筋コンクリート構造、鋼構造で拡幅する。鉄筋コンクリート構造の場合、配筋・コンクリート打設時の施工性を考慮し、最小拡幅量を300mm程度とする事が多い。図-4.1.26に縁端拡幅構造の例を示す。

図-4.1.26 縁端拡幅の構造²⁾

落橋防止構造の検討にあたっては以下の基本構造の中から最適な工法を選定する。

① 上部構造と下部構造を連結する構造

上部構造と下部構造を連結する構造は図に示すように、PC ケーブル、チェーン、繊維材などにより連結するタイプがあり、連結する部位は、下部構造は下部構造天端または橋台

パラペット、上部構造は端横桁、下フランジ、ウェブなどがある。既設橋において下部構造側の取り付け部位を橋台パラペットとする場合は交通を遮断する必要があることから、施工性に課題がある。下部構造側の取り付け部位を下部構造天端とする場合は景観性や建築限界に注意が必要となる。

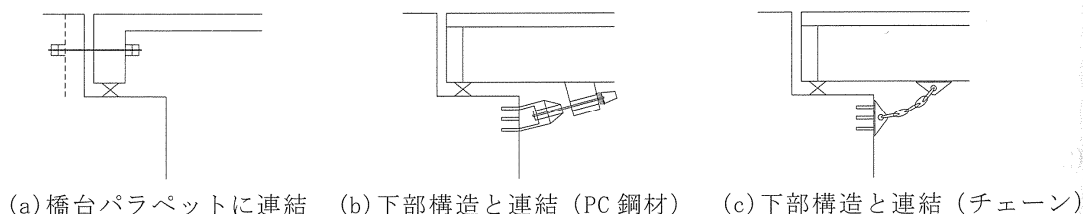


図-4.1.27 上部構造と下部構造を連結する構造²⁾

② 上部構造および下部構造に突起を設ける構造

上部構造および下部構造に突起を設ける構造は図-4.1.28に示すようにコンクリートブロックを用いる場合と鋼製ブラケットを用いる場合がある。突起を設ける位置は下部構造天端、下部構造天端の側面、上部構造下面、下部構造天端と上部構造下面双方に設ける場合がある。

鋼桁の下フランジに鋼製ブラケットを設ける場合はブラケットに作用する荷重により主げたが損傷しないよう補強が必要となる。また、下部構造の側面や上部構造下面に設ける場合は景観および建築限界にも配慮が必要となる。

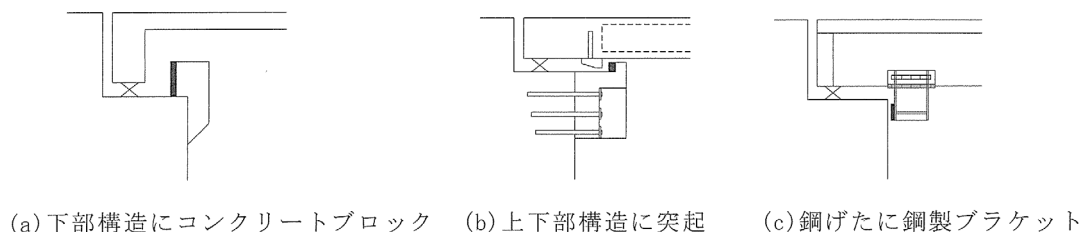


図-4.1.28 上部構造および下部構造に突起設ける構造²⁾

③ 2連の上部構造を互いに連結する構造

図-4.1.29に示すような2連の上部構造を互いに連結する構造は、かけ違い部に落橋防止構造を設置する場合に用いる。ここで、連結する2連の橋の規模や固有周期が大きく異なる場合は連結構造を避ける。上部構造どうしの連結はPC鋼材、チェーン、繊維材等により連結するタイプがある。連結材を設置する部位は端横桁やウェブなどがある。落橋防止構造を取り付ける部位は、それらが作動した際の荷重により損傷しないよう適切に補強する。

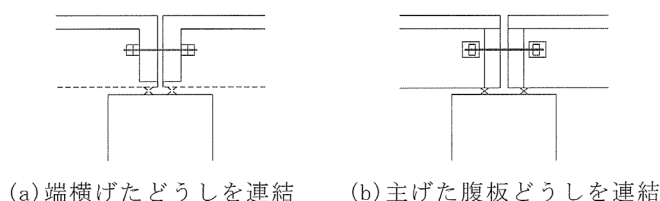


図-4.1.29 2連の上部構造を互いに連結する構造²⁾

(ii) トンネル

1) 地震によるトンネルの被害形態

山岳トンネルは地震の際には地山と一体となって変位すると考えられ、地震の被害を受けにくい構造物と考えられてきた。そのため山岳トンネルの地震時の安定性についても従来からあまり議論がなされておらず、耐震対策についても坑口部分での斜面安定に関するものを除いては対策工法として確立されていない。

しかし、過去において坑口部での斜面被害や断層、トンネルおよび周辺地山に欠陥があるなど特殊条件のある箇所に被害事例が生じている。従って特殊条件のある箇所に対する対策が耐震対策と考えられる。

地震によりトンネルに変状をもたらす原因は地震動によるほか下記の条件が考えられる。

- ・地山が斜面の滑動，崩壊，断層のずれにより変状を生じやすい条件下にある。
- ・斜面クリープを生じるような不安定な条件下にある。

また，以下のような潜在的な条件下にある場合地震による被害が顕著に現れる。

- ・偏圧や膨圧による変状を既に受けている。
- ・無巻きや極薄い覆工しか施工されていない。
- ・施工不良，凍害，経年劣化等によって覆工強度が低下している。
- ・施工中に地山の流出，崩壊を生じた経歴があり、上部の地山が緩んでいた。

地震によるトンネルの被害形態は表-2.13のようなものが考えられる。

表-4.1.13 地震によるトンネルの被害形態

箇 所	被害状態
本 体	クラック
	覆工の欠陥
	トンネルの変形
	トンネルの移動
	崩 落
路 盤	盤ぶくれ
	土砂流入
	クラック
坑 門	面壁の欠陥
	変形(はらみ出し等)
	変位(滑動, 前傾等)
	崩 落
	埋 没

2) 復旧工法

本復旧工法は地山を含むトンネル本体に対して行われる工法とトンネル周辺の斜面に対して行われる工法に大別できる。

a) 覆工の縫返し工

ひびわれ、圧さ、剥離、断面の変形などの変形が著しく、覆工の機能が低下している場合でかつトンネル断面に余裕がなく内巻きができない場合には、覆工を取り壊して部分的あるいは全面的に覆工を打ち替える。

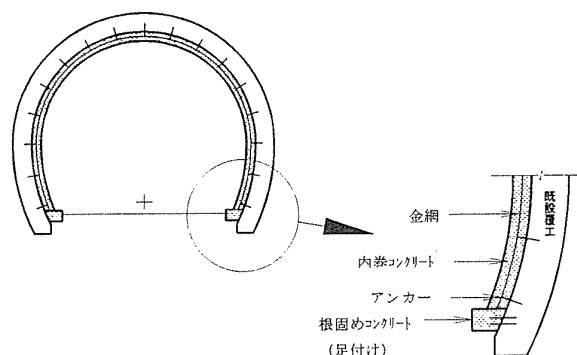
b) 内巻き工

トンネル変状対策として多くに実績があり、その目的は地圧対策の他、劣化覆工対策として採用されるケースが多い。内空断面に余裕があるときに用いられる。

内巻工は損傷した覆工の全面的な改築が不可能な場合に、覆工コンクリート自体の補強・代替を目的として採用する。補強セントルと併用される場合も多い。

覆工補強を目的とした内巻き工には、コンクリートに鋼繊維等の混入したものと RC 構造としたものがある。内空断面が限定されており内巻き工の巻き厚は 150mm 以下と非常に小さくなり、作業空間が狭いことから RC 構造の場合には鉄筋のかぶり確保できない恐れがあるため、鋼繊維補強コンクリートを基本とする。施工法として巻き厚が 125mm 以下の場合は吹付工法とし、それ以上は場所打ち工法を基本とする。

内巻き工と覆工を一体化させるため、覆工表面の洗浄を行い、アンカーを施工し、金網を用いる。

図-4.1.30 内巻工の例³⁾

c) 内面補強工

覆工に変状が生じており、内空断面に余裕がない場合に採用される。工法としては炭素繊維・アラミド繊維・ガラス繊維を用いた繊維シート接着工法と鋼板を用いた鋼板接着工法がある。

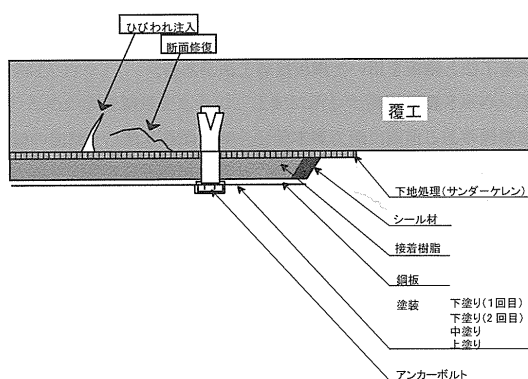
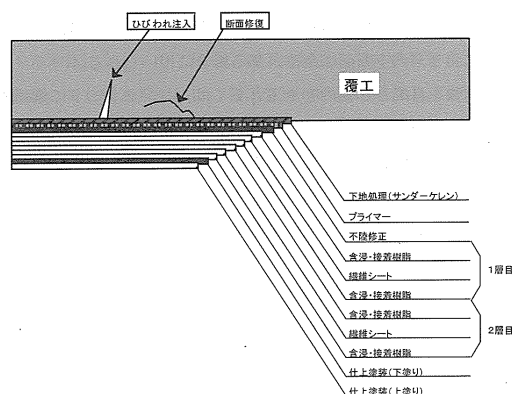
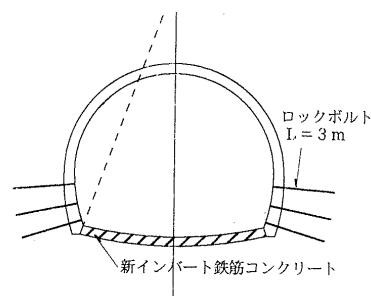
図-4.1.31 鋼板接着工法の断面図¹⁾

図-4.1.32 繊維シート接着工法の断面図

d) インバート設置工

膨張性のある地山に耐力が不足し、壁のはらみだしや路面の盤ぶくれが生じている場合には、側圧に有効に対処するためあるいは支持力を分散させ盤ぶくれを防止するためにインバートを設置する。

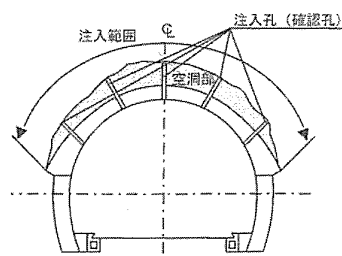
図-4.1.33 インバート工新設³⁾

e) 裏込め注入

覆工背面と地山との間に空隙が生じた場合に、裏込め注入を計画する。トンネル覆工は、覆工コンクリートと地山を密着させ、均等な荷重が働くようにするとともに、地盤反力を期待できるものとするのが重要である。しかし、NATM工法が採用される以前に建設された矢板工法によるトンネルは、鋼製支保工や矢板などのため覆工背面と地山との間に空隙が残ることが多い。この空隙により、十分な地盤反力が期待できないため、裏込め注入は変状対策の基本として採用される。

表-4.1.14 山岳トンネルの注入材の種類⁴⁾

セメント系	セメントモルタル、セメントミルク エアモルタル、エアミルク 粘度モルタル、膨張モルタル
ウレタン系	発泡ウレタン
水ガラス系	水ガラス、シリカゾル
その他	ポリマーセメント系

図-4.1.34 裏込め注入による対策工法例²⁾

f) ロックボルト補強工

ロックボルト補強工は、塑性圧や偏圧等の地圧による変状の抑制や覆工剥落の防止などを目的として採用されることが多い。

地山に対し確実にロックボルトを定着させることにより補強効果を発揮するため、十分な定着力を得ることの出来る地山でなければならない。そのため未固結な土砂地山や極端に軟質の地山でないことが適用の条件となる。また湧水が多い場合には定着材が流出する等の問題が生じるので、事前に把握する必要がある。

ロックボルト定着方式および定着材には以下のような種類がある。一般にはセメント系が用いられるが、湧き水の多い場合や先端定着を定着材により行う場合およびロックボルト周辺を注入改良する場合は樹脂系が用いられることもある。

表-4.1.15 ロックボルト定着材の種類⁴⁾

定着材の種類		材 質
セメント系	充填式	モルタル
		セメントミルク
	注入式	モルタル
		セメントミルク
樹脂系	カプセル式	モルタル
	注入式	シリカレジン
		ポリエステル
		ウレタン
	カプセル式	ウレタン

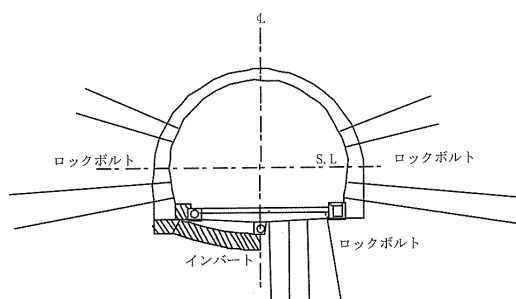


図-4.1.35 インバート、ロックボルトによる対策工法例

(3) 災害対策事例

(a) 国道 8 号線 新組跨線橋（下り線）

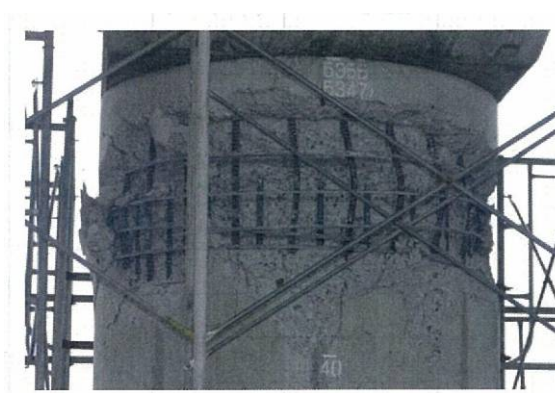
上部工：2 径間単純＋3 径間連続＋2 径間単純鋼板桁

下部工：円柱 RC 橋脚 基礎工：杭基礎

新組跨線橋は JR 信越本線を跨ぐ国道 8 号線の橋である。1981 年に竣工した（上り線）は鋼板巻き立てによる耐震補強がされていたが、1989 年に竣工した（下り線）は耐震補強されていなかった。新潟中越地震によって（下り線）P5 橋脚の軸方向鉄筋（D32）の段落し部で軸方向鉄筋のはらみだし・かぶりコンクリートの剥離が生じた。また P6 橋脚でも斜めひび割れとかぶりコンクリートのうきが確認された。



写-4.1.10 P5 橋脚損傷状況 ⁹⁾



写-4.1.11 P5 橋脚損傷状況 ¹⁰⁾



写-4.1.12 モルタルによる断面修復



写-4.1.13 炭素繊維設置完了 ⁹⁾

このため地震後にひび割れ注入・断面修復および炭素繊維シート巻き立てによる復旧を行った。なお、耐震補強されていた（上り線）には被害はなく、迂回路として使用可能であった。



写-4.1.14 上り線鋼板巻き立て補強 ¹⁰⁾

(b) 関越自動車道 芋川橋

上部工：3 径間連続 PC 箱桁＋4 径間単連続 PC 中空床版

下部工：RC 橋脚 基礎工：ケーソン・直接基礎

新潟中越地震によって関越自動車道路堀之内 IC 付近に位置する芋川橋は支承や下部工に大きな損傷を受けた。特に 3 径間連続 PC 箱桁と 4 径間単連続 PC 中空床版の掛け違い部分 (P3 橋脚) では桁の衝突に掛け違い部およびパラペットにコンクリート剥離を伴うせん断ひび割れ生じ、既設のメタル沓はピンとローラーが逸脱するほどの被害を受けた。その他の支承も大きな被害を受けた。応急復旧としてベント・サンドルによる仮受けを行った。



写-4.1.15 P2 橋脚支承部の損傷¹¹⁾



写-4.1.16 P3 橋脚段違い部の損傷¹¹⁾



写-4.1.17 P2 橋脚支承部の応急復旧措置¹¹⁾

本復旧では、① 現行の道路橋示方書に準じた耐震性能を確保する。② パラペット・掛け違い部の補強および遊間の確保が困難である。等から、鋼製支承の免震支承への取り替え、箱桁と中空床版との連続化等の工事を行った。支承取り替えは既設アンカーボルトを再利用および増設し、主げた連結は桁高差があるため鋼製ブラケットによるハンチを設けた構造とし工事を行った。



写-4.1.18 鋼製支承からゴム支承への変更⁸⁾



写-4.1.19 上部工桁の連結⁸⁾

(c) 魚沼・妙見トンネル

上越新幹線浦佐・長岡間の魚沼トンネル・妙見トンネルは新潟中越地震によって特に大きな被害を受けた。これらのトンネルが位置する地層は、新第三期中新世および鮮新世の堆積岩が中心である。1972年～79年頃に矢板工法により、地質、地山条件に応じて底設導坑先進工法、側壁導坑先進工法により建設された。

魚沼トンネルにおいては195k080m付近の被害が顕著であり、覆工コンクリートアーチ部の崩落（延長約5m）覆工コンクリートのひび割れ、側壁の押し出し、インバートコンクリートのひび割れとこれに伴う路盤コンクリートの隆起が発生した。

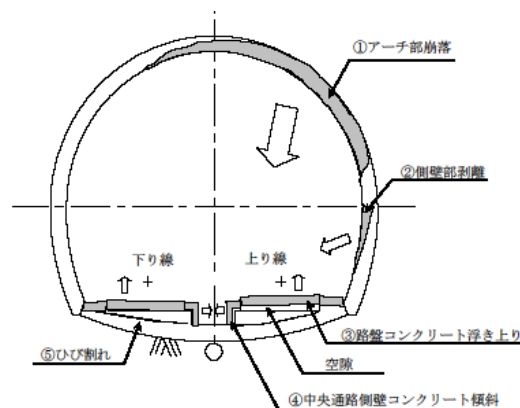


図-4.1.36 魚沼トンネル全体被害状況 (195k080m 付近)¹²⁾



図-4.1.37 魚沼トンネル全体被害状況¹²⁾



写-4.1.20 妙見トンネル被害状況 (202k500m 付近)¹²⁾

妙見トンネルにおいてはトンネル中間部の2箇所において顕著な被害が発生し、202k500m付近においてクラウン部に大規模な厚さ（延長約50m）とこれに伴う覆工コンクリートの剥落が生じ、トンネル軸方向および斜め方向に多数のひび割れが生じた。また、一部下り線側路盤コンクリートが隆起しており、下部インバートコンクリートにひび割れが確認された。

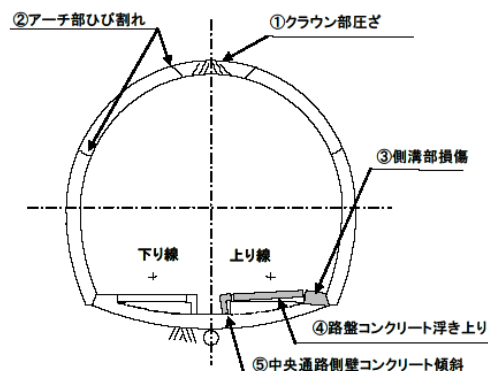


図-4.1.38 妙見トンネル被害状況 (202k500m 付近)¹²⁾

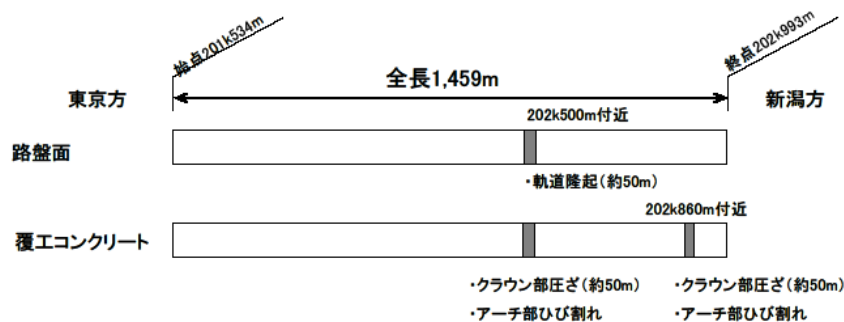


図-4.1.39 妙見トンネル全体被害状況¹²⁾



写-4.1.21 妙見トンネル被害状況¹²⁾

復旧方法として、まずインバート損傷部の補修（モルタル、セメントミルク注入＋ロックボルト補強）と路盤コンクリートの打ち替えを行い、覆工コンクリート崩落箇所はロックボルト打設（ $L=3.0\text{m}$, $R32$, 自穿孔ボルト ctc100）吹き付けコンクリート，ひび割れ注入，繊維補強板（ $t=6\text{mm}$, ビニロン繊維混入セメント板 $1.8\text{m} \times 0.9\text{m}$ ）による内面補強を行い、クラウン部に空洞の存在が考えられることから、裏込め注入を行った。

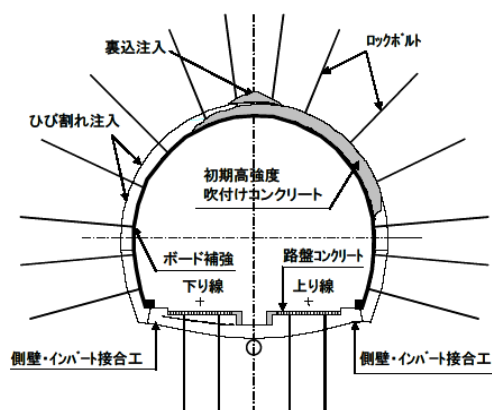


図-4.1.40 妙見トンネル復旧概要¹²⁾

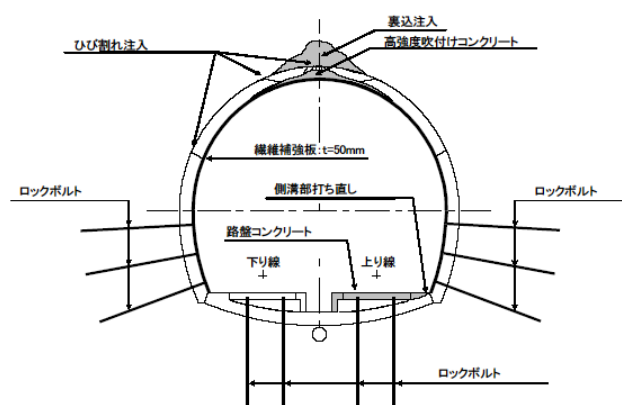


図-4.1.41 妙見トンネル復旧概要¹²⁾

(4) 技術開発

(a) 地震力の遮断に基づく高耐震構造システム

積層ゴム系の免震支承を用いて橋梁の長周期化と高減衰化により地震力の低減と耐震性の向上を図る免震構造は一般的に採用されている。しかし、これらの免震構造には以下のような課題がある。

- ① 地盤条件・橋梁の構造条件により適用が制限される。
- ② 上部工重量を支えるため、支承のサイズが大きくなりやすくコストが高くなりやすい。
- ③ 長周期化により、桁の変位が大きくなり伸縮装置などの桁端部の変位対策が必要になる。

上記課題により、免震設計よりもさらに地震力の遮断を図るとともに、効果的な変位応答の制御を行い、コスト縮減と耐震性の向上の両立を可能とする新たな高耐震構造技術としてすべり系支承を用いた地震力遮断機構を有する免震構造が採用されつつある。

この構造はすべり摩擦型の支承とゴム支承（ゴムバッファ）を組み合わせた機能分離型の支承構造である。ゴム支承は水平力のみを受け持つためゴムバッファの自由度が広がる。鉛直荷重はすべり支承によって受け持ち、かつ大規模地震時に摩擦減衰力を見込むことで応答値を抑えることが可能である。

上・下部工間スペースの小さい橋の免震化補強などにも利用される。

平成 18 年 10 月「すべり系支承を用いた地震力遮断機構を有する橋梁の免震設計法マニュアル(案)」が独立行政法人土木研究所他による共同研究報告としてとりまとめられた。

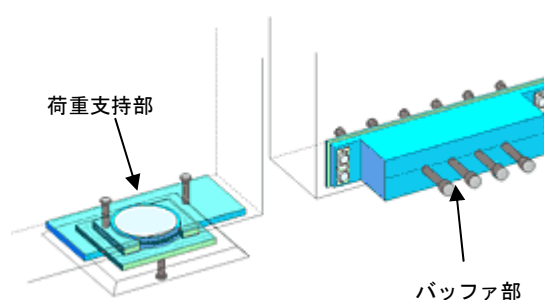
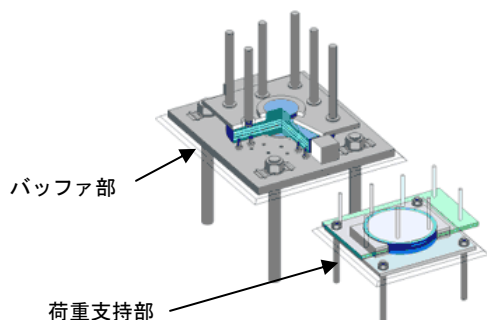
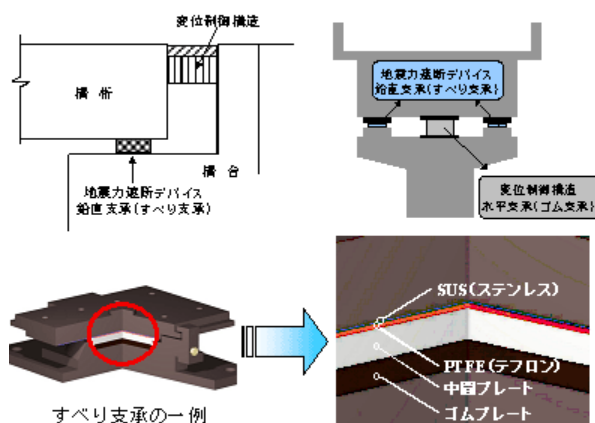
図-4.1.42 機能分離型支承平置きタイプ¹⁵⁾

図-4.1.43 機能分離型支承縦置きタイプ

(b) 干渉 SAR

干渉 SAR とは、宇宙から地球表面の変動を監視する技術である。干渉 SAR を使うと地震や火山噴火に伴う地球表面の変動を目で見える形でとらえることが可能である。国土地理院では、この干渉 SAR 技術への取り組みを、1994 年(平成 6 年)から行い、主に研究・開発の目的で実施してきたが、実用化・事業化の方向に転換しつつある。

SAR (「SYNTHETIC APERTURE RADAR」合成開口レーダー) は、人工衛星などに搭載した特殊なレーダーで地表面の詳細を調べるものである。この SAR 観測を、同じ場所に対して 2 回以上行って、その差をとる(干渉)と地表面の動きを詳細にとらえることができ、地震・火山活動や地盤沈下による地表の動きを宇宙から調べることも可能となる。

地震による地殻変動を測定すれば、地表の変位(移動)の分布から、地下の見え

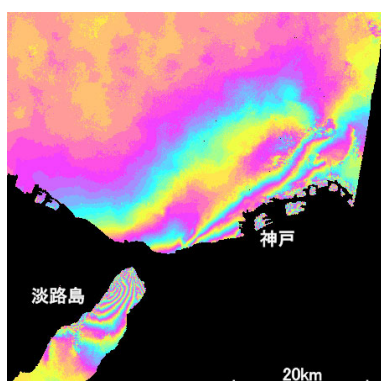


図-4.1.44 阪神大震災時の干渉 SAR 画像¹⁴⁾

ない断層の動きを明らかにすることで地震がどのように発生したのかがわかり、今後の地震発生の予測などに役立てることができる。火山ならば、地表の変位から地下のマグマの動きをとらえることができ、今後の火山活動を予測することに役立つ。

左画像は阪神大震災による地殻変動を干渉 SAR でとらえた画像である。淡路島から神戸にかけて密な縞模様が見られ、大きな変動があったことを示している。

干渉 SAR の利点

- ① GPS 等は地表に受信機を設置する必要があるが、干渉 SAR では地表に機器を設置する必要が無く人間が入れない場所でも測定が可能である。
- ② GPS は受信機を設置して観測した点のみの情報が得られるが、干渉 SAR では人工衛星であれば数十キロメートル四方の領域も 10 秒程度の時間内で観測が可能である。

干渉 SAR の欠点

- ① 地表の変動を捉えるためには 2 つのデータを干渉させる必要がある。人工衛星の干渉 SAR では繰り返して同じ軌道を飛び 2 時期のデータを取得する必要があり、1 個の SAR 衛星で観測すると、同じ場所を観測する周期は、通常、数十日後となる。
- ② 2 時期の観測データを使用して、変動量の相対値を求めるため、変動量の絶対値を直接求める頃は出来ない。また、地表の変動は 3 次元(東西、南北、上下)だが、干渉 SAR が観測しているのは衛星視線方向の 1 次元のため、地表がどちらに動いたかを単純に判別することはできない。
- ③ 気象条件による影響を受ける。日本付近では大気中の水蒸気のムラにより、夏場の天気の良い時などは、場合によって 10cm を超える誤差を生じる。

(5) 今後の課題と展望

阪神大震災から10年以上が経過し、まれに発生する大規模地震に対する設計手法・耐震補強工法も多数開発されてきた。しかしながら方法論は確立されつつあるもののその実施は遅れているのが現状である。新潟中越地震では道路橋において耐震補強された上り線は被害が無く、耐震補強されていなかった下り線が被害を受けた事例も見られた。国土交通省では、道路橋の耐震補強を推進するため、「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム」(平成17年度～19年度)並びに「新幹線や高速道路をまたぐ橋梁の耐震補強3箇年プログラム」(平成17年度～平成19年度)を策定し、平成19年度までの3箇年で重点的に耐震補強等を実施する予定である。本計画の対象とされる、緊急輸送路対象路線における昭和55年以前の基準で作られた一般国道橋梁では、直轄国道がほぼ補強が完了する見込みであるが、都道府県管理道路では平成19年補強完了見込みは70%に満たない(平成18年3月時点)。厳しい財政事情の中ではあるが、可能な限り早い対応が望まれる。

震災対策を考える場合、耐震補強や防災設備などのハード的対策とともに地震予知や地震速報、ハザードマップなどソフト的対策が考えられる。ハザードマップは国土交通省はじめ諸機関によって整備されつつある。また、事前対策による地震被害の軽減を目的とした緊急地震速報も整備されつつある。しかしながらハザードマップは災害に対する注意喚起であり、緊急地震速報は地震前の秒単位の予報である。減災のためには本格的な地震予知の確立が大きいと期待される。現在、確実な地震予知方法は確立されていない。しかし、強震観測網(K-net, F-net)による高密度な地震動観測やGPS連続観測システム(GEONET)による地殻変動観測など、地震予知に資する技術は整備されつつある。地震予知技術の出来る限り早い確立が期待される。

「参考文献」

- 1) 「道路震災対策便覧（震災復旧編）」 日本道路協会 平成 14 年 4 月
- 2) 「道路震災対策便覧（震前対策編）」 日本道路協会 平成 18 年 9 月
- 3) 「変状トンネル対策工設計マニュアル」（財）鉄道総合技術研究所 平成 10 年 2 月
- 4) 「既設橋梁の耐震補強工法事例集」（財）海洋架橋・橋梁調査会 平成 17 年 4 月
- 5) 「コンクリート構造物の震災復旧・耐震補強技術と事例」
（社）日本コンクリート工学協会平成 10 年 8 月
- 6) 地盤・基礎 21 研究会 HP <http://www.jiban-kiso21.gr.jp/incap/index.html>
- 7) 国土交通省国土技術政策研究所 HP
- 8) 東日本高速道路(株)新潟支社 丸山大三：青柳貴司
「新潟中越地震における高速道路の早期復旧」（国土交通省 HP）
<http://www.mlit.go.jp/chosahokoku/h18giken/program/kadai/pdf/ippan/ippan1-08.pdf>
- 9) 新潟中越地震－北陸地方整備局のこの 1 年－（国土交通省北陸地方整備局 HP）
<http://www.hrr.mlit.go.jp/saigai/h161023/chuetsu-jishin/index.html>
- 10) 国土技術政策総合研究所，（独）土木研究所，（独）建築研究所「平成 16 年（2004 年）
新潟中越地震被害に係わる現地調査概要」（国土交通省国土技術政策研究所 HP）
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0248pdf/ks0248027.pdf>
- 11) 土木学会新潟県中越地震緊急災害調査団
「平成 16 年新潟県中越地震第一次調査団調査速報」（土木学会 HP）
<http://shake.iis.u-tokyo.ac.jp/chuetsu/>
- 12) 「土木学会トンネル工学委員会新潟中越地震特別委員会報告書」2005 年 6 月
（土木学会 HP）http://www.jsce.or.jp/committee/tun/niigata_earthquake_report.pdf
- 13) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会「阪神・淡路大震災調査報告 土木構造物の被害」
第 1 章橋梁（土木学会，地盤工学会日本機械学会，日本建築学会，日本地震学会）
- 14) 国土地理院 干涉 SAR HP <http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/sitemap.html>
- 15) 株式会社ビービーエム HP <http://www.mgb.gr.jp/bbm/hsb.html>
- 16) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会
「阪神・淡路大震災調査報告 土木構造物の被害分析」第 5 章トンネル・地下構造物
（土木学会，地盤工学会日本機械学会，日本建築学会，日本地震学会）
- 17) 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編（日本道路協会 平成 14 年 3 月）

(6) アンケート調査による対策工事事例

No.1	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	震災(構)	恒久(向上)	その他	国	その他	一般競争	1年以上半年未満	契約どおり	一千万以上五千万未満
問題点	道路改良工事の一部で、地震により亀裂の入った溜池の堤防を後方に移設し、新しく構築するものであった。								
阻害要因	遮水方法として、シートによる全面遮水の方式を取ったが、品質の面で問題があった。								
方策	溜池構築の遮水方法としては自己修復可能なベントナイトシートによる全面遮水の方式であったが、水抜き施設が無く、覆土（押さえ盛土）施工までに地下水圧により底盤のシートが持ち上げられ漏水する可能性があった。								
効果	シート全面敷設時に地下水圧が作用しないよう、地下排水を設置した。また、ウィーブホールを設置し水圧の除去を行った								
効果	地下排水が効果的に作用し、シートを移動させるような過剰な水圧は発生しなかった。								
No.2	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	震災(構)	復旧	河川流域	国	河川／道路	一般競争	1年以上2年未満	10%以上の延	五億以上十億未満
問題点	新潟中越地震で被災した妙見堰（長岡市）の災害復旧工事で稼働している堰の両岸の構造物の撤去復旧工事で、現場への進入路が1箇所しか無い為、他工区との工程調整と最上流から順に施工する事しか出来ない為工程を5ヶ月延伸した。受注は3月末であるが、河川部の施工については、10月以降の施工となった								
阻害要因	稼働している堰のため、新たな工事用道路を設置する事が出来なかった。								
阻害要因	河川工事のため、低水位の施工が渇水期施工に限定された。								
方策	通常の護岸工は最下段から上段に施工するが、高水位護岸より上の護岸については渇水期前に近接した道路の使用許可を申請し、クレーンを使用し護岸ブロックの設置・コンクリート打設の施工を行った。								
方策	低水位護岸部の地盤改良工事の工法変更（JSG→恒久グラウト注入）に変更し、渇水期前に施工を完了させて低水位護岸の施工を行った。								
効果	渇水期内に低水位の護岸の施工を完了することが出来た事で、2渇水期に分散施工しないで、5ヶ月の工期延伸で済んだ。（搬入路一ヶ所で3工区の渇水期施工には無理があった。）								
効果	復旧工事なのでブロック毎に撤去復旧を行わなければならない為、通常の新設護岸の施工に比べ1.5倍の時間・労力を必要とした。								
No.3	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	震災(構/土)	復旧	河川流域	国	河川	一般競争	1年以上2年未満	10%以上の延	五億以上十億未満
問題点	工期について:地域が新潟県長岡市であり、冬季は降雪により作業が非常に困難。冬季の3.4ヶ月は工事期間から外すのが望ましい。（積雪の被害で死者が出ている状況で作業の安全確保はほぼ出来ない）								
阻害要因	工程管理:当初契約時の工期が冬季を含んでいるもので、工事進捗状況から冬季時期に全盛期となることが予測された。実際、例年にない大雪で、街では積雪の影響で死者が出ている状況（屋根の雪下ろしなど）であった。また、そのような状況下で多くの工種を行うのは安全管理はもちろん品質管理の点においても確実性に不安が多かった。								
方策	工期の延伸:発注者と協議を行い、冬季作業は極力、雪の影響の無いものかつ、影響を受けにくい場所での作業のみを行うこととした。*生コン打設、地山掘削、盛土などの作業は雪解け以降の春以降にした。その分の工事に掛かる時間が工期延伸となった。								
効果	効果:作業中の事故（自然影響とするもの）は一切無く、品質管理に伴う費用も抑えられた。また、春以降での工事を行った生コン打ち、土工事などは品質管理も十分に行えた。								
評価	災害復旧ということもあり、不確定要素が多い工事のため、自然の影響は大きく工期に左右される。発注者サイドも工種を考慮し、発注時期や工期について配慮して頂きたい。								
No.4	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	震災(構/土)	復旧	河川流域	国	河川	一般競争	1年以上2年未満	10%以上の延	五億以上十億未満
問題点	安全の確保								
阻害要因	本工事は、大型PC橋の支承交換および構造変更を行うものである。施工における阻害要因は、通過交通を確保したままの施工であること、とくに工事箇所に通過交通が近接していることであった。								
方策	・第三者への案内表示、防護設備を充実させた								
方策	・構造物の変位や反力を計測しながら施工した								
効果	無事故で施工を完了した								

No.5	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	震災(構)	復旧	山間部	旧公社/団	道路	特命	1月未満	契約どおり	一千万以上五千万未満
問題点	・ 工期の厳守								
阻害要因	・ 7/14被災であったが、8月の盆休み前には全線開通させるという非常にタイトな工程であった。								
方策	・ 比較的被害の小さい下り線の安全を確保したうえで、対面通行として仮解放。								
	・ 昼夜を徹して上り線復旧にあたり、7月末にこちらを対面通行として解放。								
	・ その後、下り線の復旧工事に取りかかり、8/10に上下線とも無事開通した。								
効果	・ 被災後の通行止めとする期間を最小限とすることができた。								
	・ 被災後、本復旧まで24日という超短期で復旧工事を完了できた。								
評価	・ 古い構造物でも図面等が保存されていれば、スムーズな対策立案・復旧工事が可能である。								
No.6	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	震災(構)	復旧	河川流域	民間インフラ	その他	特命	半年以上2年未満	契約どおり	十億以上
問題点	渇水期施工との制約のため、降雪時期に昼夜間施工を余儀なくされた（工期の問題）。								
阻害要因	河川の仮締切をおこない発電所の放水路および護岸復旧工事を行なう。そのため、渇水期施工を余儀なくされた。								
方策	豪雪地帯ではあるが、昼夜間施工を実施し、施工班を通常の作業の2倍手配した。								
	工事用道路および仮設栈橋については消雪対策を講じた。								
	部分確認検査（上流部・下流部・放水路部）を実施してもらい、搬出する土工事量を低減し場内移動に変更することにより工事量の削減を図った。								
	災害状況をメールにて送信し、対策工を数日で検討し早期着手できるようにした。								
	5月の連休中の仮栈橋撤去時に、雪解けによる河川水位の上昇が見られたが上流部での河川水位の変動から水位上昇を予測し、工事中止期間を最低限におさえた。								
効果	・ 実質工期、1月から5月の期間で、16億の工事を消化でき、河川検査を受けることができた。								
評価	・ 設計期間が約1ヶ月で終了できたこと。それにより震災時の資機材手配が早期に行なえ、手待ち工事が発生しなかった。								
問題点	仮設工事において、特定建設作業（杭打ち）の規制について協議が生じた（近隣対策）。								
阻害要因	・ 仮栈橋の杭打ち工事が、玉石混じりの河川でおこなうため、工法的に騒音が規制値を上回る。								
方策	・ 緊急災害復旧工事として、特定建設作業の規制区域を一時解除していただいた。								
	・ 河川対岸部での騒音振動測定を行ない、近隣住民への説明と理解をお願いした。								
効果	・ 災害復旧工事の60%を占める仮設工事が、当初計画どおり進めることができた。								
評価	・ 降雪時期での施工であったため、近隣家屋内での騒音が降雪と家屋の防雪対策により減衰し、河川部に比べ環境基準内であった。								

No.7	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	震災(構)	復旧	都市部	国	港湾	指名競争	半年以上3年未満	契約どおり	一億以上五億未満
問題点	隣接工区が完成するまで、当工区の岸壁を外来コンテナ船が使用する為、8月中旬まで一部の区域しか着工できない制限があり、全面着手まで1ヶ月ほど遅れた。そのため、工事後半のコンクリート舗装工までの工程進捗が厳しい状態となった。								
阻害要因	・先発注の隣接工区が完成するまで、当工区の岸壁を外来コンテナ船が使用する為、8月中旬まで一部の区域しか着手できない制限があり、全面着手まで1ヶ月程の手待ちとなり、後工程進捗に大きく影響した。								
方策	・発注者及び先発注隣接工区業者との協議を行い、工程進捗のための調整検討を実施した。								
効果	・特に効果はなく、1ヶ月弱の工事休止状態となった。								
評価	・全体工期については、最終的に1ヶ月の工期延長（H16年6月8日～H17年1月27日）となったが、実質的には当初工期内（H16年6月8日～H16年12月27日）で施工を完了できた。								
問題点	少ない災害調査データによる想定での当初設計（概算数量）のため、掘削区間(10m)を限定し変状状況や深さを調査確認し、次区間の掘削深さを決定し掘り進むという施工進捗のため、裏埋土掘削に日数が掛かり、後工程（埋戻し工）に圧迫をかけた。								
阻害要因	・少ないデータによる想定での当初設計（概算数量）のため、掘削区間（10m毎）を限定し変状状況や深さを調査確認し、次区間の掘削深さを決定し、掘り進むという施工指示（発注者）の為、裏埋土掘削に日数が掛かり、後工程進捗（埋戻し工他）がさらに影響した。								
方策	・土砂掘削に先立って、事前工種となるコン舗装取壊しの全面（予定範囲の）着手と掘削区間長の拡大等の要望を行なった。								
	・出来形確認及び調査測定による待機ロスを少なくする為、掘削出来形の確認方法の検討を工夫した。								
	・掘削土量アップ場のため、掘削重機の増を検討した。								
	・災害復旧工事という事で、詳細な変状を工事施工時に確認する必要がある事、また想定した変状と著しく異なれば、過大な工事の施工になってしまう事で、施工方法の条件、指示の変更にはならなかった。								
	但し、コン舗装の取壊しについては、ある程度の変状確認のデータ実績と事前調査との差異無い事が確認された時点で、予定範囲全面着手の指示を得られた。								
効果	・測定用の検尺ロッド等を作製し、測定及び記録写真を兼用できたので、時間短縮を図れた。								
	・掘削用重機の増については施工エリアに限りあり、セットの補充程度の増となり短縮までには至らなかった。								
評価	・全体工期については、最終的に1ヶ月の工期延長（H16年6月8日～H17年1月27日）となったが、実質的には当初工期内（H16年6月8日～H16年12月27日）で施工を完了できた。								
問題点	前述の要因による工程遅れにより、コンクリート舗装工が10月～11月の施工となる見込みとなり、寒中コンクリート施工への対応を考慮する必要となった。								
阻害要因	・前述の要因による工程遅れにより、コンクリート舗装工が10月～12月の施工となる見込みとなり、寒中コンクリートへの対応を考慮する必要となった。								
方策	・寒中コンクリート計画として、耐寒剤使用による配合変更と養生計画を協議し、承諾の上実施した。								
効果	・耐寒剤の使用により、コンクリート養生を含めた施工サイクルタイムを短縮できたので、日施工量のアップと養生日数の削減による施工日数の短縮が図れた。								
評価	・全体工期については、最終的に1ヶ月の工期延長（H16年6月8日～H17年1月27日）となったが、実質的には当初工期内（H16年6月8日～H16年12月27日）で施工を完了できた。								
No.8	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	震災(構)	恒久(向上)	その他	国	その他	特命	1月未満	契約どおり	一千万以上五千万未満
問題点	復旧工事に着手するまでの期間の安全確保。（被災から復旧工事着手までに5ヶ月弱を要した。）								
阻害要因	復旧案を被災の半月後に提出したが、相手先の判断が遅く、決定までに時間を要した。 （被災から復旧工事着手までに5ヶ月弱を要した。）								
方策	1．被災箇所及びその周辺を立入禁止とし、当面の安全性を確保した。 2．クラックに対するシート養生にて雨水の浸入を極力防ぎ、被害変状の増進を防止した。 3．被災(変状)箇所の観察と計測を継続的に実施した。								
効果	復旧工事に着手するまで、被害変状の増進は無かった。								
評価									

No.9	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	震災(構/土)	恒久(向上)	河川流域	旧公社/団	道路	一般競争	2年以上	契約どおり	十億以上
問題点									
阻害要因	橋台の側方流動対策、斜面崩壊対策として、セメント系固着材を用いた機械攪拌地盤改良杭が、低改良率で配置されていた。しかし、設計照査、詳細検討の結果、橋台の側方移動の可能性が確認された。対策工としての工事数量増加の可能性は少なかった。								
方策	改良率の増加と改良範囲の拡張を検討した。側方流動、斜面円弧すべりの方向に対して効果を発揮できる配置を数量の増加を最小限で実現するために、力の方向に接円配置となる格子式の配置とした。								
効果	工事量の増加を最小限として、側方流動対策、斜面安定対策効果の高い対策工が得られた。 工事終了後に発生した大規模地震動においても、変形を生じなかった。								
評価	施工完了後に当地域で発生した地震（深度6弱）に対し、大きな被害は生じなかった。 地盤改良工の配置変更によって、数量増加の抑制と耐震性が向上が実現できたと判断できる。								
No.10	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	震災(構)	恒久(向上)	河川流域	民間インフラ	鉄道	特命	1月以上半年未満	契約どおり	一億以上五億未満
問題点	鉄道であるため早期復旧が最大の目的となり、将来的にも耐震性に優れた鉄道構造物の復旧が求められ								
阻害要因	河川内の橋脚については、仮締切工の実施による工期の遅延が考えられるため、工期を短縮できる工法の立案が必要となった。								
方策	河川内橋脚の水中部及び土中部の対策工には直線鋼矢板を用い、仮締切工を不要にして工期の短縮を図った。								
効果	河川内橋脚の水中部及び土中部の対策工は1週間で完了し、大幅な工期短縮が実現できた。								
評価	工期短縮、早期復旧が最大の目的であったが、適切な工法選定、材料選定によって、工期の大幅な短縮と鉄道構造物の性能向上を実現できた。								
No.11	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	震災(構)	復旧	河川流域	民間インフラ	河川	特命	半年以上3年未満	契約どおり	十億以上
問題点	工程の確保								
阻害要因	①震災復旧対策が一斉に始まり、ダンプトラック等の機械、砕石等の資材の調達に困難であった ②労務調達では、特に交通整理員の確保に問題があった ③突貫工事で昼夜作業を余儀なくされたため、地元住民への影響があった								
方策	①必要台数の機械を確保するため、近隣だけでなく全国各地から調達した。砕石等については、使用予定数量と納入期限を砕石業者と綿密に打合せ生産量を確保したが、それでも不足の場合は高額ではあったが遠方地から確保した ②交通整理員は他の震災復旧工事と競合し近隣からは必要人数確保できず、他県からも調達した ③地元説明会等を通じ、住民の方に理解していただき、協力いただいた。資機材の搬入にあたっては、納入時間、納入ルートを制限し地元車優先を徹底した								
効果	①コスト高にはなったが、必要量の資機材を確保でき、復旧工程を守ることができた ②地元とのトラブル、交通事故等の発生もなく、無事に復旧工事を終えた								
評価	震災復旧の場合、国、自治体、民間等で各々の管理施設等の復旧工事が一斉にしかも限られた地域で始まるため、資機材、労務の調達が困難になることが予想される。国、自治体、民間等で被災物復旧について優先度をつけて対応することも必要と考える。								

No.12	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	震災(構)	復旧	山間部	民間インフラ	鉄道	特命	1月以上半年未満	契約どおり	五億以上十億未満
問題点	工程の確保								
阻害要因	①労務の確保								
	短期間に集中して複数の発注機関より多数の復旧工事が出件されたため、労務の確保が困難となったことが、結果的に工程確保の阻害要因となった。								
	地震災害という特性から型枠工や左官工などの需要が特に多かったため、これらの確保が困難であった。								
方策	営業所管内（新潟県内）、支店管内（北陸地区）、近接支店管内（関東）だけでは十分に工程確保できるだけの労務は確保できなかった。他支店に連絡し、東北地区、東海地区、関西地区からも労務を動員して工程確保を図った。								
効果	当然であるが、災害地区から遠く離れた地区は労務に余裕があり、調達が可能であった。								
評価	各社での対応とならざるを得ないと思うが、職種別に全国でどの地区でどの程度の労務（業者名・職人数）があるかを整理しておくとともに、各協力会社に緊急時の動員可能人数と協力誓約書のようなものを提出させておく対応が早いのではないかな。								
阻害要因	②資材の確保								
	短期間に集中して複数の発注機関より多数の復旧工事が出件されたため、資材の確保が困難となったことが、結果的に工程確保の阻害要因となった。特に各地域調達の汎用資材である砕石等の調達が困難であった。								
	工事エリアで十分な調達が困難であったため、高速道路を利用して、被災エリア外から搬入した。								
効果	必要量を調達することができた。								
評価	現状では各工事の請負業者が個々に資材調達を行っている。常に大量の資材を備蓄しておくことは困難であると思われるが、各エリアごとに緊急資材調達ヤードを指定・確保しておき、被災時に国または県など主導で、資材を他のエリアから一括して運び込み、各工事はそこから調達するようなシステムが構築できないかな。								
阻害要因	③搬路の確保								
	短期間に集中して複数の発注機関より多数の復旧工事が出件されたことと、震災による道路や鉄道も被害を受けていたため、資機材・労務の搬路確保が困難となったことが、結果的に工程確保の阻害要因となった。								
	震災などの場合は比較的広範囲で被害が出ているため、資機材の搬入や労務の通勤時間が非常に長くなったが、打開策は無かった。工程確保するためには資機材及び労務の搬入には時間が掛かると確保してやるしかなかった。労務の通勤時間については通常の3～5倍掛かるため、作業時間を確保するためには、宿舎を出る時間を早くする、宿舎に帰り着く時間が遅くなることになり、疲労蓄積の原因にもなった。								
効果	特になし								
評価	特になし								
阻害要因	④宿舎の確保								
	短期間に集中して複数の発注機関より多数の復旧工事が出件されたため、職員や作業員の宿舎の確保が困難となり、結果的に工程確保の阻害要因となった。								
	短期間に多くの労務を確保するため、宿舎の確保に苦労した。地震被害により作業エリアの民宿・旅館などは、営業できない状態となっていることも宿舎確保を困難にさせる原因となった。比較的被災地から離れたエリアで何箇所かに分けて宿舎を確保することになった。								
効果	何とか確保はできたが、通勤時間が長くなり、職員や作業員への負荷が大きくなった。被災による慢性的な交通渋滞のため、通常より通勤時間が長くなることも負荷増大の原因となった。								
評価	各自治体が被災者の仮設住宅を建設するように緊急対策時の労務宿舎についても仮設住宅のようなものを設置してくれると助かる。なかなか難しいとは思いますが、被災地の近くに労務宿舎を確保することは、復旧を早めることにつながるため、世論の理解もえられるのではないかな。								

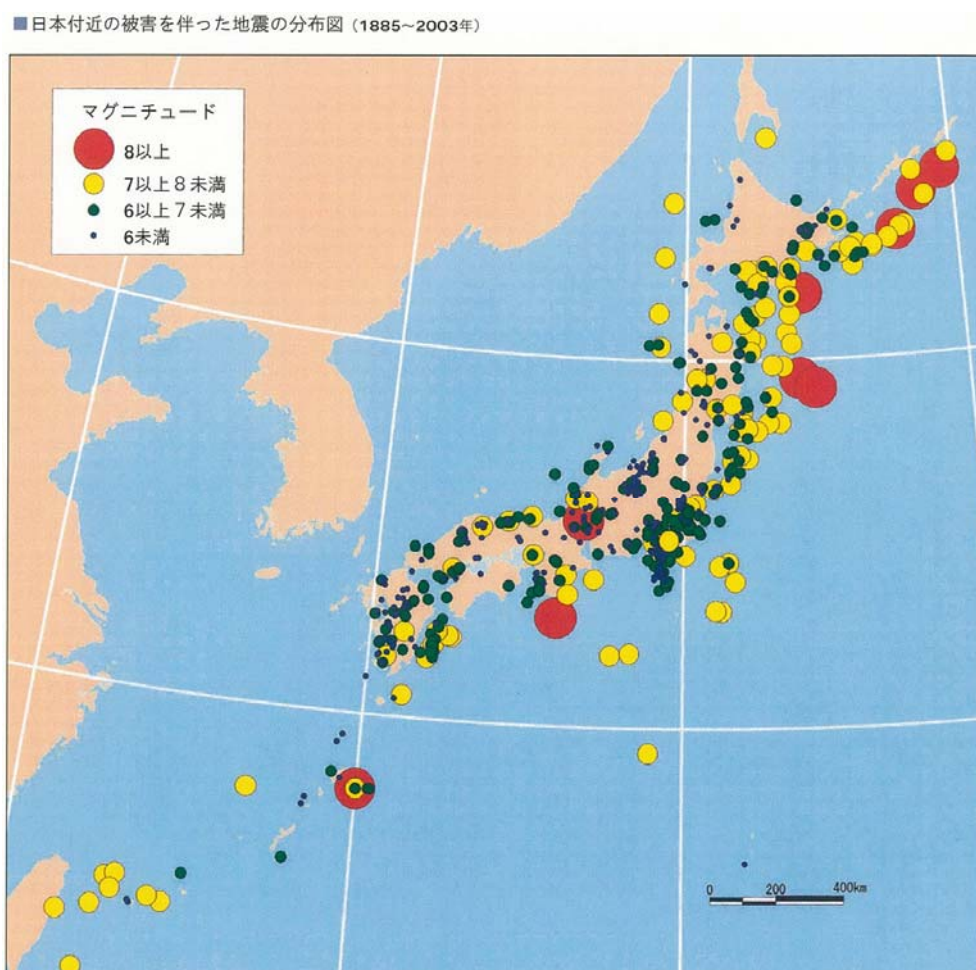
4.2 震災（地盤）

(1) はじめに

(a) はじめに

地震による災害は、風水害などの災害と比較すると、発生頻度が低く、また事前の予想も極めて困難である。しかし、震源地が近くエネルギーの大きな地震が発生すると、その被害は壊滅的で甚大であり、多くの人命を奪うこととなる（表－1参照）。1990年代に入り、地震観測網の整備が進んだことによると思われるが、800ガルを超える強い地震加速度が頻繁に報告されるようになってきた。1993年の釧路沖地震922ガル、1994年のノースリッジ地震1800ガル、1995年の兵庫県南部地震818ガルなどがその例である。

兵庫県南部地震から12年が経過し、その間に土木構造物の各設計指針・基準等では二段階設計法が取り入れられ、性能設計法が整備されつつある。一方、地震により被害を受ける地盤や土構造物の震災対策はめざましく、最近10年での震災対策は、既存の技術の応用や新規技術により飛躍的な進歩を遂げてきた。本章では、地盤の液状化対策、斜面および土構造物の震災対策について紹介し、今後の展望と課題を述べる。



図－4.2.1 日本付近の被害を伴った地震分布

日本の主な被害地震

震源の位置とマグニチュードは、1884年までは宇佐美龍夫（1987）、1885～1925年は宇津徳治（1982、1985）を引用した。1926年以降は気象庁が現在採用している値である。地震名は、1960年のチリ地震津波以降は気象庁が命名し、それ以前は一般的な略称である。被害に関しては、宇佐美と総務省消防庁による。

発生年月日	地震名（地域）	マグニチュード	被害状況
1096年12月17日 (永長1.11.24)	(畿内・東海道)	8～8.5	京都・近江・駿河等で社寺等の被害多数。津波による家屋等の流失400余。
1099年2月22日 (康和1.1.24)	(南海道・畿内)	8～8.3	諸寺に被害。土佐で田1000余町海に沈む。津波があったらしい。
1361年8月3日 (正平16.6.24)	(畿内・土佐・阿波)	8 $\frac{1}{4}$ ～8.5	諸寺等に被害多数。津波で流失1700戸、流死60余。
1498年9月20日 (明応7.8.25)	(東海道全般)	8.2～8.4	津波により、家屋流失1000戸、溺死1万5000、流死2万6000。
1605年2月3日 (慶長9.12.16)	慶長地震（東海・南海・西海諸道）	7.9	犬吠崎から九州までの太平洋岸を津波が襲い、各地で死、流失多数。
1611年12月2日 (慶長16.10.28)	(三陸沿岸・北海道東岸)	8.1	津波により、伊達領内と南部・津軽で死多数。北海道東部でも溺死多数。
1677年11月4日 (延宝5.10.9)	(磐城・常陸・安房・上総・下総)	8.0	磐城から房総にかけて津波が襲い、死・行方不明多数。
1703年12月31日 (元禄16.11.23)	元禄地震（江戸・関東諸国）	7.9～8.2	相模・武蔵・上総・安房で震度が大きく、小田原で壊家8000以上、死2300以上。津波が犬吠崎から下田の沿岸を襲い、死数千、家屋流失多数。
1707年10月28日 (宝永4.10.4)	宝永地震（五畿・七道）	8.4	死2万以上、家屋流失2万以上、壊家6万以上。津波が紀伊半島から九州までの太平洋沿岸や瀬戸内海沿岸を襲う。
1771年4月24日 (天明8.3.10)	八重山地震津波（八重山・宮古群島）	7.4	津波により、家屋流失2000余、溺死1万2000。
1793年2月17日 (寛政5.1.7)	(陸前・陸中・磐城)	8～8.4	仙台で家屋損壊1000余、死12。津波による流失・壊家数百と死者。
1804年7月10日 (文化1.6.4)	象潟地震（羽前・羽後）	7.0	壊家5000以上、死500以上。象潟・酒田などに津波。
1847年5月8日 (弘化4.3.24)	善光寺地震（信濃北部・越後西部）	7.4	死約8000、全半壊焼失家屋約2万7000。山地で山崩れ多数。
1854年12月23日 (安政1.11.4)	安政東海地震（東海・東山・南海諸道）	8.4	被害は関東から近畿に及び、特に沼津から伊勢湾にかけての海岸地域で被害大。津波が房総から土佐沿岸まで襲う。
1854年12月24日 (安政1.11.5)	安政南海地震 (畿内・東海・東山・北陸・南海・山陰・山陽道)	8.4	東海地震の32時間後に発生。海岸各地に10mを超える津波が襲来。両地震合わせて家屋の壊・焼失約3万、死2000～3000。
1855年11月11日 (安政2.10.2)	江戸地震（江戸および付近）	6.9	地震後30余か所から出火、焼失面積2.2km ² 、壊・焼失家屋1万4000余、死4000余。
1858年4月9日 (安政5.2.26)	(飛騨・越中・加賀・越前)	7～7.1	山崩れ多数。飛騨で壊家319、死203。
1872年3月14日 (明治5.2.6)	浜田地震（石見・出雲）	7.1	全壊家屋約5000、死552。小津波があった。
1891年10月28日 (明治24)	濃尾地震（愛知県・岐阜県）	8.0	建物全壊14万余、半壊8万余、死7273、山崩れ1万余の大被害があった。根尾谷に大断層が生じた。
1894年10月22日 (明治27)	庄内地震（庄内平野）	7.0	山形県下で全壊3858、半壊2397、焼失2148、死726。
1896年6月15日 (明治29)	明治三陸地震津波（三陸沖）	6.9 * 8 $\frac{1}{2}$ (*津波から求めたM)	津波により、死者は青森343、宮城3452、北海道6、岩手1万8158。家屋流失全半壊1万以上、船の被害約7000。
1896年8月31日 (明治29)	陸羽地震（秋田・岩手県境）	7.2	秋田・岩手両県で全壊5792、死209。断層を生じた。
1905年6月2日 (明治38)	芸予地震（安芸灘）	7 $\frac{1}{4}$	広島県で家屋全壊56、死11。愛媛県で家屋全壊8。
1909年8月14日 (明治42)	江濃（姉川）地震（滋賀県姉川付近）	6.8	滋賀・岐阜両県で死41、住家全壊978。
1911年6月15日 (明治44)	(奄美大島近海)	8.0	喜界島・沖縄島・奄美大島に被害。死12、家屋全壊422。有感域は中部日本に及んだ。
1914年3月15日 (大正3)	秋田仙北地震（秋田県仙北郡）	7.1	地割れ、山崩れ。死94、家屋全壊640。
1918年9月8日 (大正7)	(ウルフ島沖)	8.0	津波が発生、ウルフ島で溺死24。沼津まで地震を感じた。
1923年9月1日 (大正12)	関東地震（関東南部）	7.9	いわゆる関東大震災。死・行方不明14万2000余、家屋全半壊25万4000余、焼失44万7000余。山崩れ、崖崩れ。関東沿岸に津波が襲来した。
1925年5月23日 (大正14)	北但馬地震（但馬北部）	6.8	死428、家屋全壊1295、焼失2180。小断層二つ生じる。

表-4.2.1 日本の主な被害地震（続きあり）

1927年3月7日 (昭和2)	北丹後地震 (京都府北西部)	7.3	死者2925、家屋全壊1万2584。断層を生じる。
1930年11月26日 (昭和5)	北伊豆地震 (伊豆北部)	7.3	山崩れ、崖崩れ。死272、家屋全壊2165。断層を生じる。
1931年9月21日 (昭和6)	西埼玉地震 (埼玉県西部)	6.9	死16、家屋全壊207。
1933年3月3日 (昭和8)	三陸地震津波 (三陸沖)	8.1	津波により、死・行方不明3064、家屋流失4034、倒壊1817、浸水4018。
1939年5月1日 (昭和14)	男鹿地震 (男鹿半島)	6.8	死27、住家全壊479。小さな津波。
1940年8月2日 (昭和15)	(神威岬沖)	7.5	津波による被害大、溺死10。
1943年9月10日 (昭和18)	鳥取地震 (鳥取付近)	7.2	地割れ・地変多数、断層を生じた。死1083、家屋全壊7485、半壊6158。
1944年12月7日 (昭和19)	東南海地震 (東海道沖)	7.9	死・行方不明1223、住家全壊1万7599、半壊3万6520、流失3129。津波が各地を襲う。
1945年1月13日 (昭和20)	三河地震 (愛知県南部)	6.8	死2306、住家全壊7221、半壊1万6555、非住家全壊9187。断層を生じる。
1946年12月21日 (昭和21)	南海地震 (南海道沖)	8.0	死1330、家屋全壊1万1591、半壊2万3487、流失1451、焼失2598。津波が房総半島から九州までの海岸地域を襲う。
1948年6月28日 (昭和23)	福井地震 (福井平野)	7.1	死3769、家屋倒壊3万6184、半壊1万1816、焼失3851。長さ約25kmの断層を生じる。震度7を制定する機会となった。
1952年3月4日 (昭和27)	十勝沖地震 (十勝沖)	8.2	津波が北海道から関東までの沿岸を襲う。死28、行方不明5、家屋全壊815、半壊1324、流失91。
1958年11月7日 (昭和33)	(エトロフ島沖)	8.1	釧路地方で電信線・鉄道・道路に小被害。太平洋岸各地に津波。
1960年5月23日 (昭和35)	チリ地震津波 (チリ沖)	8.5	北海道南岸・三陸沿岸・志摩半島付近で被害大。沖縄でも被害。死・行方不明142、家屋全壊1500余、半壊2000余。
1964年6月16日 (昭和39)	新潟地震 (新潟県沖)	7.5	死26、家屋全壊1960、半壊6640、浸水1万5298。船舶・道路の被害多数。津波が日本海沿岸一帯を襲う。液化化による被害。
1968年5月16日 (昭和43)	1968年十勝沖地震 (青森県東方沖)	7.9	死52、傷330、建物全壊673、半壊3004。青森県下で道路損壊多数。津波による浸水529、船舶流失沈没127。
1974年5月9日 (昭和49)	1974年伊豆半島沖地震 (伊豆半島南端)	6.9	死30、傷102、家屋全壊134、半壊240、全焼5。小津波があった。
1978年1月14日 (昭和53)	1978年伊豆大島近海地震 (伊豆大島近海)	7.0	死25、傷211、家屋全壊96、半壊616、道路損壊1141、崖崩れ191。
1978年6月12日 (昭和53)	1978年宮城県沖地震 (宮城県沖)	7.4	死28、傷1325、住家全壊1183、半壊5574。道路損壊888、山・崖崩れ529。ライフラインへの影響大。
1983年5月26日 (昭和58)	昭和58年(1983年)日本海中部地震 (秋田県沖)	7.7	津波により被害拡大。死104、傷163、建物全壊934、半壊2115、流失52、一部破損3258、船沈没255、流失451、破損1187。
1984年9月14日 (昭和59)	昭和59年(1984年)長野県西部地震 (長野県西部)	6.8	崖崩れ・土石流。死29、傷10、建物全壊・流失14、半壊73、一部破損565、道路損壊258。
1993年1月15日 (平成5)	平成5年(1993年)釧路沖地震 (釧路沖)	7.5	死2、傷967。建物や道路にも被害。
1993年7月12日 (平成5)	平成5年(1993年)北海道南西沖地震 (北海道南西沖)	7.8	津波による被害大きく、特に奥尻島で甚大。死202、行方不明28、傷323。家屋等にも多大の被害。
1994年10月4日 (平成6)	平成6年(1994年)北海道東方沖地震 (北海道東方沖)	8.2	傷437、住家全壊409、津波があった。震源に近い択捉島では死・行方不明10(米国地質調査所による)など大きな被害。
1994年12月28日 (平成6)	平成6年(1994年)三陸はるか沖地震 (三陸はるか沖)	7.6	死3、傷788、住家全壊501。道路や港湾にも被害。弱い津波があった。
1995年1月17日 (平成7)	平成7年(1995年)兵庫県南部地震 (淡路島)	7.3	阪神・淡路大震災。死・行方不明6436、傷4万3792、住家全壊24万9180、火災285件。高速道路や新幹線を含む鉄道線路なども崩壊。
2000年7月1日 (平成12)	新島・神津島近海地震	6.5	死1、他に道路損壊、土砂崩れ多数。2000(平成12)年6月26日に始まった三宅島の噴火に伴う群発地震の一つで、最も規模が大きかった地震。
2000年10月6日 (平成12)	平成12年(2000年)鳥取県西部地震	7.3	傷182、住家全壊435、半壊3101、道路損壊667、公共建物、文教施設などにも被害多数。
2001年3月24日 (平成13)	平成13年(2001年)芸予地震	6.7	死2、傷288、住家全壊70、半壊774、火災4件。道路や港湾、文教施設にも被害多数。ライフラインへの影響大。
2003年5月26日 (平成15)	宮城県沖の地震	7.1	傷174、住家全壊2、半壊21、火災4件。公共建物、文教施設、病院などにも被害多数。
2003年7月26日 (平成15)	宮城県北部の地震	6.4	傷677、住家全壊1276、半壊3809、火災3件。同日に前震M5.6と余震M5.5も発生。
2003年9月26日 (平成15)	平成15年(2003年)十勝沖地震	8.0	行方不明2(豊頃町の十勝川河口付近において、釣り人2名)、傷849、住家全壊116、半壊368、火災4件。北海道及び本州の太平洋沿岸に津波が発生した。

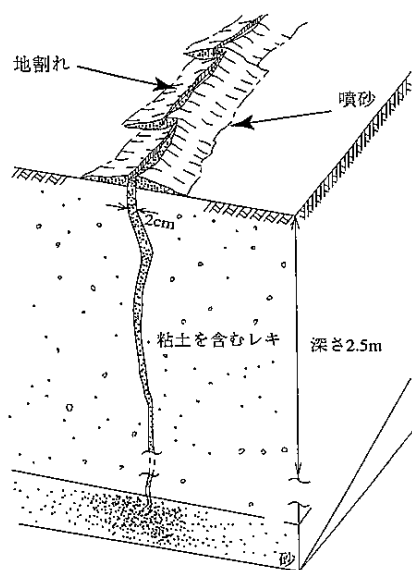
表-4.2.1 日本の主な被害地震(つづき)

(b) 液状化被害の現状と特徴

地震時における地盤の被害の多くは液状化によるものが多いと言われており、液状化により甚大な被害をもたらされることが認識されだしたのは、昭和 39 年の新潟地震以降のことである。

液状化現象の発生する地盤の多くは水で飽和した緩い砂地盤であり、地震動によるせん断応力が繰り返し作用することにより、地盤内の間隙水圧が上昇（過剰間隙水圧の発生）し、やがて有効応力が失われることにより地盤の強度が低下し、地盤の大きなひずみを伴って各種構造物に大きな被害をもたらす。地盤の液状化に伴って発生する各種の現象を列記すると、以下になる。

- ①噴砂・噴水 : 過剰間隙水圧の圧力勾配に伴って上向きの浸透流（ボーリング）が生じ、地表に土粒子を含む水が噴き出す現象
- ②地盤沈下 : 地盤内の間隙水の一部を噴出した結果、液状化層が圧縮され地表が沈下する現象
- ③地盤流動 : 過剰間隙水圧の発生により有効応力が失われ、地盤が液体と同じように挙動するため、非常に緩い地表勾配であっても斜面下方に向かって水平変位する現象
- ④地盤揺動 : 液状化層の側方および下方に液状化していない層がある場合に、液状化層は容器内の液体のように揺動し、周期の長い変位振幅の大きな揺れを生じるようになる
- ⑤斜面の流動的破壊 : 斜面内の土が液状化すると流動的な破壊を生じ、崩壊土砂が遠くまで流動する
- ⑥地盤の支持力低下 : 液状化により、地盤内の有効応力が低下し、支持力が低下する。その結果、直接基礎の構造物などが倒壊する
- ⑦護岸・擁壁の破壊 : 土留め構造物の背後地盤が液状化すると水平土圧が増大し、抗土圧構造物に損傷をもたらす



写—4.2.1 ポートアイランドでの地割れ
(兵庫県南部地震にて)

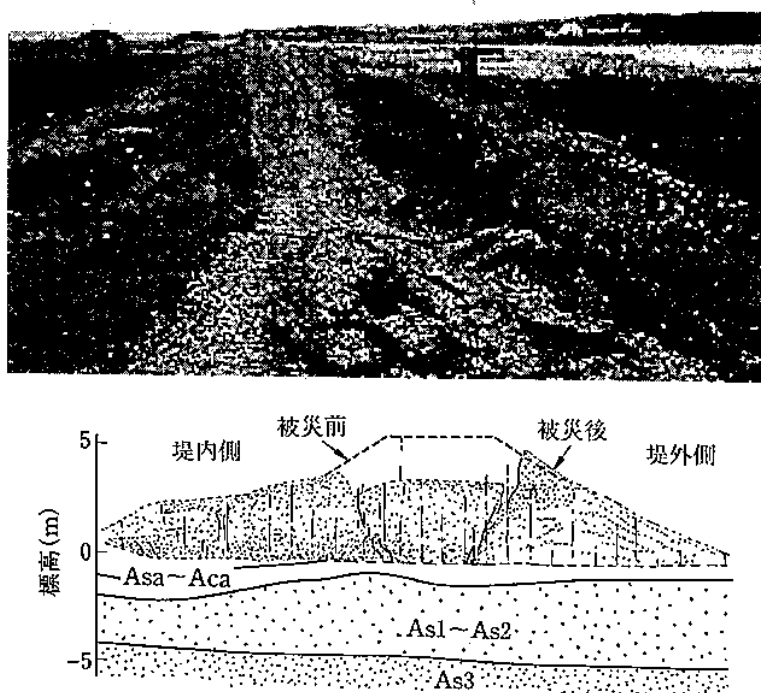
図—4.2.2 ポートアイランドでの地割れ
(兵庫県南部地震にて)

⑧埋設構造物の浮き上がり

： 液状化により、地盤が泥状化し、地下水より密度の大きな液体によって見掛け比重の小さい埋設構造物は浮力によって浮き上がる現象

⑨盛土構造物の縦断亀裂

： 地下水位が高く、盛土底面近くの浅いところで液状化が生じた場合には、盛土にストレッチング破壊が生じ、縦断亀裂と伴に天端陥没が発生する



図—4.2.3 後志利別川堤防の変形・破壊

前述のように、液状化の発生を裏付ける現象として噴砂・噴水が挙げられる。図－4に兵庫県南部地震で発生した阪神地域の噴砂の分布と震度7の帯を示す。海側の埋立地では、ほぼ全域で噴砂と沈下が見られ、液状化による建物被害が多数生じている。



図—4.2.4 兵庫県南部地震における阪神地域の噴砂分布と震度7の帯

(c) 液状化、流動化の被害事例

液状化の定義は、「間隙水圧が上昇して有効応力が減少する結果、飽和砂質土がせん断強さを失うこと」（「土質工学用語辞典」による）とされている。従って、液状化による被害とは、飽和砂質土がせん断強さを失うことによる様々な災害であるといえる。液状化による被害が認識されたのは、昭和 39 年の新潟地震以降のことであるが、もちろん新潟地震以前にも太古の昔から数多くの大きな地震が発生し、地中から砂や泥が水と一緒に噴出する現象が起きており、それらを証明する痕跡が地質調査からも判明している。その後、幾多の地震における液状化被害、兵庫県南部地震での埋立て地における液状化被害はますます甚大になる傾向にある。

液状化によって発生する被害の分類を行うと、以下の表－2 ようになる。

表－4.2.2 液状化によって発生する被害分類

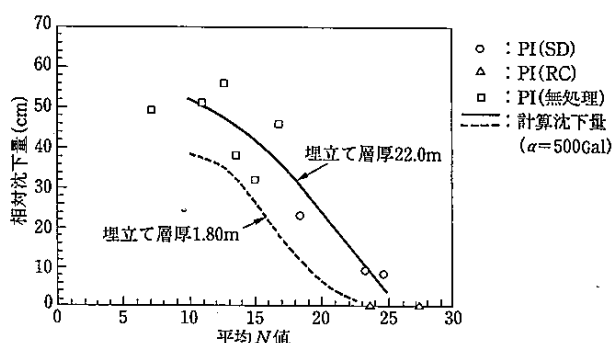
液状化による被害の区分

液状化の障害	被害の状況
浸水障害	地震による液状化が発生して、最初に現われるのが濁水の噴出である。舗装の切れ目や電柱の周り等地表面の弱いところを狙って噴き上がる。阪神淡路大震災では神戸PIや淀川河口部の低地で30～40cmの水深になったとのことである。
地盤の流動	地盤が流動化し構造物は、弱い方向へ側方移動し護岸や岸壁が海側へ押し出されたり、橋台が変位する現象がみられ、落橋することもある。
地盤の支持力低下	地盤が液状化するので、当然その部分では有効応力が働かず支持力は消滅したり、極度に低下したりする。直接基礎の建物や建造物は転倒したり、傾いたりする。
地盤の沈下	もともとルーズな地盤であり、一旦は間隙水圧の急増で液状化するが、噴出した水が引き始めると土粒子は沈降し、余震の振動を受けて次第に締まってくる。一部は噴砂として地表に残り、一帯は地盤沈下を起こすことになる。
構造物の浮上がり とめり込み	泥濁水は比重が大きく、揚圧力も作用して地中の水槽やマンホール等は浮き上がり、逆に電柱等の集中荷重が働く重量物は地中へめり込み、配管や配線に障害が現われる。

浸水障害による噴砂、噴水で生じる被害として 1983 年に発生した日本海中部地震（M=7.7）により下水管路に噴砂が流入し下水管路の機能を阻害した例を写－2 に示し、図－5 には兵庫県南部地震のポートアイランド内で観測された沈下量を示す。



写－4.2.2 下水管路の噴砂の体積



図－4.2.5 埋立て地における沈下量

地盤流動による構造物の側方移動や押し出しの被害事例としては、1995 年に発生した兵庫県南部地震では、写－3 に示すように液状化地盤上の河川堤防が海側へ押し出されたことにより堤防陸側が沈下した。また、写－4 は同様に兵庫県南部地震において重力式護岸の基礎地盤が液状化しせん断抵抗力が不足したことにより沈下と共に水平方向へ大きく移動した事例である。



写－4.2.3 液状化による河川堤防の沈下

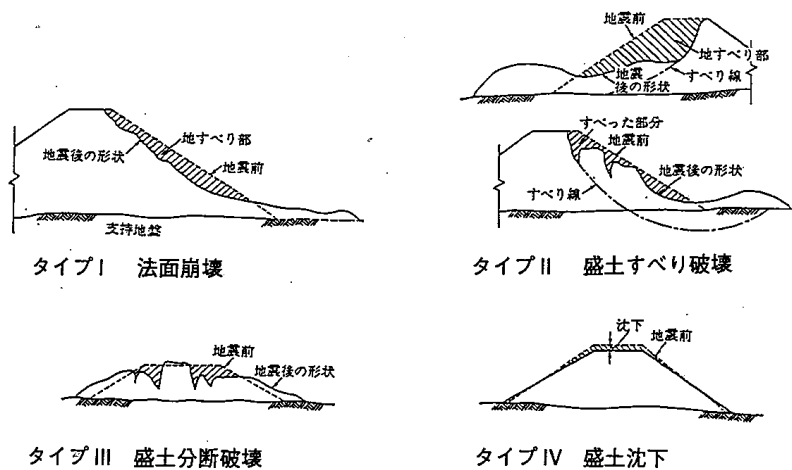


写－4.2.4 液状化による重力式護岸の押出

(d) 盛土構造物の地震被害と事例

盛土構造物の震災対策は、他の土木構造物と比較して大きく遅れている。しかし、土構造物でも、鉄道盛土、道路盛土、河川堤防などは社会資本整備に与える寄与は大きく、インフラ、交通機関という観点から重要構造物に位置付けても過言ではないと考えられる。鉄道構造物に占める盛土の比率は高く、東海道新幹線においても盛土区間は全線の約43%を占めている。

地震による盛土の破壊形態の分類を以下の図－6に示す。また、盛土の地震による破壊事例を表－3に示す。



図－4.2.6 震災による盛土の破壊パターン

表-4.2.3 盛土の地震被害事例

番号	著者名	対象盛土	対象地震	文献名
1	佐々木	河川堤防	濃尾地震、関東地震、 福井地震、十勝沖地震、 新潟地震、 1968年十勝沖地震の6地震	河川堤防の地震被害、 土と基礎、No.28-8、1980
2	佐々木、他	道路盛土 河川堤防 鉄道盛土	新潟地震、十勝沖地震、 大分地震、宮城県沖地震 の4地震	土構造物の地震被害事例、 建設省土木研究所、 土木研究所資料第1576号、1980
3	荒川・木全	道路盛土	新潟地震、十勝沖地震、 宮城県沖地震、 大分県中部地震、 伊豆半島沖地震、 伊豆半島近海地震の6地震	道路盛土の地震被害事例 およびその破壊形態に関する 調査、建設省土木研究所、 土木研究所資料第2000号、1983
4	那須、他	鉄道盛土 道路盛土 河川堤防	濃尾地震～宮城県沖地震 までの13地震	盛土の地震被害－文献調査－ 鉄道技術研究所速報、 No.A-86-33、1986.
5	那須	鉄道盛土 道路盛土 河川堤防 溜め池	新潟地震、十勝沖地震、 宮城県沖地震、 日本海中部地震の4地震	盛土の地震被害と地盤構造、 鉄道総研報告、Vol.3、No.8 1989
6	古賀、他	道路盛土 河川堤防 鉄道盛土 溜め池	新潟地震から日本海中部 地震、長野県西部地震まで の9地震	地震による盛土の被災・復旧 事例調査報告書、 建設省土木研究所、 土木研究所資料第2716号、1989
7	上部、他	河川堤防 鉄道盛土 道路盛土 溜め池	関東地震～日本海中部地震 までの14地震	盛土の地震被災事例に基づく 円形すべり安定解析手法の 検討、港湾技術研究所報告、 第30巻、第2号、1991.
8	谷・長谷川	溜め池	日本海中部地震	溜池の地震時安全性の評価法、 農業土木学会論文集、第152号 1991

土構造物の地震被害の中で、重要盛土構造物に甚大な被害が発生した事例としては、兵庫県南部地震における鉄道盛土、道路盛土の被災例が挙げられる。兵庫県南部地震における神戸地区の震度7の分布と代表的な鉄道の震災箇所との関係から、土構造物の被害は、東灘や住吉、新長田など震度が大きかった箇所に集中している。この理由として、RC構造物は主に動的応答が大きい箇所で破壊するのに対し、土構造物は動的応答が小さく破壊状況は地表面加速度に依存しているからとの見解がある。

鉄道盛土構造物の被災状況の特徴として、全体の揺すり込み沈下と線路方向の無数のテンションクラックが多く見受けられ、全体的にはらみ出しが顕著であった。これは、のり面がクラックによって緩み、バラスト直下の土の拘束力が低下し、路盤面での支持力が低下と鉛直動によるバ

ラスト自重で沈下が進行したと考えられる。写－5に被災状況写真を示す。



写－4. 2. 5 盛土被災状況（中越地震）

(2) 災害対策（技術）

(a) 液状化対策技術

液状化対策の選択は、被害のメカニズムと対策の原理をよく理解し、工法の適用限界を十分考慮して決定する必要がある。液状化対策の基本的考え方を大別すると以下のようになる。

- ① 液状化の発生を抑制する
- ② 液状化が発生しても構造物を支持する地盤を大きく変形させない
- ③ 液状化で地盤が変形しても構造物の機能障害を生じさせない
- ④ 構造物に代替機能を準備する

上記に示す液状化対策の選択において各々の対策工の具体的な工法について解説を行う。

(i) 液状化対策技術の分類

液状化の発生を抑制する対策は、原理的に液状化の発生を防止するもの、液状化の程度を抑制し構造物の被害を軽減するもの、あるいはこれらの高価を兼ねたものに大別できる。液状化を抑制する対策の原理と方法を以下に示す。

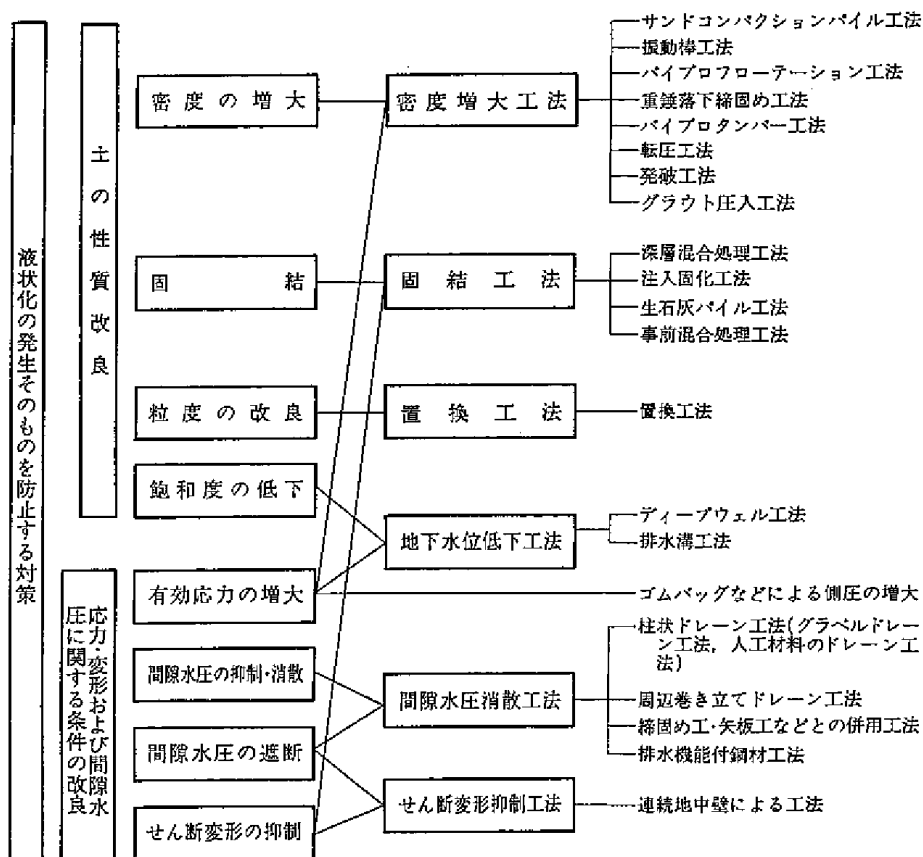


図-4.2.7 液状化の発生を抑制する対策の原理と方法

(ii) 各種液状化対策技術

① 密度増大工法

密度増大工法は、地盤を締固めることにより、間隙を密にする（密度を増加）ことにより液状化強度を増大させる工法であり、密度増大の方法としては、地盤を振動などにより締固める方法が最も効果が期待でき、代表的な工法としてサンドコンパクションパイル工法や重錘落下締固め工法などがある。以下に各種密度増大工法を列記し、その概要について説明する。

1) 振動式サンドコンパクションパイル工法

- ・ 振動機を取り付けた中空管を用いて地盤内に所定の径の締まった砂杭などを造成することによって地盤全体を締固める工法
- ・ 陸上施工の場合は、径約 40cm の中空管を用いて仕上がり径 70cm 程度の砂杭（礫杭）を造成する
- ・ 海上施工の場合は、径約 80～120cm のケーシングパイプを用いて仕上がり径 200cm の砂杭（礫杭）を造成する

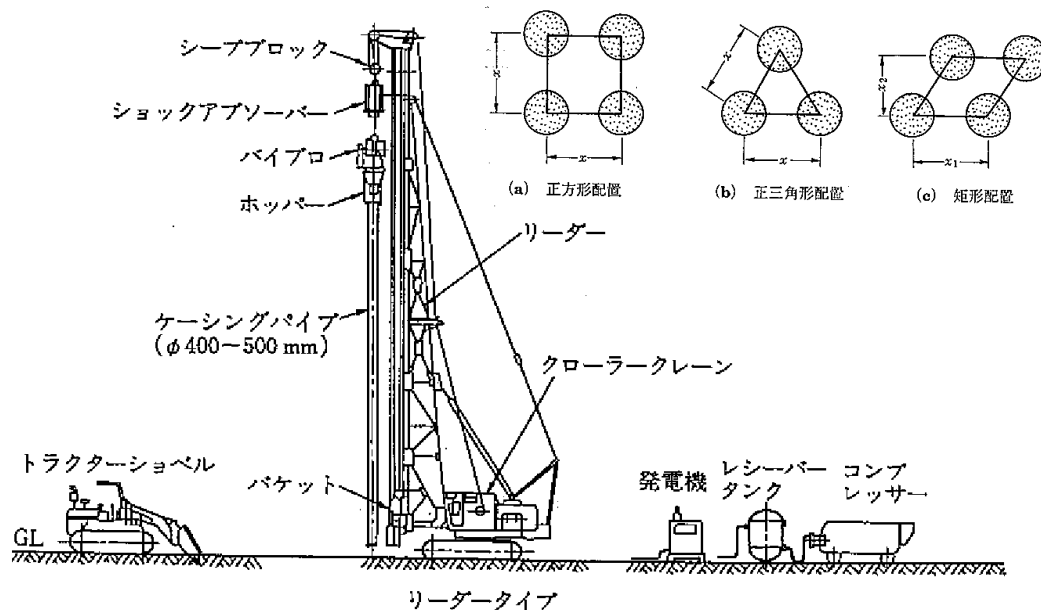


図-4.2.8 振動式サンドコンパクションパイル工法（SCP工法）

2) 静的締固め（回転圧入式）サンドコンパクションパイル工法

- ・ 振動機を用いずに静的な回転圧入力を用いて地盤内に所定の径の締まった砂杭などを造成することによって地盤全体を締固める工法
- ・ 回転駆動装置により砂杭を地盤中に排出しながらケーシングの引き抜き（約 50cm）と圧入による砂杭の締固めを繰り返しながら砂杭を造成する

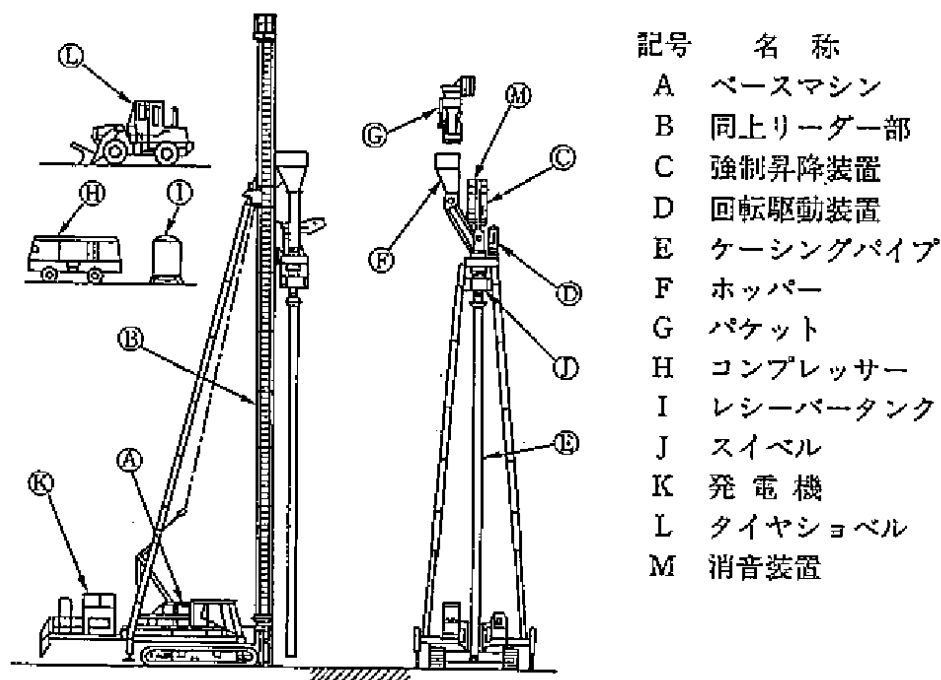


図-4.2.9 静的締固め（回転圧入式）サンドコンパクションパイル工法

3) 振動棒工法

- ・ バイブロハンマーに接続した各種特殊圧入ロッドを振動圧入することにより、緩い砂地盤を締め固める工法である。効果の適用範囲は細粒分含有率 F_c が 15～20%未満の砂質地盤である。
- ・ 鉛直振動を与える方法として、鋼管のロッドを使用する方法とH型鋼のロッドを使用するものがある。

4) 重錘落下締め固め工法

- ・ 鋼製もしくはRC（鋼＋コンクリート）製の重錘をクレーンなどの揚重機にて高所から地盤に繰り返し落下させ、衝撃力による動的応力を加えることにより地盤を深部まで締め固める工法である。
- ・ 重錘（重量 10～50tf）を高所（20～30m）から繰り返し落下（10～30回／箇所）させ、数千～数万 kN オーダーの衝撃力を与え（タッピング工）、地中深部へ伝達される。

5) バイブロタンパー工法

- ・ 液状化防止を図る表層締め固め工法であり、強力な起振機とタンパーを組み合わせた密度増大工法である。
- ・ 表層より 3～5 m の地盤の締め固めを対象としたものであり、サンドコンパクションパイル工法や振動棒工法が採用された場合、拘束圧が小さく表層部の締め固めが不十分な場合の補助工法として用いられる場合が多い。

6) コンパクショングラウチング工法

- ・ 極めて流動性の低い注入材（モルタル）を地盤中に強制的に圧入して杭状の固化体を造成し、杭間地盤を静的に締め固めることにより液状化を防止する工法である。
- ・ 小型のボーリングマシーンをを用いて外径約 70mm のロッドを削孔し、特殊注入ポンプを用いて注入材（モルタル）を所定の地盤中に圧入する（注入ステップは 33cm）。
- ・ モルタルの圧入方法は、所定深度まで削孔後、下から上へ注入（圧入）していくボトムアップ方式とロット（1ロット≒1m）毎に上から下へ削孔と注入を繰り返すトップダウン方式がある。

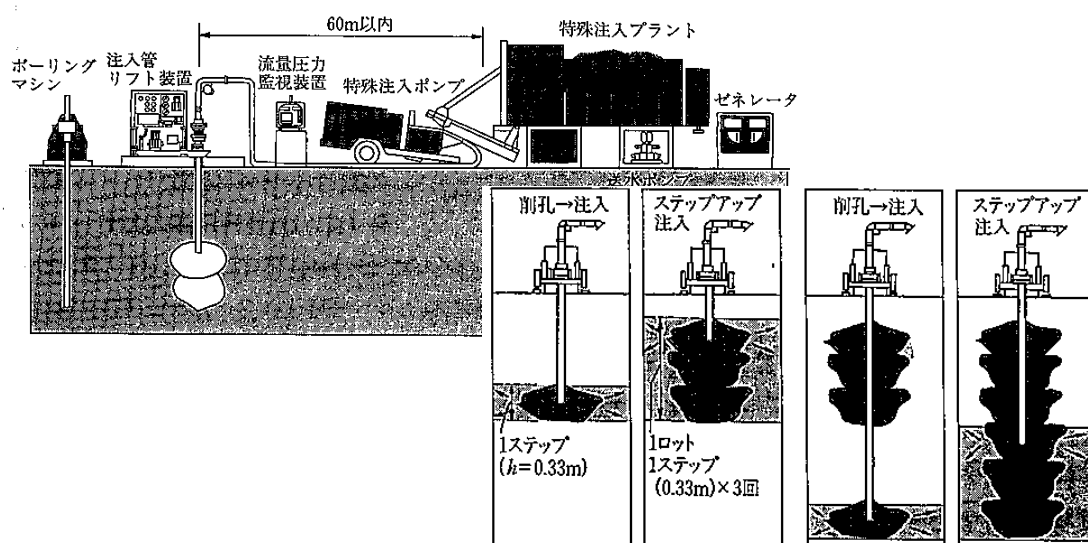


図-4.2.10 コンパクショングラウチング工法

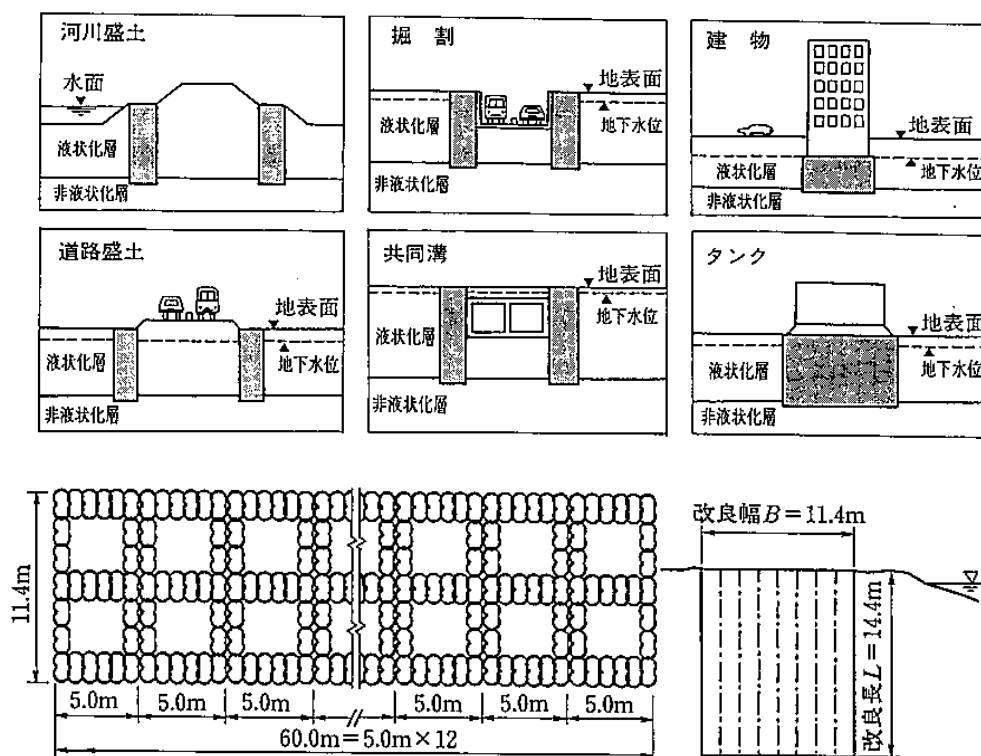
② 固結工法

固結工法は、セメントなどの安定材を地盤に添加、混合あるいは薬液を注入することによって、土粒子を結合、固結させ、地震外力に対して土粒子構造の安定化と変形量の抑制効果を期待する工法である。1995年の兵庫県南部地震以降、液状化の判定基準が厳しくなり、構造物近傍・直下での対策が増加したことなどから、密度増大工法の適用が困難なケースが増え、施工中の振動・騒音が少ない固結工法の適用が増える傾向にある。

以下に各種固結工法を列記し、その概要について説明する。

1) 深層混合処理工法（機械攪拌式混合処理工法）

- 安定材（セメントあるいはセメント系固化材）のスラリーもしくは粉体を油圧ポンプで深層混合処理機の先端に圧送し、攪拌翼で混合させて所定の強度の改良体（杭体）を造成する工法である。
- 上記の改良体をブロック的に液状化層全体を改良し、固結することによってせん断強度を増加する。
- 工事中の振動・騒音レベルが低いため市街地等への適用性が高い。また、改良強度は機械攪拌式の場合、安定材が $100\sim 200\text{kg}/\text{m}^3$ の配合量で一般に一軸圧縮強度 $q_u=300\sim 500\text{ kPa}$ となり、せん断剛性 $G=102\sim 103\text{ MPa}$ となり十分な液状化抵抗を示す。



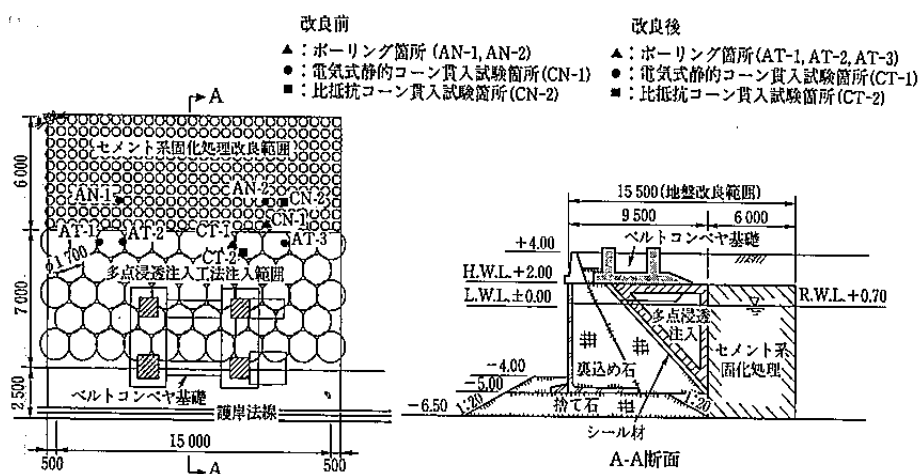
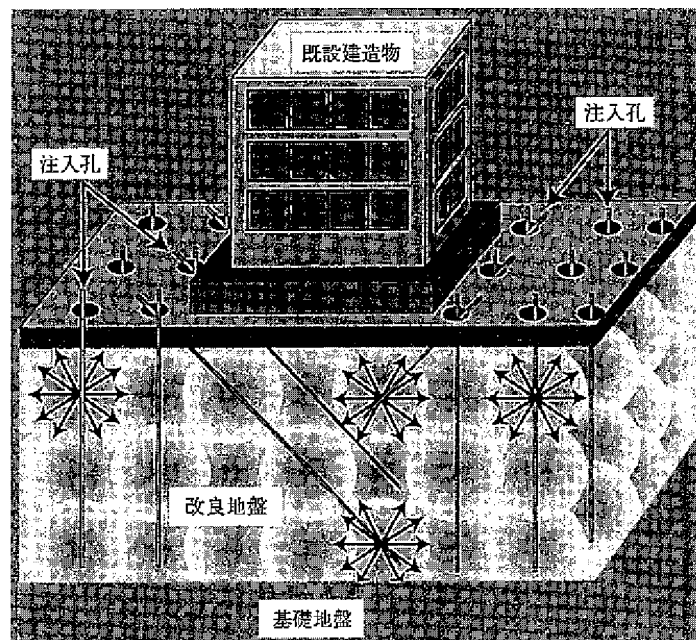
図－4.2.11 深層混合処理工法（機械攪拌式混合処理工法）

2) 注入固化工法（浸透固化処理工法）

- 恒久性のある薬液を液状化対象地盤に浸透注入して固結することにより動的強度（液状化強度）を増加させる対策工法である。
- 溶液型の恒久性薬液でゆっくり注入し土粒子間浸透させるため、非常に長い（数時間）ゲ

ルタイムの設定で注入する。

- ・ 注入孔の削孔は斜めボーリングによる斜注入で行われることが多いが、タンク基礎などのような比較的面積の大きい既存構造物直下での注入技術として、近年、曲がりボーリング技術を利用した注入工法が開発されている。



図ー4.2.12 注入固化工法（浸透固化処理工法）

③ 地下水位低下工法

地下水位低下工法は、液状化対象地盤の地下水位を低下させることにより、低下水位より上の地盤を不飽和領域とすることで液状化の発生を防止する工法である。液状化の要因となる地下水位を下げることにより過剰間隙水圧の発生を抑える他に地下水位を低下することにより、対象層の有効応力が増加し地下水位面以深の液状化強度を増加させる効果も期待できる工法である。

ディープウエル工法

- ・ 液状化対象層に 500～1200mm で削孔し、ストレーナ管（ ϕ 300～800mm）を挿入して、周

囲をフィルター材で充填した井戸を施工し、排水ポンプによる揚水によって地下水位を低下させる工法である。

- ・ 砂、砂礫地盤では、比較的広範囲の地下水の低下が得られるが、シルト、砂質土の互層地盤では集水性が劣るため、本数が多くなり、配置ピッチが小さくなる。

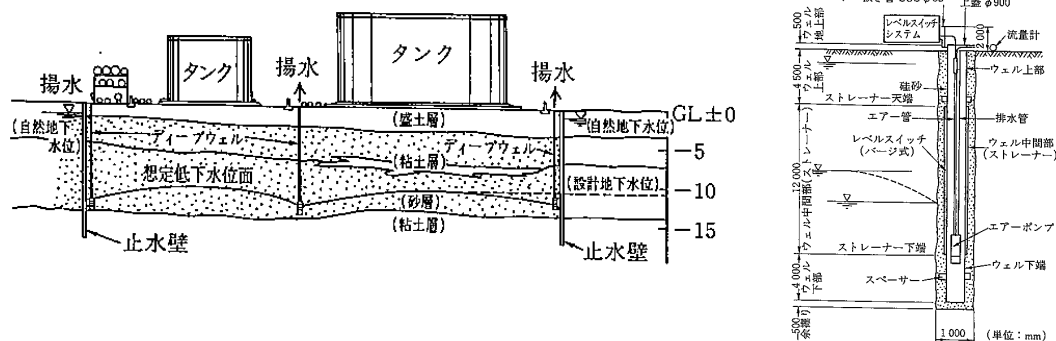


図-4.2.13 ディープウェル工法

④ 間隙水圧消散工法

間隙水圧消散工法は、礫あるいは人工材料を用いたドレーンを液状化対象層中に設置することにより、地震時に発生する過剰間隙水圧の上昇を抑えて液状化の発生を防止しようとするものである。当工法は、騒音・振動が少なく、近接構造物に与える変状が少ないなどの理由で市街地などの締固め工法の施工が困難な場合に適用されることが多い。

間隙水圧消散工法は、ドレーンを設置することにより、地震時に発生する間隙水圧の蓄積を抑え、地震動継続中に液状化が発生しにくくなる効果、また、構造物周辺にドレーンを設置する方法においては、液状化した地盤から構造物の周辺または直下に過剰間隙水圧が伝達されるのを遮断（ドレーンにて消散）することによる効果が挙げられる。ドレーン材料として礫あるいは砕石を用いた工法として、グラベルドレーン工法があり、人工ドレーン材料を用いたものにパイプドレーン工法がある。

グラベルドレーン工法

- ・ 砕石などの透水性の高い材料を液状化対象層中に柱状もしくは壁状に打設し、地震時に発生する過剰間隙水圧上昇の抑制効果と消散効果を期待した液状化防止対策である。
- ・ ドレーンの形状には、柱状（柱状グラベルドレーン）、壁状（壁状グラベルドレーン）、マット状（マット状グラベルドレーン）およびそれらの組合せ形式での形状が考えられる。
- ・ グラベルドレーンの設計は、過剰間隙水圧の許容値を満足するようにドレーン長、ドレーン径、打設間隔、厚さ（壁状 or マット状）、配置を決定する。しかし、ドレーンピッチとドレーン径の設定が地震力によってドレーン効果にばらつきが生じやすく、設計には注意を要する。
- ・ 柱状グラベルドレーンは、一般にケーシングオーガー方式での施工が多く、砕石をスムーズに投入するため、ケーシングに装備された鋼製棒（突棒）の上下動、圧縮空気、注水で所定の深さまで投入する。また、締固め式のグラベルドレーン工法の適用例も少なくない。

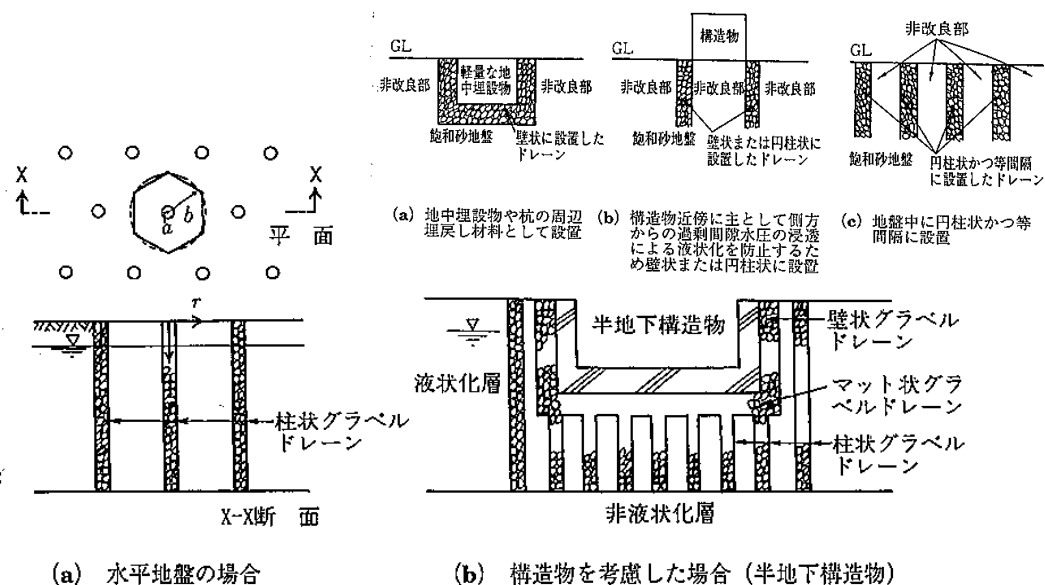


図-4.2.14 グラベルドレーン工法

⑤ せん断変形抑制工法

せん断変形抑制工法は、連続地中壁、シートパイル、深層混合処理工法などによる剛性のある壁体で液状化対象地盤を囲み、地震時あるいは液状化時の地盤のせん断変形を抑制することにより、液状化の発生を防止し上部構造物の被害を防止する工法である。

当工法は、剛性のある壁体で液状化地盤を締め切り、地盤の側方への変形を拘束することによって、構造物の過大な変形を抑制することを期待する工法であるが、対策効果を定量的に評価する簡便な設計法はまだ確立されていないのが現状である。壁体として適用される連続地中壁工法、深層混合処理工法、シートパイル工法の概要を以下に述べる。

1) 連続地中壁工法

- ・ 構造物直下の対象地盤を場所打ち鉄筋コンクリート壁体（RC連続地中壁）で囲み、内部も同様に場所打ち鉄筋コンクリート壁体（RC連続地中壁）で格子状に施工することによって地震時のせん断変形を抑止する工法である。振動・騒音が少ない、長期的な維持管理が不要、土質による適用範囲に制約が少ないなどの特徴がある。

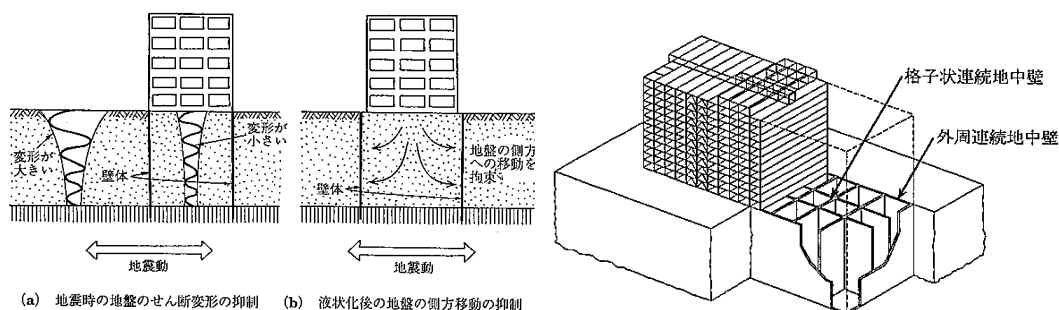


図-4.2.15 連続地中壁工法

2) 深層混合処理工法（格子状形式）

- ・ 深層混合処理工法を用いて構造物の下部地盤を適切な間隔で格子状に固化改良する工法であり、機械攪拌式改良体による格子状改良形式、あるいは高圧噴射式混合処理改良体による格子状改良形式が用いられる。

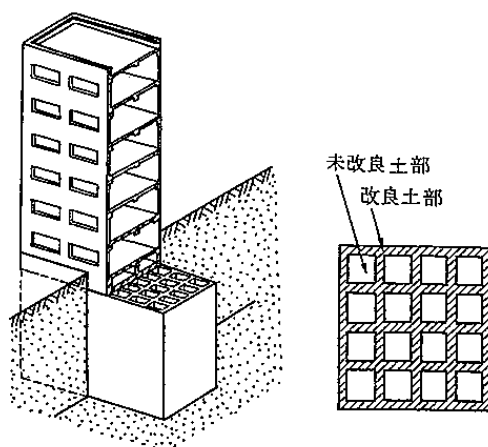


図-4.2.16 深層混合処理工法（格子状改良形式）

3) シートパイル（鋼矢板）工法

- ・ シートパイル（鋼矢板）を構造物直下の地盤に打設することによって地盤の液状化による変形、側方移動を抑制し構造物の過大な変形を防止する工法である。
- ・ シートパイルの剛性だけでは地盤変位の拘束を維持できない場合には、シートパイル頭部間をタイロッドで緊結し、シートパイルの剛性とタイロッドの張力で対処する。
- ・ タンクなどの底面積の大きい基礎の場合には、構造物の下地盤をシートパイルによって円形状に囲み、鋼矢板リングで構造物直下の地盤を拘束し、地震時のせん断変形を抑制することによって構造物の過大な変形を防止する。

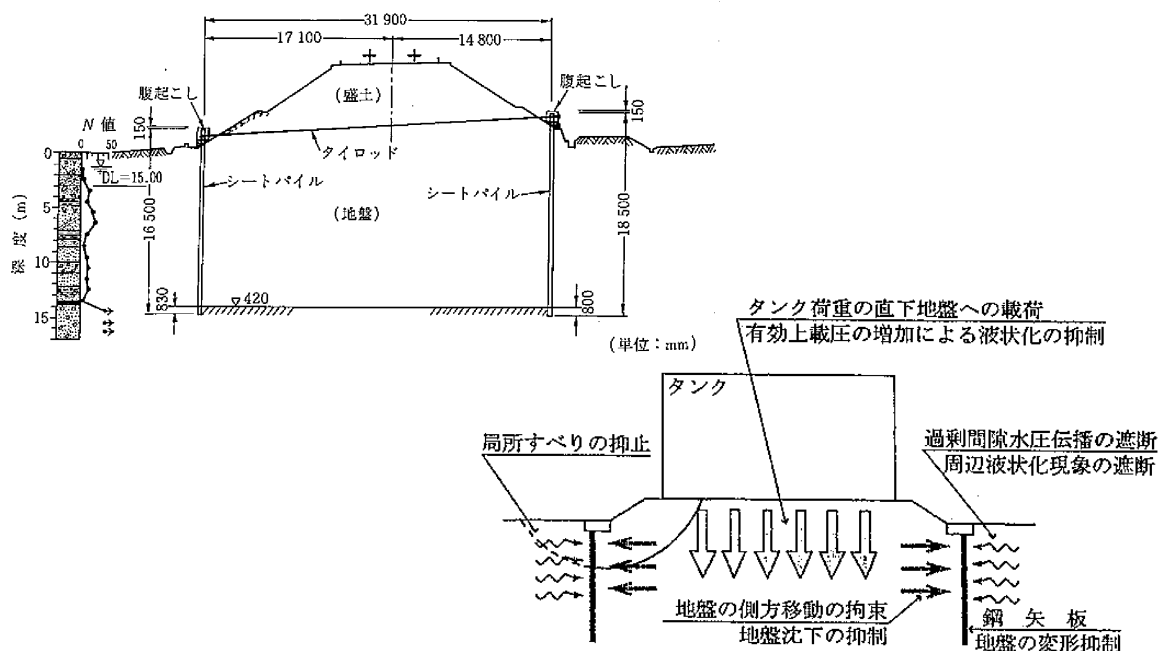


図-4.2.17 シートパイル（鋼矢板）工法

(b) 斜面および土構造物の震災対策

(i) 自然斜面、切土斜面の地震被害と分類

斜面崩壊の要因となるものは、降雨、風化、地下水、振動、地震などが挙げられるが、中でも地震力による斜面崩壊は、斜面の岩盤、地山の力学的劣化を促進し斜面を不安定な状態にするため、地震により比較的大きな斜面崩壊が誘発される場合が多い。自然斜面および切土斜面の近年の地震による災害（斜面崩壊）で顕著なものは2004年10月に発生した新潟県中越地震であり、通常でも地すべり、斜面崩壊の多い中山間部を直撃し斜面災害が多発した。

(ii) 自然斜面・切土斜面の震災対策技術

自然斜面、切土斜面の災害対策技術としては、法面保護工が適用される。法面保護工は、植生工やモルタル吹付け工のような表面侵食防止工や風化抑制工の他、力学的安定性の低下による土砂崩壊、切土斜面の崩壊、地すべりについて紹介する。

地山の変状を防止する法面抑止工および排水工を含む広義の法面保護工の種類を挙げると以下の図-4.2.18 のようになる。落石防止を含む法面保護工、表層崩壊から地すべりに至る法面の崩壊を抑止、抑制する工法がある。

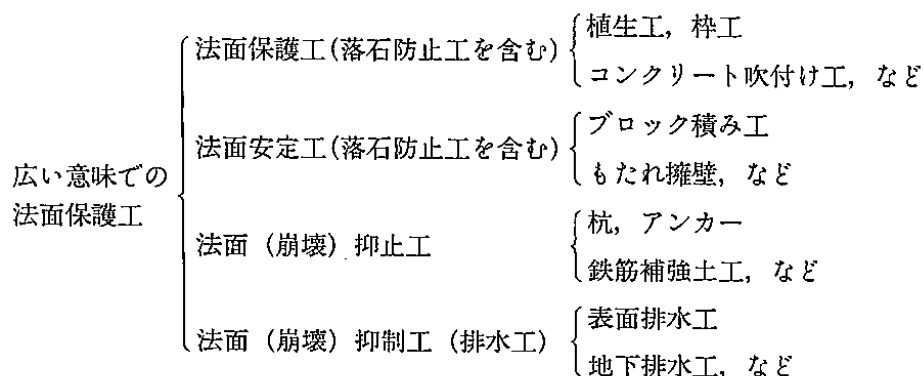


図-4.2.18 自然斜面、切土斜面に適用される法面保護工

法面抑止工

1) 抑止杭工

- 抑止杭工は、一種の待ち受け工法であり、抑止杭の種類には図-4.2.19 に示すように、くさび杭、補強杭、せん断杭、抑え杭があるが、切土斜面の抑止杭としてはすべり面の上下でたわむときに発生するくさび効果の抵抗力を期待するくさび杭が適用される場合が多い。
- 抑止杭の種類としては、鋼管杭、深礎杭、RC杭があるが、地すべり地形での施工条件下での施工から、写-4.2.6 に示す鋼管杭や深礎杭の施工実績が多い。また、後述するグラウンドアンカーと併用した抑止杭工が採用される場合もある。

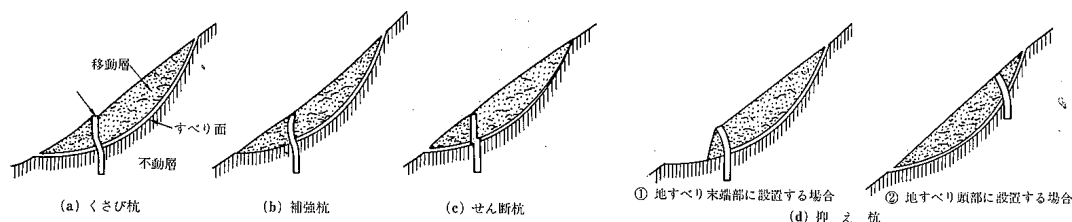


図-4.2.19 抑止杭の分類



写-4.2.6 鋼管杭、深礎杭の施工

2) グラウンドアンカー工

- ・ グラウンドアンカー工は、法面崩壊（地すべりを含む）を防止するためにすべり面上部の活動土塊をすべり面下の基盤に締結させる工法であり、必要抑止力が 300tf/m 以下を目標として選定される。これを超えるような抑止力が要求させる場合には、排土工、押え盛土、排水工などの抑制工を併用して計画する。
- ・ アンカーの抑止効果は、「引き止め効果」と「締め付け効果」があり、各々どちらかを期待する場合と両方を期待する場合の3通りがある。アンカーテンドンを構成する引張り材は、JIS規格品（相当品）のPC鋼より線、PC鋼線、複合PC鋼より線、PC鋼棒、全ねじPC鋼棒を使用する。グラウンドアンカーの施工を写-4.2.7、写-4.2.8 に示す。

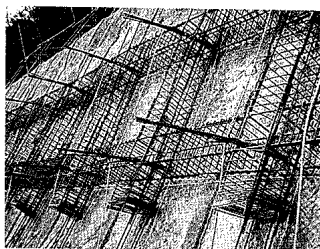


写真-4.15 配筋の状況

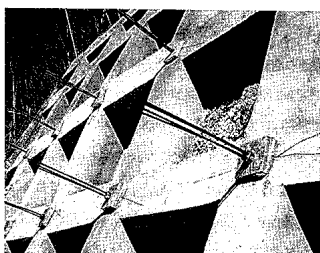
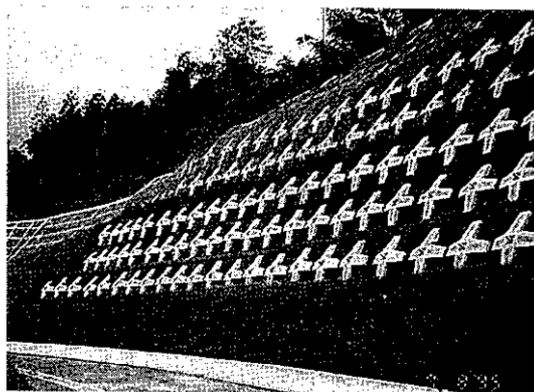


写真-4.16 吹付け後の法枠

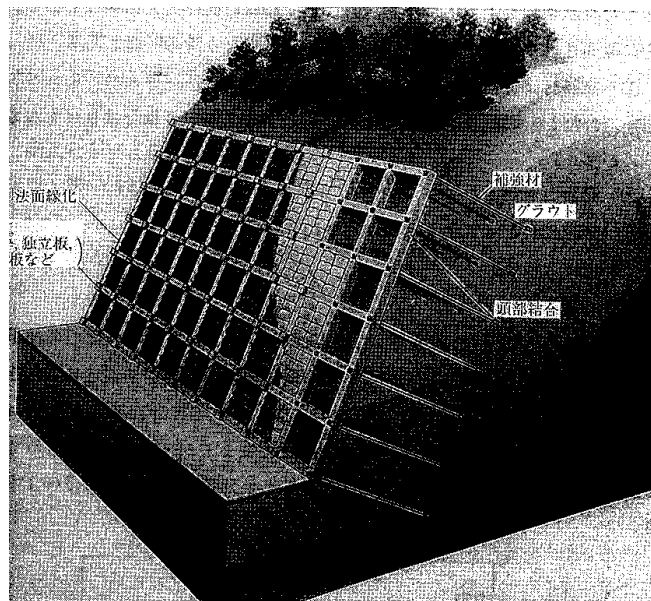


写-4.2.7 グラウンドアンカー工

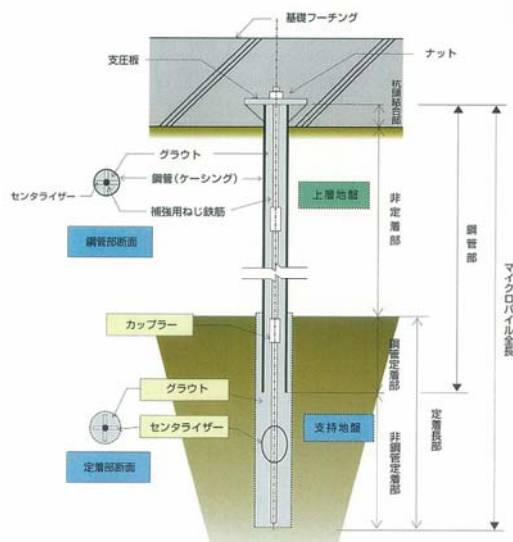
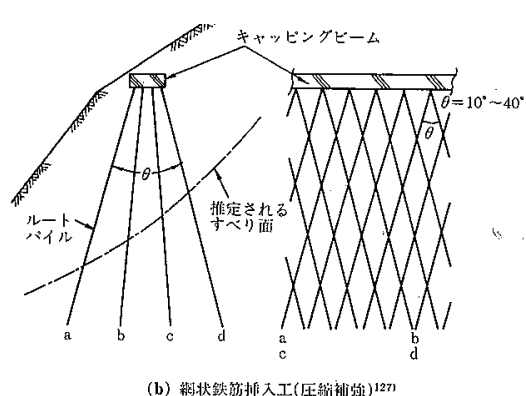
3) 地山補強土工法

- ・ 地山補強土工法とは、鉄筋などの棒状補強材を地中に多数設置し、補強材の引張り抵抗力や曲げ抵抗により地山の安定化を図ることを目的とした工法である。
- ・ 主に斜面の補強に用いられ、細く比較的短い棒状補強材を用い、引張り抵抗力を期待した工法が鉄筋補強土工法（ネイリング工法）であり、やや太径で長尺の補強材を用い、引張り抵

抗力のみならず圧縮抵抗力も期待した工法がマイクロパイル工法である（図－4.2.20、図－4.2.21 参照）。



図－4.2.20 ネイリング工法



図－4.2.21 マイクロパイル工法

(iii) 盛土構造物の震災対策

盛土構造物の震災対策として過去に実施された補強対策は、シートパイルとタイロッドを組み合わせた工法で、シートパイルには排水機能付きのものもある。河川堤防、鉄道盛土、道路盛土、港湾施設に適用でき、基礎地盤の液状化、側方変形に伴う構造物の沈下、すべり、法面崩壊などの変状抑制効果を期待したものである。

① 既設盛土の耐震補強技術

盛土構造物の耐震補強工法には、既設盛土に対する耐震補強と新設盛土に対する耐震補強がある。既設盛土の耐震補強対策は、盛土体の供用中に行うことを基本としていることから、盛土直下の地盤改良や基本的な構造体の変更等は極めて困難であることから、盛土法面もしくは用地外から対応できる工法の選定が必要となる。既設盛土の耐震補強工のイメージは、図－

4.2.22 に示すようになる。

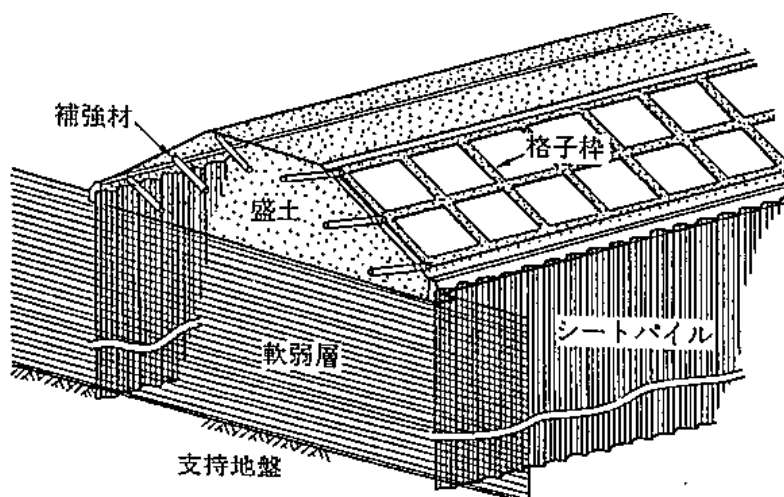


図-4.2.22 既設盛土の耐震補強工のイメージ図

② 新設盛土の耐震補強技術

新設の盛土を耐震補強する場合には、ジオテキスタイル等の補強材を用いて盛土の敷均し、締固め、転圧を行う補強土工法が有効である。また、盛土前面に擁壁等を控えた高土圧構造物の耐震補強は、鉄筋挿入工（ネイリング工法）あるいはアンカー工により、地震時に作用する土圧慣性力を補う工法が採用される場合が多い。

③ 盛土擁壁（石積擁壁等）の耐震補強技術

盛土擁壁（石積擁壁等）の耐震補強技術は、擁壁の上から鉄筋挿入工法（ネイリング工）もしくはアンカー工を施工する場合が多い。この際、擁壁面の上から法枠工を施工しこれらの補強材を施工することもある。

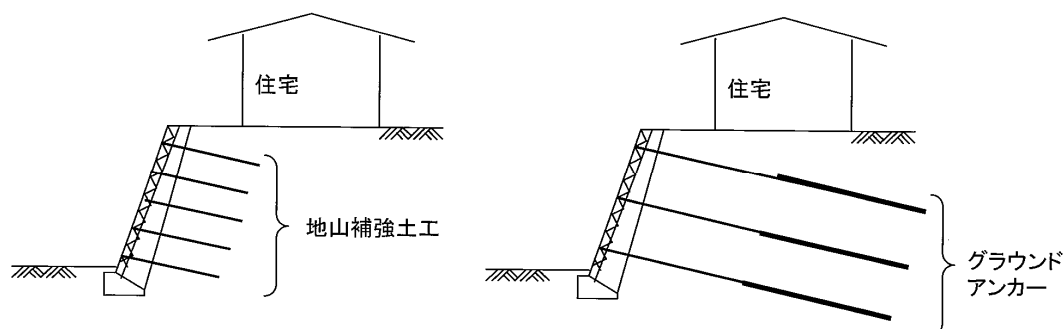


図-4.2.23 石積擁壁の耐震補強方法

(3) 復旧・実施事例

(a) 密度増大工法の復旧・実施事例

(i) サンドコンパクション工法の対策事例

密度増大工法による液状化対策の事例として、サンドコンパクション工法（SCP 工法）の対策事例を図-4.2.24 に示す。釧路西港では図に示すような SCP 工法による耐震補強が実施されており、1993 年の釧路沖地震、翌年 1994 年の北海道東方沖地震でも被害が見られず、液状化対策の効果が実証された。

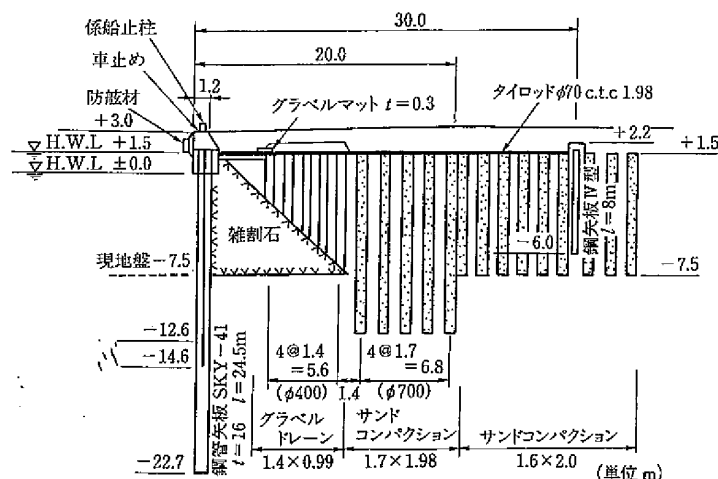


図-4.2.24 釧路西港におけるサンドコンパクション工法 (SCP 工法) の実施例

(ii) コンパクショングラウチング (CPG 工法) の対策事例

密度増大工法による液状化対策の事例として、羽田空港の旅客ターミナルにおけるコンパクショングラウチング (CPG 工法) の実施例を図-4.2.25 および写真-4.2.8 に示す。

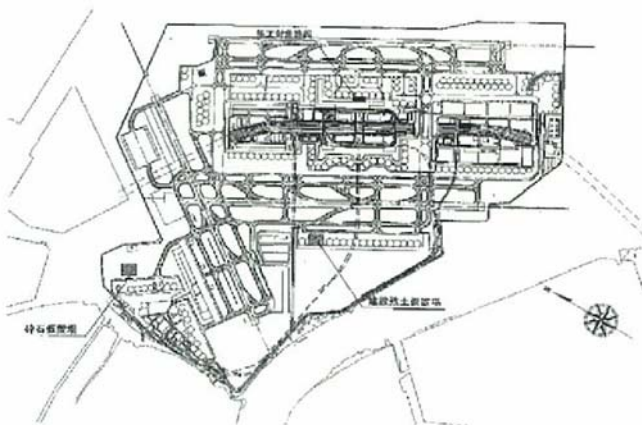
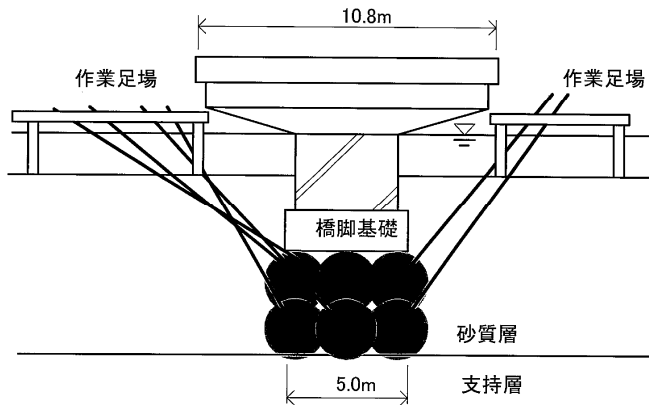


図-4.2.25 CPG 工法実施例 (羽田空港) 写真-4.2.8 CPG 工法 (羽田空港)

(b) 固結工法の復旧・実施事例

浸透固化処理工法の対策事例

固結工法による液状化対策の事例として、浸透固化処理工法による対策実施例を図-4.2.26 に示す。江ノ島大橋の橋脚基礎直下の液状化対策として恒久グラウトを曲線ボーリングで施工したものである。



島大橋橋脚基礎) 写-4.2.9 浸透固化処理工法

(江ノ島大橋橋脚基礎)

(c) 斜面の震災対策

杭工, グラウンドアンカー工による耐震補強

杭工とアンカー工の併用による耐震補強工法の実施例を写-4.2.10 に示す。杭の頭部からアンカー工による併用抑止対策を実施したものである。



写-4.2.10 杭工とアンカー工の併用による補強工法

(d) 盛土の耐震補強実施例

(i) シートパイル締切り工法

既設盛土の耐震補強技術としてシートパイル締切り工法の実施例を示す。鉄道盛土(JR)の藤沢市(図-4.2.27)および羽島市(図-4.2.28)における実施例である。

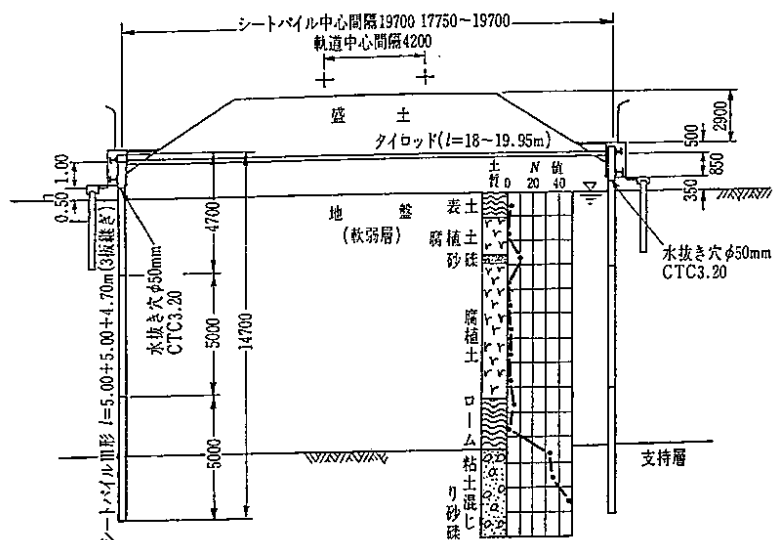


図-4.2.27 鉄道盛土のシートパイル締切り工法実施例（藤沢市）1980

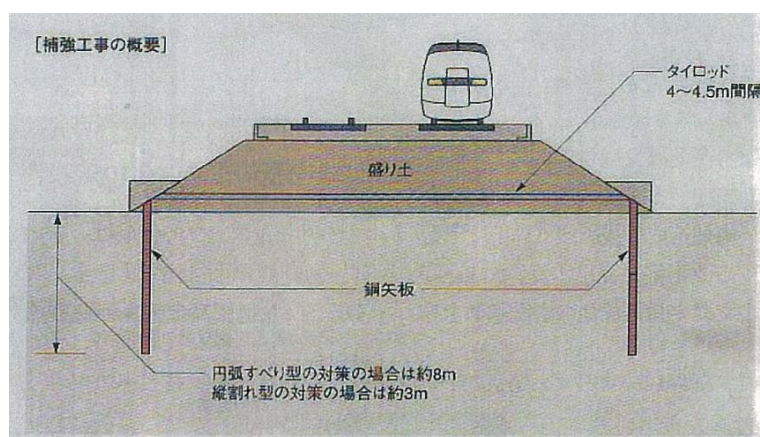
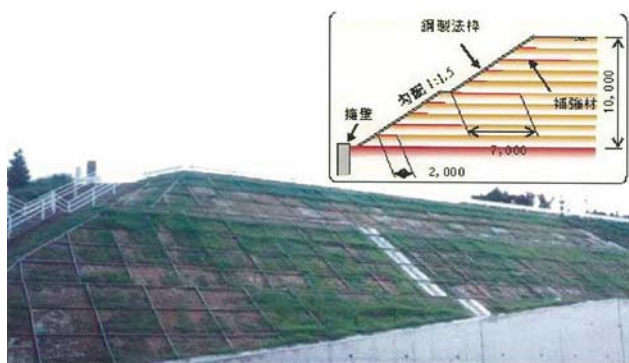


図-4.2.28 鉄道盛土耐震補強シートパイル締切工法（羽島市）2005 年

(ii) 補強土盛土工法

補強土盛土工法の施工事例を写-4.2.11 に示す。



写-4.2.11 補強盛土工法の実施例

(iii) 既存の盛土擁壁の耐震補強

盛土の擁壁（石積擁壁）の耐震補強工法の実施例を写－4.2.12 に示す。



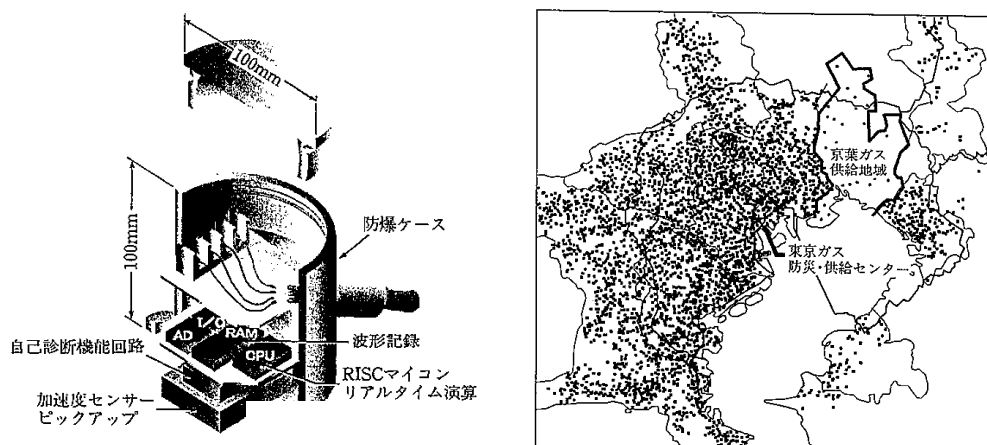
写－4. 2. 12 石積擁壁の耐震補強事例

(4) 技術開発への取り組み

液状化対策は、昭和 50 年代頃から実施されるようになったが、1964 年の新潟地震以降、液状化に対する研究が急速に進められた。また、1995 年に発生した兵庫県南部地震では、埋め立て地盤をはじめ広い範囲で液状化現象による各種被害が発生した。また、埋め立て地盤の護岸の背後地が海側に大きく変位する地盤流動現象が生じ、構造物に大きな被害をもたらした。この震災の後、液状化対策について以下のような内容の変化の動向が見られた。

- 1) 構造物の耐震設計基準類において、兵庫県南部地震のような極めて希な強い地震動（レベル 2 地震動）による耐震設計を考慮するようになった
- 2) 液状化に伴う地盤流動への対策を考慮するようになった

また、前述のような観点から位置付けられる液状化対策に対して、構造物個々の機能維持だけでなく、構造物個々の機能とそれらのネットワーク全体としての機能維持の対策も実施されている。その例として、液状化センサーとそれらのネットワークセンサーを図－4.2.29 に示す。



図－4. 2. 29 強震計（液状化検知が可能）と首都圏の配置

(5) 今後の展望と課題

近年の異状気象、地球温暖化の進展などに見られるように、地球全体が災害の危機管理を余儀なくされる状況に追い込まれる時代の到来がやって来ることが予想されるようになった。地球の地震活動は、これらの異状気象や地球温暖化とは直接関係したことはないのかもしれないが、

近年世界各地で頻発している地震の発生状況を見ても、関連性を疑わざるを得ない感覚を感じざるを得ない。

上記のような各種災害の脅威の警鐘が鳴らされる中、今後は災害に対する危機管理方法と災害対策技術の充実が求められる時代になったことは確実である。その中でも地震被害に対する危機管理意識は最近に始まったことではないが、予測・予知が極めて困難な自然現象であることから、その重要性は今後もますます高まっていくことと考えられる。

このような中、今までは地震被害の予測方法や液状化問題、構造物の耐震設計に様々なメスが入れられ、新たな設計法、予測技術あるいは設計基準の見直しがなされてきたが、平成7年に発生した「阪神・淡路大震災」以降、レベル2地震動を想定した設計法や対策工の見直しが急速に進められてきた。今後は、今まで着目されてこなかった対象物に対してもその耐震設計やライフサイクルコストの削減（長寿命化）、耐震補強方法の開発が求められるようになった。エネルギー関連施設（発電所関連施設）の耐震設計法の見直し、盛土構造物に対する耐震補強方法の提案がそうである。最近は、土構造物に対しても「土木構造物の耐震基準等に関する提言」（土木学会）に見られるように被害想定レベルを考慮した設計、補強の提案がなされるようになりつつある。今後はこれらの動きや耐震設計法の基準化と防災管理（危機管理手法）が一体となった行政指導の重要性が問われる時代がくると予想され、我々土木技術者もますます謙虚な姿勢で技術の発展に取り組んで行かなくてはならないと考える。

(6) アンケート調査による対策工事事例

No.13	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	震災(土)	緊急対策	山間部	国	道路	特命	半年以上3年未満	契約どおり	一億以上五億未満
問題点	工期短縮・安全確保・コスト低減・品質管理・上記にかかる人員及び資機材の確保、運搬・作業従事者のメンタルケア								
阻害要因	災害復旧の現場では、通常の工事と違い様々な制約を伴うものである。								
	物資の搬入ルートに制限があるのはもちろんであるが、その緊急性から、必要となる資機材や人員の確保が常に問題となってくる。								
	また、資材等は搬入してしまえば通常工事と同じ様に使用していただくだけであるが、建設機械に関して言えば修理や整備といったメンテナンス部品や整備士の確保、更には整備士の他工事に従事する関係者に関して言えば、人間として生きていくための衣食住の手配までをケアしていかなければならない。								
	一旦工事が始まれば、災害復旧という性質上、早急にまた現地との整合性を調整しながら施工しなければならないと言ったような通常工事には無い様々な問題を抱えながらの施工となる。								
方策	上記の様な問題点の中で、工期短縮を主眼に置き、特殊技能や特殊機械を必要としないで省力化を図るためにコンクリート2次製品を使用した。								
	従来、堤体型枠は本体供用であるために、鋼材が使用されていたが、鋼材ではその堤体規模により長尺物が必要とされ、運搬時やヤードの確保に大きな制約を受けてしまう。また、現地での溶接作業では特殊技能が必要とされるなどの問題もあった。								
	これに対し、コンクリートブロックでは連結方法がボルト接合であるため熟練を必要とせず、製造は工場で作成管理されるため品質の面からも労力確保の面からも効果が見込まれた。								
	また、小規模に分割して運搬する事も可能であるため、運搬車両が柔軟に選定でき、現地でのストックヤードも低減できるなどの効果が見込まれた。								
効果	・小規模に分割して運搬するため、運搬方法の制約が軽減できた。								
	・施工機械も小型汎用機械（ミニクレーン）で出来たため、機械やオペレーターの手配が容易であった。								
	・ミニクレーンのオペレーターは作業員を兼務できるため、クレーン作業が無い日でも固定メンバーで作業を行うことができ、少人化することができた上、安全管理の面でも有効であった。								
	・ボルト接合であるため普通作業員でも容易に施工方法を習得できた。								
評価	鋼材に比べ表面加工が容易に工場で行えるため、周辺環境にマッチした自然石模様とすることが出来た。								
	当初目標である省力化に対し、十分な効果があった。								
	問題点を挙げるとすれば、								
	・施工に準じた製作工程および搬入順序を確実に工場及び運送業者に伝える事								
	・在庫管理を確実に行うこと								
	・破損時の対応を緊急的に行う体制を確立しておく事								
No.14	・異形部分の加工あるいは製作を容易に出来る様に計画しておく事。								
	などがあるが、いずれも一般的な内容であり、今回の工事で致命的な問題となることは無かった。								
No.14	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	震災(土)	緊急対策	その他	地方自治体	砂防	指名競争	1年以上2年未満	5%未満の延	五億以上十億未満
問題点	工期の厳守、安全の確保								
阻害要因	震災による土砂崩れにより通行不能となった国道の応急復旧工事であった。土砂崩壊箇所の奥に孤立した集落があり、降雪前に仮設の道路を造成し住民の最低限の家財を陸路で運び出す必要があった。								
	仮復旧では旧ルート道路の復旧が困難と判断し、バイパス道路の造成を行った。								
	仮復旧工事現場内を徒歩での一時帰村の方や震災調査団の入場が多く、工期及び安全の確保に苦慮した								
方策	施主及び地元市町村に不急の理由での現場内入場許可を出さないよう依頼した。また、入場する方々には、作業所職員がエスコートし、作業の中断及び安全確保を図った。								
効果	作業の中断時間を極力少なくすることができ、また地元住民の方から大変感謝された。								

No.15	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	震災(土)	恒久(向上)	河川流域	国	砂防	一般競争	1年以上2年未満	契約どおり	五億以上十億未満
問題点	資機材搬入ルートに観光地(温泉、登山口など)を有し、登山者も500人/日と多いことから、生コンクリート車等の資機材搬入車両を極力低減すると共に、自然環境への配慮・工期短縮・安全確保等が求められた								
阻害要因	資機材搬入車両の低減による環境負荷低減、コスト縮減								
方策	堰堤袖部の嵩上げ工約5,000m ³ に現地発生土砂とセメントミルクを攪拌混合して、構造物を構築可能なソイルセメント工法（ISM工法）を適用								
効果	生コンクリート搬入車両の低減								
	発生残土の活用による残土搬出車両の低減								
	従来工法に対する型枠組立足場の省略								
	前記工法適用によるコスト縮減と環境負荷軽減								
No.16	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	震災(土)	緊急対策	その他	地方自治体	地すべり	指名競争	1年以上2年未満	契約どおり	五億以上十億未満
問題点	・施工工期の短縮 ・作業ヤードの確保								
阻害要因	・施工工期短縮の必要性 法面補強工の約3000本のロックボルト打設を2ヶ月で完了する必要がある。 法面下部の仮設道路を共用するため、ロックボルト打設のための仮設足場の設置スペースがない。								
方策	・ロックボルト施工工法の検討 足場を使用しないロックボルト工法の比較検討を行った結果、機動性、経済性より「スカイドリル工法」を採用した。本工法では、クレーンのブーム先端に削孔機を取り付け施工するため、施工範囲が法面下部のみに限定されるが、仮設道路の占用が必要最低限であり、法面上部は従来工法で施工することに対応できた。								
効果	・施工工期の短縮が図られた ①足場架設数量を従来工法に比べて3割削減でき、所定工期内に完了した。 ②ベースマシンに25tラフターを使用し、削孔機の移動時間が少なく、高い機動性が発揮された。								
	・足場架設作業を少なくすることで、高所作業が削減でき、突貫工事の中で作業の安全性が確保できた。								
No.17	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	震災(土)	恒久(向上)	山間部	民間インフラ	鉄道	特命	1月以上半年未満	契約どおり	一億以上五億未満
問題点	鉄道であるため早期復旧が最大の目的となり、将来的にも安定性、耐震性に優れた鉄道盛土の復旧が求められた。								
阻害要因	復旧工事が冬季にさしかかる時期からの着手となったため、土工量を低減するとともに、施工性に配慮した盛土材を選定する必要が生じた。また、復旧後の盛土には性能向上が求められたため、被災前の盛土とは異なる盛土工法の選定が必要となった。								
方策	盛土工法としてRRR-B工法を採用し、急勾配の盛土を構築することで土工量の低減を図るとともに、安定性と耐震性の向上を図った。また、盛土材には購入土（クラッシャーラン）を使用し、施工性の向上を図るとともに、品質の向上及び性能向上を図った。								
効果	高い施工性が得られ、盛土工の施工は2週間で完了し、品質についても良好な結果が得られた。								
評価	工期短縮、早期復旧が最大の目的であったが、適切な工法選定、材料選定によって、鉄道盛土の性能向上を実現できた。								
No.18	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	震災(土)	緊急対策	山間部	地方自治体	急傾斜地	指名競争	1年以上2年未満	10%以上の延	一億以上五億未満
問題点	河川内の工事で、洪水期も含めた工期設定となっている。								
	河川内の工事で、施工箇所への河川水流入防止として8吋水中ポンプ5台のみの形状であった。								
阻害要因									
方策	・台風時期を避け、10月より施工を開始した。（工期は6月より） ・構造物施工箇所周りに鋼矢板を打設し、止水を行った。								
効果	・工事開始が遅れによる工期延伸が発生。（発注者の地元対応が悪く工事中止が3回発生）そのため、工期終盤で、河川増水による被害を受ける。（構造物水没、資材流失）								
	・鋼矢板による止水を行ったが、最終的には8吋水中ポンプ9台で排水を行う。								

4.3 風水害（土砂災害）

（1）災害の実態と近年の傾向¹⁾

一般に土砂災害は、土砂移動の発生形態により、地すべり、土石流、がけ崩れに大きく分類される。我が国は、急峻な山地や谷地、崖地が多い上に、地震や火山活動も活発である等の国土条件に、台風や豪雨、豪雪に見舞われやすいという気象条件が加わり、土砂災害が発生しやすい条件下にある。また、近年では土木技術の進歩を背景に、林地や傾斜地およびその周辺等、潜在的に土砂災害の危険を有する地域を大規模に開発、造成し、土地の高度利用を図ることも少なくない。

このような国土条件、気象条件及び土地利用条件から、土砂災害は毎年 1,000 件程度発生しており、近年まれにみる集中豪雨が多数発生した平成 16 年には、実に 2,500 件を超える土砂災害が発生している。図-4.3.1 に最近の土砂災害発生件数を示す。

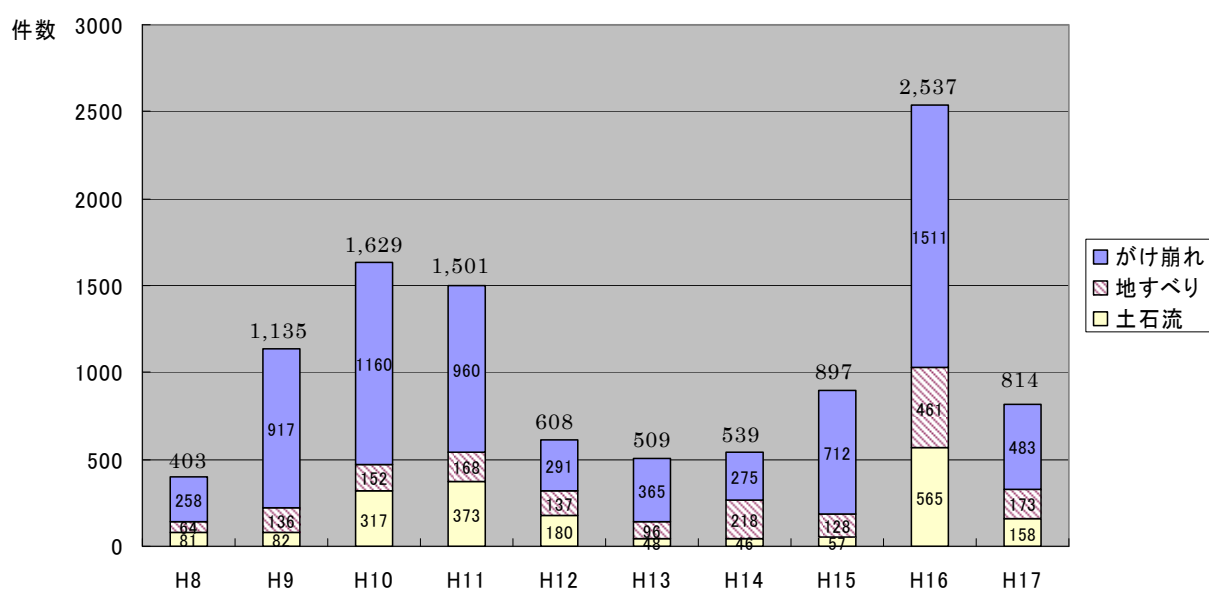


図-4.3.1 最近の土砂災害発生件数（平成 8 年～ 17 年）

また、土砂災害の発生が降雨による影響を強く受けることから、土砂災害のほとんどが 6 月から 10 月の梅雨期及び台風多発期に発生している。表-4.3.1 に過去 10 年間の代表的な土砂災害を示す。

表-4.3.1 過去 10 年間の代表的な土砂災害

年 月	名 称	死 者 行方不明 者数
平成 10 年 8 月	平成 10 年 8 月末豪雨（福島，栃木，茨城）	2 2 人
平成 10 年 9 月	台風 7 号，8 号豪雨（近畿地方，中部地方）	1 9 人
平成 10 年 10 月	台風 10 号豪雨（中国地方）	1 3 人
平成 11 年 6 月	広島県豪雨災害	3 9 人
平成 11 年 8 月	熱帯低気圧による大雨（神奈川県，埼玉県，東京都）	1 7 人
平成 11 年 9 月	台風 18 号災害（九州を中心とする全国）	3 1 人
平成 12 年 9 月	秋雨前線と台風 14 号による大雨（東海地方）	1 0 人
平成 13 年 7 月	九州北部地方における大雨（九州北部）	0 人
平成 13 年 8 月	台風 11 号豪雨（西日本を中心とする全国）	6 人
平成 13 年 9 月	台風 15 号豪雨（東日本を中心とする全国）	8 人
平成 13 年 9 月	台風 16 号豪雨（沖縄県，西日本）	0 人
平成 14 年 7 月	台風 6 号豪雨（東北地方を中心とする全国）	7 人
平成 14 年 7 月	台風 7 号豪雨（鹿児島県を中心とする全国）	0 人
平成 14 年 10 月	台風 21 号豪雨（北海道，東北，関東，中部地方）	4 人
平成 15 年 7 月	梅雨前線豪雨（熊本県など九州各地）	2 3 人
平成 15 年 8 月	台風 10 号豪雨（北海道を中心とする全国）	1 7 人
平成 15 年 9 月	台風 14 号豪雨（沖縄県を中心とする全国）	3 人
平成 16 年 7 月	台風 10 号，11 号に関連する大雨（中国，四国地方）	3 人
平成 16 年 8 月	台風 15 号に関連する大雨（東北，四国地方）	1 0 人
平成 16 年 8 月	台風 16 号豪雨（西日本を中心とする全国）	1 7 人
平成 16 年 9 月	台風 18 号豪雨（中国地方を中心とする全国）	4 5 人
平成 16 年 9 月	台風 21 号豪雨（西日本を中心とする全国）	2 7 人
平成 16 年 10 月	台風 22 号豪雨（東日本太平洋側）	9 人
平成 16 年 10 月	台風 23 号豪雨（西日本から関東地方）	2 7 人
平成 17 年 6 月	梅雨前線による大雨（九州地方から東北地方南部）	1 2 人
平成 17 年 8 月	台風 11 号豪雨（東海，関東地方）	0 人
平成 17 年 9 月	台風 14 号豪雨（九州，中国，四国地方を中心とする全国）	2 9 人

土砂災害は、土砂の移動が大規模であるため強大なエネルギーを持つとともに突発的に発生するため人的被害につながりやすく、毎年平均して 60 名もの人命が奪われており、自然災害による犠牲者の中でも大きな割合を占めている。また、道路や建物等にも壊滅的な被害を与える場合が多い。

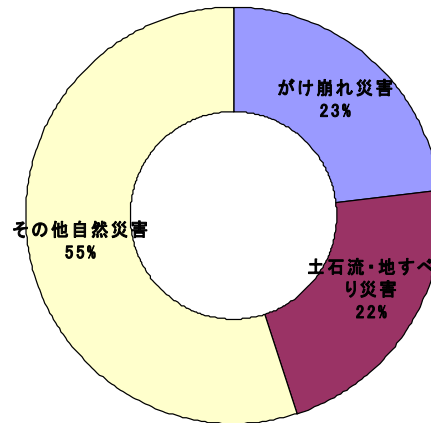


図-4.3.2 自然災害の死者・行方不明者にしめる土砂災害の割合状況
(昭和 42 年～平成 15 年)



図-4.3.3 平成 16 年 10 月 台風 23 号による土砂災害状況

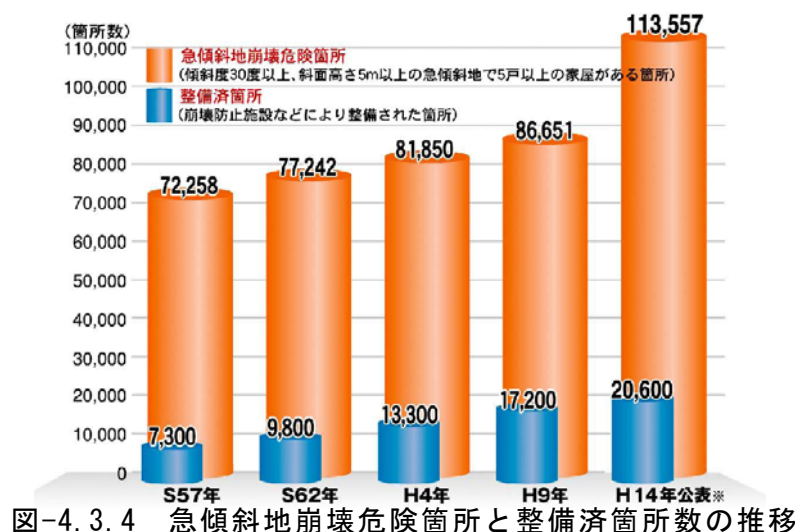
(2) 災害対策技術

(a) 災害対策の概要²⁾

土砂災害における災害対策は、従来、「地すべり等防止法」、「砂防法」、「急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律（急傾斜地法）」のいわゆる砂防三法に基づき、災害対策工事の実施（ハード対策）及び災害の発生を誘発・助長する行為の制限や警戒避難態勢の整備（ソフト対策）が実施されてきた。

土砂災害における災害対策工事は、地すべり、土石流、がけ崩れとも、概ね次のような方針で実施される。まず、災害発生の危険性について調査を実施し、危険があると判定された箇所を地すべり防止区域、土石流危険渓流、急傾斜地崩壊危険箇所等の災害発生危険箇所に指定して、災害防止対策が必要な箇所としての位置付けを明確にする。危険箇所のうち、災害が発生した際に大きな被害を被ると予想される箇所や、災害発生率が極めて高い状態にある箇所を重点的・優先的に災害対策工事を実施する。特に、病院や老人福祉施設、児童福祉施設等、防災上の配慮が必要な者が入居している施設に被害が及ぶ可能性がある箇所について、重点的に整備を実施している。

災害対策工事の実施により、整備が完了した災害発生危険箇所の数は着実に増加しているものの、市街地の拡大等により、林地や傾斜地およびその周辺等、災害発生の危険がある箇所を開発して住宅や公共施設、道路等を建設するケースが災害対策工事の整備箇所数を上回り、災害発生危険箇所は年々増加している傾向にある。整備が必要な危険箇所が増加しているにもかかわらず、土砂災害対策の施設を建設する砂防関係事業の予算は年々減少しており、災害対策工事によるハード対策のみでは土砂災害を根本的に解決することができない状況にある。したがって、災害対策を効果的に進めていくためには、災害対策工事によるハード対策と土砂災害発生危険箇所に対する開発行為の制限や警戒避難態勢の整備等のソフト対策とを、うまく組み合わせる必要がある。



従来の災害対策においてもソフト対策が講じられていないわけではなかったが、従来の砂防法に基づくソフト対策では以下のような問題があり、災害対策に対して有効に機能していない面があった。

- ① 自分の住んでいる土地が土砂災害の危険性があるのかどうか明確でない。
- ② 土砂災害を警戒すべき区域や土砂災害を防止するための措置について、法制度上明確になっていない。
- ③ 砂防三法のみでは災害危険個所への立地を抑制しきれない。

以上のような問題を解決するために、土砂災害防止法が平成13年4月1日に施行された。土砂災害防止法では、ソフト対策の効果を高めるために次のような措置が盛り込まれている。

- ① 土砂災害のおそれがある区域を明らかにし、当該区域内において、個別の箇所ごとに土砂災害の特性（突発性・瞬時性を有する、人的被害につながる等）を反映した警戒避難態勢の整備を図る。
- ② 特に危険の著しい区域においては以下のように対応する。
 - ・ 特に防災上の配慮を要する者が利用する施設の建築及び住宅宅地分譲を目的とした開発行為に対し、許可制を導入する。
 - ・ 居室を有する建築物についての構造基準を設ける。
 - ・ 災害を受けるおそれが著しい既存の建築物に対して移転等の勧告を行う。

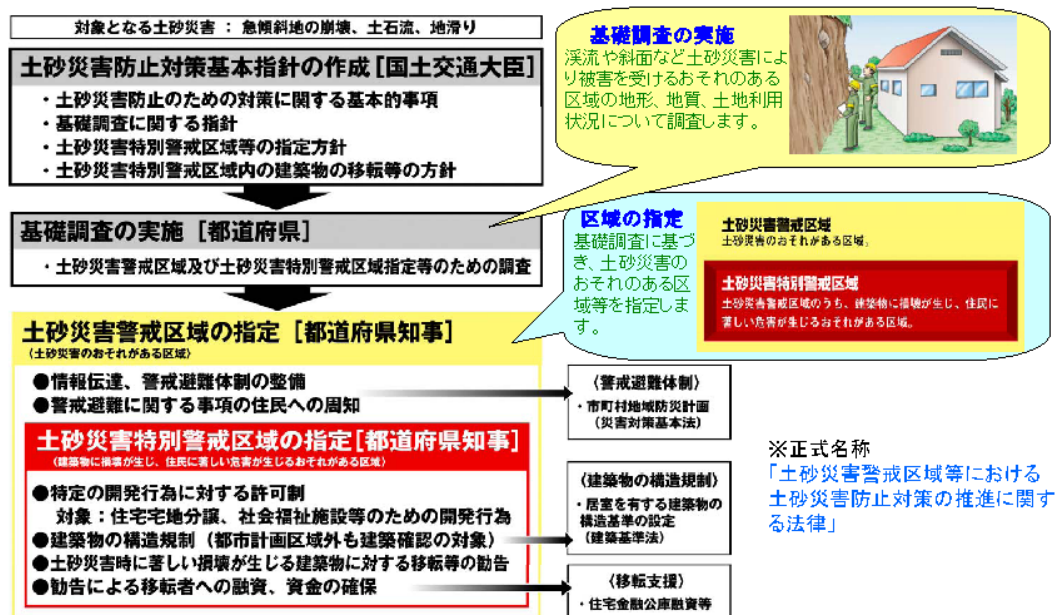


図-4.3.5 土砂災害防止法の概要

(b) 災害発生メカニズム^{3), 4)}**1) 地すべり**

粘性土などの滑りやすい層を境に、斜面の土塊がその形状を保ったままの状態に非常にゆっくり動く現象を地すべりと呼んでいる。土塊が動く速度には幅があるが、一般的には1日に数ミリから数センチ程度と移動速度が非常に遅いことが特徴である。また、がけ崩れが30度以上の急傾斜地で多く見られるのに対し、地すべりは5度～30度の緩傾斜地で発生することが多い。

地すべりの発生は、第三紀層泥質岩、変成岩および火山変質岩といった、粘土化しやすい性質を持つ地層を有する地域にほぼ限られる。これら滑りを起こす地層の深さは一般的に10m以上と深いため、がけ崩れと比較して規模の大きな変状をもたらすこととなる。また、一旦地すべりが発生すると、長時間にわたって土塊の移動が継続され、一度止まったとしても地下水の増加等をきっかけに再び動き出すということを繰り返す。したがって、地すべりが発生した箇所は地すべり特有の地形を示す。

地すべりは、滑動力（主に土塊の自重）と抵抗力（主に土塊底面の摩擦抵抗力と土塊趾部の受動土圧）とのバランスが崩れることにより発生する。バランスを崩す誘因には、

- ① 降雨や融雪などによる地下水の増加
- ② 河川による趾部の浸食
- ③ 地震、火山爆発などの振動
- ④ 人為的作用（掘削、盛土、貯水）

などがあげられるが、地すべり発生に最も影響のある誘因は地下水の増加である。降雨や融雪などにより地下水が増加した場合、すべり面の土の強度が低下すると同時に、間隙水圧が上昇することですべり面に対して鉛直に作用する有効応力が低下し、地すべりが発生する。

2) がけ崩れ

斜面表層の土砂や岩塊が地中のある面を境にして一気に滑り落ちる現象をがけ崩れと呼んでいる。地すべりと比較して面積的な規模は小さいものの、発生が突発的で土塊の移動速度が非常に速く、人的被害につながりやすいといった特徴を持っている。

がけ崩れが発生しやすい地形条件としては、急傾斜である、斜面の途中で傾斜が突然急になる、斜面が谷型（凹型）になっている、上方に広い緩傾斜地を持つ等があげられる。また、地すべりのように決まった地質条件の箇所で発生するといったことはないが、深部まで風化を受けやすい花崗岩、変質し粘土になりやすい火山岩及び変成岩、シラス（火砕流の堆積層）などから構成される斜面は、がけ崩れが発生しやすい。

がけ崩れは、地すべりと同様に土塊の滑動力と抵抗力とのバランスが崩れることに

より発生するが、バランスを崩す主要な要因は降雨である。降雨により雨水が地中に浸透して飽和状態になると、有効応力が減少して摩擦抵抗が少なくなり、斜面表層の土塊が一気に下方へ滑り落ちることとなる。

3) 土石流

大量の岩石や土砂が、大量の水とともに高速で流下する現象を土石流と呼んでいる。一般的な発生のメカニズムは、大雨によって発生したがけ崩れの土塊が砕けながら谷間に滑り落ち、増水した谷の水と混ざり合って谷底を流下するといったものである。その他、噴火による融雪、火山湖の決壊、地震によるがけ崩れによって発生する場合もある。

土石流中には種々の大きさの砂礫や岩塊が混ざっているが、大きな岩や礫は表面へ押し上げられ、表面の速い流れに運ばれて先頭に集まってくる。また、谷底に厚い堆積土砂があると、これを取り込みながら雪だるま式に成長し、勢力を増しながら流下していく。流下速度も毎秒10～20m程度と非常に高速である。このように、土石流は非常に大きな破壊エネルギーを持っているため、集落や道路などに壊滅的な被害を及ぼすとともに、多くの人的被害を発生させることが多い。

土石流が発生しやすい箇所は、がけ崩れが起りやすい山地内にあり、急勾配区間が長く、谷底に土砂が厚く堆積している谷である。特に、火山灰や火山礫で構成される火山の谷では、土石流発生の危険が大きい。



図-4.3.6 災害発生のイメージ

(c) 調査・解析・予知技術

1) 調査技術^{4), 5)}

a) 地すべり

地すべり調査は、予備調査、概査、及び精査に分類することができる。

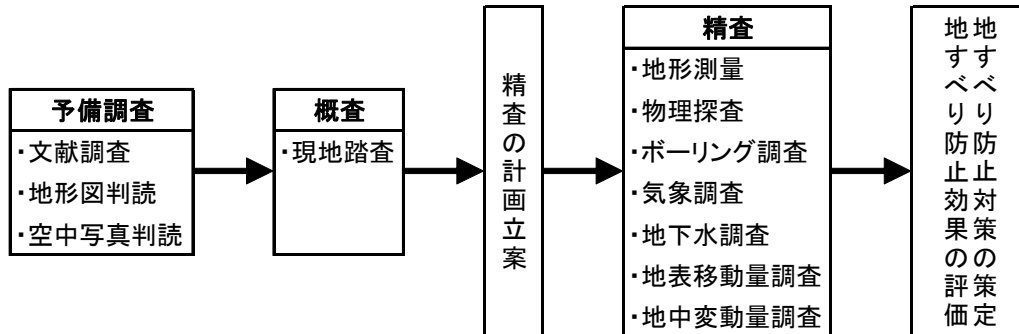


図-4.3.7 地すべり調査のフロー

(i) 予備調査

予備調査は、広域における地すべりの予察を行い、地すべり地周辺の概況を把握するために実施するもので、文献調査、地形図判読、空中写真判読が含まれる。

(ii) 概査

概査は、地すべり災害の緊急性を判断し、また精査を効率よく行うために、精査に先立って実施するもので、専門の技術者が現地を歩いて地形・地質・植生・地下水等の状況を調査する現地踏査が含まれる。必要に応じて、簡単な地形測量や地表移動量調査を実施する場合もある。

(iii) 精査

精査は、地すべりの原因、移動状況、メカニズムを把握して、地すべり防止対策を策定するために実施するもので、以下の調査が含まれる。

① 地形測量

現地の地形を把握し、地表の変状等を正確に記録するために地形測量を実施し、平面図、縦断図等を作成する。広範囲の測量を効率よく実施するために、航空機等に搭載したレーザー測距器により地形を計測するレーザープロファイラー等を利用することもある。

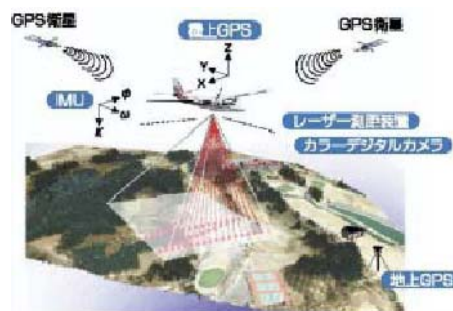


図-4.3.8 レーザープロファイラー測量の概要

②物理探査

弾性波探査，電気探査，地温探査，自然放射能探査，電磁探査など，地盤の物理量を測定して，面的な地質構造，地下水の状態を把握する。航空機等に搭載したセンサーを利用して，広域の調査を行うこともある。

③ボーリング調査

ボーリング孔を掘削してコアを採取し，目視による観察により地中の状況を把握する。また，同時に標準貫入試験，電気検層，速度検層等を実施することもある。

④気象調査

地すべり地周辺の降水量，積雪量，融雪量を継続的に調査して，地すべり移動との関連を把握する。

⑤地下水調査

地下水は，岩石の風化を促進させ，土のせん断抵抗を低下させるとともに，すべり面の間隙水圧を増加させて滑動を促進することから，地下水の量，分布を把握することは地すべり調査の中でも重要な位置を占める。まず，ボーリング孔を利用した地下水検層・簡易用水試験等を実施し，地下水の状況を把握する。また，水位計等によりボーリング孔の地下水位（間隙水圧）を継続的に計測する。さらに，必要に応じて，水質調査，トレーサーを使った地下水追跡調査により，地下水の経路を把握する。

⑥地表移動量調査

地表に発生した亀裂，陥没，地盤の盛り上がり等の変化を標柱観測，地表伸縮計，傾斜計により計測し，地すべりの移動量及び移動方向を把握する。最近では，GPS測量を用いた観測が多用されるようになってきており，光ファイバーや3次元レーザースキャナ，リモートセンシングなどを用いた方法なども試みられている。また，情報通信技術の進歩に伴い，測定データを有線・無線回線を利用して事務所のコンピュータに伝送する自動計測システムも開発されている。

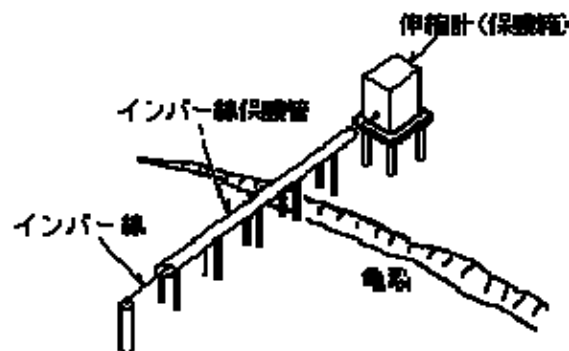


図-4.3.9 地表伸縮計設置図

⑦地中変動量調査

ボーリング孔を利用して，パイプひずみ計，孔内傾斜計，地中伸縮計等を設置し，すべり面の位置，移動量，方向を把握する。

b) がけ崩れ

がけ崩れ対策を行うための調査方法は、主に計画段階に実施する予備調査と設計段階に実施する本調査に分類できる。

(i) 予備調査

予備調査は、主に資料調査と現地踏査に分けられる。資料調査では、過去の災害記録、気象記録、地震記録、地質図、地形図、空中写真等の資料、その土地の郷土史や古い言い伝え等について調査する。現地踏査では、地形・地質及び土質・植生等の環境要因・保全対象等からがけ崩れの危険度を判定し、がけ崩れ対策を実施する対象区域を決定する。

(ii) 本調査

予備調査により対象区域が決定されると、対策工の設計を実施するための本調査を実施する。がけ崩れ対策工の設計では、がけ崩れがどの程度の規模で発生するか、すなわち、すべり面がどこになるかを想定する必要がある。すべり面を想定するための調査方法としては、ボーリング、サウンディング、物理探査（弾性波探査、電気探査、電磁探査）が挙げられる。これらの調査により、地盤の土層構成や物理的・化学的・力学的性質を把握し、すべり面を想定することとなる。

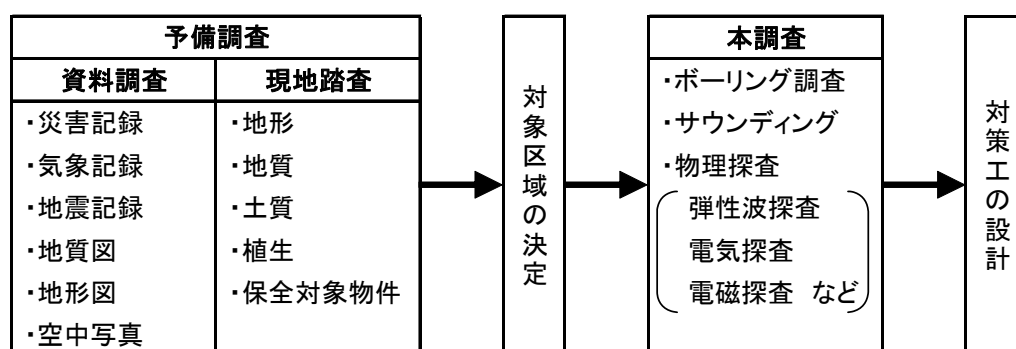


図-4.3.10 がけ崩れ調査のフロー

c) 土石流^{6), 7)}

土石流の調査は、災害発生の危険性を把握するための調査と土石流対策を実施するための調査に分類される。

土石流災害発生の危険性を把握するための調査には、「土石流危険渓流調査」、「土石流危険区域調査」、「土砂災害防止に関する基礎調査」などがある。これらの調査では、まず1/25,000以上の地形図をもとに谷地形かつ溪床勾配 3° （火山砂防地域では 2° ）以上の渓流域を抽出する。抽出した流域について、土石流の特性、地形条件および過去の土石流発生履歴を考慮して、土石流による想定被災範囲を設定する。この範囲内において、保全対象（人家や公共施設・災害弱者関連施設）の個数を把握する。以上の想定被災範囲及び保全対象個数に応じて、溪床及び山腹の状況調査、既設砂防施設

の調査を行い、土石流危険渓流カルテを作成する。

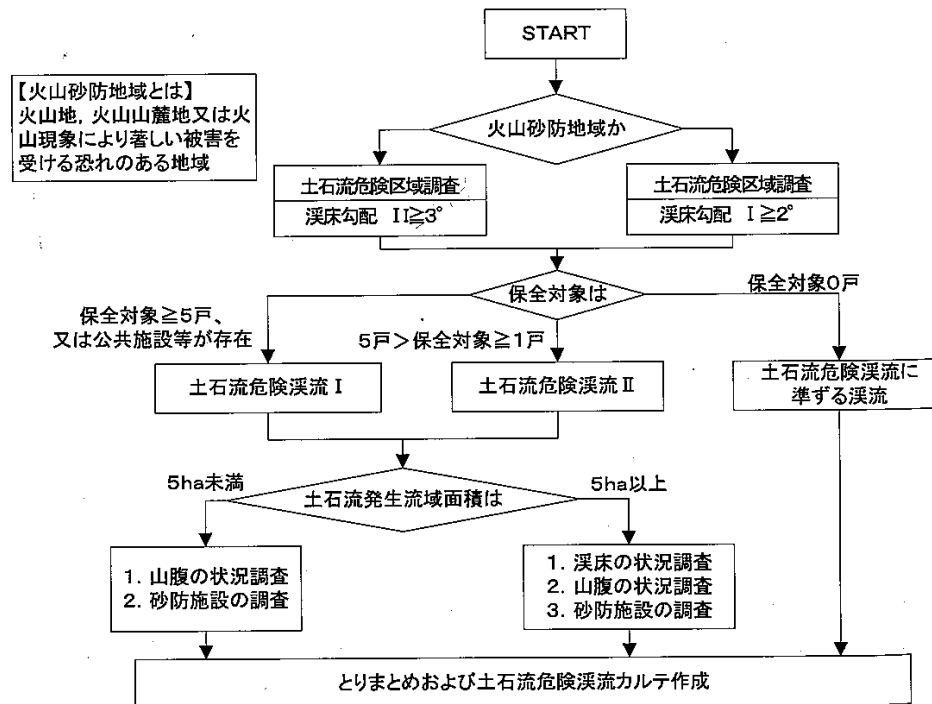


図-4.3.11 土石流危険渓流の調査フロー⁶⁾

土石流対策を実施するための調査は、土石流危険渓流調査の結果をもとに、土石流規模の設定や対策施設の仕様を決定するための調査で、現地調査が中心となる。土石流対策は、100年に1回発生する土石流を対象に実施される。対象となる土石流の規模は、降雨量から算定される運搬可能土砂量と対象とする流域の荒廃状況や崩壊土砂、渓床堆積物、土石流堆積物などの不安定土砂量の対比により設定される。この不安定土砂量を算定するために現地調査を実施する。不安定土砂量は、0次谷や山腹の崩壊可能土砂量の算定結果に、土石流発生時の推定渓床浸食幅・深に基づく移動可能渓床堆積土砂量を加えることで算定されることとなる。現地調査時には、狭窄部や緩勾配部などの土砂が堆積しやすい地点、溪岸浸食や崩壊・地すべりが存在する地点、露岩箇所、既往砂防施設の堆砂状況、土石流に巻き込まれる巨礫の大きさなどの基礎資料も収集する。

2) 安定解析技術⁴⁾

土砂災害を対象とする場合に最も重要となる解析は、斜面の安定解析である。斜面の安定解析は、対象となる斜面を平面でモデル化するか立体でモデル化するかにより、二次元解析と三次元解析に分けられる。また、安定性の考え方により、土塊が滑り落ちる直前の力の釣り合い状態を考える極限平衡法と、斜面内各点における局所的な応力状態を考える応力解析法とに分類される。

最も一般的に行われるのは、極限平衡法による二次元解析である。極限平衡法では、土塊が滑り落ちる際のすべり面を仮定し、土塊を剛体と考えて滑動力と抵抗力の比で安定性を評価する。この滑動力と抵抗力の比を安全率と呼んでいる。仮定するすべり面の形状や滑動力と抵抗力の考え方によりいろいろな方法が提案されている。

応力解析法による二次元解析には有限要素法があり、各点におけるモール応力円の半径と破壊基準線までの距離との比により局所安全率を算定し、潜在的なすべり面の位置や局所的な破壊の検討を実施する。

三次元安定解析には、極限平衡法による二次元解析を三次元に拡張した Hovland 法などの方法と、二次元解析と同様に局所的な応力状態を考える有限要素法がある。

表-4.3.2 斜面安定解析法

		安定解析法名	すべり面形状
二次元解析	極限平衡法	無限斜面法	直線
		スウェーデン法（簡易法、フェレニウス法）	円弧
		修正フェレニウス法	〃
		簡易ビショップ法	〃
		ビショップ法	〃
		簡易ヤンプ法	非円弧
		ヤンプ法	〃
		M&P 法	〃
		Spencer 法	〃
	応力解析法	有限要素法	—
三次元解析	極限平衡法	Hovland 法	
		修正 Hovland 法	
		簡易ヤンプ法	
		Spencer 法	
	応力解析法	有限要素法	

3) 予知技術

a) 降雨特性に基づく予知技術^{5), 7), 8), 9)}

発生のメカニズムでも述べたように、土砂災害を発生させる主な誘因は降雨である。しかしながら、大雨が降ったら必ず土砂災害が発生するとは限らず、降雨データからどこで土砂災害が発生するかを予測することは困難である。しかし、雨が多く降るほど土砂災害発生の可能性が高いことは分かっており、降雨特性から土砂災害発生の危険性を評価・予測し、警戒を呼びかける取り組みがなされている。

(i) 雨量観測と降雨量予測

降雨と土砂災害を関連づけて考える場合、雨量の観測は不可欠である。現在、我が国で行われている雨量の観測方法には、雨量計による方法とレーダーによる方法がある。

雨量計による観測方法は、降雨を漏斗型の容器に受けて設置点の雨量を観測するもので、日本では直径 20cm のものが標準的に使用される。雨量計には様々な型式のものが存在するが、気象業務法により公共的な気象観測には貯留型雨量計または転倒ます型雨量計を使用することとされている。雨量計は、道路、鉄道の沿線や全国に約 1,300 箇所ある気象庁のアメダス観測所に設置されているほか、気象庁以外の国の機関や都道府県でも雨量観測のために設置している。雨量計による観測は、設置点における降雨量を正確に観測できる反面、点の観測であるために設置点間における局地的な豪雨はとらえることができない。



図-4.3.12 転倒ます型雨量計の例



図-4.3.13 アメダス観測所

レーダーによる観測方法は、マイクロ波と呼ばれる電波を使って半径数百 km に及ぶ広範囲内の雨を短時間で観測する方法である。雨に反射して戻ってきた電波の強さから降雨量を測定し、電波が往復する時間から雨が降っている場所までの距離を測定する。現在整備が進められている気象ドップラーレーダーと呼ばれる機器では、降雨量に加え、戻ってきた電波の周波数のずれ（ドップラー効果）を利用して、降雨の動きを観測することもできる。気象庁では、全国に 20 箇所設置したレーダーにより国土の

ほぼ全域をカバーして観測を実施しているほか、国土交通省河川局および道路局でも降水観測用レーダーを設置して観測している。レーダーによる観測は、面的な観測であるため広範囲における降雨情報を収集することができる反面、測定精度は雨量計に劣る。

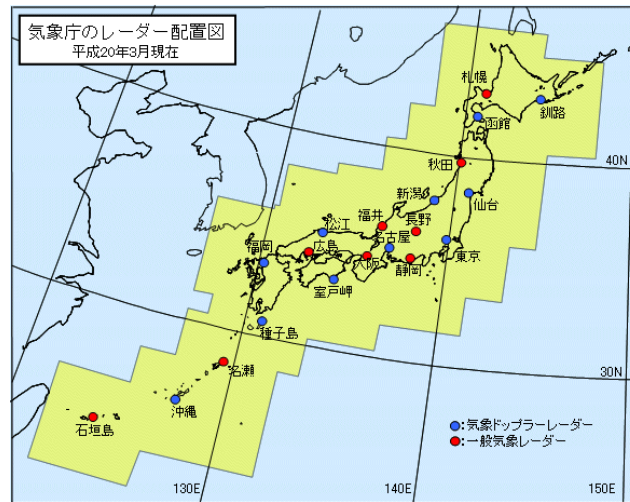


図-4.3.14 気象庁レーダー配置図

国土交通省では、精度の高い降雨情報を提供するために、レーダー観測雨量を雨量計観測雨量で補正した「解析雨量」を実用化している。解析雨量は、全国を $1\text{km} \times 1\text{km}$ のメッシュに分割し、そのメッシュ毎に過去 1 時間の雨量を 30 分間隔で解析的に算出したものである。解析雨量の算出には、レーダー観測雨量として国土交通省河川局および道路局の降水観測用レーダーと気象庁レーダーの観測値、雨量計観測雨量として気象庁のアメダスデータと気象庁以外の国の機関や都道府県の雨量計データが使用される。気象庁では、この解析雨量を利用して、1 時間～6 時間先までの雨量分布を予測して発表している。6 時間先までの各 1 時間雨量を 30 分間隔で予測しているものが「降水短時間予報」、1 時間先までの各 10 分間雨量を 10 分間隔で予測しているものが「降水ナウキャスト」である。

（ii）雨量指標

降雨特性から土砂災害の発生を予測する場合、降雨特性は様々な雨量指標によって表現される。ここでは、主に使用される雨量指標について説明する。

雨量観測データを整理することにより得られる指標としては、以下のものがある。

- ①時間雨量 : 毎時 0 分から起算して過去 1 時間に降った雨量 (mm)
- ②60 分間雨量 : 直近の過去 60 分間に降った雨量 (mm)
- ③日雨量 : 該当日の 0～24 時までに降った雨量 (mm)
- ④24 時間雨量 : 直近の過去 24 時間に降った雨量 (mm)
- ⑤連続雨量 : 前後に無降雨期間を有する一連の降雨における累積雨量 (mm) (一般的に無降雨期間 24 時間でリセットされるが NEXCO では 6 時間、JR では 12 時間とする場合もある)

⑥実効雨量

現在降っている雨にこれまでに降った雨の影響を考慮した雨量と呼んでいる。実効雨量は、1984年に建設省河川局砂防部が作成した「土石流災害に関する警報の発令と避難指示のための降雨量設定指針（案）」（以下、指針案と呼ぶ）ではじめて採用されたが、指針案で採用された算定式では、24時間以上の無降雨期間が出現しない限り実効雨量が増大し続けるため、長雨や断続的な降雨下での不適合や、警戒解除判定への指標にはなりにくい点が指摘されていた。そこで、1993年に建設省河川局砂防部が作成した「総合土砂災害対策検討会における提言および検討結果」（以下、提言案と呼ぶ）では、上記の不具合を改良した以下に示す算定式を採用している。

$$R_w = \sum a_t \times R_t$$

ここに、

R_w : 前期実効雨量

a_t : t 時間前の減少係数 ($=0.5^{t/T}$)

R_t : t 時間前の時間雨量

T : 半減期

一方、降雨により土壤中に貯留された雨量に着目した指標として、気象庁が実用化している土壤雨量指数がある。土壤雨量指数は、気象庁のレーダー・アメダス解析雨量（気象庁のレーダー観測雨量をアメダス観測雨量で補正した雨量）とタンクモデルと呼ばれる浸透・流出解析モデルを組み合わせ、全国5km×5kmメッシュごとに土壤中に貯まっている雨量を推定したものである。土壤雨量指数の算定に使用するタンクモデルでは、下方及び側方に流出孔を持つタンクを3段直列に配置しており、流出孔の位置や大きさにより該当地域の浸透、流出特性を表現する。3つのタンク貯留量を合計したものが土壤雨量指数である。

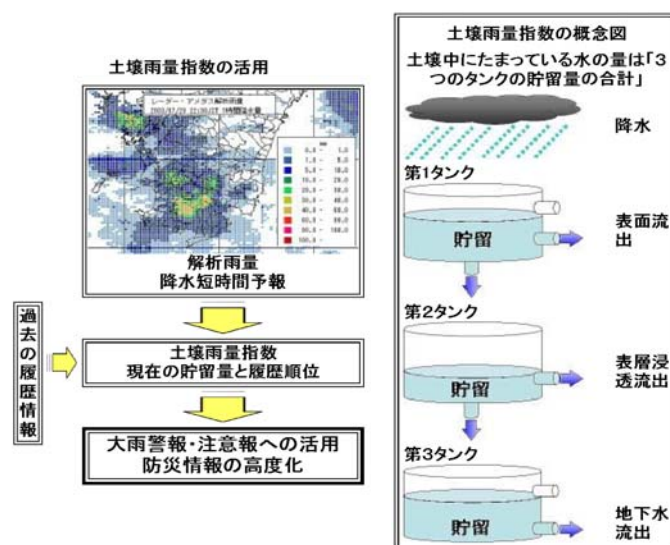


図-4.3.15 土壤雨量指数の概念図

(iii) 各種基準雨量の設定方法と警戒・避難システム

① 土壌雨量指数による大雨警報の「重要変更」

タンクモデルを用いた浸透・流出解析により算定される土壌雨量指数を使用して、過去に全国で発生したがけ崩れおよび土石流を分析した結果から、両者の相関が高いことが判明しており、指数値が高いほど土砂災害の発生が高いと判断できる。しかし、同じような高い指数値が出現したとしても、土砂災害が発生しやすい地域と発生しにくい地域では危険度は異なり、土壌雨量指数の絶対値で危険度を判定するのは困難である。そこで、土壌雨量指数に履歴順位という概念を導入し、ある場所での過去の降雨による指数値と現在の値とを比較して、現在の指数値が過去何番目の高さであるといったような相対的な表現が行われている。各地の気象台では、土壌雨量指数が過去10年間で最も大きくなった場合に、発表中の大雨警報を更新して「【重要変更】〇〇市，△△町では過去数年間で最も土砂災害の危険性が高まっています。」と土砂災害に対する警戒を呼びかけている。

② 土砂災害警戒避難基準雨量

国土交通省は、建設省の時代から各都道府県に対して、土砂災害警戒避難基準雨量を設定し、地域住民への避難・勧告を行うシステムの整備を促進するよう指導してきた。各都道府県における土砂災害警戒避難基準雨量の設定方法はいろいろあるが、一般的には1984年に建設省河川局砂防部が作成した「土石流災害に関する警報の発令と避難指示のための降雨量設定指針（案）」による方法（以下、指針案と呼ぶ）と1993年に建設省河川局砂防部が作成した「総合土砂災害対策検討会における提言および検討結果」による方法（以下、提言案と呼ぶ）が使用されている。以下、土砂災害警戒避難基準雨量の設定方法について説明する。

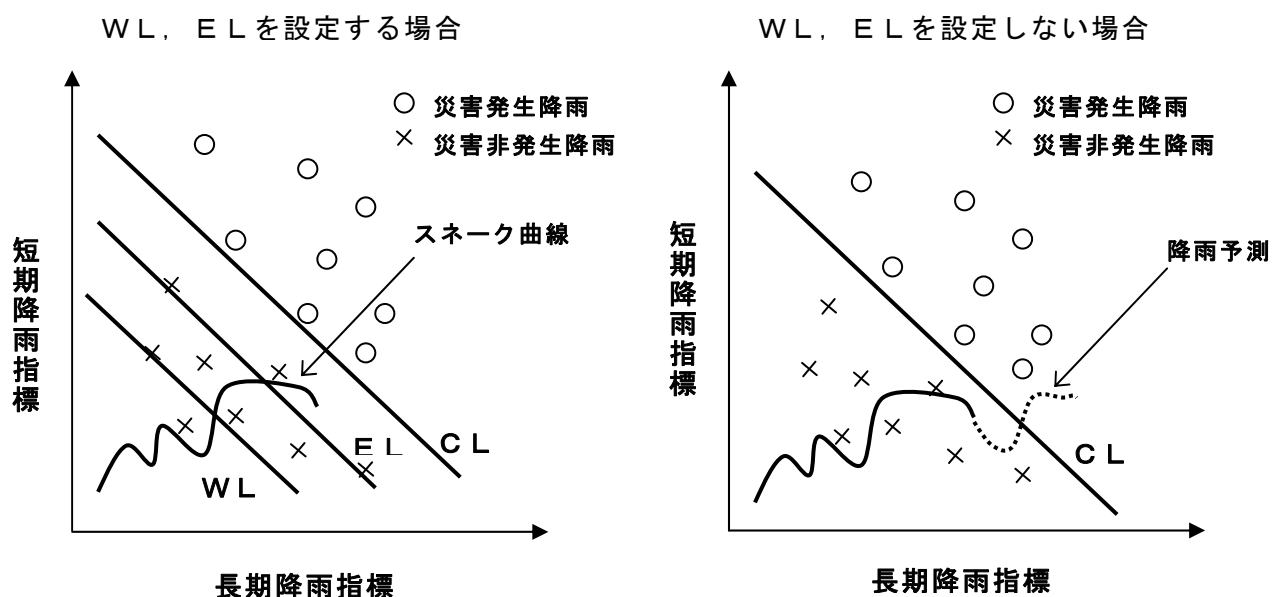


図-4.3.16 基準雨量およびスネーク曲線概念図

まず、短期的な降雨の状況を表す指標（短期降雨指標）を縦軸に、長期的な降雨の状況を表す指標（長期降雨指標）を横軸に設定した2次元平面上に、土砂災害が発生した降雨と発生しなかった降雨をプロットし、二つの領域の境界線を引く。

この境界線を土砂災害発生危険基準線（CL）という。次に、警戒の発令や非難指示を出す判断のためにCL到達までの時間的余裕を設定し、CLの手前に警戒基準線（WL）と避難基準線（EL）を引く。この判定図上に現況降雨を時間の経過に沿ってプロットしたものをスネーク曲線と呼び、スネーク曲線が基準線を超えた場合に警戒の発令や非難指示を出すこととなる。WLおよびELを設定せず、短時間降雨予測を利用して数時間先のCL超過判定を実施することにより、警戒発令および非難指示を行う場合もある。

降雨指標の設定については、集中的に発生するがけ崩れに対しては提言案が使用される場合が多く、長期降雨指標として72時間半減期実効雨量、短期降雨指標として1.5時間半減期実効雨量を使用する。土石流に対しては指針案を改良したものが使用される場合が多く、長期降雨指標として実効雨量（12～72時間半減期）、短期降雨指標として60分間雨量が使用される。

③土砂災害警戒情報

気象庁と国土交通省河川局では、過去の重大な土砂災害を分析し、事前に適切な避難勧告や警戒情報が発信されていない場合が多かったことをつきとめた。そこで、平成14年度からの確・適切な情報提供ができるよう取り組みを開始し、いくつかの都道府県をモデルに土砂災害警戒情報の発信体制を整備してきており、平成17年9月1日に熊本県で最初の発表がなされてから本格運用を開始している。さらに、災害対策におけるハード対策とソフト対策の調和が強調される中で、平成18年9月に土砂災害防止対策基本方針が変更され、都道府県は土砂災害警戒情報を市町村や住民へ伝達するようにつとめる必要性があると明記された。土砂災害警戒情報の発信体制が整っていない各都道府県では、各地方气象台と共同で、大雨によって土砂災害発生の危険性が高まった市町村を特定し、情報を発信できる体制を整えているところである。

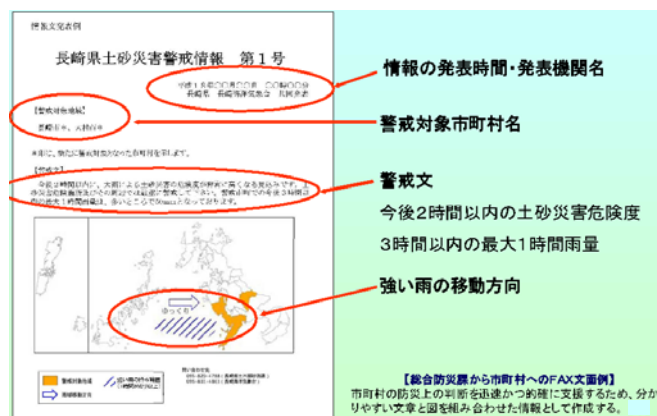


図-4.3.17 土砂災害警戒情報の例

土砂災害警戒避難情報の作成および発表は、平成17年6月に国土交通省河川局砂防部および気象庁予報部より公表された「都道府県と気象庁が土砂災害警戒情報を作成・発表するための手引き」(以下、手引きと呼ぶ)にしたがい実施する。手引きでは、発表の判断に用いる指標と基準は、「国土交通省河川局砂防部と気象庁予報部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法」(以下、連携案方式と呼ぶ)に基づくことを原則とするとされている。連携案方式では、長期降雨指標に土壌雨量指数、短期降雨指標に60分積算雨量を使用し、1kmメッシュごとに土砂災害発生危険基準線(CL)を設定する。CLの設定には、学習能力のある階層型ニューラルネットワーク(RFBN)が使用される。解析雨量に基づく短時間予測雨量を利用してCL超過を判定し、土砂災害警戒情報を発表している。

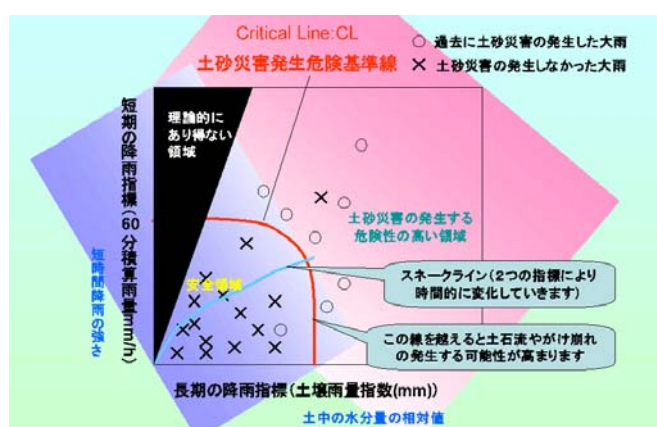


図-4.3.18 連携案における土砂災害発生危険基準線の設定概念図

ただし、連携案方式を利用するのが難しい場合は、各都道府県が設定している土砂災害警戒避難基準雨量と地方気象台の土壌雨量指数を AND 条件または OR 条件で運用する（AND/OR 方式）ことも可能とされている。

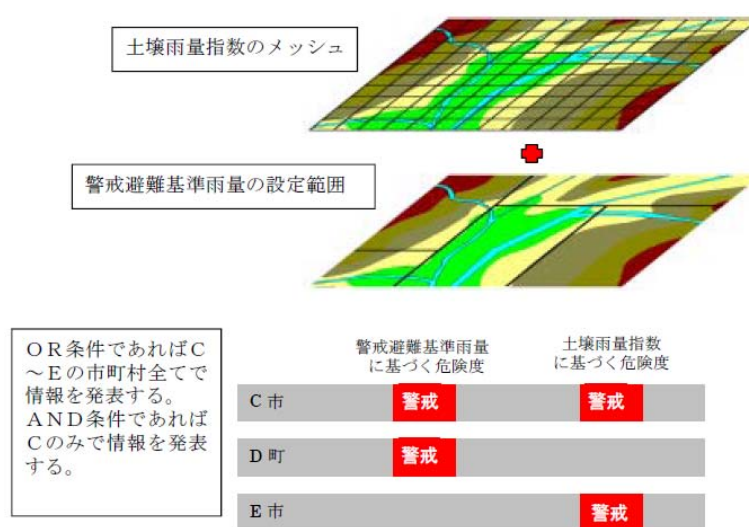


図-4.3.19 AND/OR 方式における土砂災害警戒情報発表基準の考え方

④一般道路における通行規制基準

国道や県道等の一般道路のうち、降雨により土砂災害が発生する危険のある区間については事前通行規制区間として位置付け、道路管理者は降雨量がある基準に達した場合に通行止めの措置を行っている。通行止めの判定には一般的に連続雨量法が使用され、雨量の基準には連続雨量が使用される。区間によっては連続雨量と時間雨量を併用する場合もある。しかしながら、連続雨量法では2時間から3時間の連続無降雨期間（時間雨量 2mm 以下の期間）があった時点で累積雨量をゼロクリアするため、先行雨量の影響や地中に浸透している雨量の影響は考慮できないという問題がある。実際、基準雨量以下の連続雨量で災害が発生している例もある。また、災害発生と非発生との分離性が悪く、規制をしているにもかかわらず災害が発生しないという場合も数多く発生している。そこで、先行降雨により地中に浸透している雨量の影響を考慮できる方法として、実効雨量を基準雨量とした換算連続雨量法（実効雨量法）を使用あるいは併用している区間もある。

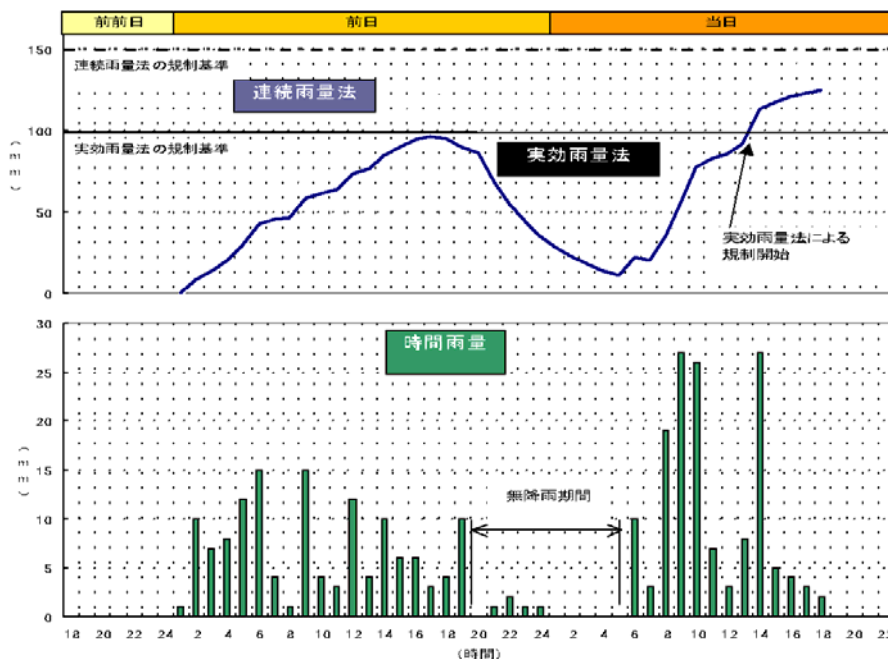


図-4.3.20 連続雨量法と換算連続雨量法（実効雨量法）の模式図

⑤高速道路における通行規制基準

NEXCOでは、降雨による土砂災害から通行車両を保護するために降雨通行規制基準値を設定し、基準値を超えた場合には事前に車両の通行を規制している。基準値の設定には、連続・時間雨量法と呼ばれる方法が使用されている。この方法は、過去20年間程度のアメダス観測所雨量データと災害履歴を用い、対象区間における降雨と災害の特性を勘案して基準値を定めるものである。基準値の設定に用いる雨量指標は時間雨量と連続雨量であり、両者を組み合わせた雨量と連続雨量を基準値として使用する。このときに使用する連続雨量は6時間の無降雨（2mm/hr 以下）でゼロクリア

されたものである。まず、縦軸に時間雨量、横軸に連続雨量をとり、1観測所の降雨データを1枚のグラフに折れ線状にプロットする。こうして作成したグラフを降雨履歴図という。次に、降雨履歴図を使用して、概ね20年間で3～4回出現する降雨量（5～6年確率降雨量）を各インターチェンジ間の「降雨通行止め仮基準値」として設定する。この仮基準値を地域特性に応じて修正したものを最終基準値としている。

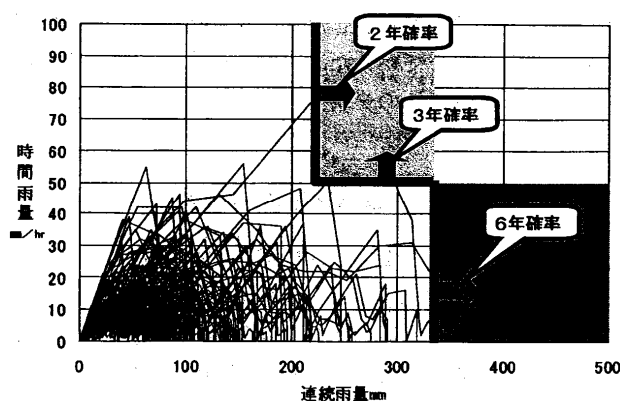


図-4.3.21 降雨履歴図を用いた降雨通行規制基準値の設定例

⑥鉄道における運転規制^{10), 11)}

ここでは、鉄道における運転規制のうち、JRの在来線および新幹線で実施されている一般的な運転規制について説明する。

JRが使用している降雨指標は60分間雨量と連続雨量であり、両者を組み合わせて「警戒（警備）」、「速度規制（徐行）」、「運転中止（列車停止）」の運転規制および災害警備を行っている。このとき、規制雨量値は線区の防災強度から定めており、線区の防災強度が高い箇所（高架橋や平坦地上の素地区間など）においては運転規制を除外する場合もある。なお、JR各社においては、管轄する範囲の気象条件の違いから、上記の運転規制とあわせて独自の運転規制をおこなっている。たとえば、JR西日本では60分間雨量と連続雨量に加えて5日間の積算雨量を組み合わせ、通常の運転規制に比べて厳しい規制を行っている。また、JR九州では、実効雨量による運転規制を行っている。

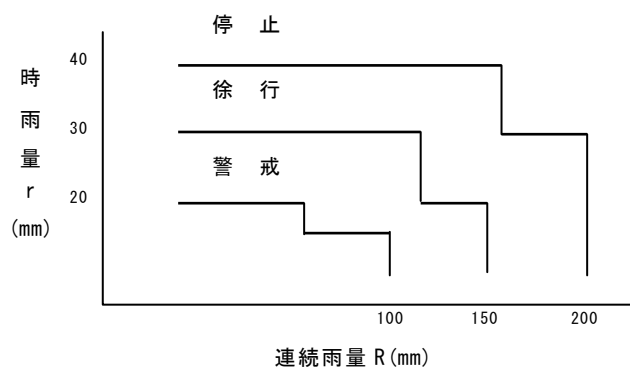


図-4.3.22 運転規制雨量の設定例

表-4.3.3 運転規制の区分（各規制共通）

区分	災害等の想定内容
警戒 (警備)	雨量が発令基準値に達した場合、災害の発生する恐れはほとんどないが、場所によっては災害の前兆の一部が観測されることがある。
速度規制 (徐行)	雨量が発令基準値に達した場合、過去の経験からは災害が発生したことはないが、場所的・時間的に異常な降雨パターンのもとでは軽微な災害が発生する可能性がある。
運転中止 (列車停止)	雨量が発令基準値に達した場合、災害の起こる可能性がある。

鉄道における新しい危険度評価の手法として、限界雨量に基づく斜面の危険度評価手法がある。この方法は、昭和50年頃から昭和63年頃までに降雨によって発生した斜面の崩壊データを判別解析や数量化Ⅰ類といった統計的な解析を用いて整理し、崩壊雨量（限界雨量）の予測式を求めたものである。限界雨量予測式は、連続雨量 R のべき乗と時間雨量 r のべき乗の積として表される。

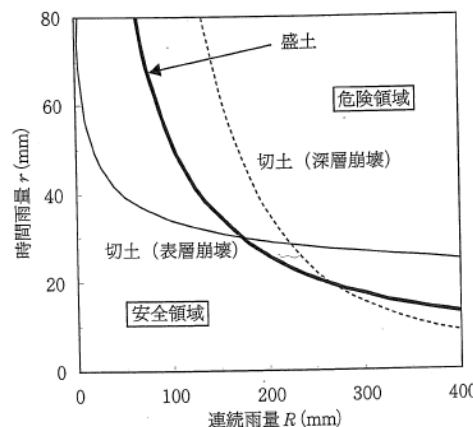


図-4.3.23 限界雨量曲線の例

限界雨量曲線を用いた方法の特徴は以下の通りである。

- ① 盛土，切土（切土に関しては崩壊形態ごと）ごとに限界雨量曲線が設定されている
- ② 斜面強度や透水係数などの地盤工学的なパラメータを導入することで，斜面毎に危険度を評価できる
- ③ 経験雨量というパラメータを導入することで，地域の降雨特性を反映できる
- ④ のり面防護工を施工した場合の評価も可能である

鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）土構造物（盛土・切土）に掲載されている危険度評価基準を以下に示す。

表-4.3.4 危険度評価判定基準表

I 盛土の危険度評価式

$$R^{0.3} \cdot r^{0.3} = \text{基本点} + \Sigma (\text{評価点})$$

基本点		13.14			
条件		条件（上段）と評価点（下段）			
盛土の構造条件	盛土高さ H (m)	$P = -3.18 \times 10^{-3} H^2 - 7.09 \times 10^{-3} H + 7.87 \times 10^{-1}$			
	土質 S_e	粘性土	砂質土	礫質土	
		-1.05	0.07	0.14	
		貫入強度 N_c	$P = -9.79 \times 10^{-3} N_c^2 + 4.75 \times 10^{-1} N_c - 2.24$		
基盤条件	表層地盤の地質 S_a	沖積地盤		その他	
		-0.38		0.22	
	地盤の傾斜角 θ_a	平坦		10° 以上	
		1.34		-1.10	
集水・浸透条件	透水係数 k (cm/s)	$k < 10^{-4}$	$10^{-4} \leq k < 10^{-3}$	$10^{-3} \leq k < 10^{-2}$	$10^{-2} \leq k$
		-0.17	0.26	-0.41	0.86
	集水地形 W_a	なし	対象側	反対側	
		0.52	-3.23	-1.83	
	縦断形態 T_L	切崖境界・落込勾配		平坦・単勾配	
		-0.53		-0.30	
	横断形態 T_R	純盛		片切片盛・覆付	
		0.21		-0.16	
経験雨量条件	経験雨量 R_e	$P = -1.06 \times 10^{-10} R_e^2 + 5.50 \times 10^{-5} R_e - 2.96$			
防護工（効果率 100% の場合）	防護工種類			効果点	
	プレキャスト格子枠			4.26	
	張ブロック			3.35	

II 切土（表層崩壊）の危険度評価式

$$R^{0.2} \cdot r^{0.9} = \text{基本点} + \Sigma (\text{評価点})$$

基本点		45.16			
条件		条件（上段）と評価点（下段）			
構造条件	勾配緩急（建設基準 に対し） θ	急勾配	標準勾配	緩勾配	
		-6.35	-2.57	10.62	
土質・地質条件	土質 S_e	粘性土	シルト	砂質土	礫質土
		-0.29	-6.15	1.32	1.61
	貫入強度 N_c	$P=6.54 \times 10^{-2} N_c^2 + 1.86 N_c - 16.45$			
	基盤の地質岩種 R_c	堆積岩	花崗岩類	その他	
		0.15	-12.46	0.15	
集水条件	上部の地形 W_a	集水地形	等価流入地形	平坦地形	非集水地形
		-13.24	-4.01	1.37	8.43
経験雨量条件	年平均雨量 R_v	$P=6.05 \times 10^{-6} R_v^2 - 5.95 \times 10^{-3} R_v - 8.26$			
防護工（効果率 100% の場合）			防護工種類	効果点	
			場所打ち格子枠	36.16	
			プレキャスト格子枠	28.75	
			張コンクリート	37.68	

III 切土（表層崩壊）の危険度評価式

$$R^{0.3} \cdot r^{0.3} = \text{基本点} + \Sigma (\text{評価点})$$

基本点		15.56			
条件		条件（上段）と評価点（下段）			
構造条件	のり面勾配 β (度)	$P = -1.64 \times 10^{-3} \beta^2 + 8.55 \times 10^{-2} \beta - 6.73 \times 10^{-1}$			
	切土高さ H (m)	$P = 2.80 \times 10^{-3} H^2 - 2.64 \times 10^{-1} H + 2.56$			
土質・地質条件	表層土厚さ D_b (m)	$P = -1.15 D_b + 2.30$			
	貫入強度 N_c	$P = 4.93 \times 10^{-2} N_c^2 - 2.82 \times 10^{-2} N_c - 2.77$			
	基盤の地質硬度 R_b	硬岩	軟岩	脆弱岩土砂	
		0.36	-0.02	-1.26	
集水条件	上部の地形 W_0	集水地形	等価流入地形	平坦地形	非集水地形
		-0.84	-0.32	0.65	0.64
経験雨量条件	年平均雨量 R_T	$P = -2.00 \times 10^{-8} R_T^2 + 1.22 \times 10^{-2} R_T - 14.52$			
防護工（効果率 100% の場合）	防護工種類			効果点	
	場所打ち格子枠			4.39	
	プレキャスト格子枠			3.53	
	張コンクリート			5.41	

b) 現地踏査に基づく予知技術^{12), 13)}

土砂災害が発生する場所を予知予測する技術として、現地踏査結果に基づく危険度評価手法がある。

現地踏査は、対象となる斜面の管理者により全国規模で定期的に行われている。急傾斜地を対象とした現地踏査は、国土交通省河川局砂防部が主体となり、急傾斜地崩壊防止工事技術指針にもとづいて行っており、原則として5年ごとの全国一斉実施である。山地災害危険地区を対象とした現地踏査は、林野庁所管の国有林および民有休直轄治山事業施工予定区域に関しては林野庁の各営林局が、それ以外は都道府県が実施することになっており、林野庁が規定した山地災害危険地区調査要領に従って実施されている。調査の種類としては、山腹崩壊危険地区調査、地すべり危険地区調査、崩壊土砂流出危険地区調査の3種類あり、最近では平成18年の7月から平成19年10月に実施された。道路のり面を対象とした現地踏査は、道路防災総点検として国土交通省道路局を中心に各道路管理者によって全国的に行われており、最近では平成18年度に実施されている。

現地踏査では、斜面の高さや傾斜をはじめ、地形や斜面形状、クラックや湧水などについて詳細に観察し、台帳やカルテと呼ばれる記録表に記録してデータベース化することが多い。急傾斜地崩壊防止工事技術指針に掲載されている現地調査表例を表-2.4に示す。



図-4.3.24 現地踏査実施状況例

現地踏査の結果から災害発生危険度を予測する方法としては、スコア法、統計的手法、ファジー理論を用いた方法等がある。ここでは、一般的に使用されるスコア法について、表-2.5に示す急傾斜地崩壊防止工事技術指針（以下、指針と呼ぶ）の判定基準表を例に説明する。

指針の方法では、まず対象とする斜面を自然斜面と人工斜面に区分する。次に、現地調査表をもとに、高さや傾斜度、オーバーハングの有無といった項目について、判定基準に従って現地の状況に対応した点数をつけていく。最後に、全項目の点数を合計し、危険度ランクを判定する。スコア法では、専門の技術者が現場を観察して過去の経験と照らし合わせることで、短時間で容易に危険度を評価することが可能であ

り、全国に数多くある斜面の危険度を評価していく上で有用な方法である。しかしながら、評価の過程で人間の主観的判断がどうしても入るため、評価者によっては判定結果が異なるといった現象が生じてしまう。専門技術者の経験に基づく思考過程を生かしつつ、主観的判断をできるだけ除去した形で定量的に危険度評価をする方法として、ファジー理論を用いた危険度評価法がある。

表-4.3.5 急傾斜地崩壊危険箇所現地調査表

箇所番号	26	斜面区分	自然斜面	人工斜面	箇所名	
位置	郡・市	町・市	大字	小字		
急傾斜地崩壊危険箇所の延長	m					
傾斜度						
斜面の高さ	m					
斜面方位	1. 東向き斜面 2. 南東向き斜面 3. 南向き斜面 4. 南西向き斜面 5. 西向き斜面 6. 北西向き斜面 7. 北向き斜面 8. 北東向き斜面					
地形	1. 凸形尾根斜面 2. 直線尾根斜面 3. 凹形尾根斜面 4. 凸形直線斜面 5. 直線直線斜面 6. 凹形直線斜面 7. 凸形谷斜面 8. 直線谷斜面 9. 凹形谷斜面					
横断形状	1. オーバーハングがある 2. 斜面上部に凹凸がある 3. 斜面全体に凹凸がある 4. 斜面下部に凹凸がある 5. 平坦な斜面である					
逕急線	1. 逕急線が非常に明瞭 2. 逕急線が明瞭 3. 逕急線が不明瞭					断面図
地表の状況	1. 亀裂が発達、開口しており転石、浮石が点在する 2. 風化、亀裂が発達した岩である 3. 礫混じり土、砂質土 4. 粘質土 5. 風化、亀裂が発達していない岩である					
表土の厚さ	cm					
地盤の状況	1. 崩壊土 2. 火山砕屑物 3. 強風化岩 4. 段丘堆積物 5. 軟岩 6. 硬岩					
岩盤の亀裂	1. 亀裂間隔が10cm以下 2. 亀裂間隔が10~30cm 3. 亀裂間隔が30~50cm 4. 亀裂間隔が50cm以上					
斜面と不連続面の傾斜関係	1. Aタイプ 2. Bタイプ 3. Cタイプ 4. Dタイプ 5. Eタイプ 6. Fタイプ 7. Gタイプ					
断層・破砕帯	1. 明瞭な断層・破砕帯あり 2. 明瞭な断層・破砕帯なし					
植生の種類	1. 植生がない(裸地) 2. 草 3. 竹 4. 針葉樹 5. 広葉樹 6. 針広混交					
樹木の樹齢	1. 10年未満 2. 10年~20年 3. 20年~30年 4. 30年~40年 5. 40年~50年 6. 50年以上					
伐採根の状況	1. 伐採根のある斜面 2. 伐採根のない斜面					
調査履歴	1. 古い崩壊地がある 2. 新しい崩壊地がある 3. 崩壊地は認められない					
斜面状況	1. 下部斜面の崩壊 2. 斜面中部の崩壊 3. 上部斜面の崩壊 4. 斜面全部の崩壊 5. 崩壊なし					
隣接斜面状況	1. 古い崩壊地がある 2. 新しい崩壊地がある 3. 崩壊地は認められない					
湧水	1. 湧水が常時ある 2. 降雨時に湧水がある 3. 斜面が常時シメシメしている 4. 斜面は乾燥している					
対策工	1. 対策工に異常あり 2. 対策工に異常なし					
対策工上部の状況	1. 10m以上掘削したままの斜面あり 2. 5m以上掘削したままの斜面あり 3. 5m未満掘削したままの斜面あり 4. 掘削したままの斜面なし					
斜面上部の土地利用状況	尾根型 1. 道路 2. 水路 3. 池沼 4. 家 5. 農地 6. 山林 7. その他 台地型 8. 道路 9. 水路 10. 池沼 11. 家 12. 農地 13. 山林 14. その他					1: 尾根 2: 台地 利用状況調査地点 A-A断面 B-B断面
保全対象	人家戸数 公共的建物 公共施設 がけ下人家戸数					

表-4.3.6 急傾斜地崩壊危険区域危険度判定基準

要 因		点 数		備 考
		自然斜面	人工斜面	
高 さ	10m以上	7	7	がけ上に奥行 10m 以上の平坦地がある場合を含む。
傾 斜 度	10m未満	3	3	
	45° 以上	1	1	
	45° 未満	0	0	
オーバーハングの有無	有	3	3	
	無	0	0	
表 土 の 厚 さ	a (0.5m 以上)	1	1	
	b (0.5m 未満)	0	0	
湧 水 等 の 有 無	有	1	1	
	無	0	0	
崩 壊 の 有 無	有	3	3	人為的工事によって、各要因による危険が消滅しているものは、その要因がないものとして計算する。 例①オーバーハングしているが、コンクリートで完全に保護している場合は0点とする。
	無	0	0	
急傾斜地崩壊防止 工事の技術的基準 構造物等の異常の有無	満 足		0	
	不満足		3	
	有		3	
計	無		0	

ラ ン ク	点 数	
	自 然	人 工
A	9 点 以 上	15 点 以 上
B	6 点 ~ 8 点	9 点 ~ 14 点
C	5 点 以 下	8 点 以 下

(d) 災害対策技術

1) 地すべり⁴⁾

地すべり対策工は、その目的効果から抑制工と抑止工に区分される。抑制工は、地すべり地の地形、土質、及び地下水の状態を変化させることによって地すべりの滑動力と抵抗力のバランスを改善し、地すべり運動を停止または緩和させることを目的とする工法である。一方、抑止工は、構造物の持つ抵抗力を利用して地すべり運動の一部または全部を停止させるための工法である。代表的な地すべり対策工を図-2.22に示す。

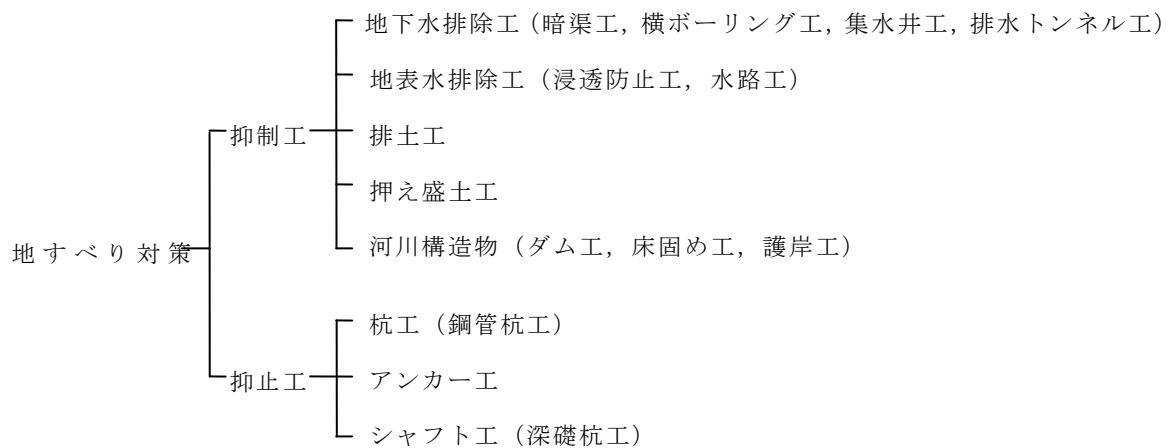


図-4.3.25 地すべり対策工の種類

① 横ボーリング工

横ボーリング工は、水平ややや上向きに行ったボーリング孔にストレーナ加工した保孔管を挿入し、それによって地下水を排除することにより、すべり面に働く間隙水圧の低減や地すべり土塊の含水比を低下させる工法である。このため、効果的に地下水位を低下させるよう、設計に際しては地すべり地域のみならず、周辺の地形・地質及び地下水調査等から、帯水層の分布、地下水の流動層を推定して、最も効果的に集水できるようにボーリングの位置、本数、方向及び延長を決定する必要がある。対策工の効果を恒久的に持続するためには定期的なメンテナンスが必要となる。

② 集水井工

集水井工は、集水用の井戸を掘削する工法で、深いすべり面位置で集中的に地下水を集水しようとする場合や横ボーリングの延長が長くなり過ぎる場合に用いられる。

集水井は内径 3.5～4.0m の円形の井筒であり、その井筒内の集水ボーリングからの集水効果に主眼を置くが、井筒自信の集水効果を得るために、井筒の壁面に集水孔を設ける場合もある。移動層内には複数の地下水帯が存在するので、井筒からの集水ボーリングはすべり面に直接関与する地下水帯の地下水を効率よく集水できるように施工する必要がある。対策工の効果を恒久的に持続するためには集水ボーリングの定期的なメンテナンスが必要となる。

③ 排水トンネル工

排水トンネル工は地すべり規模が大きい場合や地すべりの移動層厚が大きい場合などで、集水井工や横ボーリング工のみでは効果が得難い場合に計画される。排水トンネル工は、トンネルからの集水ボーリングや集水井工との連結などによってすべり面に影響を及ぼす地下水を効果的に排水できるよう設計する。トンネルの位置は原則として不動地盤内とし、地すべりに影響を与える地下水脈の分布及びそれに対する地下水排除効果の効率性などを総合的に判断して定める。対策工の効果を恒久的に持続するためには集水ボーリングの定期的なメンテナンスが必要となる。

④ 排土工

排土工は、原則として地すべり土塊の頭部の荷重を除去することにより、地すべりの滑動力を低減させるものである。排土工を計画する場合には、その上方斜面の潜在的な地すべりを誘発する可能性がないか、事前に十分な調査・検討を行うことが必要となる。上方斜面の地すべりの規模が大きい場合には適用が困難である。

⑤ 押え盛土工

押え盛土工は、原則として地すべり土塊の末端部に盛土を行うことにより、地すべり滑動力に抵抗する力を増加させるものである。盛土部の下方斜面に潜在性の地すべりがある場合には、これを誘発する可能性があるため、押え盛土の設計に当たっては盛土部基盤の安定性についての検討を行う必要がある。盛土位置での地下水の透水層が浅部にある場合、または地すべり末端部で地下水が侵出しているような場合には、押え盛土やその荷重によって地下水の出口が塞がれたり背後部の地下水位が上昇したりして斜面が不安定になる恐れがあるため、地下水の処置には十分注意する必要がある。

⑥ 杭工（鋼管杭工）

杭工は、杭を不動地盤まで挿入することによって、せん断抵抗力や曲げ抵抗力を付加し、地すべり土塊の滑動力に対し、直接抵抗することを目的として計画されるものである。地すべり地では、通常、鋼管杭が多く用いられる。最近では外径 1000mm を越える大口径の鋼管杭も利用されるようになり、必要とする地すべり抑止力が大きい場合にも対応できるようになってきている。

⑦ アンカー工

アンカー工は、基盤内に定着させた鋼材の引張強さを利用して地すべり滑動力に対抗しようとするもので、引張効果あるいは締め付け効果が効果的に発揮される地点に計画される。アンカーは、基本的にはアンカー頭部（反力構造物を含む）、引張部及びアンカー定着部（アンカー体及び定着地盤）の 3 つの構成要素により成り立っており、アンカー頭部に作用した荷重を引張部を介して定着地盤に伝達することにより、反力構造物と地山とを一体化させて安定させる工法である。

⑧ シャフト工（深礎杭工）

シャフト工は、地理的な制約などから杭工の打設機械等が搬入できない場合や大口径ボーリングに伴う地下への送水によって地すべりを助長させる恐れがある場合などに採用されるもので、直径 2.5～6.5m の縦坑を不動地盤まで掘り、これに鉄筋コンクリート構造の場所打ち杭を施工する工法である。大規模な削孔機械を使用しないため、同時に数基の施工が可能であるというメリットもある。通常は剛体杭として設計するが、すべり面深度が深く杭長が長くなる場合はたわみ杭として設計することもある。シャフトを中空にして集水井工を兼ねる例もある。

2) がけ崩れ⁵⁾

がけ崩れの対策工は、表 2-6 に示すように抑制工と抑止工に大きく分類される。

表-4.3.7 がけ崩れ対策工

分類			対策工	施工方法	備考
抑制工	排土工		頭部排土工	機械施工	不安定土塊の除去
	法面保護工・法覆工	張工	石張工	人力施工	浸食防止・斜面保護
			ブロック張工		
		植生工（緑化工）	植栽工	人力施工	植物による浸食防止（小面積に適用）
			張芝工		
			植生シート工		
			植生マット工		
			種子散布工	機械施工	植物による浸食防止（大面積に適用）
			客土吹付工		
			厚層基材吹付工		
			注入客土工		
		吹付工	モルタル吹付工	機械施工	風化・浸食防止
			コンクリート吹付工		
		法砕工	プレキャスト法砕工	人力施工	浸食防止・斜面保護
			現場打コンクリート法砕工		
			簡易法砕工	機械施工	斜面保護
			吹付砕工		
柵工		編柵工	人力施工	表層崩落土塊の保持	
落石防護工		ロックネット工、落石防止柵工	人力施工	落石を防止	
排水工	表面排水工	人力施工	雨水・湧水対策		
	地下排水工				
抑止工	ロックボルト工		機械施工	崩壊・すべり土塊に対抗	
	アンカー工				グラウンド・ロックアンカー
	補強土工				盛土補強土工、補強土擁壁
	抑止杭工				鋼管抑止杭工、深礎工
	擁壁工	石積工、ブロック積擁壁工		人力施工 機械施工	崩壊・すべり土塊に対抗
		もたれ式擁壁工			
		重力式擁壁工			
押さえ盛土工		機械施工	崩壊・すべり土塊に対抗		
抑制・抑止工	かご工	ふとんかご工	人力施工	崩壊・すべり土塊に対抗 排水	
		じゃかご工			
その他	待受式擁壁工		機械施工	崩壊土塊の流動防止	

3) 土石流^{5), 13), 14)}

土石流の対策工は、抑制工、捕捉工、導流工に大きく分類できる。

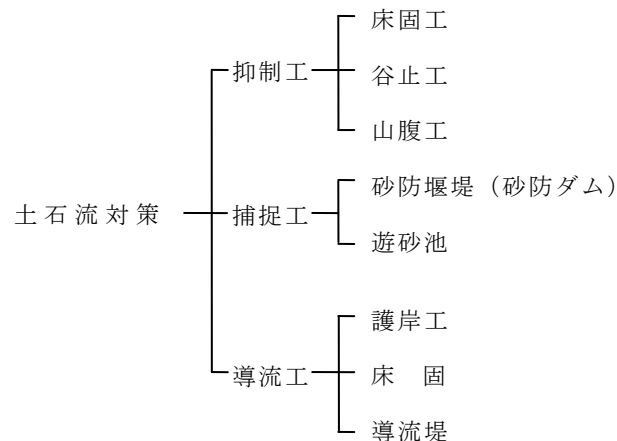


図-4.3.26 土石流対策工の種類

a) 抑制工

抑制工は、溪流や斜面からの土砂生産を抑制して土石流の発生自体を抑制・防止するための対策である。

①床固工

溪床勾配が急な溪流において、河床勾配を緩やかにして洪水時の水勢を和らげ、侵食による新たな土砂生産を防止するとともに、河床を固定し、堆積物の再移動を防止する機能を持つ。高さが5 m以下で貯砂能力はなく、階段状に設置されることが多い。一般的に重力式コンクリート型式で施工されるが、地すべり地や軟弱地盤等の場合には、枠床固工、ブロック床固工、鋼製床固工を施工する。最近では、間伐材の有効利用及び環境負荷の低い景観に配慮した型式として、木製床固工の施工例も増えている。



図-4.3.27 床固工施工例

②谷止工

基本的な機能や構造は床固工と同様であるが、提高が低くても山脚固定や山腹の崩壊防止のための貯砂機能のある程度有しているものを谷止工という。

③山腹工

山腹の崩壊地において、土砂の流出や崩壊の拡大を防ぐために実施される対策工を

山腹工という。山腹工には、土留め等により崩壊斜面の安定化を図る山腹基礎工と、崩壊斜面の緑化により早期に森林の回復を図る山腹緑化工、及び落石による家屋等の被害防止を図る落石防止工がある。



図-4.3.28 山腹工施工例

b) 捕捉工

捕捉工は、溪床勾配を緩くしたり溪流幅を広くしたり水と土石を分離したりすることで、土石流を減勢させるとともに停止・捕捉する対策である。

①砂防堰堤（砂防ダム）

砂防堰堤とは、土石流発生時に流出してきた土砂を堆積させ、さらに土砂で埋まった後も、堰堤より上流側の河床勾配を緩やかにすることによって、出水時の流出土砂を抑制・調節するものをいう。一般に堤高7m以上のものを砂防ダム、それ以外のものを砂防堰堤と区別している。砂防堰堤は、その形式から堰堤に隙間のある透過型と隙間のない不透過型に分類される。透過型は、堰堤にスリット等の隙間を設けて堰堤上下流の土砂及び水流の移動を可能にしたもので、使用材料によってコンクリート型と鋼製型に分けられ、次のような特徴を持つ。

- ・ 平常時の無害な土砂を通過させることができる
- ・ 隙間を魚道として利用することができる
- ・ 上流に貯まった土砂を隙間から少しずつ流出させることで貯砂機能の回復を図ることができる

また、土石流発生時に土砂によって隙間が閉塞するものを「閉塞型」、隙間が閉塞しないものを「せき上げ型」として分類している。閉塞型は土石流発生時に隙間が閉塞することにより不透過型と同様に機能し、堰堤上流に土砂を堆積させて流出土砂を抑制・調整させる。一方、せき上げ型は隙間が完全に閉塞しないものの、流れをせき上げることによって掃流力を減少させ、堰堤上流に土砂を捕捉する。



コンクリートスリット式



大暗渠式



鋼板セル式



鋼製フレーム式

図-4.3.29 透過型砂防堰堤施工例

②遊砂池

土石流は溪床勾配が急激に緩くなったり溪床幅が急激に拡大したりする場所で減勢し、停止しやすくなることが知られている。遊砂池は、土石流のこのような特性を利用し、溪流の一部を拡幅して土石流を人為的に氾濫・分散させるための施設である。

c) 導流工

導流工は、土石流の氾濫を防止し、下流域に災害が発生しないように安全に流下させる対策である。

①護岸工

護岸工は、溪床勾配が急な溪流において、水衝部の溪岸に配置することにより、溪岸の浸食や崩壊を防止し、また、床固工の袖部や山脚を保護する施設である。

②導流堤

土石流の流向を制御し、人家等へ氾濫させることなく安全に海域まで流下させることを目的とした施設である。



図-4.3.30 導流堤施工例

（３）今後の展望と課題

地球環境が異常を呈しはじめていることもあってか、今まで想定していなかったような豪雨が頻繁に日本列島を襲うようになっている。それに伴い、地すべり、がけ崩れ、土石流といった土砂災害も、今まで想定した以上の大規模な災害が頻発するようになった。想定外の降雨が発生することにより、今までは大丈夫だと思っていた個所でも災害が発生するため、ハード的な災害対策は追いつかず、災害発生危険個所は一向に減少しない状況にある。このような状況下で、早期予測と警戒・避難システムの構築といったソフト的な対策が併用されるようになってきているが、これはあくまでも限られた予算の中でハード対策を進めていく上での補助的な対策である。がけ崩れや土石流が発生しなければ民家が押しつぶされる事もなく、被害に遭う人も出ない訳であり、やはり最終目標としては対策工を施すことで災害発生危険個所をなくすることが重要であると考ええる。そのためには、安価な工費で短期間に対策ができる工法を開発することが、われわれ建設業に携わる人間にとって重要な課題となっている。とはいえ、公共工事の予算が削減され、災害対策工事に着手できない個所が多数あることも事実である。予知・予測の精度を高め、できる限り早期に住民を避難させることができる体制づくりも重要である。自然という複雑な現象を相手に予測しているわけであるから、予測がはずれることもしばしばあるであろうけれども、とりあえず警報が出たら避難することが重要である。警報が出たから避難したのに災害が発生しなかったと非難するのではなく、災害が発生しなくて良かったと言って無事家に帰ればよいのではないか。自然の力は想像もつかないほど大きなものである。けっして侮ることなく、自然を押さえつけようとおごることなく、謙虚な姿勢で災害対策に取り組んでいきたいと考える。

参考文献：

- 1) 内閣府，防災白書，2006，2007，2008
- 2) 国道交通省河川局砂防部ホームページ
- 3) 防災科学技術研究所ホームページ
- 4) 斜面防災対策技術協会ホームページ
- 5) 土木学会，知っておきたい斜面のはなしQ & A，2005. 12
- 6) 建設省河川局砂防部砂防課，土石流危険渓流および土石流危険区域調査要領（案），1999
- 7) 森脇武夫他，豪雨時における斜面崩壊のメカニズムと危険度予測，土と基礎，Vol. 51，2003. 12，pp. 92-97
- 8) 気象庁ホームページ
- 9) 小川 滋他，土砂災害の警戒・避難システム，2006. 1，pp. 84-104
- 10) 日本鉄道施設協会，鉄道土木構造物の維持管理，1999，pp. 671-673

- 11) 国土交通省鉄道局，鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）土構造物（盛土・切土），2007，pp. 108-115
- 11) 国土交通省道路局ホームページ
- 12) 建設省河川局砂防部，新・斜面崩壊防止工事の設計と実例－急傾斜地崩壊防止工事技術指針，1996. 7
- 13) 建設省河川局砂防部砂防課，土石流対策技術指針（案），2000

(6) アンケート調査による対策工事事例

No.19	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	風水害(土)	緊急対策	山間部	国	急傾斜地	一般競争	2年以上	契約どおり	十億以上
問題点	全体工期の確保。ダム本体工事における資材搬入ルートへの検討。将来的な法面の安定性の確保。								
阻害要因	工事用道路として既存道路を使用していた。道路の法面は特殊土壌（ぼら土）で急勾配（5分～1割程度）であった。雨台風による影響で地下水位が上昇しパイプクーリング？が発生し、法面崩壊を誘発した。約200m3程度の崩壊であった。								
方策	地下暗渠排水、盛土材料の変更、法面勾配の変更、フリーフレームを施した。								
効果	地下水位の低下。降雨時の排水性能の向上。								
評価	施工以降、異常はない。								
No.20	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	風水害(土)	緊急対策	山間部	旧公社/団	道路	特命	半年以上3年未満	契約どおり	五億以上十億未満
問題点	工期の短縮（高速道路の通行止め期間を、極力、短くすることが要望された）								
阻害要因	災害（高速道路の本線盛土の崩壊）の発生に伴い、人的被害も生じたため、復旧工事に着手する前にその対応に時間を要したこともあり、本線の通行止めを極力短くするよう、発注者から要望された。								
方策	・昼夜24時間、2交代制による連続作業（発注者の検査も24時間体制）								
	・工事関係者の宿泊施設として、現場近くのホテルを確保								
	・高速道路の本線を利用した土砂、資機材運搬（一般道への影響阻止、運搬効率の向上）								
	・復旧盛土材（良質砂礫材）の工事着手前の調達とストック								
効果	・当初計画工期の2ヶ月間に対して1ヶ月間で盛土復旧工を完了し、86日間で通行止め解除								
評価	工事着手前の周到な準備が奏功した。また、復旧工事中の天候に恵まれたこと、発注者の信頼と協力（施工法変更に対する柔軟な対応、現地立会検査の24時間体制など）が得られたことも、大きな成功要因であった。								
問題点	安全の確保（施工中の二次災害の防止、復旧後の確実な安定性確保が要求された）								
阻害要因	施工中の二次災害、復旧後の恒久的な安定性に関し、確実に安全を確保するよう、発注者から要求された。								
方策	・二次災害防止対策（上方の不安定土砂の完全撤去、宙吊りになったガードレールの撤去、路肩部のラウンディングなど）								
	・崩壊（移動）土塊の完全撤去								
	・復旧盛土施工前の確実な段切り施工								
	・良質な（透水性良好、大きなせん断強度）復旧盛土材の調達と使用								
	・地下排水溝の充実（φ1,500mmのメイン管とφ300mmの暗渠排水管）								
効果	・のり尻部への鋼製布団籠の設置（透水性向上と根固め効果）								
	・二次災害の回避								
評価	・崩壊発生時の安全率（Fs=0.968）に対してFs>1.25以上を確保								
	災害発生直後より、発注者から弊社に支援要請があったため早期に初動でき、かつ、災害調査検討委員会のオブザーバーとして参画できたことから、施工性を踏まえた災害復旧対策工を立案、実施できたことが、成功要因であったと考えている。								

No.21	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	風水害(土)	緊急対策	都市部	旧公社/団	道路	特命	1月以上半年未満	10%以上の短	一億以上五億未満
問題点	道路横断管の老朽による排水管の破損による道路陥没の緊急復旧工事であった。この道路は首都圏への重要幹線道路である為、全車線通行止めの工事は出来ず「通行車線規制」による昼夜連続施工の突貫工事であった。								
阻害要因	昼夜連続施工の突貫工事であり「使用重機械、労務の調達」及び現場管理社員の確保が非常であった。								
方策	・特殊重機械の確保（鋼矢板打設重機等） ・労務、社員は他現場の工事を制限して確保した。								
効果	・使用重機械は協力会社及びリース会社の対応で工事に支障なく確保できた。 ・多少の労務不足は残業を行い最短の工事が出来た。								
評価	・使用重機械の確保は容易に出来たが、運転手等の資格者及び専門工事労務者の確保はなかなか容易でなかった。								
問題点	道路横断（L=56m）の排水管（HP）は、旧基準の規格品であった。陥没箇所以外の排水管の破損進行による二次災害防止の為の既存の排水管の管内の変状測定・監視を昼夜連続行った。								
阻害要因	・道路横断管の排水管（HP）の破損部の盛土高が約7.0～8.0mあり、ヒューム管での復旧ではコンクリート360°巻き基礎となりコンクリート打設後の養生期間が必要となり最短の道路復旧開放にならない。（施主より一日でも早い施工方法を強いられた）								
方策	・最短施工可能な高耐圧ポリエチレン管の搬入確保に努めた。（各メーカーの在庫確認で最短納入可能先とした）排水管基礎が砕石360°巻き施工が可能で資材の調達、施工が早い。								
効果	・計画通りに施工が出来た。								
評価	・施主の要望する最良の施工が出来た。								
問題点	排水管は布設替え工事が出来ないため未破損部分は「既設管更生（管体補強）」を行った。								
阻害要因	・道路横断の排水管の破損による道路陥没で周辺の雨水の排水路が遮断された状態となった。近くに道路横断管がなく工事期間中の雨水排水が出来なくなる。								
方策	・工事箇所近くに道路横断出来る「歩道橋」があったため、施主との協議により下記のようにした。 1. 側道の水路を堰きとめて「ポンプピット」にしてポンプ排水処理可能とした。 2. 歩道橋の破損、歩行者通行幅規制（誘導員配置）して仮排水管を設置した。 3. 歩道橋の許容荷重内の排水管設備としたため、道路横断管の排水量の30%程度しかポンプ排水能力を確保出来ず工事集中豪雨による被害影響が懸念された。								
効果	・幸いにも工事期間集中豪雨にあわずに、設置のポンプ排水能力以下で対応出来て周辺への影響がなかった。								

No.22	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	風水害(土)	緊急対策	山間部	旧公社/団	その他	その他	1月以上半年未満	10%以上の延	一千万以上五千万未満
問題点	前面に供用道路を有する斜面が降雨によって崩壊した。この対策工として、切土補強土工法を採用した。 供用道路の早期解放のため工期の短縮が必要であった。 斜面上部に達する崩壊であったため、安全の確保が重要となった。 原設計において地盤調査が行われていなかったため、追加地盤調査が必要であった。								
阻害要因	工期短縮：軽量な材料の使用（のり面工（グリーンパネル））。 安全確保：軽量な材料の使用（のり面工（グリーンパネル））。 できる限り、応急対策で施工した押え盛土上で作業を行う。人力施工の実施。 地盤調査：追加調査を実施するとともに、切土前の地形を考慮し、対策工法の検討を行った。また、未崩壊部の将来的な危険性を把握し、対策工の追加検討を実施した。								
効果	工期短縮：のり面工の施工工期が半減 安全確保：全工期無災害 地盤調査：経済的な検討方法を選定することができた。 未崩壊部の将来的な危険性を把握することができた。								
評価	切土斜面は、地盤調査を行わずに、標準のり面勾配で設計され、切土面の土質性状によってのり面工を選定するケースが多い。この場合、切土勾配が変更されるケースは稀である。設計前に綿密な地盤調査を行うべきであると考え。 未崩壊斜面の危険性を本工事期間中に把握することができ、本工事終了後も恒久的に安全な斜面を造成できたと判断できる。								
No.23	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	風水害(土)	恒久(向上)	都市部	民間インフラ	傾斜地／鋸	特命	2月以上半年未満	契約どおり	一億以上五億未満
問題点	・用地制約（狭隘な施工用地）、急傾斜地（崩壊法面上）における施工								
阻害要因	・鉄道トンネル坑口上部法面が集中豪雨により崩壊した。この対策工として、棒状補強体+法枠工による法面補強を行った。 ・被災地は都市部トンネル坑口上の急傾斜地であったため、用地制約や施工ヤードの問題として、復旧資材の運搬、対策工の施工に対して問題があった。								
方策	・緊急復旧工事ということで、トンネル坑口上の宅地に作業ヤードを借地し施工を実施した。 ・急傾斜地に対する施工ということで、狭隘な施工ヤードに対応した法面補強工法（小口径棒状補強材+フリーフレーム工法）を用いた設計・施工を行った。								
効果	・施工性に優れた工法を採用することにより、狭隘な施工ヤードにも対応することができ、施工期間内（実働5ヶ月）に工事を完了することができた。 ・トンネル坑口上に作業ヤードを借地することができスムーズな資材運搬を行うことができた								
評価	・施工完了後3年以上経過しているが、被災した急傾斜地は良好な状態を保っている								
No.24	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	風水害(土)	復旧	山間部	民間インフラ	鉄道	特命	3月以上半年未満	契約どおり	一千万以上五千万未満
問題点	本工事は、豪雨による鉄道路盤流失災害の復旧工事であるため、鉄道運休期間を最小限とする設計・施工（工期の短縮）が求められた。								
阻害要因	鉄道の運休期間を最小限にするため、短工期での設計・施工が求められた。 しかし以下より、工期の確保が課題であった。 ・資機材の搬出入が軌陸車（単線）に限られること ・狭隘な場所であるため、大型重機が使用できないこと								
方策	復旧工事を緊急対策と追加対策に区分した。 緊急対策は、必要な安全を確保しつつも、最小の資材で施工できる設計・施工とし、早期の列車運行再開を目指した。 追加対策として、列車の運行再開後、詳細な現地調査をもとにより安全性の高い対策を追加した。								
効果	目標とする運行再開期日までに緊急対策を完了した。								

No.25	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	風水害(土)	緊急対策	山間部	民間インフラ	鉄道	特命	4月以上半年未満	契約どおり	一億以上五億未満
問題点	トンネル坑口部の豪雨による長大斜面の崩壊により鉄道が被災したものであるが、この災害によって終点側に特急列車1編成が閉じ込められた。特急列車を保有する鉄道会社と被災した鉄道会社が異なり、年末年始に近いこともあって、特急列車の引き出しと鉄道の早期復旧が課題となった。								
阻害要因	特急列車の早期の引き出しと鉄道の早期復旧・営業再開が急務となったが、鉄道の早期復旧・営業再開を優先すると特急車両の引き出しの要求時期を守ることができなかった。このように、両鉄道会社の利害が輻輳し、復旧計画の立案に苦慮した。また、被災斜面の所有者が鉄道会社のみならず県にも及ぶため、斜面の復旧には所有者間の協議、調整が必要となった。								
方策	特急車両の引き出しと鉄道の営業再開の両鉄道会社の要求を実現するために、被災斜面の復旧は応急復旧（仮復旧）とし、暫定対策工の工期を短縮させることで、特急車両の引き出しと早期営業再開を図った。尚、本復旧（恒久対策工の実施）については、鉄道会社及び県の協議、調整完了後に実施した。								
効果	特急車両の引き出しにおける防護措置を講ずることで、暫定対策工完了前に特急車両の引き出しを完了し、その後引き続いて暫定対策工を実施して、鉄道の早期営業再開を実現した。								
評価	本復旧の実施後の営業再開が最善ではあるが、複数の利害関係者の存在の中では、応急復旧（仮復旧）もやむを得ないところであり、このケースにおいては最善であったと考えている。								
No.26	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	風水害(土)	復旧	山間部	地方自治体	地すべり／道路	一般競争	半年以上3年未満	契約どおり	一億以上五億未満
阻害要因	1. 地震で崩落した法面は急傾斜で表面は凹凸が激しく、人力による整形では作業日数、施工費が大幅に増えると予想された。 2. 発注者より工期の短縮を要求された。 3. 法面整形の工程がクリティカルパスになっていた。 4. 掘削土量が明確になっていなかった。								
方策	1. 急傾斜の法面を機械掘削できる、ロッククライミングマシン（施工能力3 2m ³ /台日）を採用し施工した。 2. 工期短縮を図るため、2セット稼働で施工した。 3. 掘削土量を把握するため、施工前と施工後の法面の形状変化をノンプリズム光波距離計を使用し測量を行い、横断面図を作成し掘削土量を求めた。								
効果	1. 掘削土量はV＝2，4 8 9 m ³ と算定できた。 2. 当初契約の人力法面整形から法面機械掘削に変更契約になった。 3. 施工期間は計画どおり、1ヶ月であった。 4. 法面の硬い層まで掘削することが出来たので、後工程のフリーフレーム、アンカー設置が手戻りなく施工することが出来た。 5. 全体工程を1ヶ月短縮することが出来た。								
評価	この工法は、特許工法のため1社で営業しているため掘削機械の調達が遅れることが予想される。								

No.27	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	土砂災害	恒久(向上)	河川流域	国	砂防	その他	1年以上2年未満	契約どおり	十億以上
問題点	品質の確保								
阻害要因	建設機械の遠隔操作による施工のため、有人施工に比べて品質が悪くなる可能性が高い。								
方策	・遠隔操作の目となるカメラ台数を増して、様々な角度からの映像を遠隔操作しているオペレータに提供する。								
	・丁張りレスシステムによる情報化施工を活用する。								
効果	・遠隔操作しているオペレータに多くの映像を提供し、オペレータが必要な映像を選択しながら効率的に施工を実施することが可能となった。								
評価	・丁張りを掛けることなく、CGの計画データ、建設機械の位置データを協調させながら高精度な施工を実施した。								
No.28	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	土砂災害	復旧	沿岸部	国	その他	特命	半年以上3年未満	契約どおり	五億以上十億未満
問題点	工期短縮と安全の確保								
阻害要因	大規模な岩盤崩落の応急復旧工事のため、二次災害（崩落）の危険があった。								
方策	崩落岩盤（土砂）の撤去時安全対策として								
	1. 崩落周辺への落石防護金網の設置								
	2. 二次崩落の恐れがあるため不安定岩塊の調査と除去								
	3. 不安定岩塊除去時の安全確保のため、トラッククレーンとスカイドリルによる崩落誘発とコソク								
	※人が近寄らない施工方法の採用								
効果	落石防護金網設置により、下方通行一般通行車両と工事関係者の安全確保及び不安定岩塊へ接近して								
	調査が可能となった。								
	スカイドリルによる崩壊誘発とコソクにより、緊急事態が回避出来た。								
評価	落石防護網設置により、崩落発生箇所へ接近して目視することができ、現状の危険と岩盤の状態を確認してより具体的に安全な施工方法を検討することが出来た。								
阻害要因	工期短縮								
	地域生活道路のため、迂回及び大きな規制を伴う片側交互通行を早期に解決する必要がある。								
方策	工期短縮を図るための施工方法の採用								
	岩盤の押さえコンクリートとトンネル復旧の同時施工								
	トンネル内面仕上材を型枠とする押さえコンクリート施工								
	押さえコンクリート他型枠材を鉄骨構造とし、先行施工することで施工サイクルを短縮								
	押さえコンクリート上の覆土をEPSブロックとし、工期短縮								
効果	押さえコンクリートの内面（トンネル内面）を外面の型枠脱型を必要としない施工方法により養生期間の短縮が可能となった。								

4.4 風水害（河川災害）

(1) 河川堤防に関する洪水災害の実態と近年の傾向

平成 7 年の阪神・淡路大震災以降、災害に強い国土の形成を望む気運が行政や国民のあいだで急激に高まっている。特に、平成 16 年は台風の国土への上陸数が 10 個と過去最高を記録し、それにとまなう水害が多数発生した。河川堤防関連では、新潟・福井豪雨や円山川水系出石川の決壊などが大々的にマスコミに取り上げられ、周辺住民に深刻な被害を与えた。

世界的に見て日本の年間降水量（1,718 mm）は世界平均（880 mm）の 2 倍で、かつ、梅雨期と台風期に集中して降雨が発生する。さらに、日本の河川は「急勾配」、「河川延長（長さ）が短い」、「流域面積が小さい」という特徴を有しているため、短時間に河川水位のピークに達する。「異常気象レポート 2005 版」（気象庁）では、地球温暖化にとまなう海面上昇や「異常高温・低温、異常多雨・少雨」傾向が長期化するものと予想されており、今後の水害の増加が危惧されているところである。

平成 17 年 5 月には水防法改正により、大河川のみならず、主要な中小河川についても洪水ハザードマップの作成、および、これの住民への周知が市町村に義務付けられるなど、今後、河川の洪水対策に関しては従来以上の対応策が講じられてゆく状況にある。河川に関する法律としては「河川法」（昭和 39 年制定）があるが、平成 9 年 5 月に改定され、これまでの河川管理の目的としていた「治水」「利水」に加えて、新たに「河川環境」が加わった。このことにより、現在の河川堤防整備事業は従来の目的に加えて「多自然型護岸」を前提として取り組まれているところである。

(a) 近年の洪水水害の特徴

最近の降雨の特徴として「年ごとの降水量の変動が激しい」、「ピンポイントの局所的な豪雨が多発」という傾向が顕著になってきている。

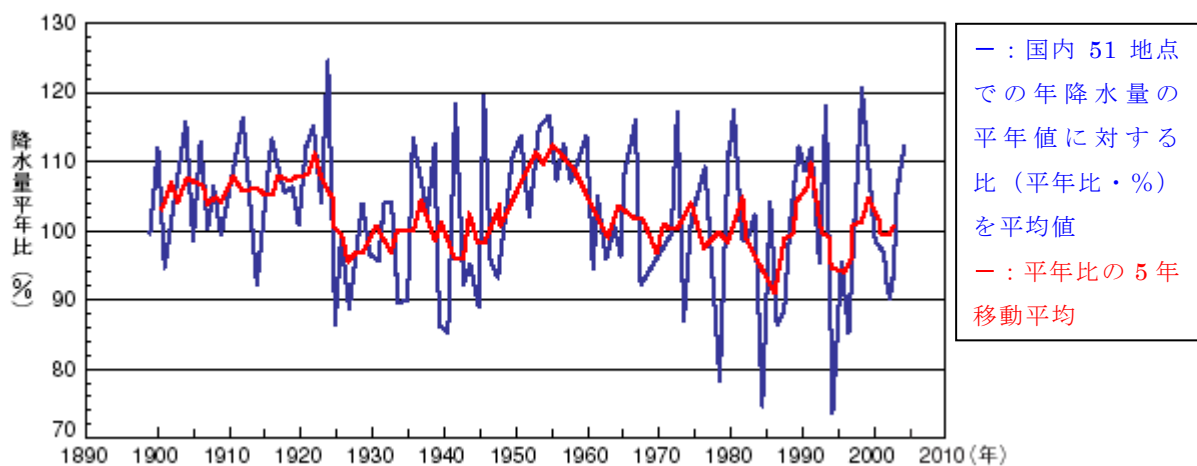


図-4.1 日本における年降水量の経年変化（1898年～2004年）¹⁾

日本の河川は、「急勾配」、「延長（長さ）が短い」、「流域面積が小さい」という特徴を有しているため、ピンポイントの局所的な豪雨により短時間に河川水位が上昇し、水害が発生するケースが多い。具体的な被害状況については、図-4.2 に示すように、戦後の治水対策が奏功し、全国的にみると浸水面積は減少傾向にあるものの、水害による被害額は、近年、逆に増加する傾向にある。

平成 7 年（1995 年）の一般資産被害額は約 1,622 億円であったが、平成 16 年（2004 年）には約 4,360 億円（平成 7 年の価格に換算）に達し、10 年間で 2.6 倍以上に急騰した。その原因として、前述の異常気象と洪水想定氾濫区域内の人口・資産の集中が指摘されている²⁾。

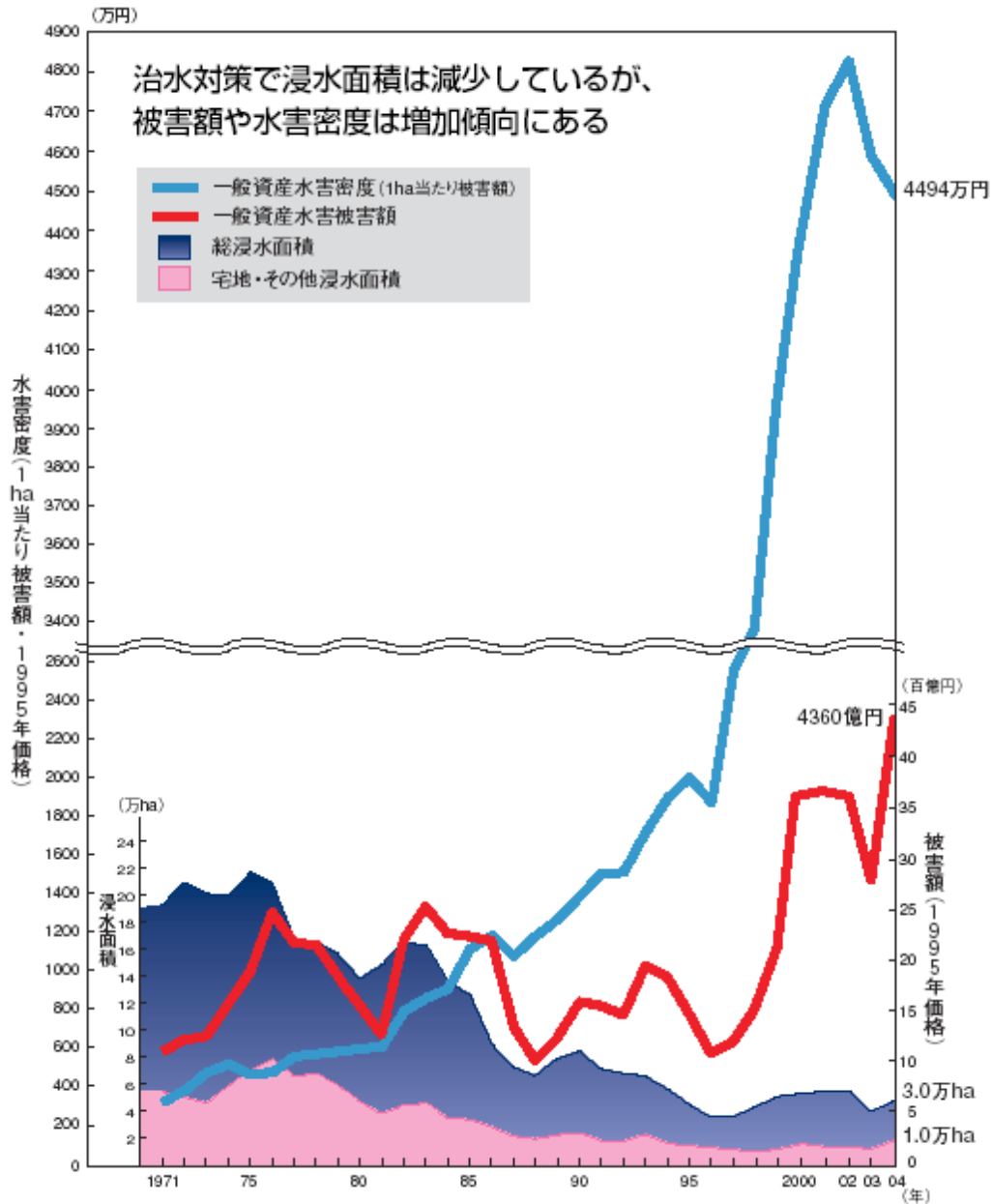


図-4.1 水害被害額および水害密度等の推移（過去 5 年平均）²⁾

(b) 平成 16 年の水害

平成 16 年は異常気象により、東京で真夏日が観測史上初の 40 日連続を記録する一方で、活発な梅雨前線による集中豪雨や、年間最多の 10 個の台風上陸によって日本列島各地で水害が続出した。特に、7 月 17 日から 18 日にかけて発生した福井豪雨により福井市内で足羽川堤防が、10 月 18 日から 20 日にかけての台風 23 号により兵庫県豊岡市内で円山川が破堤し、甚大な被害をもたらした。

表-4.1 平成16年の主な風水害³⁾

月 日	災 害	死者・行方不明者 (人)	負傷者数 (人)	損壊家屋 数 (棟)	浸水家屋 数 (棟)
6月18～22日	台風6号	5	117	174	49
7月12～14日	新潟・福島豪雨	16	4	5518	8357
7月17～18日	福井豪雨	5	19	430	1万3727
7月29日～8月6日	台風10号・台風11号	3	19	94	2853
8月17～20日	台風15号と前線に伴う大雨	10	28	767	2726
8月27～31日	台風16号	17	288	9077	4万6831
9月4～8日	台風18号	45	1365	6万6593	8196
9月25～30日	台風21号と秋雨前線に伴う大雨	27	98	2882	1万9605
10月7～9日	台風22号	9	166	4931	7046
10月18～20日	台風23号	98	552	1万9489	5万5409
11月11～12日	大雨	1	—	4	929
主な風水害計		236	2656	10万9959	16万5728

国交省ホームページより

また、水害は一般資産を失うと同時に、大量の水害廃棄物を発生させ、各自治体は表-4.2に示すように多額の廃棄物処分費の負担を強いられていることも、「目に見えない損害」と言える。

表-4.2 水害廃棄物の処分費

			量 (t)	処理費用計 (億円)	内訳 分別	処分	単価 円/t	出典
2004.7	新潟県中部7.13水害	新潟県	61,000	33.0			54,098	新潟日報
2004.7	福井豪雨7.18	福井市	20,000	33.7	10.0	15.1	168,450	福井新聞
2004	台風16,26	倉敷市	23,000	6.7			29,130	
2004.11	台風23号	京都府	23,000	4.7			20,435	京都新聞

(c) 河口堰問題

河川堤防災害に関連し、昨今の公共事業のあり方に対する議論を生み出した施設として河口堰があげられる。わが国における主な河口堰を以下に示すが、ほとんどの河口堰に関して、公共施設としての必要性がさかんに議論されている。

河川の河口部から下流部にかけては海水が遡上し汽水となっているが、上水道をはじめ農業、工業などの人の利用には適さない。そこで、堰により河川を締め切り、海水の遡上を遮断することで水の利用を図ること（水源開発）を主な目的として設置さ

れるのが河口堰である。また、同時に異常出水時の流水制御により、上流側河川堤防の治水上の目的が付与されている施設も多い。

表-4.3 わが国における主な河口堰

名 称	水 系	事業主体
長良川河口堰	木曽川水系長良川	独立行政法人水資源機構
利根川河口堰	利根川本川	独立行政法人水資源機構
吉野川河口堰(第十堰)	吉野川本川	独立行政法人水資源機構
旧吉野川河口堰	吉野川水系旧吉野川	独立行政法人水資源機構
今切川河口堰	吉野川水系今切川	独立行政法人水資源機構
淀川大堰	淀川本川	国土交通省近畿地方整備局
六角川河口堰	六角川本川	国土交通省九州地方整備局
江戸川河口堰(行徳可動堰)	利根川水系江戸川	国土交通省関東地方整備局
芦田川河口堰	芦田川本川	国土交通省中国地方整備局
遠賀川河口堰	遠賀川本川	国土交通省九州地方整備局

しかし、海から河川にかけての連続的な環境を遮断し、魚の遡上を妨げるなど生態系への影響は非常に大きいと言われている。長良川河口堰建設の際に、こうした環境上の問題が大きく取り上げられ、建設の是非をめぐって大きな議論を呼んだ。利水や治水の観点から建設を望む声がある一方、生態系や漁業などへの悪影響を懸念する反対運動が起こり、建設の是非をめぐり論争が発生した。この論争は、単なる開発か、環境か、という議論を超えて、誰がこの問題の「当事者」足りうるのか、という、税金を使う公共事業のあり方、河川管理や産業振興、環境保護のあり方についての論争を提起することになった。

このような背景もあって、矢作川河口堰や吉野川河口堰（第十堰の改築、可動堰化）が計画段階で中止となり、現時点において河口堰の計画が進行中の河川は無い。

(2) 災害対策技術

(a) 災害への取り組み状況

(i) 治水対策の基本思想とその変遷

明治 29 年に公布された旧河川法が契機となり、主要河川においてはダムや河川堤防の築堤や河道改修により、流域に降った雨水を川に集めて、海まで早く安全に流すことを基本とする「連続堤方式」による治水事業が河口デルタ地帯の氾濫水害の激減に貢献した。

しかし、1970 年代になると都市化の急激な進展に伴う都市水害が頻発するようになり、1977 年には特に都市河川を対象とした「総合治水」の思想が河川審議会から答申の形で提唱された。これは、堤防やダムなどの従来型構造物に加えて、流域内での一時的貯留や土地利用規制、危険度の周知、予警報システム、避難・復興システムまでを総合したソフト対策の推進を目的としている。この「総合治水」の思想は、流域という「面」に河川事業を拡大した画期的なものであったが、河川管理者の権限の及ばない領域までの協力を必要とするため、実効を挙げた事例はあまり多くない。

その後、1987年には、超過洪水対策としての高規格堤防（スーパー堤防）の整備方針が打ち出され、越水しても壊れない堤防の構造（裏法の勾配が1:30の緘傾斜堤防）とその整備手法が示されたが、財政的な制約もあって、いまだ「点」の整備に留まっている。

その一方で、ますます進展する都市化による流出量の増大、氾濫の危険性の高い低平地への人家の集積、市街地での河道拡幅の困難さの増大、さらには、平成17年9月初めの台風14号来襲時には、総雨量1,000mmを越える異常とも言える降雨が観測され、大河川においても水位が計画高水位を長時間にわたって超過して危険な状態が続き、大規模な内水被害が発生するなど、従来の河川改修による対応に限界が生ずるようになってきている。

このような従前の計画や想定を超える大規模な降雨は、今後も発生する可能性があることから、国交省では平成17年10月に学識者等から構成される「大規模降雨災害対策検討会」を設置して、今般の異常な現象の検証や大規模降雨による水害・土砂災害対策はいかにあるべきか、について検討を行い、平成17年12月に最終提言として「洪水氾濫時・土砂災害発生時における被害最小化策のあり方」を取りまとめた。本提言においては、基本的認識として、「これまでの洪水氾濫や土砂災害そのものを発生させない対策」とあわせて、氾濫が発生した場合でも「被害を最小化する対策」を講じることの重要性が指摘された。

前提として、①災害を受ける側が自らの生命や財産を守れるようにすること、②従来からの河川行政による対策だけでなく、まちづくりや住まい方、個々人の対応を含め、関係する様々な事業主体（都市計画、住宅、公園、道路、下水道等）により総合的に取り組むこと、が基本方針として認識され、具体的な被害最小化への取り組みとして、以下を目指すものとしている。

- ① 氾濫時等も被害にあいにくい住まい方等へ転換する
- ② 氾濫流制御施設により洪水氾濫等のエリアを拡大させない
- ③ 確実かつ円滑な避難を可能にする
- ④ 救援・復旧・復興を効果的に行えるようにする

（ii）超過洪水への備え

これまでの治水事業は、「計画降雨確率」を基本指標とする治水安全度の管理水準の達成を目的としており、想定した計画規模までの雨や洪水なら、河道の硫化能力と計画高水位までの堤防の安全性についての責任をもつというのが河川管理者の立場であった。つまり、計画規模を超える雨や洪水による災害や治水施設が整備途上にある場合の災害は、河川管理者の責任を問われることはなかった。

しかしながら、昨今の大規模な水害の現状をみると、そのほとんどは「超過洪水」や「整備途上」に起因している。

例えば、平成16年7月の新潟豪雨による、信濃川支流（五十嵐川、刈谷田川）の事例では、計画（1/100確率、350mm/日程度）を上回る1/150確率（400mm/日程度）の異常豪雨が直接の原因であり、かつては遊水池であった低平地に人家が集積してきたことが被害を拡大した。

また、平成16年10月の台風23号による豊岡市の水害では、社会構造的、財政的な制約から、計画高水位に余裕高を加えた計画堤防高が確保できない「整備途上」の暫定堤防区間であったために、計画を下回る雨で大規模な氾濫が生じたものである。

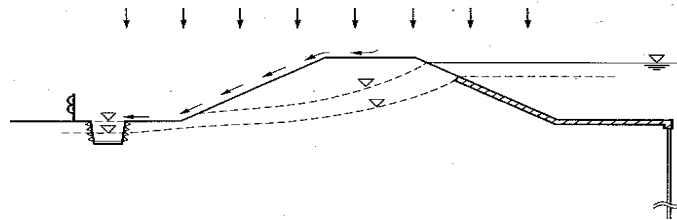
このように、自然の猛威は、人間の想定（計画）を上回るのが常であり、現況の治水安全度のもとでいかに減災するかが、今、強く求められている。

(b) 被災原因と形態

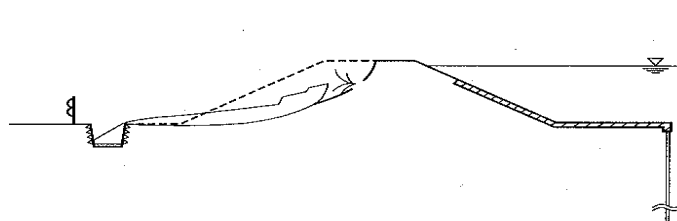
河川堤防は、一連の区間の堤防が連続した長大な線状の防災構造物である。大部分の堤防が土を材料とし、長い治水の歴史を反映して複雑な内部構造が形成されており、しかも複雑で変化に富んだ基礎地盤の上におかれている。さらに、内水を排除するための樋門や舟運等を目的とする水門がところどころに設けられており、それらが構造上の不連続な部分となっている。

土でできた堤防は、洪水が堤防高を上回ると容易に越水破堤する。また、堤防高より低い水位の洪水であっても、浸透や侵食に起因して堤防が被災し、破堤に至る場合もある(図-4.3 参照)。

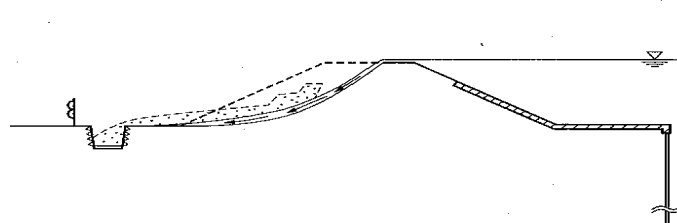
① 雨水および河川水位上昇に伴う堤体浸透により、堤体が弱体化する。



② 堤体裏のりの斜面が崩壊する。



③ 越水により、堤体の崩壊が助長される。



④ 河川水の流出により、堤体および基礎地盤が侵食される。

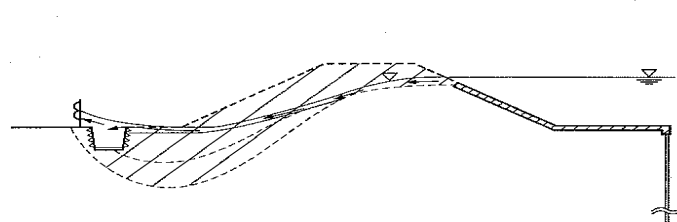


図-4.3 新川における破堤プロセス

一般に河川堤防に被害が発生する原因としては、次の2つがあげられている⁴⁾。

①侵食および越水に起因する被害

洪水時の流水あるいは越流水の掃流力により堤体表面あるいはのり尻部が侵食され、堤体を構成する土粒子が移動することにより生起するもの

②浸透による被害

洪水時の河川あるいは降雨が堤体および基礎地盤に浸透することによって間隙水圧が上昇し、堤体の見掛けの強度が低下する（すべり崩壊等）、あるいは土粒子が移動する（パイピング等）ことにより生起するもの

また破堤原因の内訳は、「中小河川データを多く含んだ破堤アンケート調査結果によれば、破堤原因の7～8割は越水である」と言われている²⁾。実際、平成16年7月の福井豪雨で破堤した足羽川、平成16年10月の台風23号で破堤した円山川も、越水が原因であったと報告されている⁵⁾。この事実を踏まえ、越水開始から破堤までの時間を稼ぐ（近隣住民の避難時間を確保する）ため、裏のり面に侵食対策を施すなどの「難破堤堤防」の研究が国土技術政策総合研究所を中心に始まっている⁶⁾。

また、樋門等の堤防横断構造物の周辺堤防では、土と構造物の不同沈下による空隙やゆるみが生じやすく、洪水時の弱点となることが少なくない。

さらに、大地震時には、基礎地盤の液状化に起因して堤防が大きく沈下・変形する被害が見られ、特にゼロメートル地帯では常時の河川水の流入による二次災害（浸水災害）が発生する場合もある。

(c) 予知、監視、保全技術

(i) 洪水ハザードマップ

防災能力の向上や被害軽減を図る有効な方法のひとつとして、防災情報の公表およびその提供があげられる。最近では各自治体で、自然災害による被害の可能性を示すハザードマップや被害想定などの防災情報が数多く提供されるようになった。水害においては、特にハザードマップが有効であり、氾濫時等の影響範囲や避難所を明確に示すことで、被害の予防や軽減に対する日頃の活動や備えの必要性を啓発できる。

平成16年の水害においては、洪水予報が難しい中小河川において被害が多発したことから、平成17年に水防法が改正され、従来、洪水予報を行ってきた大河川以外の主要な中小河川が、避難勧告発令の目安となる特別警戒水位への到達情報の周知等を行う河川（水位情報周知河川）として指定された。洪水予報河川は248河川、水位情報周知河川は940河川（平成17年12月末現在）が指定され、両河川とも浸水想定区域の指定および公表が義務付けられている。

また、円滑かつ迅速な避難が行えるよう、市町村によるハザードマップの作成推進等が行われ、439市町村で洪水ハザードマップの作成が完了している（平成18年3月末現在）。また、各地方自治体においては、行政窓口、公民館、病院等での閲覧や各戸への配布、広報誌・ホームページ・電話帳への掲載などによる情報公開に取り組まれており、ハザードマップを使った避難訓練、小中学校での総合学習教材としての活用、住民説明会の実施など、洪水ハザードマップの普及が図られている。

(ii) 科学技術の研究

独立行政法人「防災科学研究所」においては、近年の局所的な豪雨をリアルタイムで監視する技術を開発し、そのデータを活用して短時間の降水量を予測できる手法の開発に取り組まれている。さらに、その予測結果に基づき、都市域における浸水被害

危険度予測手法や山間地における土砂災害の発生予測手法の開発にも取り組まれている。

また、独立行政法人「土木研究所」においては、豪雨に対する土砂災害の発生場所や時期を絞り込むための災害危険度の予測手法の高度化・実用化に取り組まれている。

このように、近年では、降雨量の監視や予測手法に関する研究や主に土砂災害を対象とした危険度評価に対する科学技術の研究には取り組まれているものの、研究対象を河川堤防に限定した予防や危険度予測手法に関する具体的な研究には取り組まれていないのが実情である。

(iii) 情報通信設備の整備

国交省においては、以下の情報通信設備の整備に取り組まれている。

① テレメータ

雨量、水位、水質等の水文データなどを収集するためのテレメータの整備が進められている。

② 警報設備

ダムや堰等の放流による河川水位上昇を付近の住民に警報するための設備を整備し、かつ、地方自治体による使用を推進している。

③ レーダ雨雪量計

雨量、降雪量をリアルタイムで広域に捉え、迅速かつ的確な災害予防、災害対策を行うため、レーダ雨雪量計の整備が進められている。また、地上雨量計によるキャリブレーション処理の精度向上にも取り組まれている。

④ 河川情報システム

高機能化を図った河川情報システムの普及を推進するとともに、各部局および地方自治体が保有するデータの共有化を図る情報システムの整備が推進されている。また、気象庁と共同で発表する直轄河川の洪水予報等の情報を迅速かつ的確に伝達するため、観測施設等の整備が進められている。あわせて、洪水予報システムの改良および拡大等により、精度の向上と機能の充実が図られている。

(iv) 国土基盤河川事業

国交省においては、国土保全の観点から大河川の安全度の向上を目的として、大規模放水路、治水ダム等の治水事業をはじめ、基幹大河川の整備を重点的に実施している。また、近年、激甚な災害が発生した河川等については、再度災害防止対策および慢性的な床上浸水被害の解消を図る治水対策を推進している。また、都市化の進展に対処し、水害の防止を図るため、市街化地域の都市河川の治水対策に重点を置くとともに、安全で快適な生活環境の実現を図るため、高規格堤防（スーパー堤防）等、まちづくりと一体となった河川整備事業が推進されている。

また、床上浸水被害が頻発している地域の河川のうち、特に対策が必要な河川を対象として床上浸水対策特別緊急事業、流域の保全・遊水機能の維持増進、水害に対して安全な土地利用への誘導、治水施設を総合的・計画的に整備する総合治水特定河川改修整備事業の推進などにも取り組まれている。

(v) 地域河川事業

国交省においては、影響範囲が地域に限定され、地域の生活基盤と密接な関係がある中小河川の安全度の向上を目的として、中小河川の整備事業が推進されている。基

本的な整備方針は大河川と同様であるが、住宅宅地供給や下水道整備事業とあいまって、流域が一体となった総合的な河川事業や超過洪水等に備える危機管理対策を推進することに努められている。また、都市河川の治水対策として、水道用水の確保を目的とした生活貯水池の整備も進められている。さらに、周辺の環境に対し河川環境が著しく劣悪な市街地の中小河川においては、河岸の緩傾斜化、多自然化を行うとともに、市が施行主体となって地域に密着した河川整備を行うとともに、安全かつ良好な水辺空間の創出を図る事業の推進に取り組まれている。

(d) 堤防の構造検討手法

(i) 浸透に対する堤防の構造検討

河川堤防の浸透による被害は、降雨および河川水の浸透により堤体内浸潤面が上昇することによるすべり破壊（浸潤破壊）、および基礎地盤の浸透圧の上昇によるパイピング現象（浸透破壊）が主なものである。浸透に対する堤防の安定性照査とは、そのような堤防破壊のメカニズムを踏まえた技術的知見に基づく水理学的、力学的手法を設計の中に導入したものである。

①照査外力

堤防の浸透に対する安全性照査では、照査外水位は計画高水位（当面の整備目標として設定する洪水時の水位が定められている場合にはその水位）とし、照査降雨は計画規模の洪水時の降雨（当面の整備目標として設定する洪水が定められている場合はその時の降雨）とする。また、既往最大の洪水時の降雨量あるいは水位波形（ピーク水位が高い、あるいは洪水の継続時間が長い）に対しても安全性を確認しておくが良い。

②照査項目

堤防の浸透に対する安全性照査では、以下の2項目について照査を行う。

○洪水時のすべり破壊に対する安全性

○洪水時の基礎地盤のパイピング破壊に対する安全性

③照査基準

堤体の安全性の照査基準は、表-4.4の通りである。ここで、「築堤履歴の複雑な場合」とは、築堤開始年代が古く、かつ築堤が数度にわたり行われている場合や履歴が不明な場合のことであり、「要注意地形」とは旧河道、落堀跡などの堤防の不安定化につながる治水地形のことを言う。

表-4.4 浸透に対する安全性照査基準

項 目	部 位	照 査 基 準
すべり破壊(浸潤破壊)に対する安全性	裏のり	$F_s \geq 1.2 \times \alpha_1 \times \alpha_2$ F_s : すべり破壊に対する安全率 α_1 : 築堤履歴の複雑さに対する割増係数 築堤履歴が複雑な場合 $\alpha_1 = 1.2$ 築堤履歴が単純な場合 $\alpha_1 = 1.1$ 新設堤防の場合 $\alpha_1 = 1.0$ α_2 : 基礎地盤の複雑さに対する割増係数 被災履歴あるいは要注意地形がある場合 $\alpha_2 = 1.1$ 被災履歴あるいは要注意地形がない場合 $\alpha_2 = 1.0$
	表のり	$F_s \geq 1.0$ F_s : すべり破壊に対する安全率
パイピング破壊(浸透破壊)に対する安全性	被覆土なし	$i < 0.5$ i : 裏のり尻近傍の基礎地盤の局所動水勾配の最大値
	被覆土あり	$G/W > 1.0$ G : 被覆土層の重量 W : 被覆土層基底面に作用する揚圧力

④照査方法

浸透に対する堤防の安全性は、非定常浸透流計算および円弧すべり法による安定計算によって照査する。非定常浸透流計算は非定常の外力を与えて経時的に浸潤面の位置や水頭の変化を追跡するもので、着目時点の浸潤面の形状を知り、また水頭分布から局所動水勾配を計算することができる。一方、円弧すべり法による安定計算では、表のりおよび裏のりのそれぞれについて最も危険と想定される浸潤面を抽出し、これを照査対象断面に設定することで洪水時のすべり破壊に対する安全率を求めることができる。

○非定常浸透流計算の方法

浸透流計算の方法には、定常解析法と非定常解析法があり、さらに非定常解析法においては飽和解析と飽和・不飽和解析があるが、実際の現象に近い状態を再現可能な、非定常の飽和・不飽和浸透流解析を行うことを原則とする。

○円弧すべり法による安定計算の方法

浸透流解析によって得られた浸潤面の中から最も危険なものを抽出し、全応力法にもとづきすべり破壊に対する最小安全率を算出する。

非定常飽和・不飽和浸透流計算のソフトとしては、①GW-USAF、②PC-UNISSF、③2D-FLOW、④SAUSE、⑤SOIL2F などがあるが、適用にあたっては、実験結果による検証等を行って適用性を確認しておくことが望ましい。

(ii) 侵食に対する堤防の構造検討

流水の侵食に対する河川堤防の安全性は、河道の形状（平面および縦横断形状）、堤防前面の河岸（高水敷）の状況、堤防近傍の洪水流の水力条件、現在の河岸あるいは堤防本体を防護する構造物の工種、堤防の土質条件等に関係する。このような要因と侵食による堤防破壊のメカニズムとの関係が全て工学的に明らかにされているわけではないが、現段階においては、洪水時の堤防近傍のせん断力を外力とし、耐力として堤防を被覆する植生、高水敷の高さ（低水河岸高）や幅を考慮して侵食に対する安全性、すなわち堤防の表のり面が侵食されるか、あるいは表のり基部が洗掘される可能性があるかを評価する。すでに護岸等で防護されている堤防については、護岸工の力

学的な安定性を照査し、侵食に対する安定性が確保されているか否かを判断する。

なお、侵食作用としては、流水によるもののほかに流木や波浪によるものがあるが、このような侵食作用が想定される場合には、別途検討が必要である。

①照査外力

堤防の侵食に対する安全性照査の外力としては、代表流速 (V_0) を用いることとし、代表流速は計画高水位（当面の整備目標とする洪水時の水位が定められている場合にはその水位）以下の水位時において、最も速い平均流速 (V_m) に湾曲等による補正係数を乗じて算出される。

なお、河道特性によっては、計画高水位時あるいは当面の整備目標とする洪水時の水位より低い水位の方が侵食外力が大きくなる場合もある。また、洪水時には急湾曲部の内岸側にある高水敷を水が走り、洗掘される可能性もあるので、水位の設定にあたっては河道特性を十分に考慮する必要がある。また、現況堤防の安全性を照査する場合には、計画高水位あるいは当面の整備目標とする洪水時の水位以下の複数の水位を対象に安全性を詳細しておくことが望ましい。

②照査項目

○護岸工がない場合

- ・堤防表のり面、のり尻の直接侵食に対する安全性
- ・主流路（低水路等）からの側方侵食、洗掘に対する安全性

○護岸工がある場合

護岸の力学設計法⁷⁾に準じて、護岸工そのものの安定性を照査する。

③照査基準

○護岸工がない場合

侵食に対する堤防の安定性の照査基準は、表-4.5 の表の通りである。ただし、河岸防護等の適切な対策がとられる場合にはこの限りでない。

表-4.5 侵食に対する安全性照査基準

①堤防表のり面およびのり尻表面の直接侵食に対する安全性	表面侵食耐力 > 代表流速 V_0 から評価される侵食外力
②主流路（低水路等）からの側方侵食、洗掘に対する安全性	高水敷幅 > 照査対象時間で侵食される高水敷の幅

○護岸工がある場合

護岸の力学設計法⁷⁾に準じる。

④照査方法

○護岸工がない場合

- ・堤防表のり面およびのり尻表面の直接侵食に対する安全性照査

河川堤防は、雨水による侵食の防止および環境保全等の観点から芝等の植生で被覆することを原則としている。したがって、表のり面、のり尻表面の侵食に対する安全性は、代表流速 V_0 および流速作用時間から評価される侵食外力と、植生で被覆されたのり面の表面侵食耐力を比較することにより照査する。

まず、侵食外力として、継続時間 t とその時間内の摩擦速度の平均値 u_{ave}

を設定する。 u_{*ave} は簡便法により，計画高水位時の代表流速 V_0 ，水深などから算定する。一方，植生による表面侵食耐力 u_{*c} は，流水によるせん断力が継続する時間 t と平均根毛量 σ_0 から算定され， $u_{*c} > u_{*ave}$ であれば直接侵食に対する安全性は確保されていると評価する。なお，概略的ではあるが，植生によるのり面保護工が施されていれば，代表流速 2m/s 程度の流速に対する耐侵食性は確保されているものと考えてよい。

・側方侵食，洗掘に対する安全性照査

当該項目に対する安定性評価については，侵食速度の評価法について水文学的，土質工学的な根拠に基づく合理的な手法が確立していない。そこで，1回の洪水による高水敷等の侵食幅の目安が，表-4.6 のように示されており，この幅を満足するかどうか安定性の目安となっている。

表-4.6 表のり尻部の洗掘に対する安全性の照査基準

河道のセグメント分類	照査基準
	(1 洪水で侵食される高水敷幅の目安)
1	4 0 m 程度
2-1	高水敷幅 $b >$ 低水河岸高 H の 5 倍
2-2 および 3	高水敷幅 $b >$ 低水河岸高 H の 2 ～ 3 倍

○護岸工がある場合

護岸工がある場合の安定性照査は，のり覆工，基礎工および根固工のそれぞれについて，主として設定した外力に対して力学的に安定性が確保されているかどうかを照査する。

のり覆工については，工種ならびに構造，想定される破壊の要因や形態，および設置状況を考慮して構造モデルを選定し，代表流速 V_0 を外力として控え厚（重量）や石径等が不足していないかを照査する。一方，基礎工については，最深河床高の評価値（推定最大洗掘深）をもとに，基礎工の天端高やその構造あるいは根固工の構造を考慮して安定性が確保されているかを照査する。

(iii) 地震に対する堤防の構造検討

地震により河川堤防の基礎地盤に液状化が生じた場合には，堤防に大きな沈下が発生する。しかしながら，既往の地震による被害の実態からすると，堤防高さを完全に消失するような事例はなく，最悪でも堤防高さの 25% 程度は残留する。

この場合，常時の河川水位より堤内地側の地盤高が低い，いわゆるゼロメートル地帯では，河川水が堤防を越流し，後背地に甚大な浸水災害を及ぼすような二次災害が発生する可能性がある。したがって，地震による二次災害が発生する可能性のある区間の河川堤防については，所要の安全性を確保できる構造としておく必要がある。が，ここで「所要の安全性」とは，土堤の場合に地震に対して壊れない，ということではなく，仮に地震により堤防が被災しても著しく沈下を生じない，言い換えれば，沈下等の被害が生じても平常時の河川水が越水しない程度の堤防高さが確保できているようにするということである。

地震後の堤防の変形量，特に沈下量を精度良く予測する手法は未だ研究段階にあるため，深度法に基づく円弧すべり計算により安全率を算出し，得られた安全率から，

過去の地震による被害（沈下量）と安全率の関係（実績）に基づいて沈下量を予測する，という手法を適用している。

なお，検討にあたっては，想定される地震時の河川水位，堤内地の地盤高，および後背地の土地利用状況を勘案し，河川堤防の耐震機能を確保すべき区間を適切に設定すること，基礎地盤の液状化層が厚く，液状化に対する抵抗力（ N 値など）が小さく，かつ，液状化しやすい粒度組成を有していること，堤防高さが高い箇所に着目し，検討箇所を細分化して照査する必要がある。

①照査外力

地震に対する堤防の安全性照査では，地震外力として，液状化の判定に用いる地震力および慣性力として作用させる地震力ともに，水平震度（設計震度）により設定することが規定されている。

②照査項目

堤防の沈下に伴う浸水等による二次災害の可能性の有無を照査する。そのための照査項目として，液状化と慣性力による堤防の変形の二つがあるが，両者をともに沈下という現象に結び付けて照査を行う。

③照査基準

浸水による二次災害の可能性の有無は，地震による変形後の堤防高さと緊急復旧期間を考慮して設定した河川水位を比較することにより，前者が後者を下回る場合に二次災害の可能性があると判断する。

なお，地震による変形後の河川堤防高さとは，所要の天端幅（計画あるいは現況の天端幅）が確保されている高さとする必要があり，想定する河川水位としては，おおむね2週間程度の緊急復旧に要する期間，河川の特長や後背地の状況等を勘案し，例えば，確率規模別高水位（1/1 相当水位）＋1～2 m程度を目安として設定する必要がある。

④照査方法（沈下量の推定法）

円弧すべり法による安定計算を行って地震時安全率を求め，既往の事例より堤防天端の沈下量を推定する。

なお，地震時の安全率の算定にあたっては，慣性力と地震時の過剰間隙水圧は同時には考慮しない。つまり，慣性力のみを考慮した安定計算（ k_h 法）を行うか，過剰間隙水圧のみを考慮した安定計算（ Δu 法）を行うこととなる。後者は，液状化低効率 F_L を算定して，これに基づき過剰間隙水圧の評価を行い，これをもとに安定計算を行うもので，基礎地盤が液状化を起こしやすい場合に適用する。

地震時の堤防の沈下量は，川表および川裏に対して得られた地震時安全率に対応して，下表に示す沈下比率，すなわち堤防の高さに対する沈下量の比を用いて推定する。なお，地震時安全率は，算定手法別，川表（堤外側），川裏（堤内側）のいずれか小さい安全率を採用して，堤防の沈下量を推定する。

(iv) 構造物周辺の堤防の点検

堤防を横断して設置される水門や樋門等の構造物は，個別の機能の他に堤防としての機能も備えていなければならない。水門や樋門等は，重量や剛性等が土構造物である堤防と異なることから，両者の接合部を長期にわたり安定的に密着させることが難しく，洪水に対して弱点となる場合がある。特に，基礎地盤が軟弱な箇所では杭基礎を用いて設置された樋門等が多く，構造物と堤防（堤体）の不同沈下に起因して周辺

堤防にゆるみや空洞を生じ、洪水時にこれが原因となって大規模な漏水やパイピング等が発生して堤防の安定性を脅かした事例も少なくない。しかも、グラウト等の空洞充填対策を実施しても、その後の沈下の継続により空洞が再発した事例も確認されている。

構造物周辺堤防の変状発生や水みちの形成には、種々の要因が関係するが、以下のような現象の継続と進行が、主たる要因と考えられている。

- ① 堤防（堤体）荷重による基礎地盤の圧密沈下
- ② 広域地盤沈下による地盤沈下
- ③ 外水位の変動（高水の繰返し、感潮河川、ダムや水門の下流側）
- ④ 構造物材料の不良あるいは劣化
- ⑤ 地震による地盤の変形および函体の損傷
- ⑥ 交通荷重による函体損傷

これらのうち、堤防の安全性にとって最も危険な、構造物沿いの漏水をもたらすものは、図-4.4に示すような支持杭基礎の場合の抜け上がりによる底版下の空洞発生である。すなわち、軟弱地盤上に杭基礎によって支持された樋門では、周辺地盤の圧密沈下にともなって底版直下に空洞が形成されやすく、堤体や埋戻し土の内部にクラックや緩み域が、また、堤防天端には段差やクラックが形成されることが多い。

底版下の空洞が水みちとなって顕著な漏水が生じるような場合には、矢板の側方を迂回する水が土を浸食し、堤体内にも空洞ができることがある。このような現象が樋門に沿って連続すると、図-4.5に示すように、川表から川裏に通じる漏水経路が形成され、これが原因となって破堤に至る場合がある。

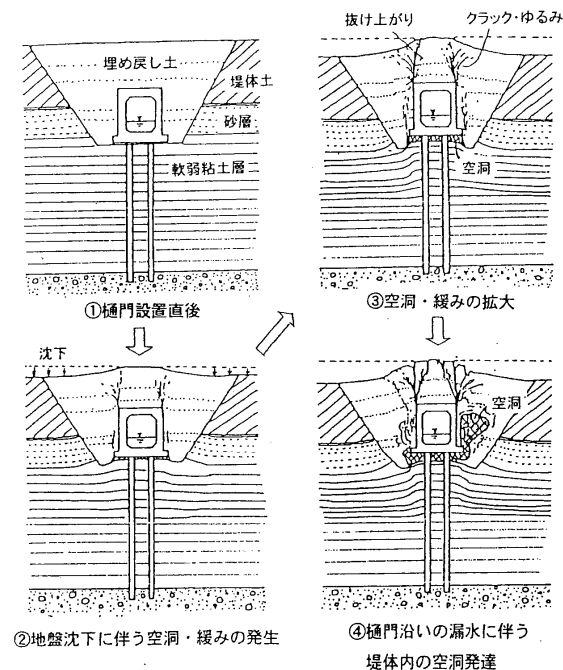


図-4.4 樋門の抜け上がりと空洞・クラックの発生過程

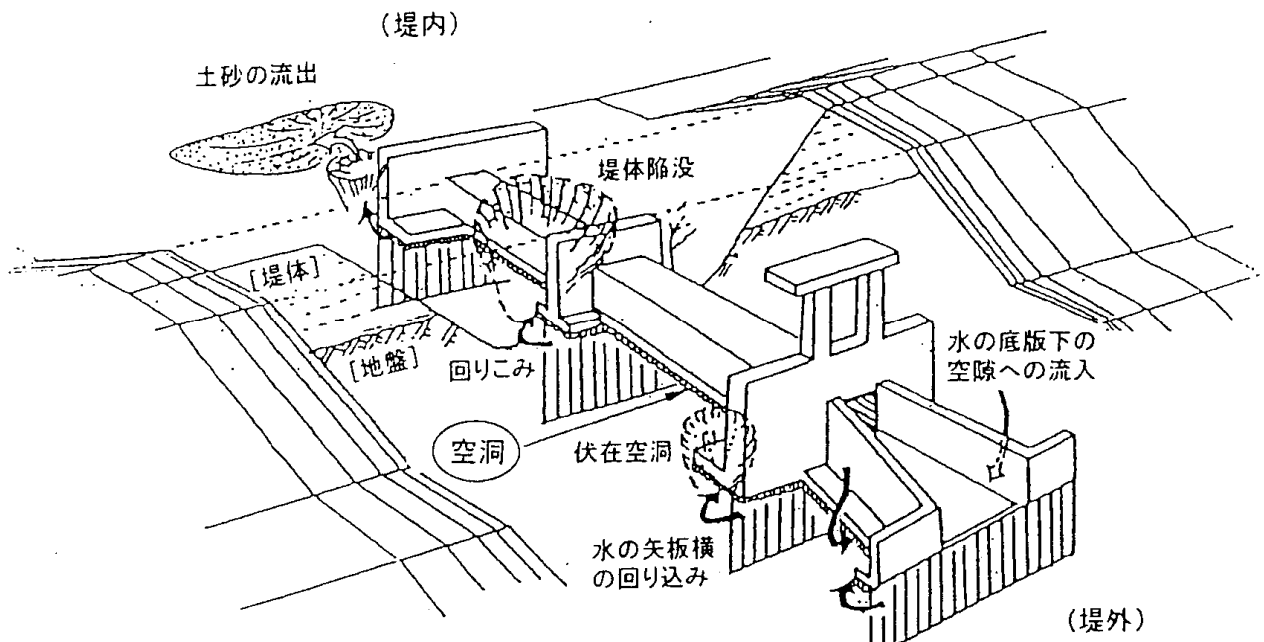


図-4.5 樋門周辺の変状と漏水経路

既設の樋門、水門等の構造物周辺堤防に関する点検においては、まず、既往の資料を基に構造物の諸元や被災履歴、工事記録等を整理し、重要点検箇所台帳を作成する。次に現地において外観調査や図内調査を行い、構造物とその周辺の変状を調査し、構造物ごとに安全性の一次評価（診断）を行う。

ここで詳細な調査が必要と判断された構造物については、連通試験等などによる詳細調査を実施した上で安全性の二次調査（診断）を行い、対応を決定する。そして、応急処置が必要とされたものについては補修設計を、直ちに補強が必要とされたものについては改築を含めた強化工法の設計を行って、一連の堤防と同等の安全性の確保を図る。

以下に、樋門等構造物周辺堤防の安全性評価（診断）の基本的な考え方を示す。これは、過去の被災や現地調査によって得られた経験を踏まえ、安定性評価に対する一定の考え方を示したものである。定量化されたものではなく、この考え方で説明できない被害や漏水メカニズムもあり得る。また、判断基準も構造物設置箇所の特性によって異なる。これらの点を考慮して、個別の樋門等構造物の周辺堤防に関する資料を十分に吟味し、現場状況に合わせて土質工学、地下水理学の理論推定に基づく総合的な考察を行い、安全性の評価（診断）を実施する必要がある。

(e) 補強および補修技術

(i) 基本的な考え方

前述の通り、河川堤防破堤の要因は「侵食」と「浸透」である。これを踏まえて、河川堤防の強化対策として、「河川堤防の構造検討の手引き」（国土開発技術研究センター）では、

① 断面拡大工法

- ② ドレーン工法
- ③ 表のり面被覆工
- ④ 基礎地盤に対する強化工法

の4つの代表的な工法が示されている。

(ii) 断面拡大工法

○ 概要

基本断面形状に表腹付けあるいは裏腹付け盛土を設けることにより、浸透路長の延伸を図り、平均動水勾配を低減させるとともに、法勾配を基本断面形状より緩くすることにより、すべり破壊に対する安全性を向上させる工法である。

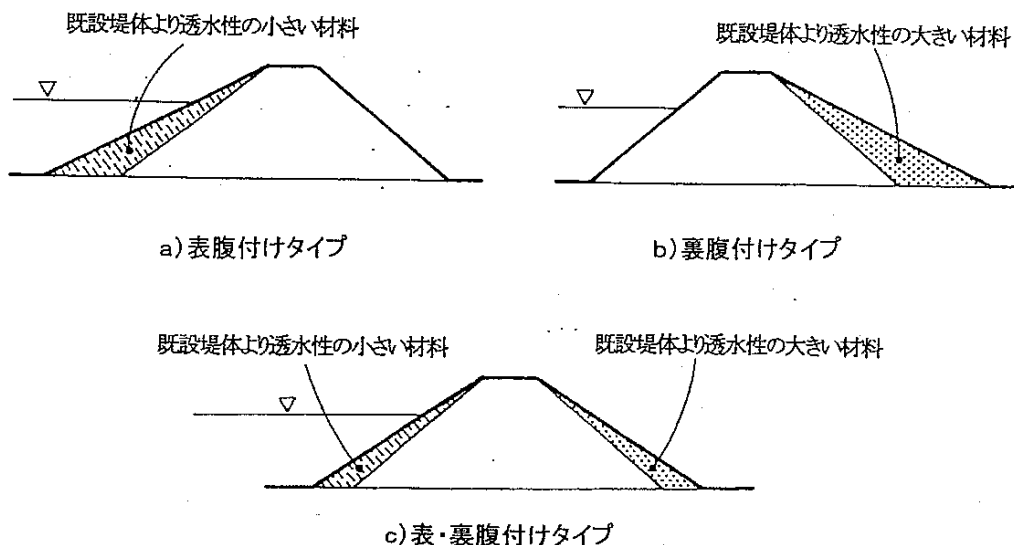


図-4.6 断面拡大工法の基本的な断面形状

○ 留意点

- ・ 用地の確保が前提となる。
- ・ 基礎地盤が軟弱地盤で構成される場合には、断面を拡大することにより既設の堤体が沈下したり、それにとまって天端に亀裂が生じたりすることがある。
- ・ 既設堤体と拡幅盛土の境界が弱点にならないように、なじみを良くする必要がある。

(iii) ドレーン工法

○ 概要

洪水時に堤体に浸透した降雨ならびに河川水を集排水するためのドレーン部、排水を受けこれを所定の流末に導くための堤脚水路、ならびに堤体の土粒子の流出を防止するとともにドレーン部の目詰まりを防止するためのフィルター部により構成される。

○ 断面形状

- ・ ドレーン厚さについては堤内地盤より少なくとも 0.5m 以上の高さとする。
- ・ ドレーン工の幅については、ドレーン工前面における平均動水勾配が 0.3 を上回らないこと。

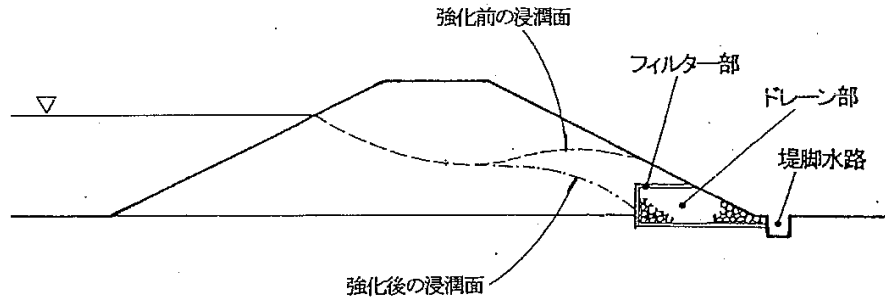


図-4.7 ドレーン工法の基本的な構造

○ 留意点

・ 材料の選定

ドレーン材は、堤体の透水係数より2オーダー程度大きめの材料とする。

フィルター材は、 $0.1\text{mm} < O_{95} < D_{85}$ 、長期的に目詰まりを生じないこと。

○ その他

断面の形（三角形、台形、平行四辺形）については、研究段階である。

(iv) 表のり面被覆工

① 浸透防止を目的とした被覆工

○ 概要

高水位時の河川水の表のり面からの浸透を抑制するため、表のり面を難透水性材料で被覆する強化工法である。土質材料を基本とし、入手が困難な場合には遮水シートを用いる。コンクリートは変形追随性に、アスファルトは劣化など長期安定性が乏しいため好ましくない。遮水シートを用いる場合は、安定性を確保するため、覆土するか護岸を設ける。

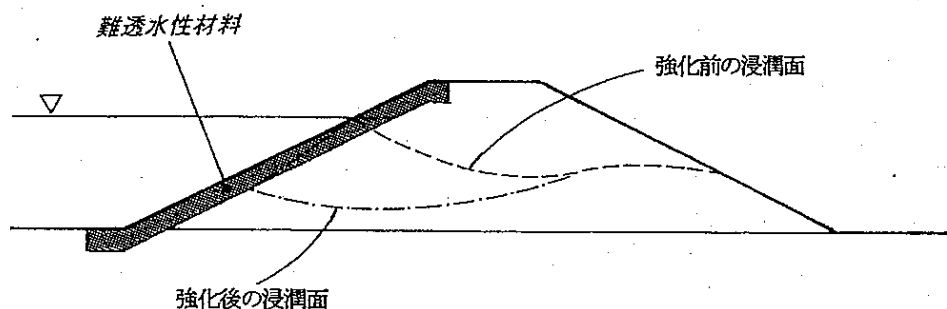


図-4.8 表のり被覆工法の基本的な構造

○ 留意点

遮水シートや難透水性土質材料で被覆したのり面が、降雨や河川水位の急低下時にすべり破壊が生じないように、のり勾配を決定する。

② 侵食防止を目的とした被覆工

○ 概要

高水位時の河川水流による侵食を抑制するため、表のり面を接続ブロックや天然石などで被覆する強化工法である。各種被覆工法毎に、のり面勾配に応じた代表流速（適用限界流速）が定められており、安定性照査に関する構造モデルと安定

計算方法が設定されている。

(v) 基礎地盤に対する強化工法

基礎地盤に対する強化工法としては、①川表遮水工法、②ブランケット工法、③ウェル工法がある。

① 川表遮水工法

○ 概要

川表のり尻付近の基礎地盤に遮水壁を設置し、河川から基礎地盤に浸透する水量と水圧を軽減し、パイピング破壊の防止を図る工法である。遮水工法には、

- a) 矢板工
- b) 地中連続壁
- c) グラウト工

がある。

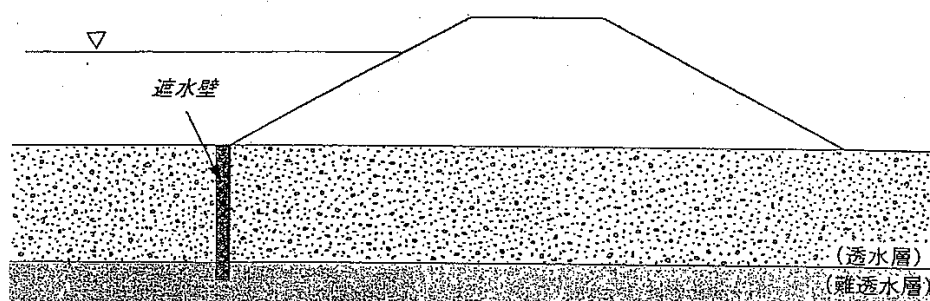


図-4.9 川表遮水工法の基本的な構造

表-4.7 川表遮水工法の種類と特徴

分類	工法	特徴
矢板工	鋼矢板工法	・施工性に優れ、多用されている。 ・継目からの漏水があり、特に礫質土を対象とした場合には継目が開口し、効果が半減することがある。
	コンクリート矢板工法	・RC矢板やPC矢板がある。長さは5m以内に限られ、使用実績は少ない。
	薄型鋼板止水壁工法	・幅広の薄型鋼板をパイプハンマーとウォータージェットを併用して打設し、継目にグラウト材を充填して止水性を確保する。 ・鋼矢板に比較して経済性と止水性に優れているが、薄型のため無理な貫入ができず、地盤によっては施工性が問題となる。
連続 地中壁工	スラリートレンチ工法	・地盤にトレンチを掘削し、掘削土にベントナイトとセメントを加えた混合液で埋め戻して遮水壁をつくる。 ・スラリートレンチ内に止水材として軟質塩化ビニールシートを挿入し、止水性を高める工法も開発されている。 ・海外ではフィルダムや河川堤防の遮水壁としての実績はある。国内での実績はほとんどないが、経済的で施工性も良く、多様な地盤に適用できることに利点がある。
	コンクリート壁工法	・トレンチを利用してコンクリート壁を構築するものであるが、経済性や施工性から河川ではほとんど実績はない。
グラウト工	セメント系グラウト工法	・基礎地盤にセメントミルクや止水性の薬液を圧入するもので、施工は容易であるが、止水効果や耐久性について不明な点がある。
	薬液注入工法	

○ 留意点

周辺の地下水環境に配慮する必要がある。

② ブランケット工法

○ 概要

川表側の高水敷の表層を難透水性材料で被覆することを基本的な構造とするもので、このことによって浸透路長を延伸して基礎地盤の浸透圧を低減し、裏のり尻での浸透に対する安定性を向上させるものである。被覆材料の透水係数は $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 以下。材料としては、土質材料、アスファルト舗装を用いる。

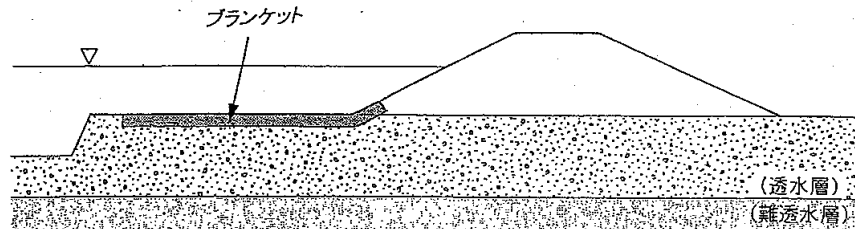


図-4.10 ブランケット工法の基本的な構造

○ 留意点

高水位時の流水の洗掘に耐えられなければならない。

(vi) 難破堤堤防

前述した通り、破堤原因の 7～8 割は越水である。現行の「河川管理施設等構造令（平成 12 年）」では、「計画高水位以下の水位の流水の通常的作用に対して安全な構造とする」とあり、「越水しないことが原則」となっている。したがって、現時点では、上記構造令をよりどころとして「越水対策」による河川堤防強化事業を実施することは困難な状況にある。かつ、全ての河川を越水しないように、堤体を嵩上げしたり、河道を浚渫したりするためには、膨大な費用と時間を要する。

このため、河川管理者サイドでは「難破堤堤防（越水しても破堤しにくい堤防）」の研究開発が進められている。土木研究所からは、越水の際ののり尻、のり肩の補強に着目し、越水に 3 時間程度耐えられる構造として、裏のり尻にのり尻工、天端を舗装工、裏のり斜面に保護マット（吸出し防止材）＋遮水シートを施す堤防強化対策が提案されている⁶⁾。

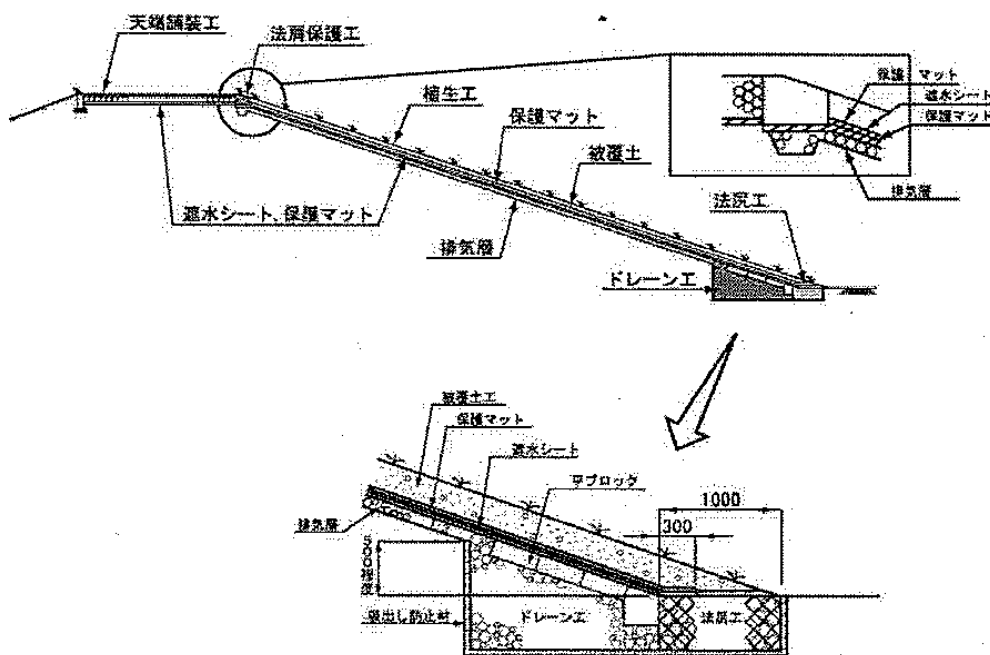


図-4.11 難破堤堤防の基本構造

(vii) 構造物周辺堤防の補強工法

構造物周辺堤防の強化工法は、浸透（漏水）に対する安全性が十分には確保されていないと判断された場合に実施するものであり、具体的には「安全性評価ランク」のうち、「直ちに補強（改築含む）」および「応急処置（補修）」と評価された構造物周辺の堤防が該当する。

対策の考え方は、以下に示す通りで、グラウト充填を主体とした従来対策のみでは連続する堤防と同程度の安全性を確保することが困難と判断された場合には、後述する抜本的な対策が必要となる。ただし、強化工法による絶対的な安全性の確保は将来にわたりこれを保証することが困難であることから、強化工法施工後のモニタリングを併せて計画、実施し、機能が発揮されているかどうかの確認を継続的に行い、必要に応じて対策工へフィードバックすることが重要である。

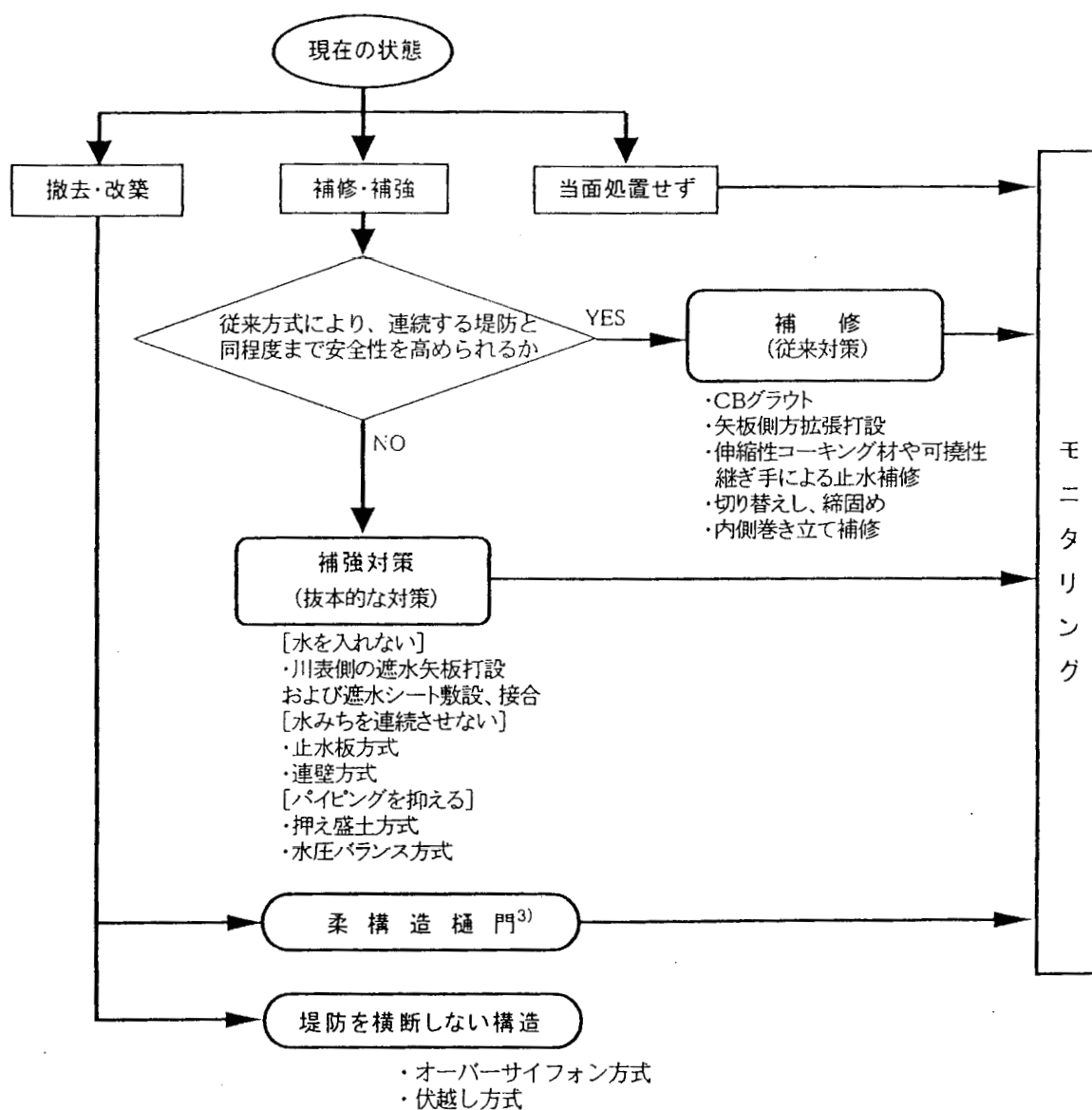


図 図-4.12 構造物周辺の堤防の強化の考え方

強化工法は，漏水による被害を軽減する工法（従来対策）と漏水の発生そのものを防止する工法（抜本的対策）に分けられる。

従来対策は，漏水の要因となる当面の変状等を補修，回復することにより構造物周辺堤防の安全性を確保するために行うものであり，補修対策として位置付けられる。補修の区分と主な補修対策を整理すると以下のようなになる。

表-4.8 補修の区分と補修対策

補 修 の 区 分	主 な 補 修 対 策
1)底版下の空洞の充填	CBグラウト注入
2)矢板(遮水)の拡張	矢板の増し打ち
3)函体等の継ぎ手及びクラックの補修	可撓性継ぎ手・伸縮性樹脂挿入、内側巻き立て
4)堤体の空洞、クラック、緩みの補修	切り返し・締め固め・グラウト注入
5)護岸・堤体表面の損傷の補修	修復・整形

① C B グラウト注入

主に底版下の空洞の補修対策として、セメントベントナイト（CB）系グラウト材を底版あるいは地表から充填する方法である。注入による空洞の拡大を防止するため、注入圧力は 0.5kgf/cm² 以下あるいは流し込みとする。注入効果の確認は、注入完了後、検査孔に水頭圧を加えて通水性を確認する方法および検査孔でのグラウト材の確認等によって行う。空洞充填グラウトの実施要領としては、旧建設省土木研究所施工研究室（昭和 59 年）による「空洞充填グラウト工法実施要領(案)」や旧北海道開発局土木試験所河川研究室（昭和 61 年）による「樋門・樋管周辺のグラウチングのてびき」などがある。

② 可撓性継手

函体等の継手部の開口に対する補修対策として、可撓性止水ジョイントや止水バンドによって併合する。

③ 伸縮性樹脂挿入

壁面の亀裂や目地の開きの補修対策として、伸縮性樹脂挿入等を行う方法である。具体的には以下の工法がある。

- ・伸縮性樹脂挿入工法
- ・V カット目地材充填工法
- ・止水板（目地導水）工法

④ 矢板の増し打ち

浸透路長不足によって漏水が発生する場合、既設の遮水矢板を可撓継手を介して側方に拡張することによって浸透路長を確保する。既設の矢板と増し打ち矢板の継手部に遊びを設け、過大な変形にも追従できるように工夫したものがある。

抜本的対策はその目的から以下の 3 種に区分される。

- ・川表側での[水を入れない]対策
- ・川裏側での[パイピングを押さえる]対策
- ・堤体内部での[水みちを連続させない]対策

(4) 技術開発への取組み

(a) 表のり面被覆系工法

シートメーカーや緑化専門者が取り組んでいる技術開発として、大別すると遮水を目的にした工法と多自然型機能を付加した侵食防止を目的にした工法の 2 つに分けられ、侵食防止工法は構造形式によってさらに 3 つに分類できる。

(i) 遮水シート

表のり面被覆工用に、シートメーカー各社が遮水シートを商品化している。破損防止機能を付加するため、化学合成繊維と遮水シートを張り合わせたものがある。

例：サンジオマット（太陽工業）、WPシート（前田工織）

(ii) 侵食防止多自然型護岸

各工法とも緑化を前提としているためのり勾配を 1:2.0 より緩くすることが原則である（ただし、ストーンネットのみ 1:1.5）。以下に構造形式別に工法の概要を説明する。

- ① 石またはコンクリートブロックをジオテキスタイルネットや金網などに貼り付けて一体化したものを堤防のり面に貼り付ける工法。護床工としても適用可能である。

製品寸法図

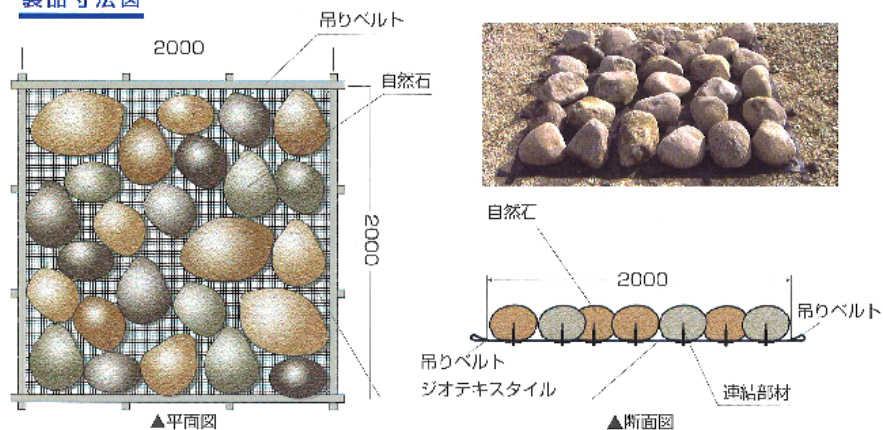


図-4.13 がんぐりまっと（前田工織）【適応流速 5m/s】

- ② 袋（布型枠あるいは袋状ネット）に、コンクリート（モルタル）、土（客土や植生基材）、石（天然石、砕石）を充填したもの。



図-4.14 マチュラルグリーンマット
（太陽工業）【適応流速 3m/s】

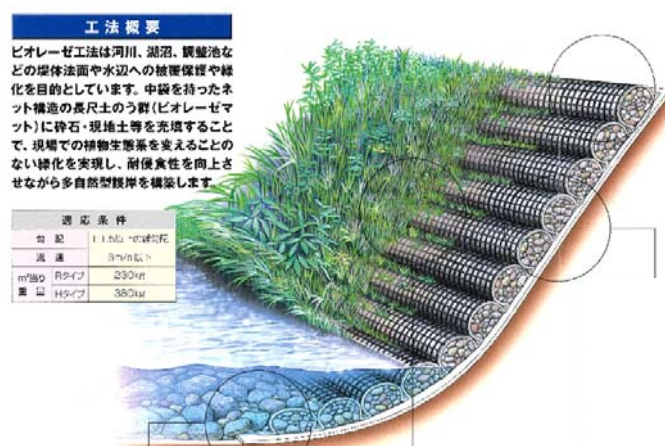


図-4.15 ビオレーゼ
（日植）【適応流速 6m/s】

- ③ ジオテキスタイル（ネット状、へちま状、椰子マットなど）と芝を一体化させた二次製品。コアターフは「コアマット」と呼ばれるへちま構造のマット材に、あらかじめ芝を育成させるのり面に貼り付ける、またはのり面にマットを敷設し土を充填する工法である。コアマットは国土交通省旧土木研究所を中心に繊維メーカー（旭化成、太陽工業、東洋紡、東レ、前田工織など）が共同で開発したものである。

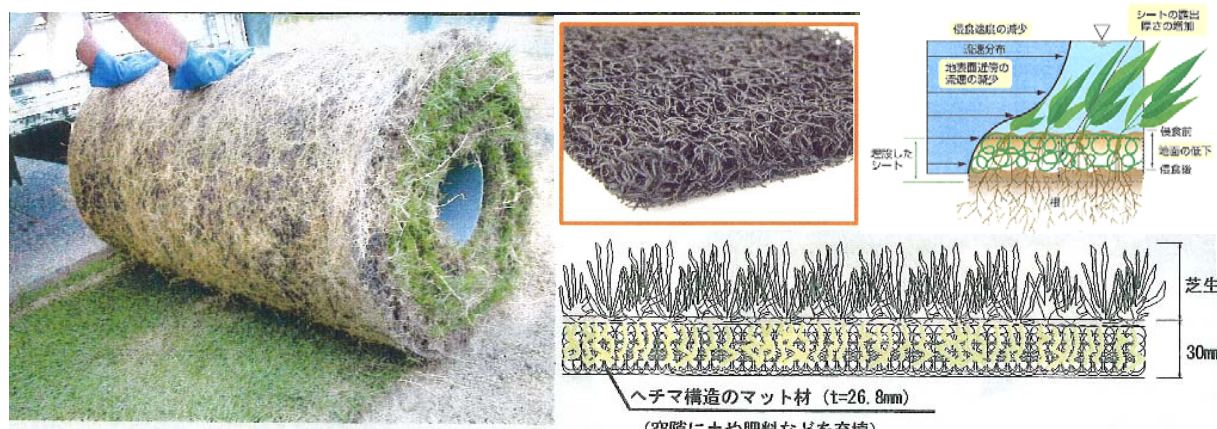


図-4.16 コアターフ（太陽工業）【適応流速 2～4m/s】

- 187

さらに、河川防災分野に限定した技術的課題として、以下の項目が挙げられる。

- ①「実証データを収集する」
 - ・人工衛星，航空機，気象レーダ，地域気象観測システム等を利用した豪雨観測システム
 - ・土地利用状況のモニタリングシステムの開発
- ②「データベース化する」
 - ・災害に関する空間情報データベースの作成
 - ・防災GIS構築のための共通フォーマットの整備と基盤・応用ソフトウェアの開発
 - ・ストックデータの情報提供システムの整備
- ③「災害のメカニズムを明らかにする」
 - ・各種災害の発生機構の解明
- ④「災害を予測する」
 - ・各種災害の危険度評価技術の高度化
 - ・ミクロスケールでの被害想定手法の開発
 - ・リアルタイム型のハザードマップ作成手法の開発
- ⑤「防災力を向上させる」
 - ・GIS等を活用したリスクマネジメントシステムの開発
 - ・警戒避難システムの高度化
 - ・災害緊急対応型リスクマネジメントの支援ツールとしての災害対応シミュレーションシステムの開発
 - ・安全な土地利用への誘導手法の開発
 - ・携帯電話，テレビ等の多様な手段によるリアルタイム防災情報伝達システムの整備

(b) 河川堤防の質的整備における技術課題

河川堤防においては、どこかが破堤すれば、その防災機能の大半が失われる、という連鎖系の特徴を有しており、一連区間の堤防の安全性を確保する際、基礎地盤と堤体構造の不均一性に起因する不確実性への対処が大きな技術的課題となっている。

このような背景から、河川堤防の質的整備の分野では、次のような技術的課題が残されている。

- ① 堤防弱点箇所抽出のための調査技術の高度化

堤防をとりまく自然条件，河道の特性，河川管理施設（特に，堤防横断構造物）および堤防の現況や被災履歴等を十分に把握した上で，堤防の安全性を概略的，相対的に評価する手法の高度化が求められている。
- ② 浸透，侵食，越水，地震，構造物周辺に対する堤防の安定性評価手法の高度化

特に，大地震時における基礎地盤の液状化に起因する堤防の沈下・変形量や津波の予測手法の高度化が必要とされている。
- ③ 経済的な堤防強化工法の開発

堤防の延長の膨大さとその社会的な重要度がますます増大していることを考えると，上記の複合作用に対して，確実に，かつ，経済的な堤防強化工法の開発や改良が不可欠である。

特に、浸透と越水、浸透と地震といった複合作用に有効な堤防強化工法の開発が期待されている。例えば、ドレーン、遮水シート、ジオテキスタイル等の新技術と従来からの断面拡大工法や遮水矢板、ブランケット等による基礎地盤の遮水工法などを組み合わせた「複合型堤防」の高度化、実用化などが考えられる。

また、堤防の弱点となりやすい構造物周辺のゆるみや空洞等に対しては、適切な点検手法に基づく安全性の評価手法の高度化とグラウト充填等の補修対策に替わる抜本的な対策技術が求められている。

④ 堤防モニタリングシステムの高度化・体系化

堤防の連鎖系としての特徴や不確実性への対処を考えると、従来の水防活動とあわせて、管理者サイドにおける堤防のモニタリング体制を強化する必要がある。モニタリングの主な目的・内容は、1)既往の情報の整理とデータベース化、2)堤防弱点箇所抽出、3)構造的安定性や対策工法の効果の検証、4)維持管理への対応などがあり、それぞれについて手法の高度化や体系化を図ってゆく必要がある。

(c) 今後の展望と提言

毎年繰り返される洪水災害に対して、河川堤防の備えはどうなっているか、特に、最近のダム不要論は河川堤防への負荷を大きくする傾向にあり、堤防の質的整備の現状と課題についての認識を国民レベルで共有しておく必要性が、ますます、高まっている。

従来の河川堤防整備は、長い歴史の中で河川毎に経験則的に定められてきた、いわば「形状規定方式」を基本としてきた。大洪水を経験するたびに被災の状況等に応じて段階的に堤防を大きくしてきたものであり、先人たちから受け継いできた貴重な知的財産として相応の妥当性を有している。

しかしながら、その一方で、現在の堤防が想定した洪水（外力）に対して、どの程度の安全性（性能）を有しているのか、必ずしも十分に説明できる論理的な根拠がなかったのも事実である。

このことを受けて、国交省は、平成8年度にとりまとめた「河川堤防設計指針」において、従来からの「形状規定方式」を踏襲しつつ、堤体と基礎地盤の内部構造をできるかぎり把握した上で、「性能照査型」の検討が可能となる堤防設計法を提示した。この検討手法に基づき、平成8年度から全国直轄区間堤防（約10,000km）の安定性に関する概略評価が実施され、浸透に対して比較的安定度が低いと考えられるC区間2,900km（30%）、D区間1,530km（15%）が抽出された。そして、このうちの約4割は、安全率が所定の値を満たさないことが確認されつつある。

さらに、平成16年3月には「河川堤防質的整備ガイドライン(案)」と「河川堤防モニタリング技術ガイドライン(案)」が、国交省河川局から通知され、堤防整備の基本的な考え方や要注意箇所の把握や対策の効果を検証するためのモニタリングについて、関係者の共通認識が形成されつつある。

今後の新たな展開としては、特に重要な堤防整備区間において、

- ① 計画高水位を超える洪水（超過洪水）に対する堤防の耐越水機能の強化方法
- ② 浸透破壊に対する安全性を高める、裏のり勾配1:7.0の堤防構想の実現

などが期待されているところである。また、国交省の直轄区間だけでなく、地方所管の河川堤防への施策の展開が必要不可欠である。

河川防災技術は、計画降雨確率を基本指標とする治水安全度の管理水準と計画・設計論、制度・組織論、流域の土地利用のあり方などと深く関連する「流域を管理、運営する総合技術」である。このことから、今後ますます産・官・学の協同による技術体系の再構築が望まれているところである。

参考文献

- 1) 気象庁「気候変動監視レポート 2004」(2005 年 3 月)
- 2) 末次忠司「河川の減災マニュアル」山海堂
- 3) 国交省ホームページ <http://www.mlit.go.jp/>
- 4) 国土開発技術研究センター「河川堤防の構造検討の手引き」(平成 14 年)
- 5) 地盤工学会「平成 16 年 7 月福井豪雨による地盤災害調査報告書」(2005 年 5 月)
- 6) 小川ら「破堤しにくい堤防構造に関する一考察」土木学会第 59 回年次学術講演会
- 7) 国土開発技術研究センター「護岸の力学設計法」

(6) アンケート調査による対策工事事例

No.29	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	風水害(河)	復旧	河川流域	地方自治体	その他	その他	半年以上3年未満	5%未満の短	一億以上五億未満
問題点	・品質の確保								
阻害要因	河川が氾濫した際に市街地に流れ込んだ土砂の撤去だが、土のう袋や家庭ごみが数多く紛れ込んでおり、それらの確実な分別・撤去が課題であった。								
方策	・約27,000m3のごみ混じり土砂を撤去するにあたり、大型振動ふるい機を導入。作業効率の向上を図った。 ・ふるい機で分別しきれないごみについては、人手で分別を行い、ごみ分別の徹底を図った。								
効果	・品質の確保（ごみ分別の徹底） ・作業効率の向上 ・コストの低減								
評価	・中間処理施設の許認可が必要であり、その取得に時間を要した。 ・降雨後の水分を含んだ土は作業効率が大幅に低下した。								
No.30	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	風水害(河)	復旧	河川流域	国	河川	一般競争	1年以上2年未満	10%以上の延	十億以上
問題点	（品質）護岸工の法留基礎地盤が軟弱なため、仮締切兼止水鋼矢板が打設途中で沈下・変位が生じた。								
阻害要因	護岸工の法留基礎地盤が軟弱（N値2～5）								
方策	・地質調査と矢板長の変更 ・鋼矢板内部基面以下の地盤改良を実施。								
効果	・鋼矢板の沈下防止 ・鋼矢板の水平変位の低減（最高水位時の最大変位5cm、平均2cm） ・法留基礎ブロックの沈下防止								
評価	・工程は、沈下を防止するため安全速度でしか進められなかった。合わせて、発注者側の設計変更に関する指示が遅く、大幅な工期延伸となった。（工期延伸：当初12ヶ月→20ヶ月） ・設計変更の対象とはなかったが、仮設等には多大の費用を要した。								
No.31	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	風水害(河)	恒久(向上)	河川流域	地方自治体	河川	指名競争	半年以上3年未満	契約どおり	一億以上五億未満
問題点	工期 用地買収が終了していないで発注し3ヵ月工期を延長した。								
	コスト 工期が延長の為、現場経費が不足になり経費が赤字になった。								
	設計仕様の粗朶が現場近くになく、新潟から取寄せた								
	安全 特になし								
	品質 護岸の仕様が粗朶柵護岸の為、大雨の時流された。								
阻害要因	・山岳部の河川の急流為、大雨の際粗朶柵が流され再施工した。（河川幅員 W=4.0m）								
方策	・二次災害を防止する為 天気の日、早出・残業で災害が発生してもよい所まで施工をした。								
効果	・工期1ヶ月短縮								

No.32	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	風水害(河)	緊急対策	河川流域	地方自治体	砂防	指名競争	1年以上2年未満	10%以上の延	一億以上五億未満
問題点	1. 必要工種が未計上（工程問題）								
	2. 施工条件の相違								
	3. 並行作業の調整								
阻害要因	1. 伐採工事が未発注で流木調査もやられておらず、当工事の数量にも入っていなかった。								
	2. 水路は当復旧工事中は断水施工可との役所説明で有ったが、水利関係者からは断水不可（防火用水として使用）と言われた。								
	3. 施工箇所が狭い道路の山側と川側にあるが、並行作業が出来ない。（工程調整）								
方策	1. 工期変更を視野に入れ、伐採を含んだ工程表を作成して担当者と協議した。別の業者に発注すると時間が掛かる点と、狭い場所なので調整が難しい点を強調し、変更増額で押した。（伐採と木材や伐根の産廃処理は金額も大きいことから、変更が有利であった。）								
	2. 当初は、農閑期の9月頃から3月の竣工まで断水の予定を、こちらも譲歩し、水路の上を鉄板養生することで、水路本体工事の2月（1ヶ月間）だけ断水とした。（100mの鉄板養生費は担当と協議扱い。）								
	3. 下請け全社とともに、全体工程を見直した。お互いにぎりぎりの所で調整し、更に平行で施工出来る所を見つけ出し、その分は予備日とすることで、下請け全社の了解を取った。								
	遅れが見えたら、業者幹部を呼び現地確認させ、場合によっては増員を指示し、回復させた。（絶対条件）								
効果	毎日、毎週の進捗を確認し、各下請けの世話役にも納得させながら、又良い提案は即実行した。								
	1. 当工事に追加決定後、すぐに伐採を開始することが出来たため、工程の遅れは3週間程度で収まった。								
No.33	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	風水害(河)	恒久(向上)	河川流域	国	河川	指名競争	1年以上2年未満	10%以上の延	一億以上五億未満
問題点									
阻害要因	工期について、発注者の予算の都合上3月末が限度であった。								
方策	出水期である6～9月も、仮締切を補強して施工した。								
効果	6～9月に施工したことにより、工期内に竣工することができた。								
	6～9月は出水すると水量が多く、出水の度に補強の大型土のうが流され、後処理に手間をとった。								
評価	現時点で振り返ると、河川堤防に求められる要求性能を確認すると、低水護岸であれば、仮締切を伴わない「ソイルセメント斜め連続壁工法」の提案など行い、工期短縮を行えたと考える。								
問題点	【資機材の調達、労務の確保】								
阻害要因	近隣に200以上の同様な工区があった。								
	材料（石材、生コン等）の確保、機材（バックホウ、発電器等）の確保、労務の確保が難しかった。								
方策	材料：護岸に使用する玉石は、購入ではなく、工区内の玉石を採取・洗浄して利用した。								
	現場打ちコンクリートを少なくする設計とし、他方面からも手配が可能なプレキャスト製品を利用した。								
	機材：地元だけでは確保できず、他県より確保した。								
効果	工期内に竣工することができた。ただし、すべての面で、原価を費やした。								
	色々な制約条件があり、厳しい工期の中、「工期厳守」が最優先事項になると、工事原価を悪化させる。								
問題点	【二次災害】								
阻害要因	工区より上流の河川勾配が急なため、降雨後短時間で出水する工区であった。								
	施工中に降水量の多い降雨があった場合、仮締切の補強、資機材の退避等を行う必要があった。								
方策	仮締切は、大型土のうで補強し、多少の出水では耐えうる形状とした。								
	護岸基礎の型枠は、メタルフォームとし、流出しにくい材料とした。								
効果	工期中、数回の出水があり、大型土のうは多少流されたものの、大きく仮締切が流されることは無かった。								
	出水して、型枠ごと水没したが、メタルフォームであったため、多少の手直しで済んだ。								
	仮設については、事前に対策をとれば、後からの対策は少なくて済んだ。								
問題点	【近隣対策】								
阻害要因	護岸工・根固工実施時、水替を行うため、近隣水田および井戸涸れが発生するおそれがあった。								
方策	出来るだけ井戸涸れが発生しないよう、延長の長い工区でありながらも、施工実施箇所を離し、水頭差が生じにくい様な施工計画とした。その反面、仮設材料（型枠等）の場内運搬が多くなった。								
効果	一時的に、井戸の水位が下がったものの、井戸涸れの発生はなく、苦情は少なかった。								
評価	井戸涸れについては、特別な対策は無い。近隣住民とのトラブルを防ぐには、日頃からの会話と考える。								

4.5 風水害（都市型水害）

(1) 都市型水害の実態と近年の傾向

近年多発している都市型水害は都市の内水が排水されないことにより氾濫する内水氾濫に分類される。これは、想定以上の局地的豪雨がごく短期間に襲い、本来地面に浸透するはずの雨水が大量に川や水路に流れ込むことにより引き起こされるものである。



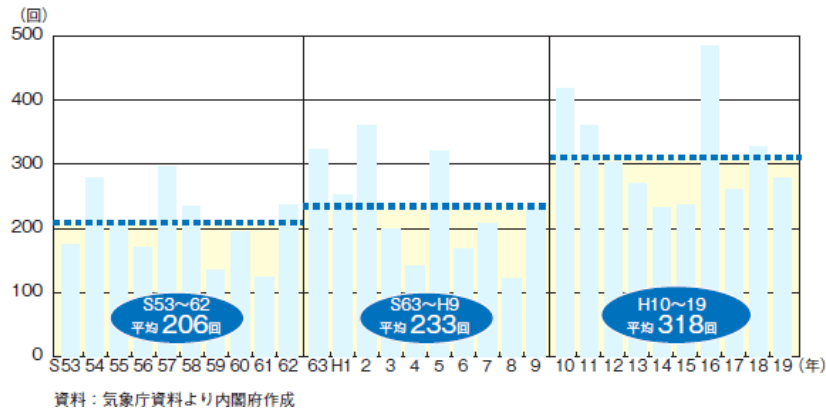
図-4.5.1 市街化による水害発生メカニズム

(a) 近年の災害事例の特徴

(i) 近年の災害の特徴

近年の傾向として、局地的な集中豪雨が頻発する傾向にある。図4.5.2は、近年の集中豪雨の状況を示している。これによると、時間当たり50mm以上の降雨発生回数をみても、昭和63年から平成9年までの10年間では年間平均233回の発生であったのに対し、平成10年から19年の10年間では、318回と大幅に増加している。

我が国は、近代以降、大河川の治水対策を優先して推進してきた。この成果により、平成16年の梅雨前線豪雨、台風による豪雨等をみても、大河川からの氾濫被害発生は極めて少ない。他方、これまで中小河川については、災害が発生したところを中心にして、再発防止の観点で河川改修等を進めてきたところが多い。このため、中小河川については、依然として河川改修が遅れている箇所が多く残っている。平成12年の東海豪雨による新川の氾濫、平成11年及び平成15年の御笠川（福岡市）の氾濫等、近年、局地的な集中豪雨による水害が頻発しており、中小河川といえども、ひとたび氾濫すれば大きな被害をもたらすことがある。またこの中でも、内水による被害も近年の大きな問題である。

図-4.5.2 時間降水量 50mm 以上の降水の発生回数¹⁾

(ii) 都市型水害の傾向

わが国においては、都市化の進展による降雨流出特性の変化と都市への資産の集中が進むにつれ、都市における水害が増大してきた。図 4.5.3 は、水害面積の推移を、図 4.5.4 は、水害被害額と水害密度（浸水面積当たりの一般資産被害額）について示したものである。これらの図から浸水面積は減少しているが、都市化の進展により被害は増大していることがわかる。さらに、東京圏・名古屋圏・大阪圏の三大都市圏の洪水災害のうち、内水災害と外水災害を比べると、内水災害が外水災害よりも多発している。

このような都市水害の増大の基本的な背景として、次の点があげられる。

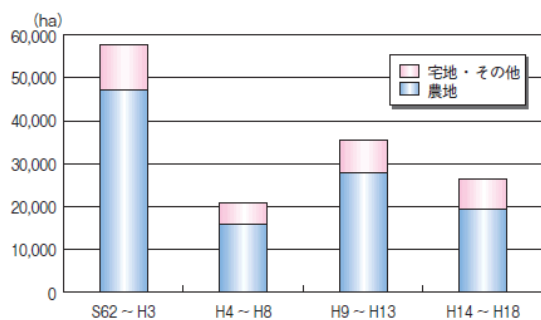
- ① 水田が宅地化されるなどして貯留能力が減少、舗装面や宅地の屋根など不浸透域の増大。流出率が増大、流域の保水・遊水機能が減少、短時間で降雨から出水に至る。
- ② 地盤の低い排水条件が悪いところで、雨水が滞留。
- ③ 都市に資産が集中して、単位面積あたりの被害額が増大。
- ④ 強雨の増加（地球温暖化・ヒートアイランド）

これらの背景に加え、近年の水害では、つぎのような水害に対する都市の弱さが目だって来ている。

- ⑤ ライフラインの電気系統の被害、ビルの地下設備、通信系統、コンピュータの被害による都市機能の麻痺、放置自動車による交通障害など水に弱い都市の側面。
- ⑥ 水害への対策が不十分な地下空間への雨水の浸入。

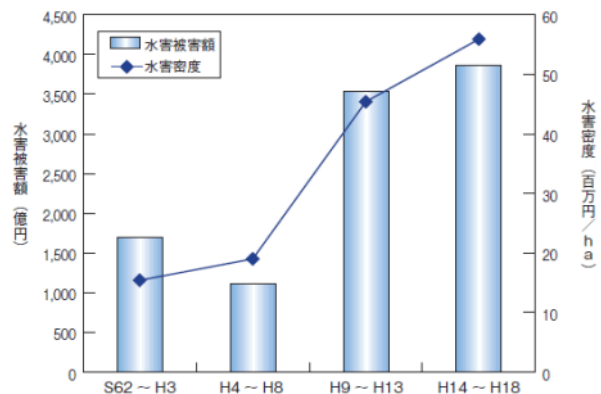
これらの都市水害の特徴に対応した都市の洪水現象の的確なモデル化と現象理解が急務である。

また、豪雨による河川の溢水、破堤、氾濫と内水災害が複合した大規模水害も発生しており、内水災害に備えて都市の耐水性を高めるだけでなく、超過洪水に対する対策が重要である。



（国土交通省河川局「水害統計」より内閣府作成）
※水害面積：水害による浸水面積

図-4.5.3 水害面積の推移²⁾



（国土交通省河川局「水害統計」より内閣府作成）
※水害密度：水害面積（水害による「宅地その他」の浸水面積）
当たりの一般資産被害額

図-4.5.4 水害被害額と水害密度の推移²⁾

(b) 災害事例

(i) 新宿練馬水害：平成11年7・8月

① 気象の概況

平成11年の気候の特徴は、高温、寡照、多雨であった。気温は、各地で全期間平年より高く推移し、特に東京は年平均気温が観測史上最も高い記録となった。日照時間は、春に少なかったが、その他は平年並みが多くなった。降水量は、春と夏に低気圧や熱帯低気圧の影響で平年より多くなったが、その他の期間は少なかった。東京の平成11年の降雨量は、気象庁東京管区气象台・東京観測所（千代田区大手町）によると1,622mmであり、平年値（昭和44年から平成10年までの30年間の平均値であり、1,441.4mmである）の約113%程度であった。

被害の発生した時期に特徴的な気象状況を以下に示す。

- ・ 梅雨明け直前の時期で。一度東北地方南部まで北上した梅雨前線が南に押し戻されて停滞。暖かく湿った南風が関東平野で梅雨前線と衝突、豪雨発生。
- ・ 関東周辺に低気圧と熱帯低気圧が多数連続・停滞し、1時間近く強雨。
- ・ 1日半降り続いた長雨
- ・ 大雨の翌日の小雨

② 被害の概要

東京地方では、集中豪雨や熱帯低気圧により被害が数回にわたり発生した。東京都における水害被害（一般資産被害）は、6月18日から10月27日の間に計9回を数えた。中でも、平成11年7月21日の新宿・練馬付近を襲った浸水被害は、床上浸水200戸以上（練馬区）で、新宿区落合では地下室に閉じこめられたことによる犠牲者が発生した。特に中野区北部から練馬区江古田地区等の限られた地域に100ミリ以上の日降水量が記録された。この際の特徴としては、河川改修が遅れ、時間30ミリの降雨量にしか対応していない河川の上流側や下水道への雨水混入率が高い区域で大きな被害が発生した。また、急峻な窪地が住宅地化した地域（千川通りの北側）等では、付近の石神井川中流の河川改修が完了していたが、地形

的に周辺にくらべて10mほど低い窪地の暗渠沿いは、浸水被害が集中した。さらに、点在する半地下構造の建物被害も特徴的なものであった。

(ii) 東海豪雨：平成12年9月

① 気象の概況

平成12年9月11日から12日にかけて、台風第14号の影響により、日本付近に停滞していた停滞前線（秋雨前線）の活動が非常に活発となり、東海地方を中心に大雨となった。特に愛知県西部から三重県中部にかけては2日間の積算降水量が600mm近くに達する記録的な大雨となった。名古屋の11日の日降水量428mmはこれまでの記録の240mmの約2倍もの大雨であった。また、東海市の11日の日降水量492mm、1時間降水量114mmは愛知県内のアメダス観測地点の記録を大幅に上回った。

② 被害の概要

名古屋市内の新川が約100メートルにわたって破堤したほか、庄内川や天白川でも越水するなど、愛知県やその近県の浸水家屋は6万棟を超えて、伊勢湾台風以来の浸水災害となった。また、土砂災害も各地で発生した。この豪雨による死者は川や水路に転落したり、土砂崩れに巻き込まれるなどして10人、負傷者は115人、住宅の全壊半壊は203棟にのぼった。

また、新幹線や在来線、地下鉄などの鉄道網は混乱し、名古屋市営地下鉄が11日午後から13日午後まで運休するなどマヒ状態となった。電気・ガス・水道・電話・上下水道などのライフラインにも甚大な被害が発生した。

この災害を契機として、都市内河川の洪水予報のあり方が改めて問われるとともに、地下鉄や地下街の水害対策にも一石を投じる事となった。

(2) 災害対策技術

(a) 現状の取組

近年の都市部の河川流域における浸水被害の頻発に対し、新たな枠組みによる浸水被害対策の必要性が高まり、「特定都市河川浸水被害対策法」が平成17年7月1日施行された。従来、総合的な治水対策として、都市化の著しい都市河川流域を総合治水対策特定河川事業河川流域として全国で17河川を指定し、昭和54年より事業が実施されてきた。平成14、15年度に行われたプログラム評価（「流域と一体となった総合治水対策に関するプログラム評価」国土交通省、2004年3月）の結果では、浸水面積の軽減および費用対効果という点で効果があったという評価がなされている。一方では、治水に対する河川と下水道の計画手法が異なること、内水ポンプの運転調整ルールが個々に設定されていることから、十分な効果を上げている言えない面があり、河川事業と下水道事業の整合を図っていくとともに、運転調整ルールも流域を一つのシステムとしてとらえた手法を用いて検討を行っていく必要がある。また、総合治水対策として河川における対策の促進と流域における貯留対策が一体となった整備も進められてきたが、流域対策の立ち遅れや、調整池が法的強制力のない指導であるため埋め戻され、その調整機能を損なうなどの事態も発生している。

特定都市河川浸水被害対策法は、前述の様な従来の対策では十分に対処できなくなった状況に対応するため、河川管理者、下水道管理者等が一体となり浸水被害対策を講じることを目的とし、河川管理者、下水道管理者、都道府県知事及び市町村長が共同して、特定都市河川流域における浸水被害の防止を図るための対策に関する計画(流域水害対策計画)の策定、河川管理者による雨水貯留浸透施設の整備、雨水の流出を抑制するための規制その他の措置について定めている。

図 4.5.5 に同法の全体像における流域水害対策計画の位置づけ³⁾を示す。

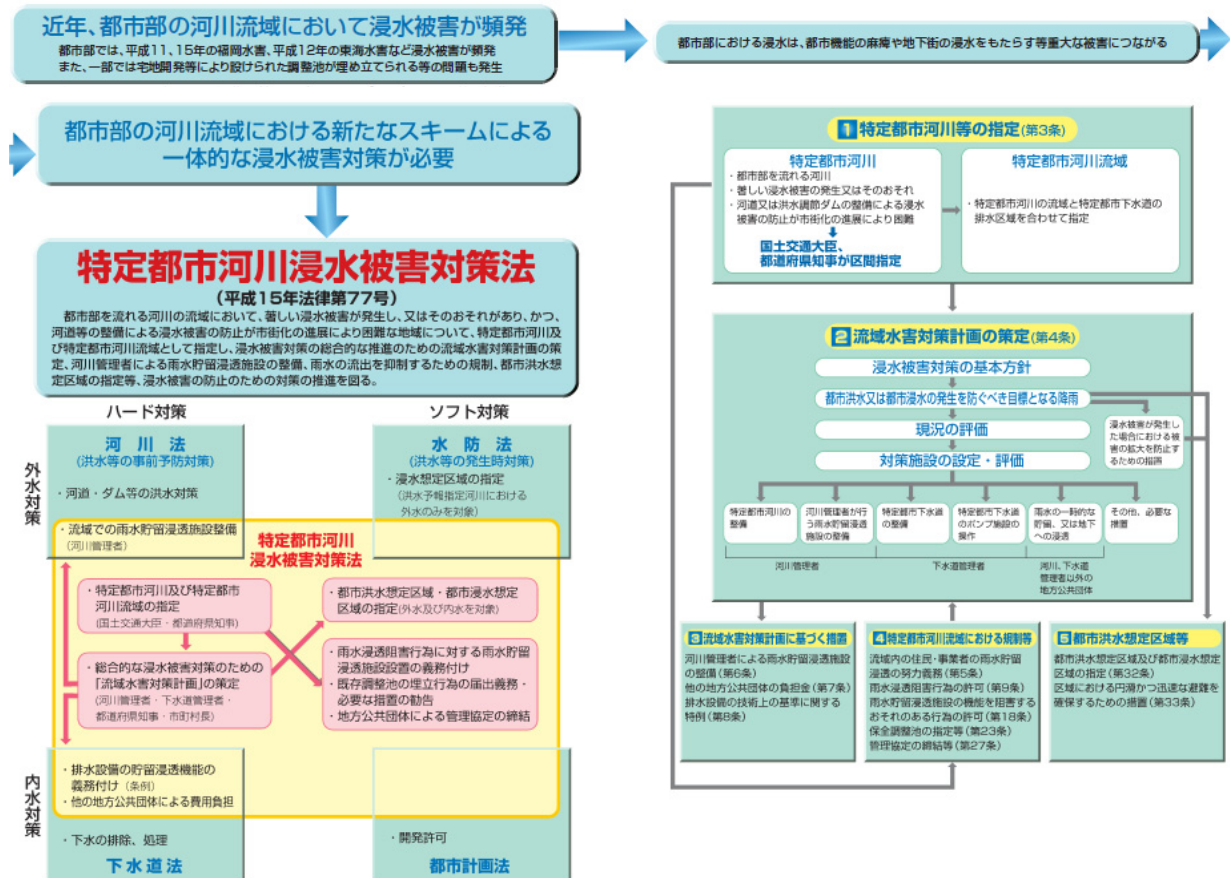


図-4.5.5 特定都市河川浸水被害対策法および計画の位置づけ

(i) 各機関での具体的な取り組み

① 東京都における具体的な取組⁴⁾

東京都では、近年頻発しているヒートアイランド現象によるとも考えられる局地的な集中豪雨による地下室浸水被害の深刻化に対し、「浸水実績図」の公表、地下空間管理者等への「降雨情報サービス」などを実施している。さらに、平成13年1月に「東京都都市型水害対策検討会」を設置し、都市型水害に対する施策について、ハード、ソフト両面から総合的に検討を進め、同年11月に最終報告を取りまとめている。

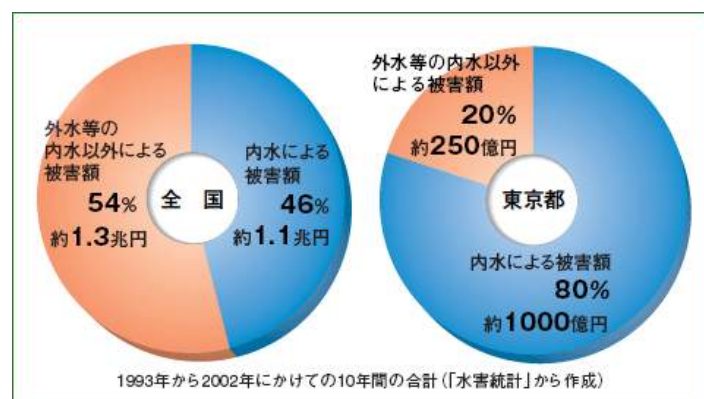


図-4.5.6 東京都における内水被害の現状

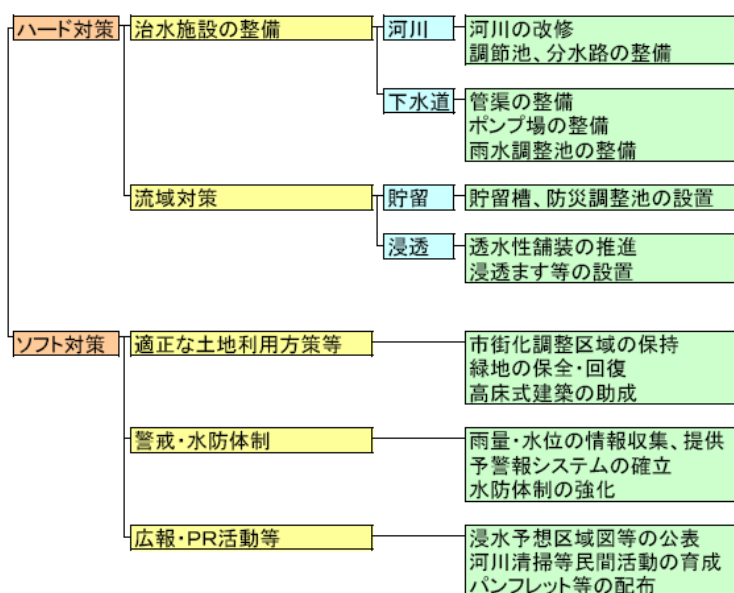
ア) 基本的な考え方

現況下において緊急に対応が可能な対策を優先的に実施する。

河川・下水道等のハード対策を進めるとともに、連携を図りながら、住民に対して、被害軽減のためのソフト対策を講ずる。ソフト対策は、水害時の情報提供のあり方、水害危機管理、広報・啓発対策等とする。

東京都・区市町村は、都市型水害対策を水防計画及び地域防災計画に位置付ける。

イ) 施策の体系



ウ) ハード対策

総合的な治水対策の一環として、河川や下水道の整備をすすめている。また、降った雨がいきなり河川や下水道へ流れ出さないようにするため、雨水を一時的に貯める施設や地下に浸透させる施設を設置するなど流域対策をすすめている。

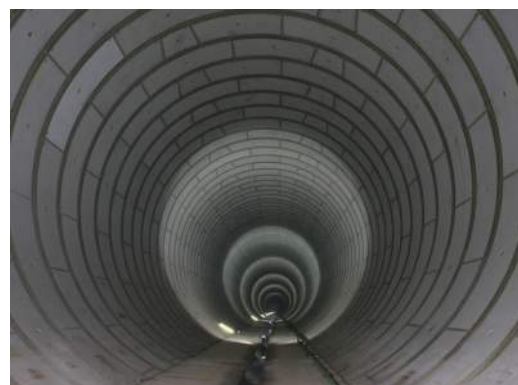
河川の整備：東京都内の中小河川では、1時間50ミリの降雨に対処できるように河道の整備や調節池の整備を進めている。

下水道の整備：東京都内の下水道は、1時間50ミリの降雨に対処できるように管きょの整備や調整池の整備をすすめている。

流域対策：流域対策とは、総合的な治水対策の一環として、流域内に降った雨水を貯留や浸透させ、河川や下水道への流出を抑制する対策である。流域対策として設置する施設には、防災調整池や貯留槽などの貯留施設と、浸透マス、浸透トレンチ、透水性舗装などの浸透施設がある。これらの施設は、道路や公園など都や区市町村が所有する公共施設への設置を進めるとともに、民間の開発行為時などにも設置指導を進めている。



河道の整備(神田川)

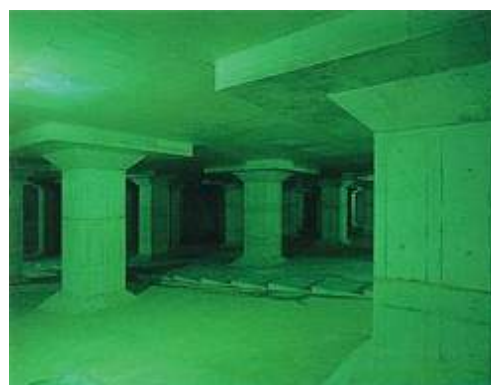


調節池の整備(神田川・環七地下調節池)

図-4.5.7 河川整備事例



管きょの整備(野川第二幹線 三鷹市)



調整池の整備(南元町雨水調整池 新宿区)

図-4.5.8 下水道整備事例

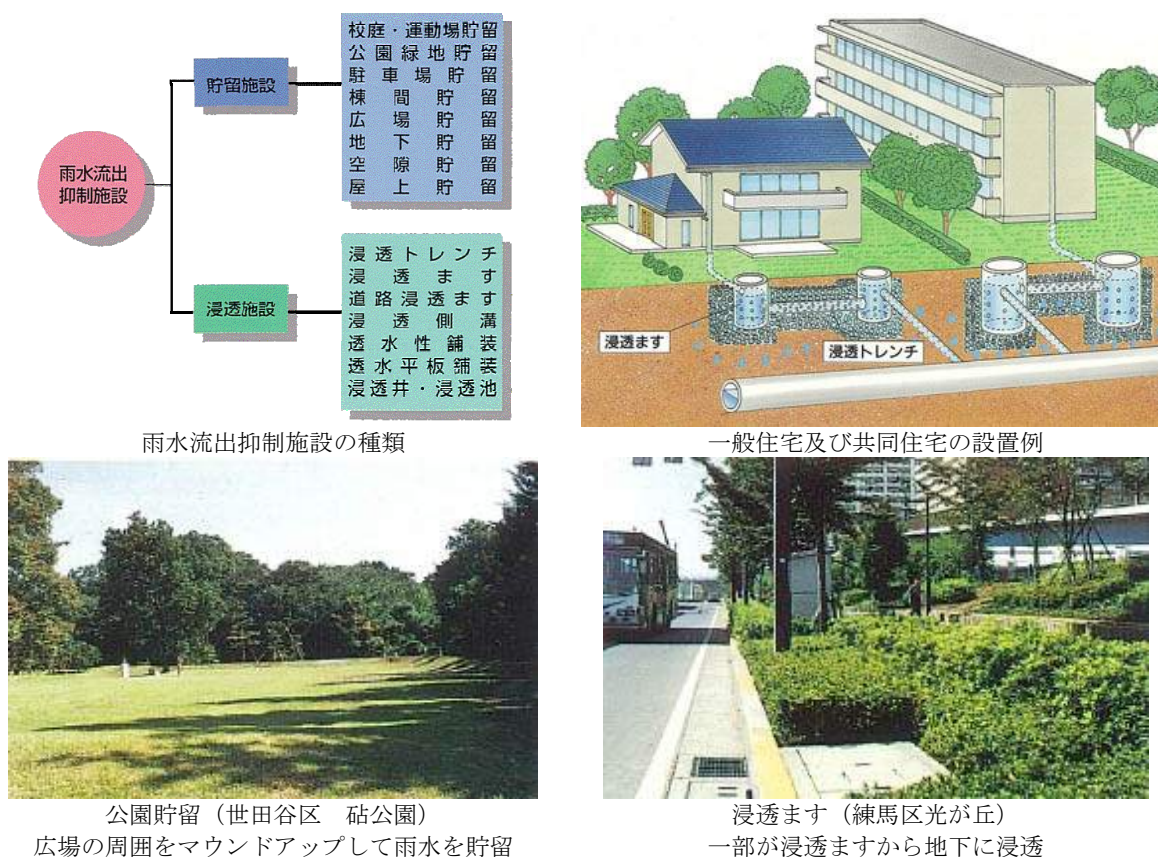


図-4.5.9 流域対策事例

I) ソフト対策

総合的な治水対策の一環として、浸水実績図の公表を進めるなど洪水発生時の被害を最小限に抑えるための対策を進めている。

・ 雨量・水位の情報提供

東京都では、都内で観測している雨量や水位情報をインターネットや携帯端末にリアルタイムで提供する体制の整備を進めている。

ex.) 東京都：水防災総合情報システム，東京都下水道局：東京アメッシュ

・ 浸水実績図等の公表

東京都総合治水対策協議会では、都民に過去に浸水した地域を周知するため、適正な土地利用や緊急時の水防・避難等に役立てるため、過去の主要洪水を対象に浸水実績図を作成し、公表している。

また、近年（平成元年～）の浸水実績図等の水害記録は、東京都建設局により作成・公表をすすめている。

・ 浸水想定区域図及び洪水ハザードマップ

東京都では、避難等の対策を講じたり、建物を建築する際に浸水被害を防止する配慮など、水害に強い生活様式の工夫への一助として、平成12年に東海地方を襲った東海豪雨（総雨量589ミリ、時間最大114ミリ）並の雨が降ったときの浸水予想区域図の作成・公表を進めている。また、この浸水予想区域図を基にして、各区市で洪水ハザードマップの作成・公表

をすすめている。洪水ハザードマップには、避難場所などの情報がわかりやすく記載されている。

② 愛知県における具体的な取組⁵⁾

愛知県新川流域では、昭和 57 年から、「総合治水対策」に取り組んできており、流域における適正な保水・遊水機能の維持、確保をした土地利用や施設整備の誘導を行い、河川への洪水流出量の増大に対応してきた。

しかし、平成 12 年の東海豪雨で、新川流域は大洪水に見舞われ、甚大な被害を受けた。そして新川流域では、さらなる都市化の進展が予想される。そのため、河道の拡幅や放水路整備等の大規模な改修が必要であるが、早期に目標とする河川の整備の実現は困難な状況にある。そこで、平成 18 年 1 月 1 日より、河川新法に基づき、特定都市河川流域に指定した。これにより、500m² 以上の開発は許可が必要となり、許可にあたっては技術的基準に従った雨水貯留浸透施設の設置が必要となっている。都市の浸水被害は、人口・産業が集中する地域等、受ける被害の大きさを考慮し、地域の重点化を図ること、対象とする確率年、許容する被害やその対策方法を決め、いかに効果的・効率的な事業を実施していくかが重要な課題となっている。

(i) 現状の取組の問題点

以上のように、従来の縦割りでの都市河川流域での整備に対して、新たな枠組みとして河川管理者下水道管理者の連携を深めるとともに、浸水被害を防ぐために必要な法規制についても整備がなされつつある。ただし、特に大都市圏については、排水機能の強化や河川改修などの抜本的な対策が遅々として進まないのが実情である。そのうえで、いかに災害被災者を減らしていくかに関しての国および地方自治体の取り組みに関する課題、問題点としては以下の事項が挙げられる。まず、流域災害の懸念のある自治体で整備が進められ、河川・下水道が連携して作成・公表した浸水予想区域図は、水防管理者である区市町村が作成・公表するハザードマップとあわせ、他の河川流域に広げていくことが重要である。また、都市型水害対策の施策の役割分担・連携も重要であり、国、都、区市町村、報道機関、ライフライン施設管理者、交通機関等のあらゆる機関があらゆるレベルで役割分担・連携し、都市型水害対策の施策を推進していく必要がある。

(b) 予知および現状分析技術

(i) 予知・予測技術

都市型水害の原因としては、基本的に台風性の豪雨、梅雨末期などに狭い地域に集中して降る豪雨が主要なものとしてあげられる。

台風の目の周りには非常に発達した渦状の雨雲が取り巻き、猛烈な暴風雨をもたらす。日本付近に前線が停滞しているときには、台風が南方にあって離れていても前線の活動が活発になり、大雨になることもある。また、台風によって吹き込む風が地形の起伏によって強制的に上昇させられるために発生する地形性の降雨も台風による大雨の原因となる。

集中豪雨は、いろいろな原因が重なって発生する。基本的には多量の蒸気が次々と補給される大気の流れがあつて、それが雨に変わるような上昇気流が持続し、停滞することによって発生する。近年言われているヒートアイランド現象もこの一因であると考えられている。台風に比べれば距離のスケールが小さいので従来は現象を捉えるのが容易でなかったが、気象衛星やレーダーなどの面的な降雨観測システムによって、降雨状況をただちに捉えることができるようになってきた。どのような場合に洪水による被害が大きくなるかは、洪水の大きさとともに、洪水が起きるときの流域の状況、どれだけ危険が予測されていたかなどにも大きく依存して決まる。局地的な集中豪雨の予測手法については、現在様々な取り組みが行われている。

独立行政法人防災科学技術研究所においては、気象災害・土砂災害・雪氷災害等による被害軽減に特化した研究開発の推進の一環として、局所的な気象災害・土砂災害の監視及び予測技術に関する研究に取り組んでおり、集中豪雨による都市型水害や土砂災害への対策に資するために、既存の技術では捉えることが困難な10キロメートル以下の局所的な豪雨や強風を実時間で監視する技術の開発が進められている。更に、これらのデータを用い、1時間先までの降水量を予測する手法の開発を進めている。その予測結果に基づき、都市域における1時間先までの浸水被害危険度予測手法及び山間部における土砂災害の発生予測手法の開発を進めている。

(ii) 洪水ハザードマップ

洪水ハザードマップは、河川の氾濫による浸水想定区域や避難場所等が記載された地図であり、浸水発生時の円滑な避難行動や平常時からの防災意識の向上に活用されるものである。平成17年の水防法改正で、浸水想定区域を含む市町村での作成・配布が義務付けられた。洪水ハザードマップ策定公表済みの市町村は、平成17年12月末現在で、策定対象約1,800市町村のうち440市町村にとどまっている。

洪水ハザードマップに対する留意点として、①洪水ハザードマップに示される状況が、想定しうる状況の最大値になってしまうなど、洪水災害イメージの固定化、②流速を表示することが難しいなどの表現上の問題、③地図上で浸水しないところの住民にとっては、洪水ハザードマップが“洪水安全地図”に変わってしまう場合がある、といった懸念が指摘されている。河川から離れた場所での内水氾濫の場合、住民が洪水ハザードマップに記載されていないことで安心してしまふこともあり、内水ハザードマップとあわせたハザードマップの充実や、絶対視しないような周知の方法が望まれる。また、都市再開発計画に反映させるためのハザードマップの活用の重要性も指摘されている。

内水ハザードマップは、下水道の雨水排水能力を上回る降雨が生じた際に、浸水が想定される区域や、避難場所等を記載したものである。これは、避難・誘導ガイドとしての機能のほか、地下室への止水板・土のうの設置等、住民の自助を促す機能、適正な土地利用を促す機能等を有するものである。内水による浸水は、洪水ハザードマップが対象とする河川の破

堤等による浸水よりも発生頻度が高く、生活・企業活動にも密接に関わっている。しかし、技術的な課題もあり、現時点では作成は進んでいない。国土交通省では、平成18年3月に「内水ハザードマップ作成の手引き（案）」を作成されたところである。近年、水害被害額における内水による被害の割合が大きく、内水ハザードマップの重要性は高まっており、ハザードマップの作成と適切な周知により、住民にわかりやすい防災情報を提供する必要がある。

(c) 技術的対応策

(i) 雨水貯留施設（遊水池）

洪水時の流量を低減する池としての施設には、大きく、ダム、遊水池、調整池があげられる。このうち、遊水池は河川沿いに設置され、直接洪水をカットする施設で、調整池は流域に設置され、水が川に入る前に調節する施設である。越流堤など人工的な施設を設置した遊水池や、調整池を、まとめて調節池と呼ぶ場合もある。

洪水時に流水の一部を平地部の河道の近くに一時的に貯留して、下流側のピーク流量を小さくするために、自然あるいは人工的につくられた地域を「遊水池」という。

遊水池は、山間部に設けられるダムとは違って、平地に設けられることから、守るべき地点に近ければ近いほど、その地点の流量を小さくする効果は大きい。しかし、遊水池に多くの効果を発揮させるためには広い敷地を必要とし、多くの費用がかかることとなる。なお、平常時は遊水池内を空にしておくため、耕作地あるいは公園として多目的に利用することが可能である。

国土交通省および都道府県で施工している遊水池の事例について下記に示す。一般に遊水池の規模は、設置される河川の大きさに準じたものが多く、大河川には大きな遊水池が設けられている。

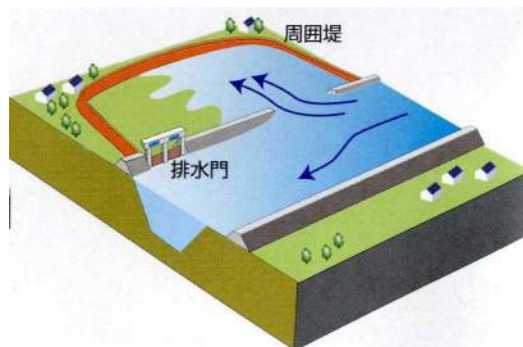


図-4.5.10 遊水池のイメージ

表-4.5.2 遊水池一覧

都道府県名	水系名	河川名	遊水地名	遊水地諸元			
				面積 (ha)	計画調節地 (立方 m/s)	容量 (万立方 m)	調節量 /面積
北海道	石狩川	石狩川	砂川遊水地	180.0		1,050.0	
岩手	北上川	北上川	一関遊水地・(第一～第三)	1,450.0	1,900.0		1.3
山形	最上川	最上川	大久保遊水地・(第一、第二)	200.0	200.0	900.0	1.0
群馬・栃木・茨城	利根川	渡良瀬川・思川・巴波川	渡良瀬第一・調節池	1,500.0	6,200.0	11,710.0	4.1
群馬・栃木・茨城	利根川	渡良瀬川・思川・巴波川	渡良瀬第二・調節池	500.0	2,000.0	4,060.0	4.0
群馬・栃木・茨城	利根川	渡良瀬川・思川・巴波川	渡良瀬第三・調節池	280.0	1,200.0	1,910.0	4.3
埼玉	荒川	荒川	荒川第一・調節池	580.0	850.0	3,900.0	1.5
埼玉	荒川	芝川	芝川第一・調節池	92.3	333.0	3,900.0	3.6
埼玉	荒川	芝川	芝川第七・調節池	15.2	37.0	45.7	2.4
埼玉	荒川	新河岸川	びん沼調節池	86.0	80.0	170.0	0.9
埼玉	利根川	綾瀬川	深作多目的・遊水地		40.0	73.0	
埼玉	荒川	藤右衛門川	浦和競馬場・調節池	2.4	17.0	4.0	7.1
埼玉	荒川	藤右衛門川	上谷沼調節池	18.2	45.0	45.0	2.5
埼玉	利根川	新方川	大吉調節池	10.3	15.0	40.4	1.5
千葉	利根川	真間川	国分川調節池	24.0	22.0	30.3	0.9
千葉	利根川	真間川	大柏川第一・調節池	24.0	16.0	10.1	0.7
千葉	利根川	真間川	大柏川第二・調節池	16.0	25.0	25.4	1.6
千葉	海老川	海老川	海老川調節池	22.0	60.0	49.0	2.7
千葉	海老川	海老川	長津川調節池	6.8	24.0	17.0	3.5
千葉	都川	都川	都川多目的・遊水地		60.0	55.0	
千葉	利根川	座生川	座生川調節池・No.1	1.8	25.0	4.8	13.6
千葉	利根川	座生川	座生川調節池・No.2	6.5	50.0	15.5	7.7
神奈川	境川	和泉川	和泉遊水地	5.4	40.0	10.9	7.4
静岡	巴川	巴川	麻機遊水地	86.0	110.0	100.0	1.3
愛知	庄内川	新川	新川治水緑地	18.0	110.0	100.0	6.1
大阪	淀川	寝屋川	寝屋川治水・緑地	50.3	130.0	146.0	2.6

(ii) 地下河川

地下河川は、山地部の下をトンネル構造で抜けるトンネル河川とは異なり、都市部において公共施設の地下などに設置される放水路などで、地下空間を利用した人工の河川である。地下河川は水理状態により、開水路方式と圧力管方式に分類される。

近年、拡張の困難な都市河川において、深さ 50m 程度の大深度地下空間を利用した首都圏外郭放水路（中川他より流入）、環七地下河川（神田川他より流入）などが建設され始めている。地下河川の設計においては、構造的な検討はもちろんのこと、水理的な損失水頭・流況・空気連行量、騒音、振動が考慮される必要がある。この点で、従来の河川の水理模型実験・水理計算による検討とは異なる。

一方、大深度地下空間という、未知の空間を利用した建設には、最新かつ高度な技術が導入されている。たとえば、首都圏外郭放水路の地中連続壁（深さ 14.0m）や、環七地下河川のシールドトンネル（外径 13.7m）は世界的な規模のものとなっている。

(3) 災害対策事例

(a) 環七地下河川

1987 年、「東京都地下河川構想検討委員会」は、隅田川以西の 4 水系（白子川、石神井川、神田川、目黒川）から東京湾に至る約 30km に、地下約 40m、内径 10m を超える地下河川構想（「環七地下河川」）を打ち出した。

このなかで、「神田川環状七号線地下調節池」の建設が進んでおり、水害が頻発している神田川の中流域に「環七地下河川」を先行的に整備し、当面これを調節池として利用するのである。

計画は、環状七号線の道路下に延長 4.5km、内径 12.5m のトンネルを建設し、ここに神田川と善福寺川の洪水約 54 万 m^3 を貯留するものである。これにより、環七から下流は、概ね 1 時間 50 ミリ程度の雨量に対する安全性が確保されるとともに、環七より上流に向けて河川改修を進めることができるとされている。

事業は、トンネルが 4.5km と長大なことや、早期の事業効果を期待し、第一期(地図上の青い線が工事部分)及び第二期(赤い線が工事部分)に分割された。

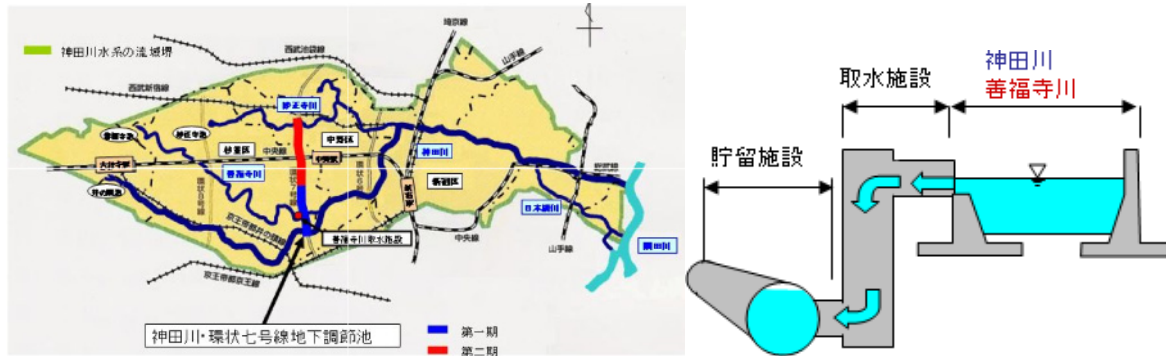


図-4.5.11 環七地下河川の概要

第一期事業では、神田川の洪水を貯留するために、延長 2.0km の調節トンネルと洪水を取り入れる取水施設を建設した。昭和 62 年度に着手した事業は、平成 8 年度末に完成し、同 9 年 4 月より約 24 万 m^3 の調節池として供用を開始している。

第二期事業では、善福寺川の洪水約 30 万 m^3 を貯留するため、延長 2.5km の調節池トンネルと洪水を取り込む取水施設を建設するもので、平成 3 年度に着手し平成 17 年 9 月に暫定供用を開始した。

第一期分については、平成 17 年度までに洪水調節を 19 回実施し、平成 16 年 10 月の台風 22 号時には 21 万 5 千 m^3 が流入し、過去の同規模の雨に対して浸水被害を大きく軽減した。

(b) 首都圏外郭放水路⁵⁾

約千年前、利根川水系のほとんどの河川は東京湾に流れ込んでいたが、江戸幕府により江戸の洪水防御と舟運の確保等を目的として利根川東遷（東京湾に流れ込んでいた利根川を東の銚子まで付け替えた工事）と江戸川の開削が行われて関東平野の基盤が形成された。以降、都市の発展に伴い今日に至るまで、首都圏の洪水防御のための治水対策が進められている。

利根川水系の中川・綾瀬川は、埼玉県の一部に位置し、荒川、利根川、江戸川といった大河川に囲まれたお皿のような低平な地域であるため、河川の勾配が非常にゆるやかで流下能力が小さく、大雨による浸水被害は広範囲にわたり、継続時間も長くなるという治水上の課題を抱えている。

近年、首都圏のスプロール的開発に伴って、下流域から中、上流域にかけて浸水のおそれのある地域へ人口、資産が集中しつつある。中川・綾瀬川流域では、これまで治水対策として下流域から順次河川改修を進めてきたが、抜本的な浸水被害解消のために首都圏外郭放水

路を計画したものである。首都圏外郭放水路は、中川、倉松川、大落（おおとし）古利根川（ふるとねがわが）洪水の時、洪水の一部を江戸川へ放流するために各河川間を結んでおり、国道16号線の地下約50mに建設された地下放水路である。首都圏外郭放水路へは、中川、倉松川、大落古利根川等の各河川の水位が上昇して堤防に設けられた越流堤から自然越流により流入する。越流堤の高さは周辺の最低地盤高と同程度としており、中小洪水でも機能するように配慮している。

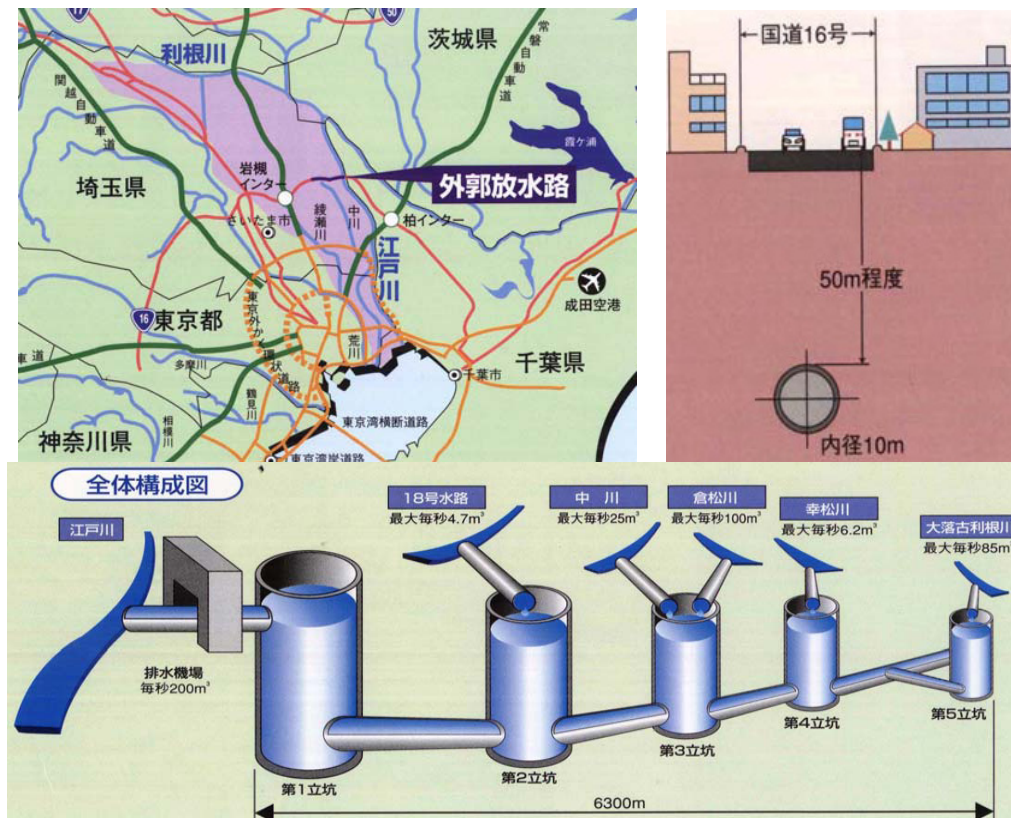


図-4.5.12 首都圏外郭放水路

平成5年2月に事業着手し、平成14年6月には全長6.3kmのうち第1立坑から第3立坑までの3.3kmの試験通水を開始した。これまでに洪水調節を18回実施し、平成16年10月には660万 m^3 （東京ドーム5.3杯分）を排水し地域の浸水被害が大きく軽減された。平成18年度に全体完成をみた。

(c) 鶴見川多目的遊水地⁶⁾

神奈川県北東部を流れる鶴見川流域は、国際都市横浜に位置し、首都東京にも近く下流域では京浜工業地帯が発達するなど、昭和40年以降急激に都市化が進行しており現在85%の市街化率となっている。鶴見川では、水害が頻発したことから、従来の河川整備に加え、流域における治水対策を一体として取り組む総合治水対策を全国に先駆けて推進してきた。

鶴見川多目的遊水地は、鶴見川と鳥山川の合流部に位置し、面積約84ha、総貯水量約390万 m^3 の大規模な遊水地であり、洪水時に鶴見川の洪水を一時的に流入・貯留することにより、

流域の治水安全度を向上させるものである。昭和 60 年 1 月より事業に着手し、横浜市の公園事業と連携して整備を進め、平成 15 年 6 月より運用を開始した。

これまでに洪水調節を 4 回実施し、平成 16 年 10 月の台風 22 号時には 150 万 m^3 を調節し、過去の同規模の雨に対して浸水被害を大きく軽減した。遊水池内には、遊水地内には、サッカーWカップの決勝戦の会場となった多目的スタジアムがピロティー方式（高床式）で建設されている。



図-4.5.13 鶴見川多目的遊水地

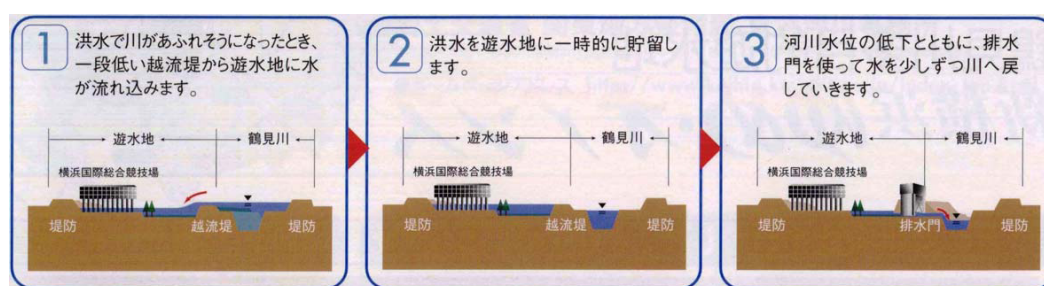


図-4.5.14 鶴見川多目的遊水地の仕組み

(4) 技術開発への取り組み

(a) 国土技術政策総合研究所における取り組み⁷⁾

都市部における浸水被害や地下水害の被害を軽減するためには、まず、都市域における浸水被害の危険度の定量化が不可欠である。そのためには、都市域の浸水をより高い精度で予測できる氾濫解析モデル、地下空間水害の被害の危険度評価と浸水対策手法、及び中小河川での局所的豪雨を反映可能な洪水予測システムなど、研究開発すべき技術は山積されている。

(i) 都市地域における浸水被害の危険度評価と危機管理対策の取り組み

国交省国土技術政策総合研究所では、都市型水害の具体的な危険性を住民や防災担当者に分かりやすく提示し対策の促進を図るための「浸水（水害）被害の危険度評価技術の開発」や、洪水時の迅速で的確な水防・避難活動に役立てるための「中小河川における洪水予測技術の開発」などに関する研究を推進している。

① 水害発生の原因と形態に応じた氾濫解析技術の開発

従来の氾濫解析やハザードマップの作成は、大河川の氾濫（外水氾濫）を主たる対象としている。これは、大河川が決壊して洪水氾濫が生じる場合には、人命、資産や産業などに甚大な被害を及ぼす危険性が高いからである。また、下水道（雨水）等の排水不良や排水機場の排水不全などに起因する内水氾濫の被害構造は、発生頻度は多いものの、被害程度は外水よりも相対的に小さいのが一般的であるとされてきた。しかし、東海豪雨では、河川からの外水氾濫と同時に内水氾濫により甚大な被害が発生した。このため、今後は、外水氾濫に起因するハザードマップだけでなく、内水と外水の双方に起因する氾濫に対するハザードマップの作成手法の開発が重要となってきた。都市域の内水・外水双方に起因する氾濫現象をシミュレートする場合には、下水道等の排水施設を考慮する必要がある。そこで、従来の外水氾濫解析に加え、下水道等に起因する内水氾濫現象をシミュレート可能な氾濫解析モデルの開発を行っている。これにより、外水・内水双方を考慮したハザードマップの作成や都市域における浸水危険度の評価が可能となる。（図4.5.18 参照）。

② 地下空間の浸水危険度の評価と浸水対策技術

地下空間における浸水では、避難できずに閉じ込められて水死する事例も見られ、地上における浸水被害とは異なる災害特性が見受けられる。このため、浸水が想定される地下空間では、利用者等の円滑かつ迅速な避難が確保されるよう適切な措置を講ずる必要があり、防災担当者による支援方策も重要となる。河川、下水道等の治水排水施設整備と合わせて、地下空間管理者や防災担当者による浸水対策としては、地下空間入口のかさ上げ、防水板の設置などのハード対策とともにソフト対策についても検討・実施することが必要となる。このため、“浸水危険度の情報公表による管理者や利用者の防災・危機管理意識の啓発”や“地下空間における浸水対策技術の評価”を目的として、地下空間における浸水危険度評価と対策技術の確立を目指した研究が行われている。

③ レーザースキャナの氾濫解析技術への活用

特に都市域での浸水リスク評価に当たっては、年齢、障害の有無等による避難者の属性に応じて、避難路の想定浸水深での徒歩等による避難可能性判断を的確

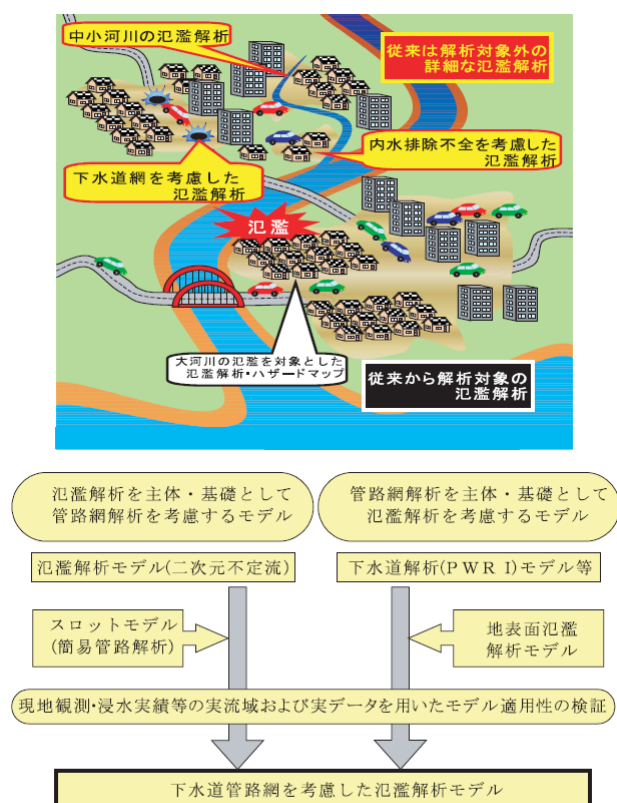


図-4.5.15 水災シナリオ別氾濫解析研究の方向性

に行うために、氾濫原等に関する精度の高い地形データが必要となる。そのためには、微地形まで把握できる標高モデル整備（氾濫原及びデータが不十分な中小河川の横断データ等）が前提となり、1つの方法としてレーザースキャナ測量システム（図-4.5.6）の活用が有効である。

レーザースキャナにより取得した標高データは、これまで一般的に用いられてきた都市計画図等から得られる標高よりも、高精度・高密度のデータを手に入れるため、氾濫解析に活用した場合に、高精度の地盤高や高密度の構造物の標高を手に入れるためシミュレーション精度が向上することなどの利点がある。

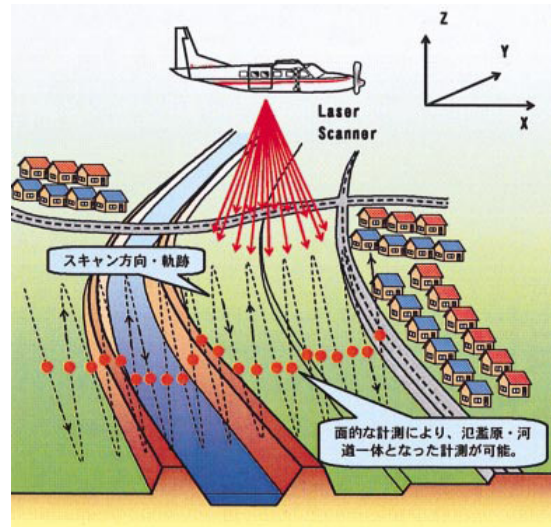


図-4.5.16 レーザースキャナによる測量の概念

④ 中小河川における洪水予測技術の開発

都市域も含めた中小河川の洪水氾濫に対して、出水規模・時刻等を迅速に予測し、防災担当者や住民による的確かつ迅速な洪水予警報や水防・避難活動等に役立てて、水害被害軽減に資することが極めて重要である。しかし、中小河川の洪水予測に関しては、流域規模の大きい大臣管理区間と比べて、洪水到達時間が短く、水文データが十分でない場合も多いため、洪水予測システムの構築に課題を抱えている河川も少なくない。そこで、水文データと洪水予測モデルの組合せ手法について検討するとともに、時々刻々での予測値のフィードバック補正（オンラインキャリブレーション）や予測雨量を用いた洪水予測モデルなどの研究開発が行われている。

近年、都市地域の水害は、地下空間を含む都市化の進展の著しい地域で頻発する傾向が見られ、ハード・ソフト対策を含めた総合的な浸水被害の軽減対策を早急に検討・実施することが求められている。そのため国交省国土技術政策総合研究所では、浸水リスク評価、地下空間浸水対策、洪水予警報等の技術開発を始めとして、人命被害回避を最優先とした対策技術の開発が行なわれている。

(b) 民間企業による取り組み

(i) シミュレーション技術

都市型水害に関するシミュレーション技術の例を示す。

① 都市型水害予測解析システム（鹿島）⁸⁾

システムの特徴は、①従来できなかった地表面氾濫、下水道、河川の水の流れを連成して一体的に解析できる。②これまで50～100m間隔だった解析の単位を10m程度まで細分化

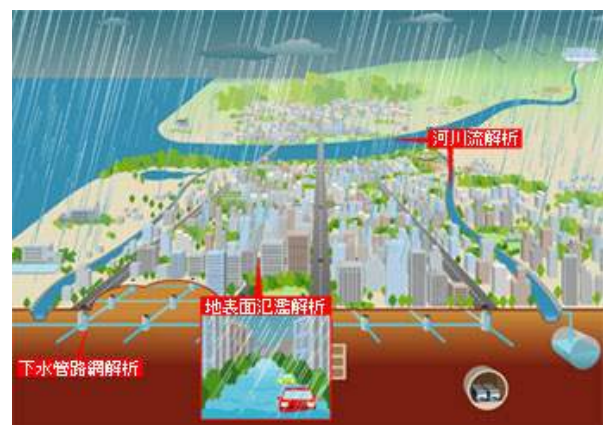


図-4.5.17 都市型水害予測解析システムのイメージ

できることで、市街地でも詳細な地形のモデル化が可能となり、雨水の流出を高い精度で予測できる。③GIS 技術を駆使したことにより、システムの操作性が高く、解析の効率が格段に向上。特にデータを作成するプレ処理部、解析結果を表示するポスト処理部での機能が優れている。④解析結果をビジュアルに表示できるため、住民説明等の有力なツールとして活用できる。⑤ポンプ場、貯留施設等の各種水理施設などの多様なモデル化が可能。

(ii) 雨水混入率の低減に関わる新技術

都市部においては、河川の整備に限界があることから、下水道からの雨水放流が厳しく制限されている。このような状況における対応策として、雨水浸透施設・貯留施設の整備は有効な手段と考えられる。以下に、地下雨水浸透技術協会⁹⁾の認定技術を基に代表的な新技術を示す。

① 地下浸透施設

雨水の地下浸透のための技術としては、下図に示す様な面あるいは点・線的に浸透させる方法がある。各方法に対して代表的な技術を以下に挙げる。

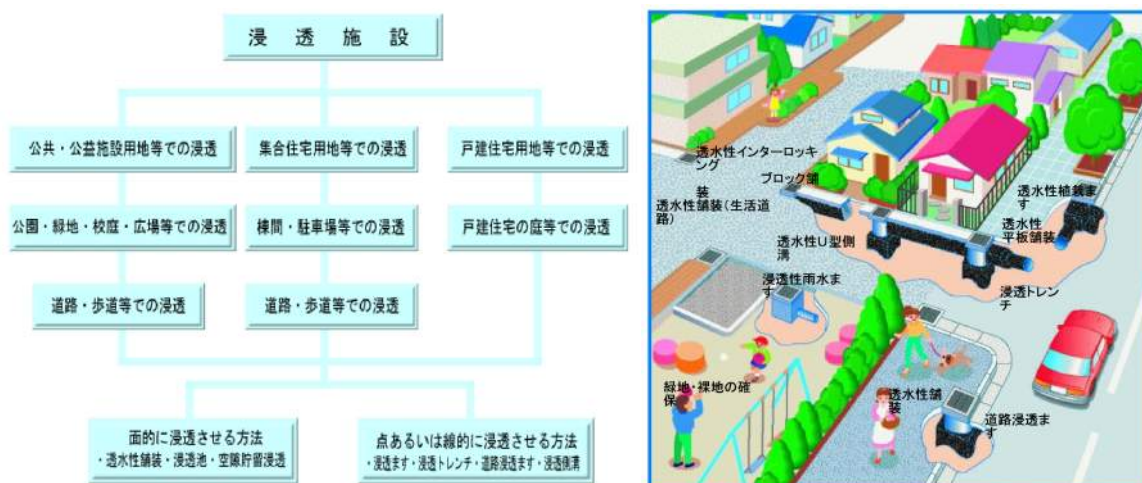


図-4.5.18 雨水浸透施設⁹⁾

- ・ パーミアコン・パーミアストーン (佐藤道路株式会社)

パーミアコン・パーミアストーンは、ポーラスな構造を有する透水性セメントコンクリートで、優れた透水性機能と高い空隙率を有する混合物である。この混合物は、レディーミクストコンクリートプラント等で製造し現場にて舗装するもので、透水性舗装の表層材として使用され、雨水の貯留および雨水の地中浸透を図れる。

- ・ エコマックス工法 (株式会社 エコマック)

エコマックス工法は、発生土を現地でポーラスな構造（耐水性団粒構造）に改良し、雨水の地中浸透や貯留を促進させ、屋外運動施設等（校庭、公園、各種競技場、遊歩道）の排水改善並びに雨水の流出抑制を図る技術である。

② 地下貯留施設

地下貯留槽に関わる新技術については、地下雨水浸透技術協会の認定技術をベースに以下に列挙する。



図-4.5.19 雨水貯留施設⁹⁾

- ・ NT 式 I 型雨水貯留槽（株式会社 日東）

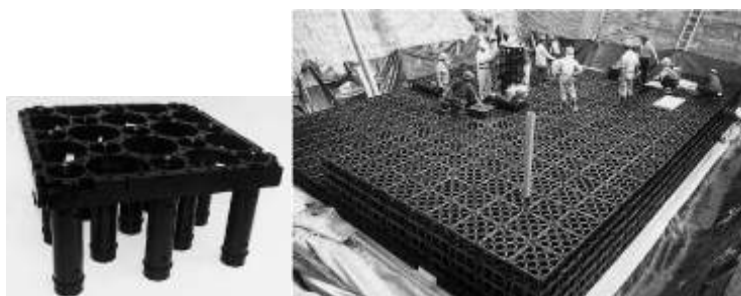
NT 式 I 型雨水貯留槽は、I 型断面形状の中間ブロック、コ型断面形状の外周ブロックおよび上版パネルのプレキャスト製品と、底板、端壁等の現場打ちコンクリートとを組み合わせで構築される。雨水を本貯留槽に貯留させることにより、大雨時等の効率的な雨水流出抑制を可能にする。

- ・ アクアプラ工法（東急建設株式会社，タキロン株式会社，株式会社明治ゴム化成，三菱商事プラスチック株式会社）

掘削した凹部にシートを敷設し、空隙率 95% を有する梁・柱構造のポリプロピレン製品を組み立てて、その周りを遮水シートや透水シートで覆い、埋め戻すことにより地下に容易に貯留浸透施設を構築する技術である。



NT 式 I 型雨水貯留槽



アクアプラ工法

図-4.5.20 雨水貯留施設技術の例

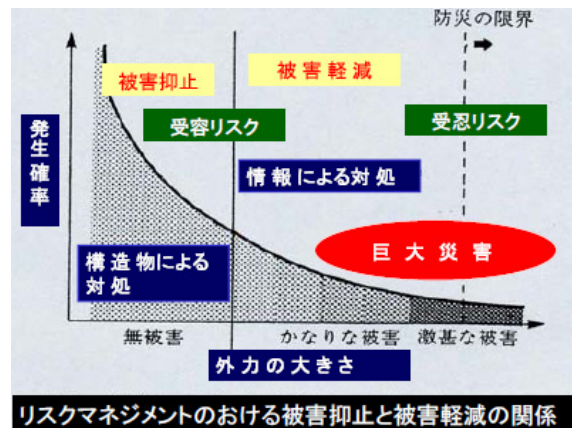
5. 今後の課題と展望¹⁰⁾

以上の通り、都市型水害は高度成長期以来の都市化の進展により本来地面に浸透するはずの雨水が大量に川や水路に流れ込むことにより引き起こされることが大きな要因であり、近年の温暖化に伴う局地的かつ集中して起こる豪雨によるところも大きい。これに対し、特に大都市の人家密集地域での用地買収の困難さやライフラインなど地下埋設物の移設に関わる時間と経費の多さから、都市内河川および下水道などの施設整備が追いついていないことが大きな要因である。

現実的にはこれらの問題を直接的に解決すること、特にハード技術面で被害を完全に防止することは不可能である。

そこで、それに対応する考え方の1つとして、被害軽減（ある程度の損害は我慢しそのリスクを受容する）という思想が生まれてきている。被害が出ることを前提として、これを極小化し、かつ短期間で復旧を終えるというものである。具体的な適用例としては、前述した愛知県の新川流域には2000年の東海豪雨によって、約9,100万 m^3 の降水があったことがわかっている。流域面積が約260 km^2 であるから、単位面積当たり平均350mmの総降雨量となる。しかも、1時間雨量が50mmを超過した時間が3時間も観測されている。一方、2級河川や都市の雨水排水施設は、時間50mm程度の雨量を想定して整備されていることが多い。これでは、豪雨に伴う河川の外水氾濫と市街地の内水氾濫の発生を防ぐことは、現状の治水水準では不可能である。さらに、河川激甚災害対策事業を実施しても、同様の豪雨が来た場合は、被害が出る可能性があることがわかっている。そこで、被害が出ることを前提とした場合、たとえば、「床下浸水は我慢する」と考える。この前提としては、床上浸水では都市ゴミが住宅1棟当たり2.7トンであるのに対して、床下浸水では0.4トンに減ることがわかっているからである。資産がこの重量の比に厳密には比例しないが、床上浸水では床下浸水に比べて圧倒的に被害が大きくなることが理解できる。

ここで、受容リスク（acceptable risk：その時代の社会の価値観に基づき、一般的に受け入れられる損失限度のこと）とは、このような考え方で決まる。一方、都市の地下空間が浸水するような事態になると、被害は想像を絶するものに拡大する危険がある。その場合には、これを阻止する受忍リスク（tolerable risk：その時代の社会の価値観に基づく所与の条件下で、受け入れられるリスクのこと）の考え方が必要となる。これには、選択的な重点投資の考え方がふさわしい。しかしながら、これらの提案は、日本の市民社会の成熟と軌を一にして進むべき性質のものであろう。過去数年にわたって発生している全国的な水害が、これまでの治水水準を遙かに上回って起こっているという現実を直視するとき、防災対策から減災対策への政策の転換が提案されるべきである。



参考文献：

- 1) 「内閣府中央防災会議 大規模水害対策に関する専門調査会資料 国土交通省
- 2) 防災白書 平成 20 年版 (<http://www.bousai.go.jp/hakusho/h20/index.htm>)
- 3) 「特定都市河川浸水被害対策法」の概要：国土交通省河川局パンフレット (<http://www.mlit.go.jp/river/gaiyou/panf/tokutei/index.html>)
- 4) 東京都総合治水対策協議会ホームページ (<http://www.tokyo-sougou-chisui.jp/mokuteki/index04.html>)
- 5) 新川流域／境川流域総合治水対策協議会事務局ホームページ (<http://www.sougo-chisui.jp/>)
- 6) 首都圏外各放水路ホームページ (<http://www.ktr.mlit.go.jp/edogawa/works/saigai/sonae/gaikaku/g-cans/index.html>)
- 7) 金木誠 都市地域における浸水被害の軽減 国総研アニュアルレポート 2003 (<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/2003annual/annual06.pdf>)
- 8) みずほ情報総研 都市型水害予測解析サービス (<http://www.mizuho-ir.co.jp/science/flood/>)
- 9) 地下雨水浸透技術協会ホームページ (<http://www.arsit.or.jp/>)
- 10) 防災と開発 ー社会の防災力の向上を目指してー 第 3 章 日本の洪水災害と防災事業から学ぶこと 2003 年 3 月

4.6 沿岸災害（津波・高潮）

(1) 沿岸災害の実態と近年の傾向

津波や高潮による災害は、発生頻度が低いものの、ひとたび発生すると壊滅的な被災となり、過去多くの人命を奪ってきている。我が国は、四方を海に囲まれており、過去甚大な津波災害・高潮災害を受けている。我が国の海岸線は約 35,000km におよぶが、そのうち整備されている箇所は半分にも満たない。

津波災害については、東海、東南海、南海地震など、将来の発生が懸念されている。また、東北沿岸部は、津波を伴う東北県沖地震等の発生確率が非常に高い地域となっており、日本全国において津波対策の推進は急務である。

高潮災害については、以下のようなことが懸念されている。わが国にはゼロメートル地帯が多く存在し、特に、三大湾（東京湾、伊勢湾、大阪湾）におけるゼロメートル地帯の面積は約 600km² におよび、約 400 万人の人々が居住している。

これらの我が国の現状を踏まえ、津波・高潮の被害および対策について、述べていくものとする。

(a) 津波の定義

「津」とは、海岸や河岸で船舶が着けられる所で、船着場や渡し場・港などを指す。また、船着場や渡し場において、集落が形成されているような場所を指すこともある。津波とは、そのような船着場や背後集落を襲う大きな波を意味する。

津波は、海底で発生する地震に伴う海底地盤の隆起・沈降や、海岸部や海底における地滑り、海底火山の爆発などによって、その周辺の海水が上下に大きく変動することによって引き起こされる。

(b) 地震津波の震源

津波は、海底地震に伴う地殻変動によるものが一般的である。日本列島とその周辺海域は、太平洋プレート、フィリピン海プレート、北米プレート、ユーラシアプレートなどの上にあり、それぞれのプレート間に海溝やトラフ（海溝より幅が広い海底の谷）が形成されている。これらの海溝やトラフ上に、地震津波の震源が多く分布している。

例えば、駿河湾から紀伊半島沖を経て四国沖へ到る海底に、駿河トラフ～南海トラフ(平均水深約 4,000m)がある。このトラフを境界として、ユーラシアプレートとフィリピン海プレートが接



図-4.6.1 日本近海のプレート分布と近年起きた大規模地震津波の震源と規模

しており、東海・東南海・南海地震津波の震源域になっている。

(c) 主な津波被害

表-4.6.1 明治以降に発生した、津波災害の一覧表

No.	発生年月日	地震名	規模(M)	津波高さ (最大)(m)	死者・行方 不明者数	備考
1	1896/06/15(明治 29 年)	明治三陸地震	8.5	38.2	21,259	
2	1923/09/01(大正 12 年)	関東大震災	7.9	12	142,807	
3	1933/03/03(昭和 8 年)	昭和三陸地震	8.1	25	3,064	
4	1944/12/07(昭和 19 年)	東南海地震	7.9	8~10	1,223	
5	1946/12/21(昭和 21 年)	昭和南海地震	8.0	4~6	1,443	
6	1960/05/23(昭和 35 年)	チリ地震	8.5	5~6	142	
7	1964/06/16(昭和 39 年)	新潟地震	7.5	4	26	
8	1983/05/26(昭和 58 年)	日本海中部地震	7.7	15	104	
9	1993/07/12(平成 5 年)	北海道南西沖地震	7.8	10	230	
10	2003/09/26(平成 15 年)	十勝沖地震	8.0	4	2	
11	2004/12/26(平成 16 年)	インド洋津波	9.0	3~25	30 万超	海外事例

(d) 高潮の定義

高潮とは、台風や発達した低気圧の接近により、海水面が異常に高くなる現象である。高潮が発生するとその高い潮位と波浪・強風により、海水が堤防を越えるようになり、背後地が浸水する可能性が高くなる。

また、高潮が発生している海域に流れ込む河川や運河などがあれば、高い潮位や波浪により河川の流れが阻害される。そのため、流域ではんらんが発生し、海岸から離れた内陸部にまで被害を及ぼすこともある。

浅い湾などで強い風が一定方向から長時間吹き付けると、潮位が異常に上昇することがあるが、これを吹寄せと呼ぶ。水深が浅い湾では吹寄せによる海面上昇が大きく、また南に開いている湾では北西を台風が通過した場合に南風が吹き続け、高潮が発生しやすくなるといわれている。特に大阪湾や伊勢湾、有明海などがその条件に当てはまる。

(e) 主な高潮被害

明治以降に発生した、高潮災害の一覧表

No.	発生年月日	襲来した台風名	被害 場所	最高潮位 (T.P. 上)(m)	死者・行方不 明者数	備考
1	1934/09/21(昭和 9 年)	室戸台風	大阪湾	3.1	3,036	
2	1945/09/17(昭和 20 年)	枕崎台風	九州南部	2.6	3,122	
3	1950/09/03(昭和 25 年)	ジェーン台風	大阪湾	2.7	534	
4	1959/09/26(昭和 34 年)	伊勢湾台風	伊勢湾	3.9	5,098	
5	1961/09/16(昭和 36 年)	第 2 室戸台風	大阪湾	3.0	200	
6	1985/08/30(昭和 60 年)	台風 13 号	有明海	3.3	3	
7	1999/09/24(平成 11 年)	台風 18 号	八代海	4.5	13	
8	2005/08/29(平成 17 年)	ハリケーンカトリナ	ニューオリンズ	8.0	99,425	海外事例

※高潮災害は、三大港湾の防潮堤が整備されたため、1961 年の第 2 室戸台風を最後に大きな災害は発生していない。

(2) 災害発生メカニズム

(a) 津波災害メカニズム

- ・断層運動によって生じた海底変動

地球表面は、約 20 枚のプレートと呼ばれる岩板で覆われており運動している。このプレートとプレートが接する境界で地震が発生する。

日本列島は、ユーラシアプレートと北米プレートの上に乗っており、その下へフィリピン海プレートと太平洋プレートが沈み込んでいる。つまり、4 枚のプレートに囲まれているために非常に地殻変動が激しく、地震や火山活動が活発である。

図 1. 海底が持ち上がった場合の模式図

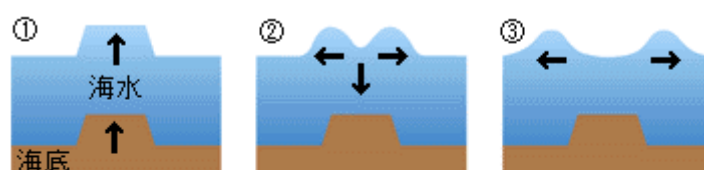


図 2. 海底が陥没した場合の模式図

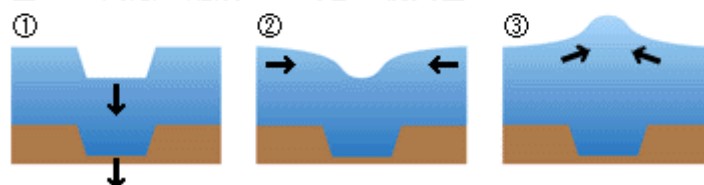


図-4. 6. 2 津波発生メカニズム

- ・津波伝播メカニズム

津波の原因は、海底地震による地震津波がほとんどである。地震津波はプレート同士の接触部において、一方のプレートがもう一方のプレートの下に沈み込むなどの、大規模な地殻変動により起こる。これに伴う水面変化が波として周辺に伝わり、沿岸部へも達する。津波は、沖の波高がそれほど大きくなくても、海岸に近づくにつれて大きくなる。また、波の伝わる速度は沖では速く、水深 4000m では時速 700～800km/h に達するが、岸に近づくにつれて小さくなり、水深 100m で時速 200km/h 程度になる。

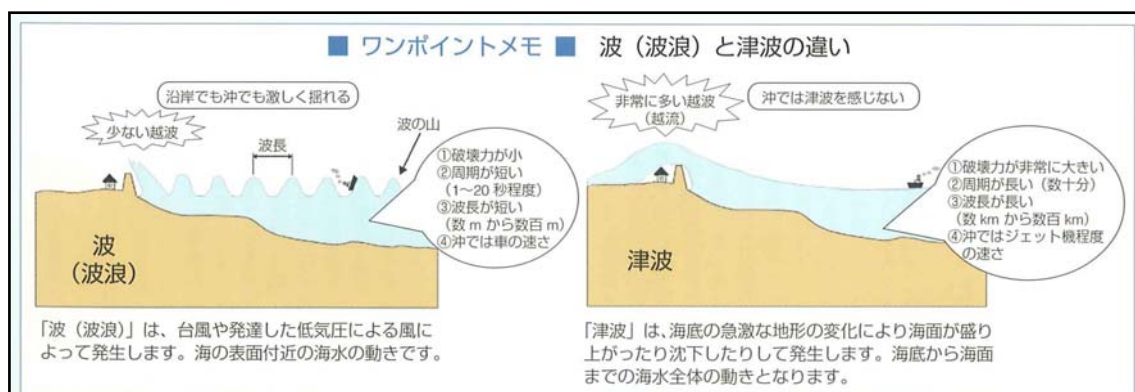


図-4. 6. 3 津波伝搬メカニズム

(b) 高潮災害のメカニズム

・気圧低下による海面の吸い上げ

台風や低気圧の中心気圧は周辺よりもかなり低いため、中心付近の空気が海面を吸い上げるように作用する結果、海面が上昇する。

例えば、それまで気圧が 1000 hPa（ヘクトパスカル）であった場所へ 960 hPa の台風が来ると、海面は約 40cm 高くなります。

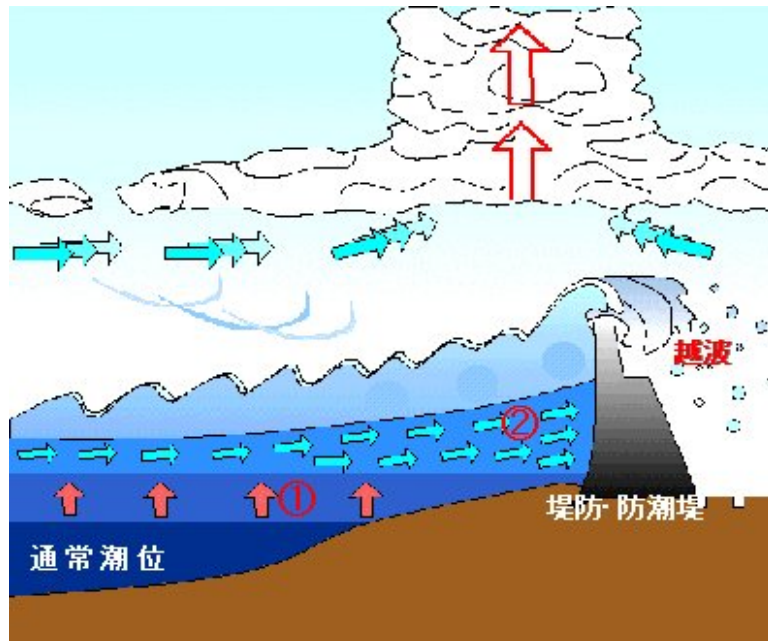


図-4.6.4 気圧低下による海面の吸い上げイメージ

・風による吹き寄せ

強風が海岸に向かって吹くと、海水は海岸に吹き寄せられ、海岸付近の海面が上昇する。海面は風速の2乗に比例して高くなる。

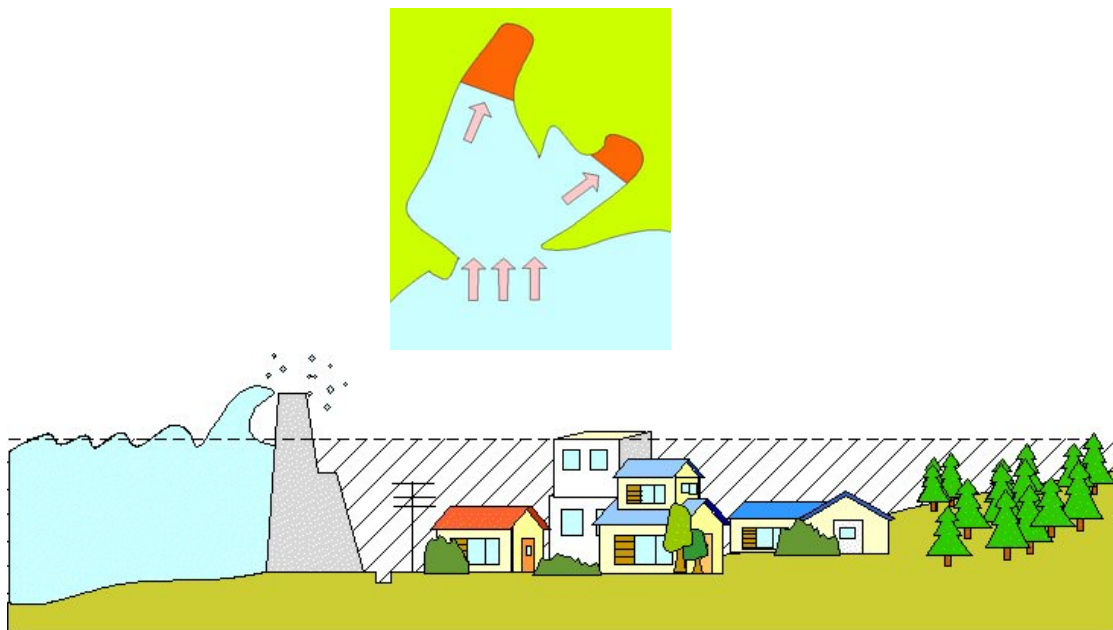


図-4.6.5 風による吹き寄せイメージ

(3) 災害対策技術（津波・高潮の防災・補強技術）の現状

(a) ハード面の防災技術

1) 水門・陸閘・胸壁

津波・高潮に対して堤防をめぐらせて内陸部を守ろうとするときには、内水の排水も考える必要があるため、堤防を横切る河川や水路を設ける必要がある。その場合、堤防に切れ目ができてしまうため、緊急時には門扉を閉めて外からの水の進入を防止する水門を設ける。

堤防を貫通して道路を通す箇所には、浸水時に閉鎖できるようにするため門扉が設置される。このような門扉を陸閘と呼ぶ。

港湾部では津波・高潮が臨港地区へ進入するのを防ぐために、係船岸の背後に 10～15m 程度離して、高さ 2～3 m 前後のコンクリート壁を巡らすことがあり、これを胸壁と呼ぶ。係船岸に通じる道路の箇所には胸壁の代わりに移動式の門扉が設けられる。

2) 堤防・護岸

堤防および護岸は、津波・高潮および波浪による海水の陸地への流入を食い止め、海岸の浸食を防止するために建設される。背後の敷地が低くて裏のり(裏側の斜面)があるものを堤防、背後が構造物の天端とほぼ同じ高さであり、裏のりのないものを護岸と呼ぶ。

3) 防波堤

防波堤とは波浪を防いで港内の静穏を維持し、荷役の円滑化、船舶の航行・停泊の安全、港内施設の保全などを目的として建設される。津波の危険のある湾では、地形によっては湾口を防波堤で締め切ることが津波対策として有効である。釜石港では現在、津波防波堤の建設を行っている。津波防波堤とは、その港のある湾の湾口部に設置する防波堤で、通常の防波堤より水深の深い所に建設される。



図-4.6.6 ハードによる防災（水門，護岸，防潮堤，湾口防波堤）

(b) ソフト面の防災技術

1) ハザードマップ

ハザードマップとは、津波・高潮災害に対する地域住民の避難や施設整備等の検討のために、浸水が想定される区域と浸水の程度を示した地図に、必要に応じ避難場所・避難経路などの防災情報を加えたものである。ハザードマップは、迅速な避難活動を可能にするほか、防災教育や防災意識の啓発と高揚に活用でき、また、防災を意識したまちづくりを推進するための一助となる。

・津波・高潮ハザードマップマニュアル

津波・高潮被害を軽減するためには、従来からの海岸保全施設の整備とあわせて、危険度情報の住民への提供などソフト施策によって、災害に対する自衛力を高めることが必要である。津波・高潮ハザードマップマニュアルは、主にソフト施策として有効なハザードマップの普及を支援するため、地方自治体にとって必要なハザードマップ作成・活用のためのノウハウを取りまとめたものである。

ハザードマップマニュアルには、津波・高潮ハザードマップの作成目的、整備主体や関係者間の役割分担、利活用方策などの基本的考え方を明確にするとともに、浸水予測手法、ハザードマップの記載事項、表現方法及び利活用方法などの、津波・高潮ハザードマップ作成に関する現時点における標準的な事項を取りまとめている。

2) 情報の収集と提供

下の写真は須崎港の防災情報表示板である。大型ディスプレイには、通常時には気象や海象情報が表示されているが、津波などが発生した場合、すぐにその情報が発信され危険を知らせようになっている。

3) 避難路・避難場所

避難路とは、津波などの浸水から容易に避難できるように、斜面等に整備した通路である。避難路には下図のような案内板が設置されている。

避難場所は、地震や津波など大規模な災害が発生した場合、一時的に避難する場所である。防災資機材等、物資の備蓄が行われることもある。



図-4.6.7 防災情報表示板

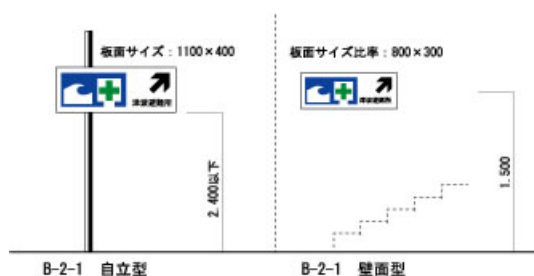


図-4.6.8 津波避難路案内板

(4) 防災に関する技術開発の動向

(a) ハード面の防災技術

1) 可動式防潮堤（フラップゲート）²⁾

開発者：港湾空港技術研究所

都市港湾等の臨海部を高潮による浸水から防護するハード対策の一つとして、港湾の入り口に可動高潮防潮堤を設置する方法がある。その構造形式一つとしてフラップゲートがある。このフラップゲートは、通常時は海底に格納される形式で、環境や利用の妨げにならない特徴がある。

2) 直立浮上式防波堤²⁾

開発者：港湾空港技術研究所，大林組，新日鐵，東亜建設工業，三菱重工業の4社

直立浮上式防波堤のメカニズム（港湾空港技術研究所提供）

津波対策が急がれる中、大林組など民間4社と独立行政法人の港湾空港技術研究所は、津波来襲時だけ海面上にせり上がって津波から港と街を守る「直立浮上式防波堤」の開発に取り組んでいる。この“未来都市”のような防波堤は、従来の防波堤と違って、港湾を完全に囲うことができ、環境、経済面でも優れているという。

この防波堤は、直径約1～2メートルの二重管構造の鋼鉄管を垂直に並べて「壁」を作るもの。普段は海底地盤中に格納されているが、津波や高潮が近づいてきた場合、内側の管が海面上にせり上がり、波から港を守る。管内に空気を送り込み、浮力を利用して内側の管を浮上させる仕組みで、管の高さは空気の量で調節する。シンプルで大掛かりなモーターがいらないので故障が少なく、維持管理が容易。管を並べる構造のために波を100%カットすることはできないが、シミュレーションでは波の力を7，8割軽減できた。

元来、港湾には船が通行するため、航路上に防波堤を設置できず、港を完全に塞ぐことはできなかった。だが「浮上式」なら航路上にも建設できるため、港をより安全に守ることができる。普段は海底に沈設されているため海流を妨害せず港内の水質を確保でき、景観面でも有効。鋼管は特別に生産するものでなく規格品を使うので、コストも圧縮できる。

二重鋼管が上下動するかなどの基本動作はすでにチェック済みで、最大約2.5メートルの人工津波を起こせる港湾空港技術研究所の実験用水路で効果などを解析した後、実際の海域で実証実験を始める予定。

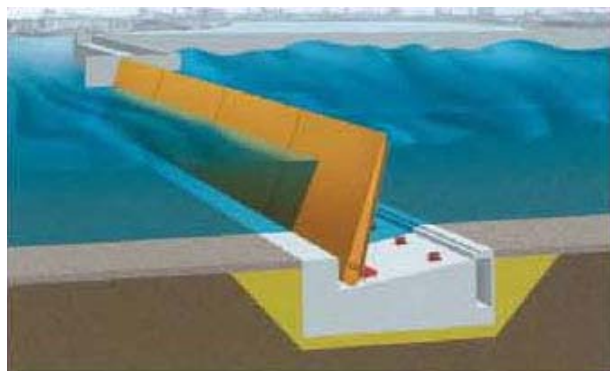


図-4.6.9 フラップゲート

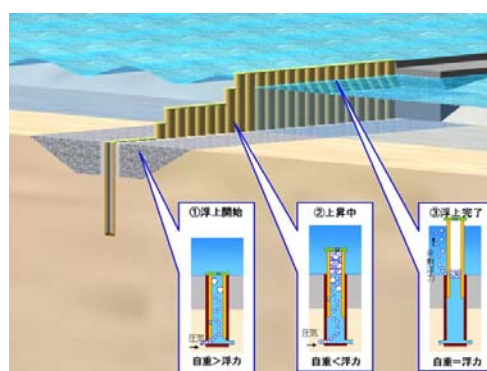


図-4.6.10 直立浮上式防波堤

(b) ソフト面の防災技術

1) 津波・高潮防災ステーション³⁾

津波・高潮防災ステーションは、次の2つの基本的な役割を有するものとする。

- (1) 水門・陸閘等の遠隔操作などを一元的に管理・制御することにより、地域の安全性の向上を図る。
- (2) 地震、津波、高潮等に関する情報を、24時間リアルタイムで迅速・的確に収集するとともに、それらの情報を地域住民等へ提供する。



図-4.6.11 津波高潮防災ステーション

2) GPS 波浪計に係る電子情報処理組織の設置及び管理¹⁾

GPS 波浪計は、大水深海域での波浪・津波観測を可能とした新しい観測システムである。この GPS 波浪計のデータは、国だけでなく周辺の沿岸域の民間事業者にとっても有益な情報であることから、民間事業者へ適正な対価のもとに情報の提供を可能にするため、新たに法律に電子情報処理組織として位置づけ、国が全国規模で常時観測している波浪情報等の取り扱いを明確にすることとした。

これにより、国、港湾管理者および民間事業者は、波浪等の情報について適格な把握が可能となり、荒天時の海上作業の可否の判断が適切に行えるなどから、港湾工事を効率的に実施できるようになるとともに、津波・高潮時の迅速な避難等による被害軽減・安全確保にも資することが期待されている。

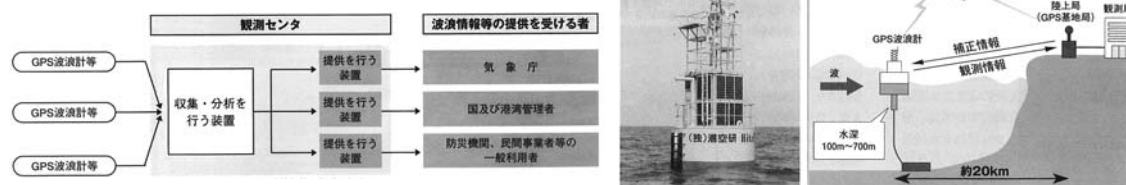


図-4.6.12 GPS 波浪計 波浪観測の概念図

(5) 事例紹介

(a) 釜石港湾口防波堤建設工事¹⁾

三陸沿岸の宿命とも言える、津波。現在まで、この津波によって多くの尊い生命・財産が失われてきました。この津波から釜石市を守るため、また、湾域の高度利用を図るため、構造物としては世界一の水深で、世界最大級の湾口防波堤が建設されている。

【計画概要】

全長 1,960m（北堤：990m，南堤：670m，開口部：300m）

計画事業費 約1,300億円



図-4.6.13 釜石港湾口防波堤（全景と断面図）

(b) 馬堀海岸高潮対策¹⁾

横須賀市馬堀海岸地区では、横須賀市において文化行政のシンボルプロジェクトとなる「うみかぜの路」（海と緑の10,000メートルプロムナード）事業として計画的な整備が進んでいる。また、国土交通省では地域の個性を活かした親しみが持てる美しい街並みを形成し、都市の顔として誇れる道路空間を創造することを目的とした「緑陰道路プロジェクト」に取り組んでおり、横須賀市から応募された国道16号横須賀市馬堀海岸地区が平成15年5月7日にモデル地区指定を受けた。あわせて、当地区では平成7・8年の大型台風による浸水被害を契機とした「横須賀港馬堀海岸地区高潮対策事業」が進められている。



図-4.6.14 横須賀港馬堀海岸地区高潮対策事業の断面図

馬堀海岸地区の環境整備事業は、これらの事業が連携と調和を図りながら、当地区の特性を活かした個性ある植栽による地域のみなさまに親しんで頂ける緑の空間を創造するものである。整備にあたっては、学識経験者・行政・住民代表からなる検討会を設置し、計画づくりの初期段階から、市民に情報を提供したうえで、広く意見を聞いて反映させていく取り組み（P I（パブリック・インボルブメント）手法）を導入している。

(c) 奥尻島青苗漁港人工地盤（愛称：望海橋（ぼうかいきょう））¹⁾

平成12年10月に完成した人工地盤は災害時の迅速な避難誘導を図る防災機能をはじめ、水産業における就労環境の改善・向上や憩いの空間を創出する親水性などを有した多機能施設。愛称『望海橋』には、新しい世紀に向けて展望を開き、海の大いなる恵みのなかで発展する“しま”への強い思いが込められている。



図-4.6.15 奥尻島青苗漁港人工地盤

(6) 今後の展望と課題

津波・高潮対策は、膨大な費用を要することから、近年はハード対策からソフト対策へシフトしつつある。しかし、ソフト対策は、システムの構築や防災担当者の教育が必要であり、また何よりも住民の意識向上が不可欠である。よって、抜本的に津波・高潮の防災対策を講じるには、ハード対策を地道に行っていくしかない。

津波のハード対策は、津波防波堤の建設が最も効果がある。過去に、津波襲来の被害にあった東北地方三陸沿岸では、大船渡港、釜石港などでほぼ防波堤の建設が完了し、現在久慈港にて進行中である。しかし、日本全国に目を向けた場合、津波防波堤の整備は十分とは言えず、徐々に整備していかななくてはならない。現在、開発中の新技術を含めて、それぞれの港湾に適した防波堤を建設していく必要がある。

高潮のハード対策は、津波同様、防潮堤の整備が最も効果的である。我が国では、高潮対策の防潮堤の整備は戦後間もなく行われ、三大港湾の防潮堤は整備されている。よって、1961年（昭和36年）の第2室戸台風を最後に大きな災害は発生していない。しかし、瀬戸内海や有明海など、干満差の大きい海域では、近年も高潮被害を受けており、これらの地域では引き続き、防潮堤の整備は必要である。三大港湾の防潮堤は整備されたものの、整備完了後40年経過しており、一部老朽化している箇所があると考えられる。今後、高潮被害を受けないためには、現況の施設の維持管理が重要となり、補修・補強はもちろん、老朽化の著しい構造物は撤去・新設が必要である。また、地球温暖化の影響により、近年の異常気象による被災を目の当たりにすると、防潮堤の嵩上げは急務と考える。

津波・高潮対策は、発生確率は低いものの、一度被害を受けると、その被害は甚大なものとなる。このような甚大被害を招かないためにも、地道にハード対策を続け、同時にソフト対策により防災担当者・地域住民の意識向上をさせることが重要である。

参考文献

- 1) 国土交通省ホームページ
- 2) 独立行政法人 港湾空港技術研究所ホームページ
- 3) 財団法人 沿岸技術研究センターホームページ

(6) アンケート調査による対策工事事例

No.34	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	沿岸(津)	その他	沿岸部	地方自治体	港湾	指名競争	半年以上3年未満	契約どおり	一億以上五億未満
問題点	工期の遵守, 作業ヤード及び資材搬入路の確保, コストの低減								
阻害要因	台風シーズンまでに護岸復旧を完成させるよう、発注者より要望され大幅な工期短縮をする必要があった。								
方策	休日作業、夜間作業を行い、狭い施工エリアに可能な限りの労力、機械力を動員した。								
阻害要因	ガス工場の敷地内はガス配管が縦横に配置されており、敷地内からの資機材搬入ができなかった。								
方策	ガス工場の両サイドに仮設通路を設置し、資機材搬入路を確保した。								
阻害要因	復旧箇所前面にLNG運搬船用栈橋があり、海からの施工ができなかった。陸側はガス工場の敷地で貯蓄タンクがあり、十分な施工ヤードが確保できず施工機械も制限される状態であった。								
方策	工場に隣接する港湾管理センター用地を借りて、撤去土砂や購入材の仮置場とした。								
阻害要因	LNG運搬船の接岸時は作業ができない状況であった。								
方策	ガス会社と綿密な打合せを行い、船が着いている時間帯でも作業可能な工事箇所を調整した。								
効果	8月末までに、上部工と前面の消波工を完成することができた。								
評価	発注時期を早めることにより、余裕をもって台風シーズンまでに施工できると思われる。 作業ヤードや仮置場の確保の可否、施工時間帯の制限等、現場状況を反映した積算をお願いしたい。								

4.7 火山災害

(1) 火山災害の実態

(a) わが国の火山災害

わが国は環太平洋火山帯の一部に位置し、多数の火山を有する火山国である。

わが国において現在も活動しているとされる火山、いわゆる活火山（気象庁で「過去およそ1万年以内に噴火した火山および現在活発な噴気活動のある火山」と定義されている）は108にものぼり、過去においては火山活動により、甚大な被害を被ってきた（表-4.7.1 参照）。日本の活火山の数は、世界全体の7.0%であるが、世界の0.25%にしか過ぎない国土面積と対比して考えると、火山噴火による災害が発生しやすい国土であると言える。

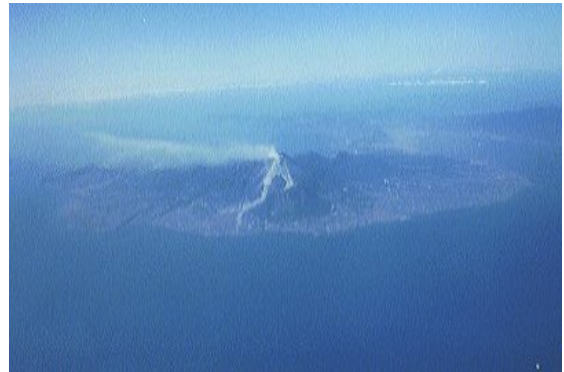
近年の火山災害事例として、平成12年6月に発生した三宅島噴火災害が挙げられる。

三宅島では、平成17年2月に約4年半にもおよぶ避難指示が解除され、長期間の避難生活からの帰島が実現した。人口は噴火前に1,957世帯、3,845人であったのに対して、平成18年4月1日現在では1,679世帯、2,832人とおおよそ3/4に減少しているが、三宅島の人々は復旧・復興に向けた歩みを着実に進めている。

約4年間の長きにわたる避難生活にあっては、村の住民が支えあいながら団結し、政府においても関係地方公共団体と連携しつつ様々な支援が行われてきたが、さらに帰島後の住民の生活再建を支援するための具体的な方策について、検討や諸事業が推進されているところである。こうした長期にわたる被害の状況や復興策については、全国の活火山の周辺地域の住民への教訓として活かしてゆかなければならない。

(b) 火山災害の形態

噴火等の活発な火山活動により発生する現象は様々であり、例えば、噴火の際の噴出物（溶岩流、噴石、火砕流・火砕サージ、火山灰）や火山活動に伴う現象（火山泥流、火山性地震、火山性地殻変動、山体崩壊、津波など）、噴出物の堆積後の降雨等による発生す



る土石流などが挙げられる（表-4.7.1 参照）。

表-4.7.1 わが国の火山災害事例

災害形態	火山名	地域名	発生年月日	災害概要
溶岩流	桜島	鹿児島県	1914.1.12～29	・溶岩流により大隈半島と地続きとなる ・死者 58 名
	三宅島	東京都	1040.7.12～8.8 頃	・死者 11 名
			1983.10.3～4	・阿古地区家屋 340 棟全壊
火砕流	浅間山	長野、群馬県	1783.8.5	・死者 1,151 名
	有珠山	北海道	1822.3.25	・1 村落消失 ・死者多数
	北海道駒ヶ岳	北海道	1856.9.25	・死者 20～30 余り
			1991.6.3	・死者、行方不明者 43 名
			1993.6.23～24	・死者 1 名
火山泥流等	磐梯山	福島県	1888.7.15	・山体崩壊に伴い村落埋没 ・死者 461 名
	十勝岳	北海道	1926.5.24	・2 か村埋没 ・死者・行方不明者 44 名
	桜島	鹿児島県	1974.6.17	・死者 8 名
			1974.8.9	
	有珠山	北海道	1977.8.7～1982.3 頃	・有珠新川形成 ・死者・行方不明者 3 名(二次泥流)
降下火砕流 (降灰、噴石等)	浅間山	長野、群馬県	1947.8.14	・死者 9 名
	阿蘇山	熊本県	1958.6.24	・死者 12 名
	新潟焼山	新潟県	1974.7.28	・噴石による死者 3 名
	阿蘇山	熊本県	1979.9.6	・死者 3 名
	桜島	鹿児島県	1985	・年間降灰量観測史上最大
火山ガス 酸性雨等	浅間山	長野、群馬県	1783.5.9～8.5 頃	・大量の降灰による農作物に大被害
	草津白根山	群馬県	1976.8.3	・火山ガスによる死者 3 名
	三宅島	東京都	2000.6.26～	・噴石、火砕流を伴う噴火 ・大量の火山ガス放出 ・全島民島外避難(2005.2.1.解除)
津波	北海道駒ヶ岳	北海道	1640.7.31	・岩屑なだれが噴火湾に流入し、津波発生 ・死者 700 名余り
	渡島大島	北海道	1741.8.29	・噴火に伴う津波で死者 1,467 名
	雲仙岳	長崎県	1792.5.21	・眉山崩壊による岩屑なだれと大津波で死者約 15,000 名
火山性地震 地殻変動	有珠山	北海道	1977.8.7～1982.3 頃 2000.3.27 ～ 2001.9 頃	・地殻変動により建物被害発生
その他	十勝岳	北海道	1962.6.29	・爆発により新火口生成 ・死者、行方不明者 5 名
	伊豆大島	東京都	1986.11.21	・割れ目噴火発生等により全島民一時島外避難
	有珠山	北海道	2000.3.31 ～ 2001.9 頃	・爆発により火口群形成 ・噴石

災害を引き起こす現象が多岐にわたっていることが火山災害の特徴で、主な現象は以下の通りである。

(i) 降下火災物（降灰等）

火山から空中に噴出した火山灰等が降ってくる現象で、多くの火山に共通した現象である。火山のすぐ周辺では厚く堆積することで埋没等の被害が生じる場合があるほか、噴火の規模によっては風にのって遠方に運ばれ堆積する。人的被害に結びつくことは稀であるが、火山活動が長期化すると周辺住民の生活に影響を与える。

(ii) 溶岩流

火山から流れ出た溶岩が流下する現象である。通過域では、破壊・焼失・埋没等の被害が生じる。流下速度は、溶岩の粘り気等によって異なるが、多くの場合、時速 1km 程度以下と遅いため徒歩による避難が可能である。稀に、溶岩の質や流下する地形によっては時速数十 km の速い速度となる場合もある。

(iii) 噴石（火山弾等）

噴火に伴い吹き飛ばされた岩石等が落ちてくる現象で、建物の破壊、死傷の被害が生じる。噴石は噴出後すぐに落下してくるため、噴火が発生してからのものである。非難は困難である。

(iv) 火砕流・火砕サージ

高温の火山砕屑物（火山灰、軽石等）が、ガスと一体となり高速で流下する現象で、その運動エネルギーおよび熱エネルギーにより、通過域では焼失、破壊等壊滅的な被害が生じる。流下速度は時速 100km を超える場合もあり、発生後に避難することは困難である。特に、火山灰を含む高温のガスを主体としたものを火砕サージといい、火砕流よりも広範囲かつ高速に流下する。

(v) 火山泥流

噴火による火山湖の決壊や急激な融雪により発生した泥水が、岩石や樹木を巻き込みながら流下する現象で、地形にもよるが、時速 30～60km になる。破壊力が大きく、通過域では壊滅的な被害が生じる。わが国では冬季に冠雪する火山が多く、噴火による融雪が泥流発生を引き金となることが懸念されている。

(vi) 火山ガス

火山活動に伴い、火山口や噴気口から大気中に火山ガスが放出される。火山ガスの大半は水蒸気であるが、その他に二酸化硫黄、硫化水素、塩化水素等の有害な成分を含むことがある。

(2) 火山災害対策

(a) 火山情報

平成 12 年 3 月の有珠山噴火では、噴火の 2 日前に「今後数日以内に噴火が発生する可能性が高い」旨の火山情報が気象庁から発表された。これを受けて、地元自治体による避難勧告・指示が発令され、噴火前に住民の避難が行われたため、人的被害が生じなかった。火山災害に対しては、災害の発生原因に直接対策を講じることにより災害を防止する、あるいは、災害が発生しても人々に影響を及ぼさないようにすることは現実的に不可能であるため、火山災害の軽減を図ることを災害対策の基本方針とせざるを得ない。火山噴火予知の確立とともに、火山現象の状況を正確かつ迅速に関係行政機関および周辺住民に伝達することが非常に重要である。

このため、気象庁では平成 14 年 3 月に火山監視・情報センターを設置し、関係機関と連携して火山周辺に設置された地震計や地殻変動の観測データを監視し、異常が認められた場合、以下の 3 種類の火山情報と毎月の火山活動解説資料を発表している。

表-4.7.2 火山情報

種 類	説 明
緊急火山情報	生命、身体にかかわる火山活動が発生、または、その恐れがある場合に発表
臨時火山情報	火山活動に異常が発生し、注意が必要なときに随時発表
火山観測情報	緊急火山情報、臨時火山情報を補うなど、火山活動の状況をきめ細かく発表
火山活動解説資料	火山活動状況についてとりまとめたもので、毎月発表される

また、気象庁では火山情報をより分かりやすくするため、火山活動の程度および防災対応の必要性を 0 ～ 5 の 6 段階の数値に区分した火山活動度レベルを付加した情報を、平成 15 年 11 月から浅間山、伊豆大島、阿蘇山、雲仙岳、桜島に導入し、平成 17 年 2 月からさらに、吾妻山、草津白根山、九重山、霧島山（新燃岳、御鉢）、薩摩硫黄島、口永良部島、諏訪之瀬島を加えた 12 火山において、情報を提供している。これら以外の火山についても、個々の火山活動や防災対応の特徴に応じた火山活動度レベルの導入を順次進めてゆく予定としている。なお、海上保安庁でも、平成 15 年 12 月から海域火山データベース情報をインターネットにより公開している。

これらの火山情報は、速やかに関係省庁、関係地方公共団体等の関係機関（都道府県知事、地方自治体、警察、防災関係機関など）や報道機関に伝達され、これらの機関を通じて一般の住民にも情報伝達がなされている。

(b) 火山噴火の予知

わが国における総合的な火山観測研究体制の整備は、昭和 49 年からの「第 1 次火山噴火予知計画」以来、数次にわたる計画により進められており、第 3 次計画以降、全国の活火山を「活動的で特に重点的に観測研究を行うべき火山（13 火山）」と「活動的火山および潜在的爆発活力を有する火山（23 火山）」に分類している。

表-4.7.3 活火山の分類(測地学分科会火山部会による)

区 分	火 山 名
活動的で特に重点的に 観測研究を行なうべき火山	十勝岳、有珠山、樽前山、北海道駒ヶ岳、草津白根山、浅間山、伊豆東部火山群、伊豆大島、三宅島、雲仙岳、阿蘇山、霧島山、桜島
活動的火山および 潜在的爆発力を有する火山	雌阿寒岳、岩手山、秋田駒ヶ岳、岩木山、秋田焼山、鳥海山、磐梯山、蔵王山、吾妻山、安達太良山、那須岳、新潟焼山、焼岳、富士山、御嶽山、伊豆鳥島、西之島、硫黄島、鶴見岳・伽藍岳、九重山、薩摩硫黄島、諏訪之瀬島、硫黄島

平成 16 年度から 20 年度までの第 7 次火山噴火予知計画では、これまでの予知計画に基づく観測・研究の成果を踏まえ、監視観測や常時観測体制の強化整備を火山の活動度や防災の必要性の観点から順次進めてゆくとともに、噴火機構の解明や噴火ポテンシャル評価の定量化を図るための基礎的研究が進められている。

また、昭和 49 年 6 月に、第 1 次火山噴火予知計画に基づき火山噴火予知連絡会が設置され、気象庁に事務局が置かれている。その主な任務は、関係諸機関の研究および成果に関する情報交換、火山噴火が起こった際の噴火現象に関する総合的な判断、火山情報の質の向上を図ることによる防災活動への寄与、および、火山噴火予知に関する研究、観測体制の整備である。定例会として年 3 回の火山活動についての総合判断が示されている。

なお、わが国の科学技術基本政策の方針を示した「第 3 期科学技術基本計画（平成 18 年 3 月 28 日閣議決定）」においては、社会基盤分野の防災に関する 10 項目の重要な研究開発課題とその成果目標が定められており、火山噴火予知、火山防災に関して、「2010 年までに、地殻変動観測等に基づいて火山活動度を迅速かつ確実に判定する手法を確立し、噴火物理化学モデルの構築を進め、火山災害の軽減を目指す」とされている。

(c) 活動火山対策特別措置法等に基づく火山対策

昭和 47 年以降、桜島の火山活動が活発になり、周辺農作物等に大きな被害が生じたこと、また、昭和 48 年に浅間山が 11 年ぶりに噴火したことなどを契機として、昭和 48 年 7 月、住民等の生命・身体の安全ならびに農林漁業の経営の安定化を図ることを目的とする「活動火山周辺地域における避難施設等の整備等に関する法律」が制

定された。その後、同法は、昭和 52 年の有珠山噴火等を契機として全面的に見直され、翌年 4 月、現行の「活動火山対策特別措置法」に改められた。

同法に基づき、該当火山の周辺地域において、避難施設、防災営農施設、降灰防除施設の整備、降灰除去等の事業が実施されている。最近では、東京都が三宅島の火山ガスに対する安全対策として、高感受性者世帯を対象に小型脱硫装置の設置を盛り込んだ避難施設緊急整備計画を平成 17 年 3 月に策定し、三宅村が消防庁による財政上の支援を受け整備を進めている。

一方、桜島は昭和 30 年以降噴火活動が恒常化しており、平成 17 年度においては噴火回数 17 回、鹿児島地方気象台における年間降灰量は 15g/m^2 を記録した。桜島およびその周辺地域は、上記の法に基づく避難施設緊急整備地域、降灰防除地域に指定されており、避難施設緊急整備事業、防災営農施設整備事業、降灰除去事業、降灰防除施設整備事業等の事業が実施されてきた。

(d) 火山ハザードマップ

火山周辺住民等の防災意識の高揚、地元自治体による適切な防災計画の策定、適正な土地利用の誘導等のために、各火山の活動様式や特徴的な災害要因を考慮した、いわゆるハザードマップ（火山噴火災害危険区域予測図）の整備が進められている。

国土庁（現内閣府）から、平成 4 年に火山噴火災害危険区域予測図の作成指針が示され、地方公共団体にこれを活用してもらうとともに、平成 5～7 年には火山噴火災害危険予測図緊急整備事業が進められ、地方公共団体により有珠山、三宅島等の 10 火山でハザードマップが作成された。

現在も、地方公共団体に対する消防庁や国交省の支援により、全国のハザードマップの作成が進められているところであり、平成 17 年 10 月現在、「活動的で特に重点的に観測研究を行うべき火山」に分類される 13 火山のうち、海底火山である伊豆東部火山群を除く 12 火山を含む、全国の 37 火山についてハザードマップが作成されている。

(e) 富士山火山広域防災対策

平成 12 年 10 月から 12 月にかけて、また、平成 13 年 4 月末から 5 月にかけて、富士山の地下約 15km を震源として何らかのマグマ活動に関係があるとされる低周波地震が多発した。異常な地殻変動や震源の浅い地震活動が観測されていないことから、直ちに噴火に結びつくものではないとされているが、このことにより「富士山が活火山である」ことが再認識された。

加えて、平成 12 年の有珠山および三宅島噴火災害では、観測に基づく火山情報の発表や火山ハザードマップの整備など、事前の備えにより人的被害がなかったという事実を踏まえ、地元地方公共団体が防災訓練を行うなど防災意識が高揚している。

仮に富士山が噴火した場合には、首都圏まで被害がおよぶ恐れがあることなどから、広域的な防災対策を確立しておくことが必要とされ、山梨、静岡、神奈川、東京の各都県および地元市町村、内閣府、国交省、消防庁、気象庁により「富士山火山防災協議会」が開催された。各機関が連携を図りつつ、富士山火山防災対策の検討やその基本となるハザードマップの作成が進められている。

こうした富士山火山防災協議会の検討成果を踏まえ、平成 18 年 2 月、国として富士山の広域的な火山防災対策をとりまとめた「富士山火山広域防災対策基本方針」を中央防災会議で決定した。今後は、同基本方針に基づき、地方公共団体とともに広域連携による富士山火山防災対策が推進されてゆくこととなる。

(3) 災害復旧事例

(a) 雲仙普賢岳の事例

1990 年 11 月 17 日、198 年ぶりに噴火活動を開始した雲仙主峰普賢岳における一連の活動は、1 年間にもわたる前駆的な地震活動を経て水蒸気爆発となった。引続き半年間の噴煙活動の後、3 年 9 ヶ月にも及ぶ溶岩噴出へと発展、巨大な溶岩ドームが形成された。

(i) 火山活動の経緯

最初の噴火は、地獄跡と九十九島両火口での水蒸気爆発であった。噴煙は一旦、減衰したが 1991 年 2 月 12 日には、新しい火口が現れ、激しく火山灰を噴出した。4 月に入るとさらに活動が活発化し、新しい溶岩の破片を交えたマグマ水蒸気爆発（マグマが地表に近づき、浅い地下水に接触することにより、真っ黒い噴煙と土砂の噴出が起る現象）へと移行した。

火口で噴火を始めた溶岩は、若干の流動性があり頂部に冠状に膨らみ、あるいは東斜面に舌状に突き出した「溶岩ローブ」が次々と出現した。先に出ていたローブを突き崩しながら、最終的にはひとつの巨大な溶岩ローブが形成された。この溶岩ローブは成長過程において局所的に崩落し、火砕流を発生させた。

(ii) 被災概要

溶岩ドームは普賢岳山頂部の東端から東斜面にかけて成長したため、極めて不安定で、局所的な崩落により火砕流を頻発した。火砕流の発生回数は数千回にも及び、焼失した家屋は 820 棟、死者 44 名（行方不明者 3 名を含む）、負傷者 11 名の人的被害が発生した。火砕流は同時に熱風を発生させ、これによる被害も発生した。

また、物的被害としては、降り積もった火山灰が雨により土石流となり、これにより 1,983 棟の家屋が被災した。同時に火砕流により 589 棟、噴石その他により 21 棟の家屋が被災した。被害総額は、直接・間接被害をあわせて約 2,300 億円にのぼった。

(iii) 災害復旧

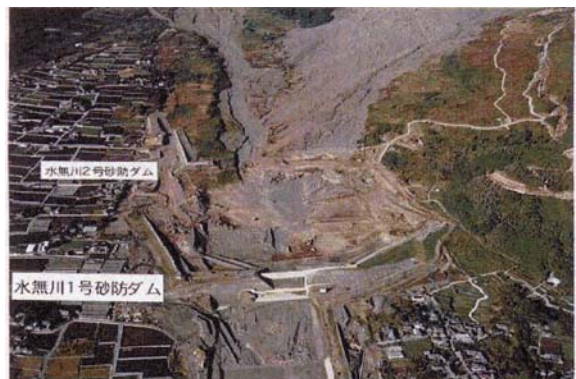
災害直後にとられた応急処置として、「島原大変」の際と同様な展開を警戒し、過去に実績のある地域の泥流・土石流対策が梅雨基に備えて急ピッチで実施された。また、ソフト面での対応として「眉山の崩壊に備えた特別避難計画」を策定(1991年2月)、公開するとともに、「雲仙岳緊急火山対策検討会」が県によって設置された(1991年3月)。ハード面での対策としては、1991年3月に砂防ダムの除石、土石流が発生しやすくなっている、水無川、赤松谷川にワイヤーセンサーなどによる土石流監視装置が設置された。この時点では火砕流が対策の対象とは想定されていなかった。



1991年5月15日に水無川で土石流が発生、流下したため、国による「普賢岳火山砂防検討委員会」が設置され、活動中の火山の土石流対策について検討が始められ、この成果として「土石流対策基本構想」が立ち上げられた。5月24日からは土石流に加え火砕流も発生した。

そして、1991年6月3日の大火砕流により、初めて人的被害が発生し、大混乱となった。これ以降、広めの「警戒区域」が設定され、入域が厳禁された。

1991年の緊急除石に続いて、1992～95年には遊砂池の設置、土石流災害の防止、軽減のための対策がとられた。そして、1993年5～7月の土石流災害の発生を発端として、水無川火山砂防計画基本構想のもと、1993年8月に導流堤の工事に着手し、1994年4月からは鋼矢板を用いた仮設導



流堤工事を始めた。その後、6月からは除石工事にも着手したが、この時点での作業は有人作業であり、作業場所の近くに避難専用の車と運転手を配置して火砕流が工事地点に到達するまでの間に、あらかじめ決めておいた避難ルートに沿って避難する方法がとられた。避難ルート沿いには、50～100m 間隔に熱風に対して安全が確保でき



るシェルターを設置し、作業中は安全なところに設けた監視所に 2 名の監視員を配置し、携帯無線などにより即時に作業員に通報できる体制がとられた。

1994 年 3 月には、旧建設省の「試験フィールド制度」を初めて適用し、民間各社からの技術提案の公募による試験施工（6 技術）が行われた。具体的には、ブルドーザーによる押土・集土，バックホウによる掘削・積み込み，ダンプトラックによる土砂運搬という一連の除石作業を，全て無線により遠隔操作するものであった。

この試験施工を経て，1994 年 6～8 月に 2 技術により水無川 3 号遊砂池で約 34,000m³の緊急除石作業を行い，さらに 1994 年 10 月～1995 年 3 月に約 20 万 m³の除石工事を実施し，無人化施工が本格化した。

1995 年 10 月からは水無川 1 号砂防ダム（スーパー砂防ダム，堤長 870m，堤高 14.9m，計画貯砂容量 100 万 m³）の建設に着手，1998 年 3 月に完成した。日本一長い砂防ダムである。また，その上流側に水無川 2 号砂防ダム（堤長 446m，堤高 14.5m，計画貯砂容量 71.2 万 m³）が無人化施工による RCC 工法で構築された。

その他，これらの砂防ダムに付随して導流堤の設置や水無川の堤防の嵩上げ工事も行われた。また，この対策の実施により両者に挟まれ，窪地になってしまう「安中三角地帯（約 93ha）」については，住民の要請により地盤の嵩上げ工事（嵩上げ平均 6m，嵩上げに要した土量 330 万 m³）が実施された。

(b) 2000 年三宅島噴火の事例

三宅島の噴火は，2000 年 6 月 26 日の群発地震に始まった。三宅島は昭和に入って，1940 年，1962 年，1983 年と 21～22 年の周期で噴火してきた。現地では，そろそろ始まるかもしれない噴火に備え，本格的な避難訓練等を計画していたが，前回の噴火が 1983 年で次は 2004 年頃を想定していたため，意識はしていたものの早すぎた噴火であった。

(i) 火山活動の経緯

最初に確認された群発地震から静穏な一時期を経た 2000 年 7 月から再び火山活動が活発化し，8 月に入ると噴火活動は最盛期を迎え，島内全域に火山灰が降る大噴火となった。29 日には最大規模の噴火が発生し，9 月 2 日，三宅村村長は全島民避難を指示した。

2000 年噴火の特徴のひとつは，火山ガスの大量噴出である。2000 年 8 月頃中から二酸化硫黄 SO₂等を含んだ火山ガスの噴出が確認されるようになり，その量は日量数万トンのレベルに達した。もうひとつの特徴は，泥流被害の発生である。噴火で島内のほぼ全域に細粒の火山灰が堆積し，溪流では降雨のたびに泥流等が発生するようになった。巨石や大木も巻き込み，大きな土砂災害をもたらし，島内を麻痺状態に陥れた。

(ii) 被災概要

上記の火山活動により、都道や林道では、泥流による被害が徐々に拡大してゆき、道路の通行不能の状態が続くなど大きな被害を受けた。都道では 16 箇所で大被害を受け、通行不能の状態が続いた。村道は概ね 14 路線、林道は 80 箇所余りで被災した。ライフラインでも、水道のポンプ施設や送・排水管が 67 箇所で大被害を受け、電気、電話は、泥流等で電柱 30 基が倒壊、傾斜し、67 箇所で電線が流出、切断された。

住宅被害も深刻で、約 2,000 世帯のうち 43 戸が泥流による被害を受けた。また、災害発生直後のこうした被害に加えて、その後の雨漏りやシロアリ被害が新たに確認されている。

(iii) 災害復旧

三宅島における災害復旧工事は、その根幹となる泥流対策や都道、ライフラインの復旧等が主体であった。最初に電気、電話等のライフライン関係機関や地元建設による復旧工事が行われ、2001 年 4 月までにはライフラインの復旧が完了し、島内周回道路は仮復旧が完了した。

具体的には、

① 砂防ダム、流路工等の整備

泥流に対する住宅被害の防止や空港などの公共施設の防護を目的として、溪流を対象として砂防ダムや流路工などを設置する。

② 泥流被害に対するソフト対策

大雨で泥流が発生する恐れのある区域を示す三宅島泥流防災マップを作成、公開するとともに、大雨注意報、警報などの基準雨量を適切に設定する。

③ 海岸災害復旧

噴火により沈下した三池港海岸において、高波から住宅等を守るため、防潮堤の嵩上げ工事を実施する。

④ 公共施設、教育施設の復旧

村営住宅、小・中学校、高校、保育園、診療所、特別老人ホームなどの補修・建替え等による施設の復旧を行う。

⑤ 交通網の確保

都道、村道、港湾、空港など交通網の機能の回復と維持管理を行う。

⑥ ライフラインの復旧

水道、電話、電気、ガスなど、重要なライフラインの機能回復と点検、維持管理を行う。

などの災害復旧事業に取り組まれた。

砂防事業では、初期段階において、流木止め、大型土のうによる導流工や泥流監視システムの構築などが本格工事に先駆けて実施された。その後、噴火直後に泥流被害が発生した 16 沢で 15 基の砂防ダムと流路整備が手がけられた。なお、火山ガスが滞留して作業に危険が及ぶ地域では、無人化機械施工も導入された。

100 年確立降雨に対する整備規模の 50% を目標として、現在も砂防事業が継続中であり、平成 17 年度までに 37 沢で 51 基の砂防ダム等の完成を目指している。また、都道の災害復旧では、2004 年 3 月には、橋梁新設や道路線形の改良により、通行に支障のあった 16 箇所の本復旧工事が完了した。

災害復旧工事の実施に際しては、未だ大量の火山性ガスが噴出している中での作業となる。火山ガスの主たる成分は、二酸化硫黄 SO_2 と硫化水素 H_2S であるが、特に深刻なのは二酸化硫黄である。二酸化硫黄の環境基準は、1 日平均 0.04ppm、1 時間平均 0.1ppm とされているが、作業にあたっては ACGIH（米国産業衛生専門家会議）が勧告している許容濃度を参考に、2ppm を作業基準値に設定されている。各作業班は必ずガス検知器を携行し、作業基準を超えた際のアラームによりガスマックスを着用することとされている。

復旧作業の初期段階の 1 ヶ月間は、海上で過ごす「ホテルシップ」を宿舎として利用されたが、火山活動の継続から隣接の神津島に現地災害対策本部が移され、漁船や小型客船による渡船で三宅島に上陸して作業が行われた。その後は、神津島からの渡島の厳しさや時化による欠航の継続などから、火山ガスが発生しても安全に滞在できる宿舎「クリーンハウス」が整備され、三宅島での滞在が可能となった。

クリーンハウスの特徴は、二酸化硫黄を含む外気が建物内に入るとき、ガス成分を除去する脱硫装置を備えていることにある。半導体工場に使われていた技術を応用して開発されたもので、当地のガス対策のために独自に製作された。酸化剤を塗布した活性炭フィルターで除去する「乾式方式」と水酸化ナトリウム溶液を通し中和させて化学処理する「湿式方式」がある。

(4) 技術開発への取組み

火山災害に関連し、かつ、建設業が直接的に関っている技術開発として、無人化施工技術への取組みがあげられる。無人化施工法は、2 系統の無線を使い、建設機械を安全な遠隔地から操作するもので、建設機械を操作する無線操縦システムと作業に必要な建設機械近傍の画像を伝送する画像伝送無線システムからなる。この技術は、平成 5 年に発生した雲仙普賢岳の除石工事に、当時の建設省が「試験フィールド制度」を適用したこと契機に、飛躍的に発展した技術で、現在では以下の実用化レベルにまで至っている。

- ① 無線伝送距離は、最大 2km 程度まで可能
 - ② 地形が狭隘、複雑で操作室から機械まで直線的に無線が通らない条件でも、遠隔操作による無線中継車を配備することにより対応可能
 - ③ 撤去工、砂防堰堤構築工、導流堤ブロック積み工等、広範囲な工種に対応可能
- 上記の技術開発への取組みの主体となっているものとして、「建設無人化施工協会」があげられ、以下、当該協会のホームページより当該技術の概要を記す。

(a) 協会の概要

当協会は2000年(平成12年)11月、建設工事における無人化施工法の技術開発、普及促進および災害復旧工事に対応可能な無人化施工実施体制の構築と維持を目的として、建設業者、建設機械メーカー、無線機器メーカー、リース業者からなる15社によって設立されました。

無人化施工法は、2系統の無線を使い、建設機械を安全な遠隔地から操作するものです。建設機械を操作する無線操縦システムと、作業に必要な建設機械近傍の画像を伝送する画像伝送無線システムを使用します。

無人化施工法は、平成5年の雲仙普賢岳の除石工事に、当時の建設省が無人化施工の「試験フィールド制度」を適用したことを契機に、飛躍的に発展し、現在では以下の実績を残すまでになりました：

- ①無線伝送距離は、最長で2km程度まで可能になりました。
- ②2000年の有珠山における災害復旧工事では、地形が狭隘・複雑で、操作室から建設機械の作業領域まで直線的に無線が通らない所でも、遠隔操縦による無線中継車を経路上に配備する事により作業を可能にしました。
- ③除石工事に始まった無人化施工法は、対応工種をひろげ、撤去工、砂防堰堤構築工、導流堤ブロック積み工等、広範囲な工種に対応できるようになりました。

建設無人化施工協会はホームページを開設し、無人化施工に関する最新の情報と種々の実績を公開し、無人化施工法の普及と可能性を追求に努力を重ねて参ります。

建設無人化施工協会

会員一覧

2005年5月現在			
建設無人化施工協会			
会社名	担当窓口	電話番号	FAX
青木あすなろ建設(株)	技術本部 企画エンジニアリング部	(03)5439-7739	(03)5439-8531
(株)大林組	土木技術本部 企画部	(03)5769-1301	(03)5769-1970
(株)大本組	技術本部 技術開発部	(03)3593-1541	(03)3593-1543
鹿島建設(株)	機械部	(03)6406-7796	(03)5474-9739
(株)熊谷組	土木事業本部 土木部	(03)3235-8627	(03)5261-5576
五洋建設(株)	技術研究所	(0287)39-2113	(0287)39-2132
清水建設(株)	土木技術本部 機械技術部	(03)5441-0638	(03)5441-0548
大成建設(株)	土木本部 機械部	(03)5381-5309	(03)3344-4437
西松建設(株)	施工本部 機材部	(03)3502-7642	(03)3580-6149
(株)フジタ	土木本部土木技術統括部	(03)3796-2297	(03)3796-2304
前田建設工業㈱	土木本部 土木部 機械グループ	(03)5276-9426	(03)5276-9432
コマツ	営業本部 市場開発部 ラジコンチーム	(03)5561-2722	(03)5561-2738
新キャタピラー三菱(株)	直販部	(03)5717-1151	(03)5717-1177
東京通信機(株)	営業部	(03)3980-2727	(03)3980-6870
西尾レントオール(株)	通信機器営業部 通信特機営業所	(03)3520-2408	(03)3520-2409
日立建機(株)	営業本部 建設システム営業部	(03)3830-8130	(03)3830-8218

建設無人化施工協会

(b) 無人化施工の概要

無人化施工には、「除石工」「撤去工」「コンクリート工」「プレキャストブロック積工」「大型土のう工」「樹木伐採工」「型枠工」などがある。

① 除石工

無人化施工による「除石工」とは、火砕流、斜面崩壊、崩落、土砂流出等の自然災害で堆積した土砂や岩石を、全て遠隔操作付建設機械で除去する工事である。その作業内容は、掘削・押土・積込み・運搬の一連作業と、大型の転石や岩塊の小割作業で構成される。

② 撤去工

無人化施工による「撤去工」とは、災害現場で復旧の障害となる構造物などを、特殊なアタッチメント（油圧ブレーカーなど）を装着した遠隔操作付建設機械（バックホウ）を使用して破砕、撤去するものである。

③ コンクリート工

無人化施工による「コンクリート工」には、「R C C (Roller Compacted Concrete)」「C S G (Cemented Sand and Gravel)」「レディミクストコンクリート」「高流度コンクリート」などの工種がある。これらの工法は、対象現場の施工規模、現場条件などの施工条件を踏まえて決定される。

④ プレキャストブロック積工

無人化施工による「プレキャストブロック積工」とは、「矩形ブロック」や「異形ブロック」などのプレキャストブロックを、遠隔操作付建設機械を使用し、所定の位置に据え付ける工種である。施工実績は少ないものの、簡便性や施工性の良さから工期短縮が可能で、今後、展開の拡大が期待されている。

⑤ 大型土のう工

無人化施工による「大型土のう工」とは、「崩落箇所の緩衝材」「土留部材」「構造物の端部処理用仮設材」「導流堤」などの代替えとして使用される大型土のう（1t）や根固め用網状袋材を、特殊なアタッチメント（自動玉外し機）を装着した遠隔操作付建設機械（バックホウ）で据え付けてゆくものである。

⑥ 樹木伐採工

無人化施工による「樹木伐採工」とは、危険地帯に残存する不要な樹木を、複数台の遠隔操作付建設機械（バックホウ）を使用し、伐採するもので、その作業は「重機足場の造成」「樹木の切断」「樹木の運搬」「伐採」「伐採材の運搬」「重機足場の整地および造成」の一連の作業を繰り返して行う。

⑦ 型枠工

無人化施工による「型枠工」とは、R C Cや有スランブコンクリートを打設するた

めに、遠隔操作付建設機械を使用して型枠を設置、撤去するもので、施工実績としては「土砂型枠」と「ブロック型枠」が多く使用されている。

(c) 無人化施工システムの構成

無人化施工における遠隔操作システムは、安全な位置で操作するための遠隔操作室（操作盤と映像モニター類）とカメラと伝送用無線機を搭載した遠隔操作付建設機械から構成される。また、施工現場および建設機械の作業状況を監視する移動カメラ車や超遠隔の場合の無線中継車などが、必要に応じ追加して配置される。

以下に、無人化施工システムに用いられている、機械や器具を示す。

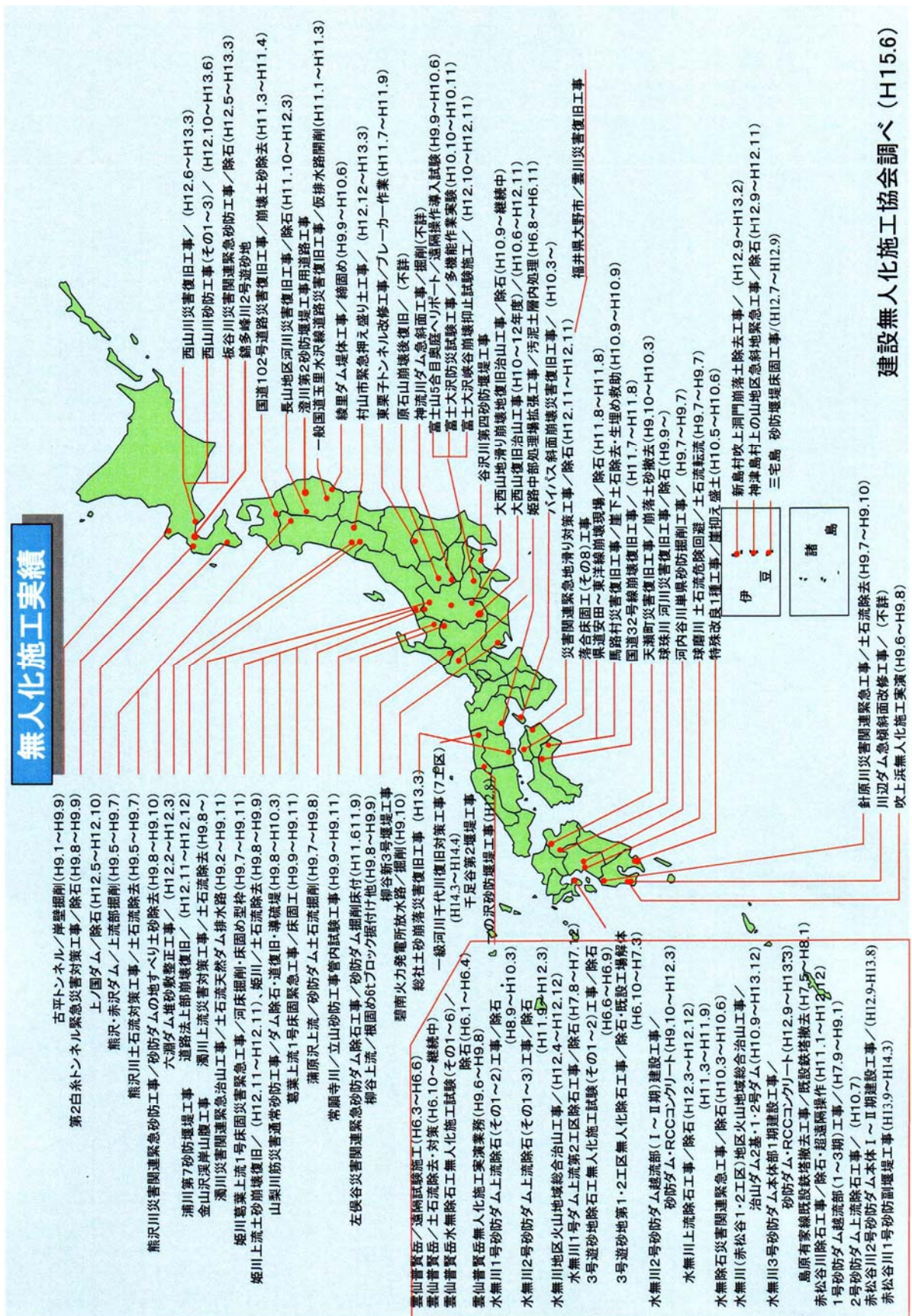


(d) 施工事例および施工実績

無人化施工の代表的な事例（工事名称、適用経緯、施工概要）と施工実績を以下に示す。

施工事例集

No.	工事名称	場 所	無人化適用経緯	無人化施工概要
1	一般国道299号第2 白糸トンネル災害岩 塊除去他一連工事 平成9年8月～ 平成9年9月	北海道島牧 郡島牧村 写真	トンネルの巻出部で、高さ 70m、幅30mの岩盤が崩落し、 トンネルが閉塞された。	崩落した岩盤をブレーカで破碎 し、バックホー及びブルドーザで 撤去した。
2	河内谷川単県砂防掘 削工事 平成9年7月～ 平成9年7月	熊本県八代 郡坂本村 写真	谷間の斜面が崩落したため、 河川がせき止められ、湛水し た。	崩落した土砂を下流側に押し たうえで、水みちを拡幅掘削し、 コルゲートパイプを埋設した。
3	針原川災害関連緊急 工事 平成9年7月～ 平成9年10月	鹿児島県出 水市 写真	集中豪雨により斜面が崩落し たため、土石流が発生し、砂 防ダムを乗り越え、下流の扇 状地にまで氾濫した。	砂防ダム上流側の土砂をブル ドーザで集土し、バックホウでダ ムの下流側へ移動した。
4	山梨川筋災害通常砂 防工事 平成9年8月～ 平成12年3月	新潟県糸魚 川市 写真	降雨及び融雪により土石流が 発生し、さらにこの上に崩落土 砂が堆積した。	河道の掘削、導流堤のコンクリ ートブロック積み、及びブロック 背面の盛土を施工した。
5	水無川除石・砂防ダ ム建設工事 平成7年6月～ 継続中	長崎県島原 市～南高来 郡深江町 写真	雲仙普賢岳の噴火により水無 川流域に火砕流が発生し、そ の後、降雨により土石流となっ て下流の扇状地に流れ出た。	導流堤の築堤、堤内の掘削、流 出土砂の除石及びコンクリート 砂防ダムの構築を行った。
6	板谷川災害関連緊急 砂防工事 西山川災害復旧工事 平成12年5月～ 平成13年6月	北海道虻田 郡虻田町 写真	有珠山の噴火により火山灰が 堆積し、さらに火砕流、土石流 により橋梁が破壊され、河道 が塞がれた。	遊水池の造成、土砂の撤去及 び流失した橋梁の撤去を行っ た。
7	大西山復旧治山工事 平成11年8月～ 平成13年1月	長野県下伊 那郡大鹿村 写真	崩壊履歴のある斜面で発破を 併用した人力作業を行っている 最中に再度、斜面が崩壊し た。	崩壊した斜面を、バックホーで 階段状に切り下げた。
8	水無川(赤松谷)地区 火山地域総合治山工 事 平成11年7月～	長崎県島原 市～南高来 郡深江町 写真	雲仙普賢岳の噴火により水無 川流域に火砕流が発生し、そ の後、降雨により土石流となっ て下流の扇状地に流れ出た。	土砂型枠によるコンクリート治 山堰堤を4基構築した。
9	葛葉川上流1号床固 災関緊急工事 平成9年9月～ 平成9年11月	新潟県糸魚 川市 写真	梅雨時の豪雨により姫川が氾 濫し、鉄道、道路等に甚大な 被害を受けた。	土嚢及びコンクリートブロックを 型枠とした河川のコンクリート床 固工を構築した。
10	谷沢川第四砂防堰堤 工事 平成15年5月～ 平成15年11月	群馬県吾妻 郡草津町 写真	土木工事の一部を無人化施 工。浅間山、草津白根山が噴 火した後の復旧作業や洪水時 を想定してのパイロット事業	狭隘な河川内での超遠隔操作 (無線LAN方式)による国内初の 施工である。工事用道路、堰堤 部掘削を実施した。
11	大春木上流第二砂防 堰堤工事 平成15年7月～ 平成16年7月	山梨県南巨 摩郡早川町 写真	左岸法面からの落石の危険性 を有する箇所での施工であるこ とから、無人化施工が採用され た。	本堰堤及び垂直壁の作業土 工、コンクリート工を実施した。
12	駒ヶ岳火山砂防(無人 化試験施工)工事 平成15年12月～ 平成16年3月	北海道茅部 郡砂原町 写真	無人化施工による根固ブロック 設置サイクルタイムを計測し歩 掛り等を整理するとともに、各 種手続き(無線申請等)を体系 化し取りまとめることで、融雪型 火山泥流という有事における無 人化施工の効率的な運用に資 する資料を作成する事を目的と した。	把持装置付遠隔操作バックホ ウによる、3t根固ブロック(6種 類)の設置試験工事であった。



(5) 今後の展望と課題

以上、火山災害に関して、災害の実態、災害対策、復旧事例および技術開発の動向について述べてきた。こと、火山災害に関しては、事前に何らかの具現的な対策を施したからといって被害を食い止められる可能性は低く、現実的に災害の発生を抑止することはできない。あくまでも「減災」を目的とした「火山噴火予知」あるいは「早期避難手法の確立」を目指してゆくしか現実的な防災手段がない、というのが実情である。

上記を踏まえ、国としては以下に示すような取組みがなされている。

(a) 火山噴火予知および研究

(i) 火山噴火に関する調査研究

- ・ 防災科学研究所

火山観測網の維持強化、噴火予測システムの開発、マグマ移動過程解明、新火山専用空中赤外線映像装置（新VAM）や合成開口レーダ（SAR）による火山活動把握、災害予測のためのシミュレーション技術の開発に取り組まれている。

(ii) 火山噴火予知に関する基礎的研究

- ・ 文部科学省

関係国立大学法人による火山噴火予知に関する基礎的研究が行われている。

- ・ 産業技術総合研究所

活動的火山の噴火履歴、災害実績・活動状況などの地質学的調査および噴火機構やマグマ上昇過程モデル化のための観測研究・実験的研究が行われている。

- ・ 国土交通省 国土地理院

火山変動測量、機動観測が行われている。

- ・ 気象庁 気象研究所

マグマ活動の定量的把握技術の開発とそれに基づく火山活動判定の高度化に関する研究が推進されている。

(iii) 火山変動監視観測網の最適化に関する研究

- ・ 国土交通省 国土地理院

火山山体に設置された他機関の観測データと国土地理院のGEONET観測網の観測データとを統合的に処理する手法を開発し、火山活動に伴う地殻変動推移の一連の把握、推定した変動源の有意性についての判断基準の設定手法の開発に取り組まれている。

(iv) 火山噴火に伴う土砂災害の被害低減技術の高度化

- ・ 土木研究所

火山灰堆積物を対象に、既存の侵食速度評価手法の適用性を検討するとともに、

現地で侵食速度を評価するための簡易試験方法の開発および火山灰堆積量の自動計測器の計測精度や耐久性の評価が行われている。

(v) 海底火山噴火予知の推進

- ・ 海上保安庁

航空機による南方諸島および南西諸島方面の海底火山活動海域の温度分布，火山性変色水の分布等の調査，測量が行われている。また，海域火山基礎情報図の整備が推進されている。

(b) 火山災害予防

(i) 教育訓練

- ・ 警察庁

都道府県警察の幹部に対して火山災害発生時の災害応急対策等について教育訓練を行うほか，都道府県警察に対し地域住民，関係機関との連携による火山災害警備訓練の指導を行っている。

(ii) 防災施設設備の整備

- ・ 消防庁

火山噴火災害時の住民避難等に必要な退避舎，ヘリコプター離着陸用広場等の整備のため，活動火山周辺地域の地方公共団体に対し補助を行っている。

- ・ 農林水産省

火山地域における荒廃地等の復旧整備，泥流・土石流の防止のための総合的山地災害危険地対策が実施されている。また，火山噴火により激甚な災害が発生した一連地区において，治山ダム，山腹工等の設置が行われている。

- ・ 国土交通省

火山地，火山麓地または火山現象により著しい被害を受ける恐れのある地域において，土石流，溶岩流，火山泥流等に対する砂防設備の整備が行われている。また，火山災害予想区域図の作成を推進するとともに，火山活動の監視，情報伝達するための各種計器および情報伝達網の整備が行われている。さらに，GISを利用した「リアルタイムハザードマップ」の作成に関する調査が実施されている。

上記のように，火山災害に対する対策としては，「減災」を目的として，ハード面，ソフト面からの様々な取組みが，多数の関係省庁により個別に推進されている。しかしながら，「国」として今後いかに火山災害に取り組んでゆくのか，確固たる基本方針や信念に基づいて「集中的」に防災事業がなされているとはいえない状況にある。今後は，各事業の費用対効果を明確に国民に示した上で，当該事業の必要性について広く意見を求めてゆく必要があるのではないかとと思われる。

特に，富士山の火山噴火問題については，ハザードマップの作成など積極的な防災

活動が行われ、国に対して事前のハード対策が要望されているところであるが、噴火の範囲が広く、火山現象や規模も多様であることから、いつの時点でいかに整備してゆくのが合理的であるのか、国民の税負担の観点も含め、解決すべき課題が多い。

また、火山災害対策の中でハザードマップの作成がソフト面での代表的な方策であり、火山防災の出発点ともいえるものである。しかしながら、地元住民の関心は今一つであり、ある火山でマップが配布された直後に調べた結果では、住民の半数しか見ておらず、マップを持っているのは4割以下との調査結果がある。活火山であることは知っていても、日常生活を維持することが優先され、一方で、火山に異常が発生すると必要以上に過敏に反応してしまう場合もある。これらの問題を解消するためには、専門家と住民の良好な意思疎通を図ることが大切で、このことが防災意識の高揚につながる。具体的には、従来の専門家から非専門家への一方通行ではなく、ユーザー側の参加を意図し、それを促す視点が必要となってくる。また、ユーザーの知識レベルが多様であることを前提に、よりきめ細やかな配慮を行ったハザードマップの作成が肝要である。

一方、火山噴火予知を担っている研究者からは、進行中の噴火現象を観測する精度や技術だけがいくら向上したとしても、より高いレベルの噴火予知をすることは不可能である、との声がある。火山ごとに噴火の「癖」があり、マグマの地下での在処や地上にもたらされる仕組みがよく理解されていないからである。この問題を解決するためには、今起こっている現象を正確に捉えるだけでなく、火山の深部構造や発達史、噴火履歴など、対象火山に限らず類似火山においてもできるだけ定量的かつ普遍的な調査や評価を行ってゆくことが重要であり、できるだけ多くの火山で、火山体の物理探査、トレンチ、ボーリング調査の実施を推進してゆく必要があるとされている。

参考文献

- 1)防災白書 内閣府編
- 2)島原市ホームページ <http://www.city.shimabara.lg.jp/kazan/02.html>
- 3)三宅村商工会ホームページ <http://www.miyakejima.jp/index.htm>
- 4)建設無人化施工協会ホームページ <http://www.kenmukyou.gr.jp/>

(6) アンケート調査による対策工事事例

No.35	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	火山災害	恒久(向上)	その他	地方自治体	砂防	一般競争	1年以上2年未満	5%未満の延	五億以上十億未満
問題点	三宅島の復興工事のため工期期間に規制があった。 安全の確保（有毒ガス汚染〔SO ₂ , H ₂ S〕）。 資機材運搬が本土より行われるため、天候により遅延を余儀なくされた。								
阻害要因	資材調達。								
方策	離島により天候管理が困難な中、工程管理をしっかりと行い先行発注を行い工程遅延の無いようにした。								
効果	資機材調達の遅れによる工程の遅延＝0日								
No.36	災害種別	工事種別	地域概要	発注者	被災施設	発注方法	工期	工期増減	工事金額
	火山災害	緊急対策	山間部	旧公社/団	道路	特命	半年以上3年未満	契約どおり	十億以上
問題点	①災害内容・度合いが不明なため、調査・要因分析・対策立案・協議完了後の施工開始となったこと。								
阻害要因	火山噴火で地盤隆起した道路・橋梁・法面被害の復旧工事であったが、早期の復旧を要求されたため、調査と対策・施工を同時並行的に進めなければならなかったこと。 災害内容・被害の度合い・影響範囲等の内容を細部にわたって調査を進め、対策立案後に発注者出先機関との協議で了解を経て発注元に説明し、了解してもらってから施工となったこと。 協議日数が長くかかったこと等によって、突貫工事を余儀なくされたこと。								
方策	設計者を数名現場に常駐させ、調査～対策立案までの期間の短縮を図った。 調査期間中に複数の被害を想定し、対策立案の準備を進めた。 被害状況を判りやすく表現するために、状況写真を多用し一目瞭然での説明を実施した。 協議の回数を出来るだけ少なくするために、現地立会の頻度を増した。								
効果	突貫での工事が減少したこと。								
問題点	②部分工期を設定され、昼夜を含めた突貫工事となったこと。								
阻害要因	道路開通区間を2段階（仮開通、本開通）で設定され、各開通区間でも、想定工期の7～8割での工期設定をされ、通常施工では実現できない工期を要求された。 区間工期を設定されたため、各所の橋梁等の復旧工期は場所によって昼夜の突貫工事となった。								
方策	標準施工歩掛りでは間に合わないため、工期最優先での手配を実施した。 機械での施工を最優先するとともに、スピードアップを図るため、1ランク上の機能を有した機械を配置した。 作業範囲・安全性を考慮して、可能な限り施工班数を増やして施工した。 夜間工事では、安全性を考慮して、照明設備を充実させるとともに、昼・夜の2交代で施工を進めた。								
効果	予定工期内に終了できた								
評価	発注者から高い評価を得られた。								
問題点	③施工時は工期最優先であらゆる手段を考えて実施したが、最終契約金額が工事完了まで決定しなかったこと。								
阻害要因	標準歩掛りのある工種については標準歩掛りベースで査定され、特殊性は考慮してはもらえなかった。								
方策	できるだけ施工の実態に即した清算をお願いするとともに、説明資料を作成した。 特殊工種については実施工の状況写真を添付した説明資料を作成した。								
効果	かかった設計費用については実工数で清算してもらった。								

5. 災害対策技術における今日の課題

災害対策技術について、現状の制度・対策技術の考え方・具体的な対策技術・対策事例などについて調査を行ってきたが、それをうけて今日の課題と今後について本小委員会としての見解を述べる。

- ・ 種々の災害に対する被害の防止・軽減に対するこれまでの努力は、厳しい自然条件を抱える我が国の国土を鑑みると今後とも着実な継続が必要であり、少子高齢化の進展等による人口流動や地域コミュニティの弱体化、環境に対する国民意識の変化などの社会的な情勢の変化に対応し、さらに気候変動や人口減少等による長期的な影響も視野に入れ、安全で活力ある国土づくりに対する重点的・戦略的な災害対策の展開が進められることになるであろう。
- ・ その中で、旧来災害対策技術の本流として取り組まれてきたハード面での対策に対し、防災施設の費用対効果への意識向上、公共事業の継続的な減少、さらには厳しい財政状況とあいまって、ソフト的な対策技術の整備にトレンドが移りつつある。しかし、たとえば地震災害における被害総額の約半分は構造物の被害であることや、集中豪雨の頻度増加や台風強度の増大などによる都市部の水害の増大に対し、河川流域と貯留・浸透設備との一体となった対策が求められており、中でも、建造物やライフラインの耐震化・放水路、堤防の整備・植林などによる土砂災害対策の推進・拠点都市間の交通ネットワークの多重化・大規模避難地区の整備など、効果の高いハード対策は重点的に取り組む必要がある。

また、「災害対策技術」の側面の一つとしての「社会資本ストックの災害による損失を最低限とする技術」を考えると、以下のような観点での取り組みが必要と考えられる。

- ・ 災害危険度の高い地域に対する防災施設の整備は、特に近年の土砂災害における犠牲者の多くが高齢者等の災害時要援護者であることや、避難路・避難場所の被災が発生していることなどを踏まえる必要がある。病院、公民館、学校などの援護者関連施設や代替性のない避難場所の保全対策、避難が困難な集落の対策、防災拠点の保全など、避難が困難な人々の被害をできる限り減少させるという観点から、地域特性を踏ましつつ施設整備の効果が高い箇所を優先的に整備する必要がある。その上で、ハード整備が追いつかない箇所についてはソフト対策を適切に組み合わせた対応を整備する必要がある。
- ・ 近年の社会資本ストックの老朽化に関わる問題のなかで防災関連施設の維持管理についても早急な対処が必要な課題である。河川の増水や津波による洪水・浸水などを防

- ぐ堤防・防波堤、および、地滑りなどの土砂災害を防ぐ道路擁壁は、防災関連施設として国民生活の安全を守る重要なインフラの一つである。しかし我が国に於いてこれらの設備が重点的に整備されたのは主として戦後の高度経済成長期であり、その大部分が老朽化などによる「防災施設の容量低下」および、台風・津波などによる「施設容量を上回る自然災害の発生」により、要求される機能が発揮されない恐れが出てきている。これらの防災施設は、今後数十年の内に老朽化が進み、適切な維持管理・更新が必要となる。加えて前述の通り、近年の気候変動などに伴って、防災施設の崩壊・決壊等によりクライシスが発生する危険性は今後も高まっていくものと考えられる。
- ・ 災害を防ぐ機能が劣化すると国民の生命・財産が危機にさらされ、その影響は人的・物的損失、経済活動の停滞、環境破壊など広範囲に及ぶ。繰り返しになるが、財政難の中、すべての防災関連施設を適切に補修し、施設容量を増加するのは難しい。このため、より大きな災害リスクを防いでいる施設を先に補修・補強するといった適切な優先順位付けが必要である。
 - ・ さらに本編でも触れたように、兵庫県南部地震以降の耐震設計・施工技術の変遷のように、種々の防災施設に関するより合理的な設計手法の開発を推進するとともに、外力に対して合理的で低コストな対策工法の技術開発が必要である。
 - ・ それらを補完する意味合いでも、ソフト面の対応として、国民の防災意識の向上や正しい避難行動の認知・普及、リスク情報に関するコミュニケーション活動の強化、政策広報などによる防災情報を共有するための仕組み作りが必要となろう。

「災害対策技術」にはハード対策からソフト対策まで多岐に及ぶ。本小委員会では主に近年の災害対策事例をもとにその際に用いられた建設技術を中心にまとめた。実際には災害復旧時の緊急を要する場面において新たに用いられる技術も少なくなく、そういった技術が「災害対策技術」としては重要であるとも考えられる。

2008年のアメリカに端を発する世界同時不況の影響により、我が国の公共事業も更なるコスト低減に対する取り組みが必要な状況下ではあるが、災害対策は事前におこなうか事後対応かでその効果の差は歴然としている。

本報告書が、今後の災害対策技術におけるハード面での取り組みに対する一助となれば幸いである。