

7. 地震後における被害構造物の復旧法の調査

我が国の大都市圏が大地震に直撃された場合に大きな被害が発生することは不可避である。事前の対策によって構造物の耐震性を向上させ被害を軽減することは当然必要であるが、建設コストとの関係から限界がある。また、これまでの震災の歴史から明らかなように、現在の我々に知見では震害の全てを予見し対策をとることは不可能である。

そのため、大地震発生後に速やかに被災状況を把握し、効率的に復旧を行って影響を最小限に留めるよう準備しておくことが重要である。阪神・淡路大震災では、予期せぬ状況の下で総合的には速やかな復旧がなされたとの評価があるが、ライフラインや物流網の長期に渡る機能喪失は被災地住民と関連地域の経済活動に多大な困難をもたらした。まして、東京や大阪などの大都市圏が直撃され更に大規模な震災が発生した場合には、混乱が飛躍的に増大し、必要物量の不足に直面して復旧が遅延し、莫大な損失が発生することが懸念される。

本章では、大都市圏に大震災が発生した場合を想定し、迅速で効率的な復旧を実現するために必要な技術の研究開発をソフト面とハード面に分けて検討する。

7. 1 大規模地震被害の早期復旧戦略に関する調査

7.1.1 前提条件および問題の認識

1923年関東地震の再来であるマグニチュード8クラスの地震が発生、南関東地域全体で甚大な災害が発生した場合を想定する。このような巨大地震においては道路、鉄道等のインフラに広範かつ重大な被害が生じることが予想される。地震直後においては救難・救援のための交通をなんとか確保するとともに、インフラ自体の応急復旧ため、さらに都市全体の復旧のために、迅速かつ適切（輸送効率をあげる）に交通網の確保が必要になる。

交通インフラの復旧という観点からこのような状況における問題点を挙げれば以下のようなであろう。

- ・インフラの総量が膨大であり、緊急・応急的な対処も膨大かつ広い範囲に及ぶ（都市規模からいっても阪神・淡路の震災の数倍から十数倍の規模になる可能性がある）

・施設管理者が多く、また被災自治体も1都3県程度と広い範囲に及ぶため、どこでどのような被害が発生しているのかといった基本的な情報を得るのに多大な時間を要することが予想され、初動対応に支障をきたす。また、同じ理由から緊急対応や応急復旧に関する統制が十分にとれない可能性がある。

・結果として、適切でない場所が優先的に復旧されたり、搬入された資材・機材に余剰がでるなど、一刻をあらそう時期においてきわめて非効率な対応が行われることも（神戸においてあったように）考えられる。

以上述べた問題は結局のところ震災時の復旧工事における危機管理の問題であり、救難・救援とならんで極めて重要な国家的課題である。あらかじめこの問題に対して適切な戦略を検討し、それを実現しうる方策の検討、解決を要する科学技術的課題の研究開発を早急に進める必要がある。

インフラの被害に着目した地震発生直後から復旧に至る過程は以下のように3段階に区分されよう。

①震後数日：震災直後の初期動作には、災害救助活動と消火活動を支援するための交通路の緊急確保（いわゆる道路啓開）、被害の拡大を防ぐための緊急補強があり、特に、人命救助や消火活動に必要な交通手段と情報通信の早期復旧体制の確立が望まれる（災害救助及び消火活動は本調査の対象とはしない）。

②震後数週：交通網の早期復旧活動、ライフライン復旧活動などがある。交通手段の確保には、道路（幹線道路）、橋梁、トンネルなどの自動車道路と、鉄道施設並びに港湾施設が特に重要である。さらに、復旧活動を迅速かつ効率的に実施するための災害情報や復旧情報の伝達手段や住民の生活を維持する上で、緊急性が高いライフラインの復旧も同時期に行わなくてはならない。

③震後数月：正常な市民生活と経済活動に復するためのインフラ全般の復旧復興である。この段階はいわゆる本復旧・復興であり、ある程度社会も落ち着いてきた段階であって、基本的には通常の工事としてとらえることができる。しかし、阪神・淡路大震災の事例では、後述するようにこの時期に本復旧工事が集中的に発注されたため、工事の実施に障害が生じた。したがって本調査では、①および②の震災直後の応急復旧から③の本復旧の着手段階に至る期間を検討の対象とすることとする。

7.1.2 検討方針

本検討では、大規模地震時のインフラ復旧戦略の問題を物流の観点からとらえ、「インフラ復旧ロジスティック」システムといったものを研究課題として取り上げる。もう少しかみ砕いたイメージとしては以下のようなになる。『関東地方、特に東京とその周辺で大震災が発生した場合の、主にインフラ復旧に関する物流をどうしたらよいか。インフラそのものがかなり壊れている前提で、生活物資の物流と平行しながら、地方から被災地へどのように運ぶか（方法、ルート）、それをいかに効率よく必要な地点に配送するか。トラック、鉄道、船（海、河）等をどのように組み合わせるか。陸上輸送による常識的な策では困難と考えられ、新たな交通手段の使い分け、たとえば河川敷道路の利用、トラックごと船に載せて河を航行、震災対策用道路新設等が考えられないか。建設資機材の物流の一般的な方法論は使えるか。上記問題を説明ないしは検討できるような手法、理論がないか。これをシステム化して、具体的なイメージとして提案する。』

上で述べたような研究は、阪神・淡路大震災における資機材の物流に関する分析調査を含めこれまでほとんど行われていない。この課題提案は震災復旧を物流というまったく新たな視点から見直し、今後の危機管理の合理化を目指しシステムティックな研究を行おうとするものである。

具体的な「インフラ復旧ロジスティックスシステム」は以下の要素システムから構成される。各要素システムの研究開発および統合化が研究の成果となる。図-7.1.1 にこのシステムのイメージを示す。

① 交通インフラ被害推定システム

災害状況の早期把握、予測。

② 必要物量推定システム

復旧工事の種類と程度に応じた復旧作業量、必要な人的資源、資機材などの予測。

③ 物流推定システム

必要物量推定システムのアウトプットに基づく資機材物流評価を制約付きのネットワーク上で交通配分するシステム。

④ 基本戦略

復旧の優先順位づけと復旧の目標水準（復旧のレベルと期間等）に基づいた戦力、

手段、物流の配分。

⑤ 復旧組織・体制

インフラ管理者、施工者、供給者、物流担当者等関係機関をいかに組織化すべきか、現実的なあるべき姿の想定、提案。

- ・ 緊急工事・復旧工事の発注方式・積算方式
- ・ 緊急工事・復旧工事における例外処置の法体系、諸規制、安全衛生管理等

⑥ ロジスティックスに必要なインフラ

インフラ復旧ロジスティックスに必要な（あるいはより有効ならしめる）インフラの提案。

- ・ 震災時資機材流通拠点（内陸および港湾）
- ・ 河川交通施設（河川交通路の整備と荷揚げ岸壁等）
- ・ 河川敷道路（既に整備済み、これの有効活用）
- ・ 情報システムおよび情報拠点

⑦ 復旧最適化支援システム

主に地震が発生した場合の支援システムとしての通信・情報システム。この通信・情報システムとしては防災専用の人工衛星を想定する。この防災用衛星によるGPSの運用、さらにこれを利用した地理情報システム(GIS)。このGISは様々な機関、人の関与を前提としてインターネット（と一般のブラウザ）の活用を前提とする。このシステムには戦略検討のための被害推定・物流推定システムを含む。

⑧ 上記支援システムを用いた図上演習による効果確認

復旧最適化支援システムはコンピュータシステムであり、各種のシミュレーションを行うことが出来る。これを用いて様々な状況下における対応方法、その有効性等を検討、確認する。

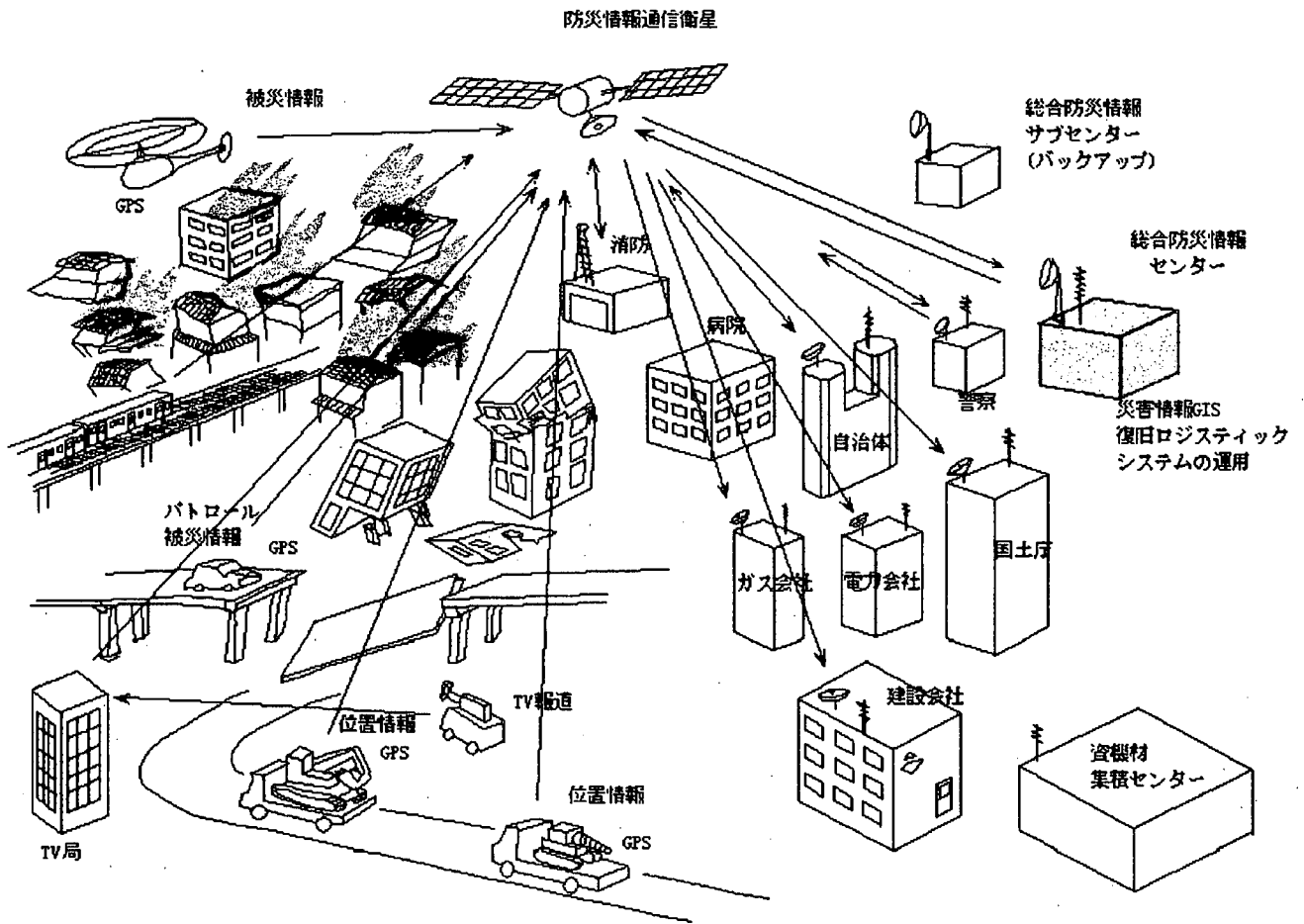


図-7.1.1 インフラ復旧ロジスティックスのイメージ

7.1.3 現状分析

(1) 阪神・淡路大震災における交通状況とインフラ復旧に関する実態調査

阪神・淡路大震災直後の応急復旧工事においては、多数の資機材の需要とその運搬に関する課題が顕在化したことは周知のとおりである。交通状況とインフラ復旧に関する実態に関する一資料として、大震災直後の2ヶ月間に日本建設業団体連合会57社が要請に応じて提供した資材、車両、機器の内訳を表-7.1.1に示す¹⁾。建設機械等延べ12.4万台を提供した。これには自主的自律的に集められた資機材は含まれておらず、また、連合会会員以外の地元業者、専業者、施設管理者関連会社などの未集計資機材量も膨大であったと推定されることから、これらの資機材量は、発生物流の一部を示すものである。

表-7.1.1 震災後2ヶ月間に提供した物品¹⁾

【主要機械】		【主要仮設材】			【主要材料】		
名称	延べ台数	名称	単位		名称	単位	
ダンプトラック	35,888	バリケード	枚	31,875	ビニールシート	枚	195,454
トラック	6,295	セーフティコーン	本	7,795	シート用ひも	m	202,370
ライトバン	7,375	連絡用バイク	台	25,001	トラロープ	m	67,050
乗用車	9,441	自転車	台	5,481	土嚢	袋	176,030
クレーン	7,289	発電機	台	1,753	砕石	・	32,410
クレーン付きトラック	5,614	コンプレッサー	台	7	アスファルト合材	t	2,621
マイクパス	3,111	切断機(チェーン等)	台	73	木材	・	17,925
高所作業車	3,478	ガス切断機	個	685	合板	枚	65,435
トレーラ	2,653	水槽	個	1,498			
ブルドーザ等	2,305	水中ポンプ	台	722			
掘削機械	11,418	ジャッキ・チェーンブロック	個	1,308			
積込み機械	1,418	仮設建物	棟	1,317			
ブレイカ	5,262	仮設トイレ	棟	3,677			
コンクリート破壊機	1,158	消火器	個	50			
コンクリートポンプ車	257						
モータグレーダ	236						
舗装機械	399						
照明車	3,299						
給水車	3,000						
散水車	1,942						
診断・計測車	568						
船舶	2,777						
フェリーボート	197						

さらに、1995年1月から2年間に渡って発注された阪神・淡路大震災の復旧工事に関するアンケート²⁾（回答27社、回答現場数166件、土木学会阪神・淡路大震災対応技術特別研究委員会実施）における資機材の確保、運搬車両の確保と運搬経路、資材置き場、職員や作業員の動員状況、廃棄物処分等に関する回答から震災直後の物流の実態を分析した。集計は、復旧工事の受注時期ごとに、それぞれの項目が問題なく対応できた比率を集計したもので、本復旧工事に至る前の資機材の物流の動向を知ることを目的とした。

集計結果を図-7.1.2～7.1.7に示す。工事受注時期を震災直後（1月17日～月末：49件）、2月（12件）、3月（18件）及び全期間（166件、震災直後より数カ月経ってから発注された工事の方が規模は大きいので、件数は必ずしも工事総量を表していない）に区分して、復旧工事におけるロジスティックの実態を把握した。その結果から、以下の特徴が読み取れる。

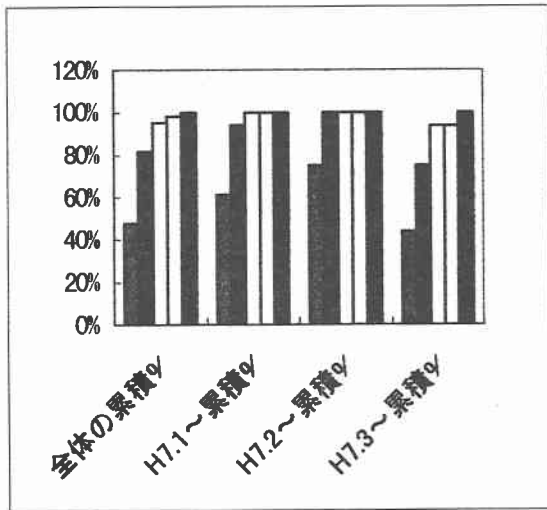


図-7.1.2 職員動員

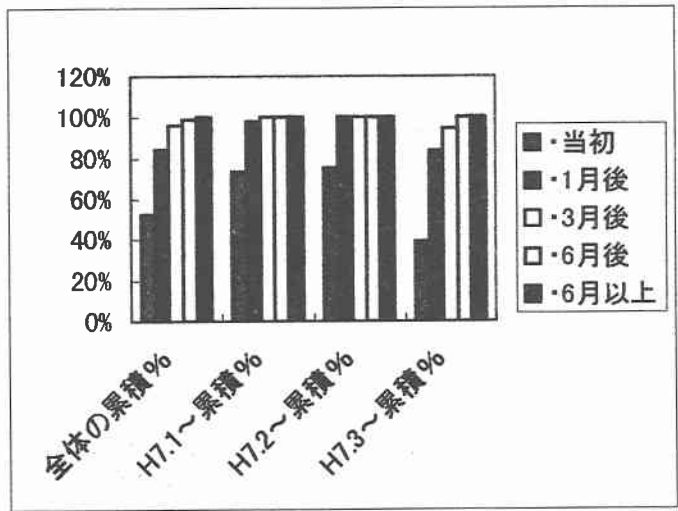


図-7.1.3 作業員動員

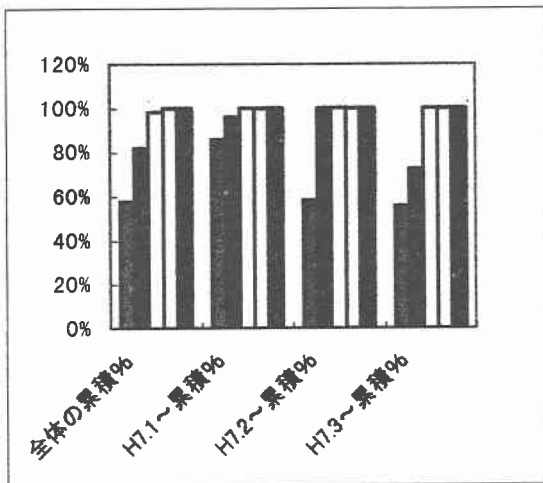


図-7.1.4 資材確保

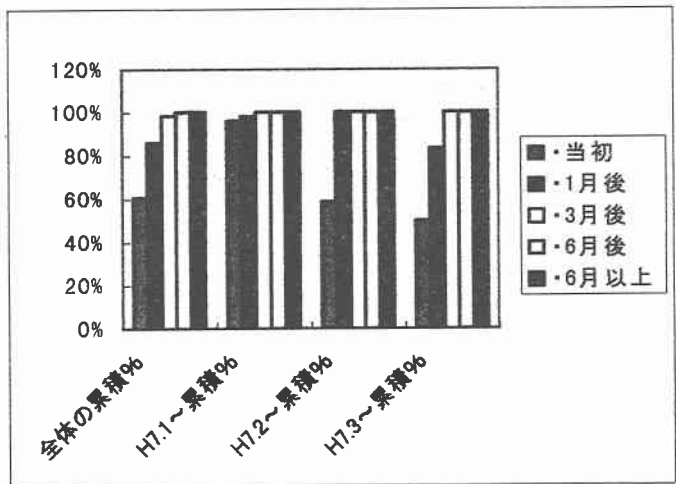


図-7.1.5 機材確保

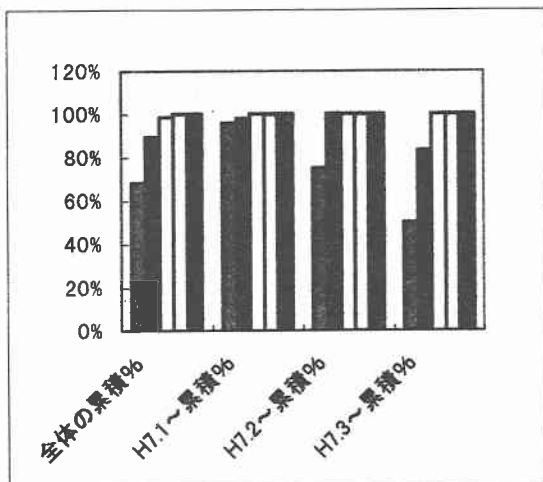


図-7.1.6 運搬車両確保

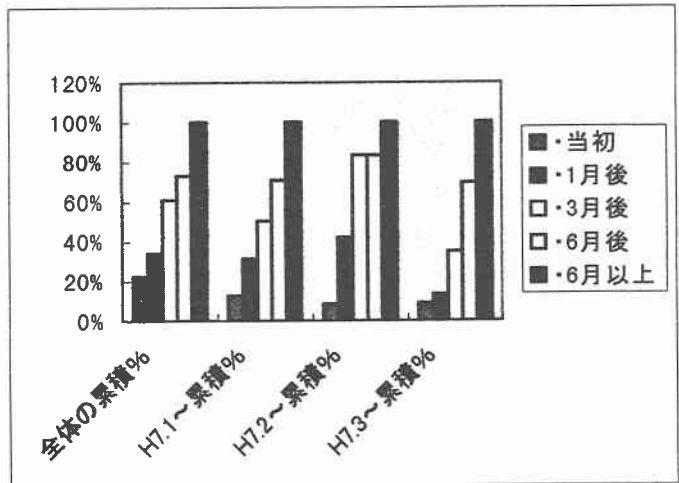


図-7.1.7 運搬経路確保

- ・主要資機材の確保は、震災直後の2週間は、当初から可能であったものの（86%）、発注時期が2月、3月となると当初からの調達が難しくなっている。
- ・資機材の運搬に必要な車両の確保は、資機材の確保と同様に、発注時期が遅れる程、逼迫化する。一方、運搬車両がスムーズに走行できる状態は発注時期に関わらず、6ヶ月もしくは6ヶ月以上経過した後となる。
- ・現場での資材置き場は、発注時期に関わらず、多少の難があった場合も含めて当初から80%以上確保できている。一方、当初から作業場所への資材の搬入が問題なくできた割合は20%台と低い。
- ・職員および作業員については、震災直後から2月の間にはほぼ動員できているが、3月以降には動員の難しさが顕在化してくる。
- ・解体・撤去に伴う廃棄物の処分場は、60%台が当初から確保できたが、その運搬を円滑に行うことができた割合は、震災直後の2週間では30%台、その後60%台に回復している。

以上の分析結果に見られるとおり、震災直後の応急復旧の時点では、主要資機材や人員の確保は、比較的容易であったものの、資機材や廃棄物の運搬が円滑に行えるまでには、6ヶ月程度の長期間を要していたことが分かる。

特に、震災直後の資機材の確保が難しかったと言う調査結果もあるが、その理由は、資材や機材の調達は可能であったものの、これらを輸送する道路が渋滞し、現地で必要とする資機材を迅速に確保できなかったことである。たとえば建設機械の供給については当初供給不足も想定されたが、全国の建設機械の保有台数は120万台にのぼる。震災1週間後に派遣された台数は、4,000台（0.3%）であり、大半は兵庫県、大阪府を中心とした近県から調達できた。

応急復旧工事では、被災調査や復旧方法の検討、二次災害の防止、交通障害の撤去などが実施され、必要な資機材や人材の確保が小規模であったと推定される。復旧工事が本格化してくると必要量が大规模になりそれらの確保が難しくなると考えられる。

しかし、東京を中心に南関東全域が甚大な震災を被った場合を想定すると、1日も速い都市機能の回復が求められる大都市圏においては、応急復旧工事を迅速に実施することが求められる。そのためには、被害の全容を短期間に把握できることが不可欠であり、大規

模な物流を早期に立ち上げるため必要な資機材量の早期把握、在庫拠点と現場との運搬経路の確保および効率的な分配システムの完備が前提条件となろう。

都の地域防災計画では、震度5強以上の地震が起きた場合、環状7号線域内は全面通行禁止区域に入るが、約3割の住民が震災後も車を利用する意向という調査結果もある³⁾。また、資機材の運搬道路自体の被災以外に、被災直後の路上駐車（事故車両、放置車両）や被災点検による交通渋滞、家屋の倒壊や火災等による交通網の封鎖などが速やかな復旧活動の障害となることが予想される。通行可能な道路、交通規制を受けている道路、閉鎖された道路など刻々と変容する道路情報を判断し、これと同時に、一般車両と復旧工事用車両、さらに緊急車両などの交通配分を可能とする道路情報システムが望まれる。

(2) 阪神・淡路大震災における復旧資機材の調達と流通に関する予備的アンケート調査

阪神・淡路大震災に関する被災調査結果に関しては、既に多くの調査結果が報告されており、被災構造物の被災内容についてはデータベース化が進んでいる。しかし、インフラ復旧ロジスティクス構築の観点からすると復旧方法ならびに復旧に要した期間、人員、資機材についての情報が不足している。被害想定に基づき、必要な復旧資材・機材量を推定するためには、被害に対して、どのような、およびどのくらいの数量の資材・機材が必要かといった、いわゆる復旧原单位的なものが必要となるが、実績に基づくこのような資料はほとんど公表されていないのが実情である。

そこで、輸送施設としての機能が高速道路および新幹線の応急復旧工事において使用された資機材量に関する調査を行った。

調査は章末にある7章付表-1に示す9現場について行った。7章付表-2に示す調査用紙を用意し、ワーキンググループのメンバーが分担して該当現場を担当した現場責任者をフォローし、記載をお願いした。調査結果を取りまとめたものが、7章付表-2~10である。被災の程度は、倒壊・撤去、半壊・補強、補修程度の3段階に区分し、震災直後から3月末までの応急復旧に要した機械、仮設材、材料、人員、廃棄物の種類と量を実績に基づいて集計した。この調査結果を7章付表-1の下欄に示す方針で、1kmあたりの復旧原単位にまとめたものが7章付表-11~19である。

復旧原単位調査結果の代表例として、鋼道路橋とRC道路橋の倒壊・撤去（大被害）、鉄道橋の倒壊・撤去・再構築（大被害）と半壊・補強（中被害）を表-7.1.2~7.1.5に示す。この調査結果を後述の「(4)7」復旧に必要な資機材数量の推定」に適用した。

表-7.1.4 大被害を受けた鉄道橋（倒壊・撤去・再構築）の復旧資・撤去・再構築の復旧資・機材原単位

構造種別 鉄道
被災の程度 1.倒壊・撤去
復旧期間 75日間
復旧単位 1km

【復旧工事内容】 橋梁の撤去と桁の再利用（全区間）

仮囲い
仮支柱 PC桁受（ナベント（H400）5700t
足場13300m³
掘削・埋め戻し18000m³
ラーメン橋台撤去新設
落橋防止工
PC桁再利用

【主要機械】

名称	日台数	延べ台数	名称	単位	数量
クワッドトラック	380	5,700	バックホウ	枚	9,500
トラック	60	4,300	セフファイブ	本	3,800
フォークリフト			防護ネット	枚	3,600
乗用車	75	5,700	運送用バイク	台	60
クレーン	60	4,000	自転車	台	60
クレーン付きトラック	40	2,850	発電機	台	80
7tクワッド	115	7,980	分電盤	個	190
高所作業車	40	2,660	コンプレッサ	台	120
トラクタ			投光器	個	950
ブルドーザ等	40	380	ウインチ	個	40
掘削機	75	1,520	タンバ	台	40
積込み機	75	1,520	切断機（チェーンソー等）	台	20
せん孔機	115	3,420	ガス切断機	個	120
コンクリート破壊機	115	2,280	水槽	個	40
コンクリートポンプ車	20	190	水中ポンプ	台	190
ローカレータ			ジャッキ・チェーンブロック	個	570
路盤機			鋼矢板	t	
締固め機	40	190	H型鋼	t	5,700
舗装機	20	100	鋼製山留め材	t	380
照明車	300	1,520	覆工板	t	950
給水車	20	1,430	鋼板	t	
散水車			枠組足場	m ³	13,300
診断・計測車			鋼管パイプ	本	19,000
船舶			パイプサポート	本	3,800
フェリバーン			メタルフォーム	m ³	
			仮設建物	棟	80
			仮設トイレ	棟	100
			消火器	個	570
			保安灯	個	1,900
			立て看板	枚	950

【主要仮設材】

名称	単位	数量	名称	単位	数量
ビニールシート	枚	1,900	断面積材	m ³	13,300
シート用杭	m	3,800	土砂	m ³	
トラロープ	m	9,500	アスファルト合材	t	
土袋	袋	95,000	木材	m ³	
砕石	m ³	13,300	合板	枚	15,200
土砂	m ³		コンクリート	m ³	13,300
アスファルト合材	t		モルタル	m ³	
木材	m ³		セメント	袋	
合板	枚	15,200	鉄筋	t	2,850
コンクリート	m ³	13,300	鋼板	t	
モルタル	m ³		ボルト類	本	
セメント	袋		アンカーボルト類	本	
鉄筋	t	2,850	断面修復材	m ³	
鋼板	t		注入材（エポキシ樹脂）	kg	
ボルト類	本		注入材（モルタル等）	m ³	20
アンカーボルト類	本				
断面修復材	m ³				
注入材（エポキシ樹脂）	kg				
注入材（モルタル等）	m ³	20			

【廃棄物の名称と数量】

名称	廃棄物量	廃棄先	運搬方法	運搬距離
コンクリートガラ	38000t			

【復旧工事に要する人員】

区分	日平均就業者数	日最大就業者数	延べ人員
事業者	95	95	6,850
現場職員	150	190	11,400
現場作業員	1,710	3,800	190,100
資器材関連	290	380	25,000
輸送関連	380	480	32,300
保安要員	380	570	34,200

表-7.1.5 中被害を受けた鉄道橋(半壊・補強)の復旧資・機材原単位

構造種別 鉄道
被災の程度 3.補修・補強(全区間)
復旧期間 73日間
復旧単位 1km

【復旧工事内容】 橋脚全数の補強と一部撤去・新設

全区間1125脚柱のうち
橋脚注入+鋼板巻立て補強+根巻きコンクリート900本
橋脚225本の撤去と新設

【主要機械】			【主要仮設材】			【主要材料】		
名称	日台数	延べ台数	名称	単位	数量	名称	単位	数量
クワトロック	238	2,380	パレット	枚	2,380	ビニールシート	枚	
トラック	71	1,430	セウチゴーン	本	4,750	シート用ひも	m	
ライバル			防護ネット	枚	1,190	トラロープ	m	23,750
兼用車			運給用バイク	台	120	土袋	袋	23,800
クレーン	71	1,690	自転車	台	240	砕石	m ³	2,380
クレーン付きトラック	48	950	発電機	台	24	土砂	m ³	2,850
マイクパス	48	1,900	分電盤	個	24	アスファルト合材	t	
高所作業車			コンプレッサ	台	48	木材	m ³	480
トラロー	48	140	投光器	個	2,380	合板	枚	4,750
アルド・サ等	48	480	ウインチ	個		コンクリート	m ³	7,130
掘削機械	95	950	タンバ	台	120	モルタル	m ³	480
積込み機械			切断機(チェーンソー等)	台	120	セメント	袋	
せん孔機械	143	2,850	ガス切断機	個	240	鉄筋	t	950
コンクリート破壊機	48	710	水槽	個	240	網板	t	475
コンクリートポンプ車	24	240	水中ポンプ	台	360	ボルト類	本	
モーカレック			ジャッキ・チェーンブロック	個	120	アンカーボルト類	本	23,750
踏盤機械			鋼床板	t	1,900	断面修復材	m ³	120
橋脚の機械			H型鋼	t	950	注入材(エポキシ樹脂)	kg	72
補修機械			鋼製山留め材	t	240	注入材(モルタル等)	m ³	
照明車			覆工板	t				
給水車			鋼板	t	480			
散水車			枠組足場	m ³	11,900			
診断・計測車			鋼管パイプ	本	11,900			
船舶			パイプサポート	本	2,380			
フェールバーン			メタルフォーム	m ³				
			仮設建物	棟	95			
			仮設トイレ	棟	48			
			消火器	個	480			
			保安灯	個	480			
			立て看板	枚	710			

【復旧工事に要す人員】

区分	日平均就業者数	日最大就業者数	延べ人員
事業者	71	119	5,060
現場職員	190	238	13,490
現場作業員	475	1,188	33,700
資機材関連	119	238	8,430
輸送関連	119	238	8,430
保安要員	95	238	6,745

【廃棄物の名称と数量】

名称	廃棄物量	廃棄先	運搬方法	運搬距離
コンクリートガラ	710m ³			
アスファルトガラ	240m ³			
土砂	12000m ³			

(3) 既往の被害想定レビュー

阪神・淡路大震災の以前から、安心して暮らせる社会を実現するために、各自治体では、大震災を想定した災害予測を行ってきた。しかしこれらの被害想定は国土庁による南関東地域の地震被害想定（古い）を除けば、基本的には都県単位であり、想定条件、手法の整合が取られていない。また、阪神・淡路大震災以降いくつかの自治体で被害想定がなされているが、この震災のデータが十分に咀嚼されているとは言い難い。研究レベルにおいてもこの被害をベースに被害想定手法の提案まで行っているものはほとんどないのが現状である。また、被害に加えて復旧等に必要な資機材の数量について言及したものはまったくない。

地震被害想定においては、想定対象が膨大なことから、特定の構造物（ある橋など）を対象とした詳細な解析検討に基づく耐震性能の照査、被害の想定が行われることはまずない。一般的には、過去の地震被害事例に基づき、経験的な（ある程度の統計処理を行った）被害確立マトリクス（Damage Probability Matrix）あるいは被害想定曲線（Fragility Curve）により簡易に被害を推定することが行われる。

阪神・淡路大震災以前の道路の地震被害推定の代表例として神奈川県地震被害想定手法を紹介する⁴⁾。この方法は被害確率マトリクスの形で表されている。構造物の被害想定手法は、橋、盛土、トンネル等の構造タイプ毎に設定されるが、以下では簡単のために橋を例にとることにする。

まず、個々の構造物の概略の耐震性を評価する。橋の耐震性は、設計基準（年度）、構造形式、平面線形、構造材料、落橋防止構造の有無、橋脚高さ、地盤種別、液状化の発生可能性、基礎の種別、現状における材料の劣化の有無等の項目について点数を積み上げる。この結果からある基準で橋の耐震性をA、B、Cの3段階に区分する（Aは耐震性低い、Cは高い、Bは中間）。次に、上記の耐震性を持った橋が震度階V、VI、VII等を受けた場合の被害確率を求める。表-7.1.6に被害確率マトリクスを示す。ここでは震災後の橋の機能を“通行制限”が行われる状態と“不通”となる状態の2つに区分している。ある橋の被害確率（通行制限、不通の各々の状態）はその橋の持つ耐震性（A、B、C）とその地点で想定された地震動強さ（震度階）により被害確率マトリクスから定まる。

表-7.1.6 橋梁の被害確率マトリクスの例（神奈川県地震被害想定⁴⁾）

被害 震度階	通行制限			不通		
	A	B	C	A	B	C
V (弱)	0.28	0.16	0.02	0.00	0.00	0.00
V (強)	0.31	0.19	0.02	0.03	0.01	0.00
VI (弱)	0.31	0.24	0.02	0.14	0.03	0.00
VI (強)	0.20	0.28	0.03	0.37	0.08	0.01
VII	0.11	0.34	0.08	0.63	0.16	0.05

A:耐震性低い、B:中間、C:耐震性高い

表-7.1.6の各確率は、新潟地震（1964年）、1978年宮城県沖地震における被害、無被害の橋梁467橋の耐震性、地震動強さ、被害状況に基づき設定されたものである。ちなみに、表-7.1.6の例を見ると、たとえば耐震性の低いランクAの橋梁が不通になる確率がわかり、震度V弱では被害確率は0.0震度V強では0.03、以降、0.14、0.37、0.63と被害確率が震度階に応じてあがっていくことがわかる。震度階を横軸にとり被害確率をプロットすると右上がりの曲線となり、これがすなわち被害推定曲線（Fragility Curve）である。

1995年兵庫県南部地震以降、自治体の被害想定が活発に行われ（見直し含む）、この地震の被害事例をベースとした被害推定手法が提案されている。たとえば東京都⁵⁾は高速道路、鉄道について震度階毎の被害件数を調査し、延長で除すことにより、被害率（箇所/km）を求め、これを東京に適用している。

高田他⁶⁾は兵庫県南部地震の影響を受けた高速道路高架橋の地理情報システムによるデータベースを作成し、これに基づきRC単柱橋脚の被害確率マトリクスを示した。いくつかの橋脚断面形状、破壊のタイプについてマトリクスを与えているが、表-7.1.7に円形で鉄筋の段落としかがある場合の被害確率マトリクスを示す。高田等はこの他に矩形断面の橋脚についても被害確率マトリクスを与えている。

兵庫県南部地震以降、自治体等においてはこの地震の経験を取り込んだ被害推定を行っているが、被害データが十分に開示されていないこともあって、道路や鉄道の被害推定手法は、その精度や実用性について十分なものとなっていないのが現状である。

表-7.1.7 RC単柱橋脚（鉄筋段落としあり）の被害確率マトリクス⁶⁾

(a) 河成平野

橋脚被災度	気象庁震度階			
	5+	6-	6+	7
As	-	0.33	0.29	0.44
A	-	0.33	0.25	0.33
B	-	0.0	0.14	0.0
C	-	0.0	0.21	0.11
D	-	0.33	0.11	0.11

(a) 河成平野以外

橋脚被災度	気象庁震度階			
	5+	6-	6+	7
As	0.0	0.0	0.0	0.29
A	0.0	0.14	0.67	0.18
B	0.0	0.14	0.11	0.18
C	0.0	0.57	0.22	0.35
D	1.0	0.14	0.0	0.0

橋脚被災度

As:倒壊あるいは損傷変形が顕著

A:亀裂、座屈、鉄筋の破断等の損傷、または変形大

B:部分的な鋼材の座屈・部材の変形、鉄筋の一部破断・はらみだし及び部分的なかぶりコンクリートの剥離・亀裂

C:局部的かつ軽微な鋼材の座屈・変形、ひび割れや局部的なコンクリートの剥離

D:損傷なし、あってもきわめて軽微（耐荷力に影響なし）。

(4) 南関東地域を対象とした被害想定と復旧資機材数量推定のフィージビリティ

首都圏広域地震（1923年関東地震の再来を想定）を対象に耐震設計WGから提供される地震動の強度分布を元に、インフラ施設の被害想定と復旧等に必要な資機材数量推定のフィージビリティを確かめるために、また、その結果からロジスティックスの対象とすべき復旧戦略の規模と対象を検討するために、概略の被害想定と応急復旧資機材数量推定を行った。対象とするインフラ施設をここでは推定の基礎データが入手しやすくかつ災害復旧ロジスティックスの展開に直接かかわる高速道路の橋梁と幹線鉄道の橋梁に絞った。

1) 被害想定・復旧資機材数量推定の対象

南関東地域の高速道路の高架橋部分、幹線鉄道（新幹線含む）の高架橋部分とする。

2) 被害想定的前提条件

1995年兵庫県南部地震以降、高速道路あるいは鉄道の高架橋のかなりの部分は橋脚補強、落橋防止装置の強化等の耐震補強がなされた。しかしながら、このような耐震補強がなされた高架橋の地震被害を推定する方法は現在のところないので、ここでは耐震補強がなされていないという仮定で被害を推定することとする。したがって、ここで推定される被害はまったく現実を無視した、あくまでもフィージビリティスタディとしてのものであることに注意されたい。

3) 推定に用いるデータベース

(a) 地盤情報

首都圏の自治体では国土数値情報⁷⁾の標準メッシュ割り(0.5×0.5km)に基づいた地震被害予測調査が行われており、その調査に用いた地盤データ(代表的ボーリング)が報告書として公開されている。今回の被害想定では、各メッシュごとの震度を求めるため、この地盤データを1kmに簡略化して用いた。

(b) 対象とした地震動分布

首都圏広域地震として1923年の関東地震の再来を想定し、耐震設計WGが推定した地震動の強度分布を用いる。

・震源

震源は、1923年関東地震の再来を想定した。図-7.1.8に、想定した関東地震の断層面の位置と解析対象とした120km×120kmの地域の位置関係を示す。表-7.1.8には、1923年関東地震の遠方での変位観測記録のインバージョンより定められた値を基に想定した断層パラメータの一覧を示す。気象庁マグニチュードは7.9である。

解析対象地域内を、1km×1kmメッシュに分割し、陸域の総計9944個のメッシュについて地表面地震動を算定した。

・計算方法

佐藤等の提案した手法により地表面地震動の算定を行った⁸⁾。すなわち、周波数型統計的グリーン関数法により震源断層の広がりや震源破壊メカニズムを考慮して地震基盤

($V_s=3.0\text{km/s}$)地震動を算定した。地震基盤から地表面までの堆積層による地震動増幅特性は、1次元重複反射解析法により評価した。堆積層は、深層地盤と浅層地盤の2種類を考慮した。前者は、関東における8測線の弾性波探査による速度構造を空間補間して求めたもので、地震基盤以浅の層をそれぞれ浅いほうからA層($V_s=0.68\text{km/s}$)、B層($V_s=1.50\text{km/s}$)の2層系とし線形弾性体としてモデル化した。図-7.1.9に地震基盤面⁹⁾ならびにA層とB層の深度コンターを示す。

後者は、自治体のボーリング情報に基づく地盤で、深層地盤の上に置き、土質に応じて地盤の非線形増幅特性を考慮した。

・各メッシュごとの震度

佐藤等の提案した手法では、地表面地震動の物理指標として応答スペクトル、最大地動などが直接算定できる。ここでは、9944個の全メッシュについて地表面地震動の(1)5%減衰絶対加速度応答スペクトル、(2)20%減衰相対速度応答スペクトル、(3)最大加速度、(4)最大速度、(5)S I値を算定した。

気象庁震度は、童等の変換式¹⁰⁾を用いて最大加速度とS I値により評価した。図-7.1.10(a)-(d)には、対象地域内の地表面における最大加速度、最大速度、S I値と気象庁震度の分布を示す。

(c) 橋梁（高架部を含む）のデータベース

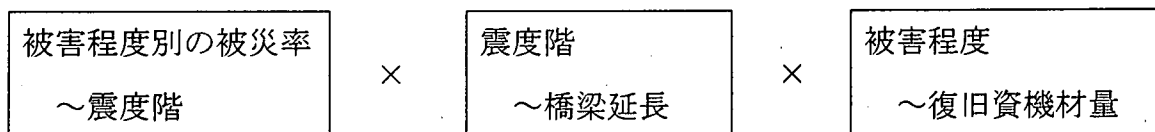
道路橋・鉄道橋（高架部を含む）のデータベースとして、国土数値情報⁷⁾を用いる。このデータベースから、道路関係 [ks-710.1~ks-720] と鉄道関係のデータ [ks-721.2~ks-723.2] の橋梁について出力した。道路関係については橋梁部のみを対象に出力したが、鉄道関係については、路線のうち橋梁部のみを他の地図等の資料で調査した。

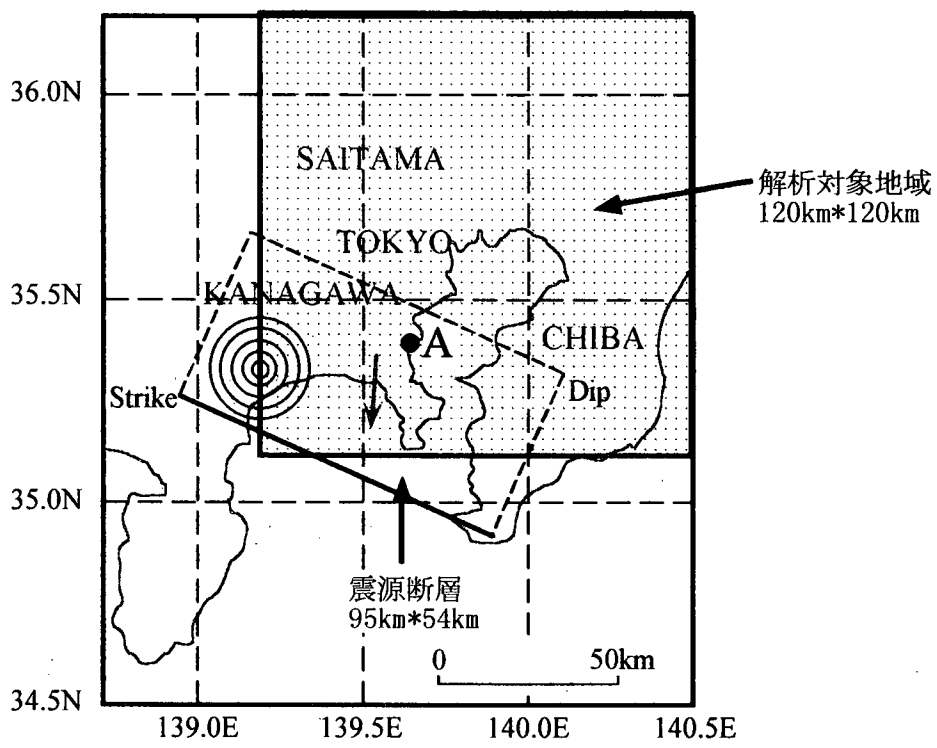
(d) 応急復旧資機材量のデータベース

(2) で述べた予備的アンケート調査結果を活用する。

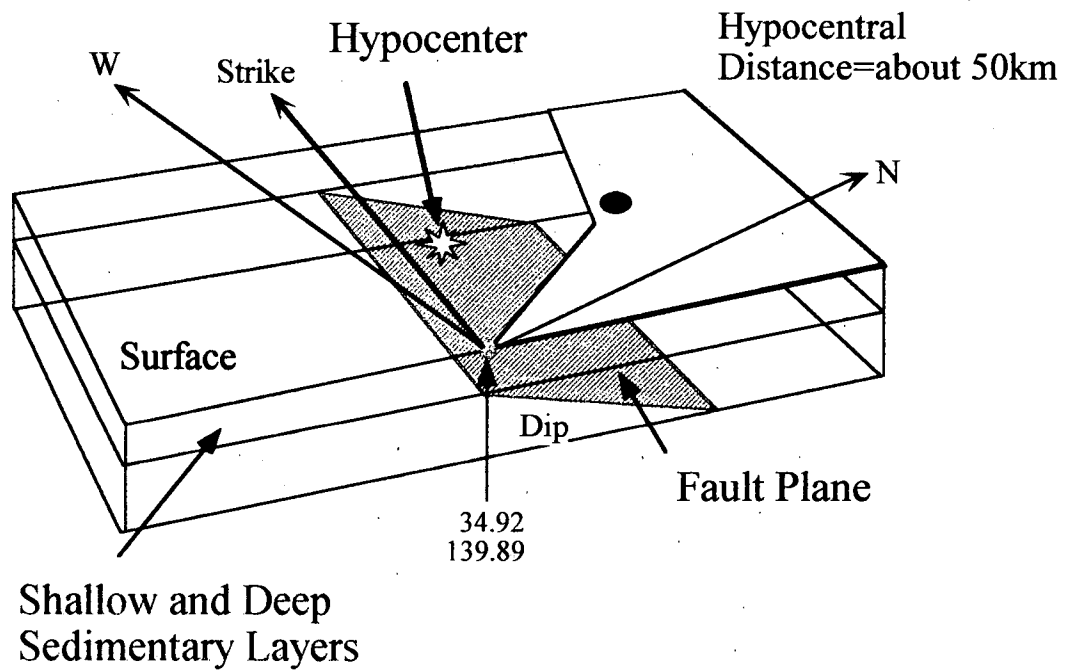
4) 推定手法

応急復旧資機材量を次のマトリックスを掛け合わせることで求める。





(a) 震源断層と解析対象地域の位置



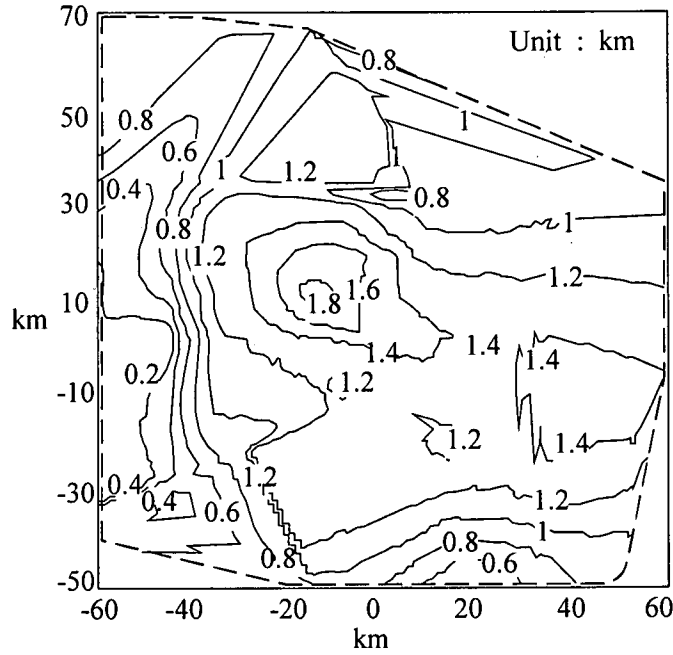
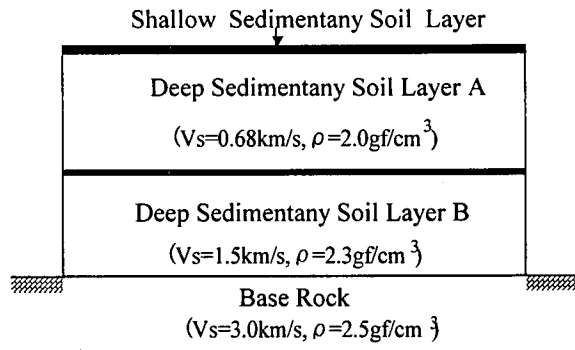
(b) 震源断層の鳥瞰図

図-7.1.8 震源断層と解析対象地域の位置関係

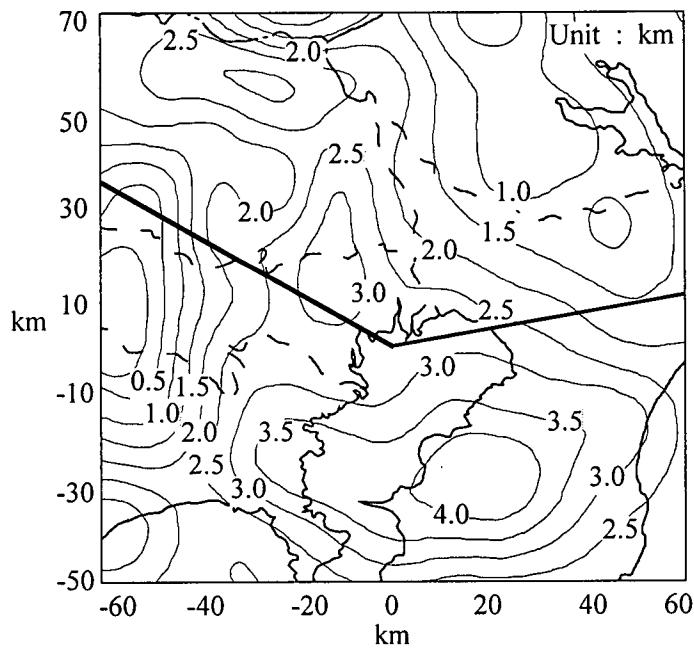
表-7.1.8 想定関東地震の断層パラメーター

(1923Kanto Earthquake Mj7.9)

Parameters				Value			Refernce
Middle Point on Fault Line	Rat.,Long.(degree)			35.08,139.40			
Location of Site A	Rat.,Long.(degree)			35.4912 139.6390			Hypocentral dist.= about 50km
Fault Length	L(km)			95			Matsuura(1980)
Fault Width	W(km)			54			Matsuura(1980)
Seismic Moment	M ₀ (dyne · cm)			8.4×10^{27}			Matsuura(1980)
JMA Magnitude	M _j			7.9			Matsuura(1980)
Dislocation	D(m)			10.75			Kanamori(1975)
Rise Time	τ (sec)			8.065			Geller(1976)
Stress Drop	$\Delta \sigma$ (bar)			100			Satoh(1989)
Strike	θ (degree)			294			zero point is South-East
Dip	δ (degree)			25			Upper is North-East
Rake	λ (degree)			110			D.J.Wald(1995)
Small Eq. Number	L dir.	W dir.	D dir.	5	5	5	Sato(1997)
Location of Hypocenter	Rat.,Long.(degree)			35.35 139.15			Radial and Bilateral Rupture
Rupture Velocity	V _r (km/s)			2.7			V _r =0.9 × V _s
S Wave Velocity	V _s (km/s)			3.0			$\rho = 2.5 \text{gf/cm}^3$ G=2.25 × 10^{11}dyne/cm^2
Frequency Range	f(Hz)			0.2~10.0			
Radiation Pattern	Constant			Circular			0.4
Corner Freq of Small Eq.				Omega Square			Geller(1976)



(a) A層とB層の境界面の深度コンター



(b)地震基盤の深度コンター(瀨瀬・東1992)

図-7.1.9 深層地盤構造のモデル化

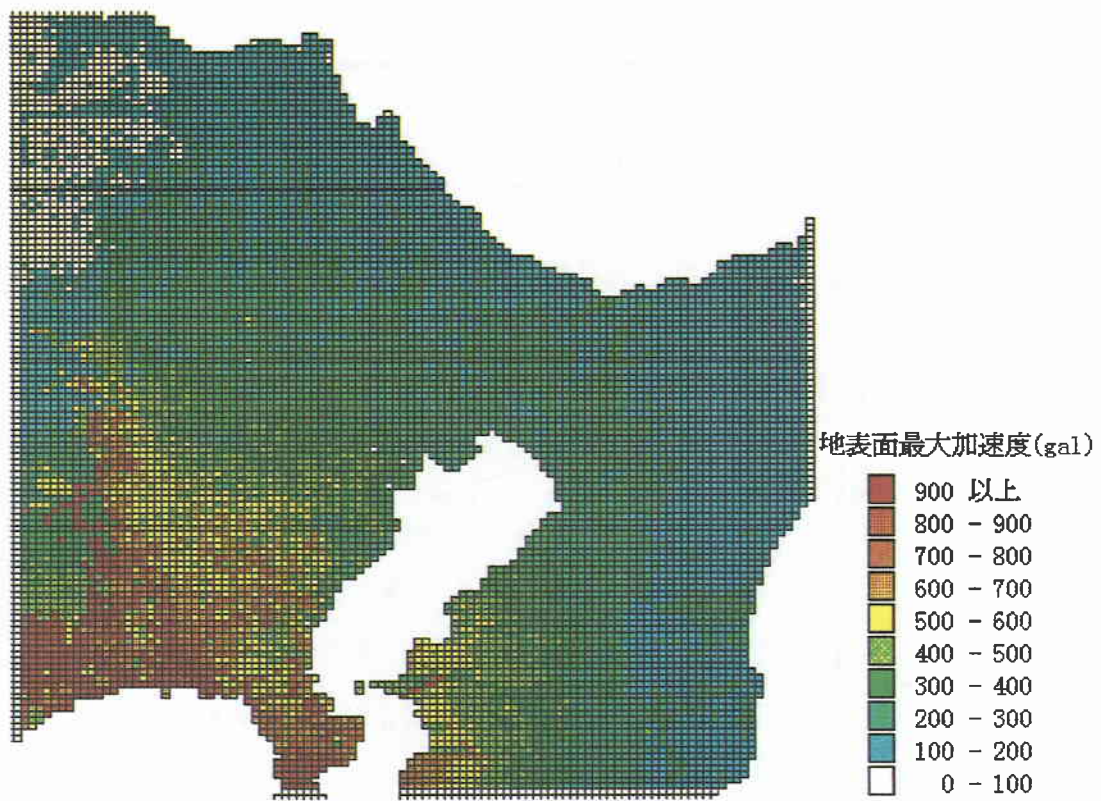


図-7.1.10(a) 地表面における最大加速度分布

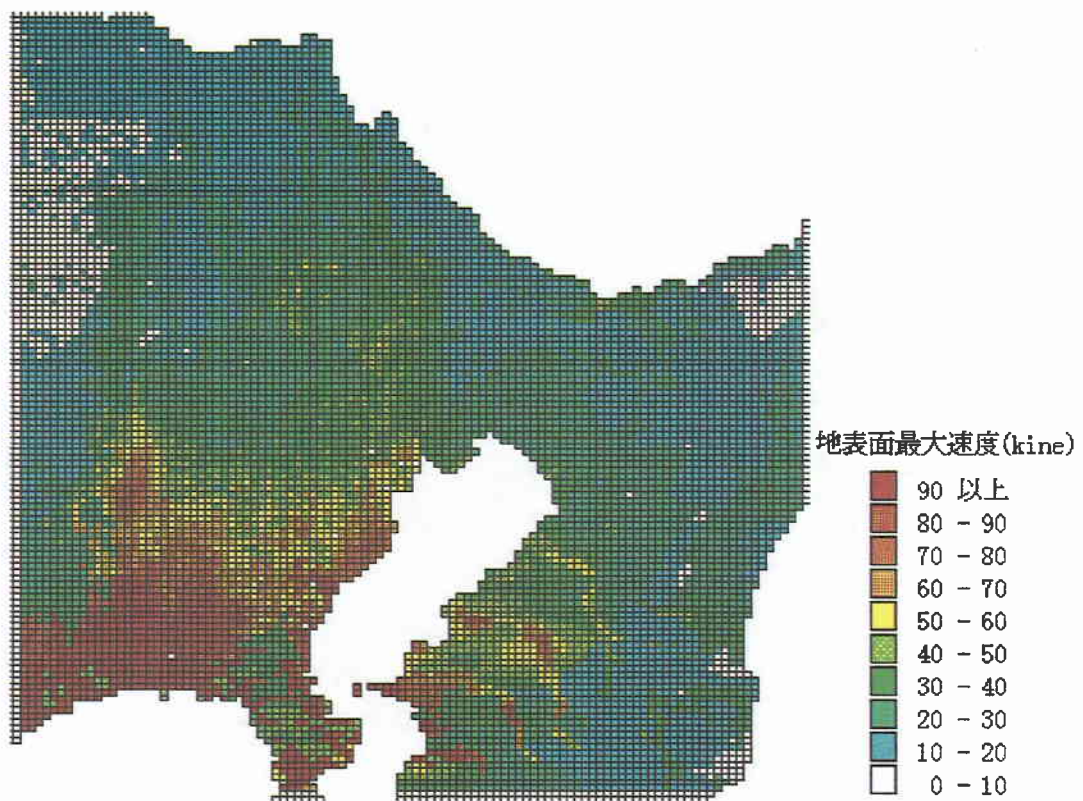


図-7.1.10(b) 地表面における最大速度分布

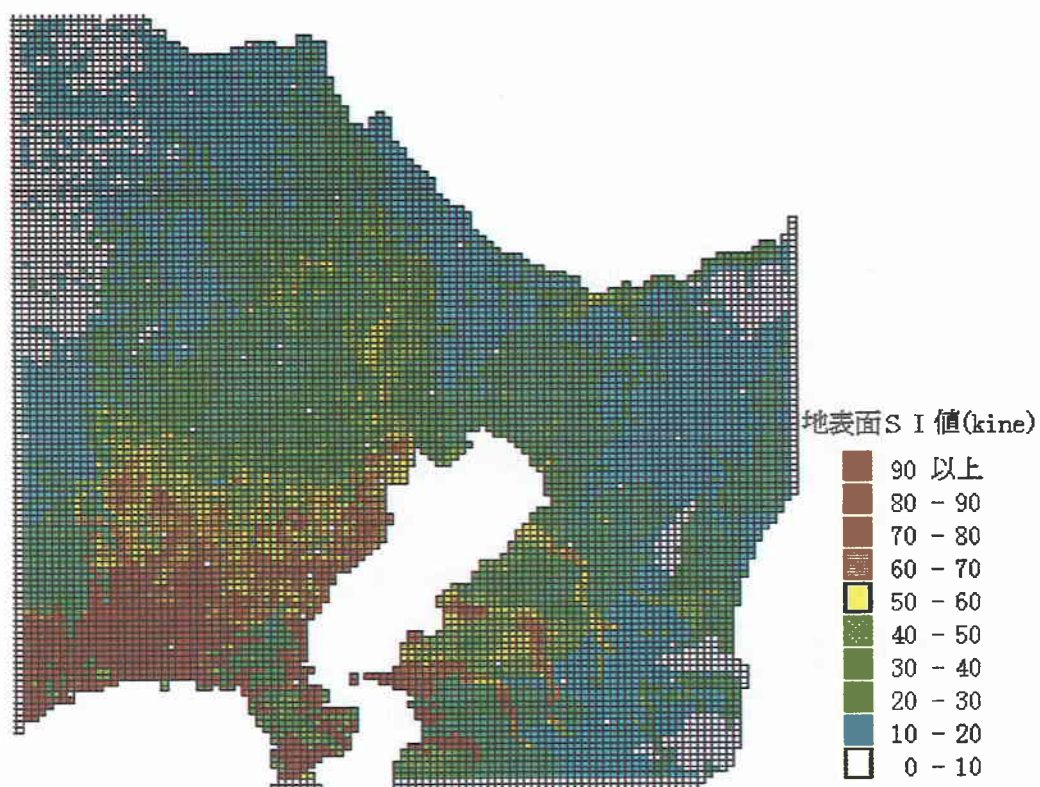


図-7.1.10(c) 地表面におけるS I 値分布

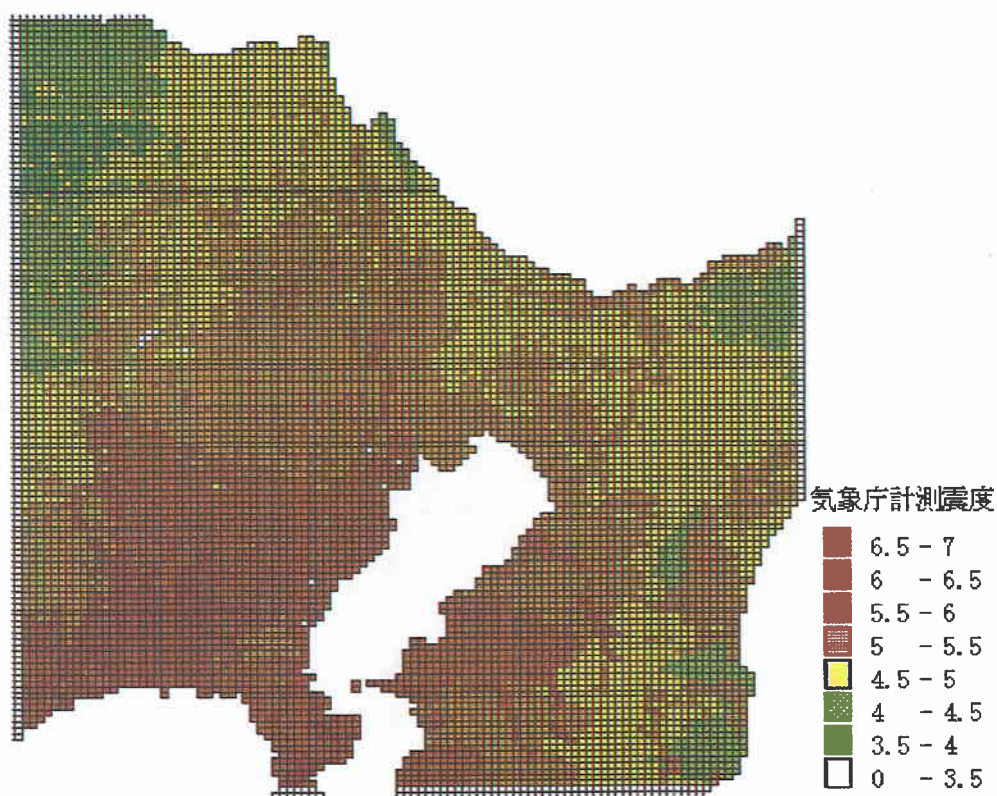


図-7.1.10(d) 地表面における気象庁計測震度分布

5) 被害想定手法（被害程度別の被災率の設定）

先の（3）で述べたが、道路、鉄道について、1995年兵庫県南部地震の経験を踏まえた、精度のよい、かつ実用的な被害想定手法は今のところない。また、南関東地域において、十分な精度で被害推定を行い得るようなデータベースは整備されていない。本項目の目的は被害推定のデモンストレーションであることから、精度はかなり劣るものの、ある程度兵庫県南部地震の実態を踏まえ、かつ現時点で整備しうるデータベースに適用可能な被害想定手法を設定することとした。被害想定手法は、道路、鉄道の高架橋の橋脚について、兵庫県南部地震のデータを用い、構造条件、地盤条件等は無視し、地震動の強さ（震度階）のみをパラメータとして設定する。

表-7.1.9に兵庫県南部地震における阪神高速道路神戸線の橋脚被害データを震度階毎に集計したものを示す。対象は武庫川以西の全線である。震度階は中央開発（株）の作成したものに基いている。地盤条件も様々であり、一部区間では液状化も発生しているが顕著なものではなく、地盤としては概ねそれほど悪くない路線であるということが出来る。一口に橋脚といっても鋼製や鉄筋コンクリート製のものがあり、また形式も単柱式、ラーメン式等がある。ここに示したデータはこのような材料や形式を一切無視して、被害程度毎に整理したものである。

表には被災程度が示されているが、As, Aは解体撤去が必要なほどの大被害、Bは補修が可能な中被害、Cは小被害、Dはほぼ無被害と考えることが出来る。また、併せて震度毎の被害率（被害橋脚本数／橋脚本数）が示されているが、震度7以上では約20%の橋脚が大被害（As, A）を被っていることがわかる。

表-7.1.10には上記データを大、中、小の被害にくくり、被害橋脚本数／延長（km）として被害率を整理したものである。延長比率にしたのは、後述の鉄道が延長でしか整理できないこと、被害想定に適用する場合延長の方が簡易であることからこのような整理にしたものである。延長、橋脚本数から逆算するとこの高架道路の平均スパンは約35mとなる。

表-7.1.9 兵庫県南部地震における高速道路高架橋の震度階毎の橋脚被害

被害程度 震度階	橋脚数(被害率)					合計
	As	A	B	C	D	
5	12 (0.05)	18 (0.07)	15 (0.06)	106 (0.44)	90 (0.37)	241
6	27 (0.07)	47 (0.13)	46 (0.13)	102 (0.28)	145 (0.40)	367
7以上	22 (0.12)	19 (0.10)	37 (0.19)	65 (0.34)	47 (0.25)	190
合計	61	84	98	273	282	798

橋脚被災程度

As:倒壊あるいは損傷変形が顕著

A:亀裂、座屈、鉄筋の破断等の損傷、または変形大

B:部分的な鋼材の座屈・部材の変形、鉄筋の一部破断・はらみだし及び部分的なかぶりコンクリートの剥離・亀裂

C:局部的かつ軽微な鋼材の座屈・変形、ひび割れや局部的なコンクリートの剥離

D:損傷なし、あってもきわめて軽微（耐荷力に影響なし）。

表-7.1.10 兵庫県南部地震における高速道路高架橋の震度階毎の延長被害率

被害程度 震度階	橋脚数(延長比率:本/km)				延長(km)
	As, A	B	C	D	
5	30 (3.53)	15 (1.76)	106 (12.47)	90 (10.59)	8.5
6	74 (5.74)	46 (3.57)	102 (7.91)	145 (11.24)	12.9
7以上	41 (6.12)	37 (5.52)	65 (9.70)	47 (7.01)	6.7
合計	145	98	273	282	28.1

表-7.1.11 に兵庫県南部地震における山陽新幹線の高架橋被害を整理したものを示す¹¹⁾。この区間の高架橋は概ね鉄筋コンクリートラーメン式で、一般的には3スパンで1橋を構成している。1スパンの延長は約8.5mである。被害程度を表すタイプはⅢが落橋を含む大被害で、先の道路橋のAsないしはAに相当し、タイプⅡ、Ⅰは各々、B、Cに相当する被害と考えられる。被害は地区毎に整理されており、各地区に道路橋と同じ(趣旨の)震度階を割り当てた。西宮地区は震度7の領域が島状に現れ、震度6の領域に囲まれるが、ここでは、この区間は概ね震度7であるとした(ただし、延長が1.5kmしかないことに注意)。したがって新幹線の沿線では震度6の区間がないことになった。地盤は沖積であるが、顕著な液状化の発生は報告されていない。

表-7.1.11 兵庫県南部地震における山陽新幹線の高架橋の被害¹¹⁾

地区	被災タイプ別柱数			合計	延長 (km)	震度階*
	I	II	III			
尼崎地区	91	130	60	281	11.6	5
西宮地区	16	104	60	180	1.5	7
明石地区	115	103	4	222	14.1	5
姫路地区	25	0	0	25	23.8	4~5
合計	247	337	124	708	50.5	

被災タイプ

I : ひび割れが生じたもの、

II : かぶりコンクリートが剥離し主鉄筋が露出した状態もの、

III : 主鉄筋が柱断面外に湾曲、突出し、柱部コンクリートが圧壊したもの

*震度階については文献11)には示されておらず、ここで追加したもの

表-7.1.12 は震度階毎に被害延長比率をまとめたものである。姫路地区は震度階が4から5となると考えられるため除外した。震度7では被災度Ⅱが約70本/km、Ⅲの大被害が40本/kmときわめて大きな値を示す。

表-7.1.12 兵庫県南部地震における山陽新幹線高架橋の震度階別被害
(姫路地区除く)

被害程度 震度階	被災タイプ別柱数 (延長比率:本/km)			合計	延長 (km)
	I	II	III		
5	206 (8.01)	233 (9.09)	64 (2.49)	503 (19.57)	25.7
7	16 (10.67)	104 (69.33)	60 (40.00)	180 (120.00)	1.5

表-7.1.13 に道路と鉄道の高架橋の被害率 (本/km) の比較を示す。鉄道は震度6の区間がない。被災程度は道路と鉄道で区分は厳密には異なるが、大、中、小といった形で両者を対応させた。表から小被害 (C/I) では、道路と鉄道の被害率は同じ程度の値である。しかし、中、大被害では両者は大きく異なる (ただし、震度5の大被害は両者は近い数値を示すがこの原因はよくわからない)。先に述べたが道路と鉄道の高架橋の形式は大きくことなる。しかし、橋のスパンは道路が平均35m、鉄道のそれが8.5mであるから、そもそも単位延長あたりの柱の本数は鉄道の方が約4倍多いことになる。したがって、ごく単純に考えると、鉄道の延長被害率は道路のその4倍程度大きくなっていてもよい。表-7.1.13 の震度7の大被害では6.5倍、中被害では12倍以上となっており、柱の数を考慮しても鉄道の方が圧倒的に被害が大きい。この原因を探るのは本調査の目的ではないのでこれ以上立ち入った議論はしないが、構造的な要因 (施工含む)、地盤条件、地震動の強さ等様々な要因がからんだ結果と考えられる。

以上の被害データの整理、検討結果から、デモンストレーションとしての本調査の被害推定に用いる、道路、鉄道の高架橋の被害確率マトリクスを設定した。被害の程度は大、中、小の3段階とした。これを各々表-7.1.14、表-7.1.15 に示す。これらは表-7.1.13 も数値をまとめたものである。詳細に見ると、被害程度と震度階の関係に若干の不整合があるがここでは、調査の目的に照らし、このまま用いることにする。この被害率から、震度7の領域では道路の高架橋は(1スパンを35mとして)延長で約8割が何らかの被害を受け ($6+6+10 = 22$, $22 \times 35\text{m} = 770\text{m} = 0.77\text{km}$) そのうちの2割 ($6 \times 35\text{m} = 210\text{m} = 0.21\text{km}$) は大被害である。一方の鉄道高架橋 (1スパン 8.5m) は、震度7ではほぼ全てが何らかの被害を受け ($40+70+10 = 120$, $120 \times 8.5\text{m} = 1020\text{m} = 1.02\text{km}$)、そのうちの3割以上が大被害となる ($40 \times 8.5 = 340\text{m} = 0.34\text{km}$)。

表-7.1.13 道路と鉄道高架橋の被害率（本/km）の比較

被害程度 道路/鉄道 震度階	道路（上段）・鉄道（下段）の橋脚被害率 （延長比率:本/km）				備考
	As, A/Ⅲ	B/Ⅱ	C/Ⅰ	D	
5	3.53	1.76	12.47	10.59	
	2.49	9.09	8.01	-	
6	5.74	3.57	7.91	11.24	
	-	-	-	-	
7以上	6.12	5.52	9.70	7.01	
	40.00	69.33	10.67	-	

表-7.1.14 道路高架橋の被害確率マトリクス（本/km）

被害程度 震度階	被害率（本/km）			備考
	大被害	中被害	小被害	
5強	3	2	12	
6	6	4	8	
7	6	6	10	

大被害：倒壊を含む大被害で復旧のためには撤去が必要

中被害：部材の座屈やコンクリートの剥離等を含む被害で、耐荷力に問題が生じ震後において桁の仮受け等の処置が必要

小被害：亀裂等の比較的軽微な被害で概ね耐荷力に問題はない

表-7.1.15 鉄道高架橋の被害確率マトリクス（本/km）

被害程度 震度階	被害率（本/km）			備考
	大被害	中被害	小被害	
5強	2	9	8	
6	10	25	9	
7	40	70	10	

被害程度は表-7.1.14の道路橋と同様

6) 震度階～橋梁延長の算定（対象地域内の橋の震度別の総延長）

各メッシュの震度に対応した道路橋、鉄道橋の長さを簡略化して求めるため、橋梁の地図に 0.5km×0.5km のメッシュを重ねた。図-7.1.11 に震度と道路橋の分布を示し、図-7.1.12 に震度と鉄道橋の分布を示す。各メッシュ内における橋梁の長さは自動的に求めることが困難なため、橋梁が含まれるメッシュがあれば、そこに 500m の橋梁が存在すると仮定した。各震度と橋梁のメッシュを表-7.1.16 に示し、各震度と橋梁の総延長を表-7.1.17 に示す。表中の総延長はメッシュ数×0.5km として算定した。

この方法によれば、メッシュを斜めや屈曲して走る道路橋の延長は過小評価し、メッシュ内で部分的にしか存在しない橋の延長は過大評価することになる。部分的なキャリブレーションを行ったところ、20%ほど過大評価であった。

表-7.1.16 想定震度階と橋梁部のあるメッシュ数

震度階	道路橋	鉄道橋
5 強	930	305
6	1120	464
7	120	1

表-7.1.17 震度階と被害を受ける高架橋の距離 (km)

震度階	道路橋	鉄道橋
5 強	465.0	152.5
6	560.0	232.0
7	60.0	0.5

7) 被害量の推算

表-7.1.17 と表-7.1.14 と表-7.1.15 を参考にして、それぞれ道路橋・鉄道橋の被害橋脚本数を表-7.1.18 と表-7.1.19 に示す。表-7.1.19 は、橋脚の被害を大、中、小に分けた。

この被害量は大、中の被害で比較して、道路橋で阪神・淡路大震災のおよそ 30 倍、鉄道橋で 20 倍の規模である(耐震補強がされていないという仮定の上であることに注意)。

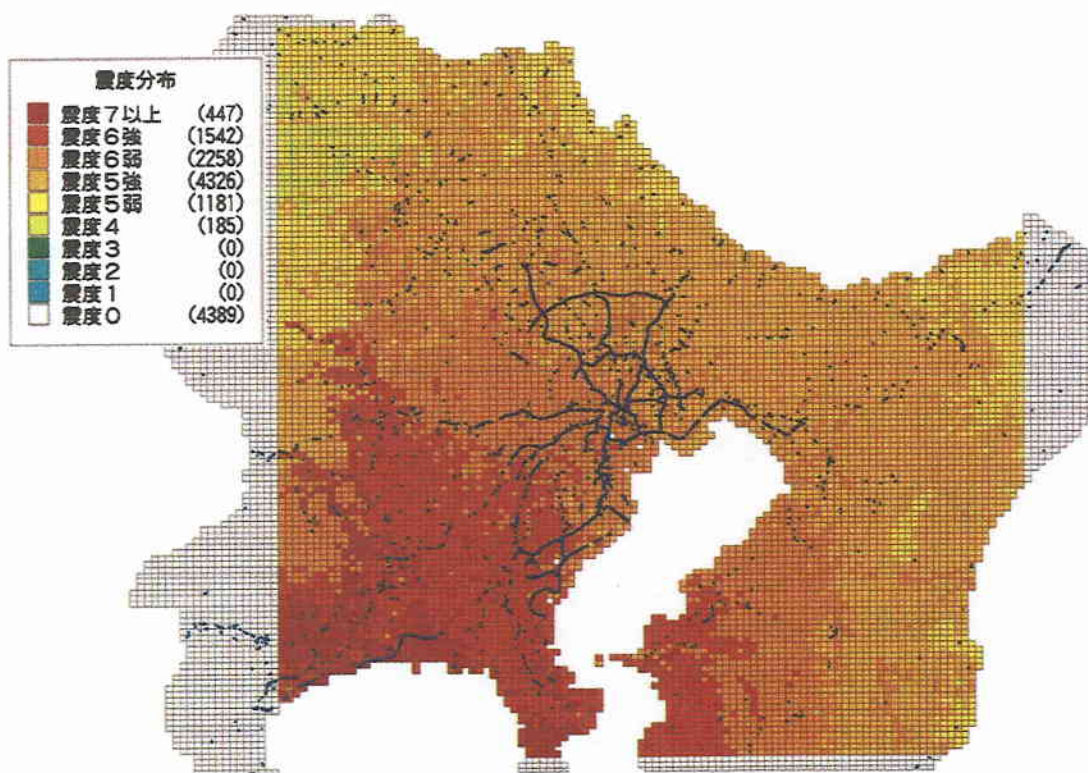


図-7.1.11 震度と道路橋の分布

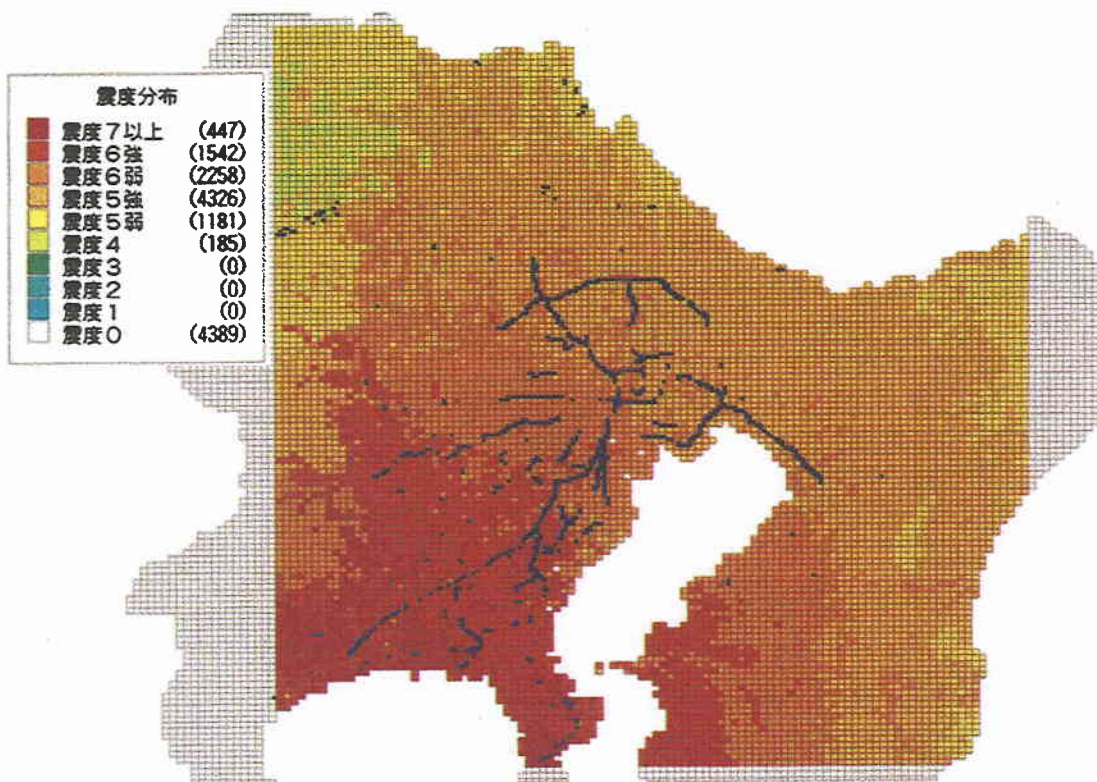


図-7.1.12 震度と鉄道橋の分布

表-7.1.18 道路高架橋の被害橋脚本数

震度階	被害距離		
	大被害	中被害	小被害
5 強	$3 \times 465 = 1395$ 本	$2 \times 465 = 930$ 本	$12 \times 465 = 5580$ 本
6	$6 \times 560 = 3360$ 本	$4 \times 560 = 2240$ 本	$8 \times 560 = 4480$ 本
7	$6 \times 60 = 360$ 本	$6 \times 60 = 360$ 本	$10 \times 60 = 600$ 本

表-7.1.19 鉄道高架橋の被害橋脚本数

震度階	被害距離		
	大被害	中被害	小被害
5 強	$2 \times 152.5 = 305$ 本	$9 \times 152.5 = 1373$ 本	$8 \times 152.5 = 1220$ 本
6	$10 \times 232 = 2320$ 本	$25 \times 232 = 5800$ 本	$9 \times 232 = 2088$ 本
7	$40 \times 0.5 = 20$ 本	$70 \times 0.5 = 35$ 本	$10 \times 0.5 = 5$ 本

復旧に必要な資機材数量を推定するためには原単位を km 単位で取りまとめていることから、表-7.1.18 および表-7.1.19 で想定された被害橋脚本数を復旧単位長さ (km) に換算し直す必要がある。道路橋の橋脚は 35m ピッチ、鉄道橋の橋脚は 8.5m ピッチに 1 本と仮定して換算した結果を表-7.1.20 および表-7.1.21 に示す。

表-7.1.20 道路高架橋の被害距離

震度階	被害距離 (km)		
	大被害	中被害	小被害
5 強	48. 8	32. 6	195. 3
6	117. 0	78. 4	156. 8
7	12. 6	12. 6	21. 0
延長	178. 4	123. 6	373. 1

表-7.1.21 鉄道高架橋の被害距離

震度階	被害距離 (km)		
	大被害	中被害	小被害
5強	2.6	11.7	10.4
6	19.7	49.3	17.7
7	0.2	0.3	0.1
延長	22.5	61.3	28.2

8) 復旧に必要な資機材数量の推算

次に、表-7.1.2 から表-7.1.5 あるいは付表-11 から付表-19 に示した阪神・淡路大震災の事例調査に基づく被害程度別の復旧資・機材原単位（復旧単位 km）と表-7.1.20 および表-7.1.21 の被害距離をかけて被害数量を求める。

ここで、南関東地域での鋼製橋脚とRC橋脚の比率が不明であるが、道路橋の場合、一般的には基礎地盤があまり良くなくて上部工重量を少なくしたいことや橋脚のスパンを長くとりたいことから鋼製橋脚が多いと判断し、大被害については付表-11（あるいは表-7.1.2）の鋼橋の原単位を用いる。中被害については付表-14 が梁、桁の仮受けであり一般的なデータと見なせる道路橋の調査データがないため比較的構造形式が似通っている付表-15（元データは新幹線武庫川橋梁）を用いた。小被害については付表-15 の原単位を用いた。鉄道橋の場合、大被害については付表-16 を用い、中被害については付表-17 がラーメン橋台の事例で一般性を欠くため付表-18 を用いた。小被害については付表-19 を用いた。なお、道路高架橋の小被害（付表-13）および鉄道高架橋の小被害（付表-19）については、復旧単位長さにおける補強・補修橋脚本数が約 50%であるので、この 2 ケースについてはデータベースの数値を 2 倍して算出した。

結局、必要資機材総数量は次式から求める。

$$\text{表-7.1.20} \times (\text{付表-11}, \text{付表-15}, \text{付表-13} \times 2)$$

$$+ \text{表-7.1.21} \times (\text{付表-16}, \text{付表-18}, \text{付表-19} \times 2)$$

推計結果を表-7.1.22 に示す。なお、この結果には、道路橋の大被害の場合の再構築に関する数量は含まれていないことに注意を要する。

応急復旧に必要な主要機械の日当たりの台数は、23万台となる。クレーンやブルドー

表7-1.22 応急復旧に必要な資機材量

(耐震補強なしと仮定、大被害を受けた道路橋の再構築は含まず)

【主要機械】

名称	日台数	延べ台数
ダンプトラック	64,000	696,000
トラック	14,000	295,000
ライトバン	5,400	166,000
乗用車	2,400	211,000
クレーン	14,500	338,000
クレーン付きトラック	8,000	231,000
マイクロバス	11,800	512,000
高所作業車	8,400	176,000
トレーラ	8,700	59,000
ブルドーザ等	7,700	76,000
掘削機械	8,000	102,000
積込み機械	5,500	71,000
せん孔機械	2,700	33,000
ブレイカ	16,800	308,000
コンクリート破壊機	15,600	195,000
コンクリートポンプ車	2,300	66,000
締固め機械	900	4,000
舗装機械	1,200	4,000
照明車	28,700	257,000
給水車	2,300	51,000
散水車	1,800	19,000
船舶	1,800	18,000

【復旧工事に要す人員】

区分	延べ人員
事業者	516,700
現場職員	2,131,500
現場作業員	12,543,500
資機材関連	1,583,400
輸送関連	1,989,300
保安要員	2,454,700

【主要仮設材】

名称	単位	数量
バリアート	枚	795,000
セパライコーン	本	1,210,000
防護ネット	枚	204,000
連絡用パイク	台	26,000
自転車	台	52,000
発電機	台	43,000
分電盤	個	36,000
コンプレッサー	台	11,000
投光器	個	215,000
ウインチ	個	1,000
タンパ	台	12,000
切断機(チェーン等)	台	9,000
ガス切断機	個	35,000
水槽	個	17,000
水中ポンプ	台	38,000
ジャッキ・チェーンブロック	個	34,000
鋼矢板	t	220,000
H型钢	t	302,000
鋼製山留め材	t	66,000
覆工板	t	21,000
鋼板	t	65,000
枠組足場	m ³	4,933,000
鋼管パイプ	本	1,252,000
パイプサポート	本	231,000
メタルフォーム	m ²	2,000
仮設建物	棟	12,000
仮設トイレ	棟	45,000
消火器	個	80,000
保安灯	個	141,000
立て看板	枚	133,000

【主要材料】

名称	単位	数量
ビニールシート	枚	109,000
シート用ひも	m	274,000
トラロープ	m	1,997,000
土嚢	袋	4,106,000
砕石	m ³	446,000
土砂	m ³	175,000
アスファルト合材	t	446,000
木材	m ³	40,000
合板	枚	961,000
コンクリート	m ³	909,000
モルタル	m ³	32,000
鉄筋	t	145,000
鋼板	t	40,000
ボルト類	本	11,000
アーカーボルト類	本	2,997,000
断面修復材	m ³	7,000
注入材(エポキシ樹脂)	kg	173,000
注入材(モルタル等)	m ³	67,000

【廃棄物量】

名称	単位	数量
コンクリートがら	m ³	4,876,000
アスファルトがら	m ³	34,000
土砂	m ³	759,000
木材	m ³	1,000

が、掘削・積込み機械などの総台数は8万台前後であり、これらの全国機械保有台数の7%に相当する。阪神・淡路大震災では近県から調達できたが、調達そのものが困難となることが容易に想像される。23万台/日は同時に復旧工事が進行した場合の数字であるが、阪神・淡路大震災の震後2ヶ月間に日建連会員57社が2ヶ月間に動員した主要建設機械は延べ12.4万台・日である¹⁾(建築関係、民間施設向けも含む)ので、その1日分にも達しない。一方、復旧工事に必要な延べ人員数は、2千1百万人と推定される。また、廃棄物量の総量は5百50万m³と予想される。数ヶ月と考えられる応急復旧期間にこれだけの機械や人員を確保し、廃棄物を処理する事は、相当に難しいことと考えられる。

阪神・淡路大震災では、資機材や廃棄物の運搬が円滑に行えるまでには6ヶ月程度を要した。上述の57社が震後2ヶ月間に派遣した技術者・作業員は延べ64.3万人・日である。その10倍を動員し全てを高速道路と鉄道の復旧に投入したとしてもおよそ7ヶ月はかかる勘定になる。

本被害想定では耐震補強がされていないと仮定している。耐震補強がされていれば落橋などは相当数減るであろうが、被害が無くなるわけではない。南関東地震のような大規模広域地震発生の可能性が否定できない以上、想定される大規模な被害量に対して迅速で効率的な復旧を実現するインフラ復旧ロジスティックの構築を急がなければならない。

7.1.4 今後の研究課題と研究方法

(1) 研究課題の抽出

これまで述べてきた問題認識と現状調査を踏まえ、以下の研究開発が必要なものとして抽出された。

- ① 交通インフラ被害推定システムおよび必要物量推定システムの開発
- ② 物流推定システムの開発
- ③ 基本戦略の検討
- ④ 復旧組織・体制に関する検討
- ⑤ 必要なインフラに関する検討
- ⑥ 復旧最適化支援システムの開発

(2) 各課題の研究手法

(a) 交通インフラ被害推定システムおよび必要物量推定システムの開発

既往の研究等を参考にしながら道路、鉄道、港湾等交通インフラの被害想定手法を検討、GIS をベースとした被害推定システムを構築する。このシステムは復旧に必要な資機材量も推定することとする。具体的には、

- ① 既往の被災調査報告をもとにしたデータベースを作成、復旧原単位を設定する。
橋梁、基礎構造物、土構造物、地中構造物各々の代表的規模（3例程度）および被災の程度（3レベル）の構造物に対して、被災状況・復旧方法・使用資機材・要員数・復旧期間・廃棄物量と処理方法・復旧費用などの帳票を整備する。これに基づき、復旧物量推定に必要な標準的な復旧原単位を設定する。
- ② 兵庫県南部地震の被害事例を収集整理し、実用的かつ精度の高いインフラ施設の地震被害推定手法を確立する。
- ③ 自治体が作成している被害予測データを元に、②の被害推定手法により物的な被害を推定、①の復旧原単位を当てはめて、復旧に必要な資機材等を算定する。

(b) 物流推定システムの開発

被害推定及び復旧に必要な資機材量に基づく資機材物流評価を行うシステムを開発する。これは、ネットワーク上の交通配分システムとなる。システムでは、交通インフラの被害、交通規制・渋滞を考慮し、様々な制約、条件に従った物流を予測し得るものである必要がある。

(c) 基本戦略の検討

上記(a)の被害推定システムを用い、復旧の目標水準（時期に応じたあるいは地域特性に応じた復旧のレベル、期間等）、重要度に基づく優先順位を検討設定する。重要度評価方法の確立が大きな課題となる。

上記の基本方針に基づき、どのような方向から、どのような戦力、手段を用いて復旧（のための物流）を実現させていくか、具体化の方法・内容を検討する。検討の方法としては、GIS を用いたシミュレーションが考えられる。

(d) 復旧組織・体制に関する検討

上記(c)の基本戦略の検討に合わせ、復旧物流に必要な組織・体制について、上のシミュレーションモデルを用いて検討する。本項目は組織論的な研究となるが、このシステムの実用化を考えた場合不可避な検討項目と考えられる。

(e) 必要なインフラに関する検討

ロジスティクスに必要なインフラとして以下のような施設を検討、被害・物流推定システムにより、配置、ネットワーク、効果等を明らかにする。

(f) 復旧最適化支援システムの開発

主に上記(a)(b)のシステムをベースに、復旧戦略および様々な選択肢を入れ込んだ支援システムの雛形を開発する。

参考文献

- 1) (社)日本建設業団体連合会：「兵庫県南部地震に関する最終調査結果について」、1995年5月12日
- 2) (社)土木学会：「大震災の教訓を活かすために～実務技術者からの提案～」阪神・淡路大震災対応技術特別研究委員会報告書、平成9年4月
- 3) 朝日新聞、1998年5月27日朝刊
- 4) 神奈川県：神奈川県地震被害想定調査報告書（道路・橋梁等）、昭和61年3月。
- 5) 東京都防災会議：東京における直下地震の被害想定に関する調査報告書（被害想定手法編）、平成9年7月。
- 6) 高田至郎、森川英典、松本正人、花川和彦：GIS データベースに基づいた橋脚耐震診断法の構築と損傷確率マトリクスの評価、構造工学論文集、Vol.44A、II、1998年3月、土木学会。
- 7) 建設省国土地理院、国土庁計画・調整局：国土数値情報（改訂版）、平成4年9月
- 8) 佐藤・北・前田(1997):兵庫県南部地震における強震域での加速度応答スペクトルの推定、土木学会論文集、No.563、pp.149-159
- 9) Koketsu K. and Higashi S. (1992):Three-Dimensional Topography of The Sediment/Basement Interface in The Tokyo Metropolitan Area,Central Japan、BSSA、Vol.82、No.6、pp.2328-2349
- 10) 童・山崎・清水・佐々木(1996):計測震度と従来の地震動強さ指標の対応関係、土木学会第51回年次学術講演会、I-B229、pp.458-459
- 11) 運輸省鉄道局監修、阪神・淡路大震災鉄道復興記録編集委員会編：よみがえる鉄路、阪神・淡路大震災鉄道復興の記録、山海堂、1996年5月。

7. 2 被災構造物の合理的な復旧工事法に関する調査

7.2.1 橋梁

兵庫県南部地震による橋梁の被害は高速道路、一般国道、地方道などの道路橋、さらに新幹線、在来線の鉄道橋梁に至るまで阪神間を中心に広範囲に及び、所謂高架構造物に関する安全神話がほぼ完全に崩壊した。阪神高速道路神戸線の 600m を超えるピルツ橋脚倒壊は、その顕著な現れと言える。

橋梁の被害は、上部工の強度不足による損傷、落下に加え橋脚、基礎を含めた下部構造の倒壊、傾斜による被災、下部構造と上部構造相互の耐震連結が設計地震力以上の力を受けて橋梁機能を損壊させてしまったものまで、様々な要因によって、道路・鉄道としての機能を失わせしめた。現在今後想定される大規模な地震を想定して、橋梁上部工と橋脚ならびに落橋防止システムにより耐震性能を強化する補強工事が進められているが、大規模地震が発生した時どのような被害が発生しているか予測し、震災復旧のインフラとして大きな役割を期待されている道路・鉄道の迅速な復旧をはかることが都市機能、平穏な市民生活の回復のため重要である。

ここではまず兵庫県南部地震における被害形態の分類を行い、震災後の復旧方法について考察し、今後想定される大規模地震によるインフラ復旧の研究課題と方法について述べる。

7.2.1.1 復旧法の現状

(1) 被害の概要

兵庫県南部地震による被災は六甲山地と瀬戸内海部に挟まれた東西に長い地域にわたり、道路・鉄道の幹線としての山陽新幹線から湾岸部の阪神高速 5 号湾岸線にいたる我が国の東西を結ぶ国土軸が大きな被害を受けた。

鉄道の被害は各路線とも多くの RC ラーメン高架橋の倒壊、橋台の倒壊に伴う桁の落下などが生じた。被災による鉄道の不通区間は、震度 7 では全線、震度 6 弱から 7 までではおよそ 35% の区間が不通となった。震度 7 から震度 6 強では、橋脚等の被害も甚大であるがそれと同時にほぼ全ての列車が脱線したのに対し、震度 6 弱以下では、脱線事故は生じていない。

表-7.2.1 阪神・淡路大震災での震度別被害状況（不通）¹⁾

震 度	総延長 (km)	不通区間延長 (km) (1日後)	不通率 (1日後)
7	62.0	62.0	100%
6強	69.7	54.8	80%
6弱	371.4	54.2	15%
合 計	503.1	171.0	35%

一方、主要国道では 554箇所、名神・中国自動車道で 109箇所、阪神高速で 300箇所、府県道で 2,715箇所に至っている。この結果、落橋、橋脚の破壊により 27路線36区間が交通止めとなった。震度7から6弱の地域における高速道路の被害状況は以下の通りであった。

表-7.2.2 阪神・淡路大震災での高速道路震度別被害状況（不通）¹⁾

震 度	総延長 (km)	不通区間延長 (km) (1日後)	不通率 (1日後)
7	18.8	18.8	100%
6強	58.2	58.2	100%
6弱	347.3	242.0	70%
合 計	424.3	319.0	75%

また、道路橋、鉄道橋ともその設計年度の違いにより被害が大きく異なっている。すなわち昭和55年の道路橋示方書、昭和58年の国鉄建造物設計標準の適用前のものが被災の度合いが大きく、それ以降のものは被害を受けたものは少なかった。落橋につながる甚大な被害を受けた橋の被害の多くはこれら橋脚の崩壊によって生じている。

(2) 被害の統計と特長

① 上部構造物の被害

上部構造物の被害を、道路橋 4,157橋の調査対象について「道路震災対策便覧・震災復旧編」の損傷度分類As～Dで分類すれば、下記の通りである。上部構造物の被害の多くは橋脚の被害により発生しているが、橋脚の崩壊部を除いたところでも桁自身におおきな損傷を受けたところがある。これは支承の被害に伴って生じたものであり、それ

が桁の折れ曲がり、支承からの脱落、桁の移動と端部の損傷に結びついている。また、落橋防止装置が有効に機能せず、装置自身もしくはこれが取り付けられた桁の破断により落橋を防げなかった事例がある。これらは鋼道路橋・鉄道橋共通しての現象である。

表-7.2.3 支承と上部構造の被災状況⁶⁾

	As		A		B		C		D		計
支 承	—		991	(17%)	613	(11%)	708	(12%)	3429	(60%)	5741
上部構造	46	(1%)	162	(4%)	592	(14%)	1132	(27%)	2225	(54%)	4157

被災程度		具体的状況
As	落橋	落橋
A	大被害	桁の折れ曲がり 1桁端支店部が RC 床版まで変形（支承から脱落、橋軸直角方向主体） 構造系変化（隣接部の落橋、撤去等）による構造不安定
B	中被害	支承部近傍の局所的な過大な変形、支承部近傍の座屈 支承、橋脚上突起物の上部構造への貫入
C	小被害	小程度の変形、座屈、局所的な変形
D	被害無	軽微な座屈、変形、皮膜の剥離程度の変形、HTB の損傷

② 鉄道橋の被害状況

鉄道橋の被害の多くは、殆どがラーメン高架橋柱の被害であり、これが落橋につながった例が多い。ラーメン高架柱の被害を震度7から震度6弱の地域について破壊、破損、損傷の分類で整理すれば、それぞれ1,088、806、693である。また、橋台30カ所が損傷を受けている。

表-7.2.4 阪神・淡路大震災での震度別被害状況¹⁾

震 度	落橋 倒壊	橋脚被災程度（本）			桁ずれ	橋台損傷	アーチ橋 損傷	盛土土 留壁
		破壊*	破損*	損傷*				
7	20	1,088	795	682	28	18	2	21
6強	4		1	1	17	7	10	14
6弱			10	10	10	5	1	14
計	24	1,088	806	693	55	30	13	49

なお、橋脚被災程度の区分は以下のとおりである。

- * 破壊：鉄筋の破断・はらみだし、躯体断面の破壊
- * 破損：被りコンクリート剥落、鉄筋のはらみだし
- * 損傷：コンクリートの表面ひび割れ

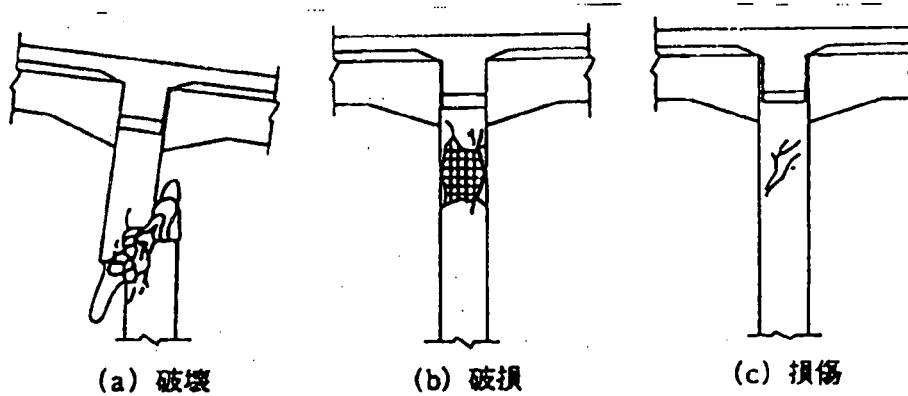


図-7.2.1 被災度の分類

③道路の被害状況

高速道路では、高架橋の被害が大きく、落橋・倒壊が25ヶ所、橋脚損傷12ヶ所、支承損傷が6ヶ所となっている。落橋・倒壊の発生を路線延長で見ると、震度7の場合、対象約19kmに対して19ヶ所となり、概ね1km毎に1ヶ所の割合であるのに対し、震度6強以下では延長10kmで1ヶ所以下となっている。

一般道路においては、路面や橋の被害は小さく、陸橋の被害と液状化による亀裂や段差が目立っていると報告されている。

高速道路の震度別被害状況を、次表に示す。

表-7.2.5 阪神・淡路大震災での高速道路（高架橋）震度別被害状況¹⁾

震 度	落橋、倒壊	支承損傷	橋脚損傷	路線総延長 (km)	落橋・倒壊率 (箇所/km)	その他の 被害の率 (箇所/km)
7	19	—	1	18.8	1.01	0.053
6強	5	5	7	58.2	0.086	0.206
6弱	1	1	4	347.3	0.003	0.014
合 計	25	6	12	424.3	—	—

(3) 応急復旧の概要

道路橋の被害で代表的な阪神高速3号神戸線では地震直後に二次災害の防止と後の本復旧のための災害応急復旧工事が直ちに発注され、被災した橋脚、桁などのこれ以上の被害拡大を防ぐため早急の対策を実施した。これらは総合建設業者と鋼橋建設業者の共同企業体で実施され、応急の措置のための被害調査と落橋、倒壊した橋梁の撤去までの二次災害防止、傾斜した構造物の仮支え工（ベント工）が中心であった。この間本復旧に関する技術的検討が行われ、3月末に本復旧のための工事が発注された。復旧現場の多くは市街地で、限られたスペースの中での工事という制約から、被災状況に応じての構造物の撤去、新設に多くの新技術が採用された。

鉄道橋の被災では、多くを占める高架ラーメン橋柱の復旧が全線開通に大きく影響を及ぼすため、その迅速な復旧が要求された。震災直後には被災構造物の仮受が行われるとともに、被災状況から3つのタイプに分類され、それぞれジャッキアップ工法、クレーン工

法により床版の扛上げと柱の損傷補修が行なわれた。またいずれのタイプにおいても最後に鋼板被覆による補強が行なわれた。

(4) 復旧の方針と施工法

(a) 緊急措置

阪神高速3号神戸線では震災後直ちに損傷、落橋した橋梁に対し、緊急措置として余震による崩壊の防止、損傷拡大の防止、緊急車両のため高架橋下の交通確保を目的に次のような措置が施された。

- ① 落橋したもの、落橋の恐れがあるもの、桁下交通の確保の障害となるものの迅速な撤去。
- ② 支承の破損、橋脚の倒れ、桁の横移動で余震によって落橋の恐れのあるものに対するベント工を中心にした仮支持。
- ③ 橋脚天場の崩壊部品の撤去。
- ④ 破壊した沓の代わりにサンドルなどによる仮支持。
- ⑤ 余震による橋脚の損傷拡大を防ぐベント工、緊急補強。

(b) 応急復旧

緊急輸送路の確保、暫定的な道路機能の回復のために、比較的損傷の軽微な橋梁に対して応急復旧が実施された。これらは、路面の段差解消のための主桁のジャッキアップ、サンドルまたは仮沓による桁の仮受、仮資材による段差部での路面のすり付けを行い、構造本体の耐荷力的には軽微な損傷は修復し、大きな損傷はベントなどで橋体自身を仮支持し、暫定的に交通解放を行った。

(c) 応急復旧から本復旧

軽微な損傷を受けた橋梁は、緊急措置・応急復旧・本復旧と段階的に震災復旧が施されたが、大きな損傷を受けた橋梁では緊急措置以降はそのまま本復旧に進んだもの、または応急復旧のままでその後長期間車両通行を行ったものなど様々なケースがある。また、鉄道被害については、全面復旧開通を基本としたため、緊急措置から直ちに本復旧を目指し

た工事が施工された。

道路、鉄道とも、類似した被災を受けた多くの橋脚、上部工、高架ラーメン柱は被災の程度によってランク分けされ、撤去新設から一部部材の矯正、取り替えなど復旧方法の標準的な工法を定めて工事が施工された。代表的な補修方法として阪神高速の鋼桁補修、鉄道高架橋柱の復旧方法を次に示す。

- TYPE I : 床版の撤去を伴い、ブロック単位で損傷部の撤去を行い、新しいブロックを、HTBで接合した後、床版打設を行う方法
- TYPE II : 床版の撤去を伴い、損傷部位の切断・除去し、新しい部材をHTBまたは、現場溶接で接合した後、床版打設を行う方法。
- TYPE III : 損傷部材を切断・除去し、新しい部材をHTBまたは、現場溶接で接合する方法。(床版撤去なし)
- TYPE IV : 損傷部位の切断・除去を行わず、加熱矯正等を行う方法。
- TYPE V : 損傷部位の切断・除去を行わず、溶接埋め戻しを行う方法。

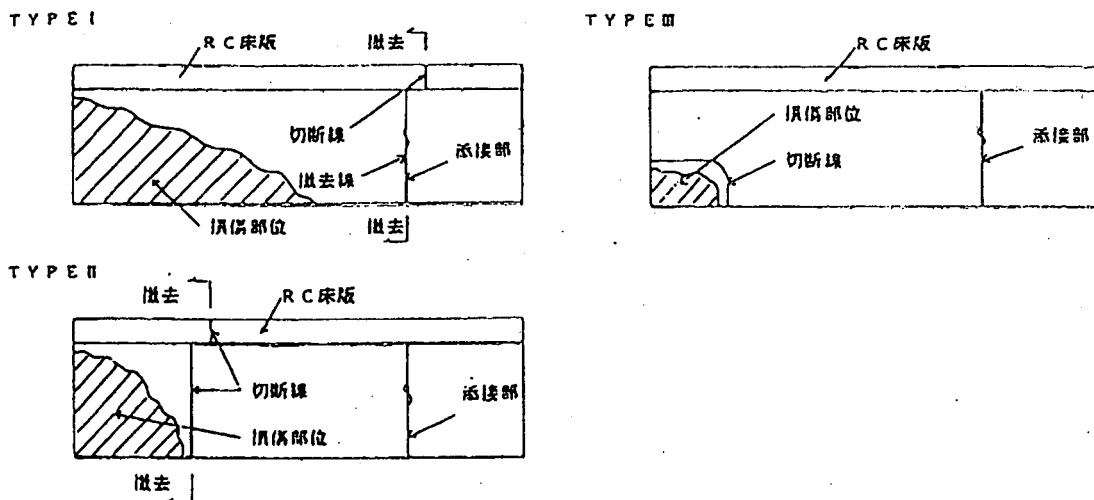


図-7.2.2 鋼桁補修方法の分類⁸⁾

被災程度	破 壊	破 損	損 傷
被災のイメージ			
復旧の考え方	<p>部材の破壊部を新設する場合</p> <p>(新設部材)</p> <p>(旧部材)</p>	<p>破損しているが、破壊に至っていない部材を修復する場合</p>	<p>被災によるクラックを修復する場合</p>
主な適用線区	<p>J R 西日本 山陽新幹線 (新大阪～姫路間)</p> <p>J R 西日本 東海道線 (住吉～澁間)</p> <p>阪神電鉄 (株) 本線 (西瀬～御影間)</p>	<p>J R 西日本 山陽新幹線 (新大阪～姫路間)</p> <p>J R 西日本 東海道線 (住吉～澁間)</p> <p>J R 東海 東海道新幹線 (京都～新大阪間)</p> <p>阪神電鉄 (株) 本線 (西瀬～御影間)</p> <p>阪急電鉄 (株) 神戸線 (三宮駅付近)</p> <p>神戸市営地下鉄西神延伸線</p>	<p>J R 西日本 山陽新幹線 (新大阪～姫路間)</p> <p>J R 西日本 東海道線 (住吉～澁間)</p> <p>J R 東海 東海道新幹線 (京都～新大阪間)</p> <p>阪神電鉄 (株) 本線 (西瀬～御影間)</p> <p>阪急電鉄 (株) 神戸線 (三宮駅付近)</p> <p>神戸市営地下鉄西神延伸線</p>

図-7.2.3 高架橋柱の被害状況による復旧方法¹⁾⁰⁾

(5) 復旧における新工法

震災復旧において特に直接被災度を確認できない基礎工について調査法や、倒壊構造物の解体とその後の新設物の建設に多くの新工法が採用されたが、いずれも限られた作業スペースでの施工を安全にかつ能率を上げて行い迅速に復旧するための工法であった。

地中部にある杭やケーソンの健全度調査にはボアホールカメラを使ったシステムが採用され、橋脚の撤去には現地状況に合わせた多くの新しい工法が提案採用された。橋梁上部工の復旧工事のなかから阪神高速3号神戸線での代表例を記する。

- ・復旧工期の短縮にRC柱上に鋼製梁を採用した橋脚の再構築工法
- ・エアーキャスター工法による桁下空間での鋼製梁部材の移動
- ・狭歪箇所でのワイヤークランプ工法による鋼製梁の架設
- ・連続桁の横取り縦取りにスライドベースの採用
- ・バイパス桁工法による鋼桁の補修

(6) 復旧工事の実態

①解体工法

復旧工事の実施に際して、初期の解体工事が重要な部分を占めたことは間違い無いと思われるが、具体的な内容についての調査は行われていない。「大震災の教訓を活かすために～実務技術者からの提案～」（阪神・淡路大震災対応技術特別研究委員会）の報告によれば、クレーンや油圧ジャッキ等の汎用機械を使用した人海戦術が効果的であったとされているものの、現実には他に選択するものが無かったというのが実状であろう。

しかし、「コンクリート解体技術が施工技術として特に要望される」と同報告書の今後の対応と提案の中でも指摘されているとおり、その当時の施工状況を振り返って見た場合、何れの技術者にとっても、コンクリートのより安全かつ効率的な解体方法の実用化が課題として強く意識されたためと推察される。この背景には、通常工事のコンクリートの解体分野において、従来からより低公害で効率の良い工法が求められていたこともあるためと思われる。

②復旧工法

a) 緊急対応工事

土木学会のアンケート調査結果「阪神・淡路大震災対応技術特別研究委員会報告書（平成9年4月）」によれば、アンケート調査した主要28社が実施した復旧工事166件の

内、緊急対応工事は、8%であった。数量的に見ても、工事の内容から考えても被害の拡大、危険度の低減化を計ることが目的であって、技術的内容が問題視されてはいない。むしろ、発注者、所有者による事後の評価（積算等を主とする）の実態を明らかにすることが肝要と思われる。

b) 応急復旧工事

応急復旧工事は、同アンケート調査結果によれば、調査した166件の内、16%であった。この工事は、当面被災した施設を使用可能とすることが目的であって、今後の本復旧に様々な影響を及ぼすことから一番微妙な対応を必要とする。

c) 本復旧工事

被災物件に関する調査報告が行われたのは、そのほとんどが本復旧工事についてである。これらについては、土木学会の「耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するシンポジウム(平成9年7月)：土木施工研究委員会 第7施工小委員会報告」においても詳しく報告されている。これら本復旧工事は、被災前の耐震性能とほぼ同等の状態に回復させるものと、耐震性能の向上を図るものとに分けられる。上記調査によれば84件中74件が後者に属するものである。工法として、橋脚・橋台では、鋼板、RC、及び両者の併用、繊維巻き立てが大部分であり、約10%が取り替えであった。また、橋脚基礎・橋台基礎では、増設、注入、地盤改良が取り替えを除いてその大部分を占めている²⁾。

高速道路、鉄道の復旧事例を阪神高速3号線、阪神電鉄石屋川駅についてみる^{4), 5)}。

阪神高速3号線は、神戸市内において約27kmにわたって倒壊を含む大被害を受けた。ピルツ橋部は、その最たるものであるが、その他についても同様であって、完全に倒壊しなかった部分の方が、むしろ、解体が困難であった。つまり、下部の交通を維持しながら解体工事を行わなければならなかった。安全は勿論、粉塵、騒音にも配慮しなければならず、上部工の撤去には、ワイヤーソーが用いられ、搬出部材をブロック化し、テルハ型門型クレーンを高速道路上に設置するなど、工期の短縮にも配慮した工法が採用された。完全に倒壊した部分は、二次災害に配慮する事が、重要であり、新規の工法を採用する事が困難であって、主に汎用破碎機を用いた人海戦術によった。復旧工法は、破壊に相当する部分については撤去・新設、破損・損傷部については鋼板巻き立てによるRC複合構造として補強した。問題点としては、復旧工事施工中に基礎部の状態が復旧工法選定時の推定より被害程度が大きいことが判明し、工法そのものを変更することが望ましい場合も有ったが、工法変更は殆ど出来ず、補強工法で対応せざるを得なかったことが挙げられている。

阪神電鉄石屋川駅は、駅部と留置線の擁壁部も大被害をうけたが、RCラーメン構造の車庫部の被害も大きく、柱部がせん断破壊を起こし、スラブがほとんど地上部まで落下した。擁壁部を全てRCラーメン高架橋として本線部を短期間に復旧し、車庫部は、基礎杭及び地中梁を持つ鋼構造のラーメン高架橋として本線開通を優先させて施工を行った。車庫部は、設計的な見直しにより $13,800\text{m}^2$ から $12,950\text{m}^2$ と床版面積は、減少したが、柱本数は、工期に余裕があったこともあり、鋼構造のラーメンとして桁長さを大きく採ることによって243本から115本と半分以下となり、早期復旧が可能となった。

図-7.2.4 と 7.2.5 に土木学会「耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するシンポジウム(平成9年7月)の第7施工小委員会報告」に報告され、採用された補修・補強工法統計を示す。

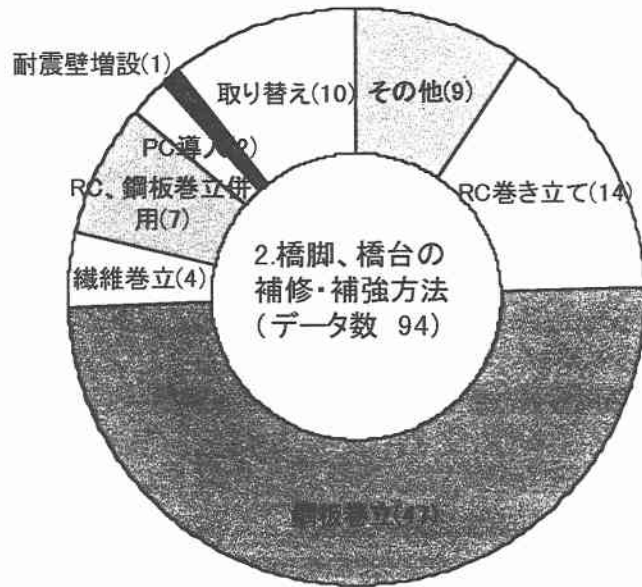


図-7.2.4 橋台、橋脚の補修・補強工法

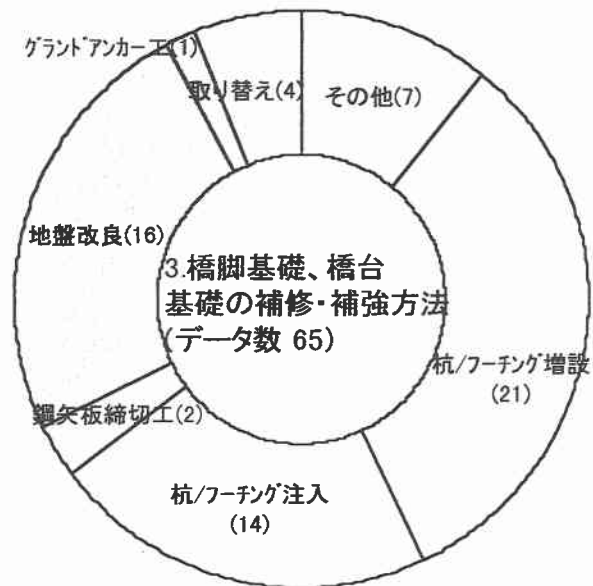


図-7.2.5 橋脚基礎、橋台基礎の補修・補強工法

③廃棄物処置方法

廃棄物の処理に関して、特に隘路となった事項があったとの報告は為されていない。しかしながら運搬効率が劣悪であったことが指摘されている。高架橋下のテナントから生じた廃材は、所有者との取扱いについて協議に苦労しており早期復旧の妨げとなった³⁾。

④使用施工機器と稼働率

復旧に使用された機材には特殊なものはないが、稼働率は、主に交通事情の影響により大型クレーンを始めとして非常に低かったと報告³⁾されている。特に、復旧初期は、やむを得ないと思われるが、災害発生後6ヵ月にいたらなければ、この辺りの事情は改善されておらず、早期発注と合せて、予め管理体制を確立しておくことの重要性が認められる。

⑤実施工期

復旧工事は、概ね工期内に完了している。着手当初は、およそ30%の現場で徹夜作業が続いた。工事着手後6ヶ月でその数も半数となったが施工条件は、食事、衛生環境等も含めて過酷なものであった。そのため、復旧の優先順位を定め、目標とした設定工期も工期途中での変更を可能とするなど、柔軟な対応が望ましかったとの要望が聞かれている³⁾。

⑥積算方法

緊急対応工事、応急復旧工事においては、ほぼ、最終清算で収支が合った³⁾とされているが、本復旧工事では、通常の積算基準が適用された場合が有り、非常に厳しい例もあったようである。通常の積算基準では、工事の追加・変更に対して個々の現場条件が反映されない場合が有り、異常時の歩掛りを別途考慮する必要がある。

各種報告書を通して見ると、施工上の制約が最も多く指摘され、ついで工法・仕様の変更に関する問題点、改善点が挙げられている。施工上の制約として交通規制、作業時間の規制、工期、施工場所が狭い、作業員、資機材の確保、騒音・振動・粉塵、低空頭下での施工、既存構造物の施工障害などが指摘されている。また、補強工法、材料として「安価で鋼板以外の施工性の良い補強工法、地盤改良工法」「安価・軽量な高流動コンクリート、注入材」などに対する要望が多かった³⁾。

以上の調査結果から復旧工事に於いては、復旧に必要とされる施工技術より被害をうけた側（特に官公庁）の対応が、早期復旧の鍵となると思われる。技術的な諸指針の整備は、現在、かなり進められており、施工技術の開発・改良と共に本研究の主たる課題である、復旧戦略としての指揮、流通管理手法が、改めて問い直されなければならない。

(7) その後の耐震性向上工事の概要

阪神淡路大震災後、鉄筋コンクリート橋脚、橋梁上部構造、支承、落橋防止システムなど兵庫県南部地震クラスの地震を想定した補強工事が行われている。代表的な例は次の通りである。

- ・ R C 巻き立て、炭素繊維巻き立て、鋼板巻き立てによる R C 橋脚の耐震補強
- ・ コーナー補強、鋼板巻き立て、コンクリート充填などによる鋼製橋脚の耐震補強
- ・ ゴム支承、免震支承への支承取り替え
- ・ 落橋防止システムの設置、改善による補強工事

7. 2. 1. 2 今後の研究課題と研究方法

(1) 今後の研究課題の抽出

兵庫県南部地震後の復旧工事の各種報告書、アンケート調査等によれば、今後改善が望まれる施工技術として以下の問題点が指摘されている。

(a) 緊急措置における問題点

- ① 竣工図書などの保存状況が必ずしも万全でなく、その結果桁の重量などの把握が難しく現場技術者の感覚的判断で設置されたベントがあった。
- ② 一度に大量の資機材が必要になり、これらの不足から効果の疑わしい脆弱なベントもあった。対応技術者、作業員も不足した。
- ③ 緊急措置を講じるためのベントなどの諸設備に対する設計震度の判断が定まらず余震に対する危惧が人それぞれで異なり、処置が遅れる原因になった。
- ④ 緊急対策を決定するための被災ランクの判定を”道路橋震災対策便覧”によったが、判定が点検者の感覚的判断に委ねられる部分が多分にあったこと、また見えががりの部分での判断ということから必ずしも実体を反映していない場合があった。

(b) 応急復旧上の問題点

- ① 緊急措置同様応急復旧期間中の余震に対する知見が乏しく、判断が混乱した。
- ② 応急復旧を本復旧の一環として実施するのが経済的にみて得策ではあるが、緊急を要するなかで本復旧の姿が見えず、着手の遅れ、手戻りが生じた。応急復旧の位置づけをあくまで暫定的なものとのコンセンサスが必要である。

③形状的な異常の手直しは完了しても耐荷力的に見て緊急車両への交通解放が可能かどうかの判断が客観的になされる規準の策定が望まれる。

④車両の暫定解放中の異常発生 of 継続的監視が不十分であった。

以上のように緊急措置、応急復旧上の問題点が指摘されており、さらに後の本復旧においても共通の問題として指摘されている。

(c) 震災復旧のための技術課題

兵庫県南部地震以降、各機関にて耐震性向上工事が施工されている現実を考えたとき、構造物の機能を失わせしめる被害は大幅に減少するものと思われる。阪神淡路大震災の復旧工事で行われた工法など今後の参考になるものは多く、ここでの反省を含め今後の研究開発課題として取り上げ普及をはかるべきのものが多く指摘されている。しかしながら、兵庫県南部地震は阪神地区という地理的・地勢的に限定された地域、さらに地震発生時刻、被災人口、建造物の集中規模を考えたとき、例えば首都圏ではその前提条件が大きく異なっている。

今後の復旧技術の研究課題はつぎのようなものが想定される。

①施工機器の開発・改良

施工機器の開発・改良として、鋼板巻き立て機械、小型で掘削能力の大きな杭打ち機、ストロークが長く安定感のある油圧ジャッキ、無塵・無振動で軽量のコンクリート破砕機、狭隘な場所で施工可能なコンクリート削孔機などが望まれる。この点については、既に、神戸市や機械製造者側に於いて種々の自動機器や遠隔操作可能な小型装置の開発が行われているが、基本的に救出、安全確保に関するものが多いように見受けられ、復旧工事の観点から、改めて、調査研究開発の必要がある。また、これら施工機器の開発は、通常の工事においても使用できるものとするのが望ましく、現状の施工状況を大きく変える可能性を有するものであろう。

②現場発生資材使用基準の策定および機器の開発

阪神・淡路大震災の場合、廃棄物の処理に大きな問題は、無かったようであるが、首都圏を考えた場合、比較にならぬ膨大な量となることが予想される。特に、処分地の問題は、深刻なものとなるであろう。この点で、今後、現場発生資材の使用も考慮した研究、基準の整備が重要であると考えられる。もとより本復旧に関しては、現場発生資材の使用は、発注者（受け入れ側）として好ましいものではないと推測されるが、現下の環境問題に関

する社会的要請を考慮すれば如何に緊急時であれ、重要な検討課題として捉えられるべきものである。①項でも述べたように、現在開発、研究の実施されているコンクリート廃材の完全リサイクル化の有用な適用分野と言える。

①、②に於いて調査・研究された技術、基準については、その試験施工を通して検証、改良しておくことが必要である。

③緊急・応急・本復旧の各施工マニュアルの整備

緊急・応急・本復旧の各施工マニュアルの整備は、総合プロジェクトの成果として昭和61年にまとめられてはいるものの、活用されたとは言い難い状況であり、上記要素技術の開発・改良を行うと共にこれらの整備、普及が必要である。

④緊急・応急・本復旧の各積算基準の整備

緊急・応急・本復旧の各積算基準の整備は、全く手付かずの状況であって、工事の追加・変更に対する配慮が払われず、施工マニュアルと関連させて整備することが必要である。これに関しては、資機材・労務費の高騰を考慮すること、事後清算を想定した設計前の早期発注システムの整備、普及が行われていないと、東京都および本研究で想定される被害規模からみて資機材、労務量を迅速かつ効率的に投入する事は、非常に困難になると考える。また、事後の問題も非常に大きくなるものと懸念される。

⑤余震の強さの予測と復旧工法の選択

兵庫県南部地震では幸い大きな余震に見舞われなかったが、この課題は復旧のための諸設備の設計のためのみならず、労働環境の悪いなかで迅速に安全に復旧工事を進めるために不可欠の要素である。

⑥復旧規準の整備統一

各種機関また多くの路線で多くの設計・施工が行われ、様々な方法が採られたが、事後を振り返り今後の混乱を避けるための復旧規準の統一・整備が求められる。

⑦調査・判定のマニュアル化と診断のための機械化、自動化

震災後の被災の調査がその後の復旧法、工事の安全性に大きく影響を与える。個人の主観にとらわれない客観性、統一性のある自動診断システムとそのための機械の開発が望まれる。特に今後の社会資本の蓄積による維持管理の問題を考えあわせた共通のものが望ましい。

⑧その他

耐震補強工事の完了後の被災程度の想定と復旧・補修方法の策定、高架橋上の車両（自

動車、鉄道車両とも)の撤去の為の緊急措置、火災、危険物による橋梁構造物の強度に対する影響評価と補修方法

表-7.2.6 に参考として今後開発が望まれる技術に対する土木学会「耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するシンポジウム(平成9年7月)の第7施工小委員会報告」よりの事業者からのアンケート集計結果を示す。診断・検査技術に要望が多くなっているのは、当然の結果であろう。実務技術者からの提案とは、やや趣を殊にしている、簡易、軽量、安価が切に求められている。

表-7.2.6 今後開発が望まれる技術²⁾

工 法	16 件	被害調査・探査	15 件
・低振動・低騒音の橋脚、上部工工法	1 件	・基礎杭・コンクリート構造損傷度の非破壊調査技術	6 件
・スペースをとらな施工性の良い基部補強 ・工法	1 件	・高精度な鉄筋探査技術	5 件
・安価で鋼板以外の施工性の良い補強工法	5 件	・損傷評価技術	2 件
・既設地下構造物の省力化耐震補強工法	3 件	・土中における障害物の探査方法	1 件
・既設構造物に付加する免震・制振工法	1 件	・橋脚の出来形の詳細検測装置	1 件
・中間拘束筋に替わる既設橋梁のせん断補 ・強工法	1 件	機械・仮設材	14 件
・既設構造物下の地盤改良工法	2 件	・狭い場所での施工性の良い足場	4 件
・高強度・非泥の出ないジェットグラウト工法	2 件	・鋼板巻き立て機械	3 件
施工手法	17 件	・小型で掘削力の大きい杭打ち機	1 件
・安くて施工が簡単な鉄筋継手	7 件	・ストローク長く安定感のある油圧 ジャッキ	1 件
・全自動溶接機による横方向の溶接方法	2 件	・無塵・無振動の軽量なコンクリート破砕 機	1 件
・施工性の良い溶接方法	1 件	・狭い場所でも施工可能なコンクリート 削孔機	2 件
・接合部の簡便な仕上げ方法	1 件	・小型・高能率の障害物撤去機械	2 件
・低騒音で安価な既設構造物表面処理方法	1 件	材 料	6 件
・既設・新設コンクリートの確実な一体化の方法	2 件	・安価・軽量で高品質な注入材	5 件
・短時間で施工できる鋼矢板継手方法	3 件	・高強度・高流度コンクリート	1 件

(2) 研究方法の提案

今回の阪神淡路大震災の復旧工事から提起される今後の研究項目は多岐にわたるが、首都圏に大規模地震が発生することも想定し、さらに橋梁については耐震補強工事が施工されつつある現状を考慮して次のような研究を提案する。

- (a) 耐震補強工事後のモデル橋における解析と実験を行い、落橋防止システムの接触・衝突問題をシミュレートした被災想定と復旧対策の開発を行う。
- (b) 地震発生を深夜早朝を除く社会活動の活発な時間と想定した場合、首都圏の鉄道、道路は高架橋が多く、常に橋上に多くの車両が通行しているものと考えられる。兵庫県南部地震の発生した午前6時前の時刻でも阪神高速3号神戸線上には230台の残置車両があり、これらの撤去には10日を要したと報告されている。地震発生後の迅速な緊急措置、応急復旧のためにはこれら高架上の鉄道車両、自動車などの残置物の緊急安全措置、撤去工法を研究することが重要である。また、このとき単に残置物を重機によって取り払うということではなく、緊急措置から応急復旧に至る構造物の保全あるいは解体、撤去に至るまでを一連の連続した工法として研究を行っていく必要がある。
- (c) 近年、ロボット技術は、飛躍的に発展しており、その成果を採用し、安全面の向上も含めて「コンクリート解体技術」、の確立を図る。復旧技術は、震災等の緊急時にのみその役割を発揮するものではないことが明らかであり、業界全体の技術開発の活性化、リニューアル市場の本格的開花に資するところ大なるものが有ると考えられる。

参考文献

- 1) 東京都における直下地震の被害想定に関する調査報告書、東京都、平成9年9月発行
- 2) 「耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するシンポジウム」講演論文集、土木学会、平成9年7月
- 3) 大震災の教訓を活かすために～実務技術者からの提案～、阪神・淡路大震災対応技術特別研究委員会報告書、土木学会、平成9年4月発行
- 4) 「阪神・淡路大震災」復旧工事報告資料集、平成8年1月、(株)大林組社内資料
- 5) 日本鉄道施設協会誌、1996-2 阪神大震災シリーズ (11)

- 6) 阪神・淡路大震災調査報告、(社) 土木学会、1996
- 7) 大震災に学ぶ、土木学会関西支部、1998
- 8) 既設上部工の補修・補強設計及び施工要領 (案)、阪神高速道路公団、1995
- 9) 阪神高速神戸線復旧への軌跡、日刊建設工業新聞社、1997
- 10) 保坂鐵也：兵庫県南部地震における鋼鉄道施設の被害と復旧、第5回鋼構造物の補修・補強技術報告会論文集、

7.2.2 土構造物

港湾構造物である護岸や岸壁、また、河川構造物（堤防）や鉄道・道路盛土に代表されるような土構造物は、兵庫県南部地震において多大な被害を被る結果となった。特に、護岸や岸壁の被害は甚大であり、港湾機能のマヒ状態が長らく続いた。

ここでは、兵庫県南部地震により被災した土構造物のうち、港湾構造物（護岸、岸壁）、河川構造物（堤防）を中心に復旧方法の現状を分析し、今後の研究課題について述べる。

7.2.2.1 復旧法の現状

(1) 被災状況

兵庫県南部地震で被災した港湾構造物（護岸、岸壁）の最大移動量が 14m、最大沈下量が 3.2m と甚大であることや、河川構造物の最大沈下量が 3.0m であることなどが報告されている。ここでは、港湾構造物（護岸、岸壁）や河川構造物（堤防）の被災タイプを抽出し、その分類を行うことにより被災状況を分析する。港湾構造物の被災タイプについては A、A*、B、C の 4 種類の被災パターンに分類し、河川構造物の被災タイプについては D、E、F の 3 種類の被災パターンに分類する。以下に各被災パターンの概要を示す。

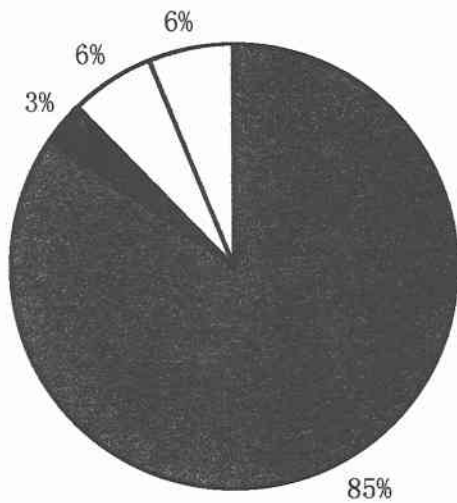
・港湾構造物の被災パターン

- A : ケーソンの滑動、沈下、傾斜、背面の沈下を生じるパターン
- A* : ケーソンの滑動のみあるいは沈下のみを生じるパターン
- B : 栈橋の破損を生じるパターン
- C : ブロックの崩壊を生じるパターン

・河川構造物の被災パターン

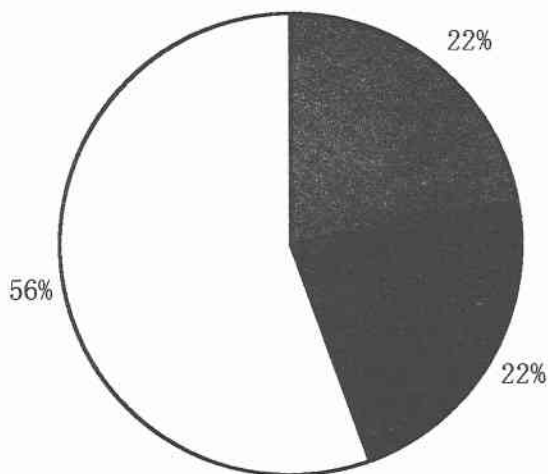
- D : 盛土基礎の液状化に伴う沈下を生じるパターン
- E : 盛土自体の液状化による沈下を生じるパターン
- F : 盛土斜面の崩壊を生じるパターン

港湾構造物の被災タイプを図-7.2.6 に示したが、最も多いのは A のパターンであり 85% を占めている。河川構造物の被災タイプを図-7.2.7 に示したが、最も多いのは F の被災パターンであり、56% を占めている。



- A : ケーソンの滑動、沈下、傾斜、背面の沈下を生じるパターン
- A* : ケーソンの滑動のみあるいは沈下のみを生じるパターン
- B : 栈橋の破損を生じるパターン
- C : ブロックの崩壊を生じるパターン

図-7. 2. 6 港湾構造物の被災タイプ件数



- D : 盛土基礎の液状化に伴う沈下を生じるパターン
- E : 盛土自体の液状化による沈下を生じるパターン
- F : 盛土斜面の崩壊を生じるパターン

図-7. 2. 7 河川構造物の被災タイプ件数

(2) 被災の主因

被災の主因については、①液状化②側方流動③慣性力④その他が考えられるが、図-7. 2. 8, -7. 2. 9 に示したように、港湾構造物では、①液状化と②側方流動を被災の主因に挙げた事例が多く、②側方流動が①液状化を上回る結果となった。河川構造物でも、①液

状化と②側方流動を被災の主因に挙げた事例が多く①液状化と②側方流動がほぼ同数となっている。

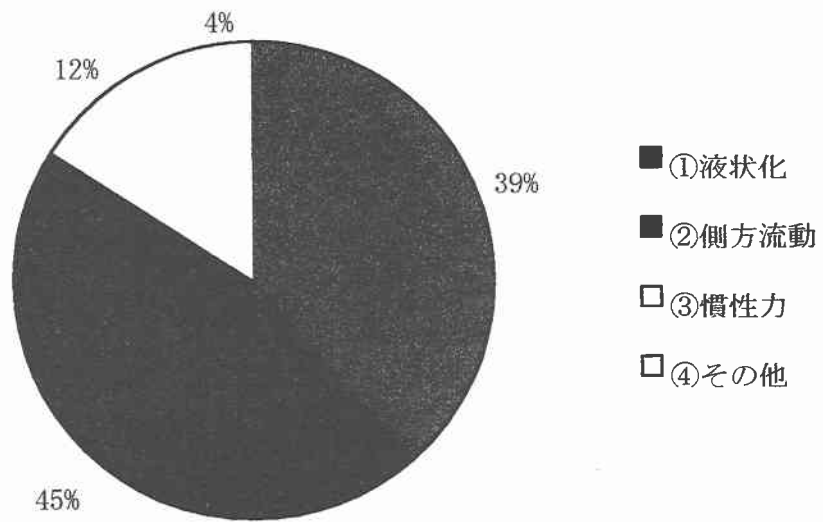


図-7.2.8 港湾構造物 被災の主因

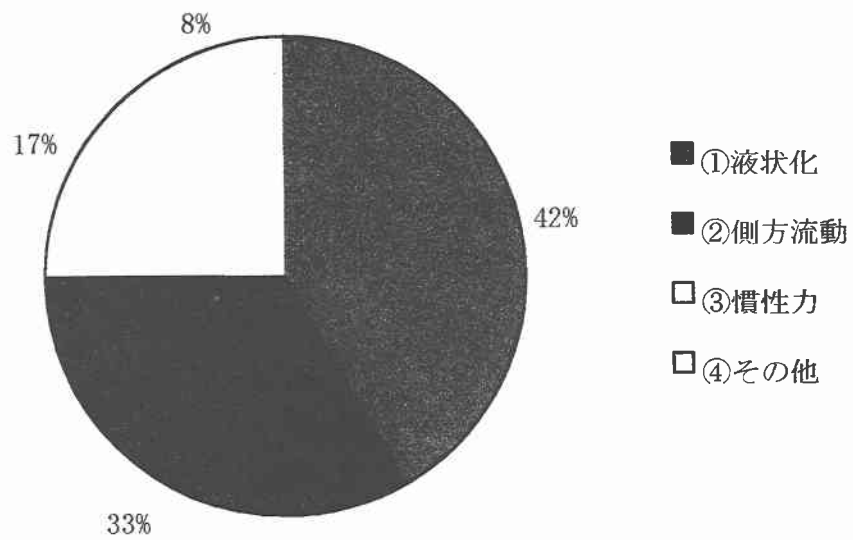


図-7.2.9 河川構造物 被災の主因

(3) 復旧方法

復旧方法については以下の項目に分類し分析した。

港湾施設	河川施設
①前面矢板、控え杭	①地盤改良（SCP）+盛土
②ケーソン前出し	②地盤改良（深層混合）+盛土
③栈橋前出し	③二重締切り+盛土
④自立矢板	④ストレーナー付き鋼矢板+盛土
⑤背面地盤改良	⑤被災護岸撤去後、逆T式護岸
⑥上部工嵩上げ、根固め、補修	⑥道路U型擁壁の再構築
⑦ケーソン前面腹付けコンクリート（水中コンクリート）	⑦鉄道盛土擁壁 補強土擁壁
⑧ケーソン据え直し	⑧鉄道盛土擁壁 ジオテキスタイル
⑨ケーソン撤去後水中コンクリート（原形復旧）	
⑩既設ケーソン利用、エプロン構造	

図-7.2.10、-7.2.11に、上記項目に対応した復旧方法の模式図を示した。

復旧方法については、被災の程度、周囲の状況によっていろいろな方法がとられている。

（図-7.2.12、-7.2.13）復旧方法で多いのは、港湾構造物では、①前面矢板、控え杭であり、河川構造物では、①地盤改良（SCP）+盛土、ついで②地盤改良（深層混合）+盛土であった。

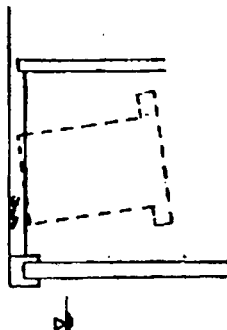
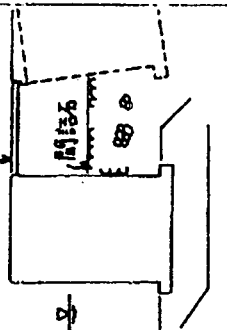
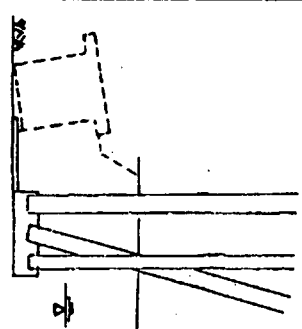
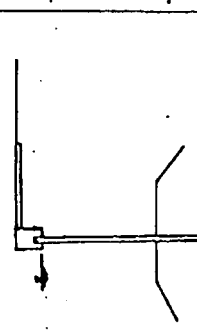
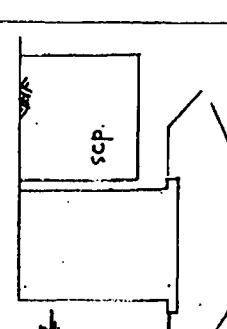
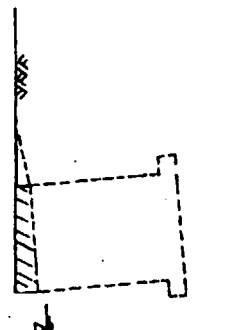
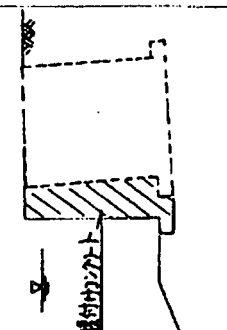
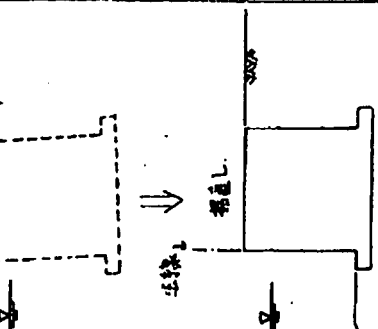
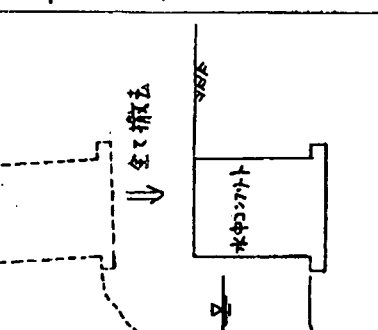
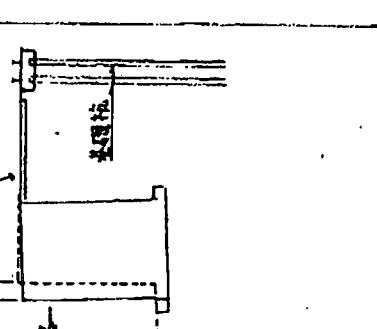
復旧方法	前面矢板・控え杭	ケーソン前出し	棧橋前出し	自立矢板	背面地盤改良
復旧パターン					
復旧方法	上部工嵩上げ・強固め・補修	ケーソン前面腹付けコンクリート (水中コンクリート)	ケーソン据え直し	ケーソン撤去後水中コンクリート (原型復旧)	既設ケーソン利用・エプロン構造
復旧パターン					

図-7.2.10 復旧方法 (港湾構造物)

復旧方法	地盤改良 (SCP) + 盛土	地盤改良 (DM) + 盛土	二重切り + 盛土	ストレーナー付き鋼矢板 + 盛土
復旧パターン				
復旧方法	被災箇所撤去後、逆T式護岸	道路U型擁壁の再構築	鉄道盛土擁壁 補強土擁壁	鉄道盛土擁壁 ジオテキスタイル
復旧パターン				

図-7.2.11 復旧方法 (河川構造物)

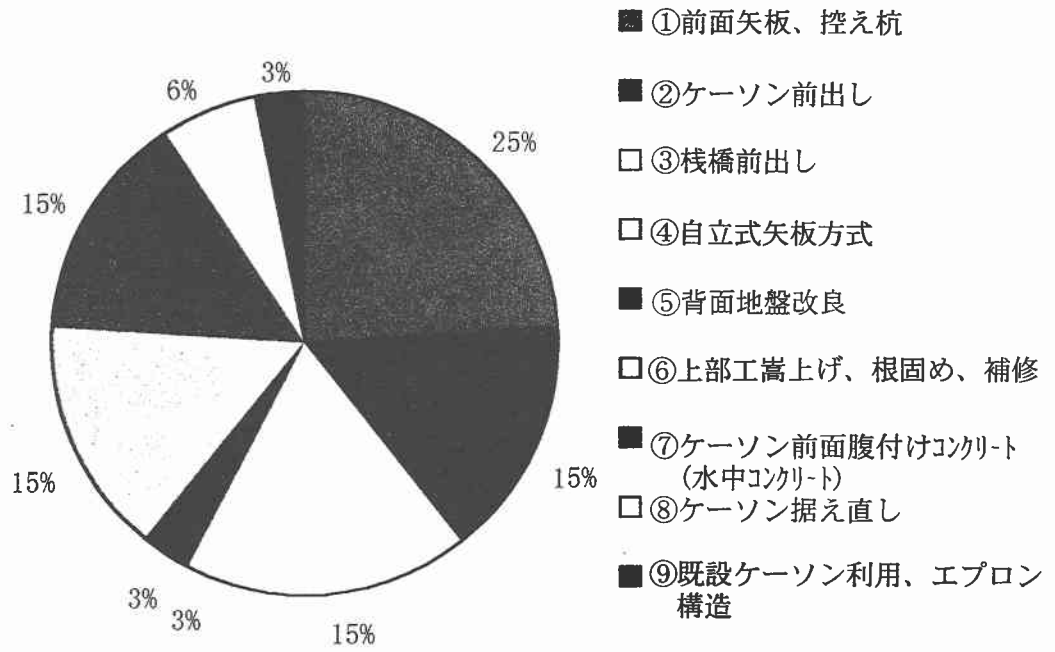


図-7. 2. 12 港湾構造物 復旧方法

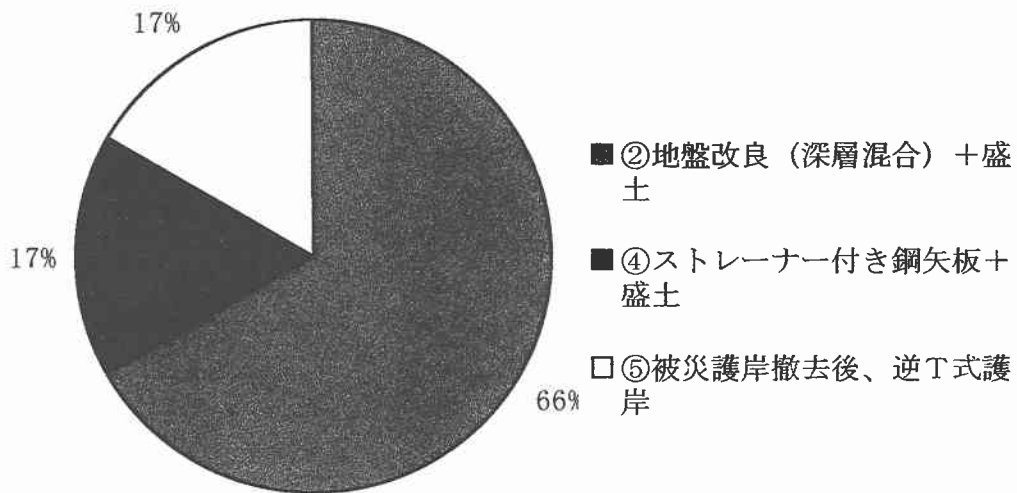


図-7. 2. 13 河川構造物 復旧方法

(4) 工法選定理由

工法選定理由については

- ①工期の制約：工期が厳しい、早期復旧の必要性など。
- ②作業空間の制約：狭隘な作業空間。
- ③背後施設による制約：背面に上屋が接近など。
- ④稼働中の隣接施設による制約：供用しながらの施工、近隣への影響など。
- ⑤振動・騒音対策：隣接施設、周辺環境への影響。
- ⑥資機材・作業員不足
- ⑦経済性：単に経済性と回答されたもの。
- ⑧施工性：単に施工性と回答されたもの、地中障害物による施工性の低下。
- ⑨その他

の9項目に分類し分析した。

港湾構造物（護岸、岸壁）に関する工法選定理由を図-7.2.14に示したが、①工期の制約が非常に多いことが特徴である。河川構造物に関する工法選定理由を図-7.2.15に示したが、①工期の制約について④稼働中の隣接施設による制約、⑤振動、騒音対策が多い。このことは、周辺に民家が密集しているなど港湾構造物との環境の違いが結果に現れたとも考えられる。

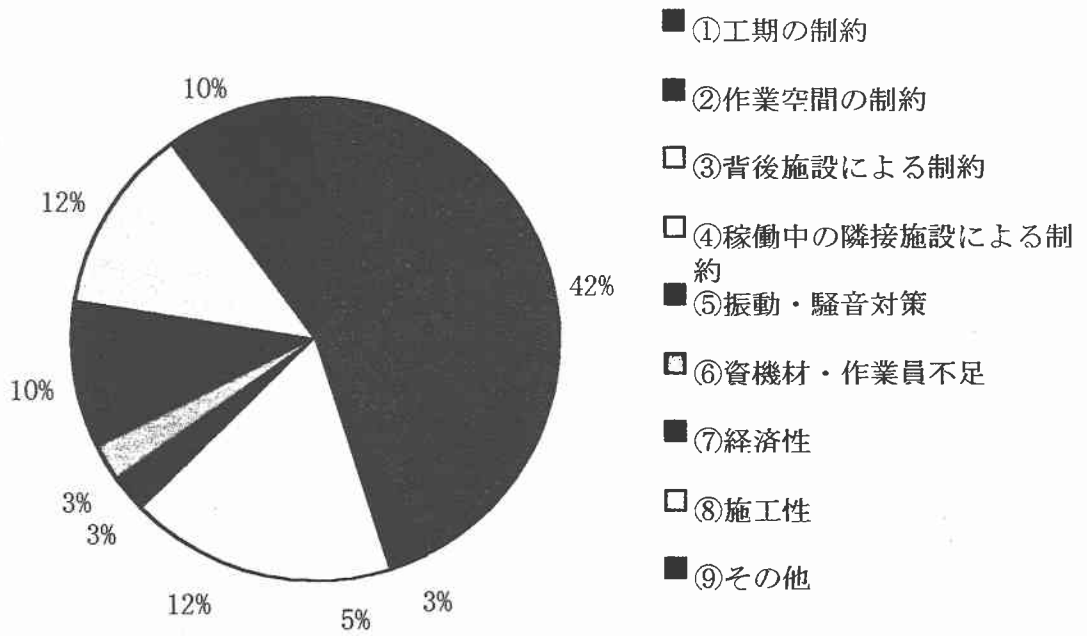


図-7.2.14 港湾構造物 工法選定理由

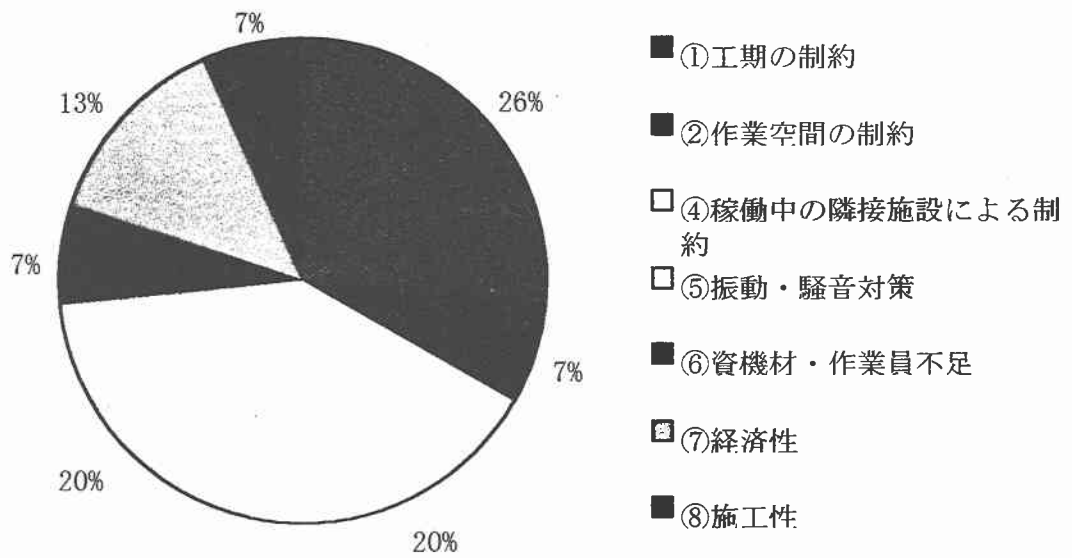


図-7.2.15 河川構造物 工法選定理由

(5) 施工上の工夫

施工上の工夫については、以下の項目について分類し分析した。

港湾構造物	河川構造物・その他
<ul style="list-style-type: none"> ①地盤改良施工技術 <ul style="list-style-type: none"> 地盤改良工法の選定 地盤改良工法の施工方法 ②鋼管矢板、杭の打設技術 <ul style="list-style-type: none"> 鋼管矢板の打設方法 控え杭の打設方法 ③構造物、基礎の撤去技術 <ul style="list-style-type: none"> ケーソン撤去・据付け方法 障害物の撤去方法 ケーソン中詰砂の撤去方法 ④プレキャスト化、プレハブ化 <ul style="list-style-type: none"> 上部工のプレハブ化（大組化） 栈橋のプレキャスト化 栈橋各ブロックの一体化 ⑤コンクリートの施工技術 <ul style="list-style-type: none"> 水中コンクリートの打設方法 吸い出し防止対策 上部工コンクリートの供給手段 ケーソンと前面コンクリートの一体化 寒中コンクリートの養生 ⑥基礎砕石の施工技術 <ul style="list-style-type: none"> 捨石の施工方法 基礎捨石撤去置換工の置換材 基礎捨石材料の調達 ⑦工程、工期 <ul style="list-style-type: none"> 工程（作業時間帯） ⑧海上作業技術 <ul style="list-style-type: none"> 海上作業方法 作業船の選定 ⑨補修技術 <ul style="list-style-type: none"> 炭素繊維による栈橋の補修 	<ul style="list-style-type: none"> ①地盤改良施工技術 <ul style="list-style-type: none"> 深層混合工法の施工 ②矢板、杭の施工技術 <ul style="list-style-type: none"> 基礎鋼管杭の打設 鋼矢板の打設 ③構造物、基礎の撤去技術 <ul style="list-style-type: none"> 地中障害物の撤去方法 ④プレキャスト化、再利用化 <ul style="list-style-type: none"> 現場コンクリートのプレキャスト化 コンクリート殻の再生利用 ⑤盛土材料の海上投入技術 <ul style="list-style-type: none"> 盛土材料の海上投入 ⑥工程、工期 <ul style="list-style-type: none"> 工程調整 ⑦その他 <ul style="list-style-type: none"> 盛土品質管理 改良材の選定 法面工の工場製作

施工上工夫した点について図-7.2.16, -7.2.17 に示したが、港湾構造物で最も多いのは③構造物、基礎の撤去技術で、ついで⑤コンクリートの施工技術、④プレキャスト化、プレハブ化、②鋼管矢板、杭の打設技術であった。これは、ケーソンの撤去、地中障害物の撤去に苦勞したこと、工期が厳しく施工の効率化に努力がなされたことの現れと考えられる。なお、この③構造物、基礎の撤去技術については、次項で述べる今後望まれる施工技術で取り扱う。河川構造物では、どの項目が多かったとは言い難いが、その中でも、②矢板、杭の施工技術、③構造物、基礎の撤去術、④プレキャスト化、再利用化、⑤盛土材料

の海上投入技術が比較的多かった。

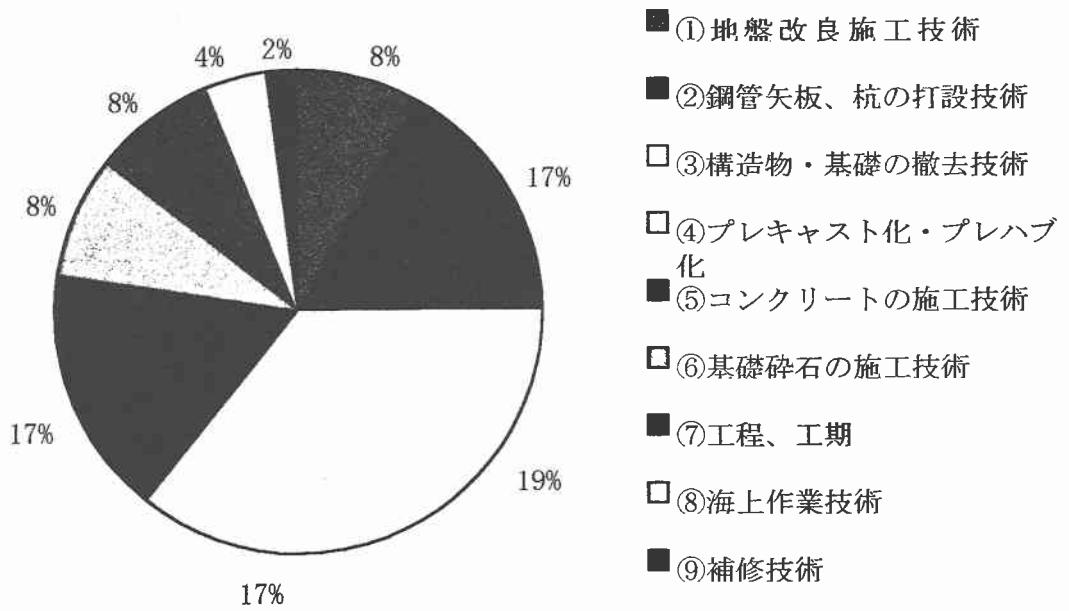


図-7. 2. 16 港湾構造物 施工上工夫した点

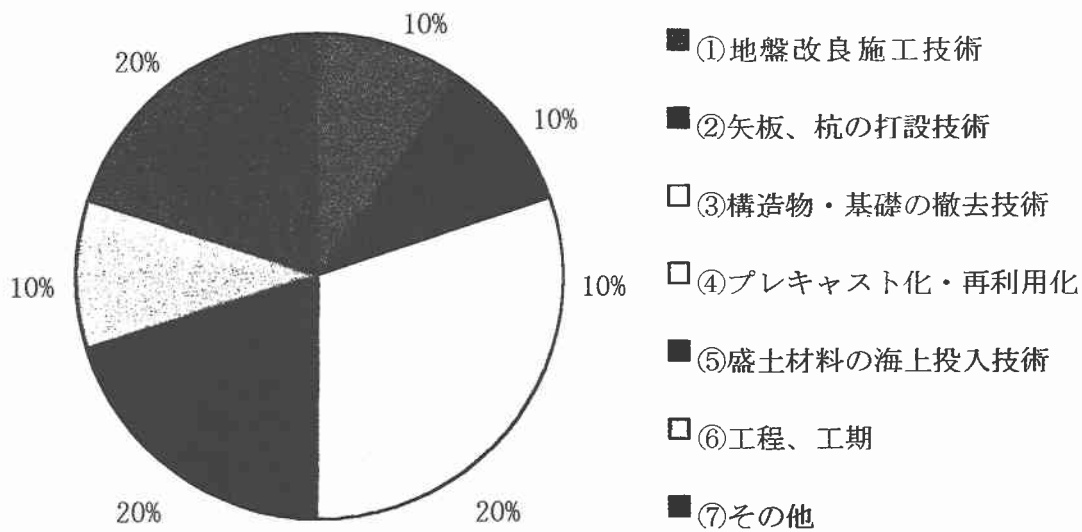


図-7. 2. 17 河川構造物 施工上工夫した点

7.2.2.2 今後の研究課題と研究方法

今後の研究課題の抽出は、今後望まれる施工技術の分析を通じて行う。

(1) 今後望まれる施工技術

今後望まれる施工技術に関して、次のように分類し分析を試みた。

① 捨石・ガラ等の障害物があるところでの施工技術

捨石、ガラ、転石があるところや構造物直下など従来施工が困難であった場所での SCP, CDM 等の地盤改良技術・鋼管杭や矢板等の打設技術、施工機械の改良、開発

② 低振動・低騒音の打設技術

既設構造物（被災したものを含む）近傍での施工で、構造物に有害な振動、変形を与えない低振動、低騒音の杭の打設や地盤改良技術

③ 構造物の撤去技術

被災した構造物の早期に撤去可能な技術。また撤去したものの再利用技術

④ 狭い空間での施工技術

大型の重機が入れないような狭い空間での施工技術

⑤ プレキャスト化・プレハブ化

上部構造のプレハブ化、プレキャスト化、またプレキャスト構造の改良による施工効率向上のための技術

⑥ 水中作業のロボット化・効率アップ

従来潜水夫などによっていた水中作業（はつり、捨石均し等）のロボット化・機械化による安全性向上、効率向上のための技術

⑦ その他

図-7.2.18、-7.2.19 に港湾構造物、河川構造物ごとに今後望まれる施工技術の分析結果を示す。

分析結果によれば、①障害物のあるところでの施工技術が最も多く、ついで③撤去技術が多い結果となっている。これら2点は現状の技術では困難であり要望が多かったものである。また⑤プレハブ化や⑥水中作業の高効率化は工期短縮のための効率アップ手段としての要望が多かった。

なお、技術面だけでなく、資材・機械の調達と労務者の手配、作業ヤードや資機材置場

の確保、撤去物の仮置場およびその処分の確保、運搬経路の確保についても検討が必要である。

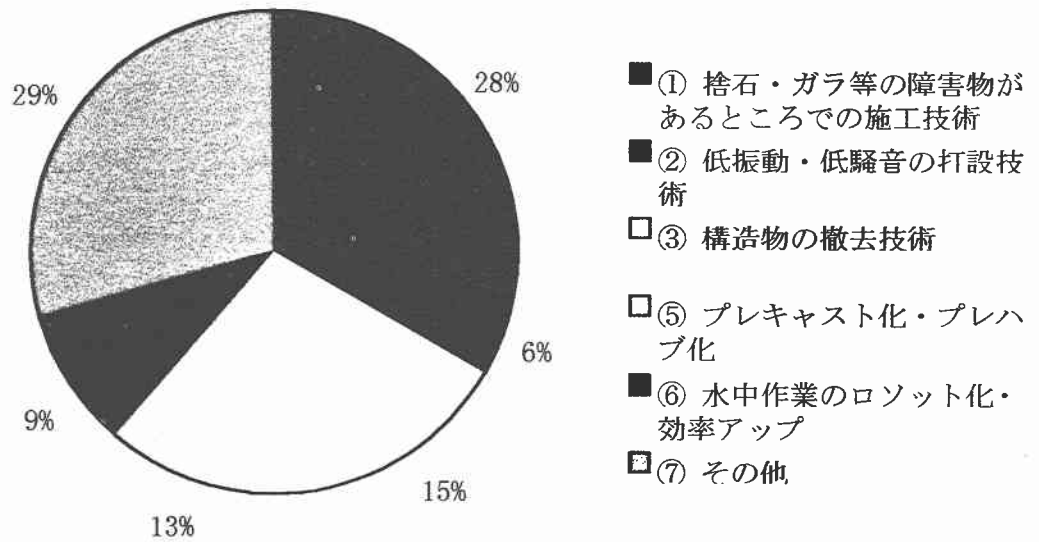


図-7.2.18 港湾構造物 今後望まれる施工技術

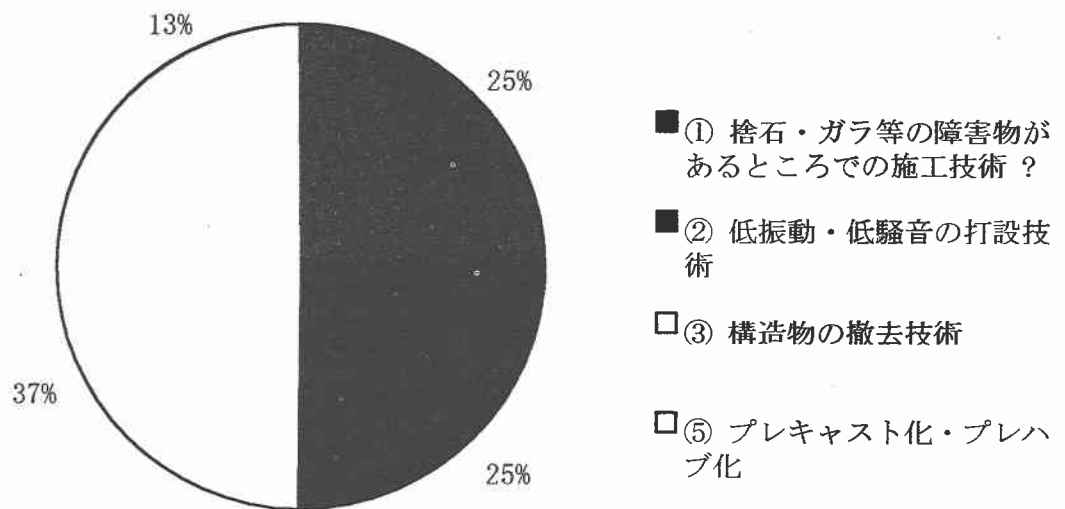


図-7.2.19 河川構造物 今後望まれる施工技術

(2) 今後の研究課題

(1) 今後望まれる施工技術 は、その分析結果から、①障害物のあるところでの施工技術が最も多く、ついで③被災した構造物の撤去技術であった。これらの技術は、裏を返せば

(a) ともかく障害物があることを克服して目的の施工ができる環境にすること

(b) なんとかしても被災した構造物は撤去しなければならないこと

ということとなり、広い意味で次のようなソフトとハードの研究課題が考えられる。

①最適施工法の選択のためのデータベース構築

対象工事に対して最適な施工法を早期に選択し、実施に移せるようマニュアルの作成およびデータベース構築

②地震で被災したコンクリート廃材等の利用

③無人化施工による復旧技術の開発

建設機械を安全な場所から遠隔操作する無人化施工により、復旧作業を行う。無人化施工により、作業員の安全性確保、作業環境の改善、作業の効率化、労働災害の軽減、建設施工の高度化・情報化が図れる。

(3) 研究方法

(2) で提案された研究課題の研究方法はそれぞれ以下のように提案する。

①最適施工法の選択のためのデータベース構築

インターネット等最新のメディアの使用を前提に、「人工知能」を一つの媒体として、データベースの構築を行う。

②地震で被災したコンクリート廃材等の利用

構造物撤去時の建設廃材処分の課題は普段でも生じているが、震災時はさらに大きな問題である。撤去物を再利用して盛土材とする方法は一部で実施されているが、震災時のシステムとして組込む必要がある。また軽量盛土などを護岸工事で実施した例があるが、構造物撤去材を取り込んだ軽量盛土などの研究を行う。

③無人化施工による復旧技術の開発

無人化施工の具体的な復旧技術として以下の事項が考えられる。

- ・ 建設機械をより安全な場所(現場の近傍ではない)から遠隔操作する技術。
- ・ 音声認識制御により建設機械を遠隔操作する技術(図-7. 2. 20 参照)。

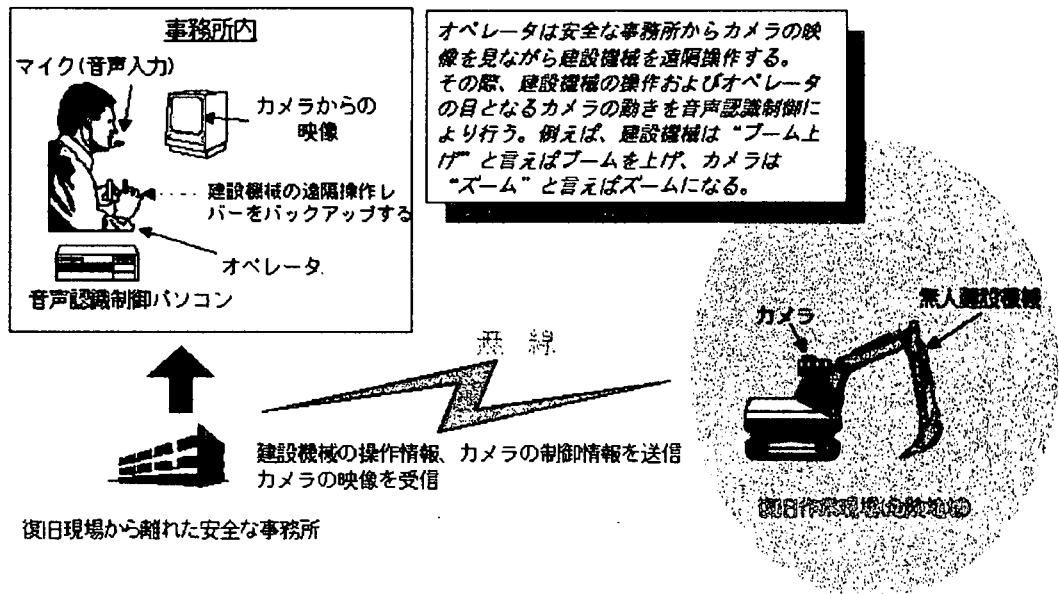


図-7.2.20 音声認識制御による無人化施工システム概念図

参考文献

- 1) 「耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するシンポジウム」講演論文集、平成9年7月、(社)土木学会 土木施工研究委員会
- 2) 大震災の教訓を活かすために～実務技術者からの提案～、阪神・淡路大震災対応技術特別研究委員会報告書、平成9年4月、(社)土木学会
- 3) 「地震時の地盤・土構造物の流動性と永久変形に関するシンポジウム」発表論文集、平成10年5月、(社)地盤工学会、地震時の地盤・土構造物の流動性と永久変形に関する研究委員会

7.2.3 地中構造物

従来、地中構造物は耐震性に優れていると考えられてきた。阪神・淡路地区に多大な被害をもたらした兵庫県南部地震においても、地上構造物と比較して地中構造物の被害は軽微であったといえる。しかし、「地下鉄の安全神話崩壊」と大きく報道された神戸高速大開駅の被害や市営地下鉄上沢駅および三宮駅のようにかなりの被害を受けた箇所も見られる。また、広範囲にわたる長期間の供給停止により、市民活動や産業活動に大きな影響を与えたライフライン施設の被害も特筆すべきものであった。

ここでは、兵庫県南部地震により被災した地中構造物の復旧事例をもとに、復旧方法の現状をまとめ、今後の研究課題について述べる。

7.2.3.1 復旧法の現状

地中構造物の復旧法の現状について、兵庫県南部地震を例に取り以下に示す。

(1) 被害の概況^{1), 2), 3), 4), 5)}

阪神・淡路大震災による地中構造物被害の特徴としては、開削工法で施工された地下鉄や共同溝のようなRC製ボックスカルバートの被害が大きかった事が上げられる。以下に、地中構造物の被害の概要を示す。

①地下鉄

神戸市内には、神戸高速鉄道、神戸市営地下鉄等21の地下駅舎がある。このうちの6駅およびトンネル部に中柱の損壊・側壁のひび割れ・隅角部のハンチの破損などの被害が見られた。

今回の地震では、神戸高速鉄道大開駅のプラットフォームのRC製の中柱破壊のような前例のない被害が生じた。中柱のせん断破壊または曲げせん断破壊により上載土

荷重を上床板で支えられなくなり、長さ90m、幅23mにわたって最大2.5m程度

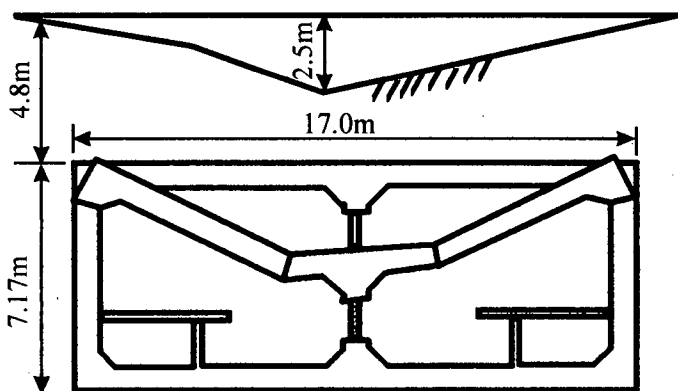


図-7.2.21 大開駅の被害状況¹⁾

沈下した（図-7.2.21）。また、神戸市営地下鉄三宮駅、上沢駅においてもコンコースのRC製中柱の破壊、斜めひび割れが発生した。

②山岳トンネル

被災地域内に100を越える山岳工法トンネルが存在した。この中で、補修・補強を要するような被害を受けたトンネルは約10本とかなり少なく、微細なクラック、剥落などの被害である。被災箇所は、断層粘土、あるいは断層破碎帯で多く見られた。

③地下街・地下駐車場

神戸市内には、さんちかタウン等の地下街がある。これらの地下街では、電気、空調、給排水等の設備系統に若干の被害が生じたものの、構造物本体の損傷はほとんど報告されていない。また、神戸市内の地下駐車場は10カ所程度有り、いずれの駐車場も道路下あるいは公園下に開削工法に築造されており、構造形式としては地下2～3階のRC造が採用されている。三宮第2駐車場では一部、コンクリートの剥落を生じたが、その他の駐車場では躯体被害としては壁面、床にクラックが発生した程度で被害は総じて軽微であった。

④ライフライン

管渠施設では、末端の管渠に被害が多く見られた。幹線管渠では流下不能になった箇所こそ多くないものの、管渠が破断し一時的に排水が不可能となった例も見られた。今回の地震では、末端の地中パイプラインの他に、水道では貯水・取水施設、下水道ではポンプ場・終末処理場等の基幹施設までが被災した。末端施設の膨大な被災および基幹施設までの被災のため、広範囲にしかも長期間の機能停止が生じた。

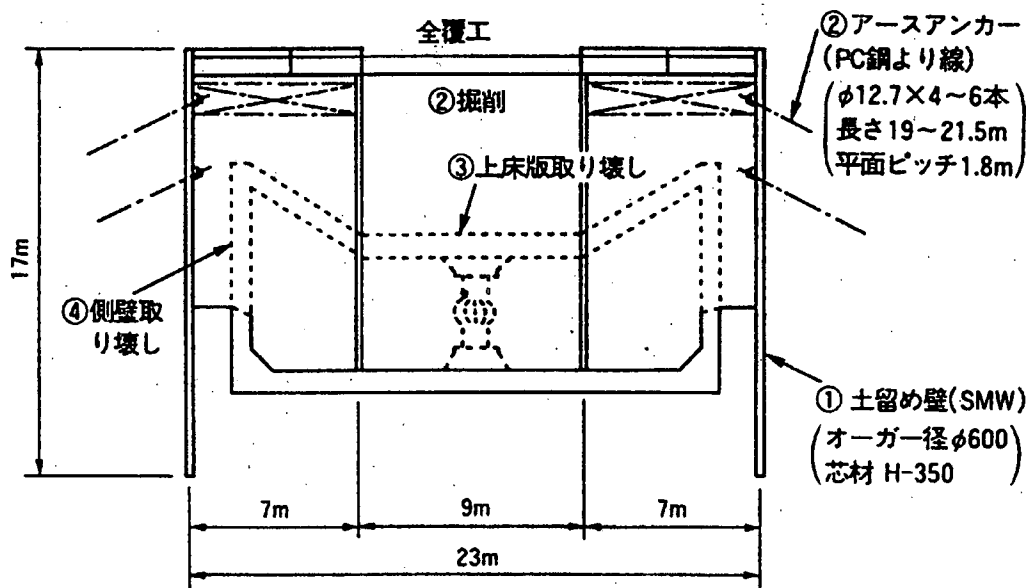
(2) 復旧方法

(a) 神戸高速鉄道・大開駅³⁾

被害原因の解明および復旧工事の設計・施工検討の基礎資料として地盤調査が実施された（調査日数：20日程度、調査項目：路上平板測量、坑内レールレベル測量、陥没部の測量）。

緊急復旧工は、二次災害の防止、道路交通の回復のため、中柱付近の上床版折損箇所にエアミルクを打設し補強（仮受防護、2月末まで）した。路上では、陥没箇所への進入禁止措置（バリケードフェンス工）及び歩道を切削し車道の拡幅を行って両側最外端部にそれぞれ2車線の通行を確保した（約10日間で終了）。破損した埋設管の応急処理、被害状況の調査、復旧計画の策定、作業員および資機材の手配確保に2ヶ月程度を要している。

本復旧方法を図-7.2.22に示す。



施工順序=①土留め壁工②掘削・アースアンカー③上床版取り壊し撤去工
④側壁取り壊し撤去工

図-7.2.22 大開駅の復旧順序⁵⁾

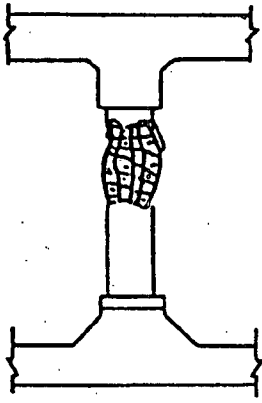
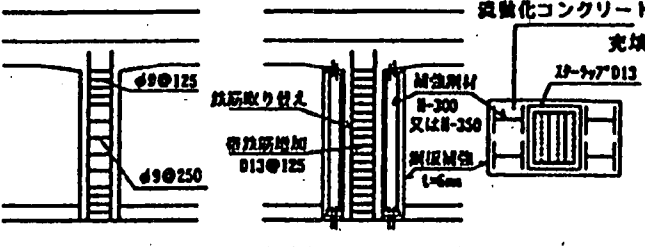
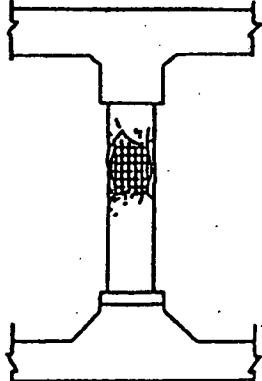
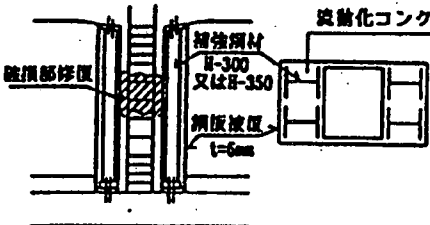
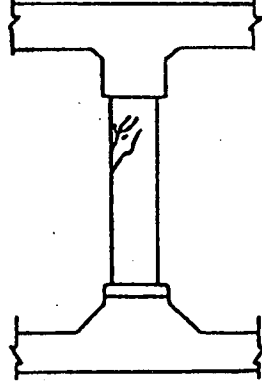
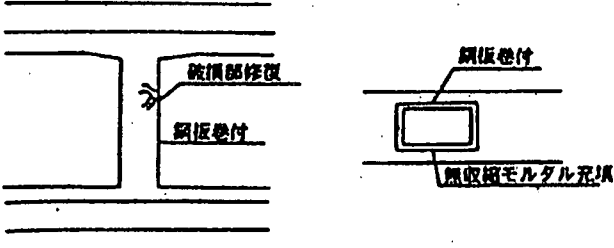
土留工は、建設当時は親杭横矢板で施工されていたが、工期短縮・安全性などからSMW工法が採用された(5,880m²を1ヶ月で完了、三点式杭打ち機・50tクローラクレーンを2セット使用)。土留支保工は工期短縮・取り壊し時の作業性確保等の理由によりグラウンドアンカー方式を採用。さらに、地下水位低下工法を併用することにより支保段数をへらし、工期短縮された。

(b) 神戸市営地下鉄¹⁾

応急復旧としては、被災した開削トンネルの中柱のうち、鉄筋まで変状を受けたものについては、設計軸力相当以上のH鋼で受け替え、コンクリートクラックのみのものについてはエポキシ樹脂注入により応急復旧した。全線の応急復旧に約1ヶ月を要した。

資機材の搬出入路、作業スペース等の制約があり、資機材の搬出入は、車両基地からのモーターカーによる運搬では限界があり、工期短縮のため駅出入口に斜路を設置または、建設当時の材料搬出入口を再度開削し利用。

被害程度に応じ4ランクの復旧方法を決定した (図-7.2.23).

被災程度	被災のイメージ	復旧の考え方
破壊 (ランクⅠ)		<p>部材の破壊部を新設する場合</p> <p>(被災前) (復旧)</p> 
破損 (ランクⅡ)		<p>破損しているが、破壊に至っていない部材を修復する場合</p> 
損傷 (ランクⅢ)		<p>被災によるクラックを修復する場合</p> 

※ ランクⅣ 軽微なクラックが発生しているものエポキシ樹脂等の注入による修復のみ

図-7.2.23 被災程度に応じた復旧方法¹⁾

(c) ライフライン施設

・下水道

幹線は土被りが厚いため被害はクラック等の補修程度で対応できる比較的軽微なものが中心であった。破断し流下機能が完全に寸断された場合には、仮管の設置によって緊急対応された。

被害の形態と程度に応じて各自治体で復旧方針が設定されている。被害形態の割合の大きい本管部の破損・クラックに対しては、程度の大きい被害は敷設替え、軽微な被害はVカットモルタル補修、ライニング等により本復旧を行っている。2cm以上の継手のズレに対しては、布設替えもしくは据え直しにより対応している。マンホールについても、破損・クラックに対しては被害部分の取り替え、ズレに対しては据え直しにより本復旧を行っている。

・水道施設

構造物の被害としては、コンクリート構造物の亀裂損傷と沈砂池等の池状構造物の伸縮目地部の被害が大半であった。また、小口径管路の補修は、切断・欠損部の応急復旧後取り替え等が実施された。

7.2.3.2 今後の研究課題と研究方法

(1) 研究課題の抽出

地中構造物の震災復旧工事を対象として、土木学会 阪神・淡路大震災対応技術特別研究委員会 施工技術検討部会によってヒヤリングおよびアンケート調査が実施されている。表-7.2.7 は、上記委員会の地中構造物及びライフラインWGによってまとめられた復旧工事での問題点⁶⁾を一覧表にまとめたものである。

地中構造物に特有の問題点としては、

- ①被害調査 埋設物の情報の不足、水没時の対応
- ②資機材の調達 地中への搬入路の確保
- ③人材の調達 特にライフラインの復旧では多くの作業員を必要とする
- ④復旧方法の立案、選定 地中構造物では特に用地の制限が厳しい等があげられる。

表-7.2.7 復旧工事での問題点⁶⁾

項目	問題点
①迅速な被害の全容の把握 被害調査	<ul style="list-style-type: none"> ・埋設物の埋設情報が公開されていなかった。図面の不備。 ・崩壊寸前の構造物では人間による被害調査は危険が伴う ・地中構造物の水没対策，水没時の対応
②資機材の調達	<ul style="list-style-type: none"> ・必要数量の把握 ・運搬経路の確保 (道路，海上輸送および地中への搬入路) ・資機材置き場の確保 ・資機材の仕様の違い
③人材の調達	<ul style="list-style-type: none"> ・人材の確保（特にライフラインでは多くの作業員を必要とする） ・宿舍・食事・衛生の確保
③安全面の管理	<ul style="list-style-type: none"> ・労働環境（粉塵等） ・安全管理 短い工期，長時間労働 ・二次災害への配慮
④情報の伝達収集	<ul style="list-style-type: none"> ・電話，交通網 ・構造物被害状況の非公開
⑤廃材の処理，建設副産物の利用	<ul style="list-style-type: none"> ・災害廃棄物対応マニュアル ・副産物再利用マニュアル
⑥復旧方法の立案，選定	<ul style="list-style-type: none"> ・設計図，竣工図等の資料の欠如 ・設計図，竣工図，埋設物情報等資料および復旧工法のデータベース化 ・資機材の制限，工期の制限，用地の制限 ・二次災害の防止

さらに，土木学会 土木施工研究委員会 第7施工小委員会によって耐震補強・補修事例および耐震診断技術に関するアンケートが実施されている。表-7.2.8，-7.2.9は，これらのうち地中構造物分科会がまとめた，復旧工事に採用された施工技術⁷⁾および必要と思われた技術⁷⁾である。

これらの調査結果より，工期，資機材等の制限の多い復旧工事では，特殊な工法の採用は少なかった。また，今後必要な技術として，確実性の高い調査法，RC構造物の解体工法，シンプルな補強工法等があげられている。

表-7.2.8 復旧工事に採用された施工技術⁷⁾

施工技術	利用例
撤去解体技術	<ul style="list-style-type: none"> ・ブレーカー，クラシャー等の利用 ・粉塵対策としてハイウオッシャー，シートの利用 ・騒音対策として防音シート
省力化技術・高速施工技術	<ul style="list-style-type: none"> ・中柱補強工事に鋼板の加工寸法の均一化 ・工場加工品の利用 ・巻立て用鋼板の分割数低減 ・角型鋼板補強RC柱の使用 ・タワー足場（モーターカーと台車利用）
仮設材の本設利用	<ul style="list-style-type: none"> ・中柱の応急復旧用H鋼の本体利用 ・シールドトンネル二次覆工に埋設型枠利用
旧部材の利用	
建設副産物の利用	

表-7.2.9 復旧工事で必要と思われた技術⁷⁾

対象	技術の内容
RC構造物	<ul style="list-style-type: none"> ・安価で早く無騒音，無粉塵の解体方法 ・確実な非破壊検査法
鉄筋，アンカー関連	<ul style="list-style-type: none"> ・高解像度の鉄筋探知機 ・残置アンカー確認技術 ・床版切断鉄筋の接合，代替方法
柱補強	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼板に替わる軽量，施工能力向上が図れる新素材 ・早くてシンプルな方法 ・柱と鋼管の空隙を確実に充填する充填材料，充填技術 ・鋼板の容易な溶接または接続方法 ・鋼板取り付け機械

以上の，調査結果をもとに地中構造物の研究課題として以下の項目があげられる。

①地下鉄の中柱の鋼板補強など，地上構造物の補強方法が準用されているため，地下鉄を供用しながらの補強，狭い作業空間での施工，既存のケーブル類の取り合いといった制約条件を考慮した場合，施工性が著しく低下することも考えられる。このようなことから，地中構造物を対象とした復旧方法の開発が必要。

地中構造物の免震化についても各所で研究が進められていることから，免震技術を取り入れた既設構造物の補強・補修工法の開発も有効と考えられる。

②水没対策および水中での調査，施工技術

地中構造物の場合、被災による漏水や河川の決壊による水没の危険性がある。兵庫県南部地震では河川の決壊等が生じなかったため、大規模な水没箇所は生じなかったが、関東地域では隅田川から江戸川までの広い範囲に渡って海拔ゼロメートル地帯が存在する。地中構造物の場合、地上構造物と比較して、被害程度の把握および復旧に時間がかかることから、このような地域での水没対策および水没した際の被害調査方法の開発、水中での復旧技術の開発が必要と考えられる。

③ ライフライン施設については、被害状況の把握に長時間を要する事から、個々の施設の耐震性強化とともに、

冗長性のあるネットワークの構成

緊急時の自動制御的手段による防護

発災後の復旧戦略

等ソフト面での対策が必要である。

(2) 研究方法の提案

① 水中での調査、補修作業が可能なマシンの開発

地中線状構造物の場合、断面形状の変化が少ないこと、さらに、地下鉄の場合軌道があるため、水中であっても機械の移動は比較的容易である。このような特性を生かし、地震時の被害調査およびクラック等の軽微な被害の場合補修までできるような車両（無人）の開発を行う。

参考文献

- 1) 大震災に学ぶ－阪神・淡路大震災調査研究委員会報告書－，平成10年6月9日発行，
（社）土木学会関西支部，第Ⅱ巻，第5編，地震に強い地下構造物。
- 2) 阪神・淡路大震災調査報告 ライフライン施設の被害と復旧，阪神・淡路大震災調査
報告編集委員会，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，
1997年9月10日発行。
- 3) 神戸高速鉄道東西線大開駅災害復旧の記録，佐藤工業株式会社，平成9年1月。
- 4) 土木工事施工実例集第6巻震災調査，復旧・補強工事，土木施工編集委員会編，山海
堂。

- 5) 土木が遭遇した阪神大震災（被害現場が教える地震防災へのヒント），日経コンストラクション編，1995年7月17日．
- 6) 大震災の教訓を生かすために～実務技術者からの提案～，阪神・淡路大震災対応技術特別研究委員会報告書，平成9年4月，（社）土木学会．
- 7) 「耐震補強・補修技術，耐震診断技術に関するシンポジウム」講演論文集，平成9年7月

<参考資料>

「都市基盤施設の地震防災性向上に関する調査」復旧技術WGアンケート

1. アンケートの目的

土木学会土木施工研究委員会および地震工学委員会では、平成10年度科学技術振興調整費による総合研究新規課題の提案を行っています。研究課題は、「都市基盤施設の地震防災性向上に関する総合研究」で、活動内容は、調査総括WG、耐震設計法WG、耐震診断技術WG、耐震補強WG、被害調査と復旧WGのそれぞれのグループで研究と技術の現状を把握し、今後取り組むべき調査・研究課題を抽出し、これを推進するための具体的方法、期間、費用などについて提案するものです。

復旧技術WGでは、早期復旧のための復旧戦略の検討および合理的な復旧工法の確立をF.Sの2課題として取り上げています。さらに、復旧戦略の検討においては、インフラ復旧のための物流（人、情報を含む）の最適化ととらえ、「インフラ復旧ロジスティックス」の研究方法を提示することを考えています。

そこで、阪神・淡路大震災における、ロジスティックスの実像、問題点・課題等に関するアンケート調査を計画しました。内容は、復旧方法ならびに復旧に要した期間、人員、資機材等に関するものです。

対象とする構造物は、当面、橋梁上部工および橋脚（高架橋）の2物件とし、阪神高速道路および新幹線から回答していただきます。

①被災状況、②復旧方法、③使用資機材、④要員数、⑤復旧期間、⑥廃棄物量と処理方法などを整理するものです。

2. アンケートの記入に当たって

①復旧期間の定義：震災直後から3月末までの間とし、本復旧は含めません。そのため、被災調査、応急復旧、解体撤去などの活動を対象としますが本復旧のための再構築は除きます。しかし、新幹線のように応急復旧と本復旧を分かちがたい場合あるいは3月末前後で工事数量を分けづらい場合などがあると思います。この場合には、とりあえず全期間の数量を回答頂き、3月末までの工事量の割合が全体のほぼ何割に当たるか目星を付けてください。全数量に概算割合を掛けますのでその割合を【概算割合】に示して下さい（注1）。

- ②アンケートの目的のとおり、復旧現場に出入りした人、物、情報の量、経路、期間などを正確に追跡することに主眼を置いています。しかし、当時の記録などが手元に無く、記憶の範囲で回答頂く場合もあると思います。その場合、【記入資料】にその旨を記入下さい（注2）。
- ③被災の程度を3分類に分けていますが、該当工区内にはそれぞれの被災程度が混在している場合があると思います。この場合には、当該工区の中で代表的な被災程度に限って回答いただいても結構ですし、被災程度ごとに分けるのが困難な場合には①と同様に、全数量に対して被災程度1.、2.、3.それぞれ何割程度と【概算比率】を示して下さい（注3）。この場合、⑤の復旧の範囲が不明確になると思います。平面図等（ポンチ絵でも可）に被災程度ごとの範囲を示してください。
- ④本アンケートの結果は、構造物の被災程度に応じて復旧に必要な人員や物量を推定するためのデータベース（復旧原単位）とします。ただし、アンケート標本数が限られているため未回答項目があると支障をきたします。該当する項目については可能な限り全て記入してください。なお、確定数値や情報が得られない場合は、想定値を記入してください。その際には括弧を付してください。
- ⑤復旧工事の範囲（単位）を明確にしてください〔集計時には橋梁上部工1スパン、橋脚1本、高架橋1ラーメンなど単位当たりの物流量に換算します〕。
代表的な図面があれば添付してください。

アンケート用紙

- ① 構造物の分類：（1. 橋梁上部工、2. 橋脚）
- ② 被災の程度分類：（1. 倒壊⇒撤去・再構築、2. 半壊・傾斜⇒再利用、3. 補修・補強）
- ③ アンケート回答者氏名：
- ④ 復旧工事名：
- ⑤ 事業者名：
- ⑥ 復旧工事内容

復旧工事工種	数 量
借囲い	
仮設道路	
仮支柱	
既設構造物の撤去	
はつり、解体	
足場・支保工	
掘削・埋戻し	
土留め・山留め	
鋼板巻立て	
コンクリート巻立て	
ひび割れ樹脂注入	
落橋防止工	
構造物の再利用	

注1) 【概算割合 割】

注2) 【記入資料 1. 記憶 2. 多少の資料を参考 3. 工事記録など参照】

3. の場合、名称を記入してください _____

注3) 【被災程度毎の概算比率 被災程度1. 割、被災程度2. 割、被災程度3. 割】

⑧-3 復旧施工計画

施工計画期間 ～

	日平均 就業者数	日最大 就業者数	延べ人員
現場職員			

⑧-4 復旧工事

人員に関する調査

	日平均 就業者数	日最大 就業者数	延べ人員
事業者			
現場職員			
現場作業員			
資機材関連			
輸送関連			
保安要員			

⑧-6 復旧工事

廃棄物に関する調査

名 称	廃棄物量	廃棄先	運搬方法	運搬距離

名 称	再利用物量	仮置き先	仮置き面積	運搬方法	運搬距離

⑧-5 資機材に関する調査

【主要機械】

名称	日当り 台数	日 数	延べ 台数
ダンプトラック			
トラック			
ライトバン			
乗用車			
クレーン			
ユニック			
マイクロボス			
高所作業車			
トラレーザ			
ブルードーザ			
掘削機械			
積込み機械			
せん孔機械			
ブレーカ			
コンクリート破壊機			
コンクリートポンプ車			
モータグレーダ			
路盤機械			
締固め機械			
舗装機械			
照明車			
給水車			
散水車			
診断・計測・通信車等			
船舶			
フェリーバーン			

【主要仮設材】

名称	単位	数量	名称	単位	数量
バリゲード	枚		仮設建物	棟	
セイフティコーション	本		仮設トイレ	棟	
防護ネット	枚		消火器	個	
連絡用バイク	台		保安灯	個	
自転車	台		立て看板	枚	
発電機	台				
分電盤	個				
コンプレッサー	台				
投光器	個				
ウィンチ	個				
タンバ	台				
切断機(チェーン等)	台				
ガス切断機	個				
水槽	個				
水中ポンプ	台				
フラット・チェーンブロー等	個				
鋼矢板	トン				
H型鋼	トン				
鋼製山留め材	トン				
覆工板	トン				
鋼板	トン				
枠組足場	m ²				
鋼管パイプ	本				
パイプサポート	本				
メタルフォーム	m ²				

【主要材料】

名称	単位	数量
ビニールシート	枚	
シート用ひも	m	
トラロープ	m	
土嚢	袋	
砕石	m ³	
土砂	m ³	
アスファルト合材	トン	
木材	m ³	
合板	枚	
コンクリート	m ³	
モルタル	m ³	
鉄筋	トン	
鋼板	トン	
ボルト類	本	
アンカーボルト類	本	
断面修復材	m ²	
注入材(エポキシ、セメント等)	m ³	

⑧-7 復旧工事

復旧工事における用地占有に関する調査

占有目的	占有内容	占有期間	現場との距離	

⑧-8 復旧工事

復旧活動において障害となった項目に対する質問事項

交通渋滞、用地確保、家屋倒壊や火災による作業制約、住民からの要望・苦情

障害項目	具体的内容

以上ありがとうございました。

付表-1 アンケート一覧表

番号	工事名称	工事概要	構造物の分類	被災の程度分類	応急復旧比率	被災比率	工事概要	人員	機械	仮設材	主要材料	廃棄物
1	阪高第6-2工区	鋼製橋梁の撤去 537m	①橋梁上部工 ②橋脚	①倒壊(撤去再構築) 2.半壊・傾斜 3.補修・補強	100	100		○	○	○	○	○
2	阪高工区	鉄橋調査 ベント27基 約3km	1.橋梁上部工 ②橋脚	1.倒壊(撤去再構築) ②半壊・傾斜 3.補修・補強	60			○	○	○	-	○
3	阪高6工区	桁、梁の仮受けベント 17基	①橋梁上部工 ②橋脚	1.倒壊(撤去再構築) ②半壊・傾斜 3.補修・補強	100	100		○	○	○	○	-
4	阪高深江	コンクリート橋梁の撤去 ピルツ3基 105m	①橋梁上部工 ②橋脚	①倒壊(撤去再構築) 2.半壊・傾斜 3.補修・補強	100	100		○	○	-	-	○
5	新幹線野間	橋脚樹脂注入、鋼板巻 き、スラブこら上 1737m、柱446本	1.橋梁上部工 ②橋脚	1.倒壊(撤去再構築) ②半壊・傾斜 ③補修・補強	100	70 30		○	○	○	○	○
6	新幹線時友	橋脚樹脂注入、鋼板巻 き、スラブこら上 795m、柱200本	①橋梁上部工 ②橋脚	①倒壊(撤去再構築) ②半壊・傾斜 ③補修・補強	100	40 30 30		○	○	○	○	○
7	新幹線今津	ランク橋台2基撤去構築 PC桁再利用8本 52.6m	1.橋梁上部工 ②橋脚	①倒壊(撤去再構築) 2.半壊・傾斜 3.補修・補強	100	100		○	○	○	○	○
8	在来線芦屋	樹脂注入 + 鋼板巻立て 40m、柱45本	1.橋梁上部工 ②橋脚	1.倒壊(撤去再構築) 2.半壊・傾斜 ③補修・補強	95			○	○	○	○	○
9	新幹線武庫川	河川内橋脚10基 RC巻立て後鋼板巻立て 415m	1.橋梁上部工 ②橋脚	1.倒壊(撤去再構築) 2.半壊・傾斜 ③補修・補強	90	100		○	△	△	○	-

以上の予データから、道路および鉄道の被災程度の分類ごとの復旧原単位を以下のように算出した。

【高瀬道路】

- ・橋梁撤去 鋼製橋梁の撤去 = 番号1 / 0.537km
- ・橋梁撤去 コンクリート橋梁の撤去 = 番号4 / 0.105km
- ・半壊・傾斜 橋脚の被災調査と半壊の仮受 = 番号2 x 0.6 / 3.0km
- ・半壊・傾斜 橋梁の仮受け(梁受け・桁受け)各々50基 = 番号3 / 17 x 50 = 番号9 x 0.9 / 0.415km
- ・補修・補強 (全区間)

【鉄道線】

- ・倒壊撤去 橋梁の撤去と桁の再利用 = 番号7 / 0.0526km
- ・半壊・傾斜 2スパンのランク橋台の撤去と桁の再利用 = 番号5 x 0.7 / 1.737 x 0.5 + 番号6 x 0.3 / 0.796 x 0.5
- ・補修補強 全橋脚の補強と一部の撤去・新設 = 番号8 x 0.95 / 0.04
- ・補修補強 半架の橋脚の補修・補強 = 番号5 x 0.3 / 1.737 x 0.5 + 番号6 x 0.3 / 0.796 x 0.5

付表-5 応急復旧用資機材量推定のためのアンケートデータ

構造種別 ①橋梁、2.基礎構造物、3.土構造物、4.地中構造物
 被災の程度 ①削壊・除去、2.半壊・傾斜、3.補修・補強
 復旧期間:平成7年1月19日～1月30日
 復旧単位:ビルツ情報3基区間

【復旧工事内容の図示】

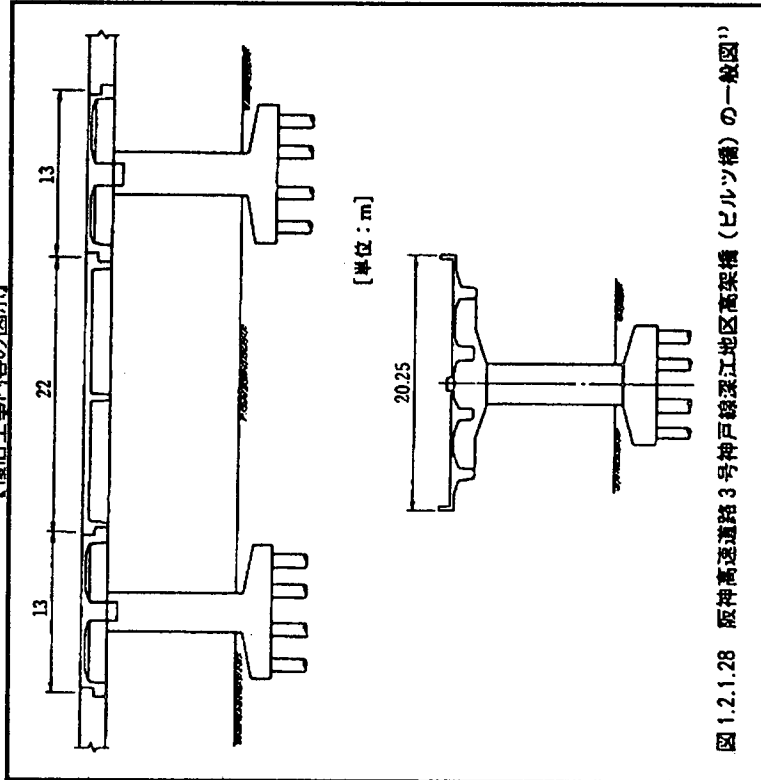


図 1.2.1.28 阪神高速道路3号神戸線深江地区高架橋(ビルツ橋)の一般図¹⁾

【主要機械】			【主要仮設材】			【主要材料】		
名称	日台数	延べ台数	名称	単位	数量	名称	単位	数量
クレーン	100	850	バックホウ	枚		ビニールシート	枚	
トラック			ワイヤーロープ	本		シート用バネ	m	
ライパン			防護ネット	枚		トラロープ	m	
乗用車			連絡用バイク	台		土織	袋	
クレーン			自走車	台		砕石	m ³	2,500
クレーン付きトラック			発電機	台		土砂	m ³	
マイクロバス			分電盤	個		アスファルト合材	t	
高所作業車			コンクリートポンプ	台		木材	m ³	
トラロー			投光器	個		合板	枚	
ブルドーザー等	3	25	ウインチ	個		コンクリート	m ³	
掘削機	6	50	タンバ	台		モルタル	m ³	
養生用機	1	10	切断機(チェーンソー等)	台		セメント	袋	
せん孔機			ガス切断機	個		鉄筋	t	
ブローカ	16	150	水槽	個		鋼板	t	
コンクリート破砕機	16	150	水中ポンプ	台		ボルト類	本	
コンクリートポンプ車			シッキンチェーンブック	個		アンカーボルト器	本	
ロータリー			鋼矢板	t		断面修復材	m ³	
路盤機			H型鋼	t		注入材(エポキシ樹脂)	kg	
締固め機			鋼製山留材	t		注入材(セメント)	m ³	
鋪設機			養生板	t				
照明車			鋼板	t				
給水車			砕組足場	m ³				
散水車			鋼管パイプ	本				
診断・計測車			パイプサポート	本				
船舶			メタルフォーム	m ³				
フェラーハンズ			仮設建物	棟				
			仮設トイレ	個				
			消火器	個				
			保安灯	個				
			立て看板	枚				

【廃棄物の名称と数量】

名称	廃棄物量	廃棄先	運搬方法	運搬距離
コンクリートガラ	1836m ³	足崎フェニックス	ダンプトラック+船	陸送10km
アスファルトガラ	137m ³	同上	同上	同上

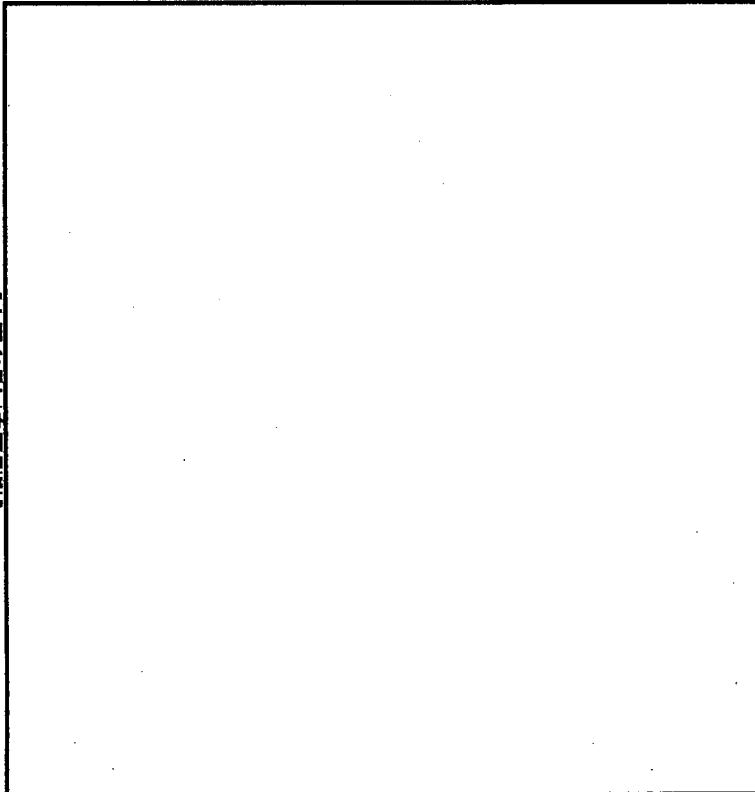
【復旧工事に必要な人員】

区分	日平均就業者数	日最大就業者数	延べ人員
事業者	4	5	50
現場職員	9	10	120
現場作業員	70	86	700
資機材関連	90		
輸送関連	100		900
保安要員	50	60	600

付表-6 応急復旧用資機材量推定のためのアンケートデータ

構造種別 ①橋梁 ②基礎構造物 ③土構造物 ④地中構造物
被災の程度 1.倒壊・撤去 ②半壊・崩壊 ③補修・補強
復旧期間 平成7年1月17日～3月31日
復旧単位

【復旧工事内容の図示】



【主要機械】

名称	日台数	延べ台数
ダンプトラック	7	76
トラック	2	108
ライトバン	5	365
乗用車	3	219
クレーン	9	669
クレーン付きトラック	13	974
マイクロバス	10	730
高所作業車	7	516
トラクタ	2	20
アルドサ等	1	44
掘削機械	10	601
運込み機械		
せん孔機械		
ブローカ	5	100
コンクリート破砕機		
コンクリートポンプ車	1	25
ローザルダ		
路盤機械		
締固め機械		
舗装機械		
照明車		
給水車	2	146
取水車		
診断・計測車		
船舶		
フェローバージ		

【主要仮設材】

名称	単位	数量
バリアード	枚	1,000
セパレーター	本	200
防護ネット	枚	100
運送用バイク	台	5
自走車	台	10
発電機	台	25
分電盤	個	2
コンプレッサー	台	2
投光器	個	10
ウインチ	個	
タンバ	台	
切断機(チェーン等)	台	5
ガス切断機	個	10
水槽	個	2
水中ポンプ	台	40
ジャッキチェーンブロック	個	30
鋼矢板	t	23
H型鋼	t	474
鋼製山留め材	t	224
覆工板	t	23
鋼板	t	74
袋組足場	m ³	3,000
鋼管パイプ	本	13,000
パイプサポート	本	
メタルフォーム	m ³	
仮設建物	棟	16
仮設トイレ	棟	14
消火器	個	30
保安灯	個	200
立て看板	枚	30

【主要材料】

名称	単位	数量
ビニールシート	枚	300
シート用ひも	m	200
トラロープ	m	500
土嚢	袋	1,000
砕石	m ³	
土砂	m ³	65
アスファルト合材	t	
木材	m ³	210
合板	枚	150
コンクリート	m ³	859
モルタル	m ³	519
セメント	袋	
鉄筋	t	74
鋼板	t	320
ボルト類	本	
アンカーボルト類	本	1,432
断面修復材	m ³	10
注入材(エポキシ樹脂)	kg	42
注入材(モルタル等)	m ³	42

【廃棄物の名称と数量】

名称	廃棄物量	廃棄先	運搬方法	運搬距離
土砂	1200m ³		ダンプトラック	15km
木材	210m ³		トラック	40km
パイプ他	15m ³		4トンテナ	15km

【復旧工事に要する人員】

区分	日平均就業者数	日最大就業者数	延べ人員
業者者	2	10	250
現場職員	20	25	1,460
現場作業員	116	200	8,503
資機材関連	14	20	1,000
輸送関連	6	20	429
保安要員	30	35	2,174

付表-7 応急復旧資機材量推定のためのアンケートデータ

構造種別 ①橋梁、2.基礎構造、3.土構造物、4.地中構造物
 被災の程度 ①倒壊・撤去、②半壊・傾斜、③補修・補強
 復旧期間:平成7年1月20日～4月5日(76日間)
 復旧単位:3径間7m高梁構造を再構築、橋脚鋼板橋立を2本、橋脚側溝注入118本

【復旧工事内容の図示】

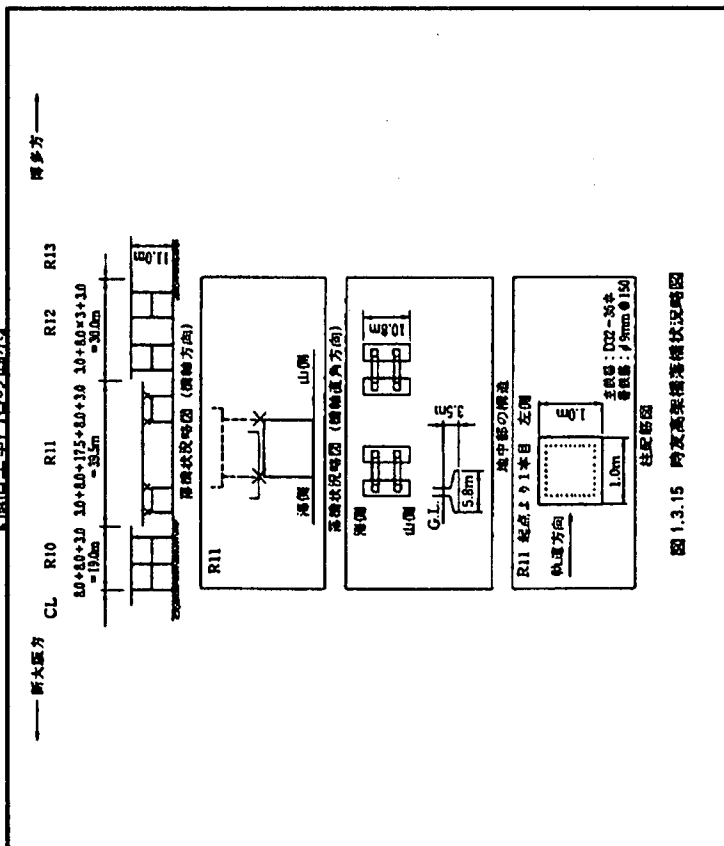


図 1.3.15 時及高梁橋海構状況略図

【主要機械】			【主要仮設材】			【主要材料】		
名称	日台数	延べ台数	名称	単位	数量	名称	単位	数量
クレーン	3	278	バックボード	枚	900	ビニールシート	枚	100
トラック	1	82	セウチヤーン	本	300	シート用ひも	m	500
フォーク	1	85	防護ネット	枚	100	トラロープ	m	1,000
乗用車	2	170	運搬用バイク	台	3	土嚢	袋	500
クレーン	3	269	自走車	台	6	砕石	m³	50
クレーン付きトラック	7	564	発電機	台	296	土砂	m³	
アークバス	3	249	分電盤	個	1	アスファルト合材	t	
高所作業車	2	188	コンプレッサ	台	3	木材	m³	10
トラ	1	4	線光器	個	150	合板	枚	1,063
ブルドーザ等	1	58	ウィンチ	個	3	コンクリート	m³	714
掘削機械	4	299	タンバ	台	1	モルタル	m³	36
積込み機械	7	557	切断機(チェーン等)	台	7	セメント	袋	
せん孔機械	3	249	ガス切断機	個	10	鉄筋	t	21
ブルカ	3	249	水溜	個	4	鋼板	t	219
コンクリート運搬機	1	28	水中ポンプ	台	8	ボルト類	本	1,000
コンクリートポンプ車	1	9	シッキチェーンブロック	個	32	アンカーボルト類	本	150
ロータリー			網本板	t	20	断面修復材	m³	1
踏盤機械			H型鋼	t	67	注入材(本工用)	kg	
橋脚の機械			鋼製山留め材	t		注入材(モルタル等)	m³	255
舗装機械			覆工板	t				
照明車	1	10	鋼板	t	69			
給水車	1	30	砕細足場	m³	13,117			
敷水車	1	94	網管パイプ	本	3,000			
診断・計測車	1	4	パイプサポート	本	200			
船舶			メタルフォーム	m³	20			
アローバージ			仮設建物	棟	5			
			仮設トイレ	個	80			
			消火器	個	50			
			保安灯	個	30			
			立て看板	枚	30			

【廃棄物の名称と数量】

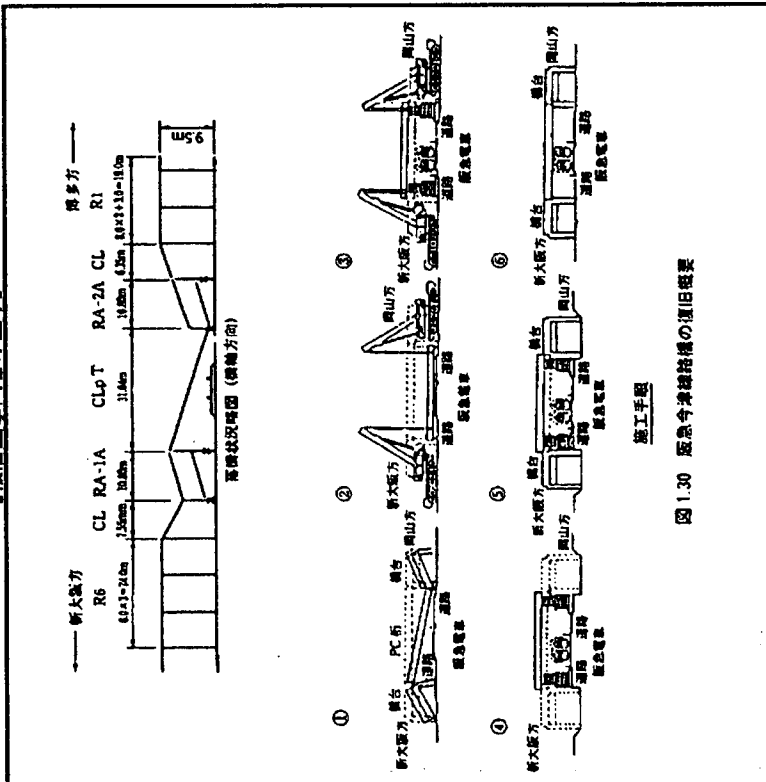
区分	日平均就業者数	日最大就業者数	延べ人員
作業員	1	3	120
現場職員	12	14	981
現場作業員	77	170	6,561
資機材運送	5	10	425
輸送関連	3	7	255
保安要員	5	6	383

名称	廃棄物量	廃棄先	運搬方法	運搬距離
軌道バラスト	98m³	神戸市西区	ダンプトラック	32.8km
鉄筋コンクリート	466m³			
埋戻処分	306.8m³	堺市築港八幡町		30.0km

付表-8 応急復旧用資機材量推定のためのアンケートデータ

構造種別 ①橋梁、2.基礎構造物、3.土構造物、4.地中構造物
被災の程度 ①倒壊・撤去、2.半壊・傾斜、3.補修・補強
復旧期間:平成7年1月17日～3月26日(76日間)
復旧単位:ラーメン橋台2基倒壊細構、PC桁両利用

【復旧工事内容の図示】



【主要機械】			【主要仮設材】			【主要材料】		
名称	日台数	延べ台数	名称	単位	数量	名称	単位	数量
クレーン	20	300	パレット	枚	600	ビニールシート	枚	100
トラック	3	225	セグメント	本	200	シート用ゴム	m	200
クレーン	4	300	防護ネット	枚	190	トラロープ	m	500
クレーン	3	210	運送用バイク	台	3	土嚢	袋	5,000
クレーン付トラック	2	150	自転車	台	3	砕石	m ³	700
マイクパス	6	420	発電機	台	4	土砂	m ³	
高所作業車	2	140	分電盤	個	10	アスファルト合材	t	
トラウ	2	20	コンプレッサ	台	6	木材	m ³	
アルトサ等	4	80	投光器	個	50	合板	枚	800
掘削機	4	80	ウインチ	個	2	コンクリート	m ³	700
せん孔機	6	180	タンバ	台	2	モルタル	m ³	
ドリル	6	180	切断機(チェーン等)	台	1	セメント	袋	
コンクリート破壊機	6	120	ガス切断機	個	6	鉄筋	t	150
コンクリートポンプ車	1	10	水櫃	個	2	鋼板	t	
モーター			水中ポンプ	台	10	ボルト類	本	
踏踏機	2	10	ジャッキチェーンブロック	個	30	アンカーボルト類	本	
踏踏機	1	5	鋼矢板	t		断面修復材	m ³	
踏踏機	16	80	H型钢	t	300	注入材(エポキシ樹脂)	kg	
給水車	1	75	鋼製山留め材	t	20	注入材(モルタル)	m ³	1
敷水車			覆工板	t	50			
診断・計測車			鋼板	t				
船舶			枠組足場	m ³	700			
ワゴン			鋼管パイプ	本	1,000			
			パイプサポート	本	200			
			メタルフォーム	m ³				
			仮設建物	棟	4			
			仮設トイレ	棟	5			
			消火器	個	30			
			保安灯	個	100			
			立て看板	枚	50			

【廃棄物の名称と数量】

名称	廃棄物量	廃棄先	運搬方法	運搬距離
コンクリート	2000t	処理業者	ダンプトラック	12km

【復旧工事に要する人員】

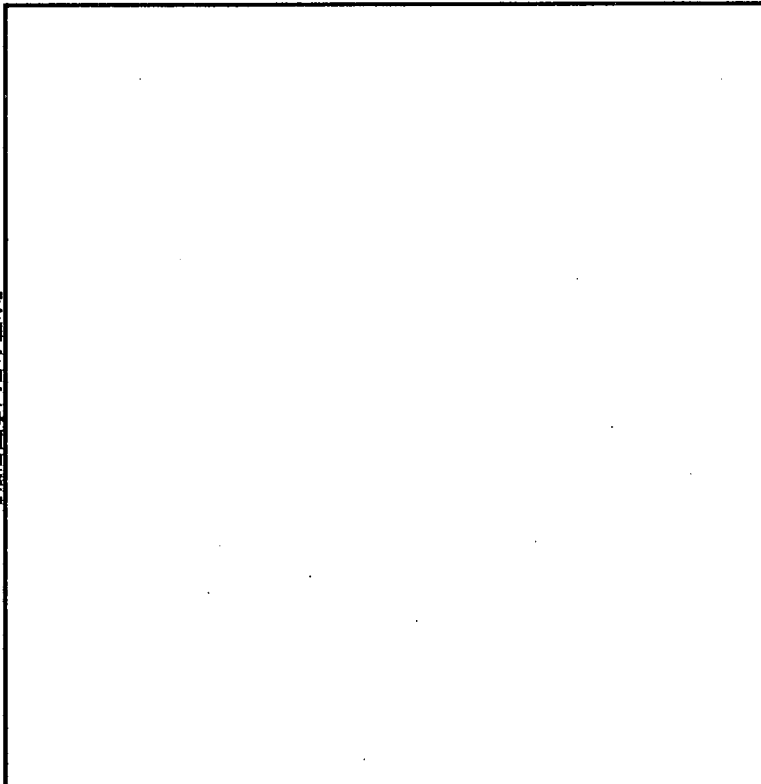
区分	日平均就業者数	日最大就業者数	延べ人員
事業者	5	5	360
現場職員	8	10	600
現場作業員	90	200	10,000
資機材関連	15	20	1,300
輸送関連	20	25	1,700
保安要員	20	30	1,800

図 1.30 阪急今津線踏切の復旧概要

付表-9 応急復旧用資機材量推定のためのアンケートデータ

構造種別 ①橋梁 2 基礎構造物、3 土構造物、4 地中構造物
 被災の程度 ①倒壊・撤去、2 半壊・傾斜、3 補修・補強
 復旧期間:平成7年1月17日～3月26日(75日間)
 復旧単位:ラーメン橋台2基倒壊細構、PC桁再利用

【復旧工事内容の図示】



【主要機械】

名称	日台数	延べ台数
ダンプトラック	20	300
トラック	3	225
ラトバツ	4	300
乗用車	3	210
クレーン	2	150
クレーン付きトラック	6	420
マイクロバス	2	140
高所作業車		
トラロー	2	20
アルトバツ等	4	80
掘削機械	4	80
積込み機械		
せん孔機械	6	180
ブレーカ	6	120
ユークリート破砕機	1	10
ユークリートポンプ		
モーカレラダ		
路盤機械		
締固め機械		
舗装機械	16	80
照明車	1	75
除水車		
診断・計測車		
船舶		
フェリーボート		

【主要仮設材】

名称	単位	数量
パルガード	枚	500
セメント	本	200
防護ネット	枚	190
連絡用パイプ	台	3
自転車	台	3
発電機	台	4
分電盤	個	10
コンプレッサ	台	6
投光器	個	60
ウインチ	個	2
タンク	台	2
切断機(チェーン等)	台	1
ガス切断機	個	6
水俵	個	2
水中ポンプ	台	10
ジャッキチェーン	個	30
鋼矢板	t	
H型鋼	t	300
鋼製山留め材	t	20
覆工板	t	50
鋼板	t	
枠組足場	m ³	700
鋼管パイプ	本	1,000
パイプサポート	本	200
メタルフォーム	m ³	
仮設建物	棟	4
仮設トイレ	棟	5
消火器	個	30
保安灯	個	100
立上看板	枚	50

【主要材料】

名称	単位	数量
ビニールシート	枚	100
シート用ひも	m	200
トラロープ	m	500
土嚢	袋	5,000
砕石	m ³	700
土砂	m ³	
アスファルト合材	t	
木材	m ³	
合板	枚	800
コンクリート	m ³	700
セメント	袋	
鉄筋	t	150
鋼板	t	
ボルト類	本	
アンカーボルト類	本	
断面修復材	m ³	
注入材(ポリキリ樹脂)	kg	
注入材(セメント)	m ³	1

【廃棄物の名称と数量】

名称	廃棄物量	処理業者	廃棄先	運搬方法	運搬距離
コンクリート	2000t			ダンプトラック	12km

【復旧工事に要する人員】

区分	日平均就業者数	日最大就業者数	延べ人員
作業者	5	5	360
現場職員	8	10	600
現場作業員	90	200	10,000
資機材関連	15	20	1,300
輸送関連	20	25	1,700
保安要員	20	30	1,800

付表-13 小被害を受けたRC道路橋（被災調査と仮受け）の応急復旧資・機材原単位

構造種別 高速道路
被災の程度 2.半壊・傾斜
復旧期間 25日間
復旧単位 1km

【復旧工事内容】 橋脚の被災調査と仮受(約半数)

仮受け
仮支柱 梁受けバント7箇所、桁受けバント1箇所
足場・支保工 7箇所
掘削 128m³
埋め戻し 153m³
橋脚基部(地中部)の試掘調査

【主要機械】			【主要仮設材】			【主要材料】		
名称	日台数	延べ台数	名称	単位	数量	名称	単位	数量
クアントラック	1	18	バックホウ	枚	80	ビニールシート	枚	
トラック	1	8	セウチコン	本	60	シート用ひも	m	
ライトバシ	1	20	防護ネット	枚	20	トラロープ	m	
乗用車			連絡用バイク	台	1	土糞	袋	
クレーン	1	10	自転車	台		砕石	m ³	
クレーン付きトラック	1	8	発電機	台	1	土砂	m ³	
マイクバス			分電盤	個	2	アスファルト合材	t	
高所作業車	1	12	コンプレッサ	台		木材	m ³	
トラロー	1	1	投光器	個	10	合板	枚	
フルドサ等			ウインチ	個		コンクリート	m ³	
掘削機械			タンバ	台		モルタル	m ³	
種込み機械			切断機(チェーン等)	台	1	セメント	袋	
せん孔機械			ガス切断機	個	1	鉄筋	t	
アレーカ			水筒	個		鋼板	t	
コンクリート破壊機			水中ポンプ	台		ボルト類	本	
コンクリートポンプ車			ジャッキ・チェーンブロック	個		アンカーボルト類	本	
モーショレガ			鋼矢板	t	60	断面修復材	m ³	
路盤機械			H型鋼	t		注入材(エポキシ樹脂)	kg	
締固め機械			鋼製山留め材	t		注入材(セル等)	m ³	
鋪設機械			覆工板	t				
照明車	1	8	鋼板	t	0.6			
給水車			砕組足場	m ³				
散水車			鋼管パイプ	本				
診断・計測車			パイプサポート	本				
船舶			メタルフォーム	m ³				
フェラーバージ			仮設建物	棟	1			
			仮設トイレ	棟	1			
			消火器	個	4			
			保安灯	個	2			
			立て看板	枚	2			

【廃棄物の名称と数量】

名称	廃棄物量	廃棄先	運搬方法	運搬距離
アスファルトガラ	26t	再利用	高架下(ダンブ)	
コンクリートガラ	112t	再利用	高架下(ダンブ)	

【復旧工事に要す人員】

区分	日平均就業者数	日最大就業者数	延べ人員
事業者			
現場職員	1	2	90
現場作業員	2	7	126
資機材関連	1	1	48
輸送関連	1	2	22
保安要員	4	5	204

付表-16 大被害を受けた鉄道橋（倒壊・撤去）の応急復旧資・機材原単位

構造種別 鉄道
被災の程度 1.倒壊・撤去
復旧期間 75日間
復旧単位 1km

【復旧工事内容】 橋梁の撤去と桁の再利用（全区間）

仮囲い
仮支柱 PC桁受けベント(H400)5700t
足場13300m³
掘削・埋め戻し18000m³
ラーメン橋台撤去新設
落橋防止工
PC桁再利用

【主要機械】			【主要仮設材】			【主要材料】		
名称	日台数	延べ台数	名称	単位	数量	名称	単位	数量
クワッドトラック	380	5,700	パッド	枚	9,500	ビニールシート	枚	1,900
トラック	60	4,300	セウチハイゴーン	本	3,800	シート用ひも	m	3,800
ライトバス			防護ネット	枚	3,600	トラロープ	m	9,500
乗用車	75	5,700	連絡用バイク	台	60	土嚢	袋	95,000
クレーン	60	4,000	自転車	台	60	砕石	m ³	13,300
クレーン付きトラック	40	2,850	発電機	台	80	土砂	m ³	
マイクバス	115	7,980	発電機	個	190	アスファルト合材	t	
高所作業車	40	2,660	コンプレッサ	台	120	木材	m ³	
トラロー			投光器	個	950	合板	枚	15,200
フルドーザ等	40	380	ウインチ	個	40	コンクリート	m ³	13,300
掘削機	75	1,520	タンバ	台	40	モルタル	m ³	
養生機	75	1,520	切断機(チェーンソー等)	台	20	セメント	袋	
せん孔機			ガス切断機	個	120	鉄筋	t	2,850
フレカ	115	3,420	水槽	個	40	鋼板	t	
コンクリート破砕機	115	2,280	水中ポンプ	台	190	ボルト類	本	
コンクリートポンプ車	20	190	シッキ・チェーンブロック	個	570	アンカーボルト類	本	
ロータリー			鋼矢板	t		断面修復材	m ³	
踏踏機			H型鋼	t	5,700	注入材(エポキシ樹脂)	kg	
締固め機	40	190	鋼製山留め材	t	380	注入材(モルタル等)	m ³	20
舗装機	20	100	覆工板	t	950			
照明車	300	1,520	鋼板	t				
給水車	20	1,430	件組足場	m ³	13,300			
散水車			鋼管パイプ	本	19,000			
診断・計測車			パイプサポート	本	3,800			
船舶			メタルフォーム	m ³				
フェラーハンズ			仮設建物	棟	80			
			仮設トイレ	棟	100			
			消火器	個	570			
			保安灯	個	1,900			
			立て看板	枚	950			

【廃棄物の名称と数量】

名称	廃棄物量	廃棄先	運搬方法	運搬距離
コンクリート片	38000t			

【復旧工事に要す人員】

区分	日平均就業者数	日最大就業者数	延べ人員
事業者	95	95	6,850
現場職員	150	190	11,400
現場作業員	1,710	3,800	190,100
資器材関連	290	380	25,000
輸送関連	380	480	32,300
保安要員	380	570	34,200

付表-19 小被害を受けた鉄道橋（補修）の応急復旧資・機材原単位

構造種別 鉄道
被災の程度 3.補修・補強(部分区分間)
復旧期間 75日間
復旧単位 1km

【復旧工事内容】 橋脚の半数の補修・補強

ラーメン橋脚250本のうち
樹脂注入104本(42%)
鋼板巻立て117本(47%)
根巻きコンクリート52本

【主要機械】			【主要仮設材】			【主要材料】		
名称	日台数	延べ台数	名称	単位	数量	名称	単位	数量
ダンプトラック	1	59	バックホウ	枚	266	ビニールシート	枚	46
トラック	1	25	セウチーゴ	本	74	シート用ひも	m	112
ライトバス	1	48	防護ネット	枚	27	トラロープ	m	230
乗用車	1	51	連絡用バイク	台	1	土嚢	袋	180
クレーン	1	108	自走車	台	2	碎石	m ³	9.4
クレーン付きトラック	2	191	発電機	台	58	土砂	m ³	5.6
マイクロバス	1	110	分電盤	個	1	アスファルト合材	t	
高圧作業車	1	80	コンプレッサー	台	1	木材	m ³	195
トラウ	2	2	投光器	個	29	合板	枚	330
アルトサ等	1	15	ウインチ	個	1	コンクリート	m ³	209
掘削機	2	108	タンバ	台	1	珪砂	m ³	52
運込み機	1	105	切断機(チェーン等)	台	2	セメント	袋	
せん孔機	1	56	ガス切断機	個	3	鉄筋	t	10.2
アレーカ	1	56	水櫃	個	1	網板	t	69
エグレット破壊機	1	5	水中ポンプ	台	5	ボルト類	本	188
エグレットポンプ	1	9	シッキ・チェーンロック	個	9	アンカーボルト類	本	153
モーター			鋼矢板	t	6	断面修復材	m ³	1.1
路盤機			H型鋼	t	54	注入材(エポキシ樹脂)	kg	3.6
掃固め機			鋼製山留め材	t	19	注入材(セメント)	m ³	51
舗装機			覆工板	t	2			
照明車			鋼板	t	19			
給水車	1	18	枠組足場	m ³	2,730			
軟水車	1	18	網管パイプ	本	1,890			
診断・計測車			パイプサポート	本				
船舶			メタルフォーム	m ³	38			
フェラーバーツ			仮設建物	棟	5			
			仮設トイレ	個	2			
			消火器	個	18			
			保安灯	個	27			
			立て看板	枚	8			

【廃棄物の名称と数量】

名称	廃棄物量	廃棄先	運搬方法	運搬距離
土砂	160m ³			
碎石	18m ³			
パイプ他	1.3m ³			
木材	18m ³			
エグレット材	106m ³			

【復旧工事必要人員】

区分	日平均必要者数	日最大必要者数	延べ人員
作業者	1	1	44
現場職員	4	5	310
現場作業員	25	49	1,970
資機材運搬	2	4	167
輸送関連	1	3	85
保安要員	4	4	260