

巨大地震災害への対応検討特別委員会

報 告 書

平成18年3月

社団法人 土 木 学 会

目 次

| | |
|-----------------------------------|----|
| 序 文 | 1 |
| 第1章 地震動部会 | 2 |
| 1.1 はじめに | 2 |
| 1.2 2003年十勝沖地震, 2004年紀伊半島南東沖地震の教訓 | 3 |
| 1.3 巨大地震時の長周期地震動を含む広帯域地震動の推計 | 9 |
| 1.4 提供波 | 10 |
| 1.5 まとめと提言 | 11 |
| 1.6 地震動部会の活動 | 12 |
| 第2章 土木構造物部会 | 14 |
| 2.1 はじめに | 14 |
| 2.2 活動内容 | 15 |
| 2.3 研究成果の概要 | 20 |
| 2.4 まとめと今後の課題 | 61 |
| 第3章 地震防災分野の研究開発の方向性検討部会 | 63 |
| 3.1 はじめに | 63 |
| 3.2 組織化 | 63 |
| 3.3 地域地震防災システム構築のための包括的研究 | 65 |
| 3.4 国際貢献 | 68 |
| 3.5 先端地震防災技術の研究開発 | 70 |
| 3.6 おわりに | 72 |
| 第4章 災害情報の共有化に関する技術的基盤検討部会 | 73 |
| 4.1 はじめに | 73 |
| 4.2 減災対策を進めるための情報共有促進のための提言 | 73 |
| 4.3 まとめ | 78 |
| 第5章 地震防災性向上に関する提言の検討 | 79 |
| 5.1 はじめに | 79 |
| 5.2 検討の内容 | 79 |
| 5.3 提言の位置付けと対象範囲の分析 | 79 |
| 5.4 提言のあるべき姿の検討 | 83 |
| 5.5 結論 | 87 |

| | |
|----------------------|----|
| 第6章 地震防災教育を通じた人材育成部会 | 88 |
| 6.1 はじめに | 88 |
| 6.2 部会からの提言 | 88 |
| 6.3 今後に向けて | 92 |

【参考資料（各部会報告書）】

- ・地震動部会
- ・土木構造物部会（耐震性評価及び耐震設計検討部会）
- ・地震防災分野の研究開発の方向性検討部会
- ・災害情報の共有化に関する技術的基盤検討部会
- ・地震防災性向上に関する提言の検討部会
- ・地震防災教育を通じた人材育成部会

【付属資料】

- ・土木学会・日本建築学会共同提言 「海溝型巨大地震による長周期地震動と土木・建築構造物の耐震性向上に関する共同提言」

序文

はじめに

ここ数年来、中央防災会議は、東海地震、東南海・南海地震、首都圏直下地震および宮城県沖地震等による被害を想定し、これらの結果をもとに地震防災戦略を策定して来た。これらの地震が近い将来発生する確率は極めて高く、今後 30 年間で発生する確率は南海トラフ沿いの東海地震、東南海・南海地震でそれぞれ 85%、50%と予測されている。また、東京湾の北部を震源とする直下地震の確率は 70%、宮城県地震では 99%と示されている。我国の主要都市が近い将来、巨大地震に襲われることは必至の状況であると言っても過言ではない。

土木学会は、国内外での自然災害が発生する度に調査団を被災地に派遣し、被害状況を調査・分析して、災害対策のための提言をまとめるなどの社会貢献を行って来た。これらの一連の土木学会の活動は、国内外の自然災害の軽減に大きく寄与して来たと考えられる。特に、兵庫県南部地震後に土木学会が提唱した「2 段階の地震動に対する社会基盤施設の耐震性の照査」は国の防災基本計画に取り入れられ、その後の土木構造物の耐震性向上のための重要な指針となった。また、地震工学委員会などの自然災害に関連する委員会は、災害軽減のための調査研究を積極的に推進し、その研究成果は、関係機関の防災対策や指針・規準等に反映されて来た。

しかしながら、上述の東海地震などの発生を想定した場合、長周期地震動やマグニチュード 8 クラスの地震の震源域で地震動に対する構造物の安全性や過密都市の地震に対する脆弱性など多くの未解決の課題が残されている。

このため、平成 15 年 11 月に会長特別委員会「巨大地震災害への対応検討特別委員会」が設置され、日本建築学会と共同のもとで将来の巨大地震への対策を学術・技術団体として検討し、国、自治体さらには社会に対して必要な提言を行うこととした。

特別委員会の中に地震動部会、土木構造物部会、地震防災分野の研究開発の方向性検討部会、災害情報の共有化に関する技術的基盤検討部会、大都市圏の地震防災性向上の方策検討部会および地震防災教育を通じた人材育成部会の 7 部会を設置し、2 年 6 ヶ月にわたって鉛意調査検討を進めて来た。このうち、地震動部会は日本建築学会との共同部会として、地震学分野の研究者の参加も得て、巨大地震によって生ずる長周期地震動や震源域の地震動の予測を行った。

長周期地震動の予測に関しては平成 16、17 年度、内閣府より土木学会と日本建築学会に対して「長周期地震動対策に関する調査」の研究委託がなされている。

本報告書はこれら一連の調査研究結果をまとめたものである。特別委員会の委員、幹事の方々および土木学会、日本建築学会と内閣府の関係者の方々に心より敬意を表するとともに、厚く御礼を申し上げる次第である。

本報告書が、近い将来発生すると予測されている巨大地震による災害の軽減に大きく貢献し、安全・安心社会の構築に寄与することを念願している。

第 92 代会長 御巫 清泰

「巨大地震災害への対応検討特別委員会」委員長 濱田 政則

第1章 地震動部会

1.1 はじめに

日本周辺でも高い頻度で発生するマグニチュード7や8クラスの地震からは、震動の周期が2秒から20秒程度のやや長周期の地震動（以下、「長周期地震動」）が多く放出される。この長周期地震動は、地震規模が大きくなるほど震源域が大きくなり断層面全体から放出されるために、大振幅で継続時間の長いことが特徴となる。さらにサイト付近の地下構造によっては特定の周期の地震動の振幅がさらに大きくなり、継続時間も長くなることもあるため、増幅された地震動と同じ振動周期特性を持つ構造物に多大なる影響を与えるおそれがある。

実例として、2003年9月に生じた十勝沖地震での苫小牧における石油タンク火災は、石油タンクの周期と地下構造によって引き起こされる卓越周期が似通っていたことから、長い地盤震動によってタンクのスロッシング現象によって大きな被害となった。今後発生が予想される、日本海溝・千島海溝周辺の大規模地震や東海地震、東南海・南海地震において、大規模堆積盆地において長周期地震動の影響が大いに懸念される。

従来、地震動の各種構造物への影響の検討には、過去の大規模地震で観測された近地での強震波形記録を入力として、構造物の挙動評価と耐震性等を確認してきた。しかしながら、ここで用いられる入力用の標準的な地震動は長周期地震動について十分に考慮されたものではなく、今後発生が懸念される大規模地震への各種構造物の対策を考える上で不十分と考えられる。こうしたことから、特に長周期地震動の影響が懸念される超高層ビルや巨大構造物に関する対策を検討する上で必要となる長周期地震動及び地域的特性を十分に考慮した地震動を構築し、超高層ビルなどの建築物への影響を評価する調査が必要とされる。

これらの長周期地震動の生成と伝播特性を明らかにして来るべき巨大地震発生時の長周期地震動を含む広帯域地震動による地震被害の軽減に資するため、巨大地震対応共同研究連絡会地震動部会においては以下の項目に関する検討を行ってきた。

過去の大規模地震の観測記録などの資料を収集、再精査を行い、長周期地震動の抽出及び特徴の把握を行い、震源モデル及び観測点特性の影響把握を行う。

長周期地震動を高精度に推計するための計算手法について各種数値計算手法に係る資料の収集及び整理を実施し、長周期地震動推計に使用する数値計算手法を検討する。

の分析に従い、現時点での合理的かつ定量的に信頼のおける巨大地震の長周期地震動を含む広帯域地震動推計資料を収集し、構造物部会等に提供する。

においては、2003年十勝沖地震、2004年紀伊半島南東沖地震等で得られた巨大地震発生時の長周期地震動特性を1995年兵庫県南部地震以降に拡充整備された強震観測網データによって分析した成果を整理した。および)については具体的には既往および最新的手法および地下構造モデル情報等に基づく予測広帯域もしくは長周期地震動を収集し、その原著論文等を一定のフォーマットに従って整理し、予測地震動の位置づけを整理するとともに、デジタルデータを提供することを行った。

以下、各節において、これらの要旨を報告する。なお、地震動部会においては活動期間中平成16年度および17年度末に巨大地震に対する広帯域地震動予測に関するシンポジウムを開き、地震動部会委員はもとより、関係研究者も含めて各年度の成果報告をしてきているが、それらを含む各内容についての詳細な検討内容については多くの資料となるため、付属資料としてとりまとめられている。

1.2 2003年十勝沖地震，2004年紀伊半島南東沖地震の教訓

1.2.1 強震観測網による巨大地震の観測地震動

1995年兵庫県南部地震が引き起こした阪神・淡路大震災を契機として，地震被害を引き起こす強震動特性の解明と強震動の早期通報を目的として，強震観測網(K-NET)，基盤強震観測網(KiK-net)が新設されるとともに気象庁及び自治体計震度計観測網，国立研究機関観測網，ライフライン会社の強震観測網等が拡充され，阪神・淡路大震災以前と比較にならないくらいの多数の強震観測点が設置された．これにより，内陸で大地震が発生した際には震源域もしくはその周辺で必ず強震記録が得られ，M7以上の地震が起きれば数百点の強震記録が得られることとなった．2003年9月23日の十勝沖地震は，その震源域が海域であったけれども，これらの強震観測網が展開されてからはじめて発生したM8クラスの地震であった．この地震によって引き起こされた苫小牧でのタンク火災は，石油タンクの固有周期に対応する周期帯域の強い長周期地震動がタンクを襲ったためであったが，この地震動の特徴は上記の観測網において得られた震源から対象地点までの観測地震動によって，震源からの地震動の生成と地震波伝播過程における地下構造による地震波の増幅・伸長特性が大きく関係していることがはっきりと示されている．また2004年9月5日に起きた紀伊半島南東沖地震（前震MJ7.1は紀伊半島南東沖，本震MJ7.4は東海道沖に領域わけされるが紀伊半島南東沖で統一する）は，沈み込むフィリピン海プレート内で起きた地震（アウトライズ地震）であった．この地震は，今後30年内の地震発生確率が60%以上と評価されているプレート境界地震である東南海地震の震源域付近で起きている．後述するように紀伊半島南東沖地震では，大阪・濃尾・関東平野において特徴的な長周期地震動が観測された．1944年昭和東南海地震発生以降，この震源域付近で地震規模の大きなイベントはほとんど起きておらず，この地震時に観測された地震動の特徴は，想定東南海地震時の地震動の特徴を表していると考えられ，この地震動の特徴を精査することは将来の東南海地震の地震動を予測するには重要である．本項では，2003年十勝沖地震と2004年紀伊半島南東沖地震を例にとり，充実した強震観測網記録を用いた長周期地震動生成に関する研究成果を整理し，巨大地震時の長周期地震動特性評価に必要な情報をとりまとめることを目的とする．

1.2.2 2003年十勝沖地震

2003年9月26日に起きた十勝沖地震は，全国展開された強震観測網整備後初めて起きたM8クラスの海溝型巨大地震であり，広域で良質の強震データが記録された．震源域から約200km離れた苫小牧において，石油タンクのスロッシングに起因する火災事故が生じた．この事故は，巨大地震による長周期地震動が大規模堆積盆地構造によって増幅・伸長されて石油タンクを長時間揺すったために生じたものと考えられる．ここでは，石油タンク被害を生じた苫小牧を含む広域の長周期地震動発生とその地震動特性について，青井・他(2005)によって行われた長周期地震動の検証と畑山・他(2005)で行われた苫小牧地点での地震記録の比較についての報告を行う．

青井・他(2005)は，波形インバージョンによって震源過程を推定するとともに，震源域から苫小牧（勇払平野）を含む領域の広域地下構造モデルを構築して，震源モデルと地下構造モデルを組み合わせることで観測地震動の再現を行った．まず震源モデルの構築について，Honda et al.(2004)は，震央距離200km以内のK-NETおよびKiK-netの15観測点の加速度記録に0.02から0.2Hzのバンドパスフィルターをかけ，積分することにより得られた速度波形のS波部分から線形波形逆解析により震源過程を推定した．解析に用いられたのは，解析周期帯域において観測波形が比較的表層の影響を受けていないと考えられるいわゆる良質な地盤の観測点の記録であり，推定された震源モデルはこれらの波形記録をよく再現している．青井・他(2005)では新たに，0.02から0.4Hzの周波数の周波数帯における再解析を行い，推定された震源モデルを差分格子に合わせて離散化して用いた．

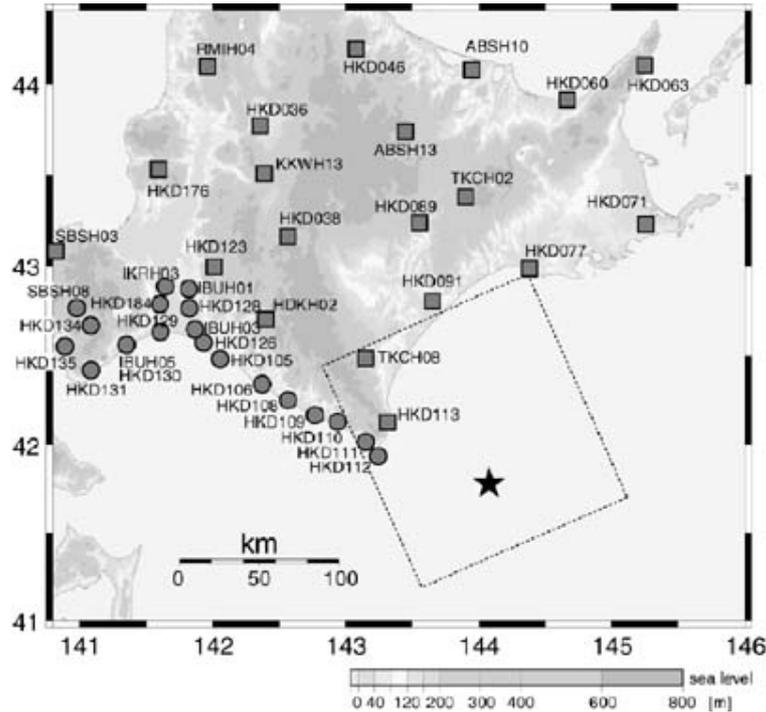


図 1.2.1 差分計算の領域と計算地点． の観測点は震源インバージョンに用いた観測点．
 Figure 1.2.1 The locations of observation points for the FD simulation. Waveforms of the stations indicated by squares and circles are shown in Figure 1.2.2, respectively.

深部地下構造モデルは、走時解析から推定された構造と太平洋プレートの上面深度モデルを参考に設定した。また、浅部地下構造に関しては石油公団等による反射法地下構造探査や基礎試錐、さらには屈折法地下構造探査や地質情報などを参照し、5層から成る堆積構造を設定した。

図 1.2.1 に 印で示した観測点における、観測波形と有限差分法による合成波形の比較を図 1.2.2 左に示す。北海道の広域にわたって、観測波形をよく再現していることが分かる。次に、震源域と長周期地震動で石油タンクのスロッシングが起きた勇払平野を結ぶラインの観測点（図 1.2.1 の 印）に注目する。評価波形の比較は図 1.2.2 右に示される。震源域から勇払平野に入射するまで（Group A）は振幅が小さく波形も単純であるが、平野の東半分（Group B）の堆積層上の観測点においては振幅が徐々に成長していく。さらに平野に西半分（Group C）では大振幅の地震動が長時間にわたって継続している。平野の西側（Group D）の岩盤（あるいは薄い風化層）上の観測点では再び単純で振幅の小さな波形となる。図 1.2.2 に点線で示した合成波形は、これらの特徴を概ね再現している。Group B は古第三紀層底面が深さ 5 km 以上にも及ぶ深い堆積平野に位置し、端部に入射した地震波が軟弱な堆積層により増幅している。さらに、Group C では、新第三紀層以浅の堆積層が 2 km 近く堆積しており、これらの表層でトラップされることで長周期の地震動が数百秒以上にわたって継続している。このように、単に深い堆積平野構造により地震波が増幅されたのではなく、巨大地震の断層から放射された地震波が勇払平野に入射し、sub-basin 的な複雑な堆積構造に起因した波動伝播現象により、大振幅かつ継続時間の長い長周期地震動を生んだと考えられる。また、同様に深い堆積構造を持つ十勝平野、根釧原野などでも長時間にわたって長周期の地震動が継続しており、長大構造物が存在すれば同様な被害が出た可能性があったことが示唆される。図 1.2.3 には観測値と推定値の最大速度の比較を示す。合成波形による最大速度は、ほぼ観測波形の倍半分内であり、入力とした震源モデルと設定した深部地下構造モデルがその程度の妥当性を持っていることを示唆する。

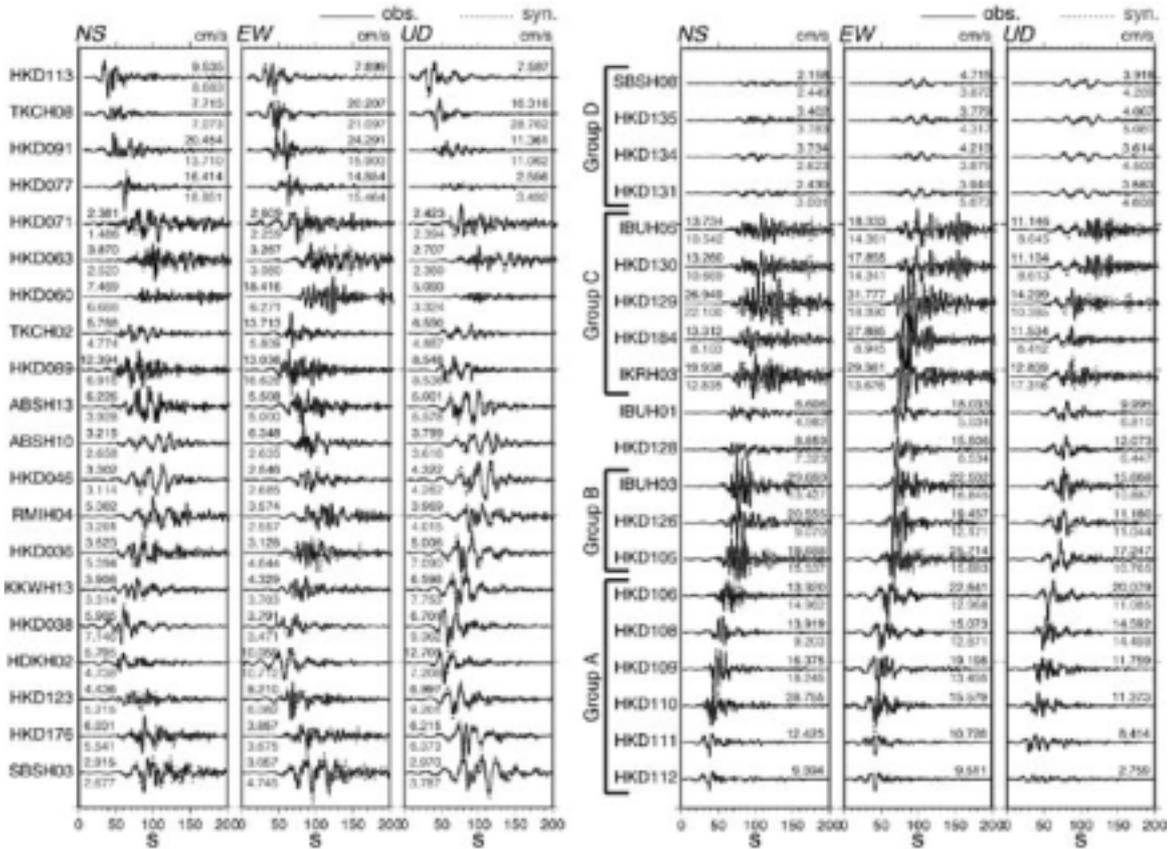


図 1.2.2 左：震源インバージョンに用いた速度波形の比較。

点線が合成波形．右：評価地点の速度波形の比較．点線が合成波形．

Figure 1.2.2 Left: Comparison of the observed ground velocities to the simulated ones at the source inversion sites. Right: Comparison of the observed ground velocities to the simulated ones at estimated sites indicated by the closed circles in Figure 1.2.1

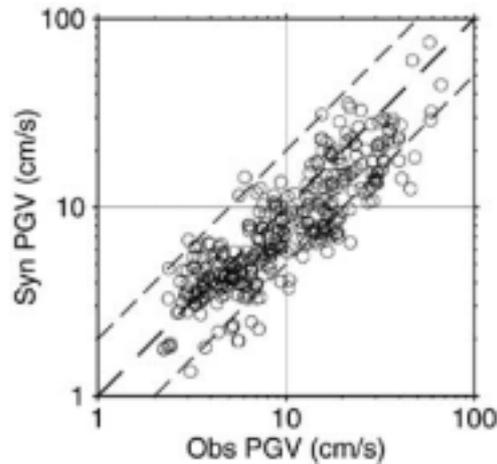


図 1.2.3 K-NET, KiK-net の最大速度の比較。

Figure 1.2.3 Comparison between observed and synthetic PGV's at K-NET and KiK-net stations.

苫小牧地点における地震動特性として重要な知見として, 畑山・他(2005)は苫小牧西港において蓄積されている過去 30 年の地震記録との比較を行った. 苫小牧近辺では特にここ 10 年の間に 1993 年釧路沖地震や北海道南西沖

地震等、M7クラス以上の地震が頻発しており、長年の観測を行うことによりこれらの貴重なデータを分析比較することができる。この比較を図 1.2.4 に示す。これによれば、長周期地震動の卓越周期は一定ではなく地震によって異なる場合があることが見出された。即ち長周期地震動の特性が予測対象地点の地下構造だけでは予見しにくく、震源を特定した上で震源と伝播経路の特性を考慮に入れることの必要性・重要性を示したものと言える。

1.2.3 2004 年紀伊半島南東沖地震

2004 年 9 月 5 日に発生した紀伊半島南東沖地震は、前震が MJ7.1、本震が MJ7.4 と大規模のものであって、陸域において最大震度 5 弱を観測した。前述したようにこの震源はプレート境界型の地震ではなく、フィリピン海プレートが大陸プレートに沈み込む付近のプレート内で起きた地震であり、想定される東南海地震震源域よりも陸からやや遠く、メカニズムも低角逆断層タイプと想定されるプレート境界地震とは異なった高角逆断層タイプであった。震源深さの違いや震源位置の違い、メカニズムの違いはあるものの、この地震による地震動特性の解明は、来るべきプレート境界巨大地震時の地震動の特徴の把握には重要であると位置づけられる。実際想定東南海・南海地震の震源域においては、1944 年昭和東南海・1946 年昭和南海地震直後におきた余震を除けば、M6 クラス以上の地震は起きていない（図 1.2.5 参照）。地震規模が大きな地震が発生しないと、SN 比のよい長周期地震動は記録されないため、現在の強震観測網が整備されてから起きたこの地震による地震動記録の重要性は言うまでもない。実際 9 月 5 日の紀伊半島南東沖地震の前震、本震、及び最大余震によって、大阪・濃尾・関東平野では振幅が大きく震動継続時間の長い長周期地震動が観測されている。

この本震では三重県・奈良県・和歌山県で最大震度 5 弱を観測し、宮城県から宮崎県まで広い範囲で有感となった。この地震の揺れは、1995 年兵庫県南部地震後に全国に均一に設置された強震観測網等によって広域に観測され、そこには規模の大きな地震から生成された長周期（周期数秒以上）の地震波が、堆積盆地構造で増幅され、震動継続時間が延びていることが明瞭に現れている。

図 1.2.6 は収集した強震記録の擬似速度応答スペクトル（減衰 5%）をとり、周期 1、3、6、10 秒の周期について

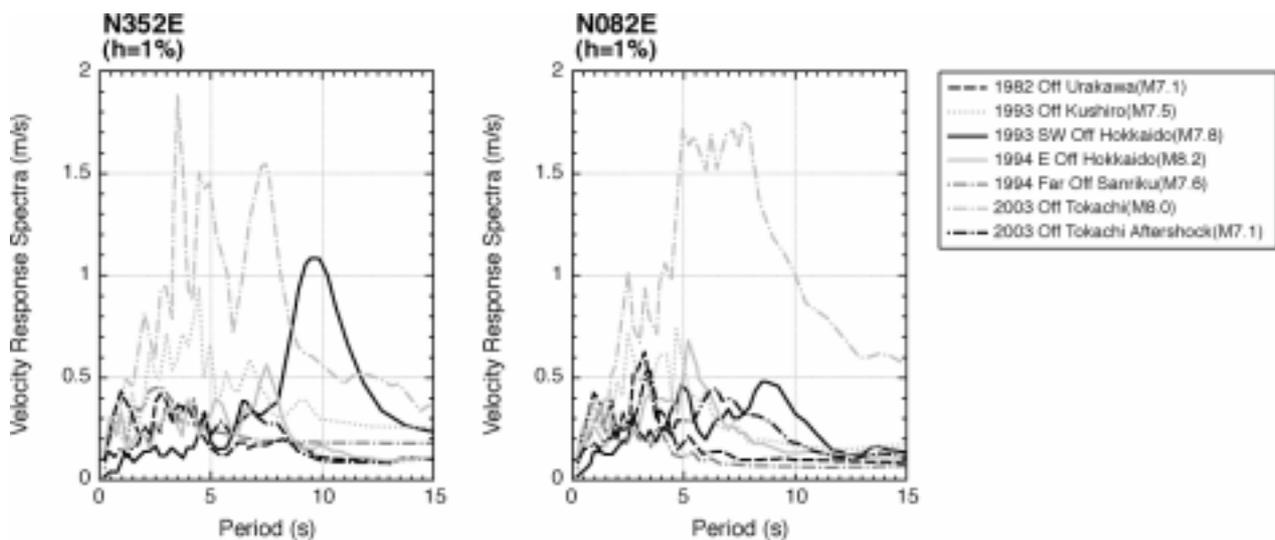


図 1.2.4 過去に苫小牧西港において記録された地震動の速度応答スペクトル（減衰 1%）。
Figure 1.2.4 Comparison of pseudo-velocity response spectra of the observed ground motions at Tomakomai Port.

て水平 2 成分の大きい方の応答値をプロットしたものである。周期 1 秒では震源に近いところや、大阪から濃尾平野にかけての地域で大きい応答を示している。周期 3 秒では、濃尾平野・大阪平野で大きな応答値を持っていることがわかる。周期 6 秒では、特に大阪湾岸地域における応答の大きさが際立ち、周期 10 秒となると大阪や濃尾平野ではなく、関東平野、特に東京湾岸部での応答が卓越してくることがわかる。最大応答値は、六甲アイランド観測点（(独)港湾空港技術研究所）の周期 6 秒で 80cm/s であり、この周期帯で、大阪湾岸地域の観測点は 50cm/s 以上の応答値を示した。

図 1.2.7 には大阪堆積盆地内及び周辺の観測記録をペーストアップしている。図 1.2.6 の左上には大阪付近の観測点のクローズアップ図があり、それも参考にして、卓越周期等の特徴をみていく。大阪堆積盆地内とその外に位置する観測点では、地震動の継続時間と震幅が大きく異なっていることがわかる。いくつかの観測点では、加速度計によるレベルトリガー観測のため、地動速度ではまだ揺れが十分に収まっていない時点で記録が停止している観測点が見受けられるが、堆積盆地内観測点では最大で 10cm/s 程度の震幅をもつ周期 4~6 秒の長周期地震動が 2~3 分続いていることがわかる。また、ここで示した大阪堆積盆地内の観測点である六甲アイランド(ROKKO)、大阪福島(FKS)、大阪管区气象台(OSAKA)などの地震動の振幅、継続時間、卓越周期がそれぞれ地点によって異なっていることに着目する必要がある。大阪管区气象台は盆地内の上町台地に位置しており、表層地盤が相対的に固く、また厚い堆積層も相対的に薄いため、他の大阪堆積盆地内観測点に比して卓越周期が 3~4 秒と短い。堆積盆地内でも場所により卓越周期という震動の特徴が異なっている。大阪千早赤坂(CHY)は大阪盆地の東南方向の岩盤観

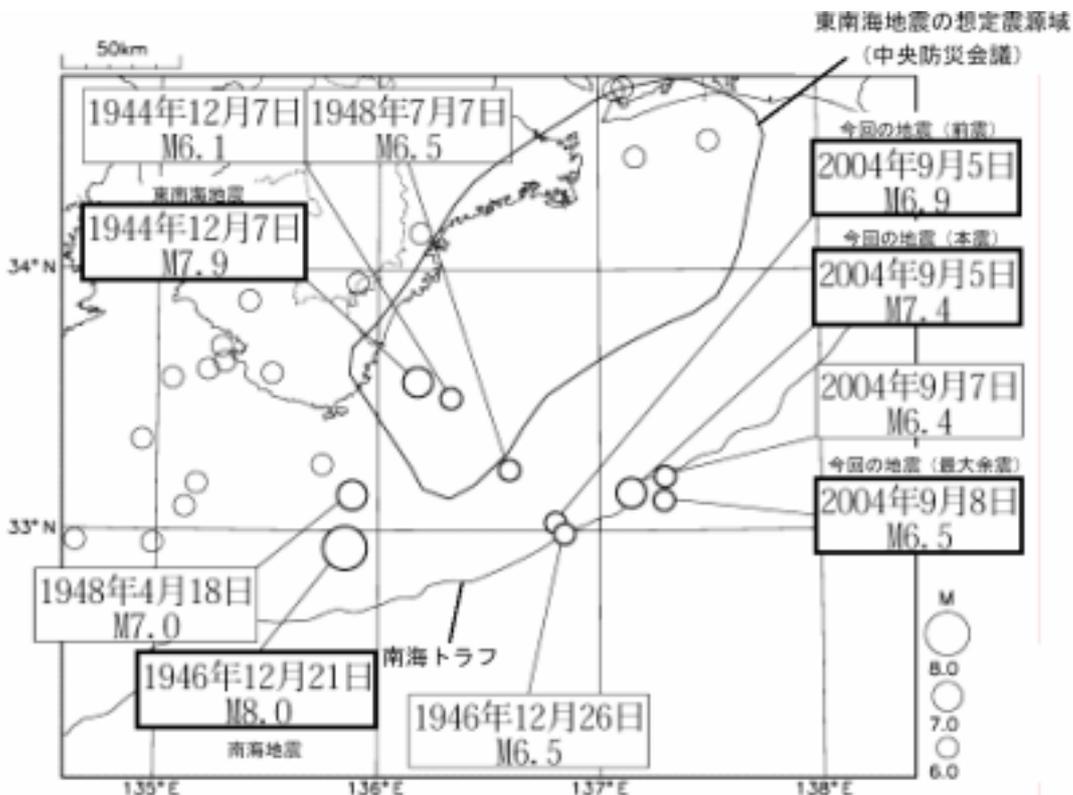


図 1.2.5 想定東南海地震震源域における 1944 年から 2004 年までの MJ6>6 の地震の震央 (気象庁, 2004)。

Figure 1.2.5 Epicenter distribution of events whose MJ is greater than 6 in an anticipated Tonankai source area between 1944 and 2004 (after JMA, 2004).

測点で、震源距離は大阪盆地内の観測点よりも短いけれども、非常に小さい振幅であることがわかる。また京都盆地内の観測例として、KiK-net 京都久御山(KYTH07)の記録を載せているが、ここは京都盆地南部の堆積層厚が約700mある、京都盆地南部の深い基盤の地域に位置している。この地域では見かけ周期として3秒程度の、大阪堆積盆地観測点に比してやや短周期の卓越周期特性を持っていることがわかる。

この地震において、大阪の湾岸地域における石油タンクでスロッシングが起きていることが報告されている(畑山・座間, 2005)。これによれば、固有周期4~6秒のタンクにおいて、最大2mの揺動が確認された。東南海・南海地震の震源域は、今回の紀伊半島南東沖地震よりも大阪など陸に近く、また想定される地震規模も大きいことから予想される地震動レベルは今回のものより大きく、また震動継続時間もさらに伸長することが予想される。

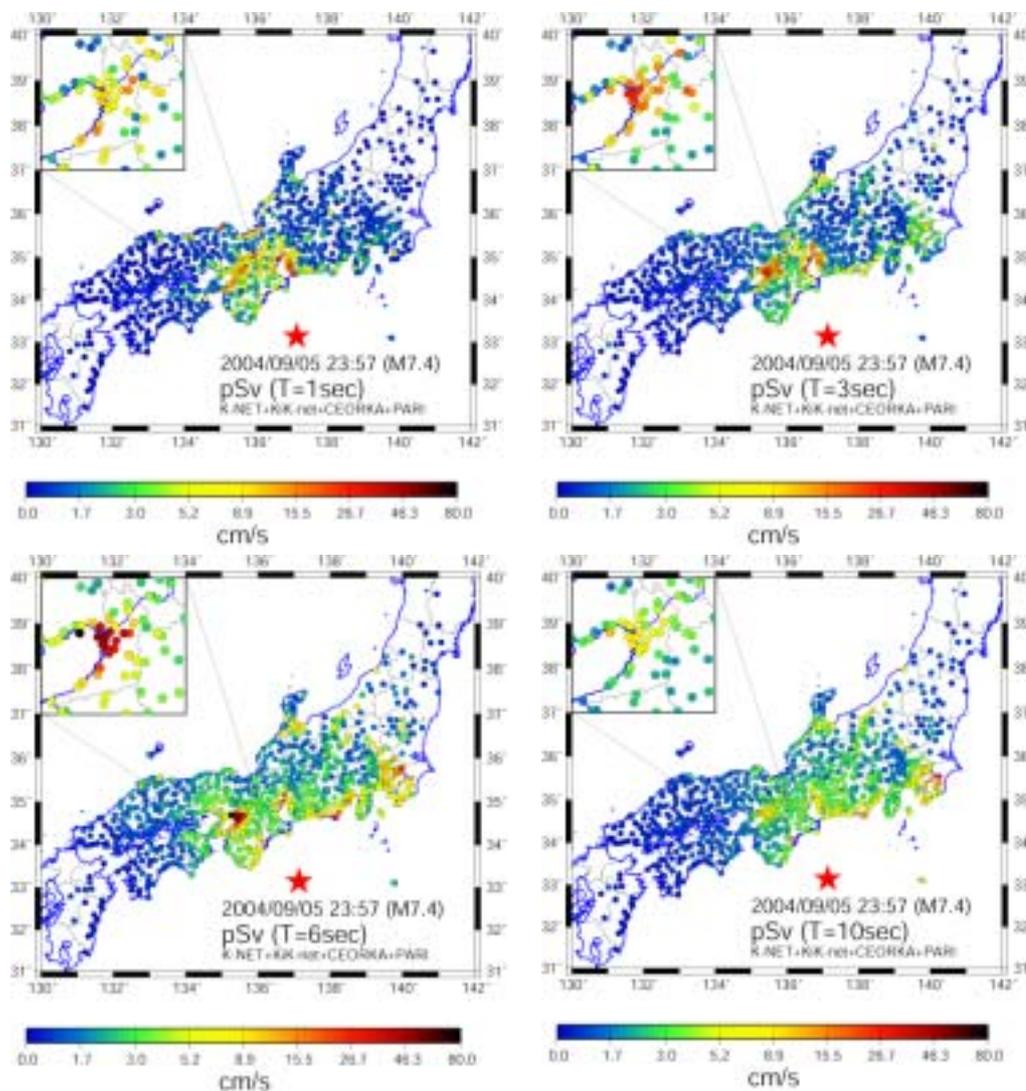


図 1.2.6 擬似速度応答スペクトルの分布。左上が周期 1 秒。右上が周期 3 秒。左下が周期 6 秒。右下が周期 10 秒。各図面の左上に京阪神地域のクローズアップ図を示している。(岩田・浅野, 2005 より)

Figure 1.2.6 Distribution of pseudo-velocity responses (damping of 5%) of observed ground motions during the Kii-Hanto-Nanto-Oki earthquake. Larger response values of two horizontal components is plotted at each point. Period is 1s (Upper left), 3s (Upper right), 6s (Lower left), and 10s (Lower right), respectively. Close-up distribution of Osaka area is shown at upper left in each panel (after Iwata and Asano, 2005).

1.3 巨大地震時の長周期地震動を含む広帯域地震動の推計

1.2.1 で示した 2003 年十勝沖地震の長周期地震動評価の成功等を基本として、プレート境界巨大地震が発生した際の、特に大規模堆積盆地における長周期地震動を含む広帯域地震動の評価方法についての整理を行う。周期数秒より長周期の地震動は震源モデルと地下構造モデルの構築し、地震波動場を差分法で解くことにより評価することが尤も信頼がおけると考えられる。予測地震動の尤もらしさは与える震源モデル及び地下構造モデルの確度に依存するのはいうまでもない。前者については、プレート境界巨大地震という詳細な震源像に関する情報が十分でない震源に対するモデル化を行う必要がある。内陸地殻内地震については、最近の強震観測網データを用いた詳細な分析結果に基づくスケールされたアスペリティモデルの考えに基づく震源モデル像の構築が行われているが（例えば入倉・三宅，2001），M8クラスのプレート境界巨大地震については、詳細な震源の分析結果が寡少であり、広帯域強震動のための震源モデルが十分な形で構築されているわけではない。1.4 節で報告される提供波作成の震源モデルは、地震調査研究推進本部や内閣府中央防災会議の評価に用いられた東南海・南海地震の震源モデルを参照して作られており、それらは既往の歴史地震の震度分布等を説明できる尤もらしい震源モデルである。地下構造モデルについては、震源域から対象地点までの広範囲を対象とするため、堆積盆地構造のみならず上部地殻構造、プレート境界構造等の精度ある 3 次元速度構造モデルを必要とする。構築された地下構造モデルは中規模地

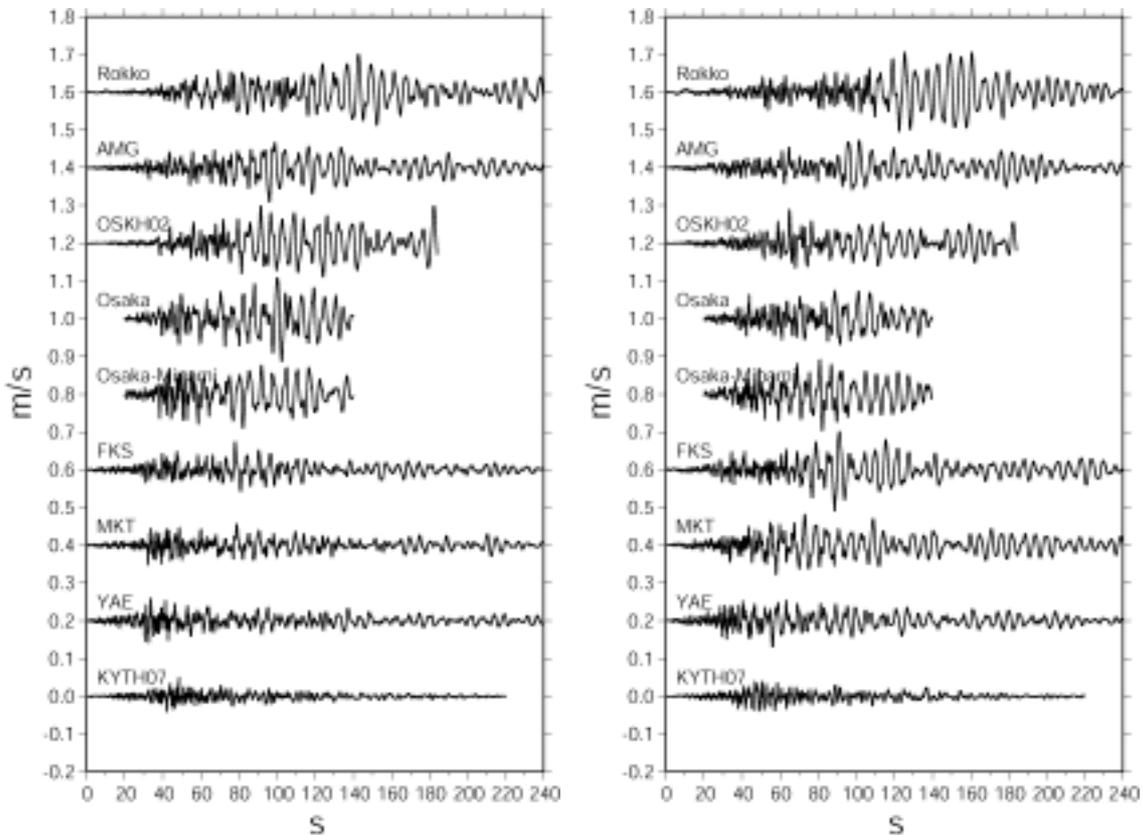


図 1.2.7 大阪盆地内外の観測点の速度波形記録の比較。左が東西動、右が南北動。
Figure 1.2.7 Comparison of observed ground velocity in Osaka and Kyoto basins.
Left panel is EW-component and right panel, NS-component, respectively.

震観測記録のモデリングによってその説明能力が検証される。

広帯域地震動評価に必要な短周期地震動の評価には短周期地震動の特性を考慮した統計的グリーン関数法が用いられる。統計的グリーン関数の作成には、実地震記録の分析に基づいた加速度波形包絡形状等と観測点近傍のサイト増幅特性が考慮される。サイト増幅特性は、地震基盤等からの1次元速度構造モデルに基づく理論的な増幅特性や、地震観測が行われている場合には、実記録により抽出されたサイト増幅特性を用いることもできる。作成された統計的グリーン関数の検証は小～中規模地震観測記録を説明することが必要となる。

もうひとつのアプローチとして、震源域近傍で発生した中規模地震記録そのものを用いた経験的グリーン関数法の利用があげられる。記録が得られた地点に限られるが、適切な中規模地震記録等が得られているのであれば、長周期側はその記録のSN比によって規定されることや、その周期までは推計できる。

1.4 提供波

1.2と1.3の検討を踏まえて地震動部会では日本建築学会に設置された東海地震等巨大地震への対応特別検討委員会の地震動小委員会と連携し、プレート境界巨大地震の長周期地震動を含む広帯域地震動の波形について、既往研究のアンケートを行い、構造物評価のために推計波形の提供を依頼した。この際に、評価波形の位置付けを明らかにするために、提供者の推計波形作成に関する論文、報告書等に基づき、計算手法、波形評価の目的、有効周期範囲、モデル等について一律の形式による説明文(概説文)を部会で検討し、概説文とともに構造物評価部会に配布した。今回の地震動部会の活動で集約された提供波の一覧は表1.4.1に示される。もとになった論文、報告書、概説文は添付資料としている。ここには、土木学会構造物部会の招請により、サイトにおける地震記録に基づいた

表 1.4.1 提供波一覧
Table 1.4.1 Offered simulated waveforms.

| 提供者 | 対象地震 | 対象地点 |
|-------------------------|---------------|-------------------|
| 第1次提供波 | | |
| 佐藤俊明(清水建設) | 関東地震 | 東京本郷・大手町と横浜MM21地区 |
| 久田嘉章(工学院大学) | 東海地震 | 静岡県駿東郡長泉町 |
| 釜江克宏(京都大学) | 南海地震 | 西大阪と大阪管区气象台 |
| 愛知県建築住宅センター | 東南海地震 | 名古屋市中区三の丸 |
| 第2次提供波 | | |
| 関口・他(産総研) | 東南海, 南海地震 | 大阪平野 |
| 土方・他(東京電力, 他) | 東南海, 東海地震 | 関東平野 |
| 釜江・川辺(京都大学) | 東南海, 南海地震 | 大阪平野 |
| 鶴来・香川(地盤研) | 東南海, 南海地震 | 大阪平野 |
| 野津 厚(港湾空港研) | 東海地震 | 静岡(強震観測点等) |
| 鈴木・岩田(京都大学) | 東南海地震 | 濃尾平野(強震観測点) |
| 土方・他(東京電力, 他) | 東海地震 | 関東平野 |
| 愛知県設計用入力地震動研究協議会 | 新東海地震(東海・東南海) | 濃尾平野 |
| 構造物部会との連携で行われたもの | | |
| 野津厚(港湾空港研) | 東南海, 南海地震 | ダムサイト, 名古屋港等 |

予測地震動の提供についても入れている。

また、これらの震源パラメータのバラツキが推定地震動にどのような影響を与えるか、また推定地震動の空間的な変化の特徴はどのようなものであるかを検討するために、各予測チームに設定パラメータを変更した場合の波形の比較や空間的な波形の比較を依頼した。具体的には、破壊伝播速度を標準値より $\pm 10\%$ 変動させたモデル、アスペリティの応力降下量を1.5倍及び1/1.5倍(0.67倍)したモデル、及び破壊開始点を変更したモデル、である。また空間的なバラツキについては、参照地点を中心に1km毎、東西南北方向に ± 3 kmの範囲において推定地震動の違いを比較することを各自の地震動評価において行った。この震源モデルの揺らぎは、これまでの震源モデルによって得られている破壊速度及び応力降下量についての標準偏差程度を意図している。この検討については、平成17年度地震動部会のシンポジウムに報告され、添付資料に示されている。詳細には添付資料を参照する必要があるが、アスペリティの応力降下量の増減は、震動レベルの違いを主に引き起こすが、地点を固定した場合、卓越周期についての変動はほとんど見られない。アスペリティの位置を変更するなどといった想定を異とする震源モデルにしない限りは、あるサイトにおける卓越周期は、堆積地盤モデルによって拘束されている。一方昭和東南海地震や南海地震は、破壊開始点が比較的震源の浅いところにあり、深い方向へ破壊が進んだと推定されているが、これは陸の観測点からみれば、震動が大きくなる想定であり(破壊が向かってくる)、破壊開始点を震源域の深いほうにすると、地震動レベルが下がる方向にあることもわかる。

1.5 まとめと提言

地震動部会ではプレート境界巨大地震発生時に大規模堆積盆地に位置する巨大都市等が受ける、長周期地震動を含む広帯域地震動に関して、地震学・地震工学の最新の知見を反映した高度な予測方法の検討と予測地震動の提供を以下の項目の通り行ってきた。

- プレート境界大地震である2003年十勝沖地震の観測地震動評価に基づく地震動予測手法の整理
- 2004年紀伊半島南東沖地震を高密度強震観測網等で観測した長周期地震動の特性分析
- 南海トラフ沿いの想定地震(東海・東南海・南海地震)等による大都市圏等(関東、静岡、中京、阪神)での長周期地震動を含む広帯域地震動予測手法の検討と予測地震動の提供
- 断層破壊想定シナリオ・パラメータの、予測地震動への影響の予備的評価
- 特定ダムサイト、港湾サイトにおける予測地震動の提供

広帯域地震動の推計には、長周期側を決定論的な震源モデルと大規模堆積地盤構造を含む地殻構造モデルに基づいて差分法等で評価し、短周期側を統計的グリーン関数法によって評価してそれらを組み合わせる(ハイブリッドする)ハイブリッド法による手法、また適切な要素地震記録がある場合は経験的グリーン関数法によって行うことが現時点において最良の推計方法と考えられる。

これまでの検討から、大規模堆積盆地での長周期地震動特性は想定地震および地震動予測地点(サイト)によって卓越周期や震動継続時間が変化していることが再確認された。具体的には、同じ想定震源であっても堆積盆地内の地点によって地震動特性が異なること、及び同一サイトでもアスペリティ位置や破壊様式等の想定震源が異なる場合には卓越周期等が異なること、である。このことは2003年十勝沖地震の被害地に近い苫小牧西港での記録、2004年紀伊半島南東沖地震の観測事実からも示されている。

現時点において対象地震の想定震源モデルを絞り込むことは容易ではなく、過去の断層破壊の経験に従って幾通りかの想定震源モデルを合理的に設定する必要がある。過去の地震の震源モデルがここでいう長周期地震動(周期2~20秒)の中の長周期側からモデル化されていることに注意し、周期数秒も含む広帯域の地震動を生成する震源

モデルの工夫（例えば、関口・他(2006)，土方・他(2006)）と高度化が必要であると考えられる．これらの震源モデルの検証は，以下に示す速度構造モデル構築と両立させ，検証していく必要がある．

地震波伝播経路にあたる地殻速度構造（密度，減衰も含んで，速度構造と言う）モデル，及び大規模堆積盆地速度構造モデルの構築は，これまで行われてきた地球物理学的手法に基づく探査のまとめとして行われてきた．しかしながら探査数の多い関東平野，濃尾，大阪平野であっても地盤構造モデルを構築する際には，地質学的知見等にたった外挿が行われている．このため，観測地震記録の再現を試み，地下構造モデルの強震動評価への有効性の検証と改良を重ねていく必要がある．これらの取り組みは地味ではあるが，信頼のおける地下構造モデルの評価には必要不可欠である．周期 2 秒程度より長周期側であれば，その最大振幅や卓越周期，震動継続時間等はかなり再現できるようになっていると考えているが，これらの定量的指標とモデル改良のための手続きを整理しておく必要がある．

ここで述べた震源モデル構築や地下速度構造モデル構築は，この分野における新しい研究成果による知見のみならず，地震学をはじめとする地球物理学，地震工学での新たな知見を加えることによって高度化される．それによって強震動評価手法の高度化や予測強震動の信頼度，精度が向上していくものである．日本近辺の海溝型巨大地震の発生確率が高く，巨大地震による長周期地震動を含む広帯域地震動評価とその対応の検討は継続的にすすめられていかねばならない．

これらの研究等の推進には，1995 年兵庫県南部地震以降，拡充され保持されている強震観測網の記録があっはじめて行うことができる．現在維持されている強震観測網を継続的に保持していくことは，今後の強震動研究の底支えであり，地震災害を定量的に評価し，軽減のための方策を考える上には必要不可欠のものであり，あらゆる手段によって強震観測網を維持していく必要がある．

1.6 地震動部会の活動

巨大地震対応共同研究連絡会地震動部会では，平成 16 年度と平成 17 年度に計 16 回の部会活動を行い，本報告に関係した内容の検討を行ってきた．また平成 17 年 2 月 19 日と平成 18 年 2 月 18 日に海溝型巨大地震を考える-広帯域強震動の予測-シンポジウムを開催し，各年度の活動報告を行ってきた．これらの資料については，別添資料としてとりまとめられる．

参考文献

- 1) 青井 真・本多 亮・森川 信之・関口 春子・早川 譲・藤原 広行，2003 年十勝沖地震の長周期地震動評価の検証，海溝型巨大地震を考える-広帯域強震動の予測-シンポジウム論文集，土木学会・日本建築学会巨大地震災害対応共同研究連絡会地震動部会，pp. 25～28，2005．
- 2) 畑山 健・座間信作，2004 年 9 月 5 日紀伊半島南東沖の地震による石油タンクのスロッシングと長周期地震動，消防研究所報告，99，52-66，2005
- 3) 畑山 健・座間信作・西 晴樹・山田 實・廣川 幹浩・井上 涼介，2003 年十勝沖地震による石油タンクの被害と長周期地震動，海溝型巨大地震を考える-広帯域強震動の予測-シンポジウム論文集，土木学会・日本建築学会巨大地震災害対応共同研究連絡会地震動部会，pp. 7～18，2005．
- 4) Honda, R., Aoi, S., Morikawa, N., Sekiguchi, H., Kunugi, T. and Fujiwara H. : Ground motion and rupture process of the 2003 Tokachi-oki earthquake obtained from strong motion data of K-NET and KiK-net, Earth Planets Space, Vol. 56, pp.317-322, 2004.

- 5) 入倉孝次郎・三宅弘恵, シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌, Vol.110, pp. 849-875, 2001.
- 6) 岩田知孝・浅野公之, 2004年9月5日紀伊半島沖・東海道沖の地震による地震動, 地震第2輯, Vol. 58, pp. 273-279, 2005.
- 7) 気象庁, 地震月報地震・防災編, 2004年9月, 106pp, 2004.
- 8) 佐藤俊明・藤川智・渡辺基史・久保哲夫・福和伸夫, 愛知県設計用入力地震動研究協議会による想定新東海地震に対する強震動予測, 海溝型巨大地震を考える-広帯域強震動の予測2-シンポジウム論文集, 土木学会・日本建築学会巨大地震災害対応共同研究連絡会地震動部会, pp. 101 ~ 107, 2006 .
- 9) 関口春子・吉見雅行・吉田邦一・堀川晴央, 海溝型巨大地震の広帯域地震動予測のためのマルチスケール - 不均質震源モデルと南海地震への適用 - , 海溝型巨大地震を考える-広帯域強震動の予測2-シンポジウム論文集, 土木学会・日本建築学会巨大地震災害対応共同研究連絡会地震動部会, pp. 61 ~ 73, 2006 .

第2章 土木構造物部会（耐震性評価及び耐震設計検討部会）

2.1 はじめに

東南海地震や南海地震など海溝型の巨大地震の逼迫性が懸念されている。中央防災会議の専門調査会は平成15年4月に「東海地震対策大綱」を、さらに同年12月には東南海地震、南海地震に対する防災対策推進地域を設定した。専門調査会の報告によれば、これらのプレート境界の巨大地震では、阪神・淡路大震災を上回る強烈な地震動が広域にわたって発生し、住宅、公共建物、道路、鉄道施設、各種ライフラインシステム、臨海コンビナート施設等に甚大な被害が発生すること、および津波による広範な沿岸地域に被害が拡大することが予想されている。このため、既存構造物と施設の耐震診断と耐震補強を早急に実施し、さらに発災後の応急対策と復旧・復興対策を速やかに策定することが求められている。

土木学会は平成7年の阪神・淡路大震災に際し、被害調査と報告会の開催および報告書の刊行や耐震基準と耐震補強など土木構造物の耐震性向上のための基本方針の提言などを実施した。

これらの活動は、我が国の耐震設計上大きな役割を果たしたと考えられる。とくに、「2段階の地震動に対する社会基盤施設の耐震性能の照査」の提言は国の防災基本計画に取り入れられ、兵庫県南部地震以降改訂された各施設の耐震設計の重要な指針となった。しかしながら、海溝型の巨大地震を想定した場合、長周期地震動や巨大地震の震源域近傍の地震動を受けた場合における構造物の安全性など未解決の課題が残されているのも事実である。このため、海溝型の巨大地震に対して土木学会がとるべき対応と社会に果たすべき役割について検討すべく巨大地震災害対応特別委員会が設置された。

この委員会は「地震動部会」、「土木構造物部会」、「地震防災分野の研究開発の方向性検討部会」、「災害情報の共有化に関する技術的基盤検討部会」、「大都市圏の地震防災性向上の方策検討部会」および「地震防災教育を通じた人材育成部会」等7つの部会からなり、2年半にわたる検討を実施した。

本報告書はそのうち土木構造物部会の成果の概要を取りまとめたものである。

しかし海溝型の巨大地震によって発生する長周期を含む地震動に対して構造物の耐震安全性の問題は、土木構造物のみならず建築構造物も同様であるので、土木学会と日本建築学会が共同で検討することとなり、巨大地震対応共同研究連絡会が組織され、その下に図1に示すような3つの部会が設立された。そして、本部会はその中の土木構造物部会を兼ねることとなった。

本部会の活動目的を以下に示す。

橋梁等土木構造物の動的応答、損傷度に基づく耐震診断法の提示

耐震診断に基づく耐震補強法の提案

耐震診断および耐震補強ガイドラインの作成

2.2 活動経緯

2.2.1 検討方針

本部会の目的達成のための検討は以下の項目を中心に行うこととした。

- (1) 耐震診断および耐震対策（補強）工法に関する文献等調査と現状の技術のまとめ
- (2) 検討対象構造物の選択と耐震性能（照査項目）のまとめ
- (3) 耐震診断（耐震性能の照査）とそれに基づく耐震補強方法の検討
- (4) 成果と今後の課題のまとめ
- (5) 計算過程に基づくガイドラインの作成

なお、土木構造物は多岐にわたるため、土木構造物として代表的な構造物を選択し、それ毎にWGを設置して検討した。また、既設構造物の特徴として、現有強度や変状等を調べる必要があるため、その方法等を検討するWG、今回の地震動の特徴である繰り返し回数が多い地震動に対する動的解析法の検討を行うWG、および数の多い既設構造物の補強順位を決めるための優先度の設定方法を検討WGも設置した。各WG以下に示す。

【構造物担当】

道路橋WG 鉄道橋WG 港湾施設WG 地下構造物WG パイプラインWG
 タンクWG 土構造物WG ダムWG

【共通事項担当】

構造物現況調査WG 耐震診断手法WG 耐震補強の優先度WG

また、構造物の耐震診断と補強法の検討についての進め方を図-1に示す。その内容は以下のとおりである。

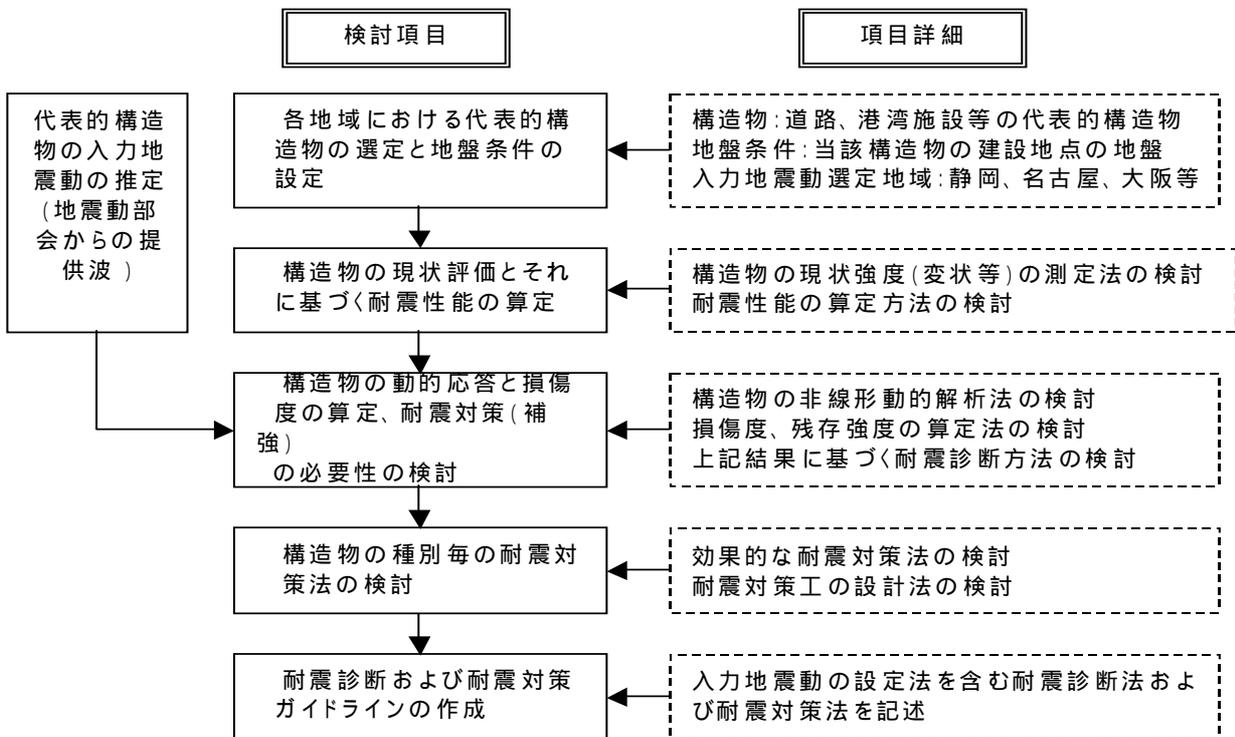


図-1 検討の流れ

(1) 代表的構造物の選定と地盤条件の設定

各WG毎に代表的な構造物を選定し、耐震性の照査を行う。選定した構造物の建設地点における地盤調査結果等に基づいて地盤条件を設定する。それに影響が大きいと推定される地域の地震動を選定して耐震診断を実施する。

(2) 構造物の現状評価とそれに基づく耐震性能の算定

選定した構造物の諸元や強度等を調査や設計に基づいて設定し、耐震性能を算定する。

(3) 構造物の動的応答と損傷度の算定、耐震対策の必要性の検討

構造物の応答解析（非線形動的解析手法）を実施し、求めた耐震性能の照査を行い、耐震対策の必要性の有無を検討する。

(5) 構造物の種別における耐震対策法の検討

耐震対策が必要な場合は効果的な耐震対策法を提案する。

(6) 耐震診断・耐震対策ガイドライン（計算例）の作成

上記検討結果をまとめて、耐震診断・耐震対策ガイドラインを作成する。これは代表構造物ごとに作成する。その内容は以下に示すものとなる。

- 1) 構造物の諸元、部材および地盤の性状の設定
- 2) 構造物に入力する地震動の設定
- 3) 構造物の耐震性能の算定
- 4) 構造物の応答値および損傷度等の算定
- 5) 耐震対策の必要性の判定
- 6) 耐震対策の提案とその設計

なお、耐震診断・耐震対策工の設計に用いる地震動は「地震動部会」から提供される波形（提供波）を用いる。

2.2.2 部会の構成

部会は、構造物の解析・設計や管理に係わる以下に示すおよそ70名の学識経験者・専門技術者等から構成した。そして、各委員は先に述べた11のWGに所属し、検討を実施した。

また、委員が多いこともあって、一堂に会することが困難な場合もあり、主査会を設け、連絡を密にし研究の進展を図った。以下に委員会名簿を掲載する。

部会長 西村昭彦 (株)ジェイアール総研エンジニアリング
 幹事 山谷 敦 東電設計(株)

道路橋 WG

主査 西田秀明 (独)土木研究所

- | | | | |
|--------|------------------|--------|---------------|
| 足立幸郎 | 阪神高速道路(株) | 河藤千尋 | 本州四国連絡高速道路(株) |
| 高木千太郎 | 東京都 | 中野錦也 | 愛知県 |
| 長屋定政 | (株)オリエンタルコンサルタンツ | 山本泰幹 | 首都高速道路(株) |
| * 小倉裕介 | 元 八千代エンジニアリング(株) | * 帆足博明 | 本州四国連絡高速道路(株) |
| * 溝口孝夫 | 首都高速道路(株) | | |

鉄道橋 WG

主査 谷村幸裕 (財)鉄道総合技術研究所

大内 一 (株)大林組

菅野貴浩 東日本旅客鉄道(株)

小阪拓哉 中央復建コンサルタンツ(株)

長縄卓夫 東海旅客鉄道(株)

港湾施設 WG

主査 菅野高弘 (独)港湾空港技術研究所

主査代理 塩崎禎郎 鋼管杭協会 (JFE 技研(株))

春日井康夫 国土交通省

小嶋幸則 愛知県

野末康博 (独)港湾空港技術研究所

平嶋 裕 鋼管杭協会 (新日本製鐵(株))

* 小濱英司 (独)港湾空港技術研究所

地下構造物 WG

主査 渡辺和明 大成建設(株) (開削トンネル担当) 前田敏也 清水建設(株) (水道施設担当)

井上陽介 (株)オリエンタルコンサルタンツ

河村精一 中部電力(株)

趙 唯堅 大成建設(株)

西山誠治 (株)日建設計シビル

宮川義範 (財)電力中央研究所

宮本勝利 (株)日水コン

山谷 敦 東電設計(株)

パイプライン WG

主査 佐藤紘志 防衛大学校

大嶽公康 日本上下水道設計(株)

久保雅裕 日本理水設計(株)

鈴木信久 JFE 技研(株)

砂坂善雄 鹿島建設(株)

高梨和光 清水建設(株)

竹内幹雄 (株)日水コン

千葉智晴 (株)日水コン

寺本 正 (株)東京設計事務所

長濱泰広 (株)三水コンサルタント

中村 葵 (株)三水コンサルタント

* 岡田健司 (株)シビルソフト開発

* 木全宏之 清水建設(株)

* 小西康彦 (株)日水コン

* 李 騰雁 (株)シビルソフト開発

タンク WG

主査 坂井藤一 (有)ES 技術事務所

井上涼介 茨城大学

川口周作 新日本製鐵(株)

川村佳則 東京ガス(株)

小林信之 青山学院大学

酒井理哉 (財)電力中央研究所

座間信作 消防庁

竹内幹雄 (株)日水コン

田中元章 石川島播磨重工業(株)

谷口朋代 鳥取大学

内藤幸雄 鹿島建設(株)

西崎丈能 大阪ガス(株)

林 尚一郎 川崎重工業(株)

樋口俊一 (株)大林組

土方勝一郎 東京電力(株)

平野廣和 中央大学

松田 宏 JIP テクノサイエンス(株)

箕輪親宏 (独)防災科学技術研究所

若林雅樹 清水建設(株)

大峯秀一 (株)日水コン

土構造物 WG

| | | | |
|----------------|--------|-------------|--|
| 主査 酒井久和 立命館大学 | | | |
| 渦岡良介 東北大学 | 大林 淳 | 不動建設(株) | |
| 岡島充典 愛知県 | 岡村未対 | 愛媛大学 | |
| 澤田俊一 応用地質(株) | 長縄卓夫 | 東海旅客鉄道(株) | |
| 吉澤睦博 (株)竹中工務店 | 渡邊弘行 | 日本技術開発(株) | |
| * 山田岳峰 鹿島建設(株) | * 李 騰雁 | (株)シビルソフト開発 | |

ダム WG

| | | | |
|-----------------|--------|------------|--|
| 主査 有賀義明 電源開発(株) | | | |
| 大角恒雄 日本工営(株) | 佐々木隆 | (独)土木研究所 | |
| 島本和仁 国土交通省 | 栃木 均 | (財)電力中央研究所 | |
| * 金銅将史 国土交通省 | * 筋野晃司 | 国土交通省 | |

構造物の強度等調査法 WG

| | | | |
|----------------------|------|-----------|--|
| 主査 羽矢 洋 (財)鉄道総合技術研究所 | | | |
| 上半文昭 (財)鉄道総合技術研究所 | 長谷川強 | 南海電気鉄道(株) | |

動的解析法 WG

| | | | |
|----------------------|------|-------------------|--|
| 主査 室野剛隆 (財)鉄道総合技術研究所 | | | |
| 上半文昭 (財)鉄道総合技術研究所 | 金本昌幸 | (株)ジエール総研エンジニアリング | |
| 北原武嗣 関東学院大学 | 小島圭一 | (株)トーニチコンサルタント | |
| 矢部正明 (株)長大 | | | |

優先度 WG

| | | | |
|------------------------|------|---------|--|
| 主査 吉田郁政 武蔵工業大学 | | | |
| 秋山充良 東北大学 | 北原武嗣 | 関東学院大学 | |
| 木村礼夫 (株)ジエール総研エンジニアリング | 鈴木修一 | 東電設計(株) | |
| 中村 晋 日本大学 | | | |

オブザーバー

| | | | |
|-------------------|------|-------|--|
| 野津 厚 (独)港湾空港技術研究所 | 戸沢冬樹 | N H K | |
|-------------------|------|-------|--|

(50音順, *は旧委員, は協力者)

2.2.3 検討経緯

平成15年12月に第1回土木構造物部会を開催してから、平成18年3月の最終部会に至るまで、16回の部会を開催した。約2ヶ月に1回の頻度で開催したことになる。当初は9名(部会長を含む)の委員から始まった部会であったが、その後たびたび増員が図られ、最終的には延べ100名に迫る大所帯となった。そのため、委員が一堂に会した部会の開催は困難であったが、常に30名程度の委員の参加があり、活発な議論を展開することができた。

部会の中では、各WGの検討状況や結果について審議を行うとともに、各WGの代表者による講演を行った。これは、土木構造物が多岐にわたるため、委員は担当する構造物以外の構造物の特徴あるいは検討内容を把握することが難しいことを考慮し、委員会を開催する毎に担当WGを決めて、そのWGの代表者による

講演会をお願いしたものである。内容は、構造物の特徴、耐震性能の設定や検討方法などである。この講演により、各WGの検討内容が他の委員にも理解頂けたのではないかと考えている。

また、津波に関する講演も専門家（防衛大学校・藤間教授）をお願いした。しかし、津波については設計外力も含めて、成果に盛り込むまでには至らなかった。

部会以外にも、各WGはそれぞれ会合を開き精力的に検討を実施した。委員の協力の下、WG主査が中心となって、資料の収集・整理、代表構造物の解析・照査、耐震対策の検討、問題点の整理を行い、さらには、今後の耐震設計に対する提言をまとめ上げることができた。

2.3にその成果の概要を述べる。

2.3 研究成果の概要

2.3.1 はじめに

具体的な構造物に対して検討を行う 8 つの WG においては、それぞれが検討対象とする構造物を選定し、耐震性能の設定およびその照査方法を検討し、地震動部会から提示された第 1 次、第 2 次提供波あるいは中央防災会議で提示された地震動を用いて照査を実施した。なお、中央防災会議の地震動は内閣府の承諾を得て使用している。またあわせて、耐震診断法、耐震対策法（耐震補強法）に関する文献調査や耐震補強事例の収集を行い、それを分析、整理した。

共通事項を検討する 3 つの WG においては、検討方法を策定し、データの収集と分析、あるいは実構造物の調査等を実施した。

以下に、各 WG の成果の概要を示す。

2.3.2 道路橋WG

2.3.2.1 道路橋の耐震対策の現状

道路橋は、全国に橋長2m以上のものが675 289橋¹⁾あり、構造規模や形式は、最大支間長が数mの単純桁橋から、約2kmの明石海峡大橋のような吊橋まで多種多様である。道路橋の耐震設計は、国土交通省の通達である「橋、高架の道路等の技術基準」(いわゆる「道路橋示方書」²⁾)に基づいて行われるのが通常であるが、本基準の適用外である最大支間長200mを超える長大橋では、個別に体系化された耐震設計が用いられる場合も多い。既設橋梁については、1980年以前の基準に基づいて設計された橋梁を優先的に耐震補強が行われてきているが、より早急に推進するために、国土交通省より「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム」、 「新幹線・高速道路をまたぐ橋梁の耐震補強3箇年プログラム」が示され、2005年度からの3箇年において実施されている³⁾。

2.3.2.2 道路橋の地震被害事例

道路橋の地震による被害事例は、兵庫県南部地震時をはじめ多く生じている。このうち兵庫県南部地震での主な被害としては、橋脚の倒壊、支承や落橋防止装置の破壊、基礎の損傷などがある。また、長大橋でも、東神戸大橋や西宮港大橋などで、支承部やその取付部などに損傷が生じた事例があった。

2.3.2.3 道路橋の耐震性能目標と照査項目

道路橋の耐震性能は、修復性や安全性の他、道路橋に要求される基本的機能である通行性（供用性）の観点も考慮して、設計地震動や重要度と対応づけて整理されている。また、各耐震性能に対応する限界状態は以下のように整理される²⁾。

耐震性能1：橋全体系としての力学的特性が弾性域を超えない範囲にとどまる

耐震性能2：塑性化を考慮した部材にのみ修復が容易に行いうる範囲内の塑性変形が生じる

耐震性能3：塑性化を考慮した部材にのみ当該部材の塑性変形性能を超えない範囲の塑性変形が生じる

長大橋では、構造形式や規模によって応答特性が複雑となるが、吊橋・斜張橋において地震時に損傷が予

想される部位の一例を整理すると表-3.2.1のようになる。長大橋に生じる損傷については、各構造要素に生じる損傷の連鎖現象を損傷連関図として整理している事例がある⁴⁾⁵⁾。

表 3.2.1 吊橋・斜張橋の構成部位と予想される損傷部位の一例

Table 3.2.1 Predicted damage to structural members of suspension bridges and cable stayed bridges

| 橋の部位 | 着目部位 | 構成部材の分類 | | | 支配的な荷重条件 | | | 損傷可能性 | | 備考 |
|--------|---------------|-----------|-------|-----|----------|-----|-----------|-------|--------|-------|
| | | 吊橋・斜張橋構造系 | 道路構造系 | 付属物 | 常時 | 地震時 | その他(暴風時等) | L2地震時 | 長周期地震動 | |
| アンカレイジ | 上屋(道路桁、道路桁橋脚) | | | | | | | | - | 吊橋のみ |
| | アンカレイジ基礎 | | | | | | | | - | 同上 |
| | ケーブル定着部 | | | | | | | | - | 同上 |
| 橋脚 | (端)橋脚 | | | | | | | | - | 斜張橋のみ |
| 主塔 | 主塔基礎 | | | | | | | | - | |
| | 塔柱 | | | | | | | | - | |
| | 斜材、水平材 | | | | | | | | - | |
| | ケーブル定着部 | | | | | | | | - | |
| | タワーリンク | | | | | | | | - | |

2.3.2.4 これまでに行われている道路橋の耐震対策事例

一般的な規模の道路橋の耐震対策工法を新技術情報システム (NETIS) を元に整理すると共に、具体的な耐震補強事例を示した。その一例を写真-3.2.1に示す。



(1)PC 連結材による耐震補強
(国道 202 号 瀬石谷橋)



(2)鋼製アーチによる耐震補強
(国道 201 号 東大橋)



(3)道路床組免震支承
(港大橋)

写真 3.2.1 既設橋の耐震補強事例

Photo 3.2.1 Example of seismic retrofit method for existing bridges

2.3.2.5 耐震性能照査事例

耐震性能照査事例として、ここでは、免震橋と斜張橋について示す。

免震橋 (9径間連続鋼鈹桁橋、橋長388m、図-3.2.1) を対象とした照査事例では、短周期帯域で応答が大きくなっている東南海地震に対するMIE006地点の提供波(鈴木ら)を、線形解析によりGL-30mの工学的基盤相当 (S波速度500m/s) に割り戻し、免震橋モデルで想定した地盤条件における地表面波を等価線形解析により新たに作成したものをを用いた。橋梁全体系を2次元骨組モデルによりモデル化した。橋脚は下端の塑性ヒンジ部にひびわれ、初降伏、終局時を結ぶ弾塑性回転バネ、塑性ヒンジ以外の部材はトリリニア型の非線形梁要素でモデル化した。弾塑性回転バネと非線形梁要素の復元力特性は武田モデルを用いた。また、免震支承

の非線形特性はバイリニアでモデル化した。耐震性能2を満足することを目標として、各橋脚基部の回転角、免震支承のひずみ、並びに桁端変位について照査を行った。解析結果の一部を図-3.2.2に示す。

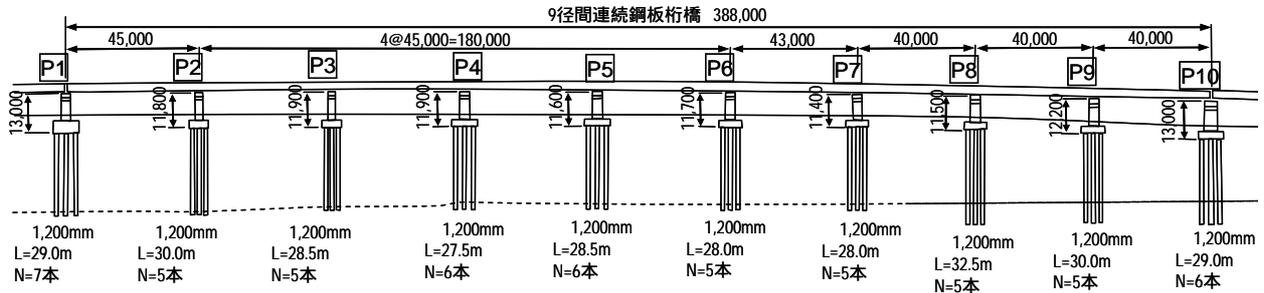
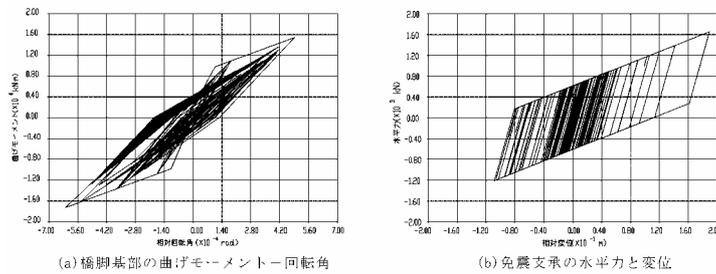


図3.2.1 解析対象免震橋全体図 (単位:mm)

Fig 3.2.1 Seismic isolated bridge for the study



(1) 橋脚基部履歴曲線(P3 橋脚) (2) 支承履歴曲線(P3 橋脚上)

図 3.2.2 解析結果例 (入力地震動: MIE006 - NS 成分)

Fig 3.2.2 Example of analytical results (input ground motion: MIE006 NS comp.)

斜張橋(ハープ型2面吊りPC3径間連続斜張橋, 橋長400m(中央支間長200m), 図-3.2.3)を対象とした照査事例では, やや長周期の地震動成分も含む東南海・南海地震のYAE波(鶴来ら)により, 桁の応答変位や主塔, 橋脚の断面力及び変形について照査した事例を示した。解析結果例として, YAE波(NS成分)で橋軸方向加振した際のT1主塔及びP1橋脚の最大曲げモーメントの高さ方向分布を図-3.2.4に示す。

2.3.2.6 今後の課題

今後, 解決すべきあるいは一層検討を進めることが望ましいと思われる課題の例を列挙すると以下のような項目が挙げられる。

- (1) 施工等に制約条件があり, 耐震対策が困難な場合が多い河川橋や跨道橋, 跨線橋などに適用できる効果的な耐震対策法の研究, 開発
- (2) 長大橋(特殊橋を含む)の耐震対策法の研究, 開発
- (3) 津波による道路橋の被災メカニズムの解明, 対策の必要性を含めた津波に対する道路橋の要求性能の整理, 津波を想定するとした場合の荷重の設定方法などに関する研究, 開発

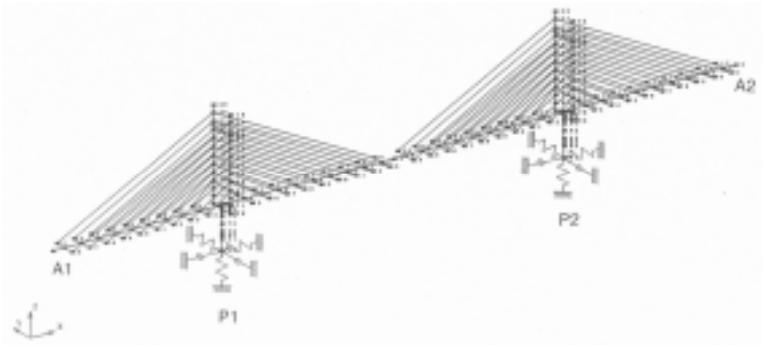


図 3.2.3 斜張橋の解析モデル (文献6に加筆)

Fig 3.2.3 Cable stayed bridge for the study

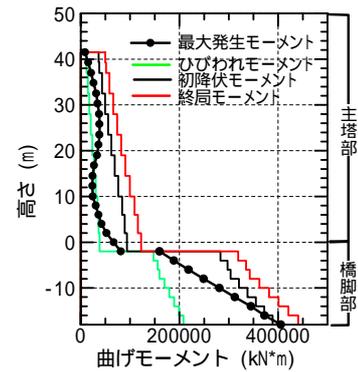


図 3.2.4 T1主塔, P1橋脚の最大曲げモーメントの高さ方向分布

参考文献

- 1)国土交通省道路局：2005年版道路統計年報
- 2)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ耐震設計編，2002.
- 3) http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/06/060308_.html
- 4)小森和男，吉川博，小田桐直幸，木下琢雄，溝口孝夫，藤野陽三，矢部正明：首都高速道路における長大橋耐震補強の基本方針と入力地震動，土木学会論文集 No.794 / I-72，pp.1-19，2005.
- 5)小森和男，吉川博，小田桐直幸，木下琢雄，溝口孝夫，藤野陽三，矢部正明：首都高速道路における長大橋耐震補強検討，土木学会論文集 No.801 / I-73，pp.1-20，2005.
- 6)日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料-PC ラーメン橋・RC アーチ橋・PC 斜張橋・地中連続壁基礎・深礎基礎等の耐震設計計算例，1998.

2.3.3 鉄道橋WG

2.3.3.1 鉄道橋における耐震性能目標と照査項目

鉄道構造物の耐震設計は、1998年（平成10年）制定の鉄道構造物等設計標準（耐震設計）¹⁾（以下、「耐震標準」という）に基づいて実施されている。また耐震対策についても耐震標準を参考に実施されている。

耐震標準では、鉄道構造物の損傷に関する耐震性能として、表3.3.1に示した3つを定めている。地震動と耐震性能の関係は、L1地震動（供用期間内に数回程度発生する確率を有する地震動）に対しては耐震性能を、L2地震動（供用期間中に発生する確率は低いが大規模な地震動）に対しては、重要度の高い構造物は耐震性能を、その他の構造物は耐震性能を満足することが目標となっている。

耐震性能は構造物を構成する部材の損傷と基礎構造物の安定レベルで表現する。橋梁、高架橋に要求される耐震性能と部材の損傷レベルおよび基礎構造物の安定レベルの関係を図3.3.1に示す。部材の損傷レベルは、部材の特性、損傷および補修工法との関係を勘案し、荷重～変位曲線の包絡線上における変位との関係で定める。曲げ破壊モードとなる鉄筋コンクリート部材は、図3.3.2に示すような挙動を示す。この荷重～変位関係の包絡線の変化点では図に示したような現象が生じており、これを勘案して損傷レベル限界点を設定して照査することとなる。

表 3.3.1 耐震性能と構造物の要求性能の関係

Table 3.3.1 Relation between structural seismic performance levels and required performance of structure

| 耐震標準に定められている耐震性能 | | RC標準 ^{*2} に対応する要求性能 |
|------------------|--------------------------------|------------------------------|
| 耐震性能 | 地震後にも補修せずに機能を保持でき、かつ過大な変位を生じない | 復旧性：性能レベル1を確保 |
| 耐震性能 | 地震後に補修を必要とするが、早期に機能が回復できる | 復旧性：性能レベル2を確保 |
| 耐震性能 | 地震によって構造物全体系が崩壊しない | 安全性 ^{*1} を確保 |

*1 構造物の破壊に関する安全性、*2 鉄道構造物等設計標準（コンクリート構造物）（2004年）²⁾

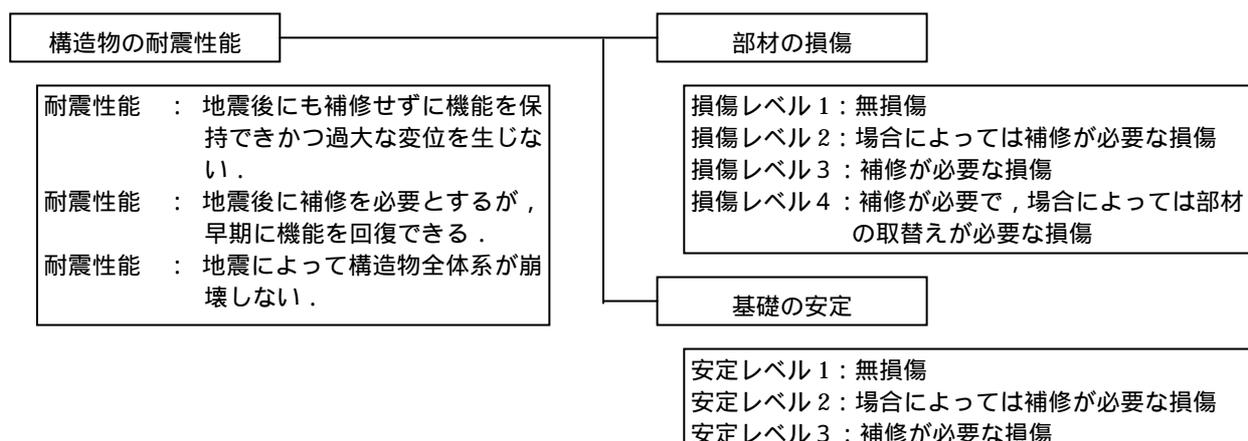


図 3.3.1 橋梁・高架橋の耐震性能と部材の損傷レベルおよび基礎の安定レベルの関係

Figure 3.3.1 Relationship among seismic performance levels, damage levels of member and stability levels of foundation

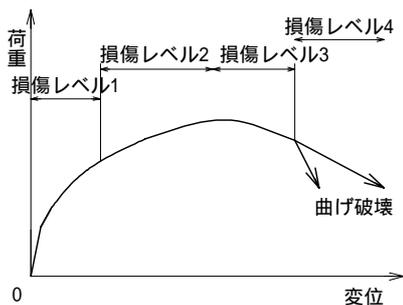


図 3.3.2 曲げ破壊モードの棒部材の荷重 - 変位関係の包絡線

Figure 3.3.2 Load-displacement relationship and damage levels

- ひび割れ発生点
- コンクリートが圧縮強度に達する点
- 鋼材が降伏強度に達する点または部材の降伏点
- 軸方向鋼材の座屈および変形開始点
- かぶりコンクリートの剥落点
- 降伏荷重保持点
- コアコンクリート圧壊点

2.3.3.2 鉄道橋の耐震診断事例

a. 対象構造物の概要³⁾ (図 3.3.3)

- ・ 構造形式：
RC ビームスラブ式ラーメン高架橋，
ゲルバー桁形式，
複線・直線スラブ軌道
- ・ コンクリートの圧縮強度：
 $f_c = 27 \text{ N/mm}^2$
鉄筋の降伏点： $f_{sy} = 345 \text{ N/mm}^2$
- ・ 検討方向：線路直角方向中間部 C5

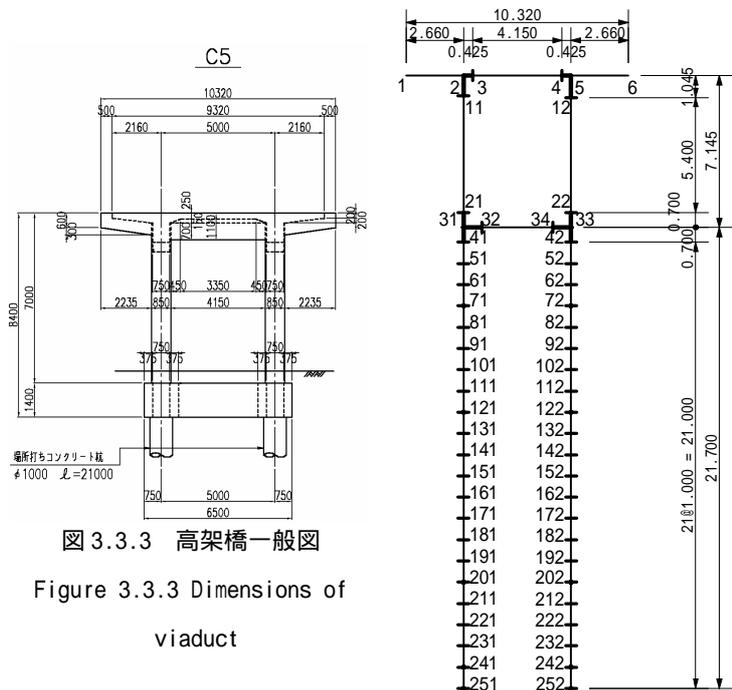


図 3.3.3 高架橋一般図

Figure 3.3.3 Dimensions of viaduct

図 3.3.4 骨組み解析モデル

Figure 3.3.4 Frame analysis model

b. 構造物の目標耐震性能

- ・ 巨大地震に対する目標とする耐震性能：耐震性能
- ・ 部材の損傷レベル制限値

柱：損傷レベル 3

梁，杭：損傷レベル 2

c. 静的非線形解析応答値の算定

非線形スペクトル法により，応答値を算定する．まず，部材を線材，地盤をばねにモデル化した骨組解析モデル（図 3.3.4）により，静的非線形解析を行う．

考慮する作用は，死荷重，列車荷重および収縮の影響である．水平力は，梁と柱の接合部に載荷し，変位制御で漸増載荷する．解析結果（水平震度と構造物天端の変位の関係）を図 3.3.5 に示す．

d. 応答値の算定

線路直角方向中間部ラーメンの等価固有周期 $T_{eq}(\text{sec})$

$$T_{eq} = 2.0 \sqrt{\frac{\delta_y}{k_{ly}}} = 2.0 \times \sqrt{\frac{0.066}{0.552}} = 0.692(\text{sec})$$

あらかじめ作成された所要降伏震度スペクトルを用いて、等価固有周期(T_{eq})と降伏震度(k_{hy})の関係から、応答塑性率(μ)を求める。所用降伏震度スペクトルは、清水における提供波をもとに作成した。図 3.3.6 に所要降伏震度スペクトルを示す。図より、構造物全体系としての応答塑性率は $\mu=4.4$ となる。

降伏変位(y)に応答塑性率(μ)を乗じることで、最大応答変位(r)が求まる。

$$r = y \times \mu = 66\text{mm} \times 4.4 = 290.4\text{mm}$$

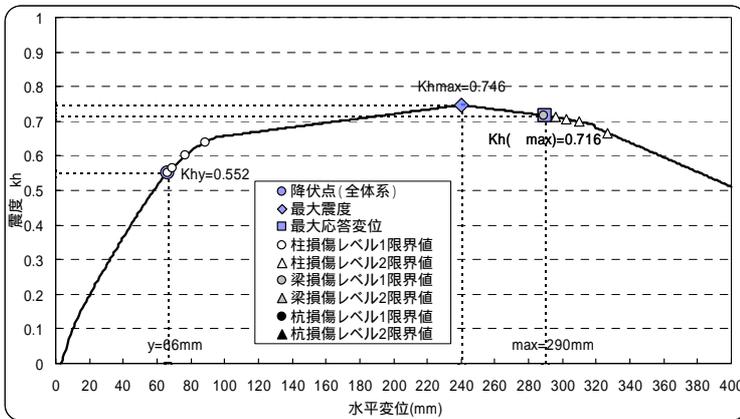


図 3.3.5 水平震度 K_h と構造物天端変位の関係

Figure 3.3.5 Relationship between seismic coefficient and displacement

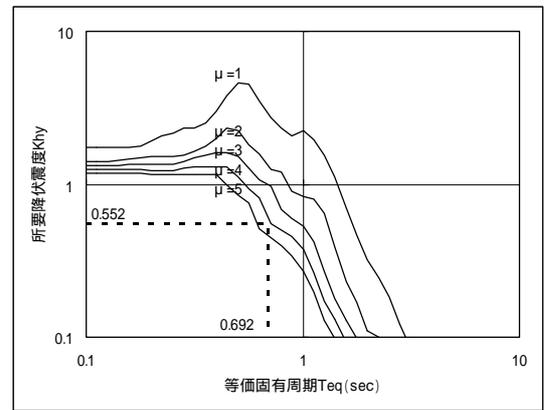


図 3.3.6 所要降伏震度スペクトル (清水)

Figure 3.3.6 Demand-yield-seismic-coefficient spectrum

e. 耐震性能照査

表 3.3.2 に各部材の損傷レベル限界変位と照査結果を示す。柱、梁ともに損傷レベル 2 となっている。また、杭は降伏していない。したがって、耐震性能を満足しており、本高架橋は目標耐震性能を有していると判定された。

表 3.3.2 各部材の損傷レベル限界変位と照査結果

Table 3.3.2 Limit displacement for damage levels and result of evaluation

| 部材 | 損傷レベル限界変位 (mm) | | | 箇所 | 最大応答変位時の 損傷レベル | 損傷レベル 制限値 | 判定 |
|-----|----------------|-------------|-------------|-----|-------------------|--------------|----|
| | 損傷 レベル 1 | 損傷 レベル 2 | 損傷 レベル 3 | | | | |
| 柱 1 | 69 | 296 | 374 | 下端 | 2 | 3 | OK |
| 柱 1 | 66 | 302 | 380 | 上端 | 2 | 3 | OK |
| 柱 2 | 89 | 327 | 383 | 下端 | 2 | 3 | OK |
| 柱 2 | 77 | 310 | 366 | 上端 | 2 | 3 | OK |
| 上層梁 | 289 | ----- | ----- | 右支点 | 2 | 3 | OK |

2.3.3.3 鉄道橋における耐震対策の現状

兵庫県南部地震では、鉄道橋は落橋など甚大な被害を受けた。落橋の主な原因は、支持している高架橋柱のせん断破壊であった。そのため、その後の耐震補強では、兵庫県南部地震のような大規模地震に対して、高架橋や橋梁を崩壊させないようにすることを目的としている。そして、現在ではせん断破壊が先行する破壊形態の高架橋柱を優先的に対象として、曲げ破壊先行となるように鋼板等で補強する対策が行われている。



写真 3.3.1 鋼板巻き立て施工事例

2.3.3.4 既設鉄道橋の耐震対策事例

鉄道橋における耐震補強の概要

a. RC ラーメン高架橋の耐震対策事例

主な対策工法を、次に示す。

- (i) 鋼板を巻き立てる方法 (写真 3.3.1)
- (ii) FRP シート等を巻き立てる方法
- (iii) 鉄筋や分割した鋼板を柱外周に配置する方法
- (iv) 薄板を多層に接着する方法
- (v) コンクリートセグメントと鋼より線を用いる方法
- (vi) 柱の一面から施工する方法
- (vii) ダンパー・ブレースを用いる方法

b. RC 橋脚の耐震対策事例

- (i) 鉄筋コンクリート (RC) を巻き立てる方法 (写真 3.3.2)
- (ii) 鋼板を巻き立てる方法
- (iii) 繊維シートを巻き立てる方法
- (iv) 地上部からコンクリート充填鋼管を設置する方法
- (v) 地上部から直線鋼矢板を建て込み、巻き立てる方法



写真 3.3.2 RC を巻き立てる方法の施工事例

2.3.3.5 まとめと今後の課題

鉄道橋における耐震性能目標と照査項目、耐震診断事例、耐震対策の現状および既設鉄道橋の耐震対策事例について述べた。鉄道橋の耐震対策として、着実に耐震補強が進められてきたが、種々の制約により施工困難となる事例が少なくない。これまで、既設構造物の補強工事の進捗とともに様々な補強工法が開発されてきたが、厳しい制約条件下でも施工が容易で、さらに経済的かつ効果的な補強工法が開発が今後の課題である。

【参考文献】

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計），丸善，1999。

2.3.4 港湾施設WG

2.3.4.1 はじめに

港湾施設には航路、泊地、防波堤、岸壁等があるが、この中で過去の地震時において多く被害を受けてきた構造物の一つは岸壁である。岸壁は地震直後の緊急支援物資や復旧・復興のための人・物の搬入出等の拠点となるべき施設であり、巨大地震に耐えることができるように耐震補強することの意義は大きい。港湾施設WGでは、検討対象を岸壁と荷役機械（コンテナクレーン）に絞って以下の検討を行った。

- (1) 岸壁の耐震補強工法の事例収集と整理。
- (2) 設計震度が低い矢板式岸壁を対象として、巨大地震に対する耐震診断と耐震補強法の効果について事例検討を実施。
- (3) コンテナクレーン（港湾構造物の中で長周期の振動特性を有する）の巨大地震時における挙動について検討を実施。

2.3.4.2 検討概要と結論

(1) 岸壁の耐震補強工法の事例収集を行い、既存岸壁の構造形式（重力式、矢板式、棧橋式）と原理（地盤改良、構造物重量増大、構造物による抵抗力補強）による分類を行った。

(2) 設計震度が低い矢板式岸壁（設計震度0.1）を対象として、巨大地震に対する耐震診断と補強工法の実例検討を行った（図3.4.1参照）。巨大地震としては地震動部会から提供を受けた想定東南海・南海地震のM港における波形（加速度応答スペクトルを図3.4.2に示す）と、比較対象として神戸PI波を用いた地震応答解析を実施した。解析は有効応力法に基づく地震応答解析プログラムFLIP¹⁾を用いた。その結果、M港波形は、神戸PI波に比べて加速度応答スペクトルは全般的に小さい値を示しているが、地盤の過剰間隙水圧が上昇した後も地震動が継続するため、岸壁の水平変形量が大幅に増加（1.79mから3.69m）することがわかった（図3.4.3参照）。この岸壁に対する耐震補強工法として、岸壁の前面に盛土をして棧橋を構築する「前だし棧橋工法」（図3.4.1参照）を取り上げM港波形に対する地震応答解析を実施したところ、岸壁変位は0.44mまで抑えられることが確認できた。

(3) 棧橋上に設置されるコンテナクレーンの巨大地震時における地震時挙動の検討を行った。巨大地震としては港湾構造物設計用のレベル2地震動（波形A、波形B、図3.4.4参照）を用いた。棧橋とコンテナクレーンの連成挙動を考慮するため2質点モデルによる地震応答解析で検討したところ²⁾、コンテナクレーンに免震装置が組み込まれている場合（固有周期4.33秒）には、多くの場合、波形Aのように地震時の応答が抑えられるが、長周期成分を含む地震動（波形B）に対しては、十分な免震効果が得られないことが判明した（図3.4.5参照）。したがって巨大地震に対しては、従来以上の長周期化や、制震機構の付加などの対策が必要となる。

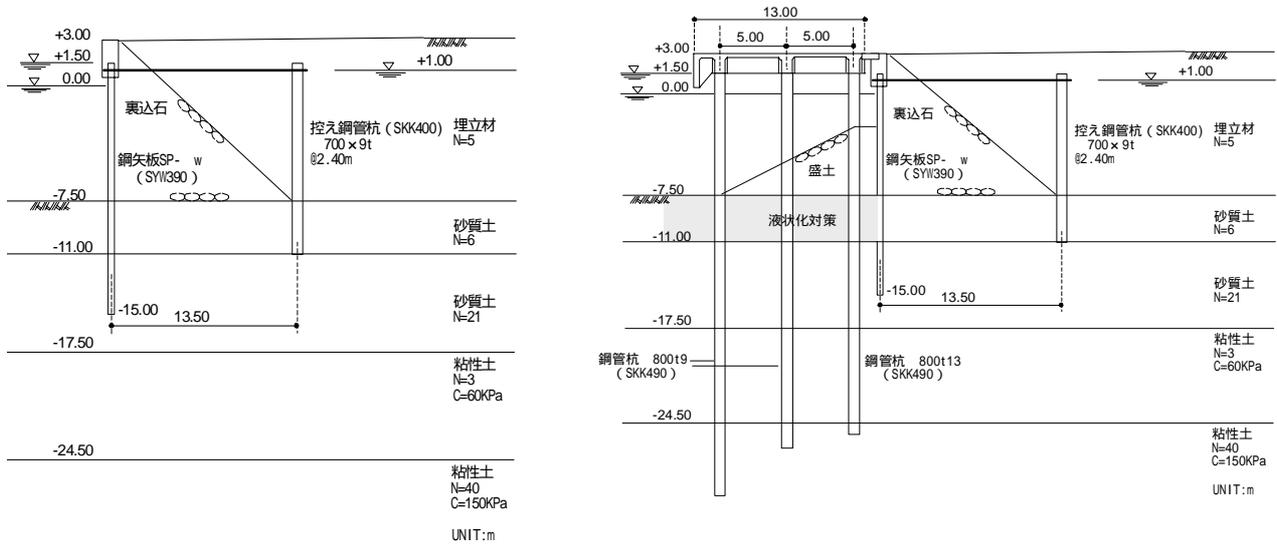
2.3.4.3 今後の課題

(1) 対象施設の地震直後からの運用シナリオ（緊急に復旧する必要性の有無、代替施設の有無など）に基づき、港湾構造物の修復性や損傷制御の考え方の導入した経済的な耐震補強工法の開発（例えば地盤の液状化を許容する前提の工法など）などのハード的な対応に加え、復旧資・機材の確保などのソフト的な対応を考慮した総合的な検討が必要である。

(2) 現状では、岸壁・護岸と、その背後の施設の管理者が異なることが多いため、一体的な耐震対策が困難となる場合が多い。今後は連携していく方策を検討する必要がある。

参考文献

- 1) Iai,S., Matsunaga,Y.and Kameoka,T.: Strain space plasticity model for cyclic mobility, Report of Port and Harbour Research Institute, Vol.29, No.4, pp.25-56, 1990.
- 2) 宮田政史, 菅野高弘, 濱田純次, 田邊俊郎, 中島晋, 田中剛: 直杭棧橋とコンテナクレーンの地震時相互作用に関する研究, 第 10 回日本地震工学シンポジウム, 1998.



(矢板式岸壁 設計震度 0.1)

(前出し棧橋工法による補強)

図 3.4.1 検討対象とした矢板式岸壁・補強断面の断面図

Figure 3.4.1 Cross section of a sheet pile quay wall and its reinforcement plan

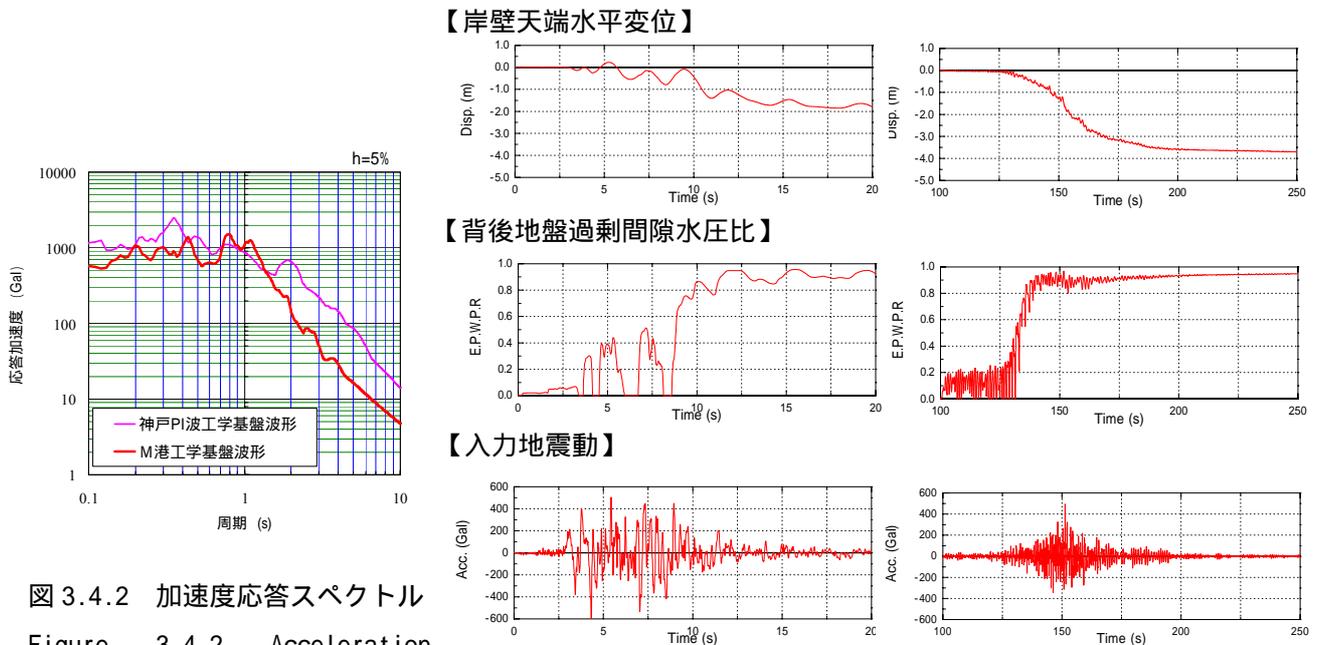


図 3.4.2 加速度応答スペクトル
Figure 3.4.2 Acceleration response spectrum

(神戸 PI 波に対する解析結果)

(M 港波形に対する解析結果)

図 3.4.3 解析結果 (時刻歴波形)

Figure 3.4.3 Results of numerical analysis (time histories)

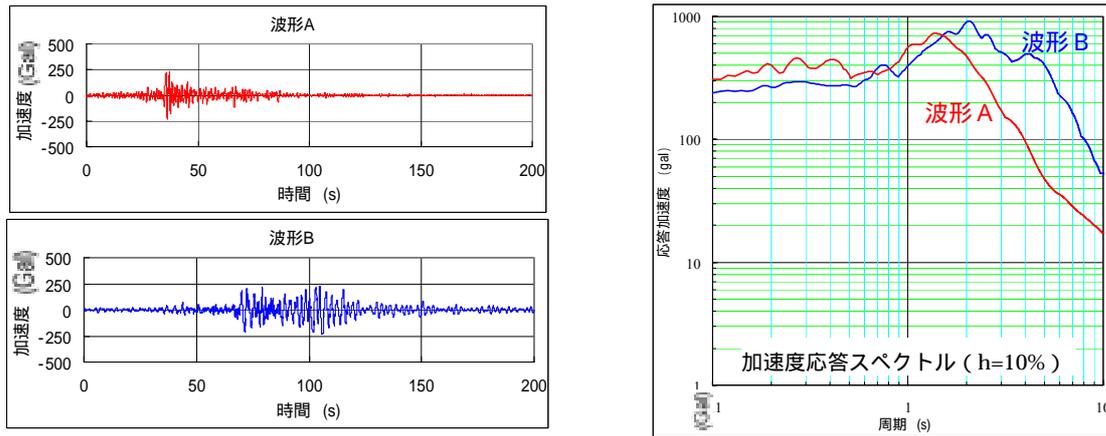


図 3.4.4 棧橋とクレーンの2質点解析で用いた波形（レベル2地震動）

Figure 3.4.4 L2 Input motions for a piles supported wharf and a crane by two mass-spring model analysis

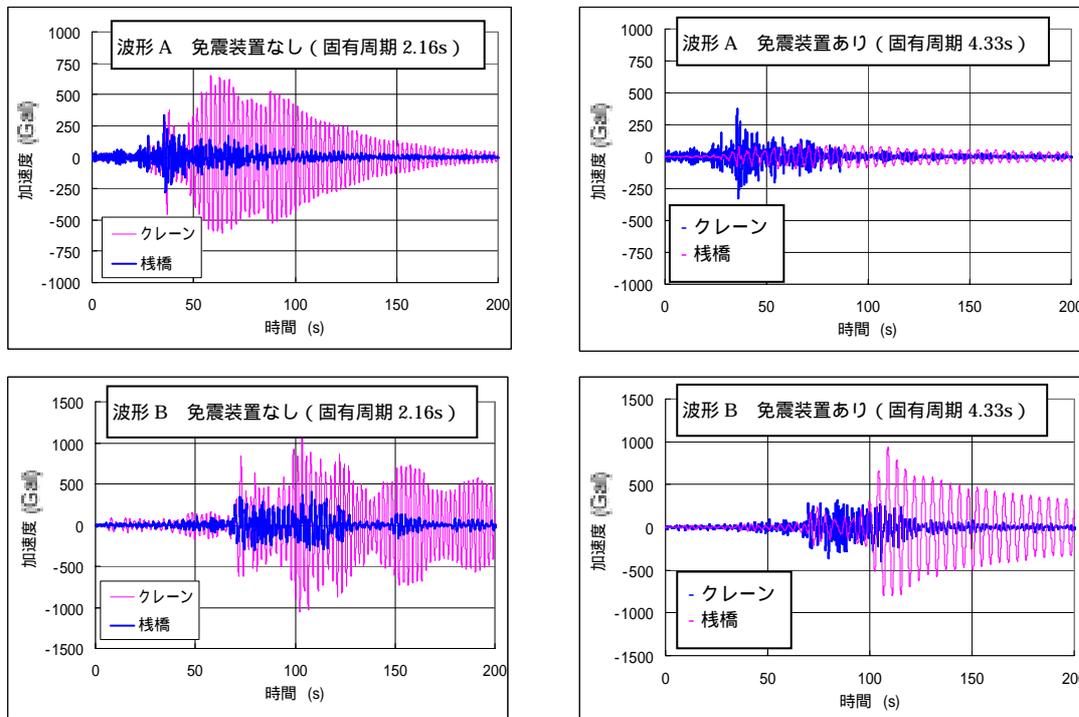


図 3.4.5 2質点解析結果（棧橋とクレーンの加速度応答）

Figure 3.4.5 Results of two mass spring model analysis (Acceleration Response of a piles supported wharf and a crane)

2.3.5 地下構造物WG

2.3.5.1 はじめに

地下構造物の耐震設計指針・基準は、平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震の地震被害の分析結果および土木学会からの提言に基づいて、大規模地震も踏まえた 2 段階設計法の導入と、大規模地震に対しては部材の損傷過程に踏み込んだ設計法の導入等、その規定内容が大きく改定されてきた。また既設構造物については、各機関ごとに耐震診断が行われ、優先順位に基づいて耐震補強は実施されている。しかし、既設の地下構造物の耐震補強においては、適切な耐震診断手法および効果的な補強工法が確立していないのが実状である。そのため、耐震性評価の基本的な考え方や解析手法が準用できるとして新設構造物を対象とした現行指針・基準が適用され、新設構造物と同等の耐震性能を確保することが求められている。地下構造物 WG では、このような現状を踏まえ、地下構造物の耐震診断・耐震補強に関する文献および工法の調査を実施するとともに、代表的な地下構造物について、現時点で耐震診断・耐震補強の実務に参考となる検討事例を示した。

2.3.5.2 実施項目

- (1)耐震診断・耐震補強の文献調査 (2)既設構造物を対象とした耐震診断・耐震補強の検討
(3)耐震診断手法の検討 (4)耐震補強工法の調査

2.3.5.3 耐震診断・耐震補強の文献調査

平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震後、土木学会から第 2 次提言（1996 年 1 月）の中で、耐震診断と耐震補強の基本的な方向性が示された。それに従い、道路・鉄道など公共土木構造物を中心に、多くの土木構造物で耐震診断と耐震補強が実施されてきた。地下構造物および水道施設を対象に、最近の耐震診断・耐震補強に関する 58 の文献を収集し概要をまとめた。また、特に有用と考えられる事例について詳細に分析した。

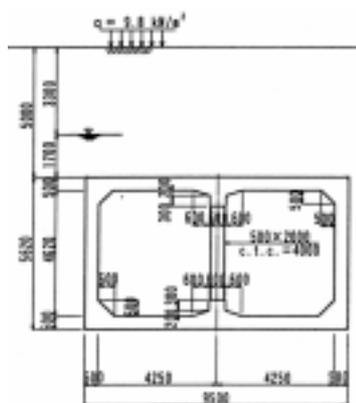
2.3.5.4 耐震診断・耐震補強の事例

地下構造物の代表事例として、開削トンネルと上下水道施設を選定し、それらの耐震診断を実施した。また、耐震補強が必要となった部材については、耐震補強工法の検討を実施した。検討結果の概要を以下にまとめる。

a. 開削トンネル

- (1) 図 1 に示すような粘性地盤中の 1 層 2 径間箱型断面を有する鉄道用の開削トンネルを対象とした。
(2) 耐震診断に用いる入力地震動は、「鉄道路線の大都市」および「地震時挙動が短周期の影響を受ける」という観点から、図 2 に示す想定東海地震の浜松波（S2 モデル NS 成分、野津委員作成）を選定した。
(3) 縦断方向の耐震診断では、トンネルを梁要素、地盤とトンネルの相互作用をばね要素でモデル化した梁～ばねモデルによる時刻歴応答変位法を適用した。また、横断方向の耐震診断では、2 次元 FEM 解析による地盤～構造物の連成解析を実施した。
(4) 縦断方向断面では、軸方向入力および軸直角方向入力に対しても、十分な耐震性能を有していることが明らかになり、耐震補強の必要なしという結果となった。

- (5) 横断方向断面では、基準となる変形性能に対して余裕度を有していることより、中柱、その他の部材でも目標とした耐震性能をそれぞれ満足しているという診断結果となった。またせん断耐力に対する余裕度も十分に有している。



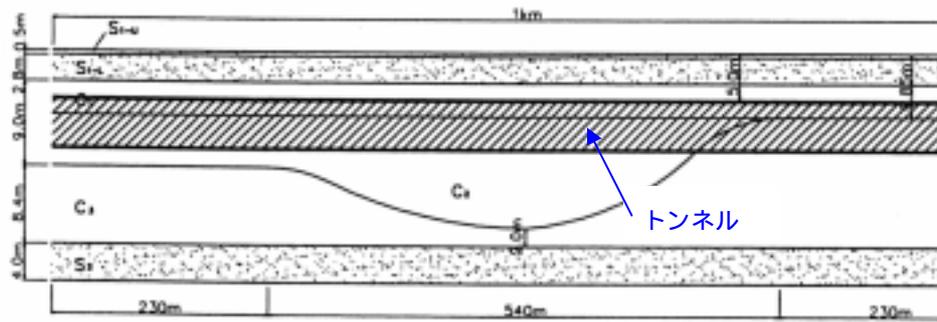


図1 検討条件（開削トンネル）

Figure1 Conditions of underground structure

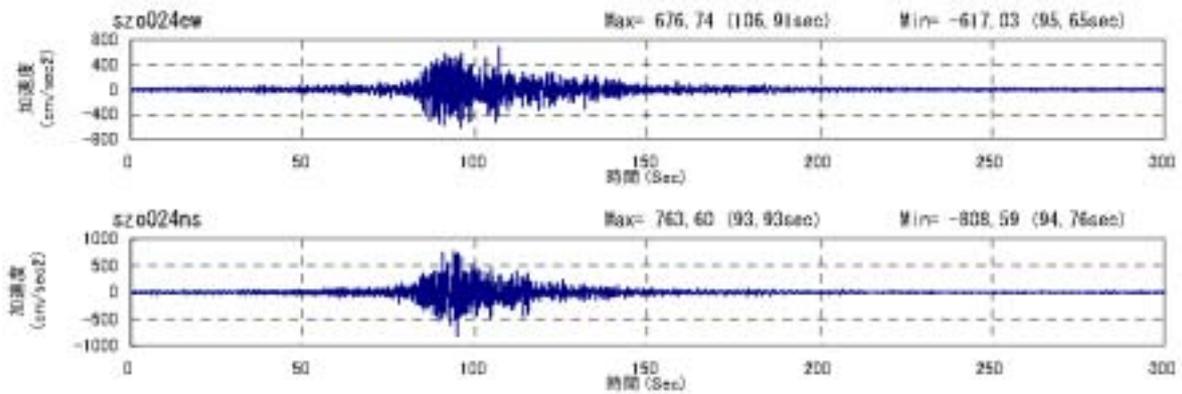


図2 入力地震動

Figure2 Input earthquake motion

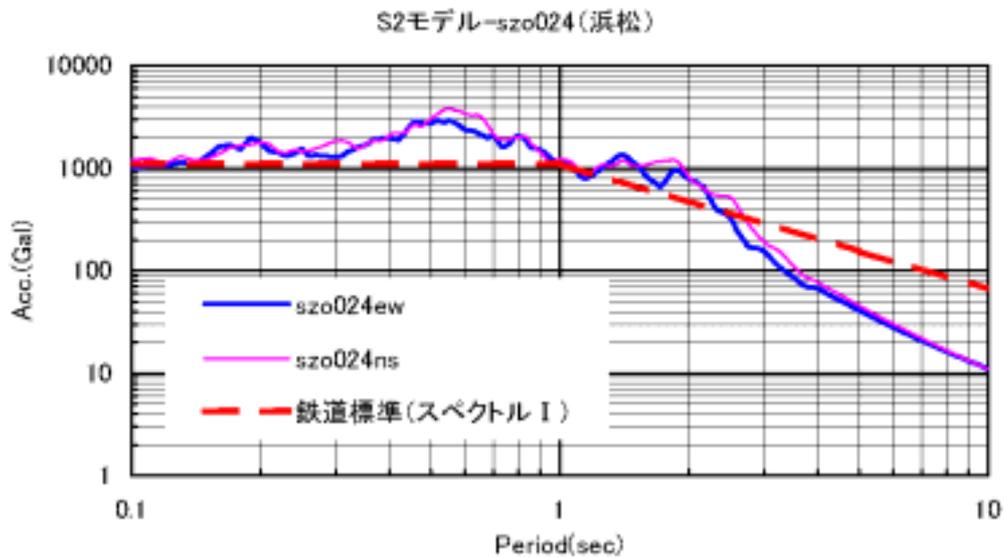


図3 加速度応答スペクトル (h=0.05)

Figure3 Acceleration response spectrum (h=0.05)

b. 上下水道施設

- (1) 図4に示すような貯水施設（縦59m×横59m×高さ11.9m）を対象とした。
- (2) 耐震診断に用いる地震動は、「水道施設耐震工法指針・解説（1997版：日本水道協会）」の標準的な検討地震動とした。
- (3) 構造体の柱、梁、底版のせん断破壊が予測され、「水道施設耐震工法指針」の定める耐震水準（軽微な被害が生じても、その機能保持ができること）を満足しない結果となった。また構造目地の開きも10cm程度となり、可とう性のある目地の設置が必要な診断結果となった。ただし、構造物の設置場所や重要度によっては、指針よりも大きな地震動を用いて照査する必要もあり、診断手法の高度化や解析モデルの最適化を今後の課題として挙げた。

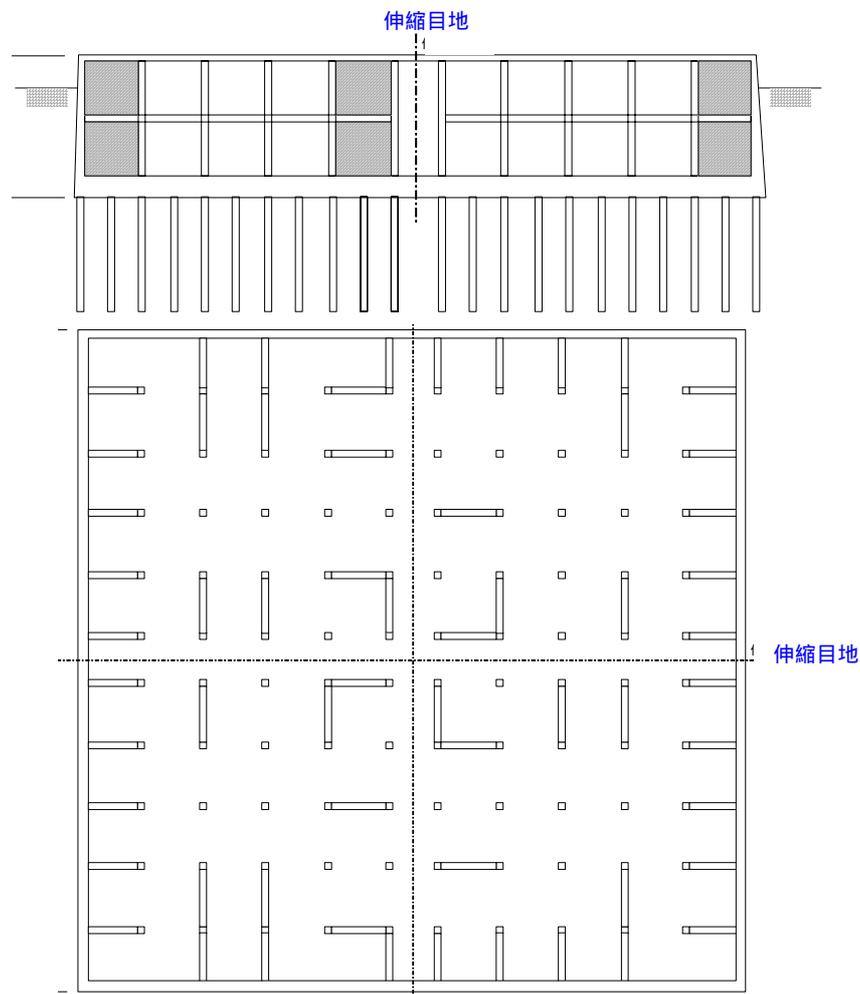


図4 構造概要（上下水道施設）

Figure 4 Proportion of structure

2.3.5.5 耐震診断手法の検討

地下構造物の耐震性照査に当たっては、地震時の構造物の応答変形と、構造物に許容し得る限界変形（変形性能）の両者を適切に評価しなければならない。しかし、応答変形量を精度良く推定するためには、構造物および地盤の非線形性と両者の動的相互作用を考慮した地震応答解析を実施することが必要となり、構造物の縦断方向に地盤条件や構造諸元が異なる場合等には検討断面が多くなって、それら全てを照査する労力と時間が膨大となることもある。そのため、近年、簡易かつ実用的な耐震性照査手法に関する研究が進められており、その精度も実務設計に適用可能なレベルにまで向上してきている。そこで、これまでに提案されている簡易診断法について調査し、その概要や今後の活用性に触れた。

また、水道施設構造物（貯水施設）においては、壁やスラブの剛性や強度が期待できる場合があり、耐震診断を行う際には、これらの部材を解析モデルに取り込むことで、診断結果に影響を及ぼすことが予想される。そこで、いくつかの実用的な診断手法による比較解析を実施し、耐震壁やスラブの効果等について検討した。その結果、武藤法や3次元解析の応答値は2次元解析に比べて大幅に低下し、合理的な診断結果が得られる可能性があることが分かった。

2.3.5.6 耐震補強工法の調査

地下構造物の耐震補強に適用できる各種補強工法のリストを作成した。工法の中には、実際に地下構造物に適用した実績のあるものに加え、実績は無いが適用可能と考えられる工法も含んでいる。ただし、鉄筋コンクリート部材の増設や巻立て、地盤改良のような一般的な工法は対象外とし、新工法や特殊工法等、一般の工法に比べて特色のある工法を対象とした。地下構造物の特徴として、基礎を補強する場合、深度が深いことから施工方法に関して検討の余地があることを示した。

2.3.5.7 まとめ

構造物の置かれている諸条件によっては、地震動の予測技術の向上に伴って現行の設計基準よりも大きな地震力が作用し、その結果倒壊の可能性もある構造物もある、ということが明らかとなった。今後は、地下構造物に対しても、耐震診断とそれに基づく耐震対策を適切に実施していく必要がある。そのためには、まず、耐震診断手法の高度化を図ることが重要であり、線形解析に加えて部材非線形や材料非線形解析、さらに3次元解析を行う等、解析モデルを最適化することによって合理的な診断が可能になるものと考えられる。

また、地下構造物への耐震対策の困難さに鑑みると、今後、地下構造物の耐震診断や耐震対策を広く進めていくためには、新たな耐震対策の「考え方」が必要になると考えられる。地下構造物に対して、計算上、必要と判断される箇所全てを補強するという従来の耐震対策を実行に移すことは実質的に不可能であり、このことが、これまで地下構造物の耐震対策が積極的に行われてこなかったことの一因と考えられるためである。

全ての既設構造物に対して新設構造物と同レベルの耐震安全性を要求することは不合理であり、耐震診断結果に加え、構造物の重要度、耐震対策の施工性、あるいは、構造物の建設年度などを基に、より合理的・現実的な耐震対策を考えていく必要がある。今後は、これらを考慮して、合理的かつ工学的に十分妥当な工法を、構造物ごとにオーダーメイドで考えていく必要があると考えられる。

2.3.6 パイプラインWG

2.3.6.1 はじめに

a. 基本方針

パイプラインWGでは、上下水道の事業者へのヒアリングを踏まえて、兵庫県南部地震以降の被害状況と耐震対策を分析し、今後想定される巨大地震に対するパイプラインのシステム面での安全性の確保を重点として対策を提案したものである。

b. 検討条件及び照査内容

パイプラインは面的な広がりがあり、全てのパイプラインに対して耐震性能を向上させることは現実的ではない。よって、耐震性能については、施設の重要度に応じて区分している現行の耐震指針の考え方を基本的に推奨する。

- (1)兵庫県南部地震以降の被災地（神戸市，新潟県下）に対してヒアリングを行い，被災状況と復旧状況，被災後の対策，現状の支援体制を確認し，結果をとりまとめる．同時に被災を受けていない地域（横浜市，横須賀市）へのヒアリングを行い現状の震災への取り組みについても確認する．
- (2)ヒアリング結果から判明した問題点や改善策の検証
- (3)地震に加え津波との相互被害の想定
- (4)地盤剛性変化点で発生する地盤ひずみを数値解析により算定し，その地盤ひずみによる上水道及び下水道管路への影響について検証する予定である．（現行の免震機構の検証と体系化）

2.3.6.2 照査結果

a. 事業者のヒアリング

神戸市，横須賀市，横浜市，長岡市，小千谷市，川口町への被災状況または耐震化計画等についてのヒアリングを行った．以下に，明らかになった主要事項と今後の課題点を示す．

（ ）神戸市

被災当時の状況としては，上水道の大口径管路の被害による道路盛土への二次災害を引き起こした可能性があった（図 3.6.1，写真 3.6.1 参照）．下水道については，液状化に伴うマンホールや管路の浮上による被害は少なく，管路（HP）の破損に被害が集中していた．また，震災後 10 年経過した状況として，震災後 5～6 年間は上水道の漏水量の増加や，下水道の不明水の増加が見られ，それに伴う施設整備費用が発生したことが判明した．また，下水道施設のネットワーク化や上水道の大容量送水管の布設などの耐震化対策が実施されている．

（ ）新潟県下

下水道の被害は，埋戻し土の液状化により，写真 3.6.2 に示すようなマンホールや管渠の浮上が多発し，地震直後には隆起したマンホールに車が衝突するという二次災害も発生した（写真 3.6.3 参照）．また，神戸市と同様に下水道の圧送管路の被害による道路盛土への二次災害を引き起こした可能性があった（写真 3.6.4 参照）．上水道では，液状化による被害が比較的になく，被害は山間部で多く発生し，斜面崩壊や道路陥没に伴う被害があった．兵庫県南部地震の経験が生かされ，他都市からの支援は有効で，迅速な対応ができた．しかし，被災事業者側では，支援やボランティアを有効に活用できなかった（支援が過剰となる場合があった）．応急復旧速度は，事業者規模が大きくなるほど，復旧が早い傾向があった．これは，小規模事業者での被害率が高かったこともあるが，小規模事業者では，職員数が少ないこと，管路密度が粗いことが挙げられ

る。また、川口町では地震発生後数日間、交通網が遮断され、孤立状態となったことも、復旧が遅れた一要因と考えられる。中小規模事業者では、非常時の司令塔（従来の被害調査等の支援に加えて指揮系統の機能を持った支援）の必要性が顕在化した。

() 横浜市及び横須賀市

横浜市は、首都圏に位置するの大規模事業者であり、先駆者的に様々な地震対策を実施しており、過去の地震における災害復旧支援活動も行っている。2004年スマトラ地震・津波においても、バンダアチエ市に水中ポンプの供与（写真3-6-5参照）、職員の派遣などを行っている。水道局の地震対策としては、南関東地震を想定した施設の整備と既存施設の耐震補強の実施、被害の影響範囲の最小化と効率的な復旧を目的とした配水管のブロック化、循環式地下貯水槽（60～1300m³、134基）や緊急給水栓の整備、応急復旧資機材の備蓄等がなされている。また、都市間の相互応援協定の締結、名古屋市との管路情報の共有化や合同防災訓練の実施、市内150箇所の強震観測点の情報をもとにした横浜市リアルタイム地震防災システムとの連携など、ソフト面の対策も行われている。

横須賀市は、近年の地震による被災経験は無いが、水源の99.4%が相模川水系などの遠方にあり、送水管の延長が非常に長く、市内に活動危険度が高い武山断層を横断する箇所もある。また、三浦半島の先端に位置しており、首都圏を中心とした大規模地震発生時には、他都市からの支援が受けられない恐れがあるため、上水道の送水管をはじめとし、管路・施設の耐震化や応急復旧対策を計画的に行っている。なお、下水道の地震対策は、上水道の計画を参考に、今後実施する予定である。

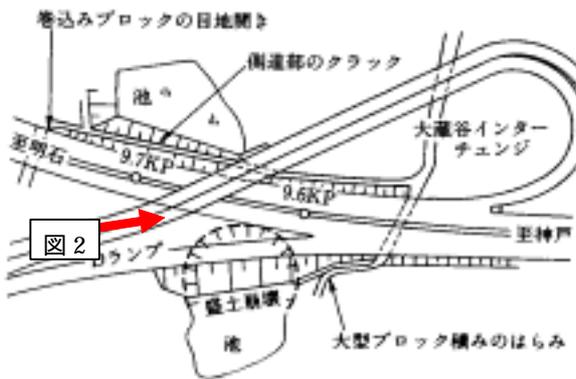


図3.6.1 大蔵谷I.C.の盛土被害の状況(1)
Figure.3.6.1 Damage at Okuradani IC

写真3.6.1 大蔵谷I.C.の盛土被害の状況(2)
Phot.3.6.1 Damage at Okuradani IC



写真3.6.2 液状化により隆起したマンホール
Phot.3.6.2 Uplifted manhole by liquefaction



写真3.6.3 マンホール隆起による事故現場
Phot.3.6.3 Accident scene at uplifted manhole



写真3.6.4 国道17号盛土の被害状況
Phot.3.6.4 Damage along the National Road No.17



写真3.6.5 横浜市から供与したポンプ
Phot.3.6.5 Pumps provision from Yokohama city

b. 津波対策，パイプラインの構造検討

() 津波対策

東海・東南海・南海等の巨大地震の発生に伴い，沿岸部の下水処理場，上水道の浄水場に多大な被害が発生するのみでなく，河川横断の水管橋や沿岸部の道路に埋設された管路の流出という被害が発生する恐れがある．解析的検討として，処理場が津波を受けたときの解析，および，その結果を基づく処理場の機能検討や，地域の防災シミュレーション等を実施する予定である．

() パイプラインの構造検討

地中線状構造物の合理的な地震対策の一つに長手方向管体間に変位吸収空間を設け地震時ひずみを吸収する方法がある．これは長手方向の地震動により軸ひずみが優勢となる口径が小さい線状構造物の場合の地震対策として極めて合理的である．上下水道管路のヒューム管やダクタイル管にはこの方法が多く採用されている．このような工法を用いると，最大となるような地震時地盤ひずみを予測し，このひずみを上回る免震性能を付加しておけば，耐震設計は省略される事になる．そこで，最強と考えられるレベル2地震動並びに最強と考えられる提供波を用い，想定される地盤剛性変化点における地盤構成を用い、小規模線状地中構造物設計用の長手方向地盤ひずみの上限を想定する予定である．

2.3.6.3 巨大地震への課題と提案

a. 構造面の課題と提案

- (1) 上水道では耐震管路の使用が効果的である．下水道は埋戻し土の液状化発生を防止することが重要．
- (3) 斜面崩壊による管路事故の対策として，山側に布設することが望ましいと考えられる．
- (4) 既設管路の耐震対策については，現状有効な手立てが無く，新技術の開発が望まれる．

b. システム面の課題と提案

(1) システム面のあり方

水道事業の広域化の促進の必要性，管路のネットワーク化，台帳のシステム化，集落の個別対応

(2) 支援のあり方

司令塔（指揮機能を持った支援）の存在，災害復旧の中央省庁の1本化，相互応援協定の手直し，多様な支援チームの編成と訓練，非常時の対応への民間活用とその準備，関連施設（事業体）の連携の強化

(3) 補助制度のあり方 (4) 巨大地震における対応 (5) 津波対策

2.3.7 タンクWG

2.3.7.1 はじめに

本WGは、ほぼ月1回のペースでWG会議を計15回、その間に幹事会を数回開催し、所期の目的に沿った調査・検討を行った。また、同一趣旨の下に並行して開催されている建築学会の容器構造WGにも、4名の委員が出席して、相互協力の下にワークを実施した。本WG委員は、協力者1名を含む計20名で構成され、内4名が容器構造WGからの兼務参加者である。

今回の調査では、各種のタンクについて、以下の調査・検討を行うこととした。

- (1)耐震設計基準の考え方及び巨大地震対策検討の現状を調査する。
- (2)提供地震動の長周期スロッシング応答に係る設計入力地震動としての評価を行う。
- (3)長周期地震動に対するタンクの耐震診断、およびその耐震対策方法を調査・検討する。

2.3.7.2 対象とするタンク

a. タンクの種類

ここでは土木技術者が係わる大型の液体タンクとして石油タンク、LNGタンク（地下式・地上式）および水道（上水道・下水道）タンクを取り上げる。本検討で主眼とする長周期スロッシング応答については、地震の被害がタンク上部、特に屋根周りに関係することが多い。屋根の種類としては、通常の固定屋根と石油タンクに多い浮屋根がある。またタンク形状は、普通円筒形であるが、下水道施設ではいろいろな形状のタンクも見られる。

b. タンクの固有周期特性

長周期スロッシング応答に関係する特性としてもっとも重要な1次固有周期は、円筒形タンク（自由表面状態）について次のようにまとめられる。

- (1)石油タンクは、円筒内径は10m~80m程度、液深は最大で20m~22m程度であり、これより固有周期は3-14sec程度となる。水道タンクは、石油タンクの中・小型サイズに相当する。
- (2)LNGタンクは、大型のものが多く、内径は40m~80m程度、液深は最大30m~50m程度であり、固有周期は6-10sec程度である。

2.3.7.3 各種タンクの耐震基準の考え方

a. 石油タンク

1983年制定された消防法旧告示において、地震の影響を短周期応答（バルジング、ほぼ1-2sec以下）と長周期液面揺動（スロッシング、ほぼ3sec以上）に分けて耐震安全性を検討する規定が初めて示され、特にスロッシングに関しては、速度応答スペクトル（ S_v ）の最大レベルを100kine程度として、最大波高とタンク本体地震力を評価する規定が導入された。その後1995年兵庫県南部地震（阪神淡路大震災）を経て、短周期応答に関して保有耐力評価法の追加がなされたが、長周期応答に関しては特に修正はなされなかった。

しかしながら、2003年十勝沖地震（ $M=8.0$ ）においては、石油タンクにスロッシングによる多大な被害が発生し、他の地震の場合と比べても特徴的な以下のような結果が得られた。

- (1)多数のタンクでスロッシングによる浮屋根沈没等の甚大な被害が生じ、わが国では1964年新潟地震以来見られなかったタンクの全面火災事故に繋がったと見られること。
- (2)速度応答スペクトルが200kine（cm/sec）を超える苫小牧での地震記録等、精度のよい長周期地震動

の記録が各地で観測され、長周期地震動の特性とスロッシング応答との関係を詳細に検討できること。

長周期地震動に関しては、1983年当時知見がまだ乏しく、各種の調査から100kineレベルを一つの目安として採用したというのが実状であったが、その後長周期地震動に関する研究や観測記録の蓄積から、最近では長周期地震動に関する知見が相当に進歩している。また、十勝沖地震における浮屋根式石油タンク被害の主たる要因は、過大なスロッシングに伴い浮屋根に大きな変形と応力が発生して、シングルデッキ形式浮屋根のポンツーンが座屈破壊したことによると思われるが、従来の旧告示では浮屋根の耐震強度に関する規定は存在しなかった。

これらの点から、石油タンクの耐震安全性、特にスロッシングに関する安全対策に見直しが必要になった。2005年1月発布の消防法新告示[1]では、(1)スロッシング設計用の長周期地震動応答を最大200kineレベルまで考慮すること、(2)従来規定のなかった浮屋根の耐震強度に新しい照査式を示したこと、を主たる内容とする改訂がなされている。今回の消防法改訂は、その意味で今後の石油タンクに関する耐震性向上に大きな役割を果たすものと思われる。しかしながら、浮屋根の存在する場合のスロッシング問題については、今の所まだ研究事例が少なく、長周期地震動の問題を含めて、今後の研究や技術開発が必要であろうと思われる。

b. LNGタンク

ガス製造設備等は被害発生時に周囲に及ぼす影響が大きく、設備の重要性が高いことから、兵庫県南部地震以降のレベル2地震動による2段階地震動設計法概念を採用し、「LNG地上式貯槽指針」および「LNG地下式貯槽指針」が改訂されている(2002年,[2])。短周期応答の評価に関しては、地上式貯槽と地下式貯槽で異なる考え方が適用されるが、スロッシング応答の評価に関しては、共通の現象を扱うので、両者の間に考え方の差はない。

長周期地震動に対するスロッシング応答は、地表面の水平地動変位または水平地動速度をベースとして3波共振法、時刻歴応答解析法あるいは応答スペクトル法によって求めるが、代表的な3波共振法による波高応答を速度応答スペクトルに換算すれば、 $S_v=300\text{--}500\text{kine}$ となり、高いレベルが設定されている。

c. 水道タンク

1995年兵庫県南部地震の経験を経て、上・下水道施設の耐震設計基準である「水道施設耐震工法指針」(1997年)および「構造物設計指針」(2003年)が改訂されている[3,4]。その基本的な考え方は、前述の2段階地震動を想定して耐震安全性を確保するものであり、スロッシングについては、必要に応じて水面動揺の影響を考慮することとあり、具体的な規定は定められていない。水面の最大波高の算定式は、Housner法、3波共振法および速度ポテンシャル理論による速度応答スペクトル法が例示されている。速度応答スペクトル等の具体的な値は、特に与えられていないが、慣用的に100kine程度の値が採用されている。

2.3.7.4 各種タンク基準から見た提供地震動長周期帯域のレベル

a. 地震動の検討

提供地震動は、関東地震、東海地震、東南海地震、南海地震、および東南海地震と南海地震が同時発生した場合に対して、ある地点を想定してシミュレーションにより仮想的に求めた地震動であり、それぞれのシミュレーションの手法や条件設定、および対象地点等には相異があり、統一的な視点から作成されたものではない。また、パラメータの設定その他、シミュレーションによって得られた地震波の信頼性については、まだ不明な点も多いように見受けられる。したがって、その意味では、これらの地震波は一つの可能性を示唆するものではあっても、これらの地震波のオーダーを確定的なものとして捉えることには無理がある。

以上のことを念頭において、ここではあくまでレベル比較という意味で、これらの地震波の速度応答スベ

クトルのレベルが各種タンクの基準レベルと比較してどの程度のオーダーになるかの検討を試みることにし、タンクが多数存在すると思われる千葉から大阪に渡る沿岸地点の地震波を検討した。

b. 各地震波による速度応答スペクトル

検討した地震波について、減衰定数をそれぞれ 0.1%、0.5%、1.0%、および 5%とした時の速度応答スペクトルを求めて、各基準のレベルと比較した。内溶液のスロッシングに対する減衰定数は、通常 0.5-1.0%程度と見られているが、減衰のきわめて小さい場合を考えて 0.1%、石油タンク浮屋根の高次モード等も考えて 5%の場合も計算している。結果の一例を図-1 に示す。

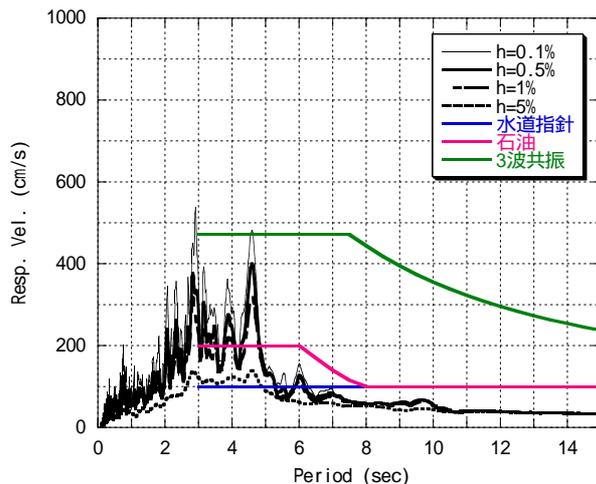


図-1 南海地震・東南海地震同時発生時の堺における地震波の速度応答スペクトル (鶴来等による)

Figure 1 Velocity response spectrum from simulated wave at Sakai, Osaka by Tsuruki et al.

地震波は各ケースでそれぞれ異なるが、総体的に速度応答スペクトルは、水道指針レベルの 100kine 以上となり、消防法新告示の 200kine を上回るケースもかなり見られ、最大は LNG 指針の 300-500kine レベルに達している。

2.3.7.5 タンクの耐震性能照査項目

a. 短周期応答に関する耐震性能照査項目

タンク本体の損傷に係る短周期バルジング応答について、石油・LNG・水道の各種タンク基準において、耐震性能照査項目としての座屈(ダイヤモンド座屈・EFB - 象の足型座屈)や浮上り・底部破壊・滑動等がどのように扱われているかを調査し、整理した。

b. 長周期応答に関する耐震性能照査項目

長周期スロッシング応答の耐震性能照査項目として、最大波高(溢流)、浮屋根強度、固定屋根衝撃圧を取上げ、これらの問題についての現状分析を行った。

各種タンクについて、仮に $S_v=200kine$ として、応答スペクトル法により最大波高を求めると図-2 のようになる。近年では、Housner 法よりも速度ポテンシャル理論による応答スペクトル法が実験・実測結果と合うと言われており、時刻暦応答解析ともほぼ整合するので、以下では応答スペクトル法にて検討を進めている。

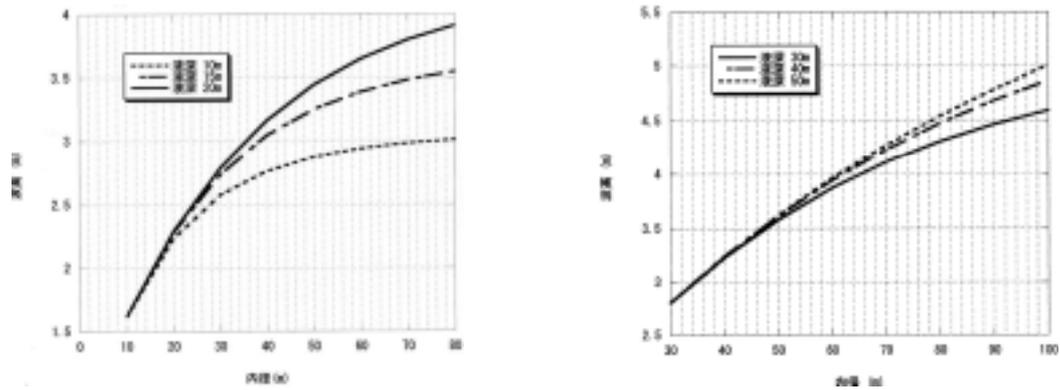


図-2 Sv=200kine に対する最大波高(左：石油・水道タンク、右：LNG タンク)

Figure 2 Wave height for Sv=200kine (Left: Oil & water tanks, Right: LNG tank)

浮屋根の耐震強度については、今回の消防法新告示において初めて基準に明記された。新告示は、特に十勝沖地震で大きな被害を生じたシングルデッキ浮屋根に対して、1次モードの有限振幅波動（非線形）効果を考慮するとともに、2次モードの影響を取り込んだ形での規定となっており、今後のシングルデッキ浮屋根式石油タンクの耐震安全性向上に大きな役割を果たすものと考えられる。しかしながら、浮屋根の存在を考慮した場合のスロッシング挙動については、まだ研究事例が非常に少なく、有限振幅効果や浮屋根の耐荷性状等を含めて、弾性的・非弾性的な浮屋根を考慮した場合のスロッシングの性状が完全に明らかにされているとはまだ言えない状況である。

ここでは、そのような観点から浮屋根の弾性を考慮した流体-構造連成振動(Fluid-Structure Interactive Vibration = FSI)解析を実施し、浮屋根スロッシングの性状と耐震設計の検討を行っている。ダブルデッキ浮屋根に関して言えば、今回の新告示においても、浮屋根の剛性が高いことからほぼ剛体と見なしての応力照査法が示されている。容量65,000klの石油タンクにダブルデッキ浮屋根を想定した場合のFSI解析結果[5]によれば、ダブルデッキの剛性を考慮したスロッシング挙動は自由表面の場合とも剛体浮屋根の場合とも異なるので、FSI解析の結果を耐震設計に忠実に反映する考え方が必要のように思われる。このような点は、今後の研究により解明が待たれる所であり、ここでは将来への課題として提案を行うこととした。

固定屋根への波頭衝撃圧の問題は、従来から幾つかの理論手法が存在しながらも、実験結果等のばらつきが大きく、慣用的に山本式やWagner式等が用いられて来た経緯がある。今回さらに最近の研究成果も含めて調査したが、決定的な結論に得るには至っていない。

2.3.7.6 事例による検討

ここでは、提供地震波のレベルから見て、基準レベルを超過する可能性が高いと思われる石油タンクと水道タンクについて、具体的なモデルにより数値検討を実施した。

a. 石油タンク

シングルデッキ浮屋根が設置されている、容量30,000kl、40,000klおよび100,000klのタンク3ケースについて、1次モードと2次モードの応答をそれぞれSv=100kine、200kine、300kineおよび400kineとして、両者の組合せを考えた場合にどのような応力状態になるか、また必要とされる補強はどの程度のものになるかを検討した。

結果として、旧基準で設計されて来た従来の石油タンクのシングルデッキ浮屋根は、1次応答が100kineレベルでも2次応答が200kineレベルを超えると地震時許容応力を超えること、1次応答が200kineレベル

の場合には2次応答にかかわらず許容応力レベルになること、1次応答が300kine以上のレベルではかなり許容応力を上回る状態になることが分った。これに対する補強対策を消防法新基準の方法で求めると、ポンツーンの補剛材断面を従来程度の2倍以上、場合によっては数倍程度に増強する必要があるという結果となった。

b. 水道タンク

上水道タンクの検討には容量10,000m³のモデルを用いた。検討結果では、上部空間1.5mのクリアランスに対し、Sv=200kineとすると波高応答は2.76mとなり、固定屋根に波頭衝撃圧が作用する。この時の屋根板取付部の隅肉溶接応力は常時許容応力程度であるので、地震時許容応力を超えるのはSv=300kine程度と推察される。

下水道施設としては、消化タンクと水処理施設を検討した。消化タンクは、直径10-20m程度が一般的であり、上部クリアランス1.5-2.0mを考慮すると、Sv=300kineレベルになると波頭衝撃圧を考慮する必要がある。水処理施設では、普通上部クリアランスが1m程度であるので、長さ30m、深さ10m程度の大型のものになると、Sv=300kine程度の場合に対しては、屋根スラブに過大な衝撃力が作用し、単純な許容応力度法により鉄筋補強対策を考えることには無理があることが分った。

2.3.7.7 スロッシングに対する新しい耐震対策

スロッシング問題は、長周期地震動の問題と関連して古くて新しい問題であり、従来からスロッシング制振方法等について多くの提案がありながら、それらは実現に至っていない。しかし、新しい消防法等も含めて今後の巨大地震を想定したような対策を考える時には、新しい耐震対策技術を開発する意義も大きいものと思われる。

本WGでは、このような観点から最近各機関で行われているこの種の技術開発を積極的に推進すべく、昨年7月25日に土木学会において、「大型タンクのスロッシングに関する耐震・制振・免震等技術のミニシンポジウム」を開催した[6]。2編の特別講演と13編の講演があり、約100名の参加者を得て盛況であった。この中には、スロッシング制振に関する幾つかの提案とともに、新しい耐震性浮屋根や浮屋根免震構造の提案もあった。

2.3.7.8 まとめと今後の課題

以上、巨大地震動に関する提供地震波の長周期特性に関連して、各種タンクにおけるスロッシング設計・基準の現状と想定された地震動レベルに対する耐震診断および耐震対策を検討した。結果として判明した事項について、今後の課題も含めて以下に列挙する。

- (1)石油タンク・LNGタンク・水道タンクの各種タンクについて、現状の基準におけるレベル2地震動等の高レベル地震動に対しての考え方、および長周期スロッシング応答に関する規定の内容について調査した。
- (2)提供地震動の長周期帯域の速度応答スペクトルレベルは、総体的には水道タンク指針あるいは消防法新告示のレベルを上回るケースがかなり見られ、最大はほぼLNG指針の3波共振法レベルになることが分った。
- (3)タンクの耐震性能照査項目について調査したが、特に石油タンクについては、巨大地震を想定した時波高が側板余裕高を超える可能性もあることから、溢流と着火防止対策に十分留意することが重要で

ある。また、研究事例の少ない浮屋根スロッシング FSI 挙動の解明が必要であることを示し、例としてダブルデッキ浮屋根の FSI 耐震設計への提案を行った。

- (4) 石油タンクのシングルデッキ浮屋根について、旧基準で設計されている既設タンクが新基準あるいは今後の想定される地震動に対しどの程度の補強が必要になるかを検討した。また、上・下水道タンクについて、どの程度のレベルから波頭衝撃圧が作用し、どの程度の影響が発生するか検討したが、大型のタンクでは場合により衝撃圧力に対する保有耐力設計のような対策が必要になることが分った。
- (5) スロッシングに係る耐震・制振・免震技術を推進するためのミニシンポジウムを開催し、幾つかの新規提案の調査・収集を行い、今後の実用化へ向けての方向付けを行った。

本 WG では、今回時間的な制約等から長周期スロッシング問題を主眼として検討したが、巨大地震等を想定した時にはタンク本体の短周期応答や基礎・地盤の問題も非常に重要である。また、スマトラ沖地震でも見られたような津波被害に関する検討も重要である。今後これらについて関係各機関で検討されることが必要である。

参考文献

- [1] 危険物の規制に関する規則の一部を改正する省令等の施行について、消防危第 14 号、2005 年 1 月
- [2] LNG 地上式貯槽指針・LNG 地下式貯槽指針、日本ガス協会、2002 年 8 月
- [3] 水道施設耐震工法指針・解説、日本水道協会、1997 年 3 月
- [4] 構造物設計指針、日本下水道事業団、2003 年 4 月
- [5] Sakai, F., Inoue, R. & Hayashi, S.: Fluid-Elastic Analysis and Design of Sloshing in Floating -Roof Tanks subjected to Earthquake Motions, Proc. 2006 ASME Pressure Vessels and Piping Conf., Vancouver, Canada, July 2006
- [6] 大型タンクのスロッシングに関する耐震・制振・免震等技術のミニシンポジウム 講演概要集、土木学会巨大地震災害への対応検討特別委員会、耐震診断・耐震対策部会、タンク WG、2005 年 7 月

2.3.8 土構造 WG

2.3.8.1 はじめに

河川堤防、道路、鉄道などの盛土構造物は、被害地震のたびに少なからず損傷を受けてきたにも関わらず、一般に経験的な構造細目（斜面勾配、盛土材料、施工管理値など）が規定されていること、被害が発生しても早期の復旧が可能であることから、フィルダムや空港などの特別な盛土を除いて耐震設計が行われることは稀であった。しかし、1995年兵庫県南部地震において盛土構造物が甚大な被害を受けたことを踏まえ、道路、鉄道、河川堤防などの盛土構造物に対しても耐震設計が導入され、円弧すべり法による安全率の検討に加えて、地震後の変形量をクライテリアに設定する耐震性評価法も示されている。

例えば背後に0メートル地帯を有する河川堤防では、堤防の沈下が外水流入による甚大な2次災害を引き起こす可能性を有するため、全国的に地震後の残留沈下量を評価した耐震点検が実施された。しかし、この点検法では円弧すべり法の安全率から経験的に天端沈下量を推定して盛土の耐震性を判定しているが、盛土の沈下量を過大評価するとともに、レベル2地震動に対する検討が含まれていないために、変形解析手法を用いた新たな耐震性評価手法が検討されている。

河川堤防の過去の大きな被害は基礎地盤の液状化に起因するものがほとんどであり、また、液状化を伴う盛土の耐震性評価に際して変形解析法は有効な評価手段である。そこで、土構造物WGでは、海溝型の巨大地震災害に対してより合理的な河川堤防の耐震診断や耐震対策工を実現するために、基礎地盤が液状化する場合を想定し、変形解析手法を用いた新たな耐震性評価手法の提案を検討した。その評価手法の提案に向けて二つの課題が挙げられた。一つは継続時間の長い地震動に対する変形解析手法の適用性であり、もう一つは変形解析手法の解の不確実性である。これらの課題についての検討結果及び提案する耐震性評価法を3.8.2で述べる。3.8.3では提案する評価方法による河川堤防の耐震診断例を示す。3.8.4では既設の各種盛土構造物の耐震補強工法の現状を示す。

2.3.8.2 変形解析を用いた耐震性評価手法

a. 変形解析の巨大海溝型地震に対する適用性

地震時の土構造物の変形解析手法は、これまで比較的継続時間の短い地震動における被災シミュレーションや模型振動実験等に対して、解析の妥当性が検証されてきた。しかし、巨大海溝型地震のような継続時間が長い地震動に対する適用性については、ほとんど検証がなされていない。そこで本検討では、まず、繰返し回数の多いせん断試験に対して構成モデルによる要素シミュレーションを実施し、構成モデルの適用性を確認した。次に、継続時間の長い地震動を入力した際の予測変形量について、複数の変形解析手法の結果を比較した。手法間の予測変形量のばらつきが、地震動の種類に依存するかどうかを確認し、変形解析手法の巨大海溝型地震動に対する適用性を検討した。その結果、以下のことが確かめられた。(1) 既往の構成モデルでも液状化後の繰返し回数の多いせん断試験の再現は可能である。ただし、液状化後の繰返しせん断挙動を再現するには、一般に行われている液状化強度曲線のキャリブレーションだけでは不十分であり、今後は液状化後の繰返しせん断変形特性に関するデータの蓄積が必要である。(2) 既往の遠心模型実験に対してキャリブレーション済の複数の変形解析において継続時間の長い地震動を入力したところ、盛土の沈下量に手法間のバラツキが生じた。この原因の一つとして(1)の問題がある。

b. 解析係数

本WGで取り扱った地盤の液状化による変位解析法は実務での歴史は短く、解析法の結果自体に現れるバラツキ、すなわち解析法の不確実性を考慮するための安全余裕についてはほとんど検討されてこなかった。そこで、地盤の液状化による盛土の沈下量を解析した事例を収集し、それをもとに液状化時の盛土沈下量解析法の結果に見られるバラツキの現状とこれら解析法を実務設計で用いる場合に考慮すべき安全余裕について検討を行った。その結果、沈下比(=実測沈下量/解析沈下量)と天端沈下率(=沈下量/盛土高さ)の関係図(図3.8.1)に示すように、天端沈下率が大きい場合のばらつきは小さいことが分かった。図中の実線は95%のデータが含まれる解析係数の提案値である。ただし、天端沈下率が0.2以下の範囲では、データの数が少なく解析結果のバラツキが大きいため、解析係数の提案値は定義していない。

c. 評価フロー

従来の河川堤防の耐震性評価手法では、変形量を直接計算せず安全側に判定しているため、沈下量を過大評価することが指摘され、合理的ではなく、不経済であると考えられる。そこで、簡易的なスクリーニングを経ても、耐震性に疑問の残る構造物に対して、変形解析を導入する方法を提案する。ここでは、従来、地震対策工について円弧すべりの安全率で評価していたものに対しても、耐震対策に膨大な費用を要する場合には、変形解析による評価を求めている。(図3.8.2参照)

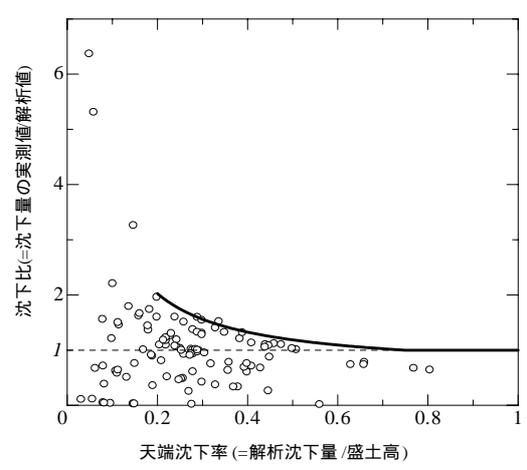


図 3.8.1 解析結果のバラツキと解析係数

Figure 3.8.1 Ratio of actual settlement to predicted settlement of embankment plotted against actual settlement normalized with respect to embankment height.

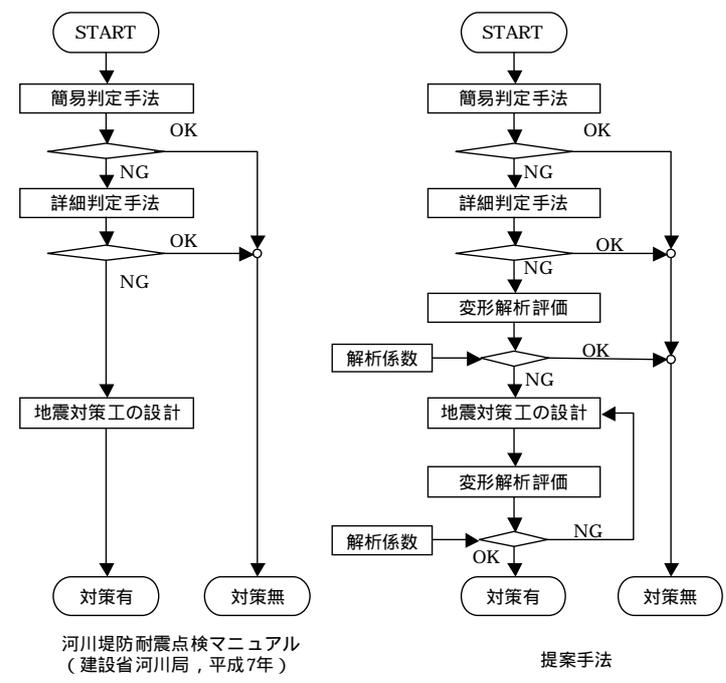


図 3.8.2 河川堤防の耐震性評価フロー

Figure 3.8.2 Seismic evaluation flows for river dike.

2.3.8.3 耐震診断例

愛知県の日光川を対象に、提案手法を用いた変形解析による耐震診断を行った。診断結果を表3.8.1に示す。用いた変形解析手法は地震応答解析(FLUSH)と液状化流動解析(ALID)である。表に示すように、耐震点検マニュアルにおいて耐震性が不足していると判定された堤防横断面において、変形解析による天端高さはいずれも要求高さを満足する。また、仮に解析係数を2.0とした場合には、左岸3K000の一断面の耐

震性が不足するだけにとどまる結果となった。

表 3.8.1 耐震診断結果

Table 3.8.1 Seismic evaluation results for the river dikes.

| 断面番号 | 天端高 (m) | 要求高 (m) | 従来手法 | | 解析係数 1.0 | | 解析係数 2.0 | | 解析係数 3.0 | |
|--------|------------|------------|------------|----|------------|----|------------|----|------------|----|
| | | | 天端高 (m) | 評価 | 天端高 (m) | 評価 | 天端高 (m) | 評価 | 天端高 (m) | 評価 |
| L2K600 | 3.00 | 0.70 | 1.44 | | 2.41 | | 1.82 | | 1.23 | |
| L2K800 | | | -0.93 | × | 1.90 | | 0.80 | | -0.30 | × |
| L3K000 | | | -1.16 | × | 1.56 | | 0.12 | × | -1.32 | × |
| L3K200 | | | -1.10 | × | 2.18 | | 1.36 | | 0.54 | × |
| L3K400 | | | 0.30 | × | 2.09 | | 1.18 | | 0.27 | × |
| R3K400 | 3.20 | 0.70 | -1.57 | × | 2.25 | | 1.30 | | 0.35 | × |
| R3K600 | | | -1.65 | × | 2.69 | | 2.18 | | 1.67 | |
| R3K800 | | | -0.03 | × | 2.97 | | 2.74 | | 2.51 | |

2.3.8.4 耐震補強工法の現状

既設構造物への耐震対策，とりわけ液状化対策を実施する場合には新設構造物に対策を実施する場合に比べて技術的な制約条件が多くなることが特徴となる。ここでは，土構造物の耐震対策として実施された事例および現在開発中の工法などの調査を行い，河川堤防，鉄道盛土などの耐震対策事例について取りまとめた。

既設河川堤防の場合には，川表側，川裏側の地盤に固化工法や密度増大工法による液状化対策など，地盤性状に応じた対策が選定されており，鉄道における盛土の耐震対策ではシートパイル締め切り工法の採用実績が多い。

2.3.8.5 まとめと今後の課題

本節では，土構造物のうち，特に河川堤防を重点的に耐震性評価，耐震補強法の検討を行った。以下に得られた成果ならびに課題を列挙する。

- (1)盛土構造物の耐震性検討で従来用いられている円弧すべりに基づく簡易判定の代わりに，変形解析手法を用いた評価を行い，合理的な耐震対策が施せる可能性を示した。
- (2)解析係数で収集した解析事例は，盛土の強度・剛性が高い，良く締固められた道路盛土に対応する事例は含まれていない。また，解析は各解析法の開発者が行ったものである。ここで提案した解析係数はこのようにならかなり限定的な条件の下に収集されたデータに基づくものであること理解し，解析係数の適用については十分に注意すると共に，今後データの収集と解析係数の精査を継続的に行う必要がある。
- (3)既往の構成モデルでも液状化後の繰返し回数が多いせん断試験の再現は可能である。ただし，一般に行われている液状化強度曲線のキャリブレーションだけでは，継続時間の長い入力地震動を用いた場合，変形予測精度が低下する結果となる。今後は液状化後の繰返しせん断変形特性に関するデータの蓄積が必要である。

【謝辞】東京電機大学の安田進教授，東北学院大学の吉田望教授，地盤ソフト工房の安達健司氏には，ALIDの解析を行うに当たり，度々，懇切なご指導，ご助言を頂いた。群馬高専の阿部博教授，東電設計の佐藤正行氏，基礎地盤コンサルタンツの粕田金一氏，清水建設の福武毅芳氏，元応用地質の竹島康人氏には，解析

精度の検討に関して、貴重な資料をご提供頂いた。記して各位に感謝の意を表す。

2.3.9 ダムWG

2.3.9.1 概要

我が国には、高さ 15m 以上のダムが約 2800、高さ 15m 以下のダム・ため池を含めると約 25 万存在する。ダムの耐震設計は、河川管理施設等構造令及び同施行規則に準拠して震度法に基づいて行われているが、兵庫県南部地震以降、地震時の実現象に即した耐震性能照査の必要性が認識され、既設ダムの耐震性能を動的解析で照査するようになりつつある。既設ダムでは、建設後の時間が経過すればするほど、耐震診断の必要性が高くなるので、今後の耐震診断に役立つ、信頼性の高い耐震診断法の普及が大切である。

このような将来的必要性を踏まえ、既設ダムの耐震診断法については、東海地震、東南海・南海地震における想定地震動を用いて、4 つのダムを対象として事例解析を行った。ダムについては、堤体の形状・寸法、周辺の地形・地質等がサイト毎に異なり地点依存性が高いことから、サイト・スペシフィックな手法で耐震診断法の提示の検討を行った。耐震対策法に関しては、明治時代から昭和初期にかけて建設された、既設ダムの耐震対策工事が既に幾つか実施されているので、それらの事例について集約した。

2.3.9.2 ダムの性能目標

ダムに要求される基本機能は、貯水機能であり、それに連動して放流機能の維持も要求される。ダムの性能目標は、地震によってダムに構造的な損傷が生じた場合でも構造的な損傷が修復可能であり、ダムの貯水機能、放流機能が維持されることである。過去の地震被害事例を集約すると、コンクリートダムでは、堤体と基礎岩盤でのクラックの発生、フィルダムでは、すべり破壊、液状化、沈下、残留変形の発生が、主な損傷となっている。地震防災に際しては、最悪の事態を想定して忘れたころに必ずやってくる巨大地震に備えておくことが大切であり、巨大地震によってダムが構造的な地震被害を受けても、周辺・下流域に二次災害が派生することがないようにすることが大切である。コンクリートダムでは、万が一、貯水が越流した場合でも、ダムの決壊に帰結しないと考えられるが、フィルダムでは、貯水の越流がダムの決壊に直結する危険性があるので、越流の回避が重要なポイントのひとつになると考えられる。

2.3.9.3 二次元解析と三次元解析の位置付け

解析方法に関しては、一般的に、まず、二次元解析で耐震診断を行い、所定の耐震性能が確認できない場合等に三次元解析を行い、より精度・信頼性の高い耐震診断を行う流れを設定している。二次元解析については、既に、参考となる事例（例えば、「土木技術資料 Vol.47, No.6, JUNE 2005, - 特集 大規模地震に対するダムの耐震性能照査 - 」等）が数多く出されているので、ここでは、非常に強い地震動が想定される場合、耐震診断の重要性が高い場合、より精緻な診断が要求される場合等に対する耐震診断法の提示を目標として、三次元解析による耐震診断法を検討した。

2.3.9.4 既設ダムの耐震診断法

東海地震、東南海・南海地震を想定し、アーチダム、コンクリート重力式ダム、ロックフィルダムの代表的ダム形式について、表 3.9.1 に示した既設ダムを事例解析の対象とした。事例解析は、個別ダムの安全性を照査することを目的としているのではなく、耐震診断法の提示を目的にしている。解析に用いた地震動は、

地震動部会から提供された対象ダム地点の想定地震動を用い、工学的基盤から解析モデルの下方基盤まで引き戻した後に入力波として使用した。アーチダムに関しては、地震動部会提供波²⁾と中央防災会議公開波³⁾を用いた比較解析も行った。中央防災会議公開波については3成分同時入力、地震動部会提供波については2成分同時入力として動的解析を行った。解析モデルは、ダム - 基礎岩盤 - 貯水池連成モデルとしており、IKダムの三次元解析モデルと地震動部会提供波は図3.9.1に、SKダムの三次元解析モデルと地震動部会提供波は図3.9.2に示したとおりである。なお、中央防災会議公開波に比して地震動部会提供波は、長周期成分がやや多く含まれる結果となっている。

表 3.9.1 耐震診断法の例示のための解析対象の概要

Table 3.9.1 Outline of objects analyzed for exemplifying the seismic safety evaluation procedure

| 想定地震 | 解析対象 | | | | | 地震動の最大加速度 | |
|----------|-------|----------|------|------|-----|-----------|-----------|
| | ダム | 形式 | 堤高 | 堤頂長 | 所在地 | 地震動部会 | 中央防災会議 |
| 東海地震 | ST ダム | アーチダム | 116m | 311m | 愛知県 | 109.6gal | 259.5 gal |
| | SK ダム | 重力式ダム | 155m | 293m | 静岡県 | 106.9 gal | |
| 東南海・南海地震 | IK ダム | アーチダム | 111m | 460m | 奈良県 | 194.8 gal | 284.0 gal |
| | YN ダム | ロックフィルダム | 115m | 202m | 高知県 | 143.4 gal | |

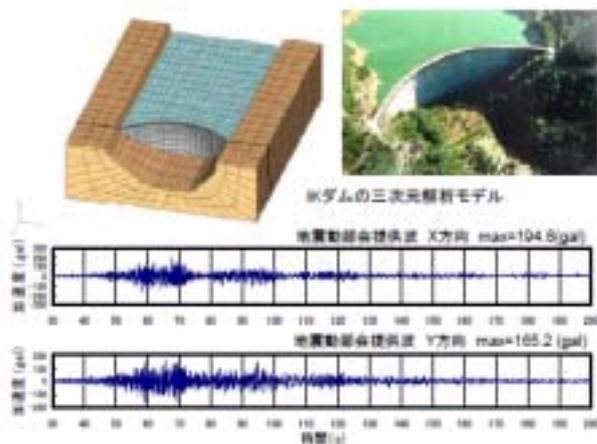


図 3.9.1 IKダムの解析モデルと地震動部会提供波
Figure 3.9.1 Analytical model for the IK Dam and Earthquake motions provided

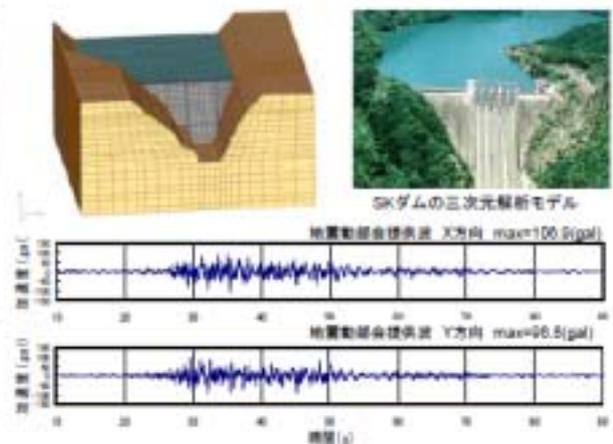


図 3.9.2 SKダムの解析モデルと地震動部会提供波
Figure 3.9.2 Analytical model for the SK Dam and Earthquake motions provided

表 3.9.1 で地震動の最大加速度が最も大きい事例である IK ダムでは、堤体の最大引張応力は地震動部会提供波の場合は約 4 N/mm²、中央防災会議公開波では約 8 N/mm² と評価された。ダムコンクリートの動的引張強度は、一般に 3~5 N/mm² 程度と想定されているので、地震時の損傷としては、堤体表面での微細なクラックの発生が考えられる。しかし、最大引張応力の発生は、堤体天端の中央部に限られており、また、その発生は瞬間的であるため、天端中央部の堤体表面の一部に微細なクラックが発生することはあっても、ダムの耐震性能は十分に保持されるものと考察される。なお、堅硬な岩盤の上に建設されているダムに関しては、地震動の増幅の影響、長周期成分の影響が小さいので、耐震上有利と考えられるが、基礎地盤が軟質なダム

に関しては、これらの影響が大きくなるので耐震診断の際に留意することが必要である。

2.3.9.5 既設ダムの耐震対策

既設ダムの耐震対策としては、国内では、表 3.9.2 に示したように、山口貯水池、村山貯水池、布引ダム、西大谷ダム、山倉ダムの事例が報告されている。

表 3.9.2 既設ダムの耐震対策事例の概要

Table 3.9.2 Outline of actual seismic countermeasures for existing dams

| ダム名/竣工 | ダム型式 | 高さ | 耐震対策の概要 / 工期 |
|---------------------------|--------------------------|--------|--|
| 山口貯水池 1934 年 | アースフィル 水道用ダム (東京都) | 35m | 堤体上下流面に補強盛土を施工 ⁴⁾ 1998 - 2002 |
| 村山貯水池 1927 年 | アースフィル 水道用ダム (東京都) | 33.3m | 堤体下流面に補強盛土を施工 ⁵⁾ 2002 - 2005 |
| 布引ダム (五本松堰堤) 1900 年 | コンクリート重力式 水道用ダム (神戸市) | 33.33m | 日本最古のコンクリート重力式ダム 堤体上流面に補強コンクリートを打設 ⁶⁾ 2001.8 - 2005.3 |
| 西大谷ダム 1959 年 | アースフィル 洪水調整用ダム (静岡県) | 14.1m | 堤体上流面に傾斜遮水ゾーンを築造 ⁷⁾ 2003.9 - 2005.8 |
| 山倉ダム 1964 年 | アースフィル 工業用水ダム (千葉県) | 22.5m | 五井市原地区工業用水道事業 堤体強化のための改築工事 ⁸⁾ , 2000 - 2004 |



写真 3.9.1 山倉ダム(耐震補強工事)の全景
Photograph 3.9.1 Panorama of the Yamakura Dam



写真 3.9.2 村山ダム(耐震補強工事)の全景
Photograph 3.9.2 Panorama of the Murayama Dam

2.3.9.6 今後の課題

動的解析によって、非常に強い地震動に対する既設ダムの耐震性能を精度良く照査するためには、ダムと基礎地盤と貯水池の動的相互作用の考慮、波動エネルギーの逸散の考慮、ダム・基礎岩盤の非線形特性や非連続的挙動特性、クラック、塑性・残留変形等の定量的評価が重要な技術的要件となる。

動的解析の結果は、ダムおよび基礎地盤の動的変形・強度特性の設定によって著しく変化するので、耐震性能照査の精度・信頼性を向上させるためには、動的変形・強度特性を定量的に評価することが必要不可欠である。地震観測によって地震動が記録されている場合には、実地震動データを活用して再現解析を行い、

動的変形特性を定量的に評価するとともに動的解析法の実証が可能である。

耐震診断に関する今後の重要課題としては、放流施設の耐震性能（特に、フィルダムにおける越流防止対策の重要性）、基礎岩盤の健全性（地震時損傷と風化による強度劣化の影響の考慮等）、断層変位に対する安全性評価（断層変位の定量的評価の必要性、想定される変位量に対する安全性評価手法と開発と耐震対策技術の開発等）、表面遮水壁の耐震性能（表面遮水壁型フィルダムにおける表面遮水壁の維持管理等）等が考えられる。

写真 3.9.1、写真 3.9.2 から理解できるように、近年では、都市化の進展、都市域の拡大に伴い、ダムが都市域に隣接するような状況もめずらしくなっている。都市域に隣接する既設ダムに関しては、地震によってダムが構造的な地震被害を受けた場合でも、人的被害や二次災害が派生しないように、ダムの耐震性能のみならず防災性能の向上に平素から細心の配慮を心掛けることが大切であると考えられる。

2.3.9.7 あとがき

ダムは、基本的に高い耐震性を有していると考えられ、地震時に軽微な損傷を受けることはあっても、重大な損傷を受けることは極めて稀であると考えられる。しかし、過去の世界の地震被害事例を見ると、重大な被害を受けた事例が報告されており、万が一のことがないように、平素からダムの地震時安全性を照査し、地震時には迅速かつ適切な安全確認ができるようにしておくことが大切である。これまで、ダムの耐震的配慮は、基本的に設計段階において考慮されてきたが、明治、大正、昭和、平成と、それぞれの時代によって耐震基準類が異なっている。したがって、様々な時代に建設された既設ダムに関しては、地震工学、防災工学の進展発展に合わせて、最新の技術レベルで耐震診断を行うことが必要である。地震防災に関する平素からの啓発と教育・訓練が大切である。

参考文献

- 1) 国土交通省河川局:大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案),2005.3
- 2) 野津厚:ダム地点における地震動評価,2005.8
- 3) 中央防災会議:東海地震に関する専門調査会,東南海・南海地震等に関する専門調査会
- 4) 長岡敏和、野神睦雄、加藤正樹、古川和弘、内田賢司、橋本和明、白石保律:耐震補強工事を実施したフィルダムの試験湛水結果について - 山口貯水池堤体強化工事(その9) 土木学会第58回年次学術講演会梗概集、-305、pp609-610、2003.9
- 5) 田原功、小作好明、黒坂基、佐藤誠一、江藤等、古川和弘:既設アースフィルダムの耐震強化工法検討における耐震性の照査 - 村山下貯水池堤体強化工事(その3) 土木学会第58回年次学術講演会梗概集、-307、pp613-614、2003.9
- 6) 坂下良一、中川広志、中西敬次郎、空中博、松田康孝:布引ダム(五本松堰堤)補強工事 日本最古の重力式コンクリートダムの再生」月刊ダム日本、2005.7
- 7) <http://www.dokokyo.or.jp/ce/ce0502/project.html>
- 8) 企業庁工業用水部管理課 kikoukan01@mz.pref.chiba.lg.jp

2.3.10 構造物の強度等調査法WG

2.3.10.1 はじめに

調査WGでは、大正時代に構築され、現在も供用されている鉄道橋梁下部構造物を対象に、耐震診断を行った。診断の対象とした構造物は、南海本線紀ノ川橋梁の下部構造物で、上り線が明治時代に、下り線が大正時代に構築されたレンガ及び無筋コンクリートからなる旧式構造物で、近年の地震活動の状況から、近い将来、再び南海・東南海地震の発生が予想されている。

2.3.10.2 橋梁概要

南海紀ノ川橋梁は、和歌山県の紀ノ川河口近くに架かる上下線別線橋梁である。橋梁の写真を図 3.10.1 に示す。

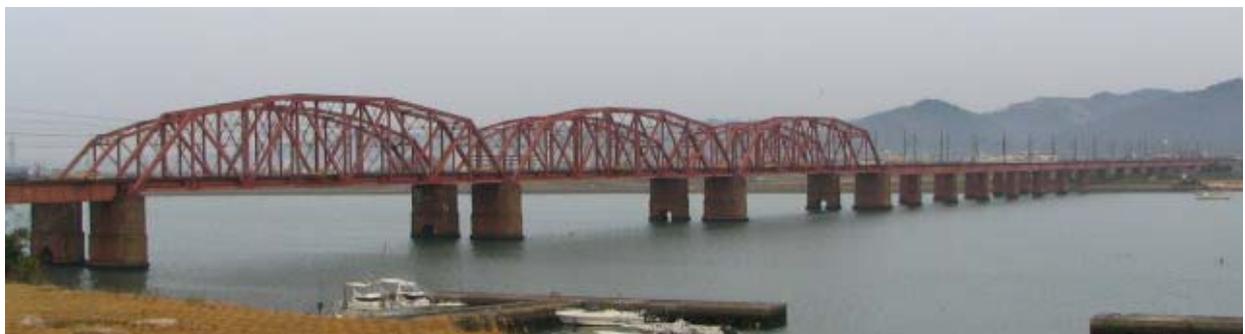


図 3.10.1 南海本線紀ノ川橋梁遠景（耐震検討は写真手前の下り線を対象に実施）

Fig 3.10.1 Distant view of bridge

表 3.10.1 調査・試験項目一覧

Table 3.10.1 List of tests

2.3.10.3 調査および耐震診断の流れ

耐震診断にあたって実施した調査試験項目の一覧を表 3.10.1 に示す。

地盤調査は、静的非線形解析および入力地震動の算定に必要なデータを収集するため、標準貫入試験、サスペンション法によるPS検層を行った。

部材の現有強度調査では、橋脚・基礎の耐力算定に必要な部材強度を把握するため橋脚躯体とケーソン基礎頭部からコア採取、採取コアを用いた圧縮・引張強度試験、コア試験を補完するための透過弾性波速度測定を行った。

橋脚および基礎の耐力算定（静的非線形解析）では、地震応答解析に必要な橋脚の荷重～変位関係曲線および躯体あるいはケーソン基礎が破壊に至る時の水平震度を得るための静的非線形解析を行った。また、入力地震動算定では、耐震検討に用いる入力地震動を得るため、地盤をモデル化して入力地震動の算定を行った。

構造物の地震応答解析では、構造物の動的解析モデルを作成し、動的解析により入力地震動に対する応答値の算定を行った。耐震性能評価では、動的解析により得られた応答値と構造物全体の終局点とを比較し、

| 調査・試験法 | 実施数量 | 目的 |
|------------------|---|--------------------------------------|
| ボーリング | 左岸高水敷：35m 右岸高水敷：40m | 標準貫入試験、PS検層に付随 |
| 標準貫入試験 | 左岸高水敷：30回 右岸高水敷：35回 | 地盤の強度特性および地盤材料の確認 |
| PS検層 | 右岸、左岸とも1m毎 | 地盤の強度特性の把握と入力地震動の推定 |
| コア採取 (60cm以上) | 橋脚レンガ部：10本 橋脚コンクリート部：10本 基礎コンクリート部：6本 | 現有強度の把握 圧縮強度（静弾性係数） 割裂引張強度試験実施 |
| 衝撃振動試験 | 橋脚全数量 | 橋脚および基礎の健全性の評価 |
| 衝撃弾性波試験 | P8, P12, P18の躯体、 基礎上部 | 躯体、ケーソン部材の強度のばらつきの有無の確認と強度の推定 |

耐震性を照査した。

2.3.10.4 調査検討結果

橋脚躯体およびケーソン基礎頭部からコア採取を行ったところ、橋脚躯体表面の0.2m～0.5m程度はレンガおよび石積で、そのさらに内部はコンクリートであることがわかった。なお、現存する財産図等の資料では鉄筋の有無が確認できず、また、大正時代に構築された古い構造物であることを考慮し、コンクリート部は無筋と考えた。



図 3.10.2 コア採取状況
Fig. 3.10.2 Circumstance of sampling

採取したコアのコンクリートおよびレンガの圧縮・引張強度試験を行い、現有強度（平均値）を把握した。図 3.10.2 にサンプリング状況を示す。強度試験の結果から、コア毎の強度に大きいばらつきがないことを確認した。表 3.10.2 に現有強度（平均値）の値を示す。

橋脚躯体の耐力算定は、軸力と曲げモーメントが作用する無筋コンクリートの柱部材とし取り扱い、躯体基部を固定した状態で水平震度を漸増させていき、躯体に発生する曲げモーメントおよびせん断力が部材の各々の耐力（せん断耐力と部材外縁における引張り、圧縮強度を越える状態）まで解析を行い、その時点の震度を把握することで行った。また、ケーソン基礎の耐力の算定では、鉄道総研開発のケーソン設計プログラム ver.2.40 を用い、静的に漸次、水平震度を増加させていく中でケーソン躯体に発生する曲げモーメント、せん断力各々の値が躯体の耐力を超えるまで解析を行った。静的解析結果を表 3.10.3 に示す。

入力地震動の算定では、内閣府・中央防災会議¹⁾で計算して工学的基盤面での波形を用いた。なお、中央防災会議により計算されている地震波は、工学的基盤面（ $V_s=700\text{m}$ 位置）で定義されているため、耐震設計上の基盤面～工学的基盤面間の地盤をモデル化する必要がある。そこで、耐震設計上の基盤面～工学的基盤面間の地盤モデルは、現地のボーリング調査結果における最下層（砂礫）の値を参考にし、階段状に設定した。

2.3.10.5 構造物の地震応答解析結果

地震応答解析は、鉄道構造物等設計標準・同解説²⁾（耐震設計）に準じ動的解析モデルを構築し、上述の入力地震動を用いて求めた。東南海・南海地震連動型を用いた解析結果では、河床低下の影響の大きい P12

表 3.10.2 採取試料の現有強度
Table 3.10.2 Possessing strength of samples

| 対象 | 種類 | 試験値 |
|--------|-------|------------------------|
| レンガ | 圧縮強度 | 20.9N/mm ² |
| | 引張り強度 | 1.5N/mm ² |
| コンクリート | 圧縮強度 | 32.9N/mm ² |
| | 引張り強度 | 3.5/mm ² |
| | 静弾性係数 | 31.3kN/mm ² |

表 3.10.3 静的解析による耐力算定結果
Table 3.10.3 Results of static analysis

| 橋脚番号 | 検討方向 | 終局震度 | 備考 |
|------|------|------|-----------|
| P 8 | 線路方向 | 0.59 | 橋脚部材が終局 |
| | 線路直角 | 1.14 | ケーソン部材が終局 |
| P 12 | 線路方向 | 0.49 | ケーソン部材が終局 |
| | 線路直角 | 0.85 | ケーソン部材が終局 |
| P 19 | 線路方向 | 0.82 | 橋脚部材が終局 |
| | 線路直角 | 1.94 | 橋脚部材が終局 |

橋脚では応答加速度がわずか 91gal と小さく、規模が比較的大きい P19 橋脚でも 360gal 程度であり、躯体あるいはケーソンの終局震度に対し余裕がある結果となった。また、兵庫県南部地震時の応答についても解析したが、応答が大きい橋脚で最大応答加速度が 300gal 程度であり、構造物系全体の終局点を下回っていたことがわかった。

2.3.10.6 まとめと今後の課題

大正時代に構築された南海本線紀ノ川橋梁（下り線）は、古くは昭和 19 年の南海地震や昭和 21 年の東南海地震を、また、近年では平成 7 年の兵庫県南部地震、平成 16 年紀伊半島沖地震、平成 17 年に和歌山県北部地震を経験してきているが、これらの地震に対しなんら変状・被害を生じさせることなく現在においても健全な状態で旅客輸送に供用されている。

今回、橋脚・基礎材料が保有する現有強度を用い、内閣府中央防災会議による東南海・南海連動型の想定地震動に対する耐震照査を行ったところ、いずれも安全性を担保し得る結果となったが、このことは、当該構造物がこれまでの既往地震に対し無変状であったことと整合する。正直なところ、検討を開始する前においては、このような旧式構造物に対し L2 地震動に対する耐震検討を行った場合、耐震安全性は担保し得ないものと考えてきたが、今回の検討によって、その固定観念は払拭させられることとなった。

なお、本検討では、精度の高い動的解析結果を把握することを目標に各種の試験・調査を実施した。しかし、古い設計図は存在したものの基礎部（ケーソン基礎）に関する諸元データは、その大きさを示すもの以外は皆無で、そのため無筋として検討を進めざるを得なかった。

今後は、非破壊検査等による鉄筋量の推定法の確立、さらに地中コンクリートの精度の高い強度推定法の確立が望まれる。

参考文献

- 1) 内閣府中央防災会議 HP : <http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/>
- 2) 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計、(財)鉄道総合技術研究所

2.3.11 動的解析WG

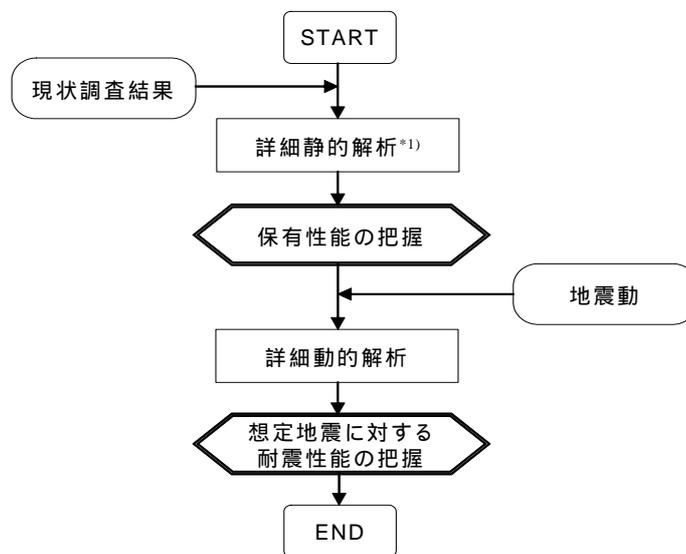
2.3.11.1 耐震診断

a. 耐震診断における手順

構造物の耐震性能を評価するための解析には、以下の2つの目的がある。

- (1) 構造物が保有している性能を把握するための解析
- (2) 地震作用に対する構造物の性能を照査するための解析

構造物の耐震設計においては、想定する地震と構造物の重要度に応じて、必要とする耐震性能を定め、構造物の応答値が要求される耐震性能に応じた限界状態を越えないことを照査することは勿論、構造物が終局に至るまでのプロセスと破壊モードを含めた保有性能を把握しておくことが重要である。構造物の耐震設計の基本思想としては、曲げ破壊モードであることが望ましいのは明らかである。その理由は、兵庫県南部地震の際に、せん断破壊モードの場合には構造物が脆性的に破壊し、甚大な被害に至ったが、曲げ破壊モードであれば、構造物は粘りを発揮し、落橋等の甚大な崩壊に至らなかったことから明らかである。さらに、重要なことは、想定地震動や地盤パラメータ、部材パラメータおよび構造物の応答の推定にはなんらかの不確実性を伴うが、この場合でも曲げ破壊モードであれば、想定外の地震作用があった場合でも、甚大な崩壊を防ぐことが可能になるのである。そこで、本報告書では、下記(図3.11.1)のようなアプローチを提案する。



*1) 複雑な構造物等では、事前に固有値解析や弾性解析等を行って荷重の載荷方法を求めておく必要がある

図 3.11.1 耐震診断の基本的なフローの提案

b. 耐震診断における解析手法の使い分け

構造物が保有している性能は、いわゆる Push over analysis により確認される。Push over analysis とは、「漸増載荷解析法」、「荷重漸増解析」、「荷重増分法」などと言われており、詳細な静的解析により実施される。この解析では、部材や地盤の非線形性を考慮して、構造物の解析モデルに、地震作用に対応した静的な荷重を漸増載荷して、その載荷荷重（震度）と水平変位の関係等によって構造物全体系の耐震特性を評価し

ようとするものである。この解析では、静的荷重は、構造物が終局状態をむかえるまで、作用しつづけることになる。この解析によれば、構造物の損傷過程や全体系の耐震性能を精度よく確認することができる。ただし、振動性状が複雑な構造物に対してプッシュオーバー解析を適用するには、高次振動モードの影響など動的な特性を考慮する必要があり、載荷方法等に工夫が必要だと考えられる。そのためには、一旦、参照地震動に対する応答値を求めるための解析を実施した後、最大加速度分布に応じて荷重を載荷する方法や、最大変位分布に応じて強制変位させる方法が用いられる。

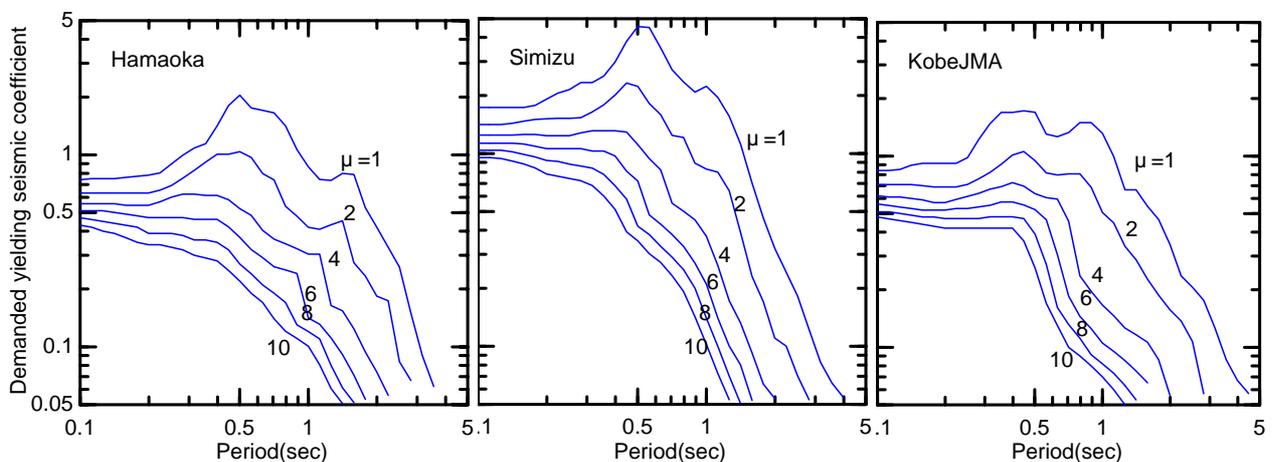
一方、想定地震に対する構造物の応答値を求めるための解析では、想定された地震動に対して、地盤と構造物との相互作用の影響を考慮した、動的解析法により応答を算定する。簡易動的解析法と詳細動的解析法を採用することが可能である。

2.3.11.2 巨大地震に対する問題点 継続時間の影響

本WGでは、巨大地震に対する問題点として、いくつかの内容について検討したが、ここでは紙面の都合上、今後の耐震評価で最も影響が大きいと思われる継続時間の影響について報告する。

野津による東海地震震源域波（清水地点および浜岡地点）を例にして、検討結果を示す。

解析に用いた構造物（系）の履歴モデルはCloughモデルを用いた。第2勾配比は0.05、除荷時の剛性低下指数は0.2とした。上記の計算条件の下で、算定した所要降伏震度スペクトルを図3.11.2に示す。また、参考までに兵庫県南部地震の神戸JMAで観測された記録に対する所要降伏震度スペクトルも図中に示す。清水の想定波形に対する所要降伏震度スペクトルは際立って大きいですが、浜岡の想定波形と神戸JMA波形の所要降伏震度スペクトルは同程度の値となっている。



(a)想定東海地震波（浜岡） (b) 想定東海地震波（清水） (c)兵庫県南部地震（神戸 JMA）

図 3.11.2 所要降伏震度スペクトル

周期 0.7 秒、降伏震度 0.5 の構造物を考える。この構造物の応答塑性率は、所要降伏震度スペクトルから読み取ると、概ね浜岡波に対しては 3.5 程度、神戸波に対しては 3.8 程度となっている。現在の耐震性能の評価方法では、塑性率をベースに損傷レベルを評価しているのですが、この場合には、両者の波形に対しては、ほぼ同程度の損傷レベルと判定される。しかし、浜岡波と神戸波では、その継続時間（繰り返し回数）に大きな差がある。そこで、塑性率で損傷レベルを評価するのではなく、ここでは、損傷度指標 DI を用いて、その損傷レベルを評価する。この損傷度指標は、Park らにより提案された指標である。

$$DI = D_1 + D_2 = \frac{\delta_{\max}}{\delta_u} + \frac{\beta}{P_y \delta_u} \int dE \quad (1)$$

ここに、 δ_{\max} は最大応答変位、 δ_u が終局変位、 P_y が降伏荷重、 β が部材諸元に依存したパラメータである。 D_1 が最大変位による損傷を定義する項であり、現状の耐震診断では、塑性率で部材の損傷を定義していることから、この D_1 の項のみを扱っていることに相当する。一方、 D_2 は繰り返しによる損傷を定義した項である。

図 3.11.3 は両者の波形に対して、DI を算出した結果である。 D_1 による損傷指標は神戸 JMA の方が若干大きい。これは所要降伏震度スペクトルによる評価と調和的である。しかし、 D_2 による損傷度合いは、神戸 JMA では、 D_1 による損傷度合いに比べて 1/5 ~ 1/4 程度となっており、損傷に対しては最大変位に起因する影響が支配的になっている。これに対して、想定波では、 D_2 が D_1 を上回っており、最大変位と同時に繰り返しによる損傷進展が大きな要因になっていることが分かる。

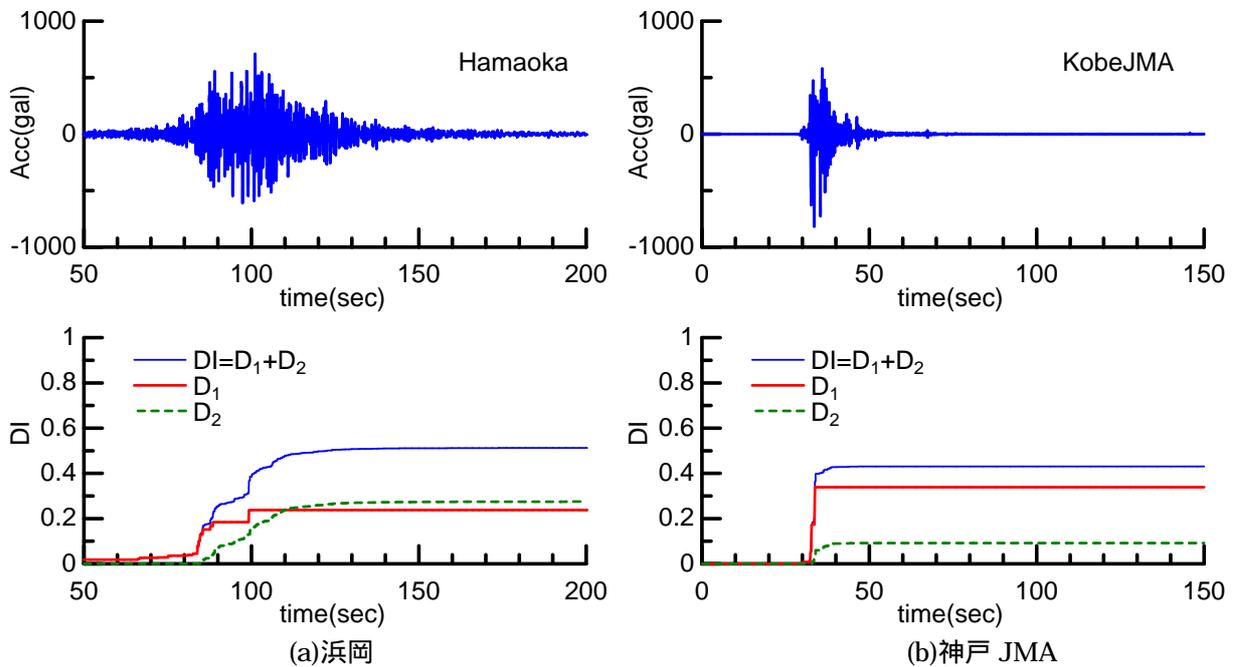


図 3.11.3 Damage Index の時刻歴

大振幅の波形が、長い時間継続する地震波に対する部材の損傷評価においては、このような影響を今後見込む必要があることを示唆している。耐震診断で評価する手法としては、DI 値をそのまま使う方法もあるが、DI 値と損傷レベル（耐震性能）の関係が明確には整理されていないので、例えば、終局変位の制限値 δ_u をある安全率で補正して、等価な制限値で照査するなどの工夫が考えられる。

2.3.12 優先度WG

2.3.12.1 はじめに

近い将来発生が予想されている東海，東南海地震などの巨大地震に対して十分な耐震性能を保有していない構造物は少なからず存在すると考えられる．被害を最小限に止めるには全ての対象構造物に対して必要な耐震補強を行うことが好ましいが，予算や時間も限られていることから一度にこうした対策を全て行うことは困難である．そのため，優先順位を定めて効率的に耐震補強を進める必要が生じる．

優先順位に関係する要因としては，構造物の重要度，保有耐震性，残存供用期間，補強の容易さ，補強効果，地点の地震危険度，といった様々なものが考えられ，優先順位を適切に定めることは容易ではない．例えば，保有耐震性は大きく不足しているが重要度はあまり高くない構造物と，少しだけ耐震性が不足している重要な構造物とではどちらを優先させるべきかを判断することは簡単ではない．残存供用期間や地点の地震の起こりやすさ，地震動の大きさなどその他の要因も関係し，問題はさらに複雑となる．本ワーキンググループでは優先度判定のための既往の方法を概観した後，東南海地震を対象とした耐震補強優先度判定について考え方を示すとともに，その例示を行う．

2.3.12.2 地震リスクによる優先順位判定の方法

リスクとは重要度（影響度）とその頻度の両方の概念を含んだもので，両者の積（リスク＝重要度（影響）×発生確率）で定義されることが多い．損傷の発生確率は地震危険度や構造物の耐震性能によって決まるため，重要性，耐震性，地震危険度の3つの要因がリスクには含まれていることになる．そこで，本検討では半経験的に定めた重要度をもとにリスクを算定して優先順位判定のための指標 D_R を次のように定義した．

$$D_R = Risk_0 - Risk_R = P_f^0 I - P_f^R I \quad (3.12.1)$$

ここで， $Risk_0$ ：耐震補強を行わない場合のリスク， $Risk_R$ ：耐震補強を行った場合のリスク， P_f^0 ：耐震補強を行わない場合の損傷確率， P_f^R ：耐震補強を行った場合の損傷確率， I ：重要度，である．なお， P_f^R は耐震補強によってH8橋と同等の耐震性まで向上すると仮定して算定した．

本検討では，耐震補強を行うことによりリスクがどれほど軽減されるかによって補強の優先順位を評価する．すなわち，このリスク差分 D_R が大きい構造物ほど，耐震補強を行う効果が大きいと判断することになる．

表 3.12.1 仮定した重要度

Table 3.12.1 Assumed importance level

2.3.12.3 想定した重要度 A, B, C, D

本研究では実在の橋梁ではなく想定した橋梁について評価を行っており，重要度については佐藤らによる評価手法¹⁾を参考にA, B, C, Dの3種類，110, 80, 50, 20と仮定した．その特徴をまとめて表3.2.1に示す．

| | 防災上の要因 | | 交通特性 | | | 沿道特性 | | 主要河川の横断 |
|-----------|------------|--------|-------------|--------------------|--------|------------------|---------|---------|
| | 防災上の路線区分 | 他県との接続 | 車両交通量(大型車輛) | 歩行者数 | 路線の方向 | 沿道特性 | 火災延焼危険度 | |
| 橋梁A (110) | 避難道路/緊急輸送路 | 有 | 4000台以上 | 3000人以上 | 主要な環状線 | 商店, オフィス街, 繁華街 | ランク5 | 横断する |
| 橋梁B (80) | 緊急啓開路線 | 有 | 1300台未満 | 1500人以上 3000人未満 | 主要な放射線 | 低層 中高層 | ランク3, 4 | 横断する |
| 橋梁C (50) | その他 | 無 | 1300台未満 | 1500人未満 | その他 | 河川, 山岳 田園, 堤防 | ランク1, 2 | 横断する |
| 橋梁D (20) | その他 | 無 | 1300台未満 | 1500人未満 | その他 | 河川, 山岳 田園, 堤防 | ランク1, 2 | 横断しない |

2.3.12.4 想定した橋梁モデルと条件付き確率

既往の耐震設計規準を満足するように試設計された米田らのRC橋脚²⁾を解析対象とした。RC橋脚は、昭和39年、平成2年、および平成8年の道路橋示方書に準拠し耐震設計されている(以下、S39 適合橋、H2 適合橋、H8 適合橋と記す)。各橋脚の断面図と荷重 - 変位関係をそれぞれ図3.12.1と図3.12.2示す。条件付き損傷確率を算定する際には、残留変位に対する照査、せん断破壊に対する照査、および曲げ降伏後のせん断破壊に対する照査、の3つの限界状態を考えた。

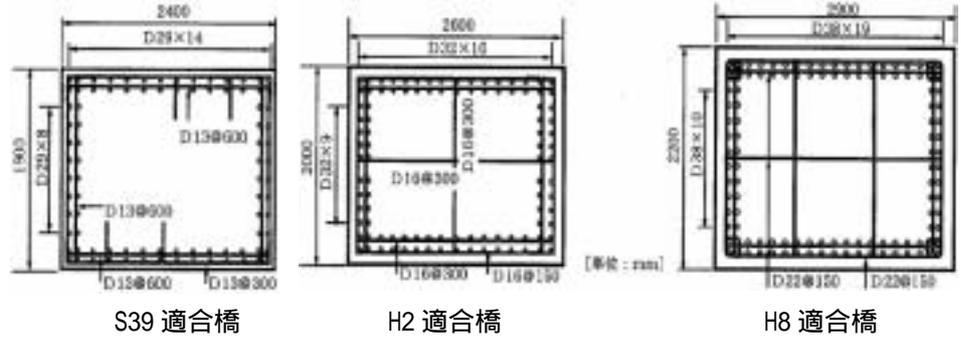


図 3.12.1 解析対象 RC 橋脚の断面図(上下方向が橋軸方向に相当)
Figure 3.12.1 Cross section of RC bridge pier for the study

地震動は、Suzuki らにより作成された想定東南海地震による地表位置での地震動³⁾を用いた。地震動が推定されている東海地方の7地点(名古屋市、豊田市、知多市、岐阜市、羽島市、四日市市、津市)を対象にし、Monte Carlo 法により条件付き損傷確率の算定を行なった。不確定要因としては限界状態式や材料強度のばらつきを考慮して算定した。本来は、強震動予測に伴う不確実性も考慮する事が好ましく、同一地点であっても、地震動は複数提示されるべきものであるが、ここで算定する条件付き損傷確率では、各地点の地震波1波を繰り返し用いて求めた地震動のばらつきの影響については将来の課題としたい。これに地震発生確率を乗じることにより、損傷確率を求めた。算定した条件付き損傷確率と構造物の固有周期に対応した加速度応答スペクトル値の関係を図3.12.3に示す。想定した東南海地震の発生確率は地震調査研究推進本部のホームページ⁴⁾を基に定めた、今後30年以内に発生する確率0.581を用いた。

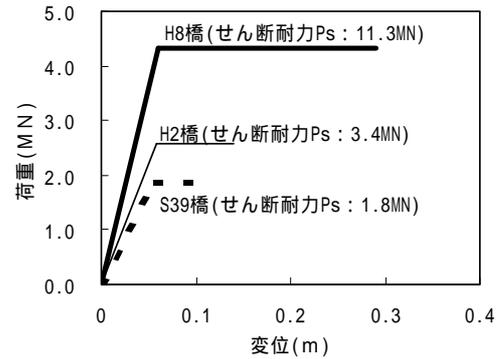


図 3.12.2 荷重-変位の比較
Figure 3.12.2 Comparison of force-displacement curves

2.3.12.5 試算結果

地震動が想定されている7地点、耐震性についてはS39橋とH2橋の2種類を想定する。これに加え重要度は上述の4レベルとするため計56橋となる。これら56橋についてそれぞれ評価指標 D_R を算定し、評価指数が大きい順に並べて図3.12.4に示す。ここではEW成分を用いた場合の結果を示した。上位はS39橋が占めていることがわかる。S39橋は耐震性が低く、多くの地点で損傷確率が1.0に近いので優先度が高い。S39橋間で比較するとほぼ重要度が高い順番になっており比較的単純な結果となった。

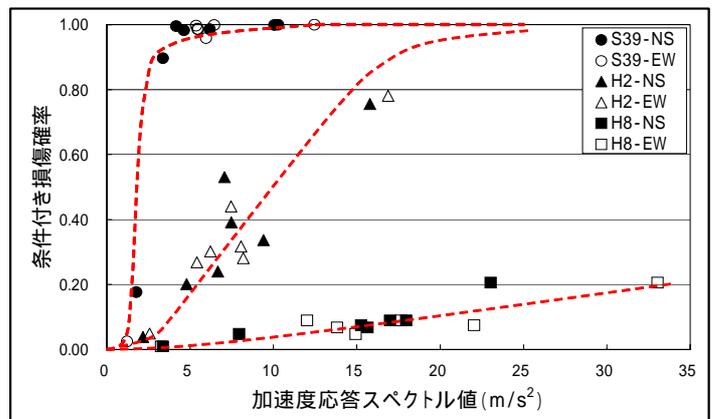


図 3.12.3 条件付き損傷確率と加速度応答スペクトル
Figure 3.12.3 Relation between seismic intensity and conditional failure probability

一方、下位を占めている H2 橋間の順位は
 そのような単純な関係は見られず、地震動
 の特徴、重要度が複雑に關係して優先度が
 決まっていることがわかる。

2.3.12.6 今後の課題

本 WG では地震動の特性を考慮できる
 地震リスクの考え方に注目して耐震補強優
 先度を定める例題を示した。しかし、多く
 の将来への課題がある。たとえば、入力地
 震動は固定して考えており、地震動自体の
 ばらつきは考慮していないことが挙げられ
 る。今回の結果では岐阜市地点の損傷確率
 が他の地点に比較して突出して小さい。ま
 た、岐阜市地点では S39 橋の方が H2 橋よ
 りも損傷確率が小さい。こうした傾向は今
 回想定した地震動特有の問題なのか、位相
 のばらつきや断層モデルのパターンを変え
 ても現れる共通した特徴なのかは不明であ
 る。地震動自体のばらつきに関して更なる
 検討が必要であろう。

重要度は想定する地震によらず既往の検
 討結果がそのまま使えるとの考えから、本
 報告では重要度の評価方法についてはほとん
 ど触れていない。しかし、既往の重要度評
 価方法が確率を乗じてリスクとして扱うこ
 とに適しているかは疑問がある。すなわち、
 重要度指標が 2 倍になることと損傷確率
 が 2 倍になることはリスクの観点からは同
 じ意味をもつ。そのような意味を持つよう
 に定量化された重要度の評価方法の開発は
 今後の課題であろう。さらに、重要度を表
 す指標を経済価値換算することができれば
 耐震補強コストも含めて期待総費用による
 比較とすることができる。あわせて将来
 課題としたい。

参考文献

- 1) 佐藤次郎ら：大都市における既設道路橋の地震防災上の重要度の評価手法，土木学会論文集，No.513/I-31，pp213-223，1995，
- 2) 米田慶太ら：試設計に基づく耐震技術基準の改訂に伴う RC 橋脚およびびく基礎の耐震性向上度に関する検討，構造工学論文集，Vol.45A，pp.751-762，1999.
- 3) Suzuki, W., T. Iwata, K. Asano and N. Yamada, 2005, Estimation of the source model for the foreshock of the 2004 off the Kii peninsula earthquakes and strong ground motion simulation of the hypothetical Tonankai earthquake using the empirical Green's function method, Earth Planets and Space, 57, 345-350.
- 4) 地震調査研究推進本部，地震調査委員会，長期評価部会・強震動評価部会，確率論的地震動予測地図

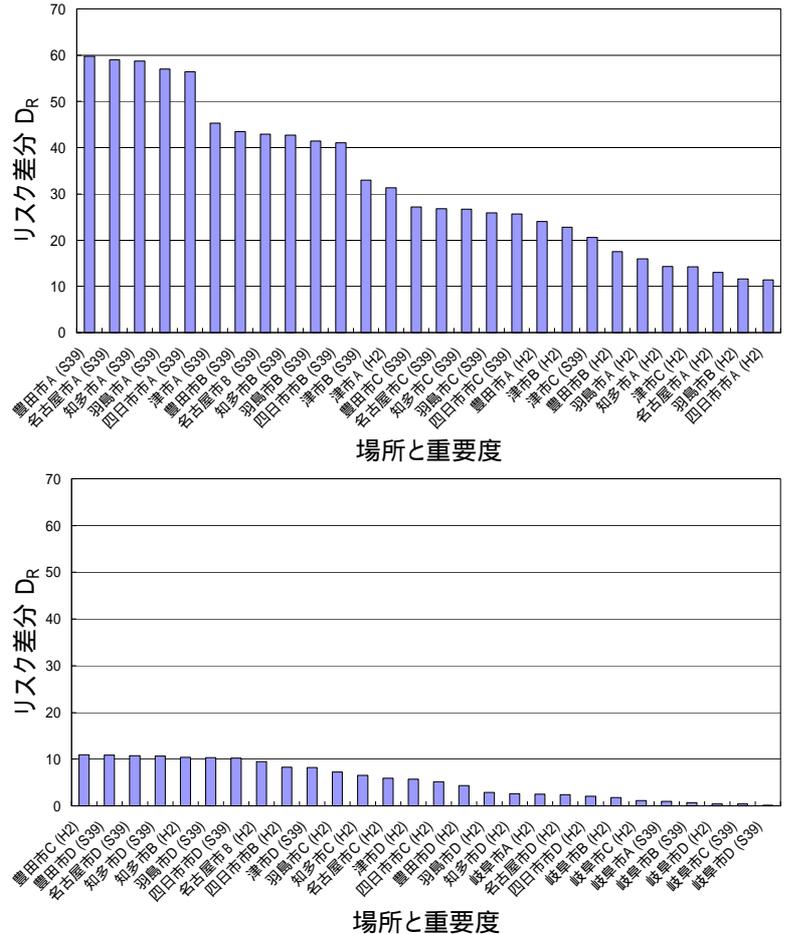


図 3.12.4 地震リスクをもとに定めた耐震補強優先度
 Figure 3.12.4 Priority for earthquake strengthening
 based on seismic risk (EW comp.)

の試作版，2004. (http://www.jishin.go.jp/main/choukihyoka/04mar_kakuritsu/setsumei.pdf)

2.4 まとめと今後の課題

以上3年間にわたって検討してきた成果の概要を述べた。

この部会で各構造物共通の課題としたのは、代表構造物の選定、その構造物の耐震性能の設定（照査項目の設定）、地震による応答値（変形や応力等）の算定手法の検討、耐震性能の照査方法そして効果的な耐震対策方法の提案である。各WGは精力的に活動し、文献調査や解析を行って、この課題について検討した。その結果、実務的に有用な耐震照査手法および効果的な補強方法が示されたと考えている。

そして、この成果は土木学会と日本建築学会が共同で発表した、「海溝型巨大地震による長周期地震動と土木・建築構造物の耐震性向上に関する共同提言」（2006年11月20日）に盛り込まれた。

この提言は総括的提言と個別提言・解説に分かれており、それぞれ、地震動、土木構造物、建築構造物の3分野で構成されている。

土木構造物に関する総括的提言は2つあり、それを次に示す。

- 1) 既存の土木構造物の地盤・基礎を含めた構造系全体の耐震性を照査し、損傷レベルと機能に与える影響を明確にして、耐震性が不足する場合は適切な補強を行う必要がある。このため、構造物の大変形挙動と破壊過程の解明、地盤の液状化や側方流動に対する研究を今後とも推進する必要がある。
- 2) 海岸防潮堤、河川堤防の強化・整備および避難計画等の津波対策を推進するとともに、陸上に遡上した津波の挙動および津波が構造物に及ぼす外力特性に関する調査研究を推進する必要がある。

個別提言・解説である「土木構造物の耐震性能照査と補強」は一般事項（各構造物に共通する事項）と個々の構造物に対する提言で構成されている。前者は7項目で基本は耐震性能を定め、それを照査することによって耐震安全性を診断し、安全性が不足する場合は補強する。また、津波や液状化に対する注意事項も記述された。後者は8項目でそれぞれの構造物の耐震診断及び補強に対する注意事項を述べたものである。

今回の委員会の活動では成果も多かったが、各WGの報告にあるように、依然として課題も残っている。それを以下に挙げる。

その第1は総括的提言にもあるように、構造物の挙動の解明である。構造物の地震時挙動を推定する動的解析においては材料および地盤の非線形を考慮して実施することが一般となったが、構造物における大変形領域の挙動の解明あるいは破壊過程の解明が十分とは言えない。とくに盛土、堤防、擁壁など土に関わる構造物の耐震性能の設定およびその破壊過程の解明はこれからの問題といえる。また、液状化やそれに伴う流動化も大きな課題といえる。

第2の課題は耐震補強工法である。道路橋梁の橋脚や鉄道高架橋の柱の補強は大いに進展したが、開削トンネル等の地中構造物、臨海埋め立て地にある産業施設やタンク等は十分に進んでいるとは言い難い。また、兵庫県南部地震における液状化地域で多くの基礎杭が破損したことから液状化地盤における基礎の補強も重要な課題と考えられる。

第3の課題は長周期地震動を含む巨大地震の地震動の問題である。

この中ではいくつかの問題があるがまず地震動継続時間の増大があげられる。内陸型の兵庫県南部地震は主要動の継続時間が10秒程度と短かったが、想定される海溝型の大地震動はマグニチュード8クラスであり、その継続時間は兵庫県南部地震より長くなる確率が高い。したがって、構造物の損傷度の増大、液状化範囲の拡大、側方流動量の増加などが生じる可能性があり、挙動の解明などの検討が必要である。

また、今回の解析では地震動部会から提供された地震波をそのまま使用したが、地点によっては地表面の加速度が2,000gal、加速度応答スペクトルの値が10,000gal近くに達するような地震動もある。これなどは

表層地盤の非線形性も考慮して地震動を作成するなど、今後の検討が必要だと考えている。

さらに、長周期地震動においては、一般の土木構造物は固有周期の短いものが多く、与える影響はあまり大きくないと考えられるが、タンクのスロッシングによる被害の拡大、長大橋梁の損傷の発生等が考えられ、これも今後の検討が重要である。

第4の課題は先の総括的提言にもあった津波の問題である。護岸、堤防が地震の主要動により被害を受けた後に津波の来襲があるとその被害は甚大なものとなる。例えば前回の釧路沖地震では、液状化により津波防潮堤が変形し、水門が閉鎖できなかったという事態も起っている。今回は“勉強”の段階に留まり、診断に取り入れるまでには至らなかった。したがってこれも重要な課題といえよう。

このように残された課題も多く、今後もその解決に努力する必要があるが、この報告が土木構造物の耐震対策に役立つことを祈ってまとめたい。

第3章 地震防災分野の研究開発の方向性検討部会

3.1 はじめに

東南海・南海地震は30年を目処に発生の可能性が指摘されている巨大地震である。また、近い将来に首都圏直下地震の発生の可能性も危惧されている。世界的にみても人口密集地であり、また、各種産業の中核機関や基幹施設が多数存在する地域を巨大地震が襲うのである。さらに、情報化によって都市の機能が複雑化する上、少子高齢化や国際化という人口構造も変わりつつある。まさに未曾有の地震災害が発生することが懸念される。

地震学の進歩により、地震の発生可能性のみならず、地震が引き起こす地震動の合理的な予測が可能となっている。この予測を最大限利用することで、急速に変化する都市を襲う巨大地震に対し、被害の劇的な減少を試みる事が望まれる。これは過去の被害事例を教訓として発展してきた地震工学の質的転換を意味する。すなわち、予測に基づく地震防災は人類最初の取り組みである。

劇的な減災を実現するには、何と言っても、効果的な地震防災技術の研究・開発とその普及が必要である。この地震防災技術の研究・開発には、地震動や津波に対する構造物の安全性の向上を図ることを目的とする。また、都市や地域の地震災害に対する危機管理技術の高度化も重要な目的である。さらに高度化する地震防災技術の普及のための努力も研究・開発に含めなければならない。

地震に備えるためには地震そのものの研究が重要である。実際、我が国では長期にわたって「地震予知研究」が国家研究プロジェクトとして推進され、その間接的成果として全国の建物・構造物の耐震性は世界標準では高いところにある。巨大地震に備えた劇的減災の実現のためには、さらなる地震と地震防災の研究が必要である。「地震予知研究」の成果を有効利用するためにも長期国家研究プロジェクトとしての「地震防災研究」が必要である。

前述のように、合理的な予測に基づき、巨大地震と急変する都市での劇的減災に取り組むことは、経験工学の枠組みを超えたところに地震工学を発展させる。これは地震防災先進国としての我が国の責務とも考えられる。また、世界への情報発信に留まらず、新たな地震防災技術とそれに関わる産業の創出にも繋がる可能性も期待できる。

以上を踏まえ、本部会は地震防災分野の研究開発の方向性を検討し、下記の提言として整理した。提言は、

組織化

地域防災システム構築のための包括的研究

国際貢献

先端的地震防災技術の研究開発

という4つの点でまとめられている。

3.2 組織化

巨大地震と急変する都市での劇的減災を実現することは決して容易な課題ではない。有効な地震防災対策を考案し実施することに関して、多面的かつ包括的な研究・開発が必要である。このような地震防災の研究・開発を推進するためには、何よりもまず、従来以上に、地震や地震防災に関する研究者を組織化し、研究・開発の予算を獲得することが重要となる。

組織化や予算獲得のための具体的方針として、研究者がなすべき最初の一步は学会や組織の枠を超えることが考えられる。すなわち、地震や地震防災に関わる学会の連携・協力と、それを基とした適切なさまざまな研究組織の形成、そして、多面的かつ包括的な研究・開発の遂行に必要な予算獲得、を図るべきである。

【提言 2.1】学会連携による科学技術研究費の獲得と地震防災研究の推進

地震防災に関する研究資金は、文部科学省および日本学術振興会の科学研究費補助金が最も大きな研究費の供給源である。最近の地震が起こした社会での被害状況や経済的損失、そして、将来の巨大地震が起こしうる被害状況を鑑みると、地震防災関係への科学研究費補助金の予算枠を飛躍的に拡大することが必要である。地震防災に関わる研究者は、基盤研究などの申請枠の他に、特定領域研究などの申請枠を増やし、地震防災研究の進展による減災活動の推進へと向かうべきである。特に、科学研究費補助金の特定領域研究の獲得は、科学技術全体の中での地震防災研究の存在を示すためにも、不断の努力を行うべきである。特定領域研究の獲得の競争は激化しており、従来の個人や少数グループでの申請のみでは、獲得は困難な状況になる。土木学会、日本建築学会、日本機械学会、地盤工学会、日本地震工学会、地域安全学会などの関連学会が緊密に連携し、対応組織・委員会などを設置して積極的にバックアップすることが重要である。

【提言 2.2】大型実験プロジェクトと中小型実験プロジェクトの有機的連携のための組織化

現在、地震防災分野の大型プロジェクトとして、E-ディフェンスが動いている。同様の大型プロジェクトを動かすとともに、この種の大型プロジェクトに、地震工学研究者のみならず、多くの技術者や防災関係者が参画できるシステムづくりが望まれる。また、各プロジェクト間の連携を図るための組織作りが望まれる。研究資源の有効利用という観点からは、E-ディフェンスなどと国内の他の実験施設との有機的連携をはかり、相互補完的な役割分担を行うことが望まれる。例えば、中小の実験施設で実施された縮小モデルの実験結果や数値解析結果は、E-ディフェンスでの実験結果と比較することにより信頼性を検証することが可能となる。このような研究組織作りは誰もが望むことでありながら、維持には労力がかかるため、なかなか実現できないことも事実である。予算獲得と合わせて、複数の学会主導での研究組織作りの具体案を考案すべきである。

【提言 2.3】地震防災研究の国際協力と情報発信の推進

分散型と組織型の両面を併せ持つ米国の NEES プロジェクトとの連携をはかり、日本版 NEES プロジェクトの組織化に力を入れる。また、政府担当者に日本の防災技術の先端性を説明し、世界における日本の役割の重要性の周知をはかる活動を進めるべきである。地震災害の頻発度および発生形態の多様性は日本独特のものであり、様々な面での海外への情報発信が可能である。

【提言 2.4】産学官連携による地震防災研究・活動の推進

日本学術振興会における産学連携の委員会などの設置申請を行い、そのような組織の積極的活用を図るべきである。現在進行中の、土木学会と日本建築学会による巨大災害への対応特別委員会は、大学関係研究者、産業界のメンバー、官組織が含まれており、このような組織を継続して運用することが地震防災研究・活動の普及にとって有効である。防災は「国民を守る国の義務」であり、それを産学が協力して支援すべきである。

地方自治体の防災関連組織と共同して、地震防災活動を行う。例えば、公共施設（学校建築など）の耐震補強・補修の計画から実施までを産学官連携で行い、できるだけ多くの関係者に地震防災活動に対する意識を広める方策を講じるべきである。

【提言 2.5】総合的地震防災研究と実践活動の検討と推進のための学会連携

組織化も内容によっては種々のものが必要である。大規模な組織化が必要不可欠なものもあれば、少数グループが多数存在する方が適しているものもある。学会をまたいだ委員会などの設置によりこのような組織のあり方の検

討を行うべきである。また、防災コミュニティの窓口として、東大地震研究所が主宰する「地震予知協議会」、京大防災研究所が主宰する「自然災害協議会」、独立法人防災科学技術研究所と東大地震研究所と京大防災研究所が核となる「防災フォーラム」がある。これらの組織との連携を図る仕組みについても検討する必要がある。

3.3 地域地震防災システム構築のための包括的研究

巨大地震と急変する都市での劇的減災を実現する具体的な目標は、地域地震防災システムの構築である。地域地震防災システムは「地震対策は地域主体」という基本構想に基づいており、自治体を主体とした地域の防災体制を高度化したものである。地域性を考慮することで、格段に効果的な防災計画の立案・実施、危機管理、災害復旧・復興を行う。自治体の担当部局の他、地震防災研究機関を拠点として位置付け、情報・通信技術を最大限利用して拠点を有機的に連携させたシステムとなる（図 3.3.1 参照）。

3.3.1 地域地震防災システムを担う人材育成のための研究

地域地震防災システムの構築に際して人材育成が決定的に重要であり、そのための教育プログラムの開発が地震防災研究の大きな柱となる。地震防災に関してはさまざまな組織・機関で教育プログラムが用意されている。これらのプログラムを包括するとともに、最新の研究成果や技術的知見を盛り込み、また、適宜プログラム内容を更新し、地震防災技術の習得を目的とした新たなプログラムを開発する。

教育プログラムの開発には基となる地震防災技術の研究・開発も重要である。また、実効のある教育プログラムとするためにはさまざまな工夫が必要である。特に教育の対象が技術者とは限らず、行政官や一般市民も含むため、地震災害を体感できるような大規模実験や現実感のあるシミュレーションの利用が課題となる。

【提言 3.1】高度地震防災技術の習得を目的とする自治体職員等を主な対象とした教育プログラムの開発

高度地震防災技術は、各種構造物の地震応答メカニズムの理解に基づいた耐震性診断や耐震補強に関する耐震性向上技術と、復旧・復興計画の立案・実施も含む危機管理技術からなる。既存の各種教育プログラムを包括するとともに、耐震性向上技術と危機管理技術の研究・開発を通じてその高度化を行う。実効性が重要であり、例えば、

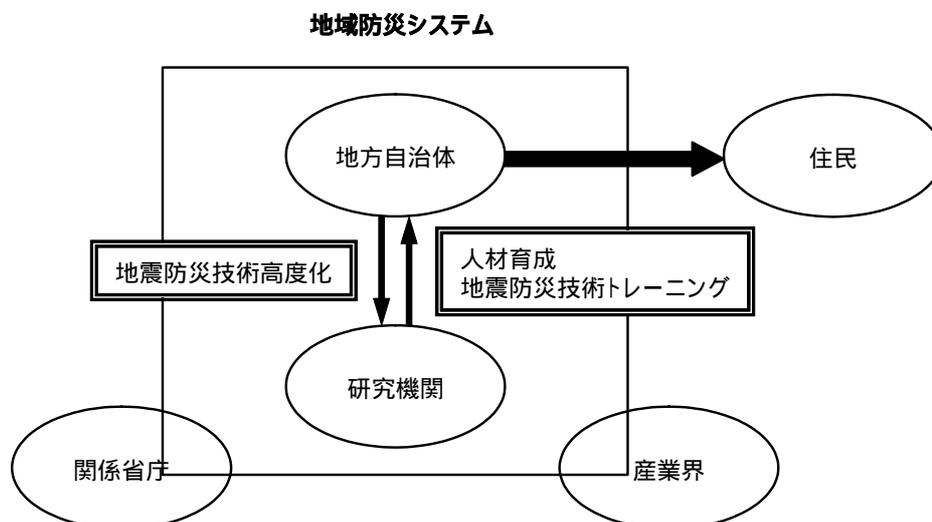


図 3.3.1 地域防災システムの概要

構造物や都市の地震被害を体感できるような工夫をはらう。

開発される教育プログラムの中で、危機管理技術と並んで耐震性向上技術の習得を目指すことは新たな挑戦である。従来、耐震性向上技術と危機管理技術の融合は難しかったが、近年の地震工学の飛躍的發展等により可能性が見えてきた。耐震性向上技術の習得には、E-ディフェンスのような大型構造物実験施設を利用したトレーニングを実施することが効果的である。教育の場として、地域防災システムの防災拠点として位置付けられるこのような研究機関を利用することは重要である。育成される人材の量と質を拡大することが期待できるからである。

劇的な減災を実現するためには、開発されるプログラムに最新の知見や技術を盛り込むことが必要であり、そのための研究・開発の推進が望まれる。耐震性向上技術に関しては、従来以上に、実験、数値解析、計測の包括的研究が必要である。これは、E-ディフェンスを中心とした構造物から構造要素までの体系的実験、構造物の地震時応答の高度数値解析の開発、耐震性判定に利用されるさまざまな計測手法の開発等が具体的な研究内容となる。危機管理技術に関しては、危機管理の理論の整備や、実戦的な危機管理システムの開発、その運用方法の研究が必要である。

【提言 3.2】既存実験施設を有機的にリンクさせた効率的耐震性向上技術の研究と開発

現在日本には、国や自治体の研究機関、大学や民間会社の研究所などに多くの実験施設が存在する。平成 17 年稼働の E-ディフェンスは我が国の地震防災研究体制の中心となるが、E-ディフェンスでしかできない実験や、他の研究施設あるいはその集合体でできる実験もある。したがって、E-ディフェンスとの連携や棲み分けが重要な課題とされている。

高度地震防災技術の教育プログラムの高度化には、構造物や構造要素の耐震に関する最新の技術や知見を盛り込む必要がある。利用状況や利用形態、利用可能な実験種別等に関する既存実験施設のデータベースを構築することで、相互の施設の有効利用や共同実験が容易に可能となるような環境整備を行う必要がある。

教育プログラムでは、実験を通じて構造物の地震被害を体感・想像させることが重要な要素となっている。有機的にリンクされた既存実験施設を、耐震性向上技術を習得させるトレーニングの場とすることは重要な課題である。

【提言 3.3】地域地震防災・危機管理のための構造物の地震時応答の統合的解析とその結果の可視化に関する研究の推進

地域の地震防災能力を向上させるためには、まず、地域全体の地震時の危険や被害をできるだけ正確に推測することが重要である。特に、「地震時に何が起きうるのか」について信頼できる情報を提供し、行政だけではなく、企業体・個人の防災意識を高め、積極的・自発的な防災活動への取り組みを喚起することが必要となる。そのため、個々の構造物に対して用いられてきた既存の地震シミュレーション技術を都市全体の挙動解析に応用し、工学者だけでなく、それを制度策定や経済等の社会活動に関わる意志決定にも活用できるような枠組みの提示が必要である。地震による構造物の被害の実態は、地震や地震波の特性はもとより、各地域特有の地盤や構造物の特性などの地域性にも大きく依存する。地震シミュレーション技術は、このような地域性にも対応できるものが望まれる。

【提言 3.4】構造物の地震被害に関するより迫真性の高い教育・訓練・意識啓発用の映像・音声等を備えたマルチメディア教材の作成

緊急時対応のための教育・訓練、建築物の耐震補強等耐震性向上のための所有者等への意識啓発のためには、地震時の建物内の状況等を再現したような疑似体験用の映像・音声等のマルチメディア教材の活用も効果的な手段の一つである。また、それらは迫真性が高い方が有効であると考えられる。そのため、実際の建築物や構造物などを

実物大で再現したものを E-ディフェンス等の実験施設を活用し、実際に揺らした上で、建物内部の映像・音声の撮影・録音等を行なう事により、より迫真性の高い映像・音声等を得る事が可能となると考えられる。

【提言 3.5】行政や国民の地震防災に関する意識革命に関する研究

大規模地震災害が発生すると、復旧や復興に多大の公的資金が投入される。しかし、資金の有効活用を考えると、事前の対策に公的資金を使うほうが効果的であることが指摘されている。この点を認識した事前対策も進められているが、地震の発生時期や規模が必ずしも明瞭でない場合、行政が取れる事前対策に限りがあることも事実である。また、国民一人一人の地震防災に関する意識も同様であり、例えば、耐震補強への取り組みは決して積極的なものではない。このジレンマを脱却するためには、地震防災に関する意識革命が必要である。明瞭ではないが、極めて大きな被害をもたらさうる危機に対してより合理的な対応をとるために、科学的な研究を行うべきである。近年、リスクマネジメントの分野の研究が活性化しており、地震工学でも応用が行われている。この研究を活性化し、近い将来の発生が懸念されている巨大地震への事前の対応を促進すべきである。

3.3.2 地域地震防災システムの実効性を高めるための研究

地域地震防災システムは劇的減災を実現する組織であり、現状の地域防災体制と比べ、地震防災の実効性に関して飛躍的な前進が必要となる。地域防災体制が相当の期間運用され実績もあることは事実である。地域防災システムの構築には、地域防災体制の現在の課題を見極め、解決を図って、実効性を高めるための研究・開発が必要である。実効に直結する研究課題として下記のものゝ指摘できる。

【提言 3.6】建物被害認定調査に資する被災度評価手法の開発のための実験・研究の推進

現在懸念されている巨大地震災害が発生した場合、たとえ建物の倒壊をまぬがれ、人的被害の発生が少なくとも、多数の被災者の発生は、わが国の社会・経済にきわめて大きな影響を与える。したがって、これら多数の被災者の速やかな生活再建策の円滑な実施は、わが国の防災対策上、緊急的に検討されなければならない課題である。

被災者の生活再建支援業務の出発点は被災世帯に対する罹災証明書の発行である。罹災証明書は、被災した事実の証明書として、その後生活再建に関連する諸施策執行の対象者を決定する根拠となる。罹災証明発行のための被災度認定調査は、その基準および運用指針は内閣府によって定められている。しかし、被災度評価・認定技術や調査者のためのトレーニングシステムなどが未整備のため、自治体や調査者によって判定結果が異なる等、被災地の混乱の一因となっている。したがって、各種実験設備で住宅のさまざまな被災状態を再現し、それをういて被災度評価・認定技術の開発や調査者のための標準的な被災度認定トレーニングシステムを開発する意義はきわめて大きい。また、映像による被害・認定事例のデータベース化やその分析も重要な課題である。さらに、応急危険度判定をうけた建物の余震に対する耐力の検証なども、危機管理上きわめて重要な情報となりえる。このような地震災害発生後の建物被害認定調査に資する被災度評価手法の開発のための実験・研究の推進は、今後の地震防災研究の一つの柱である。

【提言 3.7】ハザードマップの合理的な策定手法の開発とその有効利用に関する研究・開発

高度化・複雑化が進んでいる都市の防災能力を高めることは安全な生活の実現のために必要不可欠である。災害時における被害の実態は、地震な等の災害要因の特性はもとより、都市の構成要素でもある社会基盤やライフライン等の社会環境の地域性にも大きく依存している。したがって、都市の地震時における防災能力を向上させるため

には、ハザードを明らかにし、都市全体の被災程度を正確に把握しなければならない。

地震災害の場合、人的・物的被害を最小限に留めるためには、耐震設計をはじめとする各種の耐震安全性の措置を講じなければならず、そのためには建設地点等の着目地点周辺で期待される地震動の強度を予測することが不可欠である。地震動予測の精度や空間分解能の向上が必要である。また、現在ハザードマップや被害想定は、国に限らずほとんどの自治体で行われている。その精粗は別にしても、作成されたハザードマップや被害推定は具体的に地域の防災に役立てなければならない。しかし、現状では本当に活用できるのか、活用の際に考えておくべき事項は何か、地方が取り組むべき課題は何か必ずしも明確になっているわけではない。そこで、ハザードマップの合理的な策定手法を開発すべきである。

【提言 3.8】連続的な防災対策の立案を可能にするために、発災から収束に至るまでの災害事象がどのように関わりあって巨大な災害を引き起こすかという地震災害連鎖解明の研究の推進

地震災害は発災からその収束に至るまで、形を変えながら、しかし連続的に人間社会を襲うものである。したがって、その対策も連続的に取られなければならない。そのためには、対策は総合的であるべきであり、対処療法的な対策のみでは実効は限られる。地震災害対策の理念を確立し、一貫した対策が講じられるようにすることが必要である。

危機管理技術の高度化には、明確な地震災害対策理念の確立は重要な課題である。地震災害の連鎖を解明することが対策理念の確立のよりどころになる。現在、災害連鎖の取り扱いの難しさから、各種地震災害事象を個別に扱うことがほとんどであり、因果性や連鎖性に関してシステムダイナミクス的に取り扱うことも限界がある。地震災害連鎖解明の研究を推進するためには、従来とは別の方法が必要であり、この方法を考案するための研究の推進が不可欠である。地震動の強さと同時に対象とする地域が持つ社会環境条件を考慮して、人的・物的被害のみならず、社会・経済的被害を高い精度で推定できる地震災害の時空間波及モデルを構築することが、具体的な方法の候補と考えられる。

【提言 3.9】被災者の生活再建に向けた種々の対応業務の検討と業務の総合調整支援システムの構築

地震災害発生後、被災者の生活再建に向けたさまざまな災害対応業務が発生する。これらを一連の業務として関連付けることなしに個別業務として実施することは、業務効率の低下のみならず、個々の業務間の矛盾による混乱の発生など、結果として被災者の生活再建を遅らせることになる。したがって、これら災害対応業務の一連のプロセスを統合し標準的なシステムを構築することは、わが国の災害対応策にとってきわめて重要な課題である。

【提言 3.10】地域防災計画の再構成をおこない、自治体が大規模地震災害時に本当に使える防災マニュアルの作成

自治体には地域防災計画がマニュアルの形で準備されているが、計画項目の羅列に過ぎないものが多い。したがって、相互の連関を明らかにするとともに、一連の防災計画の中での優先順位付けを考えて、地域防災計画の再構成を図るべきである。

3.4 国際貢献

我が国は地震多発国であるが、同時に世界に誇るべき先端耐震技術、強震観測網を保有している。自然現象としての地震は世界中で起きているおり、東南海・南海地震と同規模の地震の発生が予測されている国も少なからずあ

る。このような国にあっては、我が国が開発保有する技術や地震動データは大変有益なものと考えられる。科学技術立国を目指す我が国としては、世界に対する技術と情報の発信源としての役割を率先して担い、教育面での貢献も積極的に果たすべきである。

耐震性向上技術と危機管理技術を融合させた地震防災技術をまとめてパッケージとし、海外の諸地域へ移植することは具体的な貢献として重要である。日常生活はもとより都市機能全般を損なう地震災害の特性上、総合化した技術の効果は単体の技術の効果と比べべきまでもない。海外諸地域としても導入する意義が認められる。耐震性向上技術と危機管理技術の融合は、先端的な防災技術の開発・創出につながることを期待される。海外への市場開拓も念頭に置いた技術開発のインセンティブとなる。

【提言 4.1】地震防災技術のパッケージ化と海外技術移植の推進

我が国が開発保有する地震防災技術が高いレベルにあることは国際的にも認識されている。耐震性向上技術と危機管理技術の要素技術や単体技術には他の追随を許さないものも多い。しかし、その一方で、価格が高いことも指摘されている。誤解を恐れずに言えば、地震防災技術のコストパフォーマンスが低いのである。

地震防災技術のコストを下げることは重要な課題であるが、パフォーマンスを上げることも効果的である。さまざまな種類の建築構造物や社会基盤施設がある都市では、地震防災は都市全体で考える必要があるため、要素技術や単体の技術を移植するよりは、地震防災技術をパッケージ化して移植するほうがはるかに効果は高い。地震防災技術のパッケージ化とは、耐震・免震構造や先端耐震補強部材に代表されるハードウェアから、設計基準・設計マニュアル、あるいは構造解析プログラムといったソフトウェアも含まれる。

人材育成の教育プログラムの開発の際に、地震防災技術のパッケージ化を図ることが可能である。そもそも教育プログラムそのものをパッケージに含む必要がある。なお、地震は低頻度災害であるため、移植された技術を有効活用するためには恒常的なトレーニングも必要である。有機的に連携した実験施設は、移植技術のトレーニングの場としても利用が期待できる。

【提言 4.2】強震動データ、構造物の地震応答データの国際発信

我が国は世界に誇るべき強震観測網を保有している。地震動の観測データは、地震という自然現象を観測したものであり、自然現象としての地震は世界中で起きていることから、日本で観測した地震動データは世界的に活用される。さらに、現在でも行われているが、震源特性や伝播経路特性を明らかにして、世界に発信すれば、地震動データの有用性は高まる。ただし、この日本が誇る観測網も、現状では恒久的な体制にはなっていないことが大きな欠点である。

また、地震時の構造物応答データも、貴重な財産であるが、我が国では、施設管理者毎に観測を行っているのが現状であり、広く公開するような環境にはない。世界的に見れば、我が国における構造物における地震観測の数は有数と思われ、全世界の人々を地震災害から救うためには、その公開が望まれよう。

このような状況を考えると、科学技術立国を目指す我が国としては、世界に対する技術と情報の発信源としての役割を率先して担う必要がある。データの共有化・流通を促進させるために、データセンターの確立とネットワークおよびそれに付随する各種技術の確立を主体とした施策が必要である。

【提言 4.3】E-ディフェンスを利用した発展途上国の非耐震住宅の耐震性向上に関する包括的教育プログラムの構築

地震防災先進国としての我が国が果たすべき国際的責務は極めて大きい。教育プログラムを構築する際には国際

協力の観点も必要である。

緊急の課題として、発展途上国には多くの耐震性の低い住宅が存在し、さらに現在も次々とこれら不良ストックが建設され続けられている現状がある。これらの住宅では、無秩序な上層階への増築が重ねられており、地震災害が発生するたびに大きな人的被害が発生している。

現在、このような非耐震住宅に対しては、現場における実大住宅の静的な載荷実験や縮小モデルによって耐震性の評価や住民へのデモンストレーションが行われている。しかし、静的な載荷や縮小モデルだけでは、住宅の破壊過程に関する十分な情報が得られないのみならず、現地の建設関係者（職人、技術者、行政など）はもとより、住民への説得性にも欠ける。

非耐震住宅の耐震性向上には、まず、現地の建設関係者に対して、これらの住宅がいかに脆弱であるかを実験でデモンストレーションし、その危険性を正しく認識してもらうことが必要である。次に、非耐震住宅の破壊モードや弱点を解明するとともに、建設過程を明らかにして、現地に受け入れ可能な耐震性向上策を彼らとともに開発することが必要になる。最後に、実際に耐震性向上策を使ってもらうために、その効果を実験で証明することが必要であろう。このようなプロセスを経る研究には、E-ディフェンスが無ければ実現しない。非耐震住宅の実大実験を行うことができるからである。得られたデータを分析し、現地に受け入れ可能な耐震技術の開発、その効果の確認などを通じて、発展途上国の住宅の耐震性向上に関する包括的教育プログラムを構築することができる。我が国の防災分野における国際貢献にとって重要であると考えられる。

3.5 先端地震防災技術の研究開発

地震防災研究は、巨大地震と急変する都市での劇的減災を実現するものである。情報化に伴い加速的に複雑となる構造施設やそのネットワーク、少子高齢化のみならず理系離れに伴う建設技術者の絶対数の減少、都市やその環境の変貌のスピードに追従する先端地震防災技術の研究・開発は地震防災研究の必須の要件である。

【提言 5.1】 構造物の耐震性を飛躍的に向上させるデバイスの研究開発

日本における社会基盤施設や建築物のストックの量は膨大である。そのうちの多くは、古い耐震基準により耐震設計が行われているか、耐震設計が行われていないものである。このような既存不適格構造物の耐震性を向上させるために、耐震補強が行われているが、様々な問題点があり、進捗状況は芳しくない。問題点のいくつかを解決するために、他分野の先端技術を導入し、簡便に耐震補強を実現できる耐震性向上デバイスの開発を行う必要がある。

【提言 5.2】 次世代構造物センシングシステムの研究開発

地震による構造物の揺れを常時観測したデータは、構造物の安全性の検証のためにさまざまな活用が考えられる。MEMS センサや光ファイバセンサ、画像処理技術やレーザーを用いた高精度計測等、新たなセンシング技術を導入し、高精度かつ高分解能でデータを取得することが期待されている。さらに、センサと協働するインテリジェント制震構造や計測-判定-通知を即時に行うシステムの開発等、技術展開の先も広い。このような構造物センシングは、ユビキタス社会の考えと一致し、地震安全性に関する一般市民の科学的リテラシーの向上にも有効である。構造物センシングの高度化は、継続的な観測データを使った構造物の健全性を客観的に知る仕組み、すなわち、構造ヘルスマモニタリングを可能とする。地震時には、被災程度の把握や継続使用可能性の判断、復旧方法の選択、余震に対する安全性評価などに有用に利用できる。

構造物センシングは、高精度・高分解能を狙う E-ディフェンスの計測システムとも大きく関連する。つまり、E-ディフェンスで培った技術が将来のコピキタス社会に有用な技術となりうる。E-ディフェンスで用いられる計測・解析技術を次世代構造物センシングに転用することは重要な課題である。

【提言 5.3】実験技術とシミュレーション技術を融合した先端的な防災技術の実証システムの構築

新たに開発される防災技術の効果、災害時において発生する現象の詳細な解明のために、これまでも実験的な手段による検証が行われてきた。しかしながら、防災技術を適用する対象となる現実の社会基盤施設や建物は、それを取り巻く立地環境、その施設に関わる設置設備や交通輸送車両等、さらにはヒューマンファクターなど多種多様な要素が、大規模な拡がりを持ちつつ相互に影響を及ぼし合うことが特徴となっている。個々の要素について「現実地震災害が起きたらどうなるのか」を明確に実証するためには、それらの相互の繋がりと拡がりを総合的に考えた検証手段が必要とされている。

このような検証を実現する方法として、特に着目する技術要素については実際に実験を行い、それを取り巻く他の要素についてはシミュレーションを行い、実験とシミュレーションの情報を互いにリアルタイムでやり取りすることにより、相互の影響を同時に考慮した大規模な検証を行う仕組みの開発が考えられる。こうした実験においては、既存の大規模な実験施設を活用することで、様々な角度から見た防災技術の検証を可能にするものと期待される。こうしたコンピュータによる数値シミュレーション技術や様々な実験技術の垣根を越えて融合させた新しい先端的な実証技術の開発とその実現のための環境の構築を進めるべきである。

【提言 5.4】地震リスクマネジメントに対応した耐震設計法の開発

本来、地震リスクマネジメントは、発災前から発災後までをカバーするものであり、耐震設計はそのなかの一つの要素である。しかしながら、現状では耐震設計の専門家は地震リスクマネジメント全体像を必ずしも意識しているとは限らない。その一方で、防災マネジメントを担当する行政担当者等は一般的に耐震設計の専門的知識を持たず、耐震技術の現状を把握していないという問題がある。

耐震設計に関しては、これまで各種施設毎に蓄積された成果があり、既に一定の性能を有すると考えられ、実際の地震時においてもその成果を発揮している。今後、地震リスクマネジメントの観点から、戦略的に要求される各施設の地震時性能が明らかにされれば、その要求性能を確実に保証する設計法の開発や先端技術の応用・導入など、明確な方向性と目標が設定されることになり、さらに効率的かつ効果的な技術開発が期待できる。

【提言 5.5】建築物等の破壊が人的被害を引き起こすメカニズムの解明及び人的危険性評価のための医学・工学分野が連携した実験・研究

耐震工学の発展の方向として、構造物の耐震性から居住者の安全性に視点を移すことが考えられる。これは広く人工物に共通する発展の方向であり、実際、自動車では、壊れにくい車体よりも、運転者への影響を最小限に抑える車体に重点が置かれている。建築物等では、非構造部材も含め揺れによる各部材の破壊・落下等が人体に及ぼす影響を分析し、壊れにくくかつ壊れても人体への影響を最小限に抑えるための技術の開発が必要である。そのためには、人体への影響を評価するための医学分野の研究者との連携が必要である。また、構造物の破壊・落下等を現実に近い条件で再現可能な実験施設が必要となる。そうした実験データの蓄積に基づき、より精度の高いシミュレーション・モデル及び評価手法の開発が可能となる。

【提言 5.6】 構造物総体としての総合的な耐震設計技術及び耐震性能評価技術の開発のための実験・研究の推進

構造物の総合的な耐震性能とは、単に構造体の揺れに対する強度だけではなく、二次部材や設備も含め、また地震直後の火災への対応や避難路の確保などの人命への影響や地震後の機能の維持、財産の保護に関わる修復の可能性等を含んだ総合的なものである。こうした総合的な耐震性能の評価については、個々の部材や設備だけでなく、地震時のそれら相互の係わりやシステム全体としての評価が必要となる。特に災害対応拠点となる施設に於いては地震発生後の施設の機能維持は重要な要件であるが、それを検証するためには、二次部材や設備等を含めた総体としての建築物全体の地震発生直後の状況を、実際に近い条件で再現可能な実験施設の存在が必要となる。そうした実験データの蓄積に基づき、より精度の高いシミュレーション・モデル及び評価手法の開発が可能となる。

3.6 おわりに

巨大地震と急変する都市での劇的減災のための地震防災技術は、国民の多くが強く期待する技術である。また、阪神大震災以降、地震工学は急速な発展を遂げ、また、他の先端技術の進歩とともに、実効ある技術を開発する下地は十分できている。また、地震防災に関わる学会の連携によって適切な研究開発組織を作り、減災を担当する地域防災システムを構築する、という地震防災研究の具体的な方針は十分検討に値する。地震防災研究は国際貢献や先端技術の開発という夢のある展開にもつながると思われる。

都市や社会の地震安全性を高めるためには、地震防災技術のたゆまぬ研究開発の他、十年を越える長期的視野に立った研究支援が必要である。我が国では地震予知に関する長期研究プロジェクトが進められてきたが、長期的研究ならではの直接・間接成果があげられている。研究者の自助努力を呼びかけるとともに、このような成果をもたらす地震防災技術に対する国家的支援を強く期待する。

第4章 災害情報の共有化に関する技術的基盤検討部会

4.1 はじめに

阪神・淡路大震災では、情報の収集や伝達が困難となり、政府が被害を把握して行動を起こすのに6時間を要した。10年たって震度7を記録した新潟県中越地震では、政府は素早く対応しその日のうちに先遣隊を新潟県に派遣した。しかし、一方で情報の途絶地域が発生し、また、駆けつけた支援部隊が通行可能な道路を求めて右往左往した。

災害対応に情報の共有が重要であることは誰もが認めることである。特に、勃発が懸念される巨大地震災害では、広域で多数の機関、団体間の協調が必要であり、情報共有のシステムを用意することが焦眉の課題である。しかし、諸機関、諸団体内で使われている情報システムはその組織のために最適な形に作られているのが常であり、プライバシー保護や情報セキュリティ確保も要求されることから、緊急時といえどもシステム間で情報を交換・共有することは容易でない。異なった機関、団体間の情報共有を掲げたプロジェクトも行われているが、多くは期待されたほどの成果を上げていないのが現実である。

ここに、土木学会が防災に関わる諸機関、諸団体の間に立って災害情報共有の課題を取り上げ、関係者と共に問題点を整理し、共有を実現する社会的・技術的課題を検討する意義は大変大きいと考えられる。本章では部会でまとめられた下記の点に関する提言を整理する。

防災情報の共有における具体的課題からの提言

防災情報を有効に共有するための組織・地域と防災意識からの提言

防災情報の用語・用法からの提言

防災情報の種類における提言

情報共有システム導入プロセスにおける提言

情報共有システム構築において活用すべき技術における提言

データおよびシステムの導入・維持更新における提言

停電・通信不通期間への考慮からの提言

情報共有システムの運用からの提言

この提言は減災対策の重要な位置付けとなっている災害情報の共有を整備していくためのチェックリストとしても利用していただきたい。

4.2 減災対策を進めるための情報共有促進のための提言

4.2.1 防災情報の共有における具体的課題からの提言

a. 共有すべき防災情報の定義の課題

防災情報の共有と一口にいっても、そもそも防災情報に含まれる情報の範囲は機関、個人によって多かれ少なかれ異なる。さらに防災情報に属する情報であっても災害時には直ちに上部に伝える事が重要な情報、上部の判断を仰がずとも速やかに対処しなければならない情報、速やかに伝わらなくても対応をしなくても影響のない情報がある等、必ずしも等質ではない。このような区別もなく防災情報を伝達しても、情報量が多すぎて重要な情報を見分けられなくなったり、肝心の情報は欠落していたり、災害対応の混乱を招く原因

にもなり得る。

仮に防災情報システム構築時に関連する様々な機関等から必要な防災情報をアンケートし、その全てを無差別にシステムで扱ったとする。そうするとデータが膨大となり、実質入力できなくなってしまうし、単純な集約結果が必要な情報を網羅しているとも限らない。さらに事象であっても機関間で用語が異なっていれば、あるいは同じ用語であってもその内容が送り手と、受け手で異なれば、現場に誤解・混乱を与える事になる。

b. 情報共有システム導入プロセスにおける課題

改めていうまでもなく、IT を駆使した情報共有システムを導入することは、災害対応時において防災情報の共有を実現するために有力な手段と考えられている。システムを導入しさえすれば防災情報の共有が実現できるというわけではない。具体的な事例の紹介は困難であるが、過去に整備されたシステムが災害時に十分あるいは全く使われなかった事例はかなり多い。システム導入プロセスとは、課題の発見からシステム化の企画、システム開発、業務への適用に至る一連のプロセスであり、さらに適用後の見直し、システム改修までも含む。

情報システムを導入する場合に、まず業務プロセスを分析し、どのように変革すれば業務の高度化や効率化を図ることができるのか検討したうえで、最適な情報システムを適用することはいうまでもない。しかし、現実には組織や人が障害となって、業務プロセスを根本的に見直すことは難しい。とりわけ災害情報を共有するためには、多様な関係機関に参加してもらい、それぞれの業務プロセスの分析を行うことが不可欠であるため、一層の困難が予想される。

c. 情報システムの技術的課題

GIS における技術的課題として、地図データのタイムリーで低価格な更新方式の開発が挙げられる。GIS 中のデータは常に現実世界と同期がとれている必要がある。しかし、現実にはこの同期が確保されていない。地図データの更新には多大なコストを要することから、多くの GIS ユーザにおいては地図の更新頻度が低く、このため GIS 中のデータと現実世界の乖離が進んでいる。

d. データおよびシステムの導入・維持更新の課題

防災情報共有に資するデータおよびシステムの導入・維持更新の課題は、地理情報システム等の具備すべき特性・機能、その主たる利用者である自治体における導入・運用のしやすさ等の観点の他に、自治体を中心とした災害対応の場に参画する機関の特性、共有するプロトコルとデータベースの構築方法の視点からも掲げられることができる。防災情報共有に資するデータおよびシステム導入・維持更新の課題として、以下のようなものが挙げられる。

汎用性と実効性を兼ね備えた防災情報共有プロトコルが必要である。

停電・通信不通の期間は、紙をベースとした情報共有が行われるが、回復後にこれらを効率よく入力し情報処理に取り込むことが求められる。

e. 実効的運用における人的課題

今もなお国や地方自治体に GIS を用いた情報システムが導入されても、全く使われなかったり、2、3年で使われなくなることがある。情報定義、導入プロセス、データの維持更新以外の原因として、主に操作する人員等に関わる人的課題がある。人的要因としては 2 種類が考えられる。一つはシステムを正常に機能させるために必要な人員の確保（量的要因）であり、もう一つは人員のシステム操作能力（質的要因）である。災害時は限られた人材で膨大な仕事に対応しており、システムの重要性が認知されていない、データ入力者にメリットがない等は必要な人材が確保されない要員であろう。またシステムを正常に作用させるため

にどれだけの人員が何をすればよいか、必ずしも整理されていないという課題もあると考えられる。

4.2.2 防災情報を有効に共有するための組織・地域と防災意識からの提言

a. 地域防災に望まれる防災情報

防災情報は、災害軽減のために使われるものであり、災害発生前の減災対策と、災害発生後の災害波及の極小化に用いられる。減災の基本は、一人が頑張るのではなく、あらゆる人が少しでも行動することにある。全ての住民が、災害軽減のための努力を始めるように啓発したり、その気になった住民に、適切な助言ができるようにすることが望まれる。この際に、様々な防災情報が役に立つ。ただし、いくら有用な防災情報を提供しても、住民の意識が高くなければ、活用はされない。

b. 人を意識した防災情報

防災情報を有効に活用するためには、利用する人に応じた情報提供が必要になる。防災情報を利用するのは、専門家から住民まで様々である。防災情報を専門家間で共有する場合、住民に直接提供する場合、専門家と住民とを媒介してくれる人たちに啓発に使える情報を提供する場合などで、情報の加工の仕方が異なる。使う人をイメージし、使われ方を考える力がなければ、どんなに素晴らしいコンテンツがあっても使われる情報にならない。

c. 情報システムの双方向性

地域防災力の向上は、住民の意識啓発から始まる。地域の防災に無関心な一般市民を啓発できる情報の発信が大事であり、備えに役立つ情報であるべきである。このためには、行政が作成した防災情報を閲覧できるだけでなく、地域で住民が集めた安心・危険情報を入力できるようにする必要がある。

d. 地域の基礎データの重要性

地域での防災意識を啓発するには、地域に根付いた情報が何より大事である。例えば、地域で日々実施されているボーリングデータなどを、誰もが利用できるようにデータベース化しておくことは重要である。

4.2.3 防災情報の用語・用法からの提言

まず、情報を表す用語（ことば）そのものとその状況に応じた用法（ことばづかい）について、人と人、人と情報システム、情報システムと情報システムとの間でそれぞれ合意され、一貫性を保たなければ、情報共有は成り立たない。

a. だれが読んでも聞いてもわかるまぎれのないことばとことばづかいとすること

情報共有以前の情報伝達における正確さの確保のため、文章で読んでも、ラジオ・ニュースや防災無線で聞いても、受け手が同じように理解できる用語・用法であることが必要である。

b. 情報をできるだけ正確に電子化して維持すること

情報をできるだけ正確に電子化すること、次に電子化された情報の正確さ（完全性）を維持することが必要である。

c. 同じ意味を表わすことばの体系を整備して相互に利用すること

情報システムの相互運用性を高めるために、データ辞書を作成して互いのデータ項目を対応付けることが行われてきたが、一対一の関係が多対多になってくるとデータ辞書を作成するだけで大変な労力を要するようになる。

4.2.4 防災情報の種類における提言

大地震などの災害時には、地震の規模に関する情報や被害に関する情報など、いろいろなルートから様々な情報が流れるが、それらの情報すべてを共有する必要はない。すべての情報をやみくもに収集して一元化して管理し公表したりして利用しようとしても、情報が整理されていないとその中から自分に必要な情報を探し出して活用するのはかなりの労力が必要になるし、信憑性に問題がある情報が含まれていることも多分にあるので混乱を招く可能性もある。

そこで、防災情報を収集して共有化するためには、共有すべき情報にはどのようなものがあるのかを明らかにする必要がある。

行政：正確な情報が発信されるが、正確性を確保するために発表までの時間がかかってしまう。

マスコミ：圧倒的に多くの人に情報が伝わり、映像、音声など多くの手段で情報伝達をすることができる。「絵になる」情報やセンセーショナルな情報が大きく取り扱われるため、被害の小さい地区は報道されにくいなど情報に偏りがある場合がある。

個人・NPO：生活に密着した、生きた情報を発信することができる一方、不正確な情報や噂などが流れる危険性がある。

4.2.5 情報共有システム導入プロセスにおける提言

情報共有システムの導入にあたっては、当然であるが、何のためのシステム導入なのか、その目的を明確化する必要がある。同時に、誰と誰が情報を共有するのか、その範囲を明確にすることが不可欠である。

a. 費用対効果の配慮

災害時を想定したシステムは、調達から廃棄までのライフサイクルにおいて、一度も本番稼働しない場合も少なくない。

b. 普段から役に立つシステム

平時には、都市の管理や、まちづくりの計画などの行政分野において役に立つシステムとして整備することにより、機器やネットワークを効率的に活用することができる。

c. 特殊な技術や機器に依存しないシステム

できるだけ標準化された技術を使うことが大切である。特殊な技術や機器に依存すると、更新の都度、新規設備投資が必要になるし、それらが淘汰された場合には、システムが維持できなくなってしまう。

d. 軽く動作するシステム

災害時は、平時のようなブロードバンドの環境を利用できるとは限らない。細いネットワークを使っても軽々と使用できるようにすることが不可欠である。

e. わかりやすい操作

誰でも、特に訓練を要せずに、直感的に使えるようなユーザインタフェースを用意し、運用に負荷をかけないようにすることが必要である。

f. 他の情報システムとの連携

GIS、住民情報システム、119番消防システム等とのデータ連携に配慮した設計とし、既存システムについては更新時に連携機能を実装できるようにしておくべきである。

g. 運用の継続性に配慮

災害時には、電源やネットワークなどが使用不能となるケースが想定されるため、複数の代替手段を用意しておく必要がある。

4.2.6 情報共有システム構築において活用すべき技術における提言

a. 災害情報共有システムの考え方

現在防災 GIS における情報提供のためには、シンクライアント構成の GIS が広く用いられており、情報の提供や不特定多数者の情報共有のためには、この構成が非常に有力であるといえる。しかし、地震などの災害が発生した直後の情報共有と、発生から 1 日程度の時間をおいた後の情報共有方式は分けて考える必要がある。

b. 地図データの更新

地理情報システムにおいては、地図データが現実世界の写し絵として存在していることがきわめて重要である。つまり、地図データが実世界の動きに合わせて、更新されていることが重要である。

c. 時間情報の管理

従来の GIS は、先に述べたように地理情報（空間情報）とその属性情報を扱うデータベース管理システムである。空間情報については最新の情報（理想的には現実世界とのずれが最小）になるように更新され管理される。この更新に伴い、過去のデータは捨てられるのが普通である。しかし、過去のデータは本当に必要がないのだろうか？

4.2.7 データおよびシステムの導入・維持更新における提言

防災情報共有に資するデータおよびシステムの導入・維持更新の課題について、自治体を中心とした災害対応の場に参画する機関の特性、その基盤データおよび情報システム整備状況のばらつきから、必要なプロトコルの特性、停電・通信不通期間への対応、基盤データの迅速な構築への対応が必要である。

a. 通信対話のシーケンス

モデル災害対応の場には、主力となる自治体、消防、警察、国等の機関、被災地外の支援自治体、災害対応機関等がある。各機関は、その目的・分掌に基づき、主体的に必要な情報を集め協定先と交換するが、災害の場全体の情報を把握し管理している機関は存在しない。

b. 電文の構造

プロトコルは、機種・OS (Operating System) 依存を避け、通信電文の解釈が一意に行われる必要があるため、文字をベースにして組み立てられている。したがって、各ビットに意味を持たせた記述方法（バイナリ表現）よりも冗長になるため、効率が低下しがちである。防災情報の共有においては、通信の迅速性・応答性が重要であるため、メールのようにファイルを添付できるようにするなどの工夫が必要である。

4.2.8 停電・通信不通期間への考慮からの提言

a. FAX による情報共有の重要性

現在、県レベル、国レベルにおける下位機関・出先機関との防災情報共有には、FAX が非常に多く用いられている。FAX には、情報処理に適さない、重要な情報が埋もれる等の欠点もあるが、文書で情報が残せる（根拠資料となる）、掲示閲覧が容易である、十分に普及しており使いやすいという重要な利点も多い。情報共有システムを構築しても、いきなり移行できるか、報告が遅れないかという不安は付きまとうため、バックアップとしても、FAX の欠点を補い、利点を生かす工夫も重要である。

b. アナログ文書の情報処理

自治体等における被災状況調査結果の整理、罹災証明の発行作業、停電・通信不通期間への対応には、紙ベースの文書（アナログ文書）が多く用いられ、うまく情報処理につなげられる工夫が必要である。

4.2.9 情報共有システムの運用からの提言

地方自治体に GIS が導入されても、2、3 年で使用されなくなるか、当初期待した効果が出ない GIS は相変わらず増え続けていると見受けられる。従来は、研究者は研究に使っているシステムを自治体応用に拡張し、関連企業は作りやすいシステムと、それに伴うデータベースの構築を前提に、システム展開をしてきたと見ることができる。一方、自治体側は、行政の専門家であっても、情報処理システムの専門家ではないために、実態がわからないままシステム導入に走ってきた経緯が少なからずある。結局は、「できるシステムを実現する」ことにとらわれて、「要求されるシステムを実現する」視点が欠けていたことが、自治体 GIS の開発でも落とし穴に落ち込む原因となっていたと思われる。自治体 GIS の導入に際しては、「自治体の文化」を把握することが不可欠である。

a. 公開型データ形式の採用

自治体内で効率のよいデータ交換をするためには、交換形式でなく実行形式で行うとデータ変換を回避できるため効率的である。

b. 時空間管理システム

随時更新を必要とする業務を実現するためには、時間軸を持つ情報管理が求められる。

c. 共通基盤情報の構築

各部署の情報を統合するための基盤情報として、地域の空間情報が必要になる。

d. 部署間の情報共有

各部署で情報を独立して管理し、必要に応じて共有できるようにする必要がある。

e. インターネット公開情報の管理

自治体で管理している情報の中で、住民が有効に使える情報は従来から案内地図や都市計画図などの公開地図として提供されてきた。電子データとしては、インターネットや CD-ROM などの媒介を通して提供されることは好ましいことである。

f. 平常時と緊急時の連続性確保

情報を時空間位置管理する GIS を用いることで、特別なプログラムを用いなくても通常操作で情報の統合ができる。

4.3 まとめ

本部会では、上記の提言をまとめる他、下記の点に関する調査・研究を行っている。詳細は部会報告書に記述されている。

防災情報供給の現状と課題

実践的取り組みの事例 - 行政の事例 -

実践的取り組みの事例 - 自治体の事例 -

実践的取り組みの事例 - ライフライン企業としての事例 -

実践的取り組みの事例 その他

第5章 地震防災性向上に関する提言の検討

5.1 はじめに

本章では、今後地震防災にかかわる土木学会や日本建築学会（以下では建築学会）などの諸学会が、大都市圏の地震防災性を真に向上させる提言、言い換えれば、従来よりも効果が高く、説得力の高い提言を実施するために解決すべき課題を整理しまとめる。

5.2 検討の内容

本章を担当した「大都市圏の地震防災性向上の方策検討部会」では、土木学会や建築学会などの諸学会が、今後、地震防災にかかわる提言を行う場合に、これが大都市圏の地震防災力の向上に真に貢献する提言となるための課題を整理した。具体的には、時間・空間的に推移する地震被害や地震防災対策の全体像を示すマップ上に、これまで土木学会や建築学会が行ってきた提言の対象範囲(課題)を分野別にプロットし、地震被害の全体像に対して両学会の提言の位置づけと対象としていた課題の範疇(分野)を明らかにした。

次に、両学会の提言が社会的に及ぼした影響や提言を取り巻く環境の変化を、兵庫県南部地震以前から現在に至る「両学会の研究発表」、「科学技術研究補助金」、「国の防災関連予算」、「関連新聞記事」等の数値的な変化から数量的に評価することを試みた。「両学会の研究発表」の調査では、両学会の主要な研究発表や論文の研究分野の推移を分析し、これと先の提言の分野とを比較分析した。この検討は、社会的課題の解決に向けた研究活動が学会の重要な活動であり、しかも社会に提言を発信した学会自身が、その提言に対してどのような姿勢で研究に取り組んできたかを評価する目的で行った。「科学技術研究補助金」、「国の防災関連予算」、「関連新聞記事」の推移調査は、両学会の提言が社会的に与えた影響を評価するために実施したものである。さらに研究活動以外の活動で学会自身が提言を踏まえて行った活動を調査するために、両学会が兵庫県南部地震以降に行った施策と提言の関係も調査した。

次に、「提言のあるべき姿」を検討するために、提言の個々の文章の「表現」や「構造」を分析した。この調査からは、従来の提言書の記載では、誰を対象に、具体的に、何をどうして欲しいのかがはっきりしないものが多いことが明らかになった。また提言を社会に発信するまでの手続き(体制)についても、関連する学会を対象に調査した。

最後に以上のような検討結果を踏まえて、「今後のあるべき提言の姿や提言を取り巻く環境」をまとめた。

5.3 提言の位置付けと対象範囲の分析

5.3.1 地震防災分野の課題俯瞰マップ

土木学会と建築学会により行われた提言の位置づけと、それぞれの提言が対象としている課題の範囲を、時間・空間的に推移する地震被害や地震防災対策の全体像を示すマップを用いて分析した。このマップは兵庫県南部地震の後に地震防災の専門家56名によるKJ法によってまとめられた課題マップ(兵庫県南部地震をふまえた大都市災害に対する総合防災対策の課題、研究代表者：亀田弘行，1995)を基に、復旧・復興期の課題の追加と、KJ法で集約される前の生のカードの内容を踏まえ、できるだけ表層のカードの表現やレベルが合うように配慮して作成したものである(図5.3.1)。

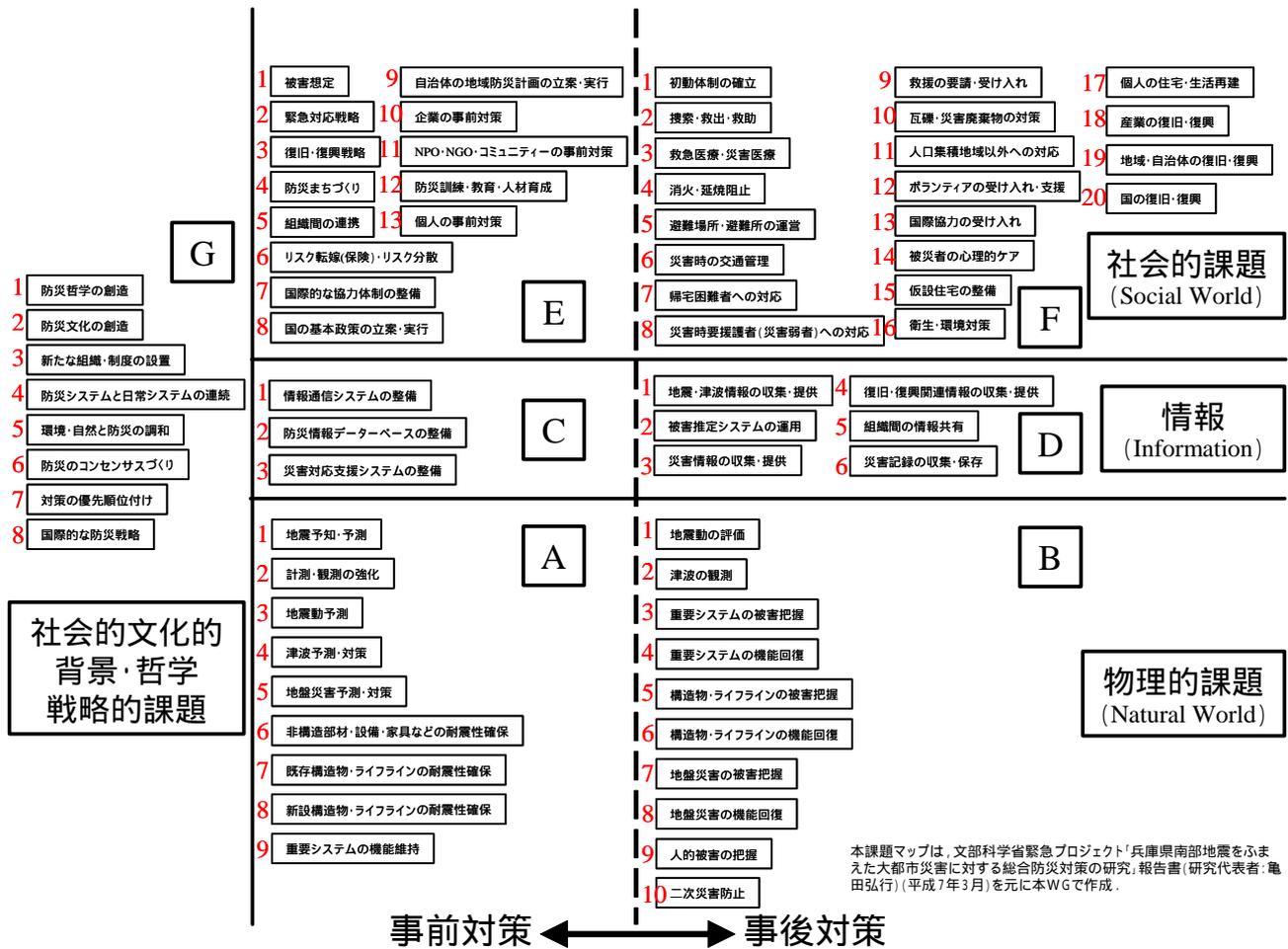


図 5.3.1 大都市大震災課題俯瞰マップ

5.3.2 提言の位置付けと対象範囲の分析

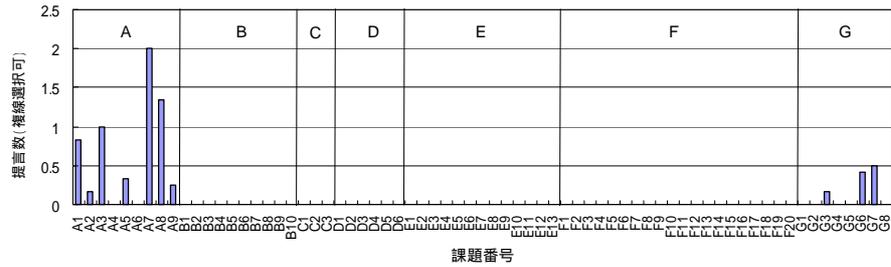
図 5.3.1 のマップを用いて、土木学会と建築学会の提言について、その位置づけと対象分野(範囲)を分析した。以下に両学会のそれぞれの提言に関する分析結果を紹介する。

a. 土木学会による提言の分析

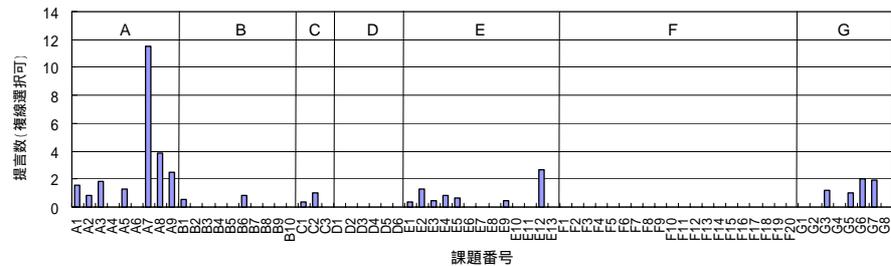
土木学会の土木構造物の耐震設計法等に関する第一次提言(1995.5.23)・第二次提言(1996.1.10)・第三次提言(2000.6)について、その記載内容に関する分析を行った。分析の結果、各提言の内容に関して、下記のような傾向が把握できた(図 5.3.2)。

i) 第一次提言

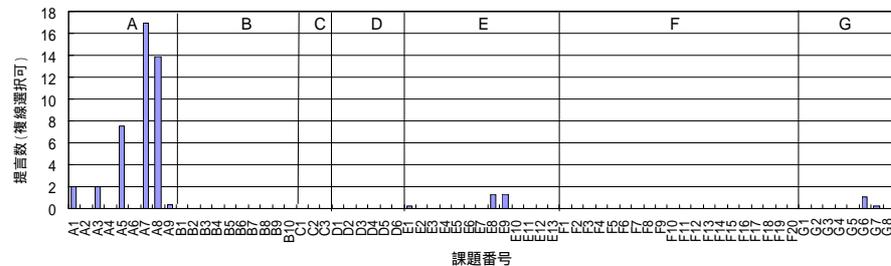
まず「兵庫県南部地震による地震動に関する基本的見解」と「土木構造物の被災状況から見た現行耐震基準等に関する見解」を述べた後、第3章以降に、構造物の重要度に応じて保有すべき耐震性能を設定すべきという提言、耐震基準の修正に関する提言、研究・開発の方針に関する提言が続く。最も多く言及されているのは「A7:既存構造物・ライフラインの耐震性確保」に関する事項であり、続いて「A8:新設構造物・ライフラインの耐震性確保」、「A3:地震動予測」、「A1:地震予知・予測」等の順に記載が多い。その他、「G6:防災のコンセンサスづくり」の必要性を指摘する記述や、「A7:既存構造物・ライフラインの耐震性能確保」に関して「G7:対策の優先順位付け」の重要性も指摘する記述も見られる。「G3:新たな組織・制度の設置」に関して、「実物大構造物の耐震性の確認実験が可能な大型振動台および大型加力装置の建設」が提案されている。



(a) 第一次提言(1995年5月)



(b) 第二次提言(1996年1月)



(c) 第三次提言(2000年6月)

図 5.3.2 大都市大震災課題俯瞰マップを用いた土木学会提言の分野分析

ii) 第二次提言

第二次提言は、より広い観点からの地震防災性向上の基本方針を新たに加えるとともに、第一次提言で示した土木構造物耐震性能の強化のための諸方策をより詳細に示している。第二次提言の第1～第3章は第一次提言の内容を具体的に記述したものになっている。加えて第4章は、第一次提言では触れられていなかった地域の防災性向上策に関する提言が加えられている。最も多く言及されているのは「A7:既存構造物・ライフラインの耐震性確保」に関する事項である。続いて記載が多いのは順に、「A8:新設構造物・ライフラインの耐震性確保」、「E12:防災訓練・教育・人材育成」、「A9:重要システムの機能維持」、「G6:防災のコンセンサスづくり」、「G7:対策の優先順位付け」、「A3:地震動予測」となっている。第4章では、地域の「地震災害アセスメント制度」、「既存構造物補強費用と災害復興費用の負担ルール」、「既存施設の補強費用に関する各種主体の負担ルール」を確立するべきであるとの提案がなされている。

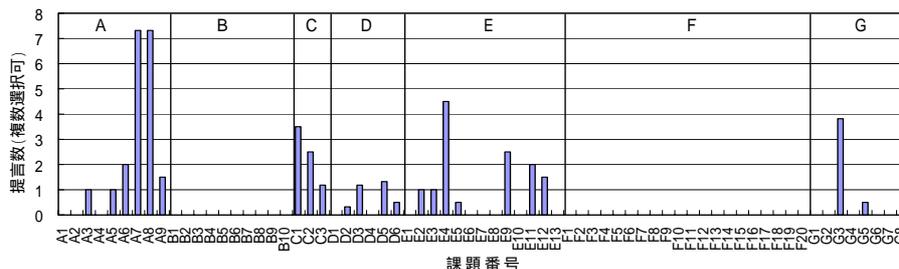
iii) 第三次提言の分析結果

第三次提言は、第二次提言の内容に1996～2000年に得られた新しい知見を補足する位置付けになっている。提言自体は全て第2章に記述されており、第1節は耐震性能に対する社会的合意形成の必要性、第2節はレベル地震動の定義、第3～6節は地盤の液状化と側方流動・鋼構造物・コンクリート構造物・土に関わる構造物の耐震設計の方針、第7節は耐震診断および耐震補強、第8節は研究の促進と新技術の開発に関する記述である。本提言の後には解説編が付けられており、提言の理解を助けている。最も多く言及されているのは「A7:既存構造物・ライフラインの耐震性確保」に関する事項であり、続いて「A8:新設構造物・ライフラインの耐震性確保」、「A5:地盤災害予測・対策」、「A3:地震動予測」、「A1:地震予知・

予測」等の順に記載が多い。第三次提言は第二次提言でも取り上げられている課題が多い。しかも特定の領域の課題に集中し、これら以外の分野の課題は第二次提言に比べても少ない。前述の通り、第三次提言は第二次提言の内容に 1996 - 2000 年に得られた新しい知見を補足するという立場で執筆されているものの、第二次提言に記述されたものの第三次提言に記述のない分野に関しては 5 年間での新しい知見が判読できない点が難点である。

b. 建築学会による提言の分析

建築学会は、建築および都市の防災性向上に関して、第一次(1995.7.19)・第二次(1997.1.16)・第三次(1998.1.16)提言までの 3 回にわたり提言を行っている。この 3 回の提言を課題マップを用いて分析した結果は以下の通りである(図 5.3.3)。



iii) 第三次提言の分析結果

第三次提言は、3年間にわたる兵庫県南部地震特別研究委員会の調査・研究を終結するに際し、最終提言を取りまとめたものである。課題マップにより分析した結果、提言は幅広い課題を含んでいるが、B(事後対策・物理的課題)が比較的少ないことが明らかとなった。

5.4 提言のあるべき姿の検討

5.4.1 表現のあり方

土木学会と建築学会のそれぞれの提言について、表 5.4.1 にその一例を示すように、文章の構造や構成、表現法などを分析した。以下に学会ごとの分析結果を紹介する。

a. 土木学会による提言の分析

土木学会の第一次提言・第二次提言・第三次提言について、その表現方法の分析を行った。各提言の内容に関しては下記の問題点が把握できた。

i) 第一次提言

- ・1～3章と4章ではポイントシステムが統一されていない。
- ・提言部分のほぼ全てで主語が欠けており、とりわけ、耐震設計に限度があることが「正しく社会一般に理解されるような努力が必要である」(3章)、「以下の研究・開発を促進する必要がある」(4章)という記載箇所は、主語がないため具体的に誰がどのようにして、このような改善を図ればよいのか非常にわかりにくいし、責任主体も不明であるために、具体的な実施に向けて問題がある。
- ・語尾が「～が必要である/～が必要と考えられる」となっているケースが多い。この表現は冗長かつあいまいなので、「～がすべきである」形式が望ましい。
- ・「検討」や「考慮」を提言として盛り込む場合には、検討や考慮の方法を具体的に示唆する必要があるが、第一次提言においてはこれらの方法論の記載が不十分である。また数多く用いられている「検討が必要と考えられる」「努力が必要である」という記述もあいまいな表現であるので、このような表現は避けるか上で述べたように「～がすべきである」形式に改めるべきである。

ii) 第二次提言

- ・各章の節はおおむね、基本方針の説明・補足説明・留意事項と研究・開発課題の順に記述されており、パラグラフ構成には連続性が見られる。
- ・各パラグラフ内では、兵庫県南部地震により露呈した問題点・その後の現状分析・それに基づく提言が織り交ぜて記述されているため、どの文章が提言であるのかがわかりにくい。また、一つの項や文章に複数の提言が盛り込まれており、提言の明快さに欠ける。一つの項や文章で述べる提言は一つを基本とすべきである。また提言の背景となる解説が必要な場合は、現状分析とそれに基づく提言は分けて記述した方がよい。
- ・ほぼ全ての文章の主語がないため、提言を実行すべき主体がわかりにくい。また主語がないことに加え、耐震設計を行う技術者が配慮すべき課題と研究者が遂行すべき課題が混在しているため、さらに実施主体がわかりにくい。主語を記述するか、提言の実施主体ごとに分けて提言を記述するなどの改善が望まれる。
- ・第4章では、第一次提言には記載のなかった地震防災性向上策を扱っており、「既存構造物補強費用と災害復興費用の負担ルール」等の確立を提案している。しかし、これも主語が明記されていないため、

これらの制度を具体的に誰が立案・運用すべきなのかわかりにくい。

iii) 第三次提言

- ・提言はおおむね一つの項の中に、一ないし数個の文章で記載されており、第二次提言と比較して読みやすい構成となっている。
- ・第二次提言では、提言部分と提言に至る解説部分が混在して、どこが提言なのかがわかりにくかったが、第三次提言では最後に解説編を付けることで、提言部分の理解が容易な構成になっている。第二次提言の難解さを改善した点は評価できる。
- ・第一次提言および第二次提言と同様、ほぼ全てに主語がない。主体をはっきりさせるために、主語を明記すべきである。しかし本提言では、耐震設計・診断・補強時を行う技術者が留意すべき事項と研究者が遂行すべき事項が別の節として扱われているため、第二次提言との比較では、提言を遂行すべき主体は類推しやすい。
- ・第3～6節では、17項にわたる記載内容のうち、13項の末尾が「～が必要である」となっている。これらは具体的には「対策を講じる必要がある、評価する必要がある、留意する必要がある、確立する必要がある、検討することが必要である」等であるが、冗長でかつ実施主体がわかりにくいので、「～が すべきである」形式の表現にすべきである。

b. 建築学会による提言の分析

建築学会の第二次提言、第三次提言について、表現の分析を行った。まず第二次提言は、復旧・復興中の被災地に向けて発信されたものであり、自治体が行動の主体であることが類推されるためか、提言の多くで主語が省略されている。第三次提言は大項目4、中項目20に分類されているが、この内訳は第一次提言ならびに第二次提言に示した項目をさらに具体化したものと、新しく追加した項目を合わせた74の提言になっている。提言の理解を促すため、まえがきの中に、提言の対象、対象地震と対象被災地、地震対策の対象物、時系列、実現へ向けての時間が明記されている。また提言の概要についても記載があり、読み手への配慮がなされている。しかし細かい体裁については、以下の点で改善の余地がある。

- ・A～Dの4つの大項目ごとにまとめているため、類似した提言が重複して後から出てくる場合がある。
- ・中項目ごとにまとめられているが、後述される解説を読まなければ提言の内容が分からないものが多い。
- ・提言の後の説明の番号が提言番号と異なるため、どの提言に対する説明なのかわかりにくい。
- ・提言の後の説明に体言止めの見出しがあるが意味がわかりにくい（見出しの内容が提言と重複しているので、各提言の直後に見出しを付けずに解説文を置くほうがよい）。

また第三次提言について、文章の主語・目的語・動詞を分析した結果、第二次提言と同様、多くの場合で主語が省略されていた。文章表現に関しては、以下のような問題点が指摘できる。

- ・提言の対象は「本提言の対象」で述べられてはいるが、提言の文章で主語が省略されているため、読み手に実際の行動を促す力に欠ける。
- ・解説では震災の事例を補足すべきである（理解の促進のために、提言の根拠を明示すると理解しやすい）。
- ・語尾表現は必ずしも統一する必要はないが、無秩序では散漫な印象を与える可能性がある。
- ・文章の構成が複雑で、容易に意味が理解できないものがある。
- ・「プログラム」、「制度」、「システム」などは、具体的な提案内容がわかりにくい。提言に続く説明の中ではなく、提言中に分かりやすく補足すべきである。
- ・「体系的」、「系統的」、「総合的」、「包括的」という言葉がしばしば現れるが、具体的な記述が必要である。
- ・「～を推進すべき」、「～を支援すべき」といった表現はやや回りくどく、具体性にかける。「～を推進す

べき」は、簡潔に「～すべき」と直すことができ、「～を支援すべき」は「～を助成する」など、具体性を持った表現に置き換えられる。

表 5.4.1 提言の表現分析の一例(建築学会の第三次提言を対象として)

| 提言 No. | 整理用ID | 提言の見出し | S1 | O1 | V1 | S2 | O2 | V2 | S3 | O3 | V3 |
|--------|-------|------------------------------------|-------------|----------------------------|--------------|---------|------------------------|----------------|-----------|-------------|----------|
| | 3100 | 建物の耐震安全性の向上 | | | | | | | | | |
| | 3110 | 耐震安全レベルを選定するルールの確 | | | | | | | | | |
| 1 | 3111 | 建築主と設計者との共通の認識に基づいた耐震安全レベルの選定 | 社会 | 耐震安全を選定するルール | 確立する | 建築主と設計者 | 耐震安全レベルの共通の認識 | 持つ | | | |
| 2 | 3112 | 公共性の視点に基づく耐震安全レベル性能表示型耐震設計法の導入と普及 | 建築主 | 公共性 | 配慮する | 建築主 | 耐震安全 | 選定する | | | |
| 3 | 3121 | 総合的な耐震性能を明らかにした設計法の導入と普及 | 設計者 | 新しい設計法 | 導入・普及する | 設計者 | 総合的な耐震性能 | 明らかにする | | | |
| 4 | 3122 | 安全のレベルをわかりやすく示した耐震メニューの提案 | 建築学会 | 耐震メニュー | 創設・提案する | 設計者 | 安全のレベル | 分かりやすく示す | 建築主 | 適切な安全レベル | 選定する |
| | 3130 | 耐震設計における地震動の設定 | | | | | | | | | |
| 5 | 3131 | 震源特性・地震発生率および地盤等を考慮した地震動の設定 | 設計者 | 震源の特性など | 設計用地震動に取り入れる | | | | | | |
| 6 | 3132 | 地震活動度を明示するための客観的指標 | 研究者 | 客観的指標 | 設定する | 研究者 | 地震活動度 | 明示する | | | |
| 7 | 3133 | 強震観測の充実とデータ公開の推進 | 政府 | 強震観測体制 | 強化する | 政府 | データ | 充実・公開する | | | |
| 8 | 3140 | 総合的な耐震性能を確保するための方 | | | | | | | | | |
| 8 | 3141 | 地盤・基礎・構造物系を連成系とした耐震性能の評価 | 設計者 | 地盤・基礎・構造物 | 一体とする | 設計者 | 耐震性能 | 評価・設計する | | | |
| 9 | 3142 | 二次部材および家具等の耐震性能の評価 | 設計者 | 二次部材および家具等の耐震性能 | 評価・設計する | | | | | | |
| 10 | 3143 | 設備機器の耐震性能の評価 | 設計者 | 設備機器の耐震性能 | 評価・設計する | | | | | | |
| | 3150 | 耐震安全性を確保する社会システムの | | | | | | | | | |
| 11 | 3151 | 設計の審査および工事監理・施工管理・品質管理の徹底 | 政府・自治体 | 関係者間(発注者、設計者、施工者等)の役割分担と責任 | 明確化する | 政府・自治体 | 設計の審査および工事管理・施工管理・品質管理 | 徹底する | | | |
| 12 | 3152 | 耐震安全性が社会的に評価されるシステムの形成 | 政府 | 耐震性能の表示制度 | 創設する | 政府 | 耐震安全性が社会的に評価されるシステム | 形成する | | | |
| 13 | 3153 | 高耐震性建築ストック形成の誘導策の推進 | 政府 | 高耐震性建築ストック | 誘導する | 社会 | 高耐震性建築ストック | 形成する | | | |
| | 3160 | 既存不適格建物の耐震性改善の方策 | | | | | | | | | |
| 14 | 3161 | 耐震改修を優先すべき建物の特定と改修の推進 | 政府 | 優先する建物とその改修水準 | 特定する | 政府 | 公共的支援 | 推進する | 政府 | 耐震改修 | 促進する |
| 15 | 3162 | 耐震安全性の把握と公開の法による義務づけ | 政府・自治体 | 耐震安全性の現状把握と情報公開 | 義務付ける | 建築主 | 耐震安全性 | 把握・公開する | | | |
| 16 | 3163 | 既存建築物の改善を推進する社会機構の整備 | 研究者・民間企業・行政 | 社会機構 | 整備する | 建築主 | 既存建築物 | 改善する | | | |
| 17 | 3164 | 耐震改修促進法の多様な運用による実質的改善の推進とそのための行政体制 | 自治体 | 耐震改修促進法 | (柔軟に)運用する | 自治体 | 行政体制 | 整備する | 自治体 | 既存建築物の耐震安全性 | 実質的に改善する |
| | 3170 | 歴史的・文化的建物などの保存と再生 | | | | | | | | | |
| 18 | 3171 | 歴史的・文化的建物の被災時に対応する専門家ネットワークの確立 | 自治体・専門家 | 歴史的・文化的建物の被災状況 | 調査する | 自治体・専門家 | 緊急対応型専門家ネットワーク | 確立する | 専門家ネットワーク | 応急対策 | 提示する |
| 19 | 3172 | 歴史的建物全国リストの作成 | 建築学会・自治体 | 地域別歴史的建物全国リスト | 作成する | 自治体 | 被災時の調査台帳 | 活用する | | | |
| 20 | 3173 | 被災した歴史的建物に対する緊急対応技術の開発・普及 | 行政・専門家 | 応急危険度判定マニュアルと緊急対応技術 | 開発・普及する | 行政・専門家 | 被災した歴史的建物 | 応急危険度判定・緊急対応する | | | |
| 21 | 3174 | 歴史的建物の特性に応じた構造補強法の開発と普及・公開 | 行政・専門家 | 構造補強法 | 開発・公開する | 行政・専門家 | 歴史的建物 | 特性に応じ補強する | | | |
| 22 | 3175 | 歴史的建物の創造的保存のための建築医の育成と地域文化財への支援 | 行政・専門家 | 歴史的建物の創造的保存のための建築医 | 育成する | 政府・自治体 | 地域文化財の保存 | 積極的に支援する | | | |

下線は、提言に主語 Sn・目的語 On・動詞 Vn 等が明記されていないため、類推したものを表す。

5.4.2 提言までの体制の比較

土木学会や建築学会をはじめとする学会が、社会に向けて提言を行うためにどういった仕組みや取り決めがなされているのか、提言までの手続きや体制について整理した。具体的には、土木学会と建築学会、さらに地震学会、日本機械学会、日本原子力学会、計測自動制御学会の6学会を対象に、提言を行うに際しての規程や体制について調査した。その結果、日本地震学会と計測自動制御学会を除く全ての学会で提言に関する規程が存在した。ただし、その内容や範囲については、建築学会(対外的意見表明にあたっての申し合わせ)と日本機械学会(日本機械学会提言の取扱い内規)では意見表明のレベルに応じて必要な承認手続きが明記されている。土木学会では、土木学会運営規定第9条に「行政官庁等に対する建議等において理事会の承認が必要」との記述が存在するに留まっており、学会長、支部長、委員長名で実施されている提言内容について、具体的な承認規程は存在していない。また、全ての学会に共通して、学会による提言をフォローア

アップする仕組みや活動等についての規程は存在していない。提言内容により実効性を持たせるための努力として、今後は提言をフォローアップするための仕組みや体制の構築が必要である。

5.4.3 提言のあるべき姿

5.4.1 と 5.4.2 を踏まえて、今後、土木学会や建築学会などの諸学会が、社会に効果的に貢献できる提言を行うためにポイントを「提言の文体・表現」、「提言の体裁・様式」、「体制」、「その他」に分けて検討した。

a. 提言の文体・表現

i) 具体的かつ簡潔で、方法論がわかる表現

文章の構成は単純にし、簡明直截に記述する。

提言はできるだけ 1 文ないしなるべく少数の文章で構成する。

一文で表す提言はひとつを原則とする。(ひとつの文章にいくつもの提言を盛り込まない)

提言は箇条書きとし、現状の問題点や提言に至るまでのプロセスは付録として付記する。

語尾表現はなるべく統一する。

「体系的」、「系統的」、「総合的」、「包括的」や、「検討」、「考慮」など表現は具体性に欠けるので使用する場合には具体的なアクションがわかる記述とする。

提言遂行の方法論がわかるように、具体的な主体やプロセスを明記する。必要であれば、付録を用意し、具体例も付記する。

見出しの「プログラム」、「制度」、「システム」などの表現は具体的な提案内容を分かりにくくさせる。見出しは内容が簡潔に分かるように具体的に記載する。

ii) 提言内容の実施主体や責任主体の明確化

提言文には必ず主語を明記する。

異なる主体向けの提言を同一の節や項に記載しない。

主語の明記に加え、主体ごとに提言を分けて記述する。

b. 提言の体裁・様式

提言の体裁や様式(ポイントシステム)は統一する。

各章におけるパラグラフ構成には連続性を持たせる。

シリーズで提言を行う場合も上記の点は同様の扱いとする。

c. 言いつばなしの提言にならないための体制や仕組みづくり

言いつばなしの提言にならないための体制や仕組みを作ることが重要である。これを達成するためには、下記のような具体的な対策を考える。

i) 「時間軸と達成量が記載された具体的な目標」の提示

提言の責任主体や実施主体を明記するとともに、タイムテーブル付の達成量を記載した具体的な目標を提示する。

ii) 適切な提言を適切な時期に発表できる体制の形成

学会として、適切な時期に適切な内容の提言を発表できるようにするために、提言の内容やレベルに応じた提言作成と承認規程(発議者、発信者、責任所在、手続きなど含めて)を明確にしておく。

iii) 提言の内容をフォローアップする体制や仕組みの形成

提言の内容や課題を対象とした研究プロジェクトや委員会を設立し、継続審議できる体制をつくる。年次講演会をはじめとする研究発表会の機会に、提言に関する課題の特別セッションを組む。

各種の研究申請課題に、提言の内容や課題を対象としたテーマを設定する努力をする。

提言を具体化する具体的な予算を措置する。

d. その他

i) 一次、二次など、時期をずらして複数の提言を行う場合

各提言の位置づけを明確に説明するとともに、前回から今回の提言にいたる間における提言を取り巻く環境の変化、改善状況や進展状況のわかる解説を入れる。

後発の提言において、対象を前回の提言の対象エリアから絞り込む場合には、記載のないエリアの取り扱いが読者には理解できないので、その説明をわかりやすく行う。

ii) マスメディア（学会活動を広く国民に伝える一つの有力な手段）対策として

学会の本気度や実効性に注目するので、予算措置や体制に関する情報も同時に流す。

自分たちのこれまでの対応や考え方に誤りがあった場合には、それを素直に謝罪しかつ正確に説明する。

マスメディアは一般市民がわかりやすく、魅力的なものを取り上げるので、このニーズにあったものを用意する。

単に記者会見を開いたり、国会議員に提言を送付するだけでなく、親しいメディア関係者や議員らには個別に売り込んだり説明したりする。

記者会見という公式の場に加え、記者には提言をつくるにあたっての裏話などを別途説明し、取り上げてもらう努力をする。

テレビ（とくに民放では）で取り上げてもらうには映像が重要なポイントなので、あらかじめ適切な映像を用意し、提言の公表に合わせて、「このような映像も提供できるので是非取り上げてほしい」と伝える。

5.5 結論

本部会では、今後、土木学会や建築学会などの諸学会が、地震防災にかかわる提言を行う場合に、これが大都市圏の地震防災力の向上に効果的に貢献する提言となるための課題の整理と「提言のあるべき姿」をまとめた。

課題の整理に関しては、時間・空間的に推移する地震被害や地震防災対策の全体像を示すマップ上に、兵庫県南部地震以降に土木学会や建築学会が行ってきた提言の対象範囲を分野別にプロットし、地震被害や対策の全体像に対して両学会の提言の位置づけと対象としていた課題の範疇(分野)を明らかにした。次に、両学会の提言が社会的に及ぼした影響や提言を取り巻く環境の変化を、兵庫県南部地震以前から現在に至る「両学会の研究発表」、「科学技術研究補助金」、「国の防災関連予算」、「関連新聞記事」等の数値的な変化から数量的に評価した。

「提言のあるべき姿」の検討では、提言文章の「表現」や「構造」の分析、関連する学会の提言を社会に発信するまでの手続き(体制)の調査を行った。

そして最終的に、今後、土木学会や建築学会などの諸学会が、「大都市圏の地震防災力の向上」を含めて、社会に効果的に貢献できる提言を行うためにポイントを「提言の文体・表現」、「体制」、「その他」に分けてまとめた。

第6章 地震防災教育を通じた人材育成部会

6.1 はじめに

防災教育は、今日まで様々な機関で、様々な年齢層を対象にして行われてきた。しかし、0歳児から6歳児までの幼児を対象とした教育実績は少なく、またこの年齢層を対象とした教育が、延いては保護者への啓蒙につながると思われることなどから、本部会では防災教育の対象を幼児に絞り、また、幼稚園・保育園の施設の耐震化の必要性と現場における正確な災害像の認知を推進すべく幼児期の防災教育のあり方を検討した。

本部会では、検討の内容をモデル園で実施するとともに、その成果も踏まえて幼稚園・保育園で利用できるハンドブックとしてまとめること、そして一般社会へ向けた土木学会からの提言としてまとめることを目的として活動を行った。

特にハンドブックに関しては、防災教育チャレンジプラン実行委員会と(株)学習研究社学研教育総合研究所の支援を受け、その成果を『一から始める地震に強い園づくり - 幼稚園・保育園のための災害対策・防災教育ハンドブック -』として出版し、無償配布した。また、部会活動の一環として、インド洋大津波により甚大な人的・物的被害を被ったバンダアチェに部会メンバーを派遣し、防災教育支援活動も行っている。

この活動にあわせて、本部会では地震防災教育を通じた人材育成に関していくつかの提言をまとめた。本章ではこの提言を整理し、また、将来展望を述べる。部会の活動内容や成果の詳細は部会報告としてまとめている。

6.2 部会からの提言

6.2.1 提言の背景

土木学会は、これまで国内外で発生した各種災害に対し、災害調査や研究を通じて、そこから得られた数多くの教訓、知見、技術を論文、報告書の形で社会へ還元してきた。これらもたらされた多くの成果は主に防災・減災のための技術がその多く占め、防災分野の技術開発・発展に寄与している。しかしながら、その一方で防災・減災に関わる教育や人材育成、とりわけ、幼児や年少者に向けた教育と教材の提供という形での還元があまりなされていないという現状がある。このことから、土木学会は、防災分野におけるハードウェア整備やそれに付随するソフトウェア技術への貢献のみならず、地域防災力の向上のため、先に述べた災害・防災の教育、人材育成にも積極的な関わりを持つことが必要であるといえる。

以上のことから、土木学会が地域の防災力向上のために防災教育に関わっていくためには、図6.2.1に示すように、すでに得られている成果を防災教育教材作成へ反映させるための具体的なプログラム開発とそれを展開するための戦略を持つことが必要である。プログラム開発に際しては、本部会が対象としている幼稚園や保育園は災害時要援護者を多数抱えた施設であることから、まずそのハード的な防災力(耐震化・補強など)を持たせることと、次いでソフト的な防災力(災害対応力、備えなど)を持たせること、そして、先のプログラムがこれらを着実に実行へ移せるよう意識づけ、動機づけを促すことが重要となる。さらに、幼稚園・保育園が、これら防災教育の効果を職員、幼児のみならず、保護者等を媒体として地域に向けて発信し、地域コミュニティと連携できる基地・拠点となることが必要である。

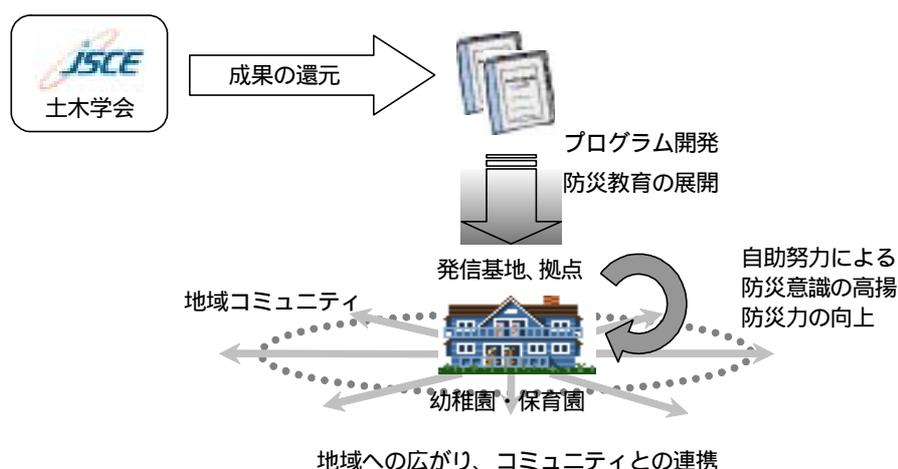


図 6.2.1 土木学会と防災教育の関わり

そこで、本部会では以上の考え方をもとに、以下に掲げる4つの基本理念とそれらに付則する細目として整備、検討した。まず、1点目は土木学会がこれまで蓄積した学術成果を積極的に還元するなど社会に果たす役割の重要性について、2点目は、防災教育を行う上でその展開方法とそのため教材作成のための教材プログラムの設計・開発について、3点目は、幼稚園・保育園は地域と密着していることから、そこを地域の拠点、基地として防災教育、防災意識を発信することの重要性について、最後に4点目として、災害時に幼稚園・保育園は要援護者の集団となりうる場所であり、自助努力によって災害を抑止することの必要性和、また逆に地域の防災拠点ともなりうる幼稚園・保育園がとるべき考え方について述べている。

以下、それぞれの基本理念について詳しく説明を行う。

6.2.2 基本理念1「土木学会の役割」

基本理念1は土木学会の役割について述べている。

【基本理念1】(土木学会の役割)

土木学会は、これまで得てきた災害や防災に関する成果を年少者の防災教育、地域防災に関わる人材育成のために積極的に還元する。

土木学会は、これまで多くの災害や防災技術に関する学術情報を国内外に向けて発表している。また、土木学会は、国内外で発生する自然災害に対して学会員で構成される調査団を積極的に派遣している。しかし、これら得られた多くの災害に関する知見、防災技術に関する情報を有しながら、それら成果の多くが、地域防災、とりわけ年少者向け防災教育や人材育成のために十分に還元されているとは言えないのが現状である。地域社会における防災教育を確かなものとして促進する上で、国内外の学協会の中でも多くの災害、防災に関わる学識経験者や技術者、オピニオンリーダー的人材を有する土木学会の貢献度は極めて高いといえる。したがって、土木学会は、これまで学会で得た過去の災害例や被害例の内容とその原因、明らかになった教訓などをわかりやすく提示するなど、それら成果を防災教育とそのため教材づくりに利用できるように整備、公開することが必要である。そのためには、発災メカニズムの説明、グラフ、図、写真、教訓等々を含んだ災害データベースの構築といった環境整備や、土木

学会図書館，学会ホームページ，学会出版物，企業とのコラボレーション等を通じて，社会へ還元促進をはかることも重要である。

6.2.3 基本理念2「防災教育の展開とプログラムの開発」

基本理念2は地域の防災力向上に向けて，地域や教育現場における防災教育の展開とそのためのプログラムの開発についての理念を掲げている。

【基本理念2】(防災教育の展開とプログラムの開発)

家庭や教育現場では，発達段階や生活環境に合わせた防災教育プログラムを用いて，幼児期から防災教育を始め，災害から自らの生命や生活を守る力を養う。

防災関係者や教育関係者は，現場での運用が容易で，かつ内容的にも十分な防災教育プログラム及び教材の開発・提供に，連携して取り組む。

現在の防災教育には防災時対応に偏重したものが多く，大規模地震災害によって生じる甚大な人的被害軽減への効果は不十分である。大地震発生の際に建造物の倒壊によって失われる多くの人命を救うためには，建造物の耐震化に対する理解と取り組みを促進することが重要であり，また，適切な防災行動を選択できる人材を育成するためには，正しい災害像の把握と判断力の強化が有効であるから，これらを包含した防災教育が家庭や教育現場で展開されねばならない。

また，0歳児から6歳児までの幼児を対象とした防災教育の実績は少ないが，市民の防災への自助努力を促すためには，幼少期からの意識付けが有効と考えられることから，幼稚園・保育園などの幼児教育の現場を中心に，日常生活の中で幼児防災教育に取り組むことが肝要である。幼児防災教育の展開とプログラムの開発としての細目を付録[基本理念2：細目]の2.1～2.3に示す。

6.2.4 基本理念3「防災教育の発信基地」

基本理念3は幼稚園や保育園は防災教育の発信基地であるべきことを述べている。

【基本理念3】(防災教育の発信基地)

幼稚園・保育園は，幼児に対する防災教育を行うだけでなく，地域コミュニティとの連携をとりながら保護者や社会への防災教育の発信基地になる。

幼児たちの防災教育には，幼稚園・保育園だけでなく家庭や社会の協力が不可欠である。幼稚園・保育園では，防災教育の考え方や実施内容を懇談会などを通して双方向で保護者へ伝達すると同時に，家庭や地域においても防災についての話題を広げてもらうようにすることが大切である。それによって家庭・地域における防災意識の高揚も図ることができる。また，幼稚園・保育園における毎月の防災・防火・防犯訓練を，地域コミュニティと共同で行えるようなプログラムの開発も必要である。絵本・紙芝居・防災ソング，その他の視聴覚教材を活用しながら，怖いことのみ印象で終わらないように，わかりやすく丁寧に具体的な遊びや会話を通して，大人社会が地域コミュニティの中で子どもたちと一緒に考えていく姿勢が大切である。

子どもを中心とした防災という共通認識を地域社会が育めば，幼児自らが自分の命を守ること，そして自らの園での役割，家庭での役割，社会における役割分担を考える土壌をすることができる。

地方自治体や地域の自治会等が積極的に幼い子どもの命を守る防災講習会を開催し、乳幼児と終日一緒に生活を送っている保護者がそれを受講することにより、常に現場に必要な情報が取得できるような環境を整備することも望まれる。

6.2.5 基本理念4「防災意識の高揚と災害抑止に向けた自助努力」

基本理念4は幼稚園や保育園職員の防災意識の高揚と同時に災害抑止のための自助努力の必要性について述べている。

【基本理念4】(防災意識の高揚と災害抑止に向けた自助努力)

災害時において、幼児の生命を確保するためには、幼稚園・保育園はまず職員の防災意識を高め、建物の耐震化・防火化を図るなど、災害抑止に向けた自助努力を行うことが肝要である。また、地域社会や行政は、幼稚園・保育園の耐震化・防火化のための共助・公助の拡充を進める。

これまでの防災教育は、避難訓練など発災時対応を偏重しすぎており、大規模地震災害で生じるであろう甚大な人的被害の低減のための事前対応を充実させることが肝要である。特に、幼稚園・保育園は災害弱者である幼児を保護している機関でもあり、幼児の生命をまず確保するための活動を実施することが、防災教育活動を実施する上での基本となる。具体的には、職員の防災意識を高め、必要に応じて建物の耐震化・防火化を図るなどの具体的な行動が重要である。すなわち、大人達の具体的な行動によって災害から保護されているという実感を幼児が抱くこと、これが防災教育の原点である。このためには、幼稚園・保育園の自助努力は不可欠であり、災害弱者の集団としての幼稚園・保育園の特性を考慮した対策を地道に進めなくてはならない。また、幼稚園・保育園だけでは対応できることにも限界があるため、地域社会や行政は、災害発生時の子供の保護や建築物の無料耐震診断の実施など、必要なサポートを行っていくことが望ましい(具体的な行動指針を付録の[基本理念4：細目]に示す)。

付 録

[基本理念2：細目]

2 - 1 防災教育システム

- 【細目 2-1-1】 防災教育は幼児期から始め、成人に至るまで間断なく行われるべきである。
- 【細目 2-1-2】 防災教育は、災害危険度に関わらず行われるべきである。
- 【細目 2-1-3】 防災教育は、対象の年代毎に内容を検討し、効率的に行われるべきである。
- 【細目 2-1-4】 防災教育は、日頃から生活の中でも取り込まれるべきである。
- 【細目 2-1-5】 防災教育は、その地域や生活環境に合った内容で行われるべきである。
- 【細目 2-1-6】 防災教育は、知識や技術を教えるだけでなく、考えることを通じて判断力を養うべきである。
- 【細目 2-1-7】 防災教育は、教育現場では各教科の内容との関連性を生かして行われるべきである。

2 - 2 幼児防災教育

- 【細目 2-2-1】 幼児防災教育は、自分の身の安全を守る行動をとれるようにすることを主目的にすべきである。
- 【細目 2-2-2】 幼児防災教育は、日常生活の中で、大人との信頼関係の中で行われるべきである。
- 【細目 2-2-3】 幼児防災教育は、一方的に教えるものではなく、子供と大人がともに考えるものであるべきである。

【細目 2-2-4】 幼児防災教育は、絵本、紙芝居、歌など、日常の幼児教育の延長で実施可能なプログラムと教材を用いて行われるべきである。

【細目 2-2-5】 幼児防災教育は、幼稚園、保育園等の幼児教育の現場が、その中心を担うべきである。

2 - 3 防災教育プログラムの開発・提供

【細目 2-3-1】 防災教育は発達段階毎に内容を分類し、効率的に実施可能な体系を確立すべきである。

【細目 2-3-2】 防災教育プログラムや教材は、一般の教育コンテンツとの関連性を生かしたものにし、教育現場や家庭などで使いやすいものにすべきである。

【細目 2-3-3】 様々な対象・機会に対応できるよう、多様な防災教育プログラムや教材が整備されるべきである。

【細目 2-3-4】 防災教育プログラムや教材は、誰でも容易に使えるよう広く公開されるべきである。

【細目 2-3-5】 防災教育の普及や、プログラム教材の開発には、学会、学識経験者、行政機関、教育機関、企業などの防災関係者や教育関係者が連携してあたるべきである。

【細目 2-3-6】 防災教育の普及を促進するため、学会、行政機関、企業などの防災関係機関の支援システムが構築されるべきである。

[基本理念 4 : 細目]

【細目 4-1】 幼稚園・保育園は、災害時において園児の生命を確保するために、園舎を耐震化すべきである。

【細目 4-2】 行政は、幼稚園・保育園が災害弱者の集団であることを考慮し、園舎の耐震化における園の負担を軽減できる様な仕組み作りを行うべきである。

【細目 4-3】 幼稚園・保育園は、防災力の向上には地域の協力が欠かせないことに鑑み、防災対策の策定時に近隣の地域を巻き込み、地域の協力を得る形で作るべきである。

【細目 4-4】 幼稚園・保育園は、「幼稚園・保育園の地震防災チェックシート」(図-1)により、毎年、定期的に園の防災レベルの現況把握を行うべきである。(図-1は省略)

【細目 4-5】 行政は、「幼稚園・保育園の地震防災チェックシート」を有効に活用するために、幼稚園・保育園向けに対策改善の方法や職員研修/防災教育プログラムなどを盛り込んだハンドブックを作成するべきである。

【細目 4-6】 保護者は、「幼稚園・保育園の地震防災チェックシート」による診断結果などに基づいて、安全な幼稚園・保育園を指向するべきである。

6 . 3 今後に向けて

6.3.1 防災教育の実践

6.2 で述べたように、本部会では4つの基本理念をとりまとめた。また、前節で記した基本理念を具現化する一つの形として、幼稚園・保育園向けの防災ハンドブックを製作した。しかし、今後に向けてもっとも必要なことは、基本理念を理念にとどめず、実践することである。

例えば、本部会の理念に沿った活動の実践の例として、広島大学・地域防災ネットワークが2001年の芸予地震を経験した呉市の保育所にて、ハンドブックで紹介された防災プログラムを実施した例がある。

簡単に実践例の概要を述べると、呉市の保育所では、(1)紙芝居「じしんなんかにまけないよ」(写真 6.3.1)、(2)防災訓練「だんごむしになろう!」(写真 6.3.2)、(3)災害体験「はだしじゃいたいよ!」(写真 6.3.3)、(4)防災の歌「じしんだ!だんだだん」(写真 6.3.4)の4つの内容で実施された。どの内容も、ハンドブックで紹介されて



写真 6.3.1 実線例(紙芝居)



写真 6.3.2 実線例(だんごむしのポーズ)



写真 6.3.3 実線例(災害体験)



写真 6.3.2 実線例(防災の歌)

いる内容である。

写真の子供たちの表情をごらんいただきたい。興味津々の表情を示しており、効果的な防災教育が実施できていることが伺える。もちろん、その後のフォローアップや基本理念3：地域への防災教育の発信や基本理念4：園の自助努力を実現するまでに必要なことは多く残されていると思われるが、本部会の製作したハンドブックにより、一定の防災教育手法は確立・公開できたと考えられる。つまり、次のステップは「実践あるのみ！」であって、実践の過程で得られた経験・教訓をフィードバックしていくことが必要である。

これらの実践は、学会・大学等の教育機関・行政機関・企業等の技術者が連携してこれに当たるべきである。公共土木施設が現実的に災害の軽減・防止に寄与している割に社会的に認知されているとは限らない情勢を踏まえると、土木学会・土木技術者は率先して防災教育活動に当たるべきではないだろうか。実際に、広島地域では上述の保育所だけでなく、地域の建設コンサルタント協会が地域の中学校で防災教育を実施している例がある。

幼稚園・保育園は日常の業務だけでも忙しい。そういったところでも、外部から話を持ちかけることで、より気軽に防災教育の実践が可能になると思われる。

6.3.2 継続的な取り組み

高尚な理念の下に、実際に活動を実施していても、一度きりでは意味がない。継続的な取り組みが必要である。しかし、実際に継続的に取り組んでいくことは難しく、「継続させる努力」「自立的に継続していける仕組みづくり」が必要となる。

継続的な取り組みの事例として、土木学会には、技術者の継続教育プログラム（CPD）がある。防災教育を実践することと、技術者としての技術力を維持・向上させることは違う話ではあり、継続教育の一環に防災教育を加えたい、ということではない。しかし、継続した取り組みを続けるという点で共通するものがあり、これらの点から土木学会が貢献できる面もまだまだ多いのではないだろうか。

例えばの話であるが、防災に関連する公共土木施設の整備を行う場合に、近隣の幼稚園・保育園・小中学校などに、事業主体の技術者が事業の有用性をアピールしながら防災教育を行うなどの活動が定着すれば、継続的な防災教育が可能になると思われる。また、土木学会の会誌等を通じて、地域の防災意識を高めるような事業PRの例を紹介し、模範となる事例にはしかるべき賞を創設するなどの方法も、継続した取り組みを実現させる上で効果的かもしれない。

6.3.3 防災教育に携わる人材のネットワーク

防災に関する資格として、防災士や、土木学会認定技術者資格の防災部門がある。どのような資格でも、資格の制度があるだけでは意味を成さない。有資格者が活躍できる場がなければ、資格取得の励みにもならないし、有資格者の持続的な研鑽も行われないうえである。

この観点から、防災、特に防災教育に携わる人材を活用する機会を積極的に設ける必要がある。つまり、上述の防災教育活動の実践の場を、継続的に設ける必要がある。

このとき、円滑に防災教育活動の実践の場を継続的に設けるためには、防災教育のための人材バンクのようなものが必要である。すなわち、防災教育に関連する活動を行うことを思い立った事業主体があったときに、適切なサポートを行うことができるシステム作りである。

また、防災教育に携わる人材が人材バンク的なネットワークを作ることで、相互の情報交換により、さらなる資質の向上を図れる効果が得られる。特に、防災に関する国の制度などは変化していくものでもあり、適切な情報の更新の機会を設けることは必要である。

さらには、防災に関する国の制度に精通した人同士が意見交換を行うことで、適切な防災支援の制度設計のための議論の場も提供されることが期待できる。