

01
論説

来るべき大地震に備えて

阪神・淡路大震災を振り返って10年

松岡 康訓*¹・藤井 俊二*²

How to Prepare for Expected Large Earthquakes

On the Tenth Anniversary of the 1995 Kobe Earthquake

Yasunori MATSUOKA and Shunji FUJII

Keywords : earthquake, ground motion, seismic design, seismic isolation, design code, performance based design

地震、地震動、耐震、免震、設計基準、性能設計

1. はじめに

1995年の阪神・淡路大震災では6000人を超す犠牲者と約10兆円の物的被害を被り、改めて内陸直下型地震の存在が注目を浴びた。それから、来年1月で早くも10年が経ようとしている。この間、国内外でいくつかの大地震が発生し、新たな問題点や教訓を我々に与えている。本稿では阪神・淡路大震災およびその後の地震の教訓と、それらの教訓を反映した地震被害軽減のための研究活動や技術の進歩を振り返り、今後来るべき地震への備えについて述べてみたい。

2. 最近の地震と教訓

1995年兵庫県南部地震（マグニチュードM=7.3）は活断層の滑りによって発生した、いわゆる「内陸直下型地震」であった。このような活断層による「内陸直下型地震」と、1923年関東地震（関東大震災）のようなプレート境界で発生する「海溝型地震」との区別が明確に認識され、各タイプの地震の発生頻度、揺れの周期特性、継続時間の違いが意識される契機となった。兵庫県南部地震では、震度7の強い揺れが帯

状の狭い地域に集中するという、いわゆる「震災の帯」が生じ、高架橋が倒壊するという衝撃を与えた。また、古い建物に被害が集中する一方で新耐震設計法に基づいて建築された新しい年代の建物の被害が軽微であったこと、埋立地において液状化や側方流動による被害が多発したことなどが特徴としてあげられる。一方、地震後に火災が発生して多大な被害が生じたことや、救助・避難・仮設住宅などのいっそうの充実の必要性、被災者の生活確保や心のケアの大切さ、被災した共同住宅の補修や建替合意の困難さなどの社会的な側面も地震防災の重要な一面として認識された。

1999年台湾集集地震（M=7.6）では最大8m程度の「地表地震断層」と呼ばれる段差が地表面に発生し、断層上に立地する建物、ダム、橋梁が被害を受けた。また断層付近では周期5～10秒程度の長周期パルス波が観測された。国内では2000年鳥取県西部地震（M=7.3）、2001年芸予地震（M=6.4）、2003年宮城県沖地震（M=7.0）が発生し、木造建物を中心に被害が見られたが、特徴的な被害や新たな教訓は見られなかった。

2003年宮城県北部地震（M=6.2）、2003年十勝沖地震（M=8.0）では、建物の内装の被害によって工場や空港施設の機能が停止し、従来の

*1 副技術センター長

*2 副技術センター長・建築技術研究所長

耐震設計が主要な目的としていた安全性や財産価値保存という面のほかに、施設の機能維持も重要な地震防災の目的であることを印象づけた。十勝沖地震においてはタンクのスロッシングによって火災が発生し、周期5～10秒程度の長周期地震動が構造物に与える影響をクローズアップした。

3. 地震動予測技術の発達

予測解析技術：兵庫県南部地震を契機として地震動の予測技術は急速に発達した。断層の滑りによって地震が発生し、岩盤・地盤を伝わって伝播して地表地盤で増幅するというプロセスを忠実にモデル化して、震源や地盤特性を考慮した地震動予測技術が開発された。経験的グリーン関数法、統計的グリーン関数法などが代表的な手法である¹⁾。さらに詳細な手法として、震源断層を含む広域的な数値解析モデルを構築して、一挙に広域的な地震動伝播を解析する差分法²⁾や有限要素法^{3) 4)}が開発され、神戸で発生した震災の帯の再現も可能になった。将来発生の予測される地震に対して、大都市圏などを対象として、この技術を使って事前に揺れの大きい地域を特定し、対策を強化することで地震防災に生かすことが可能である⁵⁾。これらの地震動予測解析技術は、観測記録との比較によって精度の向上と妥当性の検証が行われ、実施設計における有力な手法となってきた。

地震発生確率と予測地図：政府においては地震防災対策特別措置法を1995年7月18日施行させ、地震防災対策を推進してきた。文部科学省に地震調査研究推進本部を設置し、内陸直下型地震を発生させる活断層について、日本にある約2000の活断層の中から社会的、経済的影響の大きい主要98断層帯を選定して掘削調査を実施した。調査

結果をもとにして、これら主要98断層帯と海溝型地震を引き起こす9海域を対象として、地震が発生した場合の規模（マグニチュード）と、今後30年間に地震が起こる確率を「地震発生可能性の長期評価」として発表した。地震発生確率の高い主要なものとして、海溝型地震では宮城県沖地震（M=7.5前後、発生確率98%程度）、東南海地震（M=8.1前後、50%程度）、南海地震（M=8.4前後、40%程度）、活断層では糸魚川－静岡構造線断層帯（M=8程度、14%）、神縄・国府津－松田断層帯（M=8程度、3.6%）、などがある。さらに、長期評価を発展させた地震動予測地図を2004年度末を目標に作成中である。この地図は震源断層を特定した地震動予測地図（シナリオ地震図）と、確率論的地震動予測地図から構成されている。確率論的地震動予測地図は今後30年以内に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率が地図上に示される。このように地震の発生確率を考慮した地震危険度の予測も始まっている⁶⁾。また、国土地理院では1996年に1/25000の都市圏活断層地図を刊行した。これは活断層の位置を地図上に示したもので、構造物の設計において台湾集集地震で見られたような地表地震断層による被害の可能性の事前検討に利用できる。

地震観測網の整備：地震観測網も政府によって急速に整備が進められた。文部科学省防災科学技術研究所による強震ネットワーク（K-NET：1034箇所）、高感度地震観測網（Hi-net：701箇所）、基盤強震観測網（KiK-net：661箇所）などが主要なものである。地方自治体においても、横浜市が「高密度強震計ネットワーク」として市内150箇所に地震計を設置し、災害対策に活用すべく準備を整えている。このように、地震そのものの調

査研究や地震観測などについては、公的機関が主体的に実施して国民の防災に資するための情報として公開するという、本来あるべき姿に向かって進められている。

4. 建築物の耐震技術

新耐震設計法と既存不適格：兵庫県南部地震では新耐震設計法（1981年施行）で設計された建物の被害は少なく、新耐震設計法の妥当性がおおむね検証されたといえる。一方、それ以前の耐震設計法で設計された建物に被害が集中したことから、いわゆる「既存不適格」の問題があらためて強調され、既存建物の耐震改修を促進するため1995年10月27日に耐震改修促進法が施行された。この法律によると、多数の人が利用する病院、劇場、百貨店、事務所等一定の建築物（特定建築物）の耐震改修計画について所管行政庁の認定、既存不適格建築物にかかわる制限の緩和、確認手続きの省略、診断や改修への助成制度が制定された。地方自治体においても診断や耐震補強に対する助成制度を整備している。

耐震改修技術の開発：耐震改修技術の開発も活発に行われてきた。既存建物を免震建物に改修する、いわゆる「免震レトロフィット」⁷⁾、各種の新しい耐震補強技術⁸⁾、無騒音無振動でフレーム内に耐震壁を構築する工法⁹⁾などの開発と適用を進めて来た。文化財として保存すべき歴史的建物についても耐震診断および補強技術が開発されてきている^{10) 11) 12)}。しかしながら、既存不適格建物の問題が顕在化したにもかかわらず、耐震改修は必ずしも十分に普及しているとはいえない。今後、ローコスト耐震化改修技術の開発や行政による促進策によって、さらに耐震改修を普及させ

ていくことが必要であろう。

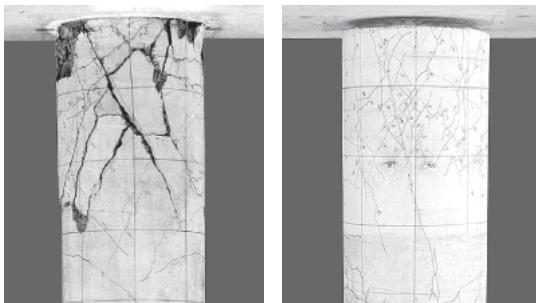


図1「クロスウォール」。施工性と意匠性を考慮して開発された耐震補強技術。東京建設会館など47物件に適用されている。

建築基準法の改正：建築基準法が1998年6月12日に改定・公布され、構造関係規定も2000年6月施行された。その趣旨は仕様規定から性能規定への変革ということで、構造設計においては限界耐力計算法が導入され、従来の構造計算規定との選択制となった。設計用地震動については開放工学基盤において長周期地震動を考慮した「告示波」と呼ばれる地震動を設定し、地盤種別毎の増幅や、基礎根入れによる設計用地震動の低減など、従来より実情を反映した設計用地震動を用いている。また、免震建物も建築センター評定・大臣認定を経ないで設計できるなどの改正が行われている。

基礎構造物の耐震化：兵庫県南部地震では杭の被害が多発し、とくに靱性のないプレキャストコンクリート杭の被害が多かった反面、靱性のある鋼管杭や場所打ちコンクリート杭の有効性が印象的であった。プレキャストコンクリート杭については、その後、通常のPC鋼線による補強に鉄筋を付加したり、鋼管で巻くなどの靱性向上タイプの製品が開発されている。既存杭の耐震補強についても建物同様に課題であり、鋼管巻きによる補強

手法の適用例もあるが¹³⁾、普及はまだ一部に限定されている。一方、場所打ちコンクリート杭については、杭とフーチングとの接合部分に応力が集中し、特に太径杭において基礎梁に損傷が生じる例も見られた。これを教訓として、杭とフーチングを剛結しない杭頭半剛接合構法が開発された。プレキャストコンクリート杭についても開発され、いずれも力学的な合理性と低コストという面から広く普及しつつある^{14) 15) 16) 17) 18)}。



(a) 杭頭剛接合

(b) 杭頭半剛接合

図2 杭頭半剛接合構法。杭とフーチングとの接合部分での力の集中を緩和するとともに、施工の大幅な簡易化が可能となっている。

住宅の耐震問題：住宅についても新しい年代の住宅や工業化住宅は各地震においてほとんど無被害であり、古い住宅に被害が集中した。古い住宅では壁が少ないこと、筋かいやアンカーが十分でないこと、屋根が重いことなどが地震被害の多かった要因である。既存住宅の耐震性向上のために、簡単にできる診断方法が開発され、公的機関による耐震補強への助成制度も整備されたが、補強工事はなかなか進まないのが現状である。さらに低コストで利用しやすい補強構工法の開発が期待される。また、古い木造密集地における地震被害と地震後の火災の問題も未解決である。東京では木造密集地が都市再生緊急整備地区にも指定されており、今後の具体的な対策が望まれる。

免振・制振構法の普及：阪神大震災以後、免震構

法が急速に普及し、公開されている2002年10月現在での評定済建物が1273棟にのぼっている。免震方法としては薄いゴムと鋼板をサンドイッチ状にした積層ゴム支承と、すべり支承による方法がある。これらの積層ゴム支承とすべり支承を併用することによって、長周期の揺れに対応できるハイブリッド免震が開発されたことから¹⁹⁾ 超高層建物免震も実現できるようになった。

免震構法のさらなる高度化として、免震とセミアクティブダンパーを組み合わせる建物応答を通常の免震建物よりもさらに低減する高性能免震技術も開発された²⁰⁾。高性能免震は応答のさらなる低減とともに免震装置の過大変形を制御することも可能なので、2003年十勝沖地震以来注目されている長周期地震動対応にも活用が可能である。

従来、制振技術は質量ダンパーや粘性ダンパーなど風揺れ対策用と、極低降伏点鋼材による履歴ダンパーなど地震用とが別の装置として開発され、利用される場合が多かった。粘性ダンパーと履歴ダンパーを組み合わせ、ひとつの装置で地震にも風にも効く制振構法が開発され、実施適用が進められている²¹⁾。



図3 ハイブリッド免震を適用した41階建て地上135m、世界最高の免震建物「サウザンドタワー」、2003年12月竣工。柱には100KN/mm²の超高強度コンクリートが用いられている。2004年度建築学会賞（技術）を受賞。

機能維持：近年の地震では構造体の損傷だけでなく、内装の被害による生産施設等の機能停止も問題になってきている。そのため、生産施設の地震対策としてクリーンルーム用床免震システム、耐震システム天井などが開発されてきた²²⁾。さらに世界初の試みとして、生産施設全体を免震した半導体生産工場が2004年4月着工され、2005年4月の稼働に向けて建設が進められている。半導体生産工場は通常時には振動を嫌うため、剛すべり支承と弾性すべり支承を併用したハイブリッド免震構法を採用して、微振動時には剛く、地震時には柔らかくというニーズにあった構造を実現している。

5. 土木構造物の耐震技術

耐震基準の改定：阪神・淡路大震災で土木構造物が受けた被害の重大性から、土木学会は地震直後の1995年5月に「土木構造物の耐震基準等に関する提言」を発表し、その後1996年1月の第2次提言、2000年6月の第3次提言へと、内容がより具体化されてきた。その中で、レベル1とレベル2の強さの異なる地震動を想定する「2段階設計法」、ならびに、構造物の重要度と地震動強さの発生頻度を考慮して構造物が保有すべき耐震性能を決定する「性能規定型設計法」の考え方が、かなり明確になっていった。道路橋示方書など各種の土木構造物の耐震設計基準についても見直しを迫られ、数年の間に主要な基準が改定されたが、いずれの改定においても上記の考え方が反映された。既に新基準に従って多くの土木構造物が設計・施工されており、新しい耐震設計法も定着した感がある。

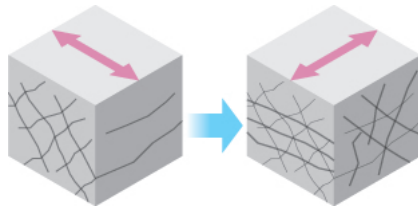
RC構造物の耐震補強技術：阪神淡路大震災にお

いて高架橋が倒壊したことから、既存の高速道路や鉄道の高架の耐震診断、耐震補強が精力的に行われてきた。補強方法としてはコンクリートの打ち増し、鋼板巻き、炭素繊維シート巻き立て²³⁾²⁴⁾²⁵⁾などが主体となっている。またフェールセーフとしての落橋防止装置の追加が行われている。さらに一步進めて橋梁免震システムの開発も行われ、積極的に採用される傾向にある。

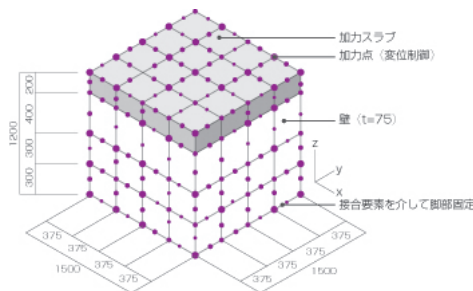
各種指針の改定に伴い、せん断補強鉄筋や中間帯鉄筋の定着方法が見直され、RC構造物の耐震性向上のために、従来の直角フックに代り半円形フックや鋭角フックを用いることが標準となった。しかし、両端にこのようなフックを持つせん断補強鉄筋や中間帯鉄筋は、地中の壁式構造や高密度配筋箇所には施工が困難な場合もあるため、施工性と耐震性能を兼ね備えた新しいせん断補強鉄筋、例えば、プレート定着型せん断補強鉄筋が開発され、各種構造物に適用されている。

RC構造物の耐震設計技術：コンクリート構造物に対する性能規定型設計法が実際の設計に取り入れられつつある中、構造性能の評価をより合理的で明確なものにしていく上で、材料および構造部材の力学的挙動を精度よく予測する手法を開発し、実際に設計に取り入れていくことが重要である。このために、以前より曲げ部材に対してファイバーモデルが使用されており²⁶⁾、阪神淡路大震災で被災したラーメン高架橋の解析により、その有効性が確認されている。また、壁などの面部材に対しては非線形有限要素法により、ひび割れによる損傷状況をできる限り忠実に再現することが不可欠である。そのため、任意の繰返し挙動を表現することができる多方向ひび割れモデルによるRCの構成則が開発され、RC構造の立体耐震壁の水平

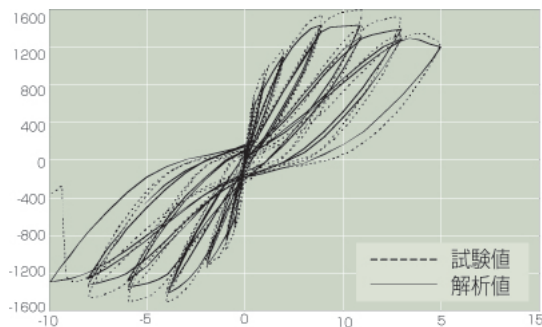
2方向同時加力試験などの解析により、その有効性が確認されており、LNG地下タンクのレベル2耐震設計への適用も試みられている^{27) 28) 29)}。



a) 2段階加力によるひび割れ発生



b) ボックス壁のCOM3解析モデル



c) せん断力-変形角関係の試験値とCOM3による解析値の比較

図4 多方向ひび割れを考慮した有限要素法RC解析プログラム「COM3」による立体構造の解析。解析では、実験で生じる多方向のひび割れを忠実に考慮することができる。

液状化・側方流動の予測と対策：地盤の液状化問題に関しては、砂質土の動的性状や、地震時に地盤が液状化するメカニズムについて多くの知見が得られている^{30) 31)}。また、液状化時の地盤および構造物の挙動を予測するための数値解析法の研究・開発が進められ^{32) 33) 34)}、いくつかの解析プログラムが一般に公開されて設計実務で使われるようになってきた。液状化に起因して地盤が水平方

向に数メートルも側方流動する現象も重大な問題であり、調査・実験・解析など様々な取り組みが行われているが^{35) 36)}、流動変位やそれにより構造物が受ける荷重の予測法などについては未だ課題が多く、今後の研究の進展が望まれる。地盤の液状化対策工法の開発では、薬液の浸透注入による固化工法や、締固め砂杭工法に膨張・固化性能を有する土質材料を用いる方法などが近年新たに加わっている^{37) 38)}。今後は、新設構造物の建設時に行う液状化対策だけでなく、既設構造物の直下地盤の液状化対策工事も増加すると予想され、新たな技術開発が必要となろう。

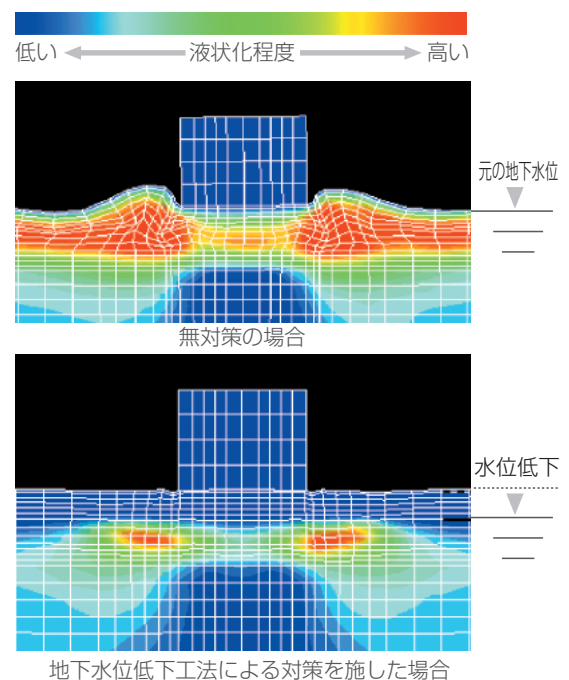


図5 液状化解析例 構造物下部の地下水位を低下させることで液状化を防止できる効果を解析で再現している。

タンクの地震対策：屋外貯蔵タンクに関しては、2003年十勝沖地震で浮き屋根のスロッシングの問題が持ち上がったが、それ以前に旧法タンクの問題が存在している。1977年の消防法改正以前に造られた、いわゆる旧法タンクの耐震改修工事

の期限が、10,000k ϕ 以上のタンクは2011年12月31日、10,000k ϕ 未満のタンクは2015年12月31日と定められており、タンク基礎・地盤の液状化対策法なども検討されているが³⁹⁾、改修工事が必要なタンクは未だ多く残っている。今回のスロッシング対策を含め、地震対策を前倒しで実施する必要性も議論されているところである。

津波の予測：震源が海底にある場合、津波が問題となる。1983年日本海中部地震や1993年北海道南西沖地震では、津波による人的、経済的被害が甚大であった。原子力発電所や港湾など沿岸の重要施設に津波が来襲するとその被害規模はさらに大きくなる恐れがある。近年、数値計算技術が開発され、海底に位置する断層モデルを入力することにより、津波の発生、伝播、陸上への侵入までかなりの精度で予測ができるようになってきた。また発電所に付随する港湾では、津波によって周辺の海底土砂が流されて取水口を閉塞するか否かを評価することが要求されるようになり、大型模型実験による津波時の漂砂現象解明や、数値計算による海底地形変化の定量評価などが行われている^{40) 41)}。

6.地震防災に向けた新しい動き

耐震性能の明示：耐震性能に関して設計者と所有者や利用者の意識がかならずしも整合していないことが指摘され、意志疎通のためのコミュニケーションの重要性や耐震性能の明確な指標が求められた。そのため「住宅の品質確保の促進等に関する法律」、いわゆる「品確法」が2000年4月1日に施行された。「品確法」では建築基準法並の建物を耐震等級1とし、その1.25倍の強度を持

った建物を耐震等級2、1.5倍の強度を持った建物を耐震等級3として表示し、耐震性能のレベルを所有者や利用者に分かりやすくしている。今後さらに、建物が様々なレベルの地震においてどのような損傷を受けるのか、施設機能はどの程度維持されるのか、最終的にどのように壊れる可能性があるのか、などの具体的な性能を所有者や利用者に伝え、合意のもとに設計される方向に進んでいく必要があろう。

地震リスクと経済活動：不動産取引や不動産証券化などの経済活動においても、耐震性能の評価が不可欠になってきている。建物が供用期間中に受ける地震被害を考慮して、その予想被害額を「地震リスク」として計算する技術が開発され^{42) 43) 44) 45)}、地震保険料の算出や不動産取引におけるデューディリジェンスに用いられている。地震リスクの指標としてPML（予想最大損失率）が最も一般化している。これは50年間に10%以上の確率で起こる地震において、想定される被害が建物新築価格の何パーセントかを算出するものである。不動産証券化ではPMLが15%以下の物件であることが目安となっており、PMLがそれ以上の建物では耐震補強によってPMLを下げるか、地震保険を義務づけることが一般的である。

リアルタイム地震防災：近年急速に整備の進んだ地震観測を防災に生かす「リアルタイム地震防災」という試みも提案されつつある。地震観測データやそれから得られた地震情報を、地震被害を少なくするために多角的に応用する試みである。具体的には、地震発生直後に気象庁「即時地震情報解析システム」から震源、マグニチュード、震源近傍での観測データ情報が発信され、これを利用して到達地点の揺れを予測し、地震波到達までの

数秒から数十秒のタイムラグを利用して直前警戒、対策を行うものである。2003年設立された、「リアルタイム地震情報利用協議会」は防災科学技術研究所、大学と連携して50社程度参画して活動しており、文部科学省リーディングプロジェクト「高度即時的地震情報伝達網実用化プロジェクト」（2003年～2007年）でも研究が進められている。地震発生の直前予知への期待が薄れつつある折から、「リアルタイム地震防災」は有望な直前対策技術として実用化が期待される。

実大破壊試験施設の整備：大型振動台による実大破壊試験を通じて構造物の耐震性能や破壊の状況を現実的に把握するための施設整備が進められている。文部科学省防災科学技術研究所では、2005年1月完成を目指して、兵庫県三木市に実大三次元震動破壊実験施設「Eディフェンス」を建設中である。これは平面寸法20m×15m、積載能力1200トンを有する世界最大の震動台である。稼動に先立って、準備のための研究として大都市大震災軽減化特別プロジェクト、いわゆる「大大特」プロジェクトが進行中である。対象として鉄筋コンクリート建物、地盤・基礎構造、木造建物を選定し、「Eディフェンス」での実大実験を目指して研究が進められている。

地震防災への学際的な取組：地震防災のための学際的な活動も始まっている。2001年1月1日、地震、建築、土木、地盤、機械の5学会合同の「地震工学会」が発足し、分野横断的な活動が開始された。また、2003年十勝沖地震において改めて注目された長周期地震動への対策を目的として、土木学会、建築学会合同研究委員会が発足している。土木学会は「巨大地震災害への対応検討特別委員会（濱田委員長）」2003.11～2005.10、

建築学会は「東海地震等巨大災害への対応特別調査委員会（秋山委員長）」2004.4～2006.3を発足させ、東海から四国にかけての太平洋沿岸を対象とする長周期地震動を含めた地震動の予測、代表的構造物（高層ビル、橋梁、港湾施設、ライフライン、産業施設）の動的応答、損傷度、残存機能の推定、耐震補強の必要性の判断、既存構造物の耐震診断と耐震補強、ガイドラインの策定を目指している。

7. あとがき

阪神淡路大震災以後、官民あげての精力的な研究開発によって、地震のメカニズム、地震動予測技術、耐震技術などが飛躍的に進歩してきた。設計基準などもこれに対応して従来より合理的なものへと改正されてきている。また、今後のさらなる災害防止に向けた活動も進められている。そのキーワードとしては、耐震性能に関する設計者とユーザーの共通理解、機能維持や復旧も含む総合的な地震防災、様々な分野の連携による防災の促進、という総合的な取り組みがあげられる。

技術の進歩や今後に向けた積極的な活動が行われる一方で、過去に建設された構造物や防災的に脆弱な地域は、危険が指摘されているにもかかわらず手付かずなものも多い。これら既存ストックの改善にも目をむけて、社会全体の地震に対する減災をはかっていきたいものである。

大成建設技術センター報参考文献

- 1) No.32.1999：3次元差分法と経験的グリーン関数法とを結合したハイブリッド法による設計用地震動評価, pp.97-100.
- 2) No.31.1998：関東平野深部不整形構造が地震波動伝播に及ぼす影響, pp.119-122.
- 3) No.35.2002：3次元有限要素法による地震波動伝播解析, p.26.
- 4) No.36.2003：領域縮小法による3次元丘地形の地震応答解析, p.26.
- 5) No.37.2004：濃尾平野における想定東南海地震の長周期地震動評価, p.2.
- 6) No.37.2004：地震動強さのばらつきが確率論的地震動評価に与える影響, p.3.
- 7) No.32.1999：中間階免震レトロフィット柱の施工時安全性確認実験, pp.5-8.
- 8) No.30.1997：プレキャスト部材を用いた既存建築物の耐震補強, pp.87-90.
- 9) No.37.2004：RC耐震壁を用いたアンカーレス耐震補強構法の開発, p.12.
- 10) No.32.1999：伝統的木造寺社建築の耐震診断と補強方法, pp.149-152.
- 11) No.35.2002：伝統木造五重塔の動的挙動の調査－常時微動と自由震動の測定－, p.29.
- 12) No.37.2004：歴史的建築物の耐震評価法, p.13.
- 13) No.31.1998：鋼管による既製コンクリート杭の杭頭補強効果, pp.173-176.
- 14) No.34.2001：SC杭の杭頭接合法に関する研究, pp.34.
- 15) No.35.2002：主筋を基礎に定着しない場所打ちコンクリート杭の構造性能, p.9.
- 16) No.35.2002：既製コンクリート杭の杭頭簡易接合法に関する研究, p.11.
- 17) No.36.2003：主筋を基礎に定着しない場所打ちコンクリート杭の構造性能, p.13.
- 18) No.37.2004：杭頭半剛接合構法「F.T.Pile構法」の開発, p.11.
- 19) No.31.1998：高軸力下における弾性すべり支承の繰返し耐久性試験, pp.127-130.
- 20) No.37.2004：可変減衰ダンパーを用いた高性能免震技術の開発, p.8.
- 21) No.37.2004：ハイブリッドブレースダンパーの開発と適用, p.9.
- 22) No.37.2004：制振システム天井の開発, p.10.
- 23) No.29.1996：炭素繊維シートによる土木構造物の補強, pp.13-18.
- 24) No.30.1997：炭素繊維シートと帯鉄筋の両者で補強したコンクリート柱の応力度－ひずみ関係, pp.53-58.
- 25) No.31.1998：炭素-繊維シートで拘束された鉄筋コンクリート橋脚のじん性評価式の提案, pp.65-68.
- 26) No.29.1996：ファイバーモデルによる非線形フレーム解析とその検証, pp.119-126.
- 27) No.30.1997：先行クラックを有する鉄筋コンクリートの正負交番載荷実験, pp.121-126.
- 28) No.31.1998：3次元FEM解析による地下タンクの地震時挙動, pp.103-106.
- 29) No.37.2004：レベル2地震動に対する大規模地中構造物の耐震検討, p.5.
- 30) No.29.1996：ポートアイランドにおける埋め立て地盤の堆積および液状化特性, pp.53-58.
- 31) No.31.1998：川砂および豊浦砂の微小ひずみ時のせん断剛性と液状化特性, pp.149-152.
- 32) No.29.1996：Liquefaction Analysis with the Stress-Density Model, pp.73-86.
- 33) No.36.2003：3次元有効応力解析による杭模型の遠心場における液状化実験のシミュレーション, p.28.
- 34) No.37.2004：液状化解析技術, p.15.
- 35) No.30.1997：側方流動地盤中の杭の挙動に関する模型実験, pp.175-180.
- 36) No.30.1997：地震時の護岸およびその背面地盤の挙動に関する模型実験, pp.181-186.
- 37) No.34.2001：膨張性固化材料を用いた液状化対策工法に関する実験的検討, p.3.
- 38) No.37.2004：膨張固化性能を有する材料「TAFDEX」を用いた液状化対策工法, p.16.
- 39) No.29.1996：遠心載荷装置による屋外貯蔵タンクの液状化対策に関する研究, pp.45-52.
- 40) No.30.1997：津波来襲時の港内流況, pp.163-168.
- 41) No.37.2004：狭窄部を通過する津波の掃流力と海底地形変化, p.7.
- 42) No.32.1999：パソコンによるオフィスビルの地震リスク評価システム, pp.113-116.
- 43) No.33.2000：地震リスク評価プログラム, pp.119-120.
- 44) No.35.2002：建物のPML値の評価手法および試算例, p.28.
- 45) No.37.2004：建物を対象とした地震リスク評価の現状, p.4.