

# 日本地震工学会誌

Bulletin of JAEE

## No.14

Jul.2011

新会長挨拶

特集：この10年の地震工学の動向と発展



<http://www.jaee.gr.jp/>

一般社団法人 日本地震工学会

Japan Association for Earthquake Engineering

〒108-0014 東京都港区芝5-26-20 建築会館

Tel:03-5730-2831 Fax:03-5730-2830

# 日本地震工学会誌 (第14号 2011年7月)

Bulletin of JAEE (No.14 July.2011)

## INDEX

### 新会長挨拶：

---

会長挨拶／川島 一彦	1
------------	---

### 東日本大震災の発災にあたり：

---

東日本大震災の発災にあたり／久保 哲夫	3
---------------------	---

### 特集：この10年の地震工学の動向と発展

---

特集「この10年の地震工学の動向と発展」について／福和 伸夫	4
この10年の内陸・沿岸域地震を通して見た活断層調査の現状と課題／杉山 雄一	5
地震予知のため観測研究計画の新たな展開と限界／平田 直	9
地震被害想定 of 意義と課題／中林 一樹	13
全国地震動予測地図の作成とデータ公開システムの開発／藤原 広行	19
E-ディフェンスの活動と今後の展開／梶原 浩一	22
建築構造関係規定のこの10年の動向／福山 洋	26
揺れの予測情報 - 緊急地震速報の現状と今後 -／東田 進也	30
この10年の強震動地震学・応用地震学／額 一起	34
木造住宅の耐震化と診断・補強技術の現状／五十田 博	38
制震・免震構造の開発と適用の現状／小鹿 紀英	42
機械構造物・機械設備耐震設計技術と研究開発の現状とその動向／藤田 聡	46
地震に対する土木構造物の安全性向上に関する過去10年間の取り組みと今後／運上 茂樹	52
今後10年の課題(まとめに替えて)／武村 雅之	55

### 連載：

---

名誉会員に聞く／柴田 碧	
OECD/NEAでの展開15年とIAEA,耐震安全センターの創設 原子力耐震安全分野での展開	57
名誉会員に聞く／篠塚 正宣	
東北地方太平洋沖地震：想像を超える被害	60

### 学会ニュース：

---

ニュージーランド・クライストチャーチ地震による建物被害／中埜 良昭、真田 靖士	63
一般社団法人 日本地震工学会 第2回社員総会議事録／佐藤 俊明、木全 宏之	67

### 学会の動き：

---

行事	70
会員・役員・委員会の状況	71
会務報告	73
論文集目次・出版物	76
入会・会員情報変更の方法	79
投稿要領	80

### 編集後記

---



### 会長挨拶

川島 一彦

●東京工業大学大学院教授



平成23年5月開催の第2回社員総会で前久保哲夫会長から会長職を引き継ぎました。従来、会長職は1年任期でありましたが、平成22年5月の一般社団法人化後に選任された会長から2年任期となり、私は平成23年度、24年度の2カ年、会長職を努めることとなります。皆様のご支援を得て、日本地震工学会の発展に尽くして参りたいと存じますので、どうぞご支援のほど、お願い申し上げます。

まず、最初に、この度の東日本大震災により亡くなられた多数の犠牲者の霊に対して衷心より追悼の念を捧げると同時に、物心両面にわたって甚大な被害を受けた被災者の皆様に心よりお見舞いを申し上げます。地震工学および地震防災に関する学術・技術の進歩発展をはかり、もって地震災害の軽減に貢献することを目的とする日本地震工学会にとって、この地震による教訓を最大限くみ取り、これを将来の地震災害の軽減、防除に役立てることが、私たちに課せられた使命だと考えています。

日本地震工学会は、我が国に地震工学が包含する幅広い学問、技術領域を束ねる学会が存在しなかったことから、米国地震工学会 (EERI) をお手本として、我が国にもこうした学会を作るべきであるという、青山先生、岡田先生、土岐先生等の諸先輩のご努力により、2000年9月に発足準備会を立ち上げ、2000年12月に設立総会を開催して、2001年1月1日をもって発足したものであります。総会時点における入会申込者は1,045名でありました。私は、当時、会員勧誘部会(私1名だけでしたが)を仰せつかり、毎日、会員の応募数の棒グラフとにらめっこで、地震工学に関心を持つ研究者、技術者等に漏れがないかを中心に、会員の勧誘を担当しておりました。

日本地震工学会は本年で満10才を迎え、諸先輩の努力のお陰で大きく成長して参りました。しかし、地震工学の究極のターゲットは、地震災害の防除を通して

国民が求める安全で安心な社会の実現にあることを考えると、日本地震工学会が果たすべき役割は非常に大きいものがあります。東日本大震災という甚大な犠牲の上に得られた貴重な震災経験を、少しでも今後の震災の軽減、防除に役立てるようにして行くことが重要です。自分が力不足であったためにあのような惨事が生じたとまで考えておられる会員が何人もいることは、地震工学の研究者、技術者の社会的使命が如何に大きいかを、如実に示していると考えております。

日本地震工学会の力の源泉である研究委員会をより活発にすると同時に、より貢献度の高い論文を世に出せるように論文集を一層充実させ、また、地震発生後、関連学会と協力して、タイムリーに地震被害調査団を出し、被害の実態を把握し、これを震災対策に活かすとともに、さらに、地震工学に係わる多分野の研究者、技術者の情報交換の場として、日本地震工学会“大会”を、着実に実施することに加えて、私は自分の任期内に以下の3点に貢献していきたいと考えております。

1つは、東日本大震災とその後の震災に対する対応です。東日本大震災後、日本地震工学会は土木学会、建築学会、地盤工学会、機械学会、地震学会の6学会と協力して、“東北地方太平洋沖地震・被害調査連絡会”を立ち上げました。現在まで2回の連絡会が開催されていますが、個別の学会の議論はその設立の理念となっているテリトリーに限られます。地震災害をもう少し大きな目で俯瞰的に見るためには、日本地震工学会の役割が大きいと考えられます。兵庫県南部地震以降、日本は地震活動期に入ったと言われておりますが、今回の東日本大震災を境に、来るべき南海、東南海地震や東海地震、さらには首都圏直下型地震の発生も懸念されております。東日本大震災を教訓に、どのような対策を取っていくべきかに関する検討を日本地震工学会として実施すべきと考えています。幸いにして、久保前会長に特別委員会設置の道筋を立てていただきましたので、この場を有効に活用し、1000年に1回と言われる震災から何を学ぶかを検討すると同時に、将来の巨大地震に対して備えておくべき対策を提言していきたいと考えております。

2つめは、海外に対して東日本大震災に関する情報

発信を行っていくため、東日本大震災から1年後にあたる、平成24年3月11日前後を目処に、他の5学会と協力して、国際シンポジウムを開催したいと考えています。地震先進国の日本がこの地震から学ぶ点は何か、他の国はこの地震をどのように捉えたかは、地震被害の脅威にさらされている国々にとって共通する重要な課題だと考えられます。国際シンポジウムを日本発の情報発信の場にしたいと考えております。

3番目は、海外会員の獲得とこれによる日本地震工学会の国際化の進展です。EERI(米国地震工学会)では、約2,200人の会員のうち20%弱の400人が海外会員であります。カナダ100人、日本70人、英国25人と、多数の海外会員がいます。海外会員の獲得は、海外において日本の技術が正当に評価されるために重要です。これは、日本のお家芸とも言える地震工学の技術に対する評価が、技術の分野だけに止まらず、日本そのものの評価につながるどころが大であるからであります。日本には毎年多数の留学生が地震工学を勉強に来てくれていますから、これらの学生を中心に、海外会員の獲得に力を入れていきたいと考えています。

以上、いくつかをご紹介しましたが、このほかにも会長として実行すべきだと考えているプログラムがいろいろあります。これらの実現には、会員の皆様のご協力が何よりも重要であります。今後2年間、日本地震工学会の発展のために力を尽くして参りたいと考えておりますので、なにとぞご支援のほどお願い申し上げます。就任の挨拶といたします。

# 東日本大震災の発災にあたり

久保 哲夫

●一般社団法人 日本地震工学会第11代会長

一般社団法人 日本地震工学会（以下、本会）は、近代的な学問体系が組み立てられた明治期以降において土木、建築、地盤、機械といった“物”を対象として進められてきた地震・耐震工学を、理学としての地震学を含めて横断的に俯瞰化をはかり、社会システム等の変貌に伴って形、性質等をかえる地震災害の軽減をはかることを目的として設立されたところである。

本会の設立は2000年の夏に遡る。準備の会合を重ね、同年12月に設立総会を挙げて2001年1月に任意団体として発足した。会の発展をはかるには、学術団体として法人格を取得することが望まれ、理事会内において検討が進められ、本会発足後10年を前に2010年2月一般社団法人として法人格を備えた学術団体として再発足することになった（本会を巡る動向では、他に2010年秋に長い歴史を有していた（財）震災予防協会が残念ながら会を閉じるに至った）。

本会としては、設立より10年ならびに法人格の取得を一つの区切りとし、理事会内の「創立10周年記念事業運営委員会」と「会誌編集委員会」において記念事業の企画を進めることとした。前者は2011年3月に開催予定として進めていた“記念シンポジウム”であり、後者は2010年11月に本会が幹事学会として主催した“第13回日本地震工学シンポジウム（つくば）”にてスペシャルテーマセッション企画として実施された「この10年の被害地震」、「この10年の地震工学の動向と発展」の記録化であり、本会の会誌として刊行し、シンポジウムに参加されなかった会員と会員外のご関心のある方への情報発信を行うことを企画した（「この10年の被害地震」については、2011年1月刊の会誌13号特集として発信済み）。

そこに、2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震が発生し、東日本に大きな災害をもたらすこととなっ

た。発災より2ヶ月余を経ても未だ災害の全貌が捉えられていない状況である。5月末時点での人的被害は、亡くなった方は概数で15,300名余、不明の方は8,400名余に及ぶ。物的な損失は推定額で16～25兆円に及ぶとの報道がなされている。

本会としては、3月14日に“災害対策本部”を設置し、他の学協会との情報交換の場として“地震被害調査連絡会”を立ち上げ、翌15日に臨時理事懇談会を開催して本会として今回震災に対応する特別調査委員会の立ち上げを検討した。

この事態に対し、本会設立の10年の節目を記念して計画していた“10周年記念式典”は開催を延期することとした。

会誌編集委員会において進められてきていた特集記事「この10年の地震工学の動向と発展」については今回の平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震による動向をどのように反映するかが議論された。今回地震による震災は、今までの震災がそうであるように、今までに経験したことのない新しい様相の地震被害を呈している。この事象を取り入れることなく“地震工学の動向と発展”を論じることの意味合いが編集委員会・理事会等の場で意見交換された。結果としては、本会設立の2001年1月から10年間の被害地震、それを受けての地震工学の動向と発展をとりまとめる企画として会誌の特集号企画は当初の方向ですすめることとし、今回会誌第14号の刊行となった次第である。

末筆となるが、本会設立より昨2010年2月の法人化等の本会活動に協力、支援を戴いた方々への功労賞の表彰、記念講演などは“10周年記念式典”の延期にあわせて繰り延べられている。

（2011年5月27日）

# 特集「この10年の地震工学の動向と発展」について

福和 伸夫

●名古屋大学

## 1. はじめに

本特集は、前号に引き続いて日本地震工学会設立10周年を記念した特集であり、昨年11月19日につくば市で行われた第13回日本地震工学シンポジウムでのスペシャルテーマセッション「この10年の地震工学の動向と発展」での話題をまとめたものである。

## 2. この10年の地震工学の動向

2001年から2010年は、21世紀に入っの最初の10年間であり、2001年冒頭に中央省庁が再編された。中央防災会議(中防)が内閣府に移管され、国の防災体制が大きく見直された。また、国立研究機関の独立行政法人化や国立大学の法人化が行われ、研究環境も大きく変化した。さらに、阪神淡路大震災を契機に設立された地震調査研究推進本部(地震本部)が本格的に調査研究をスタートさせ、世界最大の振動台Eディフェンスも稼働した。こういった中、従来とは比較にならないスピードで様々な研究課題が取り組まれた。その様子は、表1に示す本特集のタイトルからも伺える。

地震本部は、全国を概観する地震動予測地図の策定のため、強震観測網やGPS観測網などを整備すると共に、活断層調査、堆積平野の地下構造調査などを実施し、地震発生の長期評価や強震動予測のレシピ作成を行い、地震動予測地図を公表した。本特集でも、杉山(産総研)が活断層調査について、平田(東大)が観測網整備について、瀬瀬(東大)が強震動予測法について、藤原(防災科研)が地震動予測地図とその公開システムについて報告している。

一方、中防は、地震本部の成果を活用しつつ、防災対策推進の立場から、東海地震、東南海・南海地震、日本海溝周辺での地震、首都直下地震など、特定の地震を対象に被害予測を実施し、地震防災戦略などの防災計画の立案や特別措置法の策定を行った。この成果は中林(明治大学)が報告している。

地震本部と中防による活動に加え、この10年での特筆すべき話題は、大型振

動台Eディフェンスの完成と、気象庁による緊急地震速報の導入である。本特集でも前者を用いた構造物の振動実験については梶原(防災科研)が、後者は東田(気象庁)が報告している。

これらに加え、建築、土木、機械の各分野で、従来にも増して様々な成果が生み出されている。建築分野では、木造家屋の耐震研究や免震・制震技術の進展が目覚ましく、その成果は五十田(信州大)と小鹿(小堀研)が紹介している。また、土木構造物については運上(国総研)が、機械構造物・設備については藤田(電機大)が報告している。

## 3. おわりに

この10年は阪神淡路大震災の教訓を活かす10年だった。この節目の年に東日本大震災が発生した。関係者の中には、この震災について特集に組み込んでほしいという意見も有った。しかし、未だ災害の渦中でもあり、時期尚早と判断し、本震災については改めて特集を組むことにして、本特集の筆者には敢えて第13回日本地震工学シンポジウムの内容に基づく執筆をお願いした。

今後の10年は、この大震災から多くを学びとり、減災社会を実現する10年にしなければならない。最後に、被災された方々にお見舞い申し上げますと共に、犠牲になった方々のご冥福を心からお祈りする。

表1 この10年の地震工学の動向と発展のタイトルと著者、所属

タイトル	著者(所属)
この10年の内陸・沿岸域地震を通して見た活断層調査の現状と課題	杉山雄一(産業技術総合研究所)
地震予知のため観測研究計画の新たな展開と限界	平田 直(東京大学)
地震被害想定の意味と課題	中林一樹(明治大学)
全国地震動予測地図の作成とデータ公開システムの開発	藤原広行(防災科学技術研究所)
Eディフェンスの活動と今後の展開	梶原浩一(防災科学技術研究所)
建築構造関係規定のこの10年の動向	福山 洋(建築研究所)
揺れの情報 - 緊急地震速報の現状と今後 -	東田進也(気象庁)
この10年の強震動地震学・応用地震学	瀬瀬一起(東京大学)
木造住宅の耐震化と診断・補強技術の現状	五十田博(信州大学)
制震・免震構造の開発と適用の現状	小鹿紀英(小堀鐸二研究所)
機械構造物・機械設備耐震設計技術と研究開発の現状とその動向	藤田 聡(東京電機大学)
地震に対する土木構造物の安全性向上に関する過去10年間の取り組みと今後	運上茂樹(国土技術政策総合研究所)
今後10年の課題(まとめに替えて)	武村雅之(小堀鐸二研究所)

# この10年の内陸・沿岸域地震を通して見た活断層調査の現状と課題

杉山 雄一

●産業技術総合研究所 活断層・地震研究センター

## 1. はじめに

2000年鳥取県西部、2004年新潟県中越、2005年福岡県西方沖、2007年能登半島、2007年新潟県中越沖、2008年岩手・宮城内陸の6つの内陸・沿岸域の被害地震のうち、能登半島地震以外の5地震は活断層の地表分布が認められていなかった場所を震源域として発生した。このため、活断層調査によって被害地震を起こす可能性のある断層を何割程度把握しているのか、今後の詳細な調査によってどの程度不明瞭、小規模なものまで認識できるのか、といった疑問が呈されている。また、これらの地震では地表・海底に出現した地震断層は断続的／不明瞭で変位量が小さく、不連続部を含む総延長は震源断層や地震の規模に比べて小さいという共通点を有する(鳥崎<sup>1)</sup>、鈴木・他<sup>2)</sup>、遠田・他<sup>3)</sup>)。さらに、これらの地震の後に行われた調査の結果、従来、地質学的な調査結果に基づき推定されている地震の頻度は、少なくとも一部の活断層・地域では過小評価の可能性があることがわかってきた。本講演では上に挙げた地震に伴う地震断層や地殻変動の調査の中で認められた活断層調査の動向と課題について紹介する。

## 2. 各地震の震源域の地質学的背景と既知の活断層との位置関係

まず、6つの地震の震源域の地質学的背景をおさらいしておく。鳥取県西部地震と福岡県西方沖の地震は、基盤岩露出地域で発生した横ずれ断層タイプの地震である。これに対して、中越、能登半島、中越沖、岩手・宮城内陸の4地震は、中新世以降の堆積層が分布するひずみ集中帯で発生した逆断層タイプの地震である。このうち、中越沖を除く3つの地震の震源断層は、日本海拡大時に形成された正断層が現在の圧縮応力場に対応して逆断層として活動したものと考えられている。

次に、これらの地震の震源域の地表投影位置と既知の活断層の地表位置との関係をまとめると、以下のようになる。

- 1) 既知の活断層沿い：能登半島地震
- 2) 既知の活断層の走向方向への延長：新潟県中越地震、岩手・宮城内陸地震、福岡県西方沖地震
- 3) 既知の活断層(逆断層)の傾斜方向への延長：新潟

## 県中越沖地震

- 4) 既知の活断層(横ずれ断層)と5 kmを超える距離において並走：鳥取県西部地震

このうち、1)はこれまでの活断層調査が大局的には適切であったことが検証された事例と言える。また、2)は既知の活断層の延長域を詳しく調べることが“未知の活断層”のシッポを効率的に掴む1方法であることを示唆している。具体的には、中越地震は六日町盆地断層帯、岩手・宮城内陸地震は北上低地西縁断層帯、福岡県西方沖地震は警固断層帯の、“メジャーな”活断層の走向延長域で発生した。3)は中越沖地震の項で述べるように、地表～浅層の活断層から地下深部の震源断層に至る3次元形状の把握の必要性を示している。4)は現在の活断層調査において最も対応が難しいケースと考えられる。後述するように、新しい調査手法の開発や評価方法の導入が必要と考える。

次に、6つの地震の調査の中で感じ取れた活断層調査の動向と今後の課題を挙げる。

## 3. 2007年能登半島地震

### 3.1 海域活断層調査への高分解能音波探査の貢献

能登半島地震では、海底地質構造図作成や原子力発電所の原子炉設置許可申請を目的として実施された音波探査によって知られていた海底断層のトレース(片川・他<sup>4)</sup>、岡村<sup>5)</sup>)にはほぼ沿って、今回の地震で形成されたと考えられる海底の変形が捉えられた(図1)。小規模な海底の変形を今回の地震に伴う変形(海底地震断層)と同定できたのは、浅海用の高分解能の音波探査システムの開発(村上・他<sup>6)</sup>)に負うところが大きい。この新たに開発された浅海用の音波探査システムは、中越沖地震の震源域とその周辺の調査、耐震設計審査指針の改訂に伴う原子力施設のバックチェック、文部科学省の沿岸域の活断層調査プロジェクト等に利用され、大きな成果を挙げている。

### 3.2 広い範囲に及ぶ長波長の変動地形の重要性

能登半島地震では地震に伴う地殻変動が陸に及び、汀線指標生物を用いた海岸の上下変動が詳細に調べられた(Awata et al. <sup>7)</sup>など)。その結果、海岸の上下変動パターンは後期更新世の海成段丘の変動パターンと類

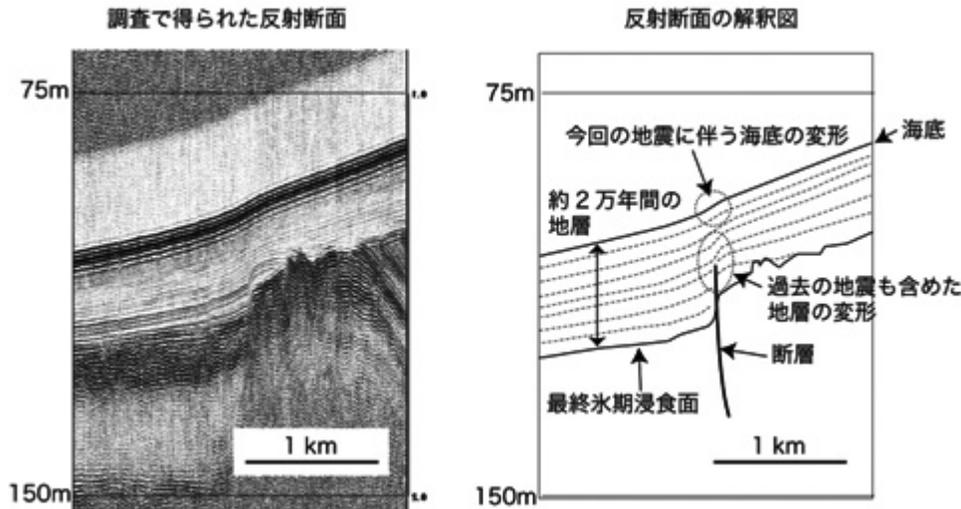


図1 音波探査が捉えた能登半島地震による海底の変形(産総研資料)

似し、同様の地震が繰り返し発生してきたことが示唆された。また、段丘面の隆起速度と傾動変形から、それぞれ1000～2000年、1600年の平均地震発生間隔が得られた(Toda and Awata<sup>8)</sup>)。この調査結果は、段丘面の高度変化や傾動などの広い範囲に及ぶ変位・変形に注目した変動地形学的調査の重要性を強く認識させた。

#### 4. 2004年新潟県中越地震

##### 4.1 断層関連褶曲の考え方による震源断層の形状推定

産総研は地震直後に、断層関連褶曲の考え方に基づき、震源域の褶曲構造から地下深部の断層の3次元形状を推定してホームページで公表した。その形状は、その後東大地震研究所などが公表した詳細な余震分布に基づく主断層の形状(例えばKato et al.<sup>9)</sup>)とよく一致していた(Okamura et al.<sup>10)</sup>)。この結果は、地下深部に潜む断層の2次元、3次元形状を推定する手法として、断層関連褶曲の考え方に基づく解析手法(断層モデリング)の有効性を検証したと言える。この手法は中越沖地震の震源断層の形状の推定にも貢献した。

##### 4.2 地表断層変位の多様性と地震発生頻度の過小評価の可能性

中越地震に伴う地震断層の変位量は10cm程度であったが、トレンチ調査の結果、同じ断層が過去には1.5m以上に達する変位を繰り返していたことが明らかにされた(図2; Maruyama et al.<sup>11)</sup>)。同一断層における10倍以上も違う地表断層変位は、岩手・宮城内陸地震の地震断層のトレンチ調査でも指摘されている(丸山・他<sup>12)</sup>)。10cm程度の地表変位は、その痕跡を地形や地層中に留める可能性は非常に低いため、活断層調査によって、このような小さな地表変位の古地震イベントを検出することはほぼ不可能である。この事実

現在、主にトレンチ調査など活断層調査の結果に基づいて推定されている地震の発生頻度は、過小評価の可能性を示唆している。この課題は地質学的な古地震調査のみによって解決することは不可能である。震源断層に至る断層の3次元形状を明らかにし、地震活動・地殻変動・地殻応力・地殻物性などの観測・実験データに基づく物理学的検討(破壊の発生・伝播のシミュレーションなど)を行って、地表断層変位の発生モデルを構築する必要がある。

#### 5. 2008年岩手・宮城内陸地震

##### 5.1 地質図、重力異常図などの既往資料の重要性

この地震では、半世紀前に刊行された地質図(片山・梅沢<sup>13)</sup>)に示された2～5百万年前の地層をずらす断層に沿って、約20 kmにわたって地震断層が断続的に出現した。この事実は、地質図や重力異常図などの既存資料から、鮮新・更新統を切る断層や基盤深度の急変部などを抽出し、それらが活断層であるかどうか調べることが“未知の活断層”の解明に迫る1つの方法であることを示している。

##### 5.2 変動地形調査におけるレーザー計測技術の有効性

丸山・他<sup>14)</sup>は、航空レーザー計測に基づく1mグリッドDEMから作成した地形イメージ図から、踏査で確認された地表地震断層の変位やトレースが検出可能か検討を行い、併せて地震断層沿いの累積変位の抽出を試みた。その結果、田や牧草地では50 cm程度以下の上下変位でも検出可能であり、植生が濃い山地内の地震断層でも、1m程度以上の上下変位を伴う場合にはその性状を明瞭に捉えられることを明らかにした。さらに、地震断層沿いの数ヶ所で、2008年の地震以前にも同じ断層が活動したことを示す低崖を検出した。

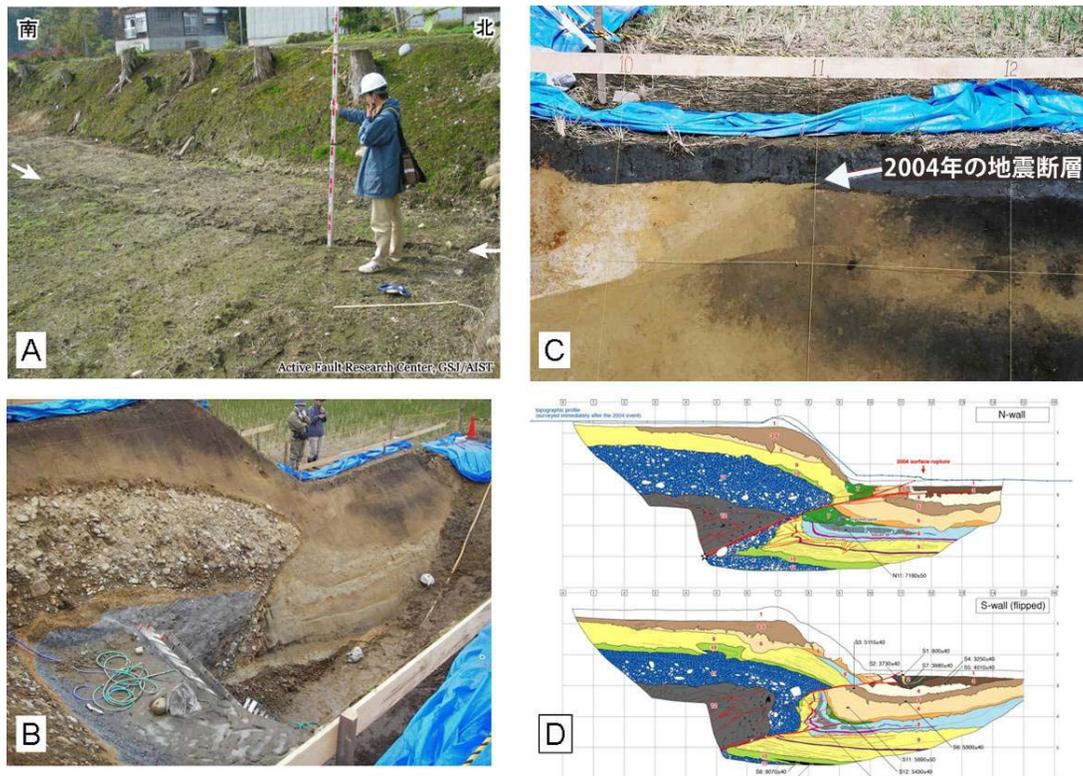


図2 A：中越地震に伴って出現した地震断層と背後の崖、B：崖と地震断層を横断するトレンチに現れた逆断層、C：トレンチ壁面に現れた中越地震の地震断層、D：トレンチ壁面のスケッチ、1万年前以降2回、地表断層変位が1.5m以上に達する地震が起きたことが分かった（産総研資料）

この結果は、“地表痕跡が不明瞭な活断層”の詳細図化や植生に被覆された地域の変位地形の存否確認・追跡に航空レーザー測量が有効であることを示した。現在、航空及び地上レーザー計測は、耐震設計審査指針の改訂に伴う原子力施設のバックチェック等にも利用されているほか、建物が密集する都市域の活断層調査にも活用されている（例えばKondo et al. <sup>15)</sup>）。

## 6. 2007年新潟県中越沖地震—活断層及び地下構造の3次元形状解明の必要性

地形・地質学の観点から見た中越沖地震の重要な特徴は、震源域と断層の地表への表出域（F-B断層などの活断層・活褶曲の分布域）が10 km近くも離れていたことである。その主な原因は1) 断層の傾斜が35度程度と低角度であったこと、2) 6 km以上に達する厚い堆積層が存在していたこと、の2つである。厚い堆積層が分布する地域で発生する地震や地震動を正確に予測するためには、地表や海底の活断層の位置や分布を明らかにするだけでは不十分である。構造探査による活褶曲構造の解明や断層関連褶曲の考え方の適用によって、活断層の深部延長に当たる震源断層の位置と形状を3次元的に把握する必要がある（例えば杉山<sup>16)</sup>）。同時に、厚い堆積層による地震動の増幅・減衰を適切に

評価することが不可欠である。そのためには、2次元、3次元の深部構造探査によって、堆積層の厚さと構造、地震波速度構造、堆積層／岩盤境界の形状などを解明する必要がある。

## 7. 2000年鳥取県西部地震と2005年福岡県西方沖地震—“孤立した短い活断層”、“地表痕跡が不明瞭な活断層”の調査及び評価の課題

鳥取県西部地震の震源域では、既往の文献が共通して認定している変動地形／リニアメントは長さ約3 kmの金山リニアメント（井上・他<sup>17)</sup>）だけである。この事実は現在の活断層調査の限界を示している。今後、断層破碎帯の物理・化学特性から、断層の活動性を直接的に評価する手法の開発を進める必要がある。但し、現在の活断層調査では全く手も足も出ないという訳ではない。線（個々の断層）の評価から面（領域）の評価に視野を広げれば、有意義な調査が可能と考える。具体的には、両地震とも、震源域から5～10 km離れたところに長さ10数kmの活断層が確認されている（例えば海上保安庁水路部<sup>18)</sup>、杉山・他<sup>19)</sup>など）。これらの活断層の調査を進めることが活断層と震源断層との関係のより深い理解に繋がるものと考えられる。

## 文献

- 1) 島崎邦彦：活断層で発生する大地震の長期評価：発生頻度推定の課題，活断層研究，no. 28, 41-51, 2008.
- 2) 鈴木康弘，渡辺満久，中田 高，小岩直人，杉戸信彦，熊原康博，廣内大助，澤 祥，中村優太，丸島直史，島崎邦彦：2008年岩手・宮城内陸地震に関わる活断層とその意義－関市巖美町付近の調査報告－，活断層研究，no. 29, 25-34, 2008.
- 3) 遠田晋次，丸山 正，吉見雅行，金田平太郎，栗田泰夫，吉岡敏和，安藤亮輔：2008年岩手・宮城内陸地震に伴う地表地震断層－震源過程および活断層評価への示唆－，地震2, 62, 153-178, 2010.
- 4) 片川秀基，浜田昌明，吉田 進，廉澤 宏，三橋明，河野芳輝，衣笠善博：能登半島西方海域の第三紀～第四紀地質構造形成，地学雑誌，114, 791-810, 2005.
- 5) 岡村行信：能登半島西方海底地質図及び同説明書，海洋地質図シリーズ，no. 59 (CD-ROM)，産業技術総合研究所地質調査総合センター，2007.
- 6) 村上文敏，井上卓彦，岡村行信：高分解能音波探査装置による能登半島地震震源域の海底活断層調査，海洋調査技術学会研究成果発表会講演要旨集，no. 19, 63-64, 2007.
- 7) Awata, Y., Toda, S., Kaneda, H., Azuma, T., Horikawa, H., Shishikura, M. and Echigo, T.: Coastal deformation associated with the 2007 Noto Hanto earthquake, central Japan, estimated from uplifted and subsided intertidal organisms, Earth Planets Space, 60, 1059-1062, 2008.
- 8) Toda, S. and Awata Y.: Does the 2007 Noto Hanto earthquake reveal a weakness in the Japanese national seismic hazard map that could be remedied with geological data?, Earth Planets Space, 60, 1047-1052, 2008.
- 9) Kato A., Sakai S., Hirata N., Kurashimo E., Iidaka T., Iwasaki T. and Kanazawa T.: Imaging the seismic structure and stress field in the source region of the 2004 mid-Niigata prefecture earthquake: Structural zones of weakness and seismogenic stress concentration by ductile flow, Jour. Geophys. Res., 111, B08308, doi:10.1029/2005JB004016, 2006.
- 10) Okamura, Y., Ishiyama, T. and Yanagisawa, Y.: Fault-related folds above the source fault of the 2004 mid-Niigata Prefecture earthquake, in a fold-and-thrust belt caused by basin inversion along the eastern margin of the Japan Sea, Jour. Geophys. Res., 112, B03S08, doi:10.1029/2006JB004320, 2007.
- 11) Maruyama, T., Iemura, K., Azuma, T., Yoshioka, T., Sato, M. and Miyawaki, R.: Paleoseismological evidence for non-characteristic behavior of surface rupture associated with the 2004 Mid-Niigata Prefecture earthquake, central Japan, Tectonophysics, 429, 45-60, 2007.
- 12) 丸山 正，遠田晋次，吉見雅行，小俣雅志，郡谷順英，梶谷忠司，岩崎孝明，石川 玲，山崎 誠：2008年岩手・宮城地震に伴う地震断層のトレンチ掘削調査，活断層・古地震研究報告，no. 9, 産業技術総合研究所地質調査総合センター，19-54, 2009.
- 13) 片山信夫，梅沢邦臣：7万5千分の1地質図幅「鬼首」及び同説明書，地質調査所，1958.
- 14) 丸山 正，遠田晋次，吉見雅行，小俣雅志：2008年岩手・宮城内陸地震に伴う地震断層沿いの詳細地形－地震断層・変動地形調査における航空レーザ計測の有効性－，活断層研究，no. 30, 1-12, 2009.
- 15) Kondo, H., Toda, S., Okumura, K., Takada, K. and Chiba, T.: A fault scarp in an urban area identified by LiDAR survey: A case study on the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, central Japan, Geomorphology, 101, 731- 739, 2008.
- 16) 杉山雄一：地質学的な観点から見た中越沖地震の教訓と耐震安全研究，安全研究フォーラム2008－原子力施設の耐震安全と安全研究－，<http://www.nsc.go.jp/forum/2008/siryo/04.pdf>, 2008.
- 17) 井上大榮，宮腰勝義，上田圭一，宮脇明子，松浦一樹：2000年鳥取県西部地震震源域の活断層調査，地震2, 54, 557-573, 2002.
- 18) 海上保安庁水路部：10万分の1海底地質構造図「福岡湾」，1996.
- 19) 杉山雄一，宮下由香里，伏島祐一郎，小林健太，家村克敏，宮脇明子，新谷加代：鳥取県西部，日南湖リニアメント上でのトレンチ調査．活断層・古地震研究報告，no. 4, 産業技術総合研究所地質調査総合センター，193-207, 2004.

# 地震予知のため観測研究計画の新たな展開と限界

平田 直

●東京大学地震研究所

## 1. はじめに

我が国の地震予知研究計画は、1965年に当時の文部省測地学審議会（現在の科学技術・学術審議会）によって建議されて以来、45年にわたって続けられている。2009年からは、火山噴火予知計画と統合され、「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」として、5カ年計画で進められている。2つの予知計画は、日本列島周辺では海洋プレートが沈み込むことによって、プレート境界の巨大地震が発生し、マグマが発生するなど、地震と火山現象には共通の地球科学的な背景が存在することによって統合された。1995年の阪神・淡路大震災以降の、地震予知に関する取り組みは、それ以前の30年間の戦略とは大きく変わった。小論では、その後の15年間の研究の成果について概観する。なお、言及できなかった個別の研究の文献は平田(2003,2009)<sup>1,2)</sup>、Hirata(2004)<sup>3)</sup>を参照されたい。

地震予知のためには地震の直前に発生する現象（前兆現象）を的確に捉えることが重要である。この考えは、1998年度まで続いた第7次地震予知計画までの基本的戦略であった。それに加えて、1999年から始まった「地震予知のための新たな観測研究計画」と、「同（第2次）」では、地震発生に至る全過程を理解することと、地震発生に至る地殻の状態の推移をデータとモデルに基づいて予測するシステムの構築を目指した。この新戦略に基づいて、リソスフェア内で進行する、地震発生に至る諸過程（準備過程と直前過程）の理解が進展した。とりわけ、プレート境界で発生する地震については、「アスペリティモデル」が提唱され、幾つかの地震でモデルの有効性が確かめられた。今後は、この概念モデルを、数値的に解析可能な物理モデルと、データを同化して予測する「予測シミュレーションモデル」に進化させることが重要である。

小論をまとめている直前、2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震（M9.0）が発生した。この地震は、我が国で記録された地震の中で最大規模であり、現在進めている予知研究計画の進め方にも大きな影響を与えているが、小論では触れられないことをお断りする。

## 2. 地震予知のための新たな観測研究計画（1999-2008年度）

測地学審議会による第7次地震予知計画の見直しに引き続き、多くの地震の研究者が、地震予知に関する研究を根本的に検討し、「新地震予知研究計画 -21世紀に向けたサイエンスプラン-」<sup>4)</sup>が提案された。この科学計画では、地震予知研究を狭い意味の前兆現象の捕捉に限定するのではなく、地震発生にいたる地殻とマンツルの諸過程の理解に基づく地震活動予測システムの構築を目差した研究にすべきであると提案された。

「新地震予知研究計画 -21世紀に向けたサイエンスプラン-」の2.1章「理念と目的」では、以下のように述べられている。『これらの地震の発生を予測するためには、応力が十分に蓄積（増加：引用者の註）していながらまだ地震が発生していない状態（準備過程の最終段階）にある場所とそこで進行している地殻現象を検出する必要がある。その検出には破壊現象の直前だけに着目するのではなく、地震発生に至る地殻活動の全過程を地殻現象の観測によって把握し、その推移を逐次予測して検証して行くことが必要とされる。（中略）本研究計画は、このような地殻活動の全過程の推移の予測・検証を通して、地震発生準備の最終段階を検出することをめざす。そのため、充実した観測網により、地殻及び上部マンツルの状態と活動をリアルタイムで把握し、より対象を絞った特別観測と併せて、地震の準備過程とその最終段階を予測するシステム（「地震発生総合予測システム」）を開発して、その実効性の検証を行う。総合予測システムによって、「定量的かつ能動的な推移予測」を行う。これは、日本列島とその周辺を対象に、大地震の発生準備の最終段階にある場所を10年程度の予測幅で抽出し、さらに地震発生時の強震動分布の予測を行うものである。10年という期間は、プレート境界地震の全準備期間の約10%、内陸地震のその約1%に相当し、その間に期待される震源域周辺の歪変化量は今後のGPS観測体制の整備によって捕捉可能な大きさである。』

この科学計画は、その後測地学審議会から建議された「地震予知のための新たな観測研究計画」（新観測研究計画）の科学的な基礎となった。新観測研究計画

は、1999年から5カ年の第1次計画と、2004年度から2008年度までの5カ年の第2次計画として実施された<sup>5,6)</sup>。

### 3. 地震予知のための新たな観測研究計画の主な成果

#### 3.1 プレート境界地震

地震発生直後から次の地震発生に至る歪蓄積過程を地震発生準備過程と位置付け、その進行状況を把握するための観測研究を進めた。地震波形データ解析の研究によって、断層面上での滑り量は一般的に不均一であることが分かってきた[例えば、菊地(1991)<sup>7)</sup>の総合報告を参照]。滑り量の大きい領域は、地震発生前に断層面が固着していたところであり、アスペリティと呼ばれた。三陸沖で発生した幾つかのプレート境界の大地震では、同一のアスペリティが繰り返し破壊することが分かってきた。また、プレート境界に孤立した小さなアスペリティがあると、ほぼ同じ間隔でアスペリティが破壊して、ほぼ同じ大きさの地震が発生することが、東北地方の釜石沖で確かめられた。さらに、アスペリティの周辺では定常的な滑りが進行していることも理解されてきた。これらの観測事実を総合して、プレート境界では、非地震性滑りの進行によりアスペリティに応力が集中し、やがて地震発生に至るという概念モデル(アスペリティモデル)が提唱された。アスペリティという用語はLay and Kanamori(1980)<sup>8)</sup>などでも使われているが、ここで述べたような意味でのアスペリティの使い方は、日本の地震予知研究によって新しく提案された。アスペリティの意味やアスペリティモデルの内容についても、初期の文献によっては異なる使われ方がされているので注意が必要である<sup>9,10)</sup>。アスペリティモデルを提唱したことは、第1次新観測研究計画における最も重要な成果の一つである。さらに、プレート境界では、定常的な滑りが進行する場所、固着と地震性滑りを繰り返す場所の他、非地震性のゆっくりとした非定常的な滑りや地震後のゆっくりとした滑り(余効滑り)が発生する場所のあることなど、歪蓄積・解放形態の多様性が明らかになった。

第2次新観測研究計画では、アスペリティモデルによって、プレート境界の地震発生に至る地殻活動が説明できるかが検討され、このモデルが妥当であると考えられる事例が蓄積した。2003年十勝沖地震の震源域は1952年十勝沖地震とほぼ重なり、同じアスペリティが破壊したことがわかった。さらに、2003年十勝沖地震から2004年の釧路沖の地震発生に至る過程では、ゆっくり滑りの伝播による応力変化が地震発生に大きな影響を及ぼすことが、GPSや相似地震によるゆっくり滑りのモニタリング等の観測的研究によって明らか

にされた。一方、2003年宮城県沖の地震では、1978年宮城県沖地震のアスペリティの一部が破壊されたことが示され、アスペリティの周辺の滑りの様子が小繰り返し地震のモニタリングによって明らかにされた。

ゆっくり滑りの伝播が地震の連鎖を引き起こす可能性については、速度と状態依存の摩擦構成則<sup>11)</sup>を用いた数値シミュレーションによっても示され、地殻活動の理解を観測的研究と理論的研究によって進める手法の成果が挙がってきた。さらに、シミュレーションモデルによって過去の巨大地震発生サイクルの特徴が再現できるようになった。このシミュレーションでは、速度・状態依存摩擦構成則の摩擦パラメータをプレート境界の位置の関数としてモデル化し、定常滑りの領域と固着・破壊の領域を表現した。このモデル化は、概念モデルとしてのアスペリティモデルをシミュレーションモデルに組み込んだと言える。

これらの研究を進めるための基礎的な観測的研究の進展によって、沈み込むプレート境界付近の物理的性質や動力学に関する理解が進んだ。特に、プレート境界での固着・滑りの状態には、地震間の固着・地震時の滑りと定常的なゆっくり滑りのほか、地震発生領域よりも深部で発生している非定常的なゆっくり滑りがあることが観測的研究により明らかにされ、プレート境界での滑り全般の定量的な数値モデル化に大きく貢献している。東海から西南日本にかけての沈み込むフィリピン海プレート深部境界で、短期的ゆっくり滑りと低周波微動・地震が同期して発生していることが明らかにされた<sup>12)</sup>ことは、ゆっくり滑りの時空間的推移を、測地学的方法とは相補的な手法を用いて高分解能で把握することが可能になった点で重要である。

#### 3.2 内陸地震

内陸での地震発生の準備過程については、地殻の不均質構造に関する知見が蓄積し、東北地域で、火山と活断層の分布を基に、広域応力が特定の断層域へ集中していく概念モデルが提出された。さらに、内陸部の歪集中機構の観測的研究に基づき、地殻・マントル内の不均質な粘弾性・塑性変形によって広域の応力が震源断層へ集中する概念モデルも提案された。2004年新潟県中越地震、2007年新潟県中越沖地震、2007年能登半島地震など内陸の大地震の発生直後からの機動的な臨時観測によって、地殻の不均質構造と地震発生の関係を理解する研究が進んだ。歪み集中帯の発生機構と内陸地震発生過程を地殻及び上部マントルの不均質構造に基づいて解明するために、大学の合同観測が2004年度から始められた。これらの研究によって、プレート境界地震のアスペリティモデルのように、今後

の研究の出発点となるような統一的な概念モデルが提案されつつある。

### 3.3 その他の成果

第1次新観測研究計画期間中に、基盤的調査観測（高感度・広帯域・強震地震観測網、GPS観測）が整備され、地震予知研究計画にも有効に利用された。高感度地震観測網については、気象庁が、気象庁・防災科学技術研究所及び大学のデータを一元的に処理して震源を決める（一元化処理）ようになり、このためのデータの流通・公開体制も確立した。大学のデータは、1997年から通信衛星システムを用いたテレメータが用いられるようになり、我が国の高感度地震観測データのほぼ全てが、全国どこからでも実時間で利用できるようになった。

2000年6月から始まった三宅島-新島・神津島の地殻活動が検出され、その時間発展がほぼ即時的に捕捉された。東海地域では、国土地理院のGPS連続観測網（GEONET）によって2000年から2005年にかけて、浜名湖付近を中心とした長期的ゆっくり滑りが把握された。さらに、気象庁等の歪等の観測網による非地震性滑りの即時的監視能力が強化され、短期的ゆっくり滑りが、ほぼ実時間で検出され、その活動の推移が把握できるようになった<sup>13)</sup>。これは、東海地震震源域の観測網に前駆的滑りの検知能力があることを示した点で重要である。海底での地殻変動を測地学的に測定する手法も、GPSと音響測距を組み合わせた海底測位システムの実用化が進み、海域において地殻変動の検出が可能となりつつある。

地殻活動シミュレーションの研究では、地震発生サイクルを構成する要素モデルの構築や、横ずれ型プレート境界での地震発生サイクルのシミュレーションが行われるなど、日本列島及びその周辺域の地殻活動予測のためのシミュレーションモデル構築の準備が進んだ。その結果、南海トラフ沿いの巨大地震発生サイクルの特徴を再現するシミュレーションモデル、ゆっくり滑りの原因や地震発生領域よりも深部で発生する前駆的滑りを説明する物理モデル、及びプレート沈み込みに伴う応力場形成に関するシミュレーションモデルが提案された。

## 4. 地震予知および火山噴火予知のための観測研究計画（2009年—2013年度）

2009年4月から始まった研究計画では、地震予知と火山噴火予知の研究を統合して進めている。これまでも、地震予知研究の一環として、火山地帯でマグマ溜

まりの形態を調べる研究や、火山噴火予知の研究の一環として群発地震の活動と地殻変動データからダイクの貫入を推定した研究[例えば、Morita et al. (2006)<sup>14)</sup>]などが行われてきた。今後は、地震と火山噴火の研究を意識的に統合した研究を行っていくことになる。近年の観測研究の進展によって、広域的な応力変化とマグマ活動の推移との関係が理解されるようになり、大地震の発生と火山噴火の関係（地震と火山噴火の相互作用）を論ずることが、現実的な課題となってきた。こうした考えに基づいて、現在の計画が進められている<sup>15)</sup>。

これまでの地震予知のための新たな観測研究では、「地震発生にいたるまでに、地殻・マントルで何が起きているのか、それは何故かを理解する」研究（地震現象の理解）を中心に進めてきた。現計画では、進行する地殻・マントルの諸過程を理解した上で、地殻とマントルの状態を予測する研究に本格的に取り組むことになる。例えば、プレート境界で発生する地震については、境界での固着・滑りを支配する摩擦構成則（物理法則）に基づいて、数値モデルを作って地震発生にいたるまでのプレート境界の応力を推定する研究である。つまり、物理モデルに基づいて、地殻の現在の状態を観測データから予測し（データ同化）、さらに、将来の状態を予測する「地震発生予測システム」の開発が重要となる。このシステムは、（1）現在の地殻・マントルの状態を観測データから推定するためのモニタリングシステム、（2）将来の状態を予測するための数値的な予測シミュレーション、（3）データベースの構築という3つの要素からなる。

同時に、地震活動の統計的な評価に基づく活動予測も、予測研究の一部と位置付けられた。過去の地震活動の評価に基づいて将来の活動を予測することはこれまでも行われてきたが、同一のデータを用いて、複数の地震発生モデルによって予測を行い、予測結果を地震統計学的に厳密に比較評価する試みが米国を中心に始まり、スイスやニュージーランドなど国際的枠組みができつつある<sup>16)</sup>。我が国の統計的な評価に基づく活動予測計画でも、こうした国際的な連携を取りながら進めている<sup>17)</sup>。

## 5. 現在の地震予知研究計画の限界

2011年3月11日に、我が国で観測された最大規模のマグニチュード9.0の東北地方太平洋沖地震が、日本海溝から沈み込む太平洋プレート境界で発生した。この地震の発生可能性が、現在の予知研究計画の枠組みで理解出来たかが、厳しく問われている。東北地方の

太平洋沖のアスペリティモデルによっては、この地震の規模を予測することが出来なかったからである。

詳しく論じる紙幅はないので、以下の点を指摘するに留める。東北地方沖で過去にこのような大きな地震が発生したことが知られていなかったことが、超巨大地震の発生を予測することが出来なかった最大の理由である。今後は、ある領域の最大地震の規模を如何に評価するかという観点からの研究が必要となる。そのためのデータの収集方法から検討しなければなるまい。これには、プレート境界の物理過程の理解と同時に、地質学的時間スケールで進行する島弧-海溝系の沈み込み帯のアクティブテクトニクスの研究をいっそう進めて、沈み込み帯全体をシステムとして定量的に理解する必要がある。これまで地震間の定常的な状態だと思ってきた東日本の地震活動や地殻の変形の様式が、実は超巨大地震の準備過程で出現する現象であった可能性が高い。超巨大地震の発生によって、始めて地震発生サイクルの最終過程である地震準備過程を理解できるデータが得られた。こうした、超巨大地震の研究を現在の研究計画に追加することが望まれる。

## 6. まとめ

1965年から始まった日本における地震予知のための研究はいくつかの節目を通過して、地殻とマンツルの状態をモニタする体制を整備してきた。1999年から始まった新観測研究計画では、地震発生準備過程の解明を研究の重要課題と位置づけ、地殻・マンツルの状態を数値的に予測するシステムの開発を目指した。現時点では、プレート境界地震の地震発生準備過程の理解に基づき、南海トラフ沿いの過去の地震発生サイクルの特徴を再現出来るモデルができた段階で、予測システムは完成していない。2009年からは、予測システムの構築をより重視した計画が始まり、さらに、火山噴火予知の研究と統合された新たな段階に入った。この計画の2年目に2011年東北地方太平洋沖地震が発生し、計画の見直しが進められている。

## 文献

- 1) 平田直、日本の地震予知研究の到達点と第2次新地震予知研究計画、科学、73、9、1020-1028、2003.
- 2) 平田直、日本の地震予知研究-地震予知のための観測研究計画-、地震2、61、特集号、S592-S601、2009.
- 3) Hirata, N., Past, current and future of Japanese national program for earthquake prediction research, Earth Planets Space, 56, 8, xliii-1, 2004.
- 4) 地震予知研究を推進する有志の会、新地震予知研究

- 計画 -21世紀に向けたサイエンスプラン-、1998.
- 5) 測地学審議会、地震予知のための新たな観測研究計画の推進について(建議)1998.
- 6) 科学技術学術審議会測地学分科会、地震予知のための新たな観測研究計画(第2次)の推進について(建議)、2003.
- 7) 菊地正幸、震源過程の微細構造、地震2、44、301-314、1991.
- 8) Lay, T. and H. Kanamori, 1980, Earthquake doublets in the Solomon Islands, Phys. Earth Planet. Inter., 21, 283-304, 1980.
- 9) 松澤 暢、地震予知の戦略と展望、地学雑誌、110、771-783、2001.
- 10) 飯尾能久・松澤暢・吉田真吾・加藤照之・平田直、非地震性すべりの時空間変化と大地震の発生予測-三陸沖における近年の進展を中心に-、地震2、56、213-229、2003.
- 11) Dietrich, J., Modeling of rock friction: 1. Experimental results and constitutive equations, J. Geophys. Res., 84, 2161-2168, 1979.
- 12) Obara, K., Hirose, F. Yamamizu, and K. Kasahara, Episodic slow slip events accompanied with non-volcanic tremors in southwest Japan subduction zone, Geophys. Res. Lett., 31, L23602, doi:10.1029/2004GL020848, 2004.
- 13) 小林昭夫・山本剛靖・中村浩二・木村一洋、歪計により観測された東海地域の短期的スロースリップ(1984~2005年)、地震2、59、19-27、2006.
- 14) Morita, Y., S. Nakao, and Y. Hayashi, A quantitative approach to the dike intrusion process inferred from a joint analysis of geodetic and seismological data for the 1998 earthquake swarm off the east coast of Izu Peninsula, central Japan, J. Geophys. Res., 111, B06208, doi:10.1029/2005JB003860, 2006.
- 15) 科学技術学術審議会測地学分科会地震および火山噴火予知のための観測研究計画の推進について(建議)、2008.
- 16) Jordan, T.H., Earthquake predictability, brick by brick, Seism. Res. Lett., 77, 3-6, 2006.
- 17) 平田直、地震発生予測-現状と課題-、電気協会報、9月号、pp.7-12、2010.

# 地震被害想定の意義と課題

中林 一樹

●明治大学

## 1. はじめに

阪神・淡路大震災以降、我が国の地震工学と震災対策の取り組みは大きく進展した。とくに、内閣府の防災機能の強化をはじめとする組織の改編と、文部科学省における地震に関する長期評価、及び内閣府（中央防災会議）における被害想定とそれに基づく立法・対策計画の推進が進捗した。本報告では、21世紀の10年間を中心に、中央防災会議で進めてきた被害想定に焦点を当て、その意義と今後の対策に向けての課題を論考する。

## 2. 最近の被害地震と被害想定された広域巨大地震

表1は、阪神大震災以降に発生した主な被害地震（死者2人以上あるいは住家全壊50棟以上）と、この10年間で中央防災会議が行った広域巨大地震災害の被害

想定結果を比較しているものである。阪神・淡路大震災以降震度6弱以上の揺れを観測した地震は、島嶼部も含めると、18回発生しているが、主な地震被害としては10年間に8回発生している。

阪神・淡路大震災以来2回目の（計測震度としては初めての）震度7を記録した新潟県中越地震が2004年に発生しているが、被害規模で言うと阪神・淡路大震災の住家全壊で30分の1程度、人的被害としての死者では100分の1程度である。

阪神・淡路大震災以降、災害救助法の運用、被災者生活再建支援法等の災害時応急対応のための支援のみならず、被災市街地復興特別措置法や区分所有法の改正など復旧復興対策についての制度の高度化が進展してきた。しかし、これらの法制度の高度化も、阪神・淡路大震災の30分の1以下の被害規模への対応において

表1 最近日本で発生している主な被害地震と広域巨大地震の被害想定

発生日	地震	M	震度	死者	負傷者	全壊全焼	半壊
1995.1.17	阪神・淡路大震災	7.3	7	6,437人	43,792人	111,941棟	144,274棟
2000.10.6	鳥取県西部地震	7.3	6強	0人	182人	434棟	3,094棟
2001.3.24	芸予地震	6.7	6弱	2人	287人	69棟	749棟
2003.7.26	宮城県北部地震	6.4	6弱	0人	677人	1,276棟	3,809棟
2003.9.26	十勝沖地震	8.0	6強	2人	849人	116棟	368棟
2004.10.23	新潟県中越地震	6.8	7	68人	4,805人	3,184棟	13,810棟
2005.3.20	福岡西方沖地震	7.0	6弱	1人	1,204人	144棟	353棟
2007.3.25	能登半島地震	6.9	6強	1人	356人	686棟	1,740棟
2007.7.16	新潟県中越沖地震	6.8	6強	15人	2,346人	1,331棟	5,709棟
2008.6.14	岩手・宮城内陸地震	7.2	6強	23人	426人	34棟	146棟
20××年	東海地震	8.0	7	9,200人	27,000人	270,000棟	—
20××年	東京湾北部地震	7.3	6強	11,000人	37,000人	850,000棟	—
20××年	東南海・南海地震	8.1-8.4	7	18,000人	36,000人	350,000棟	—
20××年	日本・千島周辺海溝（宮城県沖）	7.5	6弱	290人	—	21,000棟	—
20××年	日本・千島周辺海溝（明治三陸）	7.1-7.6	6弱	2,700人	—	9,400棟	—
20××年	中部・近畿直下（上町断層）	7.6	7	42,000人	—	970,000棟	—
20××年	中部・近畿直下（猿投－高浜断層）	7.6	7	11,000人	—	300,000棟	—

（註）死者2人以上、あるいは住家全壊50棟以上を「主な被害地震」と定義した。震度6弱以上の地震としては、上記以外に、9地震が発生している。既往地震の死者には関連死及び行方不明者を含んでいるが、被害想定死者は直接死者のみである。

実現されてきたのである。

しかし中央防災会議において、地震の長期評価で切迫性（蓋然性）が高いと見なされている海溝型地震と、被害が甚大になる三大都市圏の直下地震について被害想定を進めてきた。その被害想定から人的被害と建物被害の結果を比較してみると、8つの地震を想定した日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震被害想定で、対策対象地震と位置づけられた宮城県沖地震、明治三陸大津波の被害想定では被害規模は阪神・淡路大震災を下回っているが、最も被害が大規模に想定されたのは、

大阪市の直下の上町断層地震の想定被害で、阪神・淡路大震災の人的被害で7倍、建物被害で9倍に達し、東京湾北部地震の被害規模を上回っている。

### 3. 中央防災会議の被害想定結果の比較

これまでに内閣府が被害想定を行い、公表している被害想定は表2である。被害想定項目は地震によって地域特性を反映して異なるものの、建物被害、人的被害、ライフラインの被害など基本的な項目は共通している。

表2 中央防災会議で行い公表している被害想定結果の比較

被害想定項目		東京湾北部	東海	東南海・南海	宮城県沖	明治三陸	上町断層	猿投-高浜
建物全壊棟数	揺れ	150,000棟	170,000棟	170,000棟	500棟	-	560,000棟	150,000棟
	液状化	33,000棟	30,000棟	80,000棟	3,600棟	-	22,000棟	20,000棟
	津波	0棟	7,000棟	40,000棟	2,900棟	9,400棟	0棟	0棟
	火災	650,000棟	50,000棟	40,000棟	14,000棟	-	390,000棟	120,000棟
	崖崩れ	12,000棟	8,000棟	20,000棟	80棟	-	4,000棟	4,000棟
	合計	850,000棟	260,000棟	360,000棟	21,000棟	9,400棟	970,000棟	300,000棟
ライフライン・他	上水道	1,100万人	550万人	1,600万人	25万軒	-	290万軒	150万軒
	電気	160万人	520万人	1,000万人	52万軒	-	180万軒	97万軒
	ガス	120万人	290万人	300万人	17万軒	-	340万軒	160万軒
	道路鉄道 港湾	帰宅困難者 650万人	不通・障害大 機能停止	不通・障害大 機能停止	30+70箇所 5箇所	-	帰宅困難者 200万人	帰宅困難者 98万人
	避難生活	390万人	190万人	420万人	21万人	-	330万人	150万人
	物資不足	- -	米 410トン 水5500トン	米 250トン 水15千トン	- -	- -	- -	- -
	医療対応	37,000人	27,000人	36,000人	-	-	47,000人	14,000人
	その他	疎開210万人	観光10万人	観光客多数	疎開12万人	-	疎開180万人	疎開80万人
直接死者数	揺れ	3,100人	6,700人	6,600人	5人	-	34,000人	9,300人
	液状化	-	0人	0人	0人	-	0人	0人
	津波	0人	1,400人	8,600人	280人	2,700人	0人	0人
	火災	6,200人	600人	500人	5人	-	7,500人	1,400人
	崖崩れ	900人	700人	2,100人	10人	-	400人	400人
	合計	11,000人	9,200人	18,000人	290人	2,700人	42,000人	11,000人
経済的被害	直接被害	67兆円	26兆円	43兆円	1兆円	-	61兆円	24兆円
	間接被害	45兆円	11兆円	14兆円	3,000億円	-	13兆円	8兆円
	生産停止	39兆円	3兆円	5兆円	-	-	9.8兆円	5.5兆円
	東西交通 域外波及	6兆円 -	2兆円 6兆円	1兆円 8兆円	- -	- -	- 3.2兆円	- 2.5兆円
	合計	112兆円	37兆円	57兆円	1.3兆円	-	74兆円	33兆円

(註) 上水道・電気は発生直後。ガス・避難所生活者は1週間後（東京湾北部・上町断層・猿投-高浜断層の避難者は4日後）。医療対応とは地域内で対応困難な重傷者数。東海地震では予知情報に基づく警戒宣言が発令され事前避難等の場合には、死者数は2,300人に減少。

詳細に比較すると、建物被害では地震動に伴う揺れ・液状化・崖崩れの全壊被害よりも火災による全焼被害が上回っているのは、東京湾北部地震のみである。東京湾北部地震がマグニチュード7.3で、最大震度が震度6強と想定された結果である。マグニチュード7.6で、断層直上付近に震度7の強い揺れが出現すると想定された上町断層では、地震動に起因する全壊被害58万棟に対して、火災による全焼被害が39万棟と想定された。また、津波による建物被害では東南海・南海地震災害が4万棟と最大である。

ライフラインの被害では、津波・液状化・崖崩れの被害が最も大規模になる東南海・南海地震が上水道・電気において被害が大規模である、直後の断水人口1,600万人（約550万軒）、直後の停電人口1,000万人（約350万軒）に達し、飲み水や食糧にも不足する事態が発生すると想定されている。巨大都市である東京大都市を直撃する東京湾北部地震よりもライフライン被害が大きくなるのは、沿岸域が震度7であること、その結果液状化の発生と、その後に津波が来襲するという被災シナリオのためである。

人的被害では、建物被害が最大の上町断層地震が最大で、4万2千人の死者と想定された。続いて津波被害が大規模な東南海・南海地震の1万8千人で、東京湾北部地震は、火災による死者が最も多いものの津波も無く、揺れによる建物被害の規模を反映して、直接死者11,000人である。震災関連死は想定されていない。

経済的損失の被害想定が、直接被害と間接被害に分けて想定されている。直接被害では、破壊された建物の再建費用、都市基盤施設等の復旧費用として計上された復旧復興費用を概算したものである。間接被害としては、人的被害（労働力の被災等の制約）や物的被害（交通施設の被災等の制約）によって受ける生産低下と、直接被害が地域外に波及して引き起こす生産停止などの間接被害である。

日本の首都であり、国家的行政・政治・経済の中核機能が集積している東京区部を直撃する東京湾北部地震が最大で、直接被害で67兆円、間接被害で45兆円と推計された。続いて大阪を直撃する上町断層で、その大部分が直接被害からの復旧費用で総計74兆円である。近年の我が国の一般会計予算が約90兆円であるから、その規模の膨大さは明らかである。

安政年間のように東海地震と東京湾北部地震が短期間のうちに連続して発生するとか、東海と東南海・南海地震が連発するような事態となると、直接被害以上に、その間接被害も含めた損失は膨大となる。

#### 4. 首都直下地震の被害想定から読み取る震災像

これらの中央防災会議が被害想定した広域巨大地震災害のなかで、首都直下地震は特徴的な被害想定となっている。それは、その他の地震被害想定が、それぞれの地震モデルを持ち、それにしたがって被害想定がなされているが、首都直下地震の「地震モデル」が確定していないことである。

地震被害は、地震が発生する季節・時刻・気象条件（とくに風速）によって、大きく被害規模が異なることは経験的に知られている。そのため、いろいろなケースを設定して被害想定を行うのである。しかし、地震動による建物被害は地震モデルに規定され、季節・時刻・気象条件に左右されない。

ところが、首都直下地震では、地震モデルが確定できず、表3のように3種類18タイプの地震を設定して被害想定を行ったのである。

それらの被害想定結果を比較したものが、表4である。火災は大きく「季節・時刻・気象条件」に左右されるため、首都直下地震では「冬・夕方18時・風速15メートル」の、建物被害が最大になるケースで地震による被害の相違を比較した。

マグニチュード7.3（深さ30 km）の地震が東京区部を直撃する、東京湾北部地震の被害想定が最も大規模である。この被害想定では、東京都心を直撃するマグニチュード6.9（深さ10 km）の地震被害も大規模で、阪神・淡路大震災の建物被害規模の7倍前後となっている。

その中で、蓋然性（切迫性）が高く、首都の中核機能に大きな影響を与えるために、首都直下地震対策を検討するための『対策検討地震』と位置付けられたのが、東京湾北部地震である。

平日の日中に地震が発生すると1都3県の震度6強及び震度6弱の地域で2500万人が地震に遭遇する。

東京湾北部地震について、被害の想定に影響を与える発生時刻と気象条件（風速）別に被害想定された結果をとりまとめたのが、表5である。

地震動による被害に対し、火災による建物被害は木造住宅密集市街地を中心に「冬・夕刻18時・風速15m」では65万棟となったが、「風速3m」の場合では、火災による焼失4万棟である。

建物以外にブロック塀11万件転倒、自動販売機6万機以上転倒、落下物を生じる建物2万棟以上等の被害が想定された。

その結果、震災ガレキは最大9千6百万トン（通常の3年以上の産業廃棄物）となるが、火災による大量の建物被害は、皮肉なことに震災ガレキの発生量を若

干軽減する結果となる。

死者も人口分布が時刻によって異なるために、5,300人から11,200人まで格差がある。また負傷者や建物やエレベーターへの閉じ込めによる救出救助が必要な人の被害についても被害想定を行い、6万人ほどにも達する事態が想定された。

1都3県3350万人の居住人口のうち、平日の昼間だと自宅に在宅している人が1250万人に対して、2100万人が自宅以外で被災する。そのうち1450万人は相対的に自宅に近い場所で被災すると推計されているが、自宅

から遠く離れた地域で被災する帰宅困難者は、首都圏全体では650万人に達するという想定結果である。

また、自宅を失うなどによって、公設避難所への避難者は、4日後で避難所への避難者は390万人、その他への疎開者は210万人に達すると想定された。

こうした膨大な規模に達する被害想定項目以外に、国家中枢(政治・経済・外交など)に関わる機能障害など、いわば質的被害想定についても、専門調査会では議論され、そのためにはライフラインの被害軽減をはじめとする「被害想定を被害軽減の予防対策の目標と

表3 内閣府が設定した18の首都直下地震

地震のタイプ		M	深さ	首都直下地震
プレート境界面での地震	プレート境界	7.3	30km ~	東京湾北部地震、多摩地震、茨城県南部地震の3地震と1参考地震
浅いプレート内の地震	プレート内部	6.9	10km	東京都心東部地震、東京都市西部地震、さいたま市直下地震など9地震
	活断層	7.0 ~ 7.5	~ 20km	関東平野北西縁断層帯、立川断層帯、伊勢原断層帯、神縄・国府津-松田断層帯、三浦断層群の5地震

表4 18の首都直下地震による被害想定結果の比較(冬18時 風速15m)

想定地震	M	全壊棟数			全焼棟数	死者	
		地震動	液状化	斜面崩壊		地震動等	火災
東京湾北部	7.3	150,000	33,000	12,000	650,000	4,800	6,200
東京都心東部直下	6.9	140,000	18,000	5,400	520,000	4,300	6,300
東京都心西部直下	6.9	160,000	17,000	6,200	610,000	4,500	8,000
さいたま直下	6.9	52,000	13,000	1,500	190,000	1,400	1,900
千葉直下	6.9	12,000	14,000	700	61,000	430	400
川崎直下	6.9	23,000	15,000	4,000	130,000	900	900
横浜直下	6.9	6,600	14,000	5,500	43,000	600	50
羽田直下	6.9	40,000	17,000	4,000	190,000	1,500	1,800
立川直下	6.9	9,100	11,000	1,600	53,000	380	200
市原直下	6.9	3,700	12,000	500	29,000	160	60
成田直下	6.9	3,800	4,700	600	9,200	140	30
関東平野北西縁断層帯	7.2	39,000	14,000	1,200	170,000	1,170	500
立川断層	7.3	120,000	20,000	5,700	340,000	2,900	3,400
伊勢原断層	7.0	41,000	10,000	2,500	110,000	1,170	1,500
神縄・国府津・松田断層	7.5	77,000	13,000	5,200	130,000	2,040	3,600
三浦半島断層群	7.2	110,000	19,000	11,000	180,000	3,300	4,600
茨城県南部(プレート境界)	7.3	11,000	23,000	1,100	52,000	460	30
多摩(プレート境界)	7.3	50,000	27,000	8,300	480,000	2,400	1,600
東京湾北(東7西3)参考	7.3	98,000	34,000	12,000	480,000	3,700	3,600

表5 東京湾北部地震の時間別・風速別の被害想定結果

想定項目		5時	8時	12時	18時
揺れによる全壊建物		150,000 (木造：120,000棟 非木造：32,000棟)			
液状化による全壊建物		33,000 (木造：30,000棟 非木造：3,100棟)			
急傾斜地崩壊による全体建物		12,000 (木造：7,900棟 非木造：4,100棟)			
火災による焼失	風速 3m	40,000	44,000	72,000	290,000
	風速15m	160,000	180,000	260,000	650,000
全壊および焼失の全壊 焼棟数の合計	風速 3m	230,000	240,000	270,000	480,000
	風速15m	360,000	370,000	460,000	850,000
ブロック塀などの転倒数		110,000			
自動販売機の転倒数		63,000			
落下物を生じる建物数		21,000			
ガレキの発生量		8,200万トン～9,600万トン (8,100立方メートル～10,000立方メートル)			
建物倒壊・震度による死者		4,200	3,200	2,400	3,100
(うち屋内家具等の移動・転倒)		(600)	(400)	(300)	(400)
急傾斜地崩壊による死者		1,000	800	900	900
火災による死者	風速 3m	70	70	100	2,400
	風速15m	400	400	600	6,200
ブロック塀等の転倒・落下物の死者		—	—	—	800
以上の合計 全死者数	風速 3m	5,300	4,800	4,100	7,100
	風速15m	5,600	5,100	4,600	11,000
(全死者のうち 災害時要援護者)	風速 3m	(2,000)	(2,000)	(2,000)	(2,900)
	風速15m	(2,600)	(2,600)	(2,700)	(4,100)
交通被害による死者		10	300	100	200
(交通を含む) 総死者数	風速 3m	5,310	5,100	4,200	7,300
	風速15m	5,610	5,400	4,700	11,200
負傷者数	風速 3m	160,000	150,000	140,000	170,000
	風速15m	180,000	170,000	170,000	200,000
(交通被害による負傷者数)		400	13,000	2,500	7,200
(うち、重傷者数)	風速 3m	(17,000)	(22,000)	(21,000)	(27,000)
	風速15m	(22,000)	(27,000)	(29,000)	(36,000)
(うち、交通被害の重傷者数)		50	2,100	400	1,200
自力脱出困難者(建物閉込)数		56,000	44,000	37,000	43,000
エレベーターの 閉じ込め者数	住宅内	—	1,500	—	—
	事務所内	—	—	11,000	—
帰宅困難者数		(160,000)	—	6,500,000	—
避難者	期 日	1日後	4日後	1ヶ月後	(自宅が被災)
	避難者数(避難所+疎開)	7,000,000	6,000,000	4,100,000	(3,700,000)
	避難所生活者数	4,600,000	3,900,000	2,700,000	(2,400,000)
	疎開者数	2,500,000	2,100,000	1,400,000	(1,300,000)
道路	種 別	高速道路	国道・都県道	市区町村道	合 計
	大被害	—	10	50	70
	中小被害	700	140	340	1,180

鉄道施設の被害	大被害	30 (東京 20)			
	中小被害	780 (東京600)			
港湾施設(岸壁)の被害		480 (東京港90、横浜港70、川崎港100、千葉港190)			
ライフラインの被害	期 日	1日目	2日目	4日目	復旧日数等
	上水道(断水人口)	11,000,000 25.7 %	8,600,000 19.4 %	3,000,000 6.8 %	30日 12,000人/日
	下水道(支障人口)	450,000 1.0 %	410,000 0.9 %	330,000 0.7 %	- -
	電 力(停電軒数)	1,600,000 6.1 %	1,300,000 4.9 %	680,000 2.6 %	6日 12,000人/日
	通 信(普通回線数)	1,100,000 4.8 %	1,000,000 4.5 %	930,000 4.0 %	14日 3,800人/日
	ガ ス(供給停止数)	1,200,000 12.3 %	1,200,000 12.2 %	1,200,000 11.9 %	55日 4,800人/日

表6 被害想定に基づく震災対策の構成

対策項目	東京湾北	東 海	東南海・南海	宮城県沖	明治三陸	上町断層	猿投高町
予知・警戒宣言	-	○	-	-	-	-	-
大震法・特別措置法	-	大震法	特措法	特措法	特措法	-	-
対策強化・推進地域	-	強化	推進	推進	推進	-	-
強化・推進基本計画	-	○	○	○	○	-	-
防災強化・応急計画	-	○	-	-	-	-	-
地震対策大綱	○	○	○	○	○	○	○
緊急対策方針	-	○	-	-	-	-	-
応急対策活動要領	○	○	○	○	○	(-)	(-)
活動要領に係る計画	○	-	-	-	-	-	-
地震防災戦略	○	○	○	○	○	(-)	(-)
官庁BCP・復興対策	○	-	-	-	-	-	-

する」取り組みが進められた。加えて、震災対策は企業、市民全体で取り組まなければならない規模であり、都県が行う被害想定に対して、首都直下地震の全震災像を描き出した。

##### 5. 中央防災会議が行う被害想定の意味と課題

中央防災会議が実施し公表してきた地震災害の被害想定に対応して、どのような対策が展開されているのかを整理してみると、表6である。

東海地震および東南海・南海地震、日本海溝・千島海溝等周辺海溝型地震の広域巨大災害については、地震モデルが確定しており、東海地震には大規模地震対策特別措置法、他にはそれぞれの地震に係る「地震対策の推進に関する特別措置法」が講じられ、著しい被害が想定されている地域に強化地域、推進地域を指定

し、予防対策を講じるとしている。

首都直下地震については、地震モデルが確定していないために、著しい被害が想定される地域も確定的ではない。しかし、首都機能を含めた震災対策の重要性を鑑みるならば、予防対策の促進や強化のみならず、復興対策までを視野に入れた『首都直下地震対策特別措置法』を整備し、万全の体制を講じておくことは極めて重大な国家の取り組みなのである。都県の被害想定ではなく中央防災会議の被害想定は、震災の全体像を示すことによって、国家としての取り組みを明らかにしているのである。

##### <文献>

- 1)中林一樹・瀬野徹三：首都直下地震の被害想定から見た震災像，地学雑誌，Vol116，313-324，2007

# 全国地震動予測地図の作成とデータ公開システムの開発

藤原 広行

●独立行政法人防災科学技術研究所

## 1. 背景と経緯

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震は、6,400名を超える犠牲者を出し、我が国の地震防災対策に関して多くの課題を残した。特に地震に関する調査研究に関しては、その研究成果が国民や防災機関に十分伝達される体制になっていないとの指摘がなされた。この地震の教訓を踏まえ、全国にわたる総合的な地震防災対策を推進するため、議員立法により、1995年7月に地震防災対策特別措置法が制定された。同法に基づき、行政施策に直結すべき地震に関する調査研究の責任体制を明確にし、これを政府として一元的に推進するため、政府の特別の機関として、地震調査研究推進本部が総理府に設置（現在：文部科学省に設置）された。地震調査研究推進本部には、政策委員会と地震調査委員会が設置され、(1)総合的かつ基本的な施策の立案、(2)関係行政機関の予算等の調整、(3)総合的な調査観測計画の策定、(4)関係行政機関、大学等の調査結果等の収集、整理、分析及び総合的な評価、及び(5)それらの評価に基づく広報がその役割とされた。

地震調査研究推進本部は、1999年4月に、今後10年間程度にわたる地震調査研究の基本方針、活動の指針として、「地震調査研究の推進について－地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策」（以下では総合基本施策と呼ぶ）を策定した。総合基本施策では、地震防災対策の強化、特に地震による被害の軽減に資する地震調査研究の推進を基本的な目標に掲げ、当面推進すべき地震調査研究として以下の4つを主要な課題とし、このために必要な調査観測や研究を推進するとした。その4つの課題とは、①活断層調査、地震の発生可能性の長期評価、強震動予測等を統合した地震動予測地図の作成、②リアルタイムによる地震情報の伝達の推進、③大規模地震対策特別措置法に基づく地震防災対策強化地域及びその周辺における観測等の充実、及び④地震予知のための観測研究の推進である。

特に、地震動予測地図の作成は、推進すべき主要課題の筆頭に掲げられ、これに基づき地震調査研究推進本部地震調査委員会では、「全国を概観した地震動予測地図」の作成を開始し、平成17年3月に2005年版の

予測地図が完成し、公表された。その後、毎年度、新たな評価結果を取り込むことにより「全国を概観した地震動予測地図」の更新が行われてきた。こうした中、2009年7月には、これまでの10年間の検討のとりまとめとして、各種データの追加や作成手法の高度化により、これまで約1kmメッシュで表現された地図が、約250mメッシュに細分化された表現になる等、大幅な改良が加えられると同時に名称も変更され、「全国地震動予測地図」<sup>1)</sup>として公表された。防災科学技術研究所では、「全国地震動予測地図」の作成に資するため、地震動予測地図作成に必要な要素技術の検討及び予測地図の作成作業を実施してきた<sup>2)</sup>。

## 2. 全国地震動予測地図の概要

地震調査委員会により公表された「全国地震動予測地図」は、地震発生の長期的な確率評価と、地震が発生した時に生じる強震動の評価を組み合わせた「確率論的地震動予測地図」と、特定の地震に対して、ある想定されたシナリオに対する詳細な強震動評価に基づく「震源断層を特定した地震動予測地図」の2種類の性質の異なる地図から構成されている。「全国地震動予測地図」は、兵庫県南部地震の教訓を踏まえ発足した地震調査研究推進本部のこの10年間の長期評価及び強震動評価に関する活動の成果の集大成として位置づけられるものであり、地図の作成に必要なデータまで含めると膨大な量の情報を含んでいる。以下では簡単に「全国地震動予測地図」の概要をまとめる。

### 2.1 確率論的地震動予測地図

地震の発生及びそれに伴う地震動の評価（地震ハザード評価）は、現状では数多くの不確定要素を含んでいる。現状の地震学・地震工学のレベルでは、将来発生する可能性のある地震について、地震発生の日時、場所、規模、発生する地震動等について、決定論的に1つの答えを準備することは困難である。こうした不確定性を定量的に評価するための技術的枠組みとして有力と考えられているのが、確率論的手法である。確率論的地震動予測地図を作成するために、以下に述べる手法に従った地震ハザード評価が採用されている。地震ハザード評価とは、ある地点において将来発生す

る「地震動の強さ」、「対象とする期間」、「対象とする確率」の3つの関係性を評価するものである。確率論的地震動予測地図作成における地震ハザード評価の大きな手順は、以下に示す通りである。

- ① 地震調査委員会による地震の分類に従い、対象地点周辺の地震活動をモデル化する。
- ② モデル化したそれぞれの地震について、地震規模の確率、対象地点からの距離の確率、地震の発生確率を評価する。
- ③ 地震の規模と距離が与えられた場合の地震動強さを推定する確率モデルを設定する。モデル化された各地震について、対象期間内にその地震により生じる地震動の強さが、ある値を超える確率を評価する。強震動評価手法としては、経験的な距離減衰式を用いる。具体的には、対象地点から断層面までの最短距離を用いた距離減衰式に基づき、工学的基盤における最大速度を求め、これに表層地盤の速度増幅率を乗じることにより地表における最大速度を求め、最大速度と計測震度との関係式を用いて地表の震度を評価する。
- ④ 上の操作をモデル化した地震の数だけ繰り返し、それらの結果を足し合わせることにより、全ての地震を考慮した場合に、対象期間内に生じる地震動の強さが、ある値を少なくとも1度を超える確率を計算する。

このようにして、地点毎に地震ハザード評価を実施し、地震動の強さ・期間・確率のうち2つを固定して残る1つの値を求めた上で、それらの値の分布を示したものが「確率論的地震動予測地図」である。

## 2.2 震源断層を特定した地震動予測地図

主要断層帯で発生する地震については、確率論的な地震ハザード評価に加えて、あるシナリオを想定し、詳細な強震動評価手法を用いた震源断層を特定した地震動予測地図を作成している。震源断層を特定した地震動予測地図の作成においては、詳細な強震動評価手法としてハイブリッド法と呼ばれる地震波形の合成法が用いられている。ハイブリッド法は、複数の要素技術の組み合わせからなる複雑な波形合成法であるが、この手法をできるだけ標準化し、誰が計算を実施しても同じ結果が得られることを目標とした手法の検討が行われ、「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（レシピ）」が、地震調査委員会により作成されている。また、詳細な地震動評価を実施するためには地下構造のモデル化が必要になる。このため、全国を対象とした深部地盤モデルの作成を実施している。

詳細な強震動評価に加え、主要断層帯で発生する地

震、その他の活断層で発生する地震、震源が特定されている海溝型の地震に対しては、経験的な距離減衰式を用いた簡便な手法による個別の地震についての強震動評価（地震動期待値及び条件付き超過確率）が実施されている。

## 3. 地震ハザードステーションJ-SHIS

「全国地震動予測地図」では、我が国で発生する可能性のある地震活動が網羅的に評価され、それらに基づいた地震ハザード評価が、全国を対象として統一的に実施されている。このため、地図作成に必要な地下構造モデルなど各種データまで含めると膨大な量の情報を含んでいる。

防災科研では、地震調査研究推進本部地震調査委員会による「地震動予測地図」の作成に資するため、地震動予測地図の作成に必要な要素技術の開発、及び地震動予測地図の計算作業を行ってきた。また、地震動予測地図の利用に関する検討の一環として、「地震動予測地図工学利用検討委員会」（委員長：亀田弘行）を設置し検討を行ってきた。本委員会がまとめた報告書<sup>3)</sup>では、「地震動予測地図」を最終成果物としての地図そのものだけでなく、その作成の前提条件となった断層モデル及び地盤モデル等の評価プロセスに関わるデータも併せた情報群としてとらえることにより、「地震ハザードの共通情報基盤」として位置づけるべきとの提言がなされた。この提言を実現するために、防災科研では「地震動予測地図」の公開システムの開発を実施し、同報告書により提案された名称を採用し、「地震ハザードステーション」（Japan Seismic Hazard Information Station, J-SHIS）として、地震調査研究推進本部からの「全国を概観した地震動予測地図」の公表と合わせて、2005年5月より運用を行ってきた。

J-SHISの運用を開始してから4年が経過し、その期間におけるWebによる地図情報の配信技術の進歩はめざましいものがあつた。これら最新の技術を取り入れ、「全国地震動予測地図」として整備された地震ハザードに関する各種データを、背景地図と重ね合わせて、わかりやすく提供できるシステムを目指し、従来のJ-SHISの機能の大幅な改良を実施し、2009年7月より運用を開始した。

新しいJ-SHISシステムは、各種データを一元的に管理し、一般ユーザがWebブラウザにより、これら情報を簡単に閲覧することができることを目指して開発された、オープンソースソフトウェアOpenLayersなどにより構成されたデータ管理・Webマッピングシステムである（図1）。

新しく開発されたシステムでは、「全国地震動予測地図」として新たに整備された約250mメッシュの全国版「確率論的地震動予測地図」、主要断層帯で発生する地震に対する詳細な強震動予測に基づく「震源断層を特定した地震動予測地図」、それら計算に用いた全国版深部地盤モデル、約250mメッシュ微地形分類モデルなどを、背景地図と重ね合わせて表示する機能に加え、住所や郵便番号などによる検索機能により、調べたい場所での地震ハザード情報を、簡単に閲覧することができるようになった。また、より専門的なデータの利活用を可能とするため、地震動予測地図のデータや計算に用いた断層モデル、地盤モデル等をダウンロードすることも可能となっている。

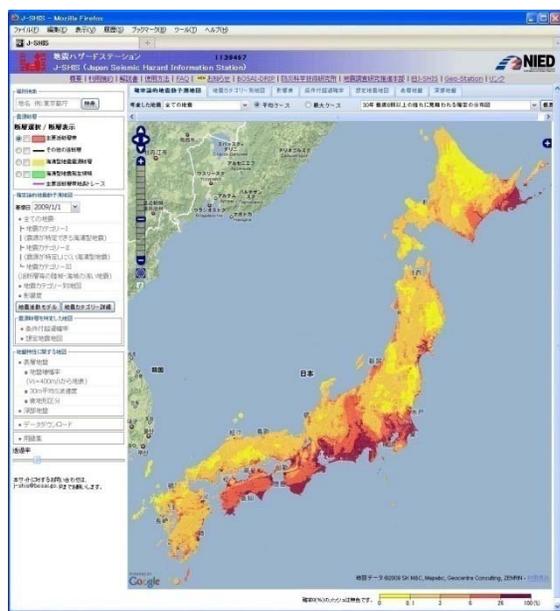


図1 地震ハザードステーションの画面の例

#### 4. 今後の課題

「全国地震動予測地図」は、1994年4月に地震調査研究推進本部によりとりまとめられた「地震調査研究の推進について－地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策」に基づき作成され、全国を概観した地震ハザード評価をとりまとめるという、当初の目標は、ほぼ達成できた。一方で、地震災害軽減のためには、「全国地震動予測地図」が単なる地震ハザード評価にとどまるだけでなく、実際の災害軽減のための各種活動の中で活かされるものとなっていく必要がある。

2009年4月には、地震調査研究推進本部により、「新たな地震調査研究の推進について－地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策－」がとりまとめられた。この中では、

地震動予測地図のさらなる高度化に向けての各種調査研究を進めること同時に、「防災・減災に向けた工学及び社会科学研究を促進するための橋渡し機能の強化」が基本目標に掲げられた。

地震の被害を軽減するためには、個々人の地震への意識を高め、地震に対する備えを促すことが不可欠である。このための第一歩として、個々人が地震リスクを自分の問題としてとらえることができるリアリティの高い詳細なハザードマップ及びリスク情報を作成することが必要である。こうした情報を集約し、最新の技術を用いて、わかりやすく説得力のある情報を提供することのできる地震ハザード・リスク情報ステーションを構築し、広く情報公開・普及を行い、防災・減災対策に活用することが望まれる。これまで主たる研究対象であった地震ハザードのみならず、地震リスク評価までを研究対象に広げた取り組みを推進することにより、新総合基本施策が掲げる基本目標の1つ「防災・減災に向けた工学及び社会科学研究を促進するための橋渡し機能の強化」の実現に資することが、今後の重要な課題となっている。

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(M9.0)は、全国地震動予測地図の地震活動モデルではとらえ切れていない巨大地震であった。この地震の経験を踏まえ、地震活動の長期評価手法の見直しが今後行われ、それにともない地震動予測地図の改訂が行われていくものと考えられる。

#### 謝辞

本検討は、地震調査研究推進本部地震調査委員会、及び関連する部会・分科会等の指導のもとに実施された。独立行政法人防災科学技術研究所では、「全国地震動予測地図」の作成に資するため、地震動予測地図の高度化に資する研究を実施してきた。これらプロジェクトの関係者の方々に、記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部：全国地震動予測地図,2009.
- 2) 藤原広行、河合伸一、青井真、森川信之、先名重樹、工藤暢章、大井昌弘、はお憲生、若松加寿江、石川裕、奥村俊彦、石井透、松島信一、早川謙、遠山信彦、成田章：「全国地震動予測地図」作成手法の検討,防災科学技術研究所研究資料,第336号,2009.
- 3) 地震動予測地図工学利用検討委員会：「地震動予測地図の工学利用－地震ハザードの共通報基盤を目指して－」、防災科学技術研究所研究資料第258号,2004.

# E-ディフェンスの活動と今後の展開

梶原 浩一

●独立行政法人防災科学技術研究所

## 1. はじめに

独立行政法人防災科学技術研究所(以下、防災科研)は、兵庫耐震工学研究センターの施設運用を開始してから2011年4月で6年を迎えた。地震防災における「究極の検証手段」として世界最大の実大三次元震動破壊実験施設を稼動し、これまで42課題の実験を実施している。施設全体の愛称は、公募によりE-ディフェンス(英語名E-Defense)と決定された。EはEarthの頭文字である。大型の三次元振動台であるが、付帯施設を含め大地震の震動に起因するさまざまな被害全般に対し有効に活用される施設になることを期待したネーミングである。また、この三次元振動台を固有名詞として、地震の震の字を用いて震動台と呼んでいる。

E-ディフェンスの究極の目的は数値震動台(構造物の破壊過程を再現できるシミュレーションシステム)の開発であり、実験はそのためのデータ取得の位置付けにある。実験そのものは、これまでの縮小実験では得られなかった構造物の耐震性の検証、耐震技術の実証、更には、実大構造物の実験過程に関する新たな知見を導き、耐震工学に大きな進展を与える。両者を目的に、文部科学省、国内外大学と研究機関の第一線の研究者、地方自治体の防災関係者、民間企業の支援、協力により、これまでE-ディフェンスの活用が進められてきた。今年は、2000年のE-ディフェンス建設着工から数えると11年目になり、実験の課題にも新たな展開が見え始めている。ここでは、E-ディフェンスのこれまでの活動と今後の展開について述べる。

## 2. E-ディフェンスの活動

### 2.1. 建設過程での準備研究

1999年から2003年に科学技術振興調整費による総合

研究「構造物の破壊過程解明に基づく生活基盤の地震防災性向上に関する研究」が推進された。「既存構造物の耐震性調査法」、「大規模実験のための震動台加振手法および計測技術」、「鋼構造物の塑性域の挙動と終局強度」、「コンクリート構造物の塑性域の挙動と終局強度」および「液状化および側方流動に対する構造物の挙動」の5つのテーマに分かれ研究が行われている。これらは、「実大三次元震動破壊実験施設を想定した実験手法の具体化」、「構造物全体系の破壊過程の解明と耐震性向上技術の開発」を目標として進められたものであり、現在進められている研究にも貢献する多くの成果を得ている。近年注目される人的被災の研究も含まれており、今後の避難行動に係る研究展開でも活用されるものと期待している。本研究プロジェクトは、大学、独立行政法人、民間など総計20の研究機関の協力のもとに推進された。

### 2.2. 施設建設後の活動

E-ディフェンスを用いて行うべき実験課題については、1995年度から2000年度にかけて、有識者による検討委員会により討議された。候補として挙げられた課題について、実験の実現性、実施しやすさ、社会的・技術的貢献度による総合評価を行った結果、鉄筋コンクリート建物、木造建物、地盤・基礎、高架橋、鉄骨造建物の5課題が実施優先度の高い実験課題として選定された。これらは、構築数が膨大であり、国民生活に密着していることも選定の理由である。

#### (1) 大都市大震災軽減化特別プロジェクト

2002年度より2006年度までの5ヶ年にわたり、大都市圏における地震被害の軽減を目指した、文部科学省主導の研究プロジェクト「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」(通称：大大特)が実施された。この中に



写真1 木造建物実験



写真2 鉄筋コンクリート建物実験



写真3 地盤・基礎実験

は、E-ディフェンスを活用した地震防災研究課題として、「テーマII：震動台活用による耐震性向上研究」があり、ここで先の検討委員会で選定された「木造建物」、「鉄筋コンクリート建物」、「地盤・基礎」の3課題が実験対象とされた。2002年度から2004年度の3ケ年は準備期間としてE-ディフェンスでの実大実験に必要な実験手法や解析ツールの開発の研究を実施している。2005年度、2006年度の2ケ年に、E-ディフェンスを使用した実大規模の実験を行った。木造建物実験では、建築基準法が改正された1981年以前に建てられた住宅を対象とし、そのような建物が持つ耐震性能の把握、耐震診断法の精度検証、耐震補強の効果を明らかにした(写真1)。鉄筋コンクリート建物実験では、1970年代当時の一般的な構造設計手法により設計された鉄筋コンクリート構造物を想定し、地震時の三次元挙動や崩壊過程の解明、耐震補強の有用性、補強方法の違いによる補強効果の差などを明らかにした(写真2)。地盤・基礎実験においては、これまでの模型実験には無い大規模実験を実施することで、地震時における地盤・基礎構造物の挙動を再現し、これまで不明であった地震時に基礎構造物を破壊させる原因を解明するためのデータを取得した(写真3)。詳しくは、大都市大震災軽減化特別プロジェクト総括成果報告書<sup>1)</sup>をご覧ください。

## (2) 実大三次元震動破壊実験施設を活用した耐震工学研究

実大三次元震動破壊実験施設を活用した耐震工学研究プロジェクトは、防災科研の運営費交付金を使用した所内プロジェクト研究であり、防災科研の第二期中期計画の初年度である2005年度より開始された。ここでは、先に述べた優先度が高いとされた実験課題から、大大特では実施されなかった「橋梁(鉄筋コンクリート橋脚)」、「鉄骨造建物」を選定し実験対象としている。この課題の選定の背景には、米国の耐震工学研究分野の最大プロジェクトである、NEES (George Brown

Jr. Network for Earthquake Engineering Simulation) と防災科研の共同研究にて、E-ディフェンスとNEESの保有する耐震実験施設を相互利用しつつ、耐震工学の発展を促す試みもある。それぞれ、2006年度までは、縮小試験体による予備実験、試験体の一部を切り出した部分実験、解析的検討などの準備を行い、2007年度よりE-ディフェンスによる実大実験を開始した。これらの実験研究は、関係各省庁や国内外の研究機関との連携を持って実施されている。

鉄骨構造物の耐震実験研究では、2007年9月に4階鉄骨建物の実験を行い、阪神・淡路大震災を引き起こした兵庫県南部地震における観測地震波により、現行基準による設計であっても建物が層崩壊する可能性がある事例を示すと共に、崩壊に至るまでの耐震性能・余裕度について検証した(写真4)。また、2009年2月には4種類の制振ブレースを設置した実大建物実験を行い、建物レベルでの性能検証および設計等に資するデータを取得した。また、NEESとの共同研究では、2009年8月に、鉄骨のロッキングフレームについて実施し、12月には日本側の提案となる新たな耐震ブレースの製作を行い、それをフレームに具備したイノベティブシステムについての実験を行った。実験研究の進展に伴いその目的は、これまでの破壊過程の解明から、次世代の高耐震技術の開発・実証に推移した。

橋梁の耐震実験研究も同様である。2009年度まで、4体の鉄筋コンクリート橋脚(以下、RC橋脚)の実大試験体による震動台実験を実施した。2007年12月の実験では、兵庫県南部地震の観測地震波により、旧基準の鉄筋コンクリート橋脚が曲げ破壊を示すことを再現した(写真5)。また2008年10月の実験では、旧基準の段落とし配筋による橋脚が剪断破壊することを再現するとともに、兵庫県南部地震以降に改訂された現行設計による橋脚の耐震性能の実証を行った。ここでは、現行設計の橋脚であっても、繰り返しの地震を受けると、かぶりコンクリートの剥落とコアコンクリートの圧壊

が生じ、急激に耐力が低下することを明らかにした。この問題に対して、想定以上の巨大地震が発生しても交通システムの遮断が生じない、ダメージフリーの次世代型橋脚の研究開発を実施し、2010年2月には、そのプロトタイプが従来に無い高い耐震性能を持つことを実証している。

本プロジェクトの中では、将来の数値振動台(シミュレーション



写真4 鉄骨建物実験



写真5 RC橋脚実験

システム)の構築を目指した構造物崩壊シミュレーション技術の研究も行われている。ここでは、詳細な有限要素法をベースにした計算技術を用いて、スチール構造物と鉄筋コンクリート橋脚の実験データを援用した地震時崩壊解析法の開発を進めている。

### (3) 首都直下地震防災・減災特別プロジェクト

時代の推移と共に、都市構造物の大規模化、施設機能の高度化が進み、構造物の耐震性については、単にその躯体の健全性のみではなく、施設機能の確保までに必要性が及んでいる。加えて、大都市の過密化は、隣接する構造物からの複合災害を招く危険性もあり、時代に応じた耐震工学の研究展開が必要となっている。首都直下地震防災・減災特別プロジェクトは、南関東で今後30年以内に70%程度の確率で発生すると考えられているM7程度の地震を対象とし、発生過程の解明や地震災害の大幅な軽減に資することを目的とし、文部科学省の主導のもとに2007年度より5カ年の計画で開始された。この中で、「サブプロジェクト②：都市施設の耐震性評価・機能確保に関する研究」を防災科研が受託し、E-ディフェンスを用いた耐震実験研究が実施されている。サブプロジェクトでは、以下の2つの実験研究を取り扱う。

#### 1) 震災時における建物の機能保持に関する研究開発

大地震時における救急救命、被災後の生命維持の拠点となる医療施設、被災状況等の情報発信および都市機能の重要拠点となる情報通信施設などの、機能保持および耐震性向上を目的としている。医療・情報通信機器の地震災害に対する脆弱性の定量的評価、既存構造物の医療・情報通信施設の機能保持性能に関する実証検討と限界性能の確認、既存非免震施設への機器免震等の適用および新たな機能保持技術の検討評価を実施する。医療業界および建築業界等の民間企業と学協会等と連携して、機能保持を目指した重要施設の地震対策指標と具体的な対策手法を取りまとめ、既存および新規施設の耐震対策として普及を促すガイドラインを

示す予定である。

2008年12月の実験では、病院を模擬したRC造4階建ての建物の内部に、撮影室、診察室、人工透析室、スタッフステーション、手術室、ICU室、病室、情報通信室を設け、それぞれの室内に撮影機器、手術室内精密機器、人工透析機、医療棚、情報通信機器等を設置した。加えて、屋上階には高架水槽および室内に給水配管、スプリンクラー等の設備も設置し、本格的な医療施設の再現とした(写真6)。また、病院建築物については近年新たに建設されるものに免震構造が採用される場合が多いことから、耐震構造と基部に免震装置を設置した免震構造の2つの場合を実験対象とした。それぞれに、近い将来の発生を想定した長周期成分を含む地震動(三の丸波)と兵庫県南部地震で観測された地震動(JMA神戸波)で加振を行い多くの新たな知見を得た。例えば、長周期地震動を入力とした免震構造の場合では、単に建物が応答増幅するだけではなく、キャスター付きの医療機器等が大きく移動することが問題視された。その後の2010年9月の実験において、幾つかの対策の有効性が実証された。

#### 2) 長周期地震動による被害軽減対策の研究開発

首都圏で長周期成分を含む巨大地震が発生した場合、高層建物の構造と居室内に甚大な被害が生じることが想定される。ここでは、長周期地震動が高層建物にもたらす被害の様相を明らかにし、耐震性能評価および被害軽減技術の実証を目的として、長周期地震動を受ける高層建物の損傷過程、安全余裕度把握、高層建物の応答低減手法の検証を行う。また、実験で検証される既存制振機構と長周期地震に有効な高度な制振機構に関する研究成果を日本建築学会等の関連団体と連携し取りまとめるとともに、産業界と本研究成果を共有し、安心・安全な高層建物の実現を目指す。2008年3月に実施した実験の試験体は、1980年代以前の初期高層の平均的な規模として、地上21階、高さ80メートルの建物を想定した。試験体の1階から4階までは、鋼構



写真6 病院の機能保持実験



写真7 高層建物実験



写真8 高層の居住空間実験

造架構を実規模で構築し、5階以上の高層階は5階分を1枚のコンクリート鍾で代用し3層とした。これに想定建物と同様の剛性、減衰特性を与えるため、積層ゴムとダンパーを組み込んでいる(写真7)。架構部分には、1980年代以前の初期に建てられた高層建物の柱梁接合部詳細などの再現を試みた。加振した結果、上層部をモデル化したコンクリート鍾は大きくゆっくり揺れ、下層階の骨組に生じた変形は梁の短部に集中し、溶接部に破断が生じた。2009年9月には、この実験結果を受けて、エネルギー吸収ダンパーを敷設した高層建物の応答低減効果を検証する実験を行った。

#### (4) 長周期地震動に対する居住空間の安全性に関する研究

長周期地震動に対する居住空間の安全性についても未解明な部分は多いため、兵庫県と防災科研は、2006年度からE-ディフェンスを活用する共同研究を実施している。2008年1月に行われた共同研究では、種々の居室空間に30階高層建物の最上階の地震応答を再現するため、5層の試験体基部に積層ゴムによる振幅増幅層を設置した(写真8)。この実大部分モデルは、250秒以上に及ぶ大振幅応答を再現することが出来た。オフィス空間でコピー機が暴れまわる状況、本棚の転倒等、想定以上の危険性が内在することを確認し、直接国民の防災対策に活用できる知見とデータを得た。2009年1月には、対策手法の定量的な検討をするために、種々の耐震対策を施した家具、什器類を室内に設置した実験を行った。

### 3. 今後の展開

運用開始から6年目となるが、大きなトラブルもなく、大規模実験を予定通り成功させ、その成果を公知としている。国民の防災意識の啓発と耐震補強の推進にE-ディフェンスは少なからぬ役割を果たしている。新たな研究展開では、既に行われている高層建物、免震建物などの長周期成分を含む地震に応答する構造物についての更なる研究の深化が求められる。ライフライン系産業界との共同研究や受託研究も実施されており、E-ディフェンスの多角的利用と産業界との連携も始まっている。震動台を巨大な試験機として、構造部材やデバイスの性能を検証する実験の提案もある。更に、人災や人的な行動も含む複合災害の対策研究も今後の展開として挙げられる。

しかしながら、E-ディフェンスの規模と試験装置の能力は、阪神・淡路大震災の教訓による破壊過程の解明に主眼を置いているため、今後その発生が想定される大規模地震の特徴的な波形の再現には限界がある。

それら地震波による長大構造物の応答再現や人的な被災低減に向けた対策研究には、何らの施設整備と実験における工夫が必要である。震動台の大きさに胡坐をかいただけではこれらの課題への展開は無い。2008年1月と3月に行った兵庫県との共同研究では、通常の実験方法では不可能な高層建物の大変位応答の再現を、加振入力と試験体に研究者が工夫を施すことで可能とした。今後も、様々なアイデアと可能な範囲での施設整備を持って、現状の震動台の限界を補完した耐震実験を進め、地震防災に貢献する成果を創出しなくてはならない。

E-ディフェンスでは、上述のこれまで実施した実験の映像、実験データ、プロジェクト成果資料と今後の実験予定、公開実験の案内等を、随時に防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センターのホームページで公開されている<sup>2),3)</sup>。

最後に、本施設の活用では、今後も国内外の様々な分野の研究者と研究機関の横断的な連携がこの施設を介して進み、統合的な防災研究が進展することを懇望する。

### 謝 辞

E-ディフェンスにおける一連の研究は、文部科学省、国内外の研究機関と大学等の研究者、地方自治体と教育機関の防災関係者、民間企業の支援、協力により推進されている。ここに記して御礼申し上げる。

### 参考文献

- 1) 文部科学省・防災科学技術研究所(2007)：大都市大震災軽減化特別プロジェクト総括成果報告書, pp.41-81, 同報告書DVD (<http://www.bosai.go.jp/library/gaibu/ddt-all/index.html>, 2010.8.31)
- 2) 防災科学技術研究所(2005)：独立行政法人防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センター ホームページ (<http://www.bosai.go.jp/hyogo/movie.html>, 2010.8.31)
- 3) 防災科学技術研究所(2005)：独立行政法人防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センター ホームページ ([http://www.bosai.go.jp/hyogo/asebi/dataopen\\_1.html](http://www.bosai.go.jp/hyogo/asebi/dataopen_1.html), 2010.8.31)

# 建築構造関係規定のこの10年の動向

福山 洋

●独立行政法人 建築研究所

## 1. はじめに

建築基準法令の構造関係規定は、この10年で3度改正が行われた。1つめは、2000年に施行された性能規定化を目的とした改正、2つ目は、2005年に施行された既存不適格建築物の増築等を推進するための規制の合理化、3つめは、2005年に発覚した耐震偽装事件の問題に対応するために2007年に施行された改正である。ここでは、新設建築物の構造設計に大きな影響を及ぼした1つめと3つめの改正に的を絞り、これらの改正の経緯、内容、設計や建築確認等に及ぼす影響、残された課題を整理することで、今後の規定が目指すべき方向性等について考えることとした。なお、本稿はこのような目的のためにまとめられたものであり、あくまでも著者の個人的な見解である。

## 2. 性能規定化

### 2.1 経緯

建築基準法の性能規定化のきっかけは、1996年2月の日米首脳会談（橋本—クリントン会談）において、日米貿易摩擦の緩和に資する非関税障壁の除去のために、建築基準の性能規定化を約束したことであったが、建築構造の研究分野では、1990年代初頭から性能規定化の議論が活発に進められていた。1995年には、建設省の総プロ「新建築構造システムの開発」も開始されており、性能規定化は時代の趨勢であった。そこに阪神淡路大震災が発生した。この震災には、耐震設計上のさまざまな課題が凝縮されていたが、その中でも、建築基準法に基づき靱性に期待する設計がなされ、その要求通り倒壊を防ぎ人命を守ったRC剛接架構の建築物が大きな損傷を受け、その修復の難しさとコストの高さから結果的に取り壊され建て替えられた事実は、強いインパクトを残した。これにより、最低基準である法律を上回る性能の確保を目指す性能設計の重要性が、多くの技術者に強く認識されることとなった。

### 2.2 限界耐力計算

2000年の法令改正では、性能設計のために限界耐力計算と呼ばれる、等価線形化法に基づく構造計算方法の規定が盛り込まれた。これは、建築物の地震時の応答値を求め、その応答値が意味する状態を推定しながら設計を

行い、構造物の損傷などを許容される状態に留めるような設計を可能とするものである。応答値を直接求める方法としては、時刻歴応答解析による方法がそれまでも存在したが、これは地震波の選定によって結果が異なることや、国土交通大臣の認定を要する特別な設計ルートであることから、より汎用的な応答の推定手法が必要であった。最近では、保有水平耐力計算においてもほとんどのケースで非線形増分解析が用いられているが、この計算方法は応答値を求めるものではないことから、一般の建築確認ルートに、応答値が算定できる限界耐力計算法が規定されたことは、特筆すべき事項であった。さらに、2005年にはエネルギー法の告示も施行された。

なお、限界耐力計算は、2007年の法令改正（損傷限界の地盤増幅の算定から精算法が削除されたことや、工学的基盤の傾斜の確認に関する規定が設けられたことなど）や耐震偽装事件の際の報道（限界耐力計算による再計算の結果が保有水平耐力計算による結果と異なることなど）が影響して現在は適用が少ないが、本来の目的である性能設計の推進には不可欠な計算法であることから、建築基準整備促進事業（4.1参照）などにおいて課題解決のための検討が進められている。

### 2.3 仕様規定の適用除外

限界耐力計算法やエネルギー法を用いる場合には、建築基準法施行令第3章に定められている仕様規定の適用が、耐久性等関係規定を除いて除外されることとなった。その意味するところは、仕様は何でも良いということではない。対象とする部材の形状や配筋などの仕様に応じて、最適な構造解析モデルを設定することがこれらの計算を行う上での大前提であるが、その適切な設定は設計者に委ねられているということである。しかしながら、当初は部材の仕様と構造解析モデルを結びつけるための技術的な知見が十分に蓄積されていなかったこともあり、限界耐力計算が、施行令第3章の仕様規定を外すためだけに使われ、それに代わる検討がなされていないような事例も散見された。

### 2.4 規定の明確化

2000年の法令改正では、建築確認の民間開放が同時

に行われたために、規定の明確化が厳格に求められた。その目的は、人による判断のばらつきを最小限に抑えることであり、それまでの規定に見られたある種の曖昧さを除去することが求められた。すなわち、設計者や主事の判断に委ねるのではなく、誰もが同じ判断をするための基準をできるだけ規定に盛り込むということであり、この方針は、性能を満たせば基本的に仕様は問わないという性能規定化の方向とは相容れないものであった。これについては、2007年の改正でも同様な議論があったことから、3.3節にて再度取り上げる。

また、2000年改正時には、構造実験に基づく工学的判断を建築確認に委ねることは難しいという判断がなされ、ただし書きが廃止されて代わりに具体的な告示の規定が制定された。一部の告示では構造実験に基づく判断の道が残されているが、その工学的判断の妥当性については、第三者機関による評定や技術証明もしくは(社)日本建築学会の規準類を活用して判断されることが多くなってきた。

## 2.5 建築基準法第38条の撤廃

2000年の改正までは、表1に示す建築基準法第38条という性能規定が存在した。これは、法律が想定しない特殊の建築材料または構造方法については、その妥当性を大臣が認定するという万能の規定であった。それが、性能規定の導入(構造関係規定については、限界耐力計算による仕様規定の除外と、建築基準法第37条に基づく材料品質に関する大臣認定制度の創設)により、その存在理由を無くし削除されることとなった。

特殊な構造方法を採用する場合は、その仕様に見合う構造解析モデルを構造実験に基づき定めた上で、限界耐力計算を行う方法等が考えられるが、実験に基づく判断の妥当性を建築確認で評価することは難しいとされたことから、改正当初は、第三者機関による評定等が求められることが多かった。その後、次第に民間の指定確認検査機関を中心に、限界耐力計算の審査・確認が行われるようになっていったが、耐震偽装事件後に導入された適合性判定制度の下では、限界耐力計算はほとんど適用されなくなっていった。

一方、特殊な建築材料については、建築基準法第37条が改正され、個別の認定規定が置かれるとともに、多数の構造材料が新たに指定建築材料となり、指定JIS等への適合または大臣認定の取得が義務づけられた。

これにより、指定建築材料に該当する特殊な材料を一般の構造方法に用いる場合には、まず材料の品質に関する大臣認定の取得が求められ、同時に大臣による強度の指定を受ける必要がある。また、特殊な材料を用いた場合の構造計算の妥当性については、建築確認

表1 建築基準法第38条(現在は削除されている)

第38条 この章の規定又はこれに基く命令若しくは条例の規定は、その予想しない特殊の建築材料又は構造方法を用いる建築物については、建設大臣がその建築材料又は構造方法がこれらの規定によるものと同等以上の効力があると認める場合においては、適用しない。

や後述する構造計算適合性判定の判断に任されるが、特殊性が強い場合には、第三者機関による適切な評定や技術証明の活用が推奨される。

このように、建築基準法第38条に代わる手続きが比較的複雑でわかり難く、新技術の採用の可否の判断が難しかったことと、一般認定が無くなり個別案件のみの対応となったことから、この10年は民間による技術開発の機運が削がれていたのではないかと思われる。ただ、この時期はちょうど経済活動の衰退期でもあり、もともと新たな技術開発自体が減ってきていたので、建築基準法第38条削除の影響は必ずしも明らかとはなっていない。しかしながら、現在の状況がこのまま継続されると、将来におけるこの分野の日本の技術レベルにも少なからず影響を及ぼす可能性がある。

## 3. 耐震偽装事件後の構造関係規定の改正

### 3.1 概要

2005年11月に明らかになった構造計算書の偽装問題(いわゆる耐震偽装事件)は、建築確認・検査制度および建築士制度等への国民の信頼を大きく損なう結果となった。この大事件へ対処するために建築基準法が改正され、2007年6月に施行された。この改正においては、制度面では、1)建築確認・検査の厳格化(一定の建築物に対する構造計算適合性判定の義務付け、一定の共同住宅に対する中間検査の義務付け、建築確認審査等の指針の新設等)、2)指定確認検査機関の業務の適正化(指定要件の強化、特定行政庁に立入検査権限を付与等)、3)建築士等に対する罰則の大幅な強化、4)構造計算プログラムの認定制度の見直し等の措置が、また基準関係では、5)構造関係規定の再編と構造計算方法の明確化等の措置が図られた<sup>1)</sup>。また、第2段の改正として、構造設計一級建築士制度創設などを内容とする建築士法が改正され、2009年に施行された<sup>2)</sup>。

### 3.2 構造関係規定改正の背景

耐震偽装事件の直後、国土交通省は指定建築確認検査機関に立ち入り検査を行い、階数が10程度のRC構

造で設計条件が相対的に厳しいものを優先する方法で、103件の構造計算書を抽出した。この103件の構造計算図書（構造計算書および構造図面）について、学識経験者・構造実務者・国土交通省等の専門家からなる構造計算調査支援委員会（村上雅也委員長、（財）日本建築防災協会・耐震改修支援センターに設置）において、調査・検討が行われ、また、その結果を受け、特定行政庁においてさらに精査が行われた。その結果は、構造計算に「誤り等があるもの」が約25%で、全体の1/4に達するというものであった<sup>3)</sup>。これらの多くは、これまで設計者の判断に任されていた構造計算方法について、設計者の不適切な判断による実状に合わない危険側のモデル化等がその原因として指摘された。この事実が判明してからは、偽装の防止とは別に構造設計者による不適切な判断を如何に防ぐかが、大きな問題としてクローズアップされることとなった。

また、この103棟の他にも、国土交通省は2006年2月以降、全国の特定行政庁における建築確認台帳等に基づき、既存分譲マンション等389物件を抽出し、構造計算書の再計算を行うサンプル調査を実施した。調査は、耐震性サンプル調査委員会（岡田恒男委員長、（財）日本建築防災協会・耐震改修支援センターに設置）において、構造計算調査支援委員会の方法に準じて実施された。その結果は、約15%の構造計算に誤りもしくは偽装の疑いが強いというものであった<sup>4)</sup>。

世の中では、耐震偽装事件は一人の構造設計者による事件として捉えられており、制度改正もその再発防止の観点から実施されているが、構造規定の観点からは、「根拠がなく実状に合わないモデル化」等の不適切な判断に基づく設計が、他の設計者の構造計算書においても少なからず見られたという事実は極めて大きな問題であった。しかも、経済設計を優先するあまり、基準解説書は法令ではないので従う必要はないとし、その代わりに採用した方法の妥当性を検証することなく、実務を行っている様な事例も判明した。

このような構造設計の現状に関する詳細かつ総合的な調査の結果を受け、構造計算に関する基準の改正が行われることとなった。

### 3.3 構造関係規定改正にあたっての方針

構造関係規定の改正にあたっては、国土交通省が設置した建築基準・審査指針等検討委員会の構造基準検討部会（久保哲夫部会長、事務局：（財）日本建築防災協会）において、学識経験者、実務者、行政関係者等の協力を得て、問題点の整理と問題に対する規定の方向性の検討が行われた。検討にあたっては、適合性判

定やプログラム認定における判断のぶれをなくし、これらの業務ができるだけスムーズに行われるように、構造計算に関する規定の明確化が強く求められた。しかしながら、あまり詳細な内容まで画一的に規定すると構造設計の創造性や自由度がなくなるので、そこでは、「従来から適正に行われている構造設計方法はそのまま踏襲できるようにして、不適切なもののみ排除する」ということを目標に、検討作業が行われた。

従来から、設計者の判断に任されている部分についてはその判断の助けとするべく、構造関係技術基準解説書<sup>5)</sup>に法令に適合するひとつの例として、構造計算におけるモデル化や計算方法等が詳しく解説されていた。しかしながら、前出の調査において、該当する行政庁から設計者にヒアリングを実施した際に、解説書は法令ではないから従う必要はないといった考えを公然と述べる方もおられた。そこで、国は構造計算における不適切な判断を排除するために、必要な告示の規定とそれをサポートする技術的助言を設けることとした。その際、これらの規定や助言を全く新たに設けるのではなく、従来から多くの設計者が参照し用いてきた構造関係技術基準解説書等に記載されている方法を、そのまま規定として採用することを基本とした。こうすることにより、従来から適切に行われてきた設計は、そのまま踏襲できることとなる。

ただし、前述の通り、技術基準解説書に記載されている方法は法令を満足する方法の中の一例であり、これだけに限定されるものではない。そこで、他にも適切な判断方法があり得る場合にはただし書きを設けて、新たに導入された構造計算適合性判定により適切さが確認されれば、特別な調査・研究に基づくものとしてさまざまな方法が適用できるような体系とした。具体の改正内容については、文献<sup>6)</sup>を参照されたい。

## 4. 今後へ向けて

### 4.1 構造設計に必要とされる工学情報の発信

今回取り上げた2度の法令改正では、何れも規定の明確化が求められたが、それに答えるための技術的なバックデータは必ずしも十分に蓄積されてはいないことが検討を進める過程で明らかとなった。これについては、今後多くの機関で研究が進められ、必要な工学情報が蓄積、整理され、発信されていく必要があるが、その一つの動きとして、平成20年度から「建築基準整備促進事業」<sup>7)~10)</sup>が実施されている。そこでは、構造以外の分野も含めると41課題についての検討が行われており、技術的な判断基準の明確化に寄与する基準の整備や工学情報の蓄積、発信が期待されている。

1970年代後半に新耐震基準が検討された際、構造設計に必要となる当時の知見が「保有耐力と変形性能」<sup>11)</sup>として取りまとめられ、(社)日本建築学会から出版された。このような発信は、現在においても強く求められており、そのためには、構造設計や施工に関する実務者と研究者との密接な連携が不可欠である。

#### 4.2 構造計算プログラムを用いた構造設計のあり方

1995年の阪神淡路大震災の際には、新耐震基準による建築物の設計は、ピロティ等で見られた一部の被害事例を除くと、概ね妥当であったと結論づけられた。しかしながら、一貫計算プログラムが普及しパソコンレベルで一般的に使われるようになったのはこの大震災以降のことであり、プログラムを使った場合のさまざまな判断を含めた構造設計の妥当性については、未だ大地震の経験による検証は十分にはなされていない。

3.1で紹介した2つの抽出調査は、構造計算プログラムに起因する問題の一端を地震に因らず垣間見せることとなった希有な例ともいえる。さまざまな問題が見えてきた現在、構造計算プログラムを用いた構造設計のあり方や、その状況を見据えた構造規定や技術解説等のあり方について、広い視点で検討する必要がある。

#### 4.3 真の性能設計を目指した国民目線の提案

2000年の法改正では性能設計を指向したが、これは未だ十分には機能していない。設計の中には、最低基準である建築基準法の要求レベルを経済的に実現することに終始しているものも依然として多く見られ、そこに国民の目線は感じられない。専門知識のない一般国民に、如何に性能を伝え、理解して貰い、選択の機会を与えるかは、喫緊の課題であろう。目標性能は、持ち主や使用者が決めるべきである。

中央防災会議が全ての大企業に実施を求めているBCP(事業継続計画)も、この課題が解決され、想定する外乱によって生活がどの程度困窮するか、事業の継続がどの程度困難となるかを、情報として伝えられるような評価法や推定法がない限り、具体の対策を見だし難い。外乱が作用した際の建築物各部の状態と各々が本来有している機能との関係、さらには、機能の低下度合いと生活困窮や事業の困難さとの関係を整理するところから、検討を進める必要がある<sup>12)</sup>。

#### 5. おわりに

構造設計は、衣食住の住に関わる空間構成の方法を構造計画として提示し、その構造安全性を検証するという、極めて社会的かつ創造的な行為であって、その自由

度は規定等により一義的に縛られるべきではない。すなわち、構造設計は、数百、数千という判断の積み重ねであるが、物件ごとに判断の背景となる条件が異なるため、その判断の内容も異なってくる場合がある。従って、判断の内容を一義的に示すことはできないし、また、全ての判断についてその内容を記述することもできない。よって、基準解説書や学会規準などの記述を基に、案件ごとに異なる設計条件を熟慮しながら、構造設計者が適切に判断する必要がある。これは建築確認や適合性判定も同様である。すなわち、解説書等にかかれたことだけや、プログラムが出した結果だけで構造設計を行い、また判定するというのではなく、常に最適な判断が求められる。規定は、不適切な判断を排除しつつ、このような活動を円滑に支援し得ることを是と考えたい。

性能設計の推進は引き続き重要な課題である。このためには、応答値を直接算定できる限界耐力計算やエネルギー法に関する技術情報をさらに充実させ、これらの計算方法を推進していく必要がある。次の10年における構造関係規定の動向が、日本の建築構造活動を活性化させるための原動力となることに期待したい。

#### 参考文献

- 1)平成19年6月20日施行の改正建築基準法等について ([http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/h18\\_kaisei.html](http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/h18_kaisei.html))
- 2)国土交通省平成18年10月23日報道発表資料 ([http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha06/07/071023\\_2\\_.html](http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha06/07/071023_2_.html))
- 3)国土交通省平成19年6月27日報道発表資料 ([http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha07/07/070627\\_2\\_.html](http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha07/07/070627_2_.html))
- 4)国土交通省平成21年3月27日報道発表資料 ([http://www.mlit.go.jp/report/press/house05\\_hh\\_000082.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000082.html))
- 5)国土交通省住宅局建築指導課、他：2007年版 建築物の構造関係技術基準解説書、2007
- 6)福山洋：建築基準法のRC構造関係規定改正の背景と趣旨、コンクリート工学、pp.19-25、2009-7
- 7)国土交通省平成20年8月14日報道発表資料 ([http://www.mlit.go.jp/report/press/house05\\_hh\\_000031.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000031.html))
- 8)国土交通省平成21年6月1日報道発表資料 ([http://www.mlit.go.jp/report/press/house05\\_hh\\_000097.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000097.html))
- 9)国土交通省平成22年4月27日報道発表資料 ([http://www.mlit.go.jp/report/press/house05\\_hh\\_000163.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000163.html))
- 10)国土交通省平成23年4月8日報道発表資料 ([http://www.mlit.go.jp/report/press/house05\\_hh\\_000236.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000236.html))
- 11)日本建築学会：建築耐震設計における保有耐力と変形性能、1990
- 12)福山洋：機能回復性を考慮した構造設計、日本建築構造技術者協会、Structure, No. 114, 2010-4

# 揺れの予測情報 —緊急地震速報の現状と今後—

束田 進也

●気象庁福岡管区気象台技術部

## 1. はじめに

1868年11月3日のサンフランシスコの夕刊紙上においてCooperは、「地震の強い揺れを観測した際、それを電信(有線通信)により伝え、サンフランシスコの塔の鐘を鳴らすことによって強い揺れの到来を予め知る」という萌芽的なアイデアを述べた(中村<sup>1)</sup>)。また、1880年(明治13年)に発生した横浜地震を契機に、我が国では世界初の地震学会(第1期)が創設されたが、我が国の地震学の黎明期に重要な役割を果たしたジョン・ミルンは「地震学総説」という講演の中で同様な揺れの予測に言及するとともに「地震を前知できないと断言する人々の迷夢を破りたい」と述べている(ミルン<sup>2)</sup>)。この言説は現代の科学から見て厳密に言えば正しいものではない。しかし「地震の揺れが起きることを予め知っていれば被害は軽減できるに違いない」と古くから人々は考え、そして願ってきたのである。我々が地震の揺れを感じた際に「あ、地震だ!」と叫ぶとするなら、現在人類はそれから100年ほどかけてようやく日常的に「揺れを予測する」夢に辿りつきつつあると言えよう。

## 2. 緊急地震速報開発の経緯と現状

Cooperやミルン以後も、例えば相模湾に海底地震計を設置し、強い揺れの到着を首都圏に知らせる「10秒前大地震警報システム」(伯野・高橋<sup>3)</sup>)のように同様のアイデアは何度か提案されている。表1にこれまでの開発の流れを簡略に示した。1980年代になると、コンピュータの発展に伴い、揺れを予測する実用システムが開発、運用されるようになった。単独の地震観測点の波形データを現地で解析して強い揺れを予測し、新幹線を減速させるユレダス(Nakamura<sup>4)</sup>)や、沿岸に地震観測点を列状に設置し、複数の地震観測点で地震波を検出することによって首都等に強い揺れを予告するメキシコのSASシステム(Epinosa-Aranda et. al. <sup>5)</sup>)等は先駆的な実用システムとして世界に知られている。

1990年代後半になると、オンラインかつリアルタイムで入手可能となった地震観測網の波形データを利用し、日本全国を対象とした揺れの予測を行う機運が起こった。例えば1993年には(財)気象協会と(株)三

菱総合研究所が「地震緊急情報・緊急対応システムの調査研究」を実施した。2000年の気象審議会21号答申では「揺れの予測」である「ナウキャスト地震情報」の提供について述べられており、2000年からは気象庁と(財)鉄道総合技術研究所は共同でアルゴリズム開発に着手した。一方、2001年には(独)防災科学技術研究所において特定プロジェクト「リアルタイム地震情報の伝達・利用に関する研究」も始まった。2003年からは(独)防災科学技術研究所と気象庁等が新たに「高度即時的地震情報伝達網実用化プロジェクト」を実施し、解析アルゴリズムから利活用の仕方まで種々の研究が行われた。

ところで、揺れの予測に用いられているアルゴリズムでは「地震波の検出から揺れの予測情報を出す」まで数秒程度で済んでしまうが、実はこれは地震学的に見て微妙な問題を取り扱っている。大規模な地震はその断層の「ずれ」が時には数十秒を超えて継続するが、観測した地震波の冒頭部を見るだけで地震波を生じさせている断層がどこまでずれるのか(≡加害性)を予測するという、現在、地震学的には可能か否かの結論が出ていない問題に対して情報発表の閾値を与えなければならぬ困難が存在するのだ。この限界に挑むため、揺れを予測する仕組みには現在様々な手法がある。システム構成として見ると、大まかには現地処理(オンサイト)型(Odaka, et.al.,2003<sup>6)</sup>、束田・他2004<sup>7)</sup>等)とネットワーク型(Kamigaichi, 2004<sup>8)</sup>、Horiuchi et.al., 2005<sup>9)</sup>)等)という2つの仕組みがある。詳しくはAllen et. al.<sup>10)</sup>等を参照されたい。現行の緊急地震速報処理は、オンサイト型とネットワーク型を組み合わせた「震源およびマグニチュード決定処理」、そして「震度予測及び主要動到達予測時刻算出処理」と「情報発表処理」の3つの部分からなっている(束田<sup>11)</sup>、気象庁地震火山部<sup>12)</sup>)。

現在、気象庁の観測点において100galが観測されるか、またはマグニチュード3.5、あるいは最大震度が3以上と予測された時に「緊急地震速報(予報)」が発表される。この予報は、震源、マグニチュード、予測震度が規定値以上に変化するか、一定時間経過毎に第1報、第2報、...、第n報と更新される。「緊急地震速報(予報)」は、緊急地震速報の利点や限界を十分理解される人々

表1 揺れの予測システム研究開発史

1980年～	ユレダス・S A S等, 揺れの予測システムの先駆的研究開発
1990年	東海道新幹線においてユレダスの限定使用を開始
1991年	メキシコのS A S, 試験運用を開始
1992年	東海道新幹線においてユレダスの実運用を開始
1993年	地震緊急情報・緊急対応システムの調査研究
2000年	気象審議会21号答申
2000年	気象庁と(財)鉄道総合技術研究所による「将来型早期地震警報システム」共同研究
2001年	「リアルタイム地震情報の伝達・利用に関する研究」(独)防災科学技術研究所
2003年	「高度即時的地震情報伝達網実用化プロジェクト」(文部科学省)
2004年2月	緊急地震速報の試験提供の開始(関東から九州東岸にかけての地域)
2005年3月	緊急地震速報の試験提供範囲を拡大(北海道・東北地方)
2005年6月	防災科学技術研究所Hi-net 高感度地震観測網を利用したリアルタイム地震情報との統合情報提供開始
2005年11月	「緊急地震速報の本運用開始に係る検討会」第1回開催(気象庁)
2006年3月	緊急地震速報の試験提供範囲を全国に拡大
2006年5月	「緊急地震速報の本運用開始に係る検討会」(気象庁), 中間報告とりまとめ
2006年8月	高度利用者向けに緊急地震速報の先行的な提供を開始
2007年3月	「緊急地震速報の本運用開始に係る検討会」(気象庁), 最終報告とりまとめ
2007年3月	「緊急地震速報の周知・広報及び利活用推進関係省庁連絡会議」設置(内閣府) 政府一体となった周知・広報, 利活用の推進, 関係機関における準備
2007年10月	一般向けに緊急地震速報の提供を開始
2007年12月	改正気象業務法施行(緊急地震速報の予・警報化)

を対象として、予報事業者を通じて専用回線を提供されている。インターホンに組み込まれる例や専用端末、パソコンで緊急地震速報を受信する様子をご覧になった方もいるだろう。一方、2地点以上の観測点で地震波が検出され、かつ最大震度5弱以上が予測された時に、震度4以上の揺れが予測される地域に対し、広く一般の人々を対象として原則1回発表されるものが「緊急地震速報(警報)」である。「緊急地震速報(警報)」は専用回線その他、テレビやラジオ、携帯電話、あるいは防災行政無線等を用いて一般市民に伝達される。

### 3. 緊急地震速報の提供実績

図1、および表2に2010年3月14日に福島県沖で発生した地震の際に発表された緊急地震速報を例として示す。

地震波を生じた断層は、2010年3月14日17時08分4.1秒ごろ、北緯37°43.4'、東経141°49.0'E、深さ40km付近を震源としてずれ始めた。地震の規模(マグニチュード)は6.7であった。生じた地震波は周囲に伝播し、17時08分19.3秒に石巻大瓜観測点に到着、その3.2秒後

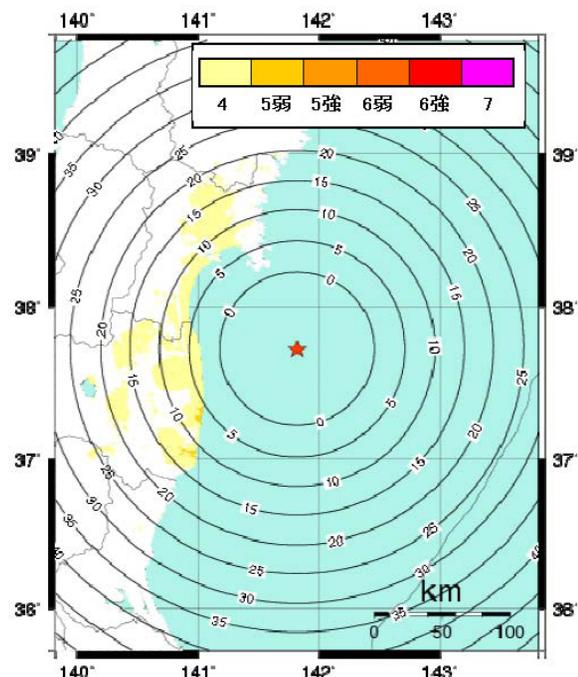


図1 緊急地震速報の猶予時間の例(★は震源)

表2 2010年3月14日17時08分ごろに発生した福島県沖の地震における緊急地震速報の発表状況

発表時刻等		震源要素等 地震波検知からの経過時間(秒)	震源要素				予想した最大震度	警報の発表
			北緯	東経	深さ	M		
検知時刻	17時08分19.3秒							
第1報	17時08分22.5秒	3.2	37.7	141.9	40km	6.7	震度4程度	
第2報	17時08分22.9秒	3.6	37.7	141.9	10km	6.9	震度4から5弱程度	○
第3報	17時08分24.1秒	4.8	37.7	141.9	40km	6.7	震度4程度	
第4報	17時08分27.6秒	8.3	37.7	141.9	20km	6.8	震度4から5弱程度	
第5報	17時08分30.1秒	10.8	37.7	141.9	20km	6.8	震度4から5弱程度	
第6報	17時08分38.6秒	19.3	37.7	141.9	20km	6.5	震度4程度	
第7報	17時08分49.2秒	29.9	37.7	142.0	20km	6.6	震度4程度	
第8報	17時09分09.3秒	50.0	37.7	141.9	10km	6.6	震度4程度	
最終報	17時09分16.6秒	57.3	37.7	141.9	10km	6.6	震度4程度	

に発表基準に達したため緊急地震速報(予報)の第1報を発表した。その0.5秒後に情報の更新基準に達したため、緊急地震速報(予報)の第2報を発表した。さらに、この時点で警報の発表基準にも達したことから、緊急地震速報(警報)を同時に発表している。緊急地震速報を受信してから強い揺れ(主要動)に襲われるまでの時間(猶予時間)は、例えば第1報で見ると福島県椎葉町(実際に震度5弱を観測)で7秒である。緊急地震速報は断層がずれ始めた後、発生した地震波を捉えて情報を出すことから、震央付近では情報が強い揺れに間に合わない領域が必ず存在するが、この地震は海域で発生したため陸域全てで強い揺れの到着前に情報が得られた例となった。

この地震を含め、2007年10月1日9時から2010年7月31日までに発表された緊急地震速報は全部で1541回(ノイズ等による7回の誤報を含む)である。誤報の原因は落雷や機器障害等ノイズ、そしてプログラムミスによるものであった。そのうち震度5弱以上を予測し、警報を出したのは14回であった(観測機器のプログラムミスで過大なマグニチュードが算出された2009年8月25日の警報も含む)。

予測される震度は、震源やマグニチュードの決定の誤差や断層のずれを点震源と仮定する問題、そして十分な分解能のない地盤増幅度の影響などにより階級震度で±1程度の誤差を持っている。2004年2月25日(試験運用開始日)から2010年5月31日までの警報発表基準に達した地震の揺れ(震度)の予測精度を見ると、震度は実際に観測された最大震度と比較して77%が±1階級以内で予測されている。

#### 4. 緊急地震速報の課題と今後展開

今後30年間の東海、東南海、南海地震の発生確率は50%以上と言われている。それほど遠くない将来にこれら3つの地震が同時に発生し、東海から四国にかけて700kmにも及ぶ断層がずれる可能性があることを考えると「強い揺れに襲われることを予め知る」科学技術は、今後の地震災害軽減になくてはならないものであろう。

緊急地震速報の現状をみると、さらなる利活用に向けた啓発と、精度向上と提供の迅速化等の技術開発という、大きく分けて2つの今後の課題があると思う。

まず利活用に向けた啓発について考える。既に述べてきた緊急地震速報の特性や限界を、一般社会により一層理解してもらうための広報活動の継続が重要なことは当然である。しかし、これには、「緊急地震速報の特性や限界を知ってもらう最も良い方法は緊急地震速報の受信体験だ」というジレンマがあると言われてきた。実際に揺れると予測されてから揺れを感じるという経験は、頭で理解すると言うよりは体感する、会得するという言葉の方が適当である。このことから緊急地震速報の啓発には、受信可能な携帯電話や専用端末等のさらなる普及によって緊急地震速報の受信頻度を増やすことが最も重要であろうと考えられる。当初、緊急地震速報の重要な目標の一つであった自動制御等に関する利活用のアイデアも、緊急地震速報の受信体験を持つ人々によって推進されていく可能性がある。

次に、精度向上の技術的な課題として最も大きいものは、断層の破壊過程を時々刻々把握することである。現在、情報提供の迅速化の観点から、処理では断層の破壊過程を考慮せずやむを得ず点震源を仮定している

(科学的正確さを追い求めて発信が遅れては意味がない)ことは既に述べた。しかし、これでは地震の規模が大きくなればなるほど、言い換えれば緊急地震速報が本来の力を発揮すると期待される大規模な地震災害ほど、誤差の大きい揺れの予測をしなければならないことになる。これについては、続報の改善や新技術の開発(Yamada et.al.<sup>13)</sup>)の他、観測点をさらに高密度化すること等によって、断層の破壊過程そのものをリアルタイムで把握する努力を行わなければならない。その上で、地殻構造や地盤増幅率の高分解能化などを行って、揺れの予測精度向上を図る必要があるだろう。一方、緊急地震速報提供の迅速化、言い換えれば緊急地震速報が強い揺れに間に合わない領域を出来るだけ狭くするには、想定可能な地震には観測点を震源領域に如何に肉薄するか、そして想定不可能な地震には観測点を如何に高密度に設置するか、ということも重要になる。前者は海底地震計やボアホール地震計の利用の促進、後者は例えば、携帯電話の基地局、各家庭に設置される電力メーターやインターネット関連機器などにセンサーが接続された場合、極めて効果の高い地震防災用リアルタイム地震観測網が構築される可能性がある。現在このような地震計の増設は設置や通信コストの問題からなかなか難しいが、社会全体に多種多様なセンサー網が張り巡らされつつあるという現実も一方ではあることから、今後の検討が期待される。

なお最後に、緊急地震速報の今後の発展に向けてひとつ言及しておかなければならないことがある。上記の緊急地震速報の精度向上や迅速化を目指すには、単に個々の手法を改善するだけではなく、システムとして組み上げていく技術集団が必要となることである。従来、地震処理に関する自動処理システムは、揺れの予測に特化されたものではなく、手作業を単に自動化するという観点で開発されてきた。しかし、さまざまな防災行動を左右する情報を自動で提供する以上、そのシステムの信頼性は極めて高いものが求められる。現在、このような技術集団は我が国全体を見て存在しているとは言い難い。天気予報の例を見るまでもなく、日常的な揺れの予測を行うために、この「地象予測監視システム科学」とも言うべき分野全体が育成されていく必要があると著者は考える。

## 謝辞

緊急地震速報の発表資料収集では、気象庁地震火山部地震津波監視課の下山利浩氏にご協力頂きました。また図の作成にはWessel and Smith<sup>14)</sup>のGeneric Mapping Toolsを使用しました。記して感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 中村豊：総合地震防災システムの研究、土木学会論文集、Vol.531、1996、p.p.1-33.
- 2) ジョン・ミルン：地震学総論、日本地震学会報告第一冊、1884、pp.1-30.
- 3) 伯野元彦、高橋博：10秒前大地震警報システム、自然、1972、pp.74-79
- 4) Nakamura, Y. : On the urgent earthquake detection and alarm system (UrEDAS) , Proceedings of Ninth World Conference in Earthquake Engineering, Vol.VII, 1998, pp.673-678.
- 5) Espinosa-Aranda, J., A. Jimenez, G. Ibarrola, F. Alcantar, A. Aguilar, M. Inostroza and S. Maldonado : Mexico City seismic alert system, Seismological Research Letters, Vol.66, 1995, pp.42-53.
- 6) Odaka, T., K.Ashiya, S.Tsukada, S.Sato, K.Otake, D.Nozaka: A new method of quickly estimating epicenter distance and magnitude from a single seismic record, Bull. Seism. Soc. Am., 93, 2003, pp.526-532.
- 7) 東田進也、小高俊一、芦谷公稔、大竹和生、野坂大輔：P波エンベロープ形状を用いた早期地震諸元推定法、地震2, Vol.56, No.4, 2004, pp.351-361
- 8) Kamigaichi, O. : JMA earthquake early warning, Journal of Japan Association for Earthquake Engineering, Vol.4, No.3, 2004, pp.134-137
- 9) Horiuchi, S., H. Negishi, K. Abe, A. Kamimura and Y. Fujinawa : An automatic processing system for broadcasting earthquake alarms, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.95, No.2, 2005, pp.708-718
- 10) Allen, M.A., P. Gasparini, O. Kamigaichi and M. Bose : The status of earthquake early warning around the world: An introductory overview, Seismological Research Letters, Vol.80, No.5, 2009, pp.682-693.
- 11) 東田進也：揺れの予測情報と地震災害低減への活用、平成22年電気学会電子・情報・システム部門大会、2010
- 12) 気象庁地震火山部：緊急地震速報の概要や処理手法に関する技術的参考資料、気象庁ホームページ、2008
- 13) Yamada, M., T. Heaton and J. Beck : Real-time estimation of fault rupture extent using near-source versus far-source classification, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.97, No.6, 2007, pp.1890-1910.
- 14) Wessel, P. and W.H.F.Smith: New, improved version of Generic Mapping Tools released, EOS Trans. Am. Geophys. Union, 79, 1998, 579.

# この10年の強震動地震学・応用地震学

瀧 一 起

●東京大学地震研究所

## 1. はじめに

2009年7月31日に、日本地震学会の論文誌「地震第2輯」の第61巻特集号として「日本の地震学：現状と21世紀への萌芽」が発刊された。この特集号の目的は「1991年に発行された特集号以降の日本の地震学に関するトピックスを中心に、最近の地震学の成果と将来への展望をレビューすること」とされている<sup>1)</sup>。なかでも8章は「強震動・地盤構造」と題されて、「強震動予測のための特性化震源モデル」<sup>2)</sup>、「長周期地震動」<sup>3)</sup>、「地下構造モデルと強震動シミュレーション」<sup>4)</sup>、「堆積層による地震動の増幅」<sup>5)</sup>、「地震動強さの距離減衰式」<sup>6)</sup>という5編のレビューが並んでいる。また、1章には「強震観測 - 歴史と展望 -」<sup>7)</sup>が掲載されている。そこでここではこれらのうち岩田 (2009)<sup>2)</sup> や瀧・三宅 (2009)<sup>4)</sup> によるレビューなどをもとに、この10年の強震動地震学・応用地震学を振り返りたい。

## 2. 震源モデル

震源モデルは、強震動を構成する三要素（震源特性・伝播特性・サイト特性）の第一である震源特性を表現する。地震の震源では岩盤の断層破壊（断層すべり）という著しく複雑な自然現象が起きており、それを的確に表現するためには大きな困難が伴う。この困難な震源モデル構築を実現するために、強震動地震学・応用地震学などの分野では、科学的な精緻さを究極まで追及するというよりは、あるレベルで妥協して（割り切って）現実的なモデルを作るというアプローチがなされた。上記の岩田 (2009)<sup>2)</sup> によれば、この10年の直前に確立された、このアプローチによる震源モデルが特性化震源モデル<sup>8)</sup>である。

特性化震源モデルでは、断層面上のすべり分布を割り切って分類して、比較的すべりの大きいアスペリティと小さい背景領域に分けてしまう。過去の地震のすべり分布を収集した上で、ある規範を用いてこの領域分けが行われた。そして得られたアスペリティの面積などを地震モーメントやモーメントマグニチュードに対して回帰分析を行い、その結果を平均的な震源特性にするというのが特性化震源モデルである。

この特性化震源モデルを構築する標準的な方法

（レシピ）は入倉・三宅 (2001)<sup>9)</sup> により提案された。Miyake et al. (2003)<sup>10)</sup> は、特性化震源モデルがすべり分布解析の際に利用される長周期の地震動だけでなく、短周期の地震動のための震源モデルとしても適切であることを示した。また、Somerville et al. (1999)<sup>8)</sup> は内陸地殻内地震に対して検討を行ったが、プレート境界地震へ適用する試みもMurotani et al. (2008)<sup>11)</sup> によりなされている。一例として、想定東海地震の特性化震源モデルを図1に示した。

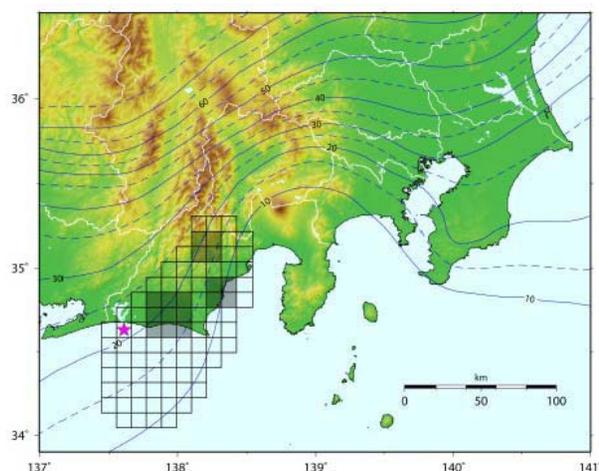


図1 想定東海地震の特性化震源モデル<sup>12)</sup>

## 3. 地下構造モデル

地下構造モデル（地震波速度構造モデル）は、強震動を構成する三要素のうち、残りの二要素（伝播特性・サイト特性）を表現する。二要素の中でサイト特性については別の機会とし、ここでは主として、瀧・三宅 (2009)<sup>4)</sup> に基づき伝播特性を担う地下構造について述べる。なお、震源モデルと同様、強震動地震学・応用地震学分野における地下構造モデルには、科学的な精緻さを追及して地質学的な実体に迫ったものというよりは、後述の強震動シミュレーションで用いて強震動をよくシミュレートする実用的なモデルが望ましい。

内陸地殻内地震の場合、その強震動に影響を与える地下構造は、主に地震基盤とそれより浅い部分である（図2）。その中でも工学的基盤から地表までの「浅い地盤構造」は主に強震動の周期の短い成分（短周期

成分)に影響を与える。一方、地震基盤から工学的基盤までの「深い地盤構造」は広い帯域に影響を与えるが、比較すれば強震動の周期の長い成分(長周期成分)に与える影響の方が大きい場合が多いようである<sup>13)</sup>。また、強震動シミュレーションの現状では、地下構造モデルは深い地盤構造の影響評価に用いられ、浅い地盤構造の影響評価は地下構造モデルを用いない簡易的な方法で行われることが多い。したがって、内陸地殻内地震の強震動シミュレーションのために必要な地下構造モデルは、深い地盤構造と震源断層の存在する上部地殻の構造にほかならない。これに対して、プレート境界地震などの海溝型地震はさらに深い部分に震源断層が存在する場合が多いので、それらに加えて下部地殻構造や、沈み込むプレートを含む深さ100 km程度までの上部マントルの構造も影響を及ぼす。つまり、「地震基盤以深の地殻構造」は地震のタイプにより適切にモデル化しなければならない。

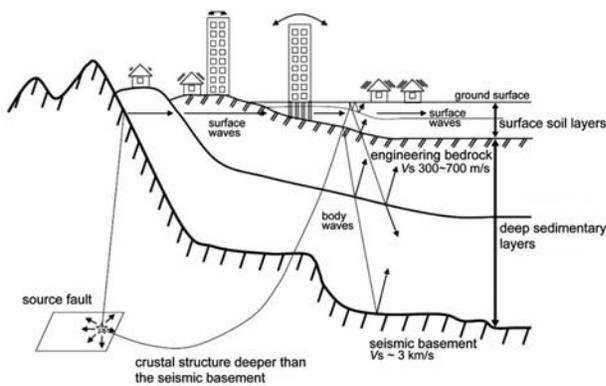


図2 いろいろな地下構造: 地震基盤 (seismic basement)、工学的基盤 (engineering bedrock)、浅い地盤構造 (surface soil layers)、深い地盤構造 (deep sedimentary layers)、地震基盤以深の地殻構造 (crustal structure deeper than the seismic basement)<sup>14)</sup>。

#### 4. 強震動シミュレーション

たとえば瀬藤・三宅 (2009)<sup>4)</sup>によれば、強震動シミュレーションは理論的手法によるものと半経験的手法によるものに大きく分けられる。1995年兵庫県南部地震以降の理論的手法による強震動シミュレーションでは、震源インバージョンの結果と三次元地下構造モデルを用いた差分法 (たとえばGraves, 1996<sup>15)</sup>) や有限要素法 (たとえばKoketsu et al., 2004<sup>16)</sup>) といった領域法による数値計算が主流となっている。一方、経験的グリーン関数法 (たとえばIrikura, 1986<sup>17)</sup>) や統計的グリーン関数法 (たとえば釜江・他, 1991<sup>18)</sup>) を用いた半経験的手法による強震動シミュレーションも多く地震に適用されている。さらに、広帯域地震動シミュレーションを可能にする手法として、理論的手法などの決定論的アプローチと統計的グリーン関数法などの確率論的アプローチを組み合わせたハイブリッド合成法 (入倉・釜江, 1999<sup>19)</sup>) やハイブリッドグリーン関数法 (Kamae et al., 1998<sup>20)</sup>) が提案された。

また、三次元地下構造モデルや震源モデルの充実に伴い、強震動シミュレーションの有効性の検証 (validation) が組織立って行われるようになってきた。たとえば、1998年の第2回ESG国際会議において行われた1995年兵庫県南部地震の同時シミュレーションや、2006年のサンフランシスコ地震100周年会議において行われた、1989年ロマプリエータ地震と1906年サンフランシスコ地震の同時シミュレーション (Aagaard et al., 2008<sup>21)</sup>) などがある。

#### 5. 地下構造モデルのチューニング

強震動シミュレーションは、先に述べた地下構造のモデル化の妥当性の検証手段としても有効活用されている。特に、中小地震の地震動シミュレーションによ

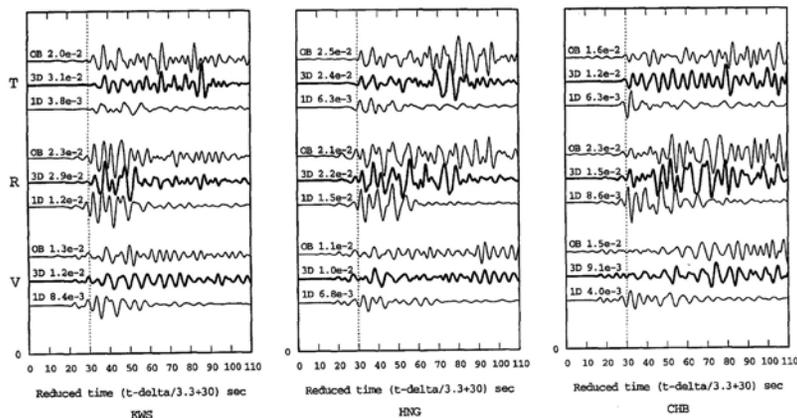


図3 1990年小田原地震の観測記録とチューニング済みの三次元地下構造モデルおよび一次元地下構造モデルを用いたシミュレーション結果の比較<sup>23)</sup>。

る地下構造モデルのチューニングは、Sato et al. (1999)<sup>22)</sup> などをはじめとして広く行われるようになり(図3)、強震動評価や強震動予測の信頼性を確保する上で不可欠なプロセスとなっている。

現在は、上記のような試行錯誤的なチューニングだけでなく、地下構造や盆地形状をインバージョンでも構築できる時代となりつつあり(たとえばAoi, 2002<sup>23)</sup>)、蓄積されつつある大量の強震動記録と相まって、三次元地下構造モデルを客観的かつ高精度に構築できるようになることが今後期待される。

## 6. 兵庫県南部地震以降の強震観測

大量の強震動記録が蓄積されつつある背景には、1995年兵庫県南部地震以降の、地震調査研究推進本部などによる大幅な強震観測体制の充実がある。功刀・他(2009)<sup>7)</sup>によれば、これらの強震観測は

- ・ K-NET
- ・ KiK-net
- ・ 気象庁の強震観測網
- ・ 震度情報ネットワークと地方自治体の震度観測
- ・ その他の特徴ある強震観測

に分類され、防災科学技術研究所・気象庁・自治体という公的機関で運営されている前四者がその主力となって全国ネットワークを構成している(図4)。

最後の「その他の特徴ある強震観測」は、その目的や観測手法などで特色を打ち出した、比較的小規模な強震観測で、功刀・他(2009)<sup>7)</sup>は「速度型強震計による強震観測」、「港湾地域強震観測等の強震観測」、「半導体加速度センサーを用いた小型強震計」、「機械式強震計記録の数値化データ」の4件を挙げている。

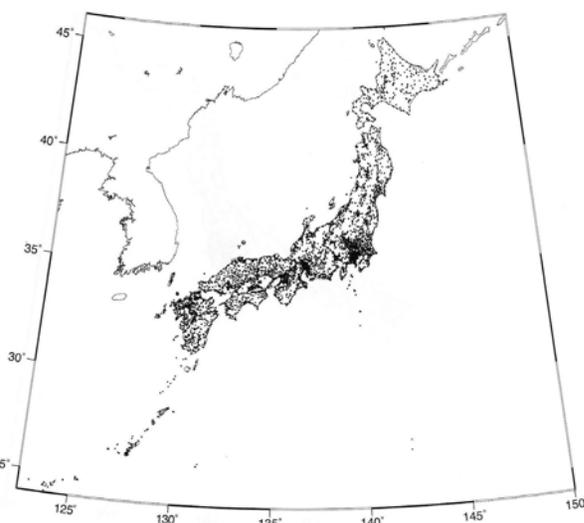


図4 K-NET, 気象庁の強震観測網、自治体の震度観測網を併せた観測点分布<sup>7)</sup>。

## 7. 最近のトピック

強震動地震学・応用地震学における最近のトピックをひとつ挙げて、この稿を締め括りたい。地下構造モデルを構築するにあたって、地下構造探査は基礎的なデータを提供する重要なプロセスであり、その手法を検討することは強震動地震学・応用地震学の主要な研究課題のひとつである。近年、この研究課題では地震波干渉法と呼ばれる手法が注目されている。

白石・他(2008)<sup>24)</sup>によれば、Wapenaar (2004)<sup>25)</sup>およびWapenaar and Fokkema (2006)<sup>26)</sup>は、相反定理と時間反転不変の原理に基づき、損失のない音響媒質および弾性媒質において地震波干渉法の一般的な理論を導出し、二点の異なる受振点で波動場を観測した記録の相互相関により、一方の受振点位置に与えられたインパルス入力に対する他方の受振点位置における地震波応答であるグリーン関数を合成できることを示した。

グリーン関数とは地震波から地下構造の影響を取り出したものと理解できるから、これが合成できるということは、地下構造を探査する、あるいはモデル化することに他ならない。白石・他(2008)<sup>24)</sup>はさらに、地震波干渉法の理論は、一見すると無意味に見える記録に隠れた意味のある情報を引き出せることを示したものである、と述べている。

## 参考文献

- 1) 長谷川昭: 特集号「日本の地震学: 現状と21世紀への萌芽」編集にあたって, 地震2, 61, 特集号, i-ii, 2009.
- 2) 岩田知孝: 強震動予測のための特性化震源モデル, 地震2, 61, 特集号, S425-S431, 2009.
- 3) 座間信作: 長周期地震動, 地震2, 61, 特集号, S433-S440, 2009.
- 4) 瀨藤一起・三宅弘恵: 地下構造モデルと強震動シミュレーション, 地震2, 61, 特集号, S441-S453, 2009.
- 5) 佐藤智美・川瀬博: 堆積層による地震動の増幅, 地震2, 61, 特集号, S455-S470, 2009.
- 6) 翠川三郎: 地震動強さの距離減衰式, 地震2, 61, 特集号, S471-S477, 2009.
- 7) 功刀卓・青井真・藤原広行: 強震観測 - 歴史と展望 -, 地震2, 61, 特集号, S19-S34, 2009.
- 8) Somerville, P., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith, N., and A. Kowada: Characterizing earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, *Seismol. Res. Lett.*, 70, 59-80, 1999.

- 9) 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, 110, pp.849-875, 2001.
- 10) Miyake, H., T. Iwata, and K. Irikura: Source characterization for broadband ground-motion simulation: Kinematic heterogeneous source model and strong motion generation area, Bull. Seismol. Soc. Am., 93, 2531-2545, 2003.
- 11) Murotani, S., H. Miyake, and K. Koketsu, Scaling of characterized slip models for plate-boundary earthquakes, Earth Planets Space, 60, 987-991, 2008.
- 12) 地震調査委員会: 「長周期地震動予測地図」2009年試作版, 66pp., 2009.
- 13) 長郁夫・鶴来雅人・香川敬生・岩田知孝: 広帯域強震動評価のための堆積層深部地盤速度構造のモデル化, 日本地震工学会論文集, 6, 113-132, 2006.
- 14) 地震調査委員会: 「全国を概観した地震動予測地図」報告書, 地震調査研究推進本部, 94 pp., 2009.
- 15) Graves, R. W.: Simulating seismic wave propagation in 3D elastic media using staggered-grid finite differences, Bull. Seismol. Soc. Am., 86, 1091-1106, 1996.
- 16) Koketsu, K., H. Fujiwara, and Y. Ikegami: Finite-element simulation of seismic ground motion with a voxel mesh, Pure Appl. Geophys., 161, 2463-2478, 2004.
- 17) Irikura, K.: Prediction of strong acceleration motions using empirical Green's function, Proc. 7th Japan Earthq. Eng. Symp., 151-156, 1986.
- 18) 釜江克宏・入倉孝次郎・福知保長: 地震のスケールング則に基づいた大地震時の強震動予測 - 統計的波形合成法による予測 -, 日本建築学会構造系論文報告集, 430, 1-9, 1991.
- 19) 入倉孝次郎・釜江克宏: 1948年福井地震の強震動 - ハイブリッド法による広周波数帯域強震動の再現 -, 地震2, 52, 129-150, 1999.
- 20) Kamae, K., K. Irikura, and A. Pitarka: A technique for simulating strong ground motion using hybrid Green's function, Bull. Seismol. Soc. Am., 88, 357-367, 1998.
- 21) Aagaard, B. T., T. M. Brocher, D. Dolenc, D. Dreger, R. W. Graves, S. Harmsen, S. Hartzell, S. Larsen, and M. L. Zoback: Ground-motion modeling of the 1906 San Francisco earthquake, Part I: Validation using the 1989 Loma Prieta earthquake, Bull. Seismol. Soc. Am., 98, 989-1011, 2008.
- 22) Sato, T., R. W. Graves, and P. G. Somerville: Three-dimensional finite difference simulation of long-period strong motion in the Tokyo metropolitan area during the 1990 Odawara earthquake (MJ 5.1) and the great 1923 Kanto earthquake (Ms 8.2) in Japan, Bull. Seismol. Soc. Am., 89, 579-607, 1999.
- 23) Aoi, S.: Boundary shape waveform inversion for estimating the depth of three dimensional basin structures, Bull. Seismol. Soc. Am., 92, 2410-2418, 2002.
- 24) 白石和也・松岡俊文・川中卓: 地震波干渉法概説, 地学雑誌, 117, 863-869, 2008.
- 25) Wapenaar, K.: Retrieving the elastodynamic Green's function of an arbitrary inhomogeneous medium by cross correlation, Physical Review Letters, 93, 254301 (1-4), 2004.
- 26) Wapenaar, K. and J. Fokkema: Green's function representations for seismic interferometry. Geophysics, 71, SI33-SI46, 2006.

# 木造住宅の耐震化と診断・補強技術の現状

五十田 博

●信州大学工学部

## 1. はじめに

木造住宅の耐震性能に関する研究は、鉄骨造や鉄筋コンクリート造などの構造に比べ遅れをとっている。大地震のたびに人命を損なうような甚大な被害を受けるにもかかわらず、である。耐震研究の最終目的ともいえる設計法を考えてみても、数多く建てられる木造住宅は簡易な壁量計算をベースにしており、壁量計算の際に保有水平耐力的な考慮をしていたとしても（こんなことを知っている人は木造を専門とする人が主だろうが）構造計算はしていない。さらに許容応力度設計法は関連業界でまとめられてはいるものの、外力に対して各部の応力を求め、それに対して耐力側を設計するような方法は標準的な設計法ではなく、他構造と異なる独自の体系を構築している。性能指向型の設計の基本、地震時に各部に生じる応力を意識しつつ、応答変形などの挙動を精度よく求めること、はほとんどなされていないのが木造住宅である。壁量計算が主だから、ちょっと変わった構造を建てようと研究者や構造設計者が木造の設計に手を出すと、とっつきが悪く、木造はわかりにくい、という話になる。たかが木造ではあるが、まだまだ、木造住宅の耐震性に係わる実験的、解析的な研究は必要で、遅々として進んでいない。

というのが、当たらずとも遠からずの木質構造以外を専門とする研究者や木造の構造設計に取り組んだことのある構造設計者の印象ではなかろうか。最初と最後の文章を除いて事実と思う。しかし最初と最後の“遅れ”、“遅々として進んでいない”はだいたい誤解があるように思う。もちろん反論もあろう。木造の研究者は文章の途中にも事実に反する部分があるというだろうし、木造以外の研究者は最初と最後もおかしいというかもしれない。

もう少し詳しく私見を書くと、一般的に建てられている木造軸組構法や枠組壁工法の耐震設計に関しての「研究の遅れ」は、最近ではほぼ解消されつつあるように思う。現段階のデータを用いて、つまり、新しい知見を得なくとも、性能設計に供するようなデータ、つまり層の荷重変形をつくることはできるし、地震応答解析だってできる。これまで、応力計算をする体系を、その設計や施工の担い手のレベルゆえにつくらなかつ

た、あるいは多種多様の木造を建て続けられるように、それをつくることをしなかったため、新しい考え方の壁や要素、例えば制振壁などが入ってくると、とたんに拒否反応を示すが、それは「研究の遅れ」と呼ぶべきものではない。ただし、材料特性や接合部の破壊、めり込み現象、耐力壁の特性など実用化の基礎となる分野でまだ解決をみない研究テーマがきりなくあることも事実である。とにかく、安全な建物を建てるための技術の蓄積、現在の設計法の背景の研究は、1995年阪神・淡路大震災以降大幅に蓄積された。木造の研究者は、木造住宅の工学的な耐震研究は進展し、決して遅れているわけではないように感じる。本原稿はそのようなことを意識しつつ、書いてみることにした。ただ、私の身近な話題を中心に書いているため、建物の全体性能に偏り過ぎているきらいもある。この辺はご容赦いただきたい。

## 2. ここ10年の動向と発展

図1は日本建築学会大会の1990年以降の木質構造での発表件数を示したものである。1995年の阪神・淡路を境に数は急激に増え、2010年で発表件数は300件を超えている。1990年初頭50件であるが、これは1980年代後半から新木造と呼ばれる集成材構造の研究が始まったため論文数が増えた結果である。それ以前は10件程度で推移をしている時代もあった。集成材構造に関する研究は1987年の建築基準法令の改正に端を発している。1995年は地震が契機となっており、いわば外からの刺激によって研究者が増え、発表件数が増えている。外の刺激と研究の進展については後ほど特に取り上げて述べる。ここで研究論文についても確認しておくことにしたい。図2は同じく日本建築学会の構造系論文集に掲載された木質構造関連の論文数を示したものである。こちらは研究者の増加に対しては5年ほど遅れ、2000年頃から増え、ここ数年は構造系論文中15%弱程度で推移している。鉄筋コンクリート造、鉄骨造、振動、基礎構造や材料分野の研究、そして耐火火を含めた中で15%という数字は決して低いものではない。

さて、木造の研究は外からの刺激により耐震に関する研究が進んできたと書いた。ここで、簡単にこの10

年の行政、関連業界、学会などの動きを整理しておきたい。表1に、行政関連・地震被害、協会関連、学会

に分けて、制定、改正、改訂、編纂などの動きを内容の若干のコメントを付して整理した。

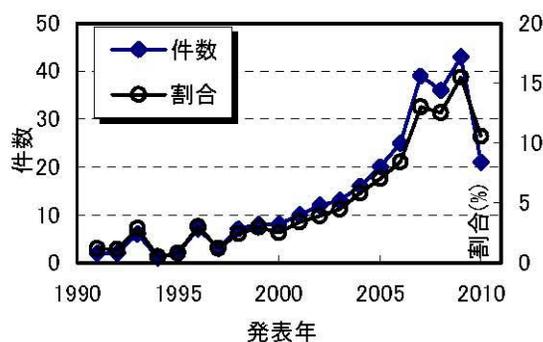
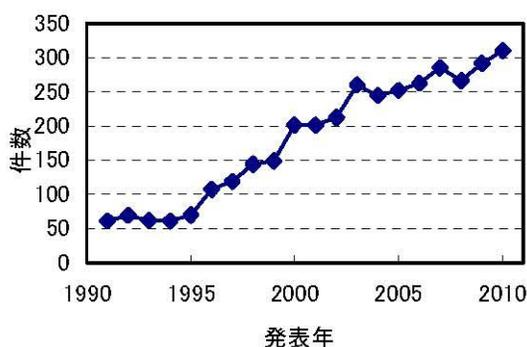


図1 日本建築学会大会木質構造発表件数

図2 構造系論文集木質構造関連掲載数

表1 ここ10年の木造関連の動き

行政関連、地震被害

- 2000年 建築基準法令改正⇒木造住宅の仕様規定の強化 木造耐火構造(建築研究所：木質複合建築構造技術の開発)集成材構造 枠組壁工法耐火構造で実現  
住宅の品質確保の促進等に関する法律、法律に基づく住宅性能表示精度に係わる告示⇒耐震等級、耐力壁に準ずる壁の評価、開口付き壁の評価、必要壁量の見直し
- 2003年 基準法告示1100号の改正⇒土壁塗、面格子壁、落とし込み板壁の壁倍率に係わる技術解説書。元は長寿命木造住宅推進方策検討委員会(日本住宅・木材技術センター)
- 2004年 新潟県中越地震⇒地震被害調査、報告書、積雪地域の住宅の耐震性、軟弱地盤
- 2006年 耐震改修促進法改正⇒日本建築防災協会「木造住宅の耐震診断と補強方法」位置づけ
- 2007年 能登半島地震、新潟県中越沖地震⇒地震被害調査、報告書
- 2009年 長期優良住宅の普及の促進に関する法律、認定基準⇒品確法の耐震等級2と等価な限界変形性能⇒3階建て振動台実験(長期優良住宅等実現のための技術基盤強化を行う事業：木を活かす建築推進協議会)
- 2010年 公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律⇒低層の公共建築物については原則としてすべて木造化をはかる。

協会関連ほか

- 2002年 木造軸組工法住宅の許容応力度設計(日本住宅・木材技術センター)⇒許容応力度計算法と性能評価のための実験方法  
枠組壁工法建築物構造計算指針(日本ツーバイフォー建築協会)⇒枠組壁工法の許容応力度計算、保有水平耐力計算の手引き。1998年版の改訂
- 2004年 木造住宅の耐震診断と補強方法(日本建築防災協会)⇒接合部が不十分な壁構面の評価法、その他、最新の知見により診断法を再構成。1985年度版の改訂
- 2005年 3階建混構造住宅の構造設計の手引き(日本住宅・木材技術センター)⇒1階RC造、2、3階木造の剛性率制限の緩和やAi分布の求め方。1988年版の改訂
- 2007年 枠組壁工法建築物構造計算指針(日本ツーバイフォー建築協会)⇒基準法等の改正に伴う見直し。石膏ボードや釘のJIS改訂。
- 2008年 木造軸組工法住宅の許容応力度設計(日本住宅・木材技術センター)⇒水平構面、プレカット材の断面評価、特殊な形状の建物の設計方法など。2002年度版の改訂

建築学会

- 2002年 木質構造設計規準・同解説(第3版)⇒初版は1973年。おおもとは1944年「木造建築物の強度計算(案)」。構造計画に関する部分を整理。
- 2006年 木質構造設計規準・同解説-許容応力度・許容耐力設計法-⇒接合部の許容耐力の大幅な見直し。世界標準である降伏理論を取り入れた。
- 2008年 木質構造接合部設計マニュアル⇒ラーメンに用いる接合部の設計法を含む最新の研究成果を整理。

その他プロジェクト(主として耐震性能に関するもので、研究的な要素を多く含むもの)

- 2002年 大都市大震災軽減化特別プロジェクト(文科省)⇒補強無補強建物の振動台実験、耐震診断法へ影響
- 2006年 木造住宅の振動台実験(建材試験センター)⇒20棟を超える木造住宅の振動台実験を実施し、住宅の耐震安全性を確認するとともに、設計法の妥当性などを確認
- 2008年 伝統的構法の設計法及び性能検証実験実施委員会⇒伝統的木造構法の設計法構築に向けた実大実験の実施。2010年より衣替え。  
イタリア中層木造振動台実験⇒クロスラミナを用いた7階建て木造の振動台実験
- 2009年 NEEESWOOD プロジェクト(防災科研)⇒枠組壁工法による7階建て振動台実験

非常に多くのプロジェクトが同時並行的に進んでいる。また、学協会等が主導し、設計法や診断法の原因が作られ、それらが研究の出先となっている。ただ、残念なことではあるが、原案の作成を急ぐあまり、委員会資料としてまとめられるが、学会論文等としてまとめられないものが多数存在している。例えば、耐震診断で保有耐力接合されていない接合部を持つ構面や壁の耐力を求める方法は、接合部の仕様を変えて増分解析が繰り返され、その結果が導出されている。理論解とともに解析結果を示せば十分学術的にも実務的にも価値の高い論文となるのであろうが、これまではなされていない。

加えて、住宅の型式適合認定などでは、数多くの実験や高度な計算を駆使し、設計法が構築されているという話も聞く。論文にまとめられるものもあるが、構造設計コンサルタント事務所に蓄積されるだけで世の中に出ることはないようなノウハウがたくさんあろう。さらに、指定性能評価機関で数多くの実験がなされているが、それらも各社のノウハウ的なものが多々あり、大学の先生が関わっていたとしても、公開されない研究が多々ある。

### 3. 新築木造住宅の耐震性能

さて、木造住宅は重量が軽い(壁量計算の前提は1500N/m<sup>2</sup>程度)こともあって、軽微な非構造部材でも耐震性能に対する寄与はそれなりにある。たとえば2000年改正以前の壁量計算では耐力壁が水平力の2/3を負担し、それ以外が1/3を負担しているという前提であった。つまり、耐力壁のせん断性能の累加によって建物の水平抵抗性能を評価するだけでは実性能を正確にはあらわしてはならず、垂れ壁、腰壁、小壁、そして仕上げ材などの非構造部材を含んだ評価が必要となる。後述する耐震診断では、開口付き壁や外装材などの本来構造要素として評価しない要素の評価法やデータベースも用意されており、累加も可能で

ある。また、木造では仕上げがされた完成状態の住宅に対する実大実験が多数実施されている。ここでは、実大実験の一例を示して、木造住宅の耐震レベルの現状を説明することとしたい。

表2は、2階建て木造住宅で、1)Co=0.2に対して設計され仕上げがない建物、2)Co=0.25に対して設計するがその際耐力壁とみなせない要素、この場合、垂れ壁と石膏ボード、も設計に考慮した建物、3)Co=0.3に対して2)と同様に設計し、さらに設計に考慮しない仕上げや壁を持つもの、に対し、「阪神・淡路」の際に神戸海洋気象台で観測された加速度波形を入力した結果である。なお、Coは1階のせん断力の最大値を1階の地震力算定用重量で除したものである。3)の性能つまり、いわゆる品確法の耐震等級3の性能を持てば、極大地震に対しても1/75radの変形、木造では構造に損傷が起り始める程度の被害となる建物が設計できていた。

表3は建築基準法の大地震で要求されるスペクトルを持つ人工地震波を、接合部の設計法の異なる2棟の耐震等級2の3階建て建物に入力した結果である。応答変形は1/120rad程度であり、基準法の大地震に対して十分な安全性を持っていることがわかる。なお、表2や表3は壁の累加により層の荷重変形を概ね追跡できること、さらには時刻歴応答解析によりその結果を追跡できることが確認できており、研究的に多くの成果が実大実験を通じて得られている。ただし、表3の実験では想定外の極大地震に対して、接合部が不十分な

表2 品確法の耐震等級と神戸海洋気象台波 (Co換算は入力時の最大)

左から 1)、2)、3) の設計			
	最大変形	1/5	1/13
Co換算	0.76	0.90	1.52

建材試験センターによる実験

建物が実験には倒壊せず、接合部を基準通りに設計施工した建物が倒壊するという結果になった。実験でなければ接合部が不十分な建物も基礎から柱が踏み外し、大きな損傷を被ったと予想される。しかし、接合部が不十分なことにより生じるロッキング現象やスライディング現象を倒壊防止のヒューズと割り切り積極的に利用し、それを機械的にコントロールして想定外の極大地震に対して対処する、といった現象として古くから認められている、新たな課題も浮上した。

以上のとおり、研究的にはまだ解決しなければならない課題もあるが、実務では十分な技術の域に達している。最近では地方ビルダーと呼ばれるハウスメーカーであっても品確法の耐震等級2を最低限とし、耐震等級3が標準というところもあり、新築木造住宅では極めて高い耐震性能の住宅が建てられているものと想像できる。

#### 4. 耐震補強で実現される性能と診断の推定精度

これまで大地震が発生すると既存木造住宅で被害が多く発生してきた。特に「阪神・淡路」では死者約6,000人のうちその9割が木造住宅の倒壊による圧死とも言われている。既存の木造住宅の耐震化は社会的にも喫緊の課題であるが、耐震補強の必要な住宅が、2003年には1150万戸、2010年でも1000万戸程度あるとされ、その耐震化は進んでいない。

現在の耐震診断法や耐震補強の指針は2004年に編纂したものである。「阪神・淡路」の教訓はもちろんのこと、それ以降に進められた要素レベル、実大レベルの実験を反映させている。こちらも研究的には課題もあるが、技術という観点、つまり大地震に対して倒壊しない建物のつくり方、はひとつとおろ網羅できている。図3は補強しない上部構造評点0.5の木造住宅と倒壊しないレベルである評点1.5以上に補強した木造住宅に対して、「阪神・淡路」の際にJR鷹取駅で観測された地震波を入力した実験の写真である。耐震補強しない建物は倒れ、補強した建物が倒壊しないという、きわめて当たり前の結果が「期待どおり」得られた。「期待どおり」であったが、「予想どおり」か、というとその辺は少し違っている。補強した建物がもう少し損傷を受けると予想していたのである。予想に反したひとつの原因は、劣化などを含む既存の壁の評価が正確にできていない点にある。この実験では幸い安全側に働いたが、場合によっては劣化を過少に評価、つまり耐震性能を過大評価することも考えられる。現段階では、劣化を取り除き、補強の際には確実に性能がわかっている新設壁により、耐震化を図ることが望ましい。

表3 耐震等級2を持つ3階建て建物  
(Co換算は入力時の最大)



接合	十分	不十分
最大変形	1/123	1/121
Co換算	0.65	0.66



図3 補強無補強建物実験

#### 5. まとめ

最近では、林野庁、国土交通省をはじめとして木材を有効利用し、木材で建物をつくるという強い追い風の動きがある。公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律はそのひとつである。一方で、想定外の外力、たとえば津波など、難しい課題もある。

先ほど、解析や実験の結果を踏まえ「設計法が構築されている」と書いた。本来は各部の応力が求められるよう解析の手法が示され、それが設計法になるべきである。しかし、担い手の力量ゆえに、最終成果として仕様規定やそれに準ずるものを目指すため、簡単な四則演算で答えがでる設計法にしてしまう。これがわかりにくいとか、とっつきが悪い原因である。よって、研究者や力量のある構造設計者は成果ではなく途中過程を追っていただければ、木造の研究の現状が思っている以上に「それなりによくできていて」で、設計にも使えるデータが多々あることに気がつくはずである。ただ、それらの研究成果をつかって耐震設計、耐震診断を進めるためには、手法をオーソライズすることやソフトなどの整備も必要であり、それらの準備が今後期待される。

# 制震・免震構造の開発と適用の現状

小鹿 紀英

● (株) 小堀鐸二研究所

## 1. はじめに

1980年代後半から開発・実用化が本格化した制震・免震構造は、阪神大震災を契機に一気に広がりを見せ、現在では鉄骨造超高層オフィスビルでは制震装置が標準装備となり、免震構造も集合住宅や病院、庁舎、戸建住宅などを中心に適用件数が爆発的に増加している。

開発の初期には、ゼネコンやメーカー、研究機関によりオリジナリティを競ってデバイスの開発が行われた。制震構造は、制御方式では、アクティブ、パッシブ、セミアクティブ、ハイブリッドに分類され、機構的な面からは、付加マス、弾塑性（鋼製、鉛）、粘性（オイル含む）、粘弾性、摩擦等に分類され、さらに装置設置法では、層にダンパを設置する層間型（間柱型、壁型、ブレース型、梁型、方杖型など）、隣棟間をダンパで繋ぐ棟間型、コア部と周辺フレームを切離してダンパで繋ぐ芯柱型<sup>1)</sup>やデュアルフレーム型<sup>3)</sup>、コア壁の曲げ変形をダンパで抑制する曲げ制御型<sup>2)</sup>、付加マスの屋上設置型等に分類されるが、それぞれの分類において2000年までに多種多様な装置が開発された。

免震構造においては、装置自体の開発はメーカー主体で行われ、積層ゴムや滑り、転がりなど各種の支承とそれとペアで用いられるダンパ（オイル、鉛、鋼製など）の基本構成部品のほとんどが2000年以前に開発され、実用に供された。

ここでは、これらの開発状況を踏まえつつ、主に21世紀に入ってからの10年間に着目して、新たに開発・実用化された制震・免震構造の特徴や適用状況を概観する。

## 2. 制震・免震構造の適用状況

図1と図3に年度毎の制震・免震構造の累計件数をグラフにしたものを示す。制震構造は著者調べ、免震構造は日本免震構造協会の調べによる。今回対象としている2000年以降については、制震を採用した超高層建物や免震構造を性能評価する指定性能評価機関が増えて、大臣認定物件の情報のすべてを網羅できなくなったことと、免震構造に関しては免震告示が施行されたことで、正確な件数の把握が困難な状況にあるが、免震構造については日本免震構造協会のアンケート結果に基づいて集計されているため、ほぼ実数に近い件

数となっていると思われる。一方、制震に関しては公開された文献などを元に著者が集計したデータであるため、かなりの数のカウント漏れがあると考えられるが、図をみると制震・免震構造とも阪神大震災以降急激に増え、2000年以降も堅調に増加していることがわかる。なお、別の資料によると制震建物は現在までに約800棟を超え、1995年当時は主に事務用途の鉄骨造超高層ビルの約1～2割が制震構造であったのに対し、2008年には約7～8割が制震構造であり、現在では、ほぼ何らかの制震装置が標準装備されているといえる。図2には、採用されている制震装置の種類を割合で示している。これをみると、鋼製ダンパが最も多く全体の約半数、粘性ダンパと質量付加ダンパがそれぞれ約

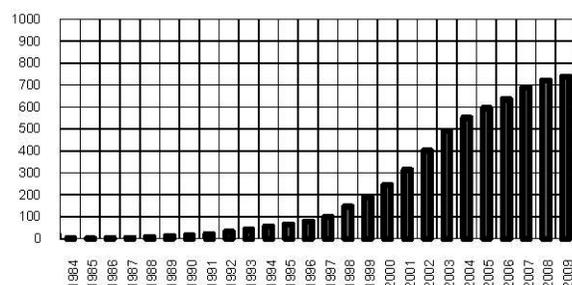


図1 制震構造の累計件数の推移

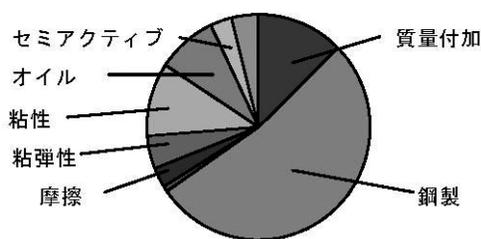


図2 制震構造の種類

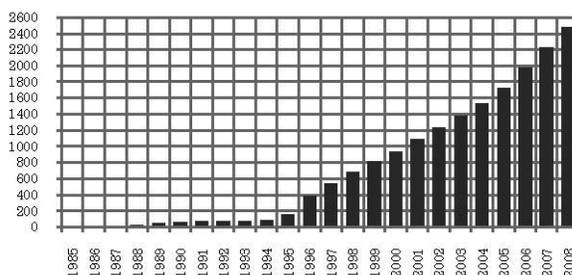


図3 免震構造の累計件数の推移

10%、オイルダンパが9%、粘弾性が約5%、摩擦ダンパが約3%となっている。このうち、質量付加ダンパは、一部を除いて基本的には居住性確保のための風揺れ抑制が目的で、大地震時の制御効果は期待できない。

一方、免震構造は現在全国で約2500棟を大きく上回っており、そのうち集合住宅が45%、病院が12%となっている。これ以外に戸建免震住宅が3500棟以上あり、各住宅メーカーが独自に一般認定を取得して、確認申請のみで建設可能なため、この10年間でその数が急激に増加している。

### 3. 各種制震構造

この10年間に開発された制震装置・制震構造のうち代表的なものについて以下に概観する。

弁開閉型オイルダンパ<sup>4)</sup>は、オイルダンパに開閉弁を組み込み、その開閉によって吸収エネルギーを最大限に高めたセミアクティブ型制震装置である。開発当初は、弁の開閉を電子制御によっていたが、その後ピストン移動に伴うシリンダー内の油圧変化で弁の開閉が可能のように改良され、完全パッシブ型<sup>8)</sup>でセミアクティブ型とほぼ同等な効果が得られるようになった。

トグル制震システムは、構面内に組込んだトグル機構にオイルダンパなどを組合せたものである。この原理を用いたトグル増幅機構で層間変位を増幅し、オイルダンパの効率を、層間ダンパとして用いる場合の、数倍に高めることができる。

MRダンパは、磁気粘性流体を用いた油圧式ダンパの一種で、磁界の強さを変化させることによってその粘度を変化させて、減衰力を可変にできる。多くの研究者がMRダンパの適用を研究<sup>5) 6)</sup>などしており、セミアクティブ制震への適用が検討されている。また、免震層に用いてセミアクティブ免震とした例<sup>16)</sup>なども多い。

インテリジェント・オイルダンパ<sup>7)</sup>は、従来のオイルダンパを基本に、大変形時のループ形状をいろいろな形にカットすることで、建物加速度を低減したり、ダンパ周辺部材の付加応力を低減できる特徴がある。これと同様の特性を持つダンパが、すでに長周期地震対応として既存超高層ビルの制震改修に適用されている<sup>11)</sup>。

ダイナミック・マス<sup>9)</sup>は、従来の弾塑性ダンパが変形差、粘性ダンパが速度差に対応して抵抗力を発生させたのに対し、加速度差に対応して慣性力を発揮させるものであり、減衰コマの回転体を利用して大きな見かけの質量・慣性力を生み出すことができる。ちなみに、文献9)ではこの装置をトグル機構と組合せてより一層の効果を引き出す工夫がなされている。またこ

の機構を用いた効果的な構造物への組み込み方の研究もなされている<sup>10)</sup>。

### 4. 各種免震構造

この10年間に開発された免震装置・免震構造のうち代表的なものについて以下に概観する。

パーシャルフロート免震構造<sup>12)</sup>は、従来の免震機構に加え、地下をプール内に設置することで、浮力による建物荷重を低減して免震支持機構の剛性や地盤支持力を低減させ、水中での振動により付加質量が発生して構造物をより長周期化させる、ことを目的としたものである。洪水時には支持機構を切り離して建物全体を浮かせることも考えられている。

翼状鋼板を用いた免震ゴム<sup>13)</sup>は、積層ゴムの弱点の1つである引張に対して積層ゴム本体の損傷を回避することを目的として開発されたもので、積層ゴム下部フランジを複数の翼状鋼板を介して、下部基礎に定着する。引張時には翼状鋼板が変形すること積層ゴムには過大な引張力が生じさせないことが特徴で、超高層免震建物を中心に適用が進んでいる。

可変構造セミアクティブ免震<sup>14)</sup>は、従来の免震構造において、上部構造の加速度応答と免震層の変位応答がトレードオフの関係にあったのに対し、免震層の変形を小さく抑え、かつ上部構造の加速度応答を抑制することをダンパの減衰係数を適切に切り替えることによって実現することを目的としている。文献14)では、中小地震を対象にして本システムを開発・適用した実プロジェクトが紹介されている。

3次元免震は、従来の免震構造が建物の損傷が上下動より水平動が支配的との理由から、水平方向の地震にのみ有効であったのに対し、上下方向の振動抑制が、耐震安全性や家具・貴重品の損傷防止、居住性の向上に役立つという観点から開発されたもので、文献17)では装置の開発並びに実建物への適用について報告されている。

絶対制震は、基部免震層にアクティブ制御力を加えることで、免震建物を絶対空間に静止させ、加速度の大幅な低減を実現するもので、理論研究は1980年代後半から90年代初めにかけてなされていて、その当時すでに理論的には成立性が確認されていた。その理論に基づいたアクティブ免震が、近年世界で初めて実建物に適用されたとして、その実例が文献18)に紹介されており、レベル1相当の地震に対して建物の揺れを1/30～1/50に低減できるとしている。

免震装置は、冒頭にも述べたようにこれまでに多数の適用実績があり、上述のように新たな装置や構造も

開発されてきている一方、免震構造が免震層に変形を集中させる構造であるがゆえに、免震層の設計においては考えるあらゆる事象に対して配慮がなされる必要があり、その観点から、積層ゴムの各種外力に対する特性把握の研究が並行して行われてきた。

そのうち文献19)は、高層免震建物や長周期免震建物に対して風に対する安全性確保を念頭に、風荷重に対する免震装置の設計法の確立を目的として、台風時を想定して積層ゴムの動的加力実験を実施したもので、継続時間5時間の水平載荷実験を実時間で実施している。その結果、通常の復元力モデルには考慮されていないクリープ変形的な応答増大が現れることが示され、設計上の配慮が必要なことを述べている。

また、文献20)では、近年その発生が懸念されている長周期地震動を念頭に、大振幅多数回繰返し変形を受ける積層ゴムが、発熱による温度上昇でどのように特性が変化するかを解明するために動的加力実験を実施し、その分析やシミュレーション解析を通じて地震応答解析に取り込めるような、復元力特性の定式化がなされている。

## 5. 制震・免震技術の応用

制震・免震構造は1980年代後半から本格的な開発・適用が始まったが、基本的な装置開発は2000年以前に終了し、多くの建物に適用されてきている。2000年以降には、新たな装置の提案もさることながら、それらを用いた構造計画的な提案も多く、制震・免震分野の開発・適用はもはや成熟期に入ってきた感がある。また、以前に開発されたものの中でも実用性に乏しいものや、奇をてらった装置などは淘汰され、コスト面や性能面、維持管理面で優れたデバイスのみが残って、今も盛んに用いられている。なお、今回紹介した以外にも多数のユニークな開発・適用が実施されているが、紙面の関係ですべてを紹介できなかったことをご容赦いただきたい。

今後も、新たな装置開発は継続されるであろうが、その一方において既開発の装置を適切に組合せて、制震・免震の良さを最大限に引き出せる構造計画や制震・免震構法の応用がなされている。最後にそれらの代表例をいくつか紹介する。

### ① スーパー RCフレーム構法

コア壁の頂部にアウトリガーとしてのスーパービームを配し、そのビームの先端と外周柱頂部の間にオイルダンパを配して、コア壁の曲げ変形を抑制することで、建物の全体応答を低減している。柱・梁が無い大

空間を提供でき、フリープランが実現できるという利点がある。

### ② 免震+制震の組合せ<sup>23)</sup>

三角形配置の隣接する3棟の高層免震建物を、ダンパ部材を組み込んだトラスビームで連結して、引張力に弱い免震装置の欠点を克服し、免震構造のメリットである入力低減効果と曲げ戻し効果のあるトラス梁に組み込んだ制震による減衰付加効果を組合せた構造物である。連結ビーム階が、スカイガーデンとして有効利用されている点にも工夫が見られる。

### ③ デュアルフレームシステム<sup>24)</sup>

曲げ変形主体のコア壁とせん断変形主体の周辺フレームの地震時の変形の違いに注目し、構造的に両者の縁を切って、その間をダンパで連結することにより、ダンパにその相対変形に応じた振動エネルギーを吸収させて、応答低減を図っている。

### ④ セミアクティブ免震と制震の組合せ<sup>15)</sup>

セミアクティブ免震システムで、免震層の変形を抑えつつ上部構造の応答も制御するとともに、上部構造の主要構造要素である連層並列耐震壁間をブレースダンパで斜めに繋ぐことによって、各耐震壁の曲げ変形を抑制している。耐震要素を集約し自由度の高い建物空間を実現したもので、それまでに開発された耐震要素や制震・免震装置を巧みに組合せて建物自由度を確保した例である。

### ⑤ ハイブリッド集中制震システム<sup>21)</sup>

既存超高層建物の制震改修構法として、低層階の壁をダンパに置換して集中配置し、低層階を相対的に柔らかくして振動エネルギーを効率的に吸収させることを意図した構造である。提案例では、ダンパとして、オイルダンパと回転慣性質量ダンパを組合せた装置を用いており、装置の選定においても効率良くエネルギー吸収を行うことを目指している。

### ⑥ 軸力制御ダンパ

既存超高層建物の制震改修においては、ダンパ設置による既存の柱・梁部材の付加応力が問題となる。そこで、前述のインテリジェントダンパを応用して、大変形時に減衰力を低減して柱への付加軸力が過大にならないような工夫を施したオイルダンパを建物外周構面に設置して、長周期地震動対策を実施している。<sup>22)</sup>

以上、いくつかの制震・免震の応用例を紹介したが、こうした制震・免震を用いた設計は、今後もさまざまなアイデアが出され、設計上の工夫がなされて、さらに発展していくものと思われる。

## 参考文献

- 1) 稲田達夫、小川一郎、金井宏之：性能型構造設計に関する考察(丸ビルの耐震設計方針)、日本建築学会技術報告集、第6号、1998年10月、pp77-82
- 2) 大川潤、五十殿侑弘、小堀鐸二他：制震装置を用いた新しいRC造架構の開発、日本建築学会大会講演梗概集、1995年8月、23402-23403
- 3) 西村勝尚、笹元克紀、大住和正、和田裕介他：連結制振構造を適用した超高層RC造建物の応答性状、日本建築学会大会講演梗概集、2008年9月、23405-23409
- 4) 栗野治彦、田上淳、清水幹他：エネルギー吸収能力最大化を目的としたセミアクティブオイルダンパ、第2回制震(振)シンポジウム、2000年11月、pp77-84
- 5) 白石俊彦、安永供、森下信、藤谷秀雄：MRダンパによる構造物の制振、機械力学・計算制御講演論文集D&D2000、2000年、629
- 6) 荒井達朗、菅野秀人、堀則男、井上範夫：セミアクティブ制御を行うダンパーの支持部材剛性が制振構造物の応答に与える影響の検討、日本建築学会大会講演梗概集、2008年9月、21243-21244
- 7) 高橋治、岡部富雄、河相崇他：インテリジェント・パッシブ型建築構造用オイルダンパーの開発、日本建築学会大会講演梗概集、2003年9月、21389-21390
- 8) 栗野治彦、田上淳、山田俊一、松永義憲：エネルギー吸収能力に着目したON/OFF型パッシブダンパ、日本建築学会大会講演梗概集、2004年8月、21034-21035
- 9) 石丸辰治、古橋剛他：ダイナミック・マスを利用した構造設計について、日本建築学会大会講演梗概集、2008年9月、21052-21053
- 10) 磯田和彦、半澤徹也、田村和夫：回転慣性質量ダンパーを組合せた応答低減機構による1質点系振動モデルの応答特性に関する研究、2009年8月、Vol.74、No.642、pp1469-1476
- 11) 細澤治、木村雄一、青野英志：新宿センタービル-変位依存型オイルダンパーによる既存超高層建物の制振補強-、ビルディングレター、2010年7月、pp11-18
- 12) 社本康弘、矢代嘉郎、大山巧、野津剛：パーシャルフロート免震構造に関する研究、日本建築学会大会講演梗概集、2003年9月、21304-21305
- 13) 竹中康雄、金子貴司、仲村崇仁、平田央他：翼状鋼板を用いた免震用積層ゴム引張対策据付法の開発、日本建築学会大会講演梗概集、2005年9月、21381-21383
- 14) 篠崎洋三、長島一郎、北川良和、吉田和夫他：可変構造セミアクティブ免震システムの開発と適用、2005年9月、21362-21367
- 15) 篠崎洋三、細澤治、藤山淳次、長島一郎他：連層耐震壁を有する超高層免震建物の設計、日本建築学会大会講演梗概集、2008年9月、21164-21165
- 16) 渡壁守正、井上波彦、西村秀和他：多自由度系免震構造物に適用したMRダンパによるセミアクティブ(GS)制御性能、日本建築学会構造系論文集、2008年、Vol.73、No.628、pp875-882
- 17) 高橋治、須原淳二、露木保男他：3次元免震建物の開発、日本建築学会大会講演梗概集、2008年9月、21218-21221
- 18) 渡辺哲巳、遠藤文明、勝俣英雄、蔭山満他：絶対制震によるアクティブ免震手法の実建物への適用、日本建築学会大会講演梗概集、2010年9月、21251-21254
- 19) 竹中康雄、鈴木雅靖、二村有則他：高層免震建物の風応答に関する研究、日本建築学会大会講演梗概集、2001年9月、21338-21340
- 20) 竹中康雄、近藤明洋、高岡栄治、北村春幸他：大振幅繰返し変形を受ける積層ゴム支承の熱・力学的連姓挙動に関する研究、日本建築学会大会講演梗概集、2007年8月、21434-21439
- 21) [http://www.shimz.co.jp/news\\_release/2009/759.html](http://www.shimz.co.jp/news_release/2009/759.html)
- 22) <http://www.taisei.co.jp/works/jp/data/0912/1258328303623.html>
- 23) 西村章、白石洋介、鈴木健、木村秀樹：免震・制振構造を用いた3棟連結超高層RC建築物の設計と施工、コンクリート工学、Vol.46、No.4、2008.4、PP42-48
- 24) 西村勝尚、笹元克紀、大住和正、和田裕介、福本義之：連結制振構造を適用した超高層RC造建物の応答性状(その1~5)、日本建築学会大会講演梗概集、2008年9月、23405-23409

# 機械構造物・機械設備耐震設計技術と研究開発の現状とその動向

藤田 聡

●東京電機大学

## 1. はじめに

今世紀に入り最初の10年が過ぎたが、思い返せば前世紀末から我が国だけではなく世界的に見ても巨大な被害地震が多数発生している。こうした被害地震が起きる毎に地震工学は進歩し、また規制とそれに対応する規格・基準類も改訂整備されてきた。また、前世紀末に研究開発された免震・制振技術は、1995年の兵庫県南部地震で免震効果が実証されたが、それ以降建築分野で性能設計が提唱されたこともあり、これらに後押しされる形で免震構造、制振構造も普及期に入った。ここでは、原子力耐震を除く機械構造物・機械設備耐震設計技術と研究開発の現状とその動向について紹介する。なお、拙稿執筆後に東北地方太平洋沖地震が発生し、特に福島第1原子力発電所の被災により我が国の原子力政策の在り方は根底から再構築しなくてはならぬかもしれない状況となっており、ここでは敢えて本地震による影響については言及しないものとする。

## 2. 免震技術の研究開発

1978年に発生した宮城県沖地震では、ライフライン設備、昇降機設備、高置水槽、通信設備等の被害に加えて、当時社会に普及し始めていたコンピュータ機器が多大な被害を受け、耐震設計上新たな課題を提起した。コンピュータ機器のような「構造強度で耐震性を確保できない機器等」の地震災害防止技術はどうあるべきかという議論を経て、「地震入力」そのものを低減する「免震技術」の必要性が大きく浮上した。1980年初頭にはコンピュータールーム用の免震床が実用化され、と同時に重量機器用の免震装置の研究開発が開始されたが、その背景には当初免震技術に関心を寄せたのが、原子力分野、電力分野であったという事情もある。

### 2.1 原子力施設への免震構造適用への動き

30年ほど前に研究開発の始まった免震構造に当初から関心を寄せていたのは原子力分野であった。その後、世界的に見ても原子力発電を取り巻く社会的環境には様々な紆余曲折があったが、近年再びその有用性に光が当たっている状況となっている。

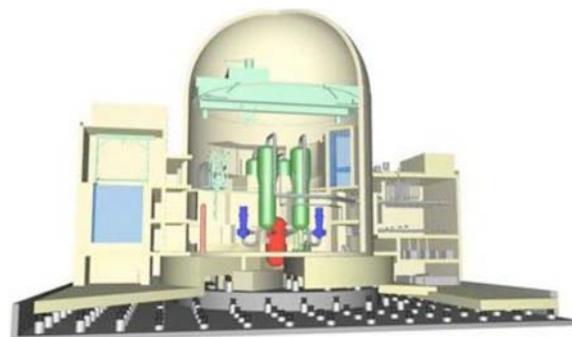


図1 次世代免震軽水炉の例  
(出典：エネルギー総合工学研究所)



図2 次世代免震高速増殖炉の例  
(出典：三菱FBRシステムズ)

現在、国レベルの委員会活動を通じて実用化研究が鋭意進められているが、次世代軽水炉に関しては図1に示すようなコンセプト図が公開されており、水平2次元免震構造を採用し、免震装置としては鉛プラグ入り積層ゴムが予定されている。一方、図2に示す次世代高速増殖炉に於いては、炉型式が薄肉構造となっている事から、鉛直固有振動数が低めの2次元免震構造で、免震装置としてはやや厚肉の積層ゴムでオイルダンパーを併用するものが計画されている。

### 2.2 建物3次元免震構造の実用化

#### 2.2.1 原子力分野での検討

2000～2003年度の期間、日本原子力発電による発電用新型炉技術確証試験（高速増殖炉技術確証試験）3次元免震技術確証試験が実施された。ここでは高速増殖炉3次元免震構造の成立範囲を解析により提示し、



図3 3次元免震構造実験

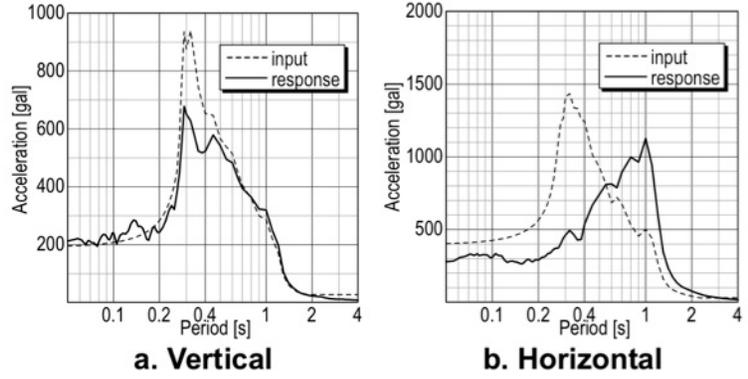


図4 3次元免震性能

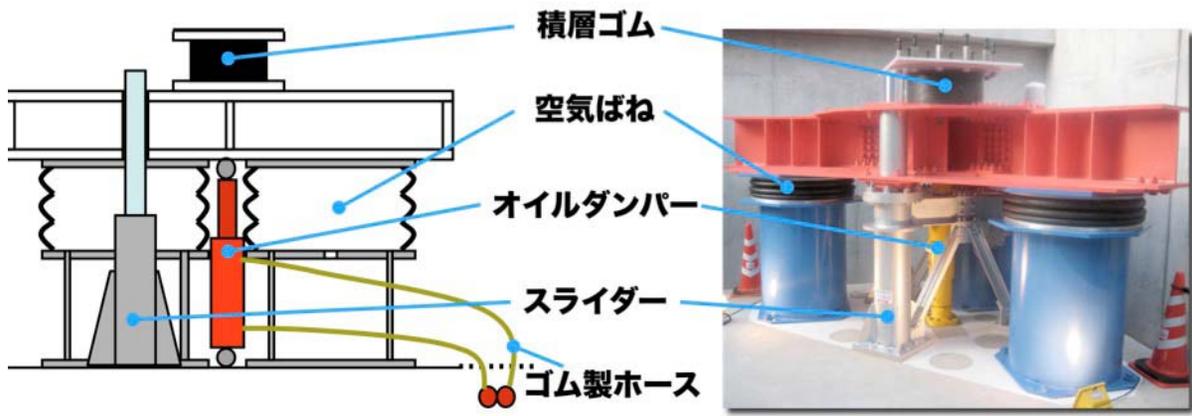


図5 実用化された建物用3次元免震装置

「水平固有周期を2秒以上、鉛直固有振動数を0.5Hz（周期2秒）」という本格的な3次元免震構造諸元を満足するような現実的提案を技術開発コンペによって検討した。9社（グループ）が提案し評価委員会にて議論の末、以下に示すような3社の提案が最終決定プロセスに残った。

- 1) ローリングシール型3次元免震装置 ( $T_H = 4.2\text{ s}$ ,  $T_V = 3.3\text{ s}$ )<sup>1)</sup>
- 2) 空気ばね+積層ゴム3次元免震装置 ( $T_H = 2.8\text{ s}$ ,  $T_V = 2.0\text{ s}$ )<sup>2)</sup>
- 3) 油圧機構を用いた3次元免震装置 ( $T_H = 1.86\text{ s}$ ,  $T_V = 2.0\text{ s}$ )<sup>3)</sup>

委員会の最終決定は、2)と3)の提案を組み合わせるものを採用する事となり、試作した縮尺3次元免震装置モデルを用いた振動実験が実施され免震性能が検証された。図3に供試体を、図4に水平・鉛直免震性能を示す応答スペクトルを示すが詳細な検討結果については文献4)を参照されたい。

### 2.2.2 3次元免震建物の実現

上述の原子力3次元免震構造の検討を経て、2010年

に一般建物としては初となる3次元免震建物が建設された。3次元免震構造を実現するためには、一般的に、免震機能実現のための基本性能を満足する適切な支持装置の選択と、「鉛直免震機能維持のための上下スライド機構の横荷重対策」、「ロッキング振動対策」が重要となる。また、本装置の場合は油圧機構によってこのロッキング振動を抑制する構造であるので、「油圧系解析から等価ばねマス系解析への変換」が簡便な設計にとって重要な技術開発となった。図5は本免震装置の構造概要と写真であり、鉛直設置されたオイルダンパーは樗掛け状に接続された油圧系配管により幾何学的にロッキング振動の発生を抑制する構造となっている。

### 2.3 まとめ

1980年頃、原子力分野で最初に注目された免震構造は、阪神・淡路大震災においてその効果を実証した後、急速に普及し、現在次世代軽水炉・高速増殖炉において採用されるべく検討が進んでいる。また、建物3次元免震構造の実用化や、ここでは紹介しなかったが空

気浮上式免震構造等新しい形式の装置が研究開発されている。ただし、長周期地震動は超高層建物や免震建物など固有周期の長い構造物に大きな影響を及ぼす可能性が高く、今後の検討が必要である<sup>6)</sup>。

### 3. 昇降機耐震技術<sup>7), 8)</sup>

#### 3.1 昇降機耐震技術の現状

昇降機の耐震設計は、昇降機耐震設計・施工指針 2009年版(監修:国土交通省住宅局建築指導課、編集: (財)日本建築設備・昇降機センター、(社)日本エレベーター協会)に規定されている<sup>7)</sup>。

昇降機の耐震設計においては、まれに発生する中地震(レベル1地震)に対しては地震管制運転後通常運行できる性能を、極めてまれに発生する大地震(レベル2地震)に対しては、安全にかごを懸垂支持し、かご内の乗客が安全に救出できる性能を要求している。一方、長周期地震動は超高層建物等の地震応答を過大なものとする危険性が指摘されており、当該建物に設置される昇降機も、当然な事ながら過大な地震入力を受けることになり、さらなる検討が強く望まれる<sup>9)</sup>。

#### 3.2 昇降機耐震設計・施工指針改訂の歴史と課題

昇降機耐震設計・施工指針の歴史を簡単に示すと以下の通りとなる。

1971年以前: 公的基準がなく、各メーカーの自主基準により耐震設計がなされていた。

1971年以降: アメリカ・サンフェルナンド地震によるエレベータの地震被害を受けて、1972年に「昇降機防災対策標準」として、以下の内容などが定められた。

- ・かごや釣合おもりの脱レール防止対策
- ・巻上機や制御盤の固定強化対策
- ・地震時管制運転

1978年以降: 1978年に発生した宮城県沖地震の被害や1980年7月に建築基準法施工令が改正されたことに伴い、1981年に設計用地震力などが盛り込まれた「エレベータ耐震設計・施工指針」が制定された。

1995年以降: 1995年の兵庫県南部地震では、上記指針施行によって、被害が減少したことが確認されたものの、この地震によるエレベータの被害を受けて、1998年に以下の内容などが盛り込まれた「昇降機耐震設計・施工指針」が制定された。

- ・建物耐震クラス(クラスS、A、B)の導入
- ・釣合おもりのブロック脱落防止
- ・その他の耐震規定の一部強化

2005年以降: 2005年に発生した千葉県北西部を震源とする地震の被害や2008年9月の法令改正を契機に、

2009年8月に「2009年版昇降機耐震設計・施工指針」が発行された。その中では、これまで発生している加速度が小さい長周期地震動によると考えられる被害を基に長尺物振れ等の対応策が盛り込まれている。

#### 3.3 長周期地震動により発生した被害

新潟県中越地震、および、東海道沖地震により東京、大阪地区で発生した被害事例のうち、S波地震感知器で検出できず、エレベータが走行したことにより発生した被害状況を分類した概要を表1に示す。被害が長周期地震動によるものかを明確に区分けすることは難しいが、ここでは、観測地点付近での地震波の分析の結果、長周期成分を含んでおり、その下でS波地震感知器が動作していないケースを長周期地震動の被害例としている。

表1. 長周期地震動によるものと考えられるエレベータの被害状況

被害内容		被害発生部位	最上階地上高さ(機械室設置階)
①主ロープ	引っ掛りによる損傷	昇降路機器ブラケット、乗場ドア部品など	64 ~ 253m
	ロープ溝から乗上げによる損傷	かご上綱車部	78 ~ 24m
②調速機用ロープ	引っ掛り、部品破損	昇降路機器ブラケット、かご周り機器など	102m以上
③テールコード	引っ掛りによる損傷	昇降路機器ブラケット	
④スチールテープ(階床検出用)	引っ掛りによる損傷	スチールテープガイド部、乗場ドア部品	138 ~ 227m
⑤コンベンロープ等	引っ掛りによる損傷	昇降路機器ブラケットなど	124 ~ 229m
	ロープ溝から乗上げによる損傷	コンベンロープ用綱車	

#### 3.4 まとめ

以上、昇降機の耐震設計の基本と、近年注目されている長周期地震動対策への課題を示したが、今後想定される長周期地震動を含む大地震に対する限界性能(非構造体である昇降路を含む)の更なる調査研究が待たれる。その結果を受け、昇降機の課題について詳細な対策について検討する必要があるだろう。

#### 4. 高圧ガス施設耐震<sup>10), 11)</sup>

##### 4.1 兵庫県南部地震以前の耐震設計

高圧ガス設備等に係る耐震対策に対して、通商産業省(当時)は、1981年10月通商産業省告示515号により「高圧ガス設備等耐震設計基準」(以下「耐震告示」という。)を公布し、地震時(関東・東海地区では地表加速度を300galと設定)における当該設備の安全レベルを担保するよう新設の高圧ガス設備に対して翌年4月1日に施行された。

##### 4.2 兵庫県南部地震での被害

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震では、神戸市東灘区の液化石油ガス貯蔵設備(MCターミナル)で液ガスが漏洩した事故を除いて、地震の規模に比して事故は比較的少なかったと考えられている。通商産業省では「兵庫県南部地震に伴うLPガス貯蔵設備ガス漏洩調査委員会」を設置し、これらの被害状況を分析し、高圧ガス設備等耐震設計基準の見直しを行い、1997年3月通商産業省平成9年告示143号で当該耐震設計基準の改定を行なった。

##### 4.3 改訂高圧ガス設備等耐震設計基準の概要

高圧ガス設備等耐震設計基準では、新たに①2段階地震動による耐震設計(高レベル地震動の設定)を取り入れる事、並びに1981年通産省告示515号では触れられていなかった②配管系の耐震基準化の2点が改正の要点となった。

##### 4.3.1 2段階地震動による耐震設計(高レベル地震動の設定)

兵庫県南部地震及び改定された「防災基本計画」の趣旨に基づき2段階の地震動を設定するよう検討を行い、レベル1地震動及びレベル2地震動による耐震性能をそれぞれ規定し、評価することとした。

(1) レベル1耐震性能評価 レベル1耐震性能は、レベル1地震動(従来告示において規定していた地震動)であって、当時関東大震災クラスの地震を想定したものが発生したとしても、高圧ガス設備等においては、設備の有害な変形及び高圧ガスの漏洩がないことを条件としている。つまり、当該高圧ガス設備は、弾性設計範囲内でなければならないことを要求しているものである。

(2) レベル2耐震性能評価 兵庫県南部地震動のレベルから推定及び他の耐震設計基準で示されている地震動レベルを参考に600gal程度とした。なお、旧告示で設計された塔槽類は、保有水平耐力評価によりレベル1地震動の2倍程度以上の地震動に対してレベル2耐

震性能を有していること確認した。これは、兵庫県南部地震で塔槽類に損傷がなかったことと対応する。

なお、レベル2耐震性能とは、レベル2地震動クラスの地震が発生したとしても、高圧ガス設備等から高圧ガスが漏洩することなく、当該設備の気密性を保持しなければならないことであり、弾塑性設計を認めたものである。

##### 4.3.2 配管系の耐震基準化

さらに、配管の損傷、継手からの漏洩、配管反力による接続機器、弁の損傷又は機能喪失を生じさせないために、配管系の動的応答に基づく慣性力、支持構造物の動的応答に基づく支持点間の相対変位、地盤の変状に基づく支持点間の相対変位、周辺構造物との干渉を考慮した基準が整備された。

#### 4.4 まとめ

「高圧ガス設備の耐震設計基準」は、1982年に施行され20年以上の実績があり、塔槽類については兵庫県南部地震をはじめ多くの地震で顕著な被害は見られず、成熟した設計技術的であると評価されている。今後は、既存設備の耐震性の確保に関して、耐震性能維持のための耐震性能維持基準、耐震性能点検要領及び設備耐震診断基準及び要領等の整備が望まれる。

#### 5. クレーン設備耐震<sup>12)</sup>

##### 5.1 地震被害例

2007年7月に発生した新潟県中越沖地震では、柏崎刈羽原子力発電所6号機原子力建屋内上部に設置された天井クレーンの駆動軸の自在継ぎ手が切断した。建屋基礎部における水平方向加速度の最大値は0.329Gと7機中一番小さかったものの、鉛直方向加速度の最大値は0.498Gと最大値を記録していた。これらの加速度値はいずれも建設時の設計加速度を上回るものであった。図6は被害を生じた天井走行クレーンである。地

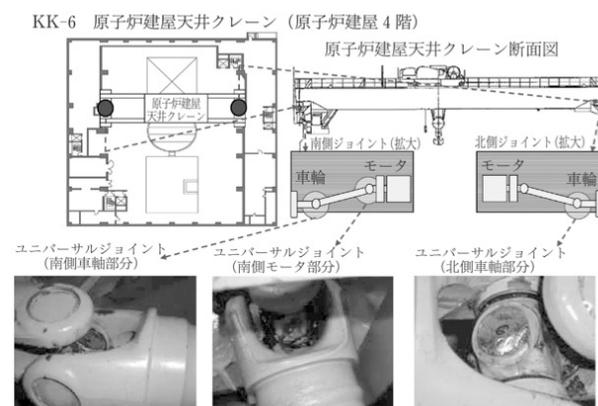


図6 6号機クレーン駆動軸の破損<sup>13), 14)</sup>

震後の解析によれば、駆動用モータ軸のブレーキをかけて停止していた天井クレーンは、垂直方向地震慣性力が重力に加わるにより増加した車輪とレール間の摩擦力と走行方向の地震慣性力がなすトルクが設計トルクより過大になり、駆動軸の自在継ぎ手が切断するに至ったと推定されている<sup>14)</sup>。

## 5.2 耐震設計法

基本的に自重や風荷重などに対する構造設計と同じ設計プロセスで行われることが多い。そこで、高度な耐震性を要求される原子力発電関連や港湾用クレーン等の一部を除き、静的震度法を用いる場合が多く、現実的には以下の4種類の方法が用いられる。

- 1) 静的震度法：クレーン構造規格<sup>15)</sup>で採用されている
- 2) 修正震度法：クレーン耐震設計指針<sup>16)</sup>で標準的な方法として採用されている
- 3) 応答スペクトル法(スペクトルモーダル法)：日本クレーン協会規格で別法として採用されている
- 4) 時刻歴解析法：日本クレーン協会規格で別法として採用されている

このほかにクレーン構造部材の一部が降伏しても構造としての安定性が保たれば良いとする保有耐力設計法もある。

## 5.3 免震クレーン<sup>17)</sup>

1995年1月に発生した兵庫県南部地震では、神戸地区の港湾設備は大きな被害を受け、多くのコンテナクレーン等において、脱輪、走行装置の破損、脚部の変形が発生するなどの被害が生じた。地震後、運輸省は耐震強化岸壁の建設に着手し、全国規模で耐震強化岸壁の整備が進められた。時期を同じくして、いくつかのクレーン用免震装置がメーカーを中心に研究・開発された。図7はその一例である。



図7 免震コンテナクレーン全景<sup>17)</sup>

## 5.4 まとめ

大きな地震加速度が記録されている近年の地震に於いてクレーンの震害が報告されていることに鑑みて、クレーン構造のより一層の耐震性向上が望まれる。

## 6. おわりに

前世紀末から今世紀の最初の10年にかけては、非常に多くの被害地震が発生したが、その度に地震工学は進歩し、また規制とそれに対応する規格・基準類も改訂整備され、また新しい耐震技術が開発されてきた。本報では、機械構造物・機械設備耐震設計技術と研究開発の近年の発展と現状、そしてその動向について紹介した。本論文の作成に当たっては、多くの方々から資料提供等のご協力を賜りました。紙面をもちまして感謝の意を表したいと思います。

## 参考文献

- 1) 蔭山 満、柚木孝裕、伊庭 力、梅木克彦：発電用新型炉へ適用する3次元免震システムの研究(単独ローリングシール型：その1)、日本機械学会、No.02-9、D&D Conf. 2002 CD-ROM論文集 [2002.9.17-20、金沢]。
- 2) 田村 正、須原淳二、岡田康男、太田和也、梅木克彦：発電用新型炉へ適用する3次元免震システムの研究(ローリングシールばね：その1)、日本機械学会、No.02-9、D&D Conf. 2002 CD-ROM論文集 [2002.9.17-20、金沢]。
- 3) 柏崎昭宏、島田貴弘、藤若立也、梅木克彦：発電用新型炉へ適用する3次元免震システムの研究(油圧機構：その1)、日本機械学会、No.02-9、D&D Conf. 2002 CD-ROM論文集 [2002.9.17-20、金沢]。
- 4) T. Shimada, J. Suhara, K. Inoue : Three Dimensional Seismic Isolation System for Next-Generation Nuclear Power Plant with Rolling Seal Type Air Spring and Hydraulic Rocking Suppression System, *Proceedings of 2005 ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference*, July 17-21, 2005, Denver, Colorado USA.
- 5) 構造計画研究所：ニュースリリース、2010年6月2日。
- 6) 超高層建築物等の安全対策に関する検討：長周期地震動に関する検討(報告書)、(株)大崎総合研究所、(財)日本建築防災協会、2010年3月。
- 7) (財)日本建築設備・昇降機センター／(社)日本エレベータ協会編集：昇降機技術基準の解説分冊(昇降機耐震設計・施工指針 2009年版)、2009年。
- 8) 藤田 聡：地震災害とエレベーター、予防時報、227、

- 2006年、pp.42-48.
- 9) 超高層建築物等の安全対策に関する検討：長周期地震動に関する検討（報告書）、(株)大崎総合研究所、(財)日本建築防災協会、2010年3月.
  - 10) 池田雅俊：高圧ガス設備等耐震設計基準、日本地震工学会誌、No.1、2005年、pp.14-20.
  - 11) 高圧ガス保安協会：高圧ガス設備等耐震設計指針（レベル1耐震性能評価編：1997.11、レベル2耐震性能評価編：2000.9）
  - 12) 小林信之：クレーン構造の地震応答解析と耐震設計、クレーン誌、第48巻、5号、2010、pp. 2-10.
  - 13) 中越沖地震における原子力施設に関する調査・対策委員会、資料3、新潟県中越沖地震の被害状況及び対応について、原子力安全・保安院、2007.
  - 14) 東京電力、不適合事象に関する報告について、第14回運営管理・設備健全性評価ワーキンググループ設備健全性評価サブワーキンググループ資料7、原子力安全・保安院、2008.
  - 15) 厚生労働省労働基準局安全衛生部安全課編、クレーン等各構造規格の解説、日本クレーン協会、2000.
  - 16) クレーン委員会、クレーン耐震設計指針、日本クレーン協会、JCAS 1101-2008、2008.
  - 17) 日本機械学会、交通・物流部門ニュースレター、No.20、September 20, 2000.

# 地震に対する土木構造物の安全性向上に関する 過去10年間の取り組みと今後

運上 茂樹

●国土技術政策総合研究所

## 1. はじめに

1995年1月に発生した兵庫県南部地震から本年で15年が経過した。兵庫県南部地震では、それまでに観測されたことのない非常に強い地震動により、道路や河川、港湾、ライフライン施設などの土木構造物は甚大な被害を受けた。特に古い時代に建設された構造物を中心に落橋や崩壊など激甚な被害を受けた。このような被害要因の究明とこれに対する対策技術が検討され<sup>1)</sup>、その成果は都市や地域の地震防災対策全体の中で、土木構造物の設計基準の改訂や既設構造物の耐震補強事業として反映されてきた。兵庫県南部地震以降においても、東海地震、東南海・南海地震、日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震、さらには首都直下地震等と大規模地震の発生が懸念されてきたとともに、国内外では毎年のように被害地震が発生し、新たな形式の被害や教訓が得られてきたところであった。

2011年3月11日には東日本大震災という従来経験したことがないような激甚な大震災が発生した。東北から関東に至る太平洋沿岸を広範囲に襲った津波によって、多くの人命が失われるとともに、壊滅的な被害と影響を及ぼした。現在、被災者の生活支援や復旧対応に全力が注がれるとともに、これまでの地震対策効果の検証の検討も始められつつある。

本文は、1995年兵庫県南部地震を受け、2011年東日本大震災が起こる前までの間に進められてきた我が国の土木構造物の地震に対する安全性向上に関する取り組みについて整理したものである。

## 2. 地震防災対策の推進

我が国の地震防災対策は、災害対策基本法（昭和36年）が最も基本となって進められている<sup>2)</sup>。さらに、東海地震に対する大規模地震対策特別措置法（昭和53年）、地震防災対策特別措置法（平成7年）、東南海・南海地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法（平成14年）、日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法（平成16年）として法制化されるとともに、中央防災会議において、地震対策大綱、これに基づく地震防災基本計画や地震防災戦略、応急対策活動要領が制定されてい

る。地震対策大綱の中には、公共構造物の耐震化や津波対策を含む被害軽減のための緊急耐震化対策等の実施とともに、災害発生時における救援救助対応や、緊急輸送ルート確保を含むライフラインの早期復旧などの災害応急対策活動について定められている。さらに、首都直下地震、中部圏・近畿圏直下地震に対しても、膨大となることが推測される大都市被害への対応と我が国の首都中枢機能や大都市機能の継続性を確保するための地震対策大綱などが定められている。

## 3. 地震に対する土木構造物の安全性の向上に関する 過去10年間の取り組み

表1は、1995年兵庫県南部地震以降の主な公共土木構造物の耐震安全性向上に関する施策等について時系列的に整理したものである<sup>3)</sup>。ここでは、道路施設（橋梁、盛土）、鉄道施設（橋梁、トンネル等）、河川施設・ダム、港湾施設、水道施設・下水道施設を対象に、地震防災対策に関する施策の中で兵庫県南部地震以降に取り組みされてきた技術基準の改訂や既設構造物の耐震対策について、所管省庁等からの発表資料をもとに整理したものである。これらをまとめると以下の通りである。

- 1) 兵庫県南部地震によって甚大な被害を受けた土木構造物については、その被害経験を踏まえ、兵庫県南部地震のような直下で起こるM7級の地震の影響を考慮した耐震設計法が導入された。
- 2) 中規模地震（レベル1地震動）と大規模地震（レベル2地震動）を考慮した2段階設計法の導入が本格化した。近年では、考慮すべき地震と耐震性能を明示してこれを確保する性能規定化が指向されてきた。
- 3) 盛土や堤防などの土構造物では、設計計算よりも施工構築法や排水条件なども重要であり、各種の研究の進展とともに、近年、他の構造物と同様に2段階設計法が開発、導入されつつある。
- 4) 橋梁等の既設構造物では継続的な耐震補強事業が進められてきた（緊急輸送道路上の橋梁の約7割が対策完了（平成21年3月末時点）、新幹線高架橋の耐震化はほぼ完了（国土交通省））
- 5) 橋梁以外の施設については、個別の現場毎に既設

構造物の重要度に応じて、機能向上や老朽化対策など地震対策以外にも含めた対策全体の必要性の検討を踏まえながら実施されてきた。

- 6) 既設の土構造物の対策としては従来降雨対策が中心であったが、2007年能登半島地震、2009年駿河湾を震源とする地震など近年の地震による被害経験から、点検が実施されるとともに、耐震対策が検討されている。
- 7) 水道施設の耐震化率は管路、浄水施設、配水池に応じて10～20%（平成18年度末全国平均）、下水道施設に関しては約10%（平成19年6月時点）とされており、水道ビジョン（厚生労働省）の策定、あるいは、下水道地震対策緊急整備事業（国土交通省）として、耐震化事業が進められてきている。

#### 4. 今後の方向性

2008年には、内閣府により「自然災害の「犠牲者ゼロ」を目指すための総合プラン」がとりまとめられた<sup>4)</sup>。このような全体方針の中で、土木構造物に関しても数値目標等を定めながら継続的な震災対策が進められてきたところであった。表1に示したように、兵庫県南部地震以降も毎年のように被害地震が発生している。新しい基準が適用された構造物や対策が実施された構造物の被害は軽減され、全体としてこれまでの地震対策の効果が確認されてきたが、2004年新潟県中越地震、2009年岩手・宮城内陸地震など山間地における大規模な土砂災害による構造物への影響や孤立地区の発生、2008年中国四川省地震や2010年チリ地震のようにM8を超える巨大地震による広域多発被害の発生、また、遠地地震による我が国への津波の影響など新たな課題も明らかになってきたところであった。

2011年3月には、東日本大震災という従来の地震対策の経験を大きく超える大震災が発生した。被災地の迅速な復興支援とともに、これまでの地震対策の効果を総点検し、今後のさらなる安全性向上に確実に結びつけていかなければならないと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 例えば、(社)土木学会：耐震基準等に関する提言集、1996年
- 2) 内閣府：防災情報（地震対策）、  
<http://www.bousai.go.jp/5jishin/index.html>
- 3) 国土交通省（旧建設省）構造物の耐震安全性向上に関する技術検討会：構造物・施設等の耐震安全性向上に関する課題と今後の取り組みについて、平成10年2月、他、所管省庁等の発表資料
- 4) 内閣府：自然災害の「犠牲者ゼロ」を目指すための総合プラン、平成20年4月

表1 1995年兵庫県南部地震以降の主な公共土木構造物の耐震安全性向上に関する施策等  
(技術基準の改定、既設構造物の耐震対策等)

年代	道路施設	鉄道施設	河川施設・ダム	港湾施設	水道施設・下水道施設	被害地震
1995年	1995年：道路橋の復旧に係る仕様 1995年～：既設橋梁の耐震補強事業 1996年：道路橋示方書（兵庫県南部地震を考慮した2段階設計法）	1995年：鉄道構造物の耐震性能に関わる当面の措置 1995年～：既設構造（橋梁、駅舎等）の耐震補強事業 1999年：鉄道構造物等設計標準改訂（兵庫県南部地震を考慮した2段階設計法）	1997年：建設省河川砂防技術基準（案）（具体的な耐震計算法の規定）	1999年：港湾の施設の技術上の基準（兵庫県南部地震を考慮した2段階設計法）	1997年：下水道施設の耐震対策指針（兵庫県南部地震を考慮した2段階設計法） 1997年：水道施設耐震工法指針（兵庫県南部地震を考慮した2段階設計法） 2004年：水道ビジョン（水道施設の耐震化） 2006年：下水道施設の耐震対策指針改訂 2006年～：下水道地震対策緊急整備事業	1995年兵庫県南部地震 1997年鹿児島県北西部を震源とする地震 2000年鳥取県西部地震 2001年芸予地震 2003年宮城県沖を震源とする地震 2003年宮城県北部を震源とする地震 2003年十勝沖地震 2004年インド洋地震 2004年新潟県中越地震 2005年福岡県西方沖を震源とする地震
2000年	2002年：道路橋示方書改訂（性能規定型）		2005年：大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案）（レベル2地震動に対する照査法、試行）		2007年：管きょ更正工法の耐震設計の考え方（案） 2008年：水道ビジョン改訂 2008年：水道施設の技術的基準を定める省令 2009年：水道施設耐震工法指針改訂（性能規定化）	2007年能登半島地震 2007年新潟県中越沖地震 2008年中国四川省地震 2008年岩手・宮城内陸地震 2009年駿河湾を震源とする地震
2005年	2005年～2007年：道路・新幹線の橋梁の耐震補強の推進（緊急輸送道路の橋梁耐震補強3カ年プログラム）		2007年：河川構造物の耐震性能照査指針（案）（レベル2地震動に対する照査法）	2007年：港湾の施設の技術上の基準改訂（性能規定化）		2010年チリ地震 <b>2011年東日本大震災</b>
2010年	2008年～：既設橋梁の耐震補強事業 2009年：道路土工要綱（2段階設計法導入、性能規定型） 2009年：盛土のり面緊急点検（東名高速道路の被害）					

## 今後10年の課題(まとめに替えて)

武村 雅之

●(株)小堀鐸二研究所

兵庫県南部地震のあと、地震防災をとりまく環境は大きく変わり、さまざまな施策が実行されるとともに、地震工学の各分野も大いなる進展を遂げてきた。それらが一段落した現在、過去の10年を振り返り今後の課題を考えることは非常に有意義なことである。10年間の研究の進展の詳細はすでに述べられているので、ここで繰り返す必要はない。そこで今後10年の課題について考えてみることにする。

言うまでもなく、地震防災をめざす研究の目的は「地震から国民の生命財産を守る」こと、特に地震によって命を落とす人を少しでも減らすということである。本企画の元になった第13回日本地震工学シンポジウムでのスペシャルテーマセッション「この10年の地震工学の動向と発展」で紹介された研究成果は、いずれも地震工学の輝かしい発展の証となるものであったが、一方で全体として気になる点も無くわなかった。

気になる点とは、地震防災の対象とされる項目が多様化し、それらが有機的に結びつくことなく単に同じレベルで取り上げられている一方で、大事な課題が抜け落ちているのではないかという危惧を憶えたことである。例えば、木造住宅の耐震対策は、人命を守るという観点からは、今でも地震防災の最重要課題であるが、一方で事業継続や帰宅困難者の問題などが同列に取り上げられ、一部では“帰宅難民”などという言葉さえ生まれている。また、テレビ番組をきっかけとして長周期地震動による被害への関心が高まる一方で、人命を損なう可能性が非常に高い都市部での斜面崩壊などへの注目はいま一つという印象をもつ。しかしながら、何と言っても大きな問題は、スペシャルテーマセッションで津波対策関連の研究を正面から取り上げていなかったことを、3月11日になってやっと気付かされたことではないだろうか。

元旧山古志村村長の長島忠美氏は日本地震工学シンポジウムの特別講演「防災における学会との連携の必要性～山古志村からの報告」で、地震工学の研究者に対し、社会をよく知って実践型の研究をして欲しいと述べた。また、地震防災にかかわる以上、専門外だから分からないという紋切り調の対応ではなく、住民と一緒に問題を考えて欲しいとの要望もあった。私も含

めて耳が痛い研究者もいたことだろう。社会に存在する様々な課題を俯瞰的に整理した上で、重要な問題を取捨選択して研究し、地震があるたびにその成果を検証することこそ地震工学本来の姿であろう。ところがそんな姿勢は、課題の多様化という外的要因だけでなく、それと連動するかたちで進んできた学問の細分化という内的要因もあって、次第に薄れつつあるように思えてならない。

3月11日の東北地方太平洋沖地震の大災害は、そんな我々の問題をより鮮明にあぶり出したように思われる。地震後過去の津波災害時の学界の対応を調べていて驚いたのは、1933(昭和8)年3月3日の昭和三陸津波に対する事後の対応であった。岩手県沖では1896(明治29)年6月15日に今回と同様、太平洋プレートが潜り込む境界で地震が起こり、大津波によって三陸地方を中心に2万人以上の犠牲者が出た。さらにその37年後に海溝の向こうで同じ太平洋プレートが割れて地震が起こったのが昭和三陸津波である。再度の大津波で、やっとのことで復興した村々が再び壊滅的な被害を被った。

当時文部省にあった震災予防評議会の地震学者や地震工学者は、将来の地震に対して二度と再びこのような被害を出さないために、地震後一月も経たない3月31日には、政府に対して被災地で住宅の高地移転の準備をするよう上申した。その後具体案を「津浪災害予防に関する注意書」としてまとめて、それから一月後の4月30日に再び建議した。さらに、評議会の幹事を務めた地震学者の今村明恒らは、地元の岩手県庁や現地の村々を訪れて高地移転の必要性を説いてまわった。

今村明恒は地元の人々に対して次のように述べたとされている[1]。「三陸沿岸は津波の常習地として日本一はおろか世界一である。にもかかわらず度重なる災害を防止しえなかったのは文明人の恥辱である。明治29年の津浪が最高ではなく、慶長の大津浪はもっと高かったのであるから、防波堤を過信すべきではない。人びとの犠牲を防ぐ最も安全な方法は何といても住宅を高い所に移すことである。住宅の高所化を警告しなかった学者にも、そのまま放任しておいた当局にも責任はあるが、自衛手段をとらなかった居住者の不覚もある。」「住宅の高地移転は百世にわたる仁政であ

る。」これらの言葉はそのまま今回の災害復興に対しても当てはまるように思われる。その結果、三陸地方では数千戸が高地向移転し、その際に高地移転を果たした集落の多くが今回の津波の被害を免れたようである。

今村明恒は私財を投げ打って南海地震の「地震予知」に生涯を捧げたことで有名な地震学者である。注意書や建議の作成にあたっては、中村左右衛門太郎などの地震学者の他に、建築構造の内田祥三や土木工学の物部長穂さらには気象学者の岡田武松など防災にかかわる様々な分野の専門家が一致協力してあっている。

様々な分野の専門家が、「地震から国民の生命財産を守る」という目的のために一致協力できたからこそ、迅速で適切な対応ができたのではないかとと思われる。

一方、現在の地震防災関連の学界の現状はどうかだろうか。日本建築学会(1886)、日本機械学会(1897)、土木学会(1914)、日本地震学会(1929)、震災予防協会(1941(1892))、地盤工学会(1949)、日本都市計画学会(1951)、日本地すべり学会(1963)、日本自然災害学会(1981)、日本建築構造技術者協会(1981)、歴史地震研究会(1984)、地域安全学会(1986)、日本災害情報学会(1999)、日本地震工学会(2001)、日本活断層学会(2007)、日本災害復興学会(2008)、これらは筆者が思いついた地震防災関連の学協会である。かつこ内は創設された年である。

学問の細分化とともに学際領域が増え、またそれらが学際を生むという形でそれぞれの分野に応じて多くの学会が生まれてきた。その結果、研究者はいくつもの学会で活動せざるを得ない状況になっている。にもかかわらず学会横断の連携に対する構成員の意識は低く、その意味では歴史的に見て今ほど地震防災が細切れに研究されている時代はない。このような状況では、多様化する社会の要求に対して、全体として適切に対応することはできないのではないだろうか。

川崎一郎は、『災害社会』の中で次のように述べている[2]。20世紀後半に我々は「それぞれの学問分野が独自のパラダイムを持って自律的に発展し、そのことによって学問は全体として発展し、人々の幸せに貢献するようになる。」と信じていた。ところが、21世紀になって思うことは、様々な分野が「人間社会を持続させる」ということを目的に、一つの枠組みの中で実行的に研究する「知」の融合がなければならない。てんでばらばらでは、現代社会がかかえる複雑な問題の解決に学問は十分貢献できないと言うのである。

この10年、地震工学は様々な方向へ発展し、地震防災のための新しい技術を確立してきた。次の10年

は、広い視野をもって目標を整理し、それらの技術を如何に統合させて、真に社会が必要とする防災対策を達成してゆけるかが問われているように思う。我々は、2001年1月1日に、震災予防協会の援助によって日本地震工学会を設立した。その目的は地震防災にかかわるあらゆる分野の研究者や実務者が協力して震災から国民を守ることにある。それから10年が経過して、歴史上、理学・工学連携の象徴であった震災予防協会が昨年3月で活動を終えた。今こそ各学会が一致協力して日本地震工学会設立の理想を実現すべく行動を開始すべきではないだろうか。東日本大震災を目の当たりにして、防災関連学会の非力な現状を肌で感じ、連携の必要性を改めて強く感じた。

歴史的に地震工学分野の連携をめざしてきた日本地震工学シンポジウムには、今回から従来の地震工学系の学会だけでなく、理学系、社会学系から新しく学会が参加している。また今回報告された過去10年にわたる各分野の今後の課題の中にも、他分野との連携強化の必要性を述べた箇所が各所に見られる。これからの10年はまさに連携、統合の時代になるべきである。地震工学の内外にこだわらず、地震防災学として協力発展してゆくことが、我々研究者、技術者が国民から真に望まれている姿ではないだろうか。特集「この10年の地震工学の動向と発展」の最後にあたり、私が強く感じる今後の課題はこの1点である。

#### 参考文献

- [1] 山下文男『哀史三陸大津波』青磁社,320pp,1990.
- [2] 川崎一郎『災害社会』京都大学出版会,270pp,2009.

## 名誉会員に聞く

# OECD/NEAでの展開15年とIAEA,耐震安全センターの創設 原子力耐震安全分野での展開

柴田 碧 ●IAEA、耐震安全センタ、科学委員会委員、IASMiRT, Advisory Board Member OECD/NEA : IAGE, Sub-Comm.委員、(財)地震予知総合研究振興会(ADEP) 参与

### 1. はじめに

IAEA主催で、東京での第1回の原子力施設の耐震設計のワークショップ(この時、aseismicの語が耐震の意味で使われた)が1967年に開かれてから40年余りが過ぎた。そして、神戸の地震が契機となって、OECD/NEAに耐震のSub-C.が出来て15年が経た。その間、1970年代の半ばから、IAEAではDr. A. Iansitiが中心となって、SG-S-1(地震動)、SG-S-2(耐震設計)の作成作業が開始された。日本からは、秋野金次、渡部丹、柴田碧などが、主になり、最初は、例えば“should”などの用語の使い方から始まり、起案・執筆が行われた。その後、IAEAとしての建前上、英、仏の2ヶ国語で、審議された。基本的には、日本の電気協会の耐震指針(JEAG4601)に似たものが出来上がった。その後、1980年代に入って、改定作業が行われた。この際、後半のS-2(SG: Safety GuideのSGは省略)の部分については設計についてであるので、分類が変更となって、D-15となった。なお、S-1が、立地、荷重など安全についての記述が中心なので、変更なしとした。これが、現在までの基本の形に成っている。その後、洪水、竜巻などいくつかの、自然災害関係のSafety Guide; S Gシリーズがほぼ整備された。

### 2. OECD/NEA; IAGEへの参加

1995年の兵庫県南部地震の後、原研の飛岡利明氏の依頼で、IAGEに出席し、神戸の地震の状況を報告した。その結果、“Seismic”のSub-groupの設置が決まった。その後、CSNIも通り、翌年(1996年)から毎年開催され、15回になる。親のIAGEは今回で33回になる。

当初、IAGEへのIAEAからの参加はなかった。そこで、IAEA Dr. Aybars Guerpinar連絡した結果、初回から定常的に出席するようになった。

### 3. SMiRT、近年の展開

一方、SMiRT(原子力構造力学会議)は、1971年に第1回をBerlinで開催、その後、第11回を1991年に東京で開催した。この頃から、IAEAからも参加が期待されるようになった。2005年の第18回の北京開催の折かに、IASMiRTのAdvisory Board にIAEAからの参加を

提案して、Dr. Antonio R. Godoyが参加するようになった。前々回の開催がCanadaであり、OECD/IAGEの議長のカNSCのDr. Andrei Blaholanuが積極的に専門の分野で参画した。2009年のHelsinkiの第20回でも、WSで参加した。第19回のカナダでの開催の折からの、Adv. Boardのメンバーであったこともあって、今後、これ等の国際機関からと、USNRC及び、FranceのCEAからも参加を要請し、任期を従来のように2年とせず、永続的なものとする決めた。それにより、わが国からもそれを期待されることとなった。IASMiRTは、現在、アメリカに登録されている、国際会議の機関である。従って、国際機関と異なり、財政的に自由な点があり、関係局面でこれらの機関の活動を助けることが、出来る。この辺の状況について、OECD/IAGEの2010年の会議の際、議事として報告された。

以上で、小生の念頭にあった国際機関などの、本分野での提携は大体の目途がついたこととなる。

### 4. ISSCの開設

2007年6月以来、IAEAに耐震安全の部局を設定することで、基本のアイデアを作成した。これは、2008年の9月のIAEA総会で承認され、直後の10月1日に発足した。1年余の期間で2009年後半より、組織として、Dr. Antonio R. Godoyのもとで活動している。現在、EBP(IAEA本来の予算枠の外)で運用されている。今後、2010年度中に当初の中心のプロジェクトが終了し、2011年から新プロジェクトが発足する。資金提供機関も増えて、より資金的に安定すると思われる。

### 5. ISSC、今後の展開

ISSCについては、久しく中心であった、Dr. Godoyの定年もあり、2010年7月より事務局も新陣容で発足した。また、原子力の新規導入国と地震発生の可能性を睨んで、いわゆるローカルなオフィスの設置も検討されている。小生は起案者の1人として、2008年(9月)総会通過の発表の記者会見に同席し、現在、科学委員会のメンバーの1員である。

このほか、火山の安全基準の作成の経緯と結果についても、述べる必要があるが、別稿とする。

ISSC開設以来、基本的な推進の母体となっていたEBPは2010年8月に、最終回のSt.Cを開催をした。それに引き続いて、新EBP発足の会合が開かれた。この、新EBPは、SMiRTの立ち上げ・運営以後、耐震の問題から遠ざかっていた、ECが中心となつての予算構成と思われる。その間、昨2009年の7月に、ISSCは、IAEAの正式の組織として、認められた。

JNESの柏崎耐震安全センター（原子力耐震・構造研究拠点・新潟工科大学）の設立記念にIAEA・JNES共催の記念シンポジウム、(1st Kashiwazaki International Symposium on Seismic Safety of Nuclear Installations "Mission for Technology Innovation toward Next Generation") が2010年11月23～26日に開催された。この中で、IAEAの国際耐震安全センター（ISSC）の今後について、基調講演を行なった。その中で、新規開発国など関連諸国の将来の地震についての、系統的な調査・予測についての指導・作業協力が、原子力の耐震安全に不可欠であるむねを述べた。招待講演で述べた問題点とその展開の為の要点を列記すると、

- \* プラントの劣化状態の推定と予測、
  - \* 地震動の長期（5～30年程度）予測、
  - \* 早期警報・自動停止システムの拡充と利用
- であり、もう一つのポイントとして、安全問題についての社会的な環境、すなわち、
- \* 開発途上国の地域文化、とくに地域固有の安全文化<公正な文化（社会固有の正義感）>への配慮とその結果としての適正な安全保守の実施、
- であった。このシンポジウムには、ISSCの科学委員会メンバーの委員を始め、原子力関係国などからの出席者も含め、約450名が参加し、テーマ別に4セッション、2ワークショップが開催され、それぞれResolutionを纏めた。また、この機会に、同施設内に、柴田文庫が開設された。

## 6. 結語

わが国（他の国も同様）の原子力安全は、原子力安全スクール（学派）をなして、他の分野とは異なったものと成っている。今後、さらなる進展、効果を得る為には、他分野の方法、成果などを積極的に取り入れる必要がある。また、わが国の社会の過度な安全性指向の傾向に従うことなく、原子力発電のエネルギー資源としての意義を正確に認識して、将来の地震ハザードに対する社会の耐震安全を確立することが、必要である。

また、このことは、世界、各地の原子力発電資源についても、同様なことが云え、その地域の固有な条件

を取り入れ、バランスの取れた社会の耐震安全の確立に、ISSCとして努力し、わが国として、協力して行く必要がある。

1958年に、日本原子力発電の耐震委員会での出発以来、多くの著名な先生方の指導の下、建築研究所元所長久田俊彦氏の指導・海外情報などに基ずき、日本原子力発電の秋野金次氏（いずれも故人）と共に、2人で始めた原子力発電所の耐震設計体系が、JEAG4601（日本電気協会耐震設計指針）-1970年版の形となり、内外の多くの人の努力するところとなり、世界の大きな学問・技術体系へと進展した。その一つの現れが、今回の柏崎シンポである。

## 送稿に当たって

以上、昨2010年、4月のOECD/NEAのIAGEの会議が一区切りついたので、機会があったら、わが国の原子力、耐震安全と国際機関との関係、また、それによる国際機関相互の関係の確立などの状況をご報告しようと、本稿をおおむね、上記のように作成した。これは、東日本大地震前のことで、原子力事故の発生前である。その後、3.11事件とも云うべき、地震・津波・原子力事故に発展して事件（events）として続いて、今なお、事態は展開中である。4月の第1週には、IAGEの今年度の例会が開催、翌週、IAEAのISSCの今年度の行事計画関連の会議があり、今回の地震の概況が報告されている。これについて、OECD/NEAは6月8日にフォーラムを計画している。また、11月の、インドに於けるSMiRT-21では、WSとして取り上げる予定である。今回の地震動の性質、分布は極めて特異で、また、地盤の液状化の分布なども意外性の強いものである。上野動物園で、河馬が地震動に驚き負傷して死亡するなど、地震被害の特異性について、地震工学（耐震安全関連の指針の記述）の立場で理解可能な形で報告できるようになるまでには、かなりの日時が必要であろう。

その他、今回の災害の特異性については、例えば、津波が仙台以南で、一般的に想定されなかったこと理由として、社会の災害記憶の風土性などのように、海外の耐震（津波）安全の専門家に難解なことも多く、地震後の原子力のアクシデント・マネジメントの失敗のことなどとともに、時間を掛けて、説明の体系を作る必要を感じる。5月22日の週には、IAEAの調査団が来日するが、原子力安全に関しての調査説明は出来ても、今回の地震・津波とそれによる災害の特異性について理解を得るのは、極めて困難と思われる。

参考文献は、2編のみ挙げた。1）は、ASME（アメ

リカ機械学会)からの依頼で、地震動の複雑さなどについて、近年の状況について纏めたものである。2)は、本誌からの依頼で書いた、原子力耐震研究の状況についての報告で、従来、時折、纏めていた報告の最新のものである。本稿は、それと並行しての対外的の動向に相当する。著者の関係しているこの分野の主要な論文は、ほとんど全部、収録されている。

### 謝辞

この分野の発展について、既に故人となられた多くの先生方への感謝は、云うまでもない。また、この4月には、田治見 宏先生が亡くなられた。

また、小生個人としても、多くの方にお世話になって来た。とくに、ADEPの高木理事長には、原子力耐震など、地震動の問題の研究展開では、大変、お世話になっている。1970年代の東北電力、女川原子力発電所の耐震関係の社内委員会でご一緒して以来、また、1997年の、防災科学技術研究所のE-defense(三次元振動台)建設に関連、その終了後も引き続いて、IAEAの、ISSC設立、展開作業の為、副首席研究員として、また、現在は参与として、籍を置かして戴いている。80歳になるのを期に辞める予定が、3.11事件(地震+津波+原子力事故)の展開で、暫らく海外などとの連絡拠点としている。今回の連動・巨大地震・津波の発生は、ここ、ADEPのような機関の国際的存在の必要を増している。

個人としても、この分野の国際展開の促進の立場としても、(財)地震予知総合研究振興会ADEPおよび高木理事長に厚く御礼申し上げる。

工学会からの本稿の投稿依頼を、防災科技・中村いずみ氏を通じて戴いた。その後、中村氏には、何度も精読戴き、最終の構成もお願いすることとなり、大変なご負担を掛けた。記して御礼に代える。

### 追記：

この間、2009年より、アメリカ機械学会(ASME)のPVP部門が、耐震に関係のある国際的な論文の賞(主として耐震関連論文)を設けて、この分野の学術的推進に尽力されている。これは、「柴田賞」Dr. Heki Shibata Outstanding International Technical Session Awardと名付けられた。

### 参考文献

- 1) Heki SHIBATA: Modeling of Earthquake Motions for Seismic Design of Critical Facilities: Revision of Licensing Criteria of NPP, ASME, J. of Pressure vessel Technology, Vol.128, Feb.2006, p.480 ~ 501
- 2) 柴田 碧：原子力発電所の耐震設計－1958年の出発・発展とその経過、地震工学会誌、No.5, Jan.2007, p.10 ~ 22



図1 ハウスナー教授との写真 1977年夏、PasadenaのCalifornia Institute of Technology, いわゆるCalTechの構内にて

George. W. Housner (1910年生まれ) 先生

1937年ころ、Housner Responseの概念を、Biot教授のもとで創出して、耐震設計に動力学的概念を導入した。1963年に、政府刊行物TID-Report 7012を編纂、現在の設計体系に繋がる原子力発電所の設計体系をつくった。1967年に日本で、IAEAの主催(原子力委員会共催)で、最初の耐震関係のワーク・ショップを開催した。筆者は、1963年夏、文部省在外研究員として、初めて訪問して以来、親しくして戴いた。この写真は、1977年の訪問時、Cal. Tech.の構内で撮ったものである。2000年代に入って、京都大学家村名誉教授とともに、免制震の関連で訪問、同じところで、食事を共にさせて戴いた時は、ほとんど、失明状態に近いようであったが、お話などは、以前と変わらず楽しいひと時であったことを思い出す。2008年に亡くなった。原子力耐震については、民間側の立場に近く、アメリカ西部海岸の発電所(Dyabro Canyon Plant)の耐震補強問題についての、1980年代のはじめにBerlinでの非公開の会議を指導し、後に地震PSAの体系が出来る切掛けをつくったなど、最後まで、私的な面で原子力の耐震安全に尽力されていた。

## 名誉会員に聞く

# 東北地方太平洋沖地震：想像を超える被害

篠塚 正宣

●Distinguished Professor, University of California, Irvine, Member of USA National Academy of Engineering

### はじめに

マグニチュード9の東北地方太平洋沖地震が2011年3月11日に発生し、強烈な地震動と東日本沿岸を襲った激しい津波によって予想や想像をはるかに超える甚大な被害が生じている。さらに、今日までの日本の歴史地震や津波と比較しても前例のない人命や財産の被害に加え、今回のような自然災害から福島第一原子力発電所の安全を保持できなかった事がこの災害をより深刻な大惨事としている。本稿では福島第一原子力発電所の被害事故を中心に、様々な被害調査報告書や現時点で知り得た情報から、また土木工学におけるリスクや信頼性の研究者の一人としての視点から、今回の大災害から我々が学ぶべき点や将来に向けて改善すべき点などを述べたいと思う。

### 広域的災害リスクを持つ施設の設計目標

福島第一原子力発電所の被害事故は現在も収束していないが、この被害事故の要因として第一に土木、建築、機械、電気工学の各分野で、予想外の事故に対する迅速な対応が取れなかった事が考えられる。しかし、今回の大災害とそれに伴う副次的な災害が複雑に関連して引き起こされたこの被害事故から、我々は貴重な教訓を得る事ができる。つまり、被害事故の経時的な進展や各時点での被害要因の分析から、将来に備えた原子力発電に対する対策や改善点が見出せる。そこで、原子力発電のように広域かつ長期的に影響を及ぼす災害（以下、壊滅的災害と称する）のリスクが高いシステムに対して、より高いレベルの回復力や適応力のある事故対応策を考慮した設計の一つの基本的概念を試案として提起したい。

原子力発電所の設計では様々な被害事象をイベントツリー解析により想定するが、最終的なイベントツリーの帰結（最終イベント）を、「炉心損傷の発生」から「冷温停止（Cold Shutdown）」に転換する事を提案したい。この場合の冷温停止は、潜在的な炉心損傷の兆候を早期に察知して冷温停止プロセスを起動させることを意味し、現行の確率論的安全評価のガイドラインのパラダイムシフトを意味すると同時に、このような冷温停止の技術を開発することが必要となる。そのため、

イベントツリー解析の視点からは、従来の「炉心損傷の発生」の最終イベントを「冷温停止」のイベントで置き換える事になり、被害事象のイベントツリーにかなりの拡張が必要となる。この点については後ほど更に考察を加える。なお、フォールトツリー解析を用いる場合にも、同じようにトップイベントが「炉心損傷の発生」から「冷温停止」に置き換えられる事になるが、本稿では最終イベントが「冷温停止」に至る経緯で、いくつかのイベントのシーケンスがよりはっきりと把握できることからイベントツリーを使って考察を進める。

### 現行の設計におけるイベントツリー解析

現行の設計においては、イベントツリー解析やフォールトツリー解析を用いて、事故や災害による原子力発電所の被害を想定し、その被害の発生を年間発生確率の形で評価している。しかし、①このようなイベントツリー解析を用いた確率論的アプローチにおいては、原子力発電所の炉心溶融のような極めて稀な事象の年間発生確率は、極めて小さく信頼度があまりないかもしれない発生確率として算定されるように設計される。そして、その発生確率の極小さや信頼性のあいまいさなどから、発生したら重大だが想定外の事象として扱われ、被害発生時の対応策を複数用意するなどの大きな注意が払われない可能性がある。実際、昨年（2010年）の日本の国会で一議員と政府との間でこのような質疑応答が行われている。もし、壊滅的災害リスクを内包する原子力発電所やインフラシステムに重大な被害事象が生じ、その被害事象の進行プロセスを迅速に制御できなければ、最終的な被害は壊滅的なものとなる。例えば、予想を超えた人的被害、膨大な財産の喪失、長期に亘る環境や生態系への大きな影響などが考えられ、どれも長期的に社会生活に甚大な影響を及ぼす壊滅的災害である。この事は、イベントツリー解析を用いて稀にしか発生しない事象を取り扱う際の第一の落とし穴であろう。そもそも、②将来発生するかもしれない事故や災害を引き起こす全てのイベントを想定してツリーを作成する事は不可能である。これが第二の落とし穴であり、想定しなかったイベントが発生し、それが直ちに最終イベント（この場合は炉心溶融）

に結び付くかもしれないし、また③想定していてもそのイベントの強度を過小評価した場合には壊滅的災害が生じることになるかもしれない。今回の東北地方太平洋沖地震の地震規模（強度）を、事前想定時にM=9とせずM=8とした事は、それにより対応する地震動または津波の波高を実際に発生した規模より過小評価した事になった。さらに、④Charles Perrow (Yale大学教授)の1999年に発行された“Normal Accidents”によれば、“現存の安全装置がいかにも有効と考えられていても、必ず全く予想できない形での事故を避ける事は出来ない”とあり、実際今回の非常用炉心冷却システムに電力を供給するバックアップシステムのディーゼルエンジンや発電機が津波被害により作動しなくなった事はこのことであろう。もとより、外部電源系が地震動のために不能となった事がその根源であるが、これは送電施設の耐震脆弱性に起因したものであり、上記①～④とは異なりこれまでも識者間では議論されていた問題であった。

この様に観察していくと、被害要因には基本的に機械や電気システムの耐震脆弱性が目立ち、残念ながら現在では確認する事は出来ないが、原子炉内部の配管やその他の機械・電気装置の損傷がかなりあり、例えば冷却ポンプそのものも損傷していた可能性も考えられ、将来は土木、建築、機械、電気工学の各分野が協同して原子炉全体に新しいアクティブ型やパッシブ型の制震装置を導入する事も考えられる。なお、炉心溶融によって壊滅的災害が発生するような場合、災害の発生確率とその損失（例えば人命や損害額など）を掛け合わせた従来の便宜的なリスクの定義はあまり意味を持たない。

### 拡張されたイベントツリー解析

前節で述べた問題点などから、イベントツリー解析に基づく被害発生確率の大小や参加イベントのシーケンスとは無関係に、前述の「冷温停止」のイベントに内包される対策を全ての原子炉に準備する事が必要であると言える。これによって前述した①～④の落とし穴を回避する事が出来る。実際に壊滅的災害が発生した場合に、即座に対処でき早期に被害の収束を図れる対策を備えていないインフラシステム（この場合は原子力発電）の技術は未熟であり、現時点で新たに建設されるべきではなく既存の施設についてはこのような対策を備えるまで運転を停止するべきであるというのが、使用済み核燃料の処理問題とともに原子力発電の反対派と賛成派の論争の焦点なのではないのか。

本稿で提案する設計概念は、まず壊滅的災害を引き

起こす重大な被害事象を設定し、さらにその被害事象に迅速に対処して被害を最小限に食い止める事の出来る対策を確立し、この対策を確実に実行する事を設計の重要目標にすることである。本設計概念のアウトラインを、福島第一原子力発電所の被害事故と比較してFig. 1に示す。

提案する設計概念のアウトライン	福島第一原子力発電所（適用例）
1. 壊滅的な被害を引き起こす重大事象のシナリオの設定	炉心溶融 (Core Melt)
2. 重大事象の被害要因の特定	電力供給喪失による非常用炉心冷却システム (ECCS) の機能不全
3. 潜在的な被害要因に対処するバックアップシステムの構築	ディーゼル発電機などによる非常用発電システムの使用
4. 3.のバックアップシステムが機能しなかった場合に、被害を悪化させる重大事象の進行を迅速に収束させる手法の確立	原子力発電所の冷温停止 (Cold Shutdown)
5. 4.の手法が直ちに適用できなければ、これが適用できるまで新たな施設の建設計画の中止や既存施設の運用の停止といった検討が必要	<ul style="list-style-type: none"> <li>炉心溶融に即時対応できる対策法がなければ発電所の運転を停止</li> <li>このような冷温停止対策法の実行を可能とする技術開発が必要</li> </ul>

表中の例は簡略化したケースであり、現実には複数の重大損傷事象や被害要因を考慮する必要がある。

Fig. 1 提案する設計概念のアウトライン

福島第一原子力発電所を考えた場合、その設計においては炉心溶融や炉心損傷といった重大な被害事象に対して、イベントツリー解析と確率論的アプローチに基づき、その発生確率を極小に抑えるために考えられるあらゆる対策が講じられたと思われる。事実、日本原子力学会の「原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準：2007」を見ると、例えばBWRについて、地震に続き外部電源喪失が発生し、バックアップの冷却系が健全であってもスクラムに失敗した場合を含んだイベントツリーの例が同基準594ページの解説136図1に詳しく出ており、最終イベントの幾つかが炉心損傷となり、他の幾つかが炉心冷却成功となっている。これらの最終イベントの発生確率が各イベントシーケンスに応じて計算され、炉心損傷の確率は皆大変小さい値になるはずである。しかしながら、前述の落とし穴①～④のために、全ての最終イベントは炉心冷却成功の場合も含めて「冷温停止」に変更するべきである。この事からも分かるように、実際には「冷温停止」の能力はイベントツリー解析とは全く独立して、理想的には原子炉の建設時点で準備され、既存の原子炉に対しては改めて導入されるべきものであ

る。もちろん、このような新たな能力を導入するため、新しく付加された作業機械設備や他のコンポーネントが思いもよらない原因 (Perrow Syndrome) で作動せず目的が果たせない可能性もある。しかし、この新たな試みは、重大事象の早期収束を実現する革新的技術の開発や、従来とは異なった視点からの壊滅的災害への対策立案に直接的かつ積極的に働くはずである。

#### おわりに

使用済み核燃料の処理法や炉心溶融発生時の早期収束策が十分に開発されていない状況では、原子力発電は未だ未成熟な技術といわざるを得ないかもしれない。事実、日本政府は浜岡原子力発電所に対して運転停止を要請し、ドイツやスイスにおいては原子力発電の早期廃止ならびに完全撤退を決めている。このような原子力発電からの撤退という動向は、災害時における原子力発電設備の安全な停止 (冷温停止) 方法が確立される事で変わる可能性がある。原子力発電は温室効果ガスを放出しない唯一の確実な大容量エネルギー源であり、現在でも近い将来においても必要不可欠なものと考えられるため、我々は原子力発電に関わる全て、特に安全の技術を発展させなければならないと思う。

最後に、東北地方太平洋沖地震や津波により被害にあわれた方々に心からのお見舞いを申し上げ、亡くなられた方々には謹んで哀悼の意を表するとともに、日本の復興と今後の災害対策の発展を祈念してやみません。

# ニュージーランド・クライストチャーチ地震による建物被害

中埜 良昭 / 真田 靖士  
 ●東京大学生産技術研究所 ●豊橋技術科学大学

## 1. はじめに

2011年2月22日12時51分(現地時間)にニュージーランド南島クライストチャーチ市の南東約10kmの近郊でマグニチュード ( $M_L$ ) 6.3の地震が発生した。この地震は2010年9月4日に同市から約40km西方で発生したマグニチュード7.1の地震(Darfield Earthquake)の余震と考えられている。本地震では日本人死者28名を含め、181名の犠牲者が発生している(6月1日現在、NZ警察)。

地震発生後、本会では23日に「地震災害対応本部(本部長：久保哲夫会長(当時))」を設置し、情報収集を行うとともに関連学会との連絡調整を行い、日本建築学会(AIJ)と合同で主として建築物の被害調査を3月9日～16日(一部19日)で実施した。表1に調査メンバー一覧を示す。

なお、本調査団は建築物の被害に関する初動調査として位置付けられていたが、現地滞在中の3月11日に東日本大震災が発生したためメンバーの内2名が急ぎよ帰国し、また本調査団に引き続き予定されていた後続の調査団も相次いで派遣が中止された。

表1 調査団メンバー

氏名	所属/派遣元
河野進(団長)	京都大学/AIJ
中埜良昭	東京大学生産技術研究所/JAEE
前田匡樹	東北大学/AIJ
石川裕次	㈱竹中工務店技術研究所/AIJ
真田靖士	豊橋技術科学大学/AIJ
細野康代*	Univ. of Canterbury・豊橋技術科学大学
David J. Mukai*	Univ. of Wyoming

\*現地合流

## 2. 地震動と地盤

ニュージーランドではGeoNet<sup>1)</sup>による強震観測網が整備されており、本地震においても数多くの加速度記録が得られた。以下にGeoNetによる地震の基礎情報と震源位置(図1)を示す(2011年6月21日現在)。

- ・発生日時：2011年2月22日12時51分(現地時間)
- ・震源位置：ニュージーランド南島クライストチャーチ市の南東約10km(南緯43.60度、東経

172.71度)

- ・震源深さ：5.0km
- ・地震規模：マグニチュード ( $M_L$ ) 6.3

図2に震央距離が近い2観測点HVSCおよびCCCC

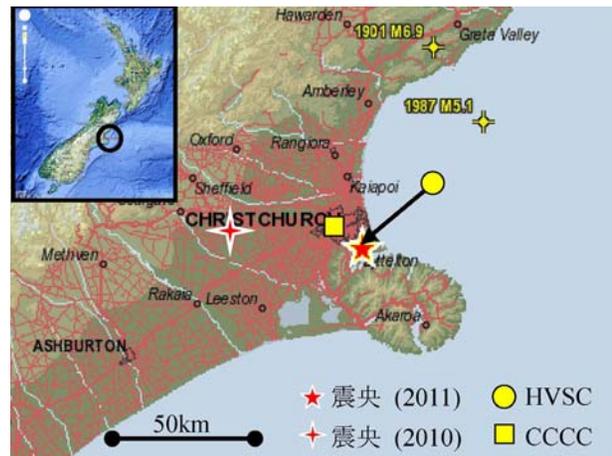


図1 震源位置(GeoNet<sup>1)</sup>の図を一部加工)

表2 3強震観測点の位置情報

略称	名称	震央距離
HVSC	Heathcote Valley Primary School	2km
CCCC	Christchurch Cathedral College	5km



(a) キャンパス (b) 観測建屋

写真1 HVSC観測点



写真2 CCCC観測点(広場手前にも液状化痕)

写真3 Avon川沿いの液状化被害

(図1、表2、写真1、2参照)で得られた水平・鉛直両方向の地動加速度の時刻歴を示す。震源至近の台地に位置するHVSC観測点(写真1)では水平・鉛直両方向ともに1.5G程度の加速度が記録されたが、1秒未満の短周期成分が卓越した(後述のスペクトル参照)。一方、クライストチャーチ市の中心市街地に位置するCCCC観測点(写真2)では水平方向の主要動後半に比較的長い周期成分が現れている。これは地盤の非線形化や液状化が原因と考えられる。クライストチャーチ市中心部はAvon川沿いに立地し、緩い堆積砂地盤の液状化が予てより指摘され、2010年9月の地震においても被害が報告されていた<sup>2)</sup>。写真3は今回の地震によるAvon川沿いの液状化被害である。図3は図2の水平成分記録の加速度応答スペクトル(減衰定数5%)である。両図には市街地のCCCC観測点における現行

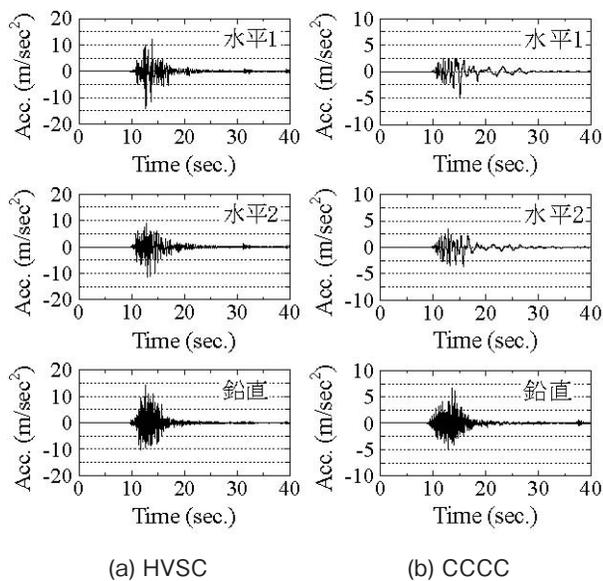


図2 地動加速度の時刻歴

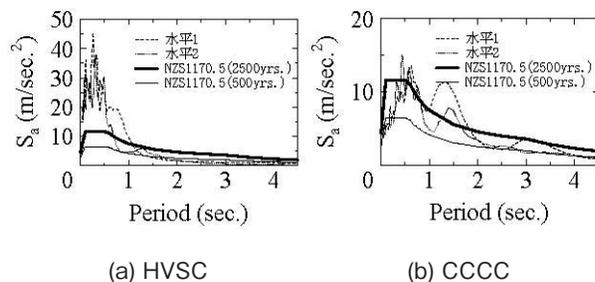


図3 水平動の加速度応答スペクトル

表3 設計スペクトルの算定条件

パラメータ	設定値
$C_h(T)$	表層地盤種別: D (Deep or soft soil)
$Z$	0.22 (Christchurch)
$R$	再現期間: 2500年, 500年
$N(T,D)$	$D=5\text{km}$ (表2参照)

基準 (NZS1170.5<sup>3)</sup>) による設計スペクトル (再現期間2500年と500年) を併せて示した。算定式は式(1)を参照されたい。また、算定条件は文献4)を参考に表3の通り設定した。

$$C(T) = C_h(T) \cdot Z \cdot R \cdot N(T, D) \quad (1)$$

ここで、 $C(T)$ : 弾性設計スペクトル、 $T$ : 周期、 $C_h(T)$ : スペクトル形状係数、 $Z$ : 地域係数、 $R$ : 再現期間係数、 $N(T, D)$ : 直下型地震係数、 $D$ : 断層距離である。

先述の通りHVSCでは1秒未満の短周期領域で設計スペクトルを大きく上回る加速度が観測されたが、写真1からわかるように観測施設には必ずしも大きな損傷は生じていなかった(ただし、学校職員より校舎外壁(レンガ壁)が倒壊したことを確認)。CCCCでは1秒を上回る比較的長い周期帯においても再現期間2500年の設計スペクトルを上回っている。

### 3. クライストチャーチ中心街の建物被害

ニュージーランドでは1976年以前の建物においてはじん性は陽には規定されていなかったが、1980年代ごろから脆性破壊を防ぎ梁崩壊型を保証する設計法へと基準は進化していった。

前述のとおり構造物にはニュージーランドの現行耐震基準を大きく上回る地震動が作用した可能性があるが、現行基準により設計された建物は屋内階段が崩壊した17階建て建物Forsyth Barr(写真4)や液状化により傾斜した10階建て建物Oxford Terraceなどのいくつかの例外を除き、概してよい挙動を示している。

本地震の震源はDarfield地震よりもクライストチャーチ中心街(CBD: Central Business District)にずっと近くまた震源深さも浅かったため、より大きな被害をもたらした。最も深刻な被害を受けた建物タイプのひとつは1970年以前に設計されたRC造建物で、前年のDarfield地震では大きな被害を受けなかった建物であっても、今回のChristchurch地震では倒壊やせん断破壊を含む深刻な被害が生じている(写真5、6)。

無補強組積造(URM)建物はDarfield地震でも被害を受けたが、本地震でも同様に大きな被害を受けた例が多い。被害を受けた建物にはクライストチャーチ大聖堂を含め近年耐震補強された建物も含まれている。一方、Darfield地震で被害を受けたURM建物でその後応急補強が実施されていた建物には、本地震により被害を受けなかった建物と部分崩壊や全体崩壊などの大きな被害を受けた建物が混在し、その挙動はまちまちであった(写真7、8)。

#### 4. 液状化による建物被害

震動による被害の他、液状化による被害もAvon川流域を中心に広く認められた。その被害はCBDよりもその周辺部や北部から東部にかけての郊外で特に顕著



写真4 屋内階段室が崩落した建物(CBD)



写真5 Pre-1970年のRC造建物の被害(CBD)



写真6 柱と柱梁接合部に被害が生じたRC造建物(CBD)



写真7 応急補強により被害を免れたURM建物(CBD)



写真8 再度被害を受けたURM建物(CBD)

であった。液状化に伴う噴水により周辺が浸水状態のままの建物も見られた(写真9)。

#### 5. 建物の被災度調査

現地調査当時、被災建物の再使用や一時的入室の可否判断を目的に、構造技術者による被災建築物の安全性判定が実施されていた。判定は主として外観調査によるレベル1判定と内観調査を含むレベル2判定からなる。これらは日本の応急危険度判定に相当する調査であり、評価結果が赤色、黄色、緑色のステッカーで表示される。技術者には事前にブリーフィングにより留意事項が伝達された後に判定活動が実施されるが(写真10)、被災建物への立ち入りに当たっては判定員に同行する2名からなる専門の安全監視員の指示に従うことで厳格に安全管理されていた。筆者らもカンタベリー大学の研究者によるレベル2評価活動に同行したが、これはセカンドオピニオンとしてのレベル1評価の妥当性確認と学術データの収集を主目的としたものであった。3月18日現在、CBD内の建物の評価結果は、826棟(23%)が赤色、862棟(24%)が黄色、1933



写真9 液状化被害の様子 (東部郊外Bexley地区)



写真10 被災度判定活動に先立つブリーフィング

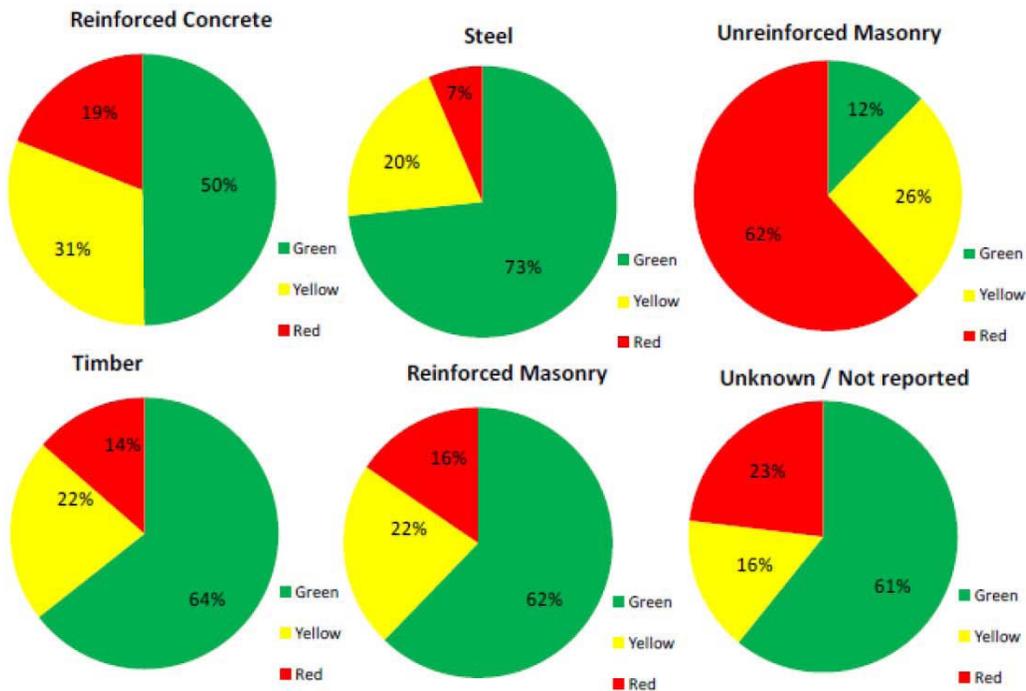


図4 CBDの被災度判定結果の構造種別ごとの内訳 (3月18日現在) 4)

棟 (53%) が緑色にそれぞれ判定されており、その内訳は図4に示したとおりである<sup>4)</sup>。

Clearinghouse

[http://db.nzsee.org.nz:8080/en/web/chch\\_2011/home](http://db.nzsee.org.nz:8080/en/web/chch_2011/home)

#### 参考文献

- 1) GeoNet: <http://www.geonet.org.nz/index.html>
- 2) New Zealand Society for Earthquake Engineering: [http://db.nzsee.org.nz/PUBS/NZ-GEER\\_Ver\\_NZ1.pdf](http://db.nzsee.org.nz/PUBS/NZ-GEER_Ver_NZ1.pdf)
- 3) Standards New Zealand: NZS1170.5:2004, 2004
- 4) Weng Y Kam, Umukt Akguzel, and Stefano Pampanin: 4 Weeks on: Preliminary Reconnaissance Report from the Christchurch 22 Feb 2011 6.3Mw Earthquake, WEB at New Zealand Society for Earthquake Engineering

#### 謝辞

本調査を実施するに当たり、河野進団長には現地との調整やロジスティックスなどのあらゆる場面において尽力いただいた。またカンタベリー大学のProf. S. Pampanin, Dr. W. Y. Kam, and Dr. U. Akguzelには現地調査のために諸事アレンジをいただくとともに有益な情報を提供いただいた。ここに深く謝意を表す。

# 一般社団法人 日本地震工学会 第2回社員総会議事録

佐藤 俊明

●清水建設(株)技術研究所

／木全 宏之

●清水建設(株)土木技術本部



1. 日時：平成23年5月27日(金)13時30分から19時00分
2. 場所：建築会館ホール(東京都港区芝5丁目26番20号)
3. 総社員総数 1,184名
4. 出席社員数 703名
5. 出席代表理事：  
久保哲夫、新代表理事(会長)川島一彦  
出席理事(平成22年度理事・監事)  
久保哲夫、中島正愛、東畑郁生、運上茂樹、  
中村孝明、澤本佳和、高田 一、東 貞成、  
保井美敏、佐藤俊明、栗田 哲、藤田 聡、  
境 有紀、鹿嶋俊英、倉本 洋、木全宏之、  
山中浩明、飯場正紀  
出席監事 井上範夫  
出席理事(平成23年度理事・監事)  
川島一彦、若松加壽江、芳村 学、  
矢部正明、大谷章仁、渡壁守正、中埜良昭、  
高橋 徹、齊藤大樹、五十田博、永野正行  
出席監事 河村壮一
6. 議長 代表理事(会長)久保哲夫、新代表理事(会長)  
川島一彦
7. 議事録作成 理事 佐藤俊明、理事 木全宏之

## 【Ⅰ】論文奨励賞の授与式と受賞者講演(13時30分～13時45分)

社員総会に先立ち、論文奨励賞の授与式および受賞者の講演が行われた。久保会長より山田真澄氏への表彰を行った。その後、受賞論文に関して講演が行われた。司会は学術担当の栗田理事が担当した。

受賞者・論文名：

山田真澄(京都大学)即時被害予測のための建物内地震動増幅度の簡易推定手法(第9巻第1号、2009年2月掲載)

受賞理由：本論文は、強震観測記録と、その地震における建物内での地震動増幅度の傾向から、建物の様々な条件を考慮した建物の地震動増幅度を推定する経験式を提案したものである。具体的には、アメリカ・カリフォルニア州の建物で記録された強震観測記録を用い、建物内での地震動増幅度の傾向を調べるとともに、建物を等価1質点系でモデル化し、建物階数、構造種別、建物の塑性率などを考慮して地震動増幅度を推定する経験式が構築されている。地震動の強さを示す指標としては、計測震度に加えて、最大加速度と最大速度が用いられている。構築された加速度・速度・震度増幅度の経験式は観測記録の傾向を概ね説明できることが確認されている。この経験式を用いることにより、地表面での地震動情報から建物内での地震動強さを迅速に推定することが可能となり、工学的に有用である。以上のことから、本論文は論文奨励賞に相応しいと判断した。



論文奨励賞 山田真澄氏

## 【Ⅱ】第2回社員総会(13時45分～15時00分)

1)議長選任の経過：

定刻に至り理事中村孝明より開会を宣し、続いて代表理事(会長)久保哲夫が挨拶した。挨拶の冒頭、東日本大震災で犠牲になられた方々への哀悼の意を表するために30秒間の黙とうを行った。司会者、理事中村孝明より、平成23年度第2回社員総会は、一

般社団法人日本地震工学会定款第3章第14条、第15条、第16条、第17条、第18条により、定足数を満たしたので有効に成立する旨を告げたのち、議長については定款第17条により代表理事久保哲夫会長があたることを宣言した。続いて久保哲夫議長（以下、議長）から挨拶の後、議案の審議に入った。

## 2)議事経過

代表理事(会長)久保哲夫議長及び新代表理事(会長)川島一彦議長（以下、議長）のもと以下の議案に基づき審議が行なわれた。



新会長挨拶 川島一彦氏

## 第2回社員総会 議案

### 第1号議案 平成22年度事業報告

議長は、第1号議案について理事中村孝明に内容を説明させた後、議長はこれを議場に諮ったところ、満場異議なく議決した。

### 第2号議案 平成22年度収支決算報告・平成22年度監査報告

議長は、第3号議案について理事高田 一に内容を説明させた後、続いて監事井上範夫から会計に関する書類は、綿密に調査したところ、法令に照らしいずれも妥当であることを認めた旨の報告がされた。議長はこれを議場に諮ったところ、満場異議なく議決した。

### 第3号議案 平成23年度理事・監事の選任

議長は、第3号議案について理事澤本佳和に内容を説明させた後、議長は以下の理事、監事についてこれを議場に諮ったところ、以下の理事、監事の選任について満場異議なく議決した。

なお、理事、監事及びその任期は以下のとおりである。

- 理事 五十田 博 (信州大学)
- 理事 大谷 章仁 (㈱IHI原子力セクター)
- 理事 川島 一彦 (東京工業大学)
- 理事 齊藤 大樹 ( (独) 建築研究所国際地震工学センター)

- 理事 高橋 徹 (千葉大学)
  - 理事 渡壁 守正 (戸田建設技術研究所)
  - 理事 中埜 良昭 (東京大学生産技術研究所)
  - 理事 永野 正行 (東京理科大学)
  - 理事 矢部 正明 (㈱長大)
  - 理事 芳村 学 (首都大学東京)
  - 理事 若松加壽江 (関東学院大学)
  - 監事 河村 壮一 (大成建設㈱技術センター)
  - 監事 翠川 三郎 (東京工業大学)
- 任期：平成23年5月27日～平成25年5月31日

議長より、第3号議案 平成23年度理事・監事の選任により平成23年度理事会構成が成立した旨報告がなされた。

14時15分、本社員総会を中断し、直ちに平成23年度理事会構成による臨時理事会を開催した。同14時30分臨時理事会終了の報告を受け、本社員総会を再開した。

本社員総会再開後、理事澤本佳和から、臨時理事会開催にて新代表理事(会長)に川島一彦氏が選任され、新副会長に理事若松加壽江氏ならびに理事芳村学氏、留任副会長に理事運上茂樹氏が選任された旨報告がなされた。よって、以下の議案について新代表理事(会長)川島一彦氏に議長を交代した。

これによって、理事、久保哲夫氏、中島正愛氏、東畑郁生氏、中村孝明氏、高田 一氏、保井美敏氏、栗田哲氏、藤田 聡氏、境 有紀氏、倉本 洋氏、飯場正紀氏は任期満了により退任となることの報告がなされた。(就任期日：平成22年5月20日から退任期日：平成23年5月27日)

なお、監事井上範夫氏より本社員総会終結をもって辞任する旨の申し出があった。

### 第4号議案 平成23年度選挙管理委員会委員の選任

議長は、第4号議案について理事澤本佳和に内容を説明させた後、議長はこれを議場に諮ったところ、以下の選挙管理委員会委員選任を満場異議なく議決した。

- 正会員 岡野 創 氏 (鹿島建設)
- 正会員 佐藤俊明 氏 (清水建設)
- 正会員 渡辺和明 氏 (大成建設)
- 正会員 渡壁守正 氏 (戸田建設)

### 第5号議案 平成23年度事業計画

議長は、第5号議案について理事澤本佳和に内容を説明させた後、議長はこれを議場に諮ったところ、満場異議なく議決した。

## 第6号議案 平成23年度収支予算

議長は、第6号議案について理事東 貞成に内容を説明させた後、議長はこれを議場に諮ったところ、正会員渡辺孝英氏から以下の2点について質問があった。

Q1. 前年度繰り越し分2千数百万円がどのようなお金で今後どのように使っていくのか、よくわからない。また、お金の流れがわかりやすく見えるような予算書をつくってほしい。

これに対して、前代表理事久保哲夫氏ならびに学会事務局から以下の回答があった。

A1. 2千数百万円は法人化される前の任意団体である日本地震工学会からの寄付金である。これは今後有意義に使ってよいと考えている。学会が法人化されて会計処理が変わったので、このような書類形式となっている。

また、これに関連して、正会員大江一也氏から、以下の提案があった。

- ・平成23年度の財産目録の予想を示せばわかりやすいのではないか。

これを受けて、議長から以下の提案があった。

- ・お金の流れが理解できる資料を付ける等、次年度に向けて検討していきたい。

この提案を条件として、満場異議なく議決した。

## 第7号議案 名誉会員の推挙

議長は、第7号議案について前理事東畑郁生に内容を説明させた後、議長はこれを議場に諮ったところ、以下の2011年新名誉会員の推挙が満場異議なく議決した。

2011年新名誉会員

入倉孝次郎氏、岩崎敏男氏、小谷俊介氏、片山恒雄氏、亀田弘行氏、北川良和氏、後藤洋三氏、鈴木浩平氏、土岐憲三氏  
以上9名。

最後に、新代表理事(会長)川島一彦氏が挨拶を行い、以下の3つの方針を示した。

[方針1] 東日本大震災とその後の対応について、俯瞰的に物事をみる位置にある日本地震工学会の役割は大きい。この大震災を教訓として将来に備えての提案を行っていききたい。

[方針2] この大震災を受けて、来年3月を目途に国際シンポジウムを開催して、日本から海外に情報発信を行いたい。

[方針3] 海外の会員の獲得に特に力を入れていきたい。

以上ですべての議案の審議を終了し、15時00分に平成23年度一般社団法人日本地震工学会第2回社員総会を閉会した。

## 【Ⅲ】講演会(15時30分～17時30分)

社員総会終了後、「東日本大震災の教訓」をテーマとした講演会が行われた。司会は事業担当の木全理事が担当した。

- (1) 東日本大震災にどのように対応するのか：濱田政則(早稲田大学教授)
- (2) 東日本大震災について－被災者・建築構造の立場から－：井上範夫(東北大学教授)
- (3) 東日本大震災における都市ガスの被害状況と東京ガスで観測された地震データ：岸野洋也(東京ガス(株)防災・供給部部長付)
- (4) JR東日本における地震対策：荒井 稔(JR東日本(株)総合企画本部技術企画部長 兼 研究開発センター所長)

## 【Ⅳ】懇親会(17時30分～)

通常総会終了後、建築会館ホールにて懇親会が催され、会員相互の懇親が図られた。



名誉会員(当日御出席者)



講演者 井上範夫氏



## 行事

### 本会主催・共催による行事

2011年1月1日～6月31日(理事会承認)

日程	行事名	
2011年2月3日	第10回国土セフティネットシンポジウム(本会・NPOリアルタイム地震情報利用協議会他共催)	共催
2011年2月4日	第1回震災予防講演会 大津波襲来の予感:2010年チリ地震を巡って	主催
2011年5月27日	第2回社員総会及び講演会開催□講演会-東日本大震災の教訓-	主催
2012年2月～3月	第10回International Workshop on Seismic Microzoning and Risk Reduction(IWSMRR)(本会・(独)建築研究所共催)	共催

### 後援・協賛による行事

2011年1月1日～6月31日(理事会承認)

2011年1月7日	治水利水施設の自然災害に対する減災と対策講演会	後援
2011年1月11日	地震防災フォーラム	協賛
2011年2月3日～4日	第15回震災対策技術展/自然災害対策技術展	後援
2011年3月1日	日本活断層学会新たな活断層評価に関するミニシンポジウム	後援
2011年3月22日	日本学術会議:自然災害軽減のための国際協力のあり方を考える(中止)	後援
2011年6月9日～10日	大阪国際見本市委員会:第5回「地域防災防犯展」大阪	後援
2011年6月15日	NPO国境なき技師団:第6回定例セミナー開催	後援
2011年6月28日	公益社団法人地盤工学会:既設構造物直下の液状化対策工法講習会開催	後援
2011年8月予定	一般社団法人子ども環境学会:子どもが元気に育つまちづくり-東日本大震災復興プラン国際提案協議-知恵と夢の支援-	後援
2011年9月30日	K G-N E T 関西圏地盤研究会:地盤情報と広域防災を考える-和歌山平野を例として-講習会	協賛
2011年9月～12月	一般社団法人日本機械学会:2011年度計算力学技術者(CAE技術者)資格認定事業	協賛
2011年10月予定	日本学術会議第7回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム運営委員会:日本建築学会第7回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム開催	後援
2011年11月11日	第4回日本耐震グランプリ	後援
2011年11月20日～23日	社団法人 物理探査学会 第10回SEGJ国際シンポジウム	協賛
2012年3月12日～13日	International Workshop on Advances in Seismic Experiments and Computations (ASEC2012) 主催:「耐震実験・解析の高度化に関する国際ワークショップ」実行委員会	協賛



# 会員・役員・委員会の状況

## (1) 会員の異動

会員種別	2010年12月16日 会員数	2011年1月から2011年6月							現在総数
		入会者	学→正	逝去者	退会者	会員資格停止者	復活者	異動計	
名誉会員	22			-1				-1	21
正会員	1141	13	1	-1	-39	-29	3		1089
学生会員	111	14	-1		-6	-38			80
法人会員	91				-4			-4	87

(2011年6月14日理事会承認)

### 新入会者 (1月～6月)

正会員	山口 亮 (損害保険料率算出機構)	齋藤 剛彦
	中井健太郎 (名古屋大学)	高坂 信 (㈱開発設計コンサルタント)
	安江 卓 (センチュリ テクノ(株))	村越 匠 (防衛大学校)
	王寺 秀介 (中央開発(株))	佐伯 琢磨 (阪神・淡路大震災記念 人と防災未来センター)
	三田地道明 (さくらシステムサービス)	長谷川信介 ((独)防災科学技術研究所)
	Mohammadpour Lima Mehdi	清木 隆文 (宇都宮大学)
	谷本 昇	
学生会員	泉 真利子 (横浜国立大学)	伊能 清貴 (東京電機大学)
	浅井 竜也	萩谷 俊吾 (東京電機大学)
	Syed, Irfan (Quaid-e-Azam University Islamabad)	
	吉成 英俊 (東京大学)	青柳 貴是 (東京電機大学)
	高橋 和慎 (筑波大学)	高野 務 (東京電機大学)
	中村 真貴 (宮崎大学)	小澤 直輝 (東京電機大学)
	辻 拓也 (信州大学)	藤生 慎 (東京大学生産研究所)
	橋本 尚 (東京電機大学)	

※各会員種別内は入会順です。

## (2) 名誉会員 (平成23年6月1日現在)

青山 博之	石原 研而	和泉 正哲	入倉孝次郎	岩崎 敏男	太田 裕
岡田 恒男	小谷 俊介	片山 恒雄	亀田 弘行	北川 良和	後藤 洋三
篠塚 正宣	柴田 明德	柴田 碧	鈴木 浩平	田村重四郎	土岐 憲三
伯野 元彦	山田 善一	吉見 吉昭			

※氏名五十音順です。

## (3) 法人会員

### 【特級】

(建設)

鹿島建設株式会社  
清水建設株式会社  
大成建設株式会社  
(電気・ガス・鉄道・道路)  
関西電力株式会社

### 【A級】

(建設)

株式会社大林組  
株式会社熊谷組  
株式会社竹中工務店  
戸田建設株式会社  
大和小田急建設株式会社  
(設計・コンサルタント)  
株式会社阪神コンサルタンツ  
(電気・ガス・鉄道・道路)  
四国電力株式会社  
中部電力株式会社  
電源開発株式会社  
東日本高速道路株式会社

(各種団体)

社団法人静岡県建築設計事務所協会  
社団法人日本建築学会

### 【B級】

(建設)

株式会社浅沼組  
安藤建設株式会社  
東亜建設工業株式会社  
東急建設株式会社  
飛鳥建設株式会社  
(設計・コンサルタント)  
株式会社建設技術研究所大阪本社  
中央復建コンサルタンツ株式会社  
株式会社社長大  
株式会社東京建築研究所  
東電設計株式会社  
株式会社ニュージェック  
(電気・ガス・鉄道・道路)  
九州電力株式会社  
中国電力株式会社  
東京電力株式会社  
東北電力株式会社

日本原子力発電株式会社  
東日本旅客鉄道株式会社  
北陸電力株式会社  
北海道電力株式会社  
(官公庁・公団・公社)

国土交通省国土技術政策総合研究所  
独立行政法人防災科学技術研究所  
(各種団体)

危険物保安技術協会  
社団法人日本建設業連合会  
社団法人日本水道協会  
全国建設労働組合総連合  
損害保険料率算出機構  
財団法人電力中央研究所  
財団法人日本建築防災協会  
社団法人プレハブ建築協会  
(建材・システムなど)

東京鉄鋼株式会社  
白山工業株式会社

### 【C級】

(建設)

五洋建設株式会社

東洋建設株式会社  
株式会社福田組  
株式会社間組  
(設計・コンサルタント)  
株式会社NTTファシリティーズ  
株式会社大崎総合研究所  
基礎地盤コンサルタンツ株式会社  
株式会社構造計画研究所  
ジェイアール西日本コンサルタンツ株式会社  
株式会社システムアンドデータリサーチ  
株式会社篠塚研究所  
株式会社ダイヤコンサルタント  
財団法人地域地盤環境研究所  
株式会社日建設計  
株式会社日本構造橋梁研究所

株式会社三菱地所設計  
株式会社安井建築設計事務所  
(電気・ガス・鉄道・道路)  
日本原燃株式会社  
東邦ガス株式会社  
北海道ガス株式会社  
(官公庁・公団・公社)  
独立行政法人港湾空港技術研究所  
(各種団体)  
財団法人愛知県建築住宅センター  
独立行政法人原子力安全基盤機構  
社団法人高層住宅管理業協会  
構造調査コンサルティング協会  
財団法人国土技術研究センター  
千葉県耐震判定協議会

一般社団法人日本ガス協会  
社団法人日本クレーン協会  
社団法人日本建築構造技術者協会  
財団法人日本建築設備・昇降機センター  
財団法人日本建築総合試験所  
社団法人日本免震構造協会  
社団法人文教施設協会  
東京都大学図書館  
(建材・システムなど)  
株式会社アーク情報システム  
伊藤忠テクノソリューションズ株式会社  
クボタシーアイ株式会社  
サンシステムサプライ株式会社  
日本専門図書出版株式会社

#### (4) 平成23年度役員一覧(2011年6月1日～2013年5月31日)

会長	*川島 一彦(東京工業大学大学院 教授)
副会長	運上 茂樹(国土交通省国土技術政策総合研究所 危機管理技術研究センター地震災害研究)
副会長	*若松加寿江(関東学院大学工学部社会環境システム学科教授)
副会長	*芳村 学(首都大学東京大学院都市環境科学研究科教授)
理事(総務)	澤本 佳和(鹿島建設(株) 技術研究所 上席研究員)
理事(総務)	*矢部 正明(株長大 構造事業本部副技師長・耐震技術部部長)
理事(総務会計)	東 貞成(財)電力中央研究所 地球工学研究所 上席研究員)
理事(会計)	*大谷 章仁(株IHI 原子力セクター原子力保守技術部 設計グループ)
理事(会員)	佐藤 俊明(清水建設(株) 技術研究所副所長兼企画部長)
理事(会員)	*渡壁 守正(戸田建設技術研究所・耐震構造チーム・主管)
理事(学術)	*中埜 良昭(東京大学生産技術研究所 教授)
理事(学術)	*高橋 徹(千葉大学大学院工学研究科教授)
理事(情報)	鹿嶋 俊英(独)建築研究所国際地震工学センター主任研究員)
理事(情報)	*斉藤 大樹((独)建築研究所国際地震工学センター上席研究員)
理事(事業)	木全 宏之(清水建設(株)土木技術本部設計第二部グループ長)
理事(事業)	*五十田 博(信州大学工学部建築学科 准教授)
理事(事業)	山中 浩明(東京工業大学大学院 准教授)
理事(調査研究)	庄司 学(筑波大学大学院 准教授)
理事(調査研究)	*永野 正行(東京理科大学理工学部建築学科 教授)
監事	*河村 壮一(耐震環境コンサルタント, 工学院大学非常勤講師)
監事	*翠川 三郎(東京工業大学大学院 教授)

\*印：平成23年6月1日～平成25年5月31日、無印：平成22年6月1日～平成24年5月31日、理事19名 監事2名

#### (5) 平成23年度委員会および委員長一覧

平成23年6月1日現在

選挙管理委員会	委員長	佐藤俊明(理事・清水建設)
役員候補推薦委員会	委員長	澤本佳和(理事・鹿島建設)
電子広報委員会	委員長	鹿嶋俊英(理事・建築研究所)
会誌編集委員会	委員長	斉藤大樹(理事・建築研究所)
事業企画委員会	委員長	木全宏之(理事・清水建設)
大会実行委員会(2011)	委員長	山中浩明(理事・東京工業大学)
国際委員会	委員長	中埜良昭(理事・東京大学生産技術研究所)
論文集編集委員会	委員長	高橋 徹(理事・千葉大学)
研究統括委員会	委員長	若松加寿江(副会長・関東学院大学)
地震災害対応委員会(常設)	委員長	運上茂樹(副会長・国土交通省国土技術政策総合研究所)
将来構想委員会	委員長	運上茂樹(副会長・国土交通省国土技術政策総合研究所)
国際化対応委員会	委員長	芳村 学(副会長・首都大学東京)
東日本大震災国際シンポジウム実行委員会	委員長	川島一彦(会長・東京工業大学)
(仮)広域システム災害対応特別委員会	委員長	東畑郁生(東京大学)
10周年記念事業運営委員会	委員長	矢部正明(理事・長大)
災害リモートセンシング技術の標準化と高度化に関する研究委員会	委員長	松岡昌志(産業技術総合研究所)
津波対策とその指針に関する研究委員会	委員長	松富英夫(秋田大学)
原子力発電所の地震安全問題に関する調査研究委員会	委員長	亀田弘行(京都大学名誉教授)
システム性能を考慮した産業施設諸機能の耐震性評価研究委員会	委員長	高田 一 横浜国立大学
地盤情報データベースを用いた表層地質が地震動特性に及ぼす影響に関する研究委員会	委員長	山中浩明 理事・東京工業大学



# 会務報告

(平成 23 年 1 月～平成 23 年 6 月)

01月06日(木)	・事務所仕事始め
01月12日(水)	・WEB化に関する打合せ 運上副会長、前田氏(株タキオン)他(於 本会事務所13時30分～14時30分)
01月14日(金)	・10周年記念事業運営委員会開催 倉本理事・委員長、中村理事他(於 建築会館307会議室 17時00分～19時00分) ・論文編集委員J-STAGアップロード研修会 高橋幹事、藤本委員、松原様、吹野職員他(於 J-STAGセンター 会議室 10時00分～12時00分)
01月17日(月)	・JAEE NEWS No.223 配信
01月18日(火)	・会誌編集委員会開催 境理事・委員長他(於 建築会館306会議室 10時00分～12時00分)
01月19日(水)	・会計・税理士監査(涌井税務会計事務所)12月定期監査実施(於 本会事務所13時00分～16時30分)
02月01日(火)	・会長、次期会長打合せ 久保会長、川島次期会長、中村総務理事、澤本総務理事、嶋原事務局長(於 建築会館307会議室 17時30分～19時00分) ・JAEE NEWS No.224 配信
02月02日(水)	・JAEE 臨時NEWS配信(JAEE会誌第13号 発行のお知らせ)
02月03日(木)	・第15回震災対策技術展/自然災害技術展開催 本会後援、久保会長、同企画実行委員会委員長 開会挨拶開幕 オープニングテープカット 久保会長、木全理事・事業企画委員会委員長出席(於 横浜国際展示場 9時40分～10時30分) ・第1回システム性能を考慮した産業施設諸機能の耐震性評価研究委員会開催 高田理事・委員長 中村理事・幹事他(於 建築会館307会議室 15時00分～17時00分)
02月04日(金)	・第15回震災対策技術展関連講演会開催 企画:事業企画委員会 第1回震災予防講演会 大津波襲来の予感:2010年チリ地震を巡って 主催 一般社団法人 日本地震工学会 後援:(社)日本地震学会、(社)土木学会、(社)日本建築学会、(社)地盤工学会、(社)日本機械学会、NPO法人 日本火山学会 歴史地震研究会 日時:2011年2月4日(金)13:00～16:30 場所:パシフィコ横浜・アネックスホール 2階 203会場 プログラム:13:00～16:30 司会 武村雅之(小堀鐸二研究所副所長) 開会挨拶 久保哲夫(本会会長/東京大学教授) 1. 趣旨説明 武村雅之(小堀鐸二研究所副所長) 2. 50年前の記憶:1960年チリ地震津波首藤伸夫(東北大学名誉教授) 3. 2010年チリ地震津波とその被害藤間功司(防衛大学校教授) 4. 津波避難の諸問題:東海・南海地震林 能成(静岡大学准教授) 参加者:125名
02月07日(月)	・第13回日本地震工学シンポジウム運営委員会(第9回)開催 和田章委員長、高田理事、委員他関係委員(於 建築会館304会議室 17時00分～18時30分)
02月08日(火)	・事業企画委員会開催 木全理事・委員長、平井幹事他(於 建築会館307会議室 15時00分～17時00分) ・JAEE NEWS No.225 配信
02月15日(火)	・会費未納者・手紙による請求書発送98名(正会員、学生会員) ・ニュージーランド南島のクライストチャーチ近郊地震発生
02月22日(火)	・同上に伴う対応
02月23日(水)	・日本地震工学会地震災害対応本部設置(本部長:久保哲夫会長) 研究統括委員会委員長:東畑副会長 地震災害対応委員会構成員:中埜委員長、清野先生、小長井先生、飯場理事、三輪委員、神野委員、庄司委員、会計担当理事および情報担当理事各1名:東理事、境理事、総務理事および総務会計:中村理事、澤本理事、高田理事 事務局:嶋原
03月01日(火)	・JAEE NEWS No.226 配信
03月07日(月)	・2011年ニュージーランド地震被災建築物の共同調査派遣 共同 日本建築学会/日本地震工学会 本会派遣、中埜良昭地震災害対応委員会委員長(東京大学生産技術研究所教授) 調査項目 (1) クライストチャーチ市および周辺被災地域の地震被害概要の把握 (2) 被害地域で用いられる建築構造、構造詳細の把握 (3) 個別建物あるいは特定地域における詳細な被害調査(被害原因の抽出、被災度または被害率調査など) (4) 上記結果のとりまとめと報告書の公開

	<p>調査団員  団長：河野 進（京都大学/日本建築学会）  団員：中埜 良昭（東京大学生産技術研究所/日本地震工学会）  前田 匡樹（東北大学/日本建築学会）  真田 靖士（豊橋技術科学大学/日本建築学会）  石川 裕次（竹中工務店/日本建築学会）</p> <p>調査期間  3/9 日本発  3/10 Christchurch着、市内の被災地調査、カンタベリー大学訪問  3/11 -3/17米国EERIチームとChristchurch市被災地の合同調査  3/16 Christchurch発（中埜・前田・真田）  3/18 Christchurch発（河野・石川）  3/19 日本着  ニュージーランドにおける受け入れ機関および協力者  Prof. Stefano Pampanin（University of Canterbury）他</p>
03月09日(木)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・第6回理事会開催 久保会長、東畑副会長、中島副会長、運上副会長他（於 建築会館308会議室 17時00分～20時00分）</li> </ul>
03月11日(金)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・東北地方太平洋沖地震発生（14時46分）M9.0</li> </ul>
03月14日(月)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本会久保会長、地震災害対応委員会への災害対策本部設置通告</li> <li>・元副会長川島先生より関係学会による連絡会立ち上げの通知  名称：東北地方太平洋沖地震被害調査連絡会  参加学会予定：本会、土木学会、日本建築学会、地盤工学会、日本機械学会</li> <li>・久保会長 臨時理事会開催要請</li> </ul>
03月15日(火)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・臨時理事会開催 出席：久保会長、東畑副会長、中村総務理事、高田会計理事、藤田 聡国際理事、木全宏之事業理事、栗田 哲学術理事、オブザーバー川島次期会長、鳴原事務局長  久保会長より臨時理事会開催について経緯が報告された。理事19名内出席理事6名で過半数に満たないため、臨時理事懇談会とすることを確認した。  決議事項：（但し、5月理事会にて決議とする） <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 地震対策本部の立ち上げ  本会地震対策本部、本部長：久保哲夫会長、副本部長：東畑郁生副会長</li> <li>2. 実行体制立ち上げ  本会地震災害対応委員会（中埜委員長）を核とし、新しい組織を立ち上げる。  名称：「東北地方太平洋沖地震対応委員会」とする。</li> </ol> 川島次期会長より以下の説明  関係学会による連絡会の設置提案と参加について  目 的：①情報集約と共有→HPの公開などで共有リンクを貼る。  ②報告会の開催→合同開催、できるだけ早い時期に開催する。  ③調査は行わない、各学会が実施する。  名 称：東北地方太平洋沖地震被害調査連絡会  参加学会及び委員：  日本地震工学会：久保哲夫、東畑郁生、中埜良昭、鳴原 毅（事務局）  土木学会：川島一彦、小長井一男、若松加寿江、古木守靖（片山）  地盤工学会：日下部治、安田進、戸塚 弘（事務局）  日本機械学会：藤田聡、高田一、森下正樹、古屋 治  建築学会：林康裕、平石久廣、腰原幹雄、真木康守（事務局）</li> </ul>
03月23日(水)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・JAEE NEWS No.227 配信</li> <li>・日本学術会議土木工学・建築学委員会濱田政則委員長より久保会長に東北関東（東日本）大震災の総合対応に関する学協会連絡会（仮称）設立について依頼</li> <li>・本会ホームページ 平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震』のWebsite立ち上げ</li> </ul>
03月25日(金)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・東北地方太平洋沖地震被害調査連絡会開催 久保会長、東畑副会長（於 土木学会A会議室 17時00分～18時30分）</li> <li>・総務部会・会計部会合同会議 東畑副会長、中村総務理事、澤本総務理事、高田会計理事、東会計理事、鳴原事務局長（於 建築会館306会議室 14時00分～18時00分）</li> </ul>
03月28日(月)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・日本学術会議 東北関東（東日本）大震災の総合対応に関する学協会連絡会開催 久保会長、中埜地震災害対応委員会委員長、鳴原事務局長（於 日本学術会議 501会議室 18時00分～19時30分）</li> </ul>
04月01日(金)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・平成23年度会費請求発送（正会員、学生会員、法人会員）</li> <li>・JAEE NEWS No.228 配信</li> </ul>
04月06日(水)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・拡大正副会長会議 久保会長、東畑副会長、中村総務理事、澤本総務理事、高田会計理事、東会計理事 鳴原事務局長（於 建築会館308会議室 17時00分～19時30分）</li> </ul>
04月07日(木)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・日本学術会議：東北関東（東日本）大震災の総合対応に関する学協会連絡会（仮称）実務担当者連絡会（第1回）開催（於 日本学術会議 501会議室 17時00分～19時00分）</li> </ul>
04月08日(金)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・会計税理士（浦井税務会計事務所）1月～3月定期監査実施及び平成22年度決算書作成（於 本会事務所10時30分～17時00分）</li> </ul>

04月14日(木)	・本会名誉会員 田治見宏先生（日本大学名誉教授）ご逝去														
04月15日(金)	・JAEE NEWS No.229 配信														
04月19日(火)	・会誌編集委員会開催 境理事・委員長、芝幹事他（於「サンシャイン 5ビル 6階会議室」9時00分～12時00分）														
04月20日(水)	・事業企画委員会開催 木全理事・委員長他（於 建築会館307会議室 15時00分～19時30分）														
04月27日(水)	・監事監査会 井上監事、中村総務理事、澤本総務理事、高田会計理事、東会計理事、鳴原事務局長（於 建築会館305会議室 14時00分～15時30分）														
05月02日(月)	・JAEE NEWS No.230 配信														
05月09日(月)	・東日本大震災総合対応学協会連絡会実務担当者会議開催（第2回）（於 日本学術会議6階会議室 18時00分～20時00分）														
05月10日(火)	・第7回理事会開催 久保会長、東畑副会長、運上副会長他（於 建築会館308会議室 17時00分～20時10分）														
05月13日(金)	・会計税理士監査（涌井税務会計事務所）4月定期監査実施及び平成22年度決算に伴う税務関係書類作成（於 本会事務所13時00分～17時00分）														
05月17日(火)	・JAEE NEWS No.231 配信														
05月19日(木)	・第2回東北地方太平洋沖地震被害調査連絡会（6学協会）開催 川島委員長・久保会長、高田理事他（於 建築会館202会議室 16時00分～18時30分）														
05月20日(金)	・システム性能を考慮した産業施設諸機能の耐震性評価研究委員会開催 高田委員長・理事、中村幹事・理事他（於 建築会館307会議室 15時00分～17時00分）														
05月23日(月)	・JAEE 臨時NEWS 配信（第2回社員総会並びに講演会開催案内）														
05月27日(金)	<p>・平成23年度 第2回社員総会及び講演会開催</p> <p>日時：2011年5月27日（金）13：30～19：00</p> <p>場所：建築会館ホール（東京都港区芝5丁目26番20号）</p> <p>□論文奨励賞授与式ならびに記念講演（13：30～13：45）</p> <p>山田真澄氏（京都大学）</p> <p>即時被害予測のための建物内地震動増幅度の簡易推定手法</p> <p>□社員総会（13：45～15：00）</p> <p>1. 議案</p> <table border="0"> <tr> <td>第1号議案</td> <td>平成22年度事業報告</td> </tr> <tr> <td>第2号議案</td> <td>平成22年度収支決算報告・平成22年度監査報告</td> </tr> <tr> <td>第3号議案</td> <td>平成23年度理事・監事の選任</td> </tr> <tr> <td>第4号議案</td> <td>平成23年度選挙管理委員会委員の選任</td> </tr> <tr> <td>第5号議案</td> <td>平成23年度事業計画</td> </tr> <tr> <td>第6号議案</td> <td>平成23年度収支予算</td> </tr> <tr> <td>第7号議案</td> <td>名誉会員の推挙</td> </tr> </table> <p>2. 名誉会員推挙式</p> <p>□講演会 - 東日本大震災の教訓 -（15：15～17：15）</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>「東日本大震災にどのように対応するのか」濱田政則（早稲田大学教授）</li> <li>「東日本大震災について－被災者・建築構造の立場から－」井上範夫（東北大学教授）</li> <li>「東日本大震災における都市ガスの被害状況と東京ガスで観測された地震データ」岸野洋也（東京ガス(株)防災供給部長付）</li> <li>「J R 東日本における地震対策」荒井 稔（J R 東日本(株)総合企画本部技術企画部長 兼 研究開発センター所長）</li> </ol> <p>□懇親会：（17：30～19：00）</p> <p>□出席者：総社員総数 1,184名、出席社員数 703名</p> <p>出席代表理事（会長）久保哲夫氏、新代表理事（会長）川島一彦氏他</p>	第1号議案	平成22年度事業報告	第2号議案	平成22年度収支決算報告・平成22年度監査報告	第3号議案	平成23年度理事・監事の選任	第4号議案	平成23年度選挙管理委員会委員の選任	第5号議案	平成23年度事業計画	第6号議案	平成23年度収支予算	第7号議案	名誉会員の推挙
第1号議案	平成22年度事業報告														
第2号議案	平成22年度収支決算報告・平成22年度監査報告														
第3号議案	平成23年度理事・監事の選任														
第4号議案	平成23年度選挙管理委員会委員の選任														
第5号議案	平成23年度事業計画														
第6号議案	平成23年度収支予算														
第7号議案	名誉会員の推挙														
06月01日(木)	・JAEE NEWS No.232 配信														
06月09日(木)	・会長関係理事打合せ 川島会長、芳村副会長、澤本理事、矢部理事、久保前会長、東畑前副会長、鳴原事務局長（於 建築会館301会議室 18時00分～20時00分）														
06月14日(火)	・第8回理事会開催 川島会長、運上副会長、若松副会長、芳村副会長他（於 建築会館304議室 17時00分～21時00分）														
06月15日(水)	・JAEE NEWS No.233 配信														
06月17日(金)	・事業企画委員会（第1回）開催 木全理事・委員長他（於 建築会館307議室 15時00分～17時00分）														
06月17日(金)	・第3回東北地方太平洋沖地震被害調査連絡会（6学協会）開催 川島委員長（本会会長）・若松委員（本会副会長）他関連学会委員（於 地盤工学会地下A会議室 10時00分～12時30分）														
06月22日(水)	・地盤情報データベースを用いた表層地質が地震動特性に及ぼす影響に関する研究委員会（第1回） 山中理事・委員長他（於 C I E 大学共同利用会議室 14時00分～16時00分）														
06月27日(月)	・会計税理士監査（涌井税務会計事務所）5月定期監査実施（於 本会事務所13時00分～17時00分）														
06月27日(月)	・論文集編集委員会開催 高橋理事・委員長他（於 建築会館303議室 16時00分～18時00分）														
06月28日(火)	・会員理事打合せ 佐藤会員理事、渡壁会員理事、鳴原事務局長（於 本会事務所16時00分～18時00分）														
06月29日(水)	・会誌編集委員会開催 斉藤理事・委員長他（於 東京大学生産技術研究所ICUSセンター長室 Bw-602室 17時00分～19時00分）														



## 論文集目次・出版物

### 日本地震工学会論文集 第11巻 第1号・第2号

Journal of Japan Association for Earthquake Engineering, Vol.11, No.1-No.2

#### 目 次

##### 第11巻 第1号

(論文)

- 1 自治体観測点を対象とした最大加速度比と卓越周期を用いた加速度応答スペクトル推定手法の検討  
-地殻内地震を対象として-  
A Study on Evaluation of an Acceleration Response Spectrum at Local Government Sites Using Peak Acceleration Ratio and Predominant Period of Spectrum for Crustal Earthquake  
西川隼人、宮島昌克 1-13  
NISHIKAWA Hayato and MIYAJIMA Masakatsu
- 2 強地震鉛直アレー記録に基づいた地盤中の波動エネルギーフロー  
Subsurface Energy Flow of Seismic Wave based on Strong Motion Records Observed in Vertical Arrays  
國生剛治、鈴木 拓 14-31  
KOKUSHO Takaji and SUZUKI Taku
- 3 2008年岩手・宮城内陸地震のKiK-net 一関西における大加速度記録の成因の推定  
Estimated cause of extreme acceleration records at the KiK-net IWTH25 station during the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake, Japan  
大町達夫、井上修作、水野剣一、山田雅人 32-47  
OHMACHI Tatsuo, INOUE Shusaku, MIZUNO Ken-ichi and YAMADA Masato

(報告)

- 4 2009年駿河湾の地震における御前崎市付近を対象とした瓦屋根被害による地震動強さ分布の推定  
Estimation of Seismic Intensity Distribution around Omaezaki-city from the Roof Tiles Damage by the 2009 Suruga Bay Earthquake  
境有紀、新井健介、赤松勝之 48-71  
SAKAI Yuki, ARAI Kenshuke and AKAMATSU Katsuyuki
- 5 大学の講義棟における災害時避難に関する一考察  
Fundamental Simulation on Post-Disaster Evacuation from Building at University Campus  
北島徹也、伊津野和行、八木康夫、大窪健之 72-80  
KITAJIMA Tetsuya, IZUNO Kazuyuki, YAGI Yasuo and OKUBO Takeyuki
- 6 長周期地震動の距離減衰および増幅特性  
Attenuation and Amplification of Long-Period Component of Ground motion  
横田崇、池内幸司、矢萩智裕、甲斐田康弘、鈴木晴彦 81-101  
Takashi Yokota, Ikeuchi Koji, Yahagi Tomohiro, Kaida Yasuhiro, Suzuki Haruhiko

##### 第11巻 第2号

(論文)

- 1 地震被害評価情報を活用した想定地震の対策優先度に関する研究  
Study on the Priority of Measuring against Scenario Earthquakes Based on Seismic Risk Estimation  
戸松 誠、岡田 成幸 1-19  
TOMATSU Makoto and OKADA Shigeyuki
- 2 地形・地盤分類250mメッシュマップに基づく液状化危険度の推定手法  
Liquefaction Potential Estimation Based on the 7.5-arc-second Japan Engineering Geomorphologic Classification Map  
松岡昌志、若松加寿江、橋本光史 20-39  
MATSUOKA Masashi, WAKAMATSU Kazue and HASHIMOTO Mitsufumi
- 3 地震時の鉄道運休時間の推定方法  
A Study for Estimating Suspension Time of Railway Lines Due to Earthquake  
高浜 勉、翠川三郎 40-54  
TAKAHAMA Tsutomu and MIDORIKAWA Saburoh

## 日本地震工学会出版物在庫状況

### 刊行図書

2011.6.20現在

刊行日	題名	在庫	価額		
			会 員	非会員	学生会員
2006.06.20	性能規定型耐震設計現状と課題（性能規定型耐震設計研究委員会編 / 鹿島出版会）	○	¥3,360	¥3,360	¥3,360

※送料は別途実費でいただきます。

### 資料集

2011.6.20現在 (1/3)

刊行日	題名	在庫	価額		
			会 員	非会員	学生会員
2001.05.29	エルサルバドル地震・インド西部地震講演会	○	¥1,000	¥1,500	¥1,000
2002.01.25	兵庫県南部地震以降の地震防災－何が変わったか、これから何が必要なのか	○	¥1,000	¥1,500	¥1,000
2002.11.01	特別講演会「地震対策技術アラカルト－大地震に備えて－」	○	¥1,000	¥1,500	¥1,000
2003.08.21	宮城県沖の地震・アルジェリア地震被害調査報告会概要集	○	¥1,000	¥1,500	¥1,000
2002.02.14	第6回震災対策技術展「国土セイフティネットシンポジウム－広域リアルタイム地震ネット構築へ向けて」	○	¥1,000	¥1,000	¥1,000
2003.01.31	第7回震災対策技術展「地震調査研究の地震防災への活用」	○	¥1,000	¥1,000	¥1,000
2003.02.07	第7回震災対策技術展「第2回国土セイフティネットシンポジウム－広域・高密度リアルタイム地震ネット構築へ向けて」	○	¥1,000	¥1,000	¥1,000
2005.01.22	第9回震災対策技術展「防災担当者へ伝えたいこと－震災時対応者にとっての10年」	○	¥1,000	¥1,000	¥1,000
2004.03.00	性能規定型耐震設計法の現状と課題「平成15年度報告書」	○	¥2,000	¥3,000	¥1,000
2004.05.14	第1回性能規定型耐震設計法に関する研究発表会講演論文集	○	¥2,000	¥4,000	¥1,000
2005.03.00	性能規定型耐震設計法－性能目標と限界状態はいかにあるべきか「平成16年度報告書」	○	¥3,000	¥4,500	¥1,500
2005.04.04	2004年12月26日スマトラ島沖地震報告会梗概集	○	¥1,000	¥1,500	¥1,000
2003.11.28	日本地震工学会大会-2003 梗概集	○	¥4,000	¥8,000	¥1,500
2005.01.11	日本地震工学会大会-2004 梗概集	○	¥5,000	¥9,000	¥2,000
2005.11.21	日本地震工学会大会-2005 梗概集	○	¥6,000	¥10,000	¥2,000
2008.11.03	日本地震工学会大会-2008 梗概集	○	¥5,000	¥10,000	¥2,000
2009.11.12	日本地震工学会大会-2009 梗概集	○	¥5,000	¥10,000	¥2,000
2005.01.30	日本地震工学会誌No. 1	×	×	×	×
2005.08.31	日本地震工学会誌No. 2	○	¥1,000	¥1,500	¥1,000
2006.01.31	日本地震工学会誌No. 3	○	¥1,000	¥1,500	¥1,000
2006.07.31	日本地震工学会誌No. 4	○	¥1,000	¥1,500	¥1,000
2007.01.31	日本地震工学会誌No. 5	○	¥1,000	¥1,500	¥1,000
2007.07.31	日本地震工学会誌No. 6	○	¥1,000	¥1,500	¥1,000
2008.01.31	日本地震工学会誌No. 7	○	¥1,000	¥1,500	¥1,000
2008.07.31	日本地震工学会誌No. 8	○	¥1,000	¥1,500	¥1,000
2009.01.31	日本地震工学会誌No. 9	○	¥1,000	¥1,500	¥1,000
2009.07.31	日本地震工学会誌No. 10	○	¥1,000	¥1,500	¥1,000
2010.01.31	日本地震工学会誌No. 11	○	¥1,000	¥1,500	¥1,000
2010.07.31	日本地震工学会誌No. 12	○	¥1,000	¥1,500	¥1,000
2011.01.31	日本地震工学会誌No. 13	○	¥1,000	¥1,500	¥1,000
2010.11.17	第13回日本地震工学シンポジウム（DVD版）	○	¥5,000	¥5,000	¥5,000

※送料は別途実費でいただきます。

### 資料集（不定期発行）

2011.6.20現在 (2/3)

刊行日	題名	在庫	価額		
			会 員	非会員	学生会員
2005.01.13	Proceedings of the International Symposium on Earthquake Engineering Commemorating Tenth Anniversary of the 1995 Kobe Earthquake (ISSE Kobe 2005)	○	¥6,000	¥10,000	¥6,000
2007.03.00	地震工学系実験施設の現状と課題 平成18年度報告書	○	¥3,000	¥4,000	¥2,000

2007.10.26	基礎-地盤系の動的応答と耐震設計法に関する研究委員会報告「基礎と地盤の動的相互作用を考慮した耐震設計ガイドライン」(案)	○	¥2,000	¥3,000	¥1,000
2007.11.20	実例で示す木造建物の耐震補強と維持管理	○	¥2,000	¥3,000	¥1,000
2008.04.11	セミナー強震動予測レシビ「新潟県中越沖地震や能登半島地震などに学ぶ」資料	○	¥2,000	¥3,000	¥1,000
2008.04.22	セミナー地震発生確率-理論から実践まで-	○	¥2,000	¥3,000	¥1,000
2008.05.31	津波災害の軽減方策に関する研究委員会報告書(平成20年5月)	○	¥2,000	¥3,000	¥1,000
2009.02.23	セミナー(第2回)「実務で使う地盤の地震応答解析」資料	○	¥2,000	¥3,000	¥1,000
2009.04.14	セミナー-構造物の地震リスクマネジメント-	○	¥2,000	¥3,000	¥1,000
2010.01.25	講習会「性能設計に基づく耐震設計事例の紹介」	○	¥2,000	¥3,000	¥1,000

※送料は別途実費でいただきます。

## 強震記録データ

2011.6.20 現在(3/3)

題 名	在庫	詳細、申込み方法については、以下のURLにて、確認してください。 <a href="http://www.jaee.gr.jp/disaster/data-hanpu.pdf">http://www.jaee.gr.jp/disaster/data-hanpu.pdf</a>
		定価
兵庫県南部地震における強震記録データベース  (財)震災予防協会に設置された強震動アレー観測記録データベース推進委員会(委員長:表俊一郎)とその下部組織であるデータベース作業部会(部会長:亀田弘行)では、わが国におけるアレー観測記録のデータベース化に取り組んできましたが、1995年兵庫県南部地震における16の機関による強震記録292成分ならびに東京大学生産技術研究所によるアレー記録924成分が1枚のCD-ROMに取り纏められました。	○	●大学等公共機関 ¥40,000 ●民間機関 ¥80,000
東京電力(株)柏崎刈羽原子力発電所における強震データ全地点全記録等<改訂版>  平成19年7月16日に発生した新潟県中越沖地震に関して、東京電力(株)より柏崎刈羽原子力発電所における設備復旧・安全確保に向けての取り組みの一環として、「本震」「余震」の地震観測記録等の提供を受け、CD-ROM、DVDにて提供して参りましたが、その後、財団法人震災予防協会の要望を受けていただき、東京電力(株)より新たに強震記録の<改訂版>としてこれまでに観測された2004年10月23日から2008年3月31日までの時刻歴データ(データ量は2.95Gbyte.)の提供を受けました。財団法人震災予防協会は、平成22年3月を以て活動停止となったため、平成22年6月より、一般社団法人日本地震工学会から皆様に引き続き提供することとなりました。	○	●日本地震工学会 <個人会員(正会員・学生会員)>:6,000円 ●日本地震工学会<法人会員>:14,000円 ●非会員(個人利用):10,000円 ●非会員(法人利用):22,000円
中部電力(株)浜岡原子力発電所における「2009年8月11日駿河湾の地震」の観測記録  2009年8月11日に発した駿河湾の地震等に関して、中部電力(株)より浜岡原子力発電所における耐震性向上に向けての取り組みの一環として、本震及び余震他の地震観測記録等を提供いただける旨の申し出が当学会になされました。この記録は、原子力発電所で観測された貴重なものであり、耐震工学や地震工学・地震学の発展に資することから、今回、当学会においてこれらを記録したCD-ROMを頒布することといたしました。	○	●日本地震工学会会員(正会員・学生会員):1部3,000円 ●日本地震工学会会員(法人会員):6,000円 ●非会員(個人):1部5,000円 ●法人(非会員):10,000円
東京電力(株)福島第一原子力発電所および福島第二原子力発電所において観測された平成23年3月11日東北地方太平洋沖地震の本震記録  東京電力(株)から、「平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震においての福島第一原子力発電所および福島第二原子力発電所で観測された強震観測記録等の強震データ記録」について公開されましたが、本会では、この記録は、原子力発電所で観測された貴重なものであり、耐震工学や地震工学・地震学の発展に資することから、当学会においてこれらを記録したデータ提供の申し出を行ないました。その結果、本会から頒布することといたしました。	○	●日本地震工学会<(正会員・学生会員)>:5,000円 ●日本地震工学会<法人会員>:10,000円 ●非会員(個人利用):10,000円 ●非会員(法人利用):20,000円

\*送料込みとなります。



# 入会・会員情報変更の方法

## 1. 日本地震工学会とは

日本地震工学会は、建築、土木、地盤、地震、機械等の個別分野ではなく、地震工学としてまとまった活動を行うための学会として2001年1月1日に発足しました。その目的は、地震工学の進歩および地震防災事業の発展を支援し、もって学術文化と技術の進歩と地震災害の防止と軽減に寄与することにあります。

日本地震工学会の会則、学会組織、役員、最近の活動状況などの詳しい情報はホームページをご覧ください。ホームページには、学会の情報の他に、最新の地震情報、日本地震工学会論文集など多くの情報が掲載されています。ぜひご活用ください。

日本地震工学会ホームページ <http://www.jaee.gr.jp/>

## 2. 入会するには

日本地震工学会に入会すると、各種の学会活動、「JAEE NEWS」のメール配信、地震工学論文集の投稿・発表、講習会等の会員割引などの多くの特典があります。入会方法、会員の特典などの詳しい情報はホームページをご覧ください。入会するには、ホームページから入会申込書をダウンロードし、必要事項を記入して、事務局にお送りください。

## 3. 会員情報を変更するには

会員の方で、勤務先、住所、メールアドレス等が変更になった方は、会誌「JAEE NEWS」等の確実な送付のため、ホームページから変更届をダウンロード、ご記入の上、事務局にお送り下さい。

## 4. 入会申込書・会員情報変更届けの入手と送付

- ①日本地震工学会ホームページ (<http://www.jaee.gr.jp/>) を開き、TOPメニューの「会員」をクリックしてください。



- ②表示されたページ下部に「会員情報の変更」および「会員(個人会員・学生会員・法人会員)入会募集」の項目があります。「詳細へ」をクリックすると、それぞれの用紙のダウンロードページが表示されます。必要な用紙をダウンロードして下さい。



### ③ 事務局への送付

ダウンロードした用紙に必要な事項の記入が終わりましたら、事務局に郵便、FAXまたは電子メールで送付してください。

事務局 〒108-0014 東京都港区芝5-26-20 建築会館 一般社団法人 日本地震工学会

E-mail : [office@general.jaee.gr.jp](mailto:office@general.jaee.gr.jp)、Tel : 03-5730-2831、Fax : 03-5730-2830



# 会報「日本地震工学会誌」投稿要領

2008年10月9日 会誌編集委員会制定  
2008年11月20日 理事会承認

## 1. 投稿内容

- (1) 記事は地震工学に関連するものであればジャンルや内容は問いません。参考例を以下に挙げます。
  - ・地域での地震防災に関する話題
  - ・興味深い実験や技術の紹介
  - ・地震工学に関連した各種学術会議・国際学会等への参加報告
  - ・当学会や会報への要望や意見
- 本誌にはなじまないもの：
  - ・速報性を重視する内容（年2回の発行であるため）
  - ・特定の商品等の宣伝色が濃いもの
  - ・ごく限られた会員のみに関係する内容
- (2) 投稿原稿は原則として未発表のものに限ります。また、他誌等への同時投稿も認められません。

## 2. 投稿資格

投稿者（共著の場合は著者のうち少なくとも一人）は日本地震工学会の会員に限ります。

## 3. 原稿の書き方・提出方法

- (1) 原稿は、下記の「記事作成にあたっての注意点」に従って作成し、Microsoft Wordファイル、またはテキストファイル+図のファイル(bmp, jpegなど)の形で、電子メールにより投稿いただくことを原則とします。
- (2) 上記の電子メールでの投稿が難しい場合は、紙に印刷した原稿の投稿も受け付けます。
- (3) いただいた原稿に対し、図表等の体裁、文の表現方法、頁数などについて、会誌編集委員会から修正や注文をお願いすることがあります。
- (4) 他の文献等からの図・表・写真の転載は、投稿者ご自身が事前に原著者に了解を得てから使用して下さい。投稿原稿が第三者の著作権その他の権利侵害問題を生じさせた場合、投稿者が一切の責任を負うものとします。
- (5) 印刷用版下原稿は会誌編集委員会で作成します。この際、字体、レイアウト等が投稿原稿どおりにはならないことを予めご了承願います。なお、印刷前に著者校正を原則として1回行います。
- (6) 記事作成にあたっての注意点
  - ・図・表・写真等をできるだけ多く載せ、わかりやすい記事としてください。
  - ・原稿のフォーマットは下記に示すものを原則とします。
    - A 4縦 余白：上30mm 下20mm 左20mm 右20mm 2段組 46行 1行24字 段間9mm
    - 和文フォント：明朝体 英文フォント：Times フォントサイズ：9.5ポイント
  - ・ページ数は、最大4ページとします。文字数、図表写真等の枚数の目安を参考にしてください。
    - 2ページ：3,000字+写真図表等4枚 / 4ページ：6,000字+写真図表等8枚
  - ・印刷は白黒ですので、白黒原稿で提出してください。カラー原稿の場合は、白黒で印刷しても図等が鮮明に表示されるものにしてください。
  - ・図・表・写真には日本語で20字以内のタイトルをつけ、図のタイトルは下に、表のタイトルは上に配置してください。
  - ・漢字は「常用漢字」、かな使いは「現代かな使い」とし、専門用語等には必要に応じて脚注をつけてください。
  - ・企業名、個人名、特定商品名等をむやみやたらにPRするような記事にならないように配慮して下さい。また、誹謗・中傷や差別を含むものは受け付けません。
  - ・「謝辞」を必要とする場合は、本文末尾に必要最小限で記載してください。
  - ・「文献」は本文中で<sup>1)</sup>のように上付きで引用し、本文の最後に下記のように記して下さい。
    - 1) 著者：題名、掲載誌、巻、号、ページ、年

## 4. 掲載の採否と掲載時期

- (1) 採否ならびに掲載号については、会誌編集委員会に一任させていただきます。既発表とみなされるもの、本誌の編集方針にそぐわない内容のものなどは採用できません。掲載時期の目安は、概ね次のようになります。
  - 6月下旬～12月中旬の投稿：翌年1月発行の号に掲載
  - 12月下旬～6月中旬の投稿：7月発行の号に掲載
- (2) 投稿内容によっては、会誌への掲載でなく、当学会のホームページへの掲載をお勧めすることがあります。
- (3) 採否が決定次第、投稿者に連絡します。
- (4) 不採用になった場合でも、原稿は返却いたしません。返却希望の写真等がある場合は、投稿時にその旨を申し出てください。
- (5) 学会誌の全文を本会ホームページに掲載します。

## 5. 著作権の取扱い

- (1) 本誌に掲載された著作物の著作権は、日本地震工学会に帰属するものとします。
- (2) 投稿者自らが著作物の全文または一部を複製・翻訳・翻案などの形で利用する場合、日本地震工学会は原則としてこれに異議を申し立てたり、妨げることはしないものとします。ただし、投稿者自身で複製を希望する場合には、日本地震工学会の許可を得てください。
- (3) 著作物等によって他者の人格権や著作権あるいは知的所有権を侵す等の問題が生じた場合は、その責任はすべて投稿者であって、本会はこれらに関する責任を負うものではないものとします。

## 6. 掲載料等

掲載無料です。原稿料はお支払いしません。抜刷が必要な場合は実費を請求します。

## 7. 依頼原稿

依頼原稿については別に要領を定めます。

## 8. 原稿送付先・問合せ先

投稿者の氏名・連絡先を明記の上、原稿の送付、問合せは下記宛にお願いします。  
一般社団法人 日本地震工学会 会誌編集委員会 〒108-0014 東京都港区芝5-26-20 建築会館 4F  
TEL：03-5730-2831、FAX：03-5730-2830 電子メールアドレス：office@general.jaee.gr.jp

### 編集後記：

2011年3月11日に発生した東日本大震災では、岩手、宮城、福島を中心に死者・行方不明者あわせて2万人以上発生するなど戦後最大の災害となりました。復興への歩みも遅く3ヶ月以上経過した2011年6月現在でも避難所で生活する避難者は2万4千人にものほります(内閣府HPより)。震災に被災された多くの方々に心よりお見舞い申し上げるとともに、多くの犠牲者の方々に對しまして心より哀悼の意を表します。

川島新会長からのご挨拶にもありましたが、日本地震工学会では、この震災による教訓を最大限にくみ取って、将来の災害/危機の軽減、防除に役立てなければなりません。

本号では、東日本大震災の内容を盛り込むか議論がありました。当初の予定通り、第13回日本地震工学シンポジウムでのスペシャルテーマセッションであった「この10年の地震工学の動向と発展」を特集としています。10年後に同様の企画がなされた際に、今回の震災によって地震工学がどのように発展したのかを比較するための資料として用いていただくと幸いです。

東日本大震災につきましては、10月末～11月初旬頃に特集号として発行する予定です。

編集委員会は、齊藤新編集委員長のもと新体制でこの震災に立ち向かっていきたいと思っております。

今後ともよろしくお願い申し上げます。

近藤 伸也(東京大学)

### 会誌編集委員会

委員長	齊藤 大樹	建築研究所	委員	井澤 淳	鉄道総合技術研究所
幹事	芝 良昭	電力中央研究所	委員	椋山 健二	芝浦工業大学
幹事	近藤 伸也	東京大学	委員	紺野 克昭	芝浦工業大学
幹事	千葉 一樹	東京理科大学	委員	副島 紀代	大林組
			委員	津田 健一	清水建設
			委員	中村いずみ	防災科学技術研究所
			委員	皆川 佳祐	埼玉工業大学

日本地震工学会誌 第14号 Bulletin of JAEE No.14

2011年7月31日発行(年2回発行)

編集・発行 一般社団法人 日本地震工学会

〒108-0014 東京都港区芝5-26-20 建築会館

TEL 03-5730-2831 FAX 03-5730-2830

©Japan Association for Earthquake Engineering 2011

本誌に掲載されたすべての記事内容は、日本地震工学会の許可なく転載・複写することはできません。

Printed in Japan