

日本地震工学会誌

Bulletin of JAEE

No.13

Jan.2011

追悼文：柴田拓二先生を偲ぶ

特集：この10年の被害地震



<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13号 2011年1月)

Bulletin of JAEE (No.13 January.2011)

INDEX

追悼文：

柴田拓二先生を偲ぶ／後藤 康明	1
-----------------	---

特集：この10年の被害地震

特集「この10年の被害地震」について／境 有紀	2
最近10年における東北地方での地震災害の概要	
－短周期・大加速度地震動と建物被害－／源栄 正人	3
2003年十勝沖地震における石油タンク被害と対策／座間 信作	7
2004年新潟県中越地震	
－地盤被害の概要とその後の復興への課題－／小長井一男	11
福岡県西方沖地震の強震動と建物被害／川瀬 博	15
能登半島地震その他における木造建築物の被害／河合 直人	19
新潟県中越沖地震の地震動と原子力発電所の建物挙動／土方勝一郎	23
2008年岩手・宮城内陸地震の地盤災害／風間 基樹	27
海外の建築物地震被害調査の経験を通して	
－2003年イラン・バム地震、2005年パキスタン・カシミール地震－／真田 靖士	31
2004年インド洋津波の被害実態と今後の対応／今村 文彦	35
2008年汶川地震による被害と復旧のための日中技術協力／濱田 政則、呉 旭	39
この10年の被害地震を振り返って・日本地震工学会に与えられた使命を考える／中島 正愛	43

連載：

名誉会員に聞く／和泉 正哲	45
---------------	----

学会ニュース：

第13日本地震工学シンポジウム開催報告	
和田 章、倉本 洋、勝俣 英雄、福和 伸夫、久田 嘉章	49

学会の動き：

会員・役員・委員会の状況	55
行事	58
会務報告	59
論文集目次・出版物	61
入会・会員情報変更の方法	65
投稿要領	66
学生会員「会費値下げ」のお知らせ	68

編集後記

柴田拓二先生を偲ぶ

後藤 康明

●北海道大学大学院工学院 教授



北海道大学名誉教授・北海道工業大学名誉教授、本会・名誉会員で建築構造学および工学教育の発展に大きく貢献されました柴田拓二先生は、平成22年5月2日に満80歳で逝去されました。ここに、謹んでご冥福をお祈り申し上げます。

柴田拓二先生は、終戦直後の昭和21年北海道大学予科に入学され、昭和27年に工学部建築工学科の2期生として卒業されました。卒業後、清水建設に入社し、設計部や現場監理を担当されていましたが、昭和32年8月に恩師の大野和男先生の要請によって北海道大学工学部講師として招かれ建築構造学研究室を担当されました。その後、助教授、教授に昇任され工学部長を歴任し平成5年に北海道大学を退官され、引き続き北海道工業大学に招かれ学長として活躍されました。

先生はわが国の建物の主要な構造として採用されている鉄筋コンクリート構造、鉄骨構造の挙動、および建築物の設計で重要な荷重問題について独創性の高い研究を行い、特に鉄筋コンクリート構造部材のせん断抵抗機構の解明に貢献され、昭和50年に日本建築学会賞(論文賞)を受賞されました。また、北海道などの積雪寒冷地で建築物の設計荷重として重要な積雪荷重について、実際に作用する建物の屋根雪の重量データを収集し、各種のデータ分析を行って現在設計で使用されている雪荷重評価法の基礎を築きました。この成果により平成8年に北海道科学技術賞を受賞されました。

建築教育では、日本工学会、日本学術会議あるいは日本建築学会等の諸委員会において、わが国の工学教育の推進と人材育成に長い間貢献してきました。すなわち、わが国の工業教育の水準と国際的流通性をいっそう高めるべきことを、大学の組織運営、大学教員の教育に対する意識、工学教育の評価体制、技術者の資格制度等の広い立場から論じ、大学教育は如何にあるべきかの一層の議論の必要性を強く主張し自ら実践し

てきました。これら一連の理念とその実現は、工学教育分野の注目を得ており、工学教育における貢献が大きいと評価を受け、この業績に対して平成15年日本工学教育協会功績賞、平成19年日本建築学会賞(教育業績)を受賞されました。

先生は、各学協会の副会長・理事等を歴任され、また日本学術会議会員としてわが国の学術・技術の全般に拘る発展に寄与されました。さらに学協会の北海道支部長をはじめとする役員を務め、それぞれの学協会の発展に貢献されました。この功績により、溶接学会学術振興賞、日本溶接協会業績賞を受賞された他、日本建築学会、日本コンクリート工学協会、日本雪工学会、日本地震工学会から名誉会員に推挙されました。

先生は建築構造学および工学教育の国際化の発展に大きく貢献された功績により、平成20年に瑞宝中綬章を受けられ、更に平成21年には日本建築学会大賞を受賞されました。

先生は常に広い視野を持つて的確な判断をされることから、多くの方から信頼を得てそれに応えられるお人柄でした。これからも柴田先生の大きな心で我々を見守ってくださると思っております。 合掌

特集「この10年の被害地震」について

境 有紀

●筑波大学

1. はじめに

日本地震工学会誌では、毎号、あるテーマを取り上げて特集を組ませていただいているが、今号、そして、次号は、日本地震工学会設立10周年を記念したものとなる。具体的な内容は、今号が「この10年の被害地震」、次号が「この10年の地震工学の動向と発展」である。10年一昔と言うが、このような特集を*十周年記念という形で10年ごとに組んで残しておけば、例えば、100年くらい経ったときに、発生した被害地震や地震工学の動向と発展を俯瞰的に見ることができる貴重な資料となるのではないか、という意図がある。なお、両特集は、先日、つくばで行われた第13回日本地震工学シンポジウムの2つのスペシャルテーマセッションと対応したものである。

2. この10年の被害地震

この2001～2010年を振り返ってみると、非常に地震が多い10年だった。震度6弱以上を記録した日本の地震は、12地震(防災科学技術研究所のK-NETで震度6弱相当値を記録したものはこれ以外にもある)に及ぶ(表1)。つまり、1年に1回以上は、日本のどこかで、震度6弱以上を観測する地震が発生し、何らかの被害が生じたということになる。

海外に目を向けても史上最悪の津波災害となってしまった2004年のインド洋津波や未だに記憶に新しい2008年の中国四川での大地震など被害地震が頻発している。

3. 特集の内容と趣旨

表1のように一覧にして並べてみると、それぞれの地震に顔というか特徴があり、その被害形態は、震源の位置、生じた地震動の性質、被害を受けたエリアの状況などにより様々である。例えば、長周期地震動がクローズアップされたもの、都市部特有の被害が見られたもの、原子力発電所などの重要施設が影響を受けたもの、斜面被害が顕著だったもの、加速度や震度の大きさ

表1 この10年で震度6弱以上を記録した地震

地震名	最大震度
2001年芸予地震	6弱
2003年宮城県沖の地震(三陸南地震)	6弱
2003年宮城県北部地震	6強
2003年十勝沖地震	6強
2004年新潟県中越地震	7
2005年福岡県西方沖地震	6弱
2005年宮城県沖の地震	6弱
2007年能登半島地震	6強
2007年新潟県中越沖地震	6強
2008年岩手・宮城内陸地震	6弱
2008年岩手沿岸北部の地震	6強※
2009年駿河湾の地震	6弱

※2008年10月29日に6弱に修正

の割には建物被害が小さかったものなど、単に地震動の強さが大きい小さい、あるいは、被害が大きい小さいといった単純なものでないことがわかる。

そこで、特集「この10年の被害地震」では、この10年に発生した国内外の10地震について、それぞれの被害の特徴について、震源、地震動、地盤、構造物、社会的対応といった様々な観点からレビューを行い、生じた課題、それに対してこれからどう取り組んで行くか、日本地震工学会が果たすべき役割について考える(表2)。次号「この10年の地震工学の動向と発展」も含めて、この特集が10年後、100年後、あるいは、1000年後の貴重な資料となればと思う。

表2 この10年の被害地震のタイトルと著者、所属

タイトル	著者(所属)
特集「この10年の被害地震」について	境有紀(筑波大学)
最近10年における東北地方での地震災害の概要 —短周期・大加速度地震動と建物被害—	源栄正人(東北大学)
2003年十勝沖地震における石油タンク被害と対策	座間信作(消防庁)
2004年中越地震 —地盤被害の概要とその後の復興への課題—	小長井一男(東京大学)
福岡県西方沖地震の強震動と建物被害	川瀬博(京都大学)
能登半島地震その他における木造建築物の被害	河合直人(建築研究所)
新潟県中越沖地震の地震動と原子力発電所の建物挙動	土方勝一郎(東京電力)
2008年岩手・宮城内陸地震の地盤災害	風間基樹(東北大学)
海外の建築物地震被害調査の経験を通して —2003年イラン・バム地震、2005年パキスタン・カンミール地震—	真田靖士 (豊橋技術科学大学)
2004年インド洋津波の被害実態と今後の対応	今村文彦(東北大学)
2008年汶川地震による被害と復旧のための日中技術協力	濱田政則(早稲田大学)
この10年の被害地震を振り返って・ 日本地震工学会に与えられた使命を考える	中島正愛(京都大学)

最近10年における東北地方での地震災害の概要 —短周期・大加速度地震動と建物被害—

源栄 正人

●東北大学大学院工学研究科

1. はじめに

最近10年間に東北地方では表1に示す様な5つの被害地震が発生している。筆者は、日本建築学会としての被害調査や文部科学省の突発災害調査を行うとともに地震動特性と建物被害の関係に着目した研究をまとめてきている。

本報告では、これら5つの地震災害の概要を示すとともに、短周期・大加速度地震動と建物被害の関係について述べる。

なお、いずれの地震も積雪のない時期に発生したものであることを加筆しておきたい。

表1 最近10年間ににおける東北地方の被害地震

地震名	規模(M _j)	人的被害	建物被害
2003年三陸南地震(通称)	7.1	重傷25、軽傷149	全壊2、半壊21、一部損壊2,216
2003年宮城県北部の地震	6.4	重傷51、軽傷624	全壊1,247、半壊3,698、一部損壊10,975
2005年宮城県沖の地震	7.2	重傷12、軽傷79	全壊1、一部損壊856
2008年岩手・宮城内陸地震	7.2	死者13(行方不明者10) 重傷80、軽傷370	全壊28、半壊112、一部損壊1,693
2008年岩手県沿岸北部地震	6.8	死者1、負傷者209	全壊1、半壊0、一部損壊318

2. 東北地方における最近の地震被害の概要

(1) 2003年5月26日の三陸南地震¹⁾

この地震(M_j7.1)は、太平洋プレートの内部で発生した地震で、短周期の地震動成分を多く含んだ地震波が観測された。K-NETのMYG011(牡鹿)などで1,000ガルを超える大加速度記録が観測されたが、全体的には震度の割りに被害の少ない地震であった。しかし、新しい体育館における天井の照明器具の落下や宮城県立図書館における防災隔壁の落下や書籍落下による機能停止などの被害は特筆すべきである。

この地震における被害状況より、地震被害を論じる場合、変形に敏感な被害と加速度に敏感な被害を区別する必要があることを痛感した。加速度に敏感な被害としては、建物の脆性的構造被害(「短柱」の被害、ブレースの座屈など)、内外装の落下(面内には変形であるが面外は加速度による力の評価が重要)、瓦屋根の被害、石垣、歴史的建造物の土壁、本棚の本の落下などである。



写真1 体育館の照明器具の落下²⁾(東山新町民体育館)

(2) 2003年7月26日宮城県北部地震^{1),2)}

2003年7月26日に宮城県北部で深夜0:13の前震(M_j5.6)、早朝7:13の本震(M_j6.4)、夕刻16:56の最大余震(M_j5.5)と震度6弱以上の揺れが3回観測された。本震の震源は内陸直下深さ12kmと浅く、住家全壊1,247棟、半壊3,698棟、一部損壊10,978棟、非住家被害1,726棟の建物被害で、幸い死者は出なかったが、負傷者675名(うち重傷者51名)の被害をもたらした。大きな揺れの前震が夜中にあり老人や子供など災害弱者が避難していたことが人的被害を少なくしたとも言われている。活断層として認識されていなかった地質断層が震源断層であったことが調査の結果判明した。筆者らの震源域における墓石転倒物調査・アンケート震度調査により、局所的には震度7の領域、100 cm/sを超える地動のところもあったと推定された。断層直交方向の東西方向の強い揺れがこの方向に弱い建物の被害を拡大したことも指摘した。RC造建物の構造被害については旧耐震基準(1981年以前)の建物であった。耐震補強された建物に被害がなかった。木造建物の被害については、建設年代が古いほど被害が大きいこと、家具の転倒など室内被害は建設年代に寄らないこと等も報告した。夏休み期間中であったため学校の校門の前のブロック壁の倒壊や校庭の石碑の転倒などが人的被害に結びつかなかったが、警鐘をならした。また、余震対策や廃材置き場確保の問題も話題となった。

(3) 2005年8月16日宮城県沖地震

この宮城県沖地震(M_j7.2)は1978年の宮城県沖地震の震源域の一部が破壊したもので、仙台市内を中心に多くの地震記録が得られ、地盤構造の検証や1978年宮城県沖における面的地震動の再現などに活用された³⁾。1秒～2秒の周期帯域の成分が比較的少ない地震であったため³⁾建物被害は極めて少なかった。しかし、この地震では仙台市内の屋内プール(写真2)のつり天井が落下する被害があった(写真3)。

この被害原因について触れ止めの未設置とクリアランス不足による横揺れが主因との報告があるが、他にも多くの触れ止めの未設置かつクリアランス不足の建物で無被害であったことを考えると他にも要因が考えられた。筆者はこの地震における松森周辺の揺れの性質や現地における余震観測・微動観測に基づく建物の振動性状について分析した⁴⁾。その結果、基礎の水平加速度により屋根の水平加速度は2.5倍に上下加速度は4倍(上下震度は水平震度の1.5倍)にもなることが分った。このことより、プールの屋根に重力加速度(1G)を大きく上回る上下動が励起されたことが推定され、これに対するつり天井の仕様では追従できなかつ



写真2 被害を受けた屋内プール建屋



写真3 つり天井の落下状況(監視ビデオ映像より)

たことが主因として考えられると報告した。非構造材の設計では水平震度の0.5倍の上下震度を考慮しているが、特に、空間構造物や大きな跳ねだし部分の設計における上下方向荷重に対する配慮が必要である。

ところで、この地震により得られた多くの地震記録は迫り来る次の宮城県沖地震への備えとして、天が与えてくれたヒントであると筆者は思っており、時空を超えた地震観測データの活用の重要性をしてきている。

(4) 2008年6月14日岩手・宮城内陸地震^{5),6)}

2008年6月14日午前8時43分、岩手県南部を震源とする地震(M_j7.2)が発生し、死者13名(行方不明10名)の尊い命が奪われた。この地震により、岩手・宮城の山間部を中心に多くの大規模な土砂崩れや土石流が発生したが、建物被害は全壊28棟、半壊112棟と同規模の地震による被害と比べると極めて少なかった。

この地震による震源近傍では、石淵ダムで水平最大加速度2,097ガル、上下最大加速度1,748ガル、KiK-netの一関市西(IWTH25)で水平最大加速度1,433ガル、上下最大加速度3,866ガルを記録するなど、短周期成分を主成分とする大加速度記録が得られた。一方、平野部では、地下地盤構造を反映した卓越周期をもつ貴重な観測記録が得られた。

筆者らは、アンケート調査により、揺れの実態調査を実施した⁷⁾。畑の畝がなくなり平らになってしまったとの記述がある。計測震度が震度6弱以上を記録した地点周辺において、アンケート震度と計測震度とを比較した結果は、図1に示すように0.8程度小さくなることを示した。また実被害も対応する震度階級の解説表ほどの大きさではなかった。

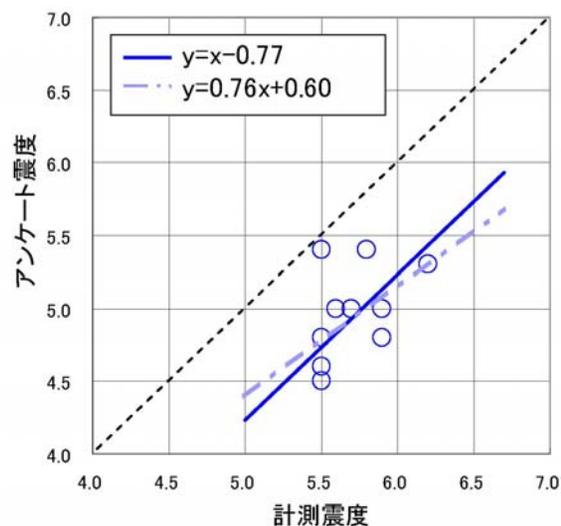


図1 アンケート震度と計測震度の比較

(5) 2008年7月24日岩手県沿岸北部地震⁶⁾

岩手県沿岸北部で、太平洋プレート内を震源とする地震 (M_j6.8) が発生し、岩手県洋野町で震度6強、青森県八戸市、岩手県野田村などで震度6弱を観測した。KiK-net IWTH02(玉山) 観測点では、1,000ガルを超える大加速度が観測された。加速度応答スペクトルのピークは水平0.2秒、上下0.1秒と短周期成分が卓越した地震動であった。この地震により死者1名、負傷者209名の人的被害をもたらしたが、全壊1棟、半壊0棟と極めて少ない住家被害状況であった。大加速度記録したにも関わらず甚大な構造被害が無く、その分八戸市公会堂や学校建物などの天井の落下などが大きく注目されることになった。

3. 短周期・大加速度地震動と地震被害

2003年5月26日の三陸南地震、2008年6月14日の岩手・宮城内陸地震、7月24日の岩手県沿岸北部地震と1,000ガルを超える大加速度記録が得られたが、地震の揺れの性質から指摘できることは、0.1秒～0.3秒の短周期成分を多く含む地震動であったことである。

三陸南地震と岩手県沿岸北部地震は太平洋プレート内で発生したスラブ内地震であり、一般に応力降下量が高く、短周期成分が卓越する地震波の発生は頷けるが、岩手・宮城内陸地震については、震源深さが8kmという陸のプレート内の活断層による地震であり、なぜ短周期成分を多く含む地震波が発生したかについては現時点では解明されていない。

最大加速度が大きくても短周期成分が多い地震は、建物を変形させるパワーがない。図2には2003年三陸南地震において観測された大加速度記録の加速度-変位応答スペクトルを示す。1Gを超える大加速度を記録したK-NET観測点のすぐ近傍にある木造モルタルの建物はモルタルの一部にクラックが入る程度の軽微な被害であった。筆者らは小型振動台でこの大加速度の揺れを再現したが、水を半分入れたペットボトルを倒せない揺れであった。

図3には、2003年5月26日の三陸南地震と2008年6月14日の岩手県・宮城内陸地震を含む最近の被害地震における観測地震動の最大加速度と最大速度の比 (A/V比) を示す。

建物を倒壊させるのには、1秒-2秒の周期帯域成分の大きさが問題となる。太平洋プレート内で発生する地震は、短周期成分を発することは一般的な性質であり、表1に示すように建物被害量は極めて少ない。

建物被害が極めて少なかったことに対する建物側の要因として考えられることは、揺れをしなやかに吸収

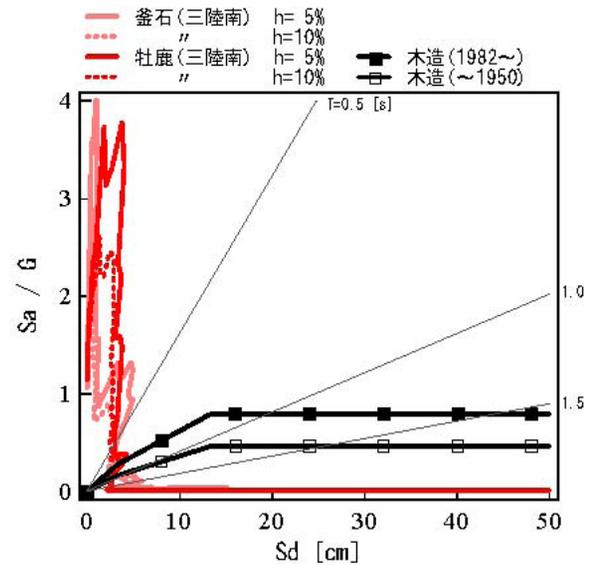


図2 2003年三陸南地震における強震観測記録のSa-Sdスペクトル

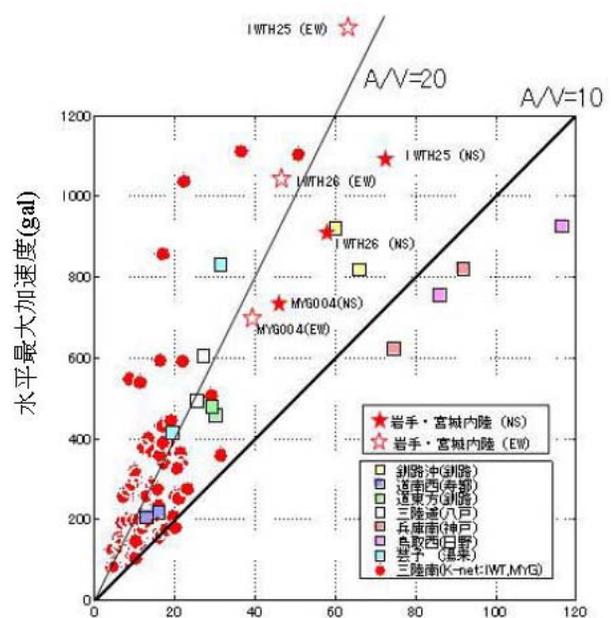


図3 最近の被害地震における観測記録のA/V比

する貫工法を用いた農家等、伝統工法を用いた家屋が多かったことや、被災地周辺の家屋の屋根はトタンや軽量瓦で屋根の重量が軽かったことがあげられる。

筆者は「短周期・大加速度地震動と建物被害」について特徴的な被害様相を報告している⁸⁾。

まず、建物の脆性的構造被害が挙げられる。鉄骨造のプレースの被害、鉄筋コンクリート造の「短柱」の脆性破壊などである。旧耐震建物(1970年以前の設計)によるRC柱の脆性破壊が見られた。体育館のプレースの座屈や破断、いずれも変形性能のない脆性破壊であり、大加速度による被害といえる。内外装など非構

造材の被害では、鉄骨造の外壁パネルの落下、体育館の天井材の落下、体育館の照明器具の落下、窓ガラスの破損・落下被害も見られた。瓦屋根の被害も大加速度による被害として挙げられる。また、土蔵の土壁の剥離・脱落被害もいたるところで目に付いた。さらに、ブロック塀の倒壊や瓦屋根木塀の倒壊も見られた。本棚の本の落下も大加速度で起こる被害といえよう。

また、短周期・大加速度地震動は地盤災害をもたらす点にも留意する必要がある。大加速度で何回も揺すられると、火山灰質の層に起因する斜面崩壊などが起こりやすい。特に、上下動を伴う大加速度の地震動に対する斜面の挙動を考えると、斜面の面外に大きな力が働き、落石や斜面崩壊をもたらすと考えられる。また、繰り返しによる間隙水圧の上昇は土石流の発生の要因となる。

4. 局部震度法と大加速度記録

構造部材の耐震設計の進歩に伴い、最近の国内の地震では構造被害は少なくなっているが、相対的に非構造材や設備機器の被害が目立つようになってきている。

現在、非構造材や設備機器の耐震設計は、慣例力に対する設計と強制変形に対する設計に分けられており、地震リスク評価も設計の考え方に沿った評価が行われている。前者に対しては、局部震度法があり、建物を3つの部位(上層階・屋上・塔屋、中間階、地階・1階)に分け、3つの重要度分類(Sクラス、Aクラス、Bクラス)に対し、それぞれ表2に示す様な震度係数を規定している。

表2 局部震度法における規定震度(1997年版)

	耐震クラス		
	S	A	B
上層階、屋上、塔屋	2.0	1.5	1.0
中間階	1.5	1.5	0.6
地階及び1階	1.0(1.5)	0.6(1.0)	0.4(0.6)

()内は地下及び1階に設置する水槽に適用

表2からも明らかなように、Sクラスの1階で1Gの加速度、最上階で2Gの加速度に対する慣性力を考えているが、上述の短周期・大加速度記録の応答スペクトルは5%減衰で、3G~5G程度となっている(図2参照)。最上階の床応答スペクトルとなるとさらに、増幅されることを考慮しなければならない。この場合、躯体の荷重—変形特性や非構造材・設備機器の動

特性を十分考慮した評価が必要となる。

短周期・大加速度記録に着目した非構造材や設備機器の慣性力に対する設計を見直す必要があり、構造躯体の設計のように「強さ」と「粘り」、さらに「減衰」という耐震性能3要素の観点から考える必要がある。

5. おわりに

本報告では、この最近の10年に東北地方で発生した5つの地震被害の概要を示すと共に、短周期・大加速度地震動と建物被害の関係について示した。構造躯体ばかりでなく非構造材・設備機器の耐震設計を含めた建物全体の総合的地震対策が必要であり、そこでは、上下動も含めた短周期・大加速度の地震動に対し、対象に応じた地震動の指標を検討する必要がある。

また、本報告で示した地震における被災地域が、迫り来る宮城県沖地震の襲来を受けることを考えると、過去の地震による建物や地域の残存耐震性能について調査検討も必要となろう。

参考文献

- 1) 日本建築学会、2003年5月26日宮城県沖の地震災害調査報告／2003年7月26日宮城県北部の地震災害調査報告、2004年3月
- 2) 源栄正人(研究代表者)、2003年宮城県北部の地震による地震災害に関する総合的調査研究、文部科学省突発災害調査報告書、平成16年3月
- 3) 長谷川昭(研究代表者)、2005年8月16日に発生した宮城県沖の地震に関する調査研究(文部科学省突発災害調査報告書)、平成18年3月
- 4) 源栄正人他、天井落下被害を受けた空間構造物の地震観測に基づく動的応答性状、第24回日本自然災害学会学術講演会、39-40、2005年11月
- 5) 海野徳仁(研究代表者)、2008年岩手・宮城内陸地震に関する総合調査、(文部科学省突発災害調査報告書)、平成21年3月
- 6) 日本建築学会東北支部災害調査連絡会、2008年6月14日岩手・宮城内陸地震災害調査報告／2008年7月24日岩手県沿岸北部を震源とする地震災害調査報告、2008年11月
- 7) 源栄正人、アンケート調査に基づく平成20年岩手・宮城内陸地震における揺れの実態調査、日本地震工学会大会—2009年梗概集、242-243、2009年11月
- 8) 源栄正人、短周期・大加速度地震動と建物被害—2008年岩手・宮城内陸地震と2003年宮城県沖の地震(三陸南地震)の比較—、平成20年岩手・宮城内陸地震シンポジウム資料集、48-66、2008年7月

2003年十勝沖地震における石油タンク被害と対策

座間 信作

●消防庁消防研究センター

1. はじめに

2003年9月26日4時50分頃発生した「平成15年（2003年）十勝沖地震」（以下、2003年十勝沖地震）は、気象庁によれば、地震規模8.0の海溝型巨大地震であったが、最大震度は北海道浦河町他での6弱であった¹⁾。また、消防庁によれば、主な被害は、行方不明2名、重傷者70名、住家全壊101棟、火災4件²⁾と地震規模の割に被害が少ない。この4件の火災のうち2件は石油タンクから、残り2件はメッキ工場から発生しており、いずれもスロッシングに起因するものとなっている。特に、地震の2日後に発生したナフサタンクの火災は、44時間も燃え続け、社会的関心を集めた。そこで本報では、石油タンクのスロッシングによる被害に的を絞り、実態調査結果、被害をもたらした地震動および石油タンクのスロッシング対策の現状について概要を紹介する。

2. 石油タンクの被害

この地震に伴うタンク被害についての詳細は畑山・他（2004）³⁾等に示されている。苫小牧、胆振東部、石狩北部の容量1,000kl以上のタンク306基のうち、172基にスロッシングによるとみられる被害が認められた。また、火災の発生、浮き屋根・蓋の沈没という甚大な被害が苫小牧8基、石狩北部1基で発生している。そのほか、貯液の溢流、固定屋根の破損や変形、浮き屋根デッキ板や浮き室の座屈あるいは破損、回転梯子や踊り場の損傷、ウェザーシールドの損傷、消火・散水・融雪用等の配管設備の損傷、ゲージポール・ガイドポールの変形あるいは破断、エアフォームダムの損傷等、スロッシングによるタンク上部施設の被害が発生している。以下では特に2件のタンク火災の状況と原因について示す。

苫小牧市にある製油所の原油タンク（直径42.7m、高さ24.4m、容量約33,000kl、地震当時約30,000kl貯蔵）において、地震とほぼ同時に火災が発生した（写真1）。この火災では、タンク浮屋根と側板との間の火災（リング火災）、タンク東側地盤での火災およびタンク北側直近の配管の火災が認められた。原因として、大きなスロッシングのため浮屋根とタンク上部施設とが衝突したことにより発生した火花が、浮屋根上の可燃性混



写真1 地震直後のリング火災

合気に着火したものと考えられている⁴⁾。配管の火災については、地震により破断した配管から原油が漏洩し、それにタンク上部で発生した火災が延焼した可能性が、また防油堤内の火災については、スロッシングにより溢流した原油に、タンク上部で燃焼していた原油が飛散し延焼した可能性が高いとされている⁴⁾。この地盤上の火災ため消火管が焼損し、リング火災への効果的な消火ができず、最終的に消防士がタンク上部に上って消火作業を行い約7時間後に鎮圧している。

第2の全面火災は地震の2日後に同じ製油所のナフサタンク（直径42.7m 高さ24.4m、容量約33,000kl、地震当時約26,000kl貯蔵）で発生した（写真2）。地震当日には浮屋根の損傷によりナフサが浮屋根上に大量に流出していたことが確認されている。その1日後には、浮屋根が油中に完全に没したため、ナフサの揮発防止のため消火用の泡を放出、液面を密封していたところ、火災当日の強風のため泡が風に押され、タンク液面の北側3分の2が大気中に露出した状態となっていた。このような状況の中、消火泡は時間の経過とともに水溶液に戻り、ナフサ中を沈降する際に帯電（沈降帯電）し、発生した電荷が浮島状に孤立した泡に蓄積され、泡の電位が上昇し側板との間で放電が起こったため、火災に至ったものと考えられている⁴⁾。



写真2 地震の2日後に発生した全面火災

3. 石油タンクのスロッシング波高と被害

甚大な被害を受けた苫小牧・胆振東部地区の全タンクのスロッシング状況を概観するために、先ず実測されているタンクに対して、速度ポテンシャル理論に基づく、地震動の水平2成分を入力とするスロッシング時刻歴応答解析法⁵⁾を用いて最大上昇量を算出し、実測値と概ね一致することを確認した。その結果を踏まえ、全タンクにこの方法を適用し最大上昇量を推定したものが図1である。この図で塗りつぶしたシンボルは何らかの被害があったことを示す。スロッシング1次固有周期5秒付近で固定屋根式タンク(CRT)での波高は4mを上回っているものもあるが、甚大な被害とはなっていない。大きな丸を付したものは、火災や浮き屋根の沈没という甚大な被害のあったタンク及びポンツーン内に油が確認され沈没の恐れがあったタンクである。これらのタンクは内部浮き蓋式タンク1例を除いて全てシングルデッキ浮屋根式タンクFRT(s)である。火災が発生したタンクでは、周期7秒付近で最

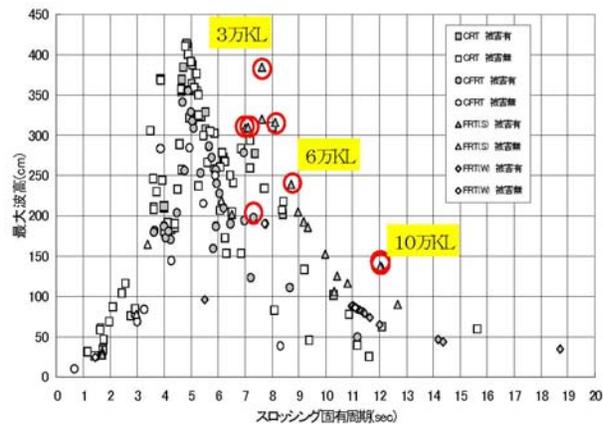


図1 苫小牧における全タンクに対する屋根形式を考慮した最大波高予測値の分布と被害の有無
塗りつぶし：被害あり 大円：甚大な被害

大波高が3mを上回っており、第1火災についてはこれが直接的な原因と考えられた。一方、固有周期が約12秒の約10万klタンク2基の最大波高は約1.3mと大きくはないものの、浮き屋根は沈没した。このタンクの時刻歴応答解析では、2次モード(周期5.6秒)が卓越し最大1m程度の液面変動が認められることから、デッキが大きく変形したことが浮屋根の損傷をもたらしたと考えられている。

4. 地震動特性

このような被害をもたらした地震動の特徴を見るために、震源地付近の襟裳岬からほぼ海岸線に沿って苫小牧周辺まで、速度波形(0.05-0.5Hzバンドパス)がどのように変化したかを図2に示した。襟裳岬(HKD112：震央距離約70km)では、最大振幅がEW成分12.30cm/sで、ほぼ1波が認められるのに対して、HKD129(苫小牧：震央距離約225km)では35.08cm/sと大きく、また波数も多くなって震動継続時間が長く、長周期成分が卓越したものとなっている。このような後続位相の成長は勇払平野の厚い堆積層の影響と考えられる。

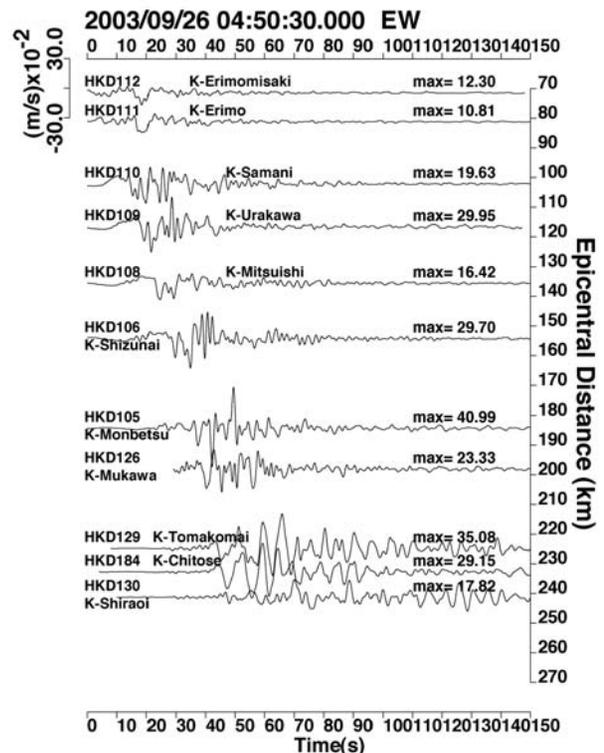


図2 襟裳岬から苫小牧周辺までのK-NET観測点での速度波形

石油タンクのスロッシングは極めて減衰の小さい共振現象であるので、スロッシングの固有周期 T_s が決定的に重要である。 T_s はタンク半径 R と液深の関数とし

て与えられ、およそ数秒から10数秒程度である。また、スロッシングの最大波高はその周期での速度応答スペクトル (S_v) を用いて次式⁶⁾によって近似できる。

$$\eta_{\max} = \frac{R}{g} \cdot 0.837 \cdot \frac{2\pi}{T_s} S_v \quad (1)$$

ここで、 g は重力加速度である。

1983年に制定された「危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示」では、石油タンクの空間余裕高さを定めており、 S_v は周期に係らず全国一律約100cm/sであった。苫小牧付近のK-NET観測点の S_v (減衰1%)は、K-NET苫小牧 (K-Tomakomai: HKD129)、千歳 (K-Chitose: HKD184) で周期5秒から10秒という広い帯域の特にEW成分で約100cm/sを大きく上回っている (図3)。

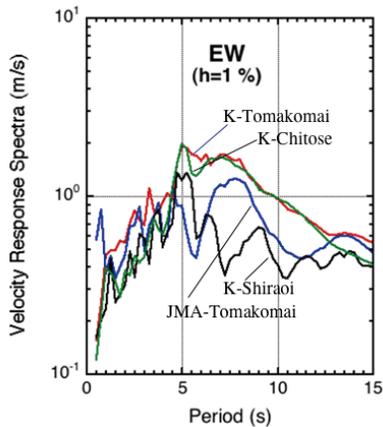


図3 苫小牧とその周辺での速度応答スペクトル

5. スロッシング対策

2003年十勝沖地震での石油タンクの甚大な被害に鑑み、消防庁等ではスロッシング被害防止に関する幾つかの検討を行ってきた。ここではそれらの概要を紹介する。

(1) 設計用地震動の見直し

上述のように、火災、浮き屋根の沈没の原因としては、第1義的にはスロッシング波高が高かったためであり、まずは液面管理が重要な対策となる。即ち (1) 式から分かるように、スロッシング基本固有周期における地震動の適切な設定の問題となる。加えて、超大型の浮き屋根タンクについては2次モードの影響が無視できない場合があり、結局、周期数秒から十数秒の帯域での地震動予測が重要となる。そこで、経験的地震動予測⁷⁾、経験的グリーン関数法、差分法などの予測の結果を可能な限り収集整理し、苫小牧等揺れやすい石油コンビナート地区に対して、従来の S_v 約100cm/sの最大2倍とする地域補正係数を周期の関数として与え (図4)、消防法の技術基準を改定した。これによ

て、空間余裕高さは最大で従来の2倍、約4m程度とすることとなった。これは第1火災への対応と見ることができる。

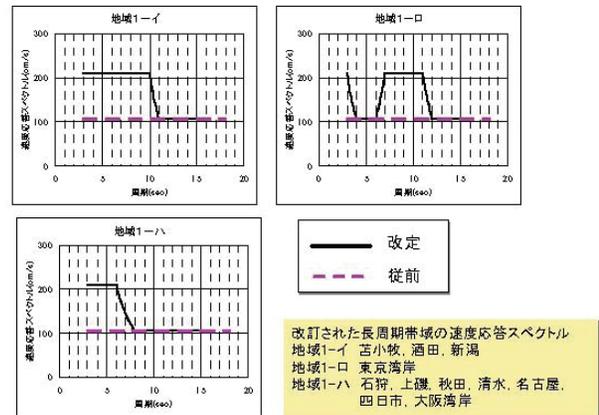


図4 設計用速度応答スペクトル

(2) 浮屋根強度の確保

第2のタンク火災は、大きな揺動により過大な力が浮き室 (ポンツーン) に加わり、ポンツーンの一部が破断し、大量のナフサが浮き屋根上に流出したため、浮き屋根が沈没したことが遠因となっている。この地震前にはそもそも浮き屋根の浮き機能については浮き屋根上の雨水の影響のみの考慮がなされていただけで、スロッシングによる影響を考慮することの必要性が認識されていなかったと思われ、ポンツーンに働く応力の算出については、世界的にみても方法が提案されていなかった。そこで、有限要素解析結果⁸⁾を参考



写真3 容量15,000kl浮屋根式タンクの揺動実験

に、1次モード、2次モードを考慮した応力算定式が提案された⁹⁾。これに対して、Nishi et al. (2006) は容量15,000klの浮屋根式タンクにおいて、8本のエアシリンダーを用いて浮屋根を上から上下させることによって全振幅1.6mのスロッシングを励起させることに成功し(写真3)、ポンツーンに働く歪を計測し、提案式の有効性を実証した¹⁰⁾。それらの結果は消防法¹¹⁾に採用され、ポンツーンに働く応力は、タンク諸元(ポンツーン諸元、タンク直径、液高)と1次、2次モード固有周期での速度応答スペクトル S_v が与えられれば算出でき、ポンツーンが損傷するか否かあるいは補強方法の妥当性の判断が可能となった。

(3) タンク全面火災の消火

ナフサタンクの全面火災が発生し鎮火までに長時間を要したことへの対応として、平成16年に石油コンビナート等災害防止法の一部が改正され、直径34m以上の浮き屋根式屋外タンクをもつ事業所においては、自衛防災組織に、既存の防災資機材である3点セット(大型高所放水車・大型化学車・泡原液搬送車)の約10倍(毎分1万ℓ～)の放水能力を有する大容量泡放射システムの配備が義務付けられた。現在、政令で定める全国12の広域共同防災組織等に配備されている¹²⁾。

(4) 直後対応支援：緊急地震速報に基づく被害推定

2003年十勝沖地震後においては、「効率的なパトロールの実施、職員の非常参集、人員、資器材の効率的運用等」が掲げられた¹¹⁾。これに対して、地震動観測記録に基づくリアルタイム被害推定システム^{13,14)}や緊急地震速報に基づく被害推定・周知システムの構築が行われ¹⁵⁾、個々のタンクの被害程度を迅速に評価し、効率的な保守点検を可能とする試みがなされている。

6. おわりに

2003年十勝沖地震は長周期地震動の卓越とそれによる石油タンク被害で特徴づけられよう。この貴重な経験は、今後発生が危惧されている南海トラフ沿いの巨大地震等に対して十分活かされなければならない。特に東海地震は震源域が内陸に及んでいるため、短周期地震動も強く受けることが想定され、更には津波の発生も懸念される。現時点では石油タンクについては強震動(短周期地震動)と長周期地震動への対応は個別に扱うこととなっている。更には津波への対応は殆ど考えられていないことを考えると、より厳しい状況が生じる恐れは否定できない。対応強化に向けての更なる検討が望まれる。

参考文献

- 1) 気象庁：http://www.jishin.go.jp/main/chousa/03sep_tokachi/
- 2) 消防庁：<http://www.fdma.go.jp/html/infor/030926TokachiJishin34.PDF>
- 3) 畑山健、座間信作、西晴樹、山田實、廣川幹浩、井上涼介：2003年十勝沖地震による周期数秒から十数秒の長周期地震動と石油タンクの被害、地震2、57、pp. 83-103、2004
- 4) 西晴樹、横溝敏宏：出光興産(株)北海道製油所タンク火災に係る調査概要について(最終報告)、消防研究所報告、第100号、pp. 59-63、2006
- 5) 座間信作：1983年日本海中部地震による苫小牧での石油タンクの液面揺動について、消防研究所報告、60、pp.1-10、1985
- 6) 坂井藤一：円筒形液体タンクの耐震設計法に関する2、3の提案、圧力技術、18、pp.16-23、1980。
- 7) 座間信作：やや長周期帯域における加速度スペクトルの半経験的表現、消防研究所報告、89、pp. 1-10、2000
- 8) 三浦正博、菊地務、米川太、人見光夫：浮き屋根式タンクのスロッシングシミュレーション、出光技報、47-3、pp.62-70、2004
- 9) Yamauchi, Y., K. Kamei, S. Zama, Y. Uchida: Seismic Design of Floating Roof of Oil Storage Tanks under Liquid Sloshing, Proceedings of 2006 ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference, CD-ROM, 2006
- 10) Nishi, H., M. Yamada, S. Zama, K. Hatayama, K. Sekine: Experimental Study on the Sloshing Behavior of the Floating Roof using a Real Tank, Journal of High Pressure Institute of Japan, 46-1, pp.4-17, 2008
- 11) 消防庁：危険物の規制に関する規則の一部を改正する省令等の施行について、消防危第14号、2005
- 12) 消防庁：http://www.fdma.go.jp/ugoki/h2106/2106_09.pdf
- 13) 座間信作、畑山健、吉田聖一、河野和間、関根和喜、丸山裕章：石油備蓄基地のリアルタイム地震被害評価システムの構築、圧力技術、40-3、pp. 26-37、2002
- 14) 西晴樹、山田實、座間信作、廣川幹浩：地震時の石油タンク溢流量推定システム、安全工学、Vol.48、No.3、pp.161-168、2009
- 15) 大保直人、座間信作、佐藤正幸、高田史俊：地震の震源情報を用いたタンクの安全評価システムの開発、地域安全学会梗概集 No.26、pp.3-4、2010

2004年中越地震 —地盤被害の概要とその後の復興への課題—

小長井一男

●東京大学生産技術研究所

1. はじめに

2004年10月23日17時56分頃に新潟県中越地方の深さ約10kmでマグニチュード(以下Mと略記)6.8の地震が発生し、最大震度7が観測された。さらに、同日18時12分頃にM6.0(暫定)、18時34分頃にM6.5(暫定)、さらに10月26日にはM6.1の地震が相次ぎ、いずれも最大震度6強を観測した。連続する地震は、地域の生活を支える道路、鉄道、上下水道、電気、ガスなど重要な社会基盤施設に深刻な被害をもたらした。東山山地では航空写真判読で確認されただけで3,791箇所(2005年1月11日国土交通省発表¹⁾)に至る斜面崩壊が発生し、これらのいくつかによって芋川、朝日川など多数の河川がせき止められた。これらの天然ダムの下流部には関越自動車道路、上越線、国道17号線、117号線などが存在し、他のライフラインシステムと併せて、緊急対応が迫られた。顕在化した被害のみならず、一見無被害の地盤や構造物にも多くの損傷が伏在していると思われ、これらが相次ぐ余震や、日本海側に特徴的な11月の長雨によって更なる被害として顕在化した事例も報告されている。

震源地域(東山山地)は硬軟の地質が帯状に連なる活褶曲地帯であり、常時から地すべりが多発している。今回の地震後に航空写真判読された3,700を越える斜面崩壊のみならず、隠れた損傷や亀裂はさらに膨大な数に達すると推測された。この地方の斜面災害の30～40%が融雪期に起こっていることから、こうした伏在する損傷箇所が融雪期に一気に顕在化し、せっかく応急復旧したシステムそのものに再び障害が起こる可能性すら懸念された。また活褶曲山地を横切って流下する信濃川、魚野川は必然的に山地に刻み込まれるような蛇行(穿入蛇行)を形づくり、頻繁にその流路を変えてきた。人口の集中する小千谷、川口などは必然的に旧河道に沿って発達し、激甚な被害を受けることになった。またこれらの地域を結ぶ鉄道や道路などの被害箇所を地図に落とせば、これらが段丘崖などに沿っており、地形の影響が浮き上がってくる。時間的にも空間的にも広い広がりを持つ地震の影響と復興の様子を克明に記録するためのプロジェクト、文部科学省振興調整費「活褶曲地帯における地震被害データ

アーカイブスの構築と社会基盤施設の防災対策への活用法の提案」(代表:著者)が、2005年から2007年まで実施された。

通常、被害の復旧、実態の記録は各事業主体、所管官庁ごとに進められる。しかし本プロジェクトでは、長期にわたる様々な課題に対応し、今後の防災の教訓を共有するため以下の実施体制をとった。

(1) 中核機関:土木学会

主にサブテーマ全体で共通して使うデータ収集(ボーリング調査、物理探査の実施)、研究の統括

(2) 参加機関:京都大学、中央大学、早稲田大学、東京大学、長岡技術科学大学

(3) 研究運営委員会:地震学など理学面の情報、地理・地質・地盤情報、災害・復旧に関連する情報を保有する各種機関、および大学を含む研究機関の学識者から幅広く構成

本稿はこの成果のなかでこの地震の被害と復旧の課題を特徴付けた地形の変動を中心にその概要を紹介するものである。

2. 地震、地震動、地形変動

Mj=4～6の余震地震記録の得られている観測点のうち9観測点を選択して震源破壊過程の推定を実施した。地盤モデルについては、深層ボーリングから得られた層状図を参考にして初期モデルを設定した上で、観測点毎の余震の観測波形と計算波形が合うようにチューニングをして、1次元水平成層構造を設定した。本震の震源断層は走向方向に28km、傾斜方向に14kmの平面長方形断層とし、この断層面を2km×2kmの正方形小断層14×6個に分割し、個々の小断層毎の滑り変位を推定した(図1)。本結果は、既往の研究による推定結果と同様に、破壊開始点付近に滑りの大きな領域が推定されている一方で、破壊開始点よりも傾斜方向の上側においても滑りの大きな領域が推定された(澤田他¹⁾)。

本震のみならず余震も含めた震源過程は地表に1～2mにもおよぶ隆起を生じさせることになった。地震による地形変動はInSARなど最新の衛星データから得られるようになったが、中越地震に関して得られた

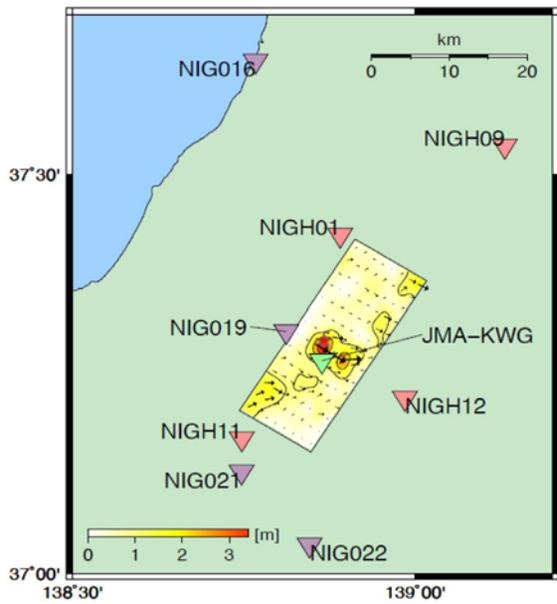


図1 新潟県中越地震本震の最終滑り量分布と観測点・震源断層位置(澤田他¹⁾)

SAR画像はCバンドの波長によるもので、植生や多発した斜面崩壊の影響で解析不能であった。

このため地震前の1975年～1976年撮影の航空写真から地震前の地形を、また地震翌日、4日後、半年後、1年半後、2年半後、3年半後の7時期に航空レーザー計測(LiDAR)を行ってそれぞれの地形を2m間隔の正方メッシュに標高値を与えたデジタル標高モデル(Digital Elevation Model、以下DEM)として準備し、これらを比較しながら、自然・人工の地形変動を確認することにした。図2(a)、(b)の矢印は地震前と地震

翌日のDEMの差分(Euler座標上の標高変化)から、土粒子の変位、いわゆるLagrangian成分の抽出を行ったうえで表層の地滑りなどの影響を除去して得られた地盤変位の水平、鉛直成分である。水平成分についてみると、大きな変位の現れる地域が2つ認められる。1つは梶金向斜軸に沿った幅1km程度の帯状の地域であり、東に向かって最大0.5mほどの移動量が認められる。もう一つはこの向斜軸から4～5kmほど西北西の妙見、浦柄あたりである。そしてこの図に目視や現地調査で確認された地すべり分布²⁾を重ねてみると、斜面崩壊がこの水平変位の大きな2地域に集中している様子がわかる。これらの地域は、上記の震源過程解析で推定された本震と余震(18:03、Mw=5.9)の震源断層面の延長が地上と交差する辺りに位置している。

一方上下方向の大きな変位は、水平変位の大きかった地域と交差するように、南西側の(1)信濃川、魚野川合流部あたりと、北西側の山間部に現れている(図3)。地滑りとの高い相関は、水平方向の変動の大きな地域との相関に比べるとあまり高くない。ただ合流部辺りで隆起があったことは、地震翌年の魚野川沿いの地域の冠水被害に繋がっていると考えられ、復興の過程の課題の一つを示すものになった(小長井他¹⁾)。

3. 斜面災害と社会基盤施設被害

本プロジェクトでは、国土地理院の災害状況マップ、それ以降に撮影された航空写真や地質調査所の地質図などを用いて斜面崩壊の分析が進められた。また、新潟県中越地震発生後の3年間に涉って行った現地踏査時の撮影記録に基づき、主要な斜面崩壊のデータベ-

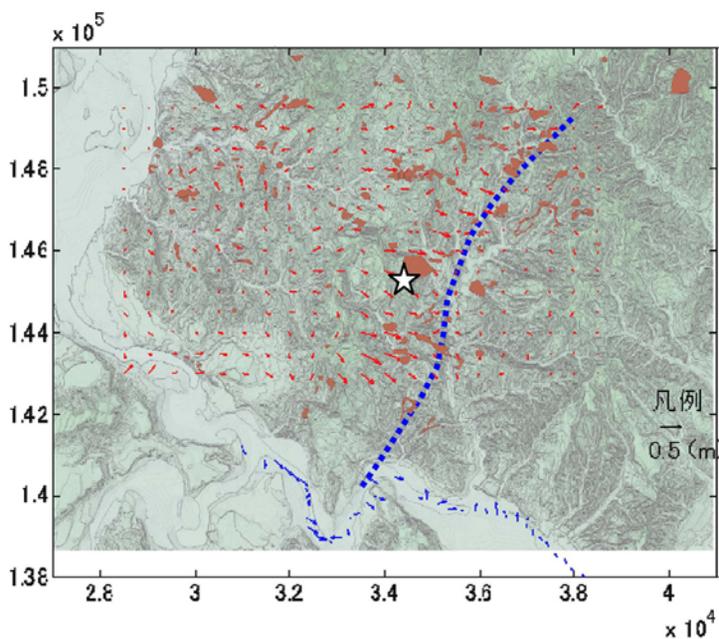


図2 地滑りの影響を除去したやや深部の地盤変位の水平方向成分：図中に写真☆を含む主要な地すべりの位置を併記

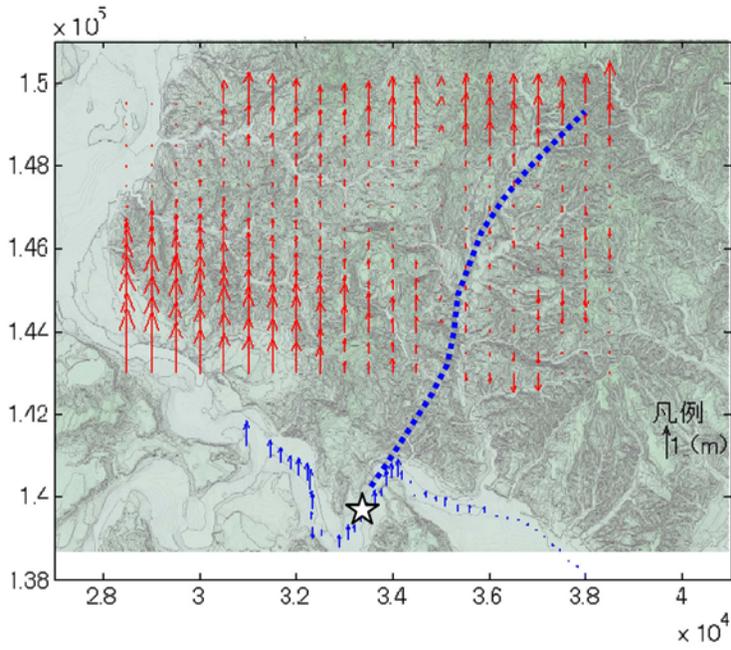


図3 地滑りの影響を除去したやや深部の地盤変位の鉛直方向成分：図中に主要な地すべりの位置を併記。梶金向斜軸を境に魚野川下流部側が隆起。翌年6月28日の冠水被害(写真：撮影 古田島氏、撮影場所☆印)の一因となる

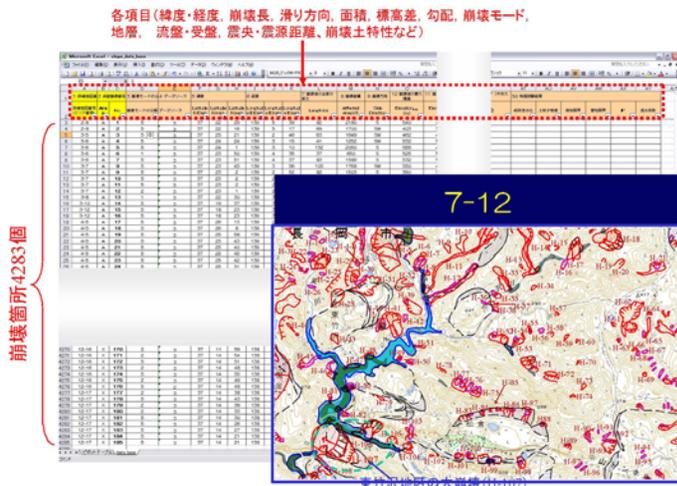
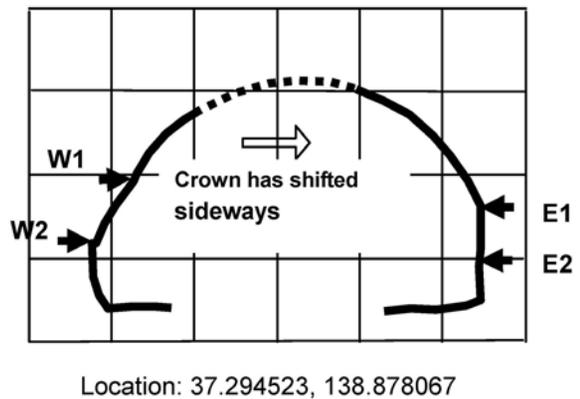
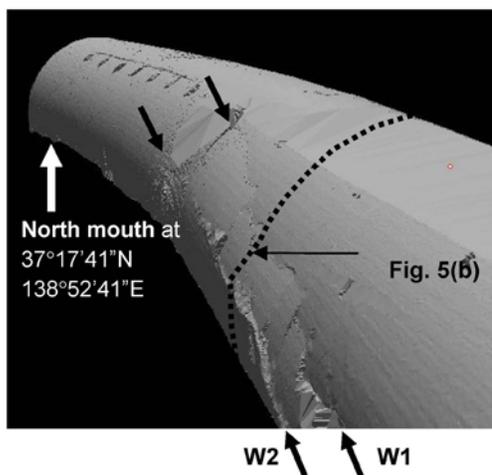


図4 斜面災害記録データベース(國生他¹⁾)



(a) トンネル西側覆工の亀裂

(b) 北坑口から59m地点の断面

図5 上半部が横ずれを起こした木沢トンネル(小長井他¹⁾)

スが作成された(図4)。判読された斜面崩壊は4283箇所で、その推定崩壊土砂量は合計7000万 m^3 以上に達する。

このような顕在化した斜面崩壊への復旧対応は何よりも高い優先度で行われた。すなわち土砂の移動体をそのままの位置で安定化させることをもって、それ以降の道路復旧、村落の復興、そして農地復興を容易ならしめることが基本戦略であった。しかしながら、視認できる地すべりばかりではないことが被害調査の中で明らかになったところもある。

その一例が木沢地区とその中にある木沢トンネルである。図5は中越地震で亀裂の生じた木沢トンネル(県道)の北坑口付近のレーザープロファイリングの結果である。トンネルの覆工両側に斜めに2対の亀裂が走っているがこの横断面を見るとこれらの亀裂をヒンジにしてトンネル上半部が東側にある谷の方向に40~50cmほどずれてしまっていることがわかる。このトンネル外部に明確な地滑りの痕跡や兆候を認めることは極めて困難であるが、こうしたトンネル内部の亀裂は、ここにすべり面が伏在する可能性を示唆していた。このトンネルの南側は昔の大きな地すべり面が露出した地形で、この中に木沢の集落がある。木沢集落では2箇所の井戸が地盤内部で横ずれを起こしていて、これらの箇所とトンネル内の横ずれから想定される面が概ね同一平面上にあって伏在している滑り面が相当の広がりをもつ可能性が疑われた。そのためこのトンネルは復旧工事が始まるまで、長期の土塊移動観測を含めた2年を待たなければならなかった。

4. まとめ — 社会基盤施設の被害と今後の課題 —

新潟県は地震の翌月の2004年11月17日に、中越地震の被害総額が約3兆円に達するとした推計結果を公表した。これによると、住宅関連で7千億円、道路・鉄道・河川などの社会資本で1兆2千億円、農林水産関係で4千億円の被害額に達している。こうした直接的な被害に加え、活褶曲地帯の地質的背景から不安定化した地形が長期に亘り変動する可能性が指摘され、それが復旧・復興事業に与える影響が懸念された。地盤の安定を他の何よりも優先したことはこうした懸念を反映した結果であり、またここに紹介したプロジェクトでも地形変動を精密に観測、記録することが大きな課題の一つになった。

地震動による社会基盤施設の被害も様々な教訓を残すことになった。例えば変形モードが曲げ先行型からせん断破壊先行型に移行したと考えられる第三和南津高架橋については、構造物と地盤の相互作用について

の詳細な解析が行われ、この結果は鉄道構造本体の補強に直接反映された(前川他¹⁾)。また既設構造物に損傷が発生するリスク評価を行った結果、アルカリ骨材反応が報告されている地域と活褶曲地帯の分布がほぼ一致していることも判明した(前川他¹⁾)。活褶曲地帯とアルカリ骨材反応性岩石の産出の同一性は、工学的には維持管理における注意点を与えるものとして評価できる。

補遺

本原稿の主要部分は2010年第13回日本地震工学シンポジウムの特別セッション用に準備された草稿に拠っている。

参考文献

- 1) 文部科学省振興調整費「活褶曲地帯における地震被害データアーカイブスの構築と社会基盤施設の防災対策への活用法の提案」平成19年度成果報告書、2007、<http://active-folding.iis.u-tokyo.ac.jp/>.
- 2) 「2004年新潟県中越地震による斜面変動分布図」, 防災科学技術研究所資料, 317号, 2008.

福岡県西方沖地震の強震動と建物被害

川瀬 博

●京都大学防災研究所

1. はじめに

福岡県西方沖地震 (M7.0) は2005年3月20日に福岡市の北方約30kmの沖合を震源として発生し、福岡市西区の玄界島をはじめとして、地震は起こらないものと思っていた福岡市にかなりの被害をもたらした。この地震により福岡市の中央区、東区、前原市、佐賀県のみやき町で震度6弱を観測したほか、九州北部を中心に、九州地方から関東地方の一部の広い地域で震度1～5強を観測した。また倒壊してきたブロック塀の下敷きとなって福岡市東区で1名が死亡したほか、1000人以上の負傷者が発生した (消防庁調べ)。被災建物棟数は8,620棟で、うち133棟が全壊、244棟が半壊とされている (同)。

この地震はこれまで地震危険度の非常に低いとされてきた北部九州を襲ったという点で珍しい地震であるといえる。北部九州ではこの地震以前の被害地震としては1898年の糸島半島の地震M6.0が知られているだけで、それ以前の被害地震となると1700年の壹岐・対馬の地震 (M7と推定されている) まで遡る。またこの地震は、通常の内陸地震と同じ地殻内地震でありながらその震源域は全域が海域となっているという点でも珍しい地震であった。

福岡市においてはその直下を活断層である警固断層が貫いていることは以前より知られており、その発生間隔は地震以前には1万5千年に1回程度と推定されていた。その後博多湾内の音波探査や土中サンプル調査、断層南部でのトレンチ調査を元にして、地震調査研究推進本部の長期評価部会¹⁾は警固断層 (同部会は警固断層南部と命名) の発生間隔を3,100年～5,500年とする一方、今回の地震 (同部会は警固断層北部と命名) の平均発生間隔については不明としているが、おそらく今回の地震も警固断層南部と同様に極めてまれなイベントと推定される。

本報告では福岡県西方沖地震がどのような地震であったのか、そしてそれはどのような震災をもたらしたのかについて概要を簡潔に報告し、想定警固断層地震に対する予測被害を紹介して今後必要な対策について考察する。なお詳細な被害調査結果については、学会の調査報告書²⁾を参照されたい。

2. 地震の概要

九州大学理学研究院附属島原地震火山観測研究センター³⁾が決定した3月22日時点での余震分布を図1に示す。本震は震源域の北西2/3の位置で発生し、南東—北西両方向同時に全長23kmを破壊して停止した。図で濃い丸は22日時点から24時間以内に発生した余震で、薄い丸はそれ以前の余震である。その後、時間がたつにつれて余震域は志賀島から博多港湾部にかけて拡大していった。本震の震源メカニズムはこの余震の走向に沿う純左横ずれで、この地域の広域な応力場を反映したものである。

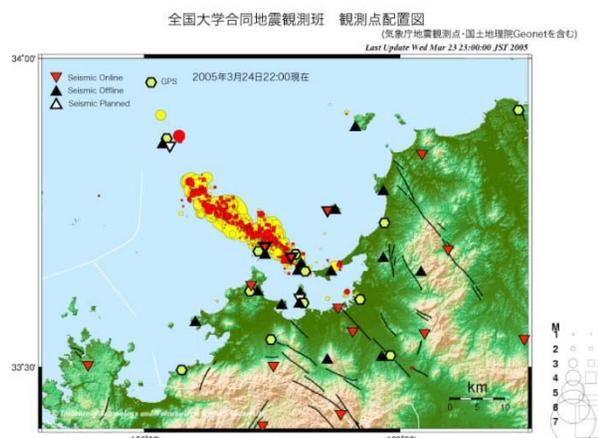


図1 九州大学理学研究院附属島原地震火山観測研究センターによる余震分布³⁾

4月20日にはM5.8の最大余震が発生したが、この余震は本震の走向とは10度ほど傾いており、警固断層の走向に一致していた。その後の調査で警固断層は博多湾内に延びていることが判明し、この最大余震の震源域は警固断層 (長期評価部会でいう警固断層南部) の北端部に当たると考えられている。

地震で破壊される断層面上で破壊は一樣に起こるわけではなく、場所によって大きくすべる領域 (アスペリティ) とあまりすべらない領域 (背景領域) があることがわかっている。そのどこでどれだけすべったかは、観測された地震波を多数同時に解析することによって把握することができる。図2はその代表的なものとして京都大学防災研究所の浅野・岩田⁴⁾が計算したすべり量の分布を示す。この図から、すべりの一番大き

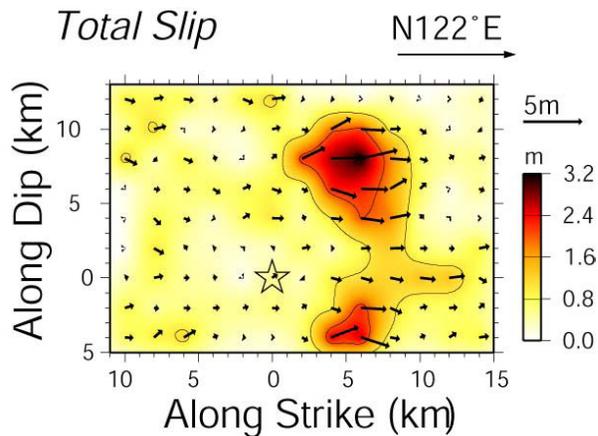


図2 京都大学防災研究所の浅野・岩田による震源のすべり量分布⁴⁾

かった部分は玄界島の北方直下で、最大3.2mのすべりがあったものと計算されていることがわかる。その最大アスぺリティの大きさは5km～8kmであり、サイズ的には平均的な大きさである。

この地震で観測された最大加速度の距離減衰特性を既往の経験式と比較するとばらつきの範囲内で一致していた。また最大速度については震源近傍で経験式を上回る傾向があるが全体としては平均的な距離減衰特性を示した。震源近傍で速度が大きくなっているのには南側に位置しているアスぺリティからの波動が破壊の進行に伴って重なりあって振幅が増大するディレクティビティ効果による可能性が指摘されている。福岡市内における観測強震動の最大速度は70cm/sを超える程度で、兵庫県南部地震や新潟県中越地震の100cm/sを大きく超える最大速度と比べてかなり小さいものであった。これには第一義的に震源距離（正確にはアスぺリティ最短距離）が大きいということが寄与していると考えられる。

3. 構造物被害

3.1 玄界島での被害

玄界島は博多港から約18km離れた位置にあり、3月20日に発生した本震の震源地近くにある周囲4.4km、標高218mの山岳地形の小島である。島の居住地域は漁港施設がある南東部の斜面一帯のみで、住居用建築物のほとんどは急傾斜地を切土と盛土により整地した敷地上に建てられている。今回の地震では急傾斜地を整地するために設けられた土留めのための石積み擁壁や擁壁の上に設けられたコンクリートブロック塀などが至る所で崩壊し、コンクリート擁壁の移動や地割れなどの被害も目立っている。

3月28日に九州支部災害調査委員会は玄界島の建物

の悉皆調査を実施した²⁾。調査では、日本建築学会が過去の調査に用いた被害調査シート^{5) 6)}に基づいて実施した。ただし擁壁や塀に関する被害の詳細な記録欄はないので敷地地盤および擁壁、塀の被害調査シートを作って詳細に調査した。

調査した棟数は合計228棟である。これらの建物の建築年の状況は、築30年以上の古い建物が20%近くあり、築10年以下の新しい建物は10%程度で大部分が築10年以上30年以下建物である。建物用途については3/4が住宅である。構造種別は木造が85%で、建物階数は2階建て以上が大半である。

福岡市が実施した応急危険度判定の情報では、およそ半数が「危険」と判定され、「要注意」が15%を超えていた。「危険」の割合がかなり多いが、構造的被害ばかりでなく、その要因が崖崩れや瓦の落下によるものが多く見られた。破壊パターン（被災度）調査の結果からD4以上の全壊した建物は15%程度あり、3以上の半壊した破壊パターンのものを含めると20%以上となっている。D3以上（中破相当）の破壊パターン以上の建物についてその破壊要因を調査した結果からは半数近い建物が崖崩れによるもので、傾斜地に建つ建物の被害の特色を示していた。

3.2 福岡市中心部での被害

福岡県西方沖地震災害調査委員会は、福岡市内の特定地域についての建物およびブロック塀等について、悉皆調査を行うとともに、被害が目立った東区志賀島、西区西浦・宮浦の被害建物調査、および被害が甚大な2棟の建物の詳細調査を行った²⁾。

福岡市中心部での悉皆調査は今回の地震による損傷の程度の統計量を得るためのものである。調査地域は、警固断層に沿う福岡市中央区の赤坂1丁目、大名1、2丁目、警固1、2丁目、今泉1、2丁目、薬院2丁目の一連の区域、およびK-NETの地震動記録が得られている中央区天神4、5丁目（福岡市民会館近辺）、および早良

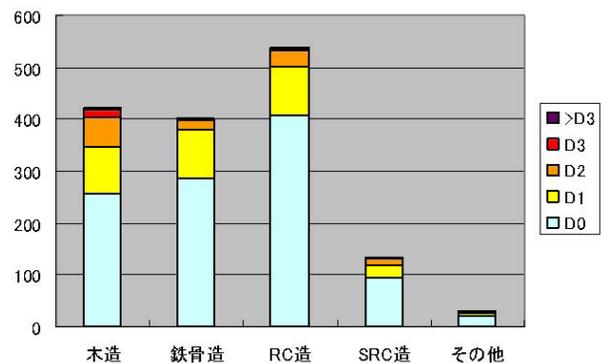


図3 構造種別毎・被災度毎の棟数

区の西新3, 6丁目と百道浜1, 3丁目とした(調査建物数計1,774棟)。建物被害の判定基準は、岡田・高井等の被災度区分⁵⁾⁶⁾による。

人口約140万人の福岡市を震度6弱の揺れが襲ったには全体として軽微な被害ではあったが、大名・今泉地区にはかなりの被害が集中した。その中央区での調査結果の概要を示す。図3には構造種別に分けた被災度の度数分布を示す。木造が被災度が一番高いことがわかる。比率で見るとSRC造のD2・D3の率はRC造や鉄骨造よりも高い。これは、SRC造は高層建物に適用され相対的に柔らかくて変形が多く生じることになって、二次部材に被害が出た建物が多いことによるものと推察される。RC造で大破した建物が3棟あるが、うち2棟は1階が駐車場の40年以上前に建てられたもので、1階の柱がせん断破壊したものである。

この中央区での悉皆調査の結果得られた被害率は、全体としては中破以上率のみで約2%となっている。そのうち警固断層近傍の中破以上率は4%弱で、それ以外の調査地域の0.5%とは大きな開きがある。これを被害建物の分布で見たものが図4である。明らかに警固断層の東側においてD3以上の建物が多く分布していることがわかる。

4. 強震記録と表層地盤の影響

福岡市内にはK-NET観測点(FKO006)が1点、天神5丁目に設置されていた。また気象庁は中央区大濠にある福岡管区気象台で震度計観測を行っていた。一方、県の設置した震度計は福岡市内の各区の消防署(中央区だけは市消防局)に置かれ、震度速報に利用されていた。この震度計は最新の記録約60波がメモリーに残される方式であり、余震によって書き込まれてしまった東区以外の観測点で無事データを回収できた。また中央区大名の警固断層直近に建設されていた免震建屋(建設技研CTI福岡ビル)の免震基礎上のデータについても、所有者から開示いただいております。図5にこれらの観測点位置を示す。ここで二本の直線は警固断層の概略の位置を示している。また町丁目別の第四紀層の層厚⁷⁾⁸⁾をグレー階調で表示している。

図6には代表的な3地点、K-NET福岡(FKO006)、中央区震度(FKOS01)、建設技研CTI福岡ビル(中央区大名)での観測波のNS成分の5%速度応答スペクトルを比較した。この図からFKO006は0.7秒から1.5秒付近のパワーがFKOS01(中央区震度計)より小さいことがわかる。CTIはFKOS01よりさらにピークが大きく、また0.5秒に顕著なピークがあるのが特徴的である。NS成分で周期1.5秒付近の振幅が大きいのはアスペリ

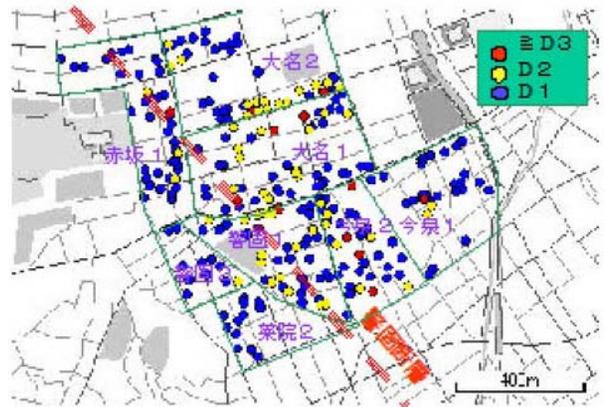


図4 悉皆調査で把握した被災建物の分布 (D3以上が中破以上相当)

表層地盤層厚と強震観測点

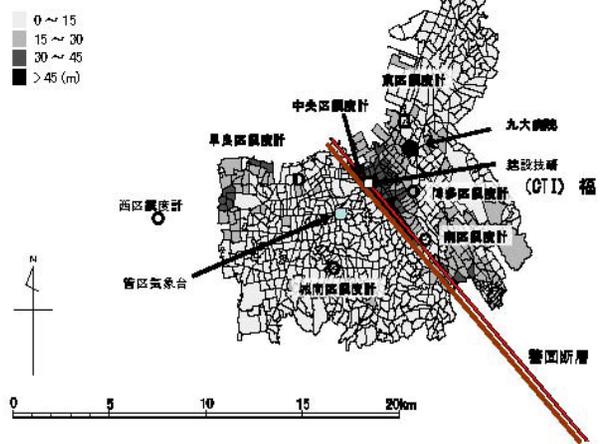


図5 福岡市内の強震観測点の位置と表層(第四紀層)地盤の層厚

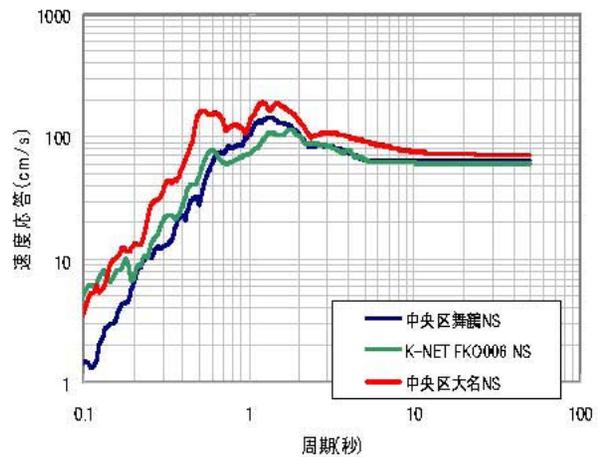


図6 FKOS01(中央区舞鶴)・FKO006(K-NET)・CTI福岡ビル(中央区大名)でのNS成分の減衰5%速度応答スペクトル

ティのディレクティブティに起因するものと考えられる。レベル的には告示スペクトル+ α のレベルである。

次に表層地盤の影響を評価するために一次元地盤モデルに基づくシミュレーションを行った⁹⁾。まず強震観測点であるFKO006での工学的基盤深さを25mとし、深さ20mまでのPS検層結果に基づき、深さ20mでの $V_s=320\text{m/s}$ の層が基盤上面まで続いていると仮定して一次元地盤モデルを作成した。この構造を用いてFKO006の波形から逆算工学的基盤波を推定し、ついで各層の層厚が同じ層厚比で変化するとして、町丁目別の基盤深さ推定地点全点での一次元地盤モデルを作成し、上記逆算工学的基盤波から地表波形を推定した。図7に再現波(N20°E成分)の最大速度の面的分布を示す。最大速度は、工学的基盤の深さ分布の形状と同様に、舞鶴や大名など警固断層の北東側に沿った限られた地域で大きく、建物の被害のみられた地域とほぼ対応している。

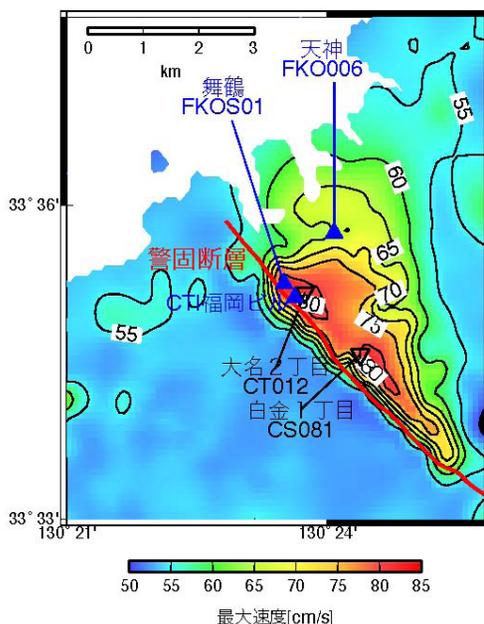


図7 推定最大速度分布(N20° E成分)

5. まとめ

福岡県西方沖地震に関する既往調査結果をレビューした。主な結論は以下の通りである。

- 1) 地震動の特性は震源・伝播経路・サイト(地盤増幅)の3要素で決定されるが、震源は比較的単純な1アスペリティで普通の地震であった。
- 2) 被害は古い構造物に多く見られたが、告示スペクトルレベルの入力に比べ全体としては少ない。
- 3) 警固断層沿いに被害の集中が現れたが、これは表層地盤の影響が顕著に現れた結果である。今回の地震は最も近い観測点でも30km近く震源か

ら離れており(断層最短距離では15km程度)、決して福岡にとって最悪の入力だったとはいえない。旧耐震のピロティ建築等耐力の低い建物の耐震補強が急がれる。現在福岡市では、警固断層の北東側の地域においては、地域係数 $Z=0.8$ のところ1.0で耐震設計するよう努力義務を条例で定めており、その意欲と先駆性は大きいに評価したいが、実際のところこの地域に建つ既存建物で耐力の低い建物に対して耐震補強を促進することが、警固断層地震に対する防災対策としては非常に重要であり、その点についても今後行政当局の積極的なアクションに期待したい。

謝辞

本研究では、防災科学技術研究所・気象庁・福岡県・建設技術研究所で管理・収集されている強震観測記録を利用させていただきました。ここに記して関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部: http://www.jishin.go.jp/main/chousa/07mar_kego/index.htm, 2007.
- 2) 福岡県西方沖地震災害調査委員会編: 福岡県西方沖地震災害調査報告書, 日本建築学会, 全13章, 275pp, 2005.
- 3) 九州大学理学研究院附属島原地震火山観測研究センター: <http://www.sevo.kyushu-u.ac.jp/HYPO/index.html>, 2005.
- 4) Asano, K. and T. Iwata: Source process and near-source ground motions of the 2005 West Off Fukuoka Prefecture earthquake, *Earth Planets Space*, 58, 93-98, 2006.
- 5) 岡田成幸・高井伸雄: 地震被害調査のための建物分類と破壊パターン, 日本建築学会構造系論文集, 第524号, 65-72, 1999.
- 6) 高井伸雄・岡田成幸: 地震被害調査のための鉄筋コンクリート造建物の破壊パターン, 日本建築学会構造系論文集, 第549号, 67-74, 2001.
- 7) 福岡地盤図作成グループ: 福岡地盤図, 九州地質調査業協会, 1981.
- 8) 伊藤茂郎・川瀬博: 統計的グリーン関数法による強震動予測手法の検証と仮想福岡地震への適用, 日本建築学会構造系論文集, 第540号, 57-65, 2001.
- 9) Satoh, Toshimi and Hiroshi Kawase: Simulation of strong motions in Fukuoka City during the 2005 West off Fukuoka Prefecture Earthquake with special reference to thick Quaternary sediments around the Kego fault, *Earth Planets Space*, Vol.58, No.1, pp105-110, 2006.

能登半島地震その他における木造建築物の被害

河合 直人

●独立行政法人建築研究所

1. はじめに

平成19年(2007年)能登半島地震では、木造建築物にも甚大な被害が発生した。被災地域には町屋形式の住宅や店舗併用住宅が多く、その他の住宅も含めて倒壊を含む被害があり、また、倉庫や作業所、土蔵など附属建築物にも倒壊を含む被害があった。ここでは、これらの被害概要を述べるとともに、被害原因の考察として壁量と被害との関係、記録波を用いた時刻歴応答計算について述べる。その他、ここ10年の地震による木造建築物の被害として、平成15年(2003年)宮城県北部地震、平成16年(2004年)新潟県中越地震、平成19年(2007年)新潟県中越沖地震による被害も併せて述べることとする。

2. 能登半島地震における木造建築物の被害概要

(1) 地震及び地震動

平成19年(2007年)3月25日の本震は、気象庁の発表¹⁾によると発震時09時41分、震央は能登半島沖、マグニチュードは6.9、震源は深さ11km、北緯37°13.2'、東経136°41.1'である。この地震で石川県の七尾市、輪島市、穴水町で震度6強を、石川県の志賀町、中能登町、能登町で震度6弱を観測した。表1に本震の主な強震観測記録一覧²⁾を、図1に最大加速度分布²⁾を示す。

(2) 建築物の被害

石川県による住家、非住家被害の市町別一覧³⁾を表2に示す。輪島市、穴水市、七尾市などにおいて、全壊を含む住家被害が目立ち、石川県内では全壊686棟、半壊1,740棟となっている。この他、新潟県糸魚川市にも一部損壊の被害が発生している。

(3) 木造住宅の被害

被災地域には町屋形式の住宅又は店舗併用住宅が多く、これらを含めて木造住宅等に被害があった。写真1、2は輪島市門前町走出の住宅の被害例で、間口方向に耐震要素が少なく、柱の折損が見られ、10分の1を超える残留変形がある。写真3は門前町道下の被害例で、やはり間口方向に耐力要素が少なく大変形を生じている。一方、地震動の方向によるものか、道路側に傾斜している例も散見された。写真4は門前町道下の被害例である。また、写真5、6も門前町道下の被

表1 本震の強震観測記録一覧(文献²⁾より抜粋)

記号	観測地点	震央距離(km)	計測震度	最大加速度(cm/s ²)		
				NS	EW	UD
ISK005	穴水町字大町	19.4	6.3	473	780	556
JMA-E10	輪島市鳳至町	26.7	6.1	464	439	190
ISK006	志賀町香能	6.6	5.9	717	849	462
JMA-914	志賀町富来領家町	9.6	5.6	276	507	452
ISK004	能都町字出津	42.0	5.6	622	589	147
JMA-915	能都町字出津	42.5	5.6	235	147	118
ISK003	輪島市河井町	27.5	5.5	519	396	142
ISKH02	柳田	35.5	5.5	274	359	204

表2 石川県の住家、非住家被害の市町別一覧(文献³⁾より作成)

市町	住家被害(棟)			非住家被害(棟)
	全壊	半壊	一部損壊	
輪島市	513	1,086	9,988	2,899
穴水町	79	100	2,318	248
七尾市	69	304	7,297	350
志賀町	15	215	3,384	850
羽咋市	3	13	142	29
かほく市	3	2	18	11
中能登町	3	7	1,959	15
能登町	1	10	1,130	18
その他の市町	0	3	720	57
合計	686	1,740	26,956	4,477

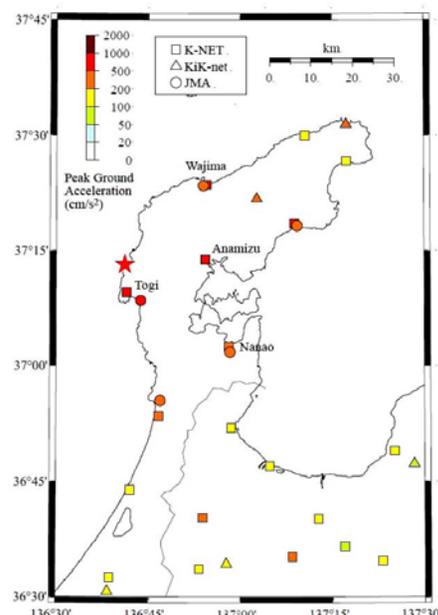


図1 最大加速度分布²⁾

害例であるが、左妻壁が基礎に固定されておらず、土台ごと約25cm道路側に滑動し、内部構面がせん断変形を生じて柱折損等の被害に至った。

町屋形式に限らず店舗併用住宅では、道路に面して大きな開口を設けるため地震被害を受けやすい。写真7は門前町門前の被害例である。その他、倉庫、作業所、車庫などの小規模な構造物の倒壊等の被害、土蔵の大破や倒壊等の被害があった。写真8、9は倉庫、土蔵の倒壊例である。なお、被災地域でモルタル外壁内部の木材等に腐朽が確認された例があり、劣化による被害の拡大があったことも考えられる。

3. 壁量と被害程度

(1) 実地調査による壁量と被害の関係

詳細調査を実施した20棟の木造建築物について、壁量の充足率(存在壁量/必要壁量)と残留変形の関係求めた²⁾。図2に建築基準法(以下、基準法)の必要壁量に対する1階の壁量充足率と残留変形の関係、図3に住宅の品質確保促進法(以下、品確法)の耐震等級1相当の必要壁量に対する1階の壁量充足率と残留変形の関係を示す。基準法や品確法の必要壁量に対して70%程度の壁量があれば、残留変形で120分の1を超えるような大きな被害には至らないことが見て取れる。

(2) 地震応答計算による壁量と被害の関係

地震時に得られた記録波を用い、2階建て木造住宅について壁量をパラメータとした時刻歴応答計算を行った。想定した建築物は部分2階(2階の床面積は1階の70%と仮定)の木造住宅で、基準法の必要壁量に対する各階の壁量充足率を独立に0.6から1.6の間0.2きざみで変化させた。ただし、耐力壁以外の寄与を考慮し、耐力壁のみによる荷重変形関係を1.5倍している。荷重変形関係及び履歴性状は、構造用合板耐力壁の実験結果からバイリニア+スリップでモデル化したもので⁴⁾、線形加速度法を用い、計算時間刻みは 2×10^{-4} 秒、減衰は初期剛性比例型で減衰定数2%と仮定した。

図4にK-NET穴水(ISK005)EW、JMA輪島NS、K-NET富来(ISK006)EW、K-NET輪島(ISK003)NSの4波のSa-Sd曲線を、図5に時刻歴応答計算結果として1階層間変形の最大値のプロットを示す。図5を見ると、K-NET穴水EW、JMA輪島NSに対しては、1階壁量充足率が1から1.4程度でようやく層間変位30cm(約1/10rad)以下に収まるのに対し、K-NET輪島NSに対しては充足率0.6でも15cm(約1/20rad.)以下に収まり、K-NET富来EWに対しては10cm(約1/10rad.)に収まる結果であった。JMA輪島NSに対しては、充足率1前後を境に、壁量の減少に伴って急激に最大応答変位が増



写真1 住宅被害例1



写真2 同 柱折損



写真3 住宅被害例2



写真4 住宅被害例3



写真5 住宅被害例4



写真6 同 内部



写真7 店舗の被害例



写真8 倉庫の被害例



写真9 土蔵の被害例

大する傾向が見て取れる。また、K-NET富来EWは地震動の最大加速度の大きさに比して木造住宅の応答変位は小さい。これらは、図4のSa-Sd曲線と建築物の荷重変形関係との関係とも概ね符合する結果である。

(1)の結果と併せ、穴水や輪島における地震動の大きさに加え、木造建築物において壁量ないしは耐力要素の少ないことが被害原因の第一に挙げられると考えられる。ただし、JMA輪島NSとK-NET輪島NSの違いに見られるように、表層地盤によると見られる地震動の違いが被害程度に及ぼす影響も大きい。

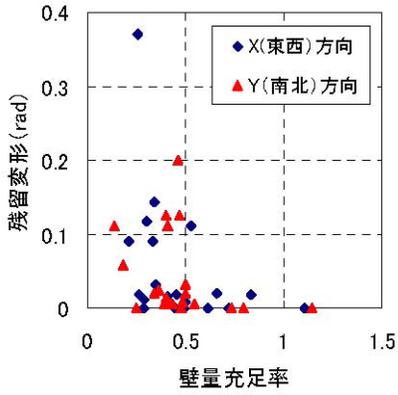


図2 基準法の壁量充足率と残留変形の関係²⁾

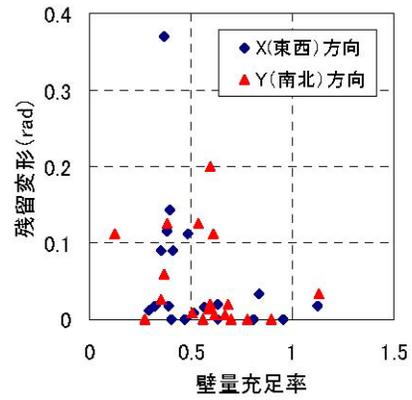


図3 品確法の壁量充足率と残留変形の関係²⁾

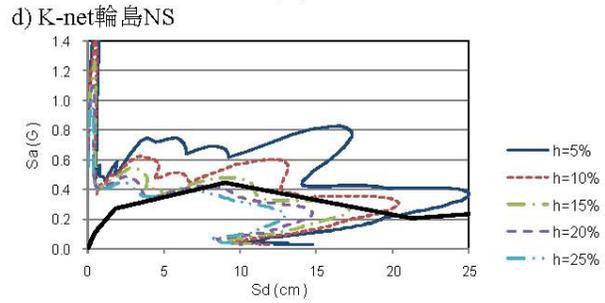
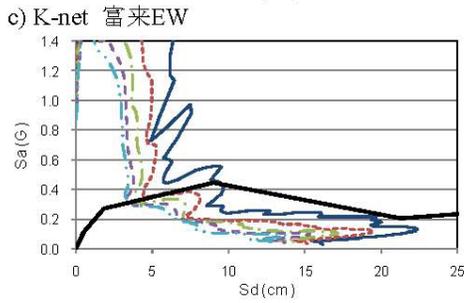
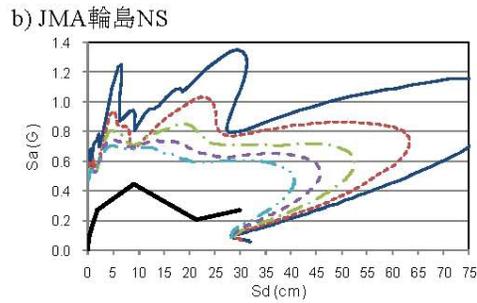
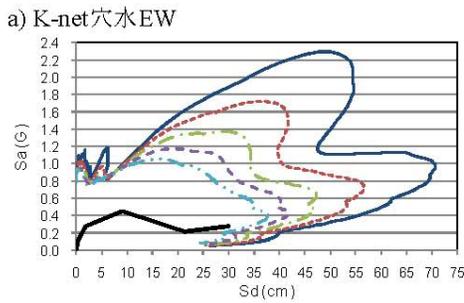


図4 各記録波のSa-Sd曲線 (折線は時刻歴応答計算に用いた壁量充足率1の荷重変形関係を示す)

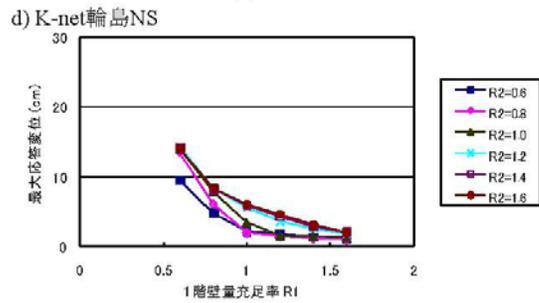
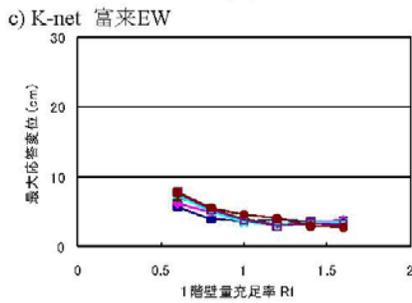
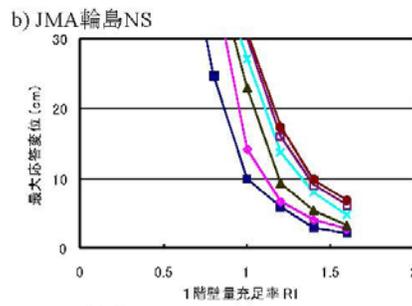
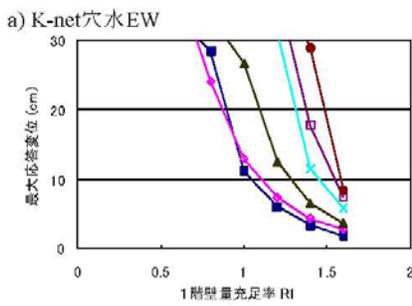


図5 1階層間変形の最大値の計算結果

4. その他の地震における木造建築物の被害の概要

(1) 平成15年(2003年)宮城県北部地震⁵⁾

平成15年7月26日に発生した宮城県北部を震源とする地震では、余震も含めて3回の大きな地震が連続し、宮城県鹿島台町、南郷町、矢本町、河南町、鳴瀬町などで全壊1,276棟、半壊3,809棟の住家被害があった⁶⁾。開放的な構造の農家型住宅、店舗併用住宅で倒壊や大破に至った例が多い。店舗併用住宅ではねじれを伴う倒壊例もあった。傾斜地や軟弱地盤で地盤変状に伴う基礎や上部構造の被害も見られた。

(2) 平成16年(2004年)新潟県中越地震⁷⁾

平成16年10月23日に発生した新潟県中越地震により、小千谷市、長岡市、魚沼市、川口町などで全壊3,175棟、半壊13,810棟の住家被害があった⁸⁾。土塗壁を有する比較的古い木造住宅、店舗併用住宅、作業小屋、車庫に倒壊、大破などの被害が見られた。山間部では地盤崩壊に伴う被害が見られた。また、下部が鉄筋コンクリート造の高床式住宅は概して被害軽微であったが、建設年代が新しく木造部分の壁量が十分にあるためと考えられる。21棟の木造住宅について壁量と残留変形角の関係をみると、基準法、品確法の壁量充足率が100%を超えると残留変形角が1/5rad.を超えて倒壊に至る恐れは小さい。また、時刻歴応答計算によると、JMA小千谷に対しては壁量充足率0.8程度でも最大応答変位は30cm以下に収まるが、川口町川口に対しては壁量充足率が1.6～2.2以上ないと変位が30cmを超え、倒壊の恐れが生じる。

(3) 平成19年(2007年)新潟県中越沖地震⁴⁾

平成19年7月16日に発生した新潟県中越沖地震により新潟県長岡市、柏崎市、刈羽村などで全壊1,331棟、半壊5,709棟の住家被害があった⁹⁾。土塗壁を有する比較的古い木造住宅、店舗併用住宅、作業小屋、車庫に倒壊、大破などの被害が見られた。14棟の木造住宅について壁量と残留変形角の関係をみると、基準法、品確法の壁量充足率が60～70%を超えていれば残留変形角が1/100rad.を超えるような被害の恐れは小さい。また、時刻歴応答計算によると、K-NET柏崎や刈羽村割町新田では、壁量充足率1から1.2程度を境に壁量が減少すると急激に最大応答変位が増大し、倒壊に至る恐れがあるという傾向が見られた。

5. まとめ

平成19年(2007年)能登半島地震を中心に、平成15年(2003年)宮城県北部地震、平成16年(2004年)新潟県中越地震、平成19年(2007年)新潟県中越沖地震も含め、木造建築物の被害概要と、壁量と被害程度との関係についての検討結果を述べた。被害程度は地震動の大きさや特性にも依存するが、木造建築物の耐力壁に代表される耐力要素の量を確保することが、被害軽減のための最善策と考えられる。

謝 辞

本論文において時刻歴応答計算に用いた強震記録は、独立行政法人防災科学技術研究所及び気象庁より入手した。また、本論文の記載内容については国土交通省国土技術政策総合研究所及び独立行政法人建築研究所の合同調査に基づく部分が多い。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 気象庁「平成19年(2007年)能登半島地震」の特集,
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2007_03_25_noto/index.html
- 2) 国土技術政策総合研究所資料No.415, 建築研究所資料No.107, 平成19年(2007年)能登半島地震建築物被害調査報告, 2007年10月
- 3) 石川県, 平成19年能登半島地震災害記録誌(最終更新日平成21年3月25日), <http://www.pref.ishikawa.jp/bousai/kirokushi.html>
- 4) 国土技術政策総合研究所資料No.430, 建築研究所資料No.109, 平成19年(2007年)新潟県中越沖地震建築物被害調査報告, 2007年12月
- 5) 国土技術政策総合研究所資料No.133, 平成15年7月26日宮城県北部地震被害に係わる現地調査報告書, 2003年10月
- 6) 宮城県, 宮城県北部連続地震の記録, <http://www.pref.miyagi.jp/syoubou/726kiroku/kirokutop.htm>
- 7) 国土交通省国土技術政策総合研究所, 建築研究所, 平成16年新潟県中越地震建築物被害調査報告, 2006年10月
- 8) 消防庁, 平成16年(2004年)新潟県中越地震(確定報), <http://www.fdma.go.jp/bn/data/010909231403014084.pdf>, 2009年10月
- 9) 消防庁, 平成19年(2007年)新潟県中越沖地震(第52報), <http://www.fdma.go.jp/bn/data/010909161410293740.pdf>, 2009年10月

新潟県中越沖地震の地震動と原子力発電所の建物挙動

土方勝一郎

●東京電力株式会社 原子力設備管理部

1. はじめに

2007年7月16日に新潟県沖の日本海で、新潟県中越沖地震が発生した。この地震により、震源近傍に位置する東京電力(株)柏崎刈羽原子力発電所では大きな地震動を記録した。同原子力発電所には7機のプラントがあり、当時、3、4、7号機は運転中、2号機は起動試験中であったが、地震波が到達した直後に運転中の原子炉は安全に自動停止した。なお、1、5、6号機は定期検査のため停止中であった。地表面で1000Galを超える大きな加速度を記録したが、原子炉建屋等の安全上重要な建物・構築物の被害は軽微であった。本稿は、新潟県中越沖地震の分析結果について報告すると共に、新潟県中越沖地震における原子炉建屋の建物挙動を明らかにすることを目的とするものである。

2. 新潟県中越沖地震の分析

2.1 新潟県中越沖地震の概要

新潟県中越沖地震は、一般的な再来期間が1000年以上とされている内陸地殻内地震に分類される。原子力発電所の近傍で地震が発生し、これほど大きな地震動を観測した例は過去にない。図1に震央と柏崎刈羽原子力発電所の位置関係を示す。震央距離は16km、震源深さは17kmであり、気象庁マグニチュードは、6.8であった。文部科学省・地震調査研究推進本部が発表した新潟県中越沖地震の評価では、断層の長さは27kmで、南東傾斜している。柏崎刈羽原子力発電所は震源域の東側に位置し、断層面はサイトに向かって深くなっている(図2)。

2.2 新潟県中越沖地震のサイト観測記録の特徴

柏崎刈羽原子力発電所では、数多くの地震計が設置されており、新潟県中越沖地震で多くの観測記録が取得されたが、余震により既設地震計(2004年の中越地震以前に設置されたもの)の観測データが上書きされた。このため、原子炉建屋基礎版等に設置された新設地震計(2004年の中越地震を踏まえて設置されたもの)の記録のみが活用できるデータとして残されている。図3に各号機の原子炉建屋基礎版上の東西方向の観測波形、表1に1号機から7号機の原子炉建屋基礎版上の

最大加速度値を示す。表1より、①南北方向よりも東西方向の方が加速度が大きいこと、②1～4号機の値が、5～7号機の値よりも有意に大きいことの2点が読み取れる。

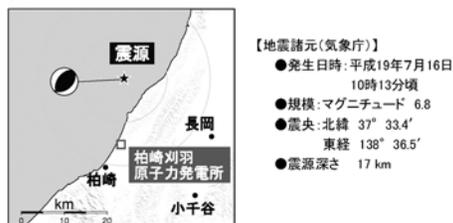


図1 震央と発電所の位置関係

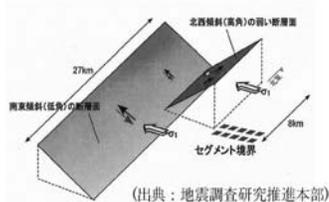


図2 新潟県中越沖地震の評価

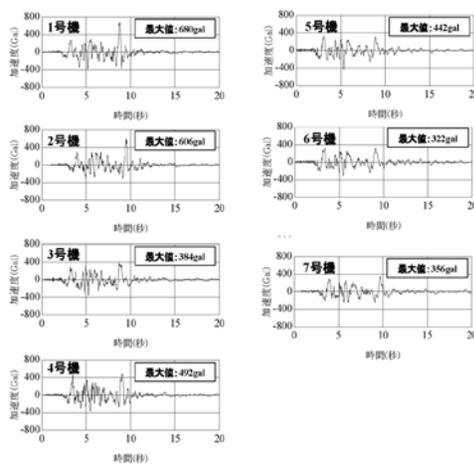


図3 原子炉建屋基礎版上の観測記録(EW方向)

表1 最大加速度の比較

(単位: Gal)

観測値		南北方向	東西方向	設計時の最大 加速度応答値
1号機	最地下階(B5F)	311	680	274
2号機	最地下階(B5F)	304	606	167
3号機	最地下階(B5F)	308	384	193
4号機	最地下階(B5F)	310	492	194
5号機	最地下階(B4F)	277	442	254
6号機	最地下階(B3F)	271	322	263
7号機	最地下階(B3F)	267	356	263

3. 新潟県中越沖地震の地震動

3.1 解放基盤表面の地震動の推定

建屋－地盤連成系の地震応答解析モデルを用い、原子炉建屋基礎版上の記録から、解放基盤表面の地震動を推定した。図4に、中越沖地震で計算した耐専スペクトル(Noda et al. (2002)¹⁾)と1号機及び5号機の原子炉建屋基礎版上の記録から推定した解放基盤波の応答スペクトルを比較して示す。解放基盤表面での推定波は、全周期帯にわたって、現在の耐専スペクトルと比較して、有意に大きい結果となっている。なお、原子力発電所の耐震設計では、マグニチュードと震源距離から算定される標準的な応答スペクトルを使用し、設計用地震動を評価している。この応答スペクトル評価には、現在は耐専スペクトルが一般的に用いられている。

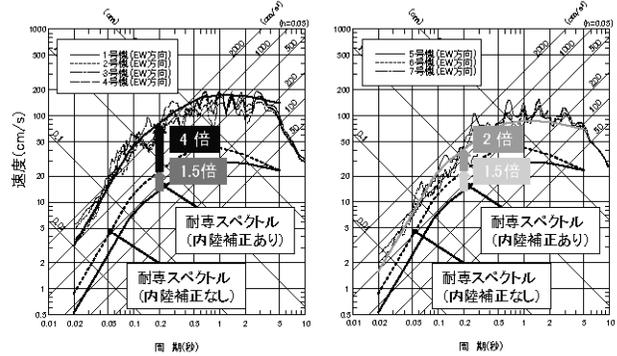


図4 敷地における中越沖地震の増幅特性

3.2 建屋の地震動が大きくなった要因の分析

1～4号機の揺れと5～7号機の揺れに差異があること、また従来の評価法と比較して大きな揺れとなっていることの要因について検討した結果、3つの要因があることが明らかになった(図5)。以下では、その詳細について解説する。

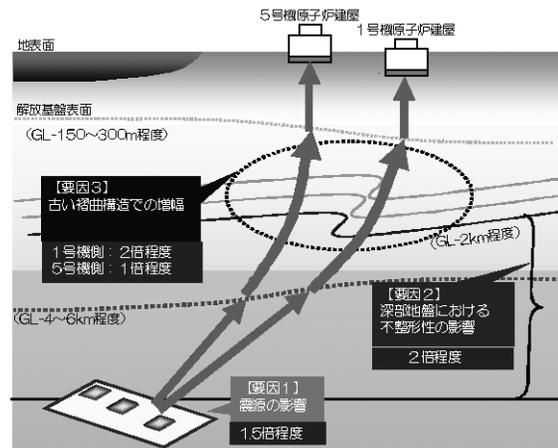


図5 地震動が大きくなった要因

【要因1】 中越沖地震の震源は、地震規模と比較して短周期レベルが1.5倍程度大きかったこと。

新潟県中越沖地震の震源特性を検討するために、柏崎刈羽原子力発電所及びその周辺で得られた観測記録を使用し、経験的グリーン関数法に基づく震源インバージョン解析を実施し、震源から放出される地震動の強さを推定する検討を実施した。その結果より、新潟県中越沖地震の震源は、地震規模(Mj6.8)に比べて、短周期レベルが1.5倍程度大きかったことが推定された。

【要因2】 非常に厚い不整形な堆積層の存在により、地震基盤からの地震動が屈折し集中し、標準的な評価法に対して2倍程度大きくなった。

柏崎刈羽原子力発電所の下には、地震基盤が地表面から-6kmから-8km以深にあり、その上に厚い堆積層が存在している。中越沖地震では、厚い不整形な堆積層の存在により、地震動が屈折し、通常の評価法よりも2倍程度地震動が大きくなったものと考えられる。図6に地震動の地盤増幅特性の概念図を示す。

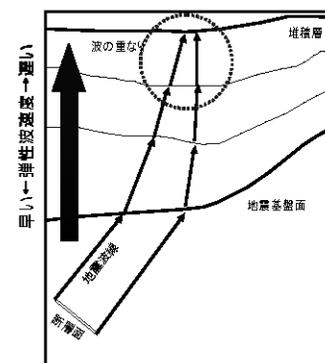


図6 地震動の地盤増幅特性

【要因3】 サイト直下の褶曲構造により、向斜部の上部に立つ1～4号機側で地震動が2倍程度増幅し、5～7号機側はこの褶曲から外れていたため、褶曲の影響がなく標準的な揺れとなった。

柏崎刈羽原子力発電所の下には真殿坂向斜と呼ばれる褶曲構造が存在することが発電所建設以前から

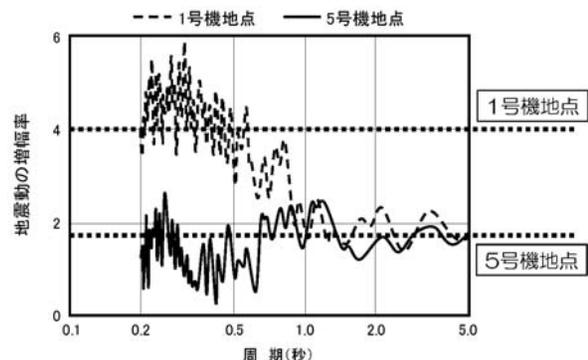


図7 地盤モデル底部から解放基盤表面までの増幅率

分かっている。1～4号機側は褶曲構造の真上に位置しているため、褶曲構造によるレンズ効果で地震波が集まり、地震動が2倍程度増幅したものと考えられる。一方、5～7号機側は褶曲構造から外れているため、地震動が増幅されず標準的な地震動となったものと考えられる。なお、発電所直下の褶曲構造の影響を確認するための解析的な検討を実施している。褶曲構造に直交する1号機を含む断面と、5号機を含む断面で、幅7km、深さ5kmの地盤を2次元有限要素法によりモデル化し、1号機、5号機の地盤モデル底部から地震波を入力した。地震波がモデル上端に到達したときの増幅率（伝達関数）の計算結果を図7に示す。これより、1号機側では短周期領域（1秒以下）の伝達関数が、5号機側と比較して2倍程度大きくなっており、褶曲構造により地震動の特性が変わりうるということが解析的な面からも確認できた。

以上で説明した3つの要因により、従来の評価法に対して有意に大きな地震動のレベルになったと考えられる。

4. 新潟県中越沖地震時の原子炉建屋の応答

4.1 地震応答解析の考え方

新潟県中越沖地震時に地震観測記録を基に7号機の原子炉建屋を例として、地震応答解析を実施し、原子炉建屋の被害が小さかった理由について検討する。

柏崎刈羽原子力発電所では、支持岩盤が地表面よりも深く、原子炉建屋は地盤へ埋め込まれることから、建屋底面及び側面地盤との相互作用を評価できる建屋-地盤連成系モデルとして、埋込みSRモデル²⁾（図8）を用いることとした。解析モデルへの入力地震動としては、原子炉建屋基礎版上で観測された記録を用いることとした。また、地盤物性については、室内試験に基づき、剛性と減衰のひずみ依存性を考慮し、剛性低下率及び減衰定数を設定し、地盤ばねの評価に反映させることとした。地盤ばねとしては、建屋底面に田治見の振動アドミッタンス理論に基づく定数化ばね（水平及び回転）、建屋側面には、NOVAKの方法に基づく定数化ばね（水平及び回転）を考慮した。なお、設計時のモデルでは、地盤表層部も側面地盤ばねとして考慮していたが、中越沖地震時の地盤変状を踏まえ、表層部についてはばね評価を行わないこととした。

建屋のモデル化にあたっては、設計時に考慮した耐震壁に加えて、補助壁（剛性を見込むことが可能であると判断される壁）を考慮することとした。また、コンクリートの剛性については、過去に建屋の壁から採取したコンクリート試験体の圧縮強度試験結果に基づいて算定した値を採用した。

4.2 応答解析結果

原子炉建屋基礎版上の観測記録を前述した地震応答解析モデルに入力し、シミュレーション解析を行った。シミュレーション解析のフローを図9に示す。7号機の間階での解析結果と観測記録の床応答スペクトルを比較図を図10に示す。また、図11に、7号機で観測された最大加速度とシミュレーション解析との比較を示す。これより、解析結果は観測記録と概ね整合しており、本検討で用いた解析モデルは地震観測記録を比較的良く再現することが出来るといえる。

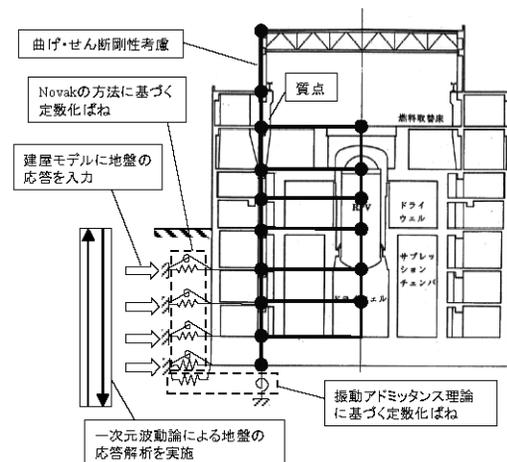


図8 埋込みSRモデル

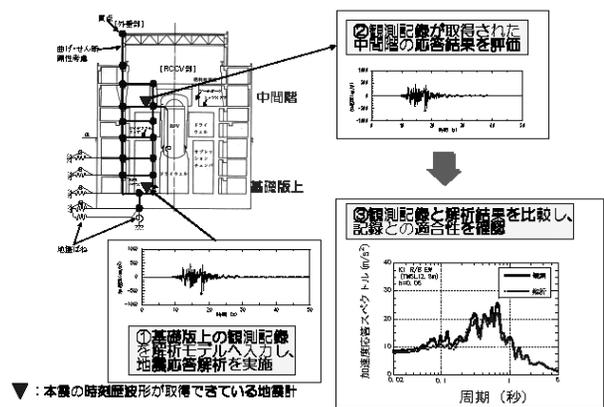


図9 シミュレーション解析のフロー

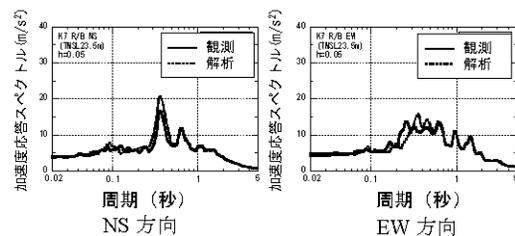


図10 床応答スペクトルの比較（中間階）

4.3 原子炉建屋の被害が小さかった理由の検討

地震時に観測した揺れは設計時の想定を上回るものであったにもかかわらず、原子炉建屋で健全な状態が保たれた理由について、主に設計条件と新潟県中越沖地震時のシミュレーション解析結果から求まる応答値とを比較することにより考察する。対象は揺れの大きかったEW方向とした。

図12に7号機原子炉建屋各階の設計時の動的地震力（基準地震動S1による）、静的地震力（建築基準法で要求される地震力の3倍の地震力）、設計用地震力（動的地震力と静的地震力の両者を上回るように設定したもの）および解析結果から推定される中越沖地震時のせん断力の比較結果を示す。地上部では中越沖地震によるせん断力を設計用地震力が上回っており、地下部についてもほぼ同程度の大きさであった。

更に、7号機原子炉建屋各階の中越沖地震時のせん断力と、耐震壁の設計配筋による負担せん断力とを比較した。結果を図13に示す。これより、設計配筋による負担せん断力は中越沖地震時のせん断力に対し余裕があることがわかる。耐震壁に対しては熱応力など、地震以外の応力も作用し、設計配筋の全てが地震力を負担できるという訳ではないものの、それらを差し引いても中越沖地震時のせん断力については、余裕が存在するものと考えられる。

以上より、中越沖地震時の7号機原子炉建屋の応答は概ね弾性範囲であり、比較的大きな設計用地震力を設定していたことが、被害の小さかった要因のひとつであると考えられる。設計用地震力は動的地震力と静的地震力を上回るように設定され、柏崎刈羽原子力発電所では、動的地震力よりも静的地震力が大きい。つまり、静的地震力(3Ci)を考慮して、設計用地震力を設定していたことが有効に機能したものと考えられる。

5. まとめ

新潟県中越沖地震後の発電所内の被害状況及び地震応答解析の結果から、設計時に、建築基準法で要求される地震力の3倍の静的地震力を考慮していたことが原子力発電所の耐震安全性を確保する上で非常に有効に機能したといえる。耐震設計に用いる入力地震動の大きさを評価することは極めて重要ではあるが、同時に地震動の不確定性を工学的にいかん担保しつつ構造物の耐震設計を行うかもまた非常に重要な問題である。入力地震動と構造物が保持すべき耐力のバランスをどのように考えるかという点が、重要構造物の耐震設計を行うにあたっての大きな課題であると考えられる。

参考文献

- 1) Noda et al.: RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations Between Seismological DATA and Seismic Engineering, pp399 - 408, 2002
- 2) (社)日本電気協会・電気技術基準調査委員会：JEAG 4601-1991 原子力発電所耐震設計技術指針 追補版,1991

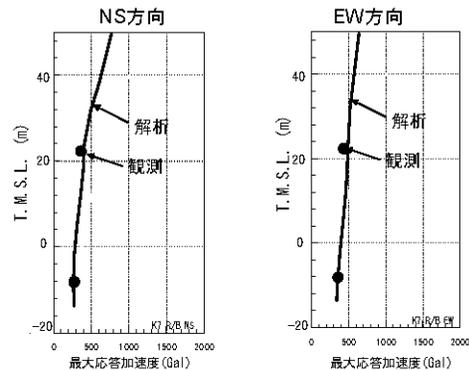


図11 最大応答加速度の比較

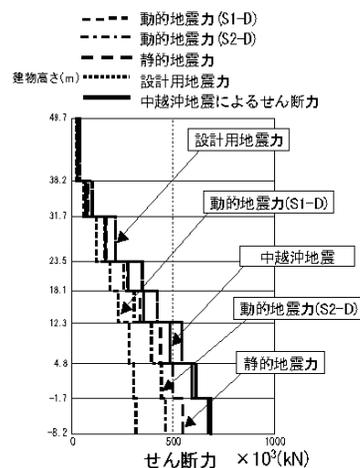


図12 せん断力の比較

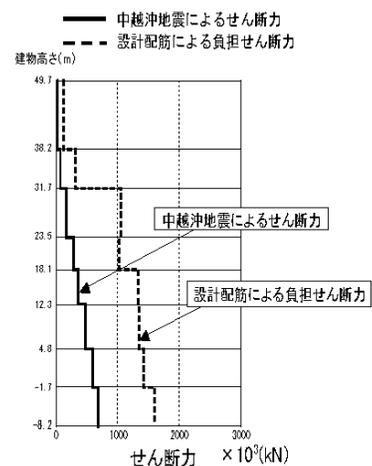


図13 設計配筋で負担できるせん断力との比較

2008年岩手・宮城内陸地震の地盤災害

風間 基樹

●東北大学大学院工学研究科土木工学専攻

1. はじめに

平成20年6月14日(土)8時43分頃、岩手県南部を震源とする $M_j=7.2$ の地震が発生した。気象庁はこの地震を平成20年岩手・宮城内陸地震と命名した。この地震による岩手・宮城両県での死者行方不明者は合わせて23名である。この地震は、火山帯山地で発生した震源の浅い(8km)マグニチュード7級の内陸直下地震であり、山地の沢部に面する斜面崩壊に代表される斜面地盤災害が多く発生したことが大きな特徴である。ここでは、この地震によって発生した地盤災害の特徴を総括する。

なお、この地震の災害調査報告書¹⁾は、GISベースで被災箇所の位置情報や写真、設計断面・復旧断面などの情報が閲覧できるようにDVDで頒布されている。また、地盤工学会編の報告書²⁾はウェブ上からダウンロードできる。

2. 震源直上で観測された地震動

震源直上に位置するKiK-net強震観測点である一関西の記録は、地表で観測史上最大の上下動 3866 cm/s^2 、水平成分との合成で4Gを超える最大加速度を記録した。図1は、地表で観測された記録である。上下動の記録は明らかに正負非対称な記録となっており、Aoiらは、これをトランポリン効果と称した³⁾。

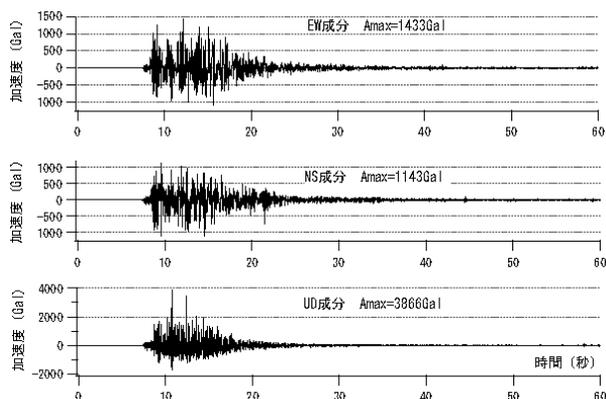


図1 KiK-net 一関西の地表面加速度波形

3. 被災地域の地質および地盤災害の概要

図2に、震源域および被害を受けた地域の地質図を示す。地震の震源域に位置する栗駒火山は、東日本火山帯の火山フロント沿いに位置する第四紀火山である。本火山の基盤岩は、新第三系の堆積岩や凝灰岩・溶結凝灰岩などの火砕岩を主体としている。栗駒山山頂周辺である土石流の起こったドゾウ沢の源流部や産女(うぶすめ)川源流部では基盤の凝灰岩を直接覆うように、塊状の溶岩が分布している。

図には、大よその地表断層と主な斜面災害の生じた場所がマークとして示されている。斜面災害の多くが、断層上盤側の塊状の溶岩の周辺領域で発生していることがわかる(図の斜線部のハッチした領域)。これらの原因として、旧カルデラ崖に堆積した脆弱な地質の影響も指摘された⁴⁾。

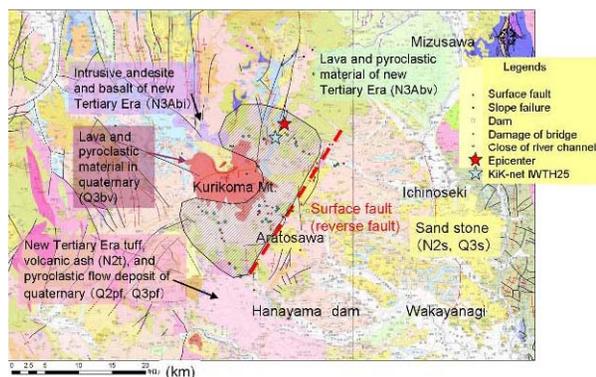


図2 栗駒山周辺の地質図 被災地周辺の地質と被災箇所分布、図面のほぼ中央が栗駒山

斜面崩壊は、沢部に面した斜面で多発しており、川筋に沿った道路や河川を寸断した。道路の場合には交通止め、河川の場合には河道閉塞となって、被害として顕在化した。衛星によるリモートセンシング技術や航空測量技術によって、どの地域でどのような斜面災害が発生しているかを俯瞰的にとらえることが可能になっている(図3参照)。

一口に地盤災害といっても崩壊の形態は様々である。大別して、崩落・斜面崩壊・地すべり・土石流などの形態があるが、この地震では、これらのすべての形態の斜面災害が発生した。土石流を含めて、これらの崩壊

形態の違いは、運動速度や移動距離、移動体（土塊や岩塊）の乱れの度合いによるものである。また、このような崩壊形態と斜面の傾斜角度にも関係がある。崩落・斜面崩壊・土石流に比較して地すべり性の斜面崩壊のすべり面の角度は小さい。典型的なものとしては、荒砥沢ダム上流部に生じた巨大地滑りの滑り面は非常に低角である。

一般的に、

- 急斜面での崩壊ほど、急激であり、移動距離が長い場合が多い。
- 緩勾配での崩壊は、地震動による慣性力の増大よりも、すべり面の強度低下が重要な要因である。
- 形態の違いには土質・岩質が影響している。

と言える。しかし、何れも定性的には言えても、定量的に論じるとなると、多くの事例の詳細な分析・実験が必要となる。崩壊箇所の隣に位置する崩壊しなかった箇所の理由を見つけることも難しい。既存斜面の危険度の評価、予測の難しさを見せつけられた。



図3 栗駒山付近の衛星画像(点線は県境)、宇宙航空研究開発機構(JAXA)2008.7/2撮影画像)、原図は岩手大学地域連携推進センターリモートセンシング実用技術開発室作成

4. 荒砥沢ダム上流部で発生した巨大地すべり(図4)

荒砥沢ダム上流部で発生した巨大地すべりは、幅約900 m、長さ約1300 m、移動距離は最大約320 mを超え、地震を引き金とした地すべり規模としては国内有数である。このすべり面の傾斜角はきわめて小さく、例えば地震後に行われたすべりの主方向に沿った土質調査結果からは、約2.6度であると推定されている。また、すべり面は約30 mの厚さの砂岩・シルト岩互層堆

積層の上面から5 m程度の深さに位置していることがわかっている。地震工学の観点からは、このような低角の地すべりを引き起こした外力である地震動とすべり面を構成している土材料の力学特性が興味の対象である。筆者らの滑動解析^{5) 6)}では、滑り面での液状化による有効応力の低下が生じなければ、このような地すべりは生じなかったものと推測されている。

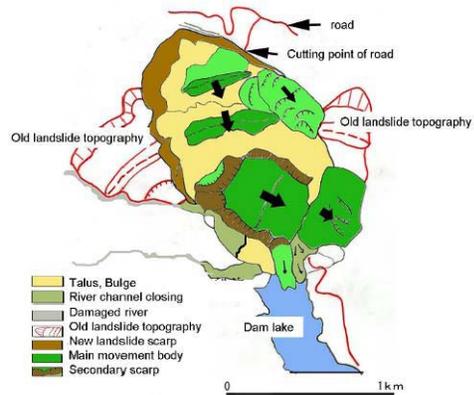


図4 荒砥沢ダム上流に生じた巨大地すべりの動き



写真1 荒砥沢ダム上流に生じた巨大地すべり

5. ドゾウ沢で発生した土石流(図5)

地震によって、東栗駒山山頂に近いドゾウ沢に面する斜面で発生した崩壊によって土石流が発生した。国土地理院によれば、源頭部での土砂崩壊の規模は、長さ約200m、最大幅約300m、最大厚さ約30m、崩壊土砂量約150万³m(東京ドーム約1.2杯分)と推定されている。源頭部の空撮写真から、源頭部で起こった崩壊が対岸の尾根を乗り越えていること、左下の雪溪の下部が土砂を被って茶色になっていることがわかる。土石流の岩塊・土砂は、源頭部の崩壊の時点から水を含み、流動性があったと思われる。標高約1360mから崩壊した土砂は、沢に沿って一気に駒の湯まで標高差800mを流れ下った。死者7名(内、当初の行方不明者2名



図5 ドゾウ沢で生じた土石流の概要

は1年後に遺体が発見された)を出した駒の湯は、土石流に飲み込まれたものであるが、本来土石流が流下するはずの沢が駒の湯対岸の斜面の崩壊によって埋まったため、土石流の流れが宿側に方向を変えたことが原因であると考えられている。

土石流はさらに、駒の湯を越えて約5km下流の行者滝まで流れ下った。土砂の堆積量は、旧地形と堆積後の地形の比較によって、駒の湯付近で約50万 m^3 、行者滝上で約65万 m^3 と算定されている。両地点で堆積量が多くなっているのは、同地点付近で生じた斜面崩壊によって河道が閉塞されていたためである。駒の湯に堆積した土砂には、泥まみれになった大きな岩塊やブナの大木が大量に含まれている。

6. 河道閉塞

斜面崩壊による河道閉塞が岩手県の盤井(いわい)川水系と宮城県の迫(はさま)川水系で多数発生して

いる。国土交通省が復旧対策対象としている河道閉塞箇所は図6、表1に示す15箇所である。これらには既に決壊したものや既に対策がなされ決壊の危険性がないものも含まれている。また、河道閉塞の多くは地表地震断層より西側(上盤側)で発生している。

産女川⑤の河道閉塞は崩壊土砂量(約1260万 m^3)としては最大規模のものであり、産女川を約260mに渡って堰き止めている。市野々原②でも大規模な斜面崩壊により磐井川が堰き止められた(写真2参照)。この地点は他の河道閉塞地点と異なり斜面崩壊地点の傾斜は比較的緩やかで、滑った土塊の乱れは少なく地すべり性の斜面崩壊によって河道が閉塞された。磐井川では下流部に大きなダムがないことから、市野々原では地震直後から対策がなされ、6月20日(地震から6日後)には左岸側を新たに掘削した仮排水路により通水された。

迫川沿いでも多くの河道閉塞が発生した。下流の花

山ダムより上流部に多くの住民がいることから、磐井川同様に緊急の対策がとられた。下流部では浅布⑦、小川原⑧、上流部では湯ノ倉温泉⑩、湯浜⑬の規模が大きく、大きな堰止湖が形成された。



図6 主な河道閉塞の発生箇所

同じく山地地震災害である2004年中越地震の斜面災害が第3紀の流れ盤斜面で多発したことと対照的である。また、本文中では触れていないが、今後の土砂流出、橋台基礎地盤の変状によって落橋した祭時大橋の被害、中山間地集落の孤立や長期避難の問題など、ハード・ソフト両面での課題が残されている。



写真2 岩手県一関市市野々原の河道閉塞箇所

表1 主な河道閉塞の規模(数字はいずれもおよその値)

番号	地区名	河川名	堰止幅 (m)	堰止長 (m)	崩壊土量 (千m ³)	
①	岩	小河原	磐井川	30	60	20
②	手	市野々原	磐井川	200	700	1,730
③	県	槻木平	磐井川	60	160	80
④	一	須川	磐井川	130	280	390
⑤	関	産女川	産女川	200	260	12,600
⑥	宮 城 栗 原	坂下	迫川	20	80	90
⑦		浅布	迫川	220	220	300
⑧		小川原	迫川	200	520	490
⑨		温湯	迫川	80	580	740
⑩		湯ノ倉温泉	迫川	90	660	810
⑪		荒砥沢	二迫川	-	-	-
⑫		沼倉	三迫川	120	300	270
⑬		湯浜	迫川	200	1000	2,160
⑭		沼倉裏沢	三迫川	160	560	1,190
⑮		川原小屋沢	迫川	170	400	210

7. おわりに

ここでは、2008年岩手・宮城内陸地震における地盤災害を中心に、その特徴を総括した。火山帯山地部で生じた内陸直下のM7級の地震であり、震源直上で観測された4Gを越える過去最大の地表加速度記録、脆弱な火山帯地質上での山地斜面災害が特徴的である。

謝 辞

K-NET、KiK-netのデータは、防災科学技術研究所が運用している情報を利用させていただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 平成20年岩手・宮城内陸地震4学協会東北合同調査委員会編：平成20年岩手・宮城内陸地震災害調査報告書、2009。
- 地盤工学会編：平成20年岩手・宮城内陸地震災害調査委員会報告書、2010.8、<http://www.jiban.or.jp/>。
- Aoi, S., T. Kunugi, and H. Fujiwara, 2008, Trampoline effect in extreme ground motion, Science, 322, 727-730, doi:10.1126/science.1163113.
- 布原啓史・吉田武義・山田亮一：地理情報システムを用いた地震災害とカルデラ構造との関連の検討、日本地質学会ニュース誌、<http://www.geosociety.jp/hazard/content0035.html>
- 松井哲志、森友宏、風間基樹、渦岡良介：荒砥沢ダム上流部で発生した地すべりの滑動解析とその考察、第45回地盤工学研究発表会、pp.1651-1652、2010.8。
- 風間基樹、松井哲志、森友宏：荒砥沢ダム上流部で発生した地すべりの滑動計算とその考察、第13回日本地震工学シンポジウム、pp.2685-2690、2010.11。

海外の建築物地震被害調査の経験を通して —2003年イラン・バム地震、2005年パキスタン・カシミール地震—

真田 靖士
●豊橋技術科学大学

1. はじめに

近年、甚大な人的、経済的被害を伴う地震災害が世界各地で後を絶たない。本稿では2000年代に筆者が経験した2003年イラン・バム地震と2005年パキスタン・カシミール地震の地震被害調査の結果^{1), 2)}を通して、海外とりわけ途上国の建築物地震被害の特徴を紹介する。とくに途上国で用いられる建築構造やその被害形態が、日本の地震災害で見られるものとは大きく異なることを示す。また、被害原因の考察などを通して、今後も繰り返されることが予想される途上国建築の地震災害を将来的に軽減するための課題を指摘する。

2. 典型的な建築構造形式と地震被害—イラン・バム地震より—

2003年12月26日に発生したマグニチュード (Mw) 6.6 のイラン・バム地震は、ユネスコ世界遺産であるバム遺跡とその周辺に壊滅的な被害を与えた地震として知られる¹⁾。本稿では、はじめにイラン・バム地震後の建築物被害調査より得られた統計データを通して、途上国建築の典型的な構造形式や地震被害を紹介する。図1、2はバム市中心部における建物被害の悉皆調査結果の抜粋である。図1は調査地域を、図2は現地を確認された各種構造形式と被災度（被災度が大きい順に Grade 5→0³⁾）の関係を示している。本調査では建物の構造形式を以下の8通りに分類した。

- Adobe : 日干しレンガを用いた無補強組積構造 (写真1a)
- SM : 焼成レンガを用いた無補強組積構造 (写真1b)
- S-frame+SM : 周辺鉄骨枠組を有する枠組組積構造 (写真1c)
- S-brace+SM : S-frame+SMに鉄骨ブレースを有する構造
- RC-tie+SM : 周辺鉄筋コンクリート枠組を有する枠組組積構造 (写真1d)
- RC-frame+SM : 鉄筋コンクリート架構に非構造レンガ壁を有する構造
- S : 鉄骨構造
- Unknown : 不明

海外の建築構造およびその地震被害に共通する特徴として、わが国では使用頻度が少ない無補強組積構造の使用と大きな被害が挙げられる。焼成されていない日干しレンガを用いる Adobe はすべてのケースで全壊 (Grade 5) または半壊 (Grade 4) であり、他の構造形式と比較して遥かに耐震性能に劣ることがわかる。次いで焼成レンガを用いる同種構造の SM の性能が低い。枠組組積構造は無補強組積構造の壁周辺に枠柱、梁を設け耐震性能を改善した構造形式 (写真1c、1d) であるが、着目すべきは RC-tie+SM では性能の改善効果が見られたものの、S-frame+SM、S-brace+SM ではそれ

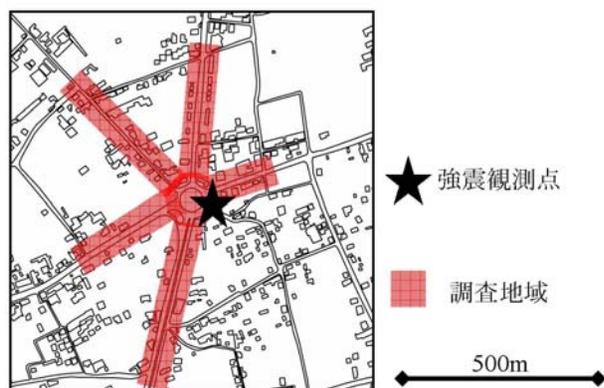


図1 悉皆調査地域 (イラン・バム地震)

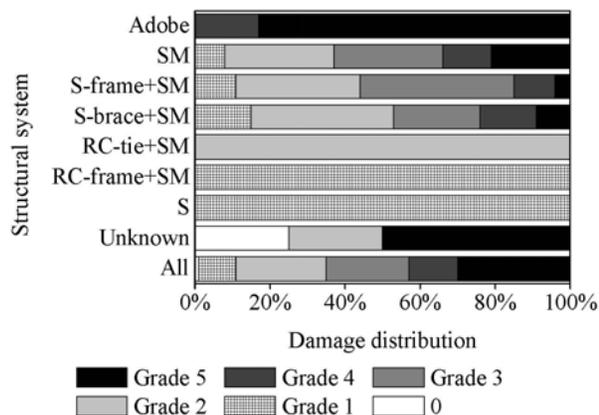


図2 構造形式と被災度の関係 (イラン・バム地震)



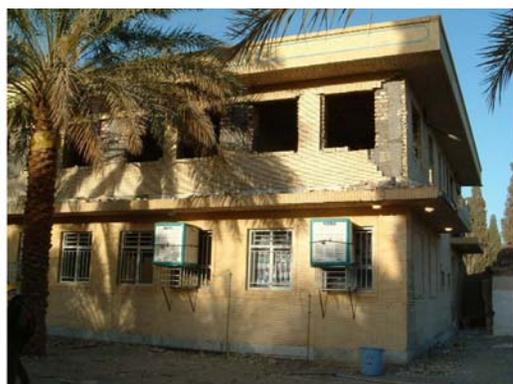
(a) Adobe



(b) SM



(c) S-frame+SM



(d) RC-tie+SM

写真1 調査地域で見られた構造(イラン・バム地震)

が見られなかった点である。これは鉄骨柱と桝梁が溶接により接合されていたが、施工品質が劣悪であり、地震時に容易に破断した結果、期待される性能が発現される以前に周辺桝そのものが損傷を受けたためである(写真2)。バム地震の場合、いわゆるエンジニアド建築架構の不適切な構造詳細は鉄骨構造で見られたが、パキスタン・カシミール地震では鉄筋コンクリート構造で確認された。本稿では引き続きその事例を紹介する。

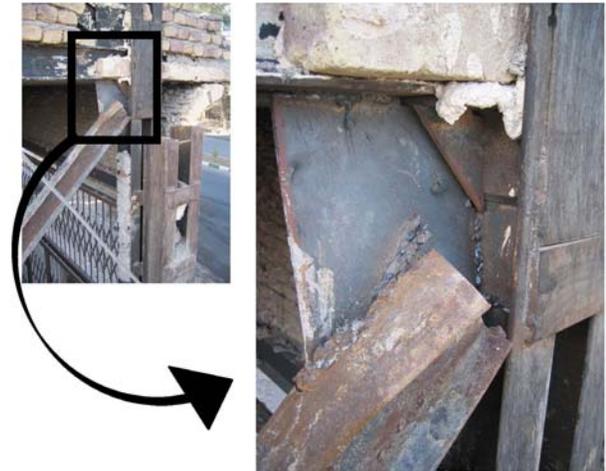


写真2 鉄骨桝架構の溶接部破断(イラン・バム地震)

3. 不適切な構造詳細に起因する地震被害事例ーパキスタン・カシミール地震よりー

2005年10月8日に発生したマグニチュード7.6のパキスタン・カシミール地震は、大規模な地滑り災害の発生により極めて甚大な人的被害を伴った地震として知られる(写真3)²⁾。こうした地滑りによって建築物も多大な被害を受けたが、ここでは地滑りに起因する被害でなく、地震の揺れによる被害を対象に紹介する。調査地域で用いられていた構造形式は、無補強組積構造(写真4a)、桝組積構造(写真4b)、鉄筋コンクリート構造が大部分を占める。組積材には石材が中心に用いられ、レンガも用いられていた。また、桝組積構造の周辺桝組は鉄筋コンクリート造であり、隣国のイランで多用されていた鉄骨桝組は見られなかった。

カシミール地震の被害事例からはとくに鉄筋コンクリート構造に着目する。写真5aに示すように柱が比較的細いため、せん断補強筋が十分かつ適切に配されているわけではないが、日本で見られる典型的な脆性破壊であるせん断破壊はほとんど見られない。その一方、日本では見られない特徴的な破壊形式として、写真5bのような柱梁接合部の破壊を確認できる。拡大写真から明らかなように、接合部にせん断補強筋が配



写真3 大規模地滑り(パキスタン・カシミール地震)



(a) 無補強組積構造(石積み)



(b) 枠組組積構造

写真4 調査地域で見られた構造(パキスタン・カシミール地震)



(a) 曲げ破壊



(b) 柱梁接合部破壊

写真5 典型的な鉄筋コンクリート構造の被害(パキスタン・カシミール地震)

されておらず、梁主筋の定着も不十分であることが破壊原因である。コア部分のコンクリートまでが抜け落ちた結果、柱と梁の接合は解かれ、もはや架構が形成されていない。わが国においても一般に接合部の損傷は望ましくないと考えられているものの、人命に関わることはむしろ稀であると判断されるが、構造詳細が不適切な接合部は建物の倒壊に直結し、人命の損失にも関わる極めて重大な問題であることがわかる。

写真5bのような接合部破壊はインドネシアや中国などの地震被害にも見られる。本稿の最後に、参考として、2009年インドネシア・スマトラ島西部地震で倒壊したRC建物⁴⁾で見られた同様の破壊を呈した接合部の性能について紹介する。写真6に当該接合部と損傷状況を、図3に構造詳細を示す。この接合部を1/3に縮尺したモデルに対し載荷実験を実施して得られた荷重-変形関係を図4に示す。同図には設計時の想定通りに梁降伏すると仮定した場合の耐力も併せて示した。

実験では接合部が破壊することで、梁降伏の場合に期待される性能を発現することなく終局に達していることが確認できる。途上国ではこうした事例が相当規模潜在すると判断され、今後の地震減災を実現するための大きな課題と考えている。



写真6 接合部の破壊事例(インドネシア・スマトラ島西部地震)

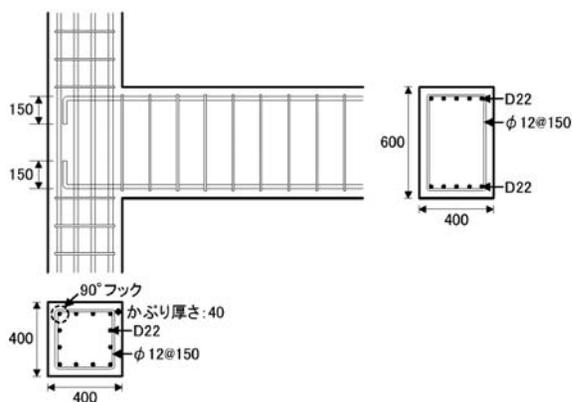


図3 写真6の接合部の構造詳細

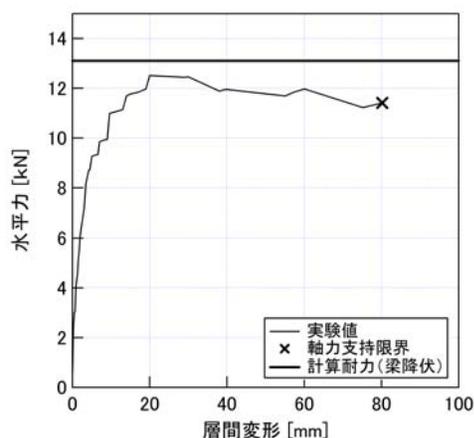


図4 写真6の接合部モデルの性能

4. まとめ

2003年イラン・バム地震と2005年パキスタン・カシミール地震の建築物被害調査結果を通して、途上国で見られる典型的な建築構造形式、またその被害事例を紹介した。とくに、無補強組積構造に代表されるノンエンジニアド建築のみならず、エンジニアド建築についても不適切な構造詳細によって、人命に関わる被害を呈している事例があることを指摘した。こうした不適切なエンジニアド建築は、現実に相当規模潜在するものと判断すべきであり、将来的に途上国の地震減災を実現するための一つの大きな課題と考えている。

5. 参考文献

- 1) Yasushi Sanada, Masaki Maeda, Ali Niousha and M. Reza Ghayamghamian: Reconnaissance Report on Building Damage Due to Bam Earthquake of 26 December 2003, Journal of Seismology and Earthquake Engineering, Vol. 5, No. 4-Vol. 6, No. 1, pp. 91-100, Winter 2004-Spring 2004.
- 2) 西川孝夫、中埜良昭、アイダン・オメール、土屋芳弘、真田靖士：パキスタン地震調査報告、建築雑誌、Vol.121、No.1545、pp.58-67、2006.3.
- 3) G. Grünthal: European Macroseismic Scale 1998, 1998.
- 4) 倉本洋、真田靖士、崔琬、坂下雅信、日比野陽、壁谷澤寿一、秋田知芳：2009年インドネシア・スマトラ島西部地震の調査速報、建築雑誌、Vol.125、No.1601、pp.55-62、2010.3

2004年インド洋津波の被害実態と今後の対応

今村 文彦

●東北大学

1. 甚大な被害

2004年12月26日午前8時頃(現地時間)に発生したスマトラ北西部沖地震(M9.2)は、ユーラシアプレートとインド・オーストラリアプレートの境界でのプレート間地震であり、余震観測から震源域は約千キロメートルにも達し、この地域でも最大級の規模となった。地震より生じた津波は、直後にインドネシア沿岸を襲い、その後、タイ、マレーシア、バングラディッシュ、さらにはインド東岸、スリランカ(波源から1,600km)にも達した。驚くべき事に、アフリカ(波源から約6,000km)および南極へも来襲した。このようなインド洋全域に影響した津波は我々の歴史の中では初めてである。犠牲者は23万人を超えたとわれ、当時、感染症などの2次災害も懸念されていた。表1には外務省によるインド洋津波による犠牲者を示すが、未だに犠牲者数の実態も把握されていないというのが現状である。記録に残る津波災害の中でも最悪とあるであろう。また、このインドネシア・スマトラ島地域では、マグニチュード8以上の地震は、歴史的に発生しているが、M9クラスの地震は初めてである。また、過去大きな被害を生じさせたこの周辺での津波は、1883年クラカタウ火山性津波を除いてないと言える。そのため、一部地域を除き、住民にとっては津波に対する知識・認識が低かったと言え、さらに、環太平洋で実施されている津波警報システムがないために津波情報が出されないまま、不意打ちの来襲を受けたことになる。

最も被害の大きかった地域は、インドネシア・スマトラ島北部であり、強震動と突然の大津波の来襲により沿岸地域は壊滅に近い状態であったと報告される。沿岸から5kmもの浸水が見られ、市内中心は津波によって運ばれたがれきの山となっている。現在も専門家による調査が進められているが西海岸では40mにも及ぶ遡上高さが記録されている。これは我が国で心配される南海トラフ(海溝型であり直下型に近い巨大地震・津波)と被害像が類似している。一方、タイやマレーシアでは、観光地を中心に大きな被害を出した。犠牲者の中には多くの外国人観光客がいた。リゾート地での突然の大災害となったのである。さらに、インド、スリランカでも多大な被害を出している。特に、スリ

ンカでは東部、南部の海岸沿いのほか、南西部のコロンボでも被害が出るなど、死者は約4万人と言われる。海岸沿いでは集落が丸ごとなぎ倒されたように破壊され、緊急停車した列車が流出し中にいた乗客・避難した住民が千名以上亡くなった(写真1)。モルディブには26日午前9時(日本時間午後1時)すぎ、津波が押し寄せ、首都マレではほとんどの道路が冠水した。モルディブは約1,200のサンゴ礁の島でできており、海拔はわずか最高1.8m。ホテルはクリスマス休暇の観光客らで満室状態であり、津波は大きな傷跡を残した。重ねて強調するが、インド洋には、津波警報がなかった。さらに、沿岸には地震の揺れを感じなかった地域もあり、突然の大津波に見舞われたことになる。

表1 インド洋津波による犠牲者(外務省による)

被災国	死者
インドネシア	16万6,320名(保健省)
タイ	5,318名(内務省)
マレーシア	68名(警察庁)
スリランカ	3万8,000名(スリランカ公安省)
モルディブ	82名(大統領府)
インド	1万749名(内務省)
ミャンマー	64名(ミャンマー社会福祉・復興救済省)
ソマリア	298名(ソマリア暫定政府当局発表)

報道等によれば、死者数は21万人以上に上る(1月18日の国連発表によれば、15万7千人以上が死亡し、行方不明者は2万7千人以上、避難民は116万人以上に上る)。

2. 被害などの特徴

M9クラスによる地震と津波による被害は甚大である。今現在でも正確な実態を把握することは難しい。被害が大きい地域ほど、連絡をとることが困難であり、情報が得られないからである。ここでは、被害の概要のみを紹介したい。まず、最も被害の大きかった地域は、インドネシア・スマトラ島であり、強震動と突然の大津波の来襲により沿岸地域は壊滅に近い状態であったと推定される。沿岸での大規模な浸食もあり、強震動、液状化と関係した津波による複合的な被害が生じた可能性が高い。タイやマレーシアでは、観光地を中心に大きな被害を出した。犠牲者には多くの

外国人観光客を含んでいた。リゾート地での突然の大災害となった。ここでは、復旧・復興の課題も残った。さらに、スリランカでは東部、南部の海岸沿いのほか、波源に対して背後に位置するはずの南西部のコロンボでも被害が出るなど、影響は全地域に渡った。津波により列車も流されてしまい、乗客や避難した住民の命を奪っている(写真1)。



写真1 スリランカでの列車被害

バンダアチェ市内中心部の街に侵入した津波は、始め速度はそれほど速くないが徐々に水位を上げ、車や瓦礫を押し流し濁流となって道路上を侵入していた(写真2)。僅かの時間で津波の主流分が到達し、秒速5m以上の流速が推定されている。



写真2 インドネシア・バンダアチェでの津波浸水状況 (Metro TV撮影)

この地域は平野であり、侵入した津波はエネルギーを減衰することなく数km 浸水した。中心部では、高密度住宅と道路で主に構成されており、僅かの空間である道路上で通過断面を縮小された津波はさらに加速した可能性がある(縮流)。この濁流は漂流物を含んでいるために、密度は高くさらに破壊力を増していたと容易に想像できる。また、津波の濁流の中で、破壊されていくものと残されたものが判別できる。今後、我が国で津波避難所・ビルとして指定または設置して

いく上で、漂流物の影響の評価など大変参考になると思われる。

その他に、現地からの膨大な映像がテレビを通じて報道されている。ビデオカメラなどが普及し、観光地などでは、多くの方が手元に持っていたからであろう。これらの来襲する津波の映像は学術的に大変重要である。これらを収集して、衛星画像や数値シミュレーションなどと併せて解析を実施する必要がある。

3. 注目された科学・技術

(1) リモートセンシング技術の発展

従来、災害研究におけるリモートセンシング技術の応用は、地震による被災地や建物被害、地形変化や地盤変動の抽出を中心として研究が進められてきたが、津波を対象としたものは限定されていた。今回の2004年津波を契機として、津波災害研究においても衛星画像をはじめとするリモートセンシング技術を活用されることとなった。さらに加えて、近年の津波数値解析技術は、その空間的・時間的分解能が劇的に向上し、場合によっては数mの空間分解能で浸水計算を実施することが可能になった。そこでは、衛星画像から判読された建物被害情報と津波の外力情報を統合し、津波外力の大きさと建物被害の大きさを関連づけることができれば、従来の津波被害予測式よりも詳細な津波被害推定指標が得られると期待される。実際、バンダアチェなどでは新しい津波被害想定指標としての津波脆弱性を提案されている(Koshimura et al., 2009)。図1、2には、建物・人的被害関数の結果を示すが、前者に比べて後者のバラツキが大きい。避難行動の状況などにより大きく変化する結果であると思われる。このような関数が適切に推定されると今後の津波被害推定に大変役立つ。

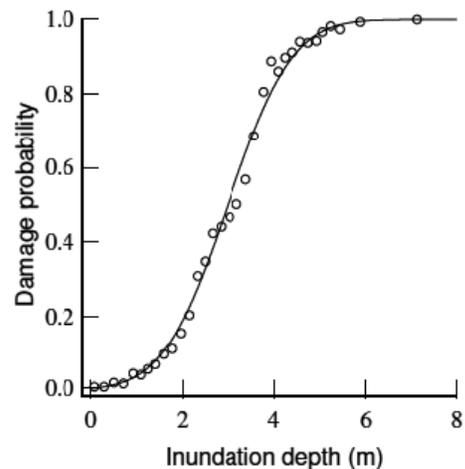


図1 津波による建物被害関数

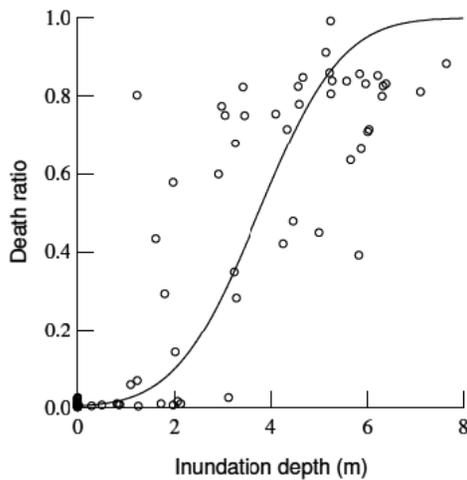


図2 津波による人的被害関数

(2) 地学的アプローチ

津波によって運搬され堆積した土砂は、その後地層中に埋没し保存される。このような堆積物は津波堆積物と呼ばれ、過去の津波の発生時期や再来間隔を推定する手段として広く利用されている(例えば、Atwater, 1987; 箕浦ほか, 1987)。ただし、津波によって形成されたことが明らかな津波堆積物がどのような特徴を持つのかは、これまで良くわかっておらず、地層中から過去の津波イベントによって形成された津波堆積物を識別する手段が確立しているとは言えない状況にある。この点において、2004年インド洋大津波によって形成された津波堆積物は、津波前の土壌と明瞭な境界を持って堆積しているなどの特徴があり、津波堆積物を識別するのが容易であった。そのため、2004年インド洋大津波によって形成された津波堆積物がどのような特徴を有するのか、どのように分布するのかなどを詳しく調べることができ、多くの成果が出されている。タイ沿岸での浜堤など微地形の影響を受けた堆積分布やスリランカでのキリンダ漁港での津波来襲前後の極めて詳細な地形変化などのデータが得られている(高橋ら, 2008)。

(3) 植生の役割

甚大な津波は我々人間生活だけでなく、沿岸域での様々な環境に大きな影響を与えた。その中でも沿岸の森林生態系であるマングローブ林とその土地は、精力的に調査研究が実施された。どのように破壊され、あるいは如何なる防災機能を発揮したのだろうか、災害発生直後から、マングローブ林の津波防災機能に関する複数の報告が公表(Daniesen et al., 2005ら)されており、これらの報告は、いずれも現地での実測や観察に基

づいたもので、実証を目指したものだが、マングローブ林の破壊実態の把握・評価から防災機能の見積もりに至る、包括的な防災機能を把握するために必要な力学をベースとした分析を行うところまでには至っていない。

この中で、Yanagisawaら(2010)はマングローブの破壊状況を津波の水理学的特性と関連させ、被害関数を提案している。この関数を用いて、植生の津波に対する抵抗(減衰)とその限界を定量的に評価することが出来た。特に、バンダアチェにおいて、もし、本来の沿岸での植生が維持できていれば、津波被害を大幅に低減できることを示した結果は大いに関心を持たれた。

(4) サンゴへの影響

津波が海洋生態系に及ぼす影響に関する情報は、これまでほとんど得られていなかった。2004年津波では、インドネシア、タイ、スリランカ、モルジブなど、サンゴ礁が発達する地域に影響が及んだため、サンゴ礁保全を目的とした実態調査が数多くなされている。いずれの地域でも、当初予想されていたよりも被害は小さく、例えばタイ南部の沿岸域では、一部地域で13~40%程度のサンゴが被害(転倒、破壊、土砂の被覆)を受けたことが報告されているもの(Chavanich et al., 2005など)、被害が発生していない地域も数多く報告されている。また、サンゴの形状別の被害差が顕著に見られ、塊状サンゴの横転・移動が多いのに対し、枝状サンゴなどの被害は少ない。また、サンゴ被害と海底地形に相関があることが報告されており、緩斜面上の方が急斜面上よりサンゴ被害が大きく、かつ影響がより深くまで及んでいる。さらに、地形によっては水深10m以深の方が、それより浅い海域よりサンゴ被害が大きかったことが報告されている。川俣ほか(2009)は、タイ・シミラン諸島のサンゴ被害に対して数値計算を用いて評価し、津波の最大流速が約4.5m/sを上回ると、サンゴ被害が甚大になることを報告している。

4. おわりに

インド洋津波は数百年に一度と言われる低頻度大災害であった。河田(1997)によれば、人的被害の90%以上は、5%以下の低頻度巨大災害(数百年に一回の頻度)に起因している。また、原子力発電所などの重要施設においては、さらに低頻度(最終的には十万年に一度の頻度)のハザードに対しても定量的に評価する必要がある。巨大津波災害は、人間の生活基盤となる沿岸環境にも甚大な影響を及ぼす。そして、被災後の復旧・復興活動、さらには自然修復によって、

沿岸環境も安定した状況に回復するが、これが津波前の状況に戻るとは限らず、災害規模が大きいほど不可逆的なプロセスになる可能性がある。このようなヒステリシスの状態変化を検討する研究も求められている。

謝 辞

本文をまとめるに当たって、科研費研究（基盤研究A; 2004年インド洋大津波の被害実態を考慮した新しい津波工学の展開、課題番号18201033）の成果を参考にさせていただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 箕浦幸治・中谷 周・佐藤 裕 (1987): 湖沼底質堆積物中に記録された地震津波の痕跡-青森県市浦村十三付近の湖沼系の例-。地震第2輯, 40, pp.183-196.
- 川俣秀樹・後藤和久・今村文彦 (2009): 2004年インド洋大津波によるタイ・シミラン諸島でのサンゴ被害の数値的評価、土木学会論文集B2 (海岸工学)、B2-65 (1), pp.331-335
- 高橋潤・後藤和久・大家隆行・柳澤英明・今村文彦 (2008): スリランカ・キリンダ漁港を対象とした2004年インド洋大津波による土砂移動過程の解析、海岸工学論文集、Vol.55, pp.251-255
- Atwater, B. F. (1987): Evidence for great Holocene earthquakes along the outer coast of Washington State. Science, 236, pp.942-944.

- Chavanich, S., A. Siripong, P. Sojisuporn and P. Menasveta (2005): Impact of Tsunami on the seafloor and corals in Thailand, Coral Reefs, Vol.24, No.4, pp.535.
- Danielson, F., M.Sorensen, M. Olwig, V. Selvam, F. Parish, N. Burgess, T. Hiraiishi, V.Karunagaran, M. Rasmussen, L. Hansen, A. puarto, N. Suryadiputra (2005): The Asian Tsunami:A Protective Role for Coastal Vegetation, SCIENCE, VOL.310, 28,OCTOBER, pp.643.
- Koshimura,S., T.Oie, H.Yanagisawa and F. Imamura (2009): DEVELOPING FRAGILITY FUNCTIONS FOR TSUNAMI DAMAGE ESTIMATION USING NUMERICAL MODEL AND POST-TSUNAMI DATA FROM BANDA ACEH, INDONESIA,Coatsal Engineering Journal, Vol.51, No.3, pp.243-273, DOI No: 10.1142/S0578563409002004.
- Yanagisawa, H., S. Koshimura, T. Miyagi, and F. Imamura (2010): Tsunami damage-reduction performance of a mangrove forest in Banda Aceh, Indonesia inferred from field data and a numerical model, J. Geophys. Res., vol.115, C06032doi:10.1029/2009JC005587

2008年汶川地震による被害と復旧のための日中技術協力

濱田 政則 / 呉 旭

●早稲田大学理工学部

1. はじめに

2008年5月12日午後2時28分(日本時間午後3時28分)に中国内陸部の四川盆地とチベット高原の境界に位置する龍門山断層帯中央部においてマグニチュード(Ms) 8.0の地震が発生した。この汶川地震は、龍門山断層帯中央部に属する2本の断層が連続的に破壊したことによって引き起こされたものであり、破壊した断層の総延長は300km以上と推定され、内陸地震としては世界最大級の地震となった。

震源近傍域では、兵庫県南部地震による地震動を上回る強烈な地震動が発生し、膨大な数の建築物、土木構造物が被害を受けた。また、急峻な地形と地表面が風化した山岳地域であったため、大規模な斜面崩壊や地すべりが生じ、多くの堰止め湖が形成された。

筆者らは地震発生後、日本の8つの学協会(土木学会、日本建築学会、地震学会、地盤工学会、日本地震工学会、日本都市計画学会、地理情報システム学会、地域安全学会)による四川大地震復旧技術支援連絡会議のメンバーとして4度にわたって、被災地の調査と復旧のための技術協力を行った。

2. 地表地震断層と地震動

図1に中国地震局が公表した地表地震断層の鉛直および水平方向の変位量を示す¹⁾。地表地震断層は、現時点までに、北川-映秀断層に沿って240km、灌県-江油断層に沿って72kmおよびこの二つ断層を連結する延長6km(小魚洞地表地震断層)で確認されている。

北川-映秀断層に沿った地表地震断層は、二つの部分に分けられる。虹口から清平の間では、右横ズレを含んだ逆断層変位が卓越しており、延長は約105kmである。北川から南覇の間では、右横ズレ断層が卓越し、延長は約135kmである。このことは、地表地震断層変位の特徴、特に断層面の傾斜角度からも確認されている。

虹口から清平の間では、断層面の傾斜角度が約80°で、最大の鉛直変位量は約6.2m(平均3~4m)に達した。水平変位量は約2mで北東に進むほど大きくなる傾向がある。これに対して、北川から南覇の間では、断層面の傾斜角度が約25°と減少し、最大の鉛直変位量約

4.5mで、最大水平変位約4.9mである。

灌県-江油断層に沿って確認された地表地震断層では逆断層変位が卓越している。漢旺から白鹿の間では、単純な逆断層タイプの地表地震断層が確認され、最大の鉛直変位は約3.5mである。

走向NWでの延長約6kmの小魚洞地表地震断層は、北川-映秀断層と灌県-江油断層を連結するように出現し、左横ズレによる変位と垂直変位の最大値はともに3.5mである。

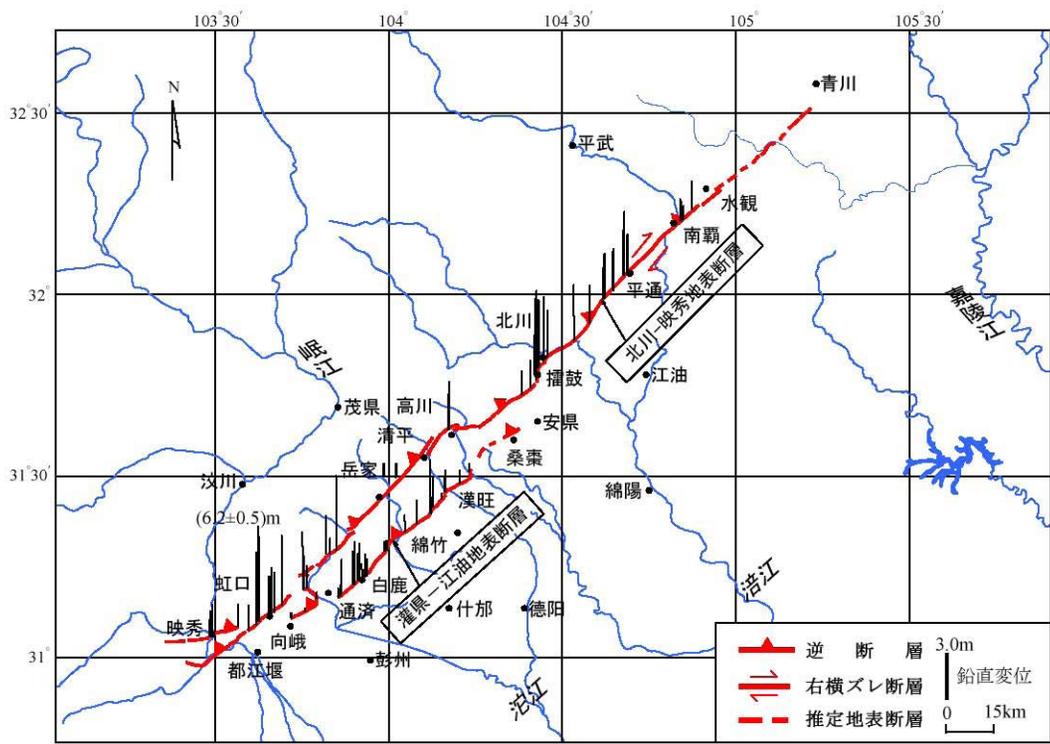
中国地震局は、地表地震断層の調査結果および観測地震動をもとに、北川-映秀断層の2つ独立した断層破壊(南西部分では主として逆断層、北東部分では主として右横ズレ断層)と灌県-江油断層の逆断層によって汶川地震が引き起こされたと推定している^{1),2)}。

図2に2008年8月29日に中国地震局によって公表された震度分布を示す。最大震度は中国の震度階でXI(日本気象庁震度階の7に相当)であり、中国での観測史上で最大震度となった。震度VI(気象庁震度5)以上の地域は、四川省のみならず、北東に隣接する甘粛省と陝西省まで広がり、44万km²もの地域に及んでいる。震度分布と被害との関連について、以下のことがあげられる。

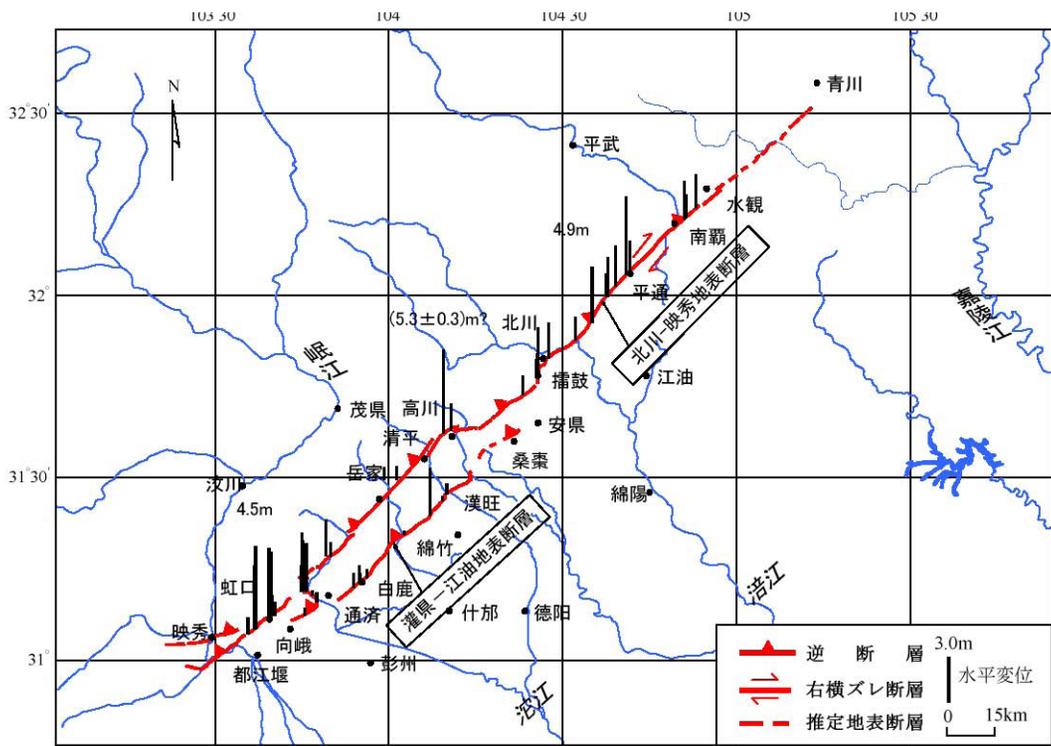
① 最大震度XIは、映秀から南覇の間の地表地震断層に沿って2つ領域で観測されており、この中に震央の汶川映秀鎮と北川県の県庁所在地が含まれている(図3参照)。これら地域では町全体に壊滅的な被害が発生した。

② 震度X(気象庁震度階6強に相当)の領域は、地表地震断層に沿って長さ約224kmの細長い区域に分布しており、南西の汶川県と北東の青川県にわたっている。大規模な斜面崩壊や地すべりおよび堰止め湖等の土砂災害はこの地域に集中した。

③ 震度IX(気象庁震度階6)の領域は、断層方向の北東に伸びて甘粛省と陝西省に達している。震度Xと震度IXの境界は、灌県-江油断層の影響を受けて綿竹市と什坊市付近で南東方向にはらみ出している。建築物、土木構造物、斜面崩壊など被害のほとんどは震度IX以上の地域に集中している。



a) 鉛直方向の変位量



b) 水平方向の変位量

図1 地表地震断層の変位量(徐ら¹⁾原因に加筆)

3. 被害の概要

現時点までに公表されている資料と報告によれば、汶川地震による建物と土木構造物の被害概要は表1の

とおりである。震源域とその近傍の10県(市)(汶川、北川、綿竹、什邡、青川、茂県、安県、都江堰、平武、彭州)に被害が集中した。建物、土木構造物、斜面崩

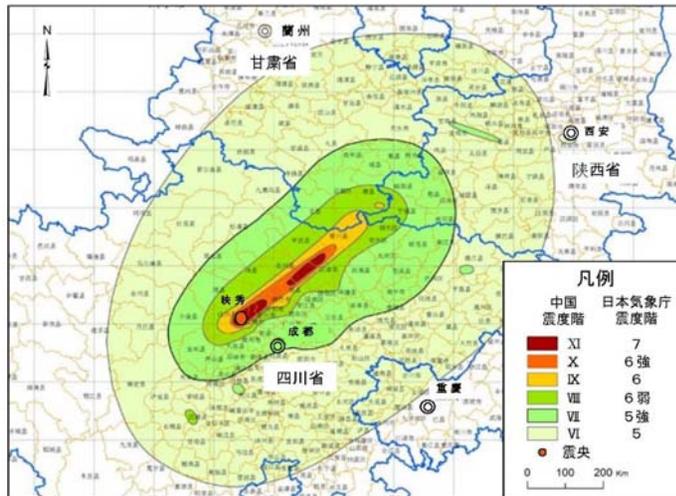


図2 汶川地震の震度分布(中国地震局より)

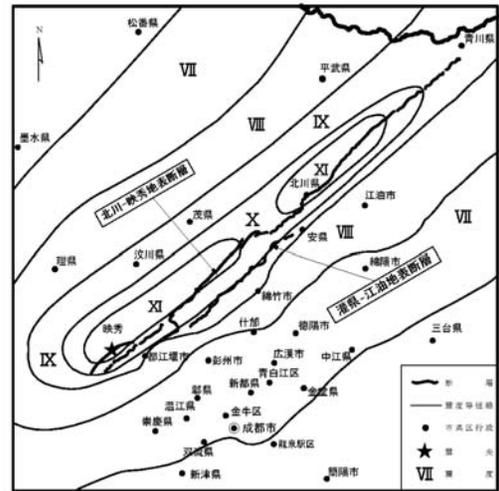


図3 震源域の震度分布と断層(李ら⁴⁾原図に加筆)

表1 建物と土木構造物の被害概要

建物 (F: フレーム, M: レンガ)				被害率 (%)	崩壊率 (%)	
IX以上 (気象庁震度6以上)	F			86.9	28.2	
	M			99.5	29.3	
震度VIII (気象庁震度6弱)	F			68.6	3.8	
	M			75.7	10.8	
震度VII (気象庁震度5強)	F			17.7	0.3	
	M			45.3	3.0	
震度VI (気象庁震度5)	F			7.7	0.0	
	M			17.5	0.9	
土木構造物		総数	被害件数	被害率 (%)	崩壊・大破 件数	崩壊・大破率 (%)
橋梁	高速	576	547	95.0	66	11.5
	国道	1081	1004	92.9	191	17.7
	(計)	1657	1551	93.6	257	15.5
トンネル	高速	23	14	60.9	8	34.8
	国道	28	17	60.7	3	10.7
	(計)	51	31	60.8	11	21.6
ダム	四川省	6678	1996	29.9	69	1.0
	陝西省	1036	126	12.2	0	0.0
	甘肅省	297	81	27.3	0	0.0
	その他	27590	463	1.7	0	0.0
	(計)	35601	2666	7.5	69	0.2

壊等について前述の8学協会連絡会議による調査結果および中国側からの公表資料^{3), 4), 5), 6)}をまとめれば表1のようになる。

8学協会による連絡会議のメンバーが、震源域とその近傍の都江堰市、綿竹市漢旺のRC建物の損傷状況について調査した結果から、建物被害の主要因として、①柱のせん断破壊、②柱・梁接合部の破壊、③柱間のレンガ壁の崩壊、④地盤変状に伴う被害、を挙げている⁷⁾。

四川省内では、高速道路7路線、国道5路線および省道10路線、総延長3391kmの道路に被害が発生した。

被災を受けた道路のほとんどは、山岳地域に位置し多くの橋梁、トンネルが建設され、路線に沿って不安定な斜面が多数存在していた。

震源域での強烈な地震動および地表地震断層による地盤変位によって、橋梁、トンネルが甚大な被害を受け、路線に沿った広い領域で斜面崩壊が発生した。特に、建設中であった都汶道路(都江堰-映秀-汶川を結ぶ延長83km)は橋梁、トンネル、斜面に大きな被害を受けた。映秀~汶川区間では43橋梁の内22橋梁で被害が発生し、斜面崩壊により9000万³mの土砂が道路上に堆積し、かつ数mの寸法の巨岩が含まれていたこ

とから、復旧作業が困難を極めた。トンネルの被害として、坑口部での斜面崩壊、覆工コンクリートの天端での圧縮破壊、側壁部のせん断破壊およびインバート隆起破壊が多数報告されている。

4. 復旧・復興のための日中技術協力

汶川地震発生後、地震災害の軽減に係るわが国の8学協会は、四川大地震復旧技術支援連絡会議を組織して、中国側関係機関と共同で被害調査にあたるとともに、被害構造物の診断と復旧および被災地の復興に関し、以下のような技術協力を行ってきている。

被災構造物の復旧および地域の復興に従事している四川省、成都市等の担当技術者、西南交通大学、四川大学等の研究者を対象として、被災構造物の診断と復旧技術および地域の復興に関するセミナーが、2回にわたって成都市で開催された(図4 第1次:2008年5月28日~6月1日、第2次:6月20日~24日)。日本側からは、建築物、橋梁、斜面、トンネル、都市計画分野の研究者と技術者、および兵庫県南部地震や2004年新潟県中越地震の復旧に当たった専門家が参加した。本ワークショップでは構造物毎にグループを組織し、被害実体の把握、被害原因の解明、被災構造物の診断と復旧方法および地域の復興の方針等について具体的な意見交換が行われた⁸⁾。

将来地震災害の軽減に貢献し得る人材育成を目的として、前述の支援連絡会議は四川省の技術者・若手教員・大学院生を対象に、地震学・地震工学特別講座を国際協力銀行(JBIC)の支援により開催した。講座のテーマは、①断層・地震・地震動、②建築物の耐震設計と補強、③土木構造物の耐震設計と補強、④鉄道構造物の耐震設計と補強、⑤道路構造物の耐震設計と補強、⑥地盤・斜面の耐震設計と補強、⑦地震災害軽減のための社会システム、⑧地震に強いまちづくり、⑨地震災害軽減のための地理情報の活用、の9項目である。



図4 復旧に関する日中技術セミナー

地震後、四川省政府は成都の西南交通大学に「四川省耐震工学重点実験室」を開設した。中国西域山岳地方の地理・地形・地質を考慮した土木・建築構造物の耐震性向上技術、震災復旧技術を研究し、かつ地震工学分野の人材育成と国際交流を図ることが設立の目的である。日本の学協会による支援連携会議はこの重点実験室の研究活動を継続的に支援する計画である。当面下記のような課題で共同研究を行うことを予定している。

- ・山岳地域における低耐震性建築物の診断・補強技術
- ・山岳地域における道路交通施設の機能評価および補強技術
- ・斜面および地盤災害の抑制技術
- ・リモートセンシングによる斜面等の観測技術、マッピング技術

謝辞

本文を作成するにあたって、貴重な資料を提供し、議論をいただいた中国地震局の関係者および地震後の日中間の技術協力で尽力された西南交通大学等の関係者に謝意を表す。

参考文献

- 1) 徐錫偉・聞学澤・周榮軍・何宏林、他16名:汶川Ms8.0地震の地表断層および震源モデル、地震地質、Vol. 30, No. 3, p.597-629, 2008. (中国語、英文要旨付)
- 2) 鄧起東:汶川Ms8.0地震に関する思考、地震地質、Vol. 30, No. 4, p.811-826, 2008. (中国語、英文要旨付)
- 3) 趙伯明・徐錫偉:汶川Ms8.0地震断層と地震被害に関する予備検討、地震地質、vol. 30, No. 4, pp. 839-854, 2008. (中国語、英文要旨付)
- 4) 李志強・袁一凡、他6名:汶川Ms8.0大地震の災害特徴に関する予備検討、地震地質、vol. 30, No. 4, pp. 855-876, 2008. (中国語、英文要旨付)
- 5) 日中地震防災学術シンポジウム(2008.10.8-12・成都) 会議報告資料、pp.1-220.
- 6) General Introduction to Engineering Damage during Wenchuan Earthquake, Journal of Earthquake Engineering and Engineering Vibration, Vol. 28, Supplement, pp. 1-114, 2008.
- 7) 中埜良昭ら:2008年5月12日中国四川大地震復旧技術支援連絡会議第2次復旧技術支援建築チームの訪中報告、震災予防、No. 222, September, pp.8-14, 2008.
- 8) 濱田政則、呉旭:2008年汶川地震による被害と復旧のための日中技術協力、地震ジャーナル、47, pp. 27-37, 2009.

この10年の被害地震を振り返って・・・ 日本地震工学会に与えられた使命を考える

中島 正愛

●京都大学防災研究所

1. はじめに

2010年11月18日～21日にわたって開催された第14回日本地震工学シンポジウムでは、「この10年の被害地震」を振り返る特別セッションが催された。このセッションでは、今世紀に入ってから起こった10件（うち1件は複数の被害地震を対象）の顕著な地震・津波とその被害の様相を概観しつつ、各パネラーから、被害の特徴や今後の課題について熱い思いが寄せられた（注：括弧内は話題提供者、肩書・敬称略）。

- (1)2000年代東北地方・建物被害（源栄正人）
- (2)2003年十勝沖・タンク火災（座間信作）
- (3)2004年インド洋・津波（今村文彦）
- (4)2004年中越・地盤被害（小長井一男）
- (5)2005年福岡県西方沖・建物被害（川瀬博）
- (6)2007年能登半島・木造被害（河合直人）
- (7)2007年中越沖・原子力建物（土方勝一郎）
- (8)2008年岩手・宮城・地盤被害（風間基樹）
- (9)2003年イランバム、2005年パキスタンカシミール・建物被害（真田靖士）
- (10)2008年中国汶川地震・構造物・地盤被害（濱田政則）

上記10件のうち、7件は国内の被害地震、残り3件は海外の被害地震・津波を取りあげている。当日の出席者は一様に、「そうか、この10年はこんなにたくさんの地震・津波被害に国内外が巻き込まれたのか」との印象を改めてもったようだ。この特別セッションのまとめ役を仰せつかった筆者は、各パネラーからの発表を聴講しながら、わが日本地震工学会にこれから求められるものはなにかについて、あれやこれやと思いを巡らせてみた。

2. 過去10年の被害地震・津波からの教訓

2.1 教訓の分類

1995年の阪神・淡路大震災を抜きにしてこの10年間の地震工学を語ることはできない。耐震工学では世界の先端をゆくと自負していたわが国で起こったあの被害を契機に、地震工学に対する考え方から、地震工学が取り組むべき具体的課題、そして地震防災の実践の

あり方に至るまで、幾つもの大きな変化があった…と認識している。阪神・淡路大震災であれだけ痛い目に遭い、以後現在に至るまでの15年間、あの悲劇を繰り返すまい、あの地震被害から得た教訓を活かさなければならぬと考えつつ展開してきた研究・実践活動と、この10年間に起こった地震・津波被害とを対比しつつ…

- (A)何が新しい課題として浮かびあがったのか
- (B)阪神・淡路大震災の教訓は活かされたのか
- (C)国外地震被害からわれわれは何を得たのか

をキーワードとして、今回の特別セッションにおける各パネラーの報告に聞き入った。

2.2 阪神・淡路大震災以降に露見した新しい課題

上記(A)に関しては、先の(1)～(10)の発表から下記の項目（キーワードで列記）を得た。

- (1)異なる地震動（短周期・大加速度）、室内・非構造・設備被害
- (2)長周期地震動によるタンクの被災・火災、まだらもよりの備蓄基地内タンク被害
- (3)未曾有の大津波と人的被害、津波フラジリティ、船舶漂流モデル、防潮林の減災機能
- (4)大規模斜面崩壊、地殻変動、変動の痕跡を利用した復興戦略
- (5)非構造被害、建物被害予測モデルに考慮すべき地域性
- (7)原子力発電施設の耐震設計、動的相互作用、摺曲構造、堆積層の不整形、入力の不確定性、ロバスト性
- (8)強烈地震動記録、斜面崩壊、土石流

2.3 阪神・淡路大震災の教訓は活かされたのか

上記(B)に関しては下記の項目（キーワードで列記）を得た。

- (1)耐震補強の効果
- (2)、(7) K-NET、KiK-net等による地震動記録の活用、アスペリティモデルの検証、緊急地震速報
- (6)木造設計（壁量）と耐震強度の関係に対するデータ

の蓄積

2.4 国外地震被害からわれわれは何を得たのか

上記(C)に関しては下記の項目(キーワードで列記)を得た。

- (2)大津波とその被害という見たことがない事象の観察
(9)、(10) 復旧・復興への国際協力

3. 過去10年の教訓の総括

上記2.1から2.3を眺めつつ、筆者が得た所見は次の通りである。

- (a)阪神・淡路大震災とは異なる様相を示す被害地震がたくさん起こった、つまり、阪神・淡路大震災で露見した被害は地震被害の全てでは決してない。大津波、大規模斜面崩壊等の災害事象、タンクや原子力施設のような特殊構造物の地震応答と被害等々、地震に関連する被害は多岐にわたり、われわれはなおそれら事象のすべてを経験したわけではない。また未経験の事象に対して、現時点での防災対策が万全であるとは言い切れない。
- (b)阪神・淡路大震災の教訓に立つ防災実践は、例えば耐震補強、K-Net等の地震動観測網等において、絶大な効力を発揮している。ただ真の効力が実証されるには年月を要するので、僅か10年程度でその全てを測るわけにはゆかない。
- (c)自然現象としての災害は国や地域を超えた普遍性があるから、国外地震であろうとそこから学べるものは(スマトラ大津波のように)多岐にわたる。一方その上に建つ街や都市の被害となると、これはそれぞれの国や地域の文化や富力によって大いに異なるので、さて彼らの被害がわが国にいかなる教訓をもたらさうのか…という疑問に対して、「発展途上国に対する復旧・復興支援」という明快な目標を掲げた、新しい調査スタイルが芽生えてきた。

4. 日本地震工学会が果たすべき役割

地震被害とその対策が、わが国の安寧にとって最も切実な課題であることは論をまたない。従って地震工学は、土木、建築、地盤、地震、機械等々、多くの研究・教育分野で長年にわたって育まれてきた。そのような状況下で起こった阪神・淡路大震災、そこで露わになった「良くも悪くも縦割りが幅を効かしていたわが国の地震防災研究・実践」への反省を踏まえ、そして、社会に対して地震工学の意義と役割を訴える「Common Voice」形成の場が必要なことにも思いを致し、日

本地震工学会が発足した。設立に至ったこの経緯を、われわれは忘れてはならない。この10年に起こった被害地震・津波を経て、それを日本地震工学会の設立意図にあわせるなら、日本地震工学会には今、「阪神・淡路大震災を原点としてその後新たに直面した課題」を同定するとともに、「これら課題を解決するための行動計画」について具体的ビジョンを示すことが求められる。そして、それらを社会の各層に対して訴えることから、行動計画の実現に向かって努力しなければならない。

具体的な行動を下記のように考えてみたい。

ステップ1:

地震工学に関わる新しい研究課題の同定・・・阪神・淡路大震災で経験しなかった地震・津波被害の整理

ステップ2:

わが国の地震工学コミュニティが取り組むべき研究課題の抽出…ただし、取り組むべき課題については、科学・技術の挑戦(Scientific Challenges)という学問として研究として取り組むべきモードと、成果の社会還元(Broader Impact)という成果の普及モードとを峻別し、個々の研究努力がどちらを指向するのかを明らかにしておいた方がよい。

ステップ3:

「地震工学研究コミュニティの代表」として、社会(政治、国民)にステップ2に関わる取り組みを強く訴える。

さらに、地震工学や地震防災に関わる国際連携については、先の(c)に記したように、国外調査を踏み台にわれわれが何をしたいのかを明確にとらえた上での戦略的な行動が一層求められる。

名誉会員に聞く

和泉 正哲

●東北大学・東北芸術工科大学名誉教授

一口自己紹介

専門は建築構造力学と耐震工学：官学民の3つの異なった環境下で研究を続け、内外で教育活動に従事していた小柄で元気な80歳の老人である。

A5版の人生

80歳になり、近眼に加えて老眼にもなっている私の目でも1ミリ方眼紙のマス目は良く判別出来る。この1マスつまり1平方mmを1日と考えた場合、例えば85歳の人生はどのくらいの面積になるのだろうか？

答えは何と通常使用しているA4版紙の半分のA5版に過ぎない。人生はこのように一瞥で見通せる程短いものなのだ。短いかからこそ満足に行く一生でありたい。私は、好きな研究を一生の仕事とし得た事に満足し、そのように仕向けて下さった方々に感謝している。この機会に一研究者の一生を振り返りコメントしたい。

研究者への道

研究者に必要なが、世間から嫌われる性格に「物事はすべて疑ってかかる」がある。これは、戦時下、小学4～6学年間の担任の先生からの執拗なイジメを受けて培われた。先生に反発し、一矢報いるため先生の言葉は注意して聴き疑い吟味し間違えがあればすぐ糺す事を心がけたのが習性で成った。中、高に進み、数学好き英語嫌いながらも人間的な文系に惹かれたが敗戦を境に「鬼畜米英」から「民主主義国の御手本の米国」へと講義を急変させた社会学の先生を見て「歴史すら勝者によって書かれてきた」文系の危うさを知り、科学という拠り所を持つ理系へと転向した。それでも理系の中では「美」などという数式で表現できない概念を重視する人間的な分野「建築」を選び、大学の専門課程での楽しい日々を素晴らしい学友達と送り、適所を得たと感じた。卒論に当たり計画系と構造系に分かれる際に構造系でも計画に近い一般構造の松下清夫先生の講座に入れて貰った。就職難の時代ではあったが、家庭の事情もあり卒業後はすぐ建設会社へ就職する積りでいた。先生は私の疑い深い性格や勉強不足を見抜かれたらしく、修士への進学を強く勧められ、バイト用に実際の建築物の構造設計と現場管理を準備し

て下さった。私は先生の恥になることは絶対起こすまいと思い、規準書を含め参考となる書物を片端から熟読し、現場で知識の吸収に努めた。それまでの生涯で其の時程気を入れて勉強した事は無かったが、其の時の現場経験はその後の生涯に活きた。研究にも意欲が湧き始めたが書き上げた修士論文には不満が残りに、先生が博士課程への進学を勧められた時には、有難くお受けした。日本経済も家庭の状況も好転して居て私はここではっきりと研究者への道を歩き出した。

学位論文

博士課程に入り授業は無く、奨学金を頂きバイトの必要も無くなり、戦中戦後の学校生活で初めて心と時間の余裕が出来たので、建築士、測量士と通訳ガイド（英語）の資格を取った。通訳ガイドの資格の利用機会はなかったが、英語はその後の海外生活に役立った。

先生と話し合い学位論文のテーマを当時遅れていた「建築物設計用荷重」の合理化に関する研究と決め、従来の過去最大値を基とする体系から「ある年数間における発生の期待値」という確率的体系への変換を図った。これにより例えば自然災害のみを対象とするのではなく人間の持つ多くの危険すなわち多元リスク



の中で建築物の設計用荷重を相対的に決めることが出来るようになった。地震との関係は、このように実現象より先に過去の資料との付き合いから始まった。建築構造上重要な幾つかの新しい荷重の研究も加えて論文をまとめ博士課程を修了し、望んでいた建設省の建築研究所の研究者となれた時は既に27歳になっていた。

建築研究所と米国留学

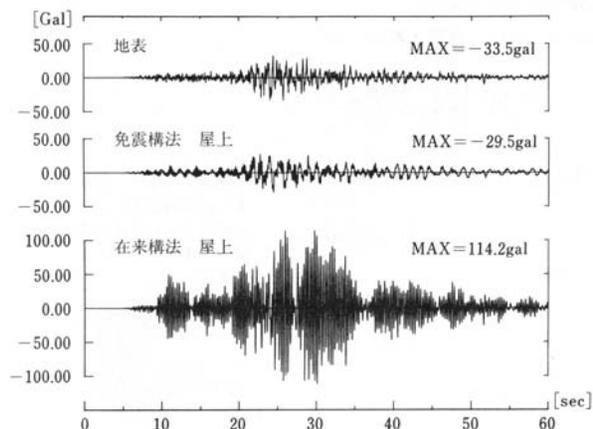
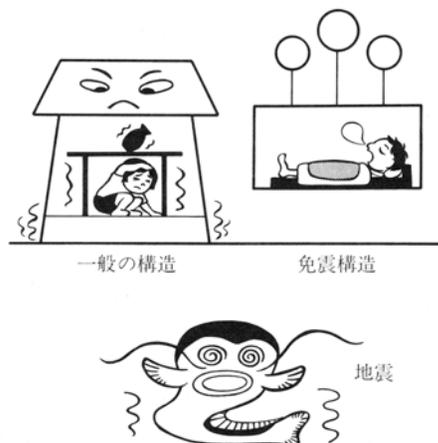
戦後に設立されたこの研究所(建研)は当時としては優れた研究者と設備を誇り世界でも名が通っていた。最初の仕事は空襲で焼かれたRC(鉄筋コンクリート)ビル個々の使用可能性の判定であったが、構造的に劣化したビルが建て直し迄に地震で倒壊するか否かは設計用荷重の研究者でも答えられない。苦汁の判定の日々であったが、幸い日本経済の戦後復興が速く再使用と判定した焼けビルはすべて災害の起こる前に建て直された。仕事は軽量鉄骨の水平加力実験、そしてコールドホール型原子炉模型の耐震実験へ進み耐震工学の研究者へと鍛えられて行った。同時にフルブライト留学の受験を上司に勧められ、入所2年目の秋、米国イリノイ州ノースウエスタン大学のポストドクターコースに入った。大学の図書館管理と実験施設の充実に驚嘆したが、教授団も豊かで、3次元光弾性のヘテニ、後のFEMの開発指導者ジンキーヴィッチ等もいた。非線形振動やコンピュータの授業の他に滞在中を通し半実物大の橋梁の載荷実験の助手をした経験は生涯の糧となった。研究環境に恵まれた1年が速く過ぎ、大学から滞在の延長を薦められフルブライト基金側の許可も得られたので、建研に延長願いを申請したが、厳しく拒絶されてしまった。しかし、帰途2ヶ月かけて欧亜の研究施設を訪問調査することを許可してくれ、当時経済的には絶頂にあった米国とは一味違う欧亜の研究施設を見学し研究者と語ることが出来た。旅行中に30歳の誕生日を迎えた。

地震学地震工学国際研修センターとユーゴのIIZIS

帰国したのは1960年の第2回世界地震工学会議2 WCEE(於日本)の終了後で、此れに関連した東大地震研の事業の国際研修を建研で引き継ぐことに成っており、共同事業者のUNESCOとの折衝を上司と担当した。これが、後に私がUNESCO専門官としてユーゴスラヴィアの地震・地震工学研究所IIZISに断続ながら計数年滞在する切掛けとなった。建研の国際研修事業は1962年東大から表教授を招き発足し、私もこれに従事した。育った環境も保有する知識レベルも異なる多国の研修生との交流や研修は楽しく且つ大変であった。

電算機(コンピューター)、高層建築時代、免震研究

日本が考え米国で実現した強震計は、米国の地震工学の進歩を加速し、得られた記録は初めアナログ的に解析され、ハウズナー教授らの努力で応答スペクトルの形で耐震工学と結びつけられた。戦後遅ればせながら日本でも強震計が開発され、解析用アナログ電算機セラックも東大に導入された。建研の電算機は、私のデジタル絶対有利の意見を通して、空きメモリー僅か30KBで機械語的アセンブラのみ使用の小型機ながら世界の最先端を行く解析研究を可能としてくれた。当時日本は目覚しい復興を遂げ地価が高騰し、地震国故の建築物の高さ制限31mの撤廃が社会的に要求された。その時代唯一利用できた米国の強震記録には長周期成分が少なく、応答スペクトルのピーク値が1秒以下の短周期にあったため、1次固有周期の長い高層ビルの設計が可能とされ、超高層建築時代に入った。それならば、タブーとされていた免震建築も可能な筈なので、東大松下研と共同研究したいむねを建研に申請したが、国民の税金でいかがわしい研究は出来ない



一蹴されてしまった。粘りに粘り、あくまで自主研究であることと日本国内で研究発表をしないという条件付で認めてもらった。後に1965年3 WCEE (於NZ) で成果を発表し世界では拍手で受け入れられ松下・和泉はパイオニアとされ、研究も諸外国で進み建物も建てられるようになったが、日本では20年掛かり東京理科大の建物でやっと2重柱免震が実現された。(その後ゴム免震が日本にも入った)

長周期地震、国辱事件、新潟地震、阪神大震災

日本開発の強震計1台がメキシコ政府に寄贈され、小さいながらも首都メキシコシティで記録がとれ日本政府に解析依頼と共に送られて来て私が担当し、入念にチェックをして報告書を提出したが、上司の「この様な間違っただけの解析結果を回答することは「国辱」である」との厳しい言葉とともに没にされた。私の得た応答スペクトルのピーク値が3秒辺りにあったのである。1964年の新潟地震では建研派遣のUNESCO専門官のフォークナー教授運搬の外交官車でいち早く被災地に着き、砂質地盤の液状化の被害を目の当たりにしたが、後から強震計の記録を見て長周期成分の無視出来ない地震の存在を感じ、地震動研究と共に高層ビルや免震建物用のダンパーの研究をも開始した。はるか後の1985年のメキシコの地震時首都で得られた強震記録の応答スペクトルには正に3~4秒にピークがあり高層ビルの多くが崩壊したのを、文部省派遣調査団長として現実に見た時、「国辱」と言われて引き下がり軟弱地盤に高層ビルが建つのを止められなかった自分を責めた。研究者としては、自分の仕事を信じ、そのとき少なくとも記録のとれた首都の地盤状況をメキシコ政府に問い合わせるべきであった。

逆に被害を未然に防いだ例にも言及したい。日本政府は共同住宅の質と工業化を高める為、兵庫県の芦屋浜にかなりの数の建物を建てると言う条件で企業間のコンペを実施し、ある大手ゼネコンと製鉄会社の共同チームが一等当選し、実施設計の構造チェックが私の担当となった。しかし構造は脆弱で強震に耐えられるものでは無かったので設計変更を要求したところ、阪神には地震は全く無く将来も起こらないから補強の必要は無いと猛反発されたが、強引に押し切り耐震化して貰った。1995年の地震で芦屋浜の共同住宅は一棟も崩壊せず死傷者も出さず、事情を知っている人から和泉のお蔭と言われ嬉しかったが、厚板の鉄骨柱の切断被害はあり、この種の鉄骨を使用している高層ビルへの警鐘となった。尚、私は地震被害調査を内外で多数行ったが、肝腎の地元仙台での1978年の地震時外国に

いて揺れを実感出来なかったのは残念でならない。

東北大学、東北芸術工科大学

UNESCO専門官としての第2回目のユーゴ長期出張を終えたのが1970年春の39歳の時であったが帰国して見て自分の研究レベルが世界から遅れ出しており急遽取り返す必要性を感じた。しかし建研は学園都市への移転問題の可否で揉めていて年齢的に管理職にさせられた私が研究の出来る雰囲気では無かった。そもそも建築は多種多様の要素を集めて人間生活の容器と言うシステムを造るシステムエンジニアリングであり、当時は情報過疎で交通不便な地域に研究所が移転する理由は無かった。敷地面積は増え、機器類も充実するのは魅力であったが、人員は増えないとの事で結局研究員は施設のお守り役に墮するだけになる。私は移転反対の立場を取ったが、政府の方針は変わらなかった。私の敬愛する上司や仲間も建研を去り、建研は4半世紀を経て変わるべき時に来ていた。私も中年の41歳になって居り14年を過ごした建研に別れを告げて東北大に移り構造力学講座を担当した。構造力学は、学生時代好きでは無かった科目であり、学生が嫌う気持ちも良く分かっていたので、技術史を兼ねた社会学から入り、イラストを多用し、日常無意識に用いている力学を理解して貰ってから構造力学の本質に入ったので、可なり良い教え方が出来たと思う。書いた教科書は平易な1巻がよく売れたのに対し構造力学の神髄を書いた2巻(院生用)の売れは悪かった。当時、東北大学の学生は地元や近隣出身の英才が多く、幼児の頃から入試に毒され全精力を使い果たした状態で大学に入ってくるような学生は少なかった。大学院生は皆優秀で教えるよりも共に学ぶ事が多かった。研究室の目標テーマの一つとして「地殻の応力状態の把握とそれに基づく地震発生予知の精度の向上」を置き、破壊力学、構成方程式、モデル同定、ランダム振動理論、震源モデルと発生波動、設計荷重論などを研究対象とし学会論文誌上を賑わした。このテーマは、現在、地震やGPSの膨大で高精度の資料の蓄積のもと、やっと解決の糸口が見えて来た。文部省の災害科学研究にも参加させて頂き、諸学会や機関を介しての共同研究も多かった。テーマの中には、コンピュータに心理学を教えて「美的センスを持たせよう」と言う面白いものもあったが未完成に終わった。研究室は家族の様で、研究の合間に卓球やコンパをし、時に山や海で遊び青年の家で合宿勉強などもした。内外からの留学生はこの研究室の雰囲気を自校に持ち帰り再現してくれた。当然の事ながら学生は入学し卒業して行き、我等教職員は何時も20

歳代の若者と接している為、自分が歳を取って行くことを忘れていた。気が付いたら22年も東北大学で過ごし63歳の定年を迎えていて、創立間も無い東北芸術工科大学へ移った。生徒の雰囲気も違い学力の分散も大きいながら一味違う好きがあり、極めて優秀な学生も居て教科書全巻を読破し良い質問を浴びせて来た。

清水建設

東北大学定年後、清水建設からの依頼を受け顧問となり、会社内に和泉研究室を持った。その結果、一時期、東北芸工大、上海同済大、清水建設の3箇所和泉研究室が存在した。清水建設にはスタッフ、施設とも充実した技術研究所(技研)があり、屋上屋を重ねる必要は無い。技研では扱わず、且つ、現在は欠けているが将来に亘り必要とするものとして、保有する情報を活かした論理的計画手法、即ち「数理計画」を研究対象に選んだ。その良い所は、一つの目的に対し複数の計画が立てられ、その実行結果が予測出来る点にあり、計画に曖昧さが残らない。担当研究員は、実質、皆大崎研究所(所長、大崎順彦東大名誉教授)の研究員そのものであり、極めて優秀なので研究は成功すると期待した。しかし、それこそ数理計画的に予測すべき事であったが、不況が進み清水建設は人員削減の必要に迫られて好条件で退職希望者を募った結果、すぐ職が見つかる者と自分で起業する者、つまり優秀で実力の在る者から退職して仕舞った。かくして、研究の中心グループは殆んど諸大学へと移り、1995年の兵庫県南部地震が更に追い討ちを掛け、研究員は被害調査と復旧事業の為に全時間を使う事になった。その為、「計画」の構造が可なり明らかになり、試行用のプログラムでJCO事故解明を行い発表した所迄で数理計画の研究開発は残念ながら自然消滅した。私は技研に移り78歳で退職し、大崎研究所の顧問になり現在に至った。今年10月末には尖閣諸島で揺れる中国の万博に招待され、幾つかの大学で講義を行った。

中国

私の中国との関係は、東北大時代に構力研究室に来た国費留学生から始まった。彼等は優秀で日本語は渡日前にほぼ完全な迄に訓練され、日本の学生に比し、学業に極めて熱心なだけでなく、人付き合いも上手く生活力も旺盛で、日本の将来を案じさせる程であった。社会主義国の問題は生産性の低迷だが、中国は個人の稼ぎに応じて収入が決まり投資も奨励する資本主義的修正社会主義を採った為、人々は米国等と同様greedy(貪欲)に働く。後述のように、日本の失敗も追

い風になり、1990年以後急速に発展したため、通信交通など社会の基幹施設は現在の世界の最先端のものを、都市には高層ビルが林立している。自転車で満ちていた狭い道の上には社会主義的強制で住人を立ち退かせ広く見事な高速自動車道路網が建設された。現在世界の工場として経済的に絶頂にあり、自由主義国では国内世論の統一の出来ない問題でも一党独裁の強みで振りかまわずに資源・権益・技術等の獲得に努め、軍事力も高めて次代の生き残りを目指している。唯、少数他民族を含む膨大な国民の意思統一のため過去の侵略者で現在は平和国家の日本が仮想敵国にされているのと、環境対策の遅れが気懸かりである。

まとめとコメント

私の生まれた1930年は世界金融恐慌の翌年、満州事件の前年で、5.15、2.26事件後就学したが、小学校1年から中学3年迄が戦時、しかもその最後の2年は空襲下の勤労働員、その後は食料難で生きるのがやっとで18歳の大学入学後から勉学を開始し、松下東大教授(後、名誉教授)、久田俊彦建研部長(後、所長)を初め周囲の方々の指導を受け35、6歳頃には自分の研究分野では世界の頂点にいると自負出来る程度になっていた。今から思えば、それ以降創造力は減退し、代わりに物事を総合する力で生きて来たので、皆には若いうちの努力を強く勧めている。ところで、当時日本の復興と成長は目覚しく世界の奇跡と言われたが、1985年にブラザ合意を無条件に呑んだ政府の大失策により円が急騰し技術製品輸出立国が崩れ、戦後営々と築いた日本の富の大半は外国に流れ、資本・工場・技術は中国に移動し、仕事も減り、失業者も増えた。これほど変化に富んだ社会に生きられたことは、私は幸運と言わなければならないのか。日本政府は現在国民一人当たり800万円を超える大借金を背負いIMFから不名誉なネヴァダ勧告迄受けた。中国は日本の失敗に学び通貨の元を安く抑えている。日本はこの俣では、全てが悪化するばかりなので、従来とは考え方を変えねばならない。先ず教育で、誤った平等主義や甘やかし主義を止め、適材適所を目標にして入試・入社の体系を変えたい。年齢を限ったインターン制度も有り得る。日本のマスコミが良くなれば、日本の改善にも希望が湧く。また、エネルギーの確保が重要で、日本は嘗てその封鎖を受け第二次世界大戦に突入した。今、例えば原子力を忌避すべき時ではない。生産量の競争より、人々の品格や寿命も含めた生活の質で世界一を誇りたい。ただ、歴史的に他国に護って貰い成功した例は無い事は肝に銘じて置く必要が有りそうである。(2010年11月)

第13回日本地震工学シンポジウム開催報告

和田 章／倉本 洋／勝俣 英雄／福和 伸夫／久田 嘉章

●東京工業大学 ●大阪大学 ●大林組 ●名古屋大学 ●工学院大学

1. シンポジウムの趣旨

日本地震工学シンポジウム (JEES) は1962年に第1回が開催され、おおむね4年ごとに、世界地震工学会議 (WCEE) の開催の中間年に開かれてきました。最近数回の本シンポジウムは、700～1,100人の参加者を数え、この種の会議の代表的なものとして評価されています。また、このシンポジウムは第1回以来、関係学協会が共催してきております。今回は幹事学会である一般社団法人日本地震工学会をはじめ、(社)日本建築学会、(社)土木学会、(社)地盤工学会、(社)日本機械学会、(社)日本地震学会、(財)震災予防協会といった従来の共催団体のほか、地域安全学会、日本活断層学会、日本災害復興学会、日本災害情報学会、日本自然災害学会も加わり、計12団体の共催で行われ、文字通り日本の地震工学分野の研究者・技術者が集うシンポジウムとなりました。

運営委員会では前回同様、今回も「市民・技術・減災」をメインテーマに掲げ、さらに「Not “if”, but “when”」をキーワードとしました。つまり「もし来たらではなく、いつか必ず来るものとして対策を講じなくては、地震災害は減らない」という意識を本シンポジウムを通して共有していこうというものです。それに因んで、旧山古志村村長である長島忠美衆議院議員による特別講演や日本地震工学会10周年記念事業の一環である国際パネルディスカッションおよびスペシャルテーマセッションが組み込まれました。

2. 概要

シンポジウムは、2010年11月18日(木)～20日(土)の三日間の日程で、つくば国際会議場において開催されました。また、それに先だって11月17日(水)の午後には、筑波研究学園都市地震工学ツアー(日本地震工学会10周年記念事業)が企画され、国土地理院、土木研究所および防災科学技術研究所の各施設の見学会が実施されました。発表された論文は表1の通り、合計611編で前回の385編を大きく上回るものでした。また、3日間の登録参加者数は、表2に示すように合計965名でありました。

シンポジウムは初日の10時から和田章運営委員長の

挨拶で始まりました。

表1 発表論文数

一般論文セッション 内 オーラル ポスター	583編 (464編) (119編)
スペシャルテーマセッション1 この10年の被害地震	10編
スペシャルテーマセッション2 この10年の地震工学の動向と発展	12編
国際パネルディスカッション アジアの大地震被災地のその後 —地震好学者がなすべきことは—	6編

表2 登録参加者数

項目	参加者数	参加費	
一般論文 第一著者(一般)	412	19,000円	
	同(学生)	171	9,500円
一般参加 (事前登録)	78	10,000円	
	(当日現地登録)	178	12,000円
	(無料:招待含む)	75	
学生参加 (事前登録)	25	5,000円	
	(当日現地登録)	26	6,000円



写真1 開会式で挨拶する和田運営委員長(左)と久保日本地震工学会会長(右)

3. 内容

3.1 一般セッション

表3に一般セッションおよびオーガナイズドセッションによる分野別の発表論文数を示します。今回の論文数は583編でした。前回(第12回)が367編でしたので、約6割もの大幅な増加となりました。この最も大きな理由は論文の査読をやめたことにあると考えています。やめた理由は、1) 査読を行ってもほとんどの論文が採択となり、査読が形式的となる傾向があったこと、2) 近年、大学や研究機関では査読論文の評価が厳密となり、シンポジウム論文は学術雑誌の論文とは同等には扱われなくなっていること、3) 限られた日程で膨大な数の論文の査読を行なうため、煩雑な作業が必要となること、が挙げられます。一方、査読の廃

止により、次のようなメリットがあったと考えています。1) 完成度の高い論文だけでなく、進行中や話題性のある研究論文を集められること、2) 若手研究者だけでなく、ベテラン研究者も参加しやすくなること、3) 研究者以外の実務者・行政・教育の分野など、幅広い分野の講演も可能となること、などです。

論文投稿の呼びかけからシンポジウムまでの概要は下記の通りです。まず2009年12月よりホームページの公開や関連学会の会誌などで、アブストラクト投稿の呼びかけを行い、2010年5月に投稿を締め切りました。アブストラクトのフォーマットは、図表の有無にかかわらず、和文の場合は400-600字程度、英文の場合は200-300 words程度と非常に単純にしましたので、これも投稿数が増えた理由の一つと考えています。この時点での投稿数は648編でした。論文委員会(委員長：中村 晋、日本大学工学部土木工学科教授)により、6月末までに全てのアブストラクトの査読を行い、全てのアブストラクトは論文投稿可能と判定されました。9月1日に論文投稿を締め切り、論文委員会による簡単な最終チェックを経て、表3に示す全ての論文が確定しました。論文フォーマットは幹事学会である日

表3 一般発表論文数

発表分野	発表形態別		発表合計
	口頭発表	ポスター発表	
1 地震被害	7	5	12
2 活断層と古地震	0	1	1
3 震源のモデル化と震源特性	10	7	17
4 地盤構造と地盤震動	43	17	60
5 強震動予測と入力地震動	27	8	35
6 地震ハザードとゾーンেশョン	6	6	12
7 津波と減災対策	8	2	10
8 土および地盤の動的特性	6	2	8
9 地盤の非線形挙動と変状	5	3	8
10 地盤の液化化および側方流動	12	2	14
11 地滑りと斜面崩壊	14	2	16
12 土構造物・ダム	16	1	17
13 基礎および地中構造物	6	4	10
14 動的相互作用	14	5	19
15 構造物と構造要素の実験・観測	46	10	56
16 構造物と施設の地震応答	25	4	29
17 木質構造と伝統建築	29	8	37
18 免震・制震(制振)	28	7	35
19 知的構造およびヘルスマニタリング	10	1	11
20 耐震診断・改修	10	3	13
21 非構造部材および設備	5	0	5
22 耐震設計論および耐震設計基準	10	1	11
23 施設の機能維持・早期回復	3	0	3
24 ライフラインと交通システム	6	1	7
25 防災計画および防災対策	15	2	17
26 地震リスクマネジメント	9	0	9
27 地震時の人間行動および防災教育	10	5	15
28 リアルタイム地震防災・緊急地震速報・強震観測システムと利活用	11	7	18
29 社会・経済、その他	1	0	1
OS1 地震動予測地図	16	2	18
OS2 2008年岩手・宮城内陸地震から何を学ぶか	10	0	10
OS3 原子力の地震安全ロードマップ	12	0	12
OS4 原子力発電施設における高経年配管系の耐震裕度評価	4	0	4
OS5 事業・業務継続計画(BCP)と地域継続計画(DCP)の現状と課題	9	0	9
OS6 巨大地震に備えた長周期地震動対策の現状と課題	11	3	14
OS7 2010年チリ地震による被害とその教訓	10	0	10
合計	464	119	583

※発表分野のうち、1-27が一般セッション、OS1-OS7がオーガナイズドセッション



写真2 一般セッションの様子

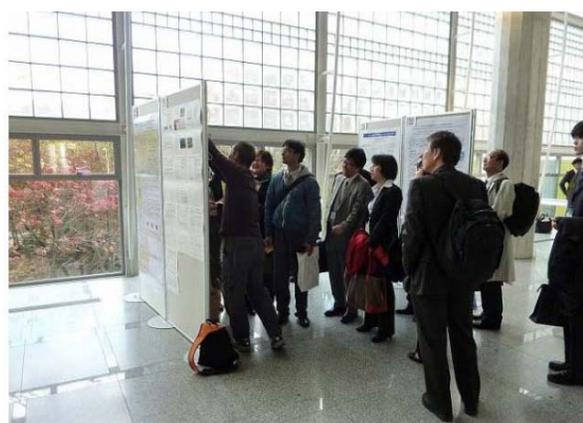


写真3 ポスターセッションの様子

本地震工学会の論文フォーマットとほぼ同じものになりましたが、ページ数で8ページ、容量で5MB以内という制限を設けました。前回と同様に全ての作業はホームページとメールにより行われ、全論文はPDFとして、1枚のDVDに収まりました。

発表分野などは前回とほぼ同様ですが、地盤震動・強震動、構造物の実験・応答、免震・制震、木質構造・伝統建築の分野の発表数が特に多くなりました。7つの会場と1つのポスターセッション会場を準備し、論文数の多い分野には、できるだけ広い会場を割り当てました。ただし、それでも手狭となった会場もいくつかあったとの報告があり、大変ご迷惑をおかけしました。また論文数が大幅に増えた結果、発表時間をやや短め(12分間、うち発表時間は8分)とせざるを得ませんでした。次回以降の参考にして頂ければ幸いです。全体を通して、幅広い分野から多くの方々の参加を頂き、結果としては非常に活発なシンポジウムになったと考えています。写真2と3に一般セッションおよびポスターセッションの様子を紹介します。

3.2 オーガナイズドセッション

表3に示すように、7つのオーガナイズドセッションが企画され、計71の論文による発表がありました。前回のシンポジウムでは3つのセッションで論文数が41でしたので、これも7割以上の増加になりました。各セッションのタイトルとオーガナイザー(〔〕内)は下記の通りです。

- OS1: 地震動予測地図[植竹富一(東京電力)、香川敬生(鳥取大学)]
- OS2: 2008年岩手・宮城内陸地震から何を学ぶか[風間基樹(東北大学)、中村 晋(日本大学)]
- OS3: 原子力発電所施設の地震安全ロードマップ構築に向けて - 地震工学の役割 - [亀田弘行(原子力安全基盤機構)、高田毅士(東京大学)]
- OS4: 原子力発電施設における高経年配管系の耐震裕度評価[高田 一(横浜国立大学)、大谷章仁(IHI)]
- OS5: 事業・業務継続計画(BCP)と地域継続計画(DCP)の現状と課題[久田嘉章(工学院大学)、矢代晴実(東京海上日動リスクコンサルティング)]
- OS6: 巨大地震に備えた長周期地震動対策の現状と課題[西川孝夫(日本免震構造協会)、斉藤大樹(建築研究所)]
- OS7: 2010年チリ地震による被害とその教訓[中埜良昭(東京大学)、小長井一男(東京大学)、庄司学(筑波大学)]

オーガナイズドセッションは次のスケジュールで行われました。まず2009年12月よりホームページの公開や関連学協会の会誌などで、セッションの企画の呼びかけを行い、2010年1月末に締め切りました。結果としては公募による応募は無く、全ては運営委員会・学術委員会の委員自身による、あるいはそこからの依頼による企画となりました。この点、もう少し時間的な余裕と広い周知活動が必要であったと考えています。オーガナイズドセッションでは、与えられたセッション時間の中での講演時間や議論の時間は自由な設定を可能としました。さらに招待講演者も自由に加えることができるため、研究者・実務者だけでなく、行政やメディアなど広い周辺分野の方々による講演も行われました。ちなみに本シンポジウムでは一人当たりの講演は1題に制限しましたが、招待講演者は招待である限り、何編でも講演を可能としました。

セッション数は当初は6つでしたが、2010年2月に発生したチリ地震(M8.8)を加え、計7つとなりました。予想以上の論文数の多さから、十分な発表・議論が出来たとは言えないかもしれませんが、強震動・地震被害、長周期地震動、原子力発電施設、BCP/DCPと広く話題性のある分野を網羅し、活発な発表・討論が行われたと考えています。

3.3 特別講演

初日の開会式に引き続き、「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～」と題して2004年中越大震災当時の山古志村の村長であった衆議院議員・長島忠美氏にご講演頂きました。

講演は、中越大地震発生時からの被災地のトップとしての災害対応行動を時間経過に沿って、地震発生時の様子、夕方の地震発生から夜間の役場までの徒歩による移動と携帯電話による県庁・村職員への指示、そして夜が明けてからの被害実態の把握と臨場感あるお話を進めていただきました。その後、「避難指示」による全村避難の決断と進め方、陸路通行困難ため自衛隊ヘリコプターによる一時帰村、「二度とこの村には帰れないとの思い」から一時帰村を通じての村民の「村へ帰ろう」との思い熟成、帰村への目標の設定、復旧の過程での子供たちの変化等を災害対応のトップとしての決断・思いを伝えて頂きました。最後に災害時におけるコミュニティのあり方、行政と被災者の関係、報道への対応をお話頂き、学協会への要望として「実践に役立つ研究」の必要性を述べてご講演をまとめられました。質疑に入り、実践的な研究、所有権移転の問題等の質問があり盛会時に終了いたしました。

3.4 国際パネルディスカッション

「アジアの大震災被災地のその後 ―地震工学者は何をなすべきか―」をテーマに国際パネルディスカッションが初日の14時から2時間半にわたり開催されました。パネリストは王自法博士 (Validus Group ニューヨークオフィス副所長/中国地震局工程力学研究所 (IEM) 非常勤教授)、Amin Zahid氏 (パキスタンムザファラバード市開発局長、2005年のカシミール地震の時、同市市長)、長島忠美氏、Boduroglu M. H.教授 (イスタンブール工科大学 地震工学・災害マネジメント研究所 所長)、Febrin Ismail博士 (インドネシア・アンダラス大学教授、NPO法人KOGAMI代表)、Pacheco Benito教授 (フィリピン大学教授、同土木研究所所長) の6名の方々でした。王自法博士はやむを得ない事情で欠席となりましたが、震災復興の進んでいた映秀鎮の土石流被害に触れ地震の直接的な被害のみにとらわれてはいけないことを示す資料を提示して頂きました。パネリストの話題提供は、地震の発生に沿って時間をさかのぼる形で行われました。これは災害発生直後からどのような課題が時を追って発生し長期に及んでいるのか、一方で時を経て薄れていく人々の記憶に抗うように地震の教訓を伝え、今後起こり得る災害に備えていく難しさがどこにあるのか浮き立たせるためでありました。Febrin教授の紹介するインドネシアでの技術普及の試みは一般の人々に自分たちの家々を構築することを許すインドネシアでは不断の努力が必要とされる活動であり、また首都イスタンブール直近のマーマラ海中にサイスマックギャップの脅威を残すトルコでは膨大な数の不適格建物をいかに補強していくのか経済的にも人的資源からも“手際の良い”補強戦略が必須であることがBoduroglu教授から紹介されました。比較的最近の地震で、半年にわたり自宅にも戻れず、またまとまった睡眠時間が3時間程度しかとれなかった被災地の長島山古志村村長 (当時)、Amin Zahidムザファラバード市長 (当時) の学術に携わる者への期待は、復興行政に携わる者としての苦渋の決断や現在に至る苦闘の経験に裏打ちされ、時間、空間、対象に絞った研究のための研究でなく複合して生じる様々な課題の解決への科学的データを望むものでありました。Pacheco教授の示した減災への行動の図式は、こうした期待への取り組みの枠組みをわかりやすく示したものであります。2時間半にわたる議論を経て浮かび上がった今後の地震工学発展への期待はレゾリューションとして集約されています。

3.5 懇親会

初日の18時から19時30分の予定でつくば国際会議場2階大ホール前のホワイトエにおいて、特別講演講師の長島氏をはじめ、国際パネルディスカッションのパネラーの方々をお招きして懇親会が開催されました。和田章運営委員長の挨拶の後、幹事主催団体である日本地震工学会の久保哲夫会長の乾杯の音頭で歓談がスタートしました。参加者は171名 (一般:122名、学生:14名、招待:35名) で予想していた以上に盛大なものとなり、地震工学に携わるいろいろな分野の方々の有意義な交流の場となったと思われます。また、歓談中には国際PDで座長を務められた小長井一男先生 (東京大学) からパネラーの方のご紹介がありました (写真5)。会は、濱田政則前日本地震工学会会長の挨拶で締めくくられました。



写真4 懇親会の歓談風景



写真5 国際PDパネラーの紹介

3.6 スペシャルテーマセッション1

テーマ1の「この10年の被害地震」は、2日目の午前日本地震工学会10周年記念事業の一環として開催されました。過去10年間の7つの国内、3つの海外の被害地震について、それぞれの被害の特徴を中心に解説があり、活発な議論が交わされました。会場には約150人の参加者がありました。

境有紀(筑波大学)の趣旨説明に続き、1)東北地方で起こった地震：源栄正人(東北大学)、2)十勝沖地震の石油タンク被害：座間信作(消防庁消防研究センター)、3)インド洋大津波：今村文彦(東北大学)、4)新潟県中越地震の地盤被害：小長井一男(東京大学)、5)福岡県西方沖地震の地震動と被害：川瀬博(京都大学)、6)能登半島地震を中心とした木造被害：河合直人(建築研究所)、7)新潟県中越沖地震の原子力発電所：土方勝一郎(東京電力)、8)岩手宮城内陸地震の斜面被害：風間基樹(東北大学)、9)イラン・バム、パキスタン・カシミールなどの建築物被害：真田靖士(豊橋技術科学大学)、10)汶川地震による被害と日中技術協力：濱田政則(早稲田大学)の講演があり、最後に中島正愛(京都大学)により、兵庫県南部地震を受けて、これらを今後どう活かしていくべきかについてのまとめがありました。短い時間でこの10年に起こった多くの被害地震を様々な角度から一度に振り返り、非常に密度の高い充実した時間となったと思います。

3.7 スペシャルテーマセッション2

テーマ2の「この10年の地震工学の動向と発展」も日本地震工学会10周年記念事業の一環として2日目の午後に開催されました。過去10年間の地震工学に関わる新たな研究の潮流として12のトピックスを選び、その動向と今後の課題を議論しました。会場には約200人の参加者がありました。

福和伸夫(名古屋大学)の趣旨説明に続き、1)活断

層調査：杉山雄一(産業技術総合研究所)、2)地震予知研究：平田直(東京大学)、3)国の地震被害想定：中林一樹(首都大学東京)、4)地震動予測地図：藤原広行(防災科学技術研究所)、5)E-ディフェンス：梶原浩一(防災科学技術研究所)、6)建築構造関係規定：福山洋(建築研究所)、7)緊急地震速報：東田進也(気象庁)、8)強震動予測：瀬谷一(東京大学)、9)木造住宅：五十田博(信州大学)、10)制震・免震構造：小嶋紀英(小堀鐸二研究所)、11)機械構造物・機械設備：藤田聡(東京電機大学)、12)土木構造物：運上茂樹(国土技術政策総合研究所)の12のトピックスについて、10年間の研究の進展の要点を解説して頂きました。最後に、まとめとして、武村雅之(小堀鐸二研究所)より実践と連携を通じた減災への道筋をつけることの大切さが指摘されました。3時間半の短い時間ではありましたが、兵庫県南部地震以降の地震工学の急速な進展の全体像を凝縮して把握することができ、今後の10年を考えるためにまたとない機会であったと思います。

3.8 地震工学の早分かり講義

「大学院生から初級技術者のための地震工学の早わかり講義」では、若手地震工学研究者の会の有志らが協力して、これから技術者をめざす大学院生から初級技術者に至る年代の方々を対象として、地震工学の主要な分野の知識を得る機会を提供しました。講義の内容と講師は表4の通りです。講師の方々には、基礎知識から研究の最前線のお話まで、わかりやすく概説していただきました。事前に申し込んだ学生・初級技術者の参加者に加えて当日参加の聴講者も集まり、立ち見が出る講義も見られました。地震工学に関する様々な角度からの講義を一度に聴く機会はなかなかないため、聴講者にとって貴重な機会になったのではないかと思います。

表4 早わかり講義の内容と講師

講義	内 容	講 師
第1回	震源・地震動	後藤 浩之(京都大学防災研究所)
第2回	構造物の動的挙動	高橋 良和(京都大学)
第3回	液状化を考慮した護岸等の耐震診断	一井 康二(広島大学)
第4回	災害対応と防災計画	秦 康範(山梨大学)
第5回	建築物の耐震診断	高橋 典之(東京大学生産技術研究所)
第6回	津波	越村 俊一(東北大学)

3.9 筑波研究学園都市地震工学ツアー

日本地震工学会10周年記念事業の一環として、シンポジウム開催前日の11月17日(水)につくば市の地震工学に関連する施設を見学するツアーを企画しました。見学施設は、国土地理院(展示館、情報サービス館)、土木研究所(振動実験施設、構造力学実験施設、橋梁撤去部材展示場)、防災科学技術研究所(K-NET地震データ棟、大型耐震実験施設、大型降雨実験施設)の3施設です。

当日は小雨交じりの大変寒い一日でしたが、総勢33名の参加があり、また、日本地震工学シンポジウムの外国人招待パネラー5名(1名はご夫人)にも参加いただきました。いずれの研究施設も普段はなかなか見ることのできない施設であり、各研究施設スタッフの方々のご尽力により、大変有意義な見学会となりました。この場を借りて感謝申し上げます。

3.10 技術展示

多目的ホールに20ブースを使って、技術展示が催されました。種々の計測機器の展示や解析手法の紹介などが行われました。2日目と3日目はポスターセッションの会場も兼ねたため、来場者も多く、出展者からも良い評価をいただきました。

4. おわりに

1995年の阪神淡路大震災から15年が経過しましたが、それ以降、特に21世紀に入ってから大震災が頻発しており、わが国は地震活動期に入ったともいわれています。前回のシンポジウムが開催された2006年以降だけでも、2007年能登半島地震、2007年新潟県中越沖地震、2009年岩手宮城内陸地震などの震度6強以上の地震が発生しており、まさに今回のキーワード「Not "if", but "when"」が現実味を帯びてきております。

そんな中で、今回のシンポジウムでは、地震工学に関係する幅広い分野から研究者・技術者が参加され、研究発表等を通して「地震はいつか必ず来るものとして、地震災害を軽減するために今何をすべきか!」をいろいろな角度から考え、議論していただけたと感じております。

謝辞

シンポジウム運営委員会は、日本地震工学会を中心に12の関係各協会から参加いただいた運営委員29名で構成されました。約2年前から準備に取りかかり、つくば国際会議場との打ち合わせ、特別講演、国際パネルディスカッション、スペシャルテーマセッション、早



写真6 早わかり講義の受講風景



写真7 防災科学技術研究所・大型振動台の見学風景



写真8 技術展示風景

わかり講義、技術展示および筑波研究学園都市地震工学ツアーなど、一般プログラム以外の企画にも精力的に取り組んで参りました。その甲斐あって、投稿論文数、参加者ともに前回は上回り、盛大なシンポジウムとなったことに、運営委員一同、ホッとしているところです。最後になりますが、ご協力いただいた各学協会の方々、中村晋委員長をはじめとする48名の論文集委員会の方々、そして本シンポジウムの企画・運営に適切な助言と事務作業をご担当いただいた日本地震工学会・嶋原毅氏に、厚く御礼申し上げます。次第です。



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	2010年7月から2010年12月							現在総数
		入会者	学→正	正→名誉	退会者	除名者	除名復帰	異動計	
名誉会員	13			9					22
正会員	1139	11	5	-9	-8		3		1141
学生会員	123	1	-5		-8				111
法人会員	89	2			0			2	91

(2010年12月16日理事会承認)

名誉会員推挙

名誉会員：入倉孝次郎（京都大学名誉教授）
 岩崎 敏男（元財土木研究センター理事長）
 小谷 俊介（東京大学名誉教授）
 片山 恒雄（東京大学名誉教授）
 亀田 弘行（京都大学名誉教授）

北川 良和（慶應義塾大学元教授）
 後藤 洋三（東京大学地震研究所特任研究員）
 鈴木 浩平（首都大学東京名誉教授）
 土岐 憲三（京都大学名誉教授）

新入会員（7月～12月）

正会員：遠山 信彦（応用地質株）
 原 忠（高知大学）
 落合 兼寛（一般社団法人日本原子力技術協会）
 横野 敬二（株開発設計コンサルタント）
 吉田 一博（清水建設技術研究所）
 佐藤 直紀（甲南学園）

富 健一（パシフィックコンサルタンツ株）
 石岡 賢治（大成建設株）
 岡田 敬一（清水建設技術研究所）
 西村康志郎（東京工業大学）
 山口 亮（損害保険料率算出機構）

学生会員：高橋 大（筑波大学）

法人会員：北海道ガス株
 クボタシーアイ株

(2) 名誉会員（平成22年12月31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 田治見 宏 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
東京電力株式会社

【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
社団法人文教施設協会

【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
ジェイアール東海コンサルタンツ株式会社
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
社団法人建築業協会
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)

ジャパンシステムサービス株式会社
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
ビューローベリタスジャパン株式会社
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
財団法人ダム技術センター
千葉県耐震判定協議会
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
社団法人日本建築総合試験所
社団法人日本免震構造協会
東京都市大学図書館
(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22年度役員一覧(2010年6月1日～2011年5月31日)

会 長	久保 哲夫(東京大学大学院工学系研究科 教授)
副会長	中島 正愛(京都大学防災研究所 教授)
副会長	東畑 郁生(東京大学大学院 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 地震災害研究官)
理事(総務)	中村 孝明(㈱篠塚研究所 主席研究員)
理事(総務)	* 澤本 佳和(鹿島建設㈱技術研究所 建築構造グループ 上席研究員)
理事(総務会計)	高田 一(横浜国立大学大学院 教授)
理事(会計)	* 東 貞成(助電力中央研究所 地球工学研究所 地震工学領域 上席研究員)
理事(会員)	保井 美敏(戸田建設㈱技術研究所地盤震動プロジェクトチーム 主管)
理事(会員)	* 佐藤 俊明(清水建設㈱技術研究所 原子力施設技術センター センター長)
理事(学術)	栗田 哲(東京理科大学工学部第一部 教授)
理事(学術)	藤田 聡(東京電機大学工学研究科 教授)
理事(情報)	境 有紀(筑波大学大学院 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(事業)	倉本 洋(大阪大学大学院 教授)
理事(事業)	* 木全 宏之(清水建設㈱土木技術本部設計第一部 グループ長)
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)	飯場 正紀((独)建築研究所 構造研究グループ グループ長)
理事(調査研究)	* 庄司 学(筑波大学大学院システム情報工学研究科 准教授)
監 事	井上 範夫(東北大学大学院 教授)

* 印新任：平成22年6月1日～平成24年5月31日(2年)

(5) 平成22年度委員会および委員長一覧

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	境 有紀(理事・筑波大学)
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	委員長	山中浩明(理事・東京工業大学)
国際委員会	委員長	藤田 聡(理事・東京電機大学)
論文集編集委員会	委員長	栗田 哲(理事・東京理科大学)
研究統括委員会	委員長	東畑郁生(副会長・東京大学)
地震災害対応委員会(常設)	委員長	中埜良昭(東京大学生産技術研究所)
10周年記念事業運営委員会	委員長	倉本 洋(理事・大阪大学)
地震被害・復興の記録のアーカイブス構築のための研究委員会	委員長	小長井一男(東京大学生産技術研究所)
津波災害の実務的な軽減方策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)
微動利用技術研究委員会	委員長	森伸一郎(愛媛大学)
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)

平成22年12月31日現在



行事

本会主催による実施行事

日程	行事名	
2010年8月17日～19日	東京都防災展開催(本会出展)	主催
2010年9月29日	セミナー「気象庁災害予警報の最前線」開催	主催
2010年11月17日	第13回日本地震工学シンポジウム開催(日本地震工学会10周年記念事業)	主催
	①「筑波研究学園都市地震工学ツアー」	主催
	②国際パネルディスカッション	主催
	③スペシャルテーマセッション テーマ1、テーマ2	主催
2010年12月15日	E-ディフェンス建物耐震実験見学会開催	主催
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

共催・後援・協賛行事

2010年11月12日、24日	「既設構造直下の液状化対策工法」講習会、「地盤の地震応答解析入門」講習会	後援
2010年11月27日	「1586年天正地震シンポジウム」(一般公開)	後援
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2月3日	第10回国土セフティネットシンポジウム(NPOリアルタイム地震情報利用協議会他)	共催
2011年11月11日	第4回日本耐震グランプリ	後援
2012年2月～3月	第10回International Workshop on Seismic Microzoning and Risk Reduction(IWSMRR)(主催(独)建築研究所・本会)	共催



会務報告

(平成 22 年 7 月～平成 22 年 12 月)

07月01日(木)	・JAEE NEWS No.212 配信
07月13日(火)	・選挙管理委員会開催 金子前理事・委員長、中村総務理事、澤本総務理事、佐藤会員理事、犬飼前総務理事 (於 本会事務所 15時30分～17時00分)
07月14日(水)	・会誌編集委員会開催 境理事・委員長他 (於 建築会館307会議室 15時00分～17時00分)
07月15日(木)	・JAEE NEWS No.213 配信
07月21日(水)	・正副会長会議開催 久保会長、中島副会長、運上副会長、中村総務理事、澤本総務理事 (於 建築会館302・303会議室 16時00分～17時00分)
07月21日(水)	・第2回理事会開催 久保会長、中島副会長、運上副会長他 (於 建築会館303会議室 17時00分～19時00分)
07月22日(木)	・平成22年度会費未納者請求 (正会員・学生会員) メール発信
07月26日(月)	・会計・税理士監査 (涌井税務会計事務所) 6月定期監査実施及び新法人会計科目検査作業 (於 本会事務所10時30分～17時00分)
07月27日(火)	・中村総務理事、高田会計理事打合せ (於 本会事務所14時30分～16時00分)
07月30日(金)	・選挙管理委員会開催 金子委員長、日比野委員、岡野委員、佐藤会員理事 (於 本会事務所 15時30分～17時00分)
08月02日(月)	・JAEE NEWS No.214 配信
08月03日(火)	・会計・税理士監査 (涌井税務会計事務所) 7月定期監査実施 (於 本会事務所10時30分～14時00分)
08月05日(木)	・役員候補推薦委員会開催 犬飼委員長、澤本総務理事他 (於 建築会館303会議室14時00分～16時00分)
08月11日(水)	・津波災害の軽減方策に関する調査研究委員会開催 松富委員長他 (於 建築会館305会議室 13時30分～17時00分)
08月17日(火)	・「東京都防災展」開催 (本会展) (企画・事業企画委員会) 日時：2010年8月17日(火)～19(木)、10:00～19:00 場所：新宿駅西口広場イベントコーナー テーマ：自助・共助により減災対策をできることから進めよう 参加者：延べ5,000名
08月25日(水)	・メール審議【選挙規程の改訂案】確認・【選挙公示案内と学会HP変更案】について実施 佐藤理事 (選挙管理委員会委員長)
08月26日(木)	・地震被害・復興の記録のアーカイブス構築のための研究委員会開催 小長井委員長他 (於 東京大学生産技術研究所B棟3階 Bw302号室 10時00分～12時00分)
09月01日(水)	・JAEE NEWS No.215 配信
09月04日(土)	・一般社団法人 日本地震工学会役員選挙の公示 (2010年) ホームページ公開並びに正会員通知
09月08日(水)	・2010年ニュージーランド南島付近地震発生
09月08日(水)	・第13回日本地震工学シンポジウム論文投稿締切り
09月14日(火)	・第13回日本地震工学シンポジウム運営委員会開催 (第7回) 和田委員長、本会関係理事他 (於 建築会館301会議室 10時00分～12時00分)
	・第13回日本地震工学シンポジウム学術部会開催 論文プログラム編成会議、 ・久田委員長、関係理事他 (於 建築会館301会議室 13時00分～14時30分)
09月15日(水)	・JAEE NEWS No.216 配信
09月21日(火)	・会計税理士 (涌井税務会計事務所) 8月定期監査実施 (於 本会事務所10時30分～14時00分)
09月22日(水)	・第3回理事会開催 久保会長、中島副会長、運上副会長他 (於 建築会館303会議室 17時00分～19時00分)
09月24日(金)	・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 14時00分～16時00分)
09月27日(月)	・JEES行事部会・本会10周年記念事業委員会合同部会開催 武村委員長、倉本理事、中村総務理事、福和委員 他 (於 建築会館308会議室 16時00分～18時00分)
09月28日(火)	・電子広報委員会開催 鹿嶋理事・委員長他 (於 本会事務所17時30分～18時50分)
	・セミナー「気象庁災害予警報の最前線」開催 (企画・事業企画委員会) 日時：2010年9月29日(水)、13:00～17:00 場所：気象庁 (東京都千代田区大手町) 内容：気象庁の地震火山現業室を見学し、災害予警報への理解を深めるためのセミナー、意見交換会を開催した。
09月29日(水)	①地震火山現業室見学 ②緊急地震速報の仕組みと最近の発信状況 (気象庁)

	<p>③津波警報の仕組みとチリ地震津波での事例に関する事例報告（気象庁）</p> <p>④柴山明寛先生（東北大学）からの発表（近年の緊急地震速報の実態調査報告、災害心理面から見た緊急地震速報のあり方等）</p> <p>参加者：23名（一般13名、学生10名）</p>
10月01日(金)	<p>・選挙管理委員会開催 金子委員長、佐藤理事他（於 本会事務所16時00分～17時30分）</p> <p>・JAEE NEWS No.217 配信</p>
10月06日(水)	<p>・合同事務所維持協議開催 中村総務理事、澤本総務理事、鳴原事務局長、日中防災協会田中理事長、但本事務局長（於 本会事務所13時00分～14時00分）</p>
10月07日(木)	<p>・事業企画委員会（第2回）開催 木全理事・委員長他（於 建築会館306会議室 15時00分～17時00分）</p>
10月14日(木)	<p>・第13回日本地震工学シンポジウム現地打合せ（つくば国際会議場） 境理事、勝俣JEES総務部会委員、鳴原事務局長（於 つくば国際会議場 9時30分～14時00分）</p>
10月15日(金)	<p>・事業企画委員会講演会企画WG開催 木全理事、武村WG委員長他（於 本会事務所17時00分～18時30分）</p> <p>・JAEE NEWS No.218 配信</p>
10月18日(月)	<p>・第13回日本地震工学シンポジウム学術部会打合せ 久田委員長、中村委員他（於 本会事務所10時00分～12時00分）</p>
10月25日(月)	<p>・2010年 一般社団法人 日本地震工学会役員選挙公示ホームページ公開</p>
10月29日(金)	<p>・WEB化に関する打合せ 運上副会長、犬飼前総務理事、前田氏（㈱タキオン）他（於 本会事務所17時00分～18時00分）</p>
11月01日(月)	<p>・2010年度役員選挙投票用紙発送（正会員1163名）</p> <p>・JAEE NEWS No.219 配信</p>
11月04日(木)	<p>・論文集編集委員会打合せ 栗田理事・委員長、高橋幹事他（於 本会事務所12時00分～14時00分）</p>
11月08日(月)	<p>・第13回日本地震工学シンポジウム開催記者会見 和田JEES委員長、久保会長、倉本理事・JEES幹事長、中村総務理事、勝俣委員（JEES総務部会）（於 建築会館301会議室11時30分～12時30分）</p>
11月10日(木)	<p>・会計・税理士監査（涌井税務会計事務所）9・10月定期監査実施（於 本会事務所10時30分～15時00分）</p>
11月15日(月)	<p>・JAEE NEWS No.220 配信</p>
11月17日(水)	<p>・第4回理事会開催 久保会長、東畑副会長、運上副会長他（於 つくば国際会議場403会議室 16時00分～18時00分）</p> <p>・正副会長会議 久保会長、東畑副会長、運上副会長、中村総務理事、澤本総務理事（於 つくば国際会議場403会議室 15時00分～16時00分）</p> <p>・平成22年度会費未納請求（メール発信）</p> <p>・第13回日本地震工学シンポジウム「筑波研究学園都市地震工学ツアー」（日本地震工学会10周年記念事業）（企画・事業企画委員会）</p> <p>日時：2010年11月17日(水)、13:00～17:50</p> <p>見学先：国土地理院、土木研究所、防災科学技術研究所</p> <p>参加者：33名</p>
11月17日(水) ～	<p>・第13回日本地震工学シンポジウム開催（於 つくば国際会議場）</p> <p>(1) 筑波研究学園都市地震工学ツアー（企画・事業企画委員会）</p>
11月20日(土)	<p>(2) 日本地震工学会設立10周年記念事業</p> <p>①国際パネルディスカッション</p> <p>②スペシャルテーマセッション テーマ1、テーマ2</p>
11月29日(月)	<p>・税理士 涌井税務会計事務所涌井氏と打合せ 法人会計処理について（於 本会事務所10時30分～12時00分）</p>
11月30日(火)	<p>・平成22年度選挙投票締切日</p>
12月01日(水)	<p>・JAEE NEWS No.221 配信</p>
12月07日(火)	<p>・会計税理士（涌井税務会計事務所）11月定期監査実施（於 本会事務所10時30分～17時00分）</p>
12月09日(木)	<p>・選挙管理委員会開催 平成22年度 会長・監事選挙開票 佐藤会員理事・委員長他（於 建築会館308会議室 13時00分～15時00分）</p>
12月15日(水)	<p>・JAEE NEWS No.222 配信</p> <p>・E-ディフェンス建物耐震実験見学会（企画・事業企画委員会）</p> <p>日時：2010年12月15日（水）13:45～17:15</p> <p>場所：(独)防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター</p> <p>テーマ：4F建RC建物・PC建物振動実験</p> <p>参加者：23名</p>
12月16日(木)	<p>・第5回理事会開催 中島副会長、東畑副会長、運上副会長他（於 建築会館304会議室 17時00分～19時00分）</p> <p>・津波災害の実務的な軽減方策に関する研究委員会（於 建築会館304会議室 13時30分～16時50分）</p>
12月28日(火)	<p>・事務所御用納め</p>



論文集目次・出版物

日本地震工学会論文集 第10巻 第4号・第5号

Journal of Japan Association for Earthquake Engineering, Vol.10, No.4-No.5

目 次

第10巻 第4号

- 1 論文集編集委員会から
From Editorial Committee

本会論文編集委員会
The Journal of JAE Editorial
Committee

(論文)

- 2 谷埋め盛土地盤における降雨に伴う水分変化と地震応答特性
The relationship between change of soil moisture resulted from rainfalls and seismic response characteristics in the valley fill ground

森友宏, 千葉崇, 渦岡良介, 風間基樹
MORI Tomohiro, CHIBA Takashi, UZUOKA Ryosuke and KAZAMA Motoki 1-13

(報告)

- 3 2008年岩手・宮城内陸地震における強震観測点周辺の状況と発生した地震動との対応性
Damage Investigation of Surroundings of the Seismic Stations in the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake and Correspondence of Damage to Buildings with Strong Ground Motions

境有紀, 青井淳, 新井健介, 鈴木達矢
SAKAI Yuki, AOI Atsushi, ARAI Kensuke and SUZUKI Tatsuya 14-53

- 4 2008年岩手県沿岸北部地震における強震観測点周辺の状況と発生した地震動との対応性
Damage Investigation of Surroundings of the Seismic Stations in the 2008 Iwate-ken Engan Hokubu Earthquake and Correspondence of Damage to Buildings with Strong Ground Motions

境有紀, 中川文寛, 鈴木達矢
SAKAI Yuki, NAKAGAWA Fumihiro and SUZUKI Tatsuya 54-81

- 5 2009年駿河湾の地震における強震観測点周辺の状況と発生した地震動との対応性
Damage Investigation of Surroundings of the Seismic Stations in the 2009 Suruga Bay Earthquake and Correspondence of Damage to Buildings with Strong Ground Motions

境有紀, 赤松勝之, 神田和紘, 宮本崇史
SAKAI Yuki, AKAMATSU Katsuyuki, KANDA Kazuhiro and MIYAMOTO 82-113

第10巻 第5号

- 1 論文集編集委員会から
From Editorial Committee

本会論文編集委員会
The Journal of JAE Editorial
Committee

(論文)

- 2 地震動の方向性の定量的な検討と地震被害推定のための平均方向の提案
Investigation of Directional Property of Seismic Ground Motions and Proposal of Average Direction for Earthquake Damage Estimation

境有紀, 熊本匠
SAKAI Yuki and KUMAMOTO Takumi 1-20

3	TEMPORAL VARIATION OF S-WAVE VELOCITY AT PORT ISLAND VERTICAL ARRAY SITE DURING AND AFTER THE HYOGOKEN-NANBU EARTHQUAKE BY USING MODIFIED NORMALIZED INPUT-OUTPUT MINIMIZATION (MOD-NIOM) METHOD	Santa Man SHRESTHA, Hideji KAWAKAMI, Hidenori MOGI	21-37
4	地震被害推定をより正確に行うための構造種別や層数を考慮に入れた建物内人口データの構築 Development of Population Data Classified According to Building Type for Earthquake Damage Estimation	新井健介, 境有紀 ARAI Kensuke, and SAKAI Yuki	38-51
5	瞬間計測震度を用いた揺れ最中の避難行動可能時間の定量化 Quantification of Available Escape Time during an Earthquake Using Instantaneous Instrumental Seismic Intensity	楯田泰子, 齊藤 栄 KUWATA Yasuko and SAITO Sakae	52-65

日本地震工学会出版物在庫状況

刊行図書

2010.12.01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

2010.12.01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
2006.11.02	第12回日本地震工学シンポジウム（CD-ROM版）	○	¥5,000	¥5,000	¥5,000
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)

2010.12.01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ピ「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 ー 構造物の地震リスクマネジメントー	○	¥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

2010.10.01 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。 http://www.jaee.gr.jp/disaster/data-hanpu.pdf
		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

*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。ぜひご利用ください。

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完了しましたら、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、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
- ・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
- ・興味深い実験や技術の紹介
- ・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）
- ・ごく限られた会員のみに関係する内容
- ・特定の商品等の宣伝色が濃いもの

(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¹⁾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にあつて、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

学生会員の増強を目指して

～学生会員『会費値下げ』のお知らせ～

学生会員の会費を下記のように改定しましたのでお知らせします。年会費わずか1000円で一般会員と同じサービスが受けられます。大学の先生方におかれましては、研究室の学生さんに加入を勧めてくださるようお願いいたします。

○改定の趣旨

日本の地震工学の将来を担う、研究者、技術者の卵である学生の皆さんに日本地震工学会の事をよく知っていただきたく、また、学会活動に参加する機会を多く持っていただくため。

○改定点(2009年5月7日理事会にて決定、第9回総会にて報告済み)

・学生会員の年会費引き下げ

改定前：3,000円 → 改定後：1,000円

・学生会員が、引き続いて正会員になる場合の正会員初年度の会費

改定前：10,000円 → 改定後：3,000円

・本改定は、2009年6月1日から適用する。

編集後記：

2011年最初の日本地震工学会誌をお届けします。昨2010年は、国内では大きな被害地震もなく、地震工学者にとってはおおむね平穏な年であったかと思われます。しかし一方、国外に目を向けますと、1月のハイチ地震 (M7.0) や2月のチリ地震 (M8.8)、あるいは4月の中国青海省の地震 (M6.9) など、多数の死者を出した被害地震が頻発しており、取り組むべき課題は尽きそうにありません。

さて、今号の特集は日本地震工学会の設立10周年を記念して、「この10年の被害地震」と題し、12名の先生方に寄稿していただきました。年末年始のお忙しい中、執筆、著者校正等にご協力いただいた先生方には心より感謝申し上げます。特集冒頭の境先生の趣旨説明にもありましたように、10年間の被害地震の概要と地震工学の取り組みをまとめて俯瞰できるという点で、今回の特集はぜひとも保存版としてお手元に置き、ご活用いただきたく存じます。

なお次号では、学会設立10周年記念企画の第2弾として「この10年の地震工学の動向と発展」と題した特集をお送りいたします。ご期待ください。

芝 良昭 (電力中央研究所)

会誌編集委員会

委員長	境 有紀	筑波大学	委員	豊岡 亮洋	鉄道総合技術研究所
副委員長	田村 良一	篠塚研究所	委員	副島 紀代	大林組
幹事	引田 智樹	鹿島建設	委員	藤田 香織	東京大学
幹事	芝 良昭	電力中央研究所	委員	中村 いずみ	防災科学技術研究所
幹事	近藤 伸也	東京大学	委員	野津 厚	港湾空港技術研究所
委員	川島 豪	神奈川工科大学			

日本地震工学会誌 第13号 Bulletin of JAEE No.13

2011年1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