

日本地震工学会誌

Bulletin of JAEE

No.9

Jan.2009

特集：地震動の性質と被害

— 近年の地震からの知見 —



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

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9号 2009年1月)

Bulletin of JAEE (No.9 January.2009)

INDEX

特集：地震動の性質と被害 —近年の地震からの知見—

背景と構成／境 有紀	1
震源と地震動の性質／久田 嘉章	2
表層地盤と地震動の性質／吉田 望	6
地震動の性質と建物被害の関係／境 有紀	12
2008年岩手・宮城内陸地震のKiK-net—関西における4gの強震記録／青井 真、森川 信之	20
2008年岩手・宮城内陸地震における斜面地盤災害／風間 基樹	25
2007年能登半島及び中越沖地震による産業設備機器の被害／岩田 佳雄、佐伯 暢人	31
機械設備の耐震評価手法／藤田 聡、皆川 佳祐	35

連載：

名誉会員インタビュー第1回：田中貞二先生／三宅 弘恵	39
----------------------------	----

学会ニュース：

日本地震工学会・大会—2008報告／源栄 正人、大野 晋、吉田 望、神山 眞、 風間 基樹、渦岡 良介、前田 匡樹、佐藤 健、 西田 哲也、三辻 和弥、迫田 丈志、水口 広隆、 田脇 正一、柏崎 昭宏、長田 正樹、澤邊 浩	41
第14回世界地震工学会議参加報告／大保 直人	47
第14回世界地震工学会議のJAEE特別セッションに関する報告 ／笠井 和彦、源栄 正人、小堀 徹	48

学会の動き：

会員・役員・委員会の状況	52
行事	55
会務報告	56
論文集目次・出版物	59
入会・会員情報変更の方法	62
投稿要領	63

編集後記

地震動の性質と被害 —近年の地震からの知見— 背景と構成

境 有紀

●筑波大学

近年、日本では被害地震が頻発しており、震度6弱以上を記録した地震は、21世紀に入ってから8年間に11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）に達している（表1）。その中には、震度6弱、6強といった大きな震度を記録し、強震観測点周辺で大きな建物被害が見られたものもある一方で、同程度の震度を記録したにもかかわらず、周辺で建物の大きな被害がほとんどなかったところもある。

ここ2年では、一昨年（2007年）、能登半島地震、新潟県中越沖地震と最大震度6強を記録した大地震が発生し、木造家屋を中心に大きな被害を引き起こしたが、震度6強を記録した能登半島地震のK-NET穴水や輪島市門前町走出震度計、新潟県中越沖地震のK-NET柏崎、柏崎市中央町震度計周辺では大きな被害が見られた一方、同じ震度6強でも新潟県中越沖地震の長岡市小国町法坂震度計や長野県飯綱町芋川震度計のようにほとんど被害が見られないところもあった^{1) 2)}。そして昨年（2008年）、岩手・宮城内陸地震、岩手県沿岸北部地震と同じく最大震度6強という大地震が発生した（岩手沿岸北部地震の最大震度は同年10月29日6弱に修正）。しかしながら、岩手・宮城内陸地震で大規模な斜面地盤災害はあったが、建物の大きな被害はほとんど見られず、強震観測点周辺でも震度6強を記録した岩手・宮城内陸地震の栗原市一迫震度計や岩手沿岸北部地震の洋野町大野震度計（10月29日不明に修正）周辺でも建物の大きな被害は見られない^{3) 4)}など、単なる地震動の強さや建物の耐震性の違いでは、被害の説明が難しい事例が続いている。

そこで、「地震動の性質と被害 —近年の地震からの知見—」と題し、地震動を単に強い弱いと言った単純なものとは捉えるのではなく、周期特性などの地震動の性質に着目し、これを様々な角度から捉えて特集する。まず、最初の3題「震源と地震動の性質」「表層地盤と地震動の性質」「地震動の性質と建物被害」では、地震動の成因としての震源、表層地盤と地震動の性質の関係、そして、地震動の性質と建物被害の関係について解説し、大きな被害を引き起こす地震動と震源、表層地盤の関係を明らかにする。続く2題「2008年岩手・宮城

表1 2001年以降、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年新潟県中越沖地震	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※

※2008年10月29日に6弱に修正

内陸地震における斜面地盤災害」「2008年岩手・宮城内陸地震のKiK-net一関西における4Gの強震記録」では、昨年（2008年）発生した岩手・宮城内陸地震において極めて特徴的であった、斜面地盤災害と4Gもの大加速度を記録した強震記録の二事例について地震動の性質という観点も含めて解説する。そして、「能登半島および中越沖地震による産業施設機器の被害」「機械設備の耐震評価手法」の2題では、産業施設機器、機械設備に焦点を当てて、地震動の性質の関連から解説する。

参考文献

- 1) 境有紀, 野尻真介, 熊本匠, 田中佑典: 2007年能登半島地震における強震観測点周辺の被害状況と地震動との対応性, 日本地震工学会論文集, 第8巻, 第3号, 79-106, 2008.8.
- 2) 境有紀, 川岡裕康, 林佑樹, 飯塚裕暁: 2007年新潟県中越沖地震における強震観測点周辺の被害状況と地震動との対応性, 日本地震工学会論文集, 第8巻, 第4号, 2008.11.
- 3) 青井淳, 境有紀, 新井健介, 鈴木達矢: 2008年岩手・宮城内陸地震による建物被害と発生した地震動の特性, 日本地震工学会大会-2008梗概集, 338-339, 2008.11.
- 4) 中川文寛, 境有紀, 鈴木達矢: 2008年岩手県沿岸北部を震源とする地震による建物被害調査結果と強震記録の性質, 日本地震工学会大会-2008梗概集, 54-55, 2008.11.

震源と地震動の性質

久田 嘉章

●工学院大学

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震以降、強震動地震学は急速な進展を遂げ、強震動予測手法は特性化震源モデル（入倉レシビ）として体系化されつつある（例えば、地震調査研究推進本部：「全国を概観した地震動予測地図」報告書、2006, 2007）。一方、近年の強震観測網の充実により、建築基準法など法令の定める地震動レベルを凌駕するばかりでなく、従来の標準的な特性化震源モデルだけでは説明が困難な強震動も観測されている。本報告ではまず震源近傍における特徴的な強震動であるランダム波や指向性パルスの成因を説明し、特性化震源モデルによるモデル化の方法を紹介する。次に、近年に観測された特徴的な震源近傍の強震動であるフリングステップや2007年新潟県中越沖地震の強震動パルスを紹介し、今後の課題を展望したい（理論や補足説明は、久田2008aなども参照されたい）。

2. 震源近傍の強震動：ランダム波と指向性パルス

1995年兵庫県南部地震による強震動地震学における最も重要な発見の一つは、震源アスペリティーから発生する指向性パルス（キラパルス）の存在である。指向性パルスが震源断層近傍で発生することは、断層近傍の強震記録が豊富な米国カリフォルニアを中心に古くから知られていたが、それが実際に神戸市において法規レベルを凌駕する強震動として確認された。同時にそれが神戸市における大被害を発生させた直接の原因の一つであったことから、地震工学分野でも重要な意味を持つことになった。この地震を契機にまとめられている特性化震源モデルでは、指向性パルスを誰でも確実に生成できることに力点が置かれている。ここではまず、震源近傍でエルセントロ波のような短周期が卓越するランダム波や、神戸市で観測された指向性パルスなどがなぜ発生するのか、さらに特性化震源モデルを用いてそれをどのように再現するのか、を紹介する。

ランダム波と指向性パルスの成因：震源近傍の強震動では観測点に向かって断層面上の破壊伝播が近づく場合、神戸市で観測されたように断層面に直交する成分に指向性パルスが生じ、一方、破壊伝播が遠ざかる

場合は短周期が卓越するランダム波に近い波形となる。図1はランダム波と指向性パルスの典型例としてエルセントロ波とJMA神戸波の速度波形を示す。どちらの波形も同規模（1940年インペリアルバレー地震と1995年兵庫県南部地震で、ともにMw6.9程度）の震源断層から数km以内で観測された波形である。前者は断層破壊が観測点から遠ざかる場合であり、振幅は小さいが短周期成分の卓越する継続時間の長いランダム波に近い波形性状を示している。一方、後者では断層破壊が観測点に近づく場合であり、断層面の直交方向（N38W）では振幅が大きく継続時間の短い波形（指向性パルス）が観測されている。建物・構造物にとって、前者がガタガタという小刻みな揺れで破壊力に乏しい地震動であるが、後者はドカンという衝撃的な揺れで、全てのものをなぎ倒すような破壊力に富む地震動である。

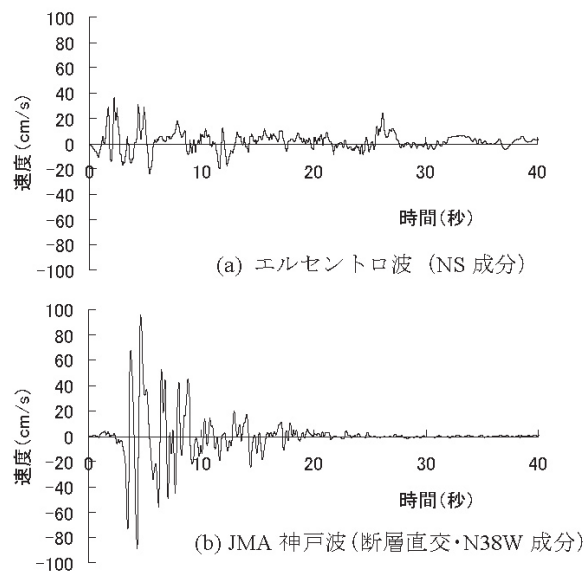


図1 震源断層近傍の強震波形の例（速度波形）

震源近傍で観測されるこのような強震動特性を理解するため、図2に示すように最も単純なケースとして右横ずれ断層を上から眺め、断層破壊の伝播が西から東に伝播する場合を考える。断層破壊の先端部（破壊フロント）では図に示されるようにダブルカップル震源（2組の偶力）が作用していることに注意されたい。

まず断層面のほぼ中間に位置する観測点2では、破壊フロントが西側から近づいてくるとき、ダブルカップル震源の北向きの加力成分(図でAと表示)により地震動(変位)も北向きに揺れる。さらに破壊フロントが観測点2を通り過ぎた瞬間に、今度はダブルカップル震源の南向きの成分(Bと表示)により地震動も南向きに揺れ返す。従って観測される断層面に直交する変位波形は上(A)から下(B)に振動するパルス状の波形となる。特に破壊フロントが近づく位置にある観測点3では、継続時間が短く振幅の大きなパルス波(指向性パルス)が断層直交成分に現れる。それに対して破壊フロントが遠ざかる観測点1では、継続時間が長く振幅の小さな波形となるが、実際には波形のコヒーレント性(位相が揃うこと)は崩れ、ランダム波に近い波形となる。

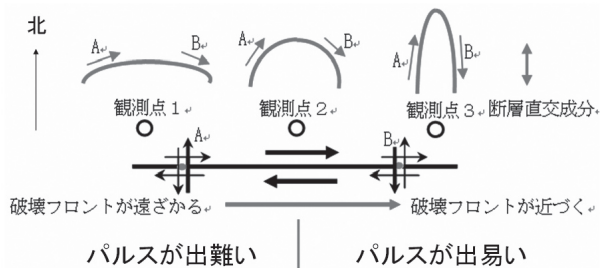


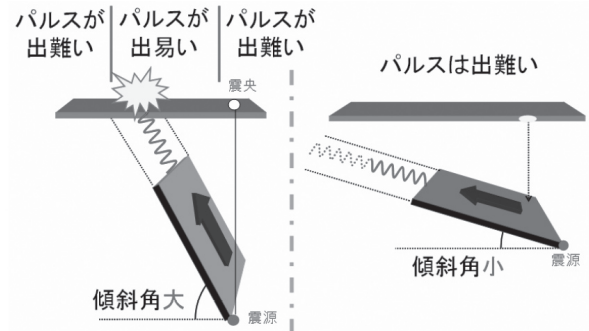
図2 横ずれ断層による指向性パルスの成因の説明図

一方、逆断層の場合は図3に示すように断層の傾斜角によって指向性パルスが現れる可能性が大きく変わる。図3(a)に示すように高角な傾斜角で破壊伝播が下から上に向かうとき、断層面の延長上に向かって断層面の直交方向に卓越する指向性パルスが生じる。逆に震央近くや断層面の延長より外側では一般にパルスは生成しにくく、通常はランダム波になる。高角逆断層による指向性パルスの観測例として1994年ノースリッジ地震の強震記録が有名である。一方、図3(b)に示すように低角逆断層や、破壊が上端から下端に向かう場合は、指向性パルスは生成しにくい。例えば内閣府などで想定している首都圏直下の地震(東京湾北西部地震など)では、低角なフィリピン海の上面に断層面が仮定されるため、観測点が例え断層面の直上であっても指向性パルスは生じにくく、破壊力のある強震動にはなり難い。

特性化震源モデルと指向性パルス：特性化震源モデルでは最も重要な震源近傍の強震動特性である指向性パルスを誰でも生成できるように、次のように工夫を行なっている。

①アスペリティーの設定：アスペリティーとは震源

断層のなかで特に強い地震動を発生する場所であり、指向性パルスもここから発生させる。経験的には全断層面積の約2割がアスペリティーの総面積であることが知られており、図4に示すように地震規模に応じてこれを1～3個程度(平均2個)に分割して断層面に配置する。アスペリティーには背景領域よりも大きなすべりや応力降下量を与え、強い地震動を発生させる。



(a) 高角逆断層の場合 (b) 低角逆断層の場合

図3 逆断層による指向性パルスの成因の説明図

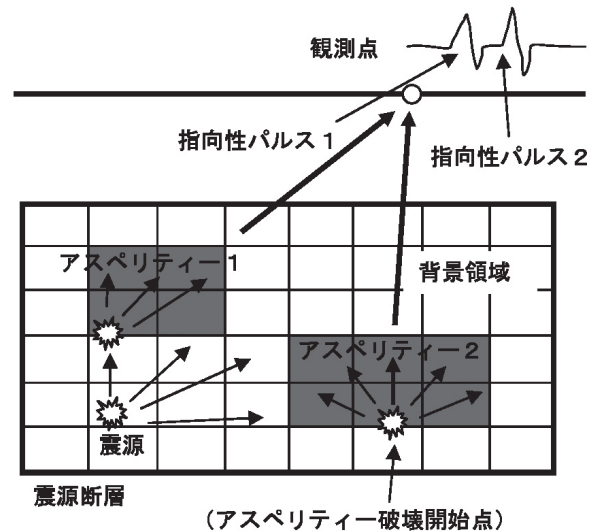


図4 特性化震源モデルによる指向性パルスの生成

②指向性パルスの生成：図4に示すように断層面を小断層に分割し、それぞれの小断層から発生する要素地震動を破壊開始時間に応じて重ね合わせ、観測点における強震動を合成する。その際、アスペリティーから発生させる小地震動には原則として同一な波形を用いる。従って、断層破壊が近づく観測点では同じ波形が短い時間間隔でコヒーレント(同位相)に重ね合わさるため、大きな振幅のパルス波が合成される。逆に破壊伝播が遠ざかる観測点では長い時間間隔で重ね合わせるため、波形のコヒーレント性が崩れ、ランダム波に近くなる。断層破壊の伝播をモデル化する際、通

常は震源から一定の破壊伝播速度で同心円状に伝播させる。但し、この方法ではアスペリティー内の破壊伝播の向きが観測点に向かわず、指向性パルスが生じない場合も生じる。そこで破壊伝播が観測点に向かうように、アスペリティーごとに異なる破壊開始点を設定する場合もある(図4のアスペリティー2の場合)。

3. 近年観測された震源近傍の強震記録

特性化震源モデルは、本来は複雑な震源モデルを出来る限り単純化し、標準的な強震動を誰でも作成できるようにすることを目的としている。一方、震源近傍での強震記録が得られ、詳細な震源断層モデルのデータの蓄積が可能になったのはごく最近である。特に規模の大きな地震の近傍での強震記録は未だに不足しているのが現状である。従って強震記録が得られるたびに新たな発見があり、特性化震源モデルも更新され続けている。以下に近年の観測から得られている、いくつかの注目すべき知見を述べたい。

フリングステップ(地表断層に起因する地盤変形)：断層が地表に現れる場合、地表断層のごく近傍では断層のすべりに起因する大きな変位波形であるフリングステップ(Fling Step)が観測される。横ずれ断層の場合、指向性パルスは断層面の直交方向に生じるのに対し、フリングステップは断層のすべり方向である断層面の平行方向に生じる。一方、逆断層の場合は、両者ともに断層直交方向に現れ、特に上盤側で顕著に現れる。フリングステップは物理的には地表に近い断層部分のすべり関数と静的グリーン関数の合積で表現され、その形状はすべり関数と相似である。静的グリーン関数の距離減衰は大きい(1/r²)、地表断層から離れると急激に振幅が減衰する特徴がある。

フリングステップが観測された典型例として、図5に1999年台湾・集集地震の際に上盤側の地表断層近傍で観測された記録(加速度記録から変位波形に変換)を示す。断層すべりに起因する10 mを越える滑らかなステップ関数状の変位波形が観測されている。フリングステップの特徴は、地表近くの断層すべりに起因する大振幅の速度・変位波形であり、一般に加速度(短周期成分)は大きくない。従って危険度の高く、地表断層の出現が危惧される活断層の直上の建物・構造物では長周期地震動と地盤変形に対する対策が重要になる(例えば、久田、2008b)。

2007年新潟県中越沖地震における強震動パルス：2007年新潟県中越沖地震の際、柏崎市や柏崎刈羽原子力発電所などでは、図6に示されるように大振幅のパルス状の強震記録が観測された。このパルス波は当初、

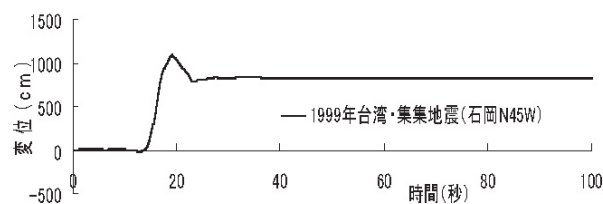


図5 フリングステップの観測例(1999年台湾・集集地震の際、石岡において台湾気象庁により観測された加速度波形からN45Wの変位波形成分に変換)

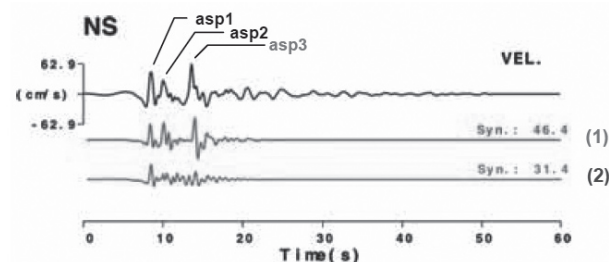


図6 2007年新潟県中越沖地震における柏崎刈羽原子力発電所(1号機基礎マット上)の強震記録(上)と、特性化震源モデルによる再現波形(図8のモデル(1)と(2): 入倉ほか、2007)

典型的な指向性パルスであると考えられていたが、その後、修正が必要とされている。

この地震の震源モデルは大別すると、図7に示すように北西向きに断層面が下向き傾斜するモデル(モデルA)と、南東向きに傾斜するモデル(モデルB)がある。モデルAは傾斜角約50度の高角な逆断層であり、図3に示されるように柏崎市や原子力発電所は指向性パルスが出易い位置になる。逆にモデルBではパルスが出難い位置となる。

図8はモデルA(北西傾斜モデル)に基づく特性化震源モデルの一例である(入倉ほか、2007)。図6で見られる原子力発電所(図のPW1)で観測された3つのパルス波に対応し、3つのアスペリティー(図中のasp1~asp3)が設定されている。但し、震源から同心円状で破壊が伝播するモデル(モデル(2))では、asp3での破壊伝播が観測点から遠ざかるため、3つめのパルス波の生成が説明できない(図6の波形(2))。このため、asp3の破壊開始点は柏崎市に破壊伝播が向かうように設定する必要がある(モデル(1))、この条件では3つのパルス波が再現できる(図6の波形(1))。

一方、その後、余震分布や海底の活断層調査の結果などから、震源断層として南東傾斜による断層モデルが有力視されている(図7のモデルB)。この場合、柏崎市は指向性パルスが出難い領域となり、通常の震源モデルであればランダム波に近い強震動となってしまう

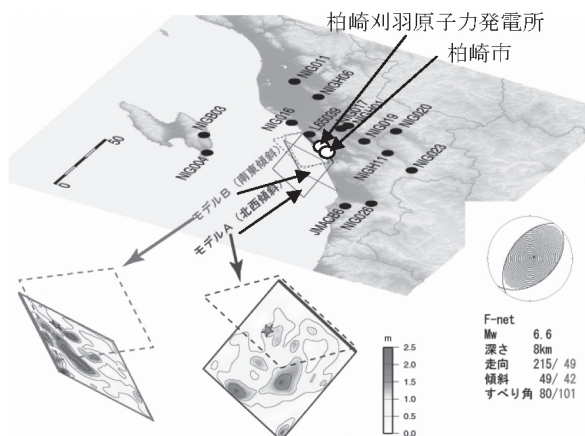


図7 2007年新潟県中越沖地震における2つの震源モデル
(防災科学技術研究所、2007に加筆)

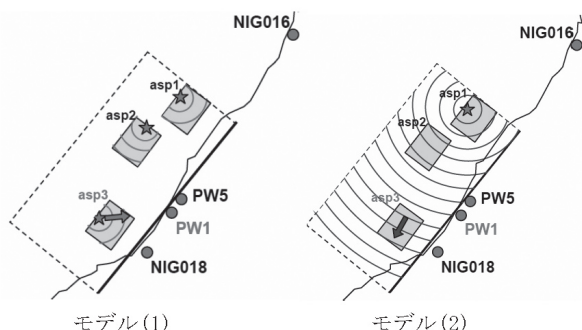


図8 2007年新潟県中越沖地震における北西傾斜モデル
(図7のモデルA)による特性化震源モデル
左：マルチハイポセンター破壊モデル(モデル(1))
右：同心円破壊伝播モデル(モデル(2))

う。従って、柏崎市での3つの強震動パルスを説明するために、現在では震源やサイトの特徴から様々な解釈が行なわれている。まず震源モデルでは、3つのアスペリティーが点震源に近い状況で衝撃的な強震動が発生した可能性がある。このためアスペリティーとしては平均よりも面積が小さく、すべり量(応力降下量)の大きなモデルが提案されている(例えば、野津、2008)。一方、それだけでは大振幅を生じるには十分ではなく、柏崎市周辺の褶曲地形に起因する堆積層地盤や深部地盤での不整形構造による増幅効果が生じたとも解釈されている(例えば、釜江、2008)。震源断層や地盤構造の調査が現在も行なわれており、この強震動パルスの物理的な成因の解明は、強震動予測を行う上で重要な意味を持っている。

4. おわりに

1995年兵庫県南部地震を契機に、断層震源のアスペリティーから発生する指向性パルスの存在が証明され、特性化震源モデルとして標準的な強震動予測手法が整備されつつある。特に特性化震源モデルは地殻内のM7クラスの中規模地震の強震動の再現には多くの実績がある。一方、新潟県中越沖地震では指向性パルスとは異なる可能性がある強震動パルスが観測されており、その成因の解明が急がれる。一方、地震規模がより大きくなると地表断層が現れ、その近傍ではフリングステップのモデル化が必要になる。この場合、地盤変形や長周期地震動に対する建物・構造物への対策が必要になるが、殆ど手がつけられていないのが現状である。一方、海溝型巨大地震の震源近傍での観測記録は乏しく、工学に必要な周期数秒以下での震源の詳細なモデル化(例えば巨大になるアスペリティーの複雑な破壊過程やすべり関数の設定)も、今後に残された課題である。

参考文献

- 地震調査研究推進本部:「全国を概観した地震動予測地図」報告書、2006, 2007
- 入倉孝次郎、香川敬生、宮腰研、倉橋奨、2007年新潟県中越沖地震の強震動と震源断層モデル、一柏崎刈羽原子力発電所を襲った破壊的強震動一、修正版：2007、(<http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishinpic/taishinpic003/siryo3-2-3.pdf>)
- 釜江克弘、中越沖地震の地震動シミュレーション、第36回地盤震動シンポジウム、日本建築学会、2008
- 野津 厚、新潟県中越地震に関する適用例、第36回地盤震動シンポジウム、日本建築学会、2008
- 久田嘉章、建築の振動：応用編、6章 地震と地震動、80-140、朝倉書店、2008a
- 久田嘉章、活断層と建築の減災対策、活断層研究、No.28, 77-87, 2008b
- 防災科学技術研究所、近地震動記録による2007年新潟県中越沖地震の震源インバージョン(暫定版)、2007、(<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/topics/chuetsuoki20070716/inversion/>)

表層地盤と地震動の性質

吉田 望

●東北学院大学

1. はじめに

断層で発生した地震動は、断層→地震基盤→工学的基盤→地表の様に途中で地震基盤と工学的基盤を介して地表に伝播していると考え、これらによって区切られる三つの領域の挙動はそれぞれ独立して扱われるのが一般的である。このうち、工学的基盤より上の部分は、工学的分野では表層と呼ばれる。

これら三つの領域は工学的には、次のように意味づけることができよう。まず、断層から地震基盤までは地震動が空間的に広がり、拡散する挙動で、いわゆる距離減衰が支配的な現象である。これに対して、地震基盤以降では、拡散せず波動は一方向に進行していく。この中で、地震基盤から工学的基盤までは一方通行の過程で、この間では地震動は増幅する。また、この間では挙動は弾性的である。これに対して、表層では地表で反射した波も挙動には支配的であり、波の進行は双方向である。また、表層では非線形挙動が卓越したり、液化化が起こったりするが、これにより地震動は大きな影響を受ける。

本論では、特に表層の地震動に焦点を絞り、地盤の力学的挙動が波動に与える影響を述べる。

2. 地震動増幅のメカニズム

軟弱地盤では地震被害が多いことはよく知られているが、これは、軟弱地盤では地震動が増幅することによる。議論を簡単にするために、地盤を水平成層と考え、地震波が鉛直下方から入射すると設定する。すなわち、一次元にモデル化できるとして、増幅のメカニズムを考える。

地盤が弾性的に挙動するときの地震動増幅のメカニズムには次の三つの要因がある¹⁾。

① 波動の伝播速度の変化

地表に近いほど波動の伝播速度は遅くなる。このため、後ろの波が前の波に追いつくので、波動のエネルギーが集中する。このエネルギーはひずみエネルギーとして消費されるので、波動の振幅が大きくなる。

② 地表における反射

地震波は地表で反射するが、反射波の位相は入射波と同じであるので、入射波と反射波が重なると、振幅

は2倍になる。すなわち、反射したとたんに地震動は2倍に増幅すると考えることができる。なお、地下に行くほど位相はずれるので、増幅度は小さくなる。

③ 地下での反射

地表で反射して下に向かう波動は、速度が異なる層に達すると境界で一部が反射する。反射率は二つの層のインピーダンス比が大きいほど大きいので、地盤が軟弱なほど反射する量が多くなる。すなわち、地下逸散減衰が少なくなり、地表には多くの振動のエネルギーがたまり、地震動の継続時間が長くなる。

このうち、①は波動伝播速度の差があればどこでも起こり、地震基盤→工学的基盤の間で地震動が増幅する原因となっている。これに対して、②、③は表層に特有の現象である。また、軟弱地盤ほど①による増幅が大きくなる。図1は1989年ロマブリエタ地震の際の余震観測の例であるが、軟弱地盤の地震動増幅の特徴がよく表されている。すなわち、地表まで岩の地盤では揺れも小さいし、継続時間も短いのにに対して、表層が軟弱地盤である沖積層では、振幅が大きく、また、継続時間も長くなっている。

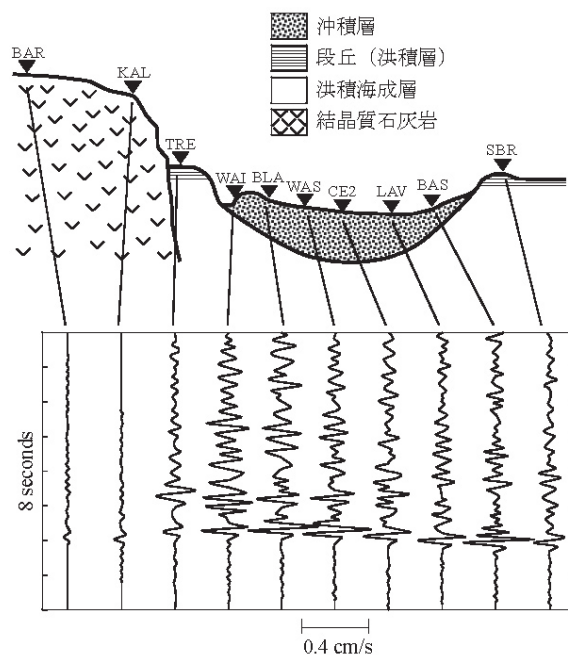


図1 地震動増幅の観測例(文献²⁾を修正)

3. 非線形挙動の影響

前節は弾性挙動を想定した説明である。しかし、土は小さいひずみから非線形を示す。ここでは非線形挙動が地表の応答に与える影響を検討する。

3.1 地震動の上限

図2はIdrissによる1985年メキシコ地震および1989年ロムプリエタ地震による観測と数値計算の結果³⁾に筆者らによる1995年兵庫県南部地震の整理結果⁴⁾を重ねたものである。北米では工学的基盤という概念をあまり用いないので、図の横軸は岩盤サイトとなっているが、同じようなものと考えてよい。図によると、入射波の最大値が小さいうちは地表の最大加速度は3倍程度に増幅しているが、入力が大きくなるに従って、増幅比は小さくなり、やがては地表の方が最大加速度は小さくなる(減衰する)。地震動が大きくなれば、非線形性のために剛性が小さくなるので見かけ上軟弱

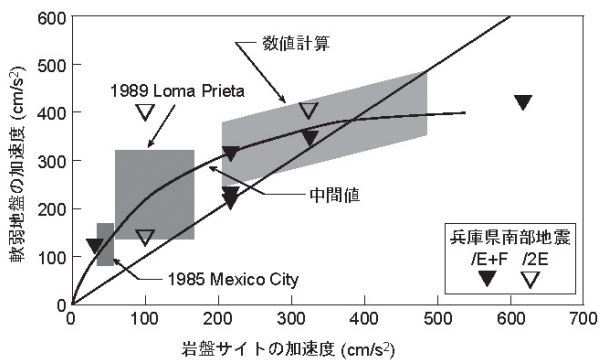


図2 地震動増幅と入力加速度の関係

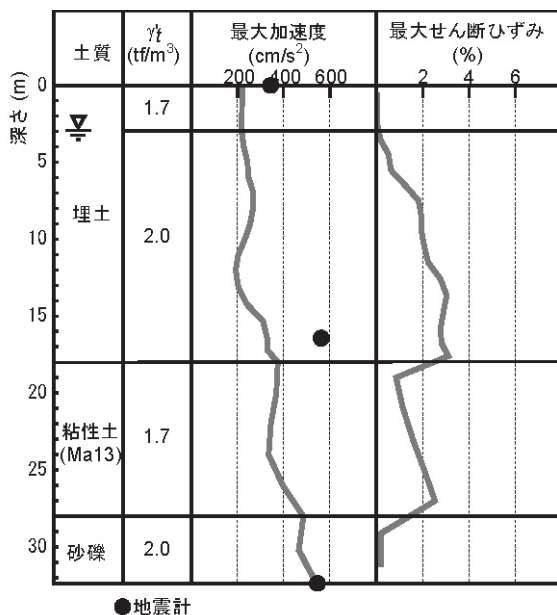


図3 最大加速度分布(ポートアイランド)

地盤の条件に近くなるので、この現象は前項の説明と矛盾しているように見える。

この原因を考えるための例題を図3に示す。この図は1995年兵庫県南部地震の際鉛直アレー記録が得られたポートアイランドの解析である⁵⁾。このサイトでは液状化が話題となったが、筆者はその下にある軟弱な沖積粘性土層(Ma13)が表層の挙動に大きく影響していることを指摘してきた^{4) 5)}。図では最大加速度が示されているが、最大加速度は粘性土層で大きく低下している。すなわち、地震動が減衰している。これが、図2で入力地震動が大きくなると地表の最大加速度が小さくなる現象である。図3には最大ひずみも示してあるが、最大ひずみは粘土層で2%を超えている。粘土層でひずみが大きい層の応力-ひずみ関係を図4に示すが、応力-ひずみ関係はほぼ完全塑性状態を示し、著しい非線形挙動をしていることがわかる。

よりわかりやすくするために、図5に土柱に作用する慣性力とせん断応力との釣合を示す。(a)は力学等でもおなじみの厚さ dz に作用する力で、これより波動方程式が得られることはよく知られている。これに対して(b)はある深さ z より上の全体に対する釣合である。この土柱に全体として作用する慣性力は深さ z の位置のせん断応力 t と釣り合うので、次式が成立する。

$$\tau = m\ddot{u} = \sigma_v \ddot{u} / G \quad (1)$$

ここで、 m は上部土柱の質量、 σ_v は上載圧、 G は重力の加速度である。この式は、図4の様に層が完全

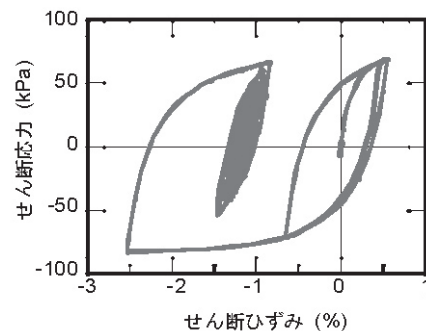


図4 応力-ひずみ関係

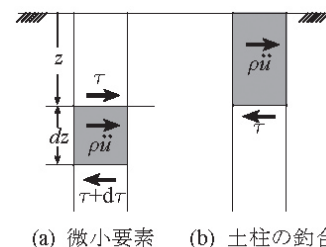


図5 土柱の力の釣合

塑性状態になると、それより上の層の(平均)加速度が完全塑性時のせん断応力(せん断強度)から一意的に決まることを意味している。すなわち、地表の最大加速度には上限があることになる。このため、地震動が大きくなると、見かけ上地震動が減衰しているように見えることになる。弾性に対する増幅から、せん断強度によって決まる加速度の上限まで連続的に増幅比が変化しているというのが図2の意味である。

この様に、地盤が弾性的に挙動する場合には地盤全体の速度構造が応答に影響するが、非線形が著しくなると、せん断強度の小さい層が地盤の挙動に最も影響するようになる。

3.2 他の地震動指標への影響

前の例では最大加速度を議論したが、他の指標も気になる。そこで、モデル地盤について入力地震動と各種地震動指標の関係を示したものが図6である¹⁾。大まかにみると、最大加速度、計測震度、SI値には頭打ちが現れ、変位、速度には頭打ちが現れない。

この理由の一部は図7の加速度時刻歴¹⁾をみると理解することができる。各図の右上には入力加速度の最大値が示されているが、縦軸の値に注意すると、入力加速度が大きくなると、加速度に頭打ちが現れていくことが明瞭に認められる。さらに、入力が大きくなると応答が次第に長周期化していることが見て取れる。速度、変位は加速度の積分であるので、この長周期化のために頭打ちが現れなかったと考えられる。速度の増幅比が非線形の影響を受けないことは1995年兵庫県南部地震の際の記録からも確認している⁴⁾。

一方、SI値は周期2.5秒までの挙動しか考慮していないし、計測震度で考慮しているのも同じような周期までである。すると、応答がこれらの周期よりも長周期化しても、その影響は指標には反映されない。これが、SI値や計測震度に頭打ちが現れた理由であろう。

次に、このような頭打ちが地震動の予測に与える影響について検討する。図8は弾性定数が地震応答に与える影響を調べるために、モデル地盤に対してモンテカルロ法で弾性定数を変化させて最大加速度の変化を見たものである⁶⁾。全500回の計算を行った際の地表の最大応答値の頻度分布が示されている。図で下向きの矢印で示したのは計算の元となったせん断波速度、すなわち、平均値を用いた結果である。興味深いのは、最大加速度の頻度が一番多い加速度は平均値による最大加速度より小さいことである。これも非線形性の影響である。すなわち、平均よりせん断強度の小さい層があると、その層が最大加速度を決めてしまうことに

なる。このように、非線形性が卓越した地盤では、平均値で挙動を評価することができなくなる。

3.3 非線形の事例

図9は1995年兵庫県南部地震の際に大きな被害を出した神戸市の三宮を通る断面図である。この断面に沿って多くの柱状図を集め、一次元の地震応答解析を行い最大値を示したのが、図10である。ここで、海岸近くになると最大加速度と計測震度が急激に低下し

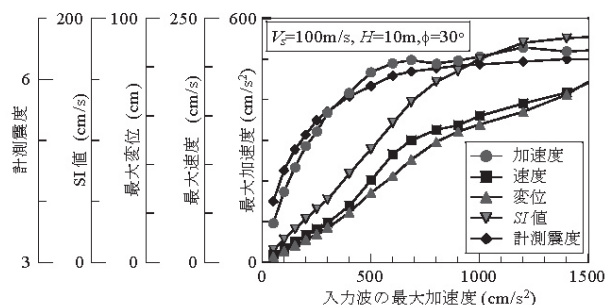


図6 各種の地震動指標の増幅

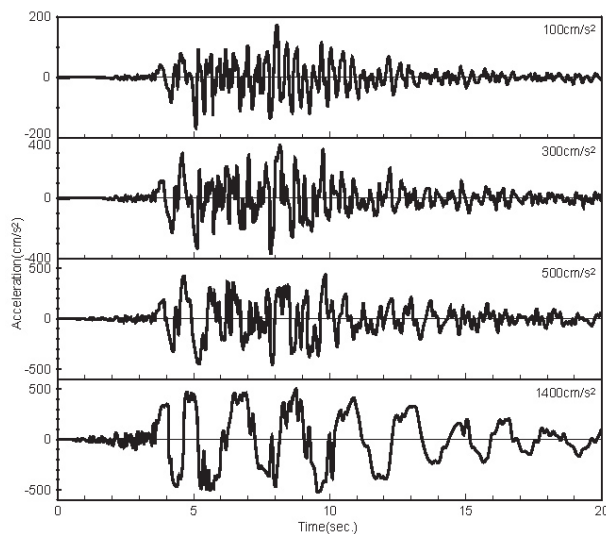


図7 加速度時刻歴の比較

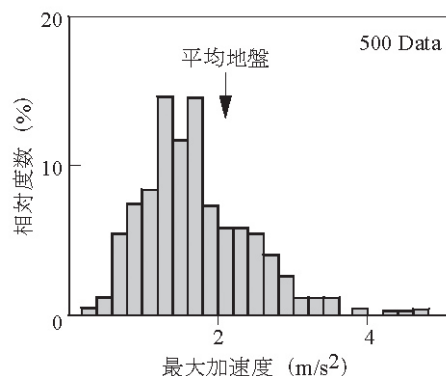


図8 最大加速度の頻度⁶⁾

ているところがあるが、これが、震災の帯の南限に当たっている。一方、図9の断面図を見ると、この位置は図3、図4でも示した軟弱な地盤である沖積粘性土（Ac）層の北限に対応している。すなわち、震災の帯の南限は沖積粘性土層の非線形挙動によって決まっている可能性がある。実際、地質的な調査によれば震災の帯の南限より北では沖積粘性土層は見つかっていない⁷⁾。なお、図10で最大速度は低下していないが、その原因はすでに述べたとおりである。

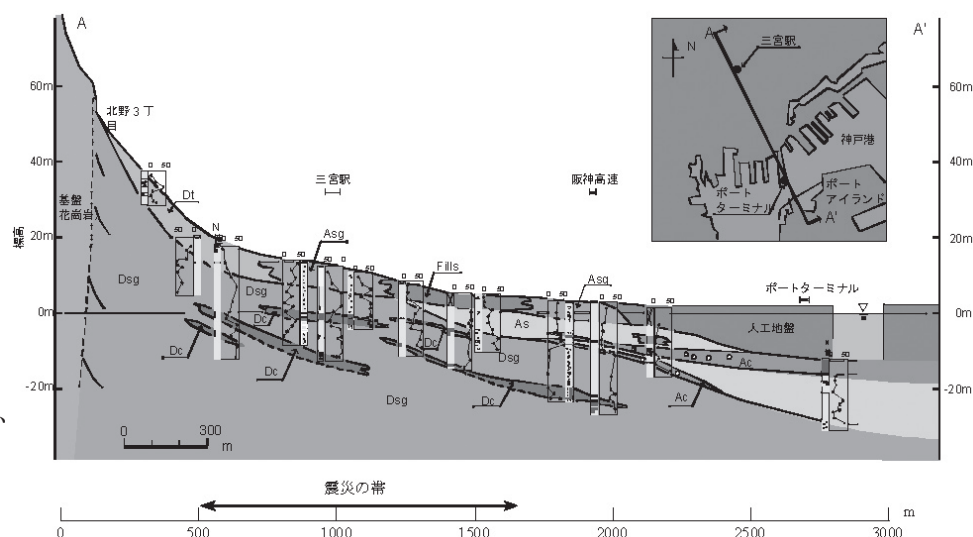


図9 三宮付近を通る断面図

4. 液状化の影響

液状化は地盤の破壊現象と考えられるので、先と同じような現象が発生する。液状化サイトの地震記録が初めて得られたのは、1964年新潟地震で、8棟すべてが転倒、傾斜した川岸町アパートの2号棟の地下と屋上に加速度計が設置されていた。図11にその波形を示す。ここで、7秒を境に地震動が急激に長周期化しているが、これが液状化の開始と考えられてきた。

この記録は、その後、工藤ら⁸⁾が再解釈を試み、7秒から始まる地震動は断層からの直達のS波であること、地下と屋上の記録からロッキング挙動を調べると、12秒付近から特性が変わることから、7秒からの長周期化は液状化でなくても説明できという議論をした。その後、筆者が解析により確かめたところ、やはり同じ結論が得られている⁹⁾。すなわち、液状化の発生は12秒付近と考えられる。液状化が発生すると周期は著しく長くなり、また、振幅は小さくなる。これは、地盤の非線形の時と同じメカニズムである。

ZeghalとElgamal¹⁰⁾は別の観点を持ち込んだ。彼らは1987年Supersition Hills地震の際にWildlifeの鉛直アレー記録で得られた過剰間隙水圧の記録に表れた振動波形と、加速度記録から求めた応力-ひずみ関係との対応から、図12に引き出し線で示した部分はサイクリックモビリティによるものである可能性を指摘した。サイクリックモビリティとは、液状化の過程で粒子構造の再構成に伴い強度、剛性が急激に上昇する現象である。すなわち、液状化すると、強度が0になるのではなく、そのような領域もあるが、骨格構造が再形成

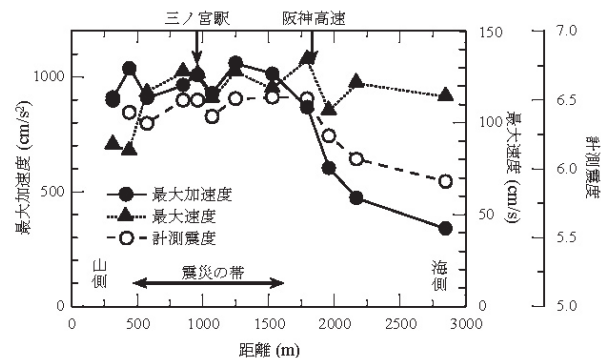


図10 最大応答値の変化

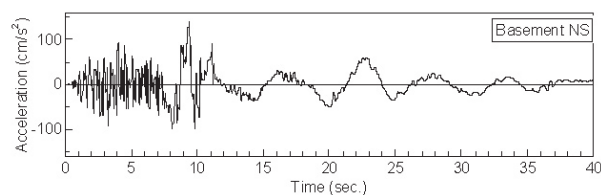


図11 川岸町で得られた液状化時の加速度時刻歴

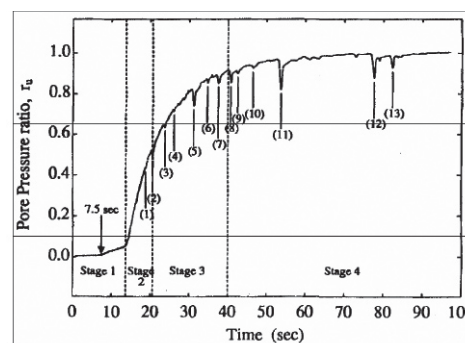


図12 Wildlifeサイトの記録と解釈

され、剛性が上昇する領域があり、このとき、過剰間隙水圧が減少すると考えた。

同様な現象はその後の地震でも観測されている。図13では30秒以降で長周期化と同時に鋭いピークを持つ現象が見られるが、これはサイクリックモビリティによるものである¹¹⁾。

このように液状化し、サイクリックモビリティが発生すると、長周期化に加え、応力-ひずみ関係と相似な形、すなわち、下に凸な形状で加速度が急上昇し、さらに、除荷に対応した部分で、急に加速度が減少する波形が見られる。

5. 減衰の影響

最後の話題は、実現現象ではなく解析の解釈に関するものである¹²⁾。一般の振動系では減衰が大きいと応答が小さくなることが知られている。地盤の解析に使われる構成モデルの中で減衰が大きいの双曲線モデルである。このモデルを使った解析では最大加速度が他と比べ小さくなることが多く、その原因はしばしば、減衰が大きいためであると説明されている。

図14 (a) に動的変形特性を示すが、双曲線 (Hyperbolic) モデルと実際の材料により近いHardin-Drnevich (H-D) モデルではひずみが大きいところで減衰が大きく異なる。対応して、図14 (b) に示す応力-ひずみ関係にも大きな差が見られる。なお、図14 (b) には二つのH-Dがあるが、 γ_w/E とあるのはひずみに伴う弾性剛性の変化も考慮したケースで、今回の議論の対象外である。

図15に最大応答値を示すが、ひずみが5%以上にもなっているのに、最大応答値にはほとんど差がない。これは、前に説明した上限加速度に至っているためである。すなわち、大地震をターゲットとするのであれば、減衰の値は最大値にはあまり影響を与えない。

では、挙動に影響を与えないかというところではない。図16には地表の加速度から求めた応答スペクトルが示されているが、長周期応答は両者で差がないが、短周期応答では減衰の大きい、双曲線モデルの方が大きな加速度応答を示している。すなわち、短周期領域では双曲線モデルの方がよく揺れているのである。

この原因は図17の応力-ひずみ関係を見ると理解できる。双曲線モデルでは剛性の大きい履歴挙動が多いのに対して、H-Dモデルでは剛性の小さい履歴挙動が多い。これは、図14 (b) から理解でき、双曲線モデル

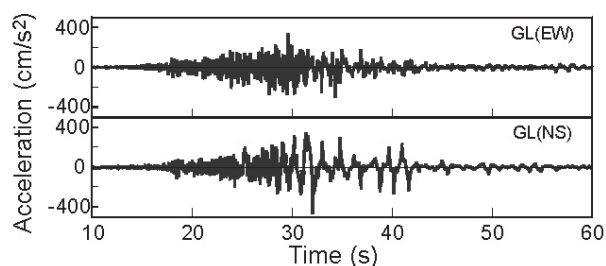


図13 1993年釧路沖地震の記録

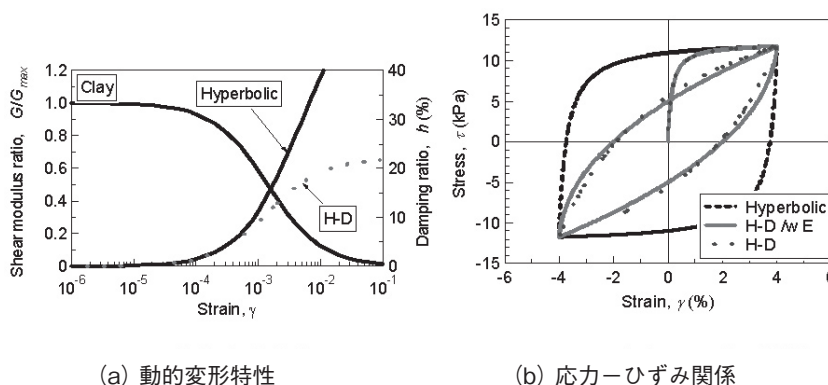


図14 双曲線モデルとH-Dモデルの比較

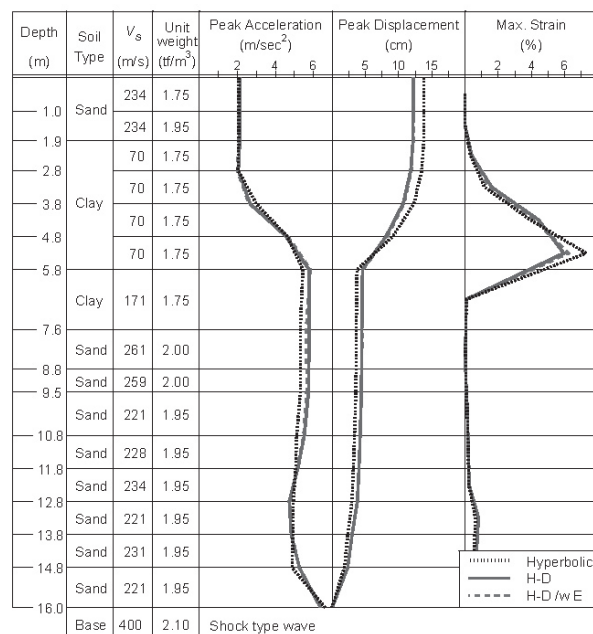


図15 最大応答値の比較

ルではせん断強度に近い大きさのせん断応力になるまでは剛性が大きい、H-Dモデルでは全体的に剛性が小さい。これが、短周期成分の応答を大きくしていることは容易に想像できる。

この例は、弱層があることによって生じる加速度の上限に伴う見かけ上の地震動の減衰と、履歴挙動による減衰を区別して論じることの重要性を示唆している。

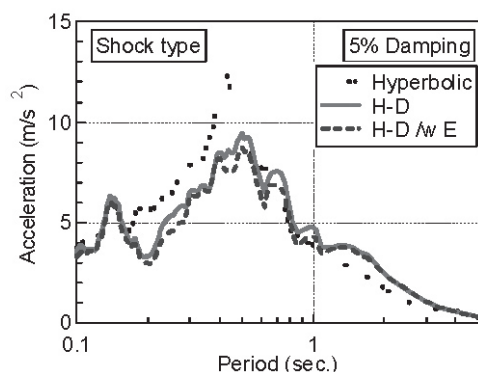


図16 応答スペクトル

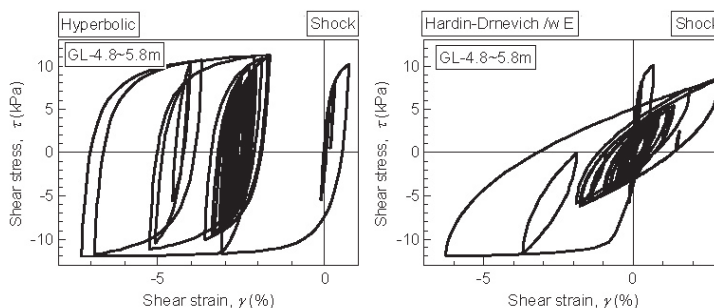


図17 応力-ひずみ関係

6. おわりに

地盤の非線形地震応答に関し、いくつかの話題を提供した。これをまとめると、以下のものである。

- 1) 表層では、三つのメカニズムにより揺れが大きくなる。非線形性が著しくない状態では、表層では地震動は増幅する。
- 2) 非線形挙動が影響するようになると、振動は長周期化し、表層の増幅も小さくなる。表層で地震動が減衰することもある
- 3) せん断強度に支配され、地表の最大加速度には上限がある。前項の減衰がこれが原因である。同様に、計測震度、SI値にも上限が現れる。一方、最大速度や最大変位には上限がない。
- 4) 小さい地震に対しては地盤全体の速度構造が応答に影響するが、非線形挙動が卓越すると、地盤全体の力学特性より、一番弱い層の挙動が地表の応答に与える影響が大きくなる
- 5) 地震動の増幅を論じる際には、履歴減衰と共にせん断強度によって支配される上限地震動も考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 吉田望 (1999) : 大振幅地震動と地盤－非線形の問題－、地震ジャーナル、地震予知総合研究振興会、第28号、pp. 66-74
- 2) 亀田弘行 編集 (1990) : 1989年ロマブリエタ地震によるサンフランシスコ湾岸地域の被害に関する調査研究、文部省科学研究費 総合研究 (A) 突発災害研究成果 重点領域「自然災害」総合研究班、347pp.
- 3) Idriss, I. M. (1990) : Response of Soft Soil Sites during Earthquakes, Proceedings, H. Bolton Seed Memorial Symposium, Berkeley, California, Vol. 2, pp. 273-289
- 4) Suetomi, I. and Yoshida, N. (1998) : Nonlinear behavior of surface deposit during the 1995 Hyogoken-nambu earthquake, Soils and Foundations, Special Issue on Geotechnical Aspects of the January 17 1995 Hyogoken-Nambu earthquake, No. 2, pp. 11-22
- 5) 吉田望 (1995) : 1995年兵庫県南部地震におけるポートアイランドの地震応答解析、土と基礎、Vol. 43、No. 10、pp. 49-54
- 6) 東畑郁生、Ronteix, S. (1988) : N値から推定したVSの誤差が地震応答解析結果に及ぼす影響、第23回土質工学研究発表会講演集、pp. 825-826
- 7) 阪神・淡路大震災調査報告書編集委員会 (1998) : 阪神・淡路大震災調査報告書、共通編-2、地震・地震動、地盤・地質、(土木学会、日本建築学会)、丸善、p.389
- 8) Kudo, K., Uetake, T. and Kanno, T.: Re-evaluation of nonlinear site response during the 1964 Niigata earthquake, using the strong motion records at Kawagishi-cho, Niigata City, Proc. 12WCEE, Auckland, New Zealand, Paper No. 0969, 2000
- 9) 吉田望、工藤一嘉 (2000) : 1964年新潟地震における川岸町の液状化に関する地盤工学的再検討、日本建築学会学術講演概要集 (東北) 構造II、pp. 293-294
- 10) Zeghal, M. and Elgamel, A.-W. (1994) : Analysis of site liquefaction using earthquake records, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 120, No. GE6, pp. 996-1017
- 11) Iai, S., Morita, T., Kameoka, T., Matsunaga, Y., and Abiko, K. (1995) : Response of a dense sand deposit during 1993 Kushiro-oki earthquake, Soils and Foundations, Vol. 35, No. 1, pp. 115-131
- 12) 吉田望、澤田純男、竹島康人、三上武子、澤田俊一 (2003) : 履歴減衰特性が地盤の地震応答に与える影響、土木学会地震工学論文集、第27巻、Paper No. 158

地震動の性質と建物被害の関係

境 有紀

●筑波大学

1. はじめに

冒頭の背景と構成で述べたように、近年、震度6弱以上の高震度を記録した地震が頻発しているが、震度レベルが同じでも建物被害が大きく異なるケースが数多く見られ、単なる地震動の強さや建物の耐震性の違いでは、被害の説明が難しい事例が続いている。そこでここでは、なぜ同じ計測震度でも建物被害が大きく異なるという現象が生じるのか、どういう性質をもった地震動が建物の大きな被害を引き起こすかについて、様々な地震動の性質の中で最も基本的なスペクトル特性と建物周期の関係から解説する。

2. 既往の地震動強さ指標と建物被害の対応

まず、計測震度など、よく用いられる既往の地震動強さ指標と建物被害率との関係を計55観測点の強震記録と周辺被害データ(表1)を基に図1に示す。なお、計測震度は地動最大加速度や速度に対して対数関係にあるので、横軸に計測震度の指数をとり、対応する計測震度の値を図中に矢印で示している。表1の建物被害率は、強震観測点を中心とした半径ほぼ200m以内にある建物全数調査に基づくもので、被害レベルは、全壊¹⁾・大破²⁾である。

これを見ると既往の地震動強さ指標と建物被害との対応はあまりよくない。例えば、計測震度を見ると、相関係数にして0.6程度で、計測震度の値が6.5程度とほぼ同じ4記録(1995年兵庫県南部地震のJR鷹取、葦合、神戸JMA、2004年新潟県中越地震の川口町震度計)の被害率が2~35%と大きくばらついている。地動最大速度とスペクトル強度は、比較的相関があるが、表1

の強震記録に5秒以上の長周期成分をもった地震動が含まれていないことに注意する必要がある。そのような地震動が発生すると、地動最大速度やスペクトル強

表1 強震記録と観測点周辺の建物被害率

地震	観測点	PGA	PGV	JMA	da	dw
1993年釧路沖	釧路地方気象台	752.2	43.1	5.95*	0.0	0.0
1994年三陸はるか沖	八戸市庁舎	433.5	50.2	5.82	3.1	1.9
1995年兵庫県南部	JR鷹取	741.6	157.2	6.48	34.9	59.4
"	大阪ガス葦合供給所	833.5	130.8	6.49*	15.3	20.2
"	NIT神戸	331.2	88.5	5.83	6.1	16.1
"	JR宝塚	690.7	96.6	6.15	6.2	7.2
"	本山第一小	794.0	81.6	6.12	5.3	6.5
"	神戸海洋気象台	752.2	105.0	6.43	2.5	3.2
"	尼崎高架橋	340.5	56.9	5.69	2.2	2.4
"	尼崎竹谷小	367.8	51.1	5.70	1.2	1.7
"	尼崎港	472.1	62.2	5.74	0.0	0.0
"	関西総合技研	556.2	59.4	5.95	0.7	0.8
1997年鹿児島県北西部(3/26)	K-NET宮之城	544.0	36.3	5.52	0.0	0.0
"	K-NET阿久根	295.9	43.8	5.68	0.0	0.0
1997年鹿児島県北西部(5/13)	K-NET宮之城	976.6	45.5	5.93	0.0	0.0
2000年鳥取県西部	境港測候所	762.8	84.9	6.01	1.4	1.1
"	K-NET米子	441.4	53.8	5.81	0.0	0.0
2001年芸予	K-NET大野	465.7	33.6	5.63	0.0	0.0
"	K-NET東予	514.7	33.9	5.59	0.0	0.0
2003年三陸南	JMA涌谷	445.6	42.8	5.56	0.0	0.0
"	JMA石巻	962.7	27.6	5.56	0.0	0.0
"	JMA大船渡	1106.9	34.5	5.84	0.0	0.0
2003年宮城県北部	JMA涌谷	594.0	54.2	5.83	0.0	0.0
"	鹿島台町震度計	1614.2	43.8	5.85	0.0	0.0
2003年十勝沖	K-NET広尾	972.7	48.8	6.06	0.0	0.0
"	K-NET標津	583.7	65.2	5.91	1.1	1.3
"	K-NET池田	671.0	59.6	5.94	0.0	0.0
"	K-NET釧路	410.2	43.6	5.61	0.0	0.0
"	KiK-net本別	497.4	34.8	5.49	0.0	0.0
2004年新潟県中越	川口町震度計	1667.9	144.7	6.51	18.0	19.8
"	K-NET小千谷	1500.7	133.4	6.73	0.0	0.0
"	JMA小千谷	975.0	93.6	6.33	1.2	1.8
"	十日町市震度計	1339.7	58.3	5.92	0.0	0.0
"	K-NET長岡	542.7	51.0	5.50	0.0	0.0
"	JMA長岡	436.2	38.3	5.49	0.0	0.0
"	中里村震度計	768.8	71.9	5.96	0.0	0.0
"	KiK-net加茂	412.0	28.8	5.65	0.0	0.0
"	栃尾市震度計	1012.3	34.2	5.49	0.0	0.0
"	K-NET小出	639.3	39.7	5.54	0.0	0.0
2005年福岡県西方沖	福岡舞鶴震度計	342.8	70.3	5.72	0.6	-
2005年宮城県沖地震	宮城川崎町震度計	1124.2	44.5	5.59	0.0	0.0
2007年能登半島地震	K-NET穴水	896.1	103.7	6.31	18.0	18.8
"	JMA輪島	472.2	98.7	6.12	4.6	4.7
"	K-NET輪島	546.3	43.9	5.52	2.8	2.9
"	JMA能登町	261.1	51.8	5.65	0.0	0.0
"	K-NET能都	665.6	25.2	5.55	0.0	0.0
"	K-NET七尾	217.9	34.9	5.27	0.0	0.0
2007年新潟県中越沖地震	K-NET柏崎	812.0	126.9	6.37	4.2	5.3
"	柏崎市中央町震度計	775.1	125.1	6.33	5.7	7.4
"	上越市柿崎区震度計	443.1	94.4	5.88	0.0	0.0
"	長岡市中之島震度計	347.8	35.6	5.57	0.0	0.0
"	長岡市上岩井震度計	354.9	44.9	5.66	0.0	0.0
"	柏崎市高柳町震度計	543.5	53.3	5.66	0.0	0.0
"	JMA小千谷	401.9	28.3	5.14	0.0	0.0
"	K-NET小千谷	524.8	47.6	5.58	0.0	0.0

PGA: 地動最大速度(cm/s²), PGV: 地動最大速度(cm/s), いずれも水平2方向ベクトル和, JMA: 計測震度(*は水平2方向による値), da: 建物大破・全壊率(%), dw: 木造建物全壊率(%)

度では被害を適切に予測することはできない(例えば、300cm/sもの地動最大速度を記録した1999年台湾集集地震の石岡周辺の建物被害はそれほど大きくなかった³⁾)。地動最大加速度は、剛体(周期0秒)の加速度応答、地動最大速度は、地震動の5秒以上の長周期成分の影響を強く受けること⁴⁾、スペクトル強度は、0.1～2.5秒という非常に広範囲の速度応答の平均値、計測震度は、0.1～1秒という短周期の応答と相関があり^{5) 6)}、これらの指標の対象とする地震動の周期帯が建物被害と相関のある周期帯とずれていることが原因であると考えられる。そこで、建物被害と相関が高い地震動の周期帯について調べてみた。

3. 建物被害と相関をもつ地震動の周期帯

3.1 強震記録と周辺の被害データを用いた検討

2章と同じデータを用い、横軸に弾性速度応答スペクトル(減衰定数5%、水平2成分ベクトル和)の弾性周期、縦軸にその周期における弾性速度応答と建物被害率の相関係数、即ち、地震動の応答スペクトルのどの周期帯が建物被害と相関をもつかについて図2に示す(ここでは速度応答の結果のみを示すが、加速度応答を用いた場合も結果はほとんど同じになった)。これを見ると、全壊・大破といった建物の大きな被害と相関をもつ地震動の周期帯は、1-1.5秒、やや範囲を広げて1-2秒で^{7) 8)}、地動最大加速度の0秒、計測震度の0.1-1秒、地動最大速度の5秒以上といった周期とは異なることがわかる。特に、1秒以下の短周期との相関が低く、これがこの周期帯と対応する計測震度や地動最大加速度と建物被害の相関が低くなってしまっている原因と考えられる。スペクトル強度の0.1-2.5秒は1-2秒という周期を含んでいるが、相関が低い1秒以下の周期帯も含んでしまい、相関を下げている。

建物被害と相関が高い1-1.5秒、やや範囲を広げて1-2秒速度応答と建物被害率の対応を図3に示す。既往の地震動強さ指標よりも建物被害と強い相関をもっていることがわかる。

この結果は、実際に観測された強震記録とその周辺の実被害データを用いており、あらゆる実験、解析結果に優先して受け入れなければならないものではあるが、強震観測点によって、その周辺にある建物

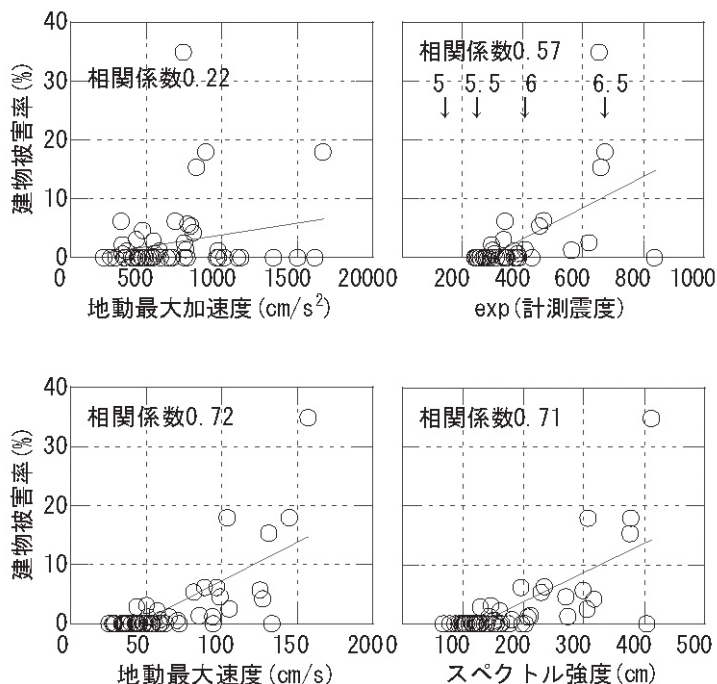


図1 既往の地震動強さ指標と実際の建物被害との対応

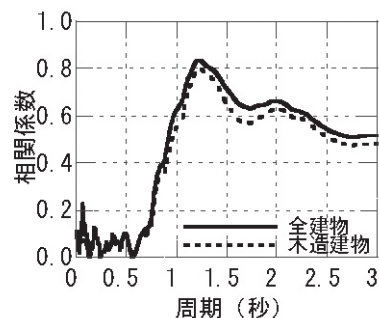


図2 弾性応答スペクトルの周期と建物被害との相関関係(実被害データ)

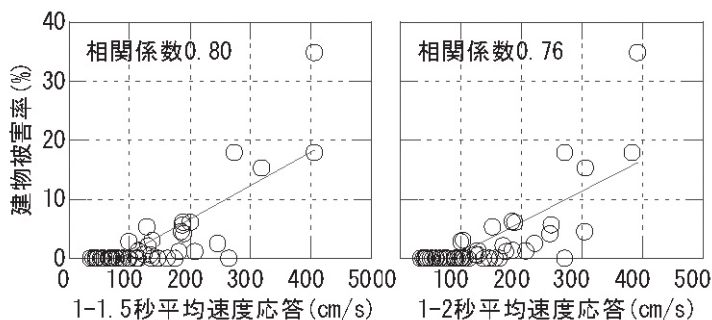


図3 1-1.5, 1-2秒応答と実際の建物被害との対応

にばらつきがあることに注意する必要がある。そこで、同様の検討を、同一の建物群、試験体を用いた地震応答解析と振動実験によって行ってみた。

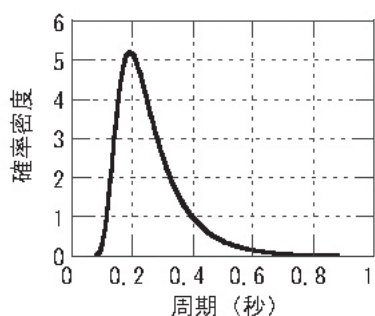


図4 木造建物の周期分布

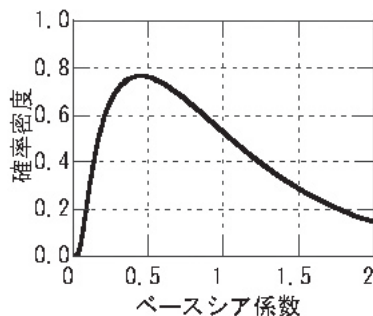


図5 木造建物の耐力分布

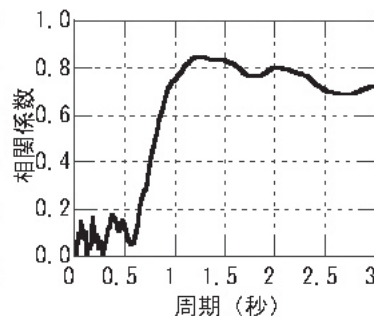


図6 弾性応答スペクトルの周期と建物被害との相関関係(地震応答解析)

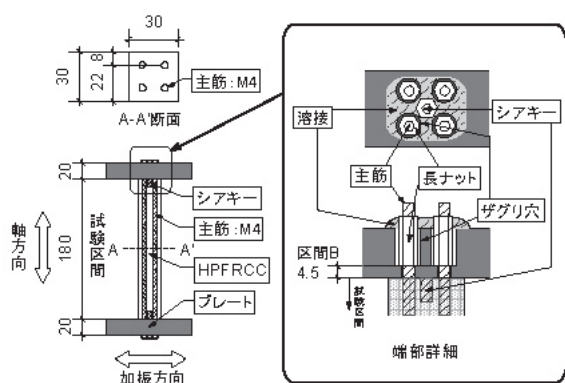


図7 振動実験に用いた試験体(単位mm)

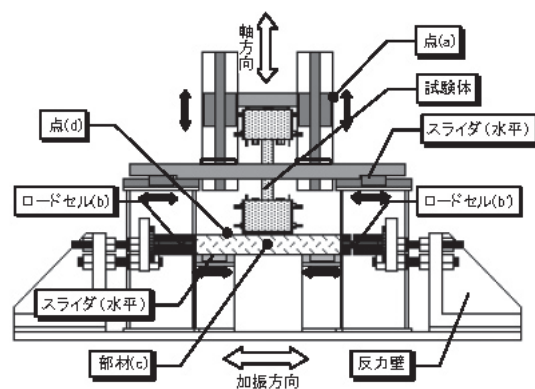


図8 加振システム

3.2 地震応答解析による検証

用いたモデルは、微動計測結果、および、周期と耐力の関係式から周期分布(図4)と耐力分布(図5)を求め、履歴性状を木造建物の弾塑性性状を模擬する修正Takeda-slipモデル⁹⁾とした一自由度系から構成される日本の平均的な木造建物群モデル¹⁰⁾で、入力地震動は3.1節と同じである。被害率は、全壊に対応する変形を越えた建物の割合とした。3.1節と同様に、弾性スペクトルの周期と建物被害率と弾性応答の相関係数の関係、即ち、地震動の応答スペクトルのどの周期帯が建物被害と相関をもつかについて図6に示す。1-1.5秒、やや範囲を広げて1-2秒で高い相関をもち、1秒以下では相関が低くなるなど、図2とよく似た結果となり、3.1節の結果が地震応答解析でも確認される。

3.3 振動実験による検討

同様の検討を振動実験¹¹⁾によっても行った。用いた試験体は、鉄筋コンクリート造柱を模擬し、入力地震動をパラメータとするために、数多く容易かつ安価に作成できるように開発した、横補強筋の代わりに補強繊維を用いて主筋のみを配した3cm角の柱部材で(図7)、全く同じものを27体作製し、様々にスペクトル

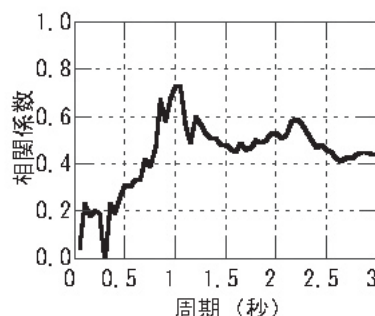


図9 弾性応答スペクトルの周期と最大応答変形との相関関係(振動実験)

特性や振幅を変えた地震動を入力した(図8)。3.1, 3.2節と同様に、建物被害、ここでは最大応答変形を対象として、地震動の応答スペクトルのどの周期帯が建物被害と相関をもつかを図2, 6と同様に図9に示す(横軸はスケール則を考慮に入れて実大相当の試験体周期に換算している)。図2, 6とよく似た結果となり、3.1節の結果が振動実験でも確認される。

4. 1-2秒の物理的背景

ここまでで、既往の地震動強さ指標と実際の建物被害の相関がよくないこと、その原因として、被害と相

関をもつ周期帯とこれらの指標が対応した周期帯がずれていること、そして、建物の大きな被害と相関をもつ地震動の周期帯が1-1.5秒、やや範囲を広げて1-2秒であること示した。では、なぜ1-1.5秒、やや範囲を広げて1-2秒という地震動の周期帯が建物の大きな被害と相関をもつのであろうか？

日本の木造建物と鉄筋コンクリート造建物（これで全体の90%以上を占める）の弾性周期分布^{9) 12)}を図10に示す。これを見ると、日本の大部分の建物の弾性周期は0.2-0.5秒と1-2秒より遙かに短く、かつ、非常に狭い領域に集中していることがわかる。もし、建物が弾性応答するのであれば、建物被害と相関をもつ地震動の周期帯は、建物周期と共振する0.2-0.5秒となるはずである。しかし、**実際には共振は起こらない**。これは、**建物が被害を受けると塑性化により周期が伸びるため**である。このことは、建築構造の分野では、既に広く知られており、2000年の改正建築基準法、いわゆる限界耐力計算でもこの考え方が既に導入されていて、建物の終局強度設計を行う際には、塑性化による周期の伸びを考慮に入れた等価周期に対して設計することになっている。

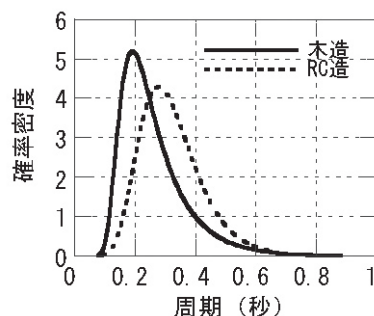


図10 日本の建物の周期分布

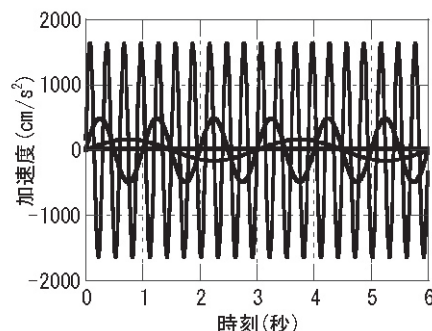
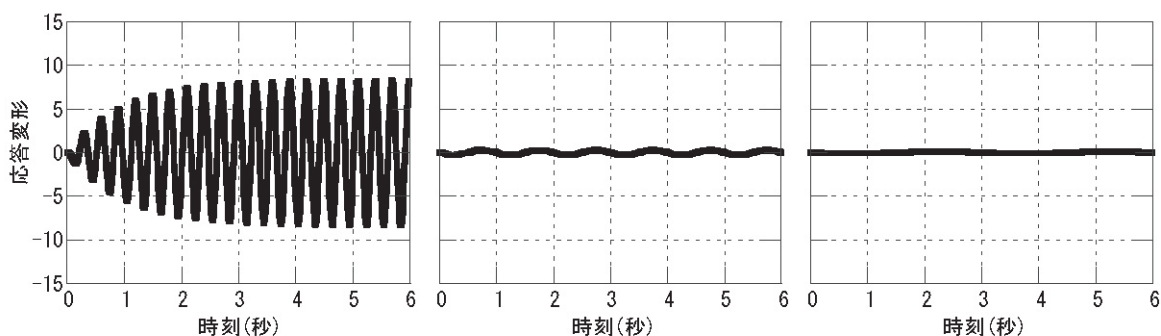
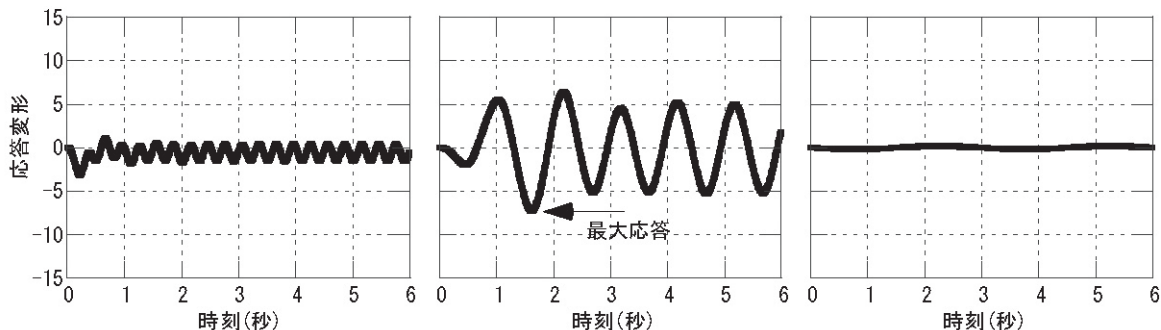


図11 入力サイン波



(1) 周期0.3秒のサイン波を入力 (2) 周期1秒のサイン波を入力 (3) 周期3秒のサイン波を入力
(a) 周期0.3秒の弾性系



(1) 周期0.3秒のサイン波を入力 (2) 周期1秒のサイン波を入力 (3) 周期3秒のサイン波を入力
(b) 周期0.3秒の弾塑性系

図12 サイン波を入力したときの弾性系と弾塑性系の応答の違い

4.1 簡単な数値実験

このことを再現するために、簡単な数値実験を行ってみた。弾性周期0.3秒の弾性と弾塑性の一自由度系に対して周期0.3、1、3秒のサイン波を入力し、応答変形を見つめる。弾塑性系のベースシア係数は0.5（ほぼ図5の平均値）、降伏点剛性低下率は0.25、降伏後の剛性は弾性剛性の1/100、減衰は瞬間剛性比例で減衰定数5%で、履歴則はTakedaモデル¹³⁾（除荷剛性低下指数は0.5）とした。サイン波の振幅は、サイン波の周期が変化しても地動最大速度が一定（156cm/s）となるように、周期0.3、1、3秒のサイン波の振幅をそれぞれ1.67G、0.5G、0.167Gとした（図11）。応答変形の時刻歴を図12に示す。縦軸の応答変形は、弾塑性系の降伏変形で規準化しており、(b)の弾塑性系では塑性率（＝最大応答変形を降伏変形で規準化した無次元量）に等しくなる。

まず、(a)の弾性系を見ると、(1)の入力サイン波の周期と弾性系の周期が同じ（ともに0.3秒）場合は共振が起こり、サイクルごとに応答変形がどんどん増幅しているのに対して、サイン波と系の周期が違う(2)(3)は、応答変形は非常に小さくなっている。しかし、(b)の弾塑性系を見ると応答性状は一変する。即ち、(1)の弾性周期とサイン波の周期が同じ場合を見ると、弾性系で起こっていた共振が弾塑性系ではほとんど起こらず、対照的に、弾性周期の3～4倍程度の1秒のサイン波に対しては、振幅が周期0.3秒のサイン波の1/3以下であるにもかかわらず、大きく応答している。つまり、弾塑性系、即ち、実際の建物は、入力地震動に対してその弾性周期ではなく、塑性化による周期の伸びを考慮に入れた等価周期で大きく反応する、ということがわかる。

また、入力サイン波の周期が3秒のケースは、その地動最大速度が156cm/sと非常に大きいにもかかわらず、その応答変形は弾性、弾塑性ともに非常に小さく、木造や中低層鉄筋コンクリート造のような多くの建物に対しては、いわゆる長周期地震動は、ほとんど影響がなく、2章で述べたように、地動最大速度では、一般の建物の被害を的確に予測できないことが確認される。

4.2 周期はどのくらい伸びるのか？

では、全壊・大破といった大きな被害の場合の等価周期は何秒くらい、即ち、周期は弾性周期からどのくらい伸びるのであるのか？建物にかかる水平力と水平変位の関係を図13に示す。全壊・大破に対応した建物の最大層間変形角は、3-5%程度^{3) 9)}にもなり、降伏変形角が0.5-1%程度であることを考えると塑性率にして6-8程度となる。降伏点剛性低下率 αy_k が0.2-0.3程度と

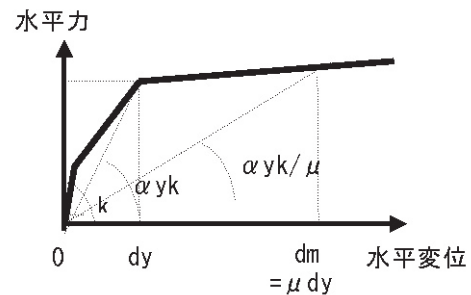


図13 建物の水平力－水平変位関係

すると、全壊・大破時の等価周期は、式(1)より周期は剛性のルートに反比例するので、弾性周期の4-6倍程度となる。

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (1)$$

ここで、T: 周期、m: 質量、k: 剛性である。

よって、日本の大部分の建物の弾性周期が0.2-0.5秒という周期帯に所属している（図10）ことを考えると、 $(0.2 \sim 0.5) \times (4 \sim 6)$ で、等価周期は、ほぼ1-2秒と対応していることがわかる。

4.3 弾性スペクトルと弾塑性スペクトルの関係

そこで、大破・全壊する塑性率を6としたとき、弾性加速度スペクトルに対応した弾塑性スペクトルである必要耐力スペクトルを用いて、弾性応答と弾塑性応答の違いを見つめる。必要耐力とは、塑性率をある一定の値に収めるために必要な建物耐力（ベースシア係数）で、必要耐力スペクトルは横軸を周期として、弾性加速度スペクトルと同様の形で描いたものである。

まず、実際の強震記録として、地動最大加速度は0.7G程度であったものの、1-2秒の中周期が卓越し、周辺で甚大な被害を引き起こした1995年兵庫県南部地震のJR鷹取駅と、1Gを超える地動最大加速度を記録したものの、0.5秒以下の極短周期が卓越し、周辺に全く被害がなかった2003年三陸南地震のJMA大船渡の2つについて、弾性加速度応答スペクトルと必要耐力スペクトルを図14(a)に示す。必要耐力スペクトルを求める際の弾塑性系は、4.1の数値実験で用いた弾塑性系と同じものとした。これを見ると、日本の建物の大部分が属する周期帯（図10、0.2～0.5秒）の弾性スペクトルは、被害のなかったJMA大船渡の方が甚大な被害を引き起こしたJR鷹取と同等かむしろ上回っているのに対して、弾塑性スペクトルを見ると、JR鷹取がJMA大船渡を大きく上回っており、被害と対応しており、弾塑性（必要耐力）スペクトルは被害を説明している。

そこで、弾性スペクトルと弾塑性スペクトルの関係を説明するために両者を模式的に図14 (b) に示す。建物の弾塑性応答は、弾塑性モデルを等価な線形モデルに置き換える等価線形化手法で、周期の伸びを考慮に入れた等価周期とエネルギー吸収を表現する等価粘性減衰が用いられるように、大まかに言うと、塑性化による周期の伸びと履歴ループを描いてエネルギー吸収することによる応答の低減の2つによって表現される。即ち、必要耐力スペクトルは、弾性加速度スペクトルから、エネルギー吸収によって応答が低減し(図14 (b) の↓)、周期の伸びによって左にシフト(図14(b)の←)するという関係にある。よって、日本の建物の大部分が属する0.2～0.5秒の弾塑性スペクトルが大きくなるには、その等価周期に対応する1.2秒の弾性スペクトルが大きくなければならないことになる。

図14 (b) を、0.5秒以下の極短周期地震動と1.2秒の中周期地震動の場合についてそれぞれ図14 (c) (d) に示す。0.5秒以下に大きな弾性応答をもっている場合(図14 (c))、塑性化による周期の伸びでその部分は、日本の建物の大部分が属する0.2～0.5秒より短い領域にシフトしてしまっており、0.2～0.5秒の弾塑性スペクトルは非常に小さくなっている。これに対して、1.2秒に大きな弾性応答をもっている場合(図14 (d))、その部分が、日本の建物の大部分が属する0.2～0.5秒より短い領域にちょうどシフトしてきて、大きな被害を引き起こすことがわかる。そしてこれらは、実際の強震記録(図14 (a))とも対応している。

以上のことから、1.2秒に大きな弾性応答をもった地震動が木造建物、中低層非木造建物といった、日本の大部分を占める建物に対して大きな被害を引き起こす、ということが確認される。

5. 近年発生した地震の考察

以上を踏まえて、2008年に発生した岩手宮城内陸地震、岩手沿岸北部地震について、地震動のスペクトル特性と建物被害の関係について見てみる。弾性加速度応答スペクトル(減衰定数5%、水平2方向ベクトル合成)を図15 (a) (b) に示す。いずれも0.5秒以下の極短周期地震動で計測震度が対応する0.1-1秒応答は大きいため震度は大きくなるが、1.2秒

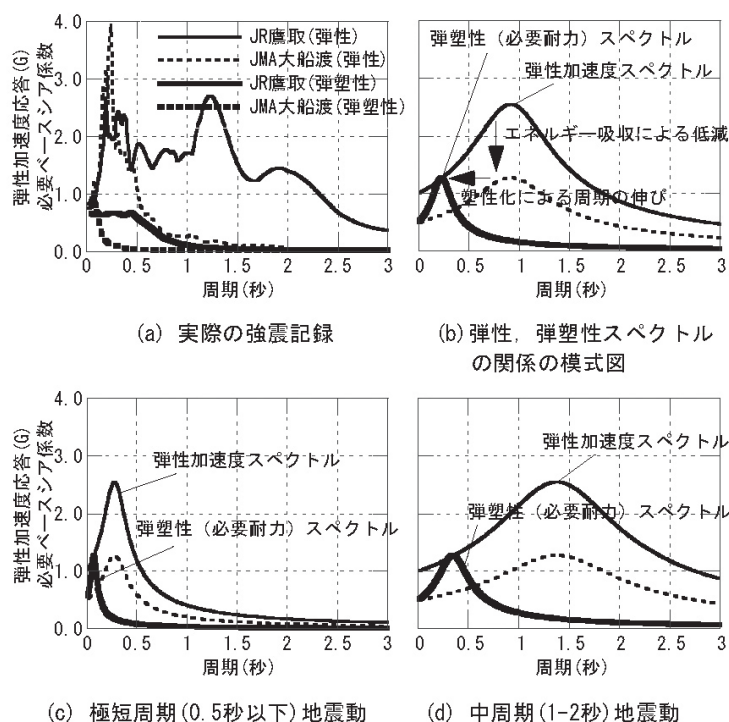


図14 弾性加速度応答スペクトルと弾塑性(必要耐力)スペクトル

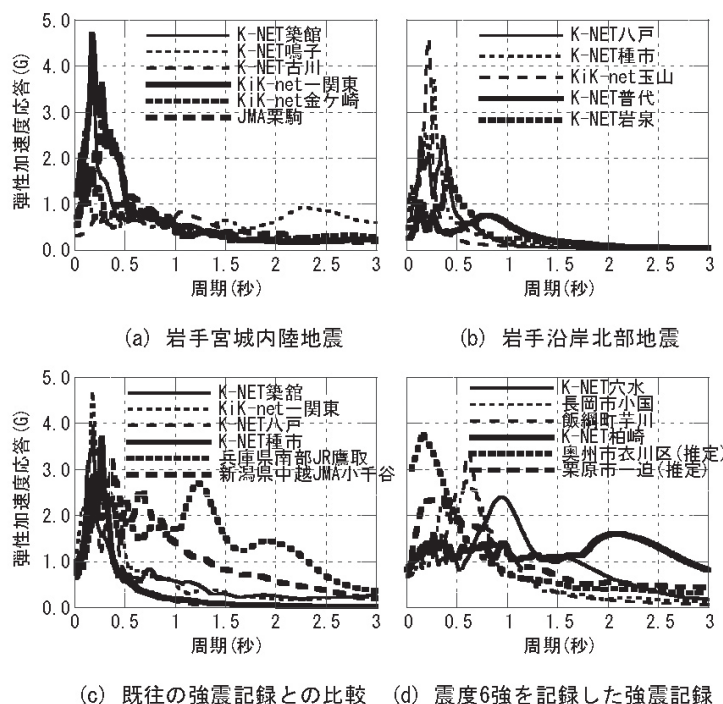


図15 弾性加速度応答スペクトル(減衰定数5%、2方向ベクトル和)

応答は非常に小さく(図15 (c) に既往の強震記録と比較している)、建物の大きな被害は引き起こさない地震動であったことがわかる。

次に、2007年に発生した能登半島地震、新潟県中越沖地震と2008年岩手宮城内陸地震について、震度6強

(いずれも計測震度にして6.2～6.4程度)を記録した6点の弾性加速度応答スペクトルを比較して図15 (d)に示す(ただし、岩手宮城内陸地震の栗原市一迫、奥州市衣川は文献¹⁴⁾で提案された方法により推定したものである)。周辺で大きな被害が見られた能登半島地震のK-NET穴水(全壊・大破率18.0%)、新潟県中越沖地震のK-NET柏崎(全壊・大破率4.2%)では、1-2秒の領域で大きな値となっているのに対して、周辺で大きな被害が見られなかった栗原市一迫、奥州市衣川、新潟県中越沖地震の長岡市小国、長野県飯綱町芋川の1-2秒応答は有意に小さく、4章までで述べたことと整合していることがわかる。

6. 弾塑性応答のメカニズム

最後にあらためて、建物被害と相関をもつ周期帯を示した図2, 6, 9を見てみる。1.2秒に大きな弾性応答をもつことが木造、中低層非木造といった一般の建物の大きな被害を引き起こすことは既に述べたが、図2, 6, 9を見ると、1-2秒と相関が高いこととともに1秒以下との相関が低くなっていることは注目すべきことであろう。つまり、建物の大きな被害をよりの確に推定するには、等価周期に対応した1-2秒応答に注目すると同時に、1秒以下を「排除」する必要があることになる。しかし、普通に考えれば、4章で「建物が被害を受けると塑性化により周期が伸びる」と書いたように、建物の周期が伸びるためには、まずある程度の被害を受けなければならない、そのためには、弾性周期に対応した部分にも、ある程度の弾性応答が必要だと思われる。しかし、図2, 6, 9はこれを否定している。

そこで、4.1節の数値実験結果をもう一度見てみる。弾性周期0.3秒の弾塑性系がその等価周期に近い1秒のサイン波に大きく応答していることは、既に述べたが、その応答変形の時刻歴(図12 (b) (2))を見ると、特筆すべきは、その最大応答変形が1サイクル目(図中の矢印)で起こっている¹⁵⁾ことである。これは、入力周期が等価周期であれば、サイン波1波でも甚大な被害を引き起こすということを意味していて、実際、1995年兵庫県南部地震では、1秒程度のパルス1波で多くの建物が甚大な被害を受けた。

更に、サイン波には、その周期の成分(1秒のサイン波なら1秒)しか含まれていないので、0.3秒の弾塑性系に大きな応答を引

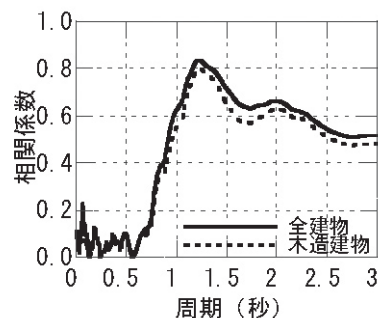


図2 弾性応答スペクトルの周期と建物被害との相関関係(再掲)

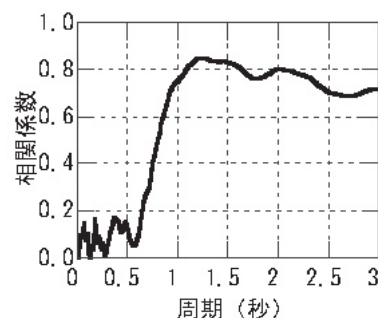


図6 弾性応答スペクトルの周期と建物被害との相関関係(再掲)

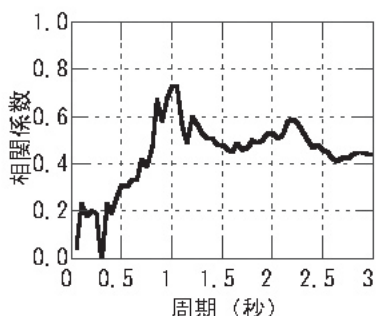


図9 弾性応答スペクトルの周期と最大応答変形との相関関係(再掲)

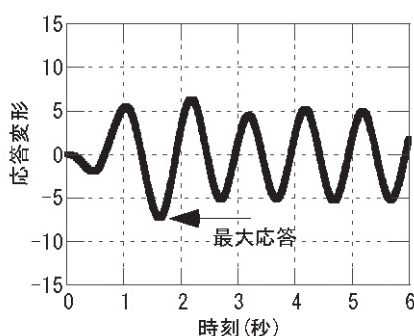


図12 (b) (2) 0.3秒の弾塑性系に周期1秒のサイン波を入力したときの応答(再掲)

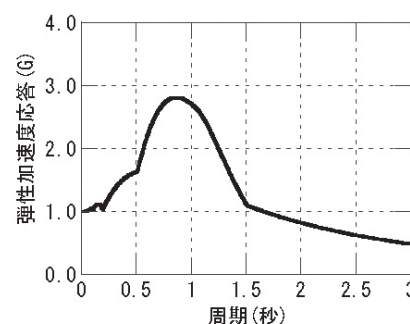


図16 1G1秒のサイン波1波の弾性加速度応答スペクトル(減衰定数5%)

き起こすのに0.3～1秒の成分は必要ないことになる。このことは(直感的には理解しがたいが)、被害を受けると周期が伸びる、ではなく、いきなり被害を受けたとしたときの周期で応答するということになる。

ここで、振幅1G、周期1秒のサイン波1波の弾性加速度応答スペクトルを図16に示す。これを見ると、サイン波の応答スペクトルは当然のことながら、1秒というサイン波の周期のみではなく、その周辺に「裾野」をもっており、建物被害が弾性応答とは無関係に、等価周期応答「のみ」に依存することの1つの説明になっていると思われる。しかし、本章で述べたことは、5章までの一般的な見解から一歩踏み込んだものであり、その検証には今後の更なる検討が必要であることを付記しておく。

7. まとめ

日本の大部分を占める木造、中低層非木造建物の全壊・大破といった建物の大きな被害と相関をもつ地震動の周期帯は、1-2秒であることを強震記録とその周辺の被害データ、地震応答解析、振動実験により示した。この1-2秒という周期帯は、これらの建物の塑性化による伸びを考慮に入れた等価周期と対応しており、物理的背景をもったものである。

謝辞

強震記録は、防災科学技術研究所、気象庁、震災予防協会、JR総合技術研究所、大阪ガス、NTTファシリティーズ、関西地震観測研究協議会、地域地盤環境研究所、建築研究所、東北大学大学院理学系研究科地震・噴火予知研究観測センター海野徳仁先生、岡田知己先生より提供して頂きました。被害調査の際、現地の方々は被災されていたのにもかかわらず、快く対応していただき、様々な資料も提供して頂きました。調査は、東京大学地震研究所瀬戸一起先生、三宅弘恵先生、坂上実先生、新潟大学工学部中村友紀子先生、千葉工業大学藤井賢志先生、研究室の筑波大学大学院生、学類生諸氏と共同で行ったものです。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 1978年宮城県沖地震災害調査報告、日本建築学会、142、1980.2.
- 3) 境有紀、吉岡伸悟、瀬戸一起、壁谷澤寿海: 1999年台湾集集地震に基づいた建物被害を予測する地震動の破壊力指標の検討、日本建築学会構造系論文集、第549号、43-50、2001.
- 4) 渡部丹、大橋雄二、長谷部廣行: 高層建築物の耐震設計用入力地震動について(その1)、日本建築学会大会学術講演梗概集、B構造 I、135-136、1985.
- 5) 境有紀、神野達夫、瀬戸一起: 建物被害と人体感覚を考慮した震度算定方法の提案、第11回日本地震工学シンポジウム論文集、CD-ROM、2002.
- 6) 境有紀、神野達夫、瀬戸一起: 震度の高低によって地震動の周期帯を変化させた震度算定法の提案、日本建築学会構造系論文集、第585号、71-76、2004.
- 7) 境有紀: 2007年能登半島地震、新潟県中越沖地震の強震記録と被害データを加えた建物被害と対応した地震動の周期帯の検討、日本地震工学会大会-2007梗概集、480-481、2007.11.
- 8) 境有紀: 2007年能登半島地震による構造物被害と地震動の関係、第35回地盤震動シンポジウム 頻発する内陸地殻内地震の地震動とその解釈-新・入力地震動作成手法の使い方と検証(その1)-、31-40、2007.11.
- 9) 飯塚裕暁、境有紀: 木造建物の一自由度系地震応答解析における復元力特性モデルの提案、日本建築学会学術講演梗概集、C-1、265-266、2007.8.
- 10) 境有紀、飯塚裕暁: 非線形地震応答解析による地震被害推定を目的とした平均的な木造建物群モデルの構築、日本地震工学会論文集、第9巻、第1号、2009.1.
- 11) 境有紀、田中崇博、椎野あすか、徳井紀子、山内成人、真田靖士、中埜良昭、諏訪田晴彦、福山洋: 入力地震動をパラメタとした鉄筋コンクリート造の簡易振動実験、日本地震工学会大会-2004梗概集、424-425、2005.1.
- 12) 境有紀、瀬戸一起、神野達夫: 建物被害率の予測を目的とした地震動の破壊力指標の提案、日本建築学会構造系論文集、第555号、85-91、2002.
- 13) Takeda, T., Sozen, M.A. and Nielsen, N.N.: Reinforced concrete response to simulated earthquakes, Journal, Structural Division, ASCE, Vol.96, No.ST5, pp.2557-2573, 1970.
- 14) 西川隼人、宮島昌克: 2007年能登半島地震における自治体観測点を対象とした周期1秒前後の速度応答スペクトルの推定、日本地震工学会論文集、第8巻、第2号、11-21、2008.5.
- 15) Sakai, Y., Minami, T. and Kabeyasawa, T.: Simplification of Strong Ground Motion Considering Inelastic Responses of Structures, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 29, No.6, 823-846, 2000.

2008年岩手・宮城内陸地震のKiK-net一関西における4gの強震記録

青井 真 / 森川 信之

●防災科学技術研究所 ●防災科学技術研究所

1. はじめに

2008年岩手・宮城内陸地震 (6/14, 8:43, 北緯39.0, 東経140.9, 深さ8km, $M_{JMA}=7.2$; 気象庁) は内陸地震としては1995年兵庫県南部地震以来、最大級の規模の地震であった。この地震により岩手県奥州市や宮城県栗原市では震度6強が記録され、死者13名、全半壊家屋171棟 (消防庁、2008/11/17現在) にのぼる被害が報告されている。断層域は都市部から離れていたことから建物等の被害は比較的少なかったものの、荒砥沢ダムをはじめとする栗駒山周辺の大規模な土砂崩落や、宮城県栗原市などの多数の堰き止め湖など、山間部特有の大きな震災被害を生んだ。

この地震に伴い、防災科研が全国に展開するK-NETおよびKiK-net^{1), 2)} ではそれぞれ330点、325点の合計655観測点で記録が得られ (図1)、そのうち、KiK-net一関西 (IWTH25) 及びKiK-net東成瀬 (AKTH04) における揺れは震度6強相当であった。図2に、最大加速度 (PGA) 及び最大速度 (PGV) の観測値と、司・翠川³⁾

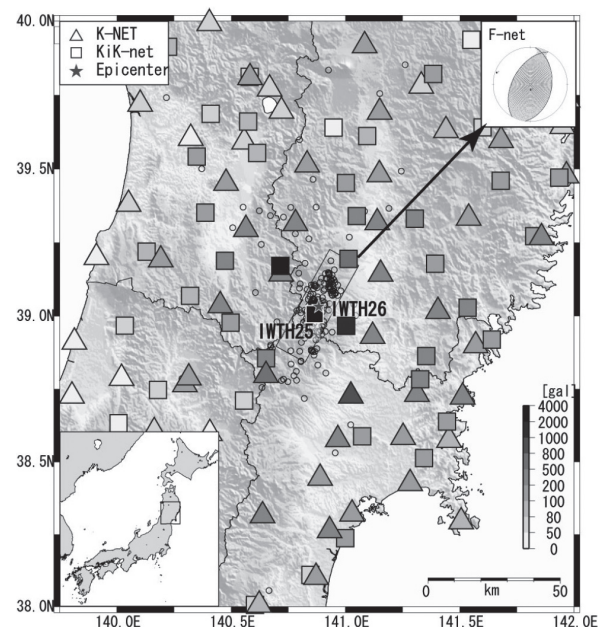
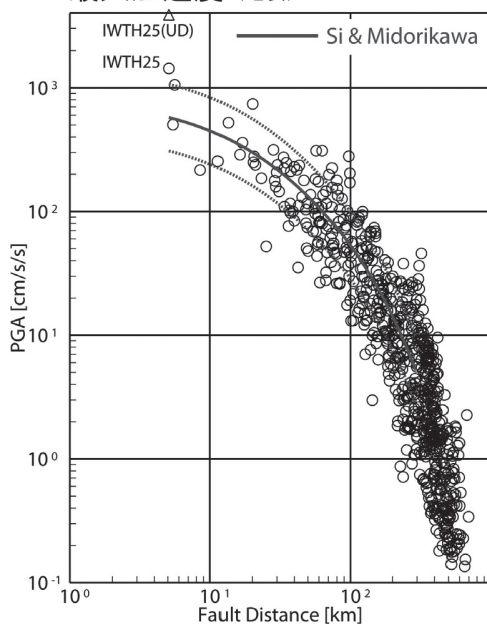


図1 震源近傍のK-NET (△) 及びKiK-net (□) で観測された最大加速度分布。右上に、F-netにより推定された震源メカニズムを示した。

2008/06/14 08:43 Depth=6.5km(Center of Fault), $M_w=6.9$ (F-net)

最大加速度 (地表)



最大速度 (工学的基盤上相当)

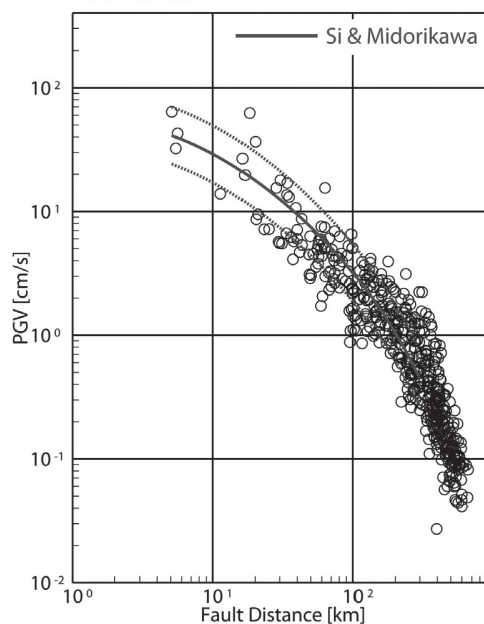


図2 最大加速度及び最大速度の観測値と距離減衰式³⁾との比較。左図は地表における最大加速度、右図はS波速度が600 m/sの工学的基盤相当に変換した最大速度を示した。ここでの最大加速度、最大速度はいずれも水平動二成分のうちの大きい方の値を用いている。左図に△で示したのは、KiK-net一関西 (IWTH25) における上下動の最大値。

による距離減衰式との比較を示す。断層近傍の数観測点を除いて、最大加速度・最大速度は共に距離減衰式と良い相関があり、今回の地震に伴う地震動は全体として平均的な大きさだったことが分かる。

本稿では、岩手・宮城内陸地震の断層直上に位置する、KiK-net一関西 (IWTH25) で記録された4gを超える大加速度波形の特徴を報告する。

2. KiK-net一関西観測点で記録された強震動

KiK-net一関西観測点 (IWTH25) は震央距離約3km、逆断層上盤側のほぼ断層中央部に位置し、三成分合成で4022 galという非常に大きな加速度を記録した (図3)。この地域は火山地帯に属し、一関西観測点は、磐井川により形成された河岸段丘 (河川面から約80m) に位置する。観測井戸掘削時の記録によると、凝灰角礫岩などの火砕岩の上に、厚さ30m余りの段丘堆積物が載っており、最表層は表土に覆われている。

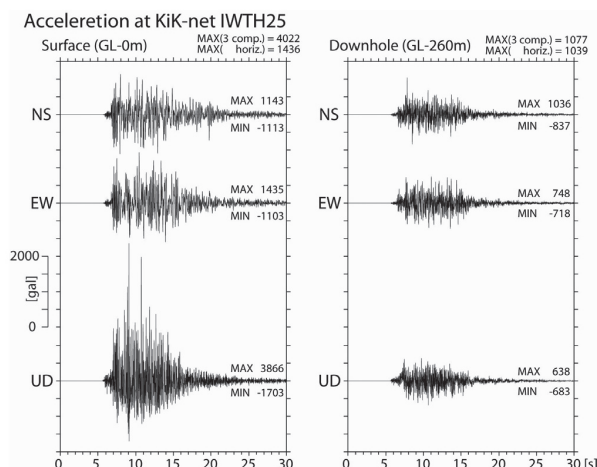


図3 岩手・宮城内陸地震の際にKiK-net一関西 (IWTH25) 観測点で記録された加速度記録 (左は地表、右は地中: GL -260 m)。

2.1 加速度波形の特徴

岩手・宮城内陸地震の際のKiK-net一関西観測点における加速度波形の最大値は、南北、東西成分がそれぞれ1143 gal、1435 gal (水平二成分合成で1436 gal)、上下動成分が3866 galであり、三成分合成では4022 galと重力加速度 (980 gal) の4倍を超えており、おそらく自由表面 (free surface) における地震記録としてはこれまでに観測された最大のものである (図3)。通常の加速度強震記録は、水平動が上下動に比べ2倍程度振幅が大きい、この記録は逆に、上下動が水平動に比べ2.5倍以上大きいという特徴を有する。Vsが1800 m/sを超える凝灰岩類中に設置された地中観測点 (深度260m) においても南北、東西、上下成分がそれぞれ1036 gal、

748 gal、683 galを記録し、三成分合成では1077 galであり、工学的基盤 (建築物の支持基盤、概ねVs=300 ~ 700m/s) 以深ですでに振幅が大きかったことが分かる。このことは、アスペリティからの距離が近かったことに加え、上盤に位置していたことによると考えられる。加速度記録の包絡線の継続時間は10秒程度であるが、これは、断層破壊の継続時間と概ね整合的である。

地表における上下動の波形形状は明らかに上向きに大きく、上向きの振幅は下向きの2倍以上あり、よく見られる波形とは異なる特徴を有している。一方、地中における上下動成分における波形形状はほぼ上下対称であり、地表記録に顕著に見られる非対称はごく表層における現象であると考えられる。これは、表層付近の地盤が大加速度の入力により弾性限界を超えてしまい、部分的に粒状体的な振る舞いをする、トランポリン効果によるものであると考えられる⁴⁾。

2.2 変位波形の特徴及び永久変位

KiK-netで使用されている観測機器は、長周期側の周波数特性は平坦で直流成分 (DC成分) まで収録可能であるため、十分に振幅が大きい場合には数値積分により永久変位を求めることが出来る。図4に示した変位波形は、地表における加速度記録に基線補正を施しながら2回積分することで得たもので、地震波到来 (概ね8:43:46) から十数秒で各成分とも一定値に達している。上方向 (隆起) の永久変位が最も大きく、約140 cmであった。また、水平方向の永久変位は、北方向に44 cm、東方向に45 cmであり、水平2成分の合成は63 cm、3成分の合成は153 cmであった。上下方向の変位は、地震波到来から単調に増加しつづけ約9秒後に最大隆起量である163cmに達し、その後若干沈降に転じ、永久変位量である140 cmに収束している。これらの永久変位は、断層破壊が地表に達していない地点のものとしては非常に大きな値である。一般に加速度記録を積分する際の基線補正には任意性があるため、積分により推定される永久変位は一意ではない。しかし、本解析においては、IWTH25から数百mの位置に設置されていた東北大学のGPS観測点 (ICNS, 一関市・祭時) において独立に解析された永久変位量⁵⁾ (図右の小矢印) とほぼ整合しており、推定の信頼性は高いといえる。最近では1秒GPSなどの高サンプリングの変位記録が得られるようになりつつあるが、震源過程が10秒余りのイベントにおいては、より高いサンプリングレート (KiK-netの場合100 Hz) の変位記録が得られる加速度記録からの積分法は震源過程の解明等に有効である。

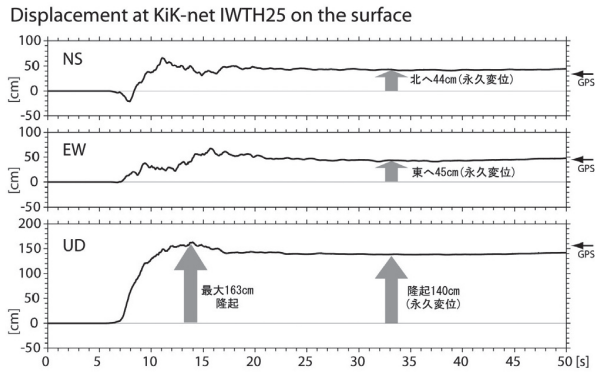


図4 岩手・宮城内陸地震の際にKiK-net一関西 (IWTH25) 観測点の地表における変位波形。原記録である加速度記録に基線補正を施しながら2回積分することで得られる。図右の小矢印は、IWTH25から数百mの位置に位置する東北大学のGPS観測点 (ICNS, 一関市・祭時) において得られた永久変位。上下方向の変位は、地震波到来から単調に増加しつづけて約9秒後に最大隆起量である163cmに達し、その後若干沈降に転じ、永久変位量である140cmに収束している。水平方向の永久変位は、北方向に44cm、東方向に45cmであり、水平2成分の合成は63cm、3成分の合成は153cmであった。

2.3 地表波形と地中波形のスペクトル比

地表波形と地中波形のフーリエスペクトル比は、表層による増幅係数を近似するものである。大振幅の地震動が入力した場合には、地盤の非線形効果により、スペクトル比のピーク周期が延び、そのピーク値が小さくなることが知られている。図5に示したように、本震のスペクトル比は、ほぼ全帯域において余震よりも小さくなっている。また、水平動においては、スペクトル比のピーク周期が概ね2倍に延びていることが分かる。上下動においても、ピークが明瞭ではないが長周期化の傾向が見てとれる。

非線形効果により、地中に対する地表の波形振幅の増幅係数が小さくなる度合いは水平動の方が明らかに大きい。その傾向は、水平動で増幅率が低下し始める1 Hzより高周波数で一貫して見られるが、その差は8 Hzより高周波で特に顕著である。結果として、本震時に大加速度が入力したにもかかわらず、上下動の加速度は非線形効果の影響をあまり受けることなく、弱震時に近い高い増幅率により増幅されたため大きな加速度となり、また、高周波に富む波形になったと考えられる。

3. 過去の被害地震との比較

図6に、岩手・宮城内陸地震の波形と、2004年新潟県中越地震及び1995年兵庫県南部地震の代表的な波形

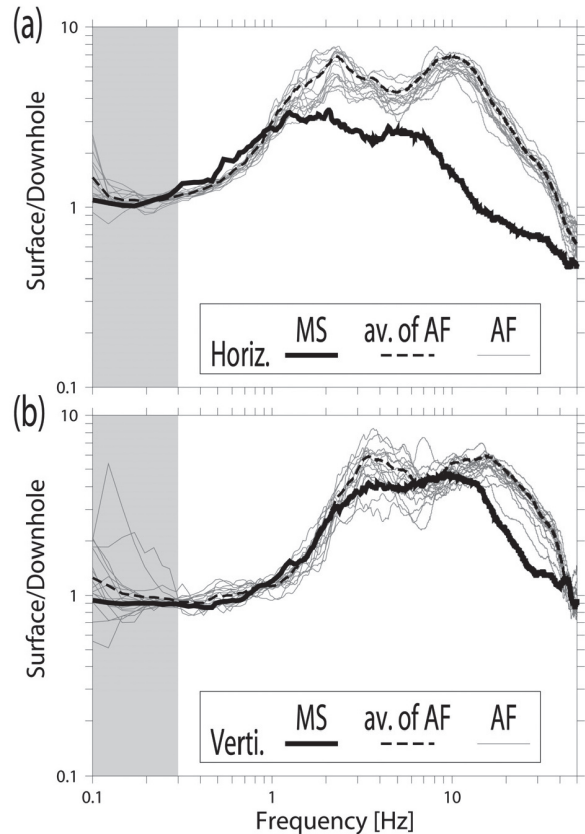


図5 KiK-net一関西 (IWTH25) 観測点における、地上と地中の加速度波形のフーリエスペクトル比 (a: 水平動、b: 上下動)。灰色細線及び点線はそれぞれ、10 - 100 gal の余震 (16個) の比及びそれらの平均を、太線は本震の比を示している。これらは全て1オクターブ幅で平滑化されている。0.3 Hz以下ではSN比が不十分であるため、スペクトル比の精度がない余震もある。

との比較を示す。岩手・宮城内陸地震のKiK-net一関西観測点の加速度は、他の被害地震と比べても非常に大きいことが分かる。逆断層の上盤側で、かつ、唯一の大きなすべり領域の近傍に位置していたことを反映し、速度波形には上向きの特徴的な長周期パルスが見て取れる。このパルスは、上記で述べた周期数秒の変位ステップに相当する。しかしながら、最大速度自体は、他の地震に比べ大きいわけではない。一関西観測点の観測波形は、他に比べ最大加速度の割には最大速度が大きくなく、短周期成分が卓越していることを反映している。伯野⁶⁾は、断層ごく近傍の地震動の特徴として、短周期とそれに伴う大加速度の可能性を指摘している。

1995年兵庫県南部地震以降の顕著な地震記録に関して、最大加速度と最大速度の関係を図7に示した。図中に、等価卓越周波数 (最大加速度/最大速度/ 2π) が0.5, 1, 2, 5 Hzとなる直線を点線で示した。木造住宅な

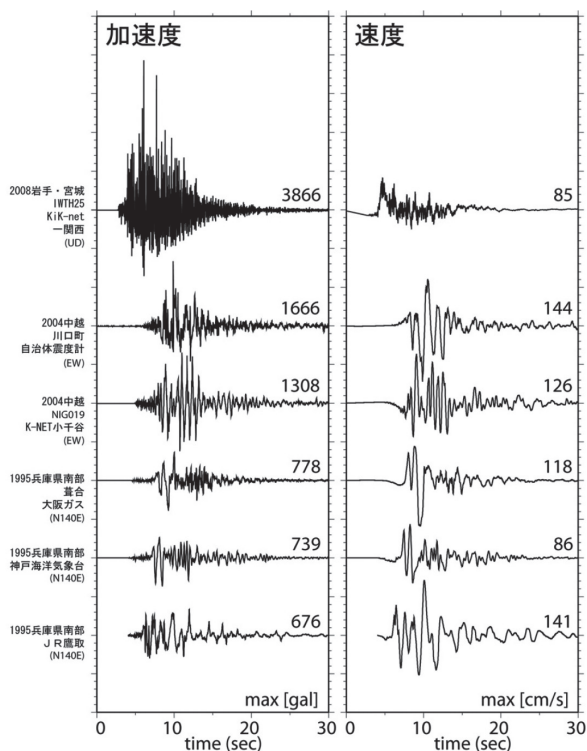


図6 2008年岩手・宮城内陸地震のKiK-net一関西 (IWTH25)、2004年新潟県中越地震の川口町 (新潟県自治体震度計)、K-NET小千谷 (NIG019)、1995年兵庫県南部地震の葦合 (大阪ガス)、神戸海洋気象台 (気象庁)、鷹取 (JR) の (左) 加速度記録、(右) 速度記録。

どの一般構造物に対する破壊力が大きいと考えられる、兵庫県南部地震の震源近傍点 (⑪⑫⑬) や鳥取県西部地震のK-NET日野 (⑨)、中越地震の川口町 (③) は、等価卓越周波数が0.5ないし2.0 Hzであるのに対し、今回の一関西 (①) や中越地震余震の川口町 (⑥) は等価卓越周波数が5.0 Hzを越えており非常に大きい。計測震度を算出する際のフィルターは概ね0.6 Hz付近にピークを持っており、計測震度は大きな地震の等価卓越周波数は概ね0.5ないし2.0 Hz程度である場合が多い。そのような地震動は、厚い堆積層による増幅やディレクティビティーによる大振幅 (キラーパルス) によるものが多い。グレーのハッチで示したのは最大速度が100 cm/s以上かつ最大加速度が800 gal以上の領域で、川瀬⁷⁾ が提案した構造物に対して大きな被害がでる目安である。この目安の意味することは、最大加速度・最大速度のいずれかのみが大きくても被害には結び付きにくいということである。実際、2004年新潟県中越地震最大余震 (川口町) では大きな被害は見られていない。

岩手・宮城内陸地震では、大きな加速度の割には被害が少なかったとの報道もある。ただし、KiK-net一関西観測点における記録の等価卓越周波数は高かったとはいえ最大速度が100 cm/sを越えており、震度も6

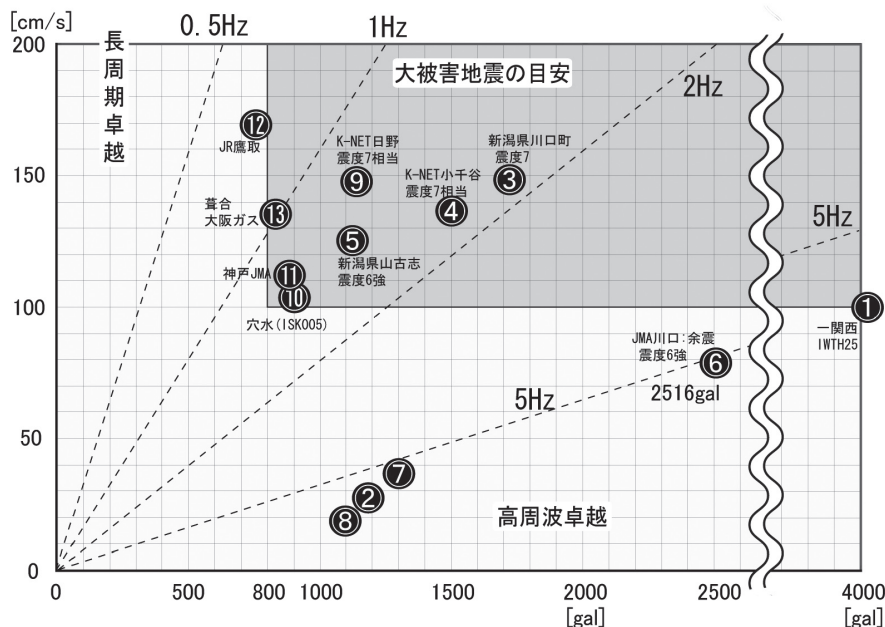


図7 2008年岩手・宮城内陸地震 (①KiK-net一関西: IWTH25)、2008年岩手県沿岸北部の地震 (②KiK-net玉山: IWTH02)、2004年新潟県中越地震 (③新潟県自治体震度計川口町、④K-NET小千谷: NIG019、⑤新潟県自治体震度計山古志村)、2004年新潟県中越地震最大余震 (⑥新潟県自治体震度計川口町)、2003年宮城県沖地震 (⑦KiK-net住田: IWTH04、⑧KiK-net陸前高田: IWTH27)、2000年鳥取県西部地震 (⑨KiK-net日野: TTRH02)、2007年能登半島地震 (⑩K-NET穴水: ISK005)、1995年兵庫県南部地震 (⑪神戸海洋気象台 (JMA)、⑫鷹取 (JR)、⑬葦合 (大阪ガス))。グレーのハッチで示したのは最大速度が100cm/s以上かつ最大加速度が800gal以上の領域で、構造物に対し大きな被害がでる目安⁷⁾である。点線は、等価卓越周波数 (最大加速度/最大速度/ 2π) が、0.5, 1.0, 2, 5Hzである線を示す。

強相当であったことから、単に加速度が大きいだけではなかったと言える。集落の戸数が少ないため被害に関する統計的な議論が難しいが、少なくとも観測点付近には全壊家屋もいくつか見受けられ、専門家による議論が今後必要であろう。

4. おわりに

本稿では、2008年岩手・宮城内陸地震の逆断層直上に位置するKiK-net一関西観測点で記録された大加速度波形を中心に、強震動の特徴をまとめた。この観測点では、地表では上下成分において3866 gal（三成分合成では4022 gal）、またVsが1800 m/sを超える凝灰岩類中に設置された地中観測点においても南北成分で1000 galを超えるなど、非常に大きな加速度が記録された。地表における大加速度と高周波卓越の原因は、地盤への大加速度の入力と、非線形効果による増幅係数低下の度合いが低かったことによる。この傾向は上下動において特に顕著であった。また、単に加速度が大きいだけではなく、上下動の卓越や非対称性、大きな永久変位など、大加速度や断層近傍に伴う特徴も見られた。

海溝型巨大地震とは異なり、M7前後の内陸地震では震度6以上の大きな地震動に見舞われる地域はせいぜい数十キロ程度とそれほど広くないため、大きな被害が生じるのは結果として断層近傍地域となる。従って、断層近傍強震動の特徴を知ることは地震防災上きわめて重要であり、減災対策を立てる場合に何を考慮する必要があるのかを我々に教えてくれる。このような研究をする上で必須となる断層近傍強震動波形データは、大地震の発生が希であり対象地域が狭いことから、収録の機会はきわめて低い。1995年に発生した阪神・淡路大震災（兵庫県南部地震）以降、日本においては、K-NET、KiK-net、自治体震度情報ネットワークなどが全国規模で整備されたため、徐々に断層近傍のデータが蓄積されつつある。地道ではあるが、今後も着実な強震観測の継続が重要である。

謝辞

気象庁、大阪ガス、JR、新潟県自治体震度計データを使用させていただきました。各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Kinoshita, S.: Kyoshin net (K-NET), Seismol. Res. Lett., Vol.69, pp.309-332, 1998.
- 2) Aoi, S., K. Obara, S. Hori, K. Kasahara, and Y. Okada: New strong-motion observation network: KiK-net, EOS Trans. AGU, Vol.81 (48), Fall Meet. Suppl., Abstract S71A-05, 2000.
- 3) 司 宏俊, 翠川三郎: 断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, Vol.523, pp.63-70, 1999.
- 4) Aoi, S., T. Kunugi, and H. Fujiwara: Trampoline effect in extreme ground motion, Science, Vol.322, 727-730, 2008.
- 5) 東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター: 断層直上のGPS観測点（一関市・祭時）における地震時変動, http://www.aob.geophys.tohoku.ac.jp/info/topics/20080614_news/GPS, 2008.
- 6) 伯野元彦: 世界最高2,005ガルでも無被害, 地震ジャーナル, Vol.36, pp.50-51, 2003.
- 7) 川瀬 博: 断層近傍強震動の地下構造による増幅プロセスと構造物破壊能, 第10回日本地震工学シンポジウム, パネルディスカッション資料集, pp.29-34, 1998.

2008年岩手・宮城内陸地震における斜面地盤災害

風間 基樹

●東北大学 大学院大学院工学研究科 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名となっている。亡くなった方々の中には、地元の人以外に観光客も多い。仮にこの地震がもう1時間遅く発生していたら、さらに多くの登山・観光客が災害に巻き込まれていたと考えられている。冒頭、この地震により亡くなった方々のご遺族にお悔やみを申し上げたい。

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。本文では、この特徴について紹介する。

2. 被災地域の地質¹⁾

図1に、震源域および被害を受けた地域の地質図を示す。今回の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。火山噴出物の層序の詳細は、文献2に示されているが、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(構成岩石は大型の斜長石斑晶が特徴的な普通輝石紫蘇輝石デイサイト)が分布している。

図1には、大よその地表断層(詳細は文献3)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。先に述べたように栗駒山周辺には新第三紀の凝灰岩・火山灰や安山岩、第四紀のデイサイト質火砕流堆積物

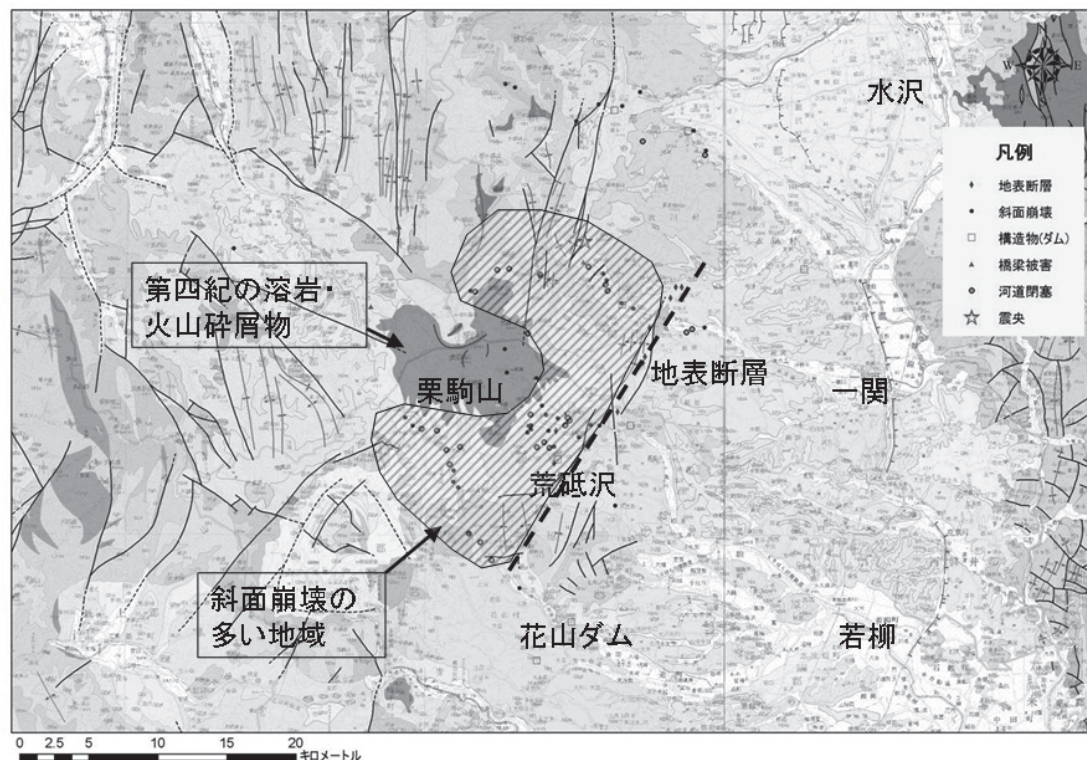


図1 栗駒山周辺の地質図 被災地周辺の地質図¹⁾と被災箇所分布
栗駒山周辺には、第四紀の溶岩および火山碎屑物(Q3bv)、新第三紀の凝灰岩・火山灰(N2t)および第四紀のデイサイト質火砕流堆積物(Q2pf, Q3pf)が多く分布している。

が多く分布しているが、斜面災害のほとんどはこれらの地質上であり、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（図の斜線でハッチングした領域）。また、斜面の被害は震源断層の南側の宮城県側の迫川流域で多く発生しており、震源断層の破壊過程が関係している可能性も指摘されている。

3. 斜面の崩壊形態

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おり、被害として顕在化している。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⁴⁾。

一口に斜面災害といっても崩壊の形態は様々である⁵⁾。大別して、以下のような形態がある。

崩落：斜面にある石や急な斜面を構成する岩石などが落下する形態

斜面崩壊：斜面を構成する土砂がすべり面に沿って急激に崩れ落ちる形態

地すべり：一般には、規模が大きく、永年にわたって比較的ゆっくりとした移動形態をとり、比較的傾斜の緩い場所でも発生し、持続性・継続性のあるものを言う。地震を原因としたものとして、このような定義は必ずしも当てはまらないが、ここでは規模が大きく、すべり面が比較的緩い傾斜を持ち、移動した土塊の乱れが少なく、原形を保っているものを、この形態とする。

土石流：水と土塊・岩塊が一緒になって速い流速で長い距離を流下する運動形態



写真1 主要道築館栗駒公園線の岩盤崩落による道路遮断、地震翌日の調査団はここで引き返した（撮影：筆者、6月15日）

今回の地震では、これらのすべての形態の斜面災害が発生している。落石や岩塊の崩落事例を写真1に示す。写真2は斜面崩壊によって河川・道路が閉塞した事例である。



写真2 沢部に面する斜面崩壊の事例（迫川流域・小川原地区）（撮影：東北大学渦岡良介、6月18日）

4. 荒砥沢ダム上流部で発生した巨大地すべり

宮城県栗原市に位置する荒砥沢ダム上流部で発生した地滑りは、全長約1.3km、最大幅約0.9km、滑落崖最大比高148m、最大移動層厚150m、移動土砂量6700万 m^3 、の日本最大規模のものであった（写真3～4）。

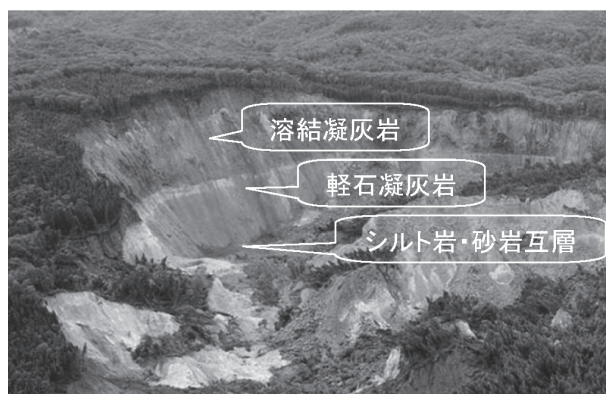


写真3 地すべり滑落崖に現れている地質構成

図2は、地震後の地形標高を示したものである。すべりによってできた急涯地が明瞭に読み取れる。この地すべりによる移動体の一部約150万 m^3 がダム湖に流入してダム湖の水位が約2.4m上昇し、波高2.5mの津波が発生した。発生した津波の一部は、ダムの右岸の余水吐きよりあふれ出て流下したことが目撃されている。また、引き戻しの津波が、ダム湖上流のシツミクキ沢に遡上し、林道にかかる橋桁を上流部まで移動させたと考えられている。しかし、荒砥沢ダム（堤高74.4mの中央コア型のロックフィルダム）本体は、ロッ

岩手・宮城内陸地震後の写真

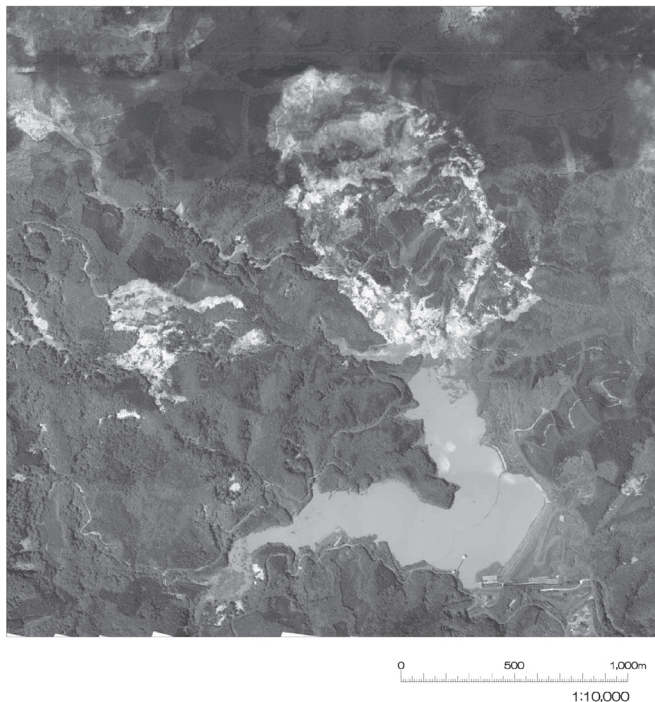


写真4 荒砥沢ダム上流部で発生した巨大地すべり(宮城県提供)

クフィル部分が約20cm沈下しただけで、地震による震動、津波によるハード的な被害は小さい。

この地すべりは、地震前の地形判読から、地すべり地形として判読された領域で起こっている。しかしそのすべり領域がぴったりと一致しているわけではない。今回の地震においては、地すべり地形として判読されている箇所の再活動と言える事例は、むしろ少ないという見解もある。地震をトリガーとした地すべり機構と通常の融雪期に見られる緩慢な地すべり機構の違いによるものと考えられる。また、荒砥沢ダムの北方の尾根周辺において、今回の地震活動に伴う断層運動と疑われる地表変状も確認されており³⁾、テクトニックな外力の影響も考えられる。さらに、旧カルデラ崖に堆積した脆弱な地質の影響も指摘されている⁷⁾。

地震後、関係機関で地すべり地形の詳細が調査されている⁸⁾。写真3は崩壊部分の崖すいの断面を写したものであるが、上部から溶結凝灰岩・軽石凝灰岩・シルト岩砂岩互層となっている。すべり面は、軽石凝灰岩の下付近に位置し、非常に緩い傾斜(約2°)と推定されている(図3参照)。地質に関する所見の詳細は文献9を参照されたい。

また、ダム機能の復旧のため、地震後に、移動体の動態観測が行なわれたが、地震後には移動体の大きな

岩手・宮城内陸地震後の等高線図

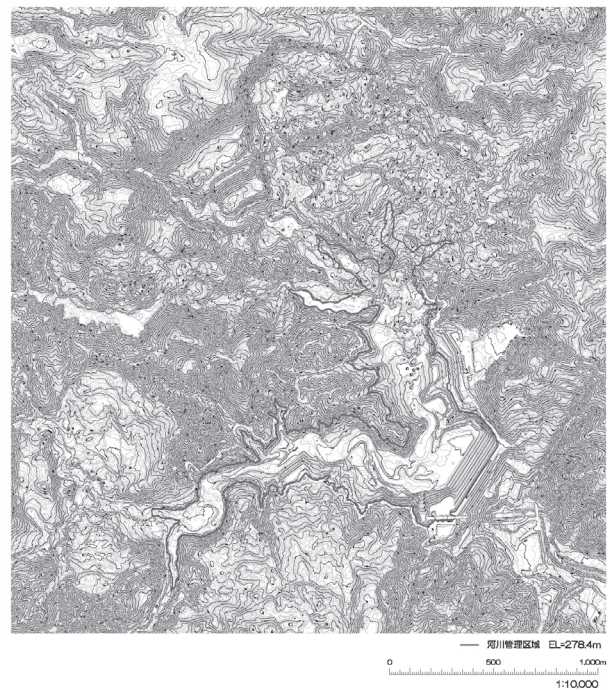


図2 荒砥沢地すべり地震後等高線図(宮城県提供)

変位は観測されておらず、安定している。ボーリング調査の結果もすべて明らかになっていないため、全容は明らかでないが、以上は12月はじめの時点で筆者が認識している状況である。

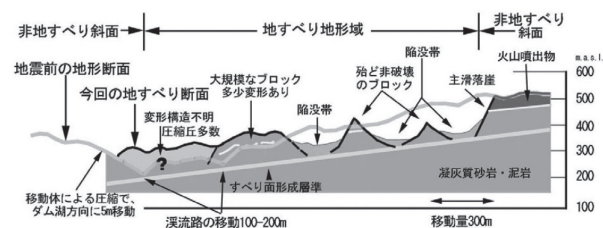


図3 地すべり移動土塊の推定断面図⁶⁾

図4は、防災科学技術研究所のKiK-Net一関西地中部、栗駒ダム(荒砥沢ダム北東6km) 監査廊下部、荒砥沢ダム監査廊下部で記録された強震記録を、時間軸を合わせて表示したものである。本震に続く後続波形に着目するため、40秒までと40～120秒までをスケールを変えて示した。ここで、後続の60～100秒付近の余震に着目する。まず、80秒付近の最大の余震を見ると、荒砥沢ダムの記録に最も早く出現し、振幅も大きいことから、震源が荒砥沢ダム近傍にあることが推定できる。さらに、荒砥沢ダムで観測された波形には、栗駒ダム、一関西の波形にないフェーズの波形がある

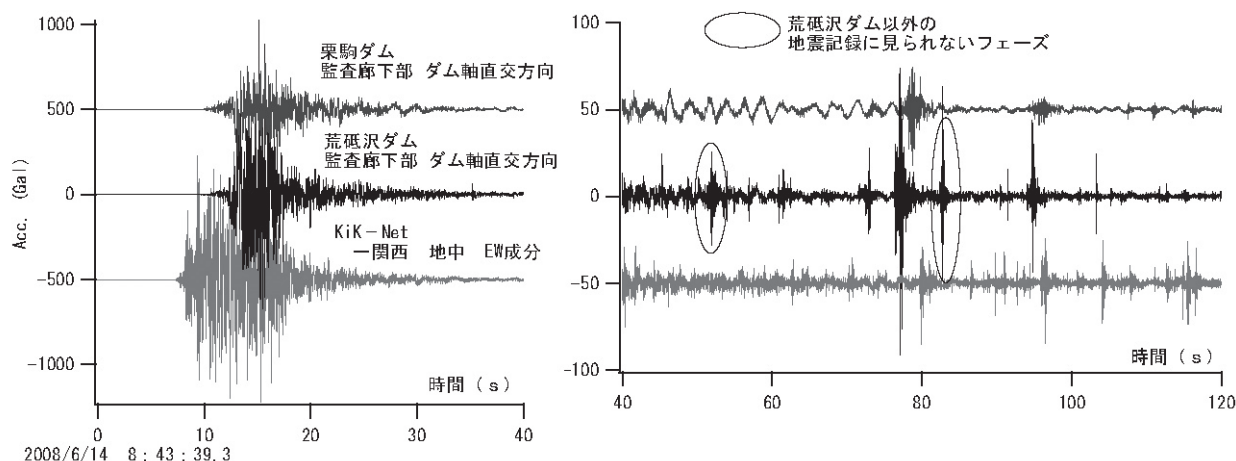


図4 荒砥沢ダム・KiK-NET一関西、栗駒ダムで観測された強震記録の比較

(図中の囲んだ部分) ことがわかる。これらの波形が、荒砥沢ダム上流部に発生した巨大地すべりと関係があるのか無いのか、あるとすればどのような関係にあるのか、現時点では推測の域を出ない。今後の解明に期待したいところである。

5. 土石流

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 m^3 （東京ドーム約1.2杯分）と推定されている。写真5に源頭部の空撮写真を示す。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5名、行方不明者2名を出した駒の湯は、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



写真5 ドゾウ沢、土石流源頭部、長さ約200m、最大幅約300m、最大厚さ約30m、崩壊土砂量約150万 m^3 （撮影：4学会合同調査団、6月18日）

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。この間の標高差と距離の関係は、図5のようにまとめることができる。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たためである。なお、源頭部の崩壊及び駒の湯対岸の斜面の崩壊部分は、元々地すべり地形であったことがわかっている。

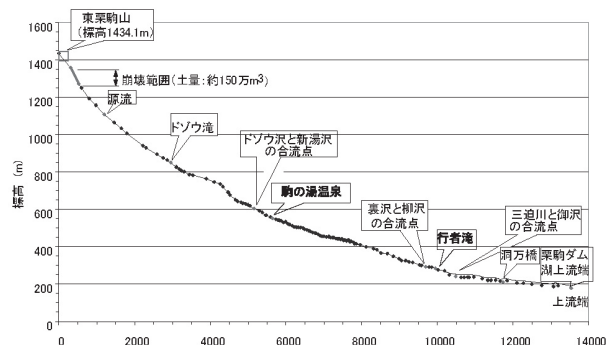


図5 土石流の流下勾配断面

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。ここでは代表的な河道閉塞箇所について被害状況を述べる。

表1 主な河道閉塞の規模¹⁰⁾ (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	岩手県一関市小河原	磐井川	30	60	20
②	岩手県一関市市野々原	磐井川	200	700	1,730
③	岩手県一関市槻木平	磐井川	60	160	80
④	岩手県一関市須川	磐井川	130	280	390
⑤	岩手県一関市産女川	産女川	200	260	12,600
⑥	宮城県栗原市坂下	迫川	20	80	90
⑦	宮城県栗原市浅布	迫川	220	220	300
⑧	宮城県栗原市小川原	迫川	200	520	490
⑨	宮城県栗原市湯湯	迫川	80	580	740
⑩	宮城県栗原市湯ノ倉温泉	迫川	90	660	810
⑪	宮城県栗原市荒砥沢	二迫川	-	-	-
⑫	宮城県栗原市沼倉	三迫川	120	300	270
⑬	宮城県栗原市湯浜	迫川	200	1000	2,160
⑭	宮城県栗原市沼倉裏沢	三迫川	160	560	1,190
⑮	宮城県栗原市川原小屋沢	迫川	170	400	210



写真6 産女川⑤の河道閉塞 (撮影：筆者、6月28日)



写真7 市野々原②の河道閉塞 (撮影：筆者、6月28日)



写真8 湯ノ倉温泉⑩の河道閉塞 (撮影：筆者、6月28日)

産女川⑤の河道閉塞は崩壊土砂量（約1260万m³）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（写真6）。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7）。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あり、滑った土塊の乱れは少ないことから、地すべり性の斜面崩壊によって河道が閉塞されたことがわかる。磐井川では下流部に大きなダムがないことから、ここ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がなされている。

迫川沿いでは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（写真2）、上流部では湯ノ倉温泉⑩（写真8）、湯浜⑬の規模が大きく、大きな堰止湖が形成されている。

写真2に示すように多くの天然ダムの堤体表面には直径1mを越える岩塊や倒木がみられる。これらの岩塊には栗駒山周辺で多くみられる柱状節理の発達した溶結凝灰岩が含まれている。また、写真7に示すように堤体には表層土砂や風化した凝灰岩からなる細粒土も含まれており、堤体を形成する崩壊土の構成はこれらの比率によって異なっている。崩壊土に細粒土が多く含まれるほど、天然ダムの遮水性が高くなり、堰止湖の水位上昇も早くなる。また、越流時の侵食の危険性も高くなる。堤体土の構成には、崩壊した斜面の岩

石構成や岩石の風化の度合い、さらには崩壊形態（高さや流下距離）などが関係している。今後の天然ダム対策のためにも、堤体の土質データや集水域の水文データなどを総合して、天然ダムの安定性に関する調査を行うことが必要である。

いくつかの河道閉塞では越流によって新たな水路ができ、堰止湖での急激な水位上昇の可能性はなくなっている。また、堤体規模の小さいものは既に決壊しているものもある。例えば、小河原①、坂下⑥は堤体規模が比較的小さいこと、崩壊土に岩塊が多いことからなどから上流に大きな堰止湖ができることなく、ある程度の通水が確保されている。栗駒ダムでは2008年6月21日午前0時30分に約37万m³の異常流入が観測されている¹⁰⁾。このため、ダムの水位は約90cm上昇したが、事前に放流をして空容量を確保していたため下流への影響はなかった。ダムが砂防機能を果たした一例である。この異常流入の原因は三迫川上流の沼倉裏沢⑭付近の天然ダムの越流によると考えられている。また、荒砥沢ダム⑪上流のシツミクキ沢沿いの天然ダムは2008年6月24日に決壊している。この天然ダムは荒砥沢ダム北側の大規模崩壊によって形成されたものであり、堤体高さは10m程度であり人工のアースダムのような形状であったが、堤体は緩い崩壊土から構成されていたと考えられ、安定性はさほど高くなかったと考えられる。この決壊により荒砥沢ダムの水位が約24cm上昇したが、下流への影響はなかった。また、湯ノ倉温泉⑩の天然ダムでは、新たな河道の掘削工事中の2008年10月24日に100mmを超える雨によって天然ダムが越流侵食している。

7. 終わりに

本文は、地震後半年が経過した時点で執筆している。現時点においても、地震によって生じた地盤災害は現在進行形である。地震によって不安定化した斜面や流出可能性のある膨大な土砂量の今後に注視する必要がある。豪雨や春先の雪解け時に2次災害が発生する可能性もある。日本地震工学会会員の皆様には、引き続きこの地震に対する関心を持って頂くことをお願いしたい。

本文を作成するにあたり、東北大学、渦岡良介先生には河道閉塞に関する資料を提供いただいた。(株)テクノ長谷、布原啓史氏には、当該地域の地質図を提供いただいた。京都大学防災研究所 後藤浩之先生には、荒砥沢ダムの地震波形に見られる余震波形について議論していただいた。本文に示した地震波形は、防災科学研究所KiK-Net、ダム管理者の宮城県の取得し

たものある。公開の労に深潭なる謝意を表します。(株)復建技術コンサルタント、佐藤真吾氏には、駒の湯の土石流災害関係の地形情報をいただいた。荒砥沢ダム上流部に生じた巨大地すべりの資料は日本地すべり学会東北支部によるものである。なお、地盤工学会東北支部は、現在、今回の地震災害のデータ記録をDVD資料として取り纏め、来春に発刊予定である。これらのデータが研究者の詳しい分析を経て、さらに役立てられることをお願いしたい。

参考文献

- 1) 建設技術者のための東北地方の地質、東北建設協会、2006.
- 2) 藤縄明彦、藤田浩司、高橋美保子、梅田浩司、林信太郎：栗駒火山の形成史、火山、Vol.46, No.5, pp.269 ~ 284, 2001.
- 3) 産業技術総合研究所地質調査総合センター：
http://www.gsj.jp/jishin/iwatemiyagi_080614/
- 4) 国土地理院, 平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震情報集約マップ：<http://zgate.gsi.go.jp/iwate2008/>
- 5) 地盤工学会 ジオテクノート 「土は襲う」地盤災害
- 6) 土木学会、4学会合同調査団速報会資料：<http://www.jsce.or.jp/report/50/news3.shtml>
- 7) 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>
- 8) 平成20年岩手・宮城内陸地震によって発生した土砂災害の特徴、土木技術資料, Vol.50, No.10, pp34-39, 2008.
- 9) 千葉則行・橋本修一・加藤彰・前田修吾・大場司・山崎孝成・阿部真郎・濱崎英作：荒砥沢ダム上流の巨大地すべり発生に関わる地質・地質構造所見 第47回日本地すべり学会研究発表会、特別ポスターセッション「岩手・宮城内陸地震関係」、平成20年8月27日・28日、箱根町。
- 10) 国土交通省東北地方整備局：<http://www.thr.mlit.go.jp/>

2007年能登半島及び中越沖地震による産業設備機器の被害

岩田 佳雄／佐伯 暢人

●金沢大学

●芝浦工業大学

1. はじめに

平成19年、北陸信越地域内において2つの大きな地震が発生した。1つは3月25日午前9時42分頃に起きた能登半島地震、もう1つは7月16日午前10時13分頃に発生した中越沖地震であり、多大な被害の爪跡を残している。特に中越地域にとっては3年前の中越地震に継ぎ2度目の大きな災害であった。

日本機械学会では、震災における被害状況を今後の各種機器・システム設計に生かすことが重要との立場で、地震被災地域における企業や地場産業の生産設備機械等の損害状況を調査することになった。この種の調査は阪神・淡路大震災のときにも行われたが、能登や中越の地域性に基づいた産業の被害を調査することによってその地域の復興により役立つものと考えられる。そこで地震被害地域に近い大学が中心となり、地場産業における生産設備機械類の被害を調査することを目的に、「能登半島および中越沖地震による地場産業等の被害とその復興に関する臨時調査分科会」を立ち上げて活動を行った。本稿ではその調査結果の概略を紹介する。

なお両地震の被害地域には志賀原子力発電所と柏崎刈羽原子力発電所が設置されているが、これらの被害については調査の対象外としている。これは、原子力発電所専門の調査が必要であること、調査結果による社会への影響が大であること、などを鑑み、別途調査することになった。

2. 各地震の概況

2つの地震について被害状況を簡単に表1に示す。能登半島地震が起きた3月25日は日曜日、中越沖地震の7月16日は「海の日」の祝日で、両方とも休日であった。地震発生の時刻も午前10時前後であり、朝食と昼食の間の時間帯であった。これらのことが幸いし、操業中の工場も少なく、火災の発生も少なかった。地震の規模もほぼ等しい。しかしながら、人的被害と建築物被害の数値はほぼ一桁違うことがわかる。能登半島地震は過疎地域である能登で起きたのに対し、中越沖地震は柏崎市を中心とする市街地域付近において被害が大きかったことによる。産業設備機器類の被害も中

表1 地震の被害状況

事 項		能登半島地震	中越沖地震
発生日時		2007年3月25日 午前9時42分	2007年7月16日 午前10時13分
規模 (マグニチュード)		6.9	6.8
人的被害	死 者	1名	10名
	重 傷	24名	146名
	軽 傷	194名	1,694名
建築物被害	全 壊	58棟	953棟
	半 壊	186棟	726棟
	一部損壊	642棟	7,526棟
	火 災	0件	3件
交通被害	高速道等	能登有料道路 (穴水～柳田間) 通行止め	関越・北陸自動車道 (長岡IC～能生IC) 無料通行措置
	一般道	国道249号線 4区間通行止め	国道352号線 3区間通行止め
	鉄 道	のと鉄道七尾線 運転見合わせ	信越本線(柿崎～宮内)、 越後線(柏崎～吉田) 運転中止

越沖地震の方が圧倒的に多く、日本の産業に対しての影響も大きく、新聞、テレビ等で度々報道された。

図1と図2にそれぞれ能登半島地震と中越沖地震の震源地および主な地域を示す。能登半島地震においては震源に近かった輪島市、穴水町、志賀町において震度6以上を観測しており、機械設備類の被害が大きかった。これに対して七尾市は震度5であり、機械設備類の被害も小さかった。震度6以上になると機械設備類が破損する可能性が大きいことがわかる。中越沖地震では震源から南に伸びる活断層付近にある柏崎刈羽原子力発電所と柏崎市付近の工業団地で被害が大きかった。

3. 産業設備機器類の被害

工場などに設置されている産業設備機器類の被害を調査項目順に紹介する。

(1) 地震発生時の対応状況

能登半島地震は日曜日に起きたため、操業していない事業所が多かった。このため工場内で被災した人は少なく、地震直後にまずは工場に駆けつけて安全を確認する人が多かったようである。これに対し中越沖地震は祝日に起きたためいくつかの工場は操業中であり、工場内で負傷した人がいたことが調査で明らかになっている。地震後には安全のため電力の供給を止めて設備などを点検することが重要であるが、その間も主要なLAN用のサーバを稼働する必要があるため、無停電電源装置は必須である。



図1 能登半島地震の発生地域



図2 中越沖地震の発生地域

(2) 工場が立地している地盤

地盤は大きく分けて切土と盛土があり、一般には切土では被害が小さい。盛土の場合には地盤沈下・隆起によって建屋外周に数cmの段差が生じ、敷地にひび割れが発生した(写真1)。丘陵地帯に造成された工業団地においては斜面の法面が崩れたりした。復旧策としては、法面の補強、ひび割れを埋める、アスファルトの再舗装、社屋の段差を補正などがなされていた。

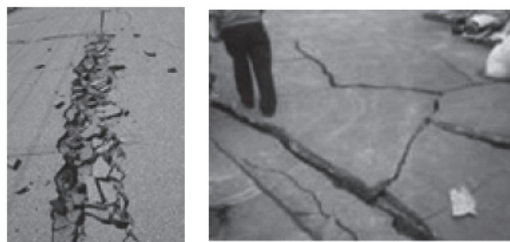


写真1 工場内の道路のひび割れや段差

(3) ライフライン

能登半島地震では、電気については場所によって瞬間停電があった程度で、ほとんど大丈夫であった。水道は輪島市門前地区だけが10日間断水した。中越沖地震においては電気、ガス、水道のすべてが使用不能になったところが多く、復旧には時間を要した。被害が大きかった事業所では、電気は3ヶ月後、水道は2ヶ月後、ガスは4ヶ月後に復旧したところもあった。また地震当日は固定電話、携帯電話ともにつながりにくい状態であった。それに対しLANなどの専用回線は使用可能な状態であり、本社や他工場との連絡はもっぱらこれを使って行われていた。

(4) 工場建屋

機械工場では重量物設置のために頑丈な施工が行われており、社屋が倒壊したものは少ないようであった。社屋の揺れによって壁にひびが生じたり、増設した社屋との境界上では段差や亀裂が生じた場合が多かった。これに対し、酒造メーカーは木造の建物のため倒壊しているのが多くみられた。切土と盛土に跨っている床では盛土部分の揺れによって床にひび割れが発生していた。建屋内では天井の被害が大きく、特に2階においては吊り天井が落ちた例もあった。吊り天井は地震によって大きく揺れ、柱や配管との衝突による破損が目立った(写真2)。

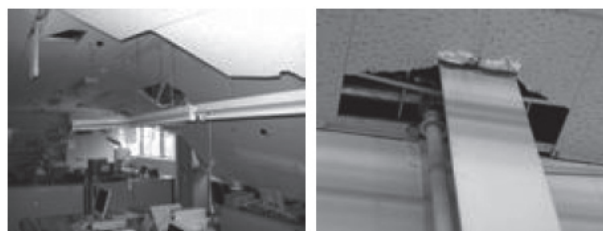


写真2 天井の破損状況

(5) 屋外機械設備

屋外設備としてはクーリングタワー、タンク、電源トランスなどがあるが、盛土上のもはその基礎が沈下したところが多かった。またクーリングタワーのアンカーボルトおよびクーリングタワーその物が破損したり、または倒れたりするものもあった(写真3)。

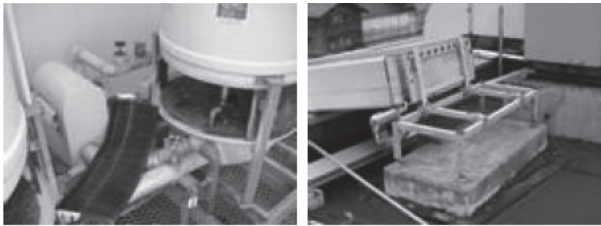


写真3 クーリングタワーや室外機の破損状況

(6) 屋内の壁や天井に付帯する設備

吊り天井が大きく揺れて破損したように天井に設置されている設備、具体的には天井用空調機器や照明機器も大きな被害を受けており、特に2階部分の被害が大きい。天井用空調機器や照明機器が脱落している事例が多かった(写真4)。非常灯が落ちた例もあった。天井に設置されたダクトや配管が破損した事例(写真4)も多く見られたが、配管そのものの被害以外に、配管の破損によってその下に設置してあった機器類が配管内の流体の漏水によって使用不能になる例があった。配管の道筋には注意が必要である。またパーティションのガラスが割れた事例が多く、これらの設置には安全を考慮する必要がある。

余震によって天井用吊り下げ式の空調機、ダクトや蛍光灯がさらに落下する危険性があったため、二次災害の防止上、応急処置としてすべてを取り外した事業所があった。吊り天井の修復工事において吊り下げのボルトピッチを小さくし、今後の地震に備えることも行われていた。



写真4 破損した天井用空調機と塩ビ製配管

(7) 床上に設置された設備機器

工場内の工作機械や生産設備は地震によって転倒したもの、大きくずれたものが多かった。特に中越沖地震では転倒したものが多く見られた。アンカーボルトによって固定されていないものは床上を引きずるように移動し、その跡がはっきりと残っていた。アンカーボルトによって固定してある場合でも地震の揺れによりアンカーボルトが抜けたり、破断したりしていた(写真5)。資材置き場の棚で壁に固定されていないものはほとんどが倒れていた(写真6)。ただしキャスター付台車は地震によって移動はしたものの、転倒することはなかった。

タンクについては固定用ボルトが抜けたり固定部に亀裂が入った事例があった。タンクと連結するパイプは壁の上に配管されることが多いが、地震によるタンクと壁の揺れ方は異なるので、これによって両者間に相対変位が生じ、配管が破損する例が多く見られた。電源用トランスについても同様のことが起こり、トランスへの配線が相対変位によってトランス端子を変形させ、端子同士が短絡しかけた例があった(写真7)。柏崎刈羽原子力発電所では原子炉建屋の基礎とトランス基礎の耐震基準が異なっていたため大きな相対変位が生じ、これによってトランス端子が接触して火災が発生した。相対変位によって破損しそうな箇所にはフレキシブル配管を施すなどの対策が必要である。



写真5 工作機械の転倒とアンカーボルトの破損



写真6 棚の転倒

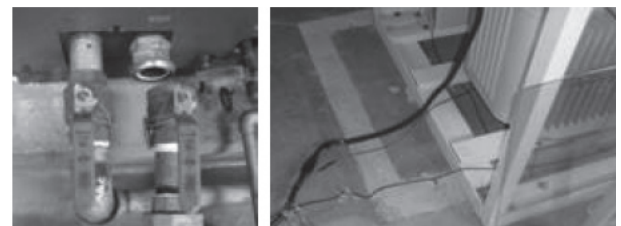


写真7 右配管の破損(左)とトランスラックの移動(右)

(8) 能登の地場産業「輪島塗り業界」の場合

輪島塗は能登半島輪島市の基幹産業であり従事者は約2,000人である。その事業主20名を対象に被害のアンケート調査を行ったが、回収率は20名中11名であった。木造・土蔵の工房・作業建物について、内壁の被害に関する質問には、75%が壁の表面(土壁等を含む)にひび割れを生じ、25%が壁の表面が落下したと回答している。室内の製造材料、機器、工具、製品の被害に関する質問で、被害があったとする項目が全体の回答に占める割合を図3に示す。訪問調査においても、被害

の多くが土蔵内の作業場で起きていたことが確認できた(写真8)。製造機器や工具の被害は比較的少なかったが、漆製品の乾燥に必要な土蔵の損壊、及び建物被害による作業場の喪失が産業上大きな打撃となった。

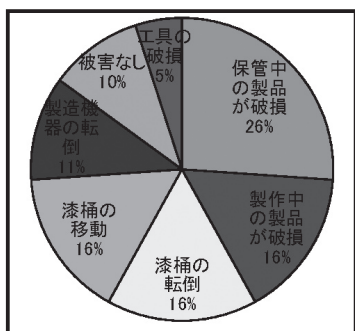


図3 室内の製造材料、機器、工具、製品の被害割合



写真8 木工用工作機械の転倒

(9) 地酒産業の場合

今回の地震被害を受けた2つの地域には10社ほどの造り酒屋があり、うち柏崎の大手酒造メーカーの被害は新聞・テレビのニュースで大きく報道された。建物の被害としては、土蔵の酒蔵が全壊、半壊(写真9)もしくは一部損壊している。お酒の直接的被害としては、酒の流失、タンクの損傷、機器の破損等が挙げられる。地震の際はタンクが揺れたり、タンクが土台から落下して傾いたり(写真9)したことで、かなりの量の酒が流出した。またタンク同士の間隔が近接していたため地震でタンク同士がぶつかり合う事例が多かった。



写真9 土蔵の壁の落下(左)と台から落下して傾いた酒造タンク(右)

タンクは内部がホーローになっており、衝撃で破損し易い。内部のホーローが壊れると、そこから鉄分が溶け出して酒を変色させたり、味わいを損ねて商品としては使えないという話であった。

4. 復旧状況と地震対策

復旧においては各種工作機械メーカーや部品の供給先業界がすばやく対応し、翌日からは修復作業が行われた例もあった。また破損した多数の測定機器の供給も行われた。ずれた工作機械は再設置され、アンカーボルトも打ち直されて精度の検定も行われ、その後引き渡されたが、まったく元の状態に戻っているという保証はないので、不安が残るとのことであった。完全停止して総点検し、異常がないことを確かめてから作業を始める例が多かった。地震翌日から一部作業を始め、順次復旧して完全復旧までに能登地震では10日ほど、中越沖地震では14日ほど掛けて大部分の事業所が、復旧または仮復旧した。

以上の地震被害からいくつかの事業所において実施された地震対策を以下に挙げる(写真10)。

- ① 棚の連結
- ② タンクの連結
- ③ 生産ライン上の各機械の連結
- ④ 相対変位が生じるにはフレキシブル配管、フレキシブル配線を使用
- ⑤ 相対変位によって破損するものは同一の架台に設置
- ⑥ 天井の配管については漏れた場合を考慮
- ⑦ 測定器・パソコンのジェル敷きによる転倒防止
- ⑧ サーバ機器の防震およびバックアップ電源の準備



写真10 地震対策の例 左：タンクの連結例、右：防震台上のサーバ

5. おわりに

今回の2つの地震では産業設備機器が多量なる被害を受けた。特に重量のある工作機械が転倒や移動、アンカーボルトが破損するなど、生産現場においては大変危険な状況になることがわかった。今回はたまたま休日ということもあって人的被害は比較的少なかったものの、今後は生産現場における地震対策が重要になるものと考えている。阪神・淡路大震災を教訓に、工場社屋の補強、棚の転倒防止、生産ラインの移動防止など、予め地震対策を施していた企業においては被害が小さかった。今回の地震を教訓に製造業においては人的被害はもちろんのこと、生産活動に及ぼす影響も考慮して地震対策を進めていただくよう希望する。

機械設備の耐震評価手法

藤田 聡／皆川 佳祐

●東京電機大学 ●東京電機大学

1. はじめに

我が国は世界有数の地震国であり、地震時における転倒防止や早期事業復旧の観点から、機械設備に対しても高い耐震性が要求されている。現在、機械設備、例えば原子力発電所内の機器・配管系は、設置箇所の床応答スペクトルを用い、弾性変形のみを許容した静的設計を基本的に採用している。また、特に重要な機械設備に対しては従来構造物の3倍の静的地震荷重を考慮するなどして、極めて高い耐震性を担保している。

一方で、平成18年に改訂された「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」では、基準地震動を上回る地震が発生する可能性（いわゆる「残余のリスク」）に言及している。また、近年、これまで想定されていた以上の加速度を有する地震動が多数観測されていることから、設計レベルすなわち弾性域を越えた領域での耐震強度の評価が極めて重要な課題となっている。同様に近年の地震被害からは、「強大地震を経験した構造物の健全性評価」と言う課題が浮き彫りになった。さらに、地震による機器・配管系の損傷は一時的な荷重によるものではなく、疲労破壊によるものであるとの報告もあることから⁽¹⁾、累積的な損傷をも考慮できる評価指標が求められている。

これらの課題に対して、近年、国内外で様々な手法が提案されている。本報では、その中から変位に基づく手法、Cumulative Absolute Velocity (以下、CAV)、及びエネルギー釣合式を紹介する。中でもエネルギー釣合式は上記の問題点の解決手法として有効と考えられることから、詳細に紹介する。

2. 様々な耐震評価手法

構造物の耐震性の評価は静的手法に始まり、度重なる震災や解析技術の発達により様々な手法へと展開されてきた。ここでは、従来手法に加え、新たな手法として注目を集めている応答変位による手法、CAV、エネルギー釣合式に着目し、その概要を紹介する。

2.1 従来手法

従来から広く用いられている耐震評価手法として、静的手法、動的手法がある。これらは構造物の重要度

や用途に応じて使い分けられており、機械構造物から建築構造物まで、幅広く利用されている。

静的手法では、本来動的な地震力を静的荷重に置き換えて耐震性を評価する。重力加速度に対する構造物の応答加速度の割合を震度と定義し、応答加速度と質量の積から地震荷重を規定する「震度法」、震度法による地震荷重に構造物の周期や高さなどから求まる係数を重みとして乗じる「修正震度法」などがある。静的手法は地震荷重の動的変化を考慮しないため厳密性に欠けるが、極めて簡便に地震荷重を規定することができる実用的な手法である。

一方、動的手法は、対象となる構造物を簡単な物理モデルに置き換え、固有周期、減衰、モードなど動的特性を考慮する手法である。運動方程式をコンピュータにより解くことで地震応答を時系列で求める手法や、応答スペクトルを利用してモード解析により応答を求める手法等がある。構造物の動的挙動に基づき評価が可能であるが、モデル化やプログラミングなど、静的設計に比べて高度な技術が要求される。

2.2 応答変位に基づく手法

前節の従来手法は、いずれも加速度から求まる地震荷重を基本とした設計であった。しかしながら、加速度に基づく手法では塑性域、特に終局状態における挙動の表現が不利であることから、応答変位に基づく手法が提案されている。同一形状のRC造構造物に性質の異なる地震波を入力させた場合、同程度の応答変位で崩壊に至るとの報告もあり⁽²⁾、応答変位に基づく手法は終局強度の評価に有効であると考えられる。

2.3 Cumulative Absolute Velocity (CAV)

CAVは、地動加速度の絶対値の時間積分により、地震動が被害をもたらすポテンシャルを有しているか否かを評価する手法である。個々の機械設備の耐震性を評価する手法ではないが、米国EPRI (Electric Power Research Institute) がOBE (Operating Basis Earthquake) 超過基準としてその有効性を認めたことにより、特に原子力発電分野で国際的に着目されていることから、ここに紹介する。

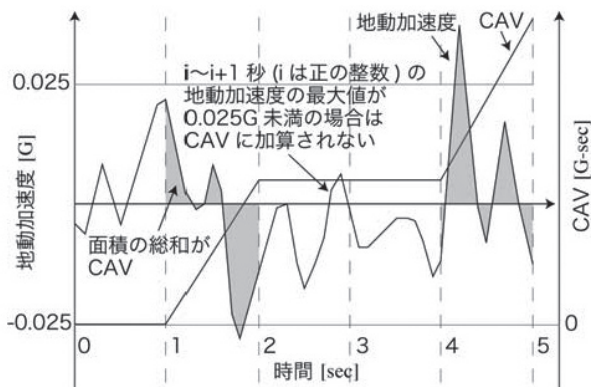


図1 CAVの概念

CAVは地動加速度の絶対値の時間積分すなわち面積であり、基本的な考え方は式(1)で定義される⁽³⁾。

$$CAV = \int_0^{t_{\max}} |\alpha(t)| dt \quad (1)$$

ここで、 $\alpha(t)$ は地動加速度、 t_{\max} は地震記録の継続時間である。但し、式(1)では地震記録の継続時間 t_{\max} が長いほど、CAVを大きく算出してしまう。そこで、図1のように、地動加速度の時刻歴波形を一秒毎に分割し、その一秒間に閾値0.025[G]を越える加速度が存在する場合のみCAVとして積分する改良手法が用いられている。CAVは振動数の低い波に対して大きく、振動数の高い波に対して小さくなる。また、米国 Nuclear Regulatory CommissionのRegulatory GuideではCAV=0.16 [G-sec]をOBE超過基準としている。

2.4 エネルギー釣合式

エネルギー釣合式は、平成17年9月に国土交通省告示第631号として「エネルギーの釣合いに基づく耐震計算等」が施行されたことにより、近年建築分野で注目を集めている手法である⁽⁴⁾。エネルギー釣合式は、運動方程式に変位増分 $dx (= \dot{x}dt)$ を乗じ、運動継続時間で積分することで導くことが出来る。すなわち、一質点系のエネルギー釣合式は、

$$m \int_0^t \ddot{x} dx + c \int_0^t \dot{x}^2 dt + \int_0^t F(x) \dot{x} dt = -m \int_0^t \ddot{x}_H \dot{x} dt \quad (2)$$

となる。但し、 m は質点の質量、 c は減衰係数、 \ddot{x}_H は地動加速度、 $F(x)$ は復元力であり、左辺各項はそれぞれ左より時刻 t における運動エネルギー、減衰により吸収されるエネルギー、弾性ひずみエネルギーと累積塑性ひずみエネルギーの和、右辺は時刻 t における総エネルギー入力である。運動方程式はある時刻における瞬間的な運動状態を表すのに対し、式(2)のエネルギー釣合式は時刻0～ t における運動状態の累積情報を

表す。すなわちエネルギー釣合式は、モデルが振動を始めてからの累積情報になるため、繰返し荷重等の影響を検討するには極めて有効であると考えられる。また、エネルギー釣合式左辺では、減衰により吸収されるエネルギーと累積塑性ひずみエネルギーのみが蓄積され、運動終了後、それらは右辺の総エネルギー入力と等価になる。また、累積塑性ひずみエネルギーが損傷に寄与するエネルギーとされている。

3. エネルギー釣合式による耐震評価

筆者らは前章で示した手法のうちエネルギー釣合式に着目し、エネルギー釣合式を用いた耐震評価手法に関する研究を行ってきた。これまでに、振動による破損、固有振動数による耐震性の違い、地震波に含まれるパルス波の影響をエネルギー釣合式の立場から検討してきたので、ここに紹介する。

3.1 破損とエネルギー釣合式の関係

前述の通り、地震時の機械設備の破損は累積的な損傷によるものと考えられる。そこで本節では、疲労破損を伴う振動実験により、運動の累積情報を表すエネルギー釣合式と破損の関係を検討する。

3.1.1 振動実験概要

本実験では、図2に示す一質点系モデルを供試体として用いた。質量部 m は一辺が0.023[m]の炭素鋼SS400の立方体で、加速度計を含めた質量は0.114[kg]である。支持柱部分は一辺 b が0.003[m]、長さ l 、ステンレス鋼SUS304製の正四角柱で、柱の長さにより固有振動数を調整する。入力波は、供試体の固有振動数と同等の卓越振動数を有するランダム波を用い、様々な加速度振幅で入力した。なお、実験においては累積塑性ひずみエネルギーを正確に算出することが困難であるため、系に累積される全てのエネルギー、即ち総エネルギー入力を評価対象とした。

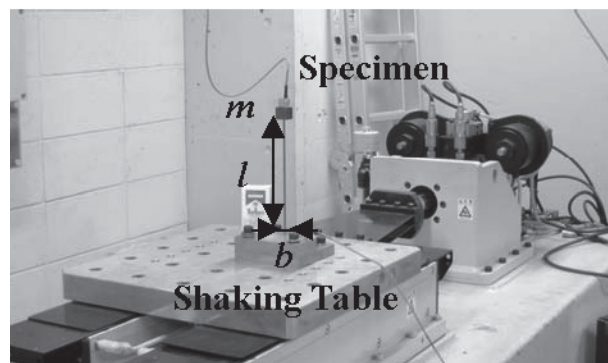


図2 供試体及び試験装置

3.1.2 実験結果

実験結果の一例として、図3に長さ $l=0.130$ [m]、固有振動数 15.2 [Hz]、減衰比 1.67 [%]の供試体の破損までの総エネルギー入力の推移を示す。図3より、入力加速度が小さく破損までの時間が長いほど、破損に多くのエネルギーを要しており、破損とエネルギーの相関を確認できる。そこで、相関をより詳しく検討するため、図4に最大入力加速度及び単位時間あたりの総エネルギー入力増加量と破損に要した総エネルギー入力の関係をまとめた。図4の横軸上段は最大入力加速度を、横軸下段は単位時間あたりの総エネルギー入力増加量を表す。図4より、単位時間あたりの総エネルギー入力増加量及び最大入力加速度が大きいほど、少ない総エネルギー入力で破損に至ることが確認できる。以上の相関に着目すれば、エネルギーに着目した破損時期の推定が可能であり、一般構造物の終局強度の評価や破損時期の推定に展開できると考えられる。

3.2 振動数とエネルギー釣合式の関係

現在の耐震評価では、一般に応答加速度に基づく地震荷重で耐震性を評価している。しかしながら、固有振動数の高い構造物は荷重を受ける時間が短いため、力積やエネルギーの観点からは、地震の影響は少ないと考えられる。そこで、本節では、固有振動数の違いが耐震性に与える影響をエネルギー釣合式の観点から検討する。前述の通り、エネルギー釣合式は荷重の作用時間を考慮することから、固有振動数による耐震性の違いの検討に適していると考えられる。

3.2.1 振動実験概要

本振動実験では、3.1.1節に示した供試体を用い、供試体の固有振動数と供試体に入力されるエネルギーの関係について検討した。供試体の固有振動数は、供試体の長さ l を 0.100 、 0.130 、 0.220 、 0.270 [m]に調整することで、 21.74 、 15.61 、 7.51 、 5.57 [Hz]と変化させた。なお、減衰比の平均は 0.48 [%]であった。また、一般に地震時の構造物の損傷は共振現象により引き起こされることから、入力波は供試体の固有振動数と同等の振動数を有する正弦波を用いた。

3.2.2 実験結果

実験結果の一例として、図5に最大入力加速度が 2.2 、 8.6 、 12.9 、 21.5 [m/s^2]の場合の固有振動数と応答加速度及びエネルギーの関係を示す。図5より、固有振動数が高いほど応答加速度すなわち慣性力は大きいことが確認できる。一方、総エネルギー入力及び累積

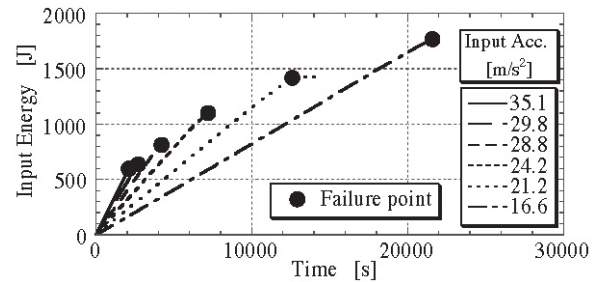


図3 破損までの総エネルギー入力の推移

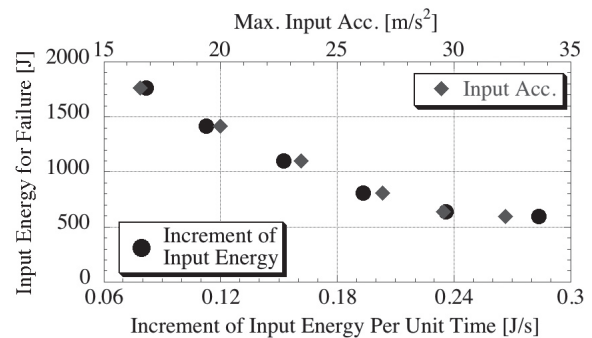


図4 破損とエネルギーの関係

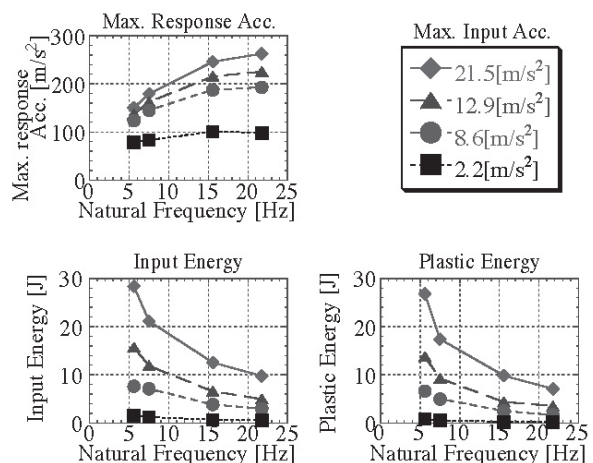


図5 固有振動数と応答加速度・エネルギーの関係

塑性ひずみエネルギーは固有振動数が高いほど小さくなることが確認できる。これは、同一の入力加速度を受ける場合、応答速度は固有振動数に反比例するため、応答速度を用いて算出されるエネルギーにも同様の傾向が表れるためである。したがって、前章の結果を踏まえればエネルギーの観点からは、固有振動数の高い構造物は高い耐震性を有すると言える。

3.3 パルス波を含む地震波のエネルギー評価

近年の地震災害では、パルス波を含む地震波による被害が多く報告されている。地震波に含まれるパルス波は、繰返し回数こそ少ないものの構造物の固有周期近傍の周期を持ち、高加速度を有することで構造物に

甚大な被害を生じさせる。しかしながら、現在の耐震設計において十分な考慮がなされていない。そこで本節では、実観測地震波を用いた振動実験により、パルス波が構造物に与える影響をエネルギー釣合式の観点から検討する。

3.3.1 振動実験概要

本実験では、実験装置の性能や供試体の形状などに起因して、観測波をそのまま使用することが困難であった。そこで、時間軸を1/5に縮小した縮尺実験により検討を行った。入力波は2007年新潟県中越沖地震における東京電力柏崎刈羽原子力発電所1号機原子炉建屋地下5階EW波の時間軸を1/5に縮尺、最大入力加速度を $18.4[\text{m/s}^2]$ にしたものである。地震波に含まれるパルス波の振動数は、観測波で $1.43[\text{Hz}]$ 、時間軸縮尺後で $7.15[\text{Hz}]$ であった。供試体は3.1.1節に示した供試体を用い、固有振動数がパルス波の振動数と同等になるよう、長さ l を $0.226[\text{m}]$ に調整した。自由振動試験により測定した固有振動数、減衰比は、 $7.19[\text{Hz}]$ 、 $0.71[\%]$ であった。

3.3.2 実験結果

実験結果として、図6に入力加速度、応答加速度、エネルギーの時刻歴応答波形を示す。入力加速度に着目すると時刻2.8秒付近にパルス波の存在が確認される。この時刻の応答加速度に着目すると、わずかに振幅のパルス波により、応答倍率が約4.5倍にもなる大きな応答を示していることが確認できる。また、その後の応答が自由振動のような形状を示していることから、パルス波の影響が非常に大きいことが確認される。一方、系に入力されるエネルギーは、パルス波の発生により急激に増加していることが確認できる。エネルギーの増大は、まず運動・弾性ひずみエネルギーに起こり、その後応答の減衰に伴い、運動・弾性ひずみエネルギーは徐々に減衰により吸収されるエネルギーに変換されていく。また、パルス波の後の総エネルギー入力ほぼ一定値を維持していることから、パルス波の影響の大きさが伺える。

以上より、構造物の固有振動数がパルス波の振動数と一致している場合、パルス波が振動応答に大きな影響を与えることが確認された。また、その影響は急激なエネルギーの増加として表れることが確認できた。

4. おわりに

本報では構造物の耐震評価手法として、加速度（慣性力）や応答変位に基づく手法、CAV、エネルギー釣合

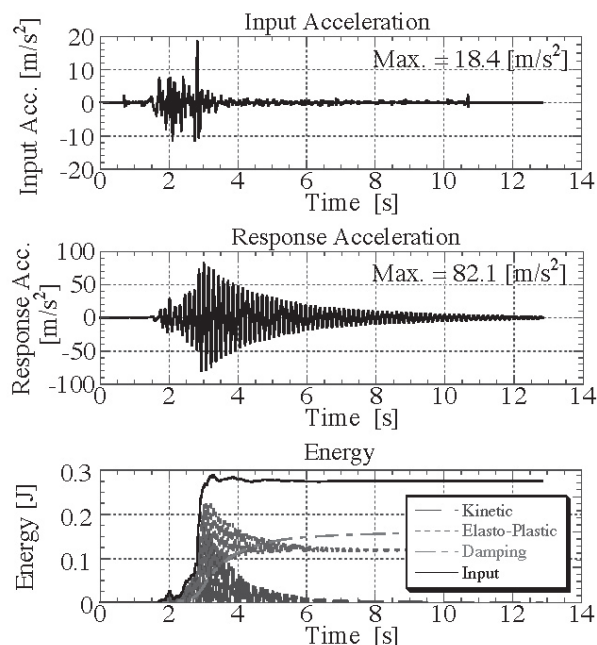


図6 時刻歴波形（パルス波を含む地震波）

式を紹介した。これらはいずれも長所短所を有するが、評価対象の規模や重要度に合わせて適切な手法を選択することで、有効な耐震評価が可能になると考えられる。

なお、本研究で用いた2007年7月新潟県中越沖地震の観測波は、東京電力株式会社より提供頂いたものである。ここに、心より感謝の意を表する。

参考文献

- (1) Yoshino, K., Endou, R., Sakakida, T., Yokota, H., Fujiwaka, T., Asada, Y., Suzuki, K., Study on Seismic Design of Nuclear Power Plant Piping in Japan Part 3: Component Tests Results, Proceedings of the 2000 ASME PVP Conference, Vol. 407(2000-7), pp. 131-137
- (2) 壁谷澤寿一、村瀬正樹、金鎮坤、壁谷澤寿海、松森泰造、異なる地震動を受ける偏心鉄筋コンクリート壁フレーム構造の振動実験（その2）実験結果、第5回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム論文集、(2004)、pp. 227-232
- (3) Lee Jong-Rim, Lee Sang-Hoon, An Experimental Study on Seismic Damage Indicator Considering CAV Concept, Transactions of SMiRT 16, (2001), (Online) available from < <http://www.iasmirt.org/SMiRT16/K1776.PDF> >, (accessed 2008-12-18).
- (4) 西山功、向井昭義、石原直、長谷川隆、井上波彦、建築基準法に基づく告示の制定について —エネルギーの釣合いに基づく耐震計算等の構造計算を定める件—、ビルディングレター、No. 43、(2005)、pp. 1-9

名誉会員インタビュー 第1回：田中貞二先生

聞き手：会誌編集委員会 三宅 弘恵（東京大学地震研究所）

日本地震工学会・会誌編集委員会では、このたび名誉会員インタビューを連載企画として行うこととなりました。初回のインタビューは田中貞二先生に地震工学についての想いを語っていただきました。

1. 地震工学分野に進んだきっかけ

私は子供の頃から電気が好きで、将来は電気に関係する仕事に就きたいと思っていました。神田にある東京電機大学の前身である電機学校を卒業した後は、電気やモーターを専門としていたこともあり、電気通信研究所へ行きたいと思っていました。研究所の面接には合格したのですが、肋膜炎の痕跡のため不採用となり就職に困っておりました。

ちょうどその頃、東京大学地震研究所から電気関係者の募集があり、応募した結果、1939年に地震と電気の接点の仕事に就くことになりました。地震研の所長をしておられた妹澤克惟教授の研究室には金井清先生が居られました。

理学部では微動計を作成して微小地震を観測していた時期で、常時微動は雑微動と呼ばれ、ノイズと見なされていました。大森房吉先生は1908年に、地面は常に揺れているという論文を書いておられ、micro-tremorという言葉が出てきています。金井先生と、この常時微動を電氣的に拡大して研究したら良いとの話になり、私は常時微動を電氣的に拡大する仕事を与えられました。それが地震工学に進んだきっかけとなったと思います。そして、換振器や増幅器などの装置を作成する技術的な仕事が主となりました。

太平洋戦争が始まった後は、戦時研究員として潜水艦のスクリューの音を拾う装置を作っておりましたが、1944年、ついに召集されました。1945年に約200万人の戦死・行方不明者が出たフィリピンから復員できたことは、現地でマラリアにかかったことも含めて運が良かったのだと思っています。復員後に門司から列車に乗って上野駅に到着したものの、空襲後の東京は電話も通じない状況でした。ふと「地震研に行けば良いかな」と思い、行ってみたら人がおり、家族と連絡をつけることもできました。

2. 常時微動から強震動へ

次に、常時微動と強震動に関する話をしたいと思います。金井清先生は、常時微動を地盤種別に使うことを提唱されておられ、建築被害と地盤震動に関係して、1種・2種・3種・4種といった地盤種別判定に取り組んでおられました。そのため、常時微動を計測して地盤種別の判定を行う仕事を、多方面から依頼されておられ、私も全国各地で微動計測を行う日々が続きました。後に、コンピューターが使える時代となり、日本橋室町にあったIBMで常時微動のスペクトル研究を行ったこともありました。



田中貞二名誉会員（撮影：会誌編集委員会 志波由紀夫）

また、金井先生と共に、UCLA（米国カリフォルニア大学ロサンゼルス校）のDuke先生を訪問し、アメリカで常時微動の宣伝を試みたこともありました。アメリカ側からは、それほど常時微動に興味を示してもらえず、興味をひくために微動測定デモを行いながら、エルセントロからシアトルまでアメリカ西海岸を1ヶ月かけて宣伝に回りました。具体的には、アメリカ西海岸の強震計観測点で常時微動を測定した訳ですが、アメリカの強震計は建物というよりは公園などの地表に置かれているケースが多かったように思います。日本の下町のような地盤に比べ、サンフランシスコの一部を除き、地盤が悪いとされる場所が少なかったのかもしれませんが。このように常時微動の宣伝はしたも

の、当時のアメリカにおいて、常時微動の有用性を理解してもらうことは至難の業でした。しかしながら、私はこの経験を通して常時微動の利用方法や価値を見出すことができ、特にその工学的な利用に興味を持ちました。

1965年に地震研に設置された強震計観測センターに移籍してからは、常時微動を卒業して、強震動へと移行していきました。

USGS (米国地質調査所) を訪問した際、日本との交流プロジェクトによってアメリカに贈られたSMAC型強震計を点検する機会がありました。USGSの強震計と地震研のSMAC型強震計を交換したことが思い出されました。私の好きな地震計となると、やはりSMAC型強震計でしょうか。

強震動に携わるようになってからの仕事としては、1923年関東地震の記録の復元などが挙げられます。振り切れた今村式強震計の記録を何とか復元しようと思い、吉澤静代さんが数値化されたデータを基に、清水建設の横田治彦さんや片岡俊一さんと共に今村式強震計の記録を復元しました。振動台試験を行い、本物らしい波形の復元に成功しました。

3. 思い出

苦労したこととしては、当時は必要な部品を作成するために、秋葉原へよく通いました。業者もおらずカタログもない時代でしたので、何でも自分で探し作る姿勢でおりました。電磁式地震計を作る、そのために勉強をする、の繰り返しだったように思います。そうしてSMAC型強震計の原型の製作に携わった時には、大変感慨深いものがありました。

次の思い出としては、浅間事件でしょうか。日米安保条約の翌年、浅間山を米軍の演習地にする話があり、浅間山の噴火予知研究が頓挫の危機にさらされました。そこで、兵隊の行軍によって発生する振動を観測小屋で計測したり、秋葉原でラップを買って、それを逆さに用いて空砲の高感度の集音器とし、音と震動の両面から観測に支障となる証拠を作成しました。

別の思い出としては、岡山の竹林寺山での微動計測があります。東京天文台より、大型望遠鏡を設置しても像がブレないかどうか、竹林寺山の常時微動を計測して欲しいという依頼がありました。集落もない静かな現地に微動計を持参しましたが、何度計測しても真っ直ぐな零線しか描かれず困ってしまいました。そこで、真空管を増強し、感度を最大に上げて調べたところ、0.1ミクロンの微動振幅レベルであることが分かり、大型望遠鏡が設置されるに至ったのです。微動

計を持って行ったものの、微動レベルを定量化する難しさを体験した思い出です。

金井先生との思い出と言えば、毎日酒を飲んでいただいことでしょうか。当時は太平洋戦争中でしたので、実験用のエチルアルコールを焼酎風味に加工したものを飲んでいましたね。

また、24万人の死者を出した1976年中国・唐山地震の調査のため、工程力学研究所や山東省を訪れたことも思い出に残っています。薬草しか食べない蛇入りのお酒をお土産にいただいたことがあり、永くおくほど良いと言われたので、その20年後の大崎総合研究所の新年会の際に皆で賞味しました。

4. 田中貞二先生から会員へのメッセージ

昔誰かが手がけた内容や論文でも、その後触れられていないことを探しだし、もう一度見直すことによって、新しい知見を開拓できる研究テーマになるのではないかと思います。

私の経験に基づくものですが、常時微動に関しては、その昔1908年に大森先生が論文を書かれています。後に、利用価値を求めて地盤の固有周期や建物の振動周期を計測することにより、常時微動の工学的利用という興味が広がっていったように思います。

名誉会員 田中貞二(たなか・ていじ)先生

元 東京大学地震研究所 助教授

元 株式会社大崎総合研究所 参与

元 清水建設株式会社技術研究所 技術顧問

参考文献

Kanai, K. and T. Tanaka (1961). On microtremors VIII, Bull. Earthq. Res. Inst., 39, 97-114.

Omori, F. (1908). On micro-tremors, Bull. Imperial Earthq. Investigation Committee, 震災予防調査会, 2, 1, 1908.3, 1-6.

田中貞二 (2006). 常時微動から強震動へ, 震災予防, 208, 13-16.

田中貞二先生の名誉会員インタビューは、2008年5月21日に東京ガーデンパレスにて行われました。先生の穏やかなお人柄のお陰でしょうか、大変和やかな雰囲気です。インタビューさせていただくことができ感謝しております。同席いただきました、日本大学生産工学部の工藤一嘉教授と東京大学地震研究所の坂上実氏に御礼申し上げます。

日本地震工学会・大会－2008報告

源栄 正人(大会実行委員長)、大野 晋、吉田 望、神山 眞、風間 基樹、
 渦岡 良介、前田 匡樹、佐藤 健、西田 哲也、三辻 和弥、迫田 丈志、
 水口 広隆、田脇 正一、柏崎 昭宏、長田 正樹、澤邊 浩

1. はじめに

日本地震工学会大会－2008が11月3日～5日に仙台駅前の仙台市情報・産業プラザ(通称、アエル)で開催された。今年は1978年宮城県沖地震から30年にあたり、30周年シンポジウムが初日の午後に開催された。一般セッションに加え、6月に発生した岩手・宮城内陸地震の特別セッションや、リモートセンシングに関する研究委員会の活動成果に基づくオーガナイズドセッションも企画された。総計178編の論文の発表があり、合計270名の登録参加者があった。

また本大会は、11月5日、6日に、みやぎ産業交流センター(通称、夢メッセMIYAGI)で開催された第3回「震災対策技術展/自然災害技術展」宮城にあわせて企画された。日本地震工学会はこの技術展を後援するとともに、この技術展におけるシンポジウムの一つとして、11月5日の午後に津波災害の軽減方策に関する研究委員会の活動成果を発表した。

一方、短期間ながら研究者間の幅広い交流を十分に深めていただくために、初日夕方、シンポジウム後に懇親会を設けた。また、昨年度に引き続き、企業参加による「地震工学技術フェア」が企画された。今年も国内の地震計メーカーの協賛で「研究用および普及型の地震計」というテーマで、最新の地震計の開発技術に関する展示が行われた。



写真1 大会初日の受付

2. 研究発表の概要

2-1 第1会場(5階多目的ホール)

11月3日9:30-11:15、鉄筋コンクリート構造(解析・設計法)、座長：中村友紀子(新潟大学)・坂下雅信(京都大学)、参加者：25～30名。

このセッションでは鉄筋コンクリート構造の解析・設計法に関する7編の発表が行われた。中間層損傷集中の検討、最大応答変位・残留変位の推定法、柱断面誤差、降伏耐力の変動による地震応答の変化、偏心建物の応答制御設計法について議論が活発に行われた。

11月3日11:15-12:45、鉄筋コンクリート構造(地震被害)、座長：田村良一(篠塚研究所)・藤井賢志(千葉工業大学)、参加者：約40名。

鉄筋コンクリート構造の地震被害に関連した6件の発表が行われた。内訳は、中国四川大地震における都江堰市での学校建築の被害調査に関する報告が1件、続いて中国四川大地震における復旧技術支援連絡会議の活動に関する報告が3件(その1活動目的及び活動概要、その2分類別被害例、その3被災建物の耐震性能と復旧案)、三角形線形補間法により地震計の設置されていない場所での地震力指標の近似値を求め、これとRC造建築物の構造耐震指標 I_s 値、耐震性能残存率 R との関係について考察を行った報告が1件、耐力低下を考慮して2007年新潟県中越沖地震で被災したRC造学校校舎の地震応答解析を実施した報告が1件であった。

11月4日9:30～11:45、鉄筋コンクリート構造(部材実験)、座長：真田靖士(豊橋技術科学大学)・中村孝也(首都大学東京)、参加者：約30名。

このセッションでは鉄筋コンクリート造部材や架構に関する実験的研究が計9編発表された。部材については柱、袖壁付柱、耐震壁、接合部と多岐に渡る。架構については耐震壁、鉄骨補強ブレースを有する複雑な柱梁立体架構の耐震性能について最新の研究成果が報告されるとともに活発な議論が交わされた。

11月4日13:00～15:15、地震観測・振動・その他、座長：年縄巧(明星大学)・中村尚弘(竹中工務店)、参加者：約30名。

このセッションでは、地震観測、地震時の被害推定

モデル、振動台の振動特性改善、地震時の家具の移動量等に関し8編の発表が行われた。本年7月の岩手県北部の地震観測での強震記録の地震動特性の分析や被害との対応に関する検討や、地震被害推定に用いる建物群モデルの構築や、それを用いた想定南海地震の被害推定、これまで検討例の少なかった上下動に関する分析等に関し、最新の知見が発表され活発な討議が行われた。

11月4日15:30～17:00、原子力発電所、座長：境有紀（筑波大学）・飛田潤（名古屋大学）、参加者：約30名。

本セッションは原子力発電所の耐震性について6編、具体的には、新潟県中越沖地震における柏崎刈羽原発で被害が小さくて済んだ要因、3次元FEMを用いた建屋の終局レベル、偶然的不確かさを考慮に入れたフラジリティ、建屋鉄骨部の地震応答、終局レベルまでの挙動について発表が行われた。原子力建物の現在の耐震規定、3次元FEMのモデル化、入力地表動の設定方法、鉄骨トラスの実験結果の一般性、終局レベルまでトラスを使用することの是非などについて議論が行われた。

11月5日9:30～11:15、木造（在来工法）、座長：斎藤幸雄（広島国際大学）、中治弘行（鳥取環境大学）、参加者：20～25名。

このセッションでは、木造（在来工法）に関する7編の発表が行われた。既存不適格建物の耐震補強における費用対効果、木造住宅の地震時最大応答の予測手法、木質ラーメンの時刻歴応答解、能登半島地震における被災木造建物の立体骨組解析、2方向入力時の直交壁効果、長ほぞ込栓打仕口の引き抜き耐力の評価法など、木質構造の耐震性能に関する活発な討議が行われた。

11月5日11:15～12:45、木造（伝統工法）、座長：五十田博（信州大学）・中尾方人（横浜国立大学）、参加者：20名。

このセッションでは、伝統木造に関する6編の発表が行われた。東本願寺御影堂の常時微動計測結果、伝統構法木造住宅の重量と耐震性への影響、地震火災を受けた京町家の崩壊危険性の検討、柱貫仕口の十字型フレームの復元力特性、垂れ壁付き講面の静的・動的実験の比較、震動台実験での仕口の損傷に関する検討についての報告の後、活発な討議があった。参加者は20～25名程度であった。



写真2 第1会場

2-2 第2会場（6階セミナールーム(2)A）

11月3日9:30～12:30、機械設備系・免震・制振・ヘルスモニタリング、座長：柏崎昭宏（IHI）・藤田智己（東北工業大学）、参加者：20-25名。

このセッションでは、計10編の発表が行われた。地震応答の自乗平均値を用いた近似計算法の提案、E-ディフェンスを用いた動的交番荷重下における機器基礎定着部の健全性評価に関する検討、2008年岩手・宮城内陸地震における免震建物の調査報告、機械設備系を対象とした免震機構や免震装置用の減衰装置の提案、同調粘性マスダンパー、ロッキング構法を適用した制振壁、ギャップ壁を有するRC造構造物の応答制御効果に関する検討、安価なIT強震計を用いた耐震補強前後における振動観測、長周期域での振動特性評価のための可搬型微動計の開発、2008年岩手・宮城内陸地震前後における実存建物の固有振動数の変化に関する検討についての討議が活発に行われた。

11月4日9:30～12:00、地中構造物・杭・基礎構造・地盤－構造物相互作用・土木構造物、座長：風間基樹（東北大学）・飛田哲男（京都大学）、参加者：約30～35名。

本セッションでは合計10編の発表が行われた。ダム、地中埋設物、杭基礎に対する解析、実験的検討、建築物の入力損失に対する観測事例、地盤改良範囲の設定に対する実験、解析的検討、断層変位と慣性力が構造物の応答に与える影響、橋桁に対する津波荷重の実験的検討等、多岐にわたる研究課題に対し、活発な議論がなされた。

11月4日13:00～15:15、地盤の液状化・斜面崩壊、座長：山口晶（東北学院大学）・渦岡良介（東北大学）、参加者：20～30名。

このセッションの前半3編では地震被害に関連した発表が行われた。被災宅地危険度判定士の活動、岩手・

宮城内陸地震で発生した沼倉裏沢地すべり被害とその動的解析である。判定士の組織とシステム、被害が大きかった建築ブロックの問題点、地すべりの予測について、地すべりに対する上下動の影響について議論があった。次の5編は液状化に関連した発表である。凍結試料の土のばらつき、解析のばらつき、応力状態、年代効果、解析におけるパラメータの設定方法、振動台実験の手順、地盤沈下のメカニズム等積極的な議論が行われた。

11月4日15:30~15:30、新しい構造・材料・実験、座長：北山和宏（首都大学東京）・船木尚己（東北工業大学）、参加者：約20名

このセッションでは、新しい構造・材料・実験に関する7編の発表が行われた。本セッションの前半ではRC造建物の耐震補強構法や落橋防止ケーブルに関する新たな提案、また、木造住宅の構造特性を改善するための新たな試みとして、ロッキング梘子機構を用いたシステムの提案がなされた。後半は、地震による洋型墓石の被害を防ぐために用いた心棒が耐震性に及ぼす影響や、アンボンドプレキャストプレストレストコンクリート隅柱を対象とした2方向加力の影響などを実験的に検討した報告がなされた。また、建物の耐震化啓発のために開発された実験用木造住宅倒壊模型に関する報告があり、いずれも活発な議論が行われた。

11月5日9:30~11:15、深い地下構造、座長：引田智樹（鹿島建設）・藤原広行（防災科研）、参加者：25名。

深い地下構造をテーマとして7編の発表が行われた。孔内地震計固着ツールの開発に関する発表、深部地盤全国モデルの作成についての発表、微動観測による深部地盤構造推定、Pコーダ波・Sコーダ波H/Vスペクトル逆解析に関する発表、および波形逆解析による深部地下構造推定に関する発表（3件）が行われ、活発な討議が行われた。



写真3 第2会場

2-3 第3会場（6階セミナールーム(2)B）

11月3日9:30~12:15、地盤振動（1）、座長：中井正一（千葉大学）・横井俊明（建築研究所）、参加者：約40名。

このセッションではSPAC法やH/V法等の微動を使った地下構造深査について理論、数値計算、観測の方面からの研究、地震／強震観測（鉛直アレイを含む）記録を使った地表地震動の評価、その解釈、それを利用したリアルタイム地震動評価について活発な議論が行われた。

11月4日9:30~12:00、地盤振動（2）、座長：佐藤智美（清水建設）・香川敬生（鳥取大学）、参加者：約60名。

セッション前半では数値メッシュ地図を用いた地震動、地盤増幅に関する4編の発表が、後半では強震微動観測記録を用いた揺れ易さに関する6編の発表が行われた。確率論的地震動予測値図、地形・地盤分類メッシュマップ、DEM、常時微動H/Vスペクトル比、距離減衰式、地盤増幅について活発な討議が行われた。

11月4日13:00~15:00、震源特性（1）、座長：竹中博士（九州大学）・野津厚（港湾空港技研）、参加者：約35名。

本セッションでは合計7編の発表が行われた。観測記録に基づく地震モーメントの推定、応力降下量の推定、短周期レベルの推定に関する発表が3件、震源パラメータの変動にともなう地震動のばらつきに関する発表が2件、大地震の震源過程の複雑さのモデル化に関する発表が1件、動力学モデルに関する研究が1件あった。短周期レベルが地表の規模だけでなく横ずれ断層、逆断層などの断層タイプにも依存するとの興味深い結果が紹介された。

11月4日15:15~16:50、震源特性（2）、座長：池浦友則（鹿島建設）・渡辺基史（清水建設）、参加者：30~35名。

本セッションでは過去の地震の震源パラメータに関する6編の発表が行われた。十勝沖地震に対するGPS観測結果から「歪み図」を作成し、前兆すべりをとらえる試み、福岡県西方沖地震に対し、高精度なインバージョンと良好な波形再現を行った検討、岩手・内陸地震に対する破壊開始数秒間の高精度インバージョン、岩手県沿岸北部地震に対する震源パラメータの推定、1978年、2005年の宮城県沖地震の震源パラメータ比較、1978年宮城県地震の開北橋サイトの記録を高精度に再現する震源パラメータ推定に関する報告が行われた。それぞれの地震に対して震源パラメータ推定、観測記録再現を高精度化する手法に関して活発な議論が行われた。

11月5日9:30～11:30、地盤震動(3)、座長:石井透(清水建設)・植竹富一(東京電力)、参加者:35名。

このセッションでは、地盤震動に限らず地震動の特性分析や合成方法などの観点から幅広く発表・討論が行われた。主な論点(キーワード)として、長周期地震動、表面波伝播、模擬地震動作成手法、震度との対応検討などが挙げられる。比較的活発に討論が行われた。



写真4 第3会場

2-4 第4会場(6階セミナールーム(1)A+B)

11月3日9:30-11:15、ライフライン・緊急速報・災害情報、座長:柴山明寛(独情報通信研究機構)・庄司学(筑波大学)、参加者:20名～25名程度。

このセッションの前半では、ライフライン・災害情報に関する4編の発表が行われ、ライフラインの復旧シナリオのモデル化と相互依存関係、ライフラインネットワークの信頼性評価、道路巡点検状況把握システムの開発、アドホック通信技術を利用した被害情報収集システムの開発について報告され、活発な議論が行われた。セッションの後半では緊急速報に関する3編の発表が行われ、2007年岩手・宮城内陸地震の際の学校における緊急地震速報の受信と対応状況の報告、超高層ビルでの緊急対応計画への適用についての検討、オンサイト警報を組み合わせた地震警報システムの提案などが報告され、緊急地震速報の信頼性に関する事項について活発な議論が行われた。

11月4日9:30～11:30、防災計画、座長:佐藤健(東北大学)・吉田雅穂(福井高専)、参加者:約20～25名。

このセッションでは防災計画に関する8編の発表が行われた。地震被害想定調査のための浅部地盤モデルの検討および調査結果の利活用に関する提案、K-NETと震度観測網の利活用に基づいたリアルタイム強震動・被害推定システムの提案、インターネット

ウェブを用いたアンケート震度調査システムの提案と事例分析、建築設備の機能停止を考慮したオフィスビルの地震リスク評価手法の提案と適用事例、工程管理手法を用いた事業継続影響度評価手法の提案、既往地震による河川施設の被災事例の調査分析などが報告され、地震リスクマネジメントや地震防災システムなどに関する活発な議論が行われた。

11月4日13:00～15:00、岩手・宮城内陸地震(1)、座長:福元俊一(株東京ソイルリサーチ)・三辻和弥(東北大学)、参加者:30～35名。このセッションでは、岩手・宮城内陸地震に関する前半の8編の発表が行われた。そのうち1編が余震記録を用いた波形シミュレーションにより震源モデルを同定しようとした試みの発表である。2,3編目が被災地域の常時微動によるH/Vスペクトルにより被災の原因を追求したもの、微動のアレー観測により鬼首カルデラ地区のKiK-net、K-NETとの短い距離で振幅の違いを考察した地震震動について発表された。残りの5編は連名で学校建築物の被害調査と耐震性能の違いや程度を考案したもの、余震や常時微動の観測により被害の程度を説明しようとしたもので活発な討議が行われた。

11月4日15:15-16:30、岩手・宮城内陸地震(2)、座長:三辻和弥(東北大学)・福元俊一(東京ソイルリサーチ)、参加者:25名～30名。

このセッションでは岩手・宮城内陸地震に関する5編の発表が行われた。造成宅地における地震動増幅評価に関する考察、RC造学校建物の余震観測および地震応答解析、地震観測記録と観測点周辺の被害状況との比較、RC免震構造物での地震観測および地震応答解析、液状化発生の原因と周辺の状況など、主に地震応答と被害との関係について活発に議論された。

11月5日9:30～13:00、リモートセンシングによる災害把握、座長:山崎文雄(千葉大学)・三浦弘之(東京工業大学)、参加者:約20名。

このセッションでは、オーガナイズドセッションとして人工衛星画像などのリモートセンシングデータによる災害把握に関する計10編の発表が行われた。対象となった災害は2008年中国四川地震、2008年岩手・宮城内陸地震などの近年の地震だけでなく、インド洋における津波、豪雨による洪水など多岐に渡り、光学センサ画像、合成開口レーダ、夜間可視画像など様々なデータを用いた検討結果が発表された。災害前後の画像による被害検知技術、推定された被害に基づく被害関数の構築、災害後の再建状況のモニタリング手法などについて活発な議論が行われた。



写真5 第4会場

3. 宮城県沖地震30周年シンポジウム

都市型地震災害の原点とも言える1978年宮城県沖地震の30周年を契機に、「過去に学び、地震防災の新展開を考える」をテーマとするシンポジウムが、大会初日の午後、第1会場の多目的ホールにおいて開催された。来場者は約300名で、テレビ局や新聞社の取材も多くあった。

はじめに、本会名誉会員で東北大学名誉教授の柴田明德先生と宮城県沖地震対策研究協議会会長で東北大学名誉教授の長谷川昭先生のお二人から特別招待講演があった。柴田先生の演題は「1978年宮城県沖地震の被害と教訓」、長谷川先生の演題は「宮城県沖地震の震源域周辺で起きていること」であり、30年前の災害教訓を改めて振り返るとともに、宮城県沖地震の震源断層に関する最新の研究成果が紹介された。

次に、「1978年宮城県沖地震30周年を契機に～学際連携による地震防災を考える～」をテーマとしたパネルディスカッションが行われた。パネリストは、本会名誉会員で北海道大学名誉教授の太田裕先生、東北大学名誉教授の柳沢栄司先生、鈴木浩平会長、宮城県危



写真6 シンポジウム会場

機管理監の熊谷龍一氏、そして柴田明德先生、長谷川昭先生を加えた6名であり、パネリストの専門分野や立場からの基調報告の後、大会実行委員長である東北大学の源栄正人教授をコーディネータとして、学際連携に基づいた地震防災の新しい展開について総合討論が行われた。

4. 技術フェアおよび懇親会

昨年に引き続き企業参加による「地震工学技術フェア」が企画され、下記の地震計メーカーの協賛で「研究用および普及型の地震計」というテーマで、最新の地震計の開発技術に関する展示が行われた。研究者にとって非常に興味深い展示で参加者にとって極めて有意義な内容であっただけでなく、大会の収支運営面でも地震工学会に対して大いに貢献していただく結果になった。

(くじ引き順)

白山工業株式会社

株式会社 山武

日本航空電子工業(株)

株式会社 ミットヨ

(株)高見沢サイバネティックス

株式会社システムアンドデータリサーチ

株式会社勝島製作所

応用地震計測株式会社

大会初日の3日夕方には懇親会が開催され、80人の参加者を得て盛況であった。鈴木浩平会長より挨拶があり、志賀敏男名誉会員の乾杯の音頭で懇親会が始まった。宮城県特産の牡蠣や地酒が振舞われるなか、佐武正雄先生、柳沢栄司先生、柴田明德先生、長谷川昭先生、山崎文雄先生、中村豊先生、勝俣英雄先生、太田裕先生、北川良和先生による挨拶があり、大いに盛り上がった。また、次年度大会について次期実行委



写真7 技術フェア

員長の芳村学先生より首都大学東京のキャンパスを使うか、あるいは利便性の高い都心にするか計画中であるとの案内があった。最後に東北電力の橋本修一氏による伊達の一本締めによって閉会した。



写真8 懇親会

5. おわりに

今年は、5月の中国四川省の大地震の衝撃が冷めやらぬ中で、6月には岩手・宮城内陸で、7月には岩手県沿岸北部で被害地震が発生し、これらの地震対応のためにたいへん慌ただしい状況の中での年次大会開催の準備を強いられた。9月に土木学会が仙台で開催されたこと、また、10月に北京で第14回世界地震工学会議が開催されたこともあり、残念ながら例年より投稿数は減少した。しかし、地方での開催の意義として、地震災害のもつ地域性を生かすという点、また、地域の研究者・行政関係者の協力関係を築いたことは、将来地区部会活動の活性化の契機になる点などが挙げられよう。

最後に、大会に参加していただいた皆様、また、運営に尽力していただいた実行委員会委員、ならびにフェアに出展していただいた企業の皆様のご協力により、大会-2008は盛会のうちに無事終了した。以上のみなさまには、この場を借りて深く感謝申し上げるとともに、今後とも、本大会が発展的に継承されて、広い領域にわたる最新の論文と活発な議論により、地震工学・耐震工学分野の横断的な情報交流に寄与し続けることを願っている。

第14回世界地震工学会議参加報告

大保 直人

●鹿島建設株式会社

世界地震工学会議は、4年に一度開催されている国際会議で、地震・耐震工学に関する内容を多岐にわたって発表する大規模な会議である。

本会議は1956年にカリフォルニア州パークレイで第1回が開催された。前回13回は2004年にバンクーバーで開催され、今回の中国北京での開催で14回を迎えた。

今回は中国地震工学会 (CAEE) が主催し、国際地震工学会 (IAEE) が後援し、BEIJING JIUHUA SPA & RESORT (北京九華山莊) にて2008年10月12日～17日の期間に開催された(写真1)。アジアでの開催は、第9回の日本での開催以来の2回目であった。また、共産圏での最初の開催であった。



写真1 会議が開催された会場全景

閉会式での報告によれば、会議の参加者3,328名であった。その内訳は、フル・レジストレーション2,051名、学生692名、1日レジストレーション408名、同伴者177名であった。

オープニング・セレモニーでのIAEE片山会長(東大名誉教授)の挨拶では、四川地震の被災者に対する哀悼の辞が述べられ、犠牲者の冥福を祈って参加者一同で黙祷を捧げた(写真2)。

会議はホテルの2、3階の会議室を使ってオーラルセッションおよびキーノートレクチャーが行われ、この会議室への入室は自由であった。しかし、1階の広間に割り当てられたポスターセッション(写真3)および展示会場(写真4)では、入り口でボディチェックが実施され、参加者が少なかったようである。

今回の会議では、最終プログラムのインターネット

掲載が会議開催日の約3週間と遅かったため、プログラム確認後に参加スケジュールを変更することが難しく、中には参加を断念した研究者もいたようである。

次回は、2012年にポルトガルリスボンで開催される予定である。



写真2 片山会長の挨拶

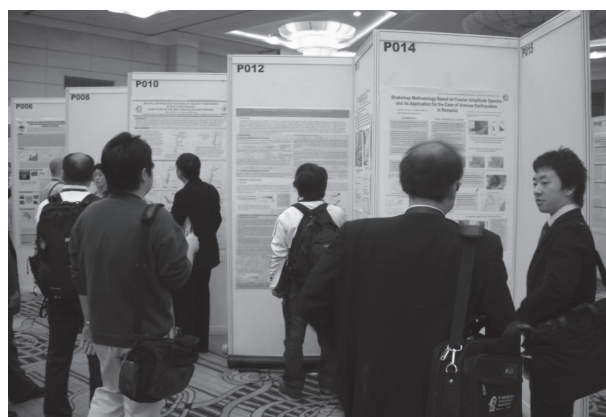


写真3 ポスターセッションの様子

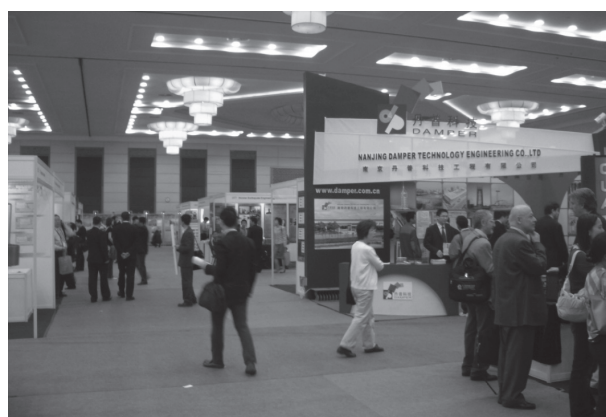


写真4 展示会場の様子

第14回世界地震工学会議のJAEЕ特別セッションに関する報告

笠井 和彦

●東京工業大学
建築物理研究センター・教授

／源栄 正人

●東北大学大学院工学研究科
災害制御研究センター・教授

／小堀 徹

●日建設計・常務
名古屋代表

2008年10月12日～17日に北京で開催された第14回世界地震工学会議（14WCEE）では、地震災害を軽減する日本の先端耐震技術と研究、および他国での進展を紹介する特別セッションが、日本地震工学会（JAEЕ）によって設けられた。

免震構造、制振構造、早期地震警報それぞれについて2セッションで合計6セッション、口頭発表は日本から26件、他国から11件という大規模な特別セッションであった。上記の日本の技術は、その研究・実践ともに世界の最高水準にあり、かつ今後他の地震国にも大きな影響を及ぼす可能性があると考えられる。

どちらかという日本の色彩の強いセッションであるため、他国から聴講者を集められるか心配だったが、その逆で、満席になって立ち見が多く出るほどの人気であった。阪神・淡路大震災以降、著しく発展した日本の研究・開発に対する各国の関心の強さが、会場から明確に感じられ、今後の世界の地震工学の発展に対し、日本の貢献の可能性が益々大きくなったと言える。

本報告は、セッションを企画・運営した関係者により、その実施結果などを順に紹介するものである。

免震構造技術（10月13日午後）

「免震建物の目覚ましい実例」と題した特別セッションで意図したことは、免震建物の可能性を示唆するユニークで目立ったプロジェクトを紹介することであり、それによって地震のある地域に、免震システムを用いた安全で構造的に新しい試みを取り入れたプロジェクトが増加することに役立てばと考えた。本セッションは、（社）日本免震構造協会の協力のもと、東京工業大学の和田章、日建設計の小堀徹が企画し、司会として会議運営も行った。

セッションには、全体で13人の講演者が予定されていたが、1名の不参加があり、実際には12名がプレゼンテーションを行った。このセッションには17編のアブストラクトが寄せられたが、その中から当初オーラル・セッションに12編、ポスター・セッションに4編が選出された。その後、ほかのセッションに提出されたアブストラクトのうち、当セッションでの発表がふさわしいと判断されたものを加え、最終的には13編が

オーラル・セッションに割り当てられた。国別に見ると、日本が8編、イタリア2編、ギリシャ2編、アメリカ合衆国1編となっている。

各論文のタイトルと発表者は表1のとおりであるが、テーマは多岐にわたり、日本やヨーロッパの免震構造の実情を概観するものから多彩な実施例の紹介までバラエティに富んでいる。また実施例も、大スパン屋根や超高層ビルへの適用、さらに高層ビルにおける中間層免震の採用や大規模免震レトロフィットなど、幅広い実例が紹介された。セッションの企画の段階では、これに加えて免震構造による木造住宅の設計紹介も考慮に入れられていたが、あいにく最終的な論文提出に至らなかったのは残念なことであった。とはいえ広範囲に応用されるようになった免震構造の実情を示すラインナップになったと考えられ、免震構造の可能性を示唆するユニークなプロジェクト紹介という企画当初の意図は十分に達成されたと考えられる。

セッション当日の様子は写真1に示すとおりであるが、会場がやや狭かったこともあり、椅子席は満杯となり、立ち見も出るという盛況振りであった。日本の発表者が多いのは事前の宣伝の効果だと思われるが、会場を埋めた聴衆の国籍は多様であり、この技術の国際的な広がりを感じさせるものとなった。

発表の内容は、日本の実例がユニークなアイデア、それらを実現させる技術力、性能確保のための検証内容などすべての面にわたって高いレベルを示したと考えられる。それぞれの内容については活発な質疑応答が行われ、また国による設計法や基準の違いなどに話題は及んだが、語学力の問題もあって日本の立場での議論参加が十分に行えなかったことは、発表内容が優れていただけに惜しまれる。それでも言葉の壁を乗り



写真1 満員の免震構造セッション

越えて積極的に国際舞台に参加することは非常に重要であり、このセッションにおいて日本の免震構造における存在感を示すことはできたと考えられる。

制振構造技術 (10月14日午前)

免震と同様、「制振建物の目覚しい実例」という特別セッションを主催し、制振建築の可能性を著しく拡張するようなプロジェクトを紹介した。本セッションは、(社)日本免震構造協会の協力のもと、東京工業大学の笠井和彦が企画した。司会は、欧州の免震・制振研究の代表格Alessandro Martelli (イタリア) と笠井である。

このセッションは、午前8時からと10時10分からの2つのサブセッションに分けて運営された(表2)。会場は朝1番のサブセッションから満席が続き、立ち見の聴講者も非常に多かった。口頭発表は日本9件、欧州3件、米国1件、台湾1件であり、また、聴講者は外国人(地元の中国、欧州、米国)が多かった。口頭発表に対して盛んに質問が出て、熱心な議論がなされた。

第1、第2サブセッションそれぞれの冒頭で、日本と欧州の制振設計法の現状報告があり、その後、様々な変形依存ダンパーや速度依存ダンパーの「目覚ましい」適用例を示した。

新築のほか、今後急増すると思われる高層建築補修に関し、多くの問題を克服したきめ細かい方法、わざと免震のように最下階を柔らかくして地震エネルギーを吸収する方法など、興味深い発表があった。イノベティブな手段として、最上階や典型階を質量ダンパーのように扱う方法や、高層建物に宿命的に存在して制振効率を下げると思われてきた曲げ変形モードを、逆に活用する方法の発表もあった。

日本からの口頭発表では、日本の制振技術や考え方が、世界のトップレベルにあることを明確に認識させるような内容のものが多かったと思う。ただし、一部の日本の事例では、アイデアはユニークではあるが、それらを実現させる技術力、性能確保のための検証内容などに疑問を感じさせるものもあった。

早期地震警報システム (10月14日午後)

本セッションは、早期地震警報システムに関する最新の研究成果の発表と意見交換の場として、筆者、東北大学の源栄正人が企画したものである。源栄とリアルタイム地震情報利用協議会(REIC)の藤縄幸雄専務理事の司会により、2つのサブセッションに分けて行われた(表3)。

第1サブセッションでは、日本での緊急地震速報とその利活用に関する現状報告、第2サブセッションでは、オンサイトの地震警報システムや前線波形情報を用いた高精度地震動予測などに関するシステム研究やオンサイトのシステム紹介や最近の研究成果の報告がなされた。

聴講者は外国人(地元・中国をはじめ東南アジア、トルコ、米国、フランスなど)が多く、会場はほぼ満席となり、日本の緊急地震速報に関する発表やオンサイトのシステムの紹介、前線波形情報を用いた高精度地震動予測などに熱心な質疑応答がなされた。

主な質疑内容としては、システムの詳細、誤報の問題、半導体工場での利活用の詳細と有用性、余裕時間の短い場合に対する建設現場の対処、震度以外の地震動の尺度の検討、オンサイトP波検知の詳細、P波の波形情報からのスペクトル推定手法などであった。



写真2 発表の様子: 鹿島建設の神田氏と司会の筆者(源栄)

また、本セッションを聴講した中国・地震災害防御中心の楊振宇博士より、以下の2点の感想をメールでいただいた(原文: 英語)。

1) 本セッションで紹介された日本の早期地震警報システムは中国でも成し遂げるべき良い目標であり、中国としても今後海外特に日本との協力が期待される。
2) 中国の四川地震では多くの小中学生が犠牲になったことにショックをうけており、科学者と技術者の協力によりこのような被害を回避すべく努力を公的に行うべきである。その観点から、学校における緊急地震速報システムが6月14日の岩手宮城内陸地震の際に有効に作動し、100 km離れた中学校で100名の生徒が避難したという筆者(源栄)による成功例の報告は、今後中国において、学校の防災対策における早期地震警報の導入に向け、中国の科学者と技術者を励ますものである。

以上、本セッションにおいて、日本における早期地震警報に関する研究の現況を外国の研究者・技術者を交えて紹介・討議したことは、今後の早期地震警報の中国を始めとして世界的な普及に向けて意義があった。

表1 免震構造セッションの口頭発表者・著者

<p>免震建物の目覚しい事例 10月13日 13:30 - 15:20 司会：和田章（東京工業大学） 小堀徹（日建設計株式会社）</p> <p>1) 免震構造設計の現状：可見長英, 日本免震構造協会（日本） 2) ヨーロッパにおける先端的な耐震システムの応用の最近の発展（Part 1 免震）：Alessandro Martelli and Massimo Forni, ENEA（イタリア） 3) 大規模高層ビルの免震レトロフィット：西澤崇雄, 日建設計（日本） 4) 2棟の大規模建物の一体化による医療施設の免震レトロフィット：鱒沢曜, 久田嘉章, イー・アール・エス（日本） 5) 免震により実現したユニークな建築形態：中井政義, 竹中工務店（日本） 6) 世界最大の免震プロジェクト：Alberto Dusi and Marco Mezzi, Univ. of Perugia（イタリア）</p> <p>10月13日 15:40 - 17:30 司会：和田章（東京工業大学） 小堀徹（日建設計株式会社）</p> <p>7) ギリシャの免震構造の動的挙動：Christos Giarelis, Christos Kostikas, Evlaia Lambrinou, and Mary Dalakiouridou, Ometesa（ギリシャ） 8) 大空間屋根構造の免震と京都アクアリーナの設計：金田勝徳, (株) 構造計画 プラス・ワン 9) セミアクティブ免震を用いた超高層ビルの設計：篠崎洋三, 細澤治, 藤山淳司, 武谷政國, 長島一郎, 欄木龍大, 大成建設（日本） 10) 断層に隣接する地域にたつ重要施設に粘性ダンパーを追加する免震システムの革新的な設計例：Saif Hussain, Coffman Engineers（米国） 11) 塔頂（やじろべえ）免震構造の開発：中村豊, 猿田正明, 中西力, 和田章, 竹内徹, 彦根茂, 高橋航一, 清水建設（日本） 12) 高層ビルの中間層免震構造システム：常木康弘, 鳥井信吾, 村上勝英, 末岡利之, 日建設計（日本）</p>

表2 制振構造セッションの口頭発表者・著者

<p>制振建物の目覚しい事例 10月14日 8:00-9:50 司会：Alessandro Martelli（ENEA, イタリア） 笠井和彦（東京工業大学）</p> <p>1) 制振構造設計・研究の現状：笠井和彦, 東京工業大学（日本） 2) 鋼材ダンパーを用いた実施例：大原和之, 城所竜太, オーヴ・アラップ・ジャパン（日本） 3) エネルギー吸収部材による脆弱なRC構造の補修法：David J. Dominguez, Francisco Lopez-Almansa, and Amadeu Benavent-Climent, Technical Univ. of Catalonia（スペイン） 4) 高層建築補修に伴う種々の問題の克服と制振ダンパーの効果的な適用の例：小崎均, 日建設計（日本） 5) 制振部材によって補修された34層鉄骨建物の耐震性能評価：Yuan-Tao Weng, Ker-Chyuan Tsai, Pei-Ching Chen, and Ya-Ran Chan, National Center for Research on Earthquake Engineering（台湾） 6) 高性能摩擦ダンパーの開発：佐野剛志, 勝俣英雄, 大林組（日本） 7) 曲げ変形制御型制震構造の構造原理及び実用化に関する研究：五十殿侑弘, 小堀鐸二研究所（日本）</p> <p>10月14日 10:10-12:00 司会：笠井和彦（東京工業大学） Alessandro Martelli（ENEA, イタリア）</p> <p>8) ヨーロッパにおける先端的な耐震システムの応用の最近の発展（Part 2 制振）：Alessandro Martelli and Massimo Forni, ENEA（イタリア） 9) ソフト・ファースト・ストーリー建築物の制振システム：早部安弘, 渡邊祐一, 大成建設（日本） 10) 粘性ダンパーを用いた高層建築の設計：Saif Hussain and Mohamed Al Satari, Coffman Engineers（米国） 11) 建物最上階部分を利用した大型TMDによる超高層RC建物の制震：牧野章文, 今宮実三郎, 佐橋睦雄, 竹中工務店（日本） 12) 地震発生確率中程度の地中海沿岸域におけるパッシブ制振構造の開発と適用（スペインの例）：Amadeo Benavent-Climent, U. of Granada（スペイン） 13) 粘性型ダンパーを採用して耐震性能を高めた構造設計例：徳田幸弘, 日建設計（日本） 14) 時計の振り子運動から発想した新しい応答制御構造の紹介：城所竜太, 大原和之, オーヴ・アラップ・ジャパン（日本）</p>
--

表3 早期地震警報システムセッションの口頭発表者・著者

<p>早期地震警報システム 10月14日 13:30 - 15:20 司会：源栄正人 (東北大学) 藤縄幸雄 (リアルタイム地震情報利用協議会)</p> <p>1) 日本における緊急地震速報：一般提供とその結果, 土井恵治(司会の藤縄幸雄が代理発表), 気象庁 (日本)</p> <p>2) 日本における緊急地震速報を活用した地震災害対策の推進：藤縄幸雄, REIC リアルタイム地震情報利用協議会 (日本)</p> <p>3) 学校における緊急地震速報システムの利活用：源栄正人, 東北大学 (日本)</p> <p>4) 日本における半導体工場でのリアルタイム地震防災システム：吉岡献太郎, 本間文孝, 宮城沖電気 (日本)</p> <p>5) 地震被害低減を目的とした緊急地震速報活用戦略： 目黒公郎, 東京大学 (日本)</p> <p>10月14日 15:40 - 17:30 司会：藤縄幸雄 (リアルタイム地震情報利用協議会) 源栄正人 (東北大学)</p> <p>6) 災害低減のためのサイト特性を考慮した早期地震警報システムの開発：神田克久, 宮村正光, 那須正, 阿倍雅史, 鹿島建設 (日本)</p> <p>7) 初めての實用P波警報システムと災害対策事例：中村豊, システムアンドデータリサーチ (日本)</p> <p>8) オンサイト/ネットワーク警報システムの利活用：齊田淳 (中村豊が代理発表), システムアンドデータリサーチ (日本)</p> <p>9) 建築物における地震被害予測と早期警報：Maria I. Todorovska and Mihailo D. Trifunac, 南カリフォルニア大学 (米国)</p> <p>10) 構造被害における建築物の振動周波数の変動－元ユーゴスラビア・ブリク2ビルにおける観測結果の解析：Mihailo D. Trifunac, Maria I. Todorovska, Miodrag I. Manic, and Borko Dz. Bulajic (Maria I. Todorovskaが代理発表), 南カリフォルニア大学 (米国)</p> <p>11) 先駆な工学的応用を目的とした地域および国の早期地震警報システムを利用した宮城県沖地震に対する地震動のスペクトル予測：セルダル・クユク, 源栄正人, 本間誠, 東北大学 (日本)</p>



会員・役員・委員会の状況

(1) 会員の異動

会員種別	2008.6月末 会員数	2008年7月から2008年12月							
		入会者	学→正	正→名誉	退会者	除名者	除名復帰	異動計	現在総数
名誉会員	16							0	16
正会員	1,186	14	1		8		2		1,195
学生会員	70	28	1		5				92
法人会員	94	2						2	96

(2008年12月18日理事会承認)

新入会員氏名

正 会 員：高浜 勉 (㈱構造計画研究所)

見波 進 (首都大学東京)

安倍 祥 (㈱社会安全研究所)

山田 真澄 (京都大学)

野口 聡 (東急建設㈱)

高橋 徹 (千葉大学)

今塚 善勝 (㈱大林組)

学生会員：蓮本 浩介 (立教大学)

桑原 里紗 (東京大学)

鈴木 大輔 (千葉大学)

高橋 絵里 (東京大学)

裴 根國 (東京大学地震研究所)

豊田安由美 (筑波大学)

仲里 英晃 (筑波大学)

加藤 圭太 (千葉大学)

田端 雅史 (筑波大学)

Botirjon YORKINOV (豊橋技術科学大学)

村瀬 信吾 (信州大学)

PHAN Van Quang (東京大学)

西川 泰子 (関東学院大学)

田中 良一 (工学院大学)

Rahman Nd.Mijanur (千葉大学)

法人会員：社団法人 日本クレーン協会 (C級)

サンシステムサプライ株式会社 (C級)

※各会員種別内は入会順です。(2008年7月～2008年12月18日現在 理事会承認)

村尾 修 (筑波大学)

高木 次郎 (首都大学東京)

干場 充之 (気象庁気象研究所)

稲垣 賢亮 (応用地質㈱)

坂下 雅信 (京都大学)

益野 英昌 (仙台工業高等学校)

梶谷 義雄 (電力中央研究所)

林 秀樹 (首都大学東京)

西脇 一樹 (茨城大学)

刘 雯 (千葉大学)

佐々木辰也 (福井工業高等専門学校)

近藤 隆幸 (首都大学東京)

青井 淳 (筑波大学)

中川 学 (信州大学)

和田 幸子 (信州大学)

廣瀬 泰三 (豊橋技術科学大学)

中川 文寛 (筑波大学)

油川 健樹 (東北大学)

大橋 正 (岐阜大学)

横山 一樹 (東京理科大学)

(2) 名誉会員

青山 博之

石原 研而

和泉 正哲

太田 裕

岡田 恒男

志賀 敏男

篠塚 正宣

柴田 明德

柴田 拓二

柴田 碧

田治見 宏

田中 貞二

田村重四郎

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
(各種団体)
社団法人プレハブ建築協会

【A級】

(建設)

株式会社大林組
株式会社奥村組
小田急建設株式会社
株式会社熊谷組
株式会社竹中工務店
戸田建設株式会社
(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
社団法人土木学会
社団法人日本建築学会
財団法人日本建築センター
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
株式会社間組
(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
ビューローベリタスジャパン株式会社
(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
(建材・システムなど)

株式会社エヌ・ティー・エス
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
株式会社本間組
真柄建設株式会社
(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
株式会社スリーエーコンサルタンツ
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
株式会社ベクトル総研
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
(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
財団法人日本建築総合試験所
社団法人日本ボイラ協会
社団法人日本免震構造協会
(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
エイム株式会社
サンシステムサプライ株式会社

(4) 平成20年度役員一覧

会 長	鈴木 浩平	(首都大学東京 副オープンユニバーシティ長)
次期会長	* 濱田 政則	(早稲田大学理工学術院 教授)
副会長	鈴木 祥之	(立命館大学グローバルイノベーション推進機構 教授)
副会長	西谷 章	(早稲田大学理工学術院 教授)
副会長	* 武村 雅之	(鹿島建設(株)小堀研究室 プリンシパル・リサーチャー)
副会長	* 吉田 望	(東北学院大学工学部 教授)
理事(総務)	勝俣 英雄	((株)大林組技術研究所構造技術研究部 部長)
理事(総務)	* 犬飼 伴幸	((株)竹中工務店技術研究所建設技術開発部 研究主任)
理事(総務会計)	鈴木 康嗣	(鹿島建設(株)技術研究所都市防災・風環境グループ上席研究員)
理事(会計)	* 佐藤 清隆	((財)電力中央研究所地球工学研究所 領域リーダー上席研究員)
理事(会員)	柏崎 昭宏	((株)IHI 技術開発本部 管理部 部長)
理事(会員)	* 金子 美香	(清水建設(株)技術研究所 主任研究員)
理事(学術)	吉田 郁政	(武蔵工業大学工学部 教授)
理事(学術)	笠井 和彦	(東京工業大学建築物理研究センター 教授)
理事(情報)	志波由紀夫	(大成建設(株)技術センター土木技術研究所 主席研究員)
理事(情報)	* 大堀 道広	(海洋研究開発機構海洋工学センター 技術研究主任)
理事(事業)	* 中村 英孝	((独)原子力安全基盤機構耐震安全部 上席研究員)
理事(事業)	源栄 正人	(東北大学大学院工学研究科 教授)
理事(事業)	* 芳村 学	(首都大学東京大学院都市環境科学研究科 教授)
理事(事業)	* 福和 伸夫	(名古屋大学大学院環境学研究科 教授)
理事(調査研究)	三輪 滋	(飛鳥建設(株)技術研究所 所長)
理事(調査研究)	* 翠川 三郎	(東京工業大学大学院総合理工学研究科 教授)
監 事	工藤 一嘉	(日本大学総合科学研究所 教授)
監 事	* 高田 至郎	(イラン・アザド大学科学研究センター 教授)

* 印新任：平成20年6月1日～平成22年5月31日(2年)

(5) 平成20年度委員会および委員長一覧

選挙管理委員会	委員長	金子美香(理事、清水建設)
役員候補推薦委員会	委員長	犬飼伴幸(理事、竹中工務店)
法人化検討委員会	委員長	鈴木康嗣(理事、鹿島建設)
電子広報委員会	委員長	大堀道広(理事、海洋研究開発機構)
会誌編集委員会	委員長	志波由紀夫(理事、大成建設)
事業企画委員会	委員長	中村英孝(理事、原子力安全基盤機構)
大会実行委員会	委員長	源栄正人(理事、東北大学)
国際委員会	委員長	笠井和彦(理事、東京工業大学)
論文集編集委員会	委員長	吉田郁政(理事、武蔵工業大学)
研究統括委員会	委員長	鈴木祥之(副会長、立命館大学)
地震災害対応委員会(常置)	委員長	中埜良昭(東京大学)
土構造物におけるライフサイクルコスト戦略の研究委員会	委員長	東畑郁生(東京大学)
リモートセンシング技術を用いた災害軽減に関する研究委員会	委員長	山崎文雄(千葉大学)
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)
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)



行 事

本会主催による実施行事

2008年7月1日～12月31日

日 程	行事名	
2008年8月19日～21日	東京都防災展開催(主催 東京都) 本会出展	主催
2008年10月2日	「E-ディフェンス橋梁耐震実験見学会」	主催
2008年11月3日～5日	日本地震工学会 大会2008(仙台)開催	主催
2008年11月3日	1978年宮城県沖地震30周年シンポジウム開催	主催
2008年11月5日	津波災害の軽減方策のいま・みらい・シンポジウム開催	主催

共催・後援・協賛した行事

2008年7月1日～12月31日

日 程	行事名	
2008年7月15日	四川大地震復旧技術支援連絡会議復旧技術支援チーム報告会開催 (6学会合同チーム)	共催
2008年8月29日	IAEE・日本地震工学会共同主催 「最近の中・日の地震被害報告」開催	共催
2008年10月21日～23日	物理探査学会創立60周年記念シンポジウム「社会に貢献する物理探査」	協賛
2008年11月3日	第3回「震災対策技術展/自然災害対策技術展」宮城	後援
2008年11月4日	第10回都市防災推進セミナー「第2回耐震グランプリ耐震がつくる安心安全な地域社会」	後援
2008年11月10日	特定非営利活動法人 国境なき技師団主催 第4回定例セミナー	協賛
2008年12月4日～5日	「緊急地震速報講習会・展示会 2008 東海」	共催
2008年12月11日	増大する地震動レベルと建物の終局耐震性の課題と展望ー地震動と建築物の耐震性との関係を横断的に評価する指標の確立に向けてー	後援
2008年12月13日	2008年度計算力学技術者(固体力学分野の有限要素法解析技術者)ならびに計算力学技術者(熱流体力学分野の解析技術者)に関する認定事業	協賛
2008年12月13日～15日	「地震防災の学習教材の現状に関する展示会」	共催

今後の行事予定

2009年1月現在

日 程	行事名	
2009年1月15日	地震防災フォーラム08 -文化遺産を地震から守る-	協賛
2009年1月22日	見学会「E-ディフェンス首都直下地震防災・減災実験見学会」	主催
2009年2月5日～6日	第13回「震災対策技術展/自然災害対策技術展」横浜	後援
2009年2月6日	第28回震災予防協会講演会「内陸直下地震と火山」	後援
2009年2月23日	セミナー「実務で使う地盤の地震応答解析」	主催
2009年3月4日～6日	各種災害リスク低減のためのシンポジウム「Cooperative Actions for Disaster Risk Reduction(CADRR)」	後援
2009年3月9日	講習会「最新の地盤震動研究を活かした強震波形の作成法」	後援
2009年3月11日	セミナー 地盤構造物におけるライフサイクルコスト戦略	主催
2009年3月12日	第10回地震災害マネジメントセミナー開催	後援
2009年6月予定	第58回理論応用力学講演会	共催



会務報告

2008年7月1日～2008年12月31日

07月01日(火)	・JAEE NEWS No.168 配信
07月03日(木)	・総務部会開催 鈴木会長、濱田次期会長、勝俣総務理事、犬飼総務理事、鈴木会計・総務理事他(於 建築会館307会議室 17時00分～19時00分)
07月10日(木)	・会計税理士(涌井税務会計事務所)6月定期監査実施(於 本会事務所13時30分～17時00分)
07月14日(月)	・会誌編集委員会開催 志波理事・委員長、上半幹事他(於 建築会館308会議室 17時00分～19時00分)
07月15日(火)	・四川大地震復旧技術支援連絡会議開催(本会他6学会) 鈴木代表委員・本会副会長、中埜良昭代表委員・本会地震災害委員会委員長、嶋原事務局長出席(於 土木学会CD会議室 13時00分～14時00分)
07月17日(木)	・四川大地震復旧技術支援連絡会議復旧技術支援チーム報告会開催(本会他) 講師 濱田政則委員長、中埜良昭代表委員他(於 土木学会AB会議室 14時00分～17時00分) 鈴木代表委員・本会副会長出席他
07月23日(水)	・JAEE NEWS No.169 配信 ・国際委員会開催 笠井理事・委員長他(於 建築会館307会議室 16時00分～19時00分) ・会誌編集委員会打合せ 志波理事・委員長、上半幹事他(於 本会事務所 17時30分～19時00分)
07月24日(木)	・岩手県北部沿岸地震発生 ・国際委員会15WCCE WG 笠井理事・委員長、小檜山委員他(於 建築会館308会議室 9時00分～12時00分)
07月29日(火)	・鈴木会長、濱田次期会長、勝俣総務理事、嶋原事務局長打合せ(於 本会事務所 10時00分～12時00分) ・新法人法への対応シンポジウム開催－学協会の公益性の確立に向けて－ 日本学術会議主催 鈴木総務・会計理事、嶋原事務局長出席(於 日本学術会議講堂 13時30分～17時30分)
07月31日(木)	・会長・副会長会議開催 鈴木会長、鈴木副会長、西谷副会長、吉田副会長、武村副会長、総務理事他(於 建築会館301会議室 16時00分～17時00分) ・第70回理事会開催 鈴木会長、濱田次期会長他(於 建築会館301会議室 17時00分～20時30分)
08月01日(金)	・法人化検討委員会開催 鈴木会長、濱田次期会長、鈴木(康)理事・委員長、勝俣理事・委員、犬飼理事・委員、石川委員、嶋原事務局長(於 建築会館307会議室 13時30分～15時00分) ・JAEE NEWS No.170 配信
08月06日(水)	・鈴木会長、濱田次期会長、笠井理事・国際委員会委員長及び委員懇談(於 建築会館307会議室 15時00分～16時30分)
08月07日(木)	・国際委員会開催 鈴木会長、笠井理事・委員長他(於 建築会館306会議室 9時30分～12時00分)
08月19日(火)	・原子力発電所の地震問題に関する調査委員会(地震安全特別専門委員会 地震動分科会)準備会開催 出席 亀田弘行先生、中村事業理事他 日本原子力学会、日本地震工学会 (於 JNES 別館13F A会議室 16時00分～19時00分) ・東京都防災展開幕 日本地震工学会出展(事業企画委員会企画担当)参加:東京都主催、東京都、新宿区、本会、土木学会、防災関係事業他 (会場:新宿駅西口広場イベントコーナー 期間:19日(火)～21日(木) 10時～17時) ・IAEE日本事務局家村事務局長よりIAEE、JAEE共催による「最近の中・日の地震被害報告会・交流会」開催依頼受領 ・同 IAEE、JAEEによる「最近の中・日の地震被害報告会・交流会」共催についてのメール審議(総務理事)
08月20日(水)	・臨時 JAEE NEWS 配信 (IAEE、JAEE共催「最近の中・日の地震被害報告会・交流会」開催案内)
08月21日(木)	・津波委員会開催 松富委員長他(於 建築会館307会議室 13時00分～16時00分)
08月22日(金)	・人材派遣候補者と面談 野村愛子さん採用決定(人材派遣会社(株)パソナと契約)

08月25日(月)	・事業企画委員会開催 中村理事・委員長他(於 建築会館307会議室 15時00分～18時00分)
08月26日(火)	・派遣職員 野村愛子さん勤務
08月29日(金)	・IAEE・JAEE共催「最近の中・日の地震被害報告会・交流会」開催 鈴木会長挨拶、IAEE家村事務局長進行、LIU Yuchen氏(中国地震局副局長)、QI Xiaozhai博士(14WCEE組織委員会事務局長)他4名紹介 報告会講師:WANG Zifa博士(中国工程力学研究所長)、川島一彦教授(東京工業大学)他3名 建築会館ホール 参加者80名 17時より懇談会開催 勝俣総務理事記録(報告資料0904-06)
09月01日(月)	・JAEE NEWS No.171 配信 ・臨時JAEE NEWS 配信(第6回日本地震工学会・大会-2008のお知らせ)
09月04日(木)	・総務部会開催 鈴木会長、吉田副会長、勝俣総務理事、犬飼総務理事、鈴木総務・会計理事、嶋原事務局長(於 建築会館305会議室 17時00分～19時00分)
09月09日(火)	・会計税理士(涌井税務会計事務所)7・8月定期監査実施(於 本会事務所13時00分～17時00分)
09月10日(水)	・臨時JAEE NEWS 配信(JAEE大会2008投稿延長・E-ディフェンス橋梁耐震実験見学会のお知らせ) ・JAEE大会2008投稿原稿締切日を15日に延長する(大会実行委員会)
09月15日(月)	・JAEE大会2008投稿原稿締切日
09月16日(火)	・JAEE NEWS No.172 配信
09月18日(木)	・臨時JAEE NEWS 配信(文部科学省研究開発局地震・防災研究課地震調査研究推進本部事務局より「新たな地震調査研究の推進について」に関する意見募集について)
09月22日(月)	・将来問題検討委員会準備会開催 鈴木会長、濱田次期会長、勝俣総務理事、犬飼総務理事、鈴木総務・会計理事 嶋原事務局長(於 建築会館304会議室 16時00分～18時00分)
09月30日(火)	・井関職員退職
10月01日(水)	・JAEE NEWS No.173 配信
10月02日(木)	・会長・副会長会議開催 鈴木会長、濱田次期会長、鈴木副会長、西谷副会長、吉田副会長、武村副会長、総務理事他(於 建築会館302・303会議室 16時00分～17時00分) ・第71回理事会開催 鈴木会長、濱田次期会長他(於 建築会館302・303会議室 17時00分～20時30分) ・本会主催「E-ディフェンス橋梁耐震実験見学会」実施 会場:独立行政法人防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センター 12時30分～17時00分(事業企画委員会企画)参加者30名
10月09日(木)	・会誌編集委員会開催 志波理事・委員長他(於 建築会館308会議室 15時00分～17時00分)
10月12日(日)	・14th World Conference on Earthquake Engineering (14WCEE)開催 -OCTOBER 12-17,2008 BEIJING,CHINA- 中国・北京市(Beijing Jiu Hua SPA & Resort) 笠井理事・国際委員会委員長他
10月17日(金)	・JAEE 特別セッション ・ Part1.免震構造技術(10月13日) ・ Part2.制振構造技術(10月14日) ・ Part3.早期地震警報システム(10月14日) ・JAEE EXHIBITION 出展(10月12日～10月17日)
10月15日(水)	・JAEE NEWS No.174 配信
10月16日(木)	・会計税理士(涌井税務会計事務所)9月定期監査実施(於 本会事務所10時30分～15時00分)
10月20日(月)	・将来問題検討委員会(第1回)開催 鈴木会長(委員長)他8名委員出席(於 建築会館303会議室 16時30分～18時40分)
10月31日(金)	・JAEE NEWS No.175 配信
11月03日(月)	・平成20年度秋の叙勲 瑞宝章中綬章 柴田拓二名誉会員 鈴木会長より祝詞

11月03日(月) ～ 11月05日(水)	<ul style="list-style-type: none"> ・日本地震工学会 大会-2008(仙台)開催 源栄正人(理事)大会実行委員会委員長、大野晋幹事長他 期間：2008年11月3日(月)～11月5日(水) 場所：仙台市情報・産業プラザ(仙台市青葉区) ①1978年宮城県沖地震30周年シンポジウム開催(11月3日) <ul style="list-style-type: none"> 1. 特別招待講演：講師：柴田明德東北大名誉教授、長谷川昭東北大名誉教授 2. パネルディスカッション：太田裕本会名誉会員、鈴木浩平会長他 ②大会学術講演会開催：仙台市情報・産業プラザ多目的ホール、セミナールーム会議室他 <ul style="list-style-type: none"> ・発表題数：181題 ・参加者延べ 300名 ③大会懇親会開催 参加者85名 ④地震工学技術フェア開催：仙台市情報・産業プラザ展示スペース <ul style="list-style-type: none"> ・展示出展社：8社
11月05日(水)	<ul style="list-style-type: none"> ・津波災害の軽減方策のいま・みらい シンポジウム 主催本会「津波災害の軽減方策に関する研究委員会」松富英夫委員長他 講師：今村文彦(東北大学教授)他5名(於 みやぎ産業交流センター(夢メッセ MIYAGI)会議室 13時00分～17時00分)参加者40名 本会後援【第3回「震災対策技術展」/「自然災害対策技術展」宮城】の行事の1つとして開催
11月11日(火)	<ul style="list-style-type: none"> ・役員候補推薦委員会開催 犬飼総務理事、勝俣総務理事、岩田委員他10名(於 建築会館307会議室 14時00分～16時00分)
11月14日(金)	<ul style="list-style-type: none"> ・George W. Housnerカリフォルニア工科大学名誉教授11月10日逝去
11月17日(月)	<ul style="list-style-type: none"> ・JAEE NEWS No.176 配信
11月20日(木)	<ul style="list-style-type: none"> ・将来問題検討委員会(第2回)開催 鈴木会長(委員長)、濱田次期会長他(於 建築会館304会議室 13時30分～15時30分) ・事業企画委員会開催 中村理事・委員長他(於 建築会館305会議室 15時00分～18時00分) ・会長・副会長会議開催 鈴木会長、濱田次期会長、鈴木副会長、吉田副会長、武村副会長、総務理事他(於 建築会館304会議室 16時00分～17時00分) ・第72回理事会開催 鈴木会長、濱田次期会長他(於 建築会館304会議室 17時00分～19時20分)
11月22日(土)	<ul style="list-style-type: none"> ・IAEE事務引継ぎ及びJAEEとの今後の方針について懇談 芳村理事(IAEE事務局長)、JAEE家村元副会長(IAEE前事務局長)、勝俣総務理事、嶋原事務局長、芳村、家村夫人(於 本会事務所 11時00分～15時00分)
11月25日(月)	<ul style="list-style-type: none"> ・会計税理士(涌井税務会計事務所)10月定期監査実施及び鈴木会計総務理事との懇談(於 本会事務所10時30分～15時00分) ・日本地震工学シンポジウム委員長要請について 鈴木会長、福和理事、勝俣総務理事出席にて、和田章東京工業大学教授に委員長要請(於 建築会館アゴラ 10時00分～11時20分)
11月28日(金)	<ul style="list-style-type: none"> ・選挙管理委員会開催 勝俣理事、金子理事・委員長他(於 本会事務所 16時00分～17時30分)
12月01日(月)	<ul style="list-style-type: none"> ・JAEE NEWS No.177 配信
12月03日(水)	<ul style="list-style-type: none"> ・会誌編集委員会開催 志波理事・委員長他(於 建築会館307会議室 14時00分～16時30分)
12月11日(木)	<ul style="list-style-type: none"> ・将来問題検討委員会(第3回)開催 鈴木会長(委員長)、濱田次期会長他(於 建築会館307会議室 13時30分～15時30分)
12月16日(火)	<ul style="list-style-type: none"> ・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14時00分～18時00分)
12月18日(木)	<ul style="list-style-type: none"> ・会長・副会長会議開催 鈴木会長、鈴木(祥)副会長、西谷副会長、吉田副会長、総務理事他(於 建築会館304会議室 15時00分～16時00分) ・第73回理事会開催 鈴木会長、濱田次期会長他(於 建築会館304会議室 16時00分～18時30分) ・日本地震工学シンポジウム準備会 和田章委員長(東京工業大学教授)、福和理事、勝俣総務理事(於 建築会館303会議室 12時30分～14時30分)
12月26日(金)	<ul style="list-style-type: none"> ・津波委員会開催 松富委員長他(於 建築会館306会議室 13時30分～16時00分) ・事務所仕事納



論文集目次・出版物

日本地震工学会論文集 第8巻 第3号・第4号

Journal of Japan Association for Earthquake Engineering, Vol.8, No.3-No.4

目 次

第8巻・第3号

- | | | |
|---|-----------------------------------|--------|
| 1. 論文集編集委員会から | 本会論文編集委員会
(論文) | |
| 2. 経年変化が懸造形式伝統木造建築物の耐震性能に与える影響 | 大岡 優、鈴木 隆志、伊津野 和行、土岐 憲三 | 1-18 |
| 3. 横浜市高密度強震計ネットワークの記録に基づく地盤増幅度と地盤の平均S波速度との関係 | 翠川三郎、駒澤真人、三浦弘之 | 19-30 |
| 4. 基礎励振を受ける二重構造体のすべり・ロッキング運動における内部構造物の影響に関する検討 | 古田和久、伊藤智博、新谷篤彦 | 31-45 |
| 5. 再液状化メカニズムに関する実験的研究 | 山口晶、吉田望、飛田善雄
(報告) | 46-62 |
| 6. 2007年新潟県中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所での地中地震動
—ペンレコードの数値化による地震動の推定— | 田中信也、真下 貢、湯沢 豊、中島由雄、
高橋裕幸、工藤一嘉 | 63-78 |
| 7. 2007 年能登半島地震における強震観測点周辺の被害状況と地震動との対応性 | 境有紀、野尻真介、熊本匠、田中佑典 | 79-106 |

第8巻・第4号

- | | | |
|---|--|-------|
| 1. 論文集編集委員会から | 本会論文編集委員会
(論文) | |
| 2. 常時微動のH/Vスペクトル比と地形・地盤分類を用いたスペクトル増幅率の推定 | 先名重樹、翠川三郎、若松加寿江 | 1-15 |
| 3. DESIGN EARTHQUAKE GROUND MOTIONS FROM PROBABILISTIC
RESPONSE SPECTRA: CASE STUDY OF NEPAL | Hari PARAJULI, Junji KIYONO, Yusuke ONO
and Takahiro TSUTSUMIUCHI | 16-28 |
| 4. 洪積台地の震動特性に与える斜面の影響 | 永田葉子、中井正一、関口徹 | 29-45 |
| 5. 航空画像を用いた都市部における地震災害後の道路閉塞状況解析 | 河合莊景、佐治斉
(報告) | 46-58 |
| 6. 2007 年新潟県中越沖地震における強震観測点周辺の被害状況と地震動の対応性 | 境有紀、川岡裕康、林佑樹、飯塚裕暁 | 59-93 |

日本地震工学会出版物

刊行図書

2008.12.01現在

刊行日	題名	在庫	価額		
			正会員	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

資料集

刊行日	題名	在庫	価額		
			正会員	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-活断層調査・地盤構造調査は地震防災にどう活かされたか？」	○	¥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
2001.11.28	第一回日本地震工学研究発表・討論会	○	¥7,000	¥9,000	¥4,000
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
2005.01.31	日本地震工学会誌 No. 1	○	¥1,000	¥1,500	¥1,000
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
2006.11.03	第12回日本地震工学シンポジウム (CD-ROM版)	○	¥5,000	¥5,000	¥5,000
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

※送料は別途実費でいただきます。



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めた活動を行うための学会として2001年1月1日に発足しました。その目的は、地震工学の進歩および地震防災事業の発展を支援し、もって学術文化と技術の進歩と地震災害の防止と軽減に寄与することにあります。

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

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

2. 入会するには

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

3. 会員情報を変更するには

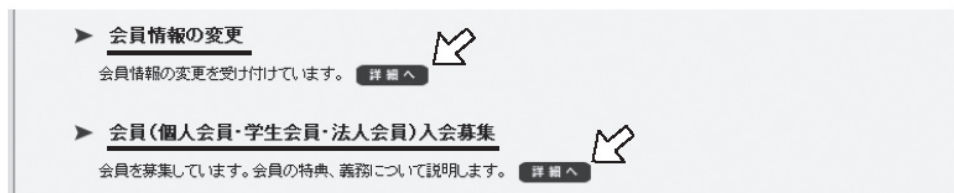
会員の方で、勤務先、住所、メールアドレス等が変更になった方は、会誌・「JAEE NEWS」等の確実な送付のため、ホームページから変更届をダウンロード、ご記入の上、事務局にお送り下さい。

4. 入会申込書・会員情報変更届けの入手と送付

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



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



- ③ 事務局への送付

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

事務局 〒108-0014 東京都港区芝5-26-20 建築会館 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。

A4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。

日本地震工学会 会誌編集委員会

〒108-0014 東京都港区芝5-26-20 建築会館 4F

TEL：03-5730-2831、FAX：03-5730-2830

電子メールアドレス：office@general.jaee.gr.jp

編集後記：

2008年岩手・宮城内陸地震での被害状況を踏まえ、気象庁では現在、震度階級関連解説表の見直しを行っています。本会誌を編集中の2009年1月20日には第2回の震度に関する検討会が開催されたそうです。実は、今回の特集「地震動の性質と被害－近年の地震からの知見－」は、気象庁から見直し方針が出される前から会誌編集委員会で準備を進めていた企画です。特集主査は編集委員でもある境有紀委員に担当していただき、各分野からバラエティーに富んだ記事をご投稿いただきました。著者の皆様には年末年始にかけて原稿執筆にご協力いただき、紙上を借りてお礼を申し上げます。

「名誉会員インタビュー」は今号からの連載記事です。学会には2009年1月現在で16人の名誉会員がいらっしゃいます。次号のインタビューもぜひご期待ください。また、会誌編集委員会では記事を投稿する際の「投稿要領」の作成を行い、今号に掲載しました。会員の皆様からの記事のご投稿をお待ちしております。会誌編集委員会では、現委員の任期満了に伴い、来年度から約半数の委員の入れ替えを予定しております。会誌編集にご興味のある方は、現委員または事務局までお問い合わせください。これからも会誌の充実に向けて努力していきたいと思っておりますので、引き続き会誌編集委員会へのご協力の程、よろしくお願い申し上げます。

大原 美保(東京大学生産技術研究所)

会誌編集委員会

委員長	志波由紀夫	大成建設	委員	境 有紀	筑波大学
副委員長	大保 直人	鹿島建設	委員	佐藤 清	大林組
幹事	上半 文昭	鉄道総合技術研究所	委員	西山 誠治	日建設計シビル
幹事	大原 美保	東京大学生産技術研究所	委員	藤本 滋	湘南工科大学
幹事	青木 繁	東京都立産業技術高等専門学校	委員	三宅 弘恵	東京大学地震研究所
委員	五十田 博	信州大学	委員	森川 信之	防災科学技術研究所

日本地震工学会誌 第9号 Bulletin of JAEE No.9

2009年1月31日発行(年2回発行)

編集・発行 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 2009

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