

Thu. Oct 29, 2020

ROOM A

Room A | Regular session | S15. Strong ground motion and earthquake disaster

[S15]PM-1

chairperson:Yo Fukushima(IRIDeS, Tohoku University),

chairperson:Yoshiaki Hisada(Kogakuin University)

1:00 PM - 2:15 PM ROOM A

[S15-01] What are Influencing Possibilities of the Strong Vertical Impulsive Seismic Motions on Viaduct-Damages of the Tohoku-Shinkansen Railway ?

○HIROSHI MAEHARA¹ (1.Geosystem Resarch Institute)

1:00 PM - 1:15 PM

[S15-02] Movement of Victims of Tokyo City in the First Step of Disaster Reconstruction from the 1923 Great Kanto Earthquake

○MASAYUKI TAKEMURA¹ (1.Nagoya University)

1:15 PM - 1:30 PM

[S15-03] Development of Earthquake Probability Transition Table as a Tool for Comprehension and Awareness for the Nankai-Trough Earthquake Scenarios

○Yo Fukushima¹, Tomoaki Nishikawa²
(1.International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University, 2.Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University)

1:30 PM - 1:45 PM

[S15-04] Causes of Fourier Amplitude Sags at Intermediate Frequencies for Simulating Broadband Strong Ground Motions using Stochastic Green's Function Methods

○Yoshiaki Hisada¹ (1.Kogakuin University)

1:45 PM - 2:00 PM

[S15-05] Study on rupture propagation effect of small and medium-sized earthquakes used as elemental earthquakes of empirical Green's function method

○Junpei Kaneda¹, Shinya Tanaka¹, Yoshiaki Hisada²
(1.Tokyo Electric Power Services Co., Ltd., 2.Prof.,Kogakuin Univ.)

2:00 PM - 2:15 PM

Room A | Regular session | S15. Strong ground motion and earthquake disaster

[S15]M-2

chairperson:Seiji Tsuno(Railway Technical Research Institute),

chairperson:Ryuta Imai(Mizuho Information &Research Institute, Inc.)

2:30 PM - 3:30 PM ROOM A

[S15-06] Improvement of IPF method with utilization of Hi-net

○Keishi Noguchi¹, Naoki Hayashimoto¹, Koji

Tamaribuchi², Yuki Koder² (1.Japan Meteorological Agency, 2.Meteorological Research Institute)

2:30 PM - 2:45 PM

[S15-07] Applicability of on-site P-wave earthquake early warning to the 2016 Kumamoto earthquake and the 2018 Hokkaido Eastern Iburu earthquake

○Seiji Tsuno¹, Katsutomo Niwa² (1.Railway Technical Research Institute, 2.JR Central Consultants Company)

2:45 PM - 3:00 PM

[S15-08] A sample generation of scenario earthquake shaking maps via modal decomposition and empirical copula

○Ryuta Imai¹, Naoki Kasui¹, Asako Iwaki², Hiroyuki Fujiwara² (1.Mizuho Information &Research Institute, Inc., 2.National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

3:00 PM - 3:15 PM

[S15-09] Toward application of large-scale numerical simulation of earthquake generation, wave propagation and soil amplification into comprehensive earthquake damage estimation

○Takane Hori¹, Tsuyoshi Ichimura², Kohei Fujita², Ryoichiro Agata¹ (1.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)

3:15 PM - 3:30 PM

Room A | Regular session | S15. Strong ground motion and earthquake disaster

[S15]PM-1

chairperson:Yo Fukushima(IRIDeS, Tohoku University), chairperson:Yoshiaki Hisada(Kogakuin University)

Thu. Oct 29, 2020 1:00 PM - 2:15 PM ROOM A

[S15-01] What are Influencing Possibilities of the Strong Vertical Impulsive Seismic Motions on Viaduct-Damages of the Tohoku-Shinkansen Railway ?

○HIROSHI MAEHARA¹ (1.Geosystem Resarch Institute)

1:00 PM - 1:15 PM

[S15-02] Movement of Victims of Tokyo City in the First Step of Disaster Reconstruction from the 1923 Great Kanto Earthquake

○MASAYUKI TAKEMURA¹ (1.Nagoya University)

1:15 PM - 1:30 PM

[S15-03] Development of Earthquake Probability Transition Table as a Tool for Comprehension and Awareness for the Nankai-Trough Earthquake Scenarios

○Yo Fukushima¹, Tomoaki Nishikawa² (1.International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University, 2.Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University)

1:30 PM - 1:45 PM

[S15-04] Causes of Fourier Amplitude Sags at Intermediate Frequencies for Simulating Broadband Strong Ground Motions using Stochastic Green's Function Methods

○Yoshiaki Hisada¹ (1.Kogakuin University)

1:45 PM - 2:00 PM

[S15-05] Study on rupture propagation effect of small and medium-sized earthquakes used as elemental earthquakes of empirical Green's function method

○Junpei Kaneda¹, Shinya Tanaka¹, Yoshiaki Hisada² (1.Tokyo Electric Power Services Co., Ltd., 2.Prof.,Kogakuin Univ.)

2:00 PM - 2:15 PM

What are Influencing Possibilities of the Strong Vertical Impulsive Seismic Motions on Viaduct-Damages of the Tohoku-Shinkansen Railway ?

*HIROSHI MAEHARA¹

1. Geosystem Research Institute

地震時にこれまで地震計で正確には観測できていない、強力な衝撃的鉛直地震動が働き、構造物にさまざまな被害を起こしていることが、土木学会関西支部の調査研究委員会活動で明らかになりました。その報告書が昨年春に同支部よりnet上に公開されました²。地震計ではこれまでに捉える事ができない、強力な鉛直地震波動がある事を、構造物の被害状況から説明しても長年理解を得にくい状況でした。この状況を変える契機となったのは、120年程前に海震の震度階表（ルドルフの表[1898年,10段階表], シーベルグの表[1923年,6段階表]）が作られていたことと、船舶工学者から「海震で船舶が損壊する時の地震波は、疎密波である事は常識である」との指摘を紹介しつつ、構造物の特徴的な破壊状態と海震の証言等を合わせて説明ができたことです。この春には土木学会の中に超過荷重に対する課題も含め調査研究小委員会が新たに設けられました。

問題の強力な衝撃的鉛直地震動の波はどのような波かは、まだ正確には観測できていないので、被災事例や海震の証言などから、現在想像される波の形状や特徴をまとめると次のようになります。

- 1.従来の地震計では捉えられない高周波だが、破壊力を持つ疎密波である。
- 2.地震現象の主体的な面と随伴的な面の両面性を持つ波で、M6クラスの地震から破壊力を持つ波が生じる。
- 3.被害状況が線状で数km程断続する場合もあるが、多くは突き上げ力で局在波的な規模の被害を起こす。
- 4.波形の頭部は平坦な場合とか釣鐘型の形状が予想され、釣鐘型では孤立波や連立する波形が予想される。
- 5.構造物の条件・状況・形態等と衝撃的な波の状況や形態とにより、被害状況は多様性を示す。
- 6.主震時でも余震時でも何度も生じ、震源断層から遠く離れた場所でも、突き上げ力による破壊を起こす。
- 7.強力な衝撃的鉛直地震波動は主震動より、3分程後に生じる場合こともある（後発鉛直キラーパルス）。
- 8.構造物に振動でなく、突き上げ力の波動による破壊を起こすが、部材軸方向の共振を伴う崩壊も起こす。
- 9.発生原因は岩盤の割れではなく、物質の相変化が予想される。

上記のような特徴を持つ強力な衝撃的鉛直地震動の波に対して、重要構造物や施設の安全性を確保するために、真の姿を早急に把握して対策を講じることが必要です。しなしながら、大地震自体がめったに起こらず、強烈な突き上げ破壊力を持つ上に、出現状況が孤立波的な状態の場合が多いため、一度や二度の観測値でその全容を把握することは至難の業となり、容易には成果を望めません。

冒頭で述べた委員会報告書²では阪神高速神戸線の橋脚の被害状況に対して、海震の証言を考慮しながら、破壊状態を比較検討し、破壊の発生状況と経過を考察しています。さらにRC単柱の橋脚と地盤を簡易なモデルで表し、基盤層からの鉛直速度波の半波長分1波（一山の突き上げ波）を入射した場合の柱の応力度の応答を検討しました。その結果、周波数依存性があることが分かり、軸方向共振を伴う場合、最初の入射波が圧縮波で伝播する間は共振変位は生じず、次の瞬間の引張の位相になると共振する全体変位を誘起し、初めの波より数倍大きな引張応力度を生じます。次の瞬間に共振の半周期で圧縮の位相になると、絶対値で引張応答応力度の最大値を上回る圧縮応力度を生じます。すなわちRCの柱が共振現象を伴うと、見かけ上圧縮破壊をした柱でも、先に引張破壊が先行しており、その後にはたやすく押しつぶされています。柱の衝撃的な波動に対する耐力は圧縮強度ではなく、引張強度に支配されるという知見が得られました。これは大変重要な知見です。

前述の委員会報告書²では既存の地震での主な被害事例に対して、この知見と前述の9項目の特性を踏まえた新しい視点からの考察も行っています。この視点から東北新幹線高架橋の被害事例を見直してみます。

東日本太平洋沖地震で東北新幹線橋梁に被害がありました。新幹線の高架橋はRC立体ラーメン構造で橋軸方向

に3,4径間分を一橋梁とし、その橋梁間を単純桁橋で繋ぐ図1の形式が広く採用されます。被災した橋の内の一つに第1中曽根橋（北上駅北北東約7km）があり、図1はその7番目のR7橋側からR6橋を見た図です。R7橋の始点側の端橋脚（R7-1右,左）に大きな被害が出ており、図2に被害状況を示します。少し離れたR1橋の終端橋脚(R1-5)にも被害があり、その状況を図3に示します。（矢印は打ち継ぎ目位置を示します。）

R7-1の両柱はマッシュルーム型の破壊をしており、重度の被害状況ですが、上部の自重は主桁が支え、この柱の状態では荷重がかかっていません。水平地震動による慣性力が長い時間働き、この被害が生じたとする、荷重支持能力を失った段階で、この柱を壊す力は隣の柱に付加されるので、隣の柱もそれなりの損傷を生じる筈ですが、図1の通り隣の柱はほぼ無傷です。したがってこの被害原因は水平慣性力ではありません。この判断は被害調査団の判断とは異なります。強力な衝撃的鉛直地震動が局地的に働き、隣の柱と極端な被害度の差を示す典型例と見られます。R7-1柱の被害度には打ち継ぎ目の処理の不完全さが影響しています。

図3のR1-5の両柱の被害状況と似た被害で少し損傷度が軽めの被害が、三陸南地震（2003年、M7.0、D71km、太平洋プレート内地震）で起きています。図4(a),(b)はその位置図と被害状況の例です。被害は水沢江刺～盛岡間の広い範囲で断続的に生じました。図4(b)には被災柱の他に近隣の柱の状況も見られ、ほぼ無傷の状態です。一事例だけ見た段階ではわかりませんが、図4(b)、図3の2例、図2の2例と見比べてみると、局在波的な突き上げ力により柱が引張破壊を起こした状況と過程がよくわかり、詳しい解析が望まれます。



R6 橋-橋脚頭部は斜亀裂、脚頭部が破壊-R7 橋
図1 第1中曽根橋のR7橋-端橋脚とR6橋-老番側（東日本太平洋沖地震,2011）



第1中曽根橋（矢印は打継目）
図2 R7橋の第1柱頭部の破壊状況



(a)被災位置図（三陸南地震,2003）(b)被災状況
図4 橋脚被害の発生位置と被災状況



第1中曽根橋（矢印は打継目）
図3 R1橋の第5柱の損傷状況

2. 土木学会関西支部、都市直下地震での鉛直方向の免震構造に関する調査研究委員会報告書、平成31年3月
https://www.jsce-kansai.net/wp-content/uploads/2019/06/chosa_chokka_2017-2018.pdf

Movement of Victims of Tokyo City in the First Step of Disaster Reconstruction from the 1923 Great Kanto Earthquake

*MASAYUKI TAKEMURA¹

1. Nagoya University

通常、大震災が発生すれば、多くの人々が被災し、家屋を失い、自力ですぐに再建できる人もあるが、多くはすぐには難しく、ある人は親戚知人を頼って他所へ避難し、ある人は公助による仮設住宅に身を寄せ、それぞれ再起を期することになる。約100年前に発生した関東大震災は当時のGNPの36.7%もの被害を出したが、そのようななかで被災者はどのような道筋をたどって再起したのか。復興の初期段階における被災者の動向を量的につかむために、震災直後の調査結果や従来研究成果を利用して、被害が最も大きい東京市について検討した。

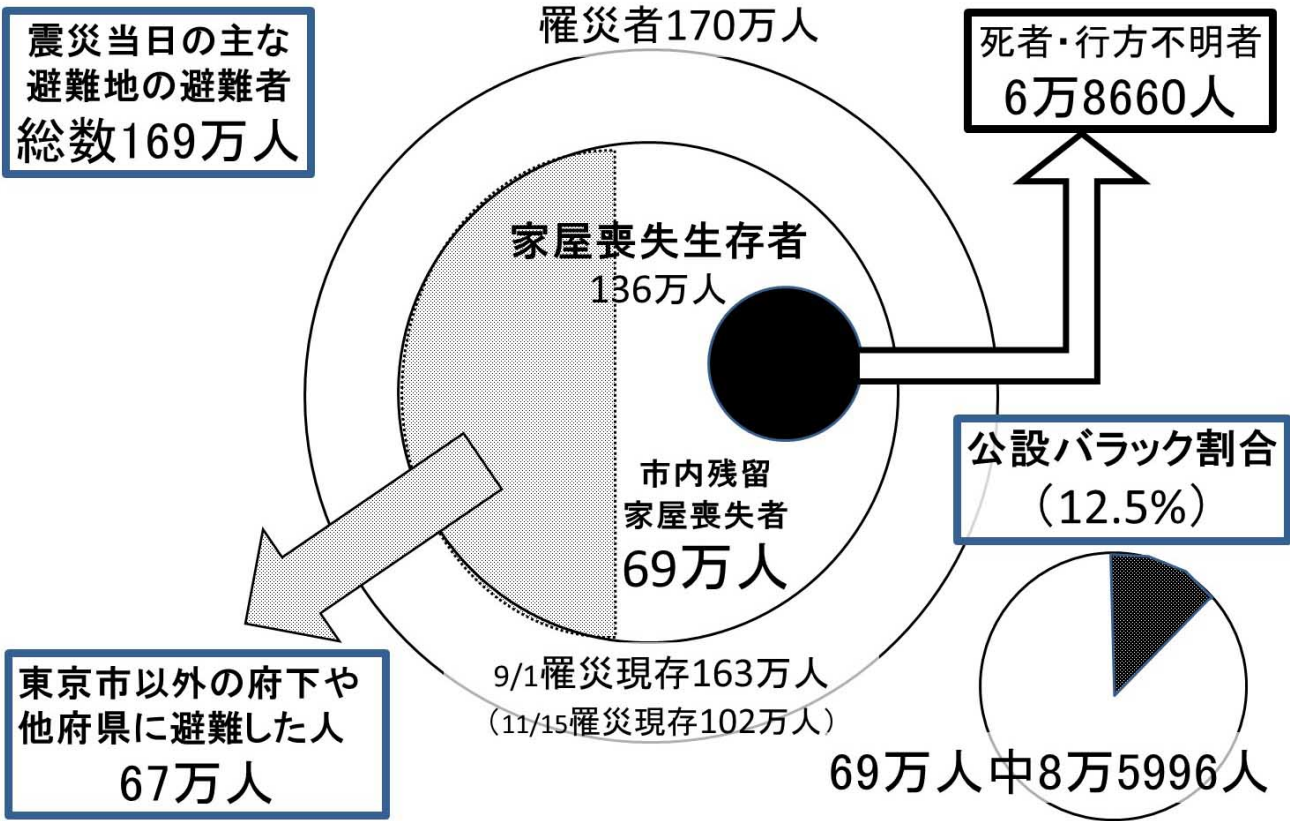
東京市(1925)『震災に因る日本の損失』によれば、震災地の1府6県(東京府と神奈川・千葉・埼玉・静岡・山梨・茨城の各県)の罹災者は約340万人、69万世帯に及んでいる。震災時の東京市の人口は約227万人でそのうち罹災者は170万人(約75%)である。このうち死者数(行方不明者も含む)は6万8660人であるので、罹災現存者は約163万人ということになる。

震災当日の市内の主な避難地の避難者数を『東京震災録』中輯(1926)から拾うと、合計で約169万人となり、先に示した罹災現存者数とほぼ同数となる。もちろんデータの性格上、精度の問題も多分にあるが、当日に限って言えば、火災による被災がほとんどであることもあり、罹災者のほぼ全てが安全な場所に避難せざるを得ず、かつ罹災者はこれら周辺の大公園などの空き地に避難するのが精いっぱいであったことがわかる。

次に、罹災現存者約163万人の内訳は全焼、全潰のほか半焼、半潰、破損(流失はゼロ)など様々であるが、そのうち全焼・全潰世帯の30万5146世帯(約143万人)をここでは家屋喪失世帯と仮定する。ただし、この中にも死者・行方不明者が含まれており、かつ諸井・武村(2004)『日本地震工学会論文集』第4巻が指摘しているように死者の大半は焼死であることから、ここではさらに死者・行方不明者の全員が家を失っていたと仮定して、実際に生存していて家を失った人(家屋喪失生存者)の数を求めると136万2494人となる。これは罹災現存者の約83%に達する。

政府の政策もあり、これらの人々の多くは、市外(東京府下や他府県)へ避難した。11月15日時点で全国一斉に行われた人口調査の結果を内務省社会局(1924)『震災調査報告』から引用すると、東京市からの避難者は66万9363人と推定され、さらに東京市内の罹災現存者は約102万人であることがわかる。東京府下や他府県へ避難するほどであるから、全てが家を失った人だと見なすと、先に求めた東京市全体の家屋喪失生存者数から、この数を差し引いて、11月15日時点で市内残留の家屋喪失者数を求めると、69万3131人となる。他府県へ避難する人のすべてが家屋喪失者であるとの仮定がやや過大であるとすれば、市内残留家屋喪失者は69万人以上ということになる。これは、罹災現存者約102万人の実に68%にあたる。

これらの人々に対して、どのくらい公的な仮設住宅(当時は公設バラック)が準備されたかについては、11月15日現在での東京市における公設バラック数の調査結果が東京市役所調査課(1924)『東京市震災状況概要』にある。それによれば、公設バラック数は2万1507世帯(8万5996人)分あったことがわかる。大きく見積っても12.6%の人しか公設バラックの恩恵に浴していなかったということになる。阪神淡路大震災など最近の地震の家屋の全壊・半壊数に対する仮設住宅の供給戸数が2-3割であると言われている[国土交通省住宅局住宅生産課(2012)]のと比較しても、その供給量の少なさがよくわかる。



Development of Earthquake Probability Transition Table as a Tool for Comprehension and Awareness for the Nankai-Trough Earthquake Scenarios

*Yo Fukushima¹, Tomoaki Nishikawa²

1. International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University, 2. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

短期的な時間スパンでの地震発生予測の情報は、余震予測（大地震発生後の地震活動の見通しの予測）を除いて、これまで社会で実用されていなかった。「南海トラフ地震臨時情報」（以下、臨時情報）は、南海トラフ沿いにおいて大規模な地震（Mw8.0以上）の発生の確率が平時より高まったときなどに1週間～2週間単位の地震発生の見通しに関する情報である。このような情報発表の仕組みの社会での運用は、世界的に見ても類を見ない新たな試みである。

南海トラフ地震想定震源域内のプレート境界でMw8.0以上（以下、M8+地震）の地震が発生した場合（「半割れケース」と呼ばれる）と、それ以外の場合のうち監視領域内でMw7.0以上の地震（以下、M7クラス地震）が発生した場合（「一部割れケース」と呼ばれる）には、それぞれ「巨大地震警戒」と「巨大地震注意」というキーワードが付記された臨時情報が発表されることになっている。

社会のステークホルダーが臨時情報発表時に実効的な対応を取るためには、起こりうる地震発生シナリオの幅と、各シナリオが発生する確率とその不確かさの目安について理解をしておく必要がある。内閣府

（2019）には、半割れケースと一部割れケースの場合について、新たなM8+地震が7日以内に発生する見込みをISC-GEM地震カタログから算出しており、それぞれ、十数回に1回程度、数百回に1回程度の確率で起こりうるとしている。本研究では、起こりうる地震発生シナリオの幅を示すために、内閣府と同様の方法を使い、異なる時間スパンでの発生確率や、M7クラス地震が別のM7クラス地震を誘発する場合（この場合、臨時情報（巨大地震注意）が二度発表され、注意する期間が延長されることになる）などについても発生確率の算出を行うとともに、平時の発生レートを複数のモデルを用いて検討することにより、確率利得についても検討を行った。また、これらの確率と確率利得の信頼区間も評価した。

データとしては、整合性の確認のため、ISC-GEM（ver 6.0）カタログとアメリカ地質調査所のANSSカタログのふたつを用いた。M8+地震とM7クラス地震に続いてそれぞれ半径500km以内と160km以内に発生した地震を後発地震とカウントした。時間スパンとしては、1日、3日、7日、14日、3年を使用した。確率利得の計算には、ポアソン分布モデルとBPT分布モデルの両方を用いて計算を行い、比較した。

結果を表に示す。地震の発生確率が時間とともに急速に減少していく特徴や、M8+地震のほうがM7クラス地震に比べて別のM8+地震の「誘発能力」が一桁大きいといった特徴が見て取れる。このような計算結果を、より理解のしやすい表現に整理した「地震確率推移表」（仮称）としてまとめることを予定している。この推移表をステークホルダーと共有することにより、これまで必ずしも広く伝わっていなかった情報（たとえば、別の地震が誘発される可能性は地震直後が大きくその後急激に減少するといったこと）が提供されることになり、対応策を計画するうえで有用な理解や気づきを得ることができるようになると考えている。

（文献）内閣府（2019）, 南海トラフ地震の多様な発生形態に備えた防災対応検討ガイドライン【第1版】、令和元年5月、http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/pdf/honbun_guideline2.pdf

Earthquake Size	Catalogue	< 1 day	< 3 days	< 7 days	< 14 days	< 3 years
M8+	ISC (N=105)	1.9%	2.9%	2.9%	4.8%	10%
	ANSS (N=92)	1.1%	2.2%	2.2%	4.3%	9.8%
M7-class	ISC (N=1354)	0.22%	0.37%	0.59%	0.66%	1.7%
	ANSS (N=1252)	0.24%	0.40%	0.40%	0.48%	1.0%
M8+ gain (Poisson)	ISC (N=105)	6.3×10^2	3.1×10^2	1.3×10^2	1.1×10^2	3.2
	ANSS (N=92)	3.6×10^2	2.4×10^2	1.0×10^2	1.0×10^2	3
M8+ gain (BPT)	ISC (N=105)	3.0×10^2	1.5×10^2	64	53	1.4
	ANSS (N=92)	1.7×10^2	1.1×10^2	49	49	1.4
M7-class gain (Poisson)	ISC (N=1354)	73	40	28	16	0.52
	ANSS (N=1252)	79	44	19	11	0.32
M7-class gain (BPT)	ISC (N=1354)	35	19	13	7.4	0.23
	ANSS (N=1252)	37	21	8.9	5.4	0.14

Causes of Fourier Amplitude Sags at Intermediate Frequencies for Simulating Broadband Strong Ground Motions using Stochastic Green's Function Methods

*Yoshiaki Hisada¹

1. Kogakuin University

1. はじめに

小地震から大地震の波形合成を行う経験的・統計的グリーン関数法を用いて広帯域強震動計算を行う際、目標とする理論的な ω^2 モデルと比較すると、一般に大地震の震源スペクトルの振幅は中間周波数帯で大きな落ち込みが生じる（例えば文献1)）。本論文は小地震として理論的な ω^2 モデルを用いる統計的グリーン関数法を用いて、振幅スペクトルの落ち込みを4つの要因に分類し、その原因と改善法を理論的に考察した。

2. 震源スペクトルにおける中間周波数帯の振幅の落ち込みの要因と改善法

振幅スペクトルの落ち込みの4つの要因は、下記の通りである。

- (a) F 関数（小地震から大地震の要素地震のmoment rate 関数への変換関数）による中間周波数帯での振幅の落ち込み、
- (b) 低周波数と高周波数で異なる位相スペクトルを用いた波形を重ねることによる接続周波数帯での振幅の落ち込み、
- (c) 大地震の断層分割数（相似比 N の2乗個）の増大により ω^2 モデルから ω^3 モデルに漸近することによる中間周波数帯での振幅の落ち込み、および、
- (d) 大地震の断層面上の要素地震を重ね合わせる際、低周波数での N の2乗倍から、高周波数での N 倍の振幅に移行する遷移周波数帯での落ち込み、

このうち、(a)と(c)は従来から知られている「中間周波数帯」での振幅の落ち込みであるのに対し、(b)と(c)は異なる視点から振幅の落ち込みを考察しており、本報告ではそれぞれ「接続周波数帯」と「遷移周波数帯」と呼ぶ。各要因の振幅落ち込みの原因と改善法に関して、まず(a)に関しては指数関数型のF関数を用いること（例えば文献2)）、次に(b)に関しては振幅スペクトルの補正を行うこと（例えば文献3), 4)）、がそれぞれ有効であることを確認した。

一方、(c)と(d)に関する計算例として、文献1)に倣い1946年南海地震（ $M_w 8.2$ ）を想定した大地震の震源パラメータとして、 $M_0 = 1.0 \times 10^{21}$ Nm, $f_c = 0.03$ Hz, $L = W = 100$ km とする。破壊開始点は、分割した要素断層のうちで最も断層面の角点に近い要素中心点とし、 $V_r = 2.8$ km/s で断層面上を円筒状に破壊伝播させる。(c)に関しては、既存の研究から相似比 N の増大により破壊伝播が滑らかになることで振幅が低減することが知られているが（例えば文献1), 5)）、振幅の落ち込みは N が小さくても発生し、それが要素地震の破壊開始時間間隔に相当する卓越周波数よりも低周波数で必ず落ち込みが生じることを示した（図1参照、文献1)によるランダム破壊時間を考慮した場合）。

小さな相似比 N から振幅が落ち込む原因として(d)では、低周波数での要素地震のコヒーレントな重ね合わせから、高周波数でのランダムな重ね合わせに至る遷移周波数帯で振幅が N の2乗倍から N 倍に落ち込むことを理論的に明らかにし、振幅の落ち込みは要素地震の破壊開始時間の関数項に起因することを示した（図2参照）。

最後に、振幅落ち込みの実用的な改善法として、理論的な ω^{-2} モデルによる振幅補正を行う手法を提案し、図1, 2で用いた震源モデルを用いて、破壊伝播のforward, backward, middle pointにおける強震動を、統計的グリーン関数法を用いて広帯域強震動を計算した。その結果、 ω^2 モデルに基づく震源スペクトルの振幅補正を行わない場合は中間周波数帯の振幅を著しく過小評価することが分かった（図3、4参照）。

3. おわりに

本論文では統計的グリーン関数法を用いて小地震から合成した大地震の震源スペクトルは中間周波数帯で大きな振幅の落ち込みが生じる原因を整理し、その改善法を提案した。なお、本報告ではM8級の大地震を対象として検討を行ったが、M6 級程度 ($L=W=10\text{km}$) の小規模な震源モデルを用いた遠方近似解の成り立つ場合の結果検証も行い、ここで得られる結論と全く同じ結果が得られることを確認している。今後は実際の観測地震波を用いた経験的グリーン関数法にも拡張し、適用性を検討する予定である。

謝辞 本研究は工学院大学・総合研究所・都市減災研究センター（UDM）の助成で行われました。

参考文献

- 1) Irikura, K., Kamae, K., *Annali Di Geofisica*, Vol. XXXVII, N.6, 1721-1743, 1994.
- 2) Dan, K., Watanabe, T., Tanaka T., 日本建築学会構系論文集, 第396 号, pp.27-36, 1989.
- 3) 久田嘉章, SEINWEB, NTTファシリティーズ, テクニカルコンテンツ, 2010.
- 4) Hisada, Y, *J. Seismo.*, Vol. 12, pp.265-279, 2008.
- 5) 野津 厚, 地震, 第2 輯, 第56 巻, pp.337-350, 2004.

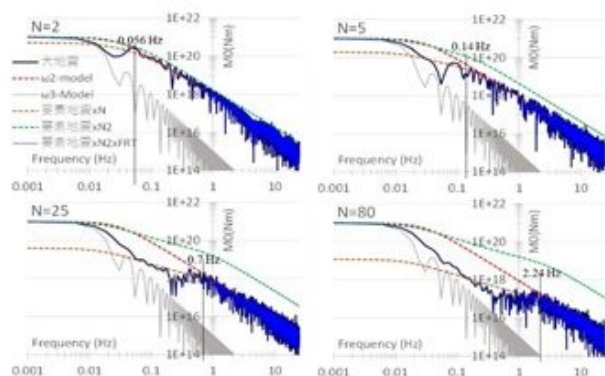


図1 相似比Nを変化させた大地震の震源スペクトルと中間周波数帯の落ち込み

大地震：統計的グリーン関数法（文献4）による震源スペクトル
 $\omega 2$ -model：Brune (1970)による理論的 $\omega 2$ モデル
 $\omega 3$ -model：L・W方向のユニラテラル破壊による理論的 $\omega 2$ モデル
 要素地震×N：要素断層地震の破壊開始時間を完全なランダム和とした震源スペクトル、要素地震×N2：完全な同時破壊とした震源スペクトル、要素地震×N2×FRT：要素地震×N2に破壊開始時間関数を乗じた震源スペクトル

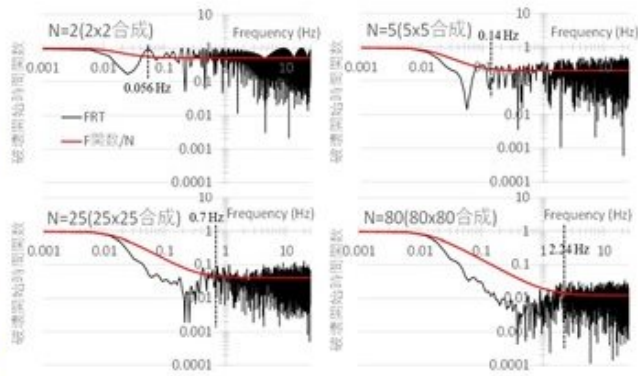


図2 破壊開始時間関数（下式）の振幅スペクトル（赤線：相似比Nで基準化した文献2による指数関数型の関数）

$$F_{RT}(\omega) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N e^{i\omega(\xi_{ij}/T_p + \varepsilon_{ij})} / N^2$$

ξ_{ij} 震源からij要素地震までの距離 ε_{ij} ランダム破壊開始時間

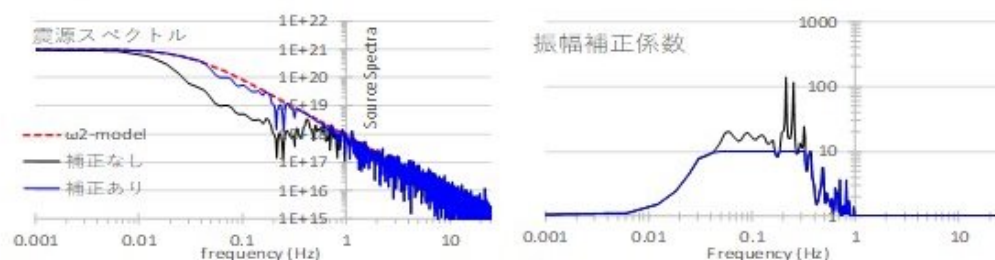


図3 中間周波数帯での振幅の落ち込みを $\omega 2$ モデルで振幅補正した震源スペクトル（左）と、振幅補正係数（右）。N=25を使用，振幅補正は0-1 Hzで行い，うち0.4-1.0 Hzの区間は補正係数を1まで線形に低減。

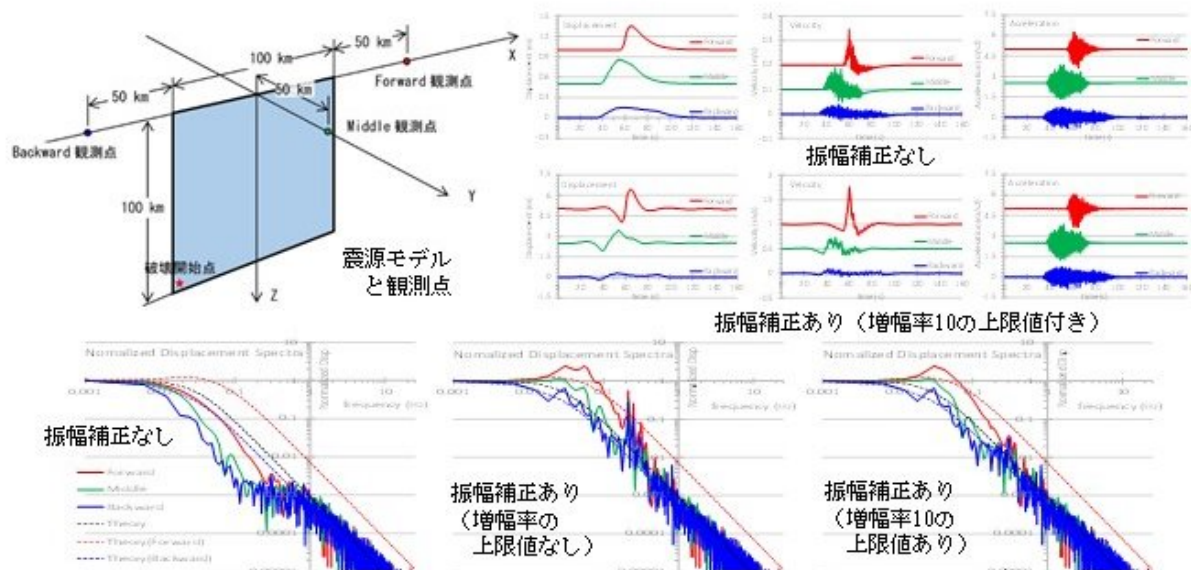


図4 統計的グリーン関数法（文献4）で用いた震源モデルと観測点（左上）、変位・速度・加速度波形（右上），および、最大振幅1で基準化した変位振幅スペクトル（下）。波形と振幅スペクトルにおいて、Forward(赤線)，Middle(緑線)，Backward(青線)に対応、スペクトルの破線は理論スペクトル。

Study on rupture propagation effect of small and medium-sized earthquakes used as elemental earthquakes of empirical Green's function method

*Junpei Kaneda¹, Shinya Tanaka¹, Yoshiaki Hisada²

1. Tokyo Electric Power Services Co., Ltd., 2. Prof., Kogakuin Univ.

1. はじめに

経験的グリーン関数法（以下、EGF）は過去に発生した地震の観測記録の再現に関しては実績もあり広く用いられている地震動評価手法の一つである（例えば、三宅ほか（1999））。しかし、地震動予測を行う場合、要素地震をどのように選定するか明確な基準はない。池浦（1997）では本震と要素地震の位置や地震タイプが近いことや、地震規模の差が2程度以内であることを挙げている。海溝型地震や長大断層による地震ではM8以上となることから要素地震としてM6程度の地震を用いることとなる。しかし、M6級の地震は数km程度の面積を持つことになるため、震源の破壊過程の影響が無視できない可能性がある。熊谷（2019）では2008年岩手県沿岸北部の地震（Mw6.8）の浅野・岩田（2009）による震源モデル（主たるSMGAの断層面が6km×6km）の破壊開始点をわずかに変更することで特定の方向に位置する観測点の再現性が向上することを示している。同様に断層モデルを用いて破壊伝播効果の影響について検討している研究として、例えば香川（2015）や引田ほか（2015）があるが、これらの研究で用いている断層長さは数十kmとやや大きい。一方、中村・八代（2002）は、ほぼ同一の位置・規模の2地震のスペクトル振幅比から、M5級の地震でも周期1秒以下の短周期で震源の破壊過程の影響があることを示しているが、用いられた震源の破壊過程はあきらかにされていない。

本研究では、震源の破壊過程があきらかにされているM6前後の地震を対象として、観測記録の傾向を分析するとともに、EGFによる観測記録を再現したうえで、破壊開始点や破壊伝播速度を変更した波形合成を行うことで、破壊伝播効果の影響について検討を行う。なお、本研究は破壊伝播効果の影響を含んだ要素地震を用いた波形合成が本震へ与える影響を確認することを目的としている。

2. 検討方法

本研究ではHikima and Koketsu（2005）で震源の破壊過程が求められている2004年新潟県中越地震の本震と規模の異なる4つの余震を対象とする。

初めに震源から見て異なる方位に位置する複数の観測点で得られた記録を用いてフーリエスペクトル比を算定し、破壊伝播方向との関係について整理を行う。次に、Hikima and Koketsu（2005）を基本とした特性化震源モデルを作成し、EGFにより観測記録の再現を行う。最後に破壊開始点を変更した波形合成を行い、破壊伝播効果が地震動の計算結果に与える影響をあきらかにする。

なお、本稿ではHikima and Koketsu（2005）のevent5（Mw5.9）（ここではEq.1とする）に関する検討結果を示す。また、要素地震は断層面に近い位置で発生した2004/10/27,17:15（Mw3.7）を用いた結果を示すが、今後複数用いる予定である。対象とする地震と観測点を図1、表1に示す。

3. 検討結果

3.1 観測記録のフーリエスペクトル比

図1に示す観測点を対象に算定したフーリエスペクトル比（Eq.1／Eq.2）を図2に示す。要素地震の地震規模が小さいことから対象周波数は0.5Hz～10Hzとし、Parzen Window 0.2Hzで平滑化を行った。算定したフーリエスペクトル比は、0.5Hz～2.0Hz程度で震源から観測点の方位によって違いがみられたため、ここでは破壊進行方向のforward側とそれ以外のbackward側として分けて平均値を算定している。ここで、破壊進行方向は

Hikima and Koketsu (2005) において、すべりの大きい部分が破壊開始点の南西に位置していたことから、破壊開始点から南西方向に破壊が進行すると仮定した。0.5Hz～2.0Hz程度ではforward側はbackward側の2倍程度大きくなっていることがわかる。Mw3.7の要素地震がほとんど方位性が無い点震源と仮定すると、Mw5.9程度の地震でも破壊伝播効果の影響が0.5Hz～2.0Hz程度にあらわれていると考えられる。

3.2 EGFに基づく破壊伝播の影響に関する分析

前節で示した破壊伝播効果をEGFによる波形合成で確認する。対象地点はforward側のNIGH19観測点とbackward側のNIGH08観測点、両地点の中間地点に位置するFKSH06観測点の3地点である。波形合成の手法は入倉ほか(1997)に基づいて行った。震源モデルは図3に示すHikima and Koketsu (2005) を基に特性化したモデルを用いる。なお、断層の分割数は要素地震の地震規模を考慮して再分割している。また、ここで用いる要素地震の波形はS波到達から5秒程度までとし、後続波は考慮しない。破壊開始点はHikima and Koketsu (2005) の位置と、南西側に2km移動した位置を用いる。破壊開始点を変更した評価結果を比較し、破壊伝播効果の影響を確認する。図4にEGFによる波形合成結果のEW成分を示す。上段の速度波形では特徴的な位相は再現できている。NIGH19では破壊開始点を南西へ2kmだけ移動すると位相が大きく乱れ、また、フーリエスペクトル比(EGFによる波形合成結果/Eq.2) から1Hz付近の振幅が半分程度になり、破壊伝播効果の影響が大きいことがわかる。この結果は前節のforward側とbackward側のフーリエスペクトル比の違いと概ね対応している。NIGH08地点では破壊開始点を移動したことで破壊が遠ざかる方向から近づく方向になり、振幅が増幅している。一方、FKSH06では破壊開始点を変えたことによる破壊伝播効果の影響は小さい。破壊進行方向に直交する地点のためと考えられる。

4. 今後の検討方針

今後はHikima and Koketsu (2005) の異なるイベントと要素地震で同様の検討を実施し、さらに破壊伝播速度を変えた場合の計算を行い、破壊伝播効果の影響を評価したいと考えている。また、要素地震の切り出し時間を変えて、表面波が多く含まれる後続波が波形合成の過程でコヒーレントに重なり合う場合の影響についても調べる予定である。

謝辞

防災科学技術研究所による地震記録を使用させていただきました。東京電力ホールディングスの引間和人博士には、2004年新潟県中越地震本震、及び余震の震源インバージョン結果をご提供頂きました。東電設計(株)南雲秀樹氏には適切なお助言をいただきました。図の作成にあたっては国土地理院の地理院地図とGMTを使用しました。ここに記して、お礼を申し上げます。

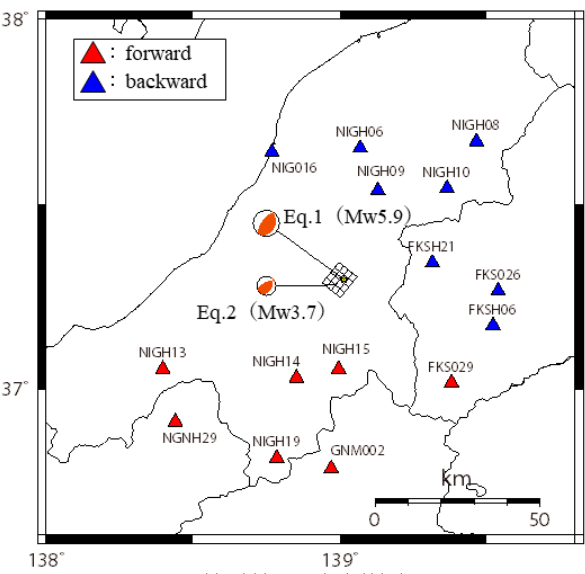


図1 検討地震と観測地点

表1 検討地震の諸元

No	date	Mw	Dep ^{※1} [km]	M0 ^{※1} [dyne・cm]	σ [MPa]
Eq.1	2004.10.27.10:40	5.9	11	6.34×10 ²⁴	8.7 ^{※2}
Eq.2	2004.10.27.17:15	3.7	11	4.50×10 ²¹	1.5 ^{※3}

※1: F-netより設定
※2: 神原・ほか(2006)より設定
※3: 試行錯誤的に求めた推定値

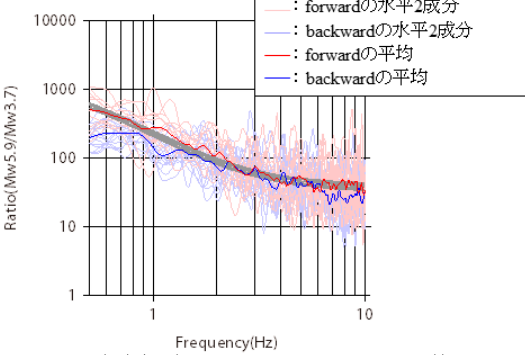
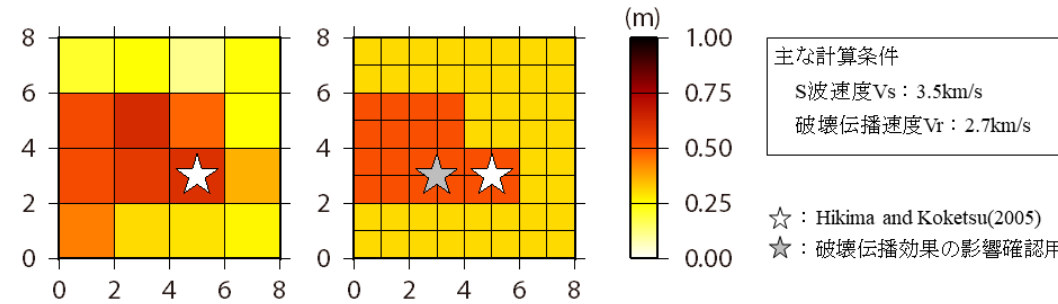


図2 観測記録のフーリエスペクトル比



(左: Hikima and Koketsu (2005) 右: 特性化震源モデル)

図3 Eq.1の震源モデル

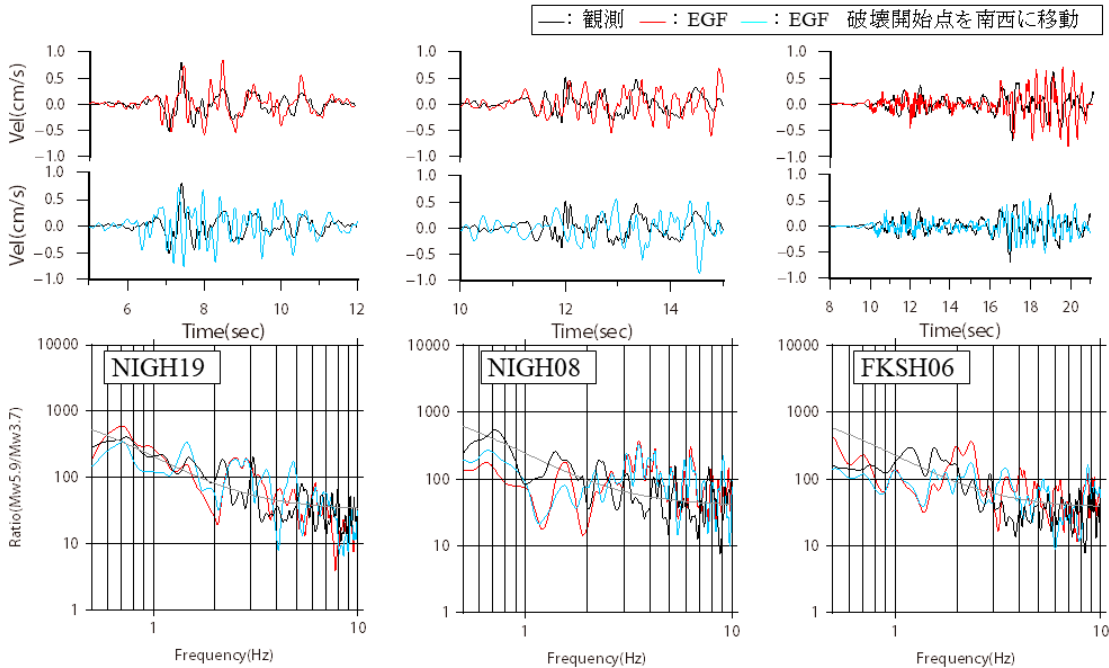


図4 EGFによるEW成分の波形合成結果

Room A | Regular session | S15. Strong ground motion and earthquake disaster

[S15]M-2

chairperson:Seiji Tsuno(Railway Technical Research Institute), chairperson:Ryuta Imai(Mizuho Information &Research Institute, Inc.)

Thu. Oct 29, 2020 2:30 PM - 3:30 PM ROOM A

[S15-06] Improvement of IPF method with utilization of Hi-net

○Keishi Noguchi¹, Naoki Hayashimoto¹, Koji Tamaribuchi², Yuki Kodera² (1.Japan Meteorological Agency, 2.Meteorological Research Institute)

2:30 PM - 2:45 PM

[S15-07] Applicability of on-site P-wave earthquake early warning to the 2016 Kumamoto earthquake and the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake

○Seiji Tsuno¹, Katsutomo Niwa² (1.Railway Technical Research Institute, 2.JR Central Consultants Company)

2:45 PM - 3:00 PM

[S15-08] A sample generation of scenario earthquake shaking maps via modal decomposition and empirical copula

○Ryuta Imai¹, Naoki Kasui¹, Asako Iwaki², Hiroyuki Fujiwara² (1.Mizuho Information &Research Institute, Inc., 2.National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

3:00 PM - 3:15 PM

[S15-09] Toward application of large-scale numerical simulation of earthquake generation, wave propagation and soil amplification into comprehensive earthquake damage estimation

○Takane Hori¹, Tsuyoshi Ichimura², Kohei Fujita², Ryoichiro Agata¹ (1.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)

3:15 PM - 3:30 PM

Improvement of IPF method with utilization of Hi-net

*Keishi Noguchi¹, Naoki Hayashimoto¹, Koji Tamaribuchi², Yuki Kodera²

1. Japan Meteorological Agency, 2. Meteorological Research Institute

1. はじめに

緊急地震速報の震源推定手法の1つであるIPF法 [溜淵・他(2014)] は、同時多発地震による観測データを適切に分離して処理できるという利点がある。一方で、IPF法は気象庁観測点、海底地震計、KiK-netの一部を使用しており、観測点密度の高いHi-netを使用した着未着法 [Horiuchi *et al.*(2005)] と比べると、内陸地震において迅速性と震源精度に課題があった。そこで本発表では、IPF法の迅速性と震源精度の改善のために、気象庁へリアルタイム伝送されているHi-netのデータをIPF法で活用することについて検討を行った結果を報告する。

2. 検討内容

Hi-netをIPF法で活用するため、以下の検討を行った。

a. Hi-net速度波形をIPF法の入力データにするための処理

Hi-net速度波形に加速度変換フィルタ [小寺(2019)] を適用して加速度波形に変換し、トリガ処理とその品質管理、震央方位解析 [横田(1985)]、及び震央距離解析 [Okada *et al.*(2003)、東田・他(2004)] など、気象庁加速度計と同様の波形解析処理を行った。

b. IPF法で多観測点処理を行うための高度化

観測点増加に伴って課題となる計算負荷を軽減するため、尤度計算に使用する観測点を最尤地点近傍に限定する観測点選別処理を追加した。加えて、非選別観測点の同一判定についても、「全パーティクルとの同一判定」の代わりに「尤度の重心との同一判定」を行うことで計算負荷の軽減を図った。また、品質管理異常となった観測点や、ノイズレベルが高くトリガしない観測点の未トリガ情報により、震源推定精度が低下することを避けるため、それらの観測点を”非選別”とすることで、未トリガ情報が疑わしい観測点を尤度計算から除外するロジックを追加した。

3. 結果

2018年に緊急地震速報を発表した898事例について検証を行った。Hi-net速度波形の加速度変換及び波形解析を行った結果、気象庁加速度計の波形解析結果（トリガ、震央方位、震央距離、振幅）と比較して大きな差異は認めなかった。これらの波形解析結果と気象庁観測点の波形解析結果を用いて、IPF法による震源推定を行った結果、既存のIPF法と比較すると、陸域の地震で第1報発表時刻の迅速化及び震源精度の向上が見られた。同様に、Hi-netを使用した着未着法と比較しても、ほとんどの事例で同等の精度で震源を推定できることがわかった。また、品質管理異常となった観測点や、ノイズレベルが高くトリガしない観測点を”非選別”とし、震源近傍での未着観測点の影響を軽減することで、尤度分布が収束し震源推定精度が向上することがわかった。

以上のように、Hi-netを活用したIPF法の高度化により、震源推定の迅速化と精度向上が可能となった。ただし、一部の深発地震、及び観測網の端で発生した地震については、特に震源推定初期段階においてIPF法の震源推定精度がやや低くなる場合があった。また、速度Mを使用している着未着法と比較すると、第1報発表時刻が遅い事例も多いことがわかった。今後はこれらに対応するため、IPF法の推定震源を用いた緊急地震速報の発表に速度Mを使用することなどについても検討を行う。

[謝辞]

本発表では気象庁観測点のデータのほかに、MOWLAS (Hi-net、S-net、DONET、KiK-net) のデータを利用しました。記して感謝いたします。

Applicability of on-site P-wave earthquake early warning to the 2016 Kumamoto earthquake and the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake

*Seiji Tsuno¹, Katsutomo Niwa²

1. Railway Technical Research Institute, 2. JR Central Consultants Company

P波オンサイト早期地震警報の実用化を目的として、2016年熊本地震と2018年北海道胆振東部地震の際に取得された地震データに対して、S波/P波のスペクトル比および最大振幅比を利用したP波オンサイト早期地震警報(津野・宮腰, 2019)の適用性を検証した。本手法を震源近傍で観測された地震データに適用する際は、十分なTs-p時間を確保することができないため、短時間のデータ・ウィンドウを利用してP波からS波を予測する必要がある。そこで、本研究では、異なるデータ・ウィンドウによる予測値と観測値の残差を評価し、短時間のデータ・ウィンドウの適用可能性について検討した。また、震源近傍で観測された地震データでは地盤の非線形性が現れる場合があるため、限られたデータ数ではあるものの、2016年熊本地震と2018年北海道胆振東部地震の本震データから、地盤の非線形性による本手法の予測精度について検討した。

震源域近傍で観測された2016年熊本地震の余震データを使用して、S波/P波のスペクトル比とP波スペクトルを掛け合わせることで、熊本平野で観測された地震のP波スペクトルからS波スペクトルを適切に予測できることを確認した。使用するデータ・ウィンドウ長の検討を行った結果、P波到達後0.6秒のデータ・ウィンドウ長で本手法の精度を確保できることを確認した。また、S波/P波の最大振幅比とP波最大値を掛け合わせることで、震源近傍で観測された地震データに対して、P波到達後1秒以下のデータ・ウィンドウ長で本手法を適用可能であることを確認した。

2016年熊本地震におけるKMM16(益城)と2018年北海道胆振東部地震におけるIBUH03(厚真)・IBUH01(追分)の本震データによるS波/P波の最大振幅比と余震データによるそれらを比較検討した。使用した地震データはKiK-net観測点で取得されたデータであり、地表/地中のS波振幅比とも併せて検討した。その結果、IBUH03では、本震データにおいて明瞭な地盤の非線形性による地表/地中のS波振幅比の低下が示されるものの、S波/P波の最大振幅比は余震データのそれらと大きな違いは見られなかった。震源の違いによる影響の方がサイトの違いによる影響よりも大きいため、2018年北海道胆振東部地震におけるIBUH03の予測値は本手法全体(震源・伝播・サイト)の誤差範囲に含まれたと考えられる。2016年熊本地震におけるKMM16(益城)と2018年北海道胆振東部地震におけるIBUH01(追分)の本震データについても同様の傾向が見受けられた。

A sample generation of scenario earthquake shaking maps via modal decomposition and empirical copula

*Ryuta Imai¹, Naoki Kasui¹, Asako Iwaki², Hiroyuki Fujiwara²

1. Mizuho Information & Research Institute, Inc., 2. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

背景：震源シナリオの不確定性による地震ハザード評価におけるばらつきの定量化のためには、多数のシナリオに基づくシミュレーションを実行して、標本データとしての計算結果を蓄積することが重要である。しかしながら、ひとつのシナリオに対する地震波動伝播シミュレーションを実行するためにはスパコンのような大きなリソースが必要であり、標本データとしての計算結果を蓄積することは容易ではない。本報告では、既にあるシナリオ地震動予測結果を利用して、まだ設定されていないシナリオに対する地震動予測結果を簡便に生成する方法を提案する。

提案手法と関連研究：提案手法の一つ目のポイントは、既に蓄積されている標本データとしての計算結果にモード分解を施すことによって、計算結果の観測点依存成分であるモードシェイプとシナリオ依存成分であるモード座標を抽出することである。シナリオとそのモード座標を同一視することによって、あるシナリオと別のシナリオを補間することが可能となる。提案手法では、この補間によってシナリオ地震動予測地図のサンプルを生成する。一方、シナリオには不確かさが含まれており、地震動予測のシナリオ依存成分であるモード座標は確率変数と見なすことができる。シナリオの補間によって地震動予測の候補を生成するとき、この確率分布に従ってサンプリングしなければ、地震ハザード評価を歪める可能性がある。提案手法の二つ目のポイントは、モード座標が誘導する確率分布に従ってシナリオの補間の頻度を設定することである。シナリオ地震動予測結果のモード分解を実施している先行研究として、能島・他(2018)がある。能島・他(2018)では、シナリオ地震動予測地図の地震動分布の空間相関の特性を明らかにすることを目的としてモード分解を適用する方法が提案されている。一方、我々の提案手法は能島らの方法の延長線上に位置づけられるが、地震動分布の不確かさの確率分布に着目するところに特徴がある。我々の動機は、これまでに蓄積された地震動予測結果を利用しつつ、まだ設定されていないシナリオに対する地震動予測結果を簡便に生成して地震ハザード評価に適用することである。従って、まだ設定されていないシナリオに対する結果を生成するだけでなく、その発生頻度を説明できるような方法を提案することが目的である。

方法：地震動予測地図の面的分布をデータ行列として格納する。即ち、データ行列の縦方向を観測点、横方向をシナリオとして、各シナリオの各観測点における地震動強さを要素とする行列を考える。データ行列の固有直交分解を考えることによって、データ行列の各列ベクトルを主要なモードシェイプベクトルで展開することができる。このときの展開係数を並べたものがモード座標ベクトルである。モード座標はシナリオ依存成分を表していることから、確率変数とみなすことができる。モード座標を確率変数とみなす場合、シナリオの不確かさが地震動強さ分布に及ぼす影響の確率的な特徴はモード座標の確率分布に反映されると考えられる。とくに、シナリオの影響の頻度が周辺分布に反映されるだけでなく、異なるモード同士の確率的な依存関係が同時分布に反映されると考えられる。従って、確率変数とみなしたモード座標の同時分布を検討する必要があると考えられる。各モードのモード座標とその周辺累積分布関数の合成関数は一様分布に従う確率変数を定める。コピュラとは、この一様分布に従う確率変数ベクトルの同時累積分布関数のことである。大雑把に述べるならば、コピュラとは、モード毎の確率的な特徴を周辺累積分布関数に押し付けて、異なるモード同士の確率的な依存関係のみを表現するものと言える。本報告では、経験コピュラを採用することとした。

計算結果：まず、せん断食い違い型点震源のラディエーションパターンのモード分解を実施して、本提案手法が多数のシナリオ結果に通底する特徴を抽出する能力があることが示された。更に、各モードのモード座標は独立ではなく、特定の依存関係があることが確認された。換言すれば、モード座標を生成する場合に然るべき

依存関係を満足するようにサンプリングしなければ、たとえ無相関なサンプリングをしても、現実には存在し得ない結果を生成してしまったり、存在し得たとしても発生頻度を歪めたりする可能性があることを示唆している。次に、実際のシナリオ地震動予測地図に対してモード分解を適用して、まだ設定されていないシナリオに対する地震動予測結果を簡便に生成できることを示した。更に、生成する地震動予測結果にバリエーションを与える方法を試みた。コピュラを評価することによって、各モード個別の確率的な性質とモード間の依存関係を独立に議論することができ、モード間の依存関係を調節することで地震動予測結果のバリエーションを制御することができた。

Toward application of large-scale numerical simulation of earthquake generation, wave propagation and soil amplification into comprehensive earthquake damage estimation

*Takane Hori¹, Tsuyoshi Ichimura², Kohei Fujita², Ryoichiro Agata¹

1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

スーパーコンピュータ「富岳」の2020年度の運用開始に伴い、「富岳」を用いた成果を早期に創出することを目的として、文部科学省により「富岳」成果創出加速プログラム（2020～2022年度）が設置された。その課題の一つとして、著者らが中心となって申請した「大規模数値シミュレーションによる地震発生から地震動・地盤増幅評価までの統合的予測システムの構築とその社会実装」が採択された。著者らは前身課題であるポスト「京」重点課題において、富岳の計算性能を最大限活用できるような有限要素計算アプリケーションの開発に取り組んできた。重点課題において開発された地震動解析プログラム「E-wave FEM」は、四面体二次要素を用いた陰解法と高性能前処理による反復解法を組み合わせた弾性波動方程式の求解により、複雑地盤における地震動解析を精度よく、安定に、かつ高速に行うことができる計算アプリケーションである。本アプリケーションは、国の被害想定における長周期地震動評価のための手法高度化のニーズと合致していたため、重点課題の頃から国の被害想定への適用を目指した委員会での検討に組み込まれてきた。本課題においては、「富岳」でしかできない規模の地震動計算によって精度保証をした上で、国の被害想定における地震動評価で実際に用いられるようにすることが目標となる。さらに、開発した計算アプリケーション群を実務で活用するための環境整備を進め、建築・土木系企業等が、国の想定と同等の計算ができる仕組みを構築することも計画しており、5つの企業が本課題に連携機関として参画している。このように、高性能計算を活用した計算アプリケーションによる数値シミュレーションを、政策判断や実務等に活用するための基礎を築くことが、本課題の目指すところである。

プロジェクトの立ち上げからこれまでのところ、国の被害想定における長周期地震動評価に必要な計算を今年度中に遂行するための準備を進めている。まず「富岳」の実機を用いて、E-wave FEM・STRIKEなどに共通する有限要素解析ソルバー部分の計算で「富岳」の性能が引き出されるように、計算科学・計算機科学の最先端技術を駆使したコード改良を継続中である。さらに、E-wave FEMと国の被害想定において従来用いられてきた有限差分法の数値解をベンチマークテストで比較することで、E-wave FEMを被害想定のためのツールとして採用するメリット等を整理している。また、E-wave FEMを連携企業が実務で使いやすいツールとするため、マニュアル、プリポスト処理用計算機とツール群の整備など、環境整備構築も進めてきた。今年度後半には連携企業の計算チュートリアルを行い、実装されている機能に対するフィードバックをうけて、さらに環境整備を改善していく計画である。STRIKEについても、重点課題からの共同研究をさらに発展させ、企業ごとのニーズを踏まえた非線形地盤増幅計算を「富岳」で実施する準備を進めている。

さらに、津波初期水位推定や南海トラフプレート境界面固着度推定などを目的として、地震動解析コードとほぼ共通の有限要素解析ソルバーを用いた、弾性・粘弾性地殻変動の大規模計算コードE-cycle FEMの開発も進めている。こちらは、「富岳」でしかできない規模として、全球スケールの3次元不均質構造を考慮した弾性・粘弾性地殻変動計算により、参照解を得ることを目指す。そして、この参照解との比較により精度保証したグリーン関数を提供することで、国の被害想定のもとになる地震・津波シナリオの事前評価や、地震発生・準備過程ならびに津波発生過程の現状把握・推移予測・即時予測の高度化に貢献する。