

強震動予測手法に関するベンチマークテスト (その9: 理論的手法、ステップ5・6) Benchmark Tests for Strong Ground Motion Simulations (Part 9: Theoretical Methods, Step 5 & 6)

松本 俊明^{1*}, 久田 嘉章¹, 永野 正行², 野津 厚³, 浅野 公之⁴, 宮腰 研⁵

MATSUMOTO, Toshiaki^{1*}, HISADA, Yoshiaki¹, NAGANO, Masayuki², NOZU, Atsushi³, ASANO, Kimiyuki⁴, MIYAKOSHI, Ken⁵

¹ 工学院大学, ² 東京理科大学, ³ 港湾空港技術研究所, ⁴ 京都大学防災研究所, ⁵ 地域地盤環境研究所

¹Kogakuin University, ²Tokyo University of Science, ³The Port and Airport Research Institute, ⁴Disaster Prevention Research Institute, ⁵Geo-Research Institute

1 はじめに

前報(久田・加藤・吉村ほか, 2011、久田ほか 2011、2012)に引き続き、3年間のプロジェクトの最終年度である、2011年度に実施した3手法(理論的手法・数値解析手法・統計的グリーン関数法)のうち、本報(その9)では理論的手法による強震動予測手法に関するベンチマークテストの結果の報告を行う。

2 理論的手法によるベンチマークテスト(ステップ5・6)

表1に2011年度理論的手法検討モデル一覧を示す。2011年度は関東平野を対象に実地震動シミュレーションを課題としたステップ5・6の2段階で実施した。ステップ5で対象とした実地震はそれぞれT51に1990年神奈川県西部の地震、T52に1990年伊豆大島近海の地震、T53に1992年東京湾の地震である。ステップ6は1923年関東地震を対象とした。地盤モデルは地震調査研究推進本部による長周期地震動予測地図2009年度試作版で想定東海地震等の計算に用いられた関東平野の3次元深部地盤モデルを採用し、観測点直下の平行成層を抽出して用いる。検討出力点は日本建築学会デジタル強震データ集による強震観測地点19地点を選出した。例として、図1にステップ5の震源モデルと出力点位置のプロットを示す。

3 参加チームと結果

各ステップの参加チームと用いた手法は以下の通りである。T51は、久田ほか(工学院大・波数積分法)、永野(東京理科大・薄層法)、野津(港湾空港技術研究所、離散化波数法)、浅野ほか(京都大学防災研・離散化波数法)の4チームで、T53、T61は久田ほか、永野、浅野ほかの3チーム、T52は久田ほか、永野の2チームである。参加チーム間での結果は基本的には実用上ほぼ一致することが確認できたが、観測波形との比較も同時に行った結果では、震源からの直達実体波が卓越するサイトでは観測と計算結果の一致度が比較的良好であった。一方、震源から遠方のサイトでは、観測波形と比べ実体波の再現性はよかったが後続の表面波が表現できていない傾向にあり、平行成層地盤に限定される理論的手法を用いる際の留意点と言える。

4 おわりに

今後は各種データを下記のベンチマークテストHPに公開予定であり、より詳細な実施要項や結果と合わせて参照されたい。<http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/test/home.htm>

謝辞

本プロジェクトは文部科学省・科学研究費・基盤研究(B)「設計用入力地震動作成のための強震動予測手法の適用と検証」(平成21-23年度)の研究助成で行われ、日本建築学会地盤地震動小委員会、および工学院大学・総合研究所・都市防災研究センターとの連携のもとに行われています。佐藤俊明氏、山田伸之氏、小林励司氏には震源データを提供していただきました。

参考文献

久田ほか(2011)、強震動予測手法に関するベンチマークテスト:理論的手法の場合(その1)、日本建築学会技術報告集、第17巻、第35号、67-72

久田ほか(2012)、強震動予測手法に関するベンチマークテスト:理論的手法の場合(その2)、日本建築学会技術報告集、第18巻、第38号、101-106

久田・加藤・吉村ほか(2011)、強震動予測手法に関するベンチマークテスト(その6:理論的手法、ステップ3・4)、(その7:数値解析手法、ステップ3・4)、(その8:統計的グリーン関数法、ステップ3・4)、日本地球惑星科学連合2011年大会地震調査研究推進本部、長周期地震動予測地図2009年度試作版(http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09_choshuki/dat/index.htm)

強震動予測手法に関するベンチマークテスト (その10: 数値解析手法、ステップ5・6) Benchmark Tests for Strong Ground Motion Simulations (Part 10: Numerical Methods, Step 5 & 6)

吉村 智昭^{1*}, 永野正行², 久田 嘉章³, 青井 真⁴, 岩城 麻子⁴, 川辺 秀憲⁵, 早川 崇⁶, Seckin Ozgur CITAK⁷
YOSHIMURA, Chiaki^{1*}, NAGANO Masayuki², HISADA Yoshiaki³, AOI Shin⁴, IWAKI Asako⁴, KAWABE Hidenori⁵, HAYAKAWA Takashi⁶, Seckin Ozgur CITAK⁷

¹大成建設, ²東京理科大学, ³工学院大学, ⁴防災科学技術研究所, ⁵京都大学, ⁶清水建設, ⁷海洋研究開発機構

¹Taisei Corporation, ²Tokyo University of Science, ³Kogakuin University, ⁴NIED, ⁵Kyoto University, ⁶Shimizu Corporation, ⁷JAMSTEC

1. はじめに

数値解析手法(3次元差分法、3次元有限要素法)は、関東、濃尾、大阪平野といった盆地構造を対象とした長周期地震動の計算によく用いられる。本ベンチマークテストでは、2009年度より3年計画で、複数の機関が各々保有する計算コードを用い、同一の震源と地盤モデルで強震動の計算を行い結果を比較している。2009年度は6チームの参加者を得て、半無限および2層の平行成層地盤を対象とし、点震源を考慮したステップ1、面震源を考慮したステップ2を実施した(吉村他、2011)。2010年度は6チームの参加を得て、4層地盤と対称盆地を対象としたステップ3、傾斜基盤盆地を対象としたステップ4を実施した(吉村他、2012)。

2. 2011年度のベンチマークテスト実施内容

2011年度は、実際の関東平野の3次元モデルおよび、観測記録のある実地震の震源モデルを対象とした。6チームが参加した。表1に解析条件を、図1に計算領域(210km × 270km)と対象地震と出力点(四角)を示す。ステップ5は中小地震を対象とし、N51は1990年神奈川県西部の地震(点震源)、N52は1990年伊豆大島近海地震(面震源)、N53は1992年東京湾の地震(点震源)である。N51はSato H. et al.(1998)、N52とN53は山田・山中(2003)の震源を参照した。関東平野の3次元地盤モデルは、長周期地震動予測地図2009年度試作版(地震調査研究推進本部、2009)の地盤モデルをもとに作成する。有効振動数は0~0.33Hz(周期3秒以上)とし、19地点の波形を提出する。計算地点は日本建築学会・デジタル強震データ集(建築学会、1996)で観測記録の得られている地点であり、観測記録との比較も行う。ステップ6では、1923年関東地震を対象とし、Sato T. et al.(2005)のインバージョン結果を震源モデルとして用いる。

3. 計算結果の例

図2にN51のASKのY成分(EW成分)を示す。吉村はFEM、永野、早川、チタックら、岩城ら、川辺はFDMで計算した。久田の波数積分法(平行成層)の結果も示す。ASK(浅川)は岩盤サイトであるので、波形は単純である。FEM、FDMの結果は相互によく一致している。久田の結果も類似しており、これは地震波がおもに実体波からなり平行成層仮定が有効であるからだと考えられる。一方、厚い堆積層の上の地点では、盆地構造により生成した後続波が優勢となってくる。これらの点でも概ね各チーム間で一致した結果が得られているが、現在の所まだ完全に一致していない。表層の薄い層のモデル化の違いなどの原因を調査中であり、今後さらに一致度が高まるよう修正する予定である。

なお、詳細な解析条件と実施済みの計算結果は<<http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/test/home.htm>>で公開している。

謝辞: 本プロジェクトは文科省・科研費・基盤研究(B)「設計用入力地震動作成のための強震動予測手法の適用と検証」(代表: 久田嘉章、平成21-23年度)の研究助成で行われ、日本建築学会・地盤震動小委員会(主査: 久田嘉章)および工学院大学・総合研究所・都市減災研究センターとの連携のもとに行われています。佐藤俊明氏、山田伸之氏、小林励司氏には震源データ等を提供して頂きました。Citak氏のチームに、松島信一氏、Robert W. Graves氏にも参加頂きました。

参考文献:

- 1) 吉村他(2011), 建築学会技術報告集, 17巻, 35号, 67-72.
- 2) 吉村他(2010), 建築学会技術報告集, 18巻, 38号, 95-10.
- 3) Sato et al.(1998), BSSA, 88, 183-205.
- 4) 山田・山中(2003), 地震, 2, 56, 111-123.
- 5) 地震調査研究推進本部, http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09_choshuki/
- 6) 日本建築学会編(1996), 日本建築学会・デジタル強震データ集.
- 7) Sato et al.(2005), Science, 309, 462-464.

SSS26-02

会場:304

時間:5月20日 09:15-09:30

キーワード: 断層モデル, 有限要素法, 有限差分法, 関東平野, 関東地震, 神奈川県西部地震

Keywords: Fault model, Finite element method, Finite difference method, Kanto plain, Kanto earthquake, Western Kanagawa Prefecture earthquake

Table 1 Calculation condition

	Site 5	Site 6
Model	3D	3D
Domain	100 km x 100 km x 100 km	100 km x 100 km x 100 km
Boundary	Free surface	Free surface
Initial condition	Zero	Zero
Time step	0.01 sec	0.01 sec
Time length	10 sec	10 sec
Output	Displacement, Stress, Strain	Displacement, Stress, Strain
Reference	Yoshida et al. (2007)	Yoshida et al. (2007)

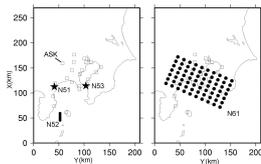


Fig.1 Calculation domain, seismic sources and output sites

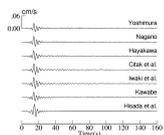


Fig.2 Velocity waveforms at ASK

強震動予測手法に関するベンチマークテスト(その11:統計的グリーン関数法、ステップ5・6) Benchmark Tests for Strong Ground Motion Simulations (Part 11:Stochastic Green's Function Method, Step 5 & 6)

加藤 研一^{1*}, 久田嘉章², 大野 晋³, 野畑有秀⁴, 森川 淳¹, 山本 優⁵

KATO, Kenichi^{1*}, HISADA Yoshiaki², OHNO Susumu³, NOBATA Arihide⁴, MORIKAWA Atsushi¹, YAMAMOTO Yu⁵

¹ 小堀鐸二研究所, ² 工学院大学, ³ 東北大学, ⁴ 大林組, ⁵ 大成建設

¹ Kobori Research Complex Inc., ² Kogakuin Univ., ³ Tohoku Univ., ⁴ Obayashi Co., ⁵ Taisei Co.

1. はじめに

統計的グリーン関数法は高振動数帯域までの強震動波形を簡易に計算できるため、現在、国や自治体による強震動の面的評価や建設地点のサイト波の評価などに広く用いられている。しかしながら、乱數位相を用いた小地震動の作成法や、重ね合わせ法などに関して多様な手法が提案されており、手法間の相違が計算結果に及ぼす影響を把握する必要がある。本ベンチマークテストでは、参加者が各々保有する計算コードを用い、同一条件の震源・伝播・地盤モデルに基づいて強震動計算を行う。それらの結果を相互比較し、統計的グリーン関数法を適用する際の留意点を、乱數位相の使用に起因する計算結果の差の観点から整理した。

2. ステップ1~4のベンチマークテスト結果の概要

ベンチマークテストは3年計画で実施中であり、初年度にあたる2009年度は半無限および2層の平行成層地盤を対象として計6名の参加者のもと、点震源を対象としたステップ1、面震源を対象としたステップ2の2段階のベンチマークテストを実施した。震源の放射係数は振動数に対して一定としてSH波のみを対象とした。2層地盤についてはSH波の鉛直平面波入射を仮定して地盤増幅特性を評価した(加藤他, 2011)。2010年度のステップ3(点震源)とステップ4(面震源)ではより複雑な解析条件を設定し、計5名が参加した。ステップ1、2との相違はSH波に加えてSV波も考慮し、振動数依存の震源の放射係数と基盤からの斜め入射を考慮した点である。その結果、上下動も励起されることになり、3成分の地震動波形の提出を条件とした。応答スペクトルの計算結果は概ね一致したが、乱數位相の影響により違いが見られる周期帯もある。なお、1名は平行成層地盤の厳密なグリーン関数を用いて参加している。この結果は周期約1秒以上の長周期側において他の参加者に比べて異なる傾向を示し、遠方10kmで顕著となっている。設定した震源が点震源では2km、面震源では2~6kmと浅いこともあり、表面波の影響と考えられる。もともと統計的グリーン関数法は実体波を対象としており、手法としての制約も理解した上での適用が重要と指摘した(加藤他, 2012)。

3. ステップ5、6のベンチマークテスト結果の概要

これまで仮定の地盤と地震を用いたが、2011年度は1923年関東地震を取り上げ、実地盤と実地震を対象としたベンチマークテストを4名の参加者で実施した。解析条件を表1に、断層面と観測点の位置関係を図1に示す。震源のモデル化はSato et al. (2005)のすべり分布を基に特性化したモデルと、すべり分布をそのまま用いた不均質モデルを設定し、後者は任意の提出とした。ステップ5は特性化したアスペリティ内の1小要素を対象としたテストであり、岩盤上の浅川(ASK)と関東平野内の越中島(ECJ)の2地点を計算対象とした。S51モデルでは乱數位相を予め与えたことから参加者間の結果は一致し、震源の放射係数の与え方や斜め入射による地盤増幅の計算法が各々正しいことを確認した。

ステップ6は面震源とし、S61モデルでは特性化震源モデルに基づいて図1の4地点で計算結果を比較した。参加者間の結果はステップ4に見られた乱數位相に基づくばらつき範囲内で一致した。計算結果を距離減衰式による平均的なスペクトル振幅と比較したところ、周期0.2秒以下の短周期帯域は良く一致した。一方、周期0.2秒以上は計算結果が距離減衰式に比べて一様に小さい傾向を示した。今後、同時に実施中の理論的手法や数値解析手法のベンチマークから評価される長周期帯域との比較も含め、ハイブリッド法を適用する際の留意点を整理する予定である。より詳細な解析条件と計算結果は<http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/test/home.htm>にて公開されている。

謝辞：本プロジェクトは文部科学省・科学費・基盤研究(B)「設計入力地震動作成のための強震動予測手法の適用と検証」(平成21-23年度)の研究助成で行われ、日本建築学会・地盤震動小委員会および工学院大学・総合研究所・都市減災研究センターとの連携のもとに行われています。

参考文献：

加藤ほか(2011)、強震動予測に関するベンチマークテスト - 統計的グリーン関数法の場合(その1)、日本建築学会技術報告集、第17巻、第35号、49-54。

加藤ほか(2012)、強震動予測に関するベンチマークテスト - 統計的グリーン関数法の場合(その2)、日本建築学会技

SSS26-03

会場:304

時間:5月20日 09:30-09:45

術報告集、第18巻、第38号、67-72.

Sato, H., N. Hirata, K. Koketsu, D. Okaya, S. Abe, R. Kobayashi, M. Matsubara, T. Iwasaki, T. Ito, T. Ikawa, T. Kawanaka, K. Kasahara, S. Harder, Earthquake source fault beneath Tokyo, Science, 309, 462-464, 2005.

キーワード: 強震動予測手法, ベンチマークテスト, 統計的グリーン関数法, 乱数, 点震源, 断層モデル

Keywords: Strong motion prediction methods, Benchmark tests, Stochastic Green's function method, Random numbers, Point source, Fault model

表1 統計的グリーン関数法の解析条件一覧

モデル名	ステップ5 (点震源)		ステップ6 (面震源)	
	S51 (必須)	S52 (必須)	S61 (必須)	S62 (任意)
対象地震	1923年関東地震(Mj7.9)のアスぺリティ		1923年関東地震(Mj7.9)	
震源のモデル化	アスぺリティ内の1要素を点震源として用いる		Sato <i>et al.</i> (2005)のすべり分布の特性化モデル	Sato <i>et al.</i> (2005)のすべり分布を使用した不均質モデル
地盤	関東平野の3次元深部地盤モデル (長周期地震動予測モデル、2009試作版) を用い、観測点直下の平行成層地盤を使用			
減衰	あり			
乱数位相	指定	各自の乱数位相3パターン		
有効振動数	0~20Hz			
出力点	4地点(岩盤サイト: 浅川、堆積層サイト: 清瀬、越中島、本郷)			

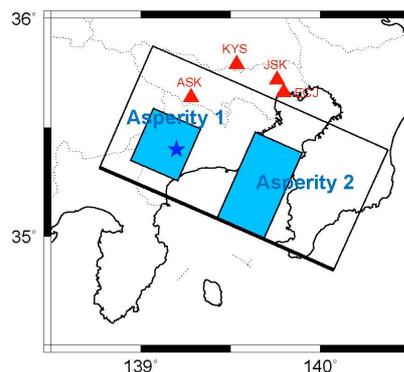


図1 1923年関東地震の特性化震源モデルと計算点位置

すべり時間関数の補正とその意味 Correction for slip function and its implications

増田 徹^{1*}MASUDA, Tetsu^{1*}¹ 東大地震研¹ERI

グリーン関数法によって想定地震の地震動を予測するとき、想定地震とグリーン関数として用いる小地震のすべり速度時間関数は振幅と卓越周期が相違していることを考慮して、小地震の地震波に補正を行っている。補正の基本的考え方は、想定地震と小地震について、すべり速度時間関数の関数形は類似で、すべり量 D の比とライズタイム T の比はどちらも震源断層の長さ L あるいは幅 W の比 N に等しいとする相似則に基づいている。これまでに提案された補正関数は、時間領域でのすべり速度時間関数を Boxcar 関数あるいは指数関数と仮定し、または周波数領域で一次あるいは二次の有理関数と仮定して、想定地震と小地震のすべり速度時間関数のスペクトル比から求められたもの (Irikura, 1983、大西・堀家, 2004、壇・佐藤, 1998)、補正関数自体の関数形を指定したもの (Irikura, 1986、入倉・他, 1997、野津, 2002) などがある。これらの補正関数のスペクトルは、想定地震のライズタイム T に対応するコーナー周波数 f_t より低周波数側で N 、小地震のライズタイム T/N に対応するコーナー周波数 f_g より高周波数側で 1 の値をとり、その中間では周波数の増加とともに減衰する特性をもっている。

地震波はすべり速度関数を断層面で積分して得られる。矩形断層ですべり速度関数が一様で破壊伝播速度が一定な場合に断層面での積分を行うと、断層の有限性により地震動のスペクトルは $T_x=(X/c - 1/V_r)L/2$ 及び $T_y=(Y/c - 1/V_r)W/2$ (X, Y は震源から観測点を見たときの方向余弦、 c は P 波あるいは S 波速度) を係数とする周波数の Sinc 関数の積で表現される。スペクトル振幅は T_x あるいは T_y に対応する周波数 f_c より低周波数側で平坦、高周波数側で周波数の二次で減衰する。

グリーン関数法では断層面で積分する代わりに、有限の間隔で不連続に配列した点震源にグリーン関数を置いてその総和をとることがひとつの特徴である。この場合も断層面での積分と同じように周波数 f_c から周波数の二次で $1/N$ まで減衰するが、周波数 $f_e=f_c/N$ から振幅は増加し高周波数側で振幅は平坦となる。

周波数 f_c は想定地震の断層面の有限性によるコーナー周波数であり、スペクトル振幅はこの周波数から減衰する。周波数 f_t が f_c に近く、したがって周波数 f_g が f_e に近い場合には、グリーン関数法で合成された地震動のスペクトル振幅は、周波数 f_t から f_g までの帯域では補正関数の減衰と断層面での総和による減衰が重なることになり、周波数 2 乗モデルより急激に減衰することになる。補正関数に用いるライズタイムは多くの場合、数値計算の結果 (Day, 1982) を参照して $W/2V_r$ (V_r は破壊伝播速度) で与えられている。ライズタイムをこの値に設定した場合、 f_t は f_c に近く f_t から f_g までの周波数帯域でスペクトル振幅が過小評価となることが知られており、ライズタイムをこれよりも小さな値とすべきであると報告 (片岡・他, 2003) もある。

ライズタイムとして広く採用されている $W/2V_r$ は、数値計算結果から得られた断層中央部におけるすべり始めからすべり終わりまでの時間である。すべり速度はすべりはじめに大きく最大値に達した後急激に小さくなる。最大値は断層の端に向かって小さくなっている。また、過去の地震の解析結果によれば、ライズタイムは断層運動の継続時間 L/V_r の 0.1 倍程度の長さとしてされている。

グリーン関数法で広く用いられている特性化震源モデルは、ひとつのアスペリティですべり時間関数は一様とすることが多いから、上記のように設定されるライズタイムは過大評価であり、グリーン関数法を用いるときに設定するライズタイムは従来の設定より小さな値とするほうが妥当である。すべり速度関数の急激な立ち上がり振幅減衰を考慮すると、この特徴に対応した補正関数は大西・堀家 (2004) あるいは野津 (2002) である。これらの報告は Irikura (1986) の補正関数との一致を条件とすると指数の係数として ~ 1 としている。数値計算の特徴を再現する係数はそれより大きくなる。グリーン関数の規模、あるいは N によらず想定地震を適切に評価するためには、ライズタイムを小さくするか、あるいは指数関数の係数を大きくする必要もある。また、数値計算結果によれば、すべり量は断層幅の一次、すべり速度は断層幅の 0.5 次に比例する。これは、すべり速度関数としては一次関数と指数関数との積を示唆する。

キーワード: グリーン関数法, すべり時間関数, 補正関数, ライズタイム

Keywords: Green' function method, slip time function, correction function, rise time

リアルタイム変位波形によるモーメントマグニチュードの即時推定 Quick estimation of moment magnitude based on real-time displacement waveform

平井 敬^{1*}, 福和伸夫¹

HIRAI, Takashi^{1*}, FUKUWA, Nobuo¹

¹ 名古屋大学大学院環境学研究科

¹ Environmental Studies, Nagoya University

1. はじめに

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震は、我が国における観測史上最大のマグニチュード9.0という巨大な海溝型地震であった。しかしながら地震発生後の3分後に発表された気象庁マグニチュードは7.9であり、さらに約15分後に計算されるべきモーメントマグニチュードが、広帯域地震計の測定範囲を超えたために計算できないという事態が生じた。結果として津波の高さを過小評価してしまい、不幸にして多くの人命が失われた。西南日本においても南海トラフ巨大地震の発生が迫っている現今において、飽和しないマグニチュードを迅速に推定する仕組みを構築することは喫緊の課題である。先に筆者らは、強震計によって測定された加速度時刻歴波形から、永久変位を精度よく計算する方法を開発した¹⁾。これを応用し、大地震の発生直後に、永久変位と震源距離との関係を利用してモーメントマグニチュードを迅速に推定する手法を提案する。

2. 手法の概要

地震による永久変位 u と震源距離 r との関係は、理論的には次式で表される。

$$u = M_0 A / Gr^2 \quad \dots (1)$$

ここで M_0 は地震モーメント、 A は方位特性を考慮するための係数、 G は剛性率である。この式において、両辺の対数をとると次式ようになる。

$$\log u = -2 \log r + \log (M_0 A / G) \quad \dots (2)$$

すなわち、永久変位の対数を震源距離の対数に対してプロットすると、傾き-2の直線が得られ、その切片から地震モーメント M_0 を計算することができる。

本研究では、防災科学技術研究所が展開する強震観測網 KiK-net によって観測された加速度波形をもとに、平井・福和(2012)の方法¹⁾によって変位波形と永久変位を算出した。これを各地の観測点について行い、永久変位と震源距離とで両対数プロットを作成した上で、式(2)にフィッティングすることで、地震モーメント M_0 を求めた。

3. 適用結果と考察

東北地方太平洋沖地震に対して本手法を適用した結果を図に示す。図(a)は加速度波形から算出した各地の変位の最終値、(b)-(g)は発震後の各時刻におけるマグニチュードの推定値を示している。図より、マグニチュードの推定値が時間経過とともに大きくなっていることと、発震後4分の時点で $M_w \sim 9$ クラスの巨大地震であることが判明することが分かる。これは、GPSによる地震時地殻変動の観測結果から逆解析によって求められた値²⁾とほぼ一致しており、本手法の有効性が示唆されたといえる。

参考文献

- 1) 平井敬・福和伸夫, 強震記録に基づく東北地方太平洋沖地震による地殻変動分布の算定, 日本建築学会構造系論文集第77巻第673号, 341-350, (2012).
- 2) T. Ito, K. Ozawa, T. Watanabe, T. Sagiya, Slip distribution of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake inferred from geodetic data, *Earth Planets Space*, **63**, 627-630 (2011).

謝辞

本研究にあたり、防災科学技術研究所の強震観測網 KiK-net のデータを使用した。

キーワード: モーメントマグニチュード, 即時推定, 永久変位, 強震記録

Keywords: moment magnitude, quick estimation, permanent displacement, strong motion record

SSS26-05

会場:304

時間:5月20日 10:00-10:15

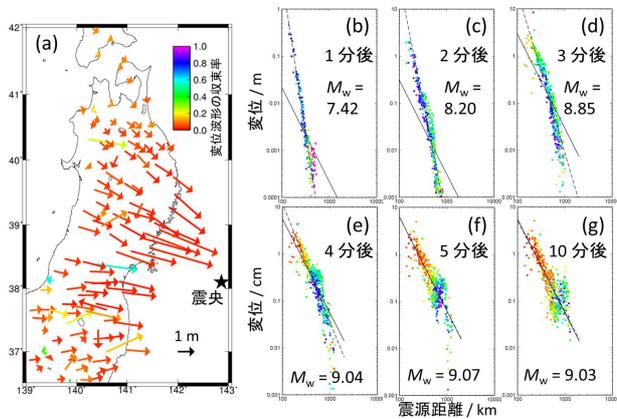


図. (a) 加速度記録から算定された永久変位 (b)-(g) リアルタイムマグニチュード推定結果

内陸地殻内の長大断層による巨大地震およびプレート間の巨大地震を対象とした震源パラメータに関するスケールリング則の検討 Scaling relations of source parameters for great earthquakes on long active fault systems and plate boundaries

田島 礼子^{1*}, 松元 康広¹, 司 宏俊¹

TAJIMA, Reiko^{1*}, Yasuhiro Matsumoto¹, SI, Hongjun¹

¹(株) 構造計画研究所

¹Kozo Keikaku Engineering Inc.

はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震(Mw 9.0)は、日本周辺における観測史上最大級のプレート境界地震となり、甚大な被害を引き起した。また、近年では、内陸でもM8クラスの巨大地震(たとえば、2008年中国四川地震, Mw 7.9)が発生し、多くの人命が失われた。巨大地震への対策が重要かつ緊迫した課題となっていることから、地震防災上重要な震源パラメータのスケールリング則について、巨大地震への適応性を含めた検討を行うことは重要と考えられる。

本研究では、世界中で発生したMw 7.5以上の6個の内陸地殻内地震およびMw 8.4以上の6個のプレート境界型地震について震源モデルを収集し、断層面積(S)、平均すべり量(D)、アスペリティ面積(Sa)、短周期レベル(A)などの震源パラメータを抽出し、震源スケールリング則について検討を行った。なお、震源インバージョンから求められたすべり分布からS、Saを抽出する方法はMurotani et al. (EPS, 2008)に従った。

本研究は内閣府原子力安全委員会事務局からの請負業務「内陸地殻内の長大断層による巨大地震とプレート間の巨大地震を対象とした震源パラメータのスケールリング則の比較検討業務」として実施したものの一部である。

内陸地殻内地震のスケールリング則

図1aに内陸地震の地震モーメント(Mo)とSの関係を示す。今回収集したデータはMurotani et al. (AGU, 2010)で示されたIrikura et al. (WCEE, 2004)による3 stage scaling modelの3段階目(Mw 7.4以上, $S \propto Mo^1$)に対応することが分かった。最大すべり量(Dmax)は、ばらつきがあるものの概ね10m程度で飽和していることを確認した。Mo-Saの関係は、短周期と長周期のモデルの結果は概ね一致し、S-Saの関係もSomerville et al. (1999)による $Sa = 0.22 \times S$ で説明できる。また、Mo-Aの関係について、今回の結果は壇・他(2001)の回帰式のばらつきの範囲内におさまっていることが分かった。

プレート境界型地震のスケールリング則

図1bにプレート境界地震のMo-Sの関係を示す。図から、Mw9クラスの地震はMurotani et al. (EPS, 2008)による経験式($S \propto Mo^{2/3}$)よりもSが明らかに小さくなる傾向が見られる。また、収集したデータから、断層幅(W)がおよそ200kmで飽和することが確認された。そこで、Mw 8.4以上の地震に対し $S \propto Mo^{1/2}$ を仮定し、以下の回帰式を導いた。

$$S \text{ (km}^2\text{)} = 5.88 \times 10^{-7} \times Mo^{1/2} \text{ (Nm)} \quad (1)$$

これは、沈み込み帯におけるプレート境界型地震についても、ある規模以上の地震についてはWの飽和に起因し、3 stage scaling modelの2段階目に対応する関係が成り立つことを示唆する。

一方、DおよびDmaxはMoに従って増加しており、すべりの飽和現象(3段階目)はみられないことが分かった。

Mo-Aの関係は、壇・他(2001)による内陸地殻内地震の結果よりやや大きめであるが、プレート境界型地震の短周期のモデルによる結果(佐藤, 2010)と調和的であることが分かった。S-Saの関係について、長周期の波形インバージョンから求めた震源モデルによる結果はMurotani et al. (2008)による関係式 $Sa = 0.20 \times S$ と概ね一致することが分かった。しかし、経験的グリーン関数法による2011年東北地震の特性化震源モデルから求めたSaは、長周期モデルから求めたSaの約1/2.5と小さいことが分かった。ただし、プレート境界型地震の短周期のモデルによる結果(佐藤, 2010)とは調和的である。

まとめ

本研究の結果より、プレート境界型地震に関しても、内陸地殻内地震と同様に、ある規模以上の地震についてはSとMoの関係が3 stage scaling modelの2段階目に対応する $S \propto Mo^{1/2}$ の関係で表現可能なことが示唆された。内陸地殻内地震については既往研究と調和的な結果が得られた。また、プレート境界型地震である2011年東北地震の特性化震源(比較的短周期)モデルでは、SaとMoの関係においてMurotani et al. (2008)より小さくなる傾向があることが分かった。これは1地震から得られた結果であるため、今後その他の地震についても調査を行う必要があると考えられる。

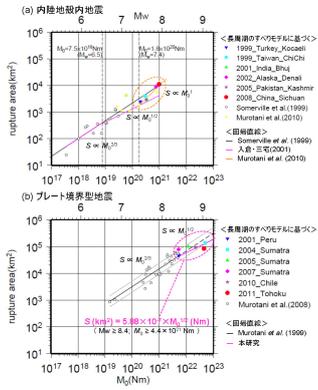
キーワード: 巨大地震, 震源パラメータ, 震源モデル, スケールリング則, アスペリティ, 断層面積

Keywords: great earthquake, source parameter, source model, scaling, asperity, rupture area

SSS26-06

会場:304

時間:5月20日 10:45-11:00



2011年東北地震の強震動の再現と海溝型巨大地震の強震動予測レシピの考え方 Simulation of strong ground motions from the 2011 Tohoku earthquake and a recipe of predicting strong ground motions for

入倉 孝次郎^{1*}, 倉橋 奨¹

IRIKURA, Kojiro^{1*}, KURAHASHI, Susumu¹

¹ 愛知工業大学

¹ Aichi Institute of Technology

1. Introduction

Source models of the 11 March 2011 mega-thrust earthquake with Mw 9.0 off the Pacific coast of Tohoku have been investigated by many authors using variety of data-sets from very long-period data such as GPS and Tsunami to short-period data such as teleseismic short period P waves and strong ground motion data. The main slip distributions from very long-period data were located east of the hypocenter toward the Japan Trench zone (Ozawa, et al., 2011 and Fujii and Satake, 2011). A unified source model was constructed through joint inversion of teleseismic, strong motion, and geodetic datasets by Koketsu et al. (2011) and Yokota et al. (2011). They showed that the main rupture propagated not only in the strike direction but also in the dip direction and included both the deep area called the Miyagi-oki region and the compact shallow area near the Japan Trench. On the other hand, we made a source model for generating short-period ground motions comparing observed strong motions with simulated ones using the empirical Green's function method. Our results showed that strong motion generation areas located along the down-dip edge of the source fault. Koper et al. (2011) found the frequency-dependent rupture process of the 2011 Mw 9.0 Tohoku Earthquake comparing source models using backprojection (BP) imaging with teleseismic short-period (<1 s) P waves, and finite faulting models (FFMs) of the seismic moment and slip distributions inverted from broadband (>3 s) teleseismic P waves, Rayleigh waves and regional continuous GPS ground motions. Their results showed indicate that the down-dip environment radiates higher relative levels of short-period radiation than the up-dip regime for this earthquake.

That is, the source models summarized above have common features of the source models that the main slip distributions from the long-period data were located east of the hypocenter toward the Japan Trench zone, while short-period generation areas located west of the hypocenter. These results are not consistent with the basic idea of the recipe of predicting strong ground motions developed based on slip distributions from the waveform inversions for inland crustal earthquake with M 7 class. The recipe was so far constructed based on an idea that large slip areas coincide with strong motion generation area.

In this study, we first summarized source models for generating strong ground motions and then propose an improved idea for recipe of predicting strong ground motions for mega-thrust earthquakes.

2. Source models of strong ground motions

We estimate a source model for generating strong ground motions from this earthquake using the characterized source model. Five wave-packets in the observed seismograms were identified, which originated from five strong motion generation areas (SMGAs) on the source fault. The locations of the SMGAs are constrained using the back-propagation method of Kurahashi and Irikura (2010).

Then we obtain the final solutions for the area and initiation point by comparing the observed seismograms of each wave-packet and the synthetic ones at many stations using a trial and error approach. Locations of those five SMGAs seem to correspond to source segments divided for past seismic activity in the region off the Pacific coast of Tohoku by the Headquarters for Earthquake Research Promotion of Japan (HERP). SMGA 1 is located in the source region of Southern Sanriku-oki west of the hypocenter and SMGA 2 in that of the Middle Sanriku-oki north of the hypocenter. SMGA3 is located in the source region of the Miyagi-oki, SMGA 4 is located in that of Fukushima-oki and SMGA 5 is located in that of Ibaraki-oki.

These results suggest a way how to locate such strong motion generation areas for predicting strong ground motions from the mega-thrust earthquake.

3. Methodology of predicting strong ground motions for mega-thrust earthquake.

Detailed methodology of predicting strong ground motions is introduced in the session.

キーワード: 巨大地震, 震源パラメタ, 震源モデル, スケーリング則, アスペリティ, 断層面積

Keywords: great earthquake, source parameter, source model, scaling, asperity, rupture area

スーパーアスペリティを考慮した特性化震源モデルによる2007年新潟県中越沖地震の広帯域強震動シミュレーション Strong motions from the 2007 Niigata-ken Chuetsu-oki earthquake based on characterized source model with super-asperity

芝 良昭^{1*}, 引間 和人², 植竹 富一², 津田 健一³, 早川 崇³, 田中 信也⁴

SHIBA, Yoshiaki^{1*}, HIKIMA, Kazuhito², UETAKE, Tomiichi², TSUDA, Kenichi³, HAYAKAWA, Takashi³, Shinya Tanaka⁴

¹ 電力中央研究所, ² 東京電力, ³ 大崎総研, ⁴ 東電設計

¹ CRIEPI, ² TEPCO, ³ ORI, ⁴ TEPCO

2007年新潟県中越沖地震(M6.8)では、東京電力柏崎刈羽原子力発電所の原子炉建屋基礎版上に設置された複数の強震観測点で本震記録が得られている。これらの本震記録には、おおむね3つのパルス状速度波形が共通して確認されており、それぞれ断層面上の3ヶ所のアスペリティから励起されたものであると推定される(芝, 2008)。一方で、各観測点の記録波形を詳細に比較すると、特に三番目に出現する特徴的な速度パルス波形(第三パルス)の振幅が、観測点間の距離が数百m程度しか離れていないにもかかわらず大きく異なる。原子炉建屋基礎版は堅固な岩盤上に設置されていることから、表層地盤の増幅特性にその原因を求めることは困難である。前報(芝・他, 2011)では、震源から柏崎サイトにいたる領域の深部三次元速度構造をモデル化し、差分法によりアスペリティからの地震波伝播を評価した。その結果、応力降下量が一定の矩形アスペリティ(強震動生成域)を仮定した通常の特異化震源モデルにより、観測された第三パルスを再現することができたが、観測点間の振幅の差異を十分に評価することができなかった。このため、本報では強震動生成域内部を小領域に分割し、各小領域からの地震波伝播特性を検証したところ、観測点間の振幅差が大きくなるのは、強震動生成域の南西側からの地震波伝播に限られることが明らかになった。一方、断層面上のすべり量と最大すべり速度を独立変数とした同時インバージョン解析(Shiba and Irikura, 2005)を本地震に適用した結果、第三パルスを励起したアスペリティ(第三アスペリティ)では南西側の端部で最大すべり速度が相対的に大きくなった。断層面上の最大すべり速度は実効応力に比例すると考えられることから、第三アスペリティの南西端に実効応力が局所的に高いスーパーアスペリティを仮定して特性化震源モデルを再構築し、広帯域シミュレーションを実施した。その結果、パルス波形がより明瞭に観測されているEW成分については、観測点間の相対的な振幅差を含め、第三パルスを再現することができたが、NS成分については再現性が必ずしも十分ではなかった。水平の2成分間で波形の再現性が異なる原因として、特性化震源モデルにおいて断層面上のレイク角の空間的な変動が考慮されない点が挙げられ、今後の検討課題である。

キーワード: 2007年新潟県中越沖地震, 特性化震源モデル, 強震動シミュレーション, スーパーアスペリティ, 震源インバージョン

Keywords: the 2007 Niigata-ken Chuetsu-oki earthquake, characterized source model, strong-motion simulation, super-asperity, source inversion

東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震ハザード評価の改訂 Revision of seismic hazard assessment after the 2011 Tohoku earthquake

藤原 広行^{1*}, 森川 信之¹, 奥村 俊彦²

FUJIWARA, Hiroyuki^{1*}, MORIKAWA, Nobuyuki¹, OKUMURA, Toshihiko²

¹ 防災科研, ² 清水建設

¹NIED, ²Shimizu corp.

東北地方太平洋沖地震は、M9.0 という日本周辺で発生した地震としては有史以来最大規模のものであり、日本全国に整備された強震観測網により地震動が記録された。この地震は、地震調査研究推進本部により行われてきた「全国地震動予測地図」においても考慮することができていなかった。このため、観測された地震動と予測地図を比較すると、福島県から茨城県北部地域では、予測されていた地震動レベルは過小評価であった。この原因は、一義的には、地震活動モデル作成の根拠となっている長期評価において、M9.0 の巨大地震の発生が評価されていなかったことによる。一方で、不確定性を定量的に評価するために準備されている確率論的地震ハザード評価手法の枠組みを十分に機能させることができなかつたことも一因であると考えられる。これまでの確率論的地震ハザード評価に関して、その問題点と解決すべき課題について考察するとともに、東北地方太平洋沖地震を踏まえた日本の確率論的地震ハザード評価について改善に向けた検討を行った。

なお、具体的な検討対象地域は、地震調査研究推進本部による長期評価の改訂を踏まえたため、東北地方太平洋沖地震の震源域を含む三陸沖から房総沖にかけての太平洋プレートの領域に限定した。

確率論的地震ハザード評価の改訂においては、長期評価の改訂内容を反映するとともに、長期評価で評価される地震「以外の」地震に関して、東北地方太平洋沖地震後の影響（M8程度の余震発生の可能性等）を考慮することとし、以下の方針に基づいてモデルを作成した。長期評価を忠実に反映した従来型のモデルに加え、複数のモデルを検討する。長期評価にできるだけ忠実な「モデル1」を基本とし、参考用に、一部単純化や変更を加えた「モデル2」、より単純化した「モデル3」の3つのモデルを考える。「震源断層を予め特定しにくい地震」のうち、東北地方太平洋沖地震で活動した領域のものについては、暫定的に、最大マグニチュードの値をこれまでの設定値より大きい値に変更する。なお、これらは余震活動への配慮に関する指摘に対応する暫定的な取扱いであり、将来、長期評価が再度改定された場合には見直す。具体的には、モデル1では、「震源断層を予め特定しにくい地震」の最大Mとして、プレート境界の地震に対してはM8.0、プレート内の地震はM7.5、モデル2では、プレート境界の各領域の面積から推定される最大M（M8.0?M8.4）、プレート内地震は、M8.2とした。モデル3では、三陸沖から房総沖までの領域を1つの領域にまとめて、プレート境界の最大Mを9.5、プレート内地震の最大Mを8.2として、G-R式によりモデル化を行った。

また、低頻度の地震による地震動を可視化するために、長期間平均的な地震ハザード評価を実施し、再現期間を5千年、1万年、5万年、10万年に対応する地震動評価を実施した。

今回の検討は、東北地方太平洋沖の地震モデル改訂に限定されているが、今後、全国的なモデル改定に向けた検討を実施する予定である。

キーワード: 地震動予測地図, 強震動, 地震ハザード, 確率

Keywords: National Seismic Hazard Maps, strong-motion, seismic hazard, probability

東北地方太平洋沖地震前後でのサイト増幅特性の変化 Change in site amplification factors before and after the 2011 Off Tohoku earthquake

竹本 帝人^{1*}, 古村 孝志², 前田 拓人²
TAKEMOTO, Teito^{1*}, FURUMURA, Takashi², MAEDA, Takuto²

¹ 東京大学地震研究所, ² 東京大学大学院情報学環総合防災情報研究センター

¹Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, ²Center for Integrated Disaster Information Research, Interfaculty Initiative in Information Studies

はじめに

我々は、これまでコーダ規格化法 (e.g. Phillips and Aki, 1986) を日本の高密度強震観測網の強震データに適用して、各地点の S 波の増幅特性を周波数帯域毎に詳しく評価し、サイト増幅と表層地質との関連を議論するとともに、地震動の距離減衰式に基づく大地震の震度推定の高精度化に向けた検討を進めてきた (Takemoto et al., 2012 in press)。また、東北日本の基盤強震観測網 KiK-net の地表地震計と地中地震計におけるサイト増幅係数の比較から、ボアホール下の地中観測点でも明瞭なサイト増幅特性とその地域性が存在すること、また地表点と地中観測点における増幅特性は 2 Hz 以上では相関がなく、異なる分布特性を持つことを明らかにした。今回、周波数 4Hz 以上での高周波数地震動のサイト増幅特性が東北地方太平洋沖地震後に大きく変化したことを確認したので報告する。

使用データと解析方法

コーダ規格化法によりサイト増幅特性を求める手順 (Takemoto et al., 2012 in press) に基づき解析を行った。本解析では、コーダ波の振幅がサイト増幅係数と地震波放射エネルギー項の積に比例するという性質を利用して、多数の地震の同じ経過時間におけるコーダ波振幅から観測点間の相対サイト増幅特性を推定する。2000 年-2010 年に日本周辺で発生した 48 個の地震に対し、震源距離が 100 km 以内の KiK-net (地中・地表) および F-net 強震計の記録を用いて解析を進めた。まず観測波形にバンドパスフィルター (0.5-1 Hz, 1-2 Hz, 2-4 Hz, 4-8 Hz) を掛け、それぞれ地震発生時から 60 秒から 65 秒の間の平均 RMS 振幅値を求める。周波数帯域ごとにすべての地震・観測点のデータを同時に用いたインバージョンにより、サイト増幅係数と地震波放射エネルギー項を最小二乗法により求める。ただし、本手法で推定される増幅特性はすべて相対値であるため、岩盤サイトである F-net 観測点の一点での増幅係数が 1 (0 dB) となるような拘束条件を与えた。また、東北地方太平洋沖地震から 3 ヶ月後の、2011 年 6 月から 7 月にかけて東北日本太平洋側で発生した 4 個の地震を用いて同じ F-net 観測点に対するサイト増幅特性を求めて比較を行った。

巨大地震前後の増幅係数の変化

東北地方太平洋沖地震の発生以前の地震を用いて求められたサイト増幅係数と発生後の地震を用いたサイト増幅係数を比較してみたところ、低周波数側 (0.5-1 Hz) では目立った変化が見られなかったが、その一方で高周波数側 (4-8 Hz) では、大半の観測点でサイト増幅係数が 0.3-0.6 倍に減少していた。高周波数帯で顕著な変化が見られるのは、比較的浅い場所の構造が強震動の影響を大きく受けて変化したためであると考えられる。

コーダ規格化法で得られるのはサイト増幅係数の相対値であるため、万一 F-net 基準点のサイト増幅特性が変化してしまうと、広域の様な特性変化と区別がつかなくなる。そこで、基準点に依存しない方法でサイト増幅の変化を確認するため、震源が近くメカニズムの似ている巨大地震前後の 2 つの地震 (図左) について、4-8 Hz 周波数帯のサイト増幅が大きく変化した観測点 (FKS006; 0.32 倍) と、変化が比較的小さかった観測点 (FKSH09; 0.56 倍) の波形を比較した (図右)。2 つの地震に対する 2 つの観測点の震源距離はほぼ等しく、高周波数地震動であることから S 波の放射パターンは等方的となり、それぞれの地震の 2 観測点の S 波振幅は同程度となることが期待される。2010 年の地震では、FKS006 に比べて FKSH09 の S 波 (コーダ波) 振幅は 1/7 以下と小さいことから、2 地点のサイト増幅は数倍以上大きく異なっていることがわかる。一方で 2011 年 7 月の地震では、FKS006 の波形に対し、FKSH09 の振幅は 1/2 程度であり、2010 年の地震の時ほど小さくなっていないことが分かる。このようにサイト増幅の変化の違いが地震波形からも確認することができた。今後はより多くの観測点について定量的にサイト増幅の変化を見積り、地震時の強震動の強さとの関係や、サイト増幅特性の時間変化について調べる予定である。

謝辞: 防災科学技術研究所の K-NET, KiK-net および F-net の観測データを使用した。

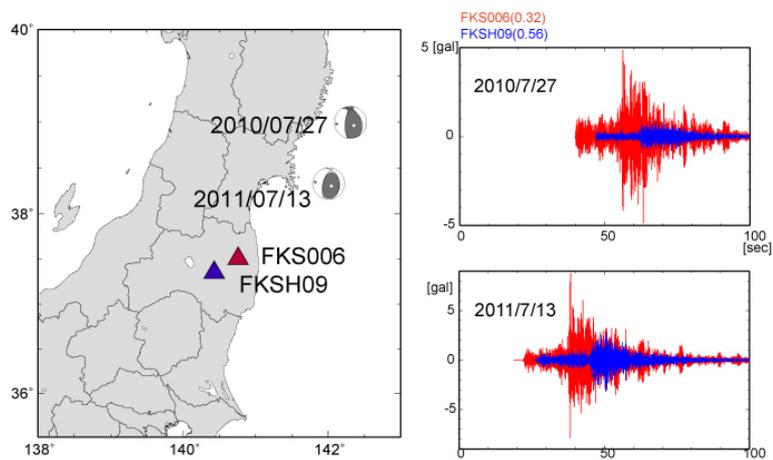
キーワード: 東北地方太平洋沖地震, サイト増幅

Keywords: 2011 Off Tohoku earthquake, site amplification

SSS26-10

会場:304

時間:5月20日 11:45-12:00



マグニチュード9まで適用可能な距離減衰式 - 補正項の検討 - Development of a new ground motion prediction equation applicable up to Mw9 -evaluation of additional correction terms-

森川 信之^{1*}, 藤原 広行¹
MORIKAWA, Nobuyuki^{1*}, FUJIWARA, Hiroyuki¹

¹ 防災科学技術研究所

¹NIED

1. はじめに

距離減衰式をはじめとした、地震動の観測記録に基づいて求められている経験式は、地震ハザード評価において地震動を簡便に評価できるという点においてきわめて有用である。我々は、2011年東北地方太平洋沖地震の発生を受けて、マグニチュード9まで直接適用可能な距離減衰式の導出を目的として、計測震度、最大加速度、最大速度および加速度応答スペクトル(減衰定数5%、周期0.05~10秒)を対象として、モーメントマグニチュードと断層最短距離をパラメータとした「基本式」を導出した(森川・他、2011)。本稿では、より詳細な地震動評価に必要となる、地盤増幅および異常震域に対する補正項の導出について報告する。

2. 深部地盤の補正

地震動の長周期成分については、深い堆積層によって大きく増幅することから、予測に適用する上で深部地盤構造の影響を評価することは必要不可欠である。増井・翠川(2011)では、地震基盤までの深さ、入射角、周期をパラメータとした地盤増幅特性の評価方法提示している。一方、アメリカのNGAプロジェクトでは、S波速度が1.0km/sである層までの深さを指標としたモデルがいくつか提唱されている。ここでは、全国深部地盤モデル(藤原・他、2009)をもとに、ほぼ全国に存在している6つの速度層(S波速度1100m/s, 1400m/s, 1700m/s, 2100m/s, 2700m/sおよび地震基盤)上面までの深さと増幅度について検討した。その結果、対象とした全周期において、地震基盤までの深さではなく、1400m/s層上面までの深さを指標とする補正項が最も誤差を小さくする結果が得られた。

3. 浅部地盤の補正

微地形区分やそれに基づいて求められている表層30mの平均S波速度(AVS30)は、全国的にデータが整備されているという利点がある。ここでは、基本式から工学的基盤上の値を求めることを目的として、AVS30を指標とした補正項の導出を行った。ただし、このような浅部地盤に関する補正は特定の周期が卓越するような増幅率は表現できない。従って、地表の応答スペクトルを求める場合には、地盤の卓越周期もある程度考慮できるように別途提案されている手法(例えば、先名・翠川、2009; 山口・翠川、2011)を用いるべきであろう。

4. 異常震域の補正

森川・他(2006)は、やや深発地震で見られる異常震域現象に対して、火山フロントから地震動の評価対象となる地点までの距離を用いた補正項を提案している。ここでも同様の手法を適用することにより異常震域に対する補正項を求めた。

キーワード: 距離減衰式, 強震動, 地盤増幅, 異常震域

Keywords: ground motion equation, strong motion, site amplification, anomalous seismic intensity distribution

東北地方太平洋沖地震における地震動と建物被害率の関係

Building Damage Ratios and Ground Motion Characteristics during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

呉浩^{1*}, 正木和明², 入倉孝次郎³, 王欣³, 倉橋奨³

WU, Hao^{1*}, MASAKI, Kazuaki², IRIKURA, Kojiro³, WANG, Xin³, KURAHASHI, Susumu³

¹ 愛知工業大学大学院工学研究科, ² 愛知工業大学都市環境学科, ³ 愛知工業大学地域防災研究センター

¹Graduate School of Engineering, Aichi Institute of Technology, ²Department of Urban Environment, Aichi Institute of Technology, ³Disaster Prevention Research Center, Aichi Institute of Technology

The relationship between building damage ratios and ground motion characteristics, such as peak ground accelerations (PGAs), peak ground velocities (PGVs), JMA seismic intensities (LJMs), spectral intensities (SIs), acceleration response spectra (Sa) and pseudo velocity response spectra (pSv) was discussed for the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. In this study, damage ratio is defined as the ratio of the number of damaged buildings including collapsed, half-collapsed and partially damaged ones, to the total number of buildings in each district (an administrative unit, such as a city, or town). The damage statistics were obtained from the Fire and Disaster Management Agency published on January 13, 2012. The districts mainly damaged by tsunami were excluded. It was found that DRs correlated better with velocity indices such as PGVs, pSv and SIs than acceleration ones such as PGAs, Sa and LJMs, and DRs correlated better with pSv at 0.5 s than those at 1.0 s and 1.5 s from the view of coherence coefficients. In general, DRs tended to increase with the level of ground motion characteristics, but the damage ratios in some districts did not correspond to suitable level of ground motion characteristics. It was suggested that the ground motion characteristics at the K-NET and KiK-net stations might not represent those in the damaged districts because the stations are far away from the damaged areas.

In order to establish the relationship between building damage ratios and ground motion characteristics in the damaged areas, the estimations of ground motion at the damaged sites were performed based on microtremor measurements. They were accomplished by the product of bedrock motions and site amplification factors at the damaged sites. The ground motions on bedrock under damaged sites and observation stations were assumed to be the same. The bedrock motions under the damaged sites were estimated from observation spectra on surface divided by site amplification factors at the observation station. Then the ground motions were estimated from the product of the bedrock motions and site amplification factors at the damaged sites. Therefore, it was necessary to find the subsurface S-wave velocity structures both at the observation station and damaged site to estimate site amplification factors. Based on one dimensional Haskell multiple reflection theory, the S-wave velocity structures were obtained by inversion of the microtremor H/V spectral ratios. We conducted microtremor measurements and building damage survey at the observation station and the damaged sites. The H/V spectral ratios of microtremor at the observation station showed good consistency with those of ground motions from small earthquakes, which indicated that the inversion of microtremor H/V spectral ratios was feasible, just as the seismic motion ones. The ground motion characteristics at the damaged sites estimated by the above procedure were related with the damage ratios.

キーワード: 地震動特性, 建物被害率, S波速度構造, H/Vスペクトル比

Keywords: ground motion characteristics, building damage ratio, S-wave velocity structure, H/V spectral ratio

常時微動記録を用いた被災9階建SRC造建物におけるせん断波速度の測定 Shear-Wave Velocity Evaluation from Microtremor Records Measured in a Damaged Nine-Story SRC Building

王 欣^{1*}, 正木 和明², 入倉 孝次郎¹

WANG, Xin^{1*}, MASAKI, Kazuaki², IRIKURA, Kojiro¹

¹ 愛知工業大学地域防災研究センター, ² 愛知工業大学都市環境学科

¹Disaster Prevention Research Center, Aichi Institute of Technology, ²Department of Urban Environment, Aichi Institute of Technology

The building analyzed in this paper is a severely damaged nine-story steel reinforced concrete (SRC) building during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, which was designed and constructed in 1990 according to the new anti-seismic design code of Japan. Hereafter it is called K9SRC for short. Obvious shear cracks happened in the external concrete walls in the longitudinal direction (EW), which can be defined as non-structural damage. However, the shear deformation of walls brought about distortion of entrance doors, which hindered escape during the earthquake. The building K9SRC suffered structural damage in the northwest corner column of the first story and multistory shear walls of lower stories, whose steel bars have yielded and been exposed to air. After the earthquake, the building K9SRC was classified to be dangerous. Residents have to move out until it is repaired.

According to the preliminary reconnaissance report of the 2011 Tohoku-Chiho Taiheiyo-Oki Earthquake published by the Architectural Institute of Japan, buildings constructed after 1981 generally showed a good performance during this earthquake, and few of them suffered severe damage. Furthermore, based on the on-site investigation performed by our study group, there are no buildings damaged as severely as the building K9SRC within 1000 km of it. Therefore, the building K9SRC should be paid more attention to scrutinize the damage of it.

In this paper, we made comparative observations of microtremors on each floor and the top of the building K9SRC to extract the shear-wave velocity (V_s) traveling within each story using the deconvolution method. Because the shear wave velocity relates only with the seismic property of the structure, it is a reliable way to evaluate the inter-story shear stiffness degradation.

Based on the analyses, V_s decreases more greatly in the longitudinal direction than in the transverse direction. The interfloor V_s in the longitudinal direction has decreased to less than 300 m/sec. In the transverse direction, the V_s decrease along the height of the building, and V_s traveling in the lower four stories are higher than 300 m/sec. V_s traveling within the first story decreased obviously because of the damage of the corner column. The V_s traveling within the 5th and 6th story decreased to less than 300 m/sec in both of the longitudinal and transverse direction.

キーワード: 建物せん断波速度, 逆重畳法, 常時微動観測, 被災建物

Keywords: shear-wave velocity of buildings, deconvolution method, microtremor measurement, damaged building

i地震クラウドシステムの展開に向けての取り組み Continued effort for the Development of the i-Jishin cloud system

東 宏樹¹, 内藤 昌平^{1*}, 福本 隼³, 中村 洋光¹, 先名 重樹¹, 藤原 広行¹, 吉田 稔²
AZUMA, Hiroki¹, NAITO, Shohei^{1*}, FUKUMOTO, Rui³, NAKAMURA, Hiromitsu¹, SENNA, Shigeki¹, FUJIWARA, Hiroyuki¹,
YOSHIDA, Minoru²

¹ 独立行政法人防災科学技術研究所, ² 白山工業株式会社, ³ 株式会社ウイングベース

¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ²Hakusan Corporation, ³Wingbase Inc.

1. はじめに

吉田・他(2011)は、iPhone/iPad/iPod touchのアプリケーションによって、クラウド環境を用いた試験的な地震観測網を構築し、それらを利活用することを視野に入れたシステム「i地震クラウドシステム(以下、i地震)」を2010年8月からリリースした。本研究はその後の取り組みとして、地域での具体的な展開事例を紹介する。

2. i地震は何を実現しようとしているか

ここで改めてi地震が目指しているものを整理しておきたい。

(フェーズ1)ー地域への設置展開における変化

従来は、建物の実際の震度を遠隔で把握するのは困難であった

・計測震度をはじめとするハザード情報を従来のように受信するだけでなく、市民が自ら提供する。

・i地震を使って自分のいる場所と周囲の様々な場所での揺れの違いを知ることができる

例)発表された地域の震度(例えば、「藤沢市 震度3」)は、自分自身が感じた震度として捉えるには解像度が低い。地盤や建物ごと、さらに建物の中のフロア階数ごとにも異なっている実際の地震の揺れに対して、i地震を設置すれば自分の今いる場所がその地震で実際にどの程度揺れたのかを知ることができるようになる。さらに多くのi地震が設置されることで、周囲との揺れの違いが分かるようになる。

・i地震の設置展開における社会的な障壁を知ることができるようになる

個人情報と位置情報の問題系

賃貸住宅における住宅震度データの所有権に関する問題系

(フェーズ2)ーハザードマップの詳細化による地域取り組みの変化

・建物・地盤モデルの詳細化によるハザードマップの高度化

(フェーズ3)ーリアルタイム化

・地域詳細な被害分布の把握

・3次元強震モニタ状の可視化

(フェーズx)

・激甚被害地域で建物が見舞われた実際の揺れのデータ取得

以上の見通しから、i地震の展開は、地震に強い社会の実現に役立つと考え、3.の実証実験を行った。

3. i地震を用いた特定の地域における実証実験の取り組み

i地震を特定の地域に数多く設置して地域の防災力を高める取り組みを紹介する。

3.1 藤沢市での実証実験事例

主に2.の(フェーズ1)で述べた事柄の実験として、藤沢市でi地震の設置を行う実証実験を行った。例えば神奈川県藤沢市では、地域に根ざしたNPOなどが積極的に展開を行い、協力者に感謝状を贈呈するなどの工夫を行なうことで、設置やトラブル対応・データの回収がスムーズになっている。さらにいくつかの地点では設置時に微動観測を同時に行い、(フェーズ2)におけるモデル制度向上のためのデータの連携を図っている。

3.2 長岡市での実証実験事例(紹介)

長岡市では、地域のFM局と協力して中継局等にi地震を設置し、地域の情報メディアと連携した展開を行なっている。

4. 今後の展開と課題

実証的な取り組みを行うことにより、今後の展開に向けての様々な課題を抽出することができる。例えばこれまでにわかっているだけでも、設置協力者のプライバシーの保護や、設置環境の適・不適の多様化に対処するための新たな設置方法の確立、設置点数の多数化に伴って求められる、さらなるシステム安定性・冗長性や操作のシンプルさの向上などが見つかった。

キーワード: i 地震, アプリケーション, 地震動計測, クラウド, センサー, 防災
Keywords: i-Jishin, Application, ground motion measurement, cloud, sensor, disaster prevention

