

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)

SSS26-01

会場:304

時間:5月20日 09:00-09:15

日本建築学会・強震観測小委員会 (1996) デジタル強震データ集、建築雑誌 4月号
 Sato, H. et al (2005), Earthquake source fault beneath Tokyo, Science, 309, pp.462-464

Sato, T. et al (1998), Estimates of regional and local strong motions during the great 1923 Kanto, Japan, earthquake (Ms 8.2). Part 1: Source estimation of a calibration event and modeling of wave propagation paths, Bull. Seismo. Soc. Am., Vol.88, No.1, pp.183-205

山田ほか (2003): 関東平野における地下構造モデルの比較のための中規模地震の地震動シミュレーション、地震 2 第56巻 111-123

キーワード: 強震動予測手法, ベンチマークテスト, 理論的手法, 波数積分法, 離散化波数法, 薄層法

Keywords: Strong Ground Motion Simulations, Benchmark Test, Theoretical Methods, Wavenumber Integration Method, Discrete Wavenumber Method, Thin Layer Method

表1 2011年度理論的手法検討モデル一覧

モデル名	ステップ (検討 2011/10/1)			
	STEP 1 (仮定)	STEP 2 (仮定)	STEP 3 (仮定)	STEP 4 (検討)
対象地震	1990年神奈川県西部の1990年伊豆大動近海の1990年東京湾の地震	1980年伊豆大動近海の地震	1980年東京湾の地震	1990年東京湾の地震
モデル	均質弾性半無限体	2層構造弾性半無限体	3層構造弾性半無限体	4層構造弾性半無限体
観測点 (名称)	456点 (456)	456点 (456)	456点 (456)	456点 (456)
観測 (名称)	#1 (1990)	#2 (1980)	#3 (1980)	#4 (1990)
評価	結果平均化による観測データとの比較	結果平均化による観測データとの比較	結果平均化による観測データとの比較	結果平均化による観測データとの比較
実施機関	東京大学 (研究費: 2,000万円)			
担当者	山田 浩之 (東京大学)			

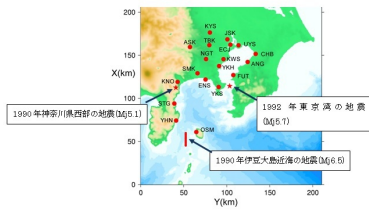


図1 ステップ5の震源位置と出力点位置

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 10 km	100 km x 100 km x 10 km
Boundary	Free surface	Free surface
Initial condition	Zero	Zero
Excitation	Point source	Point source
Output	Displacement	Displacement
Method	Finite element method	Finite difference method
Software	Abaqus	Excimer
Reference	Okada (1985)	Okada (1985)
Copyright	© 2012 Japan Geoscience Union	© 2012 Japan Geoscience Union

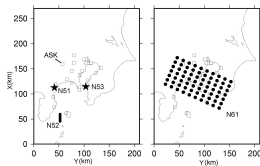


Fig.1 Calculation domain, seismic sources and output sites

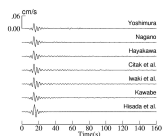


Fig.2 Velocity waveforms at ASK

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

これまで仮想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の範囲内で一致した。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)			

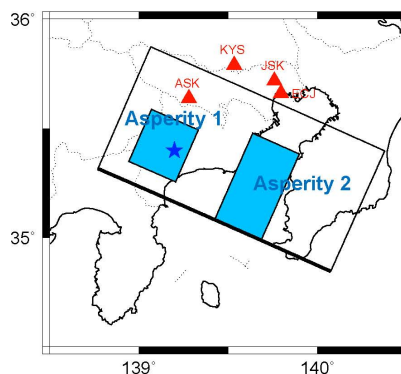


図1 1923年関東地震の特性化震源モデルと計算点位置

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がある。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

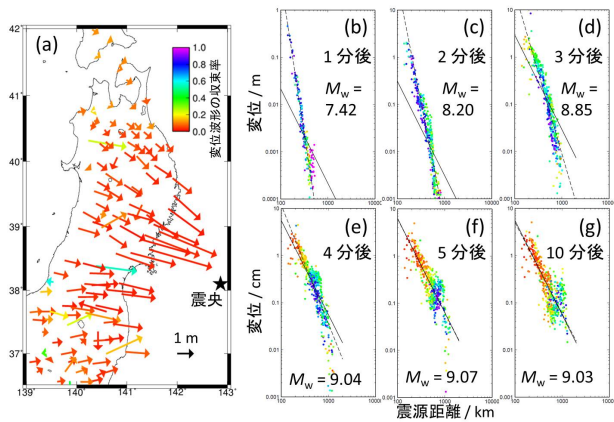


図. (a) 加速度記録から算定された永久変位 (b)-(g) リアルタイムマグニチュード推定結果

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

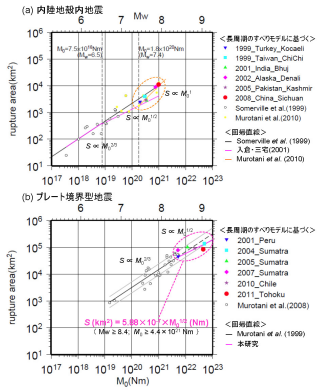


図1 断層面積(S)と地震モーメント(M₀)の関係

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、不確実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。

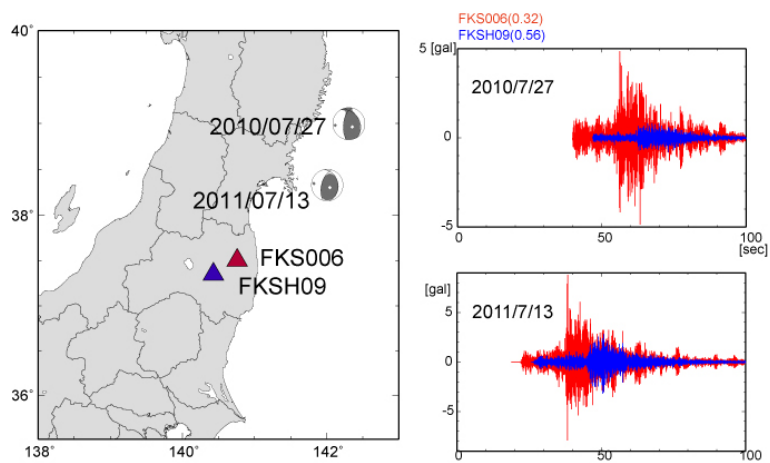
キーワード: 東北地方太平洋沖地震, サイト増幅

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



2011.2月NZ地震の波相論 (Wave Features Theory) Wave Features Theory of 2011.2NZ Earthquake Motion

西澤勝^{1*}

NISHIZAWA, Masaru^{1*}

¹無し

¹None

1. まえがき 2011.2月ニュージーランドクリスチャーチ付近の Station: CCCC, Christ's Collegeでの地震動の加速度記録の波相論 (Wave Features Theory) を述べる。

2. 波相論 (Wave Features Theory)

波相論とは筆者の命名で波の特徴を手相とか人相の相を借用して付けたものである。以下に、Station: CCCCの加速度波形の特徴を列挙する。

(1) 上下方向の波形のみ普通の地震波形とみられ、水平二方向は周期の長い軟弱地盤 (Soft Ground) の波相を示している。

(2) 上下方向の卓越周期は、0.2 sec ぐらいと思われ、 $f = 1/T$ から振動数はかなり大きいのに対して、水平二方向 A, B の周期は 4 ~ 5 倍と定めにくいほど緩やかである。

(3) 上下と水平方向の振動数が全く異なるので、位相の異なるのは当然である。ここに、CTVビルのような構造物があるわけだが、上下と水平の振動数、位相の違いによる複雑な振動、回転をうける。これに Rayleigh 波の動きも加わる。

(4) 水平二方向 (A, B) の Rayleigh 波は位相がずれているのはむしろ、逆位相になっている部分が多い。逆位相になっていると、そこにある構造物を鉛直軸を中心に、水平に回転させる力が働くことになることに注目すべきだ。したがって、CTVビルは建物の鉛直軸まわりに水平方向にも建物を回転する力を受けていた。鉛直方向はむしろである。文献 (4) で位相についての研究の基本的なことを述べている。通常のフーリエ解析では、時刻歴 $x(t)$ は、与えられたデータの個数は N 個である。振幅の数は $(N/2 + 1)$ 個、位相角の数は $(N/2 - 1)$ 個で、両者を合わせて N 個となる。したがって、振幅スペクトルだけでは情報量の半分しか着目していないことになる。あとの半分の位相スペクトルに注目する必要がある、この回転させる力も位相のひとつの重要性を示すものである。大崎順彦著「新・地震動のスペクトル解析入門」鹿島出版・参照。

(5) 基線を中心にして、加速度の + - の大きさが異なることも目につく。すなわち、A 方向は + 側、B 方向も + 側、上下方向も + 側の加速度の方が大きい。

(6) 観測点 REHS (8 km) は基準線から 6 秒弱で P 波が到着している。観測点 CCCC (8 km) では 9 秒ぐらいである。この違いはなぜ生じたものか、地層の違いなのかどうか？

以上のように軟弱地盤を伝わる地震波は非常に多くの複雑な要素を含んでいる。したがって、この地盤の悪い場所の構造物は、これらの複雑な地震波に耐える基礎と構造を持っているかどうか問題となる。CATビルだけ破壊した原因を検討するには、周りの構造物と、地盤と地震波が同じとみなせるのであれば、構造物が短周期構造物か長周期構造物に分けて、耐震診断を行う必要があると思われる。

3. まとめ 地盤が軟弱地盤であるため、水平二方向の地震の波相が、上下方向の波相と全く異なり、構造物に対して回転を含めた複雑な作用をあたえた。

参考文献 (1) 西澤勝: 液状化に対する私見とその応用、日本環境学会第 37 回研究発表会、2011.6 (2) 西澤勝: 液状化と免震、日本地震学会講演予稿集、2002.11 (3) 西澤勝: 1995 年 1 月兵庫県南部地震の液状化に伴う免振力についての若干の考察、日本環境学会第 28 回研究発表会、2002.6 (4) 西澤勝: 地震動のフーリエスペクトルと位相差分スペクトル、日本地震学会講演予稿集、2011.10

キーワード: 地震波, 波相論, 軟弱地盤, 回転

Keywords: Seismic Wave, Wave Features Theory, Soft Ground, Rotation

CEORKA 観測データにおける石本・飯田の関係の成立 Ishimoto-Iida Law at CEORKA Network

加藤 護^{1*}

KATO, Mamoru^{1*}

¹ 京大院人間・環境学

¹GSHEs, Kyoto Univ.

大量の強震動波形データを統計処理する一手法として、石本・飯田の関係式を再提案する。また、関西地震観測研究協議会 (CEORKA) で観測された最大速度値 (PGV) について石本・飯田の式が成立していることを示す。

強震動観測網の充実により我々は大量の波形データを扱うことが通例になっている。大量のデータの統計的な特徴を抽出する方法はさまざま提案されているが、本発表では観測された最大振幅の度数分布がべき乗則 (べき則) に従うという石本・飯田の関係式 (1939) を再提案する。地震活動の特徴を記述するグーテンベルグ・リヒターの関係 (GR 式) に対し、石本・飯田の関係は震源・伝搬・サイトのすべての情報を含んだ情報に関する記述である。GR 式が成立していれば石本・飯田の関係が成立することは定性的には予想される。最近の観測記録を用いて石本・飯田の関係の詳細を再検討することは強震動予測等に用いられているさまざまな知見を異なった角度から検証する機会となりうる。大量の観測記録を観測点ごとにして整理することは、経験的にその地点における地震動の振る舞いを整理することでもある。

本研究では CEORKA において記録された 1993 年から 2010 年までの強震動速度波形について観測されたすべての強震動波形から震源要素との対応が明らかな波形記録 (約 10000 件) を用いた。水平 2 成分合成の最大速度振幅 (PGV) を求め、PGV の度数分布と積算度数分布を調べた。観測点を区別せずにすべての記録を用いた時、その度数分布と積算度数分布は両対数平面で直線を示し、石本・飯田の関係が成立することが確認された。水平一方成分の最大値、3 成分合成値でも同様の傾向が確認できる。各観測点で見ると、度数分布のべき値 (石本・飯田式の m 値) には違いが見える。 m 値と表層地盤サイト特性の関係は明瞭ではない。

簡便法強震動予測の手法を用いて観測された石本・飯田の関係を定量的に説明することを試みた。気象庁一元化カタログの震源要素、距離減衰式、表層地盤特性を用いて個々の PGV 観測値に対応する予測値を求めた。既往の距離減衰式は大地震の波形記録を回帰して求められたものであり、今回はそれを小地震側に大幅に外挿して適用することになる。距離減衰式は司・翠川 (1999) と Kanno *et al.* (2006) の両方を用いたが結果の違いは僅少である。これら既存の関係式では CEORKA で観測された全データに対し成立する石本・飯田の関係のべき乗則 (べき則) を説明することは困難である。特に小振幅の観測値に対して予測値が過大評価する傾向が見られる。

キーワード: 強震動, 地震波伝播, サイト特性

Keywords: strong motion, seismic wave propagation, site effects

気象庁震度データベースに見られる日本の地震動の特徴

Characteristics of Seismic Ground Motion in Japan deduced from JMA Intensity Database

小早川祐実¹, 加藤 護^{2*}

Yumi Kohayakawa¹, KATO, Mamoru^{2*}

¹ 京大総合人間, ² 京大院人間・環境学

¹IHS, Kyoto Univ., ²GSHES, Kyoto Univ.

地震動の大きさの報道には通常は気象庁の震度が用いられる。1996年に震度計による震度計測に移行して以来震度観測点は大幅に増加しており詳細な観測値が得られている。震度には複雑な地震動を単一の指標で代表させる困難さが付随する。しかし広く親しまれている震度を地震動の指標として用いることは防災や地震リスク管理を考える際に分かりやすさを持ち込むことになると考えられる。地震動については各種のハザードマップがあるが、過去の震度観測データの特徴は経験値としての日本における地震ハザードの特徴とみなしてよいであろう。われわれは気象庁の震度データベースを用いて日本の地震動の統計的な特徴を抽出することを試みた。時間的・空間的な特徴を抽出するべく、1950年から2009年までの59年間の震度観測データの統計的解析を行った。データは地震年報 [2009] に基づいた。

大きな震度を観測する回数は小さな震度を観測する回数より少ないことは経験的にも知られている。観測される震度の度数分布がべき乗則(べき則)を示すこと、つまり、石本・飯田の関係 [1939] が成立していることはこれまでも指摘されている(たとえば池上 [1961]、勝又・徳永 [1967]、宇佐美・勝又 [1973])。石本・飯田の関係は計測震度においてもおおむね成立することが確認できる。しかし震度4より大きな震度の観測回数は小さな震度の観測回数からべき乗則(べき則)を用いて外挿して予想した数に比し少ない。1997年から2009年までの間にある観測点で1年に観測する有感地震動数は平均で約10回である。長期間の観測履歴がある観測点のデータを石本・飯田の関係を通して整理すると、体感震度(1995年以前)と計測震度(1997年以降)で震度データの傾向に変化はないとみなしてよい。

震度観測回数や震度の度数分布には地域性や時間変化が存在する。ある観測点近傍での大地震余震活動や群発地震活動がある場合、震度観測データはこれらの影響を大きく受けるが、上記のようなイベントがない期間では震度観測数や震度の度数分布の年変化は小さい。長期間の観測が継続されている125観測点に関して、有感地震動観測数の多寡(石本・飯田の式のk値にほぼ対応)と周辺の地震活動度とは相関が高いが、震度と大震度の観測比率(同式のべき指数m値に対応)には特に地球科学的な特徴的が認められない。

震度データベースには震度計で記録された最大加速度(PGA)も記録されている。計測震度と同様にPGAについても石本・飯田の関係の成立が認められる。しかし、震度と加速度の関係は単純に一次式では回帰できない。PGAが大きいと震度が小さいという観測例が多く、これらはMの小さな地震の震源近傍の観測点における観測であることが多い。計測震度とPGAに単純な線形の関係が存在しないことは計測震度において震動継続時間が考慮されていることを反映している。既存のPGAと震度との関係式を用いる際には注意が必要であろう。

キーワード: 強震動, 震度

Keywords: Seismic strong motion, Seismic intensity

2005年福岡県西方沖地震の地震動記録の可視化 Visualization of strong motion in the 2005 Fukuoka earthquake

藤岡 慧^{1*}, 竹中 博士², 岡元 太郎³, 村越 匠⁴, 大島 光貴⁵

FUJIOKA, Akira^{1*}, TAKENAKA, Hiroshi², OKAMOTO, Taro³, MURAKOSHI, Takumi⁴, OHSHIMA, Mitsutaka⁵

¹九州大学 理学部, ²九州大学 大学院理学研究院, ³東京工業大学 大学院理工学研究科, ⁴防衛大学校 地球海洋学科, ⁵清水建設 技術研究所

¹Faculty of Sciences, Kyushu Univ., ²Faculty of Sciences, Kyushu Univ., ³Tokyo Institute of Technology, ⁴Dept. of Earth and Ocean Sciences, National Defense Academy, ⁵SHIMIZU CORPORATION

地震という現象は地中深くの場所で発生し、地球内部や震源の様子を直接観察することはできない。地震に限った話ではないが、このように直接手の届かないものに対してコンピュータシミュレーションを利用して研究を進めるといのは自然な発想であるように思われる。本研究ではシミュレーションの一環として実地震動記録の可視化を行い、その結果から地震波の伝播の様子を考察する。今回2005年3月20日に発生した福岡県西方沖地震(Mjma7.0)の記録を題材として扱った。使用するデータは福岡県の震度計観測点、九州大学の観測点、K-NETとKiK-netの観測点の合わせて113か所の強震記録である。なお、オリジナルの強震記録は九州大学の一部の観測点を除いて加速度が記録されているが、積分して変位の記録に変換したデータを用いた。可視化にあたってはこの変位データを10Hzにリサンプリングした。これらの3成分データを方向別に可視化した。また、地形データの作成は国土地理院発行の250mメッシュ標高データを利用した。可視化にはフリーソフトのParaViewを使用した。

可視化の結果からはP波、S波の伝播の様子が見て取れた。断層の延長線上を挟んでP波の極性が逆になっている様子や、断層延長線付近をkiller pulseが伝播していく様子も見て取れた。S波の到達後からしばらくするとRayleigh波が伝播している様子も見て取れた。また、地形の影響で震動がほかの場所より大きくなっているものや、時間が経過しても震動が減衰しにくい場所がわかった。筑紫平野では軟弱地盤が存在し、波動エネルギーが盆地内にトラップされてなかなか地震動が減衰せずに長い時間震動を続けており、破壊開始から1分以上経過した後他の地域はほとんど震動がなくなっていたのに対し、筑紫平野は大きな振動を続けていた。

謝辞: 本研究に当たり、福岡県の震度計観測点、九州大学の観測点、K-NETの観測点、KiK-netの観測点の強震記録、国土地理院発行の250mメッシュ標高データを使用させていただきました。ここに記して感謝いたします。

キーワード: 可視化, 強震動, 2005年福岡県西方沖地震

Keywords: visualization, strong motion, 2005 Fukuoka earthquake

東北地方太平洋沖地震の余震観測記録を用いた地震動予測式の高度化に関する基礎的検討

Improvement of Ground Motion Prediction Equation Utilizing Aftershock Records of the 2011 Tohoku Earthquake

堤 南保子^{1*}, 糸井 達哉², 高田 毅士³
TSUTSUMI, Naoko^{1*}, Tatsuya ITOI², Tsuyoshi TAKADA³

¹ 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 修士課程, ² 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 特任助教 博士(工学), ³ 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 教授 工博

¹Graduate Student, the University of Tokyo, ²Project Assistant Prof., the University of Tokyo, Dr. Eng, ³Prof., the University of Tokyo, Dr. Eng.

1. 目的

1995年1月17日の兵庫県南部地震以降、日本では地震動記録の高密度観測網が発達した。これにより得られた地震動観測記録を用いた加速度応答スペクトルなどの地震動指標の地震動予測式(距離減衰式)が提案されている。地震動予測式の係数は地域・地点ごとに求めることが理想的であるが、記録数が不十分で十分な精度が得られないことが指摘されている。また、断層タイプなどの震源特性による影響や地震動の伝播特性の影響についても同様の指摘があるが、我が国の地震動予測式の多くは多様な震源特性の地震における様々な地盤条件の観測点で得られた記録から係数を得ているため、これらの特性を観測記録から定量的に評価することは困難である。

2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震が発生した。これに伴い多くの余震が発生し、東北地方で高密度な強震観測記録が得られている。まとまった震源域において多数の強震記録が得られる例は稀であり、上述した課題を検討することが可能と考えられる。

そこで本稿では東北地方太平洋沖地震の余震観測記録(プレート間地震のみ抽出)を用いて既存の地震動予測式に対してサイトに着目した補正と、サイトと震源位置の関係に着目した補正を行い、東北地方における地震動予測式を高度化する手法について検討することを目的とする。具体的には、まず余震の最大地動加速度PGA, 最大地動速度PGV, 加速度応答スペクトル S_a について、観測記録と地震動予測式による予測値の残差からサイト特性と震源位置に対する補正項を求める。補正項の妥当性を余震記録および東北地方太平洋沖地震以前に発生した地震(以下、test地震)の予測誤差の標準偏差を比較することで検証する。

2. 結果

2.1. 最大地動加速度PGA・最大地動速度PGV

PGAとPGVに関して、余震の場合はサイト補正、震源位置補正と補正を行うに従って精度が向上し、標準偏差が小さくなる。この際、サイト補正による精度向上よりも震源位置補正による精度向上の方が顕著である。一方test地震では、全観測点では補正を重ねるにつれて標準偏差が大きくなる傾向がある。この結果より、余震記録から求める補正項を過去の本震記録に直接当てはめることは難しいと考えられる。

2.2. 加速度応答スペクトル S_a

S_a についても余震自身を補正する場合は、サイト補正、震源位置補正と補正を行うに従って全ての周期で標準偏差が小さくなる。一方、test地震をサイト補正した場合は周期0.5秒程度より短周期側で標準偏差が大きく、長周期側で標準偏差が小さくなる。短周期側で誤差が大きくなることから、地盤の非線形性の影響が要因と考えられる。2.1でサイト補正後にPGA・PGVの標準偏差が大きくなったことも、同じ理由と考えられる。震源位置補正ではサイト補正と震源位置補正により短周期側は標準偏差が大きくなった。一方で長周期側では、サイト補正により標準偏差を若干小さくすることができている。ただし、余震自身を補正した場合に見られるような顕著な予測精度の改善は見られない。これについて、test地震の震源周辺に余震の震源がなく、補間により補正項を求めていることが原因で精度が悪化している可能性が考えられる。

3. まとめ

東北地方太平洋沖地震の余震観測記録から求めた補正值により、過去の強震に対して地震動予測をある程度高度化することができた。ただし、短周期成分の補正精度を向上させることが今後の課題として挙げられ、使用する余震記録を増やすこと、地盤の非線形性の影響を考慮すること、震源位置補正手法を見直すことが考えられる。

キーワード: 距離減衰式, 余震, サイト補正

Keywords: Ground motion prediction equation, aftershock records, site-correction

活断層の浅部構造解明のための微動アレイ探査 -岩手・宮城内陸地震震源域での適用例

Microtremor array survey for subsurface structure of active faults in the 2008 Iwate-Miyagi earthquake source region

桑原 保人^{1*}, 長 郁夫¹, 凌 甦群², 丸山 正¹

KUWAHARA, Yasuto^{1*}, CHO, Ikuo¹, LING, Suqun², MARUYAMA, Tadashi¹

¹産総研, ²ジオアナリシス研究所

¹AIST, GSJ, ²geo-Analysis Institute Co. Ltd

1. はじめに

我々は、岩手・宮城内陸地震の震源域で認定された撓曲構造とその背後の副次的なバックスラストと考えられる活断層の地下構造を調べる目的で微動アレイ探査を実施した。微動アレイ探査法は微動レベルが大きく水平成層構造の仮定が良く成り立つ沖積平野の構造探査を目的として開発されてきたが、近年は山地や三次元不均質の強い場所での適用例も見られるようになってきている。ここでは標記の地域で三次元不均質が強いと考えられる場所の適用事例を報告する。

2. 観測

観測は、標題の震源域の一関市?木立地区で行った。ここでは、2008年の地震時にバックスラストと考えられる地震断層で数十 cm の変位が観察された。また地震後に産総研で行ったトレンチ調査では、過去には約 2m の変位を伴う地震断層運動があったことも明らかになっている(丸山ほか, 2010)。またバックスラストの 150?200m 東には、撓曲構造が見られる。地震計アレイは二重正三角形アレイとし、基本的には 1 辺約 75m の正三角形とその半分の正三角形アレイで構成される。この二重正三角形アレイの 1 辺が重なるよう移動させ、それぞれのアレイ直下の地下構造を求めることで地下構造断面が得られる。ここでは合計 11 箇所測定することで、上記の撓曲とバックスラストを横断する長さ約 500m の測線が得られた。地震計は固有周期 5 秒の上下動長周期地震計 (MTKV-1C) を用い、各観測点独立に 100Hz サンプリングで約 60 分間の微動記録をレコーダー (LS7000) に収録した。また、各アレイの中心で 3 成分観測を実施し、そこでの H/V スペクトルの空間的な変化の検討も行った。

3. 解析と結果

微動に含まれる表面波成分の分散データの計算には、空間自己相関法 (略称 SPAC 法、岡田ほか、1987) および拡張空間自己相関法 (略称 ESPAC 法、凌ほか、1993) を用いた。地下構造の推定では、凌ほか (2003) による擬似 S 波速度構造断面の作成を行った。また、擬似 S 波速度構造の検証のため、アレイ 3 箇所において、観測位相速度と、推定地下構造モデルによる Rayleigh 波分散曲線が一致するように、遺伝的アルゴリズム (長ほか (1997)) を利用して S 波速度構造を推定した。P 波速度と密度は、Ludwig et al. (1970) の結果に基づき、S 波速度の関数とした。

得られた分散曲線は、どのアレイでも 1.2Hz から 7Hz の範囲、位相速度 1500m/s?500m/s で概ね正分散性を示す。しかし、バックスラストの下盤に相当する西側では、1.5Hz より高周波側で逆分散の傾向が見られる。深さ 400m 程度までの擬似 S 波速度構造断面では、上記の分散曲線を反映し、バックスラストと撓曲帯に関連したと考えられるような特徴的な構造が見られる。また 3 箇所で行った S 波速度構造と擬似 S 波速度構造は概ね一致している。

キーワード: 微動アレイ探査, 活断層, 地下構造, 岩手・宮城内陸地震, バックスラスト, 撓曲

Keywords: microtremor array survey, active fault, subsurface structure, the 2008 Iwate-Miyagi inland earthquake, back thrust, flexure deformation zone

JU-215 地震計による極小微動アレイ (~ 1 m) を用いた浅部構造探査 (~ 数 10 m) の適用性

Applicability of seismometers JU-215 to shallow-structure explorations using miniature microtremor arrays (<1m)

長 郁夫^{1*}, 先名 重樹², 藤原 広行²

CHO, Ikuo^{1*}, SENNA, Shigeki², FUJIWARA, Hiroyuki²

¹ 独立行政法人 産業技術総合研究所, ² 独立行政法人 防災科学技術研究所

¹National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ²National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

我々はこれまでに、自己ノイズレベルの低い高性能な微動計を用いれば、半径 1 m 以下の円形アレイによる微動上下動の観測により波長 100m 以上のレーリー波の分散特性を解析できる可能性があることを示してきた (例えば、長他, 2008)。ここに、防災科学技術研究所と白山工業 (株) の共同開発による微動/強震観測キット JU-215 は自己ノイズの低いサーボ型加速度計 JA40GA04 (日本航空電子工業 (株) 製 K-NET 用に開発 (功刀他, 2006)) とダイナミックレンジ 135 dB (100 Hz サンプリング時) の白山工業 (株) 製データロガー DATAMARK LS7000XT により構成される (先名他, 2006, 2008)。我々は、上述のような新しい微動探査法に JU-215 微動計を適用できる可能性を観測データで検討した。

具体的には、2011 年 10-11 月につくば市とその周辺の 21 か所で JU-215 微動計 6 台による半径 40 cm あるいは 60 cm の円形アレイ観測を実施した。3 地点で土の路面上、それ以外はアスファルトの舗装道路にアレイを設置した。イラストレータ (描画ソフト) でアレイを描き大型プロッタで打ち出した用紙の上に直接 6 台の地震計を配置した (写真 1)。各点とも 100 Hz サンプリングで 30 分間観測した。得られた微動上下動波形に CCA 法 (Centerless Circular Array Method; Cho et al., 2004, 2006) あるいはノイズ補正 CCA 法 (Tada et al., 2007) を適用してレーリー波の位相速度を解析した。解析には WEB 公開中の微動解析ツール BIDO (<http://staff.aist.go.jp/ikuo-chou/bidodl.html>) を利用した。

その結果、得られた分散曲線の最大波長は 160m、平均 102 m となった。アレイ半径 r に対する相対波長としては平均 $170r$ 、最大で数 $100r$ の長波長が解析されたことになる。SN 比の解析結果はほとんどの観測点で 2-10 Hz の周波数帯域で 10,000 に近い値となったので、CCA 法の適用におけるノイズレベルと解析可能波長帯域の関係 (Cho et al., 2006) に照合すると妥当な結果と言える。半径数 10 cm のアレイで解析した SN 比はほぼそのまま記録システムの性能を表していると思われるから、これは JU-215 微動計の性能の高さを示す結果と言える。この微動計ならば中心点 1 点と円周上の 3 点による 4 台の地震計で構成される極小アレイにも適用できる可能性があるため、今後の検討課題としたい。

得られた分散曲線から波長 40 m に対応する位相速度を抽出して深さ 30 m までの平均 S 波速度 AVS30 とみなしたところ (紺野・片岡, 2000), 140-280 m/s の範囲の値が得られ、観測点ごとに微地形データから推定される AVS30 値 (松岡他, 2005) と比較的良く対応することが分かった。このような極小アレイにより 2-3 Hz から数 10 Hz までの広帯域で分散曲線が得られるので、更に浅部や深部の探査データとしての利用も期待できる。

先名重樹, 安達繁樹, 荒木恒彦, 飯澤清典, 藤原広行: 微動探査観測システムの開発, 第 115 回物理探査学会予稿集, pp.120-122, 2006

先名重樹, 藤原広行: 微動探査観測ツールの開発 その 1 - 常時微動解析ツール -, 防災科学技術研究所研究資料第 313 号, 2008

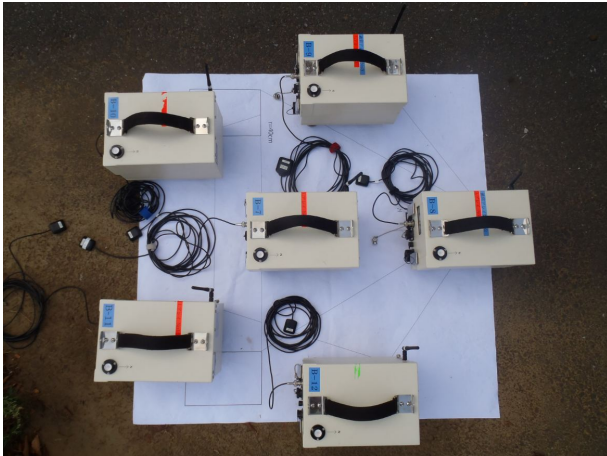
キーワード: 微動, 探査, 表面波, 位相速度, 速度構造, AVS30

Keywords: microtremors, exploration methods, surface waves, phase velocity, velocity structure, AVS30

SSS26-P07

会場:コンベンションホール

時間:5月20日 17:15-18:30



筑紫平野におけるS波速度構造探査

Explorations of S-wave velocity structure around the Chikushi plain

奥平 良太¹, 山田 伸之^{2*}, 竹中 博士¹

OKUDAIRA, Ryota¹, YAMADA, Nobuyuki^{2*}, TAKENAKA, Hiroshi¹

¹九州大学, ²福岡教育大学

¹Kyushu University, ²Fukuoka University of Education

福岡県と佐賀県にまたがる筑後平野は、筑紫平野の中でも筑後川以東の平野である。この地域は、2005年の福岡県北西沖の地震の際には、震源に近い太宰府市などよりもやや大きな揺れが記録されている。こうした点は、地盤構造が大いに影響したと考えられ、空間的な地下構造の把握は、今後の地震動評価には必要不可欠な情報になるといえる。しかしながら、この地域のS波速度(V_s)3km/s相当の地震基盤までの深部の地下構造に関する情報は、J-shis[防災科学技術研究所ホームページ, <http://www.j-shis.bosai.go.jp/map/>]によるものが存在するものの、その詳細には不明な点も多い。また、Kik-netの深層ボーリングや奥平・他(2011)の微動探査、筑紫平野の南端部で東西に横たわる耳納断層近傍での重力異常データを用いた調査[例えば、吉田・他(2007)]もなされてはいるが、それらの結果は、局所的で、筑紫平野の面的な構造を把握するまでには至っていない。特に、物理的な手法による調査は十分になされているとはいえ、この地域の地盤震動特性や地下構造に関する情報は少ない。

こうした点から、本研究では、筑紫平野における面的な深部地盤構造を明らかにするために、奥平・他(2011)での探査を含め、平野内の5箇所での微動アレイ探査を実施し、それらの結果について報告する。なお、奥平・他(2010)での結果については、再解析を行い、S波速度の面的な構造を示す予定である。これまでの微動アレイ探査を実施した地点は、太刀洗(TCA)、筑後吉井(CYS)、久留米(KRM)、甘木(AMG)、筑前町(CZM)である。これらの地域では、観測点間隔数百メートルから数メートルの三角形でのアレイ配置とし、常時微動を30分から90分間の収録を行った。その記録からF-K法[Capon(1969)]により、位相速度を算出し、その位相速度をもとに、逆解析を行い、S波速度構造を推定した。一部、逆解析での位相速度の再現度が十分でない周期帯が存在するものの、概ね観測位相速度を説明できるモデルを推定した。その結果、地震基盤上面までの深度は、 $AMG < CZM < KRM < CYS < TCA$ となり、概ねJ-shisで示されている傾向と対応したものとなった。ただし、層数や各層の深度などで大きく異なる地点があった。こうした結果をもとにして、面的な速度構造分布図も作成し、3次元速度構造モデル構築への基本情報を示した。今後、さらなる検討を加え、筑紫平野における速度構造モデルを形作りたい。

キーワード: 筑紫平野, S波速度構造, 微動アレイ探査

Keywords: Chikushi plain, S-wave velocity structure, microtremor array exploration

微動アレイ探査群で推定した新潟南部地域の地下速度構造

S-wave velocity structure of southern Niigata estimated with ambient noise array surveys

吉見 雅行^{1*}, 林田 拓己¹, 杉山長志², 竿本 英貴¹

YOSHIMI, Masayuki^{1*}, HAYASHIDA, Takumi¹, SUGIYAMA Takashi², SAOMOTO, Hidetaka¹

¹ 産業技術総合研究所活断層・地震研究センター, ² 中央開発株式会社

¹ Geological Survey of Japan, AIST, ² Chuo Kaihatsu Corp.

新潟南部の丘陵地帯を中心とする13地域(東西50km南北15km程度の範囲)にて微動アレイ探査を行いS波速度構造を推定した。アレイ半径は300, 1000, 3000m程度の3つとし, それぞれ正三角形の頂点と重心からなる4点アレイとした。使用センサーはLennartz electronic 製速度計 LE-3D/5s (固有周期5秒) および Nanometrics 製広帯域地震計 Trillium Compact (固有周期120秒) である。いずれも白山工業製 LS-8800 データロガーにて100Hz サンプリングで収録した。1地域あたり12測点にLE-3D/5sを同時展開し, 10日間以上の微動記録を収録した。また, 最大半径のアレイでは広帯域地震計でも5日間以上の観測を実施した。

取得したデータに対し明らかなノイズ等を除去してSPAC法, V法(Tada et al, 2007) 解析を実施し, 周波数ごとの位相速度を推定した。0.13Hzから1Hz程度までの周波数帯域にて分散曲線が求められた。このうち0.2Hz以上の周波数帯域ではほぼ安定したSPAC係数が得られたのに対し, 0.2Hz未満の周波数帯域ではSPAC係数の時間的な変動が見受けられた。特に遠地でM7程度の浅い地震が発生した後の時間帯を中心に, 0.05Hz程度の低周波数帯まで coherence が落ち込むことがない時間帯があった。この時間帯の解析結果を用いて幾つかの観測地域に対しては周波数0.1Hzより短周波数領域までの位相速度が求められた。この際, 0.1Hz付近での位相速度は2.9-3.4km/s程度であった。

観測位相速度を既存地下構造モデル(JNES, 2005; 2008, 産総研, 関口・他, 2009)の理論位相速度と比較した。地下構造モデル間のバラツキが大きいが, 多くの地点では周波数0.2-0.3Hzより高周波数帯域で観測値が理論値と整合するモデルもあった。一方, それより低周波数側では, 観測位相速度は理論位相速度を上回っていたが, 基盤岩層の速度構造を適切に与えることで, 一致度が改善できた。本研究による位相速度は基盤岩のS波速度をある程度拘束できるものであると言える。

観測位相速度曲線から1次元速度構造を推定した。逆解析には山中・石田(1995)の遺伝的アルゴリズム(GA)を用い, 観測位相速度の残差が小さくなるようなS波速度構造モデルを探索した。探索対象とするS波速度構造は, 産総研の速度構造モデル(関口・他, 2009)で採用した層構造を参考に, S波速度0.4km/sから2.8km/sまでの堆積層およびグリーンタフ相当の13層と, S波速度3.3km/sの基盤岩, さらに下部地殻相当の3.8km/sの層の合計15層からなるものとした。細かい層区分を考慮したことから, S波速度は固定し層厚のみを探索した。この逆解析を, 1観測アレイあたり2種類の位相速度, すなわちSPAC法による位相速度とV法による位相速度を探索目標として実施した。推定された1次元S波速度構造の基盤深度は2km程度から8km程度である。観測網西側(柏崎平野付近)にて基盤深度が浅く, 観測網中部(十日町盆地? 東山丘陵)で基盤が深く, 観測網東部(六日町盆地)で浅いという地下構造の大局的な特徴は既存地下構造モデルと整合するものであった。

本研究は独立行政法人原子力安全基盤機構の新潟工科大学敷地内における深部地震動観測システムプロジェクトの一環である「柏崎深部地震動観測サイト周辺の広域地下構造調査」の一部として実施した。微動アレイデータの解析にはBIDO2.0(Tada et al, 2010, ダウンロード元アドレス <http://staff.aist.go.jp/ikuo-chou>)を使用しました。

キーワード: 堆積盆地, SPAC法, S波速度構造, 新潟, 微動, 雑微動

Keywords: sedimentary basin, SPAC method, S-wave velocity structure, Niigata, microtremor, ambient noise

微動アレイ探査と常時微動計測 H/V から推定される大阪南部地域の速度構造 S-wave velocity structure of southern Osaka plain estimated from ambient noise array survey and H/V spectra

吉見 雅行^{1*}, 関口春子², 浅野公之²

YOSHIMI, Masayuki^{1*}, SEKIGUCHI Haruko², ASANO Kimiyuki²

¹ 産業技術総合研究所 活断層・地震研究センター, ² 京都大学防災研究所

¹Geological Survey of Japan, AIST, ²DPRI, Kyoto Univ.

大阪平野南部地域の S 波速度構造を得るため、2010 年に実施した微動アレイ探査 (吉見ほか, 2010) の補完探査を泉大津市夕凧 (YNG), 羽曳野市羽曳が丘 (HBK) の 2 地点にて 2011 年 4 月 14-15 日に実施した。アレイ半径は、YNG:766m と 450m, HBK で 956m と 600m である。正三角形の頂点および重心の計 4 点に同時に地震計を配置し 60-150 分程度の観測を行った。使用機器は VSE-15D6 (東京測振) と LS7000XT (白山工業) である。得られた測定記録から SPAC 法により位相速度を求めた結果、分散曲線の改善が図られた (YNG では 0.2Hz まで, HBK では 0.4Hz までの連続する分散曲線が得られた)。

観測位相速度を既存地下構造モデル (J-SHIS モデル (岩田・他, 2008); 堀川・他, 2004) から抽出した 1 次元 S 波速度の理論値と比較したところ, YNG では J-SHIS モデルにほぼ一致, HBK では両モデルよりも高速度であった。

次に, 分散曲線を満足する S 波速度構造を推定した。S 波速度 3.2km/s の基盤の上に, 3 層の堆積層 ($V_s=0.35, 0.55, 1.0$ km/s) を仮定したモデルと, ミラージュ的な速度構造 ($V_s \text{ max}=1000$ m/s) を仮定したモデルにつき別々に GA により速度構造を探索した。さらにアレイ中心で測定した常時微動の 3 成分記録から H/V スペクトルを求め理論値と比較した。

今後は観測結果をもちいて, 大阪堆積盆地の地下速度構造モデルを改良していく予定である。

本研究は, 文部科学省平成 23 年度科学技術基礎調査等委託事業「上町断層帯における重点的な調査観測」によって行われました。

キーワード: SPAC 法, 堆積盆地, 大阪, 微動, 雑微動, H/V

Keywords: SPAC method, sedimentary basin, Osaka, microtremor, ambient noise, H/V

大阪堆積盆地における微動 H/V スペクトル比と盆地速度構造モデルの関係 Relationship between microtremor H/V spectral ratios and basin structure model in the Osaka sedimentary basin

浅野 公之^{1*}, 岩田 知孝¹, 関口 春子¹, 宮腰 研², 西村 利光²

ASANO, Kimiyuki^{1*}, IWATA, Tomotaka¹, SEKIGUCHI, Haruko¹, MIYAKOSHI, Ken², NISHIMURA, Toshimitsu²

¹ 京都大学防災研究所, ² 地域 地盤 環境研究所

¹ Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, ² Geo-Research Institute

大阪平野は花崗岩からなる基盤岩に形成された盆地構造の上に、主として大阪層群からなる厚さ約 1~2 km の堆積層で覆われている。大阪盆地の端部には有馬 - 高槻構造線や生駒断層帯などの活断層によって形成されており、盆地内部には上町断層帯が大阪府内をほぼ南北の走向で存在している。このような都市直下の断層帯で将来発生する大地震の強震動を予測するには、活断層調査などに基づく震源断層のモデル化に加え、断層帯周辺を含む対象領域内での高精度な地下構造モデルが必要である(岩田・他, 2012, 本大会)。大阪盆地では、これまでも多くの活断層調査や地下構造調査のための物理探査が行われてきており、それらの物理探査情報や地質情報を統合することにより、盆地の基盤形状と堆積層の三次元速度構造モデルが提案・改良されている(例えば、香川・他, 1993; 堀川・他, 2003; Iwata *et al.*, 2008; Iwaki and Iwata, 2011)。本研究では、これら既存の速度構造モデルの検証及びさらなる改良に資するため、大阪府内を中心に多点の単点微動観測を新たに実施し、H/V スペクトル比を求めた。

2011年8月から12月にかけて、大阪盆地内及び縁辺部の強震観測点100点において、単点微動観測を実施した。100点のうち73点は大阪府震度情報ネットワークの観測点であり、このほかに気象庁震度計観測点9点、K-NET 11点、KiK-net 5点、その他2点で実施した。微動観測には Lennartz 製の固有周期 20 秒の速度計 LE-3D/20s と白山工業製収録装置 LS-7000XT を用い、既設震度計・強震計の近傍の地盤上で1地点あたり30分以上の微動計測を行った。得られた微動記録から観測場所近傍の交通振動等によるノイズ部分を目視で除き、81.92秒間のタイムウィンドウを10区間以上抽出した。それらのフーリエ振幅スペクトルを求めた後、水平成分と上下成分のスペクトル比のアンサンブル平均を求め、微動 H/V スペクトル比とした。得られた微動 H/V スペクトル比の卓越周期を読み取った。例えば、此花区や港区など大阪港周辺で周期7秒前後、上町台地では、都島区や東淀川区で約3秒、中央区や天王寺区で約4秒であった。

既存の速度構造モデルとして、「大大特モデル」(Iwata *et al.*, 2008)「産総研モデル」(堀川・他, 2003)を検討対象とした。大阪堆積盆地ではこれまでも宮腰・他(1997)によって、微動 H/V スペクトル比の卓越周期と基盤岩深度の比例関係が調べられている領域がある。今回の計測で得られたデータでも微動 H/V の卓越周期は、多くの地点で大局的にはモデルの基盤深度とよい相関にある。速度構造モデルから観測点直下の一次元構造を抽出し、Rayleigh 波の理論楕円率を計算することによりモデルの卓越周期を得た。微動 H/V の卓越周期とモデルの卓越周期を比較したところ、多くの地点でよい一致を示しているものの、いずれのモデルにおいても微動 H/V とモデル H/V の比で 0.6~3 倍の違いが見られた。特に上町断層帯北部の下盤側や泉北・羽曳野丘陵でモデル H/V の卓越周期が微動 H/V より長く、モデルの基盤深度が実際より深めに設定されている可能性が示唆される。また、箕面や四条畷など盆地端部付近でも微動 H/V とモデル H/V の卓越周期の違いが顕著である。後者に関しては、基盤深度急変域に当たることから基盤深度の設定が十分ではない可能性のほかに、微動 H/V が三次元構造の影響を反映している可能性も考えられる。しかし、上林・他(2009)は泉南地域を対象とした分析を通じて、微動 H/V は地震基盤の傾斜構造に対する頑健性をもつことを指摘している。今後、微動 H/V の振動方向依存性などを精査するとともに、他の情報も参考にして問題の切り分けを行い、堆積盆地構造モデルの改良を進めていく予定である。

本研究は、文部科学省科学技術基礎調査等委託事業「上町断層帯における重点的な調査観測」によって行われました。微動観測に際しては大阪府、府下各市町村、西宮市、大阪管区气象台、大阪航空局、防災科学技術研究所など多くの関係機関にお世話になりました。記して感謝いたします。

キーワード: 大阪堆積盆地, 微動, H/V スペクトル, 盆地速度構造モデル, 卓越周期

Keywords: Osaka sedimentary basin, microtremor, H/V spectral ratio, basin velocity structure model, dominant period

高知平野における微動 H/V スペクトル解析 H/V spectral analysis of micro-tremor in Kochi Plain

大石 佑輔^{1*}, 久保 篤規², 山品 匡史²
OISHI, Yusuke^{1*}, KUBO, Atsuki², YAMASHINA, Tadashi²

¹ 高知大学理学部, ² 高知大学理学部附属高知地震観測所

¹Faculty of Science, Kochi Univ., ²Kochi Earthq. Obs., Fac. of Sci., Kochi Univ.

高知平野は南海地震の震源域近傍に位置し、強震動による災害が危惧される。強震動の特徴を理解するためには高知平野の地盤構造をよく知る必要がある。高知平野の地盤構造のモデル化は既にボーリング資料などにより進められているが、本研究では、より設備が安価、測定が容易で、高密度の測定が可能な単点での常時微動 H/V スペクトル比の測定を行うことにより大局的な地盤構造を把握し、ボーリングデータに基づく地盤構造モデルとの対応を行った。用いたデータは昨年報告した 130 点に、新たに観測した約 250 点を加えた計 380 点の常時微動波形である。浦戸湾周辺域で卓越周期が長くなるという傾向はより良く見えてきた。H/V スペクトルの卓越周期は、大局的には地盤モデルの沖積層厚との相関が高いが、沖積層基底面よりも深部の構造の変化の影響を受けている場合もあることがわかった。高知平野に多数見られる地下の基盤の盛り上がりにおいて、密な微動観測を実施すると、地盤モデルに対応する卓越周期の変化を検出することができた。スペクトルのピークの高さを問わなければ卓越周期 1 秒程度のピークは高知平野の広域で見られる。スペクトル形状の複雑さは、このピークに加えて、高次モードや、沖積層厚、複雑な互層構造などにより形成されていることが予想される。

キーワード: 地盤構造, H/V スペクトル, 強震動, 高知平野, 卓越周期

Keywords: Soil/Basement Structure, H/V spectra, Strong Motion, Kochi Plain, Dominant period

微動探査法による大阪平野都市域深部S波速度構造の推定 Deep S-wave Velocity Structure in Osaka Plains Urban Area Estimated by Microtremor Survey Method

南 雄一郎^{1*}, 松岡 達郎³, 水落 幸広², 原口 強¹

MINAMI, Yuichiro^{1*}, MATSUOKA, Tatsuro³, MIZUOCHI, Yukihiro², HARAGUCHI, Tsuyoshi¹

¹ 大阪市立大学大学院 理学研究科, ² 住鉱資源開発株式会社, ³ ジオックスコンサルタント株式会社

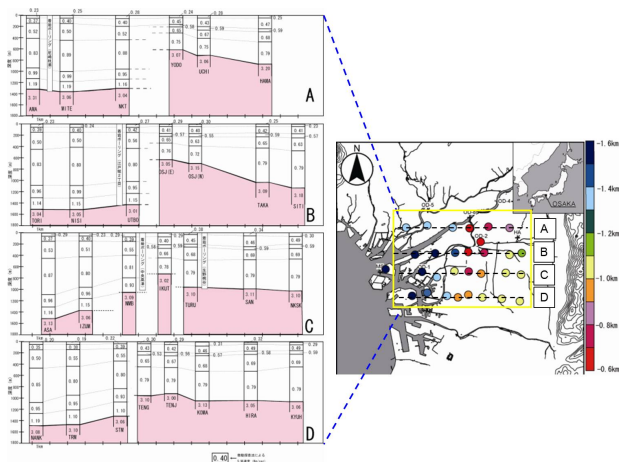
¹Graduate School of Sci., Osaka City Univ., ²Sumiko Resources Exploration & Development Co.,Ltd, ³Geo-X Consultants Co.Ltd.

近畿地方では、今後30年以内に約60%の確率で起こるとされている南海地震や大阪市街地直下の上町断層地震(約3%の確率)の発生も危惧されている。これまで反射法を中心とした地震探査やボーリング調査など多くの地下構造調査が行われているが、地震基盤までのS波速度構造の情報は極めて少ない。香川ほか(1998)は、大阪北西部や湾岸線を中心に深部S波速度構造推定のために微動探査を実施しているが、都市部(特に大阪市街地)での調査はなされていない。一方、これまで微動探査の事例は複数報告されているものの、大規模な断層地帯での基盤構造変化についてはほとんど報告がない。

本研究では、強震動予測の精度向上に必要なS波速度構造を求めることを目標に、まず大都市域での微動探査法の可能性および断層地帯での基盤構造変化への適用性の検討を行なった。その結果、得られたS波速度構造に妥当性が見られたため、大阪都市部全域に3km格子をかぶせ、その交点で微動探査を30地点行なった。その結果、全地点で地震基盤までの詳細なS波速度構造(以下深部S波速度構造と呼ぶ)が得られ、上町断層を中心とした縦約10km、横15kmの範囲で南北方向に東西に4つの測線を得ることができた。これら4つの測線から、上町断層を境に、西側と東側で地震基盤深度に明瞭な違いが見られた。

キーワード: 微動探査, SPAC法, 上町断層, 深部S波速度

Keywords: microtremor, SPAC, Uemachi fault, deep S-wave velocity



地震波干渉法の稠密地震観測網記録への適用 - 新潟県南部地域 - Seismic interferometry using dense seismic network data in south Niigata Prefecture, Japan

林田 拓己^{1*}, 吉見 雅行¹

HAYASHIDA, Takumi^{1*}, YOSHIMI, Masayuki¹

¹産総研 活断層・地震研究センター

¹Active Fault and Earthquake Research Center, AIST, GSJ

新潟県南部地域(東西50km南北15km程度の範囲)に2011年5月より順次構築した地震観測点(全15地点)の連続波形記録に地震波干渉法を適用し、表面波の群速度を求めた。15観測点中14点は埋設型の速度計(東京測振製VSE-355JE)で埋設深度は約5m、残り1点は地上設置型である(VSE-355JE)。観測点間の平均距離は約7.1kmである。本解析ではまず、各観測点の連続波形記録に対して、毎正時から1時間分の連続記録(上下動成分)を1単位としてデータの切り出しを行った。振幅値の1ビット化(Sabra et al., 2005)を行ったのちに多数の観測点ペアにおける波形の相互相関処理を行い、スタックした干渉波形から観測点間の表面波群速度を推定した。観測点のペアとしては、(1)新潟工科大学観測点(GYK03)を基準点とした組み合わせ(全14組)、(2)北西-南東を横切る3測線上に位置する観測点の組み合わせ(全31組)、(3)隣接する観測点の組み合わせ(全35組)を対象とした。観測点間の最短距離は4.2km(GYK04-GYK05間)、最長距離は40.7km(GYK01-GYK15間)である。

4か月間以上にわたる相互相関関数をスタックした結果、広い周期帯(1-20秒帯)において分散性を持つ明瞭な信号波群が見られた。周期4-8秒帯においては多数のペアで時間零を対象軸とした線対称に近い相互相関関数を得たが、他の周期帯における相関関数の対称性ならびに波群の相関値はペア毎にばらつきが見られた。8-16秒帯では主に冬季において日本海側から内陸側へ伝播する明瞭な波群が見られるのに対し、1-2秒帯では全期間にわたって西側へ向かう伝播方向での明瞭な波群が確認された。次に、相互相関関数から推定した周期帯毎の群速度と新潟県地域の既往の地下構造モデル(関口・他, 2009)から観測点周辺の1次元速度構造を抽出して計算した理論群速度分散曲線との比較を行った。地震波干渉法解析から推定した群速度と理論群速度分散曲線との対応は概ね調和的である一方、観測値と理論値が大きく異なる事例も見られた。観測点間の速度構造が平行成層構造に近い場合には観測値と理論値が調和的となる傾向にある。一方、現段階では相互相関関数からの群速度の推定が困難な観測点ペアも存在するため、より長期間の記録を用いた検証が必要である。地震波干渉法の安定的な適用条件ならびに空間的な地下構造の変化が群速度に及ぼす影響を評価し、観測点近傍での微動アレイ探査結果(吉見・他, 本連合大会)との連携も進めながらモデルの妥当性を検討することが今後の課題である。

謝辞:本研究は、独立行政法人原子力安全基盤機構「平成22年度柏崎深部地震動観測サイト周辺の広域地下構造探査微動・自然地震動観測及びGPS観測の実施」の一環として実施しました。

キーワード:地震波干渉法, 雑微動, 表面波, 速度構造モデル, 新潟県南部

Keywords: seismic interferometry, ambient noise, surface wave, velocity structure model, south Niigata Pref.

大阪平野を対象としたレシーバー関数解析 Receiver function analysis for the Osaka plain, southwestern Japan

堀川 晴央^{1*}

HORIKAWA, Haruo^{1*}

¹(独)産総研活断層・地震研究センター

¹Active Fault and Earthquake Res. Ctr., AIST/GSJ

大阪平野に設置された強震計および震度計(以下、まとめて地震計と記す)を用いてレシーバー関数を計算した。レシーバー関数を計算する前段階として、地震計の水平成分の設置方位を検証した。具体的には、既に設置方位が現場測定にて明らかとなっている関西地震観測研究協議会の地震計を基準とし、これらの地震計での記録と、他の地震計で収録された記録との相互相関関数を計算した。その結果、観測点によっては40-50度回転して設置されていることが明らかとなった。この設置方位を考慮して、宗田ほか(2001)による手法を用いてレシーバー関数を計算した。地震基盤におけるP→S変換波が多くの観測点で明瞭に確認された。この変換波が出現する時刻を、J-SHISのモデルから予測される出現時刻とを比較したところ、北側および東側の平野端付近の観測点において、予測値が観測値よりも小さいことがわかった。この違いは、地震基盤のモデル化手法の影響を受けていると考えられる。J-SHISモデルはスプライン関数を元に行っているため、表現される盆地形状は滑らかにならざるを得ない。しかし、物理探査で明らかになっているように、盆地の北側あるいは東側では、ある程度(およそ深さ1km前後)の深度を保ったまま堆積盆地の底が盆地端まで伸び、鉛直あるいは盆地側にオーバーハングする断層により盆地は限られている。すなわち、これらの盆地端では、スプライン関数では表現が難しい急峻な構造を有しており、このため、実際の構造とモデルとが乖離してしまっていると考えられる。兵庫県南部地震においては、盆地端が破壊的な強震動を生成することに大きく寄与することが明らかになっている(Kawase, 1996)ことからわかるように、内陸地震による震源近傍の強震動を考える上では盆地端の形状を考えることは重要であり、適切なモデル化の方法を追求することが必要と考えられる。

謝辞:本研究で用いた地震記録は、関西地震観測研究協議会、防災科学技術研究所(K-Net, KiK-Net, F-Net)、および大阪府に提供いただいた。大阪府の震度計の記録を利用するにあたって、岩田知孝教授および浅野公之博士に便宜を図っていただいた。岩城麻子博士には、未公表の解析結果をご提供いただくとともに、解析手法に関してご教示いただいた。本研究は、文部科学省科学技術基礎調査等委託事業「上町断層帯における重点的な調査観測」によって行われた。以上、記して感謝いたします。

キーワード: レシーバー関数, 大阪堆積盆地, 地盤構造

Keywords: receiver function, Osaka sedimentary basin, subsurface velocity structure

雑微動データのスペクトル振幅と地震動最大振幅の関係について Relation between spectral amplitudes of microtremors and maximum seismic amplitudes

田中 寅夫^{1*}, 大久保 慎人¹, 青木 治三¹
TANAKA, Torao^{1*}, OKUBO, Makoto¹, AOKI, harumi¹

¹ 東濃地震科学研究所

¹ TRIES

わが国で一般的な低層木造建造物の固有振動数は2 ~ 4 Hzであり、この振動数は地下浅部地盤による地震波の増幅に大きく関わり、site effect にほぼ等しいと考えられる。地震動被害を減少させるためには、場所によっては100m以下の規模で細かく調査して確度高く site effect を決定することが必要であり、したがって雑微動の測定によって最大地震動の大きさを予測することが可能になれば、地震動災害の減少に役立つと考えられる。このような観点から、われわれは1999年から東濃地域で展開されてきた TRIES 高密度地震観測網によって得られた地震記録および雑微動記録の振幅スペクトル解析を進めてきた。これまでの連合大会において報告してきたように今回も、TRIES 観測網における加速度地震計による1/100秒サンプリングの地震データと、トリガーが作動してからP波初動が到達する直前までに観測されている雑微動データの離散フーリエ変換から、スペクトル振幅を計算した。地震については最長20秒間、微動については10秒間以内のデータを解析した。振動数帯域1.95 Hzから4.04 Hzにおけるスペクトル振幅に着目して、この帯域を幅0.1 Hzの10区間に細分し、それぞれの区間における雑微動の最小値が、地下浅部構造による地震動の最大増幅とともに、地表に振動源をもつ雑微動がゼロとなる環境を示すと仮定した。これを検討するため、TRIES、犬山および土岐消防署の3観測点で観測された雑微動と福井岐阜県境および和歌山県中部に発生した2つの地震のスペクトル振幅の比較を試みた。地震のマグニチュード、震源メカニズム、地震波の伝播経路などの影響を受けない形で各観測点の地震動を比較するために、TRIES 観測点を基準として、雑微動最小値および地震動の最大振幅のスペクトルの比較は、それぞれをTRIESの雑微動最小値および地震動振幅で除した相対振幅で行うこととして、両者の関係を調べた。得られた結果は、地盤による地震動の増幅率は、地盤の固有振動数が微動最小値スペクトルのピーク振動数とみなして、かなり高い確度で予想できる可能性を示している。

キーワード: 雑微動, 地震波, 地盤, 離散フーリエ変換, 最大振幅, 地震災害

Keywords: microtremor, seismic wave, ground soil, discrete Fourier transform, maximum amplitude, seismic hazard

低周波数地震動の情報を用いた高周波数地震動合成手法の検討

Synthesis of high-frequency ground motion based on information extracted from low-frequency ground motion

岩城 麻子^{1*}, 藤原 広行¹

IWAKI, Asako^{1*}, FUJIWARA, Hiroyuki¹

¹ 防災科学技術研究所

¹NIED

1. はじめに

シナリオ地震の広帯域地震動計算は、低周波数における地下構造モデルに基づく数値解法などの決定論的アプローチと、高周波数帯域における半経験的手法による統計的アプローチを組み合わせたハイブリッド合成法によることが多い。この時、それぞれ全く独立の情報から合成された波動場を重ね合わせていることになるが、本来、低周波数地震動と高周波数地震動は独立の現象ではない。実際、観測地震記録の加速度エンベロープをいくつかの周波数帯域ごとに描かせてみるとそれらは互いに形状が似ている。そこで本研究ではより自然な広帯域地震動予測手法を目指して、加速度エンベロープ経時特性の周波数帯域間関係に着目し、低周波数地震動が持つ情報を利用してそこから高周波数地震動を合成することを試みる。

2. 手法の概略

対象地域は関東地域とし、KiK-net 地中記録を用いる。観測加速度記録を4種類の周波数帯域 (1) 0.5-1.0 Hz, (2) 1.0-2.0 Hz, (3) 2.0-4.0 Hz, (4) 4.0-8.0 Hz で RMS エンベロープを求め、隣り合う帯域同士で高周波数側の低周波数側に対する RMS エンベロープの比をとると、エンベロープ比は観測点・地震タイプごとに安定した形状をもつ。このエンベロープ比を関数でモデル化し震源スペクトルの振幅分を補正したものを、高周波数地震動の低周波数地震動に対する経時特性の比の経験式とみなし、乱数位相を掛け合わせることで高周波数地震動を合成することを基本方針とする。関東地域で発生する様々なタイプの M5 クラスの地震について、観測低周波数地震動 (0.5-1.0 Hz) から高周波数地震動 (1.0-2.0 Hz, 2.0-4.0 Hz, 4.0-8.0 Hz) を合成し、観測を良好に再現することを示した (2011 年地震学会秋季大会)。

3. M7 級地震の広帯域地震動計算に向けて

本発表では関東地域の M7 クラスの地震の広帯域地震動予測への応用を想定し、海溝型地震とスラブ内地震について波形合成手法を検討した結果を報告する。関東地域の M7 クラスの地震には様々な発生様式が想定されるが、ここでは海溝型地震については良好な強震記録が多数得られている茨城県沖のプレート間地震系列 (5.1 M_{JMA} 7.0) を解析の対象とする。一方、スラブ内地震は関東地域で記録が得られている M7 クラスの地震が発生していないため、2003 年 5 月 26 日宮城県北部のスラブ内地震とその余震群 (4.5 M_{JMA} 7.0) について解析を行い参考にする。

茨城県沖の地震系列では、低周波数帯域ほど後続波が卓越しており、高周波数帯域ほど S 波強震部直後からの減衰が大きいという特徴が顕著にみられる。また、隣り合う帯域同士のエンベロープ比をとると、減衰部の減衰の強さには地震規模への依存が見られる。すなわち、M7 クラスの地震は M5 クラスの地震に比べて低周波数地震動に対する高周波数地震動の減衰が相対的に大きい。これは、M7 クラスの海溝型地震では震源継続時間が長いことに加えて伝播経路中で生成された長周期の表面波が特に後続動に卓越してくることを反映していると考えられる。このような地震規模への依存性は、宮城県北部のスラブ内地震系列には見られなかった。今後、地震タイプや地域性に応じて規模依存も含めたエンベロープ比の経験式を作成し、観測広帯域地震動の再現及び、差分法などの地震動シミュレーションによる理論低周波数地震動を用いた広帯域予測地震動の計算に適用する。

キーワード: 広帯域地震動予測

Keywords: broad-band ground motion prediction

マルコフ連鎖モンテカルロ法による3次元深部地盤構造の層境界面形状推定 Estimation of three-dimensional layer interface topography of subsurface structure using a MCMC method

岩城 麻子^{1*}, 青井 真¹
IWAKI, Asako^{1*}, AOI, Shin¹

¹ 防災科学技術研究所
¹ NIED

やや長周期帯域の地震動は堆積盆地の構造の影響を大きく受ける。地震波形を精度良く再現可能な深部地盤構造モデルを得るためには波形インバージョンが有効であると考えられる。Aoi (2002, BSSA) は深部地盤構造の層境界面形状をターゲットとする波形逆解析について、観測方程式を擬似線形化し反復解法によりモデルを推定する手法を提案した。Iwaki and Iwata (2011, GJI) ではこの手法を実記録に適用し、実際の堆積盆地構造モデルのチューニングが可能であることを示した。一方、このような擬似線形化手法の一般的な問題点として、解が初期モデルに強く依存したり解が収束しなかったりすることが挙げられる。

本研究では、マルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC 法) を用いた3次元盆地境界面形状逆解析手法の定式化を提案する。MCMC 法では、乱数を用いてマルコフ連鎖をなすパラメータの抽出により解の確率分布を求める。擬似線形化手法のように最も波形残差が小さいモデルを1つだけ求めるのではなく、抽出された解の確率分布の統計的性質から誤差を含めた解が得られる。

地震基盤深度が水平方向に不均質な3次元盆地モデルを対象として、地震基盤と堆積層の成す境界面形状を推定する手法を定式化し、数値実験によりその適用性を検討する。ここで対象とするターゲットモデルは25 km × 20 km、基盤深さが最大2500mのものとし、解析周期帯域は3-10秒とする。境界面形状はcosine型の基底関数展開で表現し、各ノードにおける境界面深さの初期値からの変化分をモデルパラメータとする。モデルパラメータは-400 m から2200 mまでの範囲で200 m 間隔に探索する。ノードは水平方向に2.5 km 間隔に35個あるので、モデルパラメータ空間には14の35乗個のモデルパラメータの組み合わせが存在することになる。この中から乱数を用いて生成されたモデルをMetropolis-Hasting法による棄却・受理によって標本抽出を行い、9000回の計算ののち受理されたモデルパラメータの平均と標準偏差を求めた。得られた平均モデルは、ターゲットモデルを基底関数の持つ波長の分解能の範囲でよく再現していた。MCMC法はグローバルサーチ法の一つであり、初期モデルに依存しづらく、誤差範囲を含めた解の分布を得ることができる。初期モデルの情報が乏しい状況では、擬似線形化手法では安定して解を求めることはできない。そのような場合においては、MCMC法によって得られる大局的な解を初期値として擬似線形化インバージョンを行う2段階の逆解析が有効である。

キーワード: 地盤構造, 逆問題, モンテカルロ法

Keywords: subsurface structure, inverse problem, Monte Carlo method

携帯情報端末を利用した地震計の実大三次元震動破壊実験施設による振動実験 Vibration test of the seismometer using mobile information terminal on the 3-D Full-Scale Earthquake Testing Facility

内藤 昌平^{1*}, 東 宏樹¹, 先名 重樹¹, 吉澤 睦博¹, 中村 洋光¹, 藤原 広行¹, 田中 洋一², 吉田 稔²

NAITO, Shohei^{1*}, AZUMA, Hiroki¹, SENNA, Shigeki¹, Mutsuhiro Yoshizawa¹, NAKAMURA, Hiromitsu¹, FUJIWARA, Hiroyuki¹, Yoichi Tanaka², YOSHIDA, Minoru²

¹ 防災科学技術研究所, ² 白山工業株式会社

¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ²Hakusan Corporation

1. はじめに

スマートフォンや携帯型音楽プレーヤ、タブレット PC などの携帯情報端末には小型、軽量かつ安価な MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 型加速度センサが使用されている。このような普及率の高い情報端末を強震観測に利用することができれば、現在の強震観測網の観測点設置間隔を大幅に狭める可能性があり、これまでにない詳細な被害分布の把握や、リアルタイム地震情報の発信が可能となるであろう。

吉田・他 (2011) は、iPhone/iPad/iPod touch に内蔵されている MEMS 加速度センサを利用し、クラウド環境を用いた試験的な地震観測網を構築し、それらを各種ソーシャルメディアと連携して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、MEMS 加速度センサを利用したリアルタイム地震情報の活用方法として新たな可能性を示した。

さらに、内藤・他 (2011) は「i 地震」をインストールした iPod touch を地震計台に固定し、K-NET02 型強震計と並行観測を行い観測された地震記録と比較することで、「i 地震」の強震計としての性能について検討した。それぞれのセンサで記録された同一の地震波形記録を比較すると、震度 3 以上の地震であればほぼ重なるが、震度 2 以下の地震は振幅の小さい振動がノイズに埋れてしまうことが分かった。また計測震度相当値を比較すると、震度 3 以上の地震であれば ± 0.1 の誤差範囲で一致するが、震度 2 以下の地震は過大な値となることが分かった。

2. 実験方法

「i 地震」が建築物の強震観測に利用できる性能があるかを確認するため、「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト 都市施設の耐震性評価・機能確保に関する研究 (2) 長周期地震動による被害軽減対策の研究開発」の一環として 2011 年 10 月に実大三次元震動破壊実験施設 E-Defense (兵庫県三木市) において実施された実験に参加し、「i 地震」をインストールした iPod touch 12 台を試験体内に設置し 10 種類の地震波およびホワイトノイズ波の記録を取得した。

設置方法は床・壁・机の 3 通りとし、固定には金属用両面粘着テープを使用した。また電源供給には外付けバッテリーを使用し、時刻校正は NTP サーバにより行った。

3. 結果

3 日間にわたる実験の結果、設定したトリガレベル (50gal) を超える入力波に対しては全ての「i 地震」端末のデータを記録でき、同フロアに設置されたサーボ型加速度計 (東京計器株式会社製 TA-25E) の記録と概ね遜色ないデータを取得することができた。

また、各フロアに設置された「i 地震」端末の記録から計算した応答スペクトルは JMA 神戸波などの強震動入力時において、震動の強さや階層高さに応じた非線形特性を示すことが確認できた。

設置箇所による記録の差もあり、机など設置点自体が移動したり、近傍の什物が倒れた結果生じた振動と思われる記録も確認できた。実際に建築物の振動観測に使用する場合は、設置場所自体や周辺の家具等が揺れにより移動・転倒する可能性が小さい箇所を選定して床面もしくは壁面に確実に固定し、電源供給と WiFi あるいは 3G による通信を常時行うことが要件となると思われる。

本発表とは別に「i 地震」をインストールした iPhone/iPad/iPod touch および気象庁検定を通過した基準地震計を振動試験装置に設置し、0.5~10Hz, 5~1500gal の正弦波を入力する実験を実施したので、別途この実験の結果を解析し報告を行う予定である。

今後も引き続き「i 地震」の地震計としての性能をより詳細に解析するとともに、モデル地域を決めて各種建築物での「i 地震」センサ観測網を構築し、クラウド型 MEMS センサネットワークの地域展開の実証実験を行っていく予定である。

引用文献

吉田稔, 藤原広行, 田中洋一, 森野慎也, 小国正之, 結城昇, 黒田真吾, 中井俊樹, 東宏樹, 内藤昌平, はお憲生 (2011): i 地震クラウドシステム, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会

内藤昌平, 功刀卓, 中村洋光, 藤原広行, 結城昇 (2011): i 地震 MEMS 加速度センサの強震観測性能評価, 日本地震学会予

Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS26-P19

会場:コンベンションホール

時間:5月20日 17:15-18:30

稿集, 2011 年度秋季大会

キーワード: MEMS, センサネットワーク, クラウド, 携帯情報端末, i 地震, E ディフェンス

Keywords: MEMS, Sensor Network, Cloud, mobile terminal, i-Jishin, E-Defense

クラウド型常時微動観測システムの構築 Construction of the cloud type microtremor observation system

先名 重樹^{1*}, 東宏樹¹, 安達繁樹², 浅香雄太³, 藤原広行¹
SENNA, Shigeki^{1*}, Hiroki Azuma¹, Shigeki Adachi², Yuta Asaka³, Hiroyuki Fujiwara¹

¹ 防災科研, ² 白山工業株式会社, ³ 三菱スペース・ソフトウェア株式会社

¹NIED, ²Hakusan Corporation, ³MSS

1. はじめに

常時微動観測は、これまで、一部の研究者や技術者が、地震動予測のための地盤構造モデル作成等のための重要な性情報を得るための方法として利用してきた。

このような観測が、素人でも簡単に観測が可能で、観測データをその場でデータベースに送信・登録・解析することができれば、大量の観測データの収集が簡単に実施でき、飛躍的に地盤構造モデル・強震動予測の高度化が可能となる。また、これまでにない詳細な被害分布の把握や、リアルタイム地震情報の大幅な精度向上も期待できるであろう。

しかしながら、現時点において、微動観測の工程について素人・初心者でも実施できるようなシステムの開発の事例はなく、特に、観測データを解析・編集し、データベース化する一連の作業は、専門家でないと実施が難しい。

筆者らはこれまでに、素人でも簡単に観測可能な、バッテリー・センサー・ロガー一体型微動計JU-210, JU-215(無線LAN機能付き)をリリースしている(先名・他(2006))。また、先名・藤原(2008)においては、簡単に微動データを解析できるソフトウェアも作成・公開してきている。本研究では、これまでの開発を受け、最近爆発的に普及してきたスマートフォンを利用し、微動計とスマートフォンだけで観測・解析等の一連の工程が可能となるクラウド型常時微動観測システムを構築した。

2. クラウド型常時微動観測システム(i微動/微動計JU-310)の構築とクラウド型解析システムの開発について

地面に置くだけで、短時間に高精度な微動観測を可能とし、専門家・技術者でなくても安定的に観測・データ登録・解析の一連の工程について、パラツキの少ない観測・解析結果が出せるシステムを構築するため、以下に示す3つの項目について検討した。

- (1) スマートフォン等に安定的にデータ転送できる通信システムを搭載した微動計の製作(JU-310の製作)
- (2) スマートフォンを利用した観測データおよび観測位置情報等のデータベースへの即時登録(スマートフォンアプリケーションi微動の作成/微動データベースのバージョンアップ)
- (3) 微動観測結果の即時解析による結果の閲覧および、J-SHIS等との既存システムとの相互運用による、観測地点の震度・地盤情報等との比較・解析機能(クラウド型解析機能の構築)

なお、現地での観測データ送信((1),(2))から、(3)の解析結果を返すまでにかかる時間は、計測結果を利用した震度計算で5秒程度、地盤構造モデルのチューニングで1~5分程度である。今後、地盤構造モデルのチューニング時間はクラウド環境により大幅に改善されるものと期待される。また、上記で構築したシステムについて、観測初心者を対象としてベンチマークテストを実施し、観測展開スピードおよび観測したデータの精度について良好な結果を得ることができた。

3. 今後の開発展開について

今後において、さらに「i微動」システム/クラウド型解析機能を使いやすく、高度化するため、複数の微動計で同時に観測を行う微動アレイ観測においても、即時データ登録・自動解析を行い、データの品質管理をリアルタイムで行える仕組みの開発を実施する。またJ-SHIS等に登録された地盤モデルの自動チューニングや、建物の揺れの特性をモデル化し、耐震診断を行う仕組みも構築する予定である。

<引用文献>

先名重樹, 安達繁樹, 荒木恒彦, 飯澤清典, 藤原広行: 微動探査観測システムの開発, 第115回物理探査学会予稿集, pp.120-122, 2006

先名重樹, 大井昌弘, 藤原広行: 微動探査データの収集管理とデータベースシステムの構築, 地球惑星科学連合大会, S150-P010, 2007

先名重樹, 藤原広行: 微動探査観測ツールの開発その1 - 常時微動解析ツール -, 防災科学技術研究所研究資料第313号, 2008

キーワード: 常時微動探査, クラウド, 携帯情報端末, i微動, 地下構造, 強震動予測

Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS26-P20

会場:コンベンションホール

時間:5月20日 17:15-18:30

Keywords: Microtremor observation, Cloud, Mobile terminal, i-Bidou, Structure, Strong motion prediction

ポータブル地震監視装置・SPOT地震計の開発と自然地震観測 Development of simple and handy seismometer (SPOT seismometer)

伊藤 賀章^{1*}, 是永 将宏¹, 山本 俊六¹, 野田 俊太¹, 岩田 直泰¹, 結城 昇²

ITO, yoshiaki^{1*}, KORENAGA, Masahiro¹, YAMAMOTO, Shunroku¹, NODA, Shunta¹, IWATA, Naoyasu¹, Noboru Yuki²

¹公益財団法人鉄道総合技術研究所, ²白山工業株式会社

¹Railway Technical Research Institute, ²Hakusan Corporation

1. はじめに

鉄道では、地震発生時の列車の停止、減速判断や地震後の運転再開に向けた点検の有無等の判断に地震計が利用されている。地震時に地震計で計測された地震動指標値がしきい値を超過した場合には、徒歩などによる地震計間の巡回点検が行なわれる。一方、鉄道の地震計は、新幹線においては10km~20km程度の間隔、在来線では数10km間隔で設置されているため、徒歩での巡回には多くの時間を要し、列車の運転再開が遅れる大きな要因となっている。特に、大きな地震が発生した後など地震活動が活発な場合には、地震計が頻繁にしきい値を超過し、その都度点検を行なう必要が生じることもある。

このような場合に、一時的でも簡便に地震計を設置して、従来より密に地震動強さの空間分布を把握することができれば、より効率的な運転再開判断を行なうことができる。そこで我々は、簡易に設置、観測を行なうことが可能なポータブル地震観測装置 (SPOT地震計) を開発して、その情報の利用についての検討を行なった。ここでは、開発したSPOT地震計の機能と性能、SPOT地震計を利用した自然地震観測結果について報告する。

2. SPOT地震計の機能と性能について

SPOT地震計は主に測定部と通信部、携帯モジュール、GPSモジュールから構成される。地震計筐体のサイズは測定部も含めて208mm×200mm×97mm、重量は1280g(電池を除く)と非常に小型軽量である。屋外で使用することを考え、地震計筐体は保護等級IP67(防塵防水型)に対応している。電源は単1電池4本としており、消費電力を抑えることで、仮に1日1回地震計処理が起動した場合でも概ね1ヶ月以上動作が可能である。また、NTT docomoのXiサービスおよびFOMA通信を用いた外部通信と、GPSモジュールによる時刻校正と測位を行なっている。測定部には3成分のMEMS加速度センサーを使用している。センサーのサンプリング周波数は100Hz、測定レンジは±2G、分解能は1mG/digitである。振動台を使用した加振試験では、計測震度2.5以上の揺れに対して気象庁検定済みの計測震度計との誤差が±0.1以下となる。用途を考えれば十分なスペックであると考えられる。

観測値があらかじめ設定したトリガレベルを超えた場合、演算した強震度指標値と波形データを、携帯網を通じてWebサーバに送信し、同時に地震計内に保存する。強震動指標値として計測震度相当値とJR用加速度値(5Hzハイカットフィルター処理を施した水平2成分合成加速度の最大値)を演算している。送信された情報はPC等でWebサーバにアクセスすることで確認できる。Web画面では地震計の位置、強震度指標値、波形データが閲覧可能である。

3. SPOT地震計を用いた自然地震観測

SPOT地震計と気象庁検定済みの計測震度計による自然地震の並行観測を行なった。観測期間中、3つの地震に対して強震動指標計算処理と波形データの記録を行なった(2012年1月1日鳥島近海M7.0, 2012年1月28日山梨県東部・富士五湖M5.5, 2012年1月29日山梨県東部・富士五湖M4.7)。このうち計測震度2.5以上の揺れを観測した地震(1月1日計測震度2.8, 1月28日計測震度2.5)については、計測震度計との誤差がいずれも計測震度で±0.1以下、JR用加速度値で±5%以下であった。

4. まとめ

簡易に設置、地震観測を行なうことを目的に開発したポータブル地震観測装置 (SPOT地震計) の機能と性能、また、SPOT地震計を利用した自然地震観測結果について報告した。今後は、観測データの蓄積や実際の使用環境に近い状況での稼働確認により信頼性の検証を行ないながら、鉄道の現場等での導入の促進を図りたい。

キーワード: 地震計, MEMSセンサー, 運転再開判断

Keywords: seismometer, MEMS, train operation control

ABAQUSを用いた地形・地質条件の違いによる地震時斜面増幅効果の動的解析 Dynamic Analysis of Earthquake Amplification Effect of Slopes in Different Topographic and Geological Conditions

三谷 康博^{1*}, 汪 尧武¹

MITANI, Yasuhiro^{1*}, Wang Fawu¹

¹ 島根大学総合理工学部地球資源環境学科

¹Shimane University Department of Geoscience

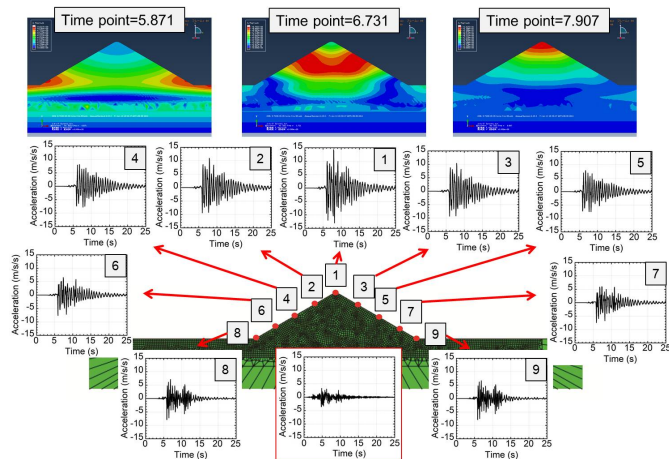
地震による斜面崩壊は顕在化しており、社会に損害をもたらしている。地震載荷を考慮した斜面安定の動的解析を行う上で、地形及び地質構造による斜面増幅効果を把握することが重要である。しかしながら、地形及び地質構造が複雑なため、斜面増幅効果は未だ説明されていない。本研究では、斜面増幅効果を説明するため FEM ソフトウェア Abaqus を用いて研究を試みた。

境界条件の設定には無限要素を用い、斜面モデルが適切であるかを遠心載荷模型実験の結果と比較し検証した。均質な斜面の高さ、傾斜角度、地震波の違いの増幅効果を調べるため解析を行なった。さらに、島根原子力発電所周辺の南北方向斜面と東西方向斜面を解析した。

本研究では、出力地震最大加速度と入力地震最大加速度の比を増幅度として求める。解析の結果、(1) 斜面最頂部と斜面中部では、斜面の高さが大きくなるに伴い、増幅度は小さくなる；(2) 斜面傾斜角度が大きくなるに伴い、斜面最頂部の増幅度は比較的大きくなるが、斜面末端部の増幅度は比較的小さくなる；(3) 地震波、層理面の違いによる増幅の傾向は示さなかった；(4) 島根原子力発電所周辺の南北方向斜面は、斜面上部付近で高い増幅度を示し、東西方向斜面は、斜面末端付近で高い増幅度を示した。

キーワード: Abaqus ソフトウェア, 増幅効果, 無限要素, 地震, 斜面崩壊

Keywords: Abaqus software, amplification effect, infinite element, earthquake, slope failure



鳥取平野における強震動評価のための3次元地下構造モデルの構築 Modeling 3-D subsurface structure for strong ground motion estimation the in Tottori plain

石田 勇介^{1*}, 野口 竜也¹, 香川 敬生¹

ISHIDA, Yusuke^{1*}, NOGUCHI, Tatsuya¹, KAGAWA, Takao¹

¹ 鳥取大学大学院 工学研究科

¹Tottori University Graduate School of Engineering

鳥取平野を対象に強震動評価のための3次元地下構造モデルの構築を目的として本研究をおこなった。まず、既往の調査結果から統一堆積層媒質モデルを設定した。そのモデルに基づいて既存の位相速度データからインバージョン解析を用いて各層厚を推定した。その結果と既存の重力探査の結果をまとめて各層境界深度分布を推定した。各層境界深度分布を求める際に2次元3次Bスプライン関数を用いた。また、3次元差分法を用いて1943年鳥取地震(M7.2)を想定した地震動シミュレーションをおこなった。鳥取地震時における被害分布と本研究モデルを用いて得られた地震動分布を比較することにより本研究モデルの有用性が確認できた。

キーワード: 強震動評価, 3次元差分法, 鳥取平野, 3次元地下構造モデル

Keywords: strong ground motion, 3-D finite difference method, Tottori plain, 3-D subsurface structure

墓石転倒シミュレーションのための剛体回転数値計算プログラムの開発 Development of numerical program for rigid body rotation

今枝 佑輔^{1*}, 盛川 仁¹

IMAEDA, Yusuke^{1*}, MORIKAWA, Hitoshi¹

¹ 東工大総合理工

¹Tokyo Tech

墓石は人間のライフサイクルに密接に関係した存在であり全国各地に遍在している。一方で墓石は強地震時に地震による外力をうけ、滑り、回転し、転倒し、そして時には跳躍する。従って墓石の転倒状況やその分布状況は起こった地震の特性を各地で記録していることとなり、これを解析することは地震全体を理解する上で重要な役割を果たすと考えられる。そこで墓石の運動を剛体運動とみなし、その挙動を数値計算によって解析する。そのための基礎プログラムとして、外力を伴う剛体回転運動を数値計算するプログラムを開発し、その性能について評価する。

一般に剛体回転運動を安直に定式化し数値計算コードを作成すると様々な問題が生じる。例えば物理的には剛体の慣性主軸は常に直交しており、その単位ベクトルの長さは1に保たれている。しかしこの直交性や単位性は注意深く定式化しないと数値計算上は保たれない。これは剛体はその剛体性を保てずに、数値計算が進むにつれ元の剛体が伸び縮みしたりひしゃげて歪んでしまうことを意味している。また物理的には運動エネルギーや角運動量は外力がかからない場合に保存される。これも安直な数値計算スキームでは成り立たない。更に剛体の運動エネルギーと角運動量、そして回転ベクトルは時間的に主慣性モーメントを通じて一意に関係付けられている。この主慣性モーメントは剛体の形状から決まる時間的に不変な定数である。これも安直な数値計算法では一般的には成り立たず、主慣性モーメントが時間変化してしまう場合がありうる。

そこでこれらの特性を満たすよう注意を払いつつ運動の定式化及び数値計算コードの開発を行った。

まずよくやられているように、慣性主軸の単位ベクトル間の直交性および単位性を保持するために、時間発展は常に適当な回転ベクトル周りの回転運動として正確に記述する。1ステップの時間発展はこの回転運動の重ねあわせとして記述する。回転変換が正しく記述されているので時間発展した後も慣性主軸に沿った単位ベクトルの直交性や単位性が数値誤差の範囲で成立する。回転操作についてはベクトル計算を使ってもよいし4元数による変換を使ってもよい。(4元数を使ったほうが計算効率が良い)

次に外力がない場合に運動エネルギーや角運動量に変化してしまう問題については、運動を剛体に固定された座標系上で考える。この回転系では、単位角運動量ベクトルが運動エネルギー一定の条件から定まる特定の閉曲線上でしか運動し得ない。これを制約条件として時間発展に課すことで解決する。これは剛体座標系上で慣性主軸方向の運動エネルギーと角運動量の比を正しく定めていることにほかならないので、主慣性モーメントが時間変化してしまうこともなくなる。

ポスター発表ではこれらの結果に加えて、計算精度を変えた他の単純な数値計算方法との比較を行う予定である。

キーワード: 数値計算, 剛体回転

Keywords: simulation, rigid body

微動を用いた鳥取市市街地における地盤震動特性の把握及び地盤構造推定 Determination of subsurface structure in urban area of Tottori city using microtremors.

朝日 秀伍^{1*}, 牧本 一訓¹, 野口 竜也¹, 香川 敬生¹

ASAHI, shugo^{1*}, Kazunori Makimoto¹, NOGUCHI, Tatsuya¹, KAGAWA, Takao¹

¹ 鳥取大学大学院工学研究科

¹Graduate School of Engineering, Tottori University

鳥取市では1943年の鳥取地震の際、特に沖積平野に位置する市街地で甚大な被害が発生している。野口ら(2003),(2006)により、鳥取県鳥取市において微動3成分単点観測および微動アレイ観測が実施され、地盤構造や地盤の卓越周期分布が得られている。本研究ではこれらのデータを補う形で鳥取駅周辺を対象に微動3成分単点観測を新たに226点で実施した。微動3成分単点観測の解析より得られたH/Vから卓越周期を読み取り、また、スペクトルの形状をA~Dの4段階に、スペクトル値を1~5の5段階にタイプ分類した。その結果、以下のことがわかった。

1) 形状のタイプは、鳥取駅の北部はピークが単峰型のA、複峰型のB多く、南部はBが多く見られた。市街地中心部の久松山付近では、なだらかな形状のC、ピークの読み取れないDも見られた。スペクトル値のタイプに関してはばらつきが見られたが、千代川沿いの観測点は3以上の大きいものも多く見られた。

2) 卓越周期については詳細な分布図が得られ、鳥取駅の北部では0.8~1.1秒の比較的長周期、南部では0.4~0.5秒の比較的短周期の地域が多く見られる。久松山付近については、0.1~0.3秒の短い周期が得られた。さらに、山際に近づくにつれて周期が短くなっていた。

3) 既存の微動アレイによるS波速度構造とH/Vにより、表層地盤を2層モデルと仮定して、レイリー波基本モードとS波重複反射理論の1/4波長則より層厚を求めた。その結果、鳥取駅の北部は35m~48mと比較的大きく、鳥取駅の南部は、11m~15mと比較的小さくなっている。久松山付近では、0m~5m程の小さい層厚が読み取れた。さらに山際に近づくにつれて層厚が小さくなっていた。

キーワード: 微動観測, H/V, 鳥取県鳥取市, 地盤構造

Keywords: Microtremor observation, H/V, Tottori city, subsurface structure

低消費電力強震観測システムの開発

Development of a low power consumption strong motion observation system

吉本 和生^{1*}, 重田 考徳², 中原 恒³, 佐藤 比呂志⁴

YOSHIMOTO, Kazuo^{1*}, SHIGETA, Takanori², NAKAHARA, Hisashi³, SATO, Hiroshi⁴

¹ 横浜市立大学生命ナノシステム科学研究科, ² 横浜市立大学国際総合科学部, ³ 東北大学理学研究科, ⁴ 東京大学地震研究所

¹Nanobioscience, Yokohama City Univ., Yokohama, Japan, ²International College of Arts and Sciences, Yokohama City Univ., Yokohama, Japan, ³Geophysics, Science, Tohoku Univ, Sendai, Japan, ⁴ERI, Univ. of Tokyo, Tokyo, Japan

1. はじめに

最近の研究では、強震記録の地震波干渉法による解析によって、堆積層や地震基盤の構造が推定されている。例えば、吉本・他(2011)は、東京ガスのSUPREMEの強震記録の解析から、首都圏の特定の地域における地震基盤の構造について報告している。しかしながら、首都圏における強震観測点は偏在しており、このような研究をさらに進展させるには、独自に強震観測を実施する必要がある。そこで、本研究では、簡易に使用できる低消費電力強震観測システムを開発するとともに、同システムの特性を試験観測により評価した。

2. システム構成

強震観測においては、できるだけ場所の制約を受けずに多点で観測できることが望ましい。このため、開発する強震観測システムの主な条件として、1) 小型, 2) 低コスト(数万円以下), 3) 乾電池で動作(数ヶ月間), などを設定した。また、強震記録の用途は、地震波干渉法による解析に限定することにした。

このような条件を踏まえて、MEMS型加速度センサー、超低消費電力マイコン(16ビット)、SDカードなどを使用して、強震観測システムを構築した。具体的には、MEMS型加速度センサーに、デジタル(SPI)出力のある低消費電力の静電容量型の素子を採用し、フルスケール±1.5G、AD分解能14bitの設定で動作させた。自己ノイズは、p-p振幅で4gal程度である。サンプリング周波数は40Hzとした。超低消費電力マイコンでは、MEMS型加速度センサーの出力を常時モニターし、閾値以上の出力があった場合にトリガ判定して、15秒間のプレトリガ部分を含む約64秒間の加速度記録をSDカードに書き込む。SDカードの容量は2Gバイトである。以上のようなシステム構成によって、消費電流を2mA以下に抑えることができ、アルカリ単1乾電池4本だけで、数ヶ月以上の強震観測が可能になった。

3. 試験観測とその結果

本研究で開発した低消費電力強震観測システムを使用して、横浜市立大学の金沢八景キャンパス内で試験的な強震観測を実施した。観測期間は、2011年4月から同年12月までの約9カ月である。この観測によって、2011年東北地方太平洋沖地震の余震を含む、震度3以上であった6つの地震について強震記録を得ることに成功した。今後の課題としては、自己ノイズの低減をはかり、より小さい震動まで正確に計測することがあげられる。

キーワード: 強震観測システム, MEMS型加速度センサー, 低消費電力

Keywords: strong motion observation system, MEMS acceleration sensor, low power consumption

2011年3月15日静岡県東部の地震による強震動と経験的グリーン関数法に基づく震源モデルの推定

Source model of the 2011 East Shizuoka prefecture, Japan, earthquake by using the empirical Green's function method

染井 一寛^{1*}, 宮腰 研¹, 釜江 克宏²

SOMEI, Kazuhiro^{1*}, MIYAKOSHI, Ken¹, KAMAE, Katuhiro²

¹地盤研,²京都大学原子炉実験所

¹G.R.I., ²KURRI

2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震(M_w 9.0)が発生し、本震後の余震や、広域応力場が変化したことよると考えられる誘発地震が東日本の各地で多発している。2011年3月15日静岡県東部において M_{JMA} 6.4の内陸地殻内地震(横ずれ断層型)が発生し、K-NET 富士宮観測点(SZO011)で約 1000cm/s^2 , 70cm/s の特に大きな強震動記録が観測される他、静岡県、山梨県を中心に強い揺れが観測された。この地震の発生域では活断層が特定されておらず、その地震規模も比較的小さいことから、震源を特定しにくい地震に分類されている可能性が高い。同程度の規模でこのような強震動をもたらした地震としては、逆断層型ではあるが2004年12月14日北海道留萌支庁南部の地震(M_{JMA} 6.1)がある。この地震では、震源近傍のK-NET 港町観測点(HKD020)において約 1100cm/s^2 , 75cm/s の強震動が観測されている。Maeda and Sasatani (2009)によると、この大加速度、速度の強震動の生成メカニズムとして、震源の破壊伝播特性による寄与が大きいと結論づけている。

そこで本研究は、今回の2011年静岡県東部の地震によってK-NET 富士宮市で観測された強震動が、このような震源特性に依るものかどうかを調べることを目的とする。そのために、周辺の観測記録を再現し得る震源モデルの構築を目指した。本研究は、経験的グリーン関数法(Irikura, 1986)を用いたフォワードシミュレーションによって、観測記録を再現し得る最適な震源モデル(強震動生成領域)を推定した。また、シミュレーションによって、破壊伝播効果が強震動に与える影響を検証した。その結果、強震動生成領域を1箇所設定した震源モデルによって観測記録は概ね再現することができた。破壊伝播様式はパイラテラルに近く、K-NET 富士宮(SZO011)に向けた顕著な破壊の指向性効果(例えばMaeda and Sasatani, 2009)は確認できなかったが、破壊が深い側から浅い側へと伝播したことがSZO011での大きな地震動の生成要因の一つであることが分かった。また、得られたモデルは、既往の内陸地殻内地震のパラメータと比較しても平均的なものであった(例えば、Miyake *et al.*, 2003)。

SZO011とその近傍の比較的硬質な観測点(SZOH37)での地震記録をスペクトル比によって比較したところ、SZO011は地盤増幅が比較的大きな観測点であることが示唆された。また、SZO011での観測記録に対して、S-H/V解析(野口・笹谷, 2011)を行ったところ、本震(強震)時のスペクトル比形状が、他の地震(弱震)と異なり、周波数約3Hzで非線形応答を示した可能性があることがわかった。以上のことから、SZO011で強い強震動が生成されたメカニズムとして、断層面上において深い側から浅い側へ破壊伝播した震源特性とともに大きな増幅率を示すサイト特性の可能性が考えられる。

謝辞

独立行政法人防災科学技術研究所 K-NET, KiK-net, F-net による強震記録, F-net のモーメントテンソル解, 気象庁一元化震源カタログの震源情報をそれぞれ使用させて頂きました。記して感謝いたします。なお、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「震源を特定せず策定する地震動レベルに関する計算業務」の成果の一部である。

キーワード: 2011年静岡県東部の地震, 強震動, 経験的グリーン関数法, 震源モデル

Keywords: 2011 East Shizuoka prefecture, Japan, earthquake, strong ground motion, empirical Green's function method, source model

ボクセル有限要素法を用いた2次元速度構造インバージョン Two-dimensional Velocity Structure Inversion Using the Voxel FEM

郭 雨佳^{1*}, 纈纈 一起¹

GUO, Yujia^{1*}, KOKETSU Kazuki¹

¹ 東京大学地震研究所

¹Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

強震動の特性を説明し、その発生メカニズムを解明するには、震源断層での破壊過程のみならず、地震波が伝播する地下構造による影響も適切に考慮することが重要である。特に、地下構造の不均質性や非弾性減衰は、観測される波形を複雑に変化させると考えられている。そのため、不均質性や非弾性減衰が十分に反映された忠実な地下構造モデルを構築する必要がある。本研究では、非弾性減衰を考慮に入れた地殻の2次元断面の速度構造モデルを、P-SV波動場の波形インバージョンによって求める手法を提案する。

インバージョンの際の forward 計算には、Koketsu et al. (2004) によるボクセル有限要素法を採用した。ボクセル要素を用いることで要素の生成が効率的になり、差分法とほぼ同等な計算効率で計算を行うことができる。長方形のボクセル要素に対して Galerkin 法を適用し、各要素の形状関数は1次要素のものを用いた。時間方向の離散化は、加速度項は中心差分、速度項は後退差分で行った。また、2次元問題のため、線震源による波形が計算されることになる。このため、引間 (2007) に従い、3次元震源断層の2次元 P-SV 波動場への近似的な変換を施し、点震源相当の波形を得た。

広帯域での減衰特性を実現するため、剛性比例減衰と質量比例減衰を組み合わせ、両者の線形結合で表される Rayleigh 減衰 (池上 2009) を導入した。これにより、P波・SV波それぞれに対して本来要求される Q 値一定のスペクトルを広帯域にわたって近似的に実現することが可能となる。

非線形の拘束条件付き最小二乗問題のゆえに、反復法を用いて KKT 条件を満たす局所的な最適解を探していくことになるが、その際の偏微分波形は運動方程式を直接偏微分することによって定式化し、forward 計算と同時に計算できるようにした。また、最適化空間の次元と、ステップ幅や探索方向の決定は Askan (2006) と Askan et al. (2007) の手法をベースとした。最適化空間の次元に関しては、問題の計算規模が大きいため、全空間を (ρ, μ) の2次元空間へ射影した縮小空間で解いた。ステップ幅は直線探索法を使い、現在いる点から探索方向へ移動していく幅を1次の最小化問題として解くことによって求めた。探索方向は Newton-CG 法を使い、Newton 方向を Gauss-Newton 近似や共役勾配法で解くことによって決定した。また、局所的な最小値にはまり込むことなく大域的な最小解を導くため、粗いグリッドからインバージョンを始め、得られた解をより細かいグリッドでの初期推定解として使ってインバージョンを繰り返していくマルチグリッド法を用いた。

発表では、本研究の定式化の詳細と数値実験による計算の結果を示す。

キーワード: 速度構造, 減衰, 有限要素法, インバージョン

Keywords: Velocity structure, Attenuation, Finite-element method (FEM), Inversion

IT 強震計による常時微動観測と構造物ヘルスマモニタリングの可能性 (2) - 東北地方太平洋沖地震前後の建物の振動特性の変化 - Possibility of the Microtremor Observation and Structural Health-Monitoring by using IT Kyoshin seismometer

伊藤 貴盛^{1*}, 志田龍太郎², 鷹野 澄³
ITO, Takamori^{1*}, SHIDA, Ryutarō², TAKANO, Kiyoshi³

¹ 東京大学地震研究所, ² 東京大学大学院新領域創成科学研究科, ³ 大学院情報学環/地震研究所
¹ERI, The University of Tokyo, ²GSFS, The University of Tokyo, ³ERI, The University of Tokyo

大地震による災害を軽減する為には、小さな地震のときに私たちの住宅や会社、学校など、身近な場所の揺れを調べてその弱点を探り、効果的な耐震対策をすることが有効と思われる。IT 強震計は、このような目的で、利用者自身が設置して利用する新しいタイプの強震計として考案された (鷹野他 2004)。

IT 強震計では広く普及させるために、普及型のセンサにおいては性能よりも価格を下げることに重点を置いて開発が行われた。このため、震度 1 程度以上の地震で解析に使用できるデータがとれることは確認していたが、それより弱い微動観測には使用できないと考えられていた。これに対し、志田他 (2011) では、高層階であれば微動計を使用した場合と同様のピーク周波数を検出することが出来ることが示された。そして、長期間の固有振動数の変化を追跡することによるヘルスマモニタリングの使用可能性が示された。

これを用いて、多くの建物で、東北地方太平洋沖地震前後で固有振動数に変化があったことが確認された。今回は、IT 強震計を設置している多くの建物における東北地方太平洋沖地震前後の変化や、地震で破損した箇所の補修工事による影響などについて報告を行う。

参考文献

鷹野・伊藤・原 2004, IT 強震計-その概念と試作-, 地震学会秋季大会, 2004.10

志田・鷹野・伊藤 2011, IT 強震計による常時微動観測と構造物ヘルスマモニタリングの可能性, 地震学会秋季大会, 2011.10

キーワード: IT 強震計, 構造物ヘルスマモニタリング, 情報, 防災

Keywords: IT Kyoshin (Strong Motion) Seismometer, Structural Health Monitoring

ハイブリッド法を用いた強震動評価による2004年北海道留萌地震(Mj6.1)のNFRD効果

Investigation of NFRD effect on strong ground motion during the 2004 Rumoi earthquake (Mj 6.1) using the Hybrid method

宮腰 研^{1*}, 西村 利光¹, 笹谷 努², 釜江 克宏³

MIYAKOSHI, Ken^{1*}, NISHIMURA, Toshimitsu¹, SASATANI, Tsutomu², KAMAE, Katuhiro³

¹ 地盤研究財団, ² 元北海道大学, ³ 京都大学原子炉実験所

¹GRI, ²Former Hokkaido Univ., ³KURRI

2004年12月14日に留萌支庁南部を震源とするM_j 6.1の内陸地殻内地震が発生した。この地震は低角逆断層タイプ(Dip=25°)の地震であり、震源近傍で断層の上盤に位置するK-NET 港町観測点(以下、HKD020)では1000cm/s², 70cm/sを越える大きな地震動が観測された。HKD020の強震動の成因として震源特性あるいはサイト特性が考えられるが、Maeda and Sasatani (2009)はサイト増幅特性の検討や経験的グリーン関数を用いたHKD020の強震動評価から、強震動生成領域(SMGA)が浅部に位置していること、震源からの破壊伝播効果、以上の二つの影響が大振幅地震動に寄与したと結論している。このような強震動生成メカニズムについては理論的グリーン関数法による強震動評価(宮腰・他, 2010)からも確認されている。本検討ではMaeda and Sasatani (2009)の震源モデルを参考に、3次元差分法(3D-FD)と統計的グリーン関数(SGF)を用いたハイブリッド強震動評価を実施し、HKD020とそれを含んだ周辺(20km × 20km)の強震動に対するNFRD(Near Fault Rupture Directivity)効果について検討を行った。

ハイブリッド法を用いた強震動評価からPGVが70cm/sを越える領域がHKD020の周りに出現することを確認した。この地震の特徴として強震動生成領域が浅く、低角逆断層タイプであることから、NFRD効果による大きなPGVの領域は断層上端に集中して現れている。なお、強震動生成領域を固定し、破壊開始点を変えるとその大きなPGVをもつ分布も変わる。このような破壊伝播効果を受けた強震動領域を抽出するため、大野・他(1998)の提案している「NFRD効果の卓越範囲」を適用した。逆断層タイプの場合、その卓越範囲は、断層長さをLとすると、その断層上端を中心に±0.25Lの領域となる。しかしながら、本検討で得られたPGV分布に基づいた結果、この卓越範囲の適用でも小さなPGVの領域が含まれた。このため、卓越範囲内で大きなPGVとなる領域を抽出するため、司・翠川(1999)のPGV距離減衰式を利用し、その平均値の+1以上のPGVをもつ領域を抽出した。その結果、NFRD効果による大きなPGVを持つ領域が適切に抽出可能であった。

謝辞

独立行政法人防災科学技術研究所K-NET, KiK-net, F-netによる強震記録, F-netのモーメントテンソル解, 気象庁一元化震源カタログの震源情報をそれぞれ使用させて頂きました。記して感謝いたします。なお、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「震源を特定せず策定する地震動に関する計算業務」の成果の一部である。

キーワード: 2004年留萌地震, 強震動, ハイブリッド法, NFRD効果

Keywords: 2004 Rumoi earthquake, strong ground motion, hybrid simulation, NFRD effect

微動記録を用いた地震波干渉法による浅部地盤の速度構造の推定 Estimation of shallow velocity structure by seismic interferometry of microtremor

安田 博信^{1*}, 関口 春子¹

YASUDA, Hironobu^{1*}, SEKIGUCHI, Haruko¹

¹ 京大防災研

¹ DPRI, Kyoto Univ.

自然地震や微動の記録に、同時に測定された2つの受振点における受振記録から、一方を仮想震源としたグリーン関数を得る手法である地震波干渉法(例えば Wapenaar, and Fokkema, 2006)を適用した解析が近年多く行われている。堆積層構造の推定に用いた例としては、山中・内山(2008)が挙げられ、松本盆地で微動観測を行った後、表面波群速度を求め、S波速度構造を推定している。本研究では、地震波干渉法により浅部地盤の速度構造がどこまで詳しく推定できるかを明らかにすることを目的に、数十mスパンのアレイで微動を観測し、解析を行った。

微動観測は京都大学宇治キャンパス内で行った。宇治キャンパス周辺ではこれまでに様々な地下構造探査が行われている。近傍の黄檗断層の地下構造をターゲットとしたP波反射法地震探査とボーリング調査(小泉・他, 2002)では、宇治キャンパス内における深さ500m近くまでのP波速度が推定されており、表層から深部に向かって1500m/sから2500m/sへと連続的に変化し、深さ400m付近を境に3000m/s以上に急増するという結果が得られている。また、キャンパスの真下では成層構造が明瞭に見えており、P波速度が急激に変化する場所が大阪層群と丹波層群の境界と推定されている。

2011年3月8日、9日の2日間にわたり、京大宇治キャンパス構内に10台のSMAR強震計を東西に直線状に配置し、15分ずつ10回観測し、各日計150分の記録を行った。サンプリング周波数は200Hz、強震計の設置間隔を約30mとして、上下と水平2成分の計3成分で観測した。続いて、得られた2日間の微動記録に地震波干渉法を適用した。微動記録のフーリエスペクトルから0.2Hz以上の周波数帯が解析に使用できると判断できた。15分間の微動記録から30秒のタイムウィンドウで30個切りだして、最も端に設置した観測点と残りの9観測点での相互相関関数を計算し、300回スタッキングを行った。スタックした相互相関関数を観測点間距離に応じて並べると、表面波と見られる波束の伝播が得られた。この波の性質や伝播速度についても議論したい。

Antakya Basin Strong Ground Motion Network Antakya Basin Strong Ground Motion Network

Oguz Ozel^{1*}, Eser Cakti², Murat Bikce³, Cemal Genes³, Selcuk Kacin³
OZEL, Oguz^{1*}, Eser Cakti², Murat Bikce³, Cemal Genes³, Selcuk Kacin³

¹Istanbul University, ²Bogazici University, ³Mustafa Kemal University

¹Istanbul University, ²Bogazici University, ³Mustafa Kemal University

Antakya Basin Strong Ground Motion Network was established in 2009 with the objectives of monitoring the earthquake response of the Antakya Basin, improving our understanding of basin response, assisting to determine the effects of local and regional earthquakes on the urban environment of Antakya and contributing to its earthquake risk assessment of Antakya, that is a town in southeastern Turkey marked with high earthquake hazard and historical and cultural significance. The system is the first of its kind in Turkey with the primary purpose of monitoring basin response.

The network consists of six instruments installed in small buildings. The stations form a straight line along the short axis of Antakya basin passing through the city center. They are equipped with acceleration sensors, GPS and communication units and operate in continuous recording mode. The soil properties beneath the strong motion stations (S-Wave velocity structure and dominant soil frequency) are determined by array measurements.

A number of regional earthquakes have been recorded by the system since its installation. Following preliminary observations can be deduced from their analysis and from the results of array measurements (1) to the west of river Asi, average bedrock depth is 480m. The depth of engineering bedrock is estimated as 250m; (2) ground motion amplification along the short-axis of the basin can clearly be observed from the recordings; (3) to the west of the Asi River, 3 to 10 times amplifications in ground motion levels are observed. They tend to increase as one moves towards the middle of the basin.

Our immediate plan is to increase the number of stations to twelve with the intention of covering areas of the basin along its long axis and to carry out further geophysical and geotechnical studies to better characterize the velocity structure within the basin.

キーワード: Strong Motion, Antakya Basin, Earthquake Risk Assessment

Keywords: Strong Motion, Antakya Basin, Earthquake Risk Assessment