

K-NET・JMA 小千谷の地震・微動記録から推定した表層 S 波速度の回復時期

新潟県中越地震 表層 S 波速度 回復

防災科学技術研究所 国際会員 ○新井 洋

1. はじめに

2004 年新潟県中越地震における被災地域の強震記録や建物被害分布には、表層地盤の非線形サイト効果が強く影響した可能性が高い¹⁾²⁾。したがって、この地域の地盤特性を把握することは、地震防災研究上、極めて重要と考えられる。しかし、強震動によって大ひずみ履歴を受けた地盤では、その初期 S 波速度が低下する場合がある¹⁾³⁾。筆者は、小千谷の強震観測地点 (K-NET および JMA 地点) において、本震から 5 日後に行った微動の 1 点 3 成分観測および 2004 年末までに公開された地震記録に基づいて、両地点の表層 S 波速度が本震後に低下し、徐々に増大する傾向を検出した⁴⁾。本報では、両地点において、追加の微動観測および 2005 年末までの地震記録に基づいて同様の検討を行い、表層 S 波速度の回復過程を追跡する。

2. 微動の追加観測および表層 S 波速度の変化

微動の 1 点 3 成分追加観測は 2005 年 10 月 10 日 18-19 時頃 (本震から 8448-8449 時間後) に行われた。観測に用いた機器・条件およびデータ処理解析の方法・条件は前回⁴⁾ (2004 年 10 月 28 日) と同様である。図 1, 2 に、前回および今回の観測から得られた両地点の微動の H/V スペクトル⁵⁾を○および□印で示す。図 1, 2 の比較から、JMA 地点では、今回の微動 H/V スペクトルは、前回よりも短周期側にシフトしている。K-NET 地点でも、同様の傾向が若干認められる。このことは、両地点の表層地盤構造¹⁾⁴⁾から、表層 3m 程度の S 波速度の値が前回と今回では異なっていることを示唆している。

前報⁴⁾と同様、今回観測された H/V スペクトルを表面波によるものと考え、高次モードまで考慮した逆解析⁵⁾を行って、K-NET, JMA 両地点の表層 S 波速度を推定した。この際、地盤層序は前報の逆解析結果⁴⁾および時松ら¹⁾、山中ら⁶⁾を参考に固定し、表層 2 層 (深度 20-30m 程度まで) の S 波速度のみを変数とした。表 1 に、両地点で今回推定された表層 S 波速度を、前報⁴⁾のそれと比較して示す。図 1, 2 の実線は、推定地盤構造に対応する理論 H/V スペクトル⁵⁾である。図から、両地点とも理論値は観測値と良く対応しており、逆解析が適切に行われたことが示唆される。表 1 から、今回推定された最表層 S 波速度は、前報⁴⁾のそれよりも、K-NET 地点で 11%, JMA 地点で 16%増大している。この増大率の値は、両地点の最表層 S 波速度の推定標準誤差 ([]内の数値: 1%) よりも十分に大きく、推定された S 波速度の増大傾向は信頼できると考えられる。

3. 2005 年の地震記録を用いた表層 S 波速度の回復過程の推定

前報⁴⁾と同様、K-NET, JMA 両地点で公開されている地震記録⁷⁾⁸⁾ (2006 年 2 月末現在) のうち、①同時に記録が得られており、②S/N 比が十分に大きく、③気象庁マグニチュード 3-5 程度、④震源深さ 6km 以上、⑤震央距離 30km 未満 (余震のみ) のデータ (NS および EW 成分) を対象に、各地震ごとに、次式が最小となる両地点の最表層の初期 S 波速度をグリッドサーチ (1m/s 間隔) によって求めた。

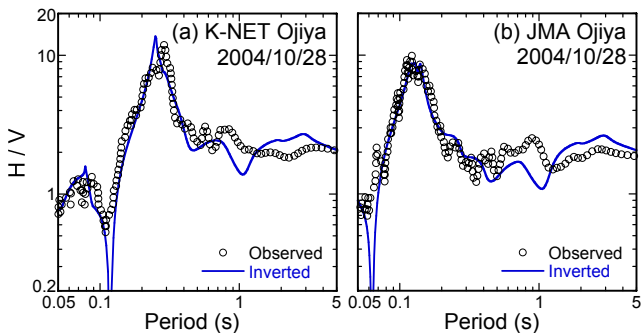


図 1 微動および理論 H/V スペクトルの比較 (2004/10/28)⁴⁾

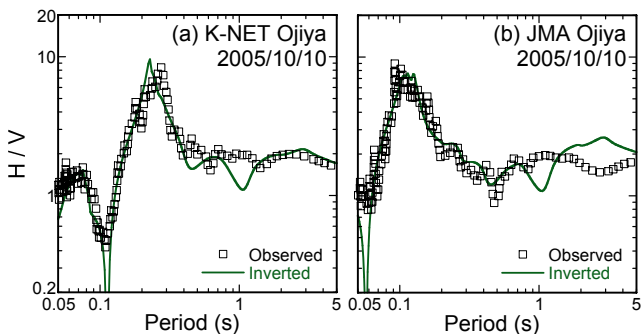


図 2 微動および理論 H/V スペクトルの比較 (2005/10/10)

表 1 微動 H/V スペクトルから推定した S 波速度構造

(a) K-NET Ojiya

Layer No.	Thickness (m)	S-wave Velocity (m/s)		Soil Type ¹⁾
		2004/10/28	2005/10/10	
1	3.0	47 [1%]	52 [1%]	Silty Clay, Peat
2	26	360 [8%]	360 [7%]	Gravel
3	*	500		Rock

(b) JMA Ojiya

Layer No.	Thickness (m)	S-wave Velocity (m/s)		Soil Type ¹⁾
		2004/10/28	2005/10/10	
1	2.4	74 [1%]	86 [2%]	Sandy Silt
2	17	430 [11%]	430 [9%]	Gravel
3	*	500		Rock

* 深度 90m 以深は、山中ら⁶⁾の推定地下構造を仮定。

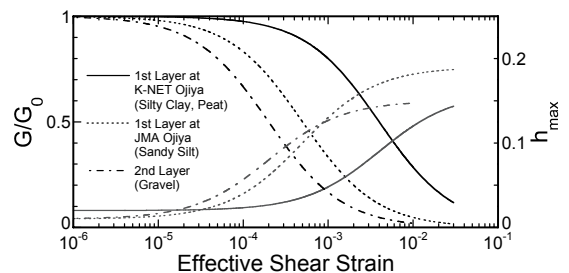


図 3 仮定したせん断剛性および減衰のひずみ依存性¹⁰⁾

Recovery times of subsurface V_s values estimated from earthquake and microtremor records at two strong motion stations in Ojiya

Hiroshi ARAI (NIED)

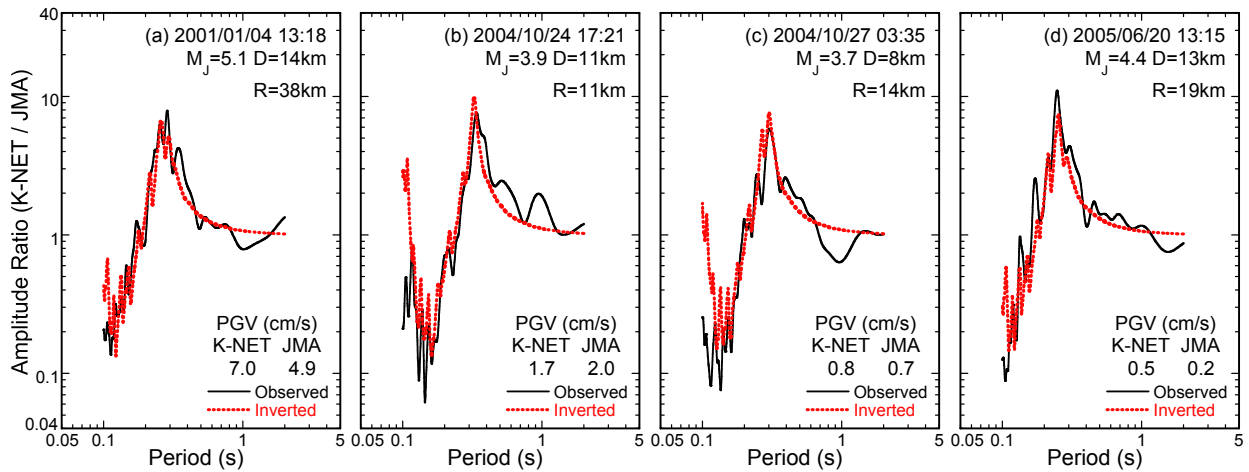


図4 地震動および理論 K-NET / JMA 水平動振幅スペクトル比 (EW 成分) の比較

$$F = \int_{0.1}^2 \left(\frac{R_o(T) - R_c(T)}{R_o(T)} \right)^2 dT \Big/ \int_{0.1}^2 dT \rightarrow \min. \quad (1)$$

ここに、 T は周期 (積分区間: 0.1-2 秒), $R_o(T)$ および $R_c(T)$ は地震記録および理論 S 波の K-NET / JMA 水平動振幅スペクトル比である。 $R_c(T)$ の算定では、K-NET, JMA 各地点の地震記録を、仮定した地盤構造を用いて等価線形解析⁹⁾により地震基盤⁶⁾まで逆算し、その伝達関数の比を求めた。この際、表層 2 層のせん断剛性および減衰のひずみ依存性は、両地点の表層 3m までの土試料の室内動的試験結果¹⁰⁾を参考に、図 3 のように仮定した。また、有効せん断ひずみが 10^{-3} を越えた場合は対象外とした。

図 4 に、4 つの対象地震における K-NET / JMA 水平動振幅スペクトル比を実線で示す。スペクトル比の山谷は、両地点の表層 3m の地盤の増幅特性の差異によるものであり、地震の発生時期あるいは最大速度 (PGV) によってピーク周期が異なっている。これは、地震によって表層地盤の初期 S 波速度および非線形化の程度が異なっていたためと考えられる。しかし、いずれの地震においても、理論値 (破線) は観測値 (実線) と良く対応しており、最適化が適切に行われたことが示唆される。

図 5 に、本震後の対象地震 (41 地震 74 成分) について、K-NET, JMA 両地点の最大速度および推定された最表層の初期 S 波速度を、地震発生時期 (本震からの経過時間) に対して示す。本震前の対象地震 (3 地震 6 成分) については、図の左側に別枠で示す。図から、両地点の最大速度は、対象とした地震によって 0.1-10cm/s の範囲でばらついている。一方、推定された表層 S 波速度の値は、本震前後とも地震によるばらつきが比較的小さく、とくに本震後では、時間に依存して変化する傾向が明瞭に認められる。また、推定された表層 S 波速度の値は、微動 H/V スペクトルから得られた値 (表 1, 図中●および■印) と調和的である。図 5(b) から、表層 S 波速度の値は、本震前は、K-NET 地点で 45-50m/s 程度、JMA 地点で 75-85m/s 程度と推定される。その値は、本震によって両地点とも 8 割程度に減少したが、本震後は徐々に増大し、6000-9000 時間程度 (約 8-13 ヶ月) かかって本震前の値に回復している。

4. まとめ

2004 年新潟県中越地震において大きな被害が生じた小千谷の K-NET および JMA 強震観測地点を対象に、微動の H/V スペクトルおよび中小地震の 2 地点間スペクトル比の逆解析から、両地点の表層 3m 程度の地盤 S 波速度の回復過程を検出した。表層 S 波速度の値は、本震前は、K-NET 地点で 45-50m/s 程度、JMA 地点で 75-85m/s 程度と推定される。その値は、本震によって両地点とも 8 割程度に減少したが、本震後は徐々に増大し、8-13 ヶ月程度で本震前の値に回復したと考えられる。

謝辞: 本報で用いた地震記録は、防災科学技術研究所および気象庁により記録・公開されたものである。記して謝意を示す。

<参考文献> 1) 時松ほか: 日本建築学会構造系論文集 600, 43-49, 2006. 2) 堀江ほか: 第 24 回日本自然災害学会大会梗概集, 7-8, 2005. 3) Tokimatsu and Hosaka: *Soils and Foundations* 26(1), 53-64, 1986. 4) 新井: 第 40 回地盤工学会大会梗概集, 2119-2120, 2005. 5) Arai and Tokimatsu: *BSSA* 94(1), 53-63, 2004. 6) Yamanaka et al.: *Earth Planets and Space* 57(6), 539-544, 2005. 7) 防災科学技術研究所ホームページ: <http://www.bosai.go.jp/> 8) 気象庁, 気象業務支援センター: 強震波形データ CD-ROM, 1996 年 10 月-2005 年 12 月 9) 杉戸ほか: 第 28 回土質工学会大会梗概集, 1129-1132, 1993. 10) 時松, 関口: 第 40 回地盤工学会大会梗概集, 2113-2114, 2005.

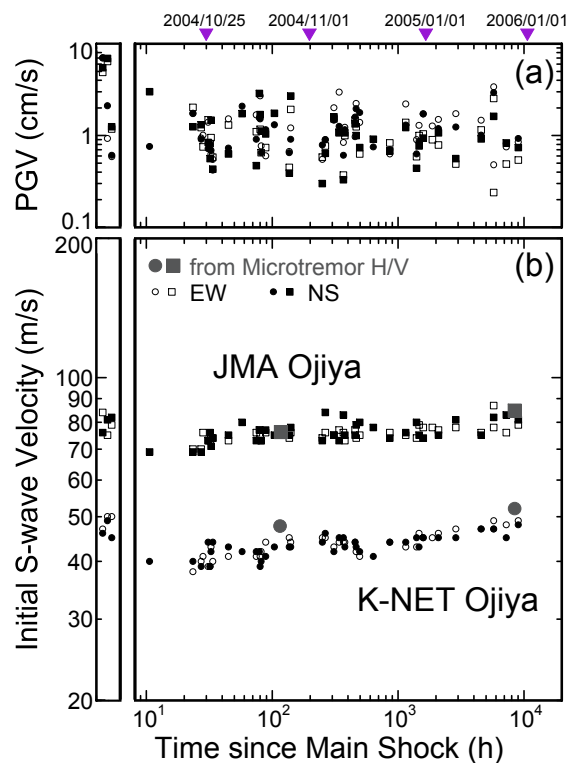


図 5 対象地震における K-NET, JMA 両地点の(a)最大速度および(b)推定された最表層の初期 S 波速度