

KiK-net による本震と余震での地盤増幅率の比較

～十勝沖地震，中越地震，中越沖地震，岩手・宮城内陸地震についての検討～

中央大学理工学部 正会員 國生剛治
中央大学理工学部 学生会員 ○藤澤亮輔 橋本和也

1. はじめに

表層地盤での地震応答特性は，基本的には地盤の層厚・弾性波速度・減衰定数・密度等の地盤パラメータにより支配されるが，強地震時にはさらに地盤物性の非線形性が重大な影響を及ぼす．本研究では近年発生した強地震動データを対象とし，地盤の振動増幅に与える地盤構造と地盤物性の影響を検討することを目的としている．これまでに地盤の卓越振動数を励起する表層厚を 1/4 波長則と観測スペクトル比の比較により求め，その平均 V_s と基盤の V_s との比から地表－基盤間の増幅率を算定する方法を提案した¹⁾．今回は地盤の線形性が保たれる余震と非線形性が表れる本震の地盤増幅率を比較し，地盤増幅率に対する地盤の非線形性の影響を調べるために表-1 に示す地震を対象とし，本震と 4 つの余震について図-1 に示すフローに従って解析を行った．

表-1 対象地震一覧

	発生時刻	震源深さ	マグニチュード	対象地点数
十勝沖地震	2003/9/6 4:50	42km	M8.0	9 地点
新潟県中越地震	2004/10/23 17:56	13km	M6.8	8 地点
新潟県中越沖地震	2007/7/16 10:13	17km	M6.8	8 地点
岩手・宮城内陸地震	2008/6/14 8:43	8km	M7.2	8 地点

2. 表層の決め方と解析方法

各観測点の地盤は，基盤の上に複数の層が 1 次元成層構造をなしていると考えられる．そのような 1 次元成層地盤の SH 波による震動増幅特性は，基盤と地表層との間の S 波速度の比(V_s 比)に大きく依存することが示されている¹⁾．基盤は層厚が大きく S 波速度(V_s)の変動の少ない地中地震計が設置されている層と仮定しているが，地表層は数 10cm～数 m と薄いものも多く，その V_s を表層の代表値として採用してよいか疑問がある．そこで本研究では，以前よりスペクトル比のピークを生み出す表層は複数の層からでも成り得るとものとし，その平均 V_s ($\bar{V}_s$)を表層の S 波速度とすることを提案してきた²⁾．すなわち，鉛直アレー記録を用いて，地表と基盤でのフーリエスペクトルを算出し，0.3Hz の Parzen Window をかけて平滑化し，図-2 に例示するようなスペクトル比(地表／基盤)を計算する³⁾．それより，各ピーク値での振動数を読み取り，その値と地盤データから 1/4 波長則による式-(1)で計算した固有振動数 f を比較し，一致度が高い境界層までを観測スペクトル比のピーク振動数に対応した表層とする．表層の平均 V_s ($\bar{V}_s$)は式-(2)で計算される．同一観測点においても，異なるピーク振動数に対しては表層厚も異なることになる．また，基盤の V_s を $\bar{V}_s$ で割ることにより $\bar{V}_s$ 比を算出した．

解析フロー

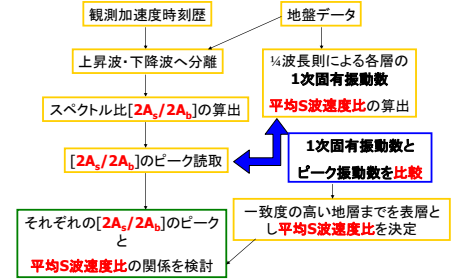


図-1 上昇波成分のみを考慮した解析フロー

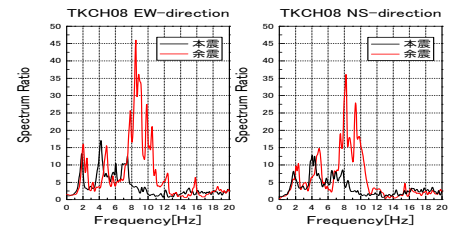


図-2 スペクトル比の例

$$f=1/4\sum_i(H_i/V_{s_i})\cdots(1) \quad \bar{V}_s=4Hf, \quad H=\sum_i H_i \cdots(2) \quad D=\frac{Q_1}{Q_2} \times 2.5 \text{ [%]} \cdots(3)$$

(H_i :1 次元成層地盤の各層の層厚, V_{s_i} :1 次元成層地盤の各層の S 波速度)

3. スペクトル比による地震動増幅特性

地震動の増幅を観測するためには図-3 に示す(a)平面アレーと(b)鉛直アレーの 2 種類がある．ここに A_s , A_b は地表と基盤での上昇波， B_b は地中基盤での下降波を表わしている．このうち，(a)平面アレー観測で求まるスペクトル比 $2A_s/2A_b$ は 2 地点の地表での振幅の比を表わしており，地域の地震動ゾーネーションに直接使われる．一方，(b)鉛直アレー観測で求まるスペクトル比 $2A_s/(A_b+B_b)$ は下降波 B_b の影響が入っているた

キーワード サイト増幅 地盤非線形性 S 波速度比 余震

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部都市環境学科 TEL03-3817-1799

め、これより重複反射理論を用いて $2A_s/2A_b$ の値を算出する必要がある。図-4 は例として十勝沖地震で解析対象とした大樹(TKCH08)における観測スペクトル比と、地盤の減衰定数を 2.5%とした場合の理論伝達関数(観測波と同じウィンドウをかけたもの)を示している。このグラフから両者のピーク振動数の対応がつかものについて、理論伝達関数 $2A_s/(A_b+B_b)$ のピーク値を観測スペクトル比と一致させるために、式-(3)により地盤の減衰定数 D を求めた。ここで、 Q_1 は理論伝達関数のピーク値、 Q_2 は観測スペクトル値のピーク値である。そして、EW, NS 方向について求めた減衰定数の平均を使って理論伝達関数 $2A_s/2A_b$ を計算し、そのピークを読み取った。

図-5 は対象とした各地震について入射波の理論伝達関数 $2A_s/2A_b$ と複合波の理論伝達関数 $2A_s/(A_b+B_b)$ の 1 次ピークの増幅率と $\bar{V}_s$ 比の関係を本震と余震 4 つについて比較したものである。このグラフから両者の間に良い相関関係が成り立ち、図中に直線で示す既提案式で良く近似できることが分かる。また、余震についても入射波の理論伝達関数 $2A_s/2A_b$ はバラツキが小さく、多くのプロットが本震と重なっているため識別しづらいほど、本震との増幅率の違いも小さい。

一方、複合波の理論伝達関数 $2A_s/(A_b+B_b)$ について見ると増幅率は $2A_s/2A_b$ に比べ明らかに大きく、本震・余震ともに $\bar{V}_s$ 比との間に正の相関はあるものの、データのバラツキが目立つ。さらに、本震に比べて余震の増幅率がかなり大きく、非線形性の影響を顕著に受けている。同様な傾向は 2003 年十勝沖地震については文献 3)でも得られているが、今回、対象とする地震や観測地点を拡大したところ全く同一の結果を確認することができた。

すなわち、鉛直アレー記録での地表/基盤間の増幅率 $2A_s/(A_b+B_b)$ とは異なり、地盤物性の非線形性の影響が増幅率 $2A_s/2A_b$ には現われにくいことが分かる²⁾³⁾。

4. まとめ

- (1) 複合波 $2A_b/(A_b+B_b)$ 、入射波 $2A_s/2A_b$ とともに $\bar{V}_s$ 比と増幅率の間には正の相関がある。
- (2) 複合波 $2A_b/(A_b+B_b)$ は増幅率のバラツキが大きく、本震と余震での増幅率に大きな違いが表れやすいが、入射波 $2A_s/2A_b$ は本震と余震で増幅率の違いが小さいため両者ともに既提案式で近似できる。

末筆ながら、本研究で防災科学研究所の KIK-net 記録を全面的に使わせていただいたことを深謝します。

【参考文献】

- 1)Shima,E.: Seismic Microzoning map of Tokyo, Proc. Second Inter. Conf. on Microzonation(1), pp.433-443, 1978.
- 2)國生剛治, 佐藤克晴, 長尾晋悟: Kik-net地震記録を用いた基盤から地表への震動増幅評価法, 日本地震工学会論文集第8巻, 第2号, 2008.
- 3)國生剛治, 江尻健太, 吉邑一平: 鉛直アレー記録に基づいたサイト増幅特性評価式と地盤材料非線形効果, 日本地震工学シンポジウム, 2010.

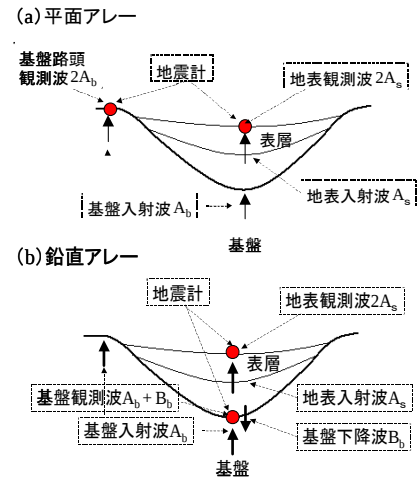


図-3 2種類のアレー観測システム

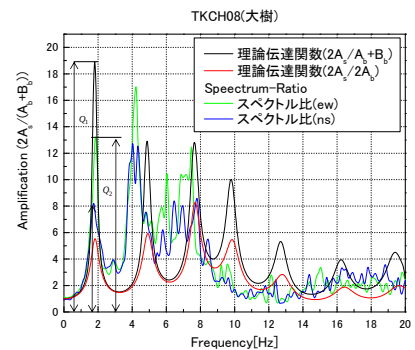


図-4 スペクトル比と理論伝達関数

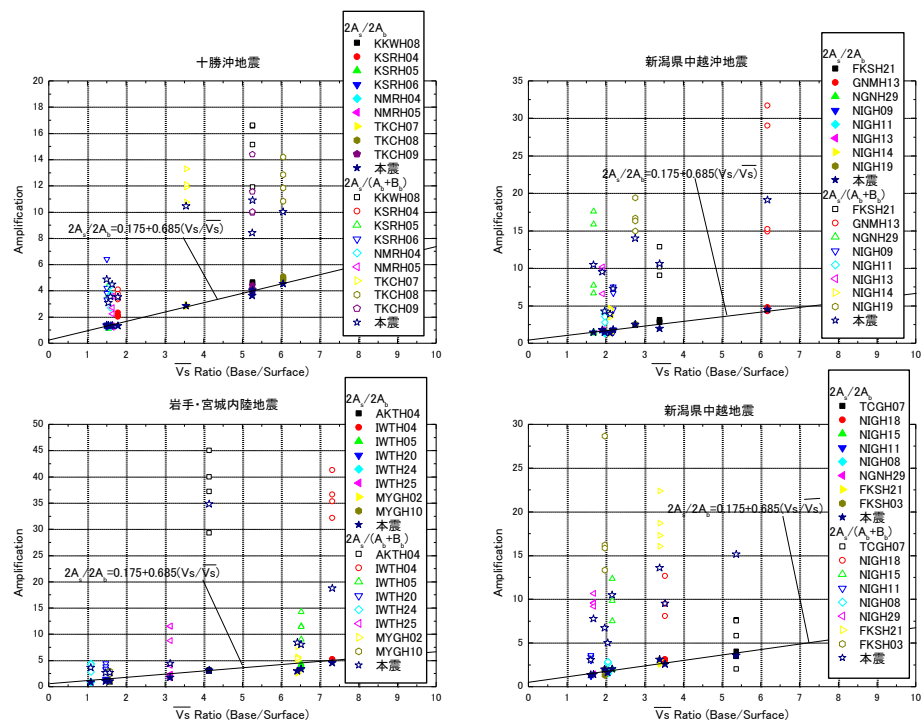


図-5 $\bar{V}_s$ 比と増幅率の関係