

強震動予測に基づく表層地盤増幅特性の評価

11T0295W 東野 晋也
指導教員：丸山 喜久

1. 研究背景と目的

我が国では、今後 30 年間に首都直下型地震や南海トラフを震源とする地震の発生が危惧され、それらによる甚大な被害が懸念されている。また、近年観測された特徴的な観測強震動として、1995 年兵庫県南部地震による指向性パルスや、2011 年東北地方太平洋沖地震による長周期地震動といったものがあり、発生が予測される地震による地震動を適切に評価することが求められている。

地震動に影響を及ぼす要因の一つである、表層地盤の増幅特性を評価するための、既存の地盤特性データの例としては、東京ガスによる高密度リアルタイム地震防災システム（SUPREME：Super-Dense Real-time Monitoring of Earthquake）がある¹⁾。これは約 6 万本のボーリングデータと地質分類図を基に、地下 20m の平均 S 波速度（AVS20）、SI 値増幅度を評価している。これを踏まえ、強震動予測により基盤面の地震動を推定し、地表面地震記録と比較することによって、表層地盤増幅特性を評価することを本研究の目的とする。

2. 分析対象

本研究では、単純な点震源が仮定できる 2005 年千葉県北西部地震（Mw5.8）を対象に分析を行う。震源パラメータについては文献²⁾より引用した。分析を行うにあたり、東京ガス供給エリア内の K-NET 観測地点 11 ヶ所の地表面における強震動予測を行い、観測波形と比較し予測精度を確認する。図 1 に分析を行った K-NET 観測地点と震源の位置を示す。

また、強震動計算を行う上で用いた地盤データに関しては、表層地盤は K-NET 観測地点のボーリングデータを、工学的基盤は深の地盤モデルについては地震調査研究推進本部による長周期地震動予測地図³⁾を用いた。



図 1 K-NET 観測地点と震源の位置

3. 強震動計算プログラム

本研究における地震動の計算は、久田による強震動計算プログラムを用いる^{2), 4)}。計算を行う上では、地震動の短周期成分、長周期成分を別々の手法を用いて予測し、最終的にそれら双方の結果を足し合わせるハイブリッド合成により行う。

短周期成分の計算に関しては、統計的震源モデルとして統計的グリーン関数を用いて計算する統計的グリーン関数法により行う。長周期成分の計算に関しては、運動力学的モデルとして理論的グリーン関数により計算する理論的手法により行う。式 (1) に運動力学的モデルの基礎式となる表現定理を示す。

$$U_k(Y; \omega) = \int_{\Sigma} \{ \mu D(e_i n_j + e_j n_i) U_{ik,j}(X, Y; \omega) e^{i\omega t_r} \} d\Sigma \quad (k = x, y, z) \quad (1)$$

ここで、 k, i, j は直交座標系の x, y または z 成分を表し、「 j 」は j 方向の偏微分を意味する。また、 ω は円振動数、指数関数の i は虚数単位、 X は断層面上の点、 Y は観測点、 D は X 点における断層すべり、 Σ は断層面積、 μ はせん断剛性、 m_{ij} はモーメント密度テンソル、 t_r は破壊開始時間を表し、 U_{ik} がグリーン関数と呼ばれる⁴⁾。

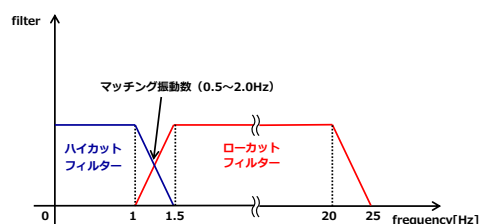


図 2 バンドパスフィルター

また、図 2 に示すように、ハイブリッド合成を行うにあたり、短周期成分の計算においてはローカットフィルターにより不要な低振動数帯域を、長周期成分の計算においてはハイカットフィルターにより不要な高振動数帯域を取り除く²⁾。

4. 応答スペクトルによる K-NET 観測波形との比較

本研究で用いた強震動予測の精度を評価するため、減衰定数 5% の速度応答スペクトルを用いて、地表面における観測波形と計算結果との比較を行った。図 3 に

K-NET 観測地点 TKY007（新宿）における速度応答スペクトルを示す。EW 成分に比べ NS 成分における計算結果がやや過小ではあるものの、良好な精度で地表面地震動を再現できている。

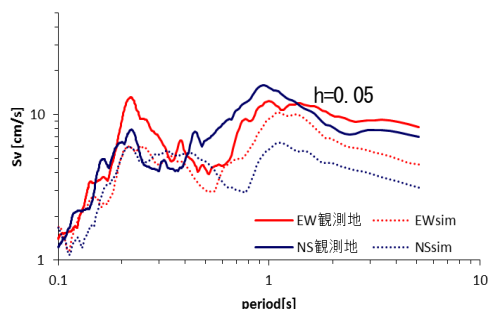


図3 TKY007における速度応答スペクトル（5%減衰）の比較

5. 1次元地盤震動解析を用いた増幅特性の検討

SUPREME が搭載する広域地盤データでは、50m メッシュ単位で AVS20, SI 値増幅度, N 値 50 相当の工学的基盤までの深度 (H_{Tg}) および工学的基盤に対する表層地盤の特性値 (T_g) が整備されている。

本研究では、これらを用いて SUPREME 観測点の 1 次元地盤モデルを仮定し、露頭基盤に対する S 波伝達関数を推定した⁵⁾。仮定した 1 次元地盤モデルを図 4 に示す。

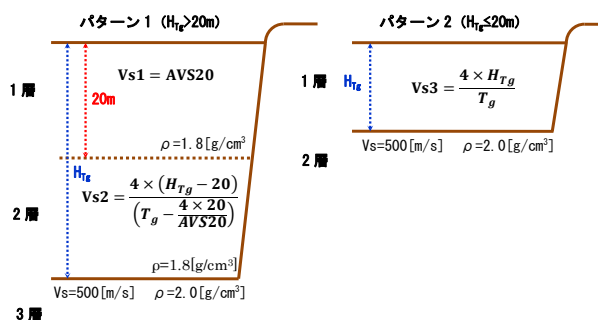


図4 本研究で仮定した1次元地盤モデル

H_{Tg} が 20m より深い場合はパターン 1 を、浅い場合はパターン 2 を仮定し計算を行った。また、両パターンとも工学的基盤以深の地盤は S 波速度 500m/s とした。これは、今回対象とした K-NET 観測地点における長周期地震動予測地図の深部地盤データでは、工学的基盤の最上層の S 波速度が 500m/s となっているためである。

図 5 に TKY007（新宿）における強震動計算による表層入射波（露頭基盤波）と地表面観測波形のフーリエ振幅比および S 波伝達関数を示す。卓越周期に約 0.1 秒のわずかなずれがあることや、K-NET 観測値と強震動計算のフーリエ振幅比が S 波伝達関数に比べ過大となった点を除いて、周期特性などはある程度一致していることが確認できる。フーリエ振幅比が過大となった原因としては、強震動計算による結果が観測値に比

べやや過小であったことが挙げられる。

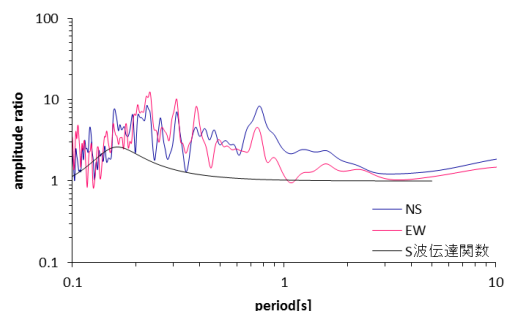


図5 TKY007におけるK-NET観測点と強震動計算によるフーリエ振幅比とS波伝達関数の比較

6. まとめ

本研究では、K-NET による地表観測記録と強震動予測による露頭基盤波を用いて、SUPREME の地盤モデルを用いた表層地盤増幅特性の評価を行った。地盤モデルから得られた S 波伝達関数の周期特性と、工学的基盤に対する地表面地震動のフーリエ振幅比の周期特性は比較的精度よく一致した。しかし、地盤モデルを作成する際のボーリングデータの少ない地域、とくに千葉県内に関しては再現性がやや低く、新たにボーリングデータの収集や地盤モデルの再構築の検討が必要と考えられる。また、東北地方太平洋沖地震のような長周期成分が卓越した地震動に対する検討も今後の課題である。

参考文献

- 1) 清水善久, 石田栄介, 磯山龍二, 山崎文雄, 小金丸健一, 中山渉: 東京ガス供給網のリアルタイム地震防災システム構築及び広域地盤情報の整備と分析・活用, 土木学会論文集, No.738/I-64, pp.283-296, 2003.
- 2) 石川理人, 久田嘉章, 永野正行, 中川博人, 早川崇, 河路薫, 野畑有秀, 眞鍋俊平, 長坂陽介, 山本優: 首都直下地震を対象とした強震動予測手法に関するベンチマークテスト その1 千葉県北西部地震を対象とした観測記録との比較, 第14回日本地震工学シンポジウム, pp.1931-1940, 2014.
- 3) 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, 2009.
- 4) 西川孝夫, 荒川利治, 久田嘉章, 曾田五月也, 藤堂正喜, 山村一繁: 建築の振動 応用編, 朝倉書店, pp.80-140, 2008.
- 5) 猪股渉, 乗藤雄基, 大田肇士, 丸山喜久: 超高密度地震観測情報に基づく地盤震動特性の評価, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 70, No. 4, pp.I_187-I_198, 2014.