

深部地盤構造を考慮した経験的な地盤増幅度評価式の検討

舞鶴高専 正会員 ○西川 隼人
金沢大学理工研究域 正会員 宮島 昌克

1. 目的

地震動指標の地盤増幅度の評価には、表層 30m の平均 S 波速度を用いた評価式¹⁾が広く用いられているが、地震の規模が大きくなると震源から長周期成分が励起されるようになるので、長周期地震動と関係する深部までの地盤構造を地盤増幅度評価に考慮する必要がある。本研究では深部までの地盤構造を考慮した経験的な地盤増幅度評価式を求め、大規模地震を想定した東海地方の地盤増幅度評価を行う。

2. 地盤増幅度の評価

地震動指標の地盤増幅度は地表と解放基盤 ($V_s=2\sim3$ km/s 程度) の最大振幅の比で定義される。なお、地震動指標の最大振幅が主要動 S 波で与えられるものとし今後の議論を進める。解放基盤の地震波の最大振幅は地盤構造や減衰定数をもとに剥ぎ取り解析によって求められるので、基盤までの地盤情報が明らかな地震観測点を対象とする必要がある。著者ら²⁾は地盤情報が求められている複数の KiK-net 観測点を対象に剥ぎ取り解析を実施し、地盤増幅度を評価している。ここでは一部の愛知県、静岡県の KiK-net 観測点の地盤情報を同定して剥ぎ取り解析と地盤増幅度評価を行い、これまで求めている地盤増幅度に追加する。

同定には最適化手法の一つである粒子群最適化法³⁾を用いた。同定の対象とするのは地表と地中のトランスバース成分のフーリエスペクトルの比であり、鉛直入射の場合の SH 波の理論伝達関数とフーリエスペクトル比をフィッティングさせる。同定するパラメータは各層の層厚、S 波速度、密度、減衰定数である。密度は S 波速度をパラメータとする小林他⁴⁾の式を用いた。また、減衰定数は散乱減衰と内部減衰を組み合わせた吉田他⁵⁾の式を用いた。図-1 に同定結果の一例を示す。同図から明らかなように伝達関数の観測値と理論値がよく対応していることが分かる。伝達関数の観測値と理論値の対応がよかった 6 地点の同定結果を剥ぎ取り解析に用いた。

南海トラフの大規模地震を想定した地盤増幅度を評価することから、 $M_w=7\sim7.9$ の地震記録を対象に剥ぎ取り解析を行い、地盤増幅度を計算した。解析に用いたデータは 59 個であり、最大地動速度を対象とした。

3. 地盤増幅度の経験式

著者ら²⁾が提案している以下の地震動スペクトルと地盤増幅度の関係式に基づき経験式を求める。

$$F = \sqrt{\frac{\int_{-\infty}^{\infty} G(f)^2 S(f)^2 df}{\int_{-\infty}^{\infty} S(f)^2 df}} \quad (1)$$

ここに F は地盤増幅度、 $G(f)$ はサイト増幅特性、 $S(f)$ は震源スペクトル、 f は振動数である。 $G(f)$ は SRI 法⁶⁾によって $\sqrt{(\rho_r V_r)/(\rho \bar{V})}$ で与えられるものとする。 ρ_r 、 V_r は基準とする層の密度と伝播速度、 $\bar{\rho}$ はある層までの平均密度、 \bar{V} は平均伝播速度である。式(1)の無限積分が台形積分で表されるものとし、 $G(f)$ が SRI 法による式で与えられるものとする、式(1)を次のようにまとめることができる。

$$F = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\rho_r V_r)/(\rho \bar{V}) (S(f_i)^2 + S(f_{i+1})^2)}{\sum_{i=1}^n (S(f_i)^2 + S(f_{i+1})^2)}} \quad (2)$$

この式をもとに経験式のモデルを与える。密度は感度が小さいので無視し、 $S(f)$ の自乗和の項と V_r を経験式で求める係数とする。また、 \bar{V} は表層から 100, 500, 1500m までの平均 S 波速度とし、両辺の対数をとると

以下のようになる。

$$\log F = 0.5 \log \left\{ \sum_{i=1}^3 c_i / \bar{V}_i \right\} - 0.5c_4 \quad (3)$$

さらに次のように書き換える。

$$\log F = c_1 \log \left\{ \sum_{i=1}^3 c_{i+1} / \bar{V}_i \right\} + c_5 \quad (4)$$

$c_1 \sim c_5$ は地盤構造の同定と同じく、粒子群最適化法によって求めた。式(4)は対象とした M7 クラスの地震の平均的な震源特性を反映した結果となる。

図-2 に剥ぎ取り解析による最大地動速度の地盤増幅度の観測値と式(4)による計算値の対応を示す。同図には観測値と計算値を累乗関数で近似した場合の結果と決定係数 R^2 も合わせて示す。同図から明らかなように観測値と計算値がよく対応している。

4. 東海地方を対象とした地盤増幅度評価

求めた式(4)によって M7 クラスの大規模地震を想定した場合の東海地方の最大地動速度の地盤増幅度分布を評価する。地盤増幅度の評価に必要な地盤の平均 S 波速度は J-SHIS⁷⁾ で公開されているデータを用いた。J-SHIS で公開されている深部地盤構造は 1km メッシュのデータであるので、地盤増幅度は各 1 km メッシュの中心座標の地点の値とした。表層 30m の平均 S 波速度は 250m メッシュの値であるので、1 km メッシュの中で最も小さい 250m メッシュの表層 30m の平均 S 波速度の値を増幅度評価に用いた。

図-3 に推定した地盤増幅度分布図を示す。増幅度分布は約 10 km 間隔で示しており、色の濃い地点ほど地盤増幅度が大きい。図-3 から分かるように名古屋市とその周辺の地域で地盤増幅度が大きくなっている。

5. まとめ

本研究では深部までの S 波速度構造を考慮した経験的な地盤増幅度評価式を求め、大規模地震を想定した東海地方の地盤増幅度評価を行った。地盤増幅度分布を求めた結果、名古屋市とその周辺の地域で地盤増幅度が大きい傾向が見られた。

謝辞：本研究は財団法人 前田記念工学振興財団の研究助成により実施しました。また、独立行政法人 防災科学技術研究所の K-NET, KiK-net の地震観測記録、J-SHIS の地盤構造を利用させて頂きました。記してお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 翠川他：日本建築学会構造系論文報告集, No.442, pp.71-78, 1992.
- 2) 西川, 宮島：日本建築学会構造系論文集, Vol.79, No.698, pp.445-451, 2014.
- 3) Mishra, SK : http://mpr.ub.uni-muenchen.de/874/1/MPRA_paper_874.pdf, 2006.
- 4) 小林他：日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 B- I, pp.317-318, 1995.
- 5) 吉田, 小林：日本建築学会学術講演梗概集, pp.183-184, 2002.
- 6) Boore, D. M. : BSSA, Vol.103, pp.2356-2368, 2013.
- 7) J-SHIS 地震ハザードステーション : <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>(2014年11月16日閲覧)

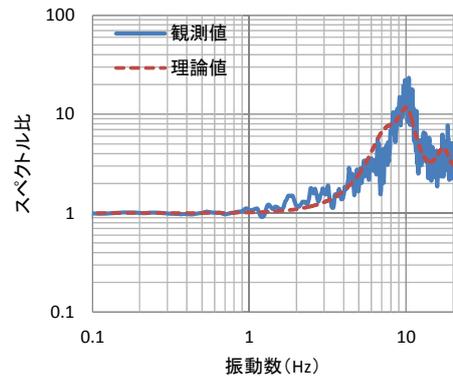


図-1 鳳来(AICHI10)の伝達関数の観測値と理論値

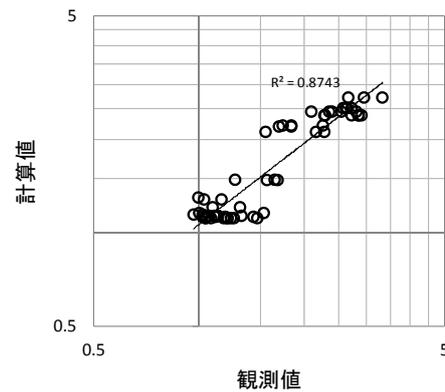


図-2 地盤増幅度の観測値と計算値

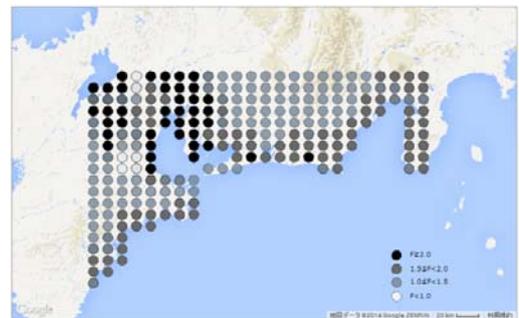


図-3 東海地方の地盤増幅度分布