

細分割成層地盤モデルによる速度構造と減衰特性の逆解析 —KiK-net 永平寺地点を例として—

福井工業大学 正会員 ○安井 謙 舞鶴工業高等専門学校 正会員 西川 隼人
福井市役所 非会員 南東 悠介 福井県警 非会員 藤田 亮介

1. はじめに

地震時伝達関数の逆解析に当たり、地盤を深さ方向に 1m 厚さに細分割した成層地盤モデルを用いることにより速度と減衰の間のトレードオフの関係の影響を回避することを試みた。KiK-net¹⁾の永平寺地点を例として逆算同定した結果、修正速度構造モデルを得るとともに減衰係数に関する経験式を得ることができた。

2. 観測地点と地震時伝達関数

図-1 に対象とした永平寺地点を含む福井県内にある 7 つの KiK-net の観測点の位置を示した。同図には地震時伝達関数の計算に用いた地震の震央を示してある。永平寺地点は著者らがアレイ観測を行ったことがある²⁾地点である。地震計は地表面と GL-103m の深さに設置されている。地表面の観測地震波の GL-103m の観測波に対するスペクトルの比を 11 個の地震について計算したものを加算平均して伝達関数を求めた。計算は主要動のトランスバース成分について S 波到達から 5 秒間を切り出し、それに零データを付加して 81.92 秒としたものについて行った。波形を切り出す際には両端にコサインテーパを施したウィンドウをかけた。なお、スペクトルの平滑化ではバンド幅 0.4Hz の Parzen ウィンドウを用いた。図-2 に伝達関数を示すが、同図中の「観測」が上記の要領で計算された伝達関数である。

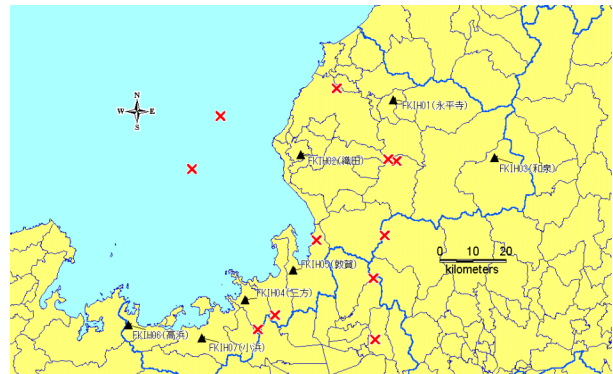


図-1 KiK-net 観測地点 (▲) と対象とした地震の震央 (×)

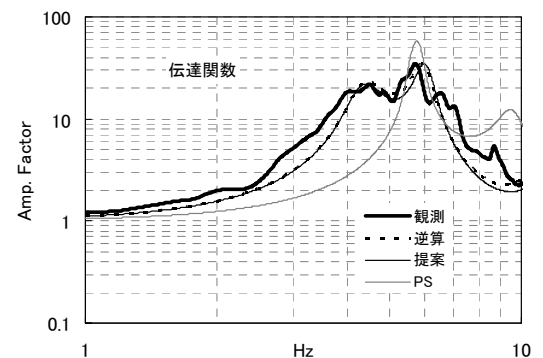


図-2 伝達関数

3. 逆解析の概要

遺伝的アルゴリズム (GA)^{3),4)}を用いて観測による伝達関数 $R_o(f_i)$ を、計算による $R_c(f_i)$ で近似させることにより速度構造 V_{si} と減衰構造 n_{si} を逆算する。即ち、式(1)で示される評価関数 E を最小にするような地盤構造を求める。ここで、計算による伝達関数は S 波構造モデルを用いて重複反射理論により算定するものとし、最適化の振動数範囲は 1Hz から 10Hz とする。また、同式の f_i は i 番目の振動数で、 N はその総数である。GA による逆算では、地盤を深さ方向に 1 m ピッチで層分割したモデルを用いるものとし、各層の S 波速度 V_{si} と減衰係数 n_{si} を未知数とする。このとき、層数は最下層を含めて 104 層となる。 V_{si} の探索範囲は既存の PS 検層データの 0.5 倍～1.5 倍を原則とし、 n_{si} の探索範囲は 3～20 (V_{si} の目標値が 500m/sec 以上のとき 3～50) とした。ここに、所謂減衰定数 h_{si} と減衰係数 n_{si} の間には式(2)のような関係があるものとしており、また、単位体積あたりの質量 ρ_i は S 波速度 V_{si} と式(3)のような関係⁵⁾があるものとしている。なお、GA 探索のその他の条件は以下のようである。即ち、試行回数：10、世代数：100、個体数：50、ビット数：8、交叉確率：0.7、突然変異確率：0.01 とし、グレイコード、動的突然変異およびエリート選択を考慮している。

キーワード KIK-net, 地震時伝達関数, 永平寺地点, 逆解析, GA, S 波速度構造, 減衰特性

連絡先 〒910-8505 福井市学園 3-6-1 福井工業大学土木環境工学科 TEL 0776-29-2554

$$E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{R_C(f_i) - R_O(f_i)\}^2 \quad \cdots (1)$$

$$h_{si} = \frac{n_{si}}{V_{si}} \quad \cdots (2)$$

$$\rho_i = 1.4 + 0.67 \sqrt{V_{si} / 1,000} \quad \cdots (3)$$

4. 速度構造と減衰特性の同定

図-3 に逆算した S 波速度 V_{si} の深さ方向分布を示した. 同図には公表されている速度構造(PS)も示してある. 図-4 には減衰係数 n_{si} の深さ方向の分布を示したが, 地表面近くで小さく, 深くなるとほぼ一定値をとる傾向を示すことがわかる. さらに, 図-5 に S 波速度 V_{si} と減衰係数 n_{si} の関係を示した. 図-5 から n_{si} の値は, S 波速度 500m/sec 以下で 11, 500m/sec 以上で 26.3 と, 既往の提案値⁶⁾より大きめに得られた.

5. 提案モデル

図-3 と図-4 の「提案」に示すように逆算値を深さ方向に集約して定めた速度と減衰に関する提案モデルの諸元を表-1 に示した. 図-2 に提案モデルの伝達関数を, 逆算値と PS モデルのものとを比較して示したが, 提案モデルは観測値をよく近似できている. また, 図-6 にはスペクトルインバージョンによる地盤増幅特性(野津・長尾⁷⁾)と, 提案モデルおよび PS モデルによるものとを比較して示したが, 提案モデルはインバージョンの結果とよく一致している.

6. おわりに

層厚 1m の細分割成層地盤モデルを用いて地震時伝達関数の逆解析を行った. その結果, S 波速度の逆算値に加えて減衰係数の経験値を求めることができ, 水平動の減衰係数は 11 (S 波速度 500m/s 以上で 26.3) と得られた. さらに, 逆算値をもとに作成した提案モデルは, 公表されている地盤モデルに比べて, 伝達関数や地盤増幅特性をよりよく説明できることが確認された.

謝辞

防災科学技術研究所の KiK-net のデータを使用致しました. 速度と減衰とのトレードオフの問題について京都大学の川瀬博教授と鳥取大学の香川敬生教授から助言を得ました. ここに記して謝意を表します.

参考文献

1) <http://www.kik.bosai.go.jp/kik/>
2) 安井, 野口: 日本地震工学会・大会 - 2004 梗概集, pp. 328-329, 2005.
3) 石田, 村瀬, 小山: パソコンで学ぶ遺伝的アルゴリズムの基礎と応用, 森北出版, 1997.
4) 山中, 石田: 日本建築学会構造系論文集, 第 468 号, pp. 9-17, 1997 年 2 月.
5) 小林(喜), 阿部, 植竹, 真下, 小林(啓): AIJ 大会学術講演梗概集, pp. 307-308, 1995.
6) 堀家: AIJ 大会学術講演梗概集, pp. 179-180, 2002.
7) 野津, 長尾: 港湾空港技術研究所資料, No. 1112, 2005.

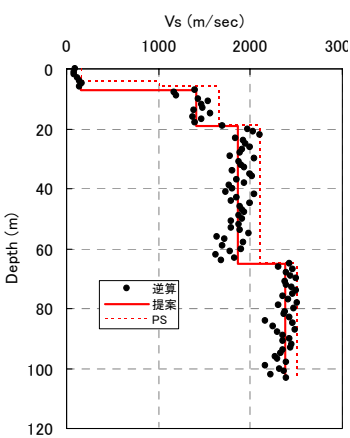


図-3 S 波速度構造

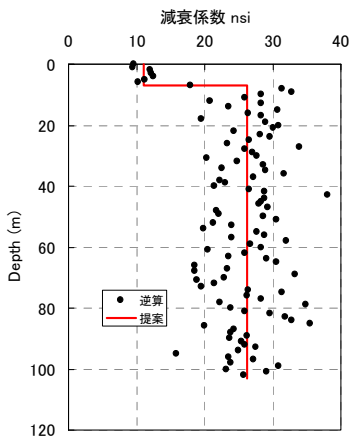


図-4 減衰係数 n_{si} の深さ分布

表-1 提案モデルの諸元

厚さ (m)	深さ (m)	質量 (ton/m ³)	Vsi (m/sec)	nsi (m/sec)
4	4	1.61	98	11.0
3	7	1.66	152	
12	19	2.19	1410	
46	65	2.32	1870	26.3
38	103	2.43	2380	

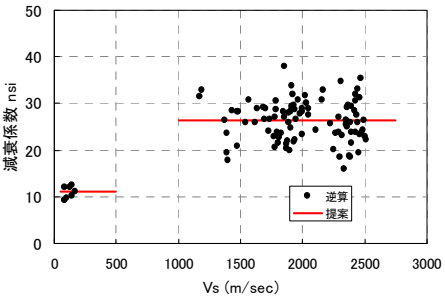


図-5 減衰係数 n_{si} と V_{si} との関係

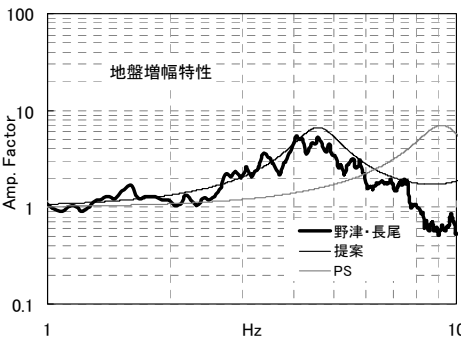


図-6 地盤増幅特性