

広域構造物の地震応答値算定を目的とした地盤情報の一次元補間方法に関する検討

鉄道総合技術研究所 正会員 坂井 公俊, 室野剛隆
ジェイアール東日本コンサルタンツ 正会員 ○桐生 郷史, 野上雄太

1. はじめに

広範囲の地震時構造物応答を推定する際に、既存の地盤情報が不足している場合がある。この時、既存の地盤情報に基づいて、何らかの手法を用いて地盤情報を補間し、構造物の応答を推定する必要がある。地盤を補間する際には、各層の堆積年代等を考慮して、地質学的な観点から実施されることが多い。しかしながら路線全体のような多数の構造物群の被害推定等を行なう場合には、このような作業は現実的ではない。そこで本報では、従来から実施されている簡易な補間手法を用いて地盤応答を算定し、補間手法の違いが構造物の地震応答に与える影響について検討を行う。

2. 検討条件

地盤の解析は、1次元逐次非線形解析とし、地盤の非線形構成則は GHE-S モデルとした¹⁾。土の動的変形特性は、多数の三軸試験結果に基づいた、標準パラメータ¹⁾を用いた。また、解析に必要な規準ひずみ $\gamma_{0.5}$ は、安田・山口の式²⁾から推定している。減衰は、福島・翠川(1994)³⁾の平均的な Q 値を参考として、これにフィッティングするようなレイリー減衰を用いた。これらはいずれも鉄道構造物の地盤応答解析手法として利用頻度の高い手法である⁴⁾。図1は、ボーリング結果を有しない箇所を地盤情報なども合わせて地質学的な観点から総合的に判断して地層境界を設定したものであり、本検討ではこれを「正解値」とした。図2は、ボーリング調査位置の地盤および正解値として補間した地盤の固有周期を示す。約8km区間に対象となる構造物は174箇所あり、このうちボーリング調査は、約200m間隔に48地点で実施されている。構造物としては、鉄道構造物(ラーメン高架橋)を想定した。解析ケース一覧を表1に示す。入力地震動は、兵庫県南部地震(JMA 神戸波)、釧路沖地震(JMA 釧路波)を対象に、最大加速度振幅を100gal, 300gal, オリジナルの3ケースについて工学的基盤相当に入力した。構造物は、1質点モデルで解析することとし、地盤の解析結果として得られる地表面加速度波形を入力とした。構造物の降伏震度 K_{hy} は0.4, 等価固有周期 T_s は0.4, 0.7, 1.0(sec)の3ケースを対象とした。

補間した地盤の概要を図3に示す。検討に用いた補間法は、対象地点から最も近いボーリング情報の地層境界をそのまま用いて補間する「最近値」、および式(1)の距離による重み付けにより地層境界を補間する「IDW法」⁵⁾とした。なお、ボーリング情報は水平方向と鉛直方向では調査間隔が大きく異なるため、式(2)を用いて

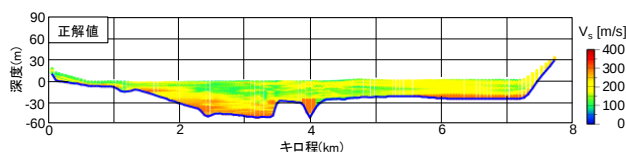


図1 検討対象地盤の概要

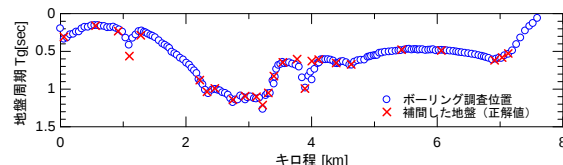


図2 対象となる地盤

表1 解析ケース一覧

補間法	入力地震動	最大加速度 振幅	構造物の 降伏震度	構造物の等価固 有周期 T_s (sec)	IDW法のパラメータ	
					n	k
正解値					—	—
最近値	兵庫県南部地震	100gal 300gal	$K_{hy}=0.4$	0.4 0.7 1.0	—	—
IDW法①	釧路沖地震	Original			2	0.001
IDW法②					2	0.1
IDW法③					1	0.001

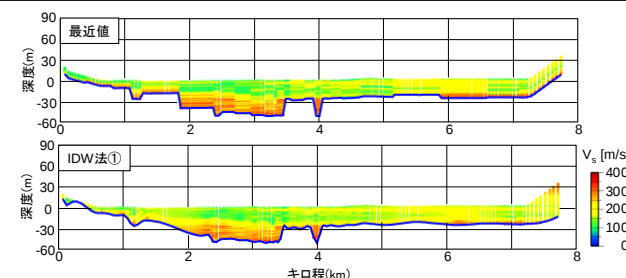


図3 補間した地盤の概要

$$Z(x) = \frac{\sum_i w_i z_i}{\sum_i w_i}, \quad w_i = \frac{1}{R_i^n} \quad (1)$$

$$R_i = \left((x_i - x_j)^2 + k(y_i + y_j)^2 \right)^{1/2} \quad (2)$$

$Z(x)$: 位置 x における推定値, z_i : 地点 i における観測記録,
 w_i : 地点 i における重み関数, R_i : 地点 i と位置 x の距離,
 n : 乗数 (一般には2)

キーワード 地震応答解析, 補間法, 地盤情報

連絡先 〒171-0021 東京都豊島区西池袋 1-11-1 ジェイアール東日本コンサルタンツ (株) TEL 03-5396-7246

距離算定時に水平方向と鉛直方向に重みを考えることとした。補間に必要なパラメータ n , k については、合計 3 ケース(IDW①: $n=2$, $k=0.001$, IDW②: $n=2$, $k=0.1$, IDW③: $n=1$, $k=0.001$) 実施しているが、今回は最も正解値に近い補間結果が得られた $n=2$, $k=0.001$ の結果(IDW①)のみを示している。

以上の補間方法で設定した各地盤条件について 1 次元地盤応答解析および構造物の動的解析を実施し、その応答値を比較することで補間法の比較を行なった。

3. 構造物の応答塑性率

本研究は、地震時の広域構造物の地震被害を簡易かつ高精度に評価するための地盤情報補間手法を得ることを目的としていることから、本報では、構造物の応答塑性率 $\mu (= \delta_{\max} / \delta_y)$ について比較した結果について報告する。図 4 は、兵庫県南部地震 (Original) における各地点の構造物の応答塑性率 μ について式(3)を用いて比較した結果を示す。

$$|\mu_{\text{cor}} - \mu_{\text{int}}| / \mu_{\text{cor}} \quad (3)$$

ここに、 μ_{cor} : 正解値における構造物の応答塑性率、 $\mu_{\text{int(NEAR)}}$: 最近値における構造物の応答塑性率、 $\mu_{\text{int(IDW①)}}$: IDW①法における構造物の応答塑性率を示す。

入力レベルや地震動を変化させた検討結果は省略するが、構造物の周期によって補間法の精度は若干異なるものの、全体的には最近値と IDW 法の補間精度に大差がないといえる。また、正解値との誤差としては、 $|\mu_{\text{cor}} - \mu_{\text{int}}| / \mu_{\text{cor}}$ が概ね 2 以下に集中していることから、いずれの補間法も倍半分程度の精度で推定できるものと考えられる。

図 5 は、補間した地盤とボーリング調査位置の距離に応じた差分絶対値を示している。補間した地盤が、ボーリング調査位置から近いほど最近値の精度がよく、距離が遠いほど IDW 法の精度がよい傾向にある。また、全体的には IDW 法のばらつきが大きいことが分かる。

4. まとめ

1 次元地震応答解析による補間法の比較を行なった結果、最近値と IDW 法による構造物の応答値には大差がないことが分かった。つまり、ボーリング情報のない構造物の地震応答を簡易に推定したい場合には、最近値で補間したボーリング情報を用いて検討を行った場合にも、各種パラメータの不確定性を含んだ IDW 法と比較して良い精度で応答値を推定可能である。さらに地質性状を詳細に反映させた場合と比較しても構造物の応答値を倍半分の精度で推定できることが分かる。つまり、広域構造物の地震応答値を簡易に評価する場合には、最近値の地盤条件を用いることで十分であると言える。ただし今回の検討では、1 次元の地盤応答解析を実施しており、地盤不整形の影響を無視している。今後は、不整形地盤を対象とした 2 次元応答解析に対しても同様の検討を実施し、簡易かつ構造物応答値推定精度の高い地盤構造補間手法の選択を行う。

参考文献 1) 野上雄太, 室野剛隆: S 字型履歴曲線を有する土の非線形モデルとその標準パラメータの設定, 土木学会地震工学研究発表会論文集, 30, 2009. 2) 安田進, 山口勇: 種々の不攪乱土における動的変形特性, 第 20 回土質工学研究発表会講演集, pp.539-542, 1985. 3) 福島美光, 翠川三郎: 周波数依存性を考慮した表層地盤の平均的な Q-1 値とそれに基づく地盤増幅率の評価, 日本建築学会構造系論文集, 460, pp. 37-46, 1994. 4) 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計 (財) 鉄道総合技術研究所, 丸善, 1999. 5) Franke. R.: Scattered data interpolation: test of some methods, Mathematics and computation. 38, pp.181-200, 1982.

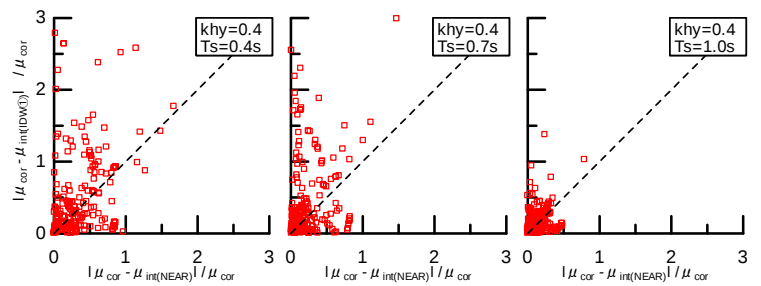


図 4 $|\mu_{\text{cor}} - \mu_{\text{int}}| / \mu_{\text{cor}}$

兵庫県南部地震 Original (最近値と IDW 法の比較)

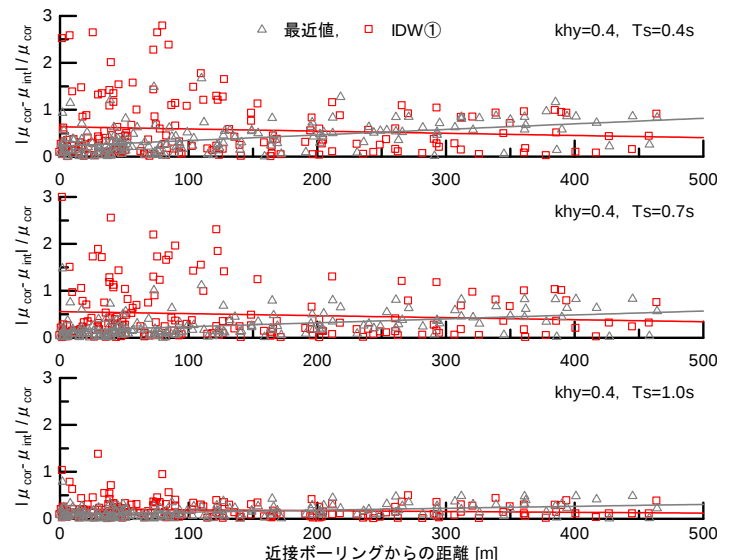


図 5 近接ボーリングからの距離と $|\mu_{\text{cor}} - \mu_{\text{int}}| / \mu_{\text{cor}}$ (兵庫県南部地震 Original)