

地震動のサイト位相特性簡易評価のための検討

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○坂井 公俊

正会員 室野 剛隆

1. はじめに 筆者らは、構造物の非線形応答を適切に表現可能な地震波形シミュレーションを目的として、位相スペクトルのモデル化に関する検討を実施している¹⁾。位相スペクトルを角振動数で微分した群遅延時間 $t_{gr}^O(\omega)$ ²⁾は、式(1)のように震源、伝播経路、サイト特性の線形和で表現される³⁾。

$$t_{gr}^O(\omega) = t_{gr}^S(\omega) + t_{gr}^P(\omega) + t_{gr}^L(\omega) \quad (1)$$

ここで、 $t_{gr}^S(\omega)$ は震源特性、 $t_{gr}^P(\omega)$ は伝播経路特性、 $t_{gr}^L(\omega)$ はサイト特性の群遅延時間である。この時、 $t_{gr}^O(\omega)$ の平均、標準偏差はそれぞれ式(2)で表現できる。

$$\begin{aligned} \mu_{igr}^O(\omega) &= \mu_{igr}^S(\omega) + \mu_{igr}^P(\omega) + \mu_{igr}^L(\omega) \\ (\sigma_{igr}^O(\omega))^2 &= (\sigma_{igr}^S(\omega))^2 + (\sigma_{igr}^P(\omega))^2 + (\sigma_{igr}^L(\omega))^2 \end{aligned} \quad (2)$$

このうち、震源特性は、断層の破壊過程に従ったインパルス列の重ね合わせで表現する⁴⁾。伝播経路特性は、地震基盤位置における地震観測記録に基づいて、震源距離 R の2乗に比例すると仮定して、回帰係数を算定している¹⁾。

$$\begin{aligned} \mu_{igr}^P(\omega) &= \beta_1(\omega) \cdot R^2 \\ (\sigma_{igr}^P(\omega))^2 &= \beta_2(\omega) \cdot R^2 \end{aligned} \quad (3)$$

サイト特性については、小地震の地震観測記録から観測点ごとにインバージョンによって評価することが可能であり、関西地域においてサイト特性の $(\sigma_{igr}^L(\omega))^2$ を評価した例もある³⁾。

以上の手法によって地点ごとの震源、伝播経路、サイト特性を考慮した位相スペクトルを算定可能であるが、サイト特性を評価する際には、対象地点の地震観測記録が必要となる。鉄道のような線状構造物を考えた場合、全線にわたって地震観測を実施、特性評価を行うことは現状では困難である。そこで本研究では、多数の地震観測記録に基づいて、各地点のサイト特性を評価する。さらに各地点の地盤情報等とサイト特性の関係を考察することで、地点の地盤情報等からサイト特性を表現可能な手法を構築するための基礎的な検討を行う。

2. 検討手順 検討に用いる地震観測記録の収集を行う。地震規模が比較的小さい場合には、断層の広がりの影響は無視でき、点震源として扱える。この場合、群遅延時間の震源特性を無視できる。さらに、伝播経路特性については式(3)でモデル化しているが、その影響を小さくするために、震源距離が小さな記録を用いることとした。具体的には、以下の条件を全て満足する地震記録を収集した。

- (a) $3.0 \leq M_j < 5.0$ (点震源仮定), (b) $20 < \text{PGA}(\text{gal}) < 100$ (地盤塑性化無視かつ SN 比高), (c) 震源距離 $R_1(\text{km}) < 50$ (伝播経路特性小), (d) 震央距離 $R_2(\text{km}) < 10$ (直下で発生)

この結果、288 観測記録 (水平 576 成分) の記録を選定した。これらの選定された地震記録に対して、以下の手順で処理を施した。(ア) 目視によって S 波初動時刻の読み取り, (イ) S 波到達以前の部分をフィルターによって除去, (ウ) FFT, 群遅延時間の算定, (エ) 伝播経路特性の除去 (式(3)適用¹⁾), (オ) 群遅延時間を Parzen window で平滑化 (バンド幅 0.2Hz), (カ) 群遅延時間の平均、分散を算定。この手続きによって、各観測記録毎の $\mu_{igr}^L(\omega)$ 、 $(\sigma_{igr}^L(\omega))^2$ が評価される。処理の例を図1に示す。今回選定した記録は震源距離が近いものであるため、伝播経路特性は非常に小さくなっていることが分かる。

3. 考察 前節の手順を選定された全観測記録に対して実施した。本研究の最終的な目的は、対象地点の位置情報、地盤情報等から群遅延時間のサイト特性を簡易に評価することである。そこで、地震情報、地点の地盤情報に対して $\mu_{igr}^L(\omega)$ 、 $\sigma_{igr}^L(\omega)$ をプロットし、考察することで、サイトの群遅延時間に影響の大きなパラメータを抽出する。なお、今回は全周波数帯域に対して個別に比較を行うのではなく、0.1~10Hz の評価区間を対数軸で4分割し、それぞれの区間内の $\mu_{igr}^L(\omega)$ 、 $\sigma_{igr}^L(\omega)$ を平均して比較することとした。今回はこのうち、対象地点の工学的基盤以浅

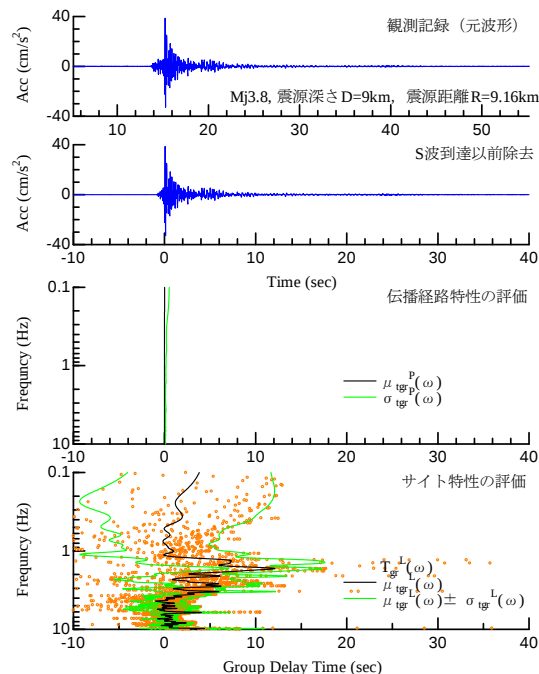


図1 波形処理の例

キーワード サイト位相特性, 群遅延時間, 地震基盤深度, 固有周期

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財) 鉄道総合技術研究所 耐震構造 TEL042-573-7394

の地盤固有周期 T_g (sec), 地震基盤深度に対する結果を図 2, 図 3 に示す. またこれらの図には, 直線近似した回帰直線と, 回帰式の勾配も示している. 対象地点の地震基盤深度は, ボーリング調査結果が存在するものはその値を用い, それ以外の地点では, 既往の研究³⁾をもとに設定した. なお, 今回は示していないが, 地震規模 M_w , 震源距離に対して同様の考察を行い, これら指標と今回評価した $\mu_{tgr}^L(\omega)$, $\sigma_{tgr}^L(\omega)$ の間には関係が見られないことを確認している. つまり, 今回の結果には震源特性, 伝播経路特性の影響を含んでいないものと考えられる.

これらの結果より, 全周波数帯域において, 地震基盤深度が深くなるほど, 工学的基盤以浅の固有周期が長くなるほど $\mu_{tgr}^L(\omega)$, $\sigma_{tgr}^L(\omega)$ が大きくなることから分かる(図 3(i)(a)を除く). つまり, 地点の地震基盤が深いほど, 地盤の周期が長いほど, 波形の継続時間が長くなる傾向があると言える. 一般的な傾向として, 地震基盤が浅いほど, 地盤の固有周期が短いほど, 振幅特性の増幅は小さいことが予想され, 地盤が軟弱になるほど増幅特性は大きくなると考えられる. つまり今回の群遅延時間の平均, 標準偏差評価結果は振幅特性の傾向と調和的であり, 既往の研究成果とも一致している³⁾.

以上より, これらの傾向を適切に評価, モデル化することで, 地震観測を実施せずに, 地点の条件に応じた位相スペクトルのシミュレーションが実施出来る可能性があると考えられる. ただし今回の結果には大きなばらつきが含まれているため, 今後はこれらの原因, 影響を確認した後に, 地点毎の位相スペクトル合成方法について提案を行う予定である.

<謝辞> 本検討では, 防災科学技術研究所の K-NET, KiK-net の観測記録を使用させていただきました. 記して謝意を表します.

<参考文献> 1) 室野, 川西, 坂井: 鉄道総研報告, 2009. 2) A.パポリス: 工学のための応用フーリエ積分, 1967. 3) 澤田, 盛川, 土岐, 横山: 第 10 回日本地震工学シンポジウム論文集, 1998. 4) 佐藤, 室野, 西村: 土木学会論文集, 1999. 5) 藤原, 河合, 青井, 先名, 大井, 松山, 岩本, 鈴木, 早川: 第 12 回日本地震工学シンポジウム論文集, 2006.

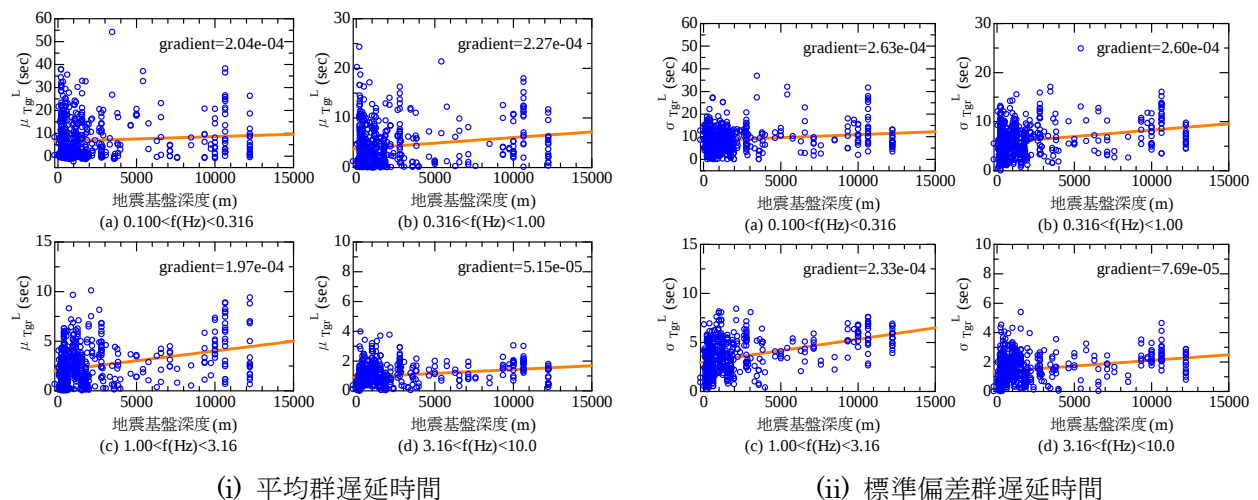


図2 地震基盤深度と群遅延時間サイト特性の関係

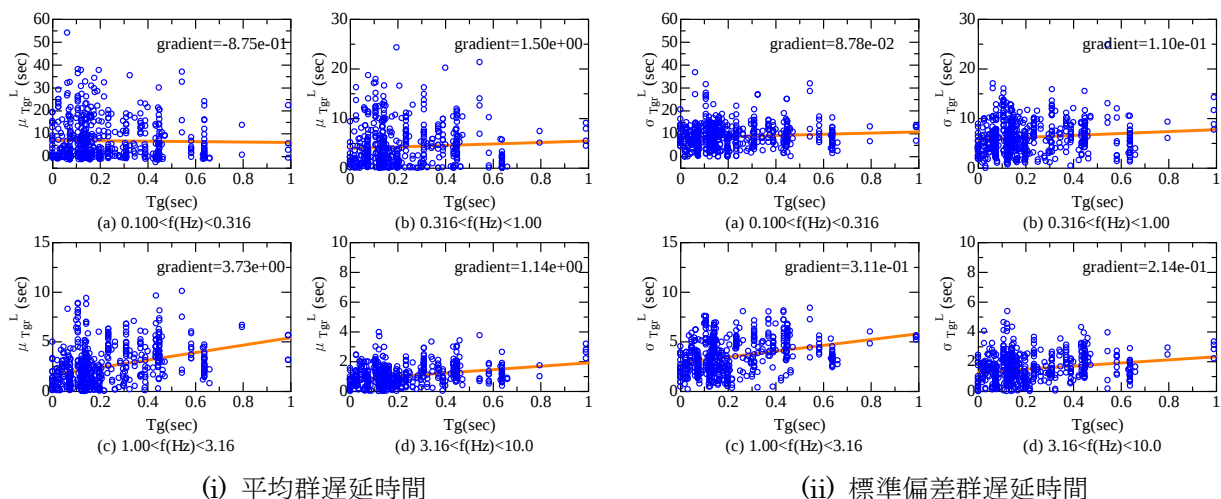


図3 地盤の固有周期と群遅延時間サイト特性の関係