

地盤の規準変位が地表面地震動に与える影響の確認

鉄道総合技術研究所 正会員 坂井 公俊
ジェイアール総研エンジニアリング 正会員 ○日野 篤志

1. はじめに 単純な振動系の弾性地震応答を算定する場合、系の固有周期と減衰が分かっているならば、1 質点系の共振曲線などによって簡易かつ高精度の評価が可能である。一方、地盤の応答解析に基づいて地表面地震動を評価する場合、複雑な地層構成をそのままモデル化した逐次非線形解析法や等価線形解析法などが実施されることが一般的である。筆者らは地盤の静的非線形解析に基づいて、地盤全体系の剛性 G ～地表面変位 δ 関係、減衰 h ～地表面変位 δ 関係を評価する方法を提案している¹⁾。そしてこの非線形性を満足するような 1 自由度モデルによって地表面応答を良好に推定できることを確認している。さらに、地盤全体系の剛性 G が初期剛性 G_0 の半分になる時の地表面変位（これを規準変位 δ_r と呼ぶ）で規準化した $G/G_0 \sim \delta/\delta_r$ 関係、 $h \sim \delta/\delta_r$ 関係は、地盤の層構成や周期によらず概ね同一の特性を示すことを指摘している。そのため地表面の地震動を評価する場合、この規準変位 δ_r は重要な指標であると考えられる。

そこで本検討では、規準変位 δ_r が地盤全体系の非線形特性を表現する指標として有効であることを確認するための試算を行う。

2. 検討手順 地盤の固有周期 T_g と規準変位 δ_r が同一で層構成が異なる多数の模擬地盤を構築する。まず、実際のボーリング結果に基づき、多様な周期特性、層構成を有する 60 地盤を選定した。各地盤では PS 検層が実施されており、速度構造や土質区分が把握されているとする。非線形特性は、GHE-S モデル²⁾ で表現することとし、各パラメータは多数の変形特性試験に基づく標準値³⁾ を使用する。以上により、固有周期、非線形特性の異なる地盤モデルが 60 個用意された。

次に、各地盤の固有周期 T_g が 0.5 秒となるように、各地盤の速度構造を調整する。この時、同一地盤の各層に乗じる係数は同一とし、地盤毎に V_s の補正倍率を算定した。続いて非線形特性については、静的非線形解析を実施することで得られる規準変位 δ_r が 1.66cm となるように、各地盤の規準ひずみを調整する。この時の補正倍率は上記同様に各地盤内で同一とし、収束計算により求めた。以上により、固有周期 $T_g=0.5s$ 、規準変位 $\delta_r=1.66cm$ となる 60 地盤が得られた。各地盤の V_s 構造を図 1 に、規準ひずみを図 2 に示す。

この全 60 地盤に対して逐次非線形解析を実施し、それぞれ地表位置の地震動を算定する。入力地震動は、鉄道基準の L2 地震動（スペクトル II）とした。また今回は速度構造を調整しているために、底面の境界条件は固定とした。以上の条件により得られた地表位置の時刻歴波形（絶対加速度、相対変位）を図 3 にまとめて示す。これより、各波形の振幅特性、経時特性はほぼ同一となっていることが分かる。その傾向は変位波形だけでなく比較的高振動数成分の影響を表した加速度波形においても同一であり、地盤の 1 次モードの剛性低下に着目した指標である規準変位 δ_r を揃えるだけで、広い周期帯の応答を調整できていることが分かる。

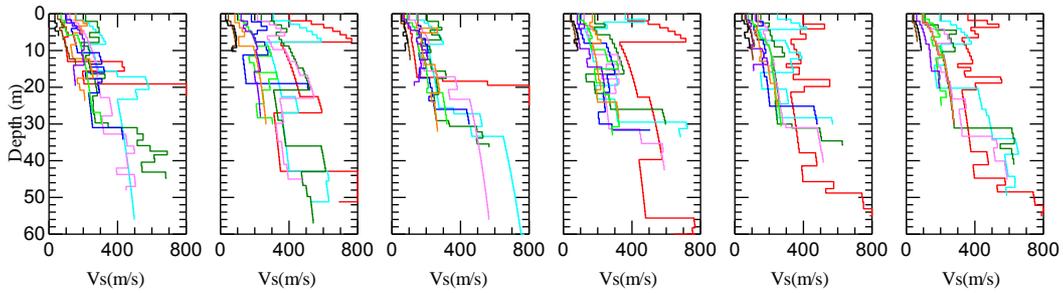
また、全波形の応答スペクトルを図 4(a) に、地盤を線形弾性体とした場合の地表面波形の応答スペクトルを図 4(b) に示す。これより、本検討において地盤は大きく非線形化していること、この場合でも応答のバラツキは非常に小さいことが分かる。また地盤を線形とした場合、周期 0.2 秒程度に存在する 2 次モード近傍で地盤毎のバラツキが大きくなっているが、地盤の非線形性を考慮した場合は、全体の減衰が大きくなったために、全周期帯で安定してバラツキが小さくなっている。

3. まとめ 本検討では、地盤全体系の非線形特性を評価する指標としての規準変位の有効性を確認するために、地盤応答解析に基づく検討を実施した。その結果、地盤の固有周期 T_g と規準変位 δ_r が分かっているならば、非線形解析によって得られる地表面応答の変動は小さく、固有周期が同一である地盤が線形挙動をした場合のバラツキと同等かそれよりも小さい周期帯も存在することを確認した。これより、地盤の地震時挙動特性を表現する指標としては、固有周期と規準変位という 2 つのパラメータを用いることが有効である。

参考文献 1) 坂井, 室野, 第 14 回日本地震工学シンポジウム論文集, 2014. 2) 室野, 野上, 第 12 回日本地震工学シンポジウム論文集, 2006. 3) 野上, 室野, 第 30 回土木学会地震工学研究発表会論文集, 2009.

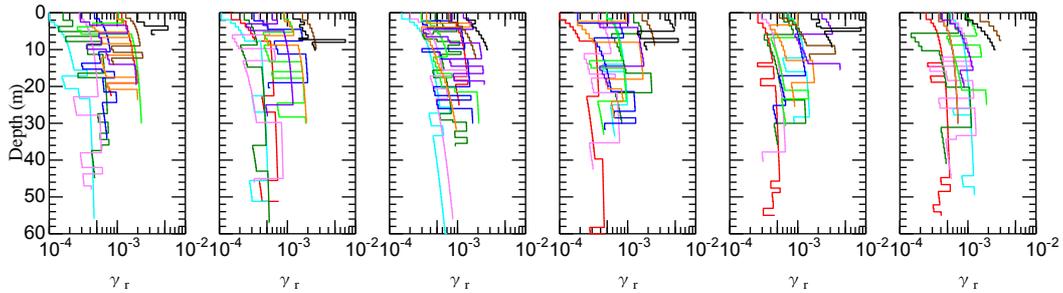
キーワード 規準変位, 固有周期, 静的非線形解析

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 株式会社ジェイアール総研エンジニアリング



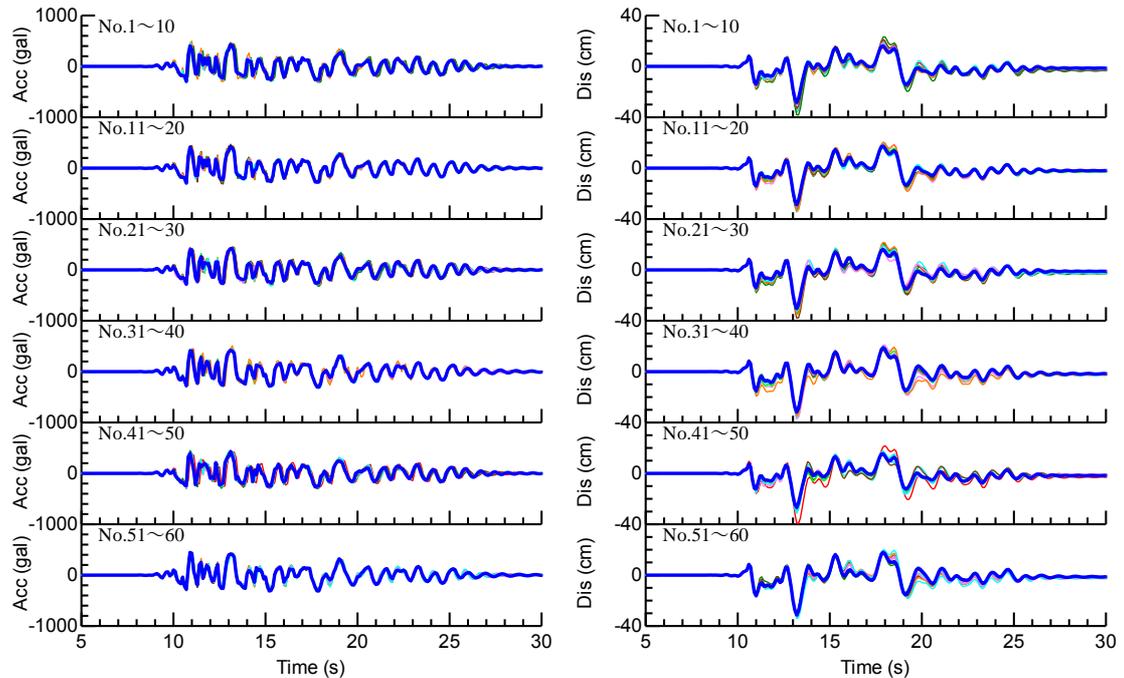
(a) No.1~10 (b) No.11~20 (c) No.21~30 (d) No.31~40 (e) No.41~50 (f) No.51~60

図1 構築した地盤の速度構造 ($T_g=0.5s$)



(a) No.1~10 (b) No.11~20 (c) No.21~30 (d) No.31~40 (e) No.41~50 (f) No.51~60

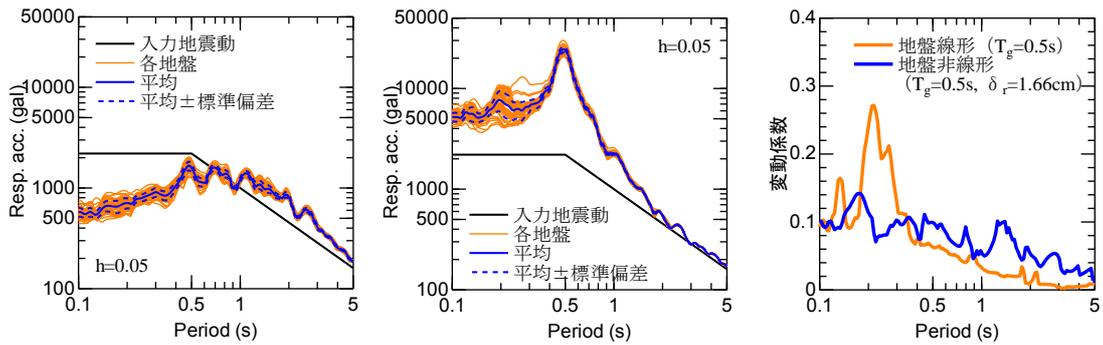
図2 構築した地盤の基準ひずみ ($\delta_r=1.66cm$)



(a) 絶対加速度

(b) 相対変位

図3 各地盤の地表面応答波形



(a) 地盤非線形の場合

(b) 地盤線形の場合

図4 地表面波形の応答スペクトル

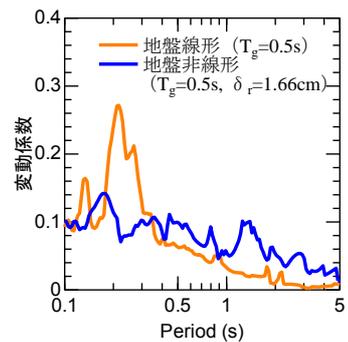


図5 変動係数