

耐震設計における地盤種別の分類に関するパラメータスタディ

中央復建コンサルタンツ(株)
(財)鉄道総合技術研究所

正会員 ○畠中 仁
正会員 室野 剛隆
正会員 桐生 郷史
正会員 川西 智浩

1. はじめに

現行の鉄道基準¹⁾における耐震設計上の地盤種別は、地盤の初期剛性に基いて算定される固有周期により区分されている。しかし、地盤の地震時応答に影響を及ぼす要因には、地盤の固有周期だけでなく様々な要因が存在すると推測される。既往の研究²⁾においては、入力レベルが小さい場合はひずみレベルが小さいため、地盤の初期剛性が応答値に影響を与えるが、入力レベルが大きい場合は土の非線形化が進むため、土のせん断強度の影響が大きいことが指摘されている。そこで本論文では、層構成の異なる表層地盤モデルに対して逐次非線形解析を行い、地盤の地震時応答に影響を及ぼす要因について検討を行った。また、耐震設計上の地盤種別を判定する新たな指標について検討を行った。

2. 解析方法

本検討では、層構成の異なる 30 地点の地盤データについて逐次非線形解析を行った。図-1 に解析対象地盤のせん断波速度分布を示す。各解析ケースについては、式(1)により地盤の固有周期を算出し、現行の鉄道基準の地盤種別で分類している。図-1 には、砂質土、粘性土、砂礫土の 3 つに区分した土質構成も示している。

土の非線形モデルには RO モデルを用い、基準ひずみ γ_r 、最大減衰定数 h_{max} 等の土質物性値は、土質別に表-1 のように設定した。 γ_r は既往の調査結果を参考に、各土質で違いが明確になるように設定した。拘束圧依存は考慮していない。粘性減衰は 3%とした。入力地震動は、鉄道標準の標準波（スペクトルⅡ，G1）とし最大加速度は 750gal とした。

3. 解析結果

解析結果として、図-2 に G2 地盤、G3 地盤の地表面加速度応答スペクトル比を示す。地表面加速度応答スペクトル比は、地表面での加速度応答スペクトルを基盤面での加速度応答スペクトルで除したものである。図-2 から、同じ地盤種別においても地表面の加速度応答に大きな差異があることが分かる。

表-1 土質物性値

	基準ひずみ γ_r	最大減衰定数 h_{max}	単位体積重量 γ せん断波速度 V_s
砂質土	0.0001	0.3	地盤データより 算出
粘性土	0.001	0.2	
砂礫土	0.0005	0.25	

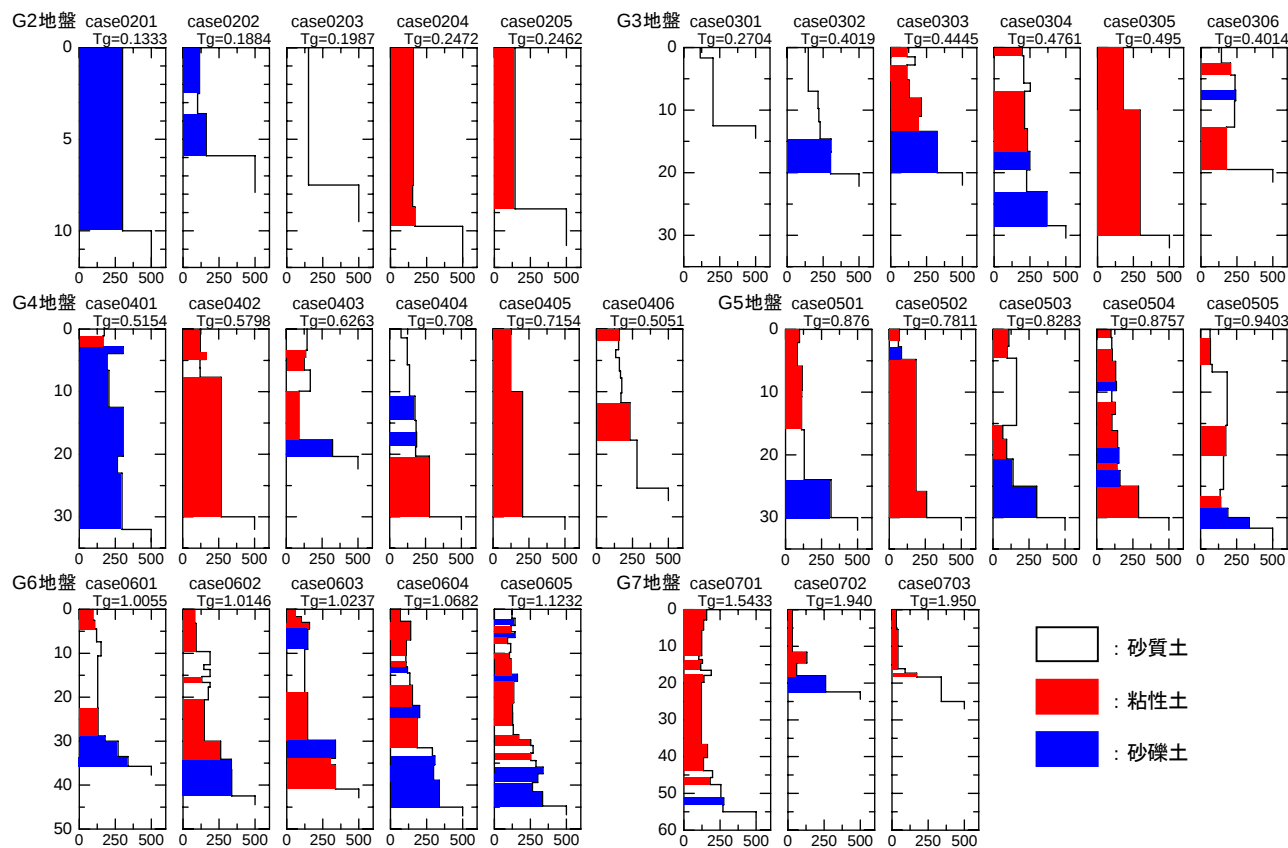


図-1 表層地盤のせん断波速度分布図（縦軸：深さ(m)，横軸：せん断波速度(m/s)）

キーワード
連絡先

地盤種別、地盤の地震時応答、土のせん断強度
〒103-0011 東京都中央区日本橋大伝馬町 2-11

中央復建コンサルタンツ株式会社 TEL03-3669-1617

この差異については、表層地盤における土質構成の違いが大きな要因であると考えられる。図-1に示す土質構成を見ると、G3地盤の解析ケース（case0301～0306）では、地表面加速度応答スペクトル比の大きい case0303, case0305 で粘性土の割合が大きく、地表面加速度応答スペクトル比が小さい他のケースでは、砂質土の割合が大きい。

砂質土層は、表-1に示すように他の土層よりも小さい基準ひずみが設定されているため、せん断波速度が同値であってもせん断強度は小さくなり、他の土層より非線形化しやすい層となる。よって、表層地盤に砂質土層がある場合は、砂質土層で非線形化が集中することとなる。つまり、せん断強度が小さく非線形化しやすい層の有無およびその層厚が、地表面加速度応答に対して大きな影響を及ぼすものと考えられる。

4. 地盤種別の判定指標について

図-3上に地表面加速度と地盤の固有周期（ T_g ）の相関関係を示す。地盤の固有周期が大きくなるにしたがい、地表面加速度が小さくなるという相関がある。しかし、同程度の固有周期（同じ地盤種別）において、地表面加速度には大きなばらつきが見られる。このばらつきは、上述したように、非線形化しやすい層の有無により生じていると考えられる。

ここで、地盤の固有周期に土のせん断強度の概念を導入することによる新たな地盤種別の判定指標について検討した。

土のせん断強度 τ_{max} は、式(2)に示されるようにせん断波速度 V_s の二乗に比例する。そこで、 $V_s \propto \sqrt{\tau_{max}}$ として、地盤の固有周期算出式（式(1)）に導入することにより定式化される指標 α を新たな判定指標として提案した（式(3)）。図-3下に地表面加速度～指標 α の相関関係を示すが、地盤の固有周期よりも地表面加速度に対する相関性は高い。また、図-4に指標 α の大きさで4つに区分した地表面加速度応答スペクトル比を示す。地表面加速度応答スペクトル比は、 $\alpha < 3.5$ では多少ばらつきが見られるが、 $\alpha \geq 3.5$ では指標 α により精度良く区分されていることが分かる。

5. おわりに

層構成の異なる30地点の地盤データについて逐次非線形解析を行った結果、地表面加速度応答については、土のせん断強度が小さい層の有無およびその層厚が大きな影響を及ぼしていることが分かった。また、新たな地盤種別の判定指標について検討を行った結果、地盤の固有周期に土のせん断強度の概念を導入した判定指標が、地盤種別判定の精度向上に寄与する可能性があることが分かった。今後は、このような検討の蓄積を行い、新たな判定指標の適用範囲等について検討を行う。

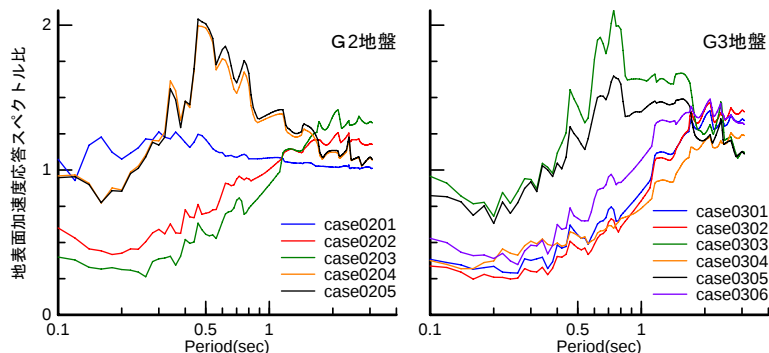


図-2 地表面加速度応答スペクトル比

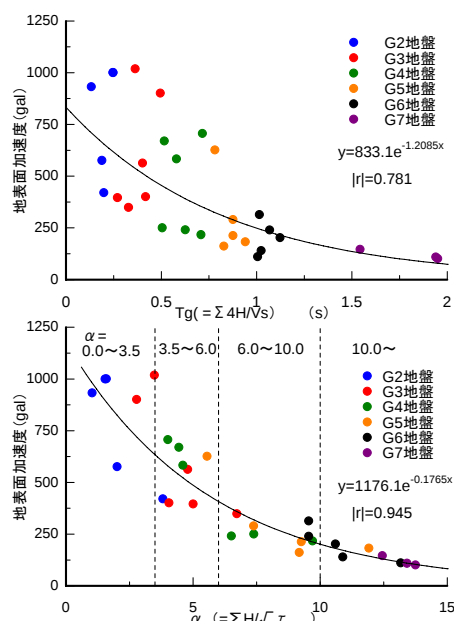


図-3 地表面加速度～各指標の関係
上：地盤の固有周期，下：指標 α

$$T_g = 4 \times \sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s_i}} \quad \text{—式(1)}$$

$$\tau_{max} = G \cdot \gamma_r = \rho \cdot V_s^2 \cdot \gamma_r \quad \text{—式(2)}$$

$$\alpha = \sum_{i=1}^N \frac{h_i}{\sqrt{\tau_{max_i}}} \quad \text{—式(3)}$$

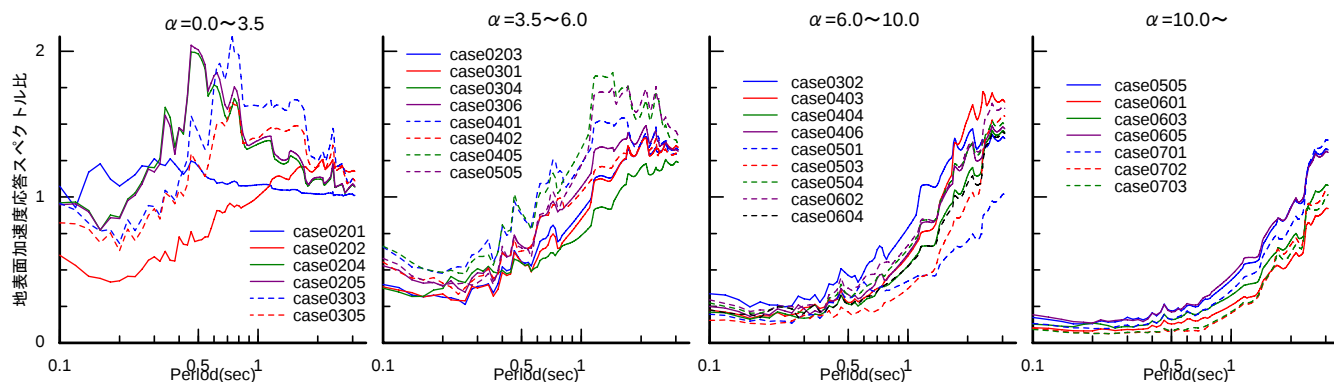


図-4 指標 α で分類した地表面加速度応答スペクトル比

参考文献：1) (財)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, 1999 2) 末富, 澤田, 吉田：地震動上限値と地盤のせん断強度の関係に関する一考察, 第34回地盤工学研究発表会, pp1963-1964, 1999