

土質区分毎の非線形性の違いを考慮した地盤種別の分類

(財) 鉄道総合技術研究所	正会員	○川西 智浩
(財) 鉄道総合技術研究所	正会員	室野 剛隆
(財) 鉄道総合技術研究所	フェロー会員	佐藤 勉
中央復建コンサルタンツ株式会社	正会員	畠中 仁

1. はじめに

現行の鉄道の耐震設計標準¹⁾(以下、耐震標準)では、耐震設計上の地盤種別は、地盤の初期剛性に基づいて算出される固有周期により区分されている。入力地震波のレベルが大きくなると、地盤の非線形化に伴い剛性が低下するが、剛性低下の度合いは粘性土と砂質土で異なるため、同じ地盤種別に属する地盤であっても実際に動的解析を実施すると、地表面の弾性加速度応答スペクトルに大きな差が生じる場合がある。そこで本研究では、土質区分毎の非線形性の影響を考慮した地盤の固有周期を定義し、その周期を用いた地盤種別の分類とその精度について検討した。

2. 地盤の動的解析

計 60 ケースの実地盤に対し、耐震標準に示されている L2 地震動スペクトルⅡ (G1 地盤用) を入力し、地盤の各層を約 1m 毎のサブ層に分割して 1 次元逐次非線形動的解析を実施した。地盤の非線形構成則としては RO モデル²⁾を用い、土の変形特性モデルとしては安田・山口の式³⁾を採用した。このとき、平均粒径 D_{50} と最大減衰定数 h_{max} は土質区分毎に表 1 に示す値を用い、粘性減衰定数は 3% とした。

表 1 平均粒径 D_{50} と最大減衰定数 h_{max}

土質区分	$D_{50}(\text{mm})$	h_{max}
粘性土	0.025	0.20
砂質土	0.15	0.30
砂礫	2.0	0.35

3. 地盤の等価周期の算定方法

耐震標準では、(1)式で示す地盤の固有周期 T_g を用いて、地盤種別の区分を行っている。

$$T_g = 4 \times \sum_{i=1}^N \left(\frac{h_i}{V_{s0di}} \right) \quad (1)$$

ここで、 h_i : 各土層 (第 i 層) の層厚(m), V_{s0di} : 各土層 (第 i 層) の設計初期せん断弾性波速度(m/s)であり、地盤の剛性低下の影響を考慮しない初期の固有周期を用いている。これに対し本研究では、入力地震波が大きい場合に地盤が非線形化する影響を考慮した地盤の固有周期を「等価周期」と定義し、(2)式で算定することとした。

$$T_{geq} = 4 \times \sum_{i=1}^N \left(\frac{h_i}{\eta_g \times V_{s0di}} \right) \quad (2)$$

ここで、 η_g はせん断弾性波速度の低下率であり、土の非線形性 ($G \sim \gamma$ 関係) に関係する指標である。土の $G \sim \gamma$ 関係は土質区分や拘束圧に依存するが、拘束圧が深さと比例関係にあり、また深さとせん断弾性波速度が密接な関連にあることから、本研究では土質区分 (粘性土・砂質土・砂礫) および初期のせん断弾性波速度に応じて各土層をグループ分けし、以下の手順に従って各グループの η_g を設定することとした。

- ・ 実地盤 60 ケースの最大せん断ひずみにおける剛性低下率 G/G_0 をサブ層毎に算出する。
- ・ 地盤の剛性 G とせん断弾性波速度 V_s との間には $G = \rho \cdot V_s^2$ の関係があるので、 $\sqrt{G/G_0}$ が V_s の低下率 (以下、 η と表記) となる。この値 η をサブ層毎に算出する。
- ・ グループ毎に η の平均値 μ を算定し、 μ の値に基づいて各グループの η_g を設定する。

各グループにおける μ の計算結果とそれに基づく η_g の設定値を表 2 に示す。粘性土の方が砂質土や砂礫に比べて μ が大きく、また初期 V_s が大きくなるほど μ が大きくなっている。一般に粘性土の場合や拘束圧が大きい場合に土が非線形化しにくくなる傾向があり、今回の計算結果はその傾向と整合している。

表 2 平均値 μ の算定結果および η_g の設定値

グループ	土質区分	V_s	μ	η_g
1	粘性土	200m/s未満	0.497	0.5
2	砂質土	200m/s未満	0.382	0.35
3	砂礫	200m/s未満	0.243	0.2
4	粘性土	200m/s以上	0.582	0.6
5	砂質土	200m/s以上	0.423	0.4
6	砂礫	200m/s以上	0.406	0.4

キーワード 耐震設計, 地盤種別, 土質区分, 固有周期

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 TEL 042-573-7394 FAX 042-573-5326

4. 地盤種別の分類と精度の検証

ここでは、(2)式と表2に示した η_g を用いて算定される地盤の等価周期 T_{geq} を用いて地盤種別の分類を行う。試算に用いる地盤種別の区分を表3に示す。現行の耐震標準では地盤種別の数は8種類であり、これに対して今回の試算では地盤種別の数を1種類少なくして計7種類としている。

2. で動的解析を実施した計60ケースの実地盤を、表3で示した各地盤種別に分類し、地表面波の弾性加速度応答スペクトルを算定した結果を図1に示す。ここでは一例として、Gn2地盤とGn5地盤の結果を示している。弾性加速度応答スペクトルの形状が似ている地盤が、同じ地盤種別に集約されていることがわかる。

次に、各地盤種別に属する実地盤の地表面弾性加速度応答スペクトルの変動係数を求めた。現行の地盤種別に対しても同様の整理を行い、地盤の固有周期から概ね対応する地盤種別の変動係数を比較することで、地盤種別の精度について検証した。その結果を図2に示す。地盤種別の数を1種類少なくして周期範囲を粗く設定したにもかかわらず、 T_{geq} の値による地盤種別の方が変動係数が小さくなる傾向にあり、地盤の等価周期 T_{geq} を用いることで、よりばらつきの少ない地盤種別を設定することが可能であることがわかった。

5. まとめ

土質区分によって土の非線形性が異なる影響を地盤種別の設定に反映できるようにするため、地盤の等価周期 T_{geq} を用いた地盤種別の分類方法とその精度について検討を行った。今後は、できるだけ合理的に地盤種別を分類できるよう、 T_{geq} の区分や適用範囲、さらに複数の設計用地震波が存在して土の非線形化の度合いが異なる場合などについて検討を進める予定である。

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) 龍岡文夫，福島伸二：砂のランダム繰り返し入力に対する応力～歪関係のモデル化について(1)，生産研究 30 巻 9 号，pp.356-359，1978. 3) 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，pp.539-542，1985.

表 3 試算に用いた地盤種別の区分

T_{geq} (sec)	地盤種別
— (岩盤)	G0 地盤 <耐震標準と同じ>
— (基盤)	G1 地盤 <耐震標準と同じ>
~0.8	Gn2 地盤
0.8~1.4	Gn3 地盤
1.4~2.2	Gn4 地盤
2.2~3.0	Gn5 地盤
3.0~	Gn6 地盤

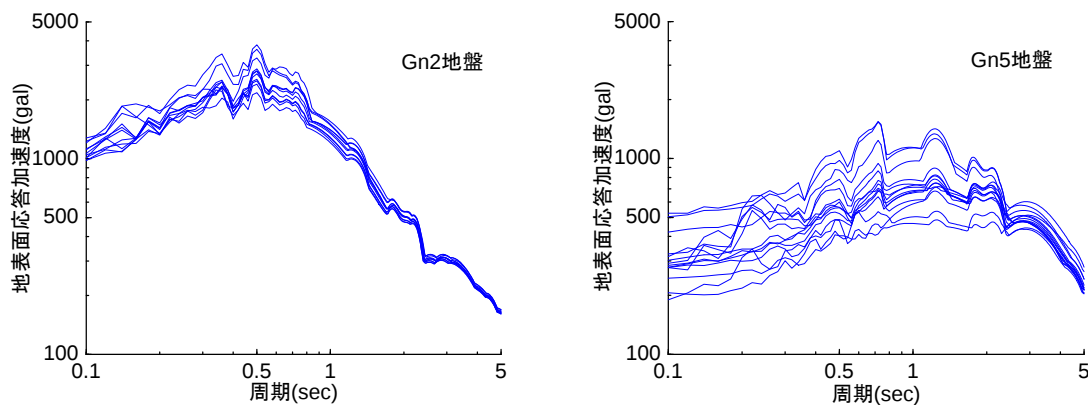


図 1 地表面弾性加速度応答スペクトルの算定結果

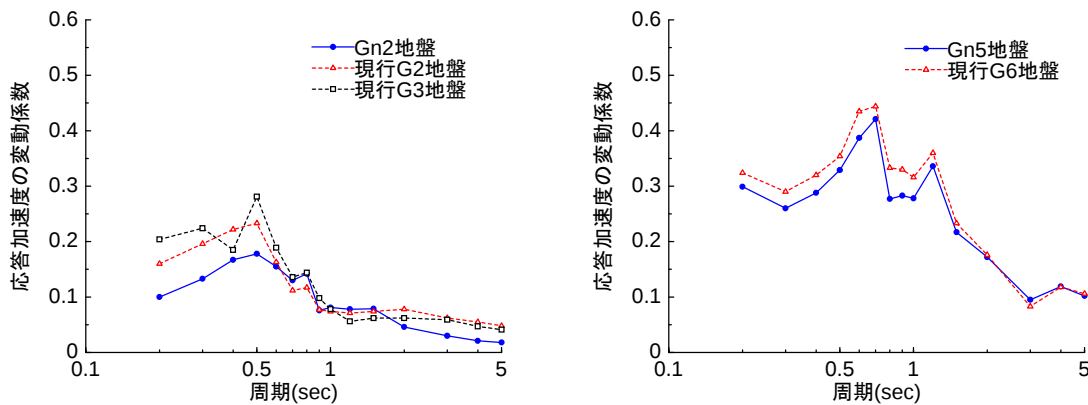


図 2 地表面弾性加速度応答スペクトルの変動係数の比較