

同等の固有周期で異なる地盤強度比を有する表層地盤に関するハイブリッド地盤応答試験

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○山本 昌徳 井澤 淳

1. はじめに

鉄道構造物等設計標準 耐震設計（以降、耐震標準）では、地表面設計地震動の実務的な設定手法として地盤の固有周期 T_g に基づく地盤種別に応じた地表面設計地震動の弾性加速度応答スペクトル（以降、標準スペクトル）およびその適合波を用いてよいこととしている。ただし、 T_g が 1.0 秒以上の軟弱地盤では標準スペクトルの算定に用いる多数の軟弱地盤の動的解析から得られる地表面の弾性加速度応答スペクトルに大きなばらつきがみられることから、地表面設計地震動の弾性加速度応答スペクトルを標準スペクトルが設定されておらず、全地点で地盤の動的解析を実施する必要がある。一方、坂井ら¹⁾は地盤全体系の強度を示す指標として地盤強度比 K_f を用いたばらつきの小さいスペクトル分類の可能性を示している。本稿では、 T_g が同程度で、 K_f が異なる地盤に対してハイブリッド地盤応答試験²⁾（以降、ハイブリッド試験）を実施し、 K_f を用いた地表面地震動評価の妥当性を検討した。

2. ハイブリッド地盤応答試験による検証

2.1 軟弱層の設定

ハイブリッド試験では、1つの軟弱層を有する T_g の異なる2地盤（それぞれ耐震標準に示す G3 地盤および G6 地盤に該当）を想定し、軟弱層の深度を変えることで T_g が同程度で K_f の異なる地盤を設定した。軟弱層にはカオリン粘土を用いることとした。図 1(a)にカオリン粘土のせん断弾性波速度と圧密応力の関係（ $V_s \sim \sigma_c$ 関係）を示す。これは三軸試験装置内で段階的に等方圧密応力を増加させながら、圧密圧力 20kPa 刻みでベンダーエレメントにより V_s を計測した結果である。予備検討において正規圧密状態で供試体作製が可能な最小圧密応力が 40 kPa であったことから、軟弱層の圧密圧力を 40kPa に設定した。図 1(b)に中空ねじりせん断試験装置を用いて $\sigma_c = 40$ kPa で実施した単調載荷試験から得られるせん断応力とせん断ひずみの関係（ $\tau \sim \gamma$ 関係）を示す。試験結果より、 K_f 算出には $V_s = 140$ m/s、せん断強度 $\tau_f = 15$ kPa を用いた。ハイブリッド試験では、供試体作製モールドで一次元圧密（上載圧 40 kPa）をした供試体をハイブリッド試験装置に設置し、40 kPa の等方状態で圧密した後、非排水状態で各ケースの軟弱層位置の拘束圧を載荷後、試験を実施した。

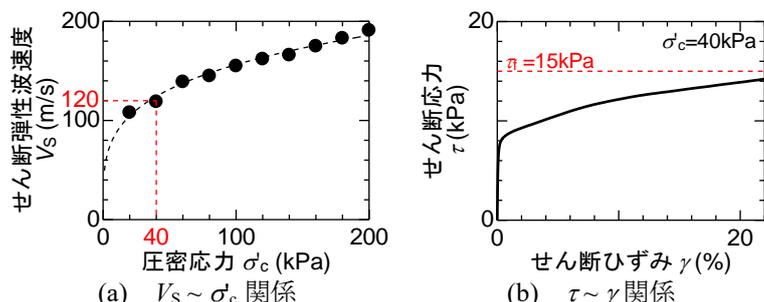


図 1 カオリン粘土の室内要素試験結果

2.2 妥当性の検証

(1) G3 地盤

図 2 に G3 地盤を想定した地盤 ($T_g = 0.40 \sim 0.45$ s) の地層構成を示す。軟弱層の深度を 1~3, 5~7, 12~14 m の 3 通りとし、その他の層は $V_s = 200$ m/s の一様層（せん断強度は深度方向に単調増加）とした。図 2 中に示すように T_g は 0.40~0.45 秒とほぼ同等であるのに対して、 K_f は軟弱層の深度が浅いケースから 14.7, 3.4,

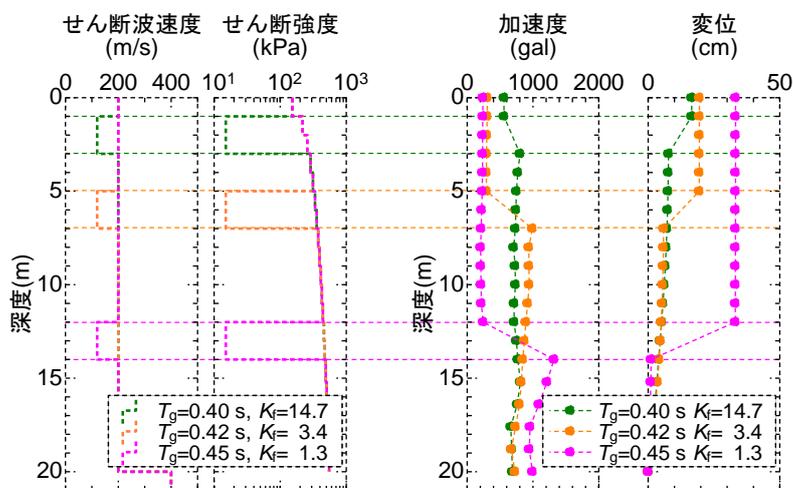


図 2 ハイブリッド試験に用いた地盤 (G3 地盤)

図 3 ハイブリッド試験の最大値応答分布 (G3 地盤)

キーワード 地盤強度比, 地盤応答解析, 地表面地震動

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7394

1.3 と大きく異なる。図 3 にハイブリッド試験で得られた最大値応答分布を示す。軟弱層で加速度が急激に低下するとともに変位が増加しており、この傾向は軟弱層の深度が深いほど顕著である。図 4 に地表面加速度および弾性加速度応答スペクトルを示すが、 T_g が同等であっても K_f が大きいほど、大きな地表面の応答を示していることが分かる。

(2) G6 地盤

図 5 に G6 地盤を想定した地盤 ($T_g = 1.0$ s) の地層構成を示す。軟弱層の深度を 4~6, 12~14 m の 2 通りとし、その他の層は $V_s = 150$ m/s の一様層とした。図 6 にハイブリッド試験で得られた最大値応答分布を示す。(1) 項と同様、軟弱層が深部に位置する地盤は、軟弱層で加速度が大幅に低下し、変位が大幅に増加している。図 7 に地表面加速度および弾性加速度応答スペクトルを示す。G6 地盤に該当する地盤においても、 K_f により地表面加速度の最大値および弾性加速度応答スペクトルの大小関係の評価が可能であることが分かる。

3. まとめ

本稿では、固有周期が同程度で、地盤強度比が異なる地盤に対してハイブリッド地盤応答試験を実施し、地盤強度比を用いた地表面地震動評価の妥当性を検討した。その結果、 K_f により地表面加速度の最大値および弾性加速度応答スペクトルの大小関係の評価が可能であることが分かった。今後は、様々な地層構成の地盤を対象とした検討を進めていく。

参考文献

1) 坂井ら：地盤の等価 1 自由度モデルを用いた非線形動的解析法の提案，土木学会論文集 A1 (構造・地盤工学)，Vol. 71, No. 3, pp. 341-351, 2015. 2) 鈴木ら：ハイブリッド地盤応答試験による土の変形特性試験方法の検討，第 53 回地盤工学研究発表会，2018.

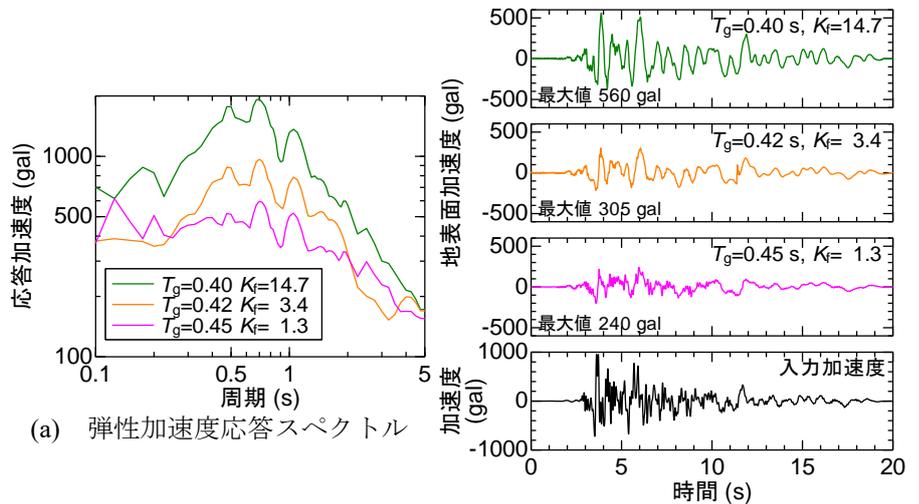


図 4 T_g が同程度で K_f が異なる地盤のハイブリッド試験結果 (G3 地盤)

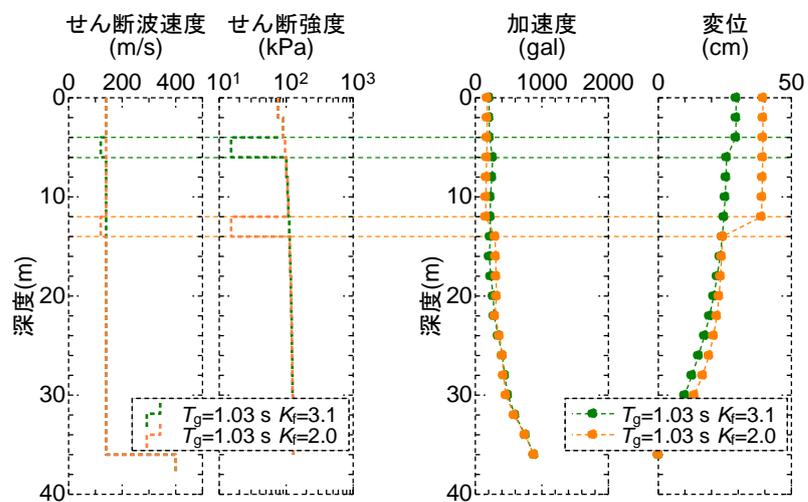


図 5 ハイブリッド試験に用いた地盤 (G6 地盤)

図 6 ハイブリッド試験の最大値応答分布 (G6 地盤)

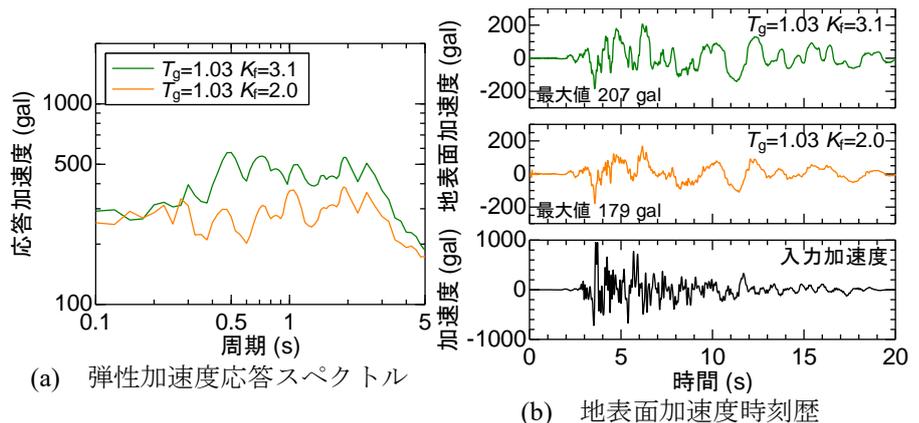


図 7 T_g が同程度で K_f が異なる地盤のハイブリッド試験結果 (G6 地盤)