

鉄道盛土の下に堆積している腐植土の動的変形特性

腐植土 せん断剛性率 地震応答解析

東日本旅客鉄道(株) 正会員 ○平野 光孝
 東京大学生産技術研究所 国際会員 古関 潤一
 (株)複合技術研究所 国際会員 佐藤 剛司
 (株)複合技術研究所 正会員 三平 伸吾

1. はじめに

鉄道盛土の下に堆積している谷底低地の腐植土層の地震時挙動を把握するため、地盤調査、室内動的変形特性試験、地震応答解析を実施した。室内試験では、シンウォールサンプリングで採取した乱さない試料の非排水繰返し三軸試験を実施し、せん断剛性率 G と履歴減衰率 h のひずみ依存性を評価した。この試験結果を用いて地震応答解析を行い、腐植土層の地震動増幅特性を算定した。さらに、初期せん断剛性のみ原位置の PS 検層から求めた値に変更した地震応答解析も実施し、解析結果を比較した。

2. 試料の基本物性

本研究に用いた試料は、さいたま市浦和区の鉄道盛土部からシンウォールサンプリングで採取した乱さない試料である。図-1 に試料採取地点の断面図を示す。更新世の東京層と大宮層の上に腐植土層が約 6m 堆積し、その上に盛土層があり、現地表面からの高さ 6m の鉄道盛土が構築されている。ボーリング位置の孔口高さを $GL=0$ と定義する。試料の物理的特性を表-1 に示す。自然含水比は 325.7 % と高含水比である。また、表-2 に採取深度ごとの強熱減量 Li (%) と分解度 H (%) を示す。強熱減量については、 $GL-10.3$ 、 -10.6 m では 80%以上と有機質分の含有量が多いが、 $GL-13.0$ 、 -13.4 m では 10%程度となっている。また、分解度については、 $GL-10.3$ 、 -10.6 m に比べて、 $GL-13.0$ 、 -13.4 m では 90%以上と有機質物の分解が進んでいることがわかる。このように同じ腐植土層でも強熱減量、分解度に大きな違いが見られた。

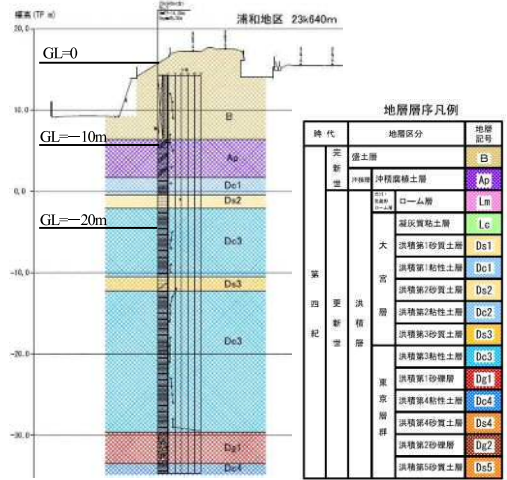


図-1 試料採取地点断面図

表-1 試料の物理的特性

湿潤密度	乾燥密度	土粒子密度	自然含水比	間隙比
ρ_s (g/cm ³)	ρ_d (g/cm ³)	ρ_s (g/cm ³)	W_n (%)	e
1.083	0.826	1.549	325.7	5.096

表-2 試料の強熱減量、分解度

深度 (m)	$GL-10.3$	$GL-10.6$	$GL-13.0$	$GL-13.4$
強熱減量 Li (%)	84.2	85.1	10.0	11.1
分解度 H (%)	72.8	60.1	90.2	93.7

3. 試験方法

動的変形特性を求めるために、非排水繰返し三軸試験 (JGS0542) を実施した。乱さない試料は、直径 75mm、高さ 150mm の円柱供試体に成形し、原位置は地下水位以下のため、試料は 2 重負圧法により飽和させた。圧密終了後、一定ひずみ振幅で 11 サイクルの载荷を行い、10 サイクル目の履歴曲線の除荷点を結んでせん断剛性率 G を、履歴曲線の囲む面積から履歴減衰率 h を計算し、微小ひずみレベルでのせん断剛性率 G_0 と軸ひずみから算定した 45 度面上でのせん断ひずみを用いて、 $G/G_0 \sim \gamma$ 関係と $h \sim \gamma$ 関係として整理した。軸ひずみは、 $1E-5$ 、 $2E-5$ 、 $5E-5$ 、 $1E-4$ 、 $2E-4$ 、 $5E-4$ 、 $1E-3$ 、 $2E-3$ 、 $5E-3$ 、 $1E-2$ 、 $2E-2$ 、 $5E-2$ 、 $1E-1$ と段階的に上げていき、ステージテストを実施した。また、各ステージ間では過剰間隙水圧を消散させるため、排水を実施した。

4. 試験結果

図-2 に応力～ひずみ関係の例を示す。左が採取位置 $GL-10.6$ m (強熱減量 85.1%、分解度 60.1%)、右図が採取位置 $GL-13.0$ m (強熱減量 10.0%、分解度 90.2%) のものである。このように有機質分の割合と分解度の違いにより大きく異なる形状を示した。 $GL-10.6$ m の試料はひずみが大きくなっても紡錘型に近い形状を保っているのに対し、 $GL-13.0$ m の

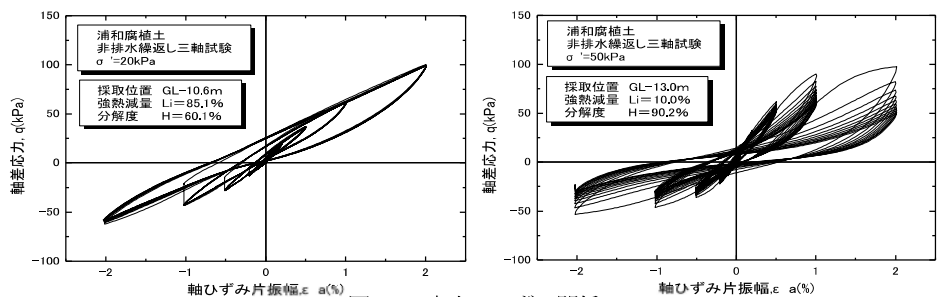


図-2 応力～ひずみ関係

試料はひずみが大きくなっても紡錘型に近い形状を保っているのに対し、 $GL-13.0$ m の

試料は、ひずみが大きくなると紡錘形状は崩れた。このことから、有機質分が多く分解が進んでいないほど、応力～ひずみ関係は紡錘形状を示すといえる。

図-3に $G/G_0 \sim \gamma$ 関係、図-4に $h \sim \gamma$ 関係を示す。比較のために北海道泥炭、Sherman Island、東京上池台の結果¹⁾も示している。浦和腐植土の $G/G_0 \sim \gamma$ 、 $h \sim \gamma$ 関係は、これらの既往の研究と同様の傾向となった。浦和腐植土のうち、強熱減量が低く分解度の高い2試料については、 G/G_0 が $\gamma=2E-4$ の付近から急激に低下している。理由としては、腐植分が少ないため、粘土やシルトに近い挙動をしていると考えられる。また、浦和腐植土のうち強熱減量が高く分解度の低い2試料については、他の腐植土に比べてせん断ひずみの増加に伴う G/G_0 の低下は起こりにくく、履歴減衰率も大きくなりやすかった。

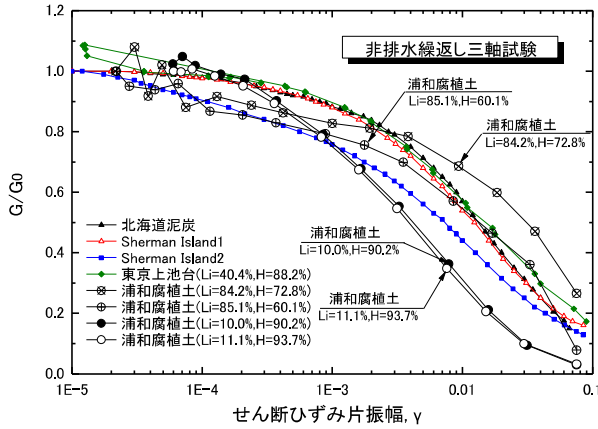


図-3 $G/G_0 \sim \gamma$ 関係

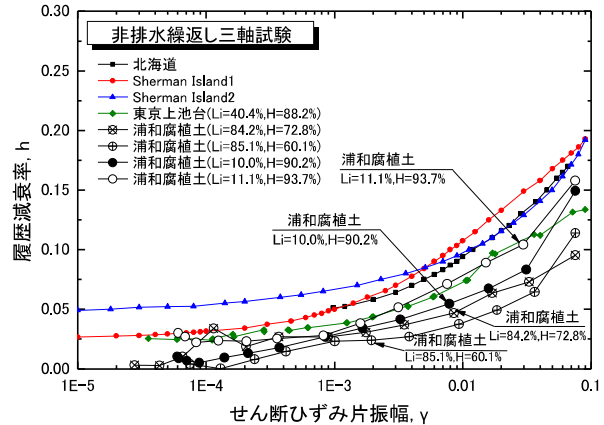


図-4 $h \sim \gamma$ 関係

5. 室内試験と PS 検層の結果を用いた地震応答解析の比較

図-5は、室内試験結果と原位置で計測したPS検層によるせん断剛性率 G を比較したものである。PS検層による G のほうが、室内試験による G_0 より値が大きくなった。これは、試料の乱れが影響していると考えられる。本研究では以下の2通りについて、鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)²⁾の基盤波形(スペクトルII)を入力地震動として、一次元等価線形解析による地震応答解析を実施した。

- (1) G_0 はPS検層を使って、 G/G_0 、 $h \sim \gamma$ 関係に室内試験結果を適用
- (2) 全て室内試験結果を適用 (PS検層結果は考慮しない)

解析モデルは図-1に示した浦和の断面とする。室内試験結果は、採取地点GL-10.6mの試料の結果を用いた。

解析結果を図-6に示す。絶対応答加速度は両者ともあまり差はなく、腐植土層での地震増幅は見られなかった。相対応答変位については大きな差が見られ、 G_0 にPS検層を用いた解析の方が、室内試験結果より相対応答変位が小さくなり、試料の乱れの影響が地震応答解析にも影響しているといえる。せん断ひずみについては、腐植土層下面で顕著なせん断ひずみの増加が見られた。

6. まとめ

鉄道盛土下に堆積している谷底低地の腐植土層の動的変形試験を実施し、強熱減量と分解度の違いが腐植土のひずみ依存性に大きく影響を与えることが分かった。この試験結果を用いて地震応答解析を行った結果、今回の浦和の断面においては、腐植土層での地震増幅は見られなかったが、せん断ひずみは部分的に大きくなる事が分かった。また、初期せん断剛性のみ原位置のPS検層から求めた値に変更した地震応答解析を実施した結果、相対応答変位に大きな差が見られた。試料の乱れを考慮すると原位置でPS検層を実施することが望ましいと考えられる。

参考文献

- 1) 堤千花・石原研而・國生剛治・石田寛和：高有機質土の動的変形特性に関する研究，土木学会第58回年次学術講演会，III-084，pp. 167-168，平成15年9月
- 2) 国土交通省鉄道局 監修 鉄道総合技術研究所 編：鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)，平成24年9月

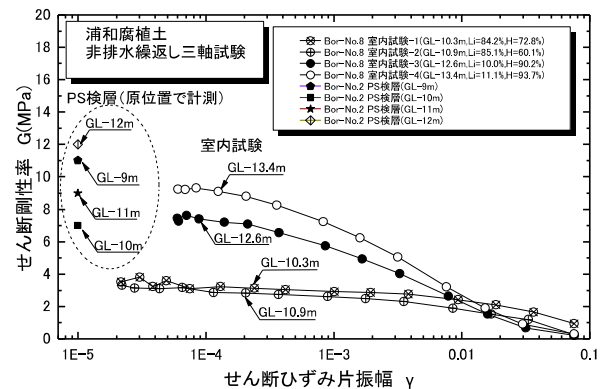


図-5 室内試験とPS検層の比較

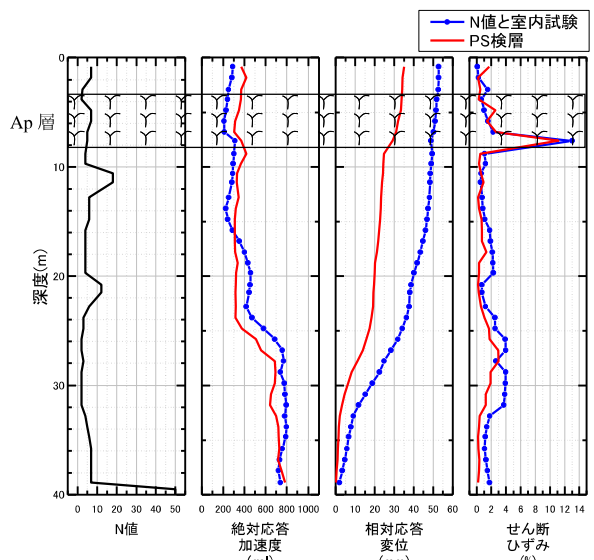


図-6 室内試験とPS検層の解析結果比較