

## 液状化地盤のL2地震動による沈下量予測について

東洋建設（株） 正 小竹 望 正 北出 圭介  
 東洋建設（株） 正 八田 直治 正 横川 博文  
 日本鉄道建設公団 正 青木 一二三 正 米澤 豊司  
 日本鉄道建設公団 畑 英一 松雪 光明

### 1. はじめに

盛土構造物のL2地震動に対する要求性能を損傷度レベルにより規定する設計においては、盛土基礎地盤の地震による沈下量を予測し、許容沈下量を満足しない場合には地盤改良などの検討が必要になる。本報告では、L2地震動によって液状化すると判定される砂質地盤について、液状化による沈下量、揺すり込みによる沈下量の予測結果を比較し、ひずみ量の観点から考察した。

### 2. 地盤条件

検討対象は延長約600mの補強盛土区間であり、地盤条件は以下に2分される。a) GL-20m付近までN値10~15以下の緩い砂質土層からなる区間、b) シラス層が主体の地盤であり、上部に緩い2次シラスが堆積する区間。地下水位は高い箇所ではGL-2.0m付近である。上記の2区間における代表的な地点-A, Bにおける土質柱状図と累積損傷度理論に基づく液状化判定結果(耐震標準<sup>1)</sup>)をそれぞれ図-1に示す。L1地震動に対して液状化抵抗率 $F_L > 1.0$ である。L2地震動に対しては、地点-AではGL-20mまで $F_L < 1.0$ (液状化指数 $P_L = 41.7$ )、地点-BではGL-15m付近まで $F_L < 1.0$ (液状化指数 $P_L = 27.7$ )であり、地盤全体が液状化すると判定された。なお、シラスの土質定数は既往資料<sup>2)</sup>に基づいてN値から設定した。

### 3. 地盤沈下量の予測法

表-1 液状化地盤の沈下量予測法

分類	方法	凡例
液状化による沈下	Ishihara & Yoshimineの方法	
	Tokimatsu & Seedの方法	
揺すり込み沈下	地盤変形モードを用いる簡易法	
	地震応答解析(SHAKE)による方法	

表-1に示す方法で液状化地盤の沈下量を予測した。

#### 1) 液状化による沈下量

液状化による地盤沈下量を以下の2種の方法により算定した。a) Ishihara & Yoshimineの方法<sup>3)</sup>: 室内試験から得られた液状化抵抗率 $F_L$ ~砂の相対密度 $D_r$ ~体積ひずみ $\epsilon_v$ の関係から沈下量を予測、b) Tokimatsu & Seedの方法<sup>4)</sup>: 既往地震での沈下量実測値に基づきN値~せん断応力比 $\tau/\sigma'_v$ ~体積ひずみ $\epsilon_v$ の関係から沈下量を予測。ここで、 $F_L$ 値および $\tau/\sigma'_v$ は、累積損傷度理論に基づいて算定した。

#### 2) 揺すり込みによる沈下量

揺すり込みによる地盤沈下量 $S_g$ は、地震時のせん断変形によって地震前の初期変形係数 $E_{bef}$ が地震後に $E_{aft} = E_{bef} \times (G/G_0)$ に低下するため沈下が生じると仮定し、次式から得られる<sup>1)</sup>。

$$S_g = \int_0^H \left\{ 1/E_{aft}(z) - 1/E_{bef}(z) \right\} \sigma_v(z) dz \quad \text{--- (1)}$$

ここでは、既往の標準的なせん断剛性低減率 $G/G_0$ ~せん断ひずみ

関係<sup>5)</sup>を参照し、 $G/G_0$ または $\sigma_v(z)$ について以下の2通りの方法で算定した。a) 地盤のせん断剛性から想定される地盤変形モードに対して得られる地盤水平変位の鉛直方向分布から $\sigma_v(z)$ を求める簡易的な方法<sup>1)</sup>、b) 地震応答解析(SHAKE)により $G/G_0$ を直接求める方法。基盤入力加速度波形は、地盤種別G1地盤(基盤)スペクトル(最大加速度732gal)を地域別係数(0.85)で補正して使用した<sup>1)</sup>。また、 $\sigma_v(z)$ は盛土自重等の上載荷重による鉛直応力とし、深度 $z$ における荷重分散を考慮した。地点-A, Bにおいて、上載荷重はそれぞれ $q=63.0, 109.1 \text{ kN/m}^2$ である。

### 4. 沈下量算定結果

原地盤の各深度におけるL2地震時の地盤沈下量について、前述の4通りの方法で算定した結果を図-1に示す。また、鉛直ひずみ $\epsilon_v$ とせん断ひずみ $\gamma$ の深度分布を図-2に示す。地点-A, Bとも、液状化による沈下ではIshihara & Yoshimineの方法がTokimatsu & Seedより若干大きい傾向を示すが、沈下およびひずみの深度分布は $\epsilon_v$ と $\gamma$ は

キーワード：L2地震動，沈下、液状化、揺すり込み、地震応答解析

連絡先：〒101-8463 東京都千代田区神田錦町3-7-1 東洋建設(株) 土木本部土木設計部 TEL 03-3296-4623

ほぼ同様な形状を示している。揺すり込み沈下では、地震応答解析が簡易法に比して1オーダー大きい算定結果になった。これは、地盤変形の基本モードを仮定しているのに対して、 $\nu/\sigma'_v$  による地盤固有の応答特性および入力地震動の特性を反映しているためと考えられる。

軟弱層が厚く液状化深度の深い地点-Aでは、液状化による沈下(①, ②)が揺すり込み沈下(③)の3~4倍大きい算定結果となったが、分布形状は類似している。これは、累積損傷度理論による液状化判定<sup>1)</sup>において地震応答特性を考慮しているため、 $F_L$  値あるいは  $\nu/\sigma'_v$  値を用いた液状化による沈下量および鉛直ひずみ分布(①, ②)が、地震応答解析結果に基づく揺すり込み沈下量および鉛直ひずみ分布(③)と類似した結果になるものと解釈される。軟弱層の比較的薄い地点-Bでは、液状化による沈下(①, ②)が揺すり込み沈下(③)と分布形状が類似し、沈下量も同様なレンジの値となった。ここで $\nu/\sigma'_v$ による結果は、揺すり込み沈下量の算定式(1)における鉛直応力  $\nu(z)$  すなわち上載荷重  $q$  の大きさに依存する度合いが大きい傾向がある。

当区間の地盤改良断面に対する設計照査の一環として、FLIPを用いた2次元有効応力FEM解析を実施した<sup>6)</sup>。図-2に原地盤に関する地震応答解析により得られた盛土中央部におけるせん断ひずみについて示すが、地震応答解析(SHAKE)による $\nu/\sigma'_v$ と同様な範囲である。しかし、鉛直ひずみ  $\nu_y$  は、 $\nu/\sigma'_v$ より1オーダー大きい値になり、地表面沈下量は160cmに及ぶ結果であった。これは、2次元有効応力解析によって地盤のせん断変形、有効応力の低下・剛性低下による沈下、盛土構造物のロッキングによって支持地盤に生じる圧縮応力による沈下が考慮された結果と思われる。

参考文献

- 1) 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), 丸善, 1999.
- 2) 高田、北村、北田：二次しらす地盤の力学特性の評価、土木学会論文集, No.561/ -38, pp.237-244, 1997.3.
- 3) Ishihara, K. and Yoshimine, M. : Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquake, Soils and Foundation, Vol.32, No.1, pp.173 ~ 188, 1992.
- 4) Tokimatsu, K. and Seed, H.B. : Evaluation of settlements in sands due to earthquake shaking, Jour.Geotech.Eng., ASCE, Vol.113, No.8, pp.861 ~ 878, 1986.
- 5) 沿岸開発技術研究センター：埋立地の液状化対策ハンドブック(改訂版), 1997.
- 6) 小竹,北出,青木,米澤,畑,松雪：レベル2地震動に対する鉄道盛土支持地盤の地盤改良工(2)地震応答解析, 第38回地盤工学研究発表会, 2003(投稿中).

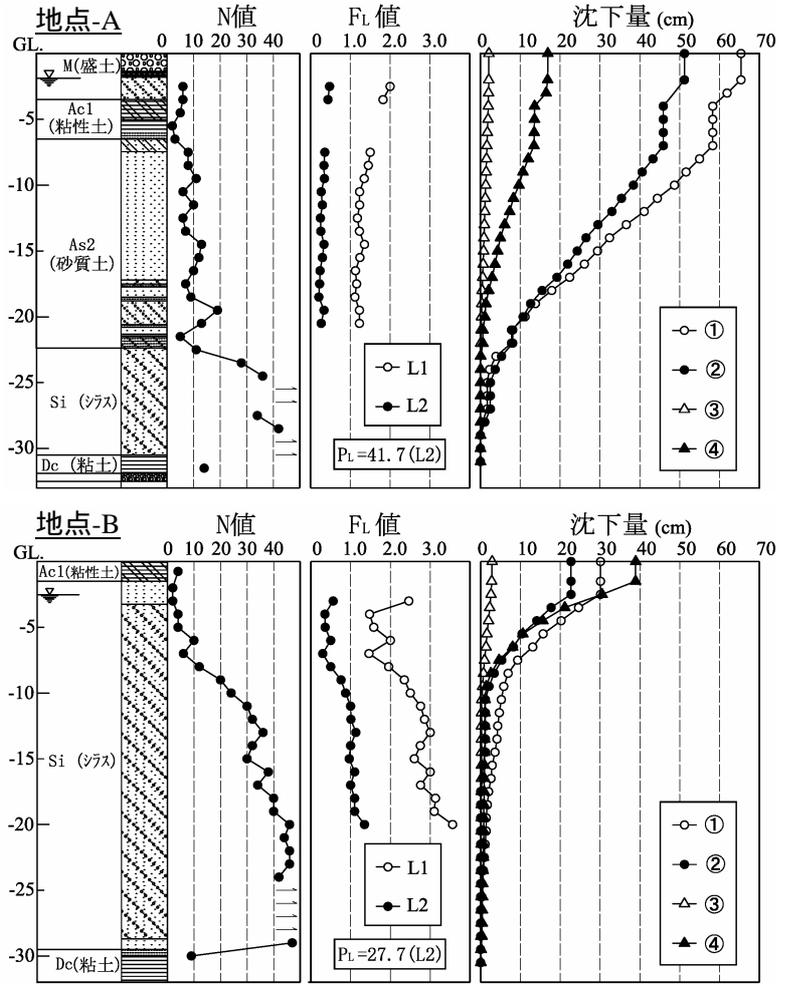


図-1 地盤条件と  $F_L$  値・沈下量算定結果

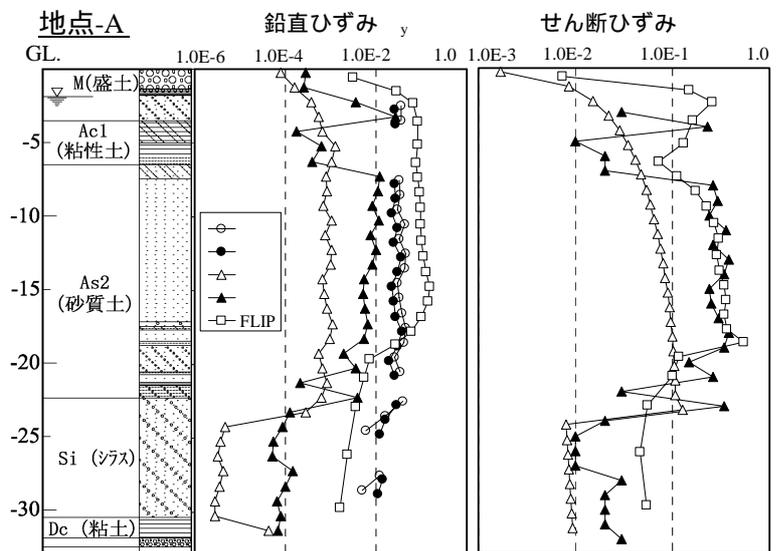


図-2 鉛直ひずみとせん断ひずみの深度分布