

埋戻し土の剛性変化と埋設管の長期変形挙動

大阪市立大学  
阿南高専 吉村 洋・大阪市都市環境局 大杉 朗隆・中西 啓輔

東田 淳・向市 清司・田辺 祐基

**まえがき** 輪荷重繰返し载荷によって埋戻し土の剛性がどう変化するかを  $K_0$  圧縮試験によって調べ、別報<sup>1)</sup>に示す結果を得た。本報告では、この埋戻し土の剛性変化によってプラスチック製埋設管のたわみが長期的にどの程度増大するかを検討した。

**埋設管の変形予測に用いた設計図表** 埋設管の長期変形予測には、図-1に示す盛土型設置方式用の設計図表<sup>2)</sup>の4本の  $\omega \sim \kappa$  曲線を用いた。これらの曲線は土のポアソン比  $\nu_s$  と管の土被り高  $H/D$  ( $D$ : 管の外径) の組合せが異なっている。

この設計図表は、土と管を線形弾性体と仮定した FEM 計算の結果を用いて構築されたもので、解析手法の妥当性は多数の遠心模型実験によって検証済みである。設計図表の横軸の  $\kappa = E_s/S_p$  は、土と地中埋設管の相対的な剛性を表す「たわみ性指数」であり、 $\kappa$  に含まれる  $E_s$  と  $S_p = E_p(t/R)^3 / \{12(1-\nu_p^2)\}$  は、土の変形係数と管の曲げ剛性をそれぞれ表す。ここに、 $E_p \cdot \nu_p$ : 管材料のヤング率とポアソン比、 $t$ : 管厚、 $R$ : 管厚中心半径である。また、設計図表の縦軸の  $\omega = \delta E_s \gamma H$  は、管と土の相対的な圧縮比率を示す指数であり、 $\omega$  に含まれる  $\delta = \Delta D / 2R$  と  $\gamma H / E_s$  は管の鉛直たわみ率、および管頂での土被り圧  $\gamma H$  が作用した時の土柱の鉛直ひずみをそれぞれ表す。

**設計用弾性定数 ( $E_s^* \cdot \nu_s^*$ ) の求め方** S16L (まさ土ゆる詰め)・土被り高  $H=60\text{cm}$  供試体の場合の測定例を用いて、 $K_0$  圧縮試験で得られた繰返し载荷回数  $N$  の増大に伴う  $\sigma_1 \sim \sigma_3$  関係と  $\sigma_1 \sim \varepsilon_1$  関係の変化を図-2(a)(b)に示す。ここに、 $\sigma_1$ 、 $\sigma_3$ 、 $\varepsilon_1$  は、それ

**設計用弾性定数 ( $E_s^* \cdot \nu_s^*$ ) の求め方** S16L (まさ土ゆる詰め)・土被り高  $H=60\text{cm}$  供試体の場合の測定例を用いて、 $K_0$  圧縮試験で得られた繰返し载荷回数  $N$  の増大に伴う  $\sigma_1 \sim \sigma_3$  関係と  $\sigma_1 \sim \varepsilon_1$  関係の変化を図-2(a)(b)に示す。ここに、 $\sigma_1$ 、 $\sigma_3$ 、 $\varepsilon_1$  は、それ

キーワード: 埋戻し土、剛性、埋設管、変形  
連絡先: 大阪市住吉区杉本 3-3-138、大阪市立大学工学部、TEL & FAX: 06-6605-2725

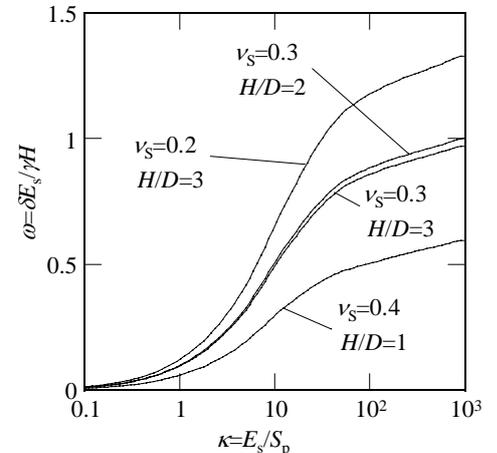


図-1 盛土型設置方式用の設計図表

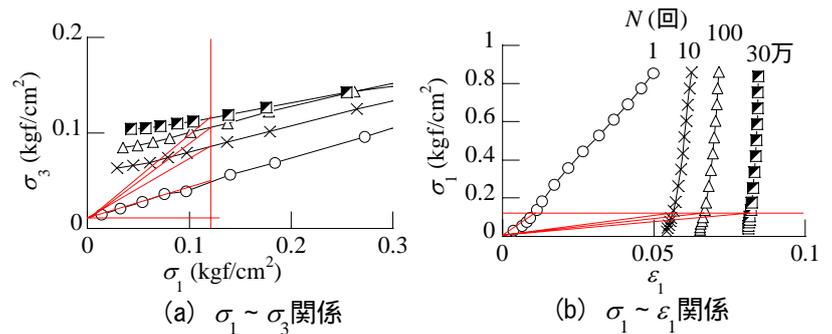


図-2 S16L・H=60cm供試体の測定結果

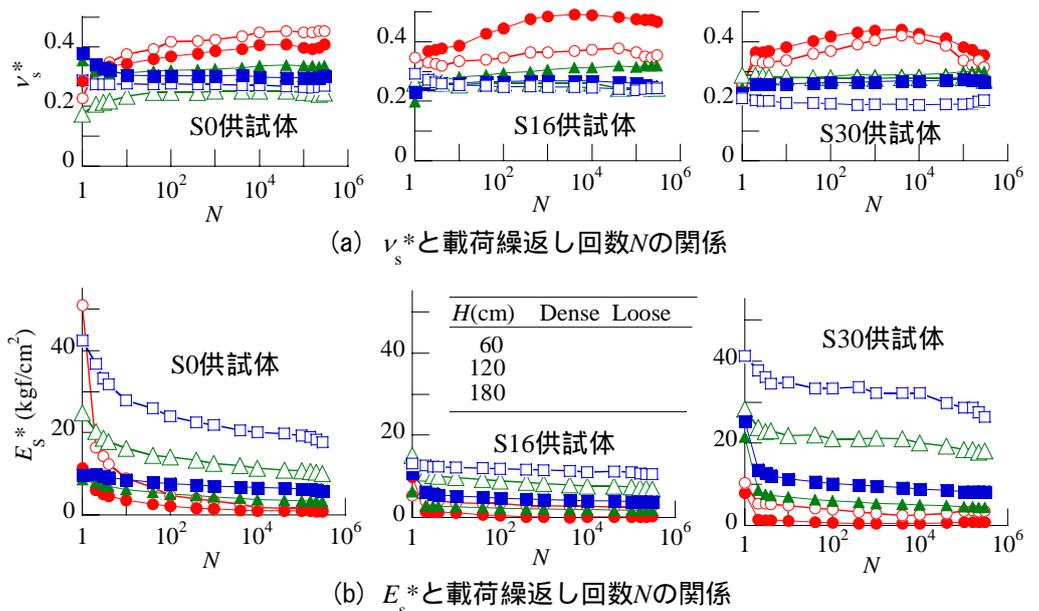


図-3 設計用弾性定数  $E_s^* \cdot \nu_s^*$  と繰返し载荷回数  $N$  の関係

ぞれ  $K_0$  圧縮試験の段階荷重過程で測定された軸応力、側方応力、および軸ひずみ(対数ひずみ)である。これらの測定結果から、設計に用いる弾性定数(ポアソン比  $\nu_s^*$  と変形係数  $E_s^*$ 、以下設計弾性定数と呼ぶ)を以下のように求めた。

まず、**図-2(a)**に示すように荷重回数  $N$  が1回目の時の  $\sigma_1 \sim \sigma_3$  曲線を  $\sigma_1=0$  まで延長して、これを原点とした。つぎに、**図-2(a)**の各曲線と土被り圧に相当する  $\sigma_1$  (**図-2(a)**では  $\sigma_1=0.12\text{kgf/cm}^2$ )との交点を求め、原点とこれらの交点を結ぶ直線の勾配  $\sigma_3/\sigma_1$  を、次式:  $\nu_s^*=(\sigma_3/\sigma_1)/\{1+(\sigma_3/\sigma_1)\}$  に代入して設計ポアソン比  $\nu_s^*$  とした。つぎに、**図-2(b)**の各  $\sigma_1 \sim \varepsilon_1$  曲線と土被り圧に相当する  $\sigma_1$  との交点を求め、この交点と原点を結ぶ直線の勾配  $\sigma_1/\varepsilon_1$  と先に求めた  $\nu_s^*$  を、次式:  $E_s^*=(1-\nu_s^*-2\nu_s^{*2})/(1-\nu_s^*) \cdot (\sigma_1/\varepsilon_1)$  に代入して設計変形係数  $E_s^*$  とした。

**図-3**に全供試体で得られた  $\nu_s^* \sim E_s^* \sim N$  関係を示す。 $\nu_s^*$  と  $E_s^*$  の変化は初期に大きい。 $\nu_s^*$  は  $N$  が増加しても大きな変化がない。一方、 $E_s^*$  は  $N$  の増加につれて減少するが、 $N=30$  万回でほぼ収束する。

**たわみ性管の長期変形挙動の予測**

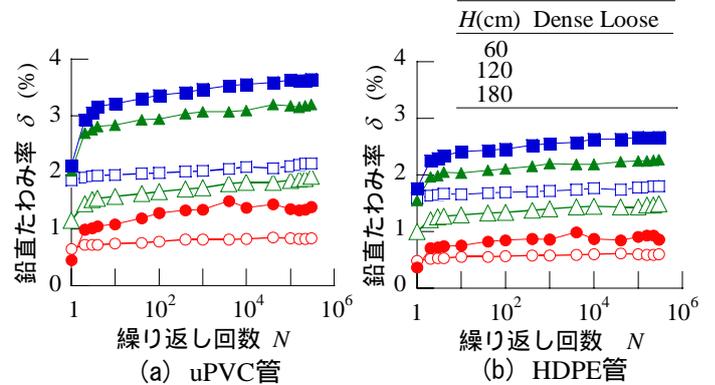
**表-1**に示す口径 60cm の uPVC 管と HDPE 管の長期変形挙動の予測を、**図-3**に示した  $E_s^*$  と  $\nu_s^*$ 、および**図-1**の設計図表を用いて行った。**図-4**( $E_p$ の変化なし)は S16 供試体を例にとって  $\delta$  と  $N$  の関係を示している。 $\delta$  は 30 万回の輪荷重繰返し荷重により最大で 1.5~1% 程度増加することが分かる。

つぎに、**図-5**に示した同一マークのプロットのうち、 $E_s^*$ の大きい方が  $N=1$  回 ( $E_p$ は初期値)、小さい方が  $N=30$  万回 ( $E_p$ は初期値の 1/4~1/3)における  $\delta$  を表す。**図-5**から、埋戻し土の密度が小さいほど  $\delta$  の増加が大きいこと、また、特に S16L の  $\delta$  の増加量が最大 5.5%程度と大きく、uPVC 管、HDPE 管とも設計たわみ率 5%を超えるケースがあることが分かる。なお、**図-5**に示した  $\delta$  は、土自重のみが管に働き、輪荷重が加わっていない時の  $\delta$  を示しているため、輪荷重が加わると、 $\delta$  の値は**図-5**に示した  $\delta$  よりもさらに増加することに注意が必要である。

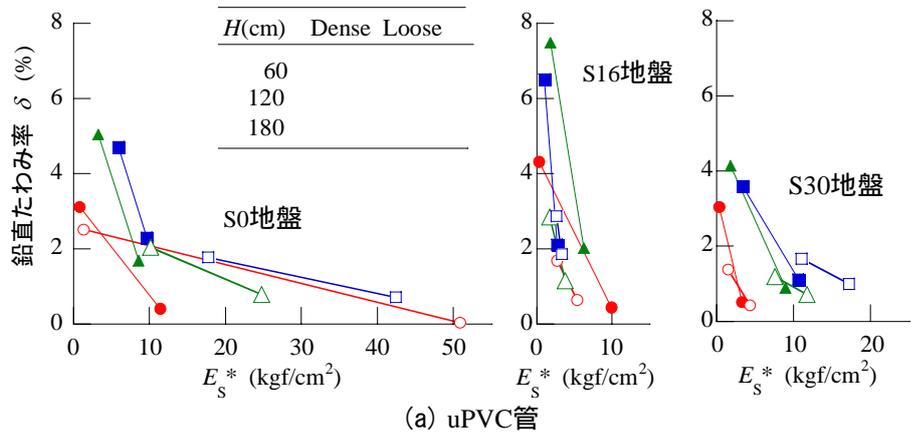
**参考文献** 1)東田他, 輪荷重繰返し荷重による埋戻し土の剛性変化, 62回土木学会年講, 2007. 2)東田・吉村, たわみ性埋設管の合理的設計法の提案, 土木学会論文集, No.617/III-46, pp. 49-63, 1999. 3)Janson, Investigation of the long-term creep modulus for buried PE pipes subjected to constant deflection, Advances in Underground Pipeline Engineering, pp253-262, 1985. 4)日本下水道協会, 下水道用リブ付きポリエチレン管 JSWAS K-15, 2001.

**表-1 予測に用いた管の諸元**

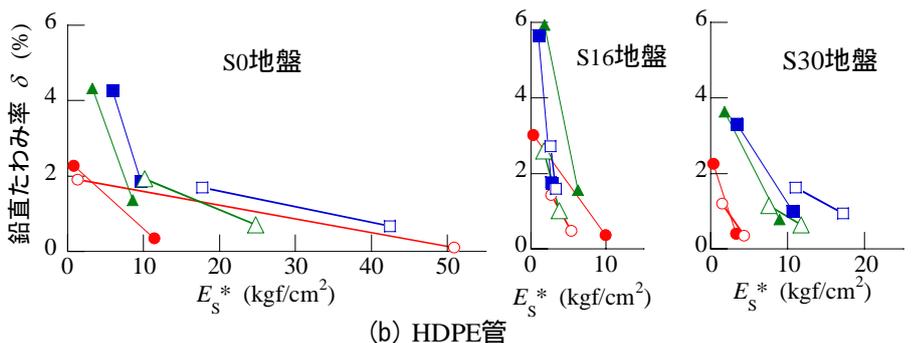
| 管の材質 | 外径D (cm) | 管厚t (cm) | 半径R (cm) | 初期 $E_p$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 50年後 $E_p$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 初期 $S_p$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 50年後 $S_p$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|------|----------|----------|----------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| uPVC | 63.0     | 1.78     | 30.6     | 30,000                          | 7,500                             | 0.38                            | 0.57                              |
| HDPE | 66.5     | 3.27     | 31.6     | 8,360                           | 2,790                             | 0.40                            | 0.92                              |



**図-4  $\delta \sim N$ 関係の予測 ( $S_{16} \cdot E_p$ の変化なし)**



**(a) uPVC管**



**(b) HDPE管**

**図-5 埋設後50年経過した時の $E_s^* \sim \delta$ 関係の予測**