

液状化対策を施したマンホール周辺における排水量予測式

神戸大学 正 員 高田至郎

神戸大学 学生員○孫 建生

NTTつくばフィールド技術開発センタ 正 員 八木高司

1.はじめに グラベルドレーン工法は液状化地盤の対策方法の一つとしてその有効性が明かにされている。一方、地中管路マンホールは道路など舗装下に埋設される場合が多く、水の通路がなく、ドレーンの効果が有効に発揮できなくなる。そこで、文献1)ではマンホール底部に排水パイプを設けマンホール内部に流れ込む水量及び速度を動的F.E.M.で解析した。本文は、砂のせん断ひずみ予測方法に基づいて、マンホールへ流入水量の簡易推定式の提案を試みた。

2.砂の体積ひずみの算出手法 体積ひずみの予測式はF.E.M.解析¹⁾と同じ方法を用いているが、せん断応力比の計算は道路橋示方書²⁾に基づく。

3.マンホール周りの地盤の分割 マンホールの周りの地盤を図-1に示している5区に分割する。I区はマンホールの側面にあつて、マンホールの側面と直交する4つの長方体で、II区はI区の間に囲まれている4つの1/4の円筒体で、III区はマンホールの直下にある長方体で、IV区はI区とIII区間に挟まれている4つの1/4の円筒体で、V区はII区とIV区に挟まれている1/8の球体である。

4.一次元透水方程式の近似解 図-1に示す各区の過剰間隙水圧の分布はグラベルに向かって消散する場合、次の透水方程式の解で与えられる。

$$U_t = \lambda^2 U_{xx} + f(X, t) \quad (0 \leq X < \infty, t > 0) \quad (1)$$

$$U(0, t) = \mu(t) \quad (t \geq 0) \quad (2)$$

$$U(X, 0) = \phi(X) \quad (0 \leq X < \infty, t > 0) \quad (3)$$

式(1)は透水方程式で、 $\lambda = \sqrt{\frac{K}{\gamma_w M_v}}$ 、 K は透水係数、 γ_w は水の比重、 M_v は砂の体積圧縮係数である。 $f(X, t)$ は間隙水圧発生関数で、ここで注目するのは消散による間隙水圧分布であるので、 $f(X, t) = 0$ とする。 $\mu(t)$ は $X=0$ 点の過剰間隙水圧値で、グラベルドレーンの透水係数がかかなり大きいので誘導上の便利のために、ドレーン内で同一値 $\mu(t) = P_1$ とする。 $U(X, 0) = \phi(X)$ は初期過剰間隙水圧の分布で、ここに地盤が完全に液状化したとして $\phi(X) = \sigma'_0 = P_0$ に仮定する。 σ'_0 は有効応力である。式(1)、(2)、(3)の解は次式である。

$$U(X, t) = P_1 + (P_0 - P_1) \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{X}{2\lambda\sqrt{t}}} W(\xi) \exp(-\xi^2) d\xi \quad (4)$$

ここに、 $W(\xi) = \frac{\xi}{2\lambda\sqrt{t}}$ である。式(4)は直接に積分できないので、以下のように近似する。

$$u_1(X, t) = \begin{cases} P_1 + \frac{2}{\sqrt{\pi}} (P_0 - P_1) \left\{ \frac{X}{2\lambda\sqrt{t}} - \frac{1}{3} \left(\frac{X}{2\lambda\sqrt{t}} \right)^3 \right\} & \left(\frac{X}{2\lambda\sqrt{t}} \leq 0.75 \right) \\ P_1 + (P_0 - P_1) \left\{ 1 - \frac{1}{6.588} \left(\frac{X}{2\lambda\sqrt{t}} \right)^{-2.5} \right\} & \left(\frac{X}{2\lambda\sqrt{t}} > 0.75 \right) \end{cases} \quad (5)$$

shiro TAKADA, jiansheng SUN and koji YAGI

5. 消散による体積の変化量（即ち水の流出量）の算出方法 消散した過剰間隙水圧は $(\sigma_v' - u)$ で、消散した過剰間隙水圧と消散による体積変化が線形的であると仮定し、体積の変化量 dV を次式で表わす。

$$dV = \frac{\sigma_v' - u}{\sigma_v'} V_d \quad (6)$$

ここに、 V_d は砂の液状化によって発生した体積ひずみである。グラベルの影響範囲内で dV に対して、図-1に示す5区内で積分すると次の流出水量推定式ができる。

6. 推定式

$$\begin{aligned} \text{a) I 区 } Q_1 &= 1.5a \lambda \cdot \sqrt{t} \cdot m^* (\tau / \sigma')^n \cdot \sum_{n=1}^N \{ ((\gamma_{t1} - \gamma_{t2} + 0.001) \cdot h_w - P_1) (h_{n+1} - h_n) \\ &\quad + 0.5 \times (\gamma_{t2} - 0.001) (h_{n+1}^2 - h_n^2) \} \{ 1 - 0.384 + 0.135 \times (1.54 - \alpha^{-1.5}) \} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{b) II 区 } Q_2 &= 0.5625 \cdot \lambda^2 \cdot t \cdot \pi \cdot m^* (\tau / \sigma')^n \cdot \sum_{n=1}^N \{ ((\gamma_{t1} - \gamma_{t2} + 0.001) h_w - P_1) (h_{n+1} - h_n) \\ &\quad + 0.5 \times (\gamma_{t2} - 0.001) (h_{n+1}^2 - h_n^2) \} \{ 1 - 0.50 + 1.08 \times (1.15 - \alpha^{-0.5}) \} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{c) III 区 } Q_3 &= 1.5 \lambda \cdot \sqrt{t} \cdot a \cdot b \cdot m^* (\tau / \sigma')^n \cdot \sum_{n=1}^N \{ ((\gamma_{t1} - \gamma_{t2} + 0.001) \cdot h_w - P_1) + (\gamma_{t2} - 0.001) \\ &\quad (h_1 + 0.75 \lambda \sqrt{t}) - (\sigma_v' - P_1) \} (0.384 - 0.135 (1.54 - \alpha^{-1.5})) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \text{d) IV 区 } Q_4 &= 2.25a \cdot \lambda^2 \cdot t \cdot m^* (\tau / \sigma')^n \cdot \sum_{n=1}^N \{ 0.785 [(\gamma_{t1} - \gamma_{t2} + 0.001) \cdot h_w - P_1] + (\gamma_{t2} - 0.001) \\ &\quad (0.785 h_1 + 0.5 \lambda \sqrt{t}) - (\sigma_v' - P_1) \} (0.393 - 0.852 \times (1.15 - \alpha^{-0.5})) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \text{e) V 区 } Q_5 &= 3.375 m^* (\tau / \sigma')^n \cdot \frac{N}{A+N} \lambda^3 t^{1.5} \left\{ \frac{\pi}{6} [(\gamma_{t1} - \gamma_{t2} + 0.001) \cdot h_w - P_1 + (\gamma_{t2} - 0.001) h_1] \right. \\ &\quad \left. + (\gamma_{t2} - 0.001) \frac{\pi^2}{16} \lambda \sqrt{t} - (\sigma_v' - P_1) [0.291 - 0.49 \ln(1.333 \times \alpha)] \right\} \end{aligned} \quad (11)$$

ここに、 a, b はマンホールの一辺の幅、 N はマンホールと同じ高さの地盤の層数、 $(h_{n+1} - h_n)$ は第 n 層の厚さ(m)、 H_w は地下水の深さ(m)、 γ_{t1} 、 γ_{t2} 地下水位の上、下の砂の体積重量で、 $L = 2a \lambda \sqrt{t}$ は考慮するグラベルの影響範囲である。

簡易式により計算した結果をF.E.M.解析結果と同時に表-1に示している。F.E.M.解析するケース3, 4, 5は表-2に示すモデルである。ケース簡易式の予測結果がF.E.M.解析結果より幾分大きく安全側にある。これは簡易式の誘導中に、グラベルの透水係数を無限大に仮定することにより生じたと予想される。

参考文献：1) 孫 建生・高田至郎：グラベル地盤の地震応答と流出水量の解析、第20回地震工学研究発表会講演概要、1989.7. 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、V.耐震設計編、1980.5.

表-1 簡易式で予測した流出水量とF.E.M.解析結果の比較 単位：Kg

地下水位	F.E.M.解析ケース			簡易式	
	3	4	5	解析モデル	全体
0.0	15.46	10.65	18.2	22.19	259.656
1.3	16.92	7.89	18.8	23.59	273.195

表-2 F.E.M.解析モデル

ケース	3	4	5
対 策	グラベル+マンホール 内排水 (パイプ)	グラベル+排水路 (パイプ)	グラベル+マンホール 内排水+排水路
概 要			