

下水道管きょ欠損部周りの浸透流による 空洞領域推定の試み

中日本建設コンサルタント株式会社 ○小田 智洋 中根 進

1 はじめに

下水道管きょ廻りの埋設地盤の空洞・ゆるみは、管きょの破損、クラック、継手ズレ、取付管や人孔の接続部など欠損部から発生すると考えられ、地下水位及び土質条件が影響すると考えられている。本稿では、不具合の1つである管きょの欠損部への地下水の浸入に着目して、国土技術政策総合研究所(以下、国総研)で行われた道路陥没のメカニズム把握のための実験装置¹⁾(土槽の大きさ、地下水位の設定)をモデル化して有限要素法による鉛直二次元非定常浸透流解析を行ない、パイピング現象を起こす限界動水勾配、限界流速や浸透流に沿う地盤の有効応力とせん断抵抗応力の比からゆるみ・空洞領域の推定を試みた。

2 浸透流解析領域と計算モデル

(1) ゆるみ・空洞の要因

経年管(ヒューム管、陶管)の調査のうち、管きょ内に地下水が浸入する要因となる項目は表-1と考えられる。

表 6-1 経年管の調査項目とその内容
(管1本ごとの評価項目)

調査項目	内容
管の破損	欠落、軸方向のクラック
管のクラック	円周方向のクラックで幅○mm以上、未満
管の継手ズレ	円周方向で幅○mm以上、未満

管きょ内に地下水が浸入すると思われる円周方向のクラックのうち、例えば継手ズレについては埋設地盤の浸透流解析を行なうには三次元解析が必要となる。本稿では、管の破損のうち欠落について鉛直二次元浸透流解析ができると考えた。本稿では欠落を欠損と表記し、腐食などで管頂付近に部分的に欠損が生じたことを想定した浸透流解析とし、等ポテンシャル、浸透流速を計算する。

管きょの欠損による埋設地盤のゆるみ・空洞化の要因として次が考えられる。

- i. 地下水以深の管きょにあつては、欠損部に向かう浸透流によって細かな土粒子が管内に流され、パイピング現象が発生し、地盤がゆるみ、時間の経過とともに空洞化に至る。
- ii. 欠損部直上の地盤の応力状態の不均衡により、地盤がゆるみ、浸透流による透水力や上記パイピング現象も加わり空洞化に至る。

などが考えられ、その他の要因も文献¹⁾に示されている。本稿では、i、iiについて浸透流解析から考察する。

(2) 解析モデル

解析モデルは国総研の実験土槽を想定し、図-1とした。国総研の実験は、地表面まで地下水がある状態であるが、パイピング現象のほか、地盤の有効応力について

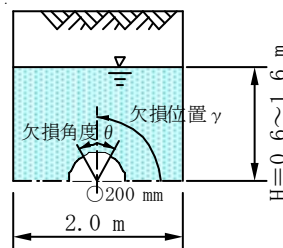


図-1 二次元解析モデル

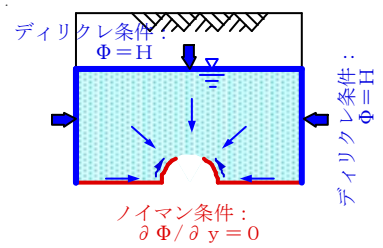


図-2 数値解析の境界条件

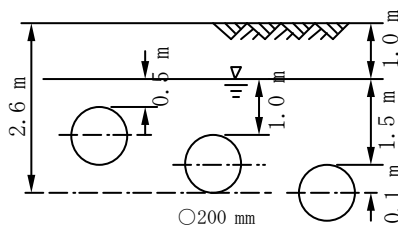


図-3 Case. 1

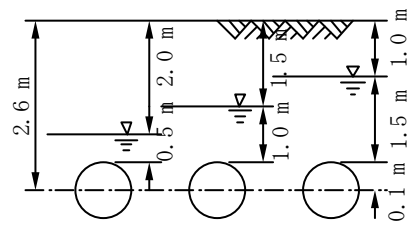


図-4 Case. 2

も検討するため地下水より上に地表面を設定した。数値解析の境界条件は図-2とした。

(3) 計算条件

欠損幅 10° (22mm)とし、土被、地下水位により埋設地盤の有効応力が変化するので、図-3、図-4のCase. 1, 2の条件で浸透流解析を行なった。地下水深は、管中心から地下水面までの距離である。

(4) 浸透流に沿う面の土中応力(σ_θ, τ_θ)とせん断抵抗応力τ_s
 浸透流の水平面からの傾きθは、 $\theta = \tan^{-1} \frac{v}{u}$ であり、

任意位置の地盤の鉛直σ_v・水平応力σ_hは次式で求める。

$$\sigma_v = \gamma_s \cdot h_{gw} + \gamma_{sub}(H_w - y)$$

$$\sigma_h = k_0 \cdot \sigma_v \quad k_0: \text{静止土圧係数}$$

浸透流に沿う面の土中応力を有効応力の形にして次式で求める。

$$\sigma_\theta = \frac{1}{2}(\sigma_v + \sigma_h) + \frac{1}{2}(\sigma_v - \sigma_h) \cos 2\theta \quad \tau_\theta = \frac{1}{2}(\sigma_v - \sigma_h) \sin 2\theta$$

また、浸透流に沿う面のせん断抵抗応力は、内部摩擦角φ=30°として次式で求める。

$$\text{せん断抵抗応力: } \tau_s = \sigma_\theta \cdot \tan \phi$$

(5) 透水力²⁾

土中を浸透水が流れるとき、水と粒子壁面間で摩擦抵抗が働くため、浸透水は土粒子から流れと逆向きの力を受け、土粒子は流れの方向に同じ力を浸透水から及ぼされる。土粒子からみたこの力を透水力という。(図-6)

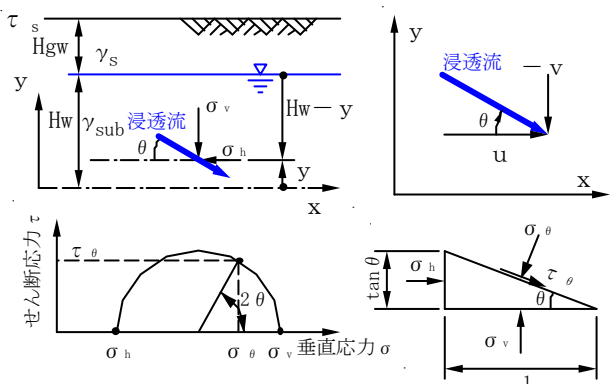


図-5 浸透力の向きと土中応力

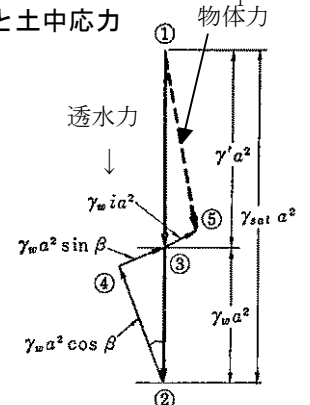


図-6 透水力²⁾

3 浸透流解析によるゆるみ・空洞領域の試算

3.1 時間発展、透水係数と限界流速

(1) 時間発展

管の欠損が生じた時点から浸透は始まるので、非定常浸透流計算を行い、時間発展によるポテンシャル、浸透流速を検討する。透水係数k=1.0 m/sec、地下水深1.1 mに対する等ポテンシャルΦ=0.75の時間発展を図-7上に示す。時間発展に対する管中心位置から鉛直方向の等ポテンシャルΦ=0.75の位置を図-7下に示す。本計算では、時間ステップΔt=0.1 secで5 sec程度で定常状態になった。本稿では、定常状態の結果で整理するが、時間経過に伴い欠損部周りの等ポテンシャル線が拡大していく。

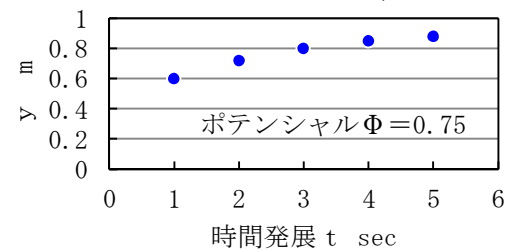
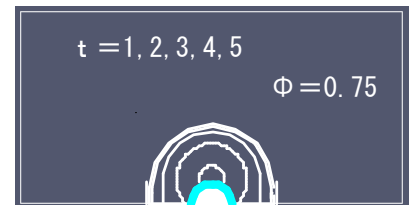


図-7 等ポテンシャルΦ=0.75の時間発展(鉛直方向)

(2) 埋設地盤の透水係数

透水係数kは、砂地盤であれば、1×10⁻²、1×10⁻³ cm/sec程度といわれている。この透水係数kで数値計算を行うと定常状態になるまでかなりの計算時間を要するので、k=1、地下水深1.1 m、土被2.0 mで計算した。

(3) 限界流速

(1)の時間発展と同じ計算条件の定常状態の浸透流の流向と流速を図-8に示す。

Justinによる限界流速v_c(パイピング)による土粒子の移動は、

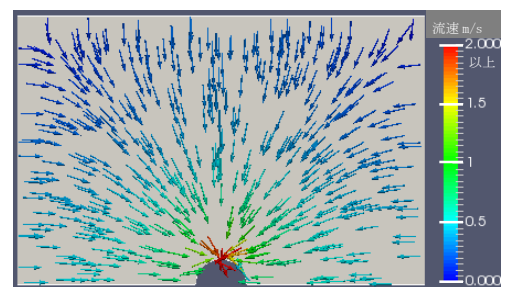


図-8 浸透流の流向と流速(欠損85~95° (22mm))

粒径により異なるが $v_c > 1.02$ cm/sec であり、透水係数 $k = 1$ の場合に図-9のように管頂 20cm 程度になっている。

3.2 埋設地盤の浸透流に沿うせん断応力からのゆるみの検討

浸透流に沿う透水力と間隙水圧を考慮した有効せん断応力の和と内部摩擦角 $\phi = 30^\circ$ の砂の有効せん断抵抗応力の大小により埋設地盤がゆるむと考える。今回の解析では、埋設地盤がゆるんだあとに管きよ内に土粒子が引き込まれてしまう計算はできないが、時間発展とともにパイピング現象のように粒子が引き込まれることが想像される。浸透流に沿う透水力と間隙水圧を考慮した有効せん断応力の和と有効せん断抵抗応力の関係から次の条件で埋設地盤がゆるむと考える。

$$\text{有効せん断抵抗応力} < (\text{流線上の有効せん断応力} + \text{透水力})$$

ここで、この応力の比を安全率 F_s とし、1.0 以下であれば、地盤がゆるむとする。

$$F_s = \text{有効せん断抵抗応力} / (\text{有効せん断応力} + \text{透水力}) < 1.0$$

地下水面以下の安全率 F_s を計算し、図-10 に示す。欠損が管頂にあれば鉛直方向に水面から管中心に向かって安全率が小さくなっており、鉛直方向にゆるみが発生しやすくなっていると考えられる。

地下水面の位置において安全率の小さい範囲(ゆるみの範囲)が広がっており、このゆるみの影響で、地下水面より上にテルツァーギの緩み土圧で示されるようなゆるみがさらに加わることが考えられる。

Case. 1, 2 の計算条件を計算し、欠損幅 10° (22 mm) における地下水面の位置のゆるみ幅を図-11 に示す。

4. まとめ

浸透流の限界動水勾配や限界流速で表しているパイピング現象では、欠損部 10° (22mm) を中心に放射線状に 4~7cm、せん断応力での検討では、地下水面までゆるみが達し、その幅は 1.3 m~1.61 m の範囲でゆるむと試算された。今後、欠損幅、欠損位置を変えて解析を進めていきたい。

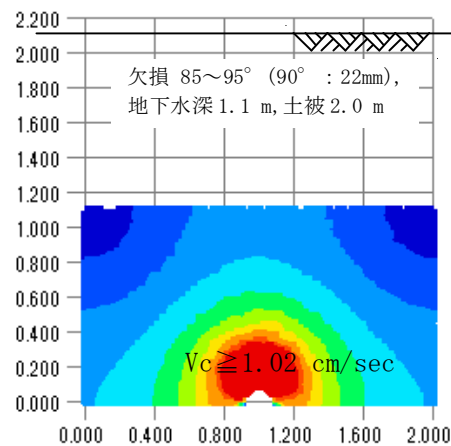


図-9 浸透流速の分布

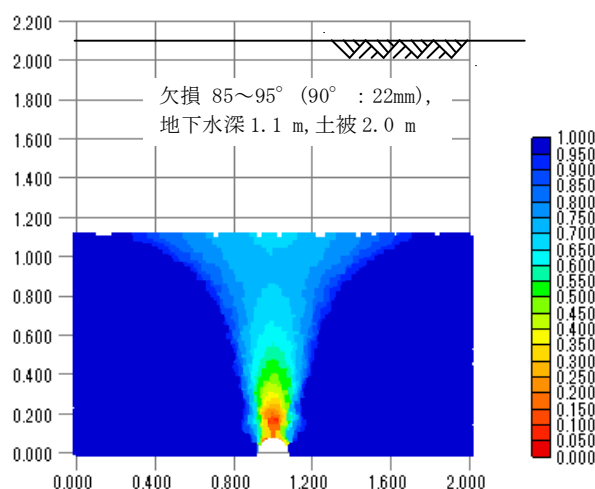


図-10 安全率 F_s

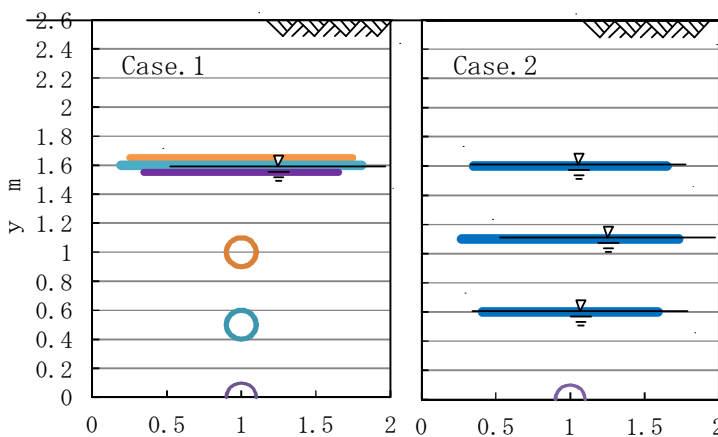


図-11 地下水面位置でのゆるみ幅

【参考文献】

- 1) 藤生和也・浜田知幸：道路陥没を予防するための下水道管路の適正管理手法に関する研究 pp. 76-87 平成 17 年度下水道関係調査研究年次報告集
- 2) 山口拍樹：改訂増補土質力学 技報堂出版株式会社 昭和 54 年 1 月 15 日

【問い合わせ先】 中日本建設コンサルタント(株) 水工技術本部 中根 進 TEL052-232-6055 E-mail s_nakane@nakanihon.co.jp