

FEM 解析を用いた水抜き穴付プレキャスト製路側排水管の設計法の妥当性に関する検討

日本興業 正会員○ 藤岡明奈
高松高専 正会員 長友克寛
日本興業 正会員 下村誠一
日本興業 川崎喜裕

1. はじめに 近年、排水性舗装内の水を排水させるために側面上部に水抜き穴を設けたプレキャストコンクリート製路側排水管（以下、排水管）が使用されるようになってきている。この排水管の設計に際しては、排水管を円環に置換し、それに上載荷重および土圧を左右対称な分布荷重として作用させた場合に生じる曲げモーメントの理論解が使用される。しかし、排水管の上面は傾斜しており、加えて水抜き穴が設置された場合、設計における前提である排水管の対象性は大きく崩れる。これに伴い、排水管内部の応力分布はかなり乱れることが予想され、その検証を行うことは安全性、経済性の両面から不可欠となってくる。

本研究は、このような排水管の有限要素法解析（以下、解析）を実施し、その応力分布の乱れについて検討するとともに、既往の設計法の妥当性について検証したものである。

2. 解析方法

2.1 解析変数

図-1に本研究で対象とした排水管の形状および解析変数を示す。解析では、長さ方向に配置された各水抜き穴の丁度中間部分で、1つの水抜き穴が中央になるような部分を取り出し、3次元弾性有限要素解析を行った。同図中に示した記号は全て解析変数であるが、今回は、その中から頂面の角度 α 、周囲の土の地盤反力係数 k_x 、 k_y 、水抜き穴の有無、水抜き穴の径 r_2 、上載荷重 p_y の作用範囲等、幾つかの代表的変数に限定し、それらの変化が解析結果に及ぼす影響について考察する。なお、以下では、水抜き穴を設けた面を側面A、その反対側の面を側面B、管に直交する面（長さ方向の面）を側面C、Dと表現する。また、幅、高さ、長さ方向をそれぞれ x 、 y 、 z 方向とする。表-1に径400mmの排水管の場合を例にとり、基準にした諸元値を示す。

2.2 解析モデル

図-2に解析モデルの支持方法および載荷方法の一例を示す。プレハイ設計計算書¹⁾に準拠する上載荷重 p_y を頂面に、同じく大きさ $p_{x1} \sim p_{x2}$ の台形分布の土圧を側面Bに作用させ、側面Aおよび底面にそれぞればね定数 k_x および k_y のばね要素を配置して支持した。長さ方向の面C、Dの長さ方向（ z 方向）変位は拘束した。

使用した要素は8次の6面体要素であり、全ての解析においてエネルギーノルムの収束精度に基づく推定誤差が6%以下になることを確認している。

3. 解析結果およびその考察

3.1 現行の設計指針より計算される理論値

設計指針では、例えば管頂の設計は以下の手順で行われる。

(1) 円環に等分布活荷重 p_y が作用した場合の理論値をもとに、次式より発生曲げモーメント M_1 を求める。

$$M_1 = k_1 \cdot P_1 \cdot r^2$$

ここに、 k_1 : 支承係数(=0.279), P_1 : 後輪活荷重(= p_y), r : 管中心から管厚

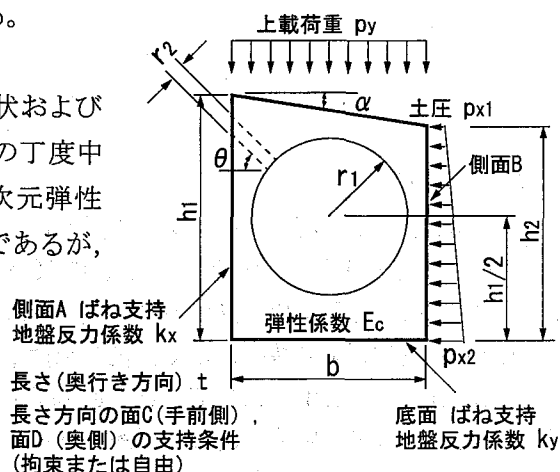


図-1 排水管の形状および解析変数

表-1 基準にした諸元値

$h_1 = 575 \text{ mm}$	$p_{x1} = 5.00 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2$
$h_2 = 545 \text{ mm}$	$p_{x2} = 1.02 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$
$b = 500 \text{ mm}$	$p_y = 0.13 \text{ N/mm}^2$
$t = 330 \text{ mm}$	$E_c = 2.0 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$
$r_1 = 200 \text{ mm}$	$\nu_c = 0.167$
$r_2 = 50 \text{ mm}$	$k_x = 0.1 \text{ N/mm}^3$
$\alpha = 3.4^\circ \text{ (6\%)}$	$k_y = 0.1 \text{ N/mm}^3$
$\theta = 45^\circ$	

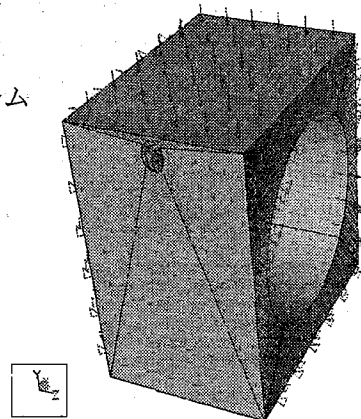


図-2 解析モデルの一例

中央までの距離である。

(2) 弾性理論により、管上縁の引張応力がコンクリートの曲げ引張強度に達する時の曲げモーメント M_r を求める。

(3) 安全率 $M_r/M_1 \geq \gamma_i$ を確認する。ここに、 $\gamma_i (=1.0)$ は許容安全率である。

表-2に、このようにして計算した管径 400mm の排水管に対する管頂、管底、管側での安全率をそれぞれ示す。

表-2 安全率の比較

安全率	抵抗 M_r / 作用 M_1	曲げ引張強度 / 最大発生応力
管頂	2.51	1.56
管底	2.37	1.56
管側	16.99	3.89

3.2 既製品の安全性の検証 図-3に基準にした排水管 (径 400mm の既製品) の応力状態の一例を示す。

同図 (a) は x (幅) 方向の、同図 (b) は y (高さ) 方向の応力分布をそれぞれ示す。円環の内側上下の縁および外側左右の縁の中央部に大きな引張応力が発生している。なお、各方向に発生した圧縮応力は、全て圧縮強度よりもかなり小さくて問題とならなかったため、以下では議論しない。

一方、図からは判読し難いが、水抜き穴の周方向に 6.9MPa の引張応力が発生している。しかし、その発生領域は非常に狭い範囲に限定されており、水抜き穴上縁と頂面との距離をある程度確保することにより、引張応力に伴う局部的微細ひび割れが発生しても、それが成長して排水管全体の構造性能そのものに大きな影響を及ぼすことはないと考えられる。

解析では作用曲げモーメントの評価が難しいため、最大発生応力に対する曲げ引張強度の比を安全率として表-2に示す。解析でも安全側の評価が得られているが、安全率の値そのものは、設計計算書に基づくものよりも低い。

3.3 各種の影響因子の応力分布への影響 図-4に上載荷重 p_y が水抜き穴に近い領域のみに作用した偏心载荷状態を示す。作用領域を頂面全面積の 100%, 67%, 33% と減少させた場合について検討したが、 x , y 方向応力、主応力全てについてその最大値はこの面積比の減少率以上に低下した。

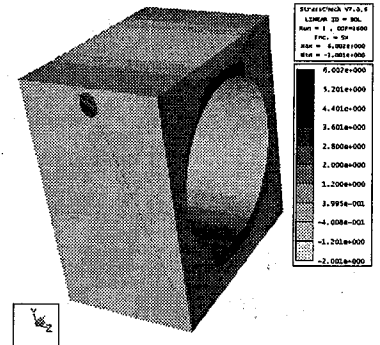
図-5に頂面傾斜角 α の x 方向最大引張応力 $\sigma_{x\max}$ への影響を示す。同図より、傾斜角 α が小さくなるにつれて $\sigma_{x\max}$ はほぼ直線的に減少し、 $\alpha = 6\%$ から 0% になることで約 10% の応力低下になることが分かる。

図-6に排水管周囲の地盤反力係数を変化させた場合の $\sigma_{x\max}$ への影響を示す。同図より、地盤反力係数 k_x , k_y を共に大きくし、変形を拘束することにより $\sigma_{x\max}$ を低減できることが分かる。しかし、その変化量は現実的な k_x , k_y の範囲では 4% 程度以内に収まる。

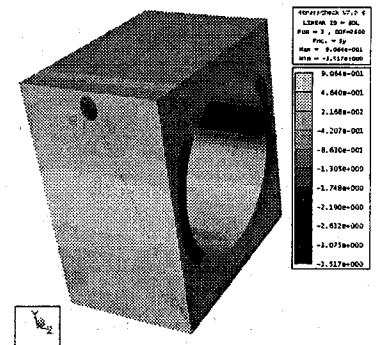
水抜き穴を配置することの $\sigma_{x\max}$ への影響については、当初の予想とは異なり、水抜き穴を配置しない方が、管頂での $\sigma_{x\max}$ は $\alpha = 6\%$ の場合で 5% 増加した。水抜き穴の径を 40mm から 50mm へと大きくすることの影響はほとんど見られなかった。

4. まとめ 本研究の結果、頂面が傾斜しかつ水抜き穴が配置された排水管の設計には既往の設計計算法が適用できること、しかし解析で得られた最大引張応力から評価される安全率は既往の設計計算法に基づく安全率よりも小さくなること、などが明らかになった。

参考文献 1) 四国プレハイ協会：プレハイ設計計算書



(a) σ_x 分布



(b) σ_y 分布

図-3 基準にした排水管の応力状態

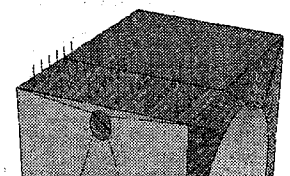


図-4 上載荷重の作用領域の影響

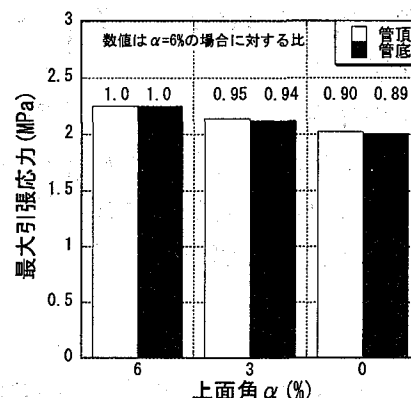


図-5 頂面の傾斜角 α の影響

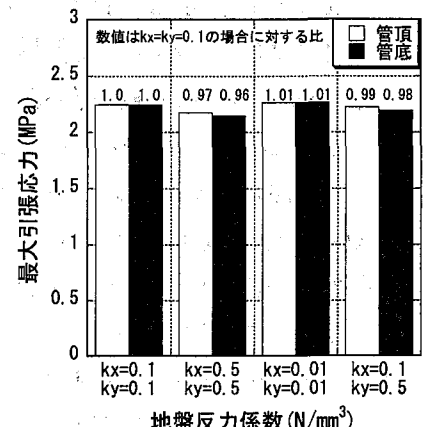


図-6 地盤反力係数 k_x , k_y の影響