

V-6 FEMによるプレキャストコンクリート製重圧管の設計に関する考察

日本興業(株)正会員 ○元村 希

高松工業高等専門学校正会員 長友 克寛

日本興業(株)正会員 下村 誠一

日本興業(株)齊藤 信也

1. 研究目的 プレキャストコンクリート（以下、PCaと略記）製重圧管は、外圧強度が大きく、補強コンクリート（抱きコンクリート）が不要である等の理由から、近年、道路面下に設置する排水管等への使用頻度が高まっている。しかし、この重圧管に対する設計法は確立されておらず、現時点ではヒューム管設計施工要覧¹⁾に規定されている計算式が準用されている。同計算式から算定される重圧管の必要寸法は、土被り厚が約0.2 m 以下および約 5 m を超える領域においてかなり大きくなるが、式中に含まれる各種係数のもつ数値の意味が必ずしも明確とは言えないことから、この問題に対する効率的な打開策を見出せないのが現状である。

本研究は、重圧管のより合理的な力学的性能評価を目指し、その設計への有限要素法（以下、FEMと略記）の適用を試み、既往の設計法との比較を通して、得られた解析結果に対する考察を行ったものである。

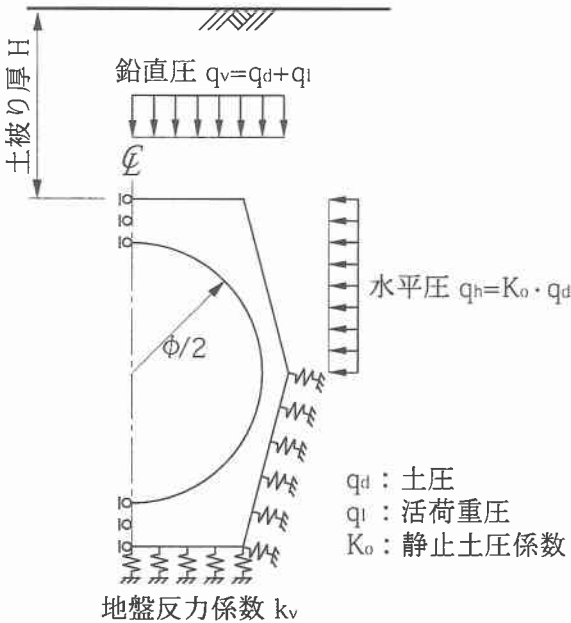
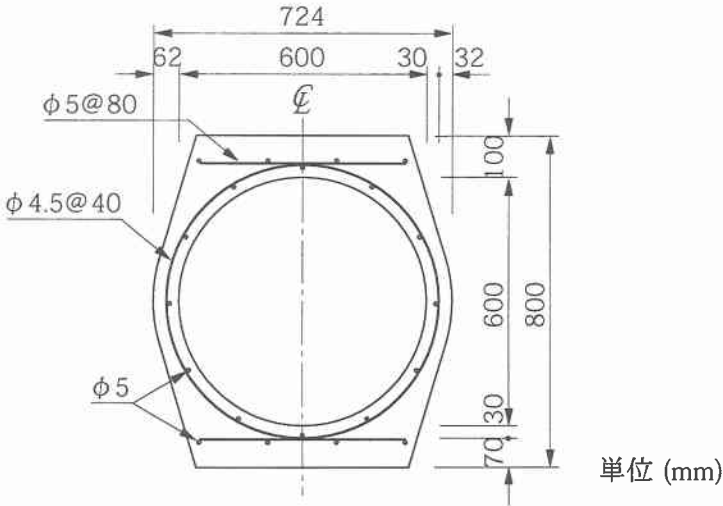
2. 解析概要 図－1 に内径 $\phi = 600$ mm の PCa 製重圧管を例に取り、その形状・寸法を示す。

図－2 には対応する FEM 解析モデルを示す。本研究では、対称性を考慮し、重圧管の右半分のみを解析対象とした。その際、重圧管内部に配置した補強ワイヤは無視した。拘束条件としては、対称軸に沿うローラー支持、および外側下半分の面に対する面直交方向へのばね支持（ばね定数＝地盤反力係数 k_v ）を仮定した。同面に平行方向の摩擦については無視した。载荷条件としては、外側上半分の面に対する鉛直圧 $q_v (= \text{土圧 } q_d + \text{活荷重圧 } q_l)$ 、および水平圧 $q_h (= K_o \cdot q_v, K_o: \text{静止土圧係数})$ を設定した。ここで、 q_d と q_l にはヒューム管設計施工要覧に規定されている数値を用いた。解析は、アダプティブ p 法 FEM による平面応力問題として実行した。以下では、8 次近似要素の場合の結果を用いて考察を行う。

表－1 に解析変数の一覧を示す。主な解析変数は、重圧管径 ϕ 、土被り厚 H 、静止土圧係数 K_o 、および地盤反力係数 k_v の 4 つである。重圧管の寸法および使用材料の性質については、既製品における値を用いた。

表－1 解析変数

解析変数名	変数値
重圧管径 ϕ (mm)	300, 400, 600, 800, 1000
土被り厚 H (m)	0.1, 0.2, 1.0, 3.0, 5.0, 5.5
静止土圧係数 K_o	0, 0.3, 0.5
地盤反力係数 k_v (N/mm ³)	0.01 (軟らかい粘土) 0.1 (緩んだ砂) 1.0 (密な砂)



図－1 PCa 製重圧管の形状・寸法の一例（ $\phi 600$ の場合）

図－2 重圧管のモデル化

3. 解析結果およびその考察

3.1 安全率の定義 本研究では、重圧管の安全率 γ を次式で定義した。

$$\gamma = \frac{\text{(土木学会コンクリート標準示方書に規定された設計曲げ強度)}}{\text{(解析による水平 (x) 方向の最大引張応力度)}}$$

なお、既往の設計では、 $\gamma \geq 1.25$ を安全性の規範としている。

3.2 水平 (x) 方向応力度分布 図-3 に $\phi 600$ 重圧管の場合を例に取り、水平方向の応力度 σ_x 分布の解析結果を示す。同図において、灰色が濃くなるほど引張応力度、薄くなるほど圧縮応力度がそれぞれ大きくなることを意味している。鉛直圧により、最初円形であった管が楕円形になろうとするため、それに伴う曲げモーメントが生じる。そのため、対称軸近傍における管の内側では引張応力度、外側では圧縮応力度がそれぞれ生じている。なお、上式中の分母には、この領域の値を用いた。

3.3 安全率 γ への静止土圧係数 K_0 の影響 図-4 に、地盤反力係数が $k_v = 0.1 \text{ N/mm}^3$ の場合を例に取り、安全率 γ への静止土圧係数 K_0 の影響を示す。同図において、横軸 H は土被り厚である。 K_0 の如何に関わらず、 H が小さい領域では活荷重圧が大きいためその影響を受けて γ も小さい。 H の増加に伴って γ は増大するが、 H が約 1 m を超えると、今度は鉛直土圧増加の影響を受けて γ は減少に転ずる。

また、同じ H であれば、 K_0 が大きいほど γ も大きく、安全性の確保のためには、重圧管上部の土を乱されていない地盤程度 ($K_0 \cong 0.5$) に締固めることが必要であることが分かる。これは、重圧管周囲の拘束度が高まることにより、鉛直圧による管の水平方向への変形が抑えられ、このことが重圧管の引張歪み度、さらには引張応力度の低減に繋がるためである。

なお、同図中には既往の設計法より算定される $\gamma-H$ 関係についても示してある。 $\gamma-H$ 関係における曲線形状および γ の値そのものに今回の解析結果とほぼ一致しており、重圧管の設計への FEM の適用の有効性が見て取れる。

3.4 安全率 γ への地盤反力係数 k_v の影響 図-5 に、静止土圧係数が $K_0 = 0.3$ の場合を例に取り、安全率 γ への地盤反力係数 k_v の影響を示す。 k_v の如何に関わらず、 $\gamma-H$ 関係は定性的には図-4 のそれとほぼ同じである。

また、同じ H であれば、 k_v が大きいほど γ も大きく、安全性の確保のためには、重圧管下部の土も十分に締固めることが必要であることが分かる。

4. 結論 本研究では、FEM をプレキャストコンクリート製重圧管の設計に適用し、その有効性を確認した。また、得られた解析結果より、重圧管の適用範囲を広げるためには、周囲の地盤を十分締固め、管の変形に対する拘束度を高めることが必要であること等を明らかにした。

参考文献 1) 全国ヒューム管協会：ヒューム管設計施工要覧，平成12年5月。

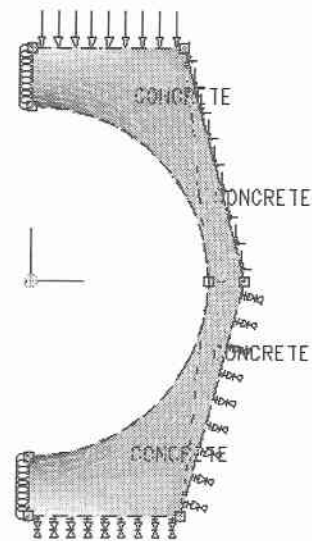


図-3 解析結果の一例
(σ_x 分布, $\phi 600$ の場合)

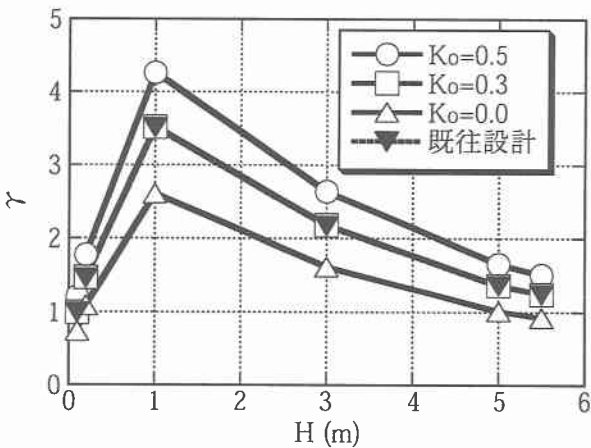


図-4 安全率 γ - 土被り厚 H 関係への静止土圧係数 K_0 の影響

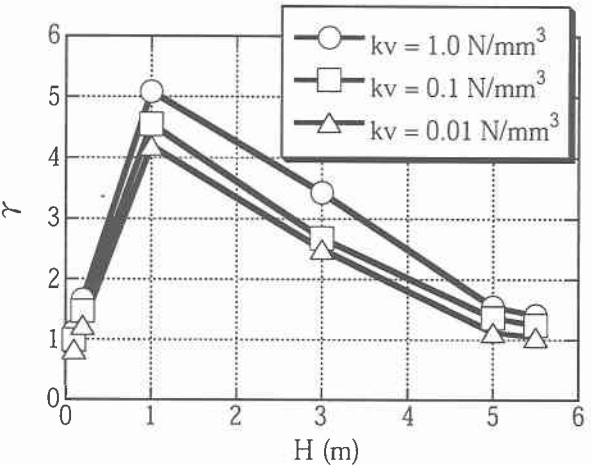


図-5 安全率 γ - 土被り厚 H 関係への地盤反力係数 k_v の影響
(静止土圧係数 $K_0 = 0.3$ の場合)