

圧縮力を受けるコンクリート充填鋼管の有限要素解析
による耐荷性能評価の試み

建設企画コンサルタント 正会員 ○鳴瀧 喜教
パブ日立エンジニアリング 石崎 泰郎
武田組 河合 勝奨
広島工業大学工学部 正会員 中山 隆弘

1. はじめに

コンクリート充填円形鋼管構造は、鋼管が降伏耐力に達した後でも急激な耐力低下を示す現象が見られず、一般に高い変形性能および耐荷性能を有していることが既往の研究結果から明らかにされている^{1), 2), 3)}。本研究では、コンクリートと鋼管の相互作用によってもたらされるコンファインド効果および耐力上昇効果について、有限要素法汎用プログラム（MARC）を用いて数値的に検討することを目的とした。

2. 解析概要

2.1 FEM 解析の概要

まず解析対象モデルおよび FEM モデルを図 2.1 に示す。コンクリートと鋼管の応力伝達については、MARC に備わるコンタクト機能を用いてモデル化した。また、コンクリート部分には 3DSolid 要素を、鋼管部分には shell 要素を使用した。コンクリートの要素分割数については半径方向に 10 分割、円周方向に 9 分割、鉛直軸方向に 25 分割とし、鋼の要素分割数については、円周方向に 9 分割、鉛直方向に 25 分割とした。

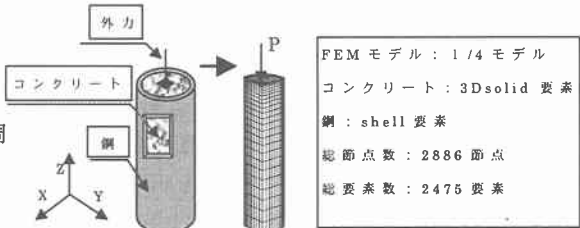


図 2.1 実対象モデルおよび FEM モデル

2.2 拘束係数の算定

FEM 解析の結果を用いて、拘束係数 K ならびに側圧を、次に示す算定式で算出した。このとき、コンクリートは 3 軸応力状態にあり、鋼は 2 軸応力状態にあるものと仮定し、コンクリートの実圧縮強度は、式 (1) の Richart の提案式より得られるものと仮定した。なお、側圧 σ_r は図 - 1 の状態を考えて力の釣り合い式より求めた。

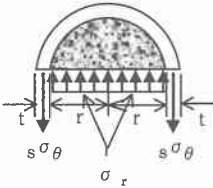


図 - 1 応力状態

$c\sigma_b' = c\sigma_b + k'\sigma_r \cdots (1)$, $k' = \frac{D - 2t}{D} K \cdots (2)$, ここで図 2.1 より $\sigma_r = s\sigma_\theta \cdot \frac{2t}{D - 2t} \cdots (3)$

ただし、平面応力状態の Von Mises の降伏条件より

$s\sigma_\theta = \alpha's\sigma_y \cdots (4)$, よって $c\sigma_b' = c\sigma_b + K \cdot \alpha's\sigma_y \cdot \frac{2t}{D} \cdots (5)$

ここで、

$c\sigma_b$: コンクリートの圧縮強度 , $c\sigma_b'$: 側圧 σ_r を受けるコンクリートの軸方向強度 , K : 拘束係数 , $s\sigma_y$: 鋼管の降伏応力
 $c\sigma_b'$: 側圧 σ_r を受けるコンクリートの軸方向強度 , D : 断面の外直径 , t : 鋼管の板厚 , α : 鋼管の円周方向応力成分比率

3. 解析ケースおよび材料特性値

表 - 1 材料特性

本研究では図 - 1 に示す通り、解析対象モデルの力学的対称条件を考慮して 1/4

ケース	鋼				コンクリート		
	降伏応力度 σ_y (kg/cm ²)	最大引張応力度 σ_u (kg/cm ²)	ポアソン比 ν	ヤング係数 E_s (kg/cm ²)	圧縮応力度 σ_b (kg/cm ²)	ポアソン比 ν	ヤング係数 E_c (kg/cm ²)
1~5	2800	5000	0.3	2.1E+06	400	0.2	3.70E+05

モデルを使用した。材料特性を表 - 1 に、断面せい比をパラメータした解析ケースを以下の表 - 2 に示す。

4. 解析結果と考察

まず、コンクリートの軸方向応力と軸方向ひずみとの関係を図-3に、断面せい比と耐力上昇率との関係を図-4に示す。また、図-3より、式(5)を利用して鋼管がコンクリートを拘束する際の定数(K)を求めたものを図-4に示す。

1) 初期剛性とその後挙動について

図-3より、コンクリートの圧縮強度が同じ場合には、断面せい比の違いによる初期剛性の差異はほとんど見られない。しかし、コンクリート強度が圧縮強度の付近になると、断面せい比が小さくなるに従って剛性が高くなる傾向が見られる。この理由は、コンクリートが圧縮強度に近づいてコンクリート自体の横方向伸びが急激に増大(ポアソン比の増大)することにより、その変形を拘束する鋼管の板厚が大きいほど側圧が大きくなるためであると思われる。このことより、体積膨張が急激に増大し始めるまでは(圧縮強度の範囲)、コンクリートは鋼管の有無に関わらず、ほぼ独立して外力に耐えるものと思われる。また耐力上昇については図-5に示す通り、断面せい比が小さいものほど拘束力が大きくなり耐力が上昇している。

表-2 解析ケース			
ケース	高さ L(cm)	載荷方法	摩擦係数 μ
1 2 3 4 5	40	中押し	0.5

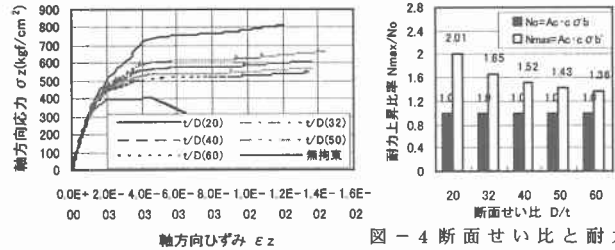


図-4 断面せい比と耐力上昇率との関係

2) 拘束効果について

図-5は、断面せい比をパラメータとして、側圧と側圧を受けるコンクリートの軸方向応力度との関係を示したものである。図より、断面せい比が20~60の範囲であれば、拘束係数の値にさほど差はなく、このことより拘束係数は鋼管の板厚の大きさに大きな影響を受けないことが推察できる。表-3はこのことを具体的に示している。なお、ここでは紙面の関係で省略したが、鋼管とコンクリートとの摩擦係数も拘束係数に大きな影響を及ぼし、ポアソン比の増大もそれに大きく寄与することは上述の通りである。

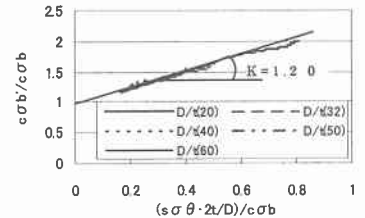


図-5 側圧と側圧を受けるコンクリートの関係

表-3 各ケースの拘束係数

解析ケース	8	9	10	11	12
断面せい比	20	32	40	50	60
拘束係数 K	1.19	1.20	1.20	1.21	1.22
平均値 K	1.204				

4. まとめ

本研究により得られた結論は次の通りである。

1) コンクリートの初期剛性は鋼管の板厚には大きな影響を受けず、圧縮強度域まではコンクリートは軸方向の荷重に対してほぼ独立に働く。2) コンクリートの最大耐力は断面せい比が小さいもの(板厚が大きい)ほど大きくなる傾向が見られる。3) 拘束係数は断面せい比の影響をそれほど受けない。4) 今回 unbond 型の中押し解析をした結果、既往の研究結果より耐力上昇率および拘束係数がかなり小さくなった。この原因としては、鋼管とコンクリートの境界面に設定した摩擦係数に問題があると思われる、今後この摩擦係数の取り扱いに対する研究が必要である。

【参考文献】

1) 日本建築学会:コンクリート充填鋼管構造設計施工指針,1997. 2) 松井千秋:コンクリート充填鋼管構造の構造性能と設計,鋼構造論文集,第1巻第2号,pp11-24,1994.6. 3) 加藤勉:コンクリート充填鋼管短柱の圧縮強さ,変形能力,日本建築学会構造系論文集,第468号183-191,1995.2.