

大阪市立大学工学部

学生員○澤田 康平

大阪市立大学大学院工学研究科 正員 北田 俊行

大阪市立大学大学院工学研究科 正員 山口 隆司

大阪市立大学大学院工学研究科 正員 松村 政秀

1. はじめに 鋼部材にコンクリートを充填した合成部材の耐荷力算定には、充填したコンクリートのコンファインド効果の適切な評価が重要である。本研究では、鋼薄肉部材の弾塑性有限変位解析コード USSP に、新たにコンクリート・ソリッド要素を追加し、その妥当性をコンクリート短柱の一軸圧縮実験を行い、検証した。次に、コンクリート充填鋼管短柱に圧縮力が作用する場合の解析を行い、コンクリートを充填した鋼管短柱の挙動を、鋼管による充填コンクリートの拘束度、すなわち鋼管板厚をパラメータとして解析的に検討している。

2. コンクリートモデルの解析結果 ソリッド要素の有効

性をコンクリートの一軸圧縮試験とその実験供試体の解析により検証した。実験供試体は、外径 150 mm で、高さ 300 mm、および外径 100 mm で、高さ 200 mm の異なる

表-1 コンクリートの材料定数

	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 ($\times 10^4$ N/mm ²)	ポアソン比	引張強度 (N/mm ²)
平均	24.37	2.53	0.184	2.31
高さ300 mm	24.12	2.47	0.191	計測値無し
高さ200 mm	24.61	2.57	0.176	2.31

2種類の形状のものを設定した。実験により得られた2種類の供試体の圧縮強度、ヤング係数、ポアソン比、および引張強度はほぼ一致した(表-1)。

解析モデルには、実験で得られたコンクリートの材料定数の平均値を使用した。解析は、外径 150 mm で、高さ 300 mm の供試体をモデル化し、形状の対称条件を考慮に入れ、その1/4モデルとしている。モデル化に際し、分割の違う種々のモデルを解析した結果、分割による違いはあらわれなかった。これより、以下の解析では周方向に12分割、直径方向に12分割したモデルを使用した。このモデルを使用した解析結果と実験結果とを図-1に示す。図よりわかるように、解析結果と実験結果とはほぼ一致し、ソリッド要素を用いた解析法の妥当性が検証できた。

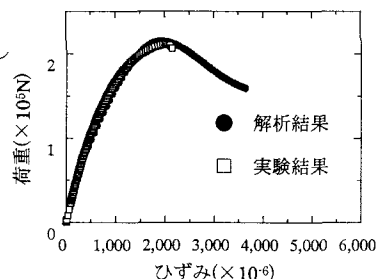


図-1 解析結果と実験結果との比較

4. コンクリート充填鋼管短柱の解析結果

(1) コンクリートのみを載荷した場合 コンクリート充填鋼管短柱において、鋼板厚を変化させて、充填コン

表-2 解析に用いた鋼の材料定数

ヤング係数 ($\times 10^5$ N/mm ²)	ポアソン比	降伏応力 (N/mm ²)
2.1	0.3	390

クリートのみに純圧縮力を載荷した解析を行った。解析モデルは、コンクリートはソリッド要素(8節点、6面体)で、鋼管は三角形板要素でモデル化した。解析に用いたコンクリートおよび鋼の材料定数を表-1、表-2にそれぞれ示す。鋼板の板厚は表-3に示すとおりに変化させた。本解析モデルでは、コンクリート要素と鋼

表-3 解析ケースの内訳

解析モデル	鋼板厚 (mm)
A	5
B	7.5
C	10
D	15

板要素は図-2に示すように座標軸 x, y 方向を剛なばね要素で結合した。

また、ばね定数は 1.0×10^{13} N/mm とした。解析モデルの境界条件は、対称条件を考慮に入れ、底面の要素はすべて z 方向を拘束し、 x 軸上の要素では x 軸回転と鋼管の y 方向を拘束し、 y 軸上要素では y 軸回転と x 方向を拘束し、さらに原点では x, y 方向とを拘束した。また、ソリッド要素はすべての軸まわり回転を拘束した。なお、載荷は上部に等しい変

位を与える強制変位で行った。鋼板厚 5 mm の場合の最大荷重時の変形図を図-3に示す。同図より鋼管は載荷方向には変形せず、コンクリートのみが変形しており、想定した載荷状態を再現できていることがわかる。

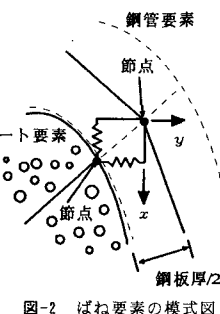


図-2 ばね要素の模式図

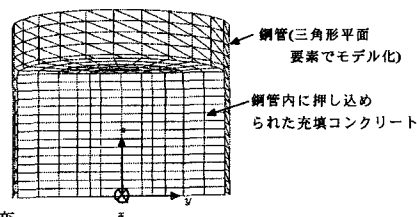


図-3 (変形倍率50倍)

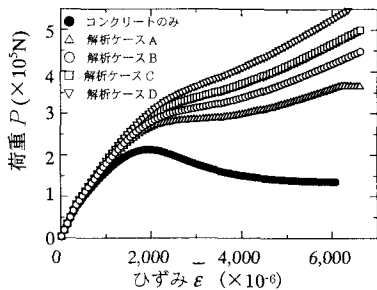


図-4 作用荷重 P -ひずみ ε 曲線

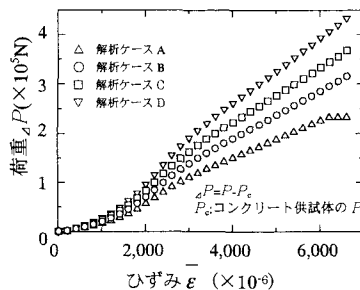


図-5 増分荷重 ΔP -ひずみ ε 曲線

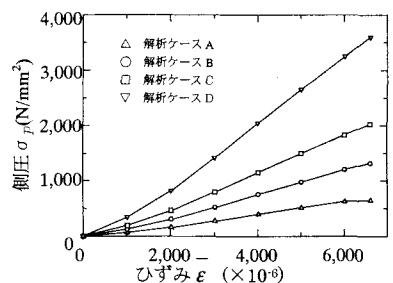


図-6 側圧 σ_p -ひずみ ε 曲線

図-4、図-5、および図-6 には鋼板厚の変化に注目した、荷重-ひずみ曲線、増分荷重-ひずみ曲線、および側圧-ひずみ曲線をそれぞれ示す。増分荷重は、鋼管で拘束した場合の圧縮荷重 P から、コンクリートモデルの圧縮荷重 P_c を減じたもの ($\Delta P = P - P_c$) であり、鋼管によるコンクリートの耐荷力の増加分を表している。図-6 の側圧については、以下の方法により算出した。

コンクリートの側圧 σ_l と鋼管のフープ方向応力 σ_{st} の関係は

$$\sigma_l = -\frac{t}{R} \sigma_{st} \quad \text{ここで、} t: \text{板厚、} R: \text{半径とする。式中の } \sigma_{st} \text{ は解析で得られた値を代入する。}$$

これらの結果より、充填コンクリートの耐荷力は、側圧の増加に伴うコンファインド効果によりコンクリートのみの耐荷力よりも大きく増加していることがわかる。さらに、鋼管厚の増加に伴い側圧も増加しており、耐荷力の上昇も大きい。

(2) コンクリートと鋼とを同時載荷した場合 コンクリート充填鋼管短柱において、充填コンクリートと鋼管とを同時に圧縮載荷した場合の解析も行った。図-7 には、鋼管のみのモデルに載荷した場合、コンクリートのみのモデルに載荷した場合、およびコンクリートと鋼管の両方に載荷した場合の結果、ならびに充填コンクリートと鋼管との累加強度もまとめて示す。この結果より、コンクリートと鋼管とを同時載荷した場合の耐荷力は、ほぼコンクリートのみのモデルの耐荷力と鋼管のみのモデルの耐荷力との累加となっており、最大荷重も累加強度式とほぼ等しい。参考までに以下、比較に用いた 2 つの式を示す。

$$\text{累加強度式: } N_o = \sigma_y A_s + \sigma_{yc} A_c \gamma_U \sigma_B \quad (1)$$

$$\text{コンファインド効果を考慮した耐荷力評価: } N_U = (1 + \eta) \sigma_y A_s + \sigma_{yc} A_c \sigma_B \quad (2)$$

ここで、 A : 鋼管の断面積 (mm^2)、 σ_y : 鋼管材料の降伏点 (N/mm^2)、 A_c : 充填コンクリートの断面積 (mm^2)、 σ_B : 充填コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)、 γ_U : コンクリート強度の低減係数 0.85、 η : 実験より 0.27 とする。

5. まとめ 一軸圧縮試験の結果より得られた材料定数を用いたコンクリート短柱の USSP.C による解析では、形状の対称条件を考慮に入れた供試体の 1/4 の解析モデルの使用により、実験結果を再現できた。

コンクリート充填鋼管短柱を対象として、充填コンクリートのみを純圧縮した場合の解析結果は、鋼管の影響によるコンファインド効果により、コンクリートのみのモデルでの解析結果の耐荷力より増加した。また、鋼管厚の増加によりコンクリートに作用する側圧も増加し、それに伴い充填コンクリートの耐荷力が増加していることを確認した。コンクリートと鋼管とを同時載荷した解析結果は、コンクリートと鋼管との耐荷力の累加強度として算定された。なぜ、コンファインド効果が発生しなかったのか不明である。この点について、今後、十分に検討する必要がある。

参考文献 1) 吉田康樹: コンクリートを充填した鋼管短柱の弾塑性挙動に関する基礎的研究, 大阪市立大学・工学部・土木工学科・橋梁工学研究室, 1987. 2) 鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 第 4 版, 1987.6.

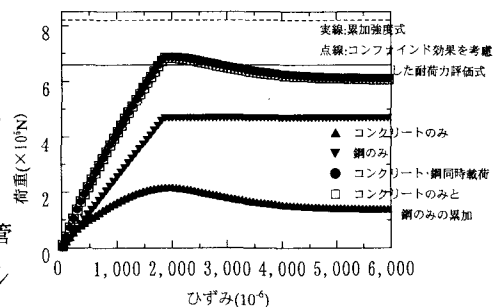


図-7 鋼管と充填コンクリートとの連成挙動