

コンクリート充填鋼管柱の内部コンクリートへの拘束効果に関する三次元有限変形解析

中部大学大学院博士後期課程（瀧上工業（株））○正会員 松村 寿男

中部大学 正会員 水野 英二

1. まえがき

コンクリート充填鋼管構造は、鋼・コンクリートの一体化による高い剛性と鋼がコンクリートを拘束する効果を期待した構造で、公共工事におけるコスト縮減が求められている中、異種材料の利点を生かした合理的な構造の一つとして実用化されている。既往の研究では、実験的もしくは簡易解析的にその終局挙動を検討したものが多いが、鋼管の座屈およびコンクリートのひび割れなどの複雑な現象を再現する三次元有限変形解析の詳細なシミュレーションは数少ない。本研究では、コンクリート充填鋼管柱における三次元有限要素解析の損傷メカニズムについて、等価拘束圧なる指標を用いてコンクリートが鋼管により拘束される効果を定量的に考察する。また、鋼管とコンクリートの境界における付着要素についても積分点レベルでの挙動を考察する。

2. 三次元有限要素解析

本研究は文献¹⁾に示す三次元有限要素モデルの検証に新たな考察を加えている。軸方向に一定軸力 700 tf (= 6860 kN) を載荷した後に、横方向変位により単調載荷した実験を再現したものである。汎用有限要素法プログラム DIANA を使用し、充填コンクリートにはソリッド要素、鋼管にはシェル要素、それらの境界部には付着要素を用い、鋼管接触時にはコンクリートの挙動を、剥がれおよびすべりには強度を持たないように設定している。構成モデルは、鋼管にはマルチリニア、コンクリートには Drucker-Prager モデルを用いた。なお、コンクリート充填鋼管柱の載荷点における降伏荷重 $Q_y = 800$ (kN) と降伏変位 $\delta_y = 14$ (mm) で無次元化した荷重—変位曲線の算出結果を図-1 に示す。

3. 解析結果

3.1 充填コンクリートの等価拘束圧

充填コンクリートの柱基部は拘束を大きく受けていると仮定して、図-2 に示す 4 層目 (Layer 4) までの挙動を考えた。鋼管の座屈波形は、要素 BR1 の 2 層目 (Layer 2) から周方向に BR5 付近まで発生している。このようなコンクリートの曲げによる圧縮および鋼管の座屈により柱基部は複雑な応力状態であるため、一軸応力状態のみで充填コンクリートの拘束度を評価することは困難である。本研究では、一般応力状態で定量的に評価できる等価拘束圧なる指標を用いる。なお、等価拘束圧とは、一般応力状態での応力量を側方応力一定の三軸圧縮経路上の応力量に換算した場合の側方応力のことの意味する^{2), 3)}。縦軸に等価拘束圧 σ_L を一軸圧縮強度 f_c' で除した値、横軸に載荷変位 δ を降伏変位 δ_y で除した値を用い、各要素の等価拘束圧の変動を考察する。

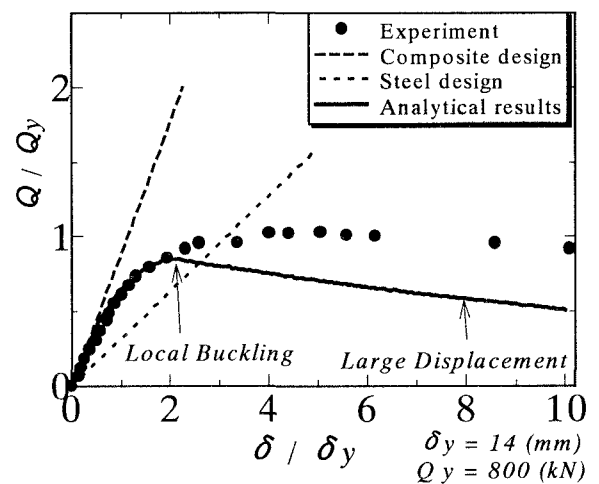


図-1 荷重—変位曲線

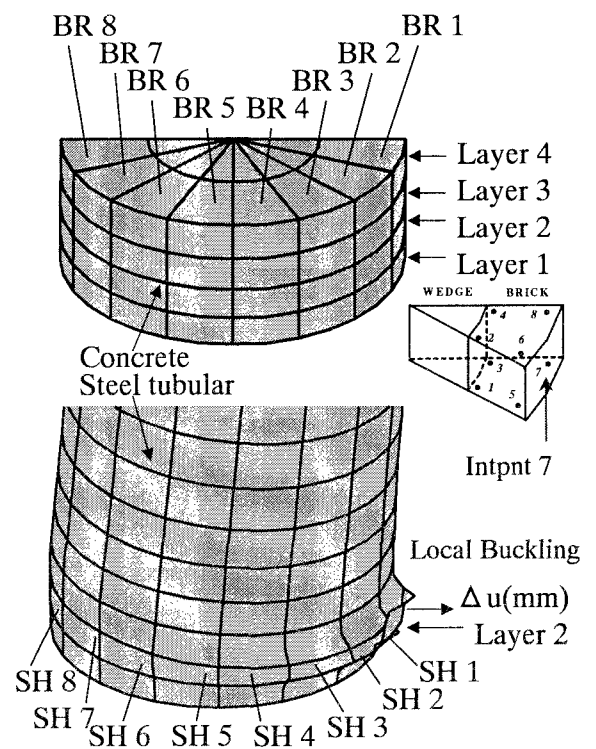


図-2 柱基部の要素

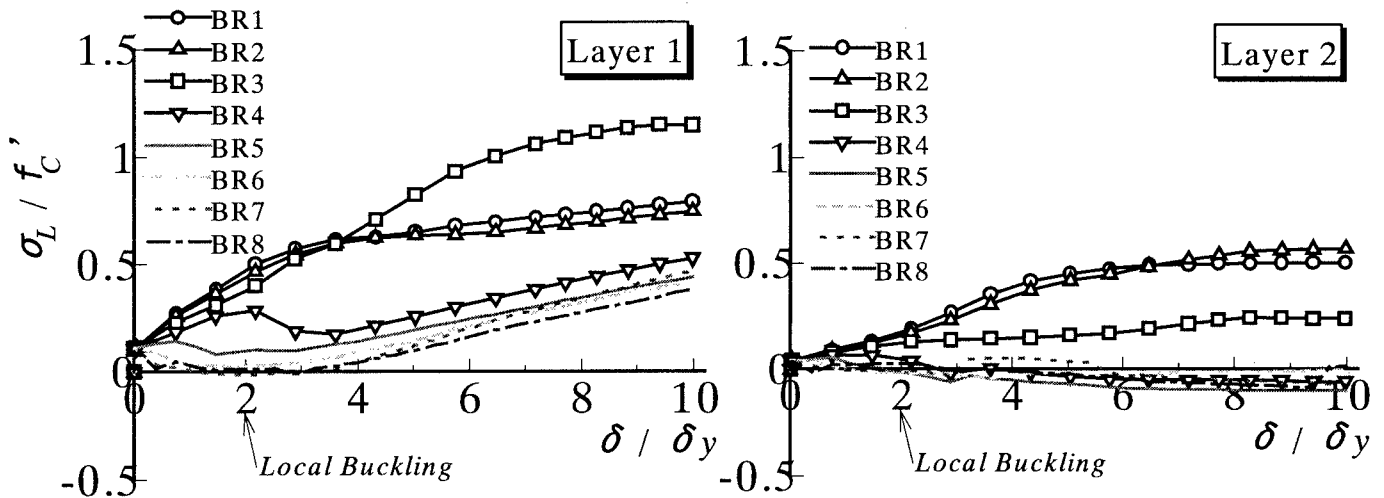


図-3 等価拘束圧の変動

図-2に示す六面体要素 (Brick) の積分点7に着目し、基部 Layer 1 と Layer 2 の各要素の等価拘束圧と荷重変位の関係を図-3に示す。Layer 1 の結果より、基部の要素は荷重変位が進むに従い、一軸圧縮強度 f'_c の0.5倍から1.1倍までの範囲の大きな拘束側圧を受けていることが分かる。しかし、Layer 2 では、圧縮側のBR1からBR3までが拘束力を受けるに留まり、その拘束側圧もLayer 1 に比べて減少していた。また、他の要素は拘束をほとんど受けていない状態であることが分かる。さらにBR1, BR2では拘束側圧の変動は緩やかなことから、コンクリートの曲げによる圧縮状態が支配的であることが予測される。一方、BR3, BR4ではLayer 1において $\delta / \delta_y = 2$ 付近で急速に増加、減少しており、鋼管の座屈が拘束圧の変動に寄与している可能性が高いことが分かる。

3.2 鋼管の座屈と付着要素の挙動に関する考察

鋼管の座屈による肌離れ変位量 Δu (mm) と荷重変位の関係を図-4に示す。 Δu が0 (mm)であれば鋼管は充填コンクリートに接触しており、座屈により肌離れを起こしていれば、その変位量が肌離れ量である。コンクリートが圧縮側の付着要素SH1~SH3までは最大約24 (mm)の肌離れを起こし、 $\delta / \delta_y = 2$ 付近から2次曲線的に増加しているが、中央のSH5, 6は肌離れが始まる荷重変位も $\delta / \delta_y = 2$ とは異なり、SH7, 8では0 (mm)でコンクリートに接触していることが分かる。付着要素の視点からも鋼管の座屈が $\delta / \delta_y = 2$ から起こっている。その他、鋼管のひずみも要素SH1で最大16%ひずみが存在し、鋼材がひずみ硬化域でもかなり高ひずみ域であること、鋼管とコンクリートによるすべり量も最大16 (mm)生じていることが分かる。

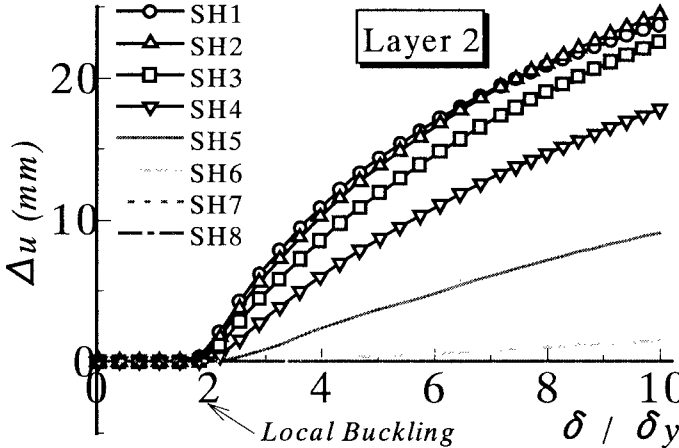


図-4 付着要素の肌離れ変位量

謝辞：本研究を遂行するにあたり、中部大学奨励研究費（松村）、中部大学総合工学研究所補助金（第6部門B）、ハイテクリサーチ研究費（文部科学省）ならびに平成14-15年度文部科学省科学研究費補助金（基盤研究C、研究代表者：水野英二）を受けたことを付記し、ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 松村寿男, 水野英二: コンクリート充填鋼管柱の三次元有限変形解析, 鋼構造年次論文報告集, Vol.10, pp.535-542, 2002.
- 2) Mizuno E., Hatanaka S.: Strain-Space Plasticity Modeling for Compressive Softening Behavior of Concrete Materials, Concrete Research and Technology, Vol. 2, No.2, pp.85-95, 1991.
- 3) 水野英二, 森本康介, 畑中重光: 中心圧縮力を受けるコンファインドコンクリートの拘束効果に関する三次元 FEM 解析, コンクリート工学年次論文報告集, Vo21, No.3, 1999.
- 4) Stephen P.Schneider: Axially loaded concrete filled steel tubes, Journal of Structural Engineering, pp.1125-1138, 1998.