

I-499

受動的拘束を受けるコンクリートの構成モデルを用いた コンクリート充填鋼管構造の3次元FEM解析

新日本製鐵(株) 正員○木下 雅敬
 正員 伊佐 陸善

1. はじめに

コンクリート充填鋼管構造は、耐荷力およびその変形能力に優れ、耐震性の面で有利であることが最近多くの研究により明かになってきた。特に、コンクリートが鋼管により拘束されることによりコンクリートの強度や変形能力が増加することが本構造が優れた特性を発揮する主因であると考えられている。しかしながら、このような受動的な拘束を受けるコンクリートの3軸挙動を表わす一般構成則として確立されたものがないため、3次元のFEM解析等を用いてもこのようなコンクリート充填鋼管の拘束効果を解析的に評価することが困難であった。以上のような観点から、筆者らは、受動的な拘束を受けるコンクリートの挙動を調査するために基礎的な実験を行ってきた¹⁾²⁾。また、それらの実験から、特にコンクリートの体積変化に注意して、塑性理論に基づいた非関連流れ則による構成関係を構築することを試みている³⁾。今回、この構成関係を用いて、円形のコンクリート充填鋼管のFEM解析を行い、既往文献の実験結果³⁾と比較したので、その結果について報告する。

2. 受動的拘束を受けるコンクリートの構成式

拘束コンクリートの挙動を検討するための実験は、図-1に示す様に円形鋼管に打設されたコンクリートを軸方向に圧縮することにより行った。実験は、2種類のコンクリート強度(33N/mm²(Mix1)と45N/mm²(Mix2))のものについて、鋼管の肉厚を4種変化させて行っている(尚、実験の詳細については、平成4年度の全国大会にて報告済みである)。これらの簡単な実験から、古典的な塑性理論に基づく弾塑性構成関係式を構築するため、以下のように載荷関数及び塑性ポテンシャル関数を求めた。

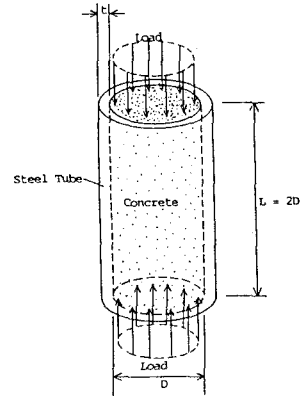


図-1 拘束コンクリートの基礎実験

2-1. 載荷関数

実験より各実験ケースの塑性仕事の変化を計算し、その等高線を八面体応力平面に描いた(図-2参照)。そしてその形状に近い曲線を表現する載荷関数を下式で表わし、各パラメーターを回帰分析にて、2つの強度のコンクリート材料各々について決定した。

$$f(\sigma', P) = \left(\frac{\sigma'_0 / f_{cy} + S}{P} \right)^{b1} - \left(\frac{\sigma'_0 / f_{cy} + S}{P} \right)^{b0} + \left(\frac{\tau'_0 / f_{cy}}{K P^\alpha} \right)^2 = 0 \quad (\text{式-1})$$

ここで、 $b1, b0, S, K, \alpha$ は材料定数、 P は塑性硬化パラメーターで塑性仕事の関数。

尚、このときコンクリートの終局強度基準は次式の形式で表わされると仮定している。

$$\tau'_0 / f_{cy} = k_f (\sigma'_0 / f_{cy} + s_f)^\alpha \quad (\text{式-2})$$

ここで、 k_f, s_f, α は材料定数。

2-2. 塑性ポテンシャル関数

実験より各実験ケースの塑性歪みの増分を計算し、その増分を表わすベクトルを八面体応力平面に描かれた応力経路図に重ね合わせて描き塑性流れの方向に関する全体像を把握した(図-3

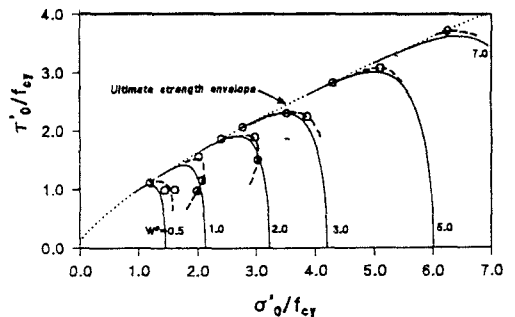


図-2 塑性仕事の等高線と載荷関数(Mix1)

(記号補足説明)

σ'_0 =八面体垂直応力(Octahedral Normal Stress)
 τ'_0 =八面体せん断応力(Octahedral Shear Stress)
 f_{cy} =コンクリートの一軸圧縮強度(シガー強度)

参照)。そしてベクトルを法線とするような曲線に近い形を表現する載荷関数を下式で表わし、各パラメータを回帰分析にて、2つの強度のコンクリート材料各々について決定した。

$$g(\sigma'_{ij}) = \left(\frac{\sigma'_0 / f_{cy} + s_f}{Q + C} \right)^{d1} - \left(\frac{\sigma'_0 / f_{cy} + s_f}{Q + C} \right)^{d0} + \left(\frac{r'_0 / f_{cy}}{K_0 Q^\alpha} \right)^2 = 0 \quad (\text{式-3})$$

ここで、 $d1, d0, C, K_0, \alpha$ は材料定数、 Q は応力状態より決定されるパラメータ。

3. 圧縮・曲げを受ける円形コンクリート充填鋼管の3次元FEM解析

3-1) FEM解析方法

上で提案された拘束コンクリートの構成関係は、コンクリートが軸方向に一軸圧縮強度に近い圧縮応力を受けた後の構成関係であるため、解析ではコンクリートが圧縮域で一軸圧縮強度の90%の応力を受けるまでは、既存の構成関係⁴⁾を用い、一軸圧縮強度の90%の応力を受けた後にコンクリート部分が上記の構成式に従うものとした。また、上記の構成式は軸対称のケースに対応するものであることから、相似角(Lode Angle)の影響は解析では無視している。尚、鋼管は膜要素でモデル化し、コンクリートと鋼管の結合は完全であるとしている。

3-2) 解析対象と解析結果

解析を行ったのはSen(1969)³⁾が行った圧縮と曲げを同時に受ける円形のコンクリート充填鋼管構造である。実験では、図-4に示す様な供試体に種々の軸力を作用させた後、端部モーメントを作用させている。実験と解析による端部モーメントと供試体の変形曲率の関係を比較したものを図-5に示す。両者はほぼ満足できる一致を示した。尚、解析の詳細については当日発表する。

4. おわりに

本研究にあたりアテネ工科大学のProf. Kotsovosとロンドン大学インペリアルカレッジのDr. Pavlovicにご指導頂いた。記して謝意を表わす。

(参考文献)

- 1) 木下、伊佐(1992)「受動的拘束を受けるコンクリートの挙動に関する基礎的実験」土木学会第47回年次学術講演会講演概要集、I-74 pp.324~PP.325
- 2) Kinoshita M (1992), 'Constitutive relations of concrete under passive confinement and their use in structural analysis', PhD Thesis, University of London
- 3) Sen H K(1969), 'Triaxial effects in concrete-filled tubular steel columns', PhD Thesis, University of London
- 4) Gonzales-Vidoso F (1990), 'A three-dimensional nonlinear finite-element models for structural concrete', PhD thesis, University of London

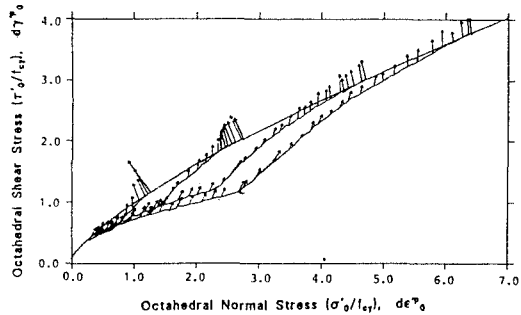
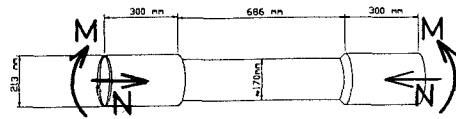


図-3 実験により得られた塑性流れ (Mix1)



<解析との比較に用いた試験体仕様>

鋼管：鋼管径D = 約170mm

肉厚 t = 10mm, 5mm

降伏点 $f_y = 320, 350 \text{ N/mm}^2$

コンクリート：

圧縮強度 $f_{cy} = 48.7, 45.0 \text{ N/mm}^2$

図-4 コンクリート充填鋼管の圧縮曲げ実験試験体³⁾

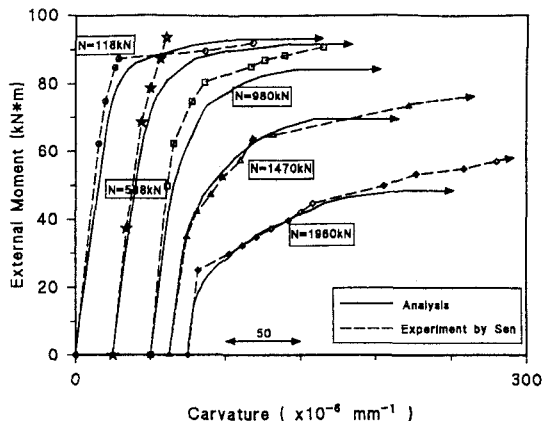


図-5 コンクリート充填鋼管の圧縮・曲げ挙動の実験結果とFEM解析結果の比較