

コンクリート充填鋼管断面の一軸曲げ-軸力状態における繰り返し変形特性について

名古屋大学工学部 田中智之

名古屋大学大学院 水野英二

1. はじめに

本研究では、1) 修正 2 曲面モデル^{[1][2][3]}の概念を導入し、種々のコンクリート強度、断面形状パラメータを有するコンクリート充填鋼管の境界曲線、降伏棚曲線、降伏曲線の数式化をモーメント M -軸力 P 空間にて行い、2) 一軸曲げ-軸力状態におけるコンクリート充填鋼管断面短柱の繰り返し変形特性について考察する。

2. 解析方法

(1) 解析モデル

対象とした充填断面および解析に用いた要素分割は図-1 (a)、(b) に示す。なお、箱形断面において鋼部材のフランジ部分とウェブ部分は同じ厚さに設定した。鋼材は SS400 とし、応力-ひずみ関係には修正 2 曲面モデルを採用した。一方、断面内部のコンクリートの応力-ひずみ関係は完全弾塑性型とし、引張応力の負担はないものとする。断面の分割数は箱形断面で約 300、円管断面で約 1000 とした。

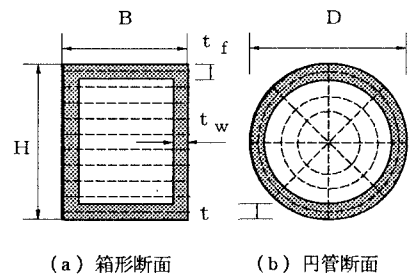


図-1 解析モデル

(2) 各種強度曲線の計算

各種強度曲線は、軸力 N を降伏軸力 N_y で無次元化した n 、曲げモーメント M を初期降伏モーメント M_y で無次元化した m による (m, n) 空間で定義する。ここで、無次元化のための基本量として N_y は純圧縮・純引張時の降伏軸力の平均を、また、 M_y は仮想的にコンクリート・鋼部材がともに降伏した状態の曲げモーメントとする。なお、本研究では、圧縮力を負とする。計算方法は、 $\Delta \epsilon / \Delta \phi$ を一定にした比例載荷を対象として、断面を図-1に示すように要素分割し、各要素でそれぞれの材料の応力-ひずみ関係を適用し、得られた応力値から断面力（軸力、曲げモーメント）を求める。

(1) 降伏曲線

初期降伏曲線は、断面内の一部が塑性化し始める状態を表す。そこで、鋼材・コンクリート各両端の要素のうち、一カ所以上が降伏した場合を採用する。

(2) 降伏棚曲線

$n-m$ 空間で降伏棚状態となった場合、断面内の多くの要素は降伏棚領域にある。そこで、軸力・曲げモーメントの増分が最も小さい場合、つまり、 (m, n) 空間での挙動が不連続となるとき（図-2参照）の点を降伏棚曲線上の一点（サンプルポイント）として採用する。

(3) 境界曲線

図-3 (a)、(b) には、 $n-\epsilon^p$ 関係、 $m-\phi^p$ 関係を示す。ここで、 ϵ^p は塑性軸ひずみ、 ϕ^p は塑性曲率である。これらの関係はともに応力-ひずみ関係のひずみ硬化域に相当する領域で、直線的な変化となっている。この部分を延長し、 n 軸、 m 軸との交点の値を境界曲線の初期値（サンプルポイント）として採用する。

上記 (1) ~ (3) について $\Delta \epsilon / \Delta \phi$ の値をさまざまに変えた载荷経路で各種曲線に対するサンプルポイントを求め、これらの点を曲線近似して降伏曲線、降伏棚曲線、境界曲線を求める。さらに、各曲線を表示する関数の係数を強度比、断面パラメータで数式化する。

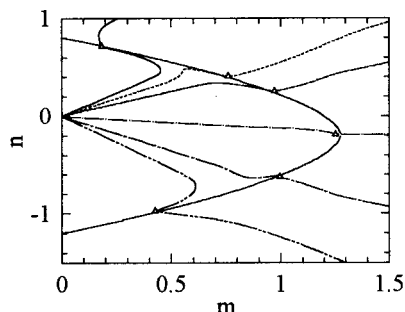


図-2 降伏棚曲線の計算

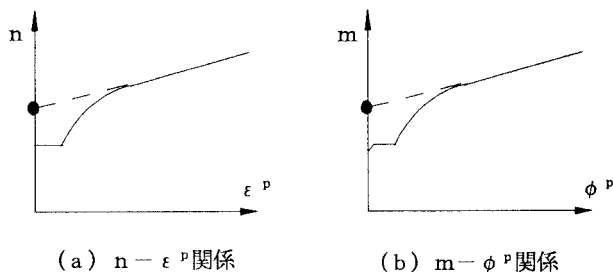


図-3 境界曲線のサンプルポイントの概念図

3. 解析結果および考察

(1) 強度曲線

一例として、コンクリート強度 $f_c' = 210 \text{ kg f/cm}^2$ 、箱形断面の上フランジ部と両ウェブ部の面積比 $A_f/A_w = 0.3$ を有する充填鋼管断面の各種強度曲線（□印：降伏曲線、△印：降伏棚曲線、+印：境界曲線）を図-4に示す。また、図-5には鋼部材断面の強度曲線の概要図を示す。鋼部材断面の場合、各種曲線は n 軸、 m 軸に対して対称であるが、コンクリートが充填されることにより圧縮側にて強度が強くなる。そのため、曲線は圧縮側へずれる。曲線の形状をみると境界曲線・降伏棚曲線は n 軸に对称、また上下対称となっているため、次式で示す同一の関数 F で表現する。

$$F : \left(\frac{m}{f} \right)^{C_1} + (n - \alpha)^{C_2} - r = 0 \quad (1)$$

ここで、 C_1, C_2 : 定数、 f : 形状定数、

α : m 軸からのずれ、 r : 短軸半径

一方、降伏曲線はコンクリートと鋼材の強度が異なっているため、上下対称となっていない。そのため、2種類以上の数式で考える必要がある。数式化の詳細については当日発表する。

(2) 繰返し変形挙動

降伏ひずみ ϵ_y 、降伏曲率 ϕ_y により無次元化された ϵ/ϵ_y および ϕ/ϕ_y の比を制御することにより、繰返し比例載荷ならびに非比例載荷を行い、その繰返し変形挙動について調べた。詳細については当日発表する。

4. 参考文献

- [1] 田中良二, 水野英二, 沈赤, 宇佐美勉: 降伏棚を有する鋼材の繰返し弾塑性モデル—二曲面塑性モデルの開発, 構造工学論文集, Vol.37A, 1991, pp.1-14.
- [2] Shen C., Tanaka Y., Mizuno E., and Usami T.: A Two-Surface Model for Steels with Yield Plateau, Structural Eng./Earthquake Eng., Proc.of JSCE, Vol.8, No.4, 1992, 11(179s)-20(188s).
- [3] Shen C., Mizuno E., and Usami T.: Further Study on Two-Surface Model for Structural Steel Cyclic Loading, Structural Eng./Earthquake Eng., Proc.of JSCE, Vol.9, No.4, 1993, pp.59-62.

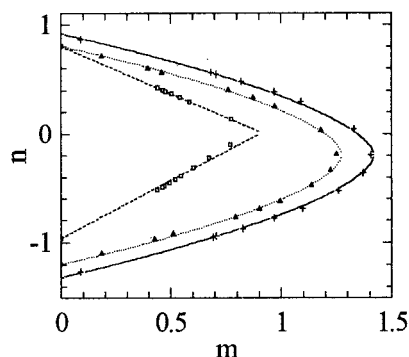


図-4 充填断面の各種強度曲線

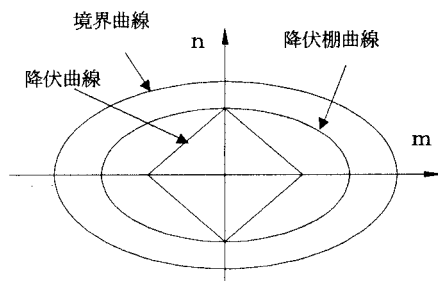


図-5 鋼部材断面の各種強度曲線