

各種コンクリート構成モデルによるコンクリート充填鋼管柱の三次元有限要素解析

名古屋大学 正会員 水野 英二
三重大学 沼田 茂己
同 正会員 畑中 重光

1. はじめに

本研究では、コンクリートのひずみ軟化挙動を考慮することの重要性を確認するため、コンクリート充填鋼管柱の圧縮変形挙動の三次元有限要素解析を通して、筆者らのひずみ硬化－軟化型構成モデル[1][2][3]による結果と他の構成モデルによる結果との比較・考察を行う。

2. 各種コンクリート構成モデルの概要

i) 弾－完全塑性型構成モデル

Lade 型破壊曲面上で、関連流れ則を用いる場合 ($k=1$) と、非関連流れ則を用いる場合 (ここでは、 $k=\infty$; この場合、塑性体積ひずみはゼロとなる) の二種類を考える。なお、 k 値については後述する。

ii) ひずみ硬化－完全塑性型構成モデル

ひずみ硬化域では、後述するひずみ硬化－軟化型構成モデルと同じ硬化則・非関連流れ則を用いる。また、破壊曲面に達した後は関連流れ則 ($k=1$) を用いる。

iii) ひずみ硬化－軟化型構成モデル (筆者らの構成モデル)

ひずみ空間で定義した負荷曲面 F に含まれる強度パラメータ F_p を用いて、ひずみ硬化・ひずみ軟化を表現する。強度パラメータ F_p は、コンクリートの損傷度を表し、ひずみ硬化域では増加し破壊曲面で最大値 (F_{pmax})

となり、軟化に伴い徐々に減少する。また、塑性ポテンシャル曲面には、ひずみ空間で定義した負荷曲面 F の $\sqrt{J_2}$ 値を $1/k$ 倍した曲面を用いる (図-1 参照)。ただし、 $\bar{I}_1$ および $\sqrt{J_2}$ は、ひずみの一次および二次不変量を表す。詳細は文献[1][2][3]を参照されたい。

3. 解析方法

(1) 解析対象

解析対象とするコンクリート充填円形鋼管柱の形状・材料に関する各諸量[4]を表-1 に示す。

(2) 要素分割図

有限要素解析に用いた供試体の要素分割図を図-2 に示す。解析モデルは、軸対称・上下対称を仮定し、供試体の $1/8$ 部分とした。また、付着要素は、厚さが解析結果に影響を与えないように極力薄くし、鋼管の板厚の $1/200$ と設定した[5]。

(3) 境界条件

$X=0, Y=0, Z=0$ 平面でそれぞれ X, Y, Z 方向を固定した。

(4) 載荷方法

充填柱 (高さ H) の上部に変位増分幅 $5 \times 10^{-5} H$ (0.01% 軸ひずみに相当) を与える変位制御で行った。

(5) 構成モデル

コンクリート部分には、前述の四種類のコンクリート

表-1 コンクリート充填円管柱の形状・材料データ[4]

D(mm)	H(mm)	t(mm)	D/t	σ_{sy} (MPa)	E_s (GPa)	ν_s	f_c' (MPa)	E_c (GPa)	ν_c
165.2	496	4.08	40.5	317	206	0.3	33.6	27	0.2

D: 内径 H: 鋼管柱高さ t: 板厚 D/t: 幅厚比 σ_{sy} : 鋼の降伏応力 E_s : 鋼のヤング率 ν_s : 鋼のポアソン比
 f_c' : コンクリートの軸圧縮強度 E_c : コンクリートのヤング率 ν_c : コンクリートのポアソン比

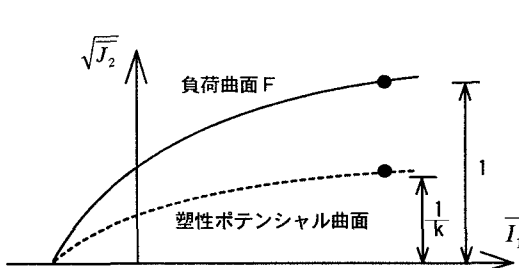


図-1 塑性ポテンシャル曲面の定義

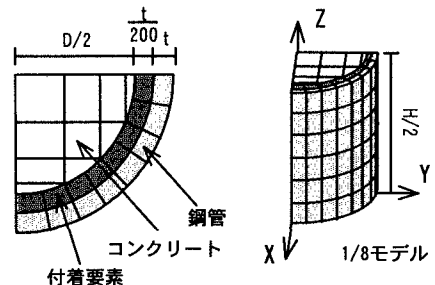


図-2 充填円形鋼管柱の要素分割図

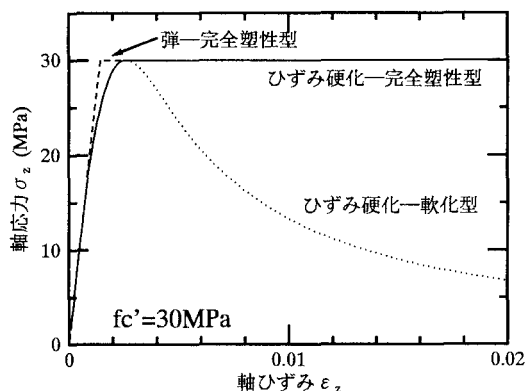


図-3 応力-ひずみ関係

構成モデルを組み込んだ三次元 Solid Element を、鋼管部分には von Mises 型の完全弾塑性モデルを組み込んだ三次元 Solid Element を、さらに付着要素としては鋼管とコンクリートの肌離れを再現できる剛性の低い線形弾性三次元 Solid Element を使用した。

4. 解析結果

(1) 各種構成モデルの応力-ひずみ関係

各種構成モデルの応力-ひずみ関係を図-3 に示す。

(2) コンクリート充填鋼管柱の有限要素解析

四種類のコンクリート構成モデルを用いて解析した軸力-軸ひずみ関係と実験結果[4]を図-4 に示す。また、コンクリート、鋼管および充填柱の一軸圧縮耐力 (Pc+Ps) も図中に示した。なお、図中の軸力の値は、解析モデルの最上面の節点力の総和である。

図より、Pc+Ps に達する以前の挙動は、用いる構成モデルによってあまり変化は見られないが、Pc+Ps に達した後の挙動は、コンクリート構成モデルによる影響を大きく受ける。以下、Pc+Ps に達した後の挙動について、各種コンクリート構成モデルごとに考察を行う。

i) 弾-完全塑性型構成モデル

$k=1$ (関連流れ則) の場合 (図-4 破線)、コンクリートは塑性体積ひずみ量の増大により、横ひずみが急激に増加する。このため、鋼管より大きな拘束圧を受け、コンクリートの軸力が上昇する。逆に、鋼管はコンクリートの横ひずみの増加に伴い、周方向の引張力を受けるため軸力は減少する。また、充填柱としては実験値よりかなり大きな値となった。 $k=\infty$ (非関連流れ則) の場合 (図-4 一点鎖線)、コンクリートは塑性体積ひずみ量がゼロのため、鋼管から拘束を受けない。よって、コン

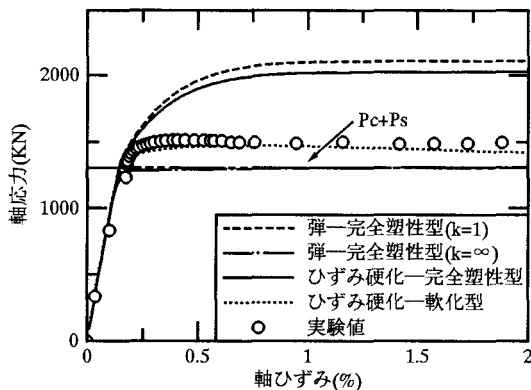


図-4 鋼管柱の有限要素解析結果

クリート、鋼管とも構成モデルによる応力-ひずみ曲線と同様の挙動を示し、充填柱としても、Pc+Ps の直線上をひずみが進展することになる。

ii) ひずみ硬化-完全塑性型構成モデル

硬化-完全塑性型構成モデル (図-4 実線) は、若干最大耐力に差が生じるものの、弾-完全塑性型構成モデル ($k=1$) とほぼ同様の挙動を示す。よって、コンクリート充填鋼管柱において、ひずみ硬化はあまり影響しないことが分かる。

iii) ひずみ硬化-軟化型構成モデル

ひずみ硬化-軟化型構成モデル (図-4 点線) は本研究で提案した構成モデルである。コンクリート部分は鋼管より拘束圧を受け耐力が上昇する。また、わずかながらひずみ軟化挙動も表現されている。充填柱としては、実験値を精度良く表現できている。

5. まとめ

本研究で行ったコンクリート充填鋼管柱の有限要素解析結果によれば、コンクリートのひずみ硬化は柱全体の挙動にあまり影響を及ぼさないが、ひずみ軟化および塑性体積ひずみ量の影響は極めて大きいことが分かった。

参考文献

- [1] 水野英二・畑中重光：塑性理論によるコンクリートの圧縮軟化特性のモデル化，コンクリート工学論文集，Vol.2(2)，1991，pp.85-95.
- [2] 水野英二・畑中重光：塑性理論によるコンクリートの経路依存型圧縮軟化特性のモデル化，コンクリート工学論文集，Vol.3(2)，1992，pp.1-13.
- [3] 柴麻紀・前田欣昌・畑中重光・水野英二：ひずみ軟化を考慮したコンクリート構成モデルの開発，コンクリート工学年次論文集，Vol.18(2)，1996，pp.401-406.
- [4] 蛭川利彦・崎野健治・小松慎二・石出一郎：コンクリート充填円形鋼管柱の中心圧縮性状に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18(2)，1996，pp.1307-1312.
- [5] 前田欣昌・畑中重光・水野英二：ひずみ軟化型コンクリート構成モデルを用いたコンクリート充填鋼管柱の三次元有限要素解析，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18(2)，1996，pp.407-411.