

I-A 16

ひずみ軟化型コンクリート構成モデルを用いた中心軸圧縮を受ける充填鋼管柱の三次元有限要素解析

名古屋大学 正員 水野英二
東急建設 正員 前田欣昌
三重大学 正員 畑中重光

1. はじめに

近年、高強度で大きな靱性が得られるコンクリート充填鋼管柱が注目されている。しかし、その破壊メカニズムの再現に際しては、コンクリートと鋼管の間に作用する拘束圧の影響を考慮して、ひずみ軟化を伴うコンクリートの耐力特性を適切に評価する必要がある。

本研究では、まず、引張軟化および圧縮軟化挙動を予測できる筆者らのコンクリート構成モデル¹⁾を三次元有限要素解析プログラム（F E A P）に組み込む。次いで、コンクリートと鋼管の間の拘束効果をより現実的に再現するため、付着要素を設けてコンクリート充填鋼管柱の三次元有限要素解析を行い、その破壊メカニズムを損傷度および等価拘束圧^{2) 3)}という指標から定量的に考察することを目的とする。

2. 中心軸圧縮を受けるコンクリート充填円形鋼管柱の三次元有限要素解析

2. 1 解析手法

(a) 解析モデル 解析対象とするコンクリート充填円形鋼管柱の形状・材料に関する諸量⁴⁾を表-1に示す。

表-1 コンクリート充填円形鋼管柱材料・形状データ⁴⁾

D(mm)	H(mm)	t(mm)	D/t	σ_{sy} (kgf/cm ²)	E_s (kgf/cm ²)	ν_s	f_c' (kgf/cm ²)	E_c (kgf/cm ²)	ν_c
150	450	2.0	75	2400	2.1×10^6	0.3	171	2.355×10^5	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' :コンクリートの一軸圧縮強度 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

(b) メッシュ図 有限要素解析に用いた供試体の要素分割図を図-1に示す。解析モデルは、軸対称、上下対称を仮定し1/8モデルを用い、付着要素厚は鋼管の板厚の1/200と設定した。

(c) 境界条件 載荷板による供試体の端部拘束を考慮しない場合は $X=0, Y=0, Z=0$ 平面でそれぞれ X, Y, Z 方向を固定し、端部拘束を考慮する場合はさらに $Z=H/2$ 平面で X, Y 方向を固定した。

(d) 載荷方法 充填柱の上部に変位増分幅 $5 \times 10^{-5}H$ (0.01%軸ひずみに相当)を与えることにより変位制御で行った。

(e) 構成モデル コンクリート部分に本ひずみ軟化型構成モデル（モデルの概要およびパラメータの詳細は文献1)を参照のこと）

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鋼管とコンクリートの肌離れを再現するため剛性の低い線形弾性三次元Solid Element（付着要素の材料定数（ヤング率、ポアソン比）として、例えば、鋼管の材料定数（ヤング率とポアソン比）の 10^{-5} 倍）を使用した。

2. 2 解析結果

供試体の端部拘束を考慮しない場合（ケース1）と考慮する場合（ケース2）の2ケースの解析を行う。図-2(a)には、有限要素解析結果と実験結果との比較を、図-2(b)には、コンクリートと鋼管の耐力の内訳を示す。また、コンクリート耐力、鋼管耐力および充填柱

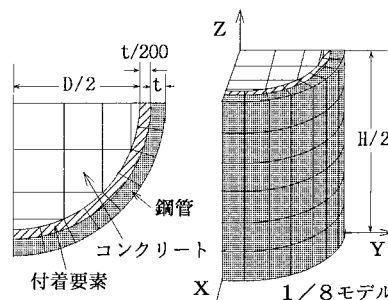


図-1 充填円形鋼管柱の要素分割図

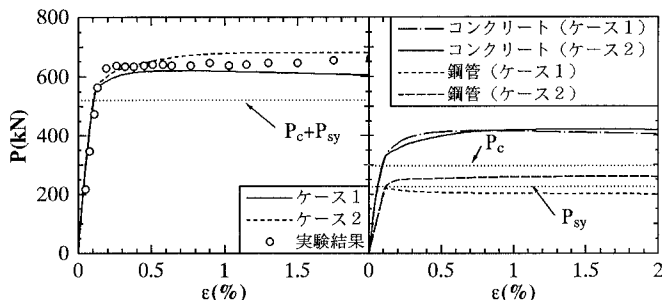


図-2(a) 充填円形鋼管柱の解析結果

図-2(b) 耐力の内訳

の一軸圧縮累積耐力 (P_c, P_{sy}, P_c+P_{sy}) もそれぞれ図示した。図-2 (a) によれば、ケース1、2いずれも解析結果と実験結果は比較的良く一致し、端部を拘束したケース2の方が耐力が高くなっている。図-2 (b) より、端部拘束効果によりコンクリート部分の耐力が増したというよりもむしろ、鋼管が拘束され鋼管部分の耐力が増したことが分かる。損傷度および等価拘束圧の分布については講演当日に報告する。

3. コンクリート充填角形鋼管柱の三次元有限要素解析

3. 1 解析手法

(a) 解析モデル 表-2に、解析対象となったコンクリート充填角形鋼管柱の形状・材料データ⁵⁾を示す。

表-2 コンクリート充填角形鋼管柱の形状・材料データ⁵⁾

b(mm)	B(mm)	L(mm)	t(mm)	b/t	σ_{sy} (MPa)	E_s (GPa)	ν_s	f_c' (MPa)	E_c (GPa)	ν_c
196	213	592	4.51	43.5	266	197	0.269	39.2	27.9	0.165

b:ウェブ幅 B:フランジ幅 L:鋼管柱高さ t:板厚 b/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' :コンクリートの一軸圧縮強度 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

(b) メッシュ図、境界条件、載荷方法および構成モデル

円形充填鋼管柱と同様に、1/8モデルで有限要素解析を行う(図-3)。境界条件、載荷方法および構成モデルも円形充填鋼管柱の場合と同じである。また、鋼管のZ軸方向の残留応力を図-4のように仮定した。

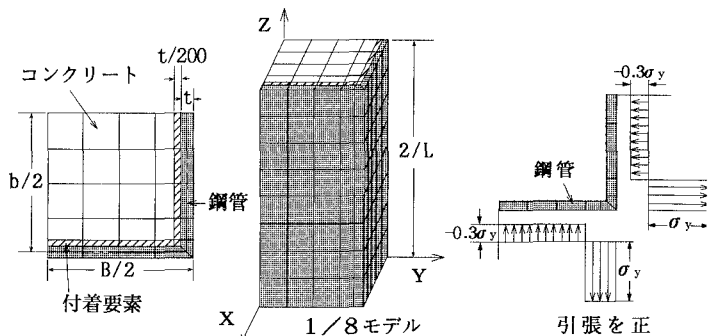


図-3 充填角形鋼管柱の要素分割図

図-4 残留応力の分布

3. 2 解析結果

次のような3ケースのコンクリート充填角形鋼管柱の三次元有限要素解析を行う。(1) 残留応力なし、端部拘束なし。(2) 残留応力あり、端部拘束なし。(3) 残留応力あり、端部拘束あり。図-5 (a) に上記3ケースの解析結果と実験結果、および P_c+P_{sy} を、図-5 (b) に上記3ケースの耐力の内訳、 P_c および P_{sy} を示す。

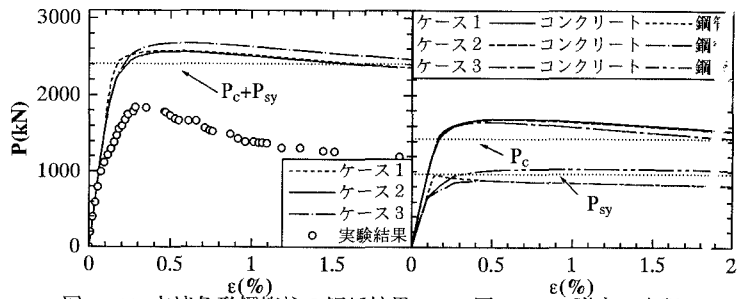


図-5(a) 充填角形鋼管柱の解析結果

図-5(b) 耐力の内訳

まず、図-5 (a) から、残留応力を考慮することにより約0.5%ひずみまでのひずみ硬化域の耐力が若干減少したことが分かる。これは、図-5 (b) の耐力の内訳を見れば明らかに、鋼管の担う耐力が残留応力の影響で減少したためである。また、耐力分担の内訳を見ると、端部を拘束することにより、コンクリートの担う耐力がフープ効果の減少に伴い減少し、逆に端部を固定された鋼管の耐力が増大していることが分かる。損傷度および等価拘束圧の分布についても講演当日に報告する。

4. まとめ

コンクリート充填鋼管柱のシミュレーションに付着要素を導入することにより、拘束効果を適切に評価することができた。

謝辞: コンクリート構成モデルのパラメータ決定に際し、三重大大学院建築学科の小宮敏明君、名古屋大学土木工学科の栗麻希さんにご協力を頂いた。ここに感謝の意を表します。また、本研究費の一部は、平成6、7年度文部省科学研究費一般研究(C)(畑中、水野)によったことを付記する。

参考文献

- 1) 栗 麻希・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報告集、1996。
- 2) 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。
- 3) 富井政英・崎野健治・森下陽一: コンクリート充填鋼管構造の設計上の問題点、カラム、No. 73、1979、pp. 91-98。
- 4) Ge, H., Usami, T.: Strength of Concrete-Filled Thin-Walled Steel Box Columns: Experiment, G. ASCE, Journal of Structural Engineering, Vol. 118, no. 1, 1992, 11.