

CS-189

コンクリート充填円形合成柱の応力-ひずみ関係に関する研究

大阪工業大学大学院 ○学生員 俵谷 保男
大阪工業大学工学部 正会員 栗田 章光

1. はじめに

コンクリート充填合成柱は、鋼管の内部にコンクリートを充填した合成構造形式である。鋼管によって囲まれたコンクリートは3軸応力状態になり、鋼管の直径、厚さ、および降伏点強度の変化によって耐荷力、および変形性能ともに変化する。しかし、道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編¹⁾（以下、道示）で地震時保有水平耐力を評価する際、弾塑性状態におけるコンクリート充填合成柱の部材の応力-ひずみ関係が明らかにされていないのが現状である。本研究は、最終的には2重合成柱に用いられるコンクリートの応力-ひずみ関係を明らかにするため、まず、コンクリート充填鋼管構造設計施工指針²⁾（以下、建築指針）で規定されている鋼管の拘束効果を評価したコンクリートの応力-ひずみ関係式を用いて、管厚を変化させたコンクリート充填合成柱の力学性状を把握することを目的としている。本文ではその第1歩としての解析結果を報告する。

2. 円形鋼管によって拘束を受けるコンクリート

図-1は鋼管直径を一定とし鋼管厚を変化させたコンクリート充填合成柱を示している。載荷方法は鋼管とコンクリート両者一体に軸方向圧縮力を加えるものである。鋼構造物設計指針 PART B³⁾では、鋼管とコンクリートの合成方法として端部拘束方式が採用されており、内部構造が複雑となるスタッドなどを用いなくとも鋼管とコンクリートが一体的な挙動を示すものとの前提に立っている。

コンクリート充填合成柱に軸方向圧縮力が作用した場合、鋼管の拘束を受けるコンクリートのモデルを図-2に示す。塑性域において、シリンダー強度 σ_B のコンクリートは、鋼管から一様な周圧 σ_r を受ける。この時、コンクリートの圧縮強度 σ_{cB} は式(1)で表される。

$$\sigma_{cB} = \sigma_B + k\sigma_r \quad \dots\dots (1)$$

ここで、建築指針では $k=4.1$ としているが、この係数は、静水圧で側圧を載荷する方法によるコンクリートの3軸圧縮試験を行ったRichartの実験値によるものである。

また、軸方向力を負担する鋼管の応力-ひずみ関係は完全弾塑性体とする。建築指針によると円周方向と軸方向の2軸応力を受けるそれぞれの方向に対する鋼管降伏点強度は、ミーゼスの降伏条件より $\alpha=0.19$ と $\beta_1=0.89$ を乗じた値を採用している。図-3には軸方向における鋼管の応力-ひずみ関係の道示と建築指針との比較を示す。

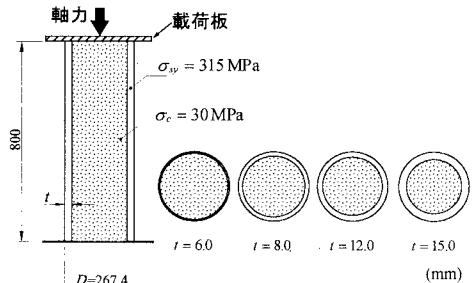


図-1 解析の対象モデル

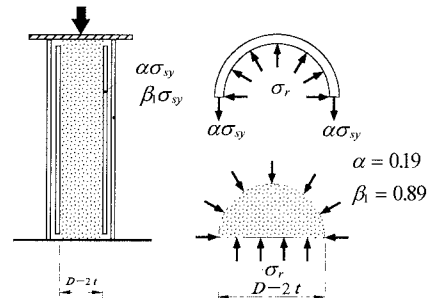


図-2 横拘束を受ける鋼管とコンクリートの力学モデル

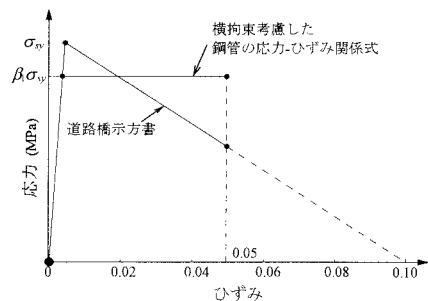


図-3 横拘束を考慮した軸方向力に対する鋼管の応力-ひずみ関係式

key words コンクリート充填合成柱, 耐荷力, 応力-ひずみ関係, 拘束効果

〒535-8585 大阪市旭区大宮 5-16-1 TEL 06-6954-4141 FAX 06-6957-2131

3. 計算結果および考察

建築指針によると鋼管厚変化の影響を考慮したコンクリートの応力-ひずみ関係は式 (2) で与えられる。道示でのコンクリート応力-ひずみ関係式は、いかなる管厚においても拘束効果によるコンクリート強度を無拘束コンクリートの2倍とし、鋼管厚の影響は考慮されていない。また、最大強度以降の応力低下も評価されていない。図-4 は両者を比較したものであり、管厚 $t=12\text{mm}$ 以下のコンクリート充填合成柱は、道示式より下回ることがわかる。

以上より、拘束効果を考慮したコンクリート充填合成柱のコンクリート強度、強度時のひずみ、および各部材の全塑性軸力の計算結果を表-1 に示す。これらより、鋼管厚が大きくなるにしたがって内部のコンクリート強度は上昇し、強度時のひずみも増加する。また、全塑性軸力ではコンクリート強度が上昇するためコンクリートの耐荷力は上昇するが、鋼管は円周方向の力の作用により軸方向力の耐荷力は無拘束時より低下する。しかし、コンクリートの断面積のほうが支配的であるため全体の耐荷力は無拘束時より増加する。それゆえ、鋼管によるコンクリートへの拘束効果が上がるほど、鋼部分の分担軸方向圧縮力を表す荷重分担率が単純累加で算出した値より低下していることがわかる。

4. 今後の課題

今後の課題としては、今回用いた応力-ひずみ関係式の妥当性を実験によって確認する必要がある、さらに高橋脚に適する2重合成柱におけるコンクリートの応力-ひずみ関係を明確化する必要がある。

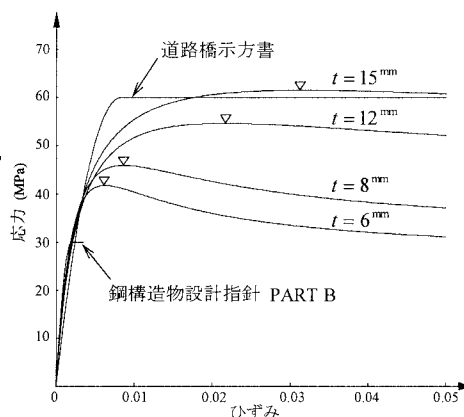


図-4 横拘束を考慮したコンクリートの応力-ひずみ関係

$$\sigma_c = \left\{ \frac{AX + (d-1)X^2}{1 + (A-2)X + dX^2} \right\} \sigma_{cB} \quad \dots\dots (2)$$

ただし、

$$\sigma_{cB} = \sigma_B + k \frac{2\alpha\sigma_{sy}}{(D-2t)}, \quad X = \varepsilon_c / \varepsilon_{c0}$$

$$A = E_c \varepsilon_{c0} / \sigma_{cB}, \quad K = \sigma_{cB} / \sigma_B$$

$$E_c = (0.69 + 0.33\sqrt{\sigma_B}) \times 10^4$$

$$\varepsilon_{c0} = 0.94(\sigma_B)^{1/4} \times 10^{-3}$$

$$\frac{\varepsilon_{c0}}{\varepsilon_0} = \begin{cases} 1 + 4.7(K-1), & K \leq 1.5 \\ 3.35 + 20(K-1.5), & K > 1.5 \end{cases}$$

$$d = 1.5 - 0.017\sigma_B + 2.49\sqrt{(K-1)\sigma_B} / 23$$

(記号の説明は省略)

表-1 解析結果

管厚 t (mm)	径厚比 D/t	コンクリート強度 (Mpa)		強度時ひずみ		全塑性軸力 (kN)						荷重分担率	
		無拘束	拘束考慮	無拘束	拘束考慮	コンクリート		鋼管		全体		単純累加	拘束考慮
						無拘束	拘束考慮	無拘束	拘束考慮	単純累加	拘束考慮		
6.0	44.57	30.0	41.7 (1.39)	0.0022	0.0063 (2.86)	1537	2137 (1.40)	1577	1403 (0.89)	3114	3540 (1.14)	0.50	0.40 (0.80)
8.0	33.43	30.0	45.9 (1.53)	0.0022	0.0087 (3.95)	1489	2277 (1.53)	2086	1857 (0.89)	3575	4133 (1.16)	0.58	0.45 (0.78)
12.0	22.28	30.0	54.6 (1.82)	0.0022	0.0215 (9.77)	1396	2540 (1.82)	3081	2742 (0.89)	4477	5282 (1.18)	0.69	0.52 (0.75)
15.0	17.83	30.0	61.5 (2.05)	0.0022	0.0317 (14.41)	1328	2722 (2.05)	3806	3387 (0.89)	5134	6110 (1.19)	0.74	0.55 (0.74)

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編，丸善，平成8年12月
- 2) 日本建築学会：コンクリート充填鋼管構造設計施工指針，丸善，平成9年10月
- 3) 土木学会：鋼構造設計指針 PART B 合成構造物 [平成9年版]，丸善，平成9年9月

()内は拘束効果による各値の増減率