

(11) コンクリート充填二重鋼管柱の断面耐荷力に関する研究

STUDY ON ULTIMATE STRENGTH OF CROSS-SECTIONS IN CONCRETE-FILLED DOUBLE STEEL TUBULAR COLUMNS

上田 隆*

髙原安孝**

栗田章光***

濱本浩伸****

By Takashi UEDA, Yasutaka TAKEHARA, Akimitsu KURITA and Hironobu HAMAMOTO

Concerning the ultimate strength and ductility, the concrete filled steel tubular columns have some advantages in comparison with steel and reinforced concrete columns. To reduce the deadweight of the columns, it is thinking the use of double steel tubular sections, where the concrete is not filled in inner steel tube. This paper deals with the mechanical characteristics on ultimate strength of cross-sections in concrete filled double tubular columns. Both of rectangular and circular cross-sections was treated in this study. Firstly, the equations of interaction curve between normal force and bending moment are presented. The mechanical characteristics of the column cross-sections are, nextly, reported and discussed through the numerical examples.

1. はじめに

平成7年の兵庫県南部地震の発生で、鉄筋コンクリート柱あるいは鋼柱を問わず莫大な数の構造物の柱が被害を受けた。これに対して、損傷が比較的軽微な鉄筋コンクリート柱には、鋼板による巻立て補強がなされている。これらは、いずれもコンクリート充填鋼管柱のもつ優れた力学的特性、すなわち、耐荷力の増大とじん性の向上に着目したものである。

今後、この種の補強は増加していくものと思われ、また新設構造物においても当初から、鋼管にコンクリートを充填した合成柱が採用されていくと考えられる。

本研究は、特に大きな耐荷力とじん性ならびに軽量化が柱に要求される場合を想定し、鋼管を二重に配置した合成柱(図-1)を対象としている。本論文では、コンクリート充填二重鋼管柱(以下、二重鋼管柱と略記)に、軸方向圧縮力 N と曲げモーメント M が同時に作用する場合の断面の終局耐荷力に関する $M-N$ 相関曲線を、まず示す。ついで、これらの式を用いて数値計算を行い、長方形および円形の双方の断面について、その耐荷力特性を検討した結果を報告する。

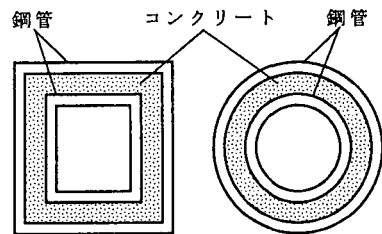


図-1 コンクリート充填二重鋼管柱の断面

* 中央復建コンサルタンツ(株) 第4設計部

** 中央復建コンサルタンツ(株) 第1設計部

*** 工博 大阪工業大学教授 土木工学科

**** 大阪工業大学大学院

2. 解析上の仮定

コンクリート充填二重鋼管柱の断面限界耐荷力を解析する際、以下の仮定を設ける。

- 1) 鋼とコンクリートのひずみは平面保持の仮定に従う。
- 2) 引張域におけるコンクリート断面は無視する。
- 3) 鋼とコンクリートは完全に合成されており、一体化した挙動を示す。
- 4) 全塑性状態を仮定する。

3. M-N相関式

まず、曲げモーメント M と軸力が個別に作用した場合の、それぞれの全塑性応力分布を図-2 に示す。次に、曲げモーメント M と軸力 N が同時に作用する場合の長方形断面における二重鋼管柱の $M-N$ 相関式は、例えば図-3 のような状態では式(1)および(2)で表すことができる。

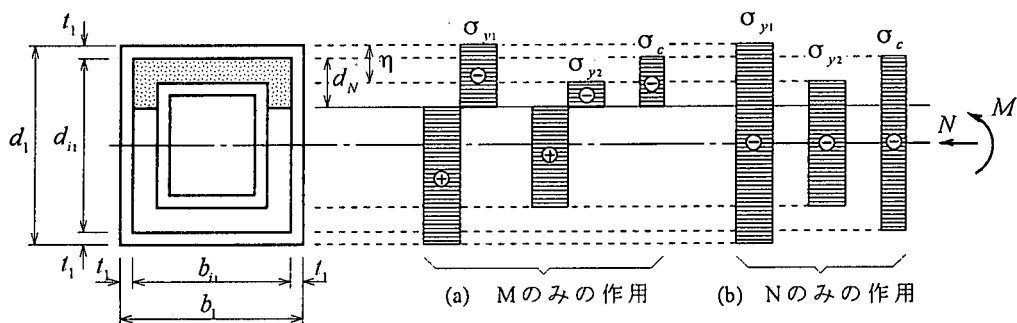


図-2 コンクリート充填二重鋼管柱の全塑性応力分布

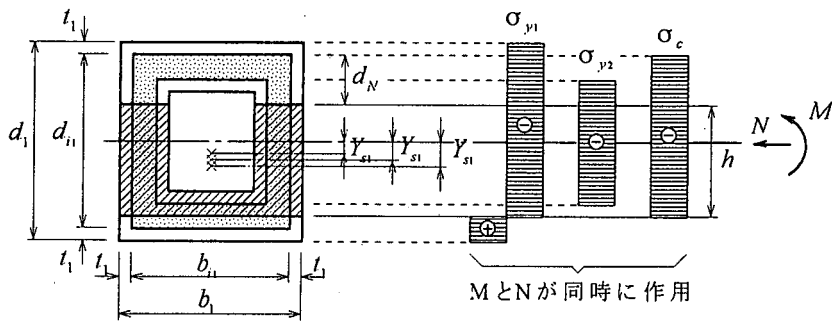


図-3 M と N が同時に作用する場合の応力分布

• $0 < h \leq d_{ii} - d_N$ の場合 :

$$\alpha \left(\frac{N}{N_{pl}} \right)^2 - \beta \frac{N}{N_{pl}} + \frac{M_{pl,N}}{M_{pl}} = 1 \quad (1)$$

• $d_{ii} - d_N < h \leq d_{ii} - d_N + t_1$ の場合 :

$$\frac{N}{N_{pl}} + \gamma \frac{M_{pl,N}}{M_{pl}} = 1 \quad (2)$$

ただし、 d_N は曲げモーメントのみが作用した場合の塑性中立軸の位置で、次式より表すことができる。

$$d_N = \frac{4d_{i1}(\sigma_{y1}t_1 + \sigma_{y2}t_2) - \sigma_c b_2(d_{i1} - d_2)}{8(\sigma_{y1}t_1 + \sigma_{y2}t_2) + 2\sigma_c(b_{i1} - b_2)} \quad (3)$$

ここに、 M_{pl} : コンクリート充填二重鋼管柱の全塑性モーメントで、式(3)で表される。

$$\begin{aligned} M_{pl} = & \sigma_{y1} b_1 t_1 (d_{i1} + t_1) + 2\sigma_{y1} t_1 d_N (d_{i1} - d_N) + \sigma_{y2} b_2 t_2 (d_{i2} + t_2) \\ & + 2\sigma_{y2} t_2 \left(\frac{d_{i2}^2 - d_{i1}^2}{4} + d_{i1} d_N - d_N^2 \right) + \frac{1}{8} \sigma_c b_{i1} (d_{i1}^2 - d_2^2) \\ & + \frac{1}{8} \sigma_c (b_{i1} - b_2) (d_2 - d_{i1} + 2d_N) (d_{i1} + d_2 - 2d_N) \end{aligned} \quad (4)$$

N_{pl} : コンクリート充填二重鋼管柱の全塑性軸力で、式(4)で表される。

$$N_{pl} = 2\sigma_{y1} t_1 (b_1 + d_{i1}) + 2\sigma_{y2} t_2 (b_2 + d_{i2}) + \sigma_c (b_{i1} d_{i1} - b_2 d_2) \quad (5)$$

$M_{pl,N}$: 軸方向圧縮力 N が作用したときのコンクリート充填二重鋼管柱の全塑性モーメント

N : 軸方向圧縮力

σ_{y1}, σ_{y2} : それぞれ、外側および内側鋼管の降伏点

σ_c : 充填コンクリートの圧縮強度

α, β, γ : 断面形状、材料強度等から求められる係数で表-1に示す。

表-1 断面形状、材料強度等から定まる係数 α, β, γ

h の範囲	α	β	γ
$0 < h \leq \frac{d_{i1}}{2} + \frac{d_{i2}}{2} - d_N$	$\frac{N_{pl}^2}{\{8\sigma_{y1}t_1 + 8\sigma_{y2}t_2 + 2\sigma_c(b_{i1} - b_2)\}M_{pl}}$	$\frac{N_{pl}(d_{i1} - 2d_N)}{2M_{pl}}$	—
$\frac{d_{i1}}{2} + \frac{d_{i2}}{2} - d_N < h \leq d_{i1} - d_N$	$\frac{N_{pl}^2(Y_{s1} + Y_{s2} + Y_c)}{N \cdot M_{pl}}$	$\frac{N_{pl}\{(Y_{s1} + Y_{s2} + Y_c)N - M_{pl,N} + M_{pl}\}}{N \cdot M_{pl}}$	—
$d_{i1} - d_N < h \leq d_{i1} - d_N + t_1$	—	—	$\frac{2M_{pl}}{N_{pl}(d_{i1} + t_1)}$

表-1における Y_{s1} 、 Y_{s2} および Y_c の記号の意味は、図-3を参照して、それぞれ次のとおりである。

Y_{s1} : 外側鋼管断面の図心から中立軸までの距離

Y_{s2} : 内側鋼管断面の図心から中立軸までの距離

Y_c : コンクリート断面の図心から中立軸までの距離

円形の二重鋼管柱についてのM-N相関式も、長方形の場合と同じ方法を用いて求めることができる。

4. 数値計算

4.1 解析パラメータ

数値計算においては、特に材料強度、形状寸法に着目して解析を行った。それらを表-2に示す。

4. 2 数値計算結果

(A) コンクリート充填鋼管柱と二重鋼管柱との耐荷力の差異

図-4 および5にコンクリート充填一重鋼管柱(以下、一重鋼管柱と略記)と二重鋼管柱のM-N相関曲線を、それぞれ長方形および円形断面の場合について示す。長方形断面の場合、一重鋼管柱は最大の耐

荷力比 (M_{max}/M_{pl}) が 1.43 を示すのに対して二重鋼管柱は 1.24 程度でしかない。これにより、二重鋼管柱は、一重鋼管柱ほど大きな耐荷力比を示さないことがわかる。すなわち二重鋼管柱ではコンクリート断面が一重鋼管柱より減少する分だけ曲げ耐力に寄与する効果が少なくなる。

表-2 解析パラメータの組み合わせ

項目	パラメータ		
外側の鋼材の降伏点 σ_{y1} (kgf/cm ²)	2400	3200	3600
内側の鋼材の降伏点 σ_{y2} (kgf/cm ²)	2400	3200	3600
コンクリートの圧縮強度 σ_c (kgf/cm ²)	200	300	400
断面形状 b/d	0.75	1.00	
	d/t ₁		100
d/t ₂		100	200
η (cm)	10, 20, 30, 40	50	60, 70, 80, 90

□ はパラメータ解析をする場合の基準値を示す。

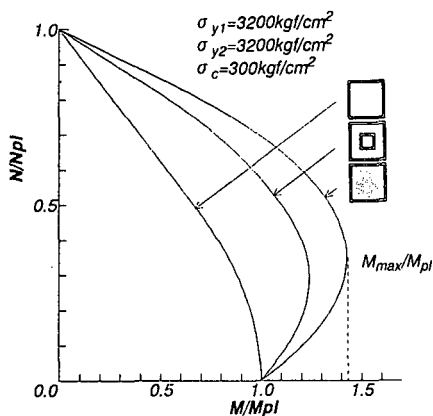


図-4 長方形断面の場合の一重および二重鋼管柱の相関曲線の比較

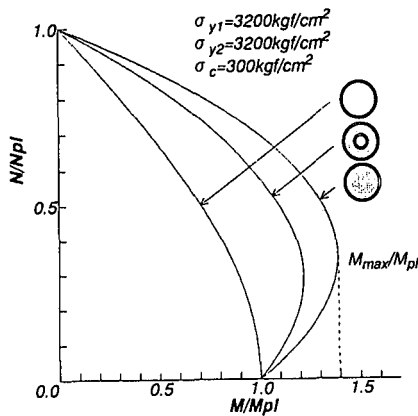


図-5 円形断面の場合の一重および二重鋼管柱の相関曲線の比較

(B) 二重鋼管柱の形状による差異

辺長と直径が同じ寸法とした場合の長方形断面と円形断面の二重鋼管柱の相関曲線を図-6に示す。

長方形断面と円形断面の耐荷力比はそれぞれ 1.24、1.22 であり、ほとんど差はないが、長方形断面の方が僅かに大きい。これは、長方形と円形の面積、特にコンクリート断面の面積が、円形より長方形断面の方が大きいことによるものである。

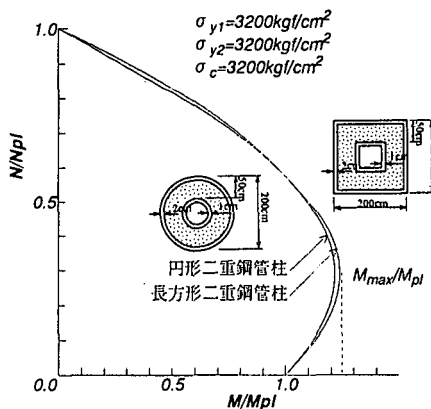


図-6 長方形断面と円形断面の相関曲線

(C) 鋼管厚および強度が耐荷力比に及ぼす影響

図-7 は、材料強度を一定に保ち、鋼管厚を変化させた場合のM-N相関曲線である。断面における鋼管面積が占める割合が増加すると、耐荷力比は小さくなるのがわかる。

図-8 は、外側鋼管の寸法と強度、内側鋼管の寸法、および充填コンクリートの強度を一定に保ち、内側鋼管の強度のみを変化させて耐荷力比の変動を調べた結果である。また、これに対して、図-9 は外側鋼管の強度のみを変化させたものである。この二つの図は、いずれも鋼管の強度を 2400、3200、3600kgf/cm² と変化させたものである、当然のことながら、内側鋼管の強度を変化させても、曲げ耐荷力に影響しないことがわかる。

さらに、外側鋼管の大きさと強度を一定とし、内側鋼管の大きさを変化させて最大耐荷力比の変動をみたのが図-10 である。 η の定義は図-2 に見られるとおり、その値が大きいほど内側の鋼管は小さくなる。この図より内側鋼管の寸法が小さいほど耐荷力比は大きくなるのがわかる。

これらのことから、内側鋼管の強度が耐荷力比に与える影響は少なく、外側鋼管の強度が耐荷力比に与える影響が大きいことがわかる。そして、内側鋼管の寸法が小さいほど耐荷力比は大きくなり、コンクリートの合成効果が高くなる。

(D) コンクリート強度が耐荷力比に及ぼす影響

図-11 は、断面形状を一定に保ち充填コンクリートの強度を変化させた場合のM-N相関曲線である。コンクリートの強度が増加すると耐荷力比は大きくなり合成効果が増加する。

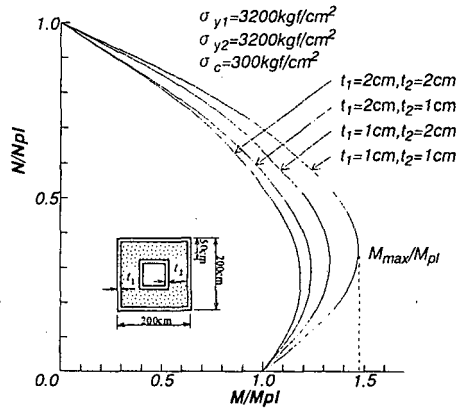


図-7 長方形断面の場合の鋼管厚による相関曲線の相違

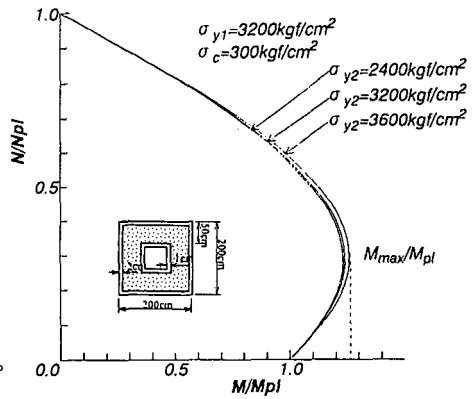


図-8 長方形断面の場合の内側鋼管の強度による相関曲線の相違

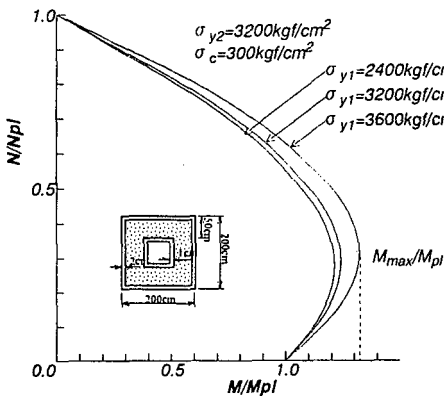


図-9 長方形断面の場合の外側鋼管の強度による相関曲線の相違

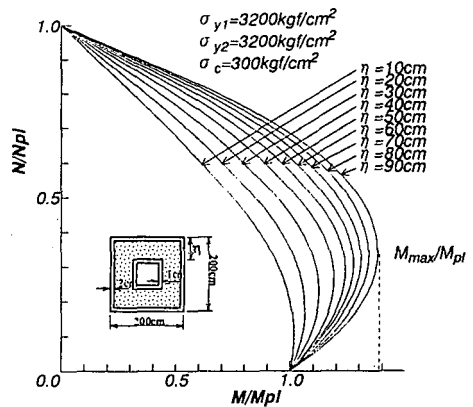


図-10 長方形断面の場合の内側鋼管の寸法による相関曲線の相違

(E) 最大曲げ耐力 M_{max} について

図-12 は、図-10 における相関曲線の最大曲げ耐力 M_{max} と η との関係を示したものである。 η が大きくなるほど耐力比 (M_{max}/M_{pl}) が大きくなるのに対して、最大曲げ耐力は長方形および円形断面のいずれの場合も $\eta=60\text{cm}$ の時に最大値を示している。これにより、外径寸法が同じである時、その断面が耐え得る最大曲げモーメントは、一重鋼管柱よりも二重鋼管柱の方が大きい場合があることがわかる。

一方、 η が 10~30cm の範囲での二重鋼管柱の曲げ耐力は、一重鋼管柱よりも小さくなることも、図-12 より理解される。

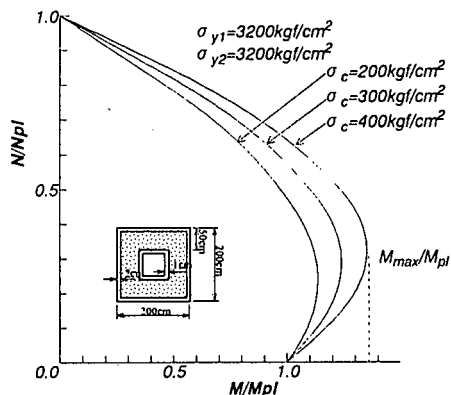


図-11 長方形断面のコンクリート強度による相関曲線の相違

4. 3 まとめ

以上の数値計算の結果をまとめると以下のようになる。

- 1) 二重鋼管柱は、一般に一重鋼管柱ほど大きな耐力比を示さない。
- 2) 外側鋼管の最大寸法が同じであれば円形と長方形断面の耐力比の差はあまりない。
- 3) 二重鋼管柱の内側鋼管の寸法や強度が、耐力比に及ぼす影響は少ない。
- 4) 二重鋼管柱の曲げ耐力が、一重鋼管柱よりも大きな値を示す場合がある。
- 5) コンクリートの強度が耐力比に及ぼす影響は大きい。

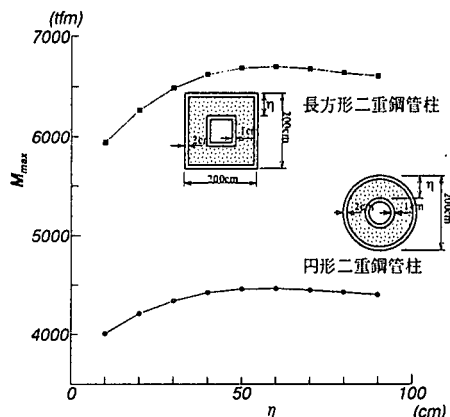


図-12 最大曲げ耐力と η の関係

5. おわりに

軸力と曲げを同時に受けるコンクリート充填二重鋼管柱の曲げ耐力は、一重鋼管柱と同様の特性を持ちながら、一重鋼管柱よりも大きな曲げ耐力値を示す場合があることが明らかとなった。今後、さらに詳細な数値解析を行い、断面の耐力特性を明らかにする必要がある。さらに、柱全体のじん性についても究明する必要がある。

参考文献

- 1) 佐伯彰一、金井道夫：コンクリートを充填した鋼橋脚、道路、第 502 号、pp15~19、1982 年 10 月。
- 2) Deutsche Industrie Norm : DIN18806、Teil 1、Verbundkonstruktionen Verbundstützen、März 1984。
- 3) 阪神高速道路公団：合成柱（充填方式）を有する鋼製橋脚の設計・施工指針（案）、1986 年 3 月。
- 4) 上田・髙原・栗田・濱本：コンクリート充填二重鋼管柱の断面耐力特性、平成 7 年度 関西支部年次学術講演会講演概要集