

論文

[2091] 正方形蛇腹鋼管で横補強された鉄筋コンクリート柱の中心圧縮実験

野口 隆*1・富井 政英*2

1. はじめに

本研究では、鉄筋コンクリートラーメン構造の高層化を、高度な耐震性が要求される場合にも推進してゆくため、柱の耐力の増大と靱性の確保が達成できる方法として、柱に、設計基準強度が 540 kgf/cm²の高強度コンクリートを使用し、正方形蛇腹鋼管（以下蛇腹鋼管という）で横補強する方法を考案した [1]。筆者らは、蛇腹鋼管を、半円弧波状の波形鋼板を直交する管面の管軸方向の凹凸の位相を相互に半波長ずらして、管の隅角部を溶接する方法（以下溶接式という）で製作し、蛇腹鋼管鉄筋コンクリート柱の中心圧縮実験を行い、その中心圧縮性状を明らかにした [1], [2]。本論文では、蛇腹鋼管を溶接式によらず、角形鋼管の内側から液圧をかけて成形する方法（以下液圧式という）で製作し、液圧式蛇腹鋼管柱の中心圧縮実験を行い、軸方向ひずみ、径方向ひずみ及び中心圧縮耐力に対する液圧式蛇腹鋼管の拘束効果を報告する。

2. 実験概要

2.1 試験体

図-1 に試験体の形状及び寸法を示す。試験体の縮尺は、水平断面及び蛇腹の形状とも実大柱の約 1/4 である。高さは、上下端の断面が平均径 $\bar{D}=16.4$ cm の正方形で、かつ、 \bar{D} の約 2 倍となるように蛇腹 8 波長分の長さとした。試験体は、パラメーターが蛇腹鋼管の管厚 t で、同一のものを数体製作した。実大の管厚は 4.5、6.0 mm を想定し、 t は 1.2、1.6 mm とし、鋼管は SM520 級を使用した。コンクリート圧縮強度 σ_B は 540 kgf/cm²級とし、材令 4 週で目標強度が発現するように調合した。表-1 に試験体と実験結果の一覧を示す。

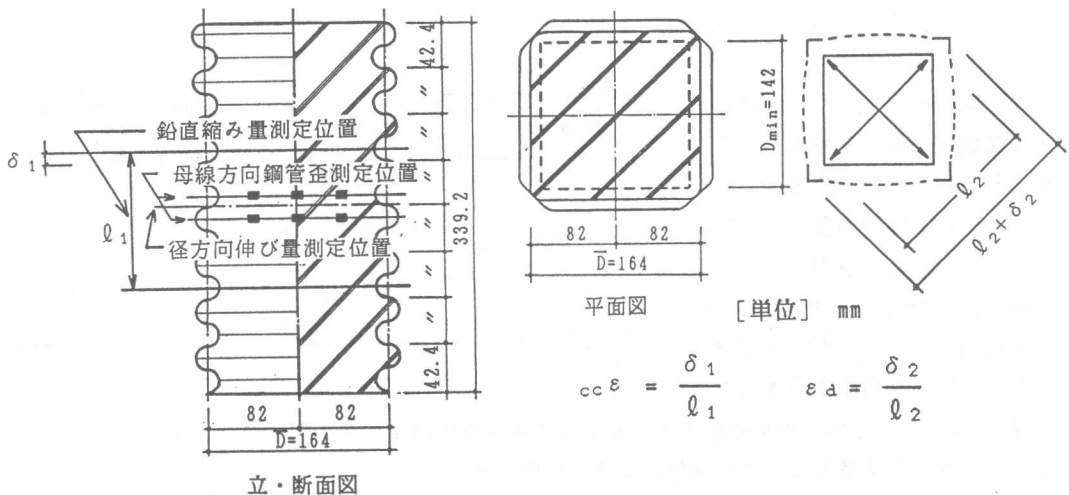


図-1 試験体の形状、寸法及びひずみ測定位置

*1 榊青木建設研究所（正会員）

*2 榊青木建設研究所長、九州大学名誉教授、工博（正会員）

表-1 試験体と実験結果一覧

試験体	管厚 t (mm) (公称)	コンクリート圧縮 強度 σ_B (kgf/cm ²)	圧縮耐力 ccN_o (tonf)	$\frac{cc\sigma_B}{D_{min}^2}$ $\frac{ccN_o}{D_{min}^2}$ (kgf/cm ²)	圧縮耐力 計算値 $\frac{cc\sigma_B}{ca1 \cdot ccN_o}$ (tonf)	$\frac{ccN_o}{ca1 \cdot ccN_o}$	$\frac{cc\sigma_B}{\sigma_B}$	圧縮耐力時 軸方向ひずみ $cc\epsilon$ (10^{-2})	最終破壊形式	破壊時 ひずみ (10^{-2})
CNPA 1	1.14	566	159.0	778	151.2	1.05	1.37	0.511	鋼管の辺中央亀裂	11.5
CNPA 2	(1.2)		165.6	810		1.10	1.43	0.495	鋼管の辺中央亀裂	12.2
CNPA 3	1.54 (1.6)	534	195.7	957	159.9	1.22	1.79	0.829	鋼管の辺中央亀裂	12.9
CNPA 4			196.2	959		1.23	1.80	0.931	鋼管の辺中央亀裂	12.9
CNPA 5			198.1	969		1.24	1.81	0.840	鋼管の辺中央亀裂	11.7

圧縮耐力計算値は、文献 [2] より求めた。

2.2 使用材料の性質

コンクリートは、水セメント比を 43% とし、スランプは 21 cm、空気量は 4% を目標とし、粗骨材の最大寸法は 10 mm とした。

表-2 に鋼材の力学的性質を示す。角形鋼管を冷間で液圧成形した蛇腹鋼管の性質は、原材料の性質とは違うものになるので、原材料の性質に戻す目的で、液圧成形後蛇腹鋼管を焼鈍した。引張試験は、原材料から JIS 5 号試験片と焼鈍後の蛇腹鋼管から JIS 14B 号引張試験片を切り出し行った。以下、本論では焼鈍後の蛇腹鋼管の引張試験結果を用いて解析を行っている。

2.3 測定項目及び方法

軸方向の変形は、鋼管とコンクリートについて断面の平面保持が成り立つと仮定し、表面が凹の位置に断面の広がり拘束しないように、変位計を取り付け、3 波間の縮み量を測定した。径方向の変形は、試験体高さ方向中央で、水平断面の対角の距離の開き量を測定した。蛇腹の母線方向の鋼管ひずみは、試験体高さ中央を挟んだ凸部と凹部の各頂辺上の中央点と反曲点近傍に、ひずみゲージを貼付して計測した (図-1 参照)。

3. 実験結果

3.1 荷重と軸方向ひずみ関係

図-2 に蛇腹鋼管柱の荷重 N と軸方向ひずみ $cc\epsilon$ の関係を示す。蛇腹鋼管柱の圧縮耐力のうち鋼管が分担している割合は、3% 以下と小さく鋼管の負担力は無視できるので、拘束後のコンクリート軸方向応力は、N を内径による断面積 D_{min}^2 で除して求めた [1]。圧縮耐力後の荷重低下は、

管厚 1.2mm の試験体でやや急激であるが、ある荷重まで低下すると収まり、 $cc\epsilon$ が 12×10^{-2} 前後の大変形時に鋼管の辺中央部付近に亀裂が生じた。

3.2 軸方向ひずみと対角方向ひずみの関係

図-3 に、 $cc\epsilon$ と対角方向ひずみ ϵ_d の関係を示す。管厚 1.6 mm の試験体では、 $cc\epsilon$ に対する ϵ_d の割合は、圧縮耐力まではほとんど変化せず、約 1/5 となっており、対角方向では内

表-2 鋼管の性質

鋼材の種類	降伏強度 $\sigma_{0.2}$ (kgf/cm ²)	ヤング係数 E (tf/cm ²)	引張強度 σ_{st} (kgf/cm ²)	歪硬化開始の伸び (10^{-2})	歪硬化域の勾配 (tf/cm ²)	破断伸び (%)
1.2mm 原材料	4390	2110	6210	0.9	40	27
1.2mm 焼鈍後の蛇腹鋼管	4160	2180	4890	3.2	30	34
1.6mm 原材料	5380	2320	6360	2.6	40	23
1.6mm 焼鈍後の蛇腹鋼管	4790	2260	5490	1.4	20	21

部コンクリートは体積膨張に転じていない。一方、管厚 1.2 mm の試験体では、圧縮耐力前後でその割合が 1/2 を越えており、内部コンクリートは対角方向でも体積膨張に転じ、ひび割れを生じたと考えられる。その後、管厚 1.6 mm の試験体ではその割合は約 1/3 となり、管厚 1.2 mm の試験体でも ϵ_{cc} が約 2×10^{-2} 以上ではその割合が約 1/2 となっているため、対角方向コンクリートの体積膨張は

止まり、最終的に鋼管の辺中央部で亀裂が発生するまで破壊に至らなかったと考えられる。

3.3 圧縮耐力

図-4 に、蛇腹の辺中央における 1/2 波長 d の断面について、圧縮耐力時における引張力 T と曲げモーメント M の関係を示す。図中の実線は、蛇腹断面の全塑性耐力時の T と M の関係を示し、式 (1), (2), (3) で表される [3]。また、図中の点線は、式 (1) の M_p 及び N_y をそれぞれ式 (2), (3) の右辺を 0.8 倍して求めた時の T と M の関係を示している。

$$\frac{M}{M_p} - \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{T}{N_y}\right) = 0 \quad (1)$$

$$M_p = \frac{1}{2} t d^2 \sigma_y \quad (2)$$

$$N_y = \frac{1}{2} \pi t d \sigma_y \quad (3)$$

T と M は、蛇腹の軸方向断面の平面保持が成り立つと仮定し、凸部と凹部の稜線のひずみから求めた。なお、図中には比較のために、焼鈍していない溶接式蛇腹鋼管の実験結果も記載して

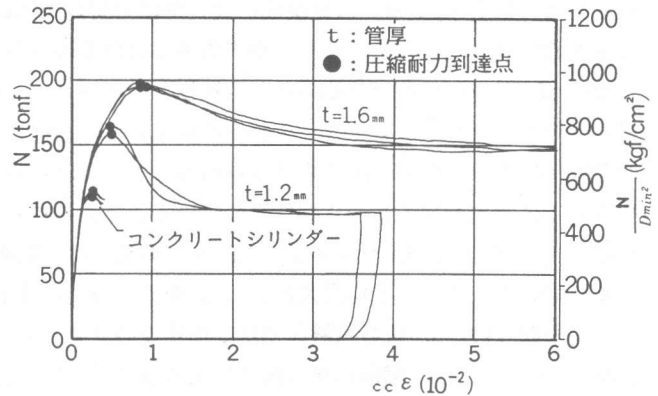


図-2 荷重と軸方向ひずみ関係

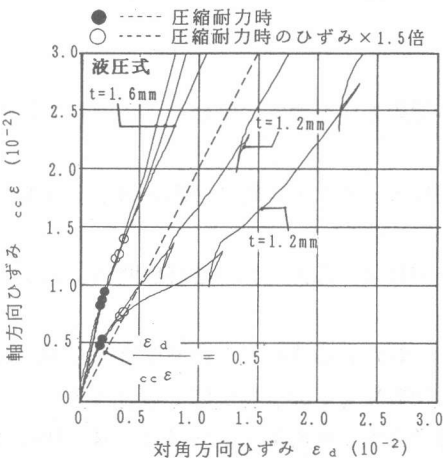


図-3 軸方向ひずみと対角方向ひずみ関係

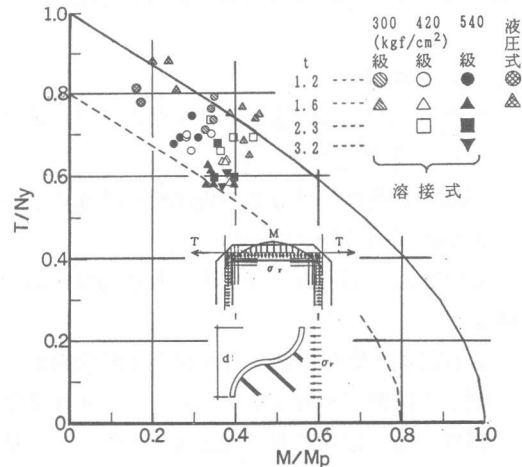


図-4 蛇腹断面の引張力と曲げモーメント関係

いる。ただし、 N_y 、 M_p は蛇腹成形後の母線方向の 0.2% オフセット耐力によって算定した。圧縮耐力時における辺中央部蛇腹断面の T と M の組合せ応力は、全塑性耐力の 0.8 ~ 1.0 となっている。また、コンクリートからの拘束力は、辺中央部蛇腹断面の T と M の関係がこのようになっていることから、図-5 のように対角方向に 8~9 割作用していると考えられる。図-6 に T と N_y の関係を示す。T と N_y の関係は、実験式(4)より決定され、また、平均拘束応力 $\bar{\sigma}_r$ を式(5)で定義すれば、 σ_B が 540 kgf/cm² 級の試験体では、拘束後のコンクリート圧縮強度 $cc\sigma_B$ と $\bar{\sigma}_r$ の関係は式(6)で与えられる[2]、(図-7 参照)。

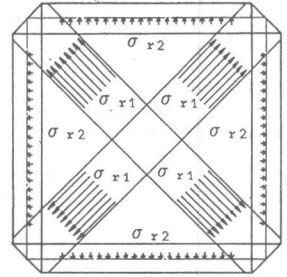


図-5 拘束力分布モデル

$$T = 0.838 N_y \quad (4)$$

$$\bar{\sigma}_r = 2T / (\bar{D}d) \quad (5)$$

$$cc\sigma_B = 0.9\sigma_B + 4.0\bar{\sigma}_r \quad (6)$$

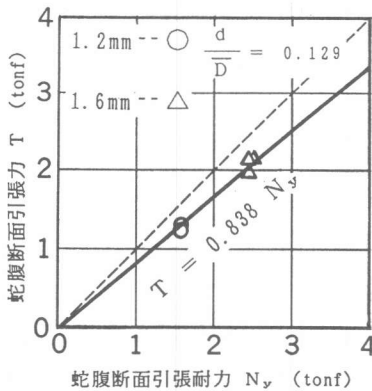


図-6 蛇腹断面の引張力と引張耐力関係

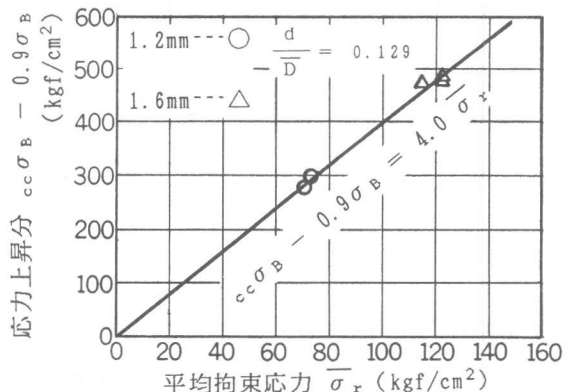


図-7 応力上昇分と平均拘束応力関係

4. まとめ

- 1) 管厚 1.6 mm の蛇腹鋼管柱の軸方向ひずみに対する対角方向ひずみの割合は、圧縮耐力以後も約 1/3 以下である。
- 2) 圧縮耐力時における辺中央部蛇腹断面の引張力と曲げモーメントの組合せ応力は、全塑性耐力の約 0.9 倍となっている。
- 3) 蛇腹断面の引張力から定義した平均拘束応力は、拘束による応力上昇分と直線関係にある。

参考文献

- 1) 富井政英・野口 隆：柱が正方形蛇腹鋼管で横補強された RC ラーメン造高層建築の開発に関する研究(その1、その2)、日本建築学会大会梗概集 C、pp.219-222、1991.9
- 2) 野口 隆・富井政英：同上(その10)、日本建築学会大会梗概集 C、pp.653-654、1992.8
- 3) 鋼構造限界状態設計規準(案)・解説、日本建築学会、pp.136、1990