

[71] 柱短期荷重時における角形鋼管と充填コンクリートの間の附着性状

正会員 ○森 下 陽 一 (琉球大学工学部)

正会員 富 井 政 英 (九州大学工学部)

1. 序

文献^{1),2)}において、コンクリート充填角形鋼管柱の短期荷重時の鋼管と充填コンクリートの間の附着性状を明らかにするための実験方法について述べた。本報では、文献¹⁾で示した実験方法により、附着性状に対するコンクリート強度の影響および荷重軸力の影響を明らかにするために行った実験結果について報告する。実験のパラメータは、コンクリート強度3種類、荷重軸力2種類とし、試験体数は同一条件で4体、そのうち1体は鋼管の上端までコンクリートを打設したものであり、総試験体数は計24体である。

2. 実験方法

加力方法および測定方法については文献¹⁾を参照されたい。実験は一定軸力と繰返しせん断力を加えて行った。

表1に、全試験体の実験条件および材料の力学的性質を示す。試験体名は、最初の英字L・M・Hが充填したコンクリートの圧縮強度3種類のうちそれぞれ低いもの、中程度のもの、高いものを表わし、2番目の英字A・Bは荷重軸力がそれぞれ低軸力、高軸力であることを示す。なお、3番目に英字Fがついている試験体は、鋼管の上端までコンクリートを打設したもの(以下ズレを拘束した試験体と呼ぶ)である。

鋼管は市販の角形鋼管(材質はS T K R 41)を焼ナマシして使用し、コンクリートは普通コンクリートを充填した。表2に、充填コンクリートの調合を示す。

3. 実験結果

3-1 せん断力Q一部材角R関係 : 図2に、Q-R関係の一例を示す。図中、一点鎖線は鋼管と充填コンクリートが一体的に挙動すると仮定した始源剛性とヒンジ位置を材端と仮定した時のmechanism lineで、破線は同じく中空鋼管の場合である。ヒンジの曲げ終局強度は単純塑性理論³⁾により求めた。また点線はズレを拘束した試験体の包絡線を示している。ズレを拘束していない試験体のQ-R関係は、低軸力の場合にはズレを拘束した試験体に比較して顕著な差異はないが、高軸力の場合にはズレを拘束した試験体に比較して、最大耐力および耐力低

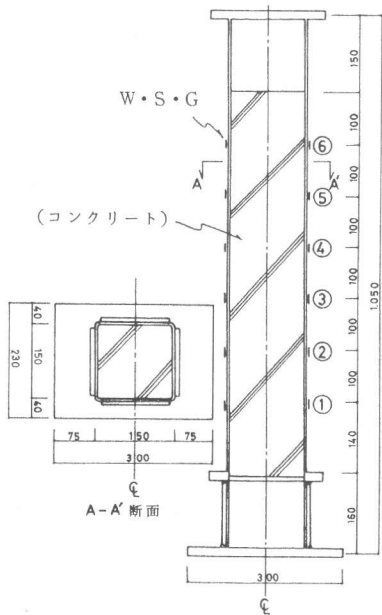


図1 試験体の形状及びW・S・G・貼付位置

表1 実験条件と材料の力学的性質

試験体名	D (mm)	t (mm)	$s\sigma_y$ ($\frac{\text{ton}}{\text{cm}^2}$)	$s\sigma_u$ ($\frac{\text{ton}}{\text{cm}^2}$)	sE ($\times 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$)	F_c ($\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$)	N (ton)	sN_0 (ton)	N_0 (ton)	$\frac{N}{sN_0}$	$\frac{N}{N_0}$
L-A1,2,3 L-AF	149.3	4.26	3.46	4.20	2.09	233	3.5	79.6	125.8	0.04	0.03
L-B1,2,3 L-BF	149.3	4.28	3.56	4.28	2.09		23.0	85.4	131.6	0.27	0.17
M-A1,2,3 M-AF	149.3	4.27	3.49	4.22	2.13	271	3.5	84.7	138.4	0.04	0.03
M-B1,2,3 M-BF	149.3	4.21	3.49	4.19	2.11		25.0	83.3	137.1	0.31	0.19
H-A1,2,3 H-AF	149.3	4.31	3.58	4.26	2.11	357	3.5	86.0	156.7	0.04	0.02
H-B1,2,3 H-BF	149.3	4.27	3.58	4.23	2.12		34.0	85.7	156.4	0.40	0.22

D: 鋼管の外径, t: 管厚, $s\sigma_y$: 降伏応力度, $s\sigma_u$: 引張強さ, sE : ヤング係数,
 F_c : コンクリートの圧縮強度, N: 荷重軸力, $sN_0 = sA \cdot s\sigma_y$, $N_0 = sA \cdot s\sigma_y + cA \cdot F_c$,
 sA : 鋼管の断面積, cA : コンクリートの断面積

表2 コンクリートの調合

試験体 グループ	W/C (%)	単位水量 ($\frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$)	セメント ($\frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$)	細骨材 ($\frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$)	粗骨材 ($\frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$)	スランプ (cm)
L	74	189	237	944	1003	7.1
M	62	182	310	804	1084	6.5
H	54	184	347	765	1106	7.5

下の状況に顕著な差がみられる。高軸力の場合、コンクリート強度が高くなるにつれズレを拘束した試験体では最大耐力が増大するが、ズレを拘束していない試験体ではコンクリート強度の変化にほとんど影響なくほぼ同程度の最大耐力となっている。

3-2 鋼管の軸方向力 sN の材長方向分布 : 鋼管を弾性体と仮定し、測定した断面のひずみ度分布より求め

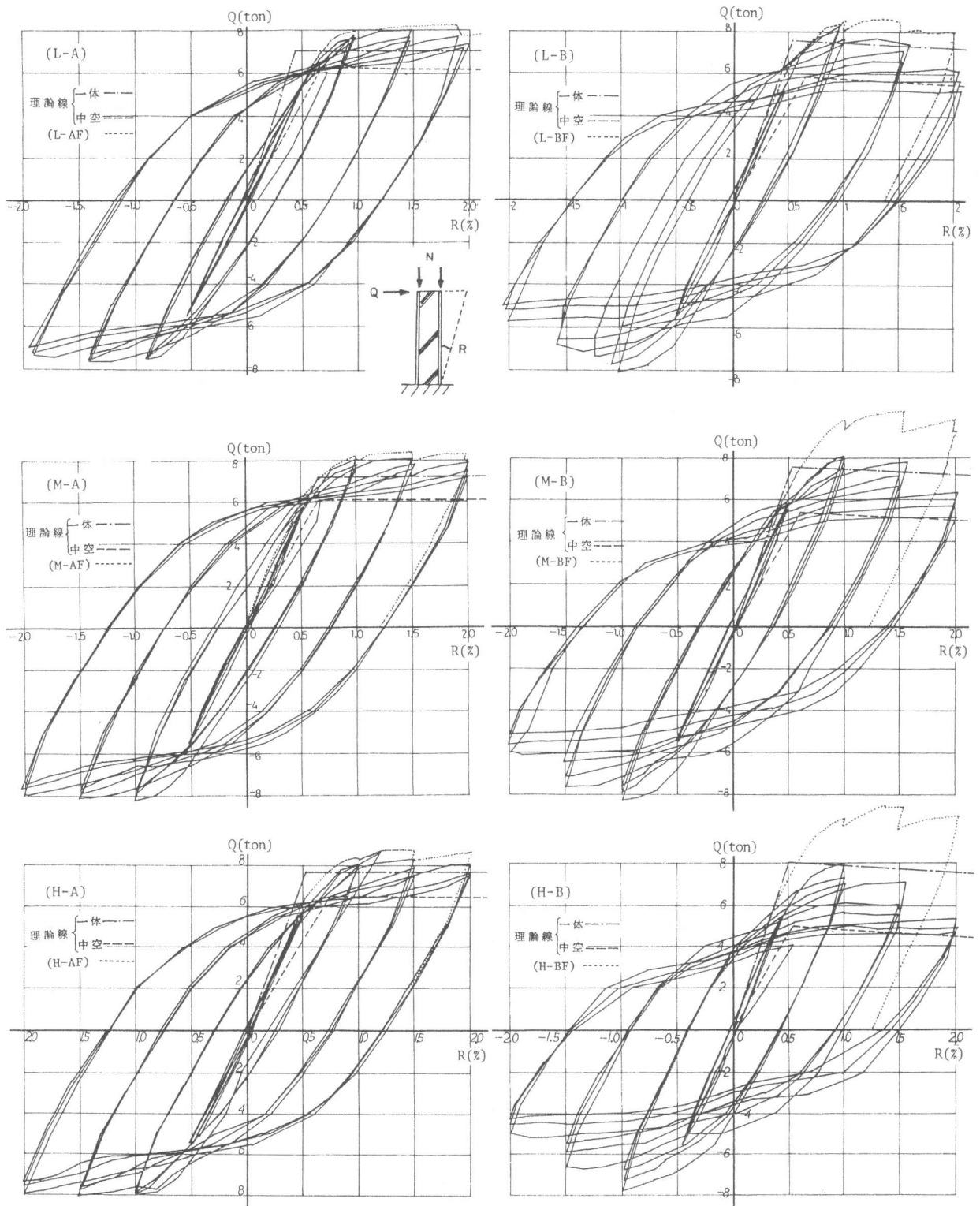


図2 セン断力Q-部材角Rの関係

た鋼管の軸方向力sNの材長方向に沿っての分布の一例を各荷重履歴ごとに説明する。ひずみ度を測定した断面の名称は、柱脚に近い方よりそれぞれ①～⑥断面（図1参照）とする。鋼管を弾性体と仮定していることから、いずれかの測定点で降伏ひずみ度を超えるひずみ度を経験した場合、以後のその断面のデータをプロットしていない。なお本論においてはsNは圧縮力を正とする。

i) 軸力載荷時： 軸力載荷時のsNの分布を図3に示す。図中、破線は両材端で全面圧縮となるズレを拘束した試験体のsN分布である。したがって、破線は鋼管と充填コンクリートで平面保持が成立つ時のsNとみることができる。軸力のみを載荷した時、低軸力の試験体では平面保持の成立つ部分が存在するが、高軸力を受ける試験体ではこの時点で平面保持が成立つ部分はない。載荷軸力はこれ以後のせん断力加力中、一定となるようにしている。

ii) 材端が短期許容曲げモーメントに達する時のせん断力での繰返し（部材角では約0.5%）： 最初のサイクル正荷重時のsN分布を図4に示す。せん断力の増大とともにsNの材長方向に沿っての変化率は大きくなり、柱脚に近い断面ほどsNの値は減少している。低軸力のものに比べて高軸力を受けるもののsNの変化率はわずかに小さい。除荷後せん断力が零の時（破線）は、軸力をほぼ鋼管だけで負担している状態となる。

iii) 部材角1%, 1.5%, 2%での繰返し： 紙面の都合で、部材角1%, 2%の最初のサイクル正荷重時のsN分布をそれぞれ図5, 図6に示す。低軸力の試験体では④断面、高軸力の試験体では①, ②断面が塑性域にはいる。せん断力が零の時のsN分布は材長に沿って一様にならず、さらに以後の繰返し載荷で、せん断力が零の時のsN分布のパターンはほとんど変わらない。繰返し載荷後軸力を零とした時のsN分布は図7となる。そこで図5, 図6のsN分布は、図7に示すsNが鋼管を完全弾性体と仮定することやその他何らかの原因で生じた誤差であるとして、軸力零の時のsNは零になると仮定してsNの値を補正したものである。

3-3 付着応力度の検討： 鋼管が弾性範囲で挙動する③断面から反曲点位置までの平均付着応力度 $s_e \bar{\epsilon}_a$ と、③断面から反曲点位置までの鋼管と充填コンクリートの間の平均相対ズレ量 $\bar{\delta}$ の関係を図8に示す。 $s_e \bar{\epsilon}_a$ は(1)式により、 $\bar{\delta}$ は(2)式により求めた。

$$s_e \bar{\epsilon}_a = (N - s_a A_s E_s \bar{\epsilon}_s) / s_\psi (\ell_0 - \ell_1) \dots (1)$$

$$\bar{\delta} = \delta_0 - \frac{1}{2} \left(\int_{\ell_1}^{\ell_0} s_e dz - \int_{\ell_1}^{\ell_0} \bar{\epsilon}_s dz \right) \dots (2)$$

ここで、 $s_e \bar{\epsilon}_s$ = ③断面での鋼管の平均軸方向ひずみ度、 s_ψ = 鋼管内表面の周長、 ℓ_0 = 柱脚から反曲点位置までの長さ、 ℓ_1 = 柱脚から③

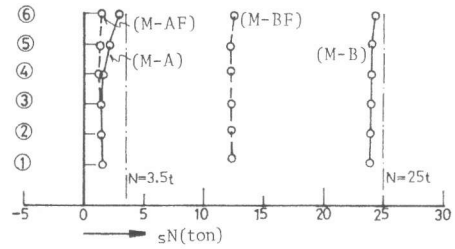


図3 軸力載荷時のsN分布

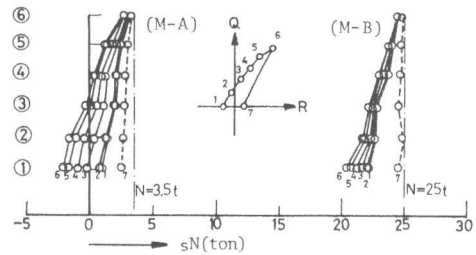


図4 部材角で約0.5%でのsN分布

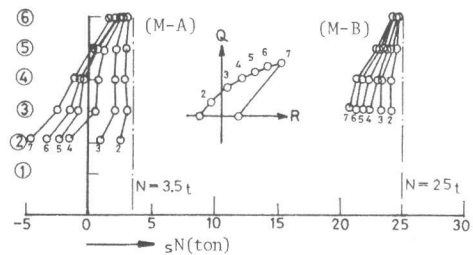


図5 部材角1%でのsN分布

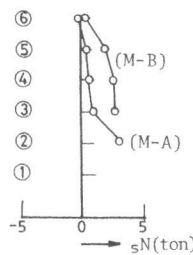


図7 軸力零の時のsN分布

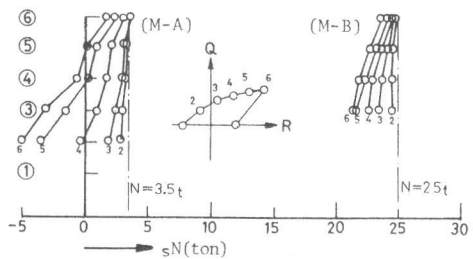


図6 部材角2%でのsN分布

断面までの長さ, δ_0 = 反曲点位置での鋼管と充填コンクリートの間の相対ズレ量 (測定値), $\bar{\epsilon}$ = 鋼管の平均軸方向ひずみ度, $\bar{\epsilon}_c$ = 充填コンクリートの平均軸方向ひずみ度 = $(N - A_s E_s \bar{\epsilon}) / A_c E_c$, E_c = コンクリートのヤング係数。

せん断力の繰返し載荷により $\bar{\epsilon}_c$ は大きく変化するが, 図8には δ_0 が増加する点のみをプロットしている。図中の破線はコンクリート充填角形鋼管柱の短期許容付着応力度 $s f_a^{(1)}$ である。せん断力除荷点での $\bar{\epsilon}_c$ は, 低軸力の場合で 1.5 ~ 3.5 kg/cm 程度, 高軸力の場合で 1.5 ~ 3 kg/cm 程度であり, 高軸力の場合の方が低軸力の場合よりやや小さな値となっている。せん断力除荷点での $\bar{\epsilon}_c$ はいずれの場合も短期許容付着応力度を満足している。充填コンクリートの圧縮強度による影響はほとんど認められない。

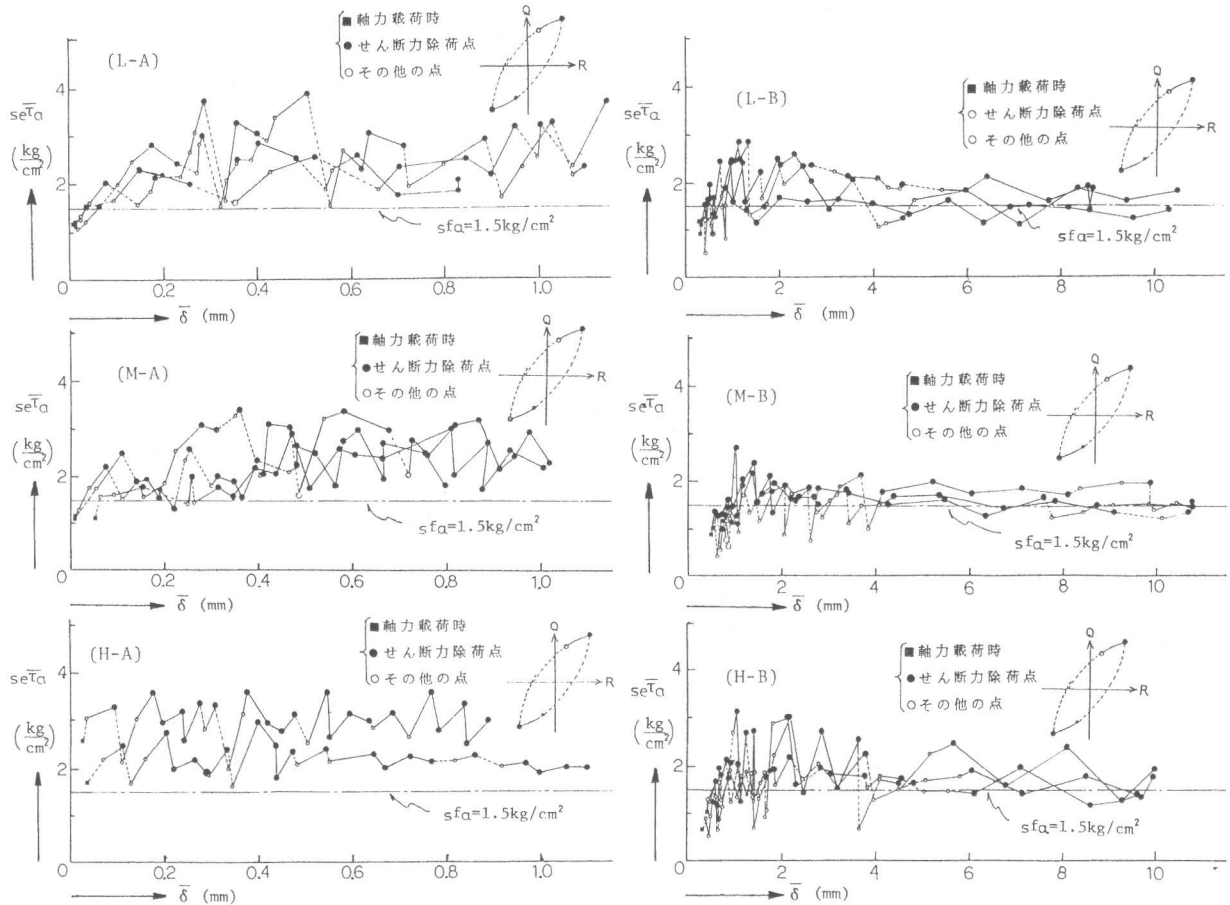


図8 $\bar{\epsilon}_c - \bar{\delta}$ 関係

4. 結論

以上の実験結果より, 次のような結論を得た。

- 1) 平均付着応力度 $\bar{\epsilon}_c$ は, せん断力の繰返し載荷により大きく変化する。
- 2) 本実験における荷重履歴のせん断力除荷点での $\bar{\epsilon}_c$ は, 低軸力の場合でおよそ 1.5 ~ 3.5 kg/cm, 高軸力の場合でおよそ 1.5 ~ 3 kg/cm であり, 高軸力の場合の $\bar{\epsilon}_c$ は低軸力の場合よりやや小さな値となる。せん断力除荷点での $\bar{\epsilon}_c$ はいずれの場合も短期許容付着応力度を満足している。
- 3) コンクリートの圧縮強度による影響はほとんど認められない。

参考文献 : 1) 富井, 森下, 崎野, 川野, 「角形鋼管の充填コンクリートに対する柱短期荷重時の付着強度」 コンクリート工学年次講演会講演論文集 昭和56年6月 2) 富井, 森下, 崎野, 川野, 「コンクリート充填角形鋼管柱の短期荷重時における鋼管と充填コンクリートの間の付着性状に関する実験的研究 (コンクリート強度および載荷軸力の影響)」 日本建築学会大会学術講演梗概集 昭和56年9月 3) Tomii M. and Sakino K. "Experimental Studies on the Ultimate Moment of Concrete Filled Square Steel Tubular Beam-Columns." Trans. of A.I.J. No 275 Jan. 1979 4) 日本建築学会, 「鋼管コンクリート構造計算規準・同解説」 1980。