

[75] 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

正会員 富井政英（九州大学工学部）

正会員 森下陽一（琉球大学工学部）

正会員 崎野健治（九州大学工学部）

正会員 ○川野浩一（九州大学工学部）

1. 序

コンクリート充填鋼管構造は、柱材の充填コンクリートが軸圧縮力を負担することにより、優れた特性を発揮することができる構造であるといえる。そのためには、はりからのせん断力を柱材の充填コンクリート部分に圧縮力として伝達させてやる必要がある。鋼管と充填コンクリートの間の相対ズレが機械的に止められている場合は力の伝達に関してあまり問題はないが、鋼管の内側には通常の場合ズレ止めとなるものがいたため、鋼管と充填コンクリートの間の付着応力により軸圧縮力が伝達されなければならない。しかしながら、軸圧縮力を付着応力により伝達する設計方法に関してはまだ普遍的な方法が確立されておらず、また許容応力度設計法の基本である許容付着応力度についても長期許容付着応力度に関しては実験的裏付けがあるが、短期許容付着応力度に関しては実験的裏付けがほとんどないというのが現状である。

以上のことから、本論は短期荷重時の付着性状を明らかにするための実験方法を開発することを目的とする。

2. 実験方法

2-1 加力方法 実際のコンクリート充填鋼管構造物における長期荷重時の柱に近い荷重状態のもとでの鋼管と充填コンクリートとの間の付着強度に関しては、コンクリート充填鋼管柱の柱頭は鋼管部分のみに軸力を載荷し、柱脚は全面支持とした中心圧縮実験により明らかにした¹⁾。本研究では短期荷重時の柱に近い荷重状態のもとでの付着強度を明らかにするために、柱の柱脚から反曲点までの部分を想定した試験体に図1に示す加力装置を用いて一定軸力と繰返せん断力の加力を実験した。加力装置の設計にあたって留意した主な点は以下の3点である。 i) 軸力は反曲点位置では鋼管のみに載荷し、柱脚は全面支持とすること。 ii) 反曲点位置において鋼管と充填コンクリートの間の相対的なズレが測定できること。 iii) 反曲点位置に加力のためのスチフナを設けるとスチフナ近傍の鋼管の軸力（後述するように、鋼管表面のひずみ度を測定することにより求める）が溶接の影響のため精度よく求まらないことが予備実験により判明したので、反曲点位置にはスチフナを設けないこと。

以上の3点から、反曲点位置と加力点の間に長さ1D(Dは鋼管のせい)の中空鋼管部分を設けた。

2-2 測定方法 鋼管表面に電気抵抗線ひずみ計（以下W.S.G.と書く）を貼付することにより鋼管表面のひずみ度を測定し、材軸方向に沿っての軸力の変化より鋼管と充填コンクリートの間の平均付着応力度を求めた。この方法は長期荷重時の実験に用いた方法と同じであるが、本実験では断面に曲率が生じるので1断面での測定点を多くし、断面のひずみ度分布は測定点間を直線補間することにより求めた。W.S.G.の貼付位置を図2に示す。反曲点位置での柱の水平変位は変位計により測定した。また、反曲点における鋼管と充填コンクリートの間の相対ズレ量を、反曲点位置から加力点までの中空鋼管部分の中に変位計を取り付けて測定した。

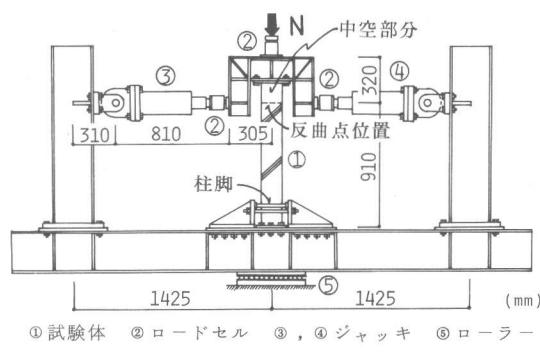


図1 加力装置

3. 実験計画

実験変数は軸力Nの大きさで、軸力のみを載荷した状態で試験体中にひずみの平面保持の成立つ部分（軸方向剛性比に分配された軸力をそれぞれが負担している部分）が生じる低軸力N = 0.04 s_{No}（s_{No}は鋼管の中心圧縮耐力）と、一体的に挙動するとした場合曲げ耐力が最大となる高軸力N = cA_{Fc} / 2²⁾（cAは充填コンクリートの断面積）の2種類とした。試験体数は軸力の大きさを変えて行なった2体と、比較のため反曲点から加力点の間に中空部分を設けずに入上端までコンクリートを打設した以外は同一条件で行なった2体（以下ズレを拘束した試験体と書く）の計4体である。ズレを拘束した試験体は、せん断力を載荷した場合両材端で鋼管と充填コンクリートの間の相対的なズレが止められているため一体的に挙動するとした場合の耐力を発揮することが明らかにされている³⁾。

鋼管は市販の角形鋼管（材質はSTKR41）を焼純して使用し、コンクリートは普通コンクリートを充填した。

表1 材料の力学的性質と実験条件

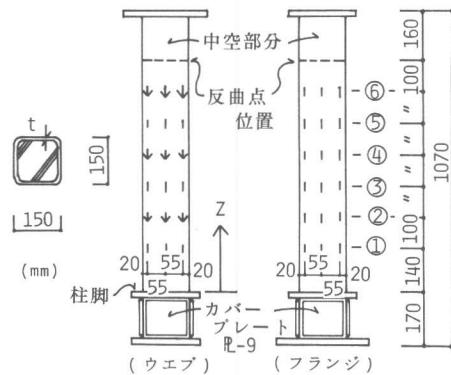


図2 試験体の形状及びW.S.G.の貼付位置

試験体名	D (mm)	t (mm)	s _{Oy} (ton/cm ²)	s _{Ou} (ton/cm ²)	s _E (×10 ⁶ kg/cm ²)	F _c (kg/cm ²)	N (ton)	s _{No} (ton)	N _o (ton)	s _{No} /N _o	N/N _o	
M-A	150.5	4.17					333	4.2	105.9	173.2	0.04	0.02
M-AF	150.4	4.18	4.42	5.14	2.18			106.1	173.3			
M-B	150.4	4.15					311	31.5	105.3	168.3	0.30	0.19
M-BF	150.5	4.16						105.6	168.5	0.30	0.19	

試験体名はMはコンクリート強度が中間の強度（紙面の都合で本論では発表しないが他に4体実験を行なっている）。Aは低軸力、Bは高軸力を示し、ズレを拘束した試験体にはFを付した。

D : 鋼管の外径, t : 管厚
s_{Oy} : 降伏応力度, s_{Ou} : 引張強さ
s_E : 鋼管のヤング係数, F_c : コンクリートの圧縮強度, N : 載荷軸力
s_{No} = s_As_{Oy}, N_o = s_As_{Oy} + cA_{Fc}, s_A : 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

W/C (%)	単位 水量 (kg/m ³)	セメント (kg/m ³)	細骨材 (kg/m ³)	粗骨材 (kg/m ³)	スランプ (cm)
62	192	310	804	1084	5

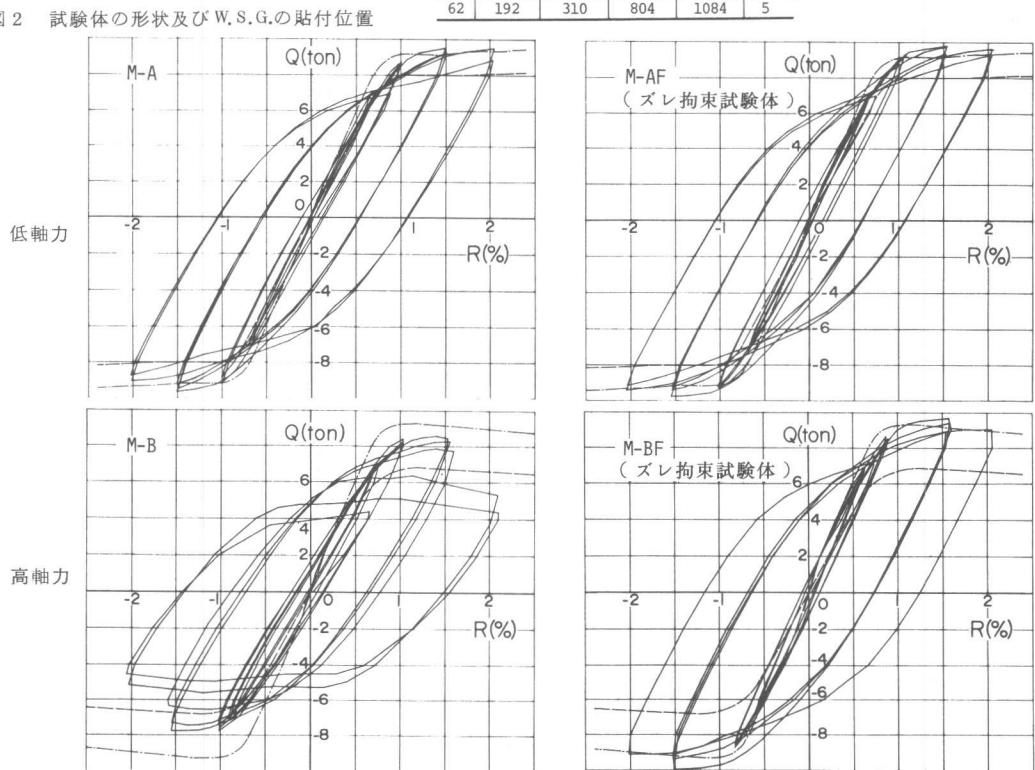


図3 せん断力Q一部材角R関係

表1に材料の力学的性質と実験条件を、表2にコンクリートの調合を示す。

4. 実験結果

4-1 せん断力Q一部材角R関係 図3にQ-R関係を示す。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単調載荷時の理論線³⁾で、破線は同じく中空鋼管の理論線である。低軸力の場合はズレを拘束した試験体と比較して、Q-R関係に顕著な差異はないが、高軸力の場合はズレを拘束した試験体と比較すると、最大耐力及び耐力低下の状況などに顕著な差異が見られる。反曲点における鋼管と充填コンクリートの間の相対ズレ量は、最大で低軸力の場合は1.09mmであったが、高軸力の場合は9.73mmにも達した。

4-2 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た鋼管の軸方向力sNの材長方向にそっての分布の様子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、②、③、④、⑤、⑥断面(図2参照)と呼ぶことにする。鋼管を弾性体と仮定していることから、一断面の全測定点のいずれかが降伏ひずみ度を超えるひずみ度を経験した場合、それ以後についてはその断面のデータのプロットを行なっていない。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4に示す。図中破線は両材端で全面圧縮となるズレ拘束試験体のsN分布である。したがって、破線は平面保持が成立つ時のsNとみることができる。軸力載荷終了時M-A試験体は図中に示したA点より下は平面保持が成立しているが、M-B試験体は軸力載荷終了時には平面保持が成立している部分はない。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) せん断力1tonでの繰返し(1~3サイクル)；紙面の都合で図は省略するが、この荷重履歴の間でのsNの分布は軸力載荷終了時とほとんど同じであった。

iii) 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(4~6サイクル)；4サイクル正荷重時のsN分布を図5に示す。せん断力の増大とともにsNは減少し、sNの材軸方向に沿っての変化率は大きくなってくる。除荷後せん断力が零の時(破線)は、2体の試験体とも、全長にわたって軸力をほぼ鋼管だけで負担している状態となっている。M-B試験体の①断面は載荷している軸力(一点鎖線)以上の軸力を負担していることになるが、これは①断面では大きな曲率が生じたため、鋼管のフランジのひずみ度が降伏ひずみ度を超えないが、比例限を超えるひずみ度を経験したためと思われる。

iv) 部材角1%での繰返し(7~9サイクル)；7サイクル正荷重時のsN分布を図6に示す。M-B試験体は①、②断面とも塑性域に入いる。また、せん断力が零の時は軸力はほとんど鋼管が負担している。ここで、M-A試験体についてはせん断力が零の時のsN分布は材長に沿っ

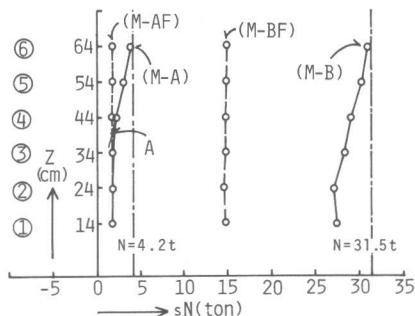


図4 軸力載荷時のsN分布

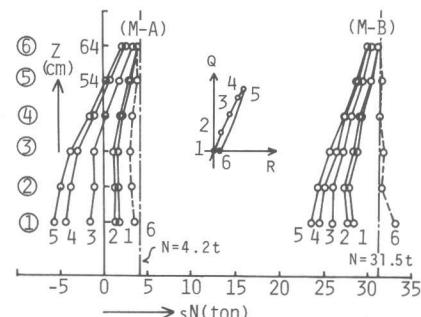


図5 4サイクル正荷重時のsN分布

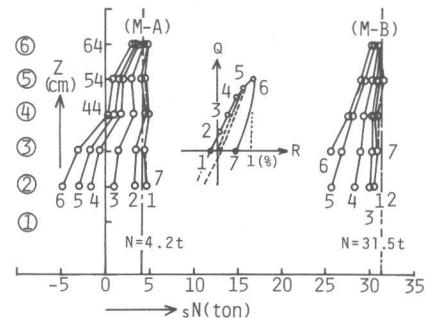


図6 7サイクル正荷重時のsN分布

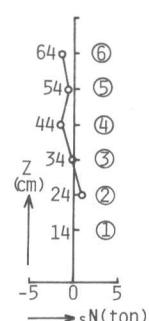


図7 軸力零の時のsN分布

て一様にならず、①、②断面では載荷軸力よりも大きくなつた。さらにこれ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かわらず、繰返し載荷後軸力を零とした時のsN分布は図7に示すような分布となつた。そこで図6に示したM-A試験体については、軸力零の時のsNは零になると仮定し(M-B試験体はほとんど零になっている)、図7に示すsNは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補正したものである。ここで①断面は10サイクル目に塑性域に入っているため補正できないので示していない。

v) 部材角1.5%, 2%での繰返し(10~14サイクル); 紙面の都合で13サイクル(部材角2%)正荷重時のsN分布を図8に示す。M-A試験体は図6と同様の補正がしてある。低軸力のM-A試験体は最大荷重時において、7サイクル正荷重時のsN分布とほとんど同じであるが、高軸力のM-B試験体はせん断力除荷点でのsNの材軸方向に沿つての変化率は7サイクル正荷重時に比較すると小さい。

4-3 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 $s\bar{\tau}_a$ 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9に示す。 $s\bar{\tau}_a$ は(1)式により、 $\bar{\delta}$ は(2)式により求めた。

$$s\bar{\tau}_a = (N - sA_s E s\bar{\epsilon}_3) / s\psi \quad (1)$$

$$\bar{\delta} = \delta_0 - \frac{1}{2} (\int_{l_3}^{l_0} s\bar{\epsilon} dz - \int_{l_3}^{l_0} c\bar{\epsilon} dz) \quad (2)$$

ここで、 $s\bar{\epsilon}_3$ = ③断面での鋼管の平均軸方向ひずみ度、 $s\psi$ = 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_3 = 柱脚から③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)、 $s\bar{\epsilon}$ = 鋼管の平均軸方向ひずみ度、 $c\bar{\epsilon}$ = 充填コンクリートの平均軸方向ひずみ度 = $(N - sA_s E s\bar{\epsilon}) / sA_c E$ 、 cE = 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 $s\bar{\tau}_a$ は大きく変化するが、図9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 $s\bar{\tau}_a^{(4)}$ である。図9をみると、せん断力除荷点での $s\bar{\tau}_a$ は $1.5 \text{ kg/cm}^2 \sim 3.5 \text{ kg/cm}^2$ で、低軸力の場合の方がやや大きな値となっている。

5. 結論

試験体数は4体で定量的な結論は得られないが、以下の結論を得た。

1) 本論で述べた試験方法により、鋼管が弾性範囲で挙動する柱中間部分に生じる、短期荷重時における平均付着応力度 $s\bar{\tau}_a$ を求めることができる。

2) $s\bar{\tau}_a$ はせん断力の繰返し載荷により大きく変化し、曲率が増えれば $s\bar{\tau}_a$ も大きくなる。また本実験における荷重履歴のせん断力除荷点での $s\bar{\tau}_a$ は、軸力のみを載荷した時の平均付着応力度よりも大きく $1.5 \text{ kg/cm}^2 \sim 3.5 \text{ kg/cm}^2$ であった。

参考文献; 1) 森下、富井、吉村、「コンクリート充填角形鋼管柱の鋼管と充填コンクリートとの間の付着性状に関する研究」コンクリート工学年次講演会講演論文集 昭和54年5月 2) Tomii, M., 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 3) Tomii, M., Sakino, K., "Experimental Studies on Concrete Filled Square Steel Tubular Beam-Columns Subjected to Monotonic Shearing Force and Constant Axial Force," Trans. of A.I.J., No. 281, July 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」1979

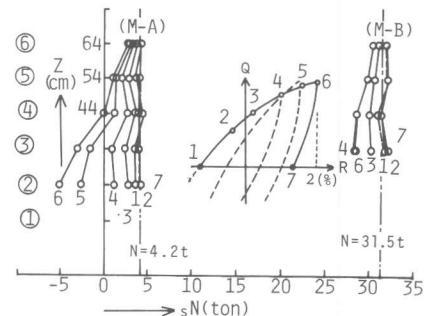


図8 13サイクル正荷重時のsN分布

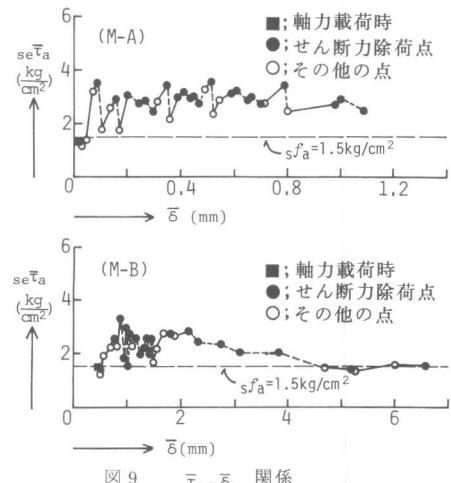


図9 $s\bar{\tau}_a - \bar{\delta}$ 関係