

V-30

正負交番軸方向荷重を受けるコンクリート充填式二重鋼管柱の
復元力特性に関する実験的研究

北海道大学工学部 学生員 石原 一伸
北海道大学大学院 学生員 今野 克幸
北海道大学工学部 正 員 上田 多門
ドーピー建設工業株式会社 正 員 大平 雅司

1.はじめに

コンクリート充填式二重鋼管柱は、コンクリートの長所と鋼管の長所を採り入れ、圧縮時には、コンクリートが鋼管で拘束されることにより、コンクリートに、より大きな圧縮耐力が得られる。引張時の特徴は、コンクリートではなく鋼管と PC 鋼棒が、複合的に引張力に抵抗するため(図.1 参照)、非線形弾性的な挙動を示す。この特徴を生かした用途の一例として、ブレース部材が挙げられるが、ブレース部材は、圧縮力と引張力の両方の力が作用する部材である。これまで、圧縮力のみや、引張力のみ研究はなされてきた¹⁾。本実験は、圧縮力と引張力を繰返し与えた場合のコンクリート充填式二重鋼管柱の復元力特性を明らかにするための基礎的研究の一部である。

表-1 供試体諸元

		BRC01	BRC02
Dj(cm)	内側鋼管外径	8.94	8.94
ti(cm)	内側鋼管厚さ	0.31	0.31
Esi(GPa)	内側鋼管弾性係数	175.8	175.8
fvi(MPa)	内側鋼管降伏応力	414.1	414.1
Do(cm)	外側鋼管外径	13.93	13.93
to(cm)	外側鋼管厚さ	0.34	0.34
Eso(GPa)	外側鋼管弾性係数	203.8	203.8
fyo(MPa)	外側鋼管降伏応力	472.3	472.3
Dp(cm)	PC 鋼棒径	1.29	1.29
Ep(GPa)	PC 鋼棒弾性係数	197.0	197.0
fyp(MPa)	PC 鋼棒降伏応力	1372	1372
Dpj(cm)	ジョイント PC 鋼棒径	2.36	2.36
Epi(GPa)	ジョイント PC 鋼棒弾性係数	203.4	203.4
fypi(MPa)	ジョイント PC 鋼棒降伏応力	1173	1173
lnj(cm)	ジョイント PC 鋼棒長さ	40.5	40.5
fc'(MPa)	モルタル強度	53.3	72.5
Ec(GPa)	モルタル弾性係数	28.4	30.2
f(MPa)	プレストレス	653.3	716.0
lout(cm)	モルタル外部 PC 鋼棒長さ	14.9	14.9
lin(cm)	モルタル内部 PC 鋼棒長さ	110	110
lc(cm)	モルタル長さ	90	90
lso(cm)	外側鋼管長さ	82.8	82.8
Δh(mm)	ナットと添接板の間隔	4.7	5.0

2.実験概要

本実験の供試体を図.1 に示す。図に示すように、ブレース部材には圧縮、引張の両荷重をかけた時、供試体に曲げモーメントが生じず、軸方向のみに荷重が与えられるように、供試体と載荷装置をヒンジで連結した。供試体は、二体製作した。各供試体の諸元は、表-1 に示す。表に示すように、BRC01,BRC02 の二体の供試体は、コンクリート強度とプレストレスだけ変化させた。又、本実験では、コンクリート充填部の断面積が小さく、充填コンクリートをより均質なものとするために、モルタルを用い早強セメントを使用した。プレストレスは、内側コンクリート中央にアンボンド PC 鋼棒を配置し、ポストテンション方式により支圧板を通じて内側コンクリートにプレストレスを導入している。又、圧縮時に供試体がヒンジで連結されているため供試体が軸方向から傾くのを避けるため、供試体 BRC02 の実験時には、ヒンジの連結部分の鋼板間の四隅に鋼柱を挟んだ(図.1 参照)。載荷方法は、図 1 に示すように、まず PC 鋼

Experimental Study on Behavior of Concrete Column Encased by Double Steel Tubes under Reversed Cyclic Axial Loading

by Kazunobu ISHIHARA, Katsuyuki KONNO, Tamon UEDA and Masaji OHIRA

棒に引張力を与える。次に、二段階目の剛性(図.2 の点 AB 間の剛性)が十分確認できた時点で、ジョイントナットを締め上げた。四本のジョイントナットを介して、外側鋼管に引張力を伝えた。又、変位測定箇所は、外側鋼管の伸び測定用に、軸方向に L,R 両サイドに四カ所に設置した。変位計は、供試体 BRC02 のみに設置した。ひずみ測定箇所は、ひずみゲージを内外、

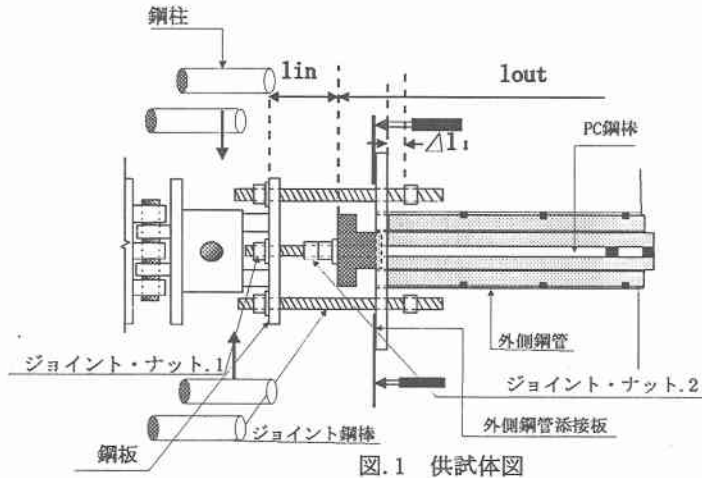


図.1 供試体図

両鋼管とも LR 両サイドに五カ所に設置した。PC 鋼棒には四カ所に設置した。又、内側モルタルと内側鋼管の間の付着を減ずるために、内側鋼管内面に分離剤として、二硫化モリブテンを塗布した。

3. 荷重と変位の関係

コンクリート充填式二重鋼管柱の典型的な荷重と変位の関係を図.2 に示す。まず、A 点で、プレストレスが解放される。よって、 $\Delta l_0 \geq \Delta l (P_0 \geq P)$ の場合は、内側モルタルと PC 鋼棒が、引張荷重に抵抗する。ここで、 Δl は、供試体の変位、 P は、引張荷重を表す。次に、A 点から B 点まで、つまり、 $\Delta l_0 < \Delta l < \Delta l_1 (P_0 < P < P_1)$ の場合は、PC 鋼棒のみが引張荷重に抵抗する。次に、B 点から C 点まで、つまり、 $\Delta l_1 < \Delta l < \Delta l_2 (P_1 < P < P_2)$ の場合、ジョイント PC 鋼棒のナットが、外側鋼管添接板にあたり、引張荷重を外側鋼管に伝える。よって、PC 鋼棒と外側鋼管が引張荷重に抵抗する。又、圧縮荷重には内側モルタルが抵抗し A 点までの剛性と同じような剛性が得られる。

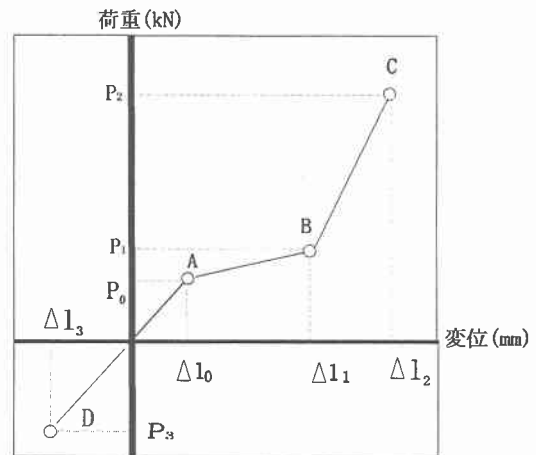


図.2 荷重と変位の関係

4. 実験結果と考察

供試体 BRC01 の実験結果を図.3 に示す。図の変位とは、載荷装置の変位を表している。載荷方法は、荷重は、引張力を正にとり、又、変位も引張方向を正にとると、

第一段階 0kN → 401.7kN(引張)

第二段階 401.7kN → 0(除荷) → -139.2kN(圧縮)

第三段階 -139.2kN→0(除荷)→ 407.4kN(引張)

第四段階 407.2kN→ 0(除荷)

の方法で載荷した。プレストレスは、充填コンクリートであるモルタルの圧縮強度の 30.2%であり最大圧縮力時のコンクリートの圧縮応力は圧縮強度の 49.3%である。図.3 に示すように正負交番荷重を繰り返し与えた場合でも図.2 に示すような経路を繰り返した。変位が変化しているのに、荷重が 0 のまま変化していないのは、図.1 に示しているように、供試体と治具をヒンジで連結しているため、そのすべりとジョイント・ナットと鋼板のあきのためであると考えられる。計算値と比べ、実験値のグラフの傾きが小さいのは治具などの変位も含んでいるためであると思われる。又、圧縮力とプレストレスによる残留ひずみのため、第二段階から第三段階にかけて、グラフが少し左に平行移動しているように思われる。次に供試体 BRC02 の荷重と荷重載荷装置の変位の関係について、図.4 に示す。載荷方法は、BRC01 と同じように

第一段階 0kN →262.8kN(引張)

第二段階 262.8kN→0(除荷)→-153.3kN(圧縮)

第三段階 -153.3kN→0(除荷)→ 700.2kN(引張)

第四段階 700.2kN→0(除荷)→-171.3kN(圧縮)

第五段階 -171.3kN→0(除荷)→ 651.6kN(引張)

第六段階 651.6kN →0(除荷)

という方法で載荷した。

内側モルタルの強度を変えた供試体 BRC02 を使用した場合でもやはり一体目の供試体 BRC01 と同じようにトリリニアな剛性を示しながら同じ経路をたどった。第三段階で PC 鋼棒を降伏させ、そのときの引張力は 649.9kN であった。PC 鋼棒を降伏させると、図からも分かるように第四段階以降、プレストレスが抜けてしまい、図.2 の A 点までの段階が消失した。プレストレスと最大圧縮応力は、モルタルの圧縮強度の 24.3%、44.6%である。又、実験値が、計算値に比べ傾きが小さく、荷重が 0 のとき変位だけ変化している理由は、供試体 BRC01 と同じ理由である。しかし、図.4 では圧縮力載荷時には実験値と計算値の傾きがほぼ等しい。つまり圧縮力載荷時には引張力載荷時に比べ実験値の剛性が高くなったわけであるが、それはこの図.4 のグラフの変位は荷重載荷装置の変位、つまり連結部分の変位と供試体の変位であり、変位測定範囲内であるヒンジの連結部分に鋼柱を挟んだので鋼柱の剛性も含まれてしまったために見かけ上剛性が上がったように見えたのである。その現象は、鋼柱を挟まなかった供試体 BRC01 の図.3 には見られない。又、引張荷重がかかり始めるとき、又は圧縮

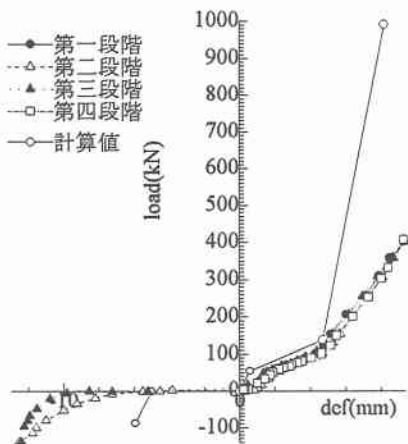


図.3 荷重-変位曲線の実験値と計算値の比較

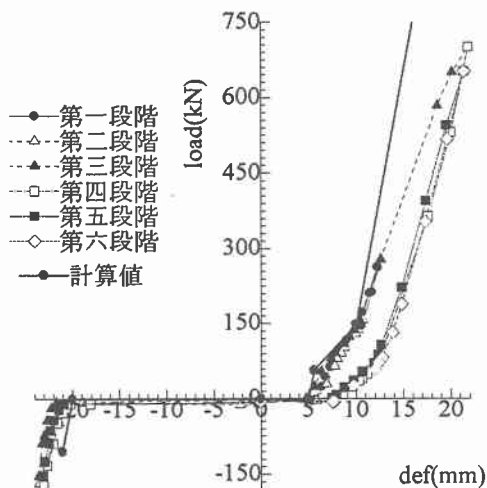


図.4 荷重-変位曲線の実験値と計算値の比較

荷重がかかり始めるとき、つまり荷重の変化付近において剛性が低くなっているのは、引張応力時には図.1におけるジョイント・ナット.1の締まりが不十分であったため、ジョイント・ナット.1が完全に鋼板に接するまでの間、剛性が低下し、圧縮応力時には図.1における鋼板とジョイント・ナット.2の間に空きがあるためスライドし、ナット.2が鋼板に完全に接するまでの間、剛性が低下したように思われる。又、圧縮時の残留ひずみの影響による荷重-変位曲線のシフトが少し見られる。本実験では、充填コンクリートの最大圧縮応力（プレストレス+最大圧縮応力）は、供試体 BRC01 では、モルタルの圧縮強度の 79.5%、BRC02 では、68.9%であった。図. 3 と図. 4 を比べればわかるように、BRC 02の方が、残留ひずみの影響によるグラフのスライドが、小さいように思われる。つまり、モルタルの圧縮強度 f_c に対する、内側モルタルの軸圧縮応力 $\sigma (\sigma = P/A_c)$ の割合 σ/f_c を小さくすれば良いのだが、この場合、プレストレス力 P を小さくすると荷重-変位曲線の一段階目が小さくなるので、モルタルの圧縮強度 f_c を大きくする、又は $\sigma = P/A_c$ なので、内側モルタル断面積 A_c を大きくすると残留ひずみの影響はもっと小さくなると思われる。なお 図.3、4、に示す計算値は、コンクリート充填式二重鋼管柱をバネモデル化したものである。その計算式¹⁾を以下に示す。

$$A : \Delta l_0 = \text{lin} \times \varepsilon_{cV} \quad P_0 = \{(K_1 + K_2) \times K_3\} \times \Delta l_0 / (K_1 + K_2 + K_3) \quad K_1 = E_p \times A_p / \text{lin}, \quad K_2 = E_c \times A_c / l_c, \quad K_3 = E_p \times A_p / \text{lout}$$

$$B : \Delta l_1 = \text{ナット-添接板間隔により決定} \quad P_1 = P_0 + K_4 \times (\Delta l_1 - \Delta l_0) \quad K_4 = E_p \times A_p / l \quad (l = \text{lin} + \text{lout})$$

$$C : \Delta l_2 = \Delta l_1 + (1/K_5 + 2/m \times K_6) \times P_{SOY} \quad P_2 = P_1 + P_{SOY} + K_4 \times \Delta l_2 \quad K_5 = E_{SO} \times A_{SO} / l_{SO} \quad K_6 = E_{PJ} \times A_{PJ} / l_{PJ}$$

$$D : P_3 = -E_c \times \varepsilon_{c'} \times (A_c + n \times A_p) \quad \Delta l_3 = P_0 / (A_p \times E_p / l_{in} + A_c \times E_c / l_c) + 2 \cdot l_{out} / (A_p \times E_p)$$

* E_c :内側モルタルの弾性係数

* ε_{cV} : $A_p \times l / A_c / E_c$ * $\varepsilon_{c'}$:最大圧縮応力による内側モルタルの軸圧縮ひずみ * f :プレストレス

* E_p :PC 鋼棒の弾性係数 * A_c :内側モルタルの断面積 * A_p :PC 鋼棒の断面積 * n : E_p/E_c

* A_{SO} :外側鋼管断面積 * E_{SO} :外側鋼管の弾性係数 * A_{PJ} :ジョイント PC 鋼棒断面積 * E_{PJ} :ジョイント PC 鋼棒の弾性係数 * P_{SOY} :外側鋼管降伏応力

5.まとめ

充填コンクリートにプレストレスを与えた二重鋼管柱に圧縮力、引張力の両荷重を繰り返し与えた場合、内側モルタルの強度の異なる二体の供試体を使用したか、二体とも計算値が示すグラフと同じようにトリリニアな剛性を示し、除荷時に載荷時とほぼ同じ経路をたどった。又、PC 鋼棒を降伏させるとプレストレスが抜けてしまい荷重-変位曲線の第一段階が消失し、引張力下においてバイリニアな荷重-変位関係を示した。

今回の実験では供試体の連結部分に不備な点があり予期せぬ滑りが生じてしまったため満足のいくデータが得られなかった。不備な点を改善した実験を行い、近い将来公表する予定である。

[参考文献]

- 1) 荒木敏光、今野克幸、上田多門、大平雅司：引張力を受けるコンクリート充填式二重鋼管構造の変形特性について、土木学会北海道支部論文報告集、1995年2月
- 2) 荒木敏光：引張力を受けるコンクリート充填式二重鋼管構造の変形特性についての実験的考察 北海道大学卒業論文、1995年3月