

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

北海道大学工学部 学生員 荒木 敏光
 北海道大学工学部 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鋼管構造はコンクリートを鋼材で補強することによりコンクリートに非常に大きな強度増加をもたらし、大きな耐圧縮能力を有する。本研究で扱うコンクリート充填式二重鋼管構造の用途の一例はブレース部材として用いることである。ブレース部材は引張力に対して抵抗する構造であるが、本研究では二重鋼管構造にプレストレスを与え、かつ各引張荷重段階に対して内側コンクリート、PC鋼棒、外側鋼管が弾性域内でシステムティックに抵抗する構造とした。この構造を用いることにより、引張力に対するブレース材の伸びを積極的にコントロールでき、かつ圧縮力にも抵抗できる部材を作ることができる。本研究はコンクリート充填式二重鋼管構造に引張力を与えた場合の耐荷性状を実験的に評価することを目的として行った。

2 実験概要

2.1 供試体ならびに測定箇所

本実験では供試体の外径が小さいためにコンクリートの代わりにモルタルを用い、早強セメントを使用した。内側鋼管中央にアンボンド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与えている。本研究では表-1に示すように2種類の供試体を用い、鋼管とPC鋼棒は同一のものをを用い、コンクリート強度とプレストレス力を変化させた。供試体の形状及び測定点を図-1に示す。本実験では供試体をフレーム内に横置きに設置した。載荷方法はPC鋼棒に引張力を与え、PC鋼棒が所定の伸びを示した時点で外側鋼管とのジョイントナットを締め上げる方法をとった。この4本のジョイントPC鋼棒を介して外側鋼管へと引張力を伝える構造である。供試体と治具の下には摩擦による拘束を防ぐためステンレス板を設置し二硫化モリブデンを塗布した。変位測定箇所は図-1に示すとおりPC鋼棒の伸び測定用に4箇所、外側鋼管の伸び測定用に2箇所設置した。ひずみ測定箇所は両鋼管には軸方向にL, R両サイドの5点に2軸ゲージを張り付け、PC鋼棒には内部中央に1点、外部両端にそれぞれ1点ずつ表裏2枚の1軸ゲージを張り付けた。また、外側鋼管への引張力の伝達を確認するためジャッキ側PC鋼棒4本にもそれぞれ1軸ゲージを張り付けた。また、内側モルタルと内側鋼管の間の付着を減ずるためにその境界面に分離材として二硫化モリブデンを塗布した。供試体の寸法、鋼材とモルタルの材料特性値ならびにプレストレス力は表-1に示すとおりである。

表-1 供試体寸法及び材料特性値

	供試体	DST01	DST02
Di	内側鋼管外径 (cm)	8.91	8.91
ti	内側鋼管厚さ (cm)	0.27	0.27
Esi	内側鋼管弾性係数 (GPa)	159.7	159.7
f _{yi}	内側鋼管降伏応力 (MPa)	336.2	336.2
Do	外側鋼管外径 (cm)	13.95	13.95
to	外側鋼管厚さ (cm)	0.34	0.34
Eso	外側鋼管弾性係数 (GPa)	156.4	156.4
f _{yo}	外側鋼管降伏応力 (MPa)	323.1	323.1
Dp	PC鋼棒径 (cm)	1.76	1.76
Ep	PC鋼棒弾性係数 (GPa)	201.4	201.4
f _{yp}	PC鋼棒降伏応力 (MPa)	1118.0	1118.0
Dpj	ジョイントPC鋼棒径 (cm)	1.76	1.76
Epj	ジョイントPC鋼棒弾性係数 (GPa)	201.4	201.4
f _{ypj}	ジョイントPC鋼棒降伏応力 (MPa)	1118.0	1118.0
lpj	ジョイントPC鋼棒長さ (cm)	19.0	19.0
Ac	内側モルタル断面積 (cm ²)	52.59	52.59
Ap	PC鋼棒断面積 (cm ²)	2.43	2.43
Apj	ジョイントPC鋼棒断面積 (1本) (cm ²)	2.43	2.43
f _c	モルタル強度 (MPa)	42.1	46.4
Ec	モルタル弾性係数 (GPa)	27.4	27.1
f	プレストレス (MPa)	353.3	311.2
l	供試体長さ (cm)	100.0	100.0
Δl ₁	ナット-添接板間隔 (mm)	0.73	2.20

Deformational Characteristics in Tension of Concrete Column Encased by Double Steel Tubes
 by Toshimitsu ARAKI, Katsuyuki KONNO, Tamon UEDA and Masaji OHIRA

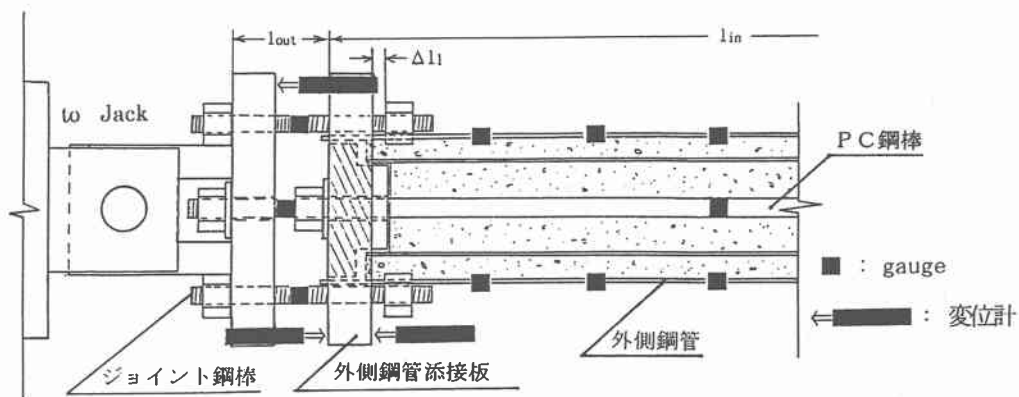


図-1 供試体図ならびに変位計測定点

2.2 荷重-伸び関係

図-2に本実験で目標とする引張力をうけるブレース部材の典型的な荷重-伸び関係を示す。A点はプレストレス解放点を示す。B点ではジョイントP C鋼棒のナットが外側鋼管添接板に当たり、引張力を外側鋼管へと伝えるようになる。この点を以後外側鋼管合体点と呼ぶ。C点は外側鋼管降伏点を示している。また、それぞれの点の伸びを Δl_0 , Δl_1 , Δl_2 とし、引張力を P_0 , P_1 , P_2 と表すことにする。この構造をブレース材に用いると、通常の荷重($0 < P < P_0$)では剛な性質を、風などの中程度の荷重($P_0 < P < P_1$)には柔な性質を、さらに地震などの大荷重($P_1 < P < P_2$)に対しては外側鋼管も利用し非常に剛な性質を示すことができる。さらに、モルタルはひび割れず鋼材・外側鋼管はともに弾性域内で用いるため、除荷過程においても載荷過程と同じ経路に沿うと考えられる。本実験では、二重鋼管構造を実際にブレース材として使用する場合を想定し、最大引張荷重 (P_{max}) を $P_1 < P_{max} < P_2$ とし、除荷過程も測定している。表-2に本実験で用いた供試体のモデル計算式を示す。なお、供試体の伸びとしてはP C鋼棒全体(図-1の l_{in} と l_{out} を加えたもの)を考えることとする。

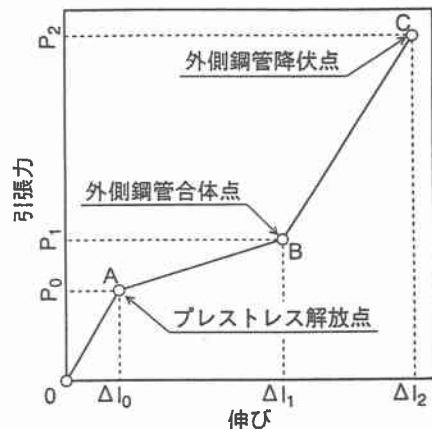


図-2 典型的荷重-伸び関係

表-2 モデル計算式

A	$P_0 = E_C \cdot \epsilon_{cv'} \cdot (AC + n \cdot A_p)$ $\Delta l_0 = l_{in} \cdot \epsilon_{cv'} + l_{out} \cdot P_0 / A_p / E_p$
B	$P_1 = P_0 + A_p \cdot E_p \cdot (\Delta l_1 - \Delta l_0) / (l_{in} + l_{out})$ Δl_1 : ナット-添接板間隔により決定
C	$P_2 = P_1 + f_{yo} (A_{so} + E_p / (l_{in} + l_{out})) \cdot (l / E_{so} + 2 \cdot l_j \cdot A_{so} / E_j / 4 \cdot A_j)$ $\Delta l_2 = f_{yo} \cdot l / E_{so} + \Delta l_1 + l_{pj} \cdot f_{yo} \cdot A_{so} / E_{pj} / 4 \cdot A_{pj}$

• A_{so} : 外側鋼管断面積 • A_{pj} : ジョイント鋼棒断面積

• $\epsilon_{cv'} = f / E_p$ • $n = E_p / E_C$

3 実験結果と考察

図-3にDST02の引張力と伸びの関係を示す。図から確認されたとおり外側鋼管合体点まではP C鋼棒とモルタルとの付着を無視した計算値に沿った挙動を示している。これは、P C鋼棒へのモルタルの付着による拘束の影響を排除する目的で用いたアンボンドP C鋼棒がその目的を十分に果たしているためだと考えられる。外側鋼管合体直後においては、荷重増加に対するP C鋼棒の伸びの増分量に大きな変化が見られないが、これは外側鋼管合体直後には4本のジョイントP C鋼棒に均等に力がかかりにくい構造であるためである。ただし、さらに載荷を続け、伸びが進展にするにつれて4本のジョイントP C鋼棒が外側鋼管添接板に完全に合体すると、荷重-伸び関係は計算値に沿った挙動を示すと考えられる。また除荷過程においては、載荷過程と同じ経路をたどり再び原点に戻る事が確認され、繰り返し荷重に対してもトリリニアな性質を有しつつ弾性的な挙動を示すことが観察された。

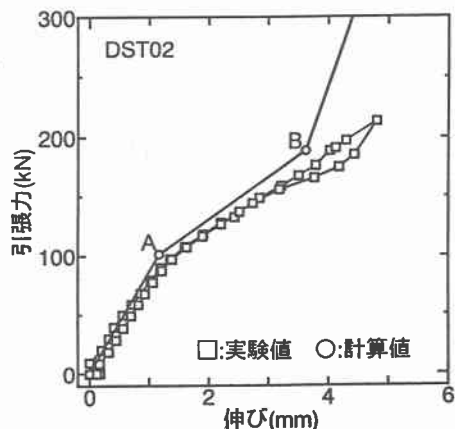


図-3 DST02 引張力-伸び関係

3.1 P C鋼棒の荷重-ひずみ関係

ここでは、P C鋼棒の荷重-ひずみ関係に着目してそれぞれの荷重段階に対するP C鋼棒の挙動を考察することとする。今回使用したアンボンドP C鋼棒のひずみ分布がモルタル内部でも一定であると仮定して、P C鋼棒中央に貼ったゲージから観察されたひずみを代表値として用いて考察することとする。DST01のP C鋼棒の荷重-ひずみ関係図を図-4に、DST02の荷重-ひずみ関係図を図-5に示す。ただし供試体DST01の実験(図-4)では、B点でジョイントナットを締め上げ、外側鋼管を合体させる予定であったが、その作業中にジャッキ側の圧力が低下したため、実際の外側鋼管合体点がB'点となってしまい、その直後の値が観察されていない。

図-5では、プレストレス解放点(A)での荷重増加に対するひずみの増分量の変化をはっきりと観察することができる。また、A-B間でのひずみが、付着を無視したモデル計算値と同じ挙動をしていることから、モルタルとアンボンドP C鋼棒との付着がほとんどないものと考えられる。図-4では、外側鋼管合体点(B')以降では、荷重増加に対するP C鋼棒のひずみの増分が、計算値に沿ったほぼ一定の値を示していることから、4本のジョイント鋼棒のナットが完全に外側鋼管添接板に合体しており、外側鋼管への引張力の伝達が完全になされていると考えられる。また、WST01, WST02ともに除荷後の残留ひずみが無く、繰り返し荷重に対しても弾性的な挙動を示すものと思われる。

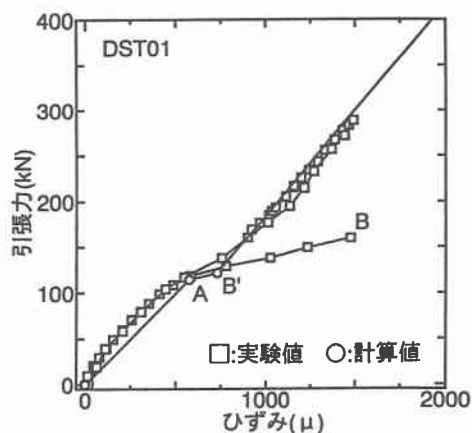


図-4 DST01 引張力-ひずみ関係

4. まとめ

- 1) P C鋼棒の挙動においては、アンボンドP C鋼棒を使用することにより、付着がないと仮定したモデル値とほぼ同様のトリリニアな結果を得ることができる。
- 2) プレストレス解放点(A)では荷重に対する伸びの増分をはっきりと観察することができる。
- 3) 外側鋼管合体点付近(B)では、4本のジョイント鋼棒と外側鋼管添接板との合体は徐々に行われるが、さらに伸びが進展すると外側鋼管への引張力の伝達是完全となる。
- 4) トリリニアの性能を有しながら除荷の過程でも同じ経路をたどり原点に戻ることが確認され、繰り返し荷重に対しても弾性的な挙動を示す。

謝辞:本研究の実験は、北海道大学技官 木村 勉氏による
ところが大い、ここに深く感謝の意を表す。さらにアンボ
ンドP C鋼棒を提供していただいた住友電気工業(株)に対
し、お礼申し上げ、ここに深く謝意を表す。

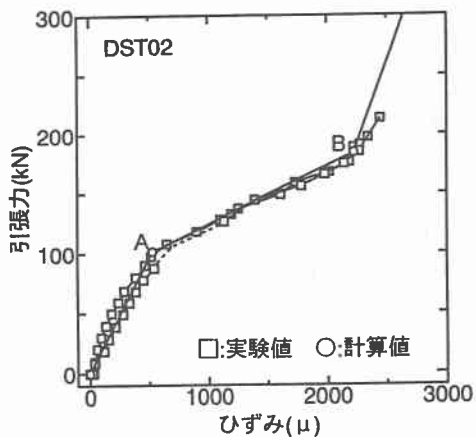


図-5 DST02 引張力-ひずみ関係