

ケミカルプレストレスを導入する鉄筋コンクリート
管の拘束条件に関する研究STUDY ON THE OPTIMUM RESTRAINT OF
SELF-STRESSED CONCRETE PIPE飯田 秀雄*・門 司 唱**
By Hideo Iida and Tono Monji

1. ま え が き

鉄筋コンクリート管は土木工事に広く用いられているが、近年の交通荷重の増大、急速施工の必要性、埋設深さの増大などに伴って、その高強度化が要求されてきた。鉄筋コンクリート管を高強度化する方法として、従来、機械的にプレストレスを導入するプレストレストコンクリート管が製造されていたが、この管の製造には高度の技術と特殊な装置とが必要であり、でき上がった製品はかなり高価なものとなっていた。近年、膨張性セメント混和材（以下、膨張材と称す）が開発され、これを鋼材で拘束されたコンクリートに混和すれば、コンクリートの膨張力が鋼材を引き伸ばし、その反力としてコンクリート断面内にプレストレスが導入されるので、その特性を利用したケミカルプレストレストコンクリート管（以下、CPCパイプと称す）が製造されるようになった。このCPCパイプは従来のプレストレストコンクリート管に比較し、コンクリートに膨張材を混和するだけで製造できるので、技術的に比較的容易であり、特殊な装置も必要とせず、しかも、経済的に優れているため、今日では広く普及するようになった^{1),2),3)}。

ケミカルプレストレストコンクリートは、一般に、他の条件を一定にすれば、拘束条件と膨張材の混和量とによってその導入プレストレスが変化すると考えられる⁴⁾。特に拘束条件には、拘束の程度や配筋方法などが含まれ、導入プレストレスの制御を複雑なものにしている。本研究は、この複雑な拘束条件を整理して単純化し、CPCパイプに最適の拘束条件を見出す目的で行ったものである。

2. 実験方法

(1) 材 料

実験に使用したセメントは普通ポルトランドセメントで、膨張材にはアサノジプカルを用いた。骨材には大井川産の川砂利と富士川産の川砂とを用い、最大寸法を10mmとした。拘束鉄筋には神戸製鋼所製の高張力鋼線（KDC鋼線、降伏点8300kg/cm²、ヤング係数2.1×10⁶kg/cm²）を用いた。

(2) 供 試 体

供試体の成形は5シリーズに分けて行った。各シリーズにおける供試体の形状、寸法、配筋およびコンクリートの配合は表-1に示すようであった。シリーズIおよびIIのはりはテーブルパイプ用をういて締固め、シリーズIII、IVおよびVのパイプは遠心力によって締固めながら成形した。

(3) 長さ変化の測定

シリーズI、IIおよびIIIでは、供試体成形前に軸方向および横方向、または円周方向および管長方向の拘束鉄筋にワイヤーストレインゲージを貼り付け、防水処理を施して成形直後から載荷試験直前までの長さ変化を測定した。

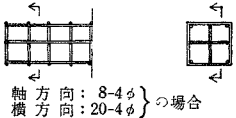
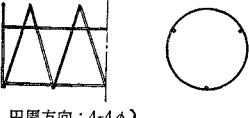
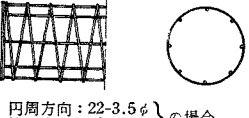
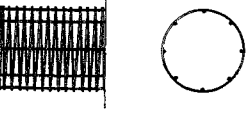
(4) 養生条件

すべてのシリーズの供試体は成形後3時間20°Cの空气中で前養生し、前養生後ただちに蒸気養生を行った。蒸気養生の昇温速度は、約15°C/hrで60°Cまで昇温し、4時間60°Cの恒温を保持し、その後自然冷却させて材令24時に脱型した。脱型後ただちに供試体の湿潤養生を開始した。シリーズI~IIIの場合、供試体を麻袋

* 正会員 日本ヒューム管(株)技術部次長

** 正会員 日本セメント(株)研究所

表-1 各シリーズの供試体

シリーズ	部材	寸法	拘束鉄筋	有効鉄筋比(%)	配合	配筋例
I	はり	10×10×40 cm	軸方向： 高張力鋼線 8-4φ 横方向： 高張力鋼線 { 32-4φ 26-4φ 20-4φ }	軸方向 1.01 横方向 { 1.01 0.82 0.63 }	膨張材の混和量 50 kg/m ³ 単位セメント量 500 kg/m ³ W/C=40%	 軸方向：8-4φ } の場合 横方向：20-4φ
II	はり	10×10×40 cm	軸方向： 高張力鋼線 { 4-4φ 8-4φ 12-4φ } 横方向：高張力鋼線 軸方向鉄筋 比に対して { 0.6 0.9 1.2 }	軸方向 { 0.50 1.01 1.51 } 横方向 左に同じ	膨張材の混和量 { 30 kg/m ³ 50 kg/m ³ 70 kg/m ³ } 単位セメント量 500 kg/m ³ W/C=40%	シリーズ I の場合と同様
III	パイプ	内径 12 cm 管厚 4 cm 管長 30 cm	円周方向： 高張力鋼線 { 4-4φ 8-4φ 12-4φ 18-4φ 20-4φ } 管長方向： 高張力鋼線 { 3-4φ 5-4φ }	円周方向 { 0.61 1.22 1.83 2.75 3.06 } 管長方向 { 0.30 0.49 }	膨張材の混和量 { 30 kg/m ³ 50 kg/m ³ 70 kg/m ³ } 単位セメント量 500 kg/m ³ W/C=40%	 円周方向：4-4φ } の場合 管長方向：3-4φ
IV	パイプ	内径 25 cm 管厚 5 cm 管長 100 cm	円周方向： 高張力鋼線 { 22-3.5φ 29-3.5φ 34-3.5φ } 管長方向： 高張力鋼線 8-3.5φ	円周方向 { 0.60 0.80 0.93 } 管長方向 0.25	膨張材の混和量 50 kg/m ³ 単位セメント量 500 kg/m ³ W/C=40%	 円周方向：22-3.5φ } の場合 管長方向：8-3.5φ
V	パイプ	内径 60 cm 管厚 5 cm 管長 243 cm	円周方向：高張力鋼線 5φ @ 26 mm 管長方向： 高張力鋼線 { 8-4.5φ 16-4.5φ 24-4.5φ 32-4.5φ 40-4.5φ 48-4.5φ 56-4.5φ 64-4.5φ }	円周方向 2.18 管長方向 { 0.18 0.37 0.55 0.74 0.92 1.11 1.29 1.48 }	膨張材の混和量 45 kg/m ³ 単位セメント量 450 kg/m ³ W/C=40%	 円周方向：5φ @ 26 mm } の場合 管長方向：8-4.5φ

に入れ、20°C の恒温室に置いて、毎日朝、夕の 2 回散水を行った。シリーズ IV および V の供試体は屋外の大気中に置き、スプリンクラーで連続散水を行った。これらの湿潤養生は載荷試験の直前まで継続した。

(5) 載荷による導入プレストレスの推定

シリーズ I、II および III の供試体については、鉄筋に設置したワイヤーストレインゲージのひずみの測定値 ϵ_s から、導入プレストレス σ_p を、 $\sigma_p = \epsilon_s \cdot E_s \cdot p$ (E_s : 鉄筋のヤング係数、 p : 有効鉄筋比) によって算出するとともに、載荷試験によっても推定を行った。シリーズ IV および V については、載荷試験のみを行った。

載荷試験では、処女ひびわれ発生応力と処女ひびわれ発生後いったん除荷し再び載荷して再度ひびわれが発生した時点の応力とを求めた。再びひびわれ発生応力は導入されたプレストレスを表すものと考えられる。これらのひびわれ発生荷重の確認は、ワイヤーストレインゲージのひずみが顕著な変化を示した時点で行った。この方法をここでは再載荷法と称する⁹⁾。供試体への載荷方法は、シリーズ I および II ではスパン 30 cm の三等分点曲げ載荷、シリーズ III、IV および V では「JIS A 5303 遠心力鉄筋コンクリート管」の外圧試験によった。載荷

試験は、シリーズ I、II および III については材令 7 日で、シリーズ IV は材令 14 日で、シリーズ V は材令 14 日および 28 日でそれぞれ行った。

3. 実験結果および考察

(1) 初期の仮説

研究の初期において、著者らは次のような仮説のもとに実験を計画した。

a) ケミカルプレストレストコンクリートは三次元的なすべての方向にコンクリートが膨張する。したがって、拘束鉄筋の配置によっては、ある方向に自由な膨張が生じ、コンクリートの諸特性を劣化させるおそれがある。このような悪影響を避けるためには、部材を三軸拘束することが必要である^{9), 7)}。また、三軸拘束の配筋によって、三軸の各方向に導入されるプレストレスの値が異なると思われるが、理想的なケミカルプレストレストコンクリートは図-1 に示すように三軸の各方向に等しいプレストレスが導入されたものであろう。三軸の各方向に等しいプレストレスが導入されれば、三次元的に均質な部材を得ることができると思われる。

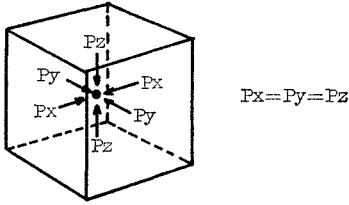


図-1 理想的なケミカルプレストレストコンクリートの模型図

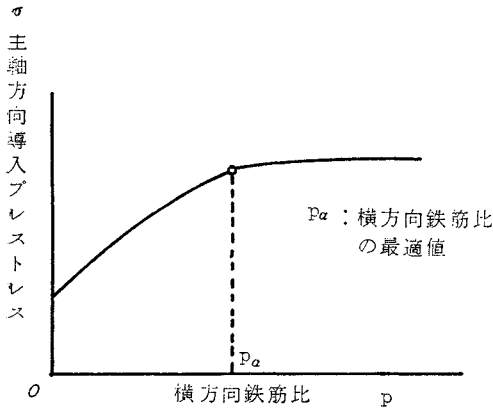


図-2 予想される主軸方向導入プレストレスと横方向鉄筋比との関係

b) 部材の力学的性質を改善するため、プレストレスの導入を目的とする主軸方向にできるだけ高いプレストレスを導入することが必要である。そのためには、部材の横方向に有害な膨張が生じるのを避け、膨張力を主軸方向に効果的に作用させる必要がある。ケミカルプレストレストコンクリートは横方向の拘束度を高めれば横方向の膨張力が効果的に主軸方向に作用し、図-2のように軸方向に導入されるプレストレスがおそらく高くなり、横方向鉄筋比 p に最も経済的な点 p_a が存在すると予想した。

(2) はりの実験

図-1 に示した理想的なケミカルプレストレストコンクリートを得るための最適拘束条件を求めるため、シリーズIの実験を行った。この場合の条件を満足させるためには、軸方向に対する横方向のプレストレス比が1でなければならない。シリーズIでは、軸方向および横方向の鉄筋のひずみをワイヤーストレインゲージを用いて測定しているので、これからそれぞれの導入プレストレスを計算し、それらの比と横方向鉄筋比との関係を求め図-3 に示した。図-3 から、横/軸プレストレス比が1になるのは本実験の範囲外のものであり、この曲線を延長し、前記の条件を満足する横方向鉄筋比を推測すれば1.1~1.2%程度のものであった。すなわち、横方向鉄筋比は軸方向鉄筋比より大きいことが必要である。このこ

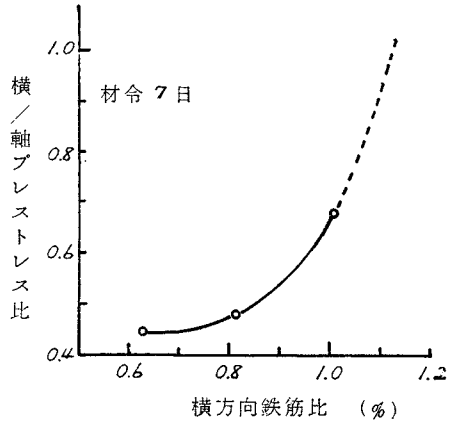


図-3 横方向の鉄筋比が軸方向に対する横方向のプレストレス比におよぼす影響

- 再載荷法で測定した軸方向導入プレストレス
- △ 鉄筋の長さ変化から計算した軸方向導入プレストレス
- × 鉄筋の長さ変化から計算した横方向導入プレストレス

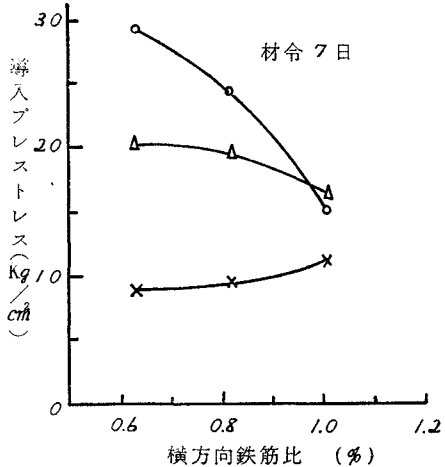


図-4 横方向鉄筋比と導入プレストレスとの関係

とは供試体の軸方向と横方向の寸法が相違することによって膨張力が異なることを示唆するものと考えられる。

シリーズIの実験で得られた軸方向および横方向の導入プレストレスを横方向鉄筋比との関係で示せば図-4のようである。この図から、横方向鉄筋比が小さいほど軸方向に高いプレストレスが導入され、横方向に導入されるプレストレスは減少する傾向がうかがわれる。このことは図-2の予想と逆の傾向であり、初期の仮説に基づいて横方向の最適鉄筋比を求めることはこの形状の供試体では困難であると考えられる。

以上のようにシリーズIの実験結果から、初期の仮説による理想的なケミカルプレストレストコンクリートをつくるため、10×10×40 cmの供試体の横方向の鉄筋比を大きくすれば、目的とする軸方向の導入プレストレスは低くなり、二つの条件を同時に満足させる部材を製造

することはおそらく不可能であることが示された。膨張材を構造部材に用いる主目的は所定方向にできるだけ高いプレストレスを導入することである。したがって、二つの条件が同時に満足されない限り、この主目的に沿う拘束条件を見出すのが妥当であると考えられる。

シリーズⅠの結果は初期の仮説を否定するものであり、また実験の目的を限定するのに有効であった。この結果を再確認し、新たな目的を達成するため、シリーズⅡの実験を計画した。図—4 に示された鉄筋の長さ変化から計算した軸方向および横方向それぞれの導入プレストレスの横方向鉄筋比に対する変化の傾向から、供試体の形状・寸法が一定であれば、軸方向および横方向の膨張力はおそらく一定の比で表現される可能性があるようである。したがって、膨張材の混和量が一定であれば、軸方向および横方向の拘束鉄筋比に最適の比率が存在すると思われる。このような観点から、シリーズⅡでは、膨張材の混和量、軸方向鉄筋比および軸方向鉄筋比に対する横方向鉄筋比の比を要因として実験を行った。

シリーズⅡの実験結果は図—5 に示すようであった。この図から、軸方向鉄筋比および膨張材の混和量はそれぞれ大きくなるほど、測定した諸応力は高くなるようであった。しかし、軸方向鉄筋比に対する横方向鉄筋比の比が大きくなるほど、横方向プレストレスを除く諸応力は低くなる傾向を示した。横方向プレストレスは軸方向の諸応力と同様な見方をすれば、横方向鉄筋比に対する軸方向鉄筋比の比が大きくなるほど低くすると表現することができる。すなわち、この形状の供試体ではプレストレスの導入を目的とする主軸方向鉄筋比に対するそれと直角方向の鉄筋比の比が小さいほど高いプレストレス

が主軸方向に導入されるようである。三軸拘束したケミカルプレストレストコンクリートにこのような現象が生じることは、Bertero によっても指摘されている⁸⁾。シリーズⅡにおけるこのような結果はシリーズⅠの結果を再確認し、ケミカルプレストレストコンクリートの導入プレストレスに顕著な影響を及ぼす要因が主軸方向鉄筋比に対するそれと直角方向の鉄筋比の比であることを示唆するものであると考えられる。

10×10×40 cm の供試体を用いて行ったシリーズⅠおよびⅡの実験結果をまとめると次のようである。

a) この形状のケミカルプレストレストコンクリート部材は、プレストレスの導入を目的とする主軸方向鉄筋比に対するそれと直角方向の鉄筋比の比が小さいほど、主軸方向に高いプレストレスが導入される傾向がある。

b) 三次元的なすべての方向に等しいプレストレスを導入する理想的なケミカルプレストレストコンクリートをこの形状の供試体でつくるには、主軸方向鉄筋比に対するそれと直角方向の鉄筋比の比を大きくすることが必要であるが、そのため主軸方向に導入されるプレストレスは低くなる傾向がある。

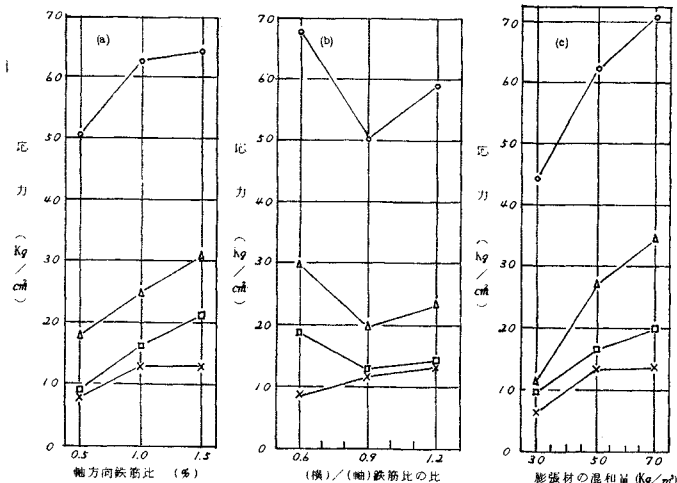
c) 膨張材を構造部材に用いる主目的は、所定方向に所定のプレストレスを経済的に導入することである。したがって、a) および b) の相反する現象がある限り、主軸方向に高いプレストレスを導入することを優先させ、そのための最適拘束条件を見出すのがよいと考えられる。

d) 主軸方向鉄筋比および膨張材の混和量は大きくするほど、導入されるプレストレスは高くなる。

(3) パイプの実験

(2) の結果は拘束条件と導入プレストレスとの関係を求めるため、10×10×40 cm の供試体を用いて予備的に行った実験から得られたものであるが、これらの結果が CPC パイプについてもそのまま適用される可能性および主軸方向鉄筋比に対するそれと直角方向の鉄筋比の比の最適範囲などを調べるため、シリーズⅢ、ⅣおよびⅤの CPC パイプについての実験を行った。

CPC パイプは円周方向および管長方向の鉄筋を節点で溶接した鉄筋かごによって、コンクリートの膨張を拘束している。したがって、管の断面だけから考えられる膨張の状況は、図—6(a) に示すように、鉄筋の内側では、外側方向の膨張は鉄筋で拘束され、内側方向の膨張は円環の効果で自己拘束され、すべての方向の膨張が有効に円周方向に作用



(注) 1) 供試体：10×10×40 cm 材合：7日
2) ○気泡ひびわれ発生応力
△ひびわれ発生応力 (軸方向プレストレス)
□鉄筋のひずみから計算した軸方向プレストレス
×鉄筋のひずみから計算した横方向プレストレス

図—5 シリーズⅡの各要因が諸応力におよぼす影響

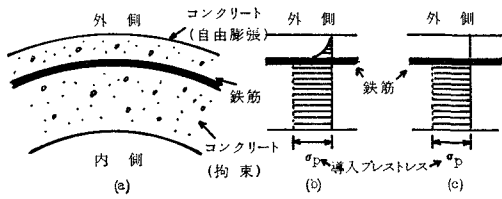
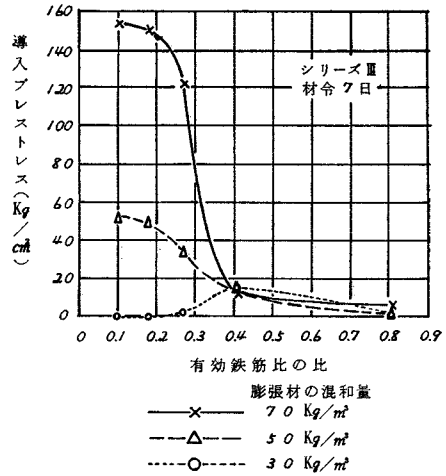


図-6 有効断面の仮定

し、この方向のコンクリート断面にプレストレスが導入される。しかし、鉄筋の外側のかぶり部分のコンクリートは拘束がないので自由膨張することになる。したがって、このような拘束条件の CPC パイプでは、図-6(c)に示すように、鉄筋の内側のコンクリート断面には円周方向にほぼ等分布のプレストレス σ_p が導入され、鉄筋の外側にはプレストレスがまったく導入されていないと思われる。しかし、本実験では実際に市販されている CPC パイプと同様に、供試体を型わくの中で蒸気養生しており、養生中に大部分の膨張効果が発揮されることを考えあわせると、コンクリートは型わくの拘束によってかぶり部分が外側に膨張するのを拘束され、鉄筋の内側および外側が連続体となり、おそらく図-6(b)のようにかぶり部分にも放物線あるいはそれに類似したプレストレスの分布があるものと思われる。しかし、鉄筋のかぶり部分のプレストレスについてはまだ明らかにされていないし、また、実際の効果面から考えても、この部分のプレストレスは有効でなく、無視しても差支えないと思われる。したがって、本研究では図-6(c)のようにプレストレスが導入されると仮定し、鉄筋から内側のコンクリート断面のみを有効断面とし、鉄筋比の算出にもこの断面積を用いて有効鉄筋比とした。また、シリーズ I および II の結果から、最適拘束条件を定めるために、主軸方向鉄筋比に対するそれと直角方向の鉄筋比の比が重要な要因であると考えられるので、CPC パイプの円周方向(主軸方向)有効鉄筋比に対する管長方向(主軸に直角な方向)有効鉄筋比の比を「有効鉄筋比の比」と称して、これと導入プレストレスとの関係を求めた。

図-7 はシリーズ III の実験結果から、膨張材の混和量が 30, 50 および 70 kg/m³ の場合の有効鉄筋比の比と導入プレストレスとの関係を求めたものである。これらの導入プレストレスは材令 7 日における円周方向鉄筋のひずみから算出した値であるが、再載荷法による試験値でもほぼ同様のデータが得られた。図-7 から、有効鉄筋比の比が 0.4 より大きい場合、膨張材の混和量に関係なく、導入プレストレスと有効鉄筋比の比との関係はほぼ同様であった。しかし、有効鉄筋比の比が 0.4 より小さい場合、3本の曲線の間には著しい相違がみられた。膨張材の混和量が 30 kg/m³ では、膨張力が小さいため、円周方向の拘束度が高いこの範囲では拘束材を引き



導入プレストレスは材令 7 日における円周方向鉄筋のひずみから算出した

図-7 CPC パイプ (φ 12×4×30 cm) の有効鉄筋比の比と導入プレストレスとの関係

伸ばすことができず、コンクリートにプレストレスを導入するには至らなかったようである。しかし、膨張材の混和量が 50~70 kg/m³ の範囲ではプレストレスが導入されており、しかも、導入されたプレストレス量は有効鉄筋比の比によって著しい影響をうけるようであった。導入プレストレス量の絶対値は膨張材の混和量によって異なるが、プレストレス導入の効果は有効鉄筋比の比によって影響され、膨張材の混和量が 50 および 70 kg/m³ のいずれの場合もほぼ同様の傾向を示した。有効鉄筋比の比が 0.4 から 0.2 の間で導入プレストレス量は著しく変化し、0.2 以下および 0.4 以上ではほとんど変化がなく、0.3 前後にこれらの曲線の変曲点が存在するようであった。すなわち、効果的にプレストレスが導入される有効鉄筋比の比は 0.3 より小さい範囲に限定することができると考えられる。

シリーズ III の結果が寸法の異なる CPC パイプにも適用されるかどうかを調べるため、シリーズ IV の実験を計

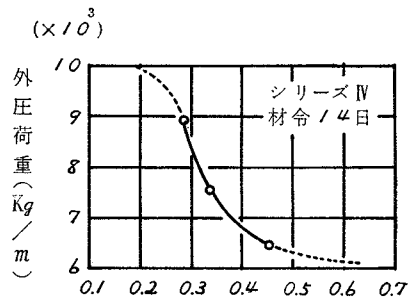


図-8 CPC パイプ (φ 25×5×100 cm) の有効鉄筋比の比と如女載荷による外圧荷重との関係

画し実施した。その結果は図-8 に示すようであった。シリーズIVの場合、処女載荷による外圧荷重をそのまま示したが、膨張材の混和量が一定のコンクリートの外圧荷重の差は導入されたプレストレスの差に比例すると考えれば、図-8 の関係は「有効鉄筋比の比と導入プレストレスとの関係」といいかえることもできる。このシリーズでは有効鉄筋比の比を3点に変化させただけであり、しかも3点間の範囲が狭かったので、全体の傾向が図-7 の場合と同様であることを確認することはできなかった。しかし、この実験の範囲外において、曲線が点線のように変化することを予想することが許されるなら、シリーズIVの場合も、シリーズIIIの場合とほぼ同様の傾向を示し、その曲線の変曲点はこの場合も有効鉄筋比の比が0.3の前後に存在すると考えられる。

シリーズIIIおよびIVの結果から、CPCパイプの円周方向に導入されるプレストレスは、有効鉄筋比の比が小さいほど高く、効果的にプレストレスを導入するためには、有効鉄筋比の比を0.3より小さくする必要のあることが示された。しかし、この二つのシリーズでは、主として円周方向の有効鉄筋比を変化させており、管長方向の有効鉄筋比はほぼ一定であった。このことは、導入プレストレスに影響をおよぼす要因が有効鉄筋比の比ではなく、円周方向の有効鉄筋比であるのではないかという疑念を抱かせるものである。したがって、これらの関係を明確にし、あわせてシリーズIIIおよびIVの結果をより大きな寸法のCPCパイプに適用させる可能性を調べるため、シリーズVの実験を計画し実施した。

シリーズVの実験に用いたCPCパイプの配筋は円周方向の有効鉄筋比を一定にし、管長方向の有効鉄筋比のみを変化させることによって有効鉄筋比の比を変化させた。このシリーズでも、シリーズIVの場合と同様に、外圧荷重を導入プレストレスの指標として用いた。

実験の結果は図-9 に示すようであった。この図から、シリーズVの結果も有効鉄筋比の比と導入プレ

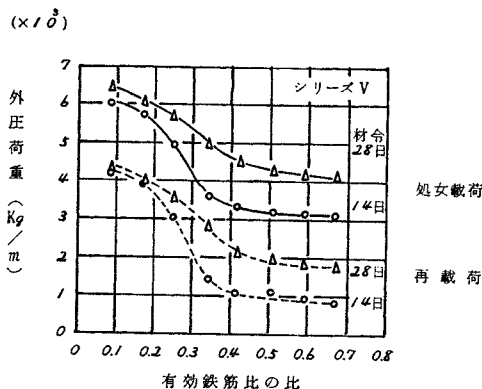


図-9 CPCパイプ($\phi 60 \times 5 \times 243$ cm)の有効鉄筋比の比と処女載荷および再載荷による外圧荷重との関係

レスとの関係がシリーズIIIおよびIVの場合とほぼ同様の傾向であり、有効鉄筋比の比が0.4より大きい場合および0.2より小さい場合の導入プレストレスの変化は小さく、0.4から0.2までの範囲で導入プレストレスは著しい変化を示すことがうかがわれた。有効鉄筋比の比と導入プレストレスとの関係曲線も、シリーズIIIおよびIVの場合と同様に、その変曲点是有効鉄筋比の比が0.3の近くに存在するようであった。すなわち、この場合も効果的にプレストレスを導入するには有効鉄筋比の比を0.3以下にすることが必要であると考えられる。

図-9 に示された有効鉄筋比の比と導入プレストレスとの関係曲線は、14日および28日の材令それぞれについて処女載荷および再載荷を比較すれば、その曲線の傾向は両者ともほぼ同様であると考えられる。しかし、処女載荷あるいは再載荷のそれぞれについて、材令14日の曲線と材令28日のそれとを比較すると、それらの傾向はやや相違するようである。すなわち、材令28日の曲線は材令14日のそれに比べ、有効鉄筋比の比が導入プレストレスに及ぼす影響は顕著でないことが認められる。このことは有効鉄筋比の比が比較的大きな範囲で両材令の間に差が生じたことによるが、その原因はこの範囲でプレストレスの増加あるいはコンクリート強度の増加のいずれかが生じたことによると思われる。再載荷による外圧荷重は、コンクリートの強度が0の場合の断面に生じた応力に対応するものであるから、純粋に導入プレストレスのみの指標として考えることができるが、この場合の曲線が有効鉄筋比の比が比較的大きな範囲で両材令における外圧強度に差があるため、処女載荷についての両材令の差は、プレストレスの導入される時期が有効鉄筋比の比によってやや異なることによるものと考えられる。また、同一材令、同一有効鉄筋比の比の処女載荷と再載荷の外圧荷重の差は、その条件におけるコンクリート強度の指標として考えることができる。この指標を各条件について求め図示すれば図-10 のようである。この図から、有効鉄筋比の比が比較的大きな範囲では、材令14日から28日への強度増進がほとんどないところから、前述の考察が裏付けられる。また、有効鉄筋比の比とコンクリート強度との関係は、導入プレストレスとの関係と逆の傾向を示している。すなわち、有効鉄筋比の比が0.3より小さい場合、導入プレストレスは早期に高くなり、コンクリート強度は比較的遅れて高くなる。逆に有効鉄筋比の比が0.3より大きい場合、コンクリート強度は早期に高くなり、導入プレストレスの高くなるのは比較的遅い。しかし、処女ひびわれ発生荷重におよぼす影響はコンクリート強度に比べ、導入プレストレスのほうがかなり大きいので、早期に高強度のCPCパイプを得るためには、できるだけ高いプレストレスの

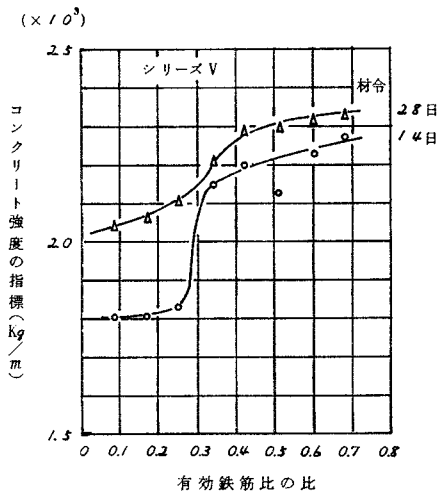


図-10 有効鉄筋比の比とコンクリート強度との関係

導入を第一に考慮し、有効鉄筋比の比を0.3より小さくするのが効果的であると考えられる。なお、有効鉄筋比の比を小さくするため、管長方向の鉄筋比を小さくすると管端部にひびわれが発生することが懸念されたが、本実験の範囲内では、どのようなひびわれの発生も認められなかった。

4. 結 論

本実験の結果および考察から、次の結論が得られた。

(1) $10 \times 10 \times 40$ cm のケミカルプレストレストコンクリート供試体の三次元的なすべての方向に等しいプレストレスを導入するには、主軸方向の鉄筋比に対するそれと直角方向の鉄筋比の比を大きくすることが必要である。しかし、主軸方向に導入されるプレストレスはこの比が小さいほど高くなる傾向がある。この二つの条件を同時に満足させることは現在のところ不可能と考えられるので、ケミカルプレストレストコンクリートの主目的である主軸方向に可能な限り高いプレストレスを

導入し、部材の力学的性質の改善度を高めるため、主軸方向の鉄筋比に対するそれと直角方向の鉄筋比の比は、一定の範囲内でできるだけ小さくするのがよいと考えられる。

(2) ケミカルプレストレスを導入する鉄筋コンクリート管の最適拘束条件を求めるには、円周方向の有効鉄筋比に対する管長方向の有効鉄筋比の比（本研究ではこれを「有効鉄筋比の比」と称した）が重要な要因であると考えられる。本実験で用いた鉄筋コンクリート管の場合、円周方向に効果的に高いプレストレスを、しかも早期に導入するためには、その有効鉄筋比の比を0.3より小さくすることが必要であった。

謝 辞：本研究における実験の大部分は、日本セメント（株）研究所の吉川功および井上一郎両研究員ならびに日本ヒューム管（株）技術部の中山陽太郎氏によって行われたものである。ここに記して謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 小笠原・飯田・内田：CPC パイプについて、セメントコンクリート，No. 264，1969年2月
- 2) 小笠原：CPC パイプ，セメント工業，No. 98，1969年5月
- 3) 小笠原：CPC パイプの開発について，Cement Concrete Products，Vol. 15，No. 9，1969年9月
- 4) 門司・井上・吉川：膨張材を使用するコンクリートの配合設計に関する研究，セメント技術年報 XXV，昭和46年
- 5) 門司・井上：拘束条件とケミカルプレストレスの関係，セメント技術年報 XXV，昭和46年
- 6) Bertero, V.: Curing Effects on Expansion and Mechanical Behavior of Expansive Cement Concrete, Title No. 64-8, ACI Journal, February, 1967
- 7) Bertero, V. and Polivka, M.: Effect of Degree of Restraint on Mechanical Behavior of Expansive Concrete, Proc. ASTM, Vol. 64, 1964
- 8) Bertero, V.: Effects of Type of Restraint upon History of Expansion and upon Mechanical Behavior of Expansive Cement Concrete, SESM 66-26, Structural Engineering Laboratory, University of California, Berkeley, California, December, 1966

(1973.10.15・受付)