

PC 鋼棒とグラウトとの付着に関する研究

奥 島 正 一*
 鈴 木 計 夫**
 藤 岡 正 見***

1. ま え が き

コンクリート構造物においては、塑性ヒンジの回転限界は、鋼構造の場合に比べかなり小さく、したがって、この回転限界をみきわめておくことは、架構応力の再分配が可能かどうかに関係し、非常に重要な問題である。いいかえれば、回転限界が明らかでない限りコンクリート構造物の塑性設計は不可能である。

コンクリート部材の中でも、プレストレスト コンクリート（以下 PC と略記する）部材は、用いられるコンクリートの強度が高く応力度-ひずみ度曲線の falling branch が急である¹⁾。また 図-1 に示されるように PC 鋼材の性質は、鋼構造や鉄筋コンクリート構造において使用される鋼材の性質とは異なる。それに PC 断面では通常的设计法による場合鉄筋効果量 ($q = pf_y / F_c$) に相当する値が大きくなる。これらの理由から、PC 部材は塑性ヒンジが形成されにくく、また塑性ヒンジが形成されても、その回転量はあまり大きくない。これらのことを実証した実験的研究も報告されている²⁾。

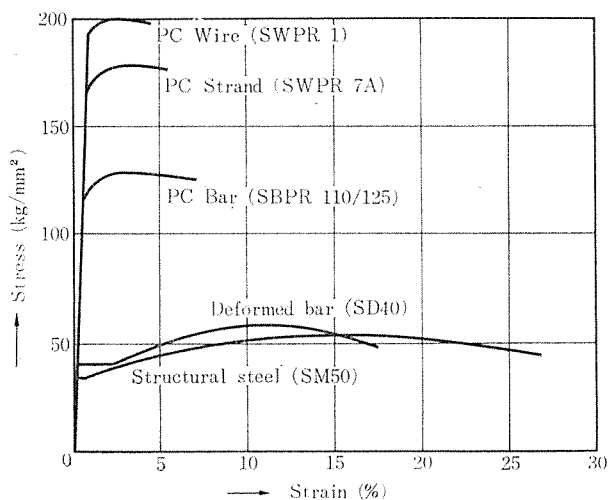


図-1 各種鋼材の応力度-ひずみ度曲線

* 工博 日本建築総合試験所所長
 ** 工博 大阪大学助教授 工学部建築工学科
 *** 工修 大阪大学助手 工学部建築工学科

ところで PC 部材の回転限界は、圧縮側コンクリートのひずみ能力、PC 鋼材の性質とその量および PC 鋼材とコンクリートあるいはグラウトとの付着等によって支配されるものと考えられる。また、わが国においては、架構の終局状態は一般には地震荷重を想定している。したがって、部材の塑性域における性状の研究は、いわゆる低サイクル疲労の範囲にある場合を対象とすることになる。

そこで本研究は、PC 部材の回転限界に関係する一要因である、PC 鋼棒とグラウトとの付着、特に繰返し応力を受ける場合の付着について、その諸性状を明らかにしたものである。

PC 鋼材とコンクリートとの付着に関しては、プレテンション部材定着部の挙動を調べるため多数の研究³⁾ がなされているが、繰返し応力を受ける PC 鋼材とグラウトとの付着に関しては、その重要性にもかかわらず、研究例はきわめて少ない⁴⁾。

本報告は上記の観点から筆者らがこれまでに行ってきた PC 鋼棒とグラウトとの付着に関する一連の研究をまとめたものであり、次の 4 実験から構成されている。

- 1) 微少付着長による実験⁵⁾
- 2) 肌圧応力を与えた微少付着長による実験⁶⁾
- 3) はり試験体による肌圧応力分布の実験⁷⁾
- 4) 平面保持仮定の乱れに関するはり実験⁸⁾

2. 微少付着長による実験

コンクリートと鉄筋との付着試験においては、一般に載荷および測定方法が容易である 15 cm 角の立方体の中央に鉄筋を配した引抜試験法が行われる。しかしこの

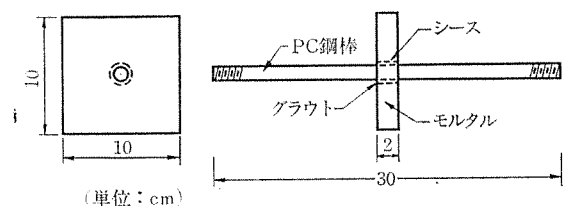


図-2 試験体

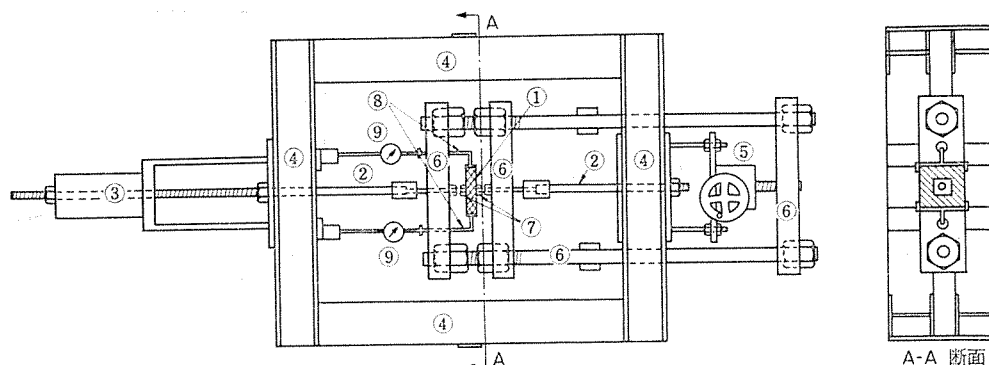


図-3 載荷測定装置

試験法では、材軸方向の付着応力の分布が均一ではなく、全付着長の平均的な付着応力が得られるにすぎない。そこで本実験では、不均一な付着応力分布の影響をできるだけ少なくするために、PC鋼棒とグラウトとの付着長さが 2.0 cm の試験体を用い載荷および測定方法に精度を上げる工夫をこらした。

(1) 試験体および使用材料

試験体を図-2 に示す。鋼棒は $\phi 12$ mm 第 4 種 PC 鋼棒を、グラウトは水セメント比 42% のセメントペーストを使用した。PC 鋼棒の表面状態は、1) 無処理のもの、2) サンドペーパーで磨いたもの、3) 発錆させた後に布で表面の浮錆を取り除いたもの、の 3 種とした。グラウトの強度は実験因子に取り上げていない(文献 9) によれば PC ばりの曲げ挙動はグラウトの性質に影響されない。

いずれの試験体も PC 鋼棒は、アセトンで付着面を清浄にした後、無応力の状態で、 $10 \times 10 \times 2$ cm のモルタル試験片中央部に設けたシース孔中心に鉛直に配置し、グラウトを注入した。注入後 24 時間は湿布養生を行い以後試験時まで気乾養生とした。グラウトの試験材令は 14~16 日であった。使用したグラウトの沈入値および圧縮強度を 表-1 に示す。

(2) 載荷および測定方法

表-1 グラウトの性質

PC 鋼棒の表面状態	沈入値 (sec)	圧縮強度 (kg/cm ²)
無 処 理 (N)	37.5	301
サンドペーパー仕上げ (S)	33.5	302
錆 付 け (R)	43.0	305

載荷および測定方法を 図-3 に示す。試験体 ① の PC 鋼棒に、ロッド ② を接続し、オイルジャッキ ③ によって所定の初緊張力を与え、フレーム ④ に固定した。その後手動スクリージャッキ ⑤ と連結した可動フレーム ⑥ を動かして試験体を交互に左右両方向に押すことによって繰返し載荷を行った。可動フレーム ⑥ と試験体との間には鉄板 (厚さ 6 mm) ⑦ を介しセメント石こうを敷いて偏心荷重がかからないようにした。

初緊張荷重および付着力は、ロッド ② に貼付した 4 枚のひずみゲージの値の差によって測定した。PC 鋼棒とグラウトとのすべり量は試験体に金具 ⑧ を取付け、その先にダイヤルゲージ ⑨ を当てることにより測定した。なお付着力は後述するように非常に小さいため、これによる PC 鋼棒の伸びは、ダイヤルゲージ測定値 (相対すべり量) への影響を無視できるほど微小であった。また 1.0 t から 10.0 t まで種々の PC 鋼棒の初緊張力について試験を行った。

載荷は相対すべり量が 0.5 mm に達したとき加力方向を逆にし、折返し点から 1.0 mm の相対すべり量のために再び加力方向を逆にし、以後この操作を数回繰り返した。

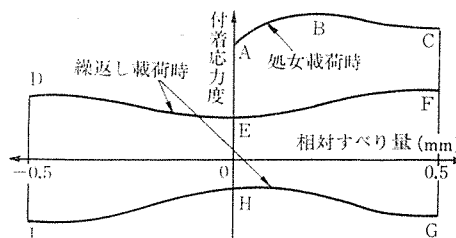


図-4 付着応力度-相対すべり量関係模式図

表-2 τ_{max} および τ_{ave}

PC 鋼棒表面状態	無 処 理 (N)					サンドペーパー仕上げ (S)					錆 付 け (R)				
	0.1	0.5	2.0	3.0	6.0	0.1	0.5	2.0	4.0	7.0	0.1	1.0	3.0	5.0	10.0
初緊張力 (t)	0.1	0.5	2.0	3.0	6.0	0.1	0.5	2.0	4.0	7.0	0.1	1.0	3.0	5.0	10.0
τ_{max} (kg/cm ²)	18.8	6.0	2.7	2.0	1.3	14.7	9.5	5.2	3.5	2.4	29.5	11.2	9.6	11.1	7.6
τ_{ave} (kg/cm ²)	3.9	2.3	1.0	0.6	0.3	3.9	2.4	2.4	0.8	0.7	7.2	3.5	3.1	3.2	3.3

(3) 実験結果および考察

付着応力度と相対すべり量との関係を模式的に示すと図-4 のようになる。同図において A~C は処女載荷時の付着応力度と相対すべり量との関係を、D~I は繰返し載荷による収束後の関係を、それぞれ表わしている。

各試験体の τ_{max} および τ_{ave} を表-2 に示す。ただし τ_{max} は処女載荷時の最大付着応力度、 τ_{ave} は繰返し載荷後の図-4 の D, F, G および I 点の付着応力度を平均した値である。

試験体 S-0.1 (ここに S および 0.1 はサンドペーパー仕上げおよび初緊張力 0.1 t をそれぞれ表わす。以下これに準ずる) および S-4.0 の付着力と相対すべり量との関係を図-5 に示す。図-6 は初緊張力が 0.1 t の場合の繰返し載荷による付着応力の減少の様子を示している。この図から繰返し回数 2~3 にして最大付着応力度の 20~30% 程度に付着応力は減少してしまうことがわかる。

図-7 に PC 鋼棒の初緊張力と τ_{max} との関係を、また図-8 に初緊張力と τ_{ave} との関係を示す。 τ_{max} , τ_{ave} とも PC 鋼棒の初緊張力のために生ずる横方向収縮ひずみ(細まり)によって大きく影響を受け、PC 鋼材のわずかな横方向収縮ひずみで、かなり急激な付着応力の低下を示している。

PC 鋼棒の表面状態に関しては、無処理の場合に比

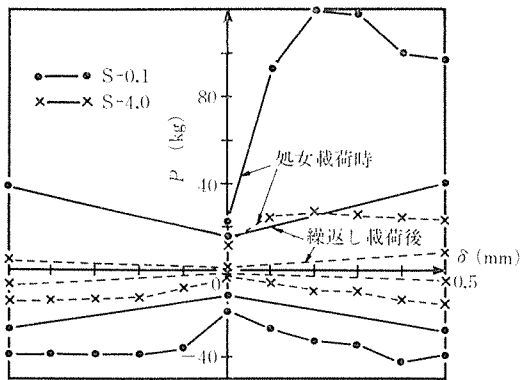


図-5 付着荷重-すべり量関係

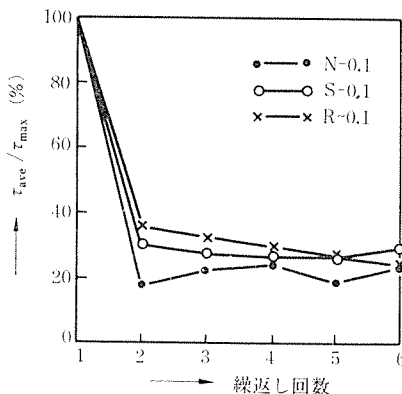


図-6 付着応力低下におよぼす繰返し載荷の影響

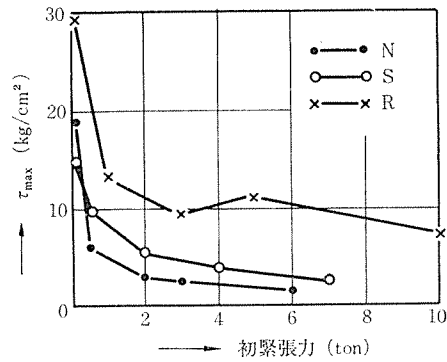


図-7 最大付着応力度におよぼす初緊張力の影響

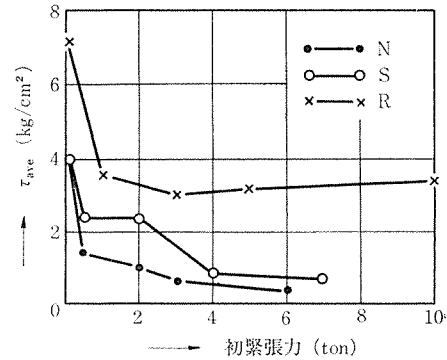


図-8 繰返し後の付着応力度におよぼす初緊張力の影響

べて、サンドペーパー仕上げの影響は少ないようであるが、発錆させた場合の付着応力度は繰返し載荷後も大きい値となっている。しかしこれと逆の実験結果¹⁰⁾もあり、錆と繰返し載荷による付着応力度との関係について断定的なことはいえないようである。

3. 肌圧応力を与えた微小付着長による実験

前記の実験から PC 鋼棒とグラウトとの付着性状は、繰返し載荷および PC 鋼棒の引張ひずみに伴う横方向収縮ひずみによって、大きく影響を受けることが明らかになった。

これらのほかに、部材終局時においては PC 鋼棒とグラウトとの間に作用している肌圧応力も、両者間の付着性状と密接な関係があるものと推定された(ここでいう肌圧応力とは、部材の弯曲によって材軸と垂直方向に生ずる PC 鋼棒とグラウト間の圧縮応力をさす)。

そこで本実験は、前述の付着試験体に、鋼棒軸に垂直な方向から種々の大きさの荷重を与えて肌圧応力を生じさせ、その付着性状を調べたものである。

また同時に繰返し載荷も行って付着応力が定常状態になった後、1) すべり量を変化させた場合、2) 肌圧応力の大きさを变化させた場合などについてもその性状を調べた。

(1) 試験体および使用材料

試験体の形状および寸法は前記の付着試験体と同じで

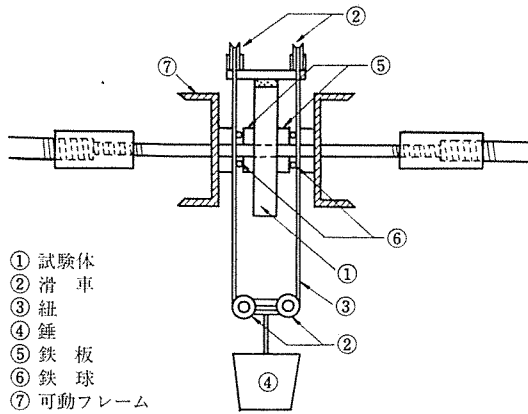


図-9 荷重装置試験体まわり詳細

ある。P C鋼棒の表面状態は、全試験体についてサンドペーパー仕上げとした。

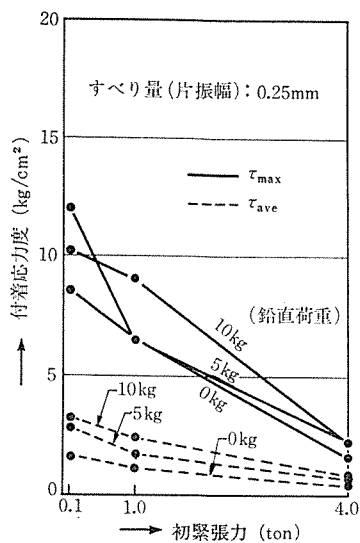


図-10 肌圧応力を与えた場合の付着応力度 (片振幅すべり量 0.25 mm)

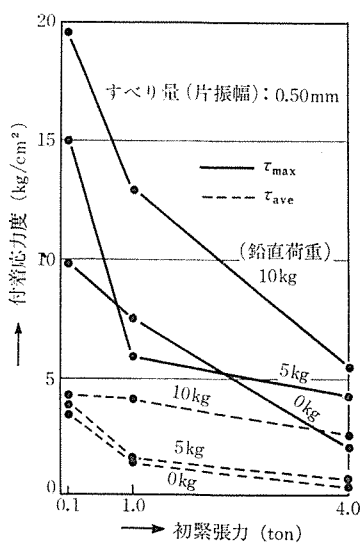


図-11 肌圧応力を与えた場合の付着応力度 (片振幅すべり量 0.50 mm)

グラウト注入後 24 時間は室内で養生し、以後試験時まで乾燥収縮の影響を除くため水中養生した。グラウトの試験材令は 15~19 日であった。使用したグラウトの沈入値および圧縮強度の平均値は、それぞれ 49 秒および 391 kg/cm² であった。

(2) 荷重および測定方法

荷重は前記の付着試験装置に、肌圧応力を与える装置を加えたものによって行った。荷重装置の試験体まわりの詳細を図-9 に示す。同図に示されるごとく、試験体に均等な肌圧が生じるように、滑車とひもを用いて、鉛の散弾を入れたかごをつり下げ、鉛直荷重 (0, 5, 10 kg) を与えた。この他の荷重および測定方法は前記の付着試験と同一である。なお、P C鋼棒とグラウトとの相対すべり量

は、片振幅 0.25 mm および 0.5 mm とした。

(3) 実験結果および考察

図-10, 11 に一定の荷重条件のもとで、繰返し荷重した場合の、初緊張力とみかけの付着応力度との関係を示す。ここで「みかけの」という表現を用いたのは、P C鋼棒の上半分と下半分とは、鉛直荷重を与えた場合、付着性状が異なるからである。しかし、わずらわしさを避けるため、単に付着応力度と表現した場合、上記のみかけの付着応力度の意味も含むものとする。 τ_{max} は処女載荷時の最大付着応力度、 τ_{ave} は図-4 の F および I 点の繰返し載荷後の付着応力度の平均値である。両図から、鉛直荷重が増すと付着応力度も増大することがわかる。特に繰返し載荷によって収束させた値を比較すると鉛直荷重の付着応力度への影響が明瞭に見られる。

図-12 は付着力が繰返し載荷によって定常状態に達した後に、鉛直荷重を増減した場合の、また図-13 はすべり量を増減させた場合の τ_{ave} の変化状況をそれぞれ示す。両図とも初緊張力が大きいほど、同じ鉛直荷重での付着応力度の変化量が少ないことを示している。

一般に付着力は 1) 粘着力、2) 摩擦力、3) 異形鉄筋にみられるような機械的抵抗力の三つの因子によって構成されているものと考えられる。

本研究の対象である P C丸鋼棒の場合、機械的抵抗力は作用しておらず、また粘着力は P C鋼棒の横方向収縮ひずみによって劣化し、さらに繰返し応力を受けることによってほとんど消失するものと思われる。

また図-10~12 から、初緊張力の大きい場合、付着

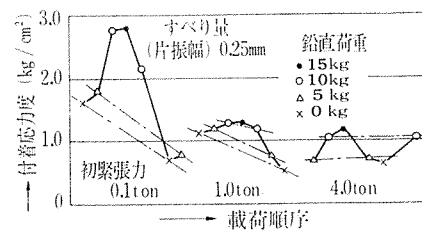


図-12

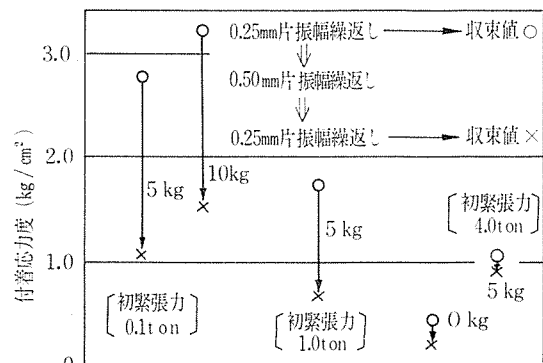


図-13

応力度はすべり量にはあまり関係せず、鉛直荷重（肌圧応力）に比例した値となる傾向がみられる。したがって、繰返し載荷を受ける部材の終局状態におけるPC鋼棒とグラウトとの付着力は、摩擦力が支配的であることが明らかに推測される。

4. はり試験体による肌圧応力分布の実験

前節の実験より、部材終局時のPC鋼棒とグラウトと

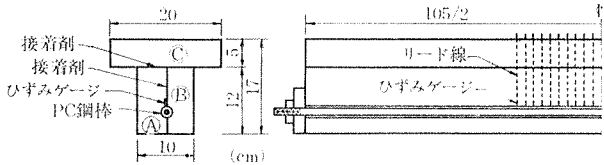


図-14 試験体断面

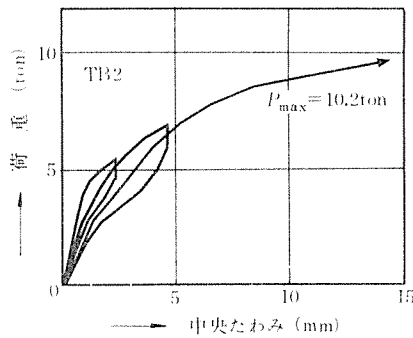


図-15 TB 2 荷重-たわみ関係

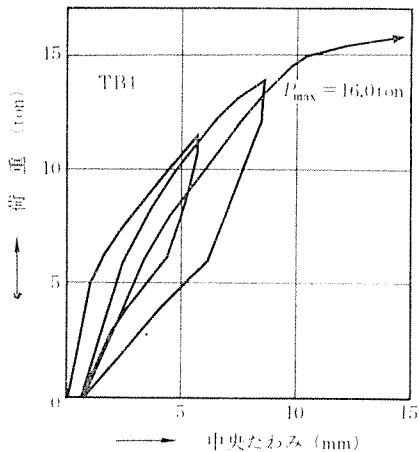


図-16 TB 4 荷重-たわみ関係

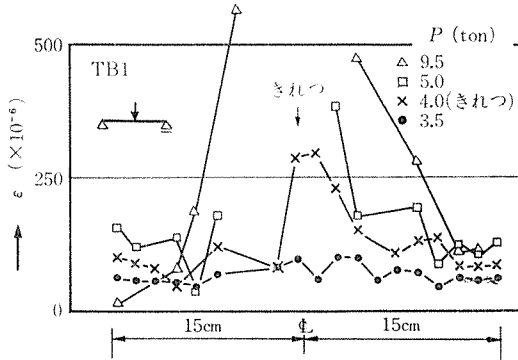


図-17 TB 1 肌圧応力の分布

の付着は、肌圧応力を無視して論じることはできないことがわかった。

しかし、この肌圧応力の値を直接実験的に計測することは現段階では不可能である。そこで本実験では試験体の製作方法および測定の方法に工夫を加えて材軸方向の肌圧応力の“分布性状”を測定することにした。

(1) 実験方法

試験体は図-14に示す断面および寸法のもルタルによるT型はりで、全長は105 cmである。使用した鋼棒はφ14第4種PC鋼棒である。モルタルの調合はW:C:S=0.51:1.00:3.89(重量比)とし、超早強セメン

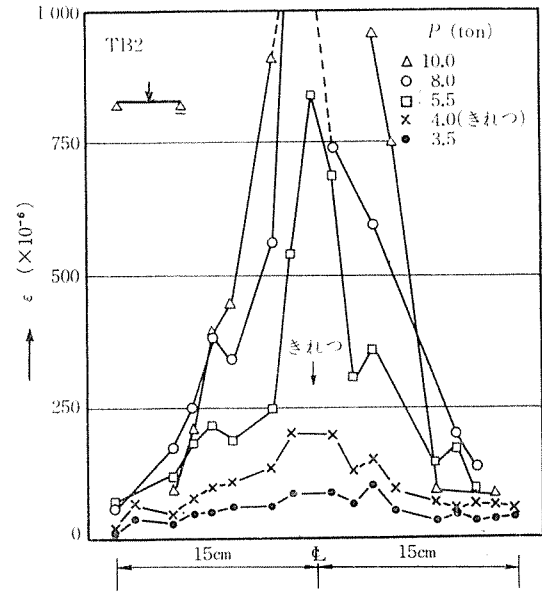


図-18 TB 2 肌圧応力の分布

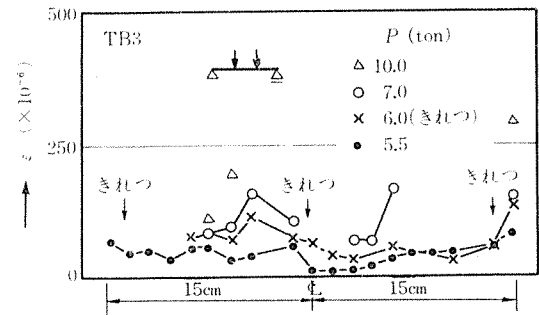


図-19 TB 3 肌圧応力の分布

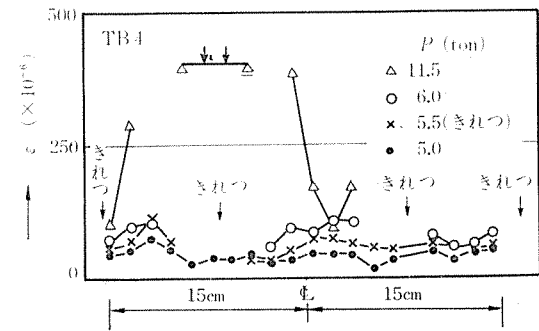


図-20 TB 4 肌圧応力の分布

トを用いた。グラウトは超早強セメントを使用した水セメント比 50% のセメントペーストとし、膨張剤としてアルミニウム粉末を混入した。

試験体の製作は、1) ウェブ部分 ㉔ および ㉕ (図-14 参照) をモルタルで製作、2) 検長 5 mm のひずみゲージをウェブ ㉔ の図-14 に示す位置 (ダクトの直上) に

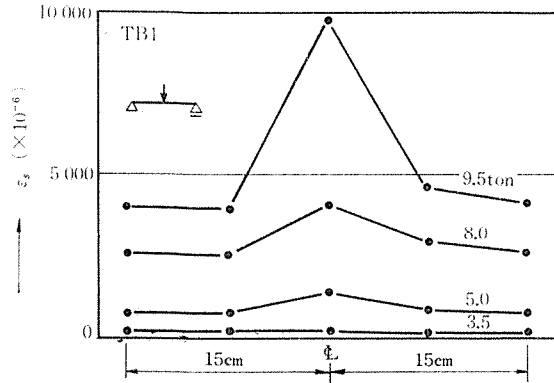


図-21 TB1 PC 鋼棒のひずみ分布

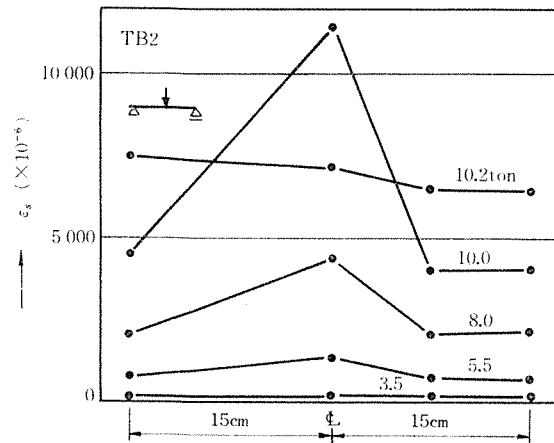


図-22 TB2 PC 鋼棒のひずみ分布

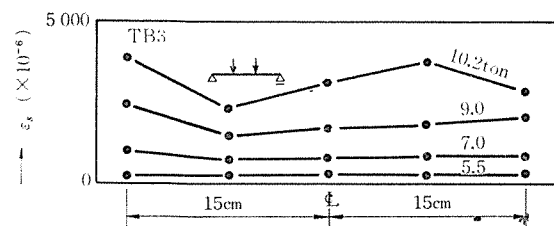


図-23 TB3 PC 鋼棒のひずみ分布

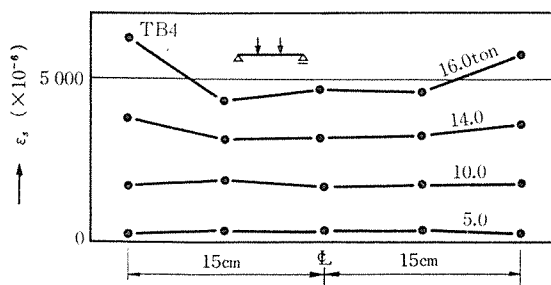


図-24 TB4 PC 鋼棒のひずみ分布

スパン中央部 30 cm にわたって 1.5 cm ピッチで貼付 (リード線は $\phi 0.3$ mm のエナメル線を使用、3) ㉔ と ㉕ とをエポキシ系樹脂で接着、4) 接着後 2 日でプレストレスの導入—なお緊張材位置はウェブ矩形部分の核半径位置とした、5) プレストレス導入後ただちにグラウトを注入、6) ウェブ部分と同じ調合のモルタルでフランジ部分 ㉖ の打継—このときリード線には $\phi 1.5$ mm のビニルパイプをかぶせて保護し、また打継面にはコンクリート用接着剤を塗布しておいた。7) 載荷時まで実験室内で気乾養生、8) 試験体下面の 5 か所の孔から PC 鋼棒表面にひずみゲージ (検長 5 mm) を貼付、の順序で行った。

なおフランジ部分をプレストレス導入後に打継いだ理由は、PC 鋼棒の位置を下げることにより、上記 8) 項で述べた作業を容易にするためと、PC 鋼棒直上の埋設ゲージを曲げきれつ枝分れする高さより低い位置とすることにより、ひずみゲージの切断を防ぐためである。

載荷時の材令はウェブ部分で 10~11 日、フランジ部分は 5 日である。実験は表-3 に示す載荷方法につき各 1 体ずつ合計 4 体について行った。支点間距離は 100 cm とした。

繰返し載荷の場合の除荷開始はスパン中央の圧縮縁ひずみ度 (検長 70 mm のひずみゲージによる) が約 0.2% および 0.3% に達したときとした。

(2) 実験結果および考察

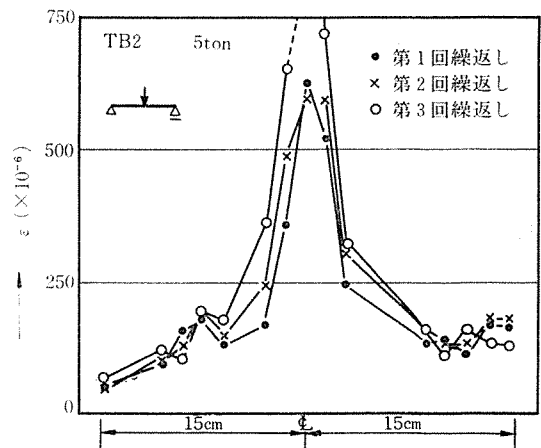


図-25 繰返し載荷による肌圧応力分布の変化

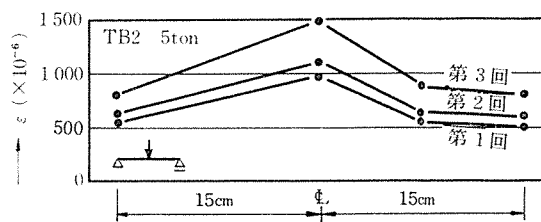


図-26 繰返し載荷による PC 鋼棒ひずみ分布の変化

表-3 載 荷 方 法

TB 1	中央集中載荷	単調増大載荷
TB 2	中央集中載荷	繰返し載荷
TB 3	三等分点載荷	単調増大載荷
TB 4	三等分点載荷	繰返し載荷

繰返し載荷した2体の試験体について、荷重と中央たわみとの関係を図-15, 16に示す。図-17~20は各試験体の肌圧応力の分布を示す。これらの図からわかるように、きれつが発生するとその近傍の多数のひずみゲージが計測不能となり、特に三等分点載荷した場合については、所期の目的が達せられなかった。

図-21~24はPC鋼棒のひずみ分布を示す。中央集中載荷した試験体のきれつは、中央に1個生じただけであり、この位置に肌圧応力およびPC鋼棒のひずみが集中している様子がよくわかる。

また試験体TB2では荷重が10.2tに達する直前に、PC鋼棒とグラウトとが数回大きくスリップして、図-22に見られるように、鋼棒のひずみの平滑化が生じている。

繰返し載荷による、肌圧応力の分布およびPC鋼棒のひずみ分布の変化を、荷重5.0tのときの試験体TB2について図-25, 26に示す。図-25より繰返し載荷によってきれつ近傍の肌圧応力は増大することがわかる。

本実験では、予想以上にきれつ近傍での肌圧応力が大きであったため、試験体が割り裂かれて接着面に貼付した多数のひずみゲージが使用不能となった。しかし、このことから、部材終局時の付着を論じるには、きれつ近傍の応力状態が特に問題となることが推測される。

そこできれつ位置と付着との関係をより詳細に調べるため、PC鋼棒にさらに細かいピッチでひずみゲージを貼付して付着応力の分布を調べるとともに、部材終局時

における平面保持の仮定の乱れの状態を明らかにするため次の実験を行った。

5. 平面保持仮定の乱れに関するはり実験

一般に部材を設計する場合「変形前に平面であった断面は、変形後も平面を保つという平面保持の仮定」が成立するものとしている。もし付着が完全であり、鋼材とコンクリートとの間に相対すべりが生じなければ、平面保持の仮定は成立していることになるが、実際のコンクリート部材では、きれつが入るため一部分を除いてこの仮定は成立していない。

この仮定の乱れは、付着の性状と密接に関連しているが、本研究ではこの乱れを示す指標として、図-27および次式で定義されるF値¹⁾を用いることにした。

$$F = \epsilon_s \cdot n / \epsilon_c (1 - n) \quad (=OB/OA) \dots\dots\dots (1)$$

すなわち付着が完全であればF=1.0であり、きれつ断面およびその付近では付着が不完全なほどF値は小さくなる。したがって、きれつの生じた部材のF値の分布状態によって、その部材の付着の劣化状況を知ることができる。

(1) 実験概要

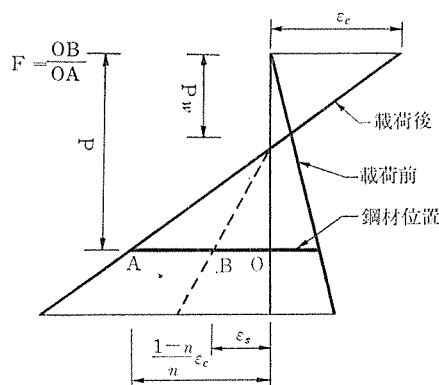


図-27 F値の定義

表-4 試験体諸性質

試験体記号	載荷方法	PC鋼棒種別	Fc (kg/cm ²)	E _{1/3} (×10 ⁵ kg/cm ²)	載 荷 直 前	
					PC鋼棒緊張力 (t)	下縁応力度 (kg/cm ²)
RB 1	中央集中載荷 A*	φ12 丸	350	2.27	9.81	136
RB 2	同上 B*	φ12 丸	302	2.01	9.78	134
RB 3	同上 A	φ12 異形	323	2.21	9.77	134
RB 4	同上 B	φ12 異形	344	2.06	9.80	133
RB 5	同上 A	φ14 丸	354	2.14	9.84	138
RB 6	三等分点載荷 A	φ12 丸	287	2.22	9.92	137
RB 7	同上 B	φ12 丸	307	2.02	9.99	138
RB 8	同上 A	φ12 異形	326	2.00	9.96	133
RB 9	同上 B	φ12 異形	345	1.99	9.82	128
RB 10	同上 A	φ14 丸	365	1.96	9.82	138

* A：たわみ量定増繰返し載荷 B：定荷重繰返し載荷

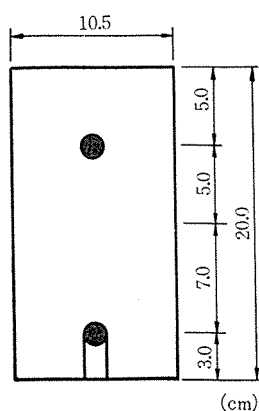


図-28 試験体断面

試験体は 図-28 に示す断面をもつスパン 180 cm の単純ばりとし、中央集中載荷および三等分点載荷を行った。

使用した PC 鋼材は $\phi 12$ PC 丸鋼棒、 $\phi 12$ PCらせん状異形鋼棒 および $\phi 14$ 丸鋼棒の 3 種である。代表例として $\phi 12$ 丸鋼棒の力学的性質を 図-29 に示す。

試験体圧縮部表面に 検長 10 mm のひずみゲージを貼付するため、粗骨材を省略しモルタル（細骨材最大径 5 mm, $W:C:S=0.52:1.00:2.70$ ）によって試験体

試験体圧縮部表面に 検長 10 mm のひずみゲージを貼付するため、粗骨材を省略しモルタル（細骨材最大径 5 mm, $W:C:S=0.52:1.00:2.70$ ）によって試験体

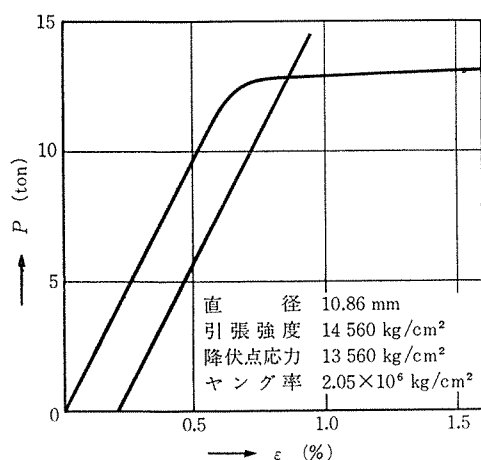


図-29 $\phi 12$ 丸 PC 鋼棒の力学的性質

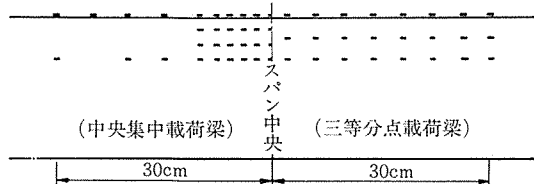


図-30 ひずみゲージ貼付位置

表-5 試験結果

試験体記号	きれつ荷重 (t)	最大荷重 (t)	最終たわみ (cm)	最終曲率* ($\times 10^{-3} \text{cm}^{-1}$)
RB 1	3.13	4.18	3.00	1.84
RB 2	3.26	4.20	2.79	2.46
RB 3	3.22	4.28	3.25	2.15
RB 4	3.26	4.48	3.25	2.11
RB 5	3.26	4.69	2.37	1.95
RB 6	4.50	6.25	—	—
RB 7	4.26	5.90	2.76	—
RB 8	3.60	6.30	2.82	0.77
RB 9	3.98	6.20	2.76	—
RB 10	4.80	7.18	2.39	0.93

* ダイアルゲージのたわみより算出。また最終とはダイアルゲージによって測定できた最後の時点。

を製作した。試験体の下部中央 62 cm の区間には、PC 鋼棒にひずみゲージを貼付するための幅 1.5 cm の溝が設けられている (図-28 参照)。

全試験体について、下側の PC 鋼棒を 10.0 t で緊張し、ただちにグラウト ($W/C=52\%$, アルミニウム粉末入) を注入した。上側の PC 鋼棒は、試験体上縁応力を 0 に調整するためのものであり、グラウトは施していない。グラウト注入後 8~14 日で載荷試験を行った。モルタルの載荷材令は 146~170 日であった。プレストレス導入時から載荷時までのクリープ量および乾燥収縮量は、はり上下縁で 検長 30 cm のコンタクトゲージによって測定した。各試験体の諸性質を 表-4 に示す。

載荷は片振り載荷を 5 回繰返した後 6 回目の載荷で破壊に至るように計画した。載荷時の測定項目は、1) 検長 10 mm のひずみゲージによる圧縮部モルタルのひずみ分布の測定—中央集中載荷ばりは 19 断面、計 60 点、三等分点載荷ばりは 16 断面、計 48 点 (図-30 参照)、2) 検長 5 mm のひずみゲージによる下側 PC 鋼棒のひずみ分布の測定—中央部において 2 cm ピッチ計 31~33 点、3) ダイアルゲージによるスパン中央およびその両側 30 cm のたわみの測定、の 3 項目である。

(2) 実験結果および考察

各試験体の諸結果を 表-5 に示す。試験体 RB 5 およ

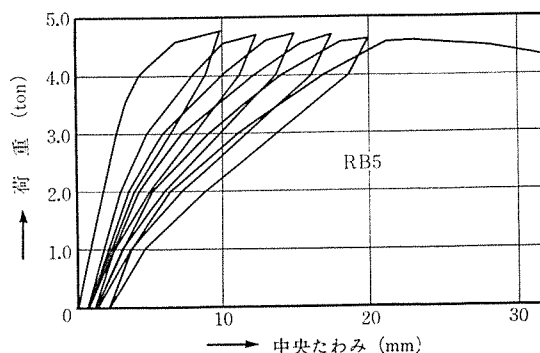


図-31 RB 5 荷重-たわみ関係

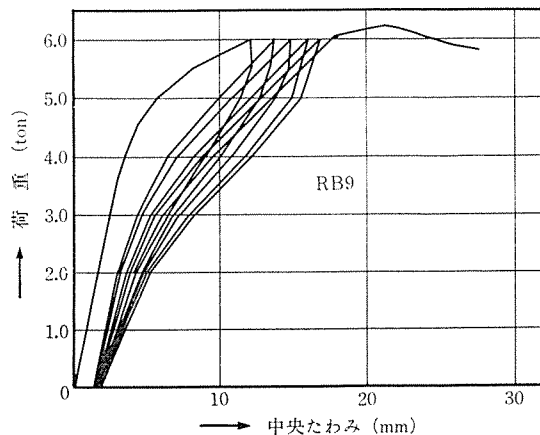


図-32 RB 9 荷重-たわみ関係

び RB9 の荷重と中央たわみとの関係を 図-31, 32 に示す。前者はたわみ量定増繰返し中央集中載荷をしたはりの場合であり、後者は定荷重繰返し三等分点載荷をしたはりの結果である。試験体 RB1, RB4 および RB9 の載荷直前の断面ひずみ分布および載荷時の部材圧縮部のひずみ分布より算出した。スパン中央部 60 cm 区間の曲率分布を 図-33~35 に示す。また同じはりの PC 鋼棒のひずみ分布を 図-36~38 に示す。

異形鋼棒の場合 (図-37 参照)、繰返し載荷によって

付着面がこそぎ取られ、丸鋼棒 (図-36 参照) よりもかえって、ひずみ分布の尖塔化がゆるめられる傾向がみられる。載荷終了後、はりをとりこわして観察した結果は、グラウトとシース間の付着は健全であったが、グラウトと異形鋼棒との付着面には、滑動および局部破壊の跡が見られた。

図-36~38 に示す ϵ_s の値は、載荷後のひずみの変化量を示したものであるが、これらの図の $\epsilon_s = 1.4 \times 10^{-3}$ あたりから、PC 鋼棒は塑性域に入っている。図-29

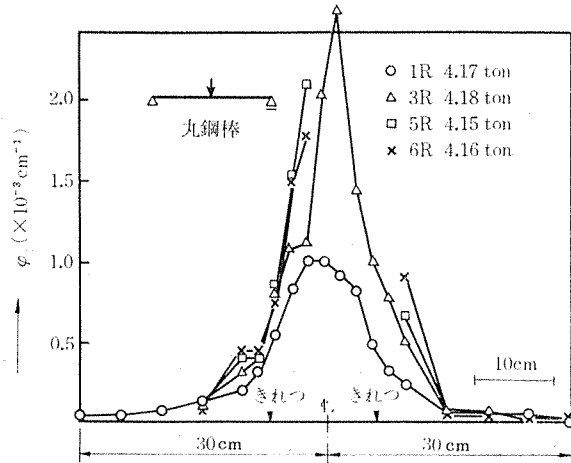


図-33 RB1 はり中央部の曲率の分布

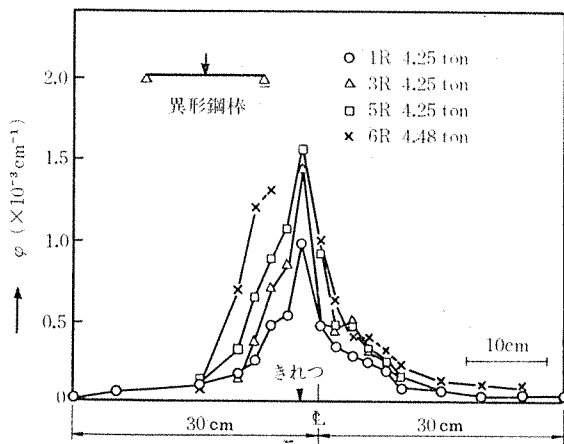


図-34 RB4 はり中央部の曲率の分布

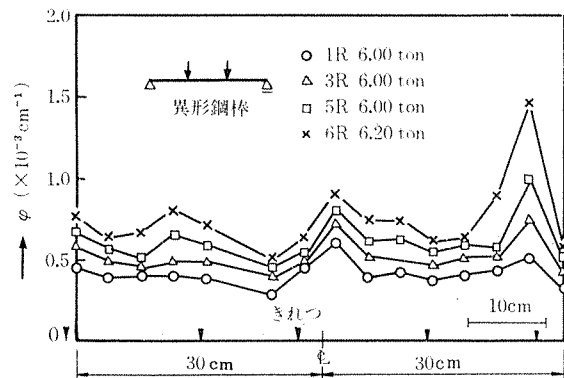


図-35 RB9 はり中央部の曲率の分布

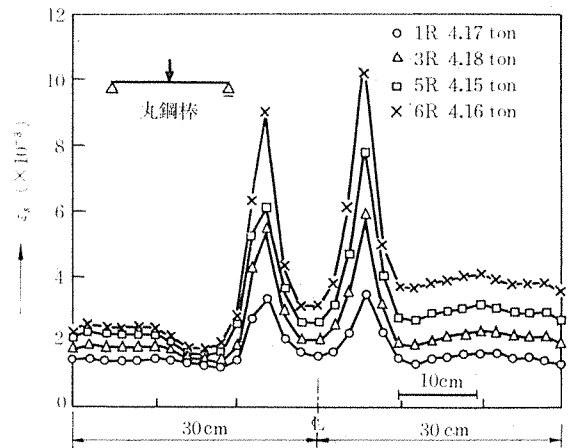


図-36 RB1 はり中央部の PC 鋼棒のひずみ分布

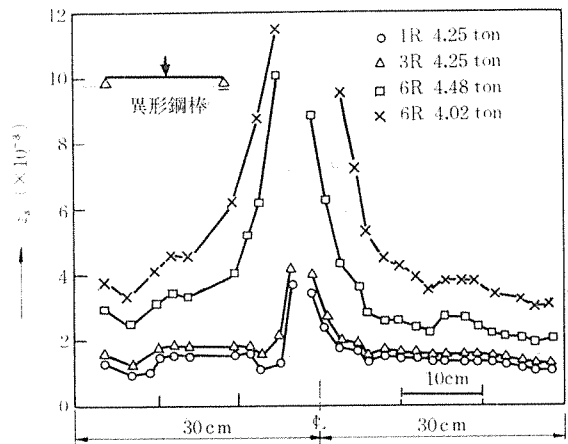


図-37 RB4 はり中央部の PC 鋼棒のひずみ分布

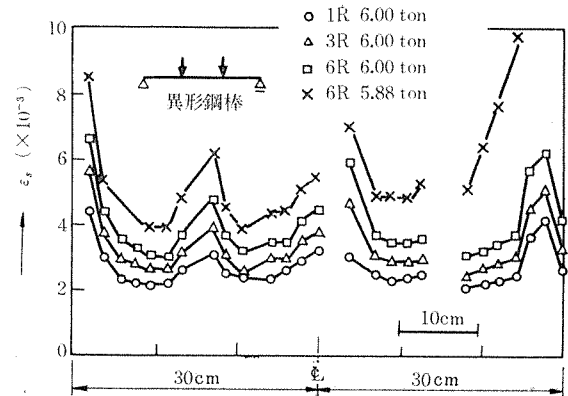


図-38 RB9 はり中央部の PC 鋼棒のひずみ分布

からわかるようにPC鋼棒は塑性域においてもひずみの増大にしたがって荷重も多少増加しているから、この勾配(E_{sh})を用いれば、PC鋼棒ひずみの実測値から次式によって、断面Aおよび断面B間のみかけの付着応力度(τ_{AB})が算出できる。

$$\tau_{AB} = (\varepsilon_A - \varepsilon_B) \cdot E_{sh} \cdot D / 4 \Delta l \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 ε_A および ε_B は断面AおよびBにおけるPC鋼棒のひずみを、 D は鋼棒径を、 Δl は断面AB間の距離をそれぞれ示す。

はりRB1およびRB4について式(2)より算出した付着応力度の分布を図-39, 40に示す。丸鋼棒の場合は特にきれつ近傍で大きい付着応力が働いていることがわかる。

次に F 値の分布については次のようにして求めることができる。すなわち、ある断面の圧縮部表面に貼付した2枚以上のひずみゲージの測定値よりその断面の曲率が求められたから(図-33~35参照)、平面保持仮定が成立するものとしたときのPC鋼材位置のひずみが算出でき(図-27参照)、またその断面のPC鋼材の実際のひずみも測定値から定められるので(図-36~38参照)、式(1)より F 値が算出される。はりスパン中央を中心とした付近の F 値の分布を示したものが図-41~43である。これらの図から明らかなように平面保持の仮定は

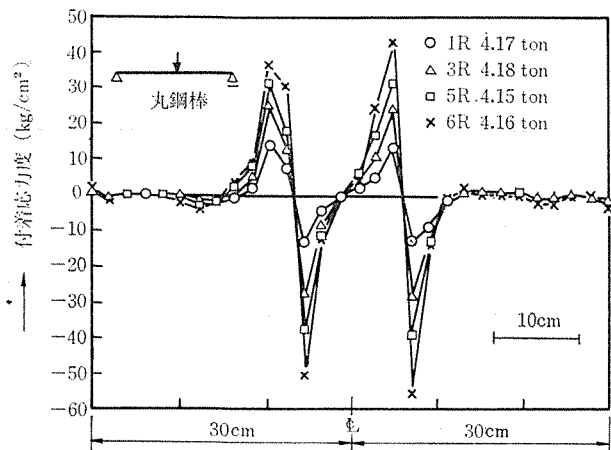


図-39 RB1 はり中央部の付着応力度の分布

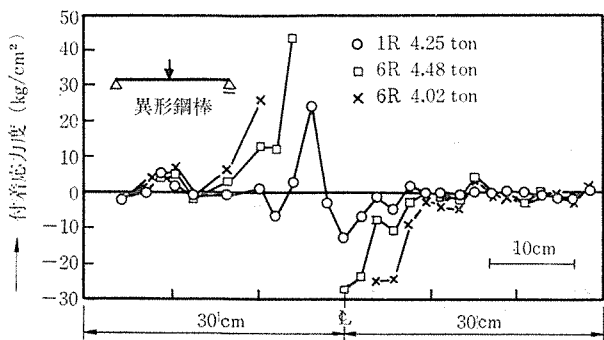


図-40 RB4 はり中央部の付着応力度の分布

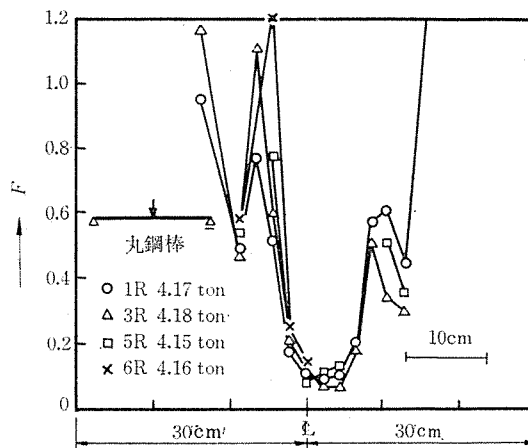


図-41 RB1 はり中央部の F 値の分布

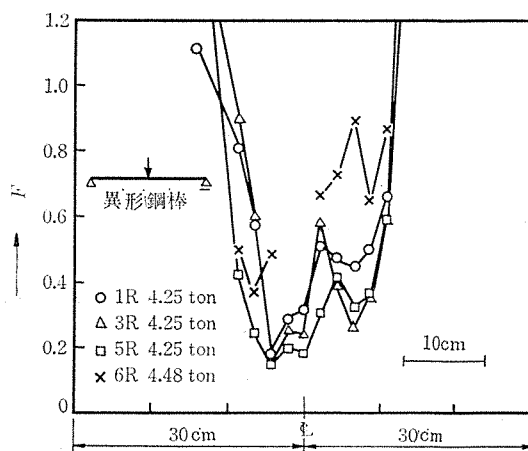


図-42 RB4 はり中央部の F 値の分布

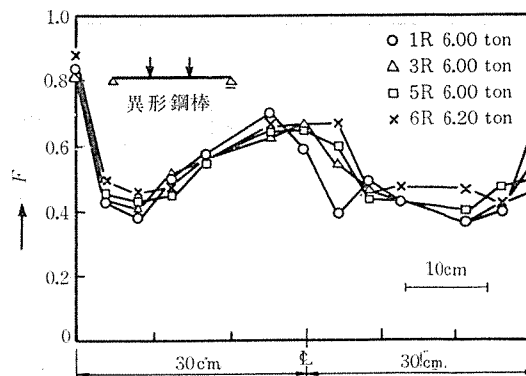


図-43 RB9 はり中央部の F 値の分布

まったく成立しておらず、特に中央集中載荷した場合の付着の乱れは著しい。

6. ま と め

筆者らが行ってきたPC鋼棒とグラウトとの付着に関する一連の実験は、繰返し荷重を受ける部材の終局時付近の状態を想定したもので、従来明らかにされていなかった、正負両方向の繰返し応力の影響、緊張力の増加に伴うPC鋼材の横方向収縮ひずみの影響、PC鋼材とグ

報 告

ラウト間の肌圧応力の性状および、塑性ヒンジ付近におけるPC鋼材のすべり量の状態、などを示すことができた。これらの結果を要約すれば次のごとくなる。

1) 2~3回の繰返し载荷によって、付着力は最大付着力の20~30%に減少してしまう。

2) PC鋼材のわずかな緊張力の増加によるPC鋼材の横方向収縮ひずみによって付着力は容易に喪失する。

3) 付着力はこれを構成する三要因(粘着力、摩擦力および異形鉄筋にみられるような機械的抵抗力)のうち、摩擦力が支配的となっている。

4) その摩擦力を生ぜしめる肌圧応力は、きれつの近傍に集中的に生じている。

5) F 値の分布図に示されるようにPC鋼材とグラウトとの相対すべりは、塑性ヒンジ部分を中心として広範囲に大きく生じており、平面保持の仮定は、このヒンジ領域では成立していない。

上記の諸結果は破壊に対する部材の安全性の正確な評価、あるいはいわゆる塑性設計を行うに際して大きな問題をなげかけている。

今後これらの諸事実をふまえたうえで、PC部材の回転限界におよぼす付着特性の影響をより詳細に調べ、同時に理論的追求も行っていく必要がある。

参 考 文 献

- 1) 奥島正一, 鈴木計夫, 中塚 俊: “複合材料としてのコンクリートの力学的性質について” 第6回複合材料シンポジウム発表論文集, 昭48.10.

- 2) 岡田 清, 小柳 治: “コンクリートばりにおける塑性ヒンジの生成に関する研究”, 土木学会論文集, 第105号, 昭39.5.
- 3) たとえば岡田 清, 藤井 学, 小沢恒雄: “PCストランドの定着長に関する研究”, セメント技術年報 XVII, 昭38.
- 4) 六車 熙, 富永 恵, 多田利正: “地震荷重をうけるPCはり・柱T型接合域の緊張材付着性能とはりの弾塑性変形性状に関する研究”, セメント技術年報 XXVI, 昭47.
- 5) 奥島正一, 鈴木計夫, 藤岡正見: “PC鋼棒とグラウトとの付着に関する研究”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭44.8.
- 6) 奥島正一, 鈴木計夫, 藤岡正見, 杉本靖彦: “PC鋼棒とグラウトとの付着に関する研究(その3 肌圧応力を与えた場合)”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭45.9.
- 7) 奥島正一, 鈴木計夫, 藤岡正見: “PC鋼棒とグラウトとの付着に関する研究(肌圧応力分布について)”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭47.10.
- 8) 奥島正一, 鈴木計夫, 藤岡正見, 栗山実則: “繰返し大応力を受けるプレストレスト コンクリート部材の塑性ヒンジに関する実験的研究”, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 昭49.6.
- 9) J.D. Geddes and I. Soroka: “The effect of grout properties on the Structural behaviour of post-tensioned concrete beams”, Magazine of Concrete Research, Vol. 15, No. 44, July 1963
- 10) 奥島正一, 鈴木計夫, 藤岡正見: “PC鋼棒とグラウトとの付着に関する研究”, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 昭43.5.
- 11) A.L.L. Baker: “The ultimate load theory applied to the design of reinforced and prestressed concrete frames”, p. 12, Concrete Publications Ltd., London, 1956.

1975.3.12・受付

PC構造物設計図集発売について

当協会では、「PC構造物設計図集」を本会編集、(株)技報堂発行の形で出版しておりますのでお知らせします。

本書は、本協会誌「プレストレスト コンクリート」の末尾に掲載致しておりました折込付図を、協会誌編集委員会の手により、PCの設計・施工にたずさわるの方々のご使用に便利のように、土木編(32編)・建築編(28編)・その他(4編)の三部門にわけ、それぞれに写真・説明等を入れ、わかりやすく編集したものです。皆様のお手元にぜひお備え下さいませよう、おすすめ申し上げます。

体 裁: B4判 133 ページ 活版印刷

定 価: 1500 円 会員特価: 1200 円 (〒200 円)

申 込 先: 〒102 東京都千代田区麴町1の10の15 紀の国やビル2階

社団法人 プレストレスト コンクリート技術協会

TEL (261) 9151 振替 東京 62774 番

重要構造物にはマイテイ

日本は、現在コンクリートの高強度化で世界の最先端を行っています。すでに設計基準強度 $800\text{kg}/\text{cm}^2$ という超高強度マイテイコンクリートを用いたPCトラス鉄道橋が施工されているのです。

マイテイを添加するとどうして高強度コンクリートが作れるのでしょうか!?

1919年D・A・Abramsにより提唱された水セメント比説(アブラムの理論)を思い出して下さい。「清浄で強硬な骨材を用いる場合、そのコンクリートがプラスチックでワーカブルであるならば、コンクリートの強度はセメントペーストの水セメント比によって定まる」という理論です。つまり生コンクリートがプラスチックでワーカブルであるならば混練水が少なければ少ない程そのコンクリートの強度は高くなるという訳です。マイテイは、この50年も前の夢を今実現し世界の最先端をゆく超高強度コンクリートを作り上げたのです。山陽新幹線岩鼻PCトラス橋のコンクリートは水セメント比=23%、スランプ=12cmという理論水和水量近傍の高強度マイテイコンクリートです。

高強度コンクリート用減水剤

マイテイ

説明書、技術資料をご請求ください。

花王石鹼株式会社 建設資材事業部

本社 東京都中央区日本橋茅場町1-1 ☎103 ☎東京(03)665-6322(代)

