

[169] 鉄筋を緊張材として用いたⅢ種 PC はりに関する研究

正会員 〇出光 隆 (九州工業大学)
 正会員 渡辺 明 (九州工業大学)
 正会員 村上義彦 (富士ビ・エスコンクリート)

1. まえがき

プレストレスコンクリート標準示方書にⅢ種 PC が取り入れられて以来、それまで離れていた RC と PC との距離は次第に狭められ、今日では、PCⅠ種、Ⅱ種、Ⅲ種と RC とはプレストレスの程度が変わるだけで、本質的には同一線上にあるものとして、一般に認識されるに至った。

周知のように PCⅠ種、Ⅱ種では、ひびわれの発生は許されず、大きなプレストレス力が必要となり、緊張材として高張力鋼の使用を余儀無くされる。それに対し、Ⅲ種 PC の場合は、プレストレス導入の目的はひびわれ制御にあるから、必ずしも大きなプレストレス力が必要でなく、RC の主鉄筋をそのまま緊張材として利用することも可能である。そこで、筆者等はプレキャスト RC 製品を例にとり、鉄筋のⅢ種 PC 用緊張材としての利用について実験的研究を実施した。

2. 実験方法

〈供試体〉 はり供試体として RC 床版用埋設型枠を用いた。その断面形状・寸法等を図-1 に示す。部材長は 2.8m とした。鉄筋には SD30-D13 を 2 本使用し、コンクリートには設計基準強度 35.0 kgf/cm² のものを用いた。同型枠は実用されており、床版工事の際には桁上に並べるだけで、上部に厚さ約 10cm 程度の現場打ちコンクリートを打設し、迅速かつ安全に合成床版を施工することができる。

〈鉄筋緊張力〉 降伏点に対するジャッキ緊張時の鉄筋応力の割合をプレテンション率 (r_p) と呼ぶことにし、その値を 0、20、40、60 および 80% の 5 段階、材令を 2、8、40、180 日の 4 種類それぞれ変化させて供試体を作製した。(ただし、 $r_p = 20, 60\%$ は材令 40 日のみ) $r_p = 0$ は RC のことである。なお、緊張開放時のコンクリート強度とプレストレスの関係を調べる目的で、コンクリート強度を変えて製作された供試体¹⁾ も使用した。

〈供試体製作〉 供試体の製作には長さ 12m の鋼製モールドを用いた。近い将来、狭い場所での大量生産可能な Individual mold method (型枠緊張法) が汎用され始めると予想したからである。しかしながら、この方法によると、従来のロングラインベンチに比べて緊張材の長さが著しく短くなるため、定着時のセットロスの影響は当然大きくなってくる。そこで実際に、緊張鉄筋のコーンによる定着試験を実施し、その量を確かめてみた。試験は各場合についてそれぞれ約 20 回行なった。その結果ジャッキで 1200、2400 kgf/cm² の緊張を与えた鉄筋の、定着後の平均値はそれぞれ 1007、2066 kgf/cm²、変動係数はいずれも 5% 以下となった。初期緊張力は定着後の値に鉄筋断面積を乗じることにより、 $r_p = 60\%$ 、80% に対し、それぞれ 2541、5235 kgf と なる。この程度のセットロスとバラツキであれば供試体製作上問題は無いと判断した。

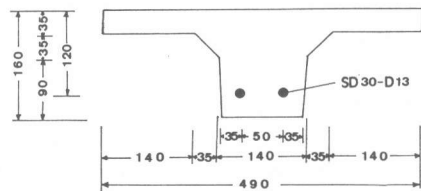


図-1 供試体断面図

表-1 実験結果

材令 (days)	鉄筋緊張応力 (kgf/cm ²) (r_p)	導入時の 圧縮応力 (kgf/cm ²)	試験日の 圧縮応力 (kgf/cm ²)	ひびわれ発生 曲げモーメント (tf·m)	下縁応力 (kgf/cm ²)	ひびわれ幅0.1(mm) 時の曲げモーメント (tf·m)
2	0 (0%)	193	238	0.251	32.4	0.741
	1200 (40%)			0.434	56.0	0.865
	2400 (80%)			0.627	80.9	1.117
8	0 (0%)	172	313	0.293	37.8	0.664
	1200 (40%)			0.472	60.9	0.819
	2400 (80%)			0.682	88.0	1.135
40	0 (0%)	186	399	0.248	32.0	0.721
	1200 (40%)			0.434	56.0	0.974
	2400 (80%)			0.602	77.7	1.176
	600 (20%) 1800 (60%)	216	410	0.366 0.535	47.2 69.0	0.856 1.074
1) 40	0 (0%)	155	349	0.282	36.4	0.728
	1200 (40%)			0.431	55.6	0.916
	2400 (80%)			0.579	74.7	1.109
1) 180	0 (0%)	155	379	0.340	43.9	0.754
	1200 (40%)			0.368	47.5	1.021
	2400 (80%)			0.546	70.5	1.199

鉄筋緊張後、コンクリートを打設し、約5時間の蒸気養生を行ない、緊張開放は約18時間後に実施した。製作された供試体は試験日まで屋外に放置した。

＜曲げ試験方法＞ 曲げ試験はスパン2.7mの3等分点2点載荷で実施した。まず、一旦ひびわれ発生荷重まで載荷した後除荷し、次いで再キレツを観察しながら破壊まで載荷した。測定項目は中央点たわみ、中央断面でのコンクリートひずみ分布、ひびわれ幅・本数、ひびわれ発生荷重および破壊荷重等である。

3. 実験結果および考察

実験結果をまとめて表-1に示す。ひびわれ発生曲げモーメント（ひびわれモーメント）は目視だけでなく、荷重～たわみ曲線、荷重～下縁ひずみ曲線等を参考にして求めた。その一例として、図-2に荷重～たわみ曲線を示す。ひびわれが生じるまでは全断面有効であるから同一直線上にのるが、ひびわれが発生すると直線から外れて行くためその急変点からひびわれ荷重を求めることができる。プレストレスの大きいもの程、ひびわれモーメントは高くなっている。ひびわれ発生時の下縁応力（ひびわれ応力）は各ひびわれモーメントを断面係数で除して求めた。

ひびわれ幅0.1mmに対する曲げモーメントは荷重～ひびわれ幅線図から求めた。その例を図-3に示す。同図と図-2とは対応しており、プレストレス量が大きくなるほどひびわれの成長が妨げられ、たわみの増加も抑制されている様子が分る。

鉄筋緊張によりプレストレスを与えることが、如何にひびわれ発生の防止、ひびわれ幅拡大の抑制に役立つかを定量的に示すため、仮に、ひびわれ防止指数（ α_{cp} ）およびひびわれ幅抑制指数（ α_{cr} ）等を次のように定義することにする。

$$\alpha_{cp} = M_c / \underline{M}_{c0}$$

ここに M_c : 鉄筋を緊張した場合のひびわれ曲げモーメント

$\underline{M}_{c0}$: $r_p = 0$ (RC) の場合のひびわれ曲げモーメント

$$\alpha_{cr} = M_{0.1} / \underline{M}_{0.1}$$

ここに $M_{0.1}$: 鉄筋を緊張した場合のひびわれ幅0.1mm時の曲げモーメント

$\underline{M}_{0.1}$: $r_p = 0$ (RC) の場合のひびわれ幅0.1mm時の曲げモーメント

図-4に材令と α_{cp} 、 α_{cr} の関係を示す。材令40日程度までの α_{cp} は $r_p = 40\%$ でRC

の約6割増し、 $r_p = 80\%$ で約2.4倍となっている。材令180日ではRCに乾燥収縮ひびわれが生じるため、 α_{cp} の値を求めることはできなかった。一方、 α_{cr} は材令180日までほとんど変化せず、 $r_p = 40\%$ の場合、RCの約3割増し、 $r_p = 80\%$ で約6割増しとなっている。

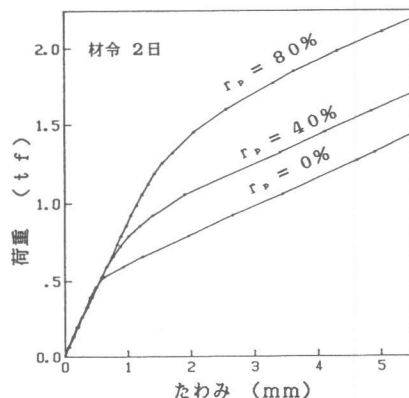


図-2 荷重～たわみ曲線

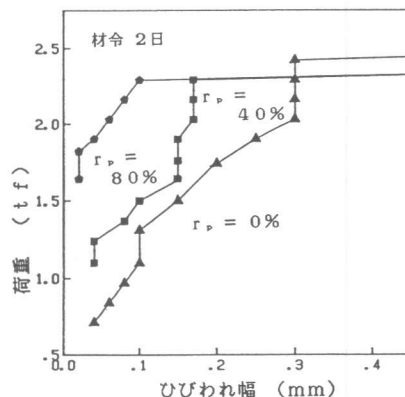


図-3 荷重～ひびわれ幅曲線

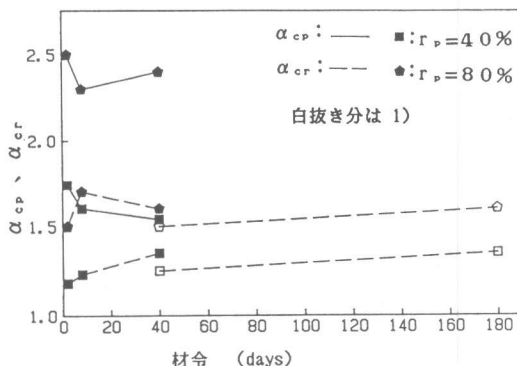


図-4 α_{cp} 、 α_{cr} と材令との関係

以上のことから、鉄筋を緊張材として用いれば、プレキャストRC部材のひびわれ発生の防止およびひびわれ幅拡大の抑制に極めて顕著な効果のあることが明らかとなった。

ひびわれ応力と曲げ強度との差からコンクリート下縁の有効プレストレスを求めて図-5に示す。材令が進むにつれてコンクリートの乾燥収縮、クリープ等により、プレストレスは減少し、 $r_p = 20\%$ の場合、約1ヶ月で、 $r_p = 40\%$ の場合、半年でそれぞれプレストレスはほとんど無くなる。しかしながら $r_p = 60\%$ 、 80% では、全結果から求めた回帰曲線から、 $t = \infty$ においてそれぞれ有効プレストレス 19.0 、 11.5 kgf/cm^2 が得られ、Ⅲ種PCとして取り扱うことは可能と考えられる。

PCとしての設計の煩わしさを避けたい場合は、 r_p を 40% 以下に押さえておけば、設計上RC部材として取り扱い可能で、しかも極めてひびわれの生じ難いプレキャストRC製品ができることになる。

4. Ⅲ種PC部材としての検討

コンクリート下縁の有効プレストレスから鉄筋の有効プレストレス力を求めると、 $r_p = 60\%$ 、 80% に対しそれぞれ 938 、 1570 kgf で、初期緊張力に対する有効率はそれぞれ 37% 、 30% となった。

いま、本実験で用いた埋設型枠に、厚さ 9 cm の現場打ちコンクリートを打ち継ぐものと仮定して、有効プレストレス力のひびわれ制御に対する効果を、猪股のⅢ種PCに関する応力算定式²⁾、限界状態設計法指針案のひびわれ幅算定式等³⁾を用いて検討した。

図-6に曲げモーメントと鉄筋応力（プレストレスを含む）の関係を示す。鉄筋を緊張した場合は、当初から有効プレストレス力は作用しているが、それにより中立軸位置も下げられ、曲げモーメントに対する増加応力はRCに比べて小さくなる。その結果、Ⅲ種PCとRCとの間には鉄筋応力の差はほとんど見られなくなっている。

曲げモーメントとひびわれ幅の関係を図-7に示す。実際のRC構造物では、ひびわれ幅は 0.1 mm 程度になることが多い。そこで、同図からRCに生じるひびわれ幅 0.1 mm となる曲げモーメントを求めると $0.51 \text{ t}\cdot\text{m}$ となる。

そのときの $r_p = 60\%$ 、 80% に対するひびわれ幅はそれぞれ 0.07 mm 、 0.04 mm と 0.3 mm ずつ小さくなっている。

以上の結果から、初期緊張力のわずか 30% 程度しかプレストレスは残らなくても、それが

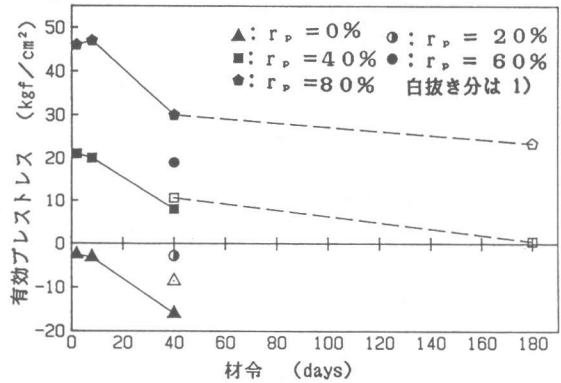


図-5 有効プレストレスの経時変化

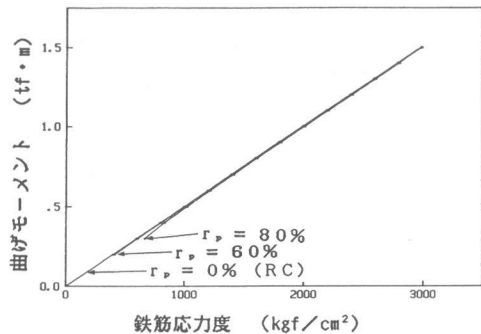


図-6 曲げモーメントによる鉄筋応力の増加

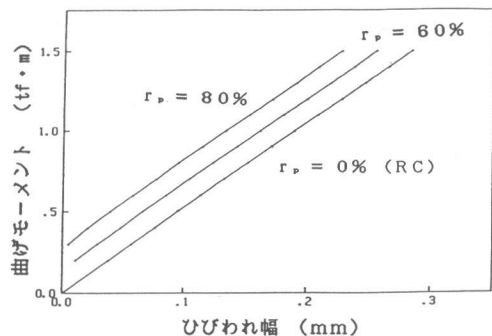


図-7 曲げモーメントによるひびわれ幅の増加

Ⅲ種PCとしてひびわれ抑制に対し十分な効果を示すことが確かめられた。

5. むすび

本研究で得られた結果をまとめると、以下の通りである。

- 1) 鉄筋(SD30)を緊張材として用いて、Ⅲ種PC部材を作ることができる。その場合、初期緊張力として降伏点の60%以上の応力を導入する必要がある。
- 2) 有効プレストレス力は初期緊張力の30~35%程度となる。
- 3) 降伏点の40%以下では、約半年程度でプレストレスは消滅する。しかしながら、通常のRCでひびわれの原因となる乾燥収縮による引張応力は生じない。若材令ではプレストレスが残っており、極めてひびわれの生じ難いRC部材ができる。
- 4) Individual mold method (型枠長12m)によれば、鉄筋定着時のセットロスは、約15%程度となる。しかしながら、そのばらつきは小さく、変動係数は5%以下であり、プレキャスト部材製作上問題はないと考えられる。

実際に、鉄筋を用いたⅢ種PCとしてプレキャスト部材を設計する場合、RCに比べて必ずしも経済的に有利になるとは限らない。しかしながら、同程度のコストでひびわれの生じ難い部材が得られることは確かである。現在のプレストレスコンクリート標準示方書では、緊張材としては、PC鋼材を用いることになっている。しかしながら、鉄筋を緊張してはならないという規定はない。今後、鉄筋緊張が汎用されることになれば、PCの適用範囲はさらに広がって行くものと考えられる。

- <参考文献>
- 1) 渡辺 明、出光 隆、村上義彦：鉄筋緊張によるプレキャストRC部材のひびわれ制御、セメント技術年報38、昭和59年
 - 2) 猪股俊司：プレストレスコンクリート、コンクリートジャーナル、Vol.12、No.9、1974
 - 3) 土木学会：コンクリート構造の限界状態設計法指針(案)、コンクリート・ライブラリー 第52号、昭和58年