

東京工業大学 正 後藤 祐司
 学 学 小林 隆司
 〇大即 信明

1. まえがき.

PCロッドを用いた合成部材の力学的特長として、プレストレストコンクリート部材に近しい性状を示すのみでなく、PC部材に比較しセン断耐力も増加することが認められており、著者らはこれをPCロッドのDowel Action効果によるものと推論した*。そこで、本研究ではセン断力の作用によりDowel Action Forceが生ずる状態としてPCロッドを用いた合成部材のセン断試験および純わしり試験を考え、これらを実施することによりPCロッドのDowel Action効果と、PCロッドを用いた合成部材のセン断破壊特性についてRC部材と比較検討し、更にこれまでRC部材のセン断耐力算定においてそれほど重要視されていなかった鉄筋のDowel Action効果と骨材のInter Locking Actionを考慮したセン断破壊のメカニズムについても考察した。

2. PCロッドを用いた合成部材のセン断試験.

(i) 試験方法.

試験に使用したPCロッドはすべて、市販の縮鋼板によるデフォーメーションを両サイドにもつ5x5断面のもので、有効プレストレス量はおよそ230%^gにある。後打ちコンクリートには普通コンクリートを使用した。なお試験時のPCロッドおよび後打ちコンクリートの試験成績は表-1に示す通りである。セン断試験用の供試体は図-1に示されるように人工クラックをもつ3種のPCロッドを用いた合成部材および2種類のRC部材である。A、BおよびC型の3種類の供試体のセン断試験を実施し、その破壊荷重およびPCロッドおよび圧縮部コンクリートに貼付したロゼットゲージの測位結果により、破壊時および各荷重段階におけるPCロッド、骨材および圧縮部コンクリートのそれぞれのセン断力分担量を求めることが表-1コンクリートの試験成績.

	圧縮強度	引張強度	Ec	Gc
ロッド用コンクリート	802	49	39x10 ⁴	16x10 ⁴
後打ちコンクリート	255	25	23x10 ⁴	10x10 ⁴

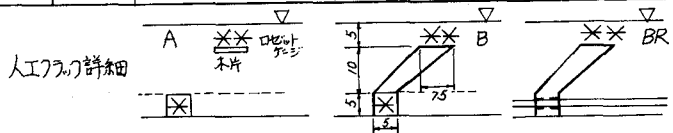
(kg/cm²)

(ii) セン断試験結果とその考察.

図-1に示すすべての供試体の破壊耐力を示しているがPCロッドのみがセン断抵抗要素であるC供試体の破壊荷重からPCロッドのDowel Actionによるセン断耐力はおよそ1tonであることが認められ、その破壊はPCロッドと後打ちコンクリートの付着がとれた後PCロッドのセン断破壊によって生じた。次にB供試体の破壊はPCロッドと後打ちコンクリートの間の付着が切れると同時に圧縮部コンクリートのBucklingによって破壊に達しており、PCロッドはセン断破壊を起こしていない。そ

図-1 セン断試験に用いた供試体および試験結果.

供試体名	破壊荷重	セン断力分担要素
A	6.2 ^t 6.1	PCロッド 骨材 圧縮部コンクリート
B	5.2 5.9	PCロッド 圧縮部コンクリート
C	1.9 2.1	PCロッド
AR	6.4 5.6	鉄筋 骨材 圧縮部コンクリート
BR	5.2	鉄筋 圧縮部コンクリート



の破壊荷重は平均すれば5.6tonあり、破壊時においてはPCロッドのせん断分担力1tonと圧縮部コンクリートのせん断分担力1.8tonが作用していると考えられる。更にA供試体の破壊もB供試体同様PCロッドと後打ちコンクリートの付着が切れた後、圧縮部のコンクリートのBucklingによって生じており、その破壊荷重は6.2tonであり、B供試体と比較して耐力の増加は少なく、骨材のInterlocking Actionによるせん断分担はB供試体との差からは0.3tonであると考えられる。

図-2は、PCロッドおよび圧縮部コンクリートに貼付したロゼットゲージによる測定結果とコンクリートのせん断弾性係数 G_c から計算される各荷重段階ごとのPCロッド、圧縮部コンクリート、および骨材のせん断分担率の変化を示したものである。この図に示されるようにInterlocking Actionすなわち骨材のかみ合い効果によるせん断分担率はせん断ひびわれの発達により急激に減少し、破壊近くではほとんど消滅しており、その分のせん断力が主に圧縮部コンクリートの分担率の増加となっており、終局耐力はほとんどPCロッドのせん断力と圧縮部コンクリートで受け持っている。このためにA、B供試体の間に破壊耐力の差がそれほどなかったものと考えてよいと思われる。

次にPCロッドを用いた場合と異型鉄筋を用いた場合のDowel Action効果およびせん断性状を比較するため、図-3を参照するとDowel Action効果はPCロッドの方がかなり大きく、また人工クラックをばさんでのすれ量は図-6にみられるようにかなり小さい。しかしながら、破壊はPCロッドと後打ちコンクリートとの付着が切れることに始まり、ひびわれをばさんでのすれ量が急激に増加し、せん断ひびわれが破壊荷重に向って発達し終局に到ると考えられるので、図-1のA型、AR型およびB型、BR型の破壊荷重にみられるように鉄筋を使用した場合と耐力の差がそれほどなかったものと考えられる。

以上の結果より合成はり、RCはりとも破壊近くではInterlocking ActionおよびDowel Actionは絶対値としてはかなり小さいが、それ以前の各荷重段階においてはPCロッドを用いた場合、せん断クラックの発生および発達が遅れ、Interlocking Actionおよび圧縮部コンクリートを有効に働かすという直接的な効果があり、それ故、人工クラックを持たない場合には、合成はりともRCはりとも比較した場合、合成はりの方がせん断耐力がかなり大きかったものと思われる*。

3. PCロッドを用いた合成はりの純ねじり試験

①試験方法
純ねじり試験に用いた供試体は図-7に示される5種類のもので、PCロッドはせん断応力が大きく作用する辺の中央に埋め込んであり、軸方向筋としてのDowel Action効果を期待している。IV、V

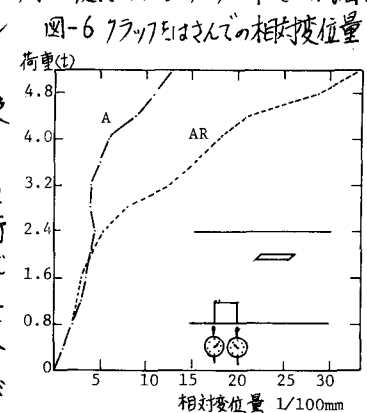


図-3 AR供試体におけるせん断力の分担

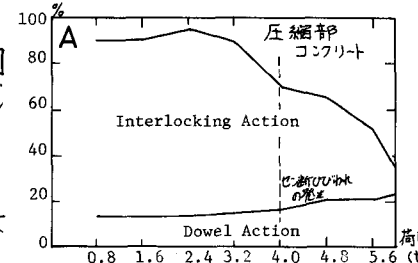


図-4 B供試体におけるせん断力の分担

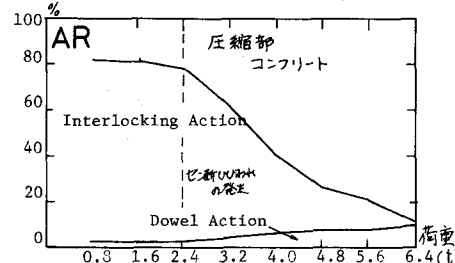


図-5 BR供試体におけるせん断力の分担

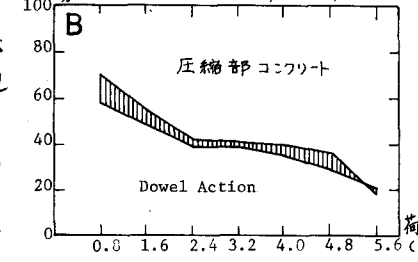


図-6 フラックをばさんでの相対変位量

供試体ではPCロッドと後打ちコンクリートの間の付着による破壊を防止する目的でスターラップを使用している。これらの供試体E/10^{mm}のスペンで、供試体中心から15^{mm}のところを偏心載荷し、純ねじり試験を行った。

ii 純ねじり試験結果とその考察

純ねじり試験結果および計算値は表-2に示す通りである。Ⅱ、Ⅲ供試体はともにPCロッドのDowel Action効果と期待したものであるが、結果的には無筋の耐力と同程度であり、PCロッドの補強効果は現われなかった。特にⅢ供試体のように短辺側にPCロッドを配置した場合には、長辺の中央に生ずるせん断応力がコンクリートの引張強度に達した時にひびわれが発生し、その後はPCロッドDowel Action と、またひびわれが発生していない部分のコンクリートの引張カヒで抵抗するものと考えられるが、PCロッドと後打ちコンクリートの間の付着が十分でなくDowel Actionが十分に働かないうちには、着破壊を起したために耐力の増加が見られなかったものと思われる。Ⅱ供試体の場合もⅢ供試体同様に着破壊を起しているが、試みに付着が十分にあるという仮定のもとに最大主応力度および斜め曲げ理論を適用して筆者らが誘導した4式により破壊耐力を算定すると3.6 tonとなり、このときのPCロッドに作用していたせん断力は2.3 tonである。又PCロッドにおけるPCストランドと同一の緊張力で一様プレストレスを与えたはりを考え、Hsu式およびCowan式により破壊耐力を計算するとそれぞれ4.0^{ton}、4.5^{ton}となる。

次に、Ⅳ、Ⅴ供試体については、容積比にして0.6%のスターラップで補強してあるために着破壊は起さず、鉄筋コンクリートの矩形はりと同様に完全な斜め曲げ破壊を起した。しかも、引張側にあるPCロッドはせん断破壊を起し、その破壊面と材軸とのなす角度はおよそ30°であった。そこで鉄筋コンクリート矩形はりに準じて、Ⅳ、Ⅴ供試体の破壊耐力を4式により計算すると、それぞれ4.4^{ton}、4.8^{ton}であり、このときのDowel Actionによるせん断耐力はともに2.0^{ton}であると導かれた。又、PCロッドの破壊面と材軸とのなす角度は29°となり実験値とよい一致を見た。このようにに着破壊を防止するために0.6%程度のスターラップを配置することにより、Ⅳ供試体については40%程度の耐力の増大が見られた。更に、PCロッドを用いた合成はりの純ねじりに対する破壊耐力も4式によるはある程度推測できうることを示された。

しかしながら、同量のスターラップを有する鉄筋コンクリートはりの試験を行っていないため、PCロッドとスターラップの補強効果が軸方向鉄筋とスターラップのそれよりも優れているか否かについては明確にできなかった。

最後に、PCロッドのDowel Action について総合するとせん断試験(C供試体)からは1.0^{ton}、純ねじり試験からは約2.0^{ton} となったが、これは前者についてはエクラックの中におよび着破壊等の影響により小さくなったものと思われる。

本研究を行なうにあたっては、東京工業大学長 境重義 助教授に多大なる御指導をたまわった。

*長境・後藤“PCロッドを用いた合成はりの力学的性状” 1972年土木学会年次講演会概論集

図-7 純ねじり試験に用いた供試体

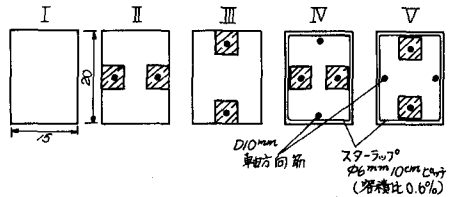


表-2 純ねじり試験結果および計算値

供試体名	I	II	III	IV	V
破壊荷重	3.0	2.8	3.1	4.3	3.8
ひび割れ荷重	3.0	2.6	2.6	2.6	2.6
計算値					
Hsu式	2.6	4.0	4.0	---	---
Cowan式	---	4.5	4.5	---	---
提案式	---	3.6	---	4.4	4.8
破壊性状	余り曲げ破壊	ロッドの付着破壊	ロッドの付着破壊	斜め曲げ破壊	斜め曲げ破壊

$$Hsu式: M_u = \frac{1}{3} b d (0.85 f_c t) \quad \text{[無筋]} \quad (1)$$

$$M_u = \frac{1}{3} b^2 d (0.85 f_c t) \sqrt{1 + \frac{Q_p}{0.85 f_c t}} \quad \text{[合成(5)]} \quad (2)$$

$$Cowan式: M_u = M_{pu} \sqrt{1 + \frac{Q_p}{f_c}} \quad \text{[合成(6)]} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{提案式: } M_u &= 2Q \left(l - \frac{x}{2} \right), \quad x = \frac{Q}{0.85 f_c u d} \\ Q &= \frac{Q_c \alpha^2}{2} \left\{ -1 + \sqrt{5 + 4 \frac{Q_p}{f_c}} \right\} \quad \text{[合成(12)]} \\ \therefore M_u &= \frac{1}{4} \left\{ b + 3 b_s + \frac{d_s (b + b_s + 2 b_s)}{5} \right\} A_v Q_p d_s \\ &\quad + \frac{(b + d + d_s) (b + b_s + 2 b_s)}{4 (b + d)} Q \quad (4) \end{aligned}$$