

1. まえがき

本研究はPCロッドを補強材として用いた合成部材の複合機構を明らかにしようとするものである。まず、PCロッド（高プレストレスを導入したプレキャストコンクリートの棒）を用いた合成はりの曲げ試験を実施し、耐力、変形性状、変形復元能力、破壊様式、等の力学的性状を、 $E \times A$ （ E , A は補強材のヤング率、および断面積）をほぼ同一にした鉄筋コンクリートはり（RCはり）との比較において検討した。その結果、PCロッド合成はりにおいては、PCロッドとコンクリートの一体性の確保がきわめて重要であることが明らかにされたので、合成はりの曲げ試験に引きつづきPCロッドの付着試験を実施し、その付着特性を検討するとともに、PCロッドのデバメーションの改善を試みた。最後に得られた結果より、合成はりの複合特性について考察を加えたものである。

なお、本研究は終始東京工業大学長竜重義助教授の御指導のもとに行なわれたものであり、又本研究に対して昭和47年度吉田研究奨励金を賜った。ここに、謹んで感謝の意を表します。

2. 試験方法

(1) 曲げ試験：曲げ試験を行なった合成はりおよびRCはりとは図-1に示すもので、セリ断付着型の破壊を起させるため、スターアップは用いていない。合成はりには、主に図-2に示される凹デバメーションを配した5×5cm角のPCロッドを使用し、RCはりには呼び径16mmの異型鉄筋（ $f_{yk} = 3660 \text{ kg/cm}^2$, $A_s = 1.99 \text{ cm}^2$ ）Z本を用いている。それぞれのはりに使用した補強材の $E \times A$ を計算すると、PCロッドでは $9.2 \times 10^6 \text{ kg}$ 、異型鉄筋はZ本で $8.3 \times 10^6 \text{ kg}$ となり、ほぼ同一の値である。これらの補強材を有するはりさ、コンクリートの圧縮強度を $180 \sim 750 \text{ kg/cm}^2$ の4段階に変えて作製し、スパン87.5cm（ $a/d = 2.5$ ）の一長載荷の曲げ試験を行なった。

(2) 付着試験：PCロッドの付着試験は、PCロッドの付着面の表面形態を図-3に示される4種類に変えたものと、D16mm異型鉄筋について、いわゆる片引試験と、図-4に示されるような押抜試験を実施した。PCロッドの片引試験は、PCロッドがわずかに偏心していても、その影響が大きく、又引張力によりPCロッドにひびわれが発生すると、付着応力分布が著しく変化するので、異型鉄筋との比較を主に行うのにとどめた。PCロッドのデバメーションの相違による付着耐力の影響は、押抜試験によって求めた。押抜試験によれば、付着耐力の絶対値はともかくデバメーションの相違は十分に評価でき、しかもPCロッドは非常に短いもので済むので偏心の問題はなくなり、又引張力は作用しないのでクラックが発生しない等の利点がある。

3. 曲げ試験結果

図-5は中央負荷のたわみ量の測定結果の一例であるが、合成はりおよびRCはりに用いた補強材の $E \times A$ の値をほぼ等しくしたので、外力モーメントによりはりに曲げひび

図-1 曲げ試験用供試体

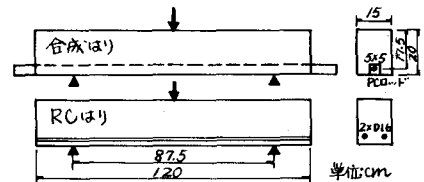


図-2 PCロッドのデバメーション

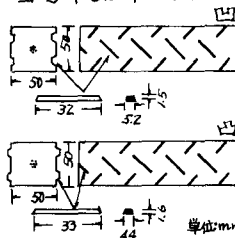


図-3

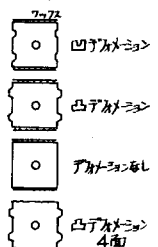
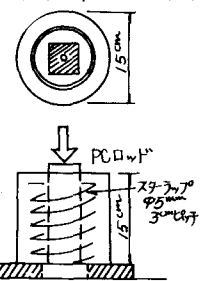


図-4 押抜試験方法



われが発生してから補強材の変形量、あるいは中立軸の位置、断面剛性は、ほぼ等しくなり、その結果はりのたわみおよびびびわれ中等の変形形状は、PC ロッドにびびわれが発生するまでは、ほとんど同一の値を示した。しかしながら、PC ロッドにびびわれが発生する荷重以上に載荷すると、合成はりの断面剛性は更に低下するので、変形量はRC はりよりも増大した。

図-6は縦軸にある荷重における中央矢のクラック中さ、横軸にその時の荷重を零にもどしたときの残留クラック中さとしたものである。図から明らかなように、合成はりの復元能力はRC はりをわずかにしのぐのみであった。その理由は、合成はりに曲げびびわれが発生し、引張力によってPC ロッドが後打ちコンクリートより抜けだしたのちの復元力は、PC ロッドに作用していた引張力が零に復元することによって生ずるもので、原理的には異型鉄筋の復元力と変りがなく、PC ストランドに付く緊張力はこの復元力に対して作用しないことによるものと考えられる。このことは、プレストレストコンクリートの場合と本質的に異なるところである。

次に破壊耐力に關してであるが、まず曲げ破壊する場合、補強材の降伏荷重(PC ストランド 12.3 t/m, 異型鉄筋 14.5 t/m)の大きいRC はりの方が多少大きい値となるが、せん断耐力は図-7に示されるように合成はりの方が、RC はりよりもわずかに大きい。これは、PC ロッドのDowel Action 効果によるものと考えられる。すなわち、せん断びびわれが發生し補強材にせん断力が作用する場合、そのせん断抵抗力は補強材の $E \times A$ よりも、 $E \times I$ (I は断面二次モーメント)に影響されるので、 $E \times I$ の大きなPC ロッドの場合の方が、はりのせん断耐力はあがっているものと考えられる。

4. PC ロッドとコンクリートの付着試験結果

前述の試験で用いたPC ロッドは、市販の結鋼板を型枠として作製した凹デフォーメーションであるが、この種のPC ロッドとコンクリートの間にせん断力が作用すると、PC ロッド表面の凹デフォーメーション部に入り込んだ、後打ちコンクリートが削り取られて破壊するので付着耐力はそれほど大きくなく、又後打ちコンクリートの強度によって大きく左右される。そこで、PC ロッドの付着耐力を改善するための第一歩として、図-2に示されるような凹デフォーメーションと同一形状をもつ凸デフォーメーションとした。このデフォーメーションの改良により強度の大きなPC ロッドのコンクリートが削り取られることになり、後打ちコンクリートの強度に左右されない一定の付着耐力を得られるものと考えられる。図-8に押抜試験で得られたデフォーメーションの相違の影響を示したもので、事実後打ちコンクリートの圧縮強度の小さいところでは凸デフォーメーションの方が凹デフォーメーションよりもかなりすぐれており、又圧縮強度が増加するに伴い両者の差はしだいに小さくなっていく。図-9はPC ロッドの片引試験結果の一例を示したものであるが、異型鉄筋と大いに異なるのは、荷重が増加するに従い、自由端側のPC ロッドが圧縮力を受けることである。これは、荷重端近くでPC ロッドにびびわれが発生することにより、引張力の伝達がPC ストランドを介して行われるためと思われ、この影響で、PC ロッドの付着面は、荷重端側では引張られ、かつ自由端側では上から押込まれる状態となり、その結果、図-9の下の方力分布に示されるように荷重が大きくなるに従い付着面全長にわたって均一な応力分布になっている。

一方、このようなPC ロッドの付着性状をRC はりに使用したD16mm 異型鉄筋と比較すると、図-10のよう

図-5 合成はり、RC はりのたわみ量の相違

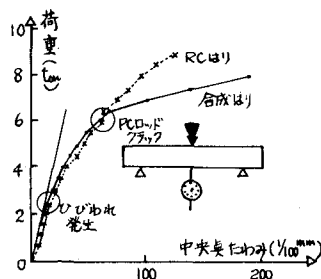


図-6 復元能力の比較

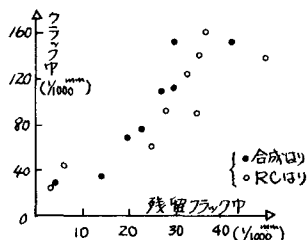


図-7 曲げ供試体の最大耐力

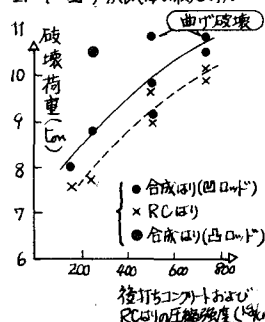
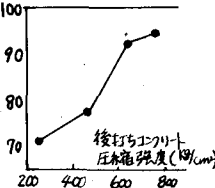


図-8 凸デフォーメーションの付着耐力が100としたときの凹デフォーメーションの付着耐力(押抜試験)



になる。図から明らかのように、同一の引張荷重に対しては、PCロッド、異型鉄筋ともにほぼ等しい変形量を示している。又表-1に示されるように、最大耐力時の平均付着応力と比較すれば当然のことながら異型鉄筋の方がはるかにすぐれている。

5. 合成はりの耐力に対する考察

合成はりではセリ断付着型の破壊形式を示したが、合成はりの断面形状、使用したPCロッドの断面寸法およびデフォーメーションの相違により、破壊形式は次の3つのタイプに分類された。

- (1) 後打ちコンクリートとPCロッドの付着が切れる。
- (2) PCロッド側部のコンクリートがセリ断力により引張破壊する。
- (3) (1)、(2)が満足されたときPCロッドが直接セリ断破壊する。

(1)のタイプは後打ちコンクリートの強度が小さく従って付着強度の小さい場合によく見受けられる破壊形式であるが、この場合PCロッドが受けもつことのできる最大セリ断力 B_{max} はPCロッドが弾性支承されると仮定し、その場合のバネ定数を引張試験結果から得られた $T-S$ カーブを図-11のように単純化して求め更に破壊した供試体のPCロッドのデフォーメーションの削り取られた面積から有効なる付着面を図-12のように高さの1/2と仮定して計算すると、0.8 T_{max} となる。この値は前報で得られた分担セリ断力の実測値が約1.0 T_{max} となっているので一応妥当性のあるものと思われる。一方、(2)のタイプ^{*}の破壊に対しては、図-12に示される力の釣合よりコンクリートに伝く引張応力を求め、引張強度との比較で吟味すればよい。一例として後打ちコンクリートが 256 kg/cm^2 のとき $T_{max} = 37.3 \text{ kg/cm}^2$ であるから、引張応力 σ は、 $\sigma = T_{max} \times \frac{h}{2} \times \frac{2}{(b-h)}$ より 19 kg/cm^2 と計算される。このコンクリートの引張強度は 26 kg/cm^2 であるから、(2)のタイプ^{*}の破壊は起らないことになる。

一方、PCロッドがセリ断破壊する(3)のタイプの破壊形式は、PCロッドに作用する最大主引張応力が引張強度に達した時に破壊すると考えれば求めることのでき、 $B_{max} = 1.1 T_{max}$ となる。従って (3)のタイプの破壊は、付着耐力が小さいときには起らないが、付着耐力が増加すれば、起こる可能性があり、事実凸デフォーメーションのPCロッドを使用した合成はり(3)のタイプの破壊を起しており、その耐力も図-7中に示されるようになり増加している。

6. 合成はり)とRCはりの等価性について

これまで述べたように、合成はりの力学的諸特性は $E \times A$ を同じくするRCはりとはほとんど同様であり、又補強材の付着性もよく一致あることが明らかにされた。したがって、PCロッドを用いた合成はりの設計においては許容曲げモーメントを始め、棒々の考慮を必要とするが、次式で求められる鉄筋量をもち鉄筋コンクリートはり)とおおよそ同程度の力学的性状を示すと考えてよいと思われる。

$$A_s = \frac{E_{ROD}}{E_s} \times A_{ROD} \div \frac{1}{6} \times \text{PCロッド断面面積}$$

図-9 PCロッドの片引試験結果の一例

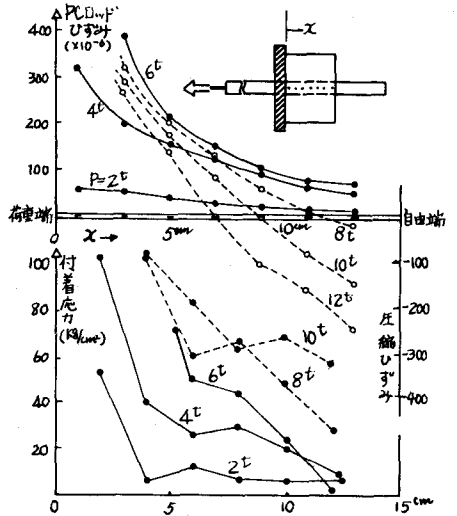


図-10 PCロッドと異型鉄筋の付着性状の比較

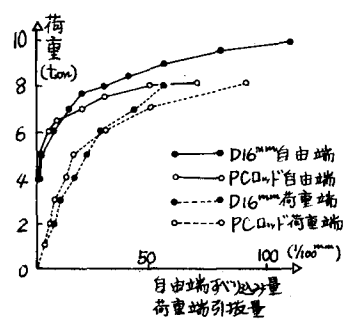


表-1 片引試験結果

	最大引張荷重 (ton)	平均付着応力 (kg/cm ²)
凹デフォーメーション	8.0, 8.1	53, 54
凸デフォーメーション	12.8, 9.2	85, 61
デフォーメーションなし	7.0, 5.2	47, 35
D16mm	10.7, 10.0	142, 133

図-11 片引試験から得られたT-Sカーブ

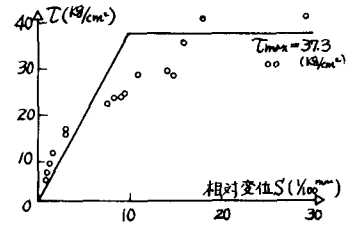


図-12

