

RPC埋設型枠の曲げ性能に関する研究

(社) プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員 渡辺 浩良
 同 上 正会員 岡田 昌之
 同 上 正会員 阿部 浩幸
 同 上 正会員 ○佐藤 重一

1. はじめに

近年、ますます土木構造物の耐久性の向上および建設コストの縮減が求められるようになり、耐久性向上技術や低コスト化、省力化施工のための技術開発が盛んに行われるようになった。 (社) プレストレスト・コンクリート建設業協会では、圧縮強度が 200MPa で高い曲げ強度を有するモルタル材料に着目し、これをPC橋の床版を構築するための埋設型枠 (図-1) として利用することを検討してみた。このモルタル材料は、セメントを基材とした反応性微粉末を使用した無機系複合材料

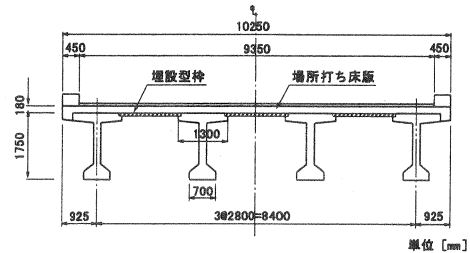


図-1 埋設型枠のPC橋への適用例

(Reactive Powder Concrete 以下 RPC) に鋼繊維や有機繊維を混入したもので、超高強度、高靱性、高耐久性を実現できる材料として期待されているものである。RPCの埋設型枠への使用は、床版をPC床版とすることで床版厚を薄くすることができるので上部構造の軽量化につながり、経済性、耐震性を向上させることができると考えられる。さらに、高強度材料であることから、耐久性の向上も期待できる。本研究では、RPCを使用材料とした埋設型枠 (以下、RPC埋設型枠) の製作ならびにこれにコンクリートを打設してプレストレスを導入した部材を製作し、各々の曲げ性能の調査を目的に曲げ載荷試験を行った。また、併せてRPCの圧縮強度および曲げ強度試験を行った。

2. RPC埋設型枠の形状および材料強度

図-2に本研究で製作したRPC埋設型枠の形状図を示す。同図には、曲げ載荷の際のひずみゲージ(URC,US,LRC)の貼付位置も示した。RPC埋設型枠の版部分の厚さは15mmとし、上部には台形状のリブを長手方向に3本設け部材の曲げ剛性を高めた。リブの高さを30mmとしたのは、RPC埋設型枠どうしを並べリブ上面に配力筋を配置したとき、目地部においてもその鉄筋の純かぶり30mmを確保するためである。版上面には、後打ちされるコンクリートとの付着性能を高めるため平均深さ3mmの凹凸を設けた。長手方向の寸法は、主桁間隔3m程度の橋梁に適用することを想定し1600mmとした。表-1にRPCの載荷試験材齢での強度試験結果を示す。ここで、圧縮強度およびヤング係数の測定は、φ5×10cmの円柱供試体を、曲げ試験では、10×10×40cmの角柱供試体を用いた。

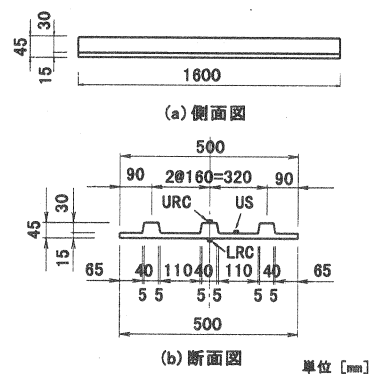


図-2 RPC埋設型枠の形状およびゲージ貼付位置

表-1 RPCの強度試験結果

圧縮強度	ヤング係数	曲げひび割れ強度	曲げひび割れひずみ
218.8 N/mm ²	53.9 kN/mm ²	17.8 N/mm ²	336 × 10 ⁻⁶

3. RPC埋設型枠 (単体) の曲げ挙動

1) 曲げ載荷試験方法

図-3にRPC埋設型枠の曲げ載荷試験状況および変位計測位置を示す。載荷は、2点曲げ載荷とした。初載荷として荷重4kNまで載荷し、一度、除荷し、再度、載荷を行い最大荷重を確認した。ひずみ計測は支間中央断面で行った。曲げ載荷試験に供した試験体数は3体であり、各試験体名をNo.1、2、3と記す。

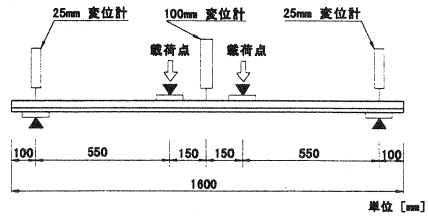


図-3 曲げ載荷試験状況および変位計測位置

2) 曲げ載荷試験結果と考察

図-4に荷重-支間中央たわみの関係を示す。ひび割れ発生前の繰り返し載荷では、荷重-支間中央たわみ曲線がループを描かず、残留変位がほとんど生じていない。ひび割れ発生までの挙動は、図中に示す弾性計算の結果と一致している。下面にひび割れが発生した後、曲線の勾配に変化が見られ、たわみの増加量が大きくなるが、繊維補強効果により荷重は増大している。

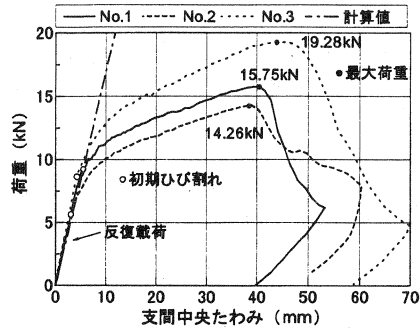


図-4 荷重-支間中央たわみ関係

図-5にひび割れ発生までの荷重-RPC埋設型枠下面ひずみの関係を示す。ひずみ測定値の変化から初期ひび割れの発生荷重を求めた。ひび割れ発生直前での曲げ引張ひずみにRPCのヤング係数を乗じた曲げ引張応力を表-2に示す。試験体No.2を除いてひび割れ発生時の曲げ引張応力は、表-1に示した曲げ試験結果とほぼ一致している。これより、RPC埋設型枠の全断面有効時での曲げ挙動は、材料の強度試験結果を用いて弾性計算によって算定することができる。ここで、試験体No.2のひび割れ発生荷重が低いのは、他の試験体に比べ下面近傍での繊維分布が少なかったことなど、材料の不均一性に起因するものではないかと考えられる。

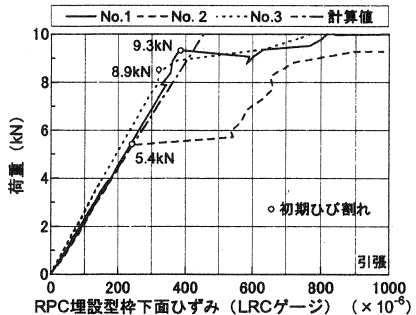
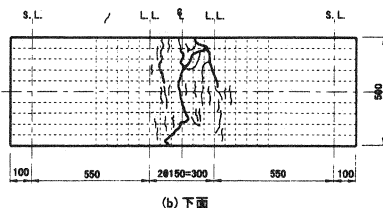
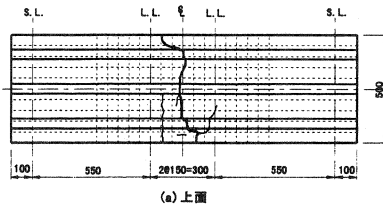


図-5 荷重-下面ひずみ関係

3) ひび割れ状況

図-6に曲げ載荷試験終了時点において、目視によって観察されたひび割れの状況を示す。ひび割れは分散していて、かつ、長さが短いものが多い。最終的な破壊面となるひび割れを除いて、支間直角方向に試験体の端から端まで連続するひび割れは確認されなかった。これは、繊維がランダムに分布して引張応力に抵抗していたためであると考えられる。リブ上面には圧縮破壊が見られた。



— : 破壊位置 — : ひび割れ 単位 [mm]

図-6 RPC埋設型枠のひび割れ状況

表-2 ひび割れ発生荷重と曲げ引張ひずみおよび応力度

試験体	荷重(kN)	ひずみ(×10 ⁻⁶)	応力(N/mm ²)
No.1	9.3	393	19.7
No.2	5.4	253	12.4
No.3	8.9	333	17.6

4. RPC埋設型枠にコンクリートを打ち足した部材の曲げ挙動

4.1 部材の形状および材料強度

RPC 埋設型枠に、部材厚が全体で 200mm となるように後打ちコンクリートを打ち足しプレストレスを導入する部材の製作を行った。部材の形状を図-7に示す。また、プレストレス導入および曲げ載荷試験でひずみ計測を行うためのひずみゲージ(URC, US, LRC, C1~C5)の貼付位置を併せて示す。ひずみ計測は支間中央断面で行った。後打ちコンクリートのプレストレス導入材齢および曲げ載荷試験材齢での圧縮強度およびヤング係数試験結果を表-3に示す。なお、RPC 自体の強度は、表-1に示す値から変化が認められなかった。

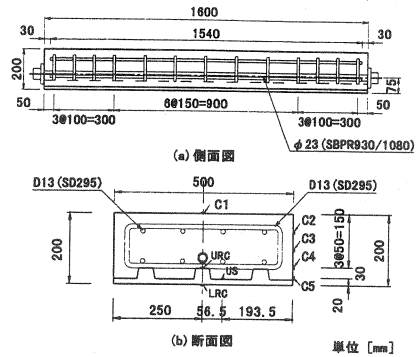


図-7 部材形状およびゲージ貼付位置

表-3 後打ちコンクリートの圧縮強度およびヤング係数

	圧縮強度	ヤング係数
プレストレス導入時	35.2 N/mm ²	27.3 kN/mm ²
載荷試験時	38.8 "	28.5 "

4.2 プレストレスの導入

図-8に 300kN のプレストレスを導入したときのひずみ分布を示す。図中の Con は後打ちコンクリート部、RPC は RPC 埋設型枠のひずみ測定値である。実線は、全断面有効時での弾性計算の結果を示す。計算に用いた断面諸量は、後打ちコンクリートのヤング係数を基準に、軸方向筋および RPC 埋設型枠の断面を考慮した換算断面とした。後打ちコンクリート部および RPC 埋設型枠に発生したひずみは、ほぼ同一の面に分布している。よって、両者はプレストレス力に対し一体となって挙動している。プレストレス導入後、シース内にグラウト充填を行った。

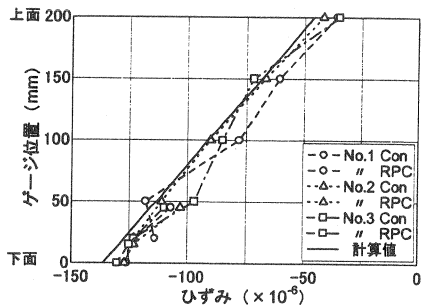


図-8 プレストレス導入直後のひずみ分布

4.3 曲げ載荷試験

1) 載荷方法

図-9に曲げ載荷試験の状況ならびに変位計測位置を示す。載荷は2点曲げ載荷とした。載荷方法は、ひび割れ発生を目視で確認した後、一度、除荷し、再度、載荷を行い最大荷重を確認した。試験に供した試験体数は3体であり、各試験体名をNo.4、5、6と記す。

2) 曲げ載荷試験結果と考察

図-10に荷重-支間中央たわみの関係を示す。ひび割れ発生までの挙動は、図中に示す弾性計算の結果に一致しており、ひび割れ発生後、部材の曲げ剛性は低下している。弾性計算は、プレストレス導入時の換算断面にPC鋼材を考慮し全断面有効として行った。

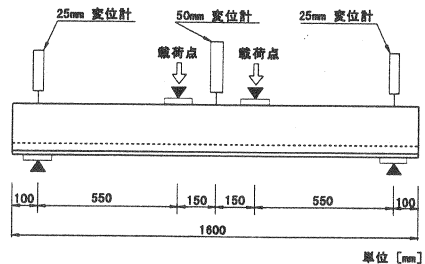


図-9 曲げ載荷試験状況および変位計測位置

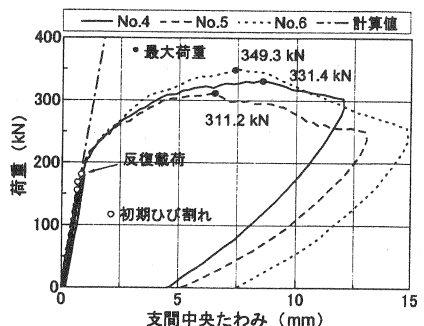


図-10 荷重-支間中央たわみ関係

図-11にひび割れ発生までの荷重-部材下面ひずみの関係を示す。表-4に、図-11に示すひずみ測定値の変化から判断したひび割れ発生荷重、部材下面ひずみとこれにヤング係数を乗じた引張応力を示す。()内の値は、プレストレスおよび自重による影響を考慮した値である。ひび割れ発生直前でのRPC埋設型枠下面のひずみは、表-2に示した単体で曲げを受けたときのひび割れ発生時のひずみよりも小さな値となっている。ここでのRPC埋設型枠は、曲げ荷重によって全断面が引張状態となり、RPC埋設型枠単体または曲げ試験用供試体の曲げ応力分布と異なるためと考えられる。

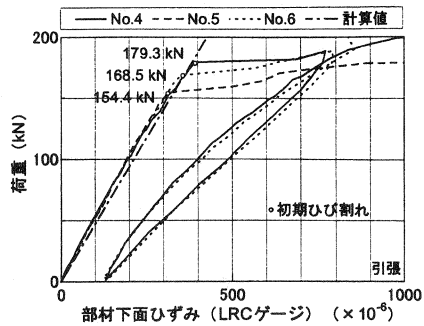


図-11 荷重-部材下面ひずみ関係

表-4 ひび割れ発生荷重およびひび割れ直前での部材下面のひずみと応力度

試験体	荷重(kN)	ひずみ(×10 ⁻⁶)	応力(N/mm ²)
No.4	179.3	395(272)	20.8(14.4)
No.5	154.4	311(184)	16.5(9.7)
No.6	168.5	351(221)	18.6(11.7)

3)ひび割れ状況

ひび割れ状況の例として試験体 No.4 を図-12に示す。初期ひび割れは、RPC埋設型枠の下面に発生し、次に、後打ちコンクリート部の下縁からひび割れが発生し進展し始めた後、RPC埋設型枠の版部分の側面にひび割れが現れ、下面から後打ちコンクリート部へ連続していないひび割れが確認された。RPC埋設型枠下面のひび割れ性状は、単体のときと同様、分散性は良好であり、ひび割れ幅は後打ちコンクリート部側面のものと比較して狭くなっていた。このことから、RPC埋設型枠はひび割れ幅制御に優れたかぶりコンクリートとしての役目を果たしており、部材全体の耐久性を向上させると思われる。破壊時では、RPC埋設型枠と後打ちコンクリートとの界面にひび割れが観測された。よって、終局状態ではRPC埋設型枠と後打ちコンクリートとは一体となって挙動していないと考えられる。

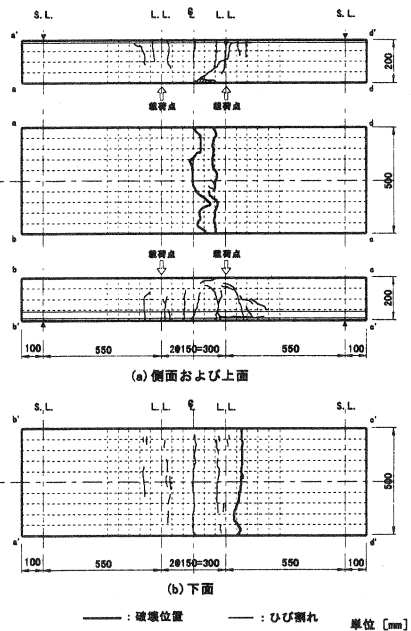


図-12 ひび割れ状況(試験体No.4)

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

(1)RPC埋設型枠のひび割れ発生までの挙動は、RPCの材料試験結果を用いた弾性解析で推定できる。(2)RPC繊維補強効果として、部材のひび割れ分散性ならびにひび割れ発生後の靱性の向上が確認された。(3)RPC埋設型枠にコンクリートを打ち足した部材は、プレストレスの導入および曲げひび割れ発生までは一体で挙動することが確認された。(4)RPC埋設型枠にコンクリートを打ち足した部材の曲げひび割れ発生応力は、RPC埋設型枠単体のものと比較して低い値を示した。

以上のようにRPC埋設型枠の静的挙動を把握することができた。今後は、輪荷重走行試験機による繰り返し荷重による動的挙動や耐久性を考慮して、鋼繊維を有機繊維に変えたときの挙動について検討する必要があると考えている。

終わりに、本研究を行うにあたり、太平洋セメント株式会社からRPCの提供を頂きました。また、試験体の製作および載荷試験をオリエンタル建設(株)技術研究所にて行いました。ここに、謝意を表します。