

鋼繊維補強コンクリートを用いたP R C橋の適用性の検討

オリエンタル建設 (株)	正会員	○武知 勉
日本道路公団	正会員	大城 壮司
オリエンタル建設 (株)	正会員 工学修士	阿部 浩幸
オリエンタル建設 (株)	正会員 工学博士	余 国雄

1. はじめに

コンクリートの引張軟化を考慮した設計は、引張抵抗材としてP C鋼材や鉄筋だけでなくコンクリート部分も考慮できるため、合理的な設計につながる可能性がある。コンクリートの引張軟化を考慮する設計では、施工方法によって品質がばらつく可能性があることから、これを考慮した安全率を用いて設計する必要がある。

鋼繊維補強コンクリートは図-1に示すように普通コンクリートと比較して引張抵抗が大きい材料である。また、P R C橋の活荷重作用時に生じる0.3mm程度のひび割れ幅の領域では、鋼繊維の引張抵抗を積極的に考慮することによって、コンクリートの引張軟化に依存せずにコンクリートの引張力を活用することができる。したがって、鋼繊維補強コンクリートをP R C橋の引張域に適用することによって、引張抵抗材としての鋼材量あるいはプレストレス量の低減が可能と考えられる。

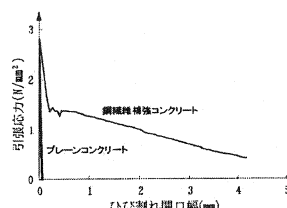


図-1 引張軟化曲線の例

本検討は、P R C橋の設計上の要所となる断面の引張域に鋼繊維補強コンクリートを用いて、ひび割れ幅あるいは鉄筋応力を制御することで、P C鋼材量の低減を期待する設計方法の適用性について検討した。また、部分的に鋼繊維補強コンクリートを用いたP R Cはりを作成し、普通コンクリートだけを用いたP R Cはりと比較した曲げ実験の結果を報告する。

2. 検討対象橋梁

検討対象とする橋梁形式は、3径間連続P R C 2主版桁橋とし、支間割りおよび断面形状を図-2に示す。主鉄筋は、上下縁ともD25 (SD345)と仮定し、主鉄筋のかぶり厚は61mm (かぶり45mm+スターラップD16)とした。鋼繊維補強コンクリートを主げた全体に適用するのは合理的でないため、普通コンクリートで設計した検討対象橋梁において鉄筋応力が120N/mm²を超える範囲を鋼繊維補強コンクリートと設定し、支間中央部および中間支点上の部分的な適用とした。鋼繊維補強コンクリートを用いたP R C橋の検討は、普通コンクリートを用いたP R C橋の鉄筋量で一定とし、P C鋼材量の減少量について検討した。

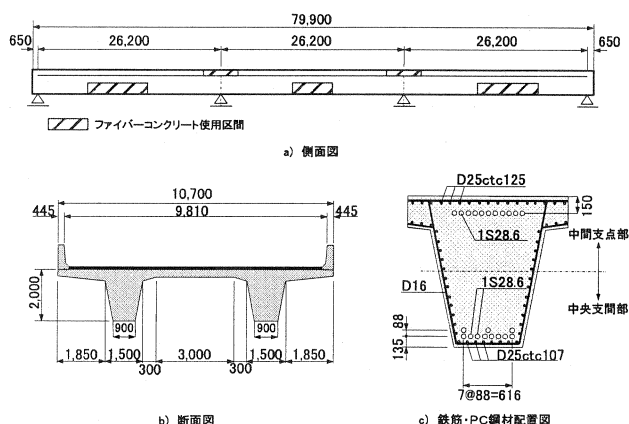


図-2 検討対象橋梁

3. 設計手法

本試設計では、鋼繊維補強コンクリートの引張特性を考慮して活荷重作用時のP C鋼材量を試算した。設計手法を下記に示す。なお、静荷重作用時および終局荷重作用時の検討は対象外とした。

- ・断面力は、コンクリートを全断面有効とした線形骨組解析により算出する。また、ひび割れ発生、降伏等の剛性変化は考慮しない。
- ・断面の耐力力は図-3に示すように、断面の平面保持を仮定し、断面を水平方向の層に分け、内力と外力が一致するまで反復を行い鋼材応力およびコンクリート応力を算出する断面計算により算定する。
- ・引張側コンクリートの引張力は次項に述べる引張特性と鋼繊維補強コンクリートの適用高さに基づいて算出する。
- ・ひび割れ幅は支間中央部で0.005C（C：かぶり）、中間支点部で0.0035Cを制限値とた。鋼繊維補強コンクリートのひび割れ幅は普通コンクリートと同様に、土木学会²⁾で示される鉄筋応力から算出する方法とした。

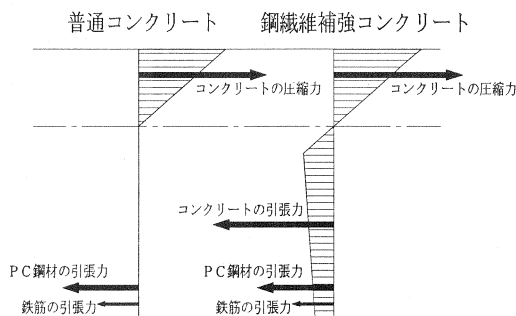


図-3 断面計算の概念図

4. 検討ケースと結果

鋼繊維補強コンクリートおよび普通コンクリートの引張特性モデルは、表-1に示す4ケースとした。これらの引張特性を用いて試設計し、CASE1 に対する各ケースのP C鋼材量の比率を表-1に示す。表中の記号 f_{tk} はコンクリートの引張強度とし、鋼繊維補強コンクリートの引張抵抗の切片は $0.55 f_{tk}$ とした¹⁾。

表-1 検討ケースとP C鋼材量の比較（活荷重作用時）

CASE	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
種 別	普通コンクリート		鋼繊維補強コンクリート	
引張特性モデル				
	引張	引張	引張	引張
備 考	引張抵抗無視 現行設計法	引張軟化を考慮 土木学会 コンクリート標準示方書	全引張抵抗考慮	鋼繊維の引張抵抗 土木学会 鋼繊維補強コンクリートモデル
活荷重作用時の P C鋼材量比率	1.00	0.73	0.55	0.55

コンクリートの引張抵抗を全く考慮しない CASE1 に対して、土木学会で示される引張軟化特性²⁾を考慮した引張特性を適用する CASE2 のP C鋼材量は73%に減少した。さらに、鋼繊維補強コンクリートとして土木学会コンクリートライブラリー¹⁾に示される引張軟化曲線を基にした引張特性を適用する CASE4 では、55%までP C鋼材量が減少した。全引張抵抗を考慮する引張特性を適用する CASE3 は、CASE4 と同じP C鋼材量となり、鋼繊維補強コンクリートの引張特性において、普通コンクリートの引張軟化による引張抵抗の影響は小さいと考えられる。

以上のように、鋼繊維補強コンクリートをP R C橋に適用することによって、P C鋼材量を減少できる可能性が得られた。

5. 部分的に鋼繊維補強コンクリートを用いたP R Cはりの曲げ実験

5. 1 試験体

試験体は図-4に示すように、P C鋼棒を配置した矩形断面とし、部分的に鋼繊維補強コンクリートを用いた試験体（F試験体）と、普通コンクリートだけを用いた試験体（N試験体）を製作した。F試験体の鋼繊維補

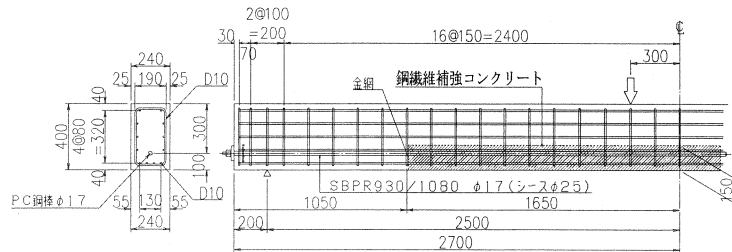


図-4 試験体形状寸法

強コンクリートの適用範囲は支間中央部の長さ3300mm、高さ150mmとした。F試験体の製作では、鋼繊維補強コンクリートと普通コンクリートの打分けのために、金網（板厚0.6mm、26mm×15mm目）を用いた。コンクリート打設は鋼繊維補強コンクリートを打設し、直ちに普通コンクリートを打設した。

5. 2 使用材料

試験体のコンクリート材料試験結果を表-2に示す。F試験体に使用した鋼繊維は長さ30mm、公称径0.6mm（ア

表-2 コンクリート試験結果（材齢24日）

種 別	設計基準強度 (N/mm^2)	圧縮強度 (N/mm^2)	ヤング係数 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)
鋼繊維コンクリート	36	39.5	2.99×10^4	4.18
普通コンクリート		43.8	3.21×10^4	3.86

スペクト比50)で、混入量は体積比率で1%とした。F試験体およびN試験体に使用したコンクリートは同じセメント水比50%とし、F試験体は良好なワーカビリティを得られるようにN試験体配合に比べ細骨材率を6.5%、単位水量を $10\text{kg}/\text{m}^3$ 増加した。曲げ実験は、材齢28日以降に行った。

5. 3 実験方法と計測

曲げ実験は図-4に示すように単純曲げ載荷とし、破壊までの単調載荷を行った。計測はひび割れ発生時にひび割れ幅が大きいものを2箇所選び、 π ゲージを取り付けてひび割れ幅の計測とした。 π ゲージを取り付けたひび割れは、ほぼ支間中央と載荷点直下のひび割れの2箇所となった。

また、下段鉄筋の支間中央部にひずみゲージを取り付けて、鉄筋ひずみを計測した。

6. 実験結果と考察

6. 1 ひび割れ幅の比較

図-5にF試験体とN試験体の荷重とひび割れ幅の関係を示す。①は載荷点直下のひび割れを、②は支間中央部のひび割れを示す。ひび割れ幅の変化にばらつきはあるが、ひび割れ幅0.30mm以下において、F試験体のひび割れ幅は同一荷重のN試験体のひび割れ幅よりも小さい結果となった。設計荷重時相当の荷重60kNにおいて①②の平均ひび割れ幅を比較すると、F試験体の平均ひび割れ幅はN試験体の平均ひび割れ幅より36%小さい結果となった。このことより鋼繊維はひび割れ幅の抑制効果を持つことを確認した。

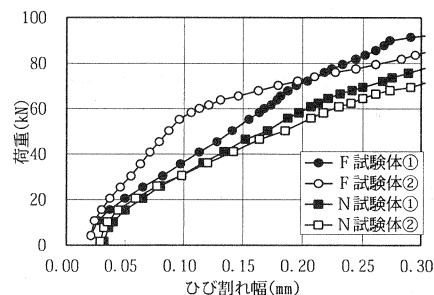


図-5 荷重とひび割れ幅の関係

6. 2 鉄筋応力の比較

図-6に荷重と鉄筋応力の関係を示す。ひび割れ発生までは鉄筋応力に違いが見られないが、ひび割れ発生以降において、F試験体の鉄筋応力は同一荷重のN試験体の鉄筋応力よりも低い結果となった。鋼繊維の効果によって鉄筋応力の増加が抑制されていると考えられる。

6. 3 鉄筋応力とひび割れ幅の関係

図-7に鉄筋応力と支間中央部のひび割れ幅の関係を示す。鉄筋応力とひび割れ幅の関係は概ね線形関係にあると考えられる。しかし、定常状態となる前のひび割れ幅の増加は近傍のひび割れの影響を受けるため不安定であることと、計測した支間中央の鉄筋ひずみは局所的な鉄筋ひずみであり、ひび割れとの関係が不明確であるため明確な関係は確認できなかった。鉄筋応力とひび割れ幅の関係を把握するためには、相関を明確に捕らえることができる計測方法が必要である。

6. 4 鋼繊維補強コンクリート界面の性状

鋼繊維補強コンクリートと普通コンクリートを打ち分けた界面には、コールドジョイントなどの異常は見られず、載荷試験破壊後においても、界面に特異なひび割れが発生していないことを目視確認した。

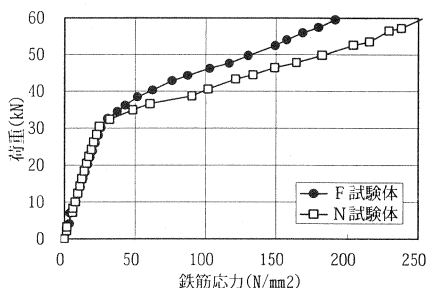


図-6 荷重と鉄筋応力の関係

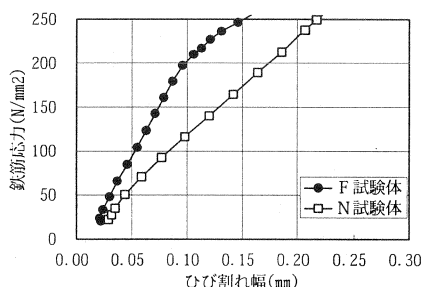


図-7 鉄筋応力とひび割れ幅の関係

7. まとめ

鋼繊維補強コンクリートを使用したP R C橋を試設計および、部分的に鋼繊維補強コンクリートを用いたP R Cはりの曲げ実験の結果、以下の知見を得た。

- 1) 普通コンクリートによるP R C橋と比較してP C鋼材量を減少させることが可能である。
- 2) 鋼繊維はひび割れ幅の増加および鉄筋応力の増加を抑制する効果を持つことを確認した。
- 3) 鋼繊維補強コンクリートと普通コンクリートを打ち分けた界面は載荷試験破壊後においても特異な変状はなく、部分的に鋼繊維補強コンクリートを用いることが可能である。
- 4) 鉄筋応力とひび割れ幅の関係を把握するためには、相関を明確に捕らえることができる計測方法が必要である。

鋼繊維コンクリートを用いたP R C橋の設計において、普通コンクリートと同様に鉄筋応力からひび割れ幅を算出する方法が考えられる。そのためには、鋼繊維補強コンクリートのひび割れ性状および、鉄筋応力とひび割れ幅の関係を普通コンクリートと同様の実験³⁾によって明らかにする必要がある。また、鋼繊維の腐食や繰返し荷重の影響も検討が必要である。これらを明確にすることによって、鋼繊維補強コンクリートのP R C橋への適用性を更に発展させることができると考えられる。

参考文献

- 1) 土木学会：鋼繊維補強鉄筋コンクリート柱部材の設計指針（案），1999. 11
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕，2002. 3
- 3) 角田与史雄：鉄筋コンクリートの最大ひび割れ幅，コンクリートジャーナル，Vol. 8，No. 9，1970. 9