

鋼繊維補強コンクリートを部分使用したPRC2主版桁橋の設計

オリエンタル建設(株)・昭和コンクリート工業(株)JV 正会員 ○村田 昌寛
 西日本高速道路株式会社 関西支社 大津工事事務所 松本 直人
 オリエンタル建設(株)・昭和コンクリート工業(株)JV 正会員 神谷 裕司
 オリエンタル建設(株)・昭和コンクリート工業(株)JV 正会員 福岡 健二

1. はじめに

第二名神高速道路池田高架橋(東工事)は滋賀県甲賀市に位置し、PRC11 径間連続2主版桁橋、PRC7 径間連続2主版桁橋、PRC3 径間連続2主版桁橋、PC5 径間連続箱桁橋の4橋からなる。

本工事においては、コスト削減を図るため、以前より研究¹⁾²⁾³⁾を進めてきた鋼繊維補強コンクリートを部材に適用することでPC鋼材を低減することのできる新しい工法を提案・実施した。

鋼繊維補強コンクリートとは、不連続の短い鋼繊維をコンクリート中に均一に分散させることにより、コンクリートのひび割れ抵抗性、曲げじん性、せん断抵抗性などの改善を図る複合材料である。今回は、鋼繊維補強コンクリートのひび割れ抵抗性にのみ着目した。また、本工事4橋のうちPRC11 径間連続2主版桁橋とPRC7 径間連続2主版桁橋の2橋に鋼繊維補強コンクリートを使用した。

本稿では、鋼繊維の引張抵抗を考慮した橋梁の設計について報告する。図-1に鋼繊維補強コンクリート部分使用の概要図を示す。

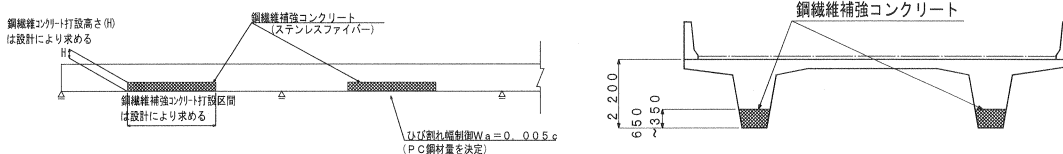


図-1 鋼繊維補強コンクリート部分使用の概念図

2. 工事概要

工事概要を以下に示す。

工事名：第二名神高速道路 池田高架橋(PC上部工) 東工事

工事箇所：滋賀県甲賀市甲南町

発注者：西日本高速道路株式会社 関西支社 大津工事事務所

施工者：オリエンタル建設(株)・昭和コンクリート工業(株) 共同企業体

構造形式：PRC11 径間連続2主版桁橋、PRC7 径間連続2主版桁橋、PRC3 径間連続2主版桁橋、PC5 径間連続箱桁橋

道路規格：第1種1級A規格

設計荷重：B活荷重

橋長：320m (11 径間), 199.5m (7 径間), 102m (3 径間), 246.5m (5 径間)

支間(m)：27.6+33.0+24.0+7@29.3+28.5 (11 径間), 27.6+5@28.5+27.6 (7 径間), 3@33.2 (3 径間), 45.6+2@43.25+68.5+44.1 (5 径間)

有効幅員：11.530m, 11.440m

縦断勾配：0.343%~2.000%

横断勾配：2.5% (11, 7, 5 径間), 4.0% (3 径間)

平面線形：R=5000~A=1500 (11, 7, 5 径間), R=3000 (3 径間)

3. 鋼繊維補強コンクリート部分使用の設計

3.1 使用材料

使用した鋼繊維は、ドックボーンタイプ (両端フック付き [φ0.6mm×30mm]) と呼ばれる形状で、鋼繊維自体の腐食を考慮して、材質はステンレス製のものを使用した。

写真-1 に鋼繊維を示す。

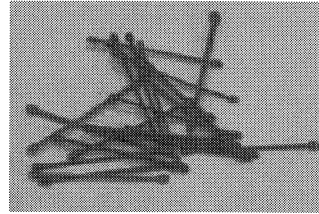


写真-1 鋼繊維

3.2 鋼繊維補強コンクリートを部分使用したPRC橋の設計概要

(1) 鋼繊維補強コンクリートの性能設定

(a) 圧縮強度特性

普通コンクリート (以下、プレーンコンクリートと表記) と同じとした。

(b) 引張強度特性

$$f_{tk} = 0.23f'_{ck}{}^{2/3} \quad (1)$$

土木学会にて鋼繊維補強コンクリートの引張特性はプレーンコンクリートに対して提案された引張強度と圧縮強度の近似式とほぼ一致することが確認されている⁴⁾ので、プレーンコンクリートと同じ式(1)とした。

(c) 引張軟化特性

過去の研究¹⁾にて、「鋼繊維補強鉄筋コンクリート柱部材の設計指針 (案)」で提案されている引張軟化曲を梁部材へ適用する場合の安全性が確認されているため、数値解析に用いる鋼繊維補強コンクリートの引張軟化曲線は、コンクリートライブラリー97「鋼繊維補強鉄筋コンクリート柱部材の設計指針 (案)」⁴⁾の引張軟化曲線 (図-2) を用いた。土木学会が提案する鋼繊維補強コンクリートとプレーンコンクリートの引張軟化曲線と過去の研究¹⁾の実験値の比較を図-3 に示す。

また、鋼繊維混入率は、「鋼繊維補強鉄筋コンクリート柱部材の設計指針 (案)」の適用範囲が混入率 1.0% 以上 1.5% 以下であることと経済性を考慮して 1.0% とした。

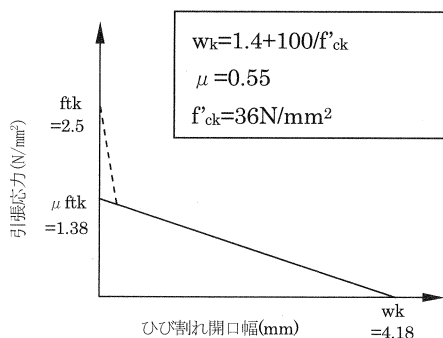


図-2 数値解析に使用する引張軟化曲線

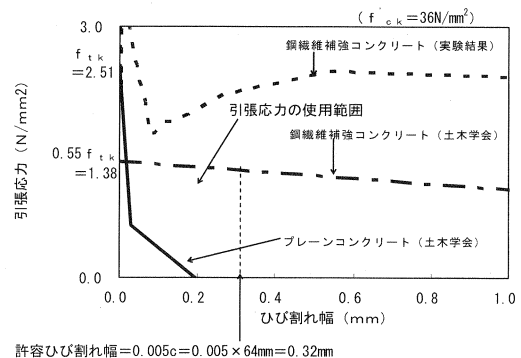


図-3 引張軟化曲線の比較

(2) 鋼繊維補強コンクリートの影響を考慮した設計項目と全体設計フロー

鋼繊維補強コンクリートを部分使用する橋梁の設計は、プレーンコンクリートとしての設計を行い、部材寸法・PC鋼材量・鉄筋量を初期の段階で仮決定する。次に、プレーンコンクリートでの状態と鋼繊維補強コンクリートを使用してPC鋼材を低減させた状態を比較して、最も経済的となる低減PC鋼材量と鋼繊維補強コンクリートの使用量を決定する。

鋼繊維補強コンクリートの効果を考慮するのは、曲げモーメントおよび軸方向力に対する検討において、

ひび割れ幅制御を行っている設計荷重時のみとした。また、鋼繊維補強コンクリートは曲げ終局耐力を高めることを実験²⁾で確認しているが、安全側の設計を行うため、曲げ終局耐力は鋼繊維補強コンクリートの影響は考慮せず、プレーンコンクリートと同様の算出方法を適用した。

図-4に一連の設計フローを示す。

(3) 鋼繊維補強コンクリートの影響を

考慮した鉄筋応力度の算出方法

鉄筋応力度は、鋼繊維補強コンクリートの引張力を考慮して算出する。鉄筋応力度の算出方法は、過去の研究における実験結果¹⁾とFEM解析および断面計算の各結果を検証した結果を基に平面保持の仮定のもと中立軸回りの圧縮力と鋼繊維補強コンクリートを考慮した引張力のモーメントが釣り合うように計算することとした。図-5に鉄筋応力度の算出概念図を示す。

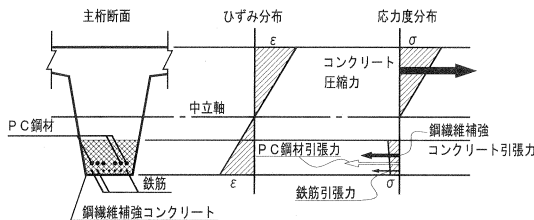


図-5 鉄筋応力度の算出概念図

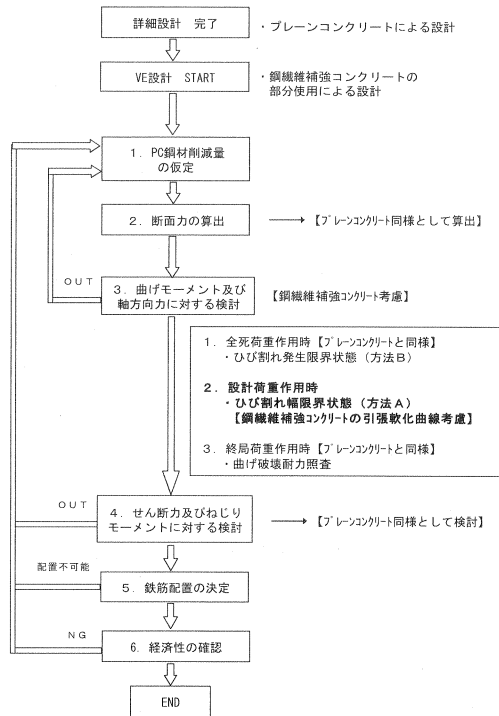


図-4 設計フロー

(4) 鋼繊維補強コンクリートの影響を考慮したひび割れ幅の算出方法

ひび割れ幅は、断面計算から求めた鉄筋応力度を用いて、下に示す土木学会の鉄筋コンクリートに対するひび割れ幅算定式⁵⁾(2)を適用して算出する。鋼繊維補強コンクリートが引張力を受け持つため、鉄筋に発現する応力度が低減され、その結果、ひび割れ幅の制御が可能となる。また、鋼繊維コンクリートはひび割れ間隔を小さくできることを実験³⁾で確認しているが、ひび割れ間隔に対する影響の定量的な評価が困難であるため、現段階では安全側となるプレーンコンクリートの算出方法を適用した。

$$w = 1.1k_1k_2k_3\{4c + 0.7(c_s - \phi)\} \left(\frac{\sigma_{se}}{E_s} + \epsilon'_{csd} \right) \quad (2)$$

ここに、

- k₁ : 鋼材の表面形状がひび割れ幅に及ぼす影響を表す係数
異形鉄筋の場合=1.0
- k₂ : コンクリートの品質がひび割れ幅に及ぼす影響を表す係数
- k₃ : 引張鋼材の段数の影響を表す係数
- c : かぶり (mm)
- c_s : 鋼材の中心間隔 (mm)
- φ : 鋼材径 (mm)
- ε' _{csd} : コンクリートの収縮およびクリープ等によるひび割れ幅の増加を考慮するための数値
- σ _{se} : 鋼材位置のコンクリートの応力度が0の状態からの鉄筋応力度の増加量 (N/mm²)
- E_s : 鉄筋のヤング係数 (N/mm²)

鉄筋ひずみの項では、鋼繊維補強コンクリートの効果はσ_{se}に考慮されている。

ひび割れ間隔の項；実験の結果より、同じ鉄筋応力度では鋼繊維補強コンクリートのひび割れ間隔はプレーンコンクリートより小さいことを確認した。しかし、定量的な評価が難しいため、現段階ではプレーンコンクリートの算出方法を適用した。

(5) 鋼繊維補強コンクリート使用範囲

鋼繊維補強コンクリートの使用高さ寸法 (H) と橋軸方向寸法 (L) は、鋼繊維補強コンクリートの引張力を考慮した断面計算と棒解析を組み合わせることで決定した。また、実施工では、鋼繊維補強コンクリートとプレーンコンクリートとが混ざりあう部分があるため、計算で算出した設計範囲に余盛りを確保して施工する(図-6)。

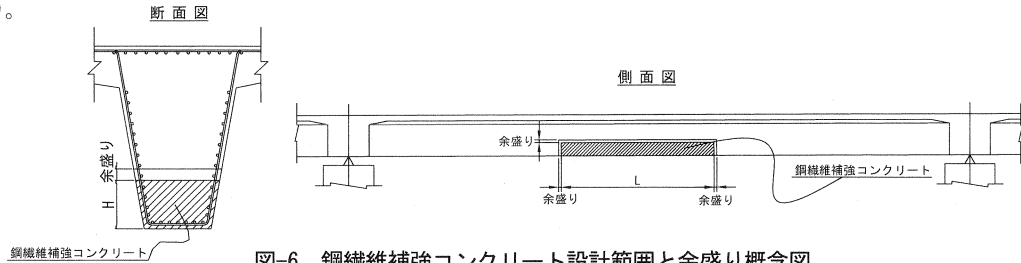


図-6 鋼繊維補強コンクリート設計範囲と余盛り概念図

(6) 鋼繊維補強コンクリートの効果

鋼繊維補強コンクリートの効果として、ひび割れ幅比較 (図-7)、PC 鋼材削減量 (表-1) の結果を示す。ひび割れ幅比較は、プレーンコンクリートにおける PC 鋼材本数を削減した結果と削減した PC 鋼材本数において鋼繊維補強コンクリートを使用した結果を表している。結果は、代表して PRC7 径間連続 2 主版桁橋の結果の一部を示す。

表-1 PC 鋼材削減量

	1S28.6 鋼材重量 (kg)	比率 ②/①	鋼繊維補強 コンクリート使用量 (m ³)
①プレーンコンクリート	27231	----	0
②鋼繊維補強コンクリート部分使用	23628	0. 87	24. 1
増減数	-3603	----	24. 1

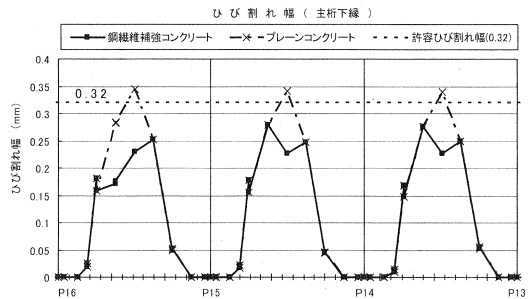


図-7 ひび割れ幅比較

4. おわりに

近年における我が国の社会情勢を背景として、社会資本整備のコスト削減の必要性が高まる中、本稿がコスト削減を図る工法の参考になれば幸いである。

また、現状において鋼繊維の需要が少ないため、鋼繊維自体の単価が高くコスト削減効果はわずかであるが、今後、鋼繊維の需要が増すことにより単価が下がり、より経済性の向上する工法になることが期待できる。最後に、今回の設計・施工において多大なご指導を頂いた関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 余国雄, 大城壮司, 阿部浩幸, 二羽淳一郎: 鋼繊維補強コンクリート部材の曲げひび割れ幅の評価に関する研究, 第 13 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, プレストレストコンクリート技術協会, pp. 165-170, 2004. 10.
- 2) 余国雄, 武知勉, 阿部浩幸, 二羽淳一郎: 鋼繊維補強コンクリートの曲げ終局耐力の評価に関する研究, 第 14 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, プレストレストコンクリート技術協会, pp. 181-186, 2005. 11.
- 3) 余国雄, 大城壮司, 阿部浩幸, 二羽淳一郎: 鋼繊維補強コンクリートの曲げひび割れに関する研究, 第 13 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, プレストレストコンクリート技術協会, pp. 159-164, 2004. 10.
- 4) 土木学会: コンクリートライブラリー97, 鋼繊維補強鉄筋コンクリート柱部材の設計指針 (案), 1999. 11
- 5) 土木学会: コンクリート標準示方書 [構造性能照査編], pp. 100-102, 2002 年制定