

## 高性能鋼繊維補強材料を用いて連続化されたプレキャスト構造に関する実験的研究

オリエンタル建設㈱ 正会員 ○阿部浩幸  
 オリエンタル建設㈱ 正会員 三浦貴洋  
 清水建設㈱ 非会員 栗田守朗  
 清水建設㈱ 非会員 吉武謙二

### 1. はじめに

工事費の削減および品質の向上を可能とするひとつの方法として、プレキャストコンクリート部材が構造物へ適用されている。プレキャスト部材の採用は、工期短縮および現場作業の省力化する利点がある一方で、継手部における配筋作業が困難という課題を持ち合わせている。この解決策として、鋼繊維を混入した高強度材料を継手に適用する新しい施工方法を提案する。すでに開発された高性能繊維補強材[1]を用いることにより、接合部鉄筋の配置作業を簡素化し、かつこれまでの半分以下の重ね合わせ長で連続化することが可能となる。また、プレストレス導入に必要な圧縮強度を材齢1日で得ることもできる。この材料をPCプレキャスト部材の接合部に適用することで、これまでは施工日数を必要とすることから難しいとされていたプレキャスト部材によるPRC構造の構築が可能となり、PC鋼材量の削減による設計の合理化ができると考えられる。本文は、橋梁上部工のプレストレストコンクリート(PC)主桁として最近注目されているU型桁を対象に、試設計によるプレキャストセグメントをPRC構造構築とすることの効果の確認と、本材料により接合された試験体の静的および疲労実験結果について報告する。

### 2. 継手部構造

本研究に用いた高性能鋼繊維補強材料は、①SFRC (Highly Flowable Steel Faiber Reinforced Concrete) : 高流動鋼繊維補強コンクリート, ②CRC(Compact Reinforced Composite) : 超高強度鋼繊維補強モルタル[2], の2種類とした。これらの材料に関するこれまでの報告より、鉄筋継手長として次のような組み合わせが考えられた。(1) CRC-3 (鋼繊維混入率: 3%容積) : 重ね継手長さ=10×(鉄筋径), (2) SFRC-1 (鋼繊維混入率: 1%容積) : 重ね継手長さ=15×(鉄筋径)である。これらの重ね継手長さは、現行設計における一般的な重ね継手長さ(鉄筋径の30倍程度)の1/2~1/3程度となる。このことにより、従来の継手部の必要長さを縮小できること、さらに、鉄筋を隣合わせて配置する必要がないことから施工性が向上することが予想される。それぞれの材料は、材齢1日で30N/mm<sup>2</sup>以上の圧縮強度を発現するように配合設計をおこなった。

### 3. PRC構造U型合成桁橋の試設計

#### 3.1 試設計条件

PC構造を基本設計とし、高性能鋼繊維補強材料を用いるPRC構造のPC鋼材削減の効果を確認するために試設計を行った。モデルはプレキャストセグメント桁を架設後、場所打ち床版と合成して荷重に抵抗するプレキャストU型合成桁橋とし、PC鋼材の配置を内外併用方式とする連続構造とした。現状のPC橋において最も工事費の削減と工期短縮・省力化の効果が期待される中規模スパンを対象とするために支間は50mとし、セグメント架設方法はベントを利用したクレーン架設を想定している。モデルとした橋梁の構造一般図を図-1に示す。PC構造と比較するにあたりPRC構造は以下の設計方法を用いた。

- PC構造の断面力解析により得られた断面力を使用し、部材設計を行った。ただし、PRC構造はセグメント目地部において鉄筋が連続しているものとして行った。また、コンクリート標準示方書に準じたひび割れ幅の検討を行った。
- 高性能繊維補強材料はSFRCとし、設計基準強度は主桁コンクリートと同等のものとした。
- 外ケーブルによる連続化構造とし、使用するPC鋼材は内外ケーブルともに12S15.2とした。

・主鉄筋はD25とし、目地幅は15D+50mm=425mmとした。

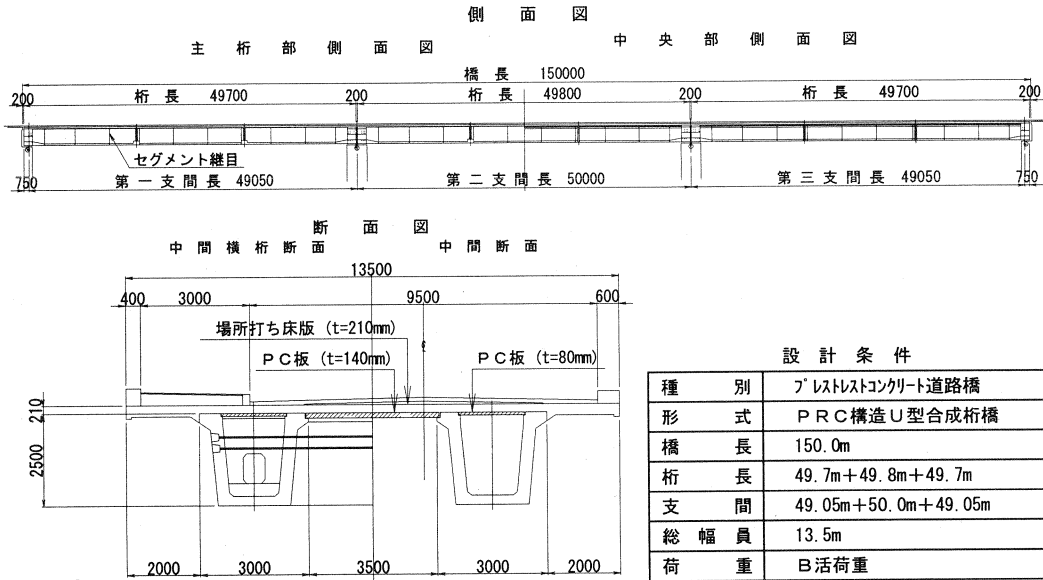


図-1 構造一般図

### 3.2 試設計結果

試設計の結果より鋼材数量の1橋あたりの増減比較を表-1に示す。また、それぞれの構造の支間中央でのPC鋼材配置を図-2に示す。外ケーブルに関しては連続化に使用していることから削減することはできなかったが、内ケーブルに関しては約27%の削減が可能であった。ただし、PRC構造となることから鉄筋量は増大する。この結果から高性能繊維補強材料を使用することにより、プレキャストセグメント目地をPRC構造とすることは、PC鋼材量を削減でき、全体の工事費の低減ならびに省力化を図ることが可能となる。

表-1 鋼材量増減比較

	PC構造 (kg)	PRC構造 (kg)	増減率
PC鋼材 (内ケーブル)	58723.8	43045.6	-26.7%
PC鋼材 (外ケーブル)	15837.8	15837.8	0.0%
鉄筋	181859.6	218846.0	20.3%

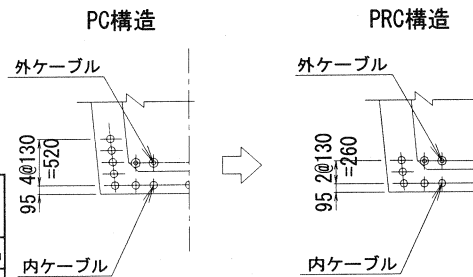


図-2 PC鋼材配置

## 4. 静的および疲労実験

### 4.1 試験体

試験体パラメータは、前述した2種類の継手部材料と鉄筋の継手長さとした。表-2に試験体の種類を示す。静的および疲労試験を行うために、それぞれのタイプにつ

表-2 試験体パラメータ

試験体 No.	試験体名	目地材料	目地幅 (mm)	鉄筋重ね長さ (mm)	最大耐力 (kN)	備考
1	WOJ-5-S	-	-	-	317	静的 一体モデル
2	CRC-5-10d-S	CRC	200	10D 160	308	静的
3	CRC-5-10d-F	CRC	200	10D 160	306	疲労
4	SFRC-5-15d-S	SFRC	280	15D 240	299	静的
5	SFRC-5-15d-F	SFRC	280	15D 240	321	疲労

表-3 材料強度試験結果

	プレ導入時		試験開始時		
	圧縮強度 ( $N/mm^2$ )	圧縮強度 ( $N/mm^2$ )	弾性係数 ( $N/mm^2$ )	引張強度 ( $N/mm^2$ )	曲げ強度 ( $N/mm^2$ )
CRC	72.8	125.4	39833	11.83	13.35
SFRC	54.4	98.2	38567	8.46	11.09
PCa	59.3	61.6	33900	3.53	5.85

いて各2体と比較のために継手部を設けない試験体の1体を製作した。試験体形状と配筋図を図-3に示す。試験体は、高さ500mm幅385mmの矩形断面、長さ5.5mで、長さ中央部に継手部を設けている。継手部には、引張鉄筋としてD16(降伏強度354 $N/mm^2$ )のみが、隣り合う鉄筋が接触することなく40mmの中心間隔で配置した。継手部長さおよび鉄筋ラップ長は、それぞれCRCで200mmおよび160mm, SFRCで300mmおよび240mmである。PCa主桁構造を対象として試験体下縁に5 $N/mm^2$ の圧縮応力が発生するように、 $\phi 26$ のPC鋼棒を偏心量80mmの位置に外ケーブル配置し、継手材料打設1日後にプレストレス導入を行った。

#### 4.2 荷重方法

実験は、支間5m単純支持状態で荷重スパン0.6mの2点荷重を行った。静的荷重ステップは、死荷重相当として継手下縁引張応力が0 $N/mm^2$ となる計画荷重61kNおよび活荷重相当として下縁応力3 $N/mm^2$ となる荷重106kNで一旦除荷し、その後破壊までの漸増荷重とした。疲労荷重は、静的荷重と同じ荷重条件で死荷重相当荷重と活荷重相当荷重の振幅で200万回の定点点荷重を行い、その後、破壊までの静的荷重を行った。表-3にプレストレス導入時および疲労荷重開始日の材料強度試験結果を示す。

#### 4.3 実験結果と考察

図-4に疲労荷重後に行った静的実験破壊時のCRCとSFRCおよび一体打ち試験体のひび割れ状況を示す。ひび割れ分散状況はそれぞれ

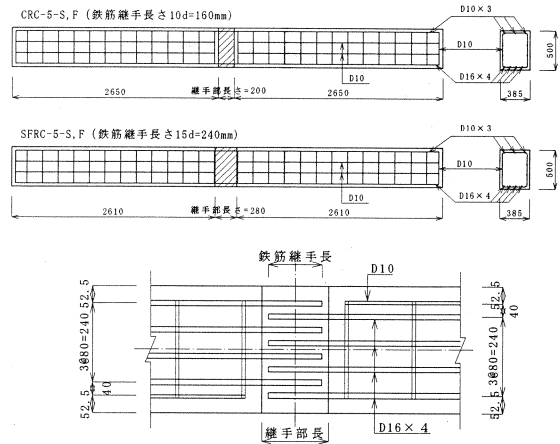


図-3 試験体寸法と配筋図

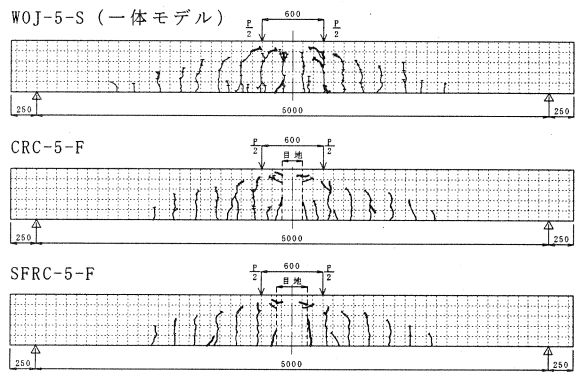


図-4 ひび割れ状況

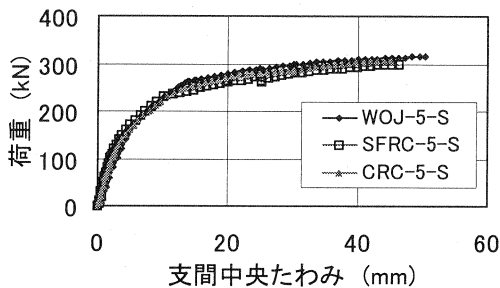


図-5 荷重とたわみ(疲労荷重無)

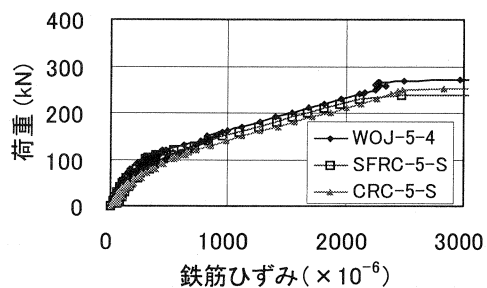


図-6 引張鉄筋ひずみと荷重(疲労荷重無)

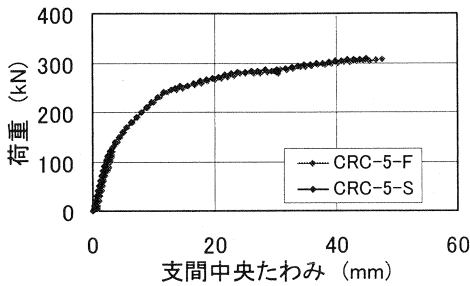


図-7 CRC 疲労載荷前後の曲げ挙動比較

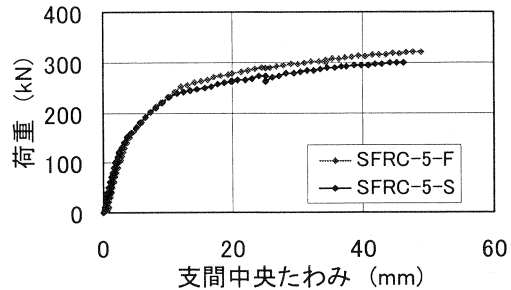


図-8 SFRC 疲労載荷前後の曲げ挙動比較

れの試験体で大きな違いはなく、間隔および本数ともに一体打ちのものとはほぼ同等であった。また、疲労載荷時、継手部接合面にひび割れは確認されず載荷位置近傍のPCa部材部分に発生していたこと、かつ、継手部は破壊まで健全であった。以上のことから、疲労載荷により継手部はほとんど影響を受けずに強固であり、かつPCa部材の連続性が確保されていたと言える。図-5に疲労載荷を行わずに静的載荷を行った荷重とたわみの関係を示す。継手のある試験体は、一体打ちの試験体と同等の曲げ性能を示し、かつ、破壊荷重も一体打ちと比較して約6%異なるだけであった。図-6に接合面近傍の引張鉄筋ひずみと荷重の関係を示すが、一体打ちとほぼ同様の荷重で降伏していることがわかる。このことより、継手部において鉄筋が連続化され引張抵抗材として機能していることが確認された。図-7および8は、荷重とたわみの関係を疲労載荷の有無によって比較したものである。それぞれの試験体で、ほとんど同じ曲げ性状を示していることがわかる。このことより、疲労載荷により継手部はほとんど影響を受けないと考えられる。図-9にSFRC試験体引張鉄筋ひずみの疲労載荷の有無による比較を示す。疲労載荷時に鉄筋ひずみが多少増加したことにより、荷重約120kNまでは疲労前に比べ多少大きな値を示すが、それ以降はほとんど同じ挙動を示している。このことから、疲労載荷後においても継手部の鉄筋を連続化する性能が十分に確保されていると言える。

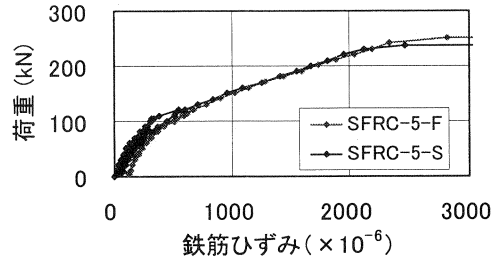


図-9 SFRC 疲労載荷前後の引張鉄筋ひずみの比較

## 5. まとめ

高流動鋼繊維材料を用いた継手構造について今回行った設計検討および実験より、確認された事項を以下に示す。

- (1) 本施工方法を採用することにより、PC鋼材量を27%低減することが可能であると試算された。
- (2) CRCおよびSFRCを使用し、鉄筋の継手長さをそれぞれ10Dおよび15Dとして連続化した桁は、継手のない一体構造物とほぼ同じ曲げ性能を有している。
- (3) 同桁は、200万回疲労試験後においてもその曲げ性能にほとんど違いがない。
- (4) 継手部の鉄筋付着状況は疲労による影響はなく、鉄筋降伏以降においても十分付着力が保持されていた。

## 参考文献

- [1] 吉武ほか: 高強度鋼繊維補強材料で接合されたプレキャストコンクリートのはりの曲げ挙動, コンクリート工学年次論文集, Vol. 23, No. 3, pp. 859-864, 2001
- [2] M. Kurita, etc: Properties of steel fiber-reinforced cementations composites with 70 to 180 N/mm<sup>2</sup> of compressive strength, Proceedings of the first fib congress 2002, Vol. 2