

平成21年6月2日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19360199

研究課題名（和文） PRC部材のせん断ひび割れに関する研究

研究課題名（英文） Shear Cracks of Prestressed Reinforced Concrete Members

研究代表者

睦好 宏史 (MUTSUYOSHI Hiroshi)

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：60134334

研究成果の概要：鉄筋コンクリートにプレストレスを導入した（PRC）部材のせん断ひび割れについて以下のことが明らかとなった。

- 1) せん断ひび割れ幅は、せん断補強筋補強筋ひずみと強い相関を示す。
- 2) せん断ひび割れ幅は、RCにおいてはコンクリートの圧縮強度の影響は見られないが、PRCにおいては小さくなる。
- 3) せん断ひび割れ幅を水平および垂直成分に分解して、せん断補強筋ひずみを用いることによって、かなりの精度でRCおよびPRCはり部材のせん断ひび割れ幅を計算出来る手法を開発した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
2008年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
総計	9,100,000	2,730,000	11,830,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：PRC、せん断ひび割れ幅、超高強度コンクリート

## 1. 研究開始当初の背景

近年、コンクリート橋は我が国における全橋梁数の半数以上を占めるに至っている。その中で、プレストレストコンクリート（以下PC）橋はコンクリート橋の約7割を占めている。一般に、スパンが50mを超える場合にはポステン方式のPC橋が用いられ、それ以下の場合（30～50m）には経済性などを考慮してプレストレスを導入した鉄筋コンクリート橋（以下PRC）が用いられることが多い。PRCはプレストレスによってひび割れ幅を制御する構造形式で、RC橋よりもスパンを長くすることができ、PC橋よりも経済性に優れている。一方、PRC構造はひび割

れを許容する構造形式であるため、外力、コンクリートの収縮やクリープによる曲げおよびせん断ひび割れ幅を精度よく求める照査法あるいは解析技術が必要である。また、箱桁断面として用いた場合には、通常のRCよりもウェブ厚が薄くなり、せん断ひび割れ（斜めひび割れ）が生じやすくなる。最近、実PRC橋梁において、完成後、許容ひび割れ幅を超える大きなひび割れが多数発生したケースが報告されており、PRC橋のひび割れ制御について大きな問題が露呈することとなった。PRC橋は現在においても数多く計画されており、安全なひび割れ幅の照査法の確立ならびにひび割れを制御する手法

を早急に開発することが喫緊の大きな課題である。

## 2. 研究の目的

本研究は最近大きな問題となっているPRCおよびRC部材のせん断ひび割れについて以下のことを明らかにしようとするものである。

1) 外的作用（外力（静的と疲労荷重））下において、各種要因（プレストレス量、せん断補強筋量、軸方向鉄筋量、コンクリート強度等）がせん断ひび割れに及ぼす影響を定性的および定量的に明らかにする。

2) 各種ひび割れ制御技術（短繊維、膨張セメント等）がせん断ひび割れに及ぼす影響を実験的に明らかにする。

4) PRC部材のひび割れ幅を求める解析手法を開発するとともに実設計に用いるための照査法を開発する。

## 3. 研究の方法

せん断ひび割れ性状およびひび割れ幅を明らかにするために、RCおよびPRCはり部材を製作して、載荷実験を行った。供試体寸法および配筋図を図-1、供試体諸元を表-1に示す。供試体は高さ500mm、ウェブ幅150mmのI型断面で、長さ3600mmの梁部材である。せん断補強筋として左せん断スパンにD6、右側せん断スパンにD10鉄筋を125mmで配置し、左側せん断スパンでせん断補強筋ひずみおよびせん断ひび割れ幅を測定した。せん断補強筋に、ウェブ高さの範囲で7つのひずみゲージを添付した。せん断ひび割れ幅の測定はデジタルマイクロスコープを用いて行った。

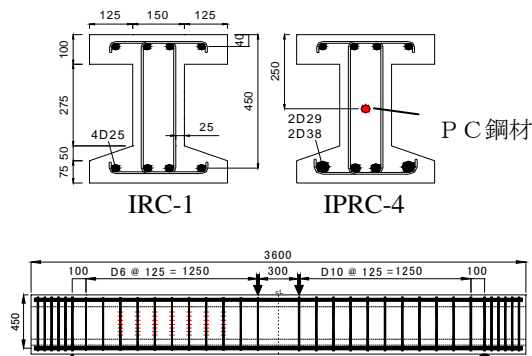


図-1 供試体寸法、配筋図

表-1 供試体諸元

	$f_c$ ( $N/mm^2$ )	PC鋼材		せん断補強筋間隔 (mm)	主鉄筋 ps (%)
		$\phi p$ (mm)	$\sigma_{c,ps}$ ( $N/mm^2$ )		
IRC-1	40.3	-	-	125	1.13 (4*D25)
IPRC-4	43.2	$\phi 26$	3	125	1.98 (2D29, 2D38)
HIRC-1	82.5	-	-	125	1.13 (4*D25)
HIPRC-4	103.2	$\phi 26$	3	125	1.98 (2D29, 2D38)

次に、実験から得られた、せん断ひび割れ幅について、定性的、定量的検討を行い、せん断ひび割れ幅に影響を及ぼす要因を明ら

かにした。また、せん断ひび割れ幅を定量的に求める手法を提案した。さらに、圧縮場理論に基づいた解析手法に手法により、せん断ひび割れ性状を解析的に求め、実験値と比較検討した。

## 4. 研究成果

### (1) せん断力と最大せん断ひび割れ幅

図-2 にせん断力と最大せん断ひび割れ幅の関係を示す。プレストレスによりせん断ひび割れ発生荷重が大幅に増加することが明らかである。高強度コンクリートではRCとPRCの双方においてわずかながらせん断ひび割れ発生荷重が増加した。HIPRC-4とIPRC-4

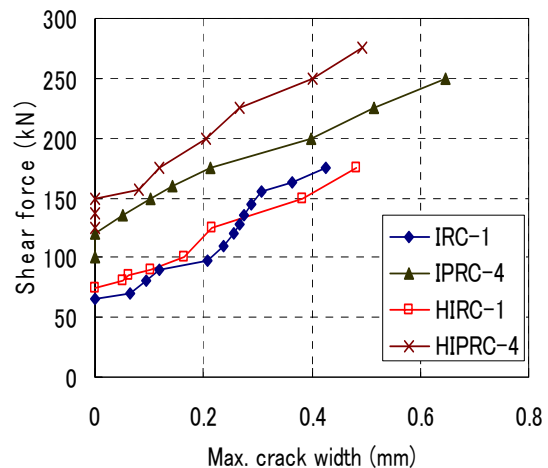


図-2 せん断力-最大せん断ひび割れ幅

を比較すると、高強度コンクリートであるHIPRC-4の方がせん断ひび割れ発生後、ひび割れ幅の増加の割合がわずかながら小さくなった。HIPRC-4では、IPRC-4に比べ長手方向に対するひび割れ角度が小さくなり、せん断ひび割れに対しせん断補強筋が有効に働いたためせん断ひび割れ幅が小さくなったと考えられる。

図-3 はせん断ひび割れ幅とせん断補強筋ひずみの関係を示したもので、図中の線はデータを直線近似したものである。いずれの供試体においてもせん断ひび割れ幅は大きくばらついている。RCでは高強度コンクリートの方がせん断ひび割れ幅がわずかに大きい方がせん断ひび割れ幅は小さくなっているが、実験値のばらつきを考慮に入れるとコンクリートの圧縮強度による影響は小さいと推察される。RCのせん断ひび割れ幅よりもPRCのせん断ひび割れ幅が小さくなっているのは、せん断補強筋が有効に働いたことと、PRCでは主鉄筋比が大きかったため部材としての変形が小さく、せん断ひび割れ幅拡大を抑制したことによるものと考えられる。

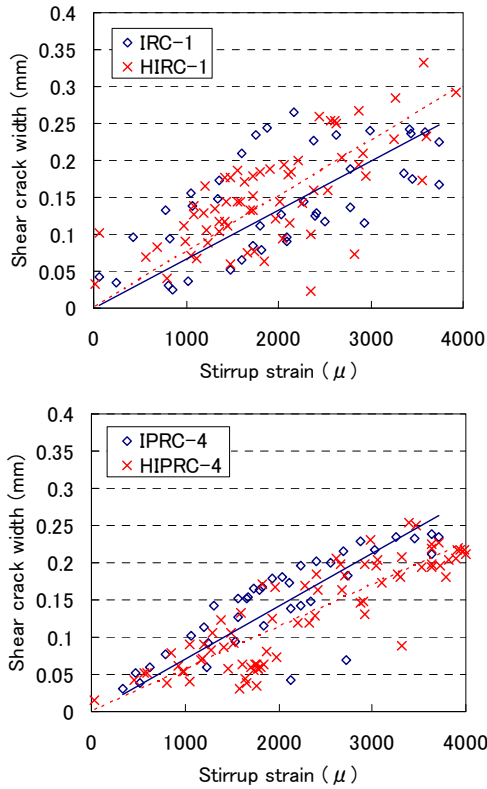


図-3 せん断ひび割れ幅—せん断補強筋ひずみ

以上の実験結果に基づいて、せん断ひび割れ幅の定式化を行った。せん断ひび割れ幅を定量的に求める手法はいくつか提案されているが、精度よい方法は未だないと言える。ここでは、CEB-FIP Model Code (1978)を参考にして、せん断ひび割れ幅算定式を提案した。

$$w_k = k_w s_{m\theta} \varepsilon_w$$

ここに、

$w_k$ : 平均せん断ひび割れ幅

$k_w$ : せん断補強筋の配筋角度による係数 (垂直スタールップ: 1.2、軸方向と  $45^\circ \sim 60^\circ$  の角度を持つせん断補強筋: 0.8)

$\varepsilon_w$ : せん断補強筋のひずみ

$s_{m\theta}$ : 平均せん断ひび割れ間隔で以下の式によって表される。

$$s_{m\theta} = \left\{ \frac{1}{\frac{\sin \theta}{s_{mx}} + \frac{\cos \theta}{s_{my}}} \right\}$$

ここに、

$$s_{mx} = 2\alpha_1 \left[ c_x + \frac{s_x}{10} \right] + k_1 k_2 \alpha_1 \frac{d_{bx}}{\rho_x}$$

$$s_{my} = 2\beta_1 \left[ c_y + \frac{s_y}{10} \right] + k_1 k_2 \beta_1 \frac{d_{bv}}{\rho_v}$$

$s_{mx}$  および  $s_{my}$  はそれぞれ、せん断ひび割れの水平および垂直方向のひび割れ間隔である。(その他の記号の意味は発表論文①参照)。

上式によって、せん断補強筋のひずみが分かれば、せん断ひび割れ幅を計算することができる。せん断補強筋のひずみは、せん断力が分かればトラス理論から計算することができる。

図-4は、提案式から求まるせん断ひび割れ幅の計算値と実験値をRCはりとしてPRCはりについて示したものである。計算値は実験値よりやや大きめの値を示しているが、両者は概ねよく一致しており、これまでのどの提案式よりも精度が良いと言える。

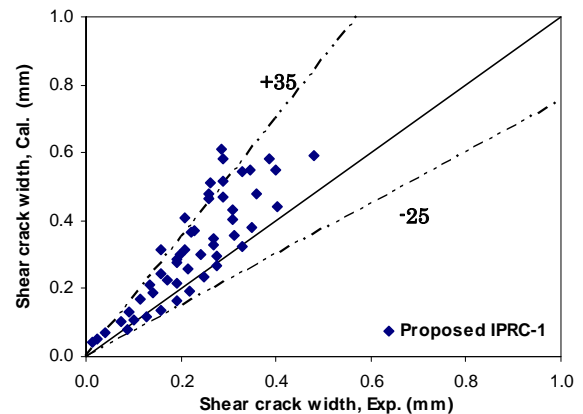
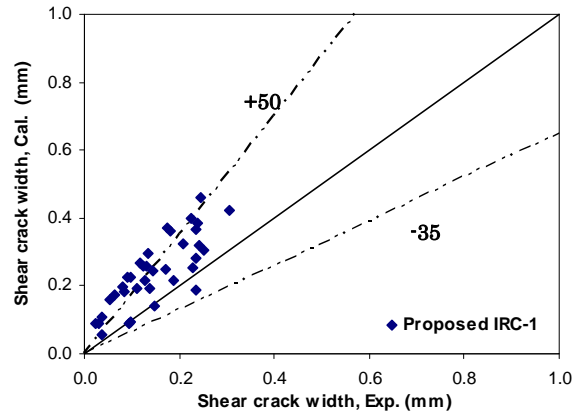


図-4 せん断ひび割れ幅の計算値と実験値の比較

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

①Sudhira DE SILVA, Hiroshi MUTSUYOSHI and Eakarath Wichukreangkrai : Evaluation of Shear Crack Width in I-Shaped Prestressed Reinforced Concrete Beams, Advanced Concrete Technology, Vol. 6, No. 3, pp. 443-458, 2008 (査読有)

②前川敦・睦好宏史・Sudhira De SILVA・浅本晋吾 : 超高強度コンクリートを用いたPRCはりのひび割れ性状、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 30, No. 3, pp. 637-642, 2008 (査読有)

③浅本晋吾・篠崎裕生・三上浩・睦好宏史 : 長期屋外乾燥させたPRC梁の曲げひび割れ性状に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 30, No. 3, pp. 559-564, 2008 (査読有)

④Sudhira De SILVA, Hiroshi Mutsuyoshi, Shingo Asamoto and Atsushi Maeakawa : Shear Cracking Behavior of Ultra-High-Strength Prestressed Reinforced Concrete Beams, Proceedings of the Japan Concrete Institute, Vol. 30, No. 3, pp. 823-828, 2008 (査読有)

⑤Sudhira De SILVA, Hiroshi Mutsuyoshi, Shingo Asamoto and Atsushi Maeakawa : Cracking Behavior of Ultra-High-Strength Prestressed Reinforced Concrete Beams, The 8th International Symposium on the Utilization of High-Strength and High-Performance Concrete, pp. 667-674, 2008 (査読有)

⑥高木 真由子, 睦好 宏史, De Silva Sudhira, 浅本 晋吾、高強度コンクリートを用いたPRC

梁におけるひび割れ特性、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 20, pp. 577-582, 2007 (査読有)

⑦Sudhira DE SILVA, Hiroshi MUTSUYOSHI, Shingo ASAMOTO, and Mayuko TAKAGI, Shear Cracking Behavior of High-Strength Prestressed Reinforced Concrete Beams, Proceedings of the Japan Concrete Institute, Vol. 20, pp. 679-684, 2007 (査読有)

[学会発表] (計1件)

①Lam Huu Quang, Hiroshi Mutsuyoshi, Chee Khoo Ng, Ha Minh, Sudhira De Silva and Atsushi Maekawa: Experimental Study on Shear Response of Ultra High Strength Prestressed Reinforced Concrete Beams, the 10th International Summer Symposium, September 18, 2008, JSCE Headquarters, Tokyo, Japan

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

睦好 宏史 (MUTSUYOSHI HIROSHI)  
埼玉大学・理工学研究科・教授  
研究者番号：60134334

### (2) 研究分担者

牧 剛史 (MAKI TAKESHI)  
埼玉大学・理工学研究科・准教授  
研究者番号：60292645  
浅本 晋吾 (ASAMOTO SHINGO)  
埼玉大学・理工学研究科・助教  
研究者番号：50436333  
HA MINH (HA MINH)  
埼玉大学・理工学研究科・助教  
研究者番号：30431729