

報告

[2009] PRC 桁のひびわれに関する調査研究

正会員 石橋忠良 (JR東日本 東北工事事務所)
 正会員 O 佐藤 収 (JR東日本 東北工事事務所)
 米内昭夫 (JR東日本 東北工事事務所)

1. まえがき

鉄道橋においてRC桁とPC桁の使用区分は、スパン25m前後としている。これは、施工したスパン25mをこえる一部のRC桁に比較的大きなひびわれを発生する例が、しばしば見られたためである。

本報告は、RC桁のひびわれ制御を目的として膨張コンクリートを用いたRC桁1連およびRC桁にアウトケーブルでプレストレスを導入したPRC桁2連の合計3連についてひびわれ制御の効果について述べるものである。

2. 調査橋りょうの概要

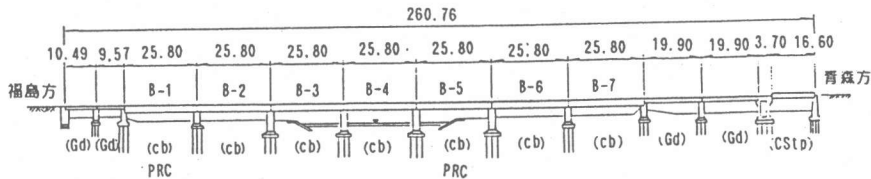
本調査橋りょうの全体図を、(図-1)に示す。当初、RC桁を施工したら多数のひびわれが生じ、樹脂注入により補修せざるをえなかった。そのため、膨張コンクリートを用いた同一設計のRC桁とアウトケーブルを用いてプレストレスを導入したPRC桁を施工した。この膨張コンクリートを用いたRC桁(B-2)1連と、PRC桁(B-1)(B-5)の2連の合計3連のひびわれ調査結果について報告する。

RC桁(B-2)は引張鉄筋にD32(SD35)を60本使用し、PRC桁(B-1)(B-5)は引張鉄筋にD32(SD35)をそれぞれ50本と54本使用している。

膨張コンクリートの示方配合を、(表-1)に示す。

PRC桁(B-1)と(B-5)には、PCケーブル(SWPR7B12T12.7)をそれぞれ3本と2本をアウトケーブルとして使用し、1本当り120tのプレストレスを導入した。

尚、アウトケーブルは樹脂パイプに入れグラウトされ、桁のひびわれの影響を受けない構造となっている。

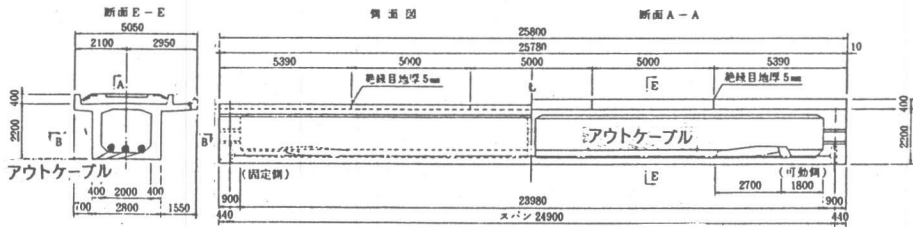


(図-1) 橋りょう全体図

(表-1) コンクリートの示方配合

設計基準強度 (kg/m ²)	セメント (普通ポルトランド) セメント (kg)	水 (kg)	細骨材 (kg)	粗骨材 (kg)	混和剤 (Poz No70) (kg)	流動化剤 (NP-20) (kg)	膨張材 (CSA100R) (kg)
240	287	168	789	1002	0.793	1.522	30

3連の桁の設計条件および断面寸法は、同一である。橋桁一般図を、(図-2)に示す。



(図-2) 橋桁一般図

PRC桁の設計は、曲げに対する検討以外は通常のRC桁の設計と同様である。

曲げに対する検討方法を以下に示す。RC桁の設計は、(図-3)に示す断面において

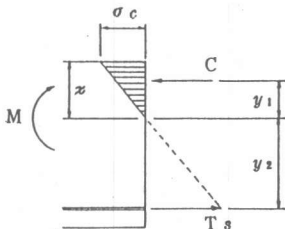
$$C = T s \quad (\Sigma N = 0)$$

$$C \cdot y + T s \cdot y = M \quad (\Sigma M = 0)$$

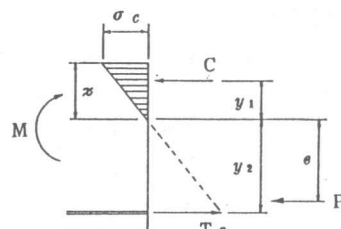
という条件のもとで中立軸を求め、コンクリートおよび鉄筋の応力度を算出している。

PRC桁の設計は、上記にPC鋼材による偏心軸力を加えることにより荷重と逆方向の曲げモーメントを作用させて設計曲げモーメントを低減し、鉄筋コンクリートの断面の設計を行うものである。この場合の設計曲げモーメントMは、

$$M_0 = M - P \cdot e \quad (\text{図-4参照}) \text{となる。}$$



(図-3) 鉄筋コンクリート断面



(図-4) 偏心軸力が作用する鉄筋コンクリート断面

上記の設計手法より計算された各橋桁の中央断面の応力度を、(表-2)に示す。

(表-2) 応力度一覧表

(単位: Kg f / cm²)

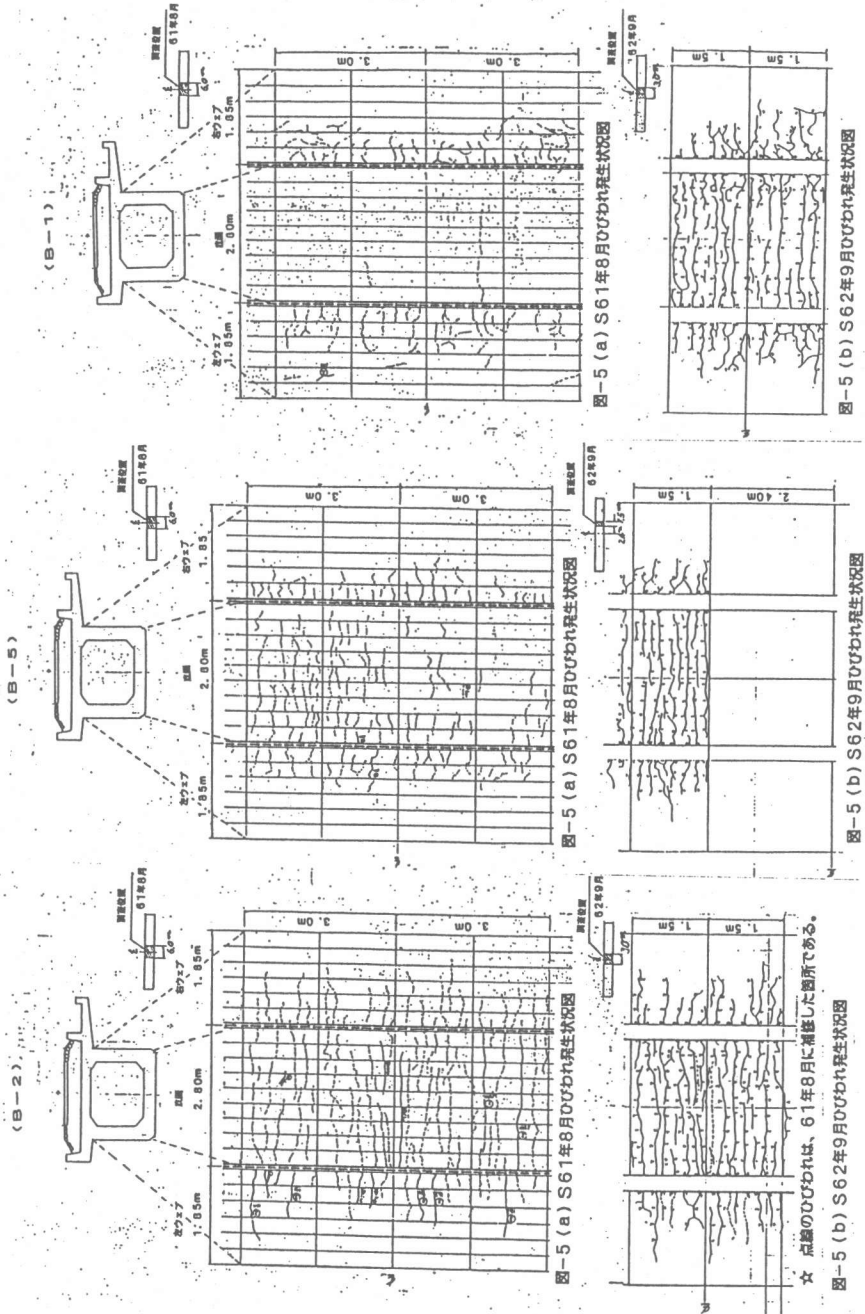
項 目	桁 番 号	RC (B-2)		PRC (B-5)		PRC (B-1)		計算方法
		D32-60本		D32-54本 (ケーブル 2本)		D32-50本 (ケーブル 3本)		
		上 縁	下 縁	上 縁	下 縁	上 縁	下 縁	
コン クリ ート	自 重	27.3	31.2	25.4	15.8	24.5	8.0	全断面有効
	全死荷重	40.6	46.4	38.7	31.2	37.9	23.7	— " —
	設計荷重	70.0 88.7	80.0	68.1 78.7	65.3	67.5 69.7	58.2	全断面有効 引張無視
鉄 筋	自 重	—	779	—	597	—	515	引張無視
	全死荷重	—	1159	—	1014	—	976	— " —
	設計荷重	—	1998	—	1934	—	1992	— " —

☆: 上縁は圧縮、下縁は引張りの応力度を表す。

3. 調査結果および考察

3-1 ひびわれ状況

脱型直後には膨張コンクリートを用いたRC桁はひびわれが見られたが、PRC桁はひびわれが見られなかった。各橋桁のひびわれ発生状況を、(図-5)に示す。



☆ 点線のひびわれは、61年8月に激甚した箇所である。
 図-5 (b) S62年9月のひびわれ発生状況

ひびわれの調査は、供用開始初期（S61.8）および供用開始約1年後（S62.9）に行った。RC桁（B-2）は、供用開始初期（S61.8）の調査後、ひびわれ幅の大きなものがあったので、0.2mm以上のひびわれに対し樹脂注入の施工を行っている。供用開始約1年後（S62.9）の時点ではこの樹脂注入したひびわれも一緒に測定している。今回のひびわれ調査は各桁のスパン中央付近における桁底面および桁側面である。（図-5）（a）および（図-5）（b）にそれぞれ（S61.8）（S62.9）のひびわれ状況を示す。（図-5）（a）の各桁の調査範囲は、橋軸方向の6.0m間である。（図-5）（b）の各桁の調査範囲は、RC桁（B-2）とPRC桁（B-1）は橋軸方向の3.0m間であり、PRC桁（B-5）は橋軸方向1.5m間である。

3-2 ひびわれの定量化

1)

（図-5）（a）（b）の各桁のひびわれ状況図より、ひびわれ性状を下記により定量化を行った結果を（表-3）に示し、ひびわれ幅の度数分布図を（図-6）に示す。

（表-3） ひびわれの性状結果

測定	桁番号	RC(B-2)	PRC(B-5)	PRC(B-1)	
		60年7月	60年12月	60年11月	
	コンクリート打設月日	60年7月	60年12月	60年11月	
	コンクリートの下縁引張応力度	$\sigma=46.4\text{kgf}/\text{cm}^2$	$\sigma=31.2\text{kgf}/\text{cm}^2$	$\sigma=23.7\text{kgf}/\text{cm}^2$	
61年 8月	平均ひびわれ幅 (mm)	0.41	0.61	0.99	
	平均ひびわれ間隔 (m)				
	ひびわれ面積率				
	ひびわれ度数 (N)	0.04~0.19mm	214	143	79
		0.20~0.24	32	4	0
		0.25~0.29	4	0	0
0.40~0.44		9	0	0	
0.60~0.64		4	0	0	
	計	263	147	79	
62年 9月	平均ひびわれ幅 (mm)	0.13<0.15>	0.08	0.09	
	平均ひびわれ間隔 (m)	0.31<0.28>	0.24	0.28	
	ひびわれ面積率	0.42<0.54>	0.35	0.33	
	ひびわれ度数 (N)	(中央値) 0.04mm	31	41	73
		(-n-) 0.06	11	14	13
		(-n-) 0.08	7	12	22
		(-n-) 0.10	48	56	47
		(-n-) 0.15	54	9	31
		(-n-) 0.20	28(10)	2	15
		(-n-) 0.25	14	2	5
		(-n-) 0.30	2	0	0
		(-n-) 0.40	0(8)	0	0
(-n-) 0.60		0(4)	0	0	
	計	195(217)	136	206	

☆：()の数字は61年8月に0.2mm以上のひびわれを補修した度数であり、< >の数字は補修したひびわれをも考慮したひびわれ性状である。

ひびわれ度数N：桁底面および側面に対し橋軸方向（橋軸直角方向に約30cm間隔）に直線で区切りそれぞれの調査範囲におけるひびわれとこの直線と交差する総数

ひびわれ幅f：直線と交差するひびわれの幅（mm）

ℓ：ひびわれ測定面における橋軸方向の直線の長さ（m）

n：橋軸直角方向を約30cm間隔に区切った直線の本数

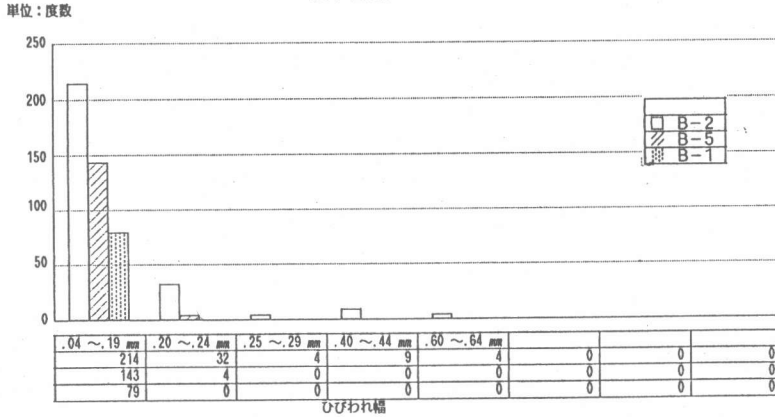
ΣL：ひびわれ測定面における橋軸方向の直線の総長さ（m）= ℓ・n

平均ひびわれ幅 = $\Sigma N \cdot f / \Sigma N$ 平均ひびわれ間隔 = $\Sigma L / \Sigma N$

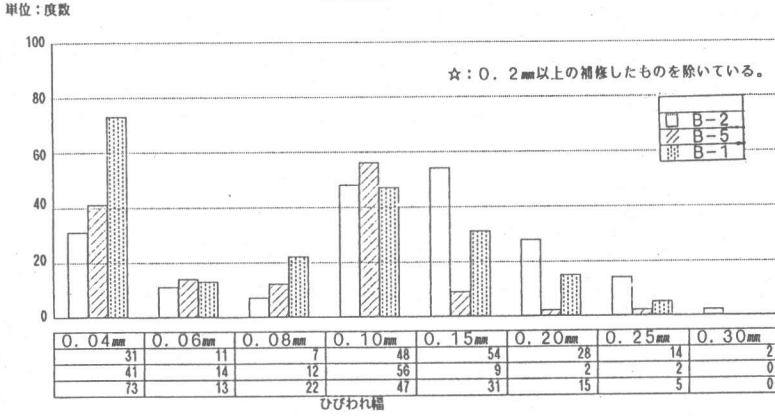
ひびわれ面積率 = $\Sigma N \cdot f / \Sigma L$

供用開始初期（S61.8）の調査は、ひびわれ幅の区分を大きく取りすぎている。そのためひびわれの殆んどがひびわれ幅0.04~0.19mmの範囲と区分され平均ひびわれ幅、ひびわれ面積率は正しい評価ができないので表から除いた。

(61年8月)



(62年9月)



(図-6) ひびわれ幅の度数分布図

(表-2) 及び (図-6) より次の事項がわかる。

3-3. ひびわれ度数分布

(図-6) より、供用開始初期 (S61.8) ではRC桁 (B-2), PRC桁 (B-5) (B-1) の順にひびわれ度数が多く、かつひびわれ幅の大きな範囲は (B-2) がほとんどである。これはコンクリートの下縁引張応力度の順になっている。供用開始約1年後 (S62.9) では、RC桁 (B-2) はひびわれに注入し補修したものは除いているため、ひびわれ幅の小さな範囲ではPRC桁 (B-5) (B-1) のひびわれ度数分布の方が大きい傾向にあるが、ひびわれ幅の大きな範囲ではRC桁 (B-2) の方が度数が大きい傾向にある。

3-4. 平均ひびわれ幅

膨張コンクリートを用いたRC桁のひびわれ幅は、かなり大きく樹脂注入をせざるを得なかった。

(表-2) のRC桁 (B-2) のコンクリートの引張縁応力度は、 46.4 kgf/cm^2 となっているが膨張コンクリートによる効果が約 5 kgf/cm^2 程度と考えると実際のコンクリートの引張縁応力度は約 41 kgf/cm^2 程度かと思われる。平均ひびわれを比較するとコンクリートの引張縁応力 31.2 kgf/cm^2 および 23.7 kgf/cm^2 のPRC桁 (B-5) (B-1) は、大差がない。

3-5. 平均ひびわれ間隔

膨張コンクリートを用いたRC桁(B-2)と比較すると、供用開始初期(S61.8)ではプレストレスの効果によりPRC桁の平均ひびわれ間隔はかなり大きい。供用開始約1年後(S62.9)では、平均ひびわれ間隔は3連とも殆んど同じ値となっている。供用開始初期(S61.8)では、膨張コンクリートを用いたRC桁とPRC桁の平均ひびわれ間隔には大きな相違が見られるが徐々に平均ひびわれ間隔は、大きくなる傾向にある。

材令初期には、コンクリートの引張縁応力度が小さい桁ほど、平均ひびわれ間隔が広くなる傾向にある。

3-6. ひびわれ面積率

PRC桁のひびわれ面積率は、膨張コンクリートを用いたRC桁に比較して供用開始初期(S61.8)供用開始約1年後(S62.9)ともプレストレスの効果によって小さくなっているコンクリートの材令とともに、ひびわれ面積率は大きくなる傾向にある。PRC桁(B-1)(B-5)は、コンクリートの引張縁応力度がそれぞれ 31.2 kgf/cm^2 、 23.7 kgf/cm^2 であるが、ひびわれ面積率はあまり違いが見られない。

3-7. 鉄筋応力度の関連性

(表-2)の応力度一覧表を見てみると、全死荷重作用時と設計荷重作用時ではそれぞれの橋桁の鉄筋応力度には差が見られないが、ひびわれ幅は膨張コンクリートを用いたRC桁の方が大きい。これよりひびわれ幅は、鉄筋応力度にそれほど影響を受けないようである。

4. まとめ

ひびわれ対策としての膨張コンクリートの効果も認められているが、これらの結果を見ると膨張コンクリートよりもプレストレスによる効果の方が非常に大きいことがわかる。また、死荷重作用時にコンクリートの引張縁応力度を約 30 kgf/cm^2 以下にしておけば、ひびわれは殆んど有害な大きさにはならないと思われ、アウトケーブルを用いて若干のプレストレスを導入するPRC桁はひびわれ対策として非常に有効と思われる。^{2),3)}

<参考文献>

- 1) 河村博之, 浜田公也: ひびわれの数量化表示法とその適応性について, セメント・コンクリート, No.422, 1982, pp28-35
- 2) 石橋忠良, 金森 真: 鉄道橋におけるPRCげた, コンクリート工学, Vol.25, No.7, 1987, pp.96-102
- 3) 石橋忠良, 浦野哲司: PRC桁の実橋測定とその考察, プレストレストコンクリート, Vol.29, No.2, 1987, pp.18-26