

## 論文

## [2004] PRC 枠の応力度算定に関する研究

正会員 ○竹内研一 (JR東日本 東北工事事務所)

正会員 大庭光商 (JR東日本 東北工事事務所)

正会員 米内昭夫 (JR東日本 東北工事事務所)

## 1. はじめに

旧国鉄では、鉄道橋の設計にあたって、PC 枠の経済設計及び RC 枠のひび割れ制御の両面から、PRC 枠の有効性に着目し、実橋における調査検討を重ねた結果、昭和 62 年 2 月に「PRC けた設計指針(案)」を作成するに至っている<sup>1)</sup>。コンクリート構造物の設計法が限界状態設計法に移行する中で、構造物の設計における PRC 枠の適用は、今後ますます一般化するものと思われる。

本研究は、PRC 枠の鉄筋及びコンクリートに生じる応力度の算定に関する知見を得るために、供試体の測定データに基づき検討を加えたものである。

## 2. 供試体による測定の概要

PRC 枠における応力度測定データを実験的に得るために、鉄筋を配置した RC 供試体にプレストレスを加えて、鉄筋、コンクリート等のひずみを測定した。供試体作成に用いたコンクリートの配合は、表-1 によった。供試体は、断面寸法、鉄筋量、緊張力、PC 鋼材の偏心量を種々組み合わせたものを合計 18 体作成し、鉄筋、コンクリート、PC 鋼棒にそれぞれひずみ計を設置し測定を行った(表-2 及び図-1 参照)。

供試体は、湿潤養生後、

材令 3 日(一部 4~5 日)で緊張し、17 日(一部 18 日)に再緊張という日程

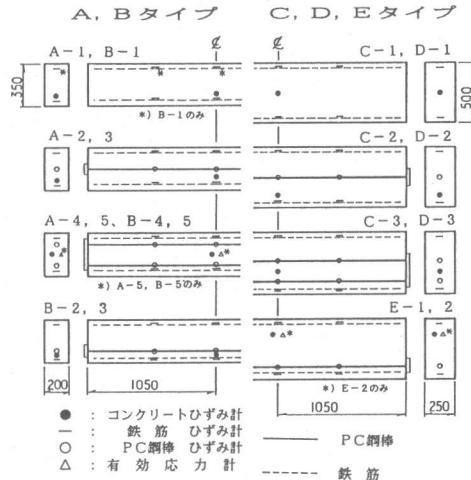


図-1 供試体形状及びひずみ計設置状況

表-2 試験体諸条件

試験体 TYPE-NO.	断面 寸法 (cm)	鉄筋量 (cm <sup>2</sup> )	プレストレスによるコンクリート応力度 *1		歪計設置数		有効 応力 計 算 値
			コンクリート歪計位置 上縁: 下縁: 上: 下		鉄筋歪計位置 上縁: 下縁: 上: 下	鉄筋	
			0 : 0	0	0 : 0	0	
A	2.0 × 3.5	2.14 (0.31%)	400 : 400	400	2 : 2 : 1	2 : 2 : 1	1
			800 : 800	800	2 : 2 : 1	2 : 2 : 1	
			1200 : 1200	1200	2 : 4 : 1	2 : 4 : 1	
			1600 : 1600	1600	2 : 4 : 1	2 : 4 : 1	
			0 : 0	0	4 : - : 1	4 : - : 1	
B	1.161 (1.66%)	1.61 (1.66%)	-46 : 846	667 : 56 : 744	4 : 2 : 1	4 : 2 : 1	1
			-91 : 1691	1335 : 112 : 1488	4 : 2 : 1	4 : 2 : 1	
			1200 : 1200	1200	4 : 4 : 1	4 : 4 : 1	
			1600 : 1600	1600	4 : 4 : 1	4 : 4 : 1	
C	2.5 × 3.0	5.07 (0.41%)	0 : 0	0	4 : - : 1	4 : - : 1	1
			-36 : 932	738 : 42 : 854	4 : 2 : 1	4 : 2 : 1	
			170 : 1622	1099 : 286 : 1506	4 : 4 : 1	4 : 4 : 1	
D	2.0 × 5.0	20.27 (1.62%)	0 : 0	0	4 : - : 1	4 : - : 1	1
			-36 : 932	738 : 42 : 854	4 : 2 : 1	4 : 2 : 1	
			170 : 1622	1099 : 286 : 1506	4 : 4 : 1	4 : 4 : 1	
E	1.2	3.05	-152 : 600	36 : -92 : 540	4 : 2 : 1	4 : 2 : 1	1
			-305 : 1201	72 : -184 : 1080	4 : 2 : 1	4 : 2 : 1	1

\*1) 初期緊張時に導入される応力度 (t/m<sup>2</sup>)

表-1 コンクリートの配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	W/C (%)	S/A (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
					W	C	S	G	混和剤	A/E 剤
2.5	8 ± 2.5	4.5 ± 1	35.5	36.0	152	428	611	1146	5.21	157cc

で、昭和62年8月25日から9月11日にかけて打設し、以後昭和63年1月までに各供試体とも平均15~20回の測定データが得られている。測定中の供試体は、屋外に置かれており、雨水が直接供試体にかかるないよう、シートで保護してある。なお、表-2に示したコンクリート応力度はプレストレスにより初期緊張直後に供試体断面各位置に導入されるコンクリート応力度である。

### 3. 測定結果及び考察

#### 3. 1 乾燥収縮の影響によるひずみ

本実験では、A~Dの各タイプの供試体に、1体ずつプレストレスを加えないものを作成しており、これにより乾燥収縮のみによる影響を調べた。

測定結果を図-2に示す。これによると、乾燥収縮によるコンクリートの収縮ひずみ及び、鉄筋の圧縮ひずみは、鉄筋量の多い供試体(B-1, D-1)で明らかに小さくなっている。一方、A-1とC-1及びB-1とD-1のひずみに明かな差が見られないことより、本実験で設定した程度の供試体寸法の違いでは、材令100日程度までのコンクリート及び鉄筋のひずみに大きな差異が見られないことがわかる。

#### 3. 2 コンクリートひずみ

コンクリートの圧縮ひずみの測定結果を図-3~5に示す。

##### (1) 鉄筋量の差による影響

図-3は、A,B 2タイプの供試体のコンクリートの圧縮ひずみの測定結果を示したものである。このうち、A-4とB-4,A-5とB-5 の2組の供試体は鉄筋量以外の条件がすべて同じであり、これらの比較より、鉄筋量の多い供試体(Bタイプ)の方が少ない供試体よりコンクリートの圧縮ひずみが小さくなっていることがわかる。この傾向は、プレストレスに偏心のあるC,D 2タイプの供試体を比較した場合も同様である(図-4参照)。

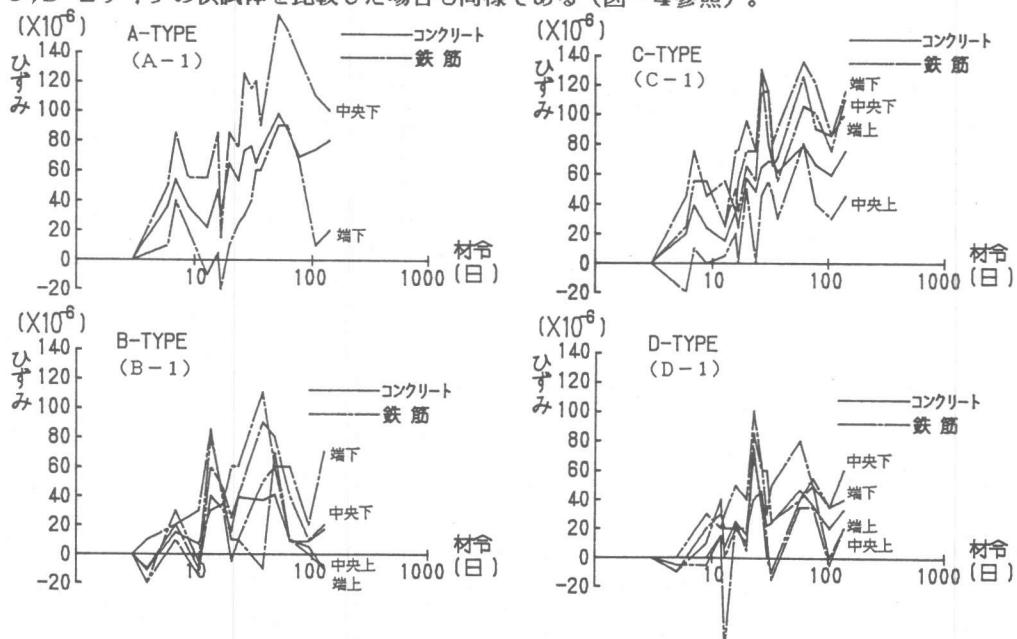


図-2 乾燥収縮によるひずみ

## (2) プレストレスの差による影響

Aタイプの各供試体について、緊張直後から材令100日までに増加した圧縮ひずみを求め、プレストレスの大きさ(供試体に導入される初期圧縮応力度)別にプロットした結果を図-6に示す。これによると、コンクリートの圧縮ひずみは、プレストレスが小さい場合には鉄筋と同程度であるが、プレストレスが大きくなると鉄筋の圧縮ひずみより大きくなる傾向にある。これは、プレストレスが大きい場合には、鉄筋とコンクリートの付着応力によって、コンクリートにクリープ変形が生じるためと考えられる。

## (3) 中立軸付近のひずみ

図-5は、Eタイプの測定結果を示したものである。Eタイプの供試体はプレストレスの偏心が大きく、供試体の上縁に比較的大きな引張領域が存在

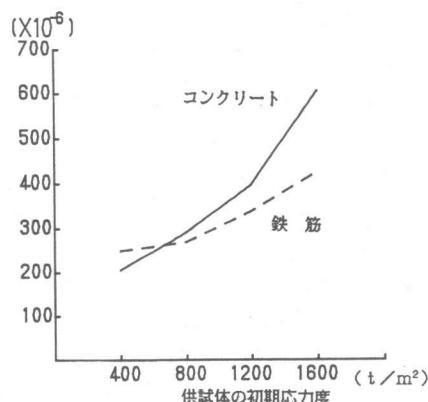


図-6 緊張時から材令100日までに増加した圧縮ひずみ  
(A-TYPE)

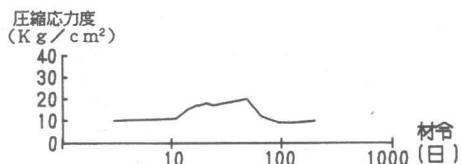


図-7 有効応力計測定データ  
(E-2供試体)

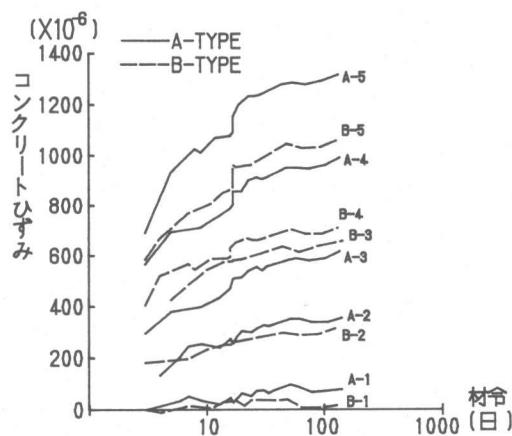


図-3 コンクリート圧縮ひずみ  
(A, B-TYPE)

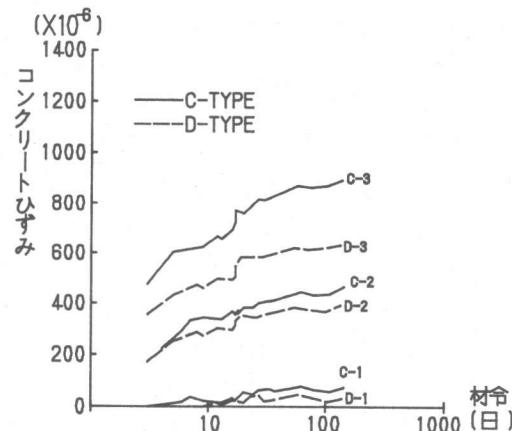


図-4 コンクリート圧縮ひずみ  
(C, D-TYPE)

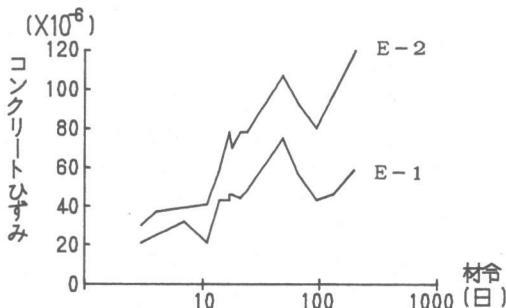


図-5 コンクリート圧縮ひずみ  
(E-TYPE)

しており、コンクリートのひずみ計は、中立軸付近に設置されている。この場合、プレストレスによるひずみ計位置のコンクリートの圧縮ひずみは、他のタイプの供試体に比べて小さく、乾燥収縮の影響（図-2のD-1参照）が、相対的に大きくなっている。なお、E-2の供試体には、ひずみ計と同じ位置に有効応力計を設置してあり、これによって測定したコンクリートの圧縮応力度を図-7に示してある。これより、E-2の供試体について、コンクリートの圧縮ひずみと圧縮応力度を比較すると、圧縮ひずみは材令に従ってしだいに増加しているが、圧縮応力度は材令100日程度でもそれほど増加していないことがわかる。なお、データにばらつきがみられるのは、測定ひずみの絶対値が小さいため測定当日の湿度等の変化の影響を受けているためと考えられる。

### 3.3 鉄筋ひずみ（応力度）

鉄筋の圧縮ひずみの測定結果を図-8～10に示す。なお、図に示したデータは供試体下側鉄筋の中央点で測定したものである。但し、Eタイプの供試体については、上側鉄筋の中央点で測定したものを見た。

#### （1）鉄筋量の差による影響

A,B(図-8) 及びC,D(図-9) それぞれ2組の供試体の測定結果を比較すると、鉄筋のひずみについてもコンクリートひずみと同様、鉄筋量の多い供試体の方がひずみが小さくなっていることがわかる。

#### （2）プレストレスの差による影響

図-6によれば、鉄筋の圧縮ひずみは、導入するプレストレスにほぼ比例して増加することがわかる。

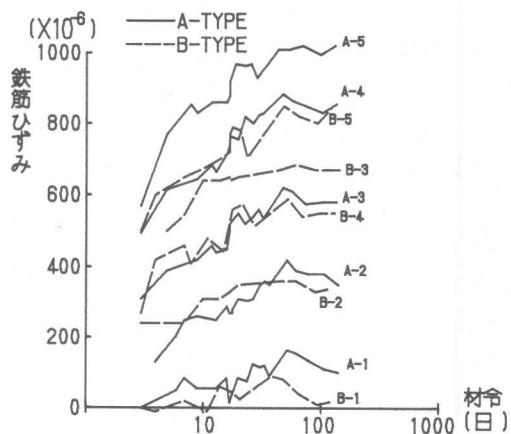


図-8 鉄筋圧縮ひずみ  
(A, B-TYPE)

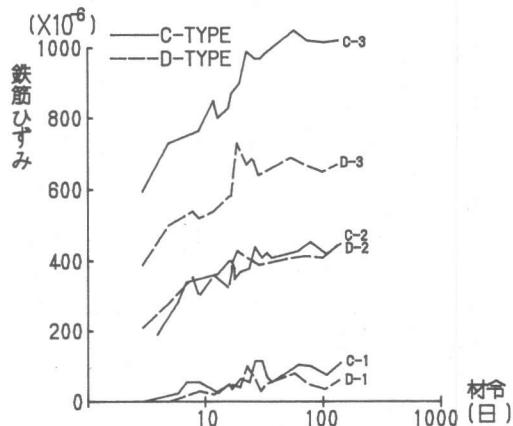


図-9 鉄筋圧縮ひずみ  
(C, D-TYPE)

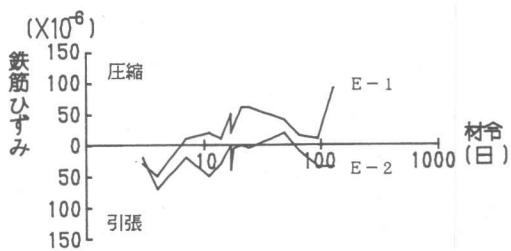


図-10 鉄筋圧縮ひずみ  
(E-TYPE)

### (3) 引張領域における鉄筋のひずみ

Eタイプの供試体では、上側鉄筋位置に引張応力が作用している。図-10に測定結果を示すが、これによるとE-1,E-2の両供試体で、ともに材令に従って引張ひずみが減少し、特にE-1供試体では完全に圧縮ひずみに転じていることがわかる。これは、乾燥収縮のためであると思われる。

### 3.4 コンクリートひずみ、鉄筋応力度の算定に関する考察

コンクリートのクリープひずみを経時的に算定する方法論についての研究は、コンクリートを連続体として捉え、力の釣合条件より導かれる偏微分方程式を解くを中心とするアプローチが古くからおこなわれている。このうち、Rüschによる方法論は、ドイツのDINに採用されている他、日本の土木学会もこれを基本としている<sup>3)</sup>。一方、比較的新しい方法論として、ひずみの生成過程に着目し、複合材料としてのコンクリートの特性値を活かしたクリープ予測法がBazantによって提案されている。Bazantの研究は、阪田<sup>4)</sup>によってわが国に紹介され、その後、実験的研究が重ねられ、これを改良した方法論が提案されている<sup>5)</sup>。

本研究では、測定データの解析にあたり、後者の予測式より求めた計算値との比較検討を行った。計算値は、参考文献5)

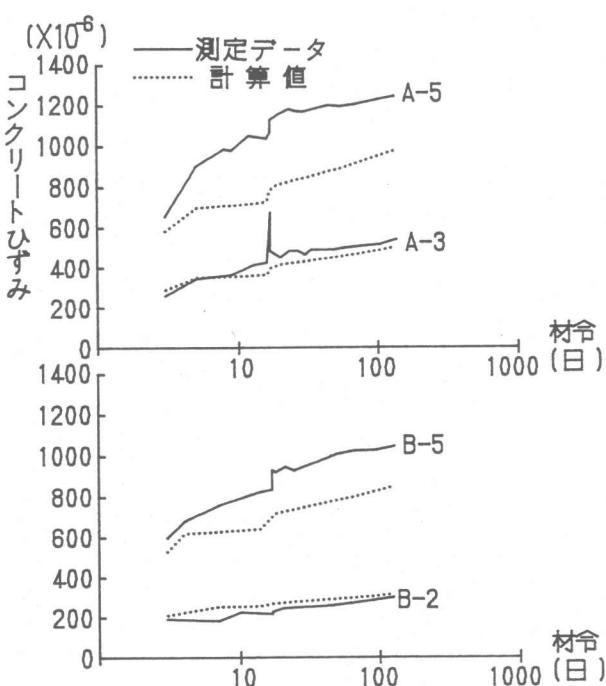


図-1-1 計算値と測定データの比較  
(コンクリート圧縮ひずみ)

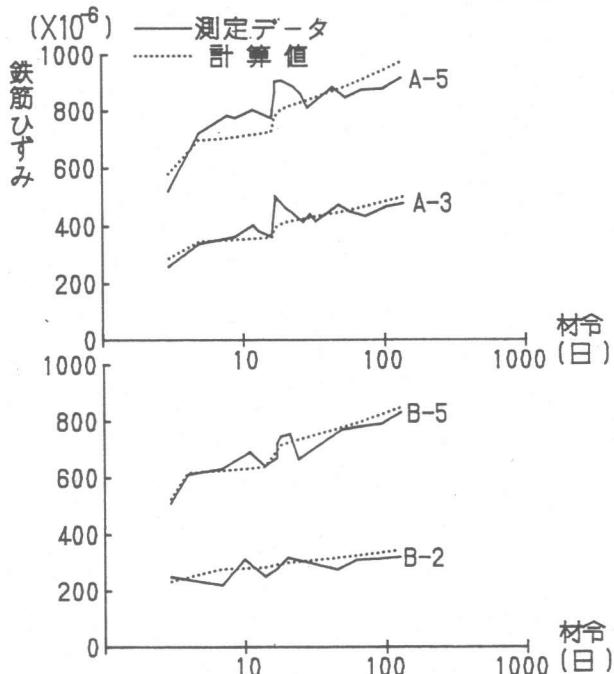


図-1-2 計算値と測定データの比較  
(鉄筋圧縮ひずみ)

の方法により単位応力当りのクリープひずみを経時的に求め、各時点での力の釣合条件より鉄筋に生じる圧縮力を求め、その反力を順次外力として評価することにより計算した。なお、図-3～4より、A～Dのタイプの供試体については、コンクリートの全圧縮ひずみに対して、乾燥収縮による圧縮ひずみ（A-1,B-1,C-1,D-1 の供試体の圧縮ひずみ）は、数分の1から10分の1程度と小さいことがわかる。また、供試体材令が若く乾燥収縮による圧縮ひずみが安定していない（図-2参照）ことより、ここでは、乾燥収縮の影響を除去したひずみを対象としている。

予測式による計算値と測定データとの比較結果の一部を図-11～12に示す。このうち、図-11は、A,B 2タイプの供試体について、コンクリートのひずみを比較したものである。これによると、コンクリートのひずみについてはプレストレスの小さい供試体（A-3,B-2）では計算値と測定データがほぼ一致している。しかし、プレストレスが大きい場合（A-5,B-5）は、いずれも計算値を上回るひずみが生じていることがわかる。また、この場合、測定データが計算値を上回る割合は、鉄筋量の少ない供試体（A-5）で著しいことがわかる。

一方、図-12は、同じ供試体の鉄筋のひずみについて比較したものである。この場合には、プレストレスの大きい供試体（A-5,B-5）でも計算値と測定データがほぼ一致している。

このように、鉄筋とコンクリートで結果が異なるのは、鉄筋とコンクリートの付着応力によるクリープにより、計算値の算出に用いた平面保持の仮定が崩れたためと考えられる。コンクリートのひずみを精度よく予測するためには、コンクリートの付着のクリープも考慮する必要があるものと考えられる。

#### 4. まとめ

本研究の結果、P R C 桁のコンクリートのひずみ及び鉄筋の応力度に関して、以下のようなことがわかった。

材令100日程度までの範囲での検証ではあるが、参考文献5)の予測式を基に、鉄筋とコンクリートの付着のクリープを考慮すればP R C 桁のコンクリートのひずみ及び鉄筋の応力度は比較的精度良く算定可能になるものと思われる。

#### 参考文献

- 1) 石橋忠良, 金森 真: 鉄道橋におけるP R C げた, コンクリート工学, Vol.25, No.7, 1987, p.96-102
- 2) 石橋忠良, 浦野哲司: P R C 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
- 3) H. リュッッシュ, D. ユングビルト (百島祐信訳) : コンクリート構造物のクリープと乾燥収縮, 1976, 鹿島出版会
- 4) 阪田憲次: コンクリートの乾燥収縮およびクリープの予測, セメント・コンクリート, No.4 25, 1982, pp.7-13
- 5) 阪田憲次, 池田 清: コンクリートのクリープの予測に関する研究, 土木学会論文報告集, No.340, 1983, pp.185-191