

## 論 文

## [2100] PRC 枠の応力度の算定手法について

正会員○岩田 道敏（東日本旅客鉄道㈱ 東北工事事務所）  
 正会員 石橋 忠良（東日本旅客鉄道㈱ 東京工事事務所）  
 正会員 斎藤 啓一（東日本旅客鉄道㈱ 東北工事事務所）  
 正会員 大西 精治（東日本旅客鉄道㈱ 東北工事事務所）

## 1. はじめに

PRC構造は、PC枠の経済設計およびRC枠のひび割れ制御の両面からその有効性が注目され、現在までに多数の施工実績がある。JRにおいても昭和62年に「PRCけた設計指針（案）」が作成され、PRC枠の適用は今後ますます一般化するものと考えられる。JRではこれまで実橋や供試体に各種計器を埋設し応力度等の測定を継続するとともに、クリープ・乾燥収縮の影響の評価等について検討を行い、阪田らの提案式<sup>[1][2]</sup>によって湿度を年平均湿度として求めることにより、実測値を計算により評価することができるなどを報告した。<sup>[3][4]</sup>しかし、実測値は短期的には一定の周期で変動しており、この点についての検討は不十分であった。

今回、これまでの提案式を基本とし、供試体および実橋における測定結果を基にこの短期的な変動を考慮した算定手法について検討を加えたので報告する。

## 2. 供試体ならびに実橋における測定概要

## 2. 1 供試体A

図-1ならびに表-1に示すように、断面寸法、鉄筋量、緊張力、PC鋼材の偏心量を変化させた供試体計6体作成し、鉄筋ひずみの測定を行っている。表-2に供試体のコンクリートの配合を示す。供試体には湿潤養生後材令3日で初期緊張を、17日で再緊張を行いプレストレスの導入を行っている。また、測定中の供試体は雨水が直接供試体にかかるないようにシートで保護した状態で屋外（宮城県岩沼市）に設置している。

表-2 供試体Aのコンクリート配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ (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
25	8 ± 2.5	4.5 ± 1.0	35.5	36.0	152	428	611	1146	5.21	157 cc

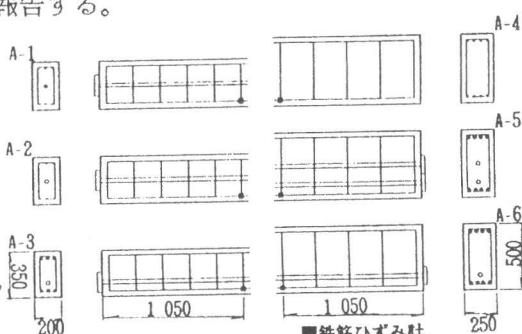


図-1 供試体Aの諸元

表-1 供試体Aの諸条件

供試体 TYPE-NO.	断面寸法 (cm)	鉄筋量 (kgf)	鉄筋歪計位置の プレストレスによるコンクリー ト応力度 (tf/m <sup>2</sup> )	鉄筋歪計 設置数
A-1		2.14 (0.31%)	400	2
A-2	20 × 35		800	2
A-3		11.6 (1.66%)	112 : 1488	4
A-4		5.07 (0.41%)	0	4
A-5	25 × 50		286 : 1506	4
A-6		20.27 (1.62%)	-184 : 1080	4

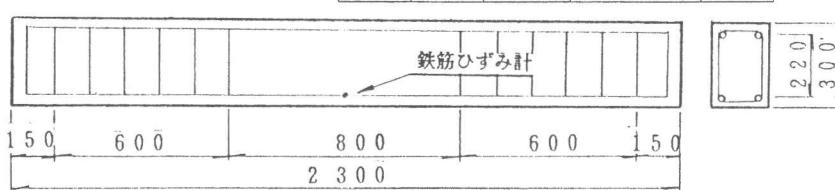


図-2 供試体Bの諸元

## 2. 2 供試体B

図-2に供試体の配筋状況を示す。供試体は断面寸法が同一で、鉄筋量のみ変化させたものを

計3体作成し、鉄筋ひずみの測定を行っている。表-3にコンクリートの配合を示す。

また、供試体は屋外（青森県青森市）に設置している。

表-3 供試体Bのコンクリート配合

設計基準強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	C (kg/m <sup>3</sup> )	W (kg/m <sup>3</sup> )
240	20	8±2.5	4.5±1.0	280	154

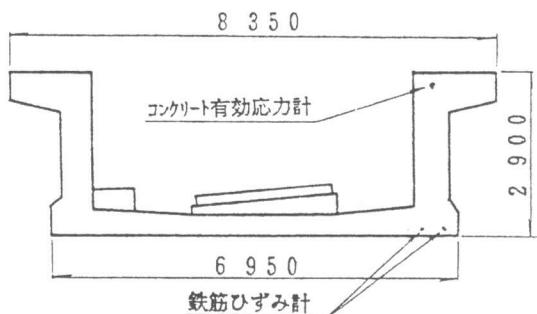


図-3 A橋諸元

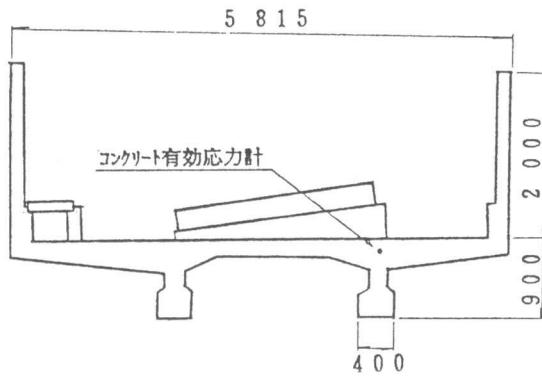


図-4 B, C橋諸元

## 2.3 実橋

測定を行ったのはA, B, C, Dの4橋である。

A橋はスパン39.0m、桁高 2.9mの単純下路桁で桁式支保工を用いた場所打ち工法により施工した。図-3に桁の諸元を示す。

BおよびC橋は、スパン11.3m、桁高 0.9mの単純2主T形桁で、製作ヤード上で製作しクレーンにより架設した。図-4に桁の諸元を示す。

D橋はスパン30.0m、桁高 2.2mの単純2主I形桁で、2本の主桁を製作ヤード上で別に製作し、クレーンにより架設した。

図-5に桁の諸元を示す。

また、表-4に主な作業項目と材令を、表-5にこれら4橋のコンクリート配合とプレストレス量を示す。なお、この4橋は建設中の単線の鉄道橋で、応力測定期間中に軌道の敷設および高欄の建て込みは行われておらず、列車荷重はまだ載荷していない。

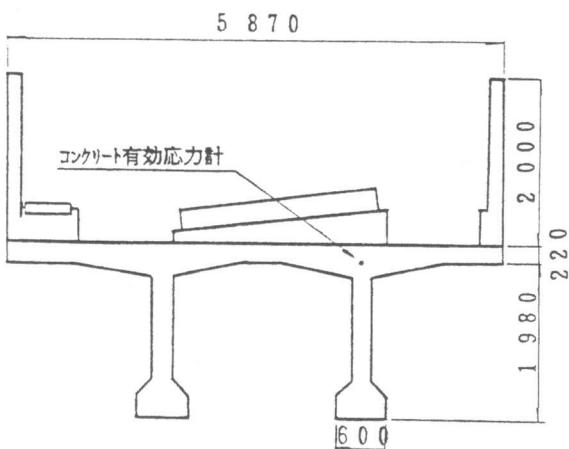


図-5 D橋諸元

表-4 主な作業項目と材令

作業項目	A橋	B橋	C橋	D橋	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				主桁1本当りの ガルストレス量 (t)
					W	C	S	G	
脱型	2	2	2	2					
プレストレス導入	4~6	4	4	4					
支保工撤去・桁架設	40	8	8	5					
路盤コンクリート打設	160~180	60~80	40~60	60~80					

表-5 コンクリート配合とプレストレス量

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				主桁1本当りの ガルストレス量 (t)
					W	C	S	G	
A橋	25	8	4.5	36.0	171	475	607	1142	720
B橋	25	8	4.5	44.0	167	380	651	1113	210
C橋	25	8	4.5	43.0	167	389	686	1142	210
D橋	25	8	4.5	36.0	171	475	607	1142	600

## 2.4 計算手法

コンクリートの乾燥収縮・クリープの影響を考慮した鉄筋位置のひずみの適合条件から式(1)が導かれる。

$$\begin{aligned} & \varepsilon_{cs}(t_{i+1}, t_i) + \sum \{ C_{sp}(t_{i+1}, t_i, t_j) \cdot \Delta \sigma_{co}(t_j) \} \\ & + C_{sp}(t_{i+1}, t_i, t_i) \frac{\Delta \sigma_{co}(t_i)}{2} \\ & - \frac{A_s \cdot \Delta \sigma_s(t_i)}{E_c(t_i) \cdot A_c} \left( 1 + \frac{e_s^2}{r^2} \right) = \frac{\Delta \sigma_s(t_i)}{E_s} \dots \dots \dots (1) \end{aligned}$$

ここで、 $\varepsilon_{cs}(t_{i+1}, t_i)$  : 時間  $t_i$  から  $t_{i+1}$  までに進行する乾燥収縮ひずみ

$C_{sp}(t_{i+1}, t_i, t_j)$  : 時間  $t_j$  に載荷された荷重により、時間  $t_i$  から  $t_{i+1}$  までに進行する単位応力あたりのクリープひずみ

$\Delta \sigma_{co}(t_i)$  : 時間  $t_i$  に付加されるコンクリート応力度

$\Delta \sigma_s(t_i)$  : 時間  $t_i$  に付加されるクリープ・乾燥収縮による鉄筋応力度変動量

$A_c, A_s$  : コンクリート、鉄筋の断面積

$E_c(t_i)$  : 材令  $t_i$  におけるコンクリートの弾性係数

$E_s$  : 鉄筋の弾性係数  $e_s$  : 鉄筋の偏心距離  $r$  : 断面二次半径

ここで、 $\varepsilon_{cs}(t_{i+1}, t_i)$  と  $C_{sp}(t_{i+1}, t_i, t_j)$  の計算は阪田らの提案式<sup>[1][2]</sup>において湿度を年平均湿度<sup>[5]</sup>として求めることとする。(以下基本式といふ)

図-6に、供試体Aの鉄筋ひずみの実測値と基本式による計算値との比較の一例を示す。鉄筋ひずみの基本式による計算値は平均的にみれば実測値と一致しているようであるが、短期的な波状の変動は表現されていないのがわかる。尾坂らによれば、短期的な湿度の増減が、コンクリートのひずみの増減に影響を及ぼすという研究<sup>[6]</sup>もあり、これらの関係を調べるために、鉄筋ひずみの実測値と基本式を用いて計算した計算値との差と、年平均湿度と材令時の湿度との差を比較した。結果を図-7に示す。やはり、両者の間に非常に強い関連が認められた。

そこで、短期的な周期と関連のある湿度の影響を補正するため、式(2)により時間  $t_i$  における湿度の影響を

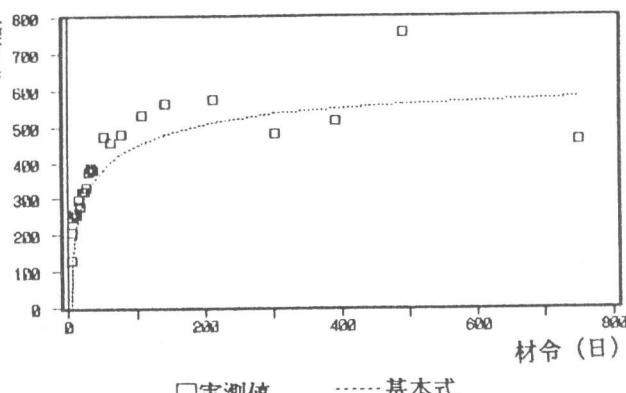


図-6 鉄筋ひずみの実測値と計算値の比較

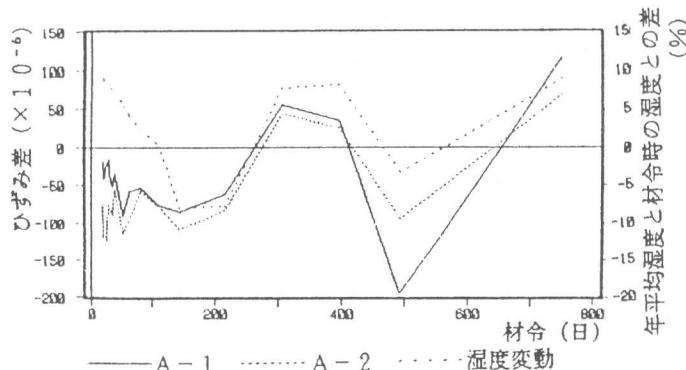


図-7 鉄筋ひずみ差と湿度差の比較

補正する係数  $X(t_i)$  をもとめ、その値を基本式で計算した鉄筋ひずみの値に掛け合わせることで、湿度の影響を補正することを考えた。

式(2)は、項—1と項—2から成り立っている。

項—1は、時間  $t_i$  における湿度  $RH(t_i)$  と年平均湿度  $RH$ との差が実測値に及ぼす影響を評価する項であり、その相対的な影響の大きさを表す係数が  $\alpha$ である。

また、項—2は材令が経過するとコンクリートの乾燥収縮の変動が収束する傾向<sup>[6]</sup>を表す項であり、その収束率を表す係数が  $n$  である。

$\alpha$  および  $n$  の値は試算を行い決定した。図—8および図—9に供試体A—1による試算結果を示す。図—8は  $\alpha = 1.5$  とし、 $n$ を変化させた場合であり、図—9は  $n = 2.0$  とし、 $\alpha$ を変化させた場合である。これらの図より、鉄筋ひずみの実測値と最も一致している  $\alpha = 1.0$ ,  $n = 2.0$  を用いることとした。

$$X(t_i) = 1 - \left( \alpha \times \frac{RH(t_i) - RH}{RH} \right) \times \left( \frac{1}{(t_i)^n} + 1 \right) \quad \dots \dots (2)$$

項—1

項—2

ここで、 $RH(t_i)$  : 時間  $t_i$  の湿度 (%)

$RH$  : 年平均湿度 (%)

$\alpha$  : 湿度変化の影響の大きさを表す係数 ( $= 1.0$ )

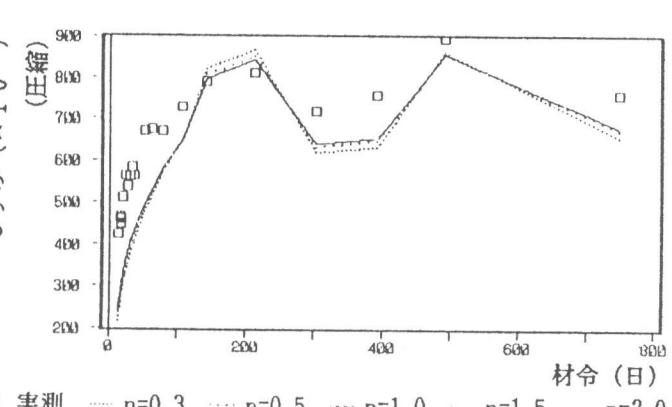
$n$  : 材令の増加による湿度の影響の減衰を表す係数 ( $= 2.0$ )

なお、コンクリートの応力を補正する場合も、鉄筋ひずみの補正を行う場合と同様に  $\alpha = 1.0$  として補正係数を求め、基本式により求められたコンクリート応力の計算値に掛け合わせることにより湿度補正を行うこととした。

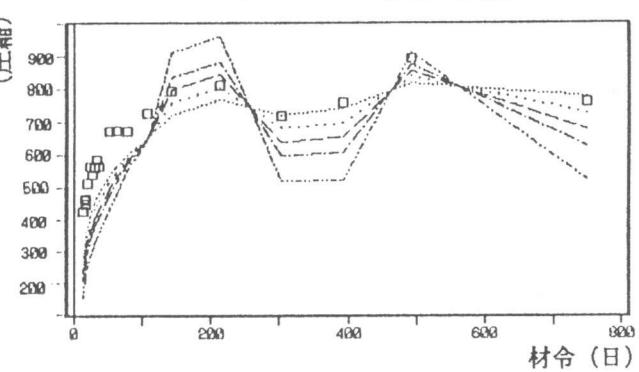
### 3. 計算値と実測値の比較ならびに考察

#### 3. 1 供試体における比較

図—10および図—11に2.4で述べた計算手法（以下補正式という）による鉄筋ひずみの



図—8  $n$ を変化させた場合の変動



図—9  $\alpha$ を変化させた場合の変動

計算値と実測値を示す。

図一10は供試体Aの鉄筋ひずみの実測値と計算値を比較したものである。湿度補正を行った場合は、基本式を用いて計算した場合と比較して、鉄筋ひずみの実測値の変動をよく表現している。

図一11は供試体Bの鉄筋ひずみの実測値と計算値を比較したものである。基本式の計算結果と補正式の計算結果との違いはあまり顕著ではないが、材令25日付近からの実測値のひずみの減少傾向を、補正式では表現されている。

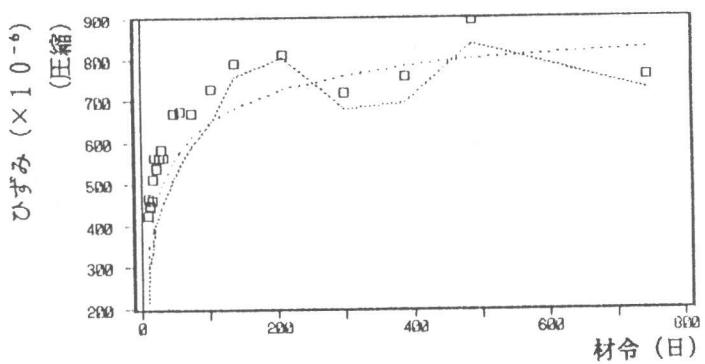
このように、供試体において寸法、鉄筋量、プレストレス量を様々に変化させても応力変動の平均的な傾向は基本式で、短期的な変動については補正式を用いることにより、鉄筋ひずみの実測値の変動の傾向を表現することができるようである。

### 3.2 実橋における比較

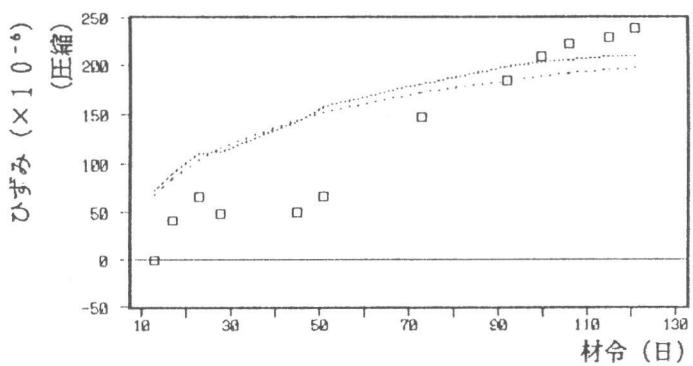
図一12～図一16にそれぞれの橋梁の鉄筋ひずみおよびコンクリート応力の実測値と補正式による計算値との比較を示す。

図一12は、A橋の鉄筋ひずみの変化を示しているが、補正式を用いて計算を行った場合、材令初期では鉄筋ひずみの計算値は実測値より多少大きめの値を示しているものの、全体的に見て実測値の変動傾向を表現しているようである。

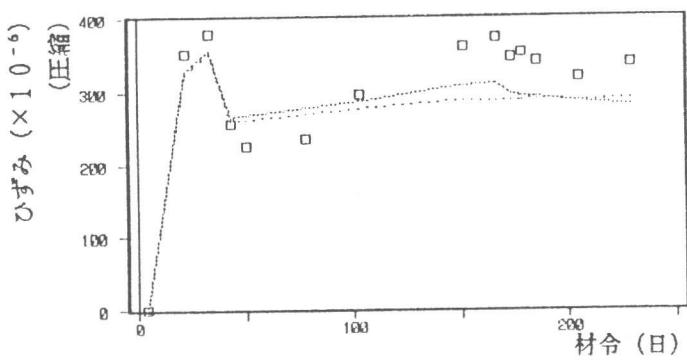
また、図一15はC橋のコンクリート応力の変動を示している。基本式でコンクリート応力を計算した場合も実測値をよく表現しているが、補正式を用いて計算した場合はよりコンクリート応力の実測値と一致している。



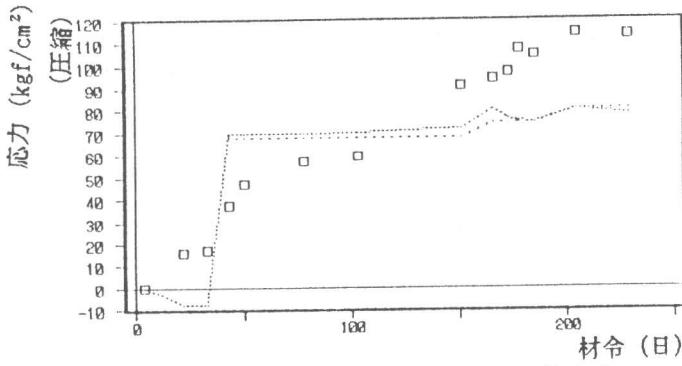
図一10 供試体Aの鉄筋ひずみの湿度補正結果



図一11 供試体Bの鉄筋ひずみの湿度補正結果



図一12 A橋鉄筋ひずみ



図一13 A橋コンクリート応力

コンクリート応力の値が小さいため、実測値に測定誤差によるばらつきが見られることもあり、実測値を計算値がよく表現しきれていない部分があるものの、実測値の変動傾向と湿度補正を行った場合の変動傾向は類似しており、実橋のデータにおいても湿度補正を行った場合と基本式で計算した場合とを比較すると、湿度補正を行った方が実測値の変動傾向を、よりよく表現できるようである。

これより、桁形式、配合、スパン等の異なった実橋レベルにおいても、この補正式の考え方を適用することができるようである。

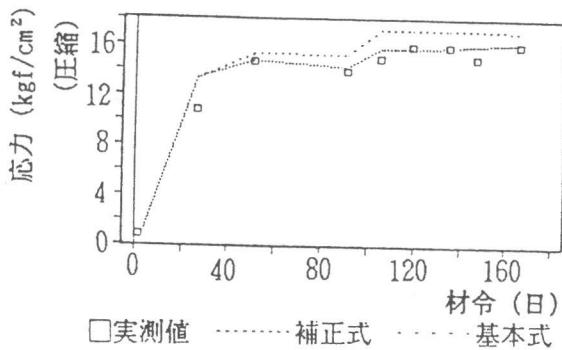


図-15 C橋コンクリート応力

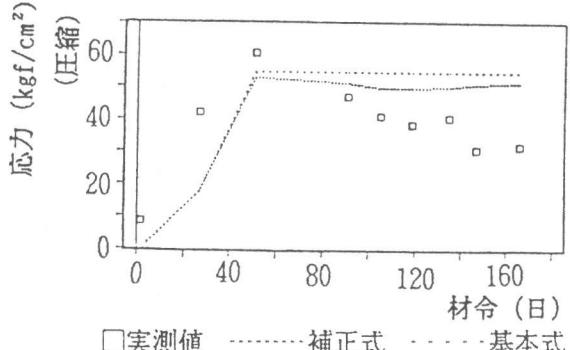


図-16 D橋コンクリート応力

#### 4.まとめ

以下に得られた結果を示す。

- (1) 年平均湿度を用いてクリープ・乾燥収縮の影響を阪田らの提案式で求めると、式(1)により各材令における鉄筋およびコンクリートの応力度を計算することができる。
- (2) さらに式(2)により短期的な波状の変動に対する補正を行うことにより、鉄筋ひずみおよびコンクリート応力の実測値の変動傾向を計算により表現できることがわかった。

#### 参考文献

- (1) 阪田憲次、綾野克紀：コンクリートの乾燥収縮ひずみ予測式の提案、第43回セメント技術講演集
- (2) 阪田憲次、池田 清：コンクリートのクリープの予測式に関する研究、土木学会論文報告集第340号
- (3) 石橋忠良、斉藤啓一、岩田道敏：鉄筋拘束応力に及ぼすコンクリートのクリープ・乾燥収縮の影響の評価について、土木学会第46回年次学術講演会概要集、1991.9
- (4) 石橋忠良、佐々木光春、斉藤啓一、岩田道敏：P R C 桁の実橋測定、プレストレストコンクリート技術協会第2回シンポジウム論文集、1991.11
- (5) 国立天文台編：理科年表、丸善株式会社、1990
- (6) 尾坂芳夫、大塚浩司、松本英信：乾燥の影響を受ける引張RC供試体のひびわれ性状、コンクリート工学Vol.23 No.3, 1985.3