

長期計測による連続合成桁へのケミカルプレストレス適用に関する研究

Long-range measurements on models of a continuous composite bridge using chemical pre-stressing

中本啓介*, 石川敏之*, 岡田幸児**, 細見雅生***, 佐久間隆司****

Keisuke NAKAMOTO, Toshiyuki ISHIKAWA, Koji OKADA, Masao HOSOMI, Takashi SAKUMA

*工修, 駒井鉄工株式会社, 技術本部技術研究室 (〒293-0011 千葉県富津市新富 33-10)

**工修, 駒井鉄工株式会社, 橋梁設計部, 東京設計 1 課 (〒293-0011 千葉県富津市新富 33-10)

*** 工博, 駒井鉄工株式会社, 技術本部技術研究室 (〒293-0011 千葉県富津市新富 33-10)

****(株)小野田 営業本部技術部(〒135-0016 東京都江東区東陽 4-1-13 東陽セントラルビル 5F)

In this study, we investigate effects of creep and shrinkage on models of a continuous composite bridge using chemical pre-stressing by means of long-range measurements. We also calculate strain-time and stress-time curves by use of the formula of creep and shrinkage that is proposed by CEB/FIP-90, and compare these calculated value with experimental value. The calculated value almost agree with the experimental value. And from the result of the calculation, it is estimated that compressive stress of concrete slabs of these models are still remain for aged concrete slabs.

Key Words: Chemical Pre-stressing, Continuous Composite Bridge, Long-range Measurement, Creep, Shrinkage, Expansive Concrete

キーワード: ケミカルプレストレス, 連続合成桁, 長期計測, クリープ, 乾燥収縮, 膨張コンクリート

1. はじめに

近年, 合理化・省力化を実現させるための橋梁形式として少数主桁連続合成桁が注目されている。その理由として, 少数主桁を用いた鈹桁が経済的であること, コンクリート床版の劣化のメカニズムが明らかにされてきている¹⁾ことが挙げられ, 連続合成桁が盛んに取り入れられている。

従来から非合成桁も合成桁として挙動することが知られていたが, 連続合成桁を非合成として扱うことが, 安全側の設計とされていた。しかし最近では, 設計の際に橋梁の構成要素を合理的に評価すべきであるという傾向にある。

連続合成桁のコンクリート床版に橋軸方向プレストレスを導入する方法として中間支点上の不静定力による負曲げをジャッキ操作により制御する方法があるが, クリープ, 乾燥収縮による経時変化を受けるため導入したプレストレス量の把握が困難であるため, ひび割れ制御程度の予防効果として扱われることがある。また, ボックスカルバートなどのプレキャスト部材にプレストレスを導入する方法として膨張コンクリート²⁾によるケミカルプレストレスがあるが, 連続合成桁に使用された事例は少ない。これは, 現場施工の膨張コンクリートの使用によるケミカルプレストレスの導入は, 施工管理と強度の評価が難しいとさ

れているためである。橋梁のコンクリート床版として乾燥収縮の影響を小さくするための収縮補償として使用された例は多いが, プレストレス導入のための数値評価を検討した事例は少ない³⁾。

そこで, 著者らは, ケミカルプレストレスを積極的に設計上の数値として評価するための検討を行っている。そのことを実験的に確認するために載荷実験を行いコンクリート打設後1ヶ月の短期材令でのケミカルプレストレスの特性と設計手法について検討を行ってきた⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾。その結果, 長期材令期間にわたるケミカルプレストレスの持続性の確認が問題となった。

本研究では, ケミカルプレストレスの持続性の確認を目的として単純桁形式の実験桁について長期計測実験を行う。そして, ケミカルプレストレスの経時変化について検討する。本文では実験桁のクリープ, 乾燥収縮ひずみの進行について予測式を用いて長期計測結果を定量的に評価することを試みた。また, 膨張コンクリートの長期材令における各種基本性質について小型コンクリート試験片を用いて確認した。

2. 実験桁でのクリープ・乾燥収縮ひずみの予測値と計測値の比較

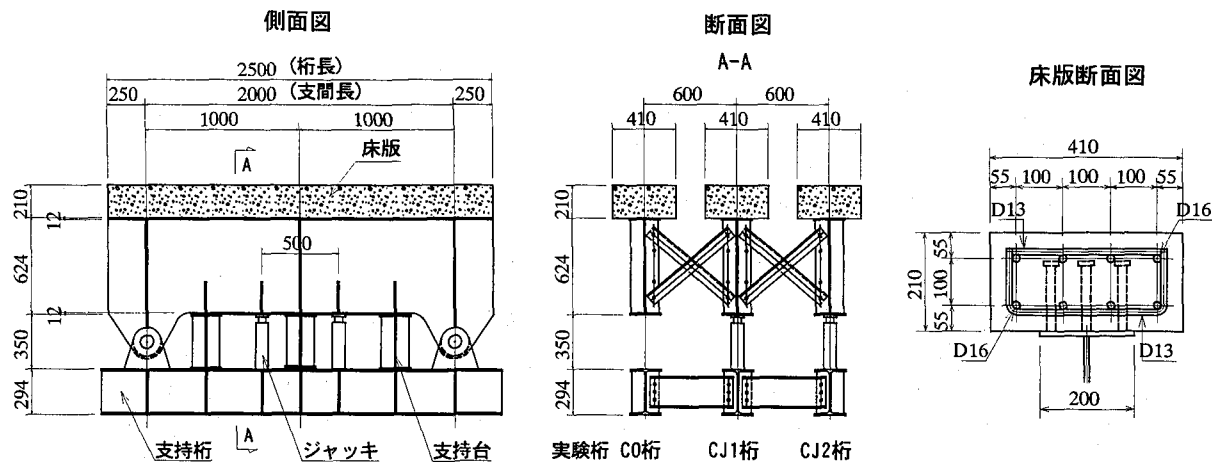


図-1 実験供試体一般図

2-1. 実験内容

鋼主桁1本と床版からなる単純桁形式とした実験桁についてコンクリート内部のひずみ、鉄筋の軸方向ひずみ、桁の鉛直変位などを3年間の予定で計測している。実験桁は連続合成桁の中間支点上における負の曲げモーメントを受ける部分をモデル化している。ここでは、1999年10月から開始した計測結果について7ヶ月分を示す。

(1) 実験桁諸元

実験桁は合計3体とし、膨張コンクリートのみでプレストレスを導入する桁1体(名称:CO桁)と、ジャッキ操作と膨張コンクリートを併用して導入する桁の2体(名称:CJ1桁,CJ2桁)を用意した。CJ2桁は計測開始1年後に載荷試験を行い、3年後に残り2体(CO,CJ1桁)の載荷試験を行う。

図-1に実験桁の一般図および断面図を示す。使用材料は設計基準強度 40N/mm^2 (圧縮強度試験結果 66.9N/mm^2)のコンクリート、鋼材SM400A、鉄筋SD295である。床版の鉄筋比は1.85%としている。スタッドはD19×H150の頭付きスタッドを用い、間隔は1列3本とし橋軸方向に100mm間隔で配置している。各実験桁のプレストレスとして用いる膨張コンクリートはJISA6202に示された拘束膨張試験において膨張率が 600×10^{-6} に設定している。なお、コンクリートの養生は10日とし、鋼製の型枠を用いて水張り養生とした。プレストレス導入による試験開始材令は11日とした。

(2) 計測方法

図-2に示す箇所の埋込みひずみゲージおよび温度センサーを用いて、コンクリート内部のひずみと温度を計測した。計測はデータロガーとパソコンを接続し、実験開始から3ヶ月間は10分間隔、それ以降は30分間隔で自動計測した。

(3) 導入プレストレス

実験桁は床版と鋼桁の断面性能の中立軸が実橋と同程度となるようにして断面を決定している。

ジャッキ操作でのプレストレスは、膨張コンクリートによるプレストレスとを併用することで中間支点上に発生する引張応力度を打ち消す程度を目標値として導入する。

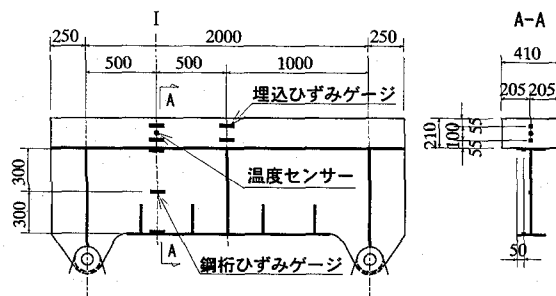


図-2 コンクリート床版ひずみ計測位置

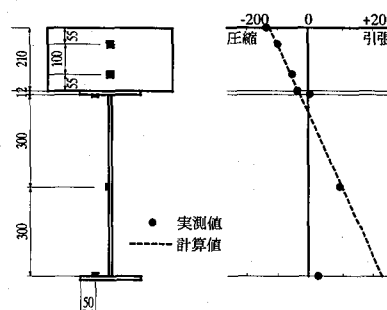


図-3 ジャッキ操作によるひずみ分布(CJ2桁)

表-1 導入プレストレス量

実験桁	CO桁 N/mm ²	CJ1桁 N/mm ²	CJ2桁 N/mm ²
ジャッキ	—	-1.14	-0.98
ケミカル	-2.31	-2.13	-2.73

導入プレストレスの目標値の算出は、膨張コンクリート設計施工指針⁸⁾を基に鉄筋の拘束によるケミカルプレストレスの計算式と、道路橋示方書・同解説⁹⁾(以下、道示)の合成桁断面の計算式を重ね合わせて算出した。計算手法は参考文献5)に基づいて行っている。

ジャッキ操作、膨張コンクリートにより実際に導かれたプレストレスを表-1に示す。ジャッキ操作によるプレストレスは支間中央の床版における埋め込みゲージの平均値から求めた。一例として図-3にCJ2桁の図-2におけ

$\Delta \epsilon_c (\times 10^{-6})$

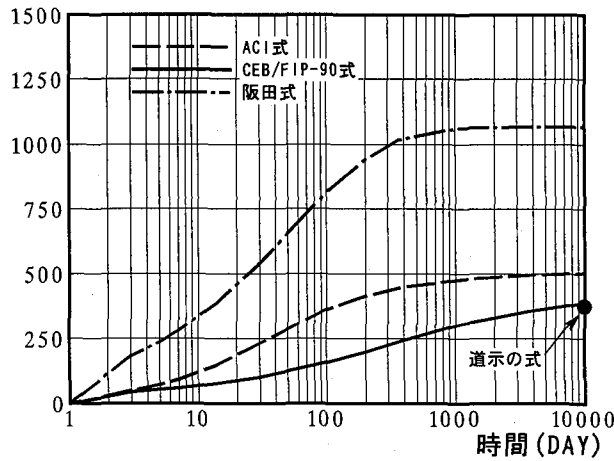


図-4 基準の予測値の比較 (CJ1 桁)

る断面Aでの橋軸方向のひずみ分布を示す。また、膨張コンクリートによるプレストレスは、床版打設と同時に行った拘束膨張試験結果を元に求めた。これらのプレストレスは支間中央の床版中心位置での値である。

2-2. 各種基準によるクリープと乾燥収縮の比較

ケミカルプレストレスの経時変化を定量的に評価するための基本予測式を比較する。本文ではクリープと乾燥収縮ひずみの代表的な基準の予測式¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾を用いて比較する。予測式はACI式¹¹⁾、CEB/FIP-90式¹²⁾、阪田式¹³⁾とする。

一例として図-1に示すCJ1桁の諸元を用いた各予測式によるひずみの進行の比較を示す。図-4は、クリープ、乾燥収縮ひずみの合計値の経時変化を、表-2には各ひずみ成分毎の経時変化を示す。阪田式では計算条件における形状パラメータの制限により適用外となるが参考値として示している。各予測式によるクリープ、乾燥収縮ひずみは使用目的、計算条件が異なるなどの理由により、ばらつく結果となった。

- 1) 阪田式によるクリープひずみは、計算条件の制限により予測式の適用外となることより他の式と比べ大きな値をとる。
- 2) ACI式での乾燥収縮ひずみは無拘束コンクリートについて予測したものである。ACI式と阪田式による乾燥収縮ひずみは近い値となることより無筋コンクリートについての予測式と判断する。
- 3) CEB/FIP-90式による材令30年におけるクリープ、乾燥収縮ひずみは、他の予測式に比べ道示の値に近い。これは拘束効果を考慮したRCコンクリートについての予測式と判断する。

各種予測式を用いたクリープ、乾燥収縮ひずみの比較結果よりケミカルプレストレスの経時変化の予測にはCEB/FIP-90式を基本とする式を用いる。

2-3. 履歴積分によるクリープ・乾燥収縮の計算

鋼桁によるコンクリートの拘束効果による応力度の変

表-2 基準の予測値の比較 (CJ1 桁)

日数	$\Delta \epsilon$ ($\times 10^{-6}$)	ACI式	CEB/FIP-90式	阪田式	道示
200日	クリープ	72	101	539	—
	乾燥収縮	343	99	401	—
	合計	415	199	941	—
3年	クリープ	89	134	608	—
	乾燥収縮	391	173	455	—
	合計	479	308	1063	—
30年*)	クリープ	101	153	609	174
	乾燥収縮	403	237	457	200
	合計	504	390	1067	374

*)道示によるひずみは最終値を示している

化を考慮した精度の良い予測値を求めるため、履歴積分を用いて計算を行った。クリープおよび乾燥収縮の計算には、2-2節の検討結果より、CEB/FIP-90式を使用する。

次項より、計算式を示す。

任意の時刻 t ($t > t'$)におけるクリープひずみ $\epsilon_c(t)$ は、クリープコンプライアンス $J_c(t)$ を用いて、次式で表すことができる。

$$\epsilon_c(t) = \sigma_0 J_c(t) + \int J_c(t-t') \Delta \sigma_i dt' \quad (1)$$

ここに、

σ_0 : 時刻 $t=t'$ でコンクリートに持続荷重される応力

$$J_c(t) : \text{クリープコンプライアンス } J_c(t) = \frac{1 + \phi_c(t)}{E_c}$$

t' : コンクリートに持続荷重が荷重された材令 (日)

$$\Delta \sigma_i : \text{時刻 } t-t' \text{ における変化応力度 } \Delta \sigma_i = \frac{d\sigma'}{dt'}$$

$\phi_c(t)$: CEB/FIP90式で定義されるクリープ係数

E_c : コンクリートのヤング係数

式(1)の第2項は、時間間隔 tt' における微少な応力増分 $\Delta \sigma_i$ によるクリープひずみの合計とすれば式(2)の形に変形できる。

$$\epsilon_c(t) = \sigma_0 J_c(t) + \sum_{i=0} (\Delta \sigma_i J_c(t-i)) \quad (2)$$

$$\Delta \sigma_i = \frac{1}{n} \left(\frac{P_i}{A_v} + \frac{M_i}{I_v} d_c \right) \cdot E_c \Delta \epsilon_t \quad (3)$$

$$P_i = E_c \Delta \epsilon_t A_c \quad (4)$$

$$M_i = P_i d_c \quad (5)$$

ここに、

n : ヤング係数比 $n = 7$ とする。

A_v : n を用いて合成後の断面を鋼換算した断面積

I_v : n を用いて合成後の断面を鋼換算した断面二次モーメント

A_c : コンクリートの断面積

d_c : 合成断面の図心軸から床版中心までの距離

式(3)に示す, 変化応力度 $\Delta\sigma_i$ は, 時間間隔 $t-t'$ において1つ前に作用した変化ひずみ $\Delta\varepsilon_i$ ($=\varepsilon_c(t)-\varepsilon_c(t-1)$)により合成断面に生じる床版の応力度である. 式(3)の合成断面の応力再分配により鋼桁による拘束効果を考慮できる.

一方, 乾燥収縮についてもクリープひずみと同様に履歴積分と CEB/FIP-90 式における乾燥収縮のクリープ関数を用いる.

任意の時刻 t ($\tau=t+t_0$) は, 乾燥収縮ひずみ $\varepsilon_s(\tau)$ と, クリープコンプライアンス $J_s(\tau)$ を用いて

$$\varepsilon_s(\tau) = \varepsilon_{sh}(\tau) + \sum_{i=t_0}^t (\Delta\sigma_i J_s(\tau-i)) \quad (6)$$

$$J_s(\tau) = \frac{1 + \phi_s(\tau)}{E_c} \quad (7)$$

ここに,

$\varepsilon_{sh}(\tau)$: CEB/FIP-90 式における乾燥収縮の係数

$\phi_s(\tau)$: 乾燥収縮に伴うクリープ係数 $\phi_s(\tau) = \phi_0 \beta_s(\tau)$

$\phi_0, \beta_s(\tau)$: CEB/FIP-90 式で定義される基準クリープ係数, 補正係数

一例として, クリープによるひずみの計算フローを図-5に示す.

2-4. 実験結果と計算値の比較

図-6~8 に実験桁毎のひずみの経時変化を示す. 実測値は, 温度 (図-9) による影響を補正した値を示す. 図に示しているひずみは, 支間中央におけるコンクリート床版の上下の埋め込みひずみゲージの平均値, すなわちコンクリート床版中心のひずみの値を示している. この図より,

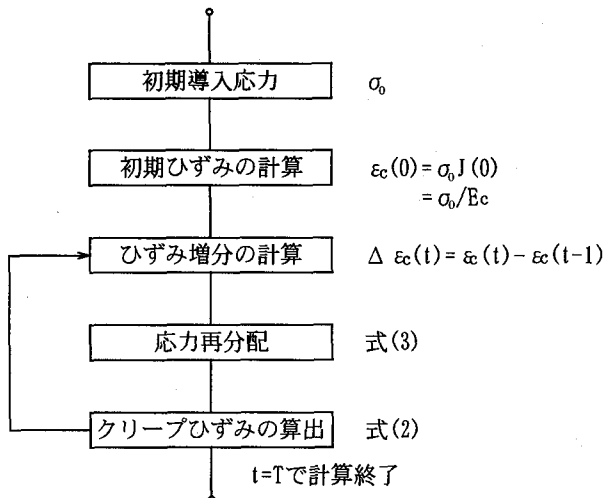


図-5 クリープひずみの計算フロー

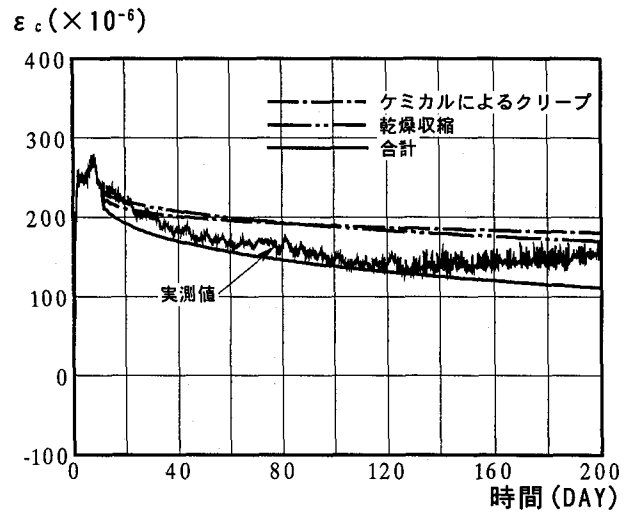


図-6 ひずみの経時変化 (CO 桁)

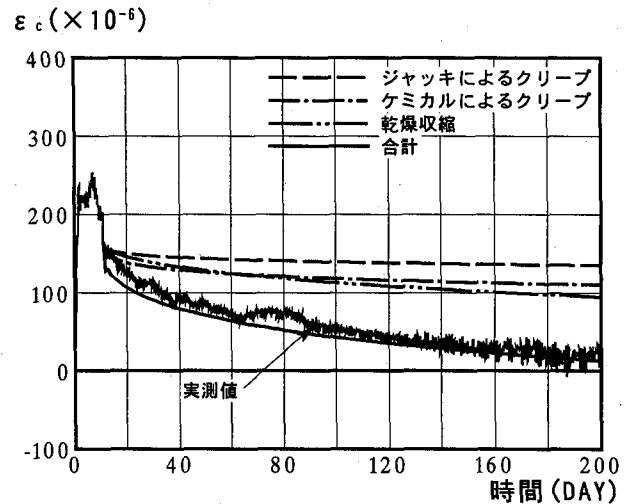


図-7 ひずみの経時変化 (CJ1 桁)

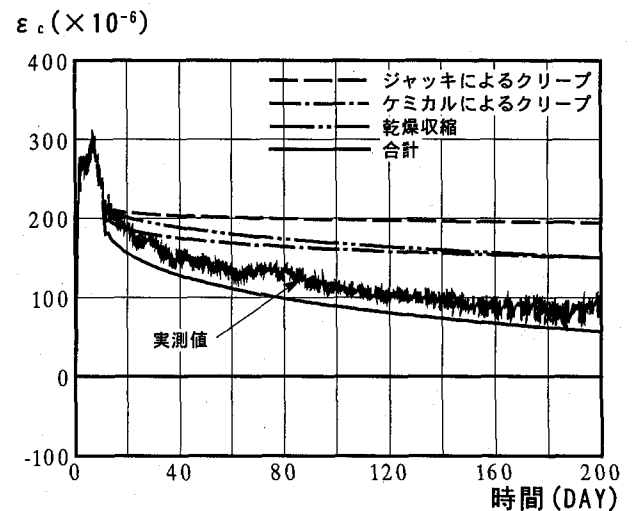


図-8 ひずみの経時変化 (CJ2 桁)

表-3 ひずみおよび残存応力の推定

実験桁	200日			3年		30年	
	実測値	計算値	残存応力	計算値	残存応力	計算値	残存応力
	ϵ_c $\times 10^{-6}$	ϵ_c $\times 10^{-6}$	σ_c N/mm ²	ϵ_c $\times 10^{-6}$	σ_c N/mm ²	ϵ_c $\times 10^{-6}$	σ_c N/mm ²
CO桁	146	111	-1.0	46	-0.7	7	-0.5
CJ1桁	16	12	-1.9	-63	-1.5	-102	-1.3
CJ2桁	69	57	-2.1	-19	-1.7	-63	-1.5

温度(°C)

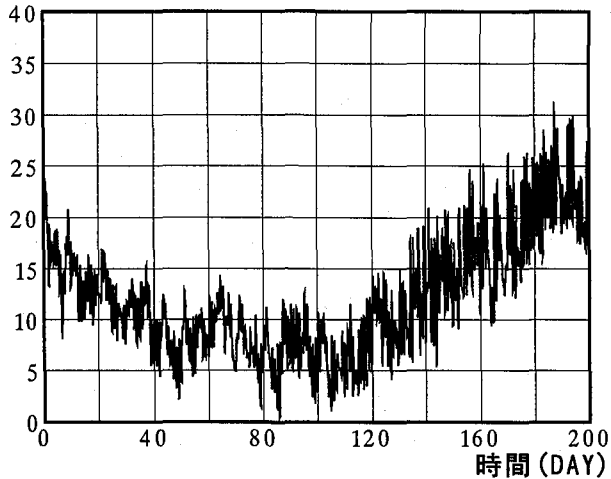


図-9 計測期間の温度変化 (CO 桁)

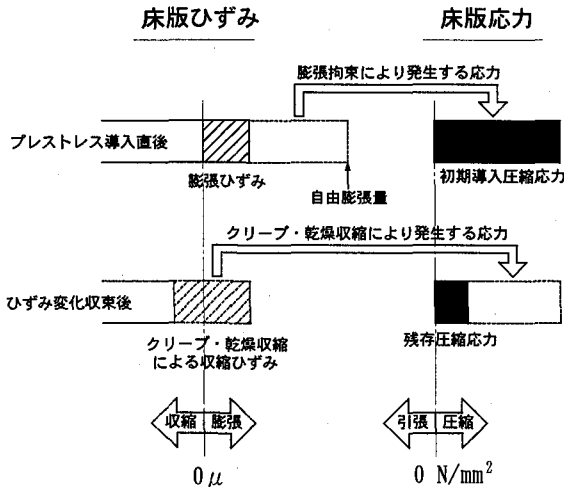


図-12 経時変化に伴う床版ひずみと応力の模式図

実測値は多少ばらつきが見られる。これは、実測値は温度補正を行っているが、温度の影響を完全に除去できなかったことによるものと考えられる。同図には、履歴積分を用いて算出したジャッキダウン、ケミカルプレストレスおよび乾燥収縮によるひずみを併せて示す。

これらの図より、初期における値のずれが見られるが、実測値と計算値の合計による変化の傾向はよく一致していると言える。

図-6 に示す CO 桁において、120 日目辺りから計算値と実測値との差が大きくなっている。CO 桁は南向きに設置しており、温度変化が計測値に大きく影響していると推

σ_c (N/mm²)

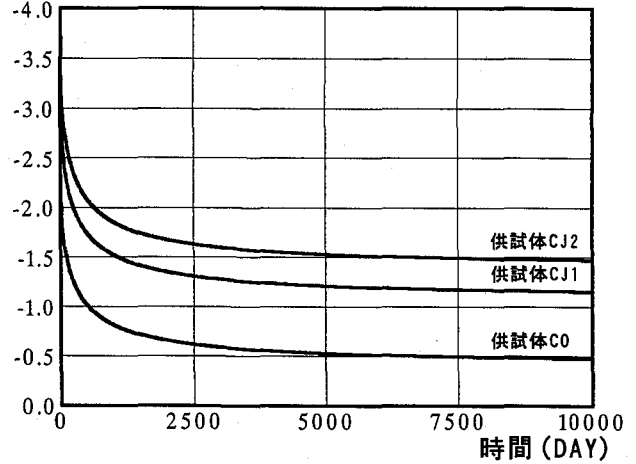


図-10 実験桁の応力度の予測

ϵ_c ($\times 10^{-6}$)

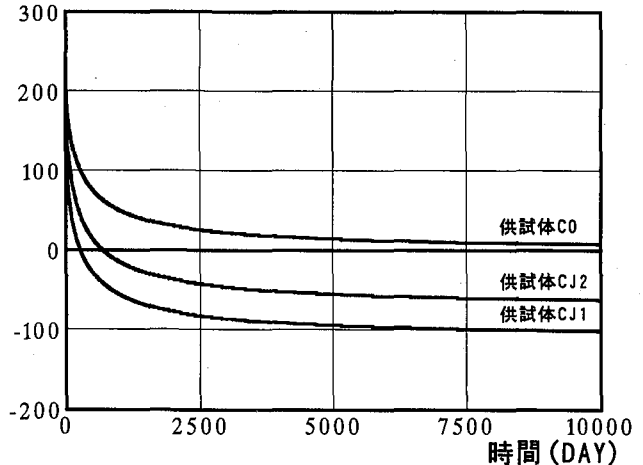


図-11 実験桁のひずみの予測

察している。今後の計測によってその原因を検討していく。

次に上記のひずみの比較よりひずみの計算値が妥当なものと考え、0~30年の長期的なひずみと応力度を予測した。

計算結果を図-10, 11, 表-3 に示す。ひずみの状態は、CO 桁を除いてクリープ、乾燥収縮ひずみの進行により膨張域から収縮域に移行する。CO 桁についても収縮域に近づく。応力度については図-10 より明らかなように、各桁すべてにおいて圧縮応力度が残存していることが確認できる。これは、以下の内容を示している。図-12 に示すように、初期導入された圧縮応力は、自由膨張を拘束す

ることによって発生する。計測された膨張ひずみは、鉄筋および鋼桁によって拘束された後のひずみである。コンクリートには、初期導入された圧縮応力により、クリープが進行し、さらに乾燥収縮の影響によりひずみが膨張域から収縮域に移行するが、図-10, 11 よりも明らかなように、初期導入された圧縮応力の値が、クリープ、乾燥収縮により発生する引張応力よりも大きいため、前述の圧縮応力が残存する結果を得た。

3. 供試体を用いた長期材令における各種性質の確認

3-1. 実験目的

現在、小型コンクリート試験片を用いて高温恒湿度条件、長期暴露条件および促進乾燥条件での圧縮強度試験、曲げ強度試験、拘束膨張試験を1999年11月から3年の期間を設定して実施している。これらにより、小型コンクリート試験片レベルでの長期的な膨張コンクリートの性質を確認することを目的としている。

本節で示す促進乾燥条件での試験は、絶対乾燥状態におけるケミカルプレストレスの残留量を確認するために実施した。

3-2. 実験内容

(1) 試験項目と試験条件

試験項目を下記に示す。

スランブ試験(JIS A1101), 空気量の測定(JIS A1128), 圧縮強度試験(JIS A1108), 曲げ強度試験(JIS A1108), 拘束膨張試験(JIS A6202)

コンクリートに要求される物性は以下の通りとした。

スランブ: $8 \pm 2.5\text{cm}$ (練上り直後 $12 \pm 2.5\text{cm}$)

空気量: $4.5 \pm 1.5\% \text{R.H.}$

圧縮強度: 設計基準強度 40N/mm^2

目標強度 48N/mm^2

コンクリートの配合表を表-4に示す。Ex0は普通コンクリートを表し、Ex57はケミカルコンクリートを示す。

(2) 試験体の養生条件

材令7日は 20°C 水中養生後 $20^\circ\text{C} 80\% \text{R.H.}$ で材令28日まで養生して養生条件は下記の3種類とした。

恒温恒湿条件での長期試験 ($20^\circ\text{C} 60\% \text{R.H.}$)

長期暴露条件 (屋外)

65°C での促進乾燥状態 (約3ヶ月) — 「JASSN 原子力

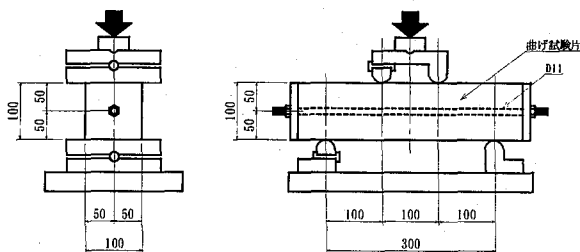
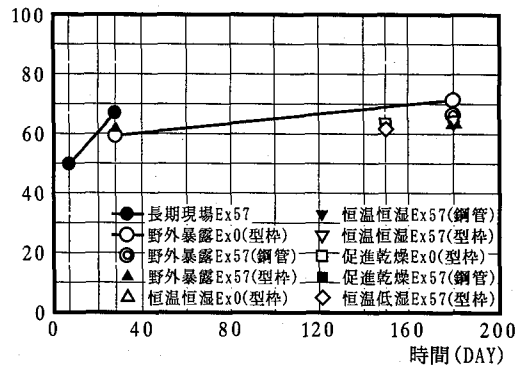


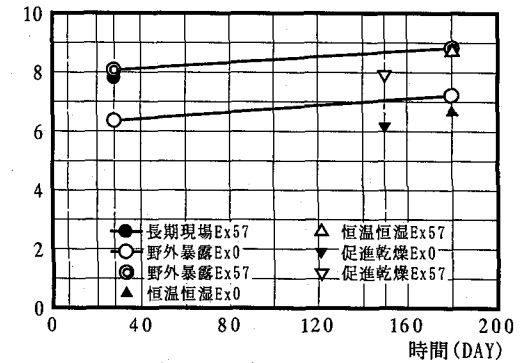
図-13 コンクリートの曲げ試験

圧縮強度 (N/mm^2)



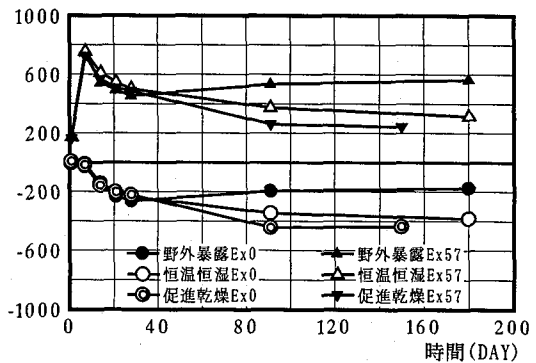
(a) 圧縮強度試験結果

曲げ強度 (N/mm^2)



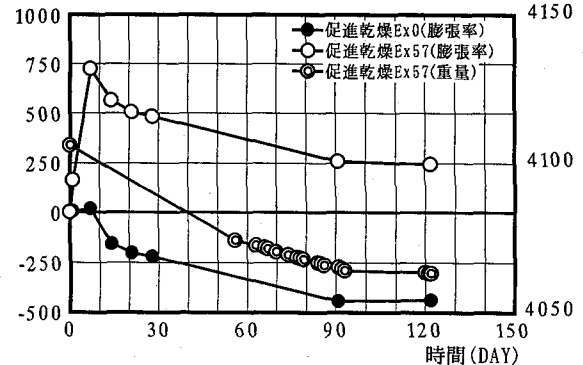
(b) 曲げ強度試験結果

膨張率 ($\times 10^6$)



(c) 膨張率の比較

膨張率 ($\times 10^6$)



(d) 膨張率と重量の推移

図-14 小型コンクリート試験片を用いた試験結果

表-4 コンクリートの配合表

種別	スランプ	Air	W/P	s/a	単体量(kg/m ³)				
	(cm)	(%)	(%)	(%)	W	C	S	G	Ex
Ex0	12±2.5	4.5±1.5	41	42	158	385	736	1036	0
Ex57	12±2.5	4.5±1.5	41	42	158	328	736	1036	57

発電所施設における鉄筋コンクリート工事¹⁴⁾、T-601 コンクリートの乾燥単位容積重量試験方法に準じる。

(3) 試験方法

コンクリートの曲げ強度試験は、図-13 に示すようにコンクリート試験片に鉄筋を挿入した形式で行った。この場合の鉄筋比は0.95%である。

圧縮強度試験については鋼管(155×220mm)中に打設して、コア抜きにより測定する供試体を作製した。試験材令は、28日、6ヶ月、1年、3年としてある。

3-3. 実験結果

試験結果を図-14(a)~(d)に示す。

(1) 圧縮強度試験について

図-14(a)より、材令28日以後、各条件下において強度が上昇している。一般的に、28日以後もコンクリートの強度は増加すると考えられ、本試験での180日強度は28日強度の1.1倍となった。

(2) 曲げ強度試験について

図-14(b)より、曲げ強度についても、強度発現の影響で大きな値が計測されている。また、28日以降も強度は増加している。ケミカルプレストレスの効果については、普通コンクリートと膨脹材を混入したコンクリートの間に明らかな強度の違いが現れているのが確認できる。この効果は、180日でも大きな変化はない。促進乾燥において曲げ強度が他と比べ若干低下しているのは乾燥収縮による影響であると考えられる。恒温恒湿においては養生条件が促進乾燥ほど厳しくないため、膨脹の減少量が小さいと考えられる。

(3) 拘束膨張試験について

図-14(c)より、日数が経過するに従い乾燥収縮とクリープの影響により、膨脹量が減少しているのが確認できる。膨脹材を混入した供試体の方が減少量は大きく、ケミカルプレストレスによるクリープの影響と考える。

野外暴露においては、野外暴露状態にしてから膨脹量が増加しているが、野外での温度、降雨の影響を受けたものと考えられる。

(4) 促進乾燥試験について

乾燥収縮の最終状態におけるケミカルプレストレスの残留を確認するため、促進乾燥試験を行った。この際、促進乾燥試験における乾燥状態の判断としては重量変化を目安に決定している。本試験では材令150日で乾燥状態であると判断し、圧縮試験、曲げ試験を実施している。膨脹コンクリートを用いた供試体の曲げ試験結果より、普通コンクリートと膨脹コンクリートでは曲げ強度に差があり、乾燥状態においても、ケミカルプレストレスは残存してい

ることが確認できる。

4. まとめ

本文では、連続合成桁へのケミカルプレストレス適用の検討として行っている単純桁形式の実験桁と小型コンクリート試験片を対象とした長期計測実験について示した。実験結果をまとめて以下に示す。

- 1) 実験桁によるひずみの計測値と、CEB/FIP-90 および履歴積分を用いたクリープ・乾燥収縮とがよく一致した。
- 2) 上記計算方法を用いて、30年(10000日)経過時のひずみと応力度の予測値を計算した。その結果、3体の実験桁全てにおいて、圧縮応力度が残存しているという結果が得られた。
- 3) 小型コンクリート試験片を用いた試験においては、時間経過とともに、圧縮強度、曲げ強度とも若干増加している。促進乾燥試験により、乾燥収縮が進んだほぼ絶乾状態と考えられる試験体においてもケミカルプレストレスの効果が残存している事が確認できた。

謝辞

本研究を行うにあたり、埼玉大学工学部建設工学科奥井義昭助教授に貴重な資料ならびにご意見を頂いた。ここに記して謝意を表します。また、早稲田大学理工学部土木工学科 依田照彦教授に貴重なご意見を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 例えば、松井繁之：移動荷重を受ける道路橋 RC 床版の疲労強度と水の影響について、コンクリート工学年次論文報告集 9-2, pp.627-632, 1987.
- 2) 辻 幸和：コンクリートにおけるケミカルプレストレスの利用に関する基礎的研究，土木学会論文報告集 第235号，pp.111-124, 1975.3.
- 3) 増田 隆，岡 米男，木曾 茂：鋼橋における膨脹コンクリート床版の特性，日本道路公団試験所報告 Vol.27, pp.45-59, 1990.
- 4) 岡田幸児，細見雅生，依田照彦，佐久間隆司：連続合成桁へのケミカルプレストレスの適用，土木学会第54回年次学術講演会講演概要集，CS-176, pp.352-353, 1999.9.
- 5) 岡田幸児，細見雅生，依田照彦，佐久間隆司：連続合成桁へのケミカルプレストレスの適用，構造工学論文集 Vol.46A, pp.1675-1684, 2000.3.

- 6) 谷口 望, 依田照彦, 岡田幸児, 細見雅生:ケミカルプレストレスを用いた合成桁に関する基礎的研究, 土木学会第55回, CS-31, 2000.9.
- 7) 岡田幸児, 細見雅生, 依田照彦:長期計測実験による連続合成桁へのケミカルプレストレス適用の検討, 土木学会第55回, CS-32, 2000.9.
- 8) 土木学会コンクリート委員会:膨張コンクリート設計施工指針-コンクリートライブラリー第75号-, 1993.7.
- 9) 社団法人 日本道路協会:道路橋示方書・同解説 (I 共通編・II 鋼橋編)・同解説, 丸善, 1996.12.
- 10) 次世代土木工構造研究特別委員会, 合理化桁の設計法小委員会報告書:合理化桁に関するデザインマニュアル, pp.44-64, (社)日本鋼構造協会, 2000.10.
- 11) ACI Committee 209: Prediction of Creep, Shrinkage and Temperature Effects on Concrete Structure, ACI-SP76, 1982.
- 12) CEB-FIP: Model Code 1990, Comité Euro-International du Béton-Fédération International de la Précontrainte, 1990.
- 13) 阪田憲次:コンクリートの乾燥収縮及びクリープの予測, コンクリート工学, Vol.31, No2, pp.5-15, 1993.
- 14) 社団法人 日本建築学会:建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5N 原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事, 1991.9.

(2000年9月14日受付)