

## コンクリートのクリープの予測に関する研究

## STUDY ON PREDICTION OF CREEP OF CONCRETE

阪田 憲次\*・池田 清\*\*

By Kenji SAKATA and Kiyoshi IKEDA

## 1. 緒 言

近年、コンクリート構造物は、ますます長大化、複雑化しており、それに伴ってコンクリートの乾燥収縮およびクリープが、設計上および施工上において無視できない問題となっている。

一方、コンクリート構造物の設計においては、世界的な趨勢として、従来の許容応力度設計法から限界状態設計法へと移行しつつある。構造物の安全性と使用性の両方を設計において取り上げるのが限界状態設計法であり、使用限界状態の検討においては、コンクリートのこの種の変形特性が重要な問題となる。

このような背景のもとに、コンクリートの乾燥収縮およびクリープを適切に予測する手法の確立とその設計への適用に関する研究が、最近、内外ともに活発に行われている。

このような傾向は、設計、施工上の要求ばかりでなく、固体力学の発達および電子計算機の普及という、より合理的な予測およびより複雑かつ膨大な計算を可能にする条件が整ったことにもよるものである。

最近の予測式は、固体力学における構成方程式という概念のもとに位置づけられるもので、乾燥収縮やクリープに影響する種々の要因を、ひずみの生成機構との関連において、できる限り考慮しているのが特徴である。

この種の代表的な予測式としては、Rüschの予測式<sup>1)</sup>とBažantの予測式<sup>2)</sup>が挙げられる。前者は、CEB/FIPのモデルコード(1978年)、DIN 1045(1972年)およびわが国の土木学会PC標準示方書(1978年)等に採用されており、後者は、ACI規準(209委員会—1982年)の基礎となっている。いずれの予測式も、広く普及した優れた予測式である。

著者らは、両予測式についてさまざまな角度から検討し、それらの適用性と問題点について論じてきた<sup>3)~6)</sup>。特に、Bažantの予測式については、その内容を詳細に紹介するとともに、予測式の特徴および問題点を指摘した<sup>7)</sup>。その結果、わが国においてこの種の予測式を実際の設計において用いるためには、わが国のコンクリートの実情に応じた実験的検証を十分に行うことが、その前提として、きわめて重要であることが明らかになった。とりわけ、コンクリートの配合条件は、乾燥収縮やクリープの基本値を決定する重要な要因であるため、その影響について十分に検討する必要がある。

このような観点より、本研究は、種々の配合のコンクリートを用いてクリープ試験を実施し、それらの結果および著者らの行った従来の実験結果<sup>3)~4)</sup>をもとに、新たなクリープ予測式を提案するとともに、その妥当性および適用性について検討するものである。

## 2. 実験概要

## (1) 使用材料とコンクリートの配合

実験に用いたセメントは、普通ポルトランドセメントで、その比重は3.15である。使用した骨材は、川砂(岡山県吉井川産)および碎石で、その物理的性質を表-1に示す。表-2に、コンクリートの配合、打設時のスランプおよび材令28日における圧縮強度を示す。

## (2) 実験方法

コンクリートの練り混ぜは、強制かくはんミキサ(容量50ℓ)を用いて行い、練り混ぜ時間は全材料投入後2分間とした。コンクリートは、打設後24時間型枠内に置き、脱型後は材令28日目まで標準水中養生を施した。クリープ供試体は、10×10×38cmおよび15×15×51cmの角柱供試体である(図-1参照)。持続荷重

\* 正会員 工博 岡山大学助教授 工学部土木工学科

\*\* 工修 伸鋼鋼線工業(株)

表-1 使用骨材の物理的性質

Agg.	Specific gravity	Water Absorption (%)	Weight of unit. vol. (kg/m <sup>3</sup> )	F.M.
Fine	2.58	2.74	1700	3.07
Coarse	2.67	1.23	1601	6.85

表-2 コンクリートの配合，スランプおよび強度

C (kg/m <sup>3</sup> )	W (kg/m <sup>3</sup> )	W/C (%)	S (kg/m <sup>3</sup> )	G (kg/m <sup>3</sup> )	Slump** (cm)	σ <sub>28</sub> ** (kg/cm <sup>2</sup> )
500	220	44.0	683	899	21.6	440
	200	40.0	705	929	19.4	514
460	230	50.0	686	903	23.7	333
	180	39.1	742	978	11.7	535
435	180	41.4	751	990	14.8	500
420	210	50.0	723	952	20.3	352
	160	38.1	780	1027	4.0	569
400	180	45.0	764	1006	10.1	475
	160	40.0	787	1036	2.4	524
380	180	47.4	771	1016	10.4	454
360	220	61.1	733	965	24.0	253
	190	52.8	767	1010	18.7	343
	180	50.0	778	1025	16.8	389
340	180	52.9	786	1035	14.4	364
320	200	62.5	770	1014	20.8	250
	160	50.0	816	1074	2.9	413
280	190	67.9	796	1048	13.9	259
	160	57.1	830	1093	4.5	338
260	170	65.4	826	1088	6.0	243
	160	61.5	837	1103	5.2	306
	130	50.0	871	1148	0.0	435

s/a=44.0% \*\* : Measured (×0.098 MPa)  
σ<sub>28</sub> : Static Strength (age=28 days)

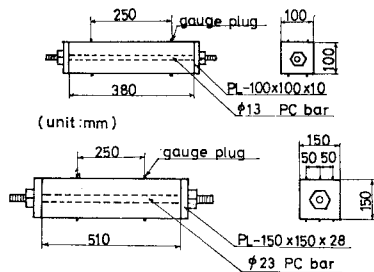


図-1 供試体の形状・寸法

の載荷は、材令 28 日に油圧式ジャッキを用いて行った。すなわち、供試体断面中央に通した PC 鋼棒をジャッキで引張り、その反力の圧縮力を供試体の両端に配した鋼製プレートを通じて供試体に伝えた。持続荷重の大きさは、静的強度の 25% とした。

ひずみの測定は、フーゲンベルガー型変位計（検長：25 cm）を用いて行った。クリープひずみの測定と同時に、同一寸法、形状の無載荷供試体を用いて乾燥収縮ひずみを測定し、持続荷重が載荷された供試体で測定した

ひずみとの差を、クリープひずみとした。クリープひずみの測定は、持続荷重載荷後 147 日目まで行い、そこで除荷し、その後 49 日間の回復クリープを測定した。なお持続荷重載荷後、7, 14, 28, 49 および 98 日目に、持続荷重の再載荷を行った。これは、ひずみの進行、鋼棒のリラクゼーション等による持続荷重の減退を補うものである。実験は、20°C±1 deg. の恒温室内で行い、湿度条件は、80% R.H. と 100%（水中）の 2 種類である。

### 3. コンクリートのクリープ予測式の提案

前述のごとく、Bažant や Rüsich のクリープ予測式は、適用範囲にある程度の限度はあるものの、きわめて優れた予測式である。本章においては、それらの予測式を吟味するとともに、著者らの行った実験結果をもとにして、より簡単な、新しいクリープ予測式を提案する。

乾燥収縮ひずみを除いた、単位応力当たりの全ひずみ ( $C_{sp}(\bar{t})$ ) を、次式のように表わす。

$$C_{sp}(\bar{t}) = 1/E(t) + C_B(\bar{t}) + C_D(\bar{t}) - C_R(t_2) \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 $1/E(t)$  : 単位応力当たりの弾性ひずみ

$C_B(\bar{t})$  : 単位応力当たりの基礎クリープひずみ

$C_D(\bar{t})$  : 単位応力当たりの乾燥クリープひずみ

$C_R(t_2)$  : 単位応力当たりの回復クリープひずみ

なお、ひずみは、今後断わらないかぎり、単位応力 (1 kgf/cm<sup>2</sup>=0.098 MPa) 当たりのひずみである。

ひずみの分類は種々考えられるが、式 (1) のような分類が一般的であり、ひずみの生成機構上からも合理的である。また、実験結果をもとにして予測式を組み立てる場合にも便利であるため、式 (1) の分類を採用した。以下各項目について説明する。

#### (1) 弾性ひずみ

材令  $t$  における弾性ひずみ  $1/E(t)$  は、次式のように表わされる。

$$1/E(t) = 1/(15840 \sqrt{f'(t)}) \dots \dots \dots (2)$$

$$f'(t) = (0.469 \cdot f'(28) + 40.1) \cdot \log(t) + 0.320 f'(28) - 58.1 \dots \dots \dots (3)$$

$$f'(28) = 1.52 \cdot C - 3.96 W + 552 \dots \dots \dots (4)$$

ここに、 $E(t)$  : 材令  $t$  日における静弾性係数 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$f'(t)$  : 材令  $t$  日における圧縮強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$C, W$  : 単位セメント量, 単位水量 (kg/m<sup>3</sup>)

なお、式 (2) および (3) において、 $t \geq 56$  日のときは、材令の影響が無視できると考えられるので、 $t=56$  日とする。

図-2 は、式 (4) の妥当性を検証したものである。従

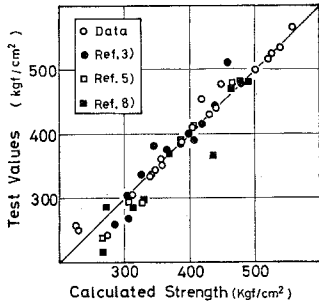


図-2 コンクリートの圧縮強度と予測値

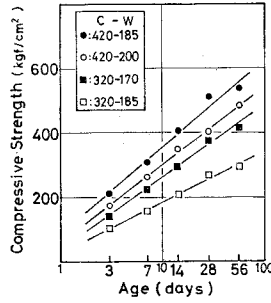


図-3 材令と圧縮強度との関係<sup>3)</sup>

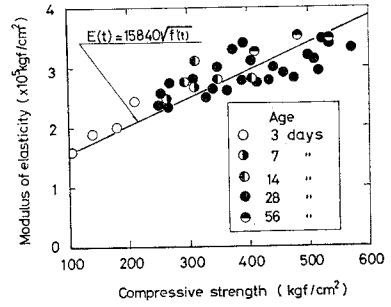


図-4 圧縮強度と弾性係数との関係<sup>3),5)</sup>

来、コンクリートの圧縮強度は  $C/W$  の関数として表わされるのが普通であるが、実験データを検討した結果、同一の  $C/W$  であっても単位水量や単位セメント量が異なれば強度も異なることがある。そこで、本研究では、圧縮強度を単位水量と単位セメント量との2変数の関数で表わすこととした。

式(3)は材令の影響を考慮するもので、図-3に示した実験結果を考慮して決定した。図-4は、コンクリートの圧縮強度と静弾性係数との関係を示したものである。両者の間には、式(2)で表わされるような関係が認められた。

本予測式においては、材令の経過に伴う弾性係数の増大、すなわち、持続荷重下における弾性ひずみの減少を考慮しているのが特徴である。

(2) 基礎クリープ

基礎クリープは、次式のように表わされる。

$$C_B(\bar{t}) = C_{B\infty}(1 - \exp[-0.112(\bar{t})^{0.3}]) \dots\dots(5)$$

$$C_{B\infty} = 3.10 \cdot C_{B0} \dots\dots(6)$$

$$C_{B0} = (0.0023 f'(28) - 1.37) \cdot \log(5.29 \sqrt{t'}) + BC_0 - 0.0033 f'(28) + 1.98 \dots\dots(7)$$

$$BC_0 = -9.33 \times 10^{-4} \cdot C + 4.48 \times 10^{-3} \cdot W - 9.57 \times 10^{-2} \dots\dots(8)$$

ここに、 $C_{B\infty}$ ：基礎クリープの最終値

$C_{B0}$ ：基礎クリープの基準値（本研究においては、持続荷重載荷後98日目における基礎クリープの値を基準としている）

$BC_0$ ：配合によって決定される基礎クリープの基本値

$t'$ ：持続荷重載荷時の材令（日）

$\bar{t}$ ：(= $t - t'$ ) 荷重持続期間（日）

なお、 $t' \geq 56$  日のときは、 $t' = 56$  日とする。

基礎クリープとは、コンクリート内部と外界との間で水分（あるいは湿分）の移動がない場合のクリープと定義されている<sup>9)</sup>。この基礎クリープについては、絶乾状態の供試体によって測定されたクリープとする考え方

と、環境の湿度が100%の場合のクリープとする考え方があるが、一般には後者がとられている。本研究においては、水中において測定したクリープを、基礎クリープとすることにした。

Bazantによれば<sup>2)</sup>、基礎クリープは、セメントの種類、コンクリートの配合および強度によって決定される。一方、Rüschの予測式<sup>1)</sup>では、ひずみの分類が異なるため同列に論じることはできないが、クリープひずみの基本値である基本流動係数は、スランプ値と環境の湿度条件から決定される。

本予測式においては、基礎クリープは配合から決定されると考え、式(8)を導いた。式(8)には、骨材に関する因子が含まれていない。それは、セメント量および水量と骨材量とは補完的であるとの観点によるものである。また、骨材の質的な要因も考慮すべきであると思われるが、適当なデータがなく、考慮できなかった。骨材の質的な因子、たとえば吸水率や比重などはクリープに影響することが予想され、今後検討すべき重要な課題であると思われる。

式(8)の各係数は実験結果より決定したものであり、図-5に、予測値と実験値との適合性を示す。なお、式(8)で示した基本値( $BC_0$ )とは、 $10 \times 10 \times 38$  cmの供試体を用い、材令28日で持続荷重を載荷して行ったクリープ試験の、載荷後98日目の単位応力当たりのクリープひずみである。環境の湿度条件は100% R.H. である。

式(7)は、載荷時の材令、強度および基本値より基準値を決定するものである。

図-6に、載荷時の材令の影響についての検証例を示したが、データ数も少なく、今後さらに詳しく

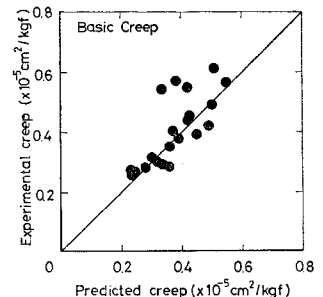


図-5 基礎クリープの基本値の予測

く検討すべき問題である。なお、 $t' \geq 56$  日程度になれば、載荷時材令の影響が問題にならないと考え、そのような範囲では  $t'=56$  日とすることとした。

ひずみの経時変化を表わす数式は、従来よりさまざまなものが提案されている。

本予測式においては、式 (5) に示すごとく、一般によく用いられる  $e$  関数表示法を採用した。式 (5) および (6) の各係数および指数は、本実験結果（全クリープひずみと時間との関係）より決定したもので、全供試体の平均値である。

式 (9) は、Bažant の予測式<sup>2)</sup>における基礎クリープである。

$$C_0(t, t') = \frac{\phi_1}{E_0} (t'^{-m} + \alpha) (t - t')^n \dots \dots \dots (9)$$

ひずみの経時変化を表わす項は、Bažant の予測式の優れた特徴の一つである 2重べき乗則といわれるもので、その指数  $m$  や  $n$  は、配合や強度によって決定される。

式 (5) の係数および指数も、本来は対象とするコンクリートによって若干異なるが、予測式が複雑なることを避けるため、平均的な値を用いた。この点についても、今後その是非について検討すべきである。

(3) 乾燥クリープ

乾燥クリープは、次式のように表わされる。

$$C_D(\bar{t}) = C_{D\infty} (1 - \exp[-0.112(\bar{t})^{0.3}]) \dots \dots (10)$$

$$C_{D\infty} = 3.10 \cdot C_{D0} \cdot 6.25 \cdot (V/S)^{-2} \cdot 0.354 \cdot \left[ \frac{100 - Rh}{10} \right]^{1.5} \dots \dots \dots (11)$$

$$C_{D0} = (0.023 \cdot f'(28) - 1.37) \cdot \log(9.22 \sqrt[3]{\bar{t}'}) + DC_0 - 0.0033 f'(28) + 1.98 \dots \dots (12)$$

$$DC_0 = -0.342 \cdot C_0^{0.2} + 0.588 W^{0.2} - 0.397 \dots \dots \dots (13)$$

ここに、 $C_{D\infty}$ ：乾燥クリープの最終値  
 $C_{D0}$ ：乾燥クリープの基準値  
 $DC_0$ ：配合によって決定される乾燥クリープの基本値  
 $V, S$ ：供試体の体積 (cm<sup>3</sup>) および表面積 (cm<sup>2</sup>)  
 $Rh$ ：環境の湿度条件 (% R.H.)

ただし、 $t' \geq 56$  日のときは、 $t'=56$  日とする。

乾燥クリープは、主にゲル空隙中のゲル水の乾燥に伴う逸散および持続荷重による圧出に起因するもので、シーベジ理論<sup>10)</sup>によって説明されるものである。したがっ

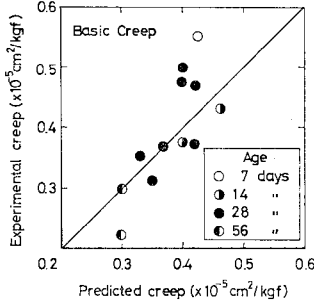


図-6 基礎クリープにおける材令の評価<sup>9)</sup>

て、乾燥収縮の機構ときわめてよく類似した現象であり、その区別は必ずしも明確でない。

この乾燥クリープは、環境の湿度条件や供試体寸法などの因子の影響を顕著に受ける。

Bažant の予測式<sup>2)</sup>においては、供試体寸法およびコンクリート中の水分の拡散の影響を考慮するため、次式で示す  $\tau_{sh}$  なる因子を用いている。

$$\tau_{sh} = 600 \left( \frac{K_s \cdot D}{150} \right)^2 \frac{C_{iref}}{C_1(t_0)}, D = 2 \frac{V}{S} \dots \dots (14)$$

ここに、 $K_s$ ：供試体の形状によって決まる係数

$C_1$ ：拡散係数

式 (14) においては、供試体寸法の影響を  $V/S$  で評価している。Rüsch の予測式においても、同様の因子で評価している。

本研究においては、供試体寸法を 2種類しか採用していないため実験結果のみから適切な評価法を導くことはできなかったが、式 (11) に示すように、Bažant の予測式と同様に、 $(V/S)^{-2}$  で供試体寸法の影響を評価することにした。

乾燥クリープの基本値も、単位水量と単位セメント量から決めることとした。

図-7は、式 (13) で計算した予測値と実験値との関係を示したものである。基礎クリープに比較し、かなりのばらつきがあり、適合性も

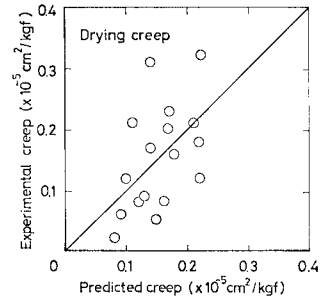


図-7 乾燥クリープの基本値の予測

それほどよいとはいえない。この点については、さらに多くのデータを用いて検討すべきである。

式 (12) により、載荷時材令の影響を、基礎クリープの場合と同様に考慮した。ただ、基礎クリープでは  $\sqrt{\bar{t}'}$  で評価しているが、乾燥クリープでは  $\sqrt[3]{\bar{t}'}$  で評価している点が異なる。これは、ひずみの生成機構から考え、載荷時の材令の影響は、乾燥クリープよりも基礎クリープに対して顕著であるとの考えによるものである。

前述のごとく、供試体寸法および環境の湿度の影響については、Bažant の予測式<sup>2)</sup>を参考にして、式 (11) を提案した。式 (11) 中の係数、6.25 および 0.354 は、基準となる供試体寸法 (10×10×38 cm) および湿度 (80 % R.H.) のとき、それぞれの項が 1 となるようにするためのものである。

ひずみの経時変化については、基礎クリープと同様とした。

(4) 回復クリープ

回復クリープは、持続荷重を除荷したときにだけ観察されるものである。したがって、式(1)において、持続荷重を除荷しないときは  $C_R=0$  となる。

回復クリープをどのように表示するかについては、実験結果も少なく、必ずしも明確ではない。

Rüsch の予測式によれば<sup>9)</sup>、回復クリープの経時変化は、遅れ弾性変形の経時変化と同一であるとしている。これを参考にして次式を決定した。

$$C_R(t_2) = C_{R\infty}(1 - \exp[-0.112(t_2)^{0.3}]) \dots\dots (15)$$

$$C_{R\infty} = 0.271 \cdot (C_{B\infty} + C_{D\infty}) \dots\dots\dots (16)$$

ここに、 $C_{R\infty}$  : 回復クリープの最終値

$t_2$  : 持続荷重除荷後の材令(日)

なお、 $t_2 \geq 49$  日のときは、 $t_2=49$  日とする。これは、回復クリープが、7週程度でほぼ一定値に取れんしたためである。もちろん、これは荷重持続期間が150日程度の場合の実験によるものであり、荷重持続期間が長い場合については不明である。

式(16)の係数0.271は、本実験の結果より求めたものであり、回復クリープと全クリープとの比の全供試体の平均値である。

以上に、本研究において提案したクリープ予測式の内容とその根拠について述べた。裏付けとなる実験が必ずしも多くないこと、クリープに影響する要因をすべて取り上げたものでないことなど、予測式は、今後検討すべき点および改良すべき点を多く含んでいる。したがって、予測式は、今後の部分的な改良に便利なような形で示してある。

従来のクリープ予測式においては、ひずみの経時変化は、荷重持続期間  $\bar{t}(=t-t')$  の関数とするのが一般的である。ところが、Bažant は<sup>3)</sup>、式(9)に示した2重べき乗則を初めて採用した。この表示法が優れたものであることは、別に示した<sup>7)</sup>。しかし、本予測式においては、ひずみの経時変化は従来どおり荷重持続期間  $\bar{t}$  の関数とし、載荷時材令の影響はひずみの基準値の決定の際に考慮することとして、予測式を簡単にした。

本予測式では、温度の影響について言及していない。この点に関しても、今後検討すべきである。

4. 本予測式の適用性

新たに提案した予測式を、既往のデータを用いて検証することは、この種の研究においてはきわめて重要なことである。本章においては、本実験結果および他の実験結果を用い、本予測式の妥当性を検討する。

図-8~10は、それぞれ、Bažant の予測式、Rüsch

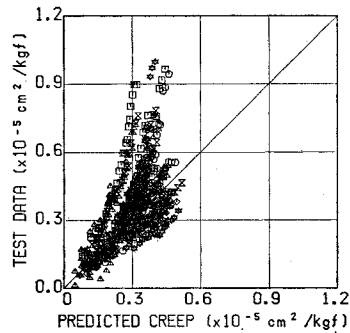


図-8 Bažant のクリープ予測式による予測値と実験値との関係

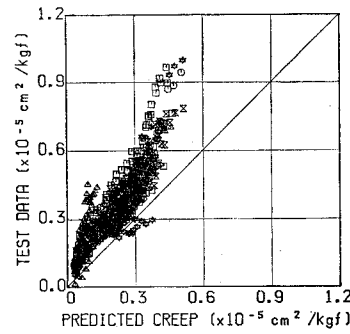


図-9 Rüsch のクリープ予測式による予測値と実験値との関係

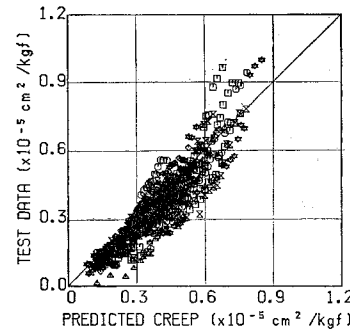


図-10 新予測式による予測値と実験値との関係

の予測式および本予測式による予測値と本実験値とを比較したものである。なお、図-8~10には、本実験で実施したすべての結果を示しており、個々の区別は明記しなかった。これらの図より、おのおのの予測式の適用性の概要がうかがわれる。

図-8によれば、Bažant の予測式による予測値は、ばらつきが大きい。これは、Bažant の予測式が、配合の影響を大きく評価し過ぎるためであると思われる。すなわち、図-8において実験値が予測値を大きく上回っているのは、W/C が大きいコンクリートである。図-11は、著者らが別に行った実験結果<sup>9)</sup>と Bažant の予測

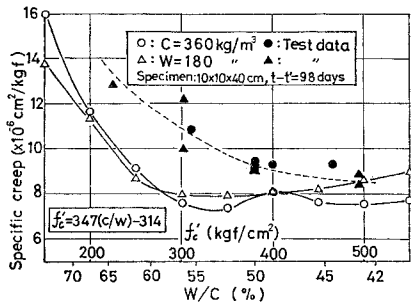


図-11 水セメント比がクリープに及ぼす影響<sup>9)</sup>

式による予測値とを比較したものである。ひずみは  $t=98$  日目のひずみである。図-11 からも明らかなように、 $W/C$  の変化によって、クリープひずみ（実験値）は予測値ほど大きく変化しない。特に  $W/C$  が大きい範囲において両者の差異が大きい。

図-9 によれば、Rüsch の予測式による予測値は、実験値よりも小さい。しかし、それらのばらつきは、Bažant の予測値に比べて著しく小さい。これは、予測値の絶対値が異なるものの、クリープに影響する種々の要因の評価の方法が適切であることを示すものである。ひずみの絶対値が小さいのは、前にも述べた基本流動係数が小さいためである。したがって、この点に関してわが国のコンクリートの実情に合うよう考慮すれば、きわめて実用性に富んだ予測式であるといえる。

図-10 に示した本予測式による予測値は、実験値とよく一致している。図-10 に示した実験値は、本予測式を誘導するときの基礎となったものであるため、予測値とよく一致するのは、ある程度は当然のことであると思われる。しかし、21 種類の配合すべてにつき、ほぼ満足すべき結果が認められることから、本予測式における配合の評価法は、ほぼ妥当なものであると考えられる。

図-12~15 は、本予測式を導く際に用いなかったデータによって、本予測式の妥当性を検討したものである。

図-12 は、載荷時材令の影響の評価の妥当性について示したものである。すなわち、 $C=360 \text{ kg/m}^3$ ,  $W=180 \text{ kg/m}^3$  で、載荷時材令が  $t=7, 14, 28$  および  $56$  日と異なる 4 つの供試体の結果によれば、載荷時材令が若いほど予測値が実験値より大きくなる傾向がみられるが、その差は小さい。図-12 には、上記以外に、単位セメント量が大きく ( $420 \text{ kg/m}^3$ )、水セメント比が小さい ( $42.9\%$ ) 高強度のコンクリート ( $f'(28)=482 \text{ kgf/cm}^2$ ) から、低強度のコンクリート ( $C=280 \text{ kg/m}^3$ ,  $W/C=64.3\%$ ,  $f'(28)=238 \text{ kgf/cm}^2$ ) までの 5 種類の配合のコンクリートに関する結果も示したが、

ほぼ満足すべき結果であると思われる。

図-13 は、環境の湿度条件の影響の評価法の妥当性について検討したものである。図によれば、予測値と実験値とはきわめてよく一致している。したがって、式(11)に示した環境の湿度の評価法は妥当であると思われる。なお、図-13 には、富配合のもとと貧配合のものが示されているが、両者の差は認められなかった。このことから、配合の評価法が妥当であることがうかがわれる。

図-14 および 15 は、川瀬らによって実施された実験の結果<sup>11)</sup>と本予測式による予測値との関係を図示したものである。従来の実験においては、実験上の制約から供

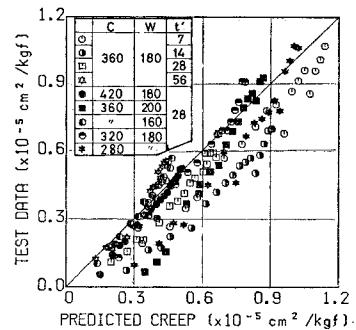


図-12 載荷時材令の評価<sup>9)</sup>

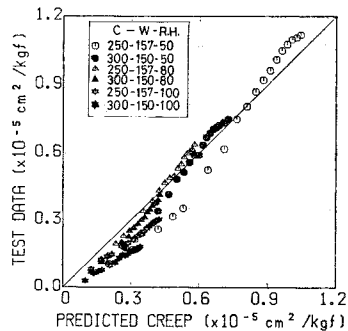


図-13 環境の湿度条件の評価<sup>12)</sup>

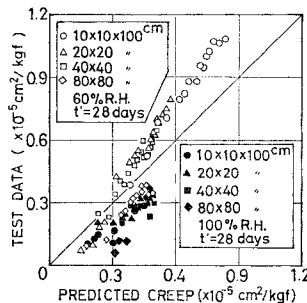


図-14 供試体寸法の評価 ( $t=28$  日)<sup>11)</sup>

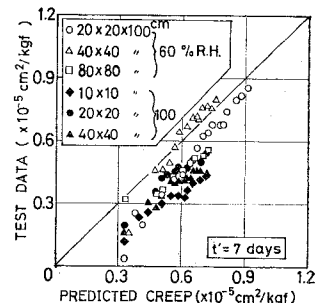


図-15 供試体寸法の評価 ( $t=7$  日)<sup>11)</sup>

試体寸法は比較的小さく、それらを用いて測定したクリープと実大部材のクリープとの差が明確でなかった。すなわち、部材寸法が大きくなればクリープは小さくなるが、それがどの程度であるかを予測することは、容易なことではなかった。

図-14には、載荷時材令が28日の場合について示した。湿度100% R.H.の場合には実験値が予測値より小さくなり、60% R.H.の場合には逆の結果がみられるが、全体的にみれば、ほぼ満足すべき結果であると思われる。

図-15には、載荷時材令が7日の場合を示した。図-14に示した材令28日の場合とほぼ同様の傾向がみられる。川瀬らの実験においては、湿度100%とは、金属板でシールされた供試体を意味し、水中の供試体と相対湿度が100%の環境下の供試体とは異なることに注意しなければならない。すなわち、金属板でシールされた場合には、コンクリート中の水分は外部へ圧出されることはないが、水中に置かれた供試体では持続荷重によって水分が外部へ圧出されることも予想される。現在のところ、両者の相違については不明であるが、水分が外部へ圧出されることによるひずみに若干の相違があることも予想される。

いずれにしろ、図-14および15より、実大部材にほぼ等しい寸法の供試体(80×80×100 cm)のクリープひずみの予測も、ほぼ可能であると思われる。

なお、図-14および15に示した供試体の配合はすべて同一で、 $C=302 \text{ kg/m}^3$ 、 $W=172 \text{ kg/m}^3$ のAEコンクリートである。

## 5. 結 語

本研究は、コンクリートのクリープひずみを、比較的簡単に予測する手法を確立することを目的としたものである。すなわち、従来の予測式を検討するとともに、約35種類の配合のコンクリートのクリープ試験結果をもとにしてクリープ予測式を導いた。

コンクリートのクリープに影響する要因はきわめて多く、予測式を導くための実験としては必ずしも十分なものではなかった。また、環境の温度条件の影響および骨材の質的な要因の影響を予測式に含めることができなかった。しかし、配合条件については、かなり広範囲のものについて検討することができた。

本研究においても、既往のデータを用いて予測式の検証を行った。今後さらに多くのデータによって検証し、

予測式の修正および改良をすることとし、本研究の結果明らかになった点、本予測式の特徴および適用範囲を列挙し、結論とする。

(1) 材令の経過に伴う弾性係数の増大によって減少する持続荷重下の弾性ひずみを予測することが可能である。

(2) コンクリートの配合がクリープに及ぼす影響は、単位セメント量と単位水量の関数によって評価できる。

(3) コンクリートのクリープに及ぼす載荷時材令の影響を、予測式において精度よく評価できた。

(4) 本予測式により、ほぼ実大構造物に相当する寸法の部材のクリープを予測することが可能である。

(5) 乾燥クリープに大きな影響を及ぼす環境の湿度条件の影響を、かなり精度よく評価できることが明らかになった。

本研究は、著者の1人に与えられた、昭和57年度文部省科学研究費(一般研究(C))によって行ったものである。

## 参 考 文 献

- 1) Rüschi, H. und D. Jungwirth: Stahlbeton-Spannbeton, Band 2, Werner-Verlag, 1976.
- 2) Bažant, Z.P. and L. Panula: Practical Prediction of Time-Dependent Deformations of Concrete, Structural Engineering Report, No. 78-3/640 S, 1978.
- 3) 阪田憲次・久住武司・大下 憲: コンクリートの乾燥収縮の予測に関する研究, セメント技術年報, 35巻, pp. 266~269, 1981.
- 4) 阪田憲次・久住武司・中山桂次: コンクリートのクリープの予測に関する研究, 土木学会第36回年次学術講演会講演概要集, 第5部, pp. 324~325, 1981.
- 5) 阪田憲次・池田 清・浜野隆司: コンクリートの乾燥収縮の予測手法について, セメント技術年報, 36巻, pp. 263~266, 1982.
- 6) 阪田憲次・大石啓史・中村幸一: コンクリートのクリープの予測手法に関する一考察, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 第5部, pp. 345~346, 1982.
- 7) 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. 425, pp. 7~13, 1982.
- 8) 池田 清・浜野隆司・阪田憲次: コンクリート中の水分の逸散と乾燥収縮に関する研究, 第33回土木学会中国四国支部学術講演会講演概要, pp. 334~335, 1981.
- 9) 岡田 清: コンクリートの弾性とクリープ, 最新コンクリート技術選書 1, 山海堂, p. 116.
- 10) 既出 9), pp. 120~121.
- 11) 川瀬清孝・赤石 博: 建設省建築研究所春季研究発表会資料, 1982.
- 12) 阪田憲次: 持続および繰返し荷重下におけるコンクリートの塑性的性質に関する研究, 学位論文, 1977.