

初期材齢時における高強度コンクリートのクリープ特性

Creep of High-Strength Concrete in Early Age

室蘭工業大学大学院
室蘭工業大学大学院
室蘭工業大学

○学生員 佐藤 克俊 (Katutoshi Satoh)
学生員 鎌田 健太郎 (Kentarō Kamada)
正会員 菅田 紀之 (Noriyuki Sugata)

1. はじめに

コンクリートのクリープに関する研究は古くから行われておりクリープ予測式についてもいくつか提案されている。しかしながら、圧縮強度が100N/mm²を超えるような高強度コンクリートのクリープ特性については、まだ明白になっていない部分が多い。

そこで本研究では、高強度コンクリートのクリープ試験を行い、初期材齢時におけるクリープ特性の検討を行った。また、土木学会コンクリート標準示方書(8年版)¹⁾およびCEB-FIP Model Code1990²⁾の予測式との比較検討を行った。

2. 実験概要

2.1 コンクリート

本研究に用いた高強度コンクリートの配合を表-1に示す。水結合材比 W/B には20%, 25%, 30%の3種類を採用し、目標スランプフローおよび空気量を55cm および1.5%として配合を決定した。使用した材料を表-2に示す。結合材には普通ポルトランドセメントおよびシリカフェーム、混和剤にはポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤を用いた。フレッシュコンクリートのスランプフローは35cmから70cm、空気量は0.5%から1.8%であった。実験に用いた供試体は直径10cm、高さ20cmの円柱供試体である。表-3 はクリープ試験開始時の圧縮強度

表-1 コンクリートの配合

W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					
		W	C	SF	S	G	SP
20	41.7	140	630	70	688	947	10.25
25			504	56	740	1019	7.28
30			420	47	775	1066	4.68

表-2 使用材料

材 料	特 性 等
セメント(C)	普通ポルトランドセメント 比重: 3.15
シリカフェーム(SF)	比表面積: 230,000cm ² /g 比重: 2.2
細骨材(S)	陸砂 表乾比重: 2.69
粗骨材(G)	碎石 2005 表乾比重: 2.65
高性能AE減水剤(SP)	ポリカルボン酸系

表-3 圧縮強度

W/B (%)	クリープ試験開始時の圧縮強度 (N/mm ²)	
	載荷開始 材齢 3 日	載荷開始 材齢 7 日
20	82.9	98.5
25	66.2	80.3
30	54.7	61.1

を示している。

2.2 クリープ試験方法

本研究において用いたクリープ試験装置は、図-1に示すようなコイルスプリング式のものである。コイルスプリングの諸元を表-4に示す。コイルスプリングはクロムバナジウム鋼(SUP10)であり、直径は70mm、コイル外径は370mmである。試験装置の設計荷重は170kNであり、そのときのたわみは61mmとなっている。荷重の載荷は油圧ジャッキを用いて行なった。試験装置は、球座付加圧版(S45C)を介して2本の円柱供試体を直列に配置できるようになっている。

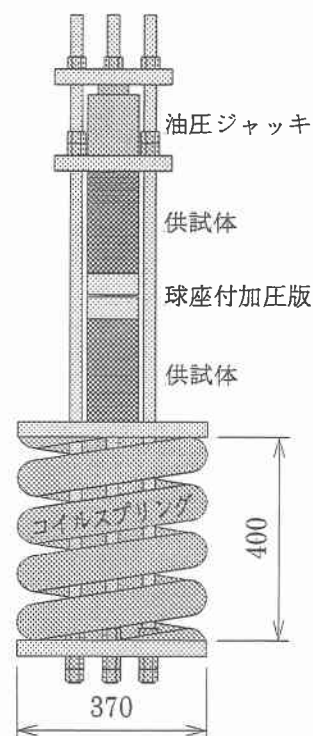


図-1 クリープ試験装置

表-4 コイルスプリングの諸元

材質	SUP10
直径	70mm
コイル内径	230mm
コイル外径	370mm
巻き数	4.6
自由高さ	400mm
密着高さ	322mm
ばね定数	2.8kN/mm
設計荷重	170kN
たわみ	61mm

コンクリートのクリープ試験は、温度 20℃、相対湿度 70% に制御された恒温恒室内において行った。クリープ試験開始時の材齢は、7 日および 3 日、測定期間は 5 日間とし、試験期間中のひずみの変化を埋込みゲージにより測定した。コンクリートに作用させた応力度は、クリープ試験開始時における圧縮強度の 20% に設定した。試験は、乾燥を防ぐためにアルミテープで密封した 2 本の円柱供試体と密封していない 2 本の円柱供試体に対して行った。密封供試体のひずみから自己収縮ひずみを減じたひずみを基本クリープとし、密封していない供試体のひずみから乾燥収縮ひずみを減じたひずみを全クリープとした。さらに、全クリープから基本クリープを減じたクリープを乾燥クリープとして検討した。

3. クリープ予測式

クリープ予測式は、土木学会コンクリート標準示方書(8 年版)¹⁾および CEB-FIP Model Code(1990)²⁾の予測式を使用した。以下に予測式を示す。CEB 式において基本クリープを求める場合には、相対湿度を 100% とした。

1) 示方書式(8 年版)

$$\varepsilon'_{cc} = [1 \cdot \exp\{t \cdot t_0\}^{0.6}] \cdot \varepsilon'_{cr} \quad (1)$$

$$\varepsilon'_{cr} = \varepsilon'_{bc} + \varepsilon'_{dc}$$

$$\varepsilon'_{bc} = 15(B+W)^{2.0}(W/B)^{2.4}(\log_e t_0)^{-0.67}$$

$$\varepsilon'_{dc} = 4500(B+W)^{1.4}(W/B)^{4.2}[\log_e \{V/S\}]^{-2.2} \\ (1-RH/100)^{0.36} t_0^{-0.30}$$

$$\varepsilon'_{cc}: \text{経過日数 } t \text{ における単位応力当りのクリープひずみ} \\ \{ \times 10^{-10}/(N/mm^2) \}$$

$$\varepsilon'_{cr}: \text{単位応力当りのクリープひずみの最終値} \\ \{ \times 10^{-10}/(N/mm^2) \}$$

$$\varepsilon'_{bc}: \text{単位応力当りの基本クリープひずみの最終値} \\ \{ \times 10^{-10}/(N/mm^2) \}$$

$$\varepsilon'_{dc}: \text{単位応力当りの乾燥クリープひずみの最終値} \\ \{ \times 10^{-10}/(N/mm^2) \}$$

B=C+SF: 結合材量(kg/m³), W: 単位水量(kg/m³)

V: 体積(mm³), S: 面積(mm²), V/S: 体積表面積比(mm)

RH: 相対湿度(%), t: 経過日数(日), t₀: 載荷開始材齢(日)

2) CEB-FIP Model Code(1990)式

$$\varepsilon_c(t) = \varphi_0 \beta_c(t-t_0)/E_c(28) \quad (2)$$

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \beta(f_{cm}) \beta(t_0)$$

$$\varphi_{RH} = 1 + [1 \cdot (RH/100) / 0.46(h_0/h_{ref})^{1/3}]$$

$$\beta(f_{cm}) = 5.3/(f_{cm}/f_{cm0})^{0.5}$$

$$\beta(t_0) = 1/(0.1+t_0^{0.2})$$

$$E_c(28) = 21500(f_{cm}/f_{cm0})^{1/3}$$

$$\beta_c(t-t_0) = [t-t_0/(\beta_H+t-t_0)]^{0.3}$$

$$\beta_H = 150h_0[1+(0.012RH)^{18}]/h_{ref}+250 \leq 1500\text{mm}$$

$$\varepsilon_c(t): \text{経過日数 } t \text{ における単位応力当りの} \\ \text{クリープひずみ} \{ \times 10^{-10}/(N/mm^2) \}$$

φ_0 : 見かけのクリープ係数

$E_c(28)$: 材齢 28 日における弾性係数(MPa)

$\beta_c(t-t_0)$: 荷重載荷後の時間経過に伴うクリープの進行度を表す係数

β_H : 仮想部材厚 h_0 および相対湿度 RH の関数

RH: 相対湿度, h_0 : 仮想部材厚(mm), $h_{ref}=100(\text{mm})$

f_{cm} : 材齢 28 日における平均圧縮強度(MPa)

$f_{cm0}=10(\text{MPa})$, t: 経過日数(日), t_0 : 載荷開始材齢(日)

4. クリープ試験結果および考察

4.1 クリープ特性

図-2 および図-3 は、20℃一定で 7 日間および 3 日間の封緘養生を行ったコンクリートの全クリープ、基本クリープおよび乾燥クリープの単位クリープひずみの変化を示している。この図より、乾燥クリープは小さく、特に 3 日間封緘養生したコンクリートで小さくなっていることがわかる。3 日間封緘養生したコンクリートの各クリープと 7 日間封緘養生したコンクリートの全クリープおよび乾燥クリープは、水結合材比が大きいほど小さくなっている。しかしながら、7 日間封緘養生したコンクリートの基本クリープは、水結合材比に関係なくほぼ同じ大きさになっていることがわかる。3 日間および 7 日間封緘養生したコンクリートの全クリープおよび基本クリープを比較すると、3 日間封緘養生したコンクリートのほうが大きく、若材齢であるほどクリープが大きくなっていることがわかる。しかしながら、乾燥クリープでは大小関係が水結合材比によって異なっている。

4.2 実験値と予測値との比較

図-4 および図-5 は 20℃一定で 3 日間および 7 日間封緘養生したコンクリートの全クリープひずみの変化と示方書式および CEB 式から求めた全クリープひずみの変化を比較して示している。図-4 より、3 日間養生した水結合材比 20% の 5 日間経過時における実験値は、示方書式から求めた予測値の約 2.7 倍、25% では約 2.6 倍、30% では約 2.4 倍になっている。7 日間養生した水結合材比 20% の 5 日間経過時における実験値は予測値の約 3.1 倍、25% では約 2.9 倍、30% では約 2.3 倍になっていることがわかる。図-5 では、3 日間養生した水結合材比 20% の 5 日間経過時における実験値は、CEB 式から求めた予測値の約 1.2 倍、25% では約 1.3 倍、30% では約 1.5 倍になっている。7 日間養生した 5 日間経過時

における実験値はすべての水結合材比において予測値の約 1.1 倍となっていることがわかる。このことから、全クリープを予測する場合、示方書式から求めた予測値よりも CEB 式から求めた予測値のほうが比較的良好であることがわかる。

図-6 および図-7 は 20℃一定で 3 日間および 7 日間封緘養生したコンクリートの基本クリープひずみの変化と示方書式および CEB 式から求めた基本クリープひずみの変化を比較して示している。図-6 より、3 日間養生した 5 日間経過時における実験値はすべての水結合材比において示方書式から求めた予測値の約 3.1 倍になっている。7 日間養生した水結合材比 20%の 5 日間経過時における実験値は予測値の約 3.5 倍、25%では約 3.2 倍、30%では約 2.8 倍になっていることがわかる。図-7 では、3 日間養生した水結合材比 20%の 5 日間経過時における実験値は CEB 式から求めた予測値の約 3.1 倍、25%では約 3.4 倍、30%では約 3.9 倍になっている。7 日間養生した水結合材比 20%の 5 日間経過時における実験値は予測値の約 3.0 倍、25%では約 2.7 倍、30%では約 2.4 倍になっていることがわかる。このことから、示方

書式および CEB 式から求めた予測値は実験値と大きく異なり基本クリープを予測することはできないことがわかる。

図-8 および図-9 は 20℃一定で 3 日間および 7 日間封緘養生したコンクリートの全クリープから基本クリープをひいた乾燥クリープひずみの変化と示方書式および CEB 式から求めた乾燥クリープひずみの変化を比較して示している。図-8 より、3 日間養生した水結合材比 20%の 5 日間経過時における実験値は示方書式から求めた予測値の約 1.7 倍、25%では約 1.6 倍、30%では約 0.9 倍になっている。7 日間養生した水結合材比 20%の 5 日間経過時における実験値は予測値の約 0.5 倍、25%では約 1.6 倍、30%では約 1.5 倍になっていることがわかる。図-9 より、3 日間養生した水結合材比 20%の 5 日間経過時における実験値は CEB 式から求めた予測値の約 0.2 倍、25%では約 0.3 倍、30%では約 0.3 倍になっている。7 日間養生した水結合材比 20%の 5 日間経過時における実験値は予測値の約 0.1 倍、25%では約 0.3 倍、30%では約 0.4 倍になっていることがわかる。このことから、乾燥クリープを予測する場合、CEB 式で予測するよりも、

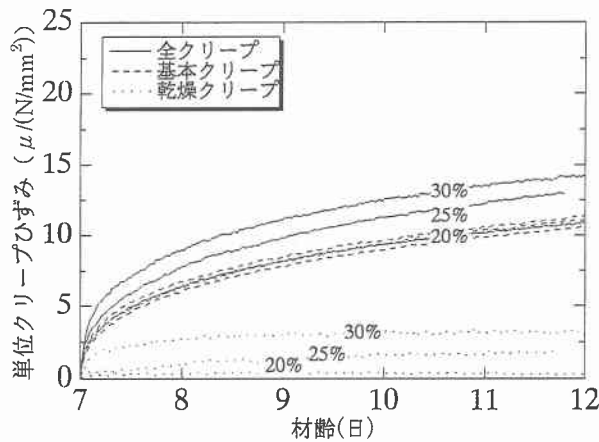


図-2 7 日間封緘養生したコンクリートの単位クリープひずみ

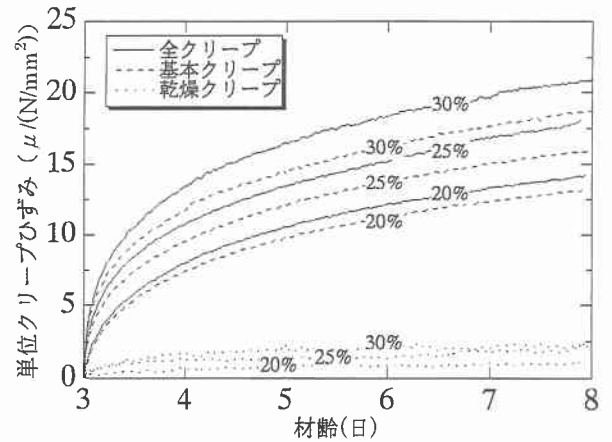


図-3 3 日間封緘養生したコンクリートの単位クリープひずみ

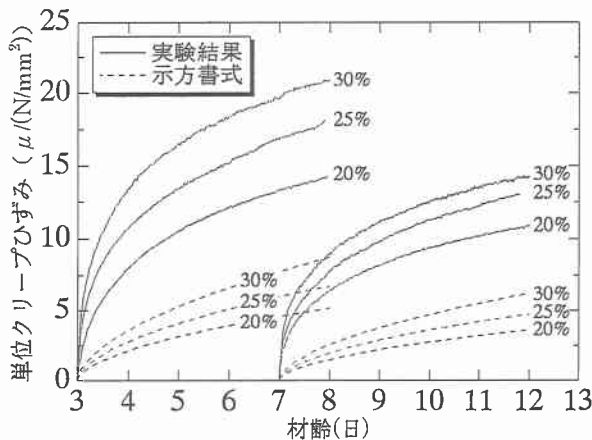


図-4 全クリープの実験値と示方書式から求めた全クリープの予測値

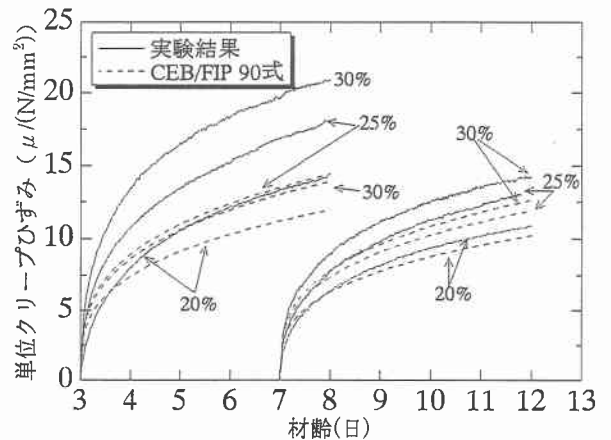


図-5 全クリープの実験値と CEB-FIP Model Code 式から求めた全クリープの予測値

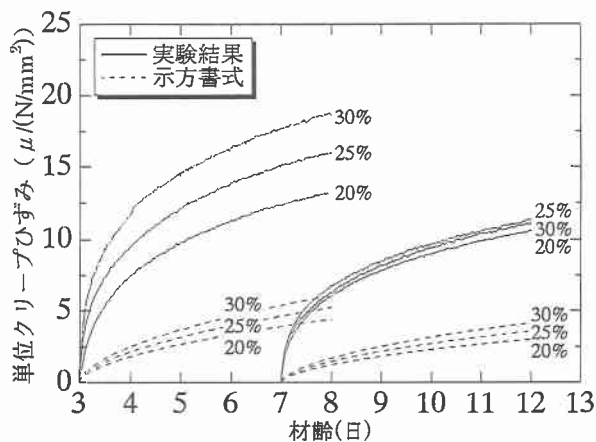


図-6 基本クリープの実験値と示方書式から求めた基本クリープの予測値

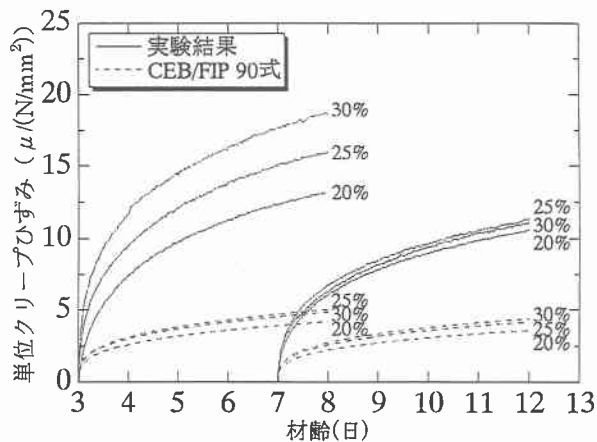


図-7 基本クリープの実験値と CEB-FIP Model Code 式から求めた基本クリープの予測値

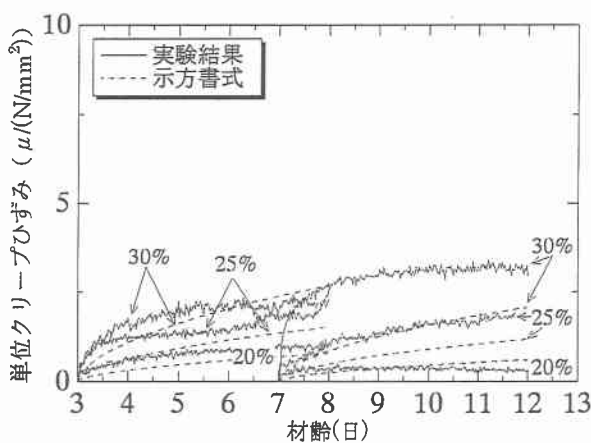


図-8 乾燥クリープの実験値と示方書式から求めた乾燥クリープの予測値

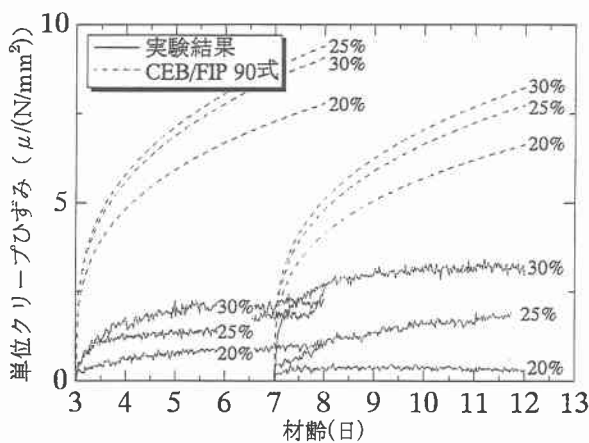


図-9 乾燥クリープの実験値と CEB-FIP Model Code 式から求めたの予測値

示方書式で予測するほうが比較的良好であることがわかる。

以上のことから、示方書式(8年版)および CEB-FIP Model Code(1990)式から求めた予測値は、実験値と差があり正確に予測することができないことがわかった。

4. まとめ

本研究での高強度コンクリートのクリープ試験の結果から、次のようなことがわかった。

- 1) 高強度コンクリートの乾燥クリープは小さく、特に3日間封緘養生したコンクリートで小さい。
- 2) 7日間封緘養生したコンクリートの基本クリープは、水結合材比に関係なくほぼ同じになるが、それ以外のクリープでは、水結合材比が大きいほどクリープは大きくなる。

- 3) 全クリープおよび基本クリープは、若材齢であるほどクリープが大きくなる。しかしながら、乾燥クリープでは大小関係が水結合材比によって異なる。

- 4) 本研究では、示方書式(8年版)および CEB-FIP Model Code(1990)式の予測式によってクリープは、正確に予測することができない。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書(平成8年版)設計編, pp.26~33, 1996
- 2) CEB : CEB - FIP Model Code 1990, Thomas Telford, 1993