

コンクリートの乾燥収縮の基礎的実験

北海道大学工学部

○学生員 曾我 公平

北海道大学大学院工学研究科

フェロー 大沼 博志

北海道大学大学院工学研究科

正會員 名和 豊春

北海道大学大学院工学研究科

正会員 出雲 健司

1. はじめに

コンクリートの劣化が原因と思われるトンネルの剥落事故等が相次いでいる。コンクリートの劣化は、コンクリートの内部欠陥により外部からの劣化因子が浸透することによって引き起こされる。その内部欠陥の要因の一つとしてコンクリートの乾燥収縮が挙げられる。コンクリートの乾燥収縮は、コンクリート中の水分が逸散することにより収縮する現象であると定義されている。コンクリートの乾燥収縮は、構造物の周辺の温度・湿度、部材断面の形状・寸法、コンクリートの配合の他、骨材の性質、コンクリートの締め固め、養生条件等の種々の要因の影響を受けることと考えられている。

本研究では、水セメント比 60%, 45% の 2 種類のコンクリート供試体を用い、それを水中で養生した後、相対湿度 60% の雰囲気中での収縮ひずみの変化と供試体の重量変化を経時的に測定して、広く使われている収縮ひずみの予測式と測定値を比較した。そして、収縮ひずみと重量欠損の関係についても考察した。

2. 実験概要

(1)使用材料およびコンクリートの配合配合

セメントには普通ポルトランドセメント（比重 3.15）を用いた。細骨材には鶴川産海砂（比重 2.67）を、粗骨材には静内川産川砂利（比重 2.75）を用いた。スランプ維持のため、混和剤は、高性能 AE 減水剤として、ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤を適宜使用した。コンクリートの配合は、表-1 に示すように、水セメント比 60%、45% の 2 種類を用意した。配合は、細骨材率を一定にした。

表-1 コンクリートの配合

最大 粗骨材 寸法 (cm)	スランプ 値 (cm)	空気量 (%)	水セメント 比 W/C (%)	細骨材 率 s/a (%)	単位量(kg/m³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和材 SP
20.0	20±3	2.1	60.0	40.0	170.0	283.3	769.0	1188.1	0.0
20.0	20±3	4.6	45.0	40.0	160.0	355.6	755.2	1166.8	0.711

(2) 供試体の形状・寸法および測定方法

図-1 に供試体の寸法を示す。供試体数は水セメント比別に 3 個とした。供試体は打設から 24 時間後に脱型し、その後は材齢 7 日まで、20℃一定の水中で養生した。測定器にはコンタクトゲージを使用し、測定方法は JIS A 1129 に準じた。ゲージプラグは脱型時に供試体の両側面に 300mm の間隔で打ち込んだ。そして、水中養生が終了した直後の長

表-2 コンクリートの力学的性質

水セメント比 W/C (%)	材齢 (days)	圧縮強度 (N/mm ²)
60.0	7	15.60
	28	24.45
45.0	7	25.75
	28	40.87

Fundamental Study on Drying Shrinkage of Concrete

By Kohei SOGA, Hiroshi OHNUMA, Toyoharu NAWA and Kenji IZUMO

さを基長とした。また長さを測定するときに、重量も測定した。測定値は収縮ひずみ、重量変化とも3個の供試体の平均値を取った。また表-2にコンクリートの力学的性質を示す。

(3)乾燥条件

(2)の水中養生後、供試体は温度 20℃ 一定、湿度 60%一定の恒温恒湿槽内で供試体を乾燥させた。

3. 実験結果と考察

(1)水セメント比の違いによる収縮と重量欠損の関係

2 種類の水セメント比の供試体の収縮ひずみと重量欠損の関係を、図-2、図-3 に示す。収縮ひずみについては、水セメント比の違いによる差がほとんど見られなかった。しかし、重量欠損については、初期の段階を除いて明らかに水セメント比 60%と 45%の差が認められた。初期の段階では水セメント比 60%、45%ともに乾燥収縮の影響が大きく、差が出なかったと考えられる。その後は、60%の方は乾燥収縮と自己収縮が同時に進み、45%の方は乾燥収縮の影響が小さくなったことで、差が出たと考えられる。

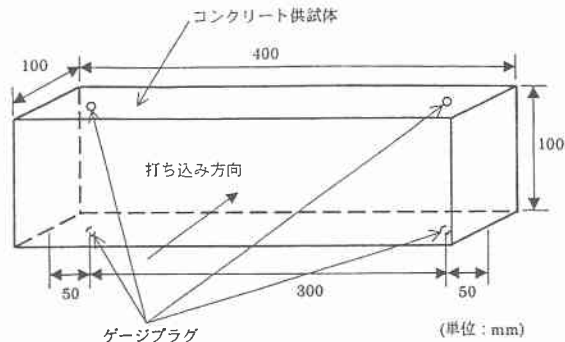


図-1 コンクリート供試体

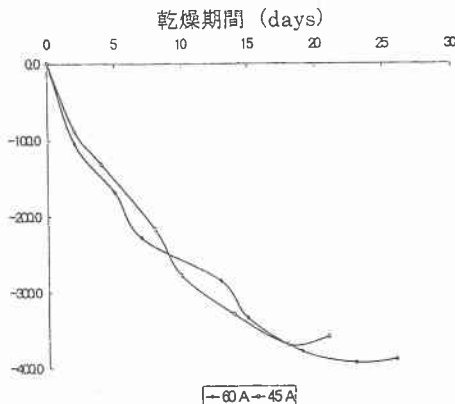


図-2 収縮ひずみ

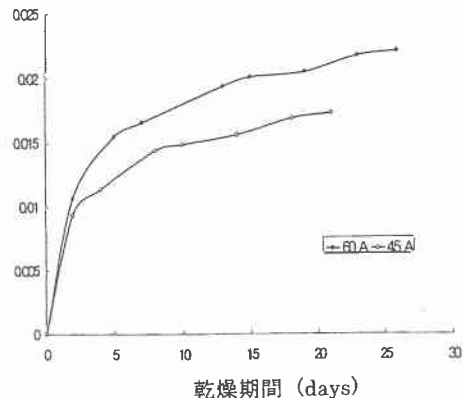


図-3 重量欠損率

(2)収縮ひずみと重量欠損の関係

収縮ひずみと重量欠損の関係について、図-4 に示す。図より初期は同じ動きだが、ひずみが -100×10^{-6} あたりから水セメント比 60%、45%のコンクリートとも重量はほとんど変わらないが収縮ひずみは大きくなっている。これは乾燥収縮の影響が小さくなり、自己収縮によるひずみが大きくなったことが考えられる。そこで乾燥収縮と自己収縮が同時に進んでいる範囲とほとんど自己収縮だけの範囲に分けると、この図は Bi-Linear 型だと考えられる。また、概念図を示す。

(3)収縮ひずみの測定値と予測値の関係

収縮ひずみの測定値と予測値との値の結果を図-6に示す。ここで、測定値の数字は水セメント比を表す。

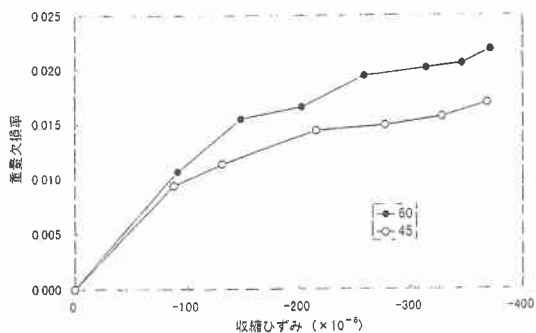


図4 重量欠損率と収縮ひずみの関係

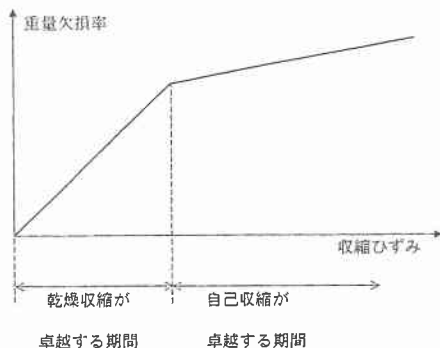


図5 重量欠損と収縮ひずみの関係における乾燥収縮と自己収縮の役割の概念図

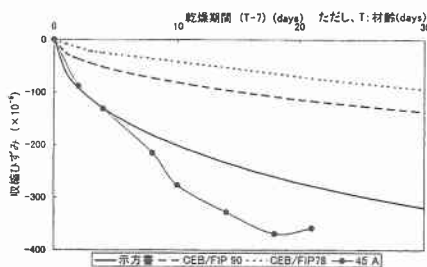
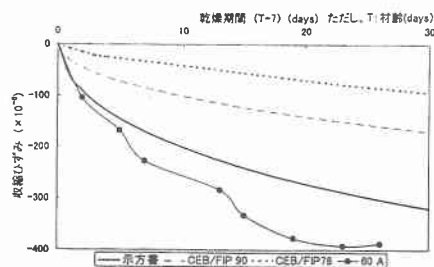


図-6 収縮ひずみの予測値と測定値

予測式は、標準コンクリート示方書(8年版)⁽¹⁾で使われている式(以下示方書式)と CEB/FIP Model Code (1990)式⁽²⁾(以下 Model 90 式)、および CEB/FIP Model Code (1978)式⁽³⁾(以下 Model 78 式)を使用した。以下に式を示す。

1) 示方書式(8年版)

$$\varepsilon'_{cs}(t, t_0) = \left[1 - \exp \left\{ -0.108(t - t_0)^{0.56} \right\} \right] \cdot \varepsilon'_{sh} \quad (1)$$

ここで

$$\varepsilon'_{sh} = -50 + 78[1 - \exp(RH/100)] + 38 \log_e W - 5[\log_e(V/S)/10]^2$$

ε'_{sh} : 収縮ひずみの最終値 (62×10^{-5})、 $\varepsilon'_{cs}(t, t_0)$: コンクリートの材齢

t_0 から t までの収縮ひずみ ($\times 10^{-5}$)、RH: 相対湿度 (%) (45% RH 80%)、

W: 単位水量 (kg/m^3)、V: 体積 (mm^3)、S: 外気に接する表面積 (mm^2)

V/S: 体積表面積比(mm) ($100\text{mm } V/S \leq 300\text{mm}$)

t_0 および t : 乾燥開始時および乾燥中のコンクリートの有効材齢(日)であり、次の式により補正した値を用いる。

$$t_0 \text{ および } t = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \cdot \exp \left[13.65 - \frac{4000}{273 + T(\Delta t_i)/T_0} \right]$$

Δt_i : 温度が $T^\circ\text{C}$ である期間の日数、 $T_0=1^\circ\text{C}$

2) CEB/FIP Model Code (1990)式

$$\varepsilon_{cs}(t, t_s) = \varepsilon_s(f_{cm}) \beta_{RH} \cdot \beta_s(t - t_s) \quad (2)$$

$$\varepsilon_s(f_{cm}) = [160 + 10\beta_{sc}(9 - f_{cm}/f_{cm0})] \times 10^{-6} \quad (3)$$

ここで、 f_{cm} : 28 日材齢におけるコンクリートの平均圧縮強度(MPa)、 f_{cm0} : 10M Pa、 $\varepsilon_{cs}(t, t_s)$: コンクリートの材齢 t から t_s までの収縮ひずみ、 β_{sc} : セメントに依存する係数、

$$\beta_{RH} = 1.55 \text{ for } 40\% \leq RH \leq 99\%, \beta_{RH} = 0.25 \text{ for } RH \geq 99\%, \beta_{sRH} = 1 - (RH/100)^3$$

$$\beta_s(t - t_s) = \left[\frac{(t - t_s)/t_1}{350(h/h_0)^2 + (t - t_s)/t_1} \right]^{0.5}$$

ここで、 $t_1=1$ 日、 $h_0=100\text{mm}$

3) CEB/FIP Model Code (1978)式

$$\varepsilon'_{cs}(t, t_0) = \varepsilon'_{s0} [\beta_s(t) - \beta_s(t_0)] \quad (4)$$

$\varepsilon'_{cs}(t, t_0)$: コンクリートの材令 t_0 から t までの乾燥収縮ひずみ ε'_{s0} : 基本収縮ひずみ

$\beta_s(t)$: コンクリートの材令 t および部材の仮想厚さ h_{th} に関する係数

h_{th} : 部材の仮想厚さ (cm)、 $h_{th} = \lambda \cdot A_c / u$

λ : 環境条件に関する係数、 A_c : 部材に断面積 (cm²)、 u : 外気に接する部材の周長 (cm)

ε'_c : コンクリートの材齢 t_0 から t までの乾燥収縮ひずみ、 ε'_{s0} : 基本収縮ひずみ (280×10^{-6})、

$\beta_s(t)$: コンクリートの材齢 t および部材の仮想厚さに関する係数

測定値と上記の 3 つの予測式の計算値を比べると、初期の収縮ひずみは示方書 (8 年版) の式が概ね評価できているのが分かる。一方 CEB/FIP90、78 の予測値は、測定値よりもかなり小さな値を示し、本実験の結果を評価できない事が分かる。しかし、示方書(8 年版)の式による予測値も乾燥開始から 2 日以降予測値は測定値より小さくなり、材齢が増すとともにその差が広がっていくのが認められた。示方書で使われている予測式は、体積表面積比 V/S が 100 から 300 の範囲での収縮量を推定するものであり、本研究のように V/S が 22.22 の場合には最終収縮ひずみが増大し測定値が予測値よりも増大したものと考えられる。

4. まとめ

本研究では材齢が短いため、その範囲での考察である。

(1) 測定値と予測式では現在の予測式では、正確に評価できないことがわかった。

(2) コンクリートの乾燥収縮では、最初は乾燥収縮の影響が大きく、自己収縮のひずみは小さいが、その後、乾燥収縮の影響が小さくなり、自己収縮の影響が大きくなる。その結果、重量欠損率は変わらず、ひずみだけが進行する。

参考文献 1)土木学会：コンクリート標準示方書（設計編）：平成 8 年版制定：平成 11 年 10 月発行

2)土木学会：コンクリート標準示方書（設計編）：昭和 61 年制定：平成 2 年 3 月発行

3)社団法人 日本コンクリート工学協会 材料設計支援システム研究委員会：

材料設計とコンクリート構造物の性能に関するシンポジウム：平成 11 年 5 月 11 日発行