

コンクリート標準示方書に基づいた乾燥収縮ひずみの早期判定方法

技術本部	技術研究所	桜田道博
技術本部	技術研究所	川畑智亮
技術本部	技術研究所	鈴木雅博
大阪支店	土木工事部	太田高史

1. はじめに

これまで、コンクリートの乾燥収縮ひずみは単位水量に比例するとされ、その他の要因の影響は小さいと考えられていたが、近年、骨材の種類も乾燥収縮に大きく影響することが明らかにされている。ひび割れが少なく、高品質で耐久性の高いコンクリート構造物を実現するには、収縮の小さいコンクリートを使用するのが望ましく、可能であれば乾燥収縮ひずみが事前に確認されたコンクリートを使用するのが望ましい。一般に、乾燥収縮試験には6ヶ月～1年程度の期間を要し、過去に乾燥収縮試験が行われていなければ、事前に乾燥収縮ひずみを確認するのは困難であるが、建築の分野では乾燥収縮ひずみの早期判定方法が検討されており、日本建築学会の鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説(以降、ひび割れ指針)では、比較的短期間の乾燥収縮試験の実測値から長期間の乾燥収縮ひずみを予測する手法が提案されている。一方、土木の分野ではコンクリート標準示方書に乾燥収縮ひずみの算定式は示されているものの乾燥収縮ひずみの早期判定方法に関する検討はほとんど行われていないのが現状である。そこで、土木分野における乾燥収縮ひずみの早期判定方法を検討することを目的として、コンクリート標準示方書の乾燥収縮ひずみ算定式を基に短期の乾燥収縮試験の実測値から長期の乾燥収縮ひずみを予測する式を考案し、実際の乾燥収縮試験の結果と比較することでその精度を検証した。

2. 乾燥収縮ひずみの予測式の提案

建築学会のひび割れ指針では、収縮ひずみの算定式として式(1)が示されている。乾燥収縮試験の結果がない場合は、配合、乾燥開始材齢および相対湿度の影響を考慮し、式(2)により最終乾燥収縮ひずみを求めてよいとされている。逆に、乾燥収縮試験の結果がある場合、短期間の乾燥収縮試験の実測値から式(3)により最終乾燥収縮ひずみを算出し、その値を用いて式(1)により長期間の乾燥収縮ひずみを予測できるとされている。この手法は、短期の乾燥収縮試験の結果から長期の乾燥収縮ひずみを早期に判定できる優れたものであり、乾燥期間21日または28日の乾燥収縮試験の結果から算出した予測値は高い精度を有することが示されている。以降、式(1)および式(3)による乾燥収縮ひずみの早期判定方法を建築学会式と呼ぶ。一方、コンクリート標準示方書【設計編】では乾燥収縮ひずみの算定式として式(4)が示されている。ひび割れ指針と同様の考え方をい用いると、短期の乾燥収縮試験の実測値に

$$\varepsilon_{sh}(t, t_0) = \varepsilon_{sh\infty} \left(\frac{t - t_0}{0.16(V/S)^{1.8} + (t - t_0)} \right)^{1.4(V/S)^{-0.18}} \quad \text{式(1)}$$

$$\varepsilon_{sh\infty} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \quad \text{式(2)}$$

ここに、 $\varepsilon_{sh}(t, t_0)$: 材齢 t_0 から t までの収縮ひずみ($\times 10^{-6}$),

$\varepsilon_{sh\infty}$: 最終乾燥収縮ひずみ, t : 材齢(日),

t_0 : 乾燥開始時の材齢(日), V : 体積(mm³),

S : 外気に接する表面積(mm²),

K_1 : 配合の影響を表す係数,

K_2 : 乾燥開始材齢の影響を表す係数,

K_3 : 相対湿度の影響を表す係数

$$\varepsilon_{sh\infty} = \frac{\varepsilon_{sh}(t_s)}{\left(\frac{t_s}{0.16(V/S)^{1.8} + t_s} \right)^{1.4(V/S)^{-0.18}}} \quad \text{式(3)}$$

ここに、 $\varepsilon_{sh\infty}$: 最終乾燥収縮ひずみ(短期の乾燥収縮試験の実測値から算出する場合),

$\varepsilon_{sh}(t_s)$: t_s における乾燥収縮ひずみの実測値,

t_s : 乾燥期間($= t - t_0$)

$$\varepsilon_{ds}(t, t_0) = \frac{\varepsilon_{ds\infty} \cdot (t - t_0)}{\left[\frac{4W \cdot \sqrt{V/S}}{100 + 0.7 \cdot t_0} \right] + (t - t_0)} \quad \text{式(4)}$$

ここに、 $\varepsilon_{ds}(t, t_0)$: 材齢 t_0 から t までの乾燥収縮ひずみ($\times 10^{-6}$),

$\varepsilon_{ds\infty}$: 最終乾燥収縮ひずみ

$$\varepsilon_{ds\infty} = \frac{\varepsilon_{ds}(t_s) \cdot \left[\frac{4 \cdot W \cdot \sqrt{V/S}}{100 + 0.7 \cdot t_0} + t_s \right]}{t_s} \quad \text{式(5)}$$

ここに、 $\varepsilon_{ds\infty}$: 最終乾燥収縮ひずみ(短期の乾燥収縮試験の実測値から算出する場合),

$\varepsilon_{ds}(t_s)$: t_s における乾燥収縮ひずみの実測値

基づく最終乾燥収縮ひずみは式(5)により算出できる。式(5)で算出した最終乾燥収縮ひずみを式(4)に用いることでひび割れ指針と同様、長期の乾燥収縮ひずみを予測でき、乾燥収縮の早期判定が可能になると考えられる。以降、式(4)および式(5)による乾燥収縮ひずみの早期判定方法を提案式と呼ぶ。

3. 試験方法

3.1 乾燥収縮試験

提案式により予測した乾燥収縮ひずみの精度を検討するため、乾燥収縮試験を行った。乾燥収縮試験は、JIS A1129-1(コンパレータ方法)に準拠し、計測期間は1年とした。供試体は

表-1 使用材料

使用材料	記号	仕 様
早強セメント	C1	密度 3.14g/cm ³
普通セメント	C2	密度 3.16g/cm ³
膨張材	EX	石灰系, 密度 3.16g/cm ³
収縮低減剤	RA	低級アルコール系
細骨材①	S1	海砂, 表乾密度 2.59g/cm ³
細骨材②	S2	砕砂, 表乾密度 2.65g/cm ³
粗骨材 2015	G1	碎石, 表乾密度 2.59g/cm ³
粗骨材 1505	G2	碎石, 表乾密度 2.59g/cm ³

表-2 示方配合

供試体名	W/C (%)	Air (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)*								
				W	C1	C2	EX	RA	S1	S2	G1	G2
H	42	4.5	41.7	165	393	—	—	—	506	217	503	503
H+SP			43.7	160	381	—	—	—	536	231	491	491
H+EX+RA			43.7	154	361	—	20	6	536	231	491	491
N	44		42.3	165	—	375	—	—	518	222	501	501
N+SP			44.4	160	—	364	—	—	552	236	490	490
N+EX+RA			44.4	154	—	344	20	6	552	236	490	490

*S1:S2=7:3(重量比), G1:G2=1:1(質量比), 収縮低減剤 RA は単位水量に含める。

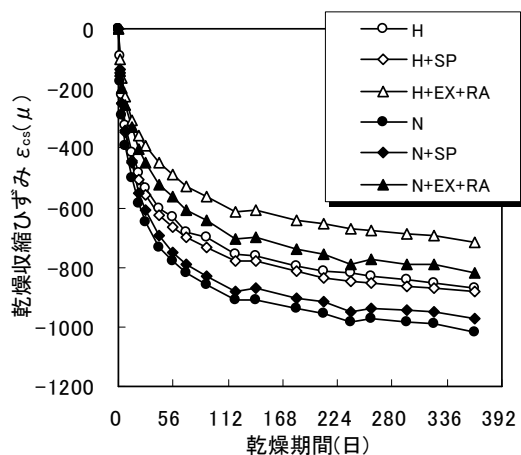


図-1 乾燥収縮試験の結果

材齢 1 日で脱枠し, 材齢 7 日まで水中で養生した後, 室温 20℃, 湿度 60%R.H.の室内において乾燥させた。なお, 基長は材齢 7 日で計測した。

3.2 使用材料および配合

コンクリートの使用材料および示方配合をそれぞれ, 表-1 および表-2 に示す。コンクリートの配合および供試体の種類は, 乾燥収縮ひずみが大きく変化するよう①セメントの種類(早強, 普通), ②単位水量(165kg/m³, 160kg/m³)および③膨張材と収縮低減剤の有無をパラメータとした 6 種類とした。

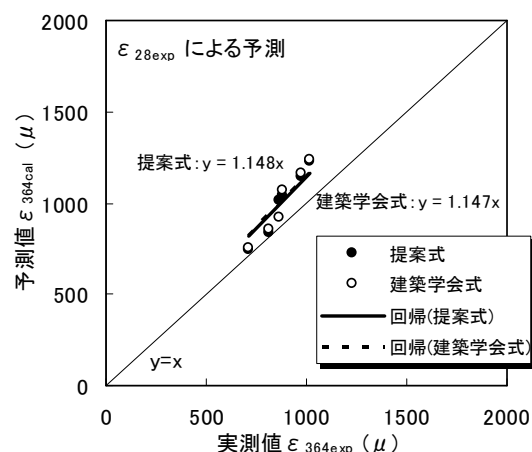
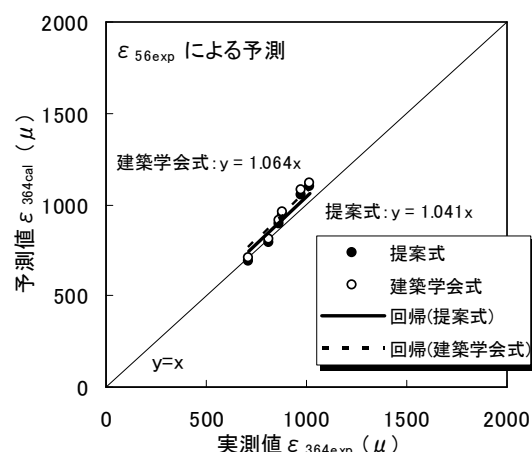
4. 試験結果および考察

4.1 乾燥収縮試験結果

乾燥期間が 364 日までの乾燥収縮試験の結果を図-1 に示す。なお, ここでは収縮側を負の値で示した。図-1 からわかるとおり 6 種類のコンクリート配合により乾燥期間 1 年における乾燥収縮ひずみは 715μ ~ 1016μ の範囲となった。

4.2 予測値と実測値との比較

提案式の精度を検討するため, 乾燥期間 7 日, 14 日, 28 日, 56 日, 91 日および 182 日における乾燥収縮試験の実測値を用いて式(4)および式(5)により乾燥期間 1 年の乾燥収縮ひずみの予測値 ϵ_{364cal} を算出し, 実測値 ϵ_{364exp} と比較した。また, 提案式と建築学会式の精度を比較するため, 式(1)および式(3)の建築学会式でも予測値を算出した。実測値と予測値との比較を図-2 および図-3 に示す。ここでは乾燥期間 28 日および 56 日の実測値から算出した予測値 ϵ_{364cal} のみを示すが, 提案式および建築学会式はともに, 乾燥期間が長い実測値を用いて算出した予測値のほうが実測値とよく対応する傾向にあった。実測値との誤差は乾燥期間 28 日の実測値から算出

図-2 ϵ_{28exp} による予測値と実測値との比較図-3 ϵ_{56exp} による予測値と実測値との比較

した場合で 15%以下, 56 日の実測値から算出した場合で 4% 程度となっており, 乾燥期間 28 日以降の実測値を用いることで 1 年後の乾燥収縮ひずみを精度よく予測できることが確認された。また, 提案式と建築学会式の精度はほとんど同程度であり, 提案式は土木分野における乾燥収縮の早期判定方法として有効と考えられる。

Key Words : 乾燥収縮, 予測式, 早期判定, コンクリート標準示方書



桜田道博



川畑智亮



鈴木雅博



太田高史