

乾燥収縮ひずみの早期判定結果の予測精度に関する一検証

○風間美男*1 尾崎雅敏*2 菅原和博*3 三反田俊彦*4 池田 明*5

要旨：使用骨材の異なる生コン 10 工場のコンクリート 39 試料について、乾燥収縮試験を行った。この結果を用い、短期の測定値から長期の乾燥収縮ひずみを予測する手法の予測精度について検証を行った。この他、予測精度を改善させる方法として新たに提案された二つの手法について検証を行った。

検証の結果、乾燥期間 28 日の実測値を用いて 182 日の乾燥収縮ひずみを予測した場合、実測値に対し予測値が大幅に大きくなる傾向が認められた。また、二つの改善手法について予測精度の改善効果を確認すると共に二つの予測精度改善手法に関する合理的な選択基準を提案した。

キーワード：乾燥収縮、ひずみ予測、石灰石碎石、硬質砂岩碎石

1. はじめに

コンクリートのひび割れ抑制を目的として、土木・建築両学会ではコンクリートの乾燥収縮ひずみの規定化あるいはこれに向けた検討が進められている。

一方、約 6 ヶ月間を要する乾燥収縮ひずみの結果判定を早期に行うことを目的として、短期の乾燥収縮ひずみの測定結果から長期の乾燥収縮ひずみを予測する方法が提案されている¹⁾。今後、乾燥収縮ひずみの規定化を受け、短期間の測定値から長期の乾燥収縮ひずみを予測する必要性が高まってくるものと考えられる。

乾燥収縮の影響因子として骨材による影響が大きいとの知見が認識され始めた平成 16 年当時、筆者らは生コン 10 工場の使用骨材をそれぞれ用いたコンクリート 39 試料について乾燥収縮試験を行った。今回これらの結果を用いて、長期の乾燥収縮ひずみを短期測定データから推定する手法の予測精度について検証を行った。さらに、予測精度を改善させるため手法として、①長期乾燥収縮ひずみの予測に用いる実測値の測定期間を延長する方法²⁾と②外挿推定方法³⁾の二つの手法に着目し、これらの手法の精度改善効果の検証および二つの手法の合理的な選択方法について検討した。

2. 検討概要

2.1 乾燥収縮試験

各工場（10 工場）で使用している細・粗骨材を用いた合計 39 試料について、乾燥収縮ひずみの測定を行った。なお、コンクリートは各生コン工場の試験室内で混練した。

表-1 配合条件

記号	セメント 種類	W/C (%)	W (kg/m ³)	目標値		混 和 剤 種 類
				スランプ	空気量	
N W/C=50%	N	50	180	(18 + α)	(4.5 + α)	AE減水剤
N W/C=40%		40	170	$\pm$ 2.5cm	$\pm$ 0.5%	高 性 能 AE減水剤
M W/C=40%	M					

α ; 各工場におけるスランプ、空気量のロス設計値

*1 市川エスオーシー生コン株式会社

*2 横浜エスオーシー株式会社

*3 埼玉エスオーシー株式会社

*4 吉建エスオーシー株式会社

*5 住友大阪セメント株式会社

粗骨材の岩種で分類した場合の内訳は 39 試料中、石灰石碎石 27 試料、硬質砂岩碎石 3 試料、石灰石碎石と硬質砂岩碎石との混合粗骨材 9 試料となっている。

乾燥収縮ひずみの測定に使用した配合条件を表-1 に示す。水セメント比は 40%、50% の二水準とし、W/C=50% の配合には普通ポルトランドセメント（N）および AE 減水剤を使用した。一方、W/C=40% の配合では高性能 AE 減水剤を使用し、セメントには普通ポルトランドセメント（N）および中庸熱ポルトランドセメント（M）を使用した。なお、単位粗骨材かさ容積、化学混和剤の使用銘柄および添加率は各工場それぞれ決定・選定した。

乾燥収縮試験は同一の外部試験機関に依頼し、コンクリートの長さ変化の測定は JIS A 1129-2（コンタクトゲージ法）により行った。供試体（角柱供試体 10×10×40cm）を作製後、標準水中養生を 7 日間（各工場で 4 日間、外部試験機関で 3 日間）行った後、室温 20±1℃、相対湿度 60±5% の環境下で乾燥収縮ひずみを測定した。なお、供試体の測長は乾燥期間 4、7、14、21、28、41、56、182 日の時点でそれぞれ行った。

2.2 乾燥収縮ひずみの早期判定精度に関する検証方法

長期の乾燥収縮ひずみを短期の乾燥収縮ひずみの測定値から推定する方法として、日本建築学会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）・解説（以降、ひび割れ制御指針と称する）にも記載されている方法¹⁾ について検証を行った。

この方法では、まず式(1)により乾燥収縮ひずみの任意の短期実測値から最終乾燥収縮ひずみを算定する。

$$\varepsilon_{s\infty} = \varepsilon_{sh}(t_s) / \{ [t_s / (\alpha + t_s)]^\beta \} \quad \text{式(1)}$$

ここに、 $\varepsilon_{s\infty}$ ：乾燥収縮ひずみの最終値（ μ ）

t_s ：任意の乾燥期間（日）， $\varepsilon_{sh}(t_s)$ ：任意の乾燥期間 t_s 日の収縮ひずみ（ μ ）

α, β ：乾燥の進行度を表す係数 $\alpha = 0.16(V/S)^{1.8}$ ， $\beta = 1.4(V/S)^{-0.18}$

V/S ：体積表面積比（mm）

V ：供試体の体積（mm³）， S ：外気に接する部分の供試体表面積（mm²）

長期間を含む任意期間の収縮ひずみの予測値 $\varepsilon_{sh}(t_i)$ は、式(1)を $\varepsilon_{sh}(t_s)$ について求める形に移行した後に $\varepsilon_{sh}(t_s)$ を $\varepsilon_{sh}(t_i)$ に置き換え、これに式(1)で求めた最終乾燥収縮ひずみの算定値 $\varepsilon_{s\infty}$ を代入し、さらに t_s の代わりに乾燥収縮ひずみを求める期間（ t_i ）を代入することにより求まる。

この手法によって算定された予測値を実測値と比較することによって予測精度の検証を行った。

3. 検討結果

3.1 乾燥収縮ひずみの測定結果

乾燥収縮ひずみの試験結果の一例を図-1 に示す。182 日間の乾燥収縮ひずみは、配合 N W/C=50% の場合 -471～-621 μ 、配合 N W/C=40% では -340～-618 μ 、配合 M W/C=40% では -352～-615 μ であり、いずれの試料も 800 μ を超過するものは認められなかった。

粗骨材の岩種別に着目すると、硬質砂岩碎石および石灰石碎石と硬質砂岩碎石との混合粗骨材の乾燥収縮ひずみは、石灰石碎石に比べて大きくなる傾向が認められた。

また、石灰石碎石同士であっても、産地により 182 日間の乾燥収縮ひずみに 100～150 μ 程度の差が認められた（図-2 参照）。

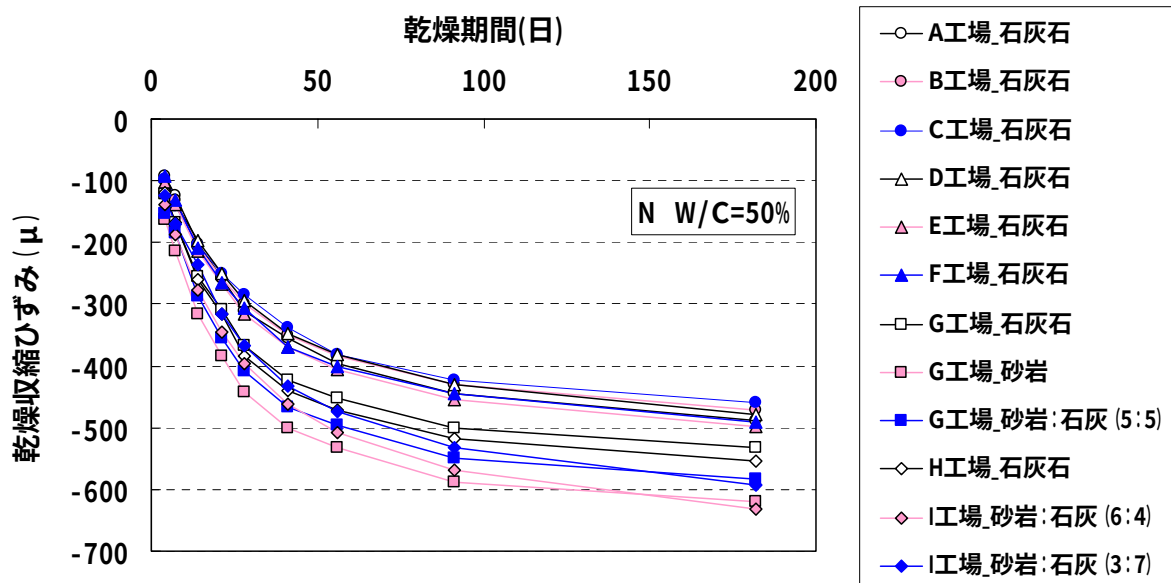


図-1 乾燥収縮ひずみの測定結果 (N W/C=50%)

さらに硬質砂岩碎石と石灰石石灰石碎石を等量混合した場合の乾燥収縮は、硬質砂岩碎石、石灰石碎石をそれぞれ単独で使用した場合の乾燥収縮ひずみのほぼ中間になる事が認められた (図-3 参照)。

3.2 乾燥収縮ひずみの早期判定手法に関する検証結果

図-4 は、最終乾燥収縮ひずみの算定に用いた乾燥期間 (t_s) と最終乾燥収縮ひずみの算定値との関係の一例を示したものである。最終乾燥収縮ひずみの算定値は、予測に適用した乾燥期間 (t_s) によって顕著に異なり、予測に用いた乾燥期間 (t_s) が短くなるほど最終ひずみの算定値の絶対値は大きくなった。

図-5 は、182 日間の乾燥収縮ひずみの実測値と予測値を比較したものである。なお、予測値は乾燥期間 28 日の実測値から算定した値である。この結果、予測値は実測値に対して大きくなる傾向があり、実測値に対し最大で 36% も大きい値を示した。

3.3 予測精度の改善手法に関する検証

日本建築学会ひび割れ制御指針では短期実測値による長期乾燥収縮ひずみの予測精

度を向上させる手法として、予測に用いる短期データの測定期間を延長する方法²⁾ (以降、期間延長方法と称する) と外挿推定方法³⁾ の二つの手法が提案されている。

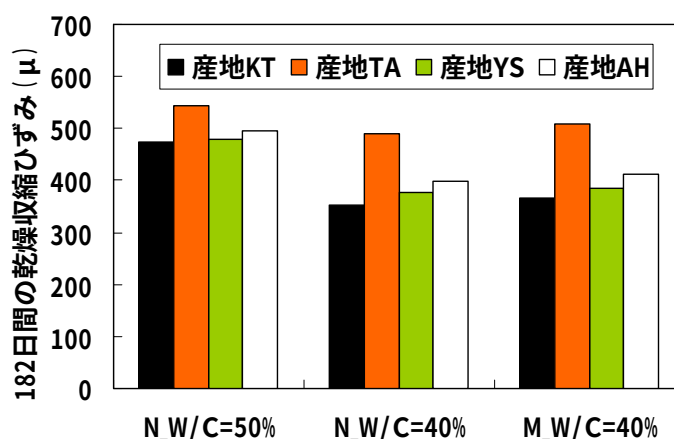


図-2 産地別石灰石碎石による乾燥収縮ひずみの比較

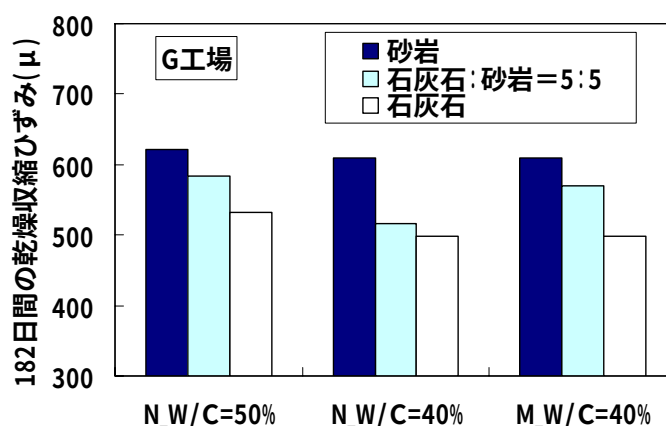


図-3 粗骨材の岩種による乾燥収縮ひずみの比較

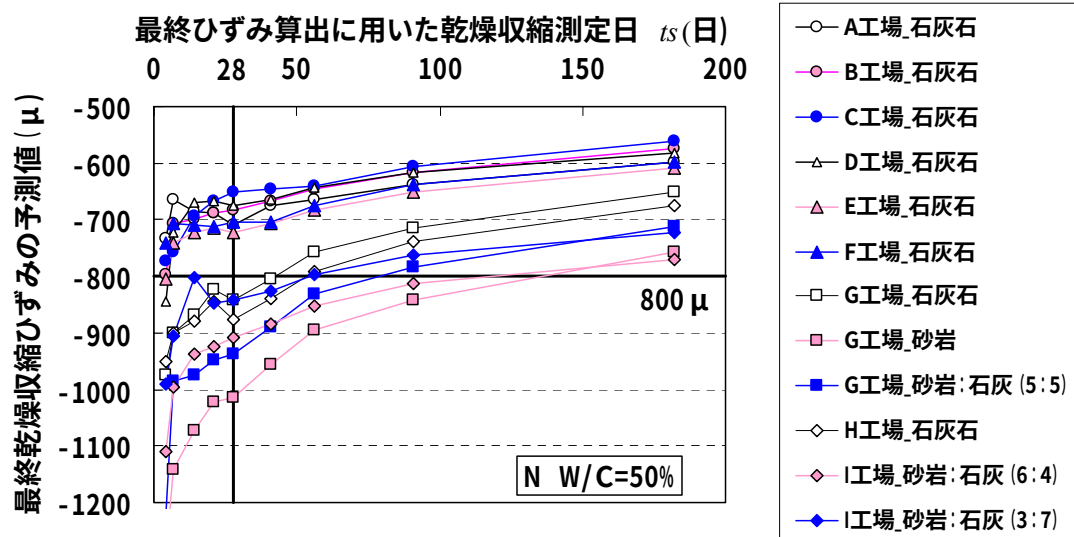


図-4 最終乾燥収縮ひずみの算定結果 (N W/C=50%)

ここで、外挿推定方法による乾燥収縮ひずみの予測手順を以下に示す。

手順①；いくつかの乾燥期間の短期データをそれぞれ式(1)に適用し、これらから複数の最終乾燥収縮ひずみ $\varepsilon_{s\infty}(t_i)$ を求める。

手順②；任意期間 (t_i) と $\varepsilon_{s\infty}(t_i)$ の関係を双曲線式で近似する。

手順③；双曲線式を外挿近似することにより最終乾燥収縮ひずみ $\varepsilon_{s\infty}$ を算定する (図-6)。

手順④；手順③で求めた最終乾燥収縮ひずみ $\varepsilon_{s\infty}$ を用いて、各期間の乾燥収縮ひずみの予測値を求める。

手順⑤；当該短期データ (t_i) の最も遅い乾燥期間の予測値と実測値との差を求め、この差により各期間の乾燥収縮ひずみの予測値を補正する。

図-7 は期間延長方法による予測精度の改善効果を確認するため、予測に用いた短期実験データの計測日毎に 182 日の乾燥収縮ひずみの予測値と実測値を比較したものである。これより、予測に用いる短期データの測定期間を延長することにより、乾燥収縮の予測精度が大幅に改善されることが確認された。

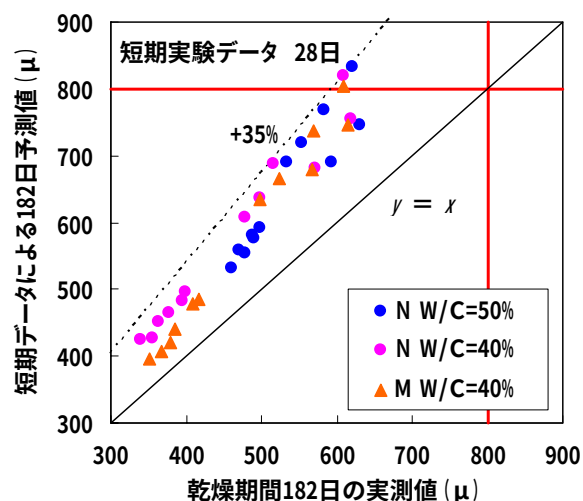


図-5 乾燥収縮ひずみの実測値と予測値の比較

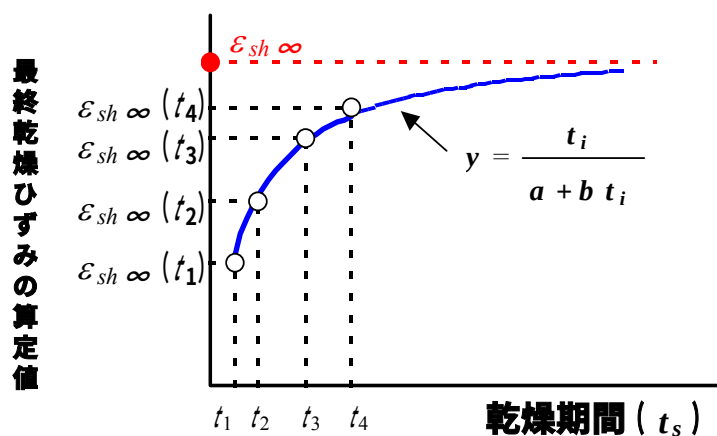


図-6 外部推定方法による最終ひずみの決定

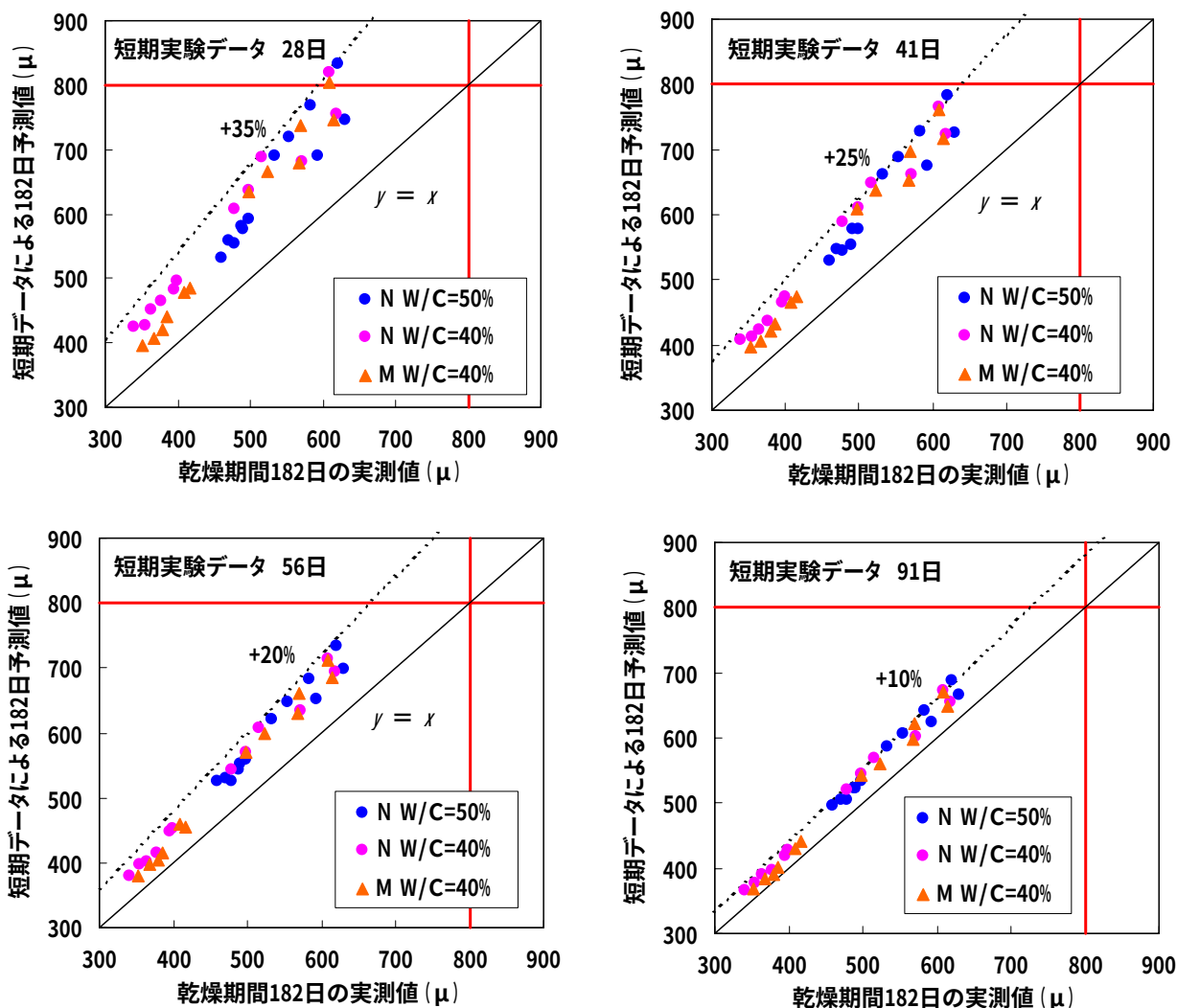


図-7 乾燥期間 182 日の乾燥収縮ひずみの実測値と予測値の比較（期間延長方法）

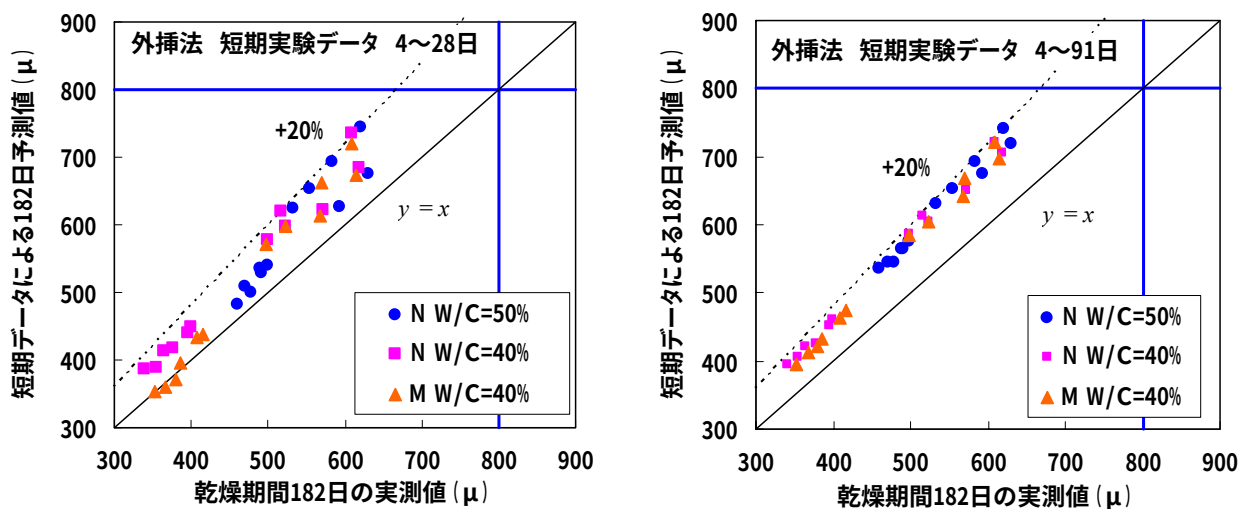


図-8 乾燥期間 182 日の乾燥収縮ひずみの実測値と予測値の比較（外挿推定方法）

図-8 は外挿推定方法による予測精度の改善効果について検証するため、予測に用いた複数の短期実験データの測定期間毎に、182 日の乾燥収縮ひずみの予測値と実測値を比較した結果である。外挿推定方法により乾燥期間 4～28 日までの複数の実測値から求めた予測値は、乾燥期間 28 日の実測値のみから求めた予測値に対し、高い精度を有していることが確認された。ただし、外挿推定方法の場合には期間延長方法とは異なり、予測に用いる実測データの測定期間を 4～28 日間から 4～91 日間に延長しても、予測精度の顕著な向上は認められなかった。

表-2 は 182 日の乾燥収縮ひずみの実測値に対する予測値の誤差をまとめた結果である。これより、乾燥収縮ひずみの測定期間が 28～41 日間程度までの場合は外挿推定方法の方が高い予測精度を示した。一方、測定期間が 56 日以上となる場合には期間延長方法の方が高い精度を示した。

表-2 期間 182 日の乾燥収縮ひずみにおける実測値に対する予測値の誤差

期間延長方式		外挿入推定法	
予測に適用する測定日 t_s (日)	誤差 (%)	予測に適用する測定期間 t_{sj} (日)	誤差 (%)
21	8 ～ 41	4～21	-5 ～ 19
28	7 ～ 36	4～28	-2 ～ 21
41	7 ～ 29	4～41	2 ～ 18
56	4 ～ 21	4～56	11 ～ 24
91	2 ～ 13	4～91	11 ～ 19

4. まとめ

短期データに基づく乾燥収縮ひずみの予測手法について検証した結果を以下に示す。

- (1) 短期実測データから求めた乾燥収縮ひずみの予測値は実測値に対して大きくなる傾向があり、28 日の実測データのみから 182 日の収縮ひずみを予測した場合の誤差は最大で 36%であった。
- (2) 任意の 1 測定日のみの実測データから長期の乾燥収縮ひずみを予測する場合、予測に用いる短期データの測定期間を延長することにより予測精度が改善される事が確認された。
- (3) 外挿推定方法により乾燥期間 4～28 日までの複数の実測データから求めた収縮ひずみの予測値は、28 日の実測データのみから求めた予測値に対して、高い精度を有していることが確認された。
- (4) 予測に用いる乾燥収縮ひずみの測定期間が 28 日程度の場合には外部推定方法の方が高い予測精度を示し、一方、測定期間が 56 日間以降となる場合には期間延長方法の方が高い予測精度を示した。これより長期乾燥収縮ひずみの予測手法の選定は、予測に用いるための乾燥収縮ひずみの測定可能期間によって決定することが可能と考えられる。

参考文献

- 1) 石井寿美江・今本啓一：短期実験データに基づくコンクリートの乾燥収縮量の予測，日本建築学会大会学術講演梗概集，A-1，pp.115-116，2003.9
- 2) 日本建築学会：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，pp.53-60,186-190，2006.2
- 3) 石井寿美江・今本啓一・田徹志・百瀬晴基・藤森啓祐：短期の実験データに基づくコンクリートの乾燥収縮ひずみの予測，日本建築学会関東支部研究発表会，pp.37-40，2005

共同研究者：市川エスオーシー生コン（株）、埼玉エスオーシー（株）、佐倉エスオーシー（株）、昭和エスオーシー（株）、東京エスオーシー（株）、成田エスオーシー（株）、宮松エスオーシー（株）、横浜エスオーシー（株）、吉建エスオーシー（株）、住友大阪セメント（株）