

コンクリートの乾燥収縮ひずみの実態と早期予測法の検証

川又 篤*1・唐沢 智之*2・西脇 敬一*1

概 要

各現場で使用した配合について長さ変化率を測定し、各地における乾燥収縮ひずみの実態を調査した。また、施工前に最終収縮ひずみを把握するために、収縮ひずみの早期予測法の検証も行った。その結果、乾燥材齢 182 日の長さ変化率の実測値において、全 33 ケース中の約半数が $600\sim 700\times 10^{-6}$ の範囲に集中していた。また、骨材に石灰石を使用した場合、収縮ひずみは低減する傾向を示した。収縮ひずみの予測値は、概ね実測値に近い傾向を示し、予測に使用する実測値の乾燥材齢が進むに従って、予測値と実測値との差が小さくなる傾向を示した。

キーワード：コンクリート・収縮ひずみ・早期予測

ACTUAL STATUS OF DRYING SHRINKAGE OF CONCRETE AND VALIDATION OF AN EARLY PREDICTION METHOD

Atsushi KAWAMATA *1, Tomoyuki KARASAWA *2, Keiichi NISHIWAKI *1

Abstract

The actual status of drying shrinkage of concrete in various sites was surveyed by measuring the change ratio of length of concrete of different mixing proportions used. In addition, a method for early prediction of drying shrinkage was validated to determine the final shrinkage before construction. The results of these studies revealed that, in almost a half of the 33 cases, the measured change ratio at the drying age of 182 days was concentrated in the range of 600 to 700×10^{-6} . The shrinkage tended to be smaller in the case of concrete mixed with aggregate of limestone. There was a good correlation between predictions and measurements of shrinkage. As the drying age of measured concrete used for prediction is larger, the difference between prediction and measurement becomes smaller.

Keywords: Concrete, Shrinkage, Early prediction

*1 Material / Structure Group, Research and Development Department, Engineering Division

*2 Manager, Material / Structure Group, Research and Development Department, Engineering Division

コンクリートの乾燥収縮ひずみの実態と早期予測法の検証

川又 篤*1・唐沢 智之*2・西脇 敬一*1

1. はじめに

通常、RC 造構造物における鉄筋は、コンクリートにより腐食因子から保護された状態にある。しかしながら、コンクリートにひび割れが発生すると、鉄筋の腐食因子である水、酸素、塩化物イオンは、ひび割れの存在によりコンクリート内部に浸透し易くなる。鉄筋の腐食により生成される錆の膨張圧によりひび割れは更に拡大し、その後の腐食は加速度的に進行することとなる。このようなひび割れの拡大、鉄筋腐食の進行は、コンクリート片のはく離・はく落といった現象を引き起こす可能性があるだけでなく、構造的な耐力を著しく低下させる要因にもなる。ひび割れの発生原因は様々あるが、その一つに収縮ひずみが挙げられる。コンクリート標準示方書[設計編]の 2007 年制定版¹⁾では、設計に使用する乾燥収縮を主とする収縮ひずみの値が実情を踏まえた形で示されており、乾燥収縮が原因で起こった不具合に対して意識が高まっていることが伺える。

このような背景から、本報告では、各現場で使用した配合について、主に乾燥収縮ひずみを表す長さ変化率を測定し、各地における乾燥収縮ひずみの実態を調査した。調査に際して、長さ変化率を測定するための供試体は試し練り時に採取した。通常、試し練りは、材齢 28 日の圧縮強度が確認できるように施工の 1~3 ヶ月前に実施されることが多い。しかしながら、最終収縮ひずみを試験に

より実測するには半年程度の時間を要するため、施工前に収縮ひずみを把握するには早期材齢の実測結果から長期材齢の収縮ひずみを予測することが必要となる。そこで、本報告ではコンクリート標準示方書[設計編](2007 年制定)に記載される収縮ひずみの算定式を使用して、収縮ひずみの早期予測法の検証も行った。

2. 調査方法

2. 1 配合および使用材料

全 33 ケースの配合および使用材料の一覧を表-1 および表-2 に示す。

調査した中で、呼び強度 24N/mm²が 15 ケース、水セメント比 50~55%が 19 ケース、普通ポルトランドセメントが 14 ケースと最も多かった。また、レディーミクストコンクリート工場の地域については、北信越が 24 ケースと最

表-1 配合

呼び強度		スラブ(フロー)		水セメント比		単位水量		空気量	
N/mm ²	ケース数	cm	ケース数	%	ケース数	kg/m ³	ケース数	%	ケース数
18	4	8	15	30~35	2	135~140	5	4.5	20
21	4	12	10	35~40	5	140~145	3	5	12
24	15	15	4	40~45	0	145~150	7	5.5	1
30	3	18	2	45~50	5	150~155	4	-	-
40	7	45	2	50~55	19	155~160	6	-	-
-	-	-	-	55~60	2	160~165	7	-	-
-	-	-	-	-	-	165~170	1	-	-

表-2 使用材料と工場の地域

セメントの種類		粗骨材の最大寸法		石灰石の使用		工場の地域	
-	ケース数	cm	ケース数	-	ケース数	-	ケース数
普通	14	20	4	細骨材：無	26	北海道	3
早強	12	25	19	細骨材：有	7	東北	2
高炉B	7	40	10	粗骨材：無	30	北信越	24
-	-	-	-	粗骨材：有	3	九州	4

*1 エンジニアリング本部 研究開発部 材料・構造グループ

*2 エンジニアリング本部 研究開発部 材料・構造グループ グループリーダー

も多く、地域的には偏ったデータとなっている。骨材については、石灰石の使用の有無による収縮ひずみへの影響を確認した。

2. 2 長さ変化試験方法

収縮ひずみの実測は、JIS A 1129「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法：コンタクトゲージ方法」に準拠して行った。試し練り時に供試体を作製し、翌日に脱型して材齢 7 日まで 20℃の水中養生を行った。その後、基長を測定してから 20℃、60%RH の恒温恒湿室で乾燥を開始した。基長測定後は、乾燥材齢 7 日、14 日、28 日、56 日、91 日、182 日に測定を実施した。

2. 3 収縮ひずみの早期予測法

収縮ひずみの算出には、コンクリート標準示方書[設計編](2007 年制定)で提案されている式(1)および式(2)を使用した。乾燥材齢 182 日における収縮ひずみの予測値は、乾燥材齢 28 日、56 日、91 日の長さ変化率の実測値を使用して、式(3)により行った。

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

ここに、

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

ϵ'_{sh} : 収縮ひずみの最終値(×10⁻⁶)

$\epsilon'_{cs}(t, t_0)$: コンクリートの材齢 t_0 から t までの収縮ひずみ(×10⁻⁶)

RH : 相対湿度(%)

W : 単位水量(kg/m³)

V : 体積(mm)

S : 外気に接する表面積(mm²)

V/S : 体積表面積比(mm)

$$\epsilon'_{est182}(t, 7) = \epsilon'_{exp}(t, 7) \cdot \frac{\epsilon'_{cs}(189, 7)}{\epsilon'_{cs}(t, 7)} \quad (3)$$

ここに、

$\epsilon'_{est182}(t, 7)$: コンクリートの材齢 7 日から t ま

での収縮ひずみの実測値から予測した乾燥材齢 182 日の収縮ひずみの予測値(×10⁻⁶)

$\epsilon'_{exp}(t, 7)$: コンクリートの材齢 7 日から t までの収縮ひずみの実測値(×10⁻⁶)

3. 調査結果

3. 1 収縮ひずみの実測結果

乾燥材齢 182 日における長さ変化率の実測値の度数分布を図-1に示す。全 33 ケース中の約半数が、600~700×10⁻⁶の範囲に集中していた。式(1)および式(2)より、単位水量 140~170kg/m³の場合の乾燥材齢 182 日の長さ変化率を算出すると 608~672×10⁻⁶となることから、これまでに実施した長さ変化試験の結果は概ね標準的な値と考えられる。

乾燥材齢 182 日における長さ変化率と単位水量との関係を図-2に、水セメント比との関係を図-3に示す。単位水量、水セメント比ともに、大きくなるにつれて長さ変化率も増大する傾向を示したが、ばらつきが大きい結果となっている。長さ変化率は、単位水量、水セメント比の他、骨材の岩種による影響が大きいことが報告されている²⁾。図-3において石灰石を使用したケースに着目すると、その他の骨材を使

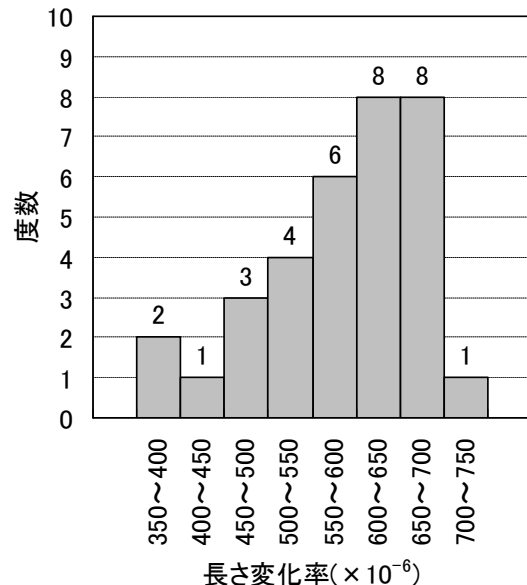


図-1 乾燥材齢 182 日の長さ変化率の実測値

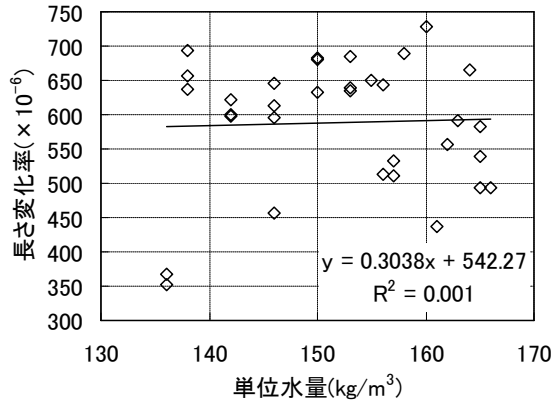


図-2 乾燥材齢 182 日の長さ変化率と単位水量の関係

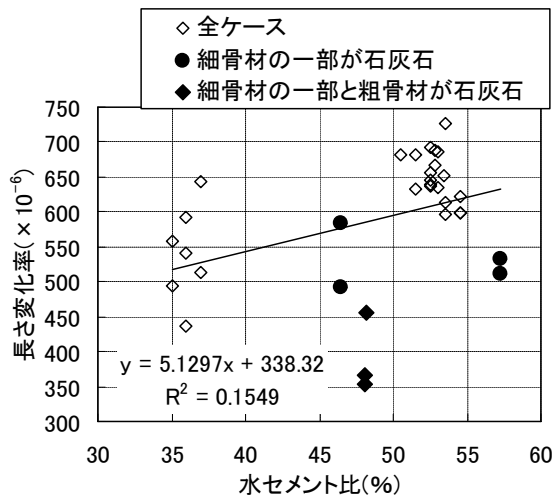
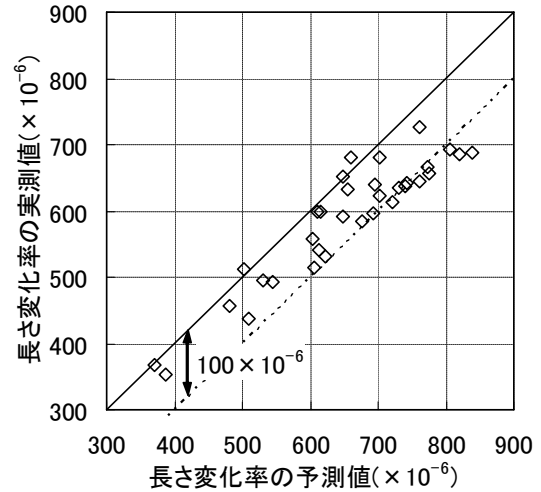


図-3 乾燥材齢 182 日の長さ変化率と水セメント比の関係

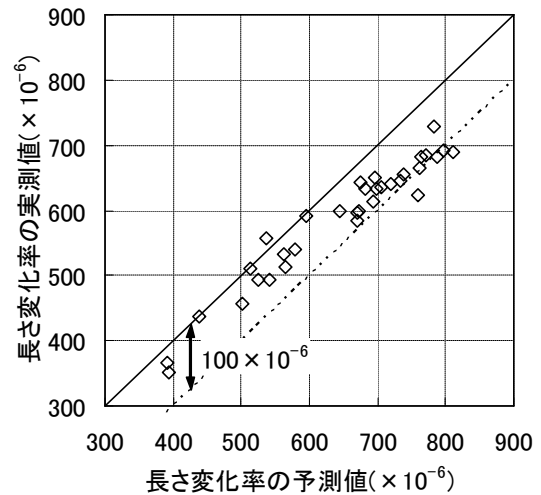
用したケースよりも明確に収縮ひずみが減少していることがわかる。

3. 2 収縮ひずみの予測結果

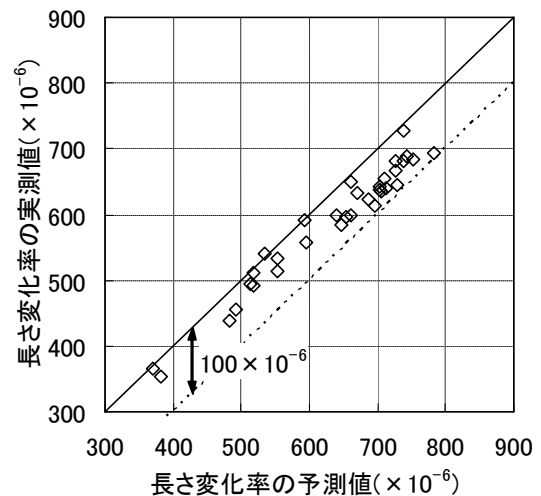
乾燥材齢 28 日, 56 日, 91 日の長さ変化率の実測値による乾燥材齢 182 日の予測値と乾燥材齢 182 日の実測値の比較を図-4 に示す。乾燥材齢 182 日の長さ変化率の予測値は, 概ね実測値に近い傾向を示したが, いずれの乾燥材齢による予測においても実測値より予測値の方が大きな値を示した。このことから, 予測値は長さ変化率を過大に評価する可能性があることがわかる。また, 予測に使用する実測値の乾燥材齢が進むに従って, 予測値と実測値との差が小さ



(1) 乾燥収縮 28 日による予測



(2) 乾燥収縮 56 日による予測



(3) 乾燥収縮 91 日による予測

図-4 乾燥材齢 182 日の長さ変化率の予測値と実測値の比較

くなる傾向を示すが、乾燥材齢 28 日での予測の場合でも、予測値と実測値との差は最大 100×10^{-6} 程度であった。

乾燥材齢 28 日の長さ変化率の実測値により予測した乾燥材齢 182 日の長さ変化率の度数分布を図-5 に示す。乾燥材齢 182 日の長さ変化率の予測値は、約 70% のケースが、 $600 \sim 800 \times 10^{-6}$ の範囲に分布していた。上記のように乾燥材齢 182 日の長さ変化率の予測値は、実測値よりも大きくなる傾向があるため、実測値では 700×10^{-6} を超えたケースは 1 つしかなかったが、予測値では約 40% のケースが 700×10^{-6} を超える結果となった。更に、約 9% に相当する 3 ケースについては、 800×10^{-6} を超える結果となった。ただし、図-4 を見てもわかるように、乾燥材齢 56 日の長さ変化率の実測値より予測した場合、 800×10^{-6} を超えたケースは 1 つ、乾燥材齢 91 日の長さ変化率の実測値より予測した場合、 800×10^{-6} を超えたケースは 0 となっている。このことから、予測に使用する実測値の乾燥材齢が進むに従って、予測値と実測値との差が小さくなるのがわかる。

4. まとめ

今まで実施した長さ変化試験の結果をまとめた結果、以下の知見が得られた。

- (1) 乾燥材齢 182 日の長さ変化率の実測値は、約半数が $600 \sim 700 \times 10^{-6}$ の範囲に集中していた。
- (2) 単位水量、水セメント比ともに、大きくなるにつれて長さ変化率も大きくなる傾向を示したが、ばらつきが大きかった。
- (3) 骨材に石灰石を使用した場合、収縮ひずみは低減する傾向を示した。
- (4) 乾燥材齢 28 日、56 日、91 日の実測値による乾燥材齢 182 日の予測値は、概ね実測値に近い傾向を示したが、実測値よりも大きく

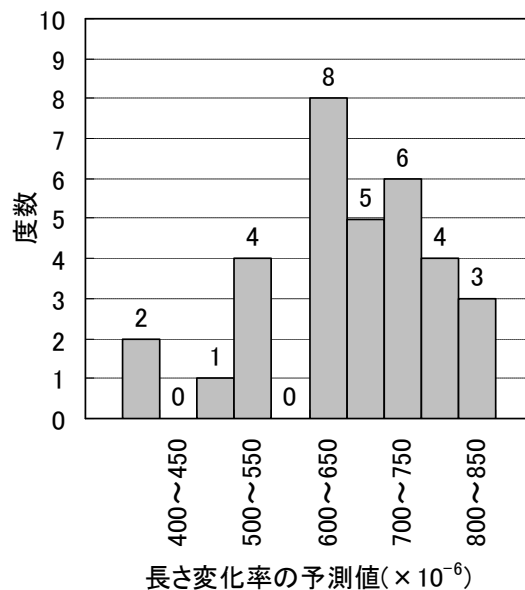


図-5 乾燥材齢 182 日の長さ変化率の予測値

なる傾向を示した。

- (5) 予測に使用する実測値の乾燥材齢が進むに従って、予測値と実測値との差が小さくなる傾向を示した。
- (6) 乾燥材齢 28 日の長さ変化率の実測値から乾燥材齢 182 日の長さ変化率を予測した場合、約 70% のケースが、 $600 \sim 800 \times 10^{-6}$ の範囲に分布していた。
- (7) 乾燥材齢 182 日の長さ変化率の予測値は、約 40% のケースが 700×10^{-6} を超え、約 9% に相当する 3 ケースについては、 800×10^{-6} を超えた。ただし、実測の乾燥材齢が進むにつれて 800×10^{-6} を超えるケースは少なくなった。

参考文献

- 1) (社)土木学会：コンクリート標準示方書[設計編](2007年制定)，2008.3
- 2) 鈴木一雄，辻本一志，金井武明，副田康英：生コンクリートの乾燥収縮に関する全国調査，コンクリート工学，Vol.48，No.7，pp.9-14，2010.7