室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

初期材齢時における高強度コンクリートの収縮特性

メタデータ	言語: Japanese
	出版者: 土木学会北海道支部
	公開日: 2013-07-10
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 鎌田, 健太郎, 佐藤, 克俊, 菅田, 紀之
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/2090

室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

初期材齢時における高強度コンクリートの収縮特性

その他（別言語等）のタイトル	Shrinkage of High-Strength Concrete Early Age
著者	鎌田　健太郎，佐藤　克俊，菅田　紀之
雑誌名	論文報告集
巻	57
号	V-34
ページ	892-895
発行年	2001
URL	http://hdl.handle.net/10258/2090

初期材齢時における高強度コンクリートの収縮特性

Shrinkage of High-Strength Concrete in Early Age

室蘭工業大学大学院　○学生員　鎌　田　健太郎　(Kentaro Kamada)
室蘭工業大学大学院　　学生員　佐　藤　克　俊　(Katsutoshi Satoh)
室蘭工業大学　　正会員　菅　田　紀　之　(Noriyuki Sugata)

1．はじめに

近年，コンクリート構造物の大型化・高耐久化に伴い，使用されるコンクリートには高性能化・高機能化が要求されてきている。その中で圧縮強度が 100 N/mm² を超えるような高強度コンクリートに関する研究が行われるようになってきている。高強度コンクリートは普通コンクリートに比べ，水結合材比が小さく単位結合材量が多くなるため，自己乾燥による自己収縮が大きくなることが知られている。これまで土木学会コンクリート標準示方書[1)]の予測式や CEB-FIP Model Code 1990[2)]の予測式など多くの自己収縮を含む乾燥収縮ひずみに関する予測式が提案されている。これらの予測式では，高強度コンクリートのような自己収縮の大きいコンクリートの乾燥収縮ひずみを正しく評価できない可能性がある。

そこで本研究では，高強度コンクリートの乾燥収縮および自己収縮試験の結果から，実験値と既往の予測式の予測値を比較し，予測式の適用性について検討を行った。さらに，乾燥収縮と質量変化の関係についての考察も行った。

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 55 cm 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ューム，細骨材と粗骨材にはともに白老産の陸砂と砕石を用い，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 35 cm から 70 cm，空気量は 1.0 %から 3.2 %であった。実験に用いた供試体は直径 10 cm，高さ 20 cm の円柱供試体で，型枠打ち込み後は試験開始時まで温度 20℃の封緘養生を行った。

尚，表－3は，28 日間標準養生を行ったコンクリートの圧縮強度の平均値である。

表－1　コンクリートの配合

W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)					
		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
シリカフューム(SF)	比表面積：230,000 cm²/g 比重：2.2
細骨材(S)	陸砂 表乾比重：2.69
粗骨材(G)	砕石 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　標準養生したコンクリートの圧縮強度

W/B(%)	圧縮強度(N/mm²)
20	115.4
25	80.8
30	78.0

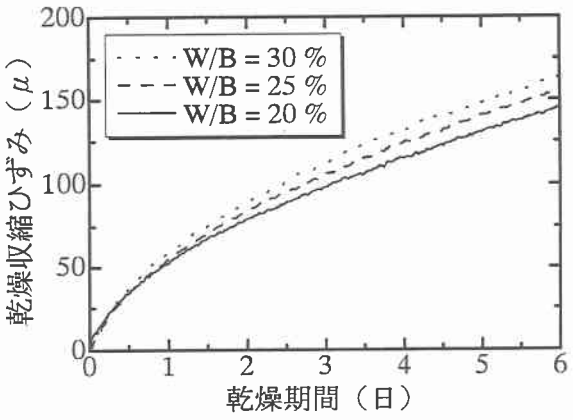
2．2　乾燥収縮および自己収縮試験方法

コンクリートの乾燥収縮試験は，温度 20℃，相対湿度 70 %に制御された恒温恒湿室内で行った。乾燥開始材齢は 3 日および 7 日の 2 種類とし，試験期間中のひずみの変化を供試体内の埋め込みゲージにより測定した。測定期間は 6 日間である。また，供試体の質量変化の測定も同時に行った。自己収縮試験は，型枠打ち込み後 20℃一定で 24 時間封緘養生をした後脱型し，ただちに供試体にアルミテープを二重に巻き，乾燥収縮試験と同様に 20℃一定の恒温恒湿室内で試験期間中のひずみの変化を埋め込みゲージにより測定した。

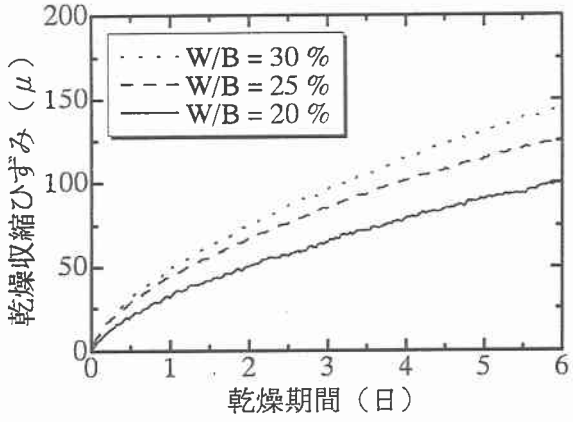
3．実験結果および考察

3．1　乾燥収縮

図－1および図－2は，乾燥開始材齢 3 日および 7 日



図－1　乾燥開始材齢 3 日の乾燥収縮ひずみ

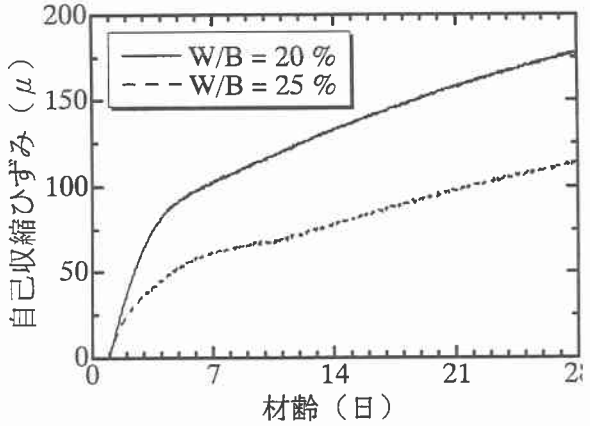


図－2　乾燥開始材齢 7 日の乾燥収縮ひずみ

のコンクリートの乾燥収縮ひずみの時間的変化を示したものである。両図から，水結合材比が大きいほど乾燥収縮ひずみの値が大きくなっていることがわかる。特に，乾燥開始材齢 7 日では，試験開始 6 日目において水結合材比 20 %と 30 %の差が約 45 μとなっており，乾燥開始材齢 3 日の 6 日目における 20 %と 30 %差である約 20 μと比較して，はっきりとその違いが見られた。また，乾燥開始材齢による乾燥収縮ひずみの大きさの違いを見ると，乾燥開始材齢が 7 日のものよりも 3 日のコンクリートの方が水結合材比 20 %で約 45 μ，25 %で約 30 μ，30 %で約 20 μ大きくなっている。以上より，乾燥開始材齢が早いほど乾燥収縮ひずみが大きくなることが明らかになった。

3．2　自己収縮

図－3 は，材齢 1 日目からの自己収縮ひずみの時間的変化である。図から，水結合材比 20 %の方が 25 %に比べて自己収縮ひずみが大きいことがわかる。つまり，水結合材比が小さくなれば，自己収縮ひずみは大きくなると予測できる。また，自己収縮ひずみの挙動に着目してみると，水結合材比 20 %では材齢 4 日程度でひずみの増加率が急に小さくなっている。一方，水結合材比 25 %は材齢 11 日程度まではひずみの増加率が徐々に減少しており，その後若干増加率が大きくなった。



図－3　材齢 1 日目からの自己収縮ひずみ

3．3　自己収縮を含む乾燥収縮予測式との比較

図－4 および図－5 は，乾燥開始材齢 3 日および 7 日の乾燥収縮ひずみの実験値に，土木学会コンクリート標準示方書(平成 8 年版)の予測式(以下，示方書式)と CEB-FIP Model Code 1990 の予測式(以下，CEB-FIP 式)を合わせて示したものである。尚，示方書式および CEB-FIP 式は以下の式(1)および式(2)に示すとおりである。

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

$$\varepsilon'_{sh} = -500 + 780\,[1-\exp(RH/100)] + 380\log_e W - 50\,[\log_e(V/S)/10]^2$$

t：乾燥期間(日)
RH：相対湿度(%)
W：単位水量(kg/m^3)
V：体積(mm^3)
S：外気に接する面積(mm^2)
V/S：体積表面積比(mm)

$$\varepsilon_{cs}(t) = \varepsilon_{cso}\,\beta(t) \qquad (2)$$

$$\beta(t) = \left\{\frac{t}{350(h_0/h_{ref})^2 + t}\right\}^{0.5}$$

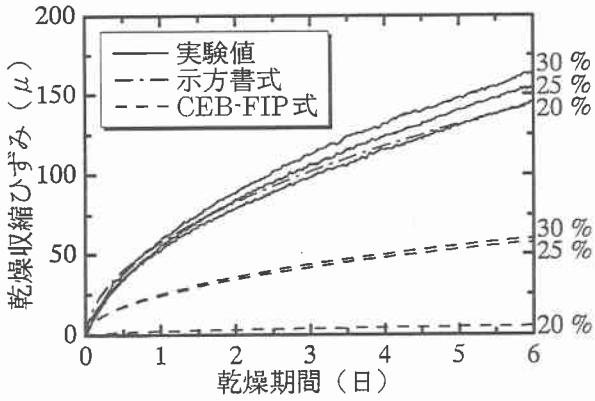
$$h_0 = 2A_c/u$$

$$\varepsilon_{sco} = \varepsilon_s(f_{cm})\beta_{RH}$$

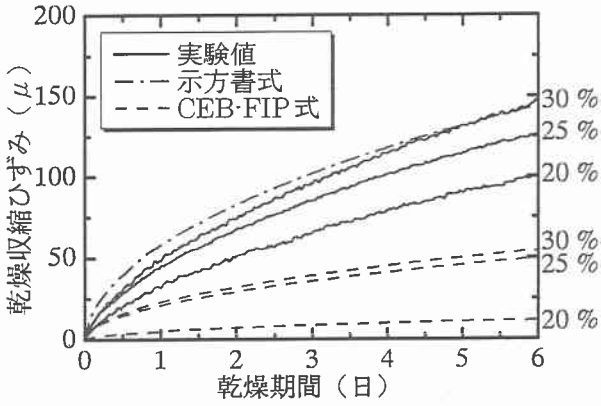
$$\varepsilon_s(f_{cm}) = 160 + 10\beta_{sc}(9 - f_{cm}/f_{cmo})$$

$$\beta_{RH} = 1.55\left\{1-\left(\frac{RH}{100}\right)^3\right\}$$

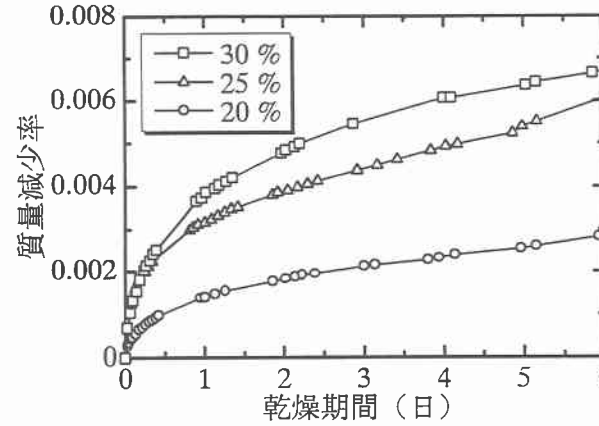
t：乾燥期間(日)
A_c：部材の断面積(mm^2)
u：外気に接する部材の周長(mm)
h_{ref} = 100 mm
β_{sc} = 5(普通ポルトランドセメント)
f_{cmo} = 10 MPa
f_{cm}：コンクリートの材齢 28日圧縮強度(MPa)
RH：相対湿度(%)



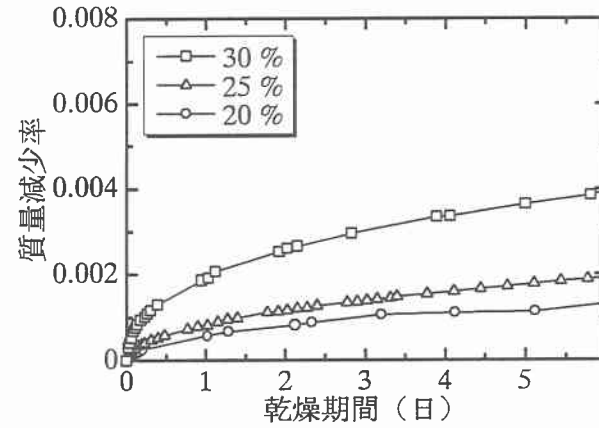
図－4　乾燥開始材齢3日の
乾燥収縮ひずみの実験値と予測値



図－5　乾燥開始材齢7日の
乾燥収縮ひずみの実験値と予測値



図－6　乾燥開始材齢3日の質量減少率



図－7　乾燥開始材齢7日の質量減少率

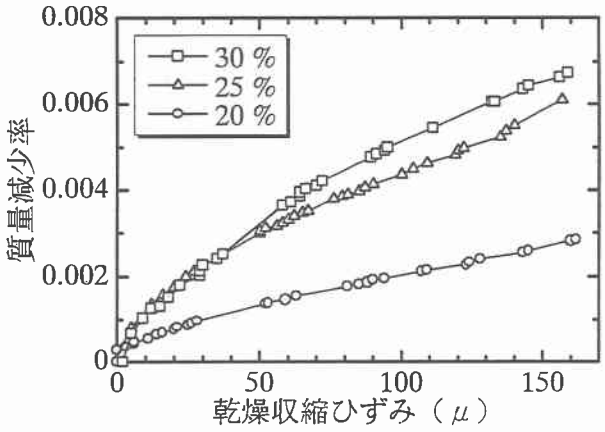
示方書式による予測値は，乾燥開始材齢3日で水結合材比20 %，7日で30 %の実験値とほぼ一致した。よって，示方書式は高強度コンクリートの乾燥収縮においてもある程度の評価ができることがわかった。示方書式は水結合材比および乾燥開始材齢をパラメーターとしない式であり，両図とも同じ曲線で表されている。しかしながら，両図から見てもわかるように水結合材比が大きくなればひずみが大きくなる点，同じ水結合材比でも乾燥開始材齢が早くなればひずみが大きくなる点を考えると，高強度コンクリートの乾燥収縮ひずみは示方書式である程度は評価できても，この2点の評価はできないことがわかった。

CEB-FIP式による予測値は，どのケースにおいても実験値と一致せず，予測値が実験値を大きく下回る結果となった。よって，CEB-FIP式では高強度コンクリートの乾燥収縮を正しく評価できないことがわかった。この式は示方書式と比べ幾分複雑な式となっており，様々なパラメーターが考慮されているが，一番評価できる点は材齢28日圧縮強度を考慮に入れているところである。これにより，水結合材比の違いによって生じるひずみの変化を考慮することができる。しかしながら，この予測式にも乾燥開始材齢は考慮されていない。

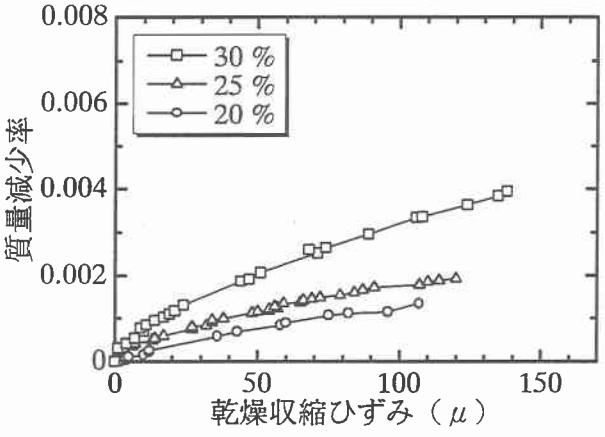
以上のことから高強度コンクリートの乾燥収縮ひずみの予測には，水結合材比と乾燥開始材齢を考慮する必要があることが明らかになった。

3．4　質量変化

図－6および図－7は，乾燥開始材齢3日および7日のコンクリートの質量減少率の時間的変化を示したものである。両図から水結合材比が大きいほど質量減少率が大きいことがわかる。また，乾燥開始材齢が早い3日の方が7日よりも全体的に質量減少率が大きいことがわかる。質量減少は水分の逸散つまり乾燥に直結することから，乾燥収縮の挙動に直接影響を与えるものである。乾燥開始材齢3日の乾燥収縮ひずみが7日のひずみより全体的に大きくなっているのは，未水和水が多く残っており水分の逸散が多いからである。同様にして水結合材比が大きくなるほど乾燥収縮ひずみが大きくなるという点も説明ができる。ここで，図－1および図－2に示すように，乾燥開始材齢3日の場合の乾燥収縮ひずみの水結合材比の違いによる差が乾燥開始材齢7日の場合に比べて小さいのは，材齢7日に比べて材齢3日の方が乾燥開始初期の自己収縮ひずみの変化が水結合材比が小さくなるほど大きくなっているためである(図－3参照)。これに比べて，乾燥開始材齢7日の乾燥収縮ひずみの水結合材比による違いは，ほぼ水分の逸散に支配されているといえる。なぜなら，乾燥開始初期(材齢7日以降)の自己収縮ひずみに急激な変化が見られないからである。



図－8　乾燥開始材齢３日の
質量減少と乾燥収縮ひずみの関係



図－9　乾燥開始材齢７日の
質量減少と乾燥収縮ひずみの関係

３．５　質量減少と乾燥収縮ひずみの関係

図－８および図－９は，乾燥開始材齢３日および７日の質量減少率と乾燥収縮ひずみの関係を示したものである。どちらの図からも，同じ質量減少率でも水結合材比が小さくなるほど乾燥収縮ひずみが大きいことがわかる。また，両図を見比べると同じ質量減少率でも乾燥開始材齢７日の方が３日より乾燥収縮ひずみが大きくなっていることがわかる。よって，同じ質量減少率でも乾燥開始材齢が遅い方が乾燥収縮ひずみが大きくなるといえる。

４．まとめ

高強度コンクリートの乾燥収縮および自己収縮試験と質量変化の測定の結果から次のことが明らかとなった。

1) 水結合材比が大きくなるほど乾燥収縮ひずみは大きくなる。しかしながら，乾燥開始材齢が早くなるとそのひらきは小さい。なぜなら，４日程度までの早い材齢では水結合材比が大きくなるほど自己収縮ひずみの変化率が大きいためである。
2) 乾燥開始材齢が早くなると乾燥収縮ひずみは大きくなる。とくに，水結合材比が小さい場合にはその差が大きい。
3) 水結合材比が小さいほど自己収縮ひずみは大きくなる。
4) 土木学会コンクリート標準示方書(平成８年版)の乾燥収縮予測式は，高強度コンクリートの乾燥収縮ひずみにおいてもある程度予測することができる。しかしながら，水結合材比や乾燥開始材齢によるひずみの違いまでは評価することができない。
5) CEB-FIP Model Code 1990 の乾燥収縮予測式は，水結合材比によるひずみの違いを評価することはできるが，高強度コンクリートの乾燥収縮ひずみを予測することはできない。
6) 高強度コンクリートの乾燥収縮ひずみの予測には，既往の予測式にはあまり用いられていない水結合材比(または圧縮強度)と乾燥開始材齢を考慮に入れる必要がある。
7) 水結合材比が大きいほど質量減少率は大きくなる。
8) 乾燥開始材齢が早いほど質量減少率は大きくなる。
9) 同じ質量減少率でも水結合材比が小さいほど乾燥収縮ひずみが大きい。
10) 同じ質量減少率でも乾燥開始材齢が早いほど乾燥収縮ひずみが大きい。

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，土木学会，pp.26～29，1996
2) CEB：CEB-FIP Model Code 1990，Thomas Telford，1993