

論文 高品質フライアッシュを用いたコンクリートの乾燥収縮特性に関する研究

伊藤 七恵*1・佐藤 嘉昭*2・上田 賢司*3・大谷 俊浩*4

要旨: 本研究では、強熱減量を1%以下に抑えた高品質フライアッシュ (Carbon-free Fly Ash, 以下, CfFA) を混入したコンクリートの乾燥収縮ひずみに関して広範囲の調合に対して実験を行い、強度レベルが CfFA 無混入の基準コンクリートと同一の場合の CfFA 混入の効果について検討を行った。その結果、乾燥収縮ひずみは、CfFA の強度寄与率を考慮した見かけの水セメント比との関係では CfFA コンクリートが基準コンクリートよりも若干小さな値を示し、また、高水セメント比の範囲では基準および CfFA コンクリートが小さくなる傾向を示した。この傾向をモルタルの乾燥収縮で確認し、複合則理論を用いて検討を行った。

キーワード: 高品質フライアッシュ, フレッシュ性状, 圧縮強度, 強度寄与率, 乾燥収縮, 複合則理論

1. はじめに

フライアッシュに含まれる未燃カーボンは、コンクリートの空気量やスランプに大きな影響を及ぼし、フレッシュ性状の管理を困難にしている。そこで、筆者らは、品質の安定したコンクリートの製造を可能にする為に未燃カーボン量を1%以下に抑えたフライアッシュを製造する技術を確立し、高品質フライアッシュ (Carbon-free Fly Ash, 以下, CfFA) と命名した。これまでに、CfFA を混入したコンクリートの強度に関して、従来のフライアッシュ (以下, FA) も含め種類や置換率が異なる場合も、FA の比表面積およびセメント水比 (以下, C/W) から求めた強度寄与率を用いて、CfFA 無混入の基準コンクリートの強度式から算出することができることを明らかにした¹⁾。本研究では、CfFA を混入したコンクリート (以下, CfFA コンクリート) の乾燥収縮試験を行い、乾燥収縮ひずみに対する CfFA 混入の影響を明らかにすることを目的としている。そのためには、基準コンクリートと同一の強度レベルの CfFA コンクリートの実験結果に基づいて議論する必要があることから、広範囲の調合について実験を行った。また、水セメント比 (以下, W/C) が高いコンクリートに CfFA を混入すると、水結合材比 (以下, W/B) は変わらないが、W/C が一般のコンクリートの W/C よりもかなり大きくなる場合があることから、W/C が80%を超える高 W/C の基準コンクリートについても同様の実験を計画した。さらに、乾燥収縮ひずみに及ぼす高 W/C の影響や CfFA 混入の影響を明確にするためにモルタル供試体を用いて乾燥収縮試験を行い、複合測モデルを用いて CfFA コンクリートの乾燥収縮ひずみについて検討することにした。

表-1 使用材料および物性

種別	記号	使用材料および物性
セメント	C	普通ポルトランドセメント: 密度 3.16g/cm ³
混和材	CfFA	高品質フライアッシュ
細骨材	S	混合砂: 表乾密度 2.62g/cm ³ , 吸水率 2.81%
粗骨材	G	硬質砂岩碎石: 表乾密度 2.66g/cm ³ , 吸水率 0.58%
水	W	上水道水

表-2 CfFA の物性値

強熱減量 (%)	密度 (g/cm ³)	二酸化ケイ素 (%)	比表面積 (cm ² /g)	フロー値比 (%)	活性度指数 (%)	
					28日	91日
0.98	2.26	65.9	3820	103.9	89.8	92.8

2. コンクリートの乾燥収縮特性

2.1 実験計画

実験は2つのシリーズから成っている。シリーズ A は CfFA をセメント代替として内割り置換したコンクリートについて、フレッシュ性状、圧縮強度、乾燥収縮ひずみに及ぼす影響を把握するために、W/C と CfFA 置換率を広範囲に変化させた調合に対し実験を行うこととした。また、CfFA で置換すると高 W/C になる場合があることからそのような高 W/C の基準コンクリートの特性についてシリーズ B として実験を行うことにした。

2.2 実験

(1) 使用材料および調合

表-1 に使用材料および物性、表-2 に使用した CfFA の物性値、表-3 に調合を示す。今回使用した CfFA は JIS II 種相当である。基準コンクリートに対して、CfFA を置換する場合、CfFA コンクリートの単位粗骨材量は基準コンクリートと同一で、CfFA はセメント質量に対し内割り置換とし、W/B が同じになるようにした。

*1 大分大学大学院 工学研究科博士後期課程環境工学専攻 修士 (工学) (正会員)

*2 大分大学 工学部福祉環境工学科建築コース教授 工博 (正会員)

*3 (株) ゼロテクノ 博士 (工学) (正会員)

*4 大分大学 工学部福祉環境工学科建築コース准教授 博士 (工学) (正会員)

シリーズ A では、基準コンクリートの W/C を 30, 40, 50, 60% の 4 水準とし、CfFA の置換率を 20, 30, 40, 60% の 4 水準とした。ただし、W/B30% のみ、置換率は 20, 40% の 2 水準である。すべての調合で単位水量は 175kg/m³、粗骨材量は 960kg/m³ と一定とした。なお、目標スランブは 18±2cm、目標空気量は 4.5±0.5% とし、目標値を満足するように高性能 AE 減水剤および空気量調整剤によって調整した。練混ぜには強制 2 軸ミキサを用い、練混ぜ時間はすべての材料を投入後、3 分間とした。シリーズ A は夏期に打設を行い、打設後直ちに湿布とビニルシートで覆い、材齢 1 日で脱型を行った。練上がり温度は 25~31℃ である。

シリーズ B では、W/C を 60, 80, 100, 125, 150% の 5 水準とし、CfFA は無混入である。No.19 はシリーズ A の No.14 と同じ調合である。なお、単位水量、単位粗骨材量、練混ぜ方法および目標空気量はシリーズ A と同じである。ただし、スランブについては、粉体量が少なく調整が極めて困難であったことから、目標空気量のみを満足するように、混和剤によって調整した。シリーズ B は実験の都合上冬期に打設を行ったため、練上がり温度は 11~12℃ と低くなった。打設後直ちに湿布とビニルシートで覆い、材齢 5 日で脱型を行った。

(2) 実験方法

スランブと空気量の測定は、JIS A 1101, JIS A 1128 に準じて行った。圧縮強度試験は JIS A 1108 に準じて行い、供試体は φ100×200mm とし、材齢 28, 91 日、1 年において各条件に 3 体ずつとした。

乾燥収縮試験は、JIS A 1129-2 に準じ、100×100×400mm の角柱供試体を用いて材齢 7 日から測定を開始し、同時に脱水量を測定した。ひずみの測定にはコンタクトゲージ（標点間距離 200mm、精度 1/1000mm）を用いた。なお、乾燥収縮試験は恒温恒湿室（温度 20±1℃、湿度 60±5% R.H.）にて行い、供試体は、材齢 7 日まで標準水中養生（温度 20±1℃）とした。

2.3 実験結果および考察

(1) スランブおよび空気量

表-3 にスランブおよび空気量の測定結果を示す。混和剤による調整を行った結果、シリーズ B のスランブを除き、目標値を満足していることが分かる。

(2) 圧縮強度

図-1 に材齢 28 日および 1 年の C/W と圧縮強度の関係を示す。C/W が同じ場合、材齢 28 日における CfFA コンクリートの圧縮強度は基準コンクリートよりも大きくなるものの、置換率の影響はあまり大きくない。それに対し、材齢 1 年では CfFA の置換率が大きくなるほど圧縮強度も大きくなる傾向がみられる。これは、材齢が進化するほど CfFA のポズラン反応による圧縮強度への寄

表-3 コンクリートの調合

シリーズ	調合 No.	W/C (%)	W/B (%)	CfFA/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)		Ad1 ^{※1} (B × %)	Ad2 ^{※2} (B × 10 ⁻³ %)	スランブ (cm)	空気量 (%)
						W	G				
A	1	30.0	30	0	39.4	175	960	0.75	0.50	19.5	5.0
	2	37.5	30	20	37.8			0.65	0.75	17.0	4.9
	3	50.0	30	40	36.2			0.65	2.00	21.0	4.3
	4	40.0	40	0	43.7			0.70	0.50	20.0	4.4
	5	50.0	40	20	42.7			0.60	3.00*	18.5	4.1
	6	57.1	40	30	42.2			0.50	1.00*	19.5	4.5
	7	66.7	40	40	41.7			0.40	0	19.9	4.9
	8	100.0	40	60	40.6			0.45	0.50	20.0	5.0
	9	50.0	50	0	46.1			0.75	0	19.5	4.6
	10	62.5	50	20	45.3			0.45	0.25	19.0	4.6
	11	71.4	50	30	45.0			0.35	0.50	18.0	4.9
	12	83.3	50	40	44.6			0.25	1.00	18.0	4.0
	13	125.0	50	60	43.8			0.15	3.00	19.5	4.0
	14	60.0	60	0	47.5			0.80	0.25	17.0	5.0
	15	75.0	60	20	46.9			0.50	0.50	16.5	4.4
	16	85.7	60	30	46.6			0.40	1.00	20.0	4.8
	17	100.0	60	40	46.4			0.30	2.50	20.0	5.0
	18	150.0	60	60	45.7			0.15	4.00	18.5	5.0
B	19	60.0	60	0	47.5	175	960	0.80	1.00*	16.0	4.2
	20	80.0	80	0	49.2			1.00	1.00*	13.0	4.7
	21	100.0	100	0	50.2			1.30	1.50*	5.5	5.0
	22	125.0	125	0	50.9			1.65	3.00*	3.0	4.9
	23	150.0	150	0	51.4			2.00	3.00*	2.0	5.0

※1: ポリカルボン酸エーテル系高性能 AE 減水剤
 ※2: *印は消泡剤でそれ以外は AE 助剤を使用

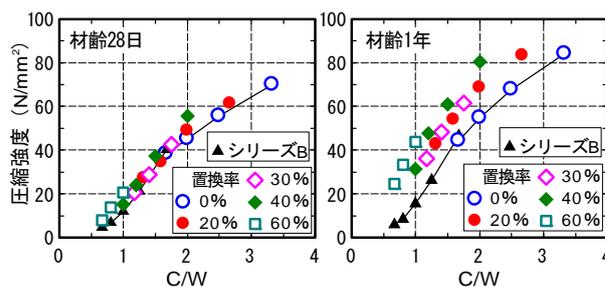


図-1 圧縮強度と C/W の関係

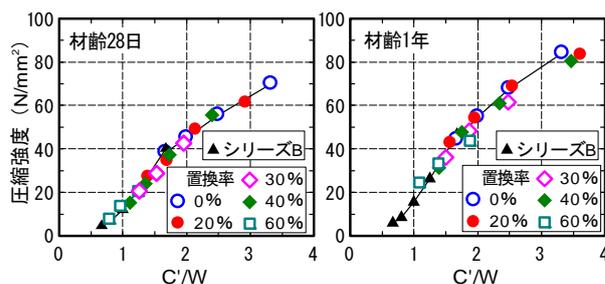


図-2 圧縮強度と C'/W の関係

与効果が明確にあらわれてくることによるものである。筆者らは、強度寄与率 k について、式 (1) に示すように CfFA の比表面積、材齢および C/W によって表わすことができることを既報にて示している¹⁾。

$$k(t) = (0.0861 \cdot \log_e t - 0.2025) \cdot S \times 10^{-3} \cdot (0.4378 \cdot C/W + 0.0641) \quad (1)$$

ここに、 t : 材齢 (日), S : CfFA の比表面積 (cm²/g)

式 (1) より得られる強度寄与率から見かけの水セメント比 (W/C', C'=C+k·CfFA) をそれぞれの材齢ごとに

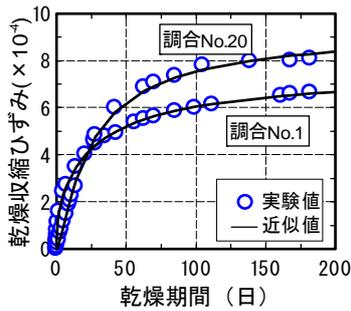


図-3 乾燥収縮ひずみの経時変化

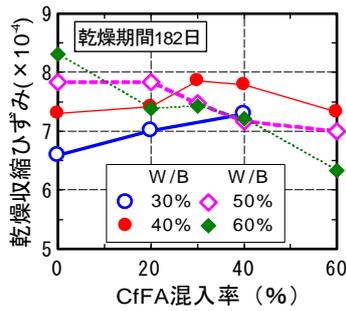


図-4 乾燥収縮ひずみと CfFA 置換率の関係

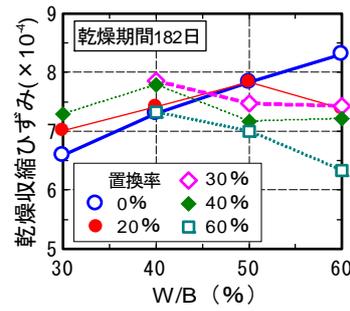


図-5 乾燥収縮ひずみと W/B の関係

算出した。図-2に材齢28日および1年の圧縮強度とC'/Wの関係を示す。いずれの結果も CfFA 置換率にかかわらず、相関関係がみられることから、式(1)から算出した強度寄与率は実際の強度寄与率を適切に評価できていると考えられる。

(3) 乾燥収縮

乾燥収縮ひずみは、測定結果のばらつきを考慮するため、乾燥期間182日までの実測データを用いて、双曲線関数である式(2)²⁾で近似式中のパラメータである α 、 β 、 $\varepsilon_{sh\infty}$ を最小二乗法によって求めた。

$$\varepsilon_{sh}(t, t_0) = \varepsilon_{sh\infty} \cdot \left(\frac{t - t_0}{\alpha + (t - t_0)} \right)^\beta \quad (2)$$

ここに、 $\varepsilon_{sh}(t, t_0)$: 乾燥開始材齢 t_0 における材齢 t 日の乾燥収縮ひずみ ($\times 10^{-6}$)、 $\varepsilon_{sh\infty}$: 最終乾燥収縮ひずみ ($\times 10^{-6}$)、 α 、 β : 実験定数

図-3に調合No.1および20の実測値および式(2)より算出した乾燥収縮ひずみの経時変化を示す。両者は良く一致しており、式(2)によって乾燥収縮ひずみの経時変化を適切に表すことができている。そこで、今後の考察では近似式より算出した乾燥期間182日の値を用いることにした。

乾燥期間182日における乾燥収縮ひずみと CfFA 置換率の関係を図-4に示す。CfFAをセメントの内割りで置換した場合、W/Bが30および40%では置換率が40%までは乾燥収縮ひずみは増加する。それに対し、W/Bが50および60%では置換率が大きくなるほど乾燥収縮ひずみは小さくなる傾向がみられる。また、いずれの場合も置換率が60%と大きくなると収縮ひずみは小さくなるようであるが、CfFAの影響はW/Bごとに異なり明確ではない。池永ら³⁾は、FA置換率が乾燥収縮ひずみに及ぼす影響は、W/Bが30%と55%とでは異なり、30%では若干大きくなるか同等であるのに対し、55%では小さくなる傾向を示すことを報告している。本研究においても同様の結果が得られており、図-5に示す乾燥収縮ひずみとW/Bの関係から分かるように、基準コンクリートの乾燥収縮ひずみはW/Bが大きくなるに伴い大きくなるのに

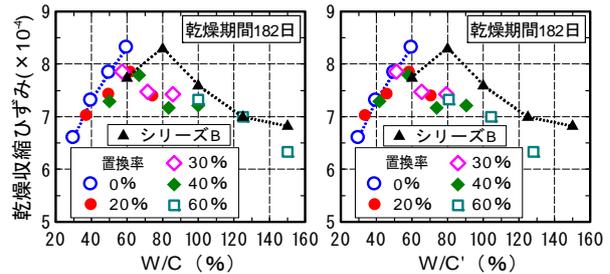


図-6 乾燥収縮ひずみと W/C の関係

図-7 乾燥収縮ひずみと W/C' の関係

対し、CfFAコンクリートは、置換率が大きくなるとW/Bが大きくなるに伴い小さくなる。このようにCfFAの混入が乾燥収縮ひずみに及ぼす影響はW/Bおよび置換率によって異なることが分かる。

図-6にシリーズBの結果を含めた乾燥収縮ひずみとW/Cの関係を示す。CfFAの置換率の差異にかかわらず、W/Cが60%程度までは乾燥収縮ひずみは増加するが、それ以降は徐々に減少する傾向がみられる。また、CfFAコンクリートは、W/Cが60%までは基準コンクリートよりも若干小さくなっている。シリーズBの結果は打設時期が異なるのでシリーズAの結果と直接比較することには問題があるが、W/Cが60%を超える範囲についても基準コンクリートよりもCfFAを混入したほうが若干小さくなる傾向がみられる。これは、中川らの報告⁴⁾と一致する結果であり、このことから、単位水量および単位セメント量が同じ場合にはCfFAを混入することで若干の乾燥収縮の抑制効果があるといえる。

乾燥収縮ひずみと材齢28日強度との関係を明らかにするため、図-7に乾燥収縮ひずみと材齢28日の強度寄与率から求めたW/C'の関係を示す。W/C'が60%以下では基準コンクリートとCfFAコンクリートの値がほぼ同一となっており、強度レベルの同じコンクリートではCfFAの混入の有無にかかわらず同程度の乾燥収縮ひずみを示すことになる。

以上のように、W/Cが60%を超えるような高水セメント比の範囲では基準コンクリートのみならずCfFAコンクリートの乾燥収縮ひずみは小さくなる傾向を示したことから、モルタル供試体を作製して乾燥収縮ひずみを

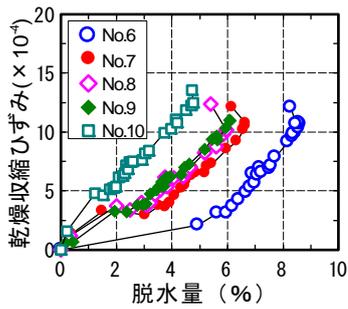


図-8 乾燥収縮ひずみと脱水量の関係

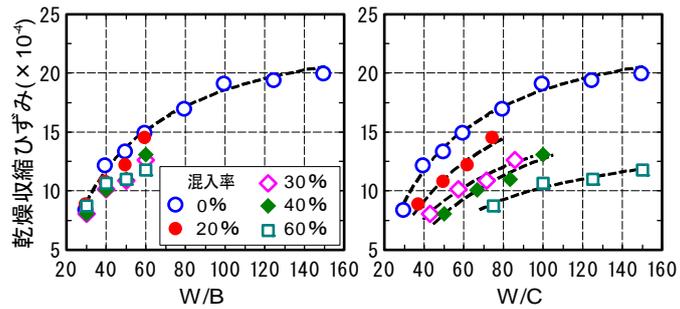


図-9 乾燥収縮ひずみと W/B および W/C の関係

測定し、コンクリートが示したような傾向をモルタルにおいて確認することにした。

3. モルタルの乾燥収縮特性

3.1 実験計画

CfFA の混入が乾燥収縮に及ぼす影響をより明確にするためにコンクリートと同じ W/C と CfFA 置換率のモルタルで確認実験を行うこととした。

3.2 実験概要

使用材料は、コンクリートと同様である。表-4 に調査を示す。モルタルの調査は、コンクリートの調査と同じ W/C および CfFA 置換率としたが、W/B30%については CfFA 置換率 30%および 60%についても実施した。ただし、骨材容積を 50%で一定とし、骨材の影響が含まれていない CfFA を混入したペーストの乾燥収縮ひずみを比較するようにした。練混ぜは恒温恒湿室(温度 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 $60 \pm 5\% \text{R.H.}$) で JIS R 5201 に準じて行った。ブリーディング量が多く直ちに型枠に打設できないものは、密封した容器に保管しながら、ブリーディングが収まるまで 2 時間おきに攪拌を行い、調査 No.1~22 は練混ぜから 6 時間以内、No.23 は 1 日後、No.24 は 2 日後に打設した。打設後直ちに湿布とビニルシートで覆った。材齢 2~7 日で脱型を行い、材齢 28 日まで標準水中養生(温度 $20 \pm 1^\circ\text{C}$) とした。

乾燥収縮試験は $40 \times 40 \times 160 \text{mm}$ の角柱供試体を各調査 3 体用い、材齢 28 日より乾燥を開始した。ひずみの測定にはダイヤルゲージ(精度 $1/1000 \text{mm}$) を使用し、同時に脱水量を測定した。

3.3 実験結果および考察

モルタルの乾燥収縮ひずみの測定に用いた供試体はコンクリート供試体に比べて断面が小さく、炭酸化の影響を受けやすい。図-8 に乾燥収縮ひずみと脱水量の関係の一例を示すが、ひずみが増加しているにもかかわらず脱水量が減少している場合も認められる。これは、炭酸化の影響と思われるが、そのようなデータは排除して、コンクリートの乾燥収縮ひずみと同様に近似式に当てはめ、乾燥材齢 182 日の値を算出した。

表-4 モルタル調査

調査 No.	W/C (%)	W/B (%)	CfFA/B (%)	単位量 (kg/m^3)				Ad1*1 (B×%)
				W	C	CfFA	S	
1	30.0	30	0	243	811	0		1.6
2	37.5	30	20	234	623	154		1.7
3	42.9	30	30	229	534	227		1.7
4	50.0	30	40	225	449	297		1.7
5	75.0	30	60	216	288	429		1.8
6	40.0	40	0	279	698	0		0.5
7	50.0	40	20	270	539	134		0.6
8	57.1	40	30	265	464	197		0.6
9	66.7	40	40	261	391	258		0.6
10	100.0	40	60	252	252	375		0.6
11	50.0	50	0	306	612	0		0
12	62.5	50	20	297	475	118	1310	0.1
13	71.4	50	30	292	409	174		0.2
14	83.3	50	40	288	346	228		0.3
15	125.0	50	60	280	224	333		0.3
16	60.0	60	0	327	546	0		0
17	75.0	60	20	318	425	105		0
18	85.7	60	30	314	367	156		0
19	100.0	60	40	310	310	205		0
20	150.0	60	60	302	201	299		0
21	80.0	80	0	358	448	0		0
22	100.0	100	0	380	380	0		0
23	125.0	125	0	399	319	0		0
24	150.0	150	0	413	276	0	0	

*1: ポリカルボン酸エーテル系高性能 AE 減水剤

図-9 にモルタルの乾燥収縮ひずみと W/B および W/C の関係を示す。W/B が 30%ではあまり差がみられないが、W/B が 40~60%では、CfFA 無置換の基準モルタルに対し、CfFA を混入したものは乾燥収縮ひずみが若干小さくなる。しかしながら、置換率の違いによる影響は明確ではない。W/B を一定として CfFA を質量比でセメントと置換すると、セメントよりも CfFA の密度が小さく結合材の容積が増加するため、置換率が大きくなるほど単位水量は少しずつ小さくなる。W/C は大きくなるが、単位水量および粉体中のセメント量の減少、すなわちセメントペースト量の減少が乾燥収縮ひずみの低減につながっていると考えられる。

W/C が同じ場合には、CfFA の置換率が大きくなるほど乾燥収縮ひずみが小さくなり、いずれも W/C の増大に伴い乾燥収縮ひずみは増大するが徐々に収束する傾向がみられる。これは、W/C が同じ場合には、CfFA の量が増えるほどセメントペースト量が少なくなり、単位水量が大きく減少する影響である。

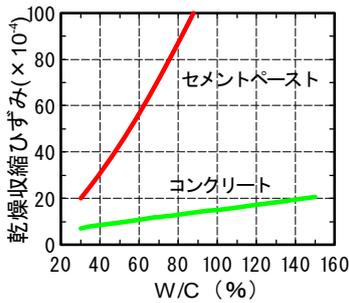


図-10 予測式による結果

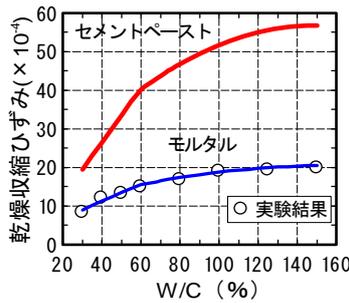


図-11 セメントペーストおよびモルタルの乾燥収縮ひずみ

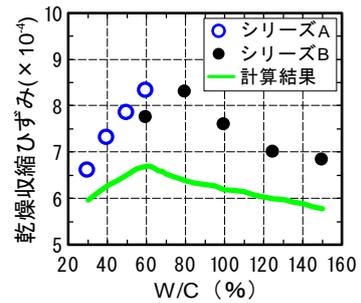


図-12 コンクリートの乾燥収縮ひずみの比較

4. 複合則理論によるコンクリートの乾燥収縮ひずみ

前述したように、コンクリートの乾燥収縮は、W/Cが60%を超えるような領域では、W/Cが大きくなるほど乾燥収縮ひずみが小さくなる傾向が認められた。一方、モルタルの乾燥収縮ひずみは、W/Cが増大するほど乾燥収縮ひずみは大きくなるものの、その増加量は徐々に減少する傾向がみられた。この場合、細骨材量は一定であるので、セメントペーストの乾燥収縮ひずみも同様の傾向を示していることになる。以上のことを踏まえて、コンクリートの乾燥収縮ひずみは、ひずみの発生源となるセメントペーストのひずみの大きさとその量に大きく影響を受けることから、複合則理論を用いてコンクリートの乾燥収縮ひずみを予測することを試みた。

コンクリートの乾燥収縮ひずみの算出には、複合モデルとして式(3)に示す馬場式⁵⁾を利用した清原らが提案している予測式⁶⁾を用いた。これは、乾燥収縮ひずみの発生源であるセメントペーストと骨材の二相材料として取扱い、母材セメントペーストと複合材料(コンクリート)との相互作用により、コンクリートのヤング係数を含む理論式となっている。清原らは、コンクリートのヤング係数についてはHashin-Hansenの複合則理論式をもとに、遷移帯領域などを考慮した補正係数を用いて修正した式を用いている。セメントペーストおよび骨材の物性値については、実験結果をもとに推定式を構築しており、この予測式は、W/C、単位水量(骨材容積比)、細骨材率、骨材の吸水率および乾燥開始材齢を用いて表すことができるようになっている。

$$\varepsilon_{sc\infty} = \frac{1 - (1 - m \cdot n) \cdot V_a}{E_c / E_p} \cdot \varepsilon_{sp\infty} \quad (3)$$

ここに、 $m = \varepsilon_{sa\infty} / \varepsilon_{sp\infty}$ 、 $n = E_a / E_p$ 、 V_a : 骨材容積比、

$\varepsilon_{sc\infty}$ 、 $\varepsilon_{sa\infty}$ 、 $\varepsilon_{sp\infty}$: コンクリート、骨材およびペーストの最終乾燥収縮ひずみ($\times 10^{-6}$)、 E_c 、 E_a 、 E_p : コンクリート、骨材およびペーストのヤング係数($\times 10^4 \text{N/mm}^2$)

図-10に予測式を用いて得られた結果を示す。コンクリートの乾燥収縮ひずみは、W/Cの増大とともに増大し、W/Cが150%において 2000×10^{-6} を超える結果となり、

実験結果と大きく異なる結果となった。これは、セメントペーストの最終乾燥収縮ひずみに関して、予測式ではW/Cが25~65%における実験データをもとに構築されているため、W/Cと乾燥収縮ひずみの関係が線形関係で表されていることが原因であると考えられる。モルタルの実験では高W/Cになるにつれて乾燥収縮ひずみはある値に収束する傾向を示しており、セメントペーストにおいても同様のことが考えられることから、高W/Cの領域において、予測式はセメントペーストの乾燥収縮を的確に表せていないと思われる。そこでセメントペーストの収縮ひずみを次のようにして求めることにした。

予測式におけるコンクリートの乾燥収縮ひずみは、セメントペーストと骨材の二相材料として取り扱っており、細骨材率を1とすることでモルタルにも対応できる。そこで、予測式を用いて、モルタルの乾燥収縮ひずみの実験結果に一致するようなセメントペーストの最終乾燥収縮ひずみを逆算して求めた。

それらの乾燥収縮ひずみとW/Cの関係を図-11に示す。モルタルの計算値は実験結果とほぼ一致していることがわかる。また、セメントペーストの最終乾燥収縮ひずみとW/Cとの関係は、コンクリートの実用的な範囲であるW/Cが30~60%程度では図-10に示した結果と同様に直線関係にあるが、W/Cが60%を超えると勾配が徐々に緩やかになっている。

図-11に示すセメントペーストの乾燥収縮ひずみを用いてコンクリートの乾燥収縮ひずみを算出した結果を図-12に示す。使用した骨材のヤング係数や乾燥収縮ひずみが適切に評価できていないことが考えられるため、実測値と計算値に大きな差が生じているが、計算結果は、W/Cが60%程度まではひずみが増大し、W/Cが60%を超えると緩やかに減少しており、実験結果と同様の傾向が得られた。このことから、コンクリートの乾燥収縮ひずみは、セメントペーストの乾燥収縮ひずみの大きさとコンクリートに占める割合が大きく影響していることがわかる。すなわち、単位水量が一定の条件では、セメントペースト量はW/Cが大きくなるほど減少するため、W/Cが増大してセメントペーストの乾燥収縮ひずみが

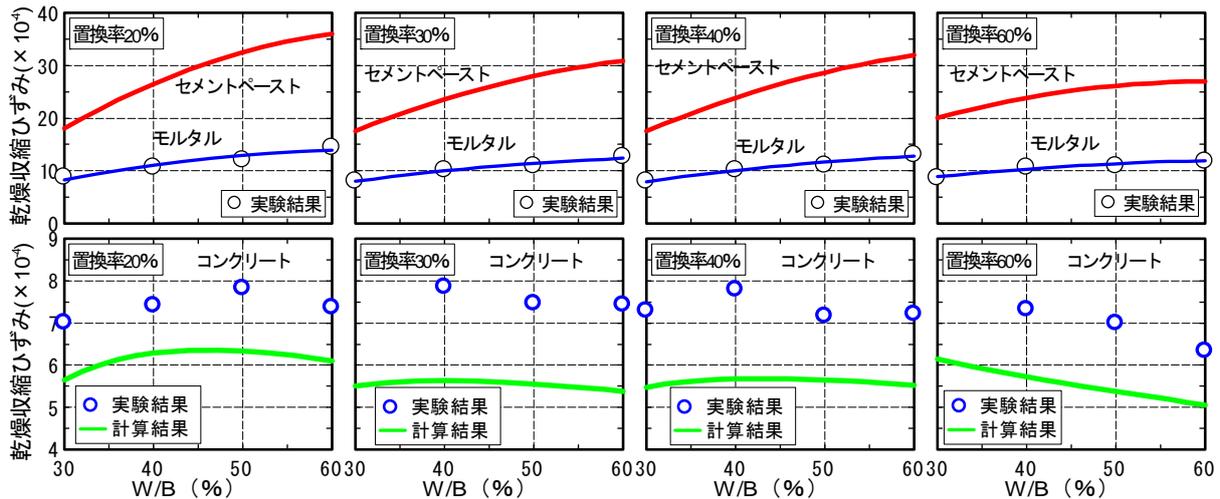


図-13 CfFA コンクリートの計算結果(W/B による検討)

増大しても、その増加量が小さい場合には、骨材による拘束が卓越してコンクリートの乾燥収縮ひずみが減少するものと考えられる。

CfFA コンクリートについても同様の方法で乾燥収縮ひずみを算出した。ここでは、CfFA を混入したセメントペーストと骨材の二相材料として取扱い、実験範囲である W/B が 30~60% について検討した。その結果を図-13 に示す。基準コンクリートの結果と同様に、CfFA コンクリートの乾燥収縮ひずみは実験結果と計算結果には差がみられるが、W/B との関係についてはおおよその傾向は表すことができた。この結果を W/C の関係で示したものが図-14 である。実験結果と同様に W/C が 60% を超えると乾燥収縮ひずみが小さくなる結果が得られた。

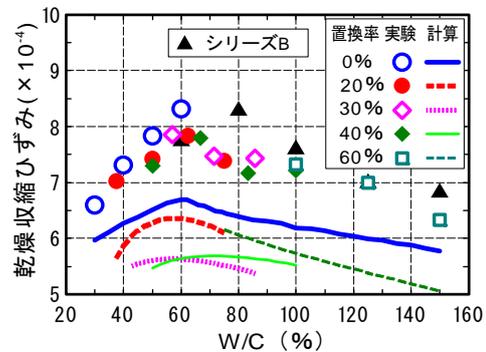


図-14 コンクリートの乾燥収縮ひずみの実験結果と計算結果の比較

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) CfFA コンクリートは、単位水量および単位セメント量が同じ場合には乾燥収縮の抑制効果がある。
- (2) CfFA の置換にかかわらず、単位水量および単位粗骨材量が一定のコンクリートの乾燥収縮は、W/C の増大に伴い増大するが、W/C が 60% を超えると減少する。
- (3) 単位細骨材が一定のモルタルの乾燥収縮ひずみは、W/C が増大するほど乾燥収縮ひずみは大きくなるものの、その増加量は徐々に減少する。
- (4) W/C が 60% を超えるような高 W/C の領域におけるコンクリートの乾燥収縮ひずみは小さくなるが、これは複合則理論によってある程度説明できる。

謝辞

本研究は、大分大学 VBL プロジェクト研究「研究課題：低炭素社会の実現を目指した汎用型長寿命コンクリ

ートの製造技術の確立（平成 21~25 年度）、研究代表：大谷俊浩」の支援を受けて実施したものである。

参考文献

- 1) 伊藤七恵ほか：高品質フライアッシュを用いたコンクリートの調合設計に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，No.1，pp.167-172，2011.7
- 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，2006.2
- 3) 池永博威ほか：フライアッシュを用いたコンクリートの乾燥収縮に関する研究，学術講演梗概集，A-1，材料施工，pp.639-640，1998.7
- 4) 中川隆夫ほか：フライアッシュを用いたコンクリートの乾燥収縮ひび割れ性状，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，pp.483-488，2004.7
- 5) 馬場明生：建築材料の乾燥収縮機構とその応用に関する研究，東京大学学位論文，1975
- 6) 清原千鶴ほか：複合則理論を用いたコンクリートの乾燥収縮ひずみの予測式—終局乾燥収縮ひずみの評価方法—，日本建築学会構造系論文集，第 590 号，pp.9-16，2005.4