

# 論文 材齢 24 年の屋内保存コンクリートと材齢 2 年の促進中性化コンクリートに及ぼす中性化の影響の比較

大山 優\*1・田村 雅紀\*2・阿部 道彦\*3

**要旨:** 吸水率の異なる再生骨材を用いた屋内保存のコンクリートと、促進中性化を行った普通コンクリートを、質量変化、長さ変化および中性化深さの観点から比較を行った。長さ変化と質量変化の関係では、水セメント比が小さくなるほど質量変化に対する長さ変化の傾きが大きくなる傾向が認められた。中性化深さとの関係では、屋内保存のコンクリートは促進中性化を施したコンクリートよりも、中性化深さに対する質量変化率が小さく、長さ変化率は大きくなる傾向が認められた。また、高強度域のコンクリートでは、中性化が進行しているにもかかわらず質量の減少が認められた。

**キーワード:** 長期性状, 中性化, 再生骨材, 質量変化, 乾燥収縮, 炭酸化収縮, 促進中性化

## 1. はじめに

硬化後のコンクリートは、乾燥により質量が減少し収縮（乾燥収縮）が生じる。また、中性化によって、質量は増加し収縮（炭酸化収縮）が生じるとされている<sup>1)</sup>。筆者らは、実験に基づき促進中性化により質量の増加および乾燥収縮より大きな収縮が生じることを報告した<sup>2)</sup>。

促進中性化試験は自然環境よりも大きい濃度の二酸化炭素を作用させ、通常長い時間を要する中性化について短い期間で結果を得ることができる。しかし、乾燥と中性化が同時に進行することで、自然環境とは挙動が異なる可能性がある。加えて、促進中性化試験による中性化の進行と、実環境での中性化の進行を比較した例は多くない。本研究では筆者らが行ってきた促進中性化試験の試験体の性状と、長期材齢のコンクリート試験体とを、質量変化および長さ変化に着目して、比較し検討を行うこととした。

## 2. 実験概要

表-1 に実験の要因と水準を示す。シリーズ I は、阿部が再生粗骨材を使用して作製したコンクリートで、2018 年に材齢 24 年で長期性状の試験を行った<sup>3) 4)</sup>。調合の組合せは表-2 に示す通りである。これらの試験体は、脱型後材齢 1 週まで水中養生ののち 20°C, 60%R.H. の恒温恒湿室に保存されていた。シリーズ II および III は筆者が作製した同一のコンクリートで、2 年間にわたり質量変化および収縮の変化を記録している<sup>2)</sup>。水セメント比は 50%, 60%, 70% の 3 水準を設定しているが、乾燥収縮に及ぼす質量変化の影響を除くため、単位水量は一定とした。また、試験の結果を早期に得るため試験体

の大きさを、JIS で推奨される供試体の半分の幅とした。これらの試験体はいずれも JIS A 1153 に準じて前養生を行ったのち、III を 20°C, 60%R.H., CO<sub>2</sub> 濃度 5% の促進中性化槽に移動し、II は 20°C, 60%R.H. の恒温恒湿槽で保存した。

表-1 実験の要因と水準

要因	水準	
シリーズ	I	II および III
保存期間	24 年	2 年
保存条件	恒温恒湿室	恒温恒湿槽 (II) 促進中性化 (III)
寸法 (mm)	100*100*400	100*50*400
粗骨材	砕石・砂利 再生骨材 (3 種) 混合	砕石
水セメント比	40%, 55%	50%, 60%, 70%
混和剤の種類	AE 減水剤 高性能 AE 減水剤	AE 減水剤
単位水量	160, 170, 180 kg/m <sup>3</sup>	172kg/m <sup>3</sup> (一定)

表-2 シリーズ I の調合の組合せ

水セメント比	混和材の種類	粗骨材の種類 (かっこ内は吸水率の概略値)					
		川砂利 (3%)	砕石 (1%)	再生 (3%)	再生 (5%)	再生 (7%)	混合 (3%)
40	高性能 AE 減水剤	○ 160	○ 170	○ 170	○ 170	○ 170	○ 170
	AE 減水剤	○ 170	○ 180	○ 180	○ 180	○ 180	○ 180
55	高性能 AE 減水剤			○ 170	○ 170	○ 170	
	AE 減水剤						

注：○の下の数字は単位水量を示す。

\*1 工学院大学大学院 工学研究科建築学専攻・修士課程 (学生会員)

\*2 工学院大学 建築学部建築学科教授 博士 (工学) (正会員)

\*3 工学院大学 名誉教授/客員研究員 博士 (工学) (正会員)

表-4 コンクリートの調合とフレッシュ性状および4週圧縮試験結果

シリーズ	略称 (粗骨材の種類)	W/C (%)	混和剤の種類	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	絶対容積 (L/m <sup>3</sup> )			質量 (kg/m <sup>3</sup> )			混和剤 (C×%)	AE 助剤 (C×%)	練上り 温度 (°C)	スラ ンプ (cm)	空気量 (%)	単位 容積 質量 (kg/L)	4週 圧縮 強度 (N/mm <sup>2</sup> )	静弾性 係数 (N/mm <sup>2</sup> )																																															
					セメ ント	細骨 材	粗骨 材	セメ ント	細骨 材	粗骨 材																																																							
I	川砂利	40	高性能 AE 減水剤	160	127	250	418	400	650	1070	0.9	0.003	21.0	20.0	4.0	2.29	44.8	28.5																																															
	碎石																		170	134	283	368	736	975	0.002	20.0	19.0	3.9	2.32	56.6	34.4																																		
	再生3%																															270	381	425	702	952	0.003	20.0	21.5	4.5	2.28	50.6	32.0																						
	再生5%																																											274	377	712	897	0.003	20.5	20.5	4.2	2.25	47.5	29.7											
	再生7%																																																						275	376	715	966	0.003	21.0	19.0	4.5	2.28	49.3	30.1
	混合3%																																																																
	川砂利	55	AE 減水剤	180	103	291	381	327	757	952	0.25	0.0055	20.5	20.5	4.4	2.25	33.5	28.4																																															
	碎石																		295	377	767	984	0.005	21.0	18.5	4.2	2.23	32.4	26.6																																				
	再生3%																													296	376	770	966	0.004	20.5	19.0	3.8	2.20	29.7	22.8																									
	再生5%																																								304	383	790	977	0.005	19.5	18.5	5.1	2.24	34.1	28.0														
	再生7%																																																			306	381	309	769	952	0.005	21.0	20.0	4.4	2.27	36.5	29.8		
	混合3%																																																															170	98
	再生3%																		310	377	806	897	0.005	20.5	19.0	4.4	2.20	29.7	23.1																																				
	再生5%																													20.0	17.0	3.3	2.31	40.8	29.9																														
再生7%	20.0																																			16.5	3.7	2.29	33.2	27.7																									
II, III																			50	50	AE 減水剤	172	109	315	359	344	812	952	0.25	0.0045	20.0	17.0	3.3	2.31	40.8						29.9																								
	60	60	91	333	287	859	20.0	16.5	3.7	2.29	33.2	27.7																																																					
	70	70	78	346	246	893	20.5	16.5	3.9	2.28	22.8	25.9																																																					

表-3 に骨材の品質を示す。表-4 にコンクリートの調合とフレッシュ性状および4週圧縮試験の結果を示す。再生骨材はいずれも同一の原コンクリートから採取されたもので、高度処理回数によって吸水率に差があるものを使用した。シリーズIIおよびIIIの使用骨材の産地はシリーズIの碎石と同じであるが、採取年が異なるため、品質が異なっている。

表-5 に試験項目と試験方法を示す。長さ変化の測定はシリーズIがコンパレータ方法、シリーズIIおよびIIIは埋込みゲージと異なっているが、真野らの実験<sup>9)</sup>で測定値がほとんど同じとなっていることから、両者の差異はないものとした。長さ変化および質量変化は、シリーズIでは水中養生後1, 2, 4, 8, 13, 26週および24年に、シリーズIIおよびIIIではほとんど毎週測定を行っている。中性化深さはシリーズIでは材齢24年で行った曲げ試験後の破断面および、破断後の試験体を端面と平行に切断したのちの切断面で測定しているが、今回はJISに準じて破断面の測定値を用いている。また、シリーズIIIでは既往の研究<sup>6)</sup>より中性化深さが10mmおよび20mmとなる期間を予測して割裂し、中性化深さを測定した。

### 3. 試験結果

#### 3.1 質量変化

図-1 にシリーズIの条件ごとの質量の経時変化を示す。それぞれの図中にシリーズIIを点線で示した。シリーズIIについては乾燥4週以降シーリングを施すために開放面積が小さくなるが、それらを補正して示した。補正式

表-3 使用骨材の品質

骨材の種類		略称	絶乾 密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸 水 率 (%)	単位容 積質量 (kg/L)	実 積 率 (%)	安 定 性 (%)	品質 規格	
粗 骨 材	再 生	高度処理3回	再生3%	2.48	2.94	1.53	61.8	5.2	H
		高度処理1回	再生5%	2.36	4.90	1.45	61.3	8.6	M
		インペラ ブレーカーのみ	再生7%	2.24	6.87	1.36	60.8	18.4	L
	混 合	碎石+再生7% (70%:30%)	混合3%	2.51	2.56	1.52	60.7	7.3	H
	比 較	青 梅 産 碎 石	碎石	2.63	0.72	1.56	59.3	2.6	-
II, III			2.64	0.49	1.61	60.9	-		
秋田産川砂利			川砂利	2.49	2.90	1.68	67.5	6.9	
細 骨 材	大井川水系 陸砂	I	2.56	1.54	1.78	69.5	-	-	
		II, III	2.52	2.32	1.74	69.2	-		

表-5 試験項目と方法

試験項目	方法	
シリーズ	I	IIおよびIII
長さ変化	JIS A 1129-1 コンパレータ方法	埋込みゲージ
質量変化	電子秤(0.1g)	電子秤(0.1g)
中性化深さ	JIS A 1152 上下左右各3点	JIS A 1152 左右各5点

を式(1)に示す。質量変化率は水セメント比による差が大きく、混和剤の種類による差は小さい結果となった。また、川砂利以外の粗骨材を用いたコンクリートでは粗骨材の吸水率が大きくなると質量変化率も大きくなった。なお、吸水率が2.90%である川砂利については、再生5%相当の質量変化率であった。

シリーズIIについて、シリーズIと比較して初期の質量変化率が大きくなっている。これは試験体が小さく、

また、体積に対する表面積が大きいために乾燥が速く進むことが関係すると考えられる。なお、シリーズ I の水セメント比 55% の碎石が II の 50% のものよりも終始小さい質量変化率で推移した。これは、シリーズ I はシリーズ II に比べ養生期間が 1 週間と短く、初期の含水率が低かったためにこのような挙動になったと考えられる。

$$m_n' = m_4 + (m_n - m_4) \cdot l_1 / l_2 \quad (1)$$

ここに、 $m_n'$ ：乾燥  $n$  週の質量（補正後、 $n > 5$ ）

$m_n$ ：乾燥  $n$  週の質量（補正前、 $n > 5$ ）

$m_4$ ：乾燥 4 週目の質量（シール前）

$m_4'$ ：乾燥 4 週目の質量（シール後）

$l_1$ ：体積に対する表面積（シール前）

$l_2$ ：体積に対する表面積（シール後）

### 3.2 長さ変化

図-2 に長さの経時変化を示す。質量変化率と異なり、水セメント比による差は小さい結果となった。粗骨材の種類による差も小さいが、再生 7% のものが突出して長さ変化率が大きくなっている。これについて、表-3 に示す 5 つの各パラメータと 26 週の長さ変化率を、単回帰分析によって相関を求めたところ、実積率を除く 4 つについては相関係数の絶対値が 0.7 以上と良好であった。

中でも安定性は最も良い相関を示した。片平らの研究<sup>7)</sup>でも同様の結果が得られており、その中で粗骨材の変形に対する抵抗性がコンクリートの収縮を低減するものとしたうえで、安定性は骨材の空隙構造や強度に関連する指標として取り上げられている。

シリーズ II について、一部の期間で試験槽の故障があったため異常値を示したが、今回は異常値を除いてある。図中では読み取りづらいが、質量変化と同様に早期の変化率が大きく、また、シリーズ I の水セメント比 55% の碎石は II 50 より小さい収縮率であった。これらは質量変化と同様の理由によるものと考えられる。

### 3.3 中性化深さ

中性化深さの測定結果および中性化速度係数  $A$  を表-6 に示す。中性化速度係数は、いずれも変数である時間  $t$  を経過年数で算出した。既往の研究<sup>4)</sup>では、シリーズ I の中性化深さは短期の吸水率と相関が高いことが示されている。また、中性化速度係数の比較では水セメント比による差が顕著であり、骨材の種類による影響も大きい。混和剤の種類による差は小さかった。

中性化速度係数から水セメント比の影響を除くため、日本建築学会の鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説<sup>8)</sup>で示される中性化速度係数の調査によ

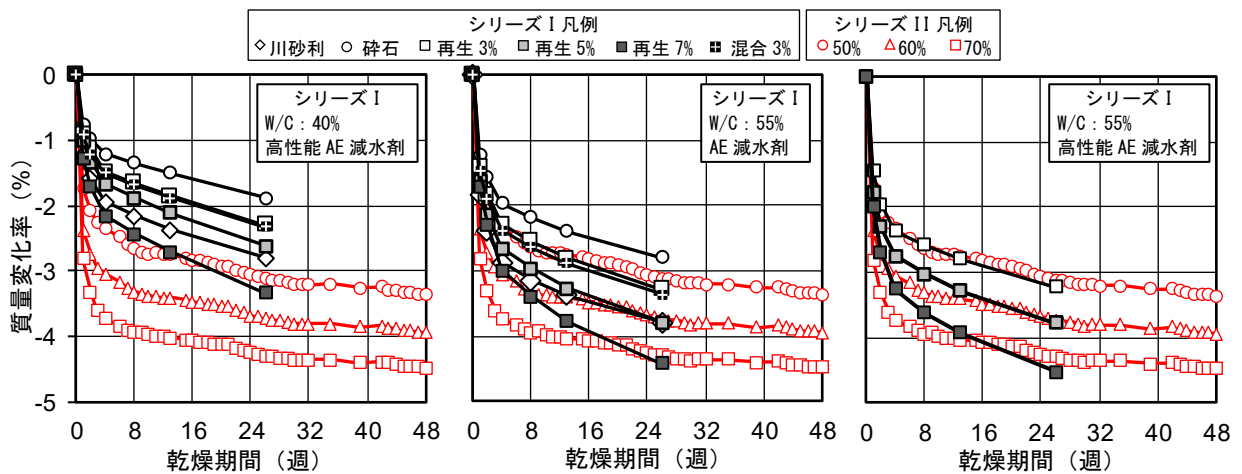


図-1 質量の経時変化（シリーズ I, II）

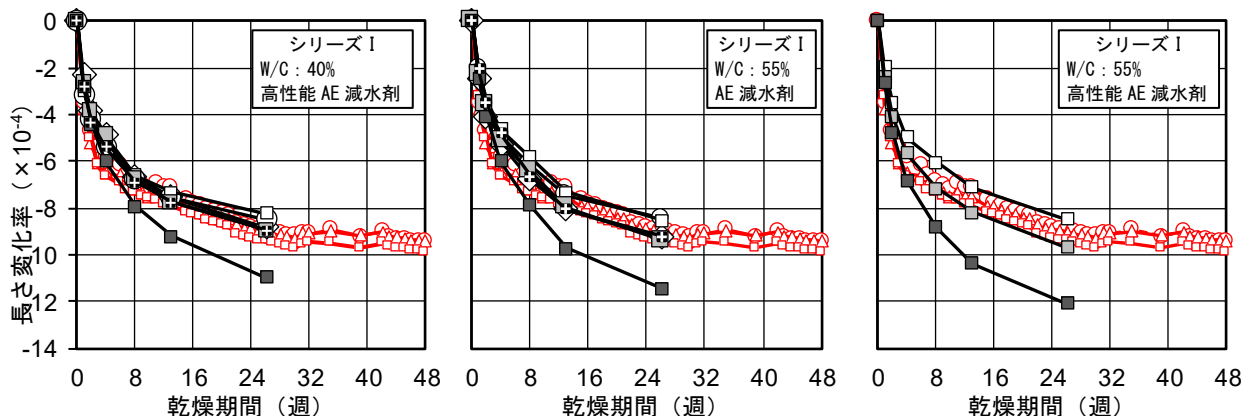


図-2 長さの経時変化（シリーズ I, II）

る係数  $\alpha_3$  (式(2)による) で除したもの ( $A/\alpha_3$  とする) を併記した。加えて、シリーズ III については同文献で示される、促進環境における中性化速度係数を自然環境へ適用するための変換式における促進中性化における定数  $A'$  (式(3)による) も記した。なお、 $\text{CO}_2$  濃度はシリーズ I の室内環境を想定し 0.05% とした。

$A/\alpha_3$  の値は水セメント比の影響を受けない係数となるが、シリーズ I では水セメント比 40% のものが 55% のものに比べ  $A/\alpha_3$  の値が非常に大きくなっている。シリーズ III では中性化速度係数  $A$  が大きいため、 $A/\alpha_3$  の値も大きくなっているが、水セメント比間の差は比較的小さかった。このことから水セメント比が小さく、通常の  $\text{CO}_2$  濃度の環境においては、 $\alpha_3$  が小さくなることもあり中性化速度係数の調合要因として適さなくなると考えられる。

式(3)による中性化速度係数  $A'$  では、碎石で比較すると、水セメント比 40% の中性化速度係数  $A$  は III50 の  $A'$  より小さく、水セメント比 55% の  $A$  は III50 および III60 の  $A'$  の中間に収まっている。これにより、 $A$  および  $A'$  が水セメント比に依存する形になっていることから、式(3)によって  $\text{CO}_2$  濃度の影響を取り除くことができているものと考えられる。また、 $A'/\alpha_3$  はシリーズ III の  $A/\alpha_3$  を 10 分の 1 倍すると求まるが、これによればシリーズ III の  $A'/\alpha_3$  はシリーズ I の水セメント比 55% の碎石に近い値となっている。

$$\alpha_3 = W/C - 0.38 \quad (2)$$

$$C = A' \cdot (\text{CO}_2 / 5.0)^{1/2} \cdot t^{1/2} \quad (3)$$

ここに、 $\alpha_3$  : 中性化速度係数の調合による係数

W/C : 水セメント比

C : 中性化深さ (mm)

$A'$  : 促進中性化による定数 (mm / 年<sup>1/2</sup>)

$\text{CO}_2$  :  $\text{CO}_2$  濃度 (%)

t : 材齢 (年)

### 3.4 長さ変化および質量変化

#### (1) 乾燥による変化

図-3 にシリーズ I および II の乾燥開始材齢からの長さ変化および質量変化の関係を示す。シリーズ I について、26 週までの測定結果は実線で、それ以降 24 年までの結果は点線で結んだ。24 年では水セメント比 55% のものが大きく内側に折れているが、これは中性化によるものと考えられる<sup>4)</sup>。シリーズ II では第 1 週までとそれ以降の 2 つの直線が組み合わさったような形をしている。これに対してシリーズ I ではこの傾向はそれほど顕著ではなく、特に水セメント比 40% では明瞭ではない。

表-6 中性化深さの測定結果

シリーズ	分類		中性化深さ		中性化速度係数		式(3) $A'$	
	略称	W/C 混和剤	期間	深さ (mm)	A	$A/\alpha_3$		
I	川砂利 碎石 再生 3% 再生 5% 再生 7% 混合 3%	40% 高性能 AE 減水剤	24 年	8.2	1.68	84.1	-	
				6.3	1.28	64.0		
				8.9	1.82	90.9		
				7.4	1.52	76.0		
				8.4	1.71	85.3		
				7.6	1.56	77.9		
	川砂利 碎石 再生 3% 再生 5% 再生 7% 混合 3% 再生 3% 再生 5% 再生 7%	55% AE 減水剤		15.7	3.21	17.9		
				13.9	2.83	15.7		
				20.1	4.11	22.8		
				21.4	4.38	24.3		
				23.3	4.76	26.4		
				21.0	4.29	23.8		
				高性能 AE 減水剤	20.3	4.14		23.0
					20.7	4.23		23.5
III50 III60 III70	50% 60% 70%	AE 減水剤	促進 13 週	9.9	19.8	165	1.98	
			促進 52 週	17.8	17.8	148	1.78	
	III60		促進 5 週	11.6	37.5	170	3.75	
			促進 19 週	19.1	31.7	144	3.17	
	III70		促進 2 週	11.9	60.6	189	6.06	
			促進 5 週	16.8	54.1	169	5.41	

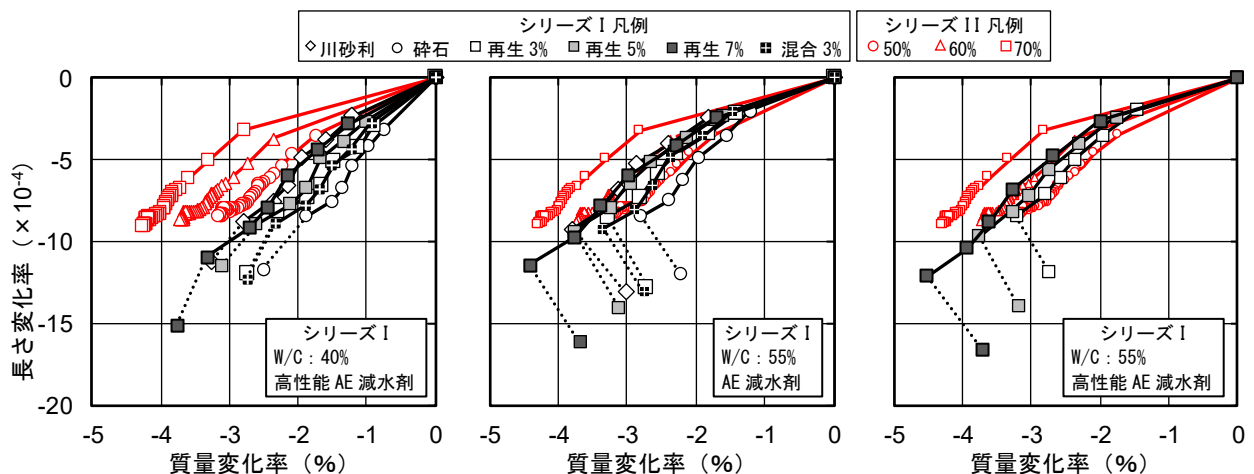


図-3 乾燥による長さ変化と質量変化の関係 (シリーズ I, II)

1 つ目の直線は水セメント比が大きくなるほど傾きが小さくなる傾向がみられる。これについて、水セメント比の小さいコンクリートは、含水率が低く初期に逸散する水分が少ない一方で、乾燥収縮は水セメント比よりも単位水量の影響が大きいため、長さ変化率に対する質量変化率が大きくなったと考えられる。

今回は清水ら<sup>9)</sup>に倣い2 つ目の直線を式(4)で表すことにした。これらの実験定数を表-7 に示す。実験定数  $\alpha$  は傾きを示すが、これについてシリーズ I の碎石を用いたものは、いずれも傾きが大きいことがわかる。また、再生骨材で見ると同一水セメント比の中では類似した値となっている。質量変化、長さ変化における混和剤による差は小さかったが、傾きには差があり高性能 AE 減水剤を用いた 55% のものがシリーズ II と近い値となった。

$$S = \alpha(WL - \beta) \quad (4)$$

ここに、S：長さ変化率

WL：質量変化率

$\alpha, \beta$ ：実験定数

### (2) 長期材齢および中性化による変化

図-4 にシリーズ I および III の質量変化と長さ変化の関係を示す。シリーズ I では、26 週を原点とした材齢 24 年の測定値を記し、シリーズ III では促進開始材齢以降の関係を示した。図中灰色のマーカーで示したものは、シリーズ III の変化率から II の変化率を減じたもの (III' とする) で、乾燥の影響を受けない中性化のみによる変化率と考えることができる。シリーズ I を III と比較すると長さ変化率は同程度であるが、質量変化率はかなり小さくなっている。特に水セメント比 40% のものはすべての試験体で質量が減少している。

表-7 長さ変化と質量変化の予測式

シリーズ	分類		実験定数			
	略称	W/C	$\alpha$	$\beta$		
I	川砂利	40%	高性能 AE 減水剤	4.33	-0.70	
	碎石			5.22	-0.15	
	再生 3%			3.99	-0.11	
	再生 5%			4.29	-0.42	
	再生 7%			4.21	-0.63	
	混合 3%			4.68	-0.30	
	川砂利	55%	AE 減水剤	3.65	-1.26	
	碎石			4.27	-0.76	
	再生 3%			3.57	-0.88	
	再生 5%			3.47	-1.07	
	再生 7%			3.49	-1.11	
	混合 3%			4.07	-1.04	
	再生 3%			高性能 AE 減水剤	3.81	-0.99
	再生 5%				3.82	-1.20
再生 7%	3.96	-1.42				
II	II50	50%	AE 減水剤	3.78	-0.82	
	II60	60%		3.75	-1.35	
	II70	70%		3.98	-2.03	

シリーズ III では炭酸化収縮が生じているとされ<sup>2)</sup>、シリーズ I は III' と比べて大きな収縮ひずみが生じていることから、シリーズ I では 26 週以降炭酸化収縮と乾燥収縮がどちらも生じていると考えられる。また、シリーズ III と I の 55% の質量の増加は CO<sub>2</sub> の吸収によるものと考えられるが、シリーズ I の 40% の質量の減少について明確なことはわからないため、さらなる検討が必要である。

このように、促進中性化を行ったコンクリートは長期保存のコンクリートの中性化とは異なる挙動を示した。これは、促進環境では水分を多く含んだ状態で中性化が進行するのに対し、長期保存の場合はコンクリートがある程度乾燥した状態で CO<sub>2</sub> が作用するためであると考えられる。

### 3.5 中性化深さおよび質量変化

図-5 にシリーズ I および III の中性化深さと質量変化の関係を示す。シリーズ III は水セメント比にかかわらずほとんど同じ形のグラフになっている。シリーズ I は III に比べて中性化深さに対する質量変化率が小さくなって

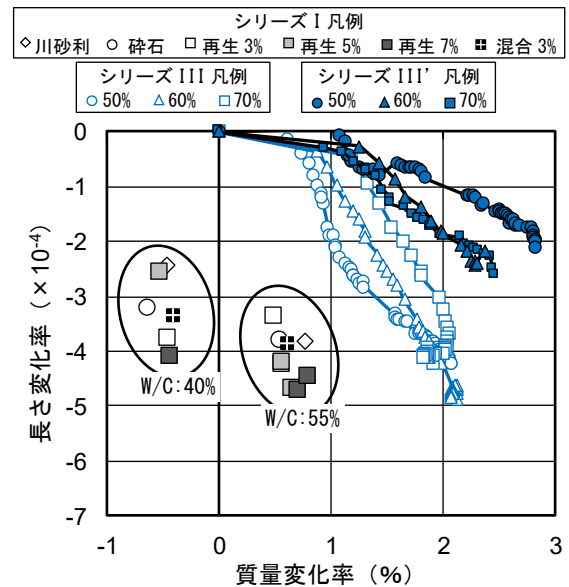


図-4 中性化による長さ変化と質量変化の関係

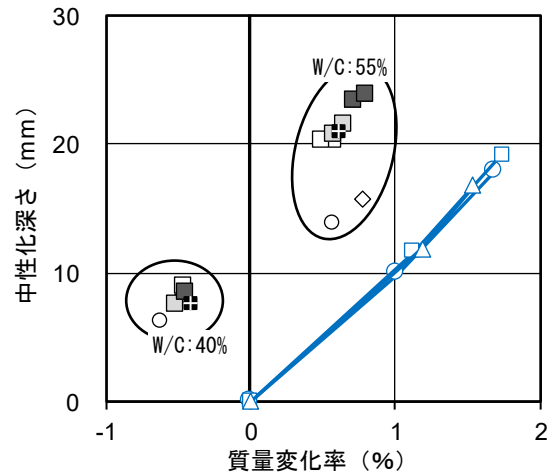
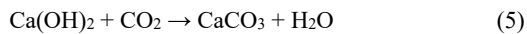


図-5 中性化深さと質量変化の関係

いる。中性化が終了したコンクリートは質量が徐々に減少する<sup>2)</sup>ことから、中性化によって生じた水は徐々に逸散していくものと考えられ、このことから、シリーズ I は長期間乾燥が進行する環境にあったために、シリーズ III より質量の増加率が小さくなったものと考えられる。

水セメント比 40%のものについては、中性化が進行しているにもかかわらず、質量が減少している。一般に中性化は式(5)で示す反応であるため、生じた水がすべて逸散したとしても質量は増加するが、今回はこれに従わず、明確なことはわからなかった。高強度コンクリートの中性化については研究が少なく、質量変化を含めた挙動については検討の余地がある。



### 3.6 中性化深さおよび長さ変化

図-6にシリーズ I および III の中性化深さと長さ変化の関係を示す。シリーズ III では、質量変化率との関係と異なり、水セメント比ごとにグラフの形が一樣でない。また、水セメント比が小さいほど中性化深さに対する収縮率は大きくなり、この傾向はシリーズ I でも認められる。これは水セメント比の小さいコンクリートは単位セメント量が多く、中性化深さに対して生成する炭酸カルシウムの量が多くなることと関係すると考えられる。

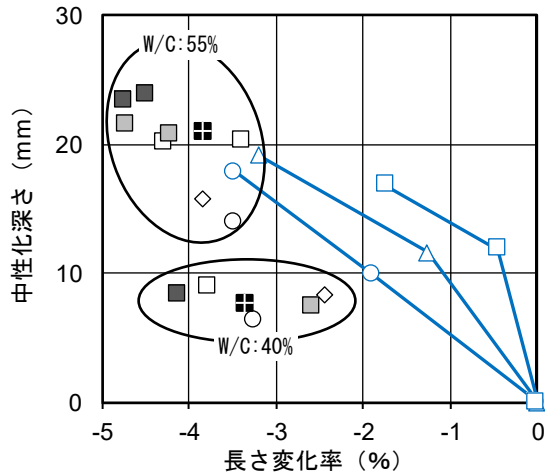


図-6 中性化深さと長さ変化の関係

### 4. まとめ

- (1) 幅の小さいコンクリート供試体は、体積に対する表面積が大きいため、水中養生後すぐの質量減少率および収縮率が大きくなると考えられる。
- (2) 水セメント比が小さくなると、初期の質量変化に対する長さ変化の傾きが大きくなる傾向にある。これは、乾燥収縮への水セメント比の影響が小さい一方で、質量変化へはコンクリートの含水率が関係するためと考えられる。
- (3) 促進中性化を施したコンクリートは、乾燥と中性化が同時に生じるため、乾燥が進行したのちにゆっくり

りと中性化が生じる屋内保存のコンクリートとは異なる挙動となった。

- (4) 乾燥環境における中性化が生じたコンクリートは、促進環境のものよりも質量変化率が小さくなる傾向にある。これは、中性化で生じた水が逸散するためと考えられる。
- (5) 長期間屋内に保存されると高強度コンクリートにも中性化が生じるが、通常のものとは異なり質量は減少する。この挙動について明確なことはわからないため、検討が必要である
- (6) 中性化深さに対する長さ変化は、水セメント比の小さいものほど収縮が大きい。この傾向はシリーズ I および III のどちらにも認められる。これは、水セメント比の小さいコンクリートは単位セメント量が多く、中性化深さに対する炭酸カルシウムの生成量が多いためであると考えられる。

### 参考文献

- 1) 上村克郎：乾燥と中性化によるモルタルの収縮と重量変化，セメント・コンクリート，No.207，pp.2-6，1964，および No.208，pp.12-20，1964
- 2) 大山優，阿部道彦：コンクリートの中性化による質量変化および収縮の挙動に関する実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.225-226，2018.7，および pp.737-738，2019.7
- 3) 阿部道彦，大山優，齊藤辰弥，山本知輝：再生粗骨材を用いたコンクリートの長期性状，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.45-46，2019.7
- 4) 阿部道彦，齊藤辰弥，山本知輝，大山優：再生粗骨材コンクリートの長期性状に関する実験，第46回セメント・コンクリート研究討論会論文報告集，pp.51-55，2019.11
- 5) 真野孝次ほか：非鉄スラグ骨材を使用したコンクリートの圧縮強度・乾燥収縮，日本建築学会関東支部研究報告集，No.87，pp.45-48，2017.2
- 6) 鈴木賀久，阿部道彦：コンクリートの中性化に及ぼす温度条件の影響（20℃と40℃の比較），日本建築学会関東支部研究報告集，No.87，pp.125-128，2017.2
- 7) 片平博，渡辺博志：コンクリートの乾燥収縮率を推定するための簡易評価指標に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，pp.467-472，2010.7
- 8) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説，2016
- 9) 清水五郎，松井嘉孝：含有水の減少とコンクリートの収縮との相関性について，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.93-94，1979.9