# 論文 骨材の特性が乾燥の程度と乾燥収縮ひずみの関係に及ぼす影響

清原 千鶴\*1·今本 啓一\*2·真野 孝次\*3·佐藤 嘉昭\*4

要旨:本研究では,乾燥の程度と乾燥収縮ひずみの関係に着目し,収縮が顕著になる領域の両者の関係に骨材の特性が及ぼす影響について明らかにするため,セメントペースト,モルタルおよびコンクリートの実験結果を基に検討を行った。その結果,収縮が顕著になる領域においては脱水量と乾燥収縮ひずみの関係は線形で表され,算出した傾きαおよびX軸の交点Wは骨材の比表面積や吸水率を用いて表されることを示した。さらに,これらの結果を用い脱水量の実測値からコンクリートの乾燥収縮ひずみを推定する手法について検討を行い,その適用の可能性について言及した。

キーワード:乾燥収縮ひずみ,脱水量,骨材,比表面積,吸水率

#### 1. はじめに

コンクリートの乾燥収縮ひずみに影響を及ぼすと考えられ る要因は、構成材料の特性や調合、部材寸法および環境条 件など多岐にわたる。その中でもコンクリート中の水分の挙 動が関係していることは言を待たない。そのため、コンクリー ト中の水分の挙動について多くの研究が行われている。コン クリートの乾燥の程度と乾燥収縮ひずみの関係に関する研 究<sup>例えば1</sup>もその1つである。

コンクリートの乾燥の程度(脱水量)と乾燥収縮ひずみの 関係を表したのが図-1である。両者の関係は、図-1のよう に2つの領域に区分され、乾燥直後の水分逸散量に比べて 収縮が比較的緩慢な領域 I と収縮が線形的に顕著に進行 する領域 II があることが知られている。清水<sup>2)</sup>ら、足立<sup>3)</sup>らはこ の収縮が顕著に進行する領域 II を直線近似し、使用材料や 調合等の影響を考慮した質量減少率から乾燥収縮を推定 する方法について検討を行っている。精度の良い乾燥収縮 ひずみの測定には、習熟が必要であり、また長期間に渡り実 験労力および経費の必要性が伴う。それに対して、供試体 の質量変化から求められる脱水量は、比較的精度のばらつ きもなく容易に測定可能である。この脱水量の測定値から乾 燥収縮ひずみを予測する方法は、コンクリートの乾燥収縮ひ ずみの品質管理が求められる昨今において有効な手法であ ると考えられる。

一方,使用する骨材の特性がコンクリートの乾燥収縮ひず みに影響を及ぼすことは周知の事実である。さらに、良質な 天然骨材の枯渇化が問題視されている現在、その代替とし て、今後は様々な骨材が利用されることが考えられ、骨材の 特性を考慮したコンクリートの乾燥収縮ひずみの評価方法を 検討することは意義があるものと思われる。

そこで、本研究では、乾燥の程度と乾燥収縮ひずみの関

*1	東京理科大学	工学部建築	学科嘱託補手	- 博士(	工学)	(正会員)
*2	東京理科大学	工学部建築	学科准教授	博士(工	学)	(正会員)
*3	(一財) 建材試	験センター	工事材料試驗	検所 (正	会員)	
*4	大分大学 工	学部福祉環境	工学科教授	工博	(正会員	1)

係に着目し、収縮が顕著になる領域の両者の関係に骨材の 特性が及ぼす影響について明らかにするためセメントペース ト<sup>4</sup>, モルタル<sup>5</sup>)およびコンクリート<sup>6</sup>の供試体を用いた実験結 果について段階的に検討を行った。また,脱水量から乾燥 収縮ひずみを予測する手法について検討を行った。

なお,本論文では乾燥開始材齢7 日,温度20℃,湿度 60%R.H.の同一環境条件下における供試体の乾燥収縮ひ ずみについて検討を行っている。

### 2. 乾燥の程度と乾燥収縮ひずみの関係

#### 2.1 直線近似方法

セメントペースト, モルタルおよびコンクリートの脱水量と乾 燥収縮ひずみの関係の一例を図-1 に示す。なお,供試体 の乾燥の程度を表す指標は逸散水量,質量減少率などが 用いられているが本論文では脱水量として,乾燥開始材齢7 日からの供試体の質量減少率を表した値を用いている。各 供試体ともに W/C:50%であり,使用材料は同一である。い ずれも下に凸の曲線を描き,セメントペースト,モルタル,コ ンクリートと骨材が加わることで,曲線の勾配が大きくなって



いる。これらの実験結果より, 清水<sup>2</sup>, 足立<sup>3</sup>らの研究を参考 に, 領域 II における両者の関係を式(1) で近似し, 直線の傾 き α と X 軸との交点 W を求めた。一定の脱水量に対する乾 燥収縮ひずみの変化量を表す α は, 構成材料の細孔構造 やヤング係数に影響を受け, あまり収縮に寄与しない水量を 表す W は, 供試体内の自由水量によって影響を受けること が考えられる。ここでは, 骨材の特性が α および W に及ぼす 影響について検討を行う。なお, 本検討の範囲内では, 直 線近似可能な領域 II に到達する期間は, 乾燥開始後 7~10 日程度であったため, 乾燥期間 7 日以降のデータ用いて近 似した。以下に算出結果について述べる。

$$S_{p,m,c} = \alpha_{p,m,c} \left( W_d - W_{p,m,c} \right) \tag{1}$$

ここに、
$$S_{p,m,c}$$
: セメントペースト、モルタル、  
コンクリートの乾燥収縮ひずみ(×10%) $W_d$ : 脱水量(wt.%)

 $\alpha_{p,m,c}$ : 直線の傾き,  $W_{p,m,c}$ : X軸との交点

# 2.2 セメントペースト供試体による検討

水セメント比 25~65%のセメントペースト供試体の脱水量 と乾燥収縮ひずみの関係を図-2 に示す。 φ 50×100mm の 円柱供試体を用い,乾燥収縮ひずみの測定には小型埋め 込みゲージを,脱水量の測定は電子天秤(精度 1/1000g)を 用いて行っている。図より,水セメント比によって曲線の形状 が異なっており,水セメント比が大きいほど曲線の勾配が小 さい。その影響は乾燥初期の領域 I において顕著である。 直線近似を行った結果を表-1 および図-3 に示す。 α<sub>p</sub>は, 水セメント比が大きくなるほど小さくなり, W<sub>p</sub>は,水セメント比 が大きくなるほど大きくなっている。両者の間には,高い相関 性が見られることから α<sub>p</sub>および W<sub>p</sub>を,式(2),(3)で表す。

$$\alpha_n = 14350 \cdot (W/C)^{-0.68} \tag{2}$$

 $W_{p} = 2.26 \times 10^{-11} \cdot (W/C)^{6.42}$ (3)

ここに, *W/C*:水セメント比(%)

# 2.3 モルタル供試体による検討

### (1) 実験概要

細骨材の種類がモルタル供試体の乾燥の程度と乾燥収 縮ひずみの関係に及ぼす影響について検討を行うため,標 準砂を含む 15 種類の骨材を用いて実験を行った。使用した 骨材の物性を表-2 に示す。セメントには 3 社の普通ポルト ランドセメントを等量ずつ混合したものを用いた。モルタル供 試体の基本調合は, JIS R 5201 の強さ試験に準じて,水セメ ント比 50%,セメント:標準砂=1:3(質量比)とした。標準砂以 外の細骨材においては標準砂の容積(絶乾:519ml)と同一に なるように調整を行っている。空気量は,化学混和剤による 調整は行わず 5~7%以下を標準とした。

モルタル供試体の乾燥収縮ひずみは 40×40×160mm の



表-1 セメントペーストの材料定数一覧

中新	水セメント比(%)									
足奴	25	35	45	55	65					
$\alpha_p$	1698.7	1211.2	1013.8	897.2	908.0					
$W_p$	0.02	0.21	1.15	4.11	6.87					



図-3 水セメント比と材料定数(*a<sub>p</sub>*(左)および*W<sub>p</sub>*(右)) の関係

	1	X 2		1012	H III	02 [3]			
	· <del>1</del> 4	ㅋ묘	粗粒	密度 (g/cm <sup>3</sup> )		吸水	比表面積		
1	ባሳት ር	記方	率	絶乾	表乾	(%)	簡易チャンバー (m <sup>2</sup> /g)	自動試験機 (cc/g)	
標準砂(	JIS R 5201)	Ν	2.37	2.60	2.61	0.33	0.27	0.01	
高炉ス	ラグ細骨材1	BFS1	2.49	2.59	2.65	2.26	5.44	6.24	
高炉ス	ラグ細骨材2	BFS2	2.64	2.57	2.59	0.84	1.05	0.55	
高炉ス	ラグ細骨材3	BFS3	2.35	2.53	2.59	2.25	2.89	1.93	
土鉄砂	陸砂	S	2.80	2.53	2.58	1.89	8.55	7.55	
入黨的	山砂	Н	2.78	2.60	2.63	1.14	7.52	6.41	
		A1	2.79	2.59	2.64	2.10	10.97	10.07	
	火成岩 A	A2	2.83	2.63	2.70	2.58	28.33	28.16	
		A3	2.74	2.54	2.60	2.27	22.23	24.38	
		T1	2.85	2.59	2.62	1.31	6.95	6.24	
砕砂	堆積岩 T	T2	2.91	2.58	2.61	1.36	7.17	6.34	
		T3	3.09	2.65	2.67	0.78	4.56	4.02	
		L1	3.35	2.60	2.64	1.49	1.03	0.30	
	堆積岩 L	L2	3.60	2.66	2.68	0.89	1.55	0.44	
		L3	3.18	2.64	2.68	1.42	1.57	0.72	

表-2 使用した骨材の物性

角柱供試体を用い,JISA1129-3(ダイヤルゲージ法)の附 属書Aに従って行った。

骨材が乾燥収縮ひずみに及ぼす影響については骨材内 部の空隙構造が指摘されていることから、吸水率および比表 面積を指標として検討することとした。本研究で取り扱う比表 面積とは、骨材内部の空隙を含んだ値である。骨材の比表 面積の測定にあたり、①相対湿度 32.5%の環境下にある簡 易チャンバーを用いた方法、②広範囲の相対圧力(5~ 99%)にわたって等温吸着曲線が得られる自動試験機 (Hydrosorb)を用いた方法の2つの水蒸気等温吸着試験を 行った。なお、比表面積の算出はBET一点法(式(4))にて行 い、比表面積は式(5)により算出される。なお、P/P0 は相対 圧、Vaは相対圧力の下で吸着されるガスの重量を示す。

 $V_{m} = Va\{1 - (P/P_{0})\}$   $= \{Vm/18.015 \times (6.023 \times 10^{23}) \times 10.8 \text{Å}^{2}\}/M$ (5)

算出した比表面積の結果を図-4に示す。火成岩 A の比 表面積が最も大きく、標準砂 N, 堆積岩 L および高炉スラグ 細骨材 BFS の比表面積が小さい。また, 試験方法の違いに よらず, 同程度の結果が得られており, 以下の検討では, 簡 易チャンバーを用いた値を使用することとした。

## (2) 脱水量と乾燥収縮ひずみの関係

図-5 にモルタル供試体の脱水量と乾燥収縮ひずみの 関係を示す。使用する骨材の種類によって脱水量と乾燥 収縮ひずみの関係が異なっており、火成岩 A は曲線の勾 配が大きく、高炉スラグ細骨材 BFS は小さい。調合は全 て水セメント比一定、細骨材量も同一であるため、これ らの違いは細骨材の特性の違いによるものと考えられる。

**表-3**に直線近似より求めた材料定数の一覧を示す。 直線の傾き *a<sub>m</sub>*は,細骨材の特性に影響を受けることが考 えられるため, Powers<sup>7</sup>および Nevile<sup>80</sup>のコンクリートの 乾燥収縮ひずみに関する研究を参考に,セメントペース トの直線の傾き *a<sub>p</sub>*に対するモルタルの直線の傾き *a<sub>m</sub>を* 式(6)のようなモルタル中の細骨材容積をパラメータと する関数で表すこととした。本実験では細骨材容積比は 同一であるため,係数*n*が「細骨材の種類の違いによる 影響」を表す係数ということになる。

$$\alpha_m = (1 - V_s)^n \cdot \alpha_p \tag{6}$$

ここに、Vs:細骨材容積比、n:細骨材の影響を表す係数

係数 n と図-4 に示した細骨材比表面積との関係を図-6 に示す。これによると、係数 n は比表面積が大きいほど値が 小さくなっており、このことから、比表面積の値が大きいほど am の値が大きくなり、脱水量の変化量に対する乾燥収縮ひ ずみ変化量が大きいことがわかる。両者の関係を最も相関 性が高い累乗関数(式(7))で表すこととした。

天然砂など:
$$n = 1.13 \cdot S_s^{-0.13}$$
  
高炉スラグ細骨材: $n = 1.34 \cdot S_s^{-0.12}$  (7)

ここに, S<sub>s</sub>:細骨材の比表面積(m<sup>2</sup>/g)



図-6 細骨材の比表面積と係数 n の関係

表-3 モルタルの材料定数一覧

夕玫	抽准功	宣伝マニグ細母社		天然	<b></b> 然砂	砕砂									
石が 保华1		同かへノク神宵的			陸砂	山砂	火成岩 A		堆積岩 T			堆積岩 L			
記号	Ν	BFS1	BFS2	BFS3	S	Н	A1	A2	A3	T1	T2	T3	L1	L2	L3
$\alpha_m$	352.5	362.6	301.3	392.8	513.2	420.0	458.3	592.5	479.3	487.5	495.0	496.9	374.2	366.8	373.4
$W_m$	1.73	2.92	2.43	3.30	2.52	1.86	2.36	3.18	2.94	2.20	2.36	1.84	2.27	1.80	1.86

ここでは、モルタルの乾燥収縮ひずみの実験値を精度よ く推定することを念頭におき、天然砂等と高炉スラグ細 骨材について異なる式で表すこととしたが、図-6 に示 すように同じ比表面積においても係数 n がばらついている箇 所もある。このことは、傾き am には、骨材の比表面積の他に も影響を及ぼしている要因があることを示しており、引き続き データを蓄積して検討する必要がある。

 $W_m$ は、供試体に含まれる自由水量の影響を受けることが 考えられるため、式(8)に示すようなセメントペースト実験で 得られた  $W_P$ に細骨材吸水率の影響を表す係数 a を乗じた 式で表すこととした。係数 a と骨材吸水率の関係を**図**-7に 示す。両者の間には相関性が見られ、細骨材の吸水率の増 加とともに係数 a も大きくなっている。

 $Wm = a \cdot Wp \quad a = 1 + 0.086 \mu_s^{2.36}$  (8)

ここに, μ<sub>s</sub>:細骨材の吸水率(%)

### (3) モルタルの乾燥収縮ひずみの推定

これまでの検討で得られた式を用いてモルタル供試体の 脱水量の実測値より乾燥収縮ひずみを推定した。その結果 が図-8 である。なお、図中には文献10)で行った実験結果 も併せて示している。これによると、乾燥期間7 日以降の任 意の点で脱水量の測定を行うことで、モルタルの乾燥収縮 ひずみが概ね推定できているもの思われる。しかしながら、 高炉スラグ細骨材を用いたモルタル供試体の推定結果のよ うに推定値が実測値より大きな値を示しているものもあり、推 定精度向上のためにも今後データの蓄積が必要である。

# 2.3 コンクリート供試体による検討

#### (1) 実験概要

3 種類の粗骨材を用いたコンクリート供試体を作製し, 乾 燥収縮ひずみおよび脱水量の測定を行った。粗骨材の種類 と基礎性状について表-4に示す。なお, 使用した粗骨材の 比表面積は, 文献 7)の測定結果を基に吸水率と比表面積 の関係(図-9)から算出した値である。コンクリートの調合を 表-5 に示す。コンクリート供試体は, φ100×200mmの円柱 供試体を用い, 小型埋込みゲージにて測定を行った。

### (2) 脱水量と乾燥収縮ひずみの関係

図-10 にコンクリート供試体の脱水量と乾燥収縮ひ ずみの関係を示す。図-6 に示すモルタル供試体の結果 と異なり、検討した範囲内においては、コンクリート供 試体には粗骨材の特性の違いによる影響が顕著に現れて



表一4	粗骨材の基礎性状	

	HG	LG	KG					
絶乾密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.64	2.69	2.62					
表乾密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.67	2.70	2.64					
吸水率(%)	1.23	0.38	0.81					
粗粒率	5.72	6.57	6.76					
比表面積 <sup>※</sup> (m²/g)	8.03	0.98	4.55					

※比表面積は文献 7)の結果より算出

<u>表-5 コンクリー</u>トの調合

粗骨材	W/C	s/a	骨材 容積比	混和剤 使用量	単	位量	(kg/m <sup>3</sup>	3)	スラ ンプ	空気量 単位容積		温度
俚积	(%)	(%)	(m³/m³)	(Cx%)	W	С	S	G	(cm)	(%)	(kg/L)	(0)
HG	35	40.0	0.641	0.8	165	471	661	1030	17.7	3.0	2.48	24
LG	35	40.0	0.641	0.8	165	471	661	1041	17.9	3.7	2.48	25
KG	35	40.0	0.641	0.8	165	471	661	1018	18.0	4.0	2.43	25
と普通ホ	<b>パルト</b> =	ランドー	セメント(密	医度 3.16 α	/cm <sup>3</sup> )	. S:湄	合砂	(表乾額	密度 2.5	9 a/cm <sup>3</sup>	. 吸水率 2	.20%)

U:晋週ホルトフントセメント(密度 3.16 g/cm<sup>3</sup>), S:混合砂(表乾密度 2.59 g/cm<sup>3</sup>, 吸水率 2.20%) Ad:高性能 AE 減水剤(ポリカルボン酸エーテル系) いない。得られた材料定数を表-6 に示す。本実験においても、粗骨材の種類以外はすべて同一であるため、表 -6 に示す材料定数の違いは粗骨材の特性で表されるものと考えられる。直線の傾き acはモルタル供試体と同様に、コンクリート中の粗骨材容積比をパラメータとした式(9)で表すこととした。図-11 に粗骨材の比表面積と係数 kの関係を示す。粗骨材の比表面積が大きくなると係数 kの値が小さくなっており、比表面積が大きくなるほど acは小さくなることがわかる。粗骨材の影響を表す係数 kは、図-6 に示す細骨材の影響を表す係数 n に比べて変化量が小さい。

$$\alpha_{c} = (1 - V_{e})^{k} \cdot \alpha_{m} \quad k = 1.25 - 0.019 \cdot S_{e} \tag{9}$$

ここに、*V*g:粗骨材容積比、*S*g:粗骨材の比表面積(m<sup>2</sup>/g) *W*<sub>c</sub>は、式(8)に示すようなセメントペース実験で得られた *W*<sub>m</sub>に粗骨材吸水率の影響を表す係数 *b* を乗じた式で表す こととした。係数 *b* と粗骨材吸水率の関係を図-12 に示す。 モルタルの検討結果と同様に粗骨材の吸水率が高いほど係 数 *b* の値も高くなっている。両者の関係を式(10)に示す累乗 関数で表すこととした。

$$W_{c} = b \cdot W_{m} \quad b = 0.16 \mu_{a}^{1.8} \tag{10}$$

ここに, µg: 粗骨材の吸水率(%)

### (4) コンクリートの乾燥収縮ひずみの推定

コンクリート供試体の脱水量の実測値から乾燥収縮ひず みを推定した推定値と実測値の関係を図-13 に示す。検討 した範囲内において,推定値は実測値を概ね表している。こ のことから,骨材の比表面積および吸水率を考慮することで, 脱水量の実測値からコンクリートの乾燥収縮ひずみが推定 可能であることが考えられる。

### 3. コンクリートの乾燥収縮ひずみの予測式の検証

上記の検討結果より、コンクリートの乾燥収縮ひずみは、 コンクリートの脱水量の実測値および水セメント比、骨材量 および骨材の特性により式 (11)で表される。

$$S_{c} = \alpha_{c} (W_{d} - W_{c})$$

$$\alpha_{c} = (1 - V_{s})^{b} \cdot (1 - V_{s})^{n} \cdot \alpha_{p}$$

$$W_{c} = a \cdot b \cdot W$$
(11)

式(11)の妥当性を確認するため,異なる骨材を使用した 脱水量と乾燥収縮ひずみの測定結果が公表されている研究 データを収集(データ数 91 調合)し,検証を行った。なお, 本研究で予測式のパラメータとしている比表面積が不明な データについては,文献 5)および文献 7)の結果より吸水率 と比表面積の関係を求め以下の式を用いて算出した。

$$S_{s} = -4.93 + 8.04 \mu_{s}$$

$$S_{g} = -2.18 + 8.30 \mu_{g}$$
(12)



また,細骨材の多くは2種類の細骨材を混合しているため, 文献 7)と同様に以下の式で混合した状態の細骨材の比表 面積を算出した。

$$S_{smix} = \frac{S_{D1} \times S_{s1} + S_{D2} \times S_{s2}}{S_{D1} + S_{D2}}$$
(13)

ここに、Ssmix:混合細骨材の比表面積(m²/g)

*S*<sub>D1</sub>,*S*<sub>D2</sub>: 細骨材 1,2 の絶乾質量(単位量 g/m<sup>3</sup>) なお,比表面積の測定より簡易的な評価指標の検討とし て,筆者らの研究 <sup>5</sup>において相対湿度 100%の環境下にお ける24時間後の吸湿率が有効であることを示している。骨材 特性の評価指標については今後も検討を行う予定である。

図-14 に推定値と実測値の関係を示す。また,推定結果 を検討するために,推定値から実測値を差し引いた残差と 実測値の関係を図-15 に示している。これによると、実測値 が大きくなるほど過大評価する傾向にあることがわかる。また 残差の平均値と分散を表-7 に示す。表中には文献 11)に 示されている他の予測式の数値も示している。これによると、 他の予測式と比較しても脱水量の実測値を用いて算出する 本手法はそれほど遜色がなく、乾燥収縮ひずみの推定手法 としての適用の可能性が示唆された。なお、ここでは、乾燥 開始材齢や環境条件などを一定にした条件下で検討した結 果であるため、乾燥条件などの様々な条件を変化させたとき のデータを収集し、検討する必要がある。

### 4. まとめ

本研究では、乾燥の程度と乾燥収縮ひずみの関係に及 ぼす骨材特性の影響を明らかにするために、セメントペース ト、モルタル、コンクリートの実験結果から両者の関係を直線 近似(式(1))し、その傾きαおよびX軸との交点Wについて 検討を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) セメントペーストの脱水量と乾燥収縮ひずみの関係は水セ メント比をパラメータとする式(2) および(3) で表される。
- 2) モルタルの脱水量と乾燥収縮ひずみの関係は,細骨材の 特性の影響を受けており,細骨材の比表面積および吸水 率をパラメータとする式(6),(7)および(8)で表される。
- 3)コンクリートの脱水量と乾燥収縮ひずみの関係は、粗骨材 の特性に影響を受けているが、モルタルよりも骨材の影響 は小さい。
- 4)本研究で提案する予測手法を用いることで、測定が比較 的容易な脱水量を測定することにより乾燥収縮ひずみが 推定できる可能性を示した。

### 謝辞

本研究は、日本建築学会高炉スラグ細骨材指針改定 WG(主査:阿部道彦(工学院大学教授))およびJCIコンクリ ートの収縮特性評価およびひび割れへの影響に関する研 究委員会(委員長:河野広隆(京都大学大学院教授))の一 環として実施した実験に付加的な検討を行ったものである。 また、高炉スラグ細骨材は鉄鋼スラグ協会より提供して頂い た。末筆ながらここに深く感謝の意を表する。

### 参考文献

 1)永松静也,佐藤嘉昭,大常好範:セメント硬化体の乾燥の 程度と乾燥収縮ひずみの関係:乾燥条件の影響,日本建 築学会構造系論文報告集,第451号,pp.41-47,1993.9
 2)清水五郎,松井嘉孝:含水率の減少とコンクリートの収縮

800 天然砂・砕 600 400 Ē 200 ₩ 載 -200 -400 -600 -800 L 0 800 1200 600 1000 400 実測値(×10<sup>-6</sup>) 図-15 実測値と残差の関係

表-7 残差の平均と分散<sup>11)</sup>

	残差	本手法	AIJ 式	土木 学会式	CEB-FIP 式	ACI 式		
	平均	56.1	-43.3	-21.9	-167.7	-157.3		
普通	分散	17557	13417	21392	27236	30445		
強度	データ数	1329	2216	2216	1245	633		
	調合数	91	378*	378*	230*	126 <sup>%</sup>		
※同一調合で乾燥開始材齢、供試体寸法の違うものも含む								

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

- 3) 足立裕介,千歩修,長谷川拓也:質量変化率-乾燥収縮 率の関係を利用したコンクリートの乾燥収縮率推定方法の 提案,日本建築学会技術報告集,第24号,pp.5-10,2006.12
- 4)清原千鶴,佐藤嘉昭,永松静也,南本敬:複合則理論を 用いたコンクリートの乾燥収縮ひずみの推定,コンクリート 工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.489-494, 2004.7
- 5) 清原千鶴, 今本啓一, 真野孝次: 高炉スラグ細骨材を用 いたコンクリートの乾燥収縮特性に及ぼす骨材比表面積 の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp.275-276, 2012.9
- 6) 南本敬,永松聡美,清原千鶴,佐藤嘉昭,大谷俊浩,永 松静也:粗骨材がコンクリートの時間依存性ひずみに及ぼ す影響に関する研究,日本建築学会研究報告・九州支 部・1,構造系,pp.129-132,2004.3
- 7)今本啓一,石井寿美江,荒井正直:各種骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮特性と骨材比表面積の影響,日本 建築学会構造系論文集,第600号, pp.9-14, 2006.8
- 8) T.C. Poweres: Rev. Mater. Construct. (Paris), No.545, pp.79-85, 1961.
- 9) A. M. Neville : Mag. Concr. Res. (London), Vol.16, No.46, pp.21-30, 1964.
- 10)清原千鶴,今本啓一,佐藤嘉昭,蒋海燕:高炉スラグ 細骨材を用いたモルタルの乾燥収縮および乾燥収縮 ひび割れ,コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.49-54, 2013.7
- 11) 佐藤嘉昭, 清原千鶴, 寺西浩司, 今本啓一, 三橋博三, 岡田秀敏:国内の実験データに基づいたコンクリートの 時間依存性ひずみの予測式に関する研究:乾燥収縮ひ ずみの予測式, 日本建築学会構造系論文集, No.597, pp.9-15, 2005.11
- -543-