

論文 再生粗骨材を用いた超硬練りコンクリートの特性に関する研究

原田 駿平*¹・上野 敦*²・宇治 公隆*³・大野 健太郎*⁴

要旨：再生粗骨材コンクリートは、付着モルタルの影響により、乾燥収縮の増大、強度・ヤング率の低下傾向が強い。本研究では、再生粗骨材の有効利用のため、超硬練りコンクリートへの適用を考え、締固め性および乾燥収縮に着目した検討を行った。この結果、締固め性に粗骨材の粒子形状が強く影響することが示され、乾燥収縮ひずみは、超硬練りコンクリートとすることで、顕著に抑制できることが明らかになった。また、仮想間隙比曲線により間隙比最小の細・粗骨材の混合状態（最適 s/a）を理論的に推定する場合、骨材割合の高い超硬練りコンクリートにおいて、最適 s/a は、粗骨材粒子形状の影響を受けることを示した。

キーワード：再生粗骨材、粒子形状、超硬練りコンクリート、締固め性、乾燥収縮、仮想間隙比曲線

1. はじめに

環境負荷低減や資源循環型社会の形成のためには、各種の再生材料や環境に配慮した材料をコンクリートに積極的に利用していくことが必要である。この種の材料の一つとして、再生粗骨材がある。しかし、再生粗骨材は、付着モルタルの影響により、粒子の構造が疎となるため、新コンクリートの硬化後の乾燥収縮ひずみの増大や、強度・ヤング率の低下の傾向が強くなる。このようなことから、再生粗骨材は積極的に利用されていないのが現状である。一方で、付着モルタルは磨砕等の高度処理によってある程度除去できるが、生産効率の低下、環境負荷の発生、コストの増加、大量に発生する微粉の処理方法などが課題となっている。すなわち、環境配慮型のコンクリートを再生粗骨材を用いて製造する場合、できるだけ高度な処理を行わず、低品質の再生粗骨材のまま使用することが有効と考えられる。

低品質の再生粗骨材を利用する上では、新コンクリートのセメントペースト相を密に（強固に）すること、そして、セメントペースト体積を顕著に低減することが有効となる。このようなコンクリートの最も顕著な形態が、超硬練りコンクリートであると考えられる。

本研究は、普通粗骨材および低品質の再生粗骨材を用いた超硬練りコンクリートを対象に、締固め性と硬化後の乾燥収縮性状の検討を行い、再生粗骨材の適用先としての超硬練りコンクリートの有用性を示すことを目的としたものである。はじめに、超硬練りコンクリートの硬化後の品質に対して顕著に影響する締固め性について、最適な細骨材率（s/a）に着目し、締固めが良好となる細・粗骨材の体積割合について、仮想間隙比曲線理論^{1),2)}を基に検討を行った。加えて、この理論の超硬練りコ

ンクリートへの適用のため、粗骨材の粒子形状による最適 s/a への影響を評価した。次に、硬化後のコンクリートの乾燥収縮ひずみに対する、超硬練りコンクリートの優位性および粗骨材の特性による影響の程度を検討した。そして、乾燥収縮試験での方法の簡易化も重要な検討事項と考え、簡易測定法に関する検討も実施した。

2. 実験概要

2.1 使用材料

(1) セメントおよび化学混和剤

セメントは、密度 3.16g/cm^3 の普通ポルトランドセメントを使用した。混和剤は、一般コンクリート（スランプ 8cm）のみに使用し、リグニンスルホン酸ポリオール複合体を主成分とする AE 減水剤を用いた。使用量はセメントの質量に対して 0.35% の一定とした。アルキルエーテル系陰イオン界面活性剤の AE 助剤を使用し、目標空気量になるように調整を行った。

(2) 骨材

使用した細骨材および粗骨材の物性は表-1 に示すとおりである。再生粗骨材は、JIS A 5023 附属書 1 に規定の再生粗骨材 L を使用した。本検討で使用した再生粗骨材は、一般市販品であるが、実積率が 61.6% と高いことが特徴的である。

2.2 締固め特性

(1) 配合

締固め性を検討した超硬練りコンクリートの配合を、表-2 に示す。単位水量を 120kg/m^3 、水セメント比を 35% とし、モルタル粗骨材空隙比（粗骨材の粒子間空隙体積に対するモルタル体積の割合、以下、Km）を 1.4~1.8 に変化させた。再生粗骨材混合率は、体積比で 0, 25,

*1 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 都市基盤環境学域 (正会員)

*2 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 都市基盤環境学域 准教授 博士 (工学) (正会員)

*3 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 都市基盤環境学域 教授 博士 (工学) (正会員)

*4 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 都市基盤環境学域 助教 博士 (工学) (正会員)

表-1 骨材の物性

種類	記号	岩種など	産地	表乾密度	絶乾密度	吸水率	単位容積重量	実積率	F.M.
砕砂	S	砂岩	相模原	2.63	2.59	1.45	1.71	66.0	2.82
砕石	G	砂岩	津久井	2.68	2.65	1.00	1.54	57.9	6.81
再生骨材	R	-	-	2.38	2.24	6.39	1.38	61.6	6.83

50, 75 および 100%の 5 水準とした。なお、表-2 中の Kp は細骨材の粒子間空隙体積に対するペースト体積の割合を表している。

(2) 締固め性の指標

JSCE-F 508 に従い、超硬練りコンクリートの締固め性試験を行った。これは、加速度数 5G、振動数 75Hz の振動台上で 3 分間振動締固めを行い、締固めエネルギーと充填率の関係を表(1)の近似曲線として得るものである³⁾。締固めの効率を示す指標として締固めエネルギー 0.1J/l における近似曲線の傾き (以下、Ce) が式(2)のように与えられている。

$$\gamma = Ci + (Cf - Ci) \{1 - \exp(-bE^d)\} \quad (1)$$

$$Ce = \frac{d\gamma}{dE} \Big|_{E=0.1J/l} \quad (2)$$

ここに、E: 締固めエネルギー(J/l), γ : 充填率(%), Ci: 初期充填率(%), Cf: 達成可能充填率(%), Ce: 締固め効率, b および d: 実験係数

本実験では、既往の検討⁴⁾に従い、充填率が 98%に達したときの締固めエネルギー (E98) を締固め性の評価指標としたが、補助的に Ce も締固めの容易さを示す指標として検討に含めている。

(3) 仮想間隙比曲線

仮想間隙比曲線の理論^{1), 2)}は、細・粗骨材 2 相系の骨材粒子の充填構造と空隙状態を表している。この理論は、細・粗骨材の実積率に基づいたものであり、静止系での骨材粒子の充填をモデル化している。そして、粗骨材粒子群へ細骨材粒子を混合した場合は、粗骨材粒子固有の空隙を細骨材粒子が充填するものとし、細骨材粒子群へ粗骨材粒子を混合した場合は、細骨材粒子固有の空隙が残るとしている。この 2 つのパターンの粒子充填に伴う間隙比の変化を、図-1 に示すような関数で表し、2 曲線の交点を、間隙比が最小となる細・粗骨材の混合状態、すなわち、理論的な最適 s/a としている。

2.3 乾燥収縮特性

(1) 配合

表-3 乾燥収縮試験のコンクリートの配合

種類	記号	再生粗骨材混合率	sl	w/c	s/a	Km	Kp	単位量(kg/m3)					減水剤 (%)	AE 助剤
								W	C	S	G	R		
一般コンクリート	N-0	0%	7.0	55	42.0	-	-	170	309	702	1112	0	0.35	4.0A
	N-50	50%	7.5	55	42.0	-	-	170	309	710	552	490	0.35	4.0A
	N-100	100%	8.5	55	42.0	-	-	170	309	613	0	1069	0.35	4.0A
超硬練りコンクリート	ED-0	0%	0	35	39	1.6	1.55	125	357	784	1243	0	-	-
	ED-50	50%	0	35	40	1.6	1.53	125	357	794	616	547	-	-
	ED-100	100%	0	35	34	1.6	1.77	125	357	684	0	1194	-	-

G: 普通粗骨材
R: 再生粗骨材

表-2 締固め性試験のコンクリートの配合

再生粗骨材混合率 (%)	Km	Kp	s/a(%)	単位量(kg/m ³)					
				W	C	S	粗骨材合計	G	R
0	1.4	1.61	0.356	120	343	722	1332	1332	0
	1.5	1.52	0.378	120	343	767	1286	1286	0
	1.6	1.44	0.399	120	343	810	1243	1243	0
	1.7	1.37	0.419	120	343	849	1202	1202	0
	1.8	1.31	0.437	120	343	886	1164	1164	0
25	1.4	1.71	0.336	120	343	681	1335	1030	305
	1.5	1.60	0.358	120	343	726	1290	996	295
	1.6	1.52	0.379	120	343	769	1248	963	285
	1.7	1.44	0.398	120	343	808	1209	933	276
	1.8	1.38	0.417	120	343	846	1172	904	268
50	1.4	1.59	0.361	120	343	732	1248	661	587
	1.5	1.50	0.383	120	343	777	1204	638	566
	1.6	1.42	0.404	120	343	819	1164	616	547
	1.7	1.36	0.423	120	343	859	1126	596	529
	1.8	1.30	0.441	120	343	896	1090	577	513
75	1.4	1.67	0.345	120	343	699	1241	339	903
	1.5	1.56	0.367	120	343	744	1199	327	872
	1.6	1.48	0.388	120	343	787	1160	316	843
	1.7	1.41	0.407	120	343	826	1123	306	816
	1.8	1.35	0.426	120	343	864	1088	297	791
100	1.4	1.87	0.307	120	343	622	1273	0	1273
	1.5	1.74	0.329	120	343	667	1232	0	1232
	1.6	1.64	0.350	120	343	710	1194	0	1194
	1.7	1.55	0.370	120	343	750	1158	0	1158
	1.8	1.48	0.388	120	343	787	1124	0	1124

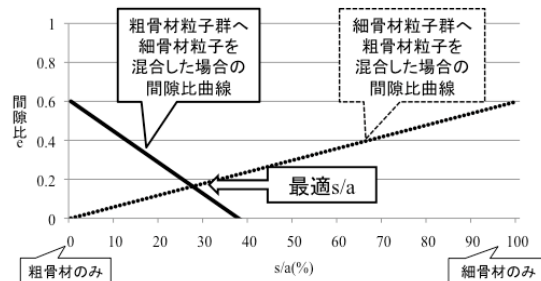


図-1 仮想間隙比曲線

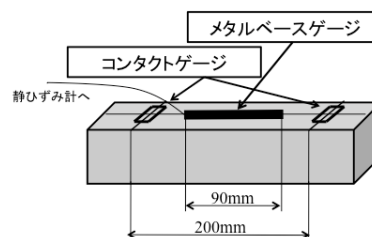


図-2 乾燥収縮ひずみ測定装置⁵⁾

乾燥収縮特性の検討のためのコンクリートの配合は、表-3に示すとおりであり、一般的なコンクリートと超硬練りコンクリートを対象とした。一般的なコンクリートは、スランプ 8cm, 空気量 4.5%とし、単位水量 170kg/m³, 水セメント比 55%, s/a42%の一定とした。超硬練りコンクリートは、単位水量 125kg/m³, 水セメント比 35%, Km を 1.6 の一定とした。再生粗骨材混合率は、一般的なコンクリートおよび超硬練りコンクリートそれぞれ 0, 50 および 100%の3水準とした。

(2) 乾燥収縮ひずみの測定条件

コンクリートの乾燥収縮ひずみ測定試験は、JIS A 1129-2 コンタクトゲージ法に従って行った。また、図-2に示すように、長さ 90mm, 幅 18mm, 厚さ 0.12mm のステンレス薄板にゲージ長 60mm のひずみゲージを取付けたメタルベースゲージ法⁵⁾による収縮ひずみの自動計測を同時に行った。供試体の寸法は 100×100×400mm とし、水中養生 7 日後に基長の設定を行い、20℃, 60%R.H. の恒温恒湿室内に保管した。

3. 結果および考察

3.1 締固め性

(1) 充填率 98%に達するまでの締固めエネルギー

各コンクリートの Km と充填率 98%に達するまでの締固めエネルギー (E98) との関係は、図-3 および表-4 のとおりとなる。図-3 において、グラフ外にあるデータについては、充填率が 98%に達しなかったものである。表-4 の中でアンダーラインを付した E98 は、各再生粗骨材混合率で Km が変化したときの E98 の最小値を示している。再生粗骨材混合率 25%においては、Km が 1.6, 1.7 および 1.8 の E98 が同程度となったため、締固め効率 Ce が最大となった Km 1.6 の配合を E98 の最小値とした。

E98 が最小となる最適 Km が存在する理由は、以下のように考えられる。最適 Km より Km が小さい範囲においては、Km の増大によって、粗骨材の粒子間距離が増大するため、締固め性が向上し、E98 が減少していく。そして、最適 Km より Km が大きい範囲においては、Km の増大によって、粗骨材の粒子間距離は増大するが、ペースト体積一定の下では同時に Kp が減少することとなる。このため、モルタル相の締固め性の低下が影響し、E98 が増大するものと思われる。このように考えると、最適 Km よりも小さな Km の範囲では、締固め性に対する支配要因が、粗骨材であるのに対し、最適 Km 以上の領域では、その要因が細骨材側に移動することとなる。

(2) E98 と粗骨材の実積率

超硬練りコンクリートの締固め性に対する粗骨材実積率の影響を検討するため、再生粗骨材混合率と E98 の最小値、また、各再生粗骨材混合率での混合粗骨材の実

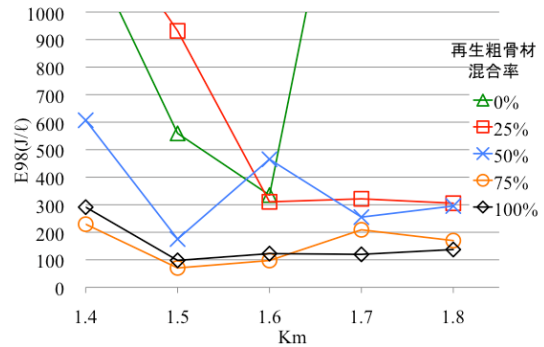


図-3 締固め性試験結果

表-4 各配合における E98 (単位:J/l)

再生粗骨材混合率(%)	Km				
	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8
0	不可	559	<u>335</u>	不可	不可
25	不可	932	<u>311</u>	322	306
50	607	<u>175</u>	465	255	295
75	229	<u>70</u>	97	209	170
100	291	<u>98</u>	122	120	137

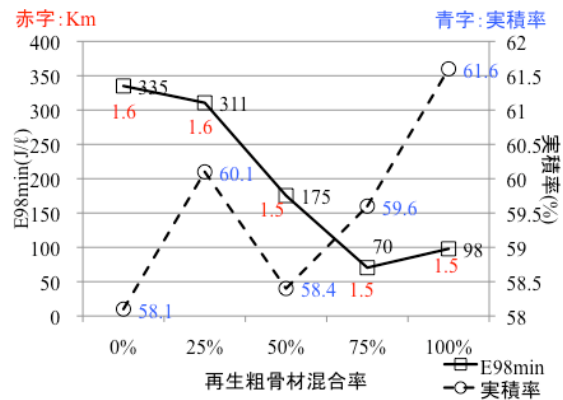


図-4 各再生粗骨材混合率における E98 の最小値と粗骨材実積率

表-5 粗骨材の粒子形状

	a 長径(mm)		b 中間径(mm)		c 短径(mm)	
	G	R	G	R	G	R
5-10mm	11.0	11.1	7.5	8.4	5.0	5.5
10-15mm	19.5	18.6	14.2	14.4	9.4	10.1
15-20mm	26.6	26.7	20.4	21.0	14.5	14.8
	a/c 長短径比		a/b 長中間径比		b/c 中間短径比	
	G	R	G	R	G	R
5-10mm	2.21	2.03	1.48	1.33	1.50	1.53
10-15mm	2.08	1.84	1.37	1.29	1.52	1.43
15-20mm	1.84	1.80	1.30	1.27	1.41	1.42

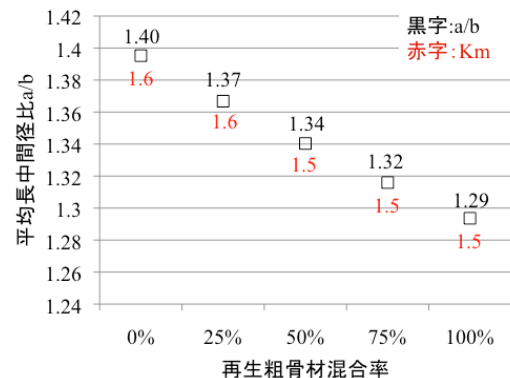


図-5 再生粗骨材混合率と平均長中間径比

積率の関係を整理すると、図-4 のようになる。各粗骨材の実積率試験は、JIS A 1104 に従って実施した。再生粗骨材混合率が増加すると、混合粗骨材の実積率は概ね増加し、E98 の最小値が減少することがわかる。すなわち、超硬練りコンクリートの締固め性に対して、粗骨材の実積率による影響が顕著であることがわかる。実積率は粒度および粒子形状によって決定されるため、次項で粒子形状による影響を検討することとした。

(3) 締固め性と粗骨材の粒子形状

普通粗骨材および再生粗骨材を、5-10mm, 10-15mm および 15-20mm の3つの粒径範囲に分け、各粒径の試料を50個ずつ無作為抽出した。そして、各粒子の長径、中間径および短径⁶⁾を測定した。表-5 の上段に各粒径範囲ごとのそれぞれの径の平均値、下段に骨材の形状特性を表す長短径比、長中間径比および中間短径比を示す。表中のGは普通粗骨材を、Rは再生粗骨材を示している。特に、長中間径比は、再生粗骨材と普通粗骨材で顕著な違いを示しており、本実験で使用した実積率の高い再生粗骨材と、一般的な砕石との粒子形状の差を顕著に表す指標となり得るものと考えられる。

普通粗骨材、再生粗骨材ともに、体積粒度分布に基づいて、表-5 の粒径ごとの長中間径比 (a/b) を加重平均し、各骨材の平均的な長中間径比を計算した。そして、各再生粗骨材混合率での混合粗骨材の平均長中間径比 (a/b) を、再生粗骨材混合率に基づいて計算した。

再生粗骨材混合率と混合粗骨材としての平均長中間径比 (a/b) の関係を、図-5 に示す。再生粗骨材混合率の増大にともなって、混合粗骨材としての平均長中間径比 (a/b) が低下し、1 に近づいてゆく。すなわち、再生粗骨材混合率の増大にともなって、平均的に粗骨材形状が等方的になっていくことがわかる。混合粗骨材の平均長中間径比 (a/b) と各コンクリートの E98 の最小値の関係を、図-6 に示す。配合中の体積組成としては最適な Km となっても、混合粗骨材の平均長中間径比が小さくなると、E98 の最小値が小さくなることがわかる。すなわち、超硬練りコンクリートの締固め性に対して、粗骨材の粒子形状の影響が顕著となることがわかる。

3.2 仮想間隙比曲線による最適細骨材率の推定

(1) 理論値と実験値の比較

表-6 に、各再生粗骨材混合率ごとに、締固め性試験で E98 が最小となったときの s/a を「s/a 実験値」として[1]列に、仮想間隙比曲線理論から求めた s/a を「s/a 理論値」として[2]列に示す。スランブを有する通常のコンクリートの流動性を最大とする s/a 実験値は、仮想間隙比曲線を用いて推定された s/a 理論値よりも大きくなるのが既往の研究¹⁾より明らかになっている。このため、本研究でも、s/a の理論値と実験値との差異を検討するため、

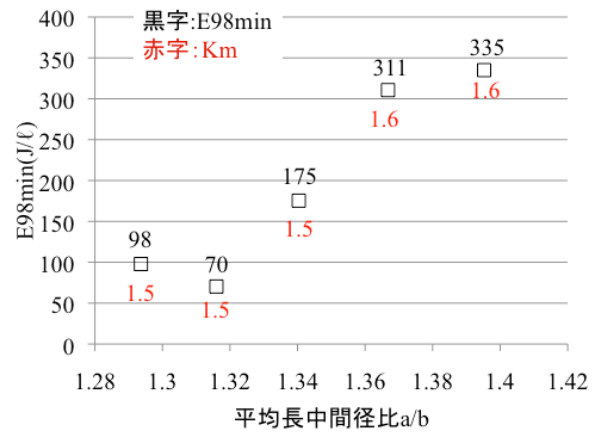


図-6 平均長中間径比と E98 の最小値

表-6 s/a 実験値と s/a 理論値の比較

混合率	[1]	[2]	[3] 実験/理論	[4] 実積率 (%)	[5] 平均長中間径比
	s/a 実験	s/a 理論			
0%	0.399	0.310	1.286	58.1	1.395
25%	0.379	0.295	1.284	60.1	1.367
50%	0.383	0.314	1.221	58.4	1.340
75%	0.367	0.306	1.200	59.6	1.316
100%	0.329	0.291	1.129	61.6	1.294

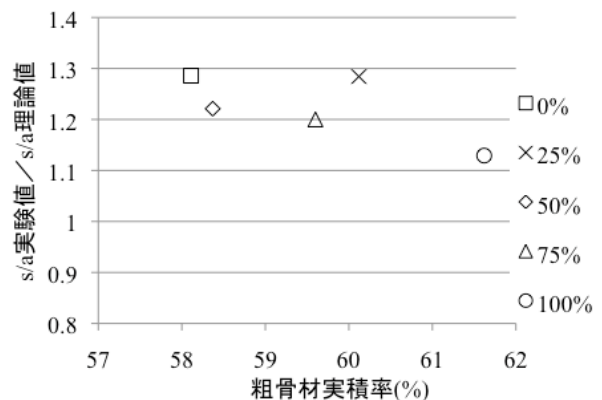


図-7 s/a ずれ率と粗骨材実積率

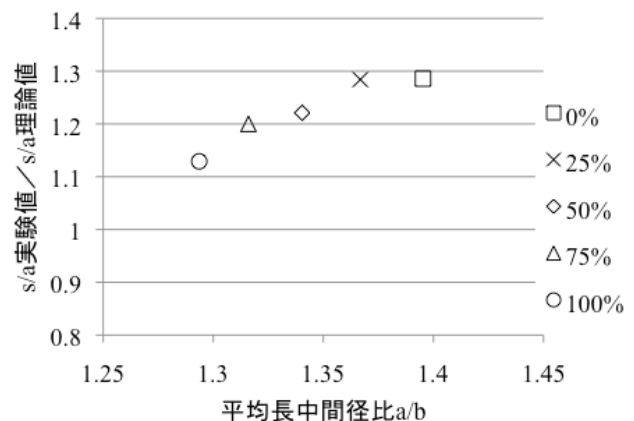


図-8 各 s/a の比と平均長中間径比

s/a 理論値に対する s/a 実験値の比を、同表[3]列に示している。

(2) s/a 理論値に対する s/a 実験値の比と粗骨材の実積率

表-6 の[4]列の混合粗骨材の実積率と、[3]列に示した s/a 理論値に対する s/a 実験値の比との関係を、図-7 に示す。粗骨材の実積率が高くなると、s/a 理論値に対する s/a 実験値の割合が小さくなっている傾向がわかる。すなわち、粗骨材実積率が高くなると、s/a の実験値と理論値の比が 1 に近づくことがわかる。

(3) s/a 理論値に対する s/a 実験値の比と平均長中間径比

表-6 の[3]列の s/a 理論値に対する s/a 実験値の比と、[5]列の粗骨材の平均長中間径比の関係を整理すると、図-8 のとおりとなる。混合粗骨材の平均長中間径比が小さくなると、すなわち、平均的に粗骨材粒子の形状が等方的となると、s/a 理論値に対する s/a 実験値の比が小さくなり、実験値が理論値に近づくことがわかる。

前にも述べたとおり、s/a 理論値は、細・粗骨材の実積率に基づく粒子充填の論理であり、静止系での粒子の充填をモデル化している。これに対して、s/a 実験値は、運動系での粒子の充填性状に影響を受ける。このため、s/a 実験値と s/a 理論値には差異が生じるものと考えられるが、粗骨材の粒子形状が等方的となることで、静止系と運動系での粒子の充填性状による差異が小さくなっていくものと考えられ、特に粗骨材体積の多い超硬練りコンクリートにおいてはこの影響が顕著に現れるものと考えられる。

3.3 乾燥収縮試験

(1) 乾燥収縮ひずみと質量変化率

コンタクトゲージ法で測定した各コンクリートの乾燥収縮ひずみの経時変化を図-9 に、質量変化率の経時変化を図-10 に示す。全ての再生粗骨材超硬練りコンクリートは、普通砕石を粗骨材に用いた一般的なコンクリートと比較しても、顕著に乾燥収縮ひずみおよび質量変化率が小さくなるのがわかる。また、超硬練りコンクリートおよび一般的なコンクリートにおいて、再生粗骨材混合率が増加するほど、乾燥収縮ひずみおよび質量変化率は大きくなるが、再生粗骨材の混入が乾燥収縮ひずみや質量変化率に及ぼす影響は、一般的なコンクリートに比べて超硬練りコンクリートの方が顕著に小さいことがわかる。このことは、再生粗骨材に限らず、比較的乾

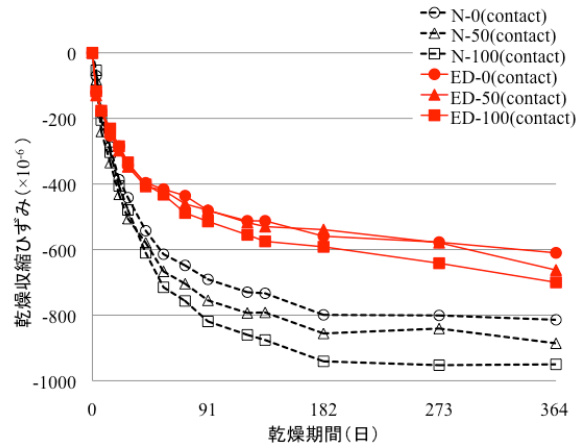


図-9 乾燥収縮ひずみ

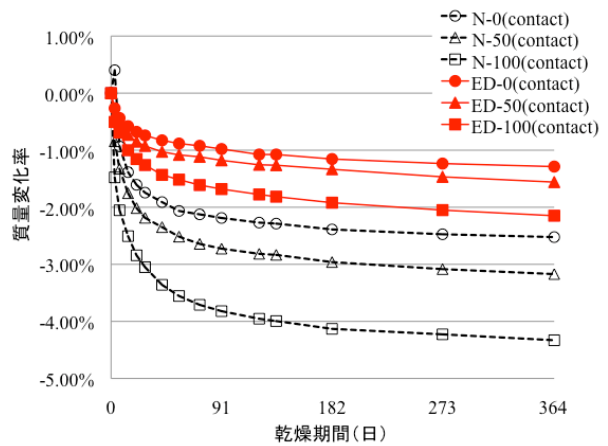


図-10 質量変化率

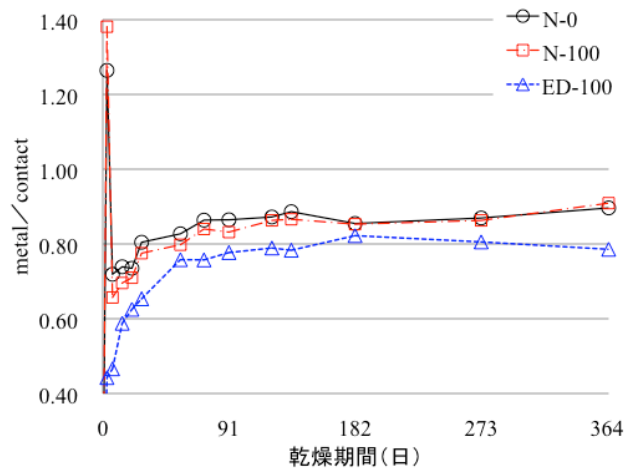


図-11 コンタクトゲージ法に対するメタルベース法の比

表-7 コンタクトゲージ法での乾燥収縮率に対するメタルベース法による乾燥収縮率の比

day	0	3	7	14	21	28	56	73	91	122	136	182	273	365
N-0	0.00	1.26	0.72	0.74	0.73	0.80	0.83	0.86	0.86	0.87	0.89	0.85	0.87	0.90
N-100	0.00	1.38	0.66	0.70	0.71	0.78	0.80	0.84	0.83	0.86	0.87	0.85	0.86	0.91
ED-100	0.00	0.44	0.47	0.59	0.63	0.65	0.76	0.76	0.78	0.79	0.78	0.82	0.81	0.79

乾燥収縮ひずみが大きくなることが予想される粗骨材の適用先としての超硬練りコンクリートの有効性を示しているものと思われる。

(2) メタルベースゲージによる省力化法の検討

JIS A 1129-2 に規定のコンタクトゲージによる長さ変化率の測定の省力化を目的に、自動計測のメタルベースゲージ法の適用性についての検討を行った。この結果、メタルベースゲージ法で測定された乾燥収縮ひずみは、JIS 法とほぼ同じ傾向を示すが、JIS 法と比較して、一定の割合で小さく計測される結果となった。これは、メタルベースゲージ法では、ゲージを貼付した部分のコンクリートは、接着剤および防水コート材によりシールされている状態となり、水分の蒸発がしにくい箇所のコンクリートの長さ変化を測定しているのに対し、コンタクトゲージ法が、ほとんどが開放面で、水分の蒸発が容易な箇所のコンクリートの長さ変化を測定していることによるものと考えられる。

JIS 法による乾燥収縮ひずみに対するメタルベースゲージ法による乾燥収縮ひずみの割合は、図-11 ようになり、乾燥期間 91 日以降において、一般的なコンクリートでは約 0.9 倍、超硬練りコンクリートでは約 0.8 倍となった。両方法で測定される絶対値は異なるものの、一定割合での差であるため、非常に簡易的な自動測定で測定される試験結果に、一定の補正係数を考慮することで、コンクリートの乾燥収縮ひずみの測定試験が著しく簡略化できる可能性があると考えられる。

4. まとめ

本研究では、再生粗骨材の適用先としての超硬練りコンクリートの有効性を検討することを目的として、再生粗骨材を用いた超硬練りコンクリートの締固め性および乾燥収縮ひずみに着目した検討を行った。また、超硬練りコンクリートの配合選定段階で有用な、最適な細骨材率を論理的に推定することを考え、仮想間隙比曲線で得られる理論値と、締固め性試験によって得られる最適細骨材率の実験値について、粗骨材の粒子形状の影響に着目した検討を行った。

本研究の範囲で、以下のことが明らかになった。

- (1) 超硬練りコンクリートの締固め性には、粗骨材の実積率および粒子形状が顕著な影響を及ぼす。
- (2) 粗骨材の粒子形状が等方的となるほど、超硬練りコンクリートの締固め性は向上し、粒子形状は、混合

粗骨材の平均長中間径比で表現できる。

- (3) 仮想間隙比曲線から得られる最適細骨材率は、超硬練りコンクリートの締固め性試験から得られた実験値よりも小さくなる。両者の差異は、粗骨材の粒子形状を示す平均長中間径比と相関する。
- (4) 再生粗骨材を用いた超硬練りコンクリートの乾燥収縮ひずみは、普通粗骨材を用いた一般的な有スランプコンクリートと比較しても顕著に小さくなる。
- (5) 再生粗骨材混合率が增加すると、乾燥収縮ひずみは大きくなる。再生粗骨材のような疎な構造の粗骨材の混入が、コンクリートの乾燥収縮ひずみに及ぼす影響は、一般的なコンクリートに比べ、超硬練りコンクリートの場合、顕著に小さくなる。
- (6) メタルベースゲージ法によるコンクリートの乾燥収縮ひずみの自動測定の結果は、コンタクトゲージ法による測定結果と比較して、一般的なコンクリートでは約 0.9 倍、超硬練りコンクリートでは約 0.8 倍となる。これらの係数を考慮することで、コンクリートの乾燥収縮ひずみの測定試験が、著しく簡略化できる可能性がある。

参考文献

- 1) 外山和仁，國府勝郎，上野敦，宇治公隆：細，粗骨材の実積率に基づく最適細骨材率の選定方法，土木学会第 62 回年次学術講演概要集第 5 部，Vol.62，pp.141-142，2007.9
- 2) 岩崎訓明：コンクリート配合の原点，セメント・コンクリート，No.564，pp.20-27，1994
- 3) 梁俊，宇治公隆，國府勝郎，上野敦：配合の相違がフレッシュコンクリートの締固め完了エネルギーに与える影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，pp.1221-1226，2004
- 4) 國府勝郎，近藤拓也，上野敦：RCCP 用コンクリートの締固め性試験方法に関する研究，セメント・コンクリート論文集，Vol.46，pp.964-969，1992
- 5) 橋本智一，上野敦，宇治公隆：再生粗骨材超硬練りコンクリートの乾燥収縮特性および省力化試験法の検討，土木学会第 62 回年次学術講演概要集第 5 部，Vol.65，pp.295-296，2010.9
- 6) T.C.Powers：The Properties of Fresh Concrete，pp.14-21，1968