論文　細骨材表面が拘束する水量の算定方法に関する基礎的研究

山下　彩*1・桜井　邦昭*2・平田　隆祥*3

要旨：配合設計段階で，コンクリートの材料分離抵抗性を予測するには，セメントや細骨材がその表面に拘束する水量を把握する必要がある。特に，細骨材は種類や産地が多様であり，表面に拘束する水量を推定することは容易でない。本研究は，細骨材の物理試験方法で得られる物性値の情報を用いて，細骨材が拘束する水量を簡便に算出する方法について基礎的に検討した。その結果，細骨材の種類や産地の違いによらず，粒度分布，粒形および表面に付着している微粒分量を考慮して表面積を求めることで，拘束する水量を推定できる可能性があることを明らかにした。

キーワード：細骨材，拘束水比，水膜，粒度分布，粒形，微粒分量

1.　はじめに

コンクリートの材料分離抵抗性を確保するには，コンクリートを構成するモルタル中のセメントや細骨材が，水と分離せず均質な状態にあることが求められる。これを配合設計段階で予測するには，セメントや細骨材がその表面に拘束する水量を把握する必要がある[1), 2)]。そのためには，セメントや細骨材の表面積を適切に把握する必要がある。特に，細骨材は産地や製造方法によって多種多様であり，表面に拘束する水量を把握することは容易でない。

既往の研究では，細骨材が拘束する水量を求める手法として，次のような提案がなされている。枝松らは，セメントペーストおよび細骨材の容積比を一定としたモルタルにおいて，水粉体容積比と相対フロー面積比との間に直線関係が成立することを明らかにしている[3), 4)]。そして文献[1), 2)]では、この関係から，細骨材がその表面に拘束する水量と細骨材容積との比である拘束水比（βs）を求める手法を構築している（**図－1**）。この拘束水比（βs）に細骨材の容積を乗じることで，細骨材が拘束する水量を算出できる。

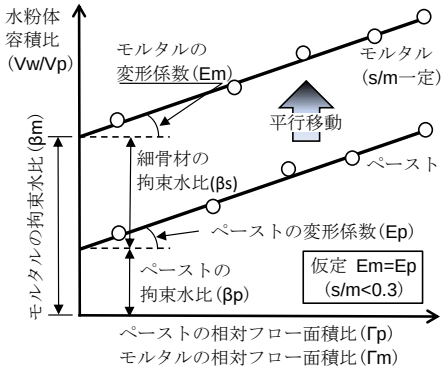
しかし，この手法は，細骨材の拘束水比を直接的に測定する方法であり，細骨材の種類や産地が変わるたびに試験する必要があると考えられる。

そこで本研究では，細骨材の物理試験方法により得られる物性値の情報を用いて，簡便に細骨材の拘束水比を推定し，細骨材が拘束する水量を算出する方法について基礎的に検討した。

2.　実験概要

2.1　細骨材の拘束水比の算出方法

文献[1)~4)]において，細骨材の拘束水比は，以下の方法で算出できると提案されている。



図－1　細骨材の拘束水比の概念図[2)]

1) 水粉体容積比を変化させたペーストおよびモルタルを用いて，フロー試験を行う。
2) 相対フロー面積比と水粉体容積比の関係から，その傾きを変形係数(Ep，Em)，切片をペーストおよびモルタルの拘束水比（βp，βm）とする。
3) **図－1** に示すように，細骨材の拘束水比（βs）は，モルタルの拘束水比（βm）からペーストの拘束水比（βp,）を差し引いた値である。

ここで，変形係数とはペーストおよびモルタルが変形する際のペーストの変形しやすさの程度を表すものである。拘束水比はペーストおよびモルタルが変形し始める時の水粉体容積比である。

前提条件は，ペーストとモルタルそれぞれの相対フロー面積比と水粉体容積比の関係は直線関係であること，およびペーストとモルタルの変形係数はおおよそ等しいことである。これは，モルタルの細骨材容積比が 0.3 以下において成り立つことが既往の研究で確認されている[2), 4)]。細骨材容積比が 0.3 以上になると，セメント粒子表

*1　株式会社大林組　技術本部技術研究所　生産技術研究部　工修（正会員）
*2　株式会社大林組　技術本部技術研究所　生産技術研究部　主任研究員　博士（工学）（正会員）
*3　株式会社大林組　技術本部技術研究所　生産技術研究部　副部長　博士（工学）（正会員）

面と細骨材表面に拘束される水量の影響だけでなく，細骨材同士のかみ合いによる拘束が生じるためである[4)]。

よって，本研究では細骨材容積比が 0.3 以下のモルタルを用いて，上記の提案されている方法で試験を行い，細骨材の拘束水比を求めた。

2.2　実験で用いた細骨材の概要

本研究では，産地の異なる砂 2 種類（以下，陸砂，山砂という）と，砕砂を 1 種類用いた。使用した細骨材の物理的性質を**表－1** に，粒度分布を**図－2** に示す。

本研究では，細骨材の種類や産地の違いによる表面積の違いが，拘束する水量に及ぼす影響を包括的に整理することを目的とし，細骨材の検討項目を次の 3 点とした。

(1)同一種類の砂で，粒度分布が異なる場合

ここでは，陸砂を用いて粒度分布を調整した。JISA5308 の粒度範囲の上限値に調整した粒度分布「細」，下限値に調整した粒度分布「粗」，さらに各粒径の上限値と下限値の中間に調整した粒度分布「中」の 3 種類を用いた。

(2)粒度分布は一定で，砂の種類が異なる場合

ここでは，陸砂，山砂および砕砂を JIS 粒度範囲（陸砂，山砂は JIS A5308，砕砂は JIS A5005 に従う）の中間とした粒度分布「中」に調整した試料を用いた。

(3)粒度分布を調整しない砂で，産地や種類が異なる場合

ここでは，陸砂，山砂および砕砂の粒度調整を行わない試料を用いて，これらを粒度「標準」とした。各試料の粒度分布は，ふるい分け試験の結果を用いた。

2.3　使用材料と配合

使用材料には，普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm^3，比表面積 3370cm^2/g），水道水，および細骨材 3 種類（**表－1**）を用いた。ペーストおよびモルタルの配合は水セメント比を 35～55%の範囲で 5%ずつ変化させた 5 種類とし，モルタル中の細骨材容積比（Vs/Vm）は 0.2 で一定とした。

ペーストおよびモルタルの練混ぜは，JIS R 5201「セメントの物理試験方法」に準じて行った。

2.4　検討の流れ

本研究では，以下の手順で検討を行った。

(1) 各々の細骨材について，JIS に定められる骨材の物理的試験（密度・吸水率試験，ふるい分け試験，実積率，粒形判定実積率）を実施する。

(2) セメントペーストおよび各種モルタルのフロー試験を行い，0 打フロー面積の測定結果から細骨材の拘束水比を算出する。

(3) 細骨材の実積率および粒形判定実積率と(2)で得られた細骨材の拘束水比とを比較する。

(4) 細骨材を球体と仮定した表面積を算出し，これと(2)で得られた細骨材の拘束水比とを比較する。

(5) 細骨材の粒形を考慮した表面積を算出し，これと(2)で得られた細骨材の拘束水比とを比較する。

(6) 表面に付着した微粒分を考慮した表面積を算出し，これと(2)で得られた細骨材の拘束水比とを比較する。

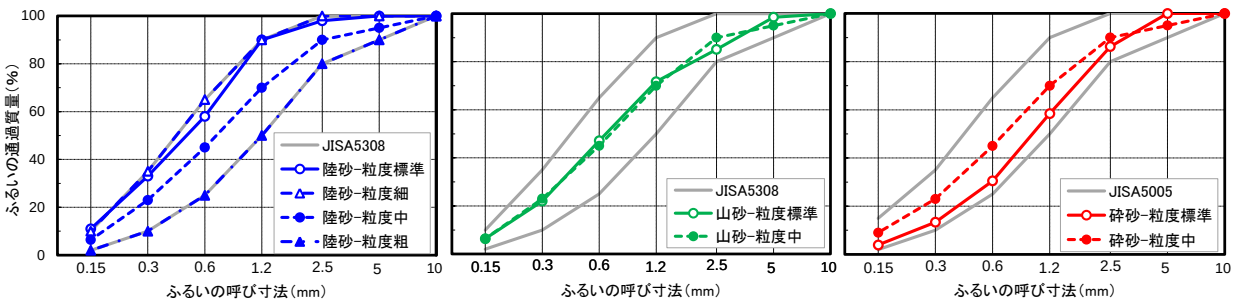
3.　実験結果および考察

3.1　細骨材の拘束水比の算出結果

細骨材の拘束水比の算出結果を以下の**表－2** に示す。

表－1　細骨材の物理的性質

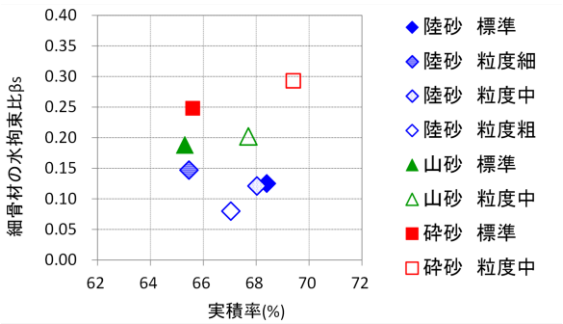
細骨材の種類	粒度分布	表乾密度 (g/cm^3)	絶乾密度 (g/cm^3)	吸水率 (%)	粗粒率 (F.M.)	ふるいを通るものの質量百分率（%） 5 mm	2.5 mm	1.2 mm	0.6 mm	0.3 mm	0.15 mm	単位容積質量 (kg/l)	実積率 (%)	粒形判定実積率 (%)
陸砂	標準	2.59	2.53	2.44	2.24	100	98	90	58	33	11	1.73	68.4	58.0
	細	2.59	2.53	2.44	2.10	100	100	90	65	35	10	1.66	65.5	
	中	2.59	2.53	2.44	2.69	95	90	70	45	23	6	1.72	68.0	
	粗	2.59	2.53	2.44	3.08	90	80	50	25	10	2	1.70	67.0	
山砂	標準	2.55	2.50	2.02	2.69	98	85	72	47	22	6	1.63	65.3	58.7
	中	2.55	2.49	2.44	2.71	95	90	70	45	23	6	1.69	67.7	
砕砂	標準	2.88	2.84	1.49	3.08	100	86	58	30	13	4	1.86	65.6	58.5
	中	2.88	2.81	2.44	2.68	95	90	70	45	23	9	1.97	69.4	



図－2　各細骨材試料の粒度分布

表－2　細骨材の拘束水比の算出結果

細骨材の種類	粒度分布	変形係数 Ep，Em	拘束水比 βp，βm	近似直線相関係数 R^2	細骨材の拘束水比 βs
ペースト	－	0.122	0.975	0.978	－
陸砂	標準	0.127	1.039	0.999	0.125
	細	0.126	1.050	1.000	0.147
	中	0.130	1.037	1.000	0.121
	粗	0.129	1.015	1.000	0.080
山砂	標準	0.135	1.073	0.995	0.188
	中	0.127	1.080	0.998	0.202
砕砂	標準	0.122	1.105	0.999	0.248
	中	0.137	1.131	0.995	0.293



図－3　実積率と拘束水比の関係

表－3　細骨材を球体とした場合の表面積の算出結果（細骨材容積 1m³ あたり）

粒径 (mm)	ふるい目の中間値を用いた粒径R (mm)	表面積(m^2/m^3) 陸砂　標準	陸砂　細	陸砂　中	陸砂　粗	山砂　標準	山砂　中	砕砂　標準	砕砂　中
5～10	7.50	70	0	40	80	12	40	0	40
2.5～5	3.75	181	0	80	160	214	80	220	80
1.2～2.5	1.85	311	324	649	973	435	649	902	649
0.6～1.2	0.90	867	1667	1667	1667	1639	1667	1865	1667
0.3～0.6	0.45	2978	4000	2933	2000	3348	3000	2286	3000
0.15～0.3	0.225	8333	6667	4533	2133	4168	4400	2520	3733
0.15以下	0.075	3200	8000	4800	1600	5096	4800	3109	6800
面積総和	－	15939	20658	14702	8613	14912	14635	10902	15969

表を見ると，各細骨材の変形係数はおおよそ等しく，文献[3), 4)]の手法により細骨材の拘束水比を算出できることが確認できた。陸砂において，粒度が細かくなるほど，拘束水比が大きくなることが分かる。細骨材の種類別にみると，陸砂，山砂，砕砂の順で拘束水比が大きくなることが分かる。

3.2　実積率，粒形判定実積率と拘束水比の関係

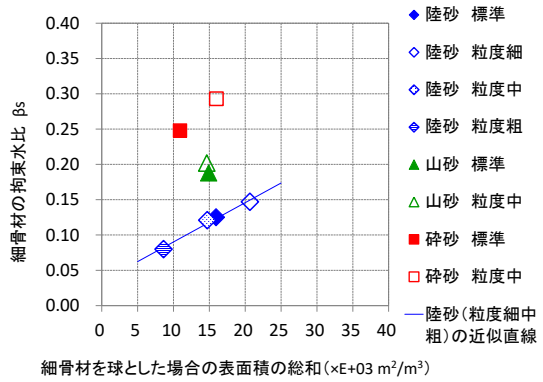
各細骨材の実積率と拘束水比の関係を**図－3** に示す。

実積率は粒度分布の大小および砂粒の角張を包括的に表現した指標であるが，細骨材の拘束水比との関係性は認められない。また粒形判定実積率は，砂粒の角張を評価する指標であるが，**表－1** から，各細骨材の粒形判定実積率に大きな差はなく，粒形のみから拘束水比を評価することは困難であるといえる。細骨材の表面に拘束する水量を評価するためには，細骨材の表面状態を表現する別の指標が必要と考えられる。

3.3　細骨材を球体と仮定した表面積と拘束水比の関係

細骨材の表面に拘束する水量は，細骨材の表面積に依存すると考え，細骨材表面の総面積を算出する方法を検討した。まず，細骨材の粒形を球体と仮定した。ふるい分け試験における各ふるい目の中間値を粒径（R）として球体の表面積を算出し，細骨材 1m³ における粒径ごとの表面積を求め，その総和を細骨材の表面積とした。各細骨材の粒径ごとの表面積の算出結果を**表－3** に示す。これらの結果と，**表－2** で得られた各々の拘束水比との関係を**図－4** に示す。

図を見ると，同じ陸砂で粒度分布が異なる場合は，表



図－4　細骨材を球体と仮定した表面積と拘束水比の関係

面積が大きくなるほど，すなわち粒径の小さい砂が多いほど，拘束水比も大きくなることが分かる。陸砂の粒度分布を調整した粒度粗，中，細の 3 点で近似直線をひくと，粒度分布を調整していない粒度標準の陸砂も直線上に位置することが分かった。この意味は，細骨材の種類および産地が同一であれば，ふるい分け試験の結果から粒形を球体とした表面積を求めることで，細骨材の拘束水比を算定できることを示しており，生コン工場の品質管理手法として採用できる可能性があると考えられる。

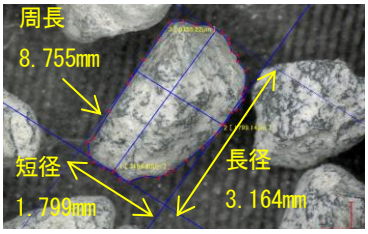
一方，山砂や砕砂の拘束水比は，陸砂の近似直線上には位置しておらず，細骨材の産地や種類が異なる場合には，粒形を球体とした表面積の評価だけでは不十分で，更なる考慮が必要と考えられる。

3.4　細骨材の粒形を考慮した表面積と拘束水比の関係

前節の結果を踏まえ，細骨材の粒形を評価し，表面積

(a) 陸砂　　(b) 山砂　　(c) 砕砂

写真－1　細骨材の実体顕微鏡観察写真（20 倍拡大）



写真－2　細骨材の周長および長径・短径測定の写真

に反映することとした。細骨材は実際には表面に凹凸のある多角形である。そこで，細骨材を球体とした場合の表面積と粒形を考慮した場合の表面積とを比較した。粒形を考慮した表面積の算出方法を以下に示す。

(1) 粒径 1.2~2.5mm の各細骨材から 20 粒を無作為に抽出し，実体顕微鏡（倍率 20 倍）で撮影する。試料数を 20 としたのは，文献[5]において，N20 個で信頼度 95% を得られることによる。各細骨材から抽出した 20 個の試料の観察結果を**写真－1** に示す。

(2) 各試料の凹凸を捉えるように周囲をなぞり，周長を測定する（**写真－2** 参照）。測定した周長を円（2πr）とした場合の換算半径（r）を求める。

(3) (2)の同一試料で，長径と短径を測定し（**写真－2** 参照），その平均値を球の粒径として半径（r'）を求める。これを，凹凸を考慮しない場合の半径とする。

(4) (2)および(3)両者の半径の比（r/r'）を算出し，凹凸を考慮した場合の半径増加率（a'）とする。

(5) 3.3 節で検討したふるい目の中間値を直径とした粒径に(4)の半径増加率（a'）の N20 個の平均値（a）を乗じたものを，粒形を考慮した粒径（R×a）として球の表面積を求める。

陸砂，山砂，砕砂の 3 種類の細骨材から抽出した N20 個の測定値から得られた結果のうち，半径増加率（a'）が最小および最大値を示したものと，N20 個 の半径増加率の平均値 a，標準偏差を**表－4** に示す。粒形を考慮した粒径を用いた表面積の算出結果を**表－5** に示す。これらの結果と，各細骨材の拘束水比との関係を**図－5** に示す。

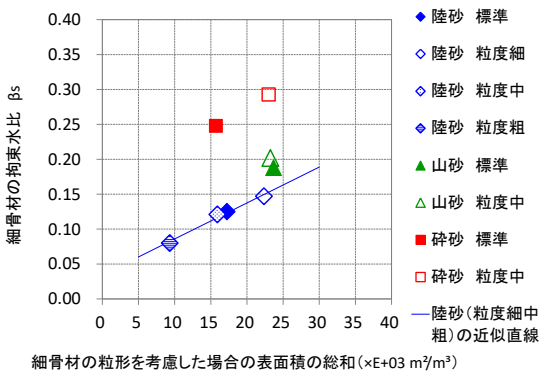
写真－1 を見ると，砕砂と山砂は陸砂に比べて凹凸の

表－4　粒形を考慮した半径増加率の算出結果

細骨材種類	N20個のうち半径増加率が最小，最大値の例	周長（μm）	周長(2πr)の換算半径 r（μm）	長径（μm）	短径（μm）	長径と短径の平均/2 r'（μm）	半径増加率 a'(=r/r')	半径増加率の平均 a	標準偏差
陸砂	最小	9061	1442	3142	2521	1416	1.02	1.04	0.036
	最大	6943	1105	1682	2335	1004	1.10		
山砂	最小	6263	997	1905	1580	871	1.14	1.26	0.082
	最大	7780	1238	2030	1623	913	1.36		
砕砂	最小	9881	1573	3103	2351	1364	1.15	1.20	0.041
	最大	12489	1988	4258	2145	1601	1.24		

表－5　細骨材の粒形を考慮した場合の表面積の算出結果（細骨材容積 1m³ あたり）

粒径	陸砂の粒形を考慮した粒径 R×a(陸砂)	陸砂の表面積 (m^2/m^3)				山砂の粒形を考慮した粒径 R×a(山砂)	山砂の表面積 (m^2/m^3)		砕砂の粒形を考慮した粒径 R×a(砕砂)	砕砂の表面積 (m^2/m^3)	
(mm)	(mm)	標準	細	中	粗	(mm)	標準	中	(mm)	標準	中
5～10	7.80	75	0	43	87	9.45	19	64	9.00	0	58
2.5～5	3.90	196	0	87	173	4.73	339	127	4.50	317	115
1.2～2.5	1.92	337	351	702	1052	2.33	691	1030	2.22	1299	934
0.6～1.2	0.94	937	1803	1803	1803	1.13	2603	2646	1.08	2686	2400
0.3～0.6	0.47	3221	4326	3173	2163	0.57	5315	4763	0.54	3292	4320
0.15～0.3	0.234	9013	7211	4903	2307	0.284	6617	6985	0.270	3629	5376
0.15以下	0.078	3461	8653	5192	1731	0.095	8090	7620	0.090	4477	9792
面積総和	－	17240	22343	15902	9316	－	23675	23235	－	15699	22995



図－5　細骨材の粒形を考慮した表面積と拘束水比の関係

大きい粒形であり，**表－4** の半径増加率 a の大小を見ても，本測定方法で算出した表面積はある程度粒形を考慮できていると考えられる。**図－5** の拘束水比との関係を見ると，凹凸の大きい山砂と砕砂は**図－4** に比べて表面積が大きくなり，特に山砂は 3.3 節で求めた陸砂の近似直線に近づくことが分かる。本実験で用いた陸砂と山砂は産地が異なるが，いずれも同じ天然の材料である。よって，破砕等を行わない天然の材料であれば，粒度分布および粒形を考慮した表面積から細骨材の拘束水比を算出することができる可能性がある。一方，砕砂は近似直線上に位置しておらず，依然として表面積と拘束水比の関係が認められない。砕砂のように製造方法が異なる場合は，粒度分布および粒形を考慮した表面積だけでは拘束水比を表現できないといえる。

3.5 細骨材の付着微粒分量を考慮した表面積と拘束水比の関係

次に，砕砂のような表面に微粒分が付着した細骨材の拘束水比を評価するために，砂に付着した微粒分量を測定し，それらを表面積に考慮する方法を検討した。算出方法を以下に示す。

(1) 砂粒の表面に付着した微粒分（以下，付着微粒分という）の個数は砂の表面積に対して一定であると仮定する。このとき，各粒径の表面積は 3.4 節で求めた粒形を考慮した表面積を用いる。

(2) 付着微粒分量を測定する。3 種類の細骨材の粒径 1.2～2.5mm の砂を 500g（絶乾状態）用いる。ふるい目 0.6mm のふるいの上に試料を置き，水を張ったパレットの中で静かに水洗いする。濁りがなくなるまで水洗いを繰り返し，再び絶乾状態にする。

(3) (2)の絶乾状態の試料の質量 M’を測定し，500g からの減少量を付着微粒分量 m とする。付着微粒分を粒径 0.075mm 以下の微粒分と仮定し，付着微粒分 1 個の質量 m (n1)から付着微粒分の個数 N を求める。

(4) 粒径 1.2～2.5mm の砂 M’ の表面積 A(M’)に対する，付着した微粒分の割合を求める。付着微粒分の個数 N を表面積 A(M’)で除した値を付着率 F(個/mm^2)とする。

(5) 0.15mm 以上の他の粒径においては，付着率 F から，各粒径の表面積に付着する微粒分量を求める。算出式を以下の式(1)に示す。ただし，0.15mm 以下の砂は，0.075mm 以下の砂も含まれていることから，付着微粒分を算出せず，表面積は 3.4 節で求めた値とした。

$$\frac{\mathrm{M}-m}{\mathrm{M(n1)}} \times A(n1) \times F \times m(n1) = m \qquad (1)$$

ここに，M：0.15mm 以上の各粒径の質量(g)
M(n1)：各粒径 1 個の質量(g)
A(n1)：各粒径 1 個の表面積(mm^2)

(6) 付着微粒分量 m を除いた各粒径の真の質量 M’ から，再度各粒径 1 個の質量 M(n1)で除して，各粒径 1 個の表面積 A(n1)を乗じることで，各粒径の真の表面積 A(M’) を求める。各粒径で算出された付着微粒分量 m の総和を各細骨材の付着微粒分量として，付着微粒分の表面積を求める。

なお，手順(1)における仮定「付着微粒分の個数は表面積に対して一定であること」に関して，各細骨材の他の粒径 2.5~5.0mm の試料を用いて同様に水洗い試験を行い，付着率 F がおおよそ等しいことを確認した。また，手順(3)における仮定「付着微粒分を粒径 0.075mm 以下とする」に関しても，水洗いで流出した試料を採取し，乾燥後にふるい試験を行ったところ，0.075mm のふるいを通過することを確認した。

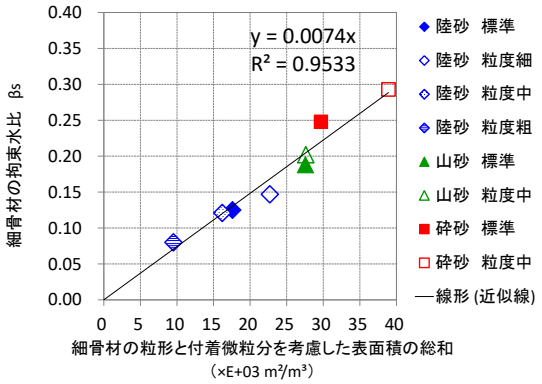
手順(2)の結果は，粒径 1.2～2.5mm の砂 500g のうち，微粒分量が，陸砂 0.3g，山砂 2.9g，砕砂 15.2g，であった。手順(4)の付着率 F はそれぞれ，陸砂 6.2，山砂 41.0，砕砂 243.1 となった。

水洗いを行ったところ，陸砂は濁りがなく，山砂は若干の濁りがあり，砕砂は濁りが顕著であった。実体顕微鏡で観察したところ，砕砂は水洗いで表面の白い微粒分が洗い出され，微細な凹凸が観察できた。砕砂の表面には多くの微粒分が付着しており，これらの微粒分が水を拘束することを考えると，付着微粒分量を算出して，表面積を求めることは妥当であると考えられる。

手順(6)から，付着微粒分を考慮した各粒径の表面積の算出結果を**表－6** に示す。この結果と，各細骨材の拘束水比との関係を**図－6** に示す。**図－6** から，付着微粒分量の少ない陸砂では表面積はほとんど変化していないが，付着微粒分の多い砕砂の表面積は大きく増加していることがわかる。また，すべての細骨材が原点を通る近似直線上に位置する結果が得られた。粒度分布に加え，粒形および付着微粒分を考慮した表面積を求めることで，拘

表－6　細骨材の粒形と表面の付着微粒分量を考慮した場合の表面積の算出結果（細骨材容積 1m³ あたり）

		陸砂の粒形を考慮した粒径 R×a(陸砂) (mm)	陸砂の付着率Fを考慮した表面積 (m²/m³) 標準	細	中	粗	山砂の粒形を考慮した粒径 R×a(山砂) (mm)	山砂の付着率Fを考慮した表面積 (m²/m³) 標準	中	砕砂の粒形を考慮した粒径 R×a(砕砂) (mm)	砕砂の付着率Fを考慮した表面積 (m²/m³) 標準	中
粒形 (mm)	5～10	7.80	75	0	43	87	9.45	19	64	9.00	0	57
	2.5～5	3.90	196	0	87	173	4.73	338	127	4.50	312	113
	1.2～2.5	1.92	336	351	701	1052	2.33	687	1030	2.22	1259	906
	0.6～1.2	0.94	936	1800	1800	1800	1.13	2572	2646	1.08	2523	2255
	0.3～0.6	0.47	3213	4316	3165	2158	0.57	5191	4763	0.54	2916	3827
	0.15～0.3	0.234	8969	7175	4879	2296	0.284	6314	6985	0.270	2886	4274
	0.15以下	0.078	3461	8653	5192	1731	0.095	8090	7620	0.090	4477	9792
付着微粒分		0.0039	407	404	316	224	0.0047	4352	4381	0.0045	15305	17682
面積総和		－	17593	22699	16183	9520	－	27564	27616	－	29678	38906



図－6　細骨材の粒形および付着微粒分を考慮した表面積と拘束水比の関係

束水比をおおよそ評価することができることを示すものと考えられる。

図－6 中に示す近似直線の決定係数 R^2 は 0.9533 であり，高い相関が得られた。このことは，細骨材は種類によらず，その表面に一定の厚さの水膜を拘束していることを示すものと考えられる。

水膜の厚さは，近似直線の傾きから 7.4μm と推定される。一般に，硬化体中の骨材周りに存在する遷移帯の厚さは，10～30μm 程度と考えられており [6]，細骨材の表面に拘束される水膜厚さは遷移帯の厚さに近しいものと推測される。骨材周りに拘束された水膜が，遷移帯の形成の一因となることも考えられる。

以上より，拘束する水膜厚さが一定であると考えた場合，細骨材の粒度分布，粒形および付着微粒分量を考慮して表面積を求めれば，細骨材の拘束水比が推定できると考えられる。その拘束水比に細骨材の容積を乗じることで，細骨材が拘束する水量が求められる。

今回の検討では限られた細骨材での実験であったため，今後は，本研究での評価方法の妥当性について，様々な細骨材を用いて検証していく予定である。

4. まとめ

以下に，本研究で得られた主な結果をまとめて本論文の結論とする。

(1) 細骨材の実積率および粒径判定実積率では，拘束水比を評価するのは困難である。

(2) 破砕等を行わない天然砂で，粒形が丸みを帯びている場合，粒子を球体と仮定して，粒度分布から表面積を求めることで，拘束水比を評価できる。

(3) 破砕等を行わない天然砂で，粒形が比較的角張っている場合，粒形を考慮した表面積を求めることで，拘束水比を評価できる。

(4) 砕砂などの表面に微粒分が付着している場合，それらの量を考慮して表面積を算出することで，拘束水比を評価できる。

(5) 細骨材の種類によらず，粒度分布，粒形および付着微粒分量を考慮した表面積と拘束水比とは高い相関があり，細骨材はその表面に一定の厚さの水膜を拘束できると考えられる。

参考文献

1) 桜井邦昭，丸山久一，近松竜一：セメントの凝集や細骨材による拘束水量を考慮したブリーディングの予測モデル，土木学会論文集 E2，Vol.69，No.3，pp.295-308，2013

2) 桜井邦昭：材料分離抵抗性と流動性を適切に考慮できるコンクリートの配合設計法の開発，長岡技術科学大学博士論文，2014.3

3) 枝松良展，山口昇三，岡村甫：モルタルフローにおける粉体と細骨材の役割と境界，土木学会論文集，No.571，V-36，pp.131-147，1997

4) 枝松良展，山口昇三，岡村甫：モルタルの変形性を表す細骨材の材料特性の定量化，土木学会論文集，No.538，V-31，pp.37-46，1996

5) 吉村優治，小川正二：砂のような粒状体の粒子形状の簡易な定量化法，土木学会論文集，No.463，Ⅲ-22，pp.95-103，1993

6) 加藤佳孝，魚本健人：細骨材の量と比表面積が遷移帯形成に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.20，No.2，pp.775-780，1998