

論文 細骨材の砂当量試験方法の試験条件に関する実験的検討

辻本 一志*¹・伊藤 康司*²・山之内 康一郎*¹・辻 幸和*³

要旨：細骨材に含まれる粘土等の超微粒子の量を迅速に求める試験方法として、JIS A 1801 が規格化されている。しかし、現行の規格では、砂当量の限度値が定められていないため、細骨材の品質管理試験方法としての活用範囲が限られている。そこで、当該試験への限度値の導入について実験的に検討を行った。また、当該試験に用いるホルムアルデヒド液は発がん性物質に指定されているため、その使用廃止を目指して検討を行った。実験の結果、砂当量が 65%を下回る細骨材については、乾燥収縮ひずみが大きくなる傾向があること、ホルムアルデヒド液の有無は砂当量の試験値にほとんど影響を及ぼさないことが明らかになった。

キーワード：砂当量，微粒分量，乾燥収縮ひずみ，ホルムアルデヒド，限度値

1. まえがき

骨材に粘土質が多量に含まれると単位水量が増加し、乾燥収縮が多くなる。この粘土質等の超微粒子の量を定量化するための試験方法として、JIS A 1801（コンクリート用細骨材の砂当量試験方法）が規格化されている。しかし、現行の規格においては、砂当量の限度値が定められていないため、当該試験の結果から細骨材の良否を判定することはできない。

本研究では、コンクリートの品質確保を目的として、細骨材の砂当量とモルタルの乾燥収縮ひずみや圧縮強さとの関係から、細骨材の良否を判定するための限度値の導入について検討した結果を報告する。

また、現行の JIS A 1801 では、試験溶液の腐敗を防止することを目的として、試験用溶液にホルムアルデヒド液を混合することになっているが、この試薬は発がん性物質に指定されており、環境負荷や人体への悪影響が危惧されるため、その使用を除外した規格が必要になっている。

本研究では、ホルムアルデヒド液の有無が砂当量の試験結果に与える影響を調査し、JIS A 1801 に用いる試験用溶液の作製からホルムアルデヒド液の使用を廃止することについて検討を行った結果についても報告する。

2. 砂当量試験への限度値の導入に関する検討

2.1 実験概要

全国各地の生コンクリート工場で使用されている細骨材を 54 種類収集し、JIS A 1801 によって求めた砂当量とモルタルの乾燥収縮ひずみとの関係を求めた。またこの実験では、表面乾燥飽水状態（以降、表乾と表記する。）に調整した細骨材を用い、練混ぜ水量を一定としたモルタルのフロー値と砂当量や乾燥収縮ひずみとの関係についても、併せて情報を収集した。

2.2 使用材料

実験には、生コンクリート工場で実際に使用されている細骨材 54 種類（山・陸砂 13 種、川砂 6 種、海砂 7 種、砕砂 28 種）及び比較用としてセメントの強さ試験に用いる標準砂の計 55 種類を用いた。これら細骨材の代表的な物性を表-1 に示す。また、セメントは普通ポルトランドセメント（密度 3.15g/cm³，比表面積 3,330cm²/g）を用いた。

2.3 試験方法

(1) 砂当量

細骨材の砂当量は、JIS A 1801：1989（コンクリート用細骨材の砂当量試験方法）に従って求めた。なお、試験は温度 20±3℃の試験室で実施した。

(2) 乾燥収縮試験

モルタルの練混ぜ及び成形は、JIS A 1146（骨材のアルカリシリカ反応性試験方法（モルタルバー法））7.（供試体（モルタルバー）の作り方に）従って行った。なお、モルタルの配合は、細骨材の種類にかかわらず、JIS R 5201（セメントの物理試験方法）10.（強さ試験）に準拠し、練混ぜ水 225g，セメント 450g，細骨材（表乾）1,350g とした。

供試体は型枠から取り外すまで、温度 20±3℃の室内で乾燥しないように養生し、成形後 24 時間で脱型して、温度 20±2℃の水中で材齢 7 日になるまで養生を行った。

モルタルの乾燥収縮ひずみの測定は、JIS A 1129-3：2001（モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法—第 3 部：ダイヤルゲージ方法）に従い、標準水中養生終了直後に供試体の基長及び質量を測定した。その後、供試体を室温 20±3℃，相対湿度 60±5%の室内に保管し、基長測定より材齢 1，2，3，4，8，13，26 週において、長さ変化及び質量を測定した。

*1 全国生コンクリート工業組合連合会 中央技術研究所（正会員）

*2 全国生コンクリート工業組合連合会 技術部（正会員）

*3 群馬大学大学院 工学研究科 社会環境デザイン工学専攻 教授 工博（正会員）

(3) モルタルのフロー及び強さ試験

モルタルのフローは、JIS R 5201 11. (フロー試験)に従って測定した。また、圧縮強さ試験は、JIS R 5201 10. (強さ試験)に従い、材齢 28 日で行った。

2.4 実験結果

(1) 砂当量とモルタルの乾燥収縮ひずみとの関係

細骨材の砂当量試験結果は、表-1 に示すように、全体としては 43~100%、骨材の種類毎に整理すると、天然骨材(川砂, 山砂, 海砂)が 508~100%, 砕砂が 43~96%であった。また、図-1 は砂当量の分布を示すものであるが、骨材の種類にかかわらずほとんどの細骨材が砂当量 70%以上であった。

モルタルの乾燥収縮ひずみは、表-1 に併記したように、全体としては 736~1633 μ , 平均で 1217 μ であった。これを天然骨材(川砂, 山砂, 海砂)と砕砂に分けて整理すると、天然骨材が 869~1593 μ , 平均で 1264 μ , 砕砂が 736~1633 μ , 平均で 1172 μ となり、平均値では砕砂の方が 100 μ 程度小さな値を示した。

図-2 は、表-1 のデータを基に細骨材の砂当量と乾燥収縮ひずみとの関係を求めたものである。なお、図-2 には、別途行った実験¹⁾の結果を併記している。この実験¹⁾では、モンモリロナイト(密度: 2.57g/cm³, 比表面積: 8,440cm²/g)及びカオリナイト(密度: 2.53g/cm³, 比表面積: 9,360cm²/g)を主成分とする粘土を細骨材(川砂)の質量に対して、それぞれ 5, 10 及び 15%混合した場合の砂当量と乾燥収縮ひずみとの関係を求めている。

図-2 において、両者には明確な関係は認められないが、砂当量が 65%を下回るものについては、乾燥収縮ひずみが全体の平均(1217 μ)よりも大きく、その範囲は 1323~1590 μ , 平均が 1454 μ となっている。

また、図-3 及び図-4 は、図-2 の関係を細骨材の種類ごとに整理したものである。図-3 は川砂と山砂に、図-4 は砕砂を砂岩と石灰岩に分けて整理したものであるが、この場合も両者には明確な関係が認められなかった。これは、砂当量試験の結果に大きな影響を及ぼすと言われている²⁾粒径 5 μ m 以下の微細物質が粘土質に限定されず、細骨材ごとにその成分が異なっているためと思われる。これらに対して、図-2 中に示した既往の実験結果¹⁾においては、粘土の含有量が多いほどモルタルの乾燥収縮ひずみが直線的に増加する傾向が認められている。

以上の結果より、現時点においてはモルタルの乾燥収縮ひずみをパラメータとして、砂当量の限度値を定めることは困難と考えられる。しかしながら、砂当量が 65%を下回るすべての細骨材で乾燥収縮ひずみが全体の平均値を超えていることから、砂当量は骨材の物性が乾燥収縮ひずみに与える影響を判断する上で、一つの指標に

表-1 細骨材の物性及び砂当量試験結果

試料 No.	細骨材の種類	表乾密度 (g/cm ³)	微粒分量 (%)	吸水率 (%)	砂当量 (%)	乾燥収縮ひずみ(μ) (26 週)	フロー
0	標準砂	—	—	—	100	948	191
1	砕砂	2.65	5.6	1.74	85	876	191
2	陸砂	2.60	0.7	2.29	87	1213	174
3	砕砂	2.66	2.4	1.27	92	879	169
4	山砂	2.62	0.7	2.50	76	1096	162
5	砕砂	2.63	3.2	1.47	75	1198	—
6	山砂	2.59	0.1	2.18	88	1186	—
7	砕砂	2.64	3.8	2.77	68	1255	169
8	川砂	2.62	0.8	1.33	98	1279	166
9	砕砂	2.67	5.5	0.97	84	798	—
10	川砂	2.63	2.3	1.07	87	972	—
11	砕砂	2.54	1.7	1.96	94	1278	145
12	陸砂	2.58	1.1	2.10	80	1332	152
13	砕砂	2.66	3.1	1.23	89	1302	133
14	陸砂	2.62	1.9	1.98	85	1377	153
15	砕砂	2.64	3.4	1.06	90	1579	149
16	山砂	2.56	2.9	2.13	80	1376	154
17	砕砂	2.48	1.9	2.57	92	1549	132
18	川砂	2.59	8.3	1.67	50	1494	160
19	砕砂	2.67	1.9	0.85	87	1297	129
20	山砂	2.57	1.4	1.82	90	1453	154
21	砕砂	2.68	5.9	0.68	92	1017	156
22	川砂	2.59	1.9	2.47	90	1385	160
23	砕砂	2.67	6.0	0.81	85	1298	135
24	山砂	2.55	3.6	1.98	90	1274	121
25	砕砂	2.58	4.8	1.43	96	1205	153
26	山砂	2.59	1.8	1.37	94	1034	120
27	砕砂	2.55	10.9	2.80	57	1323	161
28	山砂	2.52	7.7	2.00	74	946	129
29	砕砂	2.69	3.7	0.98	82	805	203
30	海砂	2.55	1.5	1.86	93	869	118
31	砕砂	2.68	9.6	0.68	78	1183	196
32	海砂	2.65	4.4	1.54	82	1403	100
33	砕砂	2.65	6.2	1.45	85	1238	196
34	海砂	2.61	3.6	2.14	82	1555	141
35	砕砂	2.62	4.6	2.57	46	1326	148
36	砕砂	2.62	4.4	2.41	75	845	207
37	砕砂	2.70	3.1	1.13	92	1014	—
38	山砂	2.62	0.5	1.92	91	1373	100
39	砕砂	2.71	2.4	1.06	89	1265	145
40	陸砂	2.53	1.6	3.02	96	1123	100
41	砕砂	2.56	13.1	2.26	43	1539	154
42	川砂	2.65	6.7	1.38	79	1525	124
43	砕砂	2.67	4.0	0.77	91	736	189
44	川砂	2.64	3.0	1.15	93	990	176
45	砕砂	—	—	—	87	1633	147
46	山砂	—	—	—	60	1590	100
47	砕砂	2.59	5.4	1.76	74	988	—
48	海砂	2.58	2.1	1.85	88	1006	—
49	砕砂	2.66	9.2	1.13	81	883	177
50	海砂	2.58	1.6	2.17	88	1469	100
51	海砂	2.68	5.0	—	89	1593	100
52	砕砂	2.68	9.6	—	74	1320	171
53	海砂	2.59	2.3	—	88	1267	122
54	砕砂	3.00	2.5	—	86	1174	191

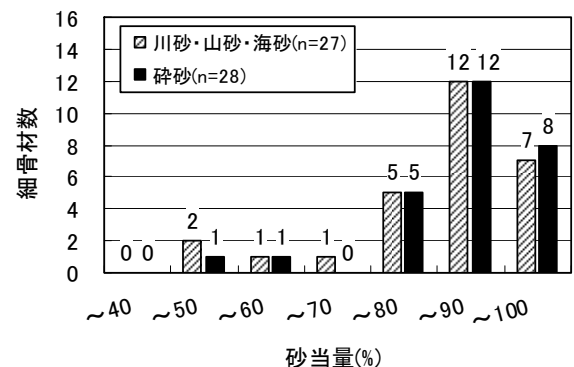


図-1 砂当量の分布

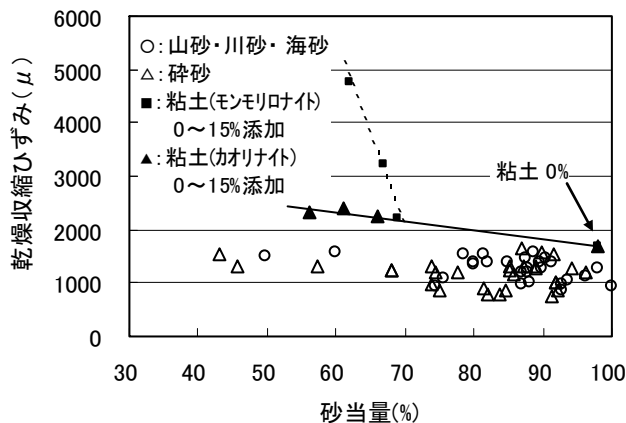


図-2 砂当量とモルタルの乾燥収縮ひずみとの関係

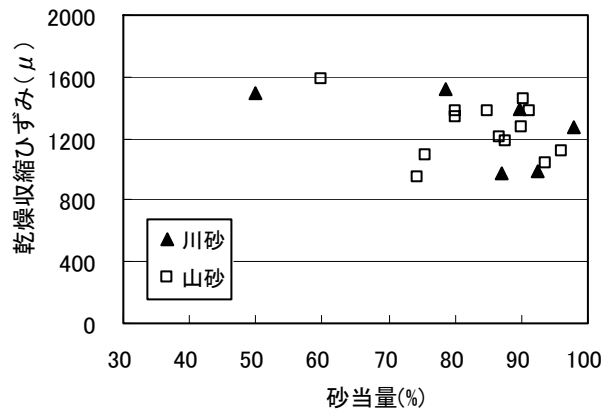


図-3 砂当量とモルタルの乾燥収縮ひずみとの関係(天然骨材)

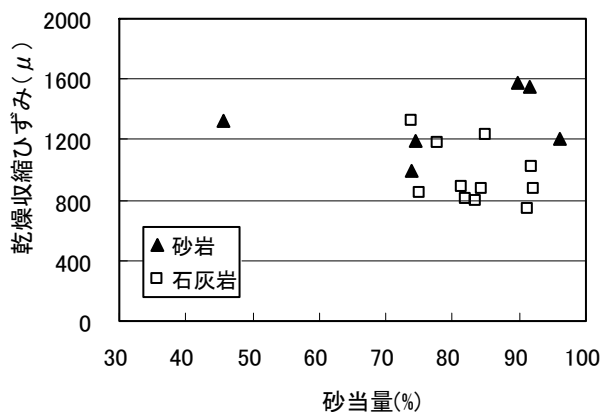


図-4 砂当量とモルタルの乾燥収縮ひずみとの関係(砕砂)

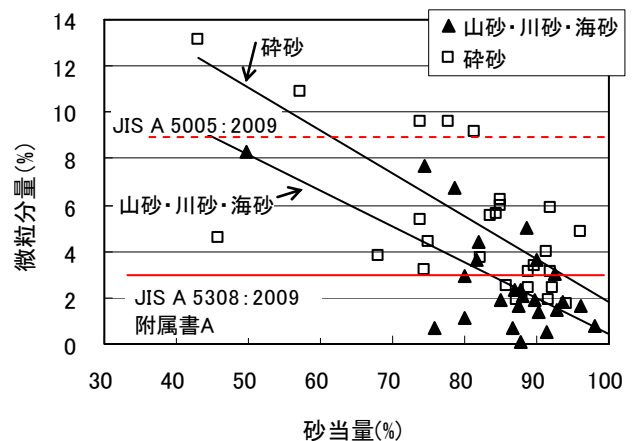


図-5 砂当量と微粒分量との関係

はなると考えられる。

(2) 砂当量と微粒分量との関係

JIS A 1801 : 1989 において、同一種類の細骨材の場合には砂当量の試験値は微粒分量と相関があるとされていることから、本実験においても砂当量と微粒分量との関係を整理した。図-5 は、両者の関係を天然骨材(山砂, 川砂, 海砂)と砕砂とに分けて整理したものである。この図において、砂当量が小さいものは微粒分量試験の結果が大きくなる傾向となっているものの、ややばらつきが大きい。これは、実験に用いた細骨材の種類や産地が広範に及んでいるため、細骨材に含まれる微粒分の成分や粒径が異なっていること及び JIS A 1801 で求められる砂当量が、粘土質分をフロック化させて、その量を相対的に大きく表していることが要因として考えられる。

(3) 砂当量とモルタルのフロー及び圧縮強さとの関係

本実験においては、乾燥収縮ひずみの測定に供するモルタルの配合を、細骨材の種類にかかわらず一定としたため、細骨材の種類毎にモルタルのコンシステンシーが相違している。モルタルのコンシステンシーには、細骨

材中の微粒分量や粒径・粒度、さらにその成分が影響するため、モルタルのフロー値と微粒分量、砂当量、乾燥収縮ひずみとの関係を整理した。

図-6 には、細骨材の微粒分量とモルタルのフローとの関係を天然骨材(川砂, 山砂, 海砂)と砕砂に分けて示す。細骨材の種類によらず、両者には明確な関係が認められない。なお、図中のフロー値が 100 のデータは、落下運動によるモルタル径の広がりが生じなかったものであり、後述の図-7 及び図-8 も同様に示している。

図-7 は、砂当量とフローとの関係を示すものである。砂当量が同程度であっても、モルタルのフローは 120~210 程度の広範に分布しており、微粒分量との関係と同様に両者には相関性が認められない。

図-8 には、モルタルのフローとモルタル供試体の乾燥収縮ひずみとの関係を、天然骨材(川砂, 山砂, 海砂)と砕砂とに分けて示す。この図において、天然骨材(川砂, 山砂, 海砂)の場合、フローと乾燥収縮ひずみとの間には明確な関係が認められないが、砕砂についてはバラツキがあるものの、全体としてフローが大きい細骨材

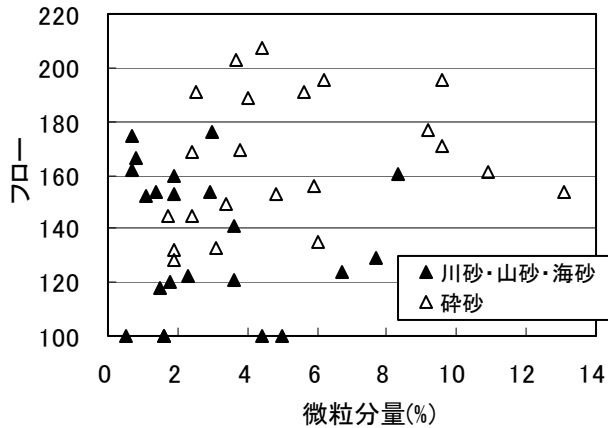


図-6 微粒分量とモルタルのフローとの関係

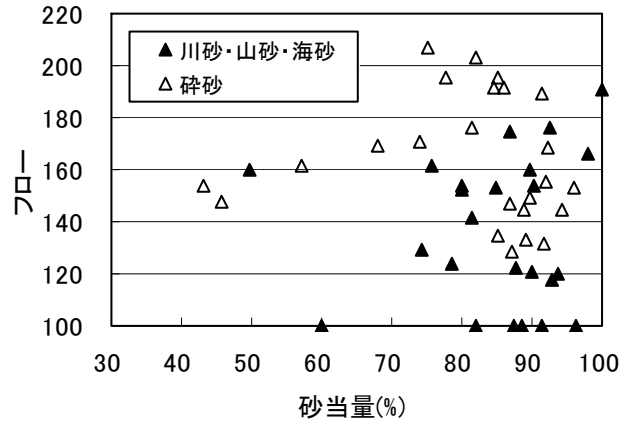


図-7 砂当量とモルタルのフローとの関係

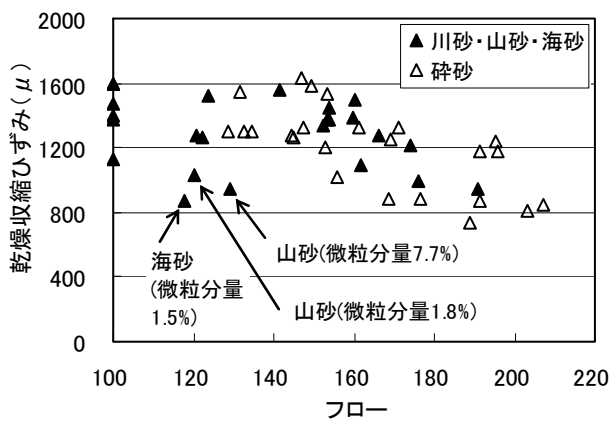


図-8 モルタルのフローと乾燥収縮ひずみとの関係

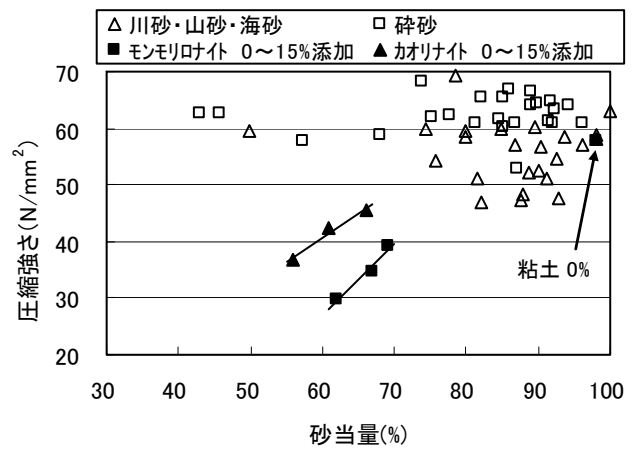


図-9 砂当量とモルタルの圧縮強さとの関係

の乾燥収縮ひずみが小さくなる傾向を示している。このような傾向を示した理由の一つとしては、フローが比較的大きい値を示した細骨材に、粒形が比較的に丸い石灰石砕砂が多かったことが考えられる。

図-9 は、砂当量とモルタルの圧縮強さとの関係を細骨材の種類毎に示したものであるが、両者には明確な関係は認められなかった。なお、図中に併記した結果¹⁾は、粘土を5、10及び15%添加した場合の砂当量と圧縮強さとの関係を示したものである。このように超微粒子の主成分が粘土である場合には、その含有量の増加に伴って、圧縮強さが低下する傾向が認められている。

3. ホルムアルデヒド液の有無が砂当量試験の結果に与える影響

3.1 実験概要

現行の JIS A 1801 では、試験溶液の腐敗防止を目的に、試験溶液にホルムアルデヒド液を混合することになっている。この薬品の使用にあたっては、環境負荷や人体への悪影響が危惧されている。そこで、JIS A 1801 に従ってホルムアルデヒド液を混合した試験用溶液とこれ

を混合しない試験用溶液による試験結果とを比較し、ホルムアルデヒド液の使用廃止の可能性について検討を行った。また、ホルムアルデヒド液を用いない場合の試験用溶液の保存期間についても検討を行った。なお、JIS A 1801 では所定の薬品を用いて試験用溶液の原液を作製した後、これを希釈して試験用溶液とすることが規定されているので、実験は以下に示す二つのシリーズに分けて行った。

- ・シリーズ I : JIS A 1801 に従って作製した試験用溶液の原液とホルムアルデヒド液を混合しないで作製した原液の保存期間を変化させ、砂当量の試験結果を比較する。
- ・シリーズ II : JIS A 1801 に従って作製した試験用溶液(希釈液)とホルムアルデヒド液を混合しないで作製した試験用溶液(原液の希釈液)の保存期間を変化させ、砂当量の試験結果を比較する。

3.2 使用材料

実験に用いた細骨材は、JIS R 5201 に示される標準砂から 75 μm 未満の微粒分を除去し、これに表-2 に示す粘土を質量割合で 1, 3, 5wt% 添加したものを用了。

表-2 粘土(カオリナイト)の物性

白色度 (%)	水分 (%)	見掛密度 (g/mL)	45 μm 残査 (%)	pH
72.0 以上	1.5 以下	0.25~0.35	0.5 以下	4.5~5.5

※主成分：カオリナイト($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$)

3.3 試験方法

(1) 原液及び試験用溶液の作製

試験用溶液の原液は、JIS A 1801 の 4.1 試験用溶液の作り方に示される方法に従って作製した。すなわち、無水塩化カルシウム 120g をイオン交換水 500mL に溶解して室温まで冷却した後、グリセリン 540g を加えてかくはんする。つぎに、ホルムアルデヒド液 12.0mL を加え、再びかくはんして、試験用溶液の原液とした。なお、ホルムアルデヒド液を混合しない原液は、これを除いた薬品を同様の手順で、混合し作製した。

また、試験用溶液は、原液を十分にかくはん混合した後 120mL 分取し、これをイオン交換水で 5.0L に希釈して作製した。

(2) 原液及び試験用溶液の保存

原液の保存期間に関する実験は、原液を作製した当日、24 時間後 (1 日後) 及び 7 日、14 日、28 日、56 日後に原液を希釈し、試験用溶液を作製した。なお、原液は、温度 $20 \pm 3^\circ C$ 、相対湿度 $60 \pm 5\%$ の試験室において、写真-1 に示すように、遮光して保存した。

また、試験用溶液 (希釈液) の保存期間に関する実験は、原液を作製した翌日に希釈して試験用溶液を作製し、これを実験室 (室温 $15 \sim 25^\circ C$ 程度) で所定の材齢 (当日、24 時間後及び 7 日、14 日、28 日、56 日後) まで保存した後、試験に供した。なお、試験用液は、写真-2 に示すように、遮光せず、白色のポリ容器で保存した。

3.4 実験結果

(1) 原液の保管期間の影響

ホルムアルデヒド液を混合した試験用原液と混合していない原液の保存期間を最長 2 ヶ月間まで変化させ、砂当量の試験値を比較して、図-10~図-12 に示す。これらの図において、砂当量の試験値は、JIS A 1801 に従って、ホルムアルデヒド溶液を混合して作製した原液の場合、粘土を 1wt%混合したものが 82~84%、3wt%混合したものが 45~48%、5wt%混合したものが 38~41%であった。また、ホルムアルデヒド液を混合していない原液の場合は、1wt%添加したものが 82~84%、3wt%混合したものが 45~46%、5wt%が 36~42%となっており、両者の結果は細骨材中の粘土の量にかかわらず、保存期間 2 ヶ月まで同様の値であった。なお、粘土を添加していないものについては、保存期間にかかわらず、両者とも 100%であった。



写真-1 原液の保管状況 写真-2 試験用溶液の保管状況

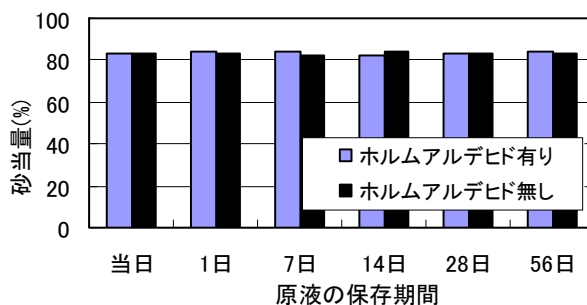


図-10 砂当量試験結果(原液, 粘土: 1wt%)

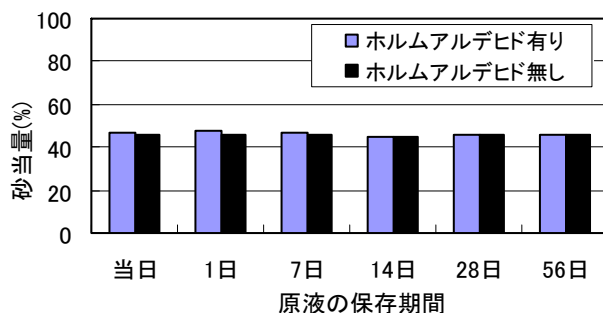


図-11 砂当量試験結果(原液, 粘土: 3wt%)

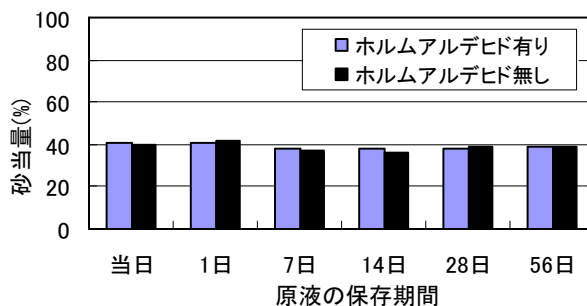


図-12 砂当量試験結果(原液, 粘土: 5wt%)

(2) 試験用溶液の保管期間の影響

ホルムアルデヒド液混合の原液から作製した試験用溶液と無混合の原液から作製した試験用溶液の保存期間を最長 2 ヶ月間まで変化させ、砂当量の試験値を比較し図-13~図-15 に示す。これらの図において、砂当量の試験値は、ホルムアルデヒド溶液を混合した原液から作製した試験用溶液を用いた場合、粘土を 1wt%混合したものが 82~84%、3wt%混合したものが 45~47%、5wt%

混合したものが38~41%であった。また、ホルムアルデヒド液が無混合の原液から作製した試験用溶液を用いた場合は、1wt%混合したものが82~85%、3wt%混合したものが45~47%、5wt%が38~39%となっている。なお、この実験においても粘土を添加していないものは、保存期間にかかわらず砂当量が100%であった。

これらのことより、ホルムアルデヒド液の有無は、前述の原液に関する実験結果と同様に、保存期間2ヶ月までは、砂当量の試験値にほとんど影響を及ぼさないとと思われる。

4. まとめ

JIS A 1801 への砂当量の限度値の導入及び試験用溶液の作製に用いられるホルムアルデヒド液の使用廃止について検討を行った。本実験で得られた成果を要約すれば、以下のとおりである。

- (1) 細骨材の砂当量とモルタル供試体の乾燥収縮ひずみには明確な関係が認められなかった。ただし、砂当量が65%を下回るものについては、乾燥収縮ひずみが全体の平均よりも100~300 μ 程度大きくなっていることから、砂当量は骨材の物性が乾燥収縮ひずみに与える影響を判断する上で、一つの指標になると考えられる。
- (2) 本実験の範囲では、細骨材の砂当量とモルタルの圧縮強との関係は明確でなかった。
- (3) ホルムアルデヒド液を用いないで作製した試験用原液及びこれを希釈して作製した試験用溶液を用いたいずれの場合においても、砂当量の試験結果はホルムアルデヒド液を混合した場合と同様の値となった。また、試験用溶液の保存期間については、2ヶ月までは試験値に与える影響が認められなかった。これらのことから、ホルムアルデヒド液を用いなくとも、JIS A 1801の実施には実用上問題ないと考えられる。

謝辞

本研究は、生産工程管理用試験方法 JIS 改正原案作成委員会（委員長 長瀧重義 愛知工業大学教授）の委員会活動の一環として実施したものである。有益なご教示を頂いた委員長、副委員長、委員各位に、厚くお礼を申し上げます。

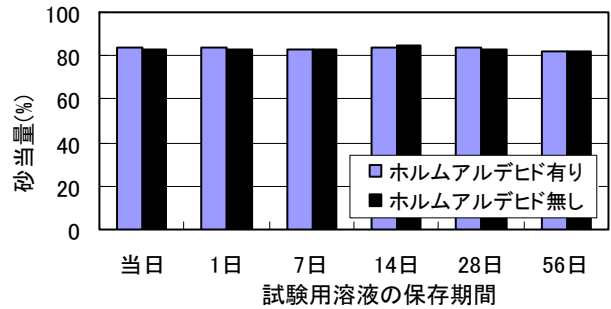


図-13 砂当量試験結果
(試験用溶液, 粘土:1wt%)

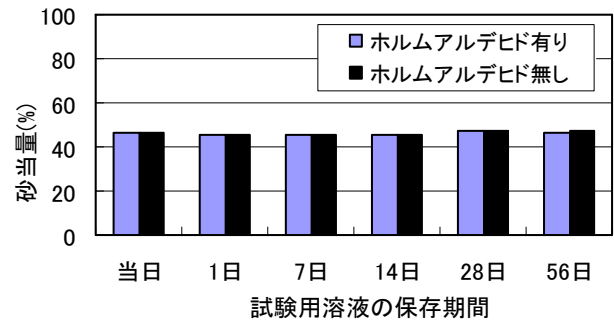


図-14 砂当量試験結果
(試験用溶液, 粘土:3wt%)

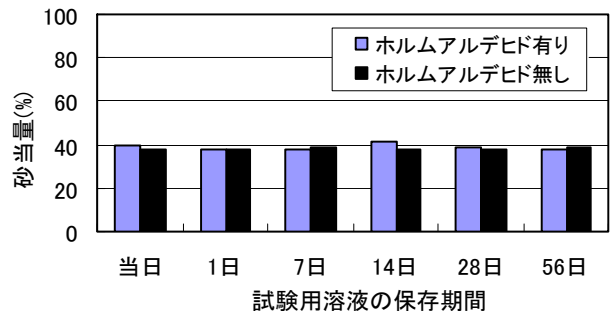


図-15 砂当量試験結果
(試験用溶液, 粘土:5wt%)

参考文献

- 1) 山之内 康一郎, 鈴木 一雄, 伊藤 康司, 辻本 一志: 砂当量試験方法に関する一検討, 骨材の品質と有効利用に関するシンポジウム 論文集, pp.125-130, 2005.12
- 2) 全国生コンクリート工業組合連合会: 細骨材の品質検査における SE 試験の活用, 1985.1