

論 文

[1165] プレキャスト用敷モルタル施工軟度試験方法及び調合に関する研究

正会員○梅津裕二（東京理科大学工学部）

正会員 清水昭之（東京理科大学工学部）

正会員 福士 勲（住宅・都市整備公団）

正会員 友沢史紀（東京大学工学部）

1. はじめに

壁式プレキャスト鉄筋コンクリート部材の水平接合に使用される敷モルタルは、強度とともにその施工性が重要な品質として要求されるものであり、部材間を圧密充填できるような適切な軟度が要求される。その軟度はフロー値で180 前後であるといわれている。モルタルに関してこのような軟度を判定する試験方法は定まっておらず、また現場で判定できる実用的な試験方法もほとんどない。JIS R5201（セメントの物理試験方法）にあるフロー試験方法は標準砂を用いたセメントの軟度試験用であり、現場試験方法としての適用には難がある。現場においてはほとんどが経験と勘によってモルタルの軟度を判定しているのが現状である。

一方、敷モルタルの調合方法は、セメントと細骨材を一定容積比として、水の量を調節することによって適切な軟度を得るのが一般的である。しかし、モルタルの軟度は調合・使用骨材の物性、特に骨材の粒度分布によって大きく異なる。特に最近の骨材事情や敷モルタル用の骨材であるという理由から粒度分布の偏った低品質骨材を使用する可能性も多分にあり、このような骨材の使用がモルタルの施工性や強度に大きな影響を与えることは必至である。

そこで本研究では、敷モルタルに使用している細骨材の物性の現状とその分布を調査した。さらに、モルタルの調合および細骨材の物性のうちの粗粒率がモルタルの施工性・圧縮強度に与える影響を実験により明らかにするとともに、敷モルタルの施工性を現場で簡易に判定できる試験方法として考案した「広がりフロー試験」の適用性を検討する。

2. 細骨材の物性

(1) 調査地域

細骨材は関東、中部、関西および九州の4地域、合計44のプレキャスト鉄筋コンクリート建設現場から収集し、試験の試料とした。

(2) 試験項目・方法

物性試験は単位容積重量及び実積率試験（JIS A1104）、比重および吸水率試験（JIS A1109）、ふるい分け試験（JIS A1102）、洗い試験（JIS A1103）についてそれぞれの試験に対応するJISに定められた方法により行った。

(3) 結果

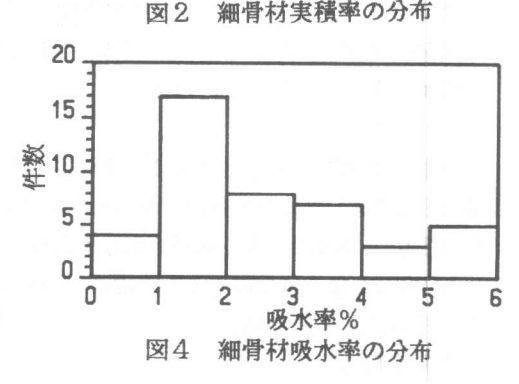
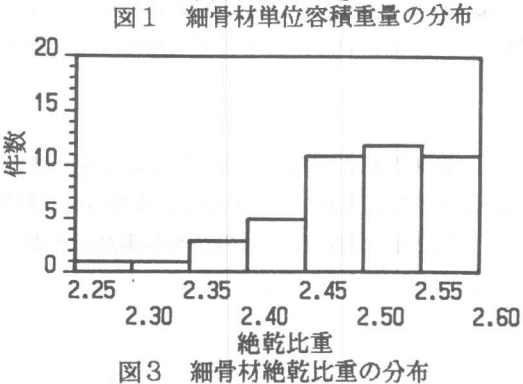
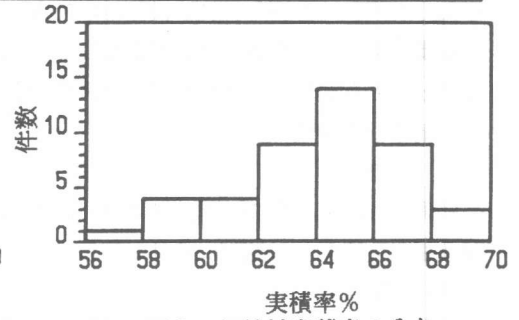
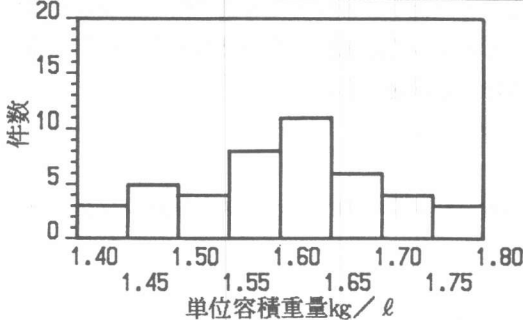
細骨材の種類、採取地および試験結果を表1に、各物性値の分布を図1～図6に示す。絶乾比重は2.5未満のものが半数近くを占めている。吸水率は4%以上のものが20%近くあった。粗粒率は2.0～3.3の間に約85%が分布しており、2.2～2.6の間に分布するものが最も多かったが、1.6未満のかなり細粒のものも実際に使われている。

3. モルタルの調合実験

(1) 実験方法

表1 細骨材種類・物性試験結果

細骨材 番号	地域	種類	採取地	単位容積 重量 kg/㎡	実積率 %	絶乾 比重	吸水率 %	粒度分布 (通過率%)							粗粒率 %	洗い損 失量 %
								5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15			
1	九州	川砂	福岡県 A	1.56	64.4	2.42	4.28	99	93	78	47	15	3	2.65	0.6	
2			福岡県 B	1.56	62.0	2.51	1.45	100	97	86	65	40	3	2.08	3.0	
3		海砂	福岡県 C	1.63	65.2	2.51	1.13	100	87	77	57	24	3	2.52	0.3	
4			福岡県 D	1.61	63.2	2.54	0.81	100	98	78	35	11	1	2.77	0.5	
5	関西	川砂	大阪府	1.66	65.8	2.52	1.63	99	89	74	55	32	5	2.46	1.1	
6			滋賀県	1.50	60.7	2.47	3.07	100	93	65	40	18	5	2.78	3.4	
7		山砂	京都府	1.54	62.2	2.47	2.61	99	87	72	48	17	4	2.74	2.4	
8	中部	川砂	愛知県 A	1.48	58.8	2.52	1.98	100	93	77	55	23	5	2.47	2.4	
9			三重県 A	1.71	67.2	2.54	1.71	99	82	62	44	20	7	2.87	2.2	
10			三重県 B	1.72	67.9	2.53	1.63	100	85	55	31	14	4	3.12	1.1	
11			岐阜県	1.70	68.3	2.48	2.44	100	84	55	32	16	6	3.07	2.0	
12			静岡県 A	1.66	65.8	2.53	1.96	100	91	63	35	15	5	2.91	1.8	
13			静岡県 B	1.70	65.8	2.59	1.07	99	85	62	46	26	6	2.76	2.0	
14			静岡県 C	1.75	67.7	2.59	1.13	100	88	64	40	19	6	2.82	2.7	
15			静岡県 D	1.68	65.6	2.57	2.02	100	88	62	35	21	6	2.88	2.6	
16			長野県	1.68	65.5	2.56	1.34	100	91	76	55	26	9	2.42	2.0	
17		山砂	山梨県 A	1.76	68.7	2.56	1.96	99	87	64	40	18	6	2.86	1.0	
18			愛知県 B	1.62	65.8	2.46	2.71	98	76	57	38	17	5	3.09	1.3	
19		川砂	東京都 A	1.45	59.0	2.45	3.05	100	100	99	94	58	6	1.42	1.3	
20			神奈川県 A	1.62	66.4	2.43	4.34	99	94	82	67	37	5	2.16	0.6	
21			神奈川県 B	1.72	67.1	2.57	1.79	99	87	73	53	29	9	2.50	2.1	
22			神奈川県・千葉県	1.63	66.9	2.43	3.48	99	88	77	63	34	5	2.34	1.4	
23			千葉県 A	1.47	62.3	2.36	5.37	100	98	94	84	50	5	1.69	1.6	
24			千葉県 B	1.59	65.7	2.43	3.95	99	92	77	58	31	4	2.40	1.5	
25			埼玉県 A	1.67	65.1	2.56	2.23	100	88	65	42	21	5	2.79	1.6	
26			埼玉県 B	1.60	61.8	2.58	0.97	98	95	88	70	27	4	2.19	0.5	
27			茨城県 A	1.60	64.0	2.50	2.52	100	90	77	60	27	5	2.42	1.7	
28			茨城県 B	1.51	59.8	2.53	1.69	100	99	96	83	28	3	1.91	0.6	
29			茨城県 C	1.63	63.7	2.56	1.32	100	94	83	59	23	5	2.37	0.5	
30			茨城県 D	1.59	62.4	2.55	1.40	100	95	87	69	22	4	2.23	0.6	
31	関東	川砂	栃木県 A	1.57	64.1	2.45	3.05	100	86	65	41	14	2	2.93	1.1	
32			栃木県 B	1.44	57.5	2.50	1.96	100	100	98	91	52	5	1.54	1.3	
33			群馬県 A	1.58	61.0	2.59	0.79	100	94	85	68	28	5	2.19	4.9	
34			東京都 B	1.55	62.5	2.48	2.44	100	93	83	63	24	4	2.34	0.9	
35			神奈川県 C	1.63	65.9	2.48	2.35	100	98	81	56	32	12	2.21	1.9	
36			千葉県 D	1.49	60.0	2.49	5.89	98	95	85	62	30	3	2.27	1.0	
37			千葉県 E	1.65	66.7	2.47	3.39	97	89	79	67	40	5	2.24	2.1	
38			千葉県 F	1.50	63.4	2.37	4.52	99	95	86	66	33	4	2.17	3.0	
39		山砂	千葉県 G	1.61	67.5	2.39	5.33	99	91	76	59	32	3	2.38	1.3	
40			千葉県 H	1.55	61.1	2.54	1.79	100	99	97	84	26	2	1.91	0.1	
41			千葉県 I	1.50	64.5	2.33	5.42	99	96	83	60	26	3	2.33	1.0	
42			千葉県 J	1.40	62.9	2.23	5.29	100	96	88	69	36	8	2.04	0.8	
43			千葉県 K	1.61	66.4	2.42	3.52	97	89	79	66	33	4	2.32	0.9	
44		陸砂	茨城県 E	1.77	68.4	2.59	0.73	96	83	70	58	37	6	2.49	0.5	



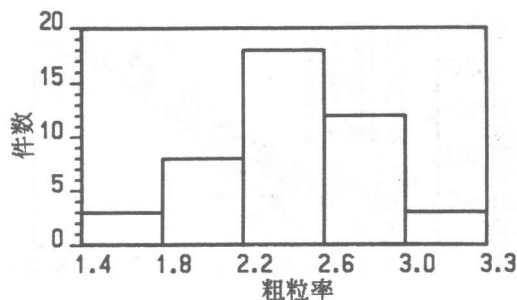


図5 細骨材粗粒率の分布

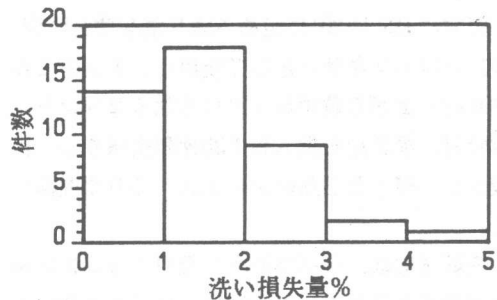


図6 細骨材洗い損失量の分布

モルタルの調合に使用した材料は普通ポルトランドセメント（比重3.16、3社混合）、混和剤（S社メチルセルローズ、使用量Cの0.175%）、細骨材は表2に示す、粗粒率1.6、2.0、2.4、2.8および3.3に粒度調整した大井川産を使用した。

モルタルの調合条件は表3に示す粗粒率、S/C（砂セメント比）、フロー値の組合せにより45種とし、目標フロー値が160、180、200の3種類、すべて±5となるよう水量で調整した。各材単位量（空気量は除いた）を表3に示す。

表2 細骨材

粗粒率	ふるい通過率 %						表乾比重	吸水率%
	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15		
1.6	100	100	100	78	49	13	2.60	2.41
2.0	100	100	95	68	30	7	2.60	1.61
2.4	100	96	84	52	23	5	2.60	1.67
2.8	100	89	66	39	20	5	2.60	1.61
3.3	100	81	52	25	10	2	2.59	1.63

表3 モルタルの調合条件・調合単位量・実験結果

モルタル 番号	調合条件					単位量 (kg / m³)			W/C %	フロー値	広がり フロー値 mm	圧縮強度 kg f / cm²			
	粗粒 率	S/C	目標 フロー値	混和 剤	養生	セメント	砂	水				5φ × 10cm		4 × 4 × × 16cm	
												一週	四週	一週	四週
11	1.6	2.0	160			634	1269	300	47	160	182	220	309	332	
12			180	615	1231	321	52	184	216	187	236	310			
13			200	598	1196	340	57	198	243	97	148	190			
14		2.5	160	546	1366	289	53	162	183	166	230	265			
15			180	530	1326	310	58	179	204	128	161	246			
16			200	515	1288	330	64	200	229	92	124	200			
17		3.0	160	472	1415	294	62	161	192	130	182	226			
18			180	468	1405	299	64	169	199	108	145	205			
19			200	451	1354	324	72	195	226	73	103	163			
21	2.0	2.0	160	644	1287	293	46	165	182	238	363	389			
22			180	625	1251	313	50	186	215	137	234	304			
23			200	612	1223	329	54	202	242	99	170	205			
24		2.5	160	554	1386	283	51	163	197	190	244	305			
25			180	540	1349	302	56	188	221	117	176	228			
26			200	527	1318	318	60	198	231	84	116	169			
27		3.0	160	487	1462	275	56	161	192	126	199	276			
28			180	471	1415	298	63	179	217	98	139	193			
29			200	460	1380	315	69	200	241	63	92	143			
31	2.4	2.0	160	660	1321	273	41	154	191	325	370	396			
32			180	629	1257	308	49	185	232	151	216	272			
33			200	610	1246	318	52	208	247	150	211	276			
34		2.5	160	567	1417	265	47	156	188	214	329	369			
35			180	547	1369	290	53	181	229	132	183	224			
36			200	535	1337	307	57	201	232	102	135	175			
37		3.0	160	493	1480	264	53	163	200	157	194	278			
38			180	481	1443	282	59	180	229	105	130	158			
39			200	476	1429	289	61	195	246	86	106	130			
41	2.8	2.0	160	669	1338	266	40	162	185	317	414	484			
42			180	657	1314	279	42	177	200	262	407	442			
43			200	631	1261	308	49	197	237	125	174	154			
44		2.5	160	570	1426	263	46	165	201	235	314	367			
45			180	561	1402	275	49	175	210	208	292	301			
46			200	548	1370	291	53	200	235	131	194	230			
47		3.0	160	504	1512	250	50	158	199	164	251	372			
48			180	491	1472	270	55	185	236	106	154	225			
49			200	480	1441	285	59	203	252	83	131	168			
51	3.3	2.0	160	675	1349	257	38	158	189	310	487	453			
52			180	659	1319	274	42	176	198	273	431	429			
53			200	638	1276	298	47	198	240	175	217	251			
54		2.5	160	581	1453	246	42	159	204	226	386	370			
55			180	572	1431	258	45	183	224	219	286	370			
56			200	561	1404	272	48	199	249	89	122	163			
57		3.0	160	512	1537	235	46	161	193	235	321	311			
58			180	501	1505	251	50	184	218	129	183	210			
59			200	491	1474	266	54	198	236	73	117	99			

混練にJIS R5201に定める練り混ぜ機と同型の10ℓ用をミキサーとして使用し、1回のモルタル練り上がり量が5ℓとなる量のセメント、細骨材、混和剤を投入して30秒間空練りし、目標フロー値となる量の水を加え、3分間混練した。

圧縮強度は、4週標準水中養生の5φ×10cmの円柱供試体によった。試験体数は1条件につき3本とし、比較のため、従来セメント強度用として使われている4×4×16cmによる圧縮強度試験（16cmの長さの試験体を3等分した3体を圧縮試験体とし、JIS R5201に規定される荷重用加圧板を用いて成形時の両側面を加圧する）も同時に行った。

(2) 実験結果

各モルタルのフロー値、圧縮強度を表3に示す。C/Wと四週圧縮強度の関係は図7に示すように、粗粒率ごとにほぼ直線関係にあるが、C/Wが1.4～2.4の範囲では粗粒率が小さいほど圧縮強度は大きい傾向を示す。その傾向はC/Wが小さくなるに従い顕著である。

フロー値と四週圧縮強度の関係を図8～図10に示す。S/Cが同じ場合、同一フロー値では粗粒率が大きいほど強度が大きい。全体としてS/Cが小さいほど強度は大きくなる傾向にある。従って、モルタルのフロー値が同じであっても細骨材の粗粒率が小さいほど、またS/Cが大きいほど強度は小さくなる。

単位水量とフロー値の関係をS/Cごとに図11～13に示す。同じS/C、単位水量では粗粒率の大きい方が、また同一粗粒率ではS/Cが大きいほどフロー値は大きい。

5φ×10cmの円柱試験体と4×4×16cm試験体の四週圧縮強度の関係は図14に示すように4×4×16cm試験体のほうが5φ×10cmの円柱試験体に対し、0～20%程大きな値を示している。

なお、混和剤の性能及び使用量による影響については検討していない。

4. 広がりフロー試験

(1) 試験器具

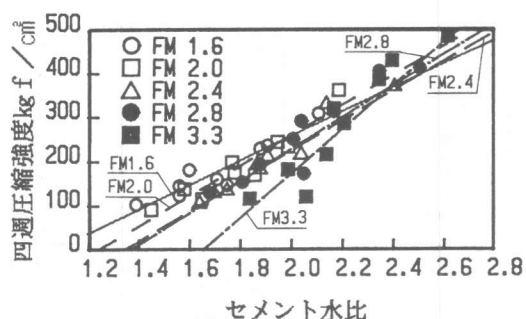


図7 セメント水比と四週圧縮強度

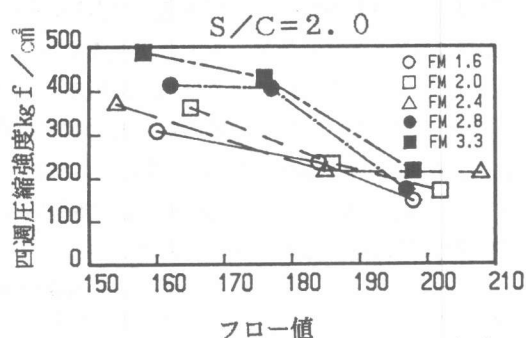


図8 フロー値と四週圧縮強度 (1)

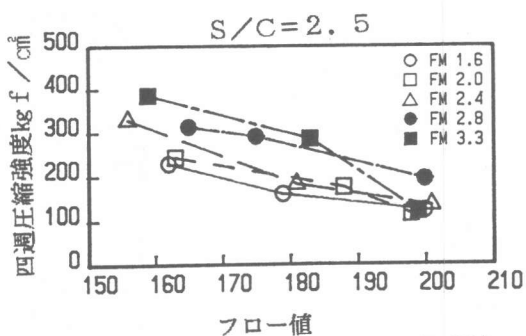


図9 フロー値と四週圧縮強度 (2)

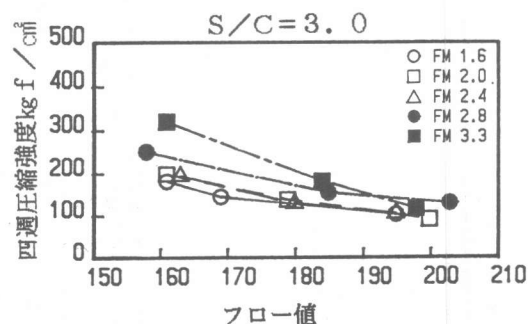


図10 フロー値と四週圧縮強度 (3)

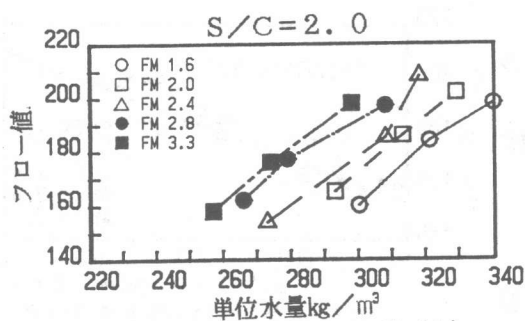


図11 単位水量とフロー値 (1)

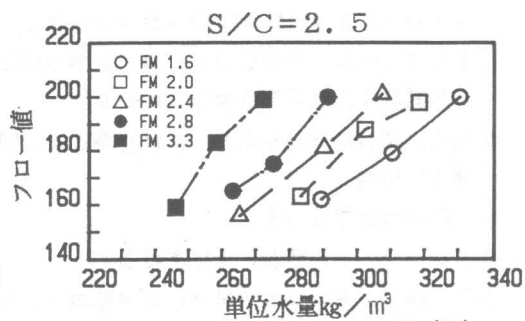


図12 単位水量とフロー値 (2)

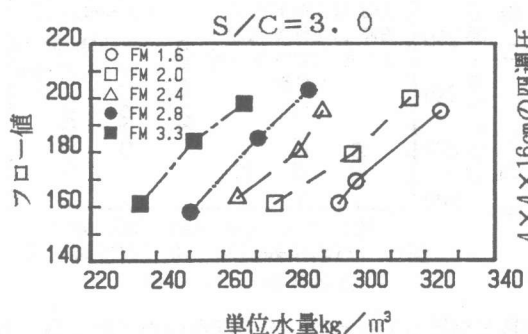


図13 単位水量とフロー値 (3)

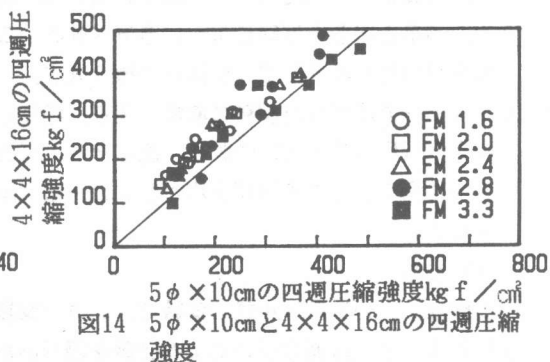


図14 5φ × 10cmと4 × 4 × 16cmの四週圧縮強度

現場でモルタルの軟度を簡易に測定できる方法を数種考案し、試したところ、図15に示す「広がりフロー試験」がJIS R5201に定めるフロー試験によるフロー値とよい相関のある試験方法であった。試験装置は市販の材料で現場において比較的簡単に作ることができるということを前提に考案したものである。器具は全体で以下の3つの部分から成る。①モルタル試料を入れる塩ビ管製のフローコーン、②試料を載せ台ごと落下させてモルタルの広がりを見る落下パネル、③落下床面の状態

による影響をなくすために、落下パネルの下に敷く台パネル。フローコーン用塩ビ管は呼び径100mmの硬質塩化ビニール薄肉管 (JIS K6741) を75mm高さに輪切りにしたものである。パネルはともに24mmの構造用合板1類のラワン合板を使う。落下パネルには左右に取っ手があり、また台パネルには落下パネルを持ち上げた時の高さが規定の10cmとなるように角材を取り付けてある。試験ではこの他ハングスコープ、コテ、突き棒、メジャーが必要である。

(2) 試験方法

- ①落下パネルの表面全体を水で一度濡らし、乾いたウエスでよく拭く。
- ②台パネル上に落下パネルを載せる。

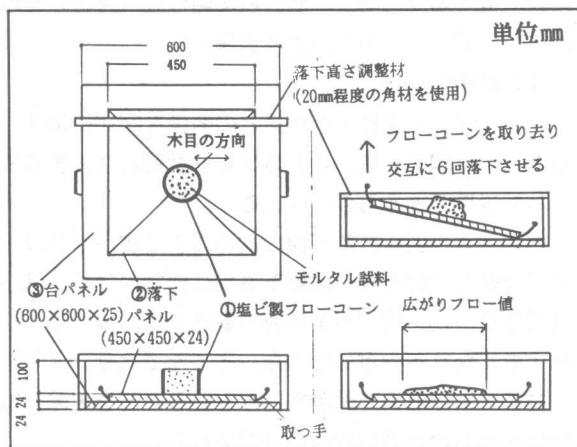


図15 広がりフロー試験

- ③落下パネル中央に塩ビフローコーンを置く。
- ④手でフローコーンをおさえ、コーン半分にモルタル試料を入れて突き棒で10回突く。
- ⑤残りの半分に試料を入れ、入れた高さまで突き棒で10回突く。
- ⑥表面をコテでならす。
- ⑦フローコーンを静かに上にあげる。
- ⑧3秒ほどでモルタルの動きが止まるので、片側の取っ手を持って台パネルの片側を持ち上げ、10cmの高さで一旦止めてから離す。次に反対側の取っ手を持ち上げ同じように落下させる。これを左右交互に3回ずつ合計6回繰り返す。
- ⑨メジャーで広がった試料の直径を測る。測り方は真横（取っ手方向）に測り、次にそれと直交方向に測る。その平均値を広がりフロー値（mm）とする。

(3) 実験

実験は3.のモルタル調合実験で、フロー試験と平行して行った。そのほか合板以外の表・裏面材および落下床面の違いによる影響を調べるため、表3の45番モルタルを使用し、表面に塩化ビニル板を貼った場合、裏面の両側に足（角材）を付けた場合、床面をコンクリート、砂、合板面にした場合についての比較実験を行った。

(4) 結果

広がりフロー値とフロー値との関係を図16に示す。広がりフロー値とフロー値は直線で回帰することが可能であり、JISフロー試験に対応するモルタルの施工性判定のための現場試験方法として適用できるものと考えられる。

落下パネル表面と落下面の違いによる広がりフロー値の実験結果を図17に示す。落下パネル裏面に角材を付けた場合は落下直後に振動が生じ、ばらつきが大きくなった。落下面が砂の場合も同様であった。落下パネル面が塩化ビニールの場合、広がり大きく、同一試料によるばらつきが大きくなり不安定になった。落下面ではコンクリートおよび合板の場合が安定している。以上の結果および現場で試験を行うということを考慮すると、パネル表面、裏面及び落下面はともに合板そのものが適当であると考えられる。

4. まとめ

- (1) 数モルタルに使用している細骨材の物性の現状を調べ、特に地域によっては粗粒率のきわめて小さな細骨材が使用されていることがわかった。
- (2) モルタルの施工性・圧縮強度は材料の調合比のみならず、細骨材の粗粒率によっても大きく影響を受けることがわかった。
- (3) 数モルタルの施工性を現場で簡易に判定できる試験方法として「広がりフロー試験」を考案し、その適用性を実験により確かめることができた。

なお、本研究は（社）プレハブ建築協会の委託によって行われた一連の研究である。本研究に御協力いただいた協会技術部各位に謝意を表します。

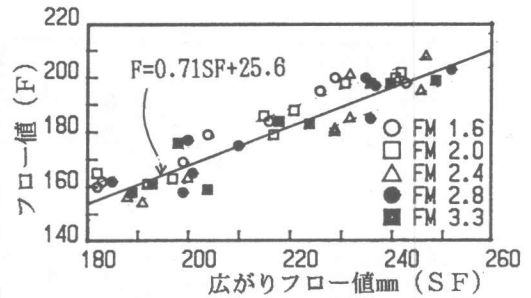


図16 広がりフロー値とフロー値

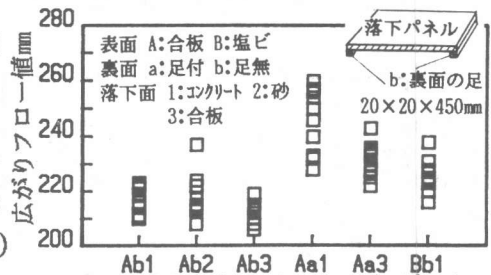


図17 パネル表裏面・落下面の違いによる広がりフロー値