

[39] 造殻混練 (Sand Enveloped with Cement) 方式による モルタルの流動性状に関する研究

正会員 伊 東 靖 郎 (リブコンエンジニアリング)
 正会員 辻 幸 和 (群馬大学 工学部)
 丸 嶋 紀 夫 (大成建設技術研究所)
 正会員 ○早 川 光 敬 (大成建設技術研究所)

1. まえがき

本研究は造殻混練 (以下SECと称す) 方式によるモルタルの流動性状を円筒型沈入試験装置によって測定したものである。フレッシュモルタルの流動性状を評価するための測定方法はこれまで種々のものが提案され、それぞれ目的に応じた特性値が用いられている。これらの方法のうち物体を流体中に貫入させ、その抵抗を測定する方法がある。本論文では重錘を加えて重量を変化させた円筒状の棒をモルタル中に鉛直方向に沈入させて求めた棒の重量と沈入深さとの関係より、その流動性を評価する方法を考案して用いた。一般に水のような流体では、そこに浮いている物体の重量は、流体中に入った物体の体積と流体の密度の積と等しくなるという、アルキメデスの原理が成り立つ。これに対し、セメントペースト、モルタルおよびコンクリートのような流体ではこの原理が成立しないので、逆に両者の差より流体の特性を表現することができると考えたのである。そして上記試験方法による結果を、流体がその中に保持しうる物体の密度とその流体の密度との差で表現することにした。この方法により、練り混ぜ方法、混和剤の種類とその添加方法を変えたセメントペースト、およびモルタルの試験を行ったところ、この測定値の経時変化によって、各要因の影響が評価できることがわかった。特に練り混ぜ方法よりSECモルタルと従来法のモルタルとで流動性状の経時変化に明瞭な相違のあることが明らかになった。

2. 円筒型沈入試験

本実験に用いた円筒型沈入試験装置は、一種のペネトロメーターであって、重錘を加えた円筒を流体内に沈入させ、その重量と沈入深さによって流動性を測るものである。既に類似の測定器具が数種類提案されており、その1つに左官用モルタルのプラスチックを測定しようとするMOP装置がある。これは直径が約9.5mmの容器中のモルタルに、直径5.5mmのプランジャーを侵入させて、重量と深さの関係を調べるものであって、モルタルを容器とプランジャー間のすきまに押し広げるのに要する力を測定するといった趣がある。またこの装置でプランジャーを一定速度で降下させて、その抵抗を測定する方法も行なわれている。逆に重量を一定にして降下速度を測定する方法も試みられている²⁾。さらにASTMの凝結時間試験や、ケリーボール等の試験方法もあるが、セメントの凝結試験方法や左官材料のJISに規定されているピカー針装置に取りつけた標準針による針入度を測定する方法が、本実験の方法に最も近い方法である。本実験では直径2cmの円筒棒 (アクリル製) を用意し、直径1.5cmの容器に深さが2.2cmになるように詰めたモルタル中に鉛直に静かに沈入させ、その時の円筒の重量と沈入深さを測定した。測定は1回ごとに棒を抜き、重錘の重量を増加させ、再び同じ位置に沈入させて繰り返し測定し、各々の深さにおけるアルキメデスの原理に

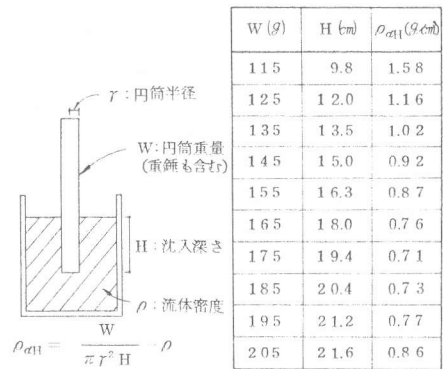


図-1 円筒型沈入試験の原理と測定例
 測定例($r=1cm$, $\rho=2.160 g/cm^3$, $S/C=3$, $W/C=69\%$, 混和剤A使用)

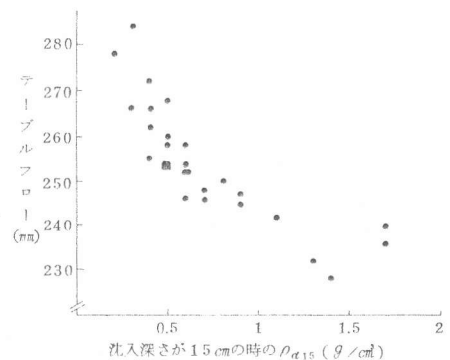


図-2 円筒型沈入試験とテーブルフローの関係

対する不釣り合い部分を密度の単位で計算し、図-1に示す沈入抵抗値 ρ_{RH} で表示することにした。装置は、この円筒が傾かないようにしたガイド部分と、沈入深さを読むための針と目盛りから成っている。一般に ρ_{RH} の値は沈入深さHによって変化し、深くなるほど減少するが、底面に近づくと増加する傾向を示す。沈入深さHが15cmの時の ρ_{a15} の値と、同じモルタルのテーブルフローの値を比較して図-2に示す。両者間にはよい相関があることがわかる。この円筒型沈入試験方法は容器に入ったままのモルタルの流動性を極めて簡便に測定することができるため、SEC方式の吹付コンクリート用モルタルの流動性の現場簡易チェック方法等に用いられている。

3. 実験計画

セメントは普通ポルトランドセメントを、細骨材は相模川産のもの（比重2.60，F.M.=2.80）を用いた。また混和剤はナフタリンスルホン酸ホルマリン高縮合物を主成分とする減水剤のA種と、リグニンスルホン酸塩系のAE減水剤のB種の2種類を用いた。

3.1 プレーンペースト

混和剤を用いないセメントペーストについてまず試験をした。水セメント比を40%、50%の2種とし、練り混ぜ方法は、あらかじめ水セメント比を24%で練り混ぜた後に所定の水セメント比とするDM法と、1回で練り上げる従来法の2種である。円筒型沈入試験を練り上がり直後、30分後、60分後および90分後に測定し、経時変化をみた。またブリージングは、土木学会の「ブリーパックドコンクリートの注入モルタルのブリージング率および膨張率試験方法」で用いられるビニル袋を使用して測定し、結果はブリージング水量の最大値をモルタル中の水量で除したブリージング率で表わした。

3.2 混和剤を用いたペースト

混和剤を添加したセメントペーストの水セメント比は、40%と50%の2種とした。練り混ぜ方法はDM法と従来法の2種であり、混和剤の添加方法としてはDM法の場合、1次水に混入、2次水に混入および後添加の3方法とし、従来法では同時添加と後添加の2方法とした。混和剤量は、減水剤Aの場合がセメント1kgに対して6cc、AE減水剤Bの場合が同じく2.5%溶液を10cc添加した。測定はプレーンの場合と同じである。

3.3 モルタル

混和剤を添加したモルタルについて試験をした。配合は、S/Cが2でW/Cが5.3%の場合と、S/Cが3で

表-1 ベースト実験結果

混和剤	W/C %	練り混ぜ 方 法	温 度 ℃	単位容積 重 量 kg/l	円筒型沈入試験			ブリー ジ ン グ 率 %		
					直 後	90分後	90分後			
					ρ_{a15}	ρ_{a15}	ρ_{a20}			
なし	40	従来法	25.5	1916	0.9	2.5	2.2	3.4		
		DM法	25.8	1931	0.7	7.2	6.4	0.6		
	50	従来法	23.0	1806	0.2	5.3	5.3	14.4		
		DM法	24.0	1823	0.1	3.6	4.0	1.3		
	A	40	従来同時	26.5	1878	0.5	3.6	4.9	5.2	
			従来後	25.0	1946	0.0	3.4	2.3	12.5	
DM1次			29.0	1916	0.5	9.1	8.0	0.0		
DM2次			26.5	1892	0.1	1.7	1.4	0.7		
DM後			26.5	1918	0.2	1.7	1.3	0.3		
DM後			24.5	1821	0.0	1.0	2.4	19.2		
50		従来同時	24.0	1825	0.0	0.4	9.0	26.7		
		従来後	24.0	1798	0.2	2.8	2.3	0.5		
		DM1次	24.0	1796	0.1	0.1	0.2	14.7		
		DM2次	24.8	1812	0.0	0.4	0.8	6.0		
		DM後	24.8	1812	0.0	0.4	0.8	6.0		
		DM後	24.8	1812	0.0	0.4	0.8	6.0		
B	40	従来同時	20.6	1881	0.4	1.3	2.0	3.9		
		従来後	20.6	1937	0.2	0.4	0.7	9.6		
		DM1次	21.2	1892	0.8	1.9	1.7	0.5		
		DM2次	20.5	1893	0.3	0.4	0.3	1.8		
		DM後	21.0	1942	0.2	0.4	0.4	1.6		
		DM後	21.0	1942	0.2	0.4	0.4	1.6		
	50	従来同時	22.0	1792	0.1	0.7	1.2	17.4		
		従来後	21.5	1819	0.0	0.3	0.4	24.2		
		DM1次	20.0	1796	0.3	0.6	0.8	0.9		
		DM2次	21.5	1780	0.0	0.2	0.2	6.1		
		DM後	21.5	1824	0.1	0.1	0.1	7.0		
		DM後	21.5	1824	0.1	0.1	0.1	7.0		

表-2 モルタル実験結果

混和剤	S/C	W/C %	練り混ぜ 方 法	温 度 ℃	単位容積 重 量 kg/l	テーブル フ ロー mm	円筒型沈入試験			ブリー ジ ン グ 率 %		
							直 後	90分後	90分後			
							ρ_{a15}	ρ_{a15}	ρ_{a20}			
A	2	53	従来同時	22.0	2182	254	0.5	2.8	3.0	3.9		
			従来後	21.3	2210	278	0.2	2.0	1.8	4.3		
			SEC1次	22.2	2207	228	1.4	1.1	1.0	0.7		
			SEC2次	20.5	2187	262	0.4	3.1	2.8	1.7		
			SEC後	22.2	2215	266	0.3	3.5	3.1	1.3		
			SECP1次	23.0	2186	232	1.3	1.4	1.2	0.6		
		3	69	SECP2次	21.5	2202	254	0.5	4.0	3.6	0.9	
				SECP後	22.5	2192	284	0.3	3.9	3.4	2.1	
				従来同時	21.5	2160	245	0.9	1.4	4.4	5.8	
				従来後	22.2	2192	253	0.5	1.0	2.7	6.0	
				SEC1次	22.7	2192	226	2.2	1.4	1.4	2.2	
				SEC2次	22.2	2188	252	0.6	7.0	7.6	2.8	
	B	2	53	SEC後	22.2	2196	246	0.6	1.2	1.4	3.9	
				SECP1次	22.0	2198	242	2.9	1.7	1.6	2.1	
				SECP2次	22.0	2180	246	0.7	9.3	1.0	3.6	
				SECP後	22.0	2198	260	0.5	8.4	9.1	4.5	
				従来同時	20.5	2108	258	0.6	2.4	4.6	4.6	
				従来後	20.7	2155	272	0.4	2.8	3.5	11.2	
3		69	SEC1次	21.2	2132	236	1.7	5.3	5.2	0.9		
			SEC2次	21.0	2147	258	0.5	1.4	1.4	2.0		
			SEC後	21.0	2166	266	0.4	0.9	1.0	2.8		
			SECP1次	21.5	2130	242	1.1	3.8	3.9	1.5		
			SECP2次	21.2	2120	253	0.5	1.3	1.4	3.2		
			SECP後	21.0	2170	268	0.5	1.1	1.6	3.2		
3	69	従来同時	20.7	2124	254	0.6	5.8	1.7	7.5			
		従来後	21.2	2188	255	0.4	10.2	9.7	7.5			
		SEC1次	19.5	2145	240	1.7	6.2	6.1	1.7			
		SEC2次	18.0	2148	250	0.8	2.3	3.5	3.4			
		SEC後	20.0	2179	247	0.9	2.9	3.2	2.9			
		SECP1次	19.5	2159	236	2.1	8.6	9.0	1.2			
3	69	SECP2次	20.5	2079	252	0.6	2.5	4.8	3.4			
		SECP後	20.7	2168	248	0.7	4.4	5.1	3.0			

W/C が 6.9% の 2 種類とした。練り混ぜ方法は砂に 1 次水を加えて表面水率を調整した後にセメントを加えて練り混ぜ、さらに 2 次水を加えて練り混ぜる SEC 法と、セメントと 1 次水によりまずペーストを練り混ぜた後に砂と 2 次水を加えて練り混ぜる SECP 法、および全材料を同時に投入して練り混ぜる従来法の 3 種類である。SEC 法の場合は 1 次練り混ぜ時の水セメント比が 2.5% になるように、SECP 法の場合には 2.4% になるようにそれぞれ設定した。混和剤の添加方法は、SEC 法と SECP 法の場合がそれぞれ 1 次水に混入、2 次水に混入および後添加の 3 方法とし、従来法では同時添加と後添加の 2 方法とした。添加量はセメントペーストの場合と同じである。測定項目としてはペーストの実験の項目にテーブルフローを加えた。

4. 結果と検討

実験結果をまとめて表-1, 2 に示す。混和剤の種類および添加方法が異なると、ペーストおよびモルタルの性状ともそれぞれ変化しているが、特に練り混ぜ方法とブリージング率の関係が明瞭に認められる。水の添加を 2 回に分けたペーストにおける DM 法、モルタルにおける SEC 法および SECP 法は従来法に比べ、同じ配合の場合には混和剤の種類と添加方法によらずブリージングが減少している。ほとんどの場合には半分以下に、また場合によっては 1 割以下程度までにブリージングが減少している。モルタルにおける練り混ぜ方法と混和剤がブリージング、テーブルフローおよび沈入抵抗値 ρ_{a15} に及ぼす影響を図-3 に示す。混和剤の添加時期が後になるとモルタルは軟らかくなり、ブリージングが若干多くなる傾向がある。特に水の添加を 2 回に分けて練り混ぜる場合、1 次の水に混入して混和剤を添加するとテーブルフローは小さく、沈入抵抗値 ρ_{a15} は大きくなっている。

練り上り直後の測定では円筒型沈入試験はテーブルフローの値で示される性状と同一のものを測っているものと考えられる。しかしこの試験方法は静置したモルタルを著しく乱すことなく測定できるため、型枠内に打込んだ後におけるモルタルの分離傾向等の性状をも推定するための試験方法となる可能性がある。そのため、本実験

では静置した状態のペーストおよびモルタルについて、時間をおいて測定を行うこととした。ペーストについて行った沈入抵抗値 ρ_a の経時変化の例を図-4 に示す。練り混ぜ後時間が経過した場合に、沈入深さによる沈入抵抗値の変化は従来法のペーストの方が大きくなっている。これは従来法の方がブリージングが多いことによるものと思われる。また、従来法において混和剤を後添加した場合の深い部分での値の上昇が著しい。ブリージ

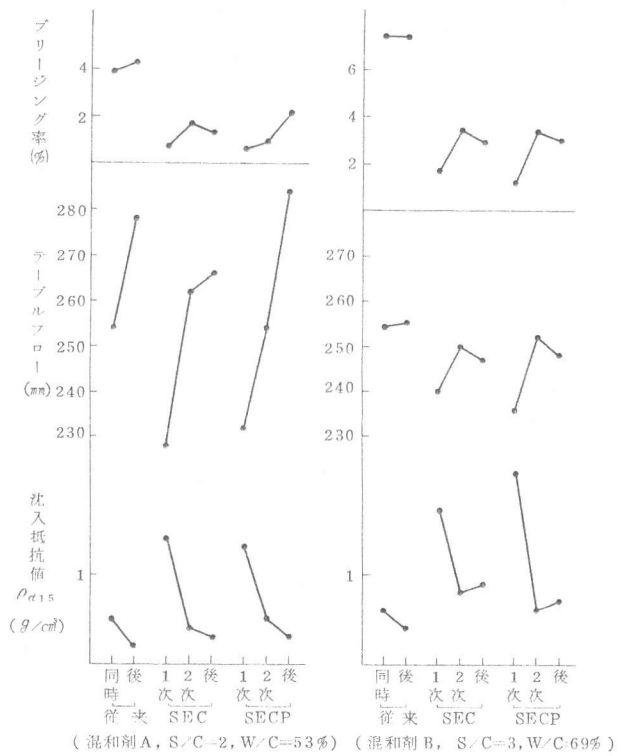


図-3 練り混ぜ方法および混和剤添加方法によるモルタルの性状の相異

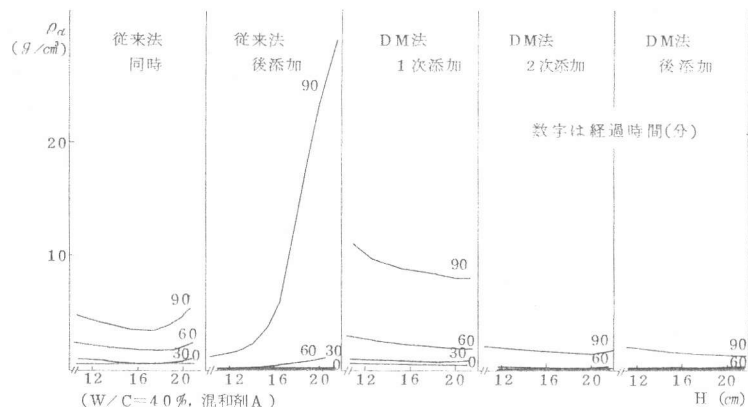


図-4 混和剤を添加したペーストの沈入抵抗値

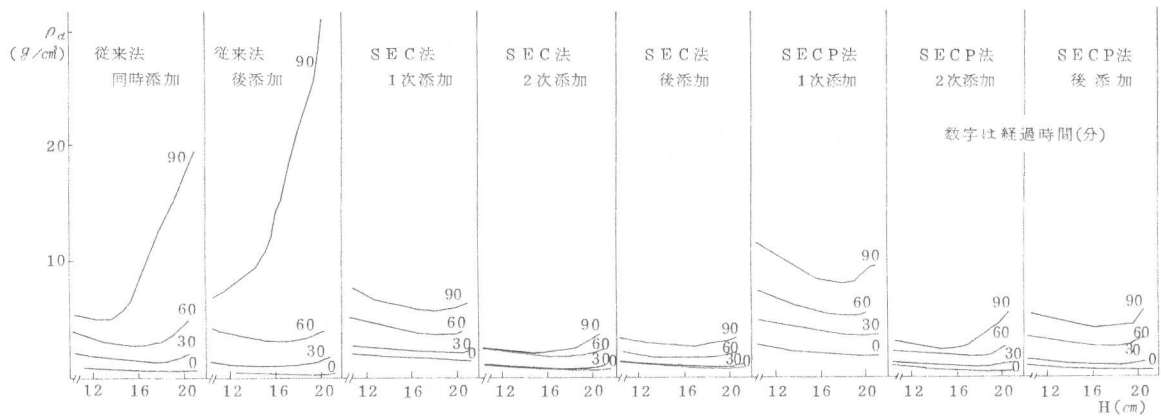


図-5 モルタルの沈入抵抗値の時間的变化(混和剤B, S/C=3, W/C=6.9%)

ングにより、上下の性状に差が生じたことを捉えられたものといえる。次にモルタルの結果の1例を図-5に示す。ペーストの従来法後添加と同じ現象が従来法によるモルタルについても認められる。この現象を定量的に評価するために、深さが15cmの点の ρ_{a15} と、20cmの点の ρ_{a20} の比を採り、図-6に示す。数値が大きいものの方が分離が大きいことを示しており、従来法に比べて水を2回に分けて練り混ぜる方法の方が小さい値となっている。さらに水を分割添加する2方法の内でも、図-5において深さが20cm程度の底面に近い部分での値の上昇割合が異なっているようで、この部分において材料分離が明瞭に表わされると考え、沈入抵抗値の変化を ρ_{a20} と ρ_{a19} の差で図-7に表わしてみた。この現象は配合によっては、はっきりした傾向がでない場合もあり、従来法の練り混ぜとの差のように明瞭なものではないが、このような方法でモルタルの性状を評価することもできるものと考えられる。

5. まとめ

モルタルの流動性を簡便に測定できる円筒型沈入試験を行い、その結果をアルキメデスの原理に対する不釣り合い部分を密度の単位で表示する方法を提案した。この沈入抵抗値 ρ_{aH} は流体がその中で保持しうる物体との密度の差であり、その流体が自らの密度以上の物体を分離させずに含むことができることを示している。所定の沈入深さに対する沈入抵抗値 ρ_{aH} は、テーブルフローの値とよい相関があることが認められた。さらに、この円筒型沈入試験は、サンプルをそれほど乱

すことなく行えることから、型枠内に打込んだモルタルあるいはコンクリートの内部の性状を把握することもできる。沈入試験を時間をおいて行うことを併用することにより、モルタルあるいはコンクリートの材料分離性状についても評価できる可能性も認められた。練り混ぜ方法および混和剤の添加方法を変えたモルタルについて沈入試験を行った結果、SEC法によるモルタルが常に変化率が小さく、安定した性状を示すことが認められた。

本研究を行うにあたり、大成建設技術研究所の加賀秀治氏、山本康弘氏にご指導とご助言を頂いた。ここに謹んで厚くお礼申し上げます。

〔参考文献〕

- 1) 木村・高橋・京慕・羽藤「セメントのプラスチシチー測定方法の研究」セメント技術年報XVII(1963)P185~193
- 2) 中村・大沢「モルタルの流動性測定方法に関する研究」セメント技術年報XVIII(1964)P215~219
- 3) 根来・佐伯・角原「セメントモルタル流動性試験の一試案」セメントコンクリート№249(1967.11.)P17~21

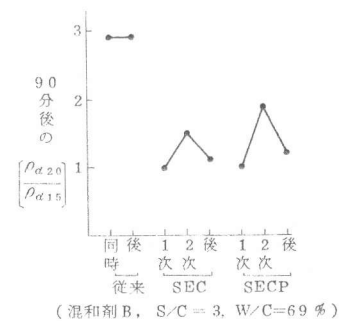


図-6 モルタルの分離-1

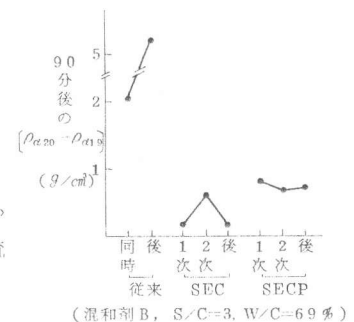


図-7 モルタルの分離-2