

水砕系セメント・粘性土混合物の強度と微細構造の変化

愛知工業大学 正会員 森野奎二

内藤幸雄

布谷一夫

1. まえがき

水砕を主成分とし、普通ポルトランドセメント、中庸熱セメント、ベリット、石膏、及び石灰などを混合した、種々のセメントが、深層混合処理工法を対象として開発されている。これらのセメントは、上記工法の接合面と施工能率の向上を図るために、開発されたものであって、いずれも初期強度の発現を低く抑えるように工夫されており、遅効性セメント、遅硬化セメントなどと呼ばれる。

これらのセメントを粘性土に混合すると、粘性土の含水比、粘土含有量、及び粘土鉱物等の相違によって、混合物の強度発現が異なる。この場合、粘性土—強度—微細構造の間には、特徴のある明瞭な関係がみられたので、この結果について述べる。

2. 深層混合処理工法用水砕系遅効性セメントについて

水砕系遅効性セメントは、水砕60～80%に対して、残りの20～40%をベリット、石膏、石灰、中庸熱セメント、及び普通ポルトランドセメントの1～3種位が、適当な比率で混ぜられている混合セメントである。その混合比率は、対象となる粘性土の性質によって、あるいは所要強度によって、適宜変更される。具体的な比率は、工事現場から採取した粘性土を用いて、予備実験を行って決定される場合が多い。使用実績のあるセメントでは、多くのデータから得た標準的な混合比率によることもある。この場合は、使用セメント量の増減によって調整されるが、すべての粘性土に対して初期強度は低く、長期強度は高いという条件を満足させることは難しい。このことは、このセメントの主成分である水砕の強度発現の開始が、粘土量によって著しく影響を受けるからである。また、ポズラン反応性粘土の多少によっても混合物の強度は異なるなど、とりわけ粘土が混合物の強度を支配する重要な要素となっているからである。この点が普通のコンクリート用セメントとは根本的に異なる点である。

3. 実験概要

遅効性セメントとしては、水砕粉末約60%にベリットと普通ポルトランドセメントが約20%づつ混合されている、いわゆるベリット系セメントを用いた。単位セメント量は130～200g/m³である。セメントミルクの%は60%である。粘性土は、横浜港大黒埠頭付近の海底より採取したもので、その物理的性質を表1に示す。表1のNo.1とNo.2以降とは採取箇所が異なる。No.2～No.6は同じ箇所、採取深さが異なるものである。混合物の養生温度は、現場の温度に合わせて30℃とし、所定材令まで水中（真水）養生した。供試体はφ5×10cm。微細構造の観察は

走査電顕（×線マイクロアナライザー付）によったが、

表1 粘性土の物理的性質

×線回折、示差熱分析も併用して鉱物の挙動を把握した。

4. 実験結果及び考察

6種の粘性土についての配合と強度試験結果を表2に示す。表2のNo.1の粘性土の9種の配合は、含水比の変化に対して、粘性土量、その他が異なっているが、粘性

粘性土の種類	含水比%	粒度特性(%)			アッターベルク限界			比重
		粘土分	シルト	砂分	LL(%)	PL(%)	PI	
1	90.5*	54.0	39.3	6.7	82.6	39.3	43.3	2.66
2	87.4	58.0	37.0	5.0	90.0	50.8	39.2	2.71
3	74.1	68.0	30.0	2.0	81.3	53.4	27.9	2.72
4	49.2	30.0	36.0	34.0	50.7	34.0	16.7	2.75
5	48.8	32.0	56.0	12.0	55.6	32.8	22.8	2.75
6	45.0	22.0	33.0	45.0	52.4	24.9	27.5	2.65

*実験には、70, 90, 110%に調整して使用

土自体の粒度及び粘土鉱物等は等しい構成

比になっている。一方、No.2～No.6の粘性土は、表2に示した値の外に、表1に示した物理的な性質や粘土鉱物の量が異なるものであって、同一条件は各粘性土内の3種の配合だけである。以上の点を考慮して表2の強度試験結果をみる必要がある。表2において最も顕著な特徴は、単位セメント量が同じであっても、粘性土の相違によって混合物の強度が相当異なることである。この場合、その強度は、セメント水比によるよりも、セメント・粘性土比による影響が大きい。特にセメント量に比して粘土が多いと、水砕の水和反応を開始させるのに必要な遊離 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が粘土に吸着されてしまうので、水砕の強度発現が遅延される。しかし、混合物の強度は、粘土のポズラン反応による強度にも左右されるので、ある程度は粘土が含まれる方が高い強度を示す。このように各試料毎に、最適粘土含有量が存在する。なお、混合物中の遊離 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ のX線回折曲線はどの配合であっても、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ のピークをほとんど示さないという特徴がみられた。表2の強度発現の状態は、SEM観察に明瞭に現われていた。その典型的な形態を分類して写真1～4に示す。この4つの形態を各材料毎の観察結果に対応させると、表3のようであった。SEM写真は、微小部分の観察であるから、観察箇所によって、かなりの差が認められるが、大略、写真1～4に該当する強度を当てはめてみると、表4のようである。

4. まとめ : 遅効性セメント・粘性土混合物の強度は、粘性土の性質に支配され、特に粘土の影響が著しい。また強度変化に対応した微細構造がみられ、強度と比例して網状結晶が増加した。形態から強度が推定できる位であった。

付記：本研究の一部は文部省科学研究補助金(課題番号 57462002)の助成によって行われたものである。

表2 混合物の配合と強度試験結果

粘性土の種類	セメント量 Kg/m ³	含水比 %	湿潤粘性土 Kg/m ³	乾燥粘性土 Kg/m ³	全水量 Kg/m ³	セメント 粘性土 %	圧縮強度(Kgf/cm ²)			
							3日	7日	28日	91日
1	130	70.0	1388	817	650	15.9	0.10	0.10	0.19	0.60
		90.0	1308	689	536.8	18.9	0.06	0.09	0.35	2.70
		110.0	1250	595	733	21.8	0.02	0.07	0.15	19.5
	160	70.0	1344	791	649	20.2	0.18	0.18	0.52	18.4
		90.0	1267	667	696	24.0	0.38	2.93	22.3	39.9
		110.0	1210	576	730	27.8	0.44	2.77	14.4	32.9
2	160	70.0	1285	756	649	26.5	1.93	8.21	65.3	76.1
		90.0	1211	637	694	31.4	1.80	8.87	53.2	64.8
		110.0	1157	551	726	36.3	1.93	7.33	41.6	57.6
	180	87.4	1255	670	693	26.9	0.77	12.2	40.0	59.7
		200	1227	655	692	34.0	1.93	18.4	55.8	73.5
		200	1227	655	692	34.0	1.93	18.4	55.8	73.5
3	160	74.1	1336	767	665	20.8	0.20	6.00	22.8	36.7
		180	1307	751	664	24.0	0.23	11.2	36.3	46.6
		200	1278	734	664	33.1	0.34	14.5	47.9	68.1
	180	49.2	1484	994	585	365.8	0.39	15.5	45.6	67.1
		200	1451	973	587	325.8	1.05	23.3	55.9	90.3
		200	1419	951	588	293.9	2.78	28.7	65.2	110.8
4	160	48.8	1487	999	584	364.7	0.20	4.62	17.5	37.6
		180	1454	977	585	324.9	0.59	7.56	25.8	53.9
		200	1421	955	586	293.1	0.77	12.2	36.1	73.2
	160	45.0	1491	1028	559	349.2	2.07	5.18	11.4	36.8
		200	1426	983	562	281.2	6.65	9.58	28.4	75.2
		200	1426	983	562	281.2	6.65	9.58	28.4	75.2

いと、水砕の水和反応を開始させるのに必要な遊離 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が粘土に吸着されてしまうので、水砕の強度発現が遅延される。

しかし、混合物の強度は、粘土のポズラン反応による強度にも左右されるので、ある程度は粘土が含まれる方が高い強度を示す。

このように各試料毎に、最適粘土含有量が存在する。なお、混合物中の遊離 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ のX線回折曲線はどの配合であっても、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ のピークをほとんど示さないという特徴がみられた。表2の強度発現の状態は、SEM観察に明瞭に現われていた。その典型的な形態を分類して写真1～4に示す。この4つの形態を各材料毎の観察結果に対応させると、表3のようであった。SEM写真は、微小部分の観察であるから、観察箇所によって、かなりの差が認められるが、大略、写真1～4に該当する強度を当てはめてみると、表4のようである。

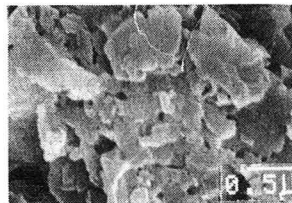


写真1 粘土粒子表面が平滑で、粘土の周囲に水和水化物はみられない。

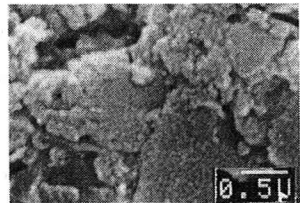


写真2 粘土粒子の(001)面に尖状あるいは不定形の水和水化物が付着。

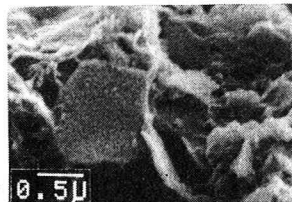


写真3 粘土粒子の周囲に針状あるいは網状の水和水化物が生成。

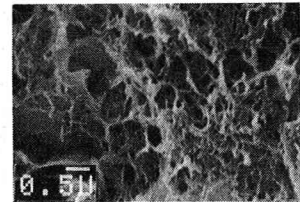


写真4 網目状の反応生成物が全面に生成し、立体網状を呈す。

表3. 走査電顕による観察結果

粘性土の種類	セメント量 Kg/m ³	含水比 %	湿潤粘性土 Kg/m ³	乾燥粘性土 Kg/m ³	セメント 乾燥粘性土 %	SEM写真分類			
						3日	7日	28日	91日
1	130	70	1388	441	0.29	1	1	1	1
		70	1344	427	0.37	1	1	2	4
		90	1267	360	0.44	1	2	3	4
		110	1210	311	0.51	1	2	3	4
2	160	87.4	1283	397	0.40	1	3	4	4
3	180	74.1	1336	522	0.31	1	3	4	4
4	160	49.2	1484	298	0.54	1	3	4	4
5	180	48.8	1487	320	0.50	1	1	4	4
6	200	45.0	1491	226	0.71	2	3	3	4

表4. 形態と強度

写真番号	圧縮強度 (Kgf/cm ²)
1	0.01～2
2	0.5～8
3	5～20
4	15以上