

金沢大学工学部 正員 柳場重正
 金沢大学理学部 杉浦精治
 金沢大学工学部 正員 〇川村満紀

1. まえがき

ソイルセメントの力学的諸性質に影響をおよぼす要因の一つとしてセメントと粘土鉱物の相互作用があげられるが、この問題については現在のところポルトランドセメントの水和により生ずる $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と粘土鉱物の反応が重要な役割をはたしていると考えられている。しかし反応の本質およびそのような相互作用と強度の関係については不明な点が多い。ここでは 20°C におけるポルトランドセメントと粘土鉱物の相互作用の機構を一軸圧縮強度との関連において究明することを目的として行なっている研究のうち91日材令までの結果について報告する。

2. 実験概要

(1) 使用材料および試料

使用セメントは普通ポルトランドセメントである。粘土鉱物試料はベントナイト(南米ベントナイト社製)、カオリナイト(兵庫県丹波産)、セリサイト(石川県能登部鉱山産)であり、自然土として金沢市卯辰山産粘性土を使用した。使用試料のおもな含有粘土鉱物ならびに物理的性質は表-1に示す通りである。カオリナイト、セリサイトは粘土鉱物含有岩石をボールミルによって 250μ 以下の通過するまで粉砕したものである。使用水はすべて蒸留水である。

表-1 試料粘土の物理的性質

試料名	カオリナイト (KA)	自然土 (O)	セリサイト (Se)	セリサイト (Se)	ベントナイト (B)
おもな 粘土鉱物	カオリナイト (石英)	モンモリロナイト カオリナイト クロライト (石英)	セリサイト パイロクタイト (石英)	セリサイト パイロクタイト (石英)	モンモリロナイト (クリストバライト)
比重	2.577	2.541	2.566	2.540	2.000
三角定規 による分類	砂質ローム	シルト質 ローム	シルト質 ローム	粘土	粘土
石分(%)	58	4	25	26	0
シルト分(%)	35	93	58	42	15
粘土分(%)	7	3	17	32	85
L.L.(%)	25.3	63.4	30.5	28.4	328.0
P.L.(%)	17.3	30.9	21.8	20.7	41.4
P.I.	8.0	32.5	8.7	7.7	276.6
最高含水率(%)	15.7	31.5	15.8	15.7	50.0
最大乾燥密度 g/cm^3	1.842	1.371	1.770	1.842	1.015

(2) 実験項目および供試体の種類

本研究で行なっている実験は下記の5項目である。

①一軸圧縮強度試験、②pHの測定、③X線回折、
 ④示差熱分析、⑤偏光顕微鏡による組織の観察
 使用試料として表-1に示される5種類、セメント量
 10%、20%、30%、材令は3日、7日、14日、28日
 91日である。

(3) 実験方法

①一軸圧縮強度試験

供試体寸法は直径5cm、高さ10cmの内柱体である。

あらかじめ求められた最大乾燥密度(JIS A 1210-53)

になるように静的締固めによって供試体を作製した。供試体は成型後、炭酸化を防ぐために硫酸紙、パラフィンで密封し、所定期間中温度 20°C 、相対湿度 85% の恒温恒室中で養生した。載荷速度は $0.2 \text{ kg/cm}^2/\text{sec}$ である。

② pH の測定

①の試験終了後、供試体の断片を乳鉢でクラムふるいを通過するまで粉砕した試料 10g と蒸留水 50cc を分散装置で 10 分間かくはんした。その後ろ過した浸出液について、ガラス電極 pH 計 HM-5A (東亜電機工業製) によって pH 値を求めた。

③ X線回折

指頭に感じなくなるまで乳鉢で粉砕した試料を X 線ディフラクトメータ (Cu K α , Ni フィルター, 30 kV, 15 mA, Scanning Speed 2°/min.) によって調べた。

④ 示差熱分析

③と同じ試料についてデリバートグラフ (アルミナ標準試料, 容器は白金, 試料重量 1000 mg, 熱電対の材質は白金ロジウム) によって DTA 曲線を得た。加熱速度は 10°C/min. である。

⑤ 薄片の作製

強度用供試体の断片を 30°C で 3 時間炉中で乾燥した後尿素ホルムアルデヒド樹脂で処理し厚さ 30 μ m までけんまし作製した。

3. 実験結果および考察

(1) 軸圧縮強度

各セメント量の供試体の軸圧縮強度 (MPa) をたて軸 (普通目盛), 横軸 (対数目盛) に養生日数 (日) をとると図-1, 図-2 図-3 のようになる。

セメント量 30% では 28 日材令まではすべての試料は σ と $\log t$ は直

線関係にある (図-1 参照) が, 91 日材令まで直線性をもつのはカオリナイトセメントおよびセリサイト (I) セメントである。28 日材令まではカオリナイト, セリサイト (I), セリサイト (II), 自然土, ベントナイトの順にこう配は小さい。これは強度の増加割合が試料によって異なることを示す。セメント量 20% は 30% の場合とほとんど同様の傾向を示す。セメント量 10% では図-3 のようにカオリナイトが他に比べて非常に大きな値を示し, セリサイト, 自然土, ベントナイトはたがいにほぼ平行な直線となる。セメント量 10% 試料の特徴はベントナイトにおいて 30%, 20% にみられるような 14 日または 28 日以後における 11.5 倍の強度増加がなっていることである。

図-1 セメント量 30% の軸圧縮強度の増加状況

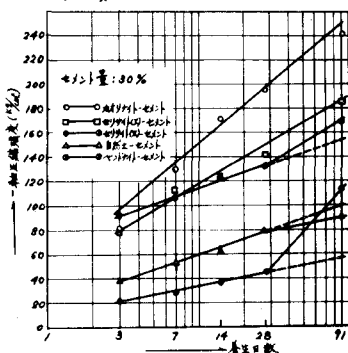


図-2 セメント量 20% の軸圧縮強度の増加状況

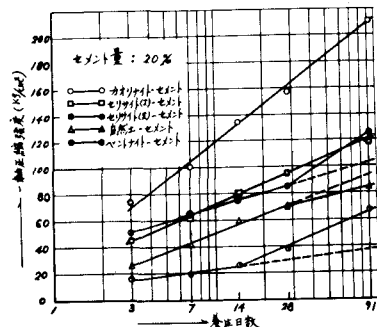
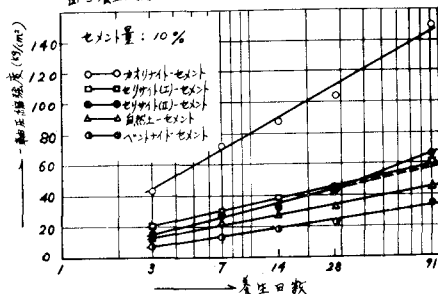


図-3 セメント量 10% の軸圧縮強度の増加状況



(2) pH 値

測定 pH 値をまとめるとセメント量 30% のものについては図-4 のようになる。この図からわかるように、カオリナイト、セリサイトではセメントペーストと同様に 91 日までは多少増加し、その後 200 日において少し減少する。ベントナイト-セメントは 14 日まで増加し、その後 28 日、91 日、200 日と急速に低下する。自然土も 7 日より次第に低下する傾向を示す。

(3) X 線回折

(a) ベントナイト-セメント

3 日、28 日、91 日材令における X 線回折図は図-5 に示す (セメント量 30%)。図-5 において、 $2.67\text{\AA}$ の C_3S のピークの高さは次第に低くなり、逆に $3.07\text{\AA}$ の $\text{CSH}(\text{gel})$ のピークが強くなる。

(b) カオリナイト-セメント

いずれのセメント量においても C_3S のピークは日数とともに高さが低下する。また 3 日より $\text{CSH}(\text{gel})$ のピークはみとめられるが、日数によるピークの高さの変化は少ない。またベントナイト-セメントの場合にくらべて $\text{CSH}(\text{gel})$ のピークの高さは低い。

(c) セリサイト-セメント

カオリナイト-セメントとほぼ同様の傾向を示すが、カオリナイトの場合にくらべて全体的に非常に高い水酸化カルシウムの $2.628\text{\AA}$ におけるピークがみられる。水酸化カルシウムの $2.628\text{\AA}$ におけるピークの存在の有無をより明確にするために表-2 を作製した。

(4) 示差熱分析

ここではカオリナイトのセメント量 30% の試料について 3 日、7 日、14 日、28 日、91 日の DTA 曲線を図-6 に、セリサイトのセメント量 30% で 28 日、91 日材令の DTA 曲線を図-7 に示す。

(a) カオリナイト-セメント

カオリナイトの特徴を示すピークの他に 3 日～91 日を通じて、 $50^\circ\sim 520^\circ\text{C}$ における水酸化カルシウムの吸熱ピークがみられ、また 7 日以後には C_4AH_3

図-4 日数とともに pH 値の変化状況

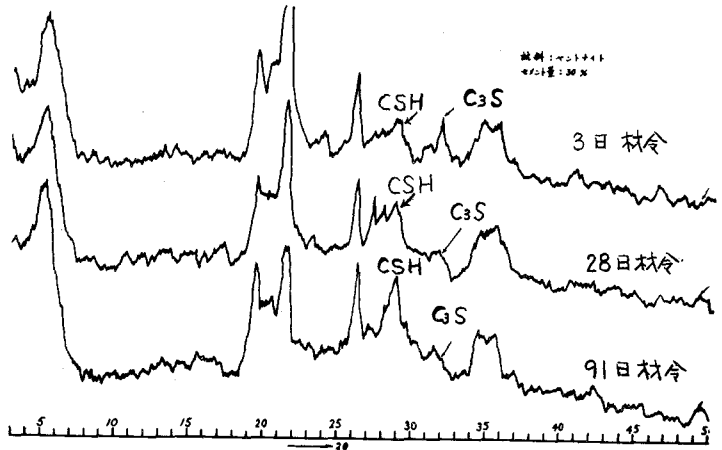
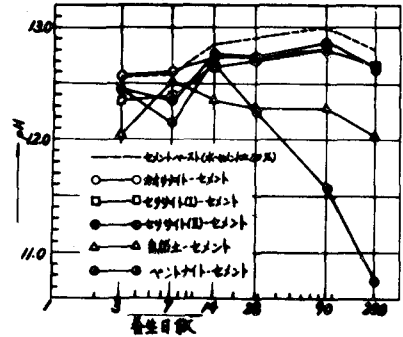


図-5 ベントナイト-セメント (セメント量 30%) の材令にともなう X 線回折図の変化

表-2

試料名	セメント量 (%)	材 令 (日)				
		3	7	14	28	91
カオリナイト	10	○	○	○	○	○
	20	○	○	○	○	○
	30	●	●	●	●	●
セリサイト	10	○	○	○	○	○
	20	○	○	○	○	○
	30	●	●	●	●	●
ベントナイト	10	○	○	○	○	○
	20	○	○	○	○	○
	30	○	○	○	○	○
自然土	10	○	○	○	○	○
	20	○	○	○	○	○
	30	○	○	○	○	○

注: ● は $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の存在を示す

のものと思われる170~190°Cの吸熱ピークのふくらみがみとめられる。

(6) セリサイト-セメント

曲線の特徴はカオリナイト-セメントとほとんど同じである(図-7参照)。

(5) 顕微鏡による観察

写真-1および写真-2はそれぞれ28日および91日におけるベントナイト-セメント(セメント量30%)の薄片の顕微鏡写真である。材令28日の写真-1には綿毛状のゲル状物質が観察されるが、材令91日の写真-2にはそのようなゲル状物質はみられない。

4. 結論

以上の各実験から推察される点をまとめるとつぎのようになる。

(1) ベントナイト-セメントではいずれの試料にも結晶

性の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ がみとめられない。これはセメントの水和が粘土の存在で制限されるためか、あるいは $\text{Ca}(\text{OH})_2$ がベントナイトによって消費されたためかのいずれかと考えられるがモニモリロナイトとの相互作用によって $\text{CSH}(\text{gel})$ になったとみえる方が妥当である。

(2) 各粘土鉱物の間でポルトランドセメントとの相互作用の程度にかなりの違いがある。

図-6 カリサイト-セメントのD.T.A.曲線

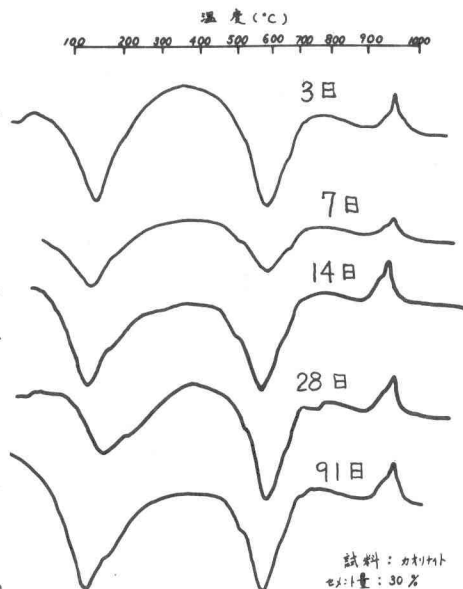


図-7 セリサイト-セメントの28日、91日材令におけるDTA曲線

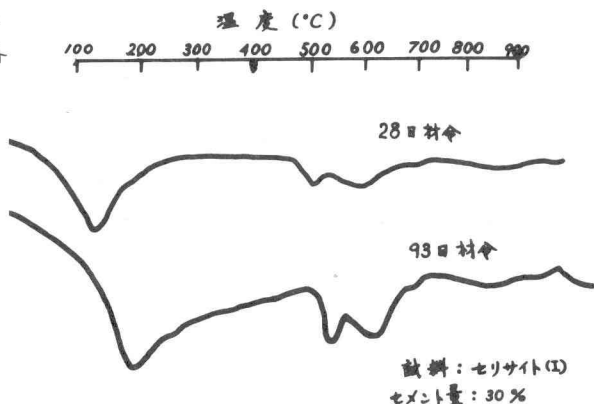


写真-1. ベントナイト-セメント(セメント量30%)の28日材令における薄片の偏光顕微鏡写真

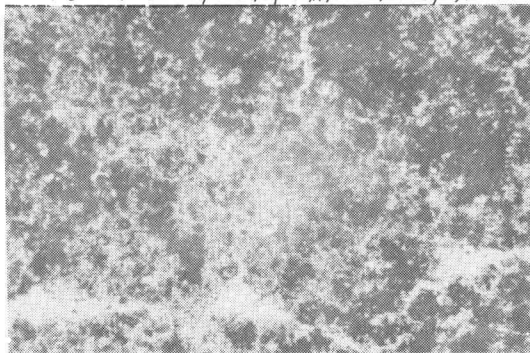


写真-2. ベントナイト-セメント(セメント量30%)の91日材令における薄片の偏光顕微鏡写真

