

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

1. まえがき

おもに道路路盤材料として使用される
ソイルセメントにおける粘土鉱物とポル
トランドセメントの相互の問題は粘土鉱
物の性質の多様性、セメントの水和反応
の複雑さなどのために不明点が多い。
本研究の第1報においてはカオリナイト、
ベントナイト、セリサイトとセメントの
相互作用についてX線回折、示差熱分析、
pH 試験、一軸圧縮強度試験などの手段
によって2、3の問題を解決することが
できた。本報告は粘土鉱物の交換性イオ
ンの影響を明らかにするためにNa-ベン
トナイト-セメントとCa-ベントナイト
-セメントについての比較実験を行な
い、さらにクロライト-バーミュライ
ト混合層粘土鉱物、了ロフェンの相互
作用の特徴について考察したものであ
る。

2. 実験概要

(1) 使用材料

使用セメントは普通ポルトランドセ
メントである。使用粘土試料はCa-ベ
ントナイトとして関東ベントナイト社
製、Na-ベントナイトは国峯鉱化工業
社製 (商品名フニゲル、山形県左沢産
) を使用した。混合層粘土鉱物 (R)
は石川県能登鉱山産、了ロフェン (A₁
A₂) は長野県服部鉱山産である。使用
粘土試料の物理的性質は表-1 に示す。

Table 1 Physical Properties

Properties	CB	NB	R	A ₁	A ₂
Size Ranges:					
74 μ (%)	00	00	1	40	44
5 μ (%)	17	21	92	43	30
5 μ (%)	83	79	7	17	26
L.L. (%)	328.0	420.0	77.0	136.8	88.0
P.L. (%)	41.0	34.4	27.1	106.1	---
P.I. (%)	276.6	385.6	49.9	30.7	N.P.
Maximum Dry Density(g/cm ³)	1.015	1.345	1.535	0.920	0.950
Optimum Moisture Content(%)	50.0	35.0	23.5	66.5	58.5

CB: Ca-bentonite, NB: Na-bentonite, A₁: Allophane
A₂: Allophane and Halloysite,
R: Chlorite-Vermiculite Mixed-Layer Mineral

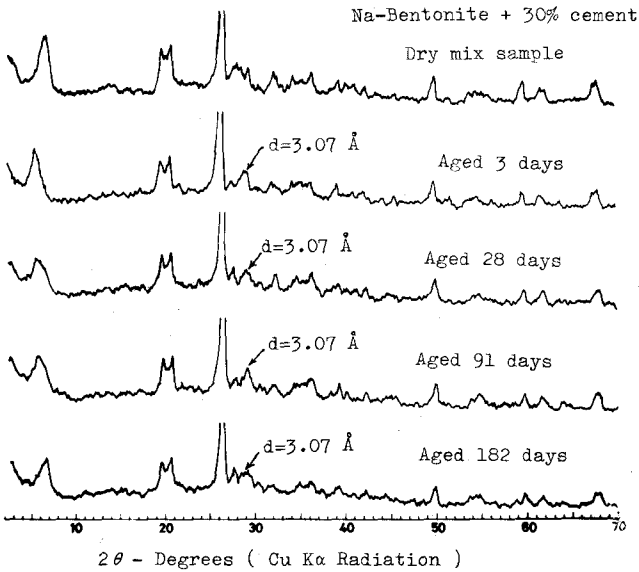


Fig. 1 X-ray diagrams for bentonite + 30% cement samples
cured for 3, 28, 91 and 200 days

(2) 供試体の種類

セメント量（粘土試料の乾燥重量に対する百分率）は10%，20%，30％であり，試験時の供試体の養生日数は3日，7日，14日，28日，91日，182日である。

(3) 実験方法

① 一軸圧縮強度試験

供試体は直径5cm，高さ10cmの円柱であり，最大乾燥密度になるように，最適含水比で油圧ジャッキによる静的締固めによって作製された。供試体は成型後，炭酸化を防ぐために硫酸紙およびパラフィンワックスで密封し，所定期間中温度20℃，相対湿度85％の恒温恒湿室で養生した。載荷速度は0.2 kg/cm²/sec.である。

② pH 試験

真空乾燥器で約3時間乾燥された試料を74μふるいを通して粉末した。この粉末試料10gを蒸留水50cc中で10分間かくはん分散した後，ろ過し，浸出液についてガラス電極 pH 計 HM-5A（東亜電波工業 K.K. 製）によって pH を測定した。

③ X線回折

指頭に感じなくなるまで粉碎した粉末試料をX線ディフラクトメータ（Cu K α ，Ni フィルター，30 kV，

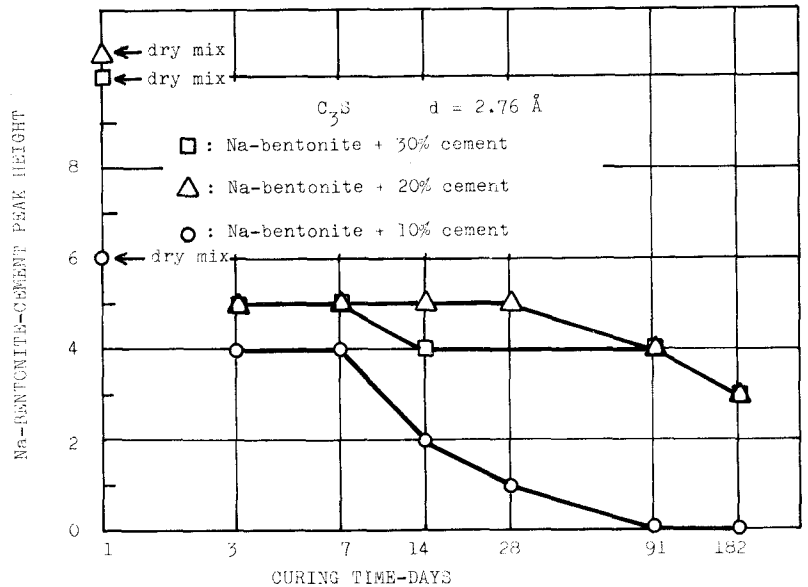


Fig. 2 X-ray diffraction peaks for hydrating Na-bentonite-cement

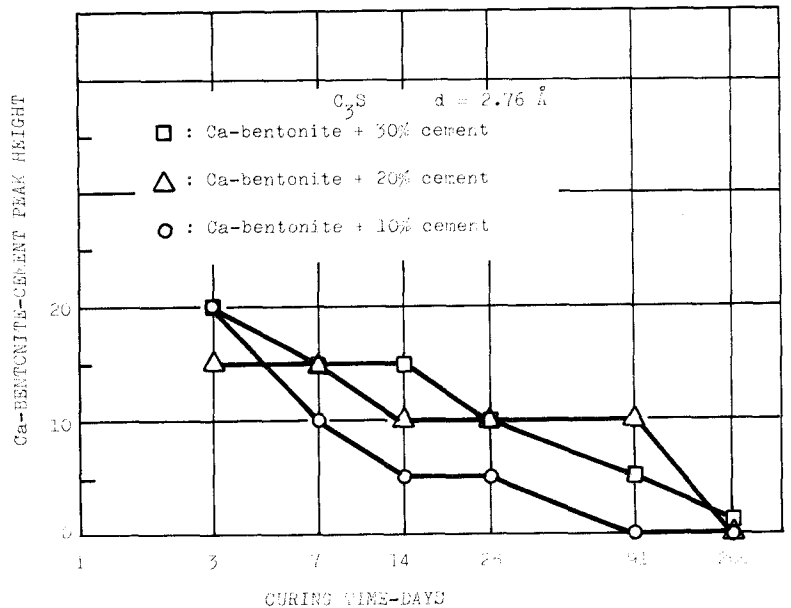


Fig. 3 X-ray diffraction peaks for hydrating Ca-bentonite-cement

15mA, scanning speed 2/min., 理学電機製) によって調べた。

④ 示差熱分析

③と同じ粉末試料についてデリバトグラフ (アルミナ標準試料, 容器は白金, 熱電対の材質は白金ロジウム, ハンガリー製) によってD.T.A. 曲線を得た。試料重量はすべて1000mgである。

3. 実験結果および考察

(1) X線回折

図-1は182日までの各材料におけるNa-ベントナイトセメントのX線回折図を示す。この図から未反応試料にはみられない $3.07\text{\AA}$ のピークが3日材料においてかなり大きくその後あまり変化がないようである。 $2.76\text{\AA}$ における CaSO

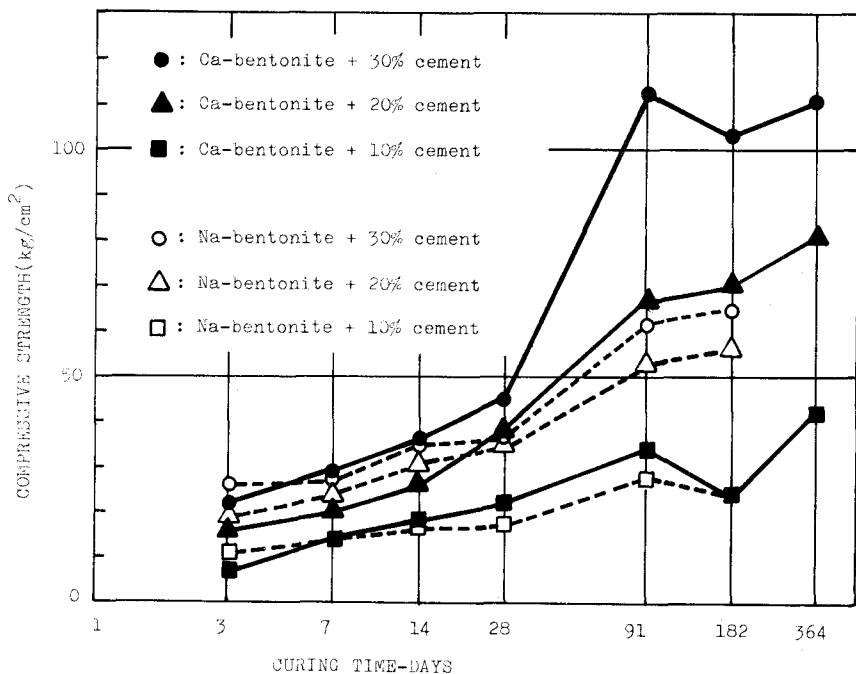


Fig. 4 Comparison between Ca-bentonite- and Na-bentonite-cement in the variation of strength with curing time

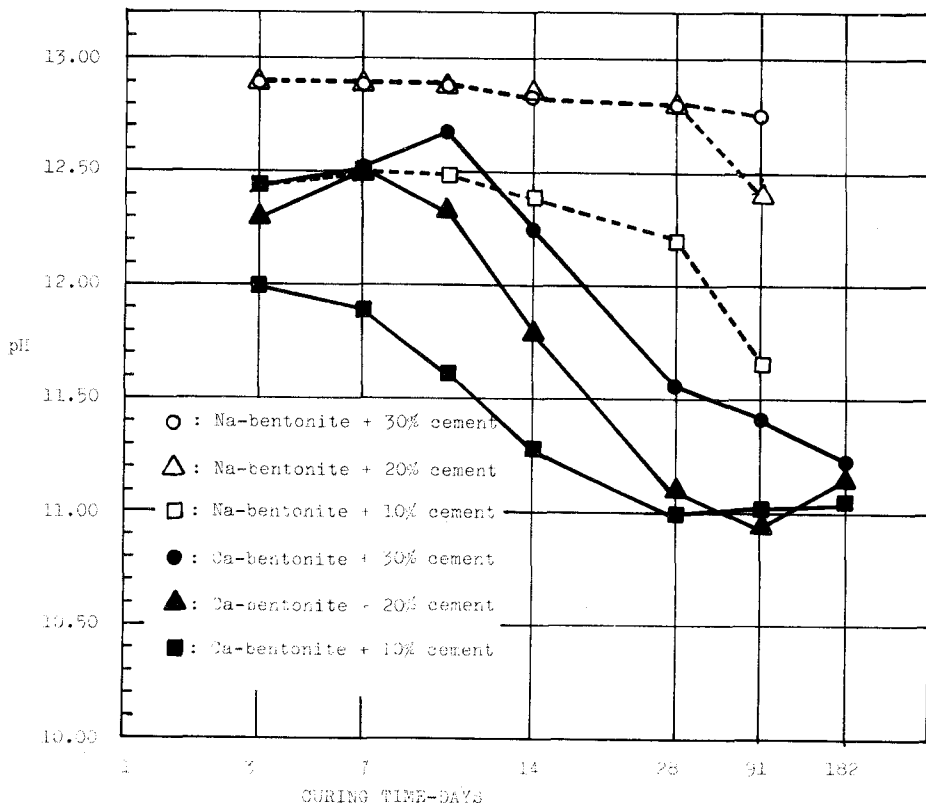


Fig. 5 pH changes of Ca- and Na-bentonite-cement with curing time

のピーク高さの養生日数にともなう変化を示すと図-2のようになる。 C_3S のピークは未反応試料にくらべて3日材令のものはかなり大きく低下する。セメント量10%では7日材令よりかなり大きく低下し、91日材令以後においてX線回折図にあらわれなくなるが、20%、30%試料の低下は比較的ゆるやかである。 Ca -ベントナイト-セメントの C_3S のピークの変化は図-3のようになる。これらの図から全体として Ca -ベントナイト-セメントの方が Na -ベントナイト-セメントよりも低下割合が大きいことがわかる。混合層粘土鉱物(R)については3日材令以後 $Ca(OH)_2$ のピークがかなり大きく、10%試料においてさえ7日、14日、28日材令のX線回折図に明確な $Ca(OH)_2$ のピークが存在する。反応生成物のものと思われる明確なピークは存在しないようであるが、30%の長期材令のものでは $3.20 \sim 3.07 \text{ \AA}$ に *broad peak* がみられる。全体に $Ca(OH)_2$ のピーク高さが大きいという特徴から考えて、反応性に乏しいようであるが、粘土鉱物の底面反射がいちぢるしく弱くなっていること、またセメント量30%の7日、14日材令試料に $10 \text{ \AA}$ 、 $3.90 \text{ \AA}$ （雲母のピークのようにある）の明確なピークがあらわれることから考えてセメントと粘土鉱物間に相互作用が進行していることは明白である。アロフェン-セメントのX線回折図の特徴は材令にともなう C_3S のピーク高さの変化がほとんどないことである。

(2) 軸圧縮強度

Ca -ベントナイト-セメントおよび Na -ベントナイト-セメントの強度-養生日数の関係を図-4に示す。この図より、両者の間で強度増加状況がかなり異なることがわかる。すなわち初期材令では両者間の強度にほとんど差はないかむしろ Na -ベントナイト-セメントの方が大きい強度を示す。しかし28日材令以後における Na -ベントナイト-セメントの強度増加は Ca -ベントナイト-セメントよりもかなり小さく、とくに30%、20%試料の91日、182日材令のものでは両者の間でかなり大きな差を示す。これはX線回折の結果より示されたように Na -ベントナイト-セメントの C_3S の水和反応速度は Ca -ベントナイト-セメントよりも緩やかなことと大いに関係があると考えられる。

(3) pH 試験

図-5は Ca -および Na -ベントナイト-セメントの養生日数にともなうpHの変化状況を示す。いずれのセメント量においても Na -ベントナイト-セメントのpHの値は Ca -ベントナイト-セメントよりも大きく、養生日数増加にともなう低下はかなりゆるやかである。

(4) 示差熱分析

図-6は Na -および Ca -ベントナイト-セメントのD.T.A.曲線を示す。これら両者のD.T.A.曲線のもっとも大きい相違は後者に、前者にはみられない 900°C 近くにおける大きな発熱ピークを示すことである。

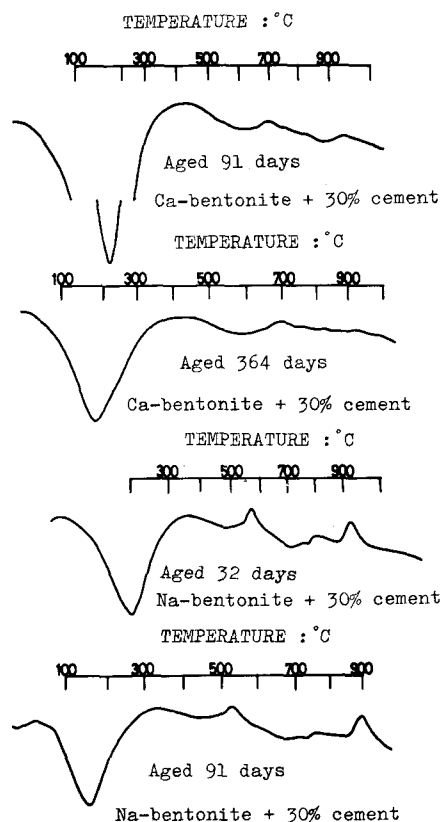


Fig. 6 D.T.A. curves for Ca- and Na-bentonite + 30% cement samples