フィルダム築堤に適用するソイルセメントの特性について*

戸 田 五 郎** 三 浦 真 治***

Characteristics of Soil-Cement Mixtures for Earthfill Dam Embankment

by

Goro TODA and Shinji MIURA

(Okuyahagi Construction office, Chubu Electric Co., Ltd., Aichi Pref.)

Recently, it becomes difficult to find economical construction sites for dams because numerous dams have been already constructed in the past for flood control, water resources and power generation. Therefore, it is urgent to develop new materials or construction methods suitable for the embankment of relatively low dams on weak bedrock or soil foundation. This report describes such a new material which we have developed. The main points are as follows:

(1) The new embankment material is made by mixing decomposed granite in place with portland cement, but the process requires some elaborate management in quality and construction works.

(2) The physical properties of the decomposed granite is greatly improved by the addition of the cement of about 5 weight % of the dry decomposed granite. The reaction products between the cement and clay minerals in the decomposed granite have been confirmed by chemical analysis to be hydrates. This material is proven stable enough for the embankment use from its chemical and physical properties.

(3) This material makes the volume of dam banking less and the quality control during construction easier, leading to the economical embankment with improved quality.

(Received Nov. 27, 1976)

1 緒 言

治水, 上水道, 工業用水, 農業用水, 発電等のダム開発は, 土質工学の発達とともにフィルタイプ構造に移り, これが主流を占めるようになってきた。また堤防, 護岸, 道路等の盛土工事においても, 材料の質の向上と工学的要求が厳しくなる反面, 地形地質の条件も悪くなり, 次第に経済的に開発することが難しくなってきた。これを打開するには, 技術開発による他はなく, 経済性と安全性の高い新しい材料を開発しなければならない。

フィルダム, とくにアースダムでは, 材料の強度が小さいので, 所要の安全率を得るために法こう配がゆるくなる。したがって土工量も莫大となり施工に適した材料を集取することが難しく, ますます不利な条件が重なり, さらに緑化や濁水等の要因も加わるようになってきた。

従来より用いられているフィルダムおよび築堤には次のような欠点がある。それは, 容積が大きいこと, 底幅が広いこと, コアー材料の品質管理が難しいこと, 工期が長いこと, 洪水処理の難しいこと, さらに, 付属する設備の規模が大きいこと等である。これらの不利な条件を極力少くする試みとして, 一般に, 現地で採取できる土に少量のセメント(石灰)を混合し, 堤体全体を転圧施工することにより物性を高め力学的特性を生かして低いダムに適用することを考えた。土にセメントを混合したこれらの材料は, ソイルセメントとよばれているが, この場合とくにむらのない均質な材料とするため品質管理, 施工管理を入念にする必要がある。

この試みとして土質材料としては粒度構成が比較的バランスのとれているマサ土を利用し, これに添加材としてポルトランドセメントを用いた。

2 堤体材料としての物性改良の考え方

ダムの安定性に関する問題の取扱い, コンクリートダムとフィルタイプダムとは非常に異なる。

これは材料の物理的, 力学的特性の相違からくるも

* 原稿受理 昭和51年11月27日

** 正 会 員 中部電力(株)奥矢作水力建設所

愛知県東加茂郡旭町大字下切字平田

*** 中部電力(株)奥矢作水力建設所

愛知県東加茂郡旭町大字下切字平田

Fig. 1. Stress-strain curve of several materials.

Fig. 2. Maximum section of soil-cement dam.

のである。普通の築堤材料における応力-ひずみの関係は、一般に Fig. 1 に示す ③ のように非線形な弾塑性性状を示す。これに対しコンクリート ① は、ぜい性材料であり最大荷重までは弾性体と考えられ、降伏後は瞬時に破断する。したがって、コンクリートダムは弾性設計が主体であり、安全性は材料の強度に適当な安全率を見込んで設計される。他方フィルダムの場合は、残留強度 S_R 近くの値ですべり安定計算を行い、所要の安全率以上になるように設計されている。

さて、ソイルセメント ② は、破壊まではコンクリートのような性質を示し、その後は土の性状と同じように残留強度を保って変形する。しかもその強度は土よりも大きくなり、設計値は通常のフィルダム材料より

は大きな値を採ることができるだろう。このような考え方を実現することに重点を置いて、一連の土質試験を行った。

従来のダム構造では滑動、応力、変形、地震時の挙動等、物理的ないし力学的な安定性の検討を加えてきているが、とくにソイルセメントをフィルダムに適用する場合には、さらに熱および化学的な検討を加える必要があるので、これらについても計算および分析を行った。ソイルセメント材を築堤材料に用いるのは初めてであり、設計例は Fig. 2 に示すとおりである。

3 未改良マサ土の物性

基本材料となるマサ土の物性は Table I に示すとおりであり、K地区 (A, B, C), T地区 (D, E, F, G) において、地区別のみならず同一地区においても含水比 (17%~23%), 真比重 (2.627~2.679), 鉱物組成等にはかなり差異があることがわかる。比重値の小さいものは風化が極度に進んでおり、砂状粒子もこわれやすいことが確認された。なお、地質区分は次のようにした。

- ① マサ(粘土状): 強風化し粘土状を呈する地質
- ② マサ(砂状): 風化が進み砂状を呈する地質
- ②' マサ(塊状): 風化が進み塊状を呈する地質
- ③ C_L クラス岩盤: 岩盤ではあるが風化が進み、き裂が発達した地質

3・1 現場密度と透水係数

砂置換法 (孔径 20 cm) および定水位法によって求めた現場密度、透水係数は次のようである。

- ① $\gamma_d = 1.365 \sim 1.453 \text{ g/cm}^3$
 $K = 1.3 \times 10^{-3} \sim 1.2 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$
- ② $\gamma_d = 1.463 \sim 1.706 \text{ g/cm}^3$
 $K = 4.2 \times 10^{-3} \sim 2.1 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$
- ②' $\gamma_d = 1.548 \sim 1.944 \text{ g/cm}^3$
 $K = 3.4 \times 10^{-3} \sim 8.8 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$
- ③ $\gamma_d = 1.725 \sim 1.133 \text{ g/cm}^3$
 $K = 7.4 \times 10^{-5} \sim 7.0 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$

Table I. Physical nature of decomposed granite at K and T districts.

Item	K zone			T zone			
	A	B	C	D	E	F	G
Natural moisture content (%)	22.97	25.62	18.54	17.01	24.14	18.90	—
True specific gravity (g/cm ³)	2.627	2.656	2.658	2.679	2.660	2.665	2.675
Mineral formation Quartz (%)	48.1	39.2	40.6	17.2	26.3	40.0	25.1
Feldspar (%)	28.0	39.4	36.1	56.5	11.5	21.8	26.7
Dark mineral (%)	23.9	21.4	23.3	26.3	62.2	38.2	48.2
Loss of ignition (%)	7.36	5.51	2.78	3.24	4.06	3.52	5.71
PH	3.7	3.7	4.3	4.8	3.1	3.5	3.9
Substitution acidity (cc)	15.72	33.00	7.20	0.60	31.20	42.90	30.00

3・2 不攪乱三軸圧縮試験

φ7~10 cm, h 15 cm および φ20 cm, h 45 cm の供試体により, [FM-Cu (自然含水比で圧密を行い非排水の状態でせん断), Sr-Cu (自然含水比から飽和させて後圧縮を行い非排水の状態でせん断) 試験を行った結果は次のようである。

FM-Cu		Sr-Cu	
C	φ	C	φ
① 0.31 kg/cm ²	22°40'	0.12 kg/cm ²	36°40'
0.28 kg/cm ²	32°15'		
② 0.74 kg/cm ²	31°40'	—	—
②' 0.61 kg/cm ²	44°30'	0.63 kg/cm ²	36°00'
0.33 kg/cm ²	38°40'	1.13 kg/cm ²	44°00'

3・3 転圧によるマサ土の細粒化現象

マサ土の物性は地域により相当差異があるが当地区では, 地山の密度と風化度には密接な関係がみられ, 地表より深くなるにつれて乾燥密度 γ_d は増加する。しかし, 悪いところでは深さ10mの層でも, γ_d が1.5 g/cm³を下まわる場合がある。とくに長石砂粒の風化が著しく, 容易に圧壊され, 最も硬い石英砂粒でもすでにひび割れ現象が大量に発生していることが顕微鏡によって確認された。(Fig.10)室内実験においてもこの細粒化現象が明白である。

初期含水比18.9%の試料を E_c 100, E_c 200, E_c 300% (JISA 1210 の第1方法により, 10 cm のモールドを使用し, 2.5 kg ランマーを各突固め面より 30 cm の高さから25回自由落下させて突固めた場合を E_c 100%と表示する。したがって50回は E_c 200%, 75回は E_c 300%と表す) のエネルギーで突固めた後, 100℃で炉乾燥し, 水洗いによるフルイ分析をした結果は Fig.3 に示すとおりであり次のことが判明した。

(1) 風化粒子は E_c 100%で大部分が細粒化し, E_c 200, E_c 300%でも, E_c 100%の場合とほとんど差異がない。

(2) 細粒化の度合いは, 粒径 1 m/m~7 m/m 程度のものが約5%程度細くなり, 微粒子の方がその分だけ多くなる。

Fig. 3. Grain size accumulation curve before and after compaction.

4 改良マサ土の諸性質²⁾

ソイルセメントの試験に用いた材料は Table I の T地区G試料によるもので地質区分②に属する砂状マサである。これらにセメントを添加して試験した諸性状は以下に示すとおりである。

4・1 物理的, 力学的性質

4・1・1 真比重 真比重 2.675 のマサ土にセメントを3, 6, 9% (マサ土の乾燥重量に対する重量百分率) 加えた場合のソイルセメントの真比重は Table II に示すとおり, セメントを添加した分だけ増加する。

Table II. True specific gravity of decomposed granite by mixing of cement.

Cement content (%)	0	3	6	9
True specific gravity (g/cm ³)	2.675	2.682	2.689	2.694

4・1・2 突固め試験

(1) 最大乾燥密度: セメント添加率3, 6, 9%の3種類と, 未添加のマサ土とを比べるために, E_c 100, E_c 200, E_c 300%による突固め試験を行った。その結果, 最大乾燥密度とセメント添加率との関係は, Fig. 4 に示すように各エネルギーとも直線的に変化し, 密度の増加率もほぼ同じ値を示している。これはマサ土の粒度分布が比較的一定なためであり, E_c 100%では γ_d は1.62~1.68 g/cm³ となり, セメント添加率1%について 0.006 g/cm³ 増加する。

Fig. 4. Relation between maximum dry density and cement content.

(2) 含水比: マサ土に混合したセメントは, 水に必要な水分を土中から吸収するため, 初期含水比は変化することが予想される。したがって, セメントを混合する前と後の含水比を測定し, セメント添加率によって含水比の変化する関係を調べた。この結果, セメント添加率1%について含水比は0.32%低下することがわかり, セメント添加率5%の場合の含水比の調整

Fig. 5. Drop of moisture content by mixing of cement.

は、最適含水比 +1.6 % でよい。

(3) 突固め特性：セメント 5 % 添加した材料における突固め特性は、Fig. 6 に示すとおりである。密度の管理順値として、乾燥密度を $1.65 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$ とすれば、転位エネルギーは E_c 100% から E_c 200% 程度が必要である。

Fig. 6. Compaction curve of cement content 5 percents.

4・1・3 三軸圧縮試験 セメント添加率と強度との関係調べるために、供試体 ϕ 70 mm, h 145 mm により次の条件で三軸圧縮試験を行った。

- ・セメント添加率：0, 3, 6, 9 %
- ・拘束圧： $\sigma_3 = 0.2, 0.5, 1.0, 2.0 \text{ kg/cm}^2$
- ・突固めエネルギーと含水比：

E_c 100%, 含水比 25 %

E_c 100%, 最大乾燥密度 γ_{dmax}

E_c 300%, 最大乾燥密度 γ_{dmax}

供試体は一週間デンシテーター内で養生した後飽和させ、圧密非排水の状態で作荷し、そのせん断速度を 1 %/min (1.45 mm/min) とした。試験の結果は次のとおりである。

(1) 粘着力および内部摩擦角：モール応力円により解析した結果、粘着力と内部摩擦角は次のとおりであり、セメントの添加率を増せば、ともに増加する傾向にある。

セメント添加率 (%)	0, 3, 6, 9
粘着力 C (kg/cm^2)	0.5, 1.2, 2.1, 4.2
内部摩擦角 ϕ (°)	31, 37, 41, 43

(2) せん断強度：Fig. 7 に示すようにセメント添加率を増すことにより、せん断強度 ($\tau = C + \sigma \cdot \tan \phi$) は増加し、 E_c 100%, γ_{dmax} の場合には、その変化はほぼ直線的であるが、 E_c 300%, γ_{dmax} の場合はセメント添加率 9 % でとくにせん断強度の増加がみられる。

4・1・4 一面せん断試験 セメントを 5 % 添加した試料を ϕ 10 cm のせん断箱にセットし、相対変位 1 mm/min のせん断速度で非圧密非排水せん断試験を行った。そのうち、 E_c 100%, $\gamma_d = 1.550 \text{ g/cm}^3$, $w = 18\%$ の試料によるせん断力と水平変位の関係を示すと

Fig. 7. Relation between cement content and shearing stress.

Fig. 8. Relation between shearing stress and horizontal strain.

Fig. 8 のとおりであり、ピーク強度 τ_f と残留強度 τ_u の関係がわかる。すなわち、材料とともに τ_f は増加するが変位差は小さくなっており、残留せん断強度における ϕ は最大せん断強度に対する ϕ よりやや小さく、 C は 0 に近い値となる。

4・1・5 引張強度、曲げ強度 セメント添加率 5 %, 含水比 17.6 %, 25 % の試料について Fig. 6 の ▲ 印の密度となるように突固めエネルギーを変えて供試体を作成し、圧裂試験 (供試体 ϕ 50 × 100 mm), 曲げ試験 (供試体 40 × 40 × 160 mm 角柱) を行った。その結果は、Table III のようであり、乾燥密度 $1.65 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$ で管理した場合、曲げ強度 2.0 kg/cm^2 , 引張強度 1.7 kg/cm^2 程度と想定できる。これは、温

Table III. Tensile strength and bending strength.

Test case	(Curing age, 7 days)			
	Dry density (g/cm ³)	Moisture content (%)	Bending strength (kg/cm ²)	Tensile strength (kg/cm ²)
1	1.747	17.6	3.7	1.7
2	1.562	17.6	2.0	1.7
3	1.562	25.0	1.1	0.9

度応力等による表面の引張力を解析し、セメントの混合率を決める一つの要素となる。

4・1・6 透水係数 三軸圧縮試験に先立ち、供試体を飽和させるときに測定した透水係数は Table IV のとおりであり、セメントの添加による効果はとくにみられない。しかし、現地で測定した地山の状態の透水係数と比べると、 10^{-1} オーダーは転圧により改良されることが判り、少くとも 10^{-4} cm/sec 以上の透水係数が得られる。

4・1・7 材令と強度の関係 ³⁾ 材令による強度の増加を調べるためにセメント添加率 5% の試料について、材令 7, 14, 28 日において、非圧密非排水三軸圧縮試験を行った結果、次のことがわかった。

(1) 粘着力は材令とともに増加するが、内部摩擦角は逆に減少する。これは側圧の小さい場合の強度増加が顕著なためである。

(2) 材令 28 日における圧縮破壊時の軸差応力は、 $10 \sim 25$ kg/cm² 程度であり、7 日の値に比べて 20~50% 増加している。

(3) 弾性係数は材令とともに増加し、材令 28 日における値は、 $600 \sim 1800$ kg/cm² である。また、破壊ひずみは 2~6% と逆に減少する。

先に 4・1・4 で述べたせん断試験と三軸圧縮試験で求めた C , ϕ を比較してみると Fig. 9 のとおりであり、 ϕ はせん断試験の結果の方が大きく、 C は三軸圧縮試験の方がやや大きくなる。

4・1・8 耐久性 セメント添加率 5%, 含水比 17.6% で乾燥密度が 1.75 g/cm³ になるように突固めた供試体 ($\phi 70 \times h 145$ mm) について凍結融解試験を行った。その方法は、7 日間空中で養生を行い、凍結、融解を 0, 1, 3, 7, 14, 21, 28 サイクル繰返した後、一軸圧縮試験を行い、その強度低下により耐久性を判断した。凍結は -35°C の冷気により、また、融解は 10°C の温水による水中融解と 35°C の暖気による空中融解の二通りの方法をとった。この結果、水中融解した場合は、14 サイクルで供試体は崩壊し、空中融解では、28 サイクルで初期圧縮強度の約 1/2 の 6 kg/cm² に低下した。

Fig. 9. Comparison of strength constant C , ϕ by direct shear test or triaxial compression test. (Maximum shear strength)

Table IV. Coefficient of permeability.

			Dimension (cm/sec)			
Cement Content	Confined pressure		$\sigma_3=0.2$ (kg/cm ²)	$\sigma_3=0.5$ (kg/cm ²)	$\sigma_3=1.0$ (kg/cm ²)	$\sigma_3=2.0$ (kg/cm ²)
	Compaction energy					
(%)						
0	E_C 300	γ_{dmax}				1.679×10^{-5}
	E_C 100	γ_{dmax}				7.925×10^{-6}
	E_C 100	$W=25\%$				1.465×10^{-5}
3	E_C 300	γ_{dmax}	7.329×10^{-5}	8.754×10^{-6}	2.612×10^{-5}	3.583×10^{-5}
	E_C 100	γ_{dmax}	1.546×10^{-4}	1.619×10^{-4}	8.407×10^{-5}	1.358×10^{-4}
	E_C 100	$W=25\%$	2.208×10^{-5}	4.132×10^{-6}	2.387×10^{-6}	2.359×10^{-6}
6	E_C 300	γ_{dmax}				9.876×10^{-6}
	E_C 100	γ_{dmax}	6.726×10^{-6}	1.036×10^{-4}	1.445×10^{-6}	1.505×10^{-6}
	E_C 100	$W=25\%$	2.155×10^{-5}	5.296×10^{-6}	2.486×10^{-6}	1.363×10^{-6}
9	E_C 300	γ_{dmax}				
	E_C 100	γ_{dmax}		1.563×10^{-6}	5.795×10^{-7}	1.556×10^{-5}
	E_C 100	$W=25\%$				

4・1・9 含水比と圧縮強度 $\phi 70 \times 145$ mm の供試体（初期含水比 20.6%）を一週間空中で養生した後、含水比をかえて一軸圧縮試験を行った結果、圧縮強度 q_a と含水比 w の間にはかなり顕著な相関がみられ、含水比 1% について圧縮強度は 0.4 kg/cm^2 低下する。

4・2 熱的性質

ソイルセメント材はセメントの添加量も少く、強度発現も小さいので、熱の発生は微量であると思われるが、堤体内の熱応力解析の定数を得るため、セメント 5% 添加した材料について次の諸特性が得られた。

4・2・1 熱伝導率 中空円筒形の供試体（ $\phi 20 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$ ）の中央の中空部分を加熱することにより、供試体内部に放射状の熱の流れを発生させ、この流れが定常温度状態になったときの供試体外面の温度と与えた熱量を測定し、熱伝導率 K を求めた。その結果、 $K=1.37 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ が得られた。

4・2・2 熱拡散率 一定温度に熱した供試体（ $15 \times 30 \text{ cm}$ ）を水中に投入し、中央部分の温度変化により熱拡散率（ h^2 ）を測定した。その結果 $h^2=0.00188 \text{ m}^2/\text{h}$ が得られた。

4・2・3 熱膨張係数 角柱供試体（ $10 \times 10 \times 20 \text{ cm}$ ）の定点間の温度変化によるひずみの測定から、熱膨張係数 $\epsilon_t=6.57 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ が得られた。

4・2・4 断熱温度上昇 材料の温度を 20°C に保ち、 $\phi 33.5 \times 28 \text{ cm}$ の亜鉛びき鉄板製の容器内に所定の密度まで突固めた後、完全に密封し、これを断熱槽の中に設置し温度上昇を測定した結果は、84 時間で温度上昇 6°C となり、その後は一定となった。

4・2・5 比熱 比熱として、前記各数値を使用して計算した結果 $C=0.387 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ が得られた。

以上によるデータを使用し非定常熱伝導解析を行った結果、最もきびしい条件においても表層のごく一部に 1.3 kg/cm^2 程度の引張応力が生ずる結果を得たが、4・1・5 の引張強度から考えてクラック発生等についてとくに問題ない。

4・3 化学的性質

セメントはマサ土中の粘土鉱物と反応し、水和生成物を形成することが考えられるが、セメントの添加量が少いため、難しいと思われたが次の諸測定により確認した。試験に用いた材料はセメント 5% に石灰をセメントに対して 60% 添加したものである。石灰添加は主としてポゾラン反応（土粒子表面に吸着されたカルシウムが土中のシリカやアルミナと反応して安定した生成物を作る）による効果を期待したものである。

4・3・1 顕微鏡による写真観察 光学顕微鏡による 200 倍の写真では長石、石英、雲母等の $0.1 \text{ mm} \sim 1.0 \text{ mm}$ 程度の粒子の構造が明確に観察でき、長石の風化が進展してき裂の入っている状態がみられ、風

(By optical microscope, magnification : 200)

(By electron microscope, magnification : 10000)

Fig. 10. Micro structure of soil-cement.

化現象が端的に観察された (Fig. 10)。また、電子顕微鏡による 10 000 倍写真では、粘土鉱物の結合状態が観察された (Fig. 10)。しかしこのような写真観察だけではセメントの水和物は明らかではなかった。

4・3・2 X線回折 材令 1 か月の試料による X 線回折ではセメントおよび石灰による生成物として、参考文献 4) のデータより加水ゲーレンナイト ($\text{HG} : 2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) が確認された (Fig. 11)。これらは粘土鉱物中の加水ハロイサイトやカオリナイトと石灰の水和反応によるものである。

Fig. 11. Confirmation of a hydrated compound by X-ray diffraction diagrams.

4・3・3 遊離石灰の測定 遊離石灰 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の測定ではいずれの試料においても存在しなかった。遊離石灰が全く存在しないのは、セメントの水和反応が

進行しないのではなく、遊離石灰が吸着されたり、加水ゲーレンナイト等の生成に使われているためと考えられる。

4・3・4 示差熱分析 確認された粘土鉱物はマサ土中の鉱物が大部分で、600℃における鋭い吸熱ピークは加水ハロイサイトおよびカオリナイト、600～700℃のブロードな吸熱ピークは緑泥石、モンモリロナイト、200℃付近のブロードな吸熱ピークおよび300℃付近の吸熱ピークはバーミキュライトによるものである。

また、約210℃付近でみられる吸熱ピークは加水ゲーレンナイトの水分子の脱水に相当するものである (Fig. 12)。

Fig. 12. Confirmation of a hydrated compound by differential thermal analysis.

5 結 論

従来より用いられているフィルダムの築堤材料は、材料自身の結合力が弱いと外力に対する抵抗力が不足して崩壊にいたる例が多い。以上に述べたことは、これらの欠点を補うために土質材料にセメントを添加し、物性を改良し土の塑性的な性状を残し、しかも初期の強度より強い材料を得る目的で行った材料試験の結果を要約したものである。土質材料として砂質土であるマサ土を使用し、セメント添加の割合いと物性および強度定数との関係をつかみ、安定解析、応力解析、

動的解析等を行った結果から判断し、変形性および強度的にも所期の目的にかなう材料としてセメント添加率5%を決定した。材料は均質となるよう充分ミキシングを行い転圧して盛り立てる工法を取れば1.5kg/cm²以上の粘着力がえられ、残留強度もセメント未添加の材料より約2割増となる。これは軟弱な地盤上に適用して効果のあるものと判断される。さらに、砂質土以外についても他のソイルセメントの実績から充分改良効果があるものと考えられる。その他、安定解析、静的および動的応力解析、施工設備等についても検討を加えたが構造物として充分安定で経済性にも優れていることが判明した。これら詳細については別稿に述べる。

終りに、この着想が各種の土木構造物に適用され、推進されてゆくことを願うものであり、また、ご教示を賜った愛知工業大学大根教授を始め試験の協力を願った電力中央研究所、小野田セメント中央研究所、日本技研(株)の各位に深甚の謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 三笠正人, 木下哲生, 望月秋利 「マサ土のセン断特性」, 第23回日本土木学会年次学術講演会 (1967)。
- 2) 松尾新一郎, 西田一彦, 福田 護, “マサ土のセメント安定処理の効果について”, 第3回土質学研究発表会, (1967)。
- 3) 山内豊聡, 石堂 稔, “三軸圧縮試験による材令初期のソイルセメントの性質について”, 土と基礎, Vol. 9, No. 1 (1961)。
- 4) Ariizumi, A., “Formation of Hydrated Gehlenite through the Reaction of Clay Minerals and Lime”, Proceedings of the 5th International Symposium on the Chemistry of Cement, Tokyo Part II, p.138 (1968)。