

有機質土の性状と施工性に関する研究 (その2)

——セメント・石膏混合土の強度特性——

斎藤 二郎 細谷 芳巳
西林 清茂

Studies on Characteristics of Organic Soils and their Applications (Part 2)

——Strength Characteristics of Organic Soils Stabilized with Cement and Gypsum——

Jiro Saito Yoshimi Hosoya
Kiyoshige Nishibayashi

Abstract

The mean water content of organic soil is about 257% and the organic content about 35.8%. Prescribed amounts of portland cement and gypsum were added to the organic soil and investigations were made of the effects of difference in type of gypsum (calcined gypsum, natural gypsum), addition rate, and curing conditions on unconfined compressive strength. Further, CBR tests were conducted on stabilized soils of typical mixing ratios. As a result, the facts below were confirmed.

(1) The influence of portland cement on strength increase is greater compared with that of gypsum, the effect of gypsum being largely that of an aid.

(2) The influence of calcined gypsum on strength increase is greater compared with that of natural gypsum, but the strength with natural gypsum may be made equal to that with calcined gypsum by increasing the addition rate.

(3) When the total addition rate of cement and gypsum is held constant, within the practical limit of of addition rate of 20% the ratio of calcined gypsum addition rate to the cement plus calcined gypsum addition rate is asymptotic to roughly 0.3 as the total addition rate is increased.

(4) As a result of CBR tests it is confirmed that some of the stabilized soils can be used as subgrade or subbackfilling materials.

概 要

今回対象とした有機質土は、平均含水比 $W \approx 257\%$ 、有機物含有量 $Lig \approx 35.8\%$ の腐植土である。これに所定のセメント、石膏を混合し、石膏の種類（焼石膏、二水石膏）、混合率、養生条件の相違が一軸圧縮強度に及ぼす効果について調べた。さらに代表的な混合率の安定処理土に対する CBR 試験を実施した。その結果、以下のことが判明した。

(1) 安定処理土の強度増加に寄与するのは、セメントが主体であり、石膏はあくまで助剤としての役割が大きい。

(2) 石膏は、焼石膏の方が効果大であるが、二水石膏も混合率増加によって焼石膏と同等の強度となし得る。

(3) セメント・石膏の合計混合率を一定とした場合、実用範囲の混合率20%以内では、合計混合率の増加に伴ない焼石膏混合率 / (セメント + 焼石膏) 混合率はほぼ 0.3 に漸近する。

(4) CBR 試験の結果、混合土のあるものは下部路床材あるいは下部裏込め材として使用できる。

1. まえがき

前報では、高含水、高圧縮性の極めて悪い土性を有する有機質土の安定処理を目的として、茨城県鹿島産腐植

土（平均含水比 $w \approx 260\%$ 、有機物含有量 $Lig \approx 45\%$ ）に (1)生石灰、(2)普通ポルトランドセメント、(3)セメント + 石膏、(4)普通土（川砂、山砂、関東ローム）を混合し、その混合率、養生期間を種々変化させてその強度特性を

比較検討した。その結果、セメント・石膏混合が腐植土の処理に著しい効果を示すことが判明した¹⁾。

今回は、そのセメント・石膏混合により安定処理した有機質土の強度特性をより詳細に把握するため、石膏の種類(焼石膏、二水石膏)、セメントおよび石膏の混合率、養生条件が強度(一軸圧縮強度、CBR)に及ぼす影響について報告する。

2. 試料および混合材料

2.1. 使用した試料

今回の実験に用いた試料土は、含水比が220%から300%

までバラツキのある千葉県佐倉市白井産の攪乱腐植土である。この試料の含水比を一定にするため、大型コンクリートミキサーにて約20分間練り返した。この

ようにして得られた調整試料土の含水比は $\omega = 257 \pm 3\%$ 、有機物含有量は $Lig = 35.8 \pm 0.2\%$ である。その物性を表一に示す。試料土は保存中の蒸発による含水比の低下を防ぐためビニール袋に詰め、水を張った内容積60ℓのポリバケツに入れて密閉保存した。

2.2. 混合材料

安定処理材として用いたセメントは、住友セメント(株)製普通ポルトランドセメントであり、また石膏は吉野石膏(株)製焼石膏および二水石膏である。その物性を表二に示す。

一般に、焼石膏($CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$)は二水石膏($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)を加熱してその結晶水の%を失ったもので、無水石膏($CaSO_4$)にいたる中間生成物である。よって焼石膏は1分子中% H_2O の水を吸収する能力が潜在しており、自硬性がある。逆に二水石膏は、そのように固結したものを粉砕したものと同じであるから自硬性はな

い²⁾。

3. 試験方法

3.1. 供試体作製方法

必要量をポリバケツより取り出し、小型ソイルミキサーで数分間練り返した後、所要の混合材を添加してさらに均一になるまで混練りを行い、直径5cm、高さ12.5cmの2つ割りモールドを用いて一軸圧縮試験用供試体を作製した。安定処理土の一軸圧縮試験用供試体の作製方法は、土質工学会(JIS原案)で規格案が定められているが、この実験に使用した腐植土は、安定処理材を混合しても、混合直後の試料は柔らかく流動性があり、締固めは不可能であった。そこで、混合土を少量ずつモールドに入れ、これをゴム盤上に落下させて、十分密で脱型しやすい作製方法を探った。

また、室内CBR試験用供試体も、ランマーによる突き固めが不可能なため、ゴム盤上に落下させて作製した。

3.2. 試験の種類と試験条件

3.2.1. セメントおよび石膏の混合率と一軸圧縮強度

腐植土にセメントと石膏を混合すると、大幅な強度増加が期待できるが、石膏の種類、セメントおよび石膏の各混合率が強度に及ぼす影響については不明である。そこで、以下の試験を実施した。

(1) 石膏の種類(焼石膏、二水石膏)による相違(以後、試験Aと呼ぶ)。

(2) セメントおよび石膏の混合率が強度の増加に及ぼす効果(以後、試験Bと呼ぶ)。

(3) 最適混合率となるセメントおよび石膏の混合率(ここでいう最適混合率とは、合計混合率を一定にした場合、各合計混合率で最大強度を示すセメントおよび石膏の混合割合。以後、試験Cと呼ぶ)。

試験A、B、Cにおけるセメントおよび石膏の混合率は、それぞれ表一3、表一4、表一5に示すとおりである。ここで、混合率はすべて腐植土に対する重量比で表わしている。

養生方法は、養生中の吸水または乾燥を防ぐため、ビニールで完全密封した上、温度30℃、相対湿度90%以上に保った恒温恒湿室で28日間養生を行った。

3.2.2. 養生条件と一軸圧縮強度 安定処理土の養生

比重	Gs	2.15~2.20
含水比	W(%)	257
pH(H ₂ O)		6.0
有機物含有量	(%)	35.8
透水係数(攪乱土)	k(cm/sec)	(1~7)×10 ⁻⁷
液性限界	W _L (%)	246
塑性限界	W _P (%)	116
粒度	砂分(74~2000μ)%	8.4
	シルト分(5~74μ)%	41.8
	粘土分(5μ以下)%	49.8

表一 腐植土の土性一覧

	示性式	分子量	比重	結晶水(%)		比熱 (cal/mol)	水和熱 (cal/mol)	溶解度 g/100g水	
				理論値	実験値			3°C	50°C
二水石膏	CaSO ₄ ·2H ₂ O	172.17	2.315	20.92	20.92	21.84	—	0.181	0.204
焼石膏 α型	α·CaSO ₄ ·1/2H ₂ O	145.15	2.757	6.21	6.21~8.0	16.95	4100±20	0.825	0.426

表二 二水石膏と焼石膏の物性³⁾

	セメント混合率 %				
	6	8	10	12	15
石膏混合率 (二水石膏 焼石膏) %	0	0	0	0	0
	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2
	3	3	3	3	3
	4	4	4	4	4

表-3 試験Aにおけるセメントと石膏の混合率の組合せ

セメント7% 焼石膏1%				セメント8% 焼石膏2%			
セメント	焼石膏	セメント	焼石膏	セメント	焼石膏	セメント	焼石膏
7	1	1	8	1	2	6	2
	3			2		8	
	4			3		9	
	5			4		10	
	6			5		11	
	7			6		12	
				7		13	
		8	15				
			16				

セメント9% 焼石膏3%				セメント11% 焼石膏4%			
セメント	焼石膏	セメント	焼石膏	セメント	焼石膏	セメント	焼石膏
9	1	3	11	1	4	6	4
	2			2		7	
	3			3		8	
	4			4		9	
	5			5		10	
	6			6		11	
	7						
	12						
	13						

表-4 試験Bにおけるセメントと石膏の混合率の組合せ

合計混合率%	混合材料	混合率 (%)					
8.0	セメント	7.75	7.50	7.0	6.0	5.0	
	焼石膏	0.25	0.50	1.0	2.0	3.0	
10.0	セメント	9.5	9.0	8.0	7.0	6.0	
	焼石膏	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	
12.0	セメント	11.0	10.0	9.0	8.0	7.0	
	焼石膏	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	
15.0	セメント	13.0	12.0	11.0	10.0	9.0	
	焼石膏	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	
20.0	セメント	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	
	焼石膏	7.0	6.0	5.0	4.0	3.0	

表-5 試験Cにおけるセメントと石膏の混合率の組合せ

方法の相違が強度に及ぼす効果や長期材令に伴う強度変化を調べるため耐久性試験を実施した。養生方法は水浸養生(平均水温19℃)と非水浸湿気養生(恒温恒湿槽内; 温度30℃, 平均湿度90%)の2種類であり, 同時に型枠有無による吸水効果の違いも比較した。

混合率は, 代表的混合率としてセメント8%, 石膏2%を選んだ。また, 養生方法は, 供試体作製後に湿気養生を7日間行い,

その後各養生条件のもとで3, 7, 14, 28, 60, 120, 180日間養生した。

3.2.3. セメント・石膏混合率

安定処理した地盤の支持力特性を把握する試験として CBR 試験を実施した。混合率は 4.3 の結果から得られた最適混合率の組合せとして, 表-6 に示すものを用いた。養生方法は, 水浸養生および非水浸養生の2種類とし, 養生期間は JIS A 1211 に準じて 4 日間とした。

4. 実験結果と考察

4.1. 石膏の種類による強度特性の相違

図-1 は, セメント・石膏混合土の強度発現に関して石膏の種類による相違を材令28日の強度で調べたものである。図より, 石膏混合はセメント単独混合に比べて著しい強度増加を示し, 混合率の増加に伴って強度は大きくなるのがわかる。

焼石膏と二水石膏を比較すると, 二水石膏より焼石膏の方が効果大であるが, 二水石膏でも混合率を増せば強度が増大し, 焼石膏とほぼ同じ強度になる。すなわち, 焼石膏の1%および2%には二水石膏のそれぞれ2%, 4%が良い対応を示しており, 今回の実験結果からは, 焼石膏に比べて二水石膏を約2倍にすればほぼ同じ強度が得られるものと判断される。

セメント混合率(%)	石膏混合率(%)	合計混合率(%)
7	1	8
8	2	10
9	3	12
11	4	15

表-6 CBR 試験に用いたセメントおよび石膏の混合率

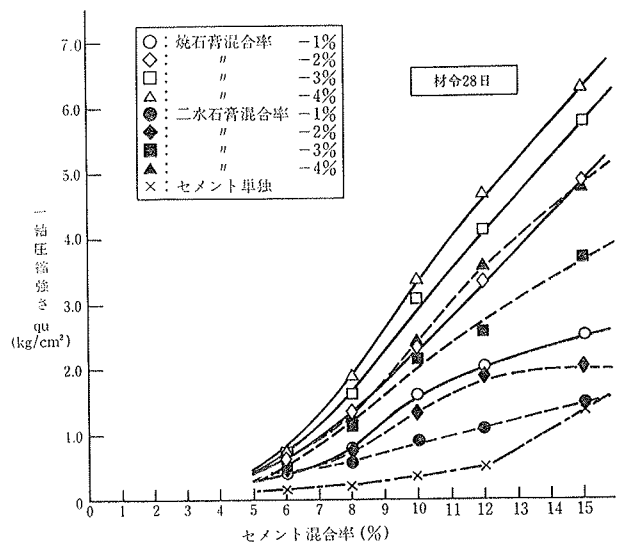


図-1 セメント混合率と一軸圧縮強さの関係 (焼石膏, 二水石膏の強度比較を含む)

このように、セメント・石膏による安定処理において、石膏として焼石膏を用いた場合と二水石膏を用いた場合とで一定の比例関係が認められたので、以下の試験には全て焼石膏を用いた。

4.2. セメントと石膏の強度増加に与える影響

図-1 はまた、石膏混合率を一定としてセメント混合率を変化させた場合の強度特性を示している。図中には、前述したようにセメント単独混合の場合も示しているが、強度の伸びはセメント混合率が増すほど大きくなっている。

図-2 は逆にセメント混合率を一定として石膏混合率を増加させた場合である。石膏の増加に伴い強度も増加するが、次第に強度増加程度の鈍る部分が生じている。この石膏混合率4~6%付近が最も効果的な石膏の配合割合と考えられる。

以上のことから判断して、安定処理土の強度増加に寄与するのはセメントが主体であり、石膏はあくまでも助剤としての役割が大きいといえる。

4.3. 最適混合率

セメントと石膏（焼石膏）の試料土に対する合計混合率を一定とした中で、両者の混合率を変化させた場合の結果が図-3 である。図より、合計混合率を一定にした場合、各合計混合率で最大強度を示す混合割合（最適混合率）が存在し、

合計混合率(%)	8	10	12	15	20
セメント混合率 (%)	7 (88)	8 (80)	9 (75)	11 (73)	14 (70)
焼石膏混合率 (%)	1 (12)	2 (20)	3 (25)	4 (27)	6 (30)

表-7 最適混合率の組合せ

合計混合率の増加により最適混合率となるセメントおよび石膏の混合割合もそれぞれ増加している。表-7 にその最適混合率の組合せを示す。()内は各混合率が全混合率に占める割合を%で示している。図・表より、合計混合率が増加すると最適混合率のピークは合計混合率に占める石膏混合割合の大きい方に移動し、ほぼ0.3 付近に漸近しており、また、この時の一軸圧縮強さは二次曲線的に増加することがわかる。

4.4. 養生条件による強度特性の相違

図-4 は、セメント8%、石膏2%で安定処理した試料について養生方法（水浸、非水浸湿気養生、型枠の有・無）による相違を養生期間180日までの値で調べたものである。図より、水浸・非水浸、型枠の有無など養生方法による明確な差は見い出せない。また、養生期間の効

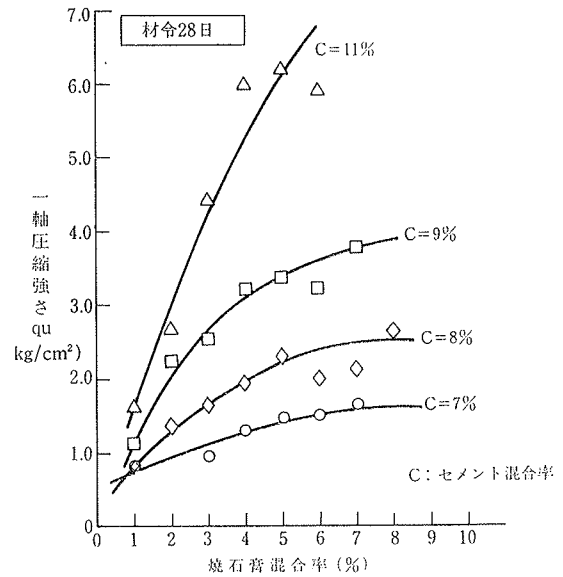


図-2 焼石膏混合率と一軸圧縮強さの関係

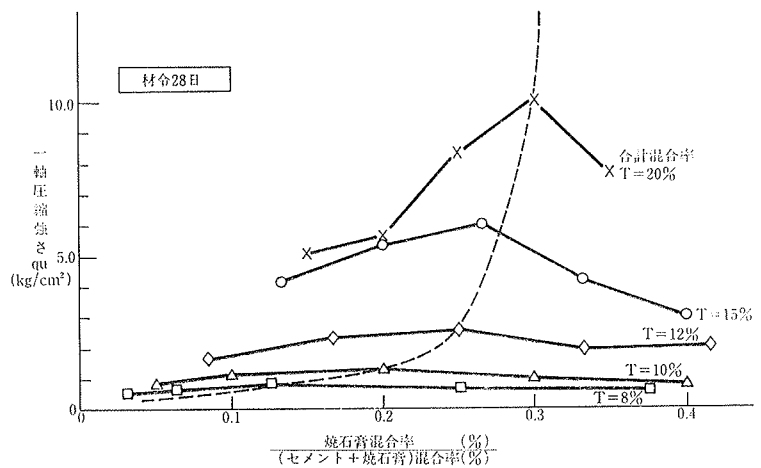


図-3 最適混合率と一軸圧縮強さの関係

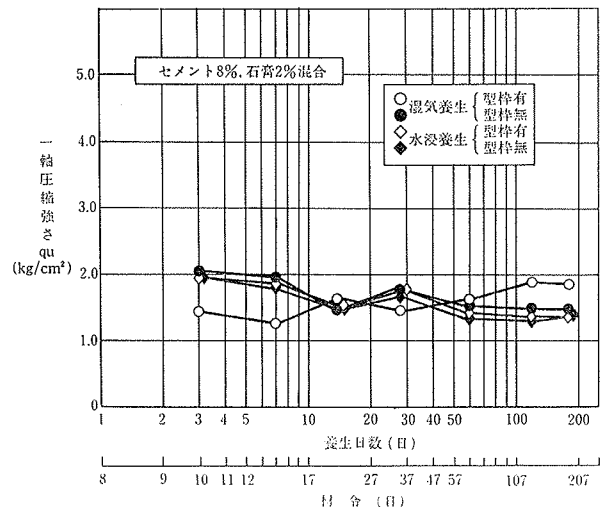


図-4 養生方法・養生期間による一軸圧縮強さの変化

果をみても、型枠を付けたまま十分な湿気養生を行ったものが他に比べて幾分強度増加しているようであるが、この程度の増減は実験誤差とも考えられ、養生条件の差が強度に与える影響を言及するまでには至らない。なお、図中の値はいずれも脱型枠7日（材令7日）後の養生期間に対して求めているので、材令に伴う強度発現はほぼ10日以内に完了しているものと判断される。

4.5. CBR 特性

図-5は、4.3.で求めた最適混合率の配合割合で安定処理した試料のセメント・石膏合計混合率と CBR 値の関係をみたものである。合計混合率が増すと CBR 値も増加する。また、水浸養生と非水浸養生の差はほとんどなく、わずかに水浸養生の値が下回っている程度である。

得られた値の具体的な使用目的を考察する手段として、日本道路公団示様書を参考にすれば、今回の実験では上部路床、上部裏込め材の適用基準である CBR 10% を越えるものはなかったが、下部路床、下部裏込め材として適用できる CBR = 5% はほとんどの場合で満足している。この基準値 CBR = 5% を確保するセメントおよび石膏の最適混合率は、図-5より合計混合率が9.5%であるから、図-3を参考にして、

$$\frac{\text{石膏混合率 (G)}}{\text{石膏混合率 (G)} + \text{セメント混合率 (C)}} = 0.18$$

より、セメント7.8%、石膏1.7%と求まる。

5. まとめ

以上、腐植土を安定処理して有効利用するために行った実験結果のうち、前報でその処理効果が高く評価されたセメント・石膏混合処理に関して、さらにその配合割合効果、養生効果、CBR 特性を調べた。この実験研究で得られた結果をまとめると次のようである。

(1) 石膏の種類による相違は、焼石膏混合の方が二水石膏混合よりも強度大となる。しかし、二水石膏でも混合率を増せば焼石膏とほぼ同等の強度が得られる。

(2) 安定処理土の強度増加に寄与するのは、セメントが主体であり、石膏はあくまでも助剤としての役割が大きい。

(3) セメント・石膏の合計混合率を一定とした場合、実用範囲の混合率20%以内では、合計混合率の増加に伴い焼石膏混合率/(セメント+焼石膏)混合率はほぼ0.3に漸近する。

(4) 養生条件の相違は、型枠付き、湿気養生のものが

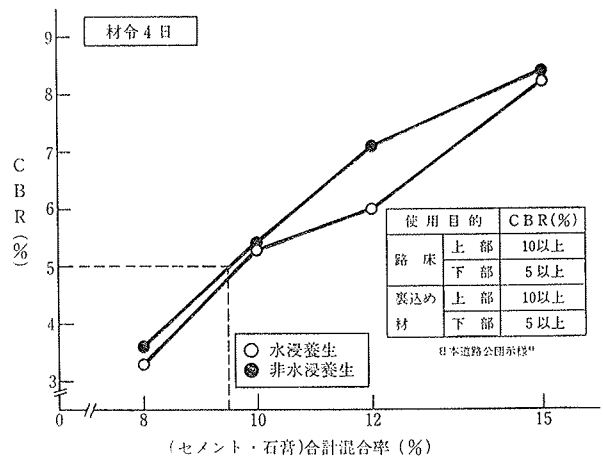


図-5 セメント・石膏合計混合率と CBR 値の関係

型枠無し、水浸養生のものに比べて若干強度増加の傾向を示すが、材令180日に対しては大幅な差はない。

(5) CBR 試験の結果、混合土のあるものは下部路床材あるいは下部裏込め材として使用できる。

6. あとがき

従来、“特殊土”に分類され、扱いにくい土の代名詞のようにいわれてきた有機質土（特に腐植土）を安定処理し、建設材料として有効利用する面から前報に引き続き検討を加えた。室内実験的には、その可能性は大いに期待できるものと考えられるが、耐久性、圧縮性、さらに締固め性状の改善なども含めた施工方法の確立など、まだまだ未解明な問題が数多く残っている。これらについては、今後さらに研究を進めてゆくつもりである。

最後に、本実験研究を進めるにあたり、法政大学 山門教授のもとで指導を受けていた中島誠、畠山秀夫、岡崎正彦の3氏に協力頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 斎藤，西林，細谷：有機質土の性状と施工性に関する研究（その1）——セメント系安定処理による強度特性について——，大林組技術研究所報，No. 16，（1978）
- 2) 例えば，W. チェルニン著，徳根吉郎訳：建設技術者のためのセメント・コンクリート化学，技報堂
- 3) 村上恵一：新しい資源・セッコウとその利用，ソフトサイエンス社，p. 190
- 4) 日本道路公団設計要領：p. 20，p.21，p. 33の3