

有機質土の性状と施工性に関する研究 (その4)

——有機質土のセメント系安定処理による強度特性——

齋藤 二郎 西林 清茂
細谷 芳己

Studies on Characteristics of Organic Soils and their Applications (Part 4)

——Strength Characteristics of Organic Soils Stabilized with Cement, Etc.——

Jiro Saito Kiyoshige Nishibayashi
Yoshimi Hosoya

Abstract

This report describes studies on the characteristics of stabilized organic soils with the purpose of effectively utilizing such soils as construction materials. The contents of the report consist of two parts: (1) unconfined compressive strength characteristics of stabilized Hokkaido peat (mean water content $W=720\%$, organic content $Lig=72\%$) for which the parameters are admixture, curing time after mixing, kinds of sand and mixing rates, water content and organic content prepared artificially, (2) soil engineering characteristics of stabilized organic soils in Chiba ($W=200\sim 300\%$, $Lig=30\sim 50\%$), the parameters being consistency, cold resistance, water resistance, compressibility, etc. As a result, the facts below were confirmed: that the soil engineering characteristics can be improved and be effectively utilized if the proper kinds of organic soil and mixing term are selected.

概 要

この研究は、有機質土の有効利用を目的とした安定処理土の工学特性に関するものである。本文の内容は、(1) 北海道産泥炭(含水比 $W=720\%$ 、有機物含有量 $Lig=72\%$) をもとにした安定処理土の強度特性(安定処理効果、混合後締固めまでの放置時の影響、砂の種類と混合効果、人工調整試料の強度特性)の他、(2) 千葉県産腐植土($W=200\sim 300\%$ 、 $Lig=30\sim 50\%$) をもとにした安定処理土の工学特性(コンシステンシー特性、耐寒・耐水性、圧縮特性など)についてまとめている。

結論として、対象とする有機質土や混合条件を適切に選べば、工学特性を改良することができ、十分有効利用が可能となることが判明した。

1. まえがき

繊維質有機質土(通称腐植土と呼ぶ)の有効・再利用を目的として、昭和51年以来安定処理土の工学特性について室内および現場実験により研究を進めてきた。その結果、石膏を助剤とするセメント系安定処理材の適用により、ある程度その再利用がはかれることが判明した。セメント+石膏混合により安定処理された腐植土の特性については、既報その1~その3にて報告している^{1)~3)}。

本文では、多種ある有機質土の中でも特に劣悪とされる北海道産泥炭試料の安定処理強度特性について、これまでの結果と比較しながら考察するとともに、安定処理された有機質土の工学特性に関する未発表資料⁴⁾も加えて報告する。

2. 使用した泥炭試料と混合材料

今回対象とした試料は、北海道江別市産の泥炭であり、自然含水比 $W_n=600\sim 1,000\%$ 、平均 720% 、強熱減量試

験による有機物含有量 $L_{ig} = 72\%$ と極めて高含水、高有機質の代表的な泥炭土である。

混合した砂は、群馬県桐生産の山砂である。対象土と混合用砂の土性をあわせて表-1に示す。

試験項目	対象土		混合土	
	泥炭	山砂	泥炭	山砂
比重 G_s	1.77	2.66		
含水比 $\omega(\%)$	721.2	10.8		
有機物含有量 $L_{ig}(\%)$	71.5	1.5		
PH				
	5.0	6.2		
コンシステンス特性	液性限界 $LL(\%)$	478.0		
	塑性限界 $PL(\%)$	141.0	N.P.	
	塑性指数 IP	337.0		
粒度	礫・砂分 $(\%)$	23.0	81.0	
	シルト分 $(\%)$	7.0	13.0	
	粘土分 $(\%)$	70.0	6.0	
締固め	最大乾燥密度 $\rho_{dmax}(g/cm^3)$	—	1.86	
	最適含水比 $W_{opt}(\%)$	—	13.0	

表-1 泥炭と砂の土性一覧

安定処理材としては、従来の結果

をもとに普通ポルトランドセメントおよび二水石膏のいずれも市販材料を使用した。

3. 泥炭試料を主とする実験結果と考察

3.1. 泥炭の安定処理効果

図-1 (イ)は、セメントと石膏の合計混合率を一定とした上で、両者の混合率を変化させた場合(混合率は特にことわらない限り対象土の湿潤重量に対する重量化)の一軸圧縮強度である。同図より、

(1) セメント単独混合と比較して、セメント+石膏混合の効果は著しい。

(2) 各合計混合率ごとに最大強度を示す混合割合(最適混合率)が存在する。

という従来からの試験結果が今回の泥炭についても確認できる。

図-1 (ロ)は、同様な結果を示す臼井産腐植土についてみてみたものであるが、両図を比較すると明らかなよう

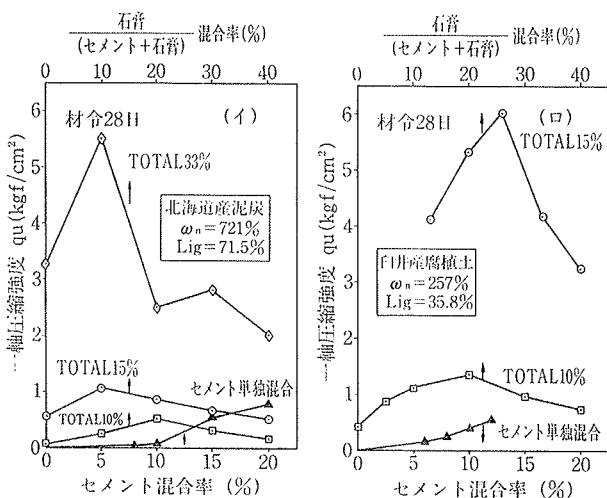


図-1 混合率と一軸圧縮強度の関係

に、泥炭の改良効果は臼井産の腐植土に比較して小さく、泥炭の高含水、高有機質性に起因しているものと考えられる。

3.2. 混合後締固めるまでの放置時間の影響について

図-2 (イ)、

(ロ)は、セメント・石膏・砂混合後、締固めるまでの放置時間と、所定時間放置後締固めた供試体の材令28日後における締固め密度および一軸圧縮強度である。

図より、混合後の放置により締固め密度は増加しているが、逆に

強度に関しては低下する傾向がみられる。これは、放置期間中に水和・硬化した試料が物理的に締固められ密度が上がる一方で、逆にせっかく固化した試料を締固め時の衝撃で壊すことになり、これが強度低下につながっていると考えられる。したがって、強度の面から考えれば、混合後締固め可能な範囲で出来るだけ早期に施工することが望ましいことになる。

図中には、 \downarrow 印でランマーによる締固めが可能となった時点を示したが、混合砂の増加により締固めが可能となる放置時間が短縮できることを示す好例である。

3.3. 砂の種類と混合効果

図-3は、これまで実施してきた関東周辺の腐植試料3種類と今回の泥炭1試料に対する砂混合率と強度の関係をまとめてみたものである。セメントと石膏の配合割合はいずれも8%、2%である。

各々、初期含水状態、有機物含有量などの土性に相違があるので、表われる強度に差はあるが、山砂混合と川砂混合では砂混合に伴う強度の表われ方に相違があるようである。すなわち、砂混合100%(有機質土:砂=1:1)の範囲では山砂混合は砂混合に伴って強度増加しているのに対し、川砂混合ではピークを示すかあるいは混

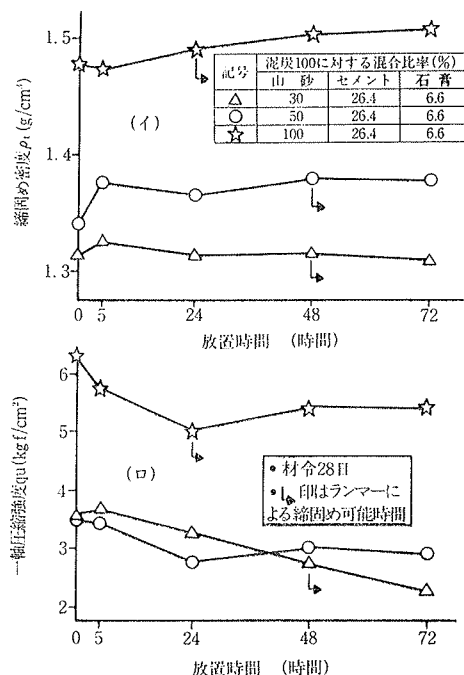


図-2 混合後締固めるまでの放置時間と締固め密度および一軸圧縮強度の関係

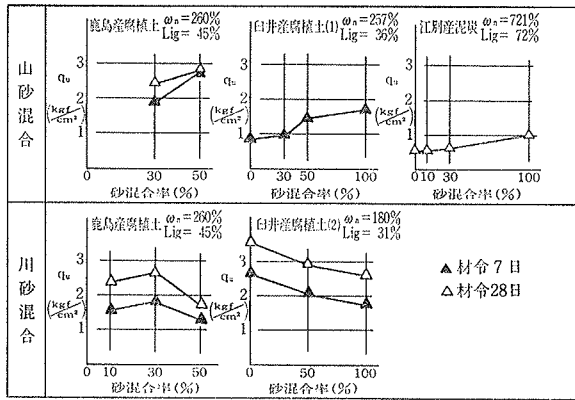


図-3 混合砂の種類と強度特性

合と共に低下している。これは加えられた砂における細粒土中の粘土鉱物やアルミナ源などセメントパチルス生成に不可欠な成分が山砂の方によく含まれているためと考えられ、安定処理における砂の利用方法として参考になる。

3.4. 人工調整試料の強度特性

図-4は、初期含水比 $w \approx 720\%$ 、有機物含有量 $L_{ig} \approx 72\%$ の泥炭試料に山砂を加え、加水あるいは脱水して見掛け上の含水比、有機物含有量の異なる人工調整試料を作製し、これが一応自然に存在する試料とみなして、セメント・石膏で安定処理した場合の強度特性である。

図より、有機物含有量一定の試料土は、含水比低下に伴い強度は増加しており、特に高含水時よりも低含水時の方が強度は大きく増加していることがわかる。

一方、同一の初期含水比を有する試料についてみると、およそ200%以上の含水比でしかも強度の小さい範囲で、見掛け上有機物含有量の多い方が強度的に大きく表われており、通常よく言われている安定処理土に及ぼす有機物含有の悪影響とは逆の結果となった。

この原因としては、山砂を加えた人工調整試料の湿潤重量に対して安定処理材を混合しているため、単純には

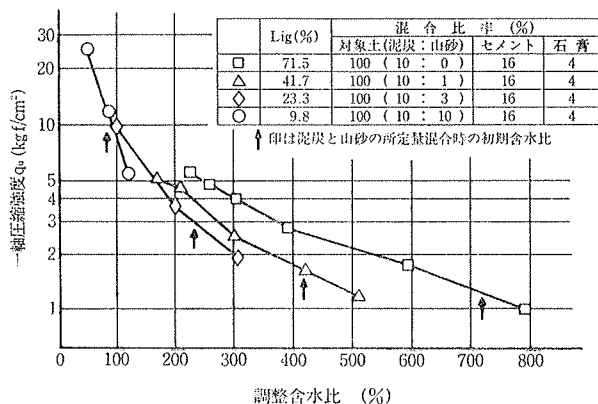


図-4 人工調整試料の強度特性

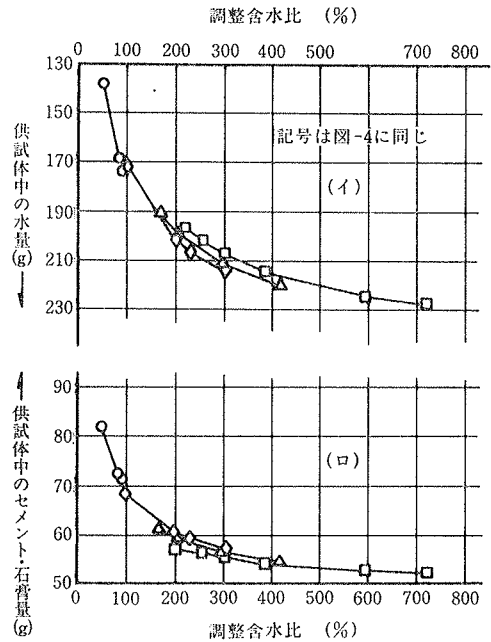


図-5 供試体中の含水量および安定処理材量

決められないが、同一含水状態でも供試体中の粒度組成や含水量、安定処理材の量、pH、粘土鉱物、繊維分の量的な差などが複雑に影響していると考えられる。

ちなみに、供試体中($V=245\text{cm}^3$)に占める含水量および安定処理材の量を計算したものが図-5(イ)、(ロ)であるが、調整含水比が同じであればいずれも大差なく、先の強度差をこれだけでは説明できない。むしろ、粒度組成や繊維分の量的な差など他の要因によるものであろう。

表-2は、これまでに実施してきた対象土の物性と一軸圧縮強度の関係であるが、これらの結果からも上述の説明がある程度うなずけるであろう。

対象土	対象土の性質						一軸圧縮強度 $q_u(\text{kg/cm}^2)$	備考 (石膏の種類)
	初期含水比 w (%)	有機物含有量 L_{ig} (%)	PH	粒度分布				
				レキ・砂	シルト	粘土		
鹿島産腐植土	260	45.0	6.6	31.0	31.0	38.0	2.7	二水石膏
白井産腐植土	257	35.8	6.0	8.4	41.8	49.8	0.75 1.35	二水石膏 焼石膏
白井産腐植土	237	36.7	5.4	15.6	32.4	52.0	0.82	焼石膏
白井産腐植土	180	31.1	5.1	52.5	28.5	18.0	3.5	焼石膏
江別産泥炭	721	71.5	5.0	23.0	7.0	70.0	0.5	二水石膏

表-2 各対象土の物性と一軸圧縮強度一覧

以上の結果から、有機質土地盤の安定処理を行なう場合、含水比の影響は大きく、圧密あるいは砂混合により強制的に含水比を低下させる効果が極めて大きいといえる。また、安定処理強度に及ぼす有機物含有量の影響については、現時点では明確ではないが、例えば Munfakhらの研究⁵⁾でも述べられているように、補強材としての繊維質有機質土の特徴も今後考慮する研究課題であろう。

4. 安定処理した有機質土の工学特性⁴⁾

4.1. コンシステンシー特性

図-6は、セメント・石膏・砂で安定処理した有機質土のコンシステンシー特性である。

液性限界

W_L , 塑性限界

指数 I_p は、

砂およびセ

メント・石

膏混合に伴

って減少し

ているが、

特に W_L , I_p

の低下が著

しく、物性

の改良と土

の安定化が

はかられて

いることが

わかる。

一方、セ

メント・石

膏混合割合

による改良

効果には明

確な差は見

られず、む

しろ砂混合

による影響

の方が大き

いことがわ

かる。

一方、セ

メント・石

膏混合割合

による改良

効果には明

確な差は見

られず、む

しろ砂混合

による影響

の方が大き

いことがわ

かる。

一方、セ

メント・石

膏混合割合

による改良

効果には明

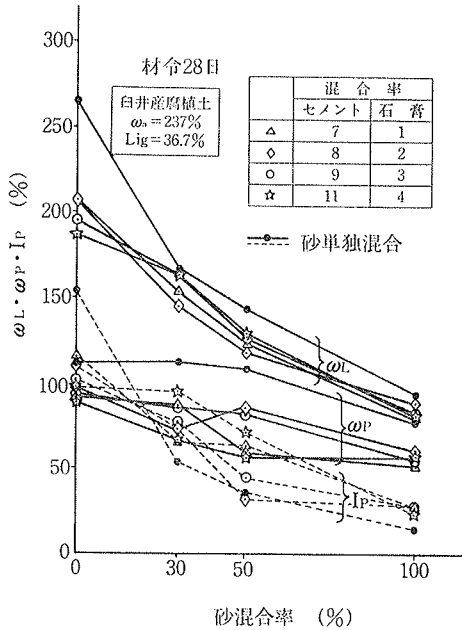


図-6 安定処理土のコンシステンシー特性

4.2. 耐寒・耐水性

図-7は

セメント・

石膏・砂混

合土の耐寒

・耐水強度

特性につい

て調べたも

のである。

試験方法

は、図-8

のような容

器を作製し、

BSの方法⁶⁾

に準じて行

なったが、

凍結深さを

寺田式⁷⁾に

より、

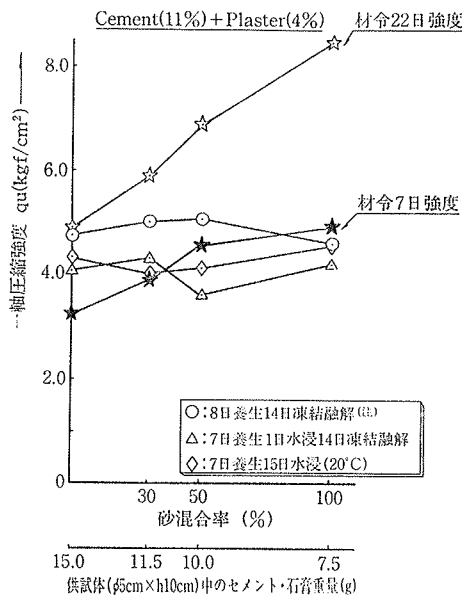


図-7 安定処理土の耐寒・耐水特性

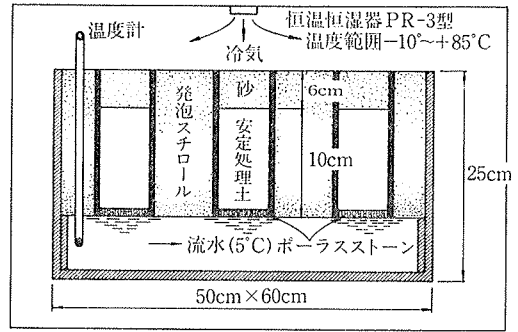


図-8 凍結・融解試験装置模式図

$$\varepsilon = 0.01 \sqrt{\theta \cdot t}$$

θ : 凍結温度(°C)

$$= 0.01 \sqrt{5 \times 16 \times 60 \times 60}$$

t : 平均気温が0°Cになる

$$= 5.4 \text{cm}$$

までの時間(sec)

ε : 凍結深さ(cm)

と求め、表層6cmに砂を覆土し、直接冷氣の影響を受けないようにしている。

図-7より、標準養生(20°C)を行なった材令7日強度から材令22日強度にいたる強度の伸びと、各試験方法で得られた結果を比較すると、安定処理土の耐寒性・耐水性はいずれもあまり良くないことがうかがえる。

この試験条件が極めて厳しいものとはいえ、砂混合量の多いものほど(相対的に供試体中のセメント・石膏量は小さい)、耐寒・耐水性に劣ることは、寒冷地での適用に際し、砂混合の制約と処理土の設置位置に工夫を要するものと考えられる。

4.3. 強度試験の相関性

図-9(i), (ii), (iii)はセメント・石膏・砂混合時のCBR, q_c , q_u の相関である。

いずれの関係も直線関係にあり、混合率の相違とは無関係に良い相関性を示している。

これらの結果は、表-3に示すように関東ロームにおける関係⁸⁾と非常に良く似通っており、施工管理における強度を推定する手段として十分使えるものである。

	安定処理土	関東ローム
CBR値と q_c 値	$q_c = 2.3\text{CBR}$	$q_c = (2\sim4)\text{CBR}$
q_c 値と q_u 値	$q_c = 10.2q_u$	$q_c = (8\sim12)q_u$
q_u 値と CBR値	$\text{CBR} = 4.7q_u$	$\text{CBR} = (4\sim6)q_u$

表-3 安定処理土の CBR, q_c , q_u の相関

4.4. 圧縮特性

ここでは、安定処理土の圧縮特性を調べるため、標準圧密試験機を用いて、供試体寸法 $\phi 6 \text{ cm} \times h 2 \text{ cm}$, 荷重増加率 $4P/P=3$ で実施した結果について述べる。

なお、供試体底面中央部にて間隙水圧も測定している。

注) 凍結は、下部から平均5°Cの水を毛管吸水させながら上部を-5°C±1°Cに保ち16時間、融解は、上部を25°C±2°Cに保ち8時間、これらを1サイクルとして14サイクル行なった。

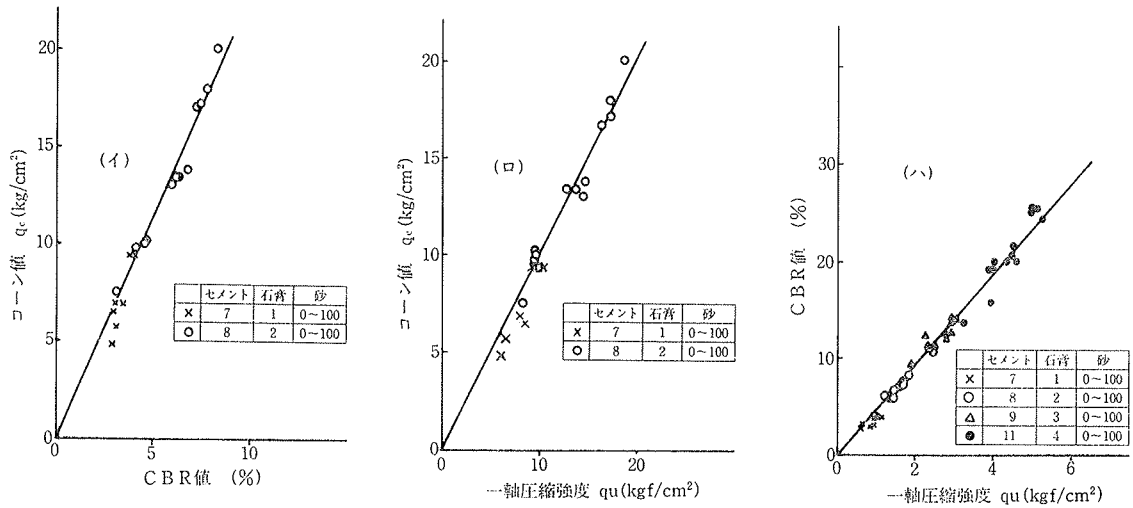


図-9 安定処理土の CBR, q_c , q_u の相関

4.4.1. 荷重-沈下 図-10は、セメント・石膏安定処理土の荷重-沈下の関係である。

図より、安定処理土は無処理土に比べて荷重に伴う沈下量が小さく、また混合率の増加に伴って沈下量も小さくなっており、前述の強度改良の他、沈下に対する改良効果も大きいことがわかる。

4.4.2. 圧密定数

(1) 体積圧縮係数 m_v

平均圧密圧力 \bar{p} と体積圧縮係数 m_v の関係を図-11に示す。

安定処理土の m_v 値は、 $10^{-1} \sim 10^{-2}$ cm²/kgf の範囲にあり、圧密荷重に伴う変化は小さい。また、混合率の大きいものほど m_v 値は小さく低圧縮性を示している。

(2) 圧密係数 C_v

平均圧密圧力 \bar{p} と圧密係数 C_v の関係を図-12に示す。安定処理土の C_v 値は、攪乱腐植土に比較してかなり大

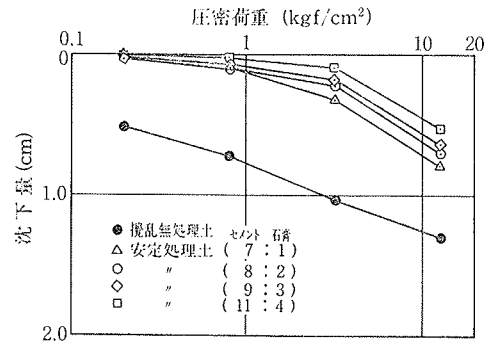


図-10 安定処理土の沈下特性

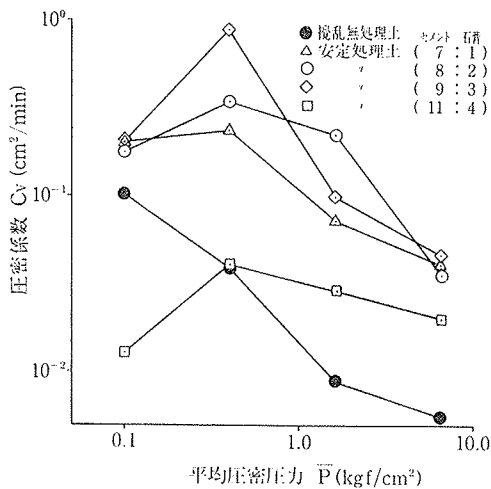


図-12 安定処理土の C_v 値

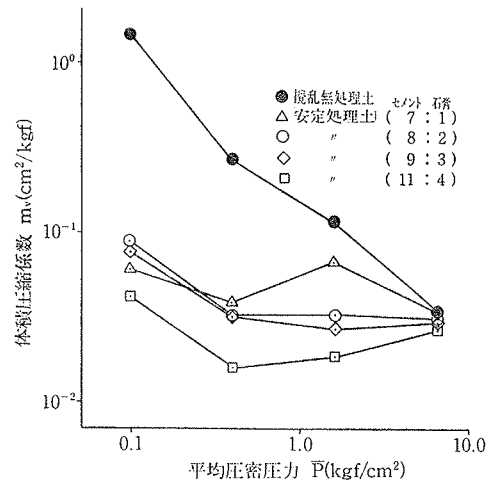
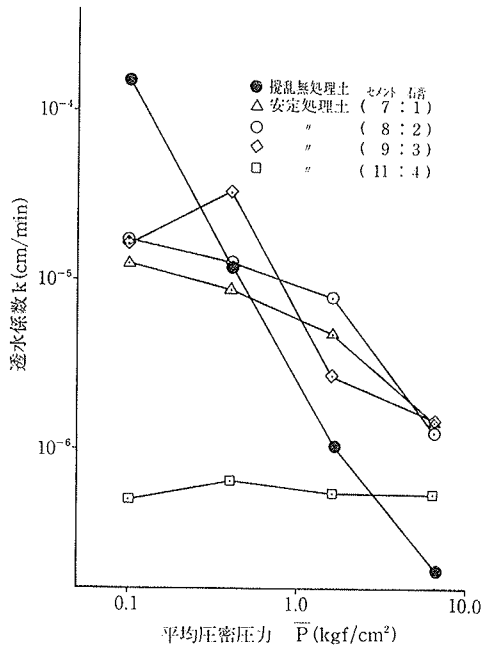


図-11 安定処理土の m_v 値

さい。

(3) 透水係数 k

平均圧密圧力 \bar{p} と透水係数 k の関係を図-13に示す。安定処理土の k 値は、攪乱腐植土に比較して圧密圧力の変化に伴う透水性の変化が小さい。

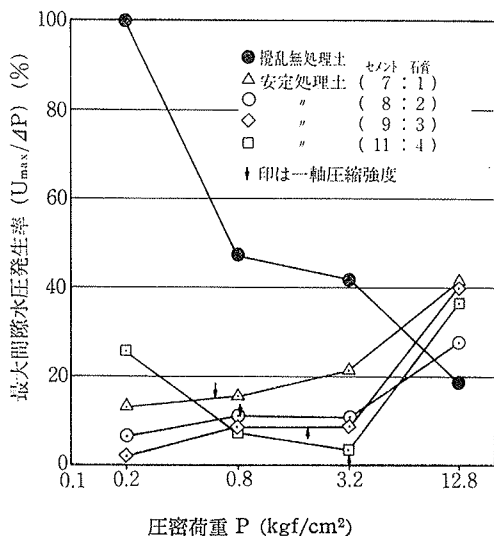


図一13 安定処理土の k 値

4.4.3. 間隙水圧特性 図一14は、標準圧密試験で求めた間隙水圧特性の1例である。載荷重は、前述のように $\Delta P/P=3$ ($P=0 \rightarrow 0.2 \rightarrow 0.8 \rightarrow 3.2 \rightarrow 12.8$ kgf/cm²) としている。図は、この時の増加荷重 ΔP に対する最大間隙水圧 U_{max} の比 (いわゆる K_0 状態の B 値に相当) を圧密荷重に対して表わしたものである。

図より、攪乱無処理土と安定処理土の間隙水圧特性には明らかな相違がみられる。すなわち、無処理土は圧密進行に伴って $U_{max}/\Delta P$ は低下しているのに対し、安定処理土は増加する傾向がみられる。

この理由としては、無処理土は攪乱によりペースト状



図一14 安定処理土の間隙水圧特性

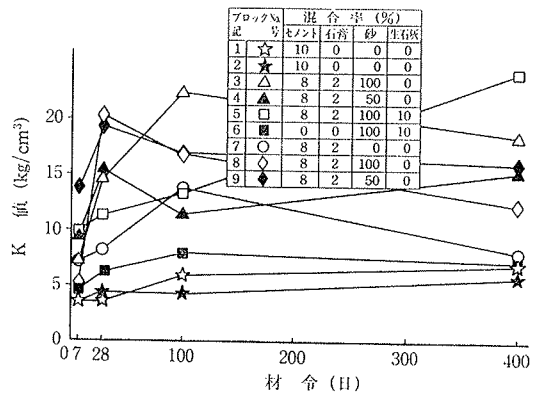
であるから当初は $U_{max}/\Delta P=100\%$ を発揮するが、圧密の進行に伴い極めて大きな沈下を示す (図一10) ため、圧密リング側面からの圧力拡散があるものと考えられる。

また、安定処理土については、圧密に伴い次第に密度を増して飽和度が大きくなったためと考えられる。

特に、この試験では $\Delta P/P=3$ としたため降伏応力の判定が難しいが、図中に示した qu 値を上回ると間隙水圧の上昇が大きくなることから、降伏応力と間隙水圧の変化には相関性のあることがうかがえる。

4.5. 現場安定処理地盤の耐久性⁹⁾

図一15は、埋戻しを想定した現場安定処理試験後、400日を経過した時点で調査した処理地盤の K_{30} 値である。曝露試験の結果、表層 2~3 cm は劣化が著しかったが、処理原地盤は図のようにかなりの長期耐久性が期待できる。



図一15 安定処理地盤の耐久性

参考文献

- 1), 2), 3) 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), (その2), (その3), 大林組技術研究所報, No.16, (1978), No.18, (1977), No.22, (1981)
- 4) 細谷, 他: 有機質土の性状と施工性に関する研究 (その4) ——有機質土の安定処理実験——, 大林組技術研究所内報告資料, (1979. 3)
- 5) G. A. Munfakh: The effect of densification on organic soils, (1973)
- 6) 内田一郎: 道路舗装の設計法
- 7) 技報堂: 土質工学ハンドブック, 24. 6. 凍上融解
- 8) 高速道路調査会編: 関東ロームの土工
- 9) 細谷, 他: 有機質土の性状と施工性に関する研究 (その6) ——有機質土の安定処理に関する実験研究——, 大林組技術研究所内報告資料, (1981. 3)