

京都大学工学部 正会員 松尾新一郎
 京都大学工学部 正会員 ○嘉門雅史
 京都大学大学院 学生会員 ファム、ゴック、ラン

1. はじめに——現在、土質安定処理については数多くの手法が考案され、これらの工法による実績はまことに大きなものがあるが、今後の安定処理の研究開発の方向を考えると、公害防止など社会的不利益を解消することを第一義とすべきであろう。本研究においてはこのような点を考慮して、自然生態系を破壊しないで土質安定効果を付与すると考えられる微生物に着目して新しい生化学的土質安定処理工法を開発しようと試みている。これまで有機物が土に大きな影響を与えることが明らかにされてきたが、有機物に対しては微生物の作用が極めて大きいものである。よってこの微生物をコントロールすることが土の特性に大きな影響を与えるものと考えられる。

2. 用いた試料——土質安定処理に適用する菌の種類を選ぶために11種類の菌を用いて予備実験を行なった。その結果、土中に含まれる微生物と *BACILLUS CEREUS* (細菌) と *ASPERGILLUS ORYZAE* (放線菌) は他の菌より土の性質に高影響を与えることがわかった。ここでは3種類の菌を土に添加し、栄養源を加え養生時間における土の性質の変化とそのメカニズムを検討した。用いた試料は表-1のとおりである。試料中に存在する菌の数は図-1に示す。当然予想されるとおり、菌の基礎的栄養源であるしょ糖の添加量の増加に伴って菌の数が増加し、その数は1週間でピークに達しそれ以後は徐々に減少する。(BentoniteとKaoliniteの試料も同様の結果が得られた。)

表-1. 用いた試料

Sample No	CONTENTS	CONDITIONS
O-1	Osaka Nanko Clay, wet (water content 79%)	incubated
O-2	O-1 + "soil suspension" (garden soil) as inoculum + K_2HPO_4 (0.1%) + NH_4Cl (0.1%)	25°C pre-con-solidated 0.015 Kg/cm ²
O-3	O-1 + "soil suspension" (ricefield soil) + K_2HPO_4 (0.1%) + $(NH_4)_2SO_4$ (0.1%) + sucrose (0.2%)	
O-4	O-2 + sucrose (0.2%)	
O-5	O-2 + sucrose (0.4%)	
O-6	O-2 + sucrose (1.0%)	
K-1	Kaolinite (crayon clay), water content 120%	incubated at 28°C
K-2	K-1 + ACTIVATED SLUDGE as inoculum + K_2HPO_4 (0.1%) + $MgSO_4$ (0.05%) + NH_4Cl (0.05%) + $NaNO_3$ (0.05%) + $FeSO_4$ (0.001%) + sucrose (0.2%)	non-pre-con-solidated
K-3	K-1 + <i>BACILLUS CEREUS</i> as inoculum + the same microbial nutrients in K-2	
K-4	K-1 + <i>ASPERGILLUS ORYZAE</i> as inoculum + the same microbial nutrients in K-2	
B-1	Bentonite, water content 300%	with cover opened every day
B-2	B-1 + ACTIVATED SLUDGE as inoculum + the same microbial nutrients in K-2	
B-3	B-1 + <i>BACILLUS CEREUS</i> as inoculum + the same microbial nutrients in K-2	
B-4	B-1 + <i>ASPERGILLUS ORYZAE</i> as inoculum + the same microbial nutrients in K-2	

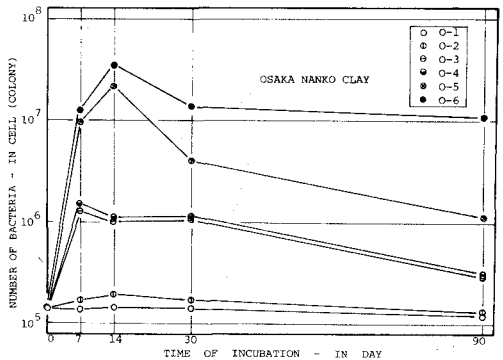


図-1. 菌の数

3. 微生物による土の工学的性質の改良

(1) セン断強度

土のセン断強度は一軸圧縮とコーン貫入試験で求めた

図-2による

とquは未処理土より処理土のほうが高く

0-4は最大のquを示した。

図-2. セン断強度

quを示してないが1ヶ月間養生した試料も同じ結果を示した。

さらに1ヶ月の0-4は2週間の0-4より高いquを与える。同じく図-3のように各処理土は未処理土よりも貫入量が小さくなった。

すなわち菌による処理土の貫入抵抗が増加し、0-4最小貫入量(最大強度)を示した。また養生期間が長くなると貫入量が減少し、試料のセン断抵抗が増加することを示している。時間の経過によって生菌数が減少するが土の

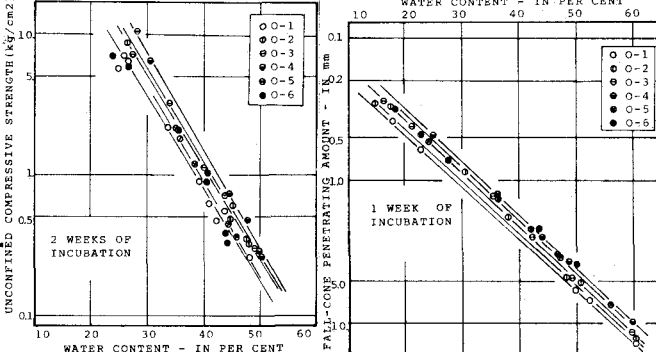


図-2. セン断強度

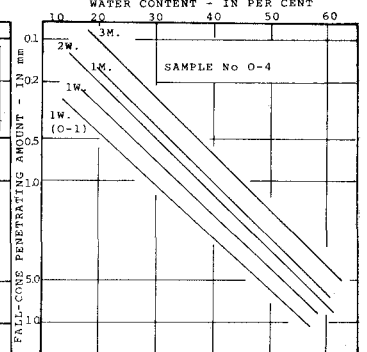


図-3. コーン貫入量

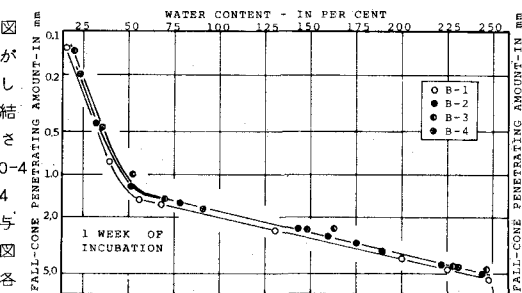
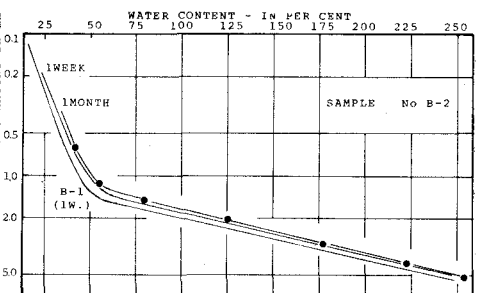


図-4. コーン貫入量



強度が増加する。このことは土の強度の増加は生きている菌の数には影響はなく、菌の増殖による代謝、生成物質等が作用すると考えられる。さらに0-3と0-4は、同様な菌数を持っているにもかかわらず強度特性に差を生じたが、これは添加した菌の種類によるものと考えられる。また0-5、0-6の場合は栄養源を与え過ぎると菌の増殖が過大となり、生育過程で排出するガスが多く空ゲキが増加し、土の強度が増加しなかったものと考えられる。また図-4によるとBentoniteが南港粘土と同じ結果を示している。すなわち各処理土は未処理土よりせん断抵抗が高く、さらに時間が経つと処理土の強度が増加する。(Kaoliniteの試料も同様な結果が得られた。)

(ii) 圧密特性 — 図-5をみると処理土の k は未処理土の k よりも大きくなり、それは σ_v 粒化によって k が増大すると考えられる。さらに圧密係数 C_v 、圧縮指数 C_c はともに増大し、体積圧縮係数 m_v は変化しない。

(iii) 締めめ特性 — 試料は1ヶ月間養生したものを気乾状態にして粉碎したものをフルイ420 μ に通し、通過したものを用いた。図-6に示すように処理土は未処理土に比べて w_{opt} が増加し、 Γ_{dmax} および $q_{u\max}$ は増加した。これは処理土は未処理土よりも団粒化がかなり進み良好な粒径分布になったためと考えられる。(BentoniteとKaoliniteの試料もほぼ同様な結果を示した。)

(iv) コンシステンシー特性 — 図-7をみるとLLは未処理土に比べ処理土はかなり大きく下がっている。0日においては栄養源中のカチオンによる影響であり、養生日数が増加して菌の増殖の影響が出てくる。しかし1,2週間以降、変化はあまり出ていない。このことは前に述べたように菌の数にはあまり関係がなく菌の生成物質等による影響が大きいのを意味する。またPLにおいてはあまり変化はなく、PIをLL同様に低下する傾向がみられる。

4. 微生物による土の工学的性質の改良のメカニズム

(1) 粒度分析

図-8のように処理土は未処理土に比べて粒徑曲線が下方へシフトしている。これは菌の増殖による生成物質等が土粒子

を結合し耐水性団粒

を作るためと考えられる。

0-4の各養生期間の粒徑

曲線では変動がみられる。

これは菌の死滅と生成に

よる交代が繰り返され団

粒が破壊されたり形成さ

れたりして粒徑の分布が

変化するためである。ま

た図-9のように南港粘

土と同様に団粒構造を促

進させるとBentoniteで

も粒徑が大きくなってい

る。(Kaolinite試料で

も同じ結果が得られた。)

さらに養生時間の増加で

は処理土の粒徑曲線にあ

まり変化はみられないが

未処理土の曲線より下が

っている。これは生菌の

数より菌の生成物質等が

大きな団粒作用をもって

いるためと考えられる。

(ii) 菌の生成物質等の土への吸着 — 菌の生成物質等は遠心分離と口過でBACILLUS CEREUSを純粋培養した液よりとったものであり、粘土としては2 μ 以下の南港粘土とBentoniteとKaoliniteである。試験方法としては100mgの土を試験管に採取し、1cc蒸留水で浸潤させる。これに5cc緩衝液を加え一定量の生成物質を添加し、そして全体で8ccになるように蒸留水を加えた。これを土に生成物質を安定的に吸着させるために時々振とうしながら約3時間50℃で放置する。その後、遠心分離して沈殿物を試料として以下に述べるX線回折分析を行ない、上澄液を試料として波長540 $m\mu$ の赤外線吸収スペクトル分析で吸光度を測定し、残留生成物質量、

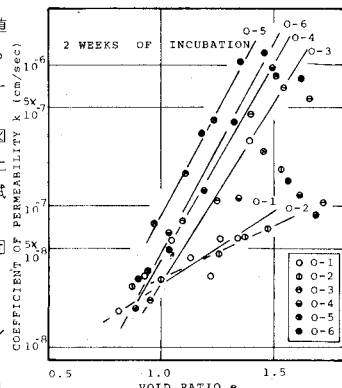


図-5. 透水係数

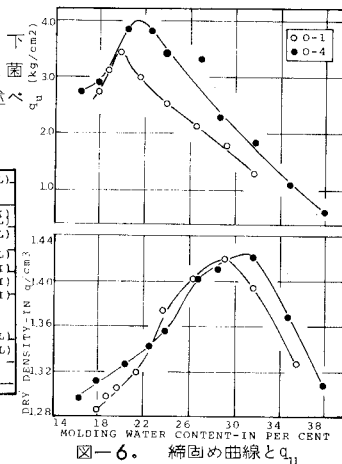


図-6. 締めめ曲線と q_u

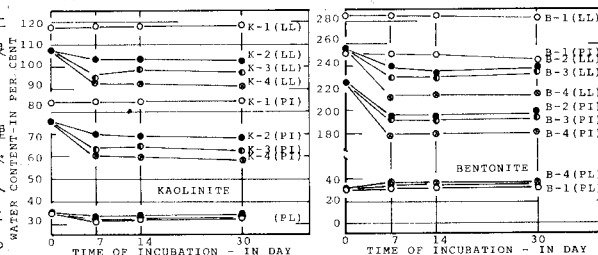


図-7. コンシステンシー

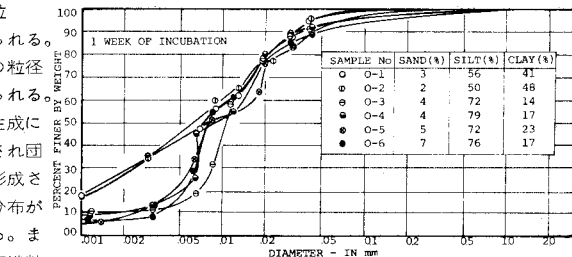


図-8. 粒徑分布

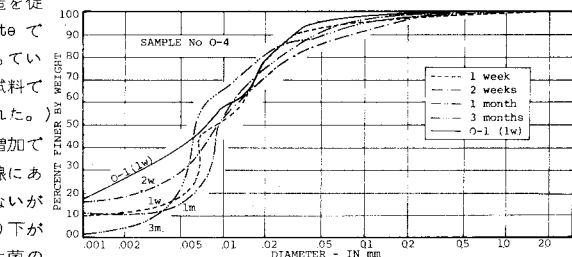


図-9. 粒徑分布

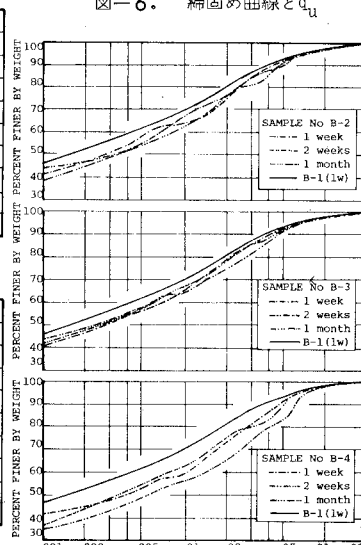


図-9. 粒徑分布

および土に吸着した生成物質を求めた。図-10に示すように、低活性度のKaoliniteより高活性度のBentoniteが高吸着量を示した。南港粘土では中間値を得ている。またpH値が下れば下がるほど吸着量が高い。これはpH値が高くなれば生成物質の+charge(陽電荷)が低くなる。さらにBentoniteへのglucoseの吸着量も測定した。その結果では生成物質に比べ、glucoseの吸着量は小さい、すなわちglucoseではなく生成物質が土によく吸着し、その土の工学的性質を改良するものと考えられる。X線回折分析の結果から図-11に示すように吸着量の増大にともなうBentoniteの層間隔が広がっていることが認められ、生成物質の一部が層間に吸着されることを示している。

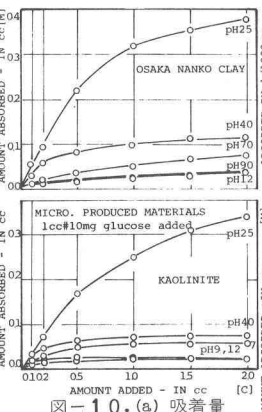


図-10.(a) 吸着量

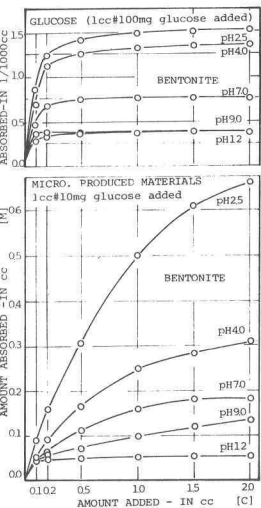


図-10.(b) 吸着量

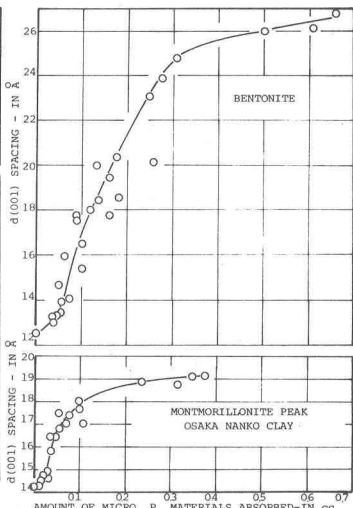


図-11. 吸着による層間膨潤量

(11) 顕微鏡観察 — 写真-1~4はslide glassの上で7日間、30°Cで養生して湿润状態で光学顕微鏡観察したものである。写真-5~6は養生した試料を気乾状態にし水洗し付着していない土粒子をとって観察したものである。これらによると、土粒子は菌に吸着し菌の分泌質や菌子等で連結、凝集されている。またS.E.M.で観察した結果としては処理土は未処理土に比べて密である。

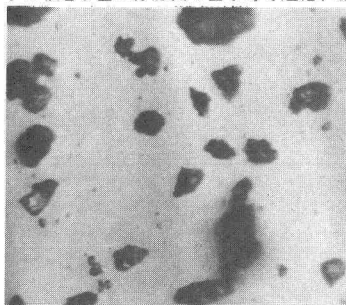


写真-1 0-1、×150

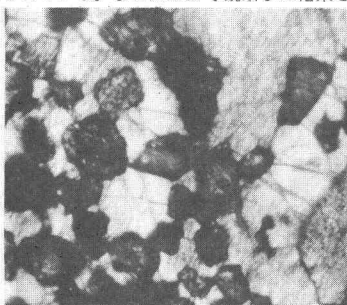


写真-2 0-2+しょ糖 (5.0%)

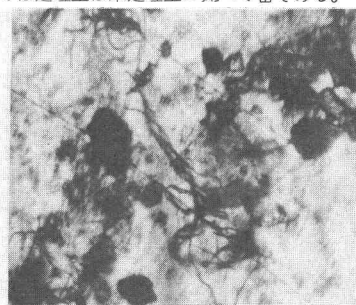


写真-3 0-2+しょ糖 (5.0%)

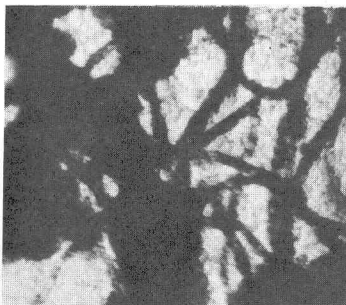


写真-4 K-4+しょ糖 (5.0%)

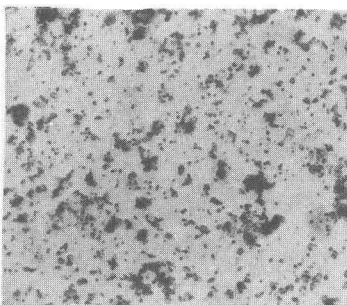


写真-5 B-1、×300

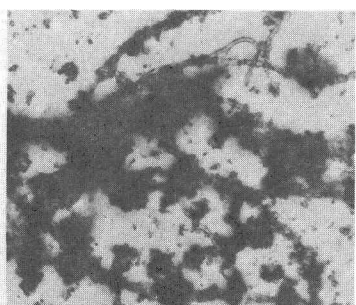


写真-6 B-4+しょ糖 (5.0%)

5. おわりに — 土の工学的性質の改良に微生物が有効であることが明らかになった。この処理した土の性質の改良は生菌の数のみではなく、菌の増殖による生成物質等であることがわかった。なお、本研究は昭和49年度文部省科学研究費(総合A)の補助を受けて行なったもので、研究遂行にあたり微生物に関する基礎的知見と培養実験の場を借用した京都大学農学部緒方浩一教授および小林達夫講師に深く感謝する次第である。

(参考文献) 1. 土壤微生物研究会編「土と微生物」 岩波書店、1966

2. 山口和夫、山口辰良「最新応用微生物学入門」 技報堂、1971

3. フラム、ゴック、ラン 京都大学修士論文 「土の工学的性質に及ぼす微生物の影響」 1973

4. McLaren A.D. et al. [The adsorption and reactions of enzymes and proteins on clay minerals: IV. Kaolinite & montmorillonite] Soil Science Society of Am. Proc. Vol.22, 1958, pp.239 - 244.