

資源・素材学会誌
別刷

SHIGEN-TO-SOZAI
資源と素材

2005 **2,3**
Vol. 121

JOURNAL OF THE MINING AND MATERIALS PROCESSING INSTITUTE OF JAPAN REPRINT

繊維質固化処理土の乾湿繰り返し試験による 耐久性に関する実験的研究*

森 雅人¹ 高橋 弘² 熊倉 宏治³

An Experimental Study on the Durability of Fiber-Cement-Stabilized Mud by Repeated Cycle Test of Drying and Wetting

by Masato MORI^a, Hiroshi TAKAHASHI^b and Koji KUMAKURA^c

a. Mori Institute for Environmental Technology

b. Dept. of Environmental Studies, Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University
(Corresponding author: htaka@mail.kankyo.tohoku.ac.jp)

c. Yachiyo Engineering Co.,Ltd.

In order to utilize the fiber-cement-stabilized mud as landfill materials, it is very important to know the durability of the soils. Therefore, repeated cycle tests of drying and wetting were carried out by using the cement-stabilized mud and the fiber-cement-stabilized mud, and the durability of the modified soils was experimentally investigated. It was confirmed that the cement-stabilized mud deteriorated with increasing the cycle number. This result was not inconsistent with the results obtained by the previous researches. On the other hands, it was confirmed that the fiber-cement-stabilized mud did not deteriorate even if the cycle number increased. In order to explore the reason why the fiber-cement-stabilized mud shows high durability, the observation of the inside and the surface of specimens was carried out by using the microscope. Furthermore, the unconfined compression tests were carried out and failure strains were measured for both the cement-stabilized mud and the fiber-cement-stabilized mud. It was found from the unconfined compression tests that the failure strains of fiber-cement-stabilized mud were much larger than those of cement-stabilized mud. Therefore, it was confirmed that the reason why the fiber-cement-stabilized mud did not deteriorate was that the fiber-cement-stabilized mud forms the complicated structure which the soil particles and fiber are intertwined, and this complicated structure strengthens the combined force between soil particles and restrains the deterioration of the modified soils.

KEY WORDS: Fiber-Cement-Stabilized Mud, Durability, Repeated Cycle Test of Drying and Wetting, Recycling

1. はじめに

建設汚泥は、年間1,000万トン近く排出されているにもかかわらず、リサイクル率は低く、ごく一部再利用されるものを除き、大部分は産業廃棄物である「汚泥」として中間処理施設で脱水処理を施すか、あるいは直接最終処分場に持ち込まれている。しかしながら、処分場の不足・遠隔化は深刻な問題であり、輸送コストの負担から建設汚泥の不法投棄が後を絶たず、地球環境への汚濁負荷の影響が大きな問題となっており、建設汚泥の有効利用が望まれているのが現状である。

ところで、建設汚泥の処理法としては、乾燥処理、脱水処理、固化処理などの方法が提案されている¹⁾。しかし、乾燥処理では大きな仮置き場が必要であり、処理に時間がかかる問題がある。また脱水処理では、圧縮プレスが必要であり、現場で簡単に処理するのは難しい。さらに脱水ケーキを如何に処分するかという問題が残る。固化処理は、セメント系固化材などにより固化処理することによって盛土材料としてリサイクルする方法であり、既

に流動化処理土工法^{2,3)}などが提案されている。この工法は泥水とセメント系固化材を混合し流動化させ、まだ固まらないコンクリートのようにポンプなどで流し込んで、埋め戻しなどの施工を行う方法であるが、この工法により生成される土砂(以下、固化処理土と記す)は、一軸圧縮試験における破壊ひずみが通常土より小さく、品質改良が十分とは言えず盛土材としての用途に適さない場合が多々ある。つまり、生成される固化処理土はコンクリートや岩石のような強度特性を示すため、周辺地盤や既存盛土と固化処理土による新設の盛土の間に剛性の相違が生じ、互いのなじみが悪く、地震時のように盛土や基礎地盤が大きな変形を受ける時には、剛性の高い部分に局部的な変形集中によるクラックや過大な土圧の発生が懸念される^{3,4)}。

そこで著者らは、十分な品質特性を有する盛土材料として汚泥の再資源化をはかるために、ヘドロや汚泥に繊維質物質である故紙破砕物と高分子系改良剤を添加し、高含水比泥土を再資源化する技術の開発を行った⁵⁾。この工法で生成される土砂(以下、繊維質固化処理土と記す)を用いて一軸圧縮試験⁵⁾および圧裂引張試験⁶⁾を実施した結果、繊維質固化処理土は、従来の固化処理土と比較して、破壊ひずみおよび残留強度が大きく粘り強い性質を有することが確認された。

ところで、繊維質固化処理土あるいは固化処理土を盛土材として利用する場合、これらの土砂は気象変動の影響、すなわち乾湿繰り返しの影響を受けることになる。固化処理土の強度特性につ

*2004年8月31日受付 12月19日受理

1. 普通会员 森環境技術研究所 所長

2. 普通会员 工博 東北大学教授 大学院環境科学研究科 環境科学専攻
3. 八千代エンジニアリング(株)

[著者連絡先] FAX: 022-217-7394 (東北大学大学院 環境科学研究科)

E-mail: htaka@mail.kankyo.tohoku.ac.jp

キーワード: 繊維質固化処理土, 耐久性, 乾湿繰り返し試験,
リサイクリング

いては既に多くの研究例が見受けられるが、固化処理土の乾湿繰り返しによる耐久性に関する研究は一般に不足していると言われており⁷⁾、また既に行われたいくつかの研究報告では、固化処理土は乾燥工程における乾燥収縮によりクラックが発生し、乾湿繰り返しにより劣化して強度が低下するので、固化処理土を盛土材として利用する場合、外気に暴露しないように山土などで被覆して使用すべきであると指摘されている⁸⁻¹¹⁾。繊維質固化処理土の強度特性については前報でその優位性を検証したが、乾湿繰り返しによる耐久性については明らかにされていない。

そこで、本研究では乾湿繰り返し試験を行い、繊維質固化処理土の耐久性を定量的に評価することを目的とした。なお、本研究では繊維質固化処理土の他に比較のため固化処理土も作成して乾湿繰り返し試験を実施した。ここではこれらの処理土を用いた乾湿繰り返し試験の結果について報告する。

2. 繊維質固化処理土および固化処理土の作成

2.1 実験試料

供試体の作成には、模擬泥水を使用した。模擬泥水を使用した理由は以下の通りである。すなわち、実際の建設汚泥やヘドロ

は、固化材による固化の阻害物質である有機物（フミン酸等）を含むことがあり、この有機物の影響により試験結果にバラツキが生じる可能性がある。そこで、この有機物によるデータのバラツキを抑えるため模擬泥水を用いた。本実験では無機の土粒子を使用し、一定の比率で粘土とシルトを混合して作泥したものを使用した。作泥方法は、粘土とシルトを40:60（乾燥質量比）で混合し、それに加水調整して含水比105%および150%の汚泥を作成した。土粒子の密度は2.623[g/cm³]である。

2.2 供試体作成手順

繊維質固化処理土の供試体作成は、建設汚泥の高度処理・利用技術の開発（盛土グループ）共同研究最終報告書 建設汚泥改良土の耐久性¹²⁾に準じた方法を用いた。Fig.1に供試体作成のフローを示す。

- ① まず初めに、上述したように粘土とシルトを40:60（乾燥質量比）で混合し、加水調整して含水比を調整する。
- ② 含水比を調整した汚泥に故紙破砕物、高分子系改良剤および助剤を加え、攪拌・混合する。故紙破砕物の最適添加量は、前報⁵⁾で示したように含水比に応じて決定され、一般的にTable 1のような値をとる。本研究では、含水比105%の場合は、50[kg/m³]とし、また含水比150%の場合は65[kg/m³]とした。また前報で高分子系改良剤および助剤の最適添加量は、それぞれ1.0[kg/m³]および7.0[kg/m³]であると報告したが、実際の現場での処理では攪拌ムラが避けられないので、2割ほど高めに設定する方がよい。そこで、今回は現場適用性を考え、高分子系改良剤および助剤の添加量を、それぞれ1.2[kg/m³]および8.6[kg/m³]とした。
- ③ 次にセメント系固化材を加え、混合する。固化材の添加量は、含水比に応じてTable 2に示す配合条件として4通りに変化した。
- ④ 初期養生として、上述の処理土を容器に入れて密封し、20±3℃で3日間静置する。
- ⑤ 初期養生後、供試体を作成する。供試体はJCAS L-01:2003

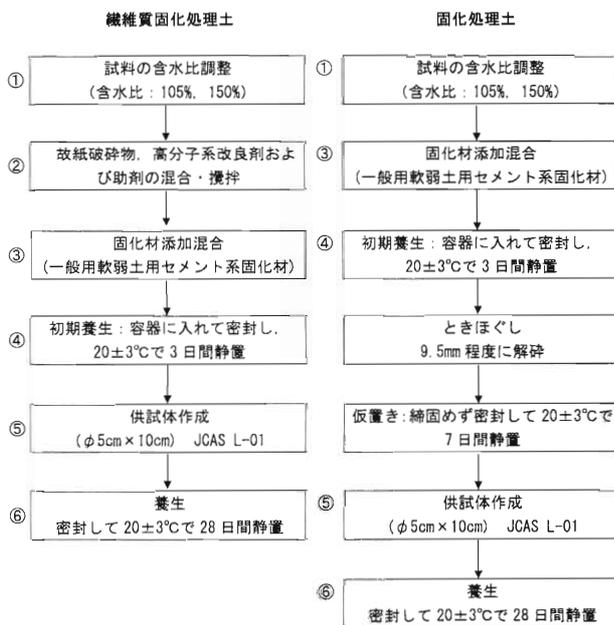


Fig.1 供試体作成のフロー

Table 1 泥水の含水比と故紙添加量との関係

泥水の含水比 [%]	泥水の含水率 [%]	故紙添加量 [kg/m ³]
100	50.0	50
200	66.7	70
300	75.0	80
400	80.0	85
500	83.3	90

Table 2 配合条件

	含水比 W ₀ (%)	故紙破砕物 添加量 (kg/m ³)	高分子系改良剤 添加量 (kg/m ³)	助剤 添加量 (kg/m ³)	セメント系固化材 添加量 (kg/m ³)	目標強度 q _u (kN/m ²)
繊維質固化処理土 1	105	50	1.2	8.6	40	200
繊維質固化処理土 2	105	50	1.2	8.6	90	—
繊維質固化処理土 3	150	65	1.2	8.6	70	200
繊維質固化処理土 4	150	65	1.2	8.6	100	—
固化処理土 1	105	—	—	—	90	200
固化処理土 2	150	—	—	—	100	200

(セメント協会標準試験方法)「セメント系固化材による安定処理土の試験方法」に従って作製した。なお、供試体作成には、直径 5cm、高さ 10cm の標準的なモールド(供試体作製容器)を使用した。

⑥ 供試体から水分が蒸発しないようにモールドを密封材で被覆し、20 ± 3℃で 28 日間養生する。

固化処理土の供試体作成も繊維質固化処理土の場合とほぼ同様であるが、固化処理土では故紙破砕物や高分子系改良剤などを混合・攪拌することはないので、上記②の工程を飛ばし、Table 2 に示す配合条件として 2 通りに変化させた。①の工程の後、直ちに③の工程にてセメント系固化材を混合する。なお、実施工において固化処理土を盛土材として使用する場合、「ときほぐし(解砕)」を行わないと大きな塊の状態で固化してしまい、盛土材として使用できないので、一般にパワーショベルなどで処理土を砕く作業、いわゆる「ときほぐし」が行われる。「ときほぐし」を行うためにはある程度の強度が必要であるため、④の工程で初期養生を行った後、直ナイフで 9.5mm 角程度に解砕し、さらに 7 日間静置した後、供試体を作成した。なお、繊維質固化処理土は小さく団粒固化し、大きな塊にならないので、「ときほぐし」の工程は不要である。

繊維質固化処理土と固化処理土の配合を 6 通り変化させた理由は以下の通りである。まず、下記の理由により供試体の目標強度を一軸圧縮強度 $qu=200\text{kN/m}^2$ (28) に設定した。

- ① 建設機械の走行に必要なトラフィカビリティーを満足する強度であること¹³⁾
- ② 有害物質を原位置に封じ込めて、流出防止を目的とするときの必要強度であること¹³⁾
- ③ 路床、路体盛土、構造物の裏込等に再利用するために必要な強度であること²⁾

目標強度を達成させる配合は、予備試験により繊維質固化処理土および固化処理土のそれぞれに対して、以下の通りであることが確認された。

- ① 配合条件 繊維質固化処理土 1
- ② 配合条件 繊維質固化処理土 3
- ③ 配合条件 固化処理土 1
- ④ 配合条件 固化処理土 2

また、繊維質固化処理土と固化処理土の含水比と、セメント系固化材添加量を同一条件として乾湿繰り返し試験を実施し、両者

の結果を比較したいと考え、以下の 2 条件を追加し計 6 通りとした。

- ⑤ 配合条件 繊維質固化処理土 2
- ⑥ 配合条件 繊維質固化処理土 4

したがって、上記⑤⑥の配合条件では、目標強度を設定した配合とはなっていないため、Table 2 の目標強度の欄は空欄になっている。

3. 試験方法

試験方法は、Table 3 に示すように建設省土木研究所(現 独立行政法人土木研究所)と(財)先端建設技術センターおよび民間 22 社が共同開発した「建設汚泥の高度処理・利用技術の開発」建設汚泥改良土の耐久性¹²⁾に準拠した。すなわち、40℃炉乾燥 2 日、20℃水浸 1 日の合計 3 日間を 1 サイクルとし、各サイクルの乾燥後および水浸後に供試体の状況観察・写真撮影を行うとともに、所定サイクル終了後に一軸圧縮試験を行い、サイクル数の増加に伴う一軸圧縮強度の変化を調べた。状況観察としては、Table 4 に示す健全度ランクにより供試体の健全度を評価した。後述するように実験を行うに当たり繊維質固化処理土および固化処理土ともに 12 本の供試体を作成し、所定サイクル終了時の一軸圧縮試験には 3 本の供試体を使用したため、評価方法としては、2 サイクルまでは 9 本の供試体を、3 ~ 6 サイクルまでは 6 本の供試体を、また 7 ~ 10 サイクルまでは 3 本の供試体をそれぞれ観察して、A ~ H を 8 段階として数値化して平均ランクを求めた。

4. 試験結果および考察

Fig.2 にサイクル数と一軸圧縮強度との関係を示す。図中の▲および■印は固化処理土の結果を、また○、△、◇、□印は繊維質固化処理土の結果を示している。乾湿繰り返し実験を行うに当たり、初めに、固化処理土および繊維質固化処理土ともに 12 本の供試体を作成した。図中の値は、(一軸圧縮試験に供した供試体の数) / (一軸圧縮試験を行うに当たり現存していた供試体の数)を示している。すなわち、3 / 12 とは、0 サイクル時に 12 本の供試体が存在し、そのうち 3 本を使用して一軸圧縮試験を行い、それらの平均値を図中にプロットしたことを意味する。つまり、繊維質固化処理土の場合、一軸圧縮試験には常に 3 本の供試体が使用され、分母の値も常に 3 ずつ減少している。これは 10 サイクルを通して常に供試体が崩壊せずに形状を保ち、一軸圧縮試験に

Table 3 乾湿繰り返し試験方法

試験項目	試験方法		確認項目
	供試体	乾湿 1 サイクル	
乾湿繰り返し試験	φ5×10 (cm)	40℃炉乾燥 2 日 20℃水浸 1 日 の合計 3 日	・ 所定サイクル終了後、軸圧縮試験 (JIS A 1216) ・ 各サイクルの乾燥後、水浸後に供試体の状況観察、写真撮影

Table 4 供試体健全度ランク

	クラック状況	欠落状況
A	外見上、ほとんど変化なし	
B	微細クラック、局部クラック発生	表面剥離が局部的に発生
C	明瞭なクラックが一部に発生	供試体の一部が僅かに欠落
D	明瞭なクラックが全体に発生	供試体がより大きく欠落
E	供試体の一部または全体が崩落 (~20%程度)	
F	供試体が全体的に崩落、崩壊、供試体としての形は存在	
G	供試体全体が崩壊し、片々は塊状	
H	供試体全体が崩壊し、片々は細粒化~泥状化	

ここで、細粒化とは粒径 2mm 程度の粒状に細分化された状況を指す。

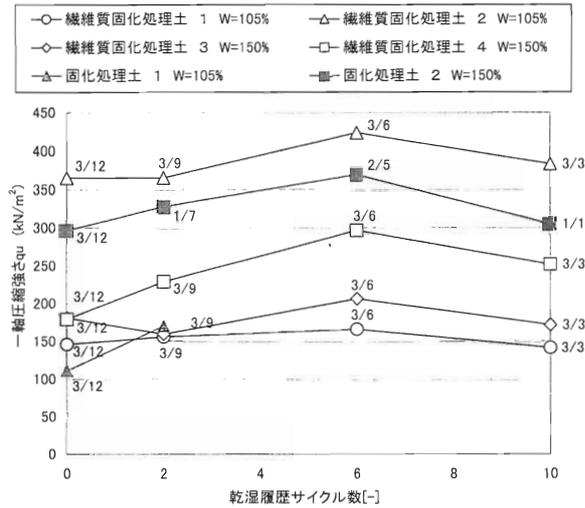


Fig.2 乾湿サイクル数と一軸圧縮強さの関係

供し得たことを示す。固化処理土の値は、以下のような試験状況であったことを示している。すなわち、初期含水比 150%の固化処理土の場合(■印)、2 サイクル終了した時点で 7本しか供試体が現存せず、残り 2 回の試験で 3本ずつ使用することを考え、1 本のみ一軸圧縮試験に使用した。残りの 6本でさらに乾湿繰り返し試験を続けたが、6 サイクル終了時までに 1本が崩壊し、5 本のみ現存したため、最後の試験(10 サイクル終了時)に 3本を使用することを考え、2 本のみ一軸圧縮試験に使用した。10 サイクル終了時には、1 本のみ残っていたので、この 1 本を用いて一軸圧縮試験を実施した。初期含水比 105%の場合(▲印)、2 サイクル終了時までに 8 本の供試体が崩壊し、2 サイクル終了した時点で形を留めていた供試体は 1 本であり、その 1 本を用いて一軸圧縮試験を実施したため、この時点で供試体が無くなり、以後、乾湿繰り返し試験を継続することは不可能であった。前述したように、過去の研究において固化処理土は乾湿繰り返し試験の影響を受け劣化すると報告されているが、本実験でも従来の結果と同様の結果が得られた。2 サイクル終了時の強度が 0 サイクル終了時の強度よりも増加しているが、この原因としては、セメント系固化材による水和反応の進展も一因と考えられるが、9 本中 8 本の供試体が崩壊し、1 本の供試体だけが残ったことを考えると、作成した供試体自体に強度のパラツキが若干あり、強度の最も強い 1 本のみが最後まで残ったためとも推察される。しかし、いずれにせよ、固化処理土は乾湿繰り返し試験の影響を大きく受け、劣化することが再確認された。

一方、繊維質固化処理土は、乾湿繰り返し試験のサイクル数が増加してもほとんど劣化せず、また一軸圧縮強度の低下も見られず、10 サイクル終了時においても 0 サイクル時の強度とほぼ同程度の強度を有していることが分かる。また 10 サイクル時の値は、3 本の供試体を用いて測定しており、繊維質固化処理土は劣化せず、乾湿繰り返し試験に対して高い耐久性を示すことが実験的に確認された。

Fig.3 に健全度ランクとサイクル数との関係を示す。この図に示されるように、固化処理土はサイクル数の増加とともに健全度が悪くなるが、繊維質固化処理土の健全度はサイクル数に関わらず常に A ランクであり、乾湿を繰り返しても劣化することなく、外見上もほとんど変化が無いことが確認された。

Fig.4 に固化処理土および繊維質固化処理土の供試体の写真を示す。先に述べたように含水比 105%の固化処理土は 2 サイクル

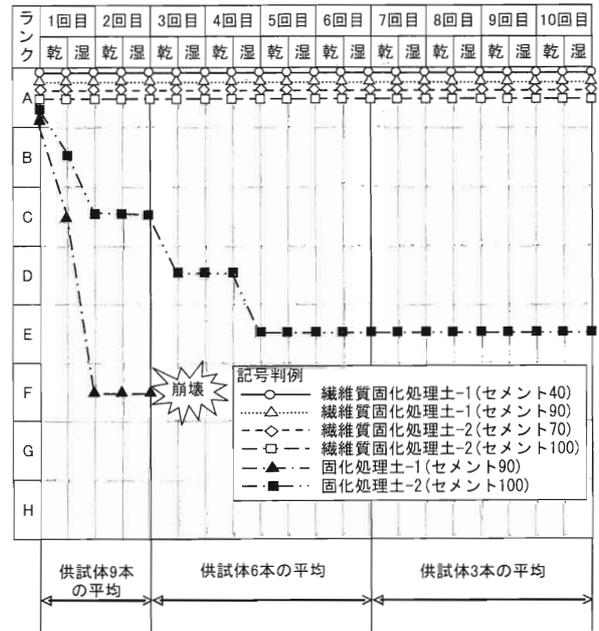


Fig.3 乾湿繰り返しに伴う供試体の状況

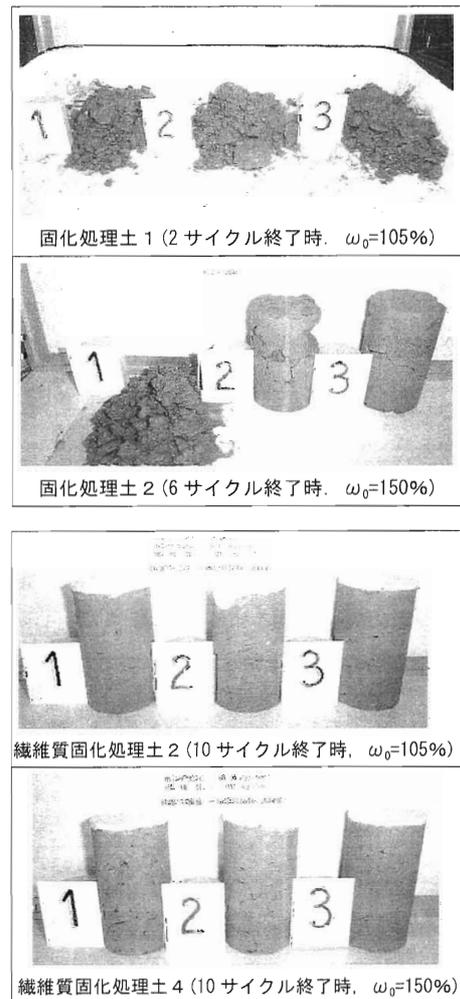


Fig.4 供試体の外観

までに9本の供試体のうち8本が図に示すように激しく崩壊した。これに対して、繊維質固化処理土は10サイクル終了時も試験開始の状態をそのまま維持しており、ほとんど劣化していない。固化処理土1と2の健全度ランクに差が生じた原因については初期強度が考えられる。一般的に、同じ原泥で含水比が高く、湿潤密度が低い方が乾燥状態での脱水量が大きくなり、乾燥収縮クラックが入りやすい。しかし、セメント系固化材を添加した改良土は、土粒子の移動を拘束し、セメンティング効果が発揮され、強度が発現して乾燥収縮に抵抗する。Table 5に固化処理土の性状を示すが、固化処理土1の初期強度は固化処理土2の初期強度よりも小さいため、含水比が小さいにもかかわらず大きく劣化したと考えられる。

ところで、固化処理土が乾湿繰り返しの影響を受け劣化するのは、乾燥工程において間隙中の水分が脱水し、乾燥収縮により土粒子間の結合が切れ、クラックが発生するためと言われている^{8,9)}。また自然状態のままではかなりの固結力を有する岩石であっても、地下水の変動、地山掘削による応力解放と吸水膨張、風化などにより岩石の固結力が低下することが報告されている¹⁴⁾。特に軟岩では、これらの環境変化に基づく乾燥・湿潤の繰り返しによって急激に固結力を失い、組織が破壊される現象が報告されており、この現象は一般にスレーキングと呼ばれている。このスレーキングのメカニズムについて種々の説明が試みられているが、一般に乾燥した岩石組織の間隙中に浸透した水分が間隙内の空気を圧縮し、岩塊に引張り力を生じること、あるいは再吸水による浸透圧の作用などが考えられている¹⁴⁾。

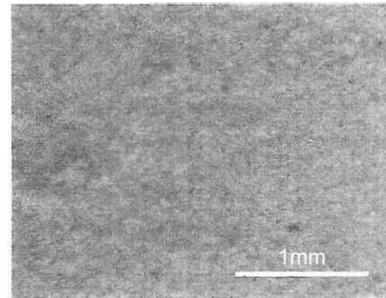
以上のことを考えると、固化処理土が乾湿繰り返しの影響を受け劣化するのは、従来から言われているように乾燥工程において間隙中の水分が脱水し、乾燥収縮により土粒子間の結合が切れ、クラックが発生するためであり、繊維質固化処理土が乾湿繰り返しの影響をほとんど受けず高い耐久性を示すのは、土粒子間の結合が固化処理土よりも強いためであると推察される。つまり、繊維質固化処理土は、固化処理土と同様に乾燥工程において間隙中の水分が脱水するものの、繊維質固化処理土は生成の過程で高含水比泥土に故紙を混合し、十分に攪拌するため土粒子と繊維質が複雑に絡み合うため、この構造体が土粒子間の結合を強め、クラックの発生を抑制していると考えられる。そこで、初めに乾燥工程終了後の固化処理土および繊維質固化処理土の表面を光学顕微鏡で観察するとともに、2つの供試体の内部から小さな土砂の塊を取り出して薄片を作成し、偏光顕微鏡を用いて内部構造を観察した。

Fig.5およびFig.6に光学顕微鏡および偏光顕微鏡による画像を示す。Fig.6において黒い部分は土砂であり、また白い部分は繊維質である。固化処理土は土粒子のみが観察されるが、繊維質固化処理土は繊維質が土砂の間に複雑に入り込んだ構造になっている。セメント系固化材の水和反応による土粒子の凝集、接着(セメンティング効果)と上述したように、この繊維質が土粒子間の結合を強め、クラックの発生を抑制していると推察され、その結果、繊維質固化処理土は乾湿繰り返しに対して高い耐久性を示すと考えられる。

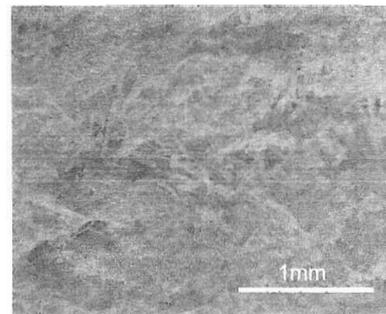
光学顕微鏡および偏光顕微鏡による観察結果から、繊維質固化処理土が乾湿繰り返しに対して高い耐久性を示す原因は、繊維質が存在することにより土粒子間の結合力が増加するためであることが定性的に考察された。そこで、次にこの土粒子間の結合に関して、破壊ひずみの観点から定量評価を試みた。破壊ひずみとは、一軸圧縮試験における応力-ひずみ曲線において圧縮応力の最大値に対するひずみを言う。一軸圧縮試験において供試体を圧

Table 5 固化処理土の性状

	固化処理土 1 W ₀ =105% セメント系固化材 添加量 90kg/m ³	固化処理土 2 W ₀ =150% セメント系固化材 添加量 100kg/m ³
一軸圧縮強度 qu σ ₂₈ (kN/m ²)	Ave. qu=110.9 (No. 1 qu=127.7 No. 2 qu=94.8 No. 3 qu=110.3)	Ave. qu=296.5 (No. 1 qu=121.0 No. 2 qu=342.0 No. 3 qu=426.6)
改良養生後の含水比(%) (28日養生後)	W=79.02	W=93.02
改良養生後の湿潤密度(g/cm ³) (28日養生後)	Pt=1.488	Pt=1.417

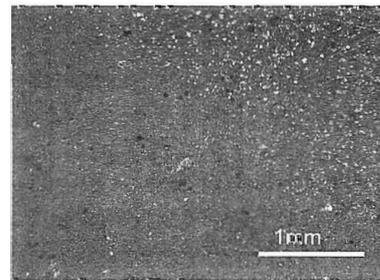


固化処理土



繊維質固化処理土

Fig.5 供試体の光学顕微鏡写真



固化処理土



繊維質固化処理土

Fig.6 供試体の偏光顕微鏡写真

縮していくと、土粒子間の結合が切れ、やがて破壊に至るので、土粒子間の結合力は破壊ひずみの大小で評価できると考えられる。そこで、種々の配合条件で固化処理土および繊維質固化処理土を作成し、一軸圧縮試験を実施して破壊ひずみを計測した。供試体の作成方法は先に述べた方法と同じである。

Fig.7 および Fig.8 は、破壊ひずみと固化材添加量との関係を示したものである。Fig.7 は含水比 105% の時の結果を、また Fig.8 は含水比 150% の時の結果を示している。また Fig.9 に一軸圧縮強さと破壊ひずみとの関係を示した。含水比に拘わらず、繊維質固化処理土の破壊ひずみは固化処理土の破壊ひずみの 3~4 倍の値を示していることが分かる。また同じ一軸圧縮強さの固化処理土に比べても、繊維質固化処理土の破壊ひずみは極めて大きな値を示している。すなわち、繊維質固化処理土における土粒子の結合力は、固化処理土における土粒子の結合力よりも大きく

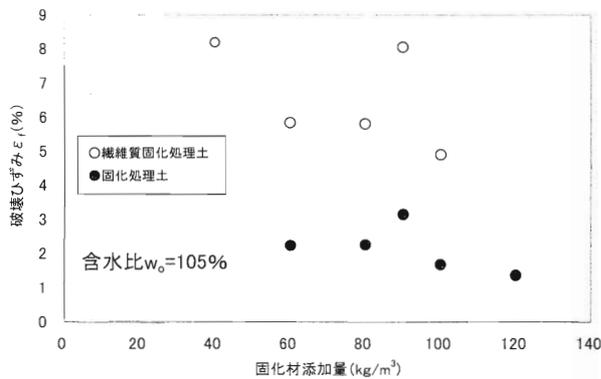


Fig.7 固化材添加量と破壊ひずみとの関係 (含水比:105%)

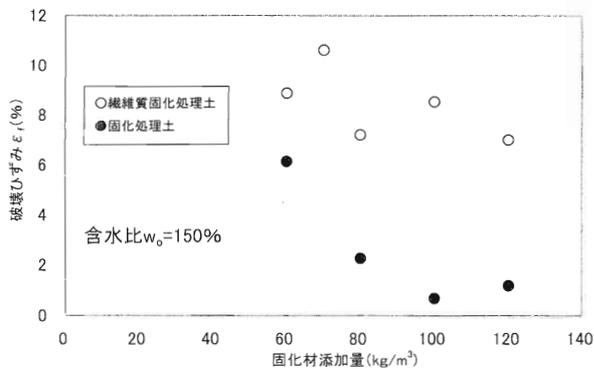


Fig.8 固化材添加量と破壊ひずみとの関係 (含水比:150%)

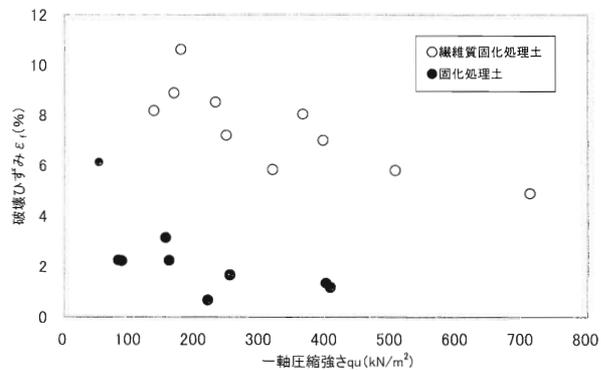


Fig.9 一軸圧縮強さと破壊ひずみとの関係

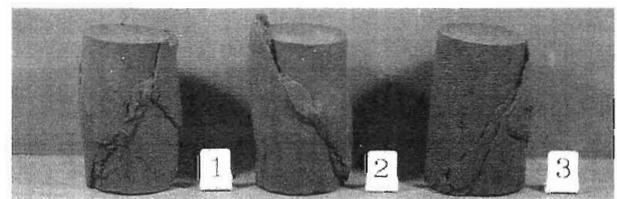
なっていることが定量的にも確認された。また前報⁵⁾でも述べたが、Fig.10 および Fig.11 に示した三軸圧縮試験後の供試体の破壊形状からも分かるように、固化処理土は明確なせん断面が現れ、局部的な応力集中を起し、小さなひずみで破壊しているが、繊維質固化処理土は樽型変形を起し、応力の集中が繊維を通して分散されている。このことは、繊維質固化処理土は、繊維質物質が土粒子間に複雑に入り込み、その結果、土粒子間結合力が非常に高くなっており、き裂の発生を抑制し、破壊に至るまでに大きな変形に耐え得ることを示している。

ところで、繊維質固化処理土はどれくらいの期間、このような高い耐久性を示すかについてはまだ明らかではない。上述したように、繊維質固化処理土の耐久性は、高含水比泥土に混合する繊維質の存在によると考えられる。換言すると、繊維質が劣化しない限り繊維質固化処理土は乾湿繰り返しに対して高い耐久性を示すと予想される。すなわち、繊維質固化処理土の耐久性は、故紙の耐久性に依存すると考えられる。定性的には、①セメント系固化材の影響により土砂は高アルカリ性を示し、故紙の成分であるセルロースを分解する微生物(糸状菌)が息できない¹⁵⁾、②土砂に含まれる粘土鉱物の大きさは、 $0.02\ \mu\text{m} \sim 1.00\ \mu\text{m}$ 以下であり¹⁶⁾、繊維質固化処理土のセメント固化材の水和によるセメントリング効果とあいまって間隙の大きさはそれ以下であると考えられるが、糸状菌胞子のうの大きさは $2 \sim 10\ \mu\text{m}$ ¹⁵⁾であるので、雨水とともに菌が侵入する可能性は極めて低いなどの理由から、繊維質固化処理土内部の故紙はほとんど劣化しないと推察されるが、この故紙の耐久性については今後、定量的に検討し、さらに繊維質固化処理土が高い耐久性を維持する期間を定量的に把握したいと考えている。

以上のように、繊維質固化処理土は乾湿繰り返しに対して高い耐久性を示すことが実験的に確かめられた。従って、解明すべき点は残されてはいるものの、繊維質固化処理土は地下水位の変動・気象条件による乾湿繰り返しを受ける場所においても使用可能であると考えられる。

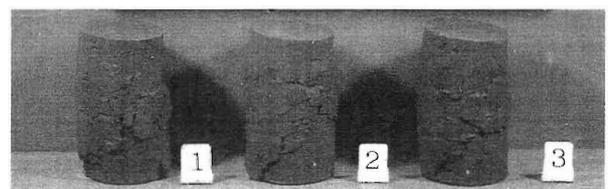
5. む す び

繊維質固化処理土および固化処理土を用いて乾湿繰り返し実験を行った結果、固化処理土はサイクルの進展に伴ない劣化し、一



養生期間 7 日、セメント系固化材 $100\text{kg}/\text{m}^3$
拘束圧 No. 1: $50\text{kN}/\text{m}^2$, No. 2: $100\text{kN}/\text{m}^2$, No. 3: $200\text{kN}/\text{m}^2$

Fig.10 三軸圧縮試験後の供試体の破壊形態 (固化処理土)



養生期間 7 日、セメント系固化材 $100\text{kg}/\text{m}^3$
拘束圧 No. 1: $50\text{kN}/\text{m}^2$, No. 2: $100\text{kN}/\text{m}^2$, No. 3: $200\text{kN}/\text{m}^2$

Fig.11 三軸圧縮試験後の供試体の破壊形態 (繊維質固化処理土)

軸圧縮強度が低下するが、繊維質固化処理土は乾湿繰り返しによりほとんど劣化せず、極めて高い耐久性を示すことが確認された。従って、繊維質固化処理土は地下水位の変動・気象条件による乾湿繰り返しを受ける場所においても使用可能であることが確かめられた。繊維質固化処理土が乾湿繰り返しに対して高い耐久性を示す原因としては、土砂内部に存在する繊維質物質と土粒子が絡み合っ

て土粒子間結合力を高め、乾燥収縮によるき裂の発生を抑制しているためであることが破壊ひずみの観点から確認された。今後は、寒冷地での使用も考慮に入れ、凍結融解による耐久性および凍上について実験的に検証するとともに、故紙そのものの劣化特性を評価したいと考えている。また今回は、実際の泥水に含まれる有機物によるデータのバラツキを抑えるため模擬泥水を用いたが、上述したように繊維質固化処理土の乾湿繰り返しに対する高い耐久性は、土砂内部に存在する繊維質物質と土粒子が絡み合っ

て土粒子間の結合力を高めることが主な原因であり、固化の程度にはほとんど関係しないので、実際の泥水から生成される繊維質固化処理土も本実験結果と同様に乾湿繰り返しに対して高い耐久性を示すと考えられる。ただしこれについては今後、実験的に検討したいと考えている。なお、本実験にあたり(株)東京ソイルリサーチの大谷雅之氏には多大なるご協力を頂いた。ここに謝意を表す。また、本研究の1部は文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(B)、課題番号

16360453、代表:高橋 弘(東北大学教授))によったことを付記する。

References

- 1) T. Shirai: *Base Sekkei Shiryo*(Kensetu Kogyo Chousakai, 2002), pp.59-61.
- 2) Advanced Construction Technology Center: *Kensetsuodei Recycle Shishin*(Taisei Shuppan Co.Ltd., Tokyo, 1999), pp.41-43 and pp.164-165.
- 3) M. Murata: Civil Engineering, JSCE, **87**(2002), 25-28.
- 4) S. Fukushima, A. Kitajima, K. Ishiguro, Y. Ikeda, K. Sakamaki and S. Tani: Proc. of JSCE, No. 666/III-53(2000), pp.99-116.
- 5) M. Mori, H. Takahashi, A. Ousaka, K. Horii, I. Kataoka, T. Ishii and K. Kotani: *Shigen-to-Sozai* (Journal of MMIJ), **119**(2003), 155-160.
- 6) H. Takahashi et al.: Proc. of MMIJ Tohoku Branch Autumn Meeting(2003), pp.31-32.
- 7) M. Kamon, T. Katsumi, H. Imanishi: Proc. of the 45th Meeting on Cement Technology (1991), pp.844-849.
- 8) S. Ogawa, M. Sugiyama, K. Yokoyama and H. Yamamoto: Proc. of the 31st Japan National Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering(1996), pp.303-304.
- 9) G. Kuno: *Tsuchi no Ryudouka shorikouhou*(Gihoudo Press Co.Ltd., 1997), pp.57-60.
- 10) N.Mori et al.: Proc. of the 28th Japan National Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering(1993), pp.2639-2640.
- 11) E.Matsubara et al.: Proc. of the Symposium on Development and Application of Light Soil Materials(2000), pp.183-186.
- 12) Public Works Research Institute: *Final Report of Cooperative Research (Kensetsuodeikairyoudo no Taikyusei)*,(1997), pp.77-82.
- 13) Japan Cement Association: *Jibankairyoudo Manual*, 2nd Edition,(Gihoudo Press Co.Ltd., 1999), pp.154-157.
- 14) The Japanese Geotechnical Society: *Iwa no Chousa to Shiken*,(Soukousha Insatsu Co.Ltd., 1989), pp.414-418.
- 15) T.Hattori and K.Miyashita: *Tsuchi no Biseibutsugaku*(Youkendo Co.Ltd., 2000), pp.4-14 and pp.154-157.
- 16) S.Ookusa: *Nendo no Fushigi*(Shin Nihon Insatsu Co.Ltd., 1994), pp.38-39.