

平成 22 年 4 月 5 日現在

機関番号：53401  
 研究種目：基盤研究(C)  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19560500  
 研究課題名(和文) 浚渫土および廃石膏ボード粉を活用した袋詰め固化物の剛性評価と構築路床への適用策  
 研究課題名(英文) Stiffness Characteristics of the Packed-Dredged Materials Stabilized with Waste Plasterboard Powder and Its Application to Subgrade  
 研究代表者  
 山田 幹雄 (YAMADA MIKIO)  
 福井工業高等専門学校・環境都市工学科・教授  
 研究者番号：30175666

## 研究成果の概要(和文)：

湖、港で浚渫された土砂や粉碎した廃石膏ボードは土質材料の代替に有用な資源であるにもかかわらず、再利用率は依然として低い状況にある。この研究では、安定処理した湖沼底泥-海砂-廃石膏ボード粉混合材料をジオテキスタイルで包んでアスファルト舗装の一体型路盤・路床へ適用することの可能性を調べた。種々の力学的試験および舗装構造の安全性に関する演算から、当該混合材料のみでも所定の支持力、強度やレジリエントモデュラスを有するものの、ジオテキスタイルとの複合により補強効果が付加されるという結果が得られた。

## 研究成果の概要(英文)：

Though the sediments dredged from floors of lakes and ports and the waste plasterboards crushed at solid waste intermediate treatment plants are beneficial earth materials, the utilization is still stagnant. In the present study, an applicability of the lake mud-sea sand-waste plasterboard-stabilizer mixture wrapped in geotextile as a base course/subgrade material in the asphalt pavement was examined by laboratory tests and numerical operations. The results indicated that the combining of a geotextile with the mixture brought reinforcement of tensile resistance.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：地盤環境

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：資源循環再利用技術，路床土支持力比，コーン指数，一軸圧縮強さ，強度定数

## 1. 研究開始当初の背景

福井県北部には石川県との境に周囲14kmの

北潟湖が汽水を湛え、その南西方向約10kmには福井港が日本海に面している。前者では湖

底に堆積している約56,000m<sup>3</sup>の泥を2010年度までに除去する事業が行われており、一方、後者では二つの防波堤の内側に堆積した砂を年間約54,000m<sup>3</sup>浚っている。しかしながら、浚渫した湖沼底泥、海砂ともに実効ある利用方法は見出せないままであった。

北潟湖と福井港とのほぼ中間に、建築物解体工事現場で回収した廃石膏ボードを石膏粉に処理する施設が常時稼働している。石膏粉の大半はセメント原料に転用されているものの、解体系廃石膏ボードの排出量は国内全般に増加する見通しにあることから、当該施設においても新たな用途の確立が急務の課題となりつつあった。

このような背景を踏まえて、研究代表者らは『地域内資源循環』を前提に浚渫土砂(湖沼底泥、海砂)と廃石膏ボード粉とを一括利用できるアスファルト舗装の断面構造の在り方について検討することとした。

## 2. 研究の目的

(1) アスファルト舗装の断面設計にあたり、以前は舗装材料の等値換算係数をもとにした必要等値換算厚法が採られていたが、2001年の道路構造令の改正にともない、使用実績のない材料であっても弾性係数やポアソン比が既知または推定可能であれば、多層弾性理論にもとづく解析的手法によって安全性の検証がなされるようになった。そこで、安定処理した湖沼底泥-海砂-廃石膏ボード粉混合材料のレジリエントモデュラスを求めて、一体型路盤・路床の断面を既存の多層弾性構造解析プログラムを用いて設計する。

(2) 一般に、新設道路はともかくとして、現道の補修については交通開放にいたるまでの期間がライフサイクルコストに係わる要因となる。つまり、湖沼底泥-海砂-廃石膏ボード粉混合材料を路盤・路床に適用する際には、その固化性状が重要視されることになる。そこで、当該混合材料の支持力増加ならびに強度発現過程を路床土支持力比、コーン指数および一軸圧縮強さをもって明らかにする。

(3) 安定処理した湖沼底泥-海砂-廃石膏ボード粉混合材料を袋に詰めることの意義、言い換えれば、繊維材による引張抵抗力の補強が固化した当該混合材料のせん断強さ、せん断抵抗角や粘着力におよぼす影響を探究する。

(4) 研究期間内に廃棄物中間処理施設の構内で屋外曝露試験に着手することを想定して、掘削地盤(=在来路床)の弾性係数を非破壊試験データを用いて静的、動的逆解析によって推定し、上記(1)の演算に資する。

## 3. 研究の方法

まず、湖沼底泥-海砂-廃石膏ボード粉混合

材料の固化促進により有効な安定材の選定に取り掛かった。具体的には湖沼底泥、海砂、廃石膏ボード粉を乾燥質量比1:1:1で混ぜ合わせ、これにセメント系固化材、高炉セメントB種、工業用消石灰を個別に添加して作製した供試体の路床土支持力比、コーン指数、一軸圧縮強さを比較した。

ここで、湖沼底泥と海砂の含水比はこれらの液性限界を目標に調整し、廃石膏ボード粉は実験室に搬入した状態のままで使用した。3種類の安定材の添加率は、いずれも当該混合材料の乾燥質量に対して10%、20%とした。また、一軸圧縮試験用供試体の養生温度は20℃に設定し、最長材齢は28日とした。

安定材にセメント系固化材および高炉セメントB種を用いて作製した供試体については、7日が経過した時点で六価クロムの溶出濃度(環境省告示第18号)を測定して、土壤環境基準に抵触するか否かを確認した。

上記の試験と並行して、安定処理した湖沼底泥-海砂-廃石膏ボード粉混合材料の材齢28日のレジリエントモデュラスを求めて、汎用的な粒状路盤材料(粒度調整砕石、クラッシュラン)の弾性係数に照合した。そして、このレジリエントモデュラスを当該混合材料の推定弾性係数とみなして、多層弾性構造解析プログラムによりアスファルト舗装(規格:普通道路)の断面設計を行った。

一方、将来の廃棄物中間処理施設構内での実地検証に備えて、試験施工予定箇所の地盤支持力を平板載荷試験のほか、インパクト値の計測も行って調べた。

続いて、安定処理した湖沼底泥-海砂-廃石膏ボード粉混合材料と繊維材との複合がせん断抵抗特性に与える効果を明らかにするために、圧密定圧に抛る一面せん断試験(試験機は平成19年度の科学研究費補助金で購入)を実施した。この試験に用いる供試体の寸法は直径100mm、高さ50mmであり、安定材にはセメント系固化材を使用した。

当該混合材料を被覆する繊維材として厚さ0.25mm、引張強さ1570N/3cm、伸び率14%のジオテキスタイル(織布)を採用した。また、材齢は2日、3日、7日および14日とした。

試験にあたり、垂直応力は「アスファルト舗装の上層路盤面に作用する応力」、「供試体の一軸圧縮強さ」や「せん断荷重計の容量」を勘案して、0.15MPaから0.30MPaの間の3段階もしくは4段階とした(0.05MPa間隔)。なお、求めた強度定数を、ジオテキスタイルで被覆しなかった供試体で得られた結果に比べた。

## 4. 研究成果

室内試験、実地調査および演算において見出された新たな知見を以下に列挙する。

(1) フミン酸を3.5%含有する湖沼底泥の安

定処理効果は添加する安定材の種類によって異なり、路床土支持力比やコーン指数の増加にはセメント系固化材がとくに効力を発揮する。

(2) 湖沼底泥に廃石膏ボード粉を混入して、セメント系固化材あるいは高炉セメントB種を添加すると、第2種改良土相当のコーン指数に達する。一方、工業用消石灰では第3種改良土相当に止まる。

(3) 「湖沼底泥-海砂」および「湖沼底泥-海砂-廃石膏ボード粉」を母材とするシリーズにおいて、供試体の路床土支持力比は空气中養生よりも水浸養生で増加する傾向にある。ただし、路床土支持力比の差は高炉セメントB種を添加した供試体には顕著に現れるのに対して、セメント系固化材を添加した供試体では数%程度である。

(4) 上記(3)に関連して、六価クロムの溶出量は土壤環境基準0.05mg/L未満であった。

(5) 全ての供試体で求めた変形係数と一軸圧縮強さとの関係を整理したところ、変形係数は一軸圧縮強さの約185倍に相当することがわかった。同様に、コーン指数は路床土支持力比のおよそ0.2倍に換算できることがわかった。

(6) 「湖沼底泥-海砂-廃石膏ボード粉」を母材とし、これにセメント系固化材を20%添加した供試体のレジリエントモデュラスは900MPaであり、粒状材料による二層路盤に比べて厚さの小さい一層路盤としても、現行の暫定破壊規準に適った舗装構造を設計できる。この演算には、静的逆解析で推定した在来路床の弾性係数50MPaを入力した。

(7) せん断応力-せん断変位曲線において、ジオテキスタイルで包んだ供試体のせん断応力は2点で卓越する。このうち、最初の卓越で中の固化混合物は破壊するが、ジオテキスタイルの有する引張強さと伸びの効用により第二の卓越でもせん断応力は低下しない。

(8) 垂直応力とせん断強さとの関係において、せん断抵抗角は養生日数の経過とともに大きくなる。それでも、ジオテキスタイルで包んだ供試体とこれを併用しない供試体との角度差は $13^{\circ}$ ~ $22^{\circ}$ にいたる。一方、粘着力については後者の方が全般に大きい。

(9) ジオテキスタイル併用の有無にかかわらず、締め度80%未満で作製した固化混合物のせん断強さはせん断抵抗角に依存する兆候が認められるのに対して、およそ85%で作製した固化混合物では粘着力の関与する部分が多くなる。

今後の展望としては、廃石膏ボードに含まれている“原料由来のフッ素”の不溶化処理が喫緊の課題となろう。今回の研究では、セメント系固化材などの安定材を添加することでフッ素の溶出量を土壤環境基準以下に抑制できたが、それでは粉碎した廃石膏ボードを

単体で土質材料の代替に、あるいは、半水石膏に加工して安定助材に再利用することは難しい。あくまでも、材料の安全性を担保する観点から、まずはフッ素を不溶化した上で土砂に混合すべきと考える。

このことを研究代表者は期間の途中で真摯に受け止め、関連実験として廃石膏ボード粉に試行的に軽焼マグネサイト、水酸化カルシウム(消石灰)や酸化カルシウム(生石灰)を添加・混合した後のフッ素溶出量を調べた。

未だ明確な成果を得るにはいたっていないものの、添加する安定材の選定ともに廃石膏ボード粉の水分付着率を高める手順を要することまでは把握できた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 11 件)

- ① 佐野博昭・山田幹雄・出村禧典, モンモリロナイト含有量および静置条件の違いがベントナイト・カオリン混合試料土の強度、変形特性に及ぼす影響, 建設用原材料, 査読有, 第18巻, 第1号, 2010年, 掲載決定.
- ② 山田幹雄・坪川 茂・佐野博昭, 浚渫土砂-廃石膏ボード粉-安定材混合材料の固化性状とジオテキスタイル被覆による補強効果, 材料, 査読有, 第59巻, 第1号, 2010年, pp. 56-61.
- ③ 田辺和康・富田武満・山田幹雄・佐野博昭, 浄水汚泥を改良したイチゴ培土の適用性に関する研究, 地盤工学会第8回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, 査読有, 2009年, pp. 217-222.
- ④ 山田幹雄・坪川 茂・佐野博昭・田辺和康, ジオテキスタイルとの併用がセメント安定処理材料の強度定数におよぼす影響, 建設用原材料, 査読有, 第17巻, 第1号, 2009年, pp. 15-22.
- ⑤ 佐野博昭・工藤俊昭・山田幹雄・田辺和康, 鉄鋼スラグの混入が土の一軸圧縮試験結果に及ぼす影響, 建設用原材料, 査読有, 第17巻, 第1号, 2009年, pp. 23-30.
- ⑥ 山田幹雄・三田村文寛・佐野博昭・田辺和康・坪川 茂・小島範子, 浚渫した湖沼底泥, 海砂に廃石膏ボード粉と安定材とを混合した材料の支持力および強度特性, 日本材料学会第8回地盤改良シンポジウム論文集, 査読有, 2008年, pp. 9-14.
- ⑦ 佐野博昭・川場浩二・一宮一夫・矢島寿一・山田幹雄・田辺和康, 大分県別府市明礬地すべり地のDブロックにおける地下水の性状に関する一考察, 日本地すべり学会誌, 査読有, 第45巻, 第3号, 2008

年, pp. 54-61.

- ⑧ 山田幹雄・三田村文寛・吉田眞輝・矢野智孝・佐野博昭・田辺和康, 磨石膏ボーク粉を混入して安定処理した浚渫土の支持力特性と道路構成材料としての活用に関する検討, 建設用原材料, 査読有, 第16巻, 第1号, 2008年, pp. 29-36.
- ⑨ 山田幹雄・辻 慎一郎・佐野博昭・田辺和康, 袋詰めエアミルクの性能と道路路盤材料としての適用性, 材料, 査読有, 第57巻, 第1号, 2008年, pp. 60-65.
- ⑩ 辻 慎一郎・山田幹雄・吉田眞輝・南 和弘・安永 豊, 軟弱路床への荷重低減を目的とした袋詰めエアミルクの適用例, ジオシンセティックス論文集, 査読有, 第22巻, 2007年, pp. 31-34.
- ⑪ 田辺和康・富田武満・山田幹雄・佐野博昭, 浄水ケーキを用いた緑化基盤材の開発, 土と基礎, 査読有, 第55巻, 第7号, 2007年, pp. 21-23.

[学会発表] (計 0 件)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
出願年月日 :  
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
取得年月日 :  
国内外の別 :

[その他]

ホームページ等

<http://www.fukui-nct.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山田 幹雄 ( YAMADA MIKIO )  
福井工業高等専門学校・環境都市工学科・

教授

研究者番号 : 30175666

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号 :

### (3) 連携研究者

辻子 裕二 ( TSUJIKO YUJI )

福井工業高等専門学校・環境都市工学科・  
准教授

研究者番号 : 40259859