

ハイグレードソイルの利用技術

Use Method of High-Grade Soil

三木博史 (みき ひろし)

建設省土木研究所土質研究室長

山田哲也 (やまだ てつや)

建設省土木研究所土質研究室

林 義之 (はやし よしゆき)

建設省土木研究所土質研究室

森 範行 (もり のりゆき)

建設省土木研究所土質研究室

1. まえがき

地盤改良の定義を foundation soil improvement に限定せず、広く soil improvement 全般を意味するものと解釈すると、本文で紹介するハイグレードソイルも地盤改良の新技术の一つに数えられる。

ハイグレードソイルは、建設省土木研究所と(財)土木研究センターおよび民間企業38社との共同研究によって平成2年度から研究開発が進められているもので、気泡混合補強土や発泡ビーズ混合軽量土のような人工軽量土や繊維混合土あるいはジオテキスタイルを利用した袋詰脱水工法について適用性や設計・施工法の検討が行われているところである。

ハイグレードソイルは、大きくは建設省の総合技術開発プロジェクト(略称、総プロ)「建設副産物の発生抑制・再生利用技術の開発」(H4~H8年度)の一環として、研究開発が進められているもので、建設発生土のリサイクルや利用用途の拡大に貢献しうる技術として脚光を集めている。以下、本文では、ハイグレードソイルの技術の概要の紹介を行いたい。

2. ハイグレードソイル

ハイグレードソイルと総称している技術は、現在のところ以下に示す発泡ビーズ混合軽量土、気泡混合補強土、繊維混合土および袋詰脱水工法の四つである。

2.1 発泡ビーズ混合軽量土

(1) 概要

発泡ビーズ混合軽量土は土に超軽量の発泡ビーズ(材質は発泡スチロール、発泡ポリプロピレン等)を混合して軽量化した人工軽量土の一つである。強度

を必要とする場合は、セメント等の安定材を添加することがよく行われる。また用途によっては、繊維を加えてねばりや侵食抵抗の増大を図ることも可能である。

発泡ビーズ混合軽量土の主な特長としては、軽量性、目的に応じた強度設定が可能なこと、変形追従性、水密性などがある。これらの特長を生かして、図-1のような用途への適用が期待できる。

また、発泡ビーズ混合軽量土は変形追従性と水密性を併せ持つので、軟弱地盤上の河川堤防などにも適用が可能である。

(2) 特性

発泡ビーズ混合軽量土の主な特性としては以下の点が挙げられる。

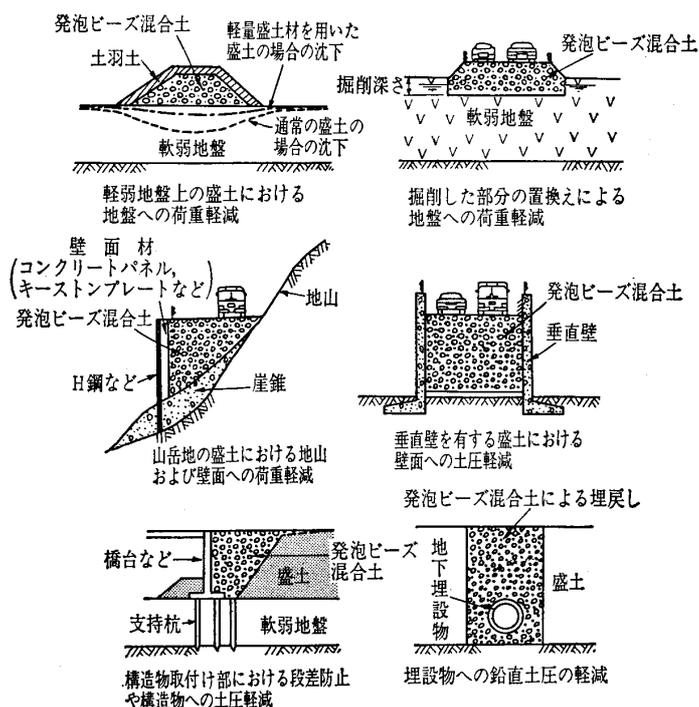


図-1 発泡ビーズ混合軽量土の用途

報文-2298

- ・軽量性：湿潤密度を $\rho_t=0.8\sim 1.3\text{t/m}^3$ の間で調整が可能である。
- ・強度：安定材の添加量を調節することにより一軸圧縮強度を $q_u=0.5\sim 2\text{kgf/cm}^2$ 程度の範囲で設定することができる。
- ・変形追従性：セメント等の安定材を添加しない場合は通常の土砂とほぼ同じ変形追従性を有する³⁾。
- ・水密性：発泡ビーズ混合軽量土の透水性は、原料土の土砂の透水性と大きく変わらない⁴⁾。したがって、河川堤防などに適用する場合には、原料土に透水性の低い土を用いることによって、必要とされる水密性（止水性）を確保することができる。
- ・植生：セメント等の安定材を添加しない場合は可能である。

(3) 製造方法, 施工方法

発泡ビーズ混合土は土・発泡ビーズ・安定材を混合して製造するが、その混合方法にはプラント方式と原位置混合方式がある。現在はプラント方式が主であるが、混合性能の良好な原位置混合機械も開発されつつある。

(4) 施工事例

地すべり地帯での道路改良工事での適用例を以下に示す⁵⁾。昭和53年度に道路工事を完了したが、昭和57年頃から路面にクラックが発生し、地すべり地を横断していることが判明した。そこでオーバーレイを数回重ねながら、昭和63年までに排水井、排水ボーリング、抑止杭等の地すべり対策工を完了させ、その後最終的な道路改良を実施した。

現場の路面は、地すべりのため延長120mにわたり最大で60cm沈下した状態にあった。そこで本工事では沈下した120mの区間をかさ上げし、当初の平面線形 ($R=550\text{m}$) および縦断勾配 ($i=0.35\%$) に復旧することとなった。

安定計算の結果、通常の土を用いてかさ上げ盛土を行った場合でも、大きい地すべり面(図-2参照)を不安定にすることはなく、影響があると考えられるのは道路盛土部の小さな円弧すべりと判断された。そこで、かさ上げに伴う荷重増加を抑え現状の安全率を確保するために、発泡ビーズ混合軽量土で盛土材を置換える工法を採用した。図-3に施工箇所の標準断面図を示す。原料土には山砂を用い、発泡ビーズには粒径2.5~5.0mmの発泡スチロール粒を

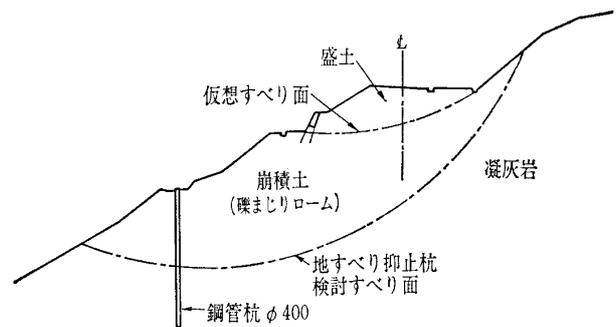


図-2 道路改良工事の施工場所におけるすべり面

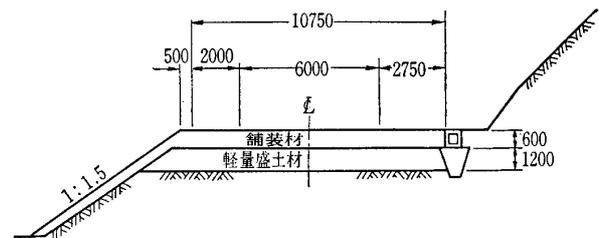


図-3 発泡ビーズ混合軽量土を用いた道路改良工事の標準断面図

使用した。また基準となる湿潤密度を $\rho_t \leq 1.2\text{t/m}^3$ 、CBR 値を4%として配合を行った。

本施工では、施工面積1500 m^2 、軽量盛土1720 m^3 の施工を片側交互通行をさせながら実施した。現場での密度試験の結果、ややばらつきが見られるものの、湿潤密度1.2 t/m^3 を満足することができた。また施工後は現場に変状は見られず、道路盛土材として発泡ビーズ混合軽量土が良好な材料であることが確認できた。

2.2 気泡混合補強土

(1) 概要

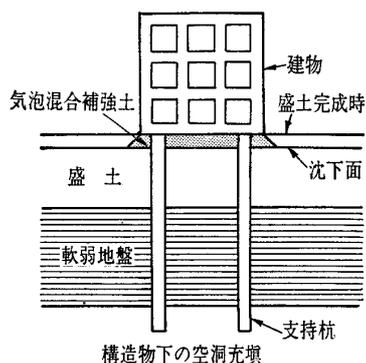
気泡混合補強土は土に水を混ぜてスラリー化したものに、気泡材を発泡させてできる気泡とセメント等の固化材を混合して製造される、軽量化された安定処理土である。気泡混合補強土の主な特長としては、軽量性、流動性(硬化前)、自硬性などがある。また原料土として高含水比粘性土等を含む幅広い土質の土を利用でき、建設発生土の有効利用が図れる。

これらの特長を生かして、図-1のような用途および図-4のような用途への適用が期待できる。

(2) 特性

主な特性としては、以下の点が挙げられる。

- ・軽量性：湿潤密度 $\rho_t=0.5\sim 1.3\text{t/m}^3$ の間で調整が可能である。
- ・流動性：硬化する前は高い流動性を持ち、狭小な部分の埋戻しや充填などが容易である。
- ・施工性：ポンプ圧送が可能で、転圧・締固めが不



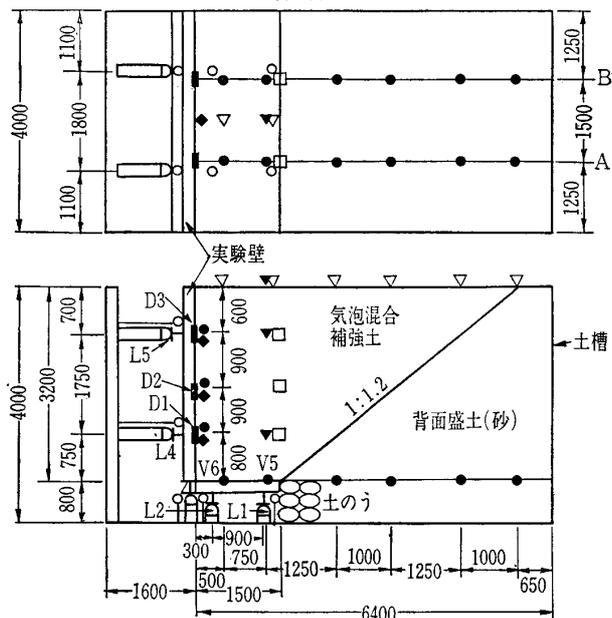
図—4 気泡混合補強土の空洞充填への適用

要である。

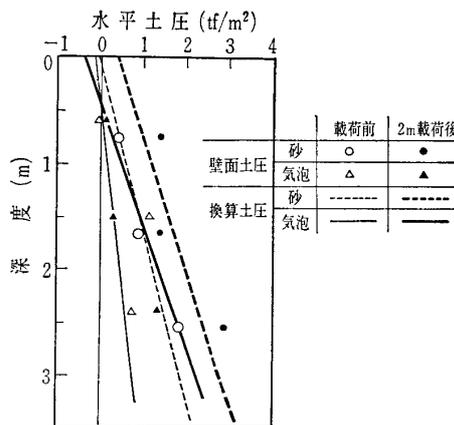
- 硬化後の強度：固化材の添加量を調節することにより一軸圧縮強度 $q_u = 0.5 \sim 10 \text{ kgf/cm}^2$ 程度の範囲で設定可能である。
- 擁壁や橋台の裏込めとして用いた場合、構造物に作用する水平土圧が小さい。

また、硬化後の気泡混合補強土は自立性を持ちポアソン比も非常に小さい⁶⁾。したがって、擁壁や橋台の裏込めとして用いた場合、構造物に作用する水平土圧は通常の土砂を裏込めに用いた場合よりかなり小さくなる。図—6 に気泡混合補強土を裏込めに用いた大型擁壁実験での水平土圧を示す。実験は、図—5 に示すように、裏込めに気泡混合補強土を用いた場合と、砂を用いた場合とを比較している。水平土圧は壁面土圧計による壁面土圧と、壁面にとりつけられた荷重計の値を土圧に換算した換算土圧を

- 水平土圧計 壁面型 ▽ 地表面沈下計 ○ ダイアルゲージ
- ◆ 水平土圧計 土中型 ▼ 層別沈下計 □ 熱電対
- 鉛直土圧計 土中型 □ 荷重計



図—5 気泡混合補強土を裏込めに用いた大型擁壁実験の概要図⁷⁾



図—6 大型擁壁実験における壁面への水平土圧⁸⁾

示している。実験では、裏込め土の上に無載荷の状態および高さ 2 m の載荷盛土を行った状態で観測を行ったが、いずれの状態でも、気泡混合補強土を用いた場合のほうが砂を用いた場合よりも水平土圧が小さいことが分かる^{7)~9)}。

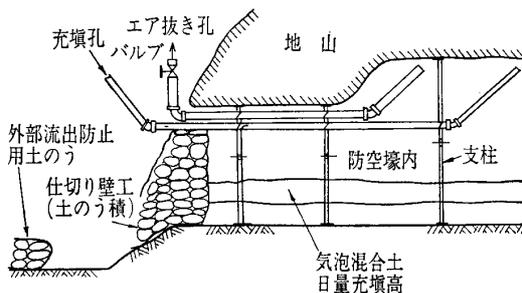
(3) 製造方法, 施工方法

気泡混合補強土の製造方法は、通常、原料土と水と固化材を攪拌混合したものに、あらかじめ起泡装置で製造しておいた気泡を混合するプレフォーム方式による場合が多い。

(4) 施工事例

関東ローンを原料土とする気泡混合補強土を防空壕の充填工事に適用した例を以下に示す(図—7)。

住宅地の造成に伴い、新設の侵入道路建設が予定されていたが、奥行き 20 m (空隙量 560 m³) の防空壕が計画道路下にあり、道路陥没防止のために壕の充填工事を施す必要が生じた。工事の概要を図—7 に示す。まず防空壕の出口に土のうを積み上げて仕切り壁を設けた。その後、仕切り壁上部に設置した充填パイプにプラントで作製した流動化処理土を圧送し、打設を行った。このときフロー値は 15 sec 程度 (P ロート法による) であったが、充填性は十分であった。



図—7 気泡混合補強土の施工概要図

2.3 繊維混合土

(1) 概要

繊維混合土は、土または安定処理土に長さ数cm、太さが1~100デニール（デニール：繊維長9000mの質量をグラム数で表す単位）の短繊維を土の乾燥質量に対して0.01~2%程度混合したハイグレードソイルの一つで、その特徴を以下に示す。

- ① 土に短繊維を混ぜることによる土の靱性（ねばり強さ）が向上し、ねばり強い盛土の築造や安定処理した路床土等のひび割れの防止に適用が可能である。
- ② 侵食の生じやすい土（砂質土、シルト系の土、まさ土等）に短繊維を混ぜることによって耐侵食性が向上し、盛土法面保護材への適用が図れる。
- ③ 河川部における用途として、繊維混合土の耐洗掘性の向上による植生が可能な多自然護岸への適用や洪水等によって生じることがあるパイピング現象を防止するパイピング防止材料として適用法が考えられる。

(2) 特性

これまでに繊維混合土に関して得られている特性を以下に示す。

① 土の靱性の向上：図-8に山砂に短繊維と土質改良材（セメント）を同時に混合した繊維混合安定処理土の一軸圧縮試験の結果を示す。この図より、繊維混合安定処理土は、土質改良材のみ混合した山

砂と比較して一軸圧縮強さ、圧縮ひずみの向上が見られた¹⁾。

② 侵食防止効果：幅40cm×長さ100cm×高さ20cmの排水性のある木箱に山砂やまさ土に短繊維（0.2%程度）を混合した繊維混合土を投入・締固め、その木箱を45°に設置し、約4mの高さから散水ノズルで約100mm/hの人工降雨を加える小型降雨試験を行い、侵食状況を観察した。その結果、写真-1に示すように山砂みの場合は、降雨によってかなりの侵食がみられた。一方、写真-2に示すように繊維混合土は侵食が認められず、侵食防止効果が高いことが確認された^{1), 10)}。

③ 洗掘防止効果：繊維混合土（山砂に短繊維を0.2%程度混合）を幅30cm×長さ100cm×高さ30cmの亚克力製の箱に投入・締固め、開水路の底面に設置し、その開水路内の流速を変化させ、その際の繊維混合土の洗掘の状況を観察する模型実験を行った。その結果、砂質土みの場合は流速40cm/sで大きな洗掘が生じたが、繊維混合土は流速70cm/sまで大きな洗掘を生じることがなく、洗掘防止効果が高いことがわかった¹¹⁾。

④ パイピング防止効果：幅60cm×長さ120cm×高さ20cmの繊維混合土（砂質土に短繊維を0.2%程度混合）の小型模型地盤を作製し、粘性土で押え盛土を施し、その押え盛土に弱点箇所（水位差 ΔH を与える場所より30cm、直径2.5cmの穴）を設け、模型地盤に徐々に水位差を加えパイピング現象

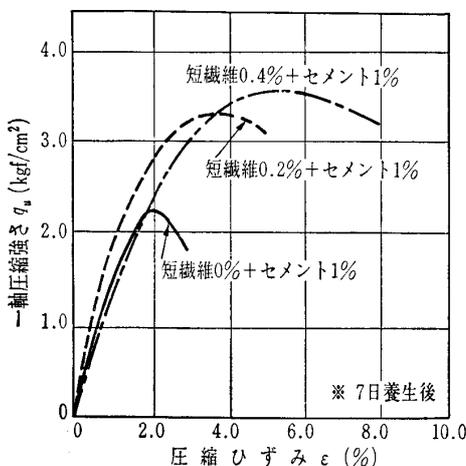


図-8 繊維混合安定処理土の一軸圧縮試験の結果

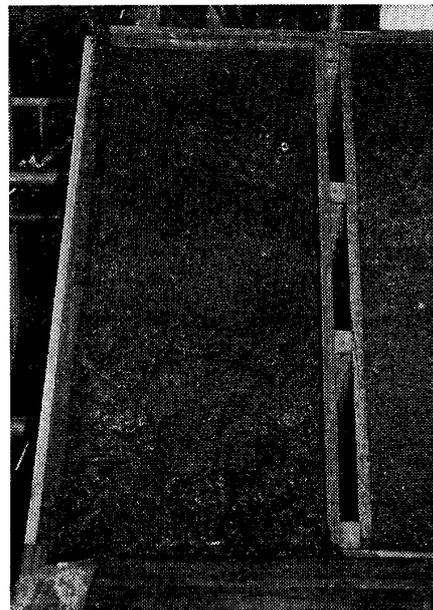


写真-1 山砂みの場合の侵食状況(45分経過後)

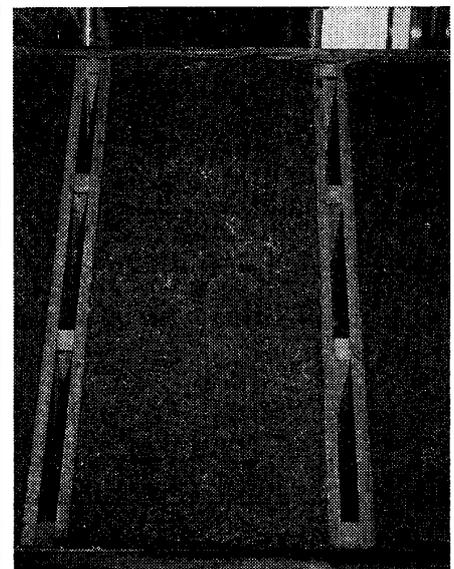


写真-2 山砂に短繊維(0.2%)を混合した繊維混合土の侵食状況(45分経過後)

の有無を観測した。その結果、砂質土のみの場合は $\Delta H=26\text{ cm}$ で砂と水が弱点箇所より激しく噴出するパイピング現象が確認されたが、短繊維を0.2%混合した繊維混合土は $\Delta H=40\text{ cm}$ 近くながらも大きな変化がみられず、繊維混合土はパイピングの防止効果が高いことがわかった¹²⁾。

(3) 製造方法・施工方法

現在、繊維混合土の製造・施工方法に関して開発が進められており、プラント混合、原位置混合の二つの混合方法について検討および施工性試験を行っている。これまでにプラント混合方式では砂質土については繊維混合土の製造が可能であることを確認した。また、原位置混合方式では、“ラップ”と呼ばれる布団綿状の短繊維を土中に敷き込み、スタビライザー等の混合装置を用いて、原位置での繊維混合土を製造する施工性試験を行っている^{13), 14)}。

今後は、繊維混合土の実用化に向け適用性・利用用途の開発をめざすとともに、実用化に向け土中により均一に短繊維が混合できるような繊維の供給形態および解繊方法、原位置混合における大量かつ機能的に繊維混合土の製造が可能なバックホウ装着型の混合機械の開発、製造後の品質管理手法の確立等を図っていく予定である。

2.4 袋詰脱水工法

(1) 概要

袋詰脱水処理工法は、河川、湖沼等に堆積している軟弱な土を透水性の袋に注入して脱水し、盛土や埋土に有効利用する工法である。

袋詰脱水工法の主な特徴として、以下の点が挙げられる^{15)~17)}。

- ① 袋への粘土の注入は、粘土が流動化状態であるので比較的容易に施工することができる。
- ② 袋は任意の大きさに作製できるので、自重圧密時間は、袋の大きさで調整できる。
- ③ 袋からの排出水は、粘土注入直後は懸濁物質濃度がやや高いが、短時間で非常に小さくなる。
- ④ 袋は、袋を構成する布を適正に選定すると、3段程度に積み重ねることができる。
- ⑤ 袋からの植生は良好である。

また、脱水した袋の活用方法として、図-9に示すような各種築堤や護岸への利用が考えられる。

(2) 特性

袋詰脱水工法に関する研究として、霞ヶ浦粘土を対象として周長2m、周長4mの袋を用いた屋外注入実験が行われ、その実験から天日乾燥と土の強度の関係について以下に示すような結果が得られている^{15), 17)}。

- ① 周長2mの袋を用いて夏場に55日間放置後、含水比は液性限界を下回り、コーン貫入抵抗は 1.2 kgf/cm^2 以上となった。
- ② 周長4mの袋を冬場に64日間放置後、含水比は液性限界を下回らず、コーン貫入抵抗は $0.3\sim 0.5\text{ kgf/cm}^2$ であった。

(3) 製造方法、施工方法

袋は透水性があり、排出水の懸濁物質濃度の小さいものを選定する。過去に行った現地実験では、図-10に示すような施工方法で、表層部の粘土を浚渫して袋に注入した。今後の課題としては、紫外線による袋の劣化や覆土の有無、さらに脱水した袋の水中投入時の濁りや吸水膨張特性の検討が必要である。

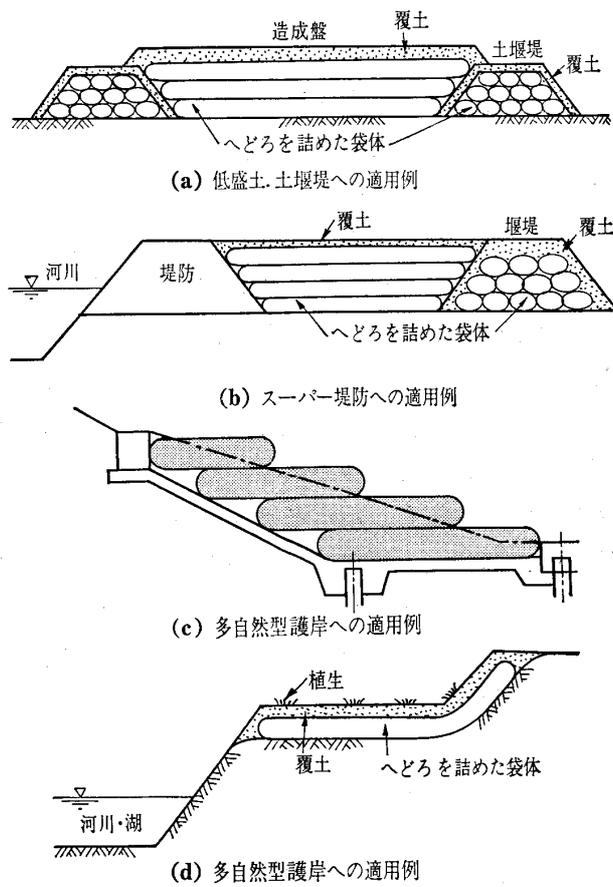


図-9 各種築堤や護岸への適用例

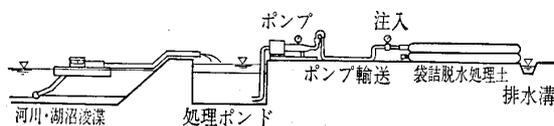
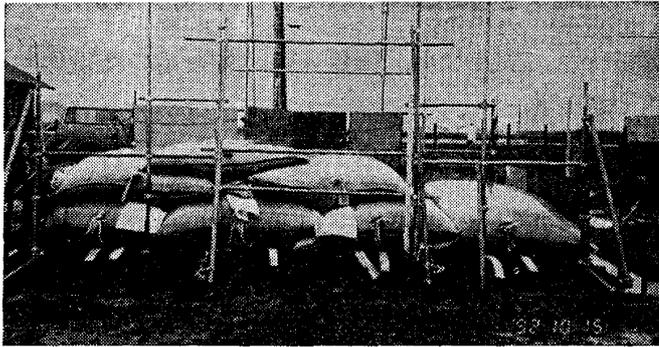


図-10 袋詰脱水処理の施工方法



写真—3 袋3段の積重ね状況

(4) 施工事例

袋詰脱水工法に関する研究は、現在も継続中であり実際の現場施工事例はほとんどない。過去に行われた実験では、周長2m×長さ4m袋および周長4m×長さ4m袋を用いて屋外実大注入実験を行い、袋への粘土注入の施工性、脱水効率、脱水後の土質特性および植生等を把握した。また、周長4m×長さ4mの袋を用いた積重ね実験より、3段に重ねることが可能であることもわかっている(写真—3)。

3. あとがき

本文で紹介した新材料・新工法は、まだ研究開発途上のものがほとんどであるが、こうした新材料、新工法の開発によって新しい用途がひらけたり、従来の土構造物の設計・施工の考え方や発想を転換しなければならない状況も生じてきている。建設省では試験フィールド制度を創設して、こうした実績の少ない新工法の現場への活用の道を開いており、本文で紹介した新材料・新工法も少しずつ現場への適用例が増えているところである。

なお、本文で紹介したハイグレードソイルに関する技術は、(財)土木研究センターと民間企業38社で組織されているハイグレードソイル研究会のメンバーの方々との共同研究の成果によるものである。

今後とも関係各位のご尽力とご支援をお願いする次第である。

参考文献

- 1) 三木博史・林 義之・青山憲明:発生土の高付加価値化技術の開発,土木技術資料34-11, pp. 58~65, 1992.
- 2) 三木博史・千田昌平・戸村豪治・白井 朗・堀内晴生・秋葉忠彦・村橋和夫:発泡ビーズ混合軽量土の繊維による補強,第28回土質工学研究発表会講演集, pp. 2695~2696, 1993.
- 3) 三木博史・千田昌平・香川和夫・西田耕一・福島伸二・山田純男:発泡ビーズ混合軽量土の三軸圧縮特性,土木学会第48回年次学術講演会概要集, pp. 706

~707, 1993.

- 4) 森 範行・喜志多聡・西田 登・西田耕一・田辺恒彰・中村勝敏:発泡ビーズ混合軽量土の透水性,第28回土質工学研究発表会講演集, pp. 2653~2654, 1993.
- 5) 西川和広・久楽勝行・長坂勇二・伊藤賢一:安定処理土による道路盛土工事の1事例:第25回土質工学研究発表会講演集, pp. 2093~2094, 1990.
- 6) 森 範行・大石守夫・高橋 勇・佐藤常雄・清水和也・中村洋一・古谷俊明:気泡混合補強土の特性について—その5 三軸圧縮特性—,第28回土質工学研究発表会講演集, pp. 2637~2638, 1993.
- 7) 三木博史・黒山英伸・高橋 勇・草刈太一・新坂孝志・吉原正博:裏込めに気泡混合補強土を用いた大型擁壁実験について—その1—実験方法と施工・養生時の測定結果,土木学会第48回年次学術講演会概要集, pp. 698~699, 1993.
- 8) 森 範行・喜志多聡・入島文雄・古谷俊明・近藤信光・佐藤常雄:裏込めに気泡混合補強土を用いた大型擁壁実験について—その2—載荷試験時の土圧測定結果,土木学会第48回年次学術講演会概要集, pp. 700~701, 1993.
- 9) 桑原正彦・森 範行・千田昌平・大石守夫・浜崎勝利・清水和也:裏込めに気泡混合補強土を用いた大型擁壁実験について—その3—載荷時の土圧に関する実測値と解析結果の比較,土木学会第48回年次学術講演会概要集, pp. 702~703, 1993.
- 10) 三木博史・千田昌平・堀内晴生・川西順次・近藤誠宏:繊維混合補強土に関する研究(その3)耐エロージョン効果確認実験,第27回土質工学研究発表会, pp. 2439~2440, 1992.
- 11) 三木博史・千田昌平・堀内晴生・村井 宏・新坂孝志:繊維混合土に関する研究(その6)流水に対する洗掘試験,第28回土質工学研究発表会, pp. 2689~2690, 1993.
- 12) 林 義之・喜志多聡・森 邦夫・吉田貴志・白井康之:繊維混合土に関する研究(その7)パイピング試験,第28回土質工学研究発表会, pp. 2691~2692, 1993.
- 13) 加藤俊昭・林 義之・喜志多聡:短繊維混合土の原位置混合施工試験(その1),第28回土質工学研究発表会, pp. 11~13, 1993.
- 14) 加津憲章・三木博史・千田昌平・熊田哲規・岡村康弘・加藤俊昭・西村拓治:繊維混合補強土の原位置混合施工試験,第28回土質工学研究発表会, pp. 13~15, 1993.
- 15) 山田哲也・阿部克郎・佐々木徹・新舎 博・相原啓一・高橋弘樹:高含水比粘土の袋詰め脱水処理に関する研究(その2),第28回土質工学研究発表会, pp. 2699~2700, 1993.
- 16) 三木博史・千田昌平・新舎 博・古性 隆・相原啓一・近藤誠宏:高含水比粘土の袋詰め脱水処理に関する研究(その5),土木学会第48回年次学術講演会講演概要集, pp. 1148~1149, 1993.
- 17) 山田哲也・千田昌平・佐々木徹・新舎 博・近藤誠宏・鈴木 薫:高含水比粘土の袋詰め脱水処理に関する研究(その4),土木学会第48回年次学術講演会講演概要集, pp. 1150~1151, 1993.

(原稿受理 1993.9.28)