

◆ リサイクル特集 ◆

建設発生土のリサイクル技術とコスト縮減

小橋秀俊* 三木博史** 山田哲也*** 藤井厚企**** 小畠敏子****

1. はじめに

建設省では、「リサイクルプラン21」や「建設リサイクル推進計画'97」などにより目標を定め、建設発生土・建設汚泥・コンクリートなどの建設副産物の再利用促進を図っているが、平成7年度の実態調査では、公共土木工事における建設発生土の再利用率は2000年までに80%という目標に対して、30%程度にとどまっている。その原因の一つに、高含水比粘性土などの低品質土では、発生したままの状態でリサイクルが難しい点が挙げられている。こうした点をふまえ、建設副産物総プロの共同研究(平成4~8年度)では、利用用途に応じた低品質土の改良方法を明らかにするとともに、軽量性・流動性・脱水性・耐侵食性などの高付加価値化を図るために改良工法の開発に取り組んできた。

その後も建設省技術研究会の指定課題「建設副産物再生利用のフォローアップ調査」「混合補強土に関する技術検討委員会」((財)土木研究センターと民間36社で構成)の活動のなかで、「発生土利用促進のための改良工法マニュアル」を発刊し、実際の工事や設計業務に適用した成果の一部を本誌上でも報告した¹⁾。リサイクル技術には費用負担がともなうが、事業が抱える諸問題の解決にどう適用すれば、事業全体としてのコスト縮減や高付加価値化が図れるのか、本報文では建設発生土リサイクル技術の各工法ごとにその考え方を紹介したい。

2. 気泡混合軽量土について

2.1 気泡混合軽量土工法の概要

気泡混合土工法は、土と水とを混合し流動化したスラリーに、固化材及び気泡を混合し、強度の付与と軽量化を図ったものである。通常の土より軽量であるため(湿潤密度0.6~1.2t/m³で任意に設定可能)、地盤などに与える荷重を軽減できる。また、流動性が高くポンプ圧送で狭い空間に流し込むことや自硬性があるため締固めが不要である等の長所がある。

2.2 山岳道路の建設におけるコスト縮減と高付加価値化について

気泡混合軽量土工法は図-1に示すように、盛土

荷重による斜面の安定性の低下を最小限にとどめ、従来工法では難しかった急峻な斜面にも、道路を新設したり拡幅したりすることが可能である。そのため、切土を主体とした山岳道路づくりから、盛土を主体とした道路づくりへと発想を転換することによって、地形の改変を最小限にとどめることが可能である。こうした山岳道路の工法は、自然環境保全のほか、のり面維持管理業務の軽減、建設発生土のリサイクル促進などの現場事業の高付加価値化に貢献できると考えられる²⁾。

一般に道路事業では予備設計で用地幅や中心線を確定させたのち、詳細設計で最適な断面工法を選定する。したがって、路線設計の段階で谷側へ中心線をシフトできるかどうかを判断できるよう、断面試設計により各工法で有利な適用条件の把握を行った³⁾。試設計は道路構造令3種2級、設計速度60km/h、幅員11mの道路断面を検討対象とし、盛土主体の断面となるような位置(ただし、道路土工一擁壁工指針において地震時検討が不要な盛土高8m以内となる位置)に、中心線を固定して工法比較した。表-1は検討結果の一覧表であり、経済性欄の数字は逆T型擁壁工の工費を100とした時の各工法の工費の指数を示す。地山条件1(表土層が薄い緩傾斜軟岩斜面)では、安定性確保に必要な擁壁工及び切土などの土工量が少なくて済むため、工費面からも逆T型擁壁工法や多数アンカー補強土壁工法など通常の盛土材による工法が適用可能である。しかしながら、地山条件2(崩積土層の厚い緩傾斜軟岩斜面)及び地山条件3(表土層の薄い急傾斜軟岩斜面)では、擁壁やアンカー

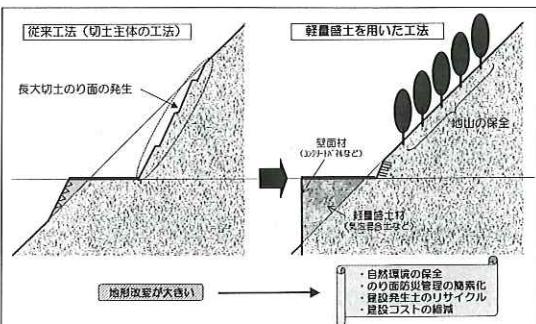


図-1 軽量盛土を用いた環境にやさしい道路づくりの概念図

表-1 断面試設計による斜面上の道路盛土の工法比較表

地山条件	工法	通常の盛土材を裏込めとした鉛直壁工法		軽量盛土工法		
		逆T型擁壁	多数アンカー補強土	気泡混合土	発泡ビーズ軽量土	発泡スチロールブロック
1. 稔傾斜・表土・軟	安定性	斜面:OK 盛土体:OK	斜面:OK 盛土体:OK	斜面:OK 盛土体:OK	斜面:OK 盛土体:OK	斜面:OK 盛土体:OK
	施工性	良好	良好	良好(要プラント)	良好(要プラント)	良好
	維持管理	施工実績多く良好	施工実績多く良好	特に問題なし	特に問題なし	施工実績多く良好
	環境影響	地形改変小	地形改変小	地形改変小	地形改変小	地形改変最小
	経済性	100	113	112	110	201
	総合評価	◎ 土工量小、経済的	○ 実績多く適用可能	△ 適用可能も工費割高	△ 適用可能も工費割高	× 経済性に難
2. 稔傾斜・崩積土	安定性	斜面: ×(要杭支替) 盛土体:OK	斜面:OK 盛土体:OK	斜面:OK 盛土体:OK	斜面:OK 盛土体:OK	斜面:OK 盛土体:OK
	施工性	要抗基礎	掘削量大	良好(要プラント)	良好(要プラント)	良好
	維持管理	施工実績多く良好	根入れ長大	特に問題なし	特に問題なし	施工実績多く良好
	環境影響	地形改変小	地形改変小	地形改変小	地形改変小	地形改変最小
	経済性	100	363	64	67	101
	総合評価	× 経済性に難	× アンカー過大、 非現実的	○ 経済性有利	○ 経済性有利	△ 通用可能も工費割高
3. 急傾斜・表土・軟	安定性	斜面:OK 盛土体:OK	斜面: × 盛土体:OK	斜面:OK 盛土体:OK	斜面:OK 盛土体:OK	斜面:OK 盛土体:OK
	施工性	掘削量大	—	良好(要プラント)	狭さく部縮固め注意	良好
	維持管理	施工実績多く良好	—	特に問題なし	特に問題なし	施工実績多く良好
	環境影響	地形改変大	—	地形改変小	地形改変小	地形改変最小
	経済性	100	—	70	74	98
	総合評価	△ 土工量、地形改変大	× 斜面安定確保困難	○ 経済性有利	○ 経済性有利	△ 通用可能も工費割高

などの土工規模が大きくなったり、盛土荷重に伴う安定性確保のために、大規模な掘削や杭基礎など特殊な対策工を余儀なくされるケースが発生する。これらのケースでは、環境影響、工費、土工掘削量、施工性などの点から、気泡混合土等の軽量盛土工法の適用が有利となることがわかった。現在ひきつづいて、実際の計画路線を対象とした路線試設計を実施し、地形改变量の低減、のり面維持管理の軽減、発生土リサイクル等の効果を定量的に示そうとしているところである。

2.3 耐震性の確認及び施工法の改善

急傾斜の斜面上に切土を行わず広幅員の道路盛土を施工した場合、盛土高が10mを越えるような場合を考えられ、耐震設計の必要性が生じる。そのため、当研究室では高さが10mを超える気泡混合軽量土の耐震性を大型遠心模型実験で確認している。その結果、地震時には上部ほど重量の大きい盛土体に、水平方向と同時に鉛直方向の振動が発生し、盛土の谷側下部が強度的な弱点となることがわかった。またその対策として、盛土と斜面との一体性を高め同部に上下方向の力が作用しないようにしたり、盛土内に補強材を敷設するなどの方法で同部への応力の集中を防ぐ必要があることが確認された。また、施工法については、スラリー化の際に発生土の団粒・土塊をほぐす

ための解泥槽及び攪拌装置が大型化するため、移動式プラントや原位置施工などを使用し、用地制約の厳しい土木工事に対応できるスラリー化の方法を、共同研究で開発しているところである。

3. 発泡ビーズ混合軽量土について

3.1 発泡ビーズ混合軽量土工法の概要

発泡ビーズ混合軽量土工法は、土に超軽量の発泡ビーズ粒を混合し、軽量化を図ったものである。通常の土に比べて軽量であるため(湿潤密度0.8~1.3t/m³で任意に設定可能)、気泡混合土と同様に地盤などに与える荷重を軽減できる。また、土に近い変形追従性があり沈下等に対応可能なほか、安定材の添加により透水性(水密性)を調整でき、通常土と同様な敷きならしや転圧によって施工できる。

3.2 軟弱地盤対策や土圧軽減対策におけるコスト縮減と高付加価値化の考え方

3.2.1 軟弱地盤上の既設堤防の嵩上げへの適用

発泡ビーズ混合軽量土を軟弱地盤上の盛土の新設に適用した場合、工費的な面と沈下収束に長期間の放置が必要となるなど、他工法より有利となる条件を見出しづらい。そのため、既設構造物等への影響などの問題もあわせて解決できる高付加価値化が必要と考えられる。例えば、通常の土砂で盛土を行うと既設堤やすべりに対する安定性が

確保できない恐れがあるため、軟弱な粘土層が厚く堆積している既存護岸裏側の海岸堤防の嵩上げに、発泡ビーズ混合軽量土を用いた事例がある。さらにこうした嵩上げでの適用条件を明らかにするため、図-2のように層厚 15m の軟弱層上の堤防（堤防幅 11m、高さ 2m）に 2m の嵩上げを行う条件を設定し、発泡

ビーズ混合軽量土の嵩上げ盛土を適用する場合と、通常土の嵩上盛土に堤防前後面の地盤改良を行った場合との比較を試みた。その結果、発泡ビーズ混合軽量土の方が工費的に 10% 程度有利となることがわかった⁴⁾。

3.2.2 埋設構造物等の土圧軽減対策について

樋門・樋管は河川堤防を横断する施設であり、周辺堤防と一体となって挙動しないと、洪水時の堤防の安全性に重大な影響を及ぼす場合がある。図-3 は杭基礎で支持された樋管が埋設されている既設堤防を腹付け盛土で嵩上げし、樋管近傍に発泡ビーズ混合軽量土を適用し不同沈下の抑制を図った事例である⁴⁾。樋門・樋管等の構造物回りの盛土では、残留沈下対策が重要な検討項目になっており、さらに地盤改良費が大きくなる場合には、本工法を併用する方が有利と考えられる。

もう一つは、図-4 のように掘削道路の既設の擁壁背面に、環境施設専用の築堤を実施した事例である。築堤により現状の擁壁断面の再検討が必要となるところであったが、背面部の土砂を床堀りし、掘削土砂と発泡ビーズを混合したものに置き換えることによって、擁壁の作り替え費用が不要となった。掘削土砂を搬出処分せずに済んだことから、発生土の処分費等の必要もなくなった。

3.2.3 既設ボックスカルバートへの荷重軽減への適用

断面強度に余裕がないボックスカルバートが埋設されている地盤上に、嵩上げを行う場合などが多くある。そこで、図-5 のような断面を想定して試設計を行った。試設計では現況土被り厚とボックスカルバートの作り替え、発泡ビーズ混合軽量土工法（単位体積重量を 3 種類に設定）、発泡スチロールブロック工法の 3 工法の工費を比較した。その結果、図-6 のように現況土被り厚が厚い（4m）ところで、僅かな嵩上げ（0.5～1m）を行うケースでは、カルバートの作り替えに比べて、軽量盛土工法が工費的に大幅に有利となる。ただし、嵩上げ

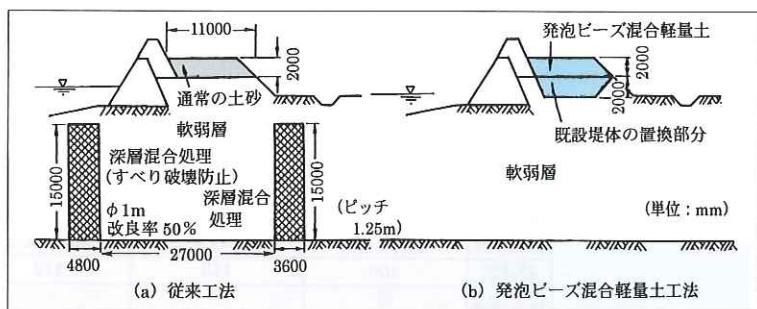


図-2 軟弱地盤上の海岸堤防の嵩上げ工事の試算モデル

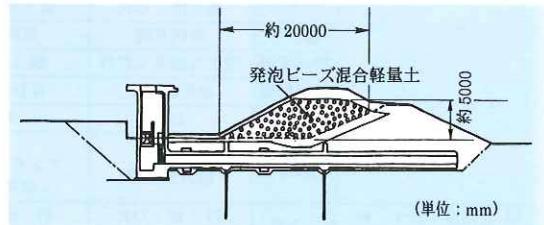
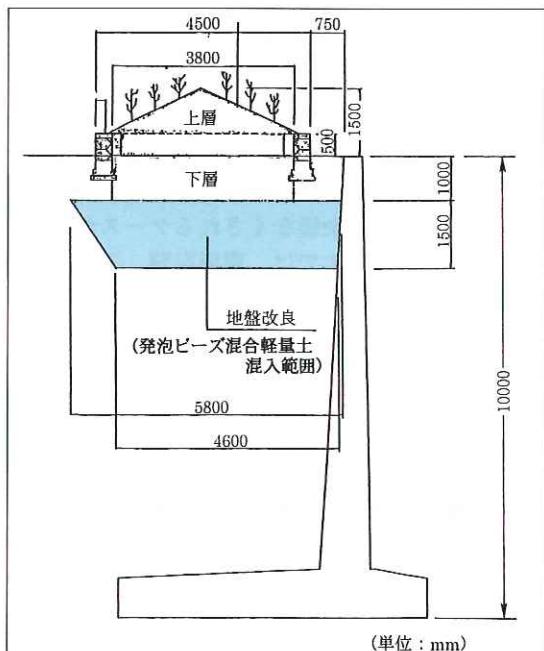


図-3 樋門・樋管周辺盛土への適用

図-4 既設の擁壁背面に環境施設専用の築堤を実施した例
(建設省浪速国道工事事務所)

高が 2m を超える場合は作り替えの検討が必要となる。発泡ビーズ混合軽量土は発泡スチロールブロックと同程度の工費であるが、発生土のリサイクルが行われている点では評価する必要がある。

4. 袋詰脱水処理工法について

4.1 袋詰脱水処理工法の概要

袋詰め脱水処理工法は、透水性の袋（ジオテキスタイル製）に高含水比粘性土や軟弱土を詰めて

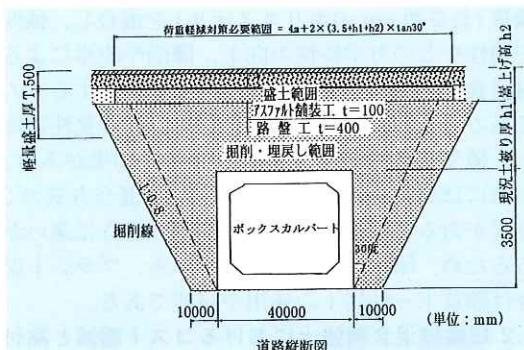


図-5 既設ボックスカルバート上の嵩上げ試設計で想定した断面
 ①削削・埋戻し土量算出時のボックスカルバート部の面積は、外寸を一律 $4\text{m} \times 3.5\text{m}$ とする。
 ②嵩上げ分の盛土量は荷重軽減対策必要幅のみで算出する。
 (舗装工を含めてその他の嵩上げ部は工法に関わらず一定量)

図-5 既設ボックスカルバート上の嵩上げ試設計で想定した断面

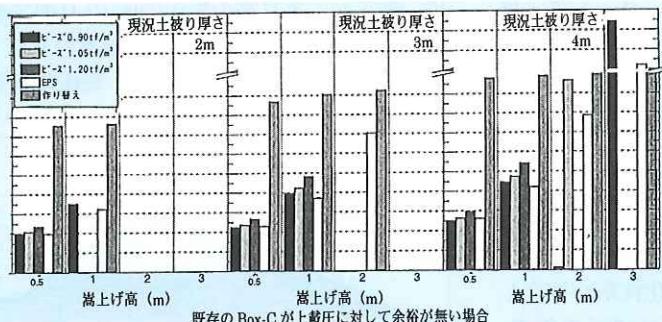


図-6 既設ボックスカルバートへの荷重軽減の試設計結果

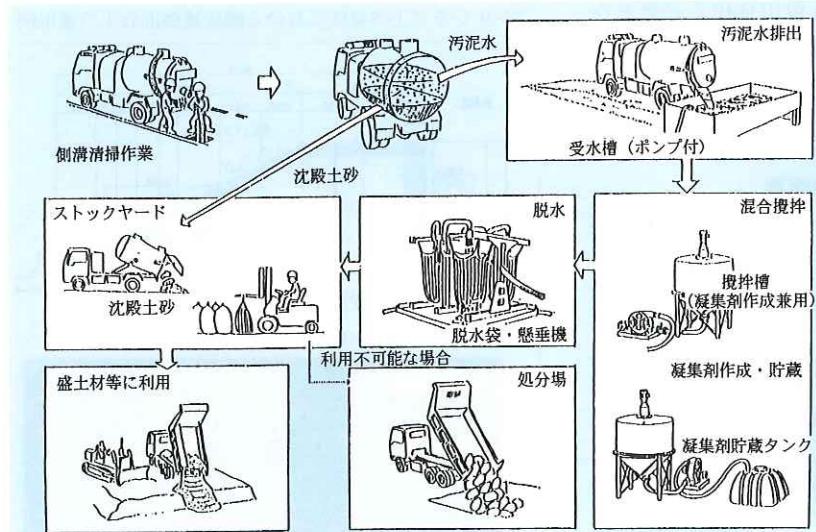


図-7 公共施設の清掃作業で回収した土砂に対する袋詰脱水処理の適用⁵⁾

放置することにより脱水を促進し、それを盛土や埋土に積み重ね有効利用する工法である。工法には河川・湖沼等の浚渫泥土などを大型袋(数 10m^3)にポンプ圧送する充填方式と、比較的含水比が低

い粘性土や砂質土を小型袋(1m^3 程度)に、ホッパを用いてバックホウで充填する充填方式がある。

4.2 浚渫事業におけるコスト縮減と高付加価値化の考え方

4.2.1 公共施設の維持管理で回収した粘性土の有効利用

道路・排水施設・調整池をはじめとする公共施設の清掃作業より発生する土砂は、現状では高含水の泥土となるため産業廃棄物として扱われ、清掃車により管理型処分場に持ち込まれている。しかしながら、この方法では処分場が遠距離になるほど運搬費が重み、またそれに清掃車の台数がかかってくることから、北海道開発局では図-7のような回収泥土の減量化と再利用の検討を行っている。そのなかで、清掃車のタンクに溜まった泥水に凝集剤を添加してフロック状とし、袋をつり下げた状態のところに投入し自重脱水を図る工程に袋詰脱水を適用している。

処理土はストックヤードや盛土材などの適切な用途に有効利用することを考慮している⁵⁾。

4.2.2 ダム堆積砂の湖岸等への適用

袋詰脱水処理工法については、河川・ダム貯水池等の堆砂を大型袋にポンプ圧送し、水辺護岸等として利用する用途に対する検討を行っている。特に近年、ダム貯水池では堆積砂の土砂管理の重要性が指摘されており、下流側に放流しない余剰堆積砂の処理が大きな問題となっている。現在、余剰堆積砂の約 60%がコンクリート骨材や盛土材としてリサイクルされているが、山間部のダムからの運搬コストは大きく、

砂質系の良質土であっても、現地周辺でのリサイクルを考えざるを得なくなっている。また、細粒土、特にヘドロなどの成分については、従来から適用用途の確保に苦慮しているところであり⁶⁾、

ダムサイト内での湖岸緑化等への適用の検討を進めている。

4.3 砂質土への適用性の確認、汚染土の保管対策への適用性の検討

以上のような用途では、高含水比な粘性土はもとより砂質土までを含めた幅広い発生土への適用が不可欠である。そのため、砂質系の発生土を大型袋にポンプ圧送できるかどうかの確認実験を行った⁷⁾。当初、スラリー状の砂をポンプ圧送した場合は、水が材料分離によって袋内上部に浮上し、自重圧密による脱水が期待できないとの懸念があったが、図-8のように注入口を高い位置に設置し、排出口を開放して排水するという注入条件で、1時間足らずの間に約40m³のスラリー(含水比約270%)を注入できた。また、放置後の脱水速度も速く、一晩後で含水比15.2%、コーン貫入抵抗4.0kg/cm²以上となった。

また、河床や湖底は長期的に汚染物質が蓄積されやすい条件にあるため、土壤環境基準を上回る重金属類が検出されるケースが報告されている。現在のところ土壤環境基準を上回る汚染土に対しては、無害化してリサイクルするか、受入基準を確認したうえで管理型あるいは特別管理型処分場に搬出するほかない。現状では無害化技術が確立していないため、処分場への搬出を行わざるを得ず、土砂の運搬費に加えて廃棄物処理法に定められた有蓋車等の運搬手段に対する費用負担も必要となる。そのため、汚染された浚渫土を大型袋にポンプ圧送し、袋内に封じ込めて安全に保管する方法なども、今後検討の価値がある用途と考えられる。

5. 短纖維混合補強土工法について

5.1 短纖維混合補強土工法の概要

短纖維混合補強土工法は、土や安定処理土に短

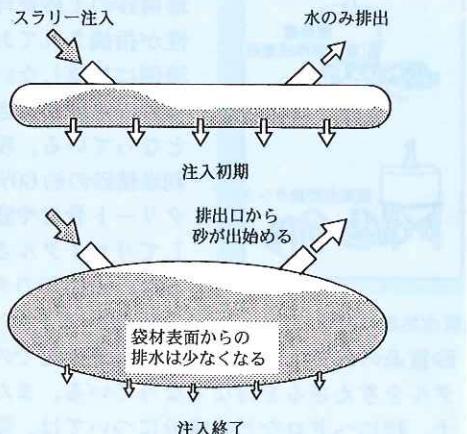


図-8 砂質系の浚渫土の充填状況について

纖維(長さ数cmのポリエチレン)を混合し、強度や韌性などの力学特性の向上、降雨や流水による耐浸食性、ねばり強さなどの機能を付加するものである。また、降雨・流水に対する耐浸食性の向上、植生根の活着が良くなるなどの効果がある。工法には原位置混合方式とプラント混合方式の2方式があるが、纖維と土との混ざり易さに違いがあるため、原位置混合は砂質土のみ、プラント混合は砂質土～粘性土の適用が可能である。

5.2 短纖維混合補強土におけるコスト縮減と高付加価値化の考え方

南九州において、図-9のように現地周辺に分布するシラス土(降雨に対する耐浸食性が極めて低い)を用いた短纖維補強混合土を、堤防の被覆材及び堤体内への敷き込み補強材として適用した。その結果、施工から半月後の集中豪雨(3日間で約600mm)において、無対策区間では川裏のり面下部に小規模な崩壊が生じたのに対し、短纖維補強混合土区間では変状がみられなかった⁸⁾。堤防のり面の被

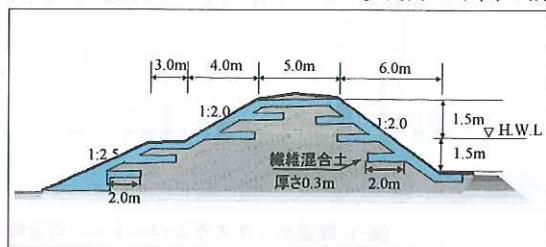


図-9 シラス土の堤防における纖維補強混合土の適用例

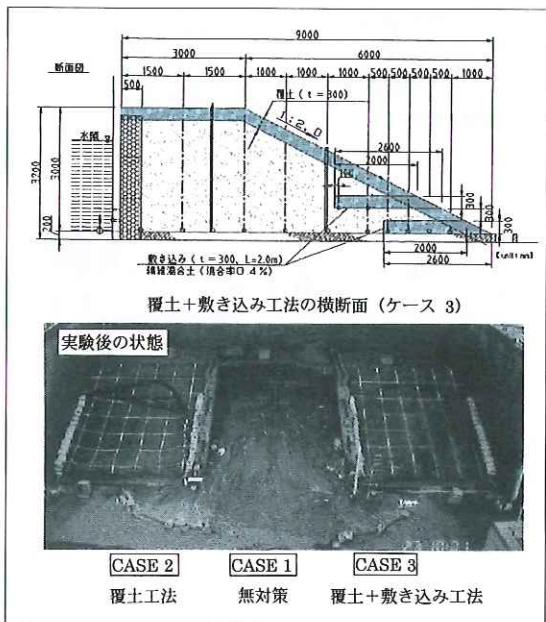


図-10 被覆材、補強材としての短纖維混合補強土の効果確認実験

覆土については、通常、現地周辺で入手できる土砂が用いられるが、侵食性の高い特殊土の分布地域では、他地域から土砂を確保する必要がある。そのため、搬入輸送費や施工後のり面緑化までを考えると、短纖維混合補強土の方が、搬入土に厚層基材吹付工を行うよりも有利となる場合がある。

5.3 堤防のり面の侵食防止と補強効果の確認実験

覆土材及び補強材としての短纖維混合補強土の効果を確認することを目的に、大型模型実験を行った⁹⁾。実験は図-10に示すような無処理のケース、覆土のみのケース、覆土+敷き込みの3ケースとし、背面側の水位を一定に保ったまま10mm/hの降雨を与えた。その結果、無処理の堤体は大きく崩壊し、覆土のみの堤体は覆土部のみが滑るかたちで崩壊した。覆土+敷き込み補強の場合は上部にクラックがみられたのみであり、覆土による侵食防止と敷き込みによる補強効果の双方が確認された。

6. まとめ

建設発生土のリサイクル技術における、事業全体のコスト縮減と高付加価値化の考え方をまとめると、以下のようになる。

(1) 気泡混合軽量土を用いることにより、急傾斜面や崩積土の厚い緩傾斜面で、盛土を主体とし切土による地形の改変を最小限にとどめられることができた。こうした山岳道路の工法は、自然環境保全のほか、のり面維持管理業務の軽減、建設発生土のリサイクル促進などの現場事業の高付加価値化に貢献できると考えられる。

(2) 発泡ビーズ混合軽量土については、軟弱地盤対策としては、樋門・樋管などの堤防盛土中の構造物の不同沈下対策、軟弱地盤上の既設海岸堤防の嵩上げなど、既設構造物への影響軽減も考慮した適用用途として有効である。また、既設のカルバート上や擁壁背面上の嵩上げでは、現況土被りの厚いところでの僅かな嵩上げの場合、作り替えを回避できるため極めて有利となる。

(3) 袋詰脱水処理工法については、河川の水質浄化や公共施設の清掃等で回収する泥土や泥水を減容化して、回収地周辺での適切な利用用途を考えることで、処分費等のコスト軽減に貢献できる。そのほか、今後検討すべき適用用途として、ダム貯水池における余剰堆積土砂を搬出せずに湖岸などとして再利用する方法、浚渫土が重金属類で汚染されていた場合の保管対策などが挙げられる。

(4) 短纖維混合補強土工法については、侵食性の高い特殊土が分布する地域における、堤防のり面の被覆土や敷き込み補強材としての効果が極めて高く、高付加価値化を図ることが可能と考えられる。

最後に建設省や都道府県等の建設事業者におかれても、ここで述べた考え方を一つの手がかりとして、建設発生土のリサイクルに取り組んでいただけるようお願いしたい。

参考文献

- 1) 建設副産物のリサイクルに関するフォローアップ調査、土木技術資料、Vol.41、No.4、pp22-27、1999年4月
- 2) 三木博史：道路土工指針等における新しい土構造の動向、土木技術 51巻2号、1996年2月
- 3) 中野穰治、小橋秀俊、三木博史：環境にやさしい山岳道路づくりについて、月刊建設、1999年6月号、pp18-20
- 4) 三木博史：講座 地盤改良に関する最近の話題リサイクル技術の活用(その2)，上と基礎、1998年10月号、pp47-52
- 5) 高橋守人、上田真代：道路清掃土砂の減量化処理について、第23回日本道路会議一般課題論文集(B)、pp76-77、平成11年11月
- 6) 上阪恒雄：論説 貯水池の土砂管理ダム技術、No.159、1999年12月号、pp4-23
- 7) 山田哲也、新舎博、佐々木徹：浚渫土の袋詰脱水処理に関する研究(その5)、第33回地盤工学研究発表会、平成10年度、発表講演集論文概要集2分冊の2、pp2367-2368、1998年7月
- 8) 小畠敏子、三木博史：短纖維混合補強土の特徴及び適用事例、第38回土木研究所研究発表会論文集、pp49-52

小橋秀俊*



建設省土木研究所材料施工部土質研究室主任研究員
Hidetoshi KOBASHI

三木博史**



新材料開発研究官、工博
(前 土質研究室長)
Dr. Hiroshi MIKI

山田哲也***



建設省近畿地方建設局道路計画第一課長
(前 土質研究室)
Tetsuya YAMADA

藤井厚企****



建設省近畿地方建設局猿谷ダム管理所猿谷出張所技術係長
(前 土質研究室)
Atsushi FUJII

小畠敏子*****



建設省土木研究所材料施工部土質研究室
Toshiko OBATA