

混合補強土の技術開発に関する共同研究報告書 —発泡ビーズ混合軽量土利用技術マニュアル—

平成9年3月

建設省土木研究所 材料施工部 土質研究室

(財)土木研究センター	積水化成品工業(株)
旭化成工業(株)	大日本インキ化学工業(株)
(株)エス・エル・エス	日本セメント(株)
(株)大阪防水建設社	日本舗道(株)
鐘淵化学工業(株)	(株) 間 組
(株)クボタ建設	(株) フ ジ タ
佐藤工業(株)	松尾建設(株)
(株) J S P	三菱化学BASF(株)

Copyright © (1997) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

混合補強土の技術開発に関する共同研究報告書 —発泡ビーズ混合軽量土利用技術マニュアル—

建設省土木研究所 材料施工部 土質研究室
(財)土木研究センター 積水化成品工業(株)
旭化成工業(株) 大日本インキ化学工業(株)
(株)エス・エル・エス 日本セメント(株)
(株)大阪防水建設社 日本舗道(株)
鐘淵化学工業(株) (株) 間 組
(株)クボタ建設 (株) フ ジ タ
佐藤工業(株) 松尾建設(株)
(株) J S P 三菱化学BASF(株)

要 旨

本マニュアルは、土砂に超軽量な発泡ビーズを混合して製造される発泡ビーズ混合軽量土を、盛土材料として用いる場合の設計、施工法の技術的な標準を示したものである。

キーワード：軽量盛土、建設発生土、発泡ビーズ、作用土圧低減、変形追従性

まえがき

近年、建設事業の進捗にともなって建設現場から発生する土砂(建設発生土)の量は年々増大する傾向にある。一方、都市化の拡大や環境保全の重視などから、建設発生土の受入地の確保は一層困難な状況になっており、建設発生土の発生量の抑制とともに、再生利用の促進を図ることが重要な課題となっている。

そこで、建設省では、平成4年度から総合技術開発プロジェクト「建設副産物の発生抑制・再生利用技術の開発」を開始したが、本マニュアルはその成果の一つとして、建設省土木研究所土質研究室と(財)土木研究センター、民間企業36社(ハイグレードソイル研究会)との共同研究における発泡ビーズ混合軽量土の成果をとりまとめたものである。

本マニュアルでは、軽量性や変形追従性といった発泡ビーズ混合軽量土の特徴を生かした発生土の有効利用を図るために、その設計・施工法、施工例等を示している。

今後、本マニュアルが活用され、当工法が広く普及していくことを期待するとともに、これからさらに新しい技術の開発や改良を進め、土構造物の高度化が図られることを望むものである。

混合補強土の技術開発に関する共同研究報告書 ー発泡ビーズ混合軽量土利用技術マニュアルー

共同研究担当者名簿

三 木 博 史	建設省 土木研究所 材料施工部 土質研究室長
森 範 行	建設省 土木研究所 材料施工部 土質研究室
千 田 昌 平	(財)土木研究センター
和 田 信 昭	(財)土木研究センター 研究開発第一部
土 橋 聖 賢	(財)土木研究センター 研究開発第一部
井 上 秀 治	(財)土木研究センター 研究開発部*
富士栄 昭	旭化成工業(株) 樹脂製品技術センター第4技術グループ
長 坂 勇 二	(株)エスエルエス
西 田 登	(株)エスエルエス 技術部
村 橋 和 夫	(株)大阪防水建設社 市場開発チーム
矢 島 寿太郎	鐘淵化学工業(株) 発泡樹脂事業部 技術開発部
松 浦 忍	鐘淵化学工業(株) 発泡樹脂事業部 営業部*
山 寺 淳	鐘淵化学工業(株) 発泡樹脂事業部 加納営業部*
安 部 克 郎	(株)クボタ建設 工事本部 技術部
白 井 朗	(株)クボタ建設 技術研究所 開発課
山 田 純 男	(株)クボタ建設 技術本部 技術開発部*

* 前担当者

稲 田 広 文	佐藤工業(株) 中央技術研究所 土木研究部
七 間 清 孝	(株)J S P 新製品開発本部 開発部
橋 爪 祐一郎	(株)J S P 新製品開発本部 開発部
手 塚 久 雄	積水化成品工業(株) 商品事業本部 建材技術部
佐 藤 修	積水化成品工業(株) 商品事業本部 建材技術部
内 山 正 美	大日本インキ化学工業(株) 石油化学事業部 企画開発部
花 平 茂 之	大日本インキ化学工業(株) 石油化学技術本部
本 間 拓 也	日本セメント(株) セメント営業部 技術営業課
西 岡 耕一郎	日本セメント(株) セメント営業部 技術営業課*
西 村 拓 治	日本舗道(株) 工務部生産技術グループ
加 藤 俊 昭	(株)間組 土木本部道路・造成統括部
香 川 和 夫	(株)フジタ 土木本部 技術部
西 田 耕 一	松尾建設(株) 経営統轄本部 技術研究所
千代田 健	三菱化学BASF(株) 研究開発部 商品研究室

* 前担当者

目 次

まえがき

共同研究担当者名簿

第1章 概 要

1-1	発泡ビーズ混合軽量土の定義	1
1-2	ビーズ混合土の特徴	2
1-3	適用用途	6
1-4	使用材料	8
1-4-1	原料土	8
1-4-2	発泡ビーズ	8
1-4-3	安定材	12
	参考文献	12

第2章 工学的特性

2-1	密度特性	13
2-2	締固め特性	14
2-2-1	室内締固め特性	14
2-2-2	現場締固め特性	15
2-3	強度・変形特性	16
2-3-1	一軸圧縮特性	16
2-3-2	三軸圧縮特性	19
2-3-3	ビーズ単体の圧縮特性	20
2-3-4	動的特性	22
2-4	透水特性	23
2-4-1	透水係数	23
2-4-2	水浸による密度特性	24
2-5	土圧特性	25
2-6	耐久性	26
2-6-1	乾湿繰返し特性	26
2-6-2	繰返し載荷特性	27
2-6-3	耐油性および被覆土による保護効果	28
2-6-4	追跡調査事例	29
	参考文献	30

第3章 設計法

3-1 設計の概要	31
3-2 設計の手順	31
3-3 設計方法と土質定数	32
3-3-1 密度	34
3-3-2 粘着力と内部摩擦角	35
3-3-3 変形係数	36
3-3-4 静止土圧係数 K_0 について	36
3-4 配合設計	37
3-4-1 配合の概要	37
3-4-2 配合決定の方法	38
3-4-3 配合決定の注意事項	44
3-4-4 配合決定の例	45

第4章 施工法

4-1 プラント混合方式	49
4-1-1 施工手順	49
4-1-2 プラント混合	49
4-1-3 運搬・投入工	52
4-1-4 敷均し・転圧工	52
4-1-5 被覆・養生工	53
4-2 原位置混合方式	54
4-2-1 施工手順	56
4-2-2 混合ヤード設置	56
4-2-3 材料散布	56
4-2-4 原位置混合	57
4-2-5 積込み・運搬工	57
4-2-6 敷均し・転圧工	57
4-3 品質管理	58
4-3-1 混合時の品質管理	58
4-3-2 施工現場の品質管理	59
4-3-3 品質管理項目	60
参考文献	61

第5章 今後の課題

5-1 廃棄物やその他材料の利用	62
5-2 ジオシンセティックスとの併用	62
5-3 土構造物の耐震性の向上	64
参考文献	64

第6章 適用事例	65
----------	----

第1章 概 要

1-1 発泡ビーズ混合軽量土の定義

原料土と発泡ビーズを混合し軽量化した材料で、必要に応じて安定材などを添加したものを、発泡ビーズ混合軽量土（以下、ビーズ混合土）という。

このマニュアルでは用語を次のとおり定義する。

<使用材料>

- ・発泡ビーズ …… 軽量化のために混合する合成樹脂の粒子状発泡体をいう。なお、発泡成形体（廃棄物）を破砕した非定形の破砕片も、特性を把握した上で使用できる。
- ・原料土 …… 軽量混合土に用いる土砂は、砂質土から粘性土まで適用可能であり、建設発生土などの副産物が利用可能である。
- ・安定材 …… 混合土を化学的に安定処理し、強度や剛性を増大させるために添加する材料を安定材といい、代表的なものにはセメント系あるいは石灰系などの安定材がある。

<配合>

- ・設計配合 …… 室内配合試験の結果などに基づいて、所要の密度・強度が得られるよう設定した配合をいう。
- ・現場配合 …… 原料土の含水比などの変化に応じて、設計配合を調整したものをいう。

<混合>

- ・プラント混合 …… 施工場所あるいは他の場所に設置した、ミキサーや計量器などを装備したプラントで、材料を混合する方式をいう。
- ・原位置混合 …… 原位置混合機を用いて、直接施工場所の地盤（土砂）と発泡ビーズや安定材を混合する方式をいう。なお、鋼製タンクや掘削したピットなどの混合槽を用い、簡易な計量方法により、材料を計量後、原位置混合機で混合する方式も含める。

1-2 ビーズ混合土の特徴

軟弱地盤における土工事にともなって発生する安定・変形（沈下、側方流動）などの問題の主因である盛土自体の重量を軽減する目的で、軽量発生材（スラグ、石炭灰など）が従来より利用されてきたが、これらの密度は $1.2 \sim 1.51/\text{m}^3$ であり、大幅な軽量効果を得るに至らなかった。近年、高分子産業の発展によって、軽量の発泡スチロールブロック（EPSブロック）を用いた軽量盛土工法（EPS工法）が、軟弱地盤地帯の多い北欧諸国において開発され、我国に導入されるに至った。その後、効果や問題点の検討を経て施工事例が増大し、軽量材を他の材料と混合し、複数の材料特性を複合的に活かそうとする、いわばハイブリット型軽量土の研究・開発が急速に進展してきており、本混合軽量土はこのような材料の一つである。

本ビーズ混合土の最大の特徴は、配合により所要の密度・強度に調整できる点にあり、地盤条件や敷地条件などの外的条件に柔軟に適合できる。原料土には建設発生土や他の建設現場で発生した浚渫土砂などが有効利用できるため、効率的・経済的に盛土・埋戻し工事ができる。さらに、設計・施工方法では、異種材料の複合体であるため注意すべき点があるものの、通常の土とほぼ同様の方法が適用できる。

本材料の特徴を、製造から施工までの流れに沿って以下に述べ、軽量効果の高い主な軽量盛土材料と対比して表1-2-1にまとめて示す。

・混合材料

原料土は現地発生土、建設発生土および購入土が利用できる。

発泡ビーズは元の樹脂の特性により粒状体の直径や形状が異なる（写真1-2-1参照）がいずれも利用できる。また成形体の破砕片も利用可能である。安定材などは必要に応じて添加する。

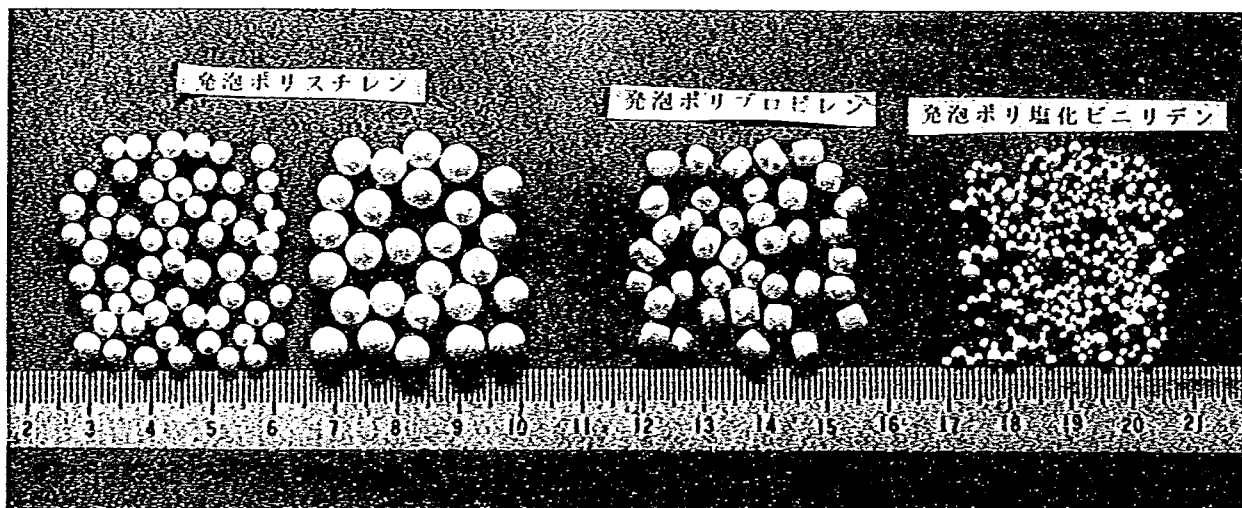
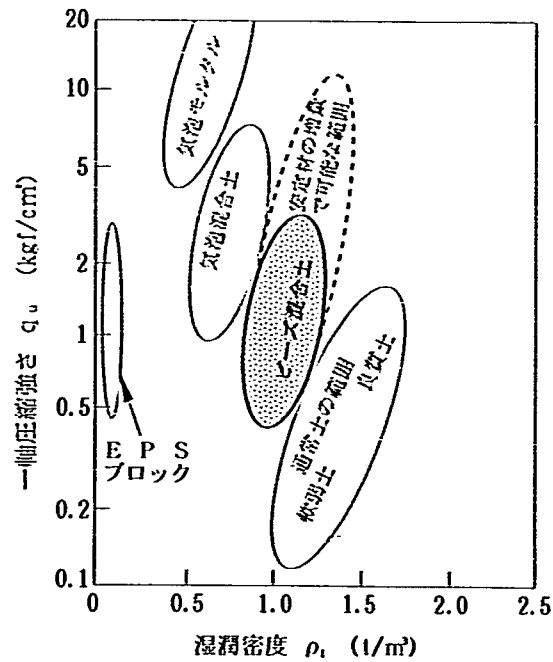


写真1-2-1 各種発泡ビーズの形状と大きさ

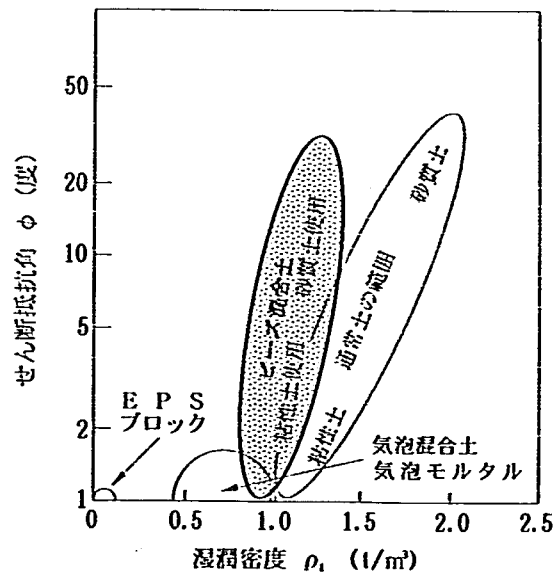
・材料の物性

発泡ビーズの混合比により密度を、安定材などの添加率により強度や止水性能を調整できる。物性の把握・評価は通常の土質材料と同様の土質試験方法が適用でき、事前の配合試験により所要の物性を確保し得る配合設計が行える。

密度と強度の調整可能な範囲は図1-2-1のとおりであり、密度は 1.0t/m^3 前後で強度は良質土程度まで改善でき、コンクリートやモルタルなどの高強度の領域や、EPSブロックの軽量領域と異なった新しい領域を占めるものである。



(a) 一軸圧縮強さと湿潤密度



(b) せん断抵抗角と湿潤密度

(注) 各材料ともに通常の範囲を概念的に示したものである。

図1-2-1 一軸圧縮強さおよびせん断抵抗角と密度との関係

・混合

混合方式はプラント方式と原位置混合方式に大別できる（写真1-2-2、1-2-3参照）。いずれの方式でも、混合材料の比重差が大きいため、十分均一に混合する性能が必要とされる。このマニュアルでは主にプラント方式について述べるが、混合性能の良好な原位置混合機械が開発されつつあり、施工例も増加している。

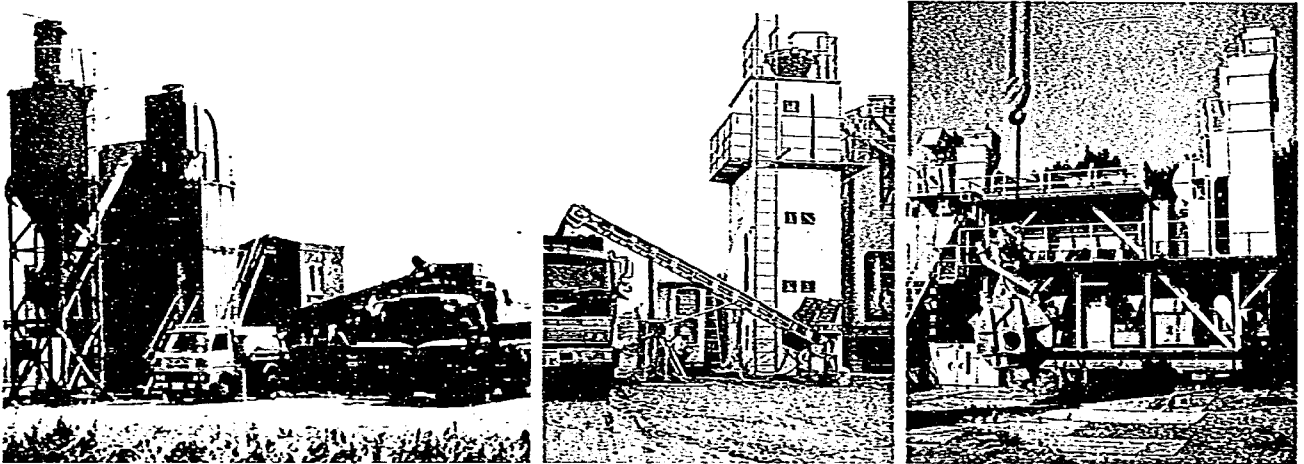


写真1-2-2 プラント 混合機械・設備の例

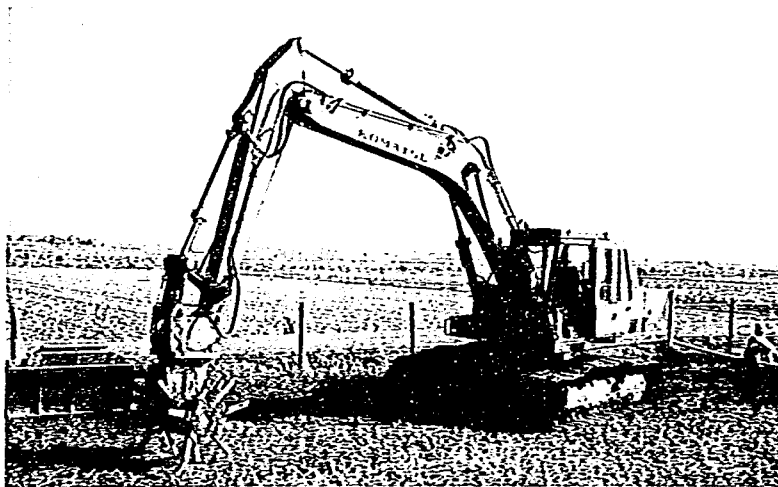


写真1-2-3 原位置混合機械設備の例

・運搬と転圧

普通土と同様にダンプトラックで運搬でき、普通土と比較すると軽量なため、多量の容積が運搬可能である。転圧はブルドーザーやローラーなどで十分であり、特殊な転圧機械を必要としない。

表1-2-1 ビーズ混合土とその他の軽量盛土材料の特徴

材料名 項目		ビーズ混合土	E P S ブ ロ ッ ク	気泡混合土
材料特性	軽量性	$\rho_s = 0.8 \sim 1.5 \text{ t/m}^3$ 、調整可能である	$\rho_s = 0.01 \sim 0.03 \text{ t/m}^3$	$\rho_s = 0.6 \sim 1.3 \text{ t/m}^3$ 、調整可能である
	安定性	$q_u = 0.5 \sim 10.0 \text{ kgf/cm}^2$ 、調整可能である $\phi = 0 \sim 30^\circ$ (原料土によって異なる)	$q_u = 0.5 \sim 5.0 \text{ kgf/cm}^2$ (5%圧縮強度) 拘束圧が増大すると強度が低下する	$q_u = 1.0 \sim 10.0 \text{ kgf/cm}^2$ 、調整可能である $\phi = 0^\circ$
	透水性	安定材の添加により調整可能である	ジョイント部に空隙がある	低透水性で、調整不能である
	吸水性	微量であり長期的にも小さい	微量で長期的にも小さい	気泡が水に置換され、密度が増える
	形状 変形追随性 断熱性	土砂状 あり (安定材により調整可能である) あり	直方体ブロックの集合体 なし (ジョイント部が開口する) あり	施工時は流動体で、養生後は剛状体である なし (養生後は剛状体となるため) 気泡が水で飽和されるとなくなる
原料土	現地発生土	利用可能 (塊状物を除く)	ブロック体を用いるため、必要としない	利用可能 (塊状物を除く)
	建設発生土	"	"	"
	浚渫土	"	"	"
	購入土	"	"	"
	再利用性 その他	有り	ブロック体の劣化状態による 原位置土と置換える場合は残土が発生する	限定される
設計・施工	設計	一般の土質材料とほぼ同等である	安定・土圧 (側圧) などの検討が一般の土質材料と異なる	硬化後の混合土は一体として挙動し、土圧が一般の土質材料と異なる
	製造	混合プラントまたは原位攪混合機械が必要	プラントは必要ない	プラントを必要とする
	運搬	ダンプトラック バックホウ、ローラーなどの一般機械	ホロー付きトラック 転圧は不必要で、人力により敷設する	管内圧送による 転圧は必要ないが、型枠が必要である
	養生	用途・配合により必要な場合がある	床版を打設する場合は必要である	4週間程度必要とする
	植生	可能 (配合により困難な場合がある)	不可能	不可能

1-3 適用用途

盛土重量を軽減することによって、すべり破壊の抑制、沈下・側方流動の低減、構造物に対する土圧軽減などの効果が期待でき、図1-3-1のような用途が考えられる。

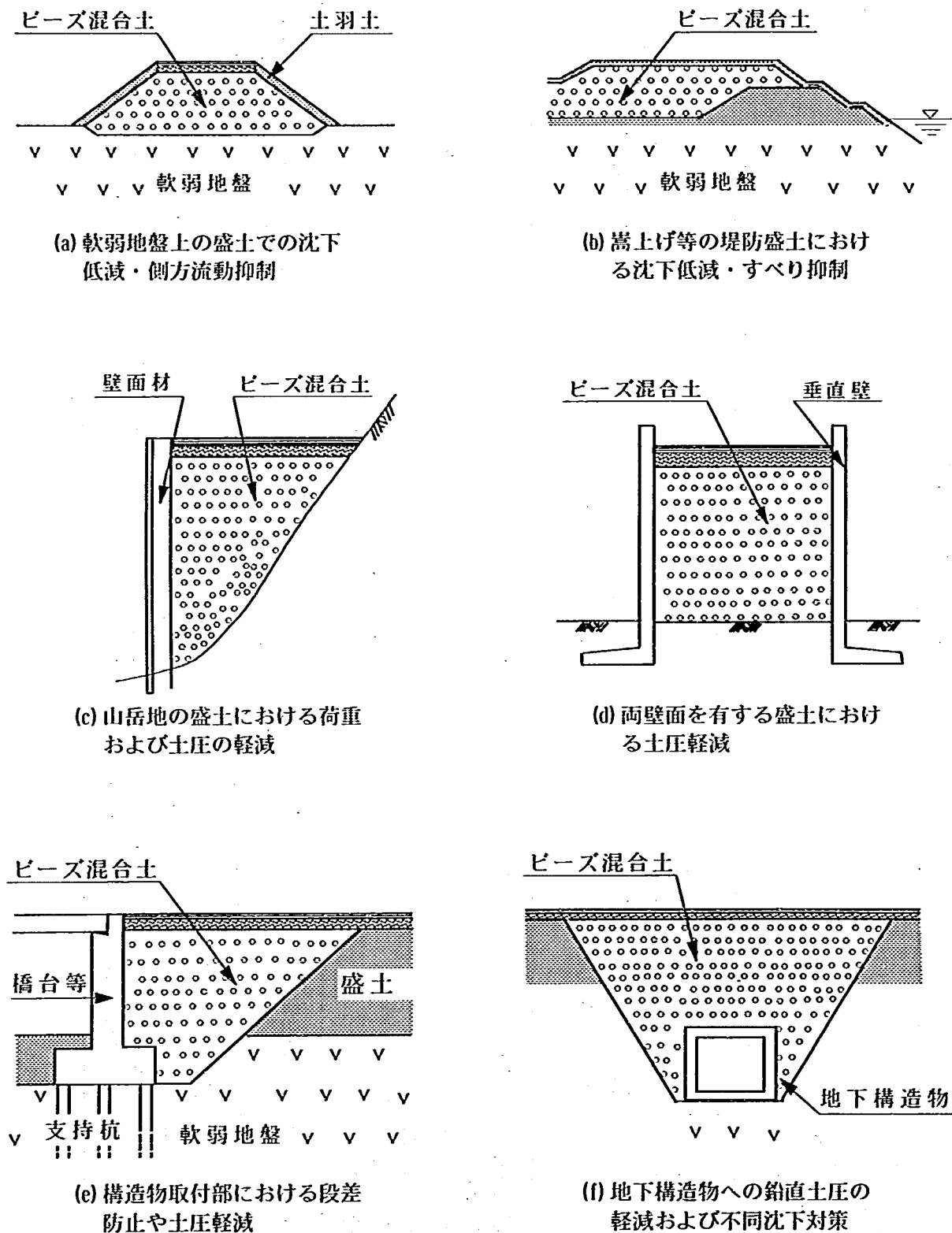


図1-3-1 ビーズ混合土の用途

沈下・安定・土圧対策工には種々のものがあり、構造物の種類、地盤特性、施工性および経済性などに基づき適切な対策工が選定される。現在、軟弱地盤対策工法は表1-3-1に示すものがあり、その工法ごとに適用できる基礎地盤、および効果がそれぞれ異なっている。軽量盛土工法は基礎地盤の種類によらず適用でき、盛土自体の荷重を低減するため、沈下量の低減、滑り安定性の向上、側方流動の抑制、および材料によっては遮水などの幅広い効果を有するものである。また、その他の対策工と併用する場合には、地盤改良や構造物断面が低減できるという効果も有する。

表1-3-1 軟弱地盤対策工法の適用地盤と効果¹⁾

大 分 類	改 良 原 理	主 な 工 法	適用地盤				効果					
			粘性土	砂質土	互層	特殊土	沈下促進	沈下低減	すべり安定	液状化防止	側方流動防止	遮水
荷重	軽量化	軽量盛土工法	○	○	○	○		○	○		○	
	バランス	押え盛土工法	○			○			○		△	
コントロール	荷重分散	敷きそだ・沈床工法	○			○			○		△	
		シート・マット工法	○			○			○			
		サンドマット工法	○			○			○		△	
		表層混合処理工法	○						○			
地盤改良	置換	掘削置換工法	○			○			○		○	
		強制置換工法	○		○				○		○	
	脱水による高密度化	ブレローディング工法	○		○	○	○		○			
		バーチカルドレーン工法	○		○	○	○		○			
		ウェルポイント工法		○	○				○			
		大気圧載荷工法	○		○		○		○		○	
		消石灰パイル工法	○						○			
	締固めによる高密度化	サンドコンパクション工法	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		バイプロフローテーション工法		○				○		○		
		動圧密工法		○	○	○		○		△		
固結	深層混合処理工法	○		○	△		○	○		○	△	
	噴射攪拌工法	○		○	△		○	○		○	△	
	凍結工法	○	○	○						○	○	
止水	注入工法		○	○						○	○	
	止水矢板工法（シートウォール）		○	○	○					○	○	
構造物	骨格形成	締切盛土工法	○	○	○	○			○		○	○
		パイルキャップ、パイルスラブ工法	○	○	○	○			○		○	

軽量盛土材料は高分子系の発泡体や気泡発生剤を使用するため、従来の盛土材料に比較して材料単価は高い。地盤改良や構造物による対策工で、工費が過大となる場合は、軽量盛土材料を使用することによって、地盤改良や構造物を省略あるいは軽減して、トータルコストでは他の対策工と比較して経済性に優れる場合に、軽量盛土工法が採用されるものと考えられる。

また、軽量盛土材料の中でも、本マニュアルが対象としているビーズ混合土は、現地発生土あるいは建設発生土が利用でき、吸水性が微量であるため長期の軽量性が保て、浮力対策工を必要とせず、土と同様の範囲で沈下・変形に追従できるなどの特徴を備えている（表1-2-1参照）。

したがって、これらの特徴を踏まえて、ビーズ混合土を適切な地盤材料として利用するには、次のような例が考えられる。

- ① 基礎地盤の地下水位が高く、軽量のブロック体を施工すると過度にトップヘビーとなり安定性が悪かったり、浮力により大きな揚圧力が作用し、対策工が必要となる場合。
- ② 現地発生土あるいは建設発生土などが有効に利用できる場合。
- ③ 構造物の種類によるが、盛土体の変形追従性のため、施工後に沈下・変形が発生することが予測される場合。
- ④ 盛土あるいは埋戻し場所が複雑な形状の場合。

1-4 使用材料

ビーズ混合土に使用される材料は、土と軽量化を目的として混合される発泡ビーズが主用材料であるが、混合する土の調整やビーズ混合土を固化して強度を必要とする際には、安定材を添加する。さらに目的に応じて、繊維材料やベントナイトを使ったり、リサイクル材料の有効利用の観点から、発泡スチロールなどの破砕片や石炭灰などを使うことも、今後考えて行かれるだろう。

1-4-1 原料土

ビーズ混合土に使用する土（原料土）は、使用対象工事・構造物の仕様にビーズ混合土が適用できるのか、また対象土との混合が可能か、事前に土質試験や予備配合試験を行うなど、その性質を的確に把握しておく必要がある。

類似の混合土の使用事例や、実規模の試験施工などで使われている土は、礫質土、砂、砂質土だけでなく、関東ロームのような粘性土、湖川底からの浚渫土砂、発生残土の粘性土、シールド泥土を脱水処理した泥状粘性土、有明粘土などと対象範囲は広い。

さらに流動化処理工法などと組み合わせれば、その適用範囲はさらに広がると考えられる。

1-4-2 発泡ビーズ

発泡ビーズは発泡剤を含有したポリスチレン、ポリプロピレン、ポリ塩化ビニリデン、ポリエチレン、およびこれらの共重合体などを発泡させた球状あるいはペレット状のものを言う。以下にそれぞれの材料の性質や特徴を示す。

（1）材質と製造方法

①発泡スチロール

発泡スチロールは、発泡剤としてブタン、ペンタンおよびこれらの混合物を含有したポリスチレン

$(\text{CH}_2\text{CHC}_6\text{H}_5)_n$ を加熱発泡し空気養生したものである。

一般用途には、成形物として包装容器や緩衝包材がある。

②発泡ポリプロピレン

発泡ポリプロピレンは、ポリプロピレン $(\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3))_n$ を空気・炭酸ガスなどの発泡剤と共に加熱発泡したものである。

一般用途には、包装容器や緩衝材がある。

③発泡塩化ビニリデン

発泡塩化ビニリデンは、発泡剤としてオゾン層を破壊しないフロンを混合したポリ塩化ビニリデン $(\text{CH}_2\text{CCl}_2)_n$ を加熱発泡したものである。

一般用途には、食品包装フィルムがある。

(2) 軽量性

発泡ビーズは、土を軽量化する目的で使用するが、材料や発泡倍率の違いによって、それぞれの単体材料の密度は違ってくる。しかし、混合の対象となる土の密度と比較して約1/100であり、混合軽量土の密度として考えた場合、その違いは無視できる。

発泡ビーズの粒径と密度を表1-4-1に示す。

表1-4-1 材料の粒径と密度

(50倍発泡時)

材 料 名	発泡スチロール	発泡ポリプロピレン	発泡塩化ビニリデン
実 密 度 (kg/m^3)	32	29	40
か さ 密 度 (kg/m^3)	20	18	28
平 均 粒 径 (mm)	2~7	5	2.5
粒 径 範 囲 (mm)	1~9	3~8	1~5
空 隙 率 (%)	37	37	36

なお、一般に発泡倍率は、発泡スチロールでは30~80倍、発泡ポリプロピレンでは10~80倍、発泡塩化ビニリデンでは10~70倍の材料が使われている。

(3) 吸水性

発泡ビーズそのものの吸水性については、いずれも独立気泡構造のためほとんど吸水しない。発泡ビーズの吸水性を表1-4-2に示す。

表1-4-2 材料の吸水性

(50倍発泡時)

材 料 名	発泡スチロール	発泡ポリプロピレン	発泡塩化ビニレン
吸水量 (g/cm ³)	0.006	0.006	0.004

(4) 燃焼性

発泡ビーズの燃焼性を表1-4-3に示す。

表1-4-3 材料の燃焼性

(50倍発泡時)

材 料 名	発泡スチロール		発泡ポリプロピレン		発泡塩化ビニレン
燃 焼 性	一般品	難燃品	一般品	難燃品	難燃性
	可燃性	難燃性	可燃性	難燃性	

* 可燃性の発泡ビーズを20m³以上管貯蔵する場合には、消防法により
所管消防署に届け出を必要とする。

(5) 圧縮強さ

発泡ビーズの圧縮強さが、ビーズ混合土の強度に対して、直接的に影響する訳ではないが、安定材を添加しない場合や、発泡ビーズ量が多くなると、発泡ビーズの性質が現れてくる。

発泡ビーズの圧縮強さを表1-4-4に示す。

表1-4-4 材料の圧縮強さ

(50倍発泡時)

材 料 名	発泡スチロール	発泡ポリプロピレン	発泡塩化ビニレン
圧 縮 強 さ (kgf/cm ²)	1.0 (5%歪時)	0.8 (25%歪時) 0.4 (5%歪時)	1.4 (5%歪時)

*試験法は、成形体による試験でJIS K 7220、同 6767による。

(6) 耐油・耐薬品性

ビーズ混合土はその用途によって油や薬品との接触も考えられる。発泡ビーズ材料の単体に比べて、ビーズ混合土の場合、その影響は小さいが保護方法の検討が必要である。

発泡ビーズの耐油・耐薬品性を表1-4-5に示す。

表1-4-5 材料の耐油・耐薬品性

分類	油名・薬品名	発 泡 ビ ー ズ		
		発泡スチロール	発泡ポリウレタン	発泡塩化ビニレン
耐油性	ガソリン	×	○	○
	灯油	×	○	○
	軽油	△	○	○
	重油	△	○	○
	グリース	○	○	○
	機械油	×	○	○
	洗油	×	○	○
	アスファルト	×	○	○
	動植物性油脂	○	○	○
耐溶剤性	トルエン	×	○	△
	アセトン	×	○	△
	エチルアルコール	○	○	○
	メタン	×	△	○
耐酸・耐アルカリ性	硫酸	○	○	○
	硝酸	○	○	○
	塩酸	○	○	○
	炭酸	○	○	○
	乳酸	○	○	○
	フミン酸	○	○	○
	苛性ソーダ	○	○	○
	アンモニア水	○	○	○
	石灰水	○	○	○
	セメント	○	○	○
その他	海水	○	○	○
	肥料(N.P.K)	○	○	○
	除草剤	○	○	○
	殺虫剤	○	○	○
	L P G	○	○	○
	L N G	○	○	○
	水性塗料	○	○	○
	油性塗料	×	△	○

○—安定 △—膨潤 ×—溶解

1-4-3 安定材

本工法に用いられる安定材は、(1)セメントおよびセメント系固化材、(2)石灰および石灰系固化材に大別される。これらの安定材は対象とする土質により安定処理効果が異なるので、土質に適合する材料を選定する必要がある。一般的な選定判断として「砂質土にはセメント、粘性土には石灰」として知られているが、セメントや石灰では安定処理効果が低い土質に対しても、効果のある各種固化材も開発されている。

セメントの内、土の安定材として一般的に使用される品種は、JIS R 5210で規格化された普通ポルトランドセメントである。しかし混合土の製造と施工現場が離れるなどの理由から、ある程度、転圧までの時間を必要とする場合には、硬化速度の遅い高炉セメント(JIS R 5211で規格化された通常B種)が使用されることもある。

セメントは砂質土、シルト質土には効果があるが、粘性土、ローム、有機質土には効果が弱い。この欠点を改良したのがセメント系固化材で、あらゆる土質に適用される。

セメント系固化材は、一般軟弱土用から高有機質土用、産業廃棄物用、その他特殊用まで各種販売されているが、対象土が高有機質土である場合を除き一般軟弱土用が適用される。セメント系固化材には今のところJIS規格品はないが、一般軟弱土用にあつては、銘柄間にあまり差がないと考えてよさそうである。

安定処理に使用される石灰は、工業用石灰(JIS R 9001)の規格に準拠する。石灰は粘性土、ロームには効果があるが、砂質土、シルト質土、有機質土には効果が弱い。石灰系固化材は、有機分が多い土質でも、石灰の安定処理効果が得られるべく開発された材料で、主に有機質土、ヘドロなどに使用される。

なお、生石灰(CaO)は土の水分と水和反応する過程で、生石灰1kg当たり278kcalの発熱があり、多量に使用するケースでは、部分的に100℃を越えることがあるので、発泡ビーズの再発泡や膨張が起こる場合もあり、本工法に適用するときは十分な注意が必要である。

いずれの安定材を使用する場合でも、土質の性状だけでなく含水状態、ビーズ混合比によっても安定処理効果が異なるので、後述する配合試験を実施して、安定材添加率を求める必要がある。

なお、安定材の比重は土粒子の比重より1.1~1.4倍大きいので、土に安定材を添加した安定処理土は、元の土(原料土)より単位体積重量が1.15倍程度まで増加する傾向にあるが、本工法では発泡ビーズの混合比で密度の調整は可能であることから、この程度の増加は実用上問題ない。

参考文献

- 1) 建設産業調査会編：軟弱地盤ハンドブック，p. 289，1981

第2章 工学的特性

2-1 密度特性

ビーズ混合土の密度は混合する発泡ビーズの割合に大きく依存する。その一般的な密度に関する特性を図2-1-1に示す。この例は原料土に山砂（江戸崎産）と関東ロームを用い、発泡ビーズの容積混合比を変えて、1/2ECの締固めエネルギーで締固めた結果である。発泡ビーズの混合割合が増加するに従って、ビーズ混合土の密度は大きく減少し、この例では、発泡ビーズの容積混合比が2になると、山砂の密度で 2.0t/m^3 から 0.9t/m^3 までに、関東ロームの密度で 1.5t/m^3 から 0.7t/m^3 までに減少する。一般に、ビーズ混合土では、同じ発泡ビーズ混合比の場合、砂質土に比べて粘性土の密度の方が小さい。

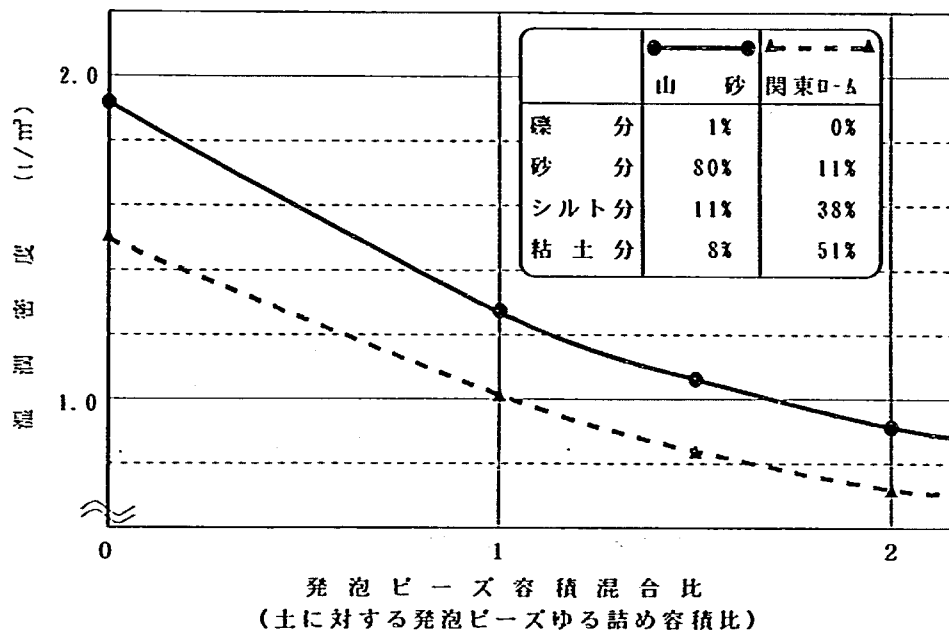


図2-1-1 発泡ビーズ混合比と湿潤密度の関係

ビーズ混合土に使用する原料土の種類と、含水比、安定材および水の添加量などにより、発泡ビーズ容積混合比と湿潤密度の関係は若干違ってくるが、ビーズ混合土の密度は概ね次式で推定できる。また、ビーズ混合土の密度は実務上、原料土の湿潤密度のおよそ40%程度ぐらいまでは、低減できると考えられる。

$$\rho_t = \frac{\rho_{ts}}{1 + V_B \times 0.6}$$

$$\rho_{ts} = \rho_{ds} \times \left(1 + \frac{\omega_{opt} + W_a + C_a}{100} \right)$$

ここに、

ρ_t : ビーズ混合土の湿潤密度

ρ_{ts} : (使用土+安定材・水) の湿潤密度

V_B : 発泡ビーズ容積混合比

ρ_{ds} : 原料土の最大乾燥密度

ω_{opt} : 最適含水比

W_a : 水の混合率 (通常5%程度)

C_a : 安定材添加率

2-2 締固め特性

2-2-1 室内締固め特性

山砂を用いて、発泡ビーズの混合割合と締固めエネルギーを変えた、突固め試験結果の一例を図2-2-1に示す。

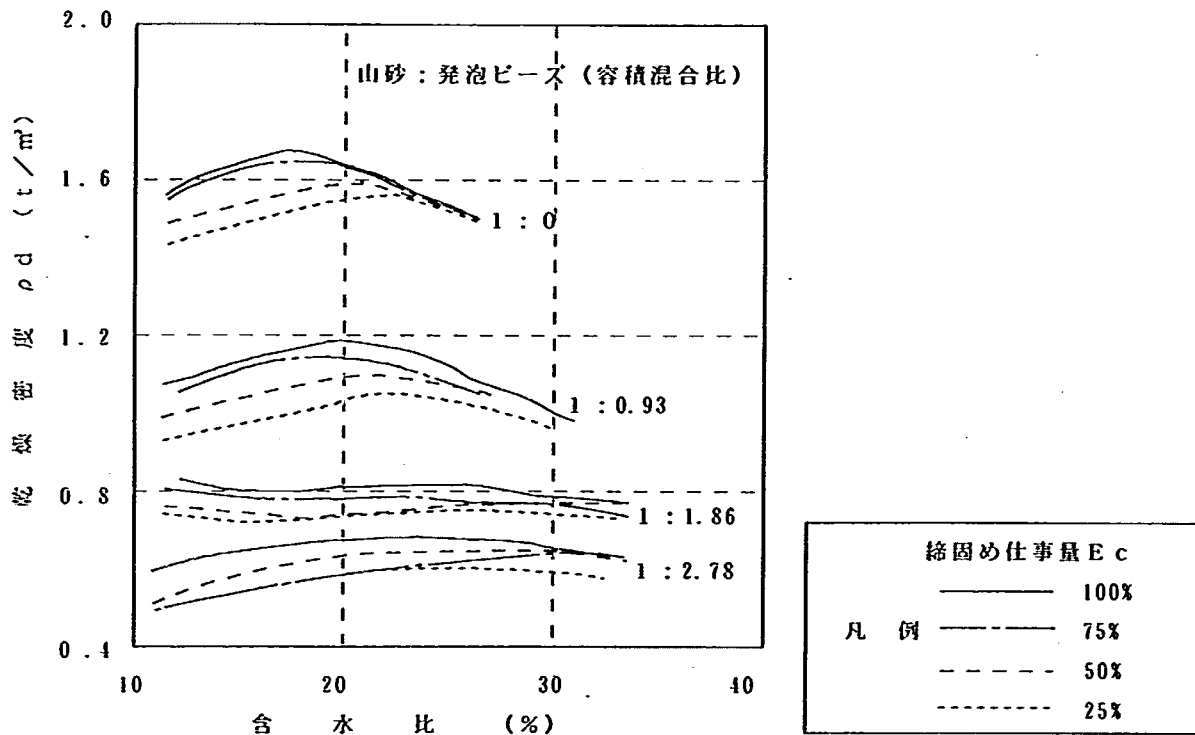


図2-2-1 ビーズ混合土の締固め特性

一般に砂質土の締固めによる密度は、締固めエネルギーが少なくなるに従い、減少する。こうした傾向は発泡ビーズを混入した場合も同様であるが、図2-2-1の結果では、発泡ビーズの容積混合比が1:2程度以上になるとあまり明確でなくなる。この原因として、発泡ビーズの混合割合が増えると、発泡ビーズが一種のクッション材として機能し、締固めエネルギーを吸収することが考えられる。これらのことから、発泡ビーズが多くなると、ある限度以上の締固めエネルギーを用いても、乾燥密度はそれほど増加せず、むしろ発泡ビーズ粒を破壊するため、注意が必要である。

締固めの最適含水比は、締固めエネルギーが少なくなると、数パーセント高くなる。また、発泡ビーズの混合割合が増加すると、最適含水比は若干、湿潤側となるようであるが、混合比が1:2程度になると、最適含水比は不明瞭となる。

2-2-2 現場締固め特性

ビーズ混合土のローラーによる締固め結果の一例を図2-2-2 に示す。締固め度は、JIS A 1210の突固め試験の1/2締固めエネルギーを用いた密度を基準としている。

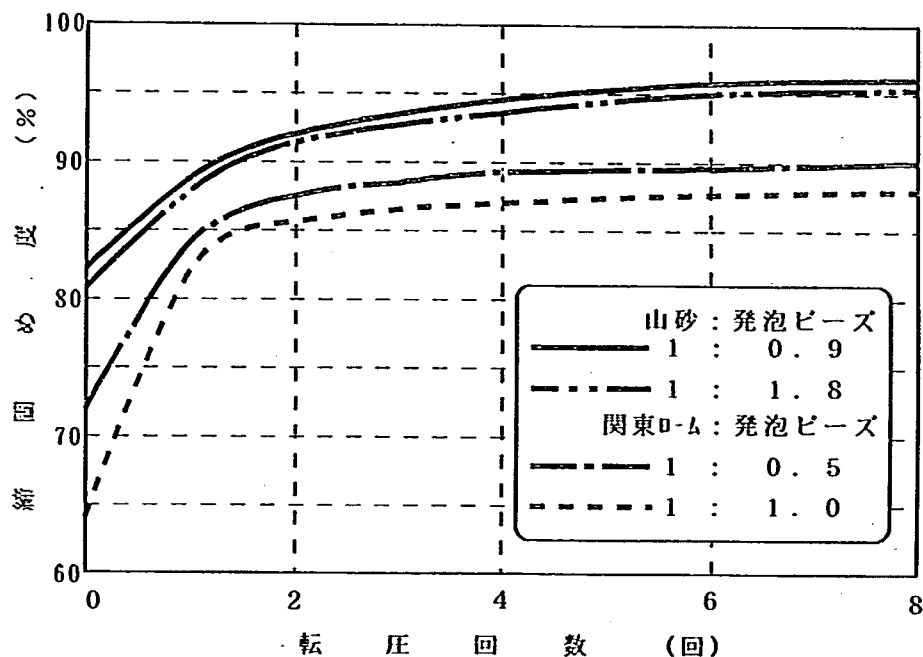


図2-2-2 現場での転圧回数と締固め度の関係

ビーズ混合土は、撒き出し厚30cmの場合で、砂質土、粘性土を問わず4～6回の転圧で締固めがほぼ完了する。また、第4章で触れるように締固め機械の相違（クローラタイプとローラータイプ）による転圧効果の差は少ない。

原料土に粘性土を使用したビーズ混合土の締固め度は、砂質土を使用した場合より、締固め度が低くなる傾向にある。また、ビーズ混合量が多くなるほど、締固め度が低くなる傾向にある。

2-3 強度・変形特性

2-3-1 一軸圧縮特性

(1) 発泡ビーズ混合比、安定材添加率と一軸圧縮強さの関係

山砂を原料土として用いたビーズ混合土の発泡ビーズ混合比、およびセメント安定材添加率と一軸圧縮強さの関係は、図2-3-1、図2-3-2に示すようになる²⁾。

	①	②	③
礫分	0.0 %	0.5 %	10.0 %
砂分	69.5 %	84.0 %	80.0 %
シルト分	18.0 %	9.5 %	6.5 %
粘土分	12.5 %	6.0 %	3.5 %

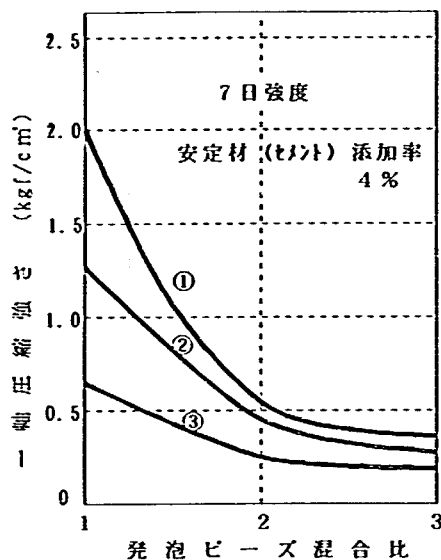


図2-3-1 発泡ビーズ混合比と一軸圧縮強さ

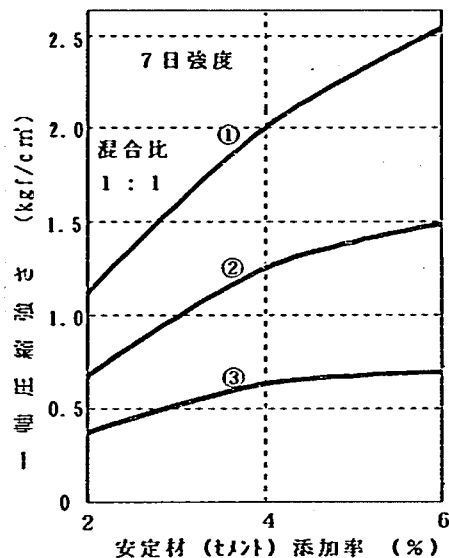


図2-3-2 安定材添加率と一軸圧縮強さ

ビーズ混合土の一軸圧縮強さは、発泡ビーズの混合比が大きくなるほど低下し、安定材の添加率が大きくなるほど増加する。また、同じ発泡ビーズ容積混合比、安定材の添加率でも、得られる一軸圧縮強さは、原料土の性状により大きく変化する。

図2-3-3は、粘性土に安定材を添加した場合の一軸圧縮強さを示す。この例では、安定材添加率に比例して一軸圧縮強さが増加する。

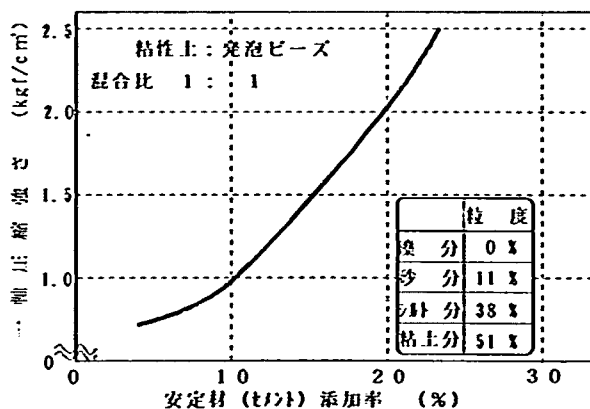


図2-3-3 安定材添加率と一軸圧縮強さの関係（粘性土）

(2) 締固めまでの経過時間と一軸圧縮強さの関係

ビーズ混合土の混合から、締固めまでの経過時間が長くなると、目標とする一軸圧縮強さが得られない場合がある。

図2-3-4、図2-3-5は各々砂質土と粘性土を原料土とし、安定材としてセメントを用いた場合の、常温20℃での混合から締固めまでの時間が、一軸圧縮強さに及ぼす影響を調べたものである。

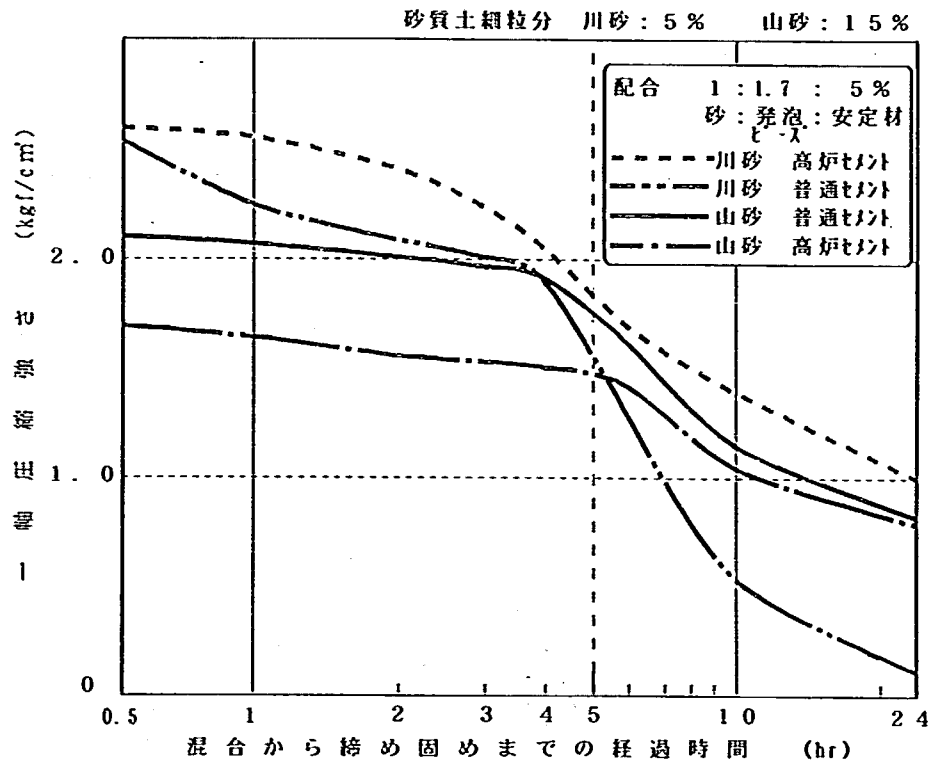


図2-3-4 混合から締固めまでの経過時間と一軸圧縮強さの関係 (砂質土)

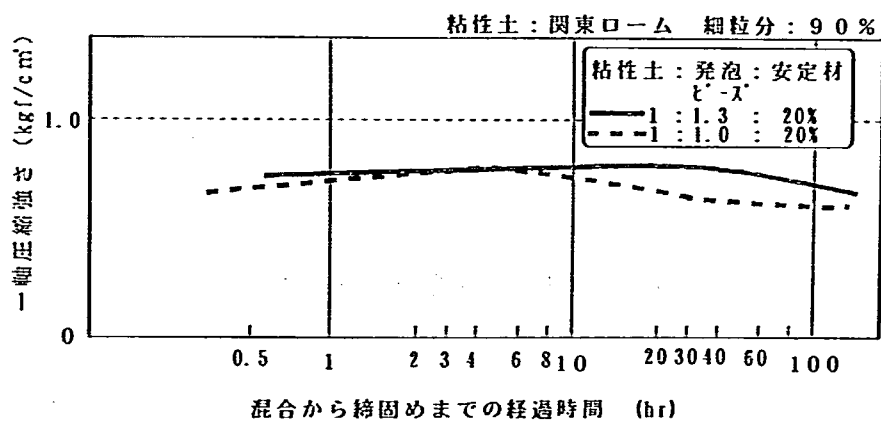


図2-3-5 混合から締固めまでの経過時間と一軸圧縮強さの関係 (粘性土)

一軸圧縮強さと混合から締固めまでの経過時間との関係は、原料土の細粒分の量に依存すると考えられる。細粒分が少ない砂質土の場合、混合から締固めまでの時間が4時間以上になると、急激な一軸圧縮強さの低下が生じる。強度低下の割合は、細粒分の少ない川砂の方が山砂より大きい。また、安定材として高炉セメントを用いた方が、普通セメントを用いる場合より、強度低下の割合は少ない。細粒分の多い粘性土の場合、混合から締固めまでの時間は、安定材として普通セメントを用いた場合でも、一軸圧縮強さに大きな影響は与えない。

(3) 含水比と一軸圧縮強さの関係

含水比と一軸圧縮強さの関係の一例を図2-3-6に示す¹⁾。

山砂と発泡ビーズの混合比 1 : 0.93の場合は、 q_u のピークが顕著に表れ、山砂の最適含水比よりも5%程度高い含水比で得られる。混合比が1 : 1.86および1 : 2.78の配合の場合は、 q_u のピークは顕著でなくなるが、山砂の最適含水比(17%)よりも5~10%高い含水比で q_u が最大となる。

原料土として砂質土を用いる場合、含水比を最適含水比より若干高め($\omega_{opt} + 5 \sim 10\%$ の範囲)に調整することによって、ほぼ最大の強度が発揮できると考えられる。

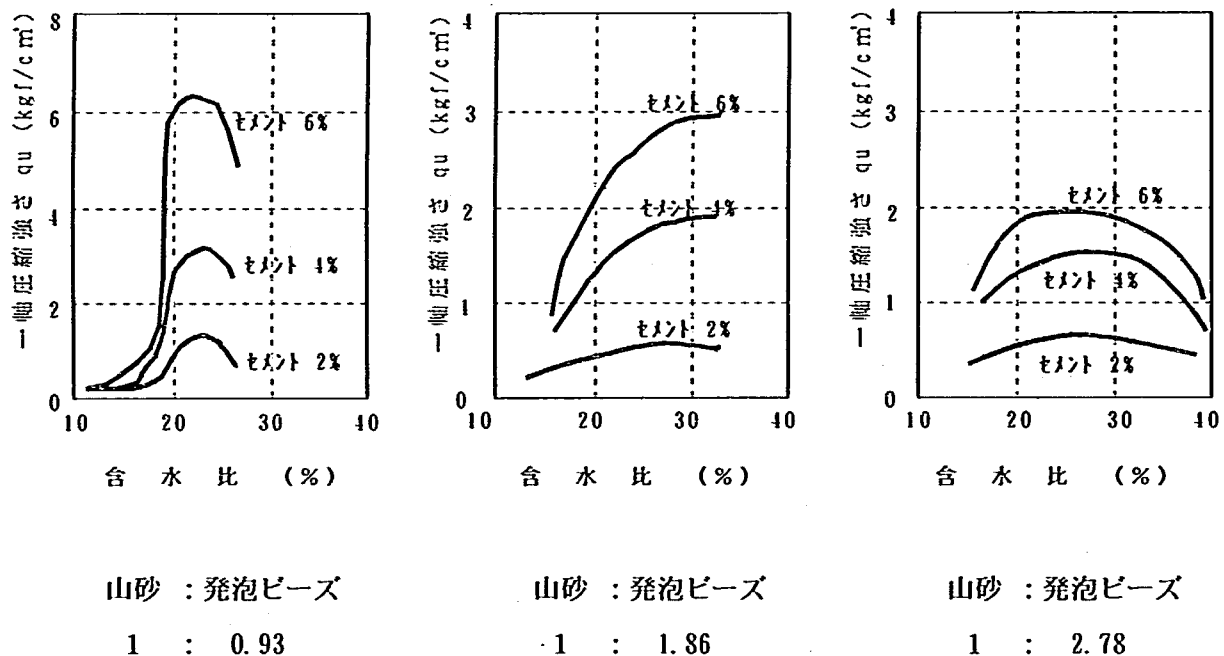


図2-3-6 含水比と一軸圧縮強さの関係

2-3-2 三軸圧縮特性

(1) 安定材を添加しない時の三軸圧縮特性

ビーズ混合土に使用される発泡ビーズは、拘束圧が増加すると、せん断強度が低下する。これより発泡ビーズには、モール・クーロンの破壊規準を適用できず、一般の土質材料と全く別の材料である。したがって、ビーズ混合土を土質材料として扱おうとする場合、発泡ビーズ混合量と拘束圧、すなわち、使用可能な密度と盛土高さに適用限界が生じる。

図2-3-7に豊浦標準砂を原料土とし、安定材を添加しないで行った圧密排水三軸圧縮試験の結果を示す³⁾。これらの結果から、発泡ビーズ容積混合比で1:2、拘束圧で1 kgf/cm²までの範囲で、モール円の包絡線はほぼ直線、すなわち、この範囲のビーズ混合土は、通常の土質材料と同じように強度定数 c 、 ϕ を持つと考えられる。また同図より、発泡ビーズの混合割合が増加すると、内部摩擦角が減少し、見かけの粘着力が増加する。

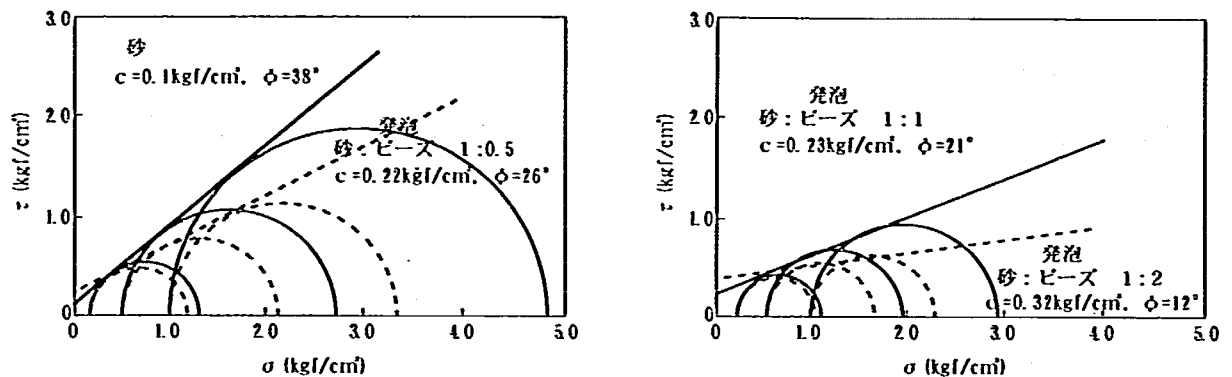


図2-3-7 ビーズ混合土のモールの応力円（排水状態）

(2) 安定材を添加した時の三軸圧縮特性

ビーズ混合土に安定材を添加すると、せん断強度や初期接線弾性係数が増加し、破壊時ひずみが減少する。これらの挙動は、セメントによる安定処理土の特性に類似する。

一例として、豊浦標準砂を原料土とし、安定材としてセメントの添加率を変えた三軸圧縮試験（圧密排水（CD）条件）の結果を以下に紹介する⁴⁾。

図2-3-8は、ビーズ混合土のセメント添加率による応力-ひずみ関係の変化を示す。セメント添加率が増えると、せん断強度が増加し、破壊ひずみは小さくなる。図2-3-9に発泡ビーズ容積混合比1:0.5、安定材添加率2%の場合と、容積混合比1:2、安定材添加率6%の場合のモールの応力円を示す。これらの配合範囲ではモール・クーロンの破壊規準が成り立ち、ビーズ混合土が土質材料として扱えることがわかる。

図2-3-10、図2-3-11に三軸圧縮試験で得られる、発泡ビーズ容積混合比とセメント添加率による内部摩擦角と見かけの粘着力の変化を示す。発泡ビーズの内部摩擦角は、発泡ビーズの混合割合が多くなるほど小さく、セメント添加率が増えるほど大きくなる。一方、見かけの粘着力は、発泡ビーズの混合割合が容積比で1:0.5、1:1程度まではセメント添加率を増やすと増大するが、発泡ビーズの混合割合が多くなるとある範囲に収束する。

以上、セメントを添加したビーズ混合土の定性的な強度特性を述べたが、定量的にはその原料土の種類、発泡ビーズや安定材の混合割合などで大きく変化し、設計定数の設定などに関しては実際に試験を行う必要がある。

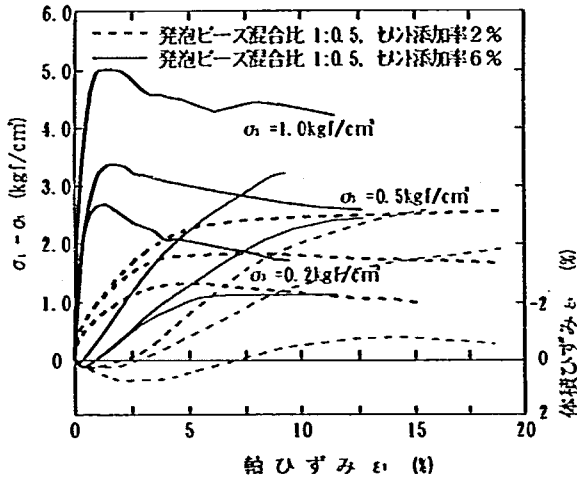


図2-3-8 応力-ひずみ関係

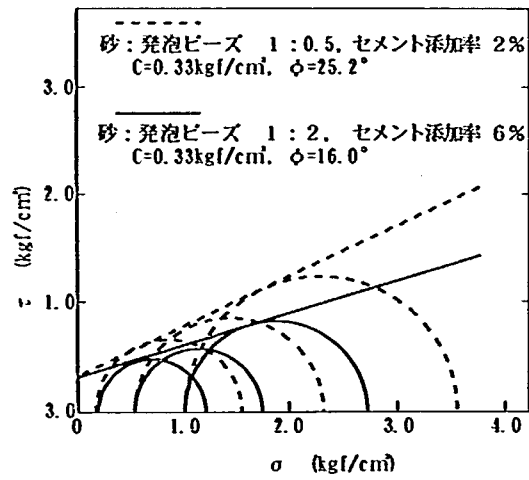


図 2-3-9 モール・クーロンの破壊規準

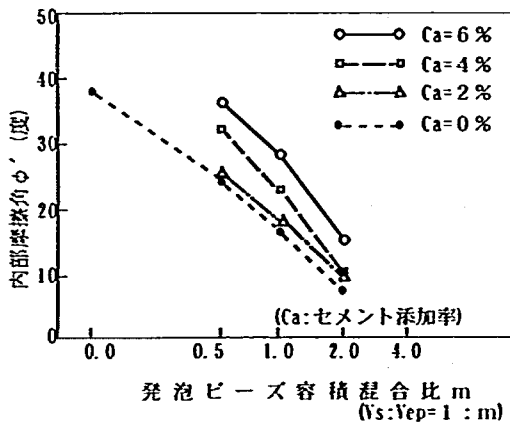


図2-3-10 発泡ビーズ容積混合比と内部摩擦角

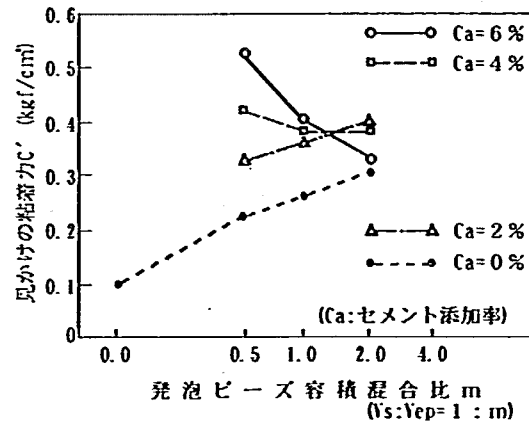


図2-3-11 発泡ビーズ容積混合比と見かけの粘着力

2-3-3 ビーズ単体の圧縮特性

発泡ビーズ単体の圧縮強さに関する試験法の規定がなく、資料は見受けられない。そこで、発泡ビーズの単体を球体ととらえ、一軸圧縮試験機を用いてビーズの寸法変化等を測定し、各ひずみ時における応力から一軸圧縮強さを求めた。発泡ビーズ単体は、発泡スチロールの発泡倍率を変えたものを用いた。図2-3-12に発泡ビーズ単体の2%ひずみ時の圧縮強さ、図2-3-13に発泡ビーズ単体の5%ひずみ時の圧縮強さの関係を示す。

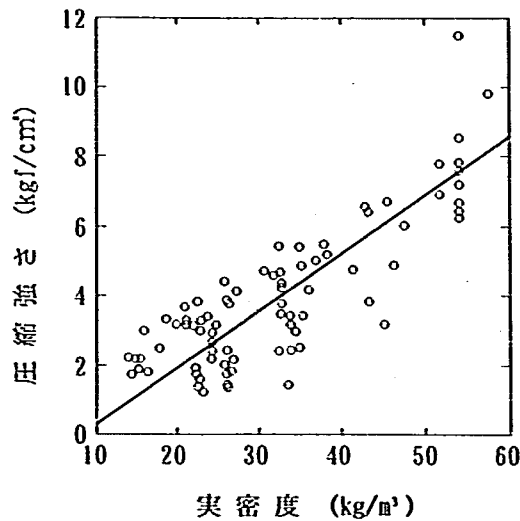


図2-3-12 発泡ビーズ単体の
2%ひずみ圧縮強さ

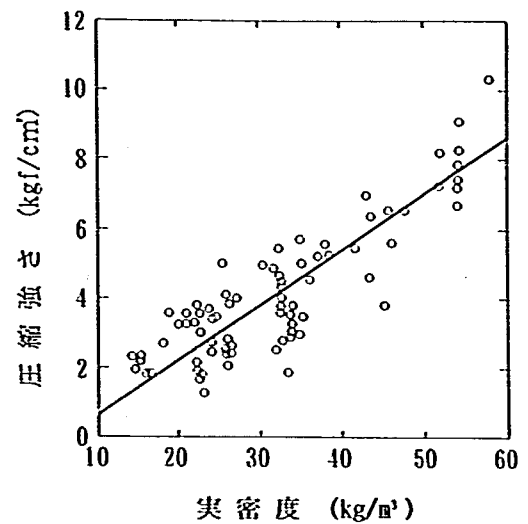


図2-3-13 発泡ビーズ単体の
5%ひずみ圧縮強さ

参考までに、EPSブロックの特性として、ひずみと圧縮特性を図2-3-14に示す。

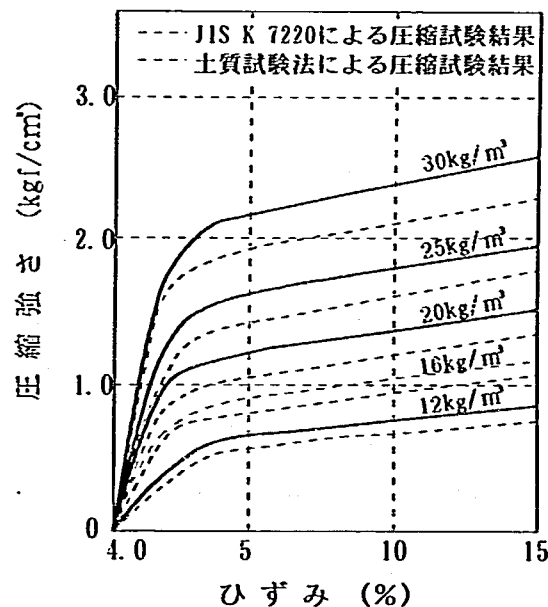


図2-3-14 EPSブロックのひずみと圧縮強さ

また、EPSブロックの三軸圧縮特性試験によるせん断応力-ひずみ曲線を図2-3-15⁵⁾に示す。このせん断応力-ひずみ関係から、降伏応力までのEPSブロックの挙動は弾性的であること、降伏後は塑性的な挙動を示すことがわかる。ポアソン比は弾性域と塑性域を通じてほぼ一定である。また、拘束圧が増加すると降伏応力および極限応力は低下する。

図2-3-16⁵⁾は5%の軸ひずみでの応力状態をモールの応力円で表したものである。拘束圧の増加により、せん断強度が減少することがわかる。この減少の割合は原料土の種類、発泡ビーズの密度に依存することが考えられるが、こうした傾向は、一般の土質材料がモール・クーロンの破壊規準に見られるように、拘束圧が増加するとその強度が増大するのに比べて大きな相違である。

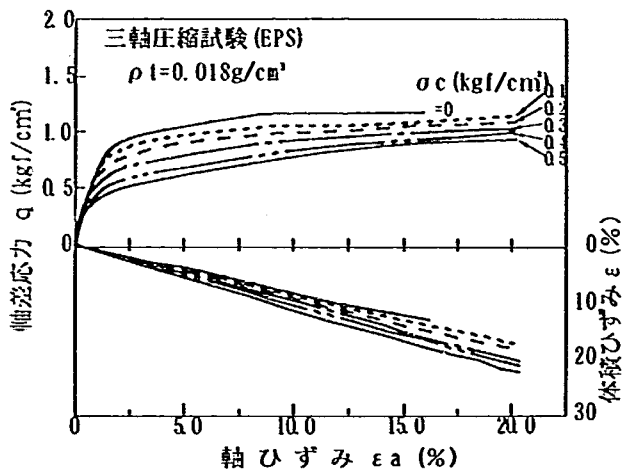


図2-3-15 E P S ブロックのせん断応力-ひずみ

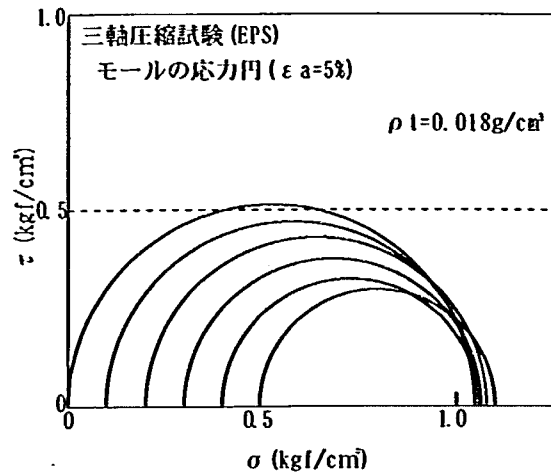


図2-3-16 E P S ブロックの5%軸ひずみのモールの応力円

2-3-4 動的特性

(1) 動的強度特性

地震時には、安定材が添加されたビーズ混合土では、砂質土を原料土とした場合でも、セメンテーションによる固結強度を有するため液状化は生じない。ただし、地下水位以深で、安定材の添加が少ない場合には、液状化しやすいため注意が必要である。

(2) 動的変形特性

図2-3-17は原料土に山砂を用い、 $\rho_t = 1.11/m^3$ に調整し普通セメントを添加することによって $q_u = 1.5 kgf/cm^2$ 程度としたビーズ混合土の動的変形特性試験の結果を示したものである。ビーズ混合土には拘束圧依存性、すなわち、有効応力の大小によって変形・減衰性が異なる特性がある。弾性係数Eの低下は、拘束圧が低い条件ではせん断ひずみ γ が小さいレベルから生じ始めるが、拘束圧が高くなると γ がやや高いレベルから生じる。一方、減衰定数hは拘束圧が低いほど、かつ、 γ が高いほど増大する傾向にある。

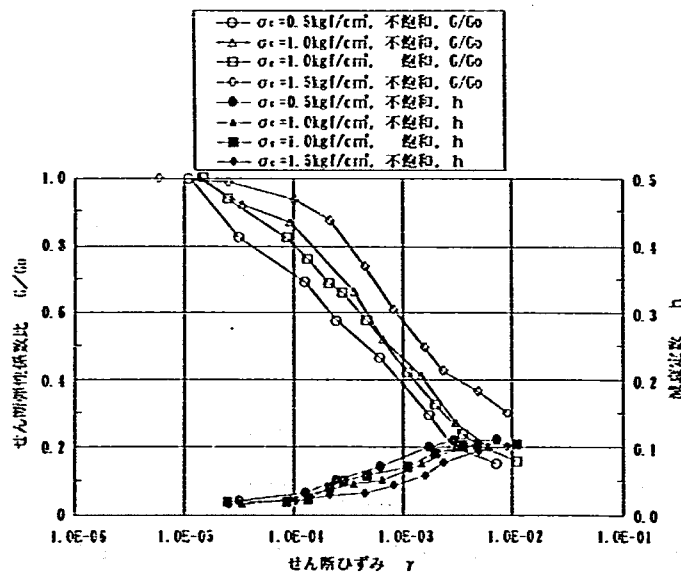


図2-3-17 剛性の低下および減衰定数とひずみの関係

図2-3-18には拘束圧 0.5kgf/cm^2 での上記の結果と、自然堆積の砂質土および粘性土の一般的な特性⁶⁾を対比して示す。ビーズ混合土は剛性の低下がやや高い γ のレベルから生じる他は、変形および減衰特性ともに自然堆積の粘性土とほぼ同様の傾向を示している。

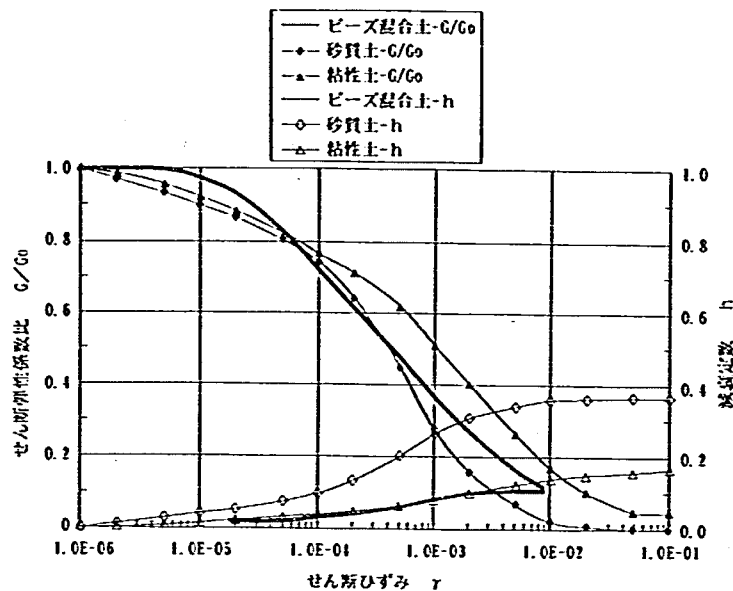


図2-3-18 ビーズ混合土と自然堆積土との動的変形特性の比較

2-4 透水特性

ビーズ混合土は軟弱で地下水位の高い地盤で使用されることが多く、地下水位以深に施工された場合には、地下水位の回復に伴って水中に没する場合もある。また、堤体材料としての利用も期待されており、この場合は常に水に接した条件となる。これらの点から、地盤・施工条件などにより透水性や浸透・水浸による密度変化が問題となる場合は、以下に示すビーズ混合土の特性を十分考慮して適切な利用を行う必要がある。

2-4-1 透水係数

ビーズ混合土は不飽和な状態で施工されることが多く、不飽和状態での雨水・地下水の浸透は明らかでないが、飽和状態での透水性については以下の特徴がある⁷⁾。

- ① ビーズ混合土の透水性は原料土の透水性と大きく変わらない。
- ② 施工時の含水比が高いほど透水性は低い傾向にある。
- ③ セメント添加率が少ない範囲（4%程度）ではセメントの影響は少ない。
- ④ セメントを添加した場合は、混合後から転圧までの経過時間が長いと透水性が若干高くなる。

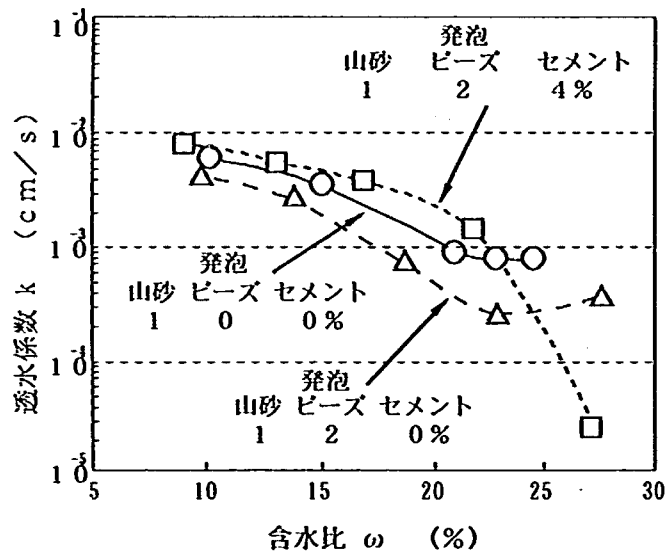


図2-4-1 透水係数と締固め時の含水比

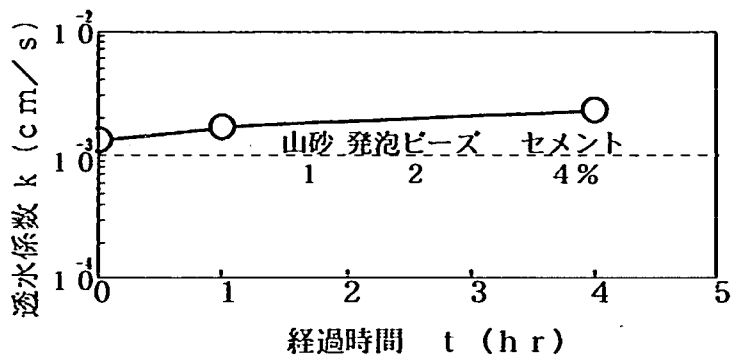


図2-4-2 透水係数と混合から転圧までの経過時間
(セメントを添加した場合)

以上の点から、低透水性が必要な場合は以下の方法が考えられる。

- ① 低透水性の原料土を用いる。
- ② 低透水性の土あるいはベントナイトなどを止水材として添加する。
- ③ 施工時の含水比を施工可能な範囲で高くする。
- ④ セメント添加の場合は混合後速やかに施工する。

2-4-2 水浸による密度特性

ビーズ混合土は不飽和な状態で施工されるため、雨水の浸透や地下水位以深に水没した場合、密度が変化する。浸透や乾燥が繰り返されるときの密度変化は、条件によって変わるため、ここでは供試体 ($\phi 10\text{cm}$, $h=20\text{cm}$) を水浸した場合の水中密度の変化⁷⁾を示す。

- ① 水中密度は水浸直後に急増し、1ヶ月程度まで緩やかに増加するが、それ以降の増加は極めて小さい。
- ② 水浸80日後では、水浸前よりも $0.02\sim 0.04\text{t/m}^3$ 程度の密度増加があり、飽和度がかなり増加しているため、長期の増加量は、 0.05t/m^3 程度と推定できる。

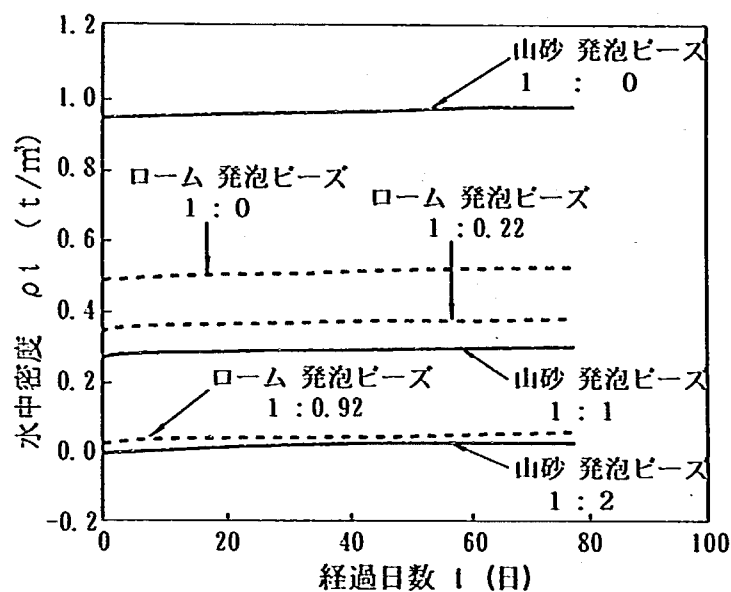


図2-4-3 水中密度と水浸経過日数

以上は、山砂とロームを用いた室内試験の結果で、初期飽和度が85～97%であり、多種多様な条件にそのまま適用できないが、砂質土では最適含水比より若干高い含水状態、粘性土では施工可能で湿潤な含水状態で施工される場合、水浸による密度増加は $0.05 \sim 0.11/\text{m}^3$ 程度が目安になると考えられる。その他の含水状態では条件に合わせて検討する必要がある。

2-5 土圧特性

土圧の測定・解析は、橋台背面の裏込め⁸⁾や護岸背面の盛土⁹⁾に使用された工事および試験盛土¹⁰⁾で行われており、三軸圧縮試験による静止土圧係数についての研究¹¹⁾がある。これらの結果をまとめて表2-5-1に示す。詳細については巻末の施工事例や参考文献を参照されたい。

表2-5-1 土圧測定・解析結果

適用工事 または種別	原料土	湿潤密度 ρ_1 (t/m^3)	一軸強さ q_u (kgf/cm^2)	土圧係数	摘要
橋台背面の裏込め	山 砂	1.0	1.5	0.27～0.28	土圧計による
護岸背面の盛土	発生土	1.1	3.7	0.2	変位から逆解析
試 験 盛 土	ローム	0.9	0.5～1.0	0.3	土圧計による
三 軸 圧 縮 試 験	山 砂	0.9～1.3	2.0～7.0	0.05～0.25	降伏前の K_0

橋台背面の裏込めに用いた工事では、土圧計測がビーズ混合土の中央部で行われており、盛土体の変形が少ないため、静止状態に近いものであり、土圧係数は約0.3である。護岸背面の盛土に用いた工事および試験盛土では、ビーズ混合土がある程度変形しているため主働状態といえる。このような状態で、 $q_u=0.5\sim 4\text{ kgf/cm}^2$ の範囲での土圧係数は、0.2~0.3程度と考えられる。

ただし、三軸圧縮試験での研究によれば、安定材によるセメンテーションが切れ始めて降伏すると、土圧係数が増大し0.4程度に収束していく傾向にあるため、土圧係数の設定にあたっては応力レベルに十分注意する必要がある。

2-6 耐久性

2-6-1 乾湿繰返し特性

ビーズ混合土は任意の密度や強度が得られるので、軟弱で地下水位の高い地盤上の盛土材としての利用も多い。その場合、盛土の一部は地下水位の変動による水浸と乾燥の繰返しを受けることが考えられる。こうした乾湿繰返しに対する、ビーズ混合土の耐久性についての一例を紹介する。

(1) 乾湿繰返し時の密度と含水比の変化

図2-6-1、図2-6-2 にビーズ混合土が乾湿繰返しを受けたときの乾燥密度と含水比の変化の状況を示す。この例は、直径5cm、高さ10cmのモールドに砂質土を原料土とするビーズ混合土を作製し、7日間の養生の後、6日の気乾と4日の水浸を1サイクルとして、各サイクルでの水浸後の状態を調べたものである。

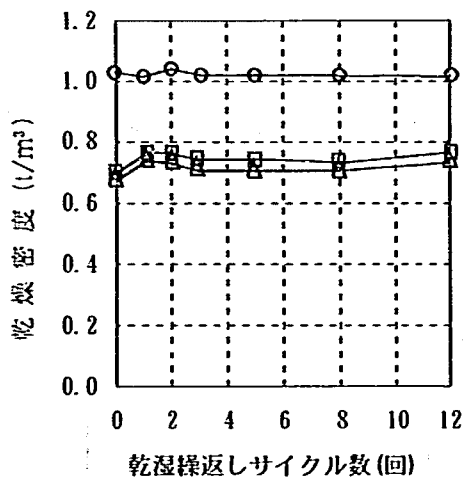


図2-6-1 乾燥密度の変化

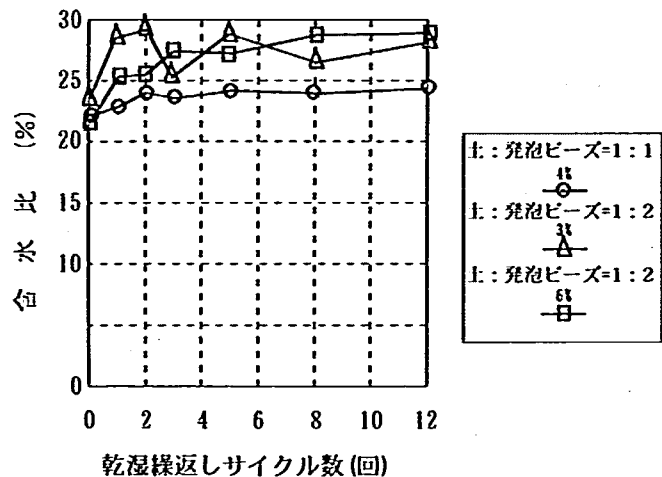


図2-6-2 含水比の変化

乾湿繰返しによる乾燥密度の変化はほとんど起こらない。また、含水比は最初の数サイクルで数パーセントの増加が見られるが、その後のサイクルにおいてはほとんど変化しない。

(2) 乾湿繰返し時の一軸圧縮強さ

乾湿繰返しによるビーズ混合土の一軸圧縮強さの変化の一例を図2-6-3に示す。この例は、先に示した図2-6-1、図2-6-2 の試験で各サイクルでの水浸後の一軸圧縮強さを示す。

結果にバラツキがあるものの、一軸圧縮強さが乾湿繰返しで急速に劣化することはない。一軸圧縮強さがどの程度低下するかは、実験のサイクル数が少ないため現時点では論じられないが、安定材であるセメント量を増加することによって、設計強度を保つことは可能と考えられる。

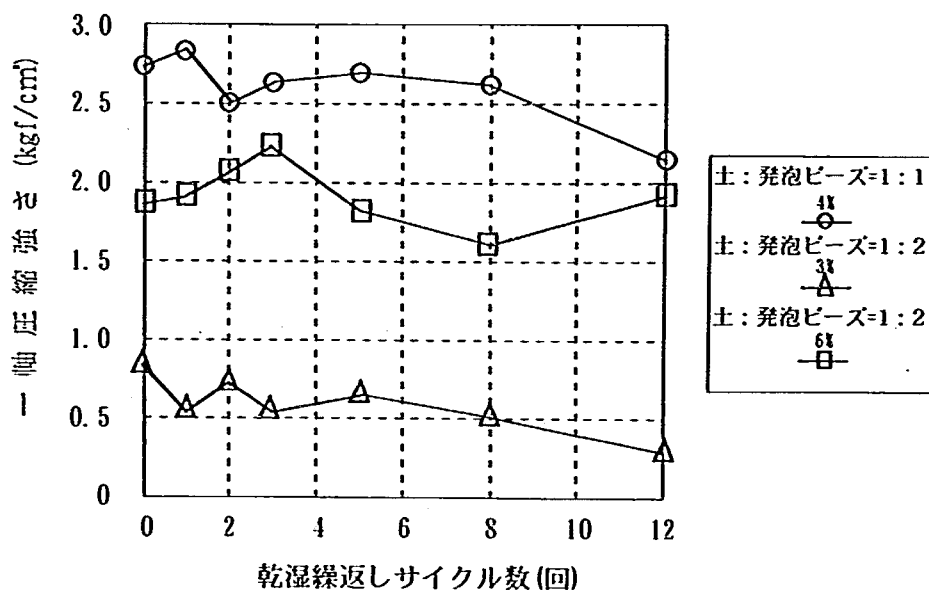


図2-6-3 一軸圧縮強さの変化

2-6-2 繰返し载荷特性

ビーズ混合土の道路盛土体、特に路床・路体への適用を考慮した場合、交通荷重による動的繰返し载荷を受けた場合の疲労特性（動的強度特性）が問題となる。

表2-6-1、図2-6-4、図2-6-5に繰返し三軸圧縮試験結果の一例を示す¹²⁾。

繰返し载荷試験の载荷荷重レベルについては、鉛直荷重は設定強度の50%、水平荷重は0とし、载荷回数については、アスファルト舗装要綱のB交通量を想定した100万回とした結果である。

表2-6-1 試験条件例

対象土	設定強度 (kgf/cm ²)	設定密度 (t/m ³)	載 荷 荷 重 レ ベ ル		载荷回数 N (回)	波 形 周波数
			鉛直荷重 σ_z (kgf/cm ²)	水平荷重 σ_x (kgf/cm ²)		
山 砂	2.0	1.0	1.0	0	100万回	正弦波 5 Hz
ローム	1.2		0.6	0		

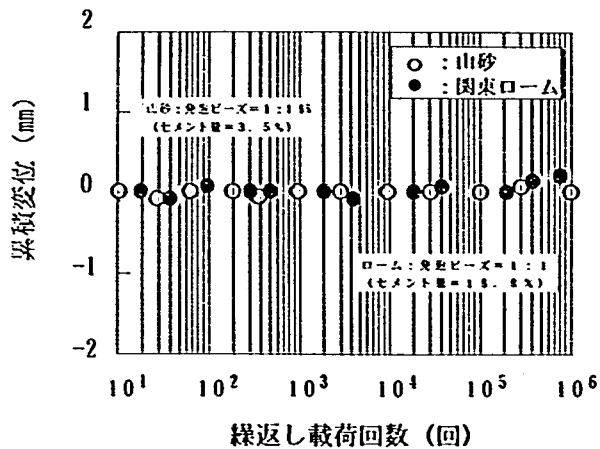


図2-6-4 繰返し载荷回数と累積変位の関係

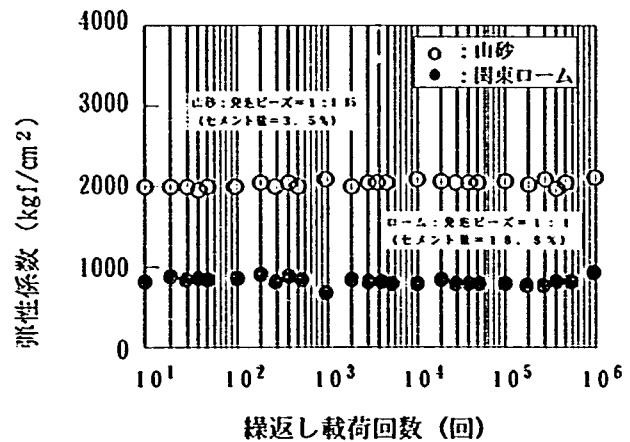


図2-6-5 繰返し载荷回数と弾性係数の関係

ビーズ混合土の動的振動荷重による累積変位は原料土が山砂、ロームを問わず100万回の繰返し载荷に対し殆どみられない。また、弾性係数についても100万回の繰返し载荷でも劣化は認められない。

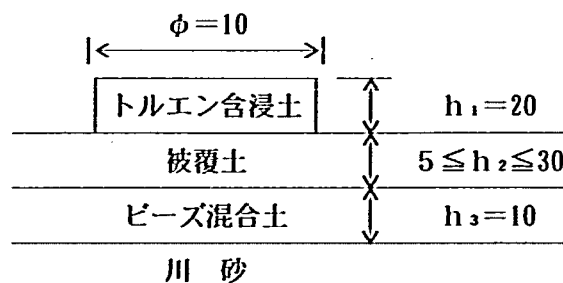
これらの結果から、ビーズ混合土は一軸圧縮強さの半分程度までの繰返し荷重に対しては、十分に耐久性があるといえる。

2-6-3 耐油性および被覆土による保護効果

ビーズ混合土の主な用途は、軟弱地盤帯における道路等の盛土材料や擁壁の裏込め材などである。万一、その上で交通事故等が発生した場合、ガソリンや有機溶剤が流出し、法面に浸透すること考えられる。ここでは、ビーズ混合土の耐油性能について、トルエンを含浸させた関東ロームを被覆土の上に設置し、屋外で暴露を行い、被覆土の有効性を確認したものについて、その結果を示す。

表2-6-2 使用材料

トルエン含浸土	関東ロームの土重量に対し、20%のトルエンを含浸させたものを $\phi=10\text{cm}$ 、長さ20cmの円筒容器に1.5kgつめ、これを被覆土の上に設置。
被覆土	関東ローム(R)、山砂(S)
ビーズ混合土	発泡ビーズ: 発泡スチロール(E)、発泡ポリプロピレン(P)、発泡塩化ビニリデン(V) 原料土: 山砂 安定材: 無添加



単位: cm
暴露期間: 1ヵ月

図2-6-6 試験条件(断面図)

表2-6-3 試験結果

番 号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
被覆土	厚さ: h_2 (cm)	5	10	20	30	10	20	10	10	20	30
	土 質	R	R	R	R	R	R	R	S	S	S
発 泡 ビ ー ズ		E	E	E	E	V	V	P	E	E	E
ピーズの 溶解範囲	幅 (cm)	38	25	0	0	0	0	0	20	0	0
	深さ (cm)	8	7	0	0	0	0	0	5	0	0

この結果より、発泡ポリプロピレン(P)及び発泡塩化ビニリデン(V)については、厚さ10cmの被覆土があれば、仮に有機溶剤の浸透があったにせよ発泡ピーズ自体の溶解は見られない。また、発泡スチロール(E)についても厚さ20cmの被覆土があれば、その保護効果が期待できるものと思われる。

2-6-4 追跡調査事例

道路路床部にピーズ混合土を適用した事例について、その長期的な耐久性および信頼性の検証を行うことを目的として、土質試験等の追跡調査の結果を示す。

(1) 標準断面図及び配合

標準断面図及び配合を図2-6-7および表2-6-4に示す。

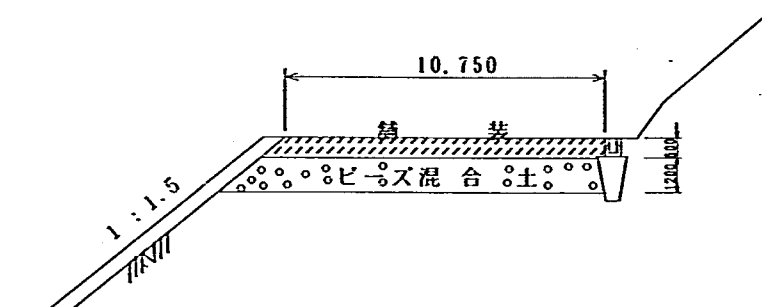
図2-6-7 標準断面図¹⁾

表2-6-4 施工時の配合

材 料	配合比
山砂: 発泡ビーズ *1	1 : 1.2
普通セメント (%) *2	5
含水比 (%)	15

*1, 山砂: 発泡ビーズの混合比は容積比

*2, セメント添加率は重量%

(2) 追跡調査結果

表2-6-5 土質試験結果

試料採取位置		A 地 点		B 地 点		試験方法
試 験 年 度	設定値	平成2年度	平成7年度	平成2年度	平成7年度	—
含 水 比 (%)	15.0	13.60, 13.86 平均13.73	11.91, 11.91 平均11.91	12.90, 12.92 平均12.91	13.16, 13.30 平均13.23	含水比測定
湿 潤 密 度 (t/m^3)	1.2以下	1.17, 1.16 平均1.17	1.14, 1.10 平均1.12	1.05, 1.10 平均1.08	1.02, 1.07 平均1.04	JSF T 191
C B R (%)	4.0以上	11.3	23.7	12.1	20.2	JIS A 1211
一軸圧縮強さ (kgf/cm^2)	—	1.382, 1.203 平均1.293	2.542, 3.586 平均3.064	1.306, 1.148 平均1.227	3.800, 4.204 平均4.002	JIS A 1216
三 軸 粘着力 (kgf/cm^2)	—	0.29	1.38, 0.7	0.40	2.22, 0.46	圧密排水法
せん断抵抗角 (度)	—	29.2	0.0, 19.3	27.9	0.0, 22.9	
透水係数 (cm/sec)	—	1.31×10^{-3}	8.87×10^{-1}	1.53×10^{-3}	1.36×10^{-3}	JIS A 1218

*1. 平成2年度は施工後6ヶ月経過、平成7年度は施工後6年経過である。

*2. 平成7年度の三軸圧縮試験結果のうち、左側の値は過圧密領域での、右側の値は正規圧密領域での計測値を示す。

C B R 値、湿潤密度とも設計時の設定値を十分に満足している。特に平成7年度のC B R 値及び一軸圧縮強度は、共に平成2年度の結果に比べ2～3倍に増加している。また、三軸圧縮強度でも粘着力が増加している。これは、セメントによる硬化反応が進んだためと考えられる。

ビーズ混合土は、長期にわたって気象作用や交通荷重を受けても劣化することなく安定した状態を保つことから、十分な耐久性と信頼性を有している。

参考文献

- 1) 西田登・永妻真治・山田純男：発泡ビーズを混合した軽量安定処理土の締固めと圧縮強度、第27回土質工学研究発表会講演集、pp. 2519～2520、1992
- 2) 山田純男・長坂勇二・西田登：発泡スチロール片と砂を混合した軽量土、土と基礎、vol. 37、NO. 2、pp. 25～30、1989
- 3) 三木博史・千田昌平・香川和夫ほか：発泡ビーズ混合軽量土の三軸圧縮特性、第48回土木学会年次学術講演会概要集、pp. 706～707、1993
- 4) 三木博史・井上秀治・香川和夫ほか：発泡ビーズ混合軽量土の三軸圧縮特性、第49回土木学会年次学術講演会概要集、pp. 1690～1691、1994
- 5) 浜田英治・山内豊聡：軽量盛土材としての発泡スチロールの力学的特性、土と基礎、vol. 37、NO. 2、pp. 13～17、1989
- 6) 建設省土木研究所：地盤の地震時応答特性の数値解析法、土研資料第1778号、pp. 17～22、1982
- 7) 森範行・千田昌平・西田登ほか：発泡ビーズ混合計量土の透水性、第28回土質工学研究発表会講演集、pp. 2653～2654、1993
- 8) 森範行・渡邊松男・土橋聖賢・西田登：発泡ビーズ混合軽量土の橋台背面裏込めへの適用、第51回土木学会年次学術講演会概要集、Ⅲ－B 335、pp. 670～671、1996
- 9) 坂本研治・菊田宏・富士栄昭・鬼木剛一・岡本二郎：軽量土により置き換えられた鋼矢板控え版式護岸の挙動、第31回地盤工学研究発表会講演集、pp. 2515～2516、1996
- 10) 香川明人・梶谷衛・長坂勇二・永妻真治：軽量土を用いた試験盛土の長期挙動観測例、第27回土質工学研究発表会講演集、pp. 2501～2502、1992
- 11) プラゴン・テジ・濃添康成・富士栄昭：軽量混合土の K_0 について、第51回土木学会年次学術講演会概要集、Ⅲ－B 258、pp. 516～517、1996
- 12) 森範行・千田昌平・西村拓治ほか：発泡ビーズ混合軽量土の繰返し載荷による疲労特性、第48回土木学会年次学術講演会概要集、pp. 704～705、1993
- 13) 三木博史・林義之・山田哲也・森範行：ハイグレードソイルの利用技術、土と基礎、Vol. 42、No. 2、pp. 25～30、1994

第3章 設 計 法

3-1 設計の概要

ビーズ混合土は、密度と強度を所定の値に設定できる新しい盛土材である。密度は発泡ビーズの混合割合で $\rho_t=0.8\sim1.5\text{t/m}^3$ の範囲で、一軸圧縮強さは安定材の添加量で $q_u=0.5\sim10.0\text{kgf/cm}^2$ の範囲で調整可能である。第1章でこれまでの主な用途を示したが、その軽量性と強度特性から今後も多様な土構造物への適用が可能と考えられる。

ビーズ混合土の特性は原料土である土質材料の種類、発泡ビーズの混合割合、安定材の添加量で大きく変化する。発泡ビーズ自体の特性は土質材料とかなり異なるが、通常使用する混合範囲では、ビーズ混合土のせん断特性および変形特性は、原料土である土質材料に近いものになる。また、安定材の添加量が多くなると固結土の特性を強く表すようになる。

したがって、極端な配合を除き、ビーズ混合土は一般の土質材料と同じ設計上の扱いが可能である。

一般に土構造物の設計は各機関、各構造物で規定される基準や規格に準じて行われる。

例えば、道路関係では、

①道路土工指針（のり面・斜面安定工指針、軟弱地盤対策工指針、擁壁・カルバート・仮設構造物指針）

②道路橋示方書・同解説

などの指針や示方書が参考とされる。通常、これらの指針や示方書では盛土材料の強度にモール・クーロンの破壊規準を採用しているため、強度定数として粘着力 c と内部摩擦角 ϕ を必要とする。

先に述べたようにビーズ混合土は土質材料であり、設計にあたっては一般の土質材料の設計手法をそのまま準用し、単に材料特性のみをビーズ混合土のものに変えればよい。

ビーズ混合土は発泡ビーズの混合量と安定材の添加量により、所定の密度と強度の盛土材とすることができる。ある決まった土構造物の安定に必要な密度、強度をもつビーズ混合土の作製が可能なことはもちろんであるが、逆にその幅広い配合特性を生かして従来考えられなかったスリムな土構造物を設計することも可能である。

3-2 設計の手順

ビーズ混合土の設計を行う一般的な手順を図3-2-1に示す。

①設計を行う土構造物を区分する。

②この土構造物の通常の設計方法を調査し、適用する設計基準、設計方法、設計入力などを確認する。

③設計する土構造物の断面仕様、使用するビーズ混合土の密度を設定する。

④通常の設計法で、土構造物の安定に必要なとするビーズ混合土の強度を求める。

⑤ビーズ混合土に用いる原料土、発泡ビーズ、安定材の配合を変え、各々の配合で得られる密度、強度を求めておく。

⑥⑤の配合試験結果より、③で設定した密度と、④で必要とされる強度が得られる配合を決定する。

⑦⑥で決定した配合と⑤の配合試験結果からビーズ混合土の密度、強度に他の選択が可能であれば、新たな検討を③から行い、比較検討を行うことでより経済的な設計を追求する。

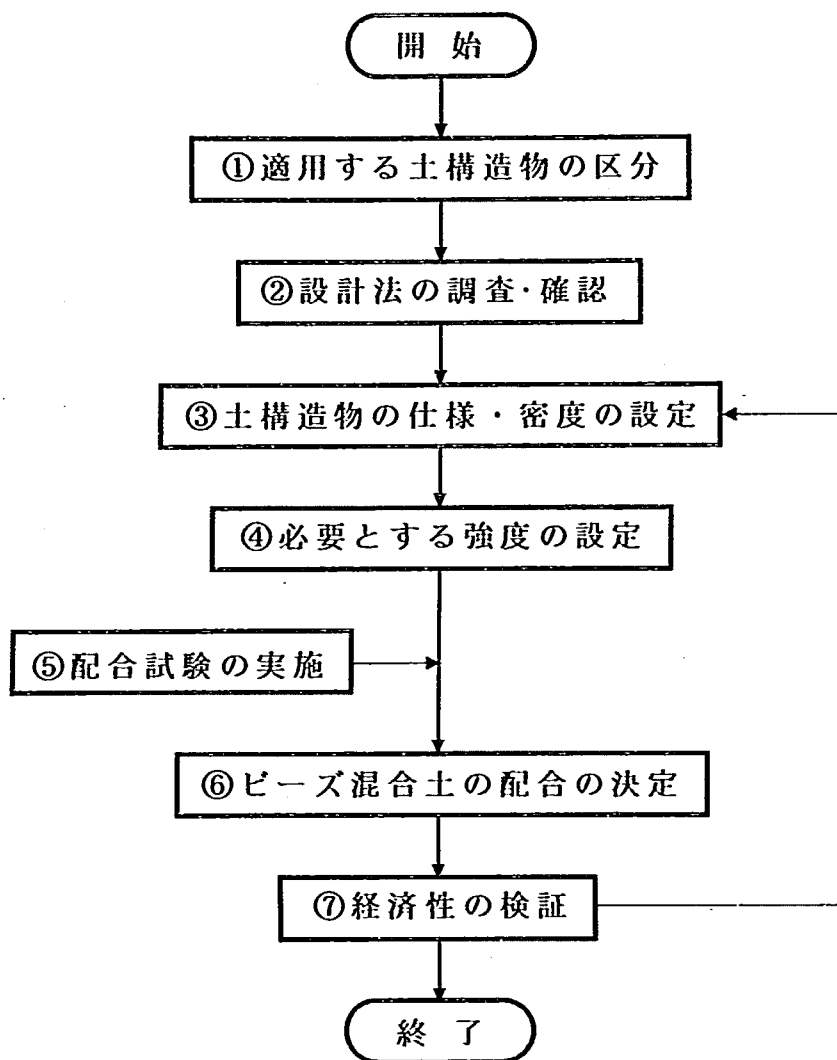


図3-2-1 ビーズ混合土の設計手順

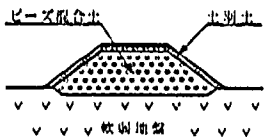
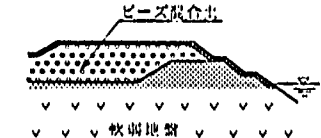
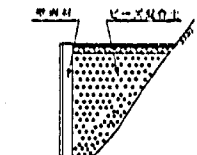
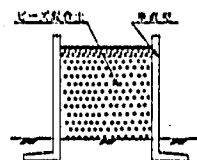
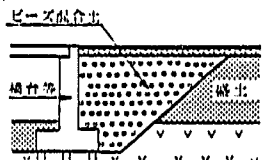
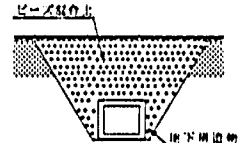
3-3 設計方法と土質定数

ビーズ混合土は通常の使用範囲では一般の土質材料と同様に扱える。ビーズ混合土は多様な土構造物への適用が可能である。その主な用途を第1章で示したが、これらの土構造物には各々に基準や規定で指定される考え方および設計法がある。

表3-3-1に主な用途の設計の考え方と設計に必要な土質定数の一覧を示す。土構造物の種類により若干の増減はあるが、設計に必要な土質定数はほぼ以下の項目である。

- ①密度
- ②粘着力と内部摩擦角
- ③変形係数
- ④水平土圧係数

表3-3-1 ビーズ混合土の主な用途と設計手法

主 な 用 途	主 な 設 計 項 目 と 設 計 手 法	解 析 に 必 要 な 土 質 定 数	
		軽量盛土部	地盤・地山部
軟弱な地盤上の盛土での 沈下低減・側方流動抑制	 盛土の安定……………円弧すべり解析 盛土の沈下……………沈下圧密解析	・密度 ρ ・粘着力 c ・内部摩擦角 ϕ	・密度 ρ ・粘着力 c ・内部摩擦角 ϕ ・圧密諸係数 c_c, m_v, c_v
嵩上げ等の堤防盛土における 沈下低減・すべり抑制	 盛土の安定……………円弧すべり解析 盛土の沈下……………沈下圧密解析	・密度 ρ ・粘着力 c ・内部摩擦角 ϕ	・密度 ρ ・粘着力 c ・内部摩擦角 ϕ ・圧密諸係数 c_c, m_v, c_v
山岳地の盛土における 荷重および土圧低減	 壁面への作用土圧……………主働土圧式(ク-ロン、ランキン)	・密度 ρ ・粘着力 c ・内部摩擦角 ϕ	
両壁面を有する盛土における 土圧低減	 壁面への作用土圧……………主働土圧式(ク-ロン、ランキン) 静止土圧式(K_0土圧) * 適用する土圧式は壁面の剛性による	・密度 ρ ・粘着力 c ・内部摩擦角 ϕ ・静止土圧係数 K_0	
構造物取付部における 段差防止・土圧低減	 構造物への作用土圧……………主働土圧式(試行くさび法) 軽量盛土部の沈下 構造物の安定・転倒、支持力、滑動	・密度 ρ	・圧密諸係数 c_c, m_v, c_v
地中構造物への 鉛直土圧軽減・不等沈下対策	 地中構造物への作用荷重(鉛直土圧、水平土圧)	・密度 ρ ・静止土圧係数 K_0	

3-3-1 密度

密度はビーズ混合土の設計で必要不可欠な定数である。施工時の密度は発泡ビーズの混合割合により湿潤密度 $\rho_t = 0.8 \sim 1.51/\text{m}^3$ の範囲で設定可能であるが、設計にあたってはビーズ混合土の用途や施工後の状況をよく検討し、設計の目的が達成されるような密度を設定する必要がある。

締固め材料としてのビーズ混合土は安定材としてセメントを混合するため、原料土の土質材料より細粒分の多い材料である。そのため同じ締固めエネルギーであれば、若干密度が出にくく最適含水比も増加すると考えられる。また、この材料は固化の過程でセメントが土中の水分を吸収する。従って、密度が含水比に敏感な砂質土の場合は締固め時に若干加水する方がよい。

ビーズ混合土の施工では、土質材料の自然含水比あるいは最適含水比付近で締固めを行う。従って、施工管理を行う密度は湿潤密度 ρ_t である。締固められたビーズ混合土の密度は現場の状況で変化し、地下水下では時間の経過とともに湿潤密度 ρ_t から飽和重量 ρ_{sat} あるいは水中重量 ρ_{sub} に、盛土表面では乾燥により湿潤密度 ρ_t から乾燥側へ移行する。通常の転圧作業でも施工中に含水比の低下がみられ、配合による目標密度より $0.11/\text{m}^3$ 程度軽くなることが多い。

設計密度は湿潤密度 ρ_t 、飽和重量 ρ_{sat} 、水中重量 ρ_{sub} 、乾燥密度 ρ_d などを参考にしながら使用目的と現場の状況を勘案して決定する。施工管理は湿潤密度 ρ_t で行われることから、設計密度を満足する湿潤密度 ρ_t を決める必要がある。ビーズ混合土は、混合材料間の相互作用や吸水・乾燥特性など不明な点が多く、各種密度の関連を厳密に規定することはできないが、表3-3-2の模式図を参照して概ね次式で決定することができる。

$$\rho_t = \frac{(1 + (\omega + W_a)/100 + C_a/100) G_s}{(1 + e) (1 + V_B / (1 + e_B))}$$

$$\rho_d = \frac{(1 + C_a/100) G_s}{(1 + e) (1 + V_B / (1 + e_B))}$$

$$\rho_{sat} = \frac{G_s + (e - (C_a/100) (G_s/G_c)) + (C_a/100) G_s}{(1 + e) (1 + V_B / (1 + e_B))}$$

$$\rho_{sub} = \rho_{sat} - 1$$

表3-3-2 ビーズ混合土の模式図

重量	材料	容積
$(C_a/100)G_s$	安定材	$(C_a/100) (G_s/G_c)$
0	発泡ビーズ	かさ容積 $V_B (1+e)$ 実容積 $\frac{V_B (1+e)}{(1+e_B)}$
0	空気	e
$((\omega + W_a)/100) G_s$	水	
G_s	土粒子	1

ここに、 e : 原料土（最適含水比で締固めた状態）の間隙比
 e_B : 発泡ビーズの間隙比（通常 $0.6 \sim 0.67$ ）
 V_B : 発泡ビーズの原料土に対するかさ容積比
 G_s : 土粒子の比重
 G_c : 安定材の比重（通常 3.1 程度）
 ω : 原料土の含水比（%）
 W_a : 加水添加率（%）
 C_a : 安定材の添加率（%）

3-3-2 粘着力と内部摩擦角

粘着力 c と内部摩擦角 ϕ は、拘束圧を変えるせん断試験（通常は三軸圧縮試験）で求められる。しかしながら、これらの試験は複雑で時間と費用もかさむため、簡便法として、粘性土（あるいは非排水状態）の場合は粘着力 c を、砂質土（あるいは排水状態）の場合は内部摩擦角 ϕ を使用する場合も多い。

ビーズ混合土では所定の強度を得るためにセメントを添加することが多く、原料土も粘着力をもつ場合が多い。この場合は粘性土としての扱いが可能で、せん断強度は一軸圧縮試験で求めることができる。堤防の嵩上げなどビーズ混合土の用途によっては、変形追随性を必要とする場合もある。この場合は、セメント添加量を極端に減らすこともあり、原料土の種類によっては砂質土としての扱いが必要となる。当マニュアルでは暫定的に強度定数を以下に示す方法で求めるものとする。

- a. 試料の一軸圧縮試験が可能な場合は粘性土として扱い、

$$c = q_u / 2, \quad (\phi = 0)$$

ここに c : 設計に用いる粘着力

ϕ : 設計に用いる内部摩擦角

q_u : 設計で必要な一軸圧縮強さ

一軸圧縮強さ q_u は設計で必要とする強度であり、配合試験では用途、バラつきなどを考慮して2～3倍の強さに設定することが多い。

- b. 試料の一軸圧縮試験が不可能か、強度定数として c と ϕ を必要とする場合は三軸圧縮試験によりモール・クーロンによる強度定数 c 、 ϕ を直接求める。

強度定数の扱いに関して留意すべき点を以下に列記する。

- ①ビーズ混合土は一般に安定材としてセメントを使用するため、一軸圧縮強さや強度定数 c 、 ϕ は材齢とともに強くなる。従って、土構造物の材齢を念頭において設計を行う必要がある。
- ②ビーズ混合土の主働土圧を求める場合、粘着力 c を考慮する必要がある。本マニュアルでは、粘着力に起因する粘着高さ z を考慮した試行くさび法（道路土工指針に準拠）、あるいは粘着力 c を考慮したクーロン土圧式（道路橋示方書）のいずれかをを用いるものとする。その適用はビーズ混合土を用いる構造物がいずれの基準で設計されるかによる。

ビーズ混合土の土圧の計算値は、安定材が硬化して粘着力が増加すると減少する。また、砂質土が原料土のときは施工直後の砂質土の土圧分布から時間の経過とともに粘性土の分布へ変化する。通常、一軸圧縮強さ q_u は7日、あるいは28日強度を用いるが、急速施工などで粘着力の発揮が遅れると考えられる場合は、状況に合わせた安全側の設計を行う必要がある。

- ③原料土が砂質土で安定材を添加しないか、微小な添加でビーズ混合土が砂質土として挙動すると考えられる場合、強度定数として粘着力 c と内部摩擦角 ϕ が必要である。ビーズ混合土は発泡ビーズの割合が増加すると内部摩擦角 ϕ が減少して見かけの粘着力 c が増加する。従って、詳細な設計を行うためには三軸圧縮試験などで2つの強度定数 c 、 ϕ を求める必要がある。

図3-3-1には原料土に豊浦標準砂を用い、安定材を加えないで発泡ビーズ容積混合比 V_v を変えた時に三軸圧縮試験（CD条件）で得られる見かけの粘着力 c と内部摩擦角 ϕ を参考として示す。

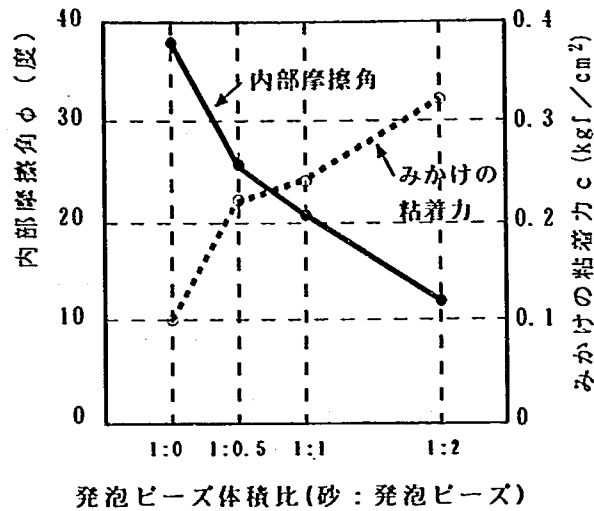


図3-3-1 ビーズ混合土（砂質土）の強度定数

④設計定数を三軸圧縮試験で求める場合は試験条件に注意する必要がある。三軸圧縮試験には、1. 圧密排水（CD）試験、2. 圧密非排水（CU, $\bar{C}\bar{U}$ ）試験、3. 非圧密非排水（UU）試験の3種があり、設計をおこなう土構造物の挙動にあった試験とする必要がある。

通常、砂質土の試料にはCD試験を、粘性土の試料にはCU試験か $\bar{C}\bar{U}$ 試験を適用する。また、三軸圧縮試験の拘束圧も設計対象にあわせる必要があり、地下水位下の検討では低拘束圧の試験が必要となる。

3-3-3 変形係数

変形係数は強度定数の求め方に準じる。すなわち、

a. 試料の一軸圧縮試験が可能で粘性土と扱える場合は $E = E_{50}$

ここに E : 設計に用いる変形係数

E_{50} : 一軸圧縮試験による E_{50}

b. 試料の一軸圧縮試験が不可能か、強度定数として c と ϕ を必要とする場合は

三軸圧縮試験による応力-ひずみ曲線から所要の変形係数を直接求める。

3-3-4 静止土圧係数 K_0 について

カルバートなど剛な壁面に作用する静止土圧は通常、静止土圧係数 K_0 を用いて鉛直土圧から計算される。ビーズ混合土の静止土圧係数には不明な点が多いが、これまでの研究成果や工事実測値では、 $K_0 = 0.1 \sim 0.3$ 程度と考えられる。暫定として静止土圧係数 $K_0 = 0.1 \sim 0.3$ とし、土構造物の設計では、 $K_0 = 0.1$ あるいは $K_0 = 0.3$ のどちらか構造物に危険な数値を採用する。

3-4 配合設計

3-4-1 配合の概要

(1) 配合の考え方

- ① ビーズ混合土の各材料の割合を配合という。
- ② 配合は、分離しにくく、転圧作業に適し、所要の密度と強度が得られるように決める必要があり、そのためには行う試験を室内配合試験（配合試験）という。その際に得られた配合を設計配合という。原料土の含水比など、現場の諸条件を加味し、設計配合を調整した配合を現場配合という。
- ③ 発泡ビーズの容積は、ゆる詰め状態（ビーズ間に空隙がある状態）の容積で表し、発泡ビーズ容積またはゆる詰め容積という。この時の密度をかき密度という。

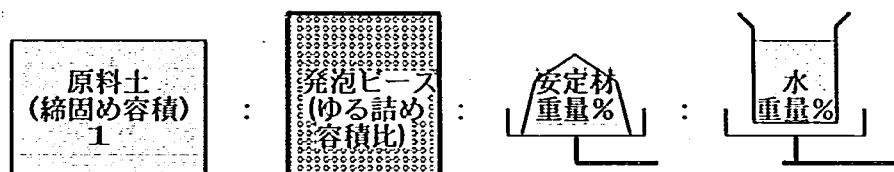
(2) 配合の表し方

配合の表し方には、(a) 各材料の混合比（率）で表すものと、(b) 各材料単位体積（ 1m^3 ）当たりの重量および容積で表すものの2種類がある。

前者(a)はビーズ混合土の仕様を決めるための配合試験時に用いられ、発泡ビーズは土の締固め容積を1とした時の容積混合比で、安定材と水は土の乾燥重量に対する重量％で表す。後者(b)は積算時やプラントでの製造時等に用いられ、配合試験等で求めた各材料の混合比から計算で求め、各材料単位体積（ 1m^3 ）当たりの重量および容積で表す。

表3-4-1 (a) 各材料の混合比（率）で表す配合表

原 料 土	発泡ビーズ	安 定 材	水
1 ^{*1}	V_B ^{*2}	$C_a\%$ ^{*3}	$W_a\%$ ^{*4}



- *1: 原料土は最適含水比で締固めた（JIS A 1210 A法の50% γ 補正）容積。
 *2: 発泡ビーズ（ V_B ）は土に対する容積混合比で表し、ビーズ混合土の密度に最も関係する。
 *3: 安定材添加率（ $C_a\%$ ）は、土の乾燥重量に対する重量％で表し、ビーズ混合土の強度に最も関係する。
 *4: 加水量（ $W_a\%$ ）は、土の乾燥重量に対する重量％で表し、ビーズ混合土の転圧とプラントの混合に影響を与える。

表3-4-2 (b) 各材料を単位体積（ 1m^3 ）当たりで表す配合表

	原 料 土	発 泡 ビ ー ズ	安 定 材	水
重 量	〇〇〇 kg^{*1}	(〇〇.〇 kg)	〇〇.〇 kg^{*3}	〇〇.〇 kg^{*4}
容 積	$(\text{〇〇〇 } \ell)$	$\text{〇〇〇 } \ell^{*2}$	_____	_____

各材料の数量は、表3-4-1 より計算で求める。

配合試験の結果求められた湿潤密度 (ρ_i) とその配合試験に使用した材料の総重量を用いてビーズ混合土の容量Vを求める。

$$V = \{ \rho_{ds} \times (1 + \omega_{opt}/100) + \rho_B \times V_B + \rho_{ds} \times (C_a + W_a)/100 \} / \rho_i$$

ここに、

ρ_{ds} : 原料土の最大乾燥密度 (l/m^3)

V_B : 発泡ビーズの容積混合比

ω_{opt} : 原料土の最適含水比 (%)

C_a : 安定材の混合率 (%)

ρ_B : 発泡ビーズのかさ密度

W_a : 水の混合率 (%)

求められたビーズ混合土容量Vを用いて、各材料の混合比 (率) よりビーズ混合土 1m^3 当たりの各材料の数量を求める。

*1 原料土の数量 : $(\rho_{ds} \times (1 + \omega_{opt}/100) / V \times 1000) \text{ kg}$

*2 発泡ビーズの数量 : $(V_B / V \times 1000) \ell$

*3 安定材の数量 : $(\rho_{ds} \times (C_a/100) / V \times 1000) \text{ kg}$

*4 水の数量 : $(\rho_{ds} \times (W_a/100) / V \times 1000) \text{ kg}$

表3-4-3のように配合は、所定の密度・一軸圧縮強さ、および各材料の種類とともに表す。

表3-4-3 配合表

ビーズ混合土の配合				
ビーズ混合土の湿潤密度 ビーズ混合土の乾燥密度 ビーズ混合土の一軸圧縮強さ (〇〇日強度)			$\rho_v = \text{〇〇〇 l/m}^3$ $\rho_d = \text{〇〇〇 l/m}^3$ $q_v = \text{〇〇〇 kgf/cm}^2$	
原料土 土粒子の密度 = 〇〇〇 l/m ³ 最適含水比 = 〇〇 % 最大乾燥密度 = 〇〇〇 l/m ³ 湿潤密度 = 〇〇〇 l/m ³		発泡ビーズ 発泡倍率 : 〇〇倍 かさ密度 : 〇〇〇 kg/m ³ 粒径 : 〇〇~〇〇mm		安定材 普通ポルトランドセメント、高炉スラグセメント等
混合比	原料土 : 発泡ビーズ : 安定材 : 水			
	$1^{*1} : V_B^{*2} : C_a \% : W_a \%$			
1 m ³ 当たり	〇〇〇. 〇kg	(〇〇. 〇kg)	〇〇. 〇kg	〇〇. 〇kg
	(〇〇〇. 〇ℓ)	〇〇〇. 〇ℓ	—	—
* 1 : 原料土は最適含水比の湿潤重量 * 2 : 発泡ビーズはゆる詰め容積				

3-4-2 配合決定の方法

(1) 配合決定の手順

配合は使用予定材料を用いての試験練りにより決定されるが、原料土がビーズ混合土の性状に最も影響を与えるため、原料土の性質に留意して試験練りを行い、室内配合密度 (配合試験で目標とする湿潤密度) と室内配合強度 (配合試験で目標とする強度) を満足する配合を求める。図3-4-1に配合試験によって配合を決定する手順を示す。

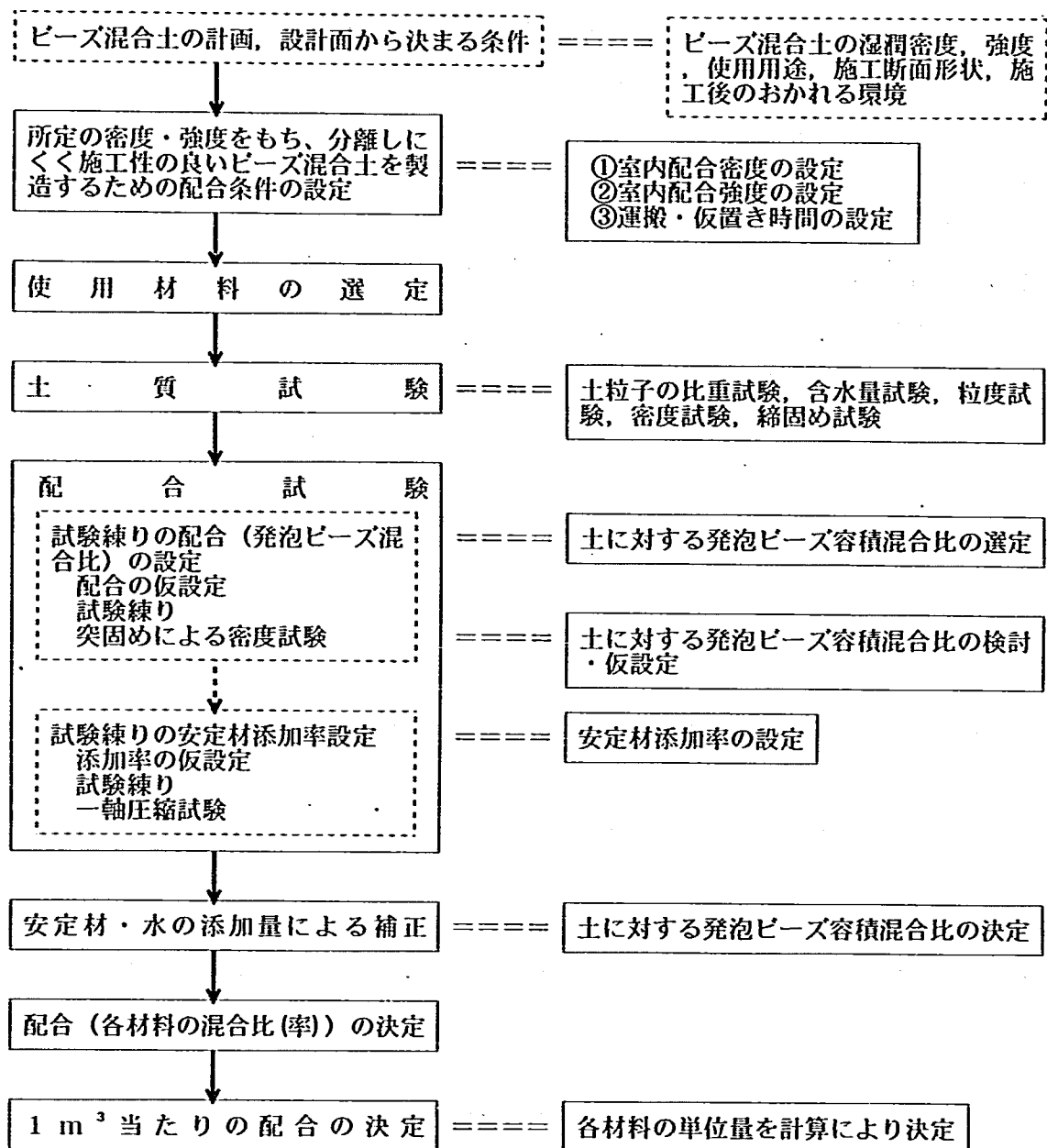


図3-4-1 配合を決める手順

(2) 配合条件の設定

①室内配合密度の設定

ビーズ混合土を土構造物等で使用する際の設計で、要求される湿潤密度を設計密度という。

これに対し、配合試験で目標とする湿潤密度を室内配合密度といい、通常は、設計密度を基準とし、同一の値を室内配合密度として設定するが、施工条件（締固め度等）や施工後におかれる環境（乾燥や水浸による湿潤密度の変化）等の影響が考えられるケースでは、これらを考慮して設定される。

②室内配合強度の設定

土構造物の断面形状や使用用途（自重、上載荷重、交通荷重等）を反映した設計上で、要求される強度を設計強度という。

これに対し、配合試験で目標とする強度を室内配合強度といい、締固め度、耐久性（乾湿繰返し、繰返

し载荷等) による強度低下を考慮して、設計強度を割増して設定する。ビーズ混合土の強度は通常一軸圧縮強さで表すが、使用用途により一軸圧縮強さより、歪やC B Rが適切な場合にはそれらで表し、配合試験 も適合した試験方法で行う。

③運搬・仮置き時間の設定

ビーズ混合土の施工に際し、運搬や仮置きが必要となるケースが考えられる。土質によっても異なるが、混合から締固めまでの経過時間の長さによって、密度や強度に影響が生じ、混合直後に行った配合試験の値と異なることが予想される。そこで配合条件に、運搬・仮置き時間として、混合から締固めまでの経過時間を設定し、配合試験を行う。

(3) 使用材料の選定

①原料土

土の性質はビーズ混合土の品質に大きく影響するが、品質だけでなくプラント混合能力、施工性、運搬距離、雑物除去等の経済性を考慮して選定する。

②発泡ビーズ

一般的に発泡ビーズの違い(1-4 使用材料参照)による、ビーズ混合土の密度と強度への影響は少ないが、種類により耐油・耐薬品性が異なり、要求性能に従って選定する。

③安定材

安定材は原料土により効果が異なり、原料土に適合する材料の中から最も経済的な材料を選定する。

(4) 土質試験

土質試験は原料土の性状を明確にするために実施するもので、その項目は表3-4-4のようなものがあり、必要な項目を選んで実施すればよいが、配合試験時の混合比(率)の基準となる土の湿潤密度を明確にするため、配合試験の前に締固め試験で最適含水比を求め、最適含水比での湿潤密度を、配合試験時の土の湿潤密度とする。

表3-4-4 土質試験項目

試 験 項 目	試 験 方 法	備 考
締 固 め 試 験	JIS A 1210 A法の1/2EC*	*3-4-2 (5) ④参照
土粒子の密度試験 土の含水比試験 土の粒度試験 湿潤土の密度試験 土の液性限界試験・ 塑性限界試験	JIS A 1202 JIS A 1203 JIS A 1204 JGS T 191-1990 JIS A 1205	原位置混合の場合

(5) 配合試験

①配合条件と混合比(率)の関係

図3-4-2に示すように、所定の密度と強度を有し、施工性の良いビーズ混合土は、土に対する発泡ビーズ容積混合比(以下発泡ビーズ混合比)、安定材添加率、加水量と密接な関係を持つため、配合比(率)は

非常に重要となる。

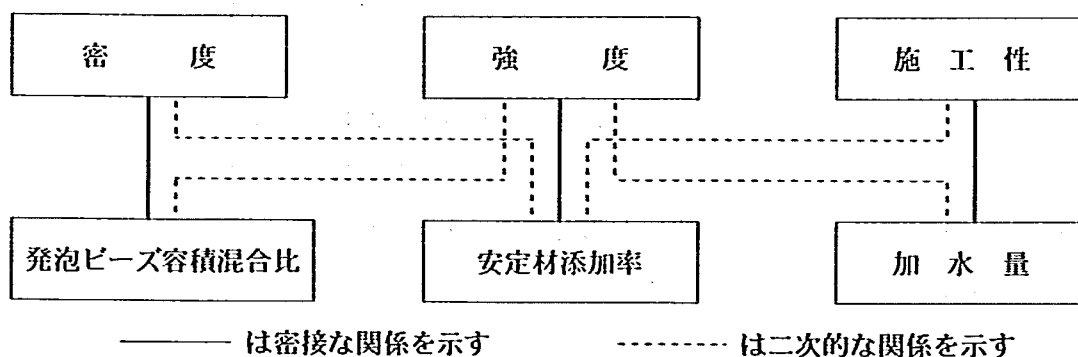


図3-4-2 配合条件と混合比（率）の関係

②試験練り配合（発泡ビーズ混合比）の設定

図3-4-3の基本配合図を参考に、室内配合密度が得られる発泡ビーズ混合比を設定する。この混合比を基準とし、密度と発泡ビーズ混合比の関係を得るために、より大きい密度となる混合比と、より小さい密度となる混合比の3水準以上を設定する。3水準の場合、室内配合密度近くと室内配合密度の $\pm 0.1 \sim 0.2 / \text{m}^3$ 程度となる発泡ビーズ混合比を試験練りの配合として設定する。土によっては安定材無添加と添加では密度がかなり変化するケースがあり、配合条件で安定材無添加の場合を除き、安定材は、砂質土で2～7%、粘性土で5～20%程度添加することが望ましい。

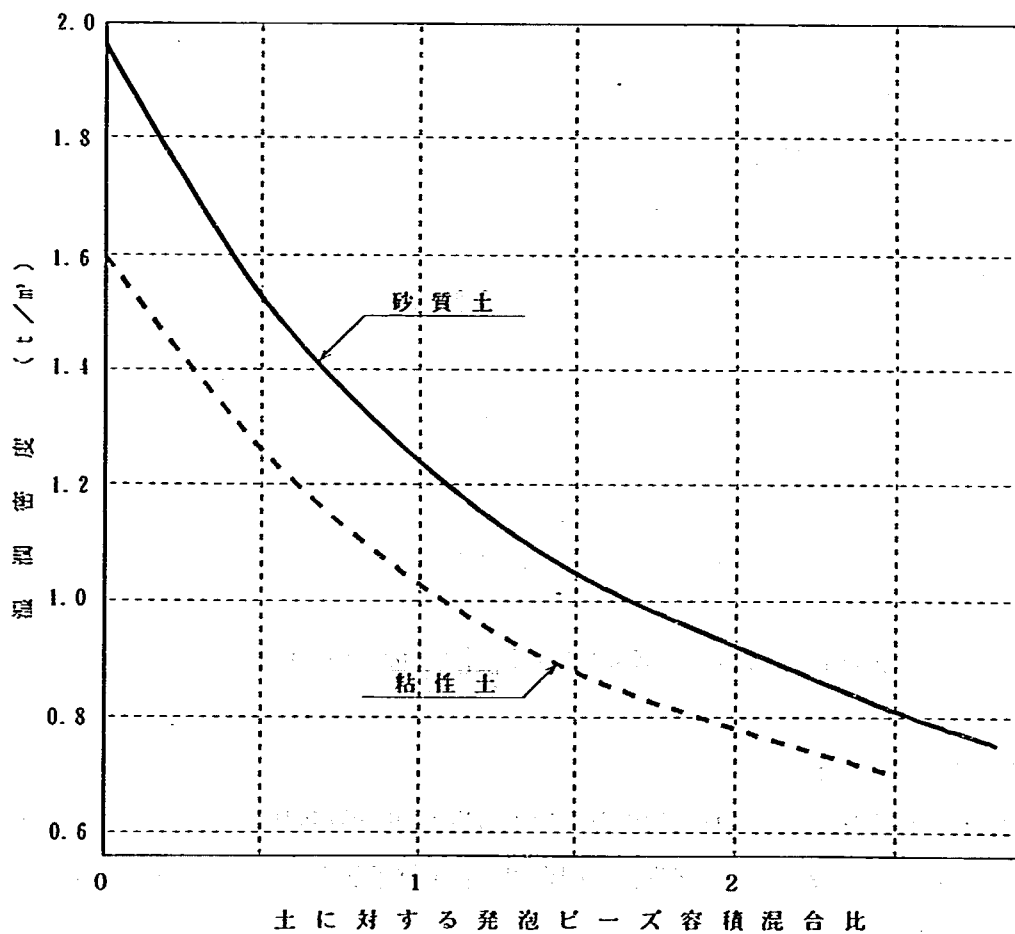


図3-4-3 基本配合図

③試験練り

試験練りに使用する各材料（原料土・発泡ビーズ・安定材）は現場で使用するものと同一または同種類とする。

混合は通常、手練りまたは小型ミキサーを使用し、1バッチ当たり3リットル以上とする。

試験練りの配合（混合比）から各材料の数量を計算し、正確に計量した上で投入する。通常、発泡ビーズ・安定材・水で一次混合後、土を加え、均一になるまで二次混合を行う。

④突固めによる密度試験

試験練りで作製した試料の湿潤密度を、通常、突固めによる密度試験により測定（通常1配合当たり2回以上）し、発泡ビーズ混合比と密度の関係を導く。通常、3水準以上の配合から関係を導き、グラフにより設定密度となる発泡ビーズ混合比を求める（図3-4-4）。

配合条件で運搬・仮置き時間を設定する場合、設定時間放置後、密度試験を行う。

突固めによる密度試験は締固め試験（JIS A 1210 A法（2.5kgランマー・10cmモールド使用））の器具・使用方法等と同様であるが、過度の突固めが発泡ビーズを損傷する危険性をさけるため、突固めエネルギーをJIS A 1210 A法の50%エネルギー（以下1/2EC）として締固め試験を行う。また、土の締固め試験もこれに準ずる。なお、粘性土などのランマーによる突固めができない場合には、適切な方法（JGS T 812-1990, 821-1990など）で行うこととする。

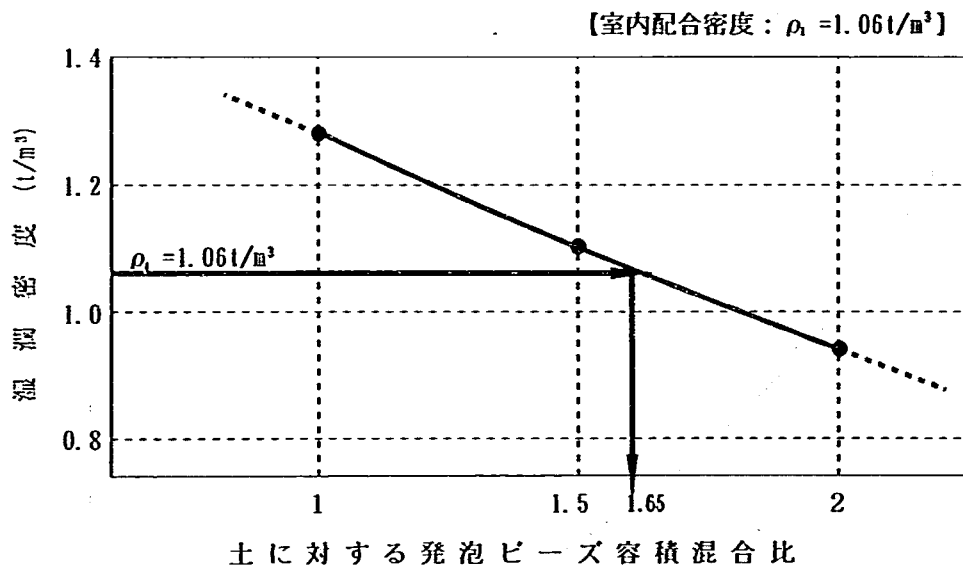


図3-4-4 発泡ビーズ混合比と湿潤密度の関係【例】

⑤試験練りの安定材添加率の設定

④で求めた発泡ビーズ混合比で、安定材添加率と一軸圧縮強さの関係が明確となるように、安定材添加率が異なる3水準以上の配合を設定する。通常、各配合での安定材添加率の差を、砂質土で1%～2%、粘性土で3%～10%程度として、試験練りを行う。

⑥一軸圧縮試験

⑤で設定した配合を、③の試験練りと同様に行い、一軸圧縮試験用の供試体を作製する。またこの試験練りでも、密度の確認と補正用の安定材添加のため、突固めによる密度試験を行う。

供試体は通常φ50×100またはφ100×200のモールドを使用し、できるだけ密度が等しくなるように、各配合につき3本以上を作製する。養生期間・方法は現場の条件に沿って設定するが、通常、養生期間は砂質土で7日、粘性土で28日とし、養生方法は湿空養生とする。

配合条件で運搬・仮置き時間を設定されている場合には、設定時間放置した後、供試体作製を行う。

一軸圧縮試験はJIS A 1216に基づいて行い、3水準以上の配合から安定材添加率と一軸圧縮強さ（3本／1水準の平均値）の関係を導き、グラフから室内配合強度となる安定材添加率を求める（図3-4-5）。

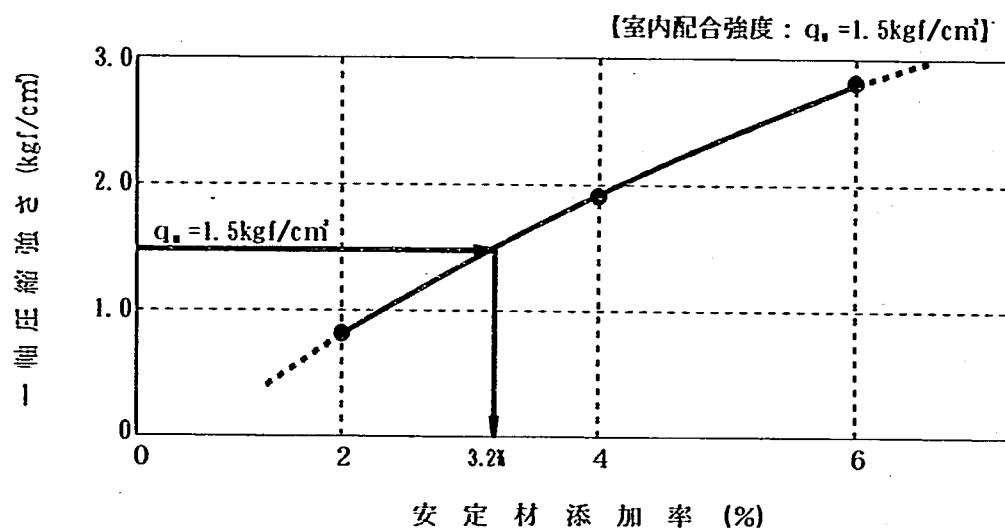


図3-4-5 安定材添加率と一軸圧縮強さの関係【例】

安定材添加率が極端に少ないと短時間での均質な混合が難しく、強度のばらつきが大きくなるので、強度が要求される配合では安定材添加率を2%以上とすることが望ましい。

(6) 安定材・水の添加量による補正

一軸圧縮試験より決定された安定材添加率および調整用の加水量が、密度試験時の添加率・加水量と異なると、密度試験の試験練りで求めた発泡ビーズ混合比では設定湿潤密度が得られない。そこで安定材と水の添加量により、土に対する発泡ビーズ混合比の補正が必要となる。

補正方法は再度試験練りを行うのが好ましいが、計算で行う場合には、安定材と水の少量の増減では容積変化がないものとし、それぞれの増減分を計算して、発泡ビーズ混合比と湿潤密度の関係のグラフを修正して、混合比を求める。

(7) 設計配合の決定

(5)、(6)で求められた、発泡ビーズ混合比、安定材添加率の配合が、室内配合密度と室内配合強度を満足する配合で、これを表したものが「混合比(率)で表す配合(表3-4-1)」となる。

3-4-3 配合決定の注意事項

(1) 加水量の設定に関する注意事項

加水は施工後の吸水特性、安定材などの効果促進および混合性向上のために行うものであり、原料土の種類や状態によって適切な加水量は異なる。以下に、砂質土と粘性土とに分けて加水量の目安を示す。

①砂質土：安定材を添加して所定の強度を得る場合には、土の最適含水比よりも若干高い含水比が最適とされている。しかし、過大な加水は、まき出しや転圧作業にとって不都合となること、強度品質に悪い影響を与えることなど、好ましくない。したがって、加水量は室内配合試験結果や混合状況の観察を行って、適切に設定する必要がある。

②粘性土：砂質土と異なり、一般の粘性土（粘土、シルトやロームなど）は自然含水比が高く、最適含水比を超えている場合が多い。通常の土工事の場合には、乾燥によって含水比を低下させることはあっても、粘性土に加水することはほとんどない。ピーズ混合土を使用する場合も、高含水比の粘性土には加水の必要はほとんどない。ただし、混合性を向上させるために若干の加水が効果的であったり、含水比がかなり低下している建設発生土が原料土の場合もあるため、混合状況の観察を行って、加水の要否、適切な加水量を決める必要がある。

配合試験時の加水量の設定は、最初の試験練り（室内配合密度となる混合比を求める試験練り）で行う必要がある。なぜならば、室内配合密度を湿潤密度で設定するため、ピーズ混合土の含水量（加水量）により湿潤密度が変わるからである。

試験練り時および突固めによる密度試験時に、混合と施工に適する含水量（加水量）の調整を行うが、砂質土の場合、前記したようにピーズ混合土の含水比が原料土の最適含水比より若干高めとなるような配合にすれば、調整量は比較的少なく済み、特に加水量の設定のための試験練りを必要としないケースが多い。しかし粘性土の場合、土の種類により、混合と施工に適する含水量がかなり異なり、加水量の設定のために試験練りが必要となるケースが多々ある。また原料土の自然含水比が混合・施工に適する含水比より高いケースや混合に適する含水量が施工に適さないほどの高い含水量となるケースがあり、混合機械の能力や施工方法を考慮した配合決定が必要となる。

(2) 密度の設定に関する注意事項

水の影響を受ける場所では、配合条件に浮力や施工後の湿潤密度に対する配慮が含まれるケースがある。通常、ピーズ混合土の密度が水または海水よりも大きい場合には、浮力に対する配慮は必要ないが、小さい場合には、現場の水位や上載荷重を含めた浮力の計算が必要となる。また水の浸透や乾燥で施工後の湿潤密度が変化しやすい場所では、それらを配慮した室内配合密度の設定が必要となる。

(3) 強度の設定および試験に関する注意事項

一般的に強度を必要とする配合では、強度は一軸圧縮強さで設定されるが、一軸圧縮強さは安定材の添加率だけでなく、混合能力や温度等にも影響を受けるため、試験配合時での値のばらつきや現場でのプラント混合との差が生じやすいので、十分配慮することが必要となる。

室内配合強度は前記の通り、強度のばらつきや強度の低下を考慮して基準となる強度を割増して設定されるが、原料土の種類や置かれる条件により強度特性が異なり、割増率は各配合で検討を要する。砂質土の場

合には通常、設計強度の2～3倍程度割り増した値を室内配合強度としている。

一軸圧縮試験用の供試体は、密度試験と同等の密度になるように作製するが、 $\phi 50 \times 100$ のモールドを使用するときには、同等のエネルギーでも密度が大きくなる傾向があるため、慎重な突固めが要求される。

(4) 現場配合に関する注意事項

現場のプラント等で混合される原料土は、搬入時あるいは集積時に含水比が変化する。このため、配合試験で決定された設計配合となるように、現場配合は含水比の変化に応じて原料土の数量、加水量の調整が必要となる。

(5) 不均質な原料土を使用する際の注意事項

土質が不均質な発生土・残土等を使用する場合や、実際の原料土が配合試験で選定された土質と異なる場合、ビーズ混合土は所定の配合では仕様を満足することが難しくなるため、再度配合試験を行わねばならない。

湿潤密度関連事項は、密度試験の結果より発泡ビーズの混合量を概ね計算で求めることができ、配合試験をせずに現場での配合変更は可能と考えられるが、強度関連事項は、原料土の細粒分や含水比により強度が大きく変化する、土質によっては安定材添加率の変更が必要となることもある。

したがって原料土が発生土等で、不均質となることが推定されるケースでは、予め配合試験時に、原料土から想定される土質で配合試験を行い、現場での配合変更の目安（特に安定材の添加率の目安）を求めていることが望ましい。

3-4-4 配合決定の例

(1) 配合条件

室内配合密度 $\rho_c = 1.05 \text{ t/m}^3$ (設計密度 1.05 t/m^3)

室内配合強度 $q_u = 1.5 \text{ kgf/cm}^2$ (設計強度 $0.5 \text{ kgf/cm}^2 \times 3$ (割増し分) $= 1.5 \text{ kgf/cm}^2$)

(2) 使用材料の選定および土質試験

原料土：シルト混じり砂（最大乾燥密度 $\rho_d = 1.60 \text{ t/m}^3$ ，最適含水比 $w_{opt} = 16.0\%$ ）

発泡ビーズ：発泡スチロールビーズ（ 12.5 kg/m^3 ， $\phi 2 \sim 9 \text{ mm}$ ）

安定材：普通ポルトランドセメント

(3) 配合試験

① 試験練りの配合（発泡ビーズ混合比）の決定

発泡ビーズ混合比を変えた配合で試験練りを行い、突固めによる密度試験により室内配合密度となる発泡ビーズ混合比を求める。

図3-4-6に示すように、図3-4-3「基本配合図」より、室内配合密度（ $\rho_c = 1.05 \text{ t/m}^3$ ）に適合する発泡ビーズ容積混合比（基本配合）と室内配合密度の $\pm 0.1 \sim 0.2 \text{ t/m}^3$ 程度となる2種類またはそれ以上の発泡ビーズ混合比を求める。

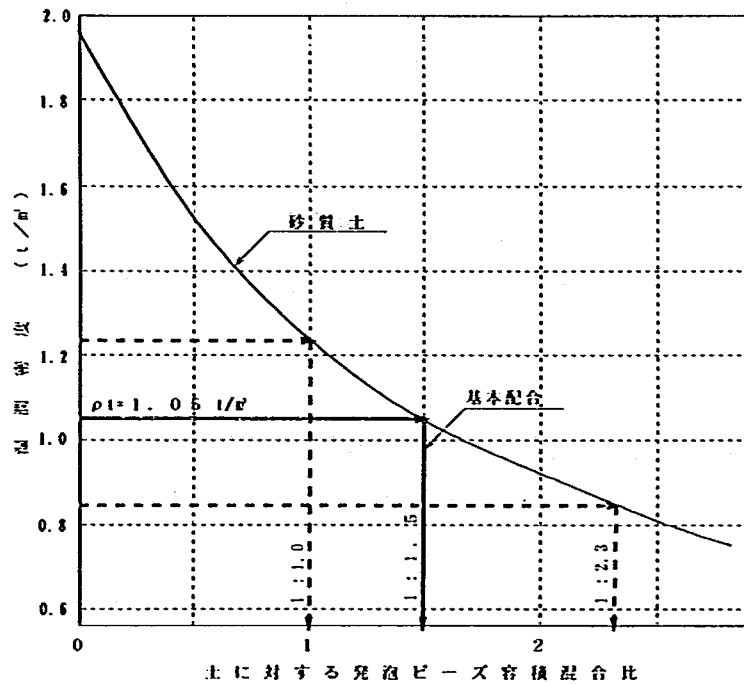


図3-4-6 発泡ビーズ混合比設定図 (例)

図3-4-6より試験練りの基本配合を（原料土：発泡ビーズ）＝1：1.5、安定材添加率を4％とし、この基本配合を中心として、（1：1：4％），（1：2.3：4％）の計3種類の配合で、密度の特性を調べるために、試験練りおよび突固め試験を行う。

このときの加水量は原料土の含水比を計り、ビーズ混合土が最適含水比より若干高め（ここでは5～10％程度）となる加水量とする。試験練りまたは突固め時に混合や締固め状態を必ず確認し、問題があれば加水量を調整し、再度試験練りを行う。

試験練りおよび突固めによる密度試験の結果を下に示す。

	(1：1：4％)	(1：1.5：4％)	(1：2.3：4％)
湿潤密度	1.312 t/m ³	1.101 t/m ³	0.889 t/m ³
加水状態 (5%)	【問題なし】	【問題なし】	【加水量が不足】

発泡ビーズ容積混合比と湿潤密度の関係をグラフに表す。

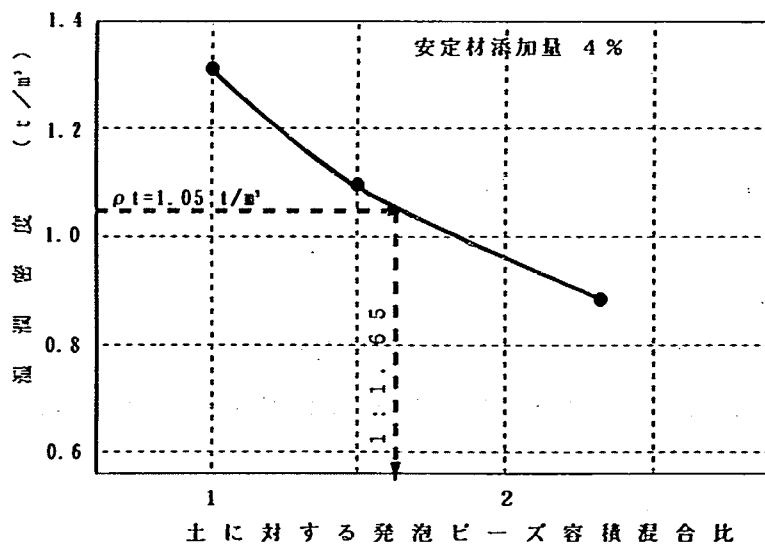


図3-4-7 試験練りの発泡ビーズ混合比と湿潤密度の関係 (例)

図3-4-7のグラフより室内配合密度 ($\rho_i=1.05\text{t/m}^3$) となる原料土と発泡ビーズの容積混合比は、(1 : 1.65) である。

②試験練りの安定材添加率の設定

①で求めた、室内配合密度となる発泡ビーズ混合比で、安定材添加率と一軸圧縮強さの関係が得られるように、安定材添加率が異なる3水準以上の配合を設定する。

密度試験の4%を中心として $\pm 2\%$ の添加率を設定し、(1 : 1.65 : 2%)、(1 : 1.65 : 4%)、(1 : 1.65 : 6%) の3種類の配合で供試体 (通常 $\phi 50 \times 100$) を作製し、一軸圧縮試験を行い、室内配合強度となる安定材添加率を求める。

一軸圧縮試験の結果を下に示す。

	(1 : 1.65 : 2%)	(1 : 1.65 : 4%)	(1 : 1.65 : 6%)
一軸圧縮強さ	0.80 kgf/cm ²	1.72 kgf/cm ²	2.50 kgf/cm ²

安定材添加率と一軸圧縮強さの関係をグラフ (図3-4-8) に表す。

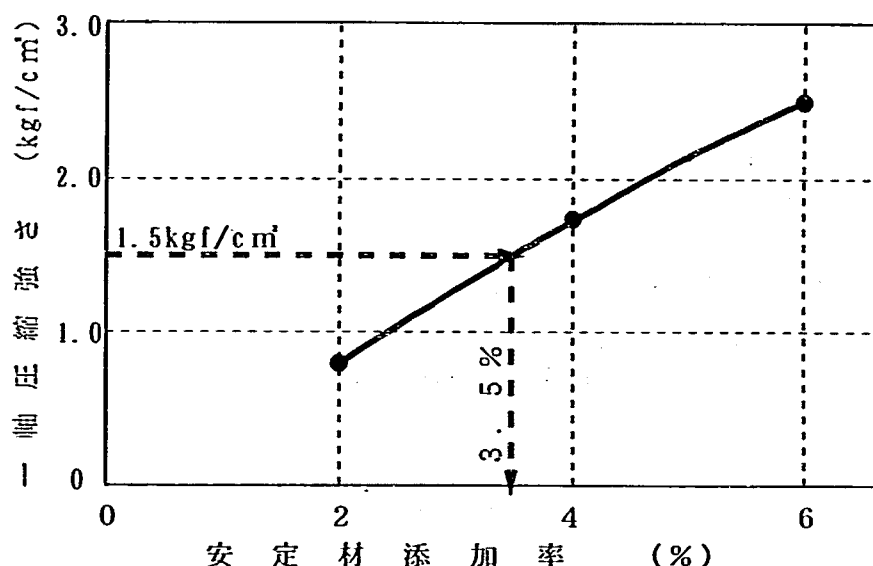


図3-4-8 試験練りの安定材添加率一軸圧縮強さの関係 (例)

図3-4-8のグラフより室内配合強度 ($q_u=1.5\text{kgf/cm}^2$) となる安定材添加量は3.5%となる。

(4) 各材料の混合比 (率) の決定

(3) の配合試験より求めた混合比 (率) を表3-4-5に示す。

表3-4-5 各材料の混合比 (率) で表す配合表 (例)

原 料 土 : 発 泡 ビ ー ズ : 安 定 材 : 水			
1 ^{*1}	:	1.65 ^{*2}	: 3.5% ^{*3} : 5% ^{*4}
*1:原料土は最適含水比時 ($w_{opt}=16.0\%$) で突固めた容積 *2:発泡ビーズは土の締固めを1としたときの容積 (ゆる詰め容積) 混合比 *3:安定材は、土の乾燥重量に対する重量% *4:加水量は、土の乾燥重量に対する重量%			

(5) 1m³当たりの配合の決定

各材料の1m³当たりの数量は、表3-4-5より計算で求める。

配合試験の室内配合密度 (ρ_i) とその配合試験に使用した材料の総重量を用いてビーズ混合土の容量Vを求める。

$$V = \{ \rho_{ds} \times (1 + \omega_{opt}/100) + \rho_B \times V_B + \rho_{ds} \times (C_s + W_s)/100 \} / \rho_i$$

ここに、

ρ_{ds} : 原料土の最大乾燥密度 (t/m³)

V_B : 発泡ビーズの容積混合比

ω_{opt} : 原料土の最適含水比 (%)

C_s : 安定材の混合率 (%)

ρ_B : 発泡ビーズのかさ密度

W_s : 水の混合率 (%)

$$V = \frac{1.60 \text{ t/m}^3 \times (1 + 16.0\%/100) + 0.0125 \text{ t/m}^3 \times 1.65 + 1.60 \text{ t/m}^3 \times (3.5\% + 5\%)/100}{1.05 \text{ t/m}^3}$$

$$= 1.917 \text{ m}^3$$

求められたビーズ混合土容量Vを用いて、各材料の混合比 (率) よりビーズ混合土1m³当たりの各材料の数量を求める。

$$\text{原料土} : (\rho_{ds} \times (1 + \omega_{opt}/100) / V \times 1000)$$

$$= 1.60 \text{ t/m}^3 \times (1 + 16.0\%/100) / 1.917 \text{ m}^3 \times 1000 = 968.2 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{発泡ビーズ} : (V_B / V \times 1000)$$

$$= 1.65 / 1.917 \text{ m}^3 \times 1000 = 860.7 \text{ l/m}^3$$

$$\text{安定材} : (\rho_{ds} \times (C_s / 100) / V \times 1000)$$

$$= (1.60 \text{ t/m}^3 \times 3.5\%/100) / 1.917 \text{ m}^3 \times 1000 = 29.2 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{水} : (\rho_{ds} \times (W_s / 100) / V \times 1000)$$

$$= (1.60 \text{ t/m}^3 \times 5\%/100) / 1.917 \text{ m}^3 \times 1000 = 41.7 \text{ kg/m}^3$$

表3-4-6に配合表を示す。

表3-4-6 配合表 (例)

発泡ビーズ混合軽量土の配合（1m ³ 当たり）				
ビーズ混合土の湿潤密度 ビーズ混合土の乾燥密度 ビーズ混合土の一軸圧縮強さ（7日強度）			$\rho_i=1.05\text{t/m}^3$ $\rho_d=0.875\text{t/m}^3$ $q_u=1.5\text{ kgf/cm}^2$	
原 料 土		発 泡 ビ ー ズ		安 定 材
土粒子の密度 =2.720t/m ³		発泡倍率 : 80倍		普通ポルトランドセメント
最適含水比 =16.0%		かさ密度 : 12.5kg/m ³		
最大乾燥密度 =1.60t/m ³		粒 径 : 2～9mm		
湿 潤 密 度 =1.856t/m ³				
混合比	原 料 土 : 発 泡 ビ ー ズ : 安 定 材 : 水			
	1 " : 1.65 " : 3.5% : 5%			
1 m ³ 当 た り	968.2kg	(10.8kg)	29.2kg	41.7kg
	(521.7ℓ)	860.7ℓ	—	—
*1 : 原料土は最適含水比時の湿潤重量 *2 : 発泡ビーズはゆる詰め容積				

第4章 施 工 法

ビーズ混合土の施工方法は、プラント混合方式、原位置混合方式の2種類があり、それぞれの方式について特徴、留意点、施工手順を示す。

4-1 プラント混合方式

ビーズ混合土のプラント混合方式とは、施工箇所付近に設置したプラントで混合し、施工箇所までビーズ混合土を運搬し、締固め等の施工を行う方法である。

混合プラントは、各材料の貯蔵槽、計量器とミキサー、供給・排出用の輸送装置を備えたもので、組立解体および運搬が可能である。

この方式は、計量の精度が高く、高品質（ばらつきが少なく品質が一定）のビーズ混合土を製造可能であり、製造能力も高いため大量施工に有利な方法である。また、材料貯蔵槽やプラント本体を密閉にすることにより発泡ビーズや安定材の飛散対策が施しやすく、作業性では良好な混合方式といえる。しかし、プラント設備に関する仮設やそれらの運搬が必要となり小規模施工には不向きといえる。

施工にあたり、留意する点は、所要の密度、強度、施工性が得られるように、①使用材料の管理を十分に行い、②材料を正確に計量し、③これらを均一になるまで混合し、④できる限り分離（発泡ビーズの飛散）がないような方法で運搬し、⑤所定の厚さに敷均し、⑥十分に転圧を行い、⑦完全に被覆養生をすることが必要である。

また、工期や工費が節減できる施工を行うこと、このためにはあらかじめ線密な施工計画をたて、材料、機械、および人員の能率的な運用を図る事が必要である。

4-1-1 施工手順

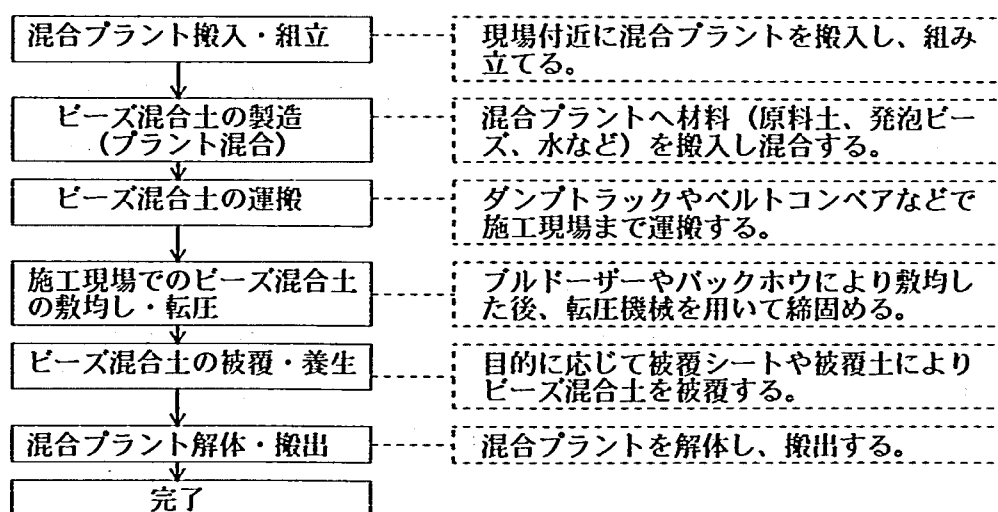


図4-1-1 プラント混合方式の施工手順

4-1-2 プラント混合

一般に土質材料を混合する際には、工事場所の条件を選ばず、要求される品質の材料を短時間に多量に製造できることが望まれる。これに加えて、ビーズ混合土では以下の条件が要求される。

- ①見かけの比重が大きく異なる原料土と発泡ビーズを、均質に混合できること。
- ②少量の安定材などを均質に混合できること。
- ③各種の原料土（砂質土、粘性土、ローム、石炭灰など）を利用できること。
- ④混合中、完了後ともに、軽量の発泡ビーズが周辺環境に飛散しないこと。

このような要件に適合すべく、混合・計量方法などについて検討・改良が行われてきており、ここでは、現在までの知見や実績などに基づいて、混合手順、混合プラント、材料の計量について以下に示すこととする。

(1) 混合手順

プラント混合では、均一で良好なビーズ混合土を製造するためには、図4-1-2に示す混合手順が望ましい。なお、原料土の種類・土質、プラントの構造、加水量や安定材添加量などによっては適切な混合手順が異なることがあるので、その場合は混合状態の観察や混合土の密度試験などを行って、条件に適合した混合手順とする必要がある。

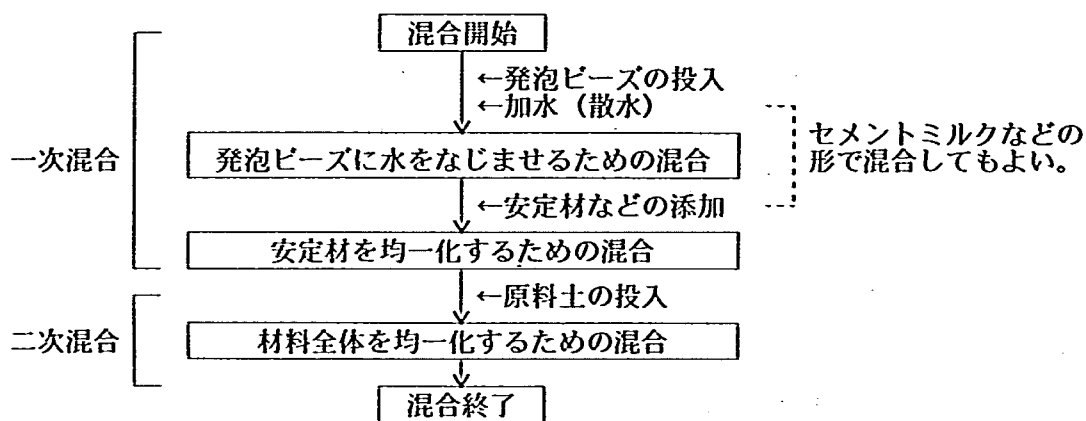


図4-1-2 プラントでの標準的な混合手順

(2) 混合プラント

現在ビーズ混合土の製造に使用されている混合プラントは、バッチ式のプラントで、材料受入れ設備、材料貯蔵槽、貯蔵槽から計量器への供給装置、計量器、ミキサー、排出装置などから構成されている。

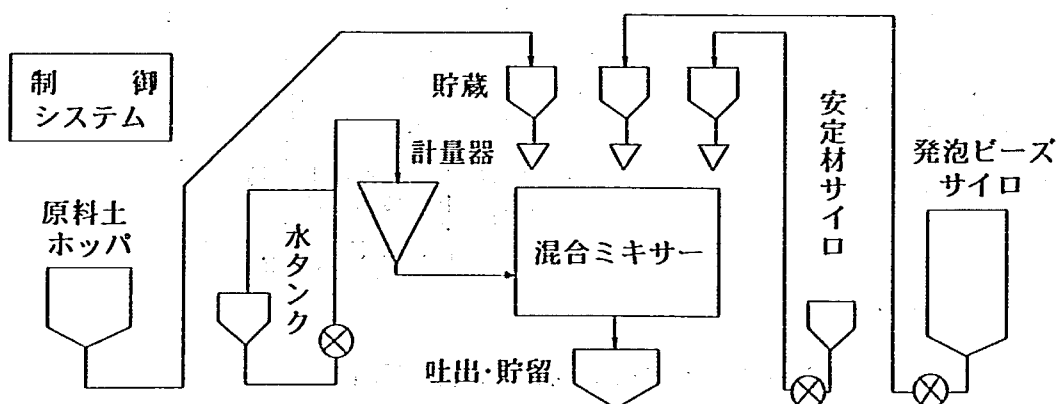


図4-1-3 バッチ式プラントの概念¹⁾

混合能力は $60\text{m}^3 \sim 150\text{m}^3$ /日程度で、表4.1-1に示す3種類のプラントが実用に供されている。

表4-1-1 混合プラントの仕様

		150型プラント	120型プラント	90型プラント
プラント形態		組立解体式	組立解体式	組立解体式
形状寸法		2.4×20.0×(H)9.0m	6.7×16.0×(H)8.7m	2.4×4.5×(H)6.0m
用地寸法		800m ² (材料置場合む)	600m ² (材料置場合む)	400m ² (材料置場合む)
基礎形態		コンクリート基礎 (I=200)	鋼板基礎 (I=22)	H鋼基礎 (H=1.5m)
混合能力 (m ³ /日)		75~150	60~120	60~90
供材 給料 設貯 備蔵	発泡ビーズ	サイロ (50m ³)・ブロー	サイロ (19m ³)・ブロー	サイロ (20m ³)・ブロー
	原料土	ホッパ - (10m ³)・ベルコン	ホッパ - (5m ³)・ベルコン	ホッパ - (5m ³)・ベルコン
	安定材	セメントサイロ (30t)・気流	セメントサイロ (20t)・コンベア	セメントサイロ (15t)・気流
	水	水タンク (10t)・ポンプ	水タンク (3t)・ポンプ	水タンク (5t)・ポンプ
混合ミキサー		2.0m ³ 二軸強制練り	0.5m ³ 転ミキ-	1.0m ³ スベ-ミキ-
計 量 器	発泡ビーズ	容積計量器 (可変式)	容積計量器 (可変式)	容積計量器 (可変式)
	原料土	重量計量器 (ロードセル)	重量計量器 (ロードセル)	重量計量 (ベルトスケール)
	安定材	"	"	"
	水	"	"	容積計量 (流量計)
制御方式		全自動運転	全自動運転	自動計量・機械排出
プラント動力		150KVA	65KVA	60KVA
発電機容量		200KVA	90KVA	90KVA
プラント総重量		45t	38t (基礎鋼板含む)	20t (バックホも含めず)
運搬車両		10t車×4台, 20t車×3台	10t車×4台, 4t車×1台	10t車×4台, 20t車×1台
特 徴			特殊ミキサーを使用した バッチ式プラント	バックホウ装着型 ミキサー

(3) 材料の計量

所要の軽量性や強度などを確保するためには、表4-3-2などを参考にして、材料の種類や特性に適合し、十分な精度を有する計量方法を用いることが重要である。

計量誤差は、日常の計量器等の整備、保守によって十分小さくでき、計量装置（供給装置を含めたもの）は各材料の計量誤差が、目標とする計量値に対して±3%以内となるように管理するのが望ましい。

表4-1-2 計量方法の精度、留意点および適合性

材 料	計 量 方 法		計量精度と留意点	適 合 性
	種別	概 要		
原料土	重量	土の湿潤重量	湿潤重量は含水比によって変化するため、含水量を測定し、配合比を微調整する必要がある	○
	容量	土の見かけ容積	土質 (特に粘性土) によっては、計量精度は悪く、不適。十分なキャリブレーションが必要である	△
発 泡 ビーズ	重量		新規材料のため粒径、重量が一定しているが、極めて計量な材料であるから風や水濡れから隔離した十分な精度の計量システムが必要である。ロットによる若干の発泡倍率の変化でも計量誤差が大きくなりやすい	△
	容量	自由落下による揺詰め状態	粒径や形状が一定しているため、揺詰め密度安定しており、計量精度は上記の重量による方法に比べて高い。ただし、水濡れや静電気の帯電によって計量精度が低下するので、これらの対策が必要である	○
水	重量		十分な計量精度がある	○
	容量		"	○
安定材 な ど	重量		十分な計量精度がある	○
	容量		フィーダー等の装置で、十分なキャリブレーションが必要である	○

4-1-3 運搬・投入工

ビーズ混合土の運搬は、ビーズ混合土の乾燥、発泡ビーズの飛散ができるだけ少ない方法で速やかに行う。

安定材を添加したビーズ混合土は、混合後から締固めまでの時間がある程度経過した場合に強度の低下が考えられるので、できるだけ短時間に運搬および施工を行うことが望ましいが、ビーズ混合土の配合を運搬時間の条件に適應させ、強度低下を考慮した配合で検討する方法²⁾も考えられる(図4-1-4参照)。

運搬方法としては、ダンプトラック、不整地運搬車、ベルトコンベアなどがあり、これらは単独でまたは併用して用いられるが、工種の種類、規模、工程、および経済性などを検討して適切な方法を採用する。

ビーズ混合土を投入する際、敷均しの基盤面は、水溜まりなど表面水をできるだけ無くすように、事前に排水や流入水の処理を行い、ビーズ混合土の水による分離を防ぐことが必要である。

ビーズ混合土の施工箇所への投入は、ダンプトラック等から直接的に行う方法や、仮置き後、バックホウ等で間接的に投入する方法がある。施工の条件に応じた適切な方法で行うが、発泡ビーズの飛散を少なくするために、できるだけ仮置きを避ける方が望ましい。

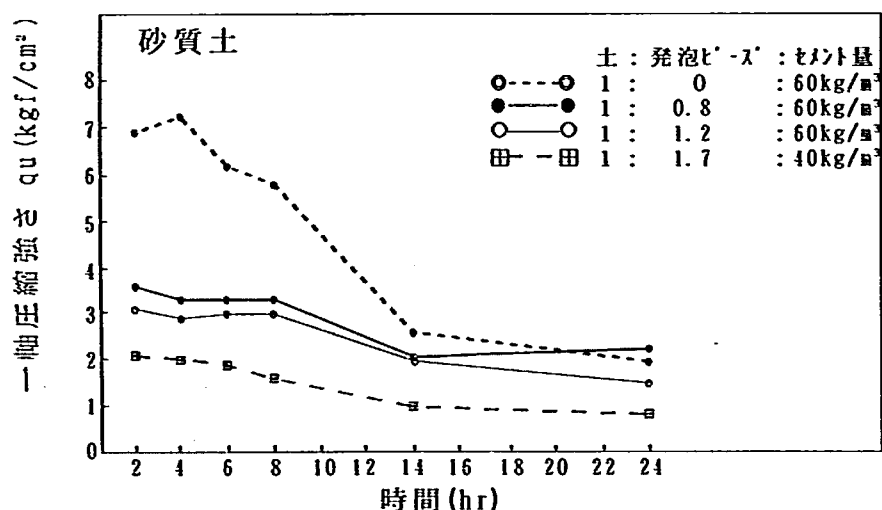


図4-1-4 混合後の経過時間と一軸圧縮強さの関係

4-1-4 敷均し・転圧工³⁾

敷均しは、通常、ブルドーザーやバックホウ等の重機または基盤が軟弱な場合では湿地系の機械で行うが、構造物と近接している箇所は人力で行う。転圧後、均一に所定の厚さになるように努め、局部的に過大な重量をかけないように注意して行う。

敷均しの厚さ(まきだし厚)は、一般に30cm程度であるが、工種や機種によって異なる場合もある。敷均し厚さおよび転圧回数は、必要に応じて試験盛土を行い決定することが望ましい。

転圧の機種は、ブルドーザーなどのクローラタイプとローラタイプがあり、転圧効果はほぼ同等で、両機種とも転圧回数4回で十分な転圧効果があったという試験結果がある(図4-1-5、図4-1-6参照)。

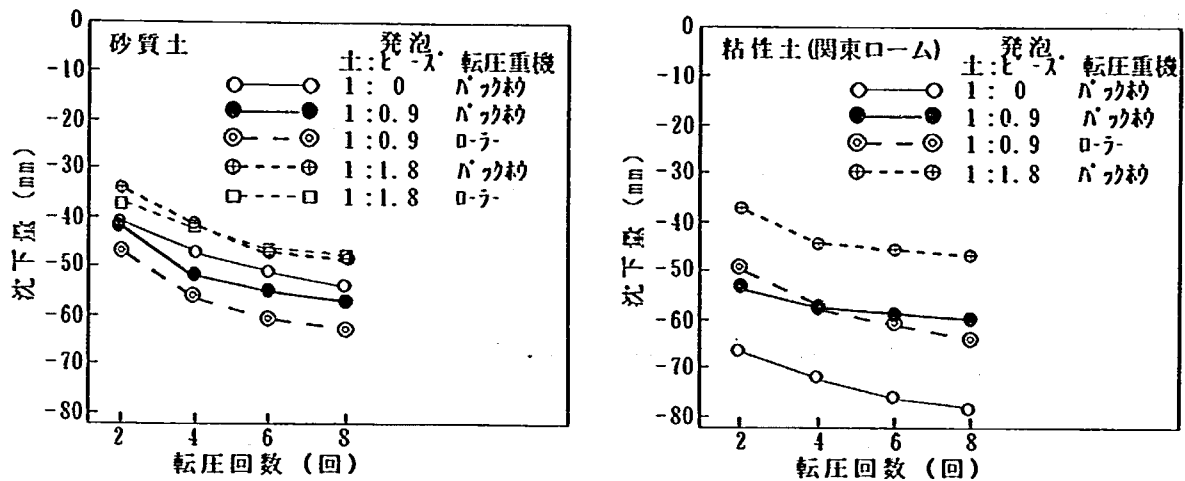


図4-1-5 転圧回数と沈下量の関係

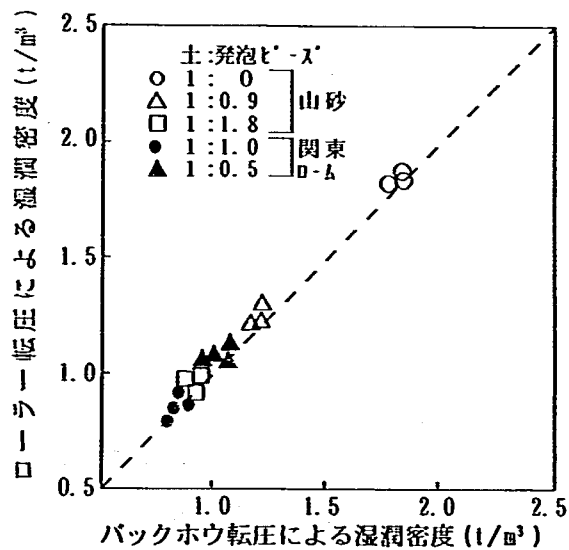


図4-1-6 転圧による湿潤密度の比較

4-1-5 被覆・養生工

ビーズ混合土は、施工完了後に長期間曝露すると、表面剥離による発泡ビーズの飛散や紫外線による劣化などが、また雨水による浸食が起きるため、速やかに被覆する必要がある。

通常、被覆は土砂で行い、土質の種類は特に問わないが、法面保護工等の植生が必要な場合、それに応じた土質を選択する。

被覆土の厚さは、20cm程度でよいが、堤外地盛土などの浸食を受ける可能性が高い箇所では、表面保護工等の検討も含めて決定することが望ましい。

強度発現を促す養生は、被覆土や路盤材等の上載荷重がかかる状態の方が好ましく、したがって施工完了後に速やかに被覆する。施工途中の養生は、発泡ビーズの飛散防止も兼ね、シート等を用いて行う。

4-2 原位置混合方式

原位置混合方式は、地盤（原料土）上に人力または重機を用いて発泡ビーズや安定材を散布し、原位置混合機で原料土と直接混合する工法である。原料土や混合材料については、簡易計量を行う。原料土の採取位置と、出来上がったビーズ混合土の使用位置の違いにより、次の4種類のケースに分けられる。

ケース1

軽量化を計画する地盤で原位置混合して、ビーズ混合土をその場で転圧して使用する場合。

ケース2

原料土の発生位置で混合作成したビーズ混合土を運搬して、異なる場所で使用する場合。

ケース3

原料土を土取り場からビーズ混合土使用位置に持ち込み、その場で混合してビーズ混合土を作成し、そのまま転圧して使用する場合。

ケース4

原料土を土取り場から混合ヤード（鋼製タンク等も含む）に持ち込み混合し、作成したビーズ混合土を新たな場所に運搬して使用する場合。

これらの4ケースの違いを図4-2-1に示す。

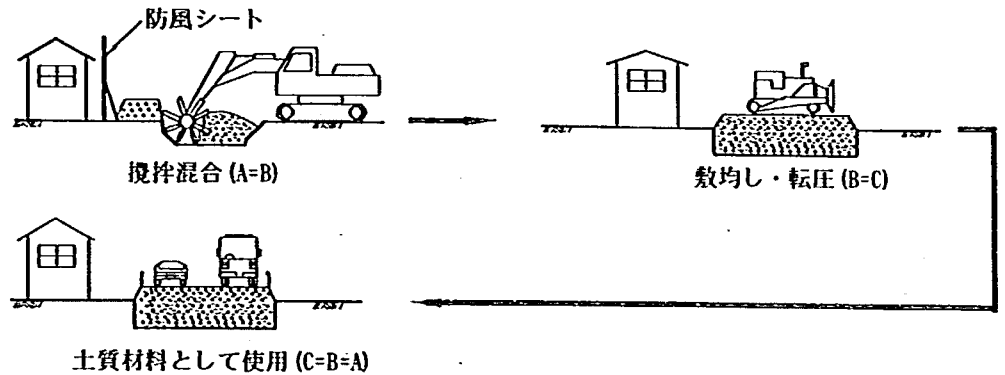
これらの方法は、原地盤またはヤードに仮置きされた原料土と発泡ビーズ、安定材等を、簡便な攪拌機で直接混合するため、砂質土から比較的粘性の高い土にいたるまで広い範囲に対応できる。また、大がかりなプラント設備等の仮設を必要としないため、小規模の工事においては非常に経済的な工法である。

原位置混合方式の施工において留意する点は、密度及び強度のばらつきを少なくするように材料散布時に注意を払い、混合時には混合深さ（改良深さ）をできるだけ均一になるよう混合することである。また、原位置で敷均し・転圧を行う場合（ケース1、3）には、ビーズ混合土の厚さを、施工能力だけでなく転圧の効果を考慮した厚さにする必要がある。

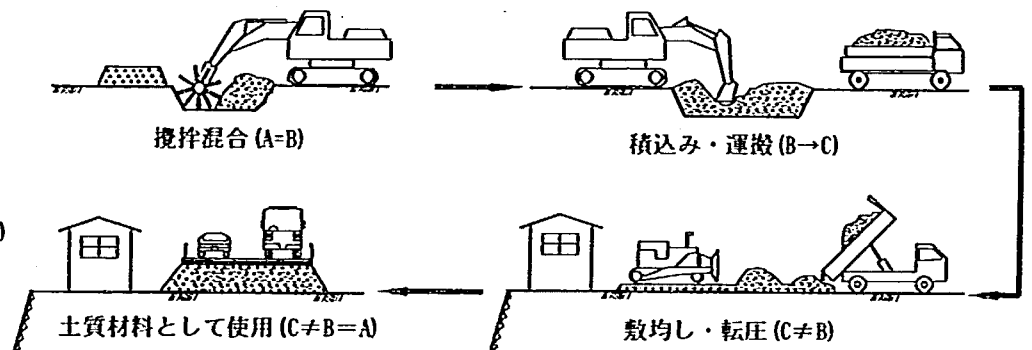
ケース3、4において、原料土は外部から持ち込まれるが、建設発生土の場合には原料土の品質がばらつく可能性があるので注意を要する。

A地点：原料土採取位置
B地点：混合ヤード
C地点：ピーズ混合土使用位置

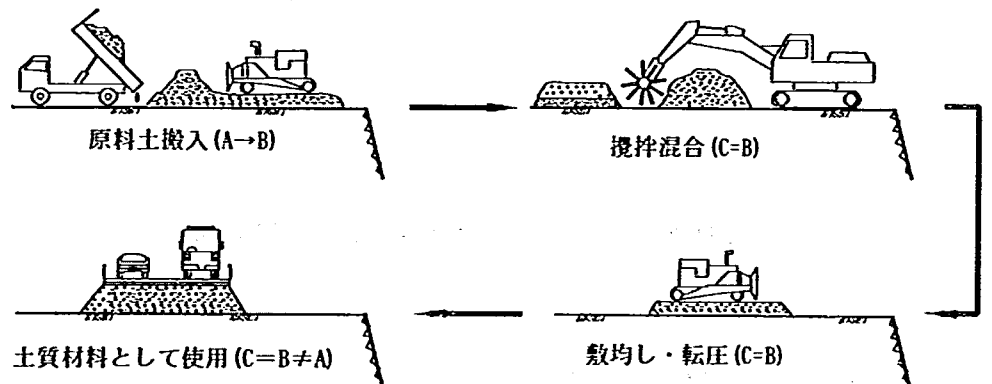
ケース 1
(A=B, B=C, C=A)



ケース 2
(A=B, B≠C, C≠A)



ケース 3
(A≠B, B=C, C≠A)



ケース 4
(A≠B, B≠C, C≠A)

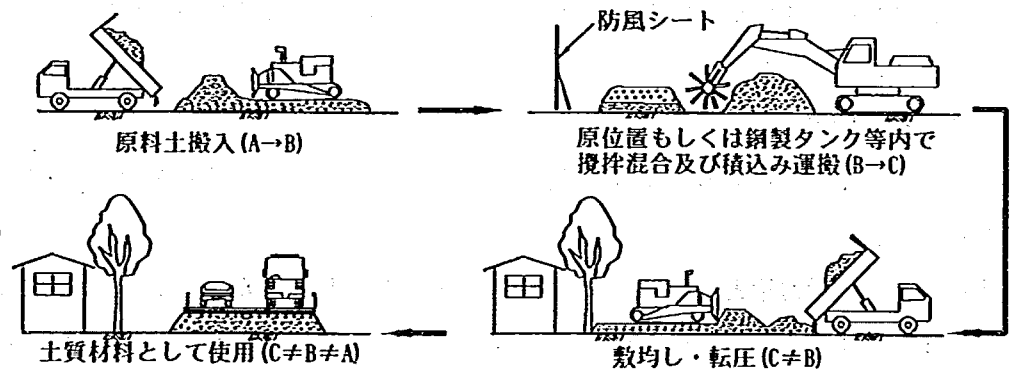


図4-2-1 原位置混合方式の分類

4-2-1 施工手順

ビーズ混合土の原位置混合施工手順を図4-2-2に示す。

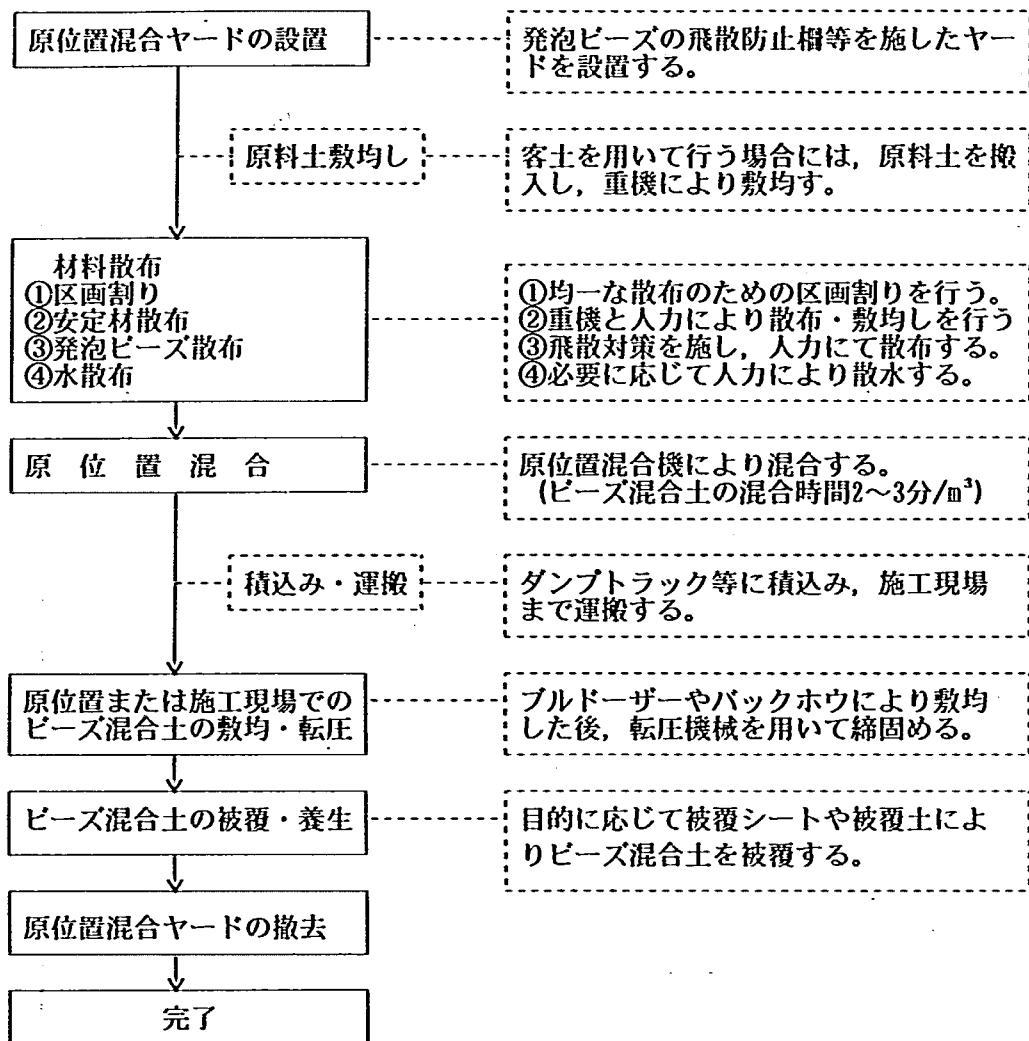


図4-2-2 ビーズ混合土の原位置混合施工手順

4-2-2 混合ヤード設置

混合ヤードは、原料土と発泡ビーズおよび安定材を混合する場所であるので、材料の散布量のばらつきを少なくするために作業床は平坦に均しておく。また、発泡ビーズや安定材の飛散を防止するため、防風シート等を設置する場合もある。

4-2-3 材料散布

材料を均一に散布するための一般的な目安として、ヤード上に区画割りをを行い、重機や人力で均一に散布・敷均しを行う。

散布中の材料の飛散対策としては、水や安定液（水溶性の糊を溶かしたもの）などを用いることもあるが、ビーズ混合土の適正含水比領域から外れぬように注意を要する。安定材は粉体の場合が多く、作業員の散布中の吸引を避けるために防塵マスク等を着用する。

4-2-4 原位置混合

原位置混合は、以下の条件が要求される。

- ①見かけの密度が大きく異なる土と発泡ビーズとを均質に混合できること。
- ②少量の安定材などを均質に混合できること。
- ③各種の原料土（砂質土，粘性土，ローム等）を利用できること。
- ④混合深さを制御できること。
- ⑤混合中，完了後共に，軽量の発泡ビーズが周辺に飛散しないこと。

現在これらの条件に適合すべく，材料散布方法，混合方法について検討・改善が行われている。現在使用されている施工機械は，バックホウをベースとしたものが多く，軽量性，機敏性に富むものが主流となっている。

(1) 原位置混合機

表4-2-1 原位置混合機の仕様例

ベ ー ス ミ ッ ク ス	重 量	19,100kg (0.7m ³ 級)		12,200kg (0.45m ³ 級)
	外形寸法 (全長/全幅/全高)	9,420mm/3,180mm/2,895mm		7,620mm/2,700mm/2,730mm
	接地圧	0.31		0.30
ミ ッ ク ス	形 式	MT600A-L	MT1000A-L	MT600A-L
	摘要油圧ショベル	SH型0.6~1.2m ³	0.6~1.2m ³	0.4~0.5m ³
	ドラム回転数	75rpm	75rpm	60rpm
	重 量	1,400kg	1,200kg	1,000kg
	混合深さ	500mm~2,000mm		500mm~2,000mm

(2) 混合

原料土と発泡ビーズとの混合は，(1)で示したような機械を用いて混合するが，ビーズ混合土1m³当たり所定の混合時間を要する。混合時間は通常2~3分/m³程度である。混合中は材料が偏らないように注意を要するが，改良深度についても十分な注意が必要である。

原料土の状態により，必要に応じて散水しながら混合することもある。

4-2-5 積込み・運搬工

ケース2、4の場合は，ビーズ混合土の使用場所までの積込み・運搬作業を必要とする。原位置混合によるビーズ混合土の積込み・運搬工はプラント混合方式の項（4-1-3）に準ずるものとする。

4-2-6 敷均し・転圧工

原位置混合によるビーズ混合土の敷均し・転圧は，プラント混合方式の項（4-1-4）に準ずるものとする。

4-3 品質管理

4-3-1 混合時の品質管理

(1) 材料の計量および品質管理

材料のうち、原料土の品質変動が最も大きく、原料土の性質（特に粒度、含水比、突固め特性）変化は、ビーズ混合土の性質、配合に直接的に影響を与える。

原料土は設計または施工計画の段階で、既に特定されていなければならないが、自然の材料であるため、同一材料とされていても、その性質はある程度変化する。これを明らかにして、ビーズ混合土の品質の変動が許容範囲内であることを確認しなければならない。そのため、現状の混合プラントまたは原位置混合機的能力を念頭に、下記の試験を一定の頻度で行って確認するものとする。

表4-3-1 材料の計量方法

材 料	計 量 方 法
原 料 土	プラント混合の場合：重量計量 原位置混合の場合：容量計量
発泡ビーズ	計量器による場合：容量（または重量）計算 バック使用の場合：バック数量
水	重量または容量計量
安定材など	重量（または容量）計量

表4-3-2 材料の品質管理試験

材 料	試 験 項 目	頻 度
原 料 土	迅速法による含水比試験 （電子レンジ、アルコール法）	1回/200m ³ または1回/日 あるいは目視で明らかに含水比が変化した時
発泡ビーズ	製造メーカーの品質証明による （ただし、粒径、ゆる詰め密度 などは搬入材によりチェック）	
安定材など	製造メーカーの品質証明による	

前記試験の結果によって、混合土の品質の変動が、配合の微調整で行える許容範囲を越えると判断された場合には、室内配合試験を行って設計配合の変更を行わなければならない。

(2) 混合土の品質管理

プラントあるいは原位置混合機で混合後、下記に示す項目、頻度でビーズ混合土の品質管理を実施する。

表4-3-3 ビーズ混合土の品質管理試験

品質項目	試 験 項 目	頻 度
密 度	含水比試験 JIS A1202 締固めによる密度試験 JIS A1210	1回/500m ³ または1回/日 "
強 度	一軸圧縮試験 JIS A1216 あるいは CBR試験 JIS A1211 など	1回/1,000m ³ * "

* 施工量が少ない場合には1回以上とする。

前記の試験結果によって、密度または強度の許容変動範囲を若干越える場合には、配合の微調整を行う。原料土の土性変化により微調整で対応できない場合には、室内配合試験を行って、設計配合の変更を行う。

4-3-2 施工現場の品質管理

施工現場でのビーズ混合土の品質管理は、締固め後の密度試験もしくはコーン貫入試験が考えられる。発泡ビーズを利用したビーズ混合土の主要目的は軽量化であるため、現場においてどの程度の軽量化がなされているかを確認せねばならず、締固め度を知る上でも密度試験が必要である。次に表面以深を確認するにはコーン貫入試験が最適と考えられている。必要に応じて、現場CBR試験を実施することも可能である。

表4-3-4 施工現場での品質管理試験

試験項目	試験方法	規格
現場密度試験	砂置換法	JIS A 1214-1980
	R I 法	
コーン貫入試験	ポータブルコーン貫入	JIS A 1220-1976
	ダッチコーン貫入	JIS A 1220-1976
CBR試験	現場CBR試験	JIS A 1980に準ずる

(1) 現場密度試験⁴⁾

現場密度試験は砂置換法とR I法の2種類があり、測定そのものはR I法が簡易だが、砂置換法により検定する必要がある。

砂置換法とR I法の測定結果を比較したところ、砂質土においてはかなり合致しており、粘性土の場合では相関係数が若干低くなっている。しかし適切な校正式を採用すれば、R I法による密度試験で十分と考えられる。

砂置換法とR I法による湿潤密度の相関関係を図4-3-1に示す。

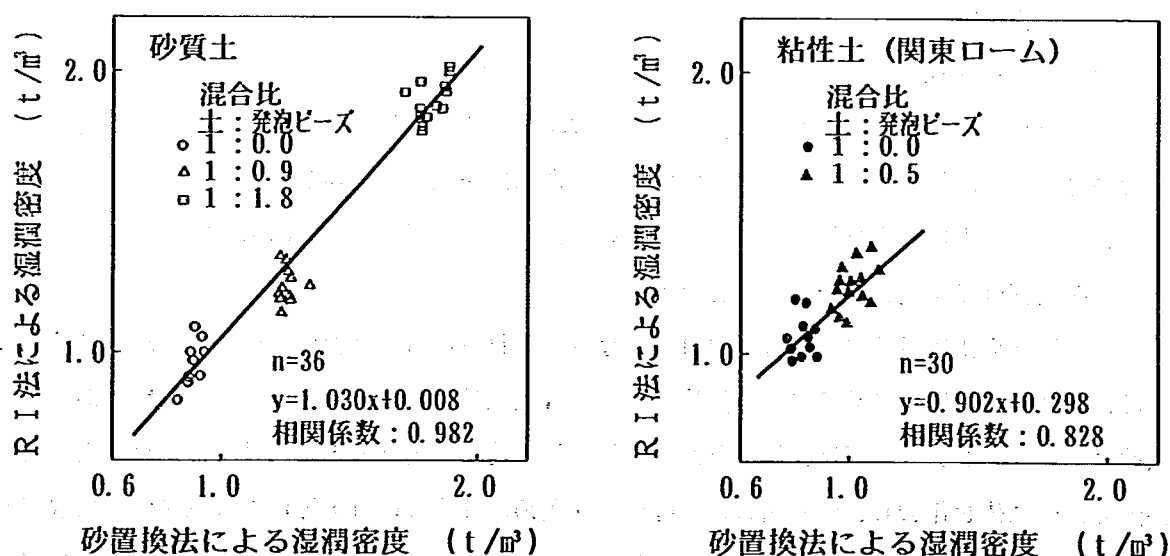


図4-3-1 湿潤密度における砂置換法とR I法の相関関係

(2) コーン貫入試験⁵⁾

試験施工におけるビーズ混合土のポータブルコーン貫入試験結果をみると、転圧回数が増加するにつれ q_c 値も増加している。また図4-3-2に示すように q_c と湿潤密度との相関関係が認められ、将来は室内サンプルとの比較により、強度だけでなく密度管理にも適応できることが考えられる。

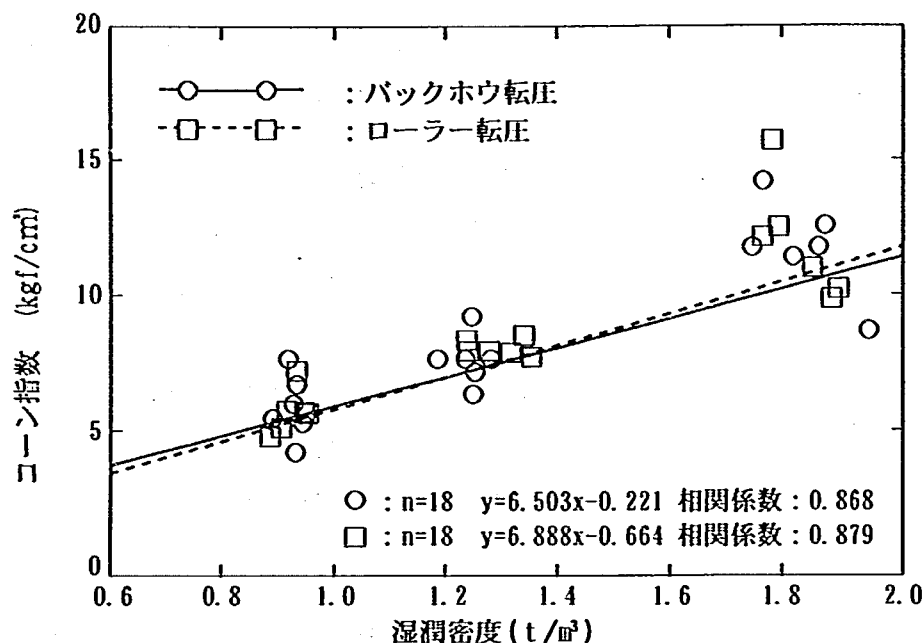


図4-3-2 湿潤密度とコーン指数の関係

(3) 現場CBR試験

ビーズ混合土を道路盛土材として用いる場合、力学試験の一種として現場CBR試験を行うことが考えられる。この場合各種道路により規格があり、それを満足するようなCBR値であるかどうかを確認する必要がある。

4-3-3 品質管理項目

品質管理項目は表4-3-5に示す通り、密度と強度について行う。

密度管理は、湿潤密度による方法と乾燥密度による方法がある。これらの方法は原料土の土質、管理の目的により使い分けるが、乾燥密度で管理するためには、含水比を求める必要がある。

一般に、ビーズ混合土は盛土材料として品質が一定で、プラント混合などで迅速に結果を必要とする場合が多いため、湿潤密度で密度管理を行うことが多い。

強度管理は、用途や使用目的により管理項目が異なり、それらに合った管理試験で行わなければならない。強度試験は、通常、一軸圧縮試験等の圧縮試験とコーン貫入試験、CBR試験等の貫入試験がある。

圧縮試験は、ビーズ混合土運搬後、施工条件と同じ（転圧時期、密度等を合わせる）になるようにモールド内に突固め、供試体を作製し、せん断試験を行う。締固め、養生後にコア等により供試体を採取する方法では、採取時の供試体破損により試験値が過小になったり、ばらつき易く、供試体を突固めて作製する方法が望ましい。

密度や強度管理において許容できるばらつきの範囲は、設計の条件となるビーズ混合土の使用目的、工種、おかれる環境等によって異なり、それらを踏まえ、各工事ごとに品質管理の目標値を設ける必要がある。

各混合方式の品質管理目標値の一例を表4-3-5に示す。

表4-3-5 品質管理目標値の一例

品質管理 項目		管理項目および 標準的な試験法	目標値		
			プ ラ ン ト 混 合 方 式	原 位 置 混 合 方 式	
				原料土が原地盤の場合	原料土が他の箇所からの搬入土の場合
混合時の 品質管理	密度	湿潤密度 又は 乾燥密度 (突固めによる密度試験)	3 サンプ / 回の平均 値が設定密度の $\pm 0.05 \text{ t/m}^3$ 以内	3 サンプ / 回の平均 値が設定密度の $\pm 0.10 \text{ t/m}^3$ 以内	3 サンプ / 回の平均 値が設定密度の $\pm 0.15 \text{ t/m}^3$ 以内
施工時の 品質管理	密度	湿潤密度又は乾燥密度 (砂置換法, R I 法)	3 サンプ / 回の平均 値が設定密度の $\pm 0.10 \text{ t/m}^3$ 以内	3 サンプ / 回の平均 値が設定密度の $\pm 0.15 \text{ t/m}^3$ 以内	3 サンプ / 回の平均 値が設定密度の $\pm 0.20 \text{ t/m}^3$ 以内
	強度	q_u , q_c , CBR等 (供試体, コン貫入試験, 現場CBR)	設計強度以上		

参考文献

- 1) 加藤俊昭・長坂勇二：発泡スチロール混合軽量盛土による土圧軽減対策，建設の機械化，pp. 42, Apr, 1992
- 2) 森範行・高橋勇・佐藤修ほか：発泡ビーズ混合軽量土の現場強度，第28回土質工学研究発表会講演集，pp. 2655～2656, 1993
- 3) 三木博史・千田昌平・西田耕一ほか：発泡スチロール混合補強土の施工実験について，土木学会第47回年次学術講演会概要集，pp. 1080～1081, 1992
- 4) 青山憲明・喜志多聡・秋場忠彦ほか：発泡ビーズ混合補強土の密度管理へのR I 法の適用について，土木学会第47回年次学術講演会概要集，pp. 1202～1203, 1992
- 5) 鈴木義英・青山憲明・高橋勇ほか：発泡ビーズ混合補強土の現場品質管理方法，土木学会第47回年次学術講演会概要集，pp. 1204～1205, 1992

第5章 今後の課題

ビーズ混合土を用途や適用例、使用材料の面でその範囲を限定することなく、広く適用を図る上で、今後の検討課題を簡単にまとめた。

5-1 廃棄物やその他材料の利用

発泡ビーズの代わりに、または発泡ビーズと共に混入して対象土の軽量化を図るものとし、廃棄発泡スチロール塊の破砕片や各種軽量骨材および合成樹脂や保冷材として使われているパーライトなどがある。これらは、現在のところ資源としての再利用先の用途検討は、十分とはいえないものの、軽量性という特性に着目し、各種検討が進められており、混合軽量土材料としての適用は十分可能であると思われる。

また、ビーズ混合土にポリエステル等を原料とする繊維を混入して、耐風化、耐浸食性を増し、ビーズ混合土に直接植生を施すこと、さらに、止水性を増すためにベントナイトや粘性土を添加することも可能である。

5-2 ジオシンセティックスとの併用

ジオシンセティックスは、土質工学の分野をその開発の発端としているが、近年、道路分野での積極的な適用が検討され、工学的性能や補強メカニズムが徐々に解明されつつある。

ジオシンセティックスの一般的な特性としては、①適度の引張り強さ ②適度な伸張性 ③耐食性に優れる ④良好な透水性 ⑤軽量で輸送、貯蔵、施工に便利 ⑥製造時の品質管理が容易¹⁾等が挙げられている。

ジオシンセティックスには、土構造物に関与する機能として、排水、濾過、分離、補強、保護があり、ジオメンブレンの遮水を入れて6つの機能を有しているとされている。ビーズ混合土との併用により、以下のような検討課題が考えられる。

- ・ビーズ混合土を用いて軟弱地盤上に盛土する際、軟弱地盤上にジオシンセティックスを敷設することによる軟弱地盤とビーズ混合土との分離効果。

- ・ビーズ混合土は凍上抑制効果をもつと考えられ²⁾、ジオシンセティックスとの併用による助長効果。

また、ジオシンセティックスとの併用をイメージすると、以下のような適用が考えられる。

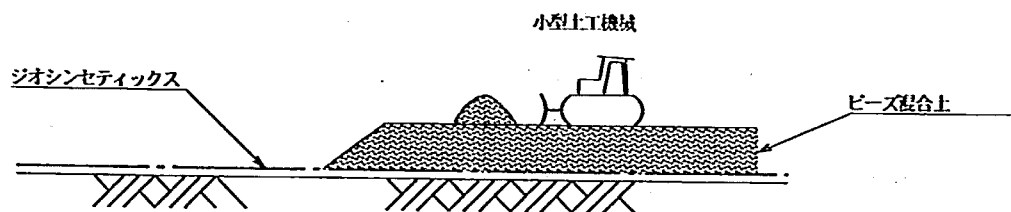


図5-2-1 敷設材工法への利用

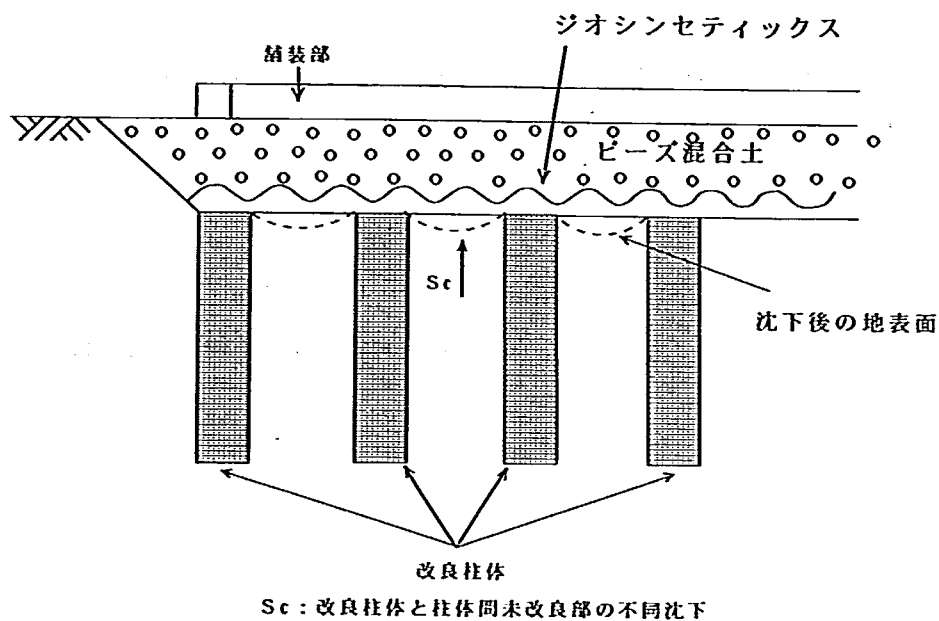


図5-2-2 深層混合処理工法との併用

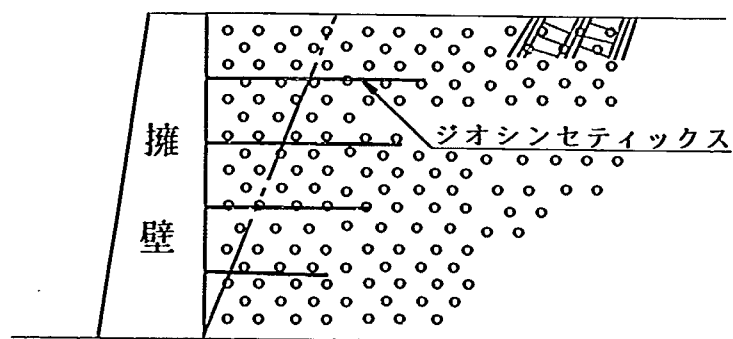


図5-2-3 擁壁の裏込めへの適用

5-3 土構造物の耐震性の向上

ビーズ混合土は、まず第一に軽量であることが特徴であり、水の密度と同程度の軽量土質材料として使用されることが多い。また、動的特性については、安定材を添加すると自然堆積の粘性土と同等の傾向を示しており、これに加えて、剛性の低下が比較的高い γ レベルから生じる傾向がある。これらの特性から、通常の土と比較して、軽量であるため慣性力が低減されるとともに、剛性の低下が比較的少ないものと想定される。

施工事例によると、橋台背面の裏込めに用いられたケース（第6章6-10参照）では、震度6の激しい地震が襲来しても、特に問題となる変状が生じなかった例があり、実績からしても耐震性に優れるものと考えられる。

今後、地震応答解析などによる理論的な検証を行って、地震時の挙動を明らかにすることにより、耐震性の向上を目的とした利用方法が期待される。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所：ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル、土木研究所資料、1992
- 2) 村上浩・尾本志展・溝淵優：発泡ビーズを用いた安定処理混合物の断熱路盤材としての利用、舗装、pp. 9~17、1990. 2

第6章 適用事例

表6-1 施工事例総括表

No.	用 途	目 的	使 用 材 料	特 徴
6-1	下水道立坑埋戻し工事	荷重軽減	山砂(砂質土), 発泡ビーズ, 普通セメント	原地盤と同等の湿潤密度に設定し、沈下を軽減した
6-2	下水道管路・立坑埋戻し工事	荷重軽減 側方流動抑制	山砂(細粒分まじり砂), 発泡ビーズ, 超遅硬性セメント	超遅硬性セメントを使用し、仮置きによる強度低下を抑えた
6-3	河川堤防の裏込め工事	荷重軽減	浚渫砂(細粒分まじり砂), 発泡ビーズ, 普通セメント	施工後の含水比変化を想定し湿潤密度は飽和度50%時の密度とした
6-4	道路改良工事	荷重軽減 地すべり対策	山砂(きれいな砂), 発泡ビーズ, 普通または早強セメント	片側通行での施工を可能とし強度管理はCBR値で行った
6-5	造成工事	土圧軽減	砂質土, 発泡スチロール破砕片, 普通セメント	盛土中に鋼矢板が変形したため、土圧を軽減して工事を完了した
6-6	住宅団地内の嵩上げ盛土工事	荷重軽減	現場掘削残土(細粒土), 発泡ビーズ・破砕片, 普通セメント	掘削残土と破砕片を用いた。一部EPS工法との併用も行った
6-7	橋台背面の盛土工事	橋台の側方移動抑制, 沈下抑制	山砂(砂質土), 発泡ビーズ, 普通セメント, ベントナイト	軽量化とともに道路の路床および河川堤体としての機能を確保した
6-8	試験工事	地盤挙動, 沈下抑制の調査・検討	有明粘土(細粒土), 発泡ビーズ, 生石灰	油圧ローターにより、原位置混合方式で行った
6-9	試験盛土工事	盛土の観測	砂質土・ローム, 発泡ビーズ・EPSブロック, 普通セメント	保護工と擁壁工を組み合わせた盛土に、各種の観測機器を設置した
6-10	橋台背面の盛土工事	荷重軽減 側方流動防止	砂質土, 発泡ビーズ, 普通セメント	橋台に架かる土圧や沈下量等の動態観測を行った
6-11	樋管上部の堤防嵩上げ盛土工事	不同沈下抑制	山砂(砂質土), 発泡ビーズ, 普通セメント	沈下観測の結果、普通盛土部に比べ軽量盛土部では沈下抑制の効果が確認できた
6-12	海岸堤防嵩上げ盛土工事	すべり対策	現地発生土(有明粘土), 発泡ビーズ, セメント系固化材	現場近くの発生土(有明粘土)を利用し、原位置混合方式での施工を行った

6-1 下水工事の埋戻し工事に用いた事例①

工 事 名 称：古利根川流域下水道鷺宮幹線築造1工区1号工事

施 主：埼玉県荒川左岸北部下水道事務所

施 工 地：埼玉県久喜市

施 工 時 期：1987.9

施 工 数 量：95 m^3

使 用 目 的：荷軽減

設計の考え方

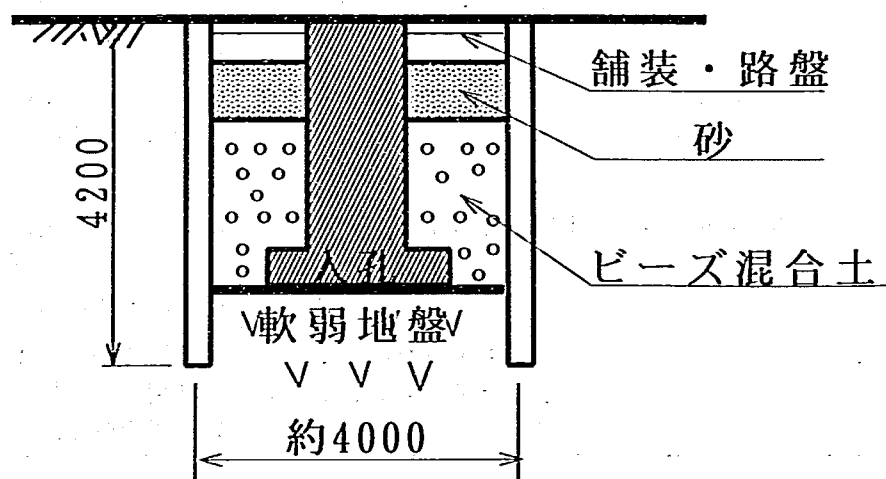
室内配合密度を原地盤のピート層と同等の $\rho_c=1.125\text{t}/\text{m}^3$ とし、室内配合強度を $q_v=0.5\sim 2.0\text{kgf}/\text{cm}^2$ とした。良質材（山砂等）の単位体積重量は $1.7\sim 1.8\text{t}/\text{m}^3$ 程度あるので、ビーズ混合土の採用により、地盤への圧密荷重は大幅に軽減でき、鉛直有効応力は山砂による通常の埋戻しに比べ約 $1.2\text{t}/\text{m}^2$ に低減される。

工 事 概 要

施工現場は住宅地内の幅員6mの道路上で、地下水位が高く、高圧縮性（圧縮指数 $c_c=2.85\sim 3.56$ ）のピート層および有機質粘土層が厚く分布している。

下水道工事のシールド・推進工事の立坑埋戻しに際し、良質土を使用した埋戻しでは荷重増加による圧密沈下が生じ、周辺家屋に影響を与えるため、これを軽減するビーズ混合土で埋戻した。

標準断面等



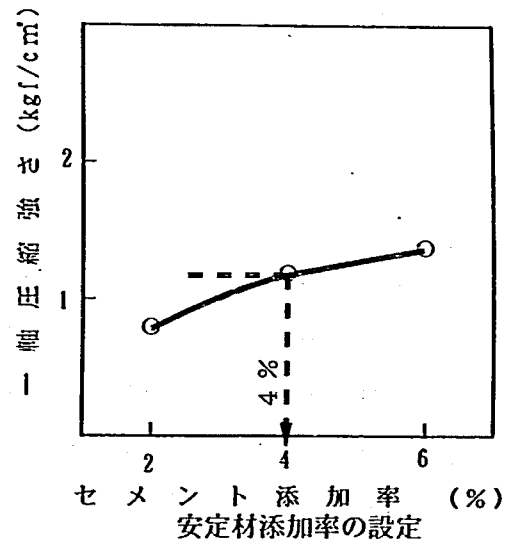
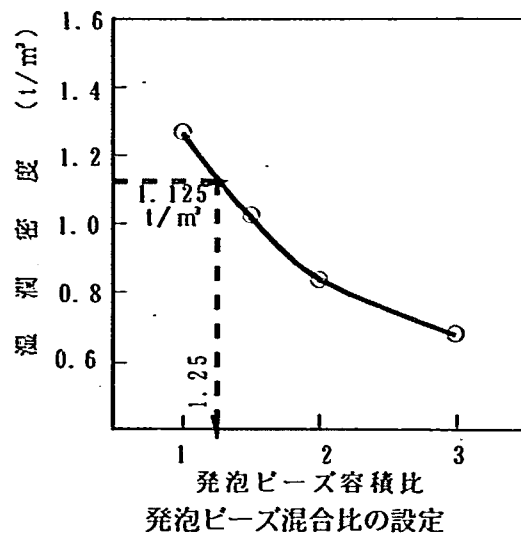
使用材料

山砂（江戸崎産、細粒分 11.5～17.0 %、最適含水比 14.8 %、最大乾燥密度 1.53～1.63t/m³）

発泡スチロールビーズ（φ1～2mm、25kg/m³）

普通ポルトランドセメント

配合試験



配合比：

原料土	発泡ビーズ	安定材	水
1	1.25	4%	8%

施工方法

混合方法 : バッチ式 混合プラント（無攪拌羽根拡散混合ミキサー使用の簡易プラント）

運搬・投入方法 : 2tダンプトラック、ベルトコンベア

敷き均し方法 : 人力敷き均し

転圧方法 : プレートコンパクター2回転圧、25cm厚／1層

管理方法 : 密度……………プラント:突固めによる密度試験（5～10N/㎡毎に1回）

現 場:砂置換法（2～3回／1日）

強度……………一軸圧縮強さ（φ50×100 1週・4週強度）

沈下測定……………沈下板設置・水準測定（約半年間）

施工後の状況

埋戻し直後に4mm、道路開放前後に15mm沈下し、その後は変化無く安定している。

（山砂を使用した場合、90mm程度の沈下が見込まれた）

参 考 文 献 : 山田純男、松岡洋吉、能見武ほか；粒状発泡スチロールと山砂の混合軽量材料を用いた

施工：第23回土質工学研究発表会講演集 pp. 2343～2344, 1988

6-2 下水工事の埋戻し工事に用いた事例②

工 事 名 称：桶川市公共下水道

施 主：桶川市

施 工 地：桶川市祖下日出谷地内

施 工 時 期：1990. 2～4

施 工 数 量：340m³

使 用 目 的：荷重軽減・側方流動抑制

設計の考え方

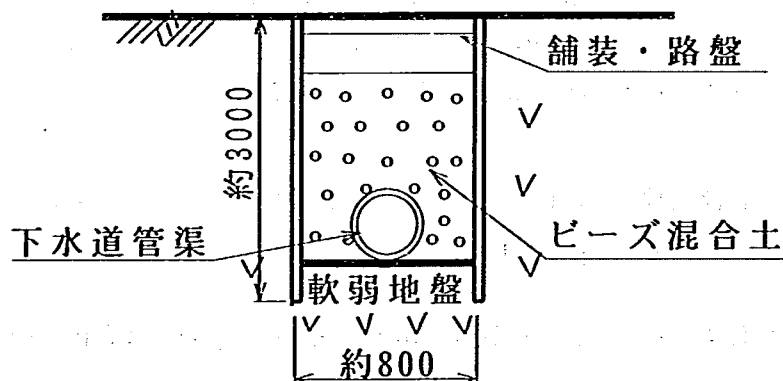
室内配合密度を舗装・路盤も含め原地盤と同様になる $\rho_c=1.05t/m^3$ とし、埋戻し材だけでなく路床材として使用するため、室内配合強度を $q_u=0.5kgf/cm^2$ 以上とした。

運搬・仮置き時間の設定は、1日当たりの使用量が異なり、少量(平均10m³程度)のため、現場付近にストックしてそこからの小運搬で行う事を考慮し、3日間(72時間)とした。混合から締固めまでの経過時間による強度低下を抑えるために、安定材に遅硬化のセメントを使用した。

工 事 概 要

施工現場は、住宅地内の幅員4mの道路上で、開削で管路を布設し、埋戻しおよび路盤、舗装工事をを行うもので、現場の地盤はピート層がGL-1mより下層で厚く分布し、圧密による道路の沈下と側方流動による近接家屋の損傷が予想され、これを防ぐためにビーズ混合土で埋戻した。

標準断面等



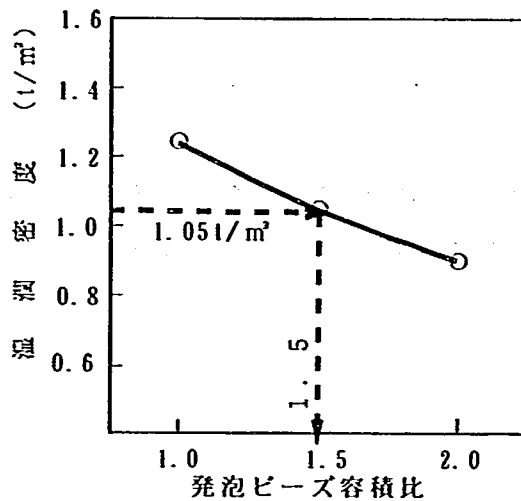
使用材料

山砂（江戸崎産、細粒分 12.3%、最適含水比 13.5%、最大乾燥密度 1.66t/m^3 ）

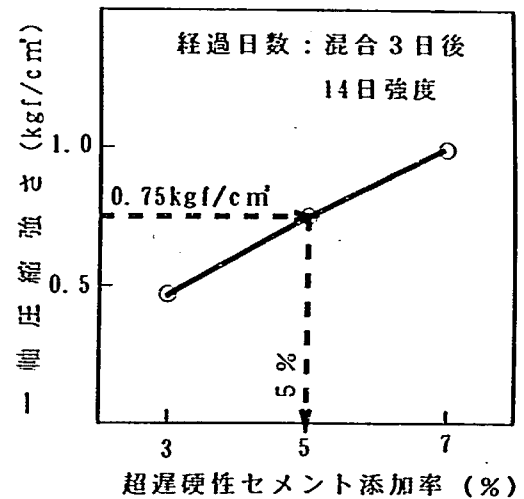
発泡スチロールビーズ（ $\phi 4\sim 6\text{mm}$, 25kg/m^3 ）

超遅硬性セメント

配合試験



発泡ビーズ混合比の設定



安定材添加率の設定

配合比：

原料土	発泡ビーズ	安定材	水
1	1.5	5%	9%

施工方法

混合方法 : バッチ式混合プラント $3\text{m}^3/\text{hr}$ （無撈拌羽根拡散混合ミキサー使用）

運搬・投入方法 : 10tダンプトラック（プラント→ストック場）、2tダンプトラック（ストック場→現場投入）

敷き均し方法 : 人力敷き均し

転圧方法 : プレートコンパクター2回転圧、30cm厚／1層、1tローラ

管理方法 : 密度………プラント:突固めによる密度試験（ 9m^3 毎に1回）

現場:砂置換法（2回）

強度………軸圧縮強さ（ $\phi 50\times 100$ 1週強度）

施工後の状況

道路、家屋に影響を与えず安定している。

参考文献

6-3 高潮堤防工事の埋戻し（堤内地側）に用いた事例

工 事 名 称：観音第2・第3高潮堤防工事

施 主：建設省中国地方建設局太田川工事事務所

施 工 地：広島市西区観音地先

施 工 時 期：1990.2（第2），1991.6（第3）

施 工 数 量：880 m^3 （第2），620 m^3 （第3） 計1,500 m^3

使 用 目 的：荷重軽減

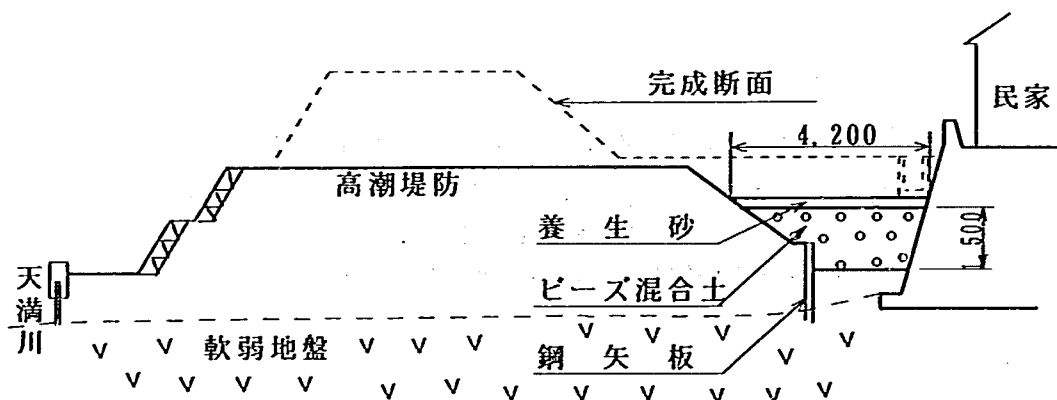
設計の考え方

室内配合密度は、施工後の盛土部が潮の干満で、水（海水）による影響を受けるため、飽和度50%時に $\rho_i=1.05\text{t}/\text{m}^3$ とした。室内配合強度は、盛土基盤の変形に追随できるように $q_u=0.3\text{kgf}/\text{cm}^2$ とした。

工 事 概 要

軟弱地盤上の河川堤防工事（高潮堤防工事）において、隣接家屋への影響を考慮し縁切り矢板工法等の沈下対策工を実施しているが、堤内地側の盛土による沈下が予想され、これを軽減するため、ビーズ混合土を使用した。

標準断面等

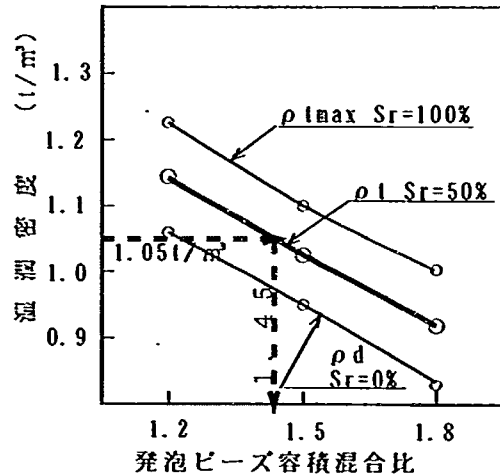


使用材料

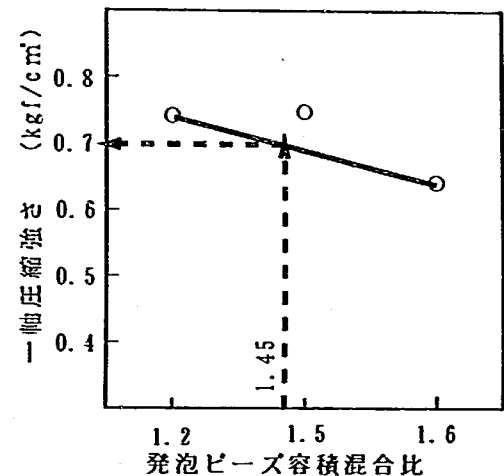
浚渫砂（近隣川産、細粒分 11%、最大乾燥密度 1.676t/m^3 ）

発泡スチロールビーズ（ $\phi 4\sim 6\text{mm}$, 12.5kg/m^3 ），普通ポルトランドセメント

配合試験



発泡ビーズ混合比の設定



強度の確認

配合比：

原料土	発泡ビーズ	安定材	水
1	1.45	2%	8.7%

施工方法

混合方法 : バッチ式混合プラント $24\text{m}^3/\text{hr}$ （一軸複合リボン式ミキサー使用）……第2工事
 $24\text{m}^3/\text{hr}$ （無攪拌羽根拡散混合ミキサー使用）……第3工事

運搬・投入方法 : 10t ダンプトラック・バックホウ 0.7m^3 級

敷き均し方法 : バックホウ 0.1m^3 級

転圧方法 : バックホウ 0.1m^3 級・プレートコンパクター 2 回転圧, 30cm 厚 / 1 層

管理方法 : 密度……プラント: 突固めによる密度試験（1 日 2 回以上）

現場: 砂置換法（1 日 1 回以上）

強度……一軸圧縮強さ（ $\phi 50 \times 100$ 7 日強度）

施工後の状況

施工完了 2 ヶ月後の沈下測定の結果では、高潮堤防（堤内地側）で 40mm 程度の沈下に対して、沈下対策を施した民家との境界線上（堤外地側）ではほとんど沈下せず、沈下対策工の効果が得られた。

参考文献：中国地方建設局管内工事技術報告会論文集 1991

6-4 道路改良工事に用いた事例

工 事 名 称：月山道路改修工事

施 主：建設省東北地方建設局酒田工事事務所

施 工 地：山形県朝日村（一般国道112号）

施 工 時 期：1989.11

施 工 数 量：1,800 m^3

使 用 目 的：荷重軽減、地すべり対策

設計の考え方

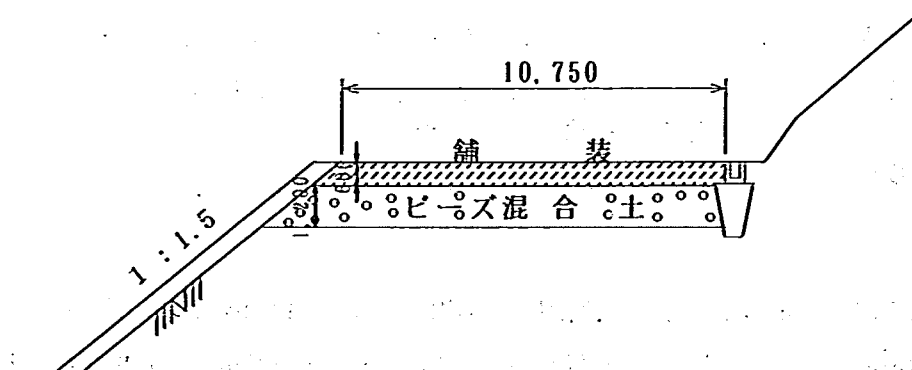
道路の嵩上げにより荷重増加分を軽量盛土材（ $\text{H}=1.2\text{m}$ ）で置き換え、現状の荷重と同等になるようにビーズ混合土の湿潤密度を $\rho_r=1.21/\text{m}^3$ とし、すべりに対する安全率を確保した。

強度は路床材であることからCBRで管理し、目標値をCBR4%以上とした。山岳地における冬季施工を考慮し、安定材の添加率を5%として強度を確保した。

工 事 概 要

地すべり地帯であったこの現場は、昭和63年度まで恒久的な対策工事として、延長120 m にわたり地山すべり面の末端部に地すべり抑止杭が施工され、集水井戸も設置された。ここでは、路面の沈下に対してオーバーレイを繰り返して維持補修に努めてきたが、平成元年度に道路盛土部の表層すべり対策として重いオーバーレイ層を撤去し、道路路床部にビーズ混合土を使用した。

標準断面等



使用材料

山砂（鶴岡市黒山産、細粒分4%，最適含水比15.0%，最大乾燥密度1.598t/m³）

発泡スチロールビーズ（φ2.5～5.0mm，17.6kg/m³）

普通ポルトランドセメント，早強セメント

配合比：

原料土*	：	発泡ビーズ	：	安定材	：	水
1	：	1.2	：	5%	：	8%

*ω=9.13%

ρ_t=1.643t/m³

施工方法

混合方法：連続式混合プラント 20m³/hr（骨材粒調プラント）

運搬・投入方法：ダンプトラック・バックホウ

敷き均し方法：バックホウ・湿地ブルドーザー21t級

転圧方法：湿地ブルドーザー21t級，4回転圧／1層，30cm厚／1層

管理方法：密度……プラント：突固めによる密度試験（1回／hr）

現場：コアカッター法（1日3回）

強度……現場CBR試験

施工後の状況

6ヶ月経過後の現場状況は良好であり、盛土の一部からのサンプリングでは、発泡ビーズの変形や変質は見られず、土質試験の結果からは材齢による強度増加が見られ排水性も良好で、軽量で強度定数が大きく、道路盛土材として良好な材料となっている。

6年後の調査の結果、密度・強度共に良好で、劣化はみみられず耐久性が確認された。

参考文献：伊藤賢一，西川和広，久楽勝行ほか；軽量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

森範行，西村拓治，千田昌平ほか；発泡ビーズ混合軽量土の長期耐久性
第51回土木学会年次学術講演会講演概要集 第3部pp. 672～673 1996

6-5 土留め材の土圧軽減に用いた事例

工 事 名 称：リバーサイドスポーツセンター用地造成工事

施 主：茨城県古河市

施 工 地：茨城県古河市

施 工 時 期：1990.12

施 工 数 量：2,600m³

使 用 目 的：土圧軽減

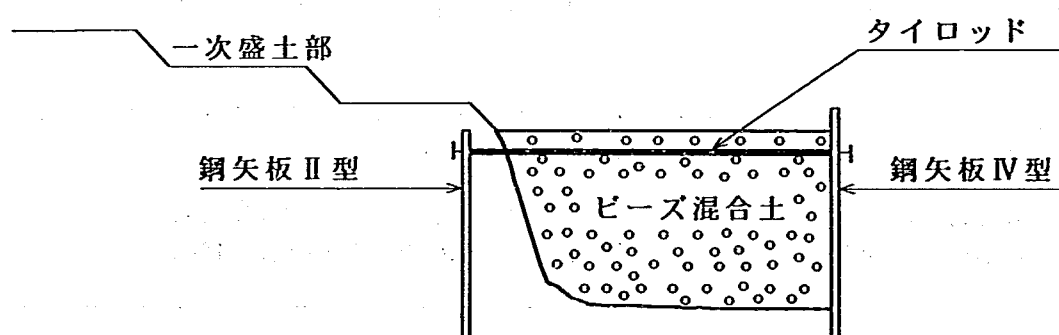
設計の考え方

土圧軽減のため、室内配合密度を通常の土砂重量の6割に当たる $\rho_t=1.2t/m^3$ とした。

工 事 概 要

河川後背湿地の泥炭地盤上に構築物を建設するにあたり、H=8mの盛土施工中に在来地盤が極めて軟弱なため、周囲の土留用の鋼矢板が変形し、計画高さまで盛土ができなくなった。そこでビーズ混合土を用いて土圧を軽減し計画高さまで施工した。

標準断面等



使用材料

土砂，発泡スチロール破砕片，普通ポルトランドセメント

配合表：

原料土	発泡スチロール破砕片	セメント	水
1.2t	13.5kg	60kg	60kg

施工方法

混合方法 : バッチ式混合プラント 150m³/day (一軸複合リボン式ミキサー使用)

運搬・投入方法 : 4 t ダンプトラック

敷き均し方法 : 湿地ブルドーザー21t級

転圧方法 : 湿地ブルドーザー 4回転圧，25cm厚／1層

管理方法 : 密度………プラント:突固めによる密度試験

参考文献：加藤俊昭，大野睦雄，長坂勇二ほか；廃棄発泡スチロール破砕片を用いた軽量盛土の施

第26回土質工学研究発表会講演集 pp. 49～50 1991

6-6 中層住宅団地の嵩上げ盛土に用いた事例

工 事 名 称：武里団地6-18号棟補修工事

施 主：住宅・都市整備公団 関東支社

施 工 地：埼玉県越谷市

施 工 時 期：1991.3

施 工 数 量：600m³

使 用 目 的：荷重軽減

設計の考え方

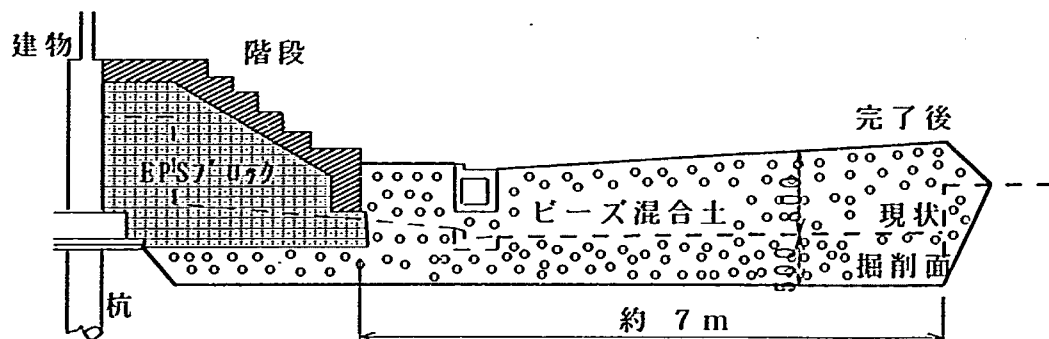
室内配合密度を地下水位による浮力を考慮して、1.05t/m³とした。盛土による荷重増分は掘削によりバランスさせ、40cm程度の通常盛土に相当するようにした。

工 事 概 要

軟弱地盤での広域沈下等により不同沈下が生じ、抜け上がりや段差が生じた中層住宅団地の嵩上げ盛土による修復・整備に用いた。階段部にEPSブロック、道路部は発泡スチロールビーズ、建物周辺は発泡スチロール破砕片を用いて、ビーズ混合土の施工を行った。

盛土による荷重増分を、基盤掘削し軽量盛土に置換えることによりバランスさせ、他の住棟での盛土高に相当する程度とした。

標準断面等



使用材料

残土（現場掘削残土 細粒分 61.5%, 最適含水比 $\omega_{opt}=32.2\%$, 最大乾燥密度 $\rho_{dmax}=1.3601/m^3$ ）

発泡スチロールビーズ（ $\phi 3 \sim 5mm$ ）, 発泡スチロール破砕片（ $3 \sim 5mm$ ）

普通ポルトランドセメント

配合比：

	原 料 土：軽量化材：安 定 材： 水						
発泡スチロールビーズ	1	:	1.3	:	3%	:	5%
発泡スチロール破砕片	1	:	2.3	:	2%	:	5%

施工方法：

混合方法：バッチ式混合プラント（一軸複合リボン式ミキサー使用）

運搬・投入方法：11tダンプトラック

敷き均し方法：バックホウ0.2m³級

転圧方法：バックホウ0.2m³級 4回転圧, 30cm厚／1層

*建物廻りの外構部は、盛土材（ビーズ混合土）を仮置きし、施工状況に応じて盛り立てるプレミック
ス方式とした。

参考文献：皆川和男，梶谷衛，住吉正光ほか；住宅団地における軽量化盛土工事・施工実施例

土木学会第46回年次学術講演会概要集第3部 pp. 1064～1065 1991

6-7 橋台背面の盛土に用いた事例

工事名称：下鶴田橋側方移動対策 軽量安定処理土盛土工事

施主：宮城県仙台東土木事務所

施工地：宮城県黒川郡大郷町新堀地内

施工時期：1992.3

施工数量：1,600 m^3

使用目的：橋台の側方移動抑制と道路取付部の沈下抑制

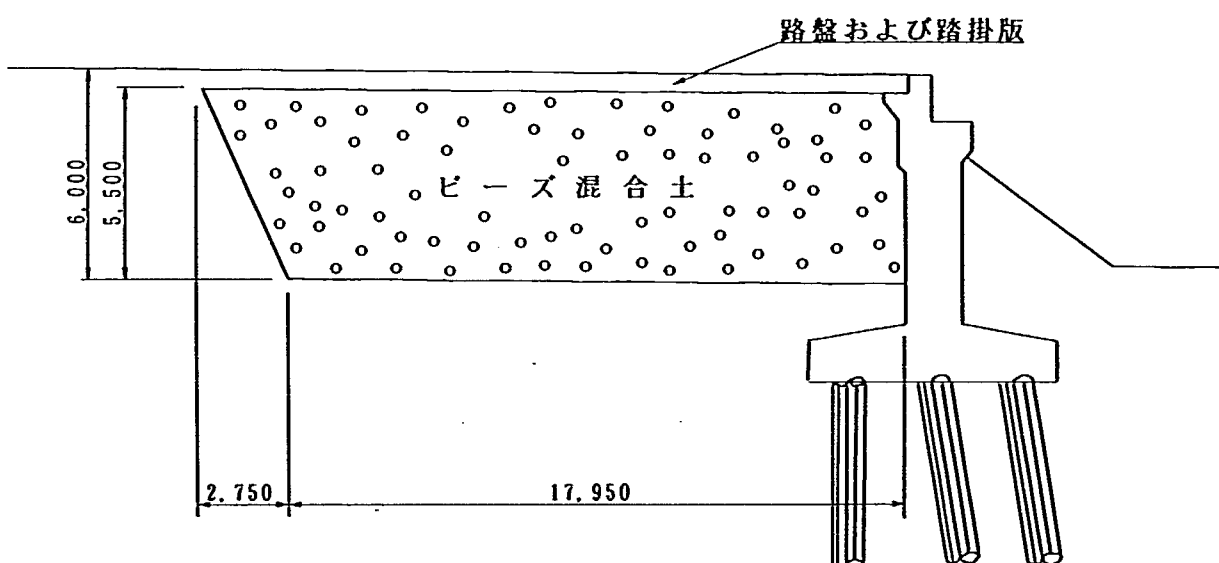
設計の考え方

当工事の橋台背面盛土は、道路路床・路体として、かつ、河川の堤体としての機能を有する必要がある。したがって、ビーズ混合土を用いる事により側方移動対策とし、必要とされる強度および止水性を確保できる配合とした。

工事概要

橋梁架換工事に伴って、基礎地盤が軟弱なため、橋台の側方移動について検討した結果、兩岸の橋台ともに「側方移動の可能性があり」と判定された。そこで、対策工として、ビーズ混合土を用いた軽量盛土工法を採用した。

標準断面等



使用材料：原料土（ブレロード転用材，砂分59～74%，細粒分26～41%，最適含水比23%，最大乾燥密度 1.333t/m³），発泡スチロールビーズ（φ3～7mm，15.4kg/m³），安定材（普通ポルトランドセメント），その他添加材（ベントナイト）

配合試験

土質定数の目標値：湿潤密度 $\rho_t = 1.07 \text{ t/m}^3$ ，

：透水係数 $k = 10^{-5} \text{ cm/s}$ ，CBR = 3%

：粘着力 $c = 3 \text{ tf/m}^2$ ，せん断抵抗角 $\phi = 15^\circ$

kは堤体としての、CBRは路床としての、c、 ϕ は安定計算に基づいた必要値であり、ビーズの混合比、セメントとベントナイトの添加率を変化させて配合試験を行い、下記の配合を決定した。

配合比

原料土	：	発泡ビーズ	：	安定材	：	ベントナイト	：	水
1	：	1.2	：	1%	：	6%	：	10%

施工方法

混合方法：バッチ式混合プラント（複合リボン型ミキサーを搭載したもの）

運搬・投入方法：運搬……11tダンプトラック，投入……バックホウ（0.4m³級）

敷き均し方法：小型湿地ブルドーザー（D4～D5級），20cm厚／1層

転圧方法：小型湿地ブルドーザー（同上）4回転圧（転圧試験結果による）

構造物付近はプレートコンパクターで補助転圧

管理方法：密度……プラント：突固めによる密度試験（1回／日）

現場：コアカッター法による密度試験（1回／500m³）

強度……軸圧縮試験およびCBR試験（1週養生）

施工後の状況

橋台の側方移動や取付道路の沈下は抑制され、対策工の効果が十分に発揮された。

参考文献

6-8 原位置混合の施工試験の事例

工 事 名 称：軽量強化改良土現場施工実験

施 主：佐賀大学・松尾建設（株）・三菱油化バーディッシュエ（株）

施 工 地：佐賀県佐賀郡東与賀町中大授

施 工 時 期：1989.12～1990.3

施 工 数 量：450 m^3 （予備実験含む）

使 用 目 的：地盤の挙動調査、沈下抑制効果の検討

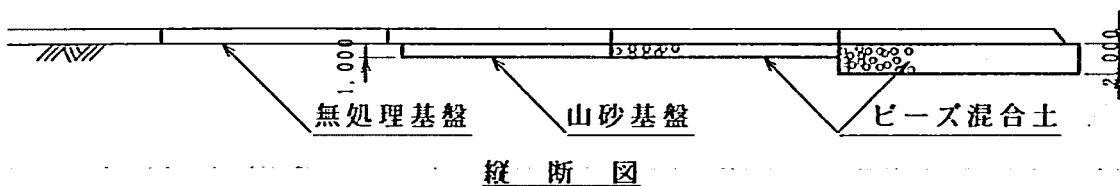
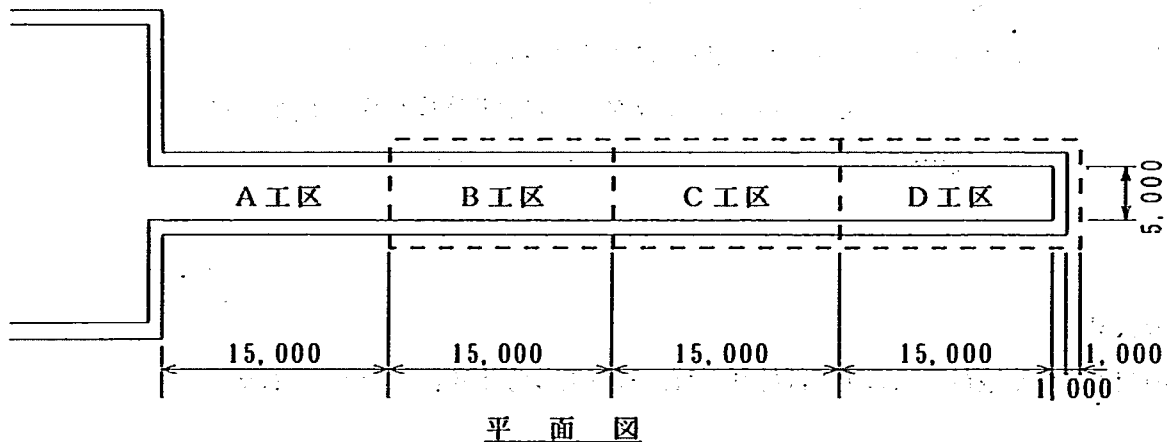
設計の考え方

現地盤の土の密度が $1.58\text{t}/\text{m}^3$ の現地盤の土に、発泡ビーズを2割程度混合し $1.3\text{t}/\text{m}^3$ 程度まで軽量化した。同時に生石灰を混合して有明粘土を固化させ、荷重分散による沈下を抑制した。

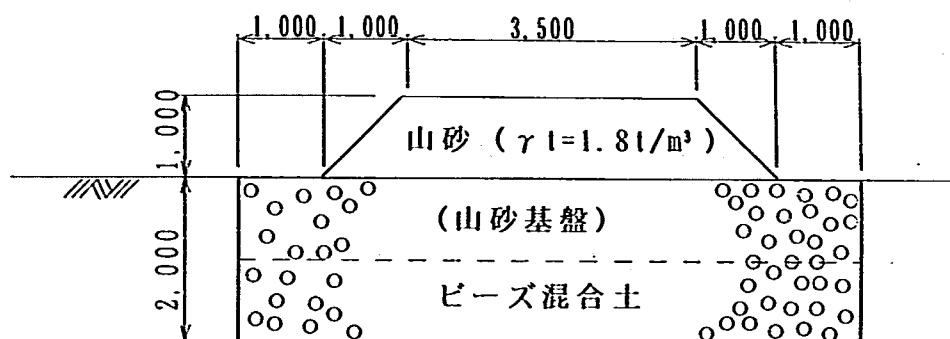
工 事 概 要

ビーズ混合土の基盤と無処理基盤、山砂基盤のそれぞれに同じ荷重を載せ、沈下量と鉛直土圧を測定した。

標準断面等



標準断面等



標準断面図

使用材料

有明粘土（現地土 自然含水比 ω =140～150%），発泡スチロールビーズ（50倍発泡難燃性），生石灰（1mmアンダー特号）

配合比：発泡ビーズ実容積が混合土全体の2割となる容積とする。

施工方法：

混合方法：バックホウに取り付けた油圧ローターにより、現場に散布した生石灰，発泡ビーズを直接原位置混合した。

施工後の状況

300日経過した時点で、沈下量は $B > A > C > D$ となっており、佐賀地区での通常の施工方法であるB工区に対して、2m厚のピーズ混合土基盤（D工区）では、沈下量が4分の1に収まっている。

参考文献：西田耕一，岩尾雄四郎ほか；発泡スチロールビーズを用いた軽量強化改良土の現場施工実験について

第26回土質工学研究発表会講演集 pp. 2213～2214, 1991

6-9 試験盛土工事の事例

工事名称 : 試験盛土工事

施主 : 住宅・都市整備公団 八王子試験所

施工地 : 東京都八王子市 住宅・都市整備公団八王子試験場

施工時期 : 1990.3

施工数量 : 75m^3 (盛土高=2.0m, 幅3.0×長さ3.0m)×3体

設計値 : 目標湿潤密度 : $\rho_w = 0.91/\text{m}^3$, 目標強度 : $q_u = 0.9\text{kgf}/\text{cm}^2$

使用材料 : 砂質土 $U_c=11$, 最適含水比 18.0%, 最大乾燥密度 $1.695\text{t}/\text{m}^3$

ローム $I_p=59.5$, 最適含水比 44.0%, 最大乾燥密度 $1.062\text{t}/\text{m}^3$

配合比 : 砂 : 発泡スチロール = 1 : 2.0, ローム : 発泡スチロール = 1 : 1.8

セメント添加率=5% (砂は盛土作成時に1%再添加)

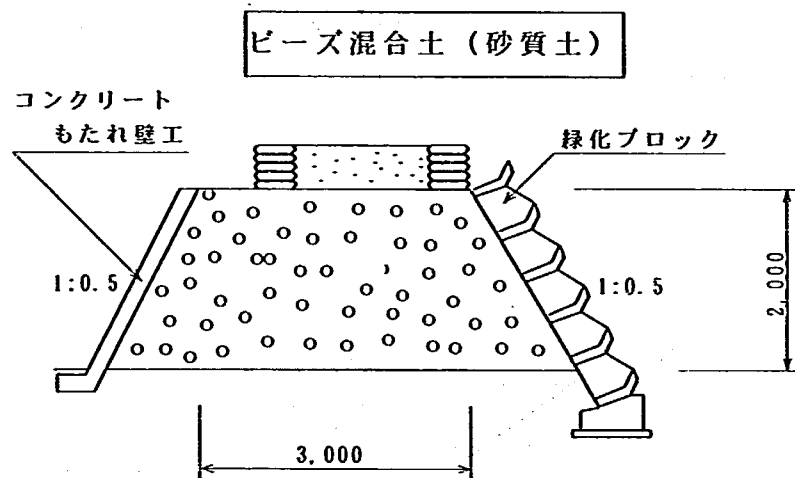
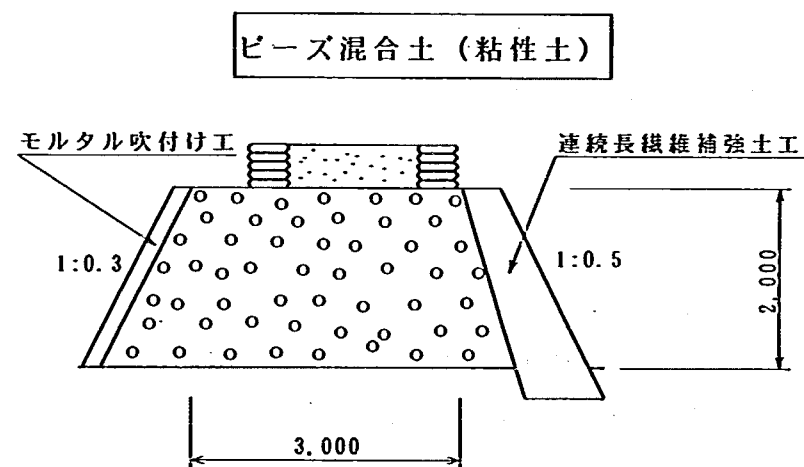
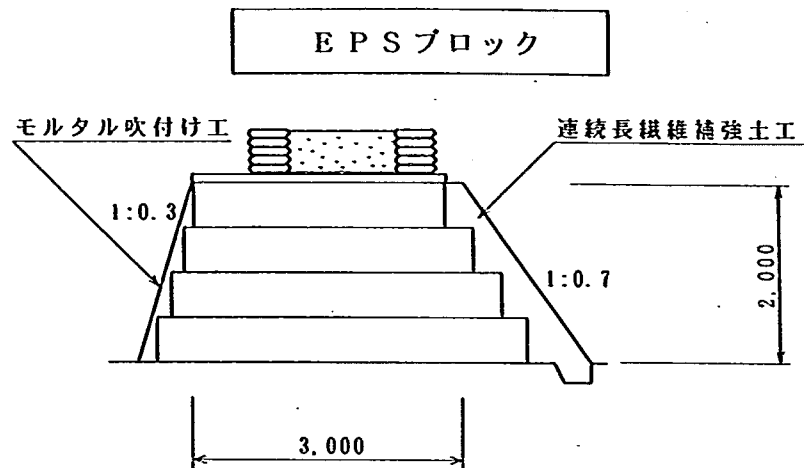
概要 :

各試験盛土体は、高さ2.0m, 天端幅3.0mの大きさであり、一連の連続した盛土で、各盛土体に保護工と擁壁工を組み合わせた。

試験盛土のため、各種の観測計器を設置している。

同時に、EPSブロックの試験盛土体も築造し、観測している。

標準断面等



参 考 文 献 : 皆川和夫, 榎谷衛, 永妻真治ほか; 軽量土を用いた試験盛土の挙動観測例
第26回土質工学研究発表会講演集, pp. 2229~2230 1991

6-10 橋台背面裏込めに用いた事例

工 事 名 称：河原木道路改良工事

施 主：建設省東北地方建設局青森工事事務所

施 工 地：青森県八戸市

施 工 時 期：1995. 2

施 工 数 量：2,500m³

使 用 目 的：荷重軽減、側方移動防止

設計の考え方

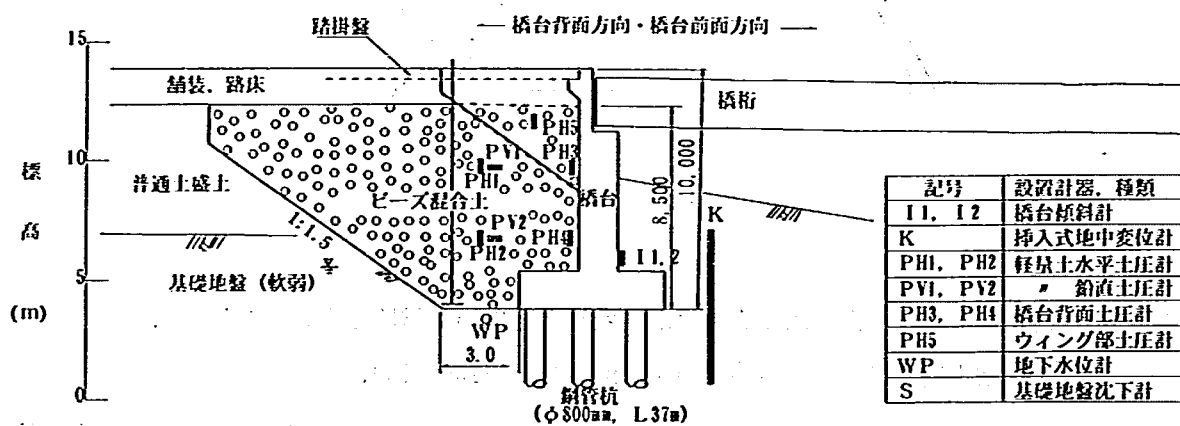
室内配合密度はプレロード盛土による地盤への荷重と、ビーズ混合土の裏込めによる荷重とがほぼ等しくなるように、湿潤密度 $\rho_w=1.05\text{t/m}^3$ に設定された。

室内配合強度は、道路の路体として利用されることを考慮して、一軸圧縮強さ $q_u=1.0\text{kgf/cm}^2$ に設定した。

工 事 概 要

青森県八戸市郊外の河原木において、高規格道路（4車線）改築工事の一環として建設された跨道橋背面の裏込めに、ビーズ混合土が適用された。現場は地表面から約40kmにわたって高有機質土層（ピート層）、軟弱粘性土層および緩い砂質土層などの沖積層が堆積しており、極めて軟弱な地盤である。この橋台の背面では軟弱地盤対策としてプレロードが行われていたが、橋台背面を通常の土砂で裏込めすると橋台が側方流動を生じるおそれがあった。そこで地盤への荷重増加を軽減するために、ビーズ混合土を用いた裏込めが行われた。

標準断面等



使用材料

現場近くで採取される火山灰質の砂質土（五戸産山砂）

土粒子の密度	$\rho_s=2.663\sim2.694\text{g/cm}^3$
自然含水比	$\omega=30.6\sim33.2\%$
粒 度	砂分:55~57%, シルト分:31~32%, 粘土分:11~14%
最大乾燥密度	$\rho_{d\max}=1.262\sim1.313\text{t/m}^3$
最適含水比	$\omega_{opt}=29.5\sim34.1\%$

発泡スチロールビーズ（80倍発泡）

普通ポルトランドセメント

配 合 比：

原 料 土：発泡ビーズ：安 定 材： 水			
1	:	1.03	: 5.2% : 4%

施 工 方 法

混合方法 : バッチ式混合プラント（複合リボン型ミキサーを搭載したもの）

運搬・投入方法 : 10 t ダンプトラック

敷き均し方法 : ブルドーザー（4 t 級）

転圧方法 : ブルドーザー（4 t 級）, 700kgローラー, 30cm/1層

管理方法 : 密度………プラント : 突固めによる密度試験（500m³毎に1回）

現 場 : 砂置換法（2~3回/1日）

強度………一軸圧縮強さ（ $\phi 50\times 100$ 1週・4週強度）, CBR試験（500m³毎に1回）

施工後の状況

ビーズ混合土を橋台背面の裏込めに適用した結果、橋台の傾斜を微少なレベルに抑えることができ、裏込め盛土の沈下も比較的小さかった。また橋台壁面への作用土圧は、通常の土を裏込めに用いた場合と比べて非常に小さく、2回の地震（北海道東方沖地震（震度4）、三陸はるか沖地震（震度6））を経た現在でも土圧は微少で安定した状況で推移している。

参 考 文 献：西田登，森範行，渡邊松男ほか；発泡ビーズ混合軽量土の橋台背面裏込めへの適用

土木学会第51回年次学術講演会概要集第3部 pp. 670~671 1996

6-11 河川堤防の嵩上げに用いた事例

工 事 名 称：鹿島台地区工事

施 主：建設省東北地方建設局北上川下流工事事務所

施 工 地：宮城県鹿島台町

施 工 時 期：1996. 8

施 工 数 量：2,650 m^3

使 用 目 的：不同沈下抑制

設計の考え方

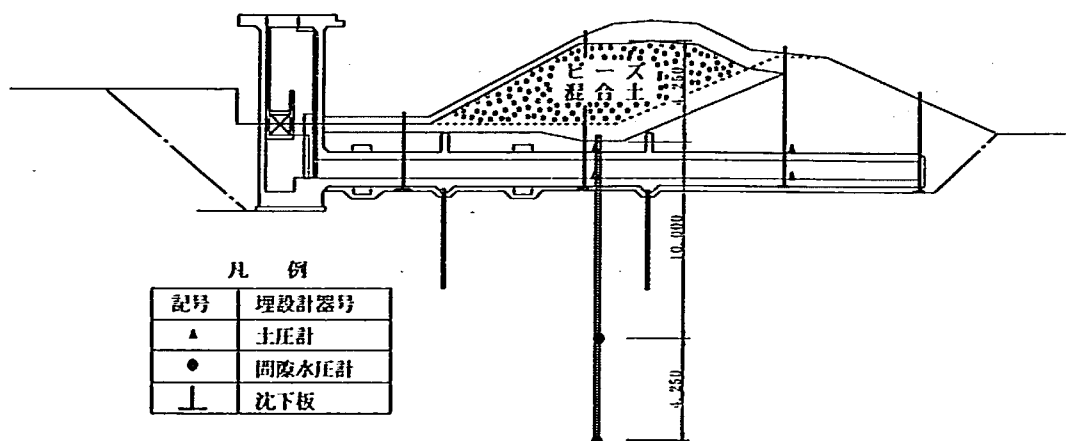
既設堤防を嵩上げし、前面に腹付け盛土を行う工事であり、杭で支持された樋管部とその周辺で、不同沈下が発生するため、樋管近傍の盛土荷重を低減することによって、不同沈下抑制を図った。原料土には山砂を用い、設計密度は $1.41/\text{m}^3$ で、分離抑制のためセメント（2%）を添加した。

工 事 概 要

本工事は、鳴瀬川本川の河川計画に基づいた、支流域での堤防嵩上げにともなう伏越工改築・堤防腹付盛土工事であり、不同沈下抑制を目的として、ビーズ混合土工法が採用された。

施工延長は 約20 m で、その外側は普通盛土部とのすり付け部としており、施工層厚は最大で約5 m である。

標準断面等



使用材料

宮城県志田郡鹿島台町

粒度特性	礫分 (2mm以上)	%	21	土粒子の密度 ρ_s	g/cm ³	2.69	
	砂分 (0.075～2mm)	%	54	路床土支持力比 (C B R)	%	—	
	シルト・粘土分 (0.075mm以下)	%	25	締固め特性	試験方法	C法	
	最大粒径	mm	19		最適含水比 ω_{opt}	%	16.5
	均等係数 U_c		307		最大乾燥密度 ρ_{dmax}	t/m ³	1.64
	曲率係数 $U_c \cdot$						

発泡スチロールビーズ (φ 3~5 mm)

普通ポルトランドセメント

配合比:

原 料 土	:	発泡ビーズ	:	安定材	:	水
1	:	0.7	:	2%	:	5%

施工方法

混合方法 : バッチ式混合プラント (複合リボン型ミキサーを搭載したもの)

運搬・投入方法 : 10 t ダンプトラック

敷き均し方法 : ブルドーザー

転圧方法 : ブルドーザー (4 t 級), ローラー (4 回転圧, 30cm/1 層)

施工後の状況

沈下板および土圧計を設置し、施工中の動態観測を行った。ビーズ混合土を用いた目的は不同沈下抑制であり、沈下観測の結果、平成8年3月末での沈下量は、軽量盛土の中央部 (樋管部) で約20cm, この上下流10m地点では25~35cm, 普通盛土部では50cm前後となっており、十分な効果が発揮された。

土圧は樋管上面および側面で計測されたもので、一般に軟弱地盤での杭基礎構造物で発生する現象と同様の状況がみられた。すなわち、樋管上面に作用する鉛直土圧は、直上の盛土荷重に相当する土圧以上となり、これと連動して、樋管近傍の側方では盛土荷重に相当する土圧以下となった。ビーズ混合土は通常の土と比較して、湿潤密度が1.4t/m³と軽いものの、通常の土とほぼ同様に挙動することを示すものである。

参考文献:

使用材料

現地発生土（有明粘土の物性）

土粒子 比重 (g/cm^3)	自然 含水比 (%)	湿潤 密度 (t/m^3)	粒度組成 (%)			液性 限界 (%)	塑性 限界 (%)	塑性 指数 (%)
			砂	シルト	粘土			
2.639	77.0	1.608	2.0	28.1	69.9	108	42.7	65.4

発泡スチロールビーズ（ $\phi 3 \sim 6 \text{ mm}$, 50倍発泡）

セメント系固化材

配合比：

（ビーズ混合土 1 m^3 あたり）

	有明粘土 (地山土量)	発泡ビーズ (ゆる詰状態)	セメント系固化材
容積混合比	1	0.66	
配合量	0.6 m^3	0.4 m^3	70kg

施工方法

混合方法：原位置混合機械（バックホウ 0.7 m^3 級に搭載）

運搬・投入方法：10 t ダンプトラック

敷き均し方法：ブルドーザー

転圧方法：ブルドーザー

施工後の状況

下表に示すように原位置混合方式においても、比較的安定した品質のビーズ混合土が製造できることが分かった。施工後1年半以上経過した現在現地における変形等は無く安定しており、クラックや亀裂は生じていない。

品質管理試験の結果

区間 No.	試料 No.	安定材 配合量 (kg/m^3)	含水比 (%)	湿潤密度 (t/m^3)	圧縮強さ (kgf/cm^2)	平均圧縮 強さ (kgf/cm^2)
1	1	70kg	60.3	1.043	2.417	2.816
	2		61.0	1.057	3.120	
	3		59.2	1.024	2.912	
2	1	70kg	58.1	1.050	2.653	2.903
	2		59.6	1.020	3.388	
	3		60.4	1.080	2.667	
3	1	70kg	69.2	0.987	2.438	3.068
	2		72.2	0.991	3.070	
	3		74.8	1.025	3.696	

参考文献：三木博史、森範行、松延正外、西田耕一：発泡ビーズ混合軽量混合土による海岸堤防裏側の嵩上げ工事

土木技術 Vol. 51, No. 2 1996. 2