

混合補強土の技術開発に関する共同研究報告書 —気泡混合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	秩父小野田(株)
麻生セメント(株)	日特建設(株)
(株)大林組	日本国土開発(株)
(株)加藤建設	日本セメント(株)
五洋建設(株)	(株)フジタ
清水建設(株)	フドウ技研(株)
住友大阪セメント(株)	三井建設(株)
(株)銭高組	

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 —気泡混合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 秩父小野田（株）
麻生セメント（株） 日特建設（株）
（株）大林組 日本国土開発（株）
（株）加藤建設 日本セメント（株）
五洋建設（株）（株）フジタ
清水建設（株） フドウ技研（株）
住友大阪セメント（株） 三井建設（株）
（株）銭高組

要 旨

本報告書は、土砂に水、固化材、気泡を混合して製造される気泡混合土を、盛土材料や埋戻し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、気泡、作用土圧低減、流動性

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気泡混合土の成果をとりまとめたものである。

本マニュアルでは、軽量性や流動性といった気泡混合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

一 気泡混合土利用技術マニュアル

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*

岩 瀬 豊 実	麻生セメント(株) 中央研究所
大 神 年 彦	麻生セメント(株) 中央研究所

久 保 博	(株)大林組 技術研究所 化学研究室
大 石 守 夫	(株)大林組 土木技術本部 技術第四部

石 濱 謙 一	(株)加藤建設 技術部
加 藤 徹	(株)加藤建設 技術部*
加 藤 公 司	(株)加藤建設 技術部*

新 舍 博	五洋建設(株) 技術部門 技術研究所
菅 谷 禎 男	五洋建設(株) 技術部門 技術部 特許課
松 下 弘 志	五洋建設(株) 技術部門 技術研究所
井 上 茂	五洋建設(株) 技術部門 技術研究所*

*前担当者

久保田 年 久	清水建設(株) 土木本部 技術第一部
伊 勢 壽 一	清水建設(株) 土木本部 技術第一部
草 刈 太 一	清水建設(株) 土木東京支店 技術部*
面 高 安 志	住友大阪セメント(株) 関東セメント・コンクリート開発センター
佐 藤 常 雄	(株)銭高組 技術本部 技術研究所
原 田 尚 幸	(株)銭高組 技術本部 技術研究所
上 野 武 彦	秩父小野田(株) F M事業部
関 口 昌 男	秩父小野田(株) 中央研究所 セメント・コンクリート研究所*
高 橋 春 仁	日特建設(株) 技術本部 技術部
岡 崎 賢 治	日特建設(株) 技術本部 技術部
黒 山 英 伸	日本国土開発(株) 技術開発研究所 化学チーム
彦 坂 周 男	日本セメント(株) セメント営業部 クリーンセメント課
船 津 英 治	日本セメント(株) クリーンセメント事業部*
池 内 正 明	(株)フジタ 土木本部 生産技術部
入 島 文 雄	フドウ技研(株) 営業部
須 藤 文 夫	フドウ技研(株) 営業部
黒 島 一 郎	三井建設(株) 土木本部 土木技術部
戸 村 豪 治	三井建設(株) 技術研究所 第一研究開発部門

*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
1-1 気泡混合土の定義および特徴	1
1-1-1 物 性	1
1-1-2 特 徴	2
1-2 用途と利用分野	3
1-3 適用の範囲	4
1-4 用語の定義	5
参考文献	7
第2章 調 査	8
第3章 工学的特性	9
3-1 基本特性	9
3-1-1 密度特性	9
3-1-2 透水特性	13
3-1-3 熱特性	16
3-1-4 動的特性	19
3-2 強度・変形特性	20
3-2-1 一軸圧縮強さ特性	20
3-2-2 圧縮特性	28
3-2-3 三軸圧縮強度特性	30
3-2-4 曲げ強度特性	34
3-2-5 引張強度特性	36
3-2-6 梁の曲げ試験結果	38
3-2-7 付着強度特性	43
3-2-8 摩擦抵抗特性	45
3-2-9 CBR特性	48
3-2-10 ポアソン比および変形係数	50

3-3 耐久性	53
3-3-1 繰返し载荷特性	53
3-3-2 乾湿繰返し特性	58
3-3-3 凍結融解特性	59
3-3-4 クリープ特性	60
3-3-5 暴露試験	62
参考文献	63
第4章 設計法	64
4-1 盛土としての使い方	64
4-1-1 用途	64
4-1-2 設計の考え方	65
4-1-3 安定検討	74
4-1-4 気泡混合土によって発生する土圧	80
4-1-5 細部設計	83
4-2 埋戻し、充填等の使い方	85
4-2-1 用途	85
4-2-2 利用上の考え方	85
参考文献	87
第5章 配合	88
5-1 配合設計	88
5-2 配合試験方法	89
5-2-1 試験手順	89
5-2-2 配合計算	90
5-2-3 気泡混合土の作製方法	92
5-2-4 試験項目および方法	93
5-3 配合試験事例	96
5-3-1 霞ヶ浦浚渫粘性土の配合試験事例	96
5-3-2 各種の土砂による配合試験結果	100
5-3-3 配合試験結果の考察	135
第6章 施工法	139
6-1 一般	139

6-2	材料の貯蔵	141
6-3	施工方法	142
6-3-1	施工手順	142
6-3-2	製造方法	142
6-3-3	施工機械、設備、ヤード	145
6-3-4	掘削、整地工	149
6-3-5	型枠工	150
6-3-6	打設工	150
6-3-7	養生	150
6-3-8	脱型	151
6-4	施工管理	151
6-4-1	品質管理	151
6-4-2	出来型管理	152
第7章	適用事例	153
7-1	高規格道路拡幅盛土	153
7-2	基礎下地盤沈下対策	155
7-3	耐震岸壁における水中軽量盛土	157

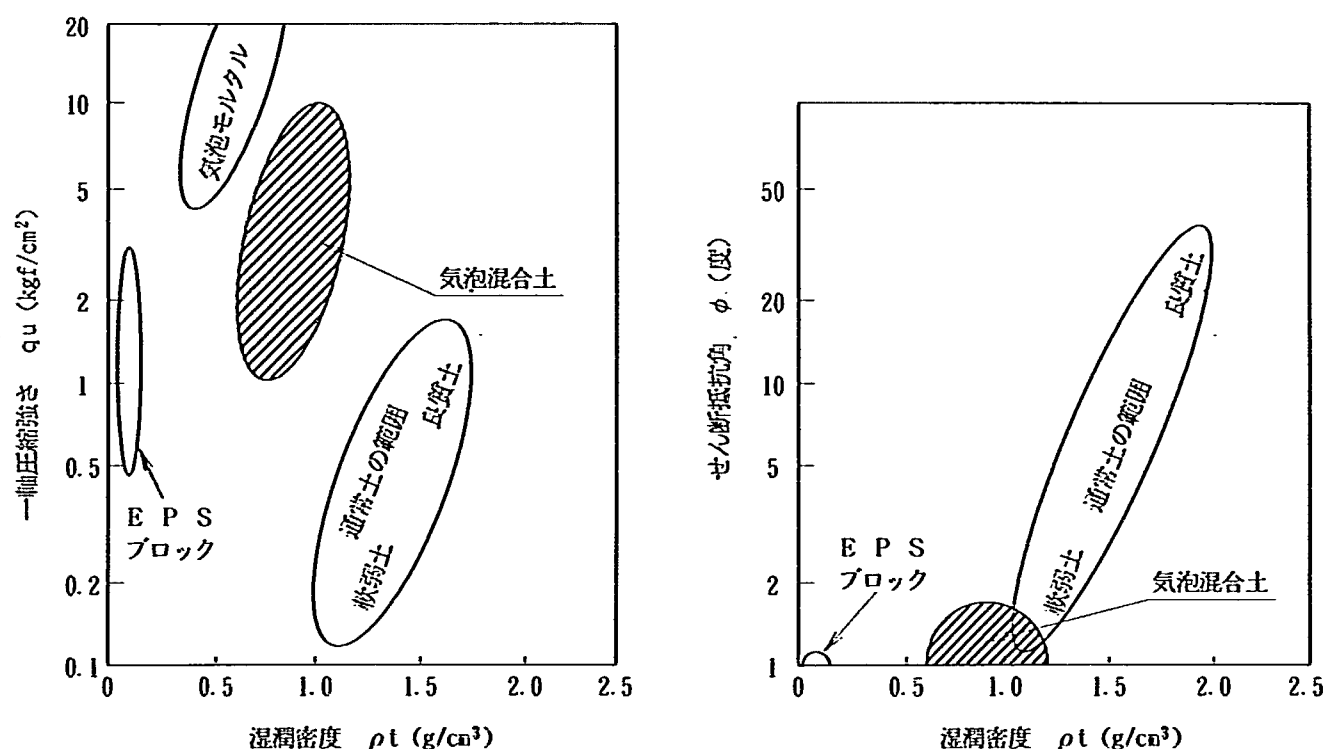
第1章 概 要

1-1 気泡混合土の定義および特徴

発生土の再生利用技術としては、従来から土にセメントや石灰などの固化材を添加・混合する土質改良による方法がよく用いられているが、最近では低品質の発生土を高付加価値化する技術が開発されてきている。気泡混合土は、それらの技術の一つであり、建設工事などから発生する土砂に、水、固化材、気泡および混和剤などを混合して作製された軽量の改良土である。

1-1-1 物 性

固化材、気泡などが添加されている気泡混合土は、それらの効果によって、強度と密度を図1-1に示す範囲に調整可能であり、気泡モルタルなどの高強度の領域や、EPSブロックの超軽量領域とは異なる新しい領域を占めるものである。



(注) 各材料とも通常の範囲を概略的に示したものである。

図1-1 一軸圧縮強さおよびせん断抵抗角と密度との関係

1-1-2 特 徴

気泡混合土は、現場での発生土（砂質土、粘性土）が利用でき、以下に示すような優れた特徴を有している。

①硬化性

- ・任意の : 固化材の添加量によって、一軸圧縮強さは $q_u=10\text{kgf/cm}^2$ 程度までで任意の強度発現 設定が可能。
- ・急結性 : 急結剤の添加が可能であり、急速な現場復旧が可能。
- ・耐久性 : 長期耐久性が高い。

②施工性 : 固化前は高い流動性を示し、長距離圧送が可能。また、転圧、締固めがいらないため、狭小な部分の埋戻し、充填が容易。

③軽量性 : 湿潤密度 $0.6\sim1.2\text{g/cm}^3$ 程度の間で任意に設定可能で目的に応じた軽量化が可能。

④均質性 : ミキサでの攪拌により均質に混合。

⑤断熱性 : 空隙量が多いために断熱材としての機能を持つため、凍結・凍上の防止材としても利用可能。

⑥透水性 : 透水性が小さい。

1-2 用途と利用分野

気泡混合土は軽量性があり、橋台・擁壁の裏込め材や、山岳地や軟弱地盤での拡張盛土などの用途がある。また、流動性と自硬性を有することから、従来の埋戻しや充填などにおいて、締固め困難な箇所への用途があり、広範囲に適用可能である。以下に主な適用用途を示す。

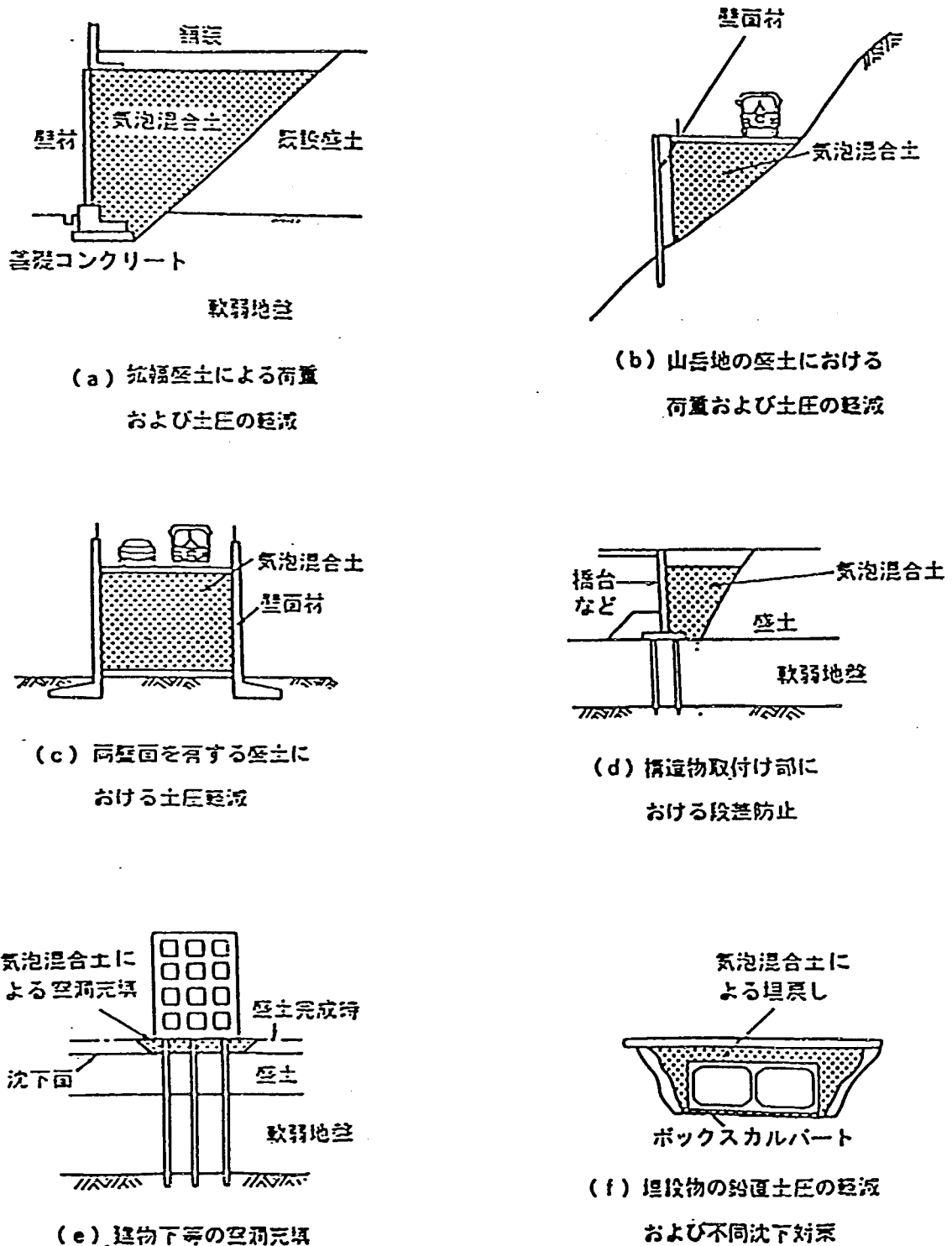


図 1-2 主な適用用途¹⁾

1-3 適用の範囲

本書は、土木構造物における、橋台、擁壁の裏込めや構造物の埋戻し、空洞充填、軽量盛土などに気泡混合土を適用する場合の設計・施工に関して記述したものである。したがって、極めて特殊な用途や施設などの設計・施工については別途検討しなければならない。

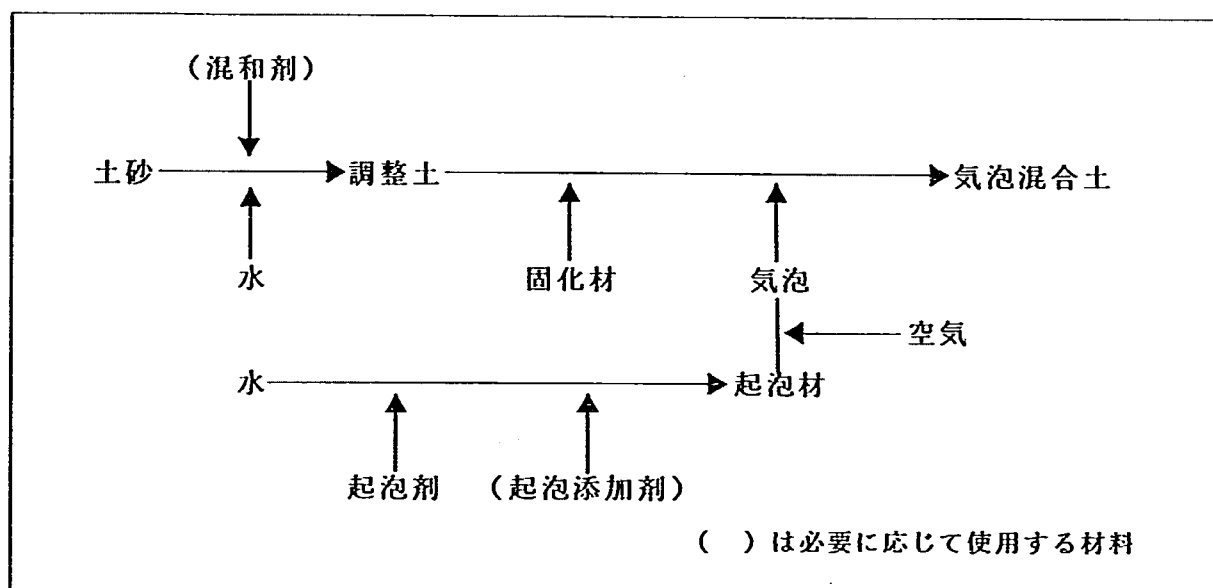
また、本書は、以下に示す指針等に準拠するものであるので、本書に規定されていない事項については、その用途に応じて以下の指針、規準に従って設計・施工するものとする。

- ・道路土工…擁壁・カルバート・仮設構造物工指針（昭和 62年 5月）
- ・道路土工…のり面工・斜面安定工指針（昭和 61年 11月）
- ・道路土工…軟弱地盤対策工指針（昭和 61年 11月）
- ・道路橋示方書・同解説Ⅰ共通編Ⅳ下部工構造編（平成 6年 2月）
- ・道路土工…施工指針（昭和 61年 11月）
- ・道路土工…土質調査指針（昭和 61年 11月）
- ・道路土工…排水工指針（昭和 62年 6月）
- ・道路土工…道路土工要綱（平成 2年 8月）
- ・土木構造物標準設計（擁壁類）第2巻
- ・建設発生土利用技術マニュアル（平成 6年 7月）

1-4 用語の定義

本書に用いる用語を次のように定義する。

- ・気泡混合土：土砂、固化材、水、気泡および混和剤から構成される改良土を気泡混合土という。



- ・土砂：気泡混合土の主材料として用いる土（砂、シルト、粘土、ロームなど）を土砂という。
- ・固化材：土砂や気泡を化学的に安定処理し、強度や剛性をもたせるために添加する材料（普通ポルトランドセメント、高炉セメント、フライアッシュセメント、石灰などのほか土質安定処理などに使用されるセメント系固化材、石灰系固化材など）を固化材という。
- ・調整土：土砂に含まれる異物や礫を取り除き、これに水を加えて含水比または密度を所定の値に調整したものを調整土という。
- ・気泡：軽量性や流動性をもたせるために混合するもので、起泡材および空気を発泡装置により発泡させたもの（実際には、目的の密度を簡単にかつ安定して製作することが可能なプレフォーム方式によることが多い）を気泡という。
- ・起泡材：水に起泡剤および起泡添加剤を溶解して作製したものを起泡材という。
- ・起泡剤：気泡を発生させるために用いられる界面活性剤（動物蛋白系界面活性剤または陰イオン界面活性剤など）を起泡剤という。
- ・起泡添加剤：気泡の安定を増すために使用する材料（非イオン性水溶性ポリマーなど）を起泡添加剤という。

- ・ 混和剤 : 土砂の解泥を促進したり流動性を増して固化材の混合を容易にしたり、気泡混合土の固化を促進あるいは遅延させるために使用するための材料（流動化剤、減水剤、凝結促進剤・遅延剤など）を混和剤という。
- ・ 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設計配合という。
- ・ 現場配合 : 土砂の含水比などの変化に応じて設計配合から計算したもので、現場で実際に計算する量を示したものを現場配合という。
- ・ 設計基準値 : 現場施工において、満足しなければならない基準値を設計基準値という。
- ・ 割り増し率 : 室内と現場の条件の違い、使用材料の条件の違いおよび使用材料のバラツキを考慮した、（室内配合試験強度）／（現場試験強度）の強度比による安全率のことを割り増し率という。
- ・ 強度 : 特に断りのない限り一軸圧縮強さのことを強度という。
- ・ フロー値 : 気泡混合土の流動性を表す数値(mm)のことをフロー値という。
- ・ 生比重 : 気泡混合土の固化前の密度を生比重という。
- ・ 空気量 : 気泡混合土中の起泡材により発泡された気泡に包まれている空気の量を空気量という。
- ・ 気泡密度 : 起泡材から発泡された気泡の密度のことを気泡密度という。起泡材の比重1.0として考えると、気泡密度の逆数を発泡倍率と呼んでいる。

参考文献

- 1)建設発生土の利用のための開発工法概要、建設省大臣官房技術調査室、pp. 12、平成7
年に加筆

第2章 調 査

盛土や擁壁・橋台の裏込めなどに気泡混合土を用いる場合の計画・設計・施工にあたって、次の事項について調査することを原則とする。なお、調査内容および方法については、工事の種類、規模、重要性、さらにはできあがった構造物の維持管理が安全で経済的かつ合理的に行われることを目的とし、これらの要件に応じて決定する。

(1) 土砂（材料）調査

- ①土砂（材料）の調達方法の確認
- ②土砂（発生土）の物性調査（前処理の必要性の有無）

(2) 施工箇所の地形、地質、土質調査

- ①表層の性状、傾斜
- ②地盤の土質、支持力、強度
- ③地盤の地下水の有無、水位、浸透水量
- ④地盤の沈下検討に必要な事項

(3) 施工条件（周辺条件）

- ①地下水位の状態（降雨、洪水など含む）
- ②施工ヤード（ストックヤード）の確認
- ③地下埋設物の状況
- ④周辺構造物の調査

第3章 工学的特性

本章では、気泡混合土の工学的性質について述べる。使用した主な土砂は、粘性土（有楽町層）、関東ローム、霞ヶ浦浚渫土、名古屋粘性土、固化材は普通ポルトランドセメント、高炉セメントB種、セメント系固化材である。表3-1に使用した土砂の物理的性質を示す。気泡混合土の作製時には流動性を確保するため、土砂の含水比を280%~400%に調整している。

表 3 - 1 対象土の物理的性質

a) 粘性土（有楽町層）

含水比 W_n %	液性限界 W_L %	塑性限界 W_p %	土粒子 の密度 g/cm^3	粒 度 分 布 %				p H	強 熱 減 量 %
				礫	砂	シルト	粘土		
96.41	104.41	50.91	2.643	0	4.3	53.6	42.1	7.9	10.0

b) 関東ローム

含水比 W_n %	液性限界 W_L %	塑性限界 W_p %	土粒子 の密度 g/cm^3	粒 度 分 布 %				p H	強 熱 減 量 %
				礫	砂	シルト	粘土		
125.75	161.16	99.53	2.780	0	4.0	56.4	39.6	6.6	20.0

c) 霞ヶ浦浚渫土

含水比 W_n %	液性限界 W_L %	塑性限界 W_p %	土粒子 の密度 g/cm^3	粒 度 分 布 %				p H	強 熱 減 量 %
				礫	砂	シルト	粘土		
104.2	99.6	35.8	2.708	0	24.7	36.9	38.4	5.76	13.1

d) 名古屋粘性土

含水比 W_n %	液性限界 W_L %	塑性限界 W_p %	土粒子 の密度 g/cm^3	粒 度 分 布 %				p H	強 熱 減 量 %
				礫	砂	シルト	粘土		
73.5	47.9	30.1	2.657	0	32.6	24.4	43.0	5.9	5.5

3 - 1 基本特性

3 - 1 - 1 密度特性

気泡混合土は配合条件に基づいた気泡量を添加して、軽量性を確保している。製作時に添加された気泡は打設時の流動距離や打設高さなどの打設条件や固化過程に消泡したり、あるいは圧縮され、気泡混合土の密度が増加する。また、気泡混合土が地下水位以下になる場合や気泡混合土に水が浸入する場合は吸水し、密度が増加する。

以下に、打設高さによる密度への影響および吸水による密度増加について示す。

(1) 打設高さによる密度への影響

1回の打設高さを高くした場合の密度および強度への影響を把握するため、 $\phi 40\text{cm}$ (高さ4m)の管に気泡混合土を打設した。打設条件は、4mを1回で打設、2m打設して1日後に2m打設、2m打設して2日後に2m打設の3ケースで行っている。

図3-1に打設面からの深さと密度、一軸圧縮強さとの関係を示す。全体的な傾向として、一回当たりの打設高さが大きくなると下部ほど密度が大きくなる傾向にある。4mを1回で打設した場合は気泡混合土の密度、および強度が底部の1m程度の範囲で大きくなり、2mずつ2回に分けて打設した場合は密度に与える影響は小さくなっている。これは気泡を添加した場合、混合土が固化するまでは内部の気泡は圧力の影響を受けやすい¹⁾²⁾ことから、1回の打設高さが高くなったために密度増加したものと考えられる。

密度のばらつきが少ない施工を考慮するならば、一回当たりの打設高さは1.0m程度以下が望ましく、これを越えて打設する場合には、密度増加を考慮して打設高さを決める必要がある。

土質名：霞ヶ浦浚渫土（調整土含水比280%） 固化材：セメント系固化材（95kg/m³）
目標密度：0.8g/cm³

●：4m 1回打設 ■：2m打設、1日後2m打設 ▲：2m打設、2日後2m打設

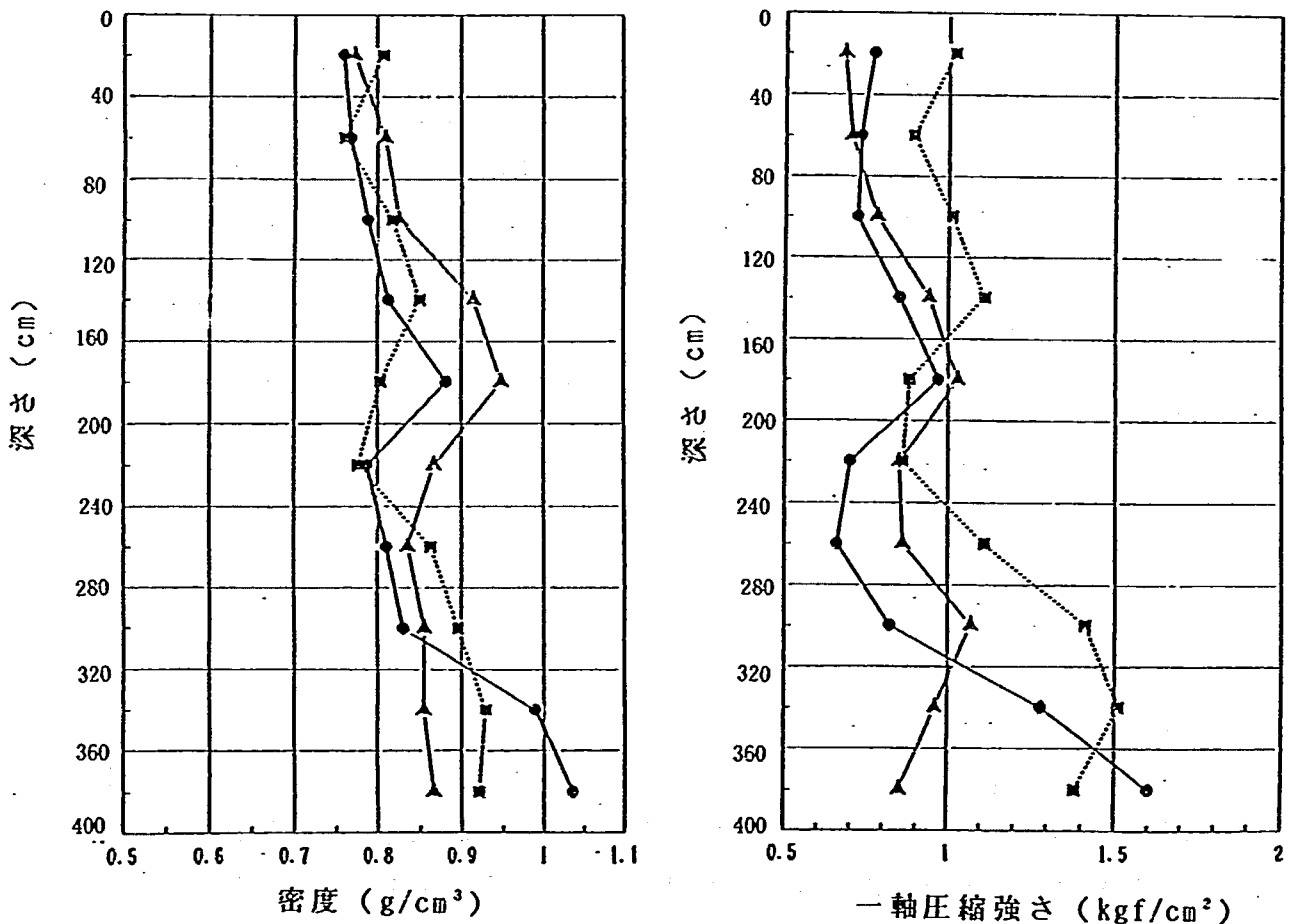


図3-1 打設面からの深さと密度、一軸圧縮強さの関係

(2) 吸水による密度への影響

気泡混合土は内部に空隙を有するため、水浸時の吸水による密度への影響を把握することが重要である。φ 5 cm×h10cmの供試体を水道水中に全水浸させて行った吸水試験結果を示す。

図3-2に水浸日数と密度の関係を示す³⁾。気泡混合土を水浸させると吸水することにより密度が増加する。吸水による密度増加は密度の小さいもの、すなわち気泡量の多いものほど大きくなっている。

次に、長期的な吸水試験の結果を図3-3に示す。水浸条件の違いによる密度への影響を把握するために、水浸深さ0m、および水浸深さ2mの条件で行っている。気泡混合土の吸水は長期間にわたって続き、密度が増加する。また、水浸条件が異なると吸水による密度の増加割合も異なり、密度の増加割合は、水浸深さ2m>水浸深さ0mとなっている。

以上のことから、水浸状態となる場所において気泡混合土を使用する場合には、遮水して密度の増加を防ぐかあるいは水浸による密度増加を考慮した設計をする必要がある。

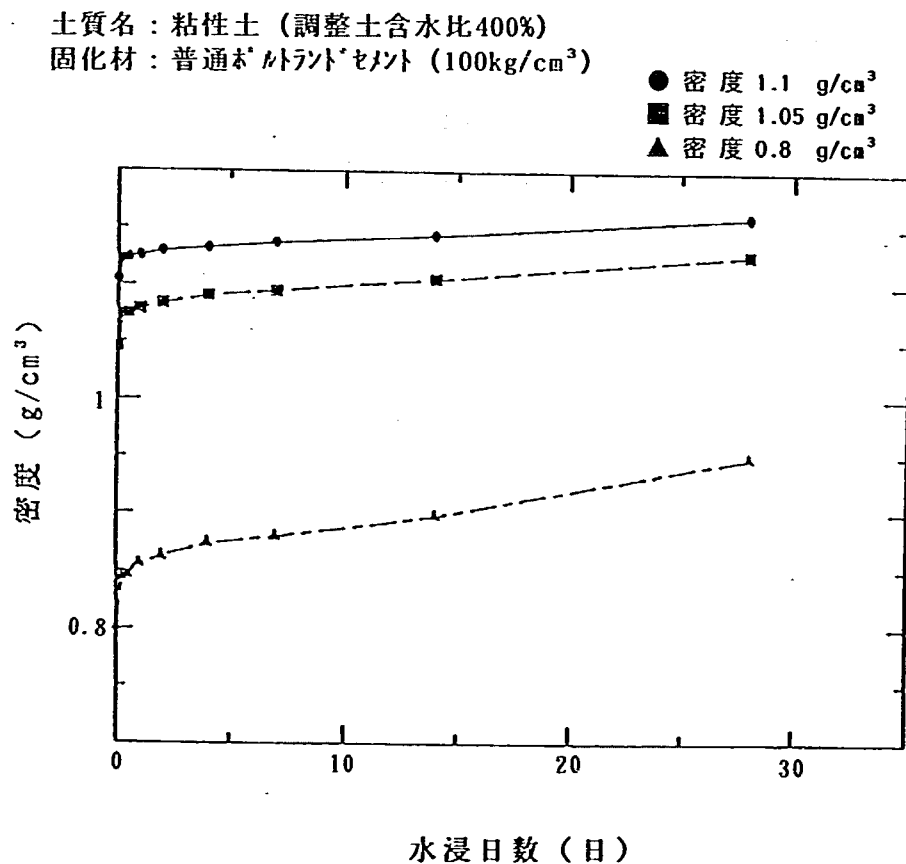
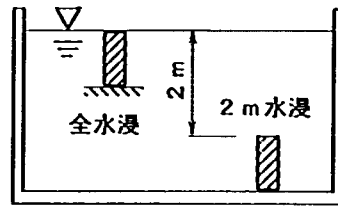


図3-2 水浸日数と密度の関係



水浸状況

密度 : 1.0 g/cm^3
 固化材量 : 200 kg/cm^3

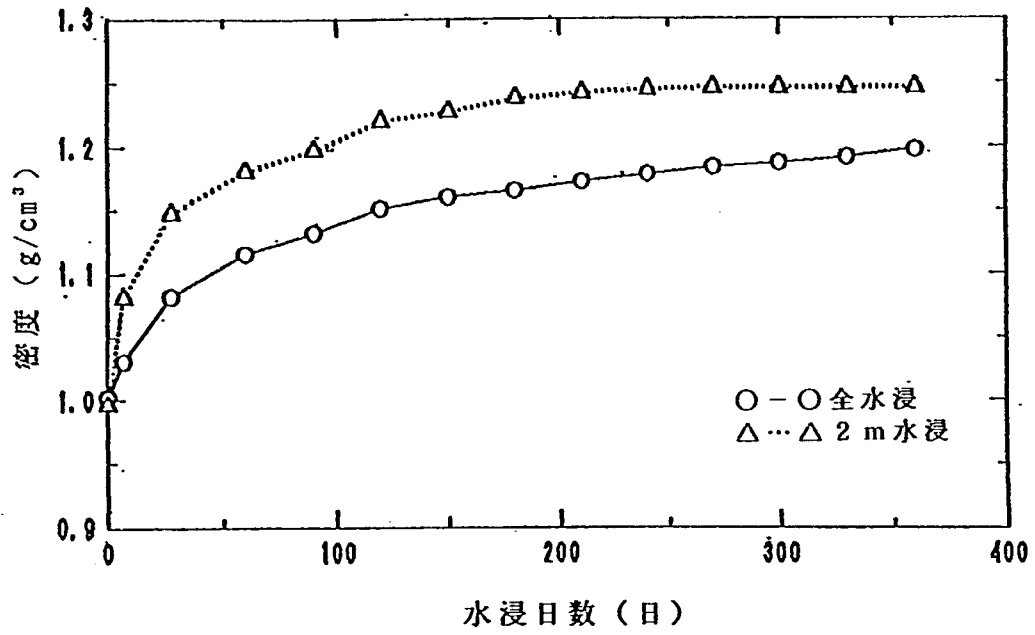


図 3 - 3. 長期間の水浸日数と密度の関係

3-1-2 透水特性

気泡混合土は内部に気泡を有するため、飽和状態によっては透水特性が変化することが考えられる。気泡混合土は当初は不飽和状態であるが、利用条件によっては吸水によって飽和することも考えられるので、不飽和状態および強制的に飽和させた試料で実施した透水試験結果を示す。試験は所定の動水勾配に設定した後、24時間放置し、その後6日間計測している。不飽和試料では動水勾配を3種類 ($i=6, 12, 20$) 変えて計測している。

表3-2 a) 不飽和透水試験、表3-2 b) 飽和透水試験に用いた試料の諸元と試験終了後の試料の状態を示す。なお、比較のためにソイルセメントでも透水試験を実施している。

表3-2 a) 供試体の緒元－不飽和透水試験

土質名：粘性土 固化材：普通ポルチランドセメント

供試体 項目	気泡混合土		
	$q_v=2.0 \text{ kgf/cm}^2$ $\rho_i=0.8 \text{ g/cm}^3$	$q_v=2.0 \text{ kgf/cm}^2$ $\rho_i=1.0 \text{ g/cm}^3$	$q_v=2.0 \text{ kgf/cm}^2$ $\rho_i=1.1 \text{ g/cm}^3$
試験前			
湿潤密度 $\rho_s (\text{g/cm}^3)$	0.811	1.001	1.123
含水比 $W (\%)$	204.8	239.7	241.4
飽和度 $S_r (\%)$	59.4	79.3	90.4
試験後			
湿潤密度 $\rho_s (\text{g/cm}^3)$	0.819	1.016	1.138
含水比 $W (\%)$	$W_{上}=212.9$ $W_{中}=214.2$ $W_{下}=213.6$ $W_{平均}=213.6$	$W_{上}=249.7$ $W_{中}=255.8$ $W_{下}=258.3$ $W_{平均}=254.6$	$W_{上}=248.8$ $W_{中}=250.7$ $W_{下}=267.3$ $W_{平均}=255.6$
飽和度 $S_r (\%)$	61.7	81.7	92.7

表3-2 b) 供試体の緒元－飽和透水試験

土質名：粘性土 固化材：普通ポルチランドセメント

供試体 項目	気泡混合土			ソイルセメント
	$q_v=2.0 \text{ kgf/cm}^2$ $\rho_i=0.8 \text{ g/cm}^3$	$q_v=2.0 \text{ kgf/cm}^2$ $\rho_i=1.0 \text{ g/cm}^3$	$q_v=2.0 \text{ kgf/cm}^2$ $\rho_i=1.1 \text{ g/cm}^3$	
試験前				
湿潤密度 $\rho_s (\text{g/cm}^3)$	0.802	1.017	1.108	1.188
B 値	0.94	0.91	0.91	飽和度 98.2%
試験後				
湿潤密度 $\rho_s (\text{g/cm}^3)$	1.138	1.190	1.193	1.198
含水比 $W (\%)$	$W_{上}=350.8$ $W_{中}=356.7$ $W_{下}=354.8$ $W_{平均}=354.1$	$W_{上}=290.1$ $W_{中}=294.6$ $W_{下}=301.6$ $W_{平均}=295.4$	$W_{上}=261.2$ $W_{中}=270.9$ $W_{下}=279.4$ $W_{平均}=270.5$	$W_{上}=270.4$ $W_{中}=271.2$ $W_{下}=274.1$ $W_{平均}=271.9$
飽和度 $S_r (\%)$	98.1	100.0	98.5	99.4

図3-4に気泡混合土の密度 1.0 g/cm^3 の、不飽和、飽和状態での試験結果を示す。

気泡混合土の不飽和状態での透水係数は 10^{-6} cm/s のオーダーを示し、動水勾配による違い

は認められない。また計測6日経過後でも大きな変化は認められず安定している。一方、飽和状態での透水係数は 10^{-5} cm/sのオーダーを示し、不飽和状態よりも若干大きな値となっている。表3-2 a)に示した様に、試験による含水比の変化をみると全体的に含水比は10%程度増加しているものの、試験後の飽和度は81.7%であり、不飽和状態での透水係数と言える。このことから、不飽和状態での透水は、試料内部の気泡が飽和しての透水ではなくて、みずみち的な流れになっているものと考えられる。このため透水係数も安定しているものと考えられる。比較のために実施したソイルセメントの試験結果を図3-5に、試料の密度と透水係数の関係を図3-6に示す。気泡量が多くなると不飽和透水係数は小さくなり、飽和透水係数は大きくなっている。また、気泡量が少なくなると、気泡混合土の透水係数はソイルセメントの透水係数（ほぼ飽和状態）に近づく傾向となっている。

以上述べたように、気泡混合土の透水係数は飽和状態になっても、不飽和状態よりも透水係数は若干大きくなるものの 10^{-5} cm/sのオーダーを示し、透水性は低い材料と言える。

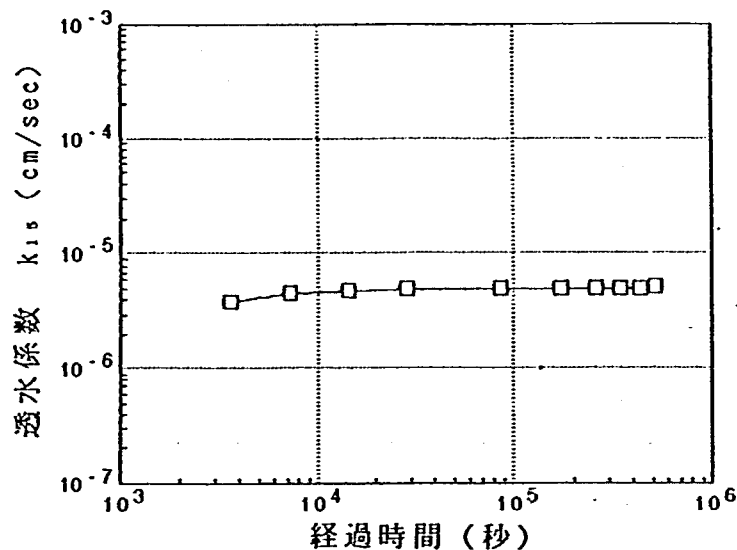


図3-4 a) 試験開始からの経過時間と透水係数 k_{15} の関係 (密度 1.0g/cm^3 、不飽和状態)

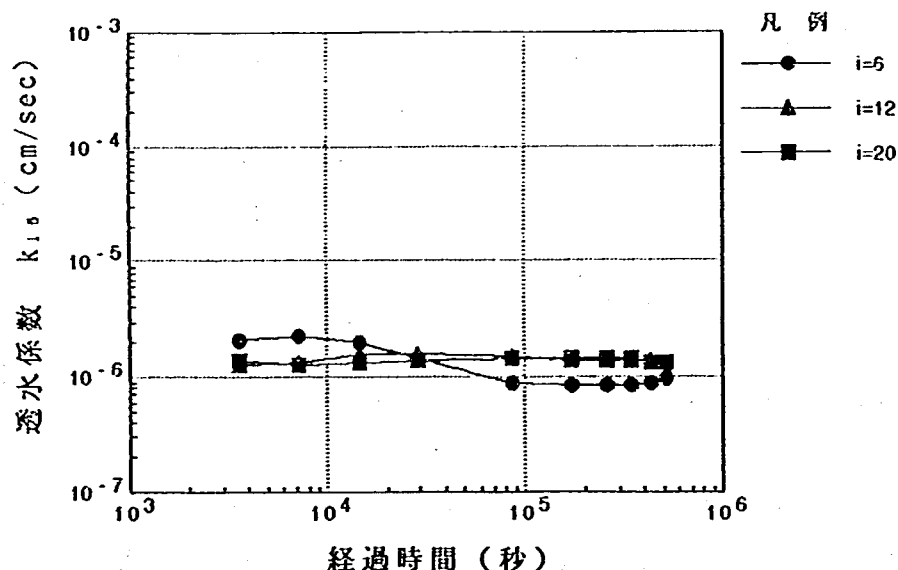


図3-4 b) 試験開始からの経過時間と透水係数 k_{15} の関係 (密度 1.0g/cm^3 、飽和状態)

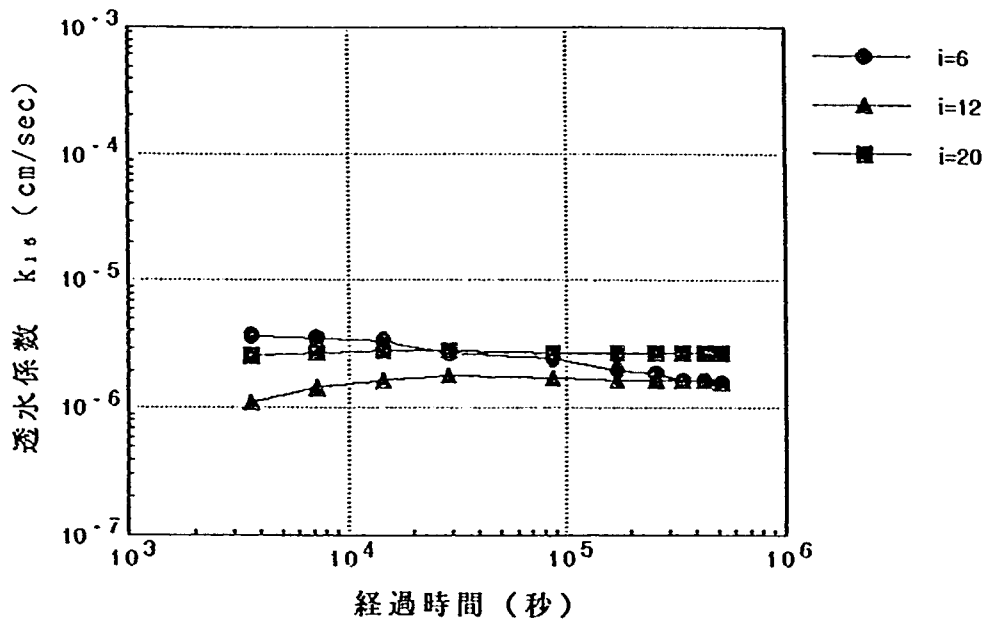


図3-5 試験開始からの経過時間と透水係数 k_{15} の関係 (ソイルセメント)

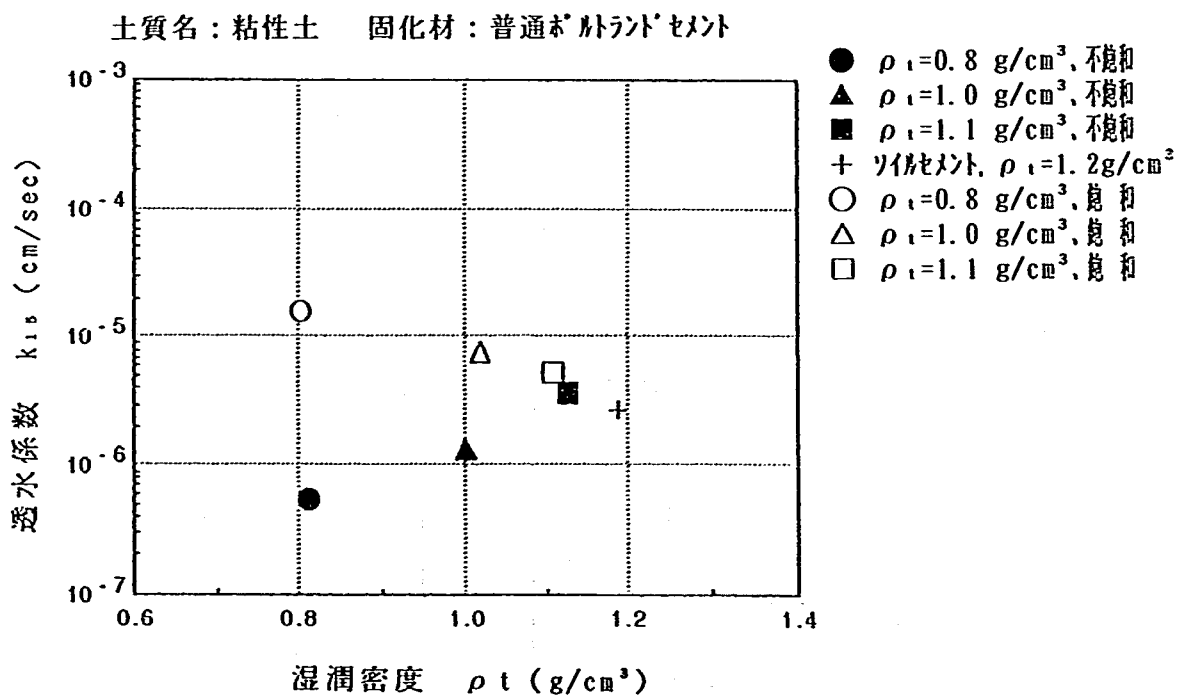


図3-6 湿潤密度と透水係数 k_{15} の関係

3-1-3 熱特性

空気は断熱性に優れた特性を持っており、この空気を多量に含んだ気泡混合土の熱特性について示す。熱特性として、固化時の発熱特性と、固化後の熱特性として熱伝導率を測定している。

(1) 固化発熱温度特性

気泡混合土は気泡を多量に含む材料であるので、マス（大量）で打設した場合には断熱状態に近いことが考えられる。外気と断熱状態に近い状態での発熱特性を調べるために、発泡スチロールで作製した容器（40×40×40cm）に気泡混合土を打設し、容器の中心部で固化時の温度を測定した。図3-7に固化材量の違いによる材齢と温度上昇量との関係を示す。完全な断熱状態ではないが、固化時の温度上昇量は固化材量に比例して大きくなり、固化材量200kg/m³配合における最大温度上昇量は23.2℃であった¹⁾。次に、実物大レベルで打設した場合の気泡混合土（固化材量95kg/m³）の温度測定結果を図3-8に示す。この場合、温度が外気温に収束するまで1ヶ月程度要し、最大温度上昇量は十数度であった。

これらのことから、気泡混合土の温度上昇による実用上の問題はないと考えられる。ただし、打設層厚が大きい場合や、使用するセメントの種類や量によって温度上昇量は変化することが知られており、管などを埋設する場合や管内に充填する場合には、その材質によっては固化時の発熱によって変形や破損を生じることも予想される。この場合は配合検討や埋設管の材質について検討する必要がある。

土質名：粘性土（調整土含水比400%） 固化材：普通ポルトランドセメント 密度：1.0g/cm³

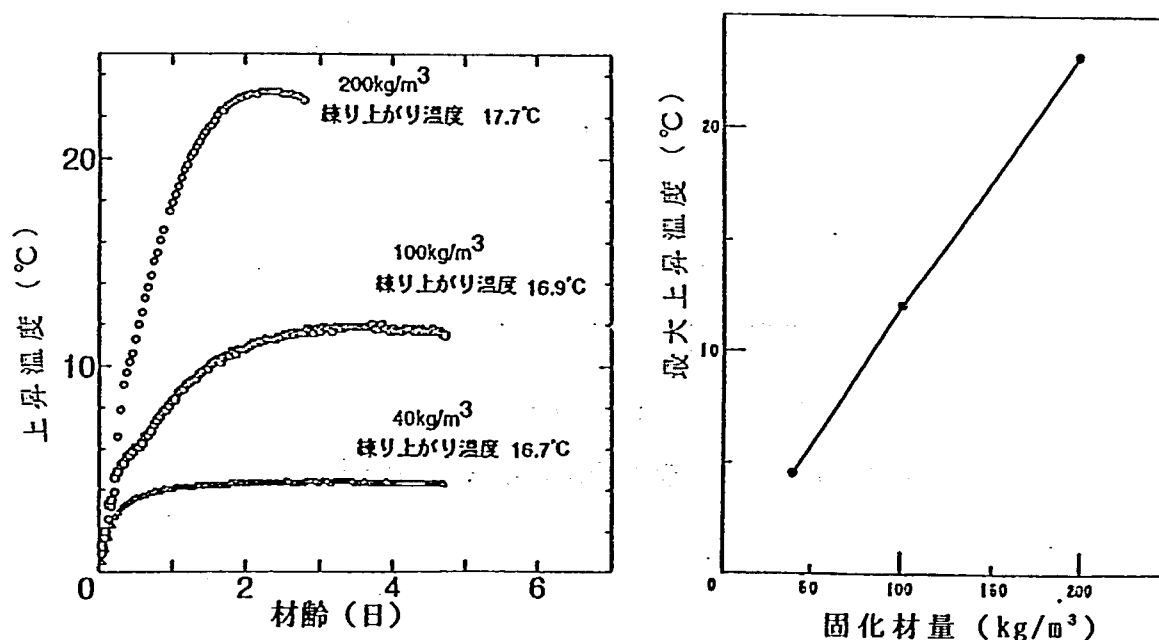
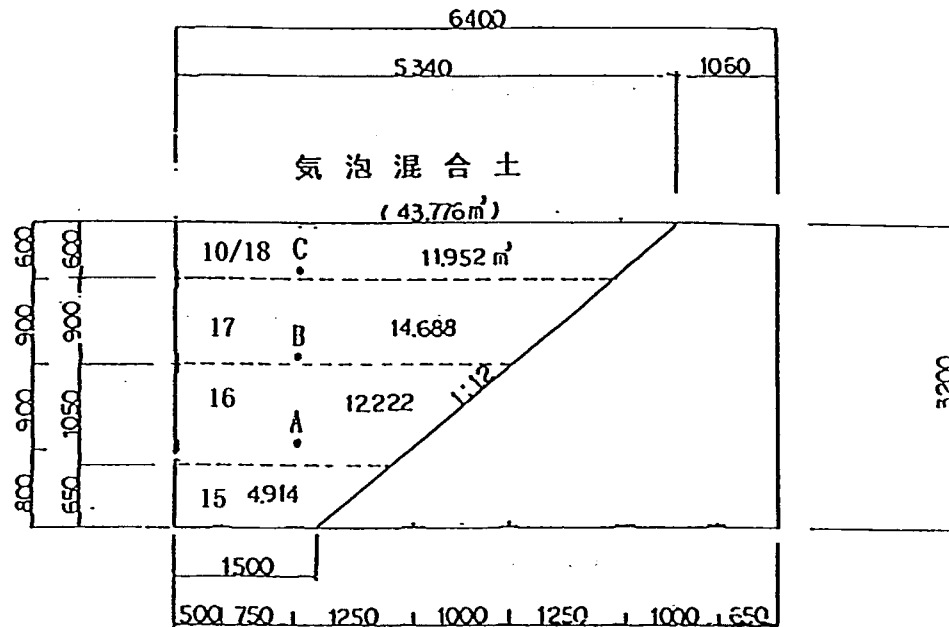


図3-7 固化材量と温度上昇量の関係¹⁾

土質名：霞ヶ浦浚渫土（調整土含水比400%） 固化材：セメント系固化材（95kg/m³）
 密度：0.8 g/cm³



A, B, C : 熱電対設置位置

実物大試験の断面図（幅4m）

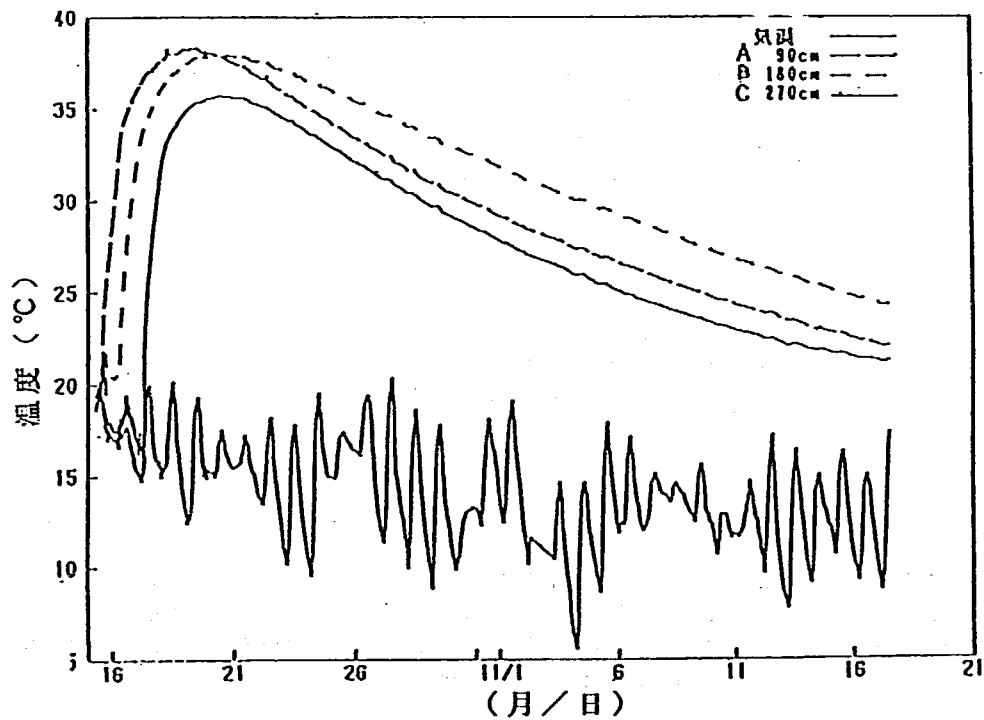


図3-8 固化時の温度測定結果（実物大）

(2) 熱伝導率特性

熱伝導率試験の結果を表3-3に示す。参考として、表3-4に砂等の他の材料の熱伝導率を示す。気泡混合土は気泡量が多くなる（密度が小さくなる）と熱伝導率は小さくなり、断熱性が高くなる特性を示す。気泡混合土の熱伝導率は砂や粘性土の1/3～1/4程度と小さいため、断熱材としての利用も考えられる。

表 3 - 3 気泡混合土の熱伝導率

土質名：粘性土（調整土含水比400%）
 固化材：普通ポルチメント（100kg/m³）

試 料		熱伝導率	確認強度(注3)
設定強度(注1) (kgf/cm ²)	設定密度(注2) (g/cm ³)	k (kcal/m・h・℃)	q u (kgf/cm ²)
2.0	0.8	0.44	2.19
	1.0	0.51	3.08
	1.1	0.54	3.40

表 3 - 4 他の材料の熱伝導率

材 料 名	熱伝導率 k (kcal/m・h・℃)
砂 ($\rho_s=1.65$ g/cm ³ , w = 15%)	1.692 ¹⁾
粘性土 ($\rho_s=1.15$ g/cm ³ , w = 50%)	1.231 ¹⁾
普通土 ($\rho_s=1.425$ g/cm ³ , w = 37%)	1.634 ¹⁾
路 床 土	1.001 ²⁾
セメントコンクリート	0.806 ¹⁾
碎石 + 発泡ビーズ	0.073 ²⁾
発泡スチロール	0.028～0.034 ³⁾
水 (10℃)	0.500 ⁴⁾

- 1) 「マイクロコンピュータによる凍結深さ推定プログラムについて」
土木試験所月報 No.380(1985)
- 2) 「発泡ビーズを用いた断熱性路盤材料についての研究」土木学会44回大会
- 3) 「マスコンクリートのひび割れ制御指針」日本コンクリート学協会
- 4) 「理科年表」丸善出版

-
- (注1) 設定強度：設計配合時に設定した材齢28日での一軸圧縮強さを設定強度と呼ぶ
 (注2) 設定密度：設計配合時に設定した気泡混合土の密度を設定密度と呼ぶ
 (注3) 確認強度：各種室内（室外）試験の実施日に標準養生供試体（ $\phi 5\text{cm} \times h 10\text{cm}$ ）で確認した一軸圧縮強さを確認強度と呼ぶ

3-1-4 動的特性

振動等に対しての動的な特性を調べるために実施した動弾性係数測定試験の結果を示す。
表3-5に動弾性試験の測定結果を示す。

気泡混合土は密度が小さくなると動弾性係数、動せん断弾性係数は小さくなり、動ポアソン比は大きくなる。気泡を含まないソイルセメントと比較すると、密度 0.8g/cm^3 では、動弾性係数が $1/3$ と小さくなっている。

表 3-5 気泡混合土の動的性質測定結果

土質名：粘性土（調整土含水比400%）
固化材：普通ポルトランドセメント（ 100kg/m^3 ）

試 料		湿潤密度	動弾性係数	動せん断 弾性係数	動ポアソン比	確認強度
設定強度 (kgf/cm^2)	設定密度 (g/cm^3)	ρ_v (g/cm^3)	E_D (kgf/cm^2)	G_D (kgf/cm^2)	μ_D	q_u (kgf/cm^2)
2.0	0.8	0.810	5200	1800	0.444	2.29
	1.0	0.956	10520	4060	0.296	2.49
	1.1	1.093	13450	5340	0.259	2.90
気 泡 無 し		1.183	15815	—	—	2.56

試験方法：JIS A 1127「共鳴振動によるコンクリートの動弾性係数、動せん断弾性係数およびポアソン比試験方法」

3-2 強度・変形特性

気泡混合土の力学的特性としての強度・変形特性について以下に示す。

3-2-1 一軸圧縮強さ特性

気泡混合土の一軸圧縮強さに影響を与える要因のうち、ここでは使用する土砂の性状、固化材の量や気泡の量と一軸圧縮強さの関係について示す。

(1) 使用する土砂、固化材量

と一軸圧縮強さ（材齢：28日）⁵⁾

表3-6に使用した土砂の性状、表3-7に配合例を示す。図3-9に各種の土質ごとの固化材量と強度の関係を示す。一般のソイルセメントの場合と同様⁴⁾に、気泡混合土の場合も概ね固化材量が増えるにしたがい、強度は増加する。

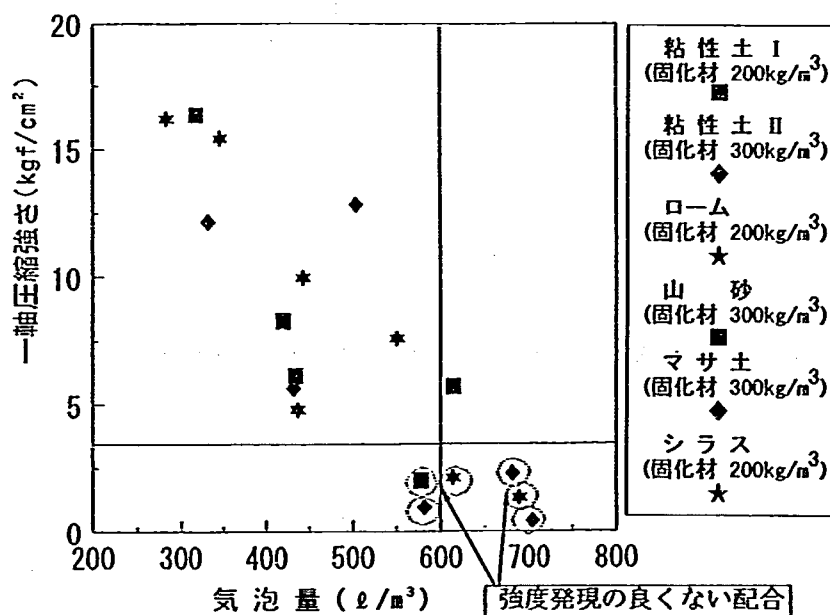
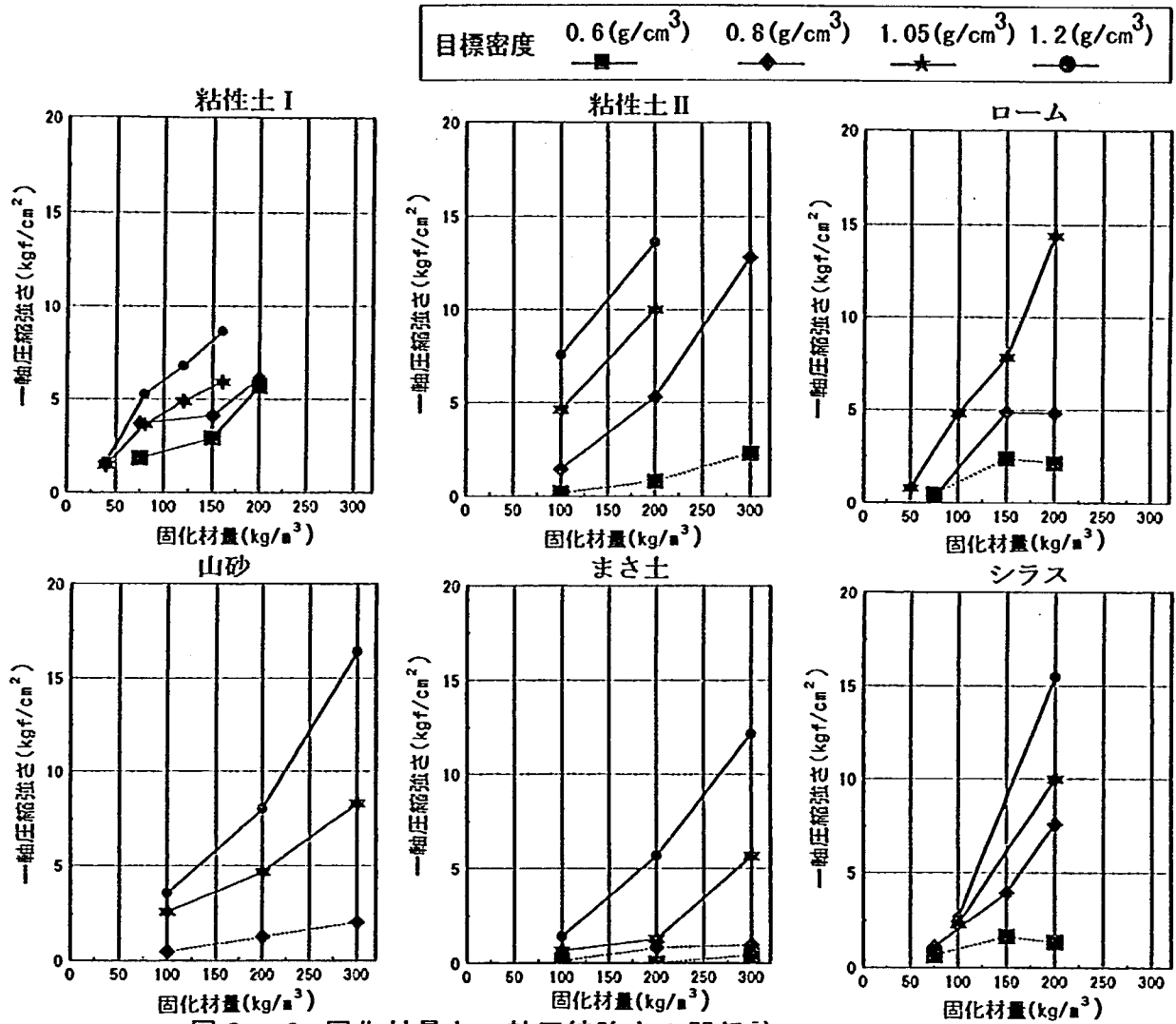
ただし、図3-9に点線で示した様に配合条件によっては固化材量が200kg/m³あるいは300kg/m³と多くなってもあまり強度が上がらない場合もある。図3-10に固化材量が200kg/m³あるいは300kg/m³配合の場合の気泡量と一軸圧縮強さの関係を示す。気泡量が600ℓ/m³程度以上のものに強度発現の良くない配合が集中している。特に密度が0.8g/m³以下の場合に、砂質土を用いると混合する気泡量が非常に多くなり強度発現性が悪くなる傾向にある。したがって目標とする密度が小さい場合には、細粒分の多い粘性土の方が使用土砂として適していると言える。

表3-6 配合試験に使用した土砂⁵⁾

土質 試験項目	粘性土 I	粘性土 II	ローム	山砂	マサ土	シラス
採取地	東京	大阪	神奈川	千葉	兵庫	鹿児島
土粒子密度	2.6	2.7	2.8	2.8	2.8	2.4
自然含水比%	96.4	42.2	125.8	26.3	10.1	9.9
粒砂分(%)	4.3	6.1	4.0	78.9	75.2	72.4
シルト分(%)	53.6	62.0	56.4	11.2	10.7	22.1
度粘土分(%)	42.1	31.9	39.6	9.8	14.1	5.5
液性限界(%)	104.4	60.0	161.2	NP	31.7	31.1
塑性限界(%)	50.9	35.5	99.5	NP	NP	24.7

表3-7 配合例⁵⁾

土質名	目標密度 g/cm ³	乾燥土重量 kg/m ³	水 kg/m ³	固化材量 kg/m ³	気泡量 ℓ/m ³	フロー値 mm
粘性土	0.6	74	296	200	613	170
	0.8	120	458	200	433	192
	1.05	220	661	160	205	170
ローム	1.2	259	778	160	73	168
	0.6	66	200	300	681	152
	0.8	116	359	300	503	185
山砂	1.05	364	473	200	326	151
	1.2	431	560	200	213	167
	0.6	72	298	200	613	145
マサ土	0.8	123	455	200	436	155
	1.05	210	631	200	229	162
	0.8	233	244	300	577	127
シラス	1.05	386	347	300	419	138
	1.2	467	420	300	317	161
	0.6	106	159	300	704	150
マサ土	0.8	235	236	300	581	170
	1.05	405	323	300	431	165
	1.2	491	393	300	331	160
シラス	0.6	203	163	200	689	165
	0.8	318	254	200	550	190
	1.05	521	313	200	410	175



(2) 固化材の種類と一軸圧縮強さ

使用する固化材の種類によって強度の発現特性は異なることが知られている¹⁾。

気泡混合土での、同じ固化材量での強度発現性の比較例を、粘性土（表3-1a)参照）について図3-11に、関東ローム（表3-1 b)参照）について図3-12に示す。

粘性土（有楽町層）の場合、固化材に高炉セメントB種を使用したほうが普通ポルトランドセメントよりも一軸圧縮強さが高くなる傾向を示した（図3-11）。すべての粘性土についてこの傾向を示す訳ではなく、使用する固化材によっては同じ固化材量でも強度発現性が異なる例である。

関東ロームの場合、固化材にセメント系固化材を利用したほうが普通ポルトランドセメントよりも一軸圧縮強さが高くなり、その差も顕著であった（図3-12）。

以上のことから、気泡混合土の場合についても、事前の配合試験により、使用する固化材の種類も考慮した強度の発現性を確認する必要があると言える。

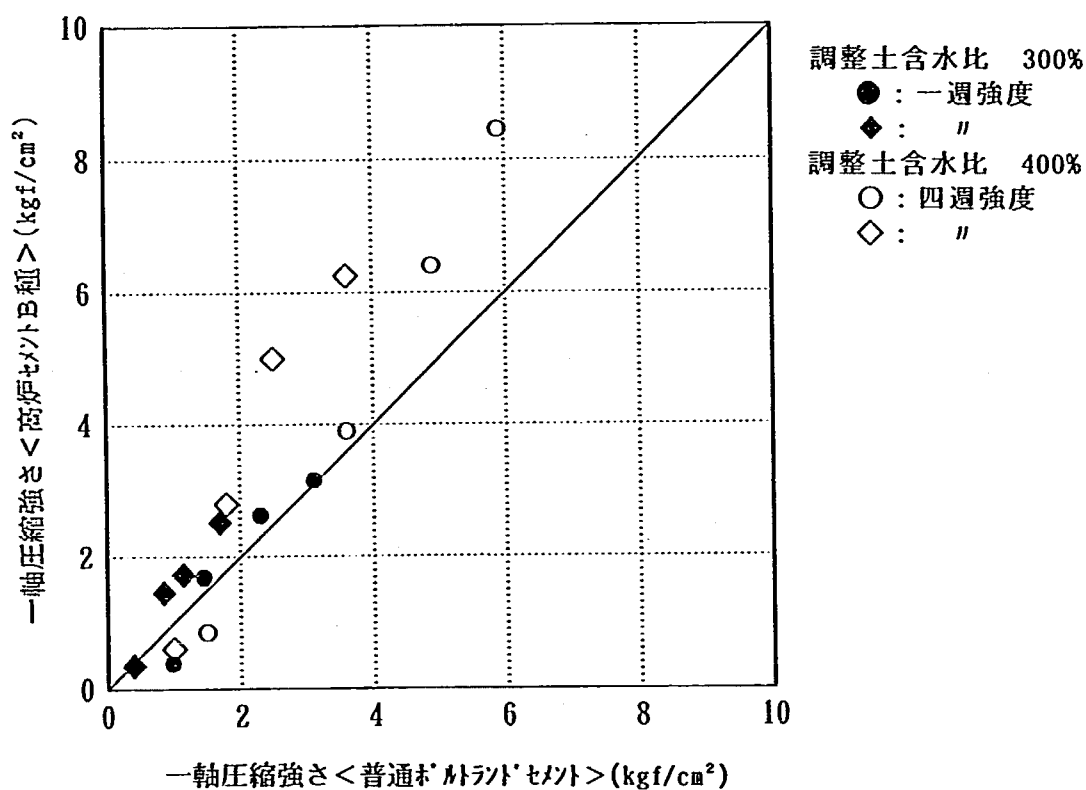


図 3 - 1 1 同一固化材量での一軸圧縮強さの比較（粘性土）

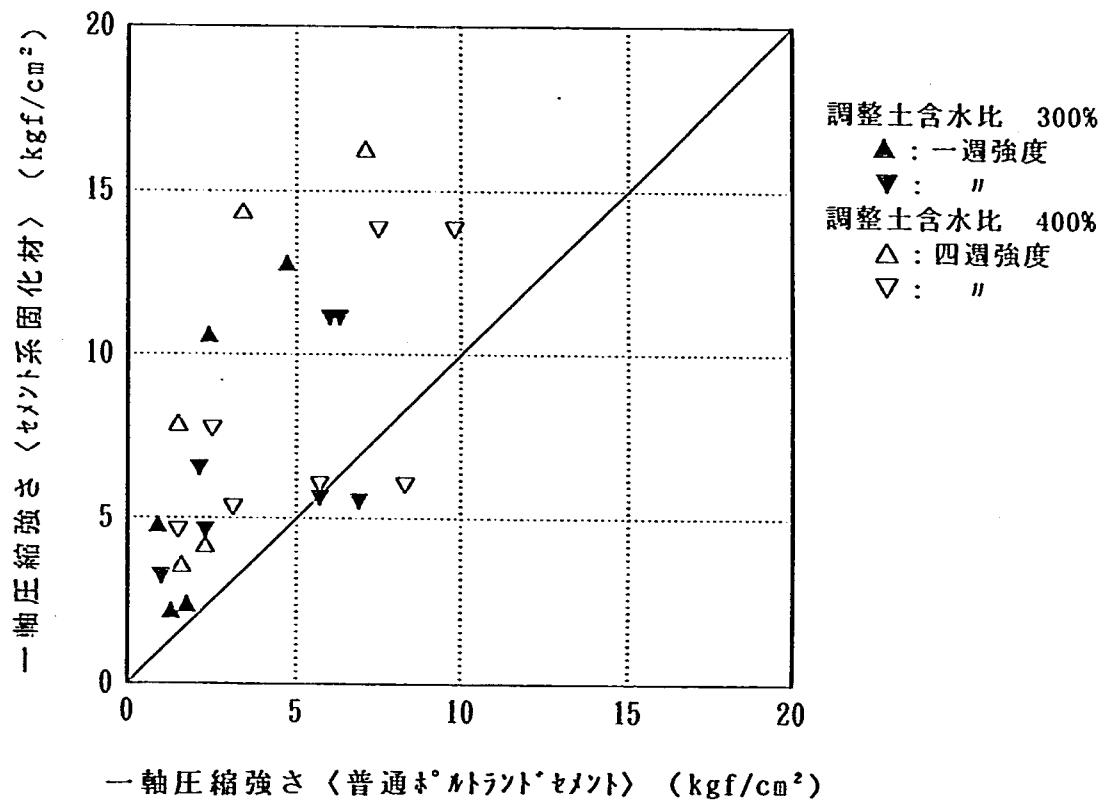


図3-12 同一固化材量での一軸圧縮強さの比較 (関東ローム)

(3) 材齢による強度発現特性

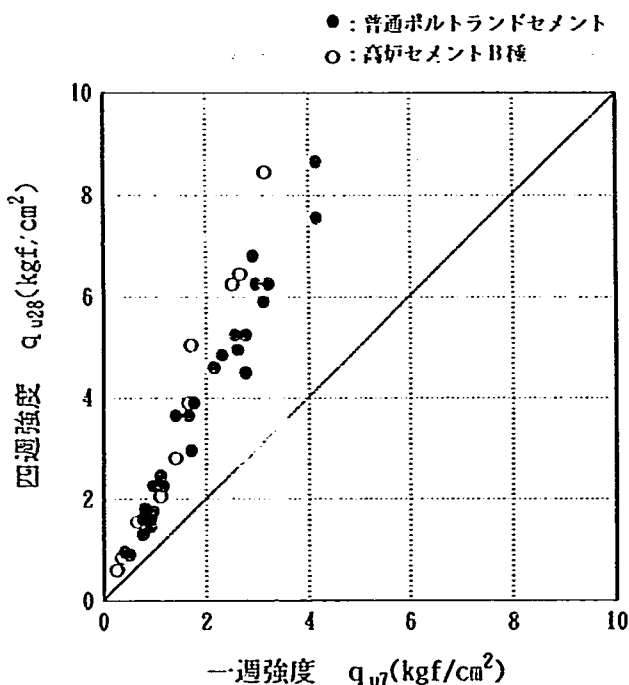
1) 一週強度と四週強度の比較

一週強度と四週強度の比較例として、図3-13 a)に粘性土（表3-1a参照）の場合、図3-13 b)に関東ローム（表3-1 b)参照）の場合の比較を示す。

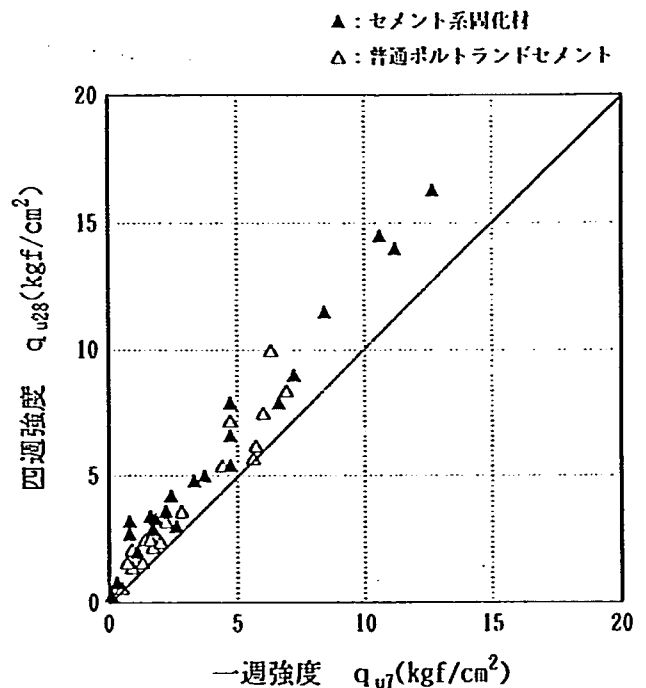
粘性土、関東ロームともに2種類の固化材で比較を行なっており、一週強度と四週強度には共に高い相関があることが分かる。

普通ポルトランドセメントを用いた場合の一週強度と四週強度の関係⁵⁾を図3-14に示す。一週強度と四週強度の比は、粘性土の場合で2.0、関東ロームの場合は1.4となっている。

使用する土砂や固化材の種類によってこの比は異なるものと思われるが、図3-14に示したように一週強度と四週強度との相関が良いので、現場における強度管理として一週強度での管理が可能と思われる。



a) 粘性土



b) 関東ローム

図3-13 一週強度と四週強度の比較

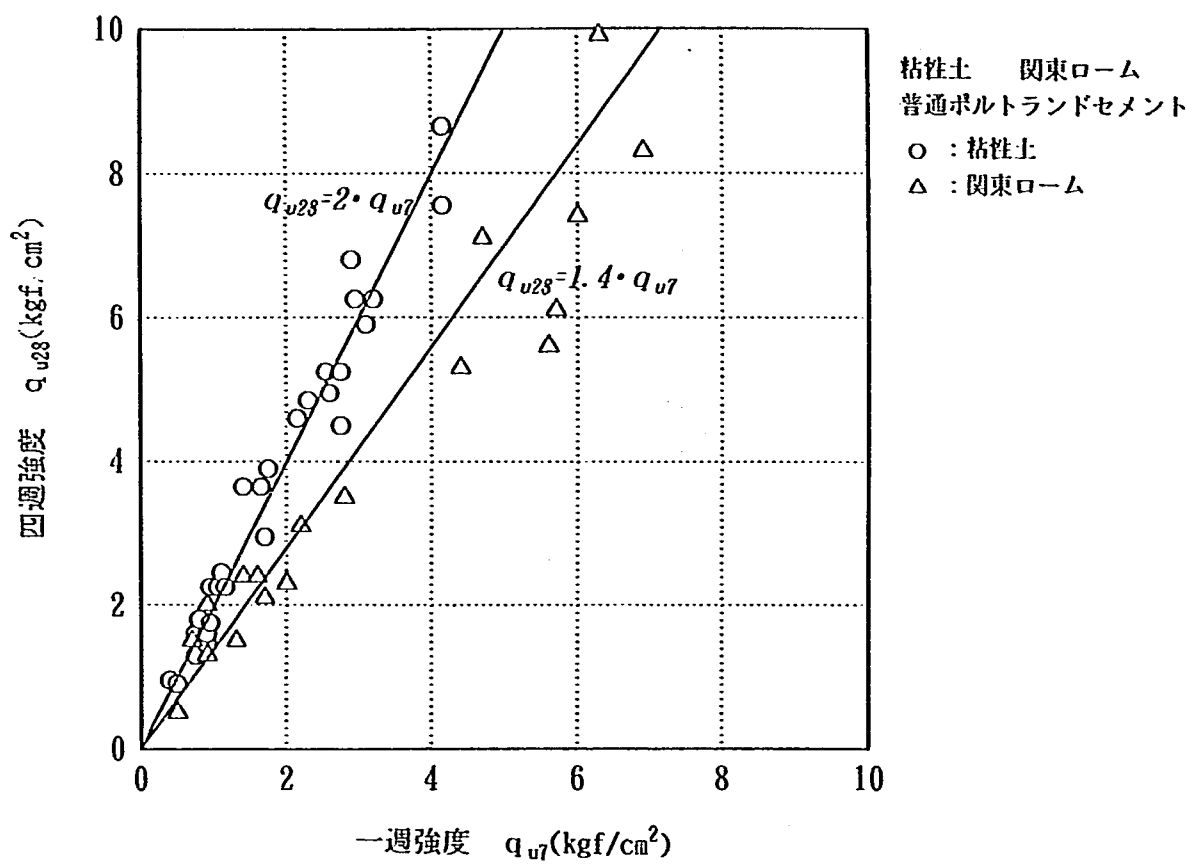


図 3 - 1 4 一週強度と四週強度の比較 (粘性土、関東ローム)

2) 材齢による強度増加

粘性土（表3-1a参照）の場合の材齢による強度発現特性を図3-15に示す。一軸圧縮強さは材齢と共に増加し、材齢28日以後もかなりの強度の伸びを示す。密度が小さい配合や固化材量が少ない場合は、材齢91日でピークを示し、それ以後の強度増加はないが、他の配合のものは材齢1年でもまだ増加傾向を示している。固化材量が多いものほど、材齢による強度の伸びの傾向は顕著となっている。

土質名：粘性土 固化材：普通ポルトランドセメント

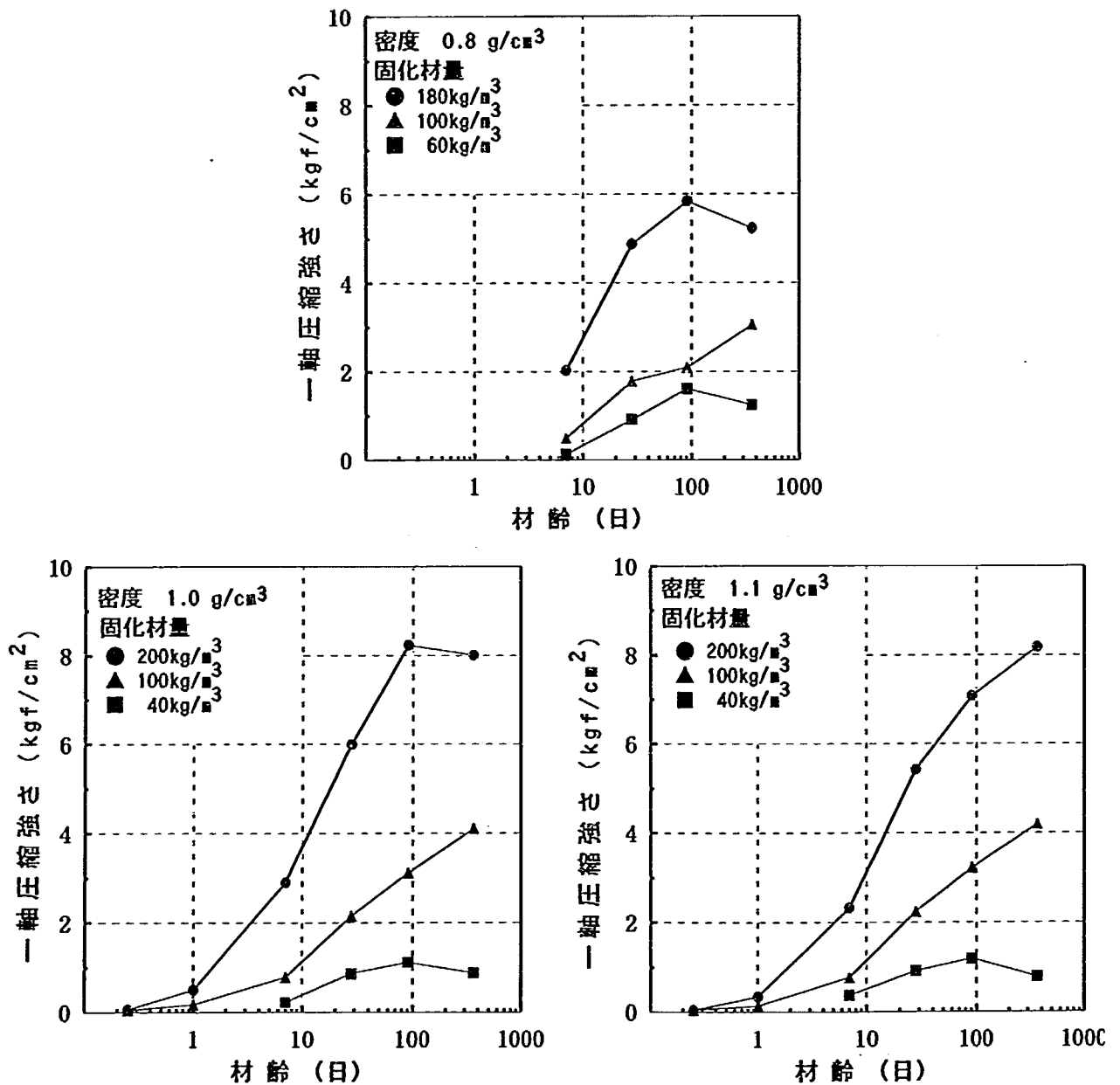
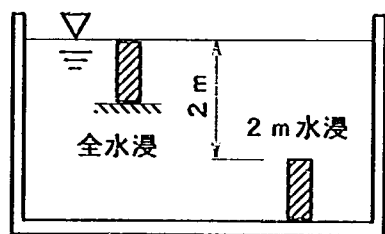


図3-15 長期材齢での強度増加の関係

次に、水浸した供試体の強度について述べる。図3-16に水浸期間と一軸圧縮強さの関係を示す。気泡混合土の一軸圧縮強さは水浸下においても材齢とともに増加し、顕著な低下傾向は認められない。



水浸状況

土質名：粘性土

固化材：普通ポルトランドセメント(200kg/m³)

密度：1.0 (g/cm³)

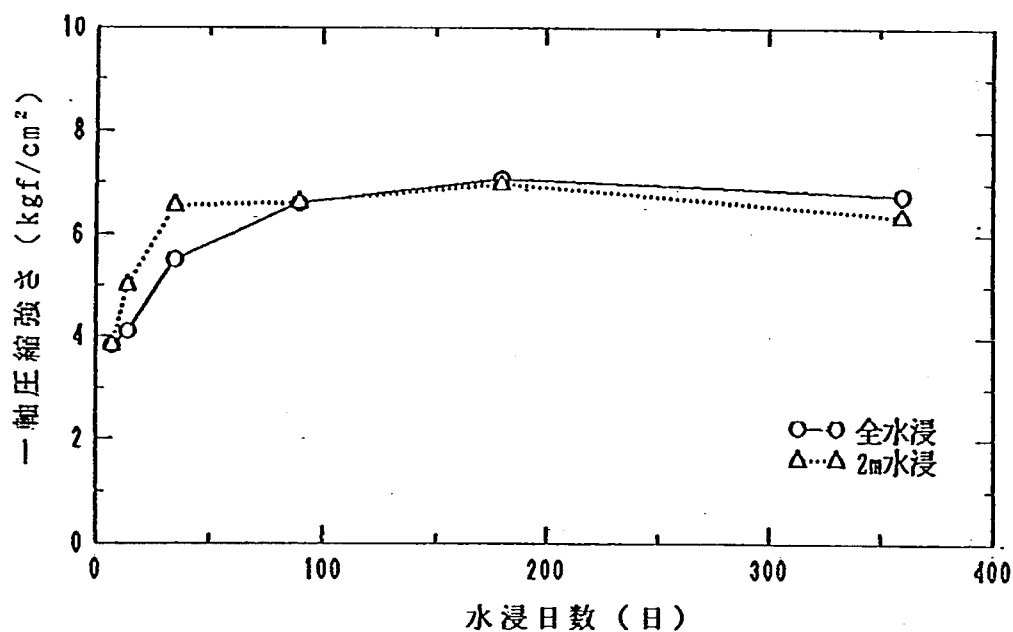


図3-16 水浸日数と一軸圧縮強さの関係

3-2-2 圧縮特性

側方拘束状態での圧縮特性を調べるために実施した圧縮試験の結果を示す。試験は圧密試験に準じて実施しているが、試料状態が不飽和である点が圧密試験と異なる。

試験結果の一覧を表3-8、表3-9に、 $e \sim \log p$ 曲線を図3-17、図3-18に示す。 $e \sim \log p$ 曲線は明瞭な急曲点をもった変形特性を示し、密度が大きい程、また設定強度が大きいほど急曲点が明瞭に現れる。この急曲点での荷重を圧縮降伏荷重 P_r と呼ぶことにする。圧縮降伏荷重以下の応力レベルでの圧縮指数 C_s は非常に小さくなっており、気泡混合土を利用する際の応力レベル（一軸圧縮強さ以下あるいは圧縮降伏荷重以下）を考慮すると、圧縮沈下量は実用上無視できるものと言える⁶⁾。

表3-8 圧縮試験結果

土質名：粘性土 固化材：普通ポルトランドセメント

試料条件		試験結果					確認強度
設定強度 (kgf/cm ²)	設定密度 (g/cm ³)	ρ_t (g/cm ³)	W (%)	P_r (kgf/cm ²)	C_s	C_c	q_u (kgf/cm ²)
2.0	0.8	0.790	207	2.74	0.154	7.82	2.29
	1.0	0.959	244	3.64	0.053	5.87	2.49
	1.1	1.064	232	6.21	0.023	4.89	2.90
5.0	0.8	0.817	141	6.23	0.051	6.81	5.52
	1.0	1.035	139	12.51	0.030	4.59	7.33
	1.1	1.123	149	13.09	0.018	3.99	6.76
気泡無し		1.154	266	4.67	0.049	4.01	2.74

ρ_t : 湿潤密度

C_s : $e \sim \log p$ 曲線の降伏前の勾配

W : 含水比

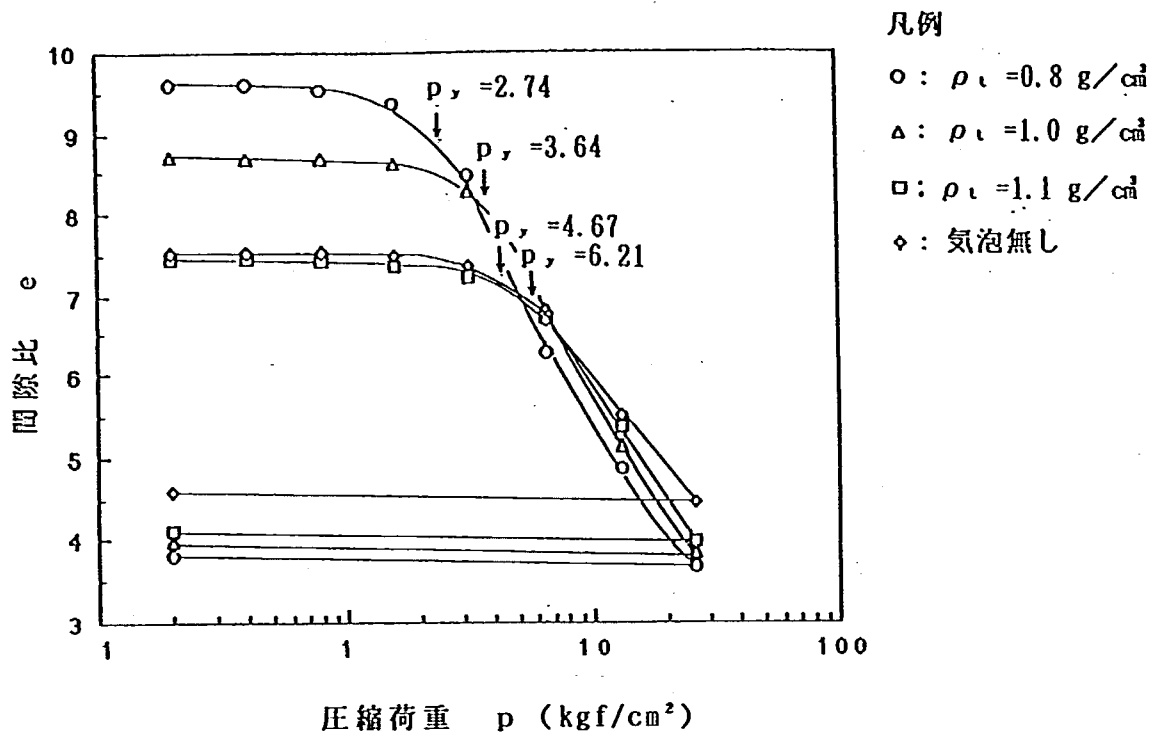
C_c : $e \sim \log p$ 曲線の降伏後の勾配

P_r : 圧縮降伏荷重、 $e \sim \log p$ 曲線の急曲点として求められる降伏荷重

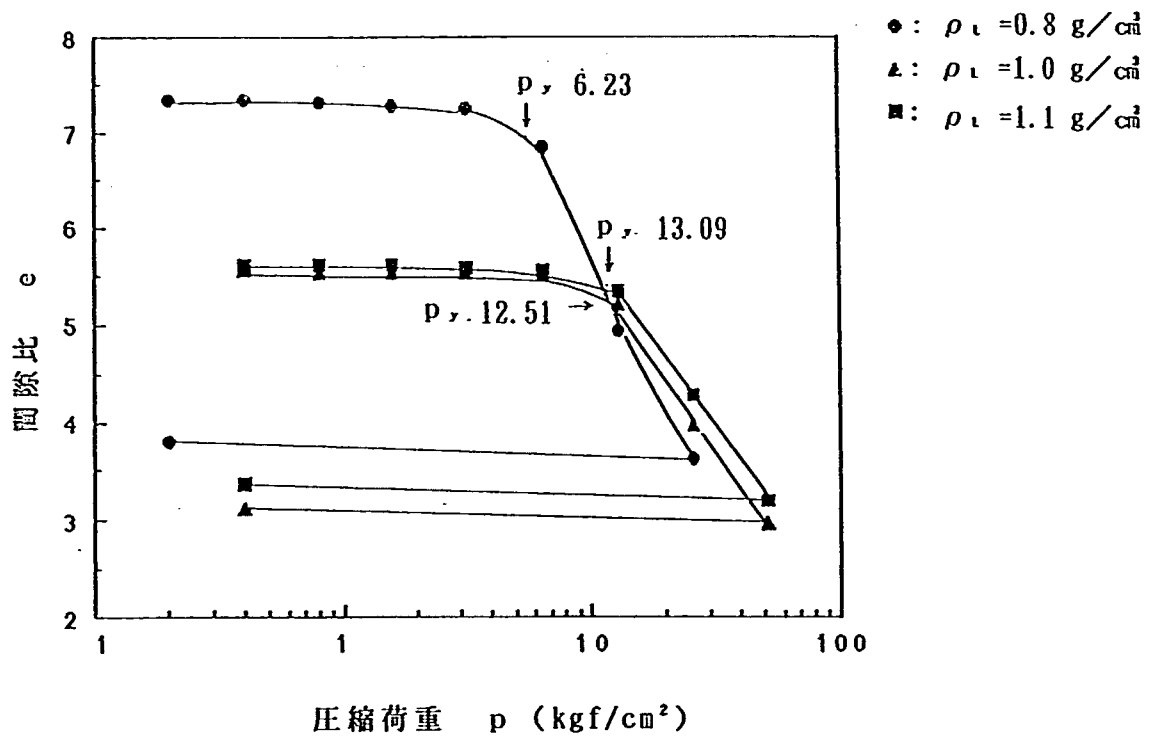
表3-9 一軸圧縮強さと降伏荷重の関係

試料条件		圧縮降伏荷重比 P_r / q_u
設定強度 (kgf/cm ²)	設定密度 (g/cm ³)	P_r : 圧縮降伏荷重 q_u : 一軸圧縮強さ
2.0	0.8	1.20
	1.0	1.46
	1.1	2.14
5.0	0.8	1.13
	1.0	1.71
	1.1	1.94
気泡無し		1.70

土質名：粘性土
 固化材：普通ポルチメント



土質名：粘性土
 固化材：普通ポルチメント



3-2-3 三軸圧縮強度特性

(1) 非圧密非排水三軸特性 (UU試験)

非排水せん断強度定数を求めるために実施したUU試験結果を示す。試験は不飽和および飽和 (B値が0.95以上) 条件の2種類で実施している。

結果の一覧を表3-10に、モールの応力円を図3-19に示す。

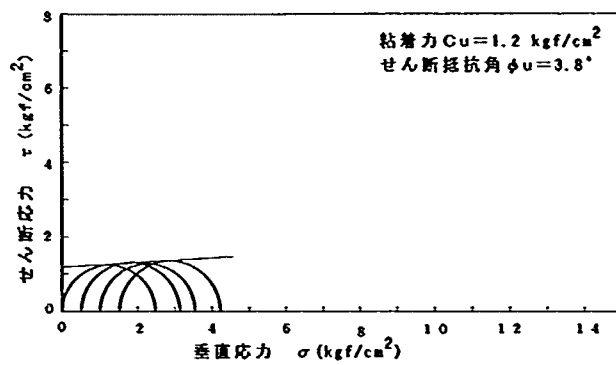
気泡混合土は、小さい値であるが ϕ_u が得られ、不飽和土としての特性を示すが、実用的な設計面での非排水せん断強度としては、 $\phi_u = 0$ 、 $C_u \approx q_u/2$ が妥当と思われる^{*)}。

表3-10 非圧密非排水 (UU) 三軸圧縮試験結果

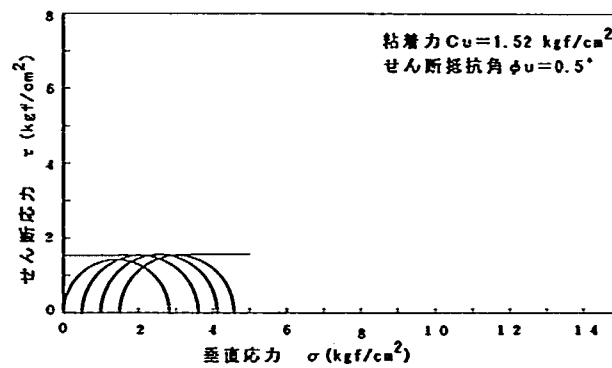
土質名：粘性土 固化材：普通ポルトランドセメント

試 設定強度 (kgf/cm ²)	料 設定密度 (g/cm ³)	飽 和 度 S _r (%)	B 値	粘 着 力 C _u (kgf/cm ²)	せん断抵抗角 ϕ_u (度)	確認強度 q _u (kgf/cm ²)
2.0	1.0	80.0	—— (不飽和)	1.20	3.8	2.49
		——	1.00 (飽和)	1.52	0.5	2.85
5.0	1.0	72.9	—— (不飽和)	3.62	0.7	7.33
		92.0	0.95 (飽和)	4.58	4.5	10.36 ^{*1)}

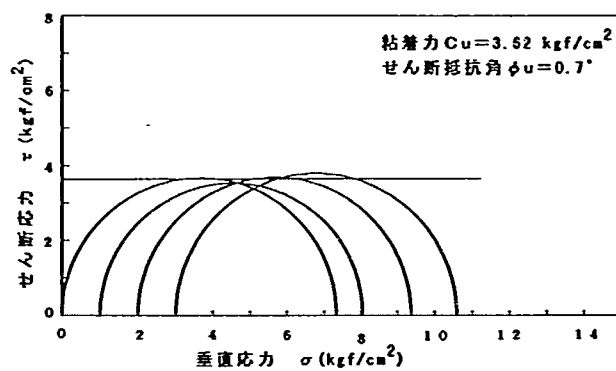
*1) 試験日が異なるために、不飽和条件よりも確認強度が大きくなっている



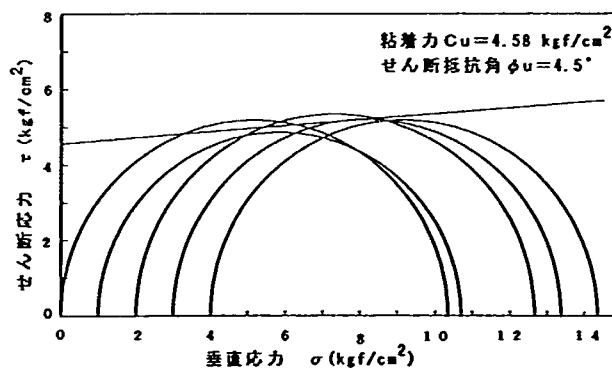
a) 設定強度 2 kgf/cm^2 、設定密度 1.0 g/cm^3 、試料状態：不飽和



b) 設定強度 2 kgf/cm^2 、設定密度 1.0 g/cm^3 、試料状態：飽和



c) 設定強度 5 kgf/cm^2 、設定密度 1.0 g/cm^3 、試料状態：不飽和



d) 設定強度 5 kgf/cm^2 、設定密度 1.0 g/cm^3 、試料状態：飽和

図 3-19 モールの応力円 (UU 試験)

(2) 圧密非排水三軸圧縮特性 ($\overline{CU}$ 試験)

圧密非排水せん断強度定数を求めるために実施した $\overline{CU}$ 試験結果について示す。試験は不飽和および飽和 (B 値が 0.94) の 2 種類で実施している。結果の一覧を表 3-11 に、モールの応力円を図 3-20 に示す。

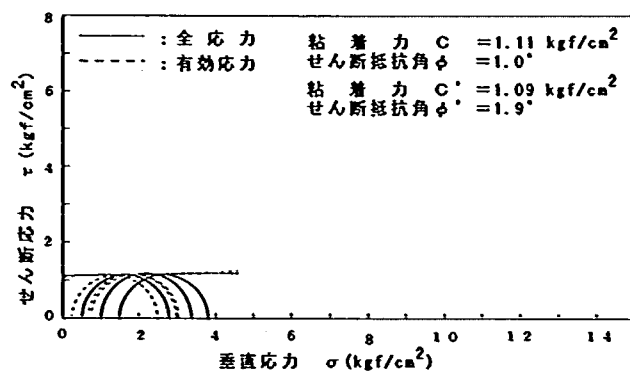
一般に $\overline{CU}$ 試験においては、圧密圧力の影響を受けて強度増加の傾向が現れ、破壊包絡線は勾配をもつ ($\phi_u > 0$) 直線または上に凸の曲線になり、全応力による ϕ よりも有効応力による ϕ' の方が大きくなると言われている。気泡混合土での試験結果は全応力と有効応力による強度定数はほぼ同じであり、モールの応力円からみても粘着力が卓越する材料であると言える^{*)}。

表 3-11 圧密非排水 ($\overline{CU}$) 三軸圧縮試験結果

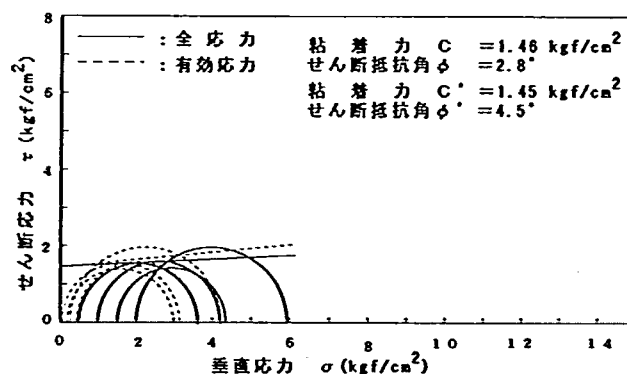
土質名：粘性土 固化材：普通ポルチランドセメント

試 料		飽和度	B 値	全 応 力		有 効 応 力		確認強度
設定強度 (kgf/cm ²)	設定密度 (g/cm ³)	S _r (%)		粘 着 力 C (kgf/cm ²)	せん断抵抗角 ϕ (度)	粘 着 力 C' (kgf/cm ²)	せん断抵抗角 ϕ' (度)	q _u (kgf/cm ²)
2.0	1.0	87.6	0.70 (不飽和)	1.11	1.0	1.09	1.9	2.85
		—	0.98 (飽和)	1.46	2.8	1.45	4.5	2.85
5.0	1.0	77.9	0.60 (不飽和)	2.98	4.2	2.91	5.8	6.66
		—	0.94 (飽和)	4.81	0.2	4.77	0.6	*1) 10.36

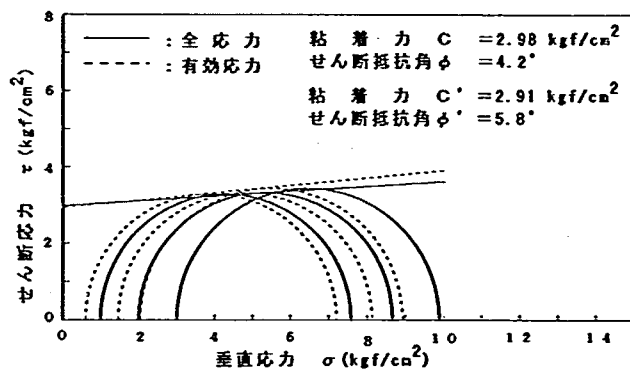
*1) 試験日が異なるために、不飽和条件よりも確認強度が大きくなっている



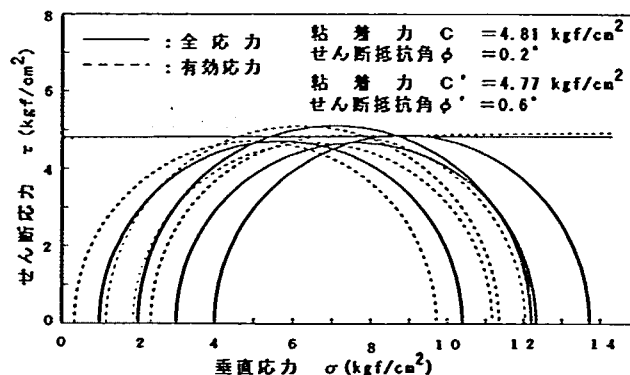
a) 設定強度 2 kgf/cm²、設定密度 1.0g/cm³、試料状態：不飽和



b) 設定強度 2 kgf/cm²、設定密度 1.0g/cm³、試料状態：飽和



c) 設定強度 5 kgf/cm²、設定密度 1.0g/cm³、試料状態：不飽和



d) 設定強度 5 kgf/cm²、設定密度 1.0g/cm³、試料状態：飽和

図 3-20 モールの応力円 ($\overline{CU}$ 試験)

3-2-4 曲げ強度特性

気泡混合土の曲げ強度を調べるために実施した曲げ試験（4×4×16cm供試体）結果を示す。曲げ試験用の試料は、一体打設（打継ぎ無）したものと中央部で打継いだもの（打継ぎ有）の2種類である。

（1）「打継ぎ無」の曲げ試験

曲げ強度（打継ぎ無）と一軸圧縮強さの関係を図3-21に示す。気泡混合土の曲げ強度（打継ぎ無）は一軸圧縮強さと高い相関を示し、 $\sigma_f = 0.5 q_u$ の関係にある¹⁾。また、試験体の一軸圧縮強さの大きさに違いはあるが、気泡モルタルでは $\sigma_f = (0.3 \sim 0.6) q_u$ ²⁾、モルタルでは $(0.12 \sim 0.20) q_u$ 程度とされており、気泡混合土の曲げ強度と一軸圧縮強さの関係は、気泡モルタルの関係式と似た傾向を示している。

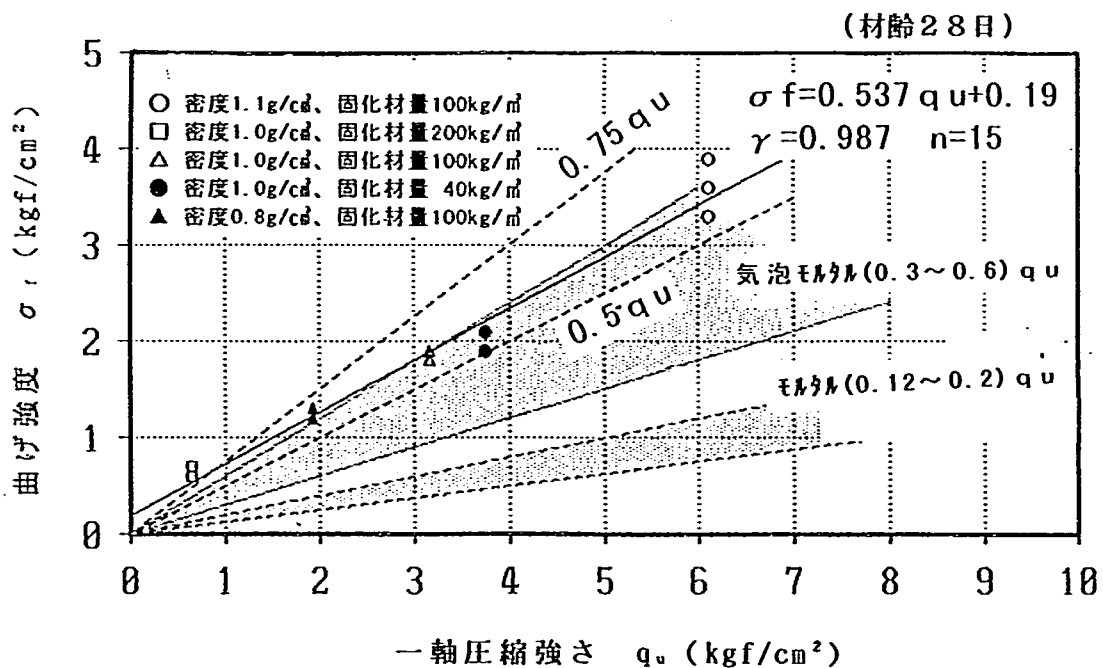


図3-21 曲げ強度（打継ぎ無）と一軸圧縮強さの関係

(2) 「打継ぎ有」の曲げ試験

試験体作製時に打継ぎ部を設けた「打継ぎ有」供試体での、曲げ強度（打継ぎ有）と一軸圧縮強さの関係を図3-22に示す。「打継ぎ有」の試験体での曲げ強度は一軸圧縮強さと高い相関を示し、 $\sigma_f = 0.35 q_u$ の関係にある。これは「打継ぎ無」に比べると、曲げ強度は7割程度となっており、曲げ強度に対しては打継ぎ部の影響が出ることを示している。

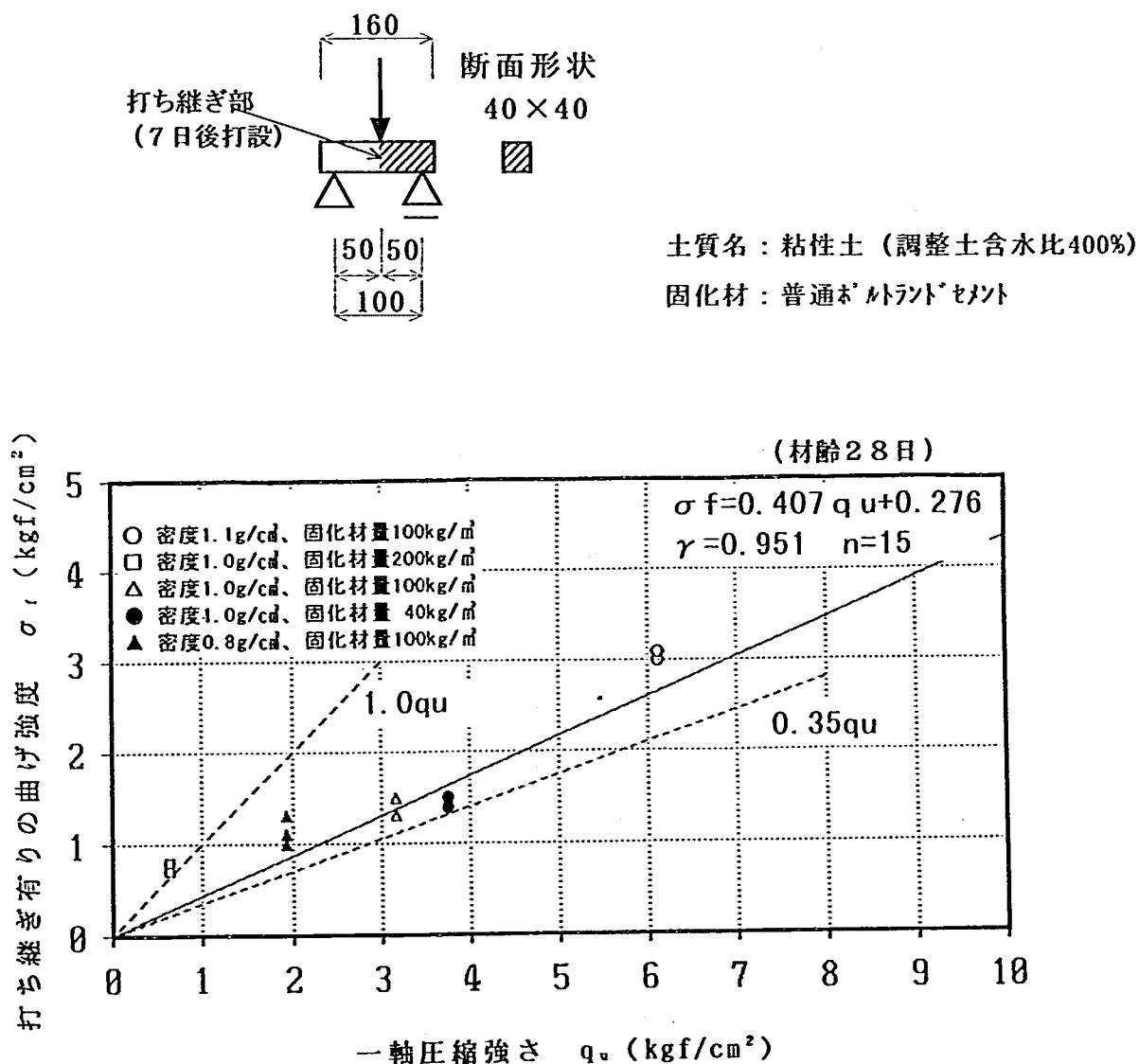


図3-22 曲げ強度（打継ぎ有）と一軸圧縮強さの関係

3-2-5 引張強度特性

気泡混合土を各種の用途に適用するときに、構造によっては引張についての検討が必要となる場合がある。以下に割裂試験および純引張試験の結果を示す。

表3-12、表3-13 に引張および割裂強度試験の結果一覧を示す。

図3-23に一軸圧縮強さと引張および割裂強度の関係を示す。

表 3 - 1 2 引張試験結果一覧表

土質名：名古屋粘性土 固化材：普通ポルトランドセメント 密度：1.05g/cm³

①引張強度 σ_p (kgf/cm ²)	②一軸圧縮強さ q_u (kgf/cm ²)	引張強度比 ①/②	備 考
1.37	9.30	0.15	各 3 個の平均
1.91	10.66	0.18	
1.78	11.09	0.16	
引張強度比 平均		0.16	

表 3 - 1 3 割裂試験結果一覧表

土質名：名古屋粘性土 固化材：普通ポルトランドセメント 密度：1.05g/cm³

①割裂強度 σ_t (kgf/cm ²)	②一軸圧縮強さ q_u (kgf/cm ²)	割裂強度比 ①/②	備 考
1.56	8.41	0.18	*1) 梁試験体 からのコアサンプリング試験体 各 4 個の平均
1.62	8.77	0.18	
1.62	8.81	0.18	
1.45	8.75	0.17	標準供試体 各 3 個の平均
1.65	9.30	0.18	
1.74	11.43	0.15	
1.77	10.66	0.17	
1.78	10.43	0.17	
1.68	11.09	0.15	
割裂強度比 平均		0.17	

試験結果は 引張強度 $\sigma_p = 0.16 q_u$ ($\sigma_p = 0.197 q_u$ ¹⁵⁾)

割裂強度 $\sigma_t = 0.17 q_u$ ($\sigma_t = 0.173 q_u$ ¹⁵⁾)

となっている。

本実験結果では、若干ではあるが引張強度は割裂強度より小さくなり、コンクリートなどの場合と同様の傾向となっている。文献¹⁵⁾と比較すると、割裂強度はほぼ同じ強度比と

なっているが引張強度比は少し小さくなった。

使用する土質や配合条件、引張試験の方法によって、結果が異なることが考えられるが、割裂強度の結果を考慮すると、引張強度は $0.17 q_u$ 程度は期待できると言える。

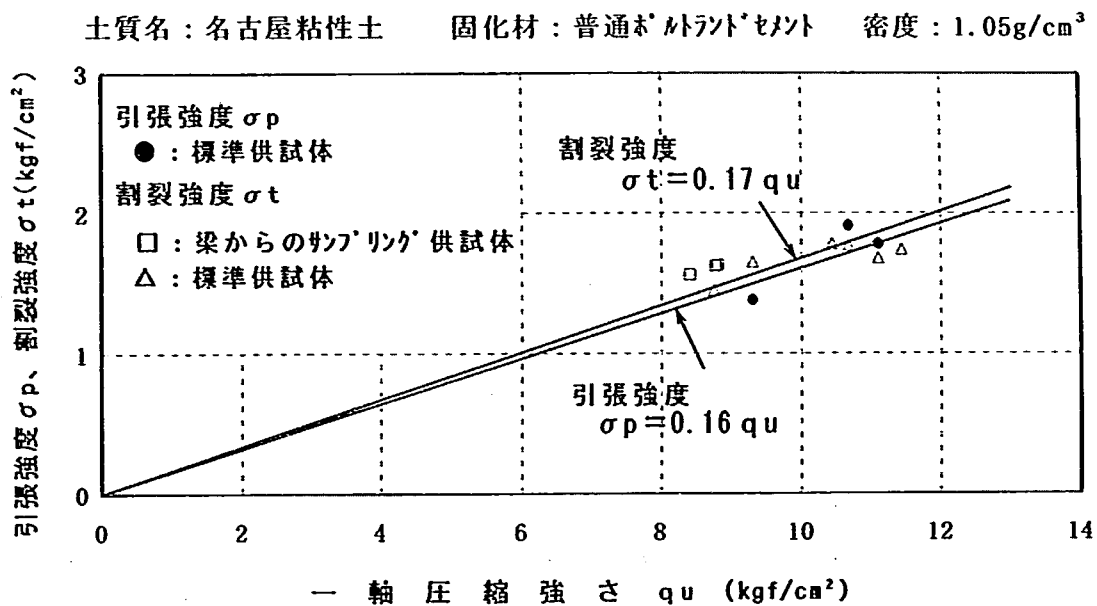


図 3 - 2 3 一軸圧縮強さと引張、割裂強度の関係

3-2-6 梁の曲げ試験結果

曲げ強度には試験体の寸法効果があることが知られている。ここでは、3種類の試験体で実施した曲げ強度試験結果と金網で補強した場合の補強効果について示す。

(1) 梁の曲げ強度

図3-24に一軸圧縮強さと曲げ強度の関係、表3-14に曲げ強度の試験結果の一覧を示す。試験時の載荷速度は一定にしている。試験結果は、

$$\begin{array}{ll} \square 40 \times 40 \times 160 \text{ 試験体} & \sigma_b = 0.47 q_u \\ \square 100 \times 100 \times 400 \text{ 試験体} & \left. \begin{array}{l} \sigma_b = 0.35 q_u \\ \square 150 \times 200 \times 1000 \text{ 試験体} \end{array} \right\} \end{array}$$

となり、 $\square 40 \times 40 \times 160$ 試験体と $\square 100 \times 100 \times 400$ 、 $\square 150 \times 200 \times 1000$ 試験体との間で、曲げ強度比に違いが認められた。 $\square 100 \times 100 \times 400$ 試験体と $\square 200 \times 300 \times 1500$ 試験体で曲げ強度を比較した例では、前者が曲げ強度比が約 0.35、後者は約 0.1 となり、寸法効果が認められたと言う報告がある⁹⁾。

本実験では $\square 100 \times 100 \times 400$ 、 $\square 150 \times 200 \times 1000$ 試験体との間での寸法効果は認められない。 $\square 40 \times 40 \times 160$ 試験体の曲げ強度比が他の曲げ強度よりも大きくなっている理由として、載荷方法（2点載荷と1点載荷）の影響も考えられるが、引張強度との関係もあわせて考えると、寸法効果によるものと考えられる。

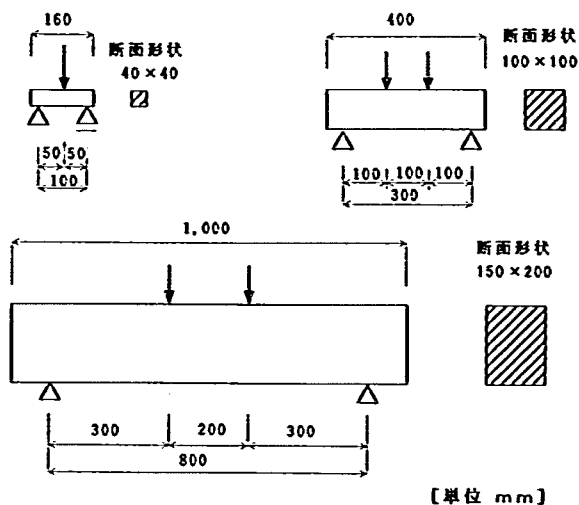
表 3 - 1 4 曲げ試験結果一覧表

土質名：名古屋粘性土 固化材：普通ポルチランドセメント 密度：1.05g/cm³

試験体の種類	①曲げ強度 (kgf/cm ²)	②一軸圧縮強さ q_u (kgf/cm ²)	曲げ強度比 ①/②	備 考
$\square 150 \times 200 \times 1000$	2.86 3.16 3.09	8.41 *1) 8.77 8.81	0.34 0.36 0.35	*1) 梁試験体 からのコアコン クリート試験体
$\square 100 \times 100 \times 400$	3.07 *2) 3.52 3.93	8.75 *2) 11.43 10.43	0.35 0.31 0.38	*2) 各 3 個の 平均
$\square 40 \times 40 \times 160$	4.60 *2) 4.69 4.90	8.75 *2) 11.43 10.43	0.53 0.41 0.47	*2) 各 3 個の 平均

$\square 40 \times 40 \times 160$ 試験体の実験結果（3-2-4、図3-21）と比較すると、表3-14の曲げ強度比は若干小さくなっているが、これは載荷速度の影響と思われる。コンクリート材料では、曲げ強度は引張や割裂強度よりも大きくなること、その比率は1.6~2.0倍程度、その理由は引張側での塑性域の発達によると言われている（コンクリート工学ハンドブック、pp. 399~pp. 403）。本実験結果では $\square 100 \times 100 \times 400$ 、 $\square 150 \times 200 \times 1000$ 試験体では 2.1倍と若干大きいもののコンクリートと似た性状を示している。 $\square 40 \times 40 \times 160$ 試験体では 2.8倍とさらに大きな

値となっている。この理由としては、気泡混合土は局所的な破壊の進行しやすい材料であることと、曲げ試験時の塑性域の発達程度がコンクリートと異なること、前述した寸法効果によるものと思われる。



梁の曲げ試験 載荷方法模式図

土質名：名古屋粘性土

固化材：普通ポルトランドセメント

密度：1.05g/cm³

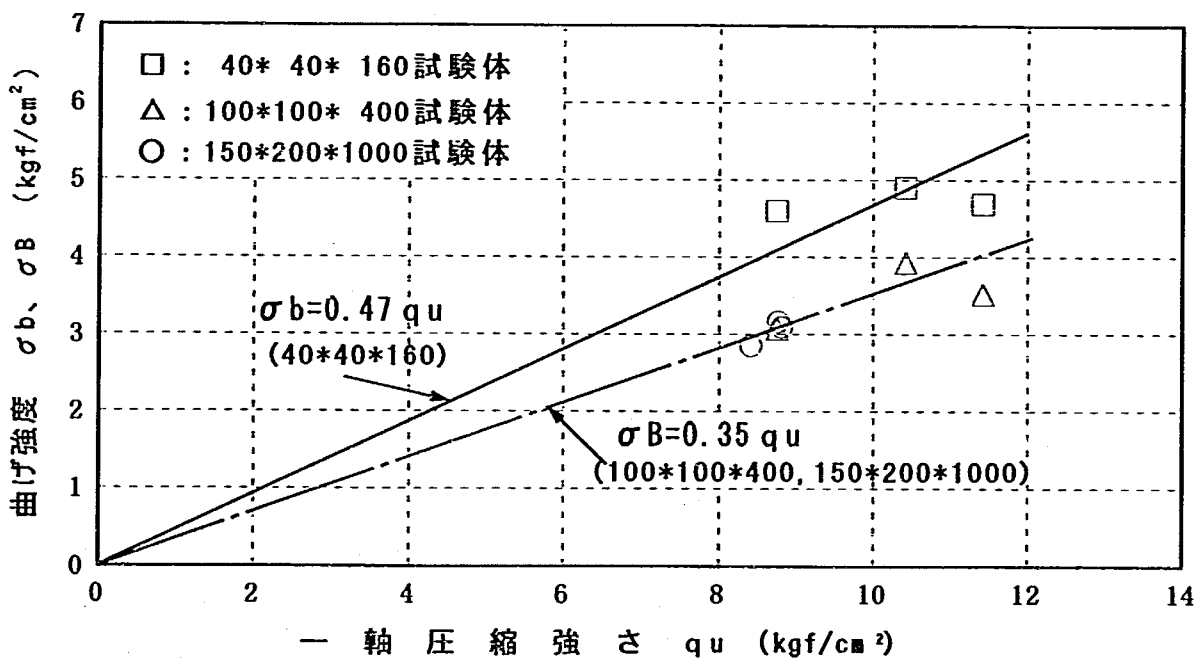


図 3-24 一軸圧縮強さと曲げ強度の関係

(2) 金網による補強効果

金網による梁の補強効果を確認するために実施した結果を示す。

梁の曲げ試験方法の概要を図3-25に示す。載荷方式は単調載荷を基本とし、純曲げ区間を設定した2点載荷方式である。補強に用いた金網は $\phi 3.2\text{mm}$ 、目開き50mmの溶接金網である。

試験結果を表3-15に示す。

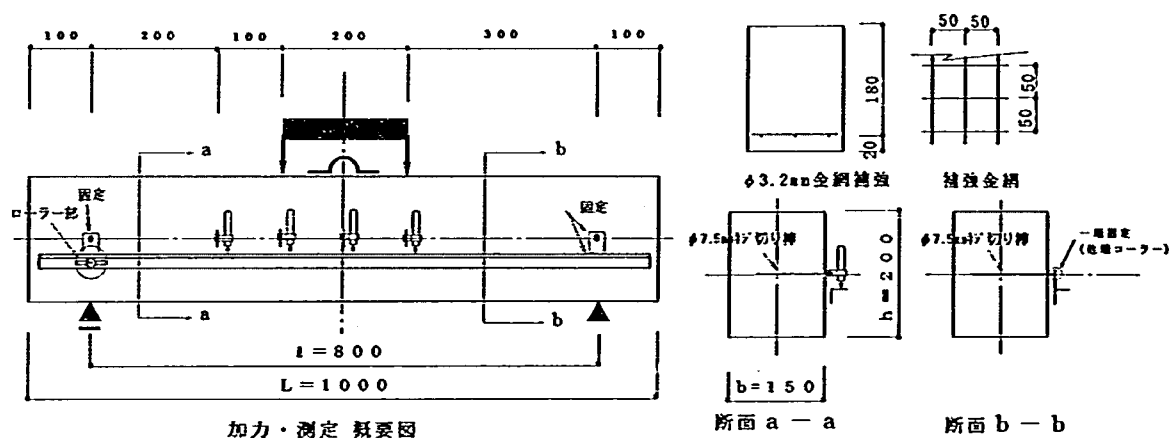


図3-25 梁の曲げ試験－載荷方法

表3-15 梁の曲げ試験結果一覧表

土質名：名古屋粘性土 固化材：普通ポルトランドセメント 密度： $1.05\text{g}/\text{cm}^3$

補強の有無 溶接金網 ($\phi 3.2\text{mm}$)	確認 強度 q_v (kgf/cm^2)	ひび割れ発生時		最大荷重時		
		発生荷重 (kgf)	圧縮ひび (%)	最大荷重 (kgf)	中央変位 (mm)	圧縮ひび (%)
無	サンプル 試料平均 8.41	201.1		201.1	0.286	0.088
有		108.6	0.041	634.4	2.741	0.50
無	サンプル 試料平均 8.77	219.8		219.8	0.328	0.080
有		142.6	0.041	528.5	2.408	0.33
無	サンプル 試料平均 8.81	216.7		216.7	0.314	0.093
有		110.6	0.028	595.1	2.069	0.37

1) 荷重と変位の関係

図3-26、図3-27に載荷荷重と梁中央点の変位の関係を示す。

① 無補強の梁 (図3-26)

荷重と変位の関係は直線的に変化して最大荷重に到り、試験体は急激に破壊する。その挙動は弾性的である。破壊荷重は201~220kgf、その時の変形量は0.29~0.33mmでばらつきも小さい。

② 溶接金網補強の梁 (図3-27)

載荷初期の荷重が200kgf付近までは無補強の梁とほぼ同じ挙動を示し、変位は0.42mm程度となっている。その後、荷重が300kgf付近から曲線的に変形量が大きくなり、亀裂も数回入り最大荷重となる。最大荷重は572~678kgf、その時の変位は2.1~2.9mmと若干のばらつきはあるものの3試験体とも同様の結果となっている。最大荷重を迎えた後、荷重は100~200kgf低下し、変形は大きく進むが急激な崩壊に到ることはない。変位が3~4mmまで進行した後でも、残留荷重は350kgf程度と変形に対する抵抗は大きい。

1試験体では繰返し載荷をしている。載荷荷重が240kgf、440kgf、640kgf付近、および最大荷重後の300kgf付近で除荷し、再載荷している。最大荷重前で除荷した場合、除荷時の変位の50%程度が残留変位として残り、最大荷重後は変形が急激に進むこともあってほとんどが残留変位となっている。

金網補強の効果は、最大荷重の増加と、その後の残留強度の確保に大きく寄与し、金網の付着切れをおこすものの急激な破壊に到ることはなく、変形に対する抵抗性は高い。金網による補強効果の高いことを示している。

土質名：名古屋粘性 固化材：普通ポルチメント 密度： 1.05g/cm^3

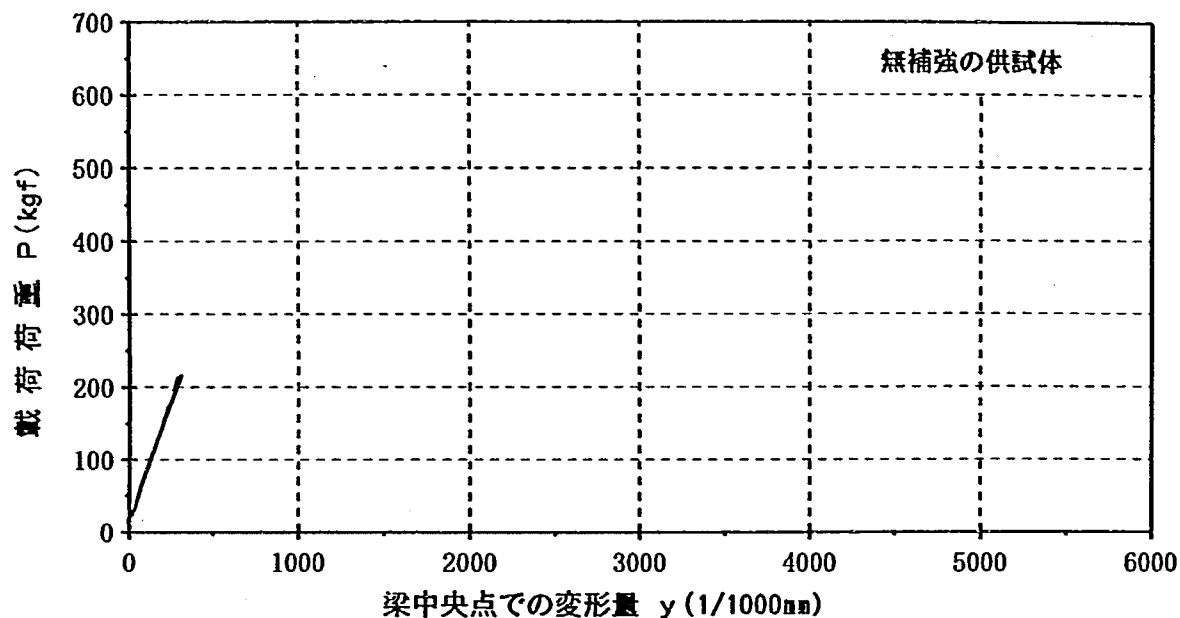


図3-26 載荷荷重と変位の関係（その1：無補強）

土質名：名古屋粘性土 固化材：普通ポルチメント 密度： 1.05g/cm^3

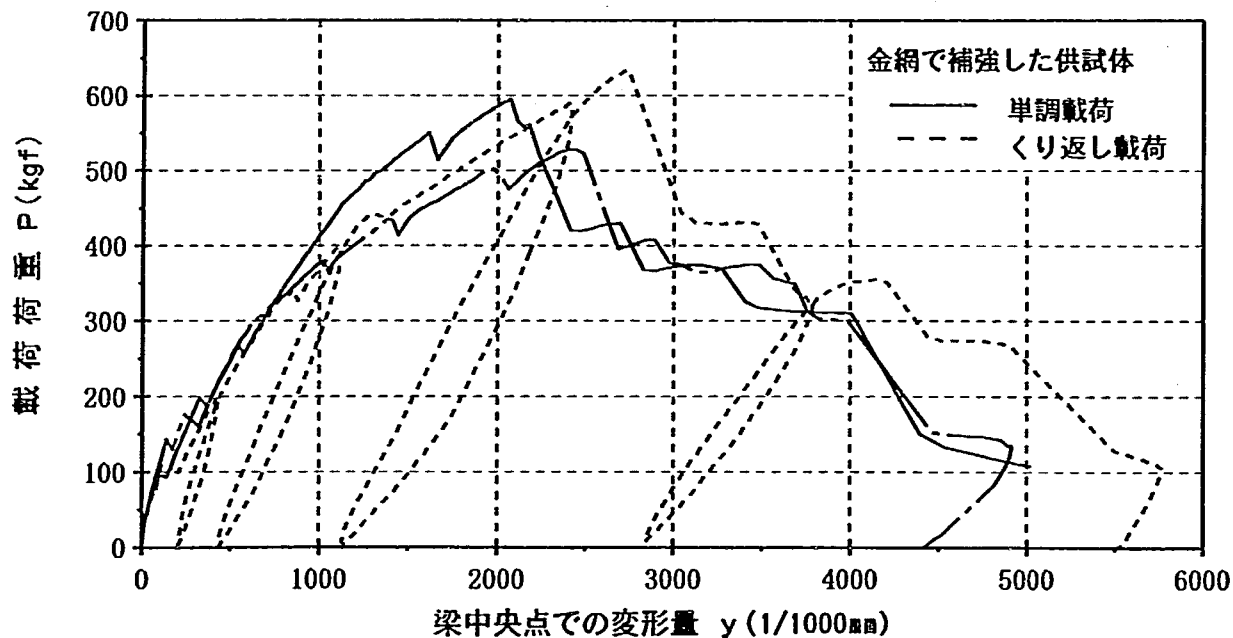


図3-27 載荷荷重と変位の関係（その2： $\phi 3.2\text{mm}$ 金網補強）

3-2-7 付着強度特性

気泡混合土の付着強度特性を調べるために付着強度試験を行った結果を示す。付着対象は、鋼板、コンクリート、および打継ぎ部のある気泡混合土とコンクリートである。試験は付着面に引張力を与える方式で行っている。

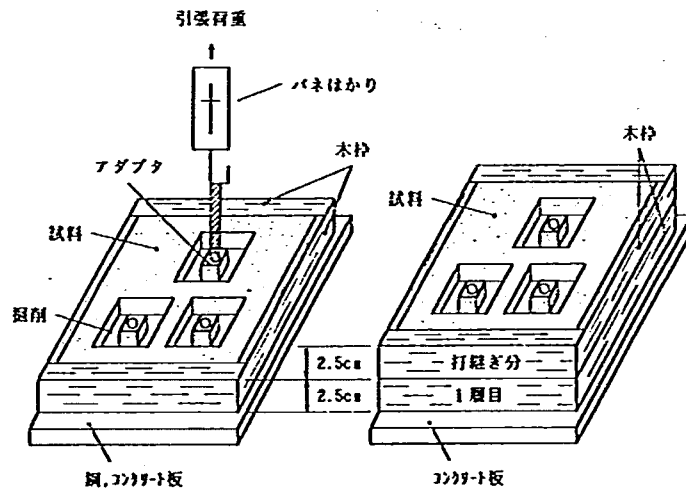
図3-28～図3-30に気泡混合土と鋼板、コンクリート、打継ぎ部有の場合の付着強度と一軸圧縮強さの関係を示す。付着強度は付着対象によって異なり、それぞれ、

鋼板との付着強度 $\sigma_{bs} = 0.06 q_u$

コンクリートとの付着強度 $\sigma_{bs} = 0.10 q_u$

打継ぎ部有の付着強度 $\sigma_{bs} = 0.07 q_u$

の関係にある¹⁾。なお、破壊面は付着強度の低い（低強度の）場合は付着面で、付着強度の高い場合は試料内部に発生していた。



土質名：粘性土（調整土含水比 400%） 固化材：普通ポルチランドセメント

（材齢 28 日）

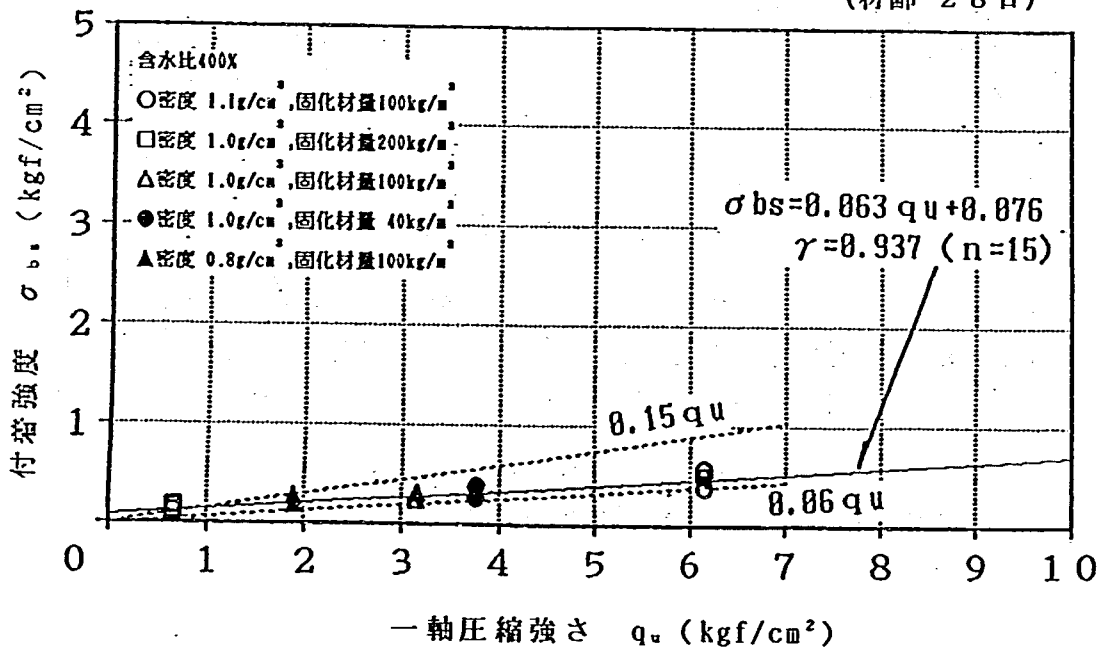


図3-28 付着強度と一軸圧縮強さの関係（鋼板）

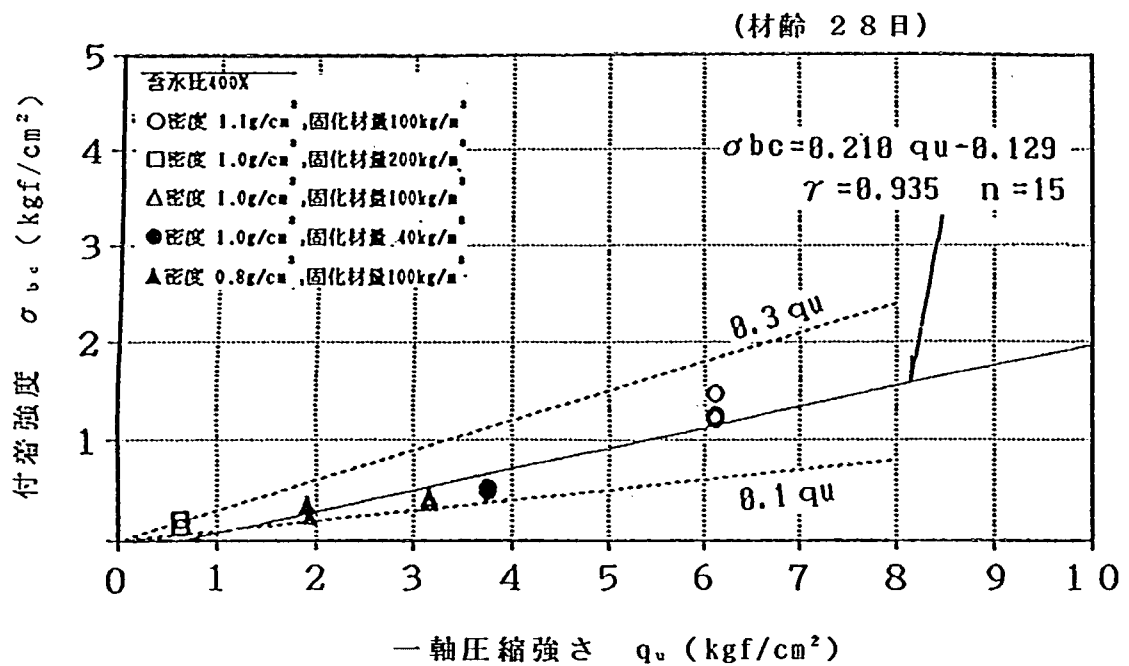


図3-29 付着強度と一軸圧縮強度の関係 (コンクリート)

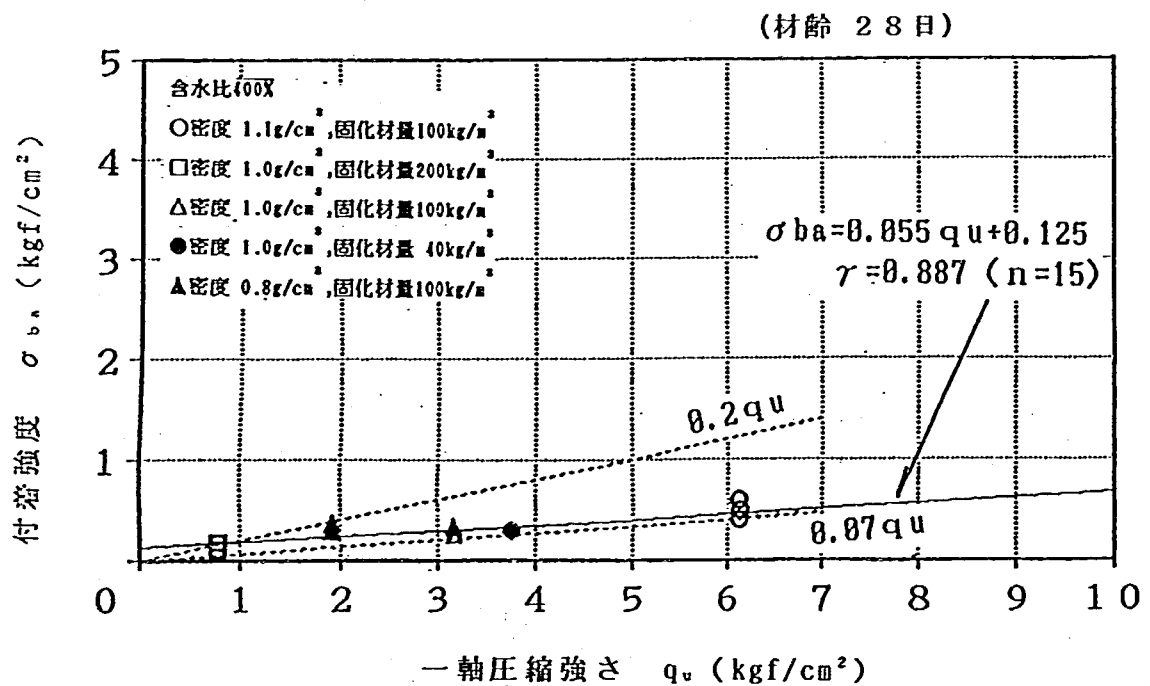


図3-30 付着強度と一軸圧縮強度の関係 (打継ぎ有)

3-2-8 摩擦抵抗特性

気泡混合土を盛土材料などに使用する場合に、既存の盛土や地山からの水の浸入を防止するために防水シート等を敷設することがある。この際に防水シートと気泡混合土との摩擦抵抗を評価する必要がある。気泡混合土と防水シート、気泡混合土と砂、の間の摩擦抵抗を把握するための試験結果を示す。

試験は大型一面せん断試験装置（せん断面 $\phi 150\text{mm}$ 、せん断面積 177cm^2 、試料とシートとの接触面積も同じ）を利用した。防水シートは一般的な塩ビ系とゴム系のものを用い、気泡混合土をシート上に直打設したケースと固化した気泡混合土の端面を整形して防水シートと接触させた場合も実施している。使用した砂は成田砂でその粒度特性を表3-16に示す。

各試験は上載圧を $0.3 \sim 1.2 \text{ kgf/cm}^2$ の間で4～5種類に変化させている。

試験条件を表3-17に示す。

気泡混合土は密度 1.05g/cm^3 、一軸圧縮強さは $q_u = 7.34\text{kgf/cm}^2$ であった。

表3-16 摩擦特性試験に使用した成田砂の粒度特性

土粒子の密度 $\rho_s (\text{g/cm}^3)$	粒 度 分 布 (%)			
	礫 分	砂 分	シルト 分	粘土分
2.657	0.0	76.0	17.0	7.0

表3-17 摩擦抵抗特性 試験条件

測定対象	接 触 状 態	上 載 荷 重 (kgf/cm^2)	せん断速度 (mm/min)	供試体 寸法 (mm)	備 考
加硫ゴム系	接 触	0.3, 0.5, 0.8, 1.0, 1.2	0.2	$\phi 150$ h 任意	使用シート $\square 25 \times 25\text{cm}$ 厚さ 1.5mm
	直打設	0.3, 0.5, 0.8, 1.0			
塩ビ樹脂系*	直打設	0.3, 0.5, 0.8, 1.0			
成 田 砂	接 触	0.35, 0.5, 0.8, 1.0	0.2	$\phi 150, h15$	$\rho_s = 1.80\text{g/cm}^3$ $W = 22.0\%$
	単 体	0.35, 0.5, 0.8, 1.0	1.0	$\phi 150, h30$	

*：塩ビ樹脂系は光沢無し面に気泡混合土を直打設している

試験結果の一覧を表3-18に示す。垂直応力 σ_v と最大せん断抵抗力 τ_v の関係を一次回帰したときのY切片を摩擦粘着力 C_v 、傾きを摩擦抵抗角 ϕ_v と呼び、これらの値も表に示した。接触条件による摩擦粘着力 C_v 、摩擦抵抗角 ϕ_v との関係を図3-31に示す。

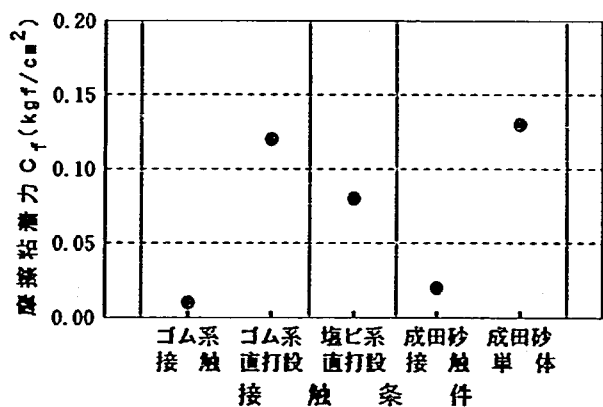
摩擦粘着力は接触状態、シートの種類によって異なり、その大きさは、接触状態では、直打設 > 接触、シートの種類では、ゴム系シート > 塩ビ系シート となっている。

摩擦抵抗角はゴム系シートの場合、直打設が 34.3° 、接触の場合が 36.2° とほぼ同じ値となっている。一方塩ビ系シートの摩擦抵抗角は 21.6° と 10° 以上小さくなっている。使用したシート表面の凹凸（てざわり感）を比較すると、ゴム系シートの方がざらざらして

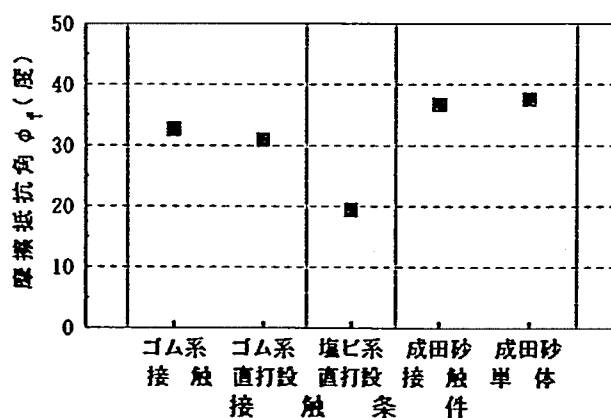
いるが、これが摩擦抵抗角に大きく反映する結果となっている。

表 3 - 1 8 摩擦抵抗測定試験結果

条 件	最 大 せん 断 抵 抗 時			摩 擦 抵 抗 定 数	
	垂 直 応 力 σ (kgf/cm ²)	最 大 抵 抗 力 τ (kgf/cm ²)	せん断変位 D (mm)	摩 擦 粘 着 力 C (kgf/cm ²)	摩 擦 抵 抗 角 ϕ (度)
加硫ゴム系 接 触	0.30	0.19	5.02	0.01	32.6
	0.50	0.36	6.40		
	0.81	0.53	10.13		
	0.99	0.62	6.73		
	1.21	0.80	4.39		
加硫ゴム系 直 打 設	0.30	0.31	5.02	0.12	30.9
	0.50	0.38	7.05		
	0.80	0.65	7.36		
	1.00	0.69	5.68		
塩ビ樹脂系 直 打 設	0.31	0.19	4.22	0.08	19.4
	0.51	0.27	6.15		
	0.82	0.35	8.13		
	1.01	0.45	8.28		
成 田 砂 接 触	0.37	0.29	1.59	0.02	36.7
	0.51	0.39	1.88		
	0.79	0.64	2.11		
	1.02	0.76	2.85		
成 田 砂 単 体	0.36	0.41	5.61	0.13	37.6
	0.49	0.49	4.74		
	0.86	0.80	8.63		
	0.99	0.88	10.37		



a) 摩擦粘着力と接触条件



b) 摩擦抵抗角と接触条件

図 3 - 3 1 接触条件と摩擦粘着力、摩擦抵抗角の関係

図3-32に垂直応力と摩擦抵抗の関係を示す。垂直応力が大きくなると摩擦抵抗も大きくなっている。摩擦粘着力を無視した場合の摩擦抵抗角 ϕ は、ゴム系シートの場合 35° 、塩ビ系（光沢無し面）の場合 20° 、成田砂の場合 40° 程度は期待できることがわかる。

なお、この値はシートの種類によって異なると考えられ、ここに示した種類以外のシートについてはその特性を確認する必要がある。

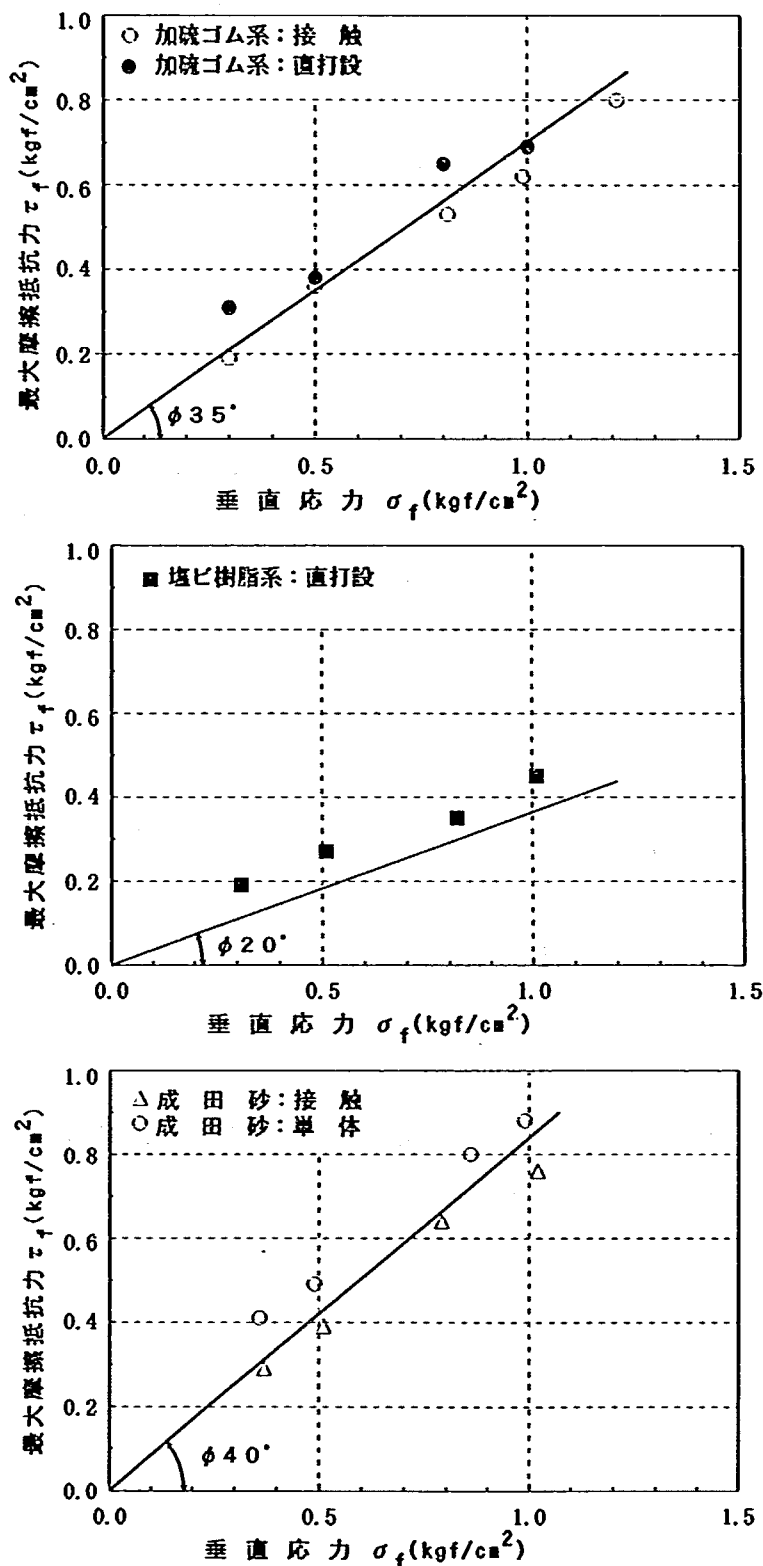


図3-32 垂直応力と最大摩擦抵抗の関係

3-2-9 CBR特性

気泡混合土のCBR特性を調べるために、水浸および非水浸CBR試験を行った結果を示す。図3-33に水浸CBRと一軸圧縮強さの関係を示す。

気泡混合土のCBR（水浸）と一軸圧縮強さは高い相関を示し、 $CBR（水浸）=2.5q_u$ の関係にあり¹⁾、一軸圧縮強さからCBRを推定することが可能である。セメント系固化材による安定処理土のCBRと比較すると、気泡混合土は、同じ一軸圧縮強さでのCBRは小さくなっている。

図3-34に水浸と非水浸のCBRの関係を示す。水浸と非水浸のCBRにはほとんど差異が認められず、水浸がCBRに与える影響はほとんどないと考えられる。

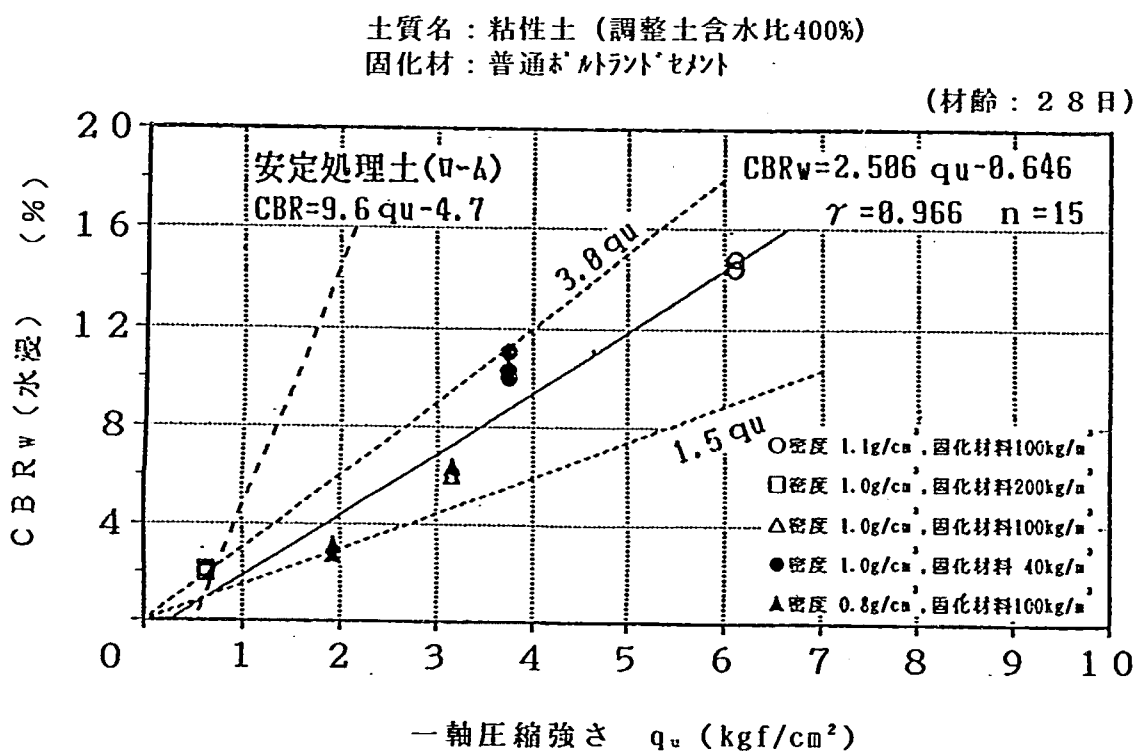


図3-33 CBR（水浸）と一軸圧縮強さの関係

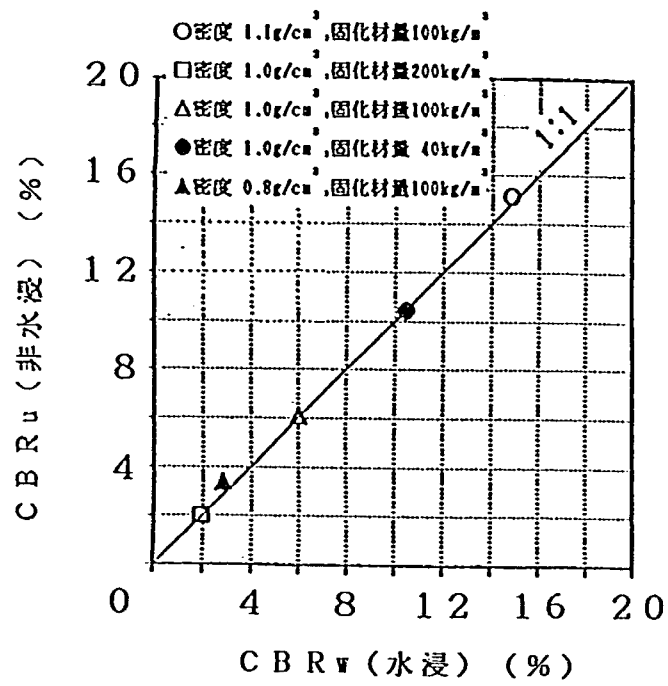


図 3-34 水浸と非水浸の C B R の関係

3-2-10 ポアソン比および変形係数

気泡混合土の変形特性を把握するために実施したポアソン比および変形係数の測定結果を示す。土質は有楽町層粘性土、設定密度は 0.8、1.05g/cm³の2種類である。

(1) ポアソン比

試験はひずみの測定法をLD T法¹⁾、ひずみゲージ法、三軸試験装置を利用した2重セル法の3種類で実施した。ポアソン比の測定はかなり難しいが、比較的測定がうまく行えたLD T法、および2重セル法(不飽和試料)の試験結果を表3-19に示す。表に示したポアソン比はコンクリートのポアソン比の算定方式に準拠して、最大応力の1/3点でのひずみから求めている。変形係数も同様である。比較のために同表には一軸圧縮試験に準じたE_{so}(ひずみの測定は従来の変位計を利用)も示した。参考として、砂等の他材料のポアソン比を表3-20に示す。

表3-19 ポアソン比測定結果

(a) LD T法による測定結果(φ10cm×h20cm試料)

		LD T 法		一般法
密度 (g/cm ³)	一軸圧縮強さ q _u (kgf/cm ²)	ポアソン比 ν	変形係数 E (kgf/cm ²)	変形係数 E _{so} (kgf/cm ²)
1.091 1.086 1.056	5.10 5.15 平均 5.34 5.77	0.08 0.11 平均 0.12 0.19	3,341 3,396 平均 3,352 3,822	1,331 1,339 平均 1,410 1,560
0.863 0.853 0.861	7.98 7.90 平均 7.63 7.02	0.36 0.32 平均 0.29 0.18	6,616 5,976 平均 6,099 5,704	2,281 1,992 平均 1,932 1,524
		E/q _u = 729		E _{so} /q _u = 258

(b) 2重セル法による測定結果(φ5cm×h10cm試料)

密度 (g/cm ³)	(σ ₁ -σ ₃) _{max} (kgf/cm ²)	ポアソン比 ν (不飽和供試体)
1.093 1.029 1.043	5.41 6.05 平均 5.65 5.50	0.15 0.18 平均 0.19 0.25
0.746 0.866 0.883	6.27 5.51 平均 6.07 6.42	0.18 0.13 平均 0.15 0.15

表3-20 他の材料のポアソン比

材 料 名	ポアソン比	材 料 名	ポアソン比
砂	0.25~0.35 ¹⁾	ゴム(弾性ゴム)	0.46~0.49 ⁴⁾
強塑性の粘土	0.40~0.45 ²⁾	鉄(鋼)	0.28~0.30 ⁴⁾
コンクリート	0.08~0.17 ³⁾	ポリエチレン	0.458 ⁴⁾

- 1) 山肩邦男著 「建築基礎工学」 朝倉書店 p.126(1981)
 2) 杉村塑朗他 「基礎工学ハンドブック」 朝倉書店 p.933(1964)
 3) 山口順治著 「コンクリート工学」 オーム社書店 p.59(1968)
 4) 「理科年表」 丸善出版 p.440(1982)

図3-35に軸ひずみが0.1%以下の領域における軸ひずみとポアソン比の例（LDT法による測定例）を示す。ポアソン比はひずみが小さい間は小さく、その後徐々に大きくなる。

図3-36に一軸圧縮強さとポアソン比の関係を示す。

ポアソン比は測定法によってバラツキが認められ、一部に0.2以上になっているものもあるが、概ね0.1～0.2の範囲に分布しており、気泡混合土のポアソン比は0.1～0.2程度と言え、低ひずみでのポアソン比が小さいことを考慮すると、設計上は0.1程度の値を利用して良いものと思われる。

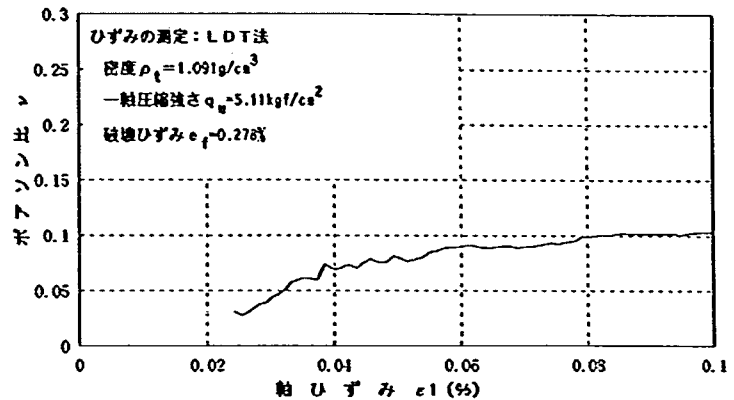


図3-35 軸ひずみとポアソン比の測定例（LDT法）

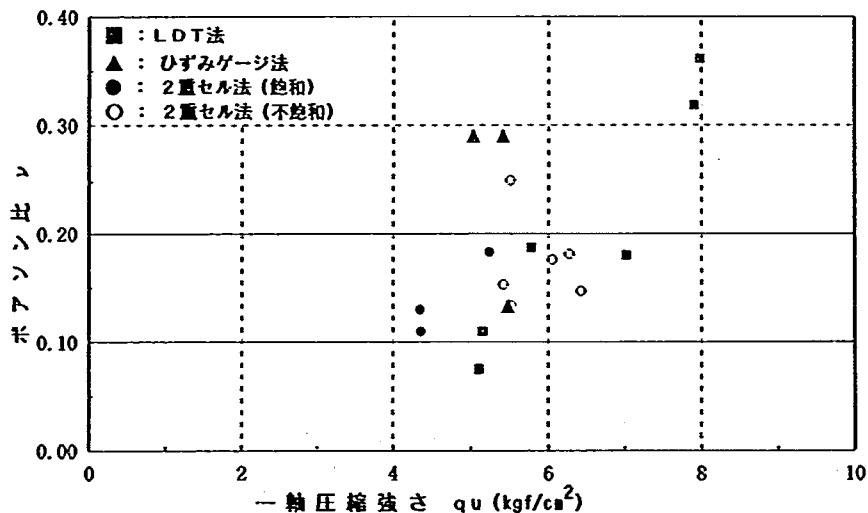


図3-36 一軸圧縮強さとポアソン比の関係

（2）変形係数

図3-37に同一試験体で得られた従来法とLDT法による応力～ひずみ曲線の例を示す。なお、試料の大きさはφ10cm×h20cmである。

LDT法では軸ひずみを試料中央部の10cm区間、従来法は試料全長20cmでの圧縮量からひずみを算定している。従来法では初期の立ち上がりが鈍く、また応力ピーク付近でも緩やかな曲線を示している。これは気泡が入っている材料であ

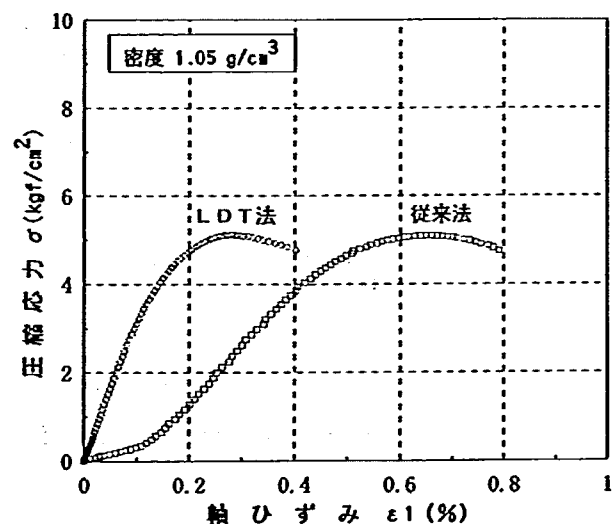


図3-37 応力～ひずみ曲線の例

るために端面の整形等の影響を受けやすいこと（初期応力段階）や、端部での局所的な破壊が進行しているためと考えられる。

図3-38に一軸圧縮強さと変形係数の関係を示す。

ひずみの測定方法、整理方法によってその結果に大きな違いが認められる。

① 一般法

これまで得られていると同様の関係を示し、 $E_{50}=240 q_u$ となっている。またバラツキも少ない結果となっている。

② L D T 法

L D T 法の結果ではバラツキも少なく $E_{1/3}=730 q_u$ と、従来の一軸圧縮試験法により求められる E_{50} よりも約3倍となっている。

③ ひずみゲージ法

ひずみゲージ法では $E_{1/3}=1,100 q_u$ と、従来の一軸圧縮試験法による E_{50} の約5倍の関係を示した。しかし、バラツキはかなり大きく、信頼性は低いと思われる。

以上のことから、設計時に使用する変形係数は応力状態を考慮した値を利用する必要がある。比較的小さい応力状態の場合はL D T 法により求めた変形係数が参考になり、変形係数は従来法の E_{50} の約3倍程度大きい値を利用した方が実状に合うものと思われる。

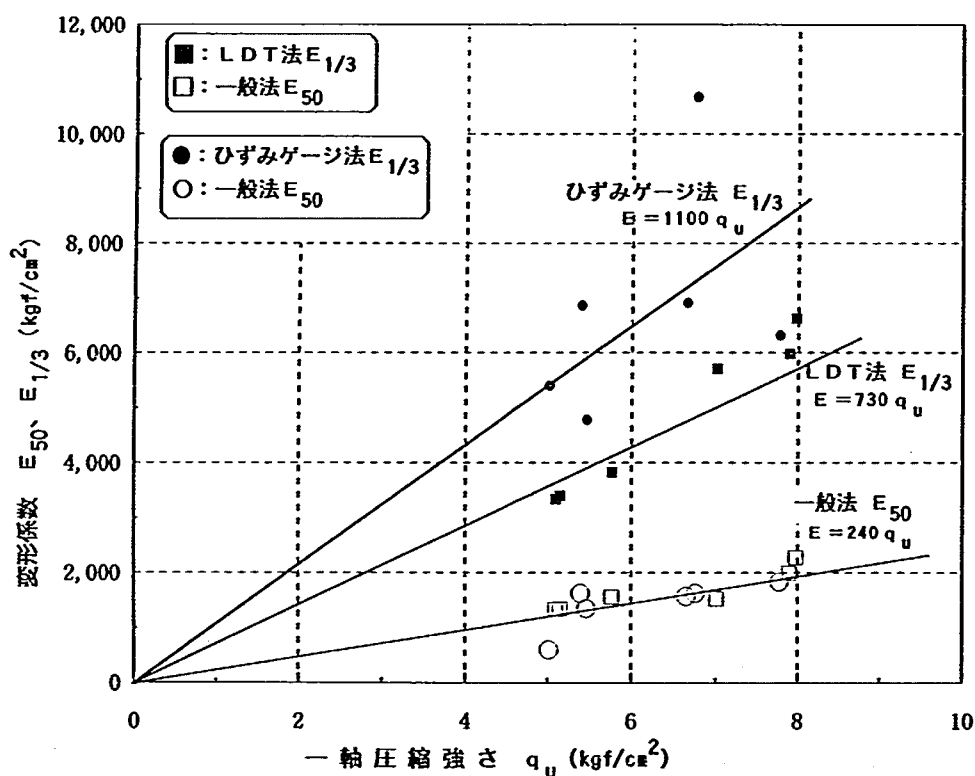


図 3 - 3 8 一軸圧縮強さと変形係数の関係

3-3 耐久性

気泡混合土の耐久性に関する調査として、繰返し荷重をうけた時の影響、乾湿や凍結融解の繰返しに対する抵抗性、長期荷重を受けたときの影響、暴露に対しての抵抗性などに関する試験結果を示す。

3-3-1 繰返し載荷特性

盛土などに利用した時には、車両等による繰返し荷重を受けることになる。この様な繰返し荷重による強度への影響や累積ひずみに対する影響^{10) 11)}を調べるために、繰返し載荷試験を実施した結果を示す。

1) 繰返し載荷後の強度変化⁶⁾

表3-21に試験条件、図3-39に試験結果を示す。繰返し載荷は所定の初期荷重 σ_0 を載荷後に動的な増減荷重($\pm\sigma_D$)を一軸状態で繰返し載荷し、所定回数の荷重載荷終了後の試験体で強度試験を実施している。

表3-21に示した何れの条件においても、強度の低下は認められなかった。

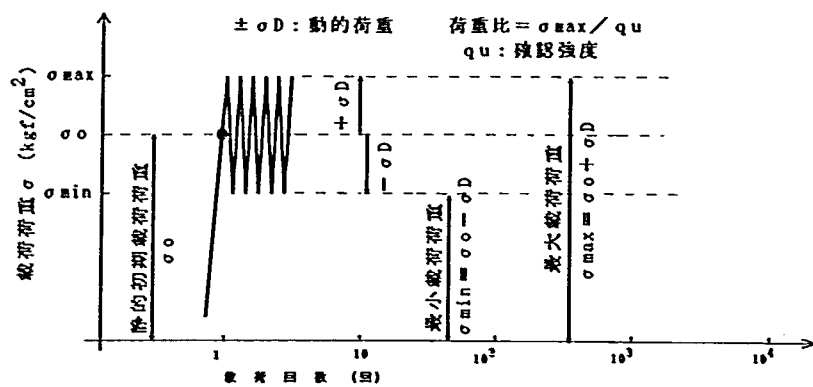
この結果および次ぎに示すひずみの変化計測の結果からすると、車両の走行荷重等に対しても十分な耐力を有していると判断され、気泡混合土を道路盛土等に利用しても問題はないと言える。

表 3-21 繰返し載荷試験条件（一軸載荷）

土質名：粘性土 固化材：普通ポルチランドセメント

試料条件		初期載荷荷重 σ_0 (kgf/cm ²)	動的な 増減荷重 $\pm\sigma_D$ (kgf/cm ²)	載荷回数 (回)				備考
設定強度 (kgf/cm ²)	設定密度 (g/cm ³)			300	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	
2.0	1.0	0.8	± 0.2		○	○	○	- 繰返し波形 正弦波 - 繰返し周波数 2 Hz - 繰返し荷重 $\sigma = \sigma_0 \pm \sigma_D$ - 繰返し載荷後に強度試験実施
		1.0	± 0.2		○	○	○	
		1.2	± 0.2	○	○	○		
		$0.7 \times q_u^{1)}$	± 0.2			○		
		$0.25 \times q_u^{1)}$	$\pm 0.25 \times q_u^{1)}$				○	
5.0	1.0	2.0	± 0.5		○	○	○	
		2.5	± 0.5		○	○	○	
		3.0	± 0.5	○	○	○		
		$0.7 \times q_u^{1)}$	± 0.5			○		

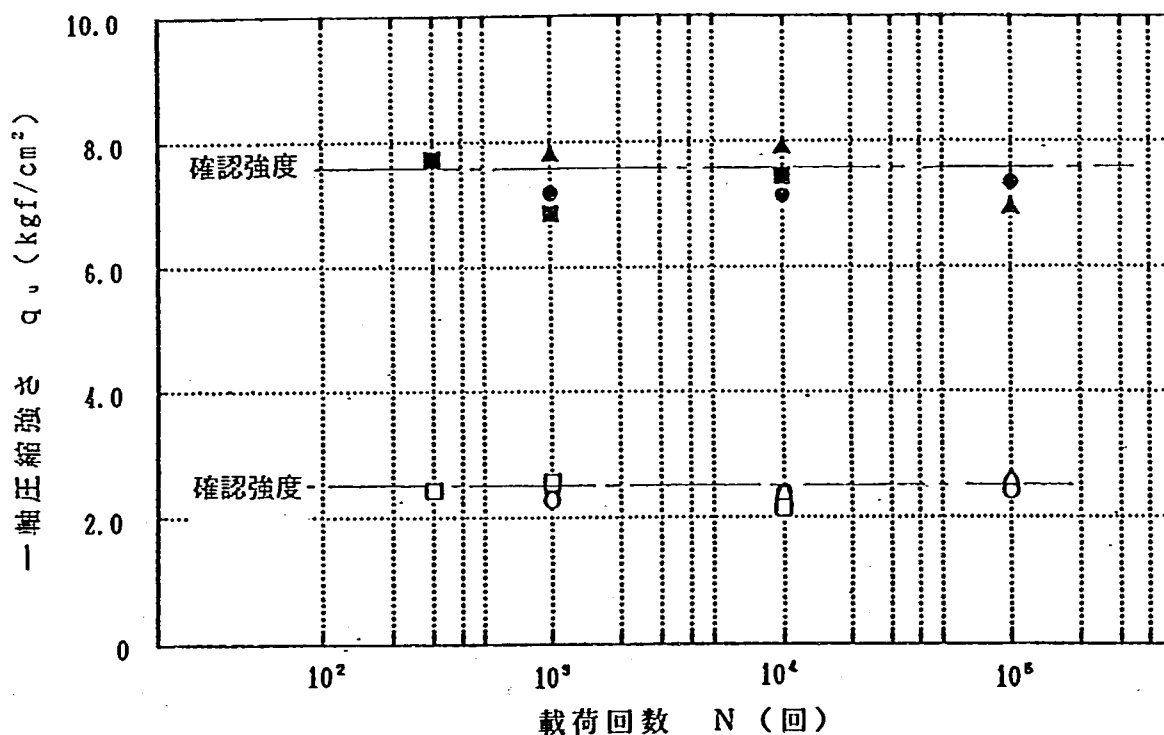
1) q_u : 確認強度で繰返し載荷してない供試体での一軸圧縮強さ



繰返し載荷試験 模式図

土質名：粘性土 固化材：普通ポルチランドセメント

記号	目標強度 (kgf/cm ²)	設定密度 (g/cm ³)	初期縦荷重 (kgf/cm ²)	繰返荷重 (kgf/cm ²)
□	2	1.0	0.8	±0.2
○			1.0	
△			1.2	
■	5	1.0	2.0	±0.5
●			2.5	
▲			3.0	



確認強度：繰返し載荷していない供試体での一軸圧縮強さ

図 3-39 繰返し載荷回数と繰返し載荷後の一軸圧縮強さの関係

2) 繰返し載荷によるひずみの変化

表3-22に試験条件、図3-40に計測したひずみの整理方法を、図3-41、図3-42に試験結果を示す。繰返し載荷は側方拘束のない一軸状態および側方拘束荷重として $\sigma_3=0.5\text{kgf/cm}^2$ を載荷した三軸状態との2種類で実施している。繰返し載荷荷重は $\pm 0.2\text{kgf/cm}^2$ （設定強度 2kgf/cm^2 試料）、 $\pm 0.5\text{kgf/cm}^2$ （設定強度 5kgf/cm^2 試料）である。なお所定の載荷回数終了後に強度試験を実施している。

拘束条件の有無による影響としては、平均ひずみは三軸状態の方が若干大きく出ているが、動的平均ひずみや動的変形係数には側方拘束条件の違いによる差は認められない。

載荷の繰返しによる影響としては、平均ひずみは累積ひずみが若干発生しているが、大きく進行する傾向は見せていない。一方、動的平均ひずみや動的変形係数は繰返し載荷によつての変化は認められず、 10^5 回程度の繰返しに対しても、安定した挙動を示している。なお、この試験においても繰返し載荷後の強度低下は認められなかった。

表 3 - 2 2 繰返し載荷試験条件（一軸載荷および三軸状態載荷）
土質名：粘性土 固化材：普通ポルトランドセメント

試 料 条 件		初期	動的な	載荷	側方	荷重	確認
設定強度	設定密度	載荷荷重	増減荷重	回数	拘束圧	比 ¹⁾	強度
(kgf/cm ²)	(g/cm ³)	σ_0	$\pm \sigma_D$	(回)	σ_3		q_u
2.0	1.0	1.2	± 0.2	10^5	0	0.33	4.21
					0.5	0.33	4.26
5.0	1.0	3.0	± 0.5		0	0.37	9.49
					0.5	0.36	9.61

1) 荷重比 = $(\sigma_0 + \sigma_D) / q_u$
ここに、 q_u は確認強度

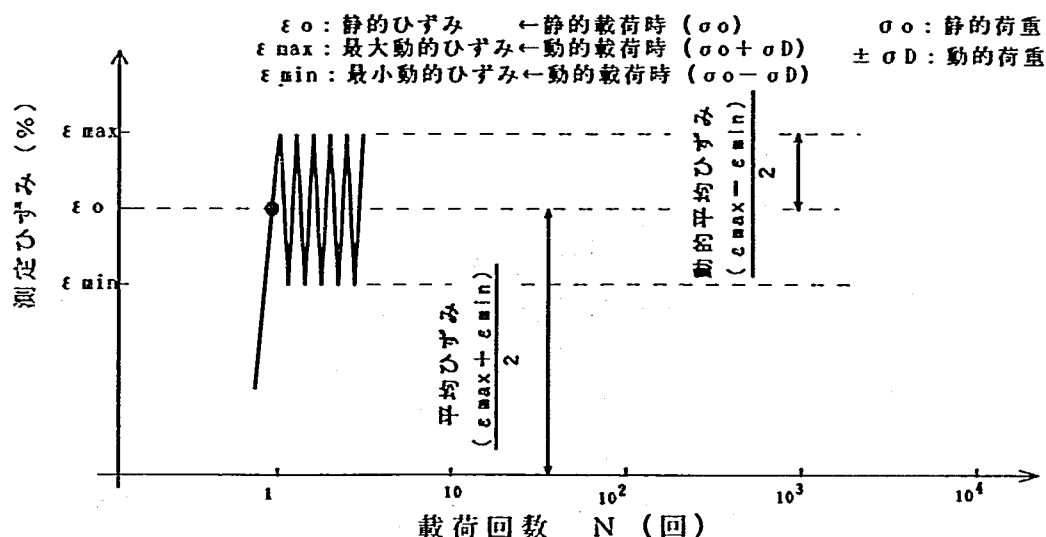
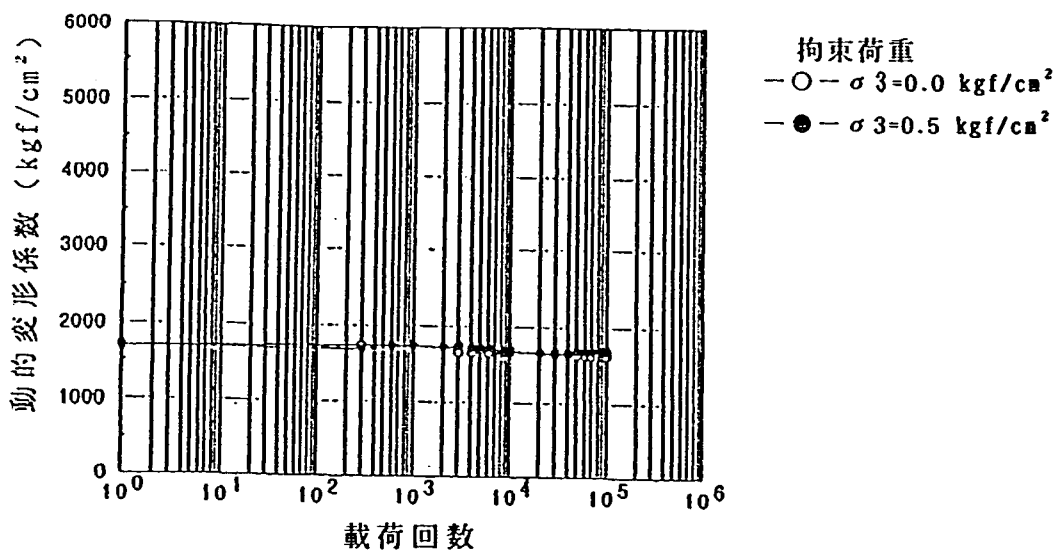
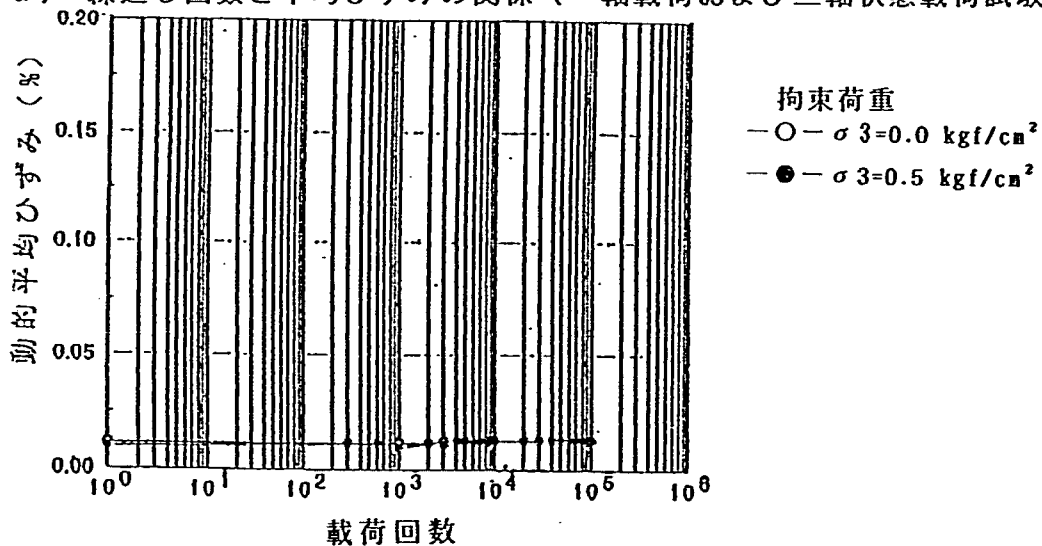


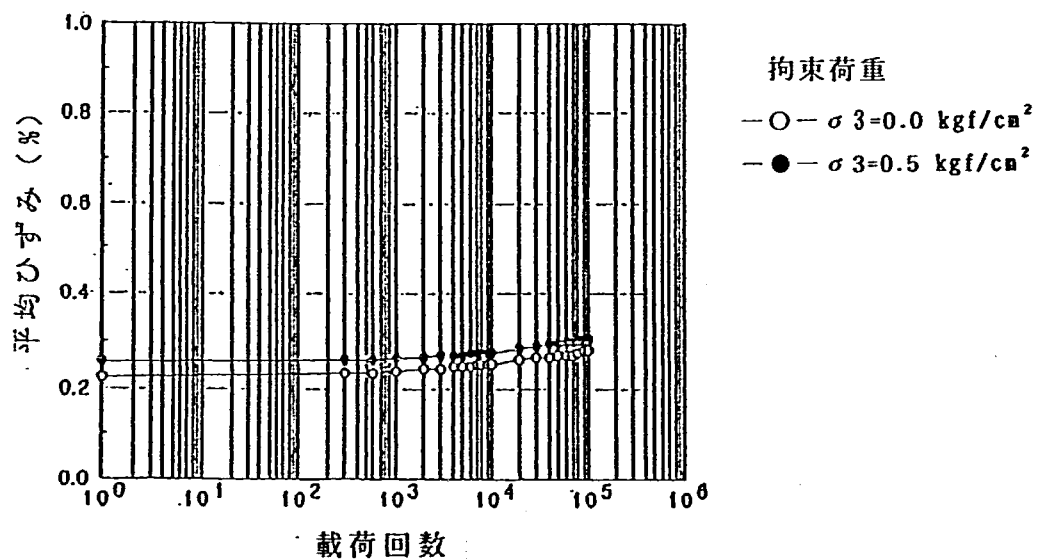
図 3 - 4 0 計測した軸圧縮ひずみの整理方法説明図



a) 繰返し回数と平均ひずみの関係 (一軸载荷および三軸状態载荷試験)

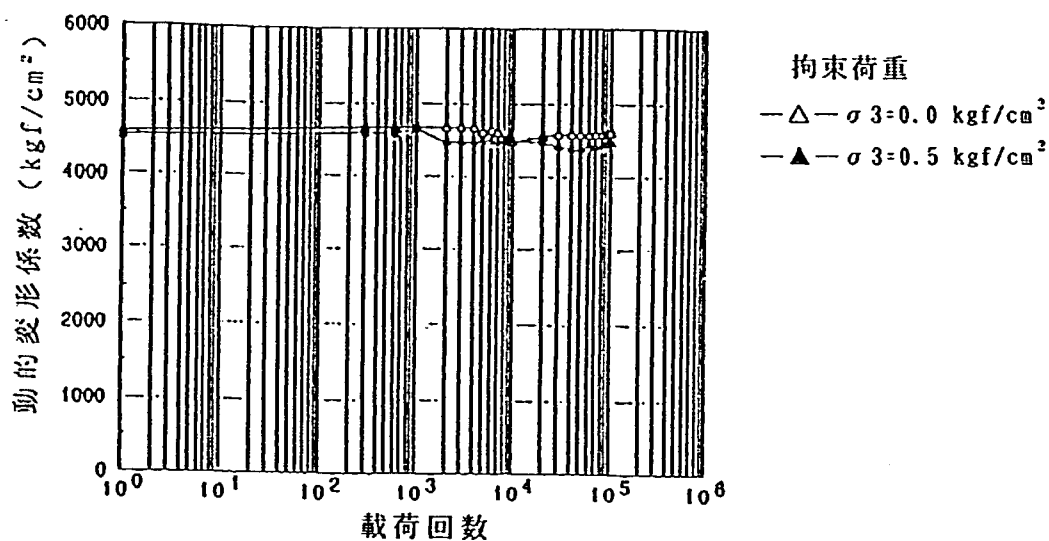


b) 繰返し回数と動的平均ひずみの関係 (一軸载荷および三軸状態载荷試験)

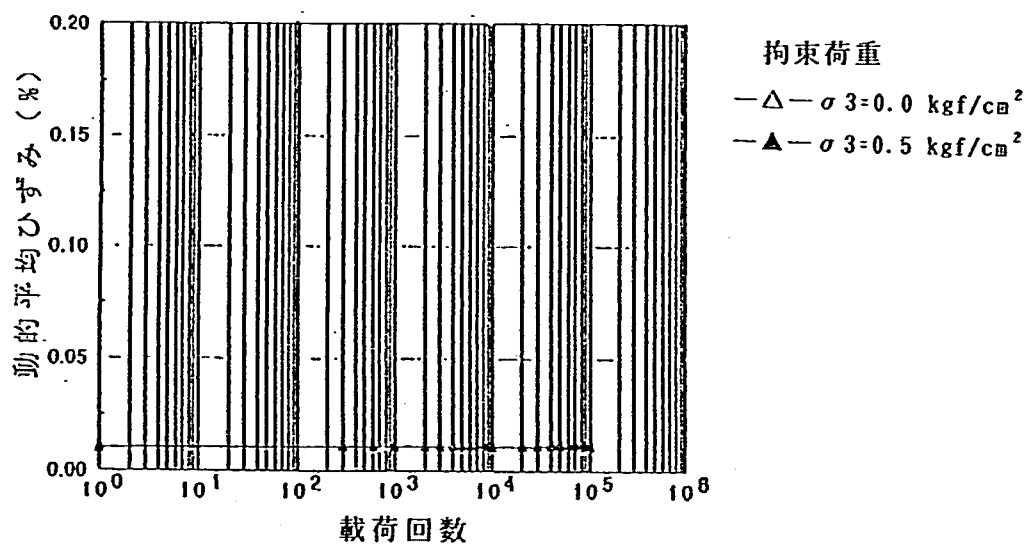


c) 繰返し回数と動的変形係数の関係 (一軸载荷および三軸状態载荷試験)

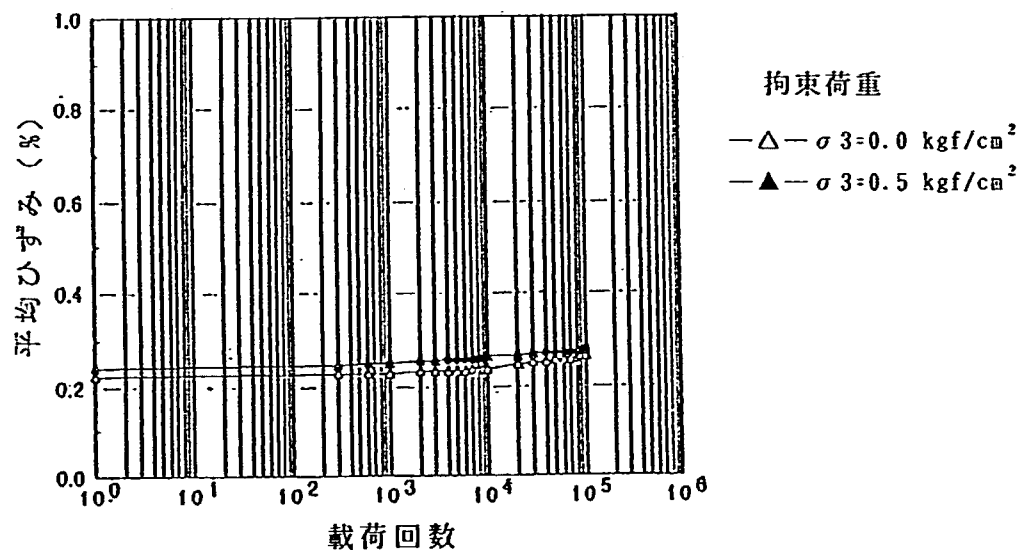
図 3-41 設定強度 2 kgf/cm^2 、設定密度 1.0 g/cm^3 の試験結果



a) 繰返し回数と平均ひずみの関係 (一軸載荷および三軸状態載荷試験)



b) 繰返し回数と動的平均ひずみの関係 (一軸載荷および三軸状態載荷試験)



c) 繰返し回数と動的変形係数の関係 (一軸載荷および三軸状態載荷試験)

図 3-42 設定強度 5 kgf/cm^2 、設定密度 1.0 g/cm^3 の試験結果

3-3-2 乾湿繰返し特性

気泡混合土の利用条件によっては、吸水と乾燥（脱水）が繰返す場合も考えられる。乾湿の繰返しによる強度や性状への影響¹²⁾、¹³⁾を調べるために、乾湿繰返し試験を実施した結果を示す。

試験は乾燥状態（温度20℃湿度70%の恒温恒湿室で気中放置）で一週間、その後湿潤状態（同室で全水浸）で一週間を1サイクルとし、最大7サイクルまで実施し、その後に強度試験を実施している。試験に使用した供試体はφ10cm×h20cmであり、所定の乾湿の繰返し後にφ5cm×h10cmに整形して一軸圧縮試験を実施した。図3-43に試験結果¹⁴⁾を示す。

気泡混合土は初期の段階で2割程度の強度低下が起こり、その後は強度低下することなく安定している。比較のために実施したソイルセメント試料は乾湿による強度低下は認められていないことから、気泡混合土は乾湿の繰返しによる影響を受けやすいと言える。

乾湿状態が繰返すことが予想されるときは注意を要する。

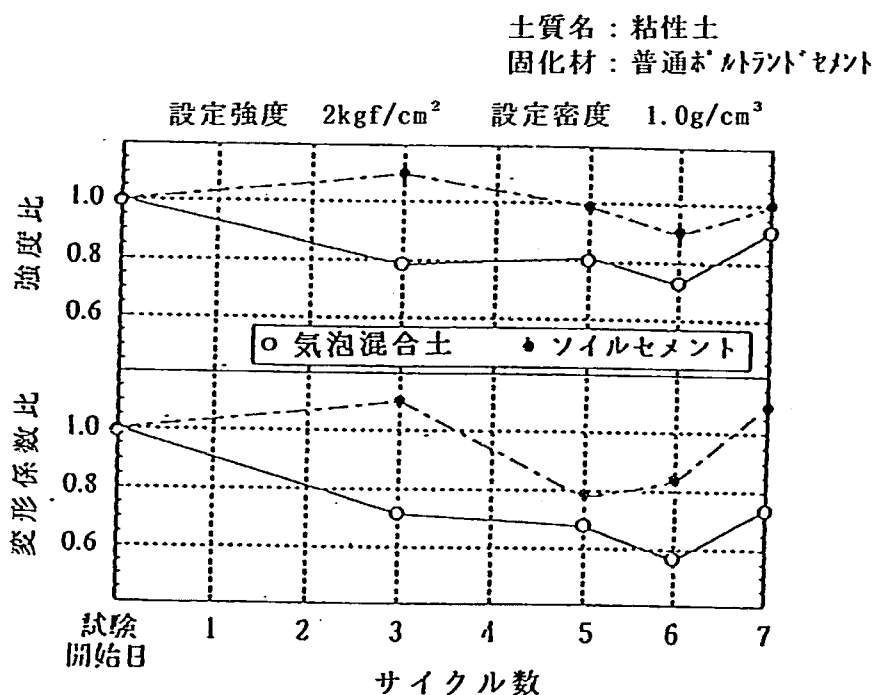


図3-43 乾湿の繰返し後の強度比と変形係数比の関係

3-3-3 凍結融解特性

厳しい自然環境が想定される場所で気泡混合土を利用した場合の凍結融解に対する抵抗性を調べるために実施した凍結融解試験の結果を示す。試験はASTM C666およびASTM D560を参考にし、気中における急速凍結（ -20°C で6時間）その後の融解（ 21°C で6時間）を1サイクルとし、最大10サイクルまで実施した。所定回数の繰返し後の試験体で強度試験を実施している。試験に使用した供試体は $\phi 10\text{cm} \times h 20\text{cm}$ であり、所定回数の乾湿繰返し後に $\phi 5\text{cm} \times h 10\text{cm}$ に整形して一軸圧縮試験を実施した。図3-44に試験結果¹⁴⁾を示す。

凍結融解の繰返しによって一軸圧縮強さは低下する。強度の低下は1サイクル目での低下が大きく、その後の低下は少ないものの10サイクル終了後では、一軸圧縮強さは約1/2まで低下した。同時に実施した気泡を混入していないソイルセメント試料は3サイクル目で試料の欠損が激しく、強度試験は実施できなかった。気泡混合土は凍結融解の繰返しに対して、気泡が緩衝材となるために、気泡を導入していないものよりもかなり凍結融解に対しての抵抗性は高いと言える。

ただし、強度低下が認められるため、厳しい気象作用の影響をうける可能性があるときには対策が必要である。

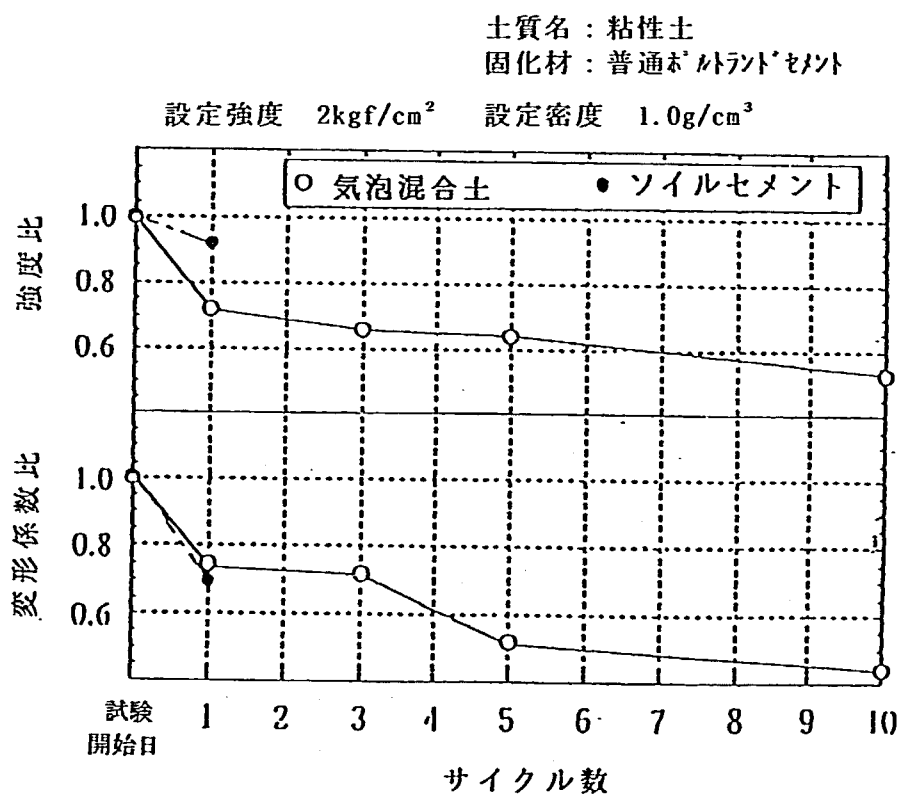


図3-44 凍結融解の繰返し後の強度比と変形係数比の関係

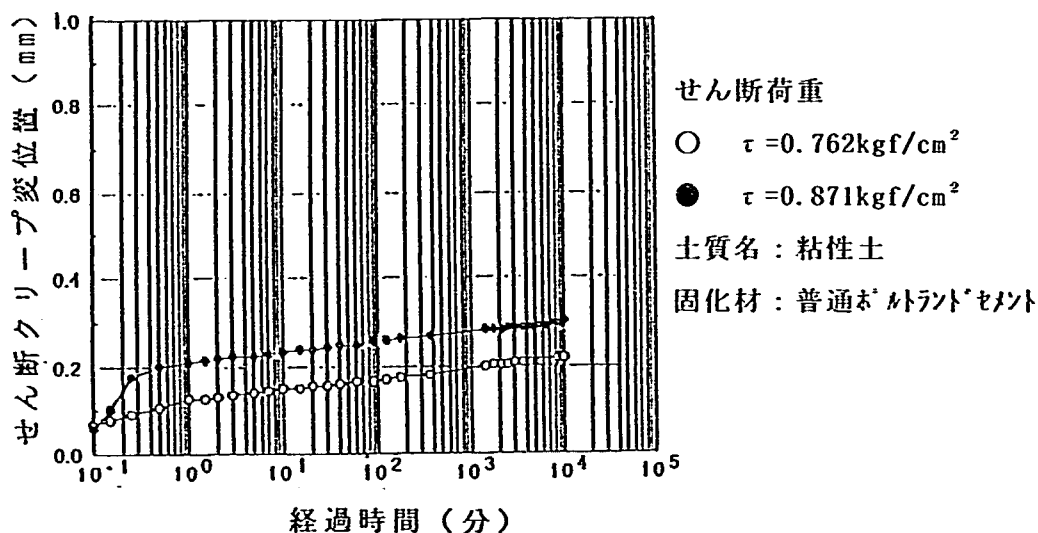
3-3-4 クリープ特性

気泡混合土が継続した長期荷重を受けたときの影響を調べるために、クリープ試験を実施した結果を示す。実施した試験は、長期荷重としてせん断荷重および圧縮荷重をかけた場合の2種類で、試験期間中の定荷重下での変位の増加を計測した。

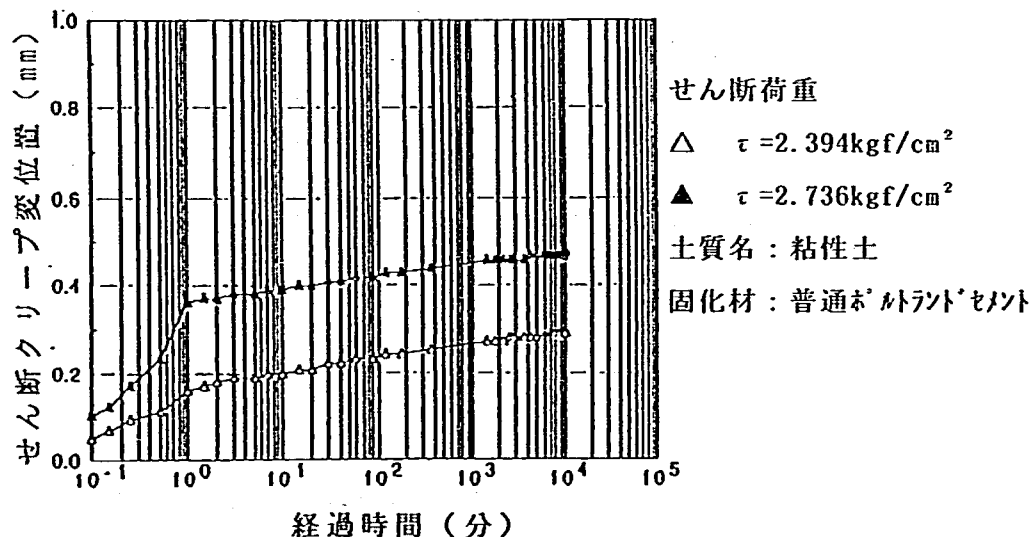
(1) せん断クリープ試験

試験は一面せん断試験装置を利用し、予め一面せん断試験で求めた試料の最大せん断強さ τ_r の70%および80%に相当するせん断荷重を一週間継続して載荷し、クリープ変位量を測定した。なお上載荷重は一軸圧縮強さの50% ($\sigma_{v0} = q_u/2$) とした。図3-45に試験結果を示す。

載荷初期の変位量が殆どを占め、時間経過とともに変位は増加するが、その増分は小さい。せん断荷重が大きくなると変位量が大きくなるものの、載荷中の変位の増加によるクリープ破壊の傾向は認められなかった。



a) 設定強度 2 kgf/cm^2 、設定密度 1.0 g/cm^3 の結果



b) 設定強度 5 kgf/cm^2 、設定密度 1.0 g/cm^3 の結果

図3-45 経過時間とせん断クリープ変位量の関係

(2) 長期圧縮試験

側方拘束状態で圧縮荷重を長期間受けた時の影響を調べるために、長期圧縮試験を圧密試験に準じて実施した。試験は長期の圧縮荷重としては、想定される降伏荷重 P_y (3-2-2 圧縮特性参照) の $0.5P_y$ および $1.5P_y$ を一週間載荷した。結果を表3-23に示す。

圧縮荷重が圧縮降伏応力以下の $0.5P_y$ では、最終圧縮ひずみも約3.0%~5.0%以内であり、クリープ係数もかなり小さい結果となった。このことから、降伏応力以下の応力レベルでの長期にわたる沈下量についてはほとんど問題ないと言える。

表 3 - 2 3 クリープ係数および最終圧縮ひずみ

土質名：粘性土 固化材：普通ポルチランドセメント

試 料 条 件		長期圧縮荷重 $0.5P_y$		長期圧縮荷重 $1.5P_y$	
設定強度 (kgf/cm ²)	設定密度 (g/cm ³)	最終圧縮ひずみ ϵ (%)	クリープ係数 C_{cc} (%)	最終圧縮ひずみ ϵ (%)	クリープ係数 C_{cc} (%)
2.0	1.0	2.8	1.87×10^{-1}	16.1	7.43×10^{-1}
	1.1	4.9	3.06×10^{-1}	25.4	7.95×10^{-1}
5.0	1.0	4.6	1.92×10^{-1}	23.3	7.59×10^{-1}
	1.1	4.4	1.96×10^{-1}	23.3	7.74×10^{-1}

参考) クリープ係数 計算式

$$C_{cc} = \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{\log(t_2/t_1)} \quad , \quad \epsilon = \frac{\Delta d}{H} \times 100$$

ここに、

C_{cc} : クリープ係数 (%)

ϵ : 圧縮ひずみ (%)

$\epsilon_{1,2}$: 時間 t_1 、 t_2 における圧縮ひずみ

Δd : 圧縮量 (mm)

$t_{1,2}$: 経過時間 (分)

H : 供試体高さ (20mm)

表3-23の計算結果は $t_1 = 120$ 分、 $t_2 = 10,080$ 分 (7日目) の測定値を使用

3-3-5 暴露試験

気泡混合土が長期間暴露した時の影響を調べるために、ブロック供試体（1m×1m×1m）を製作し暴露試験を行った結果を示す。ブロック供試体は供試体作製28日経過後に土中に埋め、上部のみを屋外暴露状態として5年以上経過している。

所定の暴露日数経過後に、暴露供試体からブロックサンプリングし、深さ方向に整形したφ5cm試料で一軸圧縮試験を実施した。

図3-46に一軸圧縮強さと暴露養生日数の関係を示す。屋外暴露した供試体の一軸圧縮強さは3年以上経過後も室内で養生した供試体と同程度の強度を有している。

また、5年程度経過後でも強度の低下傾向は認められない結果となっている。

土質名：関東ローム（含水比350%）
 固化材：普通ポルトランドセメント
 密度：1.05g/cm³

（暴露試験場所：茨城県つくば市）

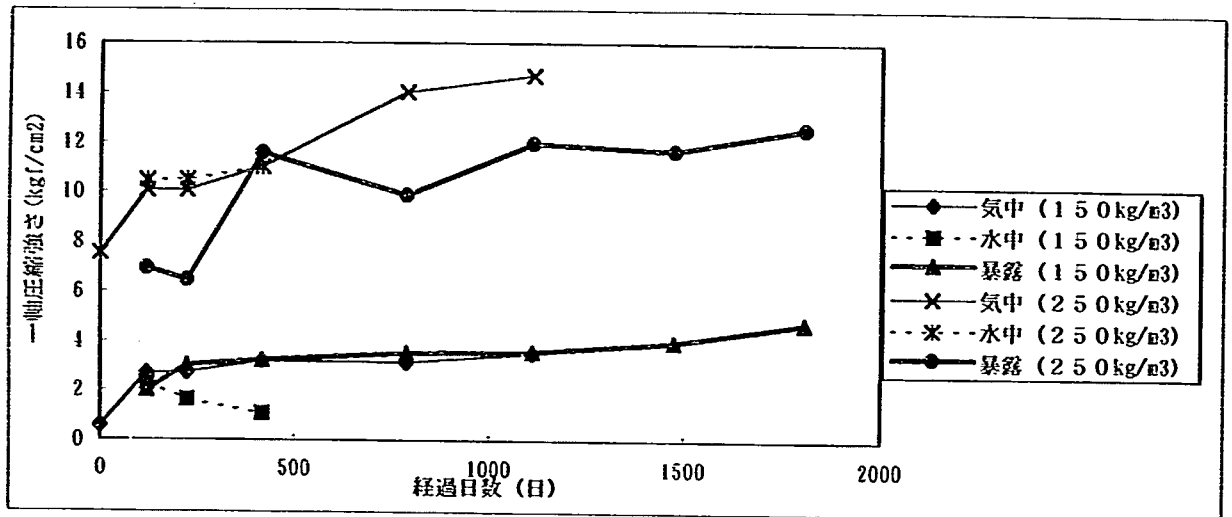


図3-46 経過日数と一軸圧縮強さの関係（暴露試験）

参考文献

- 1) 久野悟朗, 高橋守男, 吉原正博: 軽量充填材への圧力の影響について, 土木学会第44回年次学術講演会概要集, Ⅲ部門, pp. 752-753, 1989.
- 2) 土田 孝, 水上純一, 笠井寿太郎, 横山裕司, 槌田和徳: 軽量盛土・埋立材料の養正条件の影響, 第20回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, pp. 238-239, 1993.
- 3) 青山憲明, 千田昌平, 笠井寿太郎, 草刈太一, 新舎 博, 入島文雄: 気泡混合補強土の特性について(その4 吸水, 発熱, 打設高さ), 土木学会第47回年次学術講演会概要集, Ⅲ部門, pp. 1200-1201, 1992.
- 4) 例えば、(社)セメント協会: セメント系固化材による地盤改良マニュアル, 技報堂, 1994.
- 5) 森 範行, 三木博史, 伊勢壽一, 黒山英伸, 彦坂周男, 面高安志: 各種発生土を利用した気泡混合土の配合試験, 第31回地盤工学研究発表会講演集, pp. 2503-2504, 1996.
- 6) 青山憲明, 高橋 勇, 佐藤常雄, 笠井寿太郎, 久保 博, 古谷俊明, 新舎 博: 気泡混合補強土の特性について(その2 力学特性), 第27回土質工学研究発表会講演集, pp. 2485-2486, 1992.
- 7) 森 範行, 高橋 勇, 大石守夫, 佐藤常雄, 清水和也, 中村洋一, 古谷俊明: 気泡混合補強土の特性について(その5 三軸圧縮特性), 第28回土質工学研究発表会講演集, pp. 2637-2638, 1993.
- 8) 中村洋一, 青山憲明, 安部克朗, 久保 博, 黒山英伸: 気泡混合補強土の特性について(その3 曲げ・付着・CBR), 土木学会第47回年次学術講演会概要集, Ⅲ部門, pp. 1198-1199, 1992.
- 9) 海野隆哉, 八巻一幸, 古谷時春: 気泡モルタルの鉄道盛土への利用, 基礎工, Vol. 18 No. 12, pp. 50-58, 1990.
- 10) 山内豊聡, 浜田英治: 軽量盛土材としての気泡セメントの力学的特性と降伏規準に関する一考察, 土木学会論文集, 第406号, Ⅲ-11, pp. 283-290, 1989.
- 11) 川端浩平, 尾本志展, 溝淵 優: 発泡ビーズを用いた断熱性路盤材料についての研究, 土木学会第44回年次学術講演会概要集, V部門, pp. 100-101, 1989.
- 12) 白地哲也, 山内豊聡: 湿潤, 乾燥繰返し条件下における気泡セメントの強度変化, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp. 364-365, 1990.
- 13) 佐藤泰明, 古田 裕, 苗村正三, 塚田幸広, 千田昌平, 菊池 朗: 石炭灰を利用した軽量盛土材(気泡アッシュ)の基本的性状について, 第24回土質工学研究発表会講演集, pp. 1993-1994, 1989.
- 14) 森 範行, 千田昌平, 浜崎勝利, 草刈太一, 吉原正博, 黒山英伸, 新坂孝志, 入島文雄: 気泡混合補強土の特性について(その6 耐久性), 第28回土質工学研究発表会講演集, pp. 2639-2640, 1993.
- 15) 森 範行, 千田昌平, 戸村豪治, 沼田和彦, 加賀谷隆之: 気泡混合補強土の特性について(その9 引張強度), 土木学会第49回年次学術講演会概要集, Ⅲ部門, pp. 1524-1525, 1994.
- 16) 佐藤剛司, 渋谷 啓, 龍岡文夫, 金 有性, スポット ティチャフォラシンスクン, 朴 春植, D. Lo Presti: 三軸および微小ひずみでの変形係数の測定方法, 自動化された三軸圧縮試験実技講習会テキスト, 土質工学会, pp. 237-244, 1991.
- 17) 森 範行, 草刈太一, 佐藤常雄, 桑原正彦: 気泡混合補強土工法, 基礎工, Vol. 22, No. 10, pp. 28-36, 1994.

第4章 設計法

4-1 盛土としての使い方

盛土として利用する場合、安定な勾配の下で施工することを基本とし、背面の土砂の影響を無視し考慮しないものとする。盛土高さは、原則として、建設省標準設計にある地震力を特に考慮する必要のない範囲（8m 以下）とする。また、気泡混合土の打設により不等沈下が発生し、気泡混合土内部に曲げや、引張り応力が作用してクラックが入る恐れがある場合は別途検討を要する。

なお、気泡混合土の配合・設計を行う際には、発生土の性状を把握し、密度・強度の設定に対してはバラツキを考慮するものとする。

4-1-1 用途

気泡混合土を図4-1に示すような盛土としての用途、すなわち、

- ① 拡幅盛土、仮設盛土、山岳盛土等
- ② 裏込め材（橋台背面、擁壁等）

などに用いる場合の考え方を示す。

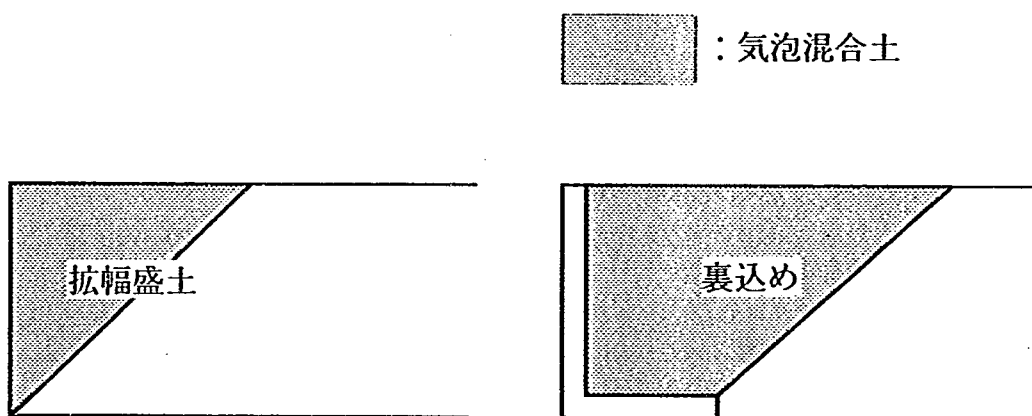


図4-1 気泡混合土の盛土としての使い方

これらの用途に対し、気泡混合土を利用した場合、以下のような適用上の特徴を挙げることができる。

（設計に関して）

- ① 品質（密度、強度）を制御できるので、様々な仕様に対して適用可能な盛土および裏込めが設定できる。
- ② 密度を小さくすることができ、地盤や擁壁等の土留め構造物に負担をかけない。
- ③ 一般的な盛土材より大きな強度を与えることができるので、盛土自体の安定は確保しやすい。

(施工に関して)

- ① 固化前は流動性があり、打設後固化するので、既設構造物周りの盛土や狭隘な箇所での裏込めに利用できる。
- ② 短期間で所定の品質を有する盛土や裏込めの施工が可能である。

4-1-2 設計の考え方

気泡混合土を盛土として利用する場合は、以下のように考える。

(1) 設計の手順

設計の手順を図4-2に示す。すなわち、

- ① 荷重条件を設定し、盛土材・裏込め材として、機能を満足し、長期安定性、吸水による密度増加、施工中の影響を考慮して密度・強度を設定する。
- ② ①で設定した密度・強度をもとに、盛土の内部安定・外部安定の検討を行う。
- ③ 盛土の安定が図れない場合は、密度・強度の再設定を行う。
- ④ 遮水シート・すべり抵抗杭・型枠部材等の細部設計を行う。

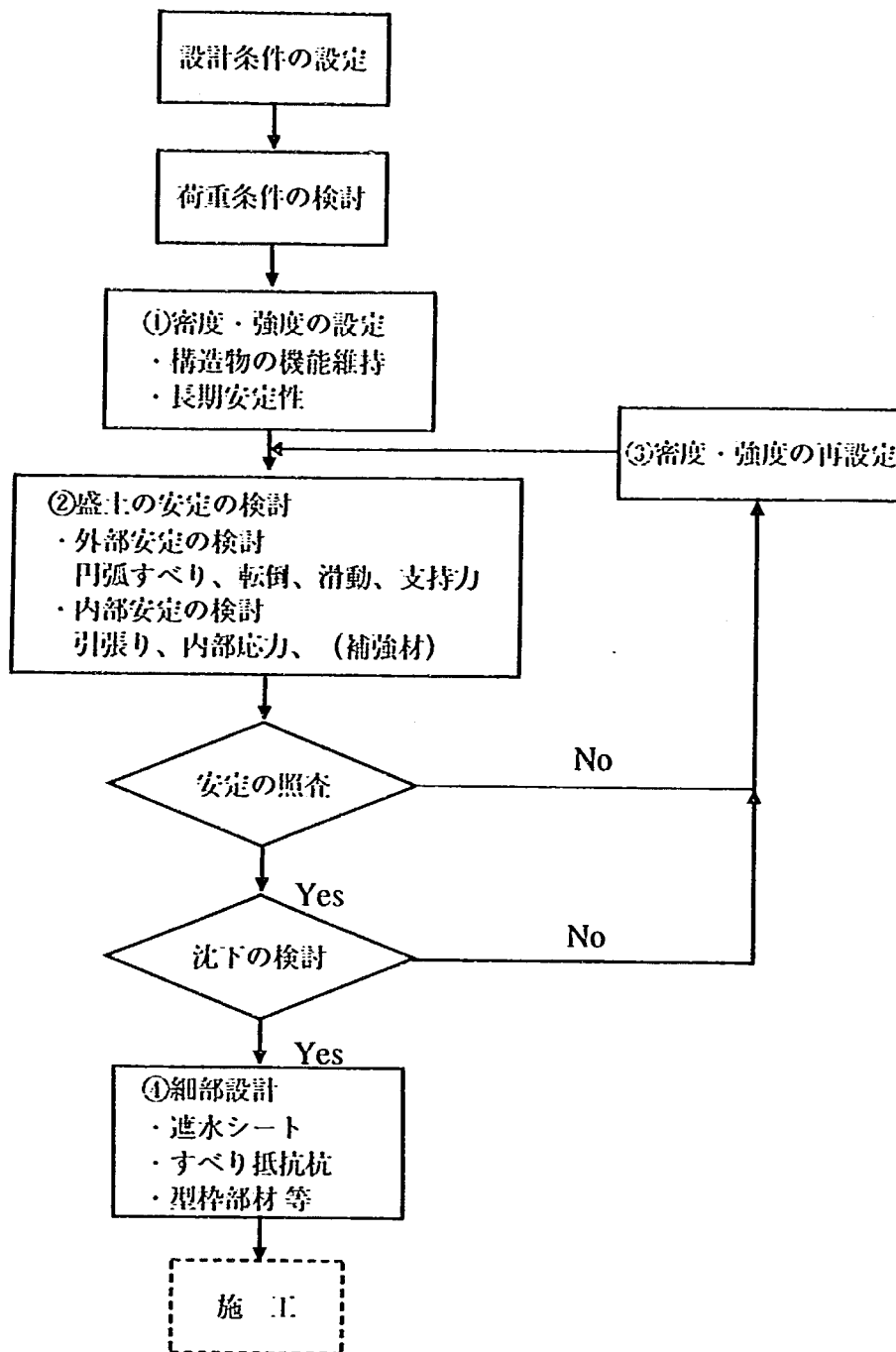


図 4 - 2 設計手順の概要

(2) 荷重条件の検討

気泡混合土を盛土に用いる場合に考慮すべき荷重には以下のものがある。

- ①土圧
- ②自重
- ③上載荷重
- ④浮力
- ⑤地震力（必要な場合）
- ⑥その他（衝撃荷重等）

1) 土圧

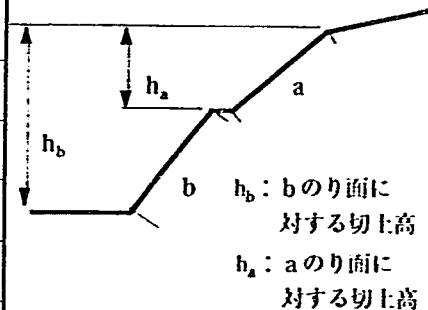
基本的に気泡混合土は、背面地山が表4-1(1)、(2)に示した安定勾配以下で土圧の影響のない範囲で適用するため、土圧は考慮しなくてもよい。ただし、気泡混合土背面の地山が自立しない場合は通常の土圧の影響を考慮する。

表4-1(1) 標準的な安定勾配(切土)¹⁾

地山の土質		切土高	勾配
硬岩			1:0.3 ~ 1:0.8
軟岩			1:0.5 ~ 1:1.2
砂	密実でない粒度分布の悪いもの		1:1.5 ~
砂質土	密実なもの	5m 以下	1:0.8 ~ 1:1.0
		5 ~ 10m	1:1.0 ~ 1:1.2
	密実でないもの	5m 以下	1:1.0 ~ 1:1.2
		5 ~ 10m	1:1.2 ~ 1:1.5
砂利または岩塊まじり砂質土	密実なもの、または粒度分布のよいもの	10m 以下	1:0.8 ~ 1:1.0
		10 ~ 15m	1:1.0 ~ 1:1.2
	密実でないもの、または粒度分布の悪いもの	10m 以下	1:1.0 ~ 1:1.2
		10 ~ 15m	1:1.2 ~ 1:1.5
粘性土		10m 以下	1:0.8 ~ 1:1.2
岩塊または玉石まじりの粘性土		5m 以下	1:1.0 ~ 1:1.2
		5 ~ 10m	1:1.2 ~ 1:1.5

注)

①土質構成などにより単一勾配としないときの切土高および勾配の考え方は下図のようにする。



・勾配は小段を含めない
・勾配に対する切土高は当該切上のり面から上部の全切土高とする

②シルトは粘性土に入れる。

③土表以外の土質は別途考慮する。

表4-1(2) 標準的な安定勾配(盛土材料、盛土高さ)¹⁾

盛土材料	盛土高(m)	勾配	摘要
粒度の良い砂(SW)、礫および細粒分混じり礫(GM)(GC)(GP)	5m 以下	1:1.5 ~ 1:1.8	基礎地盤の支持力が十分にあり、浸水の影響のない盛土に適用する。 ()の統一分類は代表的なものを参考にする。
	5 ~ 15m	1:1.8 ~ 1:2.0	
粒度の悪い砂(SP)	10m 以下	1:1.8 ~ 1:2.0	
岩塊(ずりを含む)	10m 以下	1:1.5 ~ 1:1.8	
	10 ~ 20m	1:1.8 ~ 1:2.0	
砂質土(SM)(SC) 硬い粘質土、硬い粘土(洪積層の硬い粘質土、粘土、関東ロームなど)	5m 以下	1:1.5 ~ 1:1.8	
	5 ~ 10m	1:1.8 ~ 1:2.0	
火山灰質粘性土(VH ₂)	5m 以下	1:1.8 ~ 1:2.0	

注) 盛土高とは、のり肩とのり尻の高低差をいう

2) 自重

気泡混合土そのものの自重を考慮する。

地下水位以下では有効重量が働くものとして、 $\gamma' = \gamma - 1$ を考慮する。この場合の気泡混合土の単位体積重量 γ は、気泡部分が水で置換された値を用いる。

3) 上載荷重

上載荷重としては気泡混合土上部構造の自重、活荷重等を考慮する。また、自重の算定において必要となる各種材料の一般的な単位体積重量を表4-2に示す。

表 4-2 各種材料の一般的な単位体積重量^{2) 3)}

材 料	単位体積重量 (tf/m ³)
鉄筋コンクリート	2.5
アスファルトコンクリート	2.3
砂および砂礫	2.0
砂質土	1.9
粘性土	1.8

4) 浮力

地下水位が気泡混合土設置部に及ぶ場合は地下水による浮力の影響を考慮し、単位体積重量を $\gamma = 1.0 \text{tf/m}^3$ 以上に設定する。

5) 地震力

気泡混合土の地震時の挙動については、室内レベルで実験が開始され、実規模モデルで挙動の観測が実施されるようになった段階であり、実質的には未解明である。このため気泡混合土の適用は地震力は特に考慮しない建設省標準設計記載の重力式擁壁高さ (8m) 以下に限定することとし、現状では地震時の土圧、慣性力について考慮していない。しかし、気泡混合土の形状等により、地震荷重を考慮する必要があると判断される場合は「道路土工指針」等に準拠して検討を行い、必要に応じてすべり抵抗杭等の対策工を講ずるものとする。

6) その他 (衝撃荷重等)

条件に応じて、荷重を設定する。

(3) 密度・強度の設定方法

1) 密度の設定方法

気泡混合土は水の影響を排除した状態で使用することを基本とし、密度の設定は打設時の値を使用して良い。しかしながら、地下水位以下に打設する場合や、地下水の浸透が考えられる場合は、その影響を考慮して密度を設定する。

①浸透の影響

気泡混合土は図4-3に示すように、透水係数が $k \approx 10^{-6} \text{ cm/s}$ 程度で難透水性である。したがって、降雨等の短期的な浸透による密度の増加はほとんどなく、経過時間に伴い透水係数の増加も認められない。気泡混合土を水浸させたときの日数と密度の関係を図4-4に示す。このように、水中に気泡混合土が存在する場合は2割程度の密度の増加が認められる。

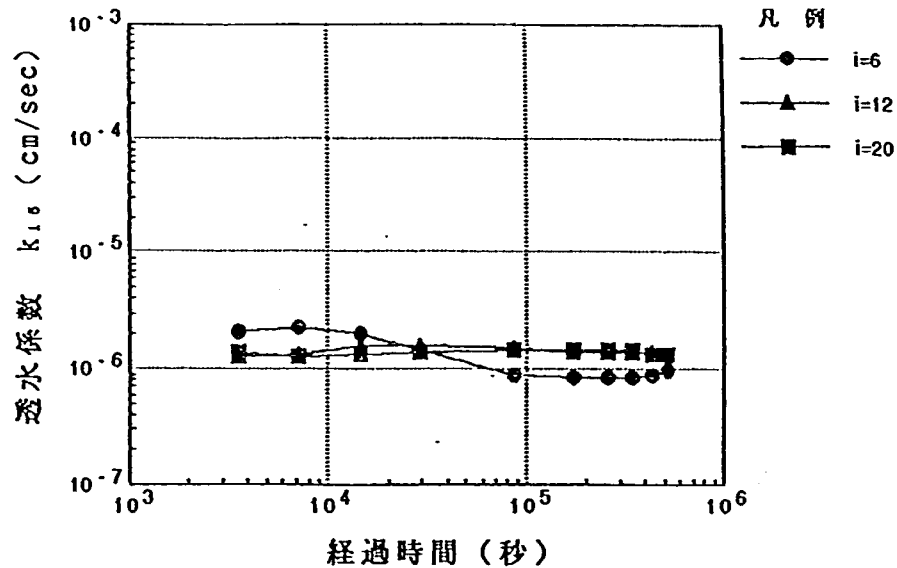


図4-3 透水係数と経過時間の関係⁴⁾

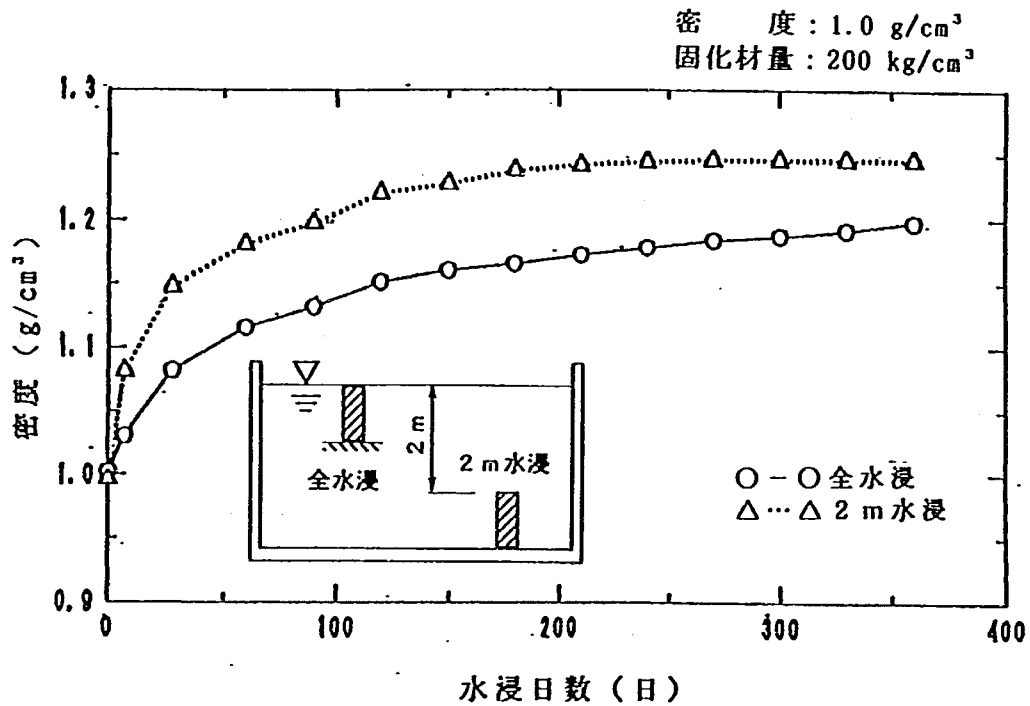


図4-4 水浸日数と密度の関係⁵⁾

②打設高さによる密度への影響

盛土高さによる気泡混合土の密度の変化は、打設時に気泡が圧縮されない限り密度は一定である。1m 以下の分割施工であるなら、打設高さによる密度の影響を考慮する必要はない。ただし、施工条件により 1 回の打設高さが 1m を超える場合は、気泡の圧縮を考慮し、確認試験を行い密度を決定する。

2) 気泡混合土の強度の設定方法

気泡混合土の強度は、

- ・気泡混合土の内部安定より決まる一軸圧縮強さ、もしくは、路床・路盤等へ適用した場合の C B R 値より設定する。
- ・気泡混合土の耐久性（繰り返し荷重、凍結融解、乾湿繰り返し、気象作用による影響）に対して、安全であるように設定する。

① C B R と一軸圧縮強さの関係

気泡混合土を路盤・路床として用いる場合、C B R から一軸圧縮強さを設定する。これまでの実験の成果では、C B R と一軸圧縮強さとの間には、図4-5に示すように、

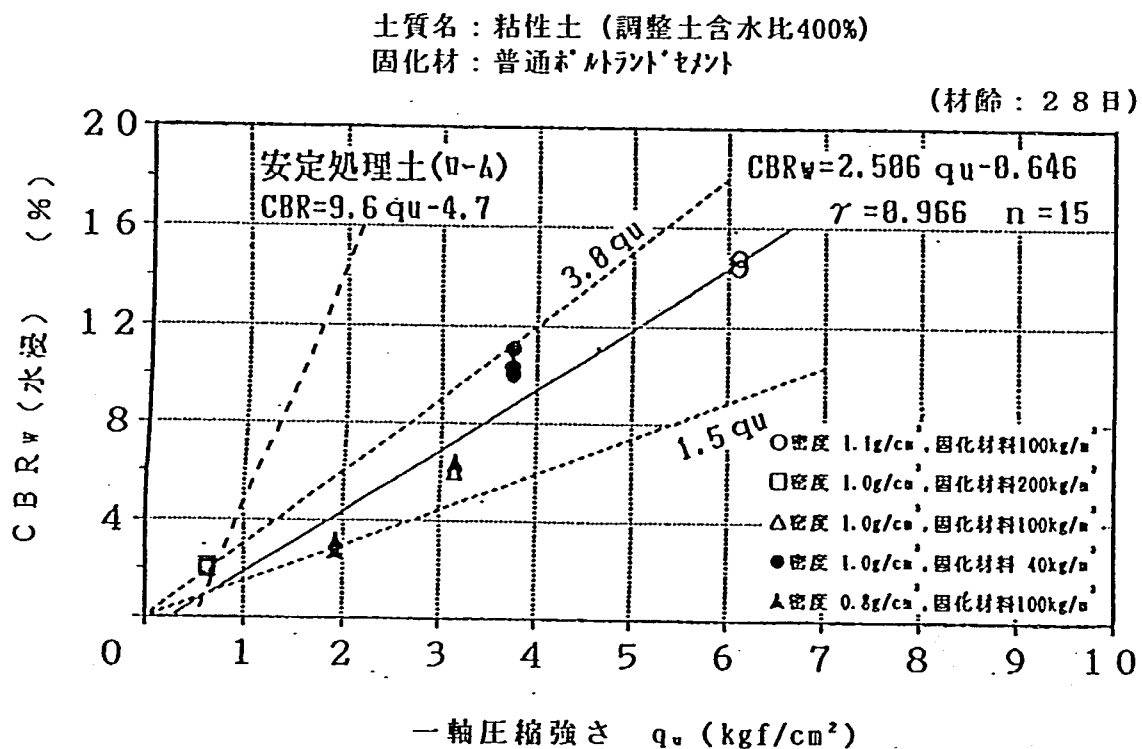


図4-5 C B R（水浸）と一軸圧縮強さの関係⁶⁾

$$C B R = 2.586 \cdot q_u - 0.646 \quad \dots\dots\dots \text{式 4-1}$$

C B R：水浸 C B R (%)

q_u ：一軸圧縮強さ (kgf/cm²)

式4-1のような相関関係が得られており、これを参考にC B R から必要な一軸圧縮強さを求める。なお、図4-6に示すように、水浸C B R と非水浸C B R との間には、ほとんど差がないので、非水浸C B R の場合も式4-1を適用してよい。

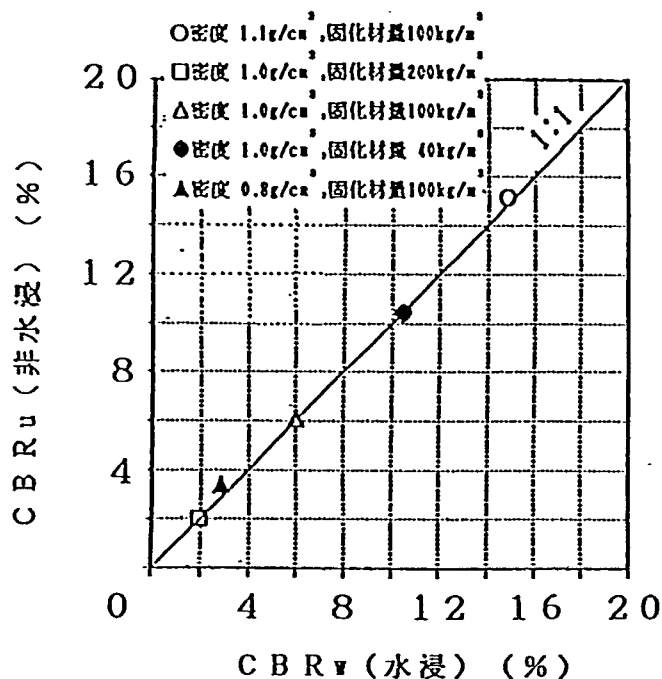
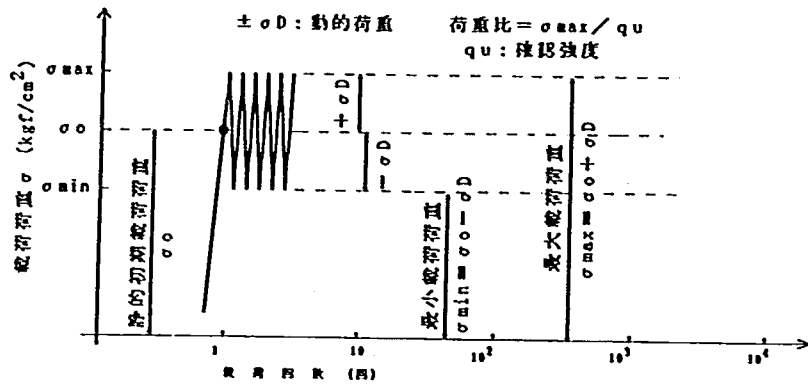


図4-6 水浸と非水浸のC B Rの関係⁶⁾

②繰返し荷重と一軸圧縮強さの関係

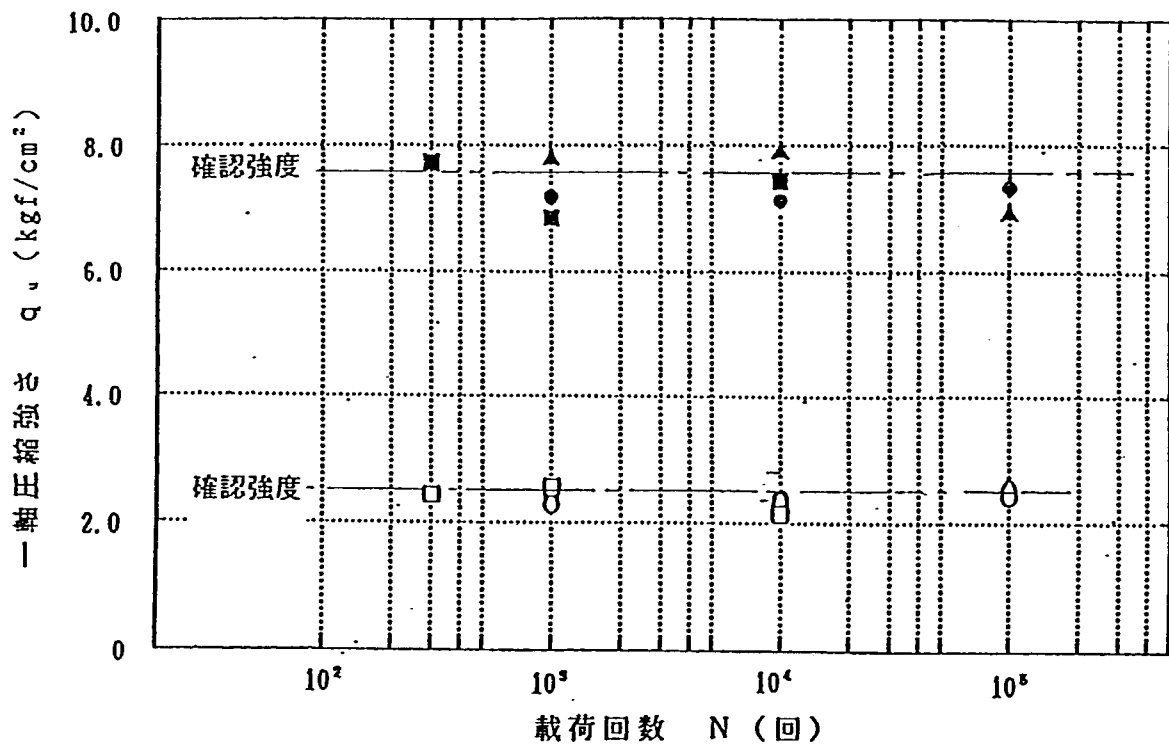
気泡混合土を道路盛土などに利用した時には、車両等による繰返し荷重を受けることになる。繰返し荷重による強度への影響を調べるために、繰返し載荷試験後に一軸圧縮試験を行った結果を図4-7に示す。このように、車両の走行荷重 (0.5kgf/cm² 程度以下) より大きな荷重で最大 10' 回程度の繰返し荷重では、強度の低下は認められない。よって気泡混合土を道路盛土に利用した場合、耐力低減は考慮する必要はない。



繰返し載荷試験 模式図

土質名：粘性土 固化材：普通ポルチランドセメント

記号	目標強度 (kgf/cm²)	設定密度 (g/cm³)	初期載荷荷重 (kgf/cm²)	繰返荷重 (kgf/cm²)
□	2	1.0	0.8	±0.2
○			1.0	
△			1.2	
■	5	1.0	2.0	±0.5
●			2.5	
▲			3.0	



確認強度：繰返し載荷してない供試体での一軸圧縮強さ

図4-7 繰返し載荷回数と繰返し載荷後の一軸圧縮強さの関係⁷⁾

③長期材齢と一軸圧縮強さの関係

経過日数と一軸圧縮強さの関係を図4-8に示す。この結果より、気泡混合土の一軸圧縮強さは、水中養生（セメント量 150kg/m³）を除いて、材齢とともに増加している。したがって、28日強度で設計して良い。

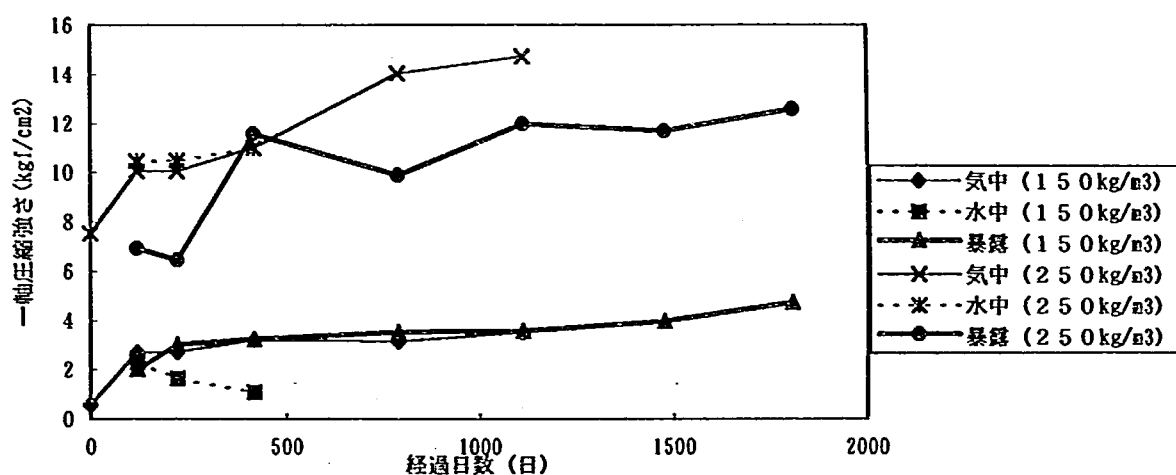


図4-8 経過日数と一軸圧縮強さの関係

④気象作用による影響

凍結融解、乾湿繰り返し試験を実施した結果、若干の強度低下が認められたが、図4-8に示したように、通常気象下での長期暴露試験を実施した結果では、気泡混合土内部の強度低下はないことがわかった。したがって、通常の気象条件の下では、強度に対する影響はほとんど問題がない。しかし、気泡混合土の表面は直接気象作用の影響を受けるので、表面を山土等で被覆することとする。

3) まとめ

以上の試験結果を取りまとめると、表4-3の条件下では、密度・強度について次のような配慮が必要である。なお、その他特殊な条件のもとで別途検討が必要である。

表4-3 密度・強度での留意事項

	地下水位以下	繰り返し荷重下	気中暴露下
密度	*条件により設定	変化なし	変化なし
強度	強度低下なし	外力： 交通荷重以下程度 10' 回載荷 → 強度低下なし	覆土必要

* 構造物の進水対策との兼ね合いを考慮して設定。

密度の最大値は空隙が水で飽和した場合である。

4-1-3 安定検討

(1) 外部安定の検討

気泡混合土を盛土あるいは裏込め材として用いた場合の擁壁・橋台等の構造物は、転倒・滑動・支持力およびすべり等の検討を行い、全体の安定が確保できるように断面形状を設定することを基本とする。なお、安定検討に用いる安全率は以下の通りとする。

転倒	$ e \leq L/6$
滑動	$F_s \geq 1.5$
支持力	$F_s \geq 3.0$
円弧すべり	$F_s \geq 1.2$
浮き上がり	$F_s \geq 1.2$

1) 転倒の計算方法

背面地山が安定する条件で気泡混合土を用いることが原則であるため、転倒に関しては考慮しなくてもよいが、背面地山が安定しない場合は以下の方法によって検討する。

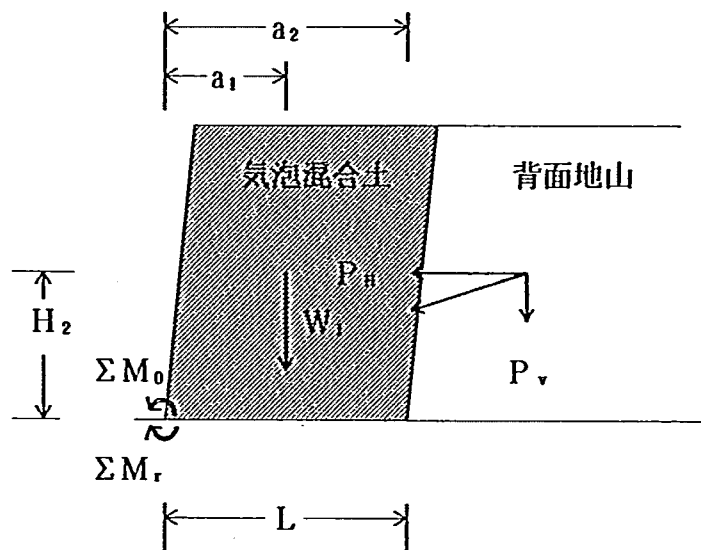


図4-9 転倒の検討方法説明図

つま先から合力の作用点までの距離 d (m) は式4-2で求める。

$$d = (\Sigma M_r - \Sigma M_0) / (\Sigma V_L) \dots\dots\dots \text{式4-2}$$

$$= (W_1 \cdot a_1 + P_v \cdot a_2 - P_H \cdot H_2) / (W_1 + P_v)$$

ここに、 ΣM_r : つま先まわりの抵抗モーメントの合計 (tf・m)

ΣM_0 : つま先まわりの転倒モーメントの合計 (tf・m)
 ΣV_L : 気泡混合土の自重と土圧合力の鉛直成分の合計 (tf/m²)
 W_1 : 気泡混合土の自重 (tf)
 a_1 : つま先と W_1 の重心との水平距離 (m)
 a_2 : つま先と P_v の作用点との水平距離 (m)
 P_v : 土圧合力の鉛直成分 (tf/m²)
 P_H : 土圧合力の水平成分 (tf/m²)

合力 R の作用点の底面中央からの偏心距離 e (m) は式4-3で求められる。

$$e = L/2 - d \cdots \cdots \text{式 4 - 3}$$

ここに、 L : 気泡混合土の底面幅 (m)

転倒に対する安定条件として、合力の作用位置は底面幅の中央の $1/3$ 以内でなければならないので、 e は式4-4を満足することが必要である。

$$|e| \leq L/6 \cdots \cdots \text{式 4 - 4}$$

また、合力の作用位置が図4-10, 図4-11に示すように背面地山側となる場合については、転倒の計算は不必要である。ただし、滑動の検討が必要となるが、2) 滑動の計算方法に示した。

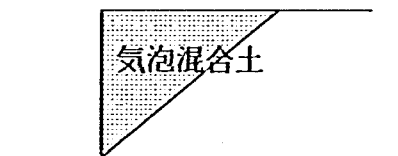


図 4 - 1 0 法面部のみ打設

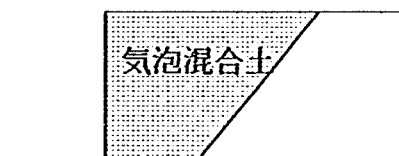


図 4 - 1 1 原地盤から法面上に打設

2) 滑動の計算方法

水平地盤上に適用する場合は、特に滑動に対する検討は考慮しなくてよい。ただし、図4-12に示した様な傾斜地盤上に適用した場合は、滑動に対する検討が必要となる。

検討は式4-5によるものとするが、一般に表3-19に示したように c は小さいので $c \cdot L$ の項は無視し式4-6を用いる。

$$F_s = (V_L \cdot \tan \delta_1 + c \cdot L) / H_L \quad \dots\dots\dots \text{式 4-5}$$

$$F_s = (V_L \cdot \tan \delta_1) / H_L \quad \dots\dots\dots \text{式 4-6}$$

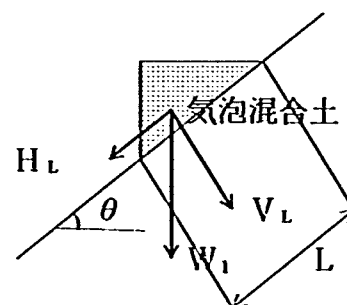


図 4-12 滑動の検討方法

- ここに、 H_L : 鉛直荷重の斜面方向への分力 [$W_1 \sin \theta$] (tf/m)
 V_L : 鉛直荷重の斜面と直角方向への分力 [$W_1 \cos \theta$] (tf/m)
 W_1 : 気泡混合土の自重および舗装荷重 (tf/m)
 θ : 斜面の勾配 (°)
 $\tan \delta_1$: 底面と基礎地盤、あるいは底面と地山との摩擦係数 (-)
 c : 底面と基礎地盤、あるいは底面と地山との付着力 (tf/m)
 L : 気泡混合土と斜面の接する法面の長さ (m)

式4-5, 式4-6に示した $\tan \delta_1$ は、第3章でも述べた通りシートの種類・材質によって異なるが、表4-4を参考として設定する。また、表4-4にないものに関しては、試験にて確認する必要がある。

表 4-4 検討に用いる摩擦係数

気 泡 混 合 土 底 面 の 材 質	摩 擦 抵 抗 角 δ_1 (°)	摩 擦 係 数 $\tan \delta_1$ (-)
ゴム系シート	35	0.70
塩ビ系シート	20	0.36
砂 (成田砂)	40	0.84

[参考]

図4-11に示した地盤から地山の法面に打設する場合は、図4-13の通り、気泡混合土を前面と背面に分割して背面の気泡混合土によって発生したと仮想した滑動力と前面の気泡混合土の滑動抵抗を比較してチェックするものとする。計算方法は、式4-7に示す。

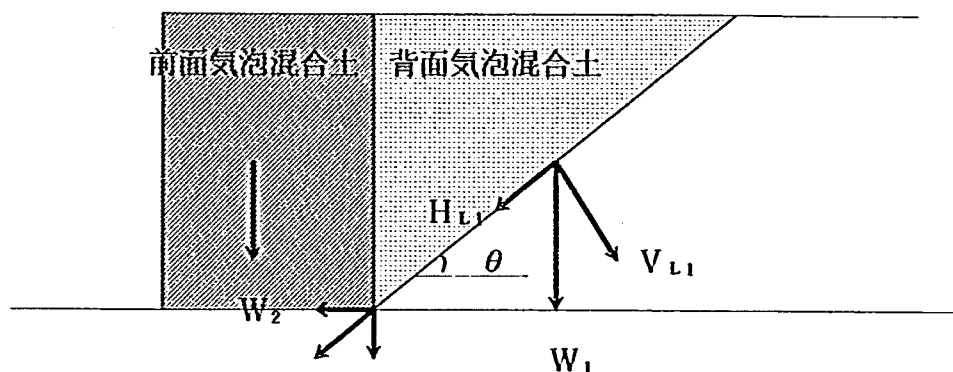


図4-13 気泡混合土を地盤から法面上に打設した場合の考え方

$$F_s = W_2 \cdot \tan \delta_2 / [(H_{L1} - V_{L1} \cdot \tan \delta_1) \cdot \cos \theta] \cdots \cdots \text{式4-7}$$

ここに、 $W_{1,2}$ ：背面（前面）の気泡混合土の自重及び舗装荷重（tf/m）

$\tan \delta_{1,2}$ ：背面（前面）の気泡混合土の底面と基礎地盤との摩擦係数（—）

H_{L1} ：背面の鉛直荷重の斜面方向への分力〔 $W_1 \sin \theta$ 〕（tf/m）

V_{L1} ：背面の鉛直荷重の斜面と直角方向への分力〔 $W_1 \cos \theta$ 〕（tf/m）

θ ：斜面の勾配（°）

なお、式4-6、式4-7の検討で所要の安全率が得られない場合は、すべり抵抗杭等の必要な措置をとるものとする。

3) 支持力の計算方法

通常は気泡混合土の自重を用いて次式により支持力の計算を行う。

$$q_a \geq q \cdots \cdots \text{式4-8}$$

ここに、 q_a ：地盤の許容支持力（tf/m²）

q ：気泡混合土の自重（tf/m²）

なお、背面地山からの土圧が発生する場合は地盤反力（端趾圧）を式4-9もしくは式4-10で求めて式4-8で計算するものとする。

$$(q_1, q_2) = \Sigma V_1 / L \cdot (1 \pm 6e / L) \cdots \cdots \text{式 4 - 9}$$

$e \leq L / 6$ の時 (台形分布)

$$q_1 = 2 (P_v + W_1) / 3d \cdots \cdots \text{式 4 - 10}$$

$e > L / 6$ の時 (三角形分布)

ここに、 q_1, q_2 : 端趾圧 (tf/m²)

4) 円弧すべりの計算方法

気泡混合土を含む全体の安定の検討は円弧すべり面法により行う。この場合、気泡混合土の強度は無視し図4-14に示した通り荷重として評価する。

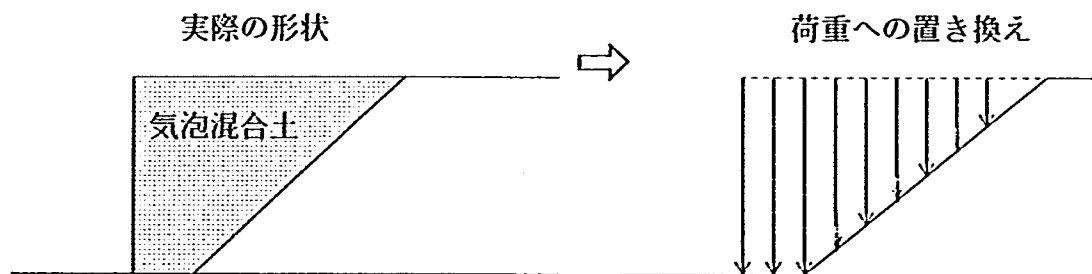


図 4 - 1 4 全体の安定の検討の考え方

この考え方を設定しているのは、どのような破壊モードが卓越するかが利用形態により変わる可能性があるためである。拡幅盛土のように盛土の幅に比較して盛土の高さが大きい場合、あるいは原地盤の強度に比較して盛土の強度が大きい場合など気泡混合土自体が剛体的な挙動を示すこともある。

一方、低盛土で拡幅盛土の幅員が大きい場合には固化盤のように弾性支承上の梁のような考え方を適用することが適切な場合や、通常の円弧すべり計算などで安定性の評価をすることが適当な場合もあろう。これらについては今後の検討を必要とするところである。

5) 浮き上がりの計算方法

気泡混合土を地下水位付近に施工する場合は、気泡混合土に働く浮力を考慮する必要がある。ただし、長期的にみると気泡混合土の気泡内に水が浸入する可能性があるため、他の検討（転倒・滑動・支持力等また後述する沈下）には浮力の影響は考慮しないものとする。

検討は式4-11により行う。（図4-15参照）

$$F_s \geq P_v / U \cdots \cdots \text{式 4 - 1 1}$$

ここに、 P_v : 気泡混合土の鉛直荷重 (tf)

U : 気泡混合土に働く浮力 (tf)

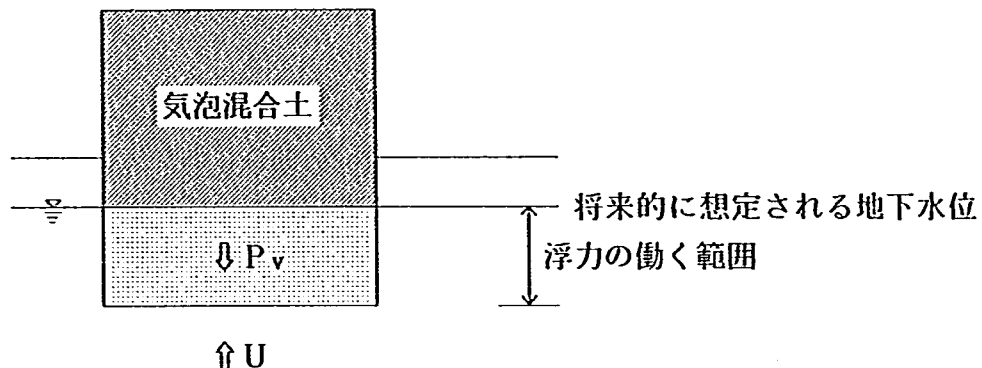


図 4 - 1 5 浮き上がり検討方法説明図

(2) 内部安定の検討

外力によって発生する気泡混合土の内部応力と気泡混合土そのものの強度（一軸圧縮強さ）を比較することにより、内部安定の検討を行う。検討項目としては次の2点である。

①端趾圧との比較

②内部引張り応力との比較

1) 端趾圧との比較

端趾圧は気泡混合土の圧縮強さを下回ることが必要であり、式4-12により検討する。

$$F_s \geq q_u / (q_1, q_2) \dots\dots\dots \text{式 4 - 1 2}$$

ここに、 F_s : 安全率 (=3.0)

q_u : 気泡混合土の一軸圧縮強さ (tf/ m^2)

2) 内部引張りの検討

特に外力の大きい場合、特殊な形状の場合を除いて、内部引張りの検討は行わないものとする。

(3) 沈下の計算方法

沈下量の計算は、式4-13～式4-15で計算する。

$$S = m_v \cdot \Delta p \cdot H \dots\dots\dots \text{式 4 - 1 3}$$

$$S = (e_0 - e_1) \cdot H / (1 + e_0) \dots\dots\dots \text{式 4 - 1 4}$$

$$S = C_c / (1 + e_0) \cdot \log \{ (p_0 + \Delta p) / p_0 \} \cdot H \cdots \cdots \text{式 4 - 1 5}$$

ここに、S : 沈下量 (cm)

m_v : 体積圧縮係数 (cm³/ kgf)

ΔP : 増加応力 (kgf/cm²)

H : 沈下対象層厚 (cm)

e_0 : 沈下対象層の初期間隙比 (e-logp 曲線において p_0 相当の空隙比)

e_1 : 増加応力後の空隙比 (e-logp 曲線において $p_0 + \Delta p$ 相当の空隙比)

C_c : 圧縮指数

4 - 1 - 4 気泡混合土によって発生する土圧

(1) 気泡混合土の水平土圧

一般的な拡幅盛土へ気泡混合土を適用する場合、打設箇所の前面に型枠を設ける必要がある。その検討に用いる土圧は、気泡混合土がまだ固まっていない状態での土圧と気泡混合土が固まった時に発生する固化後の土圧の2種類があるが、それぞれ以下の通りに考える。気泡混合土がまだ固まっていない状態での水平土圧は次式で求められる。

$$P_{h1} = \gamma \cdot z \cdots \cdots \text{式 4 - 1 6}$$

ここに、 P_{h1} : 気泡混合土が固まらない状態の水平土圧 (tf/m²)

γ : 気泡混合土の単位体積重量 (tf/m³)

z : 打設面からの深さ (m)

また、気泡混合土が固まった状態での水平土圧は、静止土圧係数 K_0 を用いて次式で求められる。

$$P_{h2} = K_0 \cdot \gamma \cdot z \cdots \cdots \text{式 4 - 1 7}$$

$$K_0 = \nu / (1 - \nu) \cdots \cdots \text{式 4 - 1 8}$$

ここに、 P_{h2} : 気泡混合土が固まった状態での水平土圧 (tf/m²)

ν : ポアソン比 (-)

式4-17, 4-18は静止土圧を求める式であるが、一般に静止土圧は主働土圧より大きいので設計上は安全である。また、気泡混合土のポアソン比は第3章で述べたように拘束条件・地盤との位置関係・上載荷重等によって異なるが、通常は $\nu = 0.1$ と設定すれば妥当であろう。

気泡混合土の固まらない状態・固まった状態での水平土圧の考え方の推移を図示したのが、図4-16である。

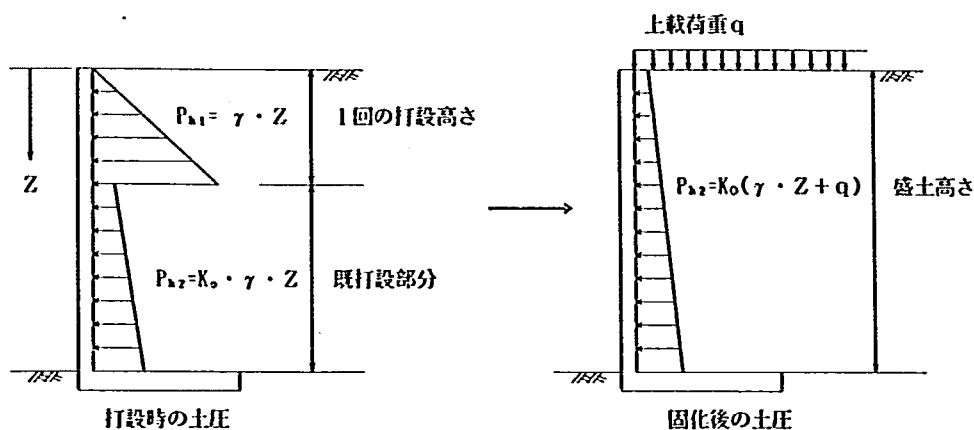


図 4 - 1 6 気泡混合土の水平土圧の考え方

(2) 気泡混合土の鉛直荷重

気泡混合土の底面に作用する鉛直荷重は、上載荷重・気泡混合土の自重とし、次式で求めるものとする。

$$P_v = \gamma \cdot h + q \cdots \cdots \cdots \text{式 4 - 1 9}$$

ここに、 P_v : 気泡混合土の鉛直荷重(tf/m²)

γ : 気泡混合土の単位体積重量(tf/m³)

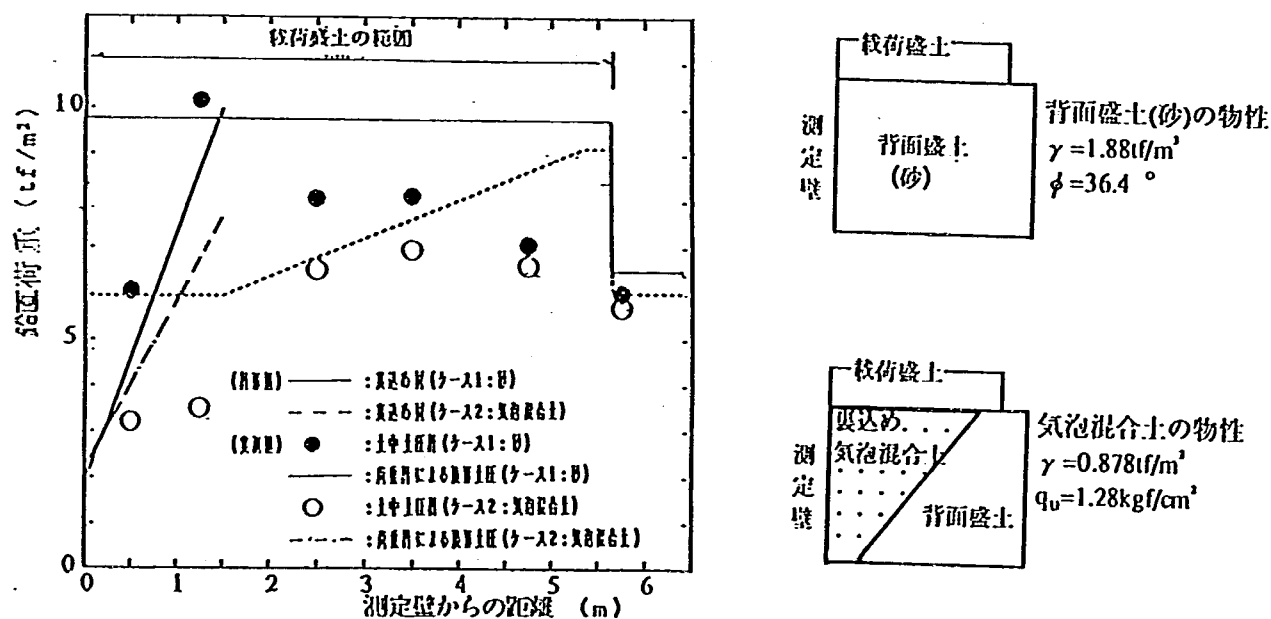
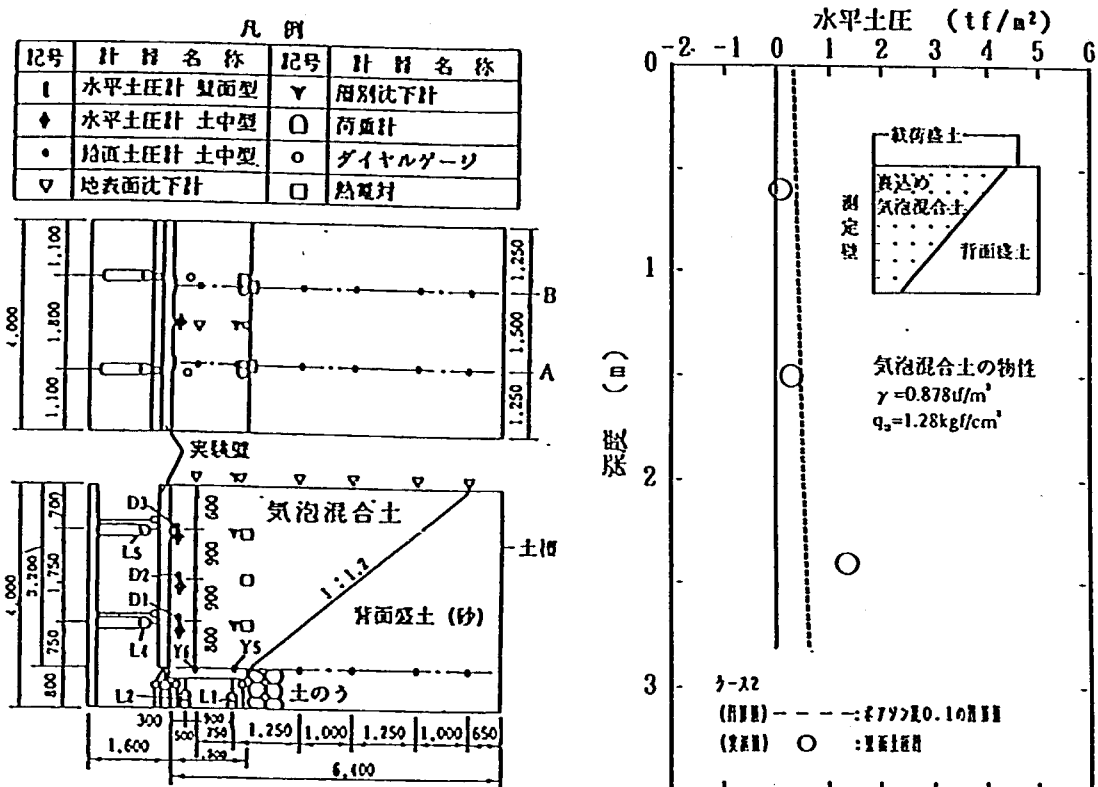
h : 気泡混合土の厚さ (m)

q : 上載荷重(tf/m²)

(3) 大型擁壁実験^{8) 9)}

以上の考え方の妥当性を確認するために実物大の擁壁の背面に気泡混合土を打設し、この上に $q = 3.0 \text{ tf/m}^2$ の荷重を載荷した大型擁壁実験の概要について紹介をする。

実験に用いた装置および測定位置は図4-20に示した通りであるが、固化後の水平土圧の実測値と式4-17で求めた計算値はほぼよく一致している。また、同様に鉛直荷重について図4-21をみると、鉛直荷重の実測値（背面に気泡混合土を打設したケース2）は計算値より少し小さな値を示しているが、設計上安全側である。なお、壁面付近で実測値が小さくなるのは、壁面との摩擦の影響であろう。



4-1-5 細部設計

気泡混合土の細部設計に関する留意点を列記する。

①型枠部材の検討

一般的な拡幅盛土へ気泡混合土を適用する場合、打設箇所の前面に型枠を設ける必要がある。この型枠部材の断面性能は、気泡混合土がまだ固まっていない状態での土圧と気泡混合土が固まった時に発生する固化後の土圧の双方を検討し、いずれの場合も満足するように設定する。なお、打設時の土圧は固化が進むにつれて徐々に減少してゆくことから、短期荷重として部材の許容応力を割増して検討することができるものとする。図4-22に参考例を示した。

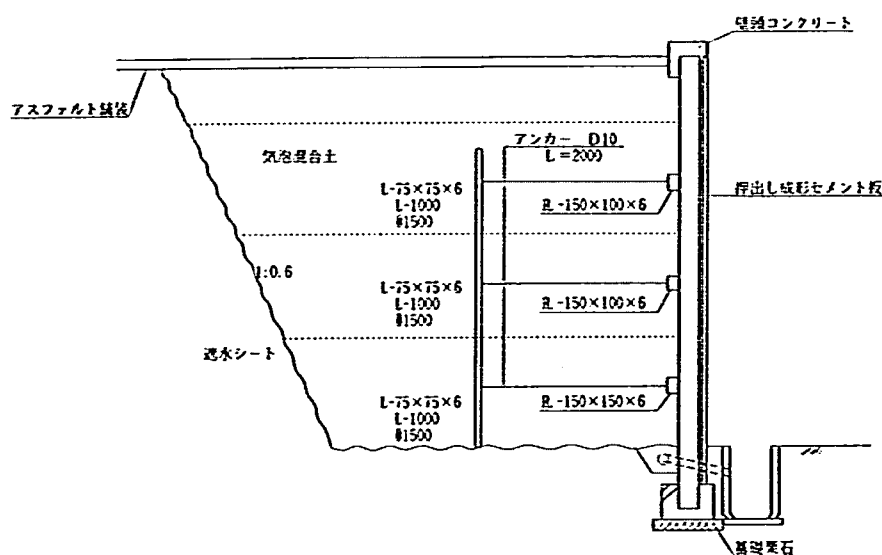


図4-22 型枠の参考例（H鋼+押し出し成形セメント板）

②段切り

気泡混合土と既設盛土あるいは地山は表層のすき取り・段切りを確実にを行い、弱部を発生させない措置が必要である。図4-23に参考例を示した。

③気泡混合土の保護・被覆

気泡混合土は一般の気象条件（乾湿・温度変化・紫外線等）において劣化の心配はないが、表面が露出する部分は保護することが望ましい。

④伸縮継手

気泡混合土それ自体は温度膨張・収縮が小さいことより伸縮継手等の配置はとくに考慮する必要はない。

⑤排水工・防水工

表面および背面の盛土・地山からの地下水の浸透に対して不透水シートにより遮水するとともに背面地山の地下水の排水に留意する必要がある。また、型枠の壁体には水抜きなどを設置するものとする。図4-23、図4-24に参考例を示した。

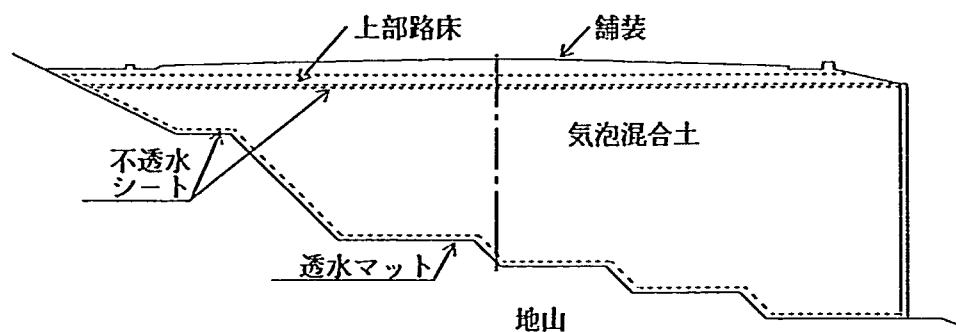


図4-23 段切り参考例¹⁰⁾

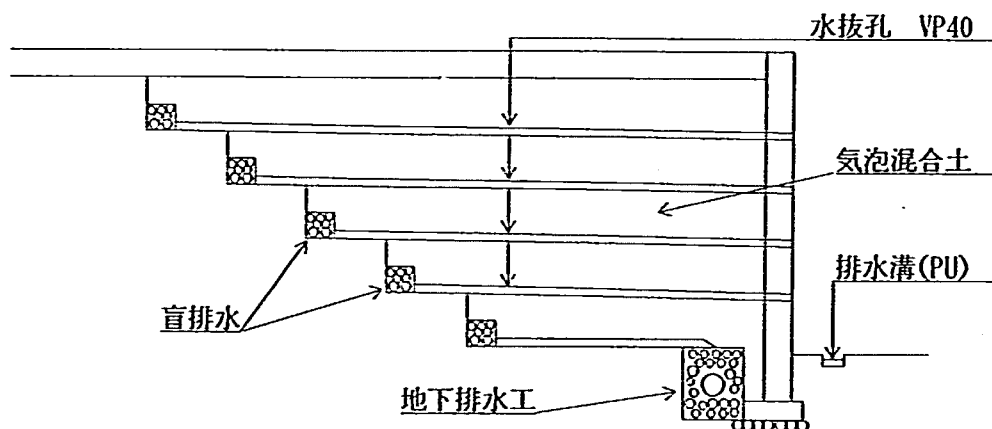


図4-24 排水工・防水工参考例¹⁰⁾

4-2 埋戻し、充填等の使い方

4-2-1 用途

ここでは以下の項目に適用する気泡混合土について述べる。

- ①地下の埋設物の新設・補修の際の埋戻し材料として。
- ②構造物下部の空洞の充填。
- ③廃坑となった地下空洞の充填。
- ④上水管の更生（パイプインパイプの空隙の充填）。

4-2-2 利用上の考え方

(1) 設計の手順

「埋戻し材料」と「構造物下部の空洞の充填」のそれぞれの場合について下記の手順にて行うものとする。

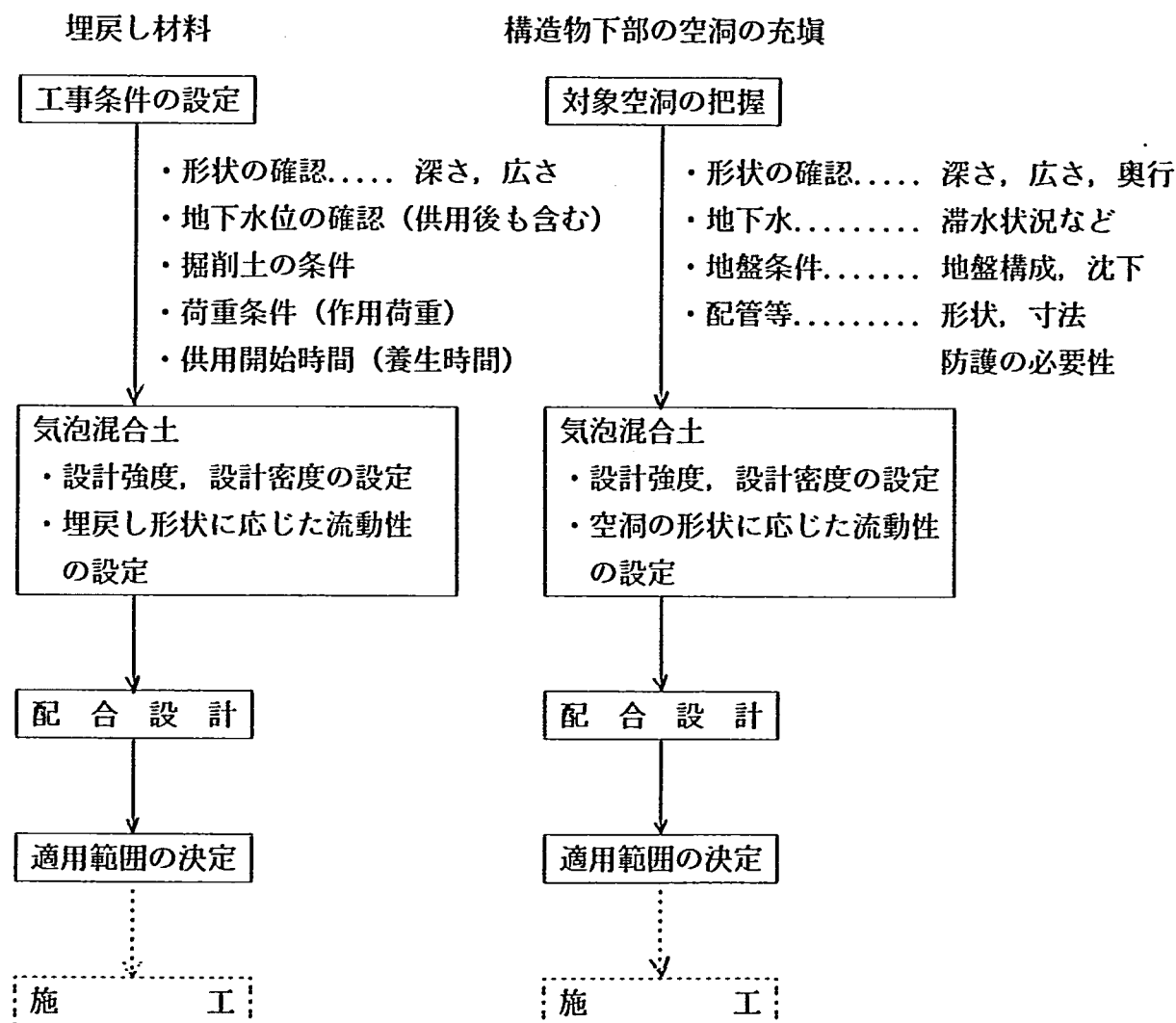


図 4-25 設計手順の概要

(2) 設計強度・設計密度

気泡混合土を埋戻し材として用いる場合は、それぞれの用途に見合った強度・密度の設定を行う必要がある。

充填材として使用する場合は、各々の目的・適用条件にあった強度・密度を決定する必要がある。特に、構造物下部の空洞を充填する場合、設計上の必要な強度が特にあるわけではなく、原地盤強度と同程度でかつ杭・基礎のスラブ・フーチングなどに付着しない程度の強度ということで、一軸圧縮強さを $1.0 \sim 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ とすることが多い。また、設計密度に関しても気泡混合土そのものが増加荷重とならないために地下水位より上に充填する場合は、密度を 1.0 g/cm^3 以下、地下水位より下の場合で $1.1 \sim 1.2 \text{ g/cm}^3$ とすることが一般的である。

(3) その他の留意事項

①空洞を充填する場合、隅々まで確実に充填するために流動性が強度・密度と同様に重要である。試験配合・室内配合試験により設定する。設定の目安はフロー値（シリンダー法）で 200mm 程度とすることが多い。

②また、気泡混合土の充填後も引き続き圧密沈下が継続する場合が多い。したがって、定期的に沈下観測を実施するとともに、必要に応じて追加の充填も考慮する。

参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会：道路土工一のり面工・斜面安定工指針
- 2) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編, p. 10
- 3) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編, p. 47
- 4) 森範行, 井上秀治, 石博保則, 船津英治, 渡辺直樹, 黒島一郎：気泡混合補強土の特性について（その8 透水性）, 第29回土質工学研究発表会, pp. 2423 ~2424, 1994
- 5) 笠井寿太郎, 青山憲明, 千田昌平：気泡混合補強土の特性について（その4 吸水、発熱、打設高さ）, 土木学会第47回年次学術講演会概要集, pp. 1198 ~1199, 1993
- 6) 中村洋一, 青山憲明, 安部克郎：気泡混合補強土の特性について（その3 曲げ, 付着, CBR）, 土木学会第47回年次学術講演会概要集, pp. 1200 ~1201, 1992
- 7) 青山憲明, 新舎博, 高橋勇, 久保博, 笠井寿太郎, 佐藤常雄, 古谷俊明：気泡混合補強土の特性について（その2 力学特性）第29回土質工学研究発表会, pp. 2485 ~2486, 1992 加筆・修正
- 8) 三木博史, 高橋勇, 黒山英伸, 草刈太一, 新坂隆志, 吉原正博：裏込めに気泡混合土を用いた大型擁壁実験（その1 実験方法と施工・養生時の測定結果）, 土木学会第48回年次学術講演会概要集, pp. 698~699, 1993 加筆・修正
- 9) 森範行, 千田昌平, 桑原正彦, 大石守夫, 浜崎勝利, 清水和也：裏込めに気泡混合土を用いた大型擁壁実験（その3 載荷時の土圧に関する実測値と解析結果の比較）土木学会第48回年次学術講演会概要集, pp. 702~703, 1993 加筆・修正
- 10) 日本道路公団：気泡混合軽量土を用いた軽量盛土工法の設計・施工に関する指針原案

第5章 配 合

5-1 配合設計

気泡混合土の配合設計は、図5-1に示すフローを標準として行う。

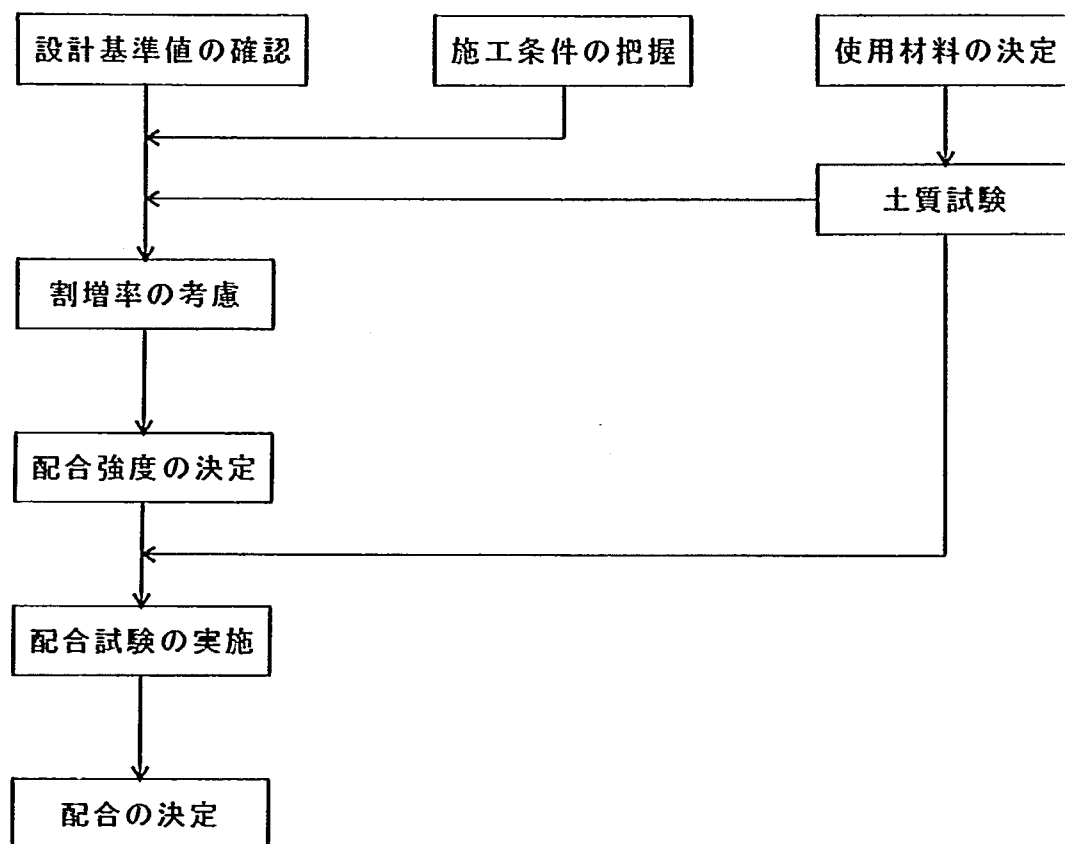


図 5-1 配合設計のフロー

配合設計の手順を以下に解説する。

① 使用材料の決定

固化材は、使用する土砂の種類によって概略選定するが、強度発現性や固化材の使用量、材料費を考慮して選定する。一般的に、強度発現の良い粘性土などには、普通ポルトランドセメントまたは高炉セメントB種を使用し、関東ロームや有機質土などには、セメント系固化材を使用する。

起泡剤は、他の材料（調整土、固化材）と混合した状態で安定した気泡が得られるものを選定する。なお、試料土により気泡が消泡する恐れのある場合には、材料の選定とともに起泡剤の割り増しを考慮する。

水は、清浄な水道水や地下水を使用することが望ましい。これらの入手が困難な場合には、河川水や海水を利用しても良いが、強度発現や気泡の安定性をその都度確認する。

使用する土砂はどのようなものでも良いが、可能な限り粘土分が多く、れきや木片等の異物を含まないものを選定することが望ましい。

② 設計基準値の確認

流動性と密度、強度の設計基準値を確認する。この値は、現場施工において満足しなければならない基準値である。

③ 割増率の考慮

現場作製と室内作製とでは、製造装置の違いや打設時の温度、土質のばらつきなど施工条件の違いから強度に差が生じる。従って、現場で設計基準値を満足するためには、室内での目標値に割り増しをみておく必要がある。ここでの割り増しは強度のみ考慮し、流動性と密度は考慮しない。これまでの実績から、均質な発生土を使用した場合での割増率は、2 倍程度をみておく必要があるが、試験施工によって定めても良い。

④ 配合強度の決定

設計基準値に割増率をかけて、配合試験での目標強度を求める。

⑤ 配合試験の実施

配合試験では、調整土含水比を決めるための流動性試験と、固化材量を決めるための強度試験を行う。このとき、試験に用いる材料は、実施工で使用する材料と同じものとする。配合試験の実施方法は 5-2 配合試験方法に示す。

⑥ 配合の決定

配合試験の結果をもとに、目標の流動性、密度、配合強度が得られる配合を決定する。

5-2 配合試験方法

5-2-1 試験手順

配合試験は以下の手順による。

① 流動性試験（調整土含水比の決定）

目標密度の気泡混合土を、固化材量は一定で調整土含水比を 3 または 4 水準に変えて作製し、流動性の試験を行う。このとき、含水比は液性限界の 2 ～ 4 倍程度の範囲で変え、固化材量はこれまでの試験結果を参考に設定する。

調整土含水比と流動性の関係をまとめ、目標の流動性が得られるような調整土含水比を求める。

② 強度試験（固化材量の決定）

①で求められた調整土含水比で、固化材量を 3 または 4 水準に変えて目標密度の気泡混合土を作製し、一軸圧縮試験と流動性、材料分離の試験を行う。このとき固化材量は、土質試験データや既往の試験結果などを参考にして決める。

固化材量と強度の関係をまとめ、目標の強度が得られる固化材量を求める。

5-2-2 配合計算

計画された配合から材料の配合量を求めるには、気泡混合土を構成する各材料の特性値を明らかにし、配合計算を行う。

表5-1に、配合計算表の一例を示す。

表 5 - 1 配合計算表（例）

項 目	単位	番号	計 算 式	計算例
1. 土質調査により求める項目				
1)土粒子の密度 ρ_s	(g/cm ³)	①		2.708
2)含水比 w_n	(%)	②		104.2
3)湿潤土の密度	(g/cm ³)	③		
2. 使用材料の特性値				
1)固化材の密度 ρ_c	(g/cm ³)	④		3.04
2)起泡剤の希釈倍率	(倍)	⑤		10
3)起泡材の発泡倍率 n	(倍)	⑥		20
3. 計画により定める項目				
1)目標密度 ρ_t	(g/cm ³)	⑦		0.80
2)調整土含水比 w_t	(%)	⑧		280
3)固化材使用量 C	(kg/m ³)	⑨		150
4. 計算によって求める項目				
1)調整土密度 ρ	(g/cm ³)	⑩	$= (\textcircled{8}+100)/(\textcircled{8}+100/\textcircled{1})$	1.199
2)起泡材質量 (=体積) A	(kg/m ³)	⑪	$= \frac{1000 \times (\textcircled{10}-\textcircled{7}) + \textcircled{9} - \textcircled{10} \times \textcircled{9} / \textcircled{4}}{\textcircled{6} \times \textcircled{10} - 1}$	21.4
3)調整土質量	(kg/m ³)	⑫	$= 1000 \times \textcircled{7} - \textcircled{9} - \textcircled{11}$	629
4)乾燥土砂質量 S	(kg/m ³)	⑬	$= 100 \times \textcircled{12} / (100 + \textcircled{8})$	166
5)湿潤土砂質量	(kg/m ³)	⑭	$= \textcircled{13} \times (100 + \textcircled{2}) / 100$	339
6)湿潤土砂体積	(ℓ / m ³)	⑮	$= \textcircled{14} / \textcircled{3}$	
7)添加水量	(ℓ / m ³)	⑯	$= \textcircled{12} - \textcircled{14}$	290
8)起泡剤量	(ℓ / m ³)	⑰	$= \textcircled{11} / \textcircled{5}$	2.14
9)気泡量	(ℓ / m ³)	⑱	$= \textcircled{11} \times \textcircled{6}$	428
10)空気量	(ℓ / m ³)	㉑	$= \textcircled{18} - \textcircled{11}$	407

起泡材とは、起泡剤を規定の倍率に希釈した溶液を指す。

表 5 - 2 配合表 (1 m³当たり)

試料土		水		固化材		気 泡		起泡剤 *	
⑭	339 (kg)	⑯	290 (ℓ)	⑨	150 (kg)	⑱	428 (ℓ)	⑰	2.14 (ℓ)
⑮	(ℓ)								

* 割り増し前の使用量

配合計算の考え方を以下に解説する。

気泡混合土 1m^3 について

質量

$$S + C + W + A = 1000 \rho_t \quad \text{----- 式5-1}$$

体積

$$S/\rho_s + C/\rho_c + W/\rho_w + n \times A = 1000 \quad \text{----- 式5-2}$$

ここで S : 乾燥土質量 (kg)

C : 固化材質量 (kg)

W : 水質量 (kg)

$$W = w_t \times S / 100 \quad w_t : \text{調整土含水比}(\%)$$

A : 起泡材質量 (kg)

n : 発泡倍率

ρ_t : 目標密度 (g/cm^3)

ρ_s : 土粒子の密度 (g/cm^3)

ρ_c : 固化材の密度 (g/cm^3)

ρ_w : 水の密度 (g/cm^3)

式5-1、式5-2に既知の数値を代入して S （乾燥土質量）、 A （起泡材質量）を求め、配合を算出する。

ここで、水の密度は便宜的に $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ とする。また、起泡材の密度は起泡剤を水で数十倍に希釈していることから $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ とする。

なお、配合計算表では以下に示すように調整土の密度 ρ を導いて A （起泡材質量）による式とし、 A （起泡材質量）を先に求めてから各材料の配合量を求めている。このことにより、調整土の含水比だけでなく調整土の密度をもとにした配合計算も可能となっている。

$$\text{式5-1から } S + W = 1000 \rho_t - C - A$$

$$\text{式5-2から } S/\rho_s + W/\rho_w = 1000 - C/\rho_c - n \times A$$

$$\text{調整土の密度 } \rho (\text{g}/\text{cm}^3) = \frac{S + W}{S/\rho_s + W/\rho_w} \quad \text{であるから}$$

$$\rho = \frac{1000 \rho_t - C - A}{1000 - C/\rho_c - n \times A}$$

起泡材質量 A について整理すると

$$A = \frac{1000 (\rho - \rho_t) + C - \rho \times C / \rho_c}{n \times \rho - 1}$$

5-2-3 気泡混合土の作製方法

気泡混合土の作製フローを図5-2に示す。

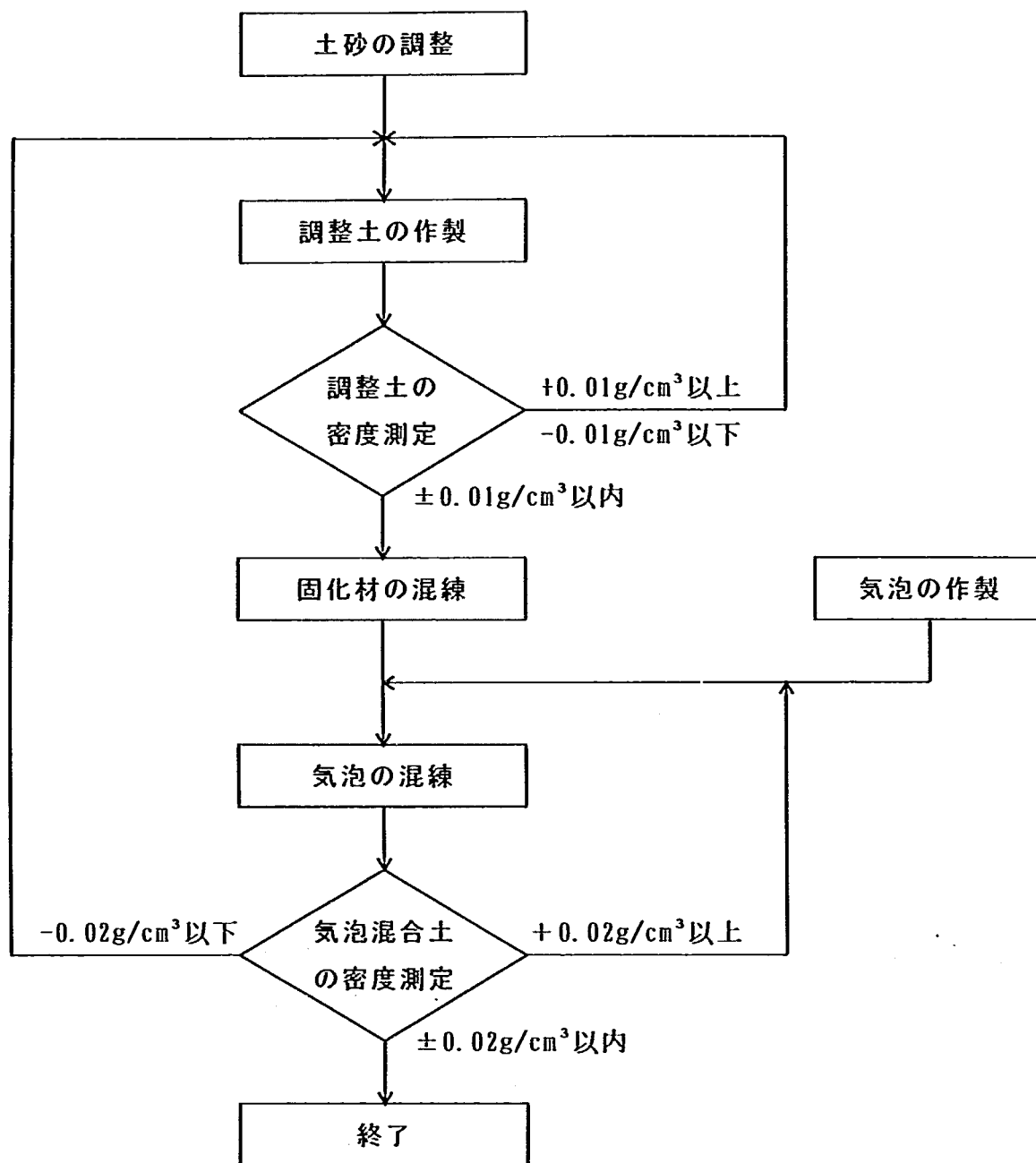


図5-2 気泡混合土作製フロー

気泡混合土の作製方法は以下の手順による。

① 試料土調整

配合試験に用いる土砂は、事前に異物や礫を取り除いておくと共に土砂を均質にしておく。

② 混練方法

混練方法は、ミキサにて土砂と水を練り混ぜ、泥水状になったところで固化材を入れて練り混ぜる。その後、別に発泡させた気泡を混入し練り混ぜる。

調整土を作製する場合、調整土の密度は計算密度の $\pm 0.01\text{g/cm}^3$ の範囲にする。

気泡混合土の密度は、設定密度の $\pm 0.02\text{g/cm}^3$ の範囲になるよう調整する。

配合試験における混練方法は、以下の方法を標準とする。別のミキサ、方法によって作製したときには、試験結果にその方法を明記する。

a. ミキサ

ホバート型ソイルミキサにビータ型攪拌翼を取り付け、遊星運動60rpm、回転運動140rpmにて混練する。混練量はミキサ容量の60%程度とする。

b. 調整土の作製

土砂と水を混合し、土砂の塊が2mmふるいを通過するまで十分に混合する。ただし、土砂と水の馴染みを考慮し、最低でも3分間以上は混合する。

なお、各バッチごとに調整土を作製する方法のほか、予め多量の調整土を作製しておき、バッチごとにこれを計り取って使用することも有効な方法である。

c. 固化材の混練

調整土に固化材を加えて5分間混合する。このとき、途中で1、2回ミキサを止め、容器や攪拌翼に付着した固化材をへら等で良くかき落とす。

d. 気泡の混練

所定量の気泡を加え1分間混合する。その後、上下の攪拌が容易にできる柄杓などを用い、目視で気泡の混合状況を確認する。混合が不十分な場合は、ミキサ混合または柄杓を用いた手練りで十分に混合する。

5-2-4 試験項目および方法

配合試験における試験項目及び試験方法を以下に示す。

① 密度

容量が既知の定量容器に試料を入れ、その容積重量を測定して求める。このとき、容量は200mℓ程度以上とする。所定量の気泡を混合したときの密度が目標密度より高い場合は、この値を記録して気泡の減少率（消泡率）を求める。

② 流動性

日本道路公団試験方法JHS A 313-1992「エアモルタル及びエアミルク試験方法」のシリンダー法（ $\phi 80\text{mm} \times H 80\text{mm}$ ）を標準として測定する。なお、シリンダー法によるフロ

一値と土木学会基準「プレバックドコンクリートの注入モルタルの流動性試験方法」(P漏斗による方法) JSCE-F521-1994の流下時間との関係が分かっている場合には、P漏斗によっても良い。

③ 一軸圧縮強さ

JIS A 1216「土の一軸圧縮試験方法」に準ずる。なお、供試体の作製方法は、以下のとおり行う。

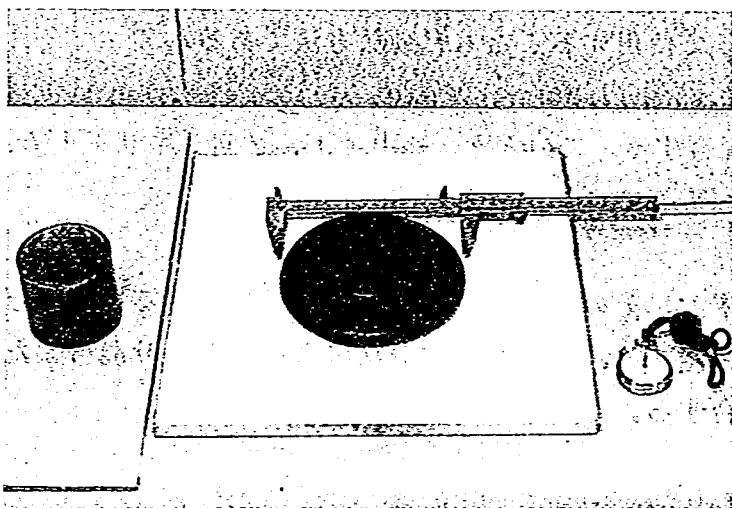
作製した気泡混合土を型枠に流し込み、型枠ごとラップ等で密封して20℃の恒温槽で試験日まで養生する。供試体寸法は $\phi 5\text{cm} \times H10\text{cm}$ 、試験材齢は7日と28日を標準とする。

④ 湿潤密度

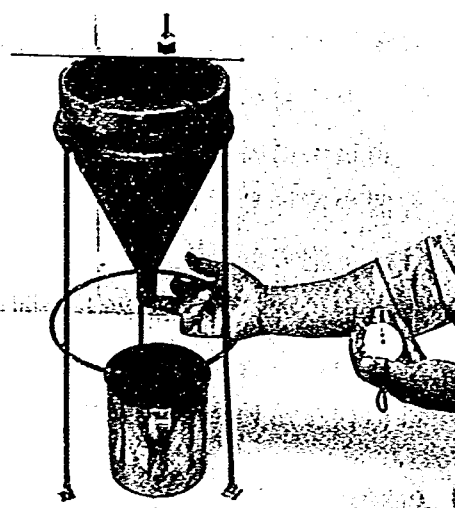
地盤工学会規準JGS T 191「土の湿潤密度試験方法」に準ずる。

⑤ 材料分離

土木学会基準「プレバックドコンクリートの注入モルタルのブリーディング率および膨張率試験方法」(ポリエチレン袋方法) JSCE-F522-1994に準ずる。



シリンダー法



P 漏斗

写真 5 - 1 流動性試験方法

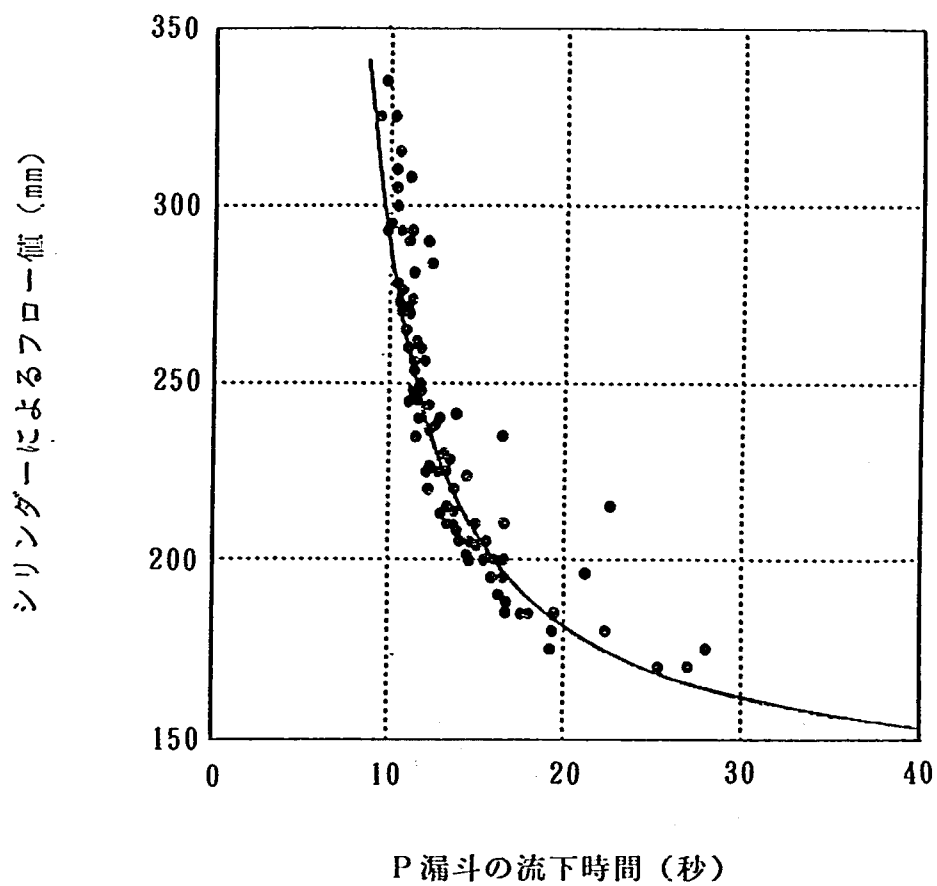


図5-3 P漏斗の流下時間とシリンダーによるフロー値の関係 (例)

5-3 配合試験事例

5-3-1 霞ヶ浦浚渫粘性土の配合試験事例

配合を決定するまでの配合試験事例を以下に示す。

(1) 配合条件

1) 使用材料

- ①土砂 霞ヶ浦浚渫粘性土
土砂の物性を表5-3に示す。
- ②固化材 セメント系固化材
- ③起泡剤 合成界面活性剤系起泡剤（高級アルコール硫酸エステル系化合物）
- ④気泡 起泡剤の10倍希釈液を20倍に発泡させて作製した。

表5-3 土砂の物性

項 目		数 値
土粒子の密度 ρ_s (g/cm^3)		2.708
自然含水比 w_n (%)		104.2
pH		5.8
強熱減量 (%)		13.1
粒 度	礫分 2~75mm (%)	0.0
	砂分 75 μm ~2mm (%)	24.7
	シルト分 5~75 μm (%)	36.9
	粘土分 5 μm 未満 (%)	38.4
液性限界 w_L (%)		99.6
塑性限界 w_P (%)		35.8
塑性指数 I_P		63.8

2) 配合の目標物性値

- ①密度 0.8 g/cm^3
- ②フロー値 200mm
- ③一軸圧縮強さ 3 kgf/cm^2 (割り増し後の配合強度)

3) 計画配合

- ①調整土含水比 250、300、350% 3水準
 - ②固化材量 90、120、150、180 kg/m^3 4水準
- } (既往のデータを参考に決める)

(2) 配合計算例

上記の計画配合のうち次の配合基本値について、表5-1の配合計算表に従って配合計算した例を以下に示す。

1) 配合基本値

- ①目標密度 0.80g/cm³
- ②調整土含水比 300%
- ③固化材量 150kg/m³

2) 配合計算例

1. 土質調査により求める項目

- 1)土粒子の密度 調査結果から 2.708
- 2)含水比 調査結果から 104.2
- 3)湿潤土砂の密度 未測定（推定値） 1.46

2. 使用材料の特性値

- 1)固化材の密度 メーカー試験成績 3.04
- 2)起泡剤の希釈倍率 メーカー指定値 10
- 3)起泡材の発泡倍率 メーカー指定値 20

3. 計画により定める項目

- 1)目標密度 配合計画から 0.80
- 2)調整土含水比 配合計画から 300
- 3)固化材使用量 配合計画から 150

4. 計算によって求める項目

- 1)調整土密度 調整土含水比と土粒子の密度から
 $(300+100)/(300+100/2.708)=$ 1.187
- 2)起泡材質量 5-2-2での説明から
$$\frac{1000(1.187-0.80)+150-1.187 \times 150/3.04}{20 \times 1.187 - 1} =$$
21.0
- 3)調整土質量 全質量から固化材と起泡材質量を引いて
 $1000 \times 0.80 - 150 - 21.0 =$ 629
- 4)乾燥土砂質量 調整土含水比から
 $100 \times 629 / (100 + 300) =$ 157
- 5)湿潤土砂質量 含水比から
 $157(100 + 104.2) / 100 =$ 321
- 6)湿潤土砂体積 湿潤土砂の密度から
 $321 / 1.46 =$ 220
- 7)添加水量 調整土質量から湿潤土砂質量を引いて

	629-321=308
8) 起泡剤量	起泡材量を希釈倍率で割って
	$21.0/10=2.10$
9) 気泡量	起泡材量に発泡倍率をかけて
	$21.0 \times 20=420$
10) 空気量	気泡量から起泡材量を引いて
	$420-21.0=399$

表 5 - 4 配合表 (1m³当たり)

試料土		水		固化材		気 泡		起泡剤 *	
⑭	339 (kg)	⑮	290 (ℓ)	⑨	150 (kg)	⑯	428 (ℓ)	⑰	2.14 (ℓ)
⑮	(ℓ)								

* 割り増し前の使用量

(3) 配合試験結果

1) 流動性試験結果

固化材量を150kg/m³としたときの調整土含水比とフロー値の関係を図5-4に示す。

同図から、目標のフロー値が得られる含水比として、調整土含水比を280%とする。

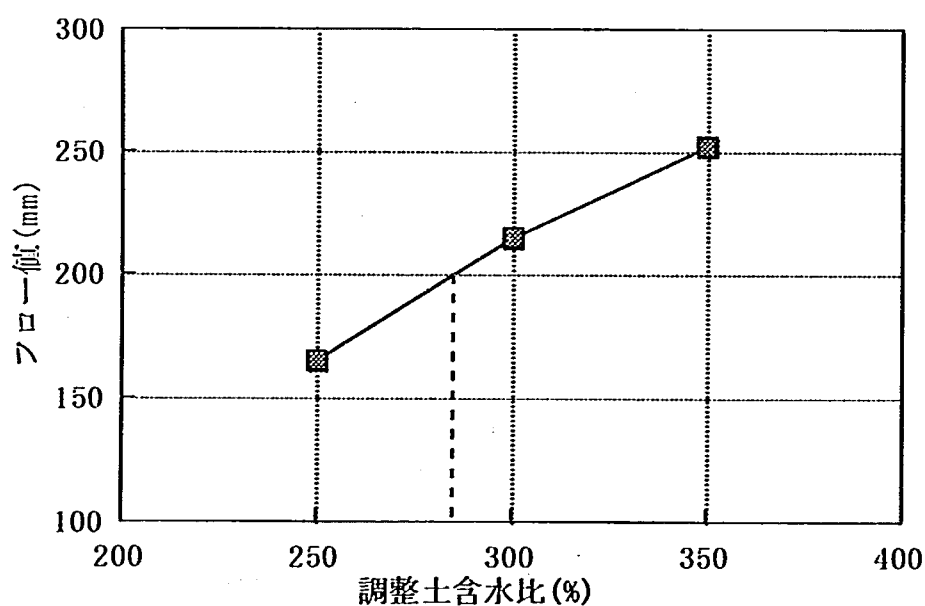


図 5 - 4 調整土含水比とフロー値の関係 (例)

2) 強度試験結果

調整土含水比を280%としたときの固化材量と一軸圧縮強さの関係を図5-5に示す。

同図から、目標の強度が得られる固化材量として固化材量を150kg/m³とする。

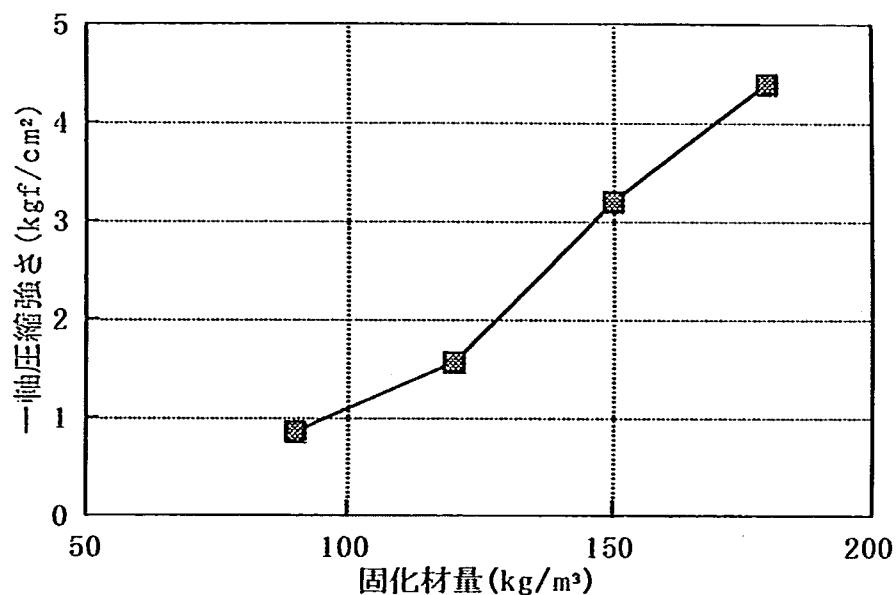


図 5 - 5 固化材量と一軸圧縮強さの関係 (例)

以上の試験結果から、調整土含水比と固化材量を表5-5のように定め、表5-1による計算を行って気泡混合土の配合を表5-6のとおりとした。

表 5 - 5 配合基本値

密度 (g/cm ³)	調整土含水比 (%)	固化材量 (kg/m ³)
0.80	280	150

表 5 - 6 配合表 (1m³当たり)

試料土		水		固化材		気 泡		起泡剤 †	
⑭	339 (kg)	⑮	290 (ℓ)	⑨	150 (kg)	⑯	428 (ℓ)	⑰	2.14 (ℓ)
⑮	(ℓ)								

* 割り増し前の使用量

5-3-2 各種の土砂による配合試験結果

表5-7～表5-19及び、図5-6～図5-30に各種の土砂を対象とした配合試験の結果を示す。材齢はいずれも28日である。

全体的には、調整土含水比を高くするとフロー値が大きくなり、固化材量を多くすれば一軸圧縮強さは大きくなる。しかしながら、試験結果の中には固化材量を多くしても強度の増加が小さかったり低下しているものがあり、また、調整土含水比を小さくすると強度が低下するものもみられる。

これらの配合はいずれもフロー値が小さく、気泡の混合が十分に出来ていなかったものであり、このような結果は配合の水準を規定した（例えば、目標密度を変えているのに調整土含水比を変えていない）配合試験で生じるもので、実用的な配合範囲を越えているものといえる。実際では、目標のフロー値を満たすように調整土含水比を高めることで、気泡の混合と分散が十分にでき、気泡混合土の作製が可能となる。

有楽町層粘性土②（東京都大田区産）	表5-7、図5-6～図5-9
関東ローム②（埼玉県浦和市産）	表5-8、図5-10～図5-11
成田層山砂（千葉県成田市）	表5-9、図5-12～図5-13
有楽町層粘性土①（東京都中央区産）	表5-10、図5-14
関東ローム①（神奈川県愛甲郡愛川町産）	表5-11、図5-15
大阪粘性土（大阪市福島区産）	表5-12、図5-16
名古屋粘性土（名古屋市港区産）	表5-13、図5-17
神戸マサ土（兵庫県神戸市産）	表5-14、図5-18
鹿児島シラス（鹿児島県垂水市産）	表5-15、図5-19
霞ヶ浦浚渫土（茨城県霞ヶ浦産）	表5-16、図5-20
フライアッシュ	表5-17、図5-21～図5-22
フライアッシュを混合した粘性土	表5-18、図5-23～図5-26
フライアッシュを混合した砂質土	表5-19、図5-27～図5-30

表 5 - 7 有楽町層粘性土②の配合試験結果一覧

試料名：有楽町層粘性土② 産地：東京都大田区

土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	自然含水比 w _n (%)	粒 度 (%)				液性限界 w _L (%)	塑性限界 w _p (%)	pH	強熱減量 (%)
		總分	砂分	シルト分	粘土分				
2.699	58.7	6	26	38	30	55.3	32.5	9.6	5.5

使用固化材：セメント系固化材

目標密度 (g/cm³)	調整土含水比 (%)	配 合				フレッシュ時			固 化 後				
		固化材量 (kg/m³)	乾燥土質量 (kg/m³)	水 (kg/m³)	気泡量 (ℓ / m³)	密度 (g/cm³)	フロー値(mm)			一軸圧縮強さ(kgℓ/cm²)		湿潤密度(g/cm³)	
							調整土	+ 固化材	気泡混合土	7 日	2 8 日	7 日	2 8 日
0.80	138	75	295	407	460	0.789			126	0.76	1.78	0.788	0.798
		150	262	363	492	0.802			128	2.44	4.51	0.806	0.808
		200	241	333	514	0.790			114	3.70	5.98	0.802	0.794
	160	75	270	433	421	0.818			193	0.98	2.28	0.810	0.797
		150	240	386	478	0.814			158	1.98	3.95	0.812	0.811
		200	221	354	501	0.786			145	2.93	5.55	0.799	0.802
	194	75	240	464	423	0.809			265	0.49	0.94	0.817	0.811
		150	214	413	460	0.803			159	1.76	2.96	0.792	0.803
		200	196	380	484	0.806			142	2.85	3.87	0.798	0.805
1.05	138	75	404	558	269	1.065			152	2.10	3.54	1.060	1.059
		150	371	514	301	1.031			139	3.21	5.70	1.054	1.063
		200	350	484	303	1.048			128	5.48	9.95	1.051	1.048
	160	75	370	593	246	1.059			200	1.34	2.30	1.065	1.064
		150	340	546	281	1.053			178	2.95	4.83	1.059	1.064
		200	321	514	304	1.066			159	5.09	8.55	1.056	1.054
	194	75	328	636	219	1.059			300	0.86	1.42	1.054	1.059
		150	302	585	255	1.064			250	2.14	3.52	1.063	1.058
		200	285	551	280	1.036			239	3.87	6.75	1.059	1.060
1.20	138	75	469	648	154	1.218			154	2.73	4.39	1.216	1.206
		150	437	604	187	1.213			143	4.60	7.05	1.214	1.200
		200	415	574	208	1.220			143	6.21	9.06	1.217	1.202
	160	75	430	689	128	1.201			240	1.78	2.85	1.204	1.195
		150	400	642	162	1.205			207	3.41	5.39	1.214	1.214
		200	381	610	185	1.201			188	4.99	7.57	1.211	1.205
	194	75	382	739	96	1.195			347	1.12	1.77	1.208	1.194
		150	355	688	133	1.188			264	3.36	4.19	1.204	1.206
		200	338	654	157	1.204			256	4.71	7.22	1.210	1.212

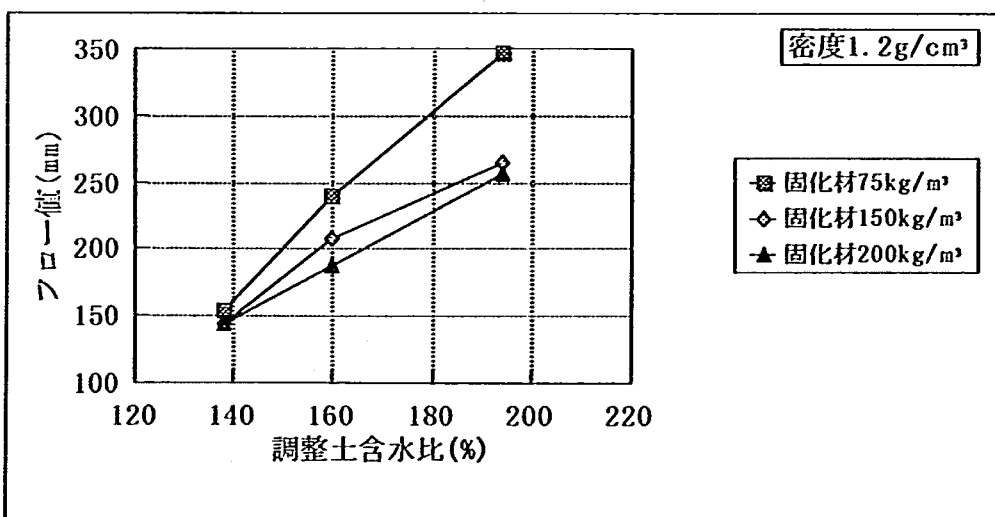
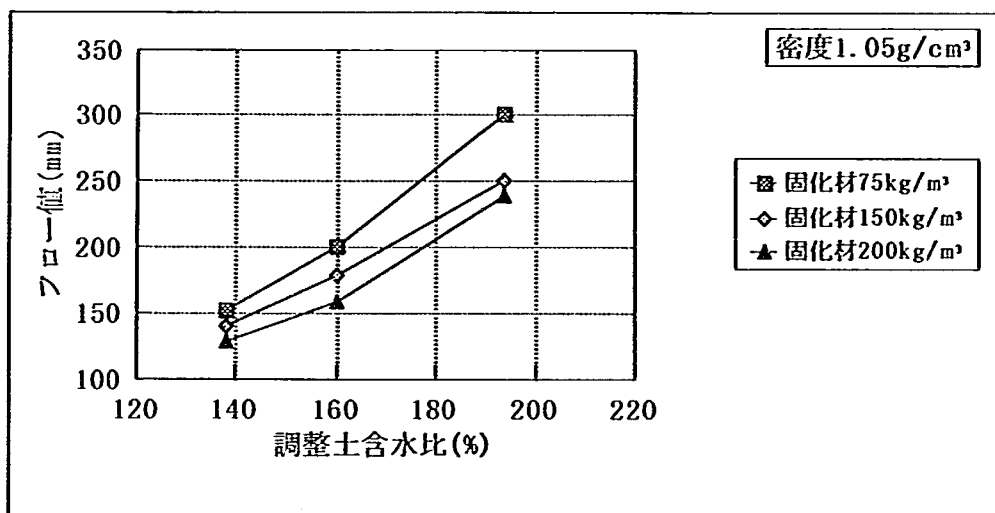
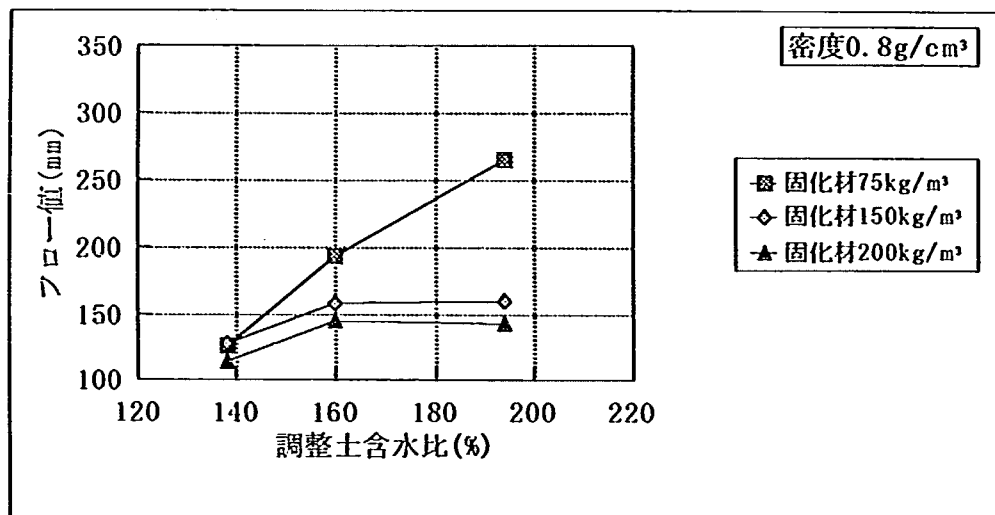


図5-6 調整土含水比とフロー値の関係, 有楽町層粘性土②

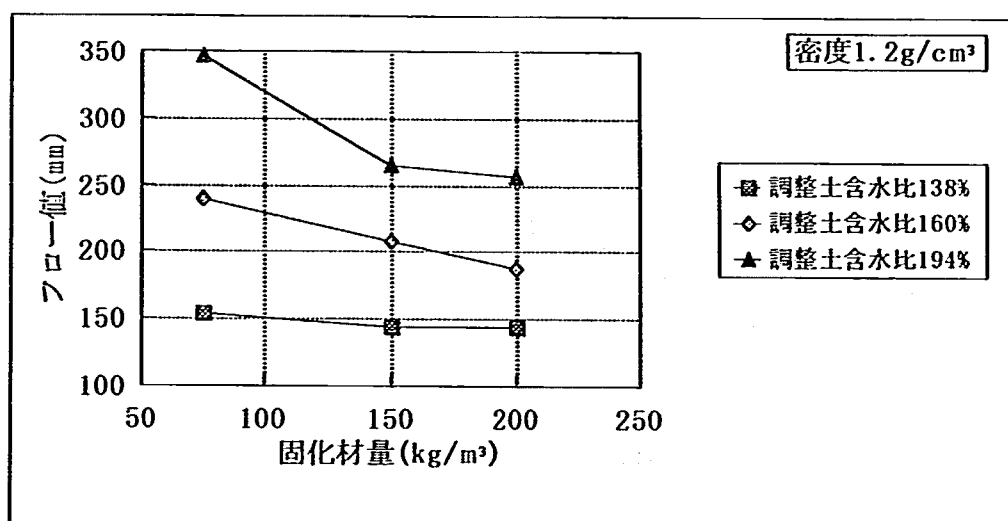
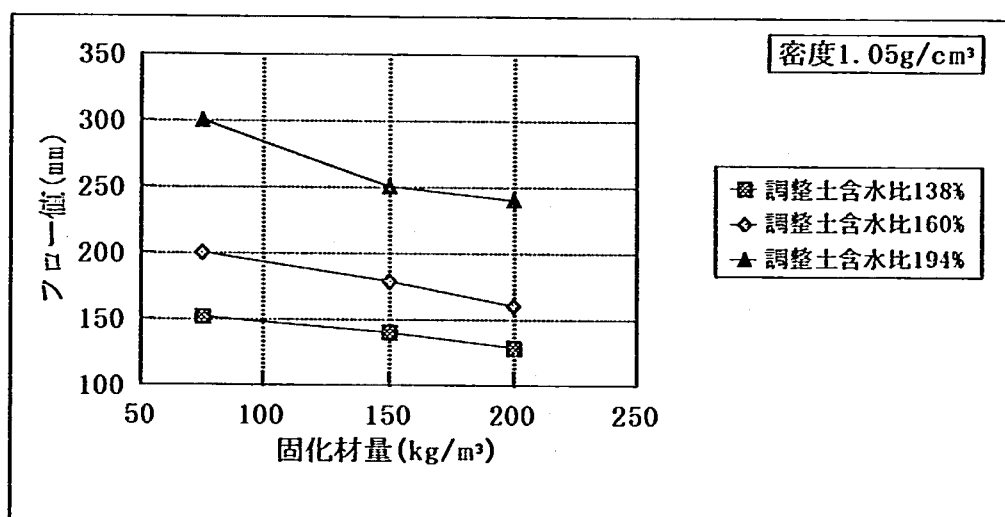
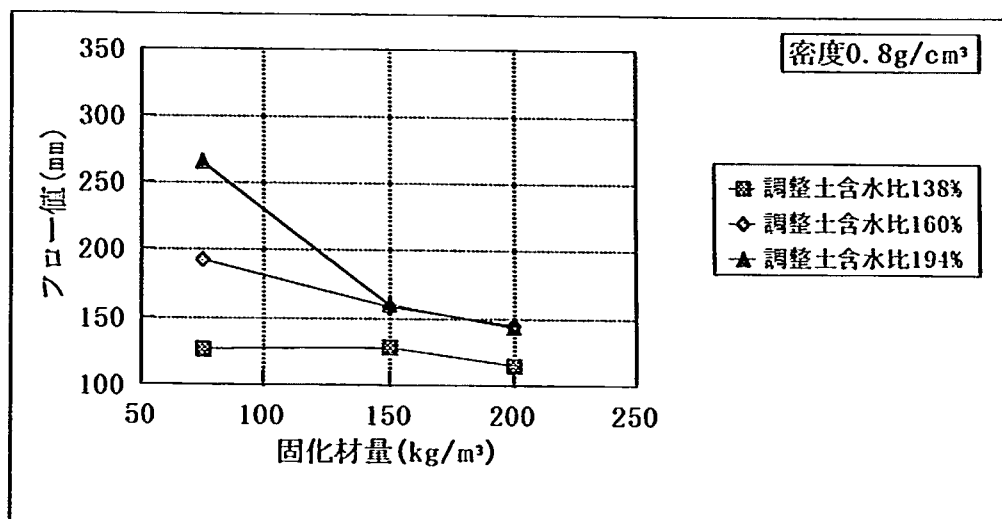


図5-7 固化材量とフロー値の関係，有楽町層粘性土②

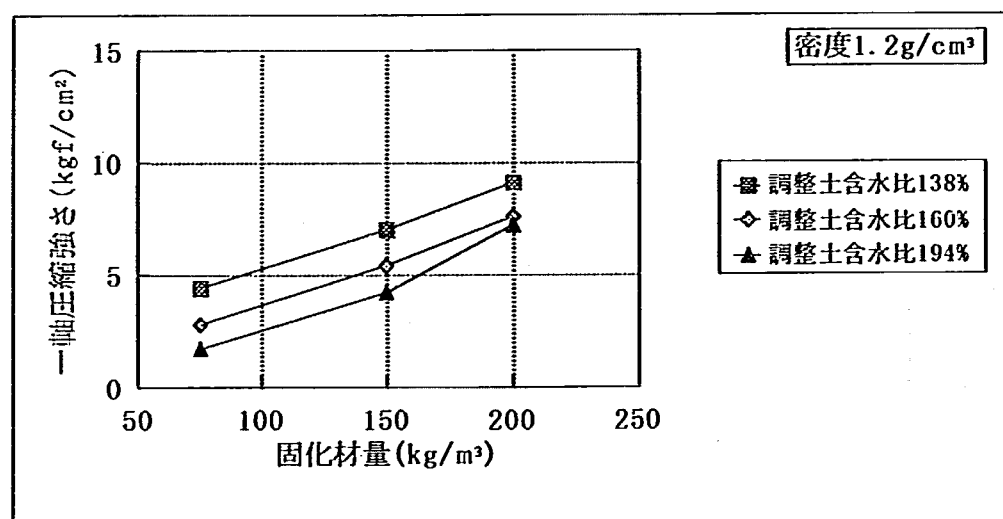
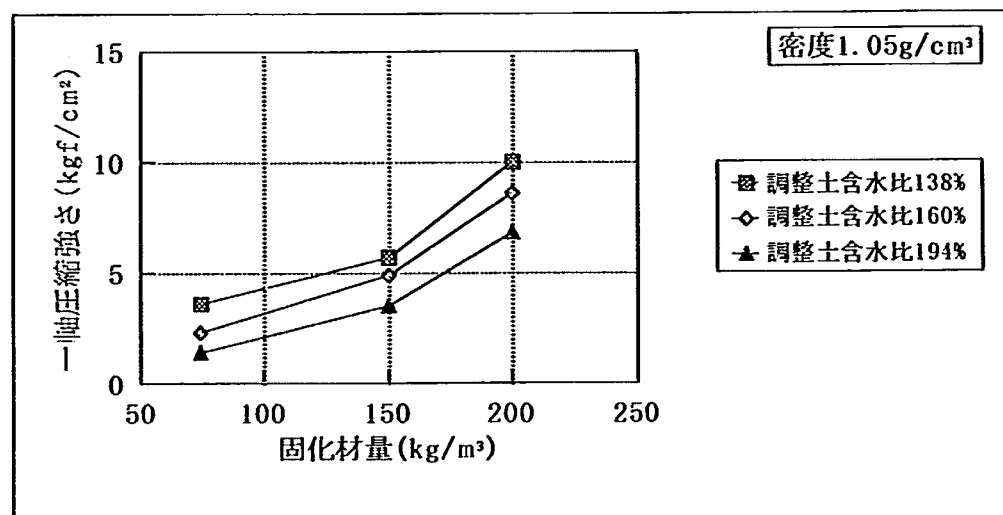
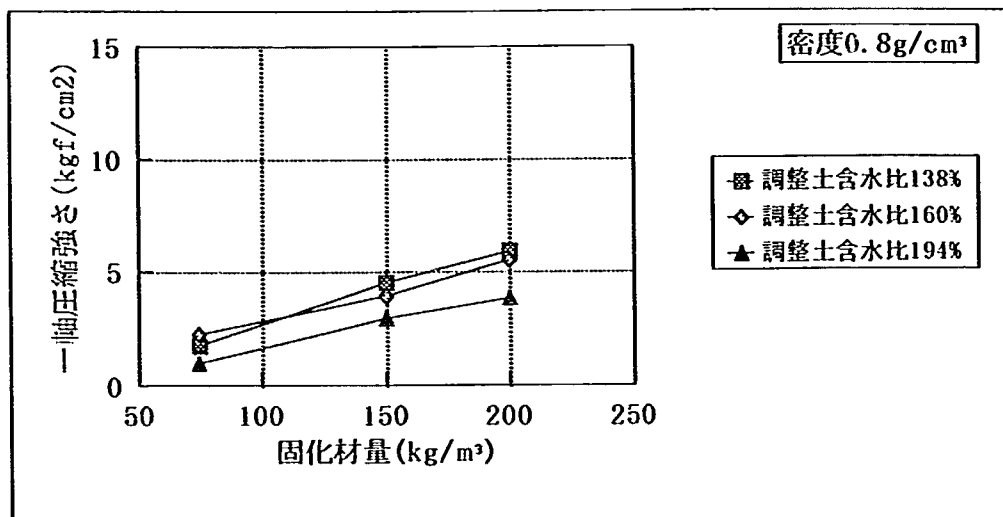


図5-8 固化材量と一軸圧縮強さの関係，有楽町層粘性土②

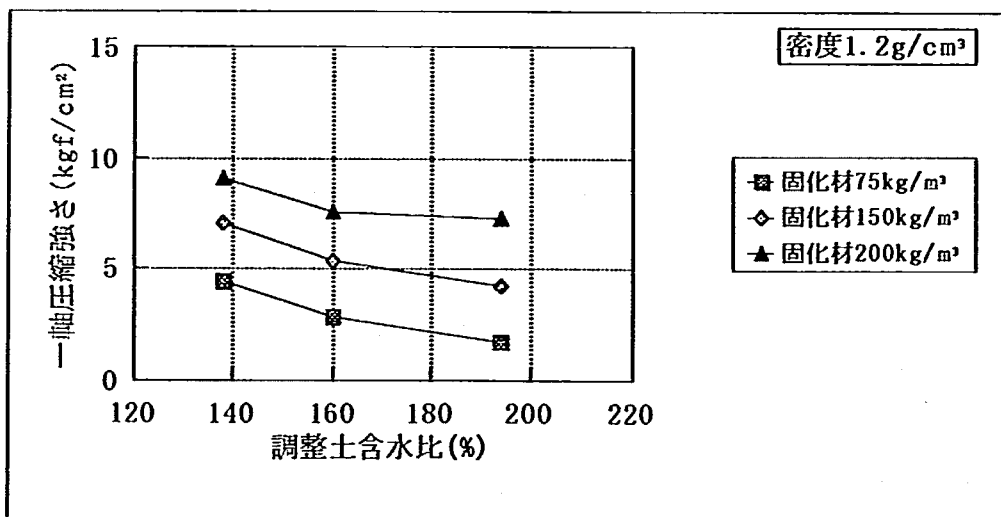
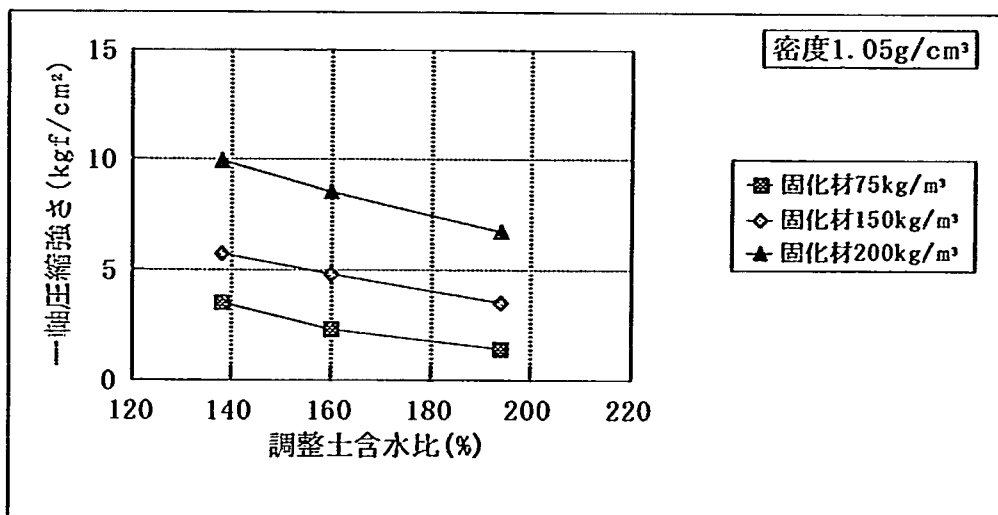
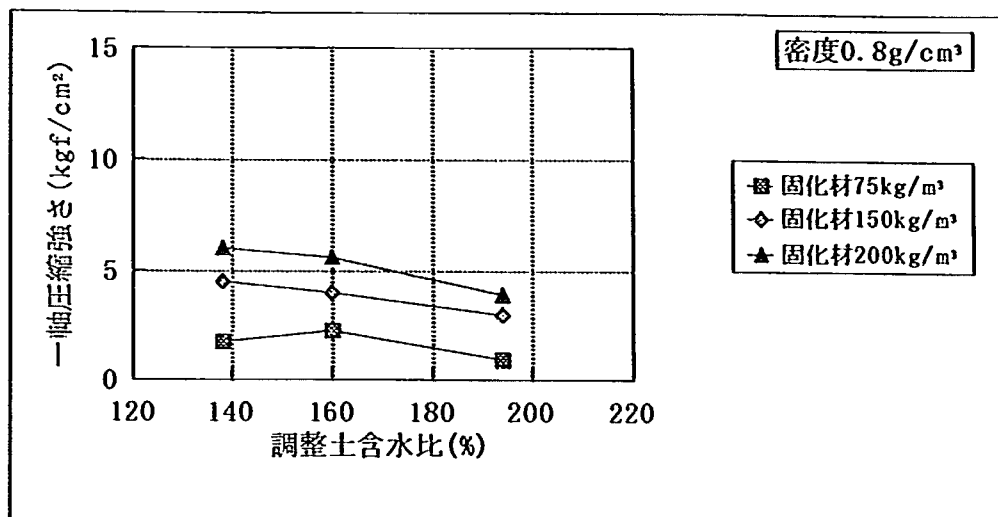


図5-9 調整土含水比と一軸圧縮強さの関係，有楽町層粘性土②

表 5 - 8 関東ローム②の配合試験結果一覧

試料名：関東ローム②

産地：埼玉県浦和市

土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	自然含水比 w_n (%)	粒 度 (%)				液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_p (%)	pH	強熱減量 (%)
		塵分	砂分	シルト分	粘土分				
2.744	114.2	0	2.7	65.0	32.3	137	78.5	6.6	6.2

使用固化材：セメント系固化材

目標密度 (g/cm ³)	調整土含水比 (%)	配 合				フレッシュ時				固 化 後			
		固化材量 (kg/m ³)	乾燥土質量 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	気泡量 (ℓ/m ³)	密度 (g/cm ³)	フロー値(mm)			一軸圧縮強さ(kgf/cm ²)		湿潤密度(g/cm ³)	
							調整土	+固化材	気泡混合土	7 日	2 8 日	7 日	2 8 日
0.80	220	75	220	484	441	0.80	250	173	162	0.50	0.65	0.79	0.75
		150	196	431	449	0.79	247	140	136	2.99	4.58	0.76	0.77
		200	180	396	474	0.78	245	117	135	2.07	2.30	0.77	0.76
	250	75	201	504	399	0.79	340	253	199	0.53	0.82	0.78	0.71
		150	179	449	438	0.78	305	178	147	4.20	6.20	0.76	0.77
		200	165	412	464	0.79	324	164	144	5.15	6.19	0.79	0.79
	280	75	186	520	388	0.79	395	324	230	0.63	0.84	0.77	0.73
		150	165	463	428	0.80	390	273	186	4.48	6.14	0.78	0.78
		200	152	425	455	0.79	395	236	170	6.25	8.26	0.78	0.78
1.05	220	75	302	663	203	1.05	254	173	165	0.32	0.35	1.00	1.01
		150	277	610	240	1.05	235	150	137	5.95	7.09	1.04	1.05
		200	261	575	265	1.04	240	133	122	10.47	13.55	1.04	1.03
	250	75	276	690	186	1.04	330	270	241	0.34	0.35	0.98	1.02
		150	254	635	225	1.05	315	205	182	5.75	7.45	1.04	1.04
		200	239	598	251	1.05	320	190	162	10.98	13.31	1.05	1.07
	280	75	254	712	171	1.05	390	340	300	0.38	0.45	1.00	1.00
		150	234	655	211	1.05	385	282	226	5.76	7.28	1.03	1.05
		200	221	618	238	1.05	400	260	215	9.64	11.67	1.05	1.05
1.20	220	75	350	771	78	1.20	220	179	169	0.31	0.31	1.15	1.15
		150	326	718	115	1.19	211	153	165	4.83	6.66	1.21	1.17
		200	310	683	140	1.18	215	128	116	12.16	16.82	1.16	1.16
	250	75	321	802	58	1.20	330	290	230	0.37	0.38	1.13	1.14
		150	299	747	97	1.19	300	226	225	4.94	5.91	1.20	1.16
		200	284	710	123	1.18	320	200	164	11.42	14.54	1.16	1.17
	280	75	296	827	41	1.21	400	341	335	0.31	0.27	1.15	1.19
		150	275	771	81	1.19	390	310	298	4.59	5.70	1.18	1.16
		200	262	733	108	1.18	392	274	205	10.28	13.33	1.16	1.17

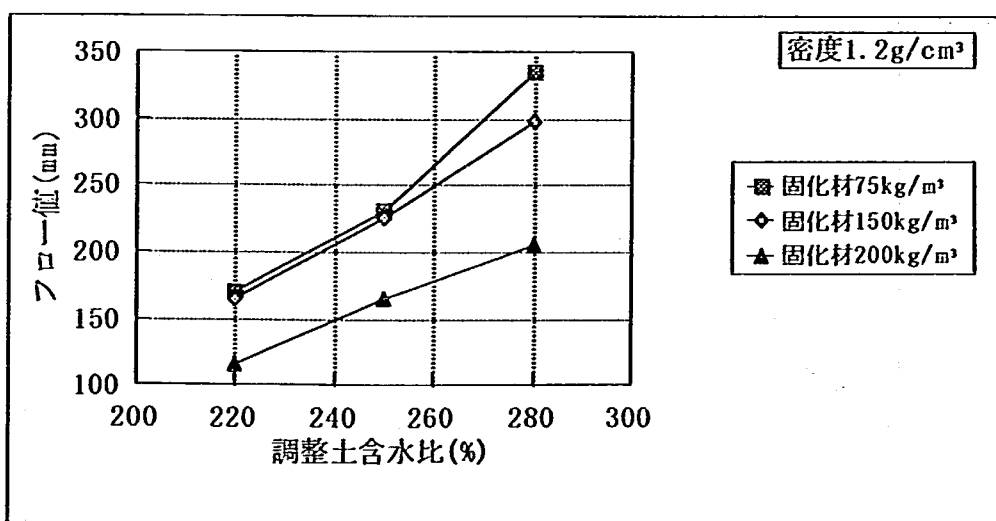
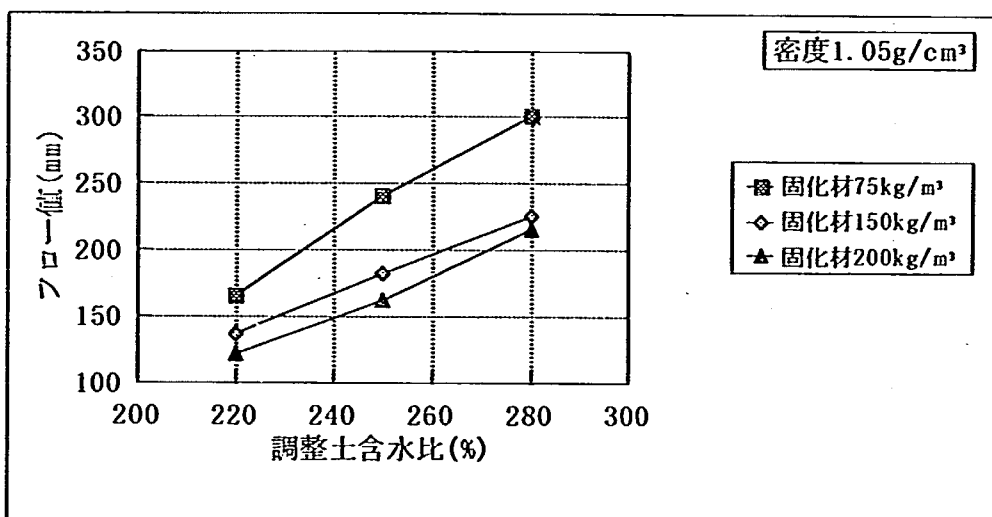
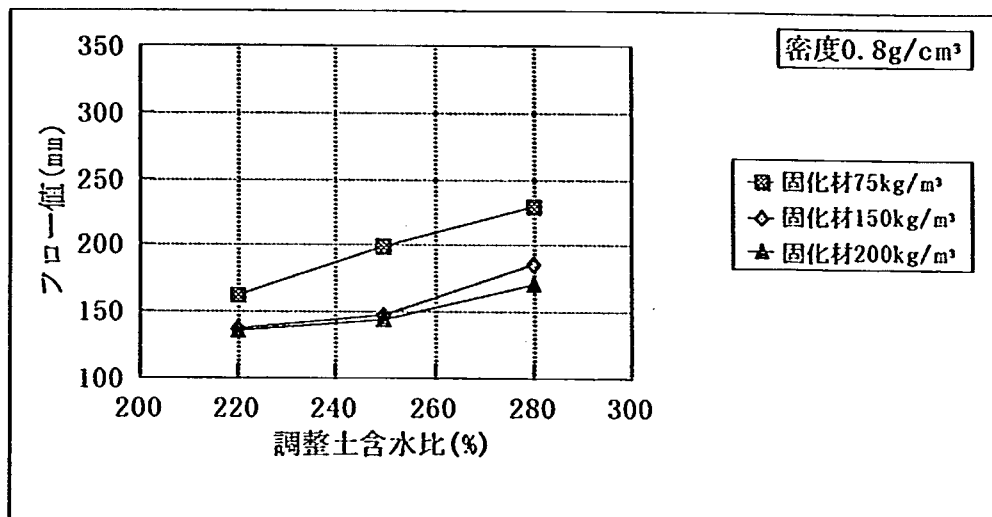


図5-10 調整土含水比とフロー値の関係、関東ローム②

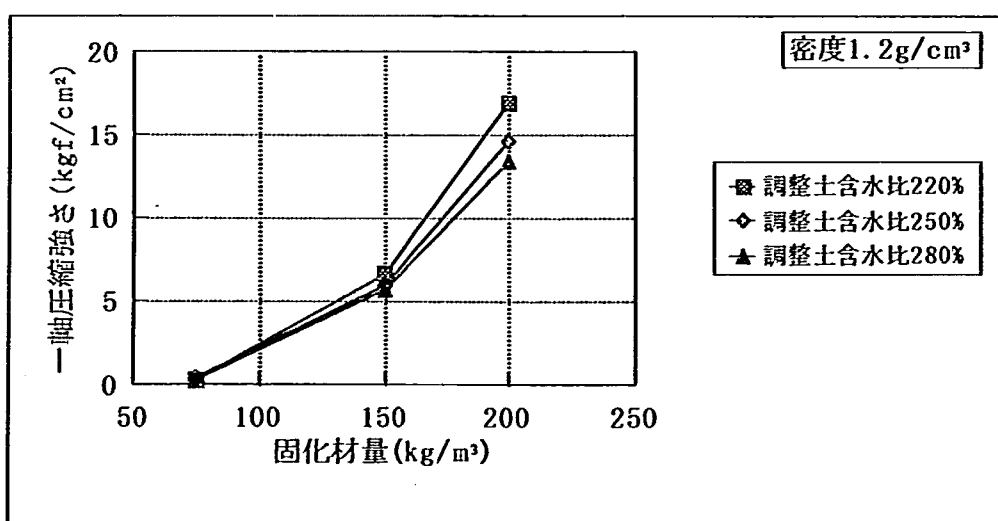
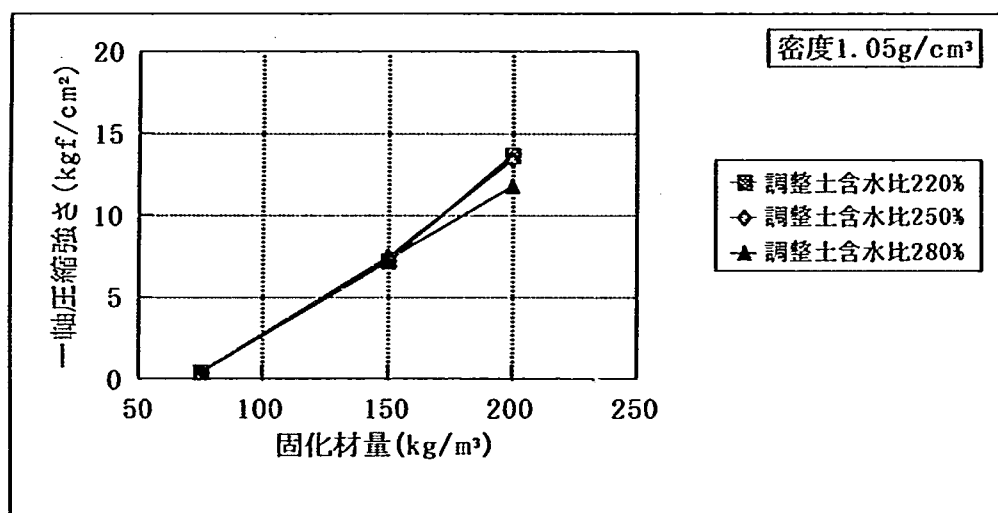
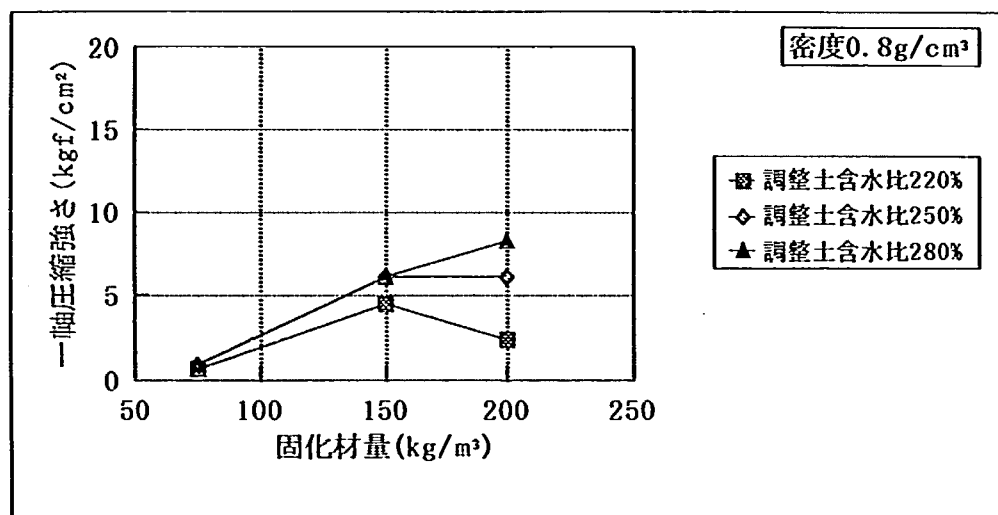


図5-11 固化材量と一軸圧縮強さの関係，関東ローム②

表 5 - 9 成田層山砂の配合試験結果一覧

試料名：成田層山砂

産地：千葉県成田市

土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	自然含水比 w_n (%)	粒 度 (%)				液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_p (%)	pH	液熱減量 (%)
		礫分	砂分	シルト分	粘土分				
2.782	26.3	0.2	78.8	11.2	9.8	NP	NP	7.5	5.4

使用固化材：セメント系固化材

目標密度 (g/cm ³)	調整土含水比 (%)	配 合				フレッシュ時			固 化 後					
		固化材量 (kg/m ³)	乾燥土質量 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	気泡量 (ℓ/m ³)	密度 (g/cm ³)	フロー値(mm)			一軸圧縮強さ(kgℓ/cm ²)		湿潤密度(g/cm ³)		
							調整土	+固化材	気泡混合土	7 日	2 8 日	7 日	2 8 日	
0.80	70	100	399	279	546	0.805	233	147	143	0.10	0.28	0.736	0.720	
		200	399	238	577	0.801	235	115	130	0.40	1.09	0.798	0.791	
		300	280	196	608	0.779	210	85	110	0.00	0.08	0.722	0.722	
	90	100	358	322	518	0.812	305	219	172	0.20	0.46	0.804	0.794	
		200	304	274	554	0.812	330	185	146	0.63	1.11	0.783	0.799	
		300	251	226	589	0.794	342	100	120	0.44	0.81	0.698	0.735	
	105	100	332	348	501	0.804	365	252	180	0.29	0.47	0.799	0.804	
		200	282	296	539	0.810	375	221	154	0.69	1.25	0.771	0.797	
		300	233	244	577	0.792	367	144	127	1.01	2.02	0.770	0.784	
	120	100	309	371	486	0.816	512	437	242	0.42	0.91	0.825	0.813	
		200	263	316	526	0.817	521	396	174	2.33	3.56	0.805	0.805	
		300	217	260	567	0.818	500	255	134	3.66	4.73	0.780	0.776	
1.05	70	100	550	385	386	1.063	235	160	157	0.91	2.59	1.048	1.061	
		200	490	343	417	1.051	237	140	137	2.39	3.74	1.042	1.030	
		300	431	301	449	1.039	232	105	120	4.22	8.02	1.037	1.050	
	90	100	493	443	348	1.052	318	225	188	0.81	1.91	1.048	1.027	
		200	439	395	383	1.036	315	206	164	2.49	4.65	1.008	1.023	
		300	386	347	419	1.069	318	172	138	6.76	8.29	1.041	1.033	
	105	100	457	480	324	1.046	358	253	208	1.17	2.06	1.027	1.015	
		200	408	428	362	1.064	366	246	186	3.58	4.21	1.048	1.049	
		300	358	376	400	1.036	368	210	148	4.02	6.76	1.015	1.007	
	1.20	70	100	640	448	290	1.193	235	167	162	1.03	3.54	1.207	1.169
			200	581	406	322	1.209	235	155	148	5.07	7.24	1.193	1.189
			300	521	365	353	1.207	235	118	118	9.08	15.02	1.168	1.167
90		100	574	516	246	1.204	319	235	200	1.15	3.12	1.179	1.178	
		200	520	468	281	1.219	323	217	180	6.15	8.00	1.207	1.200	
		300	467	420	317	1.211	335	192	161	11.40	16.35	1.178	1.195	
105		100	532	559	218	1.211	358	255	225	1.29	2.73	1.186	1.189	
		200	483	507	256	1.209	366	239	194	5.37	7.57	1.205	1.197	
		300	433	455	294	1.207	368	217	174	10.01	15.41	1.191	1.207	

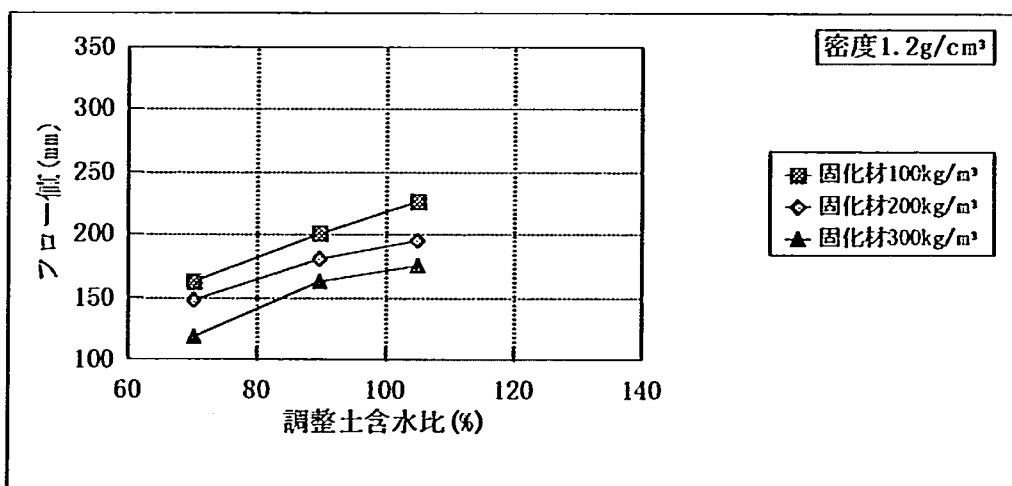
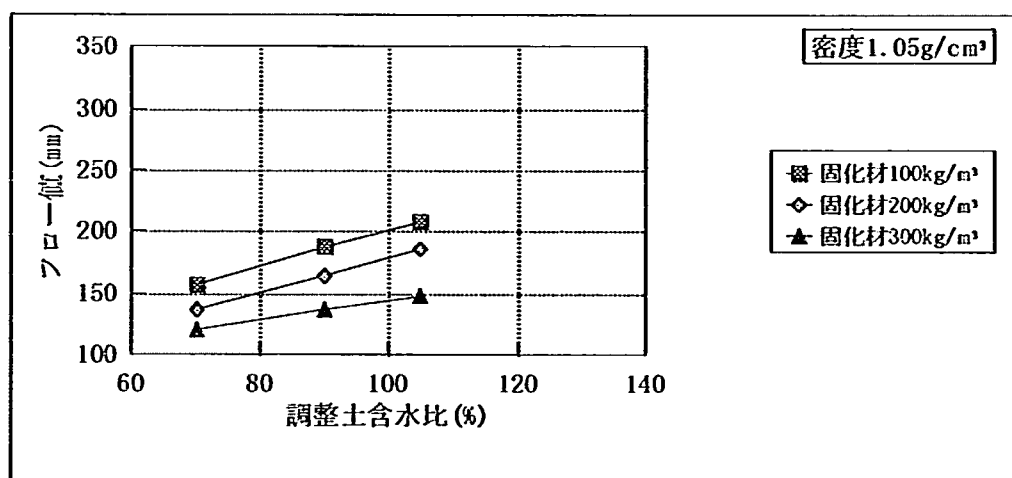
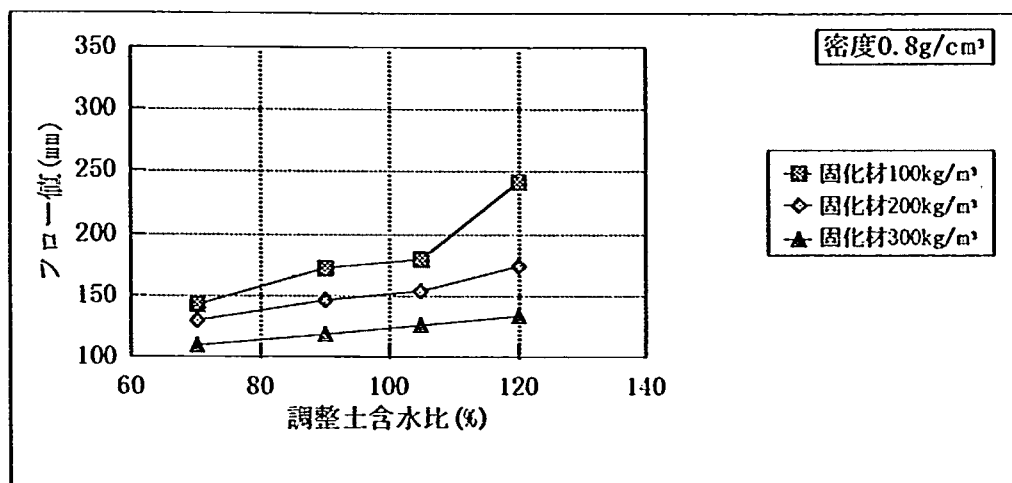


図5-12 調整土含水比とフロー値の関係，成田層山砂

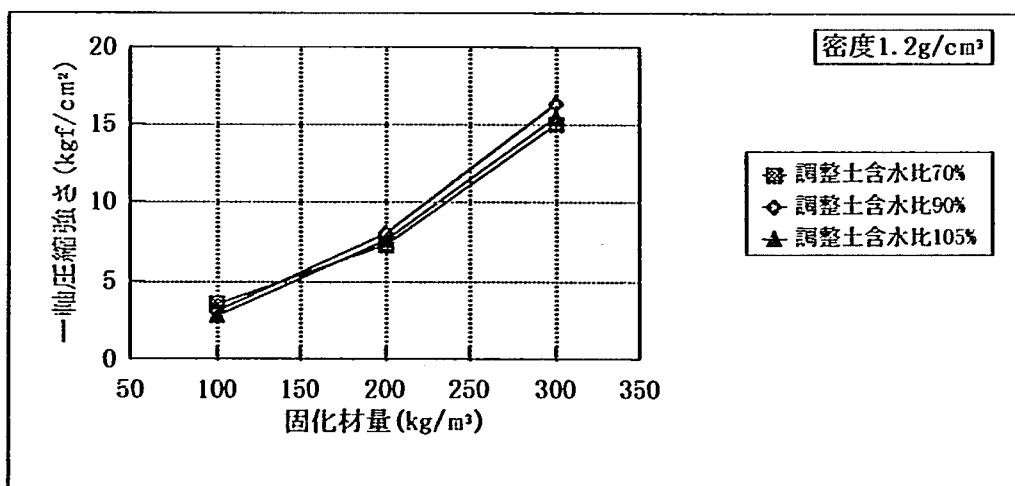
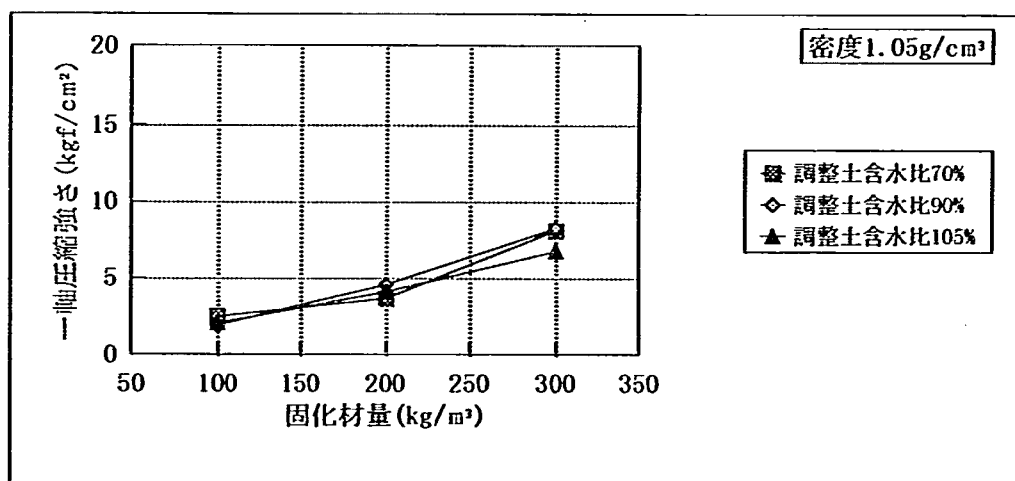
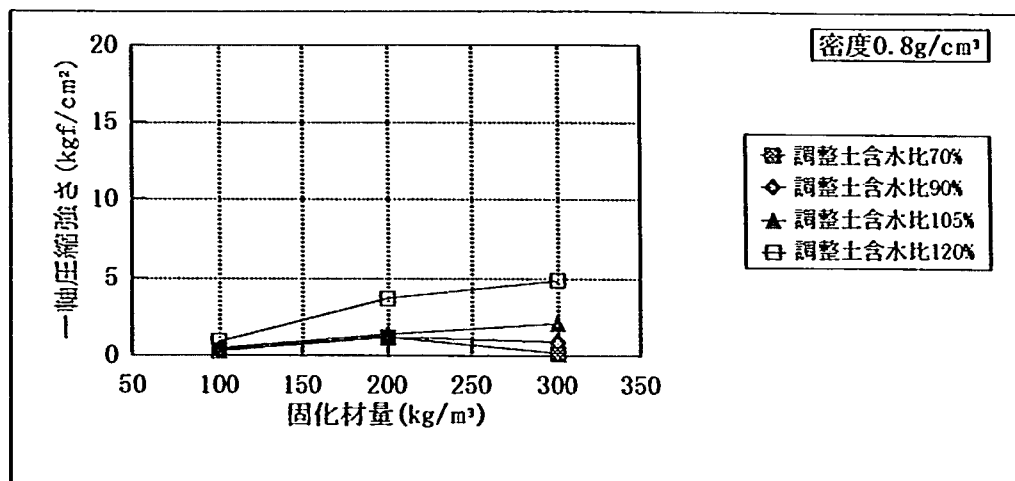


図5-13 固化材量と一軸圧縮強さの関係，成田層山砂

表5-10 有楽町層粘性土①の配合試験結果一覧

試料名：有楽町層粘性土① 産地：東京都中央区

土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	自然含水比 w_n (%)	粒 度 (%)				液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_P (%)	pH	強熱減量 (%)
		總分	砂分	シルト分	粘土分				
2.643	96.4	0	4.3	53.6	42.1	104.41	50.91	7.9	10.0

使用固化材：普通ポルトランドセメント

目標密度 (g/cm ³)	調整土含水比 (%)	配 合				フレッシュ時			固 化 後				
		固化材量 (kg/m ³)	乾燥土質量 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	気泡量 (ℓ / m ³)	密度 (g/cm ³)	フロー値(mm)			一軸圧縮強さ(kgℓ/cm ²)		湿潤密度(g/cm ³)	
							調整土	+ 固化材	気泡混合土	7 日	2 8 日	7 日	2 8 日
0.60	300	75	124	373	556	0.609	412.5		162.5	1.00	1.82	0.618	0.620
	360	150	91	330	589	0.604	412.5	197.5	172.5	2.21	2.91	0.596	0.606
	400	200	74	296	613	0.591	412.5	210	170.5	3.90	5.70	0.595	0.598
0.80	300	75	177	529	380	0.810	412.5		177.5	2.57	3.71	0.815	0.812
		80	176	528	379	0.811			160	0.92	2.24	0.833	0.840
		120	166	498	401	0.806			145	2.17	4.63	0.820	0.825
		160	156	467	423	0.815			160	2.59	4.94	0.842	0.828
		200	146	437	445	0.791			135	2.52	5.25	0.792	0.797
		340	150	143	486	412	0.791	412.5	190	180	3.01	4.11	0.796
	400	80	141	565	357	0.800			215	0.73	1.59	0.780	0.806
		120	133	532	380	0.808			205	0.99	2.26	0.824	0.815
		160	125	499	403	0.810			200	1.76	3.89	0.829	0.814
		200	117	466	426	0.811			175	3.20	6.25	0.813	0.817
		200	120	458	433	0.791	412.5	265	192.5	4.67	6.13	0.790	0.794
		400	40	191	763	152	0.993			265	0.38	0.97	1.011
1.00	400	80	183	730	175	1.012			245	0.81	1.80	1.024	1.028
		120	174	698	198	1.015			240	1.08	2.48	1.020	1.031
		160	166	665	222	1.013			225	1.62	3.64	1.017	1.022
		400	40	251	753	139	1.046			195	0.90	1.46	1.068
1.05	300	80	241	723	161	1.045			185	1.36	3.63	1.073	1.080
		120	231	692	183	1.048			175	2.29	4.88	1.078	1.078
		160	220	661	205	1.030			170	3.08	5.92	1.059	1.077
		400	40	212	846	61	1.105			300	0.47	0.95	1.120
1.10	400	80	203	813	84	1.096			265	0.94	1.79	1.096	1.090
		120	195	781	108	1.108			265	1.14	2.27	1.098	1.120
		160	187	748	131	1.100			260	1.68	2.98	1.111	1.099
		400	40	290	870	8	1.132			185	0.92	1.60	1.193
1.20	300	80	280	839	30	1.190			180	2.70	5.25	1.201	1.203
		120	269	808	52	1.188			172	2.87	6.78	1.209	1.206
		160	259	778	73	1.193			168	4.12	8.62	1.206	1.207

次頁に続く

前頁からの続き

試料名：有楽町層粘性土① 産地：東京都中央区

使用固化材：高炉セメントB種

目標密度 (g/cm^3)	調整土含水比 (%)	配 合				フレッシュ時			固 化 後				
		固化材量 (kg/m^3)	乾燥土質量 (kg/m^3)	水 (kg/m^3)	気泡量 (l/m^3)	密度 (g/cm^3)	フロー値(mm)			一軸圧縮強さ(kgf/cm^2)		湿潤密度(g/cm^3)	
							調整土	+固化材	気泡混合土	7 日	2 8 日	7 日	2 8 日
1.00	400	40	191	763	146	1.018			270	0.27	0.64	1.022	1.031
		60	187	747	157	1.006			260	0.70	1.56	1.022	1.013
		80	183	731	168	1.013			270	1.36	2.80	1.032	1.015
		120	174	698	190	1.012			245	1.70	5.04	1.030	1.036
		160	166	665	212	1.013			240	2.49	6.26	1.033	1.030
1.05	300	40	238	715	176	1.051			190	0.35	0.86	1.060	1.074
		60	233	699	186	1.034			185	1.09	2.06	1.049	1.055
		80	228	684	197	1.051			185	1.61	3.91	1.068	1.075
		120	218	653	217	1.036			180	2.63	6.45	1.052	1.058
		160	208	623	238	1.052			180	3.15	8.47	1.070	1.070

表 5 - 1 1 関東ローム①の配合試験結果一覧

試料名：関東ローム①

産地：神奈川県愛甲郡

土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	自然含水比 w_n (%)	粒 度 (%)				液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_P (%)	pH	焼熱減量 (%)
		全分	砂分	シルト分	粘土分				
2.78	125.8	0	4	56.4	39.6	161.2	99.5	6.6	20.0

使用固化材：普通ポルトランドセメント

目標密度 (g/cm³)	調整土含水比 (%)	配 合				フレッシュ時			固 化 後				
		固化材量 (kg/m³)	乾燥土質量 (kg/m³)	水 (kg/m³)	気泡量 (ℓ / m³)	密度 (g/cm³)	フロー値(mm)			一軸圧縮強さ(kg/ℓ/cm²)		湿潤密度(g/cm³)	
							調整土	+ 固化材	気泡混合土	7 日	2 8 日	7 日	2 8 日
1.05	300	100	236	707	176	1.066			205		0.03		1.085
		150	223	669	203	1.065			195	0.71	1.31	1.061	1.042
		200	210	631	231	1.067			185	2.40	3.58	1.051	1.045
		250	197	592	258	1.053			170	4.41	5.80	1.043	1.032
	400	100	189	755	145	1.056			270	0.08	0.19	1.033	1.048
		150	179	714	174	1.050			270	0.82	1.27	1.045	1.027
		200	168	674	203	1.057			260	1.81	2.92	1.034	1.047
		250	158	633	231	1.059			260	4.73	5.78	1.041	1.054

使用固化材：セメント系固化材

目標密度 (g/cm³)	調整土含水比 (%)	配 合				フレッシュ時			固 化 後				
		固化材量 (kg/m³)	乾燥土質量 (kg/m³)	水 (kg/m³)	気泡量 (ℓ/m³)	密度 (g/cm³)	フロー値(mm)			一軸圧縮強さ(kgf/cm²)		湿潤密度(g/cm³)	
							調整土	+ 固化材	気泡混合土	7 日	2 8 日	7 日	2 8 日
0.60	300	75	124	373	558	0.585	247.5		150	0.36	0.50	0.565	0.567
	380	150	88	333	587	0.615	247.5	182.5	162.5	2.44	2.36	0.608	0.611
	410	200	72	298	613	0.597	247.5	155	145	2.18	2.13	0.585	0.583
0.80	300	50	184	552	366	0.794			178	0.20	0.40	0.770	0.770
		75	176	530	383	0.806	247.5		177.5	0.25	0.29	0.800	0.804
		100	171	513	393	0.794			168	0.80	2.60	0.770	0.760
		150	158	475	420	0.810			161	0.90	3.10	0.800	0.780
		200	146	437	447	0.810			157	2.20	3.50	0.840	0.840
		300	120	360	500	0.810			154	2.40	4.10	0.810	0.810
	370	150	134	496	408	0.818	247.5	190	172.5	4.52	4.85	0.807	0.812
		200	123	455	436	0.806	247.5	187.5	155	5.83	4.81	0.795	0.792
		50	147	589	342	0.808			256	0.10	0.10	0.820	0.810
	400	100	137	548	270	0.813			245	1.20	2.00	0.820	0.780
		150	127	507	399	0.806			222	1.80	3.20	0.800	0.790
		200	117	466	427	0.800			198	4.70	5.40	0.780	0.760
		300	96	385	484	0.800			176	5.60	6.10	0.740	0.760
		50	249	746	149	1.055			203	0.40	0.80	1.060	1.040
		100	236	707	176	1.056			197	3.70	4.80	1.040	1.020
1.05	300	150	223	669	202	1.055			181	4.70	7.80	1.050	1.050
		200	210	631	229	1.060			162	10.60	14.40	1.080	1.070
		300	185	554	283	1.070			135	12.70	16.20	1.050	1.040
		50	199	796	116	1.059			330	0.10	0.20	1.010	1.020
		100	189	755	144	1.066			316	1.70	2.90	1.020	1.030
	400	150	179	714	173	1.060			283	3.30	4.70	1.010	0.990
		200	168	674	201	1.050			241	6.60	7.80	1.010	1.010
		300	148	592	258	1.070			214	11.20	13.80	0.990	1.000

表 5 - 1 2 大阪粘性土の配合試験結果一覧

試料名：大阪粘性土

産地：大阪市福島区

土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	自然含水比 w_n (%)	粒 度 (%)				液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_p (%)	pH	焼熱減量 (%)
		塵分	砂分	シルト分	粘土分				
2.667	42.4	0	6.1	62.0	31.9	60.0	33.5	8.4	5.3

使用固化材：普通ポルトランドセメント

目標密度 (g/cm ³)	調整土含水比 (%)	配 合				フレッシュ時				固 化 後			
		固化材量 (kg/m ³)	乾燥土質量 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	気泡量 (ℓ /m ³)	密度 (g/cm ³)	フロー値(mm)			一軸圧縮強さ(kgf/cm ²)		湿潤密度(g/cm ³)	
							調整土	+固化材	気泡混合土	7 日	2 8 日	7 日	2 8 日
0.60	130	100	204	264	627	0.592	240		150	0.06	0.17	0.685	0.621
	170	200	136	232	654	0.599	240	127.5	152.5	0.71	0.81	0.659	0.625
	300	300	66	200	681	0.601	240	150	152.5	1.75	2.28	0.631	0.618
0.80	130	100	296	385	472	0.809			153	0.76	1.35	0.777	0.781
		200	252	327	515	0.815			141	1.18	2.22	0.806	0.812
		300	208	270	557	0.811			142	1.24	1.45	0.864	0.837
	160	100	261	416	454	0.798	240	182.5	175	0.85	1.43	0.794	0.800
	190	200	199	377	485	0.785	240	215	170	4.16	5.30	0.785	0.795
	310	300	116	359	503	0.805	240	260	185	10.87	12.82	0.797	0.808
1.05	130	100	408	531	285	1.056			164	1.09	2.05	1.048	1.051
		200	364	473	327	1.068			147	3.12	6.08	1.071	1.073
		300	320	416	370	1.042			131	4.89	8.78	1.046	1.050
1.20	130	100	475	618	172	1.216			178	1.46	2.68	1.231	1.222
		200	431	560	215	1.222			154	3.92	6.96	1.241	1.241
		300	387	503	257	1.188			138	8.26	12.10	1.224	1.222

使用固化材：セメント系固化材

目標密度 (g/cm ³)	調整土含水比 (%)	配 合				フレッシュ時				固 化 後			
		固化材量 (kg/m ³)	乾燥土質量 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	気泡量 (ℓ /m ³)	密度 (g/cm ³)	フロー値(mm)			一軸圧縮強さ(kgf/cm ²)		湿潤密度(g/cm ³)	
							調整土	+固化材	気泡混合土	7 日	2 8 日	7 日	2 8 日
0.80	130	100	296	385	472	0.791			154	0.87	2.29	0.779	0.784
		200	252	328	513	0.814			145	2.30	6.08	0.808	0.811
1.05	130	100	408	531	284	1.043			196	3.58	4.60	1.000	1.032
		200	364	473	326	1.053			151	1.67	10.00	1.260	1.063
1.20	130	100	475	618	172	1.206			184	3.11	7.53	1.218	1.223
		200	431	560	213	1.221			167	4.89	13.60	1.238	1.240

表 5 - 1 3 名古屋粘性土の配合試験結果一覧

試料名：名古屋粘性土

産地：名古屋市港区

土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	自然含水比 w_n (%)	粒 度 (%)				液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_P (%)	pH	強熱減量 (%)
		細分	砂分	シルト分	粘土分				
2.657	73.5	0	32.6	24.4	43.0	47.9	30.1	5.9	5.5

使用固化材：普通ポルトランドセメント

目標密度 (g/cm ³)	調整土含水比 (%)	配 合				フレッシュ時			固 化 後				
		固化材量 (kg/m ³)	乾燥土質量 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	気泡量 (l / m ³)	密度 (g/cm ³)	フロー値(mm)		一軸圧縮強さ(kgf/cm ²)		湿潤密度(g/cm ³)		
							調整土	+ 固化材	気泡混合土	7 日	2 8 日	7 日	2 8 日
0.60	200	75	190	305	600	0.592		192.5	157.5	0.31	0.45	0.597	0.590
	220	150	161	257	635	0.593		195	147.5	1.28	2.05	0.594	0.606
	240	200	141	226	658	0.581		187.5	150	2.78	3.70	0.585	0.582
0.80	160	100	262	420	450	0.808			176	0.68	1.35	0.776	0.781
		200	223	357	496	0.795			160	1.80	3.81	0.809	0.789
		300	184	294	541	0.781			156	3.35	5.26	0.772	0.788
	200	75	270	433	442	0.788		192.5	172.5	0.53	0.76	0.817	0.819
	220	150	241	385	477	0.800		227.5	180	2.09	2.98	0.817	0.821
	240	200	221	354	500	0.800		220	175	3.49	5.76	0.816	0.815
1.05	160	100	361	578	254	1.056			190	0.86	1.70	1.027	1.031
		200	322	516	300	1.068			187	3.66	6.12	1.065	1.066
		300	283	453	345	1.036			159	9.47	16.80	1.075	1.073
1.20	160	100	421	674	136	1.214			206	1.00	1.98	1.168	1.175
		200	382	611	182	1.200			183	3.85	7.38	1.182	1.186
		300	343	548	228	1.207			172	13.80	19.80	1.199	1.195

使用固化材：高炉セメントB種

目標密度 (g/cm³)	調整土含水比 (%)	配 合				フレッシュ時			固 化 後			
		固化材量 (kg/m³)	乾燥土質量 (kg/m³)	水 (kg/m³)	気泡量 (ℓ / m³)	密度 (g/cm³)	フロー値(mm)		一軸圧縮強さ(kgf/cm²)		湿潤密度(g/cm³)	
							調整土	+ 固化材	気泡混合土	7 日	2 8 日	7 日
1.05	160	200	322	516	297	1.055		178	2.30	7.40	1.054	1.052

使用固化材：セメント系固化材

目標密度 (g/cm³)	調整土含水比 (%)	配 合				フレッシュ時			固 化 後			
		固化材量 (kg/m³)	乾燥土質量 (kg/m³)	水 (kg/m³)	気泡量 (ℓ / m³)	密度 (g/cm³)	フロー値(mm)		一軸圧縮強さ(kgf/cm²)		湿潤密度(g/cm³)	
							調整土	+ 固化材	気泡混合土	7 日	2 8 日	7 日
1.05	160	200	322	516	298	1.065		164	4.65	9.57	1.058	1.061

表 5 - 1 4 神戸マサ土の配合試験結果一覧

試料名：神戸マサ土

産地：兵庫県神戸市

土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	自然含水比 w_n (%)	粒 度 (%)				液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_p (%)	pH	強熱減量 (%)
		總分	砂分	シルト分	粘土分				
2.673	10.1	0	75.2	10.7	14.1	31.7	NP	7.4	4.8

使用固化材：普通ポルトランドセメント

目標密度 (g/cm ³)	調整土含水比 (%)	配 合				フレッシュ時			固 化 後				
		固化材量 (kg/m ³)	乾燥土質量 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	気泡量 (ℓ / m ³)	密度 (g/cm ³)	フロー値(mm)			一軸圧縮強さ(kgℓ/cm ²)		湿潤密度(g/cm ³)	
							調整土	+固化材	気泡混合土	7 日	2 8 日	7 日	2 8 日
0.80	45	50	501	226	571	0.823			186	0.05	0.10	0.969	0.843
		100	467	210	584	0.811			182	0.08	0.16	0.775	0.771
		150	432	194	597	0.805			168	0.15	0.33	0.802	0.827
1.05	45	50	678	305	425	1.054			196	0.13	0.31	1.136	1.082
		100	643	289	438	1.059			179	0.34	0.75	1.056	1.045
		150	608	274	451	1.048			169	0.75	1.47	1.089	1.057
1.20	45	50	784	353	338	1.198			181	0.24	0.61	1.159	1.214
		100	749	337	351	1.185			179	0.81	1.78	1.192	1.166
		150	714	321	364	1.188			172	1.58	2.88	1.176	1.174

使用固化材：セメント系固化材

目標密度 (g/cm³)	調整土含水比 (%)	配 合				フレッシュ時				固 化 後			
		固化材量 (kg/m³)	乾燥土質量 (kg/m³)	水 (kg/m³)	気泡量 (ℓ/m³)	密度 (g/cm³)	フロー値(mm)			一軸圧縮強さ(kgf/cm²)		湿潤密度(g/cm³)	
							調整土	+固化材	気泡混合土	7 日	2 8 日	7 日	2 8 日
0.60	45	100	320	145	707	0.593	315		161.5	0.03	0.04	0.506	0.320
		200	251	112	731	0.594	315		155	0.00	0.00	0.000	0.000
		300	106	159	704	0.596	315	112.5	150	0.03	0.42	0.630	0.582
0.80	45	100	462	209	592	0.806			159	0.01	0.10	0.291	0.863
		200	336	235	577	0.805		105	160	0.24	0.83	0.832	0.825
		300	235	236	581	0.785		132.5	170	0.55	0.96	0.801	0.789
1.05	45	100	640	288	448	1.057	297.5		165	0.34	0.67	1.062	1.059
		200	570	257	471	1.062	297.5		152.5	0.69	1.27	1.076	1.073
		300	405	323	431	1.064	297.5	142.5	165	2.20	5.64	1.081	1.066
1.20	45	100	746	336	361	1.188	290		175	0.73	1.39	1.196	1.192
		200	579	405	320	1.208	290	185	170	3.24	5.65	1.205	1.200
		300	491	393	331	1.207	290	170	160	5.51	12.15	1.194	1.195

表 5 - 1 5 鹿 児 島 シ ラ ス の 配 合 試 験 結 果 一 覧

試料名：鹿児島シラス

産地：鹿児島県垂水市

土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	自然含水比 w_n (%)	粒 度 (%)				液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_P (%)	pH	強熱減量 (%)
		礫分	砂分	シルト分	粘土分				
2.432	9.9	0	72.4	22.1	5.5	31.1	24.7	6.3	2.1

使用固化材：普通ポルトランドセメント

目標密度 (g/cm ³)	調整土含水比 (%)	配 合				フレッシュ時			固 化 後			
		固化材量 (kg/m ³)	乾燥土質量 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	気泡量 (ℓ/m ³)	密度 (g/cm ³)	フロー値(mm)		一軸圧縮強さ(kgf/cm ²)	湿潤密度(g/cm ³)		
							調整土	+ 固化材		7 日	2 8 日	
0.80	60	100	424	254	540	0.784		188	0.76	1.30	0.781	0.787
		200	361	216	572	0.782		153	0.91	1.43	0.783	0.782
		300	297	178	604	0.790		141	1.04	2.27	0.774	0.789
1.05	60	100	584	351	378	1.030		205	1.09	2.30	1.060	1.048
		200	521	313	410	1.030		175	5.33	9.97	1.037	1.053
		300	458	275	442	1.035		137	6.50	11.10	1.037	1.035
1.20	60	100	680	408	280	1.187		223	1.16	2.64	1.182	1.185
		200	617	370	313	1.199		187	8.29	15.43	1.078	1.184
		300	554	332	345	1.195		143	17.10	22.80	1.192	1.187

使用固化材：高炉セメントB種

目標密度 (g/cm ³)	調整土含水比 (%)	配 合				フレッシュ時			固 化 後			
		固化材量 (kg/m ³)	乾燥土質量 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	気泡量 (ℓ/m ³)	密度 (g/cm ³)	フロー値(mm)		一軸圧縮強さ(kgf/cm ²)	湿潤密度(g/cm ³)		
							調整土	+ 固化材		7 日	2 8 日	
1.05	60	200	521	313	407	1.056		171	4.35	10.20	1.050	1.044

使用固化材：セメント系固化材

目標密度 (g/cm ³)	調整土含水比 (%)	配 合				フレッシュ時			固 化 後			
		固化材量 (kg/m ³)	乾燥土質量 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	気泡量 (ℓ/m ³)	密度 (g/cm ³)	フロー値(mm)		一軸圧縮強さ(kgf/cm ²)	湿潤密度(g/cm ³)		
							調整土	+ 固化材		7 日	2 8 日	
0.60	60	75	307	185	665	0.602		237.5	0.41	0.67	0.635	0.607
	70	150	245	171	680	0.603		225	0.70	1.64	0.648	0.600
	80	200	203	163	689	0.610		190	0.74	1.35	0.671	0.642
0.80	60	75	436	262	534	0.794		242.5	0.71	1.09	0.819	0.796
	70	150	366	256	544	0.789		270	2.71	3.96	0.785	0.771
	80	200	318	254	550	0.812		265	3.17	7.59	0.813	0.802
1.05	60	200	521	313	408	1.064		165	4.48	12.50	1.042	1.056

表 5 - 1 6 霞ヶ浦浚渫土の配合試験結果一覧

試料名：霞ヶ浦浚渫土

産地：茨城県土浦市

土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	自然含水比 w_n (%)	粒 度 (%)				液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_p (%)	pH	値熱減量 (%)
		礫分	砂分	シルト分	粘土分				
2.708	104.2	0	24.7	36.9	38.4	99.6	35.8	5.8	13.1

使用固化材：セメント系固化材

目標密度 (g/cm ³)	調整土含水比 (%)	配 合				フレッシュ時			固 化 後				
		固化材量 (kg/m ³)	乾燥土質量 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	気泡量 (ℓ / m ³)	密度 (g/cm ³)	フロー値(mm)		一軸圧縮強さ(kgf/cm ²)		湿潤密度(g/cm ³)		
							調整土	+ 固化材	気泡混合土	7 日	2 8 日	7 日	2 8 日
0.60	280	75	131	366	560	0.580	123.5		142.5	0.10	0.24	0.697	0.727
		150	111	309	599	0.592	123.5		150	0.24	0.57	0.701	0.728
		200	97	272	626	0.619	123.5		150	0.69	0.96	0.788	0.788
0.80	400	75	141	567	356	0.815	123.5	140	152.5	0.39	0.64	0.842	0.845
	420	150	121	509	396	0.788	123.5	137.5	147.5	1.24	2.12	0.839	0.827
	440	200	107	472	422	0.785	123.5	147.5	155	2.27	3.40	0.834	0.843

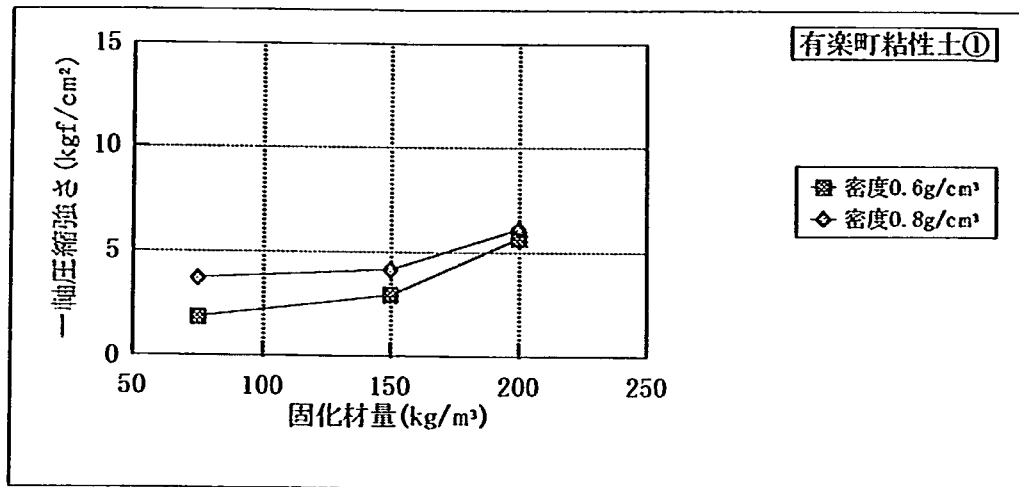


図 5 - 1 4 固化材量と一軸圧縮強さの関係，有楽町層粘性土①

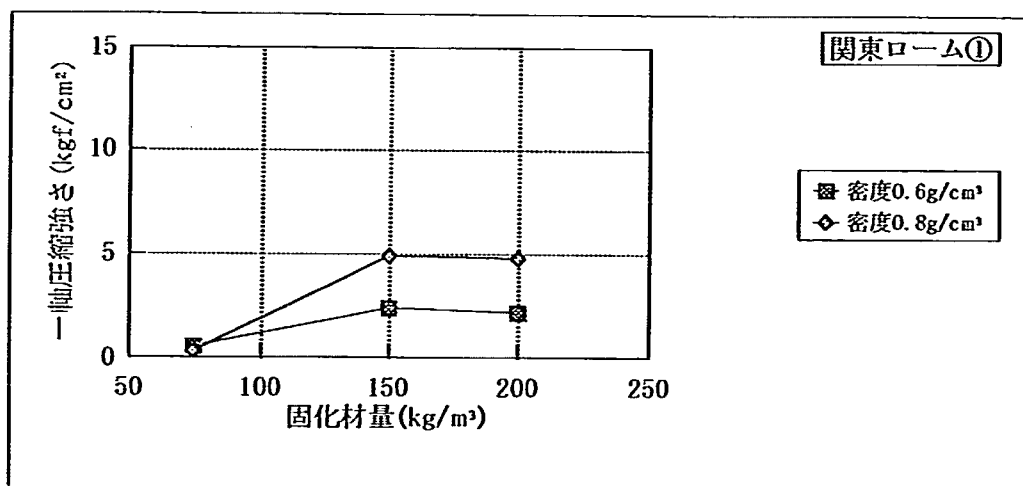


図 5 - 1 5 固化材量と一軸圧縮強さの関係，関東ローム①

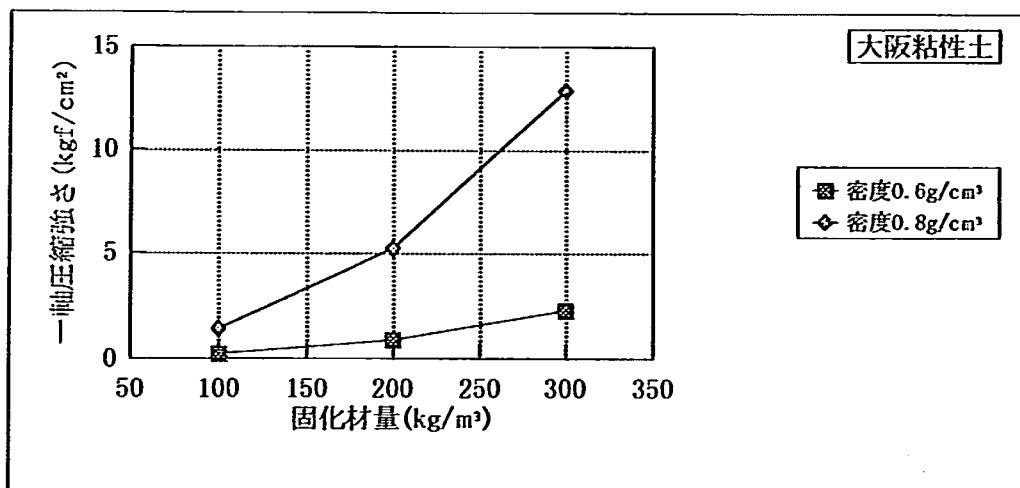


図 5 - 1 6 固化材量と一軸圧縮強さの関係，大阪粘性土

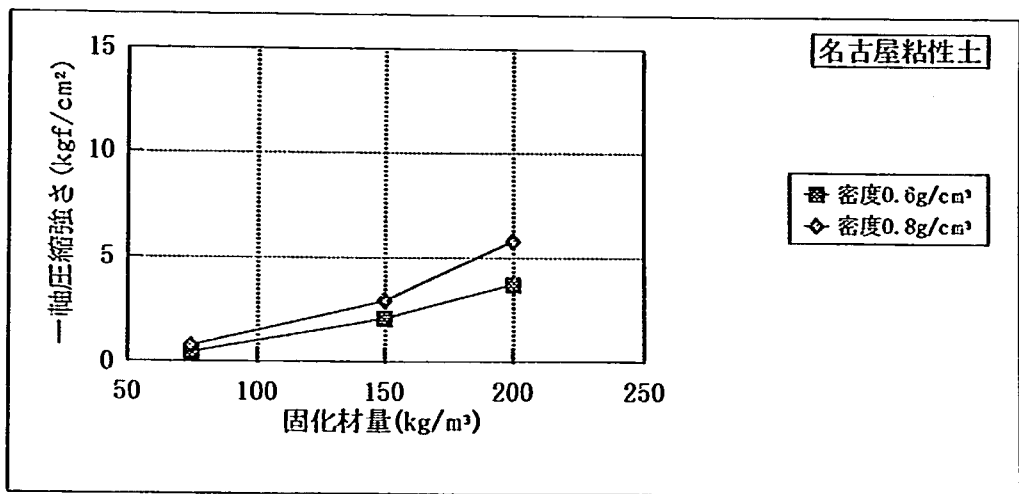


図 5 - 1 7 固化材量と一軸圧縮強さの関係, 名古屋粘性土

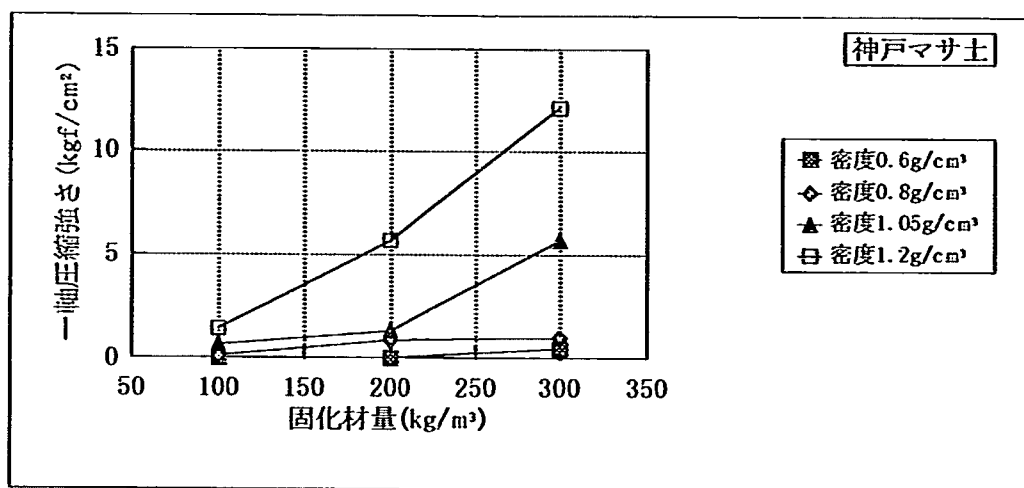


図 5 - 1 8 固化材量と一軸圧縮強さの関係, 神戸マサ土

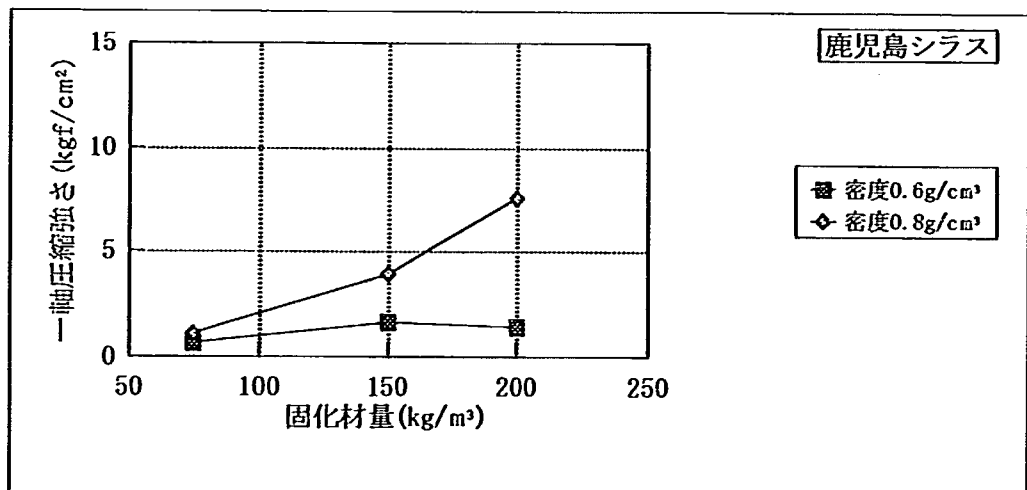


図 5 - 1 9 固化材量と一軸圧縮強さの関係, 鹿児島シラス

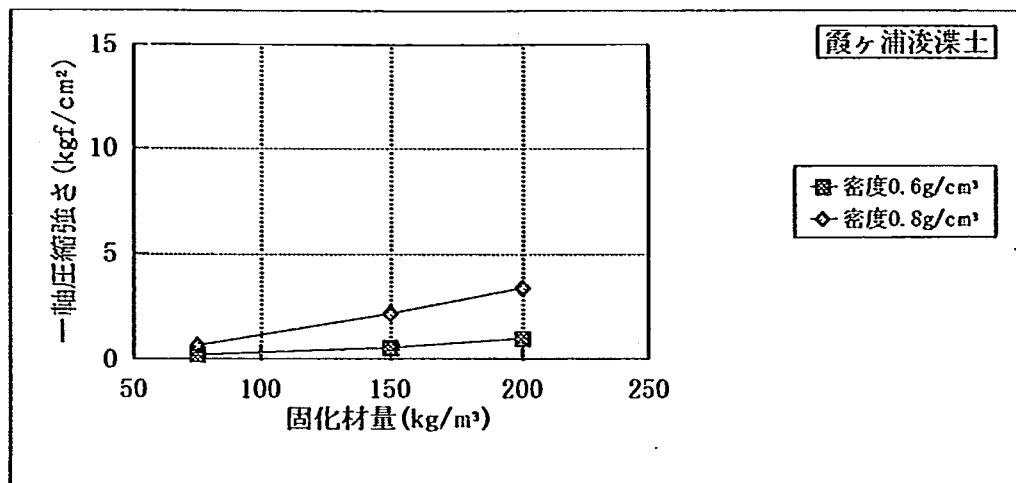


図 5 - 2 0 固化材量と一軸圧縮強さの関係，霞ヶ浦浚渫土

表 5 - 1 7 フライアッシュの配合試験結果一覧

試料名：フライアッシュ

土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	自然含水比 w_n (%)	粒 度 (%)				液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_p (%)	pH	強熱減量 (%)
		塵分	砂分	シルト分	粘土分				
2.124	0.1	0	10	84	6	NP	NP	12.1	3.2

使用固化材：普通ポルトランドセメント

目標密度 (g/cm ³)	調整土含水比 (%)	配 合				フレッシュ時			固 化 後				
		固化材量 (kg/cm ³)	乾泥土質量 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	気泡量 (ℓ / m ³)	密度 (g/cm ³)	フロー値(mm)		一軸圧縮強さ(kgℓ/cm ²)		湿潤密度(g/cm ³)		
							調整土	+ 固化材	気泡混合土	7 日	2 8 日	7 日	2 8 日
0.80	95	100	348	328	476	0.803			171		1.733		0.846
		200	294	279	518	0.806			137	4.044	6.770	0.833	0.834
		300	242	229	561	0.781			133		2.925		0.761

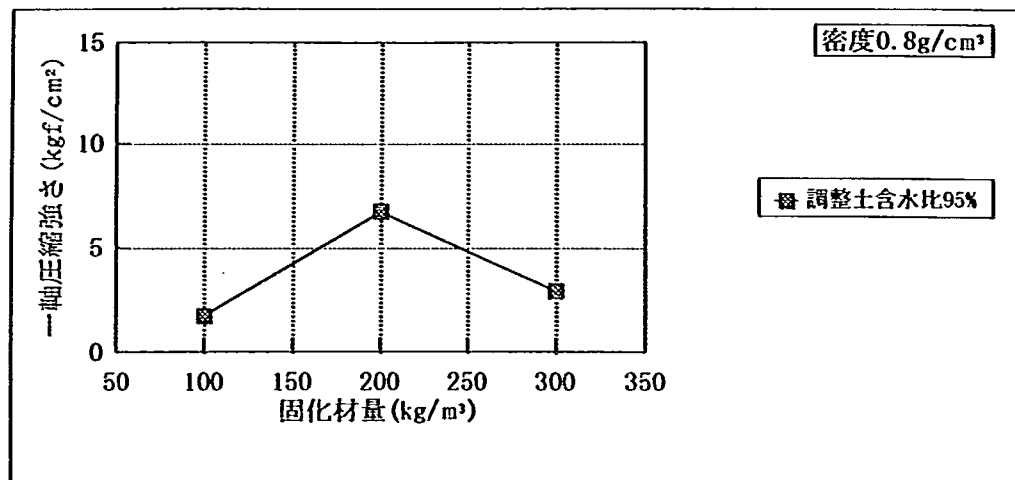


図5-21 固化材量と一軸圧縮強さの関係，フライアッシュ

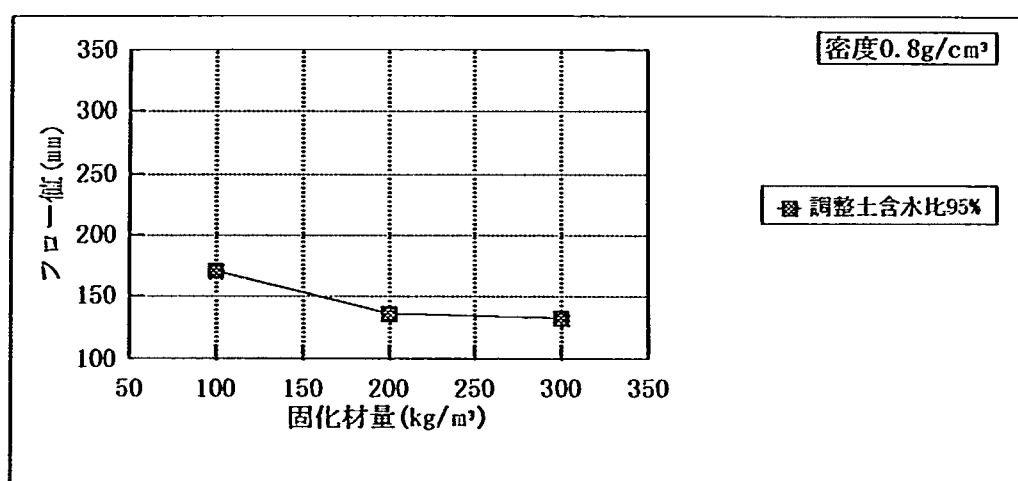


図5-22 固化材量とフロー値の関係，フライアッシュ

表 5 - 1 8 フライアッシュを混合した粘性土の配合試験結果一覧

試料名：フライアッシュ混合粘性土

有楽町腐粘性土②にフライアッシュを乾燥質量比で 3 : 1 に混合

土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	自然含水比 w_n (%)	粒 度 (%)				液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_P (%)	pH	微熱減量 (%)
		礫分	砂分	シルト分	粘土分				

使用固化材：普通ポルトランドセメント

目標密度 (g/cm ³)	調整土含水比 (%)	配 合				フレッシュ時			固 化 後				
		固化材量 (kg/m ³)	乾燥土質量 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	気泡量 (ℓ /m ³)	密度 (g/cm ³)	フロー値(mm)		一軸圧縮強さ(kgf/cm ²)		湿潤密度(g/cm ³)		
							調整土	+ 固化材	気泡混合土	7 日	2 8 日	7 日	2 8 日
0.60	130	150	136	236	644	0.593			160		2.769		0.571
		200	120	207	666	0.596			163	0.706	1.422	0.539	0.583
		250	103	178	688	0.563			142		0.403		0.500
	160	150	161	258	631	0.588			192		2.826		0.584
		200	141	226	655	0.599			163	2.198	3.988	0.582	0.598
		250	122	159	678	0.592			152		1.709		0.574
0.80	130	150	204	364	491	0.797			219		4.148		0.789
		200	187	325	513	0.798			187	3.543	6.494	0.784	0.782
		250	171	296	535	0.804			160		11.60		0.781
	160	150	241	386	471	0.781			265		5.661		0.771
		200	221	354	495	0.787			229	2.859	6.179	0.758	0.747
		250	202	323	518	0.787			191		10.87		0.753
1.05	130	150	289	500	299	1.056			309		4.990		1.047
		200	272	471	321	1.025			255	4.753	8.061	1.021	1.011
		250	255	443	343	1.037			234		13.58		1.025
	160	150	341	546	271	1.050			338		3.296		1.015
		200	321	514	295	1.063			339	3.906	6.319	1.061	1.048
		250	302	483	318	1.067			318		11.66		1.050

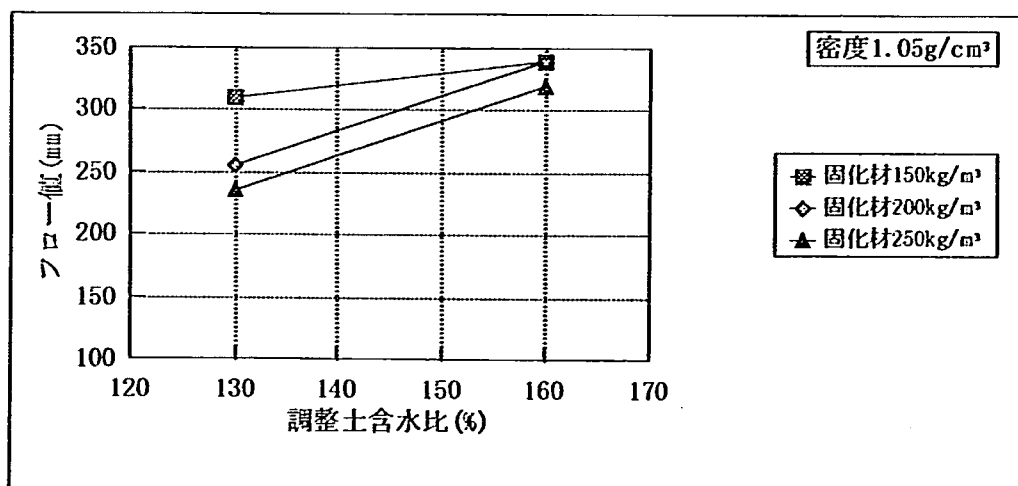
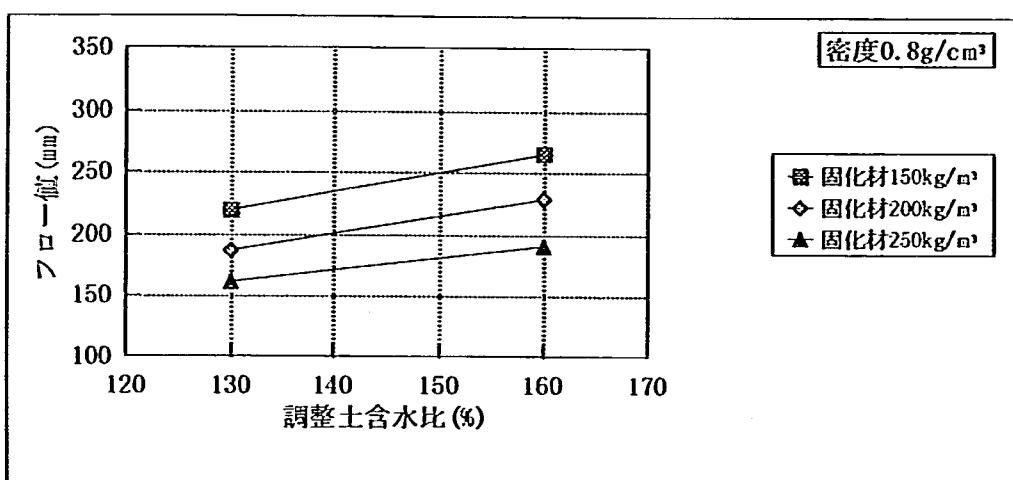
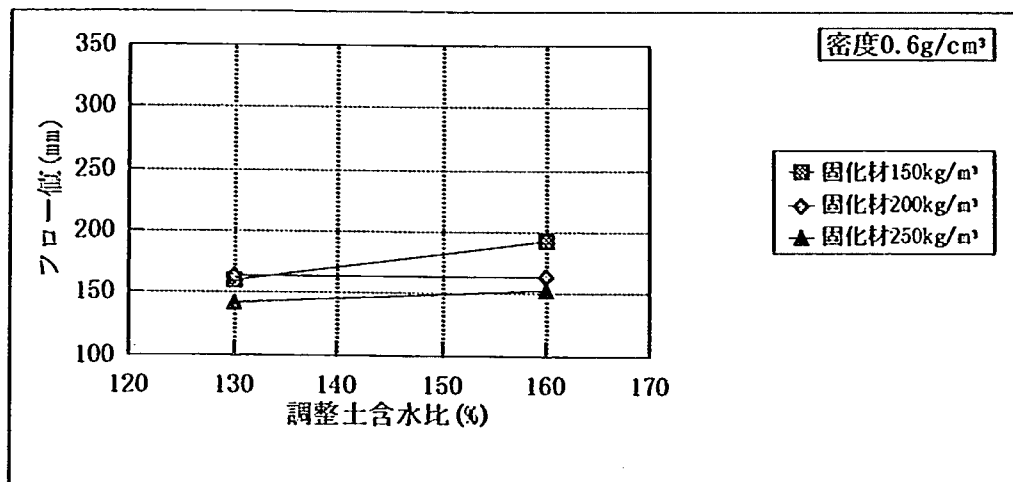


図5-23 調整土含水比とフロー値の関係,
フライアッシュを混合した粘性土

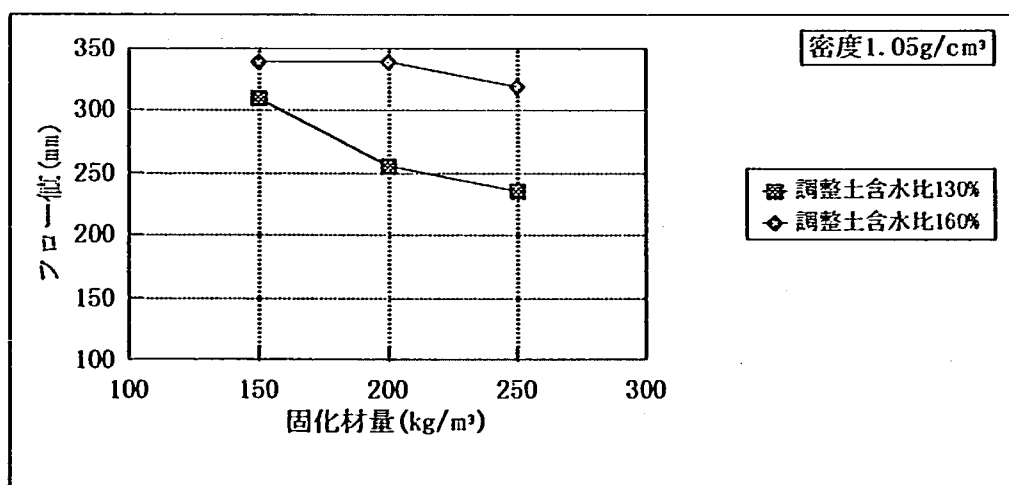
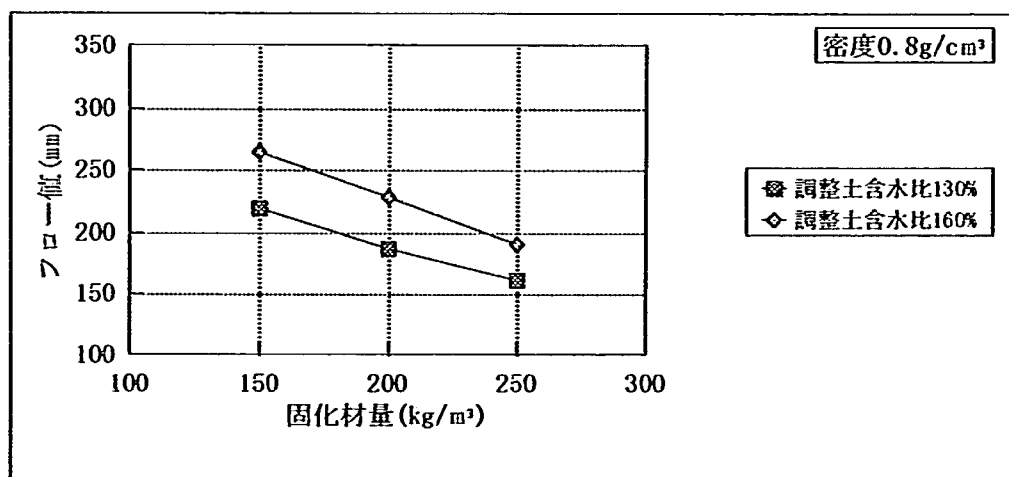
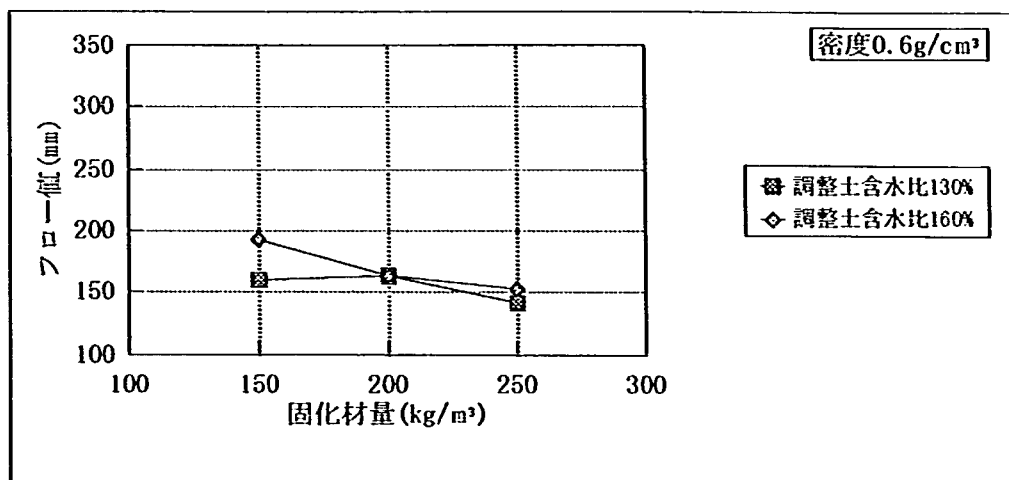


図5-24 固化材量とフロー値の関係,
フライアッシュを混合した粘性土

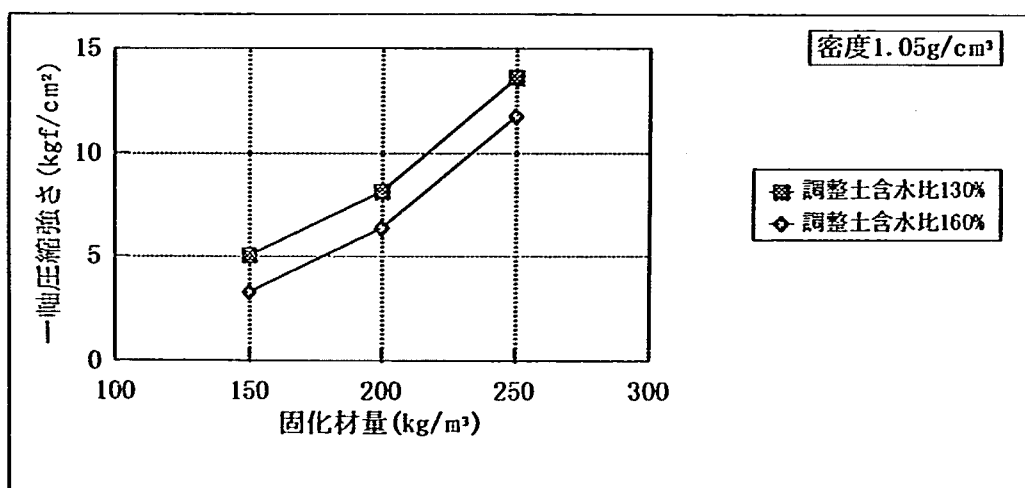
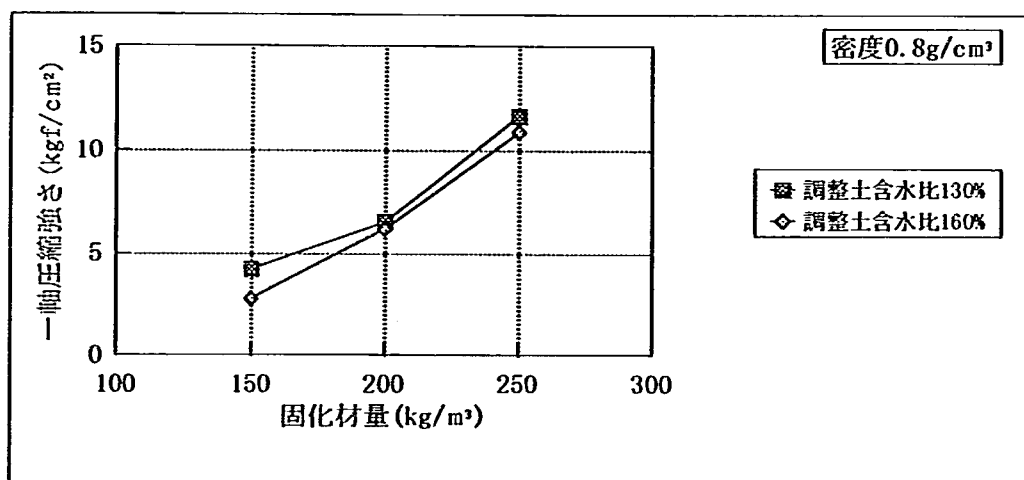
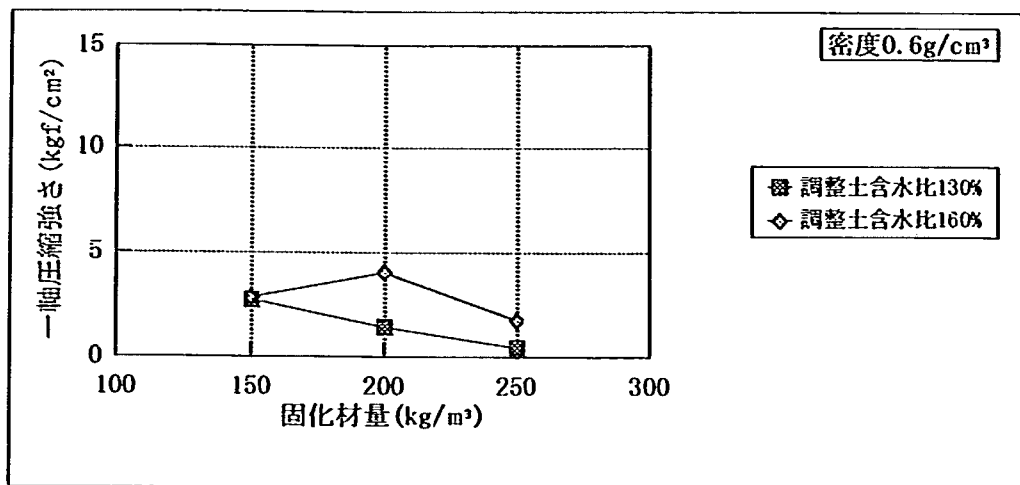


図5-25 固化材量と一軸圧縮強さの関係，
フライアッシュを混合した粘性土

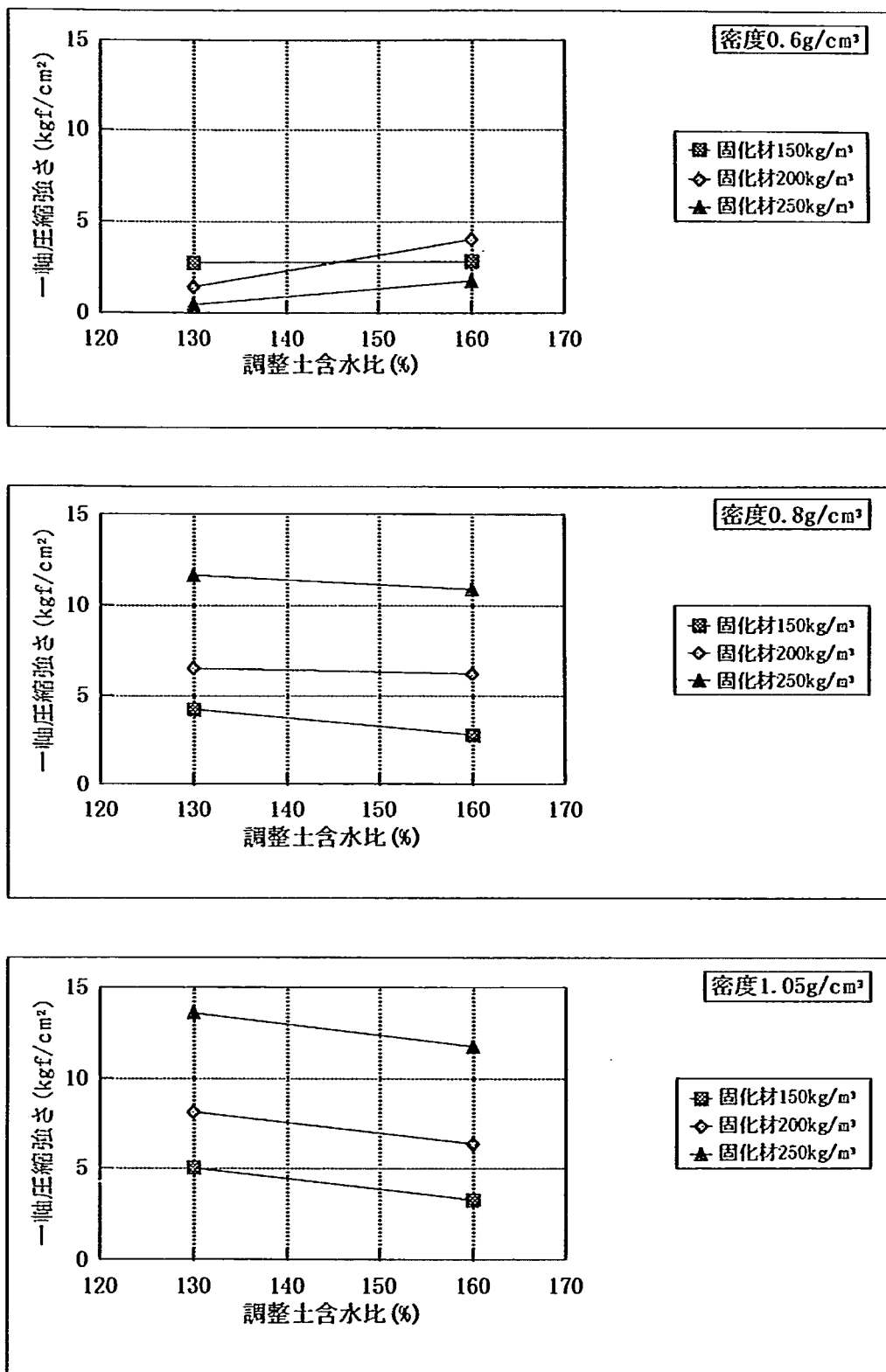


図5-26 調整土含水比と一軸圧縮強さの関係,
フライアッシュを混合した粘性土

表 5 - 1 9 フライアッシュを混合した砂質土の配合試験結果一覧

試料名：フライアッシュ混合砂質土

成田腐山砂にフライアッシュを乾燥質量比で 3 : 1 に混合

土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	自然含水比 w_n (%)	粒 度 (%)				液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_P (%)	pH	焼熱減量 (%)
		礫分	砂分	シルト分	粘土分				

使用固化材：普通ポルトランドセメント

目標密度 (g/cm ³)	調整土含水比 (%)	配 合				フレッシュ時			固 化 後			
		固化材量 (kg/m ³)	乾燥土質量 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	気泡量 (ℓ/m ³)	密度 (g/cm ³)	フロー値(mm)		一軸圧縮強さ(kgf/cm ²)	湿潤密度(g/cm ³)		
							調整土	+ 固化材		7 日	2 8 日	
0.60	95	100	240	228	645	0.590		211		0.591	0.744	0.616
		200	188	178	683	0.619		165		0.856	0.686	0.556
		300	135	129	722	0.506		119		測定不能	測定不能	測定不能
	105	100	228	240	637	0.595		206		0.643	0.658	0.658
		200	179	188	678	0.604		173	0.823	1.363	0.730	0.648
		300	129	135	718	0.576		138		0.223	0.550	0.550
0.80	95	100	346	329	501	0.808		354		0.430	0.808	0.808
		200	294	279	540	0.813		197	4.802	8.407	0.811	0.830
		300	242	230	579	0.788		165		2.013	0.766	0.766
	105	100	330	346	491	0.789		278		0.783	0.732	0.732
		200	280	294	531	0.806		218	5.113	8.089	0.800	0.811
		300	230	242	572	0.786		158		6.216	0.772	0.772
1.05	95	100	479	455	322	1.060		381		0.469	1.127	1.127
		200	427	405	361	1.046		300	4.954	7.054	1.005	1.005
		300	374	356	400	1.046		209		19.14	1.044	1.044
	105	100	456	479	307	1.059		389		0.551	0.907	0.907
		200	406	427	348	1.061		351	2.890	5.213	1.015	1.035
		300	356	374	388	1.032		233		17.09	0.978	0.978

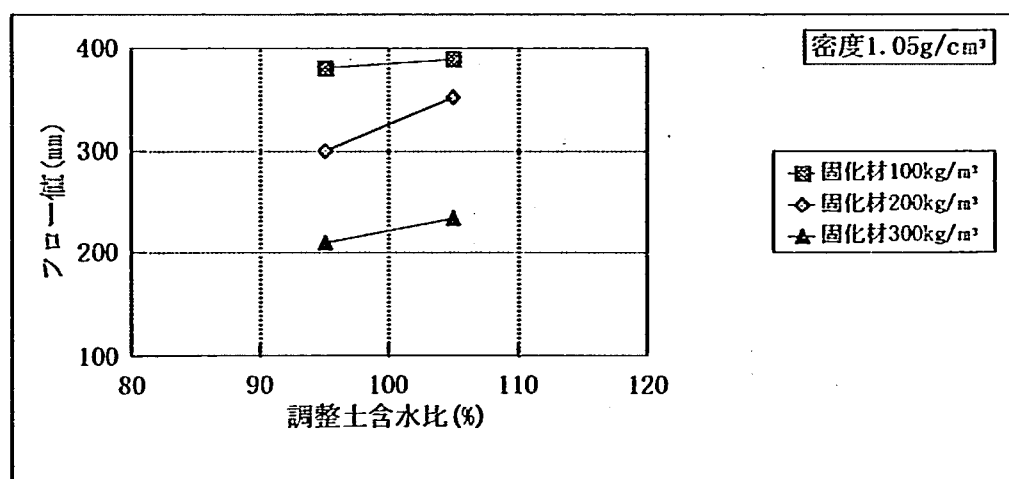
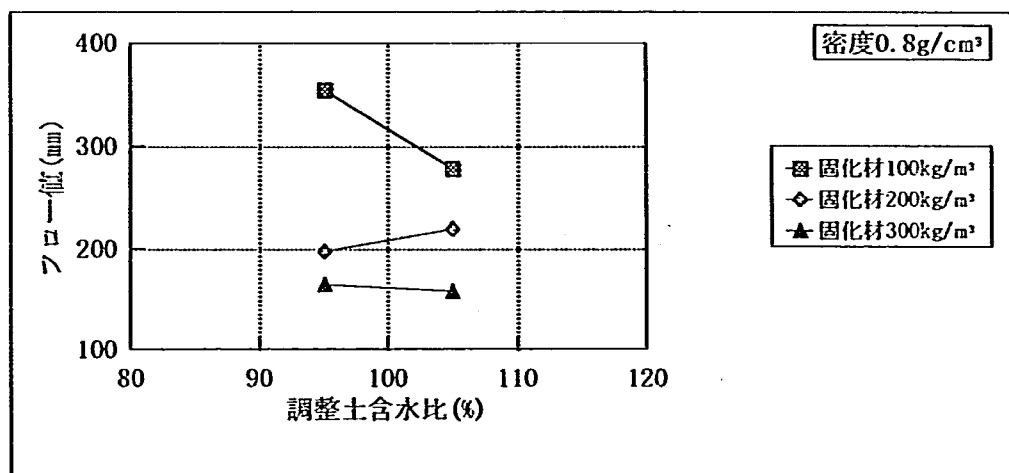
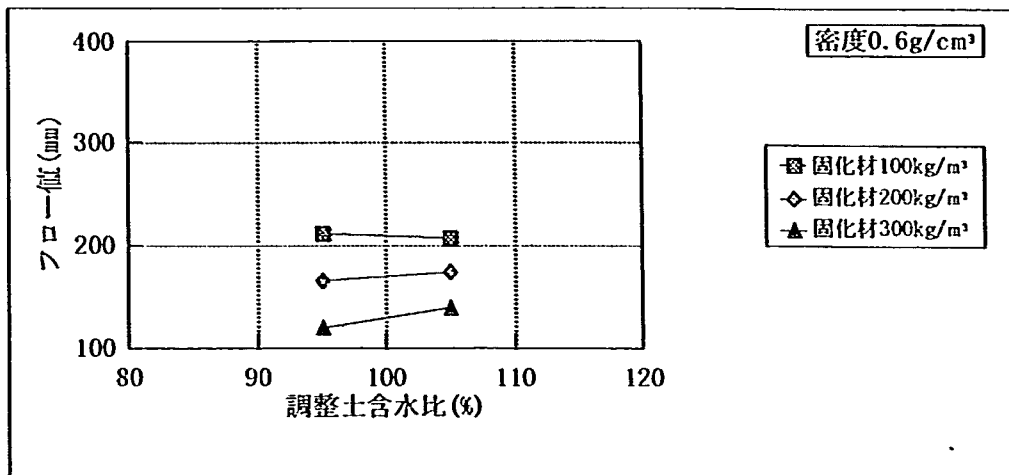


図5-27 調整土含水比とフロー値の関係,
フライアッシュを混合した砂質土

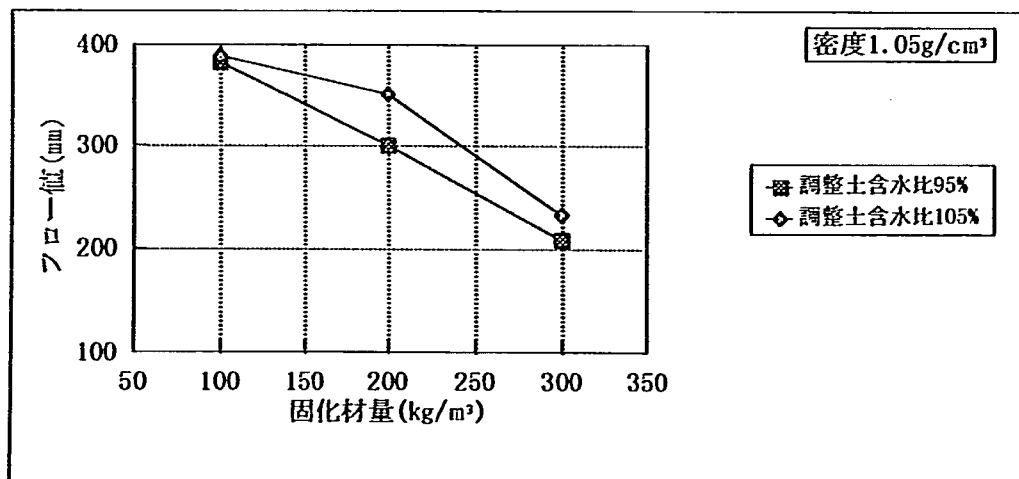
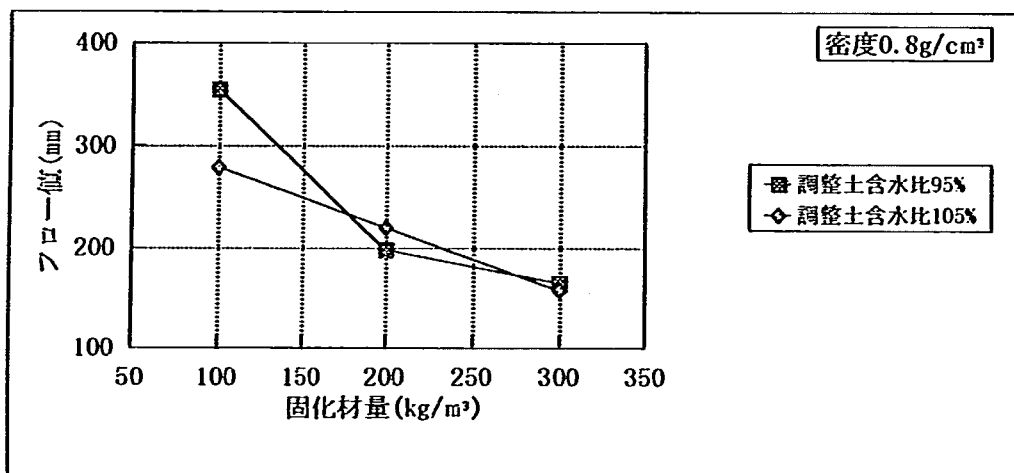
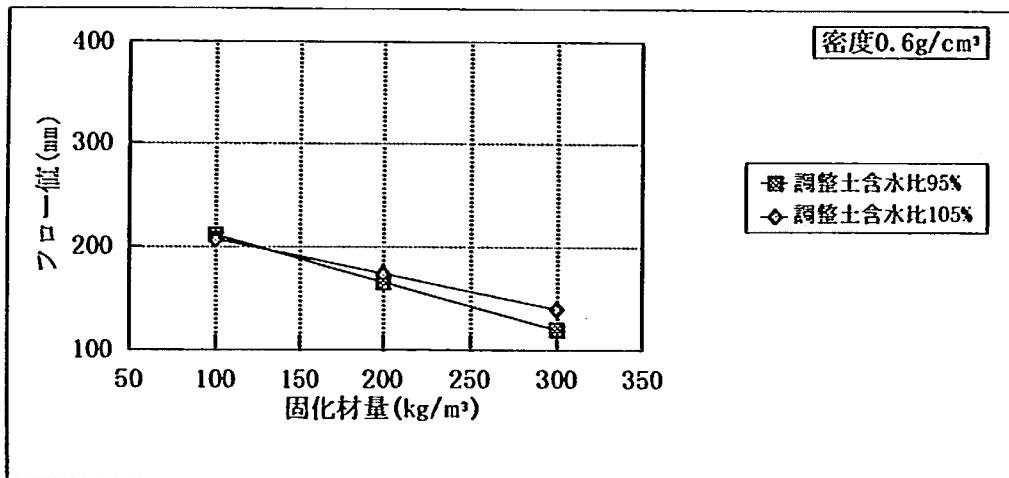


図5-28 固化材量とフロー値の関係,
フライアッシュを混合した砂質土

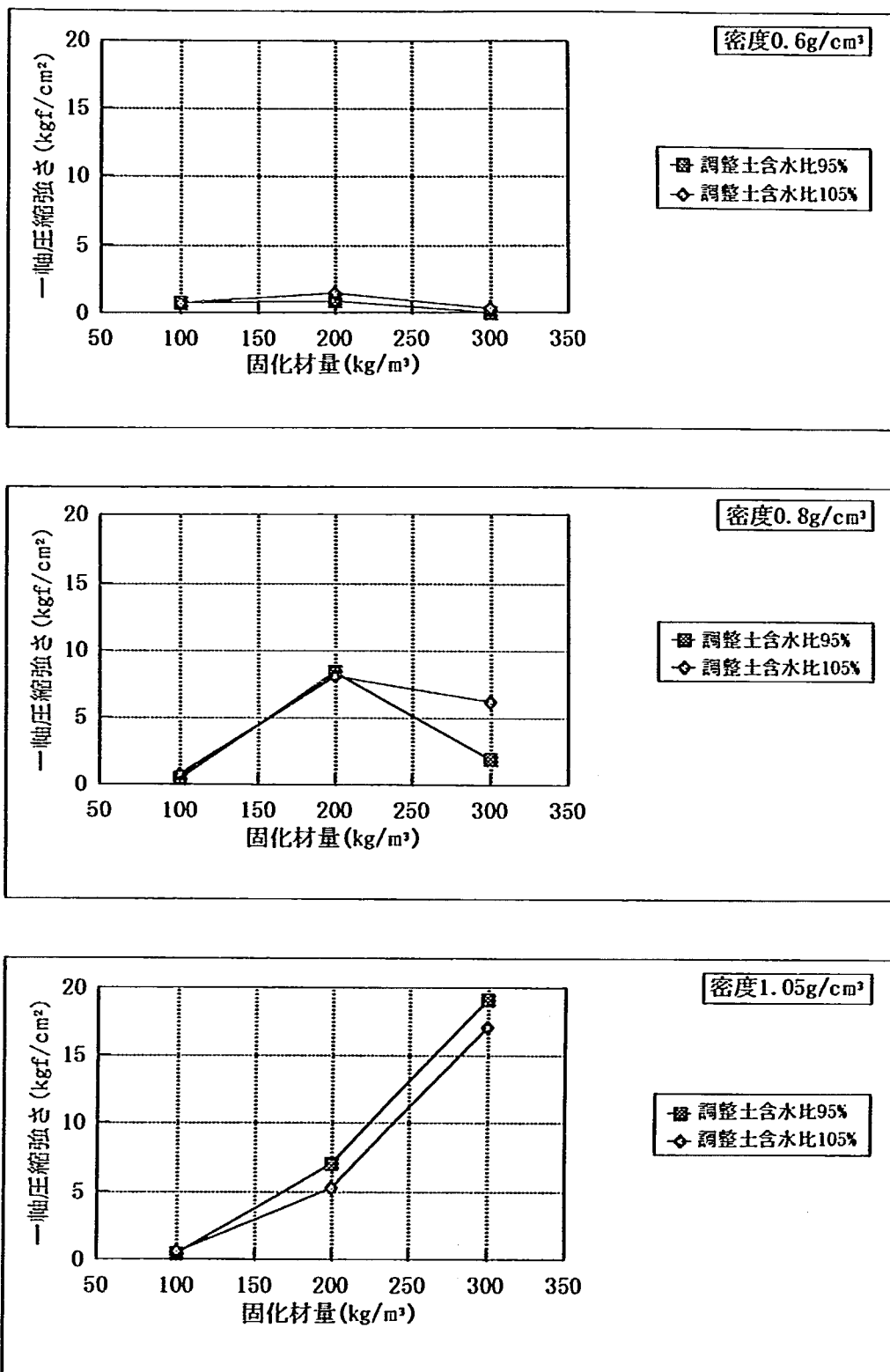


図 5 - 2 9 固化材量と一軸圧縮強さの関係，
フライアッシュを混合した砂質土

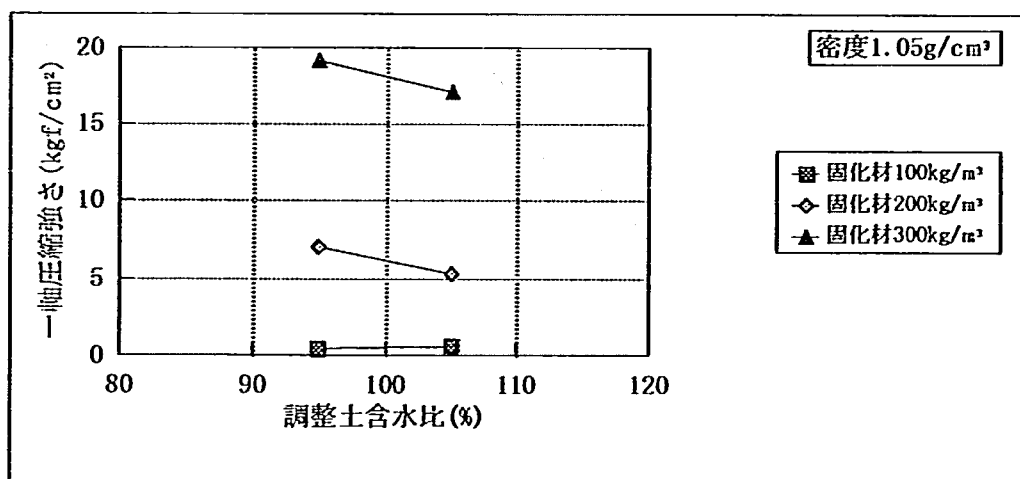
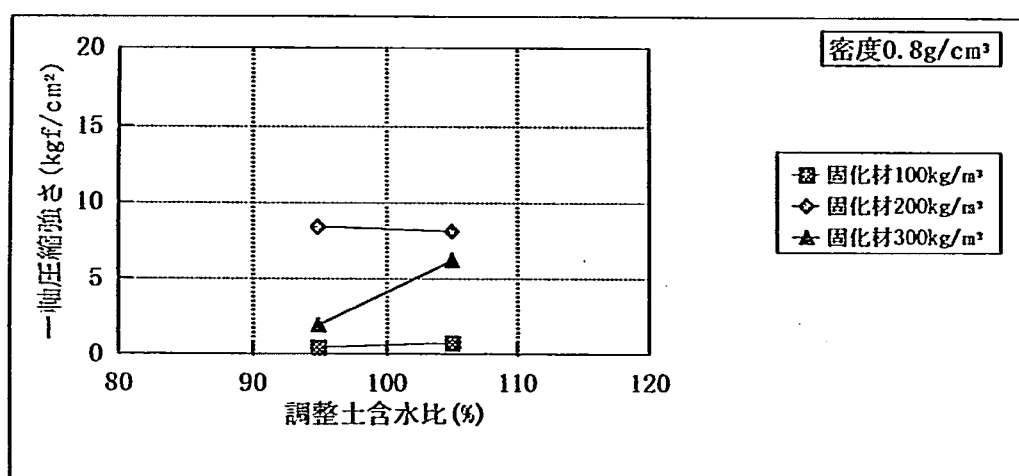
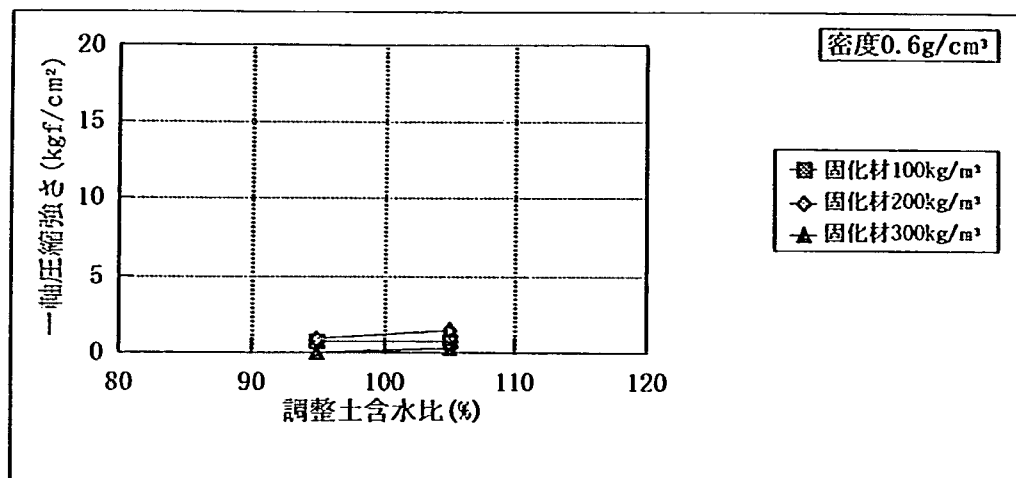


図5-30 調整土含水比と一軸圧縮強さの関係、
フライアッシュを混合した砂質土

5-3-3 配合試験結果の考察

① 気泡混合土の物性設定時の注意事項

気泡混合土は気泡量が多くなると圧縮強さが大きく低下するため、密度が $0.6\text{g}/\text{cm}^3$ のような低密度の配合は土質によっては作製が困難である。特に、有機質を多く含み固化材による強度発現が良くない浚渫土や、調整土含水比が小さく気泡混合量が大きい砂質土のような土質はそのままでは密度 $0.8\text{g}/\text{cm}^3$ 程度が限界であり、更に軽量化するためにはスラグ粉末や粘土などの材料を併用する必要があると考えられる。

② 調整土含水比の設定方法について

様々な土の調整土含水比とフロー値の関係を図5-31に示し、調整土含水比／液性限界(w/w_L)とフロー値の関係を図5-32に示す。

所要のフロー値となる調整土含水比は、土質によって50%~400%と異なるが、調整土含水比によるフロー値の変化は、土質によってそれほど違いは無い。また、調整土含水比／液性限界(w/w_L)で表すと、違った試料でも同じ種類(有楽町層粘性土、関東ローム)に属する試料は同じような値の所に集まっている。

このようなことから、液性限界が求められている土については図5-32(調整土含水比／液性限界)を参考にして調整土含水比を求め、砂質土のように液性限界が求まらない土については図5-31(調整土含水比)を参考にして調整土含水比を求めれば良いと考えられる。

③ 固化材の設定方法について

気泡混合土の圧縮強さは目標密度や土質によって大きく異なるため、固化材の使用量や種類を一概に示すことは出来ない。従って、土質ごとに既往のデータを参考にすることが望ましい。また、経済性からみて $300\text{kg}/\text{m}^3$ 以下となるように固化材の種類や量を選定するようにする。

④ 配合試験方法について

これまでの試験結果から、フロー値に大きく影響する要因は調整土含水比であり、固化材量の影響は $10\text{kg}/\text{m}^3$ につき $2.5\sim 5.0\text{mm}$ であることが示された。また、一軸圧縮強さに大きく影響する要因は固化材量であり、調整土含水比による影響は10%の変化で $0\sim 1\text{kgf}/\text{cm}^2$ 程度であることが示された。

配合設計における配合試験では、先ず所要のフロー値が得られる調整土含水比を求める試験を実施し、次いで所要の強度が得られる固化材量を求める試験を実施することになっている。この場合、調整土含水比を求める試験は固化材を $100\sim 200\text{kg}/\text{m}^3$ 程度混合して行うが、今回の試験結果で示されたように、固化材量が実際とずれることによるフロー値の差は小さく、また、このフロー値の差を調整土含水比で調整しても強度への影響はほとんどないと考えられる。

⑤ フライアッシュ及びフライアッシュ混合土について

石炭火力発電所から排出されるフライアッシュは今後も発生量が増加していく見通しで、発生土と同様に有効利用が期待されている産業副産物である。フライアッシュの粒径はほ

とんどがシルト分であり、均等係数の小さな特殊土と見ることができる。

表5-17、図5-21、図5-22に示すように、気泡混合土にフライアッシュを用いることは可能であるが、調整土含水比が小さな値となるため砂質土と同様の配慮が必要である。また、フライアッシュの種類によっては気泡が壊れやすいとの報告もあり、起泡剤の選定にも考慮する必要がある。

また、表5-18、図5-23～図5-26及び表5-19、図5-27～図5-30に示すように、フライアッシュと発生土を混合して用いることも可能である。このとき、粘性土にフライアッシュを混合すると同じフロー値を得るのに必要な水の量（調整土含水比）を小さくすることが出来る。逆に砂質土にフライアッシュを混合した場合には、調整土含水比を大きくする必要がある。発生土にフライアッシュを混合することによる強度の変化は、今回の試験結果ではほとんどないが、化学的活性の高いフライアッシュを使用した場合には、強度の増加も期待できると考えられる。

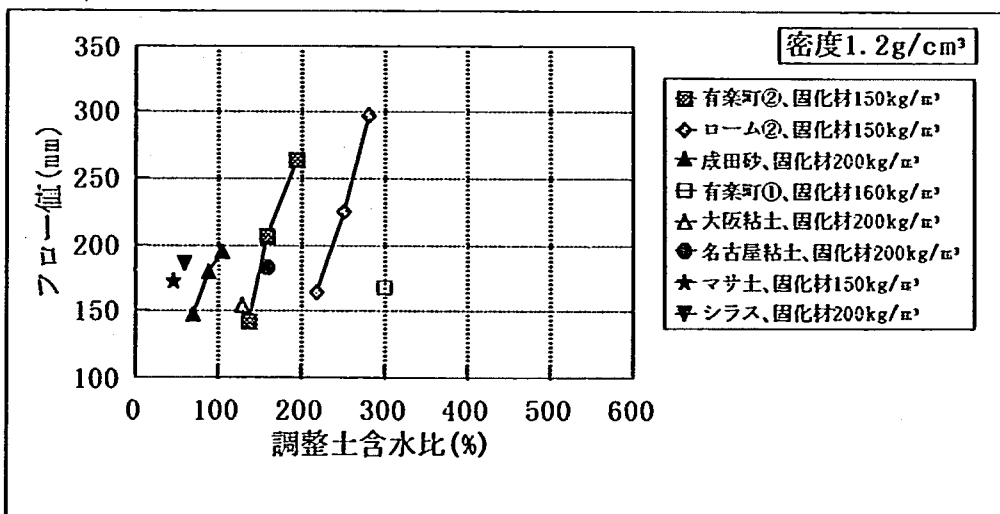
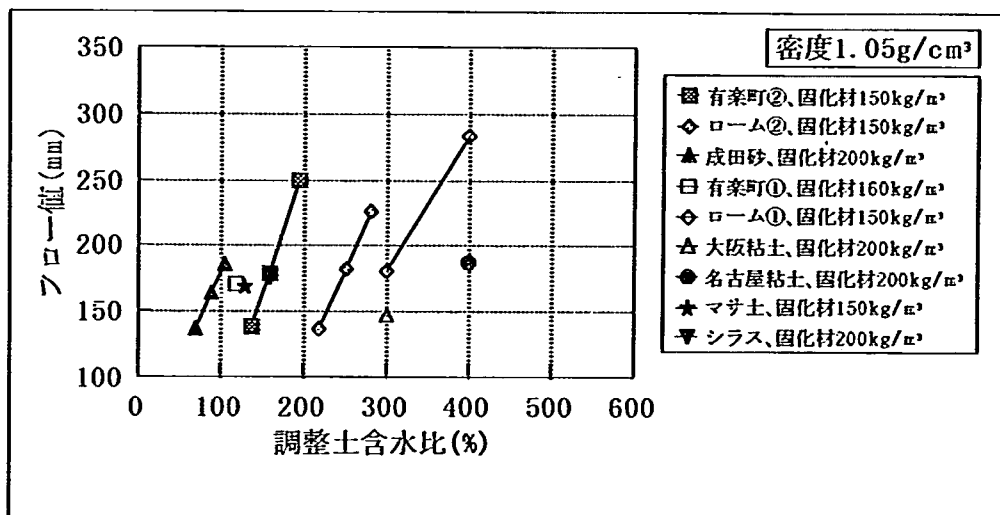
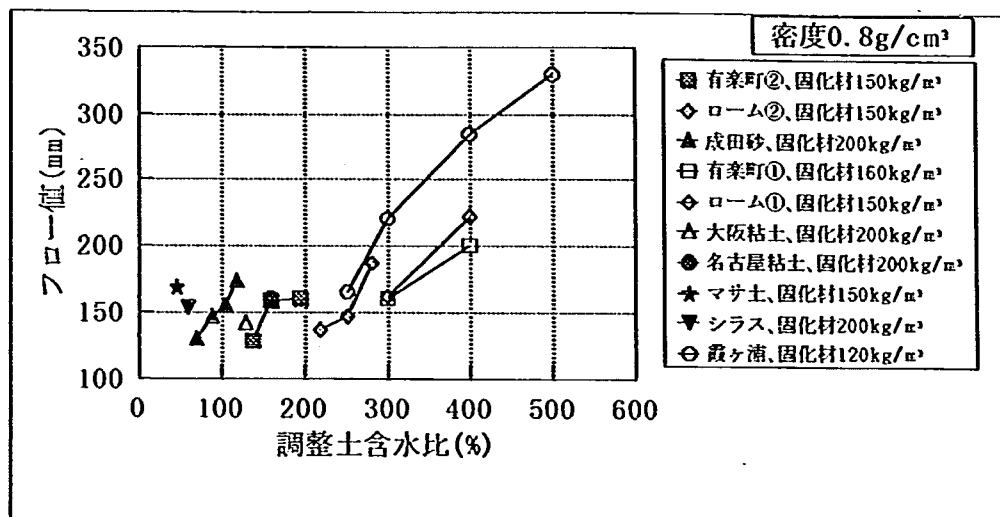


図5-3.1 様々な土の調整土含水比とフロー値の関係

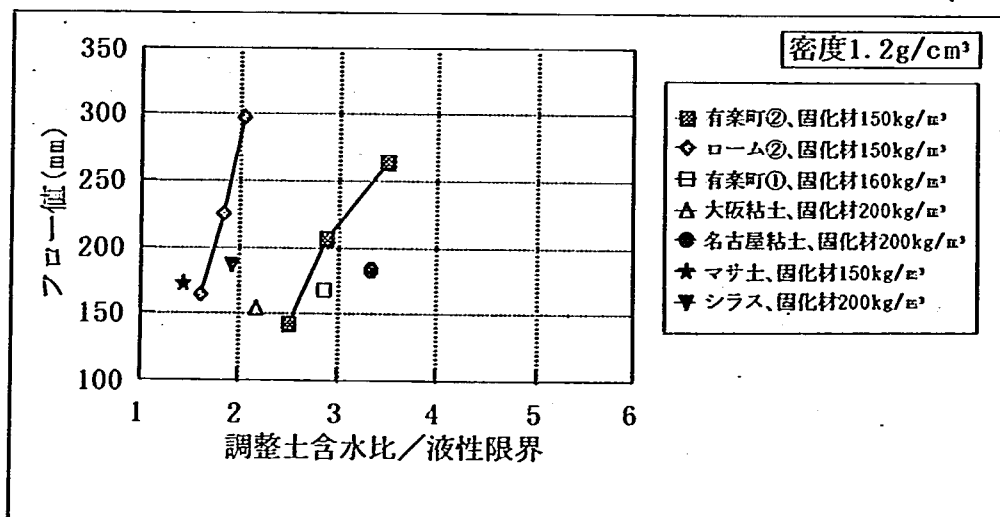
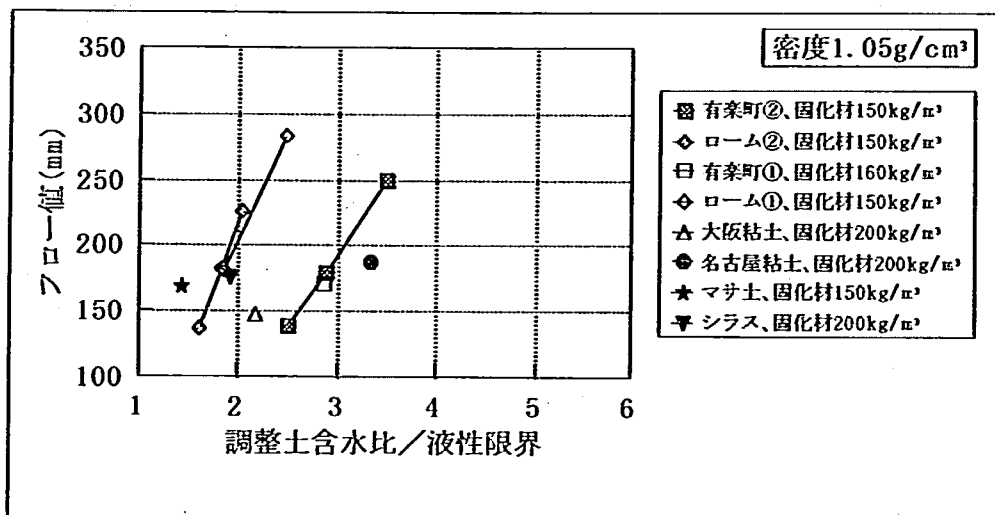
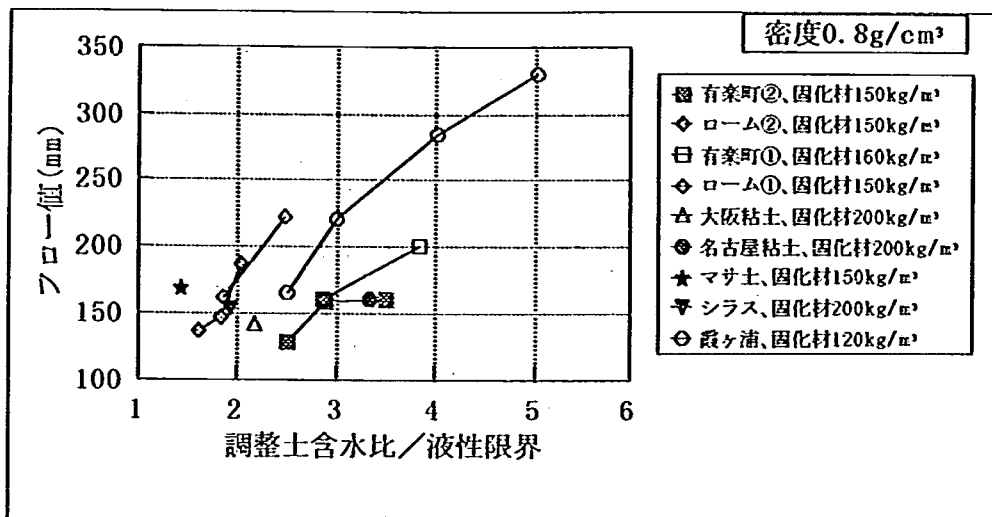


図5-32 様々な土の調整土含水比/液性限界とフロー値の関係

第6章 施工法

6-1 一般

本章は、気泡混合土工法による施工時の基本的な考え方と標準的な施工方法を示し、実施工の参考になることを目的としている。

気泡混合土工法は比較的新しい工法であり、実施工例が少ないため、本章は気泡モルタルの施工方法を参考にして記述している。

適用にあたっては、以下の事項を十分理解されたうえで利用されたい。

①本工法の実施に直接あるいは間接的に関係する地盤調査、土工、構造物、仮設工などについては各種の機関によって指針などが作成されているため、それらを十分遵守したうえで利用するものとする。

②本章での内容、図面等は現段階における標準的な施工法あるいは気泡モルタルの施工法をもとに記述している。したがって、実施工の際は本工法の適用の背景、工事内容、規模、周辺条件など関連する要件を十分考慮したうえで、本マニュアルの考え方を適用することが重要である。

また、気泡混合土の作製方法は、気泡の導入の仕方によって図6-1に示すように4方式に分けることができるが、ここでは主としてプレフォーム方式について記述している。

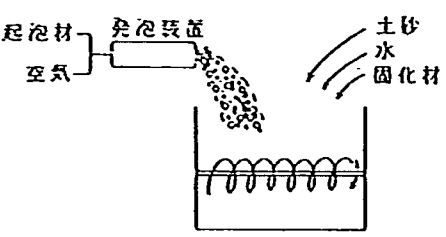
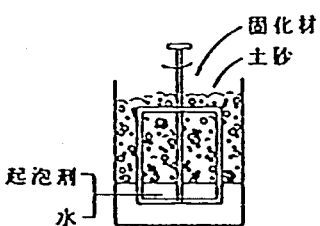
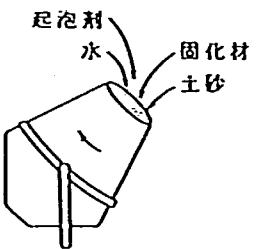
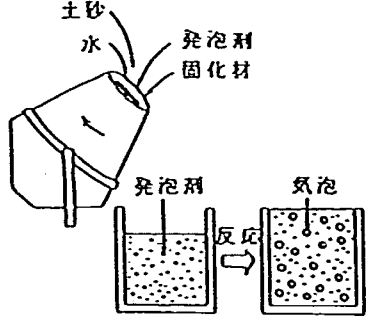
プレフォーム方式		・土砂と固化材を混練した後、あらかじめ発泡装置で作製した気泡を混合して気泡を導入する。 ・起泡剤の使用量が少なくすむ。 ・密度の調整が簡単。 ・ミキサの他に発泡装置が必要。
プレミックスフォーム方式		・ミキサに起泡剤と水を入れて攪拌し、気泡を作製しておいてから、土砂と固化材を投入して混練し、気泡を導入する。 ・混練の仕方によって気泡の導入量が変わるため、目標とする密度のものが得にくい。
ミックスフォーム方式		・ミキサに起泡剤と他の材料をほぼ同時に投入して混練し、これを発泡させて直接気泡を導入する。 ・混練の仕方によって気泡の導入量が変わるため、目標とする密度のものが得にくい。 ・起泡剤の使用量が多くなる。
アフターフォーム方式		・ミキサに発泡剤と他の材料をほぼ同時に投入して混練する。発泡剤が化学反応を起こしてガスを発生し気泡が導入される。 ・反応の程度によって気泡の導入量が変わるため、目標とする密度のものが得にくい。

図 6 - 1 気泡の導入の仕方

6-2 材料の貯蔵

気泡混合土に用いる土砂、固化材および起泡剤は、適切な手段で貯蔵し、かつ十分な管理のもとで保管する。

(1) 土砂

土砂は、異物の混入を防止し、製造に支障をきたさない量を確保し、貯蔵する。また、貯蔵にあたっては、直射日光や降雨等による土砂の含水比の変化がないように配慮することが望ましい。

(2) 固化材

バラ品による搬入の場合、固化材は種類別にサイロで貯蔵する。袋詰め品による搬入の場合には搬入順序ごとにその種類、入荷年月日、数量などを記入し、防湿で固化材の風化を防止できる場所で貯蔵する。

また、長期間貯蔵した固化材は品質を確認する。

(3) 起泡剤

起泡剤は直射日光の当たる高温な場所や開封したままでの長期貯蔵は行わない。また、液体状であるために、変質や凍結の発生する場所での貯蔵は行わないようにする。

6-3 施工方法

6-3-1 施工手順

図6-2に気泡混合土工法の一般的な施工フローを示す。

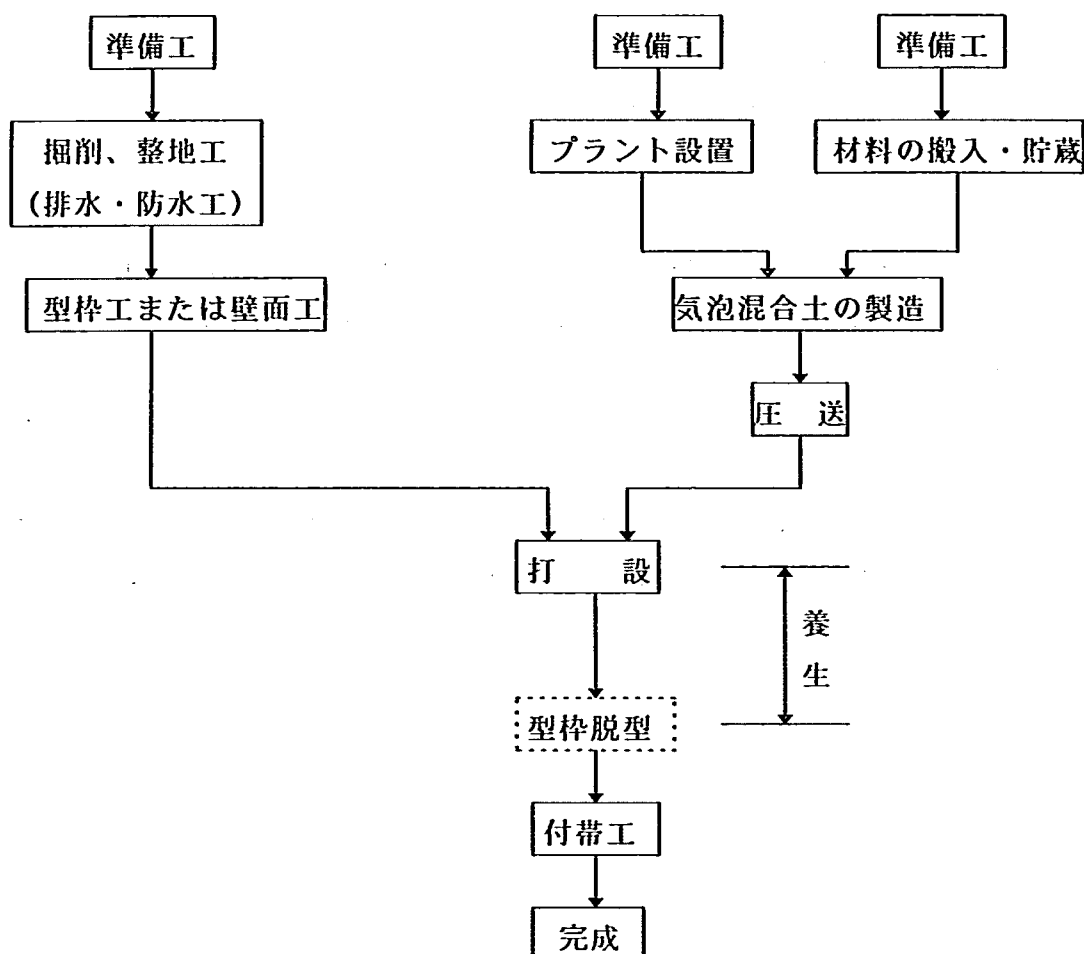


図 6 - 2 気泡混合土工法の施工フロー

6-3-2 製造方法

気泡混合土の製造は、土砂の種類により製造フローを変える必要がある。一般的には、解泥作業を必要とする粘性土の場合と、ミキサに直接投入できる砂質土の場合に分けられる。

(1) 粘性土を使用する場合

粘性土の場合には、土砂に加水して解泥し、湿潤密度などを調整して調整土を作製する。この調整土に固化材および気泡を混練して気泡混合土を製造する。この製造フローを図6-3に示す。

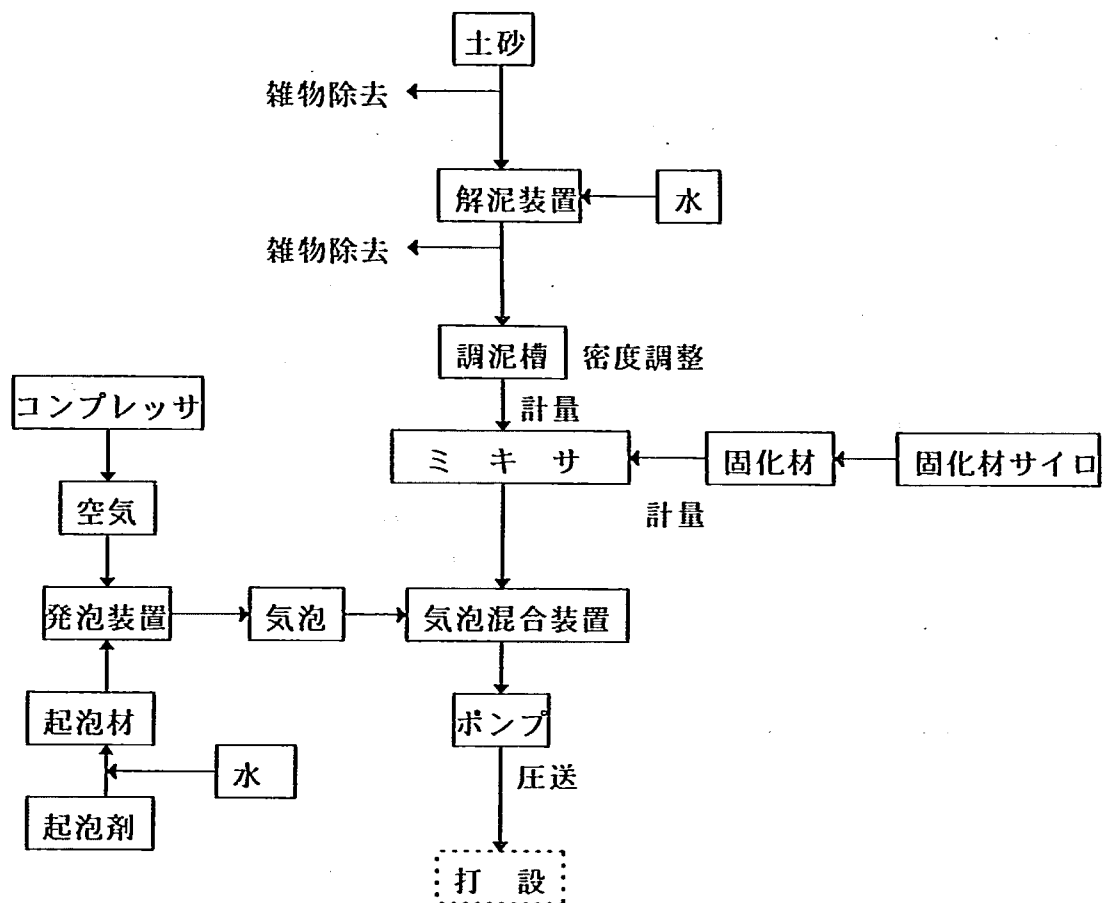


図 6 - 3 粘性土を使用した場合の製造フロー

1) 雑物除去および解泥作業

混合および打設の障害となる木根、礫分などの雑物を除去する。次に、土砂に水を加えて解泥装置により解泥を行う。礫分はポンプの圧送性から最大粒径50mm程度とする。なお、解泥した後に、スクリーンを通して雑物を除去する場合もある。

2) 調整土の作製

解泥された土砂は調泥槽に送られ、ここで所定の湿潤密度または含水比になるように調整される。

3) 気泡混合土の作製

ミキシングプラントで調整土と固化材とを混合する。それに発泡装置で作製した気泡を気泡混合装置で混合して気泡混合土とする。混合にあたっては、所定の品質を確保するために各材料の計量を行い、所定量を混合する。また、フロー値、湿潤密度、強度等の品質管理を行う。

4) 圧送

ポンプを用いて打設場所に圧送を行う。圧送管は耐圧ゴムホースまたはコンクリート用の圧送管などを用いる。

(2) 砂質土を使用する場合

砂質土の場合は、ミキシングプラントで所定の配合となるよう水と固化材とを混合し、これと気泡を混合する。この製造フローを図6-4に示す。

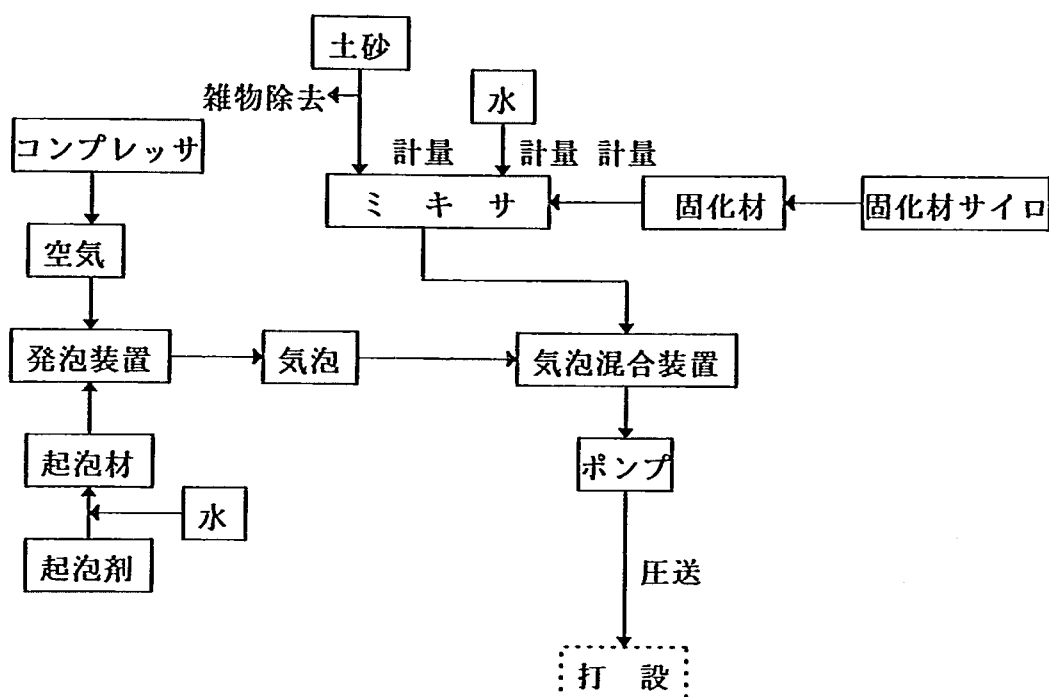


図6-4 砂質土を使用した場合の製造フロー

1) 雑物除去

混合、打設の障害となる木根、礫分などの雑物の除去を行う。礫分はポンプの圧送性から最大粒径50mm程度とする。

2) 土砂の投入

バックホウ、ベルトコンベアなどを用いてミキシングプラントに所定量の土砂を投入する。

3) 気泡混合土の作製

ミキシングプラントで土砂、水および固化材を混合する。これに発泡装置で作製した気泡を気泡混合装置で混合して、気泡混合土とする。混合にあたっては、所定の品質を確保するために各材料の計量を行い、所定量を混合する。また、フロー値、湿潤密度、強度等の品質管理を行う。

4) 圧送

ポンプを用いて打設場所に圧送を行う。圧送管は耐圧ゴムホースまたはコンクリート用の圧送管などを用いる。

6-3-3 施工機械、設備、ヤード

気泡混合土工法で使用する施工機械は、流動化処理工法および気泡モルタル工法で使用されている機械が利用可能である。

(1) 解泥装置（写真6-1参照）および調泥槽

解泥装置は、ホッパに投入した土砂をバースクリーンなどにより巨礫などを除去して解泥ミキサへ送り、それを加水攪拌してスラリー状にして調泥槽に送る装置である。調泥槽は、所定の湿潤密度に調整して貯泥し、必要量をミキシングプラントへ送る装置である。

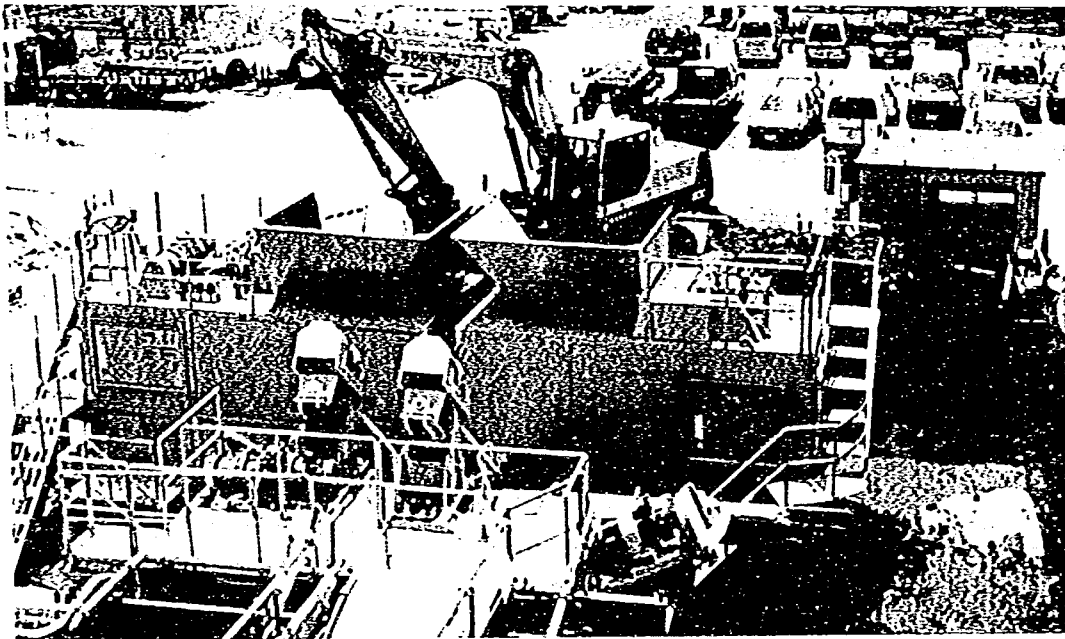


写真 6 - 1 解泥装置

(2) ミキシングプラント

ミキシングプラントは、固化材、調整土あるいは土砂および水を定量供給できる装置と、これらを均一に混合できるミキサから構成されており、大別するとバッチ式と連続式がある。これらは、プラントのヤードの面積、気泡混合土の施工数量および施工速度などの施工条件に応じて選択される。ミキサの例を写真6-2、写真6-3に示した。

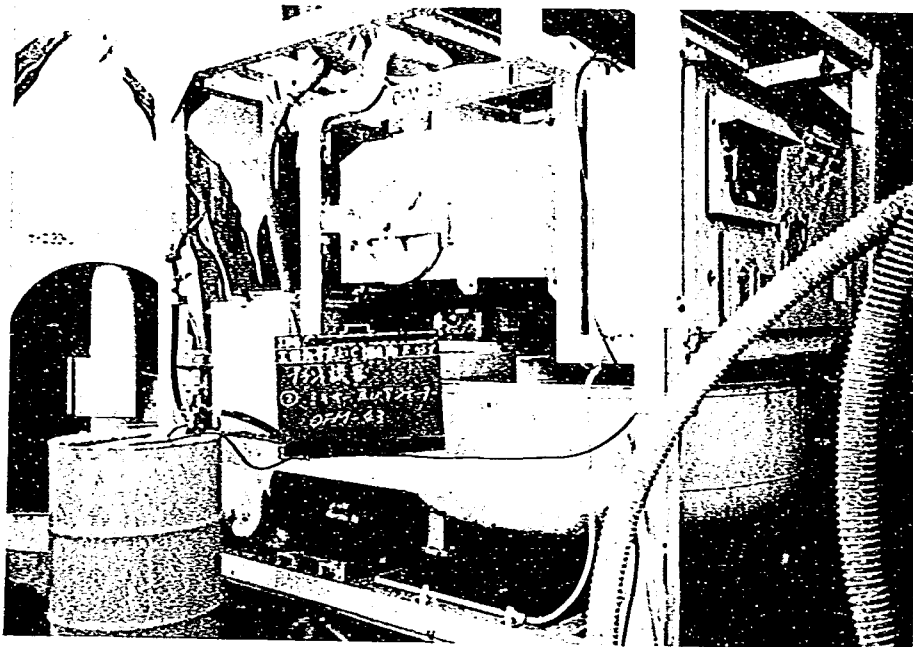


写真 6 - 2 バッチ式ミキサ

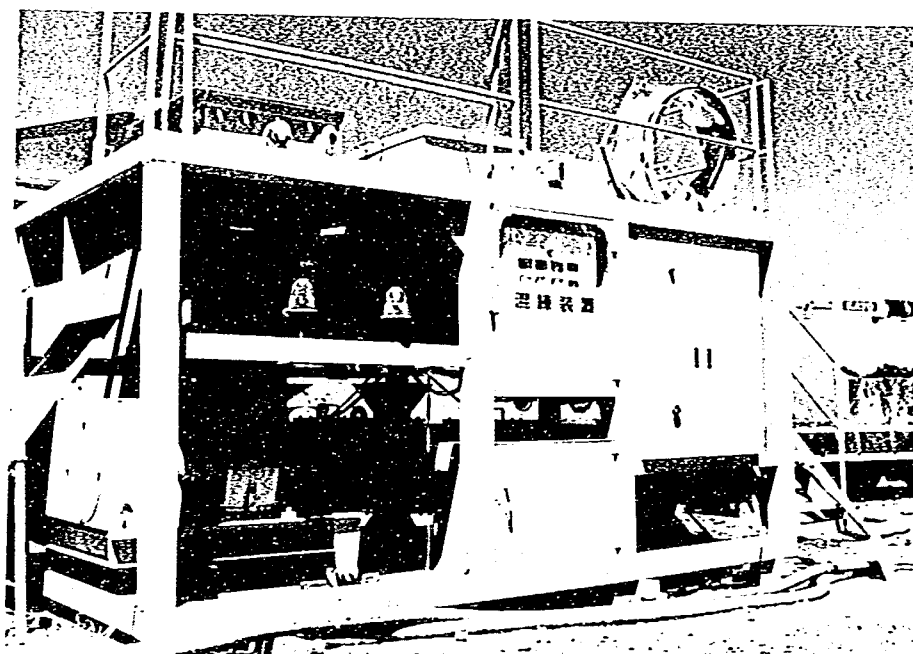


写真 6 - 3 連続式ミキサ

(3) 発泡装置および気泡混合装置 (写真6-4参照)

発泡装置は発泡筒および起泡材と空気の定量供給装置から構成されており、連続的に気泡を製造する装置である。空気はコンプレッサで圧縮したものを使用する。

気泡混合装置は、連続的に気泡とミキシングプラントで土砂あるいは調整土と固化材を混合して作製したスラリとを混合する装置である。

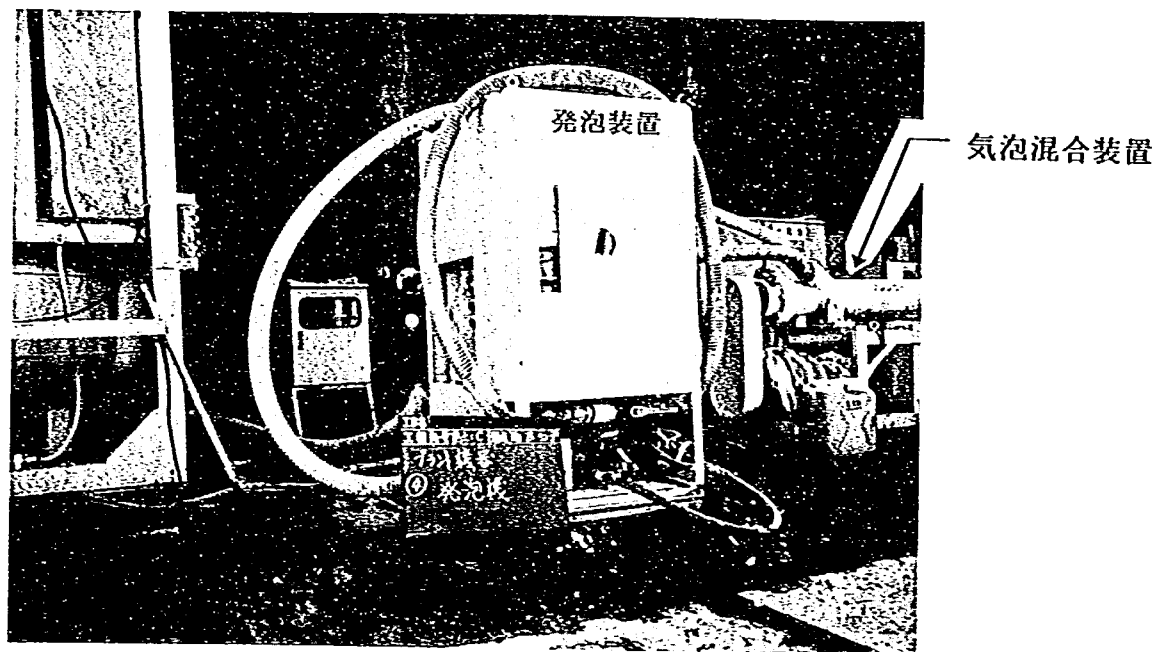


写真 6 - 4 発泡装置および気泡混合装置

(4) 圧送ポンプ (写真6-5参照)

圧送ポンプは、グラウトポンプおよびコンクリートポンプの中から施工条件を考慮して選択して使用されている。グラウトポンプには、往復動式（ピストン式、プランジャ式、ダイヤフラム式、油圧式、ウォシントン式などがある）とスクリー式とがあり、コンクリートポンプには、ピストン式とスクイーズ式とがある。これらのなかで、圧力で送り出すポンプは、気泡混合土が内部に気泡を含んでいるため圧力を受けると圧縮し、圧送量が減少することになって施工効率が悪くなる場合があるので、圧力変動の少ないスクイーズ式またはスクリー式を使用している例が多い。しかし、施工量が多い場合には、ピストン式が利用されることがある。写真6-5にスクイーズ式ポンプを示した。

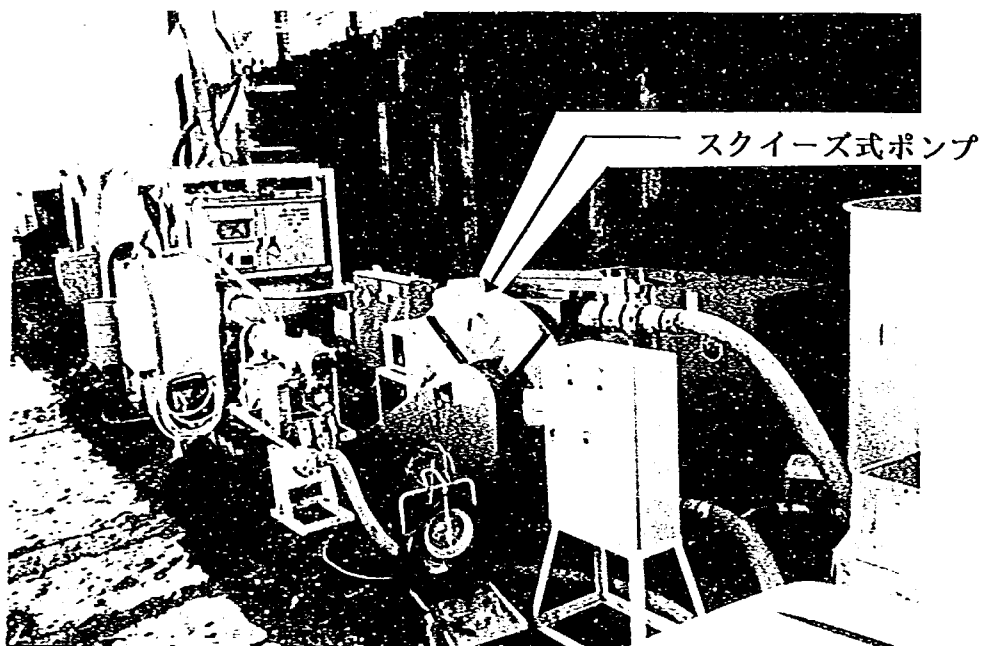


写真 6 - 5 圧送ポンプ (スクイズ式ポンプ)

(5) プラントの配置例

粘性土におけるプラントの配置例を図6-5に、砂質土におけるプラントの配置例を図6-6に示す。

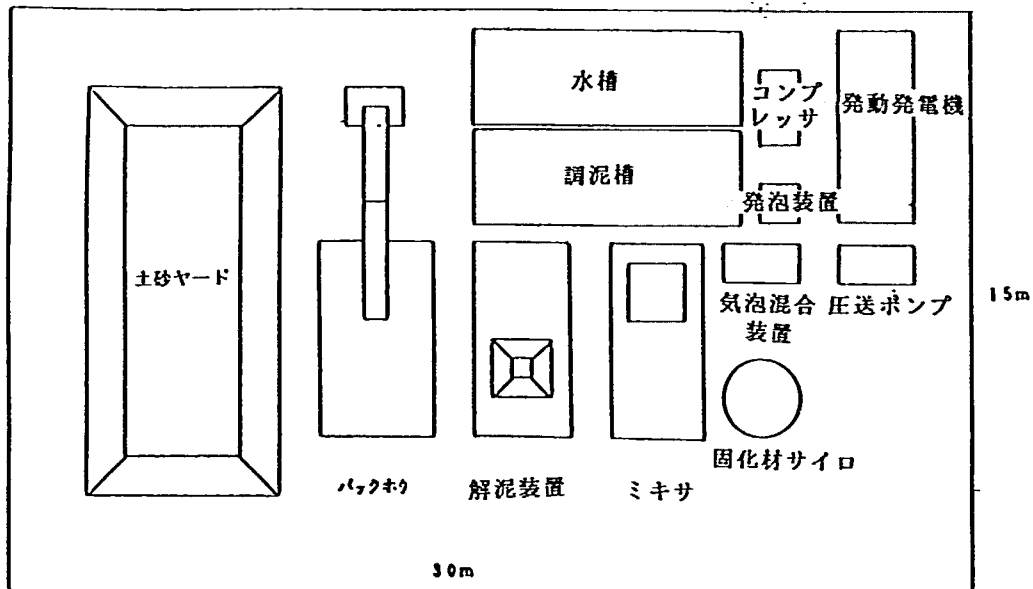


図6-5 粘性土におけるプラントの配置例

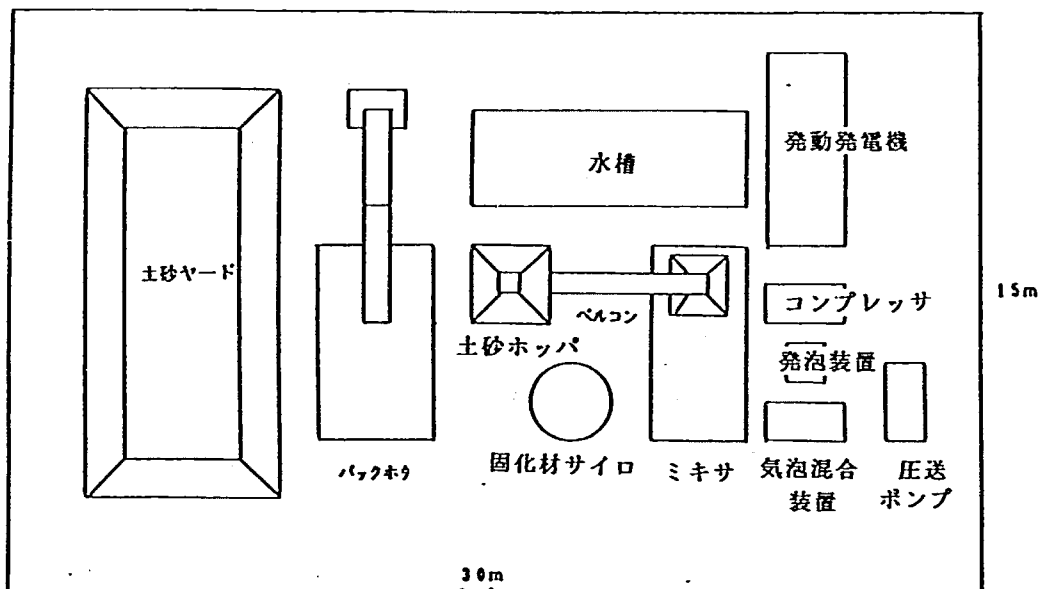


図6-6 砂質土におけるプラントの配置例

6-3-4 掘削、整地工

既設盛土あるいは地山は表層のすき取り・段切りを確実にを行い、弱部を発生させない処置が必要である。そして、気泡混合土となじみが良くなるように、表面を整地する。

また、気泡混合土は吸水すると湿潤密度が大きくなり軽量性が損なわれることが考えられるので、場合によっては表面および背面の盛土・地山からの地下水の浸透に対して不透水シートによる遮水工、浸透する地下水の排水工を行う必要がある。

6-3-5 型枠工

気泡混合土の打設時の状態は流動性の良い流体であるため型枠には側圧（三角形分布）が作用することになる。型枠を計画する時には、4-3の計算式に基づいて側圧を算定する。

また、型枠のわずかな隙間および型枠と地盤との隙間から洩れて流出する可能性がある。型枠の施工にあたっては、型枠と型枠の間にゴムを入れ、締付けるなどの方法で気泡混合土が洩れないように対策しておく。

気泡混合土の打設時の状態が流体であるため、型枠が浮き上がらないための対策も必要である。

6-3-6 打設工

気泡混合土は、内部に含まれる独立した微細な気泡が分散することにより軽量性を確保している。気泡混合土に余計な振動を与えると消泡して湿潤密度が増加する可能性があるので、余計な振動を与えないように注意して、ホースの筒先から直接打設するのが望ましい。また、降雨の影響により気泡が消泡することがあるので、打設時に気泡混合土に影響を与えるような降雨がある場合には、打設を中止するかまたはシートで完全に覆うなどの対策を講じなければならない。養生中に降雨がある場合も同様の対策が必要である。

また、打設時に自重により気泡が圧縮されて湿潤密度が増加することもあるので、1回当たりの打設高さは1m以下を標準とする。これを越える場合は実験などにより設計値が確保できることを確認してから施工することとする。

気泡混合土の打設は、最初に打設した気泡混合土が固化し始める前に打設を終了できる量でブロック分けすることが望ましい。各ブロックでは、連続的に打設するものとする。気泡混合土に打継ぐ場合、たまり水やゴミなどの異物を除去する。

気泡混合土の圧送距離の実績は300mであり、このときも圧送による変質は認められない。しかし、圧送距離が長くなると材料分離や消泡の可能性が大きくなるので、一般的には200m以下を標準とする。

6-3-7 養生

気泡混合土が固化するまでは、荷重、衝撃、過度な水分の蒸発および凍結などの有害な作用を与えないようにしなければならない。夏期においては固化熱により気泡混合土の温度が上昇し、乾燥収縮によるクラックが発生する可能性もあるので、水分の蒸発を防ぐための養生マットなどの使用を事前に検討することも必要である。また、冬期施工についてはコンクリートの管理に準じて寒中施工体制をとるものとする。

6-3-8 脱型

止め型枠の脱型は気泡混合土が自立できる強度、角が欠けない強度を有していることを確認してから行うこととする。

6-4 施工管理

6-4-1 品質管理

品質管理項目は土砂の含水比、気泡混合土の生比重、フロー値、一軸圧縮強さを標準とし、空気量、気泡密度については必要に応じて行うものとする。表6-1に気泡混合土の標準的な管理方法を示す。

(1) 土砂の管理

土砂の含水比は1日1回測定することを標準とする。また土砂の特性が変化したときには、含水比のほか、物性を調査し、必要によっては配合を変更する。

(2) 生比重、フロー値の管理

生比重およびフロー値は、打設時に吐出口から試料を採取して試験を行う。試験頻度は1日2回を標準とし、生比重については設計基準値 ± 0.1 、フロー値については通常の盛土の場合、 $180 \pm 20\text{mm}$ を標準とする。

(3) 湿潤密度、強度の管理

密度および強度の試験は、打設時に吐出口から試料を採取して、モールドで供試体を作製し、所定の材齢で行う。試験頻度は1日1回とする。気泡混合土の強度は気泡モルタルより低強度であり、ばらつきも大きくなることから、平均値が設計強度を上回ることを標準とする。なお、湿潤密度試験は、原則として一軸圧縮強度試験と同じ供試体を使用することとする。

また、必要に応じて不攪乱試料により、現位置における密度および強度を確認する。

表 6 - 1 気泡混合土の標準的管理方法

試験項目	試験方法	測定回数	許容範囲
土砂の含水比	土砂を採取し、原則として乾燥炉により試験を行う。(JIS A 1203)	1回/日	
生比重	定量容器で、試料の容積質量を測定する。	2回/日	設計基準値 ±0.1
流動性試験 フロー値	平滑な盤上のシリンダー(φ=80mm, h=80mm)に試料を上端水平面まで投入し、この後、シリンダーを鉛直方向へ引き上げる。さらに、1分間経過させた後に広がり計測する。(JHS A 313-1992 シリンダー法)	2回/日	基準値±20mm
湿潤密度	モールド(φ5×h10cm)で供試体を1回に3本作製し、原則として20℃の密封養生を行う。通常、材齢7, 28日で試験を行い、この時の平均値を湿潤密度とする。(JGS T 191-1990)	1回/日	平均値が設計 基準値±0.1以 内
一軸圧縮 強度	モールド(φ5×h10cm)で供試体を1回に3本作製し、原則として20℃の密封養生を行う。通常、材令7, 28日で試験を行い、この時の平均値を一軸圧縮強さとする。(JIS A 1216)	1回/日	平均値が設計 強度以上

6 - 4 - 2 出来形管理

出来形管理は盛土などにおいては形状を確認する。充填などにおいては納入伝票、流量計などでの確認による。

また、材料の使用量は、製造に伴うロスおよび型枠ロスなどを考慮して見積る必要がある。算定はレディーミクストコンクリートの場合を参考として、次式によるものとする。

$$\text{使用量} = \text{設計量} \times (1 + K)$$

ここで、K：補正係数（コンクリートの型枠ロスが4%程度であり、ソイルセメントの製造ロスが4%程度であることから、0.08を標準とする。）

第7章 適用事例

代表的な実施例としては、以下のようなものがある。

7-1 高規格道路拡幅軽量盛土

目的：軽量性および流動性を利用した拡幅盛土

場所：神奈川県厚木市 数量：1780 m³

仕様： $\rho_t 1.0 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ $q_u \geq 10 \text{ kgf/cm}^2$ 流動性（フロー値）160～200mm

表 7-1 工事概要

	配合表（1 m ³ あたり）					使用材料
配合内容 使用材料		細砂	水	固化材	気泡量	試料土：細砂 固化材：高炉セメントB種 起泡剤：合成界面活性剤系
		kg	kg	kg	l	
	低強度	0	188	327	705	
	高強度	504	165	252	547	
採用理由	東名高速道路の改築事業の一環として、軟弱地盤上の本線盛土を拡幅する必要が生じ、次の理由により気泡混合土による盛土とした。 ①本線に家屋、ホテル、一般道が隣接しており、騒音・振動を極力少なくする。 ②軟弱地盤であり、載荷重を小さくする。 ③大型機械による施工が困難な狭小箇所である。 ④供用路線内の工事のため、本線の規制を伴う工事方法は困難である。					
施工概要	気泡混合土は仮設プラントにて製造し、最大約 290m 圧送した。 施工ヤードの長さは、195m と 86m であった。					

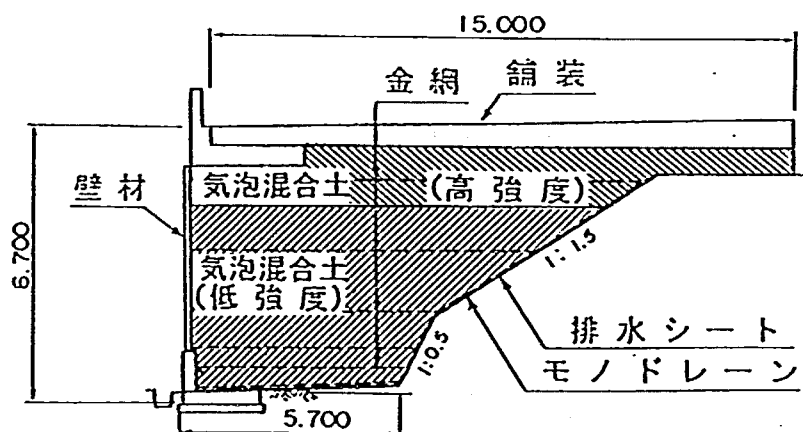
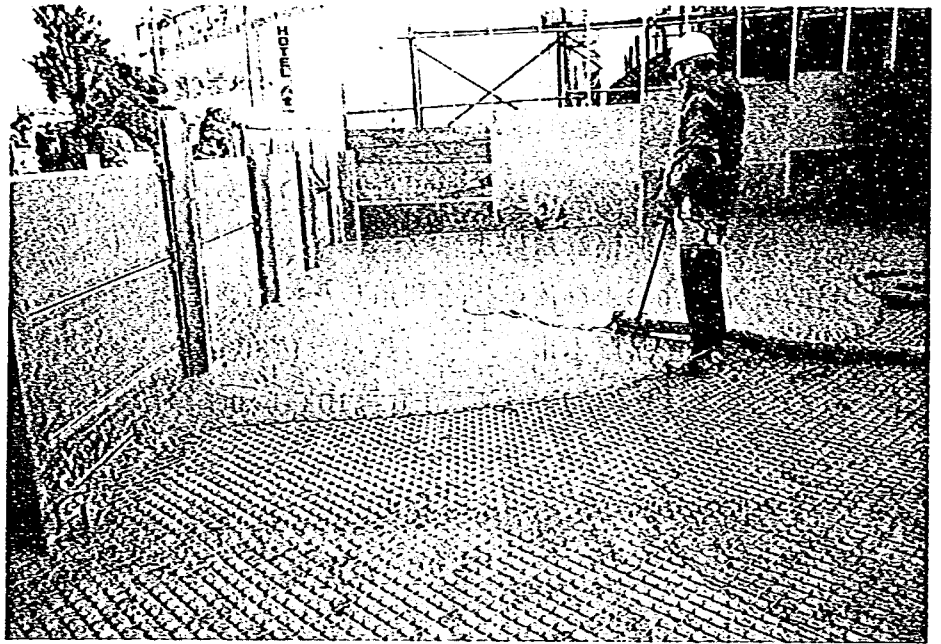
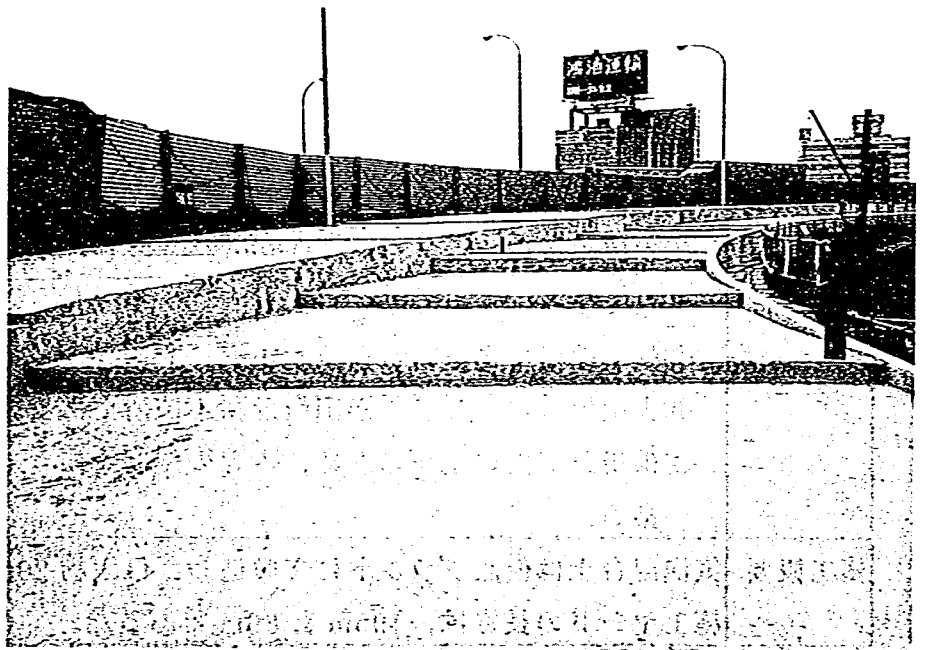


図 7-1 施工断面

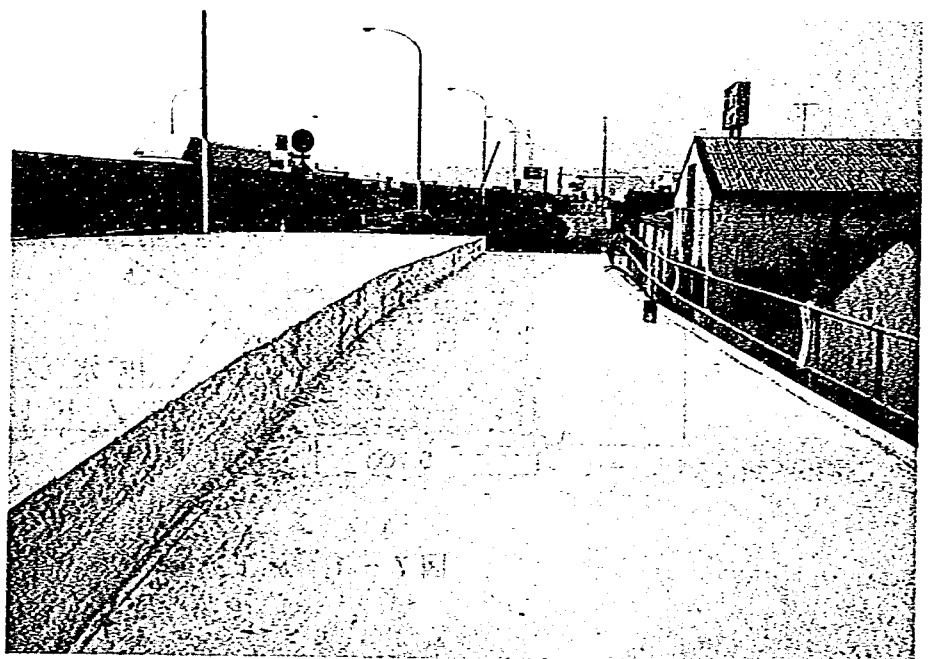
打設状況



打設完成状況



打設完成状況



7-2 基礎下地盤沈下対策

目的：建屋基礎下地盤沈下対策および復旧工事

場所：東京都大田区 数量：612m³

仕様： $\rho_t = 0.8 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ $q_u = 0.5 \sim 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ 流動性（Pロート）15秒以下

表7-2 工事概要

配合内容 使用材料	配合表（1 m ³ あたり）				使用材料
	試料土 kg	水 kg	固化材 kg	気泡量 l	試料土：関東ローム（木更津産） $\rho_t = 1.812 \text{ g/cm}^3$ （突き固めた値）
	366	328	95	420	固化材：セメント系固化材 起泡剤：合成界面活性剤系
採用理由	建屋施工後、埋立荷重による地盤沈下が進み、数度の嵩上げを行ったが、周辺地盤の沈下および建屋下の空洞など、大井信号所において建屋周辺の地盤の陥没・建屋の浮き上がりという被害が発生している。 このため、建屋周辺の地盤の陥没防止・支持杭の水平抵抗の回復を目的として建屋空洞の充填に気泡混合土が適用された。				

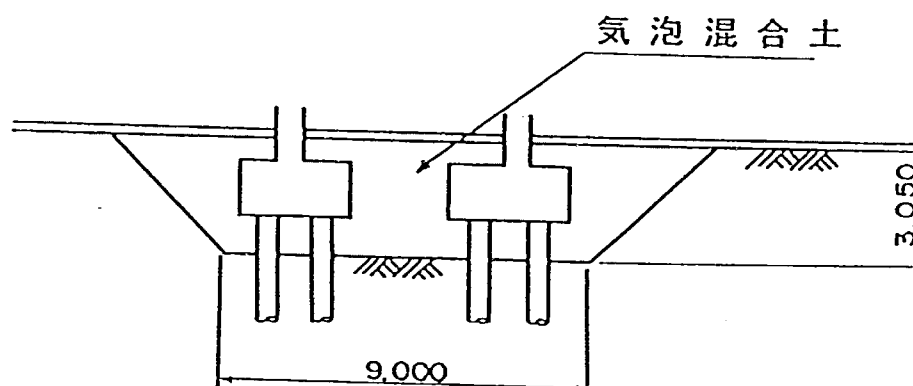
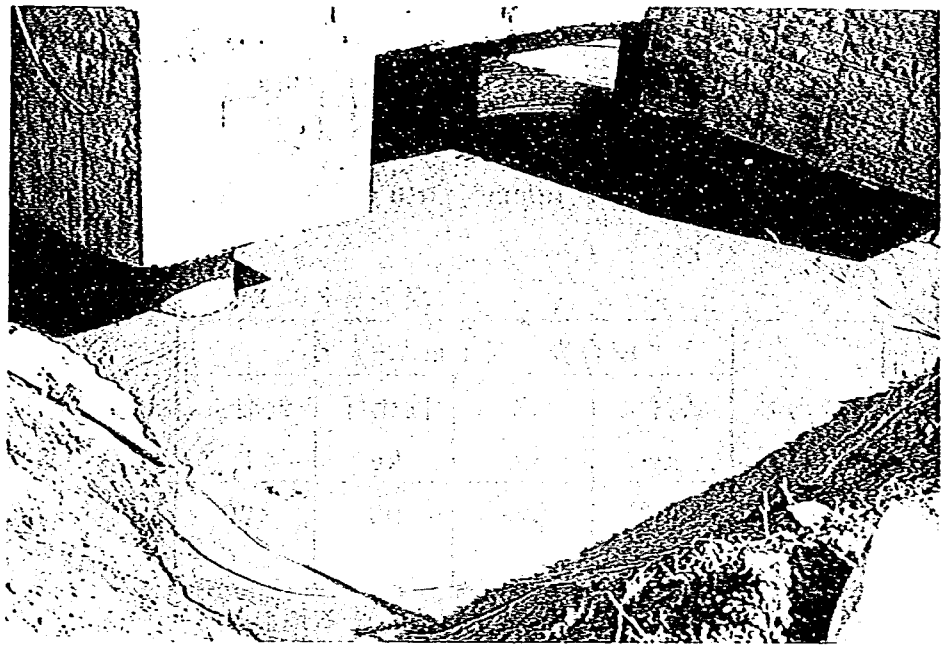
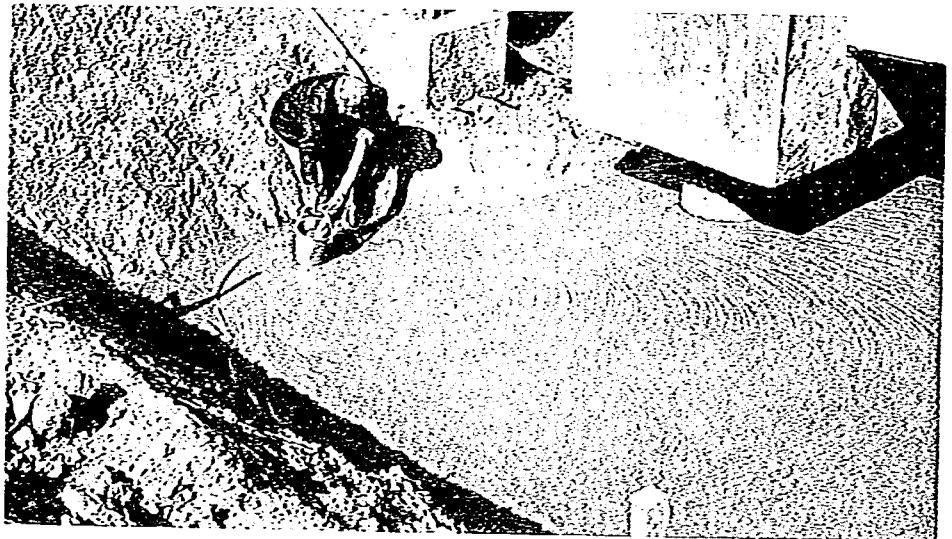


図7-2 施工断面

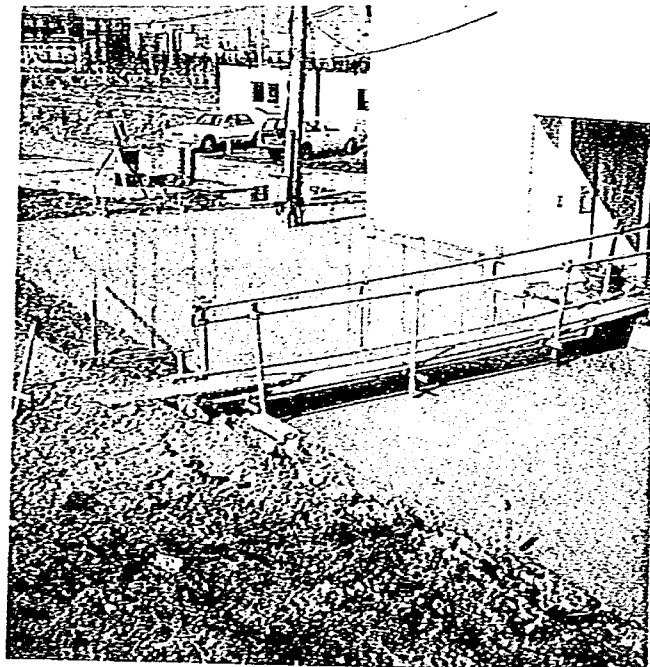
打設状況



打設状況



打設仕上状況



7-3 耐震岸壁における水中軽量盛土

目的：中詰材の気泡混合土による置換工事

場所：新潟県豊栄市 数量：水中 647m³、気中 470m³

仕様：水中 ρ_t 1.2g/cm³ $q_u \geq 1.2\text{kgf/cm}^2$ 流動性 -

気中 ρ_t 0.9g/cm³ $q_u \geq 0.6\text{kgf/cm}^2$ 流動性 (P ロート)

表 7-3 工事概要

	配合表（1 m ³ あたり）					使用材料
配合内容 使用材料		調整土	水	固化材	気泡量	試料土：調整土 $\rho_t = 1.14\text{g/cm}^3$ 固化材：セメント系固化材 起泡剤：合成界面活性剤系
		kg	kg	kg	l	
	水中	950	100	1.5	134	
	気中	750	100	—	309	
採用理由	新設される岸壁が耐震バースであるため、隣接する取付け部が耐震構造でなくてはならない。そこで、既設の設計水深－10.5 mの控え杭式鋼矢板護岸に補強工法が用いられた。 補強工法は現在隣接岸壁が供用されていることを考慮して、主な既設構造物を撤去せず行う工法として背後地盤を軽量盛土材で置換する工法が検討され、気泡混合土が採用された。					

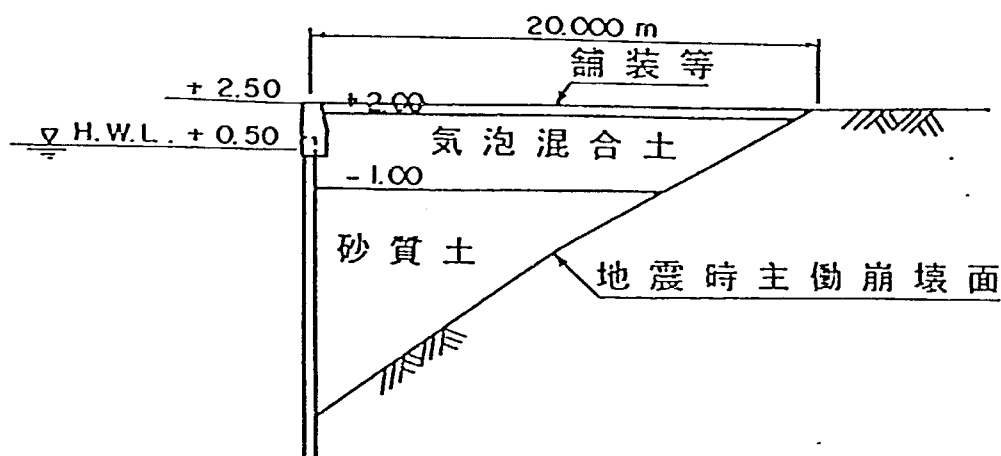
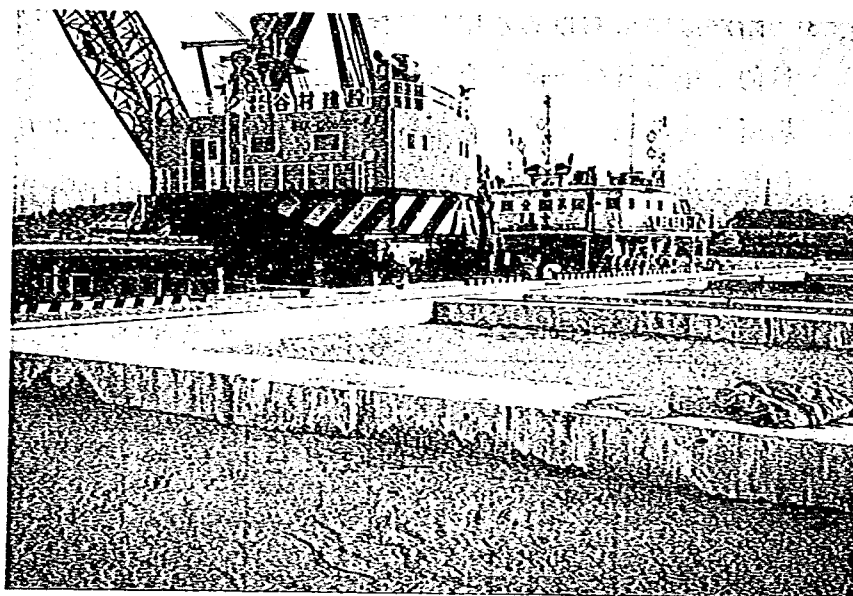


図 7-3 施工断面

打設仕上状況



打設仕上状況

