

土 木 研 究 所 資 料

フィルダム材料の現場締固め特性

平成7年1月

建設省土木研究所
ダム部フィルダム研究室

Copyright ©1995 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, 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。

フィルダム材料の現場締固め特性

フィルダム研究室 室 長 中 村 昭
主任研究員 豊 田 光 雄
山 本 裕 之

要 旨

本報告は、合理的なフィルダムの施工法および品質管理試験法を確立するために、ロック、フィルター、コア材料においてR I密度計を用いた盛立試験を実施し、それらの現場締固め特性をとりまとめたものである。

ロック材料では、転圧機種、まき出し厚さを変えた転圧回数と密度の関係、まき出し層内の密度分布とエネルギー伝搬に関する検討を行い、コア材料では、密度特性の他に材料の混合方法および透水性について検討した。

キーワード：盛立試験，粗粒材料，R I 密度計，締固め特性，フィルダム

フィルダム材料の現場締固め特性

目 次

1	はじめに	1
2	盛立試験において留意すべき事項	3
2.1	締固め密度のばらつき	3
2.1.1	ばらつきの原因	4
2.1.2	ばらつきへの対応	5
2.2	試験ヤードの構成法	6
3	R I 密度計によるフィルダム材料の密度試験法	8
3.1	表面型 R I 密度計による測定方法	9
3.1.1	標準型	9
3.1.2	大型	10
3.2	フレーム型 R I 密度計による測定方法	12
4	盛立試験材料の物性	15
4.1	ロックおよびフィルター材料	15
4.1.1	現場粒度	15
4.1.2	室内試験粒度	15
4.1.3	比重・吸水率	15
4.1.4	締固め特性	22
4.1.5	透水特性	23
4.1.6	せん断強度特性	24
4.2	コア材料	28
4.2.1	粒度分布	28
4.2.2	比重・吸水率	28
4.2.3	締固め・透水特性	31
4.2.4	せん断強度特性	31
5	ロック材料の盛立試験	36
5.1	盛立試験の概要	36
5.2	施工機械	37
5.3	計測方法	39
5.3.1	表面沈下量	39
5.3.2	水置換法	39
5.3.3	現場透水試験	39

5.3.4	土圧および加速度の測定	40
5.4	予備試験	41
5.4.1	試験条件および試験方法	41
5.4.2	試験ヤードの造成	45
5.4.3	転圧方法	47
5.4.4	試験結果	49
5.5	本試験	84
5.5.1	試験条件および試験方法	84
5.5.2	試験ヤードの造成	87
5.5.3	転圧方法	88
5.5.4	試験結果	89
6	フィルター材料の盛立試験	93
6.1	盛立試験の概要	93
6.2	予備試験	94
6.2.1	試験条件および試験方法	94
6.2.2	試験ヤードの造成	97
6.2.3	転圧方法	98
6.2.4	試験結果	99
6.3	本試験	105
6.3.1	試験条件および試験方法	105
6.3.2	試験ヤードの造成	108
6.3.3	試験結果	108
7	コア材料の盛立試験	111
7.1	盛立試験の概要	111
7.2	盛立方法	113
7.2.1	試験ヤードの造成	113
7.2.2	転圧方法	115
7.3	施工機械	116
7.4	混合試験	119
7.4.1	試験条件および試験方法	119
7.4.2	試験結果	124
7.5	予備試験	128
7.5.1	試験条件および試験方法	128
7.5.2	試験結果	131

7.6	本試験	144
7.6.1	試験条件および試験方法	144
7.6.2	試験結果	150
8	まとめと今後の課題	165
8.1	まとめ	165
8.2	今後の課題	166

1 はじめに

フィルダム堤体の設計値は、原石山から採取された材料を用いた室内試験データをもとにして検討されるのが一般的である。なかでもロック材料のせん断強度とコア材料の透水係数は最も重要な設計値である。これらの設計値を事前に、しかも、どれだけ正確に予測できるかが、設計の信頼性やダム建設のコストに影響すると考えられる。

フィルダム材料の力学特性や水理的性質を調べる方法としては、まずは室内試験により、工学的特性を把握し、現場試験を行って確かめることが一般的である。室内試験は比較的容易に行える反面、その結果から現場の実際の特性を予測するのは必ずしも容易とはいえない。設計段階では当然室内試験に頼ざるを得ないが、試験に用いることができる材料は試掘横坑や立て坑、原石山の露頭などから採取した“局所的”なものである。これらがダム本体の盛立材料をどの程度適確に代表しているかを直接判断する方法はいまのところないので、多くは過去の経験に照らして処理せざるを得ない。例えば室内試験では実物材料をそのままの粒度で用いることは事実上不可能なため、全体の粒径を縮小したモデル材料を用いることになるが、その最大粒径は63mmが限度である。コア材料の強度や透水性についても、程度の差はあれ、ロック材料のせん断強度の場合と同じ問題を避けて通ることはできない。

以上の状況を考えると、事前の調査・設計だけではフィルダムの機能や安定性の面からも、また経済性の面からリスクや損失を伴う可能性が大きくなるので、本体盛立に先だって“現場における確認”というステップがどうしても必要になる。現場盛立試験はこのために実施されるものであり、実際の施工条件のもとで実物材料の締固め特性を調べることにより、室内試験結果をもとにした設計値の妥当性の確認や、必要であればこれに修正を加え、現場施工へのスムーズな橋渡しをするとともに、盛土の品質に関する詳細なデータを収集してダムの信頼性を高めるという重要な役割を担っている。

一方、フィルダムの盛立試験方法に関しては、いまのところ一般的な基準はなく、現場の技術者が過去の事例などを参照しながら、独自の工夫なども取込んで実施されている。しかし、全般的にみると、試験の基本的なパターンはほぼ類型化しているように思われる。盛立試験は実施工と同じ条件で施工されるので、室内試験ではあまり意識されていない材料のばらつき、試験値のばらつき、施工法のばらつきという問題に直面する。例えばロック材料ではまき出し厚さが大きいため、深さ方向の材料分離や場所的な粒度のばらつきが生じ易く、同じ施工を行ったとしても同じ密度にはならない。一方、混合処理された材料をコア材料として用いるときには混合率のばらつきが締固め特性に影響する。

盛立試験ではこのようなばらつきを直視することが重要である。盛立試験全体の計画においては、このばらつきの大きさを考えて個々の試験目的に対して効果的な手法を選ぶと同時に、試験ヤードの配置などに工夫をこらすことが大切である。そして、できるだけ多

くの標本データを収集する必要がある。個々の試験精度を高める努力は常に必要であるが、同時にフィルダム材料のようなばらつきが避けられない試験においては判断の確かさはデータ数に大きく依存するといっても過言ではない。これにより現場施工のばらつきの大きさや、現場締固め特性の実態を正確に評価できるようになると考えられる。

以上に述べた視点から、本文ではロック材料、フィルター材料およびコア材料を対象として行った一連の盛立試験の事例を紹介した。本盛立試験の特徴を要約すると次のようである。

- ① 締固め密度の評価に多点数測定が比較的容易なR I法を用いた。
- ② まき出し厚さの大きいロック材料の試験では、深さ方向の詳細な密度分布や転圧時の内部土圧および加速度の測定を行った。
- ③ 数機種の転圧機種について締固め効果を比較検討した。
- ④ コア材料はまさ土とロームの混合材料を用いており、その混合方法についても検討した。
- ⑤ コア材料の締固め管理の一手法として、任意の粒径以下の材料に設定せず全粒径のレベルで管理する方法の適用性について予備的な考察を行った。

2 盛立試験において留意すべき事項

2.1 締固め密度のばらつき

室内試験であれ、現場試験であれ、試験データにばらつきがみられるのは土木材料に限らない。工場における生産プロセスおよびフィルダムの盛立現場においても、製品にばらつきをもたらす要因を完全に排除することは不可能であるから、ばらつきが存在するということは悪いことではなく、むしろ自然な姿であるという認識にたち、ばらつきに対して積極的に対応する姿勢が大切である。工場生産とフィルダムの違いは一般に後者の方がばらつきの原因となる要因が多く、しかもこれを制御しにくいという点にある。もう一つは検査そのものが難しいため、乏しい標本データに基いて判断せざるを得ない実情も見逃せない。

ところで“ばらつき”という用語の意味についても具体的な定義づけが必要と考えられる。例えば、一定の施工条件のもとで転圧した試験ヤードの密度を求めるために、ヤード内の何ヶ所かで密度計測（試験）を行ったとする。このとき得られたデータは同じ値を示さず、場所ごとに変化することを我々は経験によって理解しており、これをばらつきと呼んでいる。しかし、後に述べるように、密度の値が場所によって異なる原因としては様々な要因が考えられる。そのひとつには、各測点ごとに礫の分布量や含水比が違っていることである。

そこで、密度に変動を与える要因の中で、制御可能なものと實際上制御が不可能であったり、制御する意味が乏しい原因によって生じる変動とを明確に区別する必要がある。前者の要因によって生ずる差違はばらつきではなく、これを定量化してチェックすることが、盛立試験や品質管理の目的となる変動であるから“因子変量”として扱うべきものである。転圧不足（施工のむら）によって生じる密度の低下などは因子変量の一つである。後者の諸原因によって生じる変動が本来のばらつきであり、これは“確率変量”として扱う必要がある。いいかえれば、因子変量というのはその平均値を知ることが目的としているのに対して、確率変量の場合は、ばらつきの大きさそのものを知ることが意義があり、一般に正規分布などの簡単な統計モデルをあてはめて評価することができる。偏りのない計測を行ったときの試験誤差は確立変量の典型的な例である。

2.1.1 ばらつきの原因

現場転圧後の密度がばらつく理由を列記すると以下のような要因が考えられる。

(1) 粒径

粗粒材料は粘土や砂に比べてはるかに粒径が大きく、様々な粒径を持つ粒子が混在しているから、密度にばらつきがでるのは当然であり、これは材料自身がもっている固有の要因とみなされる。粒径に起因するばらつきは、試験（測定）容積によってかわることも当然の事実として一般に理解されている。コア材料とロック材料で置換容積がきわだって違っているのはこのことを物語っている。

(2) 材料分離

1 層のまき出し厚さが大きい（1～1.5 m）ロックゾーンでは、ダンプからの荷降しからまき出しを完了するまでの段階で、大きな岩塊や岩礫などは下層部に分布し易くなる傾向がしばしば観察される。締固め密度は粒度に大きく依存するから、このような粒度分布の偏りが生じると密度が変化することになる。

(3) 施工のむら

転圧ヤード内を一樣に転圧機械が走行しなかった場合は、水平面内で密度のばらつきが生じる。一樣な転圧がなされたとしても、締固めエネルギーの分布は深さ方向に同じではないから、上層部と下層部で密度が異なることも考えられる。特にまき出し厚さの大きいロックゾーンでは深度方向の密度差が問題になるが、これには伝達されるエネルギー密度の違いと上記(2)の2つの問題が関係している。

(4) 材料自身の特性変化

長期にわたる盛立期間中には、原石山採取場の地質が変化してくるから、盛立材料の物性にも変化が現れる。この他にも、大量の土岩材料を盛り立てるため、短期的にみても、あるいは1層の盛立場内の場所によっても材料物性は変動する。これも密度のばらつきに反映される。

(5) 異種材料の混合

人為的な混合処理には限界があるので、混合率がある程度ランダムに変動するのは避けられない。

(6) 施工環境

降雨に伴う盛土表層部の湿潤化や、連続的な日照に伴う乾燥などの施工環境の変化も、密度変動にとっては無視できない要因の一つである。

(7) 密度試験の精度

大粒径の粗粒材料に対する密度試験の精度を評価する様々な努力が各所で試みられてきたが、これはかなり困難な作業を必要とするため、いまなお客観的な評価がしにくいのが実状と考えられる。特にロックゾーンにおける大容量の置換法のように、多大の労力と時間を要する試験の場合は、試験者の技量に依存するところも大きいため、精度評価はいっそう困難になる。

2.1.2 ばらつきへの対応

前項にあげたばらつきの原因のうち、(2)の材料分離と(4)の材料自身の変化以外の諸要因は、因子変量とみなすことができる。(2)と(4)は本来は施工上制御すべき要因と考えられるが、大型重機を用いた大規模施工においては制御に限界があるため、ときには因子変量とみなして処理するのが現実的な場合も多い。

設計実務においては、このようなばらつきがどのくらいの大きさになるかを把握することが重要であり、その大きさに応じてばらつきに伴うリスクを回避できる余裕度を設計において考慮する必要がある。すでに述べたように、各ゾーンの密度の分布は正規分布を用いて近似できることが知られている。ばらつきの大きさは一般に分散や標準偏差を用いて表される。分散を求めるためにはおよそ数十ないし100点程度の標本データが必要であるので、ロックゾーンの密度は大型表面型R I密度計などの簡便な密度試験法を用いる必要がある。ここで注意すべきなのは、ばらつきの大きさは測定対象を指定すれば決まるものではなく、どういう方法で密度を求めるかによっても異なるということである。測定精度が同じであっても、測定容積の大きさによって得られる分散の値が影響されるからである。普通、大型表面型R I密度計を用いて各ゾーンの密度分布を求めた場合、分散はコア→フィルター→ロックの順に後者ほど大きくなる。これは最大粒径が同じ順で大きくなるためであり、粒径と測定容積の違いが分散の値に直接反映されるためである。

2.2 試験ヤードの構成法

図-2.1 は従来の盛立試験によくみられるヤード構成法の一例である。この図ではまき出し厚さの影響と転圧回数の効果を調べる内容となっているが、両者の組合せ条件に対して一つの試験ヤードを設け、これを行列状に並べる配置となっている。このようなヤード配置法を以下「分離ヤード方式」と呼ぶことにする。密度試験に置換法を用いる場合、このような配置で計画するのは全く自然なものであり当然である。なぜなら、置換法では一つの試験条件に対して1回の測定しかできないからである。分離ヤード方式で得られたロック材料の盛立試験結果の一例を図-2.2 に示すが、この図からは転圧回数と密度との関係（転圧効果曲線と呼ぶ）が把握しづらい。

他方、非破壊試験法であるR I密度計を使用すると、所定の転圧回数ごとに何度でも繰り返し測定ができるから、例えば図-2.1 のH₁およびH₂のそれぞれ三つのヤードの試験は一つのヤードですませることができる。したがって、ヤードの数は転圧回数以外の試験要因（機種・仕上り厚さ・材料など）の組み合わせの数だけ施工すればよい。このようなヤード構成を以下では「固定ヤード方式」と呼ぶことにする。図-2.3 は固定ヤード方式で行われた泥流堆積物を用いた粗粒材料の盛立試験結果の一例である。図-2.2 では転圧効果曲線がでこぼこした折線で描かれているのに対して、図-2.3 の方では転圧効果が滑らかな双曲線で表現されており、実測値はこの曲線に非常によくフィットしていることが分かる。この二つの図の差をもたらした原因は、密度試験の方法が違ふこともあるが、より本質的なのはヤード構成法が異なっているという点にある。すなわち、図-2.2 では転圧回数の違いの他に、ヤード間で含水比や粒度にばらつきがあるためにその影響が加わってしまい、これらの目に見えない要因の変動が転圧効果の曲線をひずませてしまっていると考えられる。

以上の事例から分るように、転圧効果の正確な評価という点からみれば固定ヤード方式の方が優れている。ただし、この場合は非破壊で密度を測定できる計測器が不可欠となる。

ただし、固定ヤード方式の欠点は、粒度や含水比のばらつきの影響が単一ヤードの試験だけでは分らないということにある。したがって材料のばらつきが無視できないと考えられるとき（通常はそのようなケースが多い）には、固定ヤード方式の試験をいくつかのヤードを設けて繰り返す必要がある。

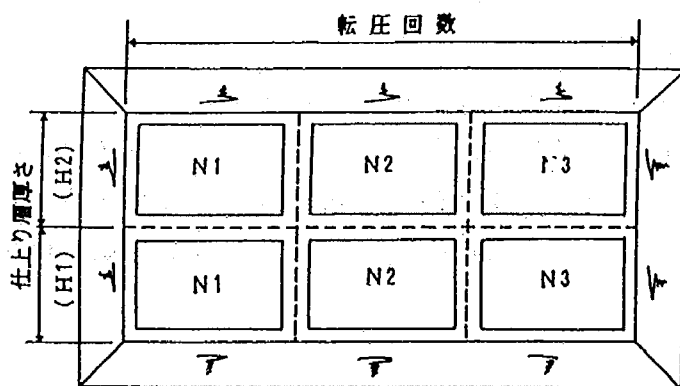


図-2.1 従来の典型的な試験配置

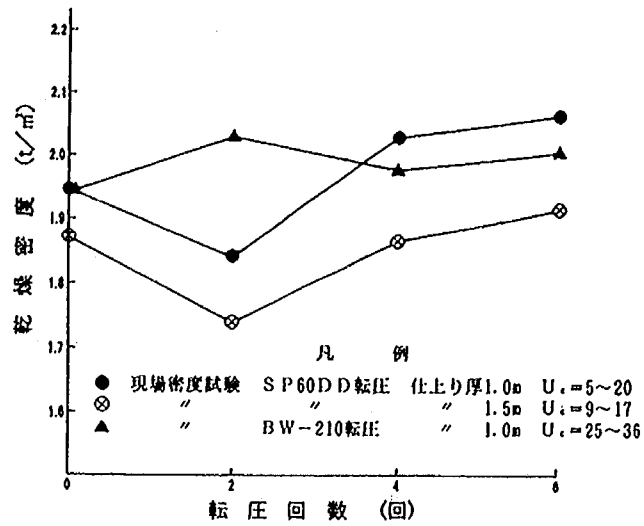


図-2.2 転圧回数と乾燥密度との関係（セヶ宿ダム）

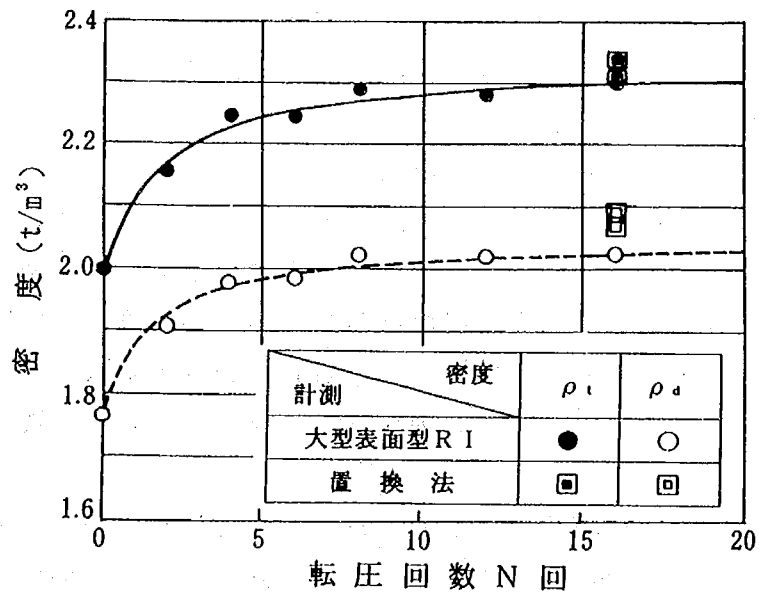


図-2.3 転圧回数と密度との関係（金原ダム：H=50cm）

3 R I 密度計によるフィルダム材料の密度試験法

従来、フィルダムの盛立試験や施工管理で行われる密度試験では置換法が用いられてきた。

置換法の特徴は①測定原理が単純明快であること、②各ゾーンのまき出し厚さや材料の最大粒径に応じて置換容積を自由にかえることが可能であるため、盛立厚さの全層密度が測定できることなどの点にある。しかし、a. 置換容積に比例して労力と試験時間が増大するため、実行可能な試験点数に限りがある、b. 破壊試験法であるから同一場所での繰り返し試験ができない、c. 材料の粒径や置換容積が大きくなるほど試験精度の評価が難しくなるなどの問題点も指摘されてきた。

一方、R I 密度計の場合は、a. 間接測定法であるため原理が分りにくい、b. 測定容積が限られている、c. 水分計測では α 補正（後述）のチェックが必要であるなどの問題点がある。反面、①非破壊測定法であることから、同じ場所の計測を繰り返し行うことができる、②測定時間が比較的短く、簡単に計測できるため、多点数データの収集に適しているなどの利点があるため、近年土工の盛土管理に積極的に利用されるようになってきている。

前章で述べたように、フィルダムの盛立てでは、大量の土量を大型機械を用いて急速に施工するため、締固め後の物性はばらついているのが普通であり、密度などのばらつきは正規分布などを用いて近似できることが知られている。したがって、盛立層の物性は本来統計的に評価する必要がある、このためにはある程度まとまったデータを容易に得ることができる試験法が必要になる。特に盛立試験では正確な判断が要請されるから、多点数の測定は不可欠の要素となる。R I 密度計はこれらの要求にかなり適合する特性をっており、R I 密度計の欠点とされた大粒径の材料や大容積の試験に適応できないという問題に対しても、最近、フレーム型 R I 密度計による新しい計測手法も考案¹⁾されており、コア材料からロック材料まで、フィルダムのすべてのゾーンで R I 密度計が利用できる状況になってきた。

表-3.1 はフィルダムに適用される R I 密度計の種類を整理したものである。大きくは地表層（表面から最大50cmの深さまで）の密度・水分量を地表面から測定する表面型とまき出し厚さの大きいロックゾーンの深部の密度を計測するフレーム型とに分けられる。表面型はまき出し厚さに応じて測定深さの異なる機種を選択することができる。これまでコアゾーンでは測定深さ20cmの標準型が、そしてフィルターゾーンやロックゾーンでは測定深さ30cmの大型（表-3.1 の A または C タイプ）が用いられてきた。

今回の盛立試験でも上記の表面型計器（大型は C タイプ）とフレーム型（ロックゾーンのみ）を組み合わせて用いた。

表-3.1 フィルダムに適用されるR I 密度計の分類

種 別	機 種	計測項目		測定深さ ℓ (cm)	適 用 ゾ ー ン			使 用 目 的	
		密 度	含水比		コ ア	フィルタ	ロック	盛立試験	施工管理
表面型	①標準型	○	○	20	○	×	×	○	○
	②大型A	○	—	30	×	○	△	○	○
	③大型B	○	—	50	×	○	△	○	○
	④大型C	○	○	30	×	○	△	○	○
	⑤大型D	○	○	30(水分) 50(密度)	×	○	△	○	○
フレーム型	⑥導管型	○	—	50~65	×	×	○	○	×

注) ○仕上り厚さ全層の測定ができる。
△仕上り厚さ全層の測定はできない。
×この機種は使用しない。

3.1 表面型R I 密度計による測定方法

3.1.1 標準型

コアゾーンの密度・水分計測に用いた、測定深さ20cmの標準タイプのR I 測定器（図-3.1）の仕様を表-3.2 に示す。この機種は道路や河川堤防などで利用されているR I 測定器と同じものである。

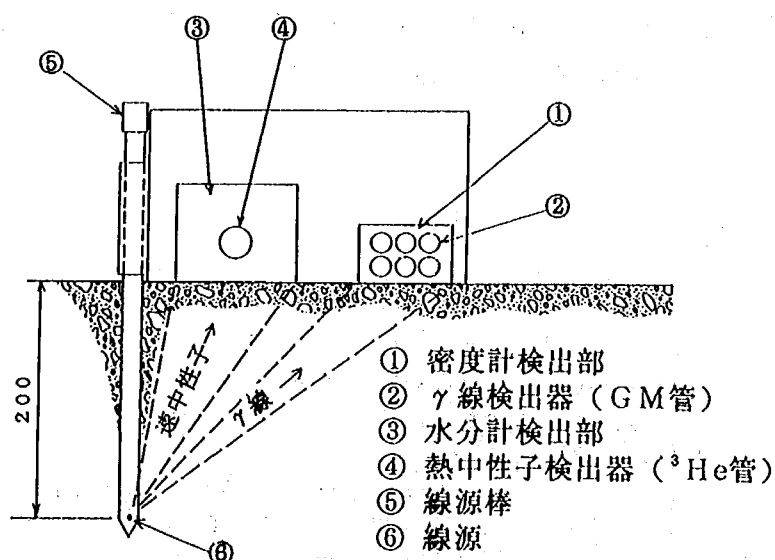


図-3.1 標準型R I 測定器の概要

表-3.2 標準型R I 測定器の仕様

	密 度 計	水 分 計
測定方式	ガンマ線透過型	速中性子線透過型
測定範囲	湿潤密度 0.8~2.8 t/m ³	含水量 0~1.0 t/m ³
線 源	コバルト60 (⁶⁰ Co) 2.6メガベクレル (MBq) 半減期5.26年	カリフォルニウム252 (²⁵² Cf) 1.1メガベクレル (MBq) 半減期2.65年
検 出 器	ガイガー・ミュラー (GM) 管	ヘリウム (³ He) 管
測定深さ	20 cm	
測定時間	標準体: 10分 現場: 1分	
表 示	大型液晶ディスプレイ、一括画面	
記 録 器	プリンター	
内部電源	バッテリー (充電式)、DC 6 V、充電器内蔵 連続使用可能時間: 12時間	
外部電源	AC 100 V (充電用電源)	
使用温度	0℃~50℃	

3.1.2 大 型

ロックおよびフィルターゾーンで使用した大型表面型R I 密度計 (図-3.2) の仕様を表-3.3 に示す。

大型表面型R I 密度計の計測では図-3.3 に示すように、1測点当り4方向の測定を行う。各方向について1分計測を3回繰り返している。密度測定の前に線源棒を装着しない状態で (線源棒は測定器本体から20m以上離間距離をとって遠ざけておく) 自然放射能 (バックグラウンド: BG) の計測を行う必要がある。

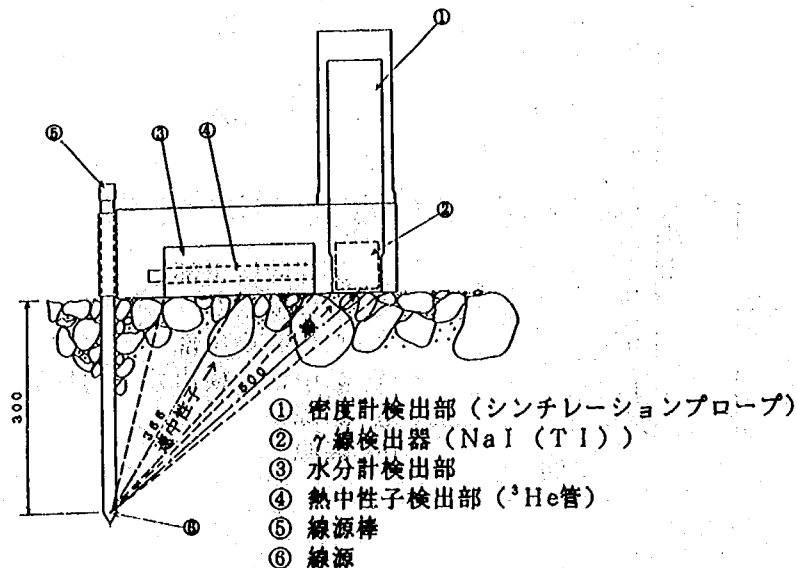


図-3.2 大型R I 測定器の概要

表-3.3 大型表面型R I密度計の仕様

測定方式	密度：ガンマ線透過型 水分：速中性子線透過型
測定範囲	密度：0.8～2.8 (t/m ³) 水分：0～1.0 (t/m ³)
測定深さ	30 (cm)
透過距離	密度：50 (cm) 水分：37 (cm)
測定時間	1分 (繰返し測定随意)
線 源	コバルト60：2.6メガベクレル (MBq) カリフォルニウム252：1.1メガベクレル (MBq)
検 出 器	NaIシンチレーション検出器 (密度測定) ³ He比例計数管 (水分測定)
使用温度	0～50℃
表 示	液晶デジタル表示 (236×62mm)
記 録	プリンタ
電 源	内蔵電池 (充電式・連続10時間以上使用可能)
本体重量	約20 (kg)
本体寸法	約450W×300D×140H (mm)

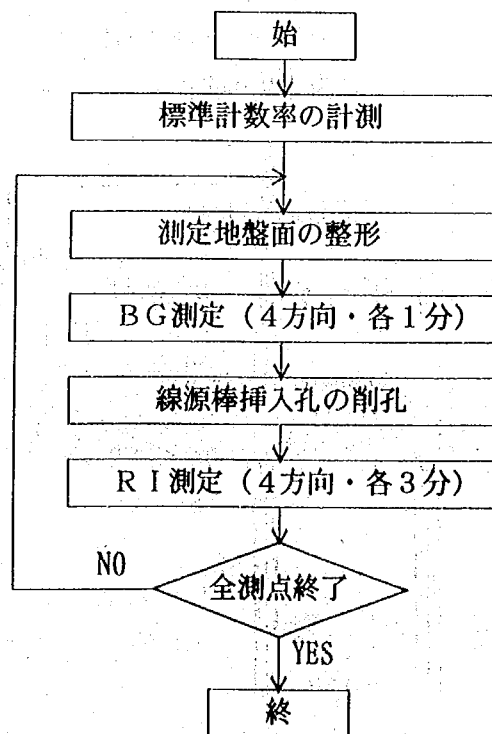


図-3.3 大型表面型R I密度計による計測手順

3.2 フレーム型 R I 密度計による測定方法

フレーム型 R I 密度計は、地中に埋設された導管フレームの片方に線源部を挿入し、他方にガンマ線検出器を挿入して、両者を同時に一定の速度（0.5 mm/秒）で自動的に引揚げながら、線源より検出器まで盛土内部を水平方向に透過するガンマ線量を測定して、フレーム間の鉛直方向の密度分布を求める計器である（図-3.4）。本装置は、水資源開発公団で開発されたものを土木研究所フィルダム研究室で自動化測定ができるように工夫したものである。

一般に導管フレームは盛土内に45°程度の傾斜をもたせて設置するので、仕上り厚さが1.0 mおよび1.5 mのヤードでは、それぞれ長さ $L=1.4$ mおよび2.1 mのフレームを使用する。

フレーム型 R I 密度計の仕様を表-3.4 に示す。

表-3.4 フレーム型 R I 密度計の測定仕様

線 源	コバルト60 : 3.7メガベクレル (MBq)	
検 出 器	NaIシンチレーション検出器	
透 過 距 離	650 mm	
測 定 方 式	連続自動引揚げ方式 (引揚げ速度0.5mm/sec)	
測 定 時 間	約33分/m	
自動引揚げ制御	パルスモータによるシンクロ制御	
導 管	1.0mヤード	$\phi 83 \times 650 \text{ mm} \times L 1400 \text{ mm}$ (有効測定長1,000mm)
	1.5mヤード	$\phi 83 \times 650 \text{ mm} \times L 2100 \text{ mm}$ (有効測定長1,700mm)
	材 質	STB 83-C 55

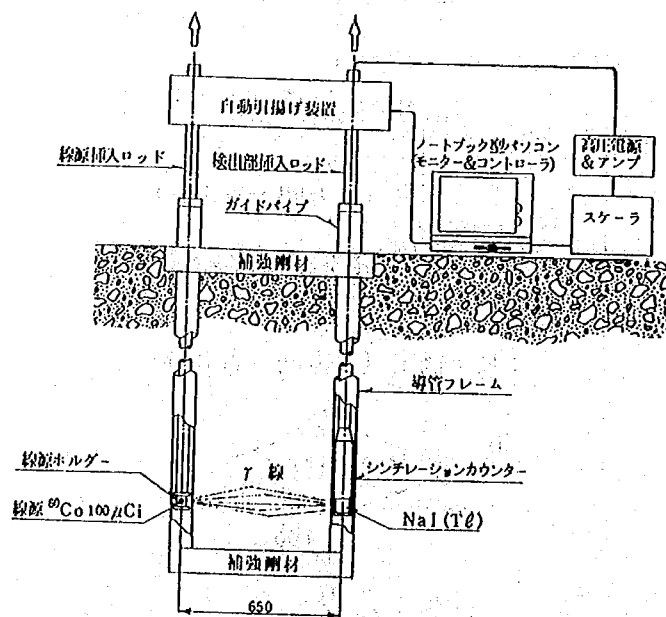


図-3.4 フレーム型 R I 密度計の概要

フレーム型 R I 密度計による計測手順の詳細を図-3.5 および写真-3.1 ~ 写真-3.3 に示す。計測準備を行って、まず検出部だけを導管内に挿入してこれを引揚げながら地中の B G (バックグラウンド) の分布を計測する。次いで、線源部と検出部の両方を導管内に挿入して両者を同時に引揚げながら、地中を透過するガンマ線強度の分布を計測する。透過ガンマ線量から B G を差引いた実効ガンマ線強度を用いて較正式から湿潤密度が算出される。

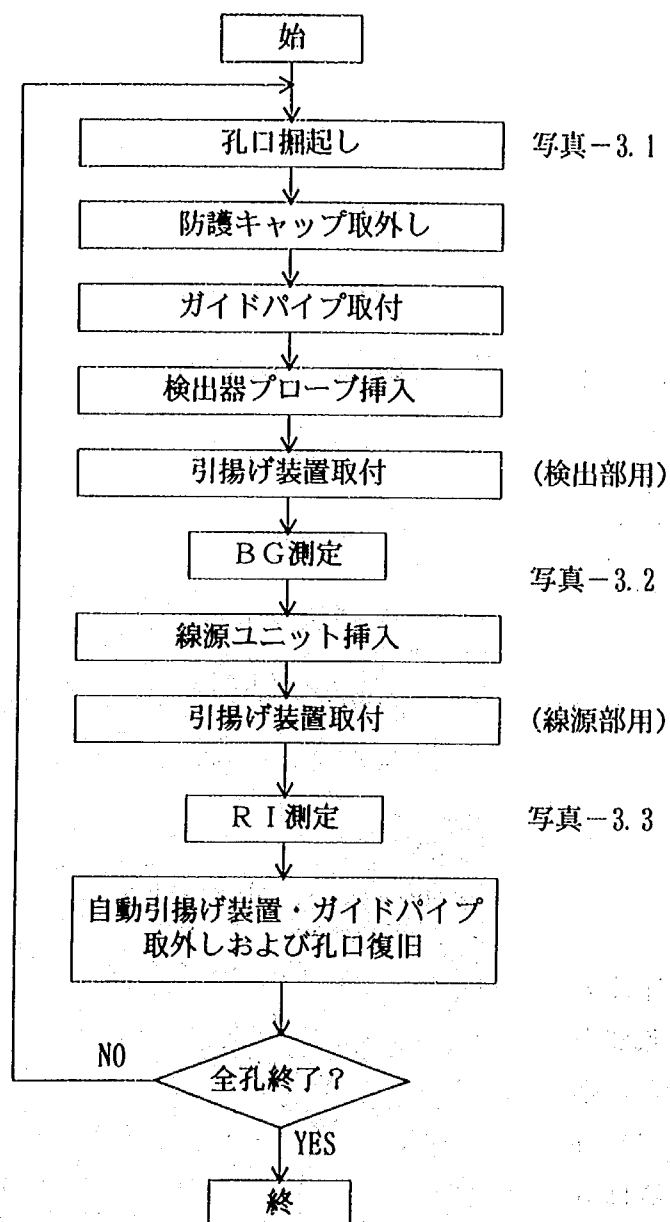


図-3.5 フレーム型 R I 密度計による計測手順

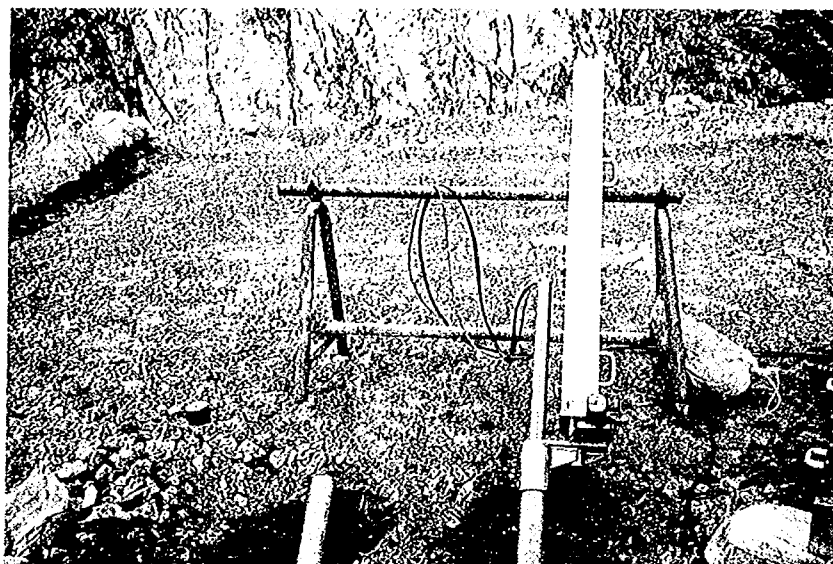
写真－ 3. 1
(孔口掘起し)

転圧後に孔口保護用の土のう袋を撤去し、孔口を露出させた状態。



写真－ 3. 2
(B G 測定)

自動引揚げ器により検出器（シンチレーションプローブ）だけを引揚げながら盛土中のバックグラウンドの測定を行う。



写真－ 3. 3
(R I 測定)

自動引揚げ器を2連装着して、検出部と線源部を同時に引揚げながら透過ガンマ線強度の測定を行う。2台の引揚げ器はコントロールユニットによりシンクロされている。



4 盛立試験材料の物性

4.1 ロックおよびフィルター材料

4.1.1 現場粒度

ロック材料およびフィルター材料の盛立試験ヤードから採取した全試料の粒度分布とその95%分布限界を図-4.1、図-4.2に示す。両材料の粒度分布はばらついて分布しているが、ばらつきの大きさは一般的なロック材料やフィルター材料と同程度と考えられる。両材料の平均的な粒度パラメータを表-4.1に示す。

表-4.1 ロックおよびフィルター材料の平均粒度特性

材 料		ロック材料	フィルター材料
最大粒径 d_{max}		750mm	150mm
均等係数 U_c		~35	~60
細粒側の 含有率	4.75mm以下	14.7%	31.8%
	2.0mm以下	10.2%	23.0%
	75 μ m以下	1.2%	1.4%

4.1.2 室内試験粒度

室内での突固め試験および三軸圧縮試験に用いた試験粒度を図-4.3 および図-4.4に示す。図の中で G_1 が図-4.2に示した現場の平均粒度である。両材料ともに、現場の平均粒度 G_1 の粒径100mm以下の曲線をスムーズに外挿した粒度曲線 G_2 から最大粒径63mmの相似粒度 G_3 を求め、これを各々の試験粒度とした。

4.1.3 比重・吸水率

ロック・フィルター両材料の比重・吸水率を図-4.5、図-4.6に示す。両材料は同じ原石山から採取されているため、比重・吸水率の値もほとんど差がない。いずれも G_0 が低下している。参考のため、19mm以上の G_0 と Q の平均値を他ダムの透水材料と比較すると、図-4.7に示すように、今回の試験材料はいずれもAグループに属しており、一般的な透水性材料とみることができる。

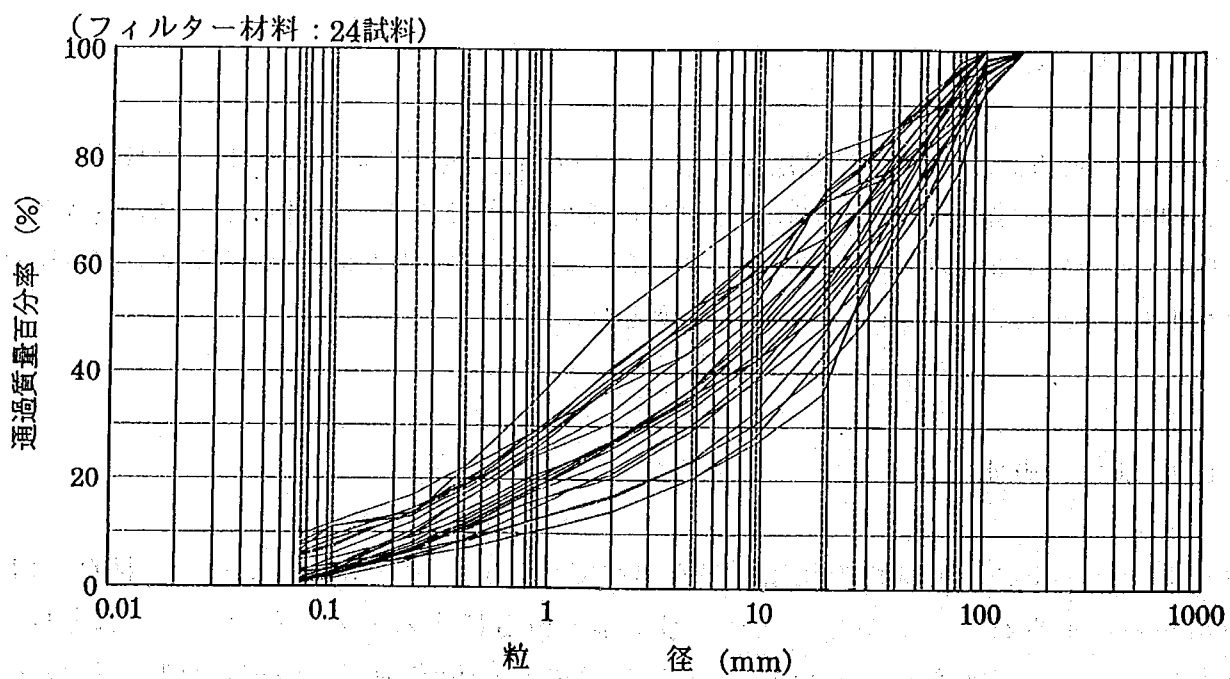
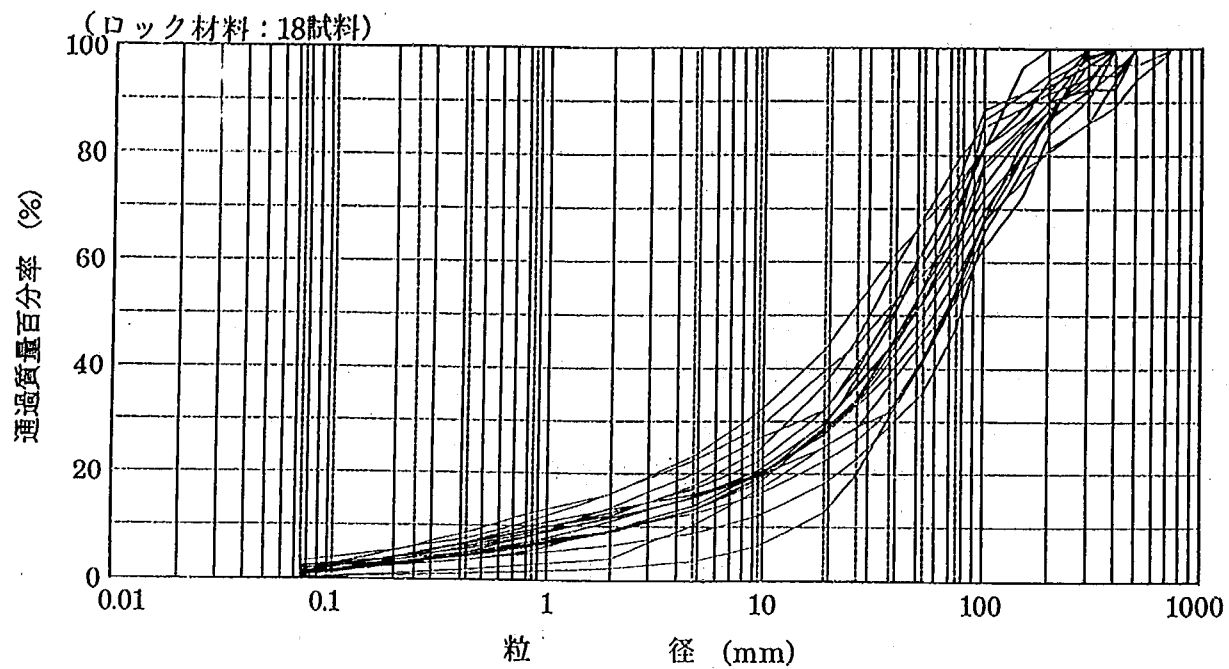


図-4.1 ロック材料およびフィルター材料の粒度曲線の分布 (75 μ 以上)

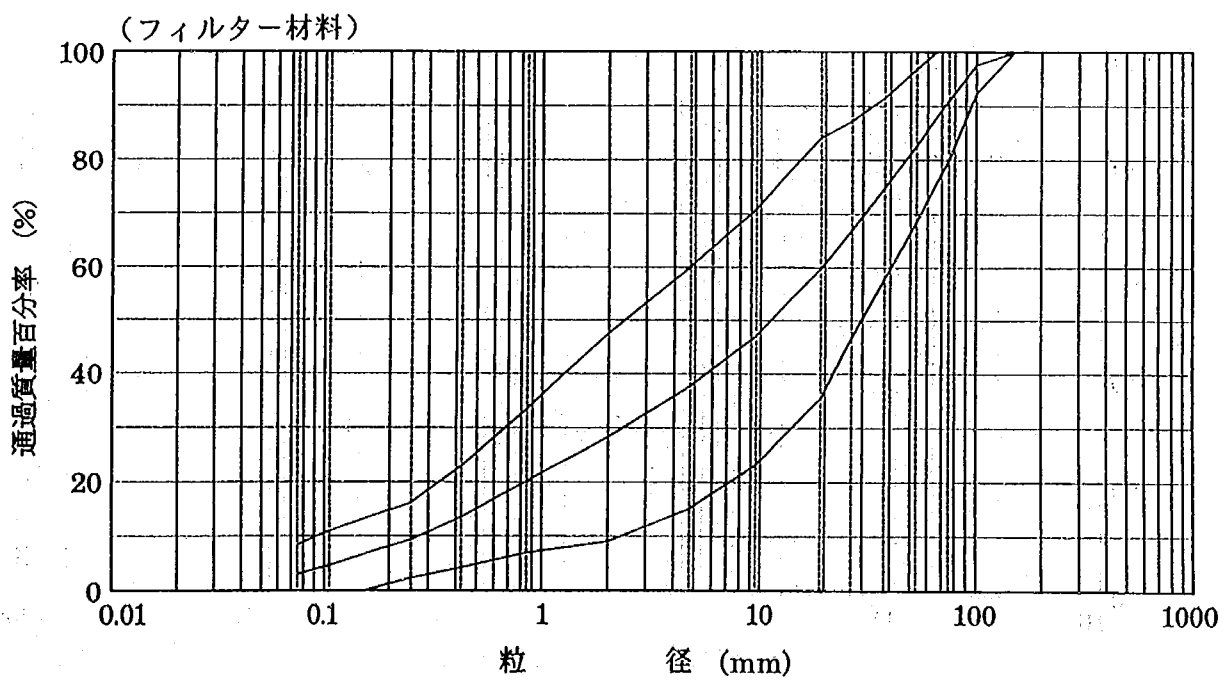
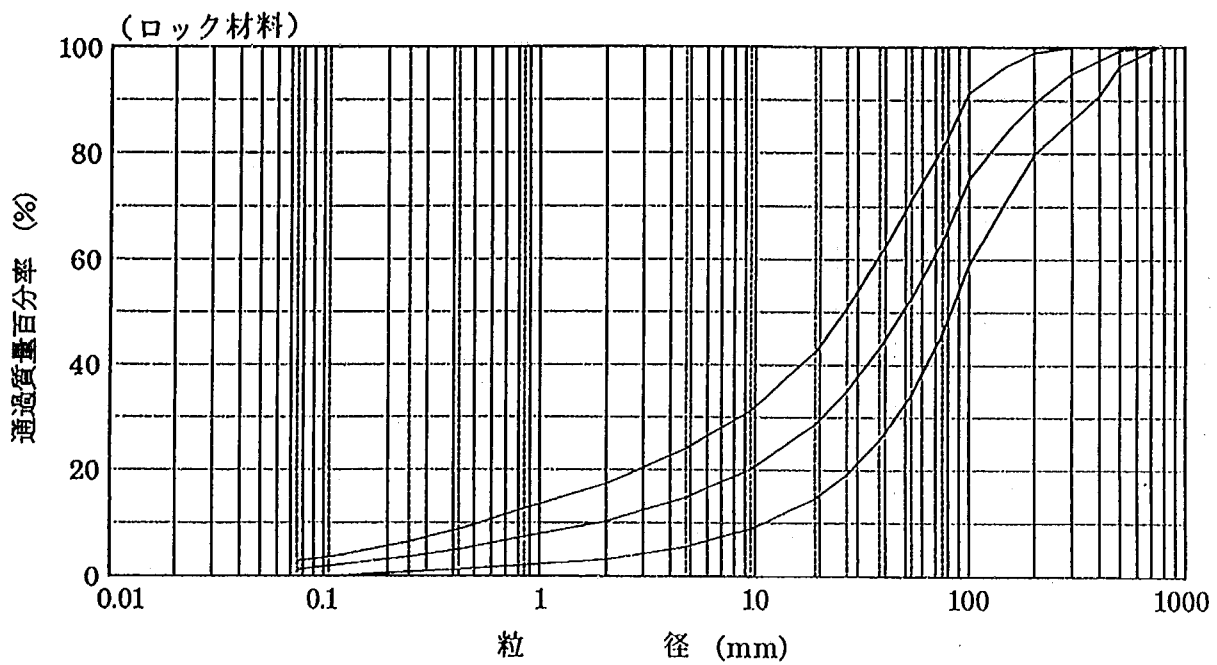


図-4.2 ロック材料およびフィルター材料の平均粒度と95%分布限界 (75 μ 以上)

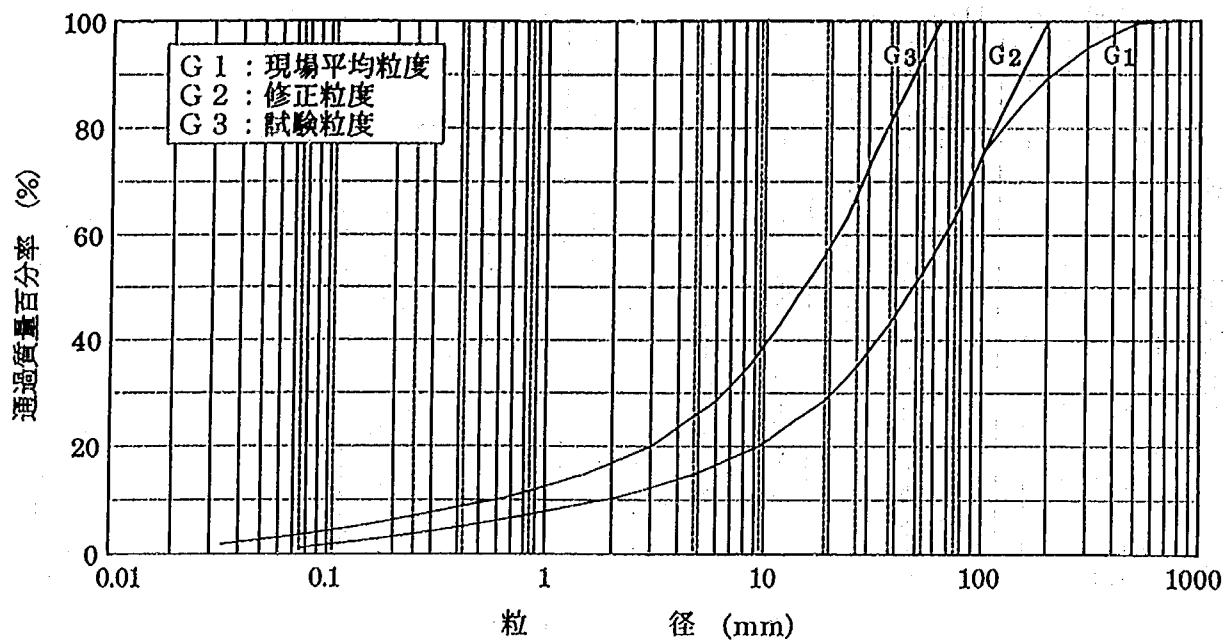


図-4.3 ロック材料の試験粒度

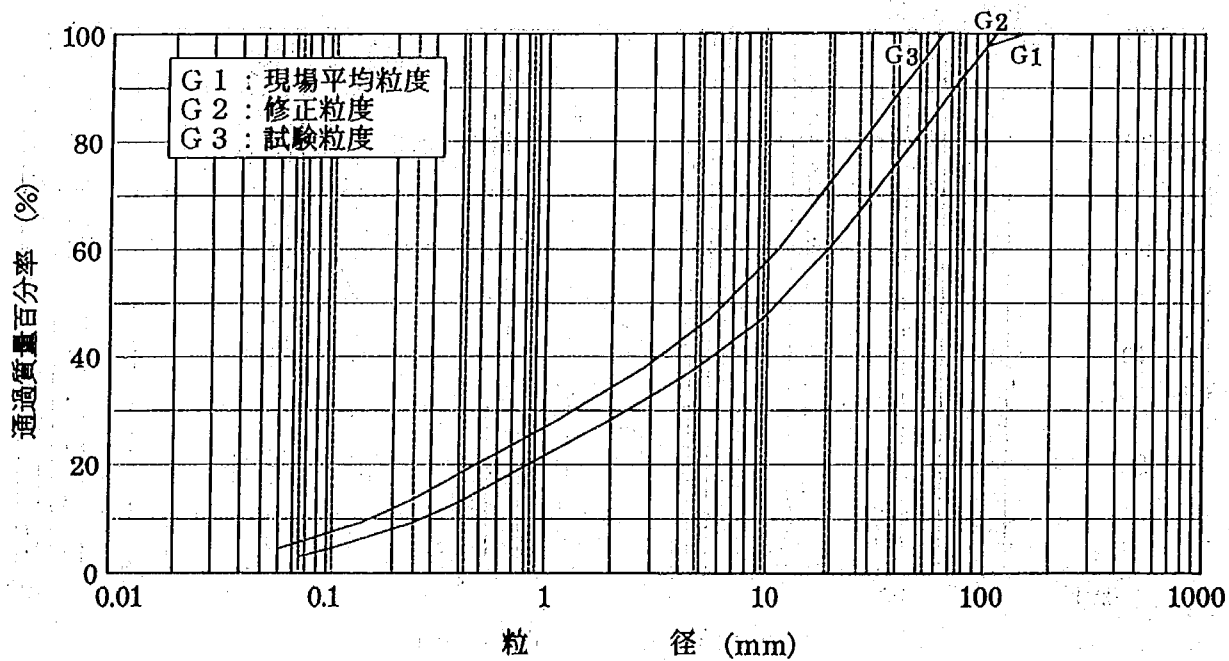


図-4.4 フィルター材料の試験粒度

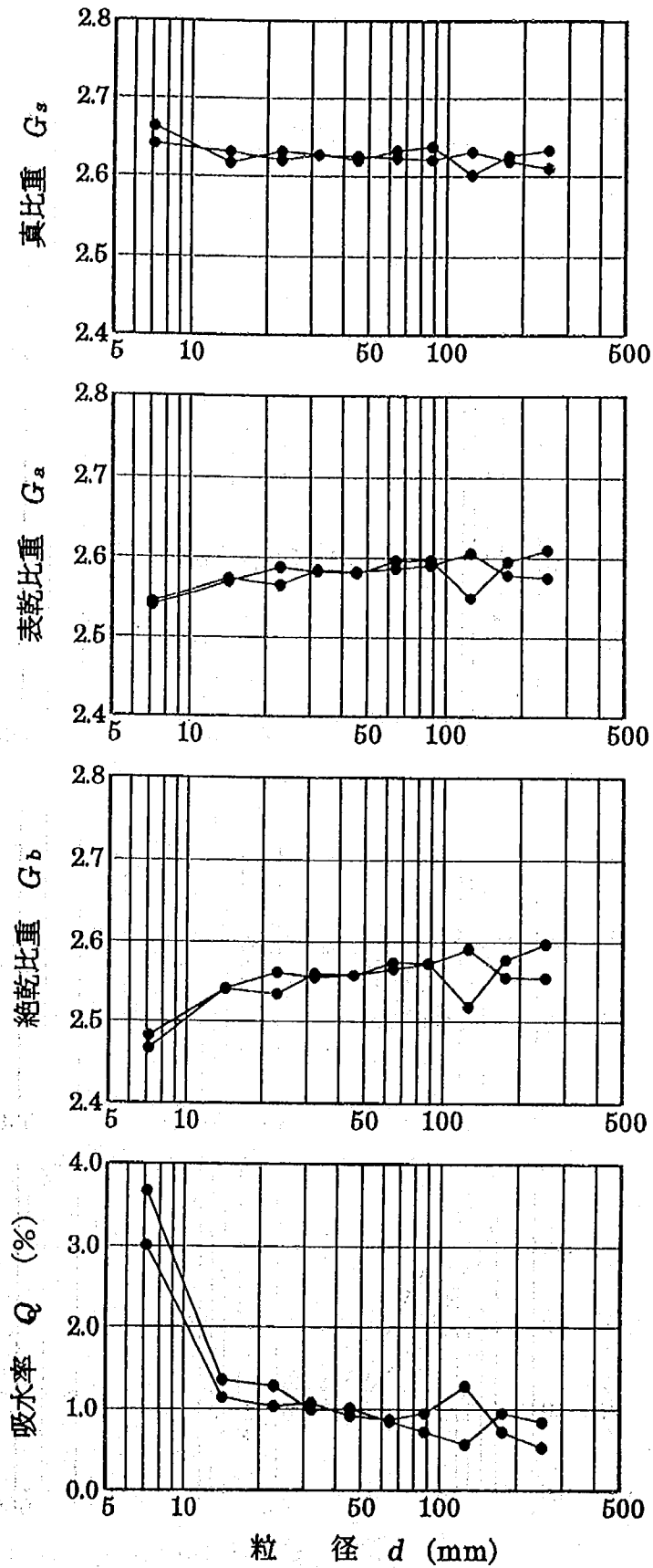


図-4.5 比重および吸水率（ロック材料）

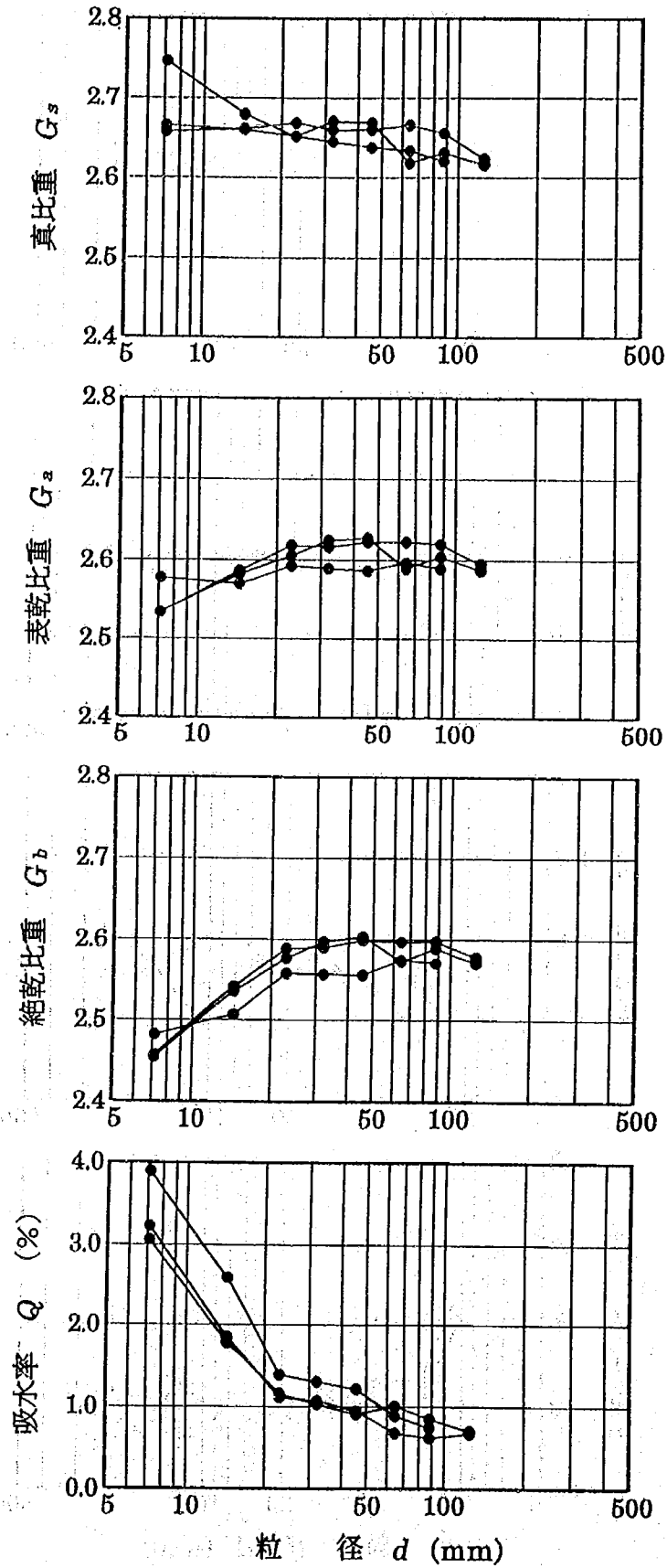


図-4.6 比重および吸水率(フィルター材料)

材 料	絶乾比重 G_b	吸水率 Q (%)
ロック材料	2.563	0.904
フィルター材料	2.580	0.952

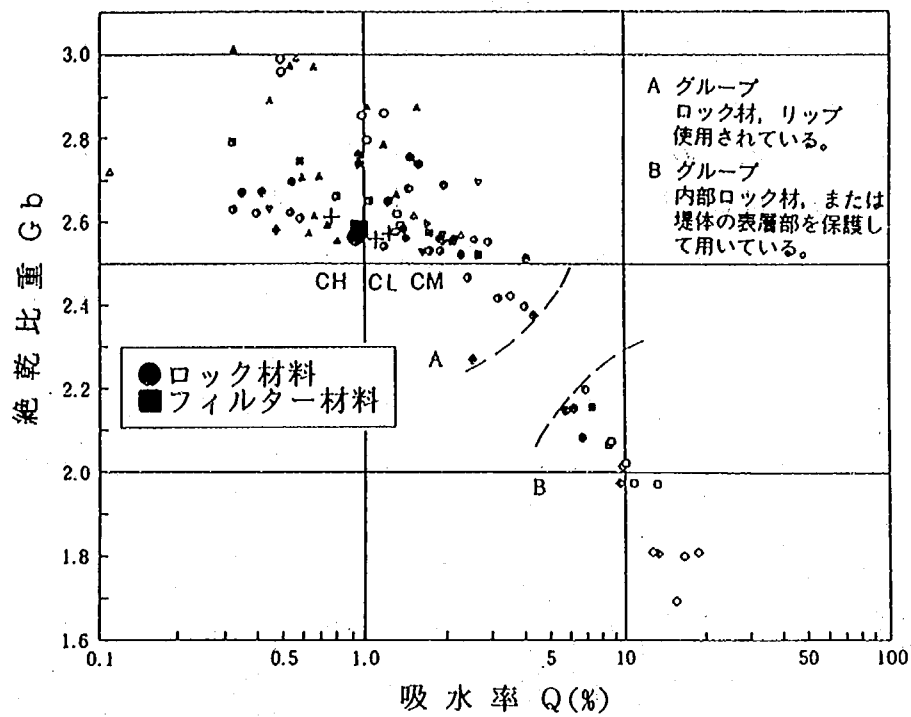


図-4.7 岩石の絶乾比重と吸水率

4.1.4 締固め特性

大型電気ハンマーを用いて締固めた（モールドの直径30cm、高さ35.3cm、容積25ℓ 3層締固めによる）ときの1層当たりの締固め時間と乾燥密度との関係を図-4.8に示す。ロック1とロック2とでは締固め曲線に差が出ているが、フィルター1とフィルター2の試料の締固め曲線はほぼ一致している。ロック1とロック2はいずれも花崗岩の原石山から発破採取されたものであるが、後者は破砕帯材料を多少含んでいるため岩質的にロック1より若干劣るものと考えられる。しかし、図-4.5に示したように両試料の比重・吸水率にはほとんど差がない。

締固め時に生ずる粒子破砕の程度をMarsalの破砕率 B_M で表し、図-4.9に両材料の破砕率を比較した。ロック材料では締固め時間と破砕率との関係が比較的良好にまとまっているのに対して、フィルター材料の破砕率は大きくばらついた結果が得られた。しかし、全体としてみた場合、両材料の破砕率はほぼ同程度とみなしてよいと考えられる。

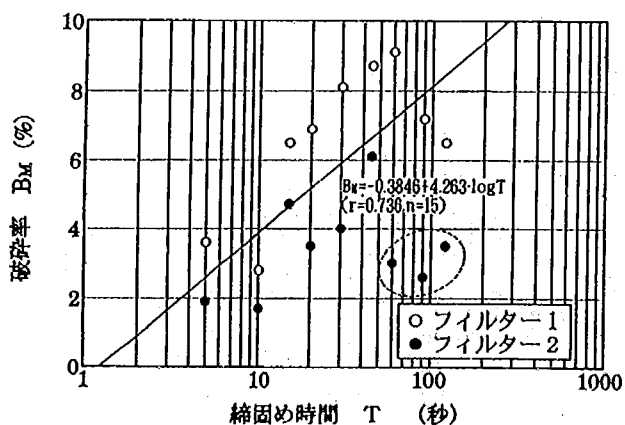
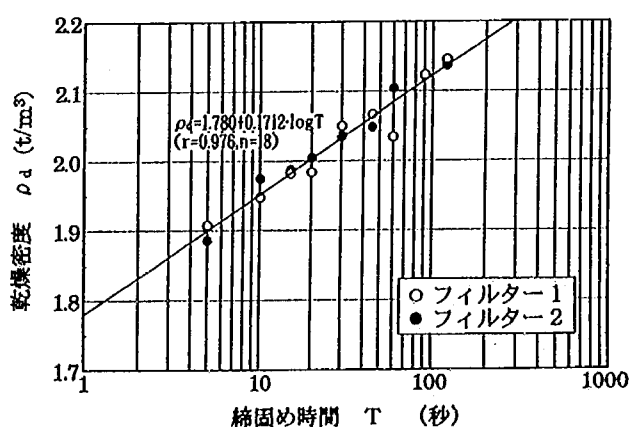
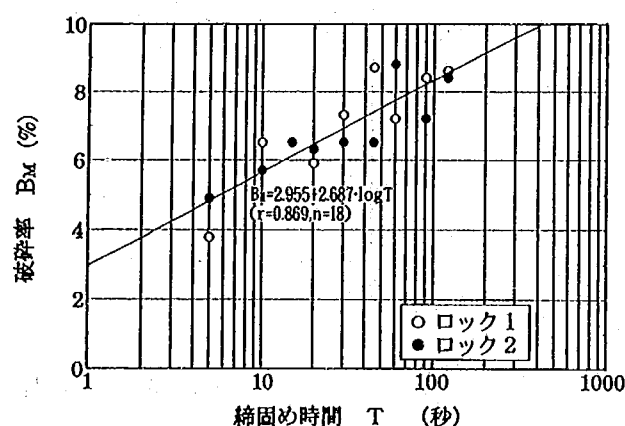
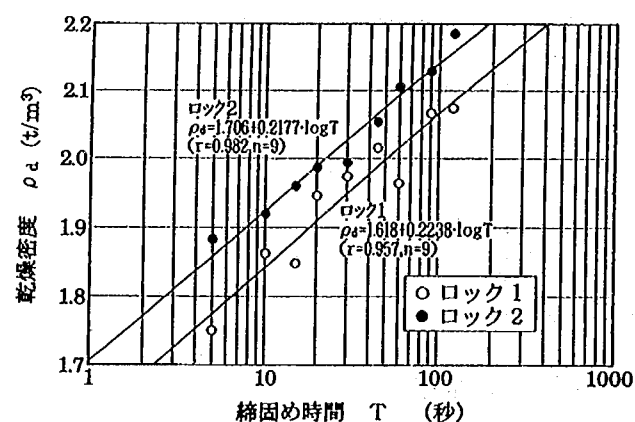


図-4.8 締固め時間と乾燥密度との関係

図-4.9 締固め時間と破砕率との関係

4.1.5 透水特性

図-4.10に締固め密度と透水係数との関係を示す。透水係数（対数軸）は乾燥密度の増加に対して直線的に低下している。ロックとフィルターの回帰曲線の違いはわずかであり、両材料の透水係数と締固め密度との関係は共通の曲線で表すことができる。

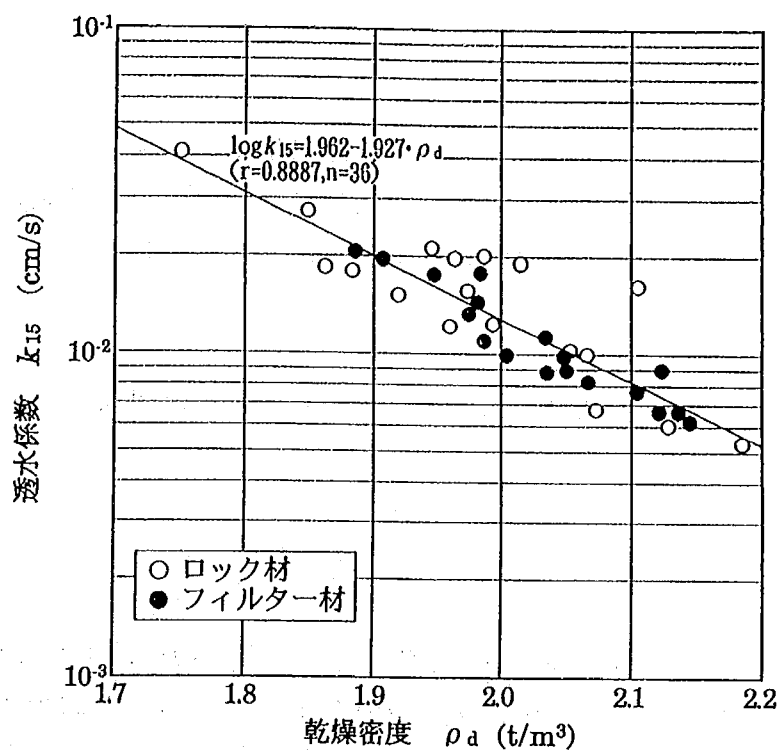


図-4.10 締固め密度と透水係数との関係

4.1.6 セン断強度特性

ロック材料、フィルター材料の強度特性を明らかにするため、大型三軸圧縮試験（直径30cm、高さ60cm：CD試験）を行った。試験では供試体の密度を3水準設定（ゆるづめ・中間・密づめ）して気乾状態のせん断強度と密度との関係を調べた。中間の条件に対しては飽和時の試験もあわせて行い気乾供試体と比較した。

(1) 圧密特性

図-4.11に圧密時の側圧と圧縮率との関係を示す。圧縮率はフィルター材料よりもロック材料の方がやや大きい。中間供試体の気乾状態と飽和状態の圧縮率を比べると、フィルター材料では水浸によって圧縮率が大きくなり、気乾状態のゆるづめ供試体と同程度の値を示しているのに対して、ロック材料の場合は気乾と飽和時の差はほとんどない。

(2) セン断強度

式(4.1)で定義される内部摩擦角 ϕ_0 と側圧 σ_3' との関係を図-4.12に示す。

$$\phi_0 = \sin^{-1} \left[\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1' + \sigma_3'} \right] \quad \text{----- (4.1)}$$

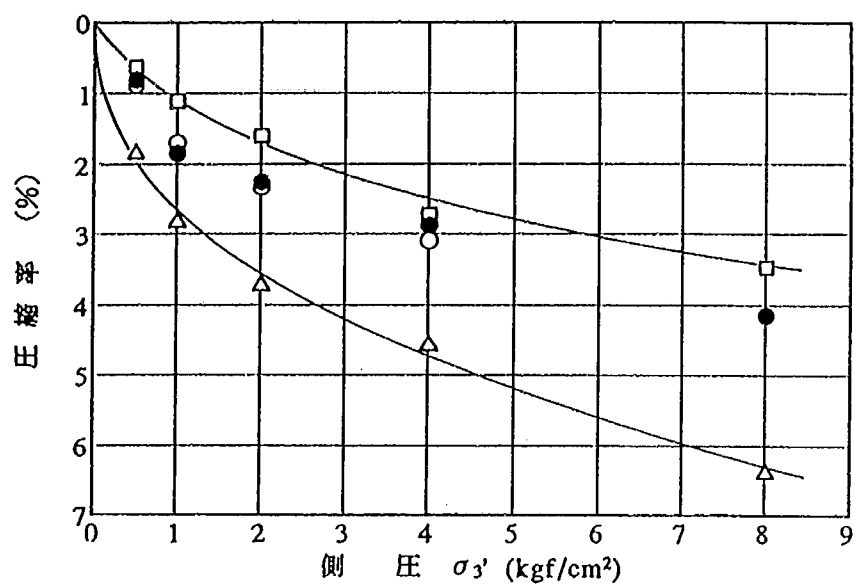
一般のロック材料と同様に ϕ_0 は $\log \sigma_3$ の増加とともに直線的に減少している。ただし、 $\sigma_3 = 8$ (kgf/cm²)においても ϕ_0 は40度以上の値を示している。密詰の条件ではロック材料とフィルター材料の ϕ_0 はあまり変わらないが、密度の低下に伴う ϕ_0 の減少はロック材料の方がフィルター材料よりも顕著である。

ところで、粗粒材料の垂直応力 σ_n' とせん断応力 τ_i との関係は次式で表せることが知られている。

$$\tau_i = A \sigma_n'^b \quad \text{----- (4.2)}$$

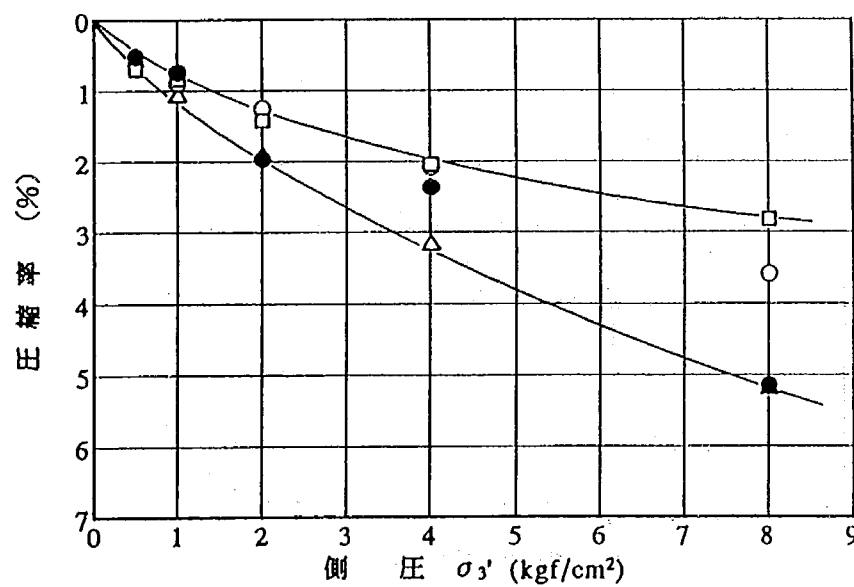
図-4.13は三軸圧縮試験結果を $\tau_i \sim \sigma_n'$ の関係を両対数軸上に整理したものであるが、(4.2)はきわめて精度よく両者の関係を表していることが分る（相関係数は0.99以上の値を示した）。 σ_n' が小さい領域では τ_i は密度によってかなり変化するが（ロック材料の方が密度の影響をより強く受けている）、 σ_n' が15 (kgf/cm²)程度に達すると τ_i は初期密度によらなくなる。

また、フィルター材料は水浸に伴ってせん断強度がかなり低下しているのに対して、ロック材料の方はほとんど変わらない。この点は圧密特性と同様の傾向を示している。



(ロック材料)

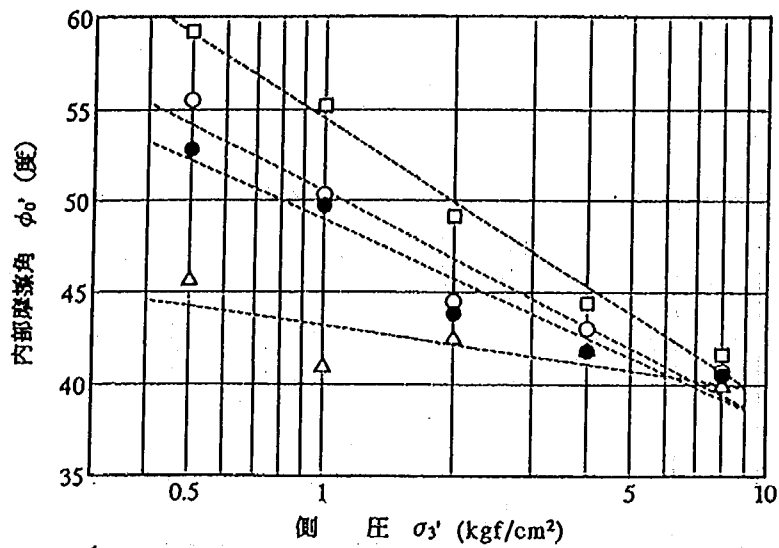
記号	試験条件
△	気乾緩詰
○	気乾中詰
□	気乾密詰
●	飽和中詰



(フィルター材料)

記号	試験条件
△	気乾緩詰
○	気乾中詰
□	気乾密詰
●	飽和中詰

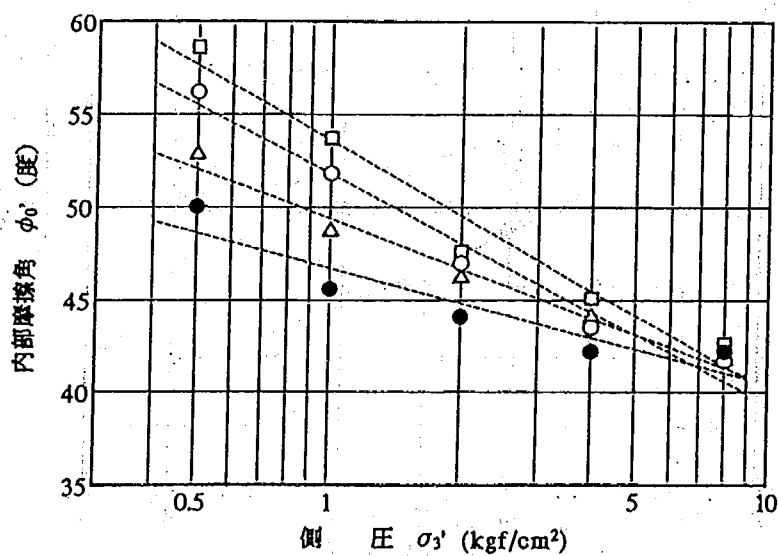
図-4.11 三軸圧密特性



(ロック材料)

記号	試験条件	A	B	r
△	気乾緩結	43.17	-3.488	0.7677
○	気乾中結	50.49	-12.258	0.9694
□	気乾密結	54.50	-15.281	0.9935
●	飽和中結	48.97	-10.796	0.9700

$$\phi_0' = A + B \cdot \log \sigma_3'$$

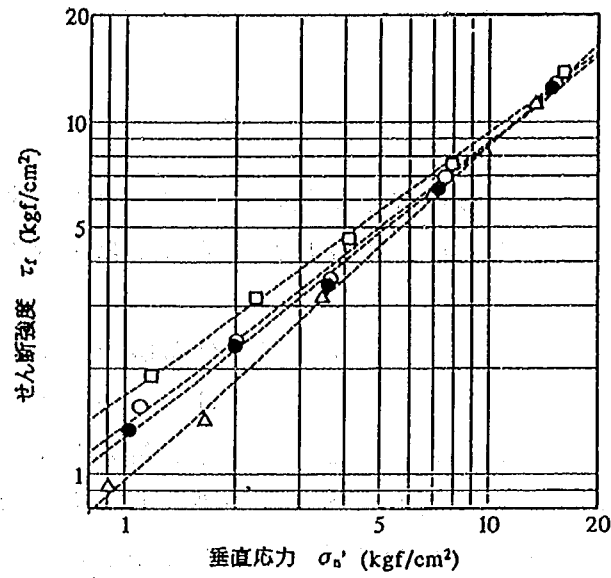


(フィルター材料)

記号	試験条件	A	B	r
△	気乾緩結	49.37	-8.936	0.9906
○	気乾中結	51.77	-12.391	0.9877
□	気乾密結	53.58	-13.487	0.9817
●	飽和中結	46.72	-6.312	0.9306

$$\phi_0' = A + B \cdot \log \sigma_3'$$

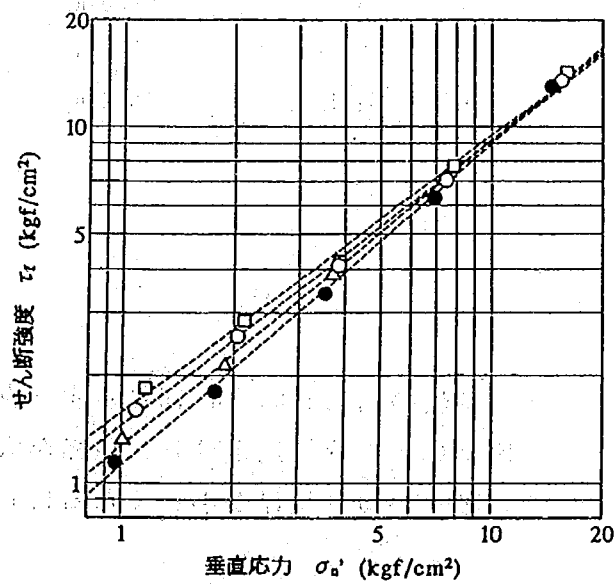
図-4.12 側圧と内部摩擦角との関係



(ロック材料)

記号	試験条件	A	b	r
△	気乾緩結	0.962	0.948	0.9988
○	気乾中結	1.375	0.804	0.9978
□	気乾密結	1.682	0.745	0.9991
●	飽和中結	1.276	0.829	0.9985

$$\tau = A \cdot \sigma_v'^b$$



(フィルター材料)

記号	試験条件	A	b	r
△	気乾緩結	1.270	0.859	0.9997
○	気乾中結	1.449	0.800	0.9991
□	気乾密結	1.579	0.778	0.9982
●	飽和中結	1.121	0.903	0.9991

$$\tau = A \cdot \sigma_v'^b$$

図-4.13 垂直応力とせん断強度との関係

4.2 コア材料

4.2.1 粒度分布

図-4.14は本試験ヤードから採取した72試料の粒度曲線を全て示したものである。1層1試験ヤードあたり、まき出し時に採取した1試料と転圧後の置換孔より掘削採取した5試料が含まれている。

各ふるい目ごとの加積通過率の平均値と95%分布限界を示すと図-4.15のようになるただし、粒径 $75\mu\text{mm}$ 以下については、 $75\mu\text{mm}$ における分布限界幅と平均加積率との比が $75\mu\text{mm}$ 以下においても変わらないものとして分布限界を推定した。また、 $75\mu\text{mm}$ 以下の平均粒度曲線は3試料について行った粒度試験結果を平均したものである。

表-4.2 にコア材料の平均的な粒度パラメータを示す。

表-4.2 平均粒度特性

最大粒径		$d_{max}=150\text{mm}$
均等係数		$U_0 \simeq 1000$
細粒側の含有率	19mm以下	84.6%
	4.75mm以下	69.6%
	$75\mu\text{mm}$ 以下	19.8%
確率(19mm以上)		15.4%

4.2.2 比重・吸水率

各粒径区間の比重・吸水率試験の結果を図-4.16に示す。真比重 G_s は粒径によってほとんど変わらないが、表乾比重 G_a と絶乾比重 G_b は粒径が大きくなるにつれてわずかに増大する傾向を示している。吸水率 Q は粒径が小さくなるにしたがって明らかに増大している。

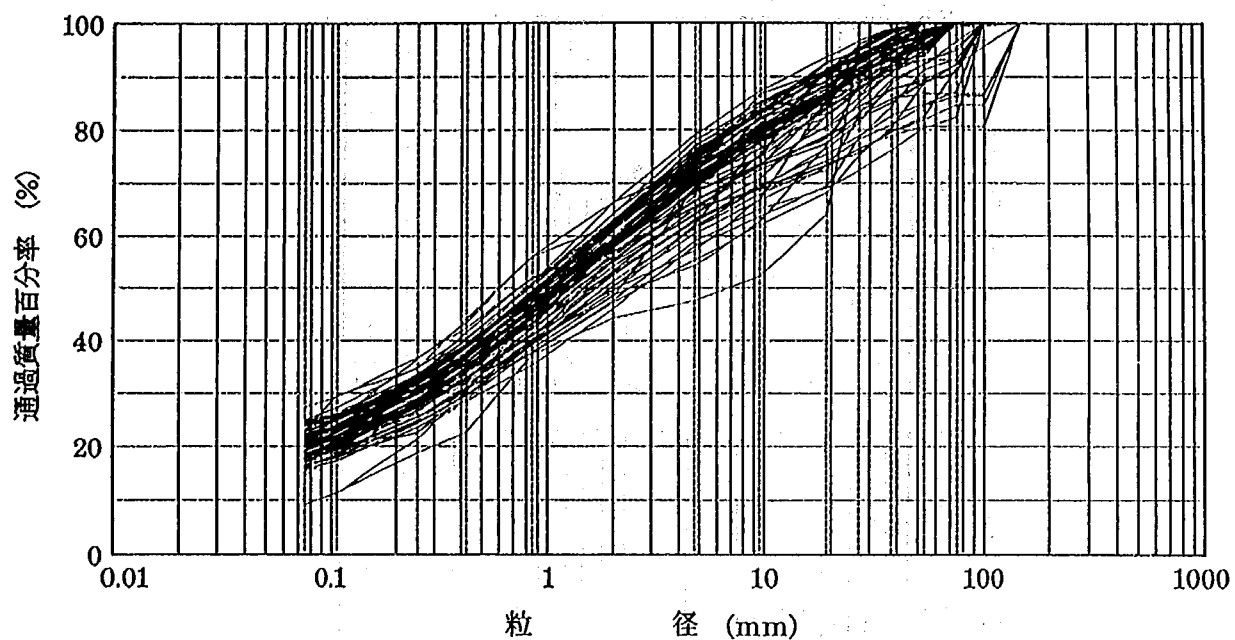


図-4.14 コア材料の粒度曲線の分布（全72試料：75 μ 以上）

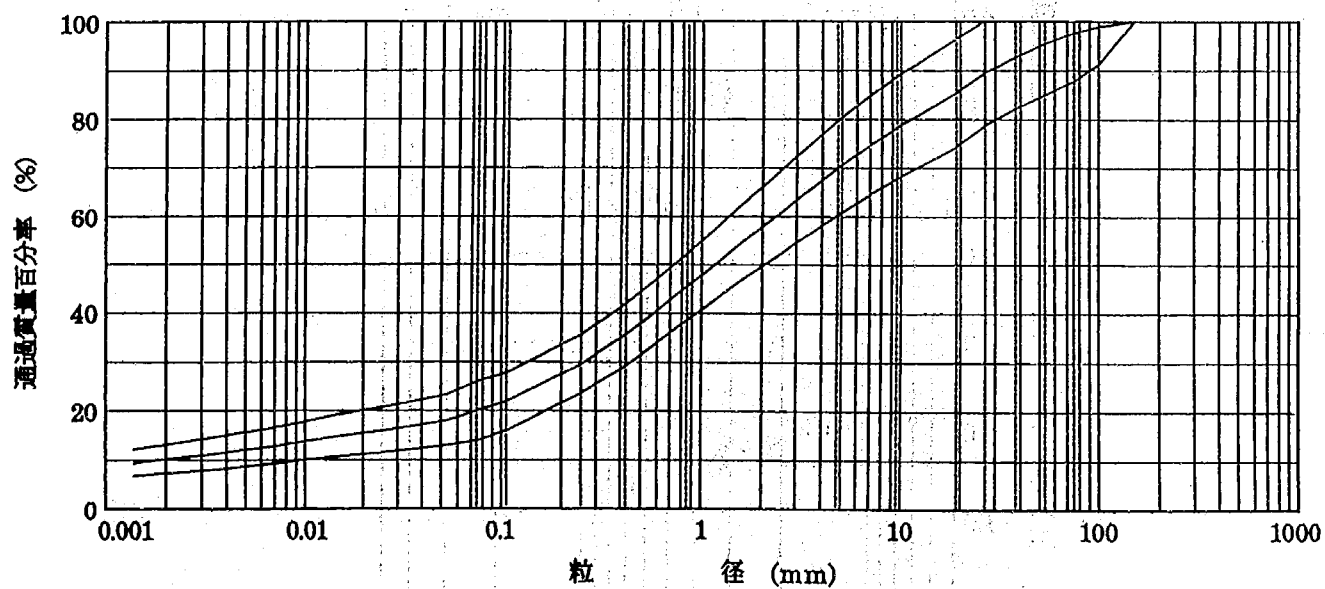


図-4.15 コア材料の平均粒度と95%分布限界

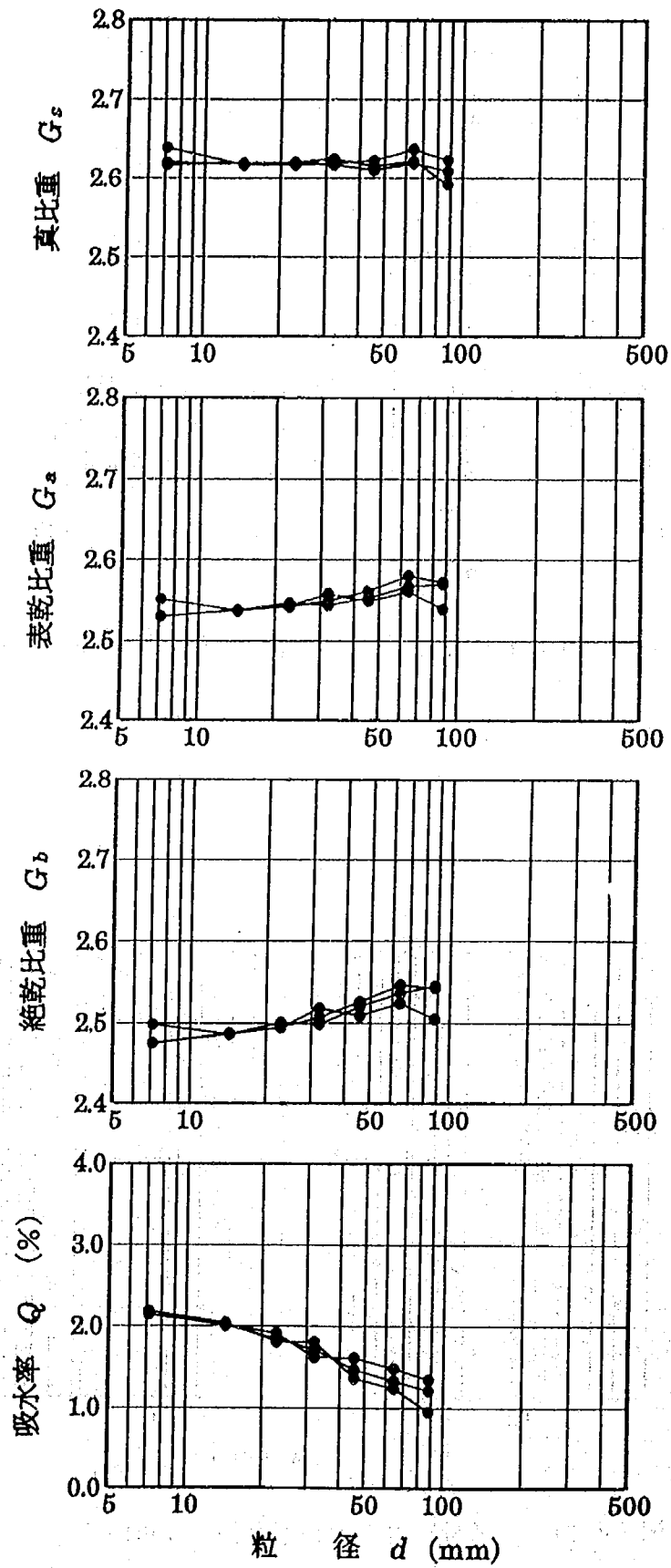


図-4.16 比重および吸水率 (コア材料)

4.2.3 締固め・透水特性

締固めエネルギー 1 E c および 2 E c で行った突固め透水試験の結果を図-4.17に示す。盛立試験を行うまえに造成したストックパイルからの採取試料を用いて別途行った突固め試験 (1 E c) の結果から、最適含水比 ω_{opt} と最大乾燥密度 ρ_{dmax} ばらつき (標本数 $n=15$) を示すと表-4.3 のようになる。

表-4.3 突固め特性のばらつき

項 目		平均値	標準偏差	最小値	最大値
自然含水比 $\omega_n(\%)$	全粒径	14.7	3.21	9.7	22.1
	19mm以下	16.0	0.66	14.4	17.2
粒 度	最大粒径	102.5	39.8	37.5	150.0
	19mm以下(%)	80.2	6.96	63.1	88.7
	4.75mm以下(%)	66.8	6.69	51.9	76.2
	0.075mm以下(%)	19.5	3.30	13.2	24.9
突固め特性	$P_{dmax}(t/m^2)$	1.749	0.016	1.730	1.796
	$\omega_{opt}(\%)$	16.1	0.62	15.3	18.0

図-4.18は75 μ mm以下の細粒分含有率 f_c と ω_{opt} および ρ_{dmax} との関係を示したものであるが、突固め特性と細粒分含有率との間には有意な相関は認められない。 ρ_{dmax} と ω_{opt} の相関についても同様であった。したがって表-4.3 によって示された粒度範囲内の締固め特性のばらつきは統計的なものとみるのが妥当と考えられる。

次に最適含水比 ω_{opt} および $\omega_{opt}+3\%$ の試料を用いて、突固めエネルギーをかえたときの突固め透水試験結果を図-4.19に示す。突固め後の乾燥密度は1 E c 以上ではほとんど変化せず、エネルギーの違いよりも含水比の差が密度に影響している。すなわち、突固めエネルギーよりも含水比の違いによって生じる密度の差によって、透水係数が変化するという見方ができるような結果となっている。

4.2.4 せん断強度特性

19mm以下のせん頭粒度で行った圧密非排水条件の三軸圧縮試験結果を図-4.20に示す。 $\omega_{opt} \sim \omega_{opt}+3\%$ の範囲では、含水比や締固めエネルギーの違いがせん断強度に与える影響は明らかではない。

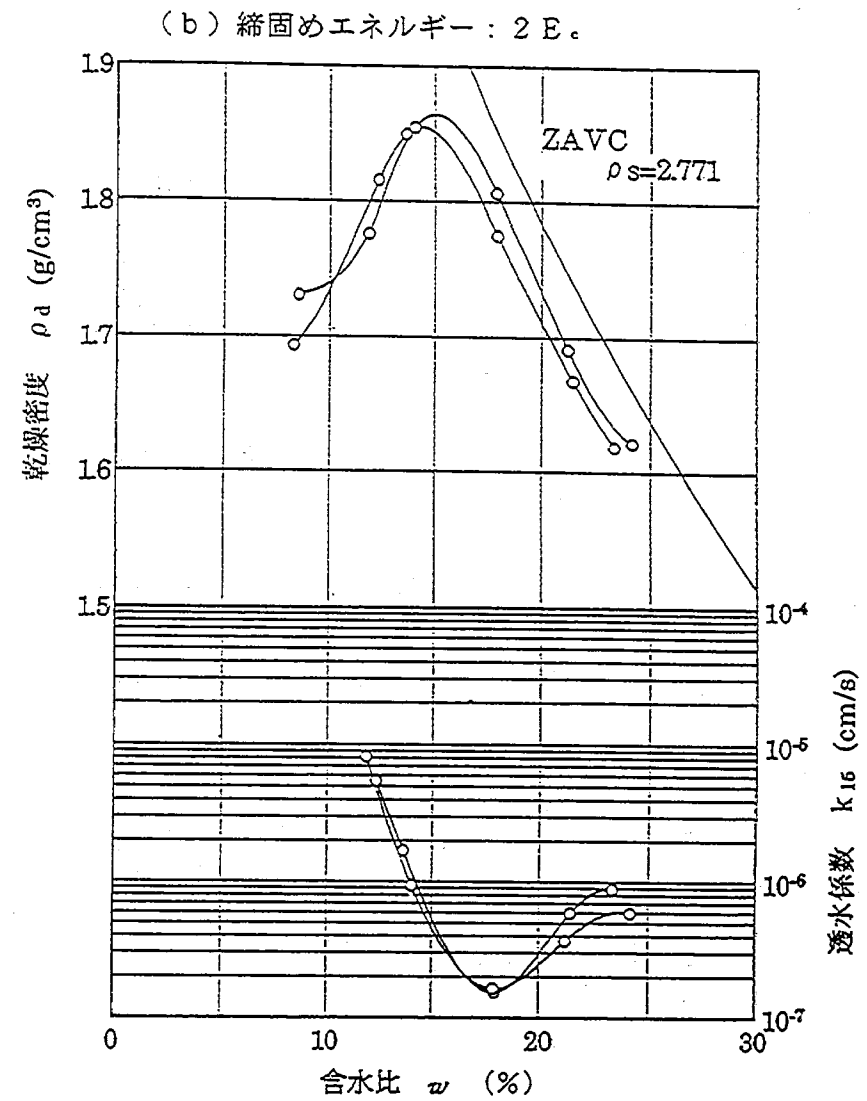
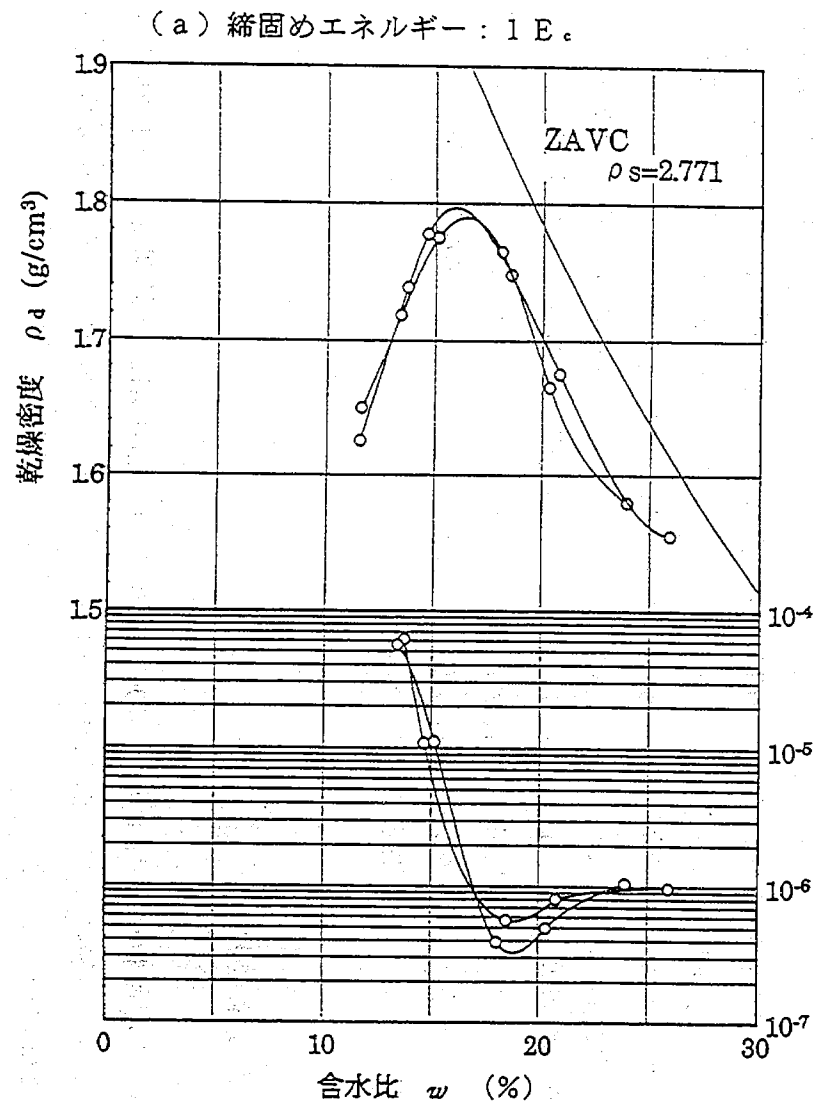


図-4.17 コア材料の締固め透水特性

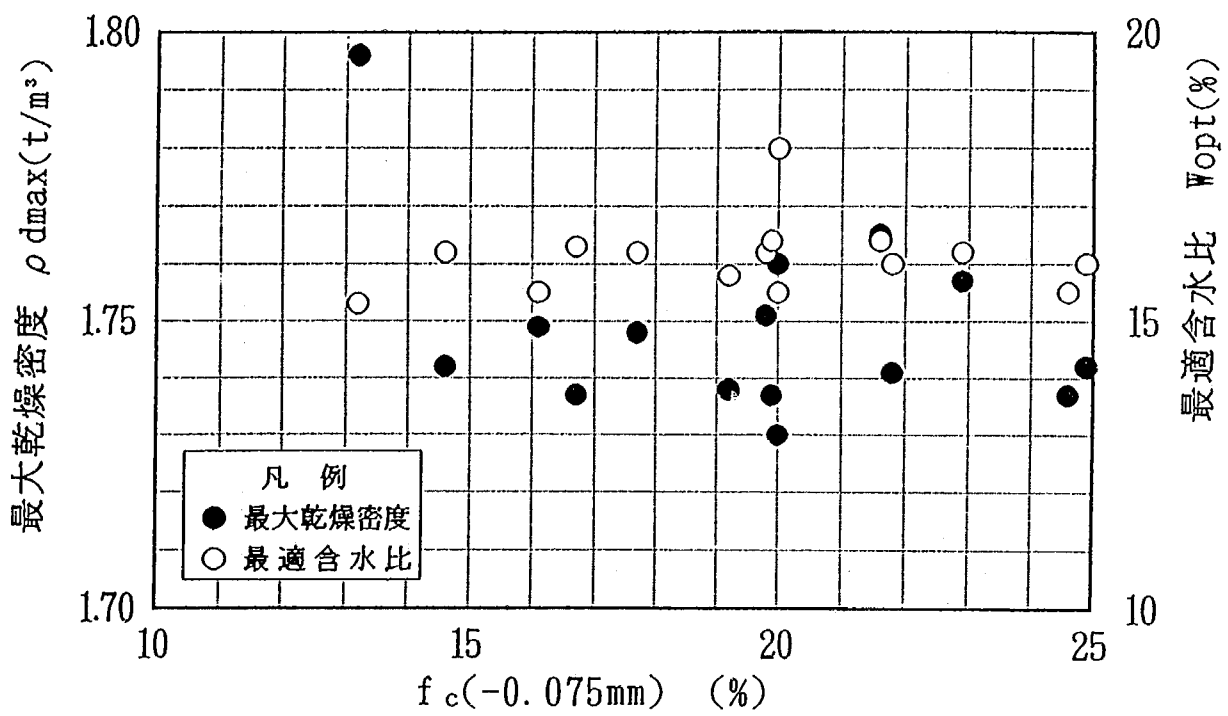


図-4.18 細粒分含有率 f_c と突固め特性との関係

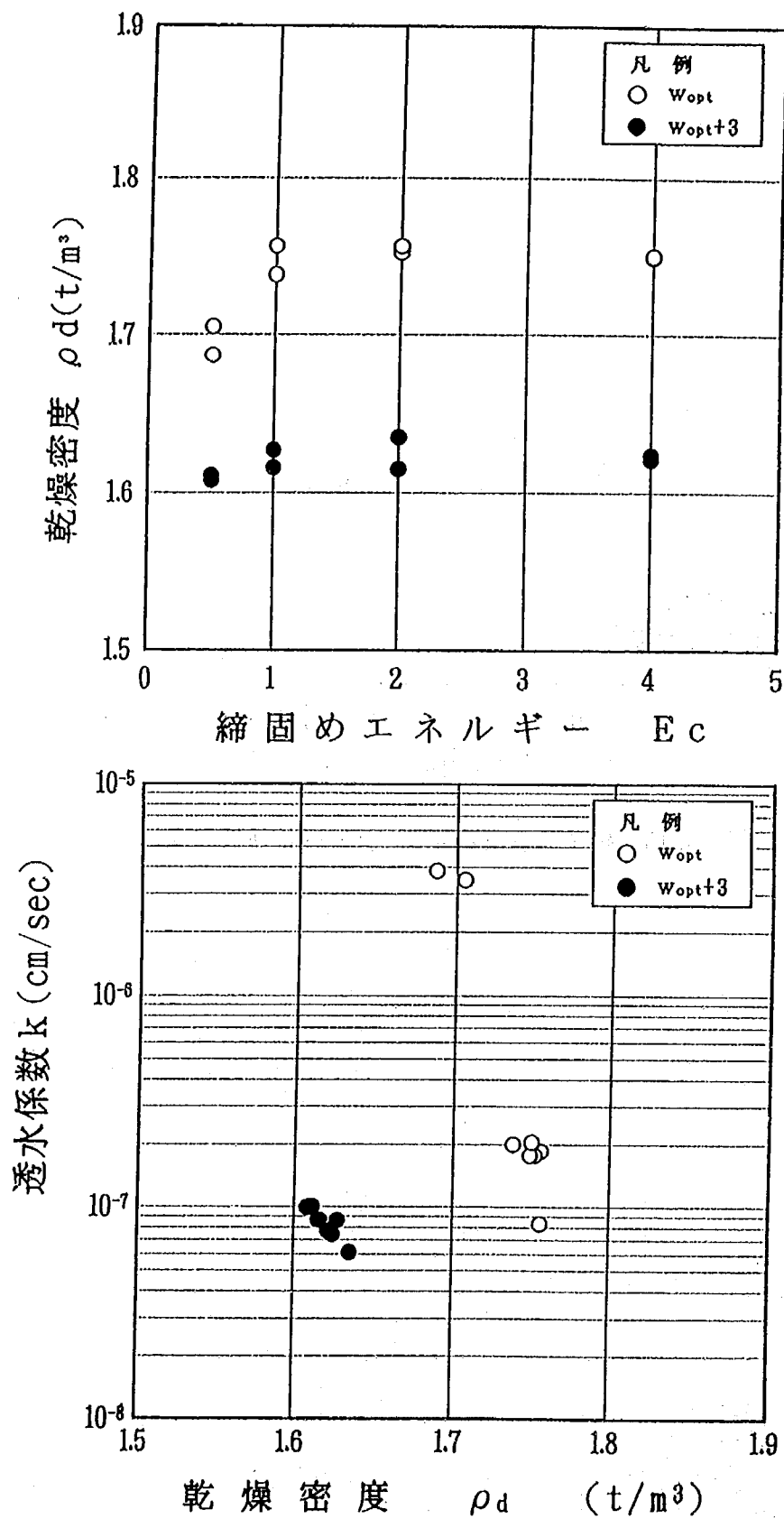


図-4.19 締固めエネルギーと乾燥密度・透水係数との関係

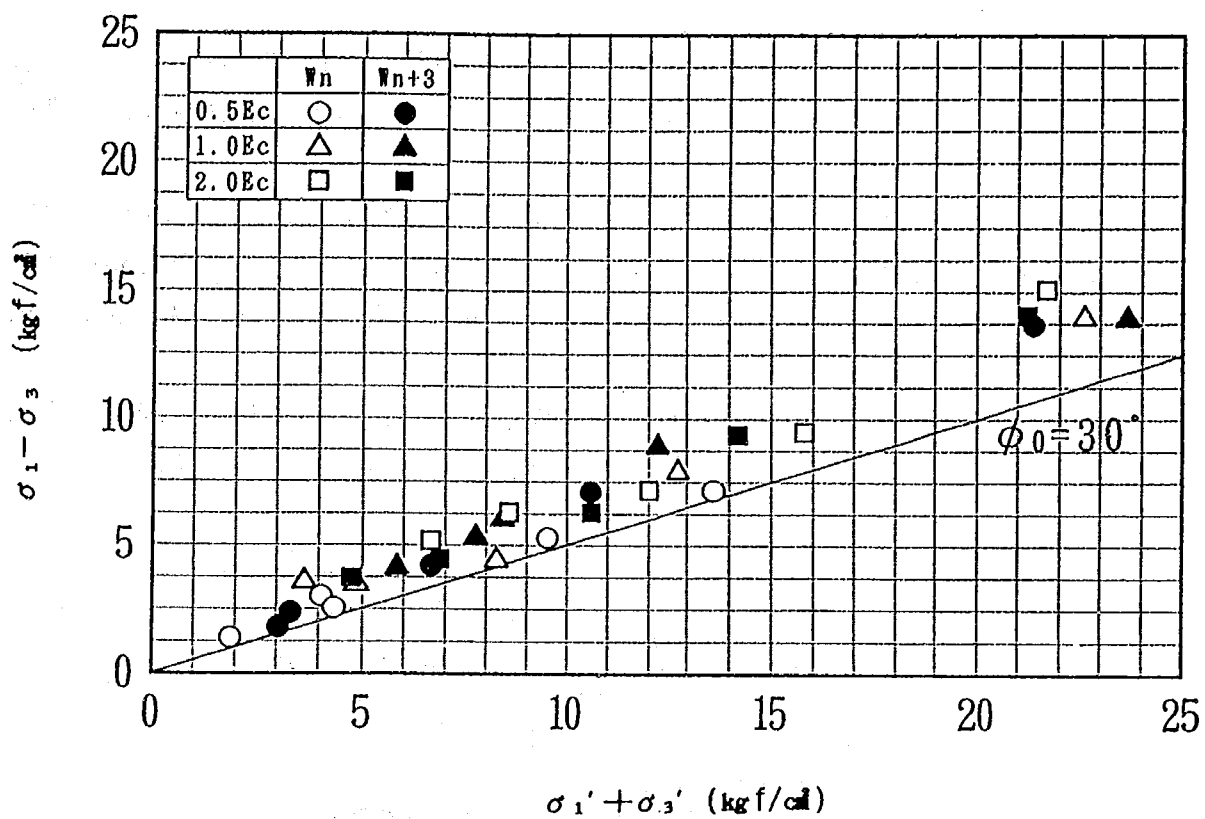


図-4.20 コア材料の強度特性（圧密非排水）

5 ロック材料の盛立試験

5.1 盛立試験の概要

ロック材料の盛立試験は予備試験と本試験に分けて実施した。最初に固定ヤード方式による予備試験を行って三機種の転圧効果を確認し、この結果をもとに本試験の転圧機種を決定して、分離ヤード方式による本試験を実施した。

予備試験では、大型表面型 R I 密度計を用いて各機種の表層部の締固め特性を把握する予備試験 1 と、大型表面型 R I 密度計とフレーム型 R I 密度計を用いて、表層部だけでなく盛土内部の転圧効果（転圧層内の鉛直方向の密度分布の変化）を詳細に調べる予備試験 2 を行った。

本試験では従来の分離ヤード方式を採用し、密度や透水性について施工管理基準作成のためのデータを集めた。図-5.1 にロック材料盛立試験の全体フローを示す。

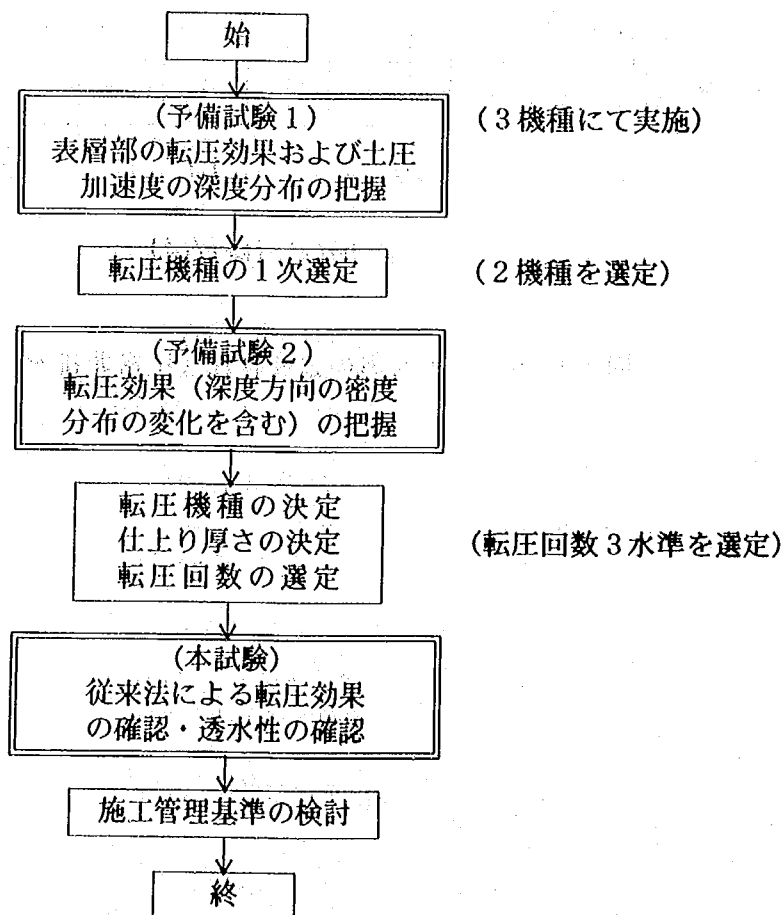


図-5.1 ロック材料盛立試験の全体フロー

5.2 施工機械

表-5.1 にロック材料の盛立試験に使用した施工機械の概要を示す。また表-5.2 および図-5.2 には振動ローラーの仕様と外観を示す。

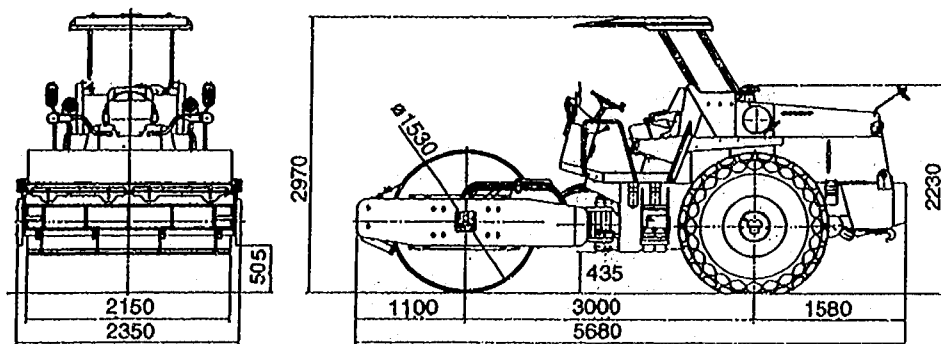
表-5.1 使用機械の諸元

使用機械	機種・性能	用 途
振動ローラー	SV160D 自走式 単軸 SV510D 自走式 単軸 SD450 自走式 2軸	基盤の転圧 試験ヤードの転圧
バックホー	PC400 1.6m ³ PC200 0.7m ³	積込み、予備試験ヤードの敷き均し、 予備試験ヤードの撤去
ミニバックホー	0.2m ³	大型置換法、現場透水試験
ホイロローダー	CAT988 5.4m ³	積込み
ダンプトラック	11t	運搬およびまき出し
ブルドーザー	D155 32t級	基盤・本試験ヤードの敷き均し、レーキング
散水車	11m ³	貯水槽への給水
バキューム車	4m ³	置換孔の排水

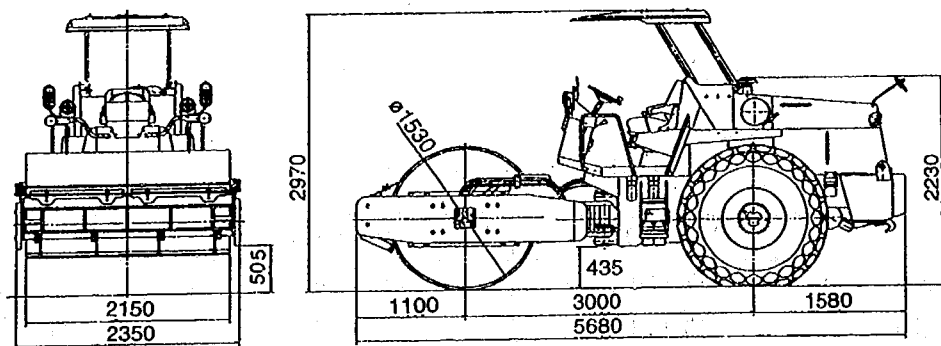
表-5.2 振動ローラーの仕様

型 式		SV160D	SV510D	SD450
重量	総重量 (kg)	17,400	10,500	10,200
	前輪荷重 (kg)	10,000	5,600	5,000
	後輪荷重 (kg)	7,400	4,900	5,000
起振性能	起振力 (kg)	L ; 21,000 H ; 30,000	L ; 17,000 H ; 21,000	L ; 17,000 H ; 23,000
	振動数 (VPM)	L ; 1,700 H ; 1,700	L ; 2,400 H ; 1,800	L ; 2,600 H ; 2,600
走行速度 (km/h)	1 速	低速0~4 高速 0~7.5	低速0~4 高速0~5	1
	2 速	低速0~6 高速 0~10	低速0~5.5 高速0~8	2
	3 速		低速0~6.5 高速0~11	4
寸 法	全 長 (mm)	6,000	5,680	3,770
	全 幅 (mm)	2,450	2,350	2,280
	全 高 (mm)	2,270	2,230	2,060
	軸 距 (mm)	3,070	3,000	2,450
	締固め幅 (mm)	2,150	2,150	2,100
	最低地上高 (mm)	480	435	270
最小回数半径 (m)		5.9	5.7	4.7
登坂能力 (度)		24	24	16
動力伝達		静油圧式	静油圧式	静油圧式
起振機		1軸偏心・可変式	1軸偏心・可変式	2軸偏心・可変式
装着位置		前輪の胴内部	前輪の胴内部	前後輪の胴内部

SV160D



SV510D



SD450

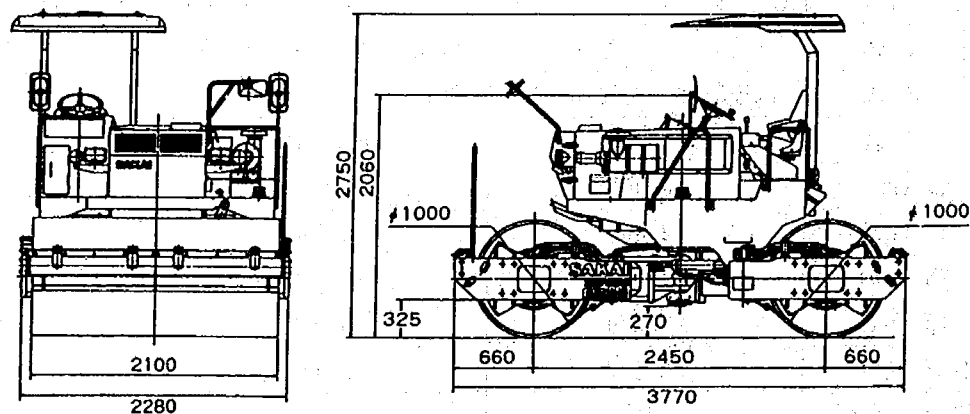


図-5.2 転圧ローラー外姿図

5.3 計測方法

R I 密度計の計測方法については第 3 章に詳細を示しているのでここでは繰返さない。

5.3.1 表面沈下量

転圧面の沈下量はレベル測量により求めた。各測点には図-5.3 に示すような鋼製の固定ピン付ターゲットを設置し、測定精度の向上と測定時間の短縮をはかった。この方法は非常に有効で固定ピンを取付たことによって測定位置の再現性が確保され、同時に位置出しに要する時間が省けるというメリットがある。

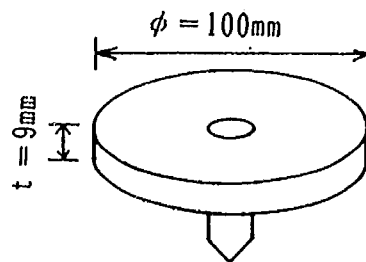


図-5.3 固定ピン付ターゲット

5.3.2 水置換法

水置換法による現場密度の測定方法を規定したものには、土質工学会基準案、日本道路公団試験方法、建設省土研仕様などがある。粗粒材料を対象とした場合、現場密度測定の実例はフィルダムにおけるものが大部分を占めており、他分野での適用例は少ない。本試験では建設省土研仕様に準じて試験を実施した。

表-5.3 水置換法の仕様

試験方法	水置換法（建設省土木研究所仕様）
ビニールシート	厚さ0.1mm
求積方法	流量計+水面標高・表面形状による補正
掘削径	φ1.5m
掘削深度	h=1.0m（ただし仕上り厚さ1.5mヤードのみh=1.5m）
掘削方法	ミニバックホーによる
質量測定	ロードセルによる一括測定

5.3.3 現場透水試験

透水試験はロック材料の透水性を考慮して定水位法を採用し、現場密度試験の置換孔を利用して行った。

表-5.4 大型透水試験の仕様

試験方法	定水位
透水係数の算定	USBR式による
試験孔の直径	約1.5m（置換孔利用）
試験孔の深さ	約1.5m（置換孔利用）
給水方式	貯水槽より水中ポンプ3系統で給水
給水量測定	流量計・ストップウォッチで計測

5.3.4 土圧および加速度の測定

転圧時の盛土中の鉛直方向の振動土圧および加速度の測定概要を図-5.4 に示す。センサーはいずれもひずみゲージ式で、その信号出力は動歪計により電圧出力に変換される。増幅された出力をデータロガーにより磁気テープに収録し、電磁オシロもしくはペン書きオシロにより記録紙に再生した。

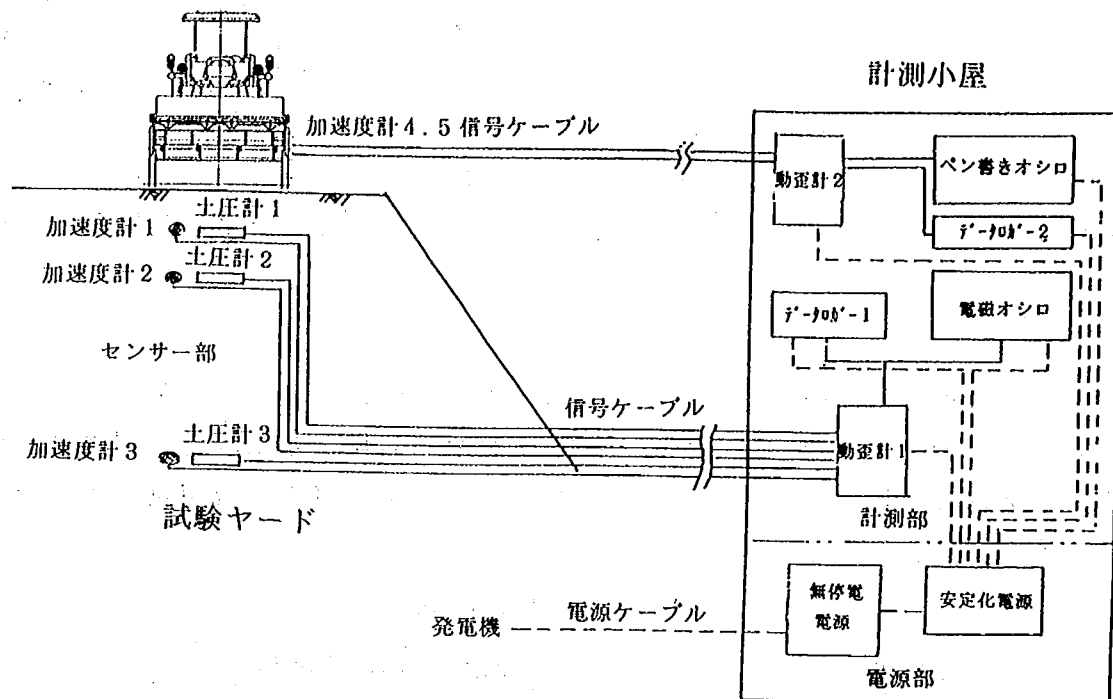


図-5.4 動土圧・加速度の測定概要

表-5.5 加速度および動土圧の計測機器

機 器 名	仕 様	摘 要
加速度計 1・2	ひずみゲージ式加速度計 10G 鉛直	D=250・500mmの加速度測定
加速度計 3	ひずみゲージ式加速度計 5G 鉛直	D=1500mmの加速度測定
土 圧 計 1・2	ひずみゲージ式土圧計 10kgf/cm ² 鉛直	D=250・500mmの土圧測定
土 圧 計 3	ひずみゲージ式土圧計 5kgf/cm ² 鉛直	D=1500mmの土圧測定
加速度計 4	ひずみゲージ式加速度計 20G 水平	振動軸前後方向の加速度測定
加速度計 5	ひずみゲージ式加速度計 20G 鉛直	振動軸鉛直方向の加速度測定
動 歪 計 1・2	オートバランス 6ch D. $\sim$ 5KHZ	出力信号の増幅
データロガー 1・2	カセット FM 7ch D. $\sim$ 20KHZ	磁気テープへのデータ記録
電 磁 オ シ ロ	6ch D. $\sim$ 10KHZ 感光紙使用	観測波形の出力
ペン 書 オ シ ロ	4ch D. $\sim$ 70KHZ 感熱紙使用	観測波形の出力
発 電 機	100/200V 25KVA	電源
無 停 電 電 源	常時インバーター方式	停電による測定不能を回避
安 定 化 電 源	100V 60HZ 1KVA	電源の品質(周波数・電圧)確保
延長ケーブル	シールド線 3重被覆 各計器に40m	
ケーブル保護パイプ	硬質ビニール ϕ 20盛土内で使用	延長ケーブルの保護・養生

5.4 予備試験

5.4.1 試験条件および試験方法

表-5.6 に予備試験1と予備試験2の試験条件を示す。

それぞれの試験ヤードの構成と計測位置の詳細を図-5.5と図-5.6に示し、各計測項目と数量を表-5.7にまとめた。また、図-5.7には試験の手順を示している。

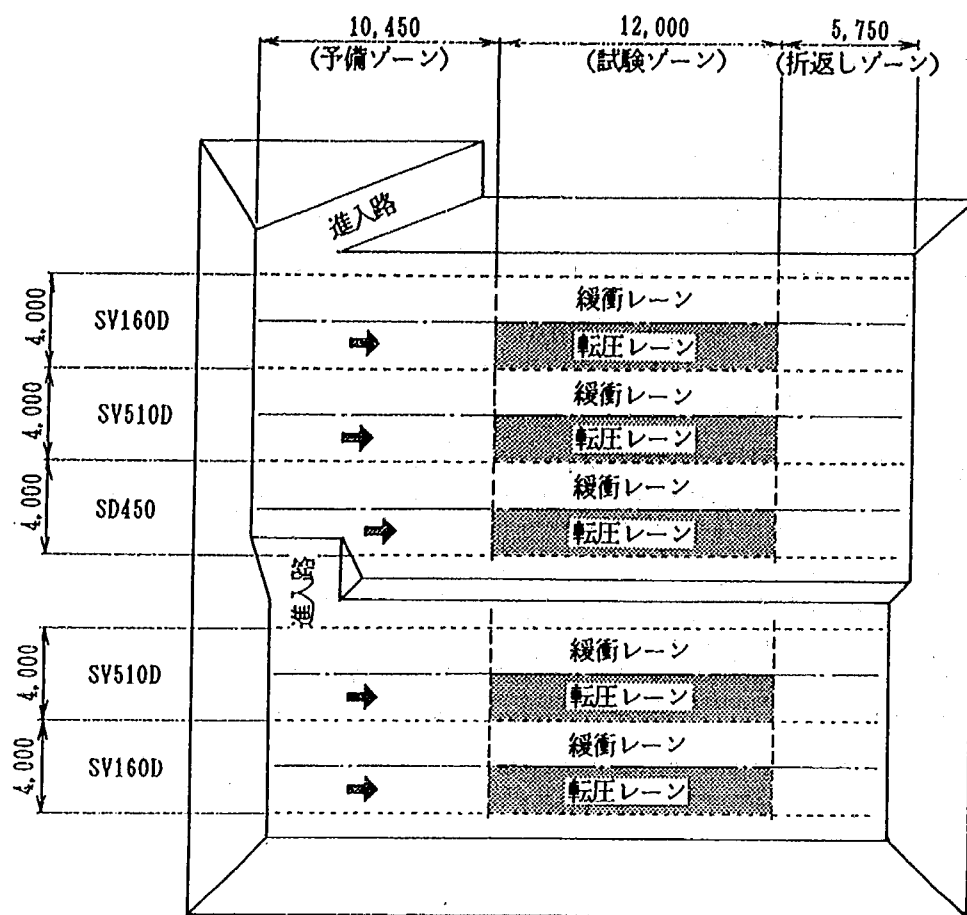
表-5.6 予備試験の試験条件

試験区分	予 備 試 験 1		予 備 試 験 2	
	水準数	摘 要	水準数	摘 要
転圧機種	3種	振動ローラーSV160D(自重17.4t自走式) SV510D(自重10.5t自走式) SD450 (自重10.2t自走式)	2種	振動ローラーSV160D(自重17.4t自走式) SV510D(自重10.5t自走式)
仕上り厚さ	2種	150cm , 100cm	2種	150cm , 100cm
含水比	1種	自然含水比(仮置き・気乾状態)	1種	自然含水比(予備試験1の材料を再使用)
転圧回数	6種	0、2、4、6、10、14回	6種	0、2、4、6、10、14回
転圧速度	1種	$V = 3 \text{ km/h}$	1種	$V = 3 \text{ km/h}$
試験層数	1層	ヤード数=5	1層	ヤード数=3

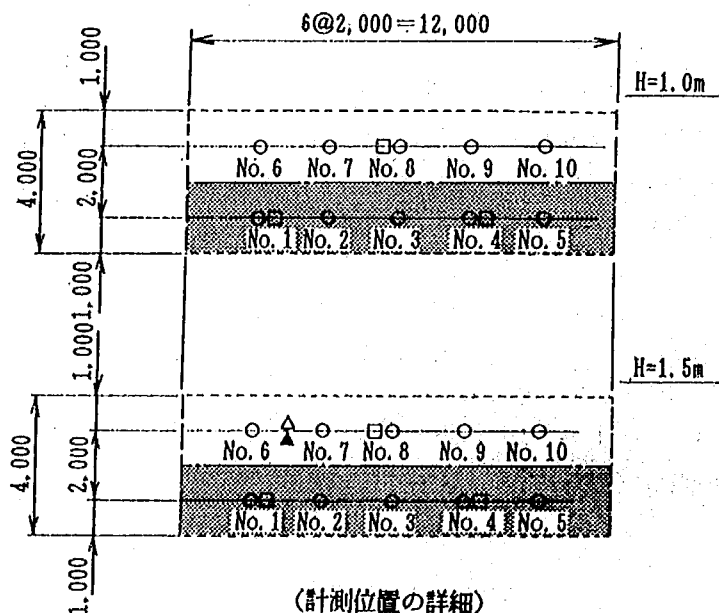
表-5.7 試験項目と数量

試験区分	試験項目	基 本 仕 様		測点数 (1ヤード当り)	測定 回数	総点数
予 備 試 験 1	密度 含水比	大型表面型RI	測定深さ30cm: 4方向/点 (1分測定×3回/方向)	3点	6	90
	沈下量	レベル測量(標点プレート)		10点	6	300
	加速度及び 土 圧	1.5mのヤードにおいて 0.25、0.50、1.50mの3深度		3点	14	84
予 備 試 験 2	密度 含水比	大型表面型RI	測定深さ30cm: 4方向/点 (1分測定×3回/方向)	7点	6	126
		大型水置換法	$\phi 1.5\text{m} \times h 1.0\text{m}$ 又は $\phi 1.5\text{m} \times h 1.5\text{m}$	4点	1	12
		自動フレーム型RI	注1)	3点	6	54
	沈下量	レベル測量(標点プレート)		9点	6	162

注1) 3.2参照

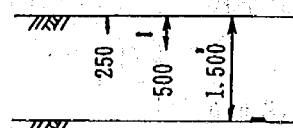


(試験ヤードの構成)



(計測位置の詳細)

- 緩衝レーン
- 転圧レーン
- 大型表面型 R I 密度計
- 沈下測量
- △ 加速度・土圧計測



(加速度計および土圧計埋設断面図)

図-5.5 予備試験1のヤード構成と計測位置

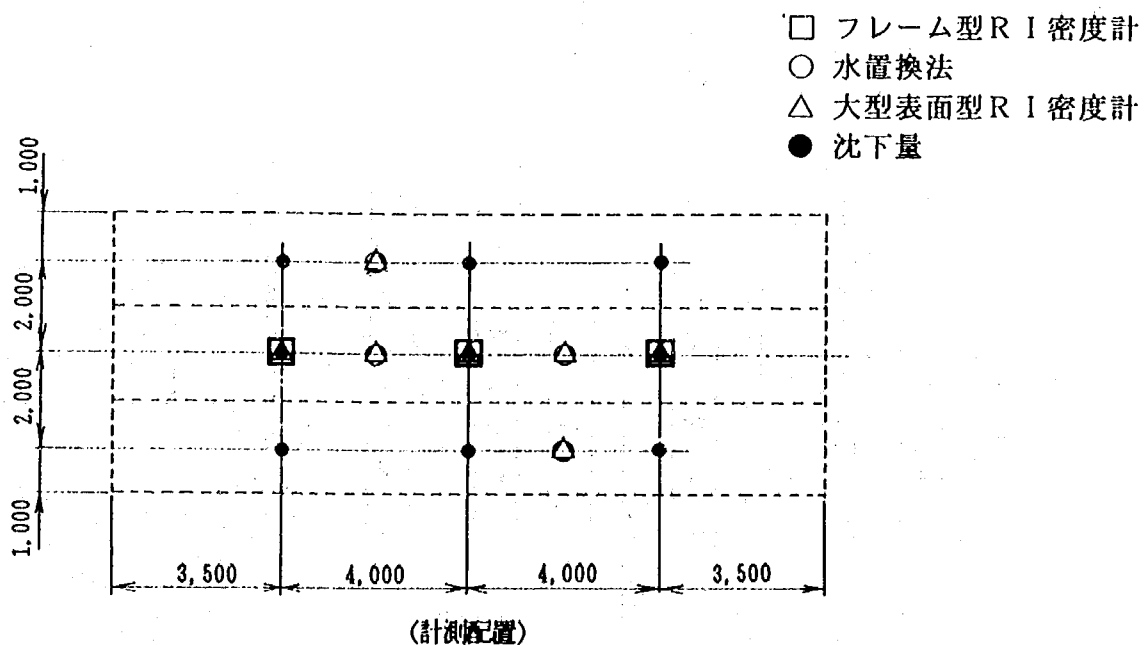
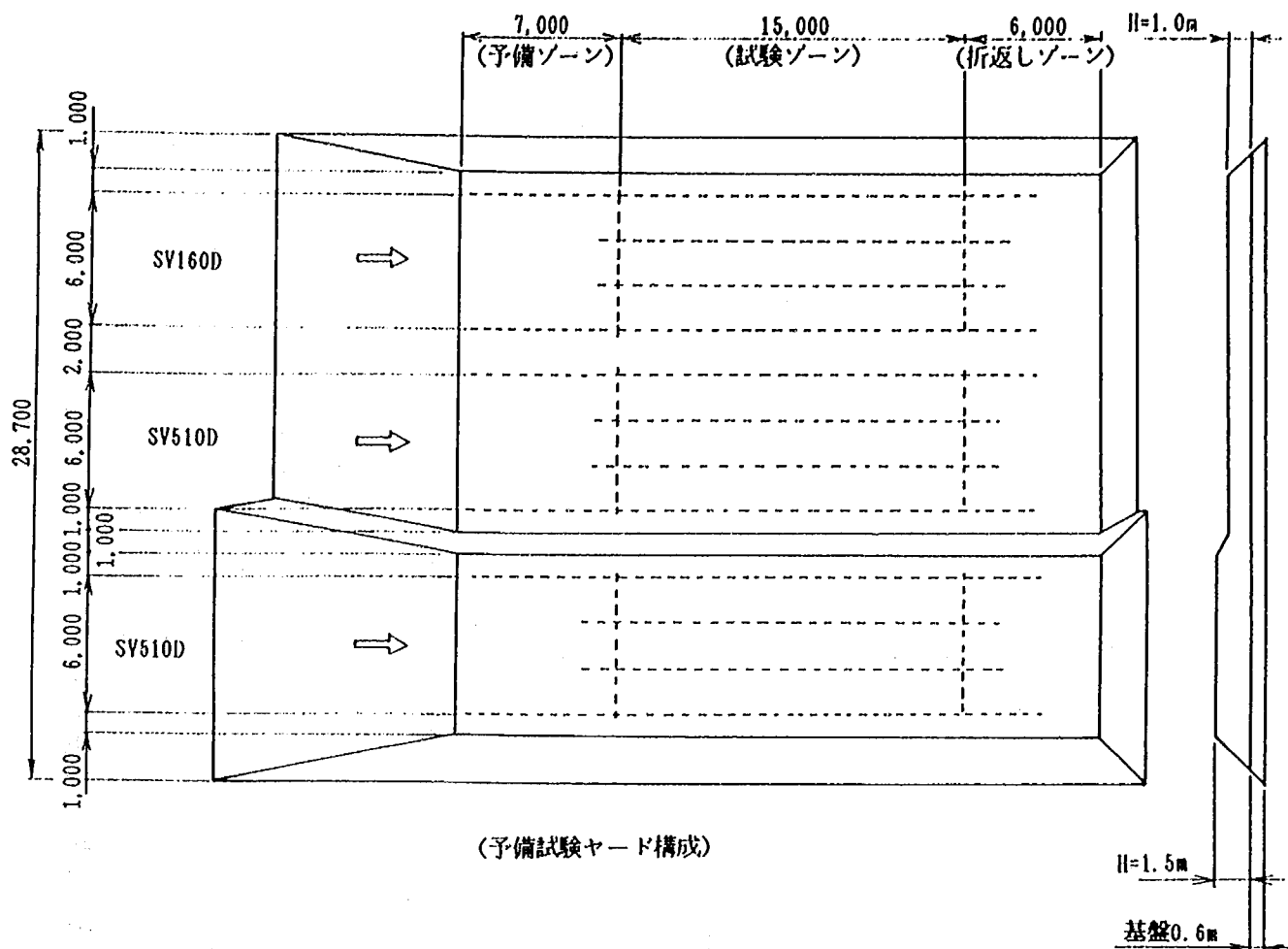
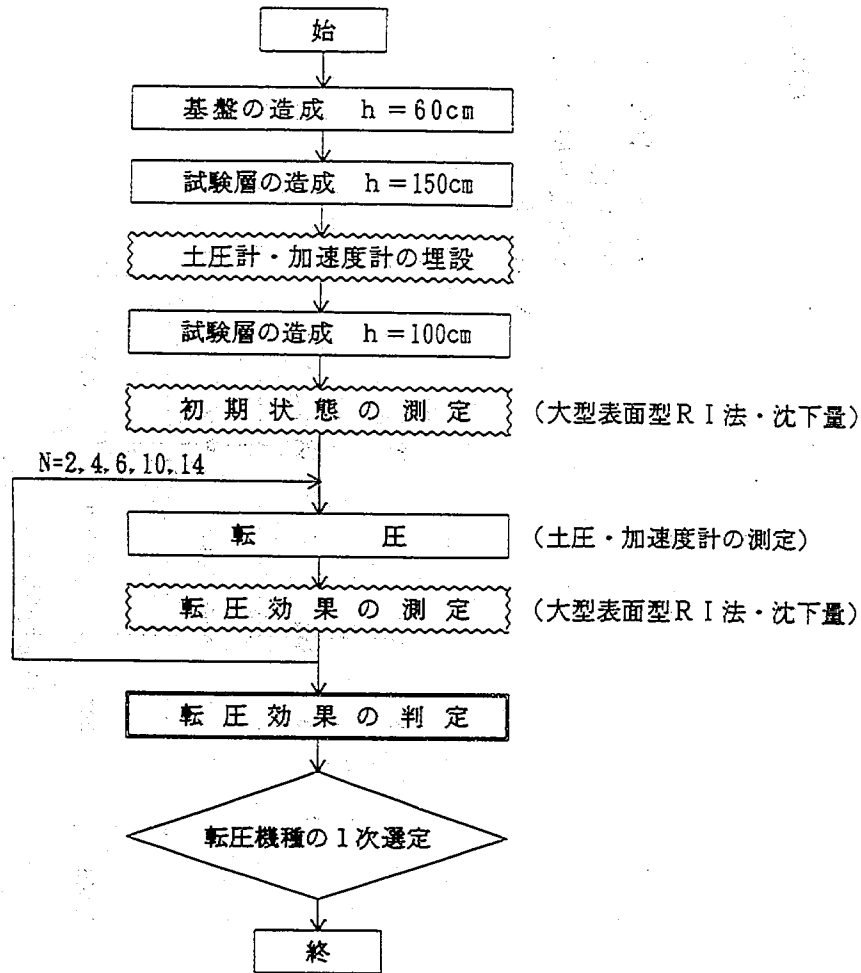


図-5.6 予備試験 2 のヤード構成と計測位置

a) 予備試験 1



b) 予備試験 2

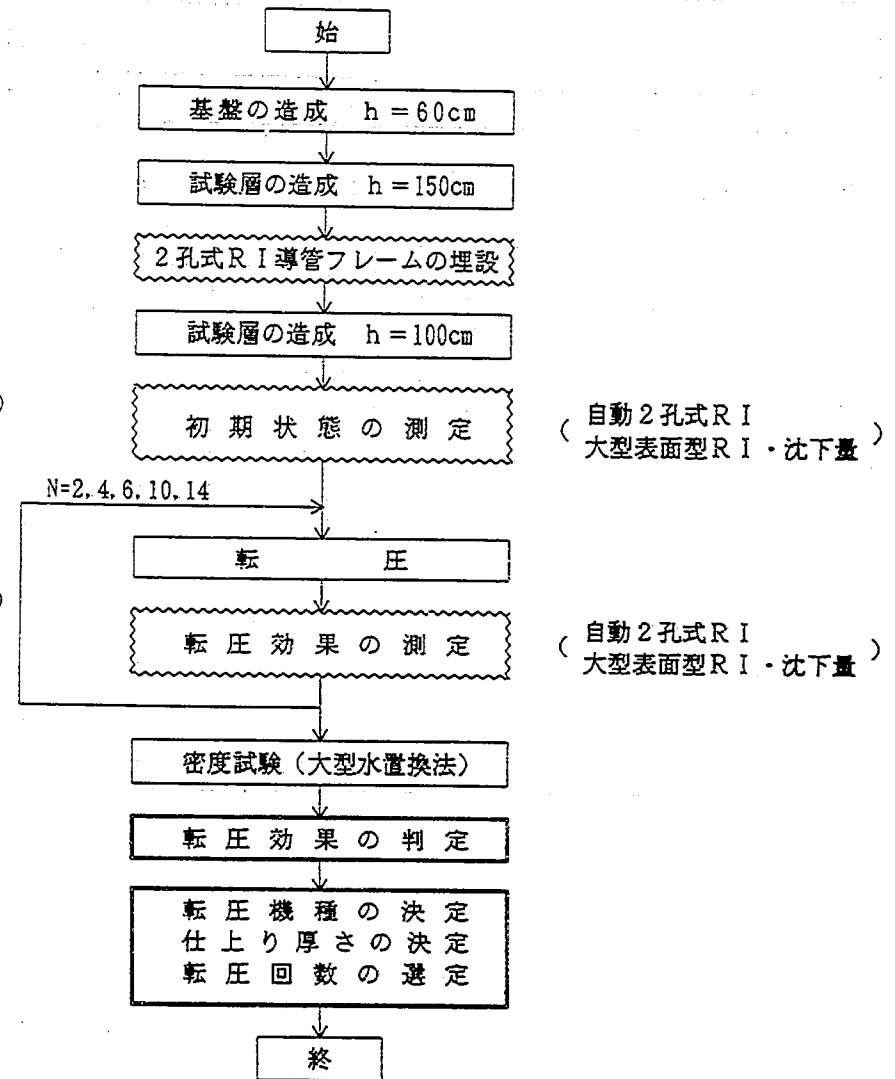


図-5.7 試験の手順 (h=層厚)

5.4.2 試験ヤードの造成

(1) 基盤の造成

試験場所が原石山の岩石採取跡地で、C M級以上の硬質の岩盤である。地表面の不陸を修正し、試験盛土本体とその支持基盤とを同じ材料の連続した盛土とするために、ロック材料を用いて厚さ約60cmの基盤を造成した。ベンチカット工法で発破・爆砕したロック材料をブルドーザーで下段のステージに落とし込むことにより混合し、バックホーで積込みを行った。造成は11tダンプトラックにより置き逃げでロック材料をまき出した後、ブルドーザーとバックホーで敷き均しを行い、その後、振動ローラー（SV160D）で6回の転圧を行って仕上げた。

(2) 予備試験1のヤード造成

基盤造成と同様の方法で採取したロック材料を、11tダンプトラックにより基盤上にまき出した後、バックホーを用いて敷き均した。これは、まき出し時の輪荷重と履帯荷重が試験面にかからないようにして、転圧機種間の差を正確に把握するためである。材料をまき出す方向はヤード間の材料のバラツキをできるだけ少なくするため、転圧方向と直交する方向となるようにした（図-5.8）。土圧計・加速度計の埋設は、まき出し・敷き均し時に行った。写真-5.1に示すように土圧計・加速度計を所定の位置に設置して約5cmの厚さに砂を敷き均し、その上に $d_{max} = 75\text{mm}$ に粒度調整したロック材料を約5cm被せ養生した。ケーブルはコルゲートパイプで被覆し、さらに砂および粒度調整したロック材料を被せて保護した。計器の設置は図-5.9に示すように、各計器の設置面から地表面までの距離が最終回の転圧後にそれぞれ150cm、50cm、25cmの位置になるようにセットした。ただし、圧縮率は15%と仮定して設置した。計器・ケーブルの養生が済んだのちバックホーにてロック材料を被せ敷き均した。

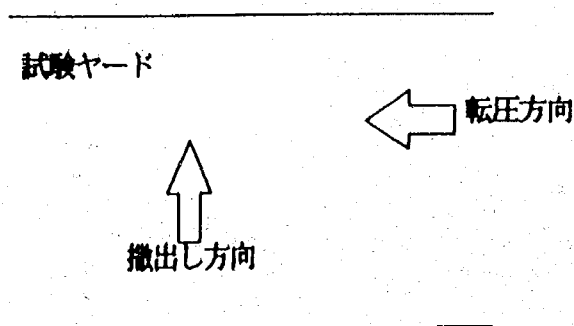


図-5.8 重機の走行

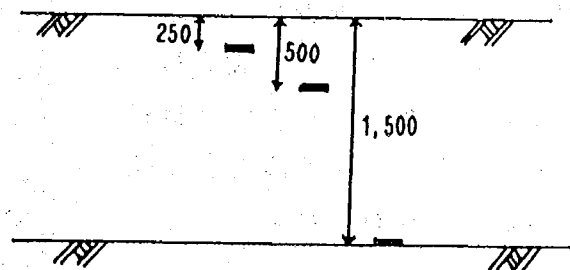


図-5.9 土圧計・加速度計設置断面

(3) 予備試験2のヤード造成

予備試験1の試験が終了した後盛立層を基盤の上端面まで撤去し、これを予備試験2の基盤面とした。

撤去時の乱れを復旧するため、基盤面は振動ローラーを用いて改めて6回転圧した。その後、予備試験1と同じ要領で試験層の造成を行った。造成中にフレーム型R1計器の導管フレームを埋設した。埋設状況を写真-5.2、写真-5.3に示す。

写真-5. 1

土圧計の設置状況

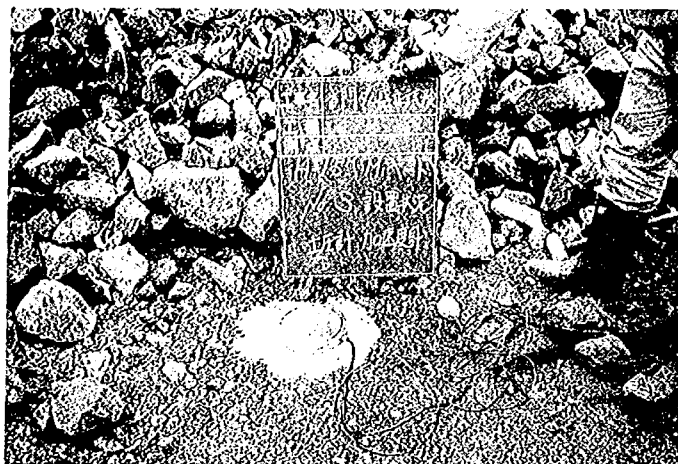


写真-5. 2

(導管フレームの設置)

設置位置までまき出しと敷き均しが進んだ段階で、導管フレームを法面（転圧方向と直交する法面）に設置した。

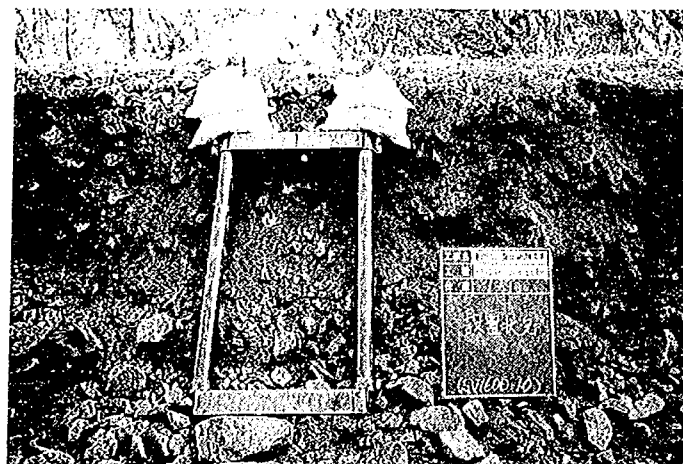


写真-5. 3

(導管フレームの埋設)

バックホーを用いて、設置した導管フレームの上からロック材料を被せてフレームを埋設し、後続のまき出しを続行した。

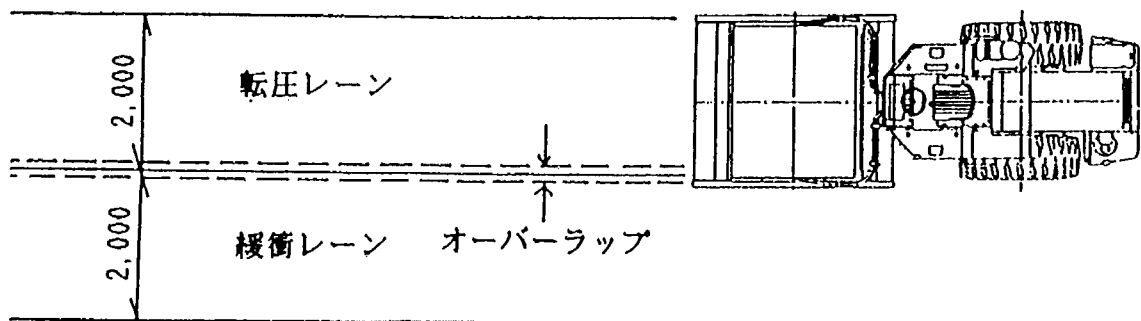


5.4.3 転圧方法

(1) 予備試験 1

各試験ゾーンの幅は4 mあり、振動ローラーの締固め幅が2.10～2.15mであるので、レーン幅を2 mとして、各試験ゾーンを2レーンにわけて転圧した。各ゾーンが接していることから側方への影響を防ぐため、以下の要領で転圧を行った。

- 1) 各ゾーンを転圧レーンと緩衝レーンとに分けてラッカーズプレーでライン引きした。
- 2) 初期の浮き上りや沈み込みを防止するため、各レーンを2回ずつ転圧した。
- 3) 2回転圧後は、まず各ゾーンの転圧レーンのみを転圧し、所定の転圧回数（ $N = 2, 4, 6, 10, 14$ 回）毎にR I計測と沈下測量を行った。
- 4) 転圧レーンの最終転圧（ $N = 14$ 回）後の計測が完了したのち、順次、緩衝レーンの転圧を行い、所定の転圧回数毎にR I計測と沈下測量を行った。
- 5) 前進を奇数回目、後進を偶数回目の転圧とし、前進・後進の切り替えは転圧機の後輪が折返しゾーンに入ってから行った。
- 6) レーン間の移動は予備ゾーンにて行った。



図－5. 10 予備試験 1 の転圧方法

(2) 予備試験 2

各試験ゾーンの幅は 6 m あり、振動ローラーの締固め幅が 2.15 m であるので、ラップ幅をとってレーン幅を 2 m として、各試験ゾーンを 3 レーンに分けて以下に示す要領で転圧を行った。

- 1) 各ゾーンを 3 レーンに分けてライン引きした。
- 2) 各ゾーンが接しないように境界には幅 2 m の緩衝部を設けた。
- 3) 前進を奇数回目、後進を偶数回目の転圧とし、前進・後進の切り替えは転圧機の後輪が折返しゾーンに入ってから行った。
- 4) 偶数回の転圧が終わったら予備ゾーンを通して隣のレーンに移動し、3)と同じ要領で 3 レーンとも転圧を行った。
- 5) 所定の転圧回数 ($N = 2, 4, 6, 10, 14$ 回) 毎に R I 計測と沈下測量を行った。
- 6) 最終転圧回数に達するまで 1)~5) をくり返した。

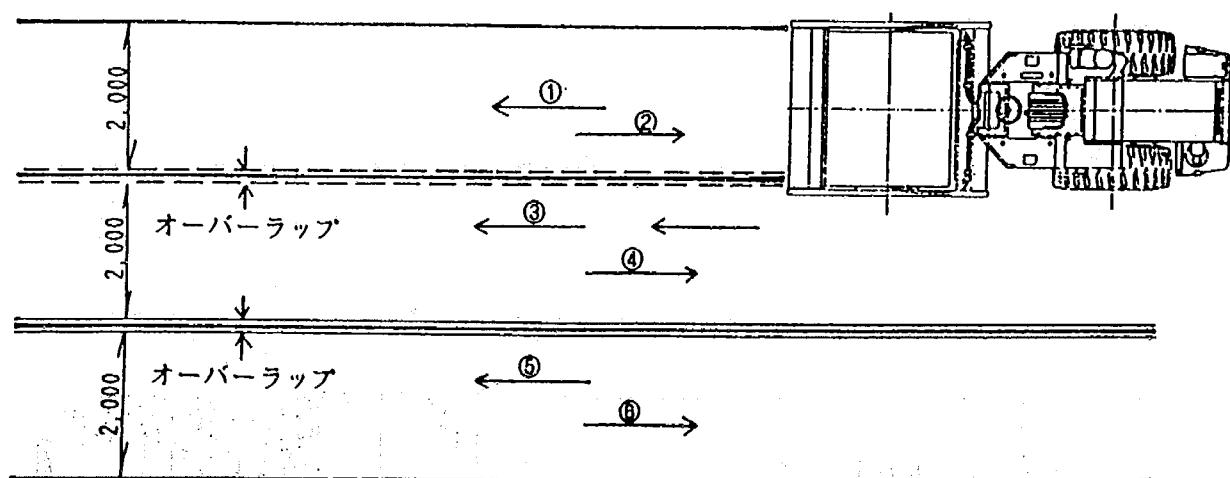


図-5.11 予備試験 2 の転圧方法

5.4.4 試験結果

(1) 締固め密度の変化(転圧効果)

1) 湿潤密度および含水比のばらつき

ロック材料に限らず、フィル材料の粒度分布にはかなりのばらつきがあるので一般的である(図-4.1 参照)。これに伴って含水比も一様ではなくある幅をもって分布しており、このような物性値の分布特性は多点数の標本データを集めることによってはじめて定量的に把握できるようになる。盛立試験の場合では統計的分布を明らかにできるほどのデータを同じ条件のもとで得ることは困難であるが、同じヤード内の複数の測点で得られた密度や含水比データのばらつきから全体の分布状況がある程度推察することができると考えられる。

図-5.12および図-5.13は大型表面型R I 密度計によって直接計測される地表層(地表面から深さ30cmまでの層)の湿潤密度および含水比と転圧回数との関係を示した予備試験2の結果である。各転圧回数毎の実測データはばらつきを示しており、ヤード内の平均値で転圧回数と湿潤密度の関係をみると次項2)に示す式(5.1)の双曲線で近似できる滑らかな曲線上にほぼプロットされている。なお、平均値ではなく、各測点の実測値について双曲線回帰式を求めると、得られる回帰係数はかなりばらついている。7点のデータの分布幅はヤード間で様ではなく、同じヤード内であっても転圧回数によって差がみられるところもある。このようなばらつきの傾向は程度の差はあっても、フィル材料の盛立試験では普通にみられるものである。フィル材料だけでなく、土質材料の盛土においても同様である。フィル材料の場合、ばらつきの大きさは各ゾーンの最大粒径によって異なると考えられている。密度のばらつき(分散)を定量的に求めようとすれば、多数の標本データを必要とするので、盛立初期の段階で集中的な測定を行う必要がある。しかし、今回の試験のように各ヤードの平均の転圧効果曲線の滑らかさから分るように、転圧効果の判定ということに限定すれば5~10点程度の測点数でもほぼ試験の目的は達せられている。

他方、含水比のばらつきもヤード間でかなり差がみられる。これは表層部の粒度分布が、R I 密度計の測定容積単位で分割してみると場所的に変動していること示しており、含水比のばらつきと粒度分布のムラとが密接に関係していることを示唆するものと考えられる。図-5.13では測点間の含水比のばらつきの他に、ヤード内の平均含水比がわずかではあるが変動しているのが認められる。これは予備試験2の開始から完了までに約1週間を要したために、降雨による湿潤化と日照による乾燥化が表層部の含水比にも影響を与えたことを示している。

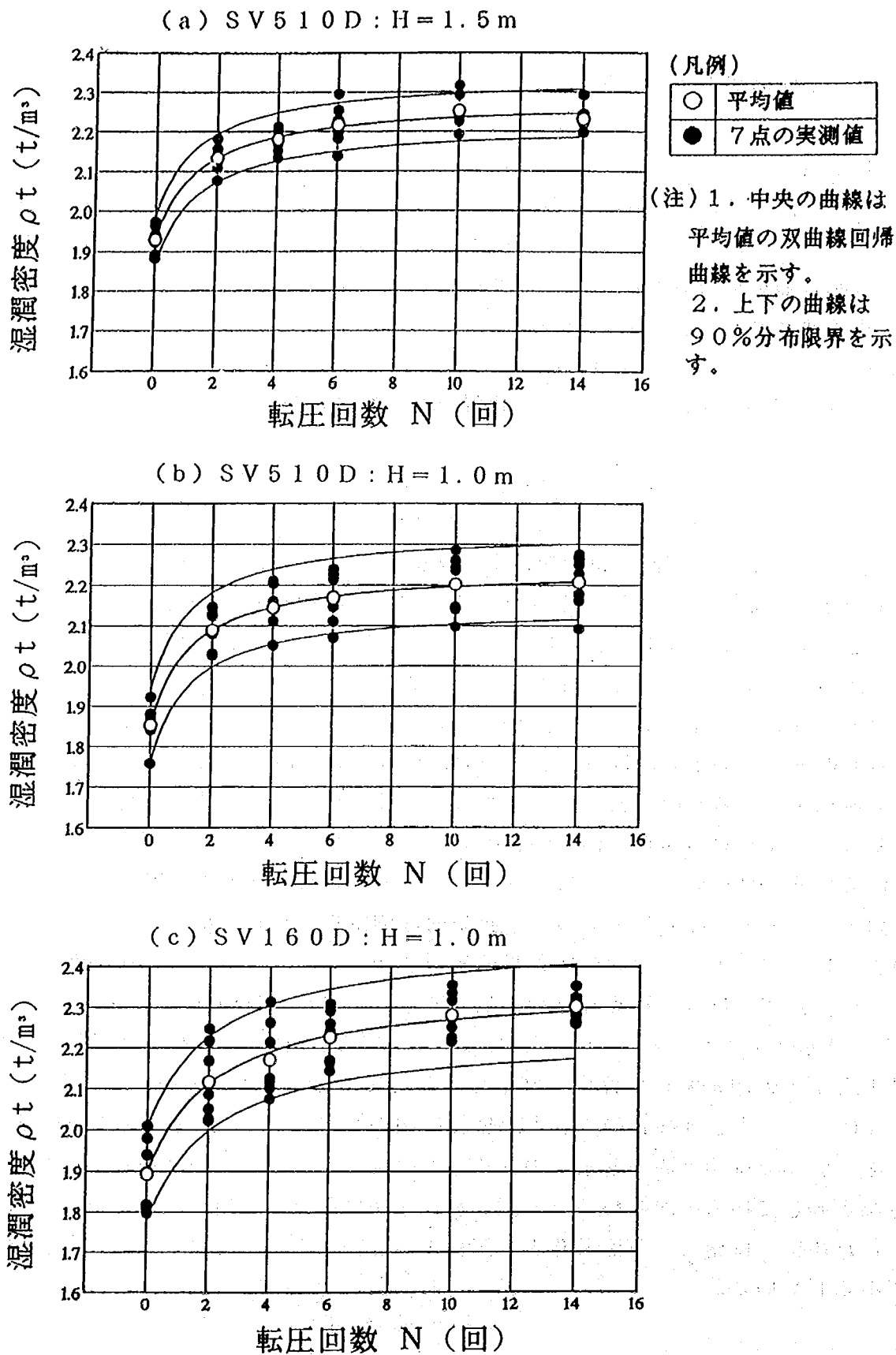


図-5.12 転圧回数と湿潤密度との関係 (予備試験2 : 表面型RI法)

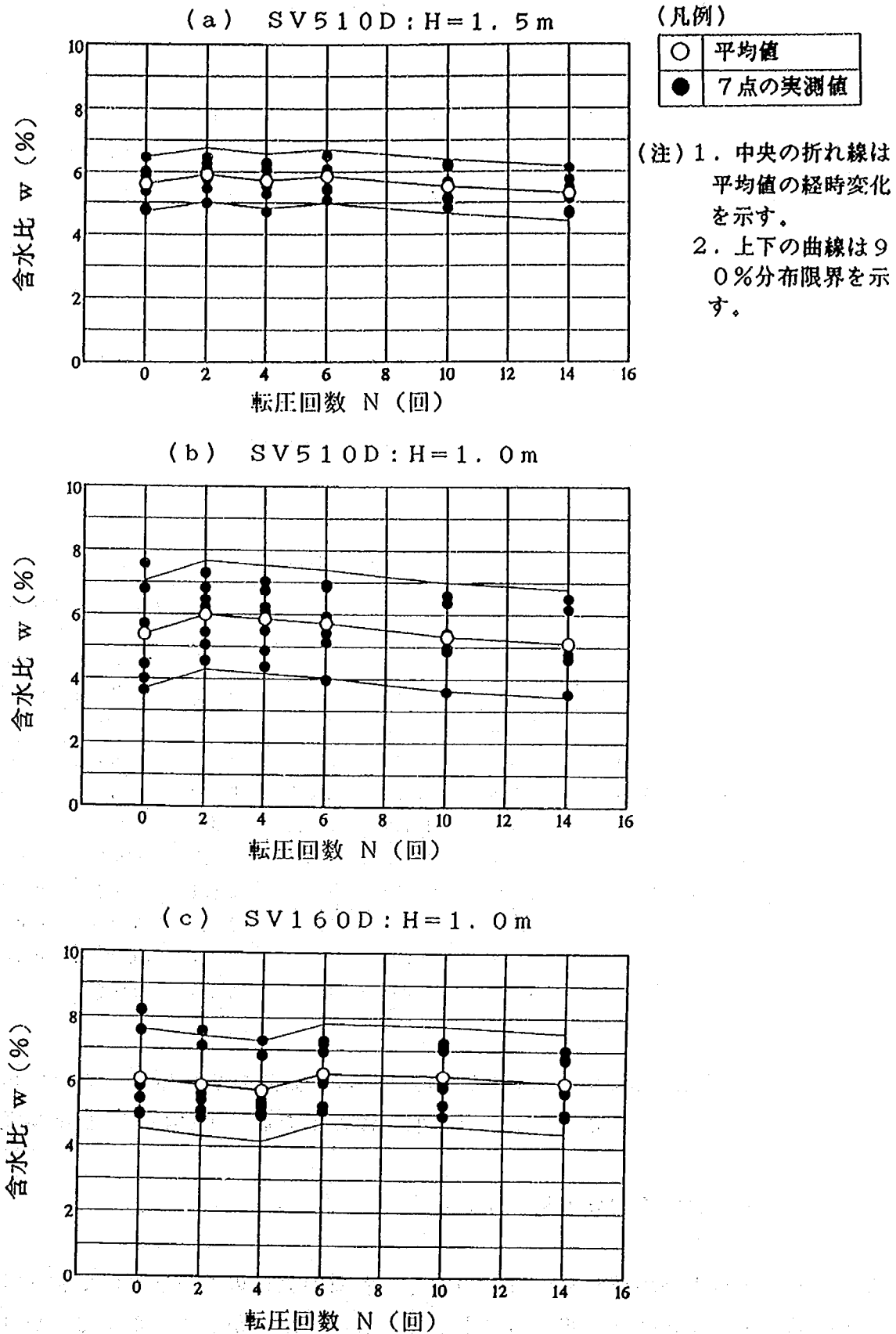


図-5.13 含水比のばらつきと経時変化 (予備試験2 : 表面型RI法)

2) 大型表面型 R I 密度計を用いた転圧効果の評価

① 転圧効果の双曲線近似

ロック材料のせん断強度が乾燥密度（又は間隙比）と密接に関係していることを考えると、転圧効果を乾燥密度に着目して評価するのが自然である。図-5.14および図-5.15に転圧回数と乾燥密度との関係を示す。いずれのヤード（試験条件）においても乾燥密度 ρ_d の平均値と転圧回数 N との関係は、次の双曲線式を用いて精度よく近似できる。

$$\rho_d(N) = \rho_{d0} + \frac{N}{a + bN} \quad \text{-----} \quad (5.1a)$$

または、

$$\frac{1}{\Delta \rho_d(N)} = \frac{a}{N} + b \quad \text{-----} \quad (5.1b)$$

$$(\Delta \rho_d(N) \equiv \rho_d(N) - \rho_{d0})$$

ρ_{d0} : 初期密度

N : 転圧回数

$\rho_d(N)$: N 回転圧後の密度

a, b : 回帰係数

表-5.8 転圧回数と乾燥密度の双曲線回帰係数

まき出し厚 H(cm)	転圧機種	試験区分	初期密度 $\rho_{d0}(\text{t/m}^3)$	回帰係数		$\frac{1}{b}$	相関係数 r	標準偏差 $\sigma_d(\text{t/m}^3)$
				a	b			
100	SV160D	予備 1	1.861	9.131	2.647	0.378	0.967	0.057
		予備 2	1.785	4.882	2.337	0.428	0.990	0.057
		(平均)	1.823	6.488	2.495	0.401	0.981	—
	SV510D	予備 1	1.817	11.743	2.499	0.400	0.997	0.066
		予備 2	1.758	4.125	2.656	0.377	0.998	0.042
		(平均)	1.788	6.779	2.672	0.374	0.995	—
150	SD450	予備 1	1.720	7.530	2.516	0.397	0.997	0.070
	SV160D	予備 1	1.799	13.053	1.872	0.534	0.996	0.049
		予備 1	1.751	5.919	2.081	0.481	0.995	0.043
		予備 2	1.826	4.689	2.967	0.337	0.990	0.028
		(平均)	1.789	5.433	2.466	0.406	0.996	—

注 1) σ_d は各転圧回数 N における平均値からの偏差の 2 乗和を、すべての N のケースについて合算して求めた不偏分散の平均値（すなわち、標準偏差）を示す。

注 2) $1/b$ は密度増分の極限值を示す。

得られた回帰係数と平均値からのばらつきを表す標準偏差の値を表-5.8 に示す。定数 a は転圧の効率を表す係数と解釈することができる。 a の値が大きくなるほど転圧効果曲

線の立上り領域の曲率が小さくなり、転圧初期の密度上昇がゆるやかであることを意味している。定数 b の値の逆数は N を無限大にしたときの密度増分の極限值 $\rho_{d(\infty)} \equiv \lim(\rho_{d(N)} - \rho_{d0})$ に等しいから、これより極限密度が推定できる。 b 値が小さいほど、十分転圧した時の密度増分は大きくなる。なお、表-5.8 に示されているように、回帰係数 a や b の値は初期密度や粒度などの要因にも影響を受けるので、試験条件が同じであってもヤードがかわると一般に異なった値になる。したがって、これらの回帰係数はまき出し厚さによる転圧効果の差違や転圧機種の種類をそのまま表すものではなく、単に転圧に伴う密度上昇の傾向を定量的に表現したものと理解すべきである。双曲線回帰係数を用いてまき出し厚さの影響や機械の締固め能力を評価するためには、同じ試験条件のヤードをいくつか造成して繰返し試験を行う必要がある。相関係数は 1 例（予備試験 1 の S V 1 6 0 D、 $H=100$ cm のケース； $r=0.967$ ）を除いて、すべて 0.99 以上の値が得られており、転圧効果の双曲線回帰はきわめて良好である。

予備試験 1 のケースでは、予備試験 2 の場合に比べて a 値が大きく、その値もヤード間でかなりばらついている。前者では後者の試験と対比すると、表層部に粒径の大きな岩塊や大礫が相対的に多く分布していたことが観察されており、このような両試験での表層部の粒度分布の違いが a 値の差に反映されたものと推察される。すなわち、粒度分布がよい（均等係数が比較的大きい）状態のときには、転圧の初期の段階からすみやかな密度上昇が現れるのに対して、粒度分布が悪くなると初期の密度の上昇カーブがより直線的になって、転圧効果が均等化される傾向があることを示唆するものと考えられる。特に、図-5.15 から推察されるように、 $N=0$ から $N=2$ 回までの間の密度増分 $\Delta \rho_d(0 \rightarrow 2)$ と $N=2$ 回から $N=4$ 回までの間の密度増分 $\Delta \rho_d(2 \rightarrow 4)$ との比が a 値に大きく影響しているとみられる。また、 a 値に対する転圧機種や仕上り厚さの違いの影響は小さく、上に述べたようにヤード間の粒度分布の差（この場合は表層部の粒度分布）が a 値を決定づける主要因になっていると考えられる。

b 値の逆数、すなわち、双曲線近似から求めた密度増分の極限值は 0.337~0.534 に分布している。 $N=14$ 回までの平均乾燥密度の増加量をみると予備試験 1 の 2 ケース（S V 1 6 0 D と S V 5 1 0 D）を除く 6 ケースでは、極限值に対して 80~90(%) に達していることが分る。全ケースの平均値は 82(%) である。 b 値についても a 値の場合と同様、転圧機種や仕上り厚さによってはっきりとした差違はみられなかった。

以上に述べたことがらをまとめると次のようになる。

a. 転圧効果を双曲線式を用いて近似したときの実測値の回帰性は良好であり、得られた回帰係数から現場締固め特性を考察できることが示された。

b. 転圧特性は、機種や仕上り厚さなどの施工条件に影響を受けることは当然であるが、盛立材料の粒度分布やその場所的なばらつきに大きく支配され、場合によっては後者の影

響が支配的になることもありうる。実際今回の盛立試験のケースはこのような状況を示す事例とみることができる。

c. 粒度調整（粒度分布の均質化）に限界があって、場所的な粒度のばらつきが避けられないときには、機種や仕上り厚さなどの要因効果の評価よりもむしろ施工密度のばらつきをできるだけ正確に把握し、これを考慮した工学的判断（設計値や管理基準値などの決定）が重要になると考えられる。

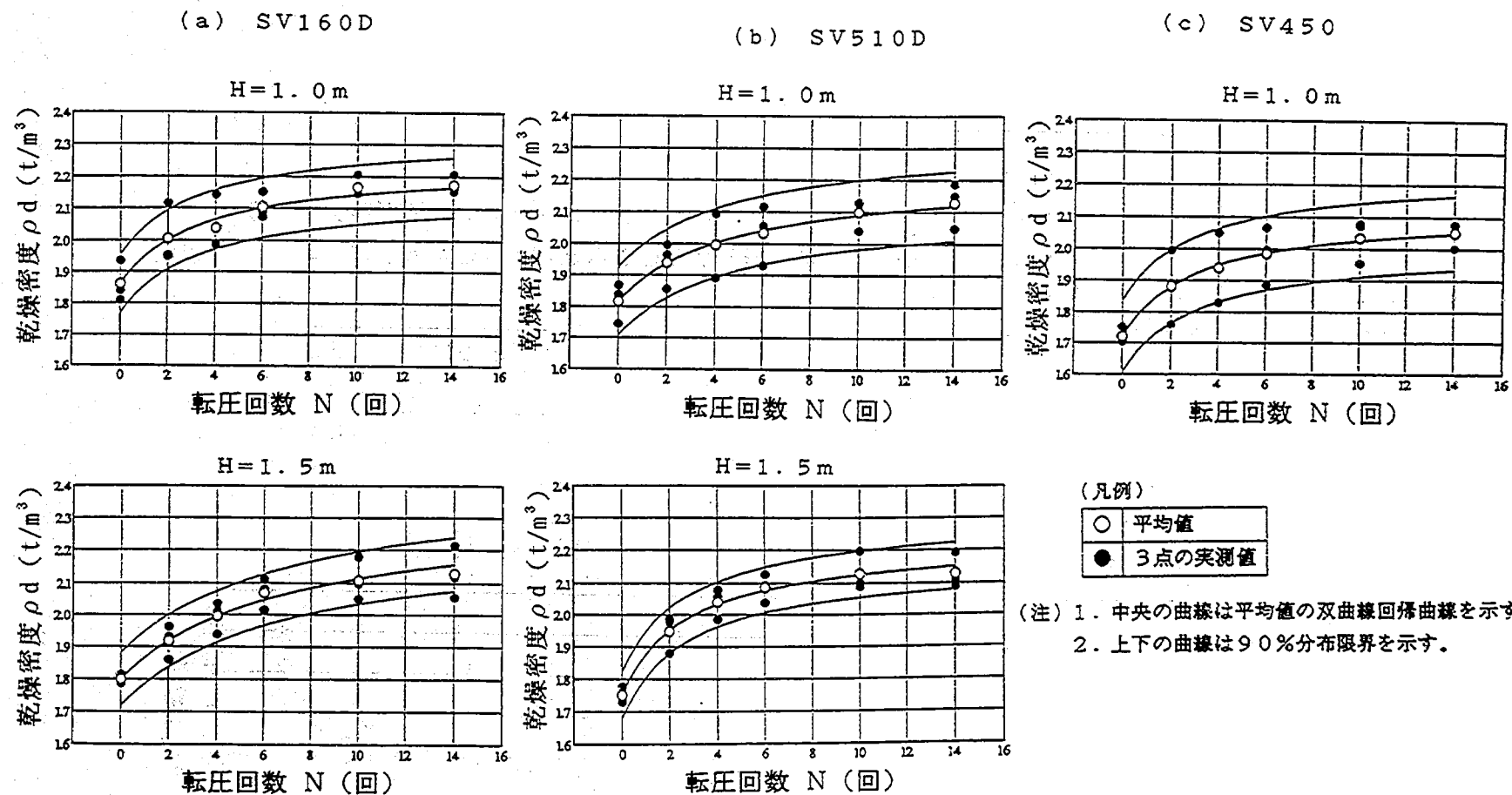
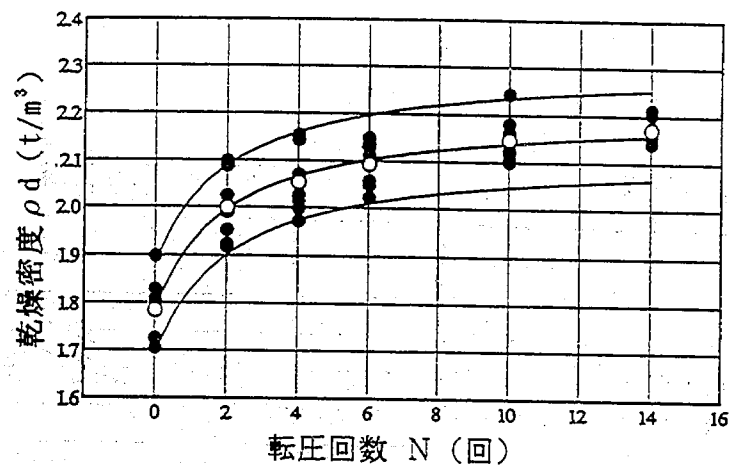


図-5.14 転圧回数と乾燥密度との関係 (予備試験1)

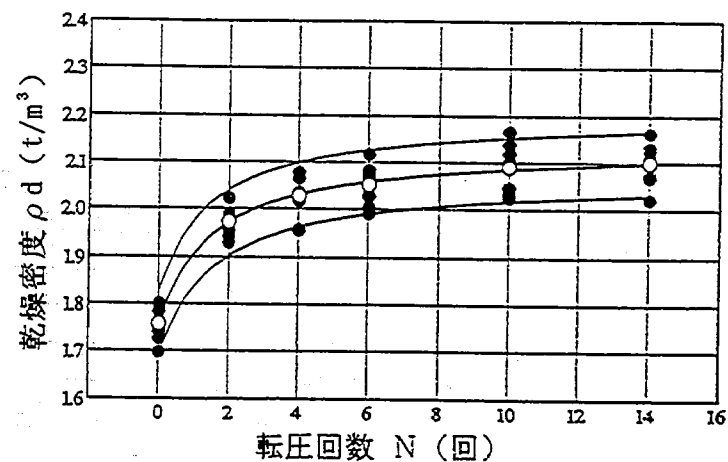
(a) SV160D

H = 1.0 m



(b) SV510D

H = 1.0 m



(凡例)

○	平均値
●	7点の実測値

- (注) 1. 中央の曲線は平均値の双曲線回帰曲線を示す。
2. 上下の曲線は90%分布限界を示す。

H = 1.5 m

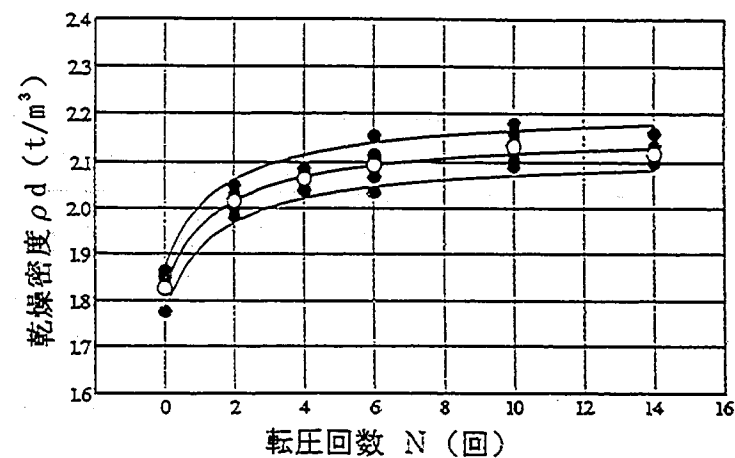


図-5.15 転圧回数と乾燥密度との関係 (予備試験2)

② 初期密度が異なる場合の転圧効果の評価

予備試験 1 と 2 では同じ施工条件（転圧機種および仕上り厚さ）での試験が 3 ケースあり、表面型 R I 密度計の測定に限ればこれらは繰返し試験とみなされる。これらを転圧曲線（ $\rho_d \sim N$ 図）上で比較すると図-5.16 のようになる。すでに述べたように場所的な粒度のばらつきが避けられないため、初期密度や初期の転圧効果曲線の形状に多少の差がでている。このため、表-5.8 に示したように双曲線回帰の係数（特に a 値）がかなり異なっているものの、図のうえでみる限り全体としてはむしろよく一致していると判断できる。

そこで、予備試験 2 では試験を行わなかった 2 ケース（S V 1 6 0 D の $H=1.5$ m のケースと S D 4 5 0 の $H=1.0$ m のケース）では予備試験 1 の結果をそのまま用い、上記 3 ケースについては図-5.16 の平均値を用いて転圧曲線を比較すると図-5.17（仕上り厚さ $H=1$ m の場合）と図-5.18（ $H=1.5$ m の場合）が得られる。

ここで例えば図-5.17（a）の場合、転圧機種間の締固め性能をどのように評価すべきかが問題になる。 $\rho_d \sim N$ 図上では 3 つの機種の転圧曲線はほぼ平行な双曲線を描いており、密度の絶対値に着目すれば当然同じ転圧回数で最も高い密度が得られる機種（この例では S V 1 6 0）が、この材料の締固めに対しては最も有効であると考えられる。しかし、初期密度が異なっているため、転圧後の密度の差はこの初期密度の差を反映したものにすぎないとみることにもできる。事実、密度の増分に着目した（b）図の $\Delta \rho_d \sim N$ 関係でみると、3 機種の転圧曲線はほとんど一致していることが分る。どちらの判断が正当であるかは、初期密度に差が生じる原因によって異なると考えられる。初期密度が異なる原因としては、次の二つが重要である。

a. 一般に転圧が行われる前の段階、すなわち、まき出しと敷き均しの過程で、これらを施工する機械の走行に伴って多少の締固めが行われる。これはローラー転圧のように十分に制御された締固めではないため、当然重機の走行条件次第で転圧前の密度にばらつきが生じうる。このような原因によって初期密度に差があるヤードを同一の機種で締固めたときの転圧曲線は、図-5.19（a）のようになると考えられる。

b. まき出しや敷き均し条件が一定であっても、盛立材料そのものの粒度が十分にコントロールできないために粒度分布に差があるときには、当然初期密度に差が生じることになる。このように粒度分布の差（および含水比の差）に起因する密度差は転圧によって解消されることはないと考えられるから、同じ機種を用いて締固めると図-5.19（b）に示すような転圧曲線が得られると予想される。

一般には両者の原因が複合して現れることが多いと考えられるが、どちらが支配的であるかは、上にのべた転圧曲線の傾向からある程度推察できそうである。

図-5.19の(a)の場合は ρ_0 に着目した評価が妥当であり、逆に(b)の場合は $\Delta\rho_0$ に着目して判断するのが合理的であると考えられる。図-5.17の結果は後者の典型的なパターンを示しているので、この場合は機種間の差はないと判断される。図-5.18の結果の場合は初期密度には差がないが途中の転圧回数では少し差がでており、これは機種による差とみなされる。しかし、 $N=6$ 回以上の密度飽和領域では、両者はほぼ一致しており、様々なばらつきの要素を加味すると両機種の差はほとんどないとみるのが妥当と考えられる。しかし、以上に述べた転圧効果の評価についての見方があてはまらない場合も考えられるので、やはり繰り返し試験を行うことが評価の信頼性の面からも重要と考えられる。

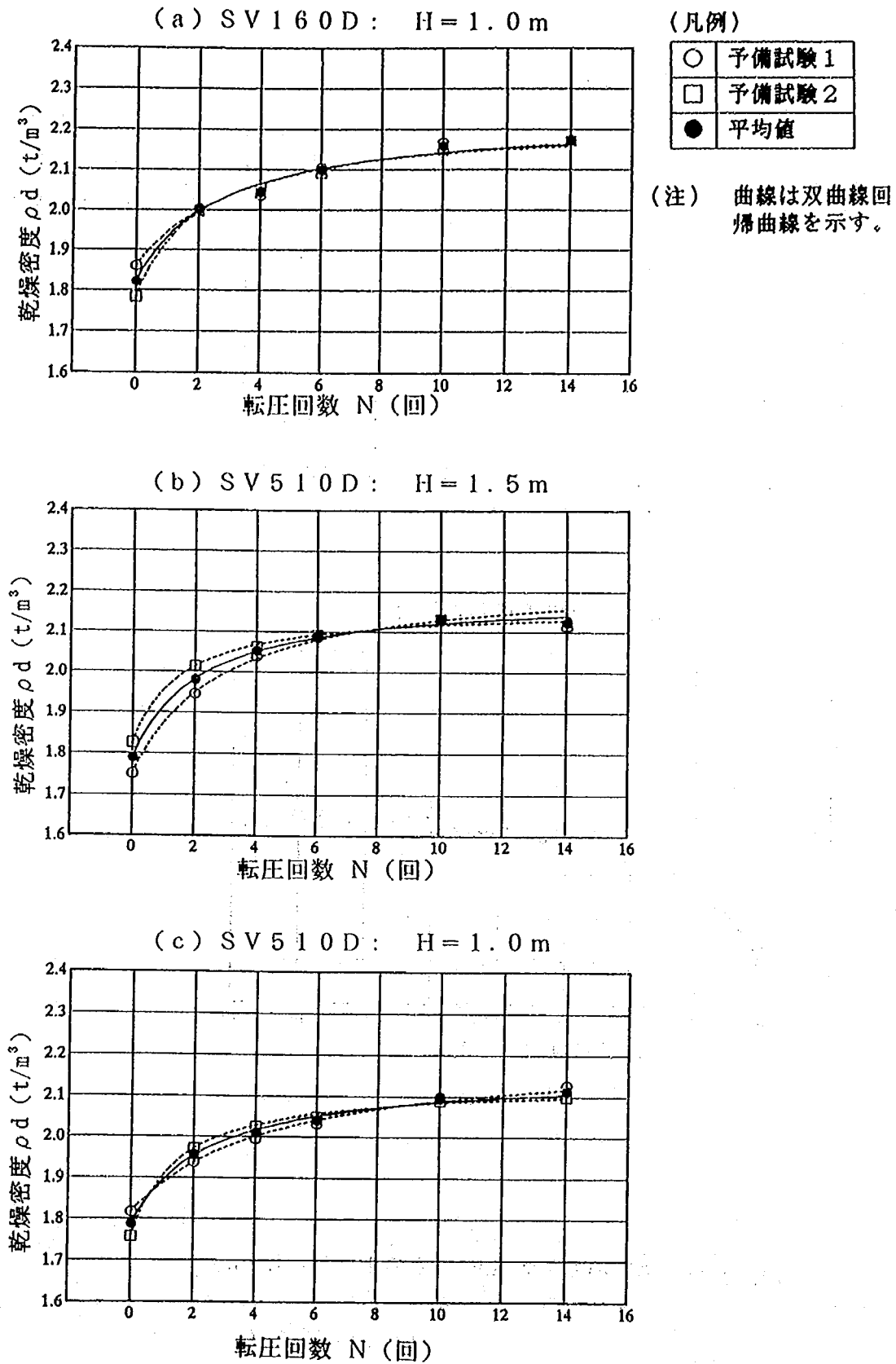
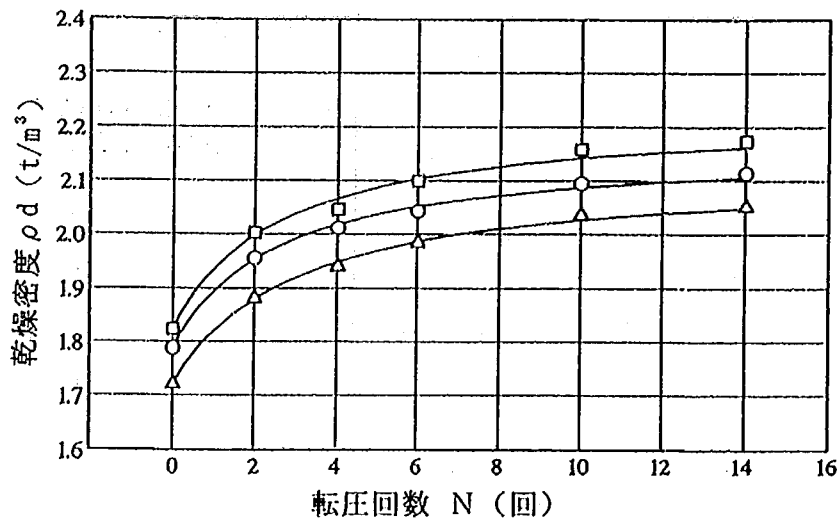


図-5.16 繰返し試験における転圧効果曲線の差異

(a) 密度の絶対値に着目した場合



(凡例)

○	SV510D
△	SD450
□	SV160D

(b) 密度増分に着目した場合

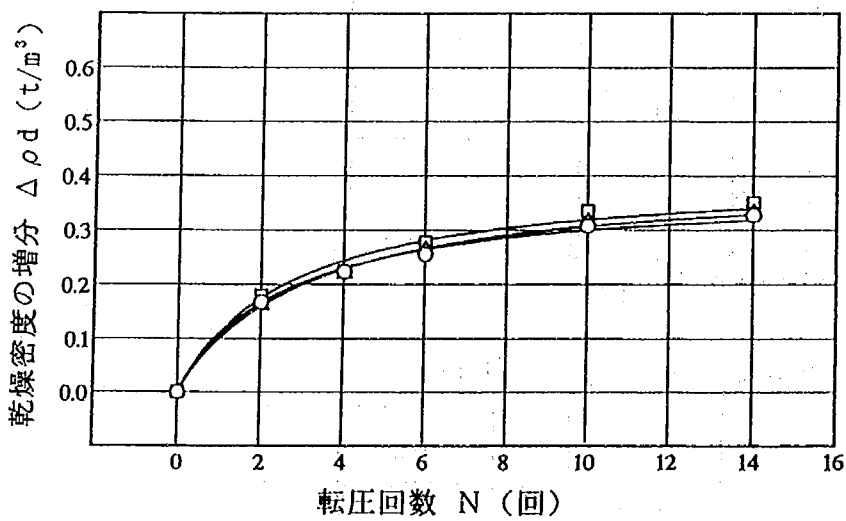
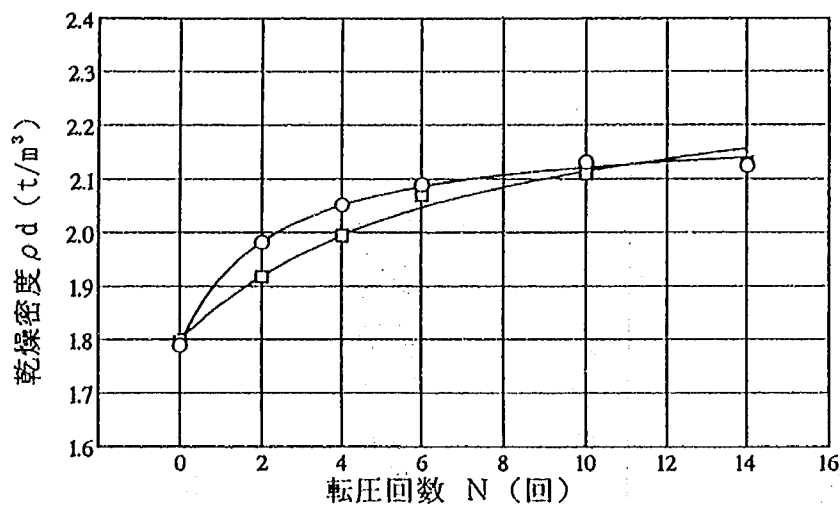


図-5.17 締固め効果の比較 (その1 : H=1.0m)

(a) 密度の絶対値に着目した場合



(凡例)

○	SV510D
□	SV160D

(b) 密度増分に着目した場合

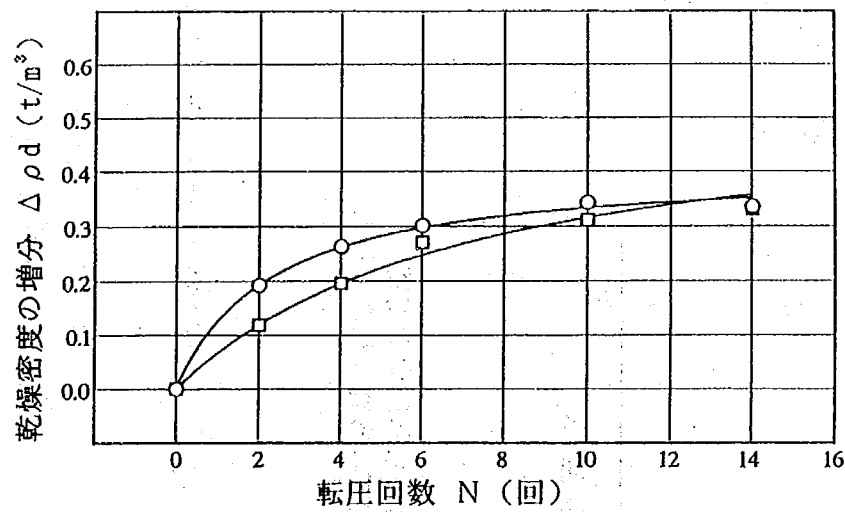
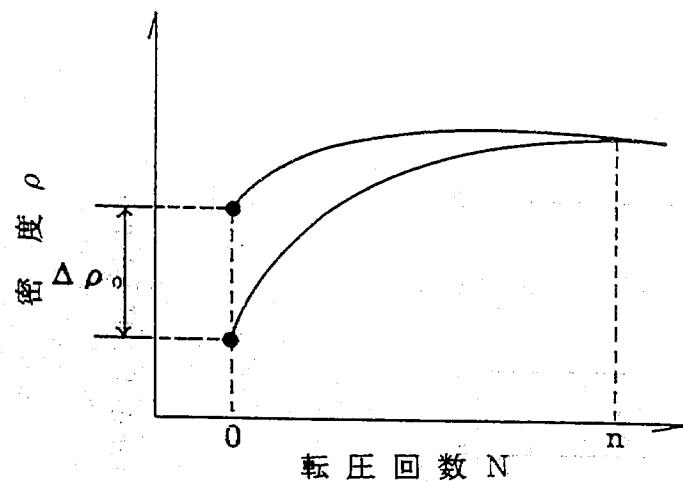
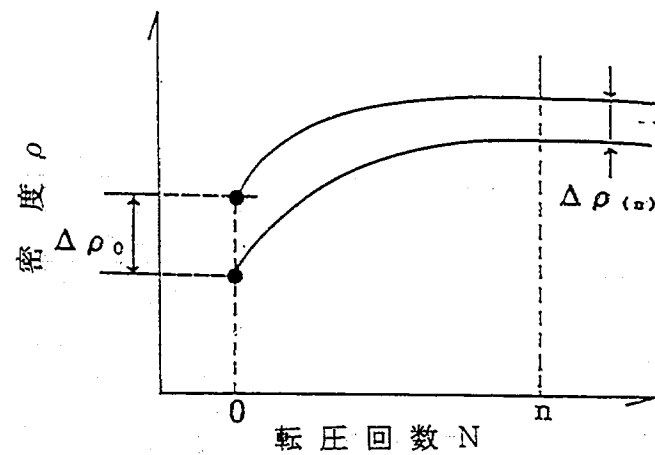


図-5.18 締固め効果の比較 (その1 : H=1.0m)



(a) 数均しに起因する初期
密度差の影響 (粒度は同じ)



(b) 粒度に起因する初期密度差
の影響 (数均し条件は同じ)

図-5.19 初期の密度差が後続転圧に及ぼす影響 (模式図)

3) フレーム型 R I 密度計による深層部の転圧効果

予備試験 2 では、主として盛立層内部の締固め状況を把握するためフレーム型 R I 密度計による深部密度の計測を中心に転圧試験を行った。フレーム型 R I 密度計による測定方法では 3. 2 で述べたように、2 本の導管を平行に維持固定するための H 鋼梁がフレームの上下端にあるため、この梁の近傍では誤差が生じる。したがって盛立層の底面から上方 20cm の区間と地表面から下方 30cm の区間は欠測となる。フレーム型とあわせて大型表面型 R I 密度計の計測も行っているため、表層部の欠測を補うため、以下に示す図では表面型のデータをあわせて示した。大型表面型 R I 密度計による測定深さは 30cm であるので測定代表深度として地表面から 15cm の位置に表面型の計測値をプロットした。なお、深部の含水比はフレーム型 R I 密度計では求められないので、ここでは湿潤密度に着目した転圧効果を考察する。

図-5.20 に深度方向に連続測定されたフレーム型の計測結果の一例を、表層部の表面型の計測結果とあわせて示した。この図にも示されているように、転圧がすすむにつれて盛土層が圧縮し、これに伴って導管の傾斜勾配も変化する。したがって、厳密に言えば各転圧回数ごとの測定深度は一定ではなく、地表面からの深さもかわってくるが、以下の図では見易さを考えて仕上り層の厚さを基準にして各転圧回数のデータは同じ深度にプロットした。計測結果は導管中心軸方向に連続走査した生データから 10cm 区間で移動平均した深度方向の分布曲線 $\rho_r(z)$ をとりだし、これからさらに 10cm ごとの区間平均を求めて、その値を各区間の中心位置（深度）にプロットした。（上の図-5.20 の例は $\rho_r(z)$ を表している。）

予備試験その 2 では仕上り厚さ $H=1.0$ m の二つのヤードで 2 機種（SV160D と SV510D）の締固め特性を比較し、このうちの 1 機種（SV510D）を対象にしてさらに $H=1.5$ m の試験を行い、まき出し厚さの違いによる転圧効果の差違を調べた。これら 3 つの各ヤードごとに 3 ヶ所でフレーム型および大型表面型の R I 密度計による密度計測を行っている。前項ですでに述べたように、転圧後の密度分布には、粒度分布の場所的なばらつきが影響しており、フレーム型の計測結果からもこのような状況が認められた。以下ではヤード内の平均値に着目して盛土深部の締固め状況を考察する。

図-5.21~23 に各試験条件（ヤード）ごとに湿潤密度の深度分布の変化状況を示す。各図で左側の（a）図は密度の実測値の分布を、また右側の（b）図は密度増分の分布を所定の転圧回数ごとに示している。 $H=1.0$ m の図-5.21 と図-5.22 を比べると、地表部を除いて内部の初期密度はほぼ同じ値を示し分布形状もよく似ているが、転圧に伴う密度上昇は SD160 の方が大きく、これは起振力の違いによるものと考えられる。

SD510D を用いてまき出し厚さの影響を比べた結果（図-5.22 と図-5.23 をみると、この場合は初期密度に差があるにも拘らず、密度増加の傾向は類似している。密度増分を比較すると（各（b）図）、 $H=1.0$ m ヤードの方がやや大きい、その差には仕上り厚

さの比に匹敵するほどの開きはない。すなわち、締固め効果は単純に体積比（または仕上り厚さの比）に反比例しないことを示している。特に $N = 6$ 回までの下層部の密度増加は両ケースでほとんど変わらず、この結果をみる限り、この材料の場合は $H = 1.5 \text{ m}$ でも締固めは下層部まで十分及んでいるとみなすことができそうである。

転圧後の層内の密度分布は3つのヤードすべてにおいて傾きがみられ、層内の密度は一樣でないことを示している。これは主として、表層ほど締固め効果が大きく、下部へゆくにしたがって締固めエネルギーの分散により締固め効果が低下するためであると考えるのが自然である。

深度方向の締固め効果の差違は各計測深度における転圧効果曲線（ここでは $\rho_i \sim N$ 図又は $\Delta \rho_i \sim N$ 図）に示すと一層明らかになる。これを図-5.24～図-5.26に示す。これらの図から盛土内の転圧効果は深度によらず双曲線を用いて近似できること（表-5.9に示した相関係数の大きさからも分る）、そして密度増分は転圧面から深くなるほど小さくなること、まき出し厚さが大きい場合には密度分布の傾きがやや緩和されることなどが分る。なお、3つのヤードとも最初の2回までの転圧で層全域にわたって顕著な密度増加を示し、その後も転圧ごとに密度は漸増しつづけているが、 $N = 10$ 回をこえると密度はほとんど変化しなくなっている。

表-5.9 深度別転圧効果の双曲線回帰（湿潤密度）

仕上り厚 $H(\text{cm})$	転圧機種	深 度 $Z(\text{cm})$	初期密度 $\rho_{d0}(\text{t/m}^3)$	回帰係数		$\frac{1}{b}$	相関係数 r
				a	b		
100	SV160D	15	1.939	3.928	2.498	0.400	0.993
		35	1.821	4.298	2.479	0.403	0.981
		45	1.795	4.224	2.737	0.365	0.978
		55	1.809	4.190	3.213	0.311	0.968
		65	1.836	4.263	3.733	0.268	0.956
		75	1.822	4.733	4.838	0.207	0.939
	SV510D	15	1.868	3.426	2.576	0.388	0.997
		35	1.802	4.513	3.582	0.279	0.988
		45	1.805	5.076	3.880	0.258	0.989
		55	1.814	5.840	4.350	0.230	0.984
		65	1.825	7.484	4.907	0.204	0.981
		75	1.798	11.404	5.006	0.200	0.990
150	SV510D	15	1.911	3.188	2.723	0.367	0.970
		35	1.899	6.159	3.939	0.254	0.993
		45	1.897	6.265	4.262	0.235	0.991
		55	1.892	6.731	4.483	0.223	0.992
		65	1.887	7.001	4.699	0.213	0.987
		75	1.894	7.628	5.058	0.198	0.982
		85	1.898	8.318	5.707	0.175	0.987
		95	1.894	9.605	5.605	0.178	0.995
		105	1.882	9.021	5.172	0.193	0.998
		115	1.883	7.924	5.178	0.193	0.997
		125	1.827	10.006	5.647	0.177	0.999

注1) $Z = 15\text{cm}$ のデータは大型表面型 R I 密度計（測定深さ30cm）の結果である。

他の深度におけるデータはフレーム型 R I 密度計の結果である。

注2) $1/b$ は密度増分の極限值を示す。

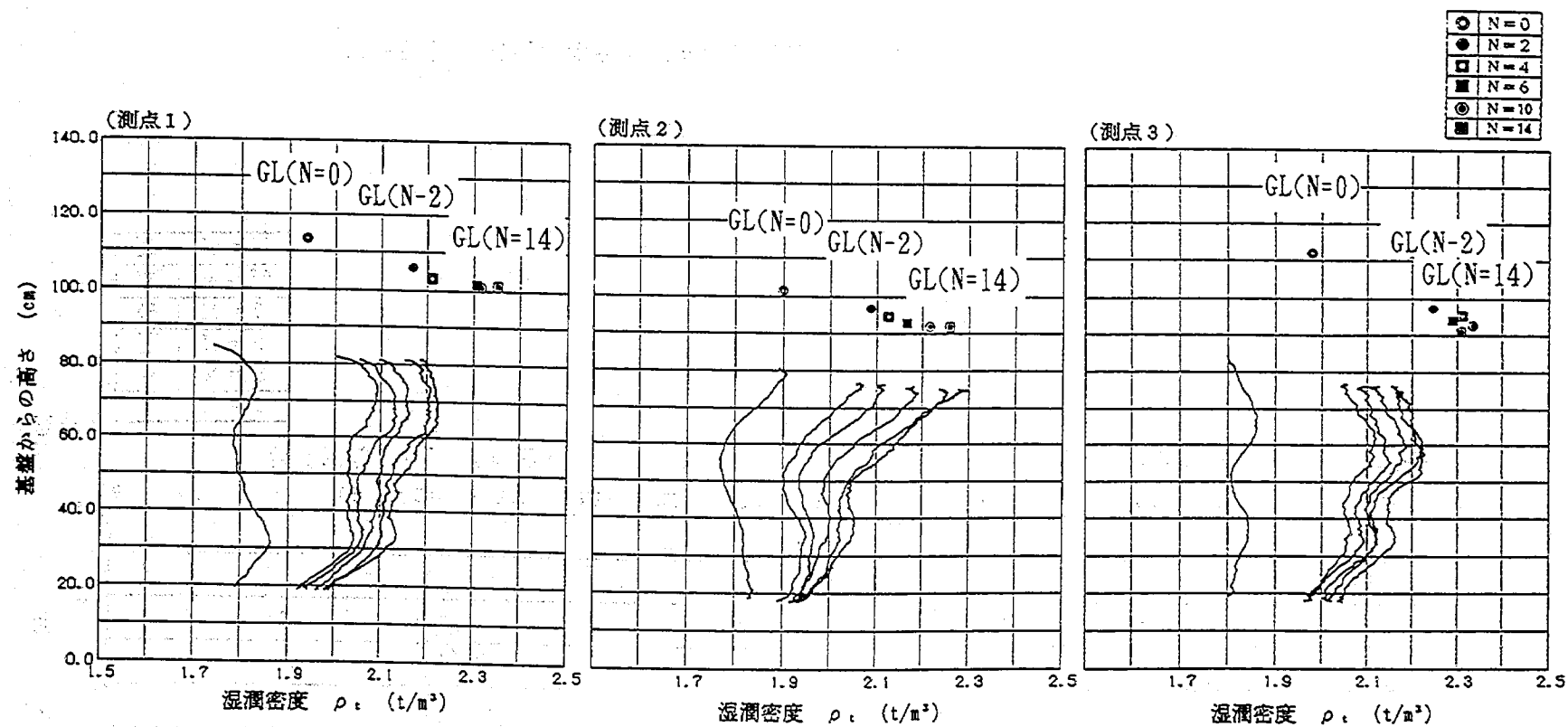
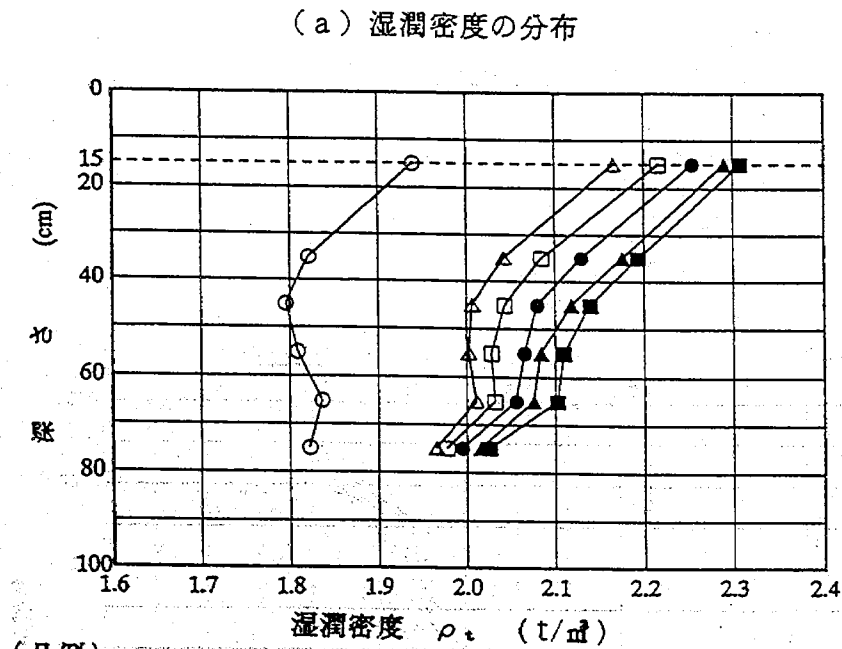


図-5.20 フレーム型R I密度計による密度スキャンニング結果の一例
(図中のプロットは大型表面型R I法による値を示す)



(凡例)

○	N = 0
△	N = 2
□	N = 4
●	N = 6
▲	N = 10
■	N = 14

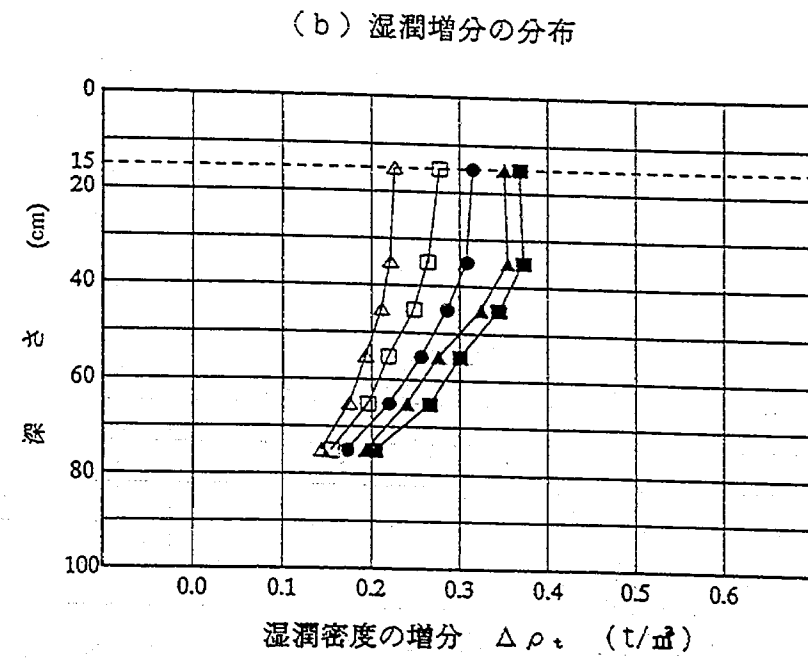


図-5.21 転圧に伴う内部密度分布の変化 (SV160D : H = 1.0 m)

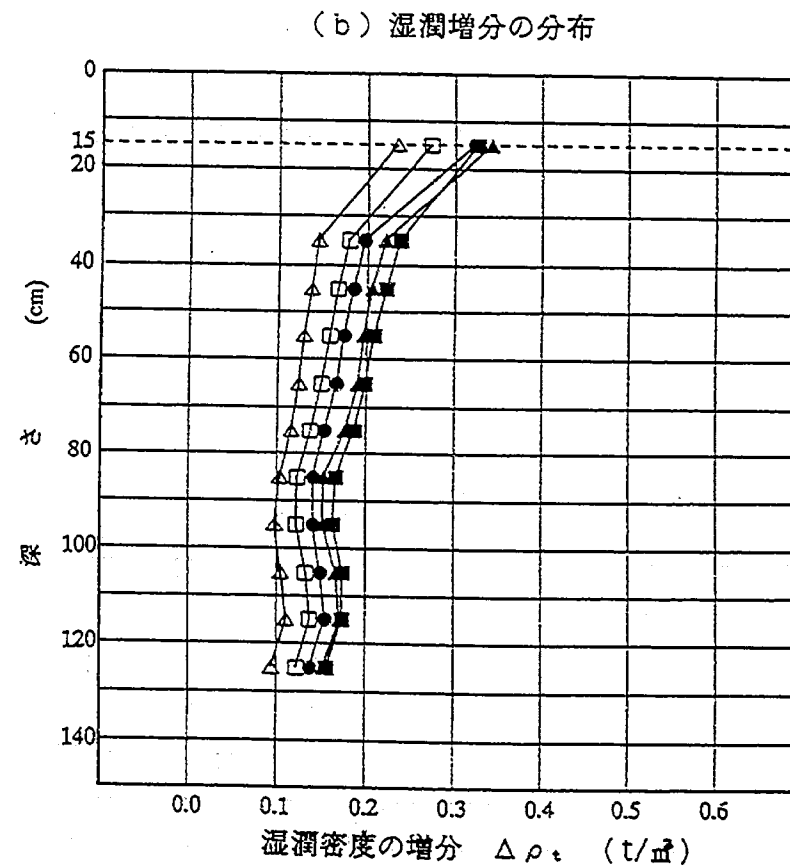
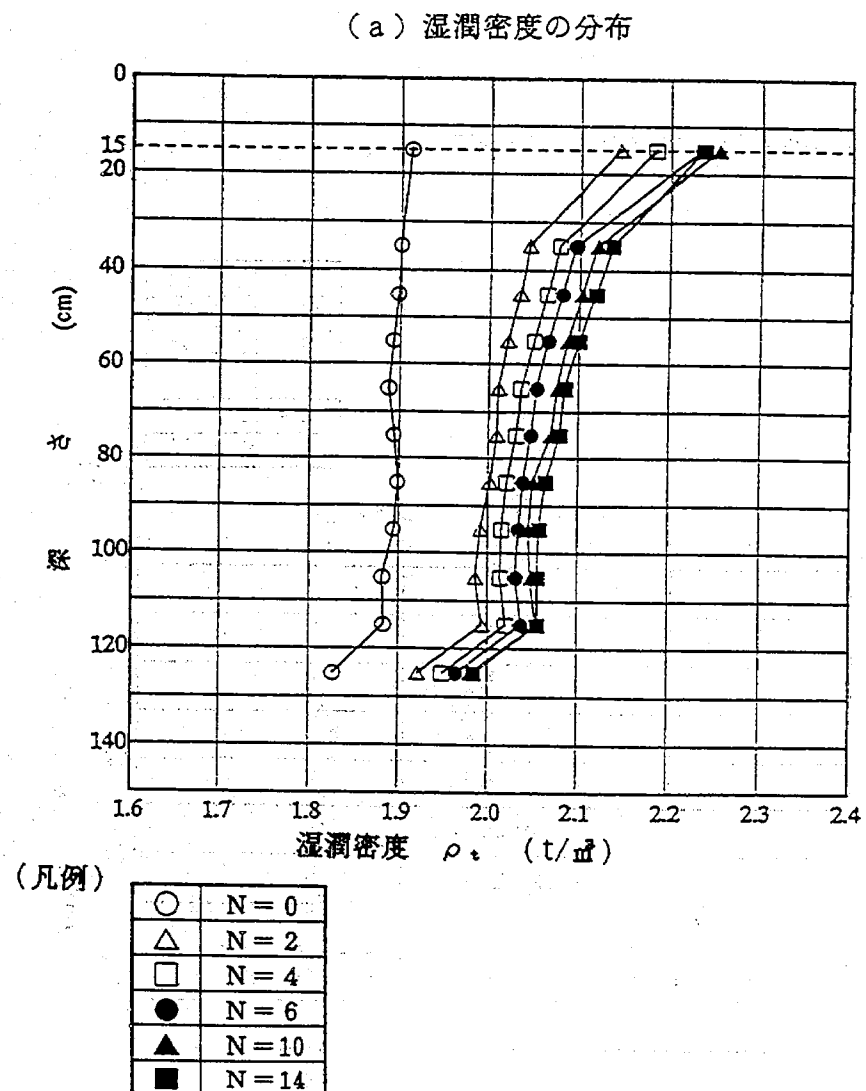


図-5.22 転圧に伴う内部密度分布の変化 (SV510D : H = 1.0 m)

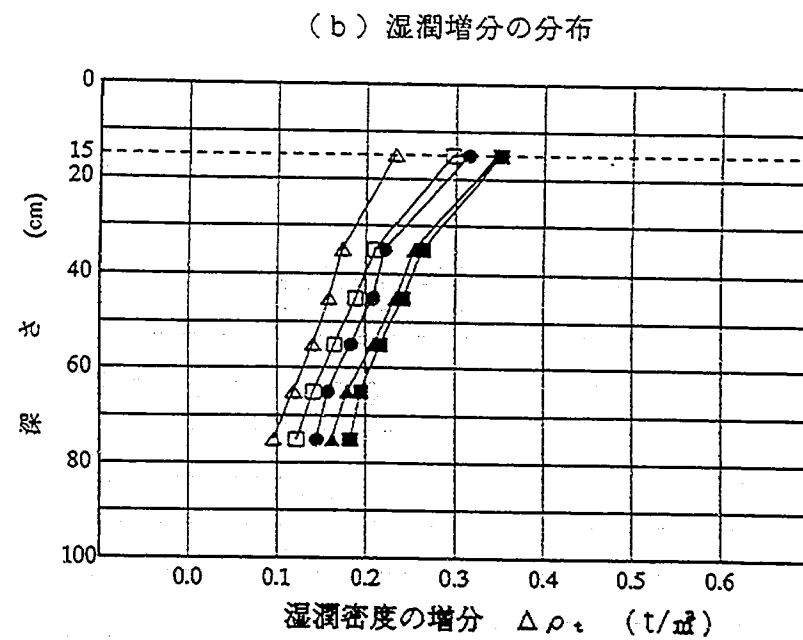
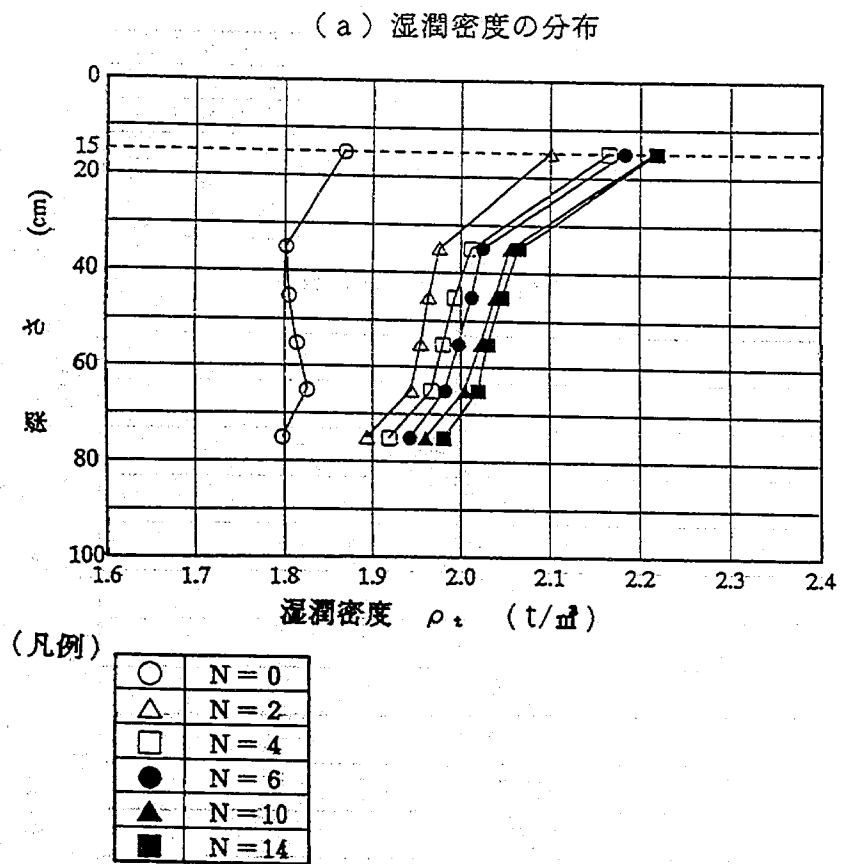


図-5.23 転圧に伴う内部密度分布の変化 (SV510D : $H=1.5\text{ m}$)

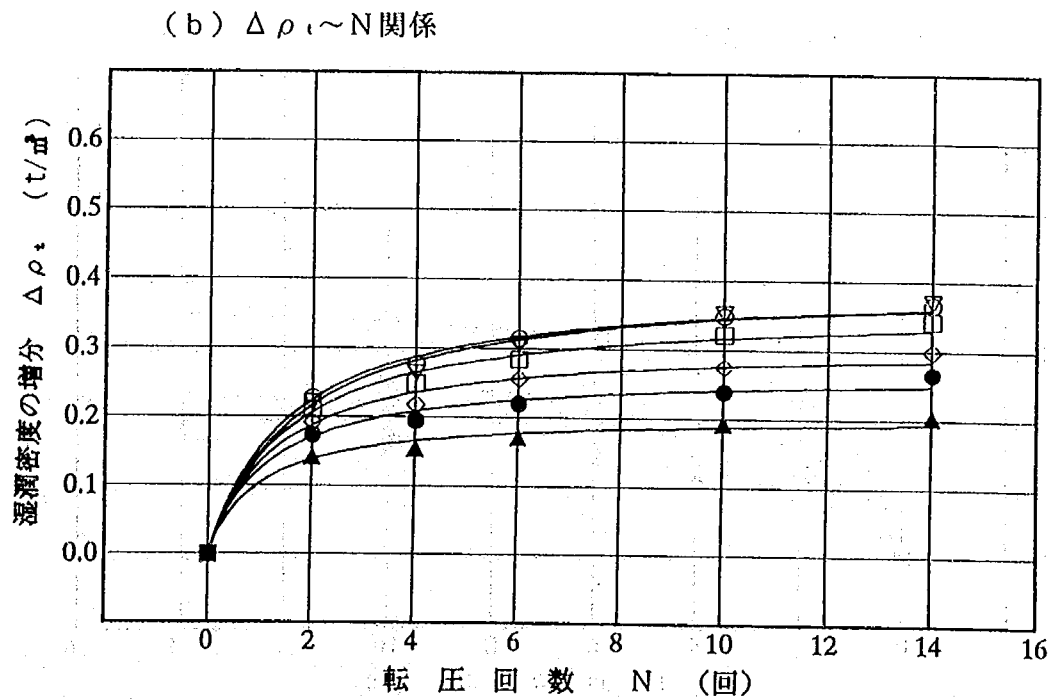
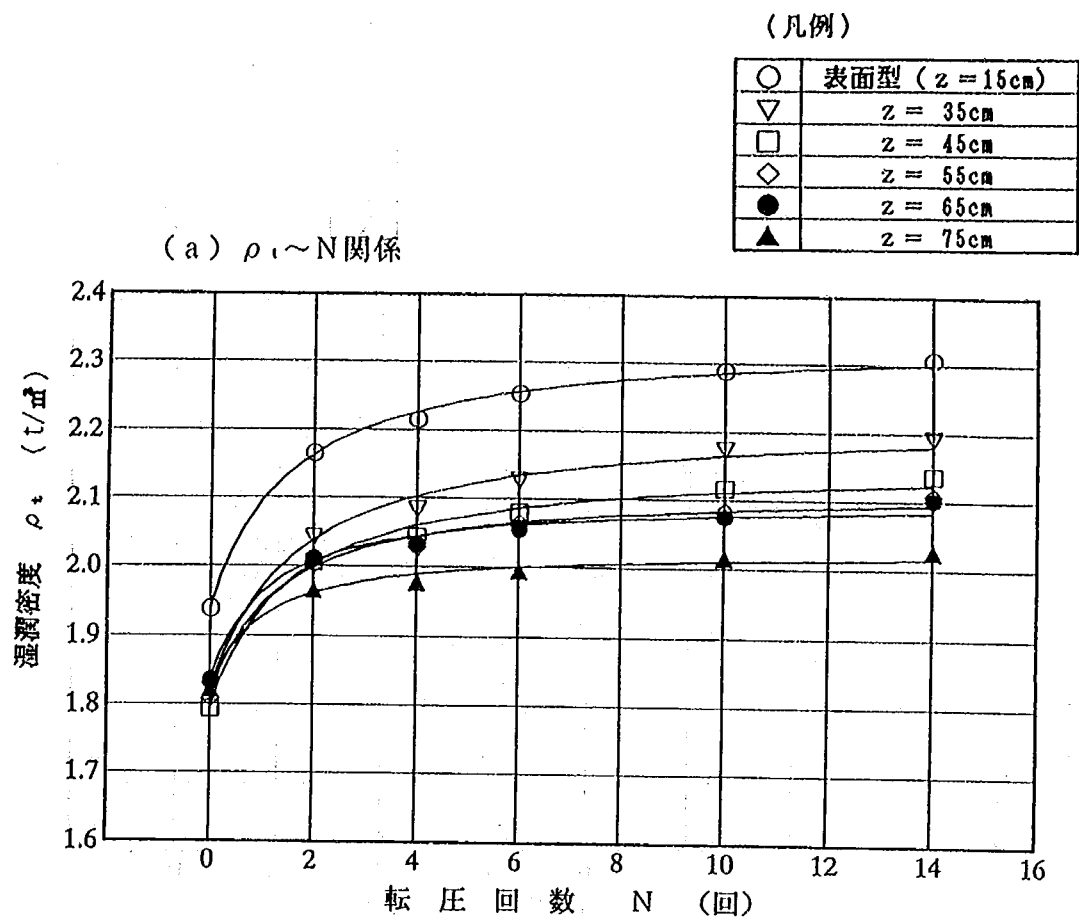
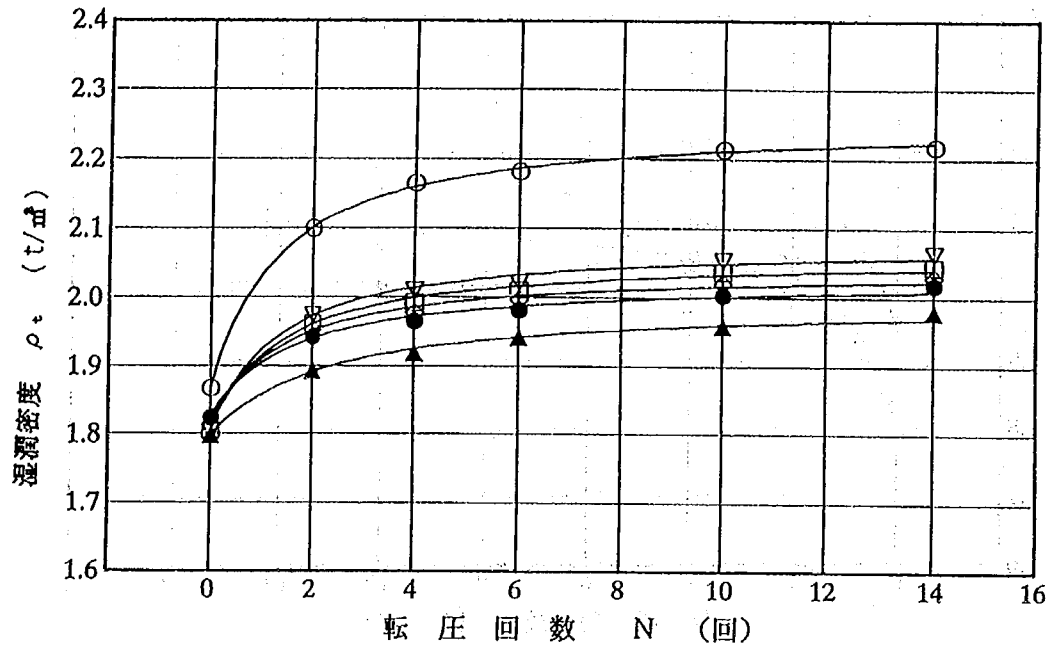


図-5.24 深度別転圧効果曲線 (SV160D: $H = 1.0\text{ m}$)

(凡例)

○	表面型 (z = 15cm)
▽	z = 35cm
□	z = 45cm
◇	z = 55cm
●	z = 65cm
▲	z = 75cm

(a) $\rho_t \sim N$ 関係



(b) $\Delta \rho_t \sim N$ 関係

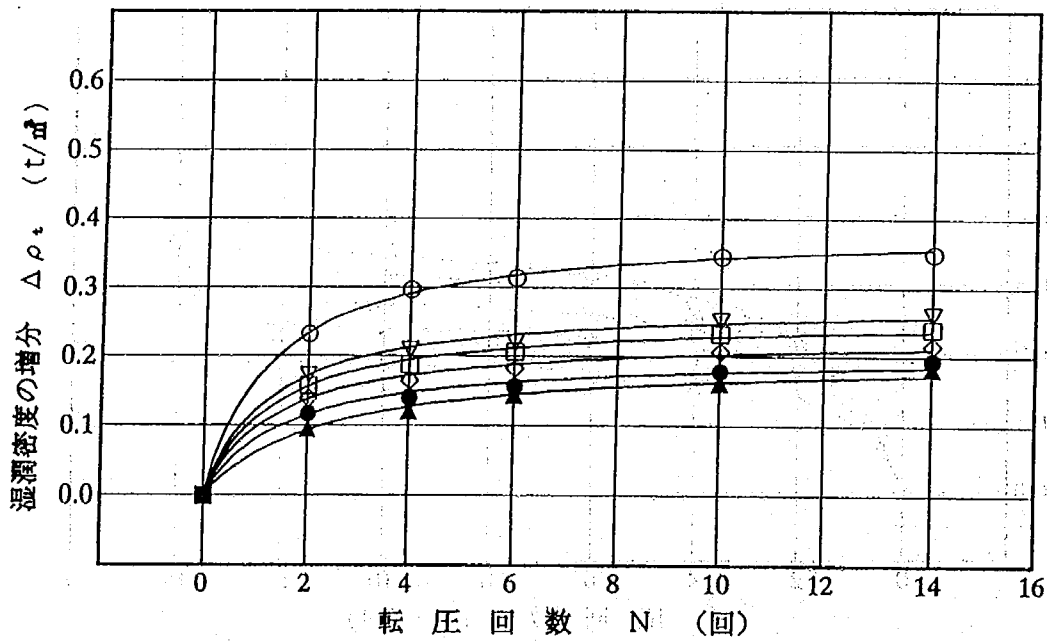
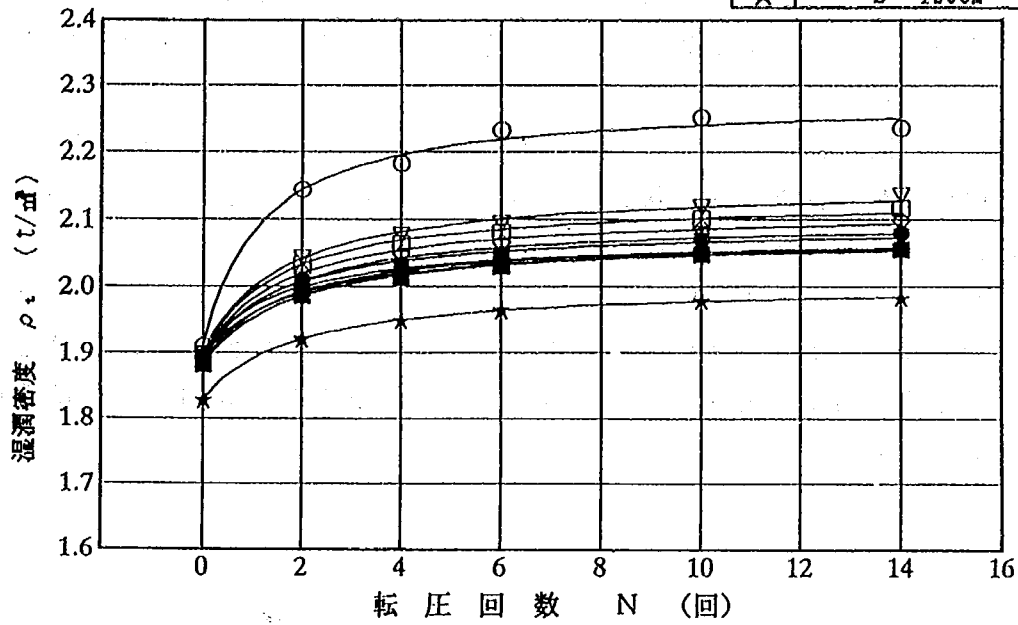


図-5.25 深度別転圧効果曲線 (SV510D : H = 1.0 m)

(凡例)

○	表面型 (z = 15cm)
▽	z = 35cm
□	z = 45cm
◇	z = 55cm
☆	z = 65cm
●	z = 75cm
▲	z = 85cm
▼	z = 95cm
■	z = 105cm
◆	z = 115cm
★	z = 125cm

(a) $\rho_i \sim N$ 関係



(b) $\Delta \rho_i \sim N$ 関係

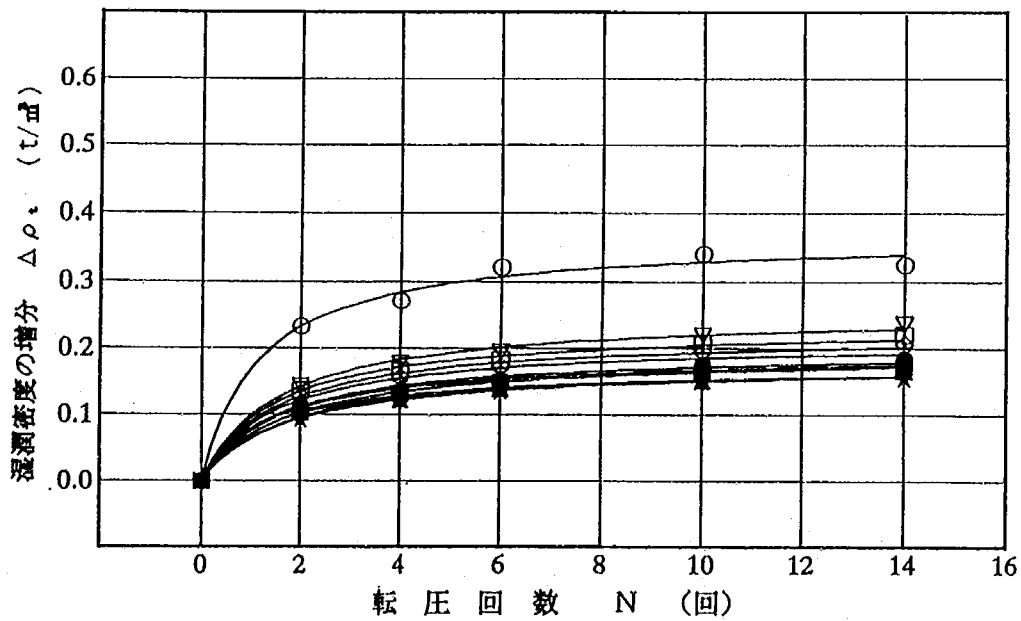


図-5.26 深度別転圧効果曲線 (SV510D : H = 1.5 m)

(2) 転圧に伴う地表面の沈下

1) 沈下量のばらつき

図-5.27の④は予備試験2の表面沈下量の実測値とヤード内平均値を転圧回数に対してプロットしたものである。ヤード内の沈下量にもばらつきがみられ、その上下限値の幅はおよそ ± 2.5 cm程度で、転圧回数によってほとんど変化していない。このことから、沈下量のばらつきは敷き均し後 ($N = 0$ 回) から最初の $N = 2$ 回までの転圧によって発生したものであり、それ以後の転圧では新たなばらつきが発生すること、また、ばらつきが減少することもないという状況が推察できる。事実、 $N = 2$ 回転圧後を起点として沈下量を整理し直してみると図-5.27の⑤のようになり、ばらつきの幅は著しく小さくなっている。敷き均し直後の盛立層はかなり緩い状態であるため表面状態も不安定であるが、最初の2回の転圧の後にはかなり安定した状態になることが分る。

図-5.27の④にはヤード内の平均値とばらつきの上下限に対応する実測値の双曲線回帰式を示しているが、これより密度の場合と同じく沈下量と転圧回数との関係も双曲線によって精度よく近似できることがわかる。3つのヤードとも $N = 6$ 回以後も沈下量は漸増する傾向を示している。

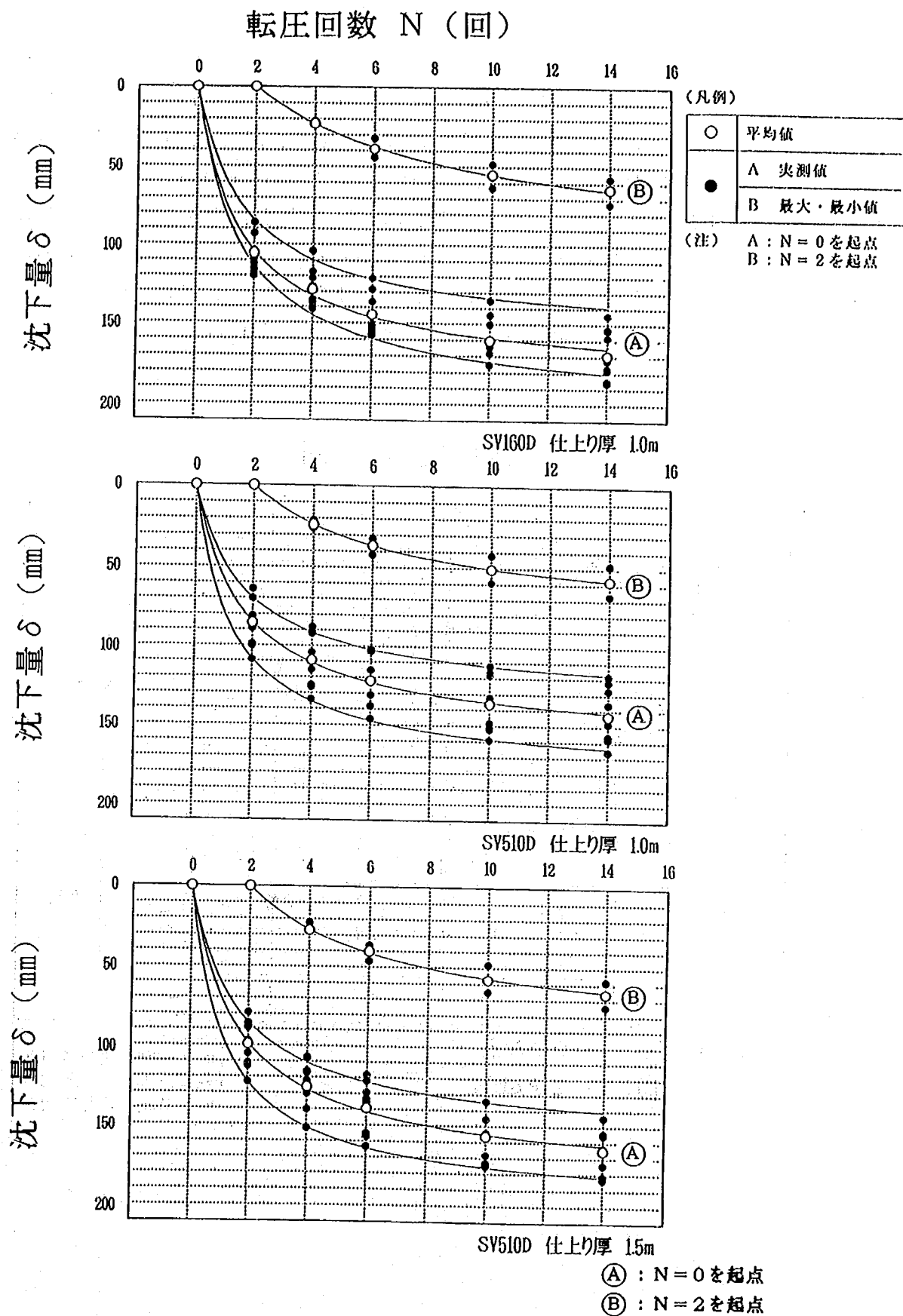


図-5.27 転圧回数と沈下量との関係

2) 平均沈下量と転圧回数との関係

各試験ヤード内の平均沈下量と転圧回数との関係を図-5.28に示す。敷き均し後からの全沈下量④についてみると、SV510Dの仕上り厚 $H=1.0$ mのケースが他の2ケース（SV510Dの $H=1.5$ mおよびSV160Dの $H=1.0$ m）より沈下量が明らかに小さい結果となっている。しかし、 $N=2$ 回以後の転圧に伴う沈下量⑤についてみると、3つのヤード間の差は非常に小さい。したがって、図の④にみられる沈下量の差は転圧効果の違いを示すものではなく、初期状態の違いを表していると考えるのが妥当である。このように沈下量から転圧効果を評価するときには、 $N=1$ 回または2回の転圧を終えた状態を起点にして、それ以降の沈下量を比較する方がよいと考えられる。

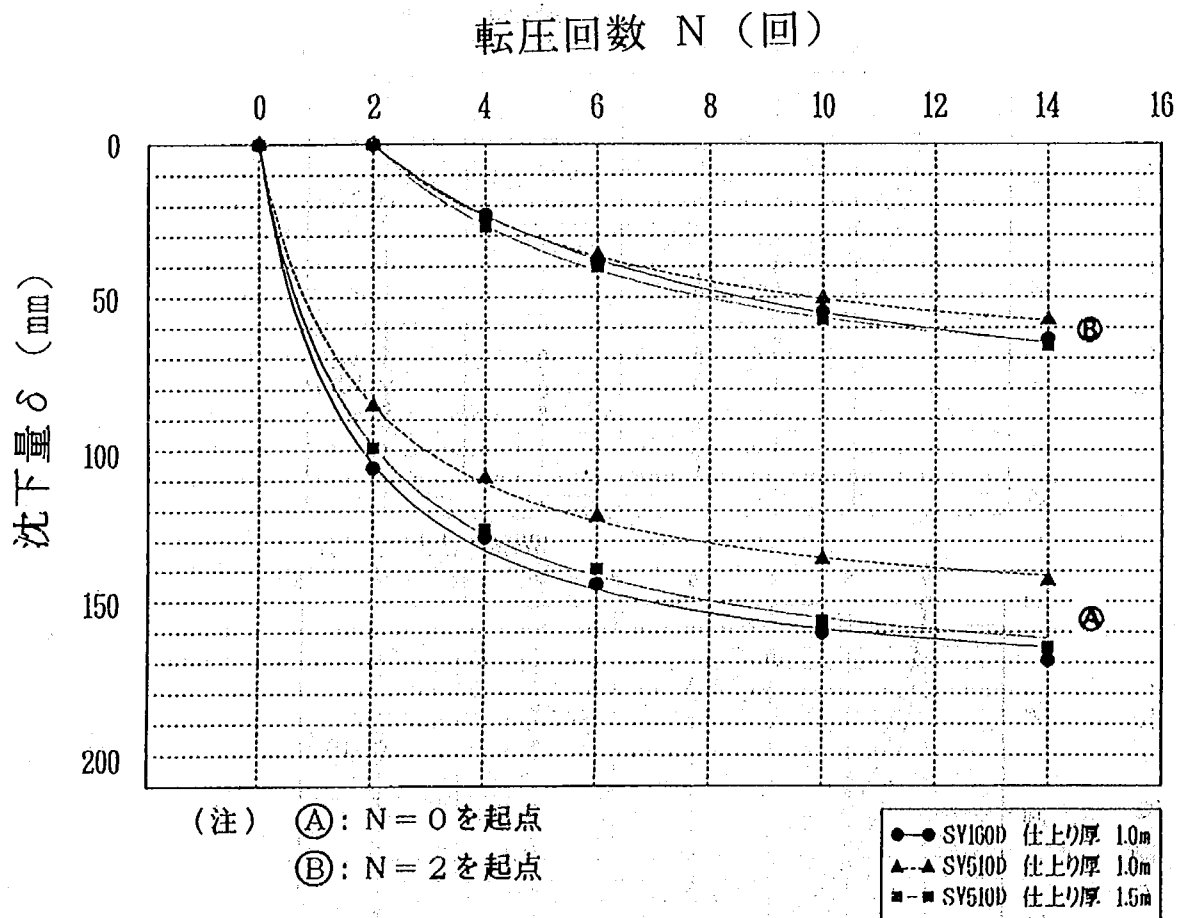


図-5.28 転圧回数と平均沈下量との関係

3) 沈下量と密度増分との関係

実際の盛立施工は近似的には一次元圧縮とみなすことができる。したがって、盛土表面の沈下は転圧による鉛直方向の締固め密度の上昇と密接に関係していると考えられるが、一部には側方への流動に起因する沈下現象が複合して生じている可能性も考えられる。そこで振動転圧による締固めが一次元的な境界条件のもとに行われるものと仮定して、密度の増分から転圧層の圧縮率を求め、沈下量から計算される圧縮率と比較してみた。

$$\text{転圧層の圧縮率} \equiv \frac{H_0 - H}{H_0} \times 100(\%) = \frac{\rho - \rho_0}{\rho} \times 100(\%) \quad (5.2)$$

H_0, ρ_0 : 敷き均し直後の厚さおよび初期密度

H, ρ : 転圧後の厚さおよび密度

仕上がり厚さ1.0 mおよび1.5 mに対して、敷き均し直後の厚さはそれぞれ $H_0 = 115$ cm、172 cmである。転圧層の平均密度は次のように算定した。

$$\rho_c = \frac{0.3 \cdot \rho_{11} + (H - 0.3) \cdot \rho_{12}}{H} \quad (5.3)$$

ここで、 ρ_{11} は大型表面型RI密度計による平均湿潤密度、 ρ_{12} はフレーム型RI密度計による平均湿潤密度である。

Hは転圧回数によって変化するが、ここでは仕上がり厚さを用いて計算した。図-5.29に示すように、 $H = 1.5$ mの場合沈下量から求めた圧縮率よりも密度増分から推定した圧縮率の方がやや大きい値を示しているが、全体的にみて両者は比較的良好に合っていると考えることができそうである。したがって、転圧による締固めはほぼ一次元圧縮現象とみなすことができ、側方移動は無視してよいものと考えられる。

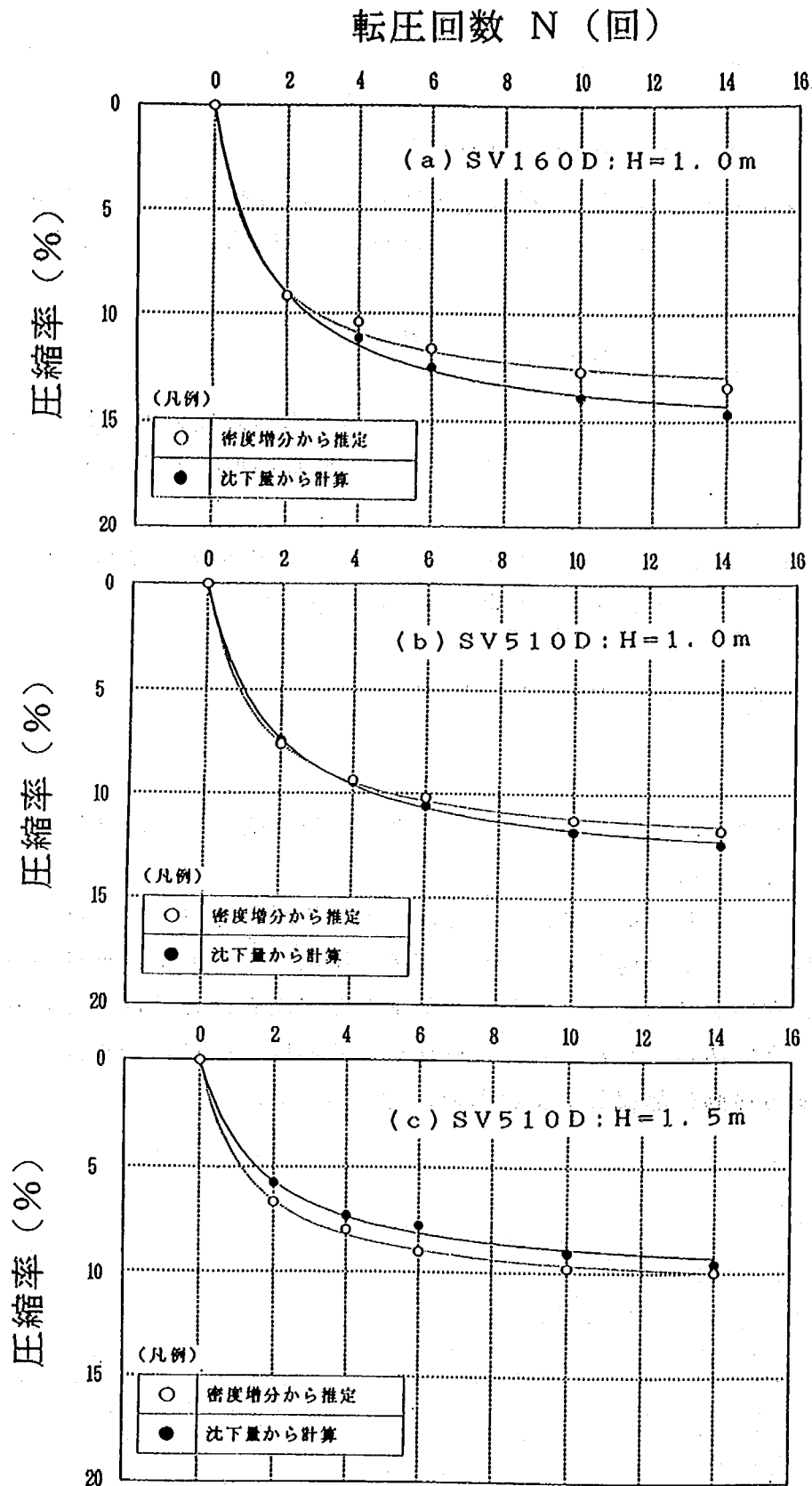


図-5.29 転圧回数と圧縮率との関係

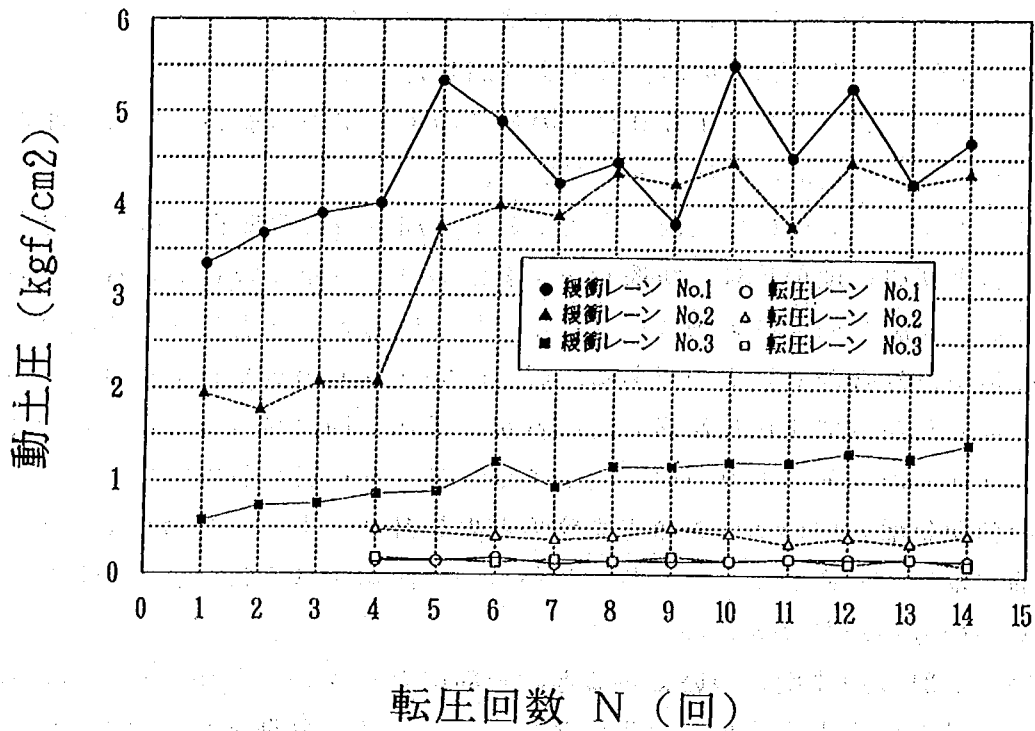
(3) 転圧時の土圧および加速度の分布

予備試験1の仕上り厚さ $H = 1.5$ mの盛立試験では、転圧ローラの走行によって盛土内部に発生する振動土圧と加速度の鉛直分布を計測した。土圧計および加速度計は2種類の転圧機械（SV510DとSV160D）の各試験ヤードの緩衝レーン内に埋設されている（深さ25cm、50cm、150 cm：図-5.5 参照）。

図-5.30および図-5.31に転圧回数と土圧および加速度との関係を示す。図-5.30、5.31の動土圧および加速度の値は、緩衝レーンを振動ローラが走行しているときの動土圧と加速度の値と、転圧レーンを振動ローラが走行しているとき緩衝レーンで測定した動土圧と加速度の値を組み合わせたものである。図-5.30(b)のSV510Dのヤードでは転圧がすすむにしたがって土圧は漸増しているが、 $N = 7$ 回以後ではほとんど変化しなくなっている。(a)のSV160Dのヤードでは、 $N = 5$ 回目の転圧時に上層部にある2つの土圧計の値が急増している。この点を除くと少し乱れはあるもののSV510Dのケースと基本的には同じ傾向を示している。しかし、土圧の大きさは起振力の違いを反映してSV160Dの方がかなり大きい。

他方、図-5.31の加速度についてみると、一部にデータの乱れがみられるけれども全体としては土圧計の場合とよく似た変化状況を示していると判断される。ただし、SV160Dゾーンの土圧にみられた、 $N = 4$ 回から $N = 5$ 回へかけての急変は加速度にはみられない。このことから土圧の急変現象やところどころにみられた乱れ（全体的なトレンドからの大きなずれ）は、振動締固めに伴う粒子の再配列によってセンサーを埋設した位置近傍の粒子間の接触構造がやや不安定になったために生じたのではないかと推察される。また前進時と後退時で土圧や加速度の値が異なることを示唆するケースもあるが、そのような傾向が認められないケースもあるので、これが転圧機械の特性によるものと断定することはできない。

(a) SV160D



(b) SV510D

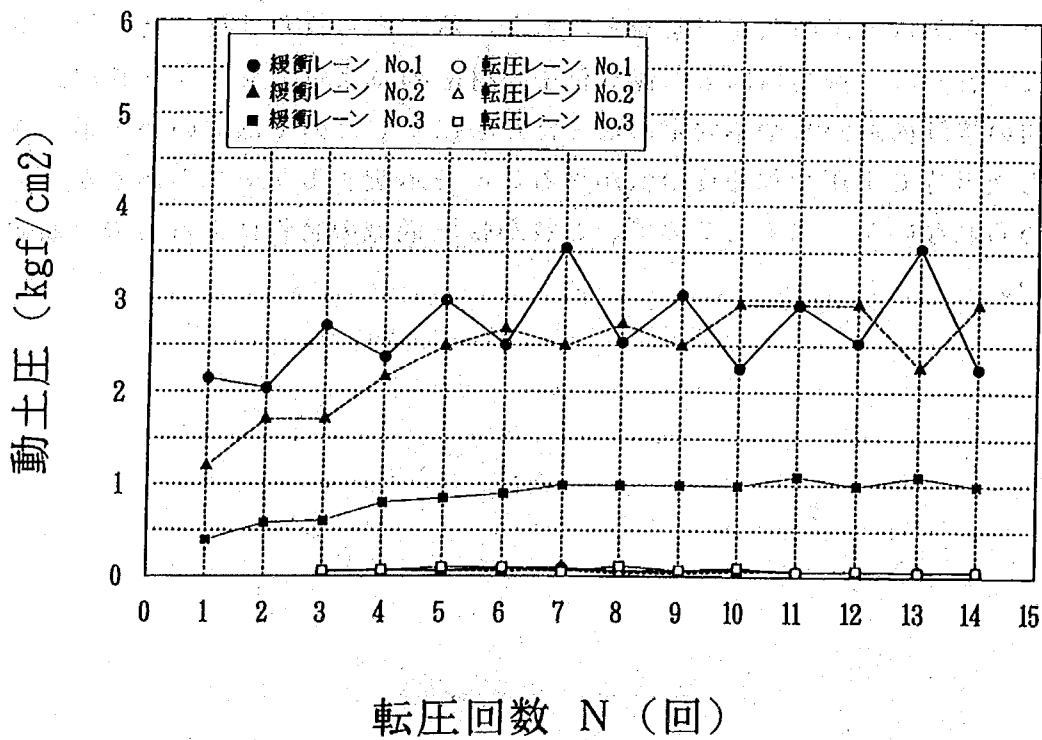
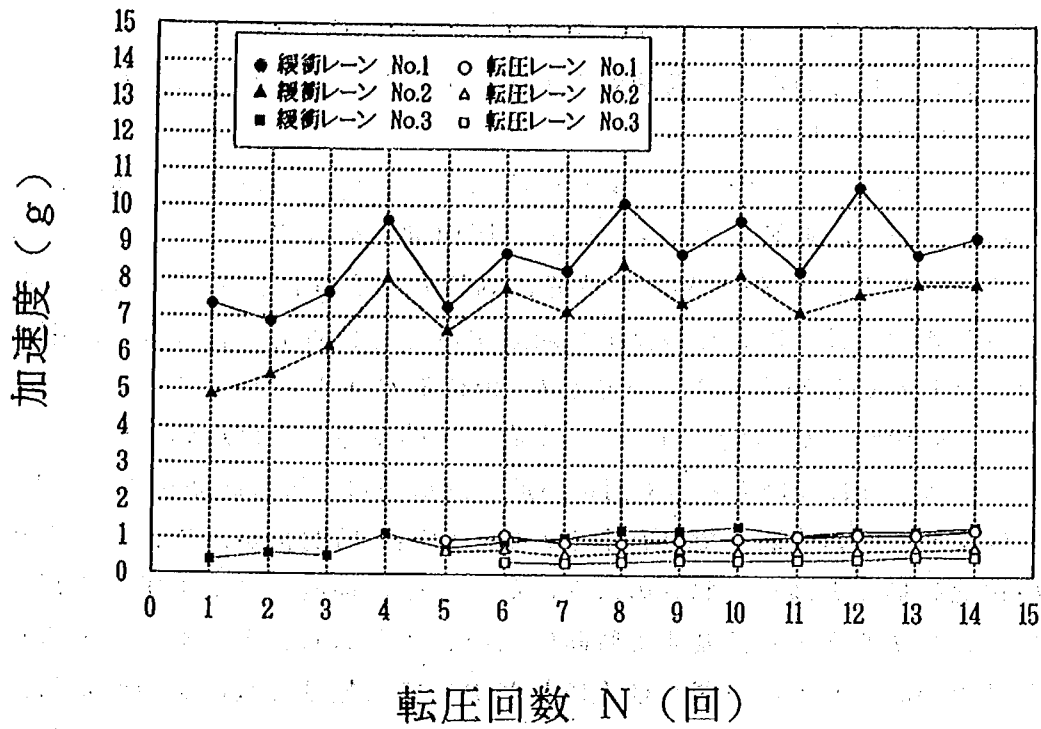


図-5.30 転圧回数と動土圧との関係

(a) SV160D



(b) SV510D

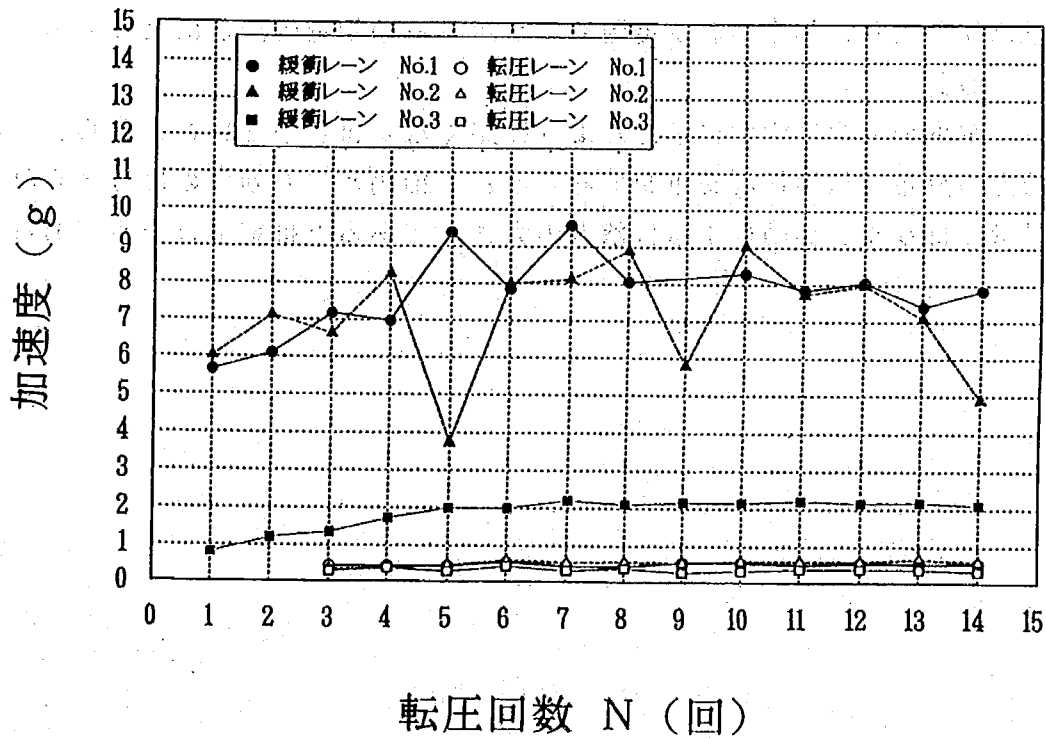


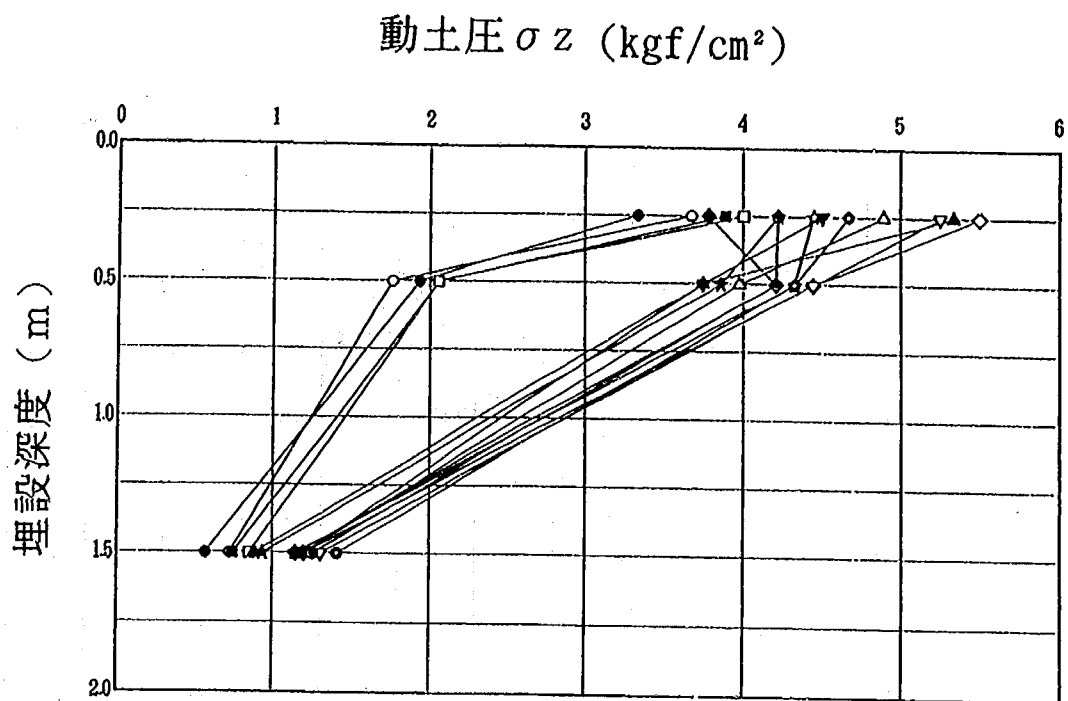
図-5.31 転圧回数と加速度との関係

次に土圧と加速度の深度分布を図-5.32および図-5.33に示す。地表面から深さ50cmまでの浅いところでは、転圧回数の変化によって複雑な分布を示しているが、全体としては土圧、加速度ともに深さ方向に直線状に減衰するパターンとなっている。

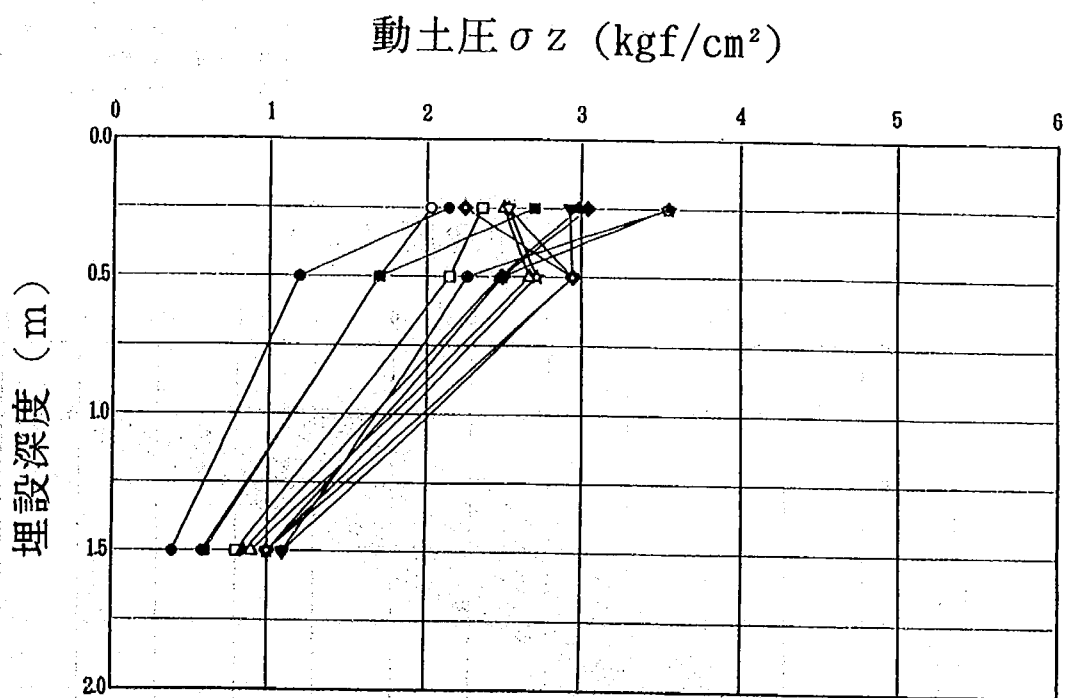
以上の結果から、転圧層内の振動締固めエネルギーの到達領域（転圧の影響範囲）を模式的に描いたものが図-5.34である。

図-5.34 a は横軸に土圧計の設置位置を中心にして、転圧機の走行方向の距離をとって影響範囲を示している。振動エネルギーは盛立層内部へ分散するので、図の左側からローラが接近してきた場合、振動輪がC₀の位置に到達したときに、まず最も深いところにあるセンサーCが感知しはじめ、その直上を通過するときに負荷されるエネルギーは最大になり、その後はしだいに減衰して振動輪がC₁の位置をすぎるとC点はもはや振動しなくなる。センサーの両端とC₀およびC₁を結ぶ直線との交差角度は約45°となっている。上層部のセンサーA、Bについても全く同様の逆三角形をなす影響範囲を描くことができる。振動ローラは定速（時速3 km）で走行するので、横軸を時間にかえて盛立層内部の振幅の時間変化の状況を描くと図-5.34 b のようになる。転圧面直下では土圧および加速度の振幅は大きい、エネルギーが持続する時間は短い、すなわち、大きくゆすぶられるが、その持続時間は短い。そして、下層へゆくにしかたがって振幅は急激にかつ直線的に減衰するが、振幅の減少に反比例して持続時間は増加する、すなわち、小さな力で長時間ゆすぶられる。振幅と時間の積は負荷されるエネルギーの総量に対応するが、以上の説明から分るように、単位体積当りに与えられる締固めエネルギーの総量は深さによってあまり変わらないと考えられる。

すなわち、密度の変化はすでに示したように深くなるほど小さいことから、これと盛土層内の振動力の分布・伝播状況を重ねて考えると、締固めに有効なのは与えられるエネルギーの絶対量ではなく、振動による打撃力の大きさであると推察できそうである。



(a) SV160D



(b) SV510D

● N=1	△ N=6	▼ N=11
○ N=2	★ N=7	▽ N=12
■ N=3	☆ N=8	● N=13
□ N=4	◆ N=9	○ N=14
▲ N=5	◇ N=10	

図-5.32 動土圧の深度分布の変化

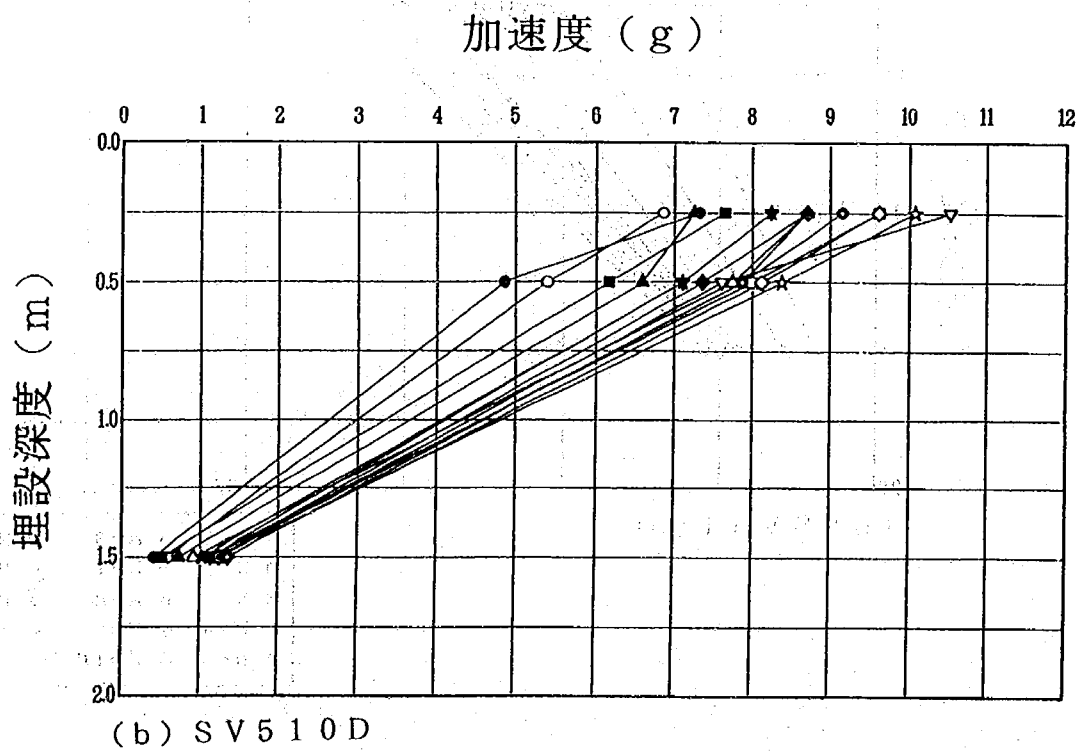
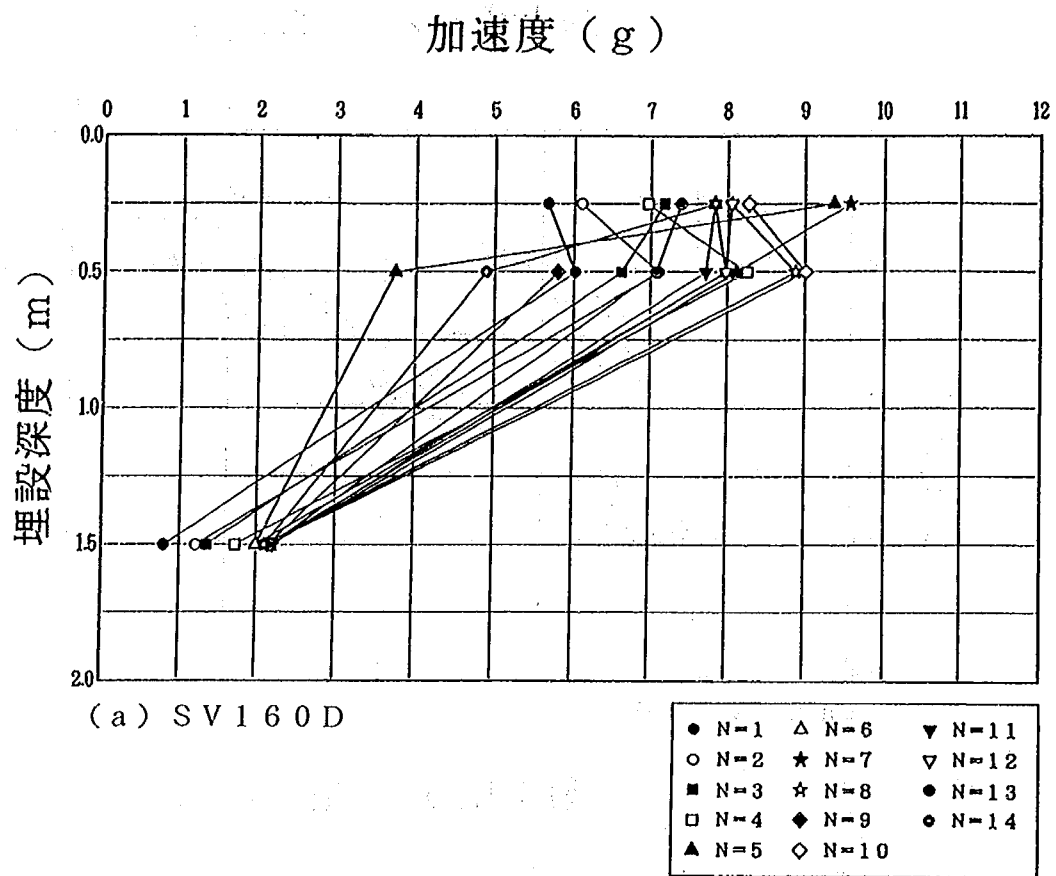
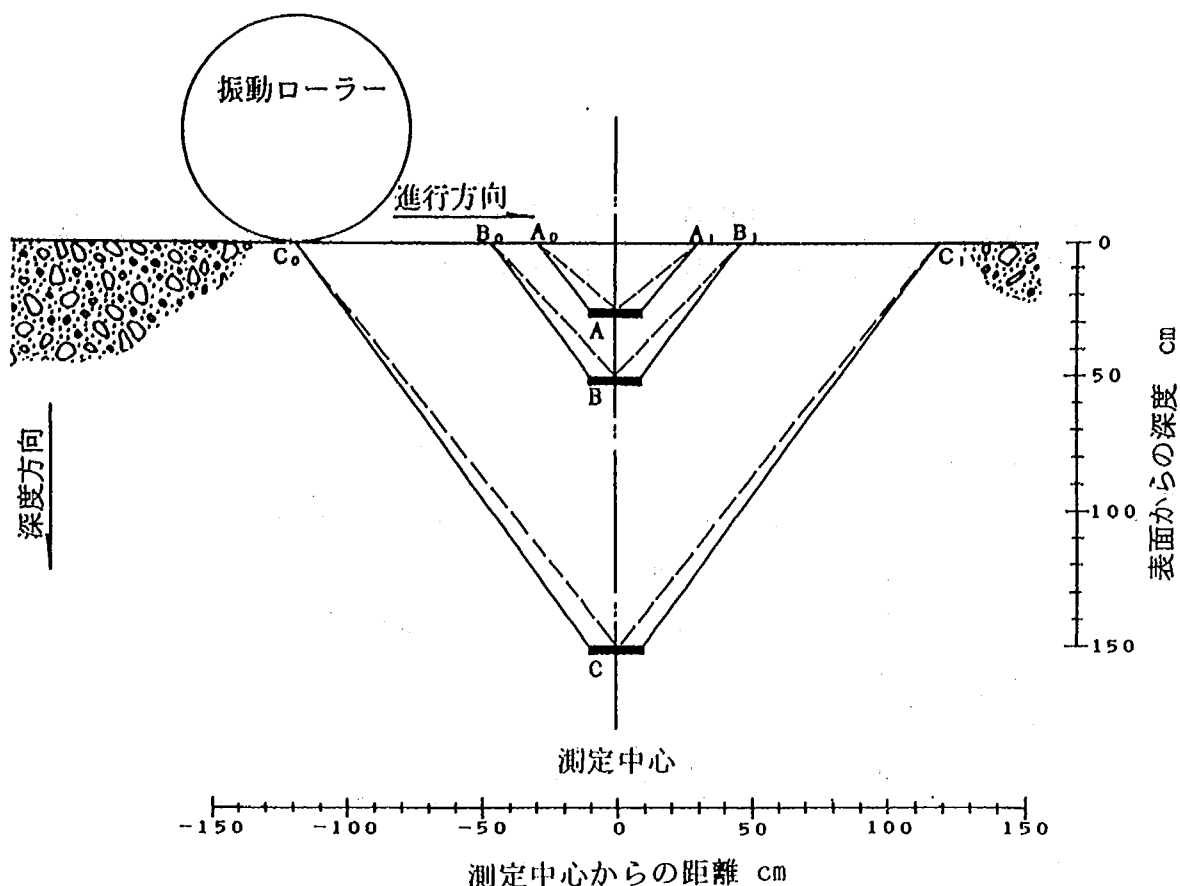
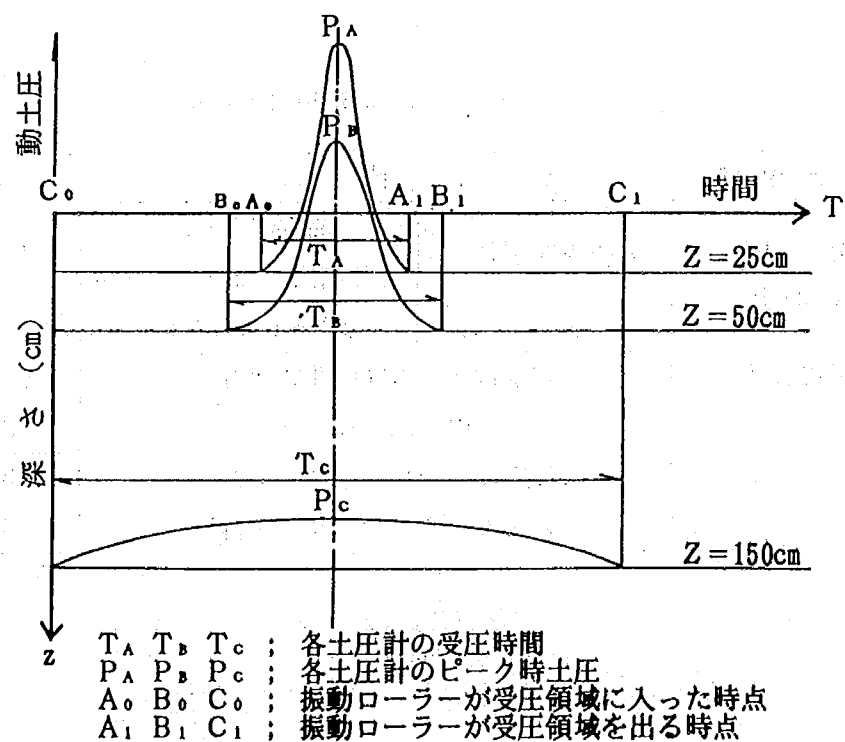


図-5.33 加速度の深度分布の変化



(a) 縦断面内の影響範囲



(b) 加速度および動土圧の振幅と持続時間の関係

図-5.34 転圧の影響範囲

5.5 本試験

5.5.1 試験条件および試験方法

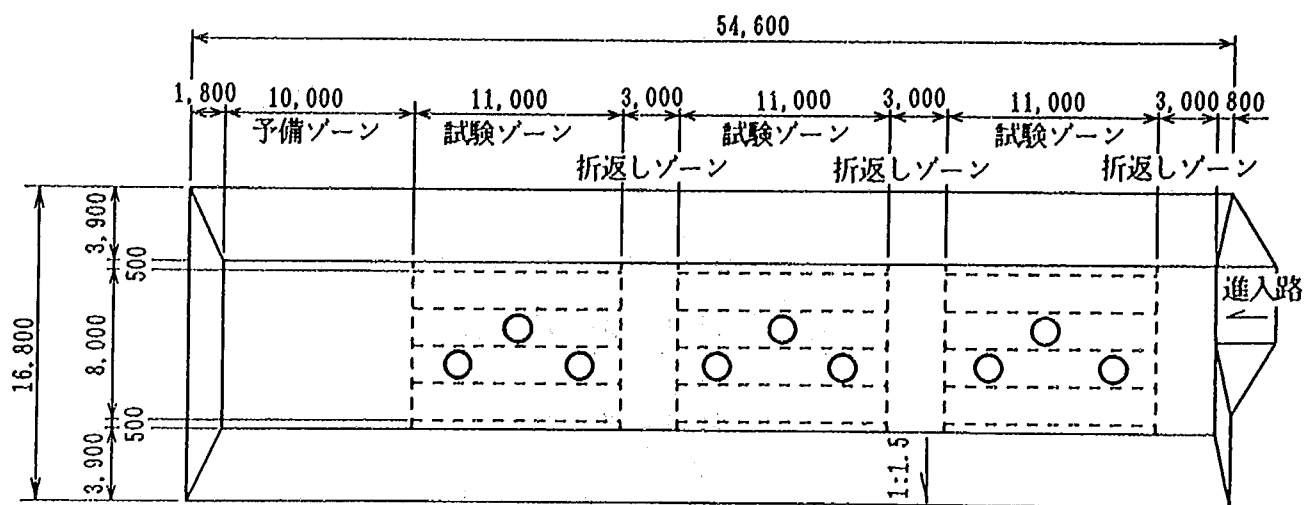
表-5.10および表-5.11に本試験の試験条件と計測項目を示す。また、本試験のヤード構成と計測位置および試験手順をそれぞれ図-5.35、図-5.36に示す。

表-5.10 試験条件

要 因	水 準 数	摘 要
転圧機種	1種	振動ローラー SV510D (自重10.5t 自走式)
仕上り厚さ	1種	100cm
含 水 比	1種	自然含水比 (仮置き・気乾状態)
転圧回数	3種	4, 6, 10 回
転圧速度	1種	$V = 3 \text{ km/h}$
試験層数	1層	ヤード数 = 3

表-5.11 計測項目と数量

試 験 項 目	基 本 仕 様		測点数	総点数
密 度 含 水 比	大型表面型RI	測定深さ30cm 1分測定×3回×4方向	3点/ヤード	9
	水置換法	$\phi 1.5\text{m} \times h 1.0\text{m}$	3点/ヤード	9
現場透水試験	定水位法 (水置換孔を利用)		3点/ヤード	9
粒 度	室内試験材料		6試料	18
	転圧前 (3ゾーン×1試料)		3試料	
	転圧後 (3ゾーン×3試料)		9試料	



注) 丸印は試験位置を示す。

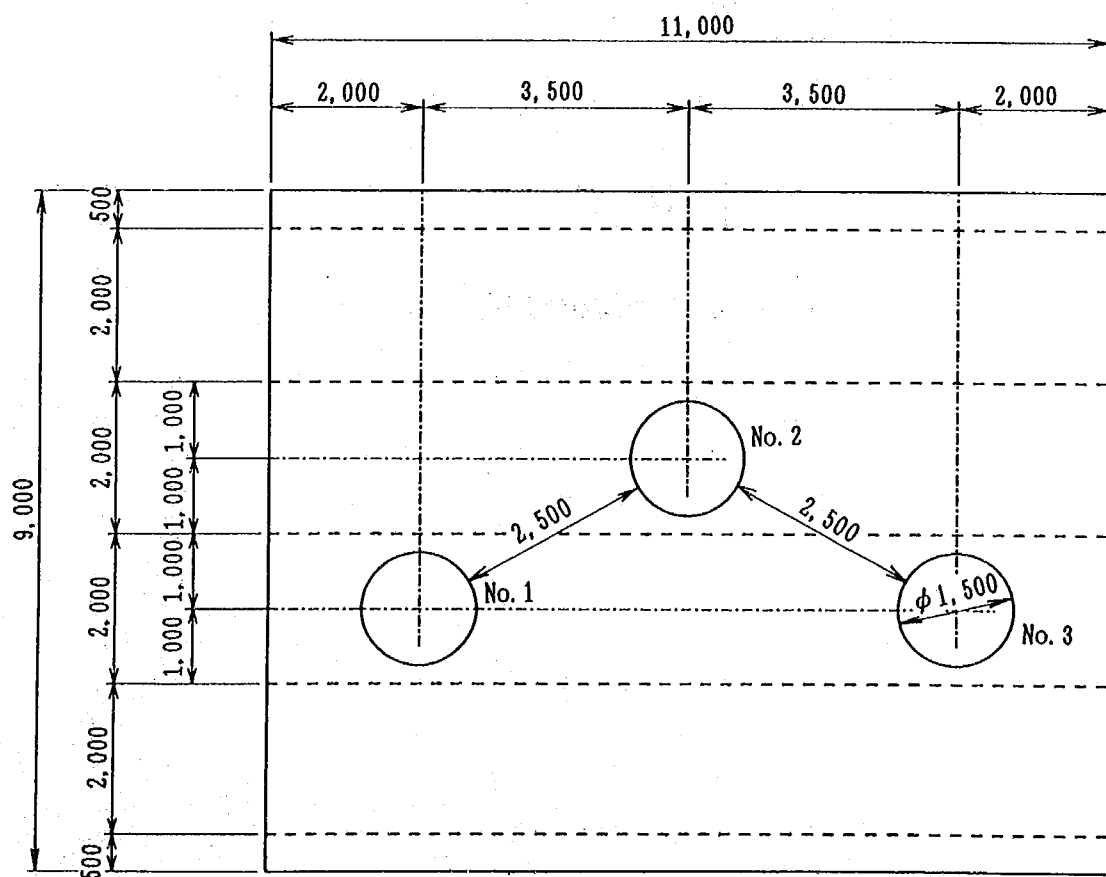


図-5.35 本試験のヤード構成と計測位置

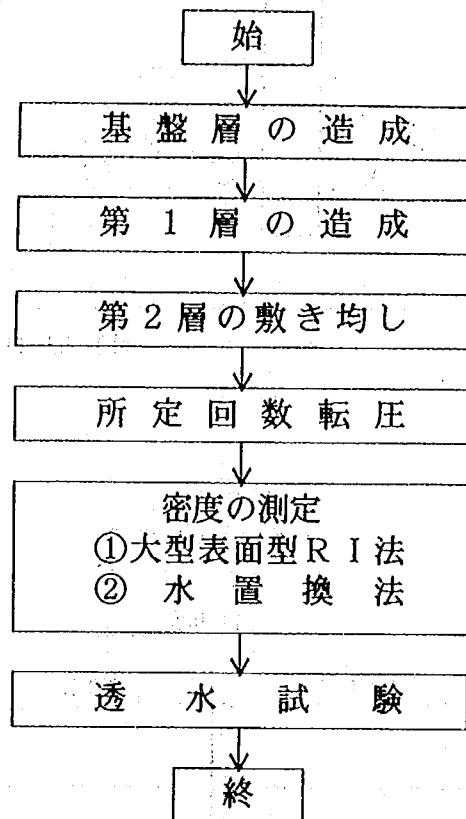


図-5.36 本試験の手順

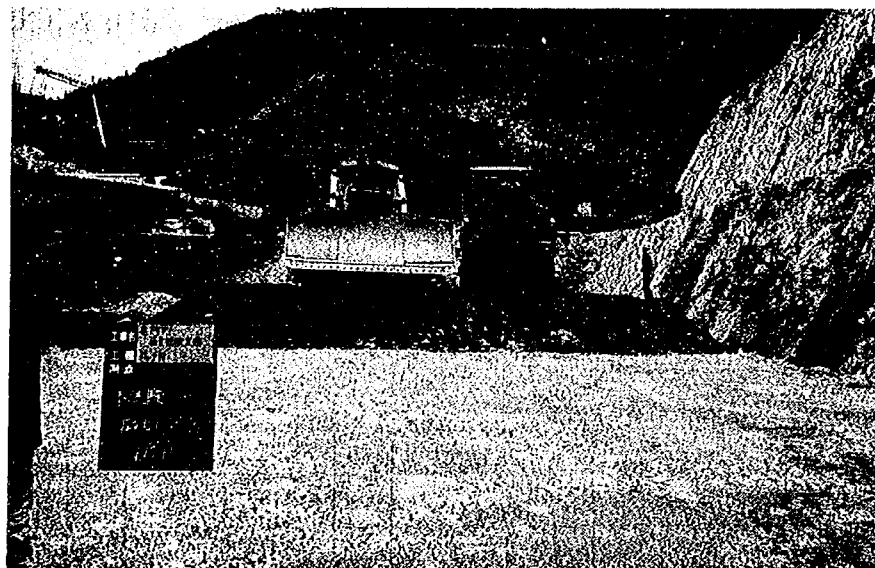
5.5.2 試験ヤードの造成

試験ヤードは、本施工と同様の施工条件となるように敷き均し面にダンプトラックを走行させ、ブルドーザーで敷き均しを行った。まき出し、敷き均し状況を写真-5.4に示す。

1層目の敷き均し完了後にゾーニングを行い、上位の第2層目と同じ転圧回数となるように各ゾーンの転圧を行った。転圧終了後1層目と2層目の境界で分離面ができるのを防ぐため、リッパーを用いて約10～15cmの深さでレーキングした後、1層目と同じ要領で2層目を造成した。

写真-5.4

ロック材料の
まき出し敷き均し状況



5.5.3 転圧方法

各試験ゾーンの幅が8 mあるので、各ゾーンを4レーンに分けて以下に示す要領で転圧を行った。

- (1) 各ゾーンを4レーンに分けてライン引きした。
- (2) 各ゾーンの間に3 mの折返しゾーンを設けた。
- (3) 進入路より第1レーンを後進しながら転圧し、予備ゾーンまで振動ローラを移動させた。
- (4) 第1レーンのみ後進を奇数回、前進を偶数回とし、その他のレーンは前進を奇数回、後進を偶数回の転圧とした。前進・後進の切替えは折返しゾーン中央に転圧輪が到達した時点で行った。
- (5) 偶数回（1レーンのみ奇数回）目の転圧が終わったら、予備ゾーンを通過して隣のレーンに移動し、(4)と同じ要領で4レーンとも転圧した。（第1レーンのみ転圧回数が1回足らない状況となる。）
- (6) 各ゾーンが所要の転圧回数に達するまで(4)～(5)をくり返した。
- (7) 予備ゾーンから第1レーンを前進しながら仕上げ転圧し、転圧機を進入路より退出させた。

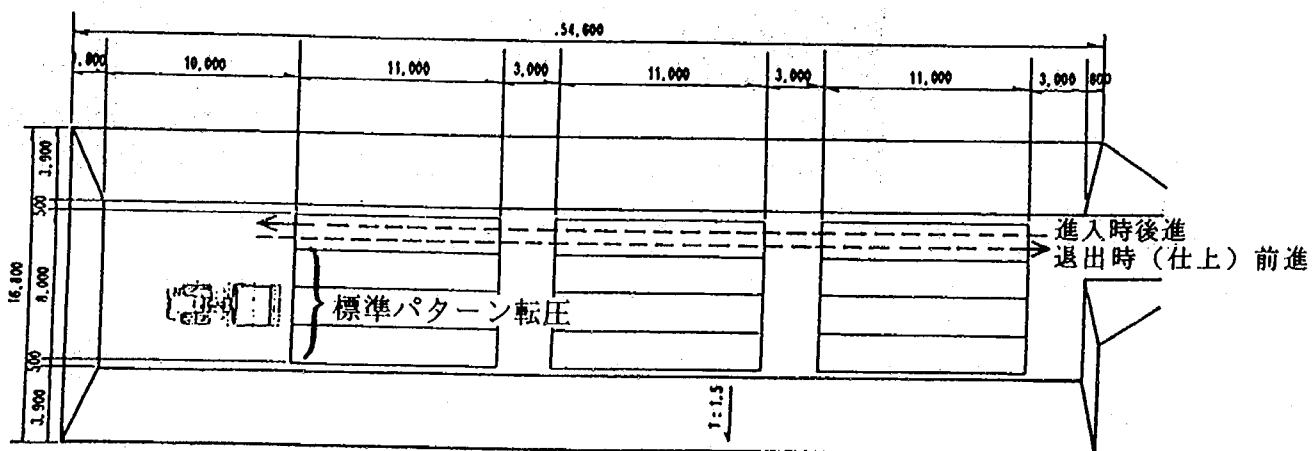


図-5.37 本試験の転圧方法

5.5.4 試験結果

分離ヤード方式は、従来から多くの盛立試験で採用されてきた方法である。本試験では主として透水性の把握と実施工機種による転圧密度の再確認を目的として、従来型の配置（分離ヤード方式）で試験を行った。

図－5.38に大型表面型R I密度計による転圧回数と密度との関係を示す。乾燥密度について予備試験2で得られた同じ施工条件での転圧効果曲線（図－5.15参照）と比べてみると、本試験の結果は予備試験2でヤード内の密度のばらつきを95(%)分布限界で推定した下限線上にほぼ位置していることが分る。これは粒度分布の違いによってもたらされる初期密度の差に起因するものと考えられる。

図－5.39に示した水置換法による結果は、全体的にR I密度計よりもおよそ5%程度高い密度を示しており、ややくい違いがみられた。

図－5.40は現場透水試験の結果である。透水係数は転圧回数 $N = 4 \sim 10$ の間ではほとんど変化しておらず、ほぼ1 (cm/sec)の値が得られている。

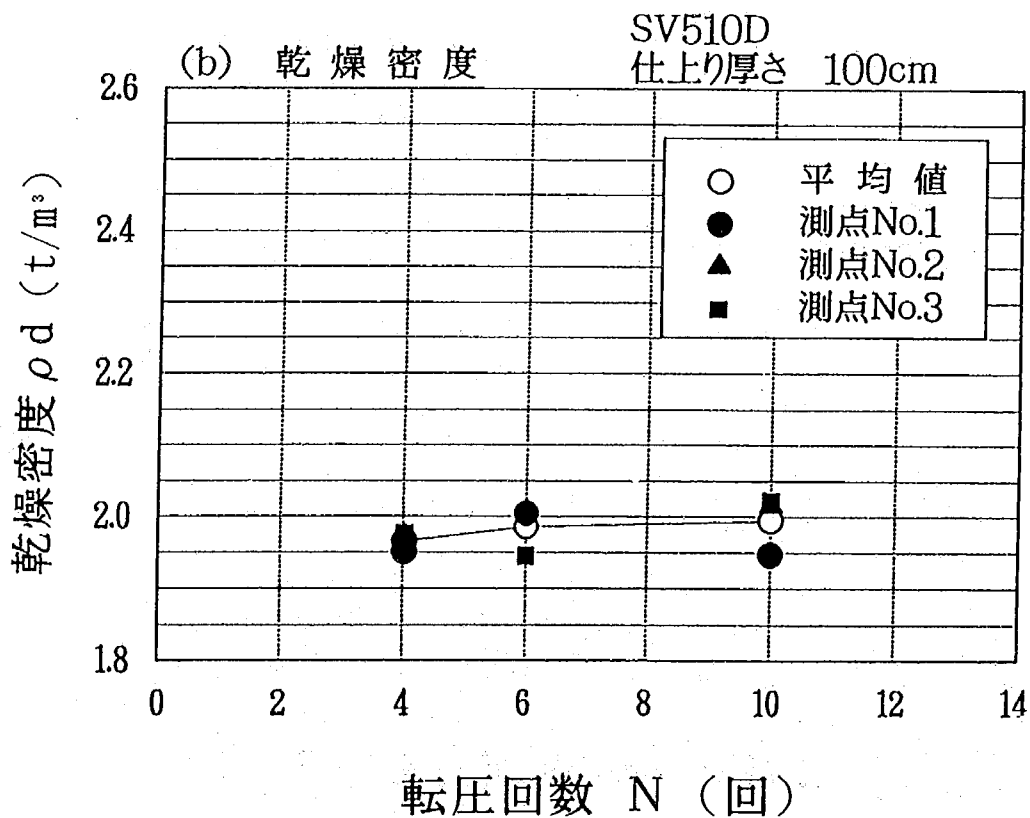
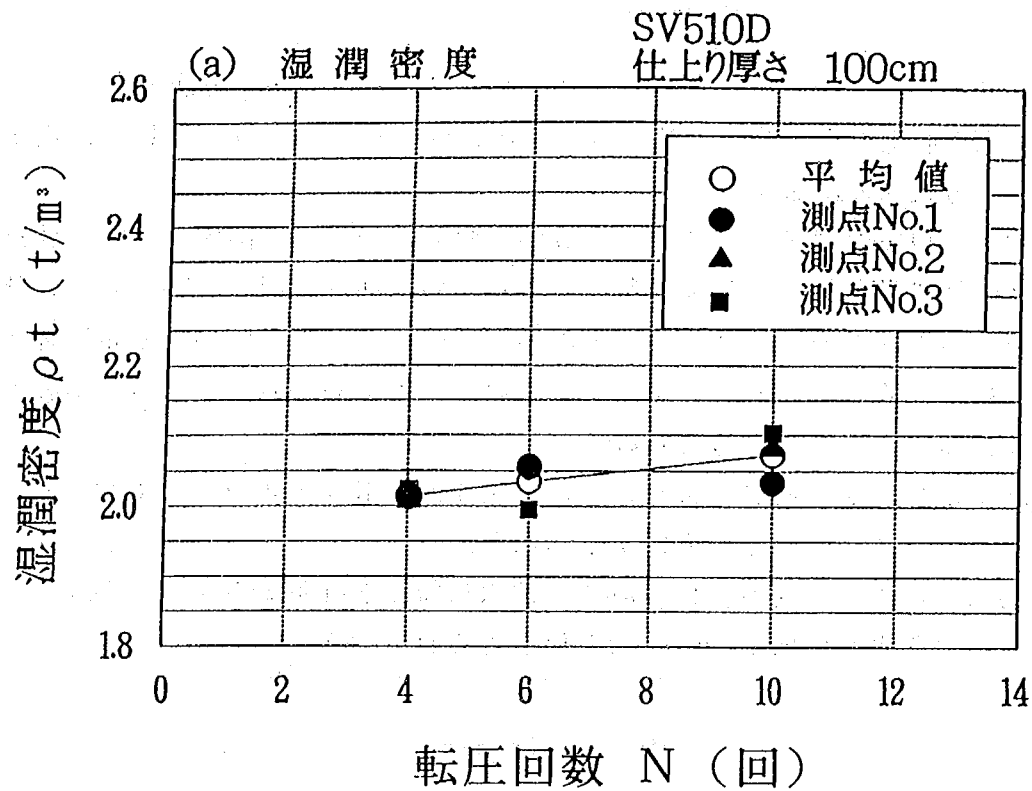


図-5.38 転圧回数と密度との関係 (表面型R I 法)

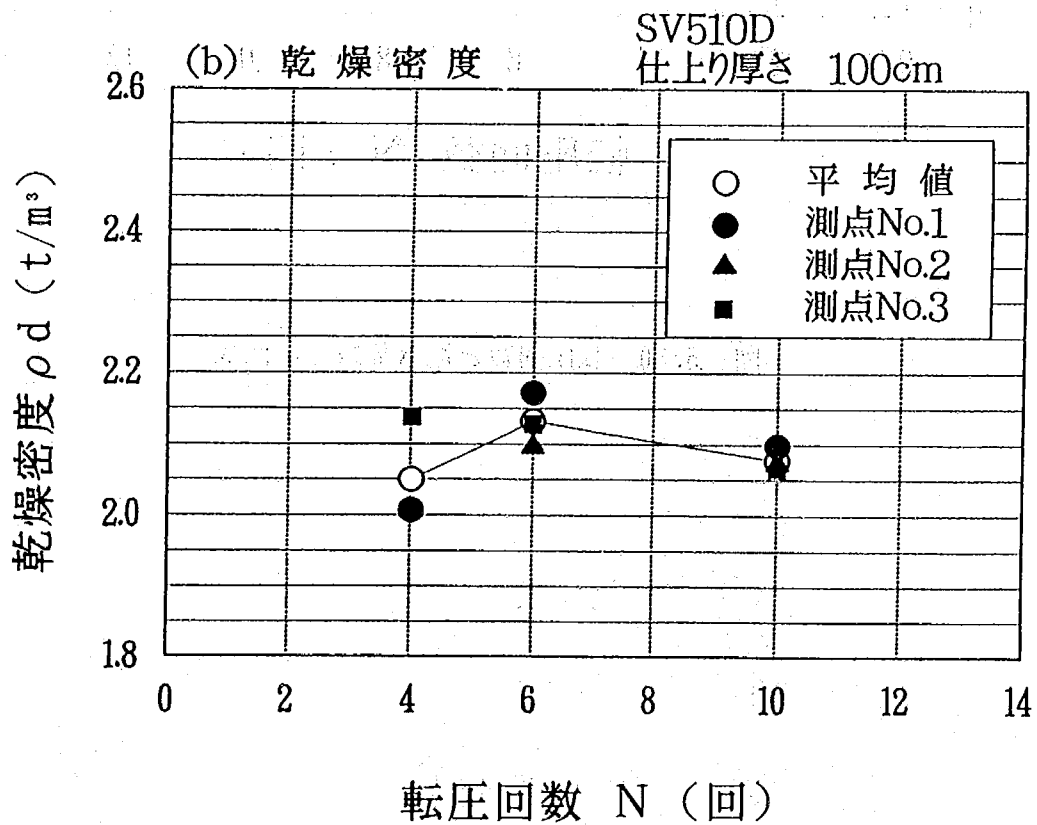
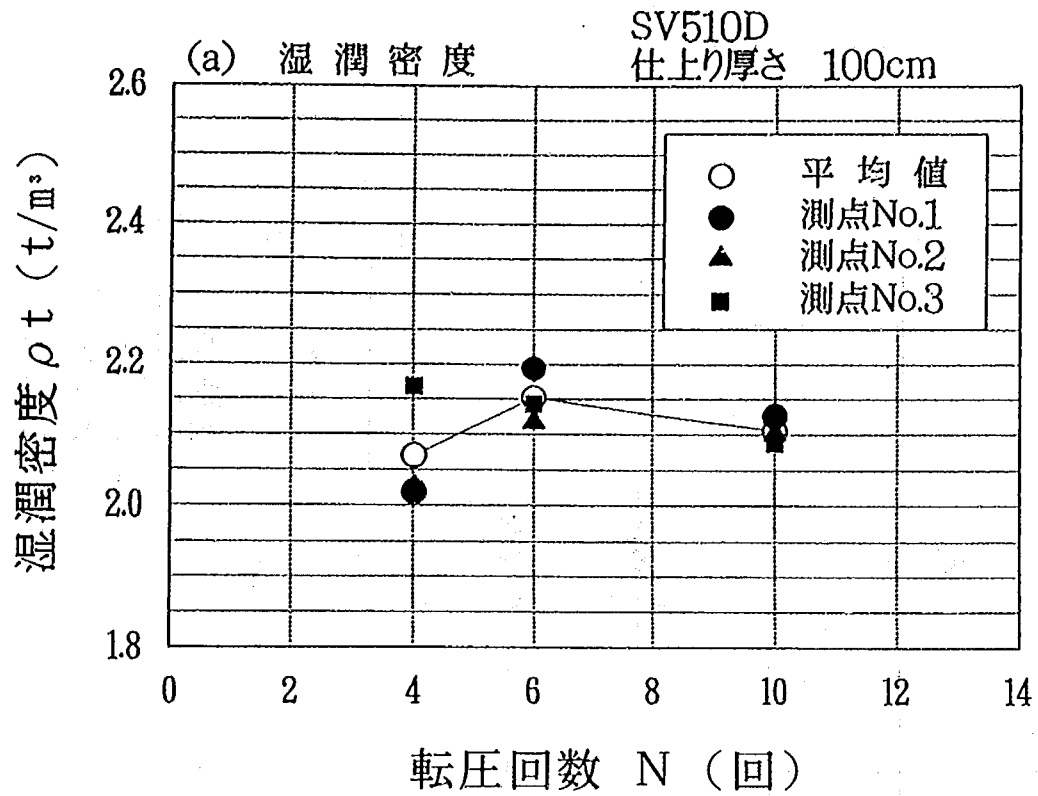


図-5.39 転圧回数と密度との関係（水置換法）

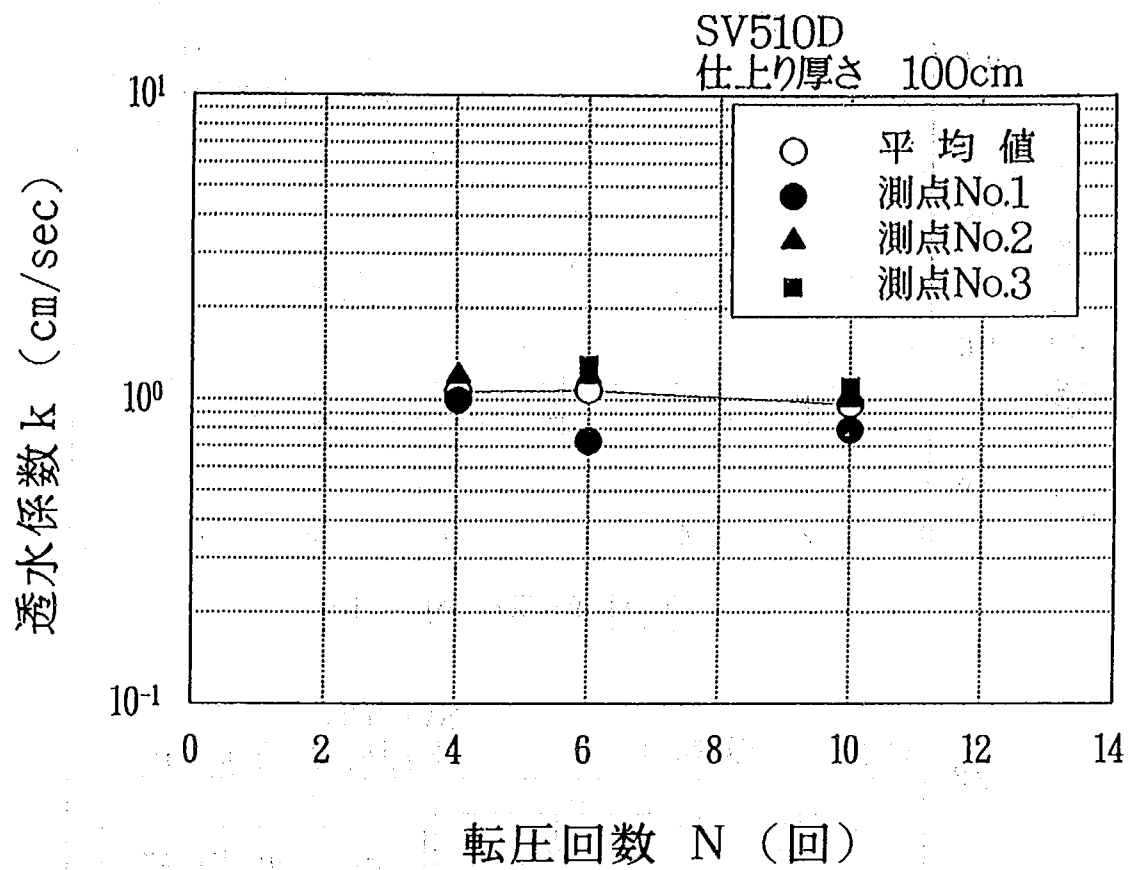


図-5.40 転圧回数と透水係数との関係

6 フィルター材料の盛立試験

6.1 盛立試験の概要

フィルター材料の盛立試験は転圧機種の締固め性能、転圧後の密度および透水係数の確認などを目的として、振動ローラーSV510DおよびSD450の2機種について実施した。ロック材料の場合と同様に、まず予備試験を行って転圧効果を確認し、その結果から転圧回数を3水準設定して本試験を実施した。図-6.1に試験全体のフローを示す。SD450の試験では予備試験の試験層が1層（SV510Dの場合は2層）である点と、本試験の転圧回数が2水準（ $N=4$ 、6回）とSV510Dの試験より少くなっている（SV510Dの場合、 $N=2$ 、4、6回の3水準）他は試験の内容や方法がほとんど同じであるので、試験方法等については重複する部分の説明を省略した。

また、フィルター材料の盛立試験で行った試験・計測内容とその方法等は前章のロック材料の盛立試験の場合とほとんど同じであるのでここでは割愛している。ロック材料の盛立試験と違っているのは次の3点だけである。

- (1) 置換法による密度試験の置換孔の大きさは、層厚から直径50cm×厚さ40cmとした。
- (2) RI密度計による密度試験は、層厚が小さいためフレーム型RI密度計は用いず、大型表面型RI密度計だけを使用した。
- (3) 土圧・加速度の計測は行っていない。

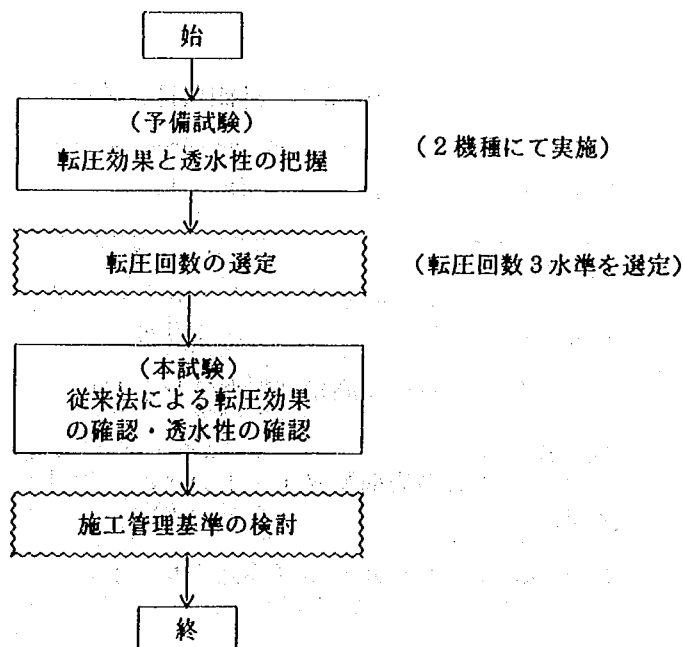


図-6.1 フィルター材料盛立試験の全体フロー

6.2 予備試験

6.2.1 試験条件および試験方法

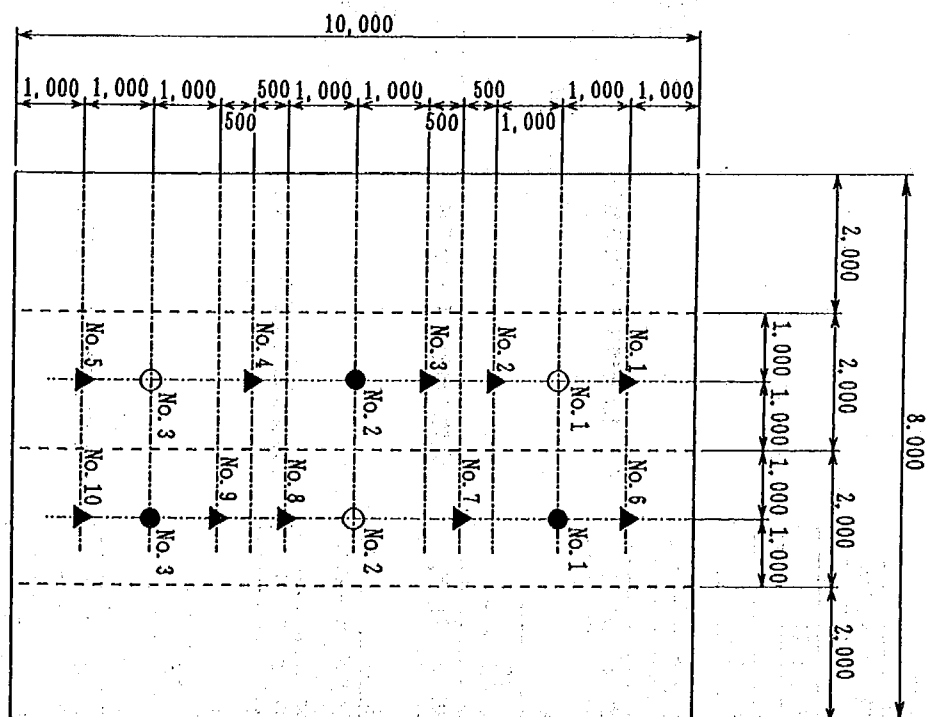
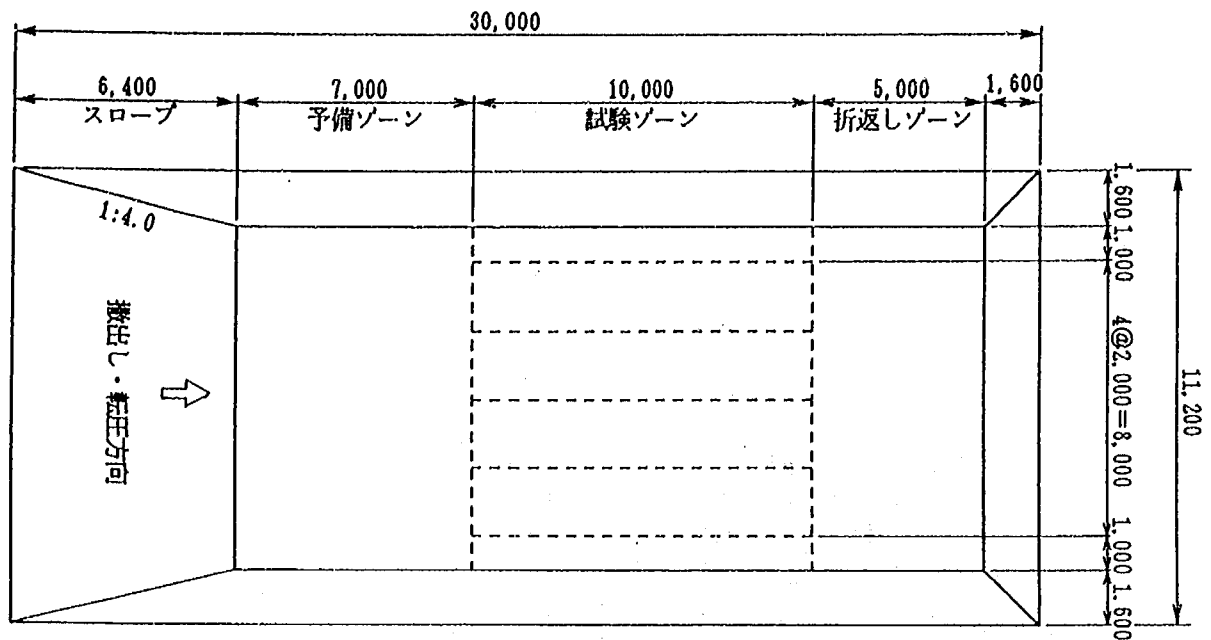
表-6.1 に予備試験の試験条件を示す。試験ヤードの構成と計測位置の詳細を図-6.2 に、計測項目と数量を表-6.2 に示す。また、図-6.3 には試験の手順を示している。

表-6.1 試験条件

要 因	水 準 数	摘 要
転 圧 機 種	2 種	振動ローラー SV510D (自重10.5t 自走式) SD450 (自重10.2t 自走式)
仕上り厚さ	1 種	40cm
含 水 比	1 種	自然含水比 (仮置き・気乾状態)
転 圧 回 数	6 種	0, 2, 4, 6, 10, 14 回
転 圧 速 度	1 種	$V = 3 \text{ km/h}$
試 験 層 数	2 (1) 層	2 層 (SV510D), 1 層 (SD450)

表-6.2 計測項目と数量

機 種	計測項目	基 本 仕 様		測点数 (1ヤード当り)	測定回数	総点数
SV510D	密 度	大型表面型 R I	測定深さ30cm	3 点	6	36
	含 水 比		1 分測定×3 回 × 4 方向			
	沈 下 量	レベル測量 (標点プレート)		10点	6	120
SV450	密 度	大型表面型 R I	測定深さ30cm	3 点	6	18
	含 水 比		1 分測定×3 回 × 4 方向			
	沈 下 量	レベル測量 (標点プレート)		10点	6	60



- 水置換・RI (1層目)
- 水置換・RI (2層目)
透水 (最終転圧回数のみ)
- ▲ 沈下量 (1層目・2層目)

図-6.2 予備試験ヤードの構成と計測位置 (SV510Dの場合)

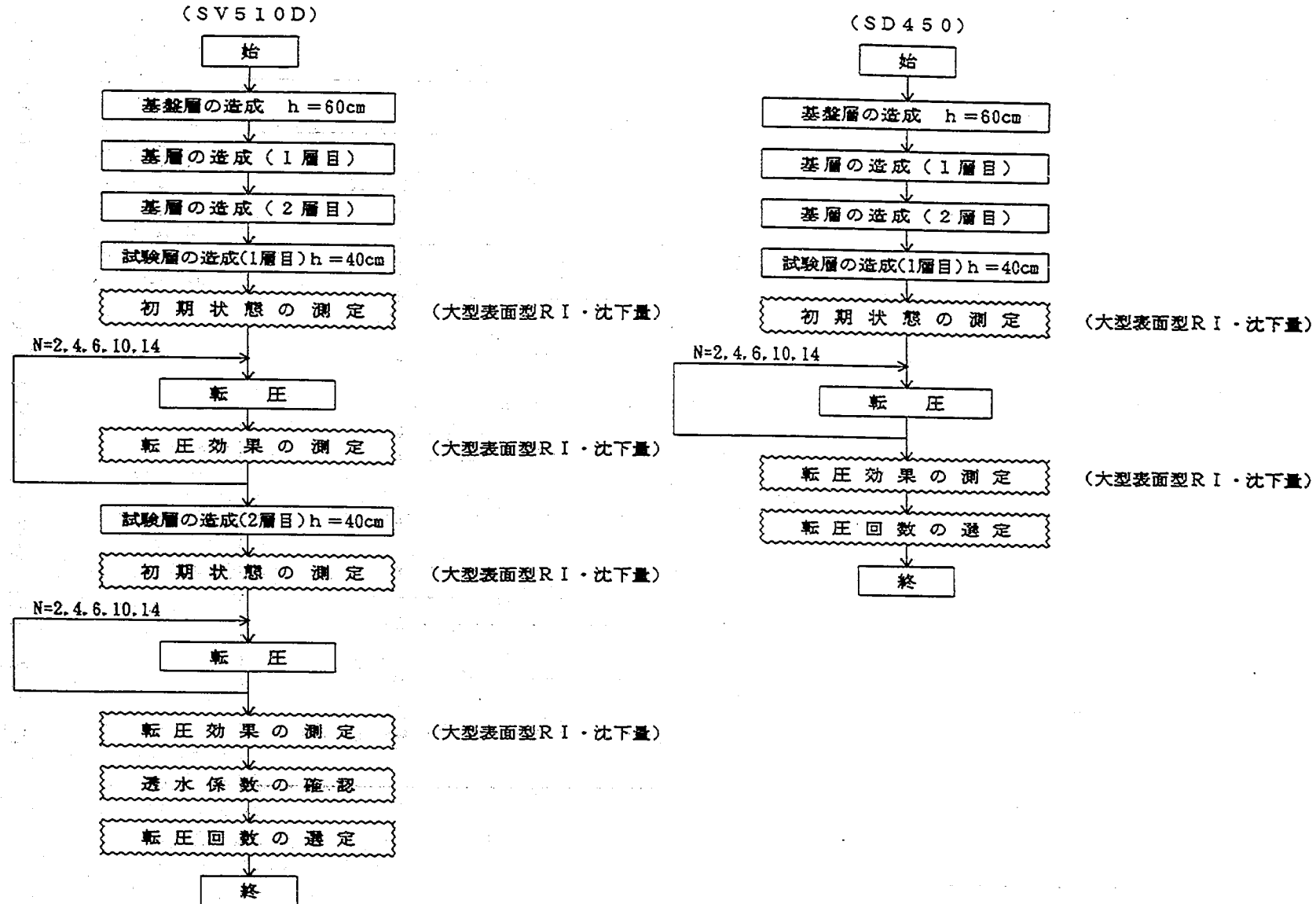


図-6.3 予備試験の手順

6.2.2 試験ヤードの造成

基盤はロック材料の盛立試験ヤードのときと同じ方法でロック材料を用いて造成した。

基盤造成後に、その上にフィルター材料を用いて基盤と同様の方法で40cm厚の基層を2層盛立てた。基層の転圧面はバックホーでレーキング処理を行った。次いで、基層上に予備試験ヤードを盛立て、所定の転圧を順次行いながら各種の試験および計測を行った。

1層目の試験が終了した時点で1層目と2層目のなじみをよくするため、バックホーを用いて深さ15cmのレーキングを行った。

1層目では初期密度が輪荷重と覆帯荷重によりかなり高い密度になっていた（そのため転圧効果曲線がフラットな曲線になった）ため、2層目ではまき出し敷き均し終了後に、バックホーを用いて攪拌しルーズな状態にした。（このため、 $N=0$ の密度が1層目と2層目とではかなり異っている。）

6.2.3 転圧方法

SV510Dの試験ゾーンは幅が8mあり振動ローラーの締固め幅が2.15mであるので、ラップ幅をとってレーン幅を2mに設定し、試験ゾーンを4レーンに分けて以下に示す要領で転圧を行った。SD450の試験ゾーンは3レーン構成（レーン幅6m）であるが、転圧方法は全く同じである。

- (1) ゾーンを4レーンに分けてライン引きをした。
- (2) 前進を奇数回、後進を偶数回の転圧とし、前進・後進の切り替えは転圧機械の前輪が折返しゾーンに入った時点で行った。
- (3) 偶数回の転圧が完了した後、予備ゾーンを通過して隣のレーンに移動し、(2)と同じ要領で4レーンとも転圧を行った。
- (4) 所定の転圧（転圧回数2、4、6、10、14回）終了後、各試験の測定を行った。
- (5) 最終転圧回数に達するまで(2)～(4)を繰り返した。

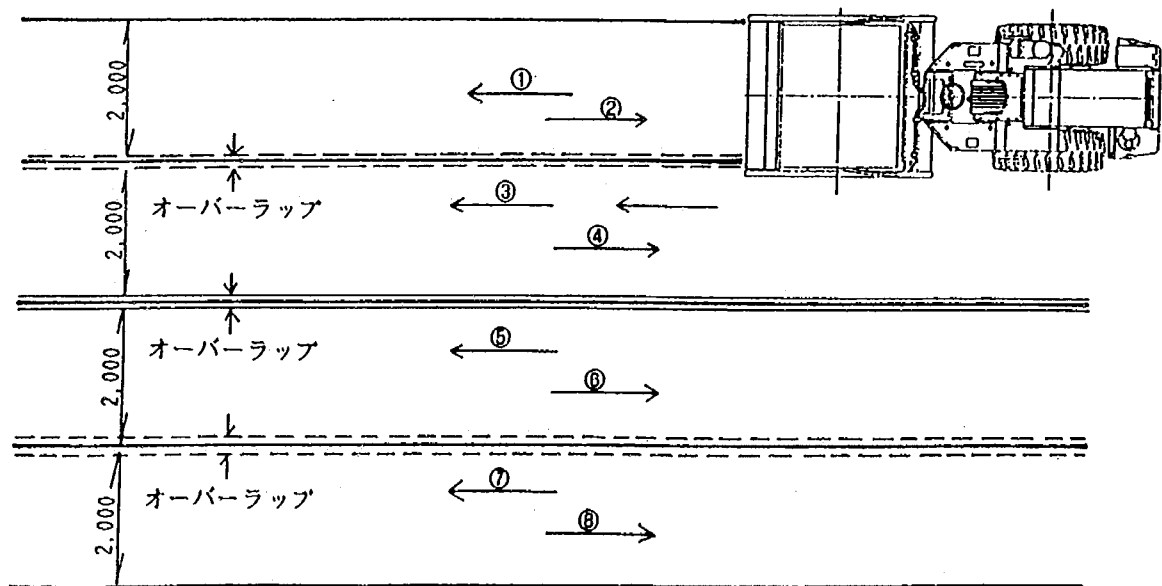


図-6.4 予備試験の転圧方法（SV510Dの場合）

6.2.4 試験結果

(1) 締固め密度の変化（転圧効果）

予備試験における転圧回数と乾燥密度との関係を図-6.5に示す。SV510Dの施工ヤードでは、N=10回の転圧後の密度が1層目と2層目でともに、やや低い値となっている。その理由については、納得できる説明が見出だせなかった。この点を除くと、乾燥密度は転圧回数がふえるにしたがって滑らかに上昇しており、図に示しているように、両者の関係は双曲線を用いて表すことができる。表-6.3に双曲線回帰の結果を示す。

SV510Dの場合、1層目と2層目の初期密度にかなり差がある。N=6回以後になると密度は両層でほとんど変わらなくなっていることから、6.2.2で述べたように初期密度の差は敷き均しに用いた機械の走行状況の違いによって生じたものと考えられる。

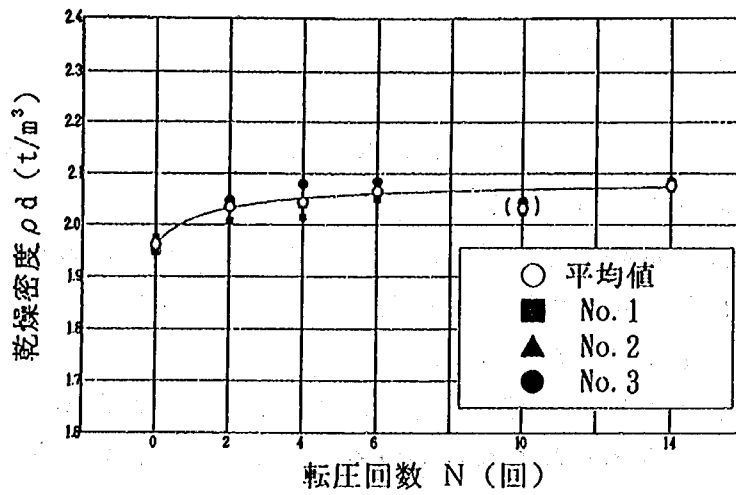
転圧機種を比較を行うために、各ヤードの平均締固め効果曲線を比べてみると図-6.6のようになる。図の上ではSD450の方がSV510Dよりもわずかに締固め効果が大きいように見える。ただし、ばらつきを考慮するとほとんど差がないとみるのが妥当と考えられる。

表-6.3 乾燥密度の双曲線回帰

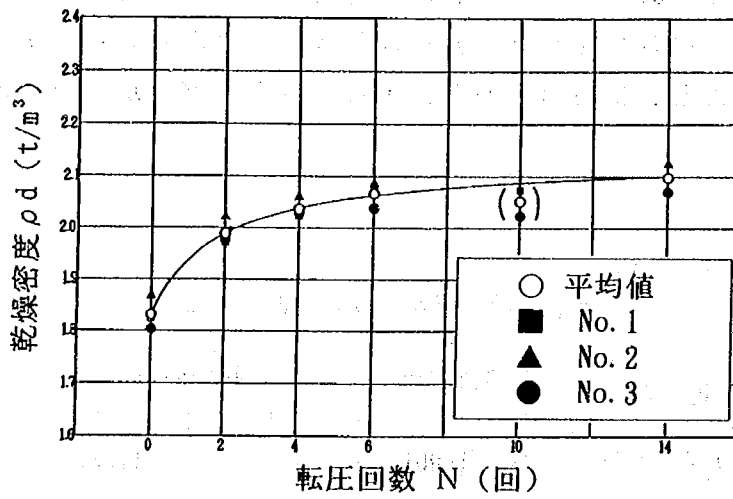
転 圧 機 種	初期密度 ρ_{d0}	回帰係数		相関係数 r
		a	b	
SV510D (1層目)	1.961	8.013	11.885	0.9089
SV510D (2層目)	1.831	3.285	6.091	0.9984
SD450	1.801	2.975	3.372	0.9574

(注) 双曲線回帰式については5.4.4(1)b参照。

(a) SV510D: 1層目



(b) SV510D: 2層目



(c) SD450

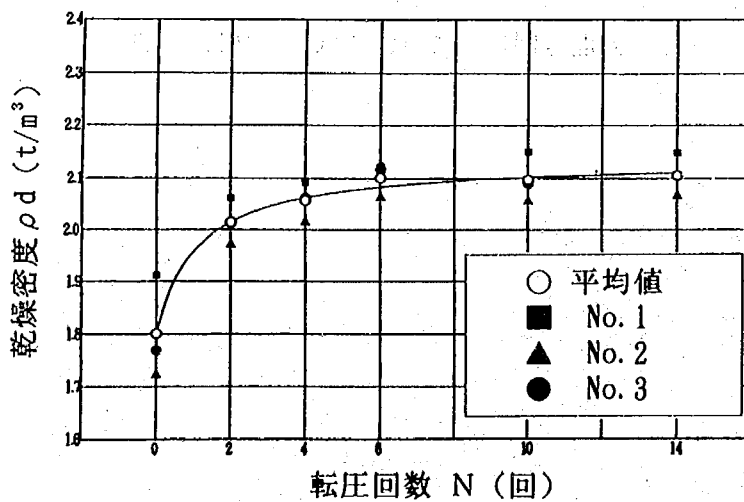


図-6.5 転圧効果曲線

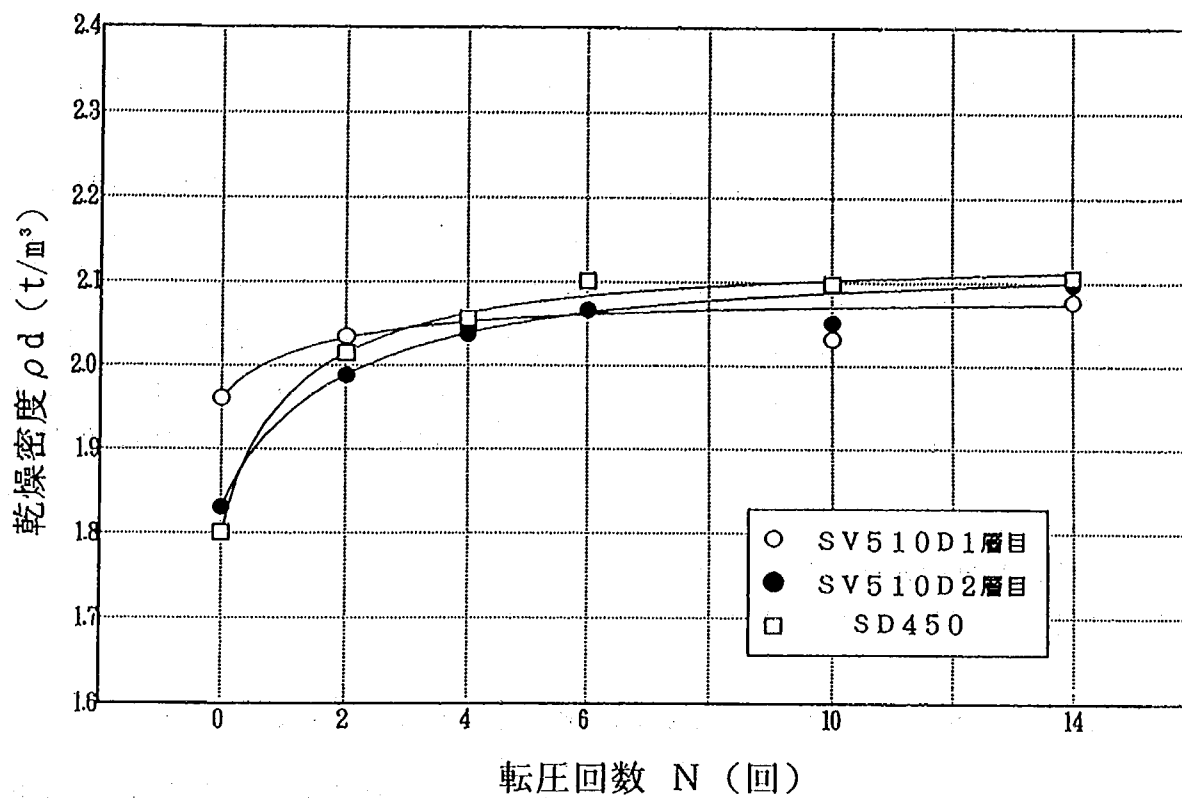


図-6.6 各ヤードの転圧効果の比較

(2) 転圧に伴う地表面の沈下

転圧に伴う沈下量を求めるためのレベル測量は、各ヤード内で10点ずつ行われている。図-6.7 は実測値のばらつきを示したものである。ばらつきは転圧回数が増えても減少していないことから、最初の転圧によって生じていることがわかる。すなわち、5.4.4(2)で述べたように敷き均し直後の地表面の状態が安定していないことが、沈下量のばらつきを生じる主たる要因と考えられる。

図-6.8 は転圧回数とヤード内の平均沈下量との関係を示したものである。SD450のヤードではSV510Dのヤードに比べ、およそ2倍もしくはそれ以上の沈下が計測されている。しかし、図から明らかなように、両者の沈下量の差は大部分 $N=0\sim 2$ の間に発生しており、これは初期状態が違っていることに起因していることは明らかである。 $N=2$ 回以降では沈下量の差は小さい。各試験ヤードの圧縮率を沈下量と密度増分から求めた結果を図-6.9 に示す。両者がよく一致しているとはいえない。くい違いが生じる原因としては、

- 1) まき出し時の粒度や密度のばらつき
- 2) 測点数や計測位置が異っていること
- 3) 転圧による側方移動
- 4) 仕上り厚さ $H=40\text{cm}$ に対してRI計測の測定深さが 30cm であること

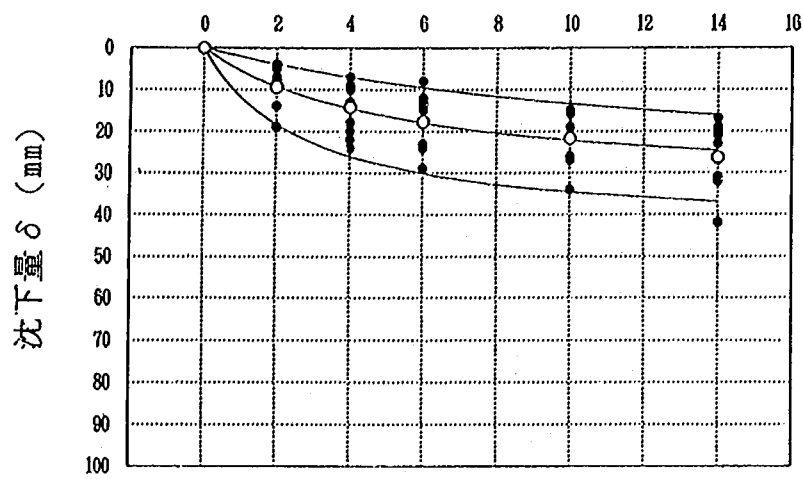
などが考えられる。これらを考慮すると、図-6.9 に示された沈下量から求めた圧縮率と密度増分から推定した圧縮率は、おおむね妥当な対応を示しているとみてよさそうである。なお、図-6.8 や図-6.9 から分かるように、沈下量や圧縮率と転圧回数との関係は、密度の場合と同様に双曲線式を用いて精度よく表すことができる。表-6.4に沈下量と圧縮率に関する双曲線回帰の結果を示しているが、いずれの場合も高い相関係数が得られている。

表-6.4 沈下量および圧縮率の双曲線回帰

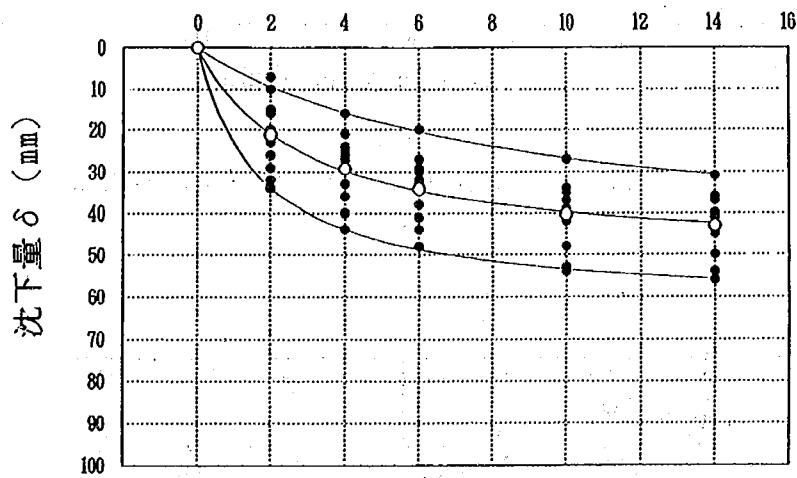
項目	転 圧 機 種	回 帰 係 数		相 関 係 数 r
		a	b	
沈下量	SV510D (1層目)	0.02953	0.15553	0.9958
	SV510D (2層目)	0.01957	0.05589	0.9973
	SD450	0.01182	0.01084	0.9846
圧縮率	SV510D1層目 (A)	-0.16191	-0.23051	0.9420
	SV510D1層目 (B)	-0.13584	-0.71556	0.9958
	SV510D2層目 (A)	-0.07041	-0.10880	0.9982
	SV510D2層目 (B)	-0.09003	-0.02571	0.9973
	SD450 (A)	-0.06461	-0.05989	0.9571
	SD450 (B)	-0.05438	-0.04984	0.9846

注) A: 密度増分から推定した圧縮率。
B: 実測沈下量から求めた圧縮率。

(a) SV510D (1層目)
転圧回数 N (回)



(b) SV510D (2層目)
転圧回数 N (回)



(c) SD450
転圧回数 N (回)

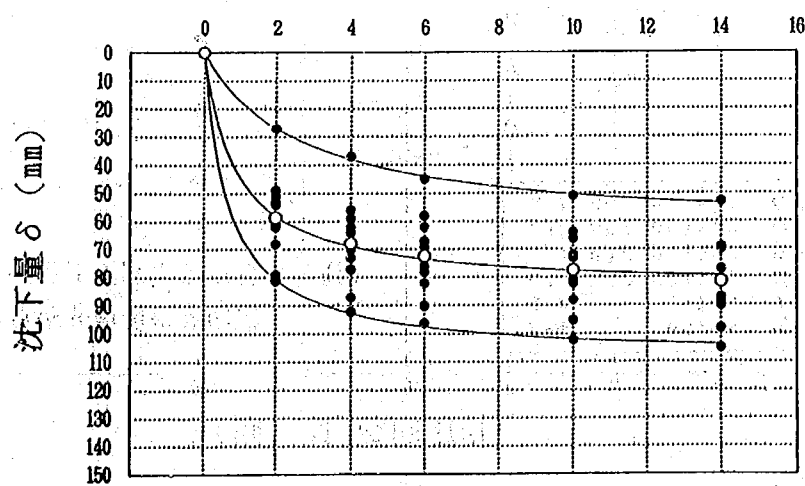


図-6.7 沈下量のばらつき

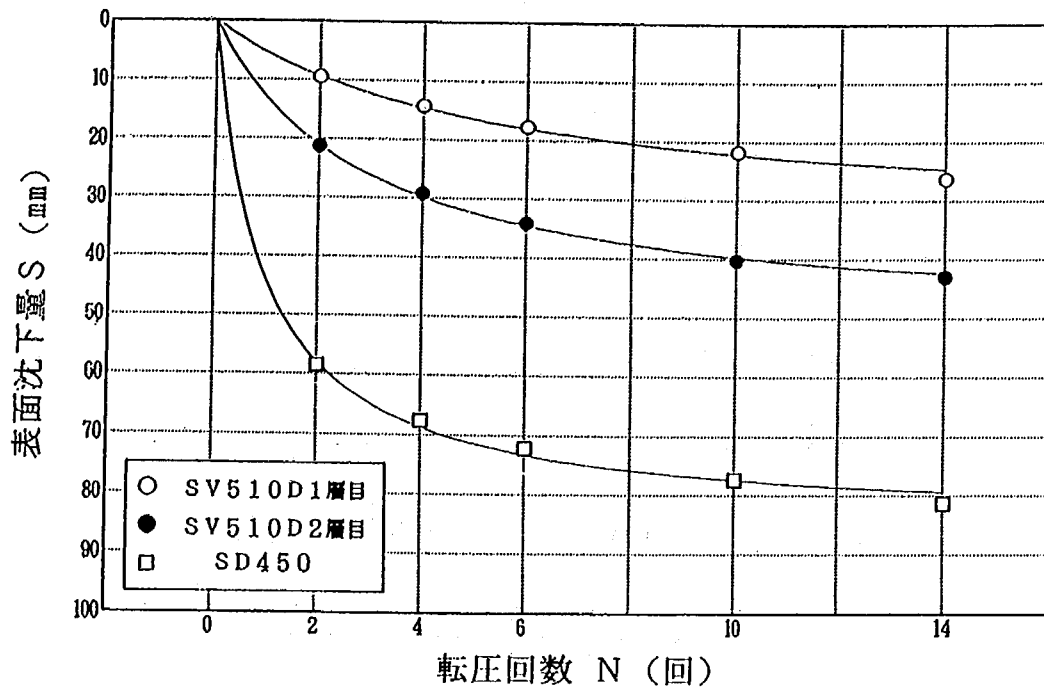


図-6.8 転圧回数と平均沈下量との関係

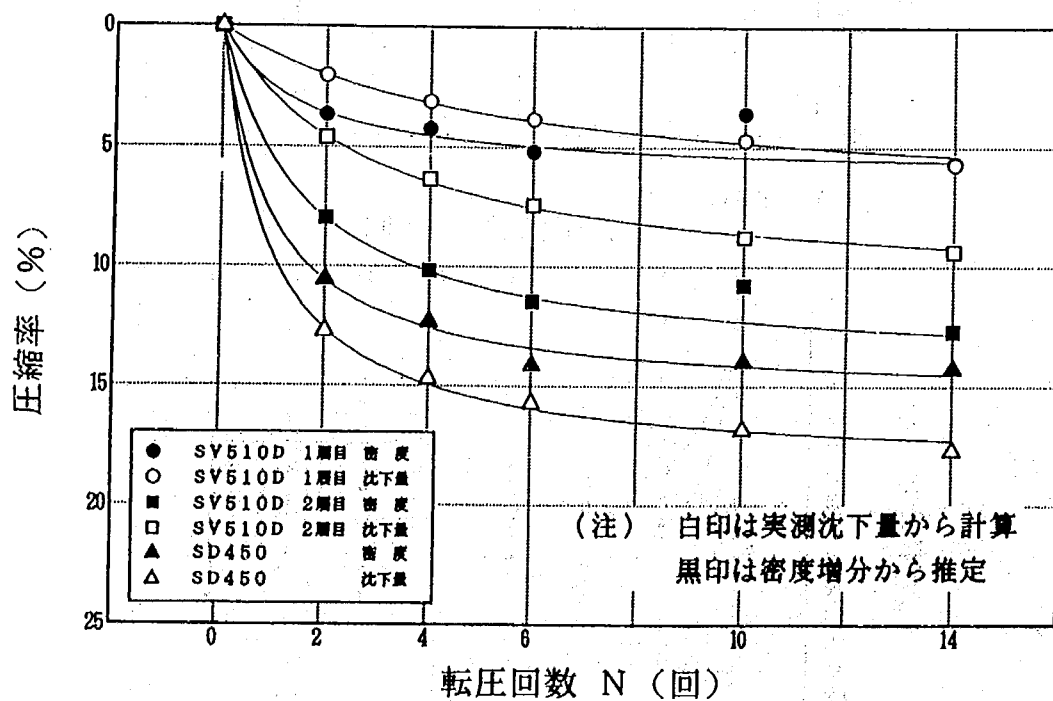


図-6.9 転圧回数と圧縮率との関係

6.3 本試験

6.3.1 試験条件および試験方法

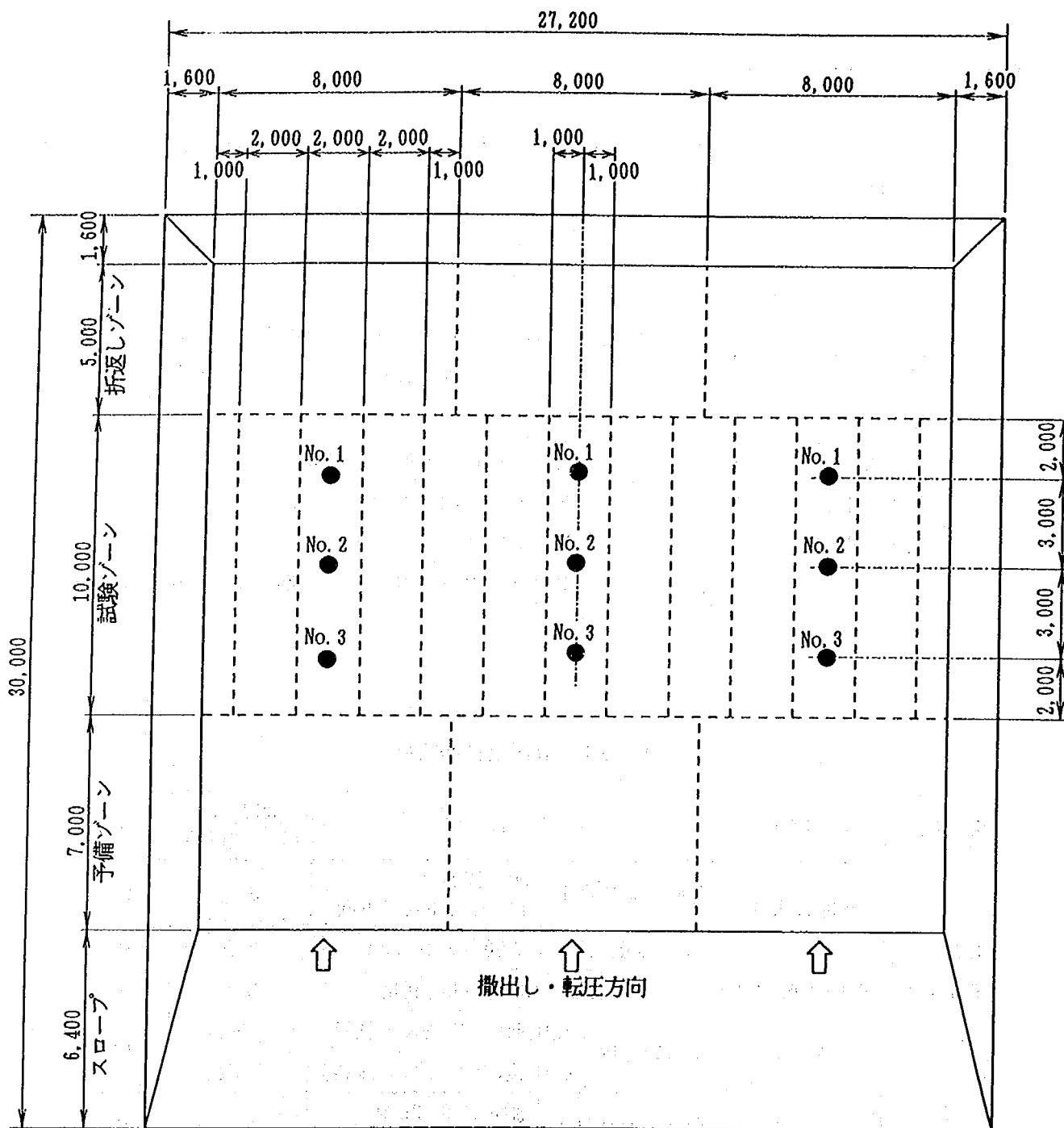
表-6.5 に本試験の試験条件を示す。試験ヤードの構成と試験の手順を図-6.10、図-6.11に、計測項目と数量を表-6.6 に示す。

表-6.5 試験条件

要 因	水 準 数	摘 要
転圧機種	2 種	振動ローラー SV510D (自重10.5t 自走式) SD450 (自重10.2t 自走式)
仕上り厚さ	1 種	40cm
含 水 比	1 種	自然含水比 (仮置き・気乾状態)
転圧回数	3 種	2, 4, 6 回 (SD450 は 4, 6 の 2 種)
転圧速度	1 種	V = 3 km/h
試験層数	1 層	2 層 (SV510D), 1 層 (SD450)

表-6.6 計測項目と数量

機 種	計測項目	基 本 仕 様		測点数 (ヤード当り)	総点数
SV 510D	密度含水比	大型表面型 R I	測定深さ 30cm 1分測定×3回×4方向	3 点	9
		中型水置換法	φ50cm×h40cm	3 点	9
	現場透水試験	定水位法 (水置換孔を利用)		3 点	9
	粒 度	ふるい分け	転圧前 (3ツ-ツ×1 試料)	3 試料	12
			転圧後 (3ツ-ツ×3 試料)	9 試料	
SD 450	密度含水比	大型表面型 R I	測定深さ 30cm 1分測定×3回×4方向	3 点	6
		中型水置換法	φ50cm×h40cm	3 点	6
	現場透水試験	定水位法 (水置換孔を利用)		3 点	6
	粒 度	ふるい分け	転圧前	3 試料	9
			転圧後 (2ツ-ツ×3 試料)	6 試料	



● 水置換, R I (中央レーンにて3箇所)

図-6.10 本試験ヤードの構成と計測位置 (SV510Dの場合)

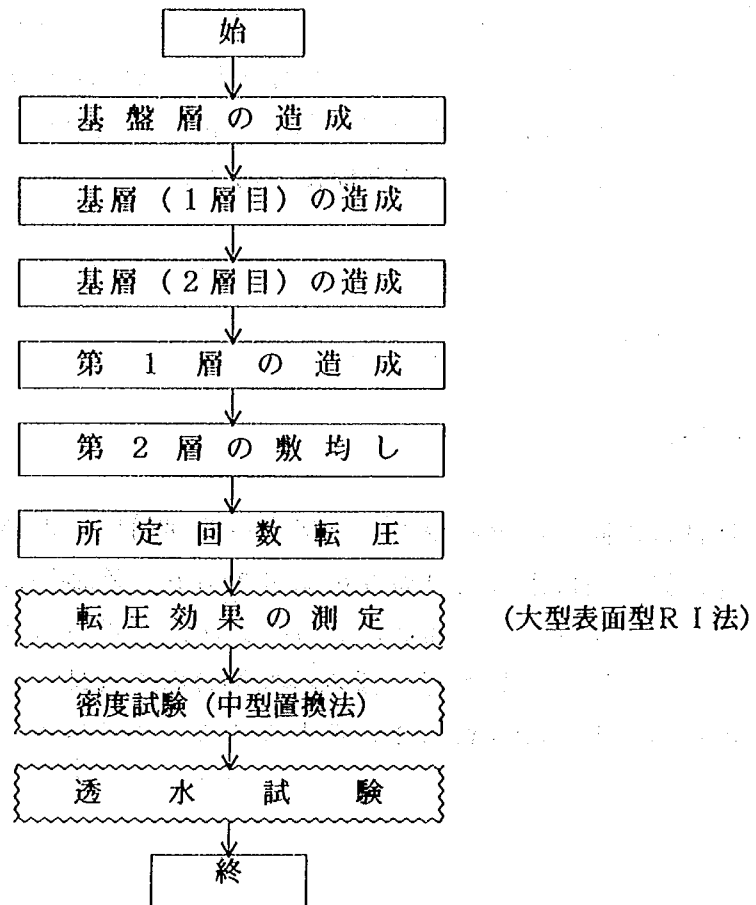


図-6.11 本試験の手順

6.3.2 試験ヤードの造成

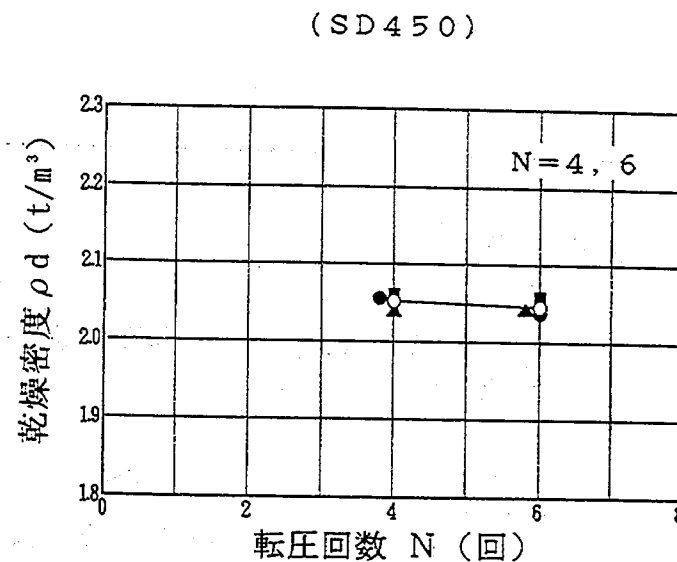
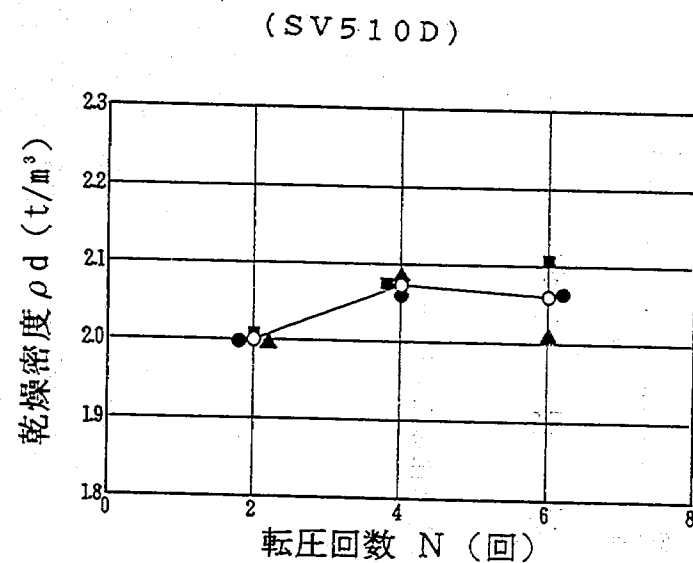
本試験ヤードは、本施工と同じ施工条件となるよう敷き均し面にダンプトラックを走行させ、ブルドーザーを用いて敷き均しを行った。

1層目の敷き均しが終了した後ゾーニングを行い、その上に盛立てられる第2層と同じ転圧回数となるように各ゾーンの転圧を行った。転圧終了後リッパーを用いて約10～15cmの深さでレーキングした後、1層目と同じ要領で2層目のまき出し・敷き均しを行った。なお、転圧方法の詳細は予備試験と同様である。

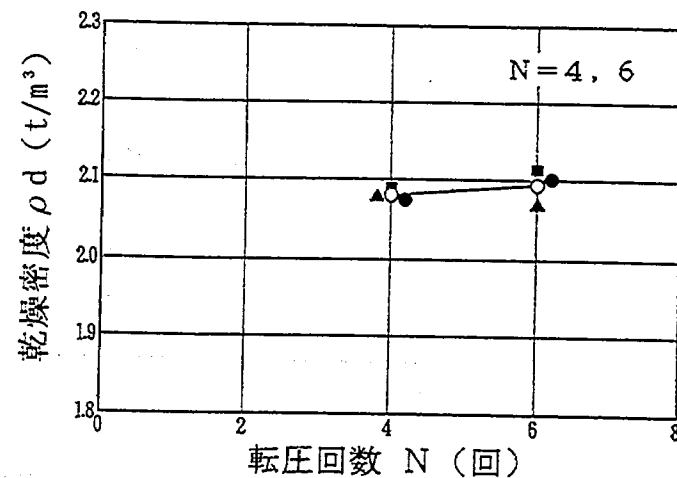
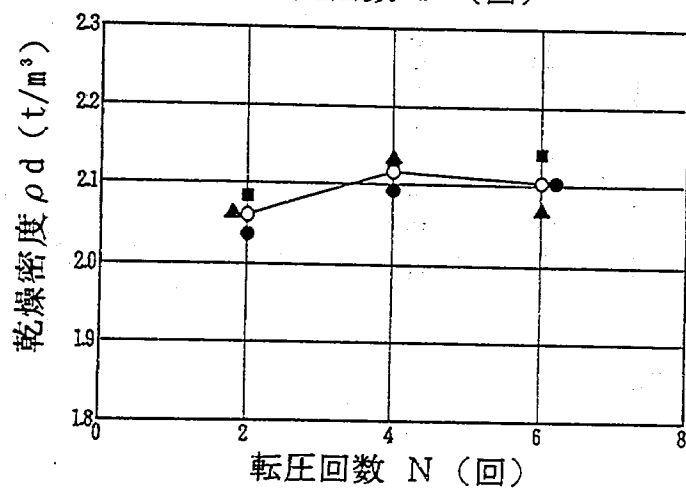
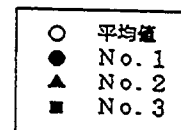
6.3.3 試験結果

(1) 締固め密度

図-6.12は転圧回数と乾燥密度との関係を機種別にまとめたものである。上段はR I密度計、下段は置換法による密度試験の結果である。置換法による乾燥密度はR I密度計より若干大きめの値を示しているが、これは両法から得られた湿潤密度に同程度の差が出たことによるものである。しかし、ばらつきを考慮すれば、いずれの結果も図-6.9に示した予備試験の結果とほぼ合致しているとみることができる。



(RI法)



(水置換法 炉乾燥法)

図-6.12 転圧回数と乾燥密度との関係

(2) 透水係数

透水試験の結果を図-6.13に示す。透水係数は $k = 10^{-2} \sim 10^{-4} (\text{cm/sec})$ の範囲でかなりばらついており、転圧回数（または密度）との関係は明らかでない。

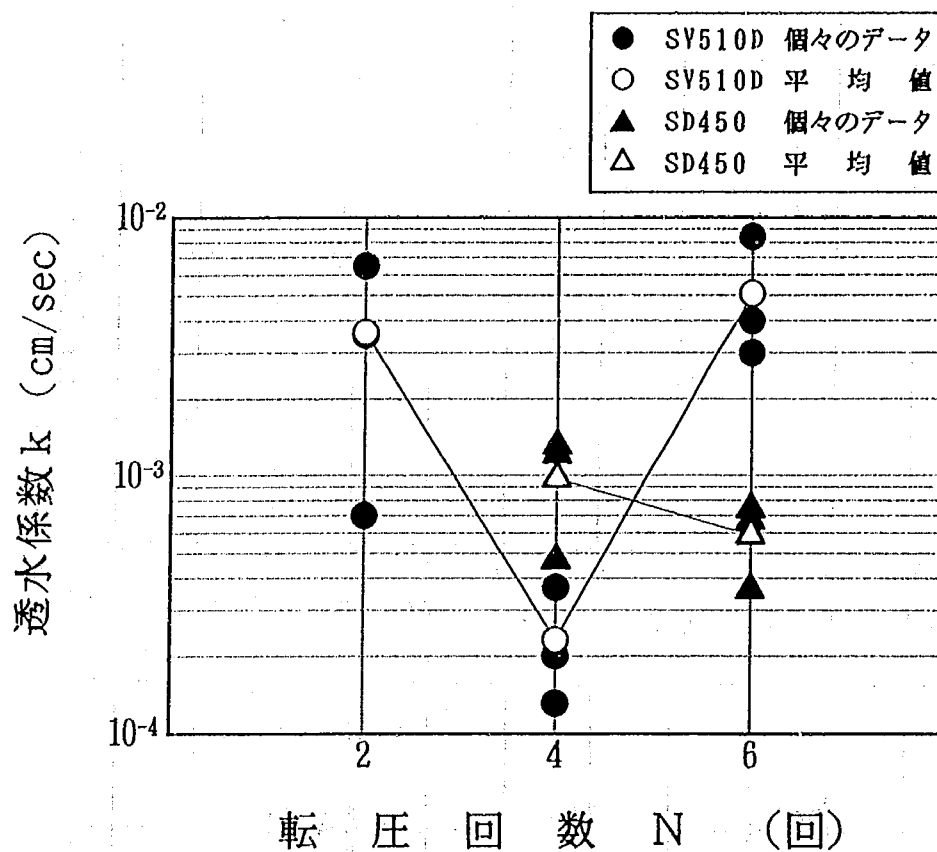


図-6.13 転圧回数と透水係数との関係

7 コア材料の盛立試験

7.1 盛立試験の概要

コアゾーンの盛立には粗粒コア材料と細粒コア材料ないしロームを乾燥重量比で2（粗）：1（細）の割合で混合した材料が予定されている。盛立試験に使用する材料は上記の割合でストックパイルに仮置きしておき、まき出し時にブルドーザーではぎとりながら混合して所定の粒度（混合比率）を確保する予定であった。しかし、まき出しを行って混合状態を観察した結果、この方法だけでは攪拌が不十分で粒度のばらつきが大きくなることが懸念された。そのため、盛立試験に先立ち混合試験を実施して、混合方法についての改良検討を行った。混合試験は予備試験の基層施工時に実施した。

混合試験1ではストックパイルの削り出し工法（4ケース実施）の比較を行い、混合試験2では、混合試験1で選定した施工法で削り出した材料に強制混合（ロータリーティラーを用いた混合）を追加施工してその効果を調べた。

コア材料の盛立試験は予備試験と本試験に分けて行った。

予備試験では、混合試験1で決定した混合方法を採用した。予備試験の主な目的は、振動系3機種とタンピング系2機種についての締固め性能と転圧効果を調べ、機種を選定と本試験での転圧回数を決定することである。予備試験の結果、振動系とタンピング系の間には明確な差がでたが、同じ振動系であるSD450とSV510Dとの間では明確な差は認められなかった。

本試験では振動系の上記2機種を用いて最適含水比材料の盛立試験を実施し転圧機種を決定した。更に、最終的に決定した機種を用いて、施工可能な含水比の上限を確認するため、加水材料を用いた盛立試験を実施した。以上に述べたコア材料の盛立試験全体の流れを図-7.1に示す。

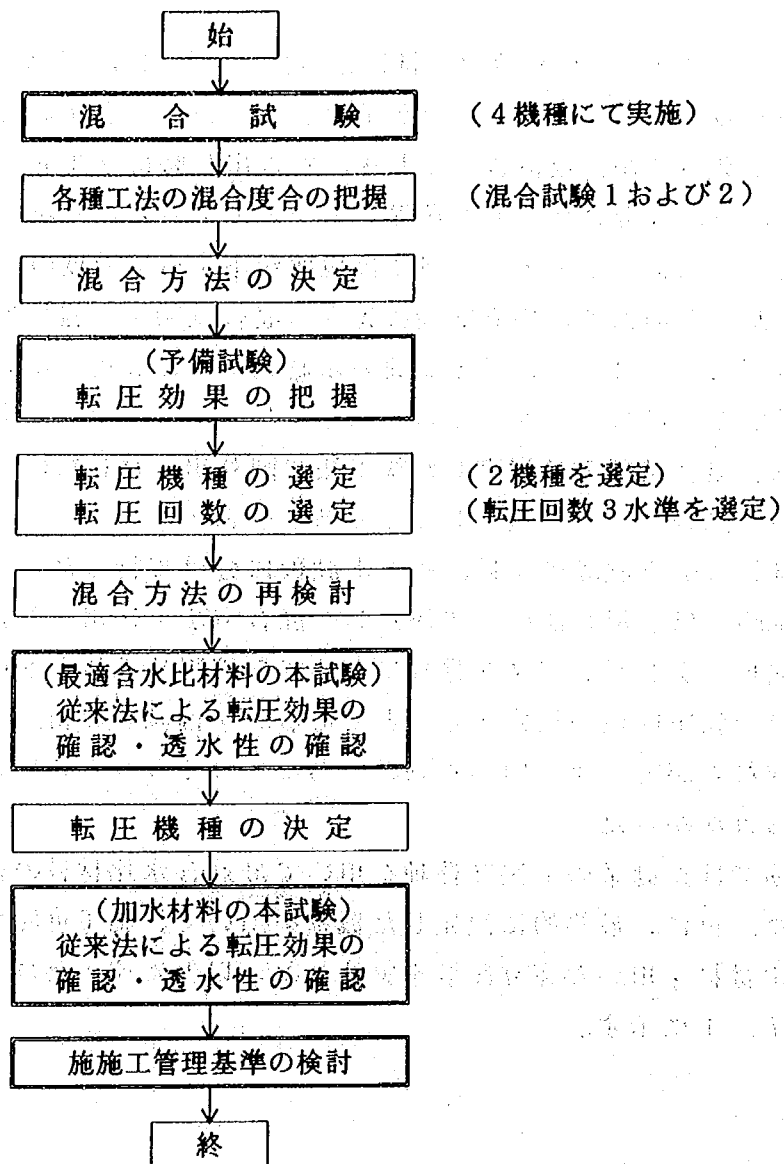


図-7.1 コア材料盛立試験の全体フロー

7.2 盛立方法

7.2.1 試験ヤードの造成

図-7.2 にコア材料の試験盛土全体の層構成を示す。

(1) 基盤および基層

基盤はブルドーザーを用いて切土および敷き均しを行って水平に仕上げた後、振動ローラー（SV510D）により6回転圧をするという手順で造成した。

最適含水比材料の本試験は予備試験ヤードの天端面を、加水材料の本試験は最適含水比材料の本試験のSD450ヤードの天端面をそれぞれ基盤として使用した。

基盤造成後にコア材料を用いて仕上り厚さ20cmの基層を造成した。11tダンプトラックとブルドーザーによりまき出し敷き均しを行ったが、このときダンプトラックは試験面に立ち入らないようにした。敷き均し終了後、予備試験の基層では14回転圧、本試験の基層では各ヤード毎にそれぞれ4、6、8回の転圧を行った。基層は1層～4層造成し（図-7.2）、各々の転圧面はレーキドーザーによりレーキング処理を行った。

なお、混合試験1は、予備試験ヤードの基層の2層目で、また混合試験2はその上の3層目と4層目で行った。

(2) 予備試験ヤード

予備試験ヤードは基層と同様の方法で造成した。コア材料のまき出し、敷き均しを行い、1層目は各転圧機種で14回転圧し、2～3層目は所定の試験を行いながら転圧を実施した。ストックパイルの切り出しは、混合試験1で決定したブルドーザーによる薄層削り出し方法（削り出し厚：3～5cm）で行った。1層目の転圧および2層目の試験が終了した時点で各層のなじみをよくするため、レーキドーザーにより深さ約5cmのレーキングを行った。

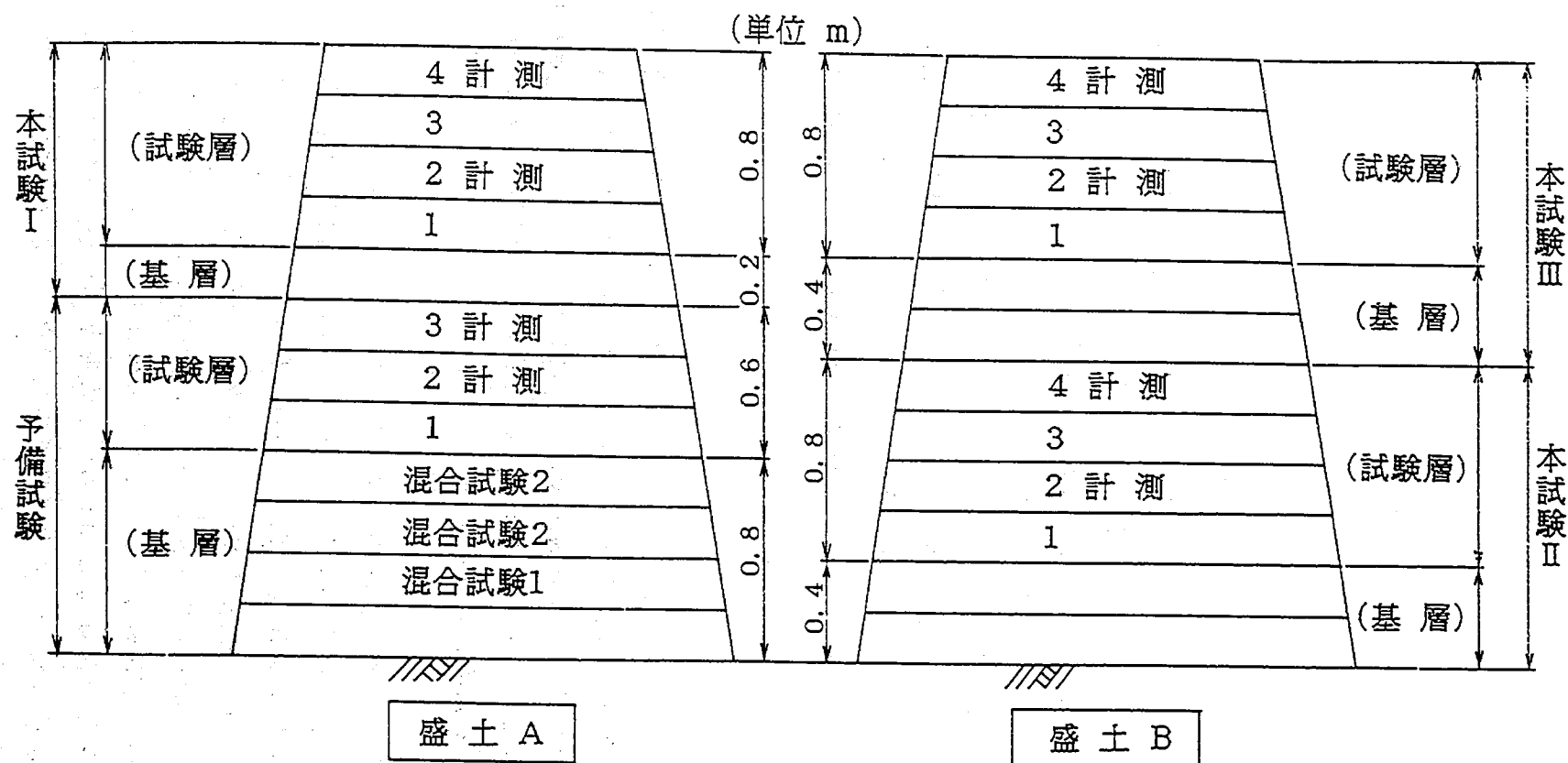
(3) 最適含水比材料および加水材料の本試験ヤード

本試験ヤードは基層と同様の方法により、コア材料のまき出し、敷き均しを行った後、所定の回数（4、6、8回）転圧し、2～4層目では転圧後にそれぞれの計測を行った。

予備試験で材料のばらつきが出たため、ストックパイルの切り出しはブルドーザーによる削り出し（通常施工）にロータリーティラーによる強制混合（4回）を追加して行った。

混合度合いは団粒細粒分の含有率をチェックして確認した（7.4参照）。予備試験の結果を踏まえ、団粒細粒分の含有率に対する暫定管理基準値を7%以下とした。

1、3層目の転圧および2層目の試験が終了した時点で各層の連続性を保つため、レーキドーザにより深さ約5cmのレーキングを行った。



注) 本試験 I : 最適含水比材料 (SV510D)
 II : 最適含水比材料 (SD450)
 III : 加水材料

図-7.2 試験盛土の層構成

7.2.2 転圧方法

振動ローラーおよびタンピングローラーの試験ゾーンの幅は7.7 mである。ローラの幅が2.15mであるので、ラップ幅(0.3 m)をとって4レーンに分けて転圧を行った。一方、タンピングローラー(CAT 825C)の試験ゾーンの幅は5.35mである。締固め幅が2.25mであるので、ラップ幅(0.275 m)をとって3レーンに分けて転圧を行った。以下に予備試験ヤードの転圧の要領を示す。

- (1) ゾーンを4レーンに分けてライン引きをする(注: タンピングローラーのゾーンは3レーン)。
- (2) 前進を奇数回、後進を偶数回の転圧とし、前進・後進の切り替えは、転圧機の後輪が折り返しゾーンに入った時点でおこなった。
- (3) 偶数回の転圧が終わったら予備ゾーンを通して隣のレーンに移動し、(2)と同じ要領で4レーン(タンピングローラーは3レーン)とも転圧を行った。
- (4) 転圧の前および所定の転圧(転圧回数2, 4, 6, 10, 14回)終了後、各種の計測を行った。
- (5) 最終転圧回数に達するまで(2)~(4)をくり返した。

なお、本試験では振動ローラーだけを使用していることと、所定の転圧回数が異なることを除いて、転圧方法は予備試験の場合と基本的に同じである。

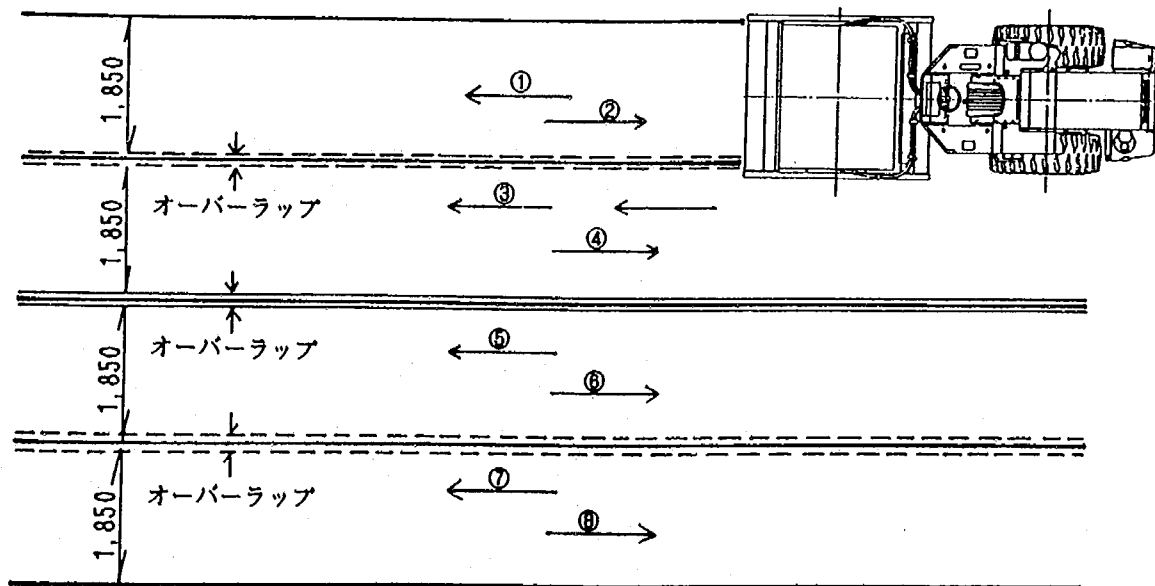


図-7.3 振動ローラーによる転圧

7.3 施工機械

試験に用いた主な施工機械を表-7.1 に示す。また、転圧機械の仕様と外観を表-7.2 および図-7.4 に示す。

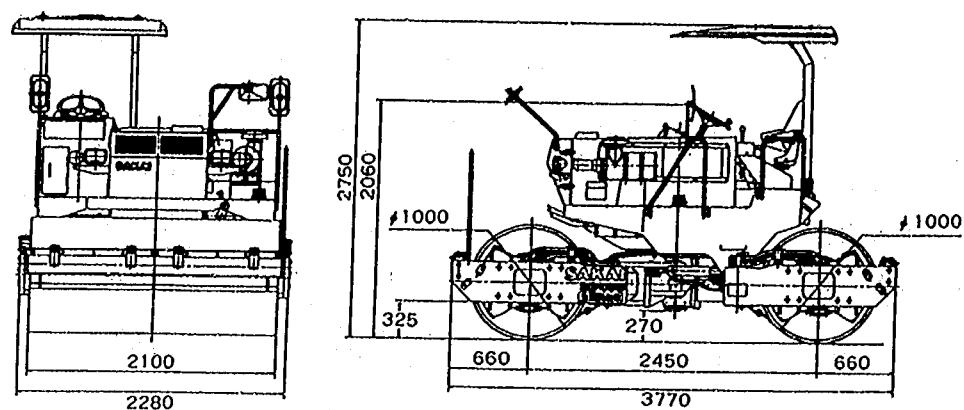
表-7.1 主な施工機械

使用機械	機種・性能	用途
振動ローラー	SD450 自走式(2軸) SV510D 自走式(単軸)	基盤・基層の転圧 試験ヤードの転圧
振動タンピングローラー	SV510T 自走式(単軸)	基層の転圧 試験ヤードの転圧
タンピングローラー	CAT823C 自走式	基層の転圧 試験ヤードの転圧
バックホー	PC200 0.7m ³	積み込み
ブルドーザー	D155 32t級	ストックパイルの切り出し 基盤・基層・本試験ヤードの敷き均し
散水車	11 m ³	水分調整

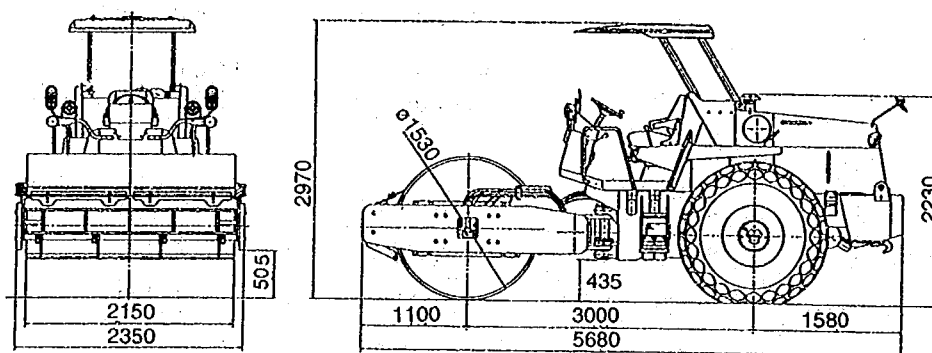
表-7.2 転圧ローラーの仕様

形 式		振 動 ロ ー ラ ー		振動タンピング ローラー	タンピング ローラー
		S D 4 5 0	S V 5 1 0 D	S V 5 1 0 T	C A T 8 2 5 C
重量	総重量(kg)	10,200	10,500	10,900	30,800
	前輪荷重(kg)	5,000	5,600	5,900	
	後輪荷重(kg)	5,000	4,900	5,000	
起振	起振力(kg)	L ; 17,000 H ; 23,000	L ; 17,000 H ; 21,000	25,000	—
性能	振動数(VPM)	H ; 2,600 L ; 2,600	L ; 2,400 H ; 1,800	1,800	—
走行速度 (km/h)	1 速	1	低速 0 ~ 4 高速 0 ~ 5	低速 0 ~ 4 高速 0 ~ 5	0 ~ 5.3
	2 速	2	低速 0 ~ 5.5 高速 0 ~ 8	低速 0 ~ 5.5 高速 0 ~ 8	0 ~ 9.5
	3 速	4	低速 0 ~ 6.5 高速 0 ~ 11	低速 0 ~ 6.5 高速 0 ~ 11	0 ~ 16.8
	4 速	—	—	—	0 ~ 29.7
寸法	全 長(mm)	3,770	5,680	5,680	7,690
	全 幅(mm)	2,280	2,350	2,350	4,540
	全 高(mm)	2,060	2,230	2,230	3,910
	軸 距(mm)	2,450	3,000	3,000	3,530
	締固め幅(mm)	2,100	2,150	2,150	2,250
	最低地上高(mm)	270	435	460	235
最小回数半径(m)		4.7	5.7	5.7	7.1
登坂能力(度)		16	24	24	
起振 装置	動力伝達	静油圧式	静油圧式	静油圧式	—
	起振機	2 軸偏芯・可変式	1 軸偏芯・可変式	1 軸偏芯	—
	装着位置	前後輪の胴内部	前輪の胴内部	前輪の胴内部	—

SD450



SV510D/SV510T



CAT825C

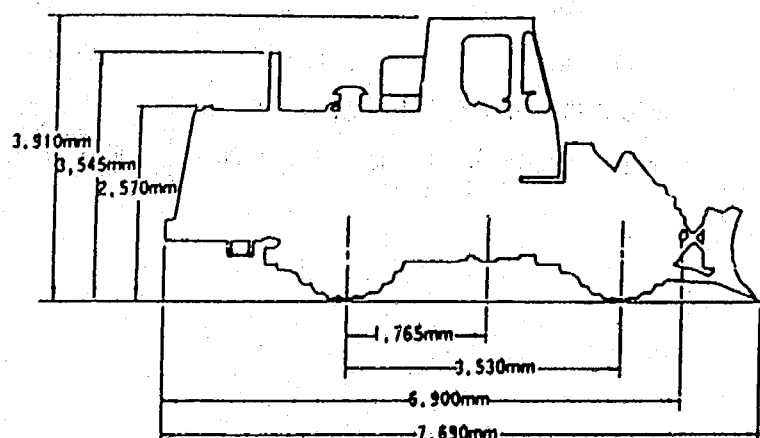


図-7.4 転圧重機の外姿図

7.4 混合試験

7.4.1 試験条件および試験方法

(1) 混合試験 1

混合試験 1 では表-7.3 に示す 4 つの混合方法を用いて予備試験ヤードの基層 2 層目を施工した。敷き均し後に試料を採取して、表-7.4 に示す室内試験を行って混合効果を比較した。図-7.5 と図-7.6 にそれぞれ混合試験ヤードの構成および試験の手順を示す。

表-7.3 試験条件 (混合試験 1)

試験要因	水準数	摘 要
①混合方法	4 ケース (注 1)	ケース 1 : BD リッピング + BD 転圧 + 削り出し + BH 混合 ケース 2 : BD リッピング + BD 転圧 + 削り出し ケース 3 : BD リッピング + 削り出し ケース 4 : BD 薄層削り出し
②含水比	1 種	最適含水比 (仮置材)
③試験層	1 層	H 20 cm

注) BD : ブルドーザー
BH : バックホー

表-7.4 計測項目と数量 (混合試験 1)

試験区分	試験項目	基 本 仕 様		試験点数 (ヤード当り)	総数量
室内	含水量	全粒径		5	40
		19 mm 以下		5	
	粒 度	ふるい分け		5	20
	締固め試験	φ100	エネルギー 1 E。	5	25 (供試体)
			エネルギー 1 E。 含水比変化 ; 5 %	1	
	透水試験	φ100	エネルギー 1 E。	5	20

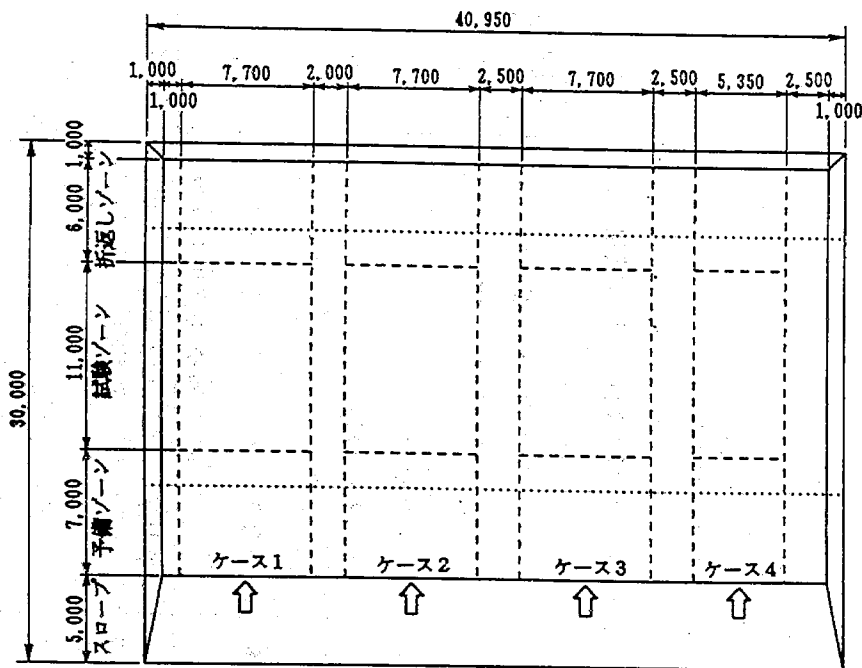
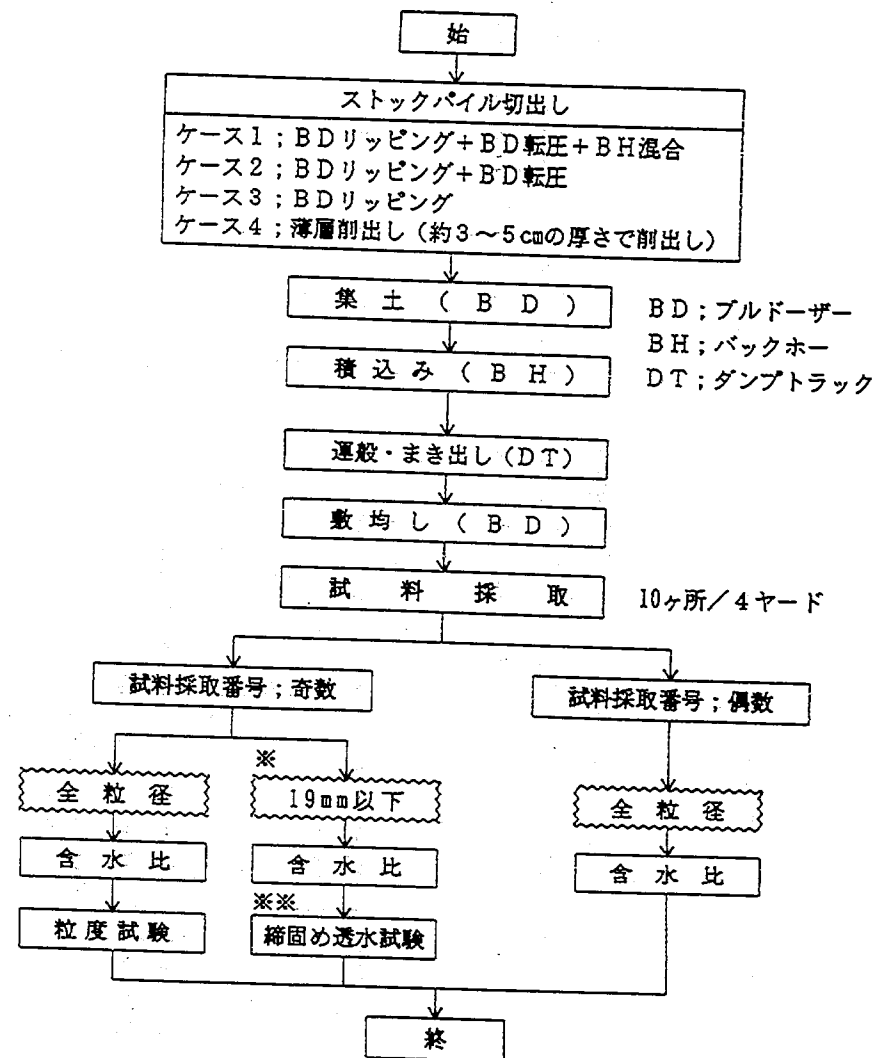


図-7.5 コア材料混合試験1のヤード構成



※ 団粒細粒分は礫とみなし除去
 ※※ 試料は自然含水比1E.の条件で締固め透水試験を実施

図-7.6 コア材料混合試験1の作業手順

(2) 混合試験 2

混合試験 2 では、混合試験 1 で最も効果的な混合方法と判断されたケース 4 で施工した後に更にロータリーティラーによる強制混合を行う施工法（ケース 5）とケース 4 の施工法の比較試験を予備試験ヤードの基層 3・4 層目で行った。

表-7.5 に混合試験 2 の試験条件を示す。混合試験 2 では室内試験だけでなく、表-7.6 に示すように 14 回転圧後の密度および透水係数を現場で求めている。試験は図-7.7 に示す中央の 2 ヤードで行っており、各ヤードで 5 点ずつ密度試験（表面型 R I 密度計と砂置換法）と現場透水試験を実施した。図-7.8 に試験手順の詳細を示す。

表-7.5 試験条件（混合試験 2）

試験要因	水準数	摘 要
①混合方法	2 ケース	混合試験その 1 で決定した 1 ケース（ケース 4） ロータリーティラーによる強制混合（ケース 5）
②転圧機種	2 種	振動ローラー SV510D（自重 10.5 t 自走式） 振動タンピングローラー SV510T（自重 10.9 t 自走式）
③試験層	2 層	H = 20 cm × 2 層
④含水比	1 種	最適含水比（仮置材）
⑤転圧回数	1 種	N = 14 回
⑥転圧速度	1 種	V = 3 km/h （SV510D） V = 4 km/h （SV510T）

表-7.6 計測項目と数量（混合試験 2）

試験区分	試験項目	基本仕様	試験点数 (ヤード当り)	総数量
現場	密度 含水比	標準型表面型 R I ・測定深さ 20 cm ・1 測点 1 方向 1 分測定 2 回	5	20
		砂置換法 ・ $\phi 250 \times h 200$	5	20
	透水試験	変水位法（置換孔利用）	5	20
室内	含水量	全粒径	5	40
		19mm 以下	5	
	締固め試験	$\phi 100$ エネルギー 1 E。	5	25 (供試体)
		$\phi 100$ エネルギー 1 E。 含水比変化；5 ω	1	
	透水試験	$\phi 100$ エネルギー 1 E。	5	20

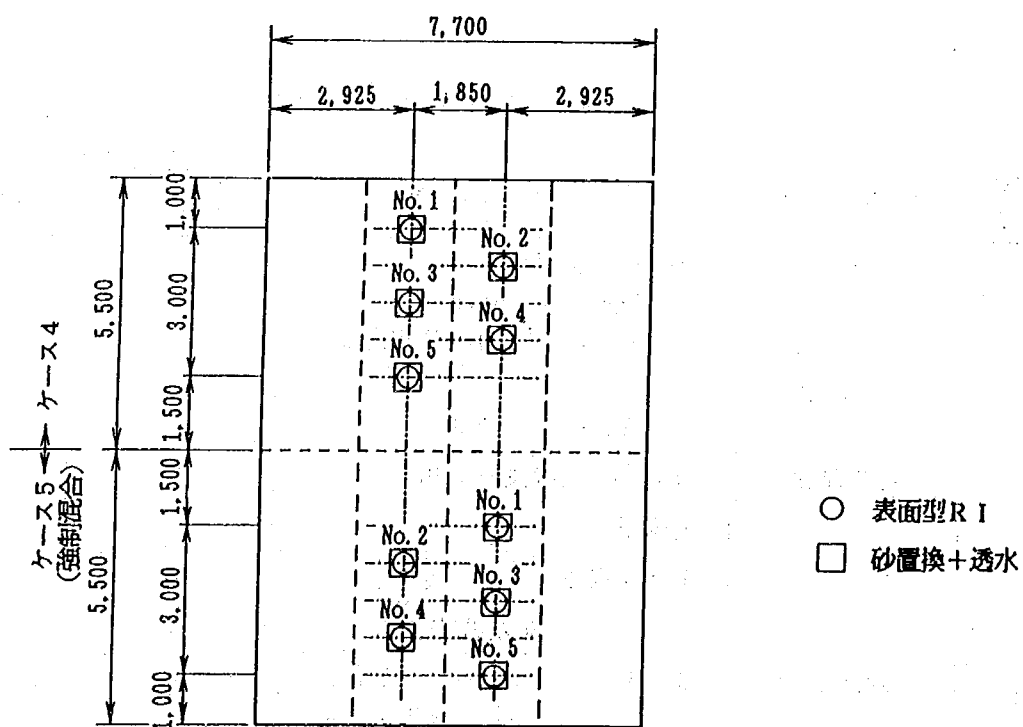
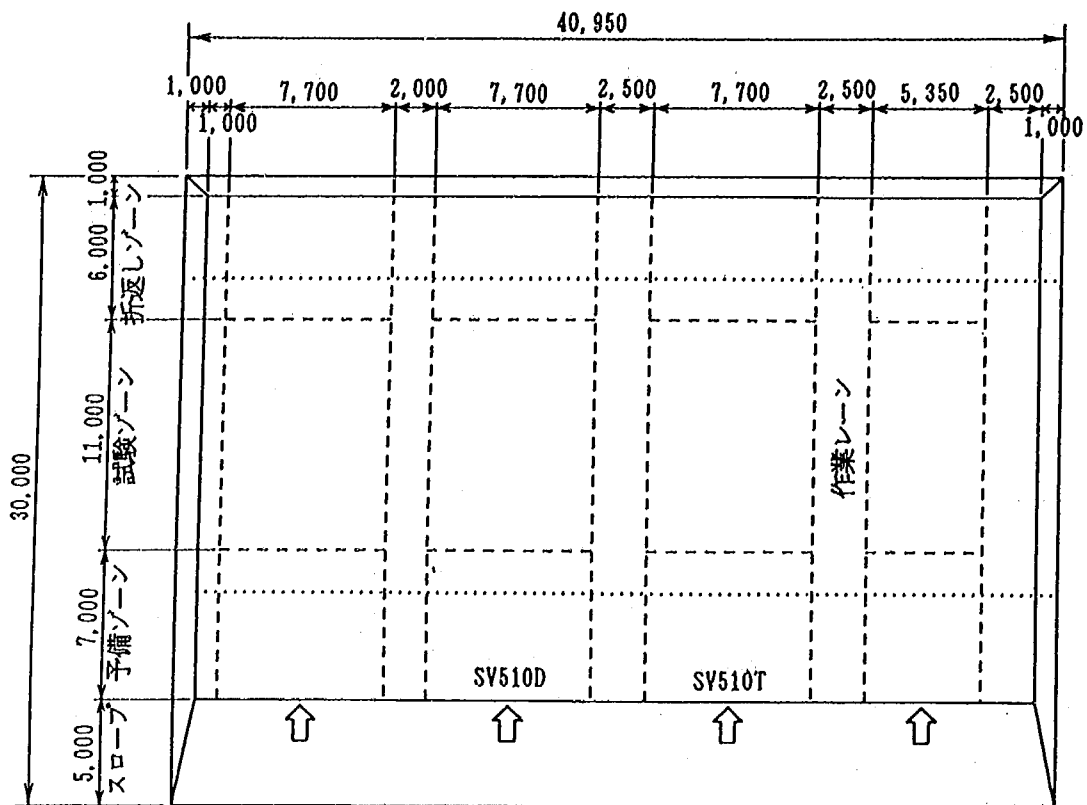


図-7.7 コア材料混合試験2のヤード構成と計測位置

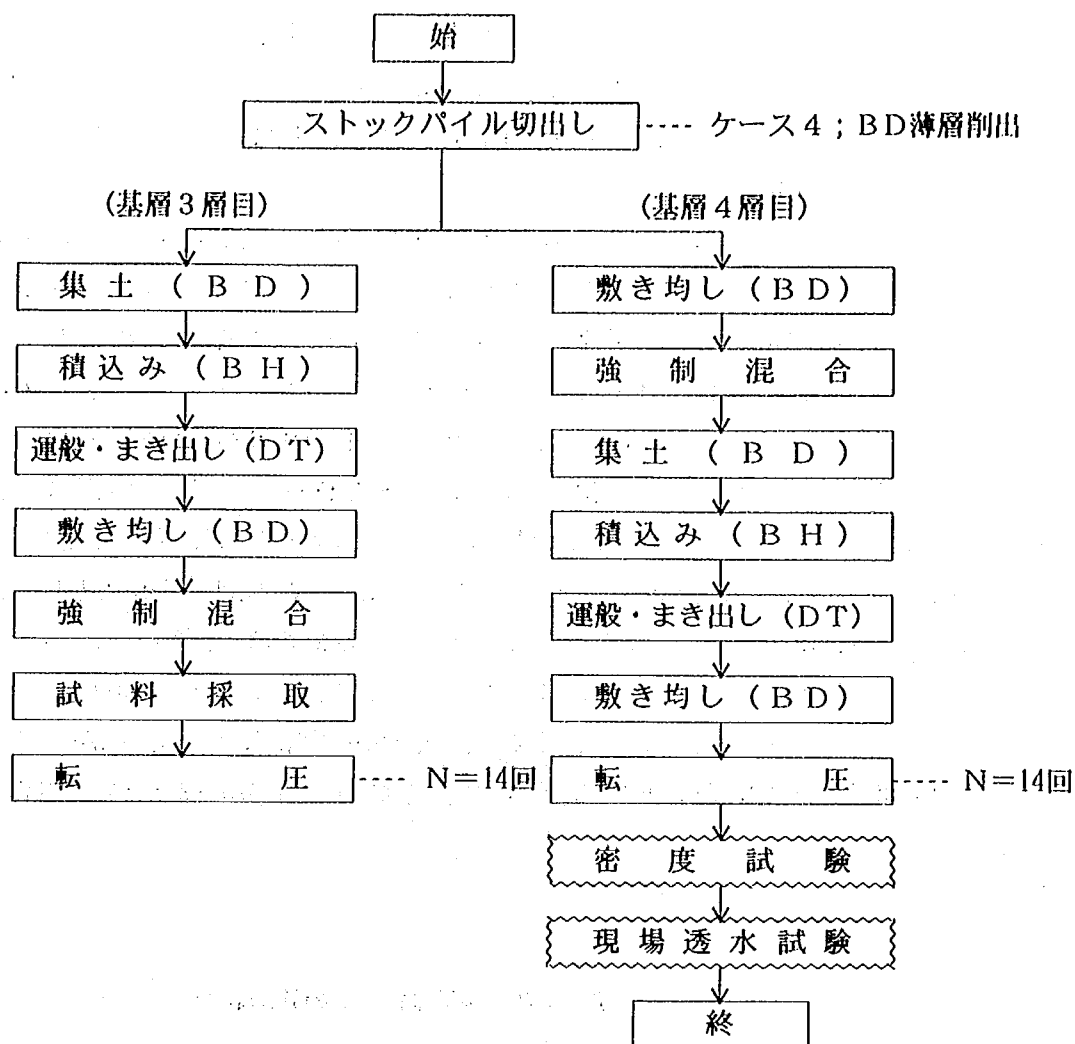


図-7.8 コア材料の混合試験2の作業手順

7.4.2 試験結果

(1) 混合試験 1

19mm以上の礫分と団粒（ロームがコア材料と均質に混合せず、団子状の塊りとなって残留したものである。以下簡単のため、単に団粒と呼ぶ。）を取り除いた試料を用いて、採取時の自然含水比で行った1E cの室内締固め試験と透水試験の結果をそれぞれ図-7.9および図-7.10に示す。

表-7.7は、これらの試験結果とあわせて現場の混合状態を観察した結果をまとめたものである。19mm以上の団粒を取り除いたのは、このような塊りのまま残留しているロームは、礫や砂の間隙を充填して遮水性を高めるといふ本来の機能を果たしていないと考えられるからである。細粒分含有率は $F_c = 20 \sim 25(\%)$ の範囲でばらつきがみられた。このため透水係数もまたかなりばらついており、混合方法の優劣を評価するのは難しい結果となった。表-7.7に示したように、混合試験1で試験を行った4つの混合方法の中では比較的混合状態が良好であったケース4の場合でも、19mm以上の団粒を除去した細粒土の透水係数が設計値（ $1 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$ ）を満足していない。これは、19mm以下の細粒分に含まれるロームも小さな塊りを形成して混在しているためであると考えられる。

そこで、すべての団粒を十分にほぐして丹念に混合した材料を用いて再度締固め透水試験を行った。その結果は図-7.9および図-7.10の中に示してあるが、十分に混合がなされて均質な粒度状態になれば乾燥密度も大きくなり、十分な遮水性を確保できることが示された。

表-7.7 混合試験1の検討結果

検討ケース		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
団粒径の代表値		$\phi 50 \sim \phi 100$	$\phi 50 \sim \phi 100$	$\phi 50 \sim \phi 200$	$\phi 19 \sim \phi 50$
団粒の比率		やや多い	やや多い	非常に多い	少ない
混合状況（観察結果）		やや悪い	やや悪い	悪い	良い
乾燥密度※ (t/m^3)	平均	1.681	1.701	1.666	1.711
	標準偏差	0.061	0.015	0.022	0.034
透水係数※ (cm/sec)		3.1×10^{-6}	1.9×10^{-6}	1.0×10^{-5}	1.6×10^{-6}

※19.0mm以下で試験した。19.0mmフルイに残留する団粒は除去した。

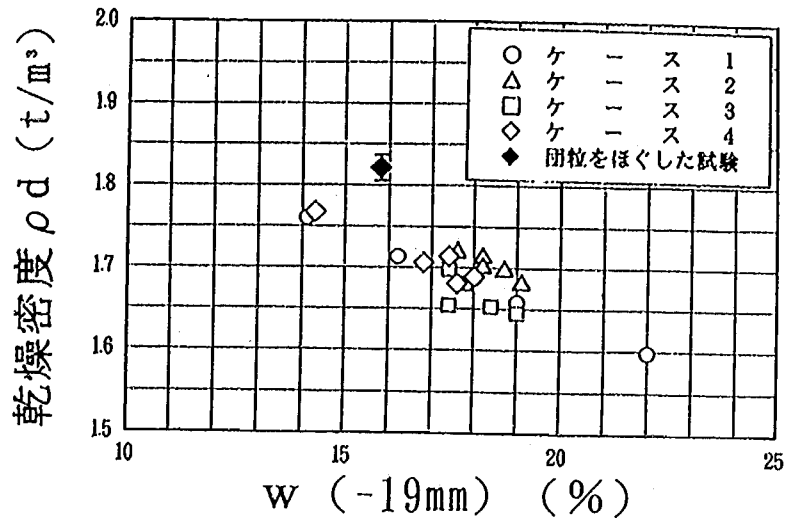


図-7.9 団粒を除いた材料の締固め試験結果 (1 Ec: 混合試験)

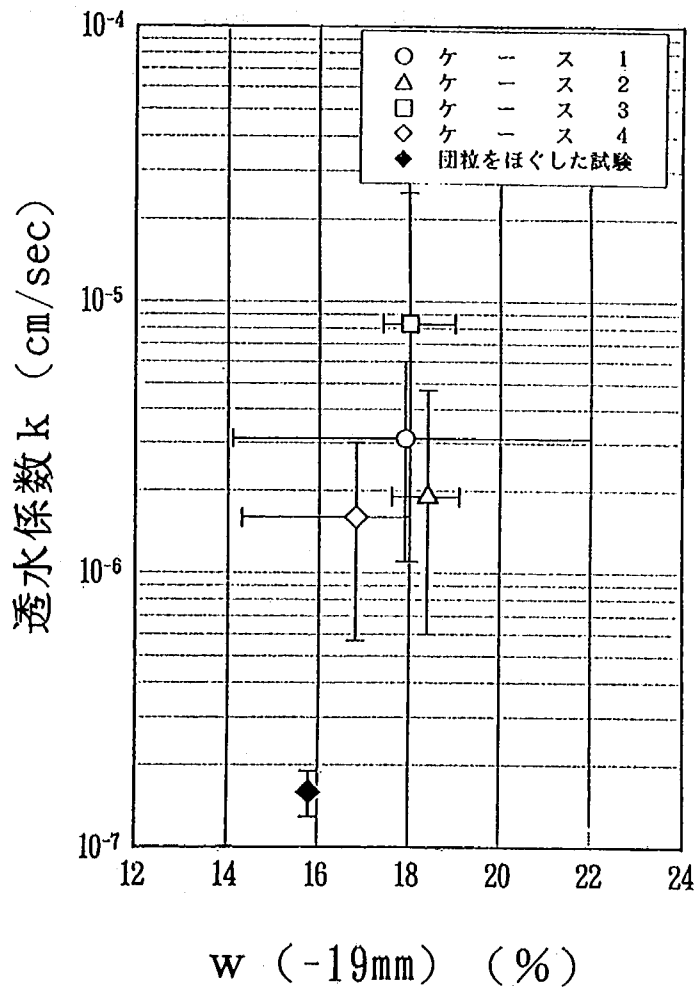


図-7.10 団粒を除いた材料の透水試験結果 (混合試験 1)

(2) 混合試験 2

ケース 4 の方法で混合した後、さらにロータリーティラーで掘削混合を 3 回繰返す試験を新たに実施した (ケース 5)。混合試験 2 はケース 5 とケース 4 とを比較するため、2 種類の機種 (SV510D と SV510T) を用いて、 $N = 14$ 回の転圧を行ったときの密度と透水係数を調べた。現場試験とあわせて室内での締固め透水試験も行った。室内試験ではやはり 19mm 以上の団粒は取り除いた。

試験結果と混合状態を表-7.8 および図-7.11 に示す。各ヤードから採取した試料の室内透水係数が、ほぼ同じ値 ($k = 1 \sim 3 \times 10^{-7} \text{ cm/sec}$) を示していることから分るように、ロータリーティラーによる強制混合法は粒度の均質化に有効であることが確認された。

しかし、現場透水係数をみると転圧機種間では差がでているが、ケース 4 とケース 5 との比較 (混合方法の比較) では差が認められないことから、現場において入念な敷き均し作業を行えば、ケース 4 の薄層削り出しによる混合法でも設計透水係数を満足する可能性があることも分った。ケース 4 は経済的に有利である反面、転圧後のばらつきを考えると、実施工においてはきめ細かい団粒残留率のチェックが必要である。

以上の混合試験の結果から、コア材料の盛立試験では、最初の予備試験はケース 4 の混合方法で施工し、後続の本試験ではケース 5 の混合法を採用することとした。

表-7.8 混合試験（その2）の検討結果

検討ケース		ケース 4	ケース 5
団粒径の代表値		φ19mm～φ50mm	φ19mm以下
団粒の比率		少ない	非常に少ない
混合状況 (観察結果)		良い	非常に良い
透水係数 (cm/sec)	室内 ※	2.03×10^{-7} 2.31×10^{-7}	2.19×10^{-7} 2.43×10^{-7}
	(現場SV510D)	1.20×10^{-6}	1.25×10^{-6}
	(現場SV510T)	5.08×10^{-6}	6.68×10^{-6}

※ 19.0mm以下で試験した19.0mmフルイに残留する団粒は除去した。

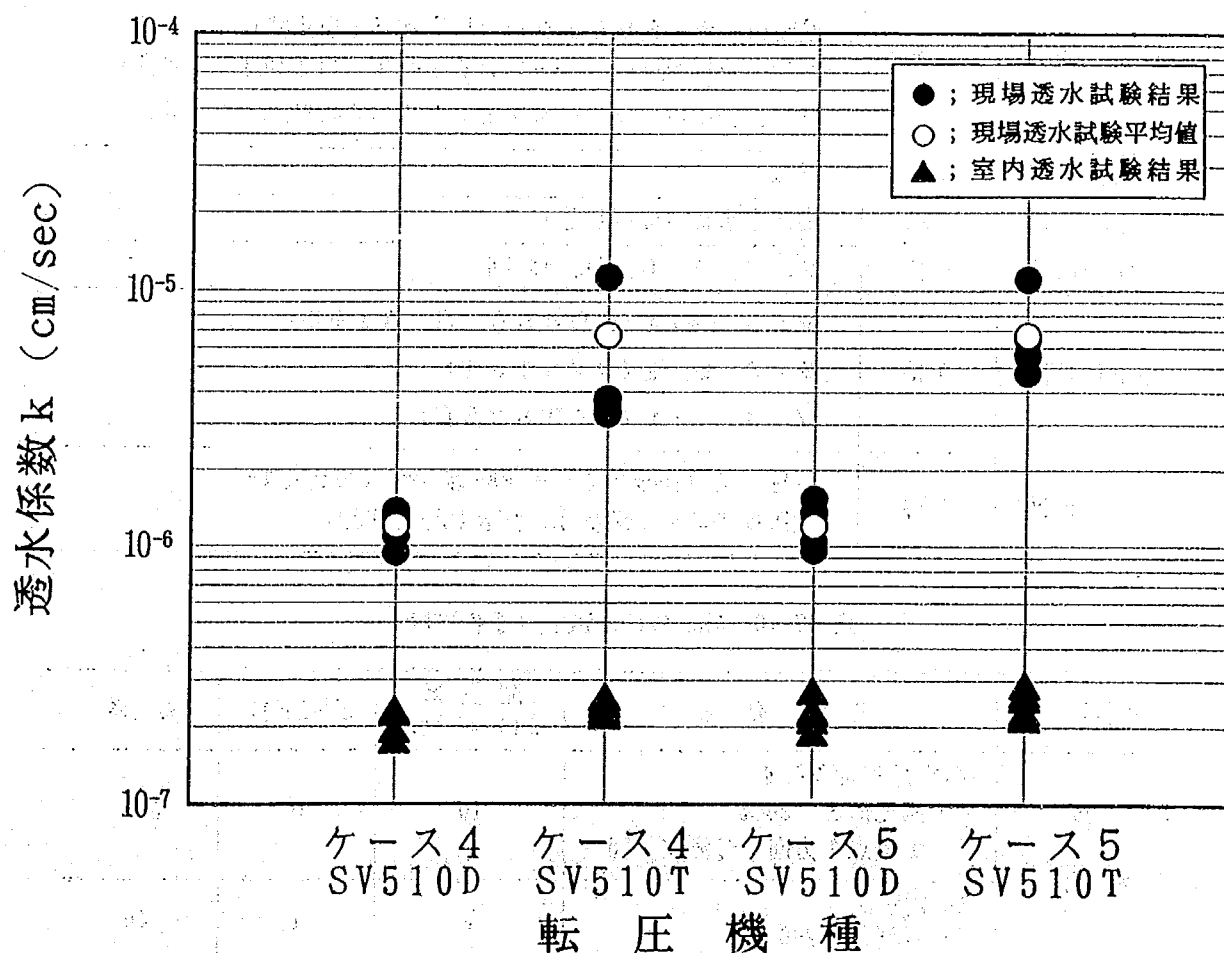


図-7.11 室内および現場透水係数（混合試験2）

7.5 予備試験

7.5.1 試験条件および試験方法

予備試験の第1の目的は表-7.9に示す4つの転圧機種による現場締固め特性（転圧回数と締固め密度との関係）を求めることである。

このため試験ヤードは図-7.12に示すように固定ヤード方式で構成されており、同一場所での繰返し計測ができるR I密度計の多点計測が試験の中心になる。R I計測の他に所定の転圧回数毎に沈下量の計測を行い、最終の14回転圧後には、砂置換法による密度試験と現場透水試験を行っている（表-7.10）。

予備試験の測定は図-7.13に示すように2層目と3層目で行っている。

表-7.9 予備試験の試験条件

試験要因	水準数	摘 要
①転圧機種	4種	振動ローラーSD450（自重10.2t自走式） 振動ローラーSV510D（自重10.5t自走式） 振動タンピングローラーSV510T（自重10.9t自走式） タンピングローラーCAT825C（自重30.8t自走式）
②仕上り厚	1種	20cm
③含水比	1種	最適含水比（仮置状態）
④転圧回数	6種	0, 2, 4, 6, 10, 14 回
⑤転圧速度	1種	V=3 km/h (SD450・SV510D) V=3 km/h (SV510T) V=4 km/h (CAT825C)
⑥転圧層数	7層	基層4層(20cm×4) + 試験層3層(20cm×3) (基層の2～4層目は、混合試験と共用)

表-7.10 計測項目と数量（予備試験）

試験項目	基本仕様	測点数 (1ヤード当り)	測定回数	総点数
密度 含水比	標準型表面型R I ・測定深さ 20cm ・1測点1方向1分測定3回	10	6	480
	砂置換法 ・φ250×h200	5	1	40
表面沈下量	レベル測量（標点プレート）	10	6	240
現場透水試験	変水位法（砂置換孔を利用）	5	1	40

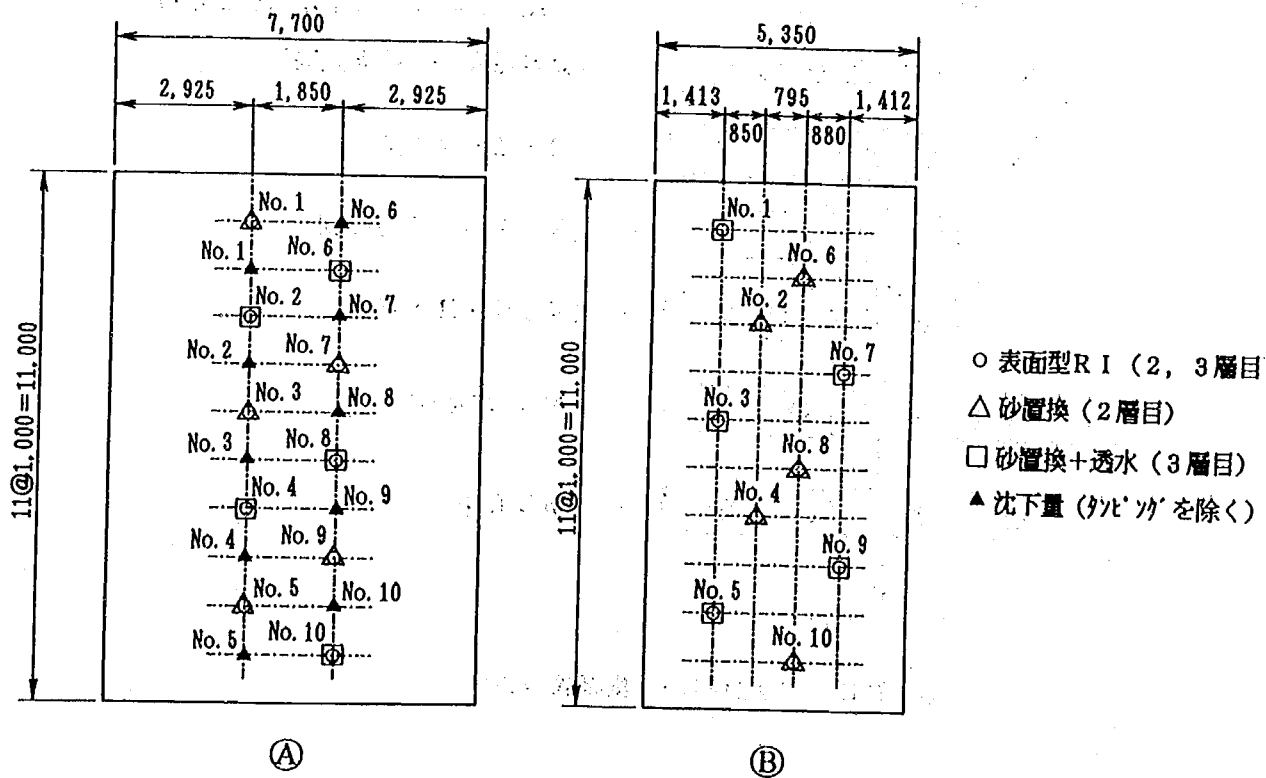
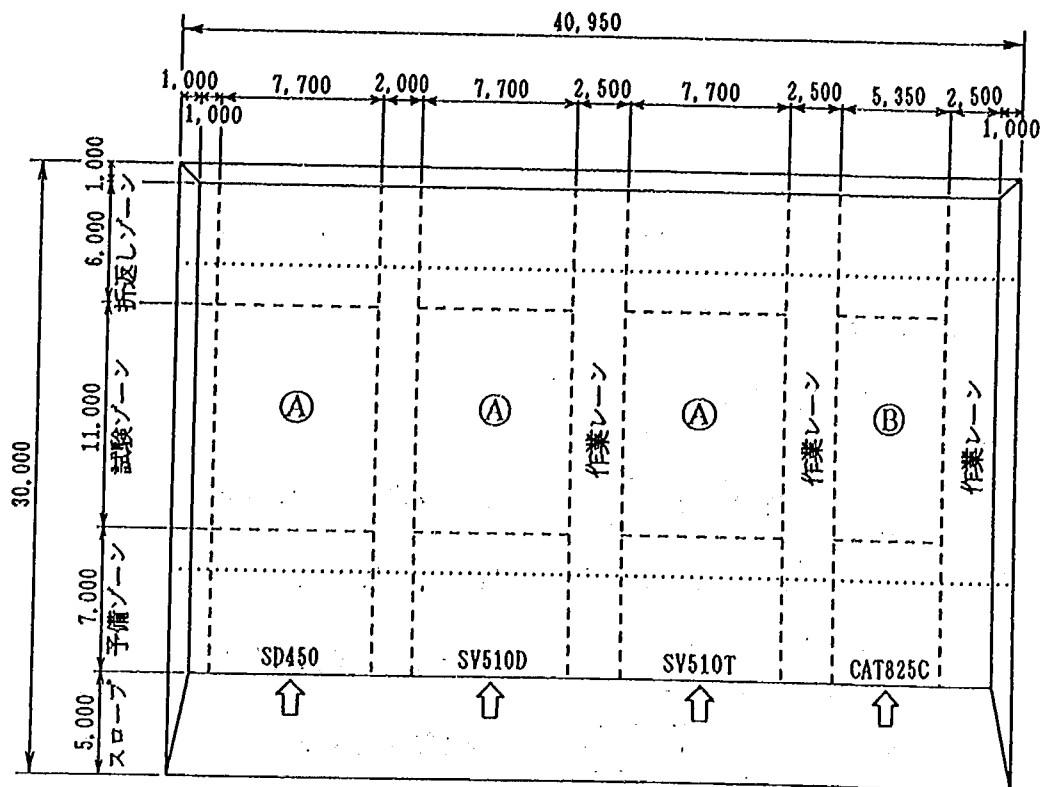


図-7.12 コア材料の予備試験のヤード構成と計測位置

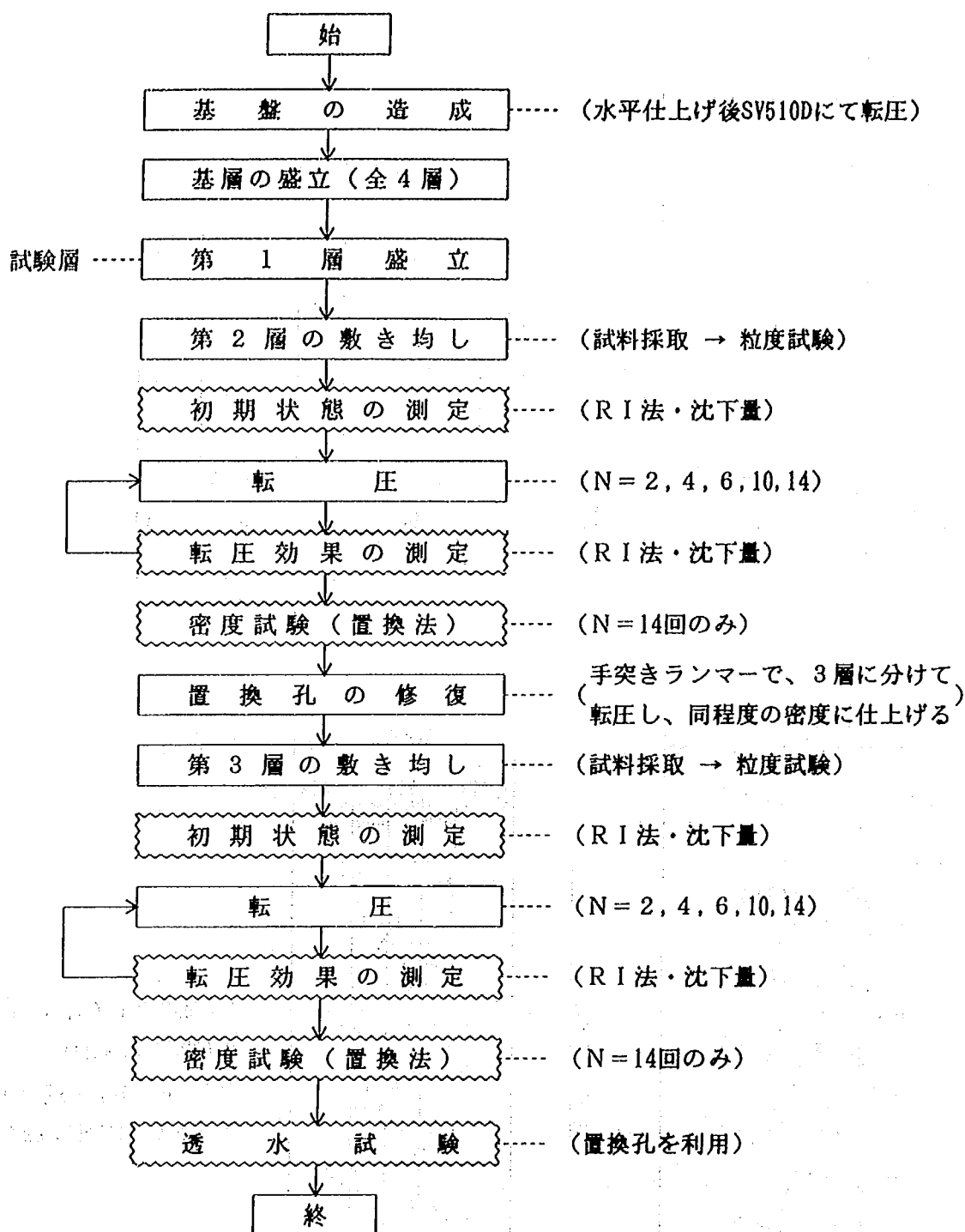


図-7.13 コア材料の予備試験のフロー

7.5.2 試験結果

(1) 転圧状況

各機種による転圧状況を観察した結果を表-7.11および写真-7.1～7.4に要約する。

表-7.11 転圧時の状況

転圧回数	ウェーピング				レーン境界の段差		転圧面のひび割れ	
	SD450	SV510D	SV510T	CAT825C	SD450	SV510D	SD450	SV510D
1～2	A	A	A	A	B	B	A	A
3～4	A	A	A	A	B	B	B	A
5～6	B	B	B	A	B	B	B	B
7～8	B	B	B	B	B	B	B	B
9～10	C	C	C	C	B	B	C	B
11～12	D	C	D	D	C	B	C	B
13～14	D	C	D	D	D	B	D	D

注1) この表は目視観察の結果である。

注2) 記号A～Dの意味は次の通りである。

記号	ウェーピング	レーン境界の段差	転圧前のひび割れ
A	なし	なし	なし
B	0～2 cm	2～4 cm	小さなひび割れ発生
C	2～4 cm	3～5 cm	大きなひび割れ発生
D	4 cm以上	4～6 cm	ひび割れ増加

a. SD450の転圧状況

二輪転圧のため、ヘアークラックが発生する。ヘアークラックの深さは数mm程度である。開口幅2～3mmのオープクラックは、5cm程度のピッチでみうけられるが、深さは数mm～1cm程度である。写真－7・1は、14回転圧後の転圧面の状況を示している。



写真－7.1

b. SV510Dの転圧状況

ヘアークラックが発生しているが、SD450に比較するとその密度は低い。開口幅1～2mmのオープクラックは、10～15cm程度のピッチでみうけられるが、深さは5mmくらいである。



写真－7.2

c. S V 5 1 0 T の転圧状況

フートの貫入により、転圧面は変形するが、混合は全くされていない。突起部には、変形に伴う小さなヒビ割れが多数発生している。フートは完全には貫入していない。



写真－7.3

d. C A T 8 2 5 C の転圧状況

フートは完全に貫入しているが、混合はほとんど行われていない。沈み込みと隆起は大きいが、単に材料が移動しているだけで、混合効果はほとんどないようにみうけられる。



写真－7.4

(2) 転圧効果

1) 混合材料にR I密度計を適用するときの注意

R I 密度計で用いられている中性子水分計は、測定原理からいうと本来水素濃度計である。すなわち、中性子水分計が直接感応検知するのは、土質工学的に定義された含水比に対応する水分量ではなく、単位体積中に含まれる水素原子の数（密度）である。もちろん土や岩石中の水素密度と上の意味での水分量との間には密接な関係があり、この事実を利用してあらかじめ校正された関係式（校正曲線）から間接的に水分量を求めようとするのがR I 密度計による水分計測のメカニズムである。しかし、土や岩石中に存在する水素元素を含有する物質としては、含水比に対応する水分量（簡単のため自由水と呼ぶ）の他にも拘束水や結晶水などがあり、また有機物が含まれている場合もある。これらの自由水以外の水分又は有機物の含有率は土の種類によって異なるため、これを補正する必要があり、R I 密度計では一般に次式で定義される等価水分量 ρ_m を用いて校正曲線（式）を表している。

$$\rho_m = \omega_n + \alpha \rho_d \quad \text{-----} \quad (7.1)$$

ここで、 ρ_m : 等価水分量 (t/m³)

ω_n : 自由水量 (t/m³)

ρ_d : 乾燥密度 (t/m³)

α : 補正係数

上の式は自由水以外に含まれている水素原子の密度を水分量に換算して、これが乾燥密度に比例するものと仮定していることを表している。 α は土質の種類によって異なり、一般に有機質土や粘土、ロームのような高い自然含水比を示す土では相対的に大きく、砂質系の土では小さい値をとることが知られている。

すでに述べたように、今回の試験の対象となったコア材料は、マサ系の風化土にロームを混合した材料である。マサ土とロームの α の値が同じであれば何ら問題がないが、両者の α 値に差があり（実際差がある）、また、混合比率にばらつきが避けられないときには、R I 密度計の水分計測では注意が必要である。予備試験や本試験で得られたR I 密度計による含水比（ α を固定した場合）と炉乾燥含水比との関係をみるとヤードごとに差があることが分った。この差の原因は明らかに上に述べたことに起因しており、ヤードごとに混合比率が一樣でないことを示すものである。そこで各ヤードにおいてR I 密度計の平均含水比が炉乾燥法による含水比の平均値に一致するように、 α の値をヤードごとに設定して、混合比率のばらつきの影響を除去した。厳密に言えば、一つのヤード内においても混合比率は場所によってばらついているが、各点ごとの補正は現実的ではないので、これについては無視した。

2) 転圧回数と含水比

図-7.14および図-7.15に含水比と転圧回数との関係を示す。タンピング系のゾーンでは振動系のゾーンに比べてややばらつきが大きい。これは、タンピング系のヤードでは転圧後に測定面を平滑にする必要があるため、測点の位置が正確には再現できないためである。密度のばらつきについても同じことがいえる。含水比は日時の経過とともに若干乾燥する傾向にあることを示している。

3) 転圧回数と乾燥密度

図-7.16、図-7.17は乾燥密度と転圧回数との関係（転圧効果曲線）を示したものである。振動系では、SD450の2層目（注：このヤードでは他のヤードに比べ、粗粒の礫がやや多かったことが観察されている）が他のヤードに比べやや高い密度増加を示しているが、他の3ヤードの転圧効果はほとんど差がない。タンピング系の場合もばらつきを考慮すると転圧効果に有意な差は認め難い。

ところで、コア材料はロック材料やフィルター材料などの透水性材料と比べると、含水比が高く飽和度も高いので、後者に比べてかなり平坦な転圧効果曲線を示すのが普通である。コア材料の密度増加が少いもう一つの理由は、転圧に先立つまき出しや敷き均し時に、すでにブルドーザーによる転圧効果を受けているという事実がある。転圧効果曲線に機種による差があまりみられなかったことから分るように、結果的にブルドーザー転圧の効果は相対的にかなり大きかったものと考えられる。

振動系の2機種では密度だけから見ると、 $N=14$ 回に至っても収束もしくはわずかに上昇する傾向を示しており、オーバーコンパクションの徴候はみられない。タンピング系の場合は $N=4$ 回以上になるとほとんど密度は変わらなくなる。

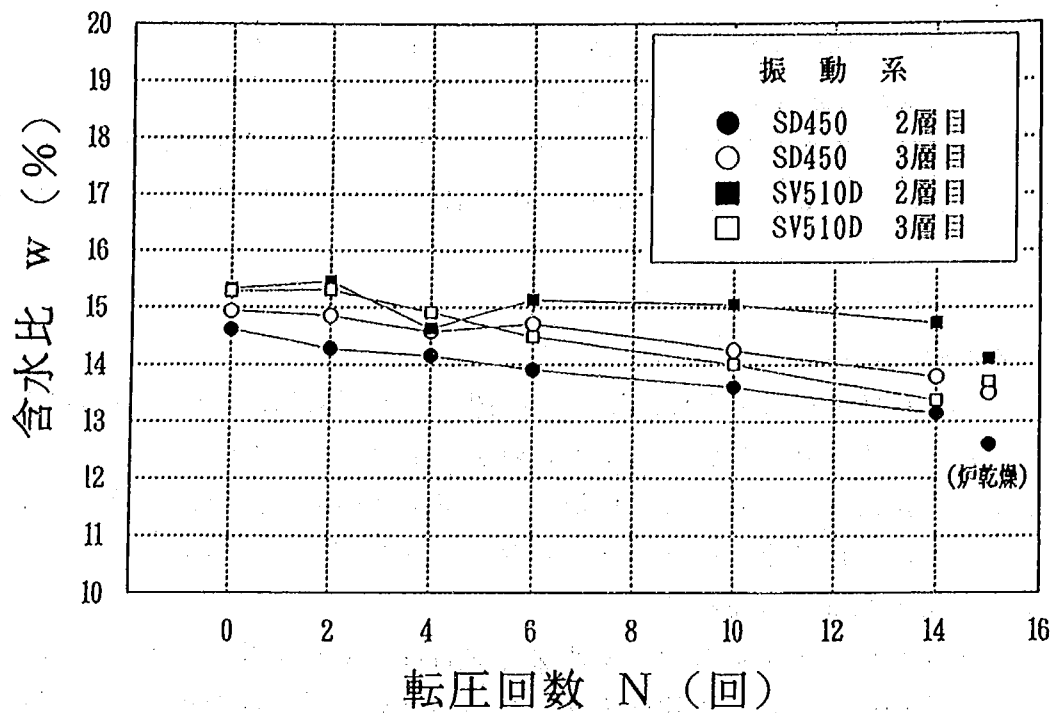


図-7.14 含水比の変化（振動系ヤード）

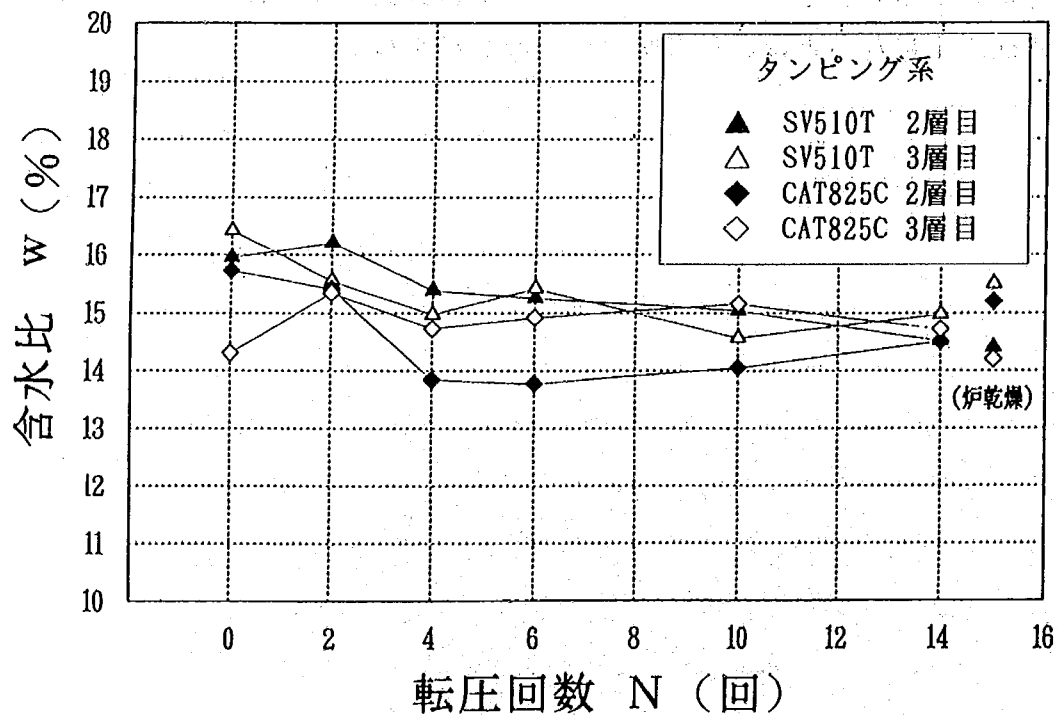


図-7.15 含水比の変化（タンピング系ヤード）

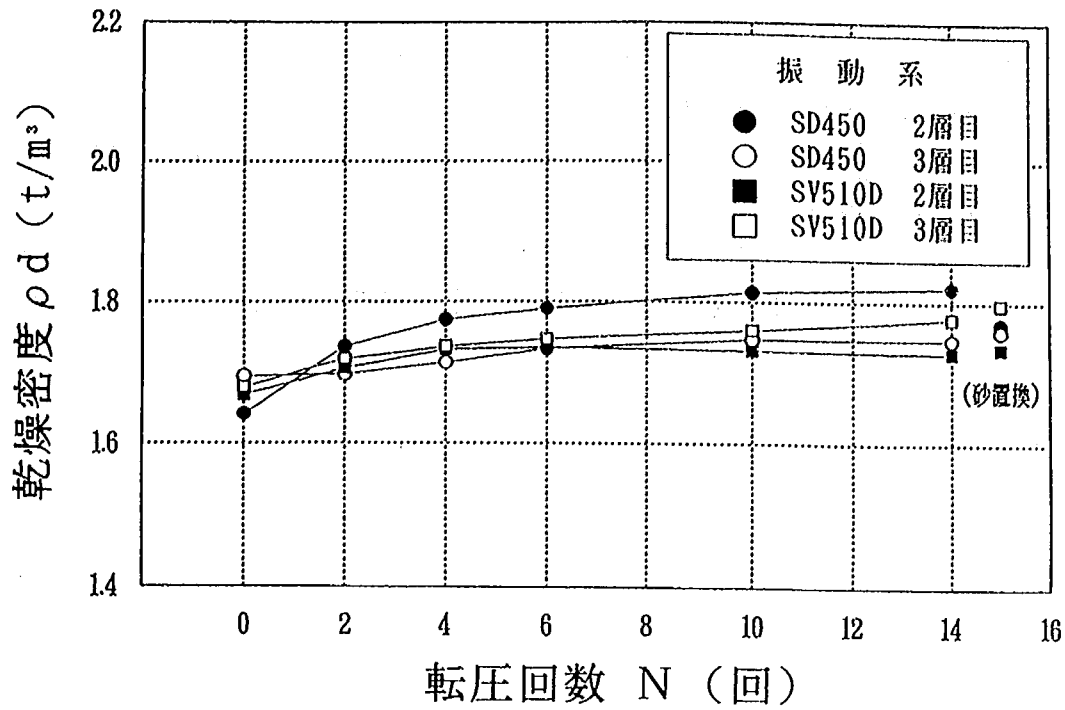


図-7.16 転圧回数と乾燥密度との関係 (振動系)

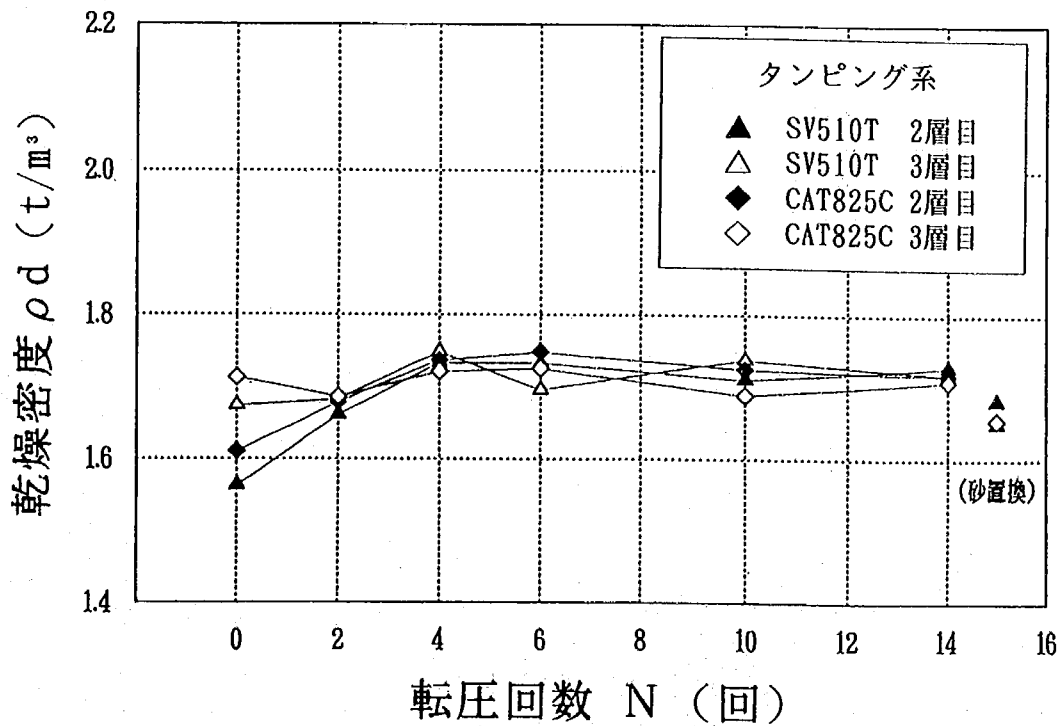


図-7.17 転圧回数と乾燥密度との関係 (タンピング系)

4) 転圧回数と表面沈下量

図-7.18、図-7.19に表面沈下量と湿潤密度の増分から一次元圧縮を仮定して求めた転圧層の鉛直方向の圧縮率を比較して示す。

ロック材料の場合とは対照的に両者は大きくく違っており、密度増加量から推定した沈下量よりも実測沈下量の方がかなり大きい結果を示している。

この理由のひとつとして、コア材料の場合は転圧面の沈下は密度増加（圧縮）よりも、主として側方への流動や下位層の沈下が影響していると考えられる。

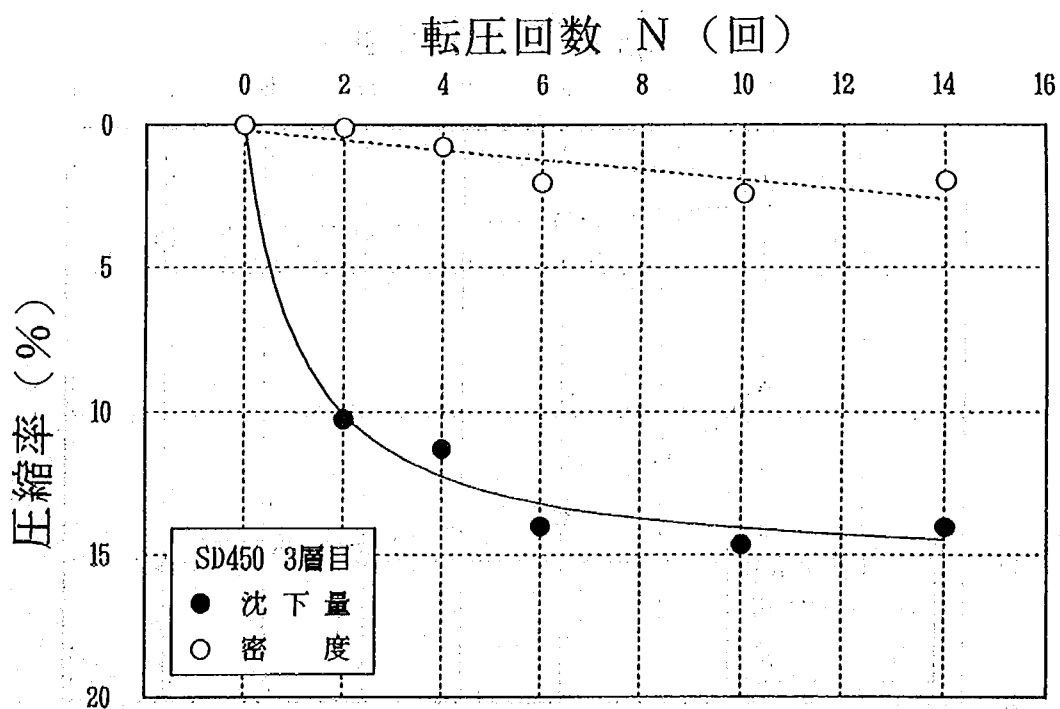
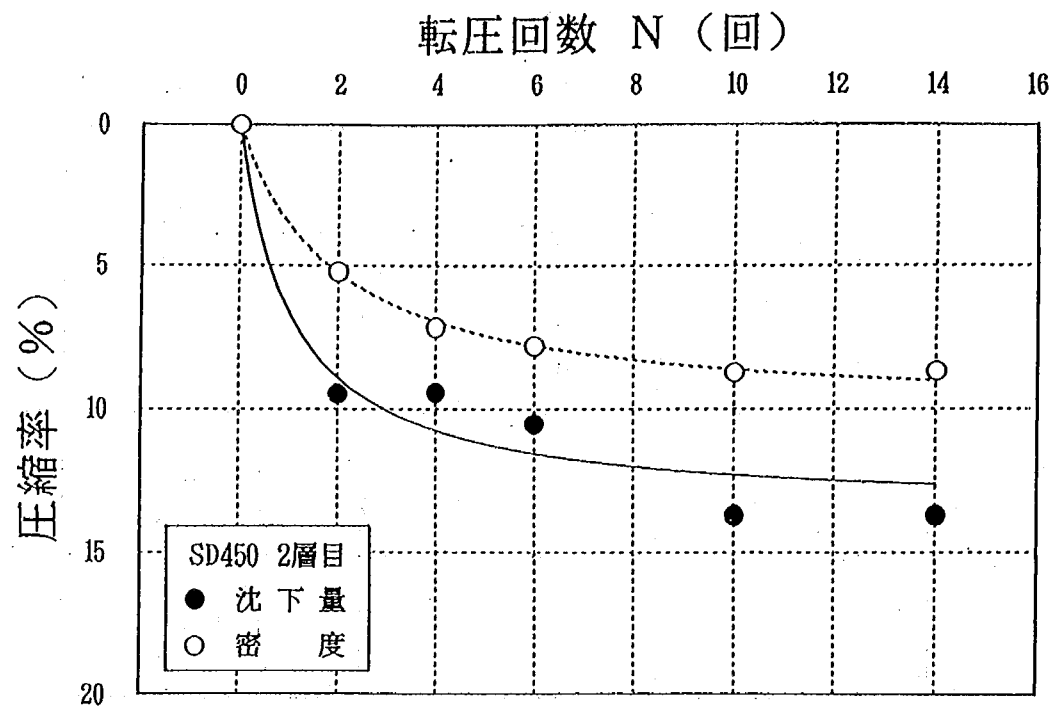


図-7.18 転圧回数と圧縮率との関係 (SD450)

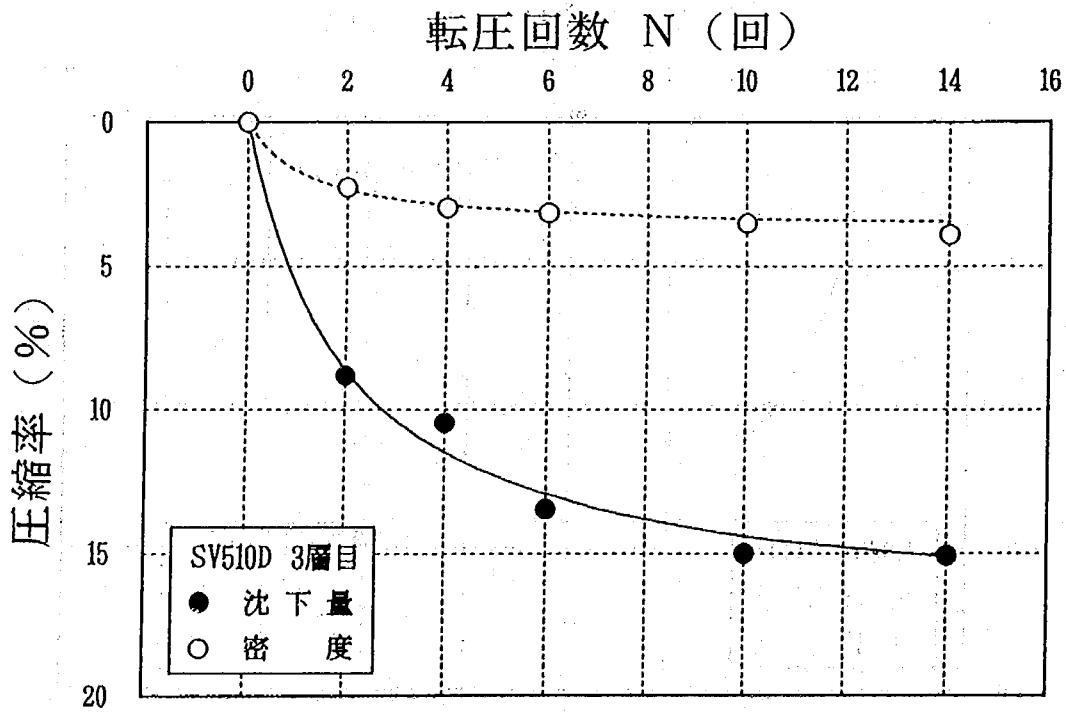
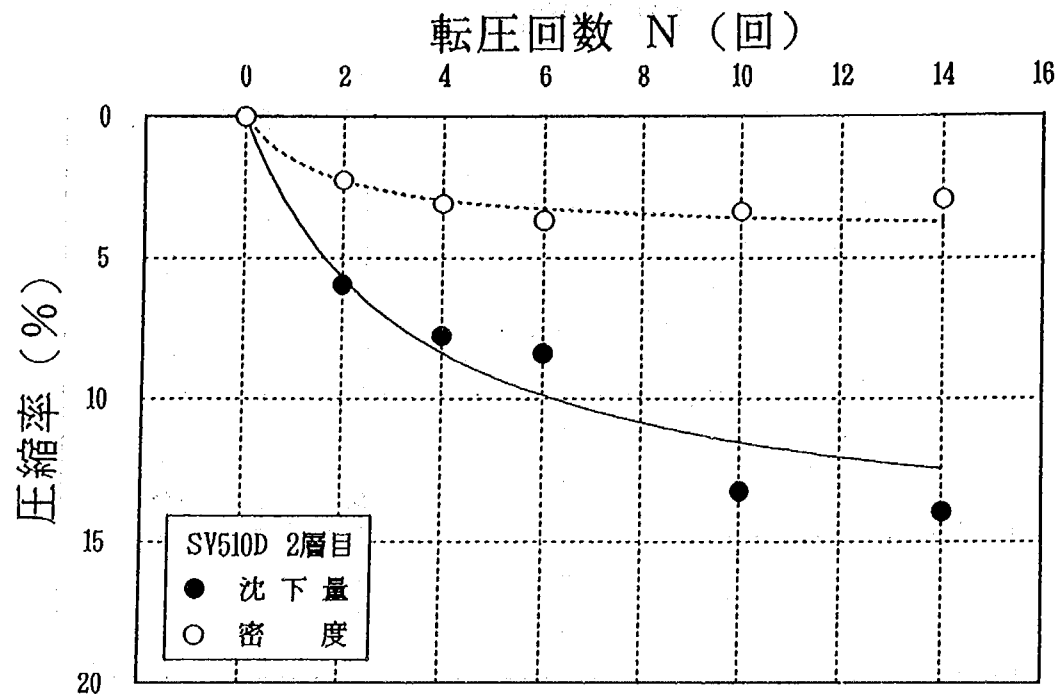
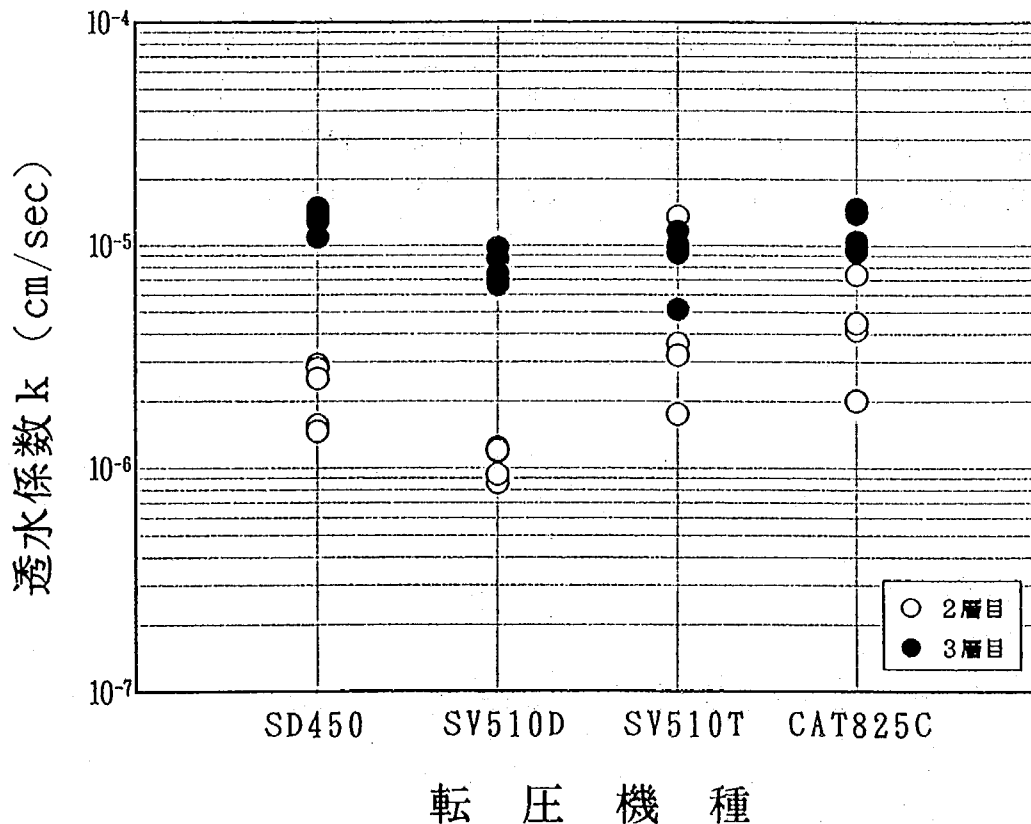


図-7.19 転圧回数と圧縮率との関係 (SV510D)

5) 14回転圧後における透水係数

最終転圧後（N＝14回）に行った現場透水試験の結果を図－7.20に示す。

機種間の差はあまりないが、各機種とも2層目と3層目の試験で明らかな差が出ており、上部層である3層目の透水係数が大きい。その理由を明らかにするため、各ヤードの未転圧部から試料を採取して19mm以上の団粒細粒分（ローム）の含有率を調べた。表－7.12に示すように、2層目と3層目の透水係数の差違は団粒の含有率と関係があると考えられる。混合試験の項ですでに述べたように、団粒が多く残留するということは、ロームとマサ系コア土の混合度合が不十分であることを示している。例えば図－7.21に示す様に、直下層の団粒含有率が大きいときには鉛直方向の透水係数が大きくなり、逆の場合は小さくなることから、このような見方をすれば透水試験の結果は団粒含有率と符合していると考えられる。しかし、一般に現場透水試験では水平方向の透水係数が鉛直方向よりも卓越する（数倍ないし1オーダー程度）といわれており、もし、これが事実なら、表－7.12の結果は透水試験の結果と相反する傾向となる。いずれにしろ、遮水機能の向上を目的とするロームは、もともと混合しにくい性質をもっているため、このような混合土をコアに用いるときには“十分な混合処理を行って、いかに材料のばらつきを少なくするか”ということが、施工上の最も重要な課題になることを今回の試験結果は示している。



図－7.20 現場透水係数（14回転圧後）

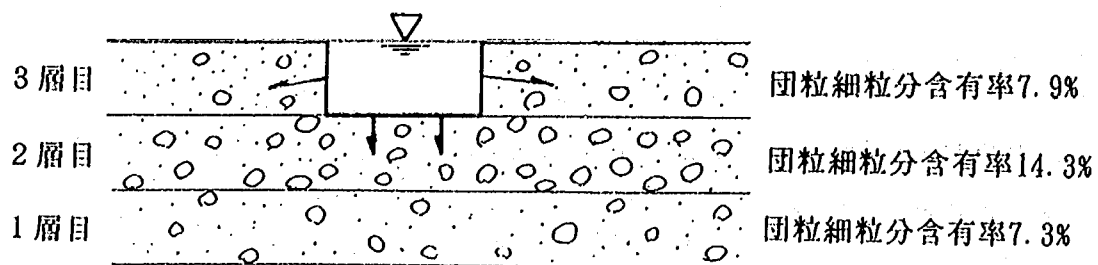


図-7.21 透水係数におよぼす団粒含有率の概念図

表-7.12 団粒細粒分の含有率

採取位置	団粒細粒分含有率 (%)					平均
試験層1層目	8.0	9.0	10.5	7.7	4.5	7.9
試験層2層目	19.2	13.0	12.2	13.8	13.2	14.3
試験層3層目	10.1	5.2	8.2	5.8	7.3	7.3

6) 転圧機械の適性

コア材料の転圧機種としては、振動系とタンピング系（振動タンピングを含む）の両機種が用いられている。どちらがコア材料の締固めにより大きな効果を示すかは、コア材料自身の性質にも依存する。3)で述べたように、まき出しと敷き均しに用いられたブルドーザの事前転圧効果が大きいということもあって、密度増加（締固め）という点からみた場合、今回の試験結果によれば機種間の差はほとんどなかった。機種の選択には単に締固め効果だけでなく、施工性などの要因も重要である。

表-7.13は今回のコア材料に対する各機種の適性を総合的にとりまとめたものである。

いずれの機種を選択するにしろ、材料の混合過程は入念に施工される必要があり、施工品質管理においては、団粒混合率などをチェックして、混合状況を厳しく監視する必要がある。

表-7.13 転圧機械の適性

転圧機種	振 動 系		タ ン ピ ン グ 系	
	SD450	SV510D	SV510T	CAT825C
乾燥密度	(図-7.16, 図-7.17参照)			
透水係数	タンピング系に比べ振動系がやや優れている。(図-7.20)			
転圧効果	振動系2機種間およびタンピング系2機種間には差がないが、振動系とタンピング系との間には差があり、振動系が優れている。			
転圧状況	6回転圧以降ウェーピングが発生	8回転圧以降ウェーピングが発生	8回転圧以降ウェーピングが発生	8回転圧以降ウェーピングが発生
混合効果	—	—	全く認められない。	特に求められない。
施 工 性	両輪が鉄輪のため登坂能力がやや劣る。	駆動輪がタイヤのため直進性に優れ、方向転換も容易。登坂能力も優れている。		機械が大型のため方向転換がやや困難。
降雨時の対策	特に必要としない。		転圧後、振動ローラーによる仕上げ転圧が必要。	
施工能率	速 度 3 km/h 締固め幅 1.85m			速度 4 km/h 締固め幅 5.35/3=1.78m

7.6 本試験

本試験は最適含水比材料とこれより湿潤側の加水材料の2種類のコア材料について密度および透水性を検討した。予備試験から締固め機種を振動ローラー（SD450およびSV510D）に限定して従来の分離ヤード方式の盛立試験を行った。

なお、本試験では締固め密度および透水係数の確認を行うとともに、すべての礫分を含んだ全粒径物性値（密度および含水比）と締固め管理試験の対象となる19mm以下の細粒分物性値との関係やこれらの分布状況等について調べた。

7.6.1. 試験条件および試験方法

以下の各図表に本試験の試験条件と試験方法の詳細を示す（表-7.14、表-7.15、図-7.22、図-7.23、図-7.24、図-7.25）。

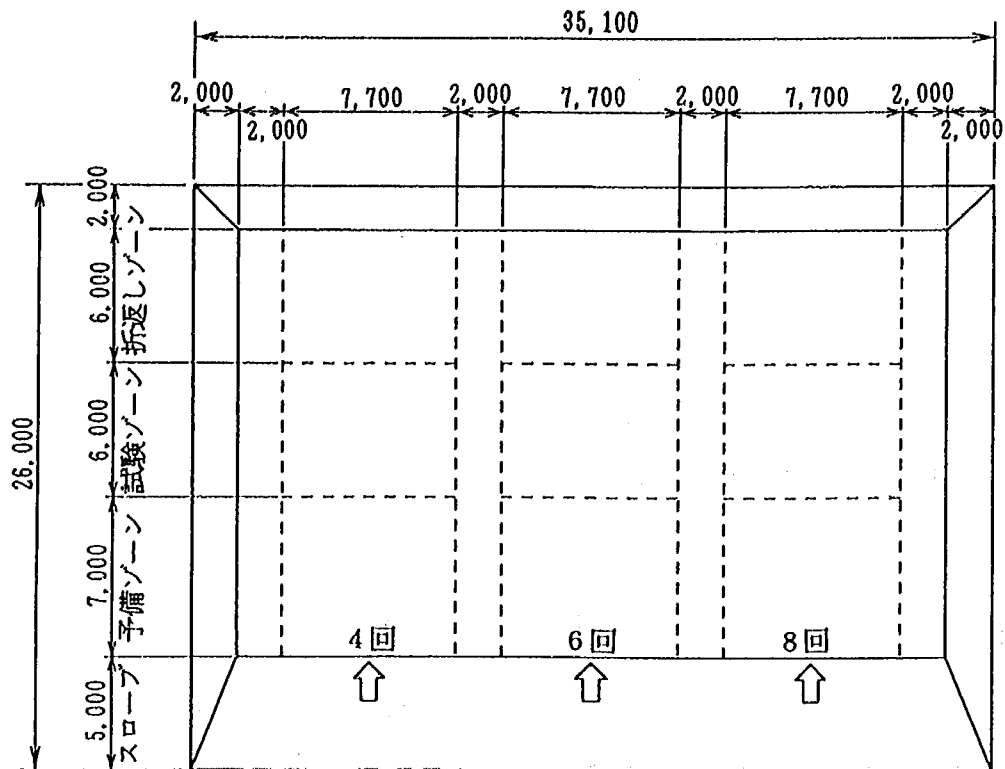
(1) 最適含水比材料の試験

表-7.14 試験条件（最適含水比条件）

試験要因	水準数	摘 要
① 転圧機種	2機種	SD450、SV510D
② 転圧回数	3種	N=4、6、8回
③ 仕上り厚	1種	H=20cm
④ 含水比	1種	最適含水比（仮置材）
⑤ 転圧層数	11層	基層1層（20cm×1）+試験層4層（20cm×4）；SV510D 基層2層（20cm×2）+試験層4層（20cm×4）；SD450
⑥ 混合方法	1種	ロータリーティラーにより3回以上の強制攪拌 （団粒混合率7%以下）

表-7.15 計測項目と数量（最適含水比材料）

試験項目	基本仕様		測点数	総点数
密度 含水比	標準型表面型RI ・測定深さ20cm ・1測点4方向1分測定2回		5点 （転圧前・後）	120
	砂置換法 ・φ250×h200		5点 （転圧後）	60
現場透水試験	変水位法（砂置換孔を利用）		5点	60
粒 度	ふるい分け	転圧前（まき出し試料） （6ヤード×1試料）	6試料	66
		転圧後（置換試料） （6ヤード×5試料）	5試料	
含 水 量	19mm以上 19mm以下	転圧後（置換試料） （6ヤード×5試料）	5試料	30
団粒含有率 試 験	7.4.2 の a. 参照		3試料	36



注) ヤードはSD450とSV510Dの2ヤード造成

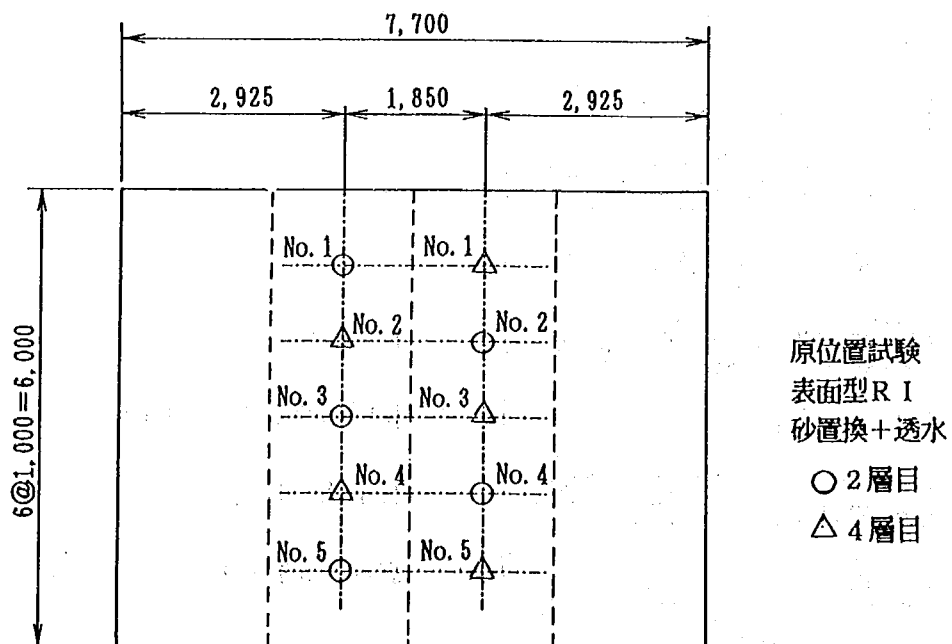


図-7.22 本試験ヤードの構成と計測位置 (最適含水比材料)

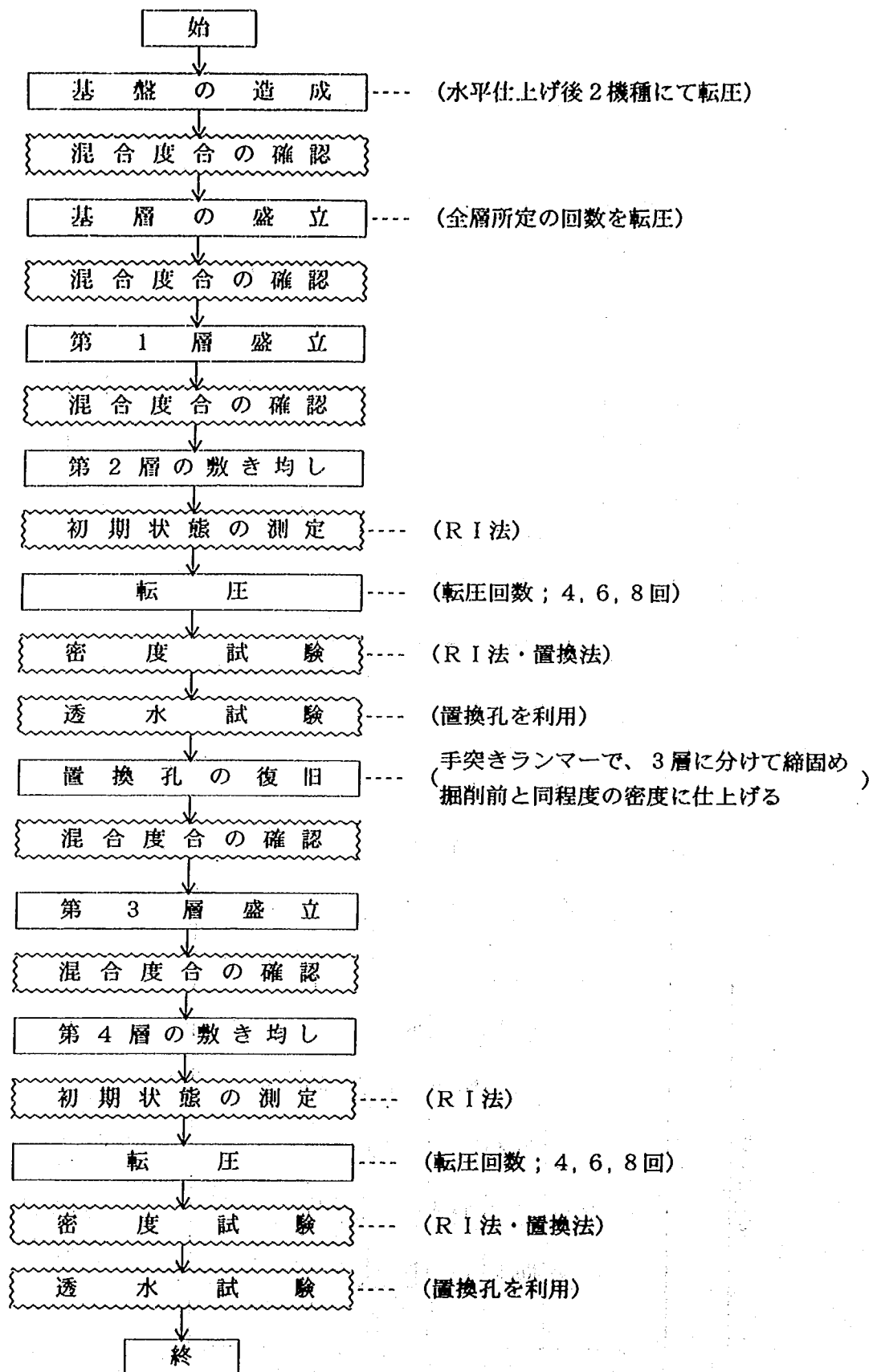


図-7.23 試験の手順 (最適含水比材料)

(2) 加水材料の試験

表-7.16 試験条件（加水材料）

試験要因	水準数	摘 要
①転圧機種	1機種	S V 5 1 0 D
②転圧回数	3種	N = 4, 6, 8回
③仕上り厚	1種	H = 20cm
④含水比	1種	最適含水比 + 3% (注1)
⑤転圧層数	6層	基層2層 (H20cm × 2層) + 試験層4層 (H20cm × 4層)
⑥混合方法	1種	(最適含水比材料の試験に同じ)

注1) 加水方法・11tダンプトラックで求積し、R I 密度計を用いて密度含水比測定

- ・上記より算出した必要加水量を加水ヤードにて散水
- ・所定量ストックしたのち、シートにて1週間以上養生

表-7.17 計測項目と数量（加水材料）

試験項目	基 本 仕 様		測点数	総点数
密 度 含 水 比	標準型表面型 R I ・測定深さ20cm ・1測点4方向1分測定2回		5点 (転圧前・後)	60
	砂置換法 ・ $\phi 250 \times h 200$		5点 (転圧後)	30
現場透水試験	変水位法（砂置換孔を利用）		5点	30
粒 度	ふるい分け	転圧前（まき出し試料） （3ヤード×1試料）	3試料	36
		転圧後（置換試料） （3ヤード×5試料）	5試料	
含 水 量	19mm以上 19mm以下	転圧後（置換試料） （3ヤード×5試料）	5試料	15
団粒含有率 試 験	7.4.2 の a. 参照		3試料	18

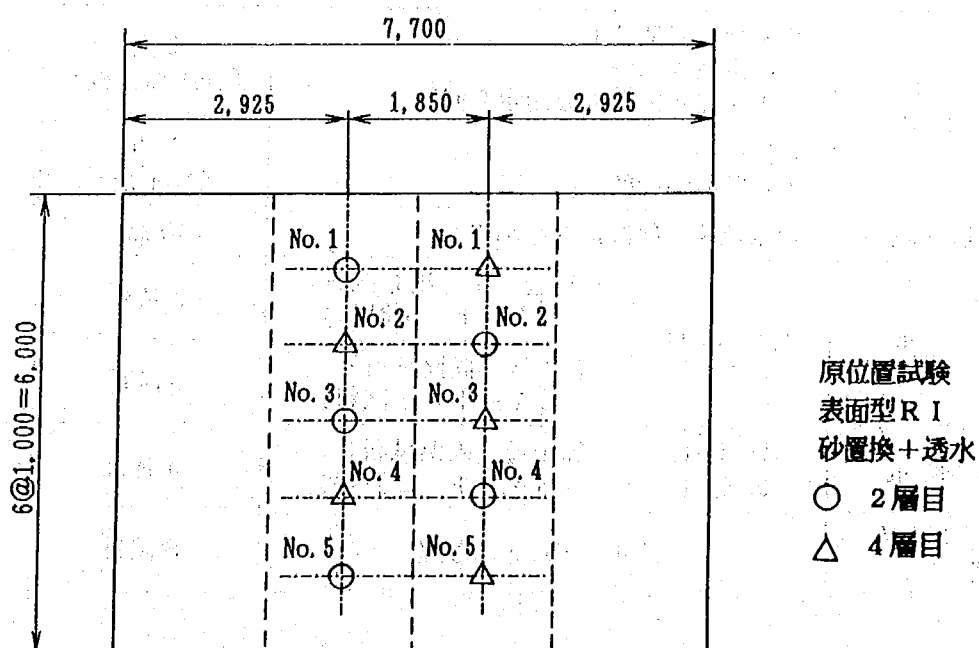
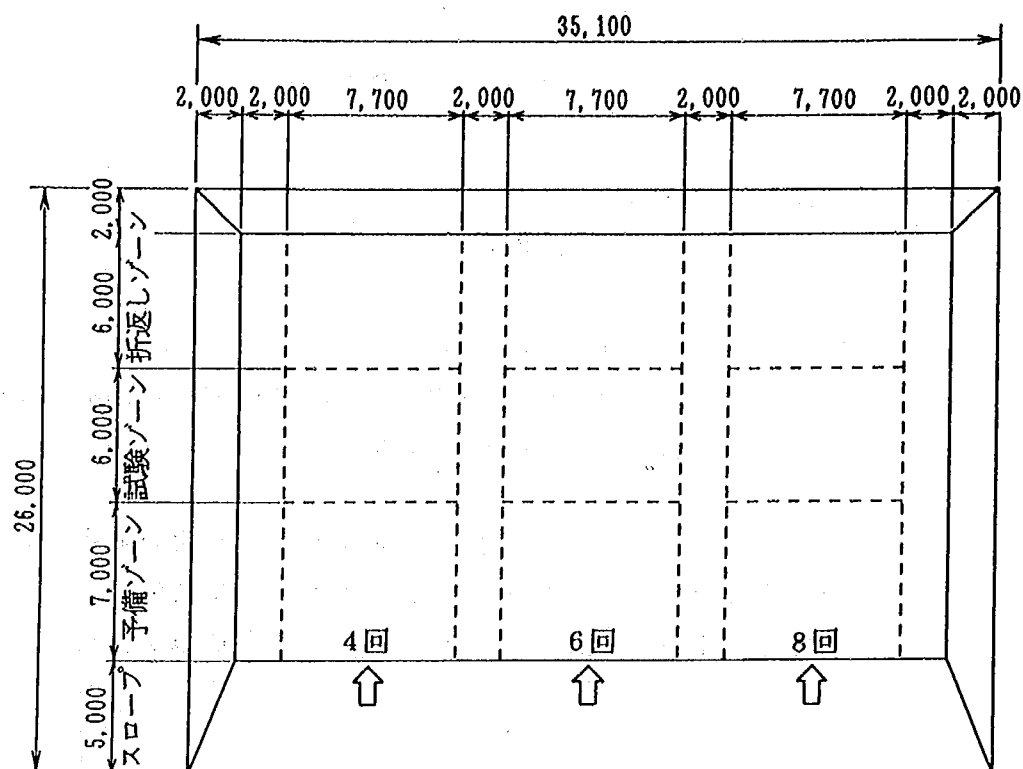


図-7.24 本試験のヤード構成と計測位置 (加水材料)

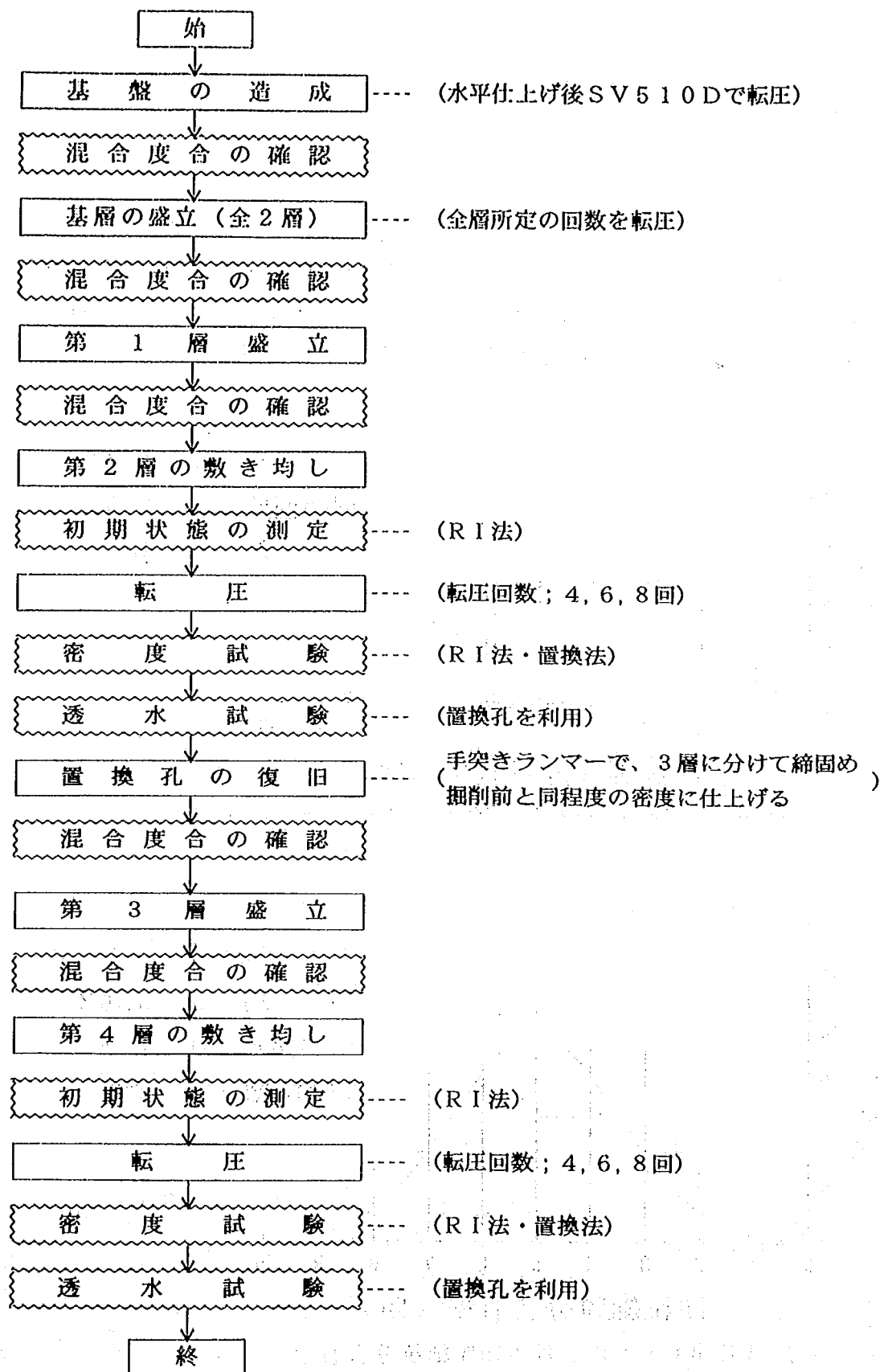


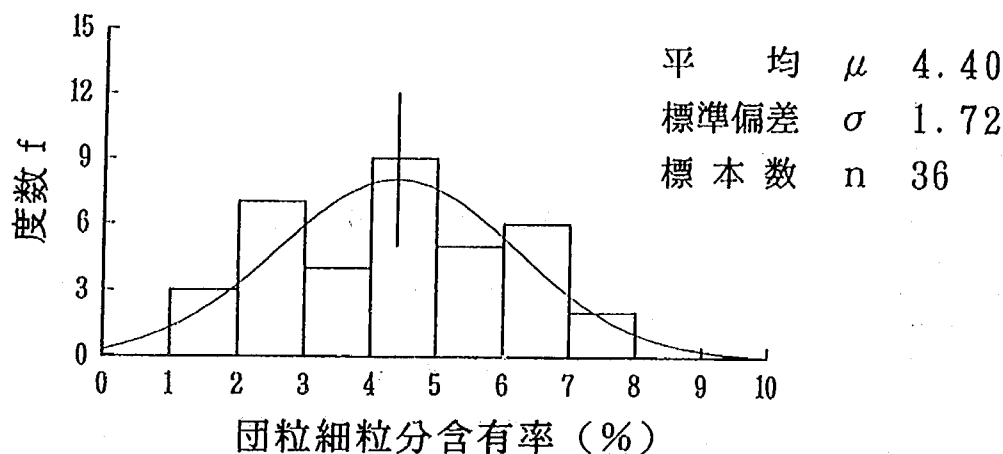
図-7.25 試験の手順 (加水材料)

7.6.2 試験結果

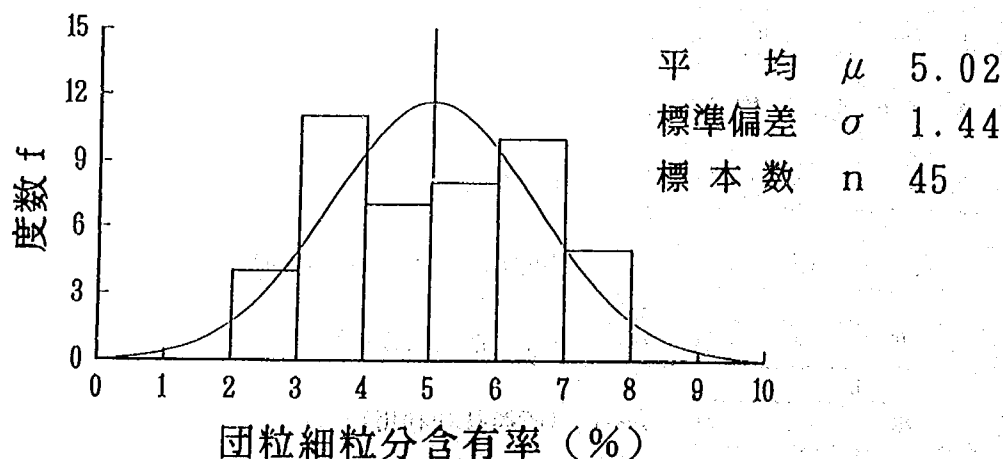
本試験における盛土面の転圧状況は、予備試験の対応する機種および転圧回数時の場合と変わらないのでここでは割愛する。

(1) 団粒細粒分含有率

コア材料の転圧後の品質（特に透水係数）を大きく左右すると考えられる団粒含有率の分布を図-7.26に示す。団粒含有率は1～8(%)の範囲に分布しており、予備試験の結果をもとに、本試験のために定めた管理基準（ロータリーティラーによる強制攪拌を3回行ったときの19mm以上の団粒含有率の許容限界を7%とした）に対する不合格率は約9(%)であった。



a) SD450ヤードにおける団粒細粒分含有率



b) SY510Dヤードにおける団粒細粒分含有率

図-7.26 団粒細粒分含有率の分布

(2) 転圧回数と乾燥密度との関係

図-7.27に転圧回数と全粒径の乾燥密度との関係を示す。転圧回数の違いによる密度の差はほとんどなく、予備試験の結果とほぼ同じ結果が得られている。

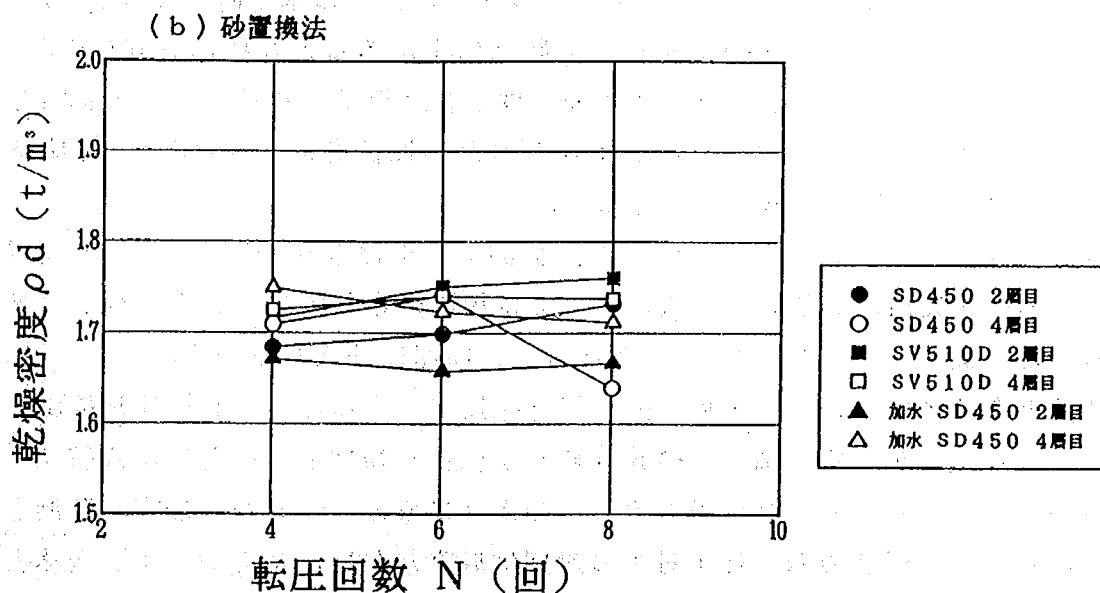
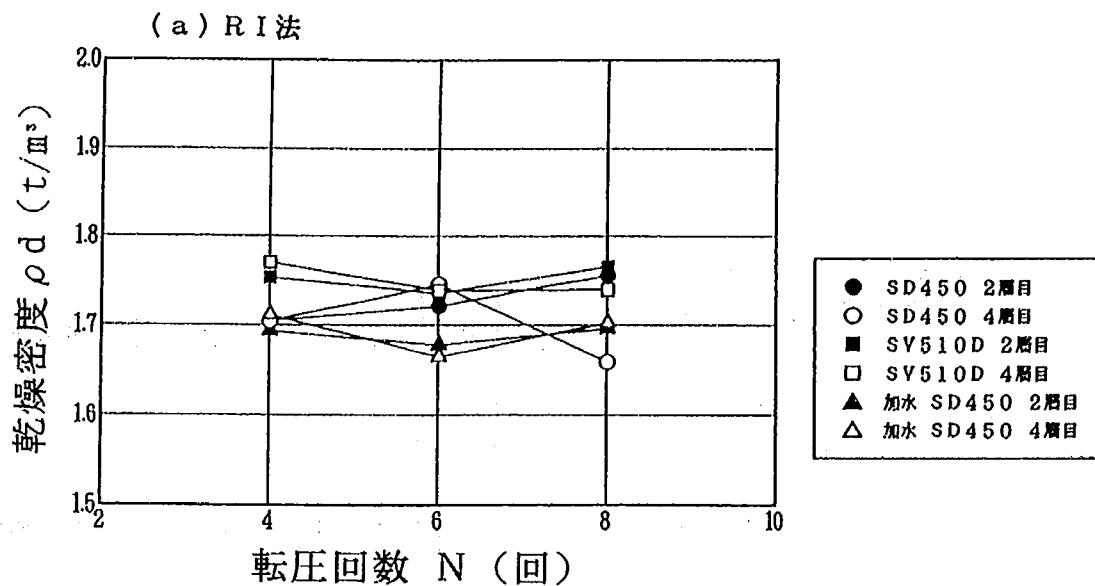


図-7.27 転圧回数と乾燥密度との関係

(3) 細粒分(19mm以下)の物性 ($\omega \sim \rho_d$ 関係)

細粒分と全粒径の物性値(乾燥密度および含水比)との間には次の関係があり、一方が分れば他方は計算によって求めることができる。

$$\frac{1}{\rho_{dT}} = \frac{(1-P)}{\rho_{ds}} + \frac{P}{\rho_{dP}} \quad \text{-----} \quad (7.2)$$

$$\omega_T = (1-P) \times \omega_s + P \times \omega_P \quad \text{-----} \quad (7.3)$$

P : 礫率

ρ_{dT} : 全粒径での乾燥密度

ρ_{ds} : 境界粒径以下(細粒分)の乾燥密度

ρ_{dP} : 境界粒径以上(礫分)の乾燥密度(19mm以上の絶乾比重を使用)

ω_T : 全粒径での含水比

ω_s : 細粒分の含水比

ω_P : 礫分の含水比(19mm以上の吸水率を使用)

置換法の場合は全粒径の湿潤密度 ρ_{iT} 、 ω_s 、 ω_P および P が実測値であり、他の物性値は上式から計算で求められた値である。

一方、RI 密度計の場合は ρ_{iT} 、 ω_T しか実測値として得られず、また礫率 P が測定できないので、まず ω_s (これは炉乾燥法による実測値を用いる) を(7.3)式に代入して、礫率を逆算によって推定する。これを等価礫率 P' と呼ぶことにする。RI 密度計による細粒分乾燥密度は、この等価礫率 P' を用いて計算する必要がある。 P' と P とは一般に異っているが、これは RI 密度計の測定領域が置換法の掘削領域と同じではないからである。したがって、RI 密度計を用いて細粒分の物性値を求めるときには各測点において ω_s の値を別途実測する必要がある(礫分の乾燥密度と含水比は、比重・吸水率試験を行ってあらかじめ求めておく)。このようにして得られた物性値を $\rho_d \sim \omega$ 図上で全粒径と細粒分について比較すると図-7.28 のようになる。

SD 450 の 2 層目のデータを除くと、実測データは全粒径および細粒分ともに、 $S_r = 60 \sim 80\%$ の範囲内に等飽和度曲線に沿って帯状に分布していることが分る。また、細粒分含水比は、概略 $\omega_s = 13 \sim 22(\%)$ のかなり広い範囲に分散している。

細粒分と全粒径について物性値の分布状況を比べてみると、両者は非常によく似た傾向を示していることが分る。細粒分の物性値と全粒径の物性値との間には式(7.2~3)の関係があるから、一見するとこれは当然のことにように考えられるが、礫率が各測点ごとに変動しているので、両者の間には 1 対 1 の対応は成立たない。にも拘らず、全体として(あるいは統計的にみた場合)物性値の分布に高度の類似性が認められる点は注目すべき特徴である。すなわち、統計的な観点にたてば、“細粒分の物性を管理するということは、全粒径の物性を管理することと等価である”という可能性を示唆するものと考えられる。

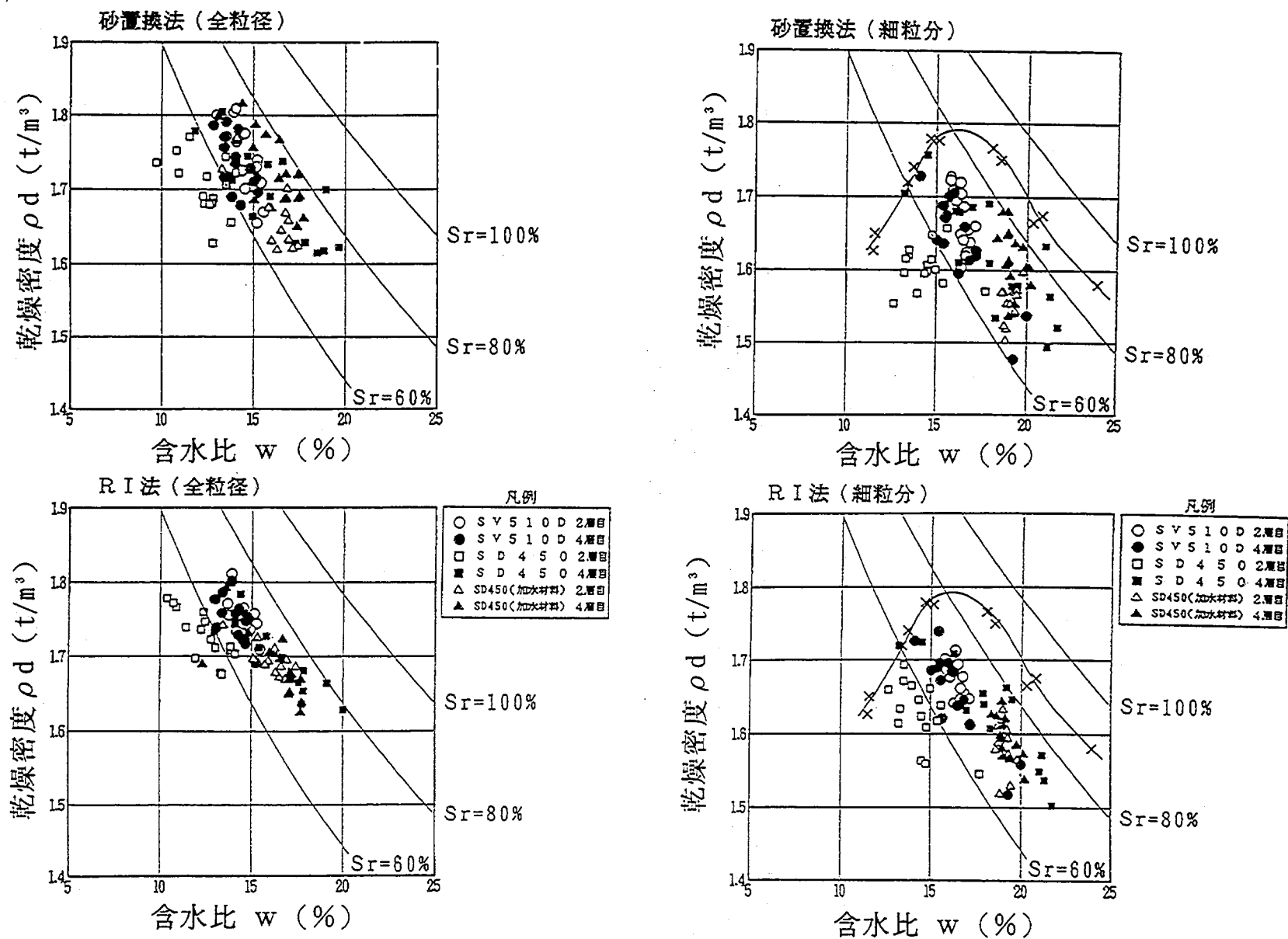


図-7.28 全粒径と細粒分の物性値の比較

(4) 透水係数

現場透水試験の結果を図-7.29に示す。転圧回数の違いによる透水係数の差は認められない。図からは機種による差があるように見えるが、層間の差違も含めて考えると、みかけ上の透水係数の差は機種によるというよりも、各ヤード間の粒度分布や団粒細粒分含有率のばらつきによって生じたものとみるのが妥当と考えられる。薄層削り出しにより土取場で集土し、これをまき出し、転圧前に再度3回ロータリーティラーによって強制的に攪拌するという混合方法を採用することによって、現場透水係数は 10^{-6} cm/secオーダーの値が確保されることが示された。

図-7.30は現場透水係数と物性値との関係を全粒径および細粒分について図示したものである。透水係数は乾燥密度に対しては無相関であるが、含水比に対してはゆるやかな相関が認められる。すなわち、含水比が高くなるにつれて透水係数が低下する傾向を読みとることができる。しかし、透水係数のばらつきが大きいため、両者の単相関はそれほど強いとはいえない。

なお、前項で述べた、 $\rho_d \sim \omega$ 関係における全粒径レベルと細粒分レベルの類似性は、透水係数と乾燥密度および含水比との関係においても明らかである。したがって、図-7.30は目的とする品質が透水係数であっても、これを管理する対象は細粒分の物性である必要はなく、全粒径レベルの物性を用いても等価な管理が可能であることを示唆している。

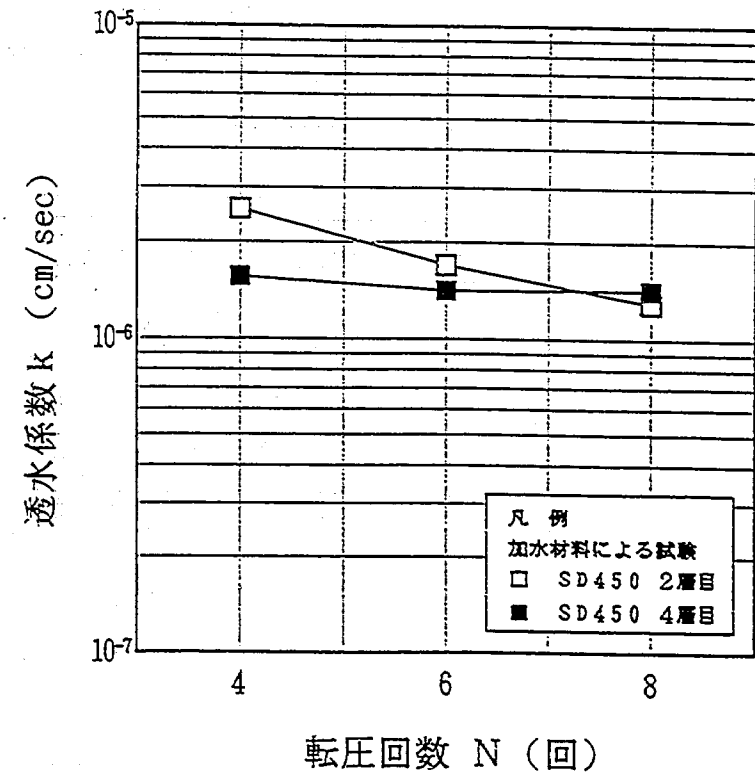
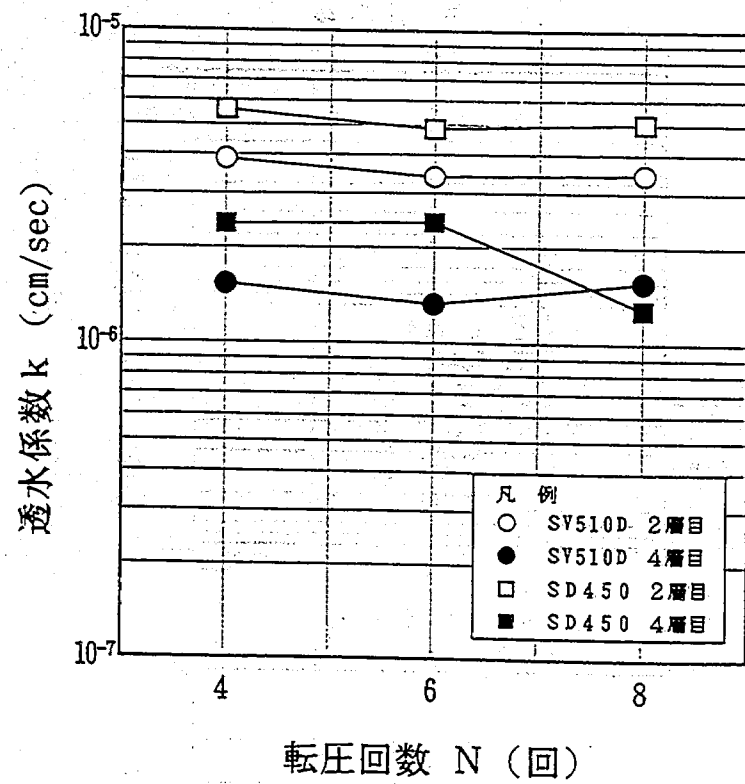


図-7.29 転圧回数と透水係数との関係

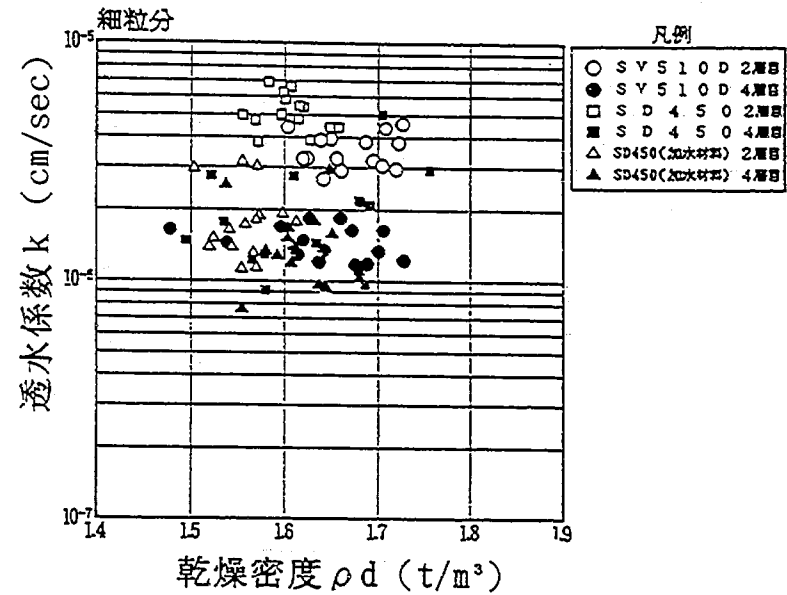
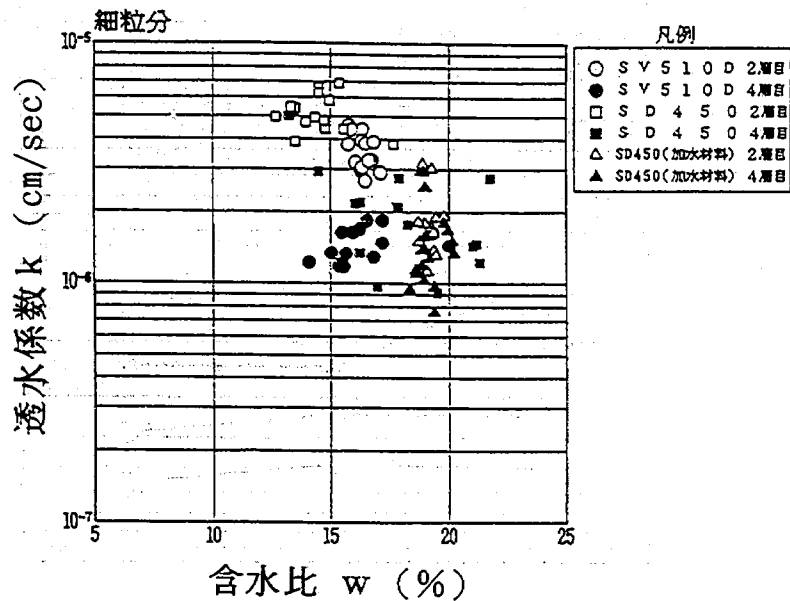
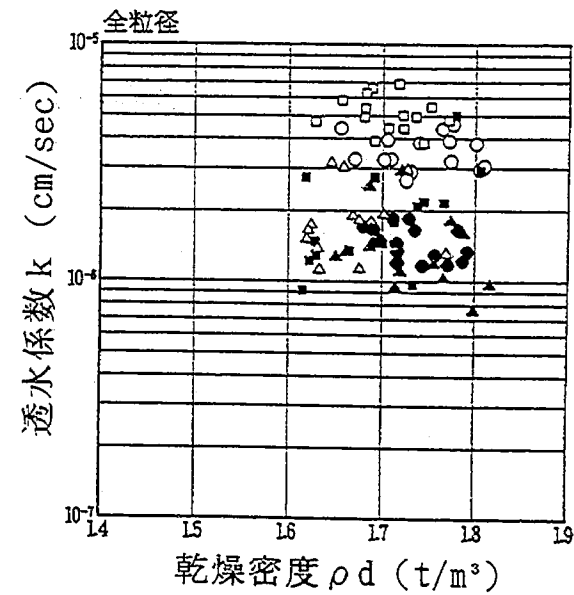
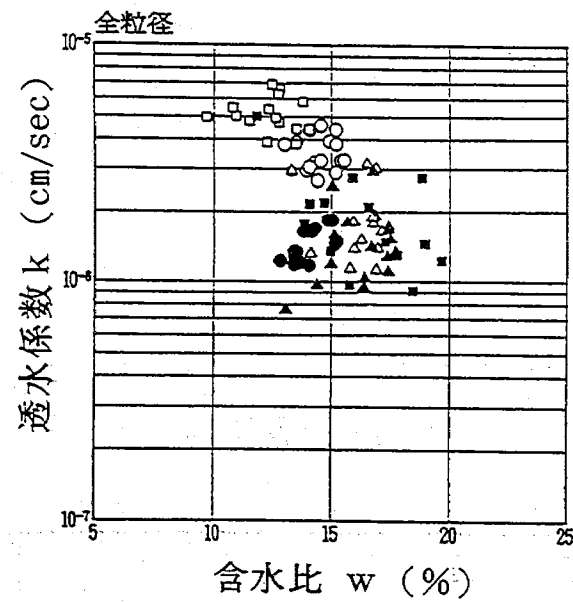


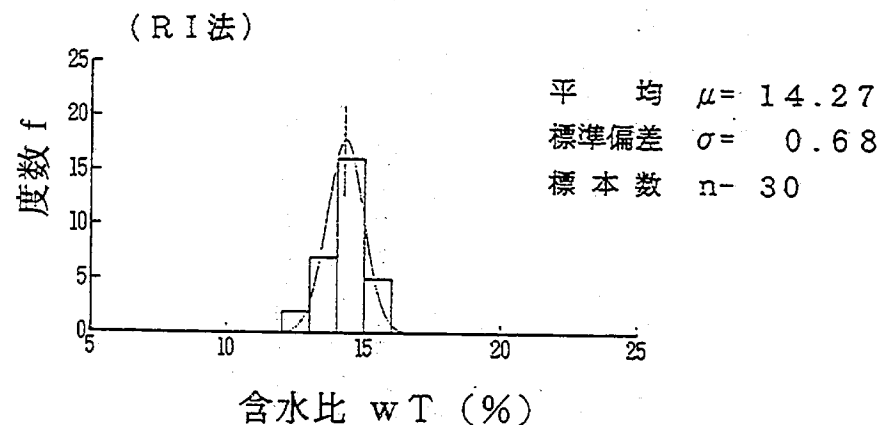
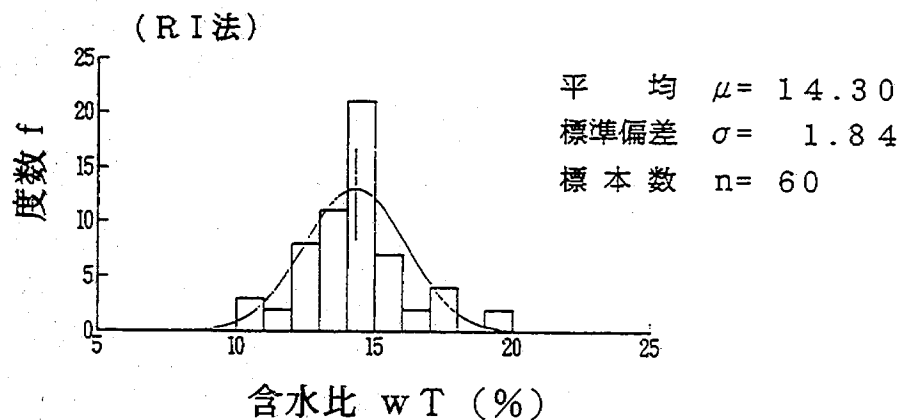
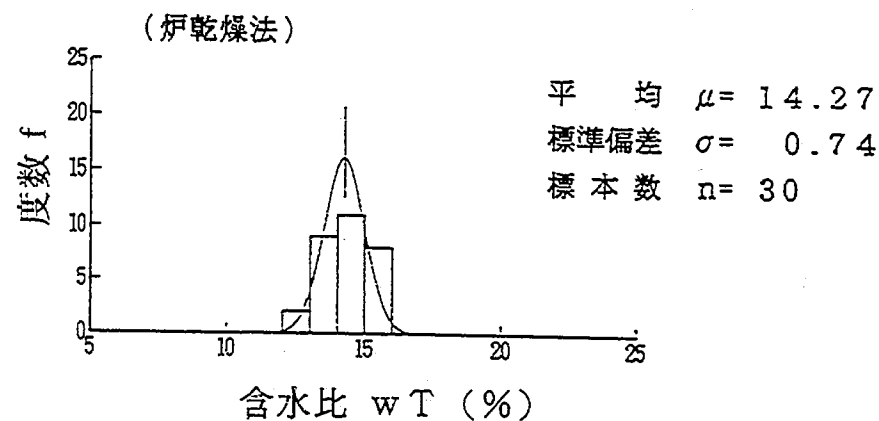
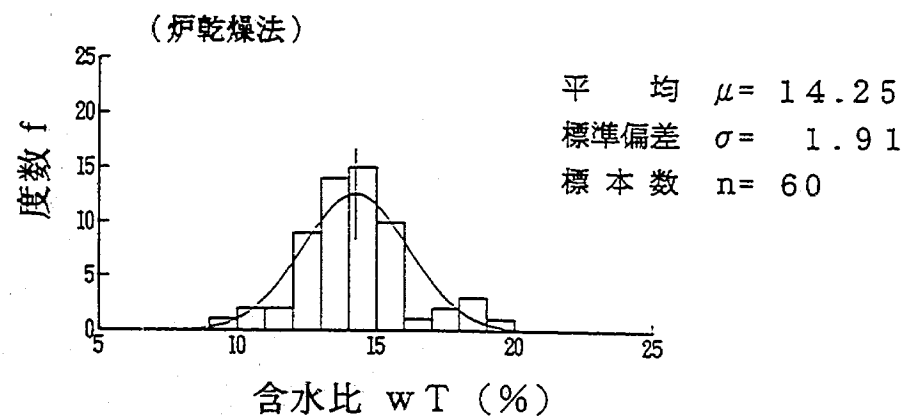
図-7.30 全粒径と細粒分の比較 ($k \sim \omega \sim \rho_d$ 関係)
(注: 乾燥密度と含水比は置換法と炉乾燥法による)

(5) 物性値の分布

図-7.27に示したように、本試験での転圧効果をみると、乾燥密度は転圧回数 ($N = 4, 6, 8$ 回) でほとんど差はなく、転圧機種間の差も明らかではない。そこで本試験の結果にみられるヤード間の密度の差やヤード内のばらつきが主として含水比や粒度の場所的なばらつきに起因しているものと考え、各試験条件 (転圧機種と転圧回数) のデータを総合して、物性値の分布状況をヒストグラムにとりまとめた。

1) 密度および含水比

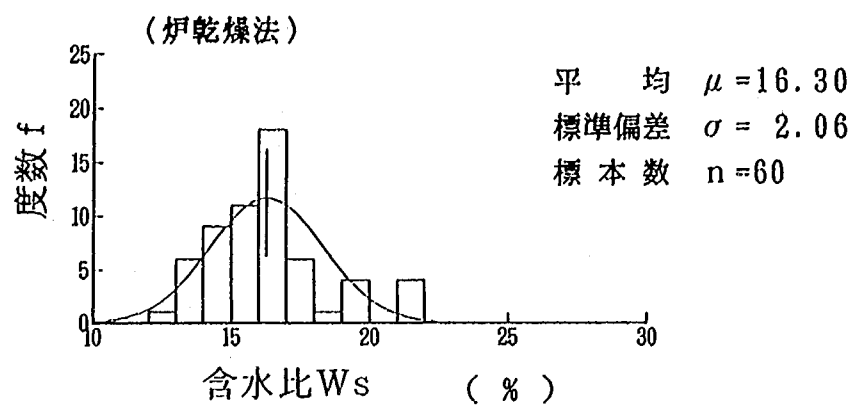
19mmを境にして細粒分と礫分とに分け、両者を合成した全粒径材料の3つの粒度について、それぞれの含水比と乾燥密度のヒストグラムを図-7.31～図-7.36に示す。加水材料は自然含水比材料と異なる母集団を形成すると考えられるので両者を区別した。ヒストグラムとあわせて図中に記しているそれぞれの平均値と標準偏差をもつ正規分布曲線を示した。ヒストグラムと正規分布曲線の比較から、密度と含水比の分布はおよそ正規分布で近似できるものと考えられる。



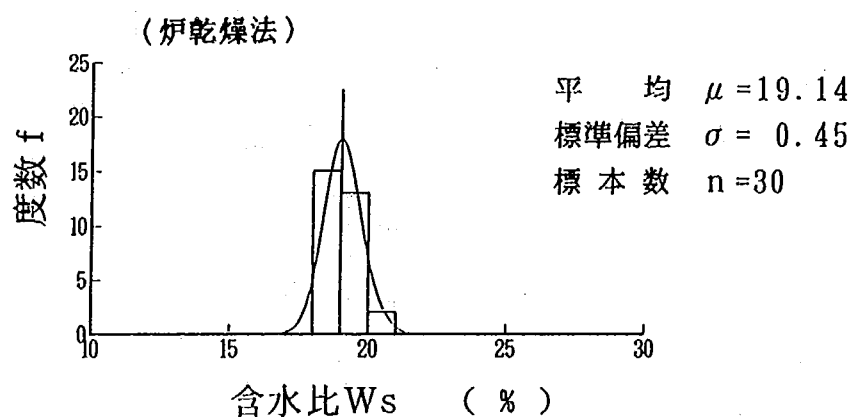
(a) 最適含水比材料

(b) 加水材料

図-7.31 全粒径含水比の分布

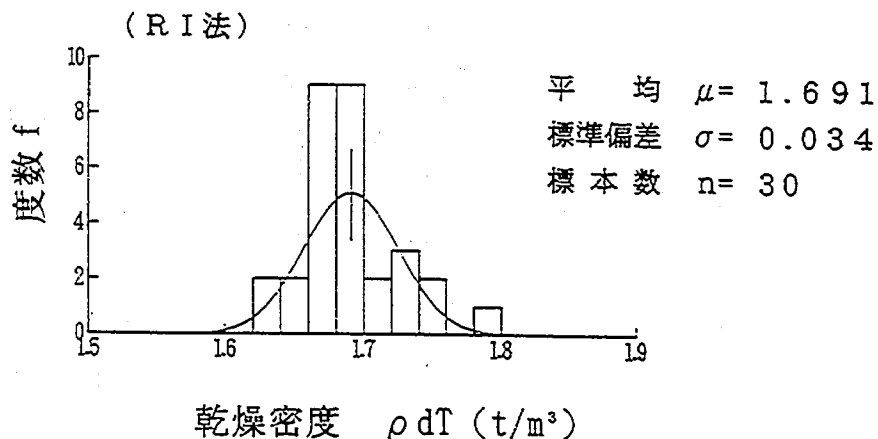
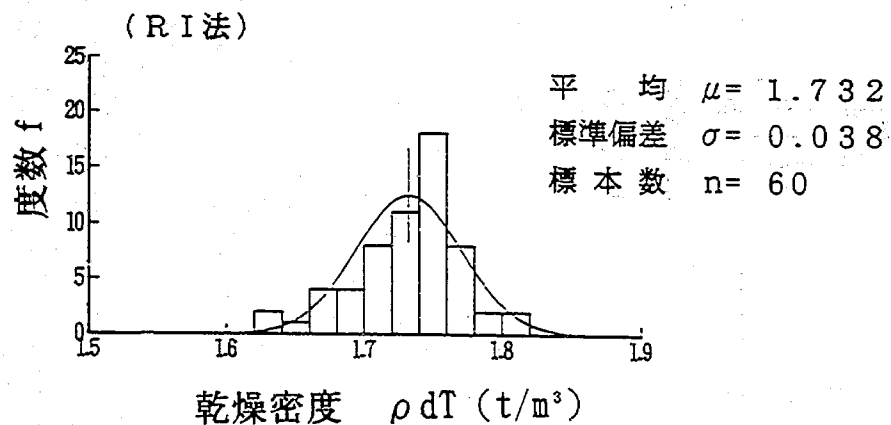
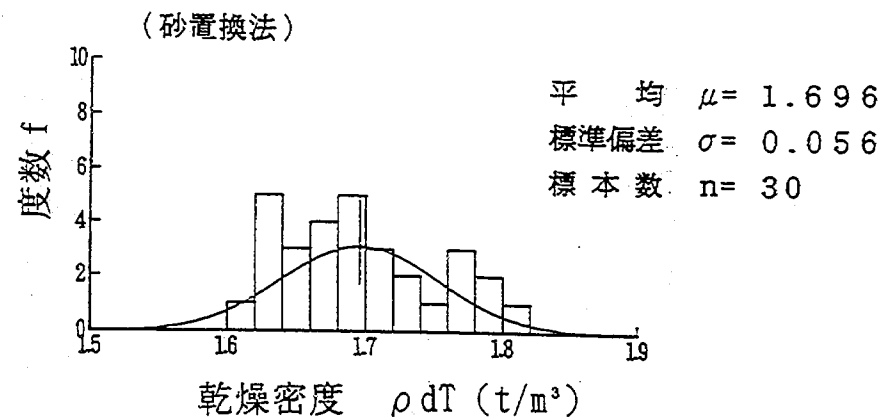
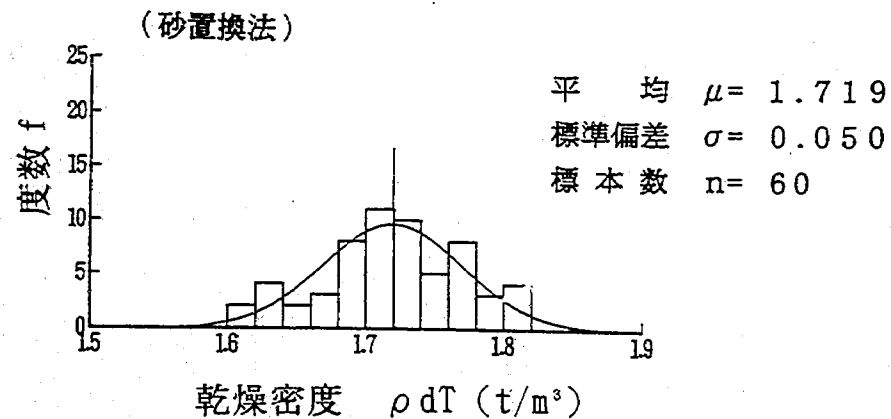


(a) 最適含水比材料



(b) 加水材料

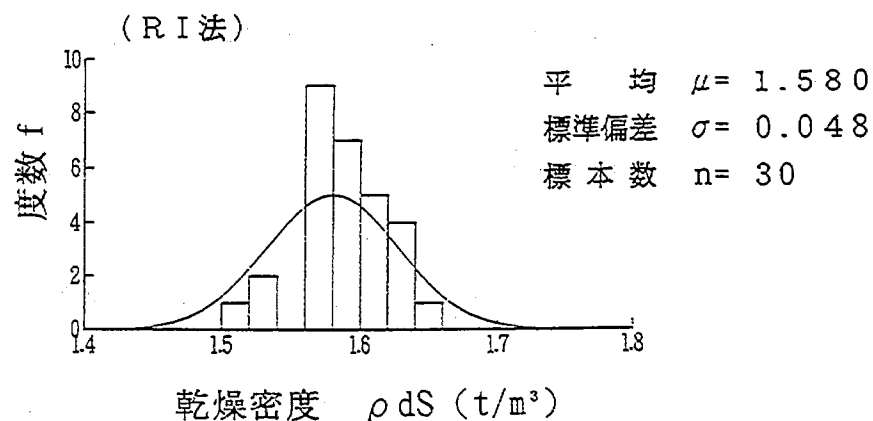
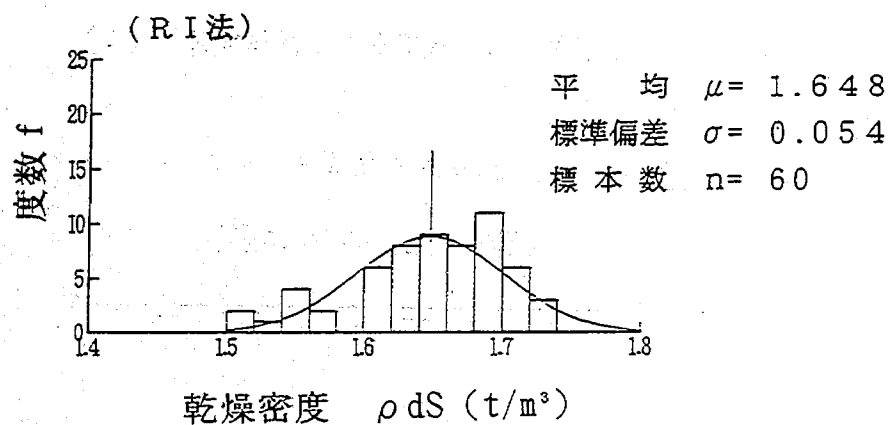
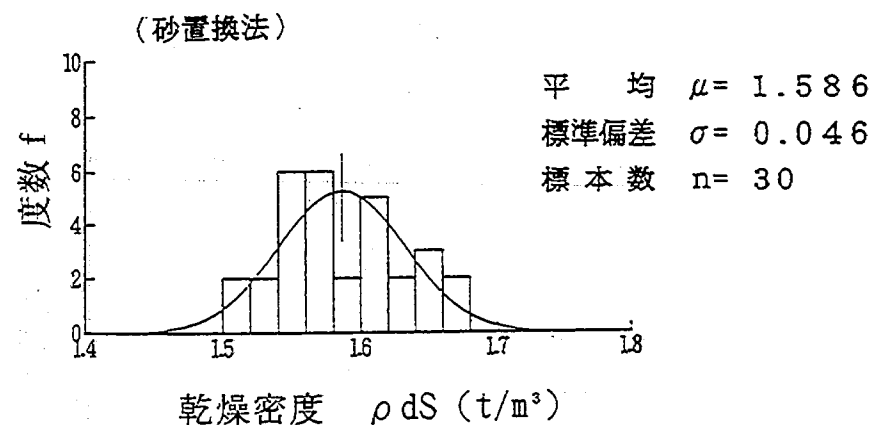
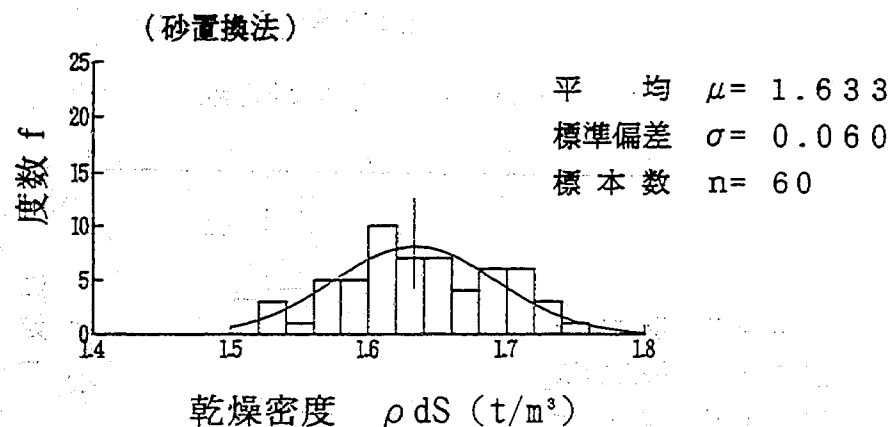
図-7.32 細粒分含水比の分布



(a) 最適含水比材料

(b) 加水材料

図-7.33 全粒径乾燥密度の分布

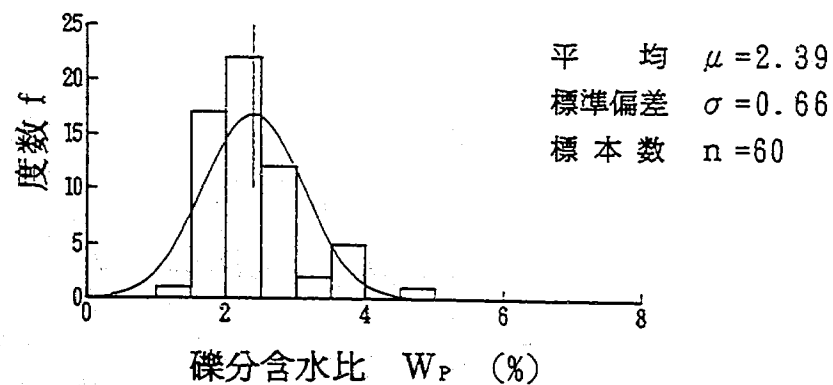


(a) 最適含水比材料

(b) 加水材料

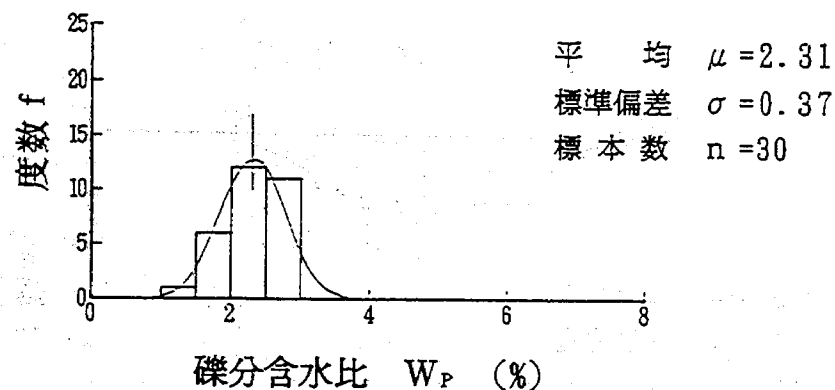
図-7.34 細粒分乾燥密度の分布

(a) 本試験 SD450, SV510D



(a) 自然含水比材料

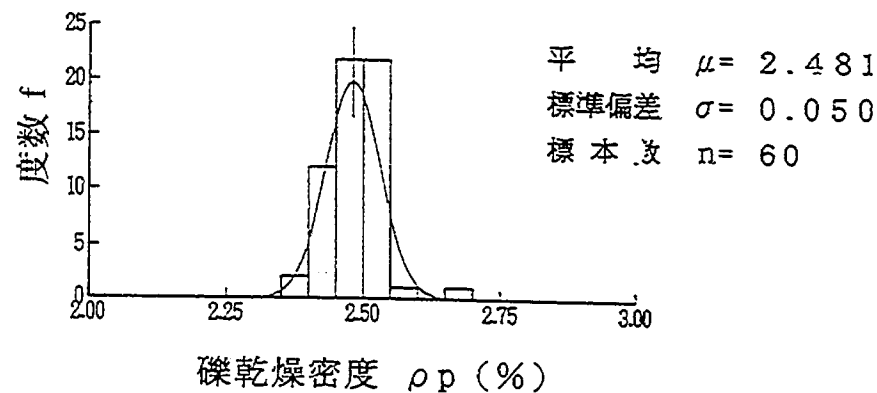
(b) 加水材料による試験 SD450



(b) 加水材料

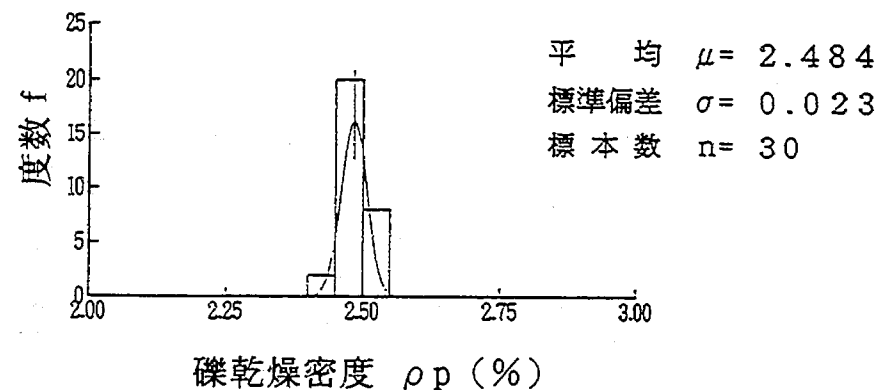
図-7.35 礫分含水比の分布

(a) 本試験 SD450, SV510D



(a) 自然含水比材料

(b) 加水材料による試験 SD450

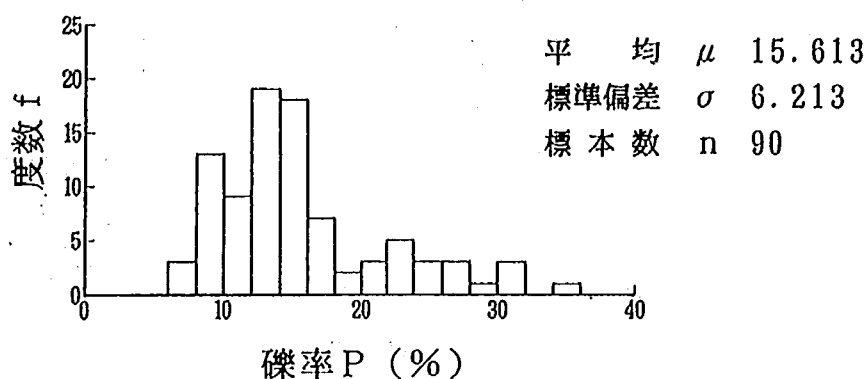


(b) 加水材料

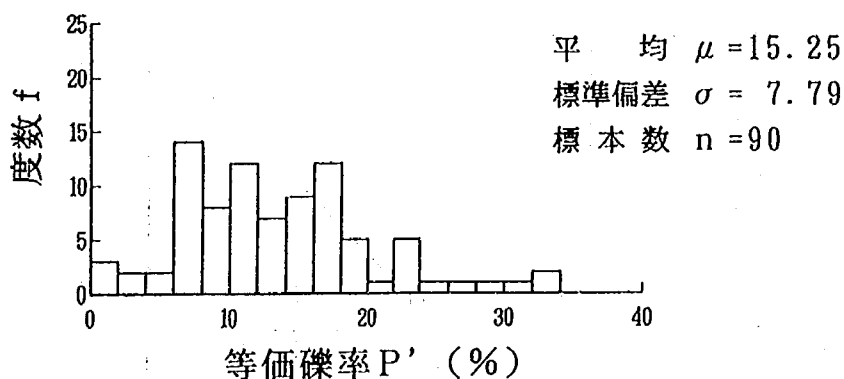
図-7.36 礫分乾燥密度の分布

2) 礫率

実測された礫率 P と等価礫率 P' の分布を図-7.37に示す。礫率の場合は正規分布で近似するのは無理なようである。両者の平均値はほぼ等しいが、標準偏差は P' の方が多少大きく、分布の形状にも少し差がみられる。 P と P' の相関を示すと図-7.38のようになる。各測点ごとについてみれば両者の相関は強いとはいえないが、ヤードの平均値はほぼ 1 対 1 の対応を示している。



(a) 実測礫率

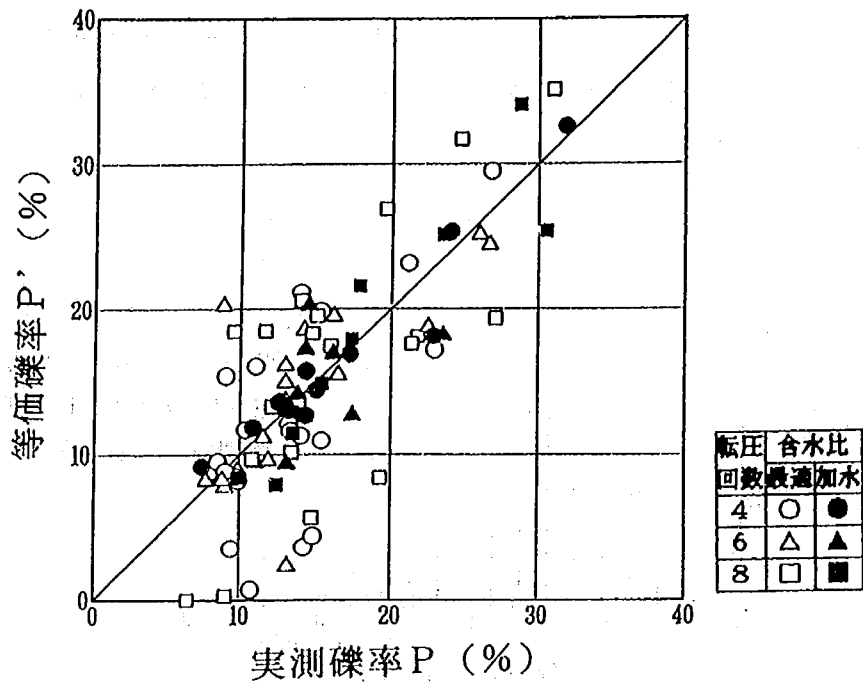


コア材（本試験および加水材料による試験）

(b) 等価礫率

図-7.37 礫率の分布

(a) 各測点での比較



(b) ヤード平均値の比較

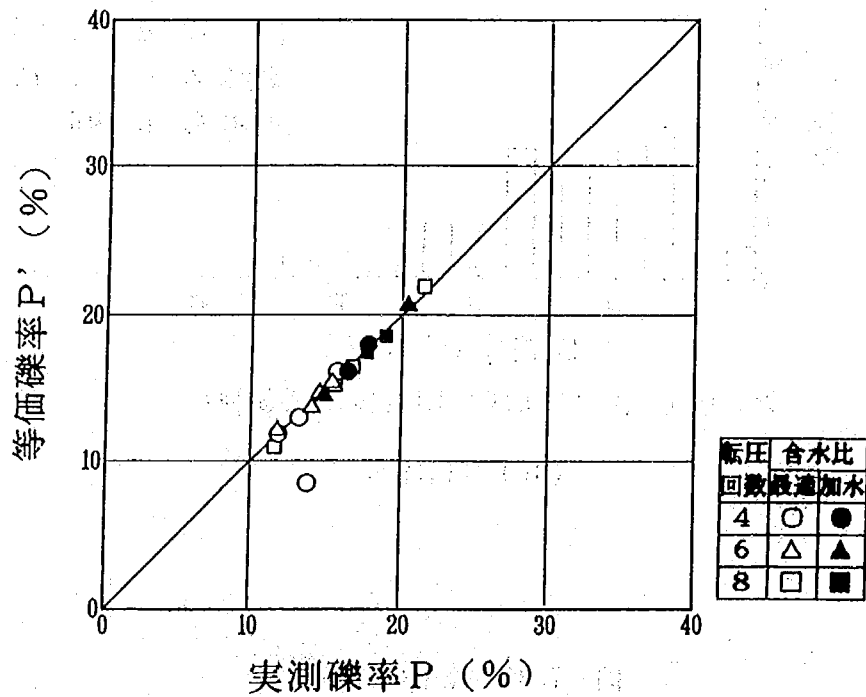


図-7.38 礫率の相関

8 まとめと今後の課題

8.1 まとめ

今回のフィルダム材料の盛立試験においてR I密度計を用い各種材料の現場締固め特性を把握し、主に次のような結論を得た。

(1) 盛立試験材料の粒径分布のばらつき

今回の盛立試験に用いたロック、フィルター、コア材料の粒度分布は一定の幅を有しており、ロック、フィルター材料の4.75mm通過率はロック材料で約5~23%、フィルター材料で約15~60%であった。一方、コア材料の0.075mm通過率は約15~25%であった。

(2) R I密度計を用いた締固め度の評価法の特徴

- 1) 盛立試験で最も重要な測定項目である密度測定においては、R I密度計（大型表面型R I密度計、フレーム型R I密度計）を用いることによって短時間にくり返し測定が可能となり多点数の密度測定が行えるようになった。これより密度のばらつきを定量的に評価できることがわかった。
- 2) 転圧効果の評価においては初期密度測定が重要であり、R I法によってこれが可能となった。
- 3) 転圧回数と乾燥密度の関係は双曲線で近似式することができ、実験定数の値から転圧効率および密度増分を評価できる。ただし、実験定数は初期密度および粒度の影響を受けるので、締固め機種の違いやまき出し厚さの影響を評価するためには固定ヤード方式の試験を2~3回くり返す必要がある。
- 4) フレーム型R I密度計を用いてまき出し層内の密度分布が定量的に把握され、まき出し上部の密度が大きく、下部が小さくなる傾向となることがわかった。また、転圧時の盛土内部の動土圧および加速度を計測した結果、まき出し上部において大きい加速度、動土圧が得られ、下部にいくと直線的に減少していくことがわかった。この結果は密度分布に影響していると考えられる。
- 5) 沈下量から転圧効果を評価するときには、1回または2回の転圧を終えた状態を起点としてそれ以降の沈下量を比較する方がよいと考えられる。ロック材料、フィルター材料では沈下量から計算される圧縮率と密度の増分から求める転圧層の圧縮率との相関性は高い。すなわち、転圧による締固めはほぼ一次元圧縮現象とみなせると考えられる。

(3) ロック材料、フィルター材料における締固め機種の比較

ロック材料で起振力の異なる3種類の振動ローラを用いて転圧密度の大きさについて比較したが、まき出し厚さ1.0m、1.5mとも機種間のちがいはなかった。フィルター材料でも同様の傾向が得られた。

(4) まさ土とロームの混合においては、まさ土とロームをサンドイッチ状に配置しブルドーザーによる薄く削りだした土では混合が不十分で、ロータリーティラーによる強制混合法が材料の均質化に有効である。

(5) まさ土とロームの混合においてロームがまさ土に均質に混合せず団子状の塊となって残留する団粒の含有率は、透水係数に大きく影響する。

(6) 今回のコア材料（まさ土とロームの混合）においては、仕上がり厚さは20cmであるが、振動系のローラで設計値（密度および透水係数）を満足する結果が得られた。

(7) コア材料の全粒径での密度・含水比と細粒分（今回の試験では19mm以下の材料を指す）の密度・含水比との間には、Walker-Holtzの関係式から分かるように礫率を介して一義的な対応関係がある。しかし礫率が不明のときには、両者の間にはもはや1対1の関係は成り立たなくなる。今回のコア材料の盛立試験で得られた全粒径と細粒分の（ $\rho_d \sim \omega$ ）関係図を比較した結果、両者の間にほぼ相関があることが示された。

8.2 今後の課題

今回の盛立試験を通じて今後次のことが課題として考えられる。

(1) R I 密度計の信頼性の確認およびR I 密度計を用いた盛立試験法の確立

1) R I 密度計を用いた試験法は密度測定において間接法であるから計器自身の性能や信頼性については十分注意を要する。このために各種粗粒材料を用いた土槽試験により土槽内に投入した重量とその容積から求まる密度とR I 計測から求められる密度を検証する試験を数多く行い、計測器の信頼性を高め、使用方法について基準を設けていく必要がある。

2) 固定ヤード方式による盛立試験は新しい方法であり、R I 密度計のような非破壊試験法の利用を前提としているため、今後さらに試験事例を増やして、その有効性を確かめていく必要がある。また、盛立試験法についてガイドラインを設けていく必要があると考えられる。

(2) 品質管理試験法の合理化

- 1) 定められた施工基準にしたがって締固められた盛立層の密度や含水比などは、近似的に正規分布を用いて表すことができる。このような統計的性質を持つフィルダムの締固め後の品質に関しては、従来の各点管理方式は本来適切な管理法とはいえない。置換法を用いる密度管理では得られるデータの数に限りがあるので、統計的な概念の導入が難しく各点管理方式もやむをえないが、R I 密度計のような多点数標本が比較的容易に得られる場合は、平均値管理方式の方が合理的と考えられる。これらのフィルダムの締固め管理の基本についても、今後検討する必要があるように思われる。
- 2) コア材料の締固め管理を、全粒径レベルで実施するための具体的な検討が望まれる。すでに述べたように、全粒径レベルの品質管理では礫率を調べる必要があるので、省力化に役立つものと考えられる。

謝辞

本報告の盛立試験は、九州地方建設局竜門ダム工事事務所で実施されたものであり、実験にたずさわった関係諸氏には深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 瀬古育二他4名、ロックフィルダムの粗粒材料の現場密度測定方法に関する研究、水資源開発公団試験所報告書 第88206号、1989年3月

フィルダム材料の現場締固め
特性

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第3338号
平成7年1月(1995)

中村 昭, 豊田光雄, 山本裕之

要 旨

本報告は、合理的なフィルダムの施工法および品質管理試験法を確立するために、ロック、フィルター、コア材料においてRI密度計を用いた盛立試験を実施し、それらの現場締固め特性をとりまとめたものである。

ロック材料では、転圧機種、まき出し厚さを変えた転圧回数と密度の関係、まき出し層内の密度分布とエネルギー伝搬に関する検討を行い、コア材料では、密度特性の他に材料の混合方法および透水性について検討した。

キーワード：盛立試験，粗粒材料，RI密度計，締固め特性，フィルダム



郵便はがき

五十円切手
をはって下
さい

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

フィルダム研究室

行

No. 003

No. 003

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第 3338 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印