

土木研究所資料

フィルセメントとダム (3)

室内試験に関する報告

昭和56年 2 月

建設省土木研究所
ダム構造研究室

目 次

ダム構造研究室

斎 藤 孝 三

依 光 春 実

矢 沢 克 敏

1. 概念と目的	1
2. フィルセメントの考え方	2
3. 室内実験の方法, 材料, 調査内容	3
3-1 予備試験	"
3-2 室内供試体作製方法	"
(1) ランマーによる締固め	4
(2) 振動機による締固め	"
(3) 一軸圧縮による締固め	"
3-3 圧縮強度	"
3-4 まとめ	5
4. 混入した細粒土の粒度分布が乾燥密度に及ぼす影響について	14
4-1 碎石を使用したフィルセメント	"
4-2 天然骨材を使用したフィルセメント	15
(1) 細骨材率一定	"
(2) 細骨材率が変化するもの	"
4-3 細骨材率・細粒土混入率と最大乾燥密度の関係	"
4-4 セメント混入による影響	16
4-5 まとめ	"
5. 極貧配合コンクリートとフィルセメントの水セメント比・圧縮強度の関係	23
5-1 極貧配合コンクリート	"
(1) 天然骨材による極貧配合コンクリート	"
(2) 碎石による極貧配合コンクリート	"
5-2 フィルセメント	"
5-3 まとめ	24
6. 締固め方法の比較検討	30
6-1 載荷時間と乾燥密度	31
6-2 振動締固め機とランマーの比較	"
6-3 セメント量と圧縮強度・乾燥密度の関係	"
6-4 まとめ	32
7. まとめ	36

Copyright © 55年度 by P.W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director 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、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

1. 概念と目的

コンクリートダム基礎岩盤の性状は、従前に比して設計、施工条件共に悪くなっている。これは、コンクリートダムの基礎条件の良好な所は既に開発つくされているにも拘らず水の需要が逼迫していること、異常洪水による災害が頻繁に発生していることなどにより、どうしてもダム築造によって対処して行かなければならない状況となつて来ているためである。以前であれば基礎岩盤の一般的に良好な所は、コンクリートダム、より劣る所はフィルダムという概念で計画されてきた。しかし、近年になって洪水量が大ききフィルダムとした場合の余水吐の設置が不可能な地形地質のダムサイト地点があること。仮排水トンネルの容量的な限度から、フィルダム盛立中に、異常洪水による本体越流の恐れが生じてくる例などにより、以前では、コンクリートダムの基礎としては考えられなかった軟かい岩盤やキレツ性に富む弱い岩盤にも、コンクリートダムを造ることが要請されてきている。また、最近では、地震による種々な構造物の被害が一段と論議されるようになり、ダムもそれに対する安全性について検討が加えられてきた。地震によるダムの事故例としては、諸外国を含めてコンクリートダムより、フィルダムの方が数字的に多いこと、地震解析例としても、コンクリートダムの例が多く、かつ解析法でも進んでいるようにみられていること。一般的な安定性に関する物理的、力学的な問題の取扱いでもフィルダムとコンクリートダムとでは非常に異なりコンクリートダムの方が明確化していることが多いなどにより、概念的にもコンクリートダム築造の要望はどうしても高いようである。

条件の悪い基礎岩盤にコンクリートダムを造るとすれば、岩盤の性状から従来の一般的なコンクリート重力式断面よりは、かなり大きくなる訳で、経済的にも、工期的にも膨大なものとなる。しかるに大断面になることによりコンクリートダムとして外力によって生ずる本体の応力は極端に小さくなるので、通常のダムコンクリートの品質程に上等のものを使用しなくても応力的には十分余裕があるのではないかという理屈も、生じてくる訳である。したがってフィルダムの施工の様に大型トラックや、大型振動機を使って、かつ安価な材料で迅速に施工出来ないかという事も当然考えられてくることで、このことは現在コンクリートダムの現場で設備している骨材の破碎工場や篩分工場、洗滌工場をかなり省略出来る材料を使って、かつフィルダムの施工と同じ様に敷ならし、転圧する方法でも、先に述べた外力によってダム本体に生ずる応力をかなり上回り、所要の安全率を満足するダムコンクリートが出来ないかという要望をも考える訳である。このことがフィルセメントダムの調査研究の発端ともいえる。即ち多少、基礎岩盤が悪くとも安価な材料を大量に入手可能であれば、大型機械を活用し、迅速にコンクリートダムと同程度に安全なダムが、施工出来る訳で経済的、工期的にも著しく効果の大きなものといえる。この点一時検討されたソイルセメントダムに、やや似ているが、従来のソイルセメントが、物理的性質にむらが大きく、均質なダム材料とするには、品質的には問題が多いため、これをもっと発展させ、コンクリートにより近い材料として物理的、力学的に扱えるものとしたと考えて来た訳である。すなわち従来のコンクリートダムと同様に、構造的には、滑動、応力、変形に対して、材料としての物理的、力学的な安定性を検討して行くものである。

この報告は、フィルセメントに関して行ったこれまでの室内試験の結果をとりまとめたものである。ソイルセメント及び極貧配合コンクリートを参考とし、種々の試験をしたものであるが、フィルセメントという新しいダム材料としてイメージ的なものは造られつつあると考えられる。

2. フィルセメントの考え方

ロックフィル材料にセメントを混合したものを基本概念としこれに、最大寸法の規制、混入される細粒分の品質、量の規制を行ない、更にはセメント水和熱を極力減ずるためのセメント使用量の規制を加えようとするものである。

骨材の最大寸法は、主として材料分離に問題が出てくる訳でこれは室内試験よりむしろ、今後、行わなければならない野外試験で、実際の振動ローラーを使って調査することが必要であろう。

細粒分の粒度も締固めに大きく影響され易いものであるが、骨材掘削時、あるいは製造時に生ずるダストをそのまま使用する場合とか、練り混ぜた時に他のものを混入する場合等が考えられるが、その量の過少過多は、締固めに、またその品質はフィルセメントの強度にそれぞれ影響することが大と考えられるので、この品質、量的なものについては室内試験で把握して行く必要がある。

次にセメント使用量であるが、振動ローラによる締固め施工を考えた場合、従来のコンクリートダムのような縦横の継目を設けていたのでは、ロックフィルダムの様な施工は不可能で、大量のフィルセメントを締固め施工するには、作業工程上、著しく困難を伴う。したがって、継目は設けないことにするためセメント使用量を少なくして、出来る限り水和熱を小さくし、クラックを少なくする必要がある。ただし、設計計算は、コンクリート重力式ダムに準ずる訳であり、それ相当の強度も必要であり、セメント使用量を減ずるとしても限度がある訳であり、その両者の兼ね合いについても調査して行かねばならない。一般に、在来コンクリートで水セメント比 (w/c) が成立する最低セメント使用量は、フライアッシュ等を含んでも約 120 kg/m^3 程度とされている。この場合、練り混ぜた時の使用水量のうち、コンクリート結合水として最終的に使用されるのは35%程度で、他は自由水として間隙に存在するか蒸発する。したがって、セメント使用量が極端に少ないと、それだけ空隙率が増え、密度も小さいことになる。ダムコンクリートのうち、外部コンクリートは別として、内部コンクリートの品質の最低限度をどこにおくかが問題となるが、従来の重力式ダムよりはかなり大きな断面となることを考えれば、応力的には、ずい分と余裕があることになる。セメント使用量は在来の最小量 120 kg/m^3 をむしろ水和熱上から大きく減ずることを目標とし、密度及び強度の不足は締固めエネルギーで、どれだけカバーできるかが今後の調査の目標としていきたいと考えている。

3. 室内試験の方法，材料，調査内容

3-1 予備試験

この新しいダム築造材料をどのように考えたらよいか見当をつけるために，通常のダムコンクリートからセメント使用量を極端に減じた場合の水セメント比の関係，締固まり状態，強度等について，いわゆる貧配合コンクリートとして調査を開始した。単位セメント量 50 kg/m^3 とし，骨材は富士川の河床から採取した円礫状のもので図-1に粒径加積曲線を示す。

試験には $\phi 100 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ の円筒供試体を用いることにした。

この貧配合コンクリートは普通のプラスチックなコンクリートの突固め法 (JIS A 1132) では良く締固まらなかったで，土質締固め試験法 (JIS A 1210) により，2.5 kg ランマーで各層 29 回，3 層で供試体を作成した。

圧縮強度及び水セメント比の関係を図-2に示す。

この結果，水セメント比が小さいもの程大きい強度を示している。

3-2 室内供試体作成方法

フィルセメントでは締固め効果が，強度及びその他の物性に大きく影響すると予想されるため，この室内試験では供試体をどのように作製するかが大きな問題となった。

実際にフィルセメントの施工では骨材は洗滌されないことを考慮すると多量の細粒土の混入が予想されるため，骨材洗滌池の細粒土を表-1に示すように 0~20% 混入し 4 種類の配合について試験を行った。4 種の粒径加積曲線を図-3に示す。

表-1 骨材の混合比率

種 別		粗 骨 材		細 骨 材	
		0.6		0.4	
配合名	粒径 符号	40mm	20mm	砂	細粒土
A	△	0.2	0.4	0.2	0.2
B	☆	0.2	0.4	0.267	0.133
C	◇	0.2	0.4	0.35	0.05
D	◎	0.2	0.4	0.4	0

モールドの寸法は通常コンクリートとの関連を調べるため $\phi 150\text{mm} \times 300\text{mm}$ の円筒供試体とし次の3種の方法により締固めを行った。

(1) ランマーによる締固め

土質締固め試験法(JIS A 1210)の2.5kgランマーを使用する。試料を3層に別けて詰め、各層毎に29回突固めた。

密度試験の結果は、図-4に示すように含水比はセメント混入したものが骨材に関係なく7%前後、セメント混入していないものは7~8%で密度が最大となる。

また、この最大乾燥密度はセメントが混入されているものが大きくなっている。

(2) 振動機による締固め

振動数7000~8000rpmに加圧面 $\phi 149\text{mm}$ のアタッチメントを取り付け、総重量20kgの外周バイブレーターを用いて締固めた。試料は3層に分けて詰め、ランマーによる締固めによるエネルギーと等しくなるように各層40秒間振動締固めを行った。尚、含水比は、5、6、7、8%の4種類とした。

結果は図-5に示すように、含水比が6%より多いものはよく締固まるが、7%以上になるとブリージングによって浮上した濁水が流れ出てしまう。逆に5%以下では、よく締固まらない。

次にエネルギーの総量を増すために外周振動機の作用時間を変え、種々の含水比について密度試験を行った結果を図-6に示す。

この結果でも含水比の高いものは短時間に容易に締固まるが、含水比の低いものは長時間かかることが理解できる。この試験においても含水比の高いものはブリージングによって濁水の流出が見られた。

(3) 一軸圧縮による締固め

ソイルセメントのように静的な圧縮力による締固め施工を想定してアムスラー万能圧縮試験機で圧縮力を加えて供試体を作ってみた。

モールドは $\phi 150\text{mm} \times 300\text{mm}$ のモールドに試料を3層に分けて詰め、各層毎に6tの圧縮力を加えた結果を図-7に示す。

また、加える圧縮力を変えて締固めた結果を図-8に示す。

この試験では、供試体の内部まで良く締固まらずモールドを万力で補強して載荷した。しかし、モールド破損がかなりあり、モールドが破損しなくても粗骨材が砕けているものが見受けられたので、供試体作製方法としては不適當であると考えられる。

3-3 圧縮強度

圧縮強度と弾性係数、水セメント比の関係を調べるために3-2で行った締固め結果より比較的良く締固まるB配合について単位セメント量60、80、100kgの3種について試験を行った。

本試験でも $\phi 150\text{mm} \times 300\text{mm}$ の供試体を用い、3層に分けて詰め、各層2分ずつ外周振動機で締固めた。結果を図-9~11に示すとおりである。

試験値はバラツキが多いが概ね含水比が6%の時の圧縮強度が大きい。このバラツキの原因としては、細骨材の粒度が影響を与えていると思われるが明確ではない。

また、図-10に示すように圧縮強度の平均値と水セメント比との関連は認められない。また、弾

性係数についてもバラツキが多く、強度との関連は、はっきりしない。

3-4 まとめ

- 1) 3-1の予備試験の結果では、圧縮強度と水セメント比は関連を持っているが続いて行った試験では水セメント比と関係がなく、最適含水比に支配されている。後者は、5 mm以下の材料が多く、特に0.5 mm以下の細粒分が約10%多いためと考えられるので土質工学では砂に対しては、最適含水比が成り立たないことも考慮して、最適含水比の関係を満足させるための粒度の条件を調査する必要がある。
- 2) 外面振動機を用いて締固める時、含水量が最適含水比よりやや湿潤側のときの方が締固まりやすい。これは摩擦が少なくなるためと考えられる。
- 3) 突固め試験で得られた最適含水比より約1%少ないものが強度的に大きくなるようである。

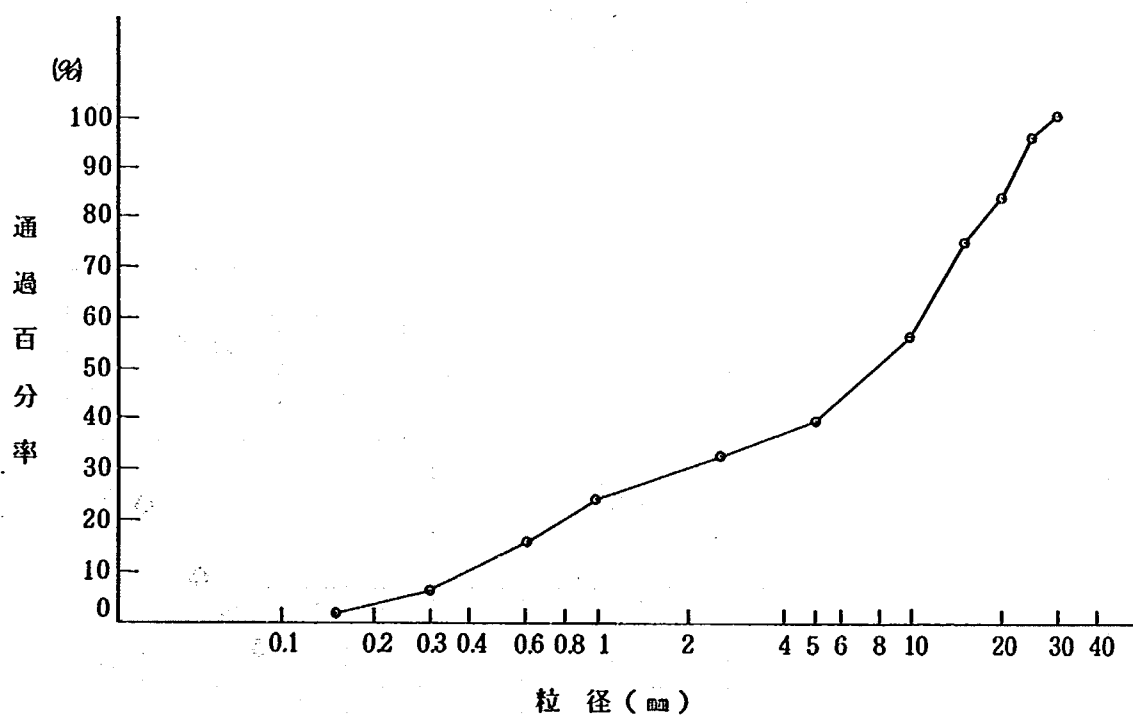


図-1 粒径加積曲線

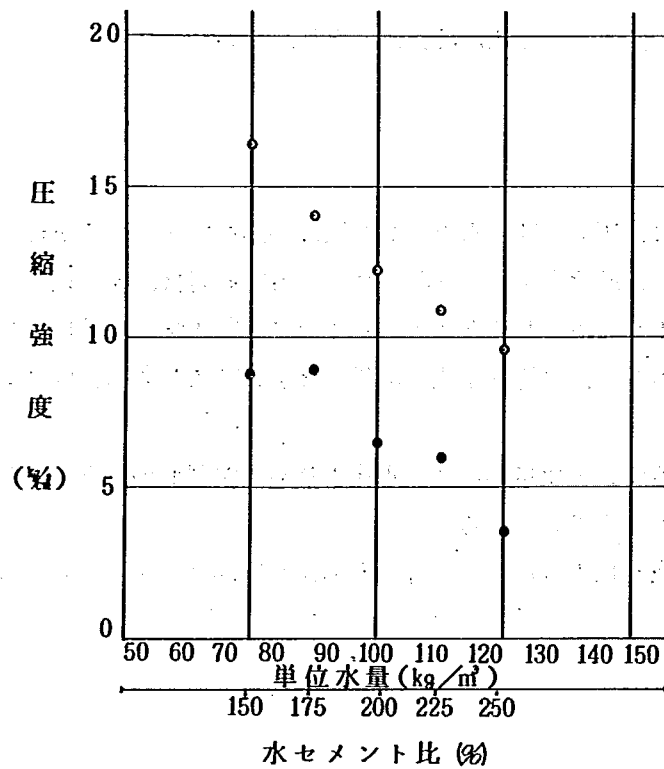


図-2 予備試験の結果

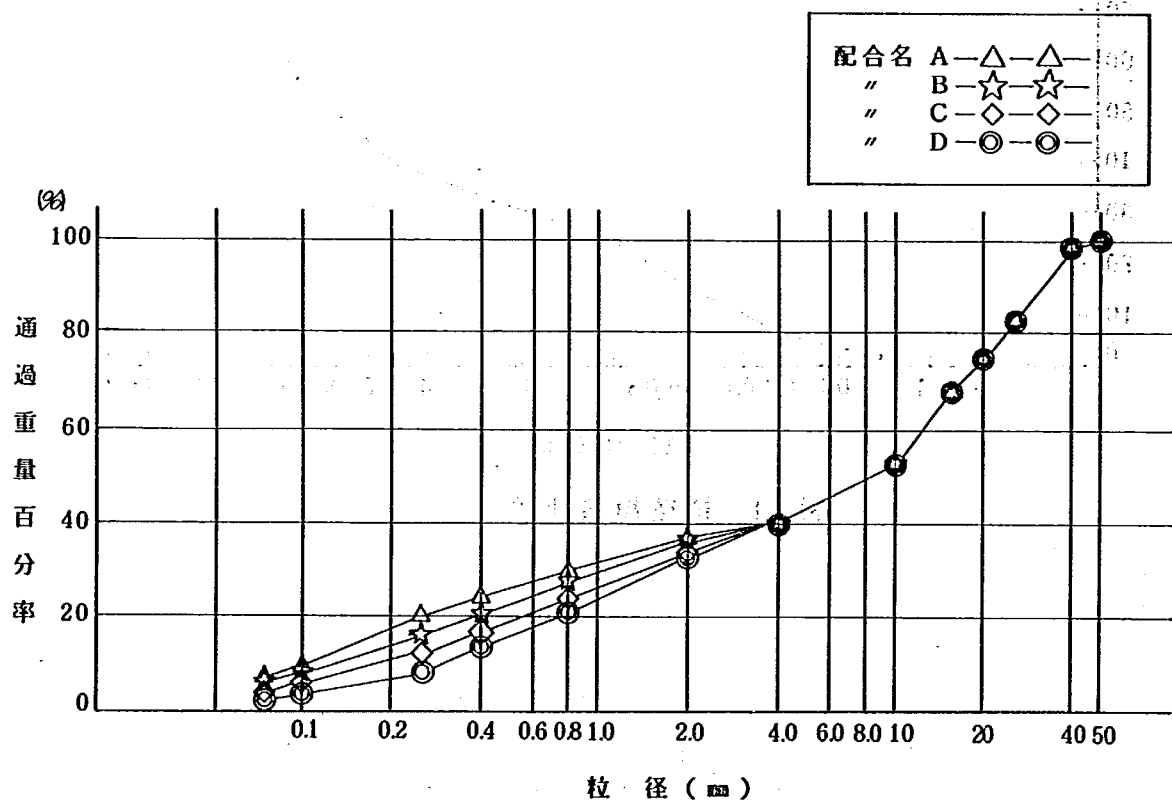


図-3 粒径加積曲線

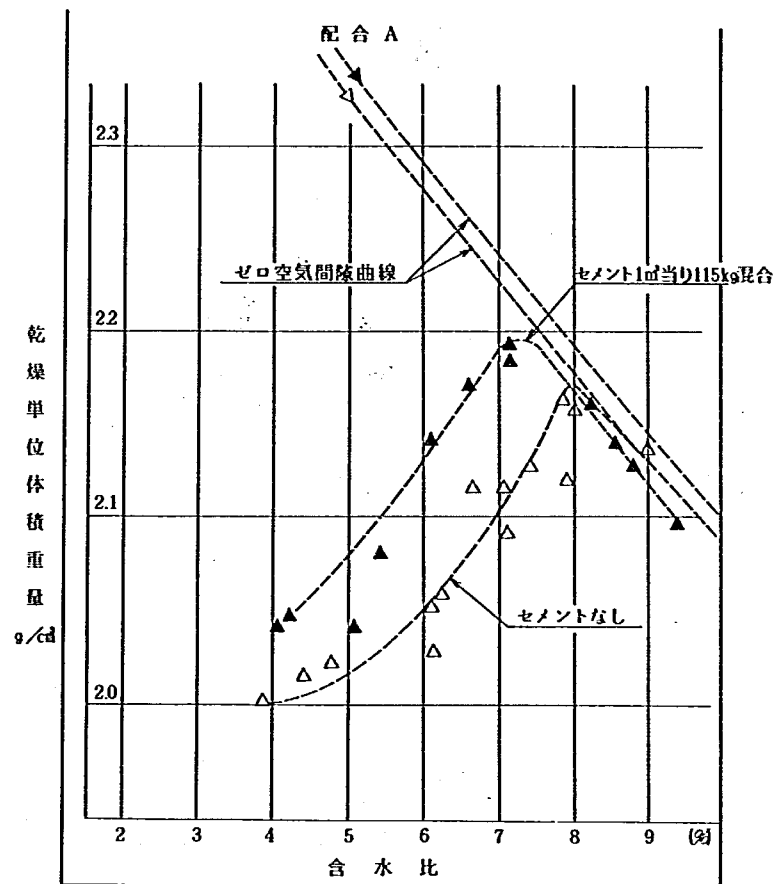


図-4-1 ランマー締固め試験

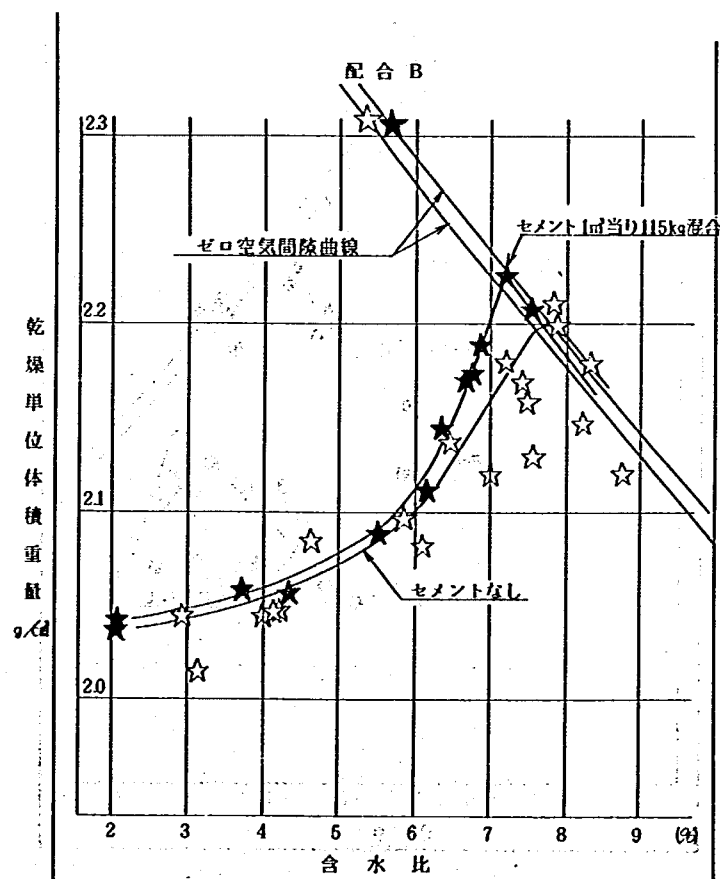


図-4-2 ランマー締固め試験

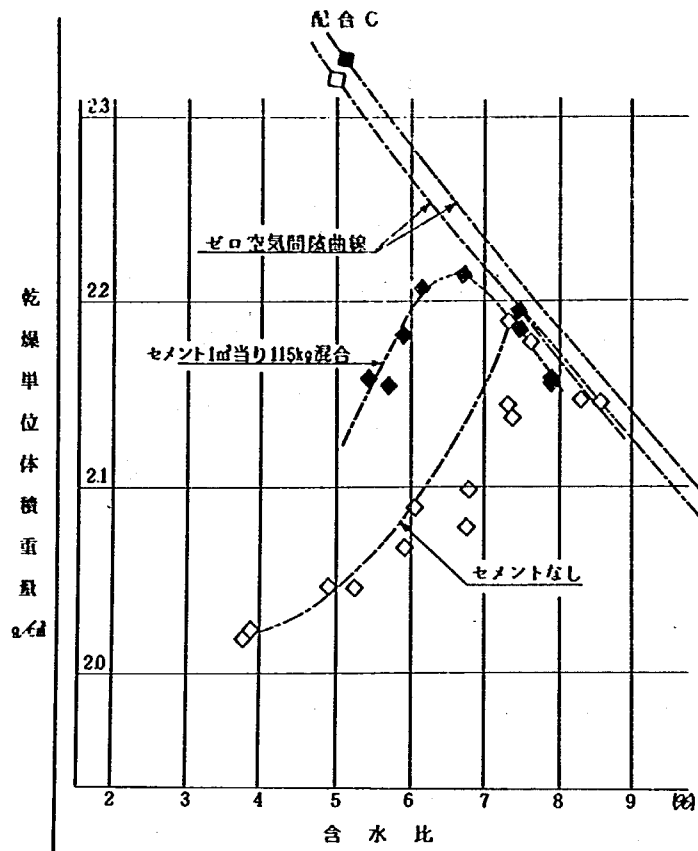


図-4-3 ランマー締固め試験

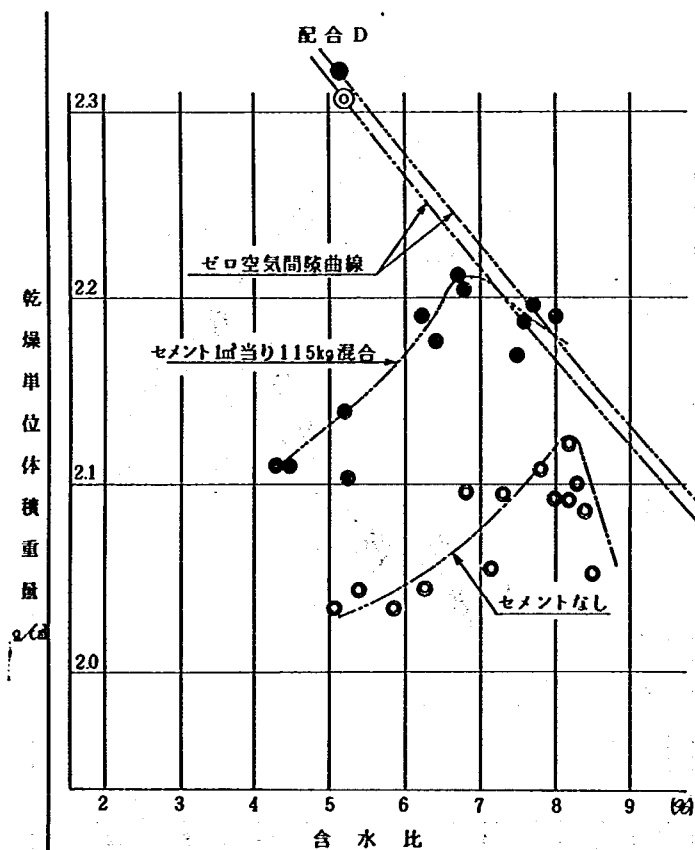


図-4-4 ランマー締固め試験

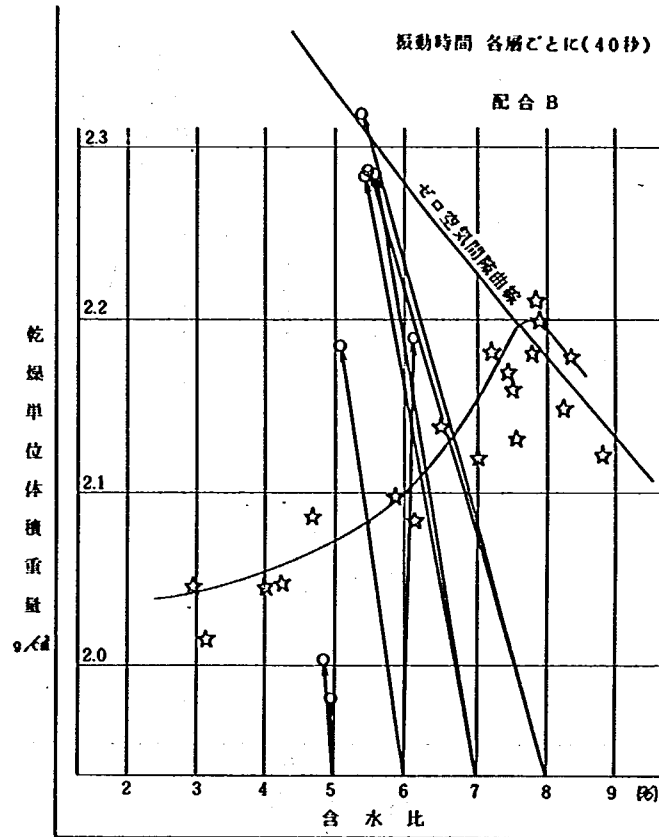


図-5 振動締固め試験

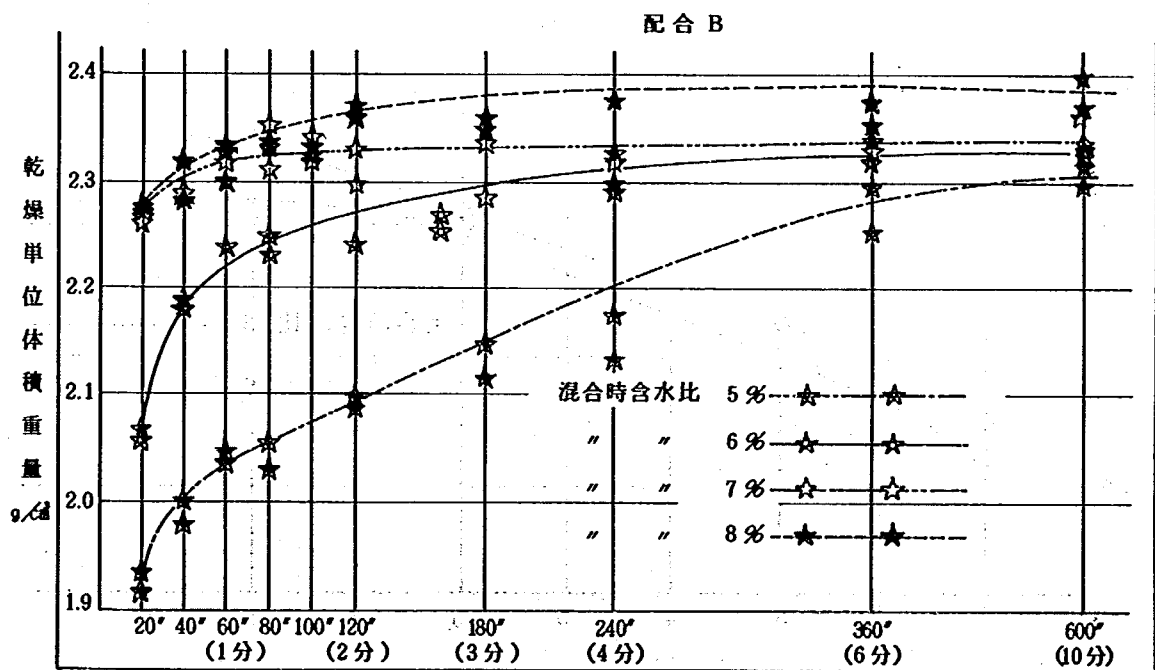


図-6 振動締固め試験における時間と密度の関係

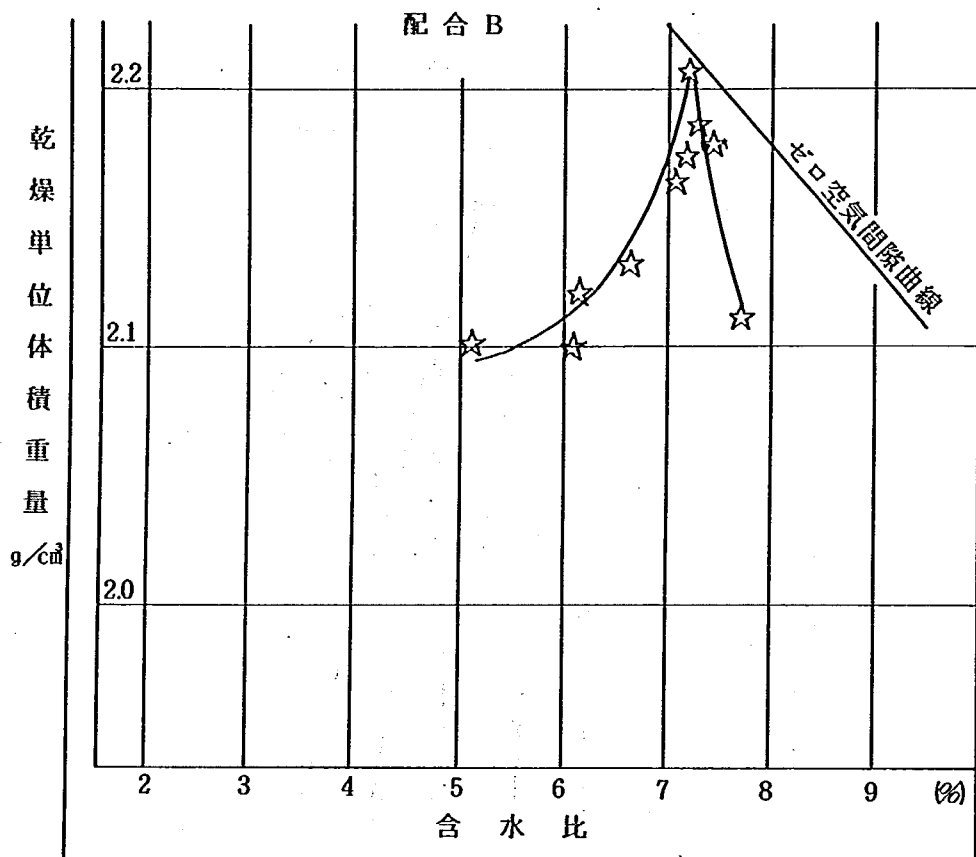


図-7 アムスラー試験機による締固め試験
(3層にわけ各層ごと外力6t)

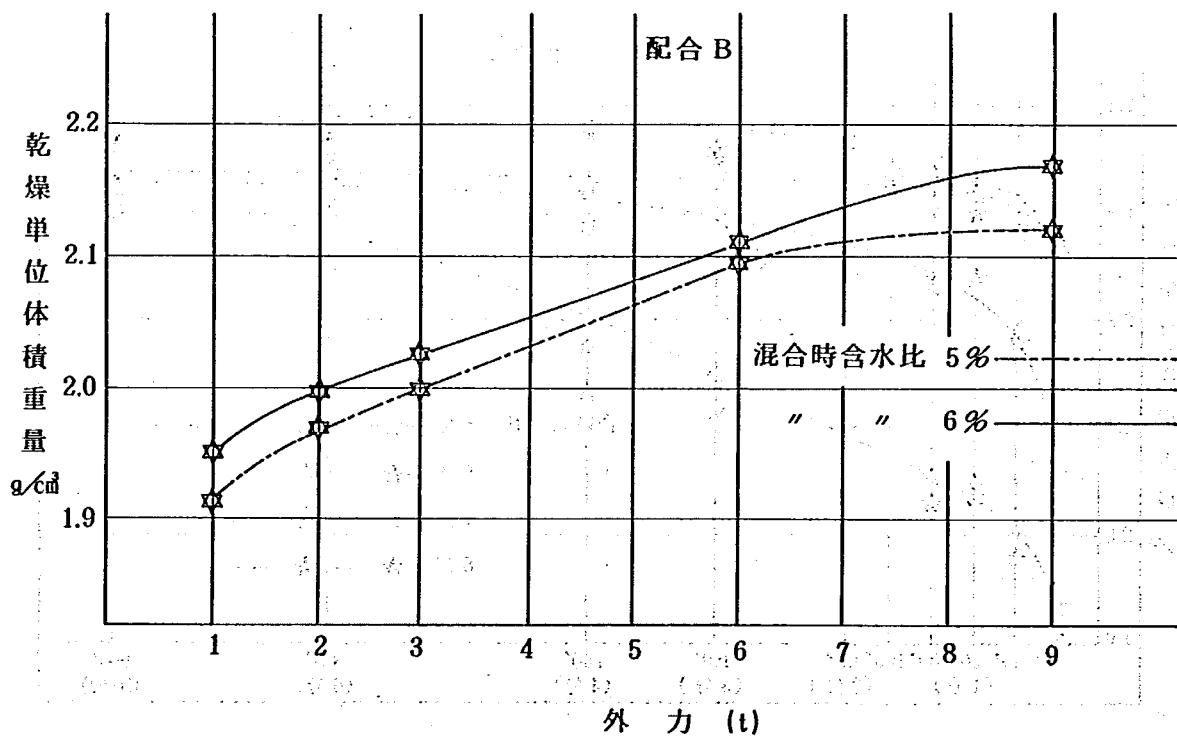


図-8 アムスラー締固め外力変化試験

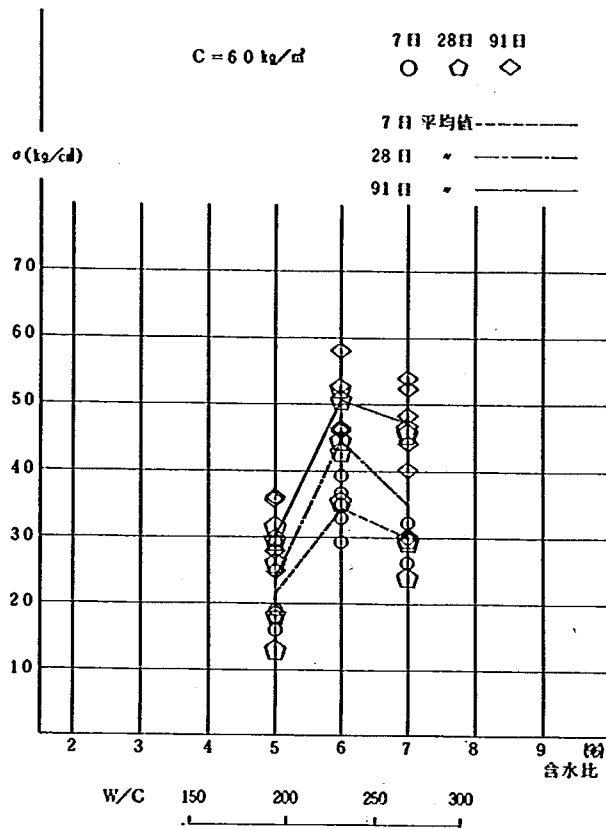


图-9-1 压缩强度

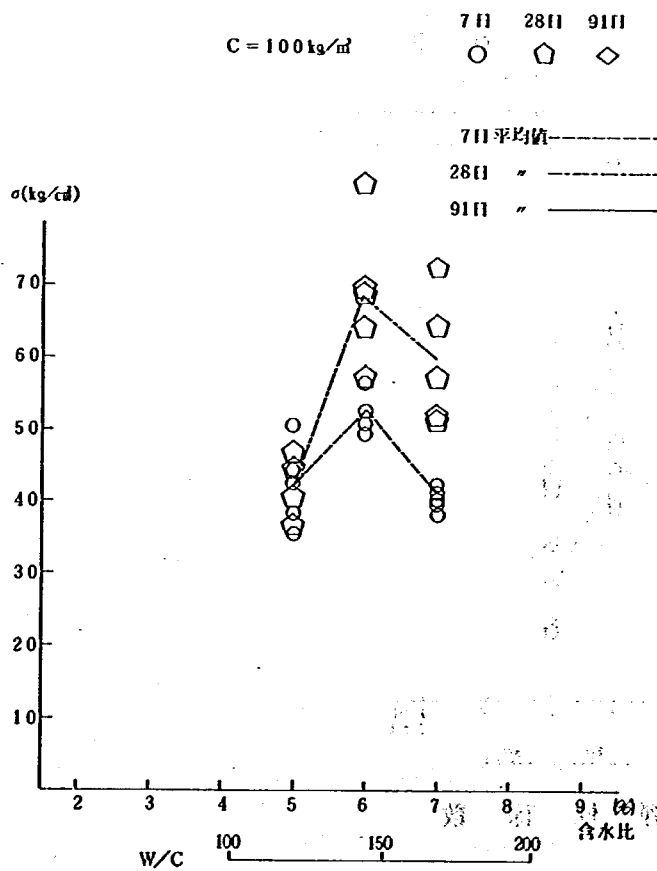


图-9-3 压缩强度

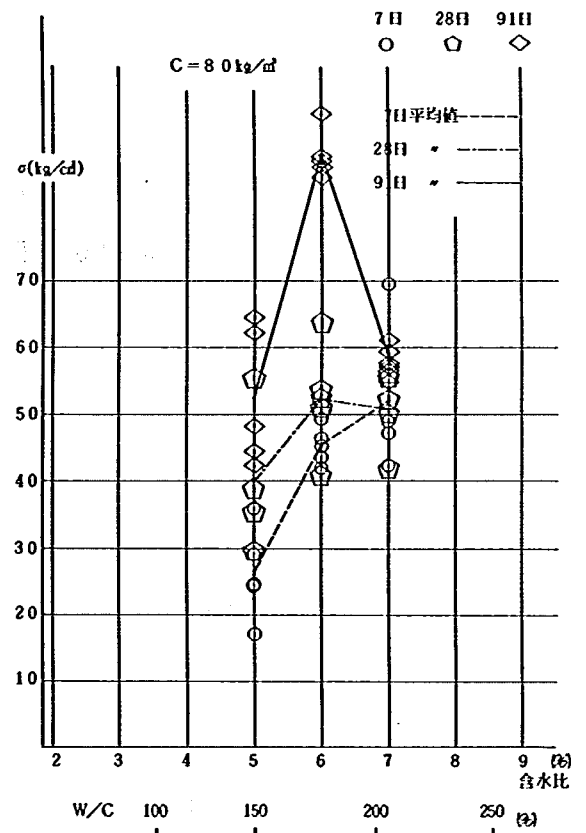


图-9-2 压缩强度

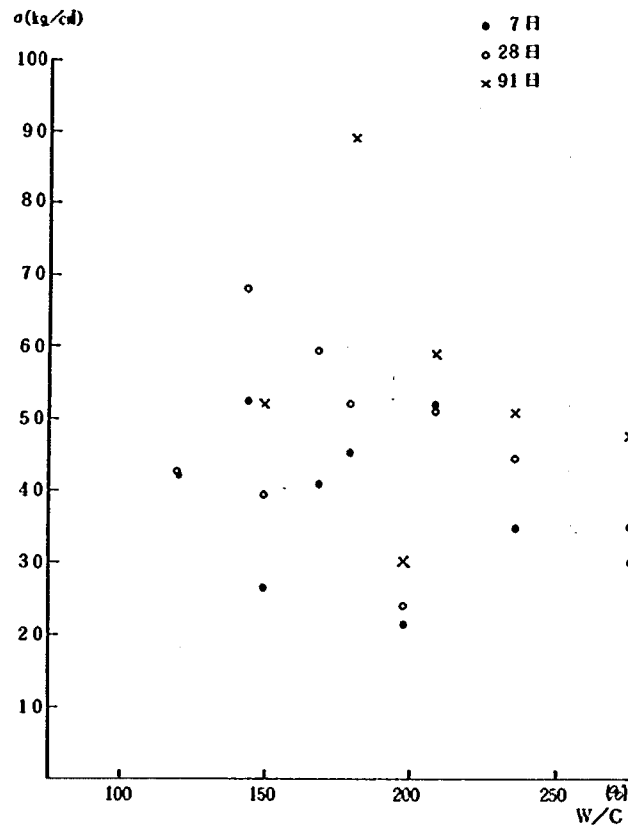


図-10 圧縮強度と水セメント比との関係

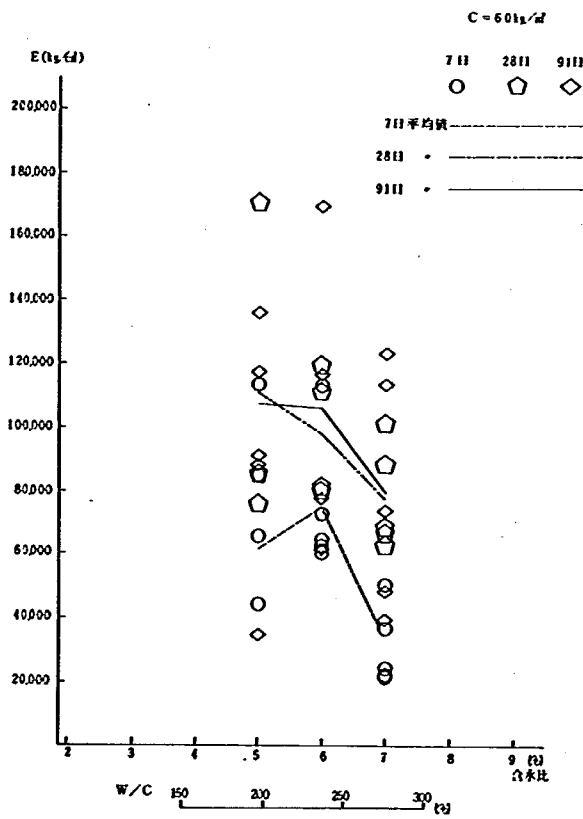


図-11-1 弾性係数

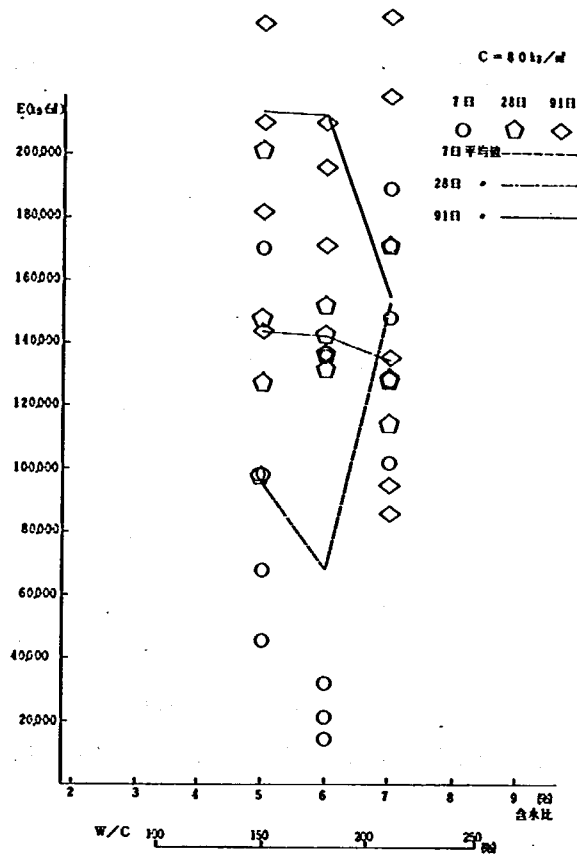


图-11-2 弹性系数

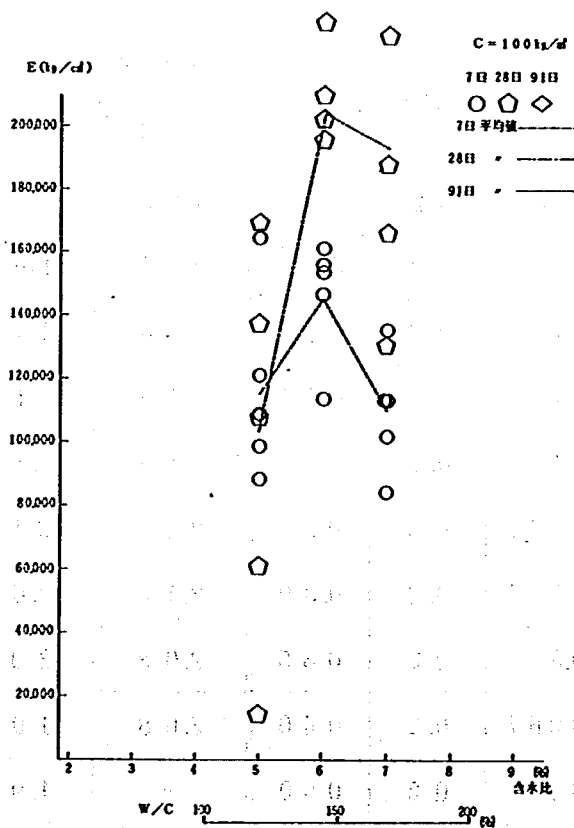


图-11-3 弹性系数

4. 混入した細粒土の粒度分布が乾燥密度に及ぼす影響について

3-3, 3-2より圧縮強度と含水比, 水セメント比の関係をかなり粗雑ではあるがつかむことができた。しかし, 実験値には相当のバラツキがあり, 圧縮強度が最大の時の含水比が6%前後であると断定するのは困難であった。本章では極貧配合コンクリートに細粒土が混入したフィルセメントについて細骨材率の変化を中心として, 細粒土混入率, 骨材の形状, 細粒土の性質のちがい等による乾燥密度への影響を調べてみた。締固め方法は濁水の流出する恐れのある外面振動機の使用を避け, ランマーにより, 土質試験用の $\phi 150 \times 175 \text{ mm}$ のモールドに3層, 各層29回の突固めで行った。

4-1 碎石を使用したフィルセメント

ここでは, 粗骨材に水公団草木ダムの碎石を用い細粒土には草木ダムサイトの骨材洗滌池にたまった細粒土と北海道美唄ダムサイトの表土を2 m/mフルイでふるったもの2種類を用いた。

この2種類の細粒土の特徴は図-12に示すように草木産のものは0.05mm以下の細粒分が大変少なく, 一見シルトのように見える。美唄産は0.05mm以下の細粒分が45%程度含まれており, 黄灰色で水を加えると粘性を示し, 粘土に近いものである。

本試験での配合は表-2に示すように細粒土を5%ごとに, 0~50%まで変化させ, 締固め試験を行った。各配合の粒度分布を図-13, 14に示す。

表-2 混 合 割 合

記 号	40m/m	20m/m	細骨材	細粒土	最大乾燥密度 $\gamma_{d \max}$		最適含水比 w_o (%)	
					草 木	美 唄	草 木	美 唄
—☆—☆—	0.267	0.533	0.2	0	1.95	—	—	—
—◆x◆—	0.25	0.50	0.2	0.05	2.01	1.98	—	—
—◇—◇—	0.233	0.467	0.2	0.10	2.20	2.16	7.4	7.4
—▲—▲—	0.216	0.433	0.2	0.15	2.19	2.15	7.5	7.9
—△—△—	0.2	0.40	0.2	0.2	2.19	2.14	7.7	8.3
—○—○—	0.183	0.367	0.2	0.25	2.17	2.10	7.6	8.5
—□—□—	0.167	0.333	0.2	0.30	2.13	2.07	8.0	8.7
—●—●—	0.15	0.3	0.2	0.35	2.08	2.02	8.6	9.7
—■—■—	0.133	0.267	0.2	0.40	2.08	1.99	8.7	9.7
—△—△—	0.1	0.2	0.2	0.50	—	1.90	—	12.2

結果を図-15, 16に示す。まず細粒土の混入率別に見ると、細粒土のちがいに問わず混入率が10～20%の配合時の乾燥密度が最も大きく2.19, 2.16となり10%以下になると乾燥密度は極端に低下し、最適含水比は7.5～8%となる。

また、細粒土の違いによる乾燥密度、含水比等への影響はあまり大きく表われなかった。詳しい数値は表-2の右欄に示した。乾燥密度に影響すると思われる骨材の比重は表-3のようである。

表 - 3

草 木 産	40 m/m	2.6 4
	20 m/m	2.6 2
	細 骨 材	2.6 1
	細 粒 土	2.6 9
美 唄 産	細 粒 土	2.6 3

4-2 天然骨材を使用したフィルセメント

骨材に大川ダムの川産の天然骨材を用い、細粒土は草木産を使用した。前節(4-1)では細粒土の混入によって細骨材率が変化したので、今回は、細骨材率を一定にしたものと変化させたものとを試験した。締固め方法は前節と同じ。

(1) 細骨材率一定

細骨材率の決定

細骨材率の決定には簡略的方法であるが図-17に示すように含水率、3%、5%、6%ごとに細骨材率を変えながら締固め試験を行い、これより $s/a = 40\%$ に決定した。

決定された細骨材率40%に基づいて、細粒土の混入率を0～30%まで変化させ、締固め試験を行った。各配合の粒度分布を図-18に、結果を図-19に示す。

この結果、細粒土混入率が10%の時の乾燥密度が2.11と大きく、最適含水比は8.4%前後である。骨材に碎石を用いた場合より小さくなっているがこれは粗骨材の比重が2.6、細骨材の比重が2.53と小さく、最大粒径もバラツキをなくすために25mmとしたことが影響しているものと思われる。

(2) 細骨材率が変化するもの

次に細骨材率が20%、30%と変化した場合の影響を調べるため同様な試験を行った。

結果を図-20～23に示した。

この結果、細骨材率の小さいものでは少ない砂分を捕うため多くの細粒土混入率において最大乾燥密度が得られる。また、最大乾燥密度は、いずれも含水比7.5%において2.16となった。

4-3 細骨材率、細粒土混入率と最大乾燥密度の関係

4-1で $s/a = 20, 30, 40\%$ についての細粒土混入率と乾燥密度、含水比の関係曲線を得て

いるがその時の各 s/a における最大乾燥密度の細粒土混入率と最大乾燥密度、ゼロ空積曲線における含水比 (0_{mc}) をまとめると表-4 のようになる。

表 - 4

細骨材率 s/a (%)	細粒土 混入率 (%)	$r_{d \max}$	0_{mc} (%)	単位セメント 量 (kg/m^3)
40	10	2.11	8	50
30	10	2.16	7.5	—
20	20	2.16	7.5	—

※ 0_{mc} : 零空積曲線における含水比

これによると $s/a=20 \sim 30\%$, 細粒土混入率 $10 \sim 20\%$ で乾燥密度が最大となっているようである。

4-4 セメント混入による影響

次に上記3種の配合と $s/a=40\%$, 細粒土無しの4種の配合について、セメントを $50kg/m^3$ 加え、ランマーにより打込んだ。使用モールドは $\phi 15 \times 30cm$ を使用、乾燥密度、圧縮強度を測定した結果を表-5に示す。

表 - 5

細骨材率 s/a (%)	細粒土 混入率 (%)	$r_{d \max}$	0_{mc}	圧縮強度 σ_{c28} (%)	σ_{c28} の時の 含水比 (%)
40	0	2.07	8.0	13.5	5
40	10	2.15	7.75	16.0	6.5
30	10	2.20	7.0	18.2	6.5
20	20	2.18	7.0	16.2	6.5

この結果より $s/a=30\%$, 細粒土 10% の時の乾燥密度、圧縮強度共に大きい。が、 $s/a=20$, 30% の時の乾燥密度、圧縮強度の値は他の2つに比べてバラツキが大きい。

4-5 まとめ

1) 細骨材率、細粒土混入率と乾燥密度の間には相関関係が有り、細骨材率が小さい場合、つまり砂

分が少ない場合には、それを補うために多くの細粒土を、また逆に細骨材率が高い場合には小さな細粒土混入率において最大乾燥密度が得られる。

2) 本章の実験においては細粒土及び骨材のちがいによる差は明確には把握できなかった。

3) 細骨材率、細粒土混入率及び乾燥密度、圧縮強度の関係はかなり複雑になっているが、本章の実験では、 $s/a=30\%$ 、細粒土混入率10%の場合に最も良い結果が得られた。

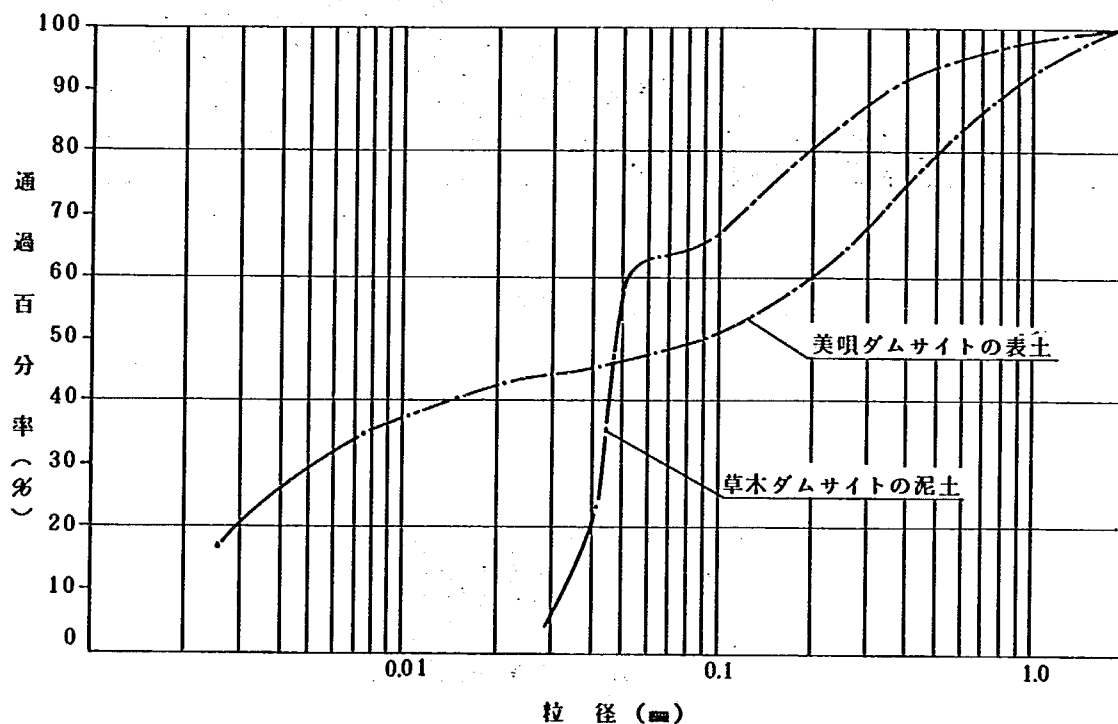


図-12 細粒土の粒径加積曲線

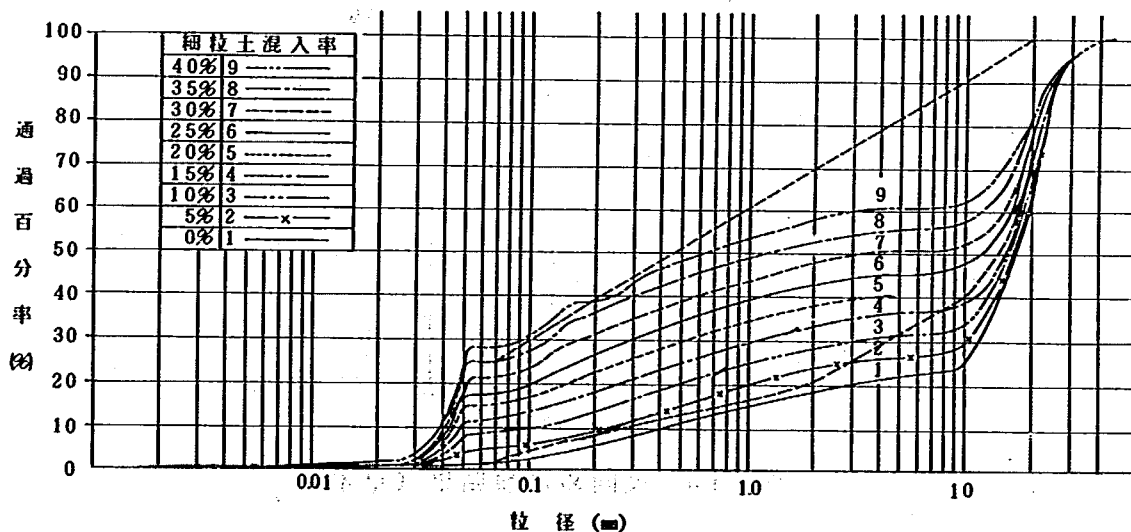


図-13 粒径加積曲線 (草木)

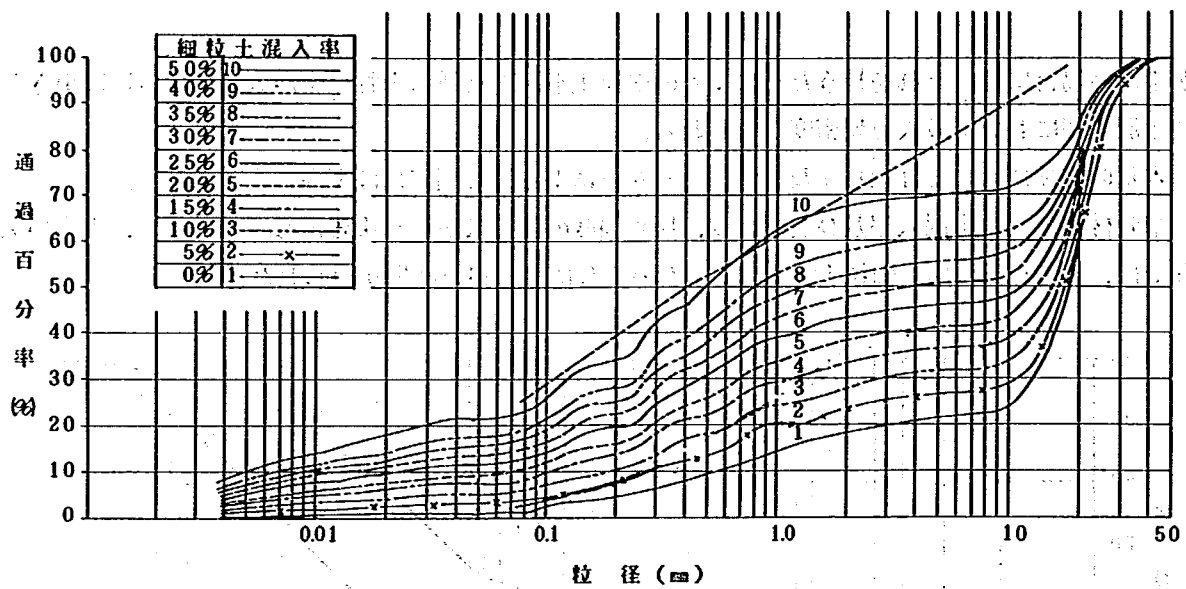


図-14 粒徑加積曲線 (美唄)

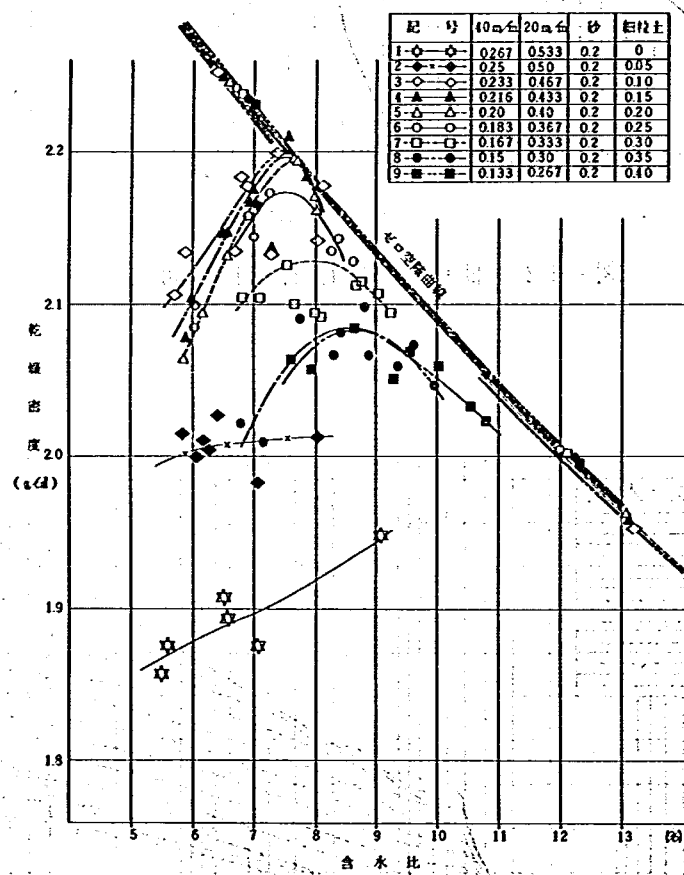


図-15 突固め試験結果 (草木)

(本頁) 資料提供資料 6.1-図

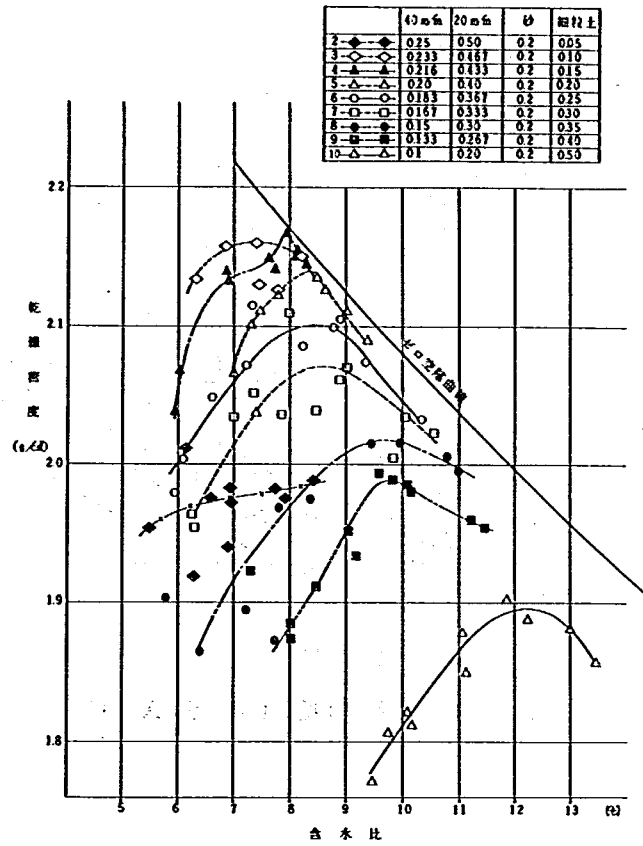


図-16 突固め試験結果 (美唄)

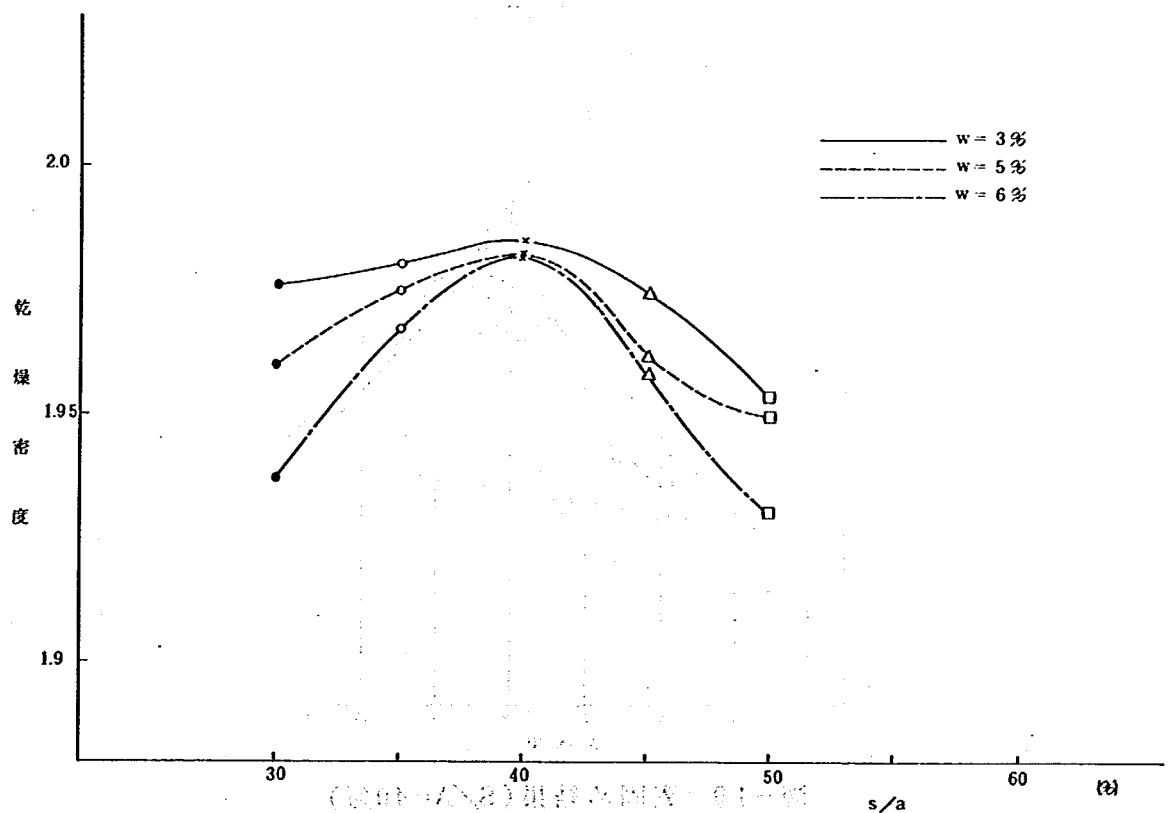


図-17 S/A 決定のための突固め試験結果

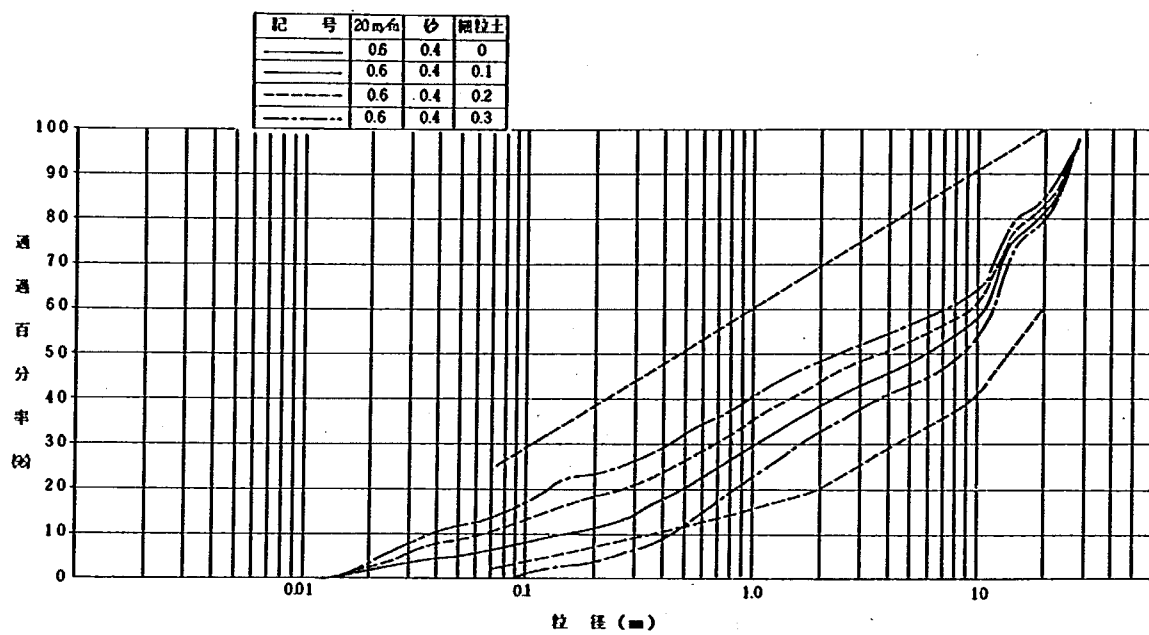


図-18 粒径加積曲線 (S/A=40%)

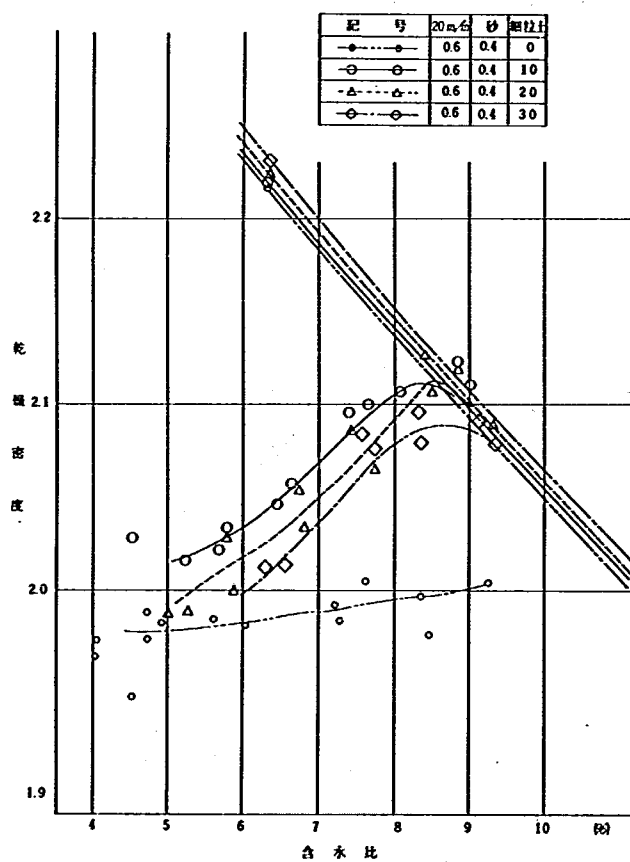


図-19 突固め結果 (S/A=40%)

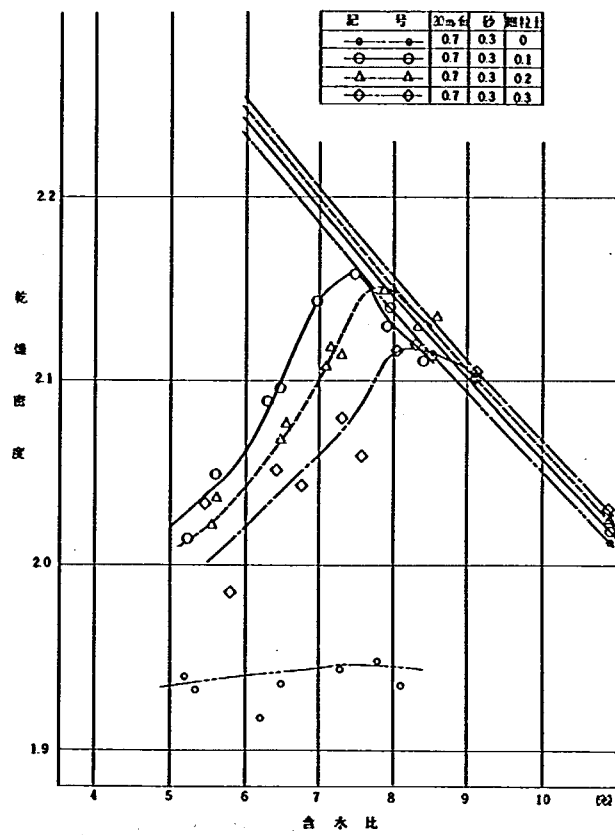


図-20 突固め結果 (S/A=30%)

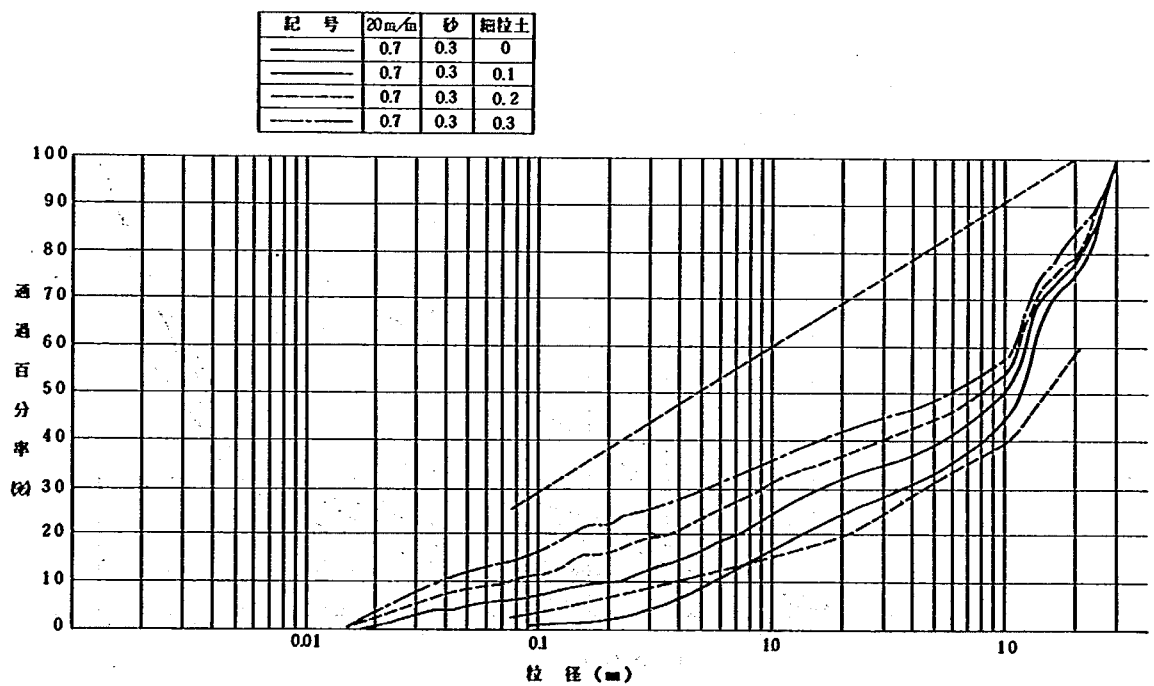


図-21 粒径加積曲線 (S/A=30%)

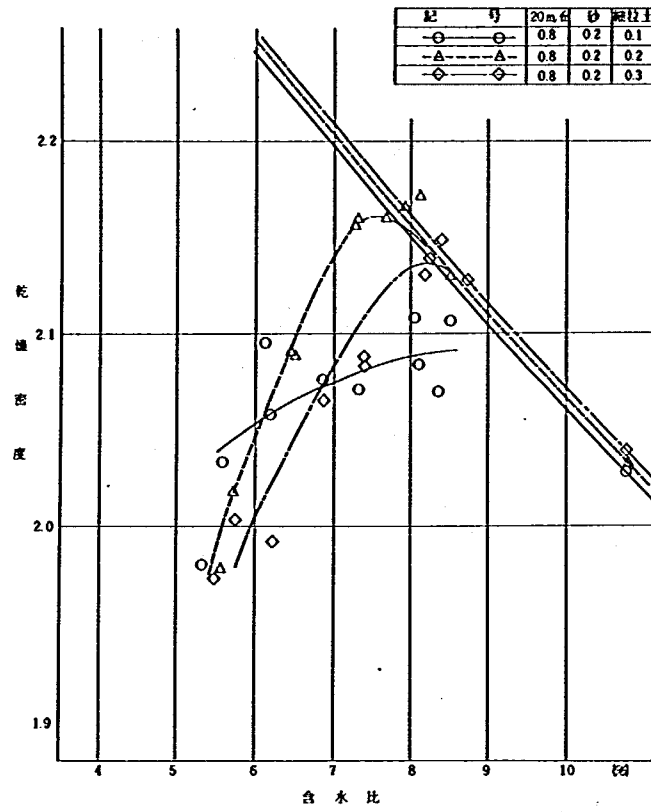


図-22 突固め結果(S/A=20%)

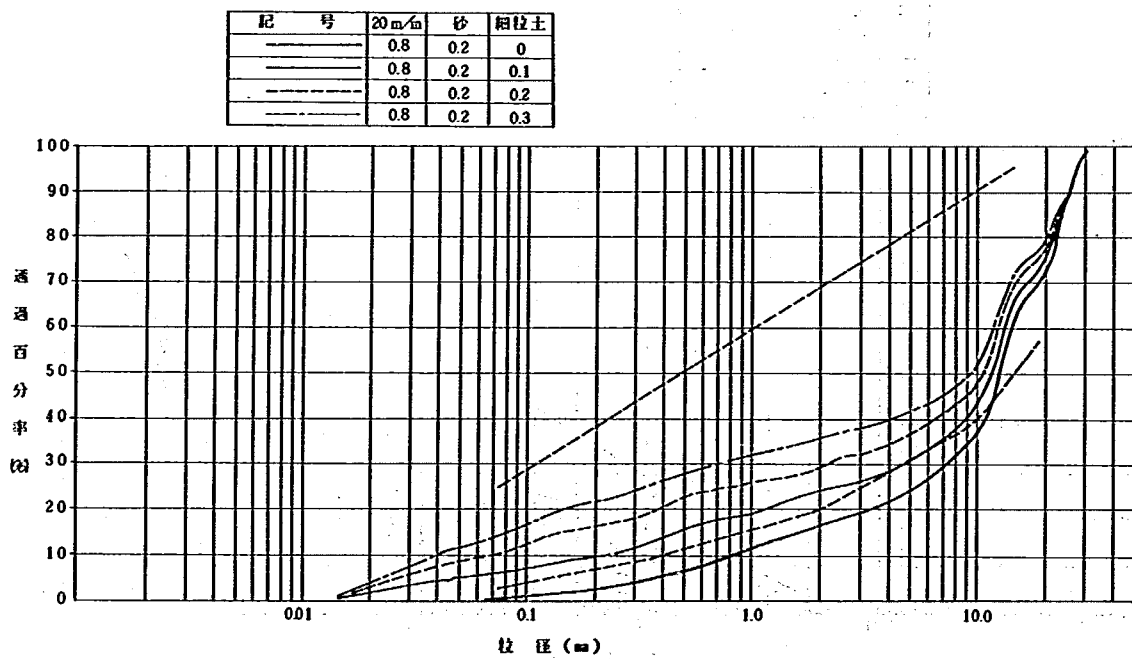


図-23 粒径加積曲線(S/A=20%)

5. 極貧配合コンクリートとフィルセメントの水セメント比・圧縮強度の関係

通常のコンクリートの配合から、単にセメント量を極端に少なくした場合の極貧配合コンクリートと、細粒土分を混入させたフィルセメントの水セメント比と圧縮強度の関係を調べるため次の試験を行った。

締固めエネルギーについて土質の突固め試験 (JIS 1210-1970) に準じてエネルギー $E=40$ として $\phi 15 \times 30\text{cm}$ の供試体で、2.5kg ランマーを使用する条件下記の式より突固め回数を求めた結果、5層とし各層57回となり以後はこの条件で実験を行った。

$$E_c = \frac{W_R \cdot H \cdot N_B \cdot N_L}{V}$$

W_R : ランマー重量 (kg)

H : ランマー落下高 (cm)

N_B : 1層当りの突固め回数

N_L : 層数

V : モールドの体積 (cm^3)

5-1 極貧配合コンクリート

3章の予備試験の項で富士川産の骨材により、細骨材率40%, 単位セメント量 $50\text{kg}/\text{m}^3$ の貧配合での圧縮強度と単位水量、水セメント比の関係を図-2に示した。これによると強度は著しく低いけれども、圧縮強度と水セメント比の関係が成り立っているようである。この時の乾燥密度と含水比の関係は図-24に示すものであり、両者の関係は含水比に関係なく乾燥密度はほぼ一定となっている。

(1) 天然骨材による極貧配合コンクリート

大川ダム産の骨材を用いて同様な締固め試験を行ったところ結果は図-25, 26に示すようにかなりバラツキが大きい、乾燥密度は含水比に関係なくほぼ一定であり、圧縮強度は水セメント比175%, 含水比4%前後において最大となり、それ以上含水比が大きくなると低下している。

(2) 碎石による極貧配合コンクリート

次に骨材として碎石を用いて同様な試験を行ってみた。その結果を図-27, 28に示す。

これによると乾燥密度は含水比が高い程大きくなる傾向でピークが明確でない。また圧縮強度も同様である。また予備試験で使用した富士川産と今回行った草木産の碎石、阿賀川産の川砂利の各配合時における粒度分布は図-29に示すようにどの骨材も大差のないものである。

5-2 フィルセメント

極貧配合コンクリートに細粒土が混入したフィルセメントの乾燥密度、圧縮強度を調べる。

使用骨材は4-1の試験と同様で細粒土も同じ草木産とし、細粒土混入率は図-15より最大乾燥密度の明確な(4)配合 (混入率15%)と不明確な(2)配合 (混入率5%)の2種類を取り上げた。

念のため締固めの結果を図-30, 31に示すが4-1の試験と同様な結果となっている。

続いて圧縮強度と含水比の関係を図-32, 33に示す。この結果もバラツキが大きい、(2)の配合では $W/C=200\%$ 付近で圧縮強度は最大となり約30%となり、(4)配合では $W/C=250\%$ 付近で約

27%となっている。

5-3 まとめ

- 1) 極貧配合コンクリートの天然骨材使用の結果、乾燥密度は含水比に関係なくほぼ一様な分布となり、圧縮強度は、 $W/C=175\%$ で平均26%が得られた。
- 2) 極貧配合コンクリートの碎石使用の結果、乾燥密度は、含水比3.75%付近で最も小さく、含水比がこれより大きくなると比例して大きくなる傾向にある。

圧縮強度と水セメント比についてはバラツキが大きくはっきりしないが、水セメント比が大きい程、強度もやや大きくなる傾向を示している。

- 3) フィルセメントの場合、最大乾燥密度の明確な場合とそうでない場合の圧縮強度と最大圧縮強度の得られた含水比での乾燥密度を比べると、前者では $r_d=2.23$, $\sigma_c=27\%$, 後者では $r_d=2.12$, $\sigma_c=30\%$ 前後でありセメントを加えた場合は一般に乾燥密度が大きければ強度も大きいとされているが、ここでは細粒土の混入が強度に影響を及ぼしているものと思われる。

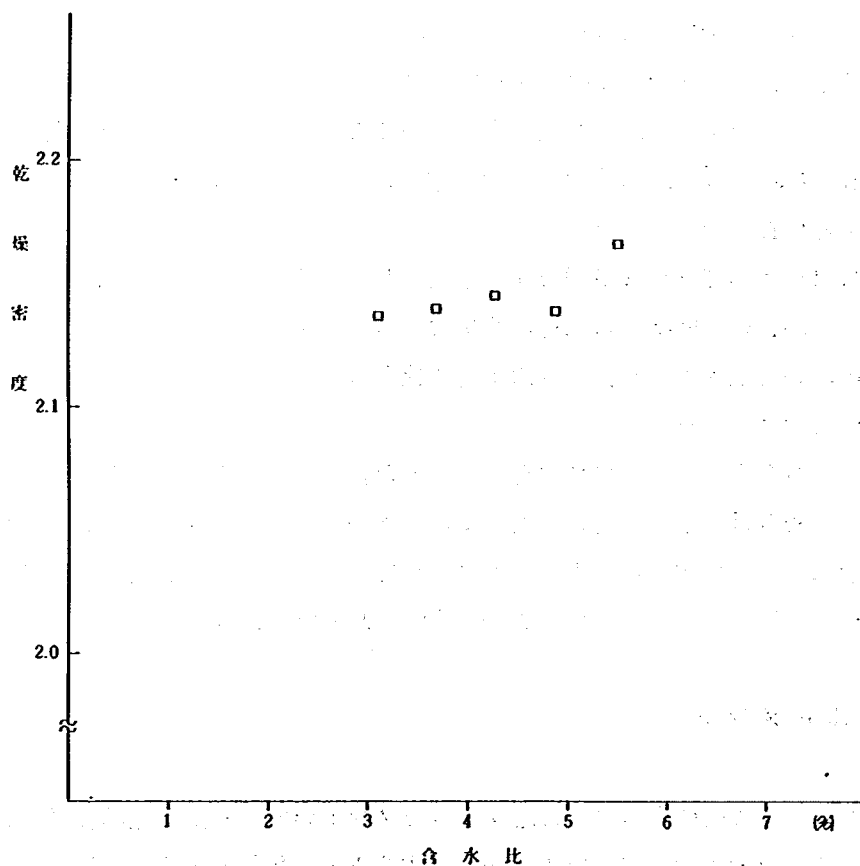


図-24 突固め結果(富士川産)

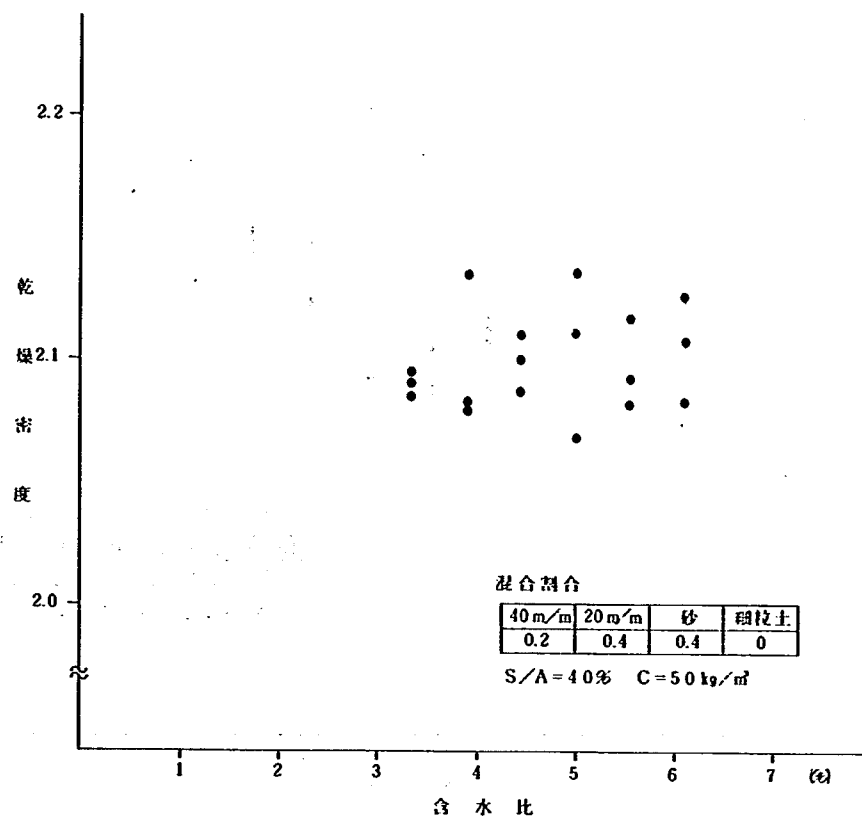


図-25 突固め結果(大川)

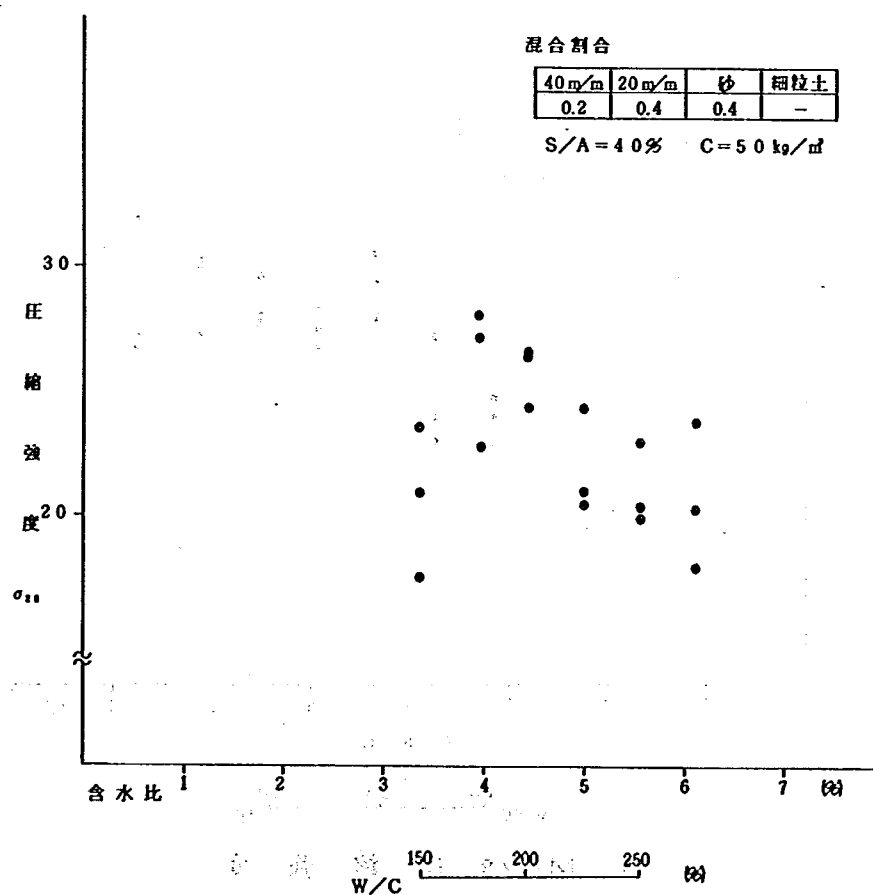


図-26 圧縮強度

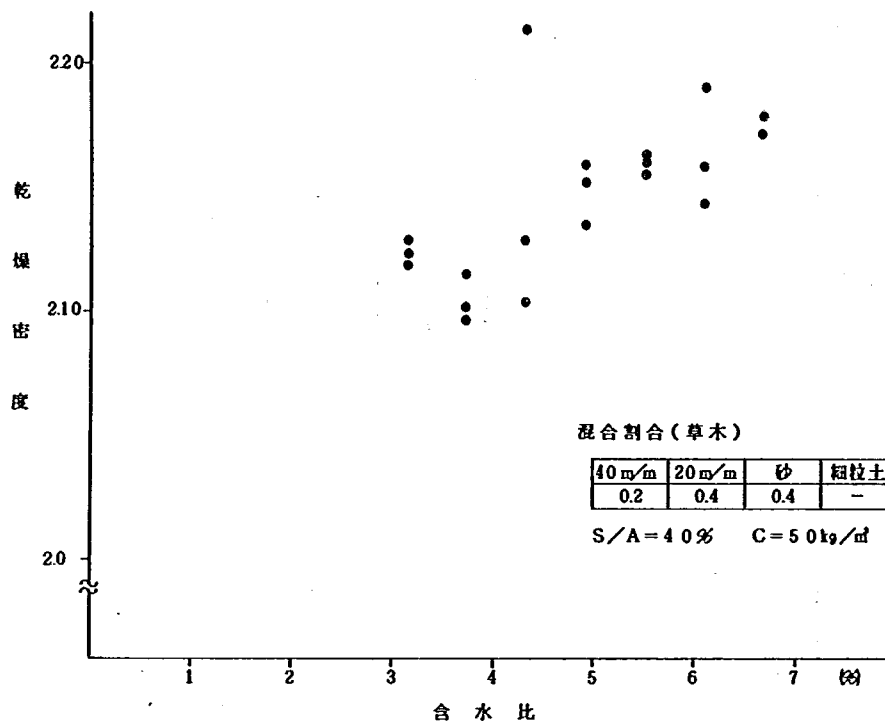


図-27 突固め結果

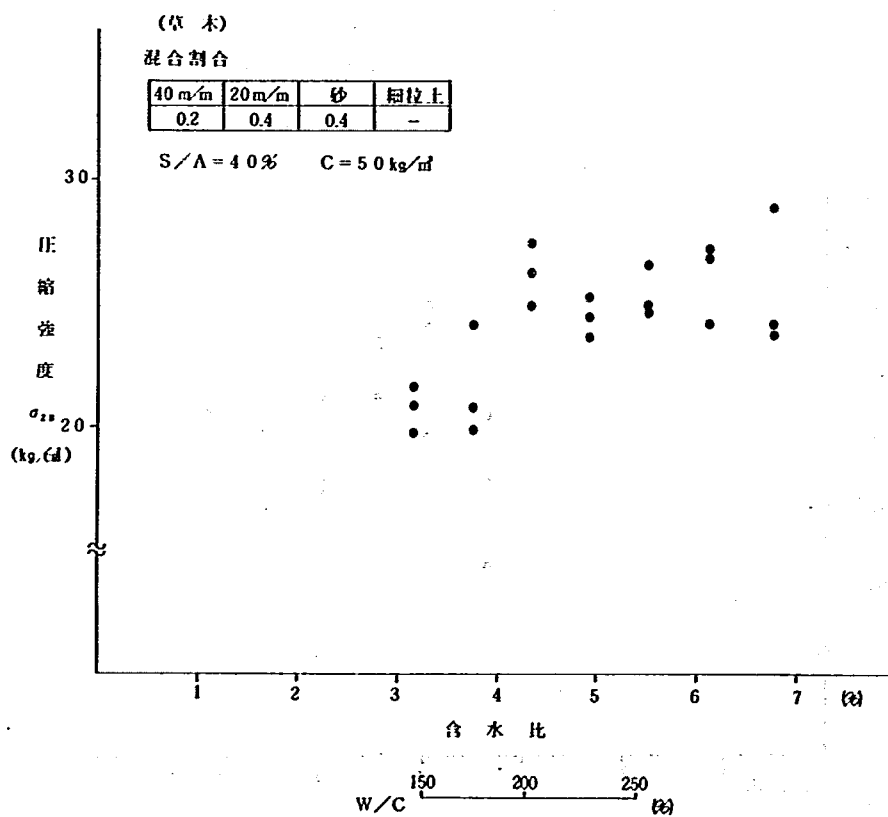


図-28 圧縮強度

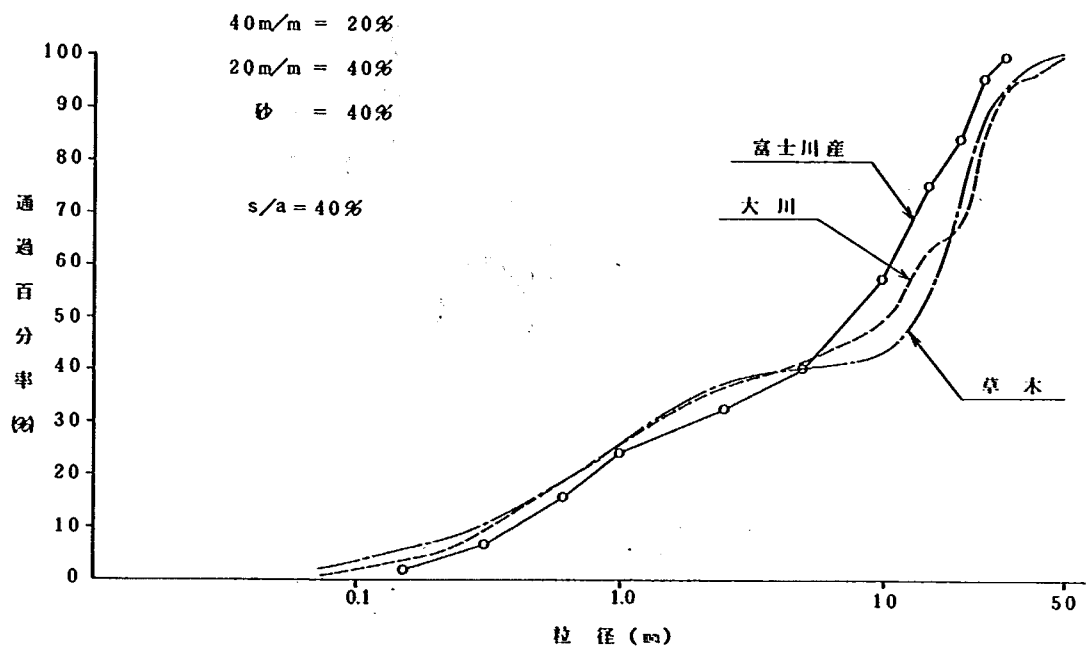


図-29 粒徑加積曲線

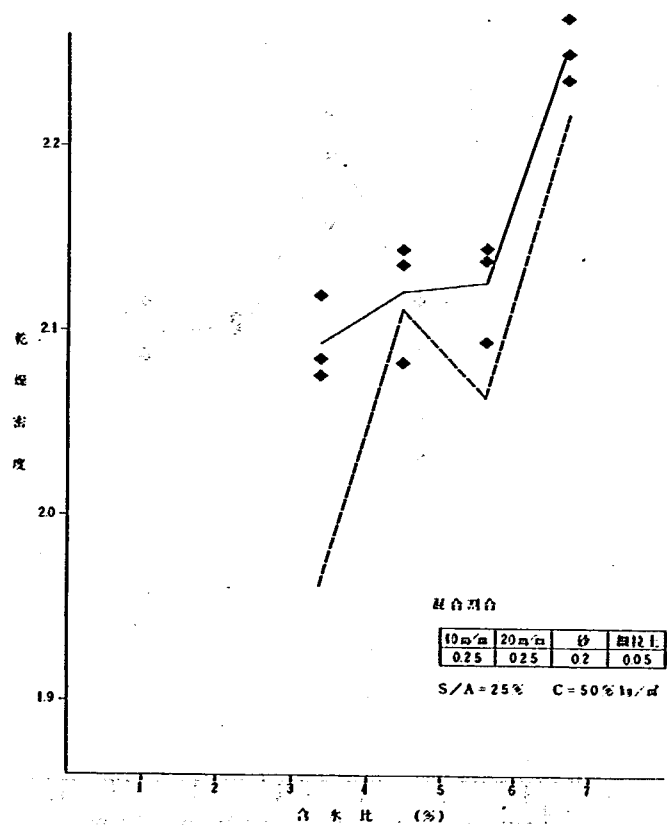


図-30 (2) 配合 (草木) 突固め結果

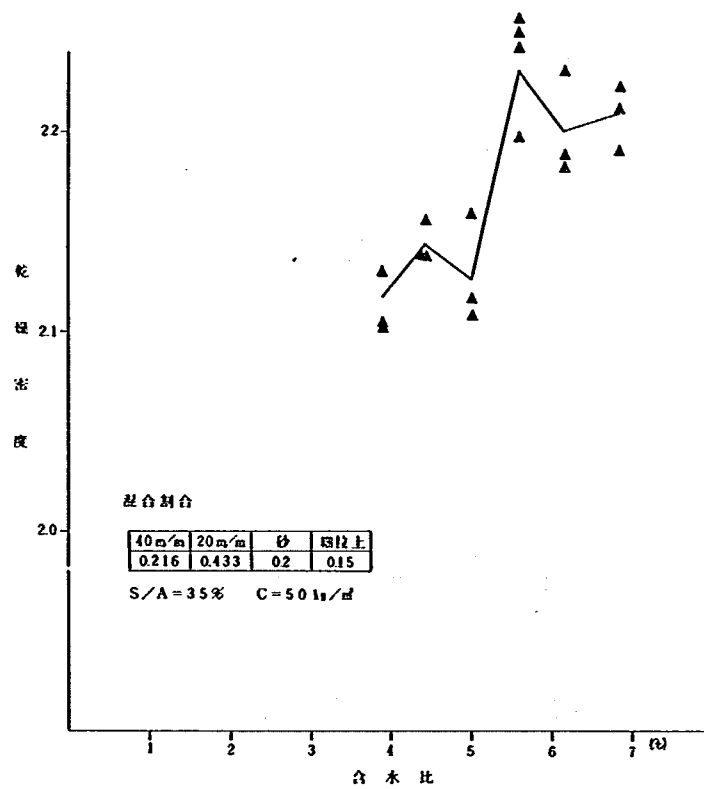


図-31 (4) 配合 (草木) の突固め結果

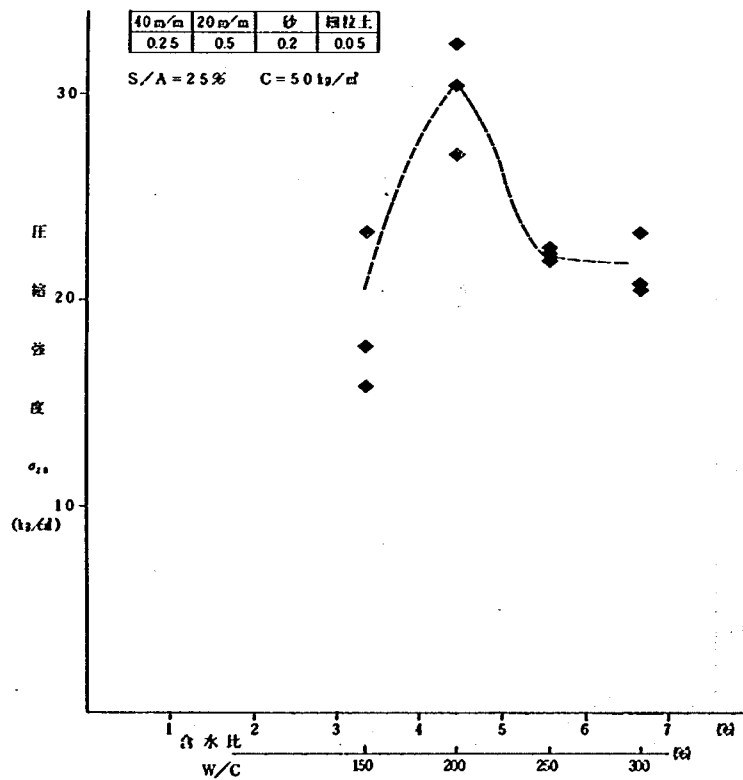


図-32 圧縮強度 (2) 配合

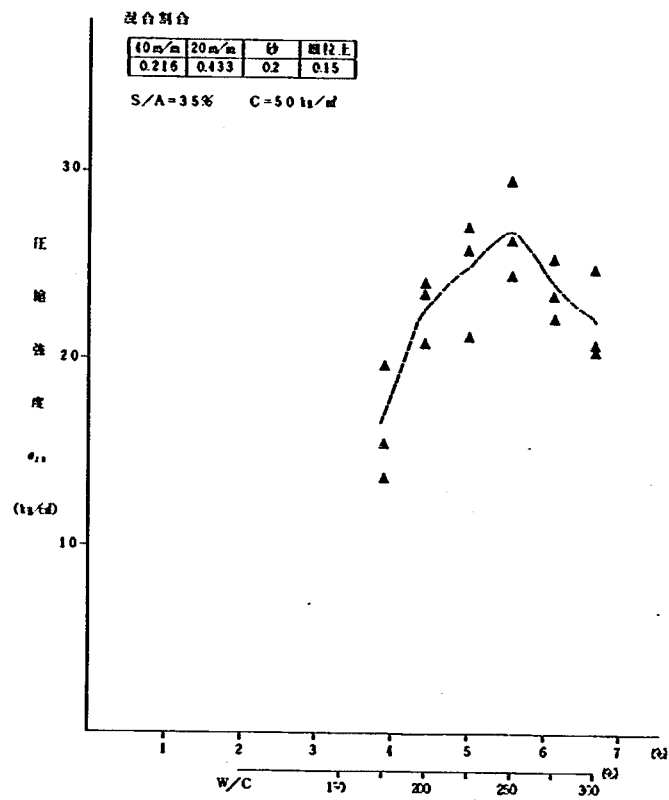
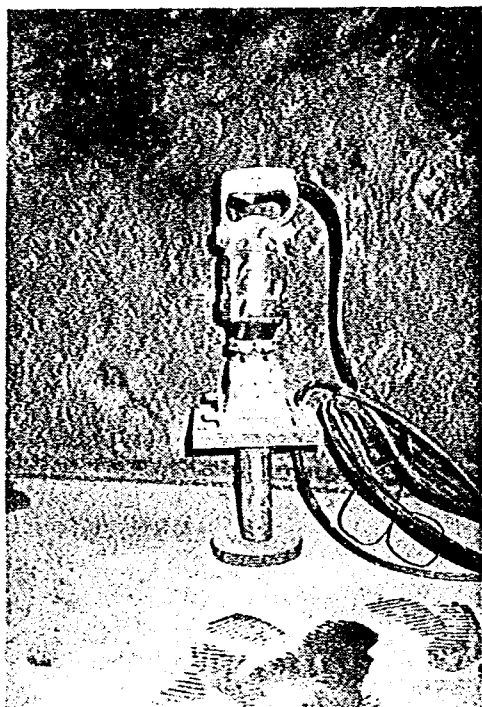


図-33 圧縮強度 (4) 配合

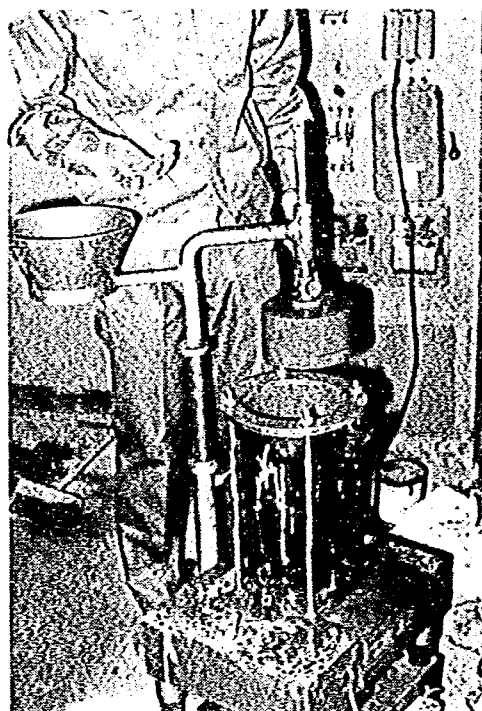
6. 締固め方法の比較検討

これまでブリージング防止の為、一連の試験にランマーを使って突固めていたが、現場での施工は振動ローラーを使うことが締固めには有効であるため室内試験でも振動による締固め試験を行う必要がある。

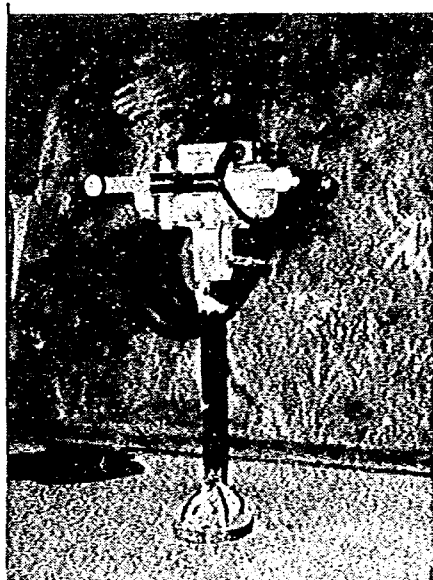
そこで下の写真に示すような3種類の振動締固め機を使ってそれぞれの締固め能力を比較してみた。



1. 外面バイブレーター



3. VB振動台



2. 振動タンパー

写真 1 は外面バイブレーター、2 は振動タンパー、3 は V B 振動台であり、外面バイブレーターと振動タンパーは、モールドに試料を入れ、上から締固めるが、V B 振動台は、写真から見られるように振動台の上にモールドを置き、試料を入れ、上からオモリを乗せて締固めるもので、これらの性能を表 - 6 に示す。

表 - 6

名 称	外面バイブレーター	振 動 タ ン パ ー	V B 振 動 台
荷 重	2 0 kg (自重)	1 6 kg (自重)	1 1.1 kg (オモリ)
振 動 数 (rpm)	7 0 0 0	約 3000	3 0 0 0
振 幅 (mm)	1	1	1

6 - 1 載荷時間と乾燥密度

ここでは、載荷時間と乾燥密度の関係を調べるため、大川産の骨材を用い、 $s/a=40\%$ 、細粒土混入率 10%、含水比は 5%、7% の 2 種類としセメントは入れないものとした。結果を図 - 34 に示す。

この結果、締固め効果は振動タンパーと V B 振動台が同程度で 7% の含水比のものは、約 1 分の載荷で乾燥密度が最大となり、外面バイブレーターより優れている。

6 - 2 振動締固め機とランマーの比較

次に、3 種の振動締固め機と、CBR 試験用の 2.5 kg のランマーを用いたもので締固め能力の比較を行ったものが図 - 35 (1)~(3)である。

この結果、低含水比の外面バイブレーターを除いては、振動締固め機がランマーより高い締固め効果が得られる。

振動締固め機を使用した場合、ブリージングが発生し、濁水の流出があり、含水比 7% 時の乾燥密度がゼロ空積曲線よりとび出している。したがって図に示すように実際の含水比は設定した含水比 7% より小さいものとなっている。

含水比 7% においてブリージングが生じる時間は、外面バイブレーターで 60 秒、振動タンパー、V B 振動台では約 20 秒で発生している。

また、含水比 5% では締固まり難く、乾燥密度も小さいことから、浮水が多少生じてくる程度の含水比が各々の締固め方法に対する最適含水比といえるのではないかと考えられる。

6 - 3 セメント量と圧縮強度、乾燥密度の関係

次に 6 - 1、6 - 2 と同配合の材料にセメントを 50, 70, 90, 110 kg/m³ 加えたものについて圧縮強度、乾燥密度の関係を調べた。締固め方法は、6 - 1 の結果より V B 振動台を用いることにし、

締固め時間は、乾燥密度の変化が少なくなる80秒とし、3層に分けて締固め、含水比は6%とした。この結果を図-36, 37に示す。

乾燥密度とセメント量の関係を見ると $C = 50 \text{ kg/m}^3$ の時が最も大きく、セメント量が増加するに従って小さくなっている。この結果は、今まで「セメント量の多いもの程乾燥密度が大きい」と考えられていたものとは異っている。また、28日圧縮強度も以前碎石を使い、ランマーで締固めた供試体が 25 kg/cm^2 前後だったのに対し、今回は $12 \sim 13 \text{ kg/cm}^2$ と小さい。

この原因として考えられる事は.....

- 1) ブリージングは、 $C = 50 \text{ kg/m}^3$ の時多量に見られ、セメント量が増加するにつれて少なくなり $C = 110$ では程んど見られなかった。
- 2) $C = 110 \text{ kg/m}^3$ のものは空隙が多い。これはセメント量が多いにもかかわらず、含水比を6%一定としたことによるためと思われるが、このような現象はランマーを使用した時には見られなかったものである。したがって、セメントを増加して行くとコンクリートの性質を示すようになり、セメントを加えない時の試料の最適含水比にとらわれずフィルセメントとしての最適含水量を深す必要がある。また、エネルギーについても単に何秒ではなく、使用水量、セメント量に伴って変えたほうが良いのではないかと思われた。

大川ダムのRCDCにおける室内試験ではエネルギーを時間で与えないで、ブリージングが起るまでとしていることは注目される。

6-4 まとめ

- 1) 载荷時間と乾燥密度の関係は、含水比、振動締固め機の種類によって異なるが一般に1~2分程度の载荷により最大密度が得られ、これ以上载荷を行っても著しい効果は認められない。
- 2) ランマーと振動締固め機の比較では、低含水比の外周バイブレーターを除けば、振動締固め機が、バイブレーターより高い締固め効果が得られる。
- 3) 含水比が5%では、かなり締固めが困難であり、本試験においては、含水比6%前後、载荷時間1~2分位で、多少ブリージングが生じる状態において最適な締固め効果が得られる。
- 4) 単位セメント量を増すと、圧縮強度は大きくなるけれども、本試験では含水比を一定としたため、単位セメント量の多いもの程空隙が多く、乾燥密度が小さくなる結果が得られたが、セメントを加えない時の試料の最適含水比にとらわれず、フィルセメントとしての最適含水量を深す必要がある。

また、载荷エネルギーについても本試験では、時間で決めたけれども大川ダムのような例もあり、現場の施工状態、フィルセメントの特性等を考えて検討する必要がある。

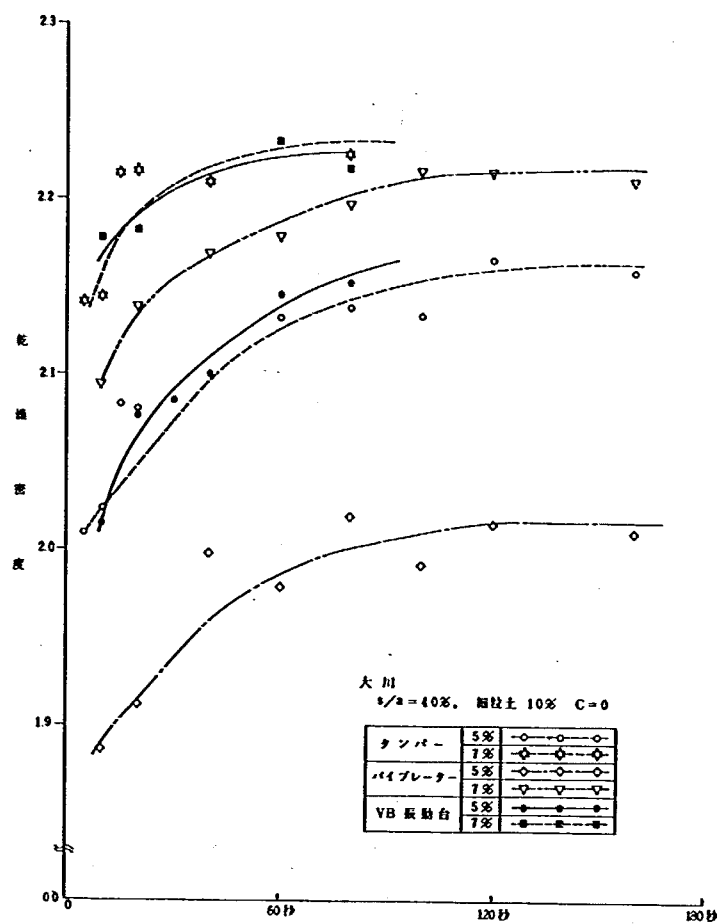


図-34 载荷時間と乾燥密度の関係

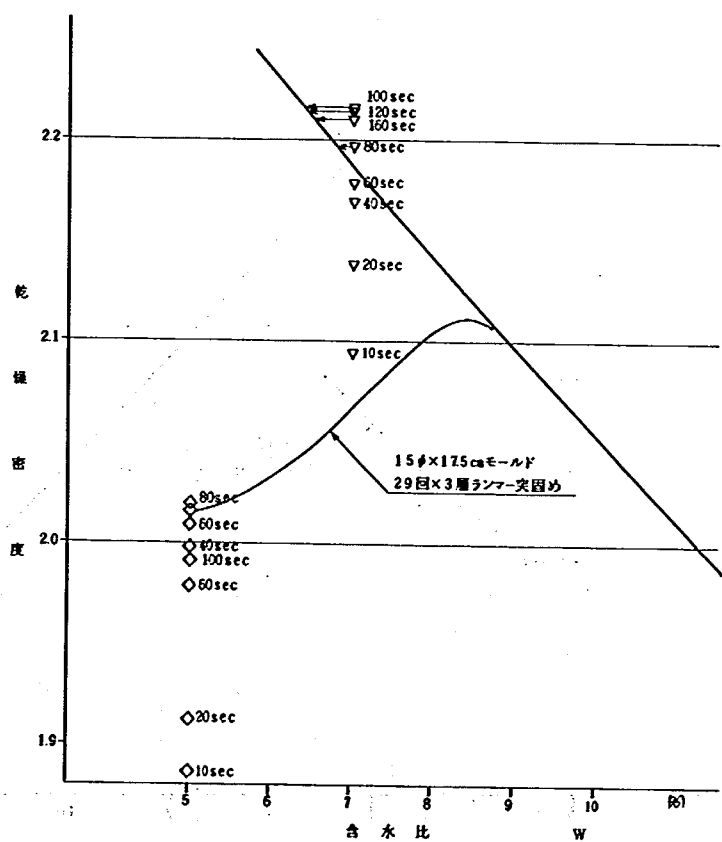


図-35-1) バイブレーターとランマーの締固め効果の比較

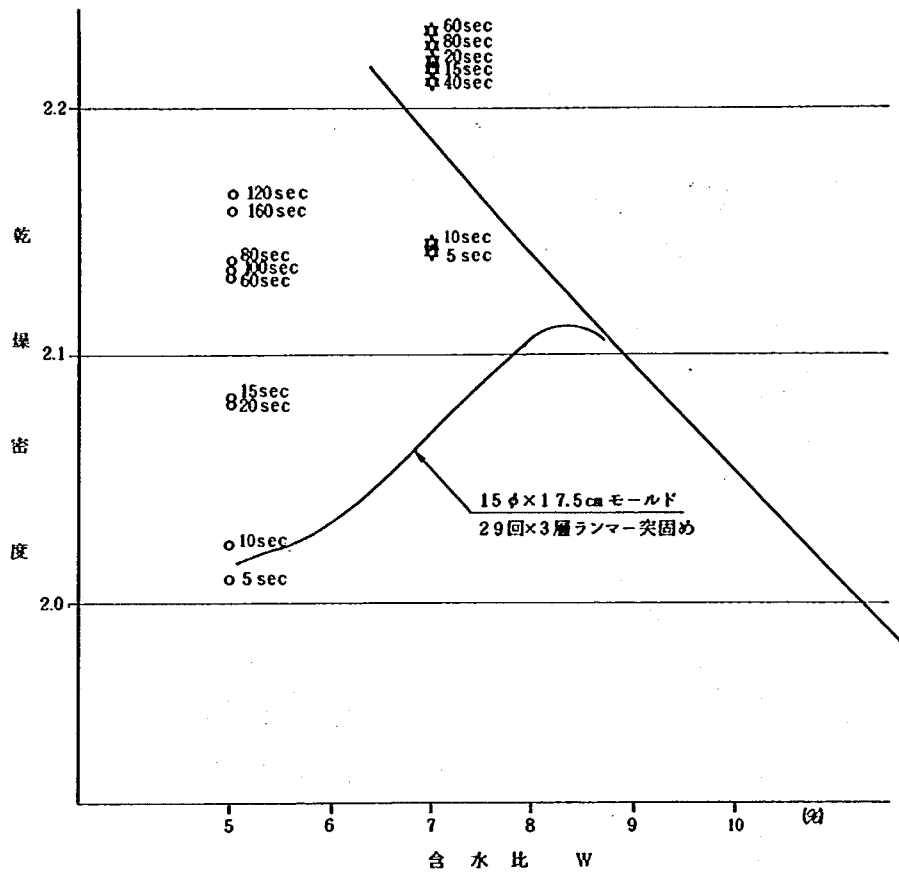


図- 35-(2) タンパーとランマーの締固め効果の比較

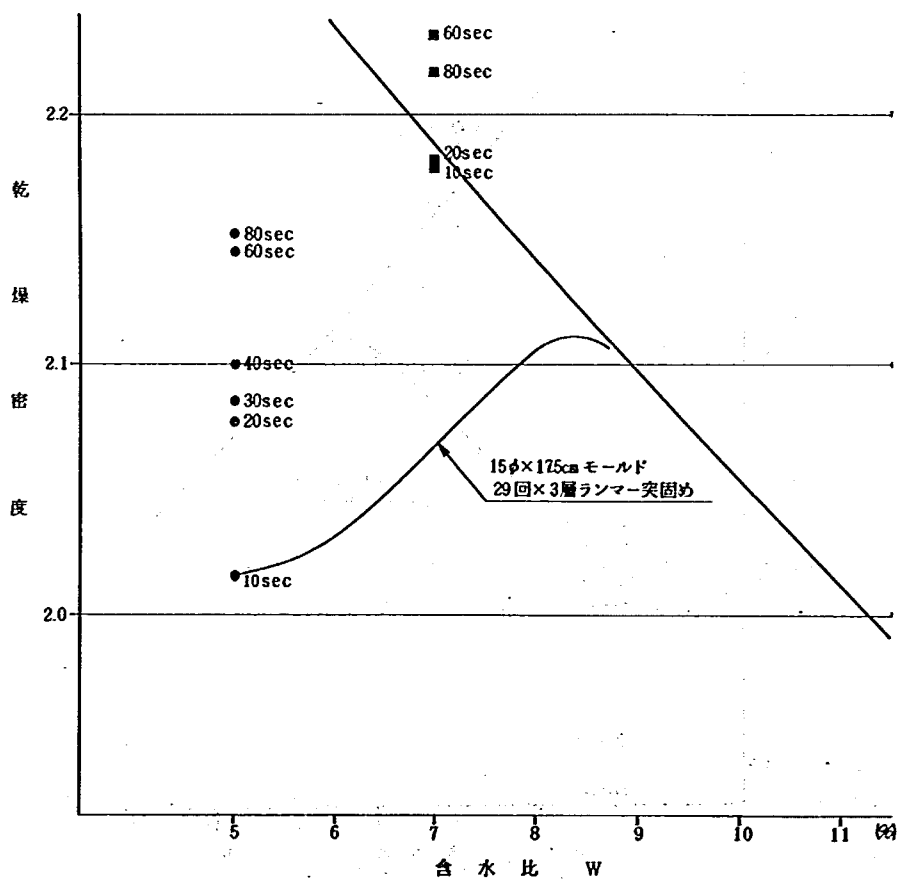


図- 35-(3) VB 振動台とランマーの締固め効果の比較

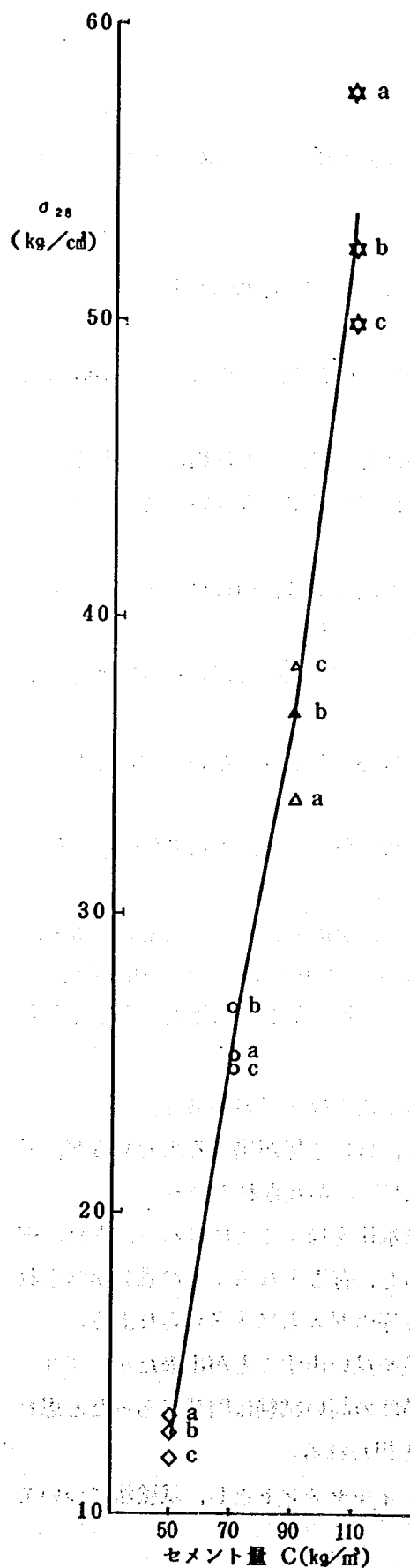


図-36 セメント量と圧縮強度の関係

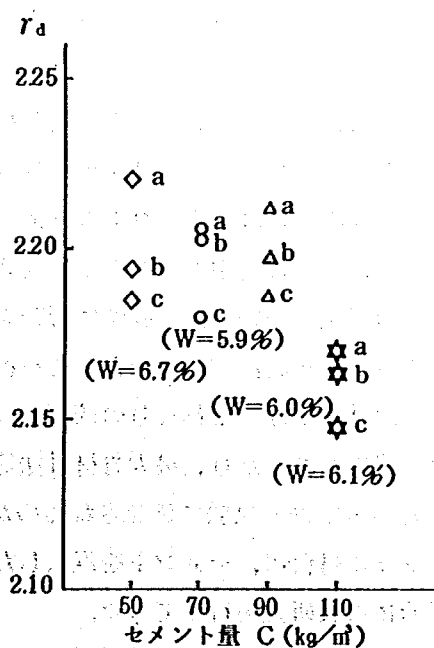


図-37 セメント量と乾燥密度の関係

7. ま と め

種々行ってきたフィルセメントとしての試験では、むしろ従来のコンクリートの物性に与える影響としての水セメント比として考えるより、最大乾燥密度を得る最適含水比、細粒分を適度に含んだ粒度、適度な振動エネルギーが必要であることが解ってきた。

各章でのまとめを、更に要約すると

- 1) 材料のうち特に 0.5mm 以下の細粒分が、約 10 % 程度含まれているものが、最大乾燥密度が得られた。

また、それにセメントをかえた場合、最適含水比より約 1 % 少ない含水比の場合に強度が概ね大きい。

- 2) 細骨材率、細粒土混入率と、乾燥密度及び圧縮強度との関係は密接で、最大乾燥密度を得るためには、細骨材率が小さい場合は、多くの細粒土を必要とし、逆に細骨材率が大きい場合は、少ない細粒土混入となった。

ただし強度的には、必ずしもそのような関係にはならない。本試験では、細骨材率 30 %、細粒土が 10 % 程度混入されたものが、両者において最も良い結果となった。

- 3) 突固め試験で、骨材の種類、砂利、碎石によっては、最大乾燥密度が明確に得られる場合と、そうでない場合があった。

また、前者の場合に乾燥密度が大きければ、強度も大きいとは必ずしもならない。細粒分としての泥土が、強度に影響を及ぼしていると推定される。

- 4) 試験用モールドでの締固め効果は、図 - 34 に示す振動締固め機が高い締固め効果が得られた。中でも VB 振動台は、ブリージングの生じる時間が最も短かった。

- 5) VB 振動台を用いて、最大乾燥密度を得られた含水比に対して、更にセメントを加えてみると、最大乾燥密度とセメント量の関係は、 $C = 50 \text{ kg/m}^3$ の時が最も大きくセメント量が増加するに従って小さくなる。従って供試体もポーラスとなり、必ずしもセメントを増加しても強度は大きくならなかった。

このことから、使用セメント量を加えた材料としての最適含水比を探す必要がある。

以上のことから、最大乾燥密度を得られるような粒度分布は、ほぼ予想が出来る訳であるが、最大乾燥密度を得る最適含水比に対するセメント使用量には、未だ問題が残されている。

したがって、所定の使用セメント量を含めたものでの最適含水比を探すことになる。また、細粒分としての泥土については、強度に影響を及ぼしており、もし、有害となるような成分が含まれているとすれば、それに代るものとして石粉、フライアッシュ等の混入も当然考えられよう。

更に、室内試験では、それなりの締固め効果の異なる振動機を見い出すことが出来たが、ブリージング水の流失があったり、最大骨材寸法等の製約もあり、精度の高い試験は困難であったと思われる。したがって野外試験で確認されるのが、望ましかったと思われる。

ロックフィル材料に、セメントを混入したものを概念的にフィルセメントとし、試験法についても、模索的に調査研究を行ってきた。

今回は、この新材料がダム築造材料としての適用性についての検討は省いているが、今後、この種のものがダム築造材料として望まれるとしたならば、何らかの方向づけを与えるための踏台とな

るならば、幸である。尚、試験法については、土木研究所コンクリート研究室に指導頂いたことも多く、ここでお礼を申し上げる次第です。

フィルセメントとダム(3)室内
試験に関する報告

ISSN 0386-5878
土研資料第 1624 号
昭和 56 年 2 月

ダム構造研究室 斎藤 考三 依光 春実 矢沢 克敏
キーワード フィルセメント, 貧配合コンクリート, 外部振動締固めコンクリート

要 旨

フィルセメントに関して行った室内試験の結果をとりまとめたものである。



郵便はがき

3 0 5 - □ □

30円切手
をはいて
下さい

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

ダム部ダム構造研究室御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所





土木研究所資料第1624号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印

