



土 木 研 究 所 資 料

第 683 号

土の締固めの一表示法に関する試験

昭和46年6月

建設省土木研究所

目 次

第 1 章	概 説	1
第 2 章	先行圧縮応力値	3
2 - 1	概 説	3
2 - 2	静的に締固めた土の圧縮試験	3
2 - 3	先行圧縮応力値	12
2 - 4	増加荷重試験	12
2 - 5	土質，含水比の変化による先行圧縮応力値	13
2 - 6	実 車 試 験	14
第 3 章	実車試験とその室内試験および室内比較試験	22
3 - 1	概 説	22
3 - 2	実 車 試 験	22
3 - 3	室 内 試 験	29
3 - 4	室 内 比 較 試 験	33
第 4 章	試験結果ならびに考察	34
4 - 1	概 説	34
4 - 2	実車試験によって得られた結果ならびに考察	35
4 - 3	室内比較試験結果ならびに考察	39
4 - 4	実車試験，室内比較試験結果の各々の比較および 実車試験と室内比較試験との対比	40
第 5 章	先行圧縮応力値の応用および今後の問題点	90
5 - 1	概 説	90
5 - 2	盛土高に対する締固め機械の選定	90
5 - 3	締固め不足の盛土	90
5 - 4	構造物との接続部	92
5 - 5	今 後 の 問 題 点	92
第 6 章	結 論	93
6 - 1	実車試験，室内比較試験について	93
6 - 2	実車試験と室内比較試験相互の対比	95
あ と が き		96

第 1 章 概 説

土工は現場の自然条件に左右される要素がきわめて多く仕様を定め、その仕様にそった管理を行なって施工される品質について考えてみても、工場内で生産される生産管理のように画一的方法で対処していくものにくらべはなほだ困難なことが多い。

土工の中でもっとも重要な事項と考えられるものに締固めの問題がある。

道路土工指針に締固めの目的として次のように述べられている。

- (i) 土の空気間けきを減じ透水性を低下させ、水の浸入による軟化、膨張を小さくして土をもっとも安定した状態にすること。
- (ii) 盛土のり面の安定、交通荷重の支持など、土構造物に必要な強度特性を盛土に持たせること。
- (iii) 完成後の路面に悪影響をおよぼす盛土自体の圧縮沈下を少なくすること。

このいずれもが盛土に要求される必要な条件である。この目的を満たすために従来から次のような締固めの規定方式がある。

- (1) 乾燥密度で規定する方式。(締固め度)
- (2) 飽和度、または空気間けき率で規定する方式。
- (3) 強度特性で規定する方式。
- (4) 締固め機種、締固め回数で規定する方式。
- (5) 簡単な施工法によって規定する方式。

などである。しかしこれらの方式で規定しても直接盛土などに必要な締固めの程度を求めるのは困難である。それはこれらの規定方式が直接力学的応力-変形に関する index ではないからである。

また、高含水比の粘性土のような場合、乾燥密度で規定することは多くの問題がある。従って最近では飽和度や空気間けき率が多く用いられる。しかしこの方法では土の含水比が低い場合ほど大きな締固めエネルギーを必要とし、また含水比が高い場合ほどわずかなエネルギーで良いことになる。したがって強度の面からも含水比が低い場合には必要以上に強いものになり、含水比が高い場合にはかなり弱い状態でも規定に合格することになるので盛土の安定と施工に必要な強度が得られているかどうか不安が残る結果となる。

そこで静的に締固めた試料を用いて多くの圧縮試験を行なった結果、あらかじめ加えられた応力が一つの指標として考えられ、その値を先行圧縮応力値 (P_0) と定義づけると、締固められた土に荷重が作用するとき、この先行圧縮応力値を境にして応力-ひずみの関係が急変することがわかり同時にこの圧縮特性値を用いることにより締固めと関連した盛土の力学的取り

扱いが可能となった。

次いで、タイヤローラやブルドーザなど実車により締固めた土の先行圧縮応力値がいかなるものであるかを実測し、それと並行し室内突固め試験によって得られる試料の先行圧縮応力値を求めた。

そこで本報告では主として盛土の自重による圧縮変形する場合を対象に選びこれら締固め機械が果す締固め効果を検討するとともに、突固め試験によって得られた先行圧縮応力値との比較を行なった。また従来から用いられている密度、飽和度、空気間げき率などの締固め定数と先行圧縮応力値との関係についても検討を加え、一軸圧縮強度、透水係数との関係も考慮し、各ファクターの実車試験、室内比較試験間、ならびに両者相互間の関係についても考察を加えた。

第 2 章 先行圧縮応力値

2-1 概 説

土の圧縮特性についての研究で静的に締固めた試料を用いて多くの圧縮試験を行なった結果、締固めた土に荷重が作用した時先に加えた応力（先行圧縮応力値 P_0 ）を境にして応力-ひずみの関係が急変することが見出された。この章では主として、先行圧縮応力値の定義とその求め方、また、この値が実車の場合どのような値となるかを、屋内転圧試験によって求めた結果について述べる。

2-2 静的に締固めた土の圧縮試験

土の圧縮特性を確かめるために大型圧縮試験機（ $\phi 30\text{ cm}$ $h 3.75\text{ cm}$ ）を用いて 静的に圧縮成形し周辺拘束の条件で載荷、除荷試験を行ない、ひずみ量の測定をした。

試験方法は図 2-1 に示す成形器によって試料に静的荷重を加える。所定の成形荷重（ P ）に達したら P を保ちながら 5～10 分間放置する。次に成形された試料をモールドと一緒に取り出し、圧縮試験機にセットする。試料とモールド、加圧板をなじませるため、 P に相当する荷重を 7 時間載荷する。次に荷重 P を取り除き約 10 時間放置してから載荷、除荷試験を行なう。以上で 1 ケースの試験とする。

よって成形時間は 7 時間となる。

この試験に使用した試料の一般的性質は表 2-1 のとおりであり、成形荷重（ P ）～載荷荷重（ σ ）並びに含水比の条件は表 2-2 に示す。

表 2-1

自然含水比	110%
土粒子の比重	2.65
三角座標による分類	シルト質粘土ローム
液性限界	152%
塑性限界	81%
塑性指数	71%
統一分類	MH

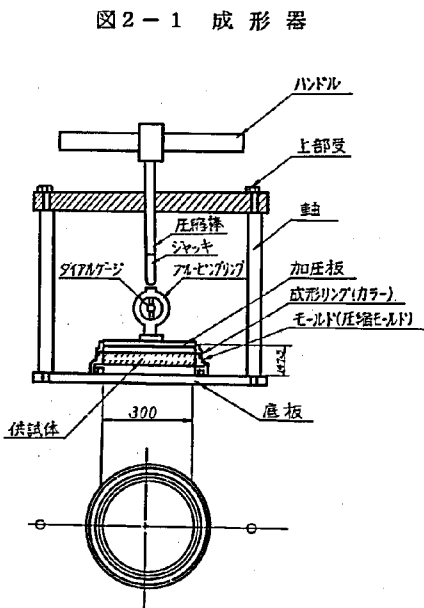


表 2 - 2

試 料		載 荷 試 験
成形荷重 (P 匁)	含 水 比 (w %)	載荷荷重 (σ 匁)
1.0, 2.0, 4.0	$w_1=94, w_2=110, w_3=78, w_4=\text{sat}$	0.5
"	"	1.0
"	"	2.0
"	"	4.0
"	"	8.0

この試験結果を整理して、載荷荷重(σ)～ひずみ(ϵ)～時間(t)の関係を示したのが図 2-2～13である。

その結果、成形荷重(P)と載荷荷重(σ)、ひずみ(ϵ)、時間(t)との関係について次のような関係が確かめられた。載荷荷重(σ)が成形荷重(P)より小さい範囲では図のように載荷時のひずみ量は小さく除荷されるとひずみはほぼもとの状態にもどり、供試体は粘弾性的変形を示す。又P以上の載荷荷重になるとひずみ量は大きく除荷されてもひずみは回復せず塑性的変形を示す。

すなわち、 $\sigma \leq P$ 粘弾性的変形
 $\sigma > P$ 塑性的変形となる。

また、不飽状態では、ひずみ量(ϵ)は時間の対数($\log t$)に直線関係を示す。(図 2-14 参照)

すなわち、 $\epsilon = a + b \log t$

ただし、 a, b : 応力によって定まる定数

t : 時間

上式で a は、載荷直後に生ずるひずみ量で、 $b \log t$ は時間の経過に伴って増加していくクリープひずみ量である。この $b \log t$ の値が盛土竣工後の沈下変形の問題に重視される。いま $b \log t = \epsilon_c$ として、 $\sigma \sim \epsilon_c \sim t$ の関係を求めたのが図 2-15である。同図は静的に $P=4$ 匁で締固めた試料について、各載荷荷重(σ)を作用させた時の経過時間(t)に対するひずみ量(ϵ_c)の関係を示すものである。同図からもわかる様に、載荷応力4匁の前後で ϵ_c の値は不連続となり、このPの値に対して載荷荷重 $\sigma=4$ 匁以下である場合はひずみ量は少なく、 $\sigma=4$ 匁以上の場合はひずみ量は急激に増加していることがわかる。このことより土の圧縮特性を考える時、土を締固めた状態におけるPの値と同図に示されるような $\sigma \sim \epsilon_c \sim t$ 曲線が重要な役割を果たす。

図 2-2 $\epsilon \sim t$ の関係

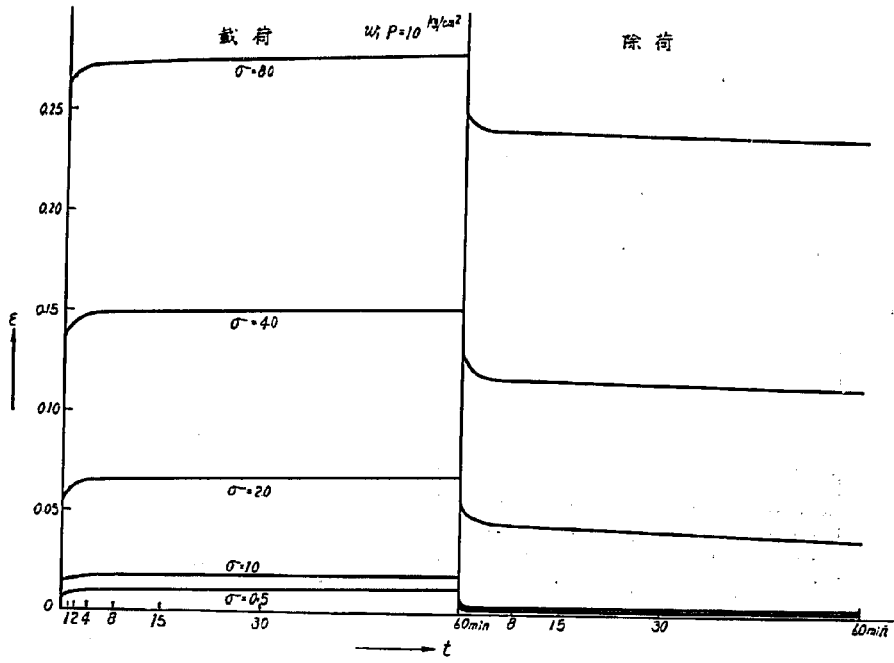


図 2-3 $\epsilon \sim t$ の関係

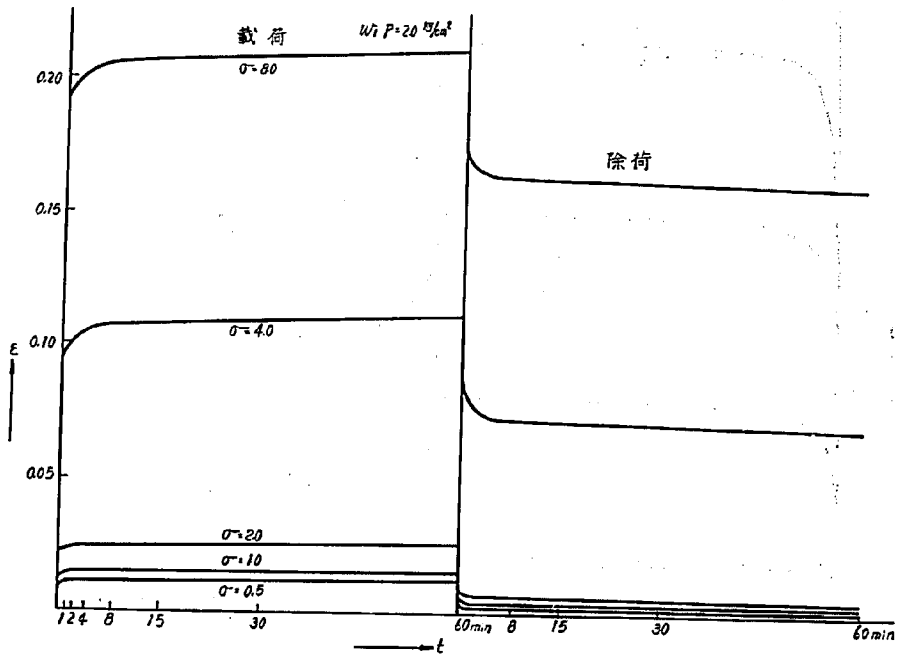


図 2-4 $\varepsilon \sim t$ の関係

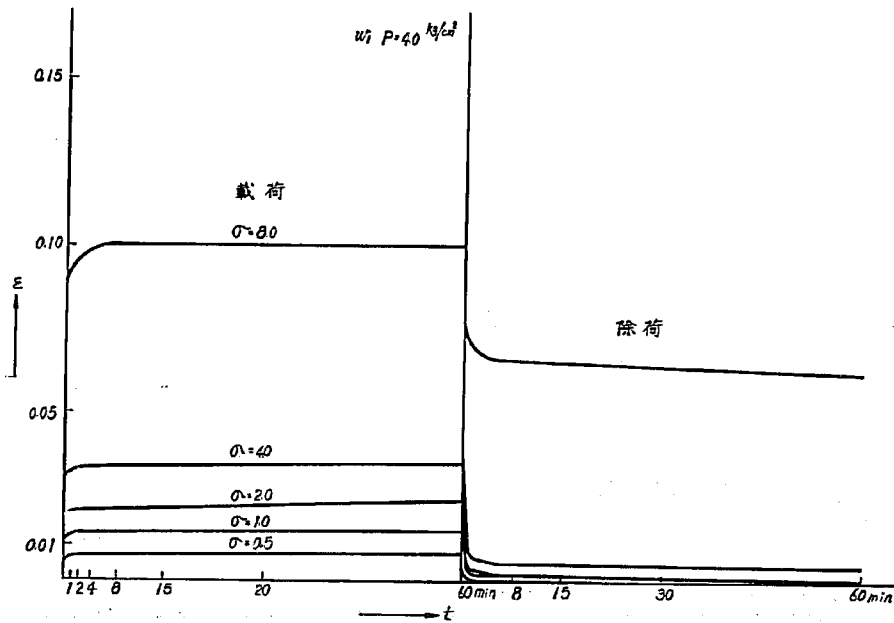


図 2-5 $\varepsilon \sim t$ の関係

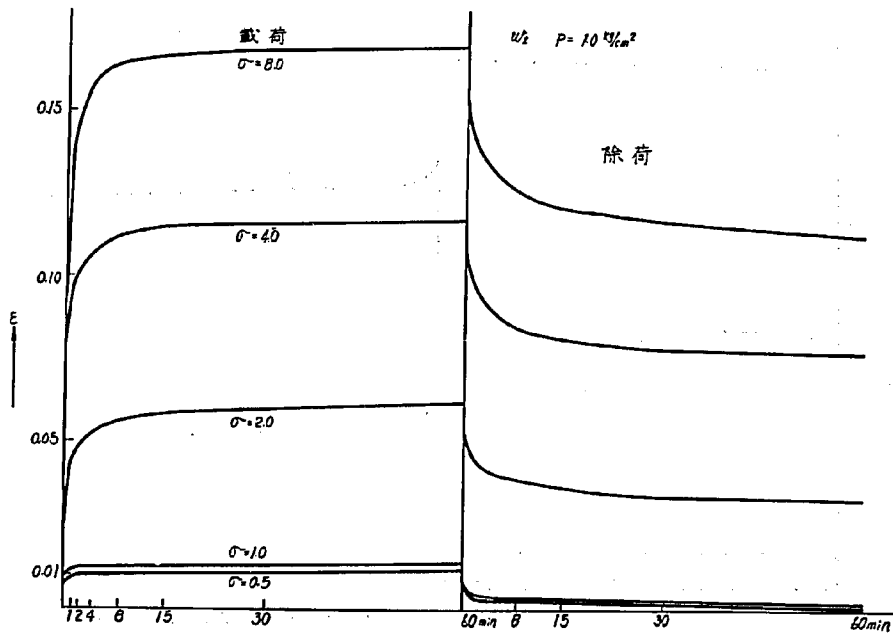


図 2-6 $\varepsilon \sim t$ の関係

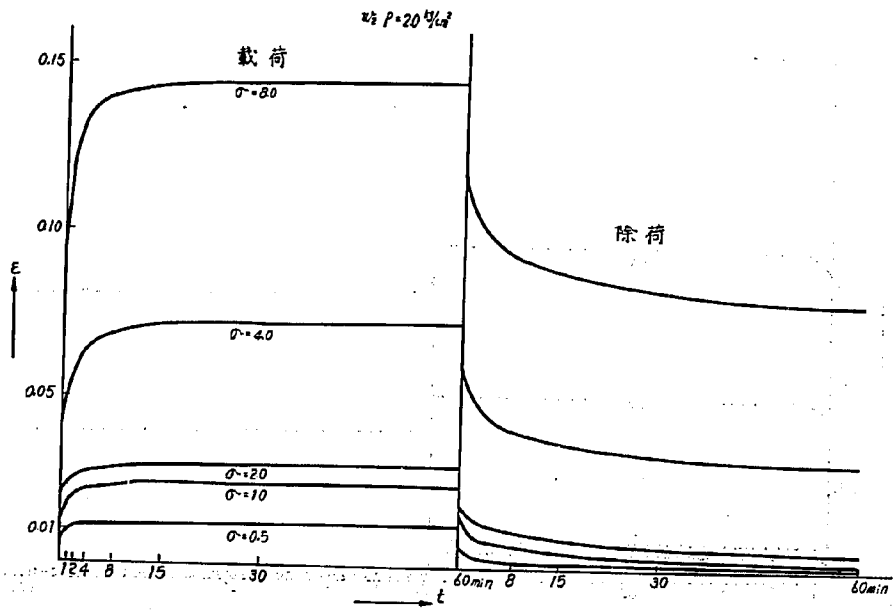


図 2-7 $\varepsilon \sim t$ の関係

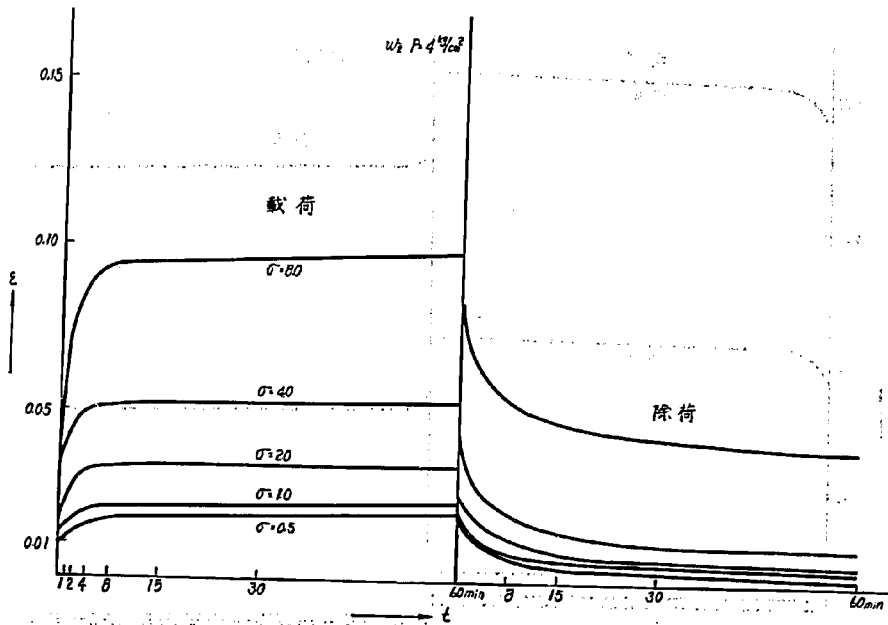


図 2-8 $\varepsilon \sim t$ の関係

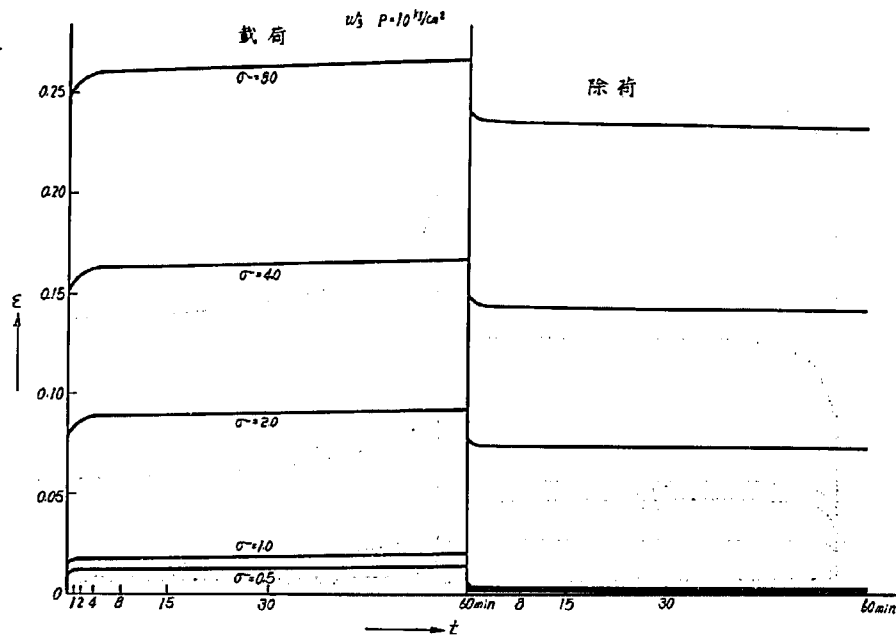


図 2-9 $\varepsilon \sim t$ の関係

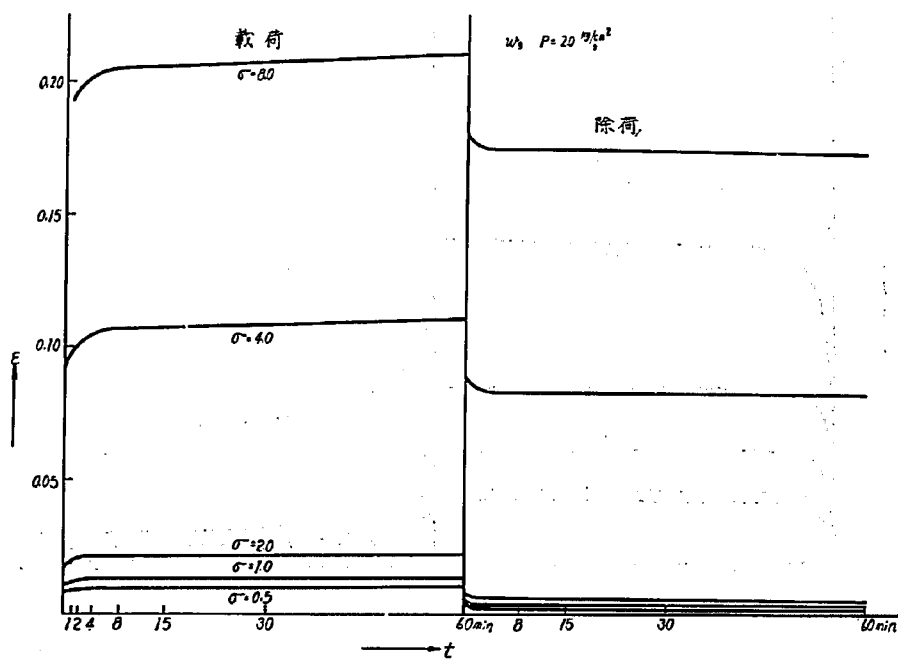


図2-10 $\varepsilon \sim t$ の関係

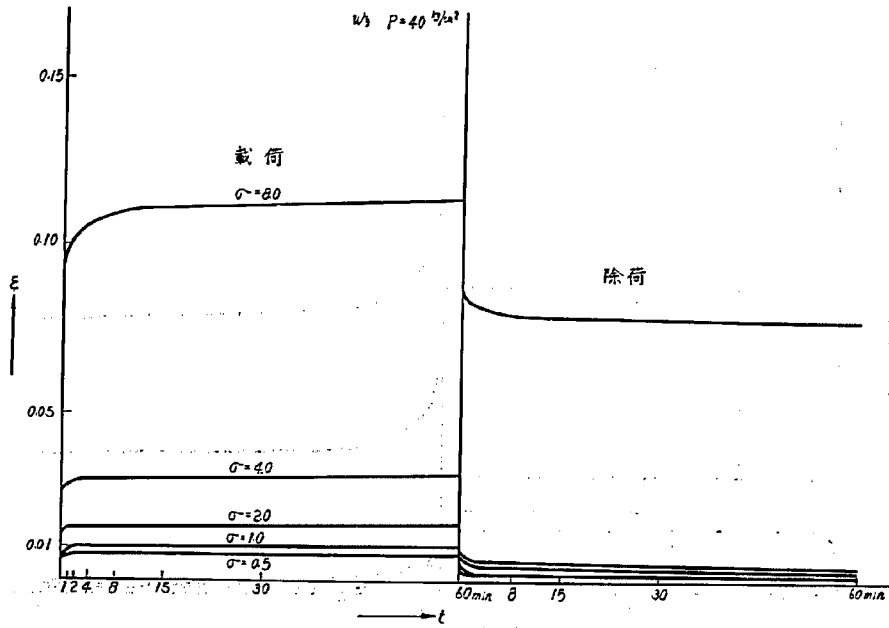


図2-11 $\varepsilon \sim t$ の関係

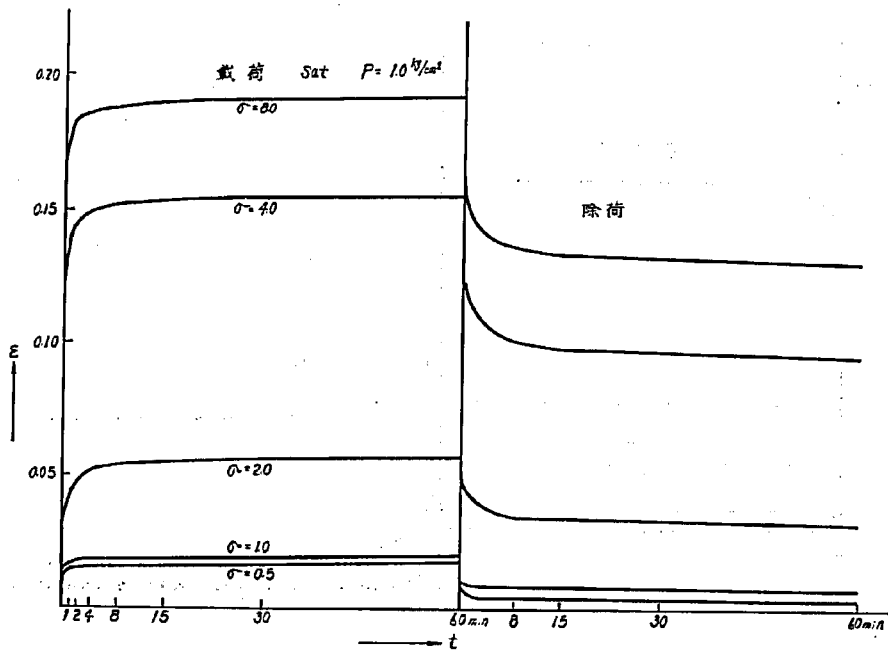


図 2-12 $\epsilon \sim t$ の関係

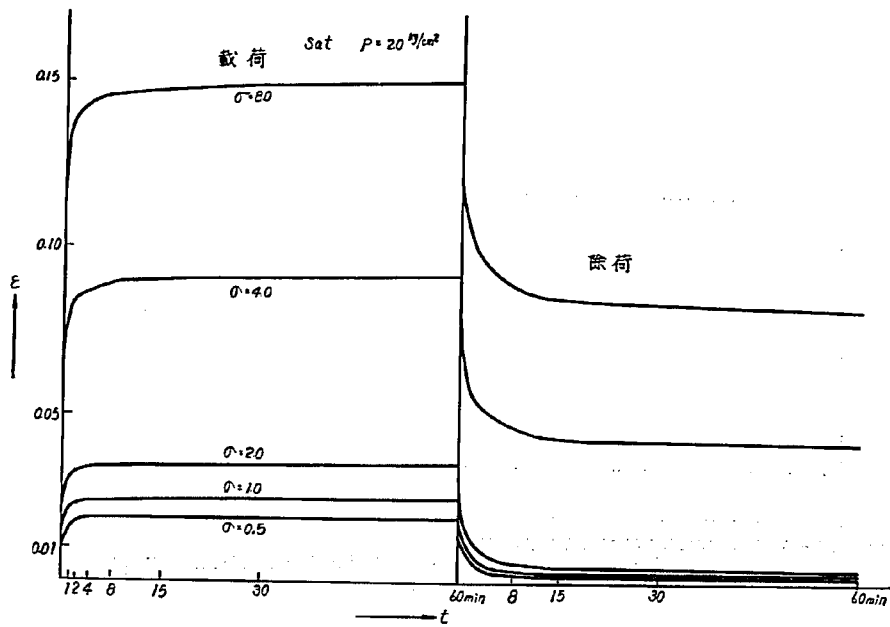


図 2-13 $\epsilon \sim t$ の関係

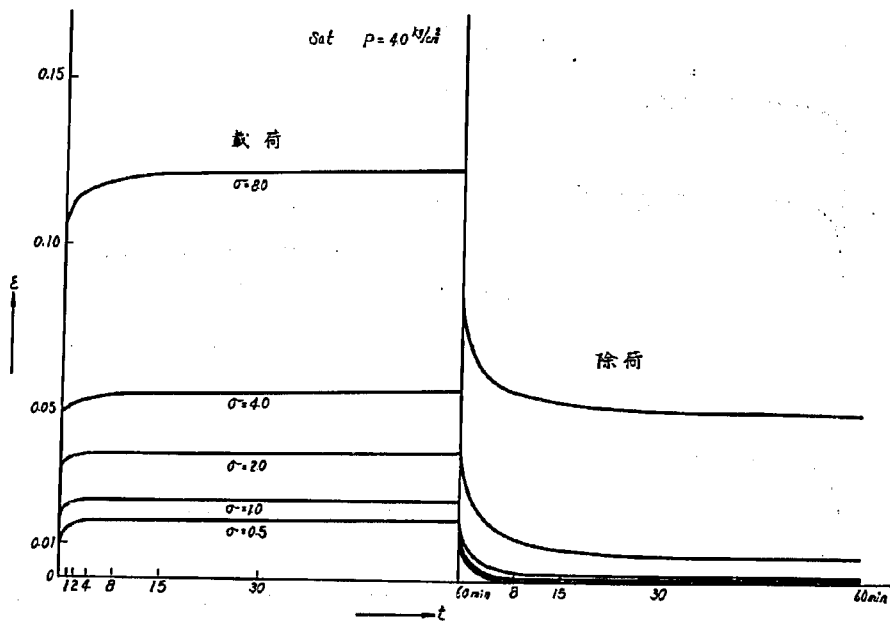


図 2-14 圧縮試験（含水比を変えた場合の歪と時間の関係）

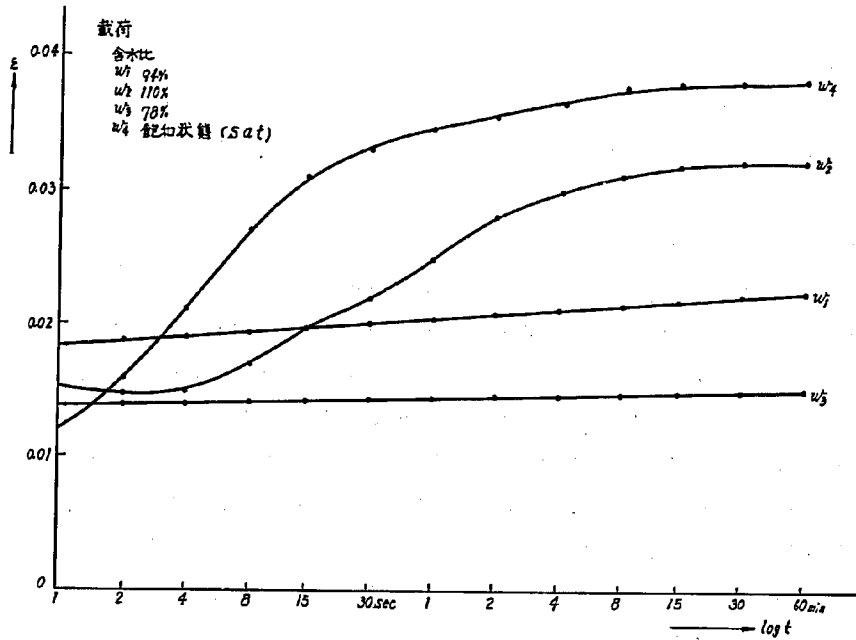
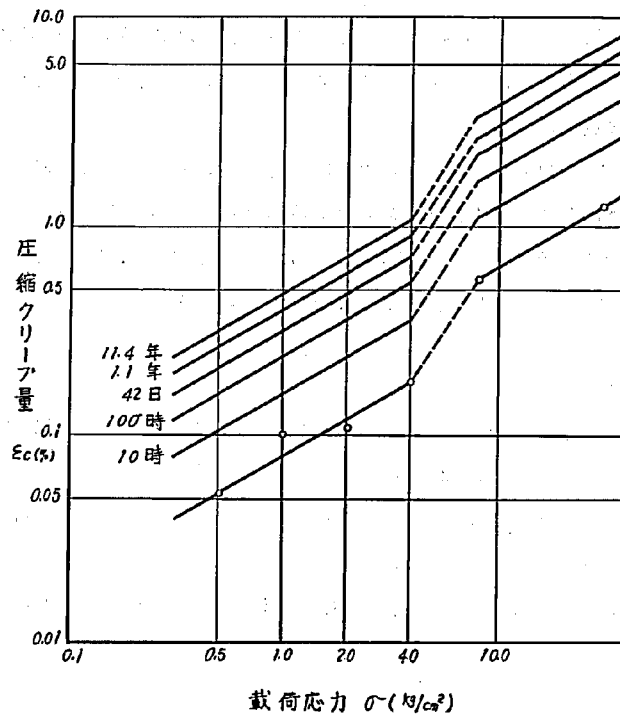


図 2-15 $\sigma - \epsilon_c - t$ 曲線



2-3 先行圧縮応力値

前節で述べた静的圧縮試験では、載荷の直後に大きなひずみを生じ、それ以後は時間の対数に比例した、ひずみ量の増加がある。したがって、約1時間の載荷によりかなりの量のひずみが生じている。それで後述するような各載荷応力に対するクリープ特性を考える場合には、長時間経過後のひずみ量のかわりに1時間後のひずみ量をとっても結果にほとんど差が認められなかったので、このひずみ量を解析に用いた。図2-16は図2-2で得られたひずみ(ϵ)と時間(t)との関係を1時間毎に連続して次々重ねていったものである。次いで各1時間後のひずみ量(ϵ)と載荷荷重の対数($\log \sigma$)を軸として、整理したものが図2-17である。図2-18は同様にひずみ量の対数($\log \epsilon$)と載荷荷重の対数($\log \sigma$)を軸として整理したものであり、一例である。同図からわかるようにある一点を境にした下に凸な2組の直線形状となっている。前節図2-15で考察したものはひずみ量としてクリープひずみ(ϵ_c)のみを対象に考えたが、これに対して全ひずみ量(ϵ)を対象にした場合でも図2-16, 17, 18からわかるように載荷荷重(σ)が成形時に試料に与えた荷重(P)を越えると、ひずみが急に増大していることがわかる。このことから P の値は前もって試料に与えられた内部ポテンシャルエネルギーに相当するものと考えられる。この P の値を先行圧縮応力値(P_0)と定義づけることにする。

図2-18は2本の直線が組合されていると見なしてさしつかえないであろう。

図2-19は図2-18より求めた $\frac{d\epsilon}{d\log \sigma} \sim \epsilon$ の関係を示したものである。同図からわかるようにひずみの増加率は $\sigma = P_0$ の所で急変している。また P_0 を境にして P_0 直前の応力ではひずみの増加率は小さく、 P_0 直後ではひずみの増加率は大きくなっており、 P_0 点はひずみ増加率の転移点となっている。

このように P_0 を境に応力とひずみの関係は急変し、この値がほぼ成形荷重(P)に等しいことは、このようにして求めた点 P_0 を前節で述べた粘弾性的変形より、塑性的変形への境界点とみることができていることを示している。またこれら図2-17, 18, 19で行なったことから P_0 の値を求めるための手法として役立つものである。

2-4 増加荷重試験

単一な圧縮試験の結果を紙上で累加させてゆくのではなく、丁度圧密試験で行なうように試料に対して荷重を1時間毎に順次増加させることを試みた。

$P = 2 \text{ 噸}$ で静的に締固めた試料に1時間毎に、 $\sigma = 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0 \text{ 噸}$ と逐次荷重を増加させて、ひずみ量を求める。ここでひずみ量(ϵ)と時間(t)の関係を示した一例が図2-20である。さらに同図をもとにして各々1時間後のひずみ量をプロットし、

ひずみ量 (ϵ) と載荷荷重の対数 ($\log \sigma$) の関係について整理したのが図 2-21 である。

この場合も図解により先行圧縮応力値 $P_0 = 2$ 匁を得、先の締め荷重 $P = 2.0$ 匁と一致をみた。図 2-18 のように両対数のグラフに σ , ϵ , をプロットした場合でも 2 直線の曲折点より $P_0 \approx P$ と一致をみた。

このように逐次荷重を増加して (この場合 1 時間) その各荷重段階におけるひずみ量を、プロットし図から応力～ひずみの急変する所として P_0 の値を求める事ができる。

以上の理由より、以下の試験では、この増加荷重試験を行ない、両対数紙上の 2 直線の交点から P_0 の値を求めている。

2-5 土質、含水比の変化による先行圧縮応力値

先行圧縮応力値を考える場合、土質の変化および含水比の変化にどの程度の影響があるかを確かめた。

土質の変化についての試験の試料は表 2-3 に示す 3 種類で行なった。

表 2-3

統一分類	自然含水比 (%)	土粒子の比重	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	塑性指数 (%)
MH	110 ~ 130	2.6 ~ 2.7	140 ~ 180	70 ~ 100	50 ~ 90
CH	70 ~ 80	2.68	50 ~ 80	30 ~ 40	25 ~ 30
SM	14 ~ 18	2.64			

それぞれ自然状態における含水比で静的に $P = 2.0$ 匁で圧縮締め付けたものに、増加荷重試験を行なった。結果は図 2-22, 23, 24 に示すとおりでこの場合も P_0 と P の一致をみた。

含水比の変化による検討には、表 2-1 の試料で表 2-2 の条件で行なった。図 2-2 ~ 13 の結果を紙上で累加させてゆき図上で P_0 を求めた。その結果を整理したものが表 2-

表 2-4

含水比	$w_1 = 94\%$	試料成形時締め荷重 P (匁) 求められた先行圧縮応力値 P_0 (匁)	1.0	2.0	4.0
			1.5	2.1	4.2
	$w_2 = 110$	P	1.0	2.0	4.0
		P_0	1.5	1.9	3.5
	$w_3 = 78$	P	1.0	2.0	4.0
		P_0	1.0	2.1	3.8
	$w_4 = \text{sat}$	P	1.0	2.0	4.0
		P_0	1.6	2.6	3.9

4 である。

同表より

成形時の
締め荷
重 P と先
行圧縮
力値 P_0
とは含水

比にあまり影響されずほぼ一致している。また、図 2-1 の成形器を用いて、C. B. R モールドに試料を 3 層につめ各層に対して成形荷重 (P) 2.0 匁で 30 分間ずつ静的に締固めた。この試料から内径 10.0 cm 高さ 10.0 cm の極薄刃カッター (写真 3-2 参照) を用い供試体 (φ 10.0 cm, h 2.0 cm) を採取し、増加荷重試験を行なった。その結果図 2-25 に示すように、この場合も $P_o \approx P$ と一致を見た。

2-6 実車試験

盛土を築造する場合タイヤローラやブルドーザで締固めが行なわれる。

そこで実車による締固めの程度とはどんなものであるか、すなわち実車における P_o 値を室内転圧試験により求めた。ここで用いた土は関東ローム (MH, 自然含水比 100%) で、実車はタイヤローラ (自重 9 t バラスト込 12 t), 湿地ブルドーザ (自重 9 t) の 3 条件で行なった。試験結果を整理したものが図 2-26, 27, 28, 29, である。

次に示すことがらが明らかとなった。

- i) 湿地ブルドーザ, タイヤローラともに自重は 9 t であったが、これらの P_o の値はほぼ同一の値で最大 1.4 匁程度であり、またタイヤローラ (バラスト込) は自重 12 t で最大 1.8 匁であった。これら P_o の値の最大値は機械の自重に比例するものと考えられる。
- ii) 転圧回数が過度に増加すると P_o の値は減少する。
- iii) 通過回数に対する P_o の値と乾燥密度, 飽和度, 空気間げき率との相関性はあまりないが強いといえば乾燥密度がほぼ近い傾向にあった。

図 2-16 圧縮試験におけるひずみと時間
との関係を累加した曲線

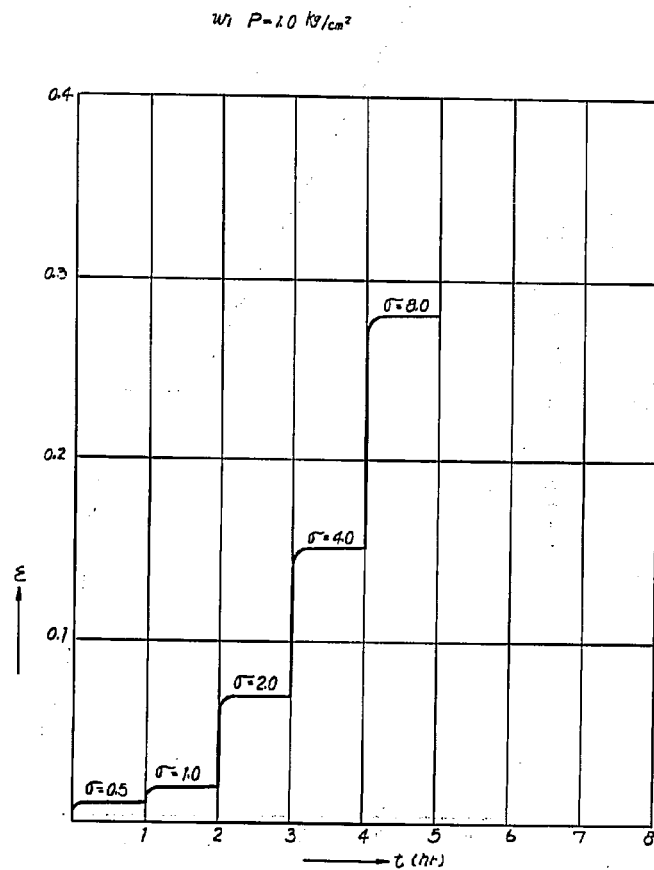


図 2-17 $\epsilon \sim \log \sigma$ の関係

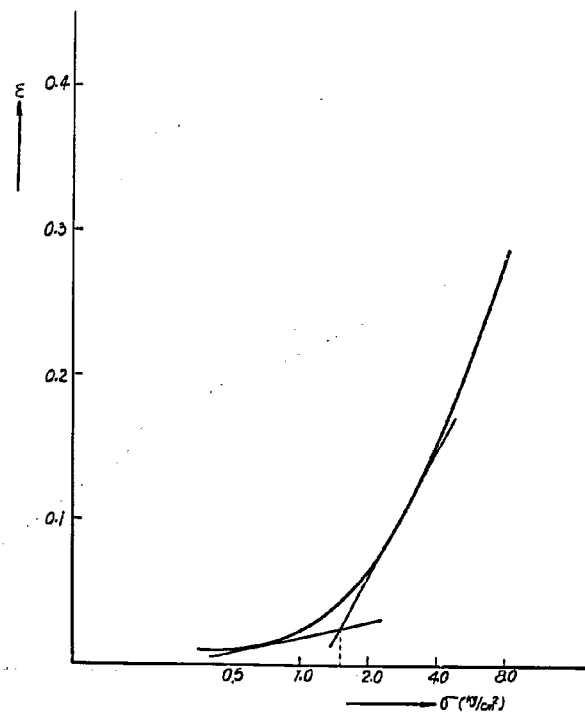


図 2-18 $\log \sigma - \log \epsilon$ の関係

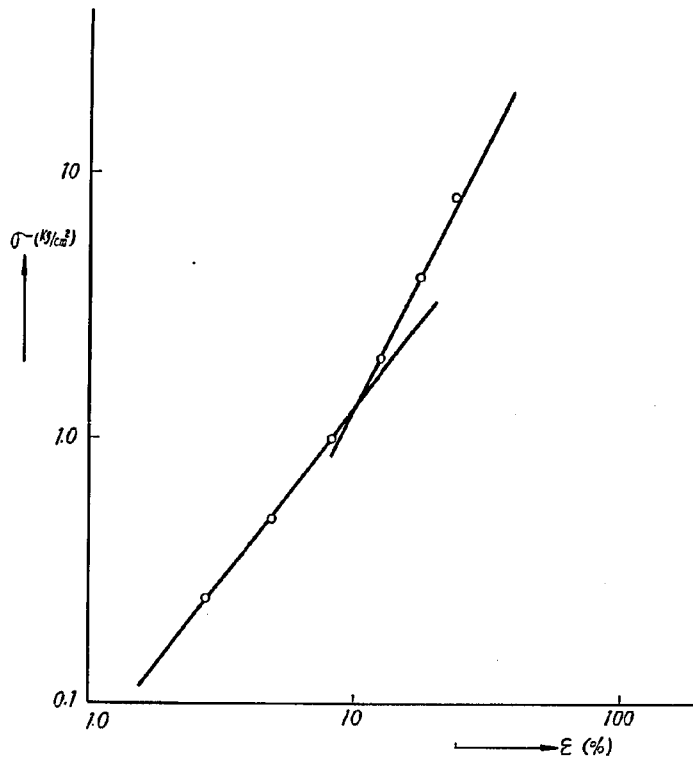


図 2-19 $d\sigma/d\epsilon - \epsilon$ の関係

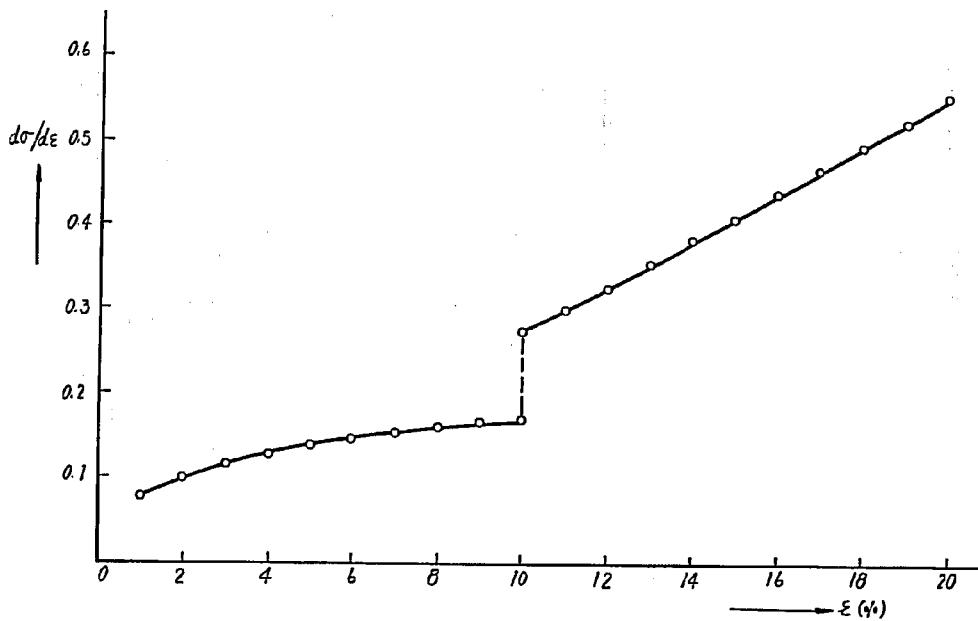


図 2-20 圧縮試験におけるひずみと
時間との関係を累加した曲線

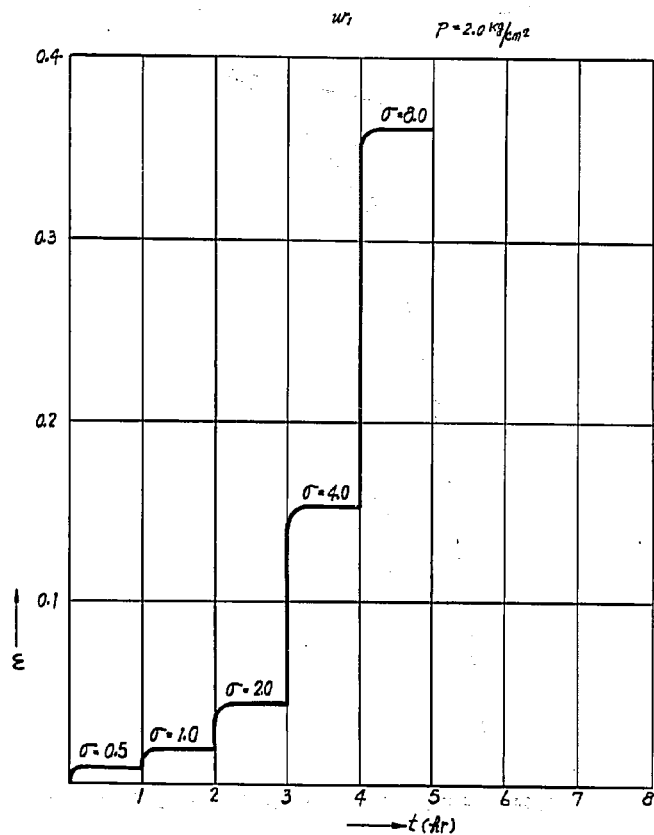


図 2-21 $\varepsilon - \log \sigma$ の関係

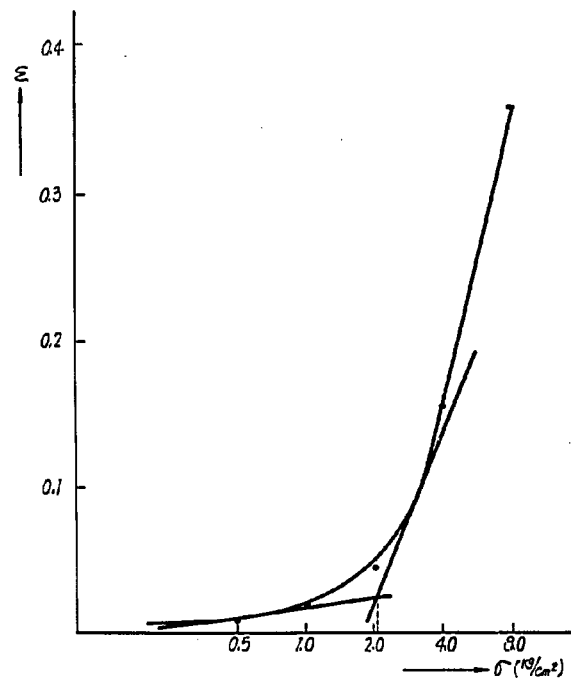


図2-22 $\log \sigma - \epsilon$ の関係 $t=1\text{hr}$ MH

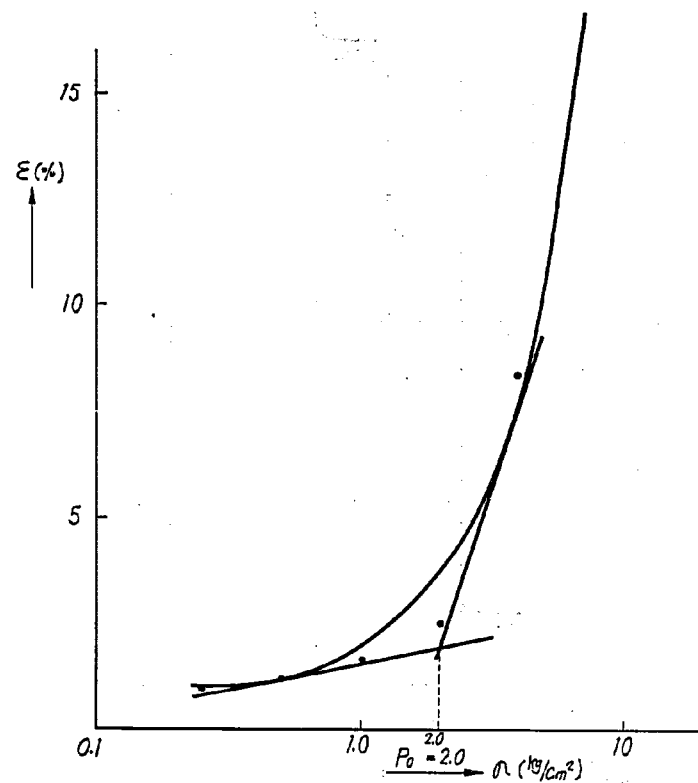


図2-23 $\log \sigma - \epsilon$ の関係 $t=1\text{hr}$ CH

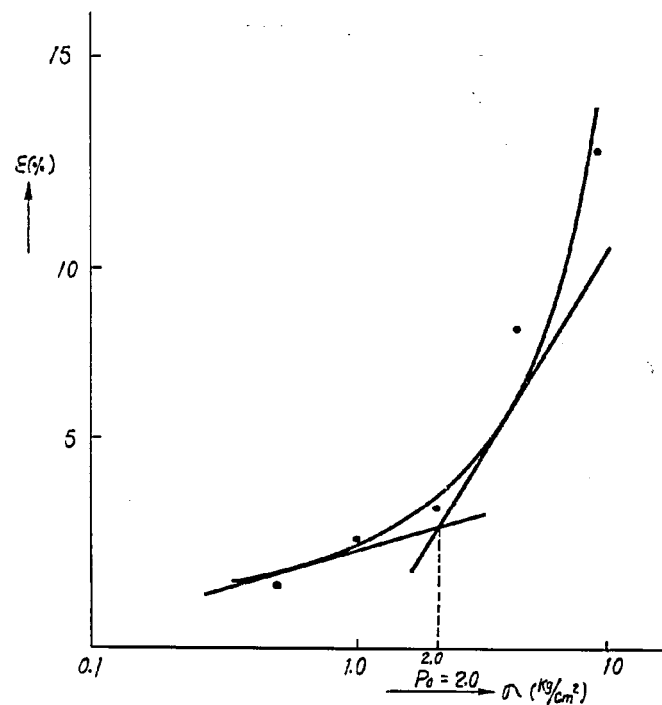


図2-24 $\log \sigma - \epsilon$ の関係 $t=1\text{hr}$ SM

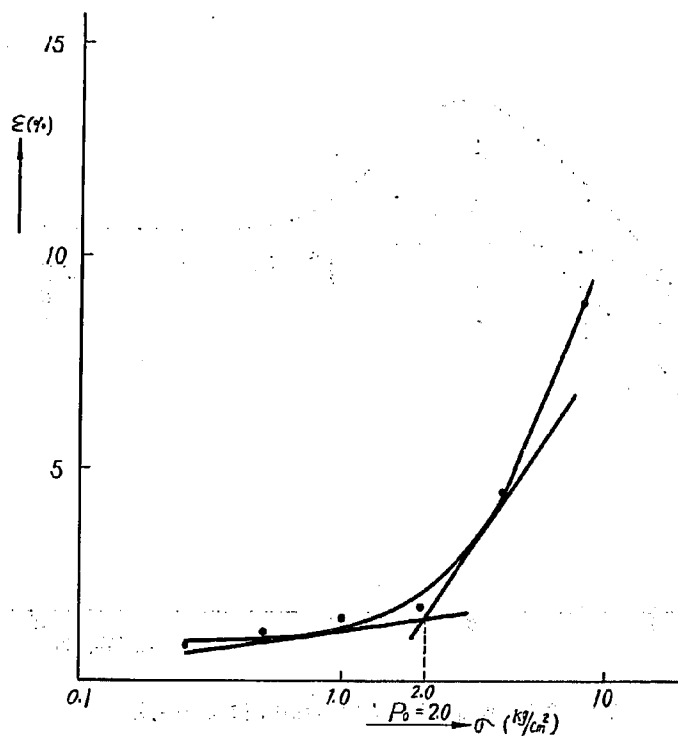


図2-25 $\log \sigma - \log \epsilon$ の関係

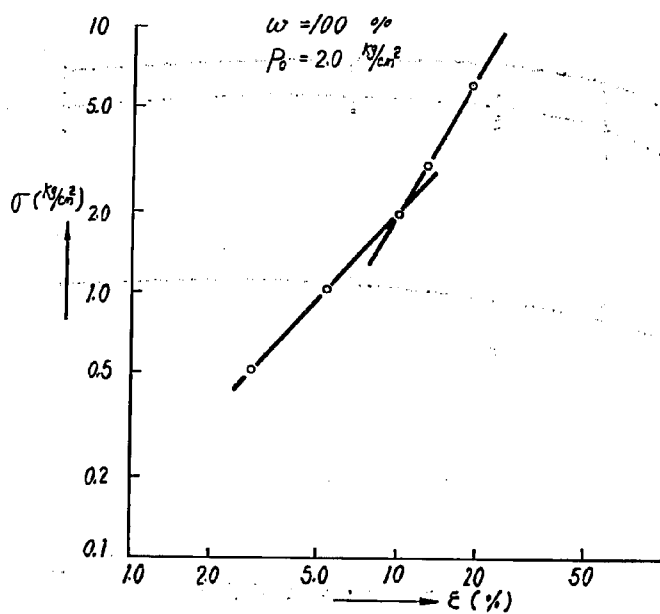


図 2-26 先行圧縮応力値 (P_0) と転圧回数との関係

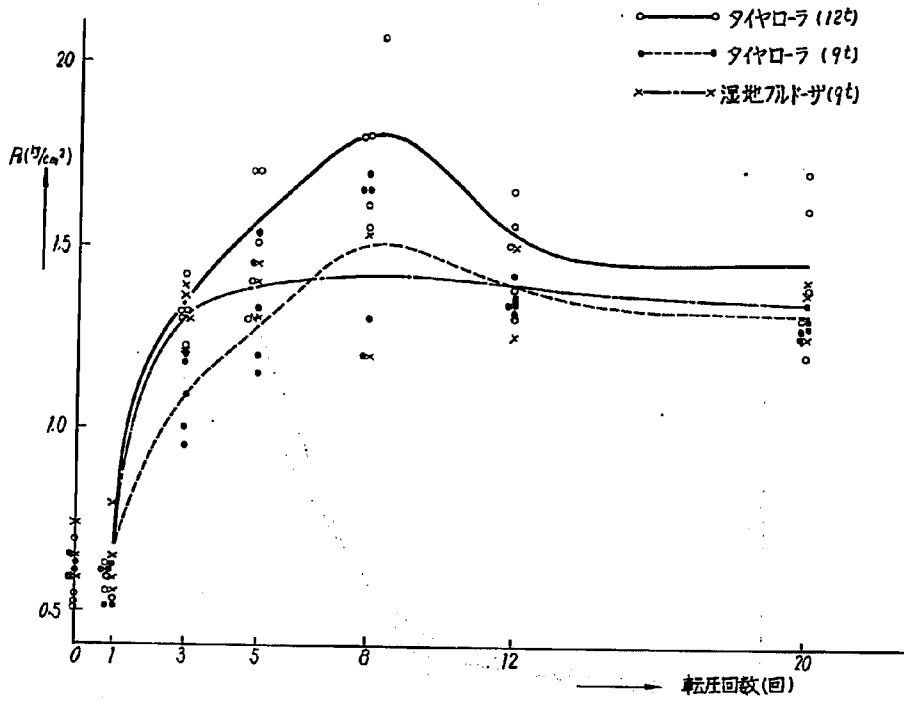


図 2-27 乾燥密度 (γ_d) の転圧回数との関係

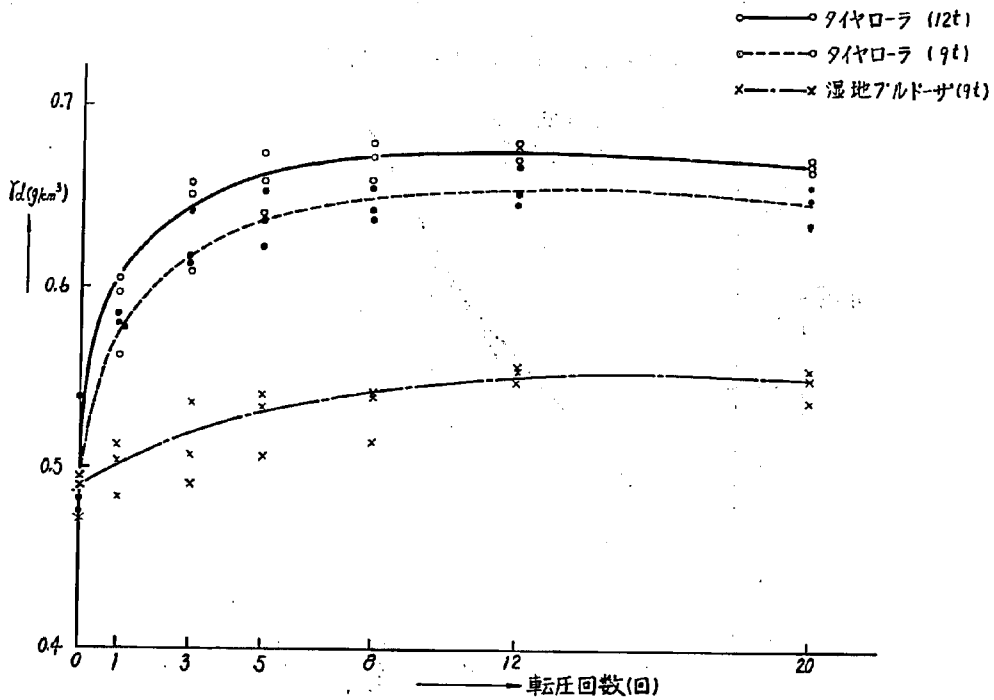


図2-28 飽和度 S_r (%)

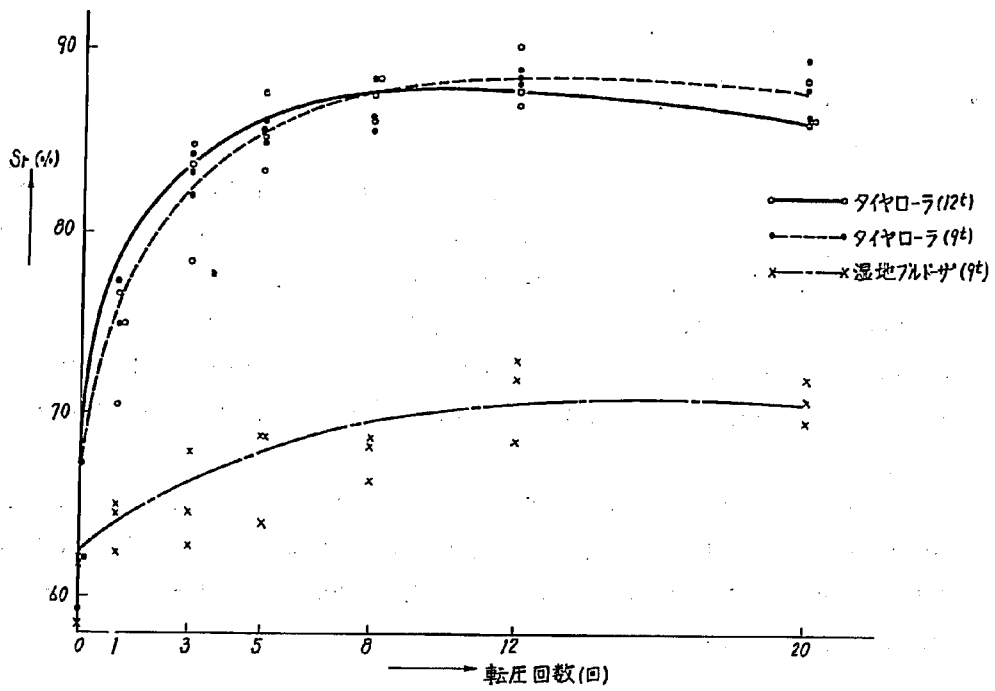
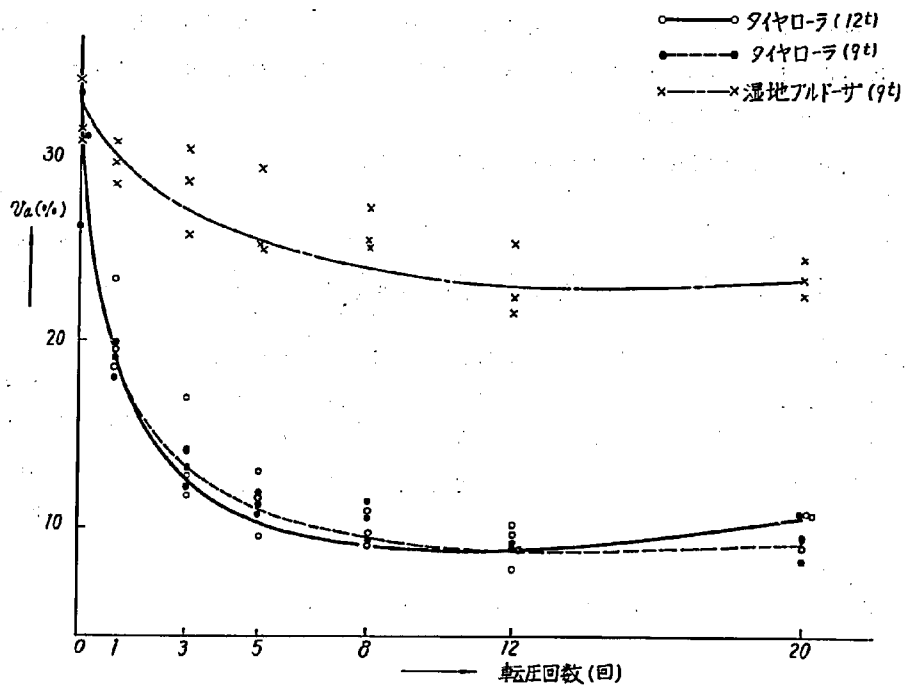


図2-29 空気間ゲキ率 u_a (%)



第3章 実車試験とその室内試験および室内比較試験

3-1 概説

前章で不飽和粘性土の圧縮特性および先行圧縮応力値について述べ、粘性土(MH)の実車試験によって得られた先行圧縮応力値に関して述べてきたが、これらの実車試験では機種は3機種で、土は自然含水比(100%)、まき厚(30cm)などの条件は一定であった。

これに対して本試験では含水比、まき厚、機種および転圧回数をかえた場合の先行圧縮応力値と一軸圧縮強度、透水性および従来の締固め定数(乾燥密度、飽和度、空気間けき率)との関係をより明確にする目的で行なった。本試験における含水比は3段階、まき厚は30cmと50cmとし、機種は4機種(普通ブルドーザが10tと15t、湿地ブルドーザが13tと16t)とした。

また、上記実車試験と比較するために室内比較試験を行なった。以下室内試験とは実車試験で採取した試料に関する先行圧縮応力値の測定試験、一軸圧縮試験、透水試験などを指し、室内比較試験とは、突固めで得られた試料に関する先行圧縮応力値の測定試験、一軸圧縮試験、透水試験などを指すものとする。

3-2 実車試験

3-2-1 試験場

建設省関東地方建設局東京技術事務所構内の、屋内転圧試験場を使用した。この試験場は図3-1に示すように幅9.5m、全長29.5mで基盤上に盛土したものである。

3-2-2 締固め機械

使用した締固め機械は表3-1に示すとおりである。

表3-1

機種名	製作会社	型式	総重量(t)	接地圧(kg/cm ²)
10t普通ブルドーザ	三菱重工業	BBIV	10.0	0.55
13t湿地 "	"	BD11	13.4	0.28
15t普通 "	小松製作所	D60A	14.9	0.73
16t湿地 "	"	D60P	15.7	0.29

3-2-3 使用した土の性質

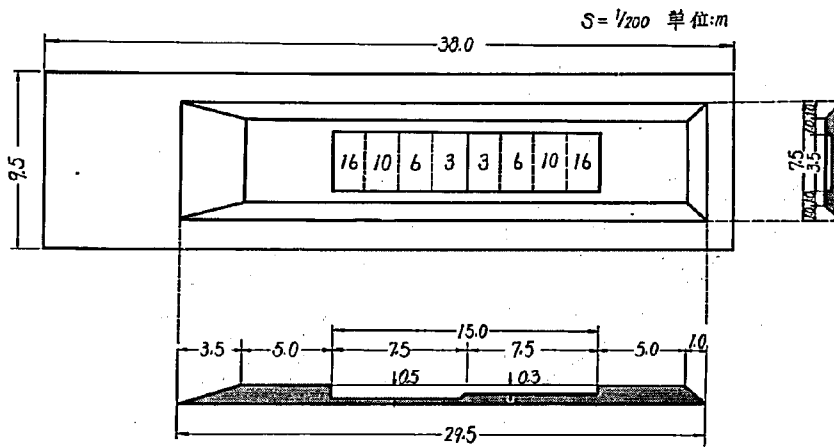
試験に使用した土は埼玉県北埼玉郡、利根大堰付近のものである。この土の一般的性質は表3-2に示した。また、図3-

2に突固め曲線を、図3-3には粒度試験結果を示した。

表 3 - 2

自 然 含 水 比	30%
土 粒 子 の 比 重	2.66
三角座標による分類	砂質ロームまたはローム
液 性 限 界	36.75%
塑 性 限 界	22.27%
塑 性 指 数	14.48%
統 一 分 類	CL
最 適 含 水 比	17.20%
最 大 乾 燥 密 度	1.66 g/cm ³

図 3 - 1 実 車 試 験 場



試験区間の数字は各転圧回数の試料番号採取場所を示す。

JIS A 1210

突固めによる土の締固め試験

報告用紙

調査名・調査地点 締固め試験試験年月日 45年 8 月 日試験番号・深さ: No. (m ~ m) 試験者

試験目的: (普通締固め) ・ CBR締固め

乾燥処理前含水比: % 乾燥処理後含水比: %試験方法の呼び名: 試験方法 11-a試験開始前含水比: 4.00 % 土粒子の比重: 2.66突固め方法: (第1方法) ・ 第2方法 ・ その他

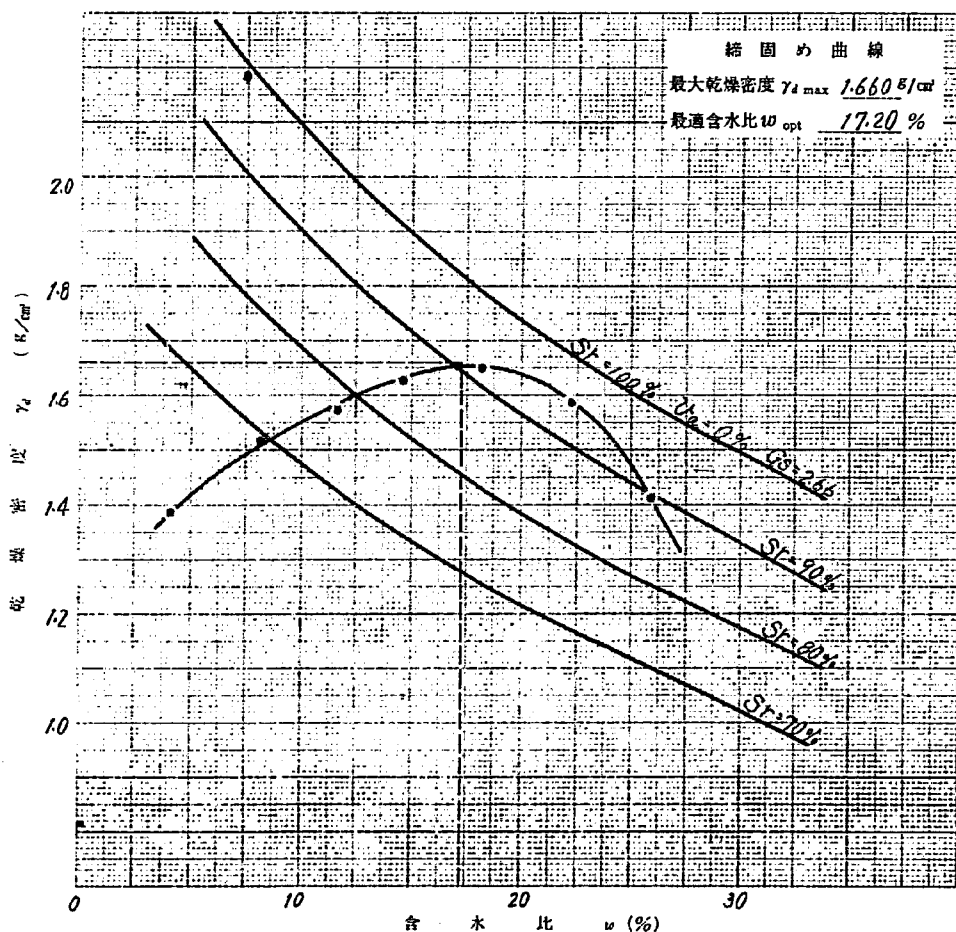
試料の使用別: (繰返し法) ・ 非繰返し法

モールド内径: (10 cm) ・ 15 cm ・ cm

試料の準備法: (乾燥法) ・ 非乾燥法

試験許容最大粒径: 5 mm. 許容最大粒径以上の粗粒分の乾燥重量百分率: %

測定番号	1	2	3	4	5	6	7	8
乾燥密度 γ_d g/cm ³	1.391	1.517	1.573	1.628	1.660	1.656	1.589	1.410
平均含水比 w %	4.12	8.12	11.58	14.58	17.20	18.67	22.11	26.22



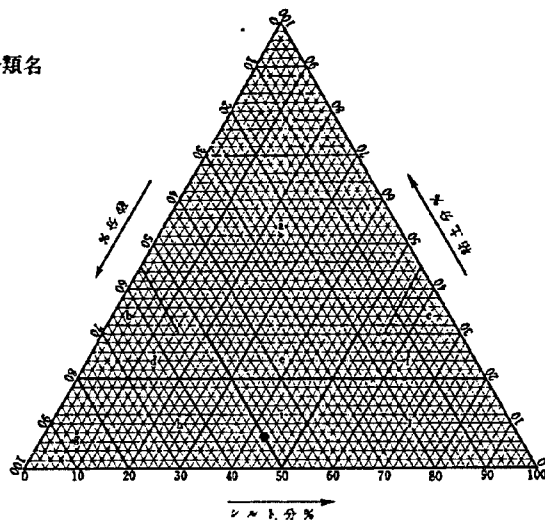
※ その他の突固め方法: ランマー重量 kg. 落下高 cm. 突固め回数 回/層 (層)

備考 ※ 非乾燥法を用いた場合

図 3-2

調査名・目的 締固め試験試料2000 μ フルイ通過試料の粒度による土の分類名

- a 粘土
- b 砂質粘土
- c シルト質粘土
- d 砂質粘土ローム
- e 粘土質ローム
- f シルト質粘土ローム
- g 砂
- h 砂質ローム
- i ローム
- j シルト質ローム



試料 番号	レキ分 %	砂分 %	シルト分 %	粘土分 %	最大径 mm	60%径 mm	10%径 mm	均等 係数	200 μ フルイ 通過率%	425 μ フルイ 通過率%	75 μ フルイ 通過率%	三角定規 上の記号	三角定規 標法による 分類	備 考
2 ^{mm} 以下		50	43	7	2	0.395	0.0075	12.67	100	90	50	h又はi	砂質ローム又はローム	
全試料	3	49	41	7	20	0.13	0.0075	17.33	97	88	48			

粒 径 加 積 曲 線

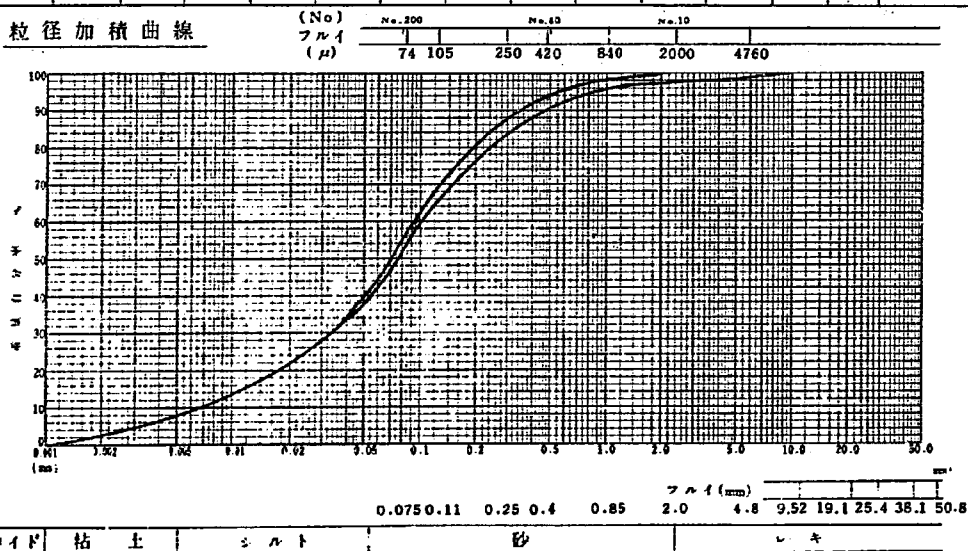


図 3-3

3-2-4 試験に使用した土の含水比および試料の調整

最適含水比17.20%付近を基準に13%, 18%, 23%, の3条件とした。なお、試料の自然含水比は30%前後であったが、運搬後放置したため含水比は最適含水比付近まで低下した。そのため、含水比13%, 18%の試料は乾燥して得られ、含水比23%は試験区間を掘り起し、丁寧に碎土した後、加水して調整した。加水した場合は一昼夜放置してから試験を行なった。

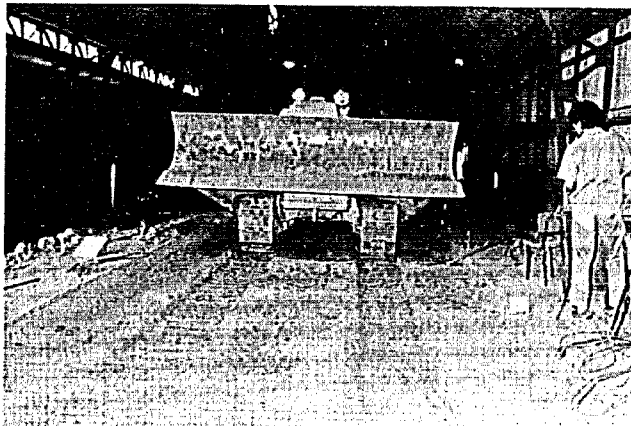
3-2-5 まき厚

図3-1の屋内試験場の基盤上に3-2-3項の材料を人力にて仕上がり厚30cmと50cmにそれぞれまき出した。

3-2-6 締固め回数

各機種とも含水比別にそれぞれ0, 3, 6, 10, 16回で写真3-1のように転圧を行ない各々について試料を採取した。ただし0回の状態は、人力でまき出した後、軽く踏み固めて表面仕上げを行なったものである。

写真3-1 ブルドーザでの転圧試験



3-2-7 試料採取

(1) 先行圧縮応力値(P_0)試験用コア

試料採取には写真3-2, 図3-4に示すような直径10cm, 高さ10cmの極薄刃カッターを用い、ガイドおよびブッシャーからなる試料採

取器で写真3-3のように人力にてカッターを丁寧に圧入して採取した。人力で圧入できない場合は、写真3-4で示すように油圧ジャッキで圧入して採取した。

採取した試料は両面をカットし含水比の変化を防ぐために、カットした面をパラフィンでシールした。

(2) 一軸圧縮試験用コア

試料採取は図3-4に示すような直径15cm, 高さ12.5cmの薄刃カッターにより、

先行圧縮応力値
試験用コアの採
取方法と同様な
方法で採取した。

(3) 透水試験用
コア

試料採取は図
3-4に示すよ
うな直径10cm,
高さ12cmの薄
刃カッターによ
り、先行圧縮応
力値試験用コア
の採取方法と同
様な方法で採取
した。

(4) コア採取場所
それぞれのコ
アの採取場所は
図3-1, 図3
-5に示すとお
りである。

3-2-8 その他
の試験および測定
項目

(1) RI (Radio-
Isotope) 計器
による湿潤密度,
含水比の測定

写真3-5に
示すようなRI
計器を用いて図

写真3-2

カッター(左)
ガイド(右)
プッシャー(中央)

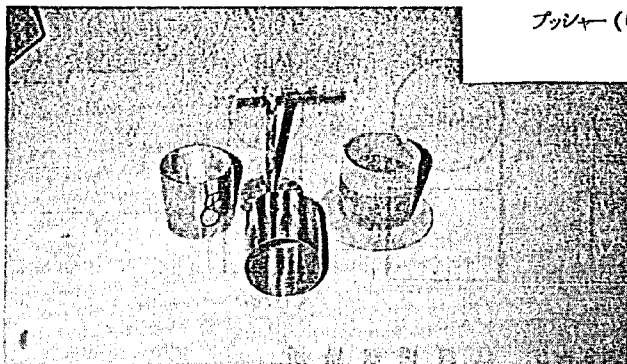


写真3-3 コア採取状況



写真3-4 コア採取状況

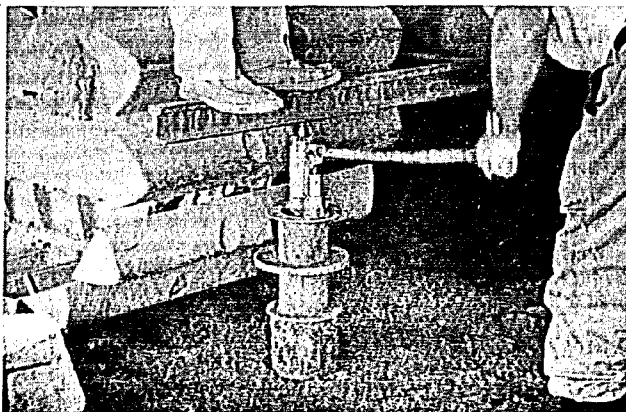


図 3 - 4

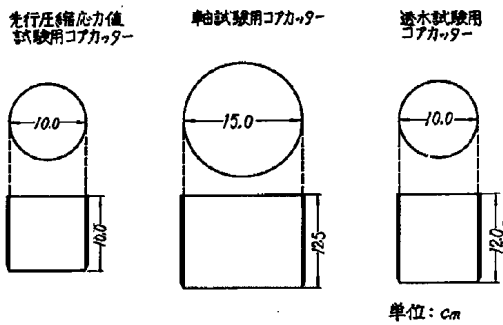


図 3 - 5 試料採取場所

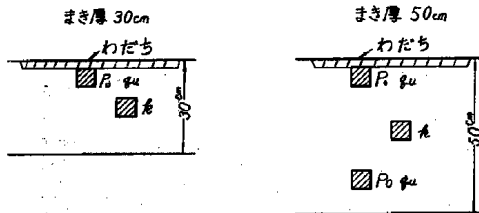
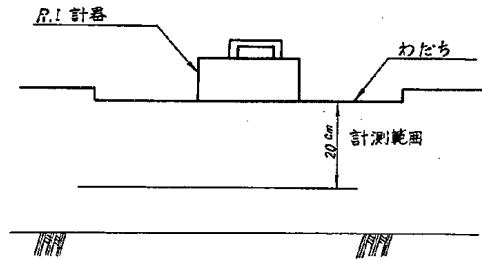


図 3 - 6



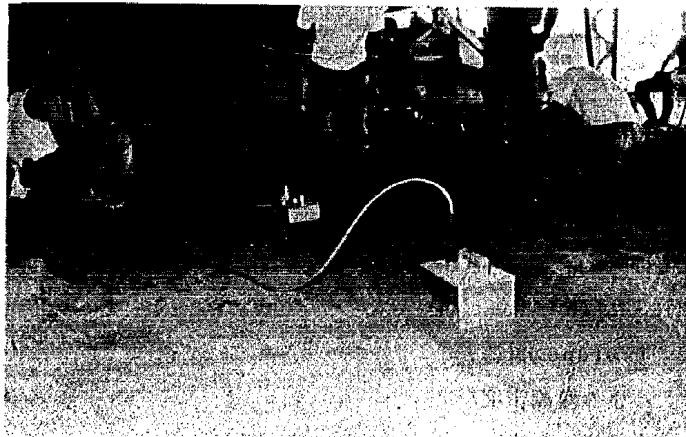
3 - 6 に示すよ
うな場所に R I
計器をおいて測
定した。

(2) 土圧測定

写真 3 - 6 に
示すような差動
トランス型土圧
計を、図 3 - 7
に示すように両
車輪直下深さ 3
0 cm の所に受圧
面を水平および
鉛直方向に設置し土圧を測定した。

なお、土圧計は水平用、鉛直用各々 2 組づつ設置した。

写真 3 - 5 密度、含水比の測定



3-2-9 試験項

目および試験条件

前項までの試験

項目および試験条

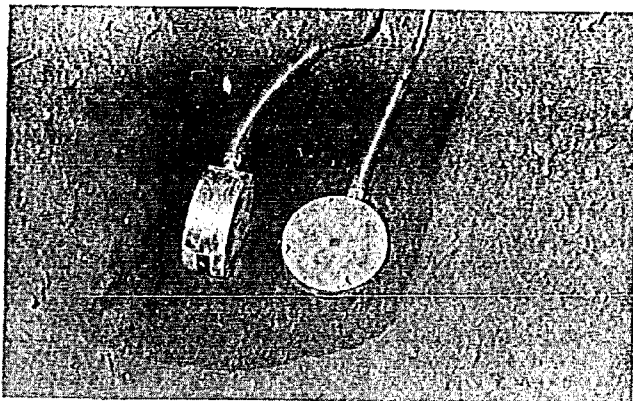
件をまとめると表

3-3のようなフ

ローチャートとな

る。

写真3-6 土圧計



3-3 室内試験

3-3-1 先行圧

縮応力値 (P_o) の

測定

(1) 概 説

第2章4節で

述べたように実

車試験によって

得られた試料を

用いて、圧縮試

験機を使用して

各荷重段階ごと

の軸方向変位量

(ひずみ量)を

測定しこれから

先行圧縮応力値

を求めた。

(2) 圧縮試験機

圧縮試験機は

写真3-7, 図

3-8, 図3-

9で示すように

モールド、加圧

図3-7 土圧計の設置状況

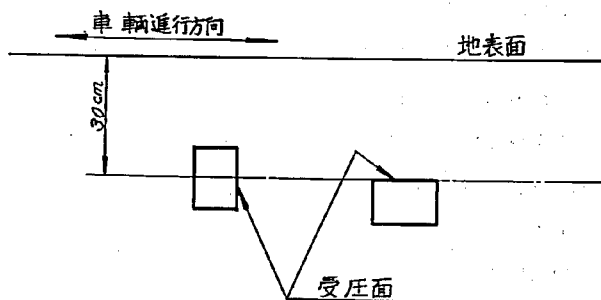


表3-3

機 種			
普通ブルドーザ		湿地ブルドーザ	
10t	15t	13t	16t

合 水 比		
$w_1 = 13\%$	$w_2 = 18\%$	$w_3 = 23\%$

ま き 厚	
30 cm	50 cm

転 圧 回 数 (N)				
0	3	6	10	16

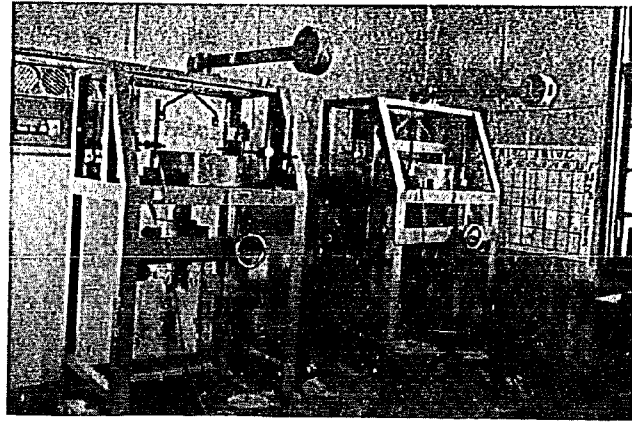
試料採取および測定項目		
Po 試験用コア	一軸圧縮試験用コア	透水試験用コア
湿潤密度 (γ_t)	含水比 (w)	土 圧

板，載荷装置からなる。

写真 3-7 大型圧縮試験機

a) モールド

モールドは試料を入れる砲金製リングで内径 10cm，高さ 2 cm のものを使用した。モールドの内径と高さは次のような理由により決定した。



i) 静的に 2 廻で締固めた土を極薄刃カッターで，3-2-7 の(1)に示す方法で試料を採取し，内径 10 cm，高さ 2 cm のモールドを使って試験を行なった結果， $P_o = 1.8 \sim 2.0$ 廻の 20 廻に非常に近い値が得られた。

ii) 試料採取の時極薄刃カッター使用のため，これ以上大きな径の試料採取は困難である。

b) 加圧板

加圧板は図 3-9 に示すように試料に荷重を伝達するもので圧縮用リングの内面に沿ってなめらかに傾斜せずに動き，試料から出る水をポーラスメタルを通して外に排出できるようになっている。

c) 底板

底板は図 3-9 に示すようにモールドを固定するもので，試料から出る水をポーラスメタルを通して外に排水できる。

d) 載荷装置

載荷装置は写真 3-7 で示すように供試体に最大 8 廻までの圧縮応力を偏心しないように加えることができる。

(3) 変位置測定法

変位置の測定は写真 3-8 で示すように，加圧板に左右対称となるように 2 個のダイヤルゲージをセットし，このダイヤルゲージの変化を読みとり 2 個の読みの平均値を変位置とした。

図 3-8 圧縮試験機

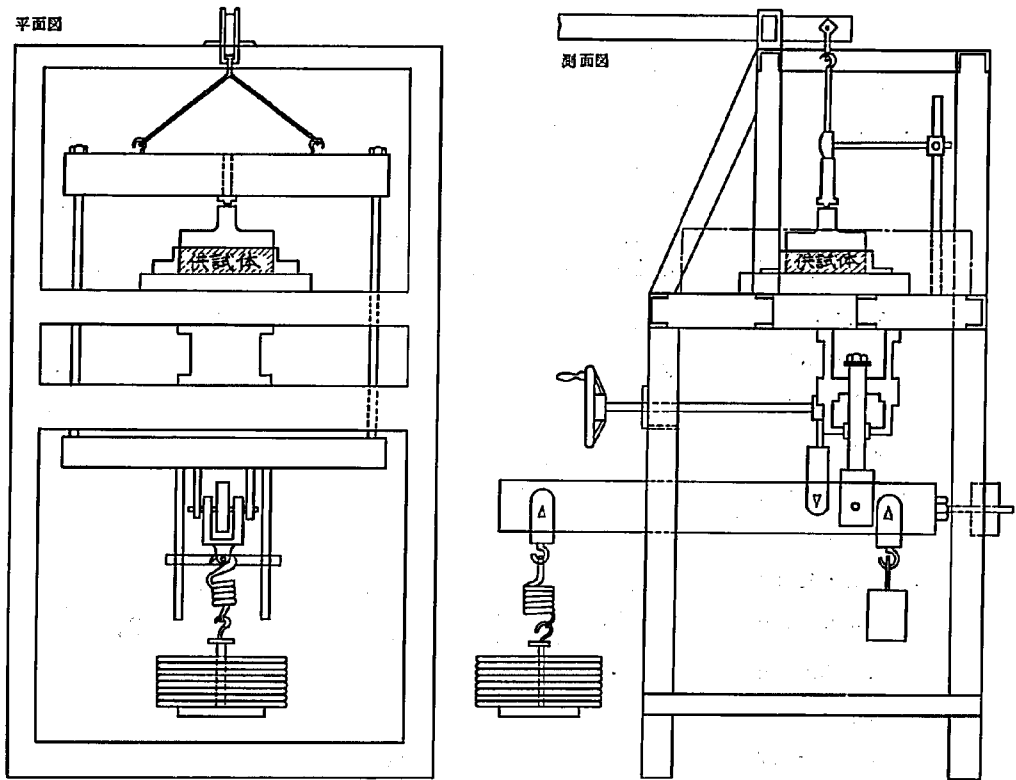
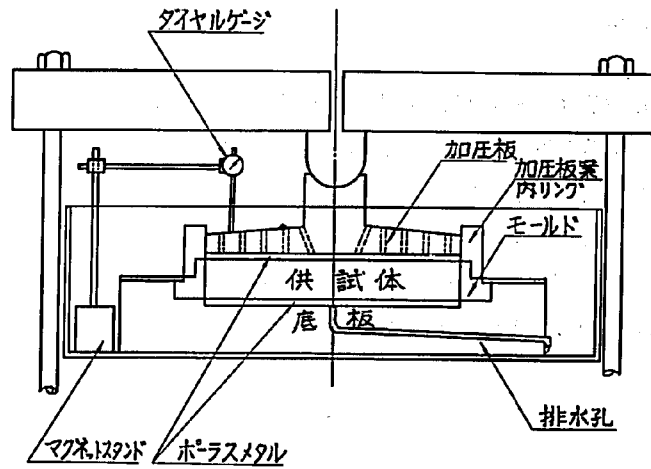


図 3-9 変形量測定装置と
圧縮リング支持台



(4) 供試体作成法

供試体の作成は次の順序に従って行なった。

i) 実車試験で得られたパラフィンでシールされた試料を試料採取器（JIS-A1210用）で静かに抜き取る。

ii) 上記試料をモールドに静かに入れ写真3-9に示すように両側をストレートエッジでなめらかに成形し圧縮試験機に設置する。

(5) 増加荷重試験方法

この試験方法は2-4で述べたように締固められた試料の先行圧縮応力値を求めるために、各載荷荷重段階0.25, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 4.0, 8.0 匁を載荷し、各時間ごとの変位量を測定するものである。

i) なじみ載荷

作成した供試体を試験機にセットした後に、供試体とモールドをなじませるために本試験載荷の前に0.125 匁の荷重を30分間載荷した。

ii) 本試験載荷

第2章で述べたように1時間程でほとんどの変形が終了するので、今回は各載荷荷

写真3-8 大型圧縮試験機

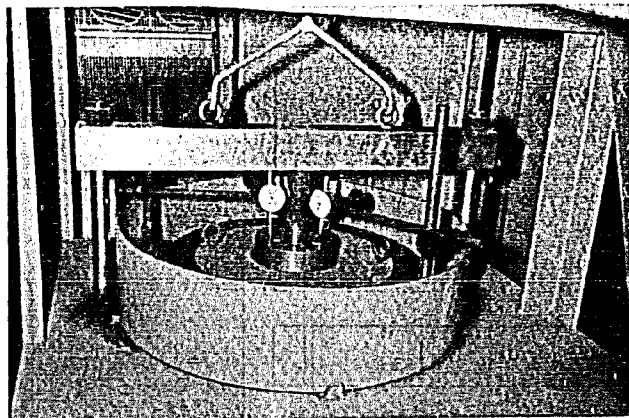
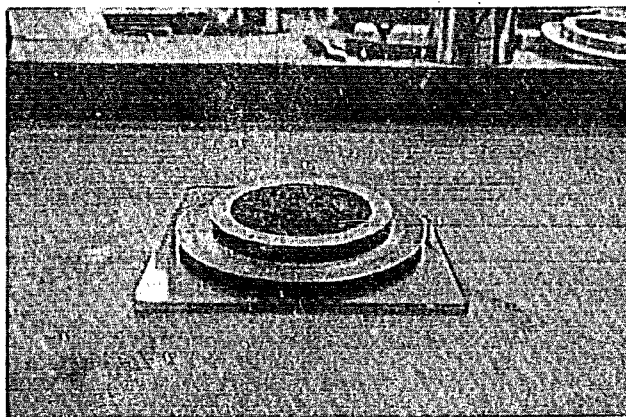


写真3-9 試料（供試体）



重時間を1時間とした。載荷は、なじみ載荷後0.25秒から行ない、変位量測定時間はそれぞれの荷重について15sec, 30sec, 1min, 2min, 4min, 8min, 15min, 30min, 60minとした。

3-3-2 一軸圧縮試験

一軸圧縮試験はJIS-A1216に準じて実車試験で得られた試料を試験した。供試体は直径5cm, 高さ12.5cmに成形して行なった。

3-3-3 透水試験

透水試験はJIS-1218に準じて実車試験で得られた試料を試験した。

3-4 室内比較試験

3-4-1 概説

実車試験およびその室内試験で得られた先行圧縮応力値、一軸圧縮強度、透水係数、土の締固め定数の各値とJIS-A1210突固め試験で得られる試料についての値を対比、比較するための試験である。

3-4-2 突固めによって作成した試料の先行圧縮応力値試験

この試験は、何種かの突固め回数を用意し、何回突固めたものがどれ程の先行圧縮応力値を有しているかを調べ、実車で得られた先行圧縮応力値の値と比較するための試験である。

突固めはJIS-A1210に沿って行なった。なお試料は実車試験に使用した試料と同一のものを使用し含水比も実車試験と同じく13%, 18%, 23%の3条件とした。突固め回数は各含水比とも5, 10, 15, 25, 35, 50回の6種類とした。

3-4-3 一軸圧縮試験

3-4-2で述べたと同様に突固めて作成した試料をJIS-A1216に準じて行なった。

3-4-4 透水試験

3-4-2で述べたと同様に突固めて作成した試料をJIS-A1218に準じて行なった。

第4章 試験結果ならびに考察

4-1 概 説

前章で行なった試験は、A) 実車試験(室内試験も含む)、B) 室内比較試験であった。これらの試験で得られた結果は、A)、B)とも(1)先行圧縮応力値(P_o)、(2)一軸圧縮強度(q_u)、(3)透水係数(k)、(4)乾燥密度(γ_d)、(5)飽和度(S_r)、(6)空気間げき率(v_a)である。ただし、A)では別に車輻による土圧測定結果も得られた、これを(7)とする。これらの項目について考察を進める上で、すべての項目を網羅するには、次の三つの場合について考察する必要がある。

- (i) A)、B)についてそれぞれ(1)~(7)の各項目について検討をする。
- (ii) A)またはB)についての(1)~(7)で相互に関係あると考えられるもの、あるいは試験して関係の認められた項目についての検討をする。
- (iii) A)とB)の試験結果間で必要と考えられる項目について比較検討を行なう。

これらの関係を表4-aに示した。同表の対角線より右側は実車試験に関する部分、左側は室内比較試験に関する部分である。

(1) 表4-aの対角線上の三角形の部分は各項目ごとの検討を行なうことを示し、内部には後にその項目について述べる節と関係図表番号を記入した。なお、他の部分も同様な表わし方をした。そしてこの三角形の部分は全項目について考察を行なった。

(2) 対角線以外の部分は、各試験ごとで項目相互の比較をする部分である。そして縦と横に示した見出しの交わるものについては、比較が必要なものには○、多少関係があるものを△、全く関係のないと考えられるか、関係を考慮する必要のないものは×で示した。特に、先行圧縮応力値と乾燥密度、飽和度、空気間げき率、土圧等の相互関係を調べるのに重点を置いた。なお、室内比較試験は米印で示しているが、これは先行圧縮応力値、一軸圧縮強度、透水係数、乾燥密度の関係を一度に取り上げて対比させたという意味である。

(3) (2)の実車試験で○印のある部分と同じ項目の室内比較試験の米印のある部分では実車試験と室内比較試験相互の関係を対比する必要がある。これを取り出して示したのが表4-bである。同表の第1欄の番号は表4-aの○印の中に示したもので、第2欄に対比する項目を確認した。第3欄には対比する試験を記し、第4欄は後に検討する節、図番号を示した。このうち、先行圧縮応力値と一軸圧縮強度における室内比較試験の対比はI-Iでは行なわず、ここでは実車試験についての比較を重視して述べる一軸圧縮強度についてはIVで実車試験と室内比較試験の両者の比較を述べた。表4-bで同種の項目

について実車試験と室内比較試験で比較するものは、表4-aで対角線の○印内に番号を付けている。すなわち、一軸圧縮強度、透水係数は実車試験と室内比較試験相互の対比を行ない、他の先行圧縮応力値、乾燥密度、飽和度、空気間げき率の項は表4-bの第3欄にA, B, Cで示すように2-II, 3-III項の部分に含まれるので同時に考察している。

以上で本実験で考察できる、あるいは必要な組合せが決定したので、以下各節で述べる事項を整理すると、

- (1) 4-2では実車試験の各々の項目についての考察。(表4-aの対角線上)
 - (2) 4-3では室内比較試験の各々の項目についての考察。(表4-aの対角線上)
 - (3) 4-4-1, 2では実車試験と室内比較試験相互の、表4-bに示す項目についての検討。(表4-aの○印と米印)
 - (4) 4-4-3では室内比較試験相互の対比、検討。(表4-aの米印)
- となり、以下、節を追って述べていきたい。

4-2 実車試験によって得られた結果ならびに考察

4-2-1 先行圧縮応力値(P_o)

各機種～各転圧回数の試験結果を表4-1に示す。同表より得られる転圧回数(N)～先行圧縮応力値(P_o)の関係を図4-1～6に示す。

図4-1～4からわかるように、この場合のまき厚の差による影響は30cmと50cmの上部、下部で特に認められないが機械重量が増加するに従って、バラツキの度合が大きくなる。

図4-5にみられるように含水比の変化による P_o の値の変化は一定したものではなく、ここでも機械重量の増加に伴ってバラツキの増加が顕著である。

図4-6のように4機種とも転圧回数10回前後で、 P_o の値は最大となり、それ以上の転圧回数では変化がない。各機種で得られる P_o の最大値は10t(普通)で1.4t、13t(湿地)で1.4t、15t(普通)で2.15t、16t(湿地)で2.3t程度となっており機種の種類による影響が大きい。また普通タイプのブルドーザと湿地タイプのブルドーザのタイプによる差は認められずこのことは接地圧による差は、さほど考慮する必要はなくむしろ機械の全重量に主とした関係があるものと考えられる。

図4-7は、まき厚、含水比による影響を包絡して転圧によって得られるそれぞれ転圧回数における P_o の値の平均値で最大になるような P_o の値と締固め機械重量(t)の関係を整理したものである。同図より P_o の値はほぼ自重の比で増加し、近似的に次の一次式

表 4 - a

実 車 試 験							
室内比較試験		P_o	q_u	k	k_d	S_r, V_a	土 圧
	P_o	4-2-1 表4-1 4-3-1A 図4-1 表4-15 図4-41 ① 4-4-2(1) 表4-1, 6, 7 図4-47	×	② 4-4-2(2) 表4-1, 8-13 15 図4-48-51	③ 4-4-2(3) 表4-1, 8-13, 15 図4-52-59	○ 4-2-1 表4-2-5 図4-8, 9	
	q_u	I * 4-2-2 表4-67 ④ 図4-10 4-3-2 表4-15 図4-42	×	△	×	△	
	k	* * 4-2-3 表4-6, 7 ⑤ 図4-16, 21 4-3-3 表4-15 図4-43	△	×	×		
	k_d	II * * 4-2-4(1) 表4-8-13 B 図4-22 4-3-4(1)~22 表4-15 図4-44	○ 4-2-4(1)(2) 表4-8-13 図4-22-39	×			
	S_r, V_a	III — — 4-2-4(2) 表4-8-13 C 図4-23 4-3-4(2)~39 表4-15 図4-45, 46	—	—	—	—	

表 4 - b

1 番 号	2 項 目	3 適 用	4 節, 図, 表
1 - I	P_o と q_u	実 車 試 験	4-4-2(1) 表4-1, 6, 7 図4-47
2 - II	P_o と τ_d	実 車 試 験 } A, B 室内比較試験 }	4-4-2(2) 表4-1, 8~13, 15 図4-48~51
3 - III	P_o と S_r, V_a	実 車 試 験 } A, C 室内比較試験 }	4-4-2(3) 表4-1, 8~13, 15 図4-52~59
IV	q_u	実 車 試 験 室内比較試験	4-4-2(4) 図4-60, 61
V	k	実 車 試 験 室内比較試験	4-4-2(5) 図4-62, 63

で表わされることがわかった。

$$P_o = 0.13W + 0.25$$

P_o ; 先行圧縮応力値 (kg) W ; 締固め機械重量 (ton)

上式は統一分類でMH, CLの試料から得られた結果でほぼ粘性土で成立するであろうと考えられる式である。

次に土中に車輛によって与えられた応力と P_o 値を比較するために、深さ30cmの位置の鉛直、水平方向の土圧測定を行ない、その結果を表4-2~5に示す。同表より得られる土圧~転圧回数(N)の関係を図4-8, 9に示す。同図には各機種種の静的(土圧計の真上で静止の状態)で得られた土圧を塗りつぶしの凡例で示し、接地圧を一点鎖線で記入した。

図4-8のように静的(静止状態)で得られる鉛直方向土圧は、ほぼ接地圧に近い値を示しているが、動的(走行中)で得られる土圧はほとんどの値が接地圧より大きな値を示している。これは接地圧のほかにエンジンの振動や車輛の加速度などの影響が含まれているためと考えられる。各機種種の鉛直方向土圧は10tで0.31~1.40 kg, 13tで0.32~1.26 kg, 15tで0.42~1.27 kg, 16tで0.18~0.72 kg程度となっている。また水平方向の土圧は図4-9のように各機種とも鉛直方向土圧の1/4~1/12程度となっている。各機種種に対する土圧はいずれもそれに対する P_o 値より全体的に低い値を示している。このように P_o 値の方が大きくなるのは転圧回数の増加に伴ってエネルギーの蓄積が行なわれたためと考えられる。

4-2-2 一軸圧縮強度(q_u)

各種条件に対する一軸圧縮強度、ならびに透水係数の測定結果を表4-6, 7に示す。同表より得られる転圧回数(N)~一軸圧縮強度(q_u)の関係を図4-10~15に示す。

図4-10~13に示すように q_u の値は各機種種に関して含水比が低いと、まき厚の差による効果の違いがほとんどみられないが、 $w_2 = 18\%$, $w_3 = 23\%$ ではまき厚30cm, 50cmの上部と50cmの下部では、前者の方が幾分大きい傾向があり、その程度は0.1~0.2 kgである。

次に含水比の変化による影響は図4-14に示すように、ほとんど現われていない。また図4-15に示すように各条件とも、転圧回数が増すと強度は漸増し、10回を越えるとほとんど変化がない。各機種ともバラツキの幅が大きい、大体10tで0.3~1.0 kg, 13tで0.3~1.0 kg, 15tで0.5~1.8 kg, 16tで0.3~1.0 kg程度であり(図4-14の2本の境界線内)、平均的な値(図4-14の一点鎖線)で大体の効果の相違をみると、普通ブルドーザで締固めた場合の方が湿地ブルドーザで締固めた場合より大きい

q_u の値を示す傾向がある。またそれぞれのタイプでは重量の大きな機種の方が大きな強度を与えている傾向がみられる。この傾向は図 4-15 でも大体いえることである。

4-2-3 透水係数 (k)

表 4-6, 7 より得られる転圧回数 (N) ~ 透水係数 (k) の関係を図 4-16 ~ 21 に示す。

図 4-16 ~ 19 に示すように各機種ともまき厚の差による効果の違いは現われず、含水比 $w_s = 23\%$ を除いて各転圧回数に対する値はまき厚 30 cm, 50 cm とともに各々にかなり近接している。原因は定かでないが、各機種とも含水比 $w_s = 23\%$ に対してまき厚 30 cm, 50 cm の値は、両者とも相交錯し、そのバラツキの幅も 10^{-3} cm/sec 程度と大きくなっている。

次に含水比の変化による影響は図 4-20 に示すようにほとんど現われていない。

また、図 4-21 に示すように含水比 $w_s = 23\%$ を除いて、各機種とも転圧回数が増加するに従って k の値は漸減する傾向を示し、機械重量の大きい方が k の小さい値を示すがいずれの機種も k の値は $10^{-4} \sim 10^{-5} \text{ cm/sec}$ 程度である。

4-2-4 乾燥密度 (γ_d), 飽和度 (S_r), 空気間けき率 (v_a)

各条件に対する乾燥密度 (γ_d), 飽和度 (S_r), 空気間けき率 (v_a) の関係を表 4-8 ~ 13 に示す。同表の関係を図示したのが各々図 4-22 ~ 27, 図 4-28 ~ 33, 図 4-34 ~ 39 である。

(1) 乾燥密度 (γ_d)

図 4-22 ~ 25 に示すように各機種ともまき厚の影響は認められない。これは主として R I 計器の特性上、地表面から深さ方向 20 cm までの湿潤密度、含水比の平均値を測定しているためと考えられる。

次に含水比による各機種の影響を図 4-26 でみると、含水比の変化による乾燥密度の差は一定したものではなく、機種に関しては図 4-27 に示すように若干普通ブルドーザの方が効果が大きい傾向にある。しかしその差は小さくどの機種でも $\gamma_d = 1.5 \sim 1.6 \text{ g/cm}^3$ 程度である。また各機種とも転圧回数 6 ~ 10 回で最大値を示し、その後は転圧回数が増しても変化は認められなくなるか、むしろ減少する傾向を示すものもある。

一般に乾燥密度で締固め度を規定する場合 JIS-A1210 の突固め試験によって得られる最大乾燥密度に対する現場の乾燥密度の割合で示される。そこで一般に多く用いられる $\gamma_d' / \gamma_{d_{max}} = 90\%$ (γ_d' : 現場乾燥密度, $\gamma_{d_{max}}$: 最大乾燥密度) 以上と規定されたとすると、図 3-2 より $1.66 \times 0.9 = 1.49 \text{ g/cm}^3$ 以上の密度が必要となる。この値の図 4-

27で実線で1.499/cmの位置を示したように、各機種、各含水比とも転圧回数6~10回で得られている。また同図には破線でJIS-A1210の最大乾燥密度の位置も示した。

(2) 飽和度(S_r)、空気間げき率(v_a)

飽和度、空気間げき率は図4-28~31、図4-34~37に示すように、両者とも乾燥密度同様、まき厚の影響は認められない。転圧回数6~10回以降では飽和度の増加の割合は非常に小さくなり、空気間げき率の減少の割合も非常に小さくなり両者の対称的な傾向が良く現われている。

含水比の影響は図4-32、図4-38に示すように明瞭に現われ、含水比が高くなる程、飽和度は大きく、空気間げき率は小さくなっている。

図4-33、図4-39をみると機種に関しては普通タイプブルドーザの方が飽和度は大きく、空気間げき率は小さくでており乾燥密度の場合より、飽和度、空気間げき率に対する締固め効果の差は、はっきりでている。

飽和度で締固め度を規定する場合一般に85~95%の範囲にとられることが多く、また空気間げき率で規定する場合は10~2%の範囲に規定される。そこで、一般的な規定に従って検討してみると、図4-33に実線で示すように、飽和度では含水比 $w_s = 23\%$ の場合のみ各機種とも転圧回数6~10回で規定に入る。同様に空気間げき率でも含水比 $w_s = 23\%$ の場合は各機種とも転圧回数3~6回で規定内に入り、含水比 $w_2 = 18\%$ の場合でも10tと15tの両普通タイプブルドーザは、転圧回数16回で規定内に入っている。

表4-14は転圧回数6回を基準にとった時の飽和度空気間げき率を示したものである。図4-40は同表より得られる飽和度、空気間げき率を、含水比をパラメータにとり各機種に対して図示したものである。同図より統一分類CLの土のブルドーザ施工の各含水比に対する、飽和度、空気間げき率についての締固め効果、あるいは期待値が推定できる。

4-3 室内比較試験の結果ならびに考察

室内比較試験の結果を表4-15に示す。同表より各含水比に対する先行圧縮応力値(P_o)、一軸圧縮強度(q_u)、透水係数(k)、乾燥密度(γ_d)、飽和度(S_r)、空気間げき率(v_a)と突固め回数(n)との関係を図示したのが、それぞれ図4-41、42、43、44、45、46である。

4-3-1 先行圧縮応力値(P_o)

図4-41に示すように突固め回数が小さい時には、突固め回数の増加に伴って、 P_0 の値も増加するが含水比の影響は判然としていない。これは突固め回数が少ないと突固めにむらがあり試料が様な状態になっていないことにもよるので、この領域の含水比の影響については一概にいえない。突固め回数がほぼ15回以降では含水比が小さい程 P_0 値は大きくなり、最大値は $w_1 = 13\%$ で2.1 $\times 10^{-3}$ 、 $w_2 = 18\%$ で2.0 $\times 10^{-3}$ 、 $w_3 = 23\%$ で1.95 $\times 10^{-3}$ 程度である。突固め回数が非常に大きくなると試料にこね返しの効果が現われて P_0 値は減少する。

4-3-2 一軸圧縮強度(q_u)

図4-42に示すように一軸圧縮強度は含水比が高い場合は突固め回数が増しても強度の増加はみられないが、含水比が低くなると、突固め回数の増加にともなって強度はいちじるしく増加する。これは含水比が低いと、こね返しはなくモールド周囲の拘束により土に大きなエネルギーが貯えられたためと考えられる。

4-3-3 透水係数(k)

図4-43に示すように突固め回数が増加すると透水係数は減少する傾向を示している。相対的に含水比が高くなると透水係数は小さい値を示している。

含水比8.4%と14.7%で $10^{-4} \sim 10^{-6} \text{ cm/sec}$ 程度になり、19.8%と25.9%では $5 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-7} \text{ cm/sec}$ 程度となっている。

4-3-4 乾燥密度(γ_d)、飽和度(S_r)、空気間げき率(v_a)

(1) 乾燥密度(γ_d)

図4-44に示すように乾燥密度は突固め回数15~20回で最大値に達するが含水比の影響は、明確に認められない。突固め回数がそれ以上増加すると乾燥密度はほぼ一定値となる。得られる最大の乾燥密度は各含水比とも1.65 g/cm^3 内外である。

(2) 飽和度(S_r)、空気間げき率(v_a)

図4-45に示すように飽和度も突固め回数15~20回までは漸増しその後はほぼ一定値となる。含水比が高い程飽和度も高くなっている。すなわち $w_1 = 13\%$ で55%、 $w_2 = 18\%$ で89%、 $w_3 = 23\%$ で92%程度である。

反対に空気間げき率は図4-46に示すように突固め回数15~20回までは漸減し含水比の高い程、小さい値となっている。すなわち $w_1 = 13\%$ で25%、 $w_2 = 18\%$ で5.0%、 $w_3 = 23\%$ で3.0%程度である。

4-4 実車試験、室内比較試験結果の各々の比較および実車試験と室内比較試験との対比

4-4-1 概説

4-4節で比較または対比、考察を行なった各試験項目は、各々の関連性ならびに独立性を考察し、かつ実車と突固めとの締固め機構の相違などにも検討を加えた。

4-4-2 実車試験、室内比較試験結果の各々の比較および実車試験と室内比較試験との対比

(1) 先行圧縮応力値(P_o)と一軸圧縮強度(q_u)との実車試験相互の比較

先行圧縮応力値(P_o)と一軸圧縮強度(q_u)を比較するために、各機種ごとに転圧回数(N)～先行圧縮応力値(P_o)、一軸圧縮強度(q_u)の関係を示したのが図4-47である。4-2-1、4-2-2項で述べたように、また図4-47からもわかるように、転圧回数10回前後で先行圧縮応力値、一軸圧縮強度とも最大値を示し、それ以上になると変化はなくなる。また重量が大きくなるにしたがって先行圧縮応力値、一軸圧縮強度とも大きな値を示す傾向にある。含水比の影響は両者ともほとんど認められない。次に機種のタイプの差について考えてみると、一軸圧縮強度は普通タイプのブルドーザの方が湿地タイプのブルドーザより大きな傾向が認められるが、先行圧縮応力値についてはそのような傾向は認められない。すなわち先行圧縮応力値はある種の弾性限界値に相当し、一軸圧縮強度は破壊強度であるのでこのように異った傾向を示すものと考えられる。次に値のバラツキの傾向について考察しても、先行圧縮応力値は機種の重量が重くなるとバラツキの幅が大きくなっているのに対し、一軸圧縮強度についてはどの機種についてもバラツキの幅が大きく、傾向が幾分異っている。

(2) 先行圧縮応力値(P_o)と乾燥密度(γ_d)との実車試験、室内比較試験相互の比較

各機種ごとに本項目を対比させたのが図4-48～5である。まず先行圧縮応力値の点から各機種について比較してみると、10t普通ブルドーザ、13t湿地ブルドーザによって得られる値は、突固めによって得られた値より小さくなり、15t普通ブルドーザ程度ではほぼ同じ効果を与え、16t湿地ブルドーザではブルドーザの方が大きな値を与えている。すなわち先行圧縮応力値を基準にすれば、JIS-A1210の突固めで得られた試料はほぼ15t級のブルドーザで締固めた場合と同じような性状を示していることになる。また室内比較試験では含水比の影響が現われているが実車試験では判然としていない。これは実車試験の精度を上げれば現われる傾向があるものなのか、締固め機構の相違のためにこのような性状を示すのかは今回の試験ではわからなかった。

次に乾燥密度についてみると先行圧縮応力値とは異り、ほぼどの機種も同じような密度まで達しており、大きな差は出ていない。すなわち先行圧縮応力値を乾燥密度で規定するのは困難なことを示している。これは前者が締固めの力学的指標を表わすのに対し後者は物理的な指標を表わし、両者は全く相異なる指標であり、定性的な面でも相違が生

じてくるのであろう。これは各実車試験、室内試験について先行圧縮応力値と乾燥密度の傾向を対比させても、先行圧縮応力値の大小と乾燥密度の大小の傾向についても一致していない点からも確認することができる。

(3) 先行圧縮応力値 (P_o) と飽和度 (S_r)、空気間げき率 (v_a) の実車試験、室内比較試験相互の比較

各機種ごとに本項目を対比させたが、図 4-52~55 は先行圧縮応力値 (P_o) と飽和度 (S_r) の対比、図 4-56~59 は先行圧縮応力値 (P_o) と空気間げき率 (v_a) の対比を示した。ここで先行圧縮応力値の実車試験と室内比較試験の比較は前項 4-4-2-(2) で行なったのでここでは省いた。

まず飽和度について考察してみると、図 4-52~55 に示すように実車試験、室内比較試験とも含水比の影響は明瞭に現われており、含水比の差による飽和度の値には相当な差が生じている。一方先行圧縮応力値は含水比の影響は明瞭でなく、含水比の違いによる差も小さく、両者の傾向は全く異っている。同様に図 4-56~59 に示すように空気間げき率についても両者の傾向の相異は明らかである。

(4) 一軸圧縮強度 (q_u) の実車試験と室内比較試験との比較

一軸圧縮強度の実車試験と室内比較試験との比較は、図 4-60, 61 に示す。同図からわかるように、室内比較試験における一軸圧縮強度は含水比が高い場合には、実車試験における場合とほぼ同じような値を示すが、含水比が低くなると、突固めの増加に伴って一軸圧縮強度は著しく増加してくる。このことは実車試験では含水比の高低にかかわらず周辺に自由に土が移動できるのに対し、室内比較試験では含水比が低いと、こね返しは行なわれずモールド周辺の拘束と相まって、大きな強度を与え、含水比が高くなると、こね返しによって強度が小さくなるためと考えられる。

(5) 透水係数 (k) の実車試験、室内比較試験との比較

各機種ごとに実車試験と室内比較試験結果とを、図 4-62, 63 で比較した。まず両者とも締固めエネルギーの増加に伴って低くなる傾向がみられる。

次に含水比についてみると、室内比較試験では含水比が低いと透水係数の値は大きく、含水比が高いと小さいというある程度の差が出ている。一方、実車試験では含水比が低いと透水係数の値は接近し、含水比が高いと非常にバラツク傾向を示し、含水比と透水係数との相関は特に認められず、両者の変化の傾向に若干の相違が認められる。

また、全体的にみると、室内比較試験で得られた値の方が、実車試験で得られた値より小さい傾向を示す。

4-4-3 室内比較試験における相互の対比

室内比較試験で得られた先行圧縮応力値、一軸圧縮強度、透水係数、乾燥密度について対比を試みる。

表4-15より先行圧縮応力値(P_0)、一軸圧縮強度(q_u)、透水係数(k)、乾燥密度(ρ_d)の各転圧回数の関係を図4-64に示す。同図より先行圧縮応力値と乾燥密度とが似かよった傾向を示すだけで、一軸圧縮強度と透水係数はいずれの項目とも相関性はみられない。

しかし、先行圧縮応力値と乾燥密度も実車試験の結果と同様に、先行圧縮応力値がいくらであれば、乾燥密度はどれだけの値を示すというような関係は認められない。

表4-1 実車試験による先行圧縮応力値(P_0)

単位(噸)

機種 採取場所 回数	含水比	w_1 13%			w_2 18%			w_3 23%		
		30cm	50cm上	50cm下	30cm	50cm上	50cm下	30cm	50cm上	50cm下
10t 普通	3	1.45	1.04	1.32	1.30	1.14	1.26	1.20	1.20	1.25
	6	1.32		1.30	1.40	1.39	1.31	1.30	1.30	1.33
	10	1.60	1.48	1.50	1.30	1.12	1.30	1.33	1.38	1.30
	16	1.58	1.34		1.34	1.50	1.55	1.55	1.50	1.37
13t 湿地	3	1.00	1.06	1.10	1.28	1.16	1.35	1.37		1.28
	6	1.10	1.16	1.16	1.44	1.49	1.38	1.33	1.33	1.40
	10	1.45	1.35	1.30	1.40	1.48	1.44	1.36	1.45	1.50
	16	1.40	1.36	1.45	1.55	1.66	1.32	1.45	1.35	1.30
15t 普通	3	1.50	1.88	1.79	1.90	2.40	2.09	1.83	1.86	2.11
	6	2.00			1.83	2.20	2.44	2.10	1.83	1.71
	10	2.30	2.00		2.13	2.36	2.10	2.05	2.20	2.15
	16	2.24		2.18	2.20	2.50	2.00	2.10	2.20	
16t 湿地	3	1.56	1.78	1.85	2.08	2.11	2.41	1.53	1.80	1.90
	6	2.06	2.04	1.70	2.45	1.96	2.00	2.05	2.04	2.00
	10	2.35	2.07	2.40	2.50	2.30		1.70	2.00	2.30
	16	2.50	2.25	2.30				2.22	2.20	1.95

表 4 - 2 土 圧 測 定 結 果

10 t 普		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16								(号)	
矢印は受圧面の方向を示す。 ※は静的土圧を示す。											
w_1 13 %											
											
w_2 18 %											
											
w_3 23 %		0.48	0.46	0.31	0.40	0.41	0.49				
		0.92	1.13	1.07	1.25	1.17	1.40				
	平均値									※0.24	
	0.709									※0.20	
		0.12	0.17	0.19	0.17	0.21	0.21				
	平均値									※0.06	
	0.143									※0.01	

表 4-3 土 圧 測 定 結 果

13 t 湿		矢印は受圧面の方向を示す。 ※は静的土圧を示す。								(号)	
		12345678 910111213141516									
13 %		0.42	0.42	0.45	0.41	0.37	0.40				
		0.43	0.41	0.41	0.37	0.39	0.39				
	平均值									※0.57	
	0.416									※0.38	
		0.09	0.09	0.09	0.07	0.07	0.08				
18 %		0.38	0.32	0.34		0.39	0.52				
		0.40		0.39							
	平均值									※0.23	
	0.361									※0.28	
		0.13		0.09							
		0.07		0.26	0.05		0.11				
23 %		0.59	0.57	0.71	0.76	1.15	0.88	1.08	1.05		
		0.52	0.70	0.67		1.26	0.93	1.17	1.05		
	平均值	1.10	0.96	1.18	0.88	0.96	0.98	1.03	0.88		
	0.979	1.17	1.17	1.19	0.94	1.31	1.05	1.38	1.08		
		0.09		0.08		0.08	0.11	0.11	0.09		
		0.07	0.06	0.08	0.06	0.09	0.08	0.09	0.10		
	平均值	0.13	0.10	0.14	0.10	0.14	0.12	0.15	0.13		
	0.097	0.08	0.08	0.09	0.06	0.11	0.10	0.10	0.09		

表 4-4 土 压 测 定 结 果

[illegible]

表 4-5 土 圧 測 定 結 果

16 t 湿		-1-2-3-4-5-6-7-8- -9-10-11-12-13-14-15-16-								(%)	
		矢印は受圧面の方向を示す。 ※は静的土圧を示す。									
w ₁		0.21	0.23	0.25		0.41	0.38	※0.47			
			0.39	0.43			0.49	※0.38			
	平均值										
	0.364										
						0.11	0.09	※0.05			
		0.10	0.12	0.10		0.11	0.10	※0.10			
13%	平均值										
	0.098										
w ₂		0.18	0.30	0.18		0.31	0.39		0.48		
		0.44		0.37			0.86		0.72		
	平均值		0.38		0.54	0.61			0.44		
	0.464		0.68		0.47	0.52			0.48		
		0.13	0.10			0.15	0.13		0.13		
		0.08	0.09			0.22	0.15		0.12		
18%	平均值		0.15		0.13	0.19			0.09		
	0.132		0.11		0.13	0.18			0.09		
w ₃		0.36	0.43	0.33	0.51	0.54	0.48		0.49		
			0.43		0.53	0.39	0.44		0.61		
	平均值	0.50	0.48	0.50	0.42	0.51	0.46	0.43	※0.36		
	0.441		0.37		0.39	0.37	0.42	0.40	※0.31		
				0.09	0.12		0.11		0.16		
		0.06	0.06	0.10	0.11	0.12	0.14		0.08		
23%	平均值								※0		
	0.092	0.06	0.10	0.08	0.08	0.06	0.06	0.06	※0		

表4-6 実車試験による一軸圧縮強度(q_u) 透水係数(k)

機種	転圧回数	まき厚 (cm)	w_1 13%		w_2 18%		w_3 23%	
			q_u (Kg/cm ²)	k (cm/sec)	q_u (Kg/cm ²)	k (cm/sec)	q_u (Kg/cm ²)	k (cm/sec)
10t 普通	3	30	0.4	2.1×10^{-3}	0.5	1.5×10^{-6}	0.9	3.0×10^{-7}
		50上	0.4	3.7×10^{-5}	0.8	2.8×10^{-7}	0.6	3.1×10^{-4}
		50下	0.2		0.3		1.0	
	6	30	0.3	4.0×10^{-4}	0.5	4.4×10^{-5}	1.0	1.1×10^{-4}
		50上	0.7	1.2×10^{-4}	0.5	4.0×10^{-6}	0.7	5.7×10^{-7}
		50下	0.5		0.3		0.9	
	10	30	0.9	1.3×10^{-4}	0.7	2.6×10^{-5}	0.9	5.4×10^{-4}
		50上	0.8	4.0×10^{-5}	0.6	4.0×10^{-5}	1.0	2.5×10^{-4}
		50下	0.6				1.0	
	16	30	0.9	2.7×10^{-4}	1.4	5.2×10^{-5}	1.1	6.4×10^{-7}
		50上	0.4	4.2×10^{-5}	0.5	2.6×10^{-4}	0.7	2.3×10^{-7}
		50下	0.8				0.9	

機種	転圧回数	まき厚 (cm)	w_1 13%		w_2 18%		w_3 23%	
			q_u (Kg/cm ²)	k (cm/sec)	q_u (Kg/cm ²)	k (cm/sec)	q_u (Kg/cm ²)	k (cm/sec)
13t 湿地	3	30		5.1×10^{-5}	0.3	3.9×10^{-4}	0.4	2.7×10^{-5}
		50上	0.4	9.3×10^{-5}	0.5	8.2×10^{-3}	0.3	1.0×10^{-5}
		50下	0.3		0.3			
	6	30		4.0×10^{-5}	0.4	2.0×10^{-3}	0.4	5.7×10^{-4}
		50上	0.8	7.3×10^{-5}	0.6	2.6×10^{-4}	0.3	3.2×10^{-4}
		50下	0.3		0.3		0.3	
	10	30	0.4	7.7×10^{-5}	0.4	2.2×10^{-5}	0.4	6.2×10^{-7}
		50上		3.3×10^{-5}	0.3	2.0×10^{-4}	0.5	2.5×10^{-6}
		50下			0.2		0.3	
	16	30	1.2	2.0×10^{-5}	1.0	1.3×10^{-4}	0.6	4.5×10^{-7}
		50上	0.7	8.5×10^{-6}	0.8	3.1×10^{-5}	0.4	1.4×10^{-4}
		50下			0.3		0.4	

表 4-7 実車試験による一軸圧縮強度(q_u) 透水係数(k)

機種	転圧回数	まき厚 (cm)	w_1 13%		w_2 18%		w_3 23%	
			q_u (Kg/cm ²)	k (cm/sec)	q_u (Kg/cm ²)	k (cm/sec)	q_u (Kg/cm ²)	k (cm/sec)
15 t 普通	3	30	0.4	2.5×10^{-5}	0.6	3.2×10^{-5}	0.6	1.1×10^{-4}
		50 上	0.4	3.7×10^{-5}	0.6	5.8×10^{-7}	0.6	5.1×10^{-4}
		50 下	0.4		0.5		0.5	
	6	30	0.8	1.8×10^{-5}	1.7	1.5×10^{-5}	0.8	2.0×10^{-5}
		50 上	0.9	6.3×10^{-5}	2.0	1.9×10^{-5}	0.5	3.4×10^{-7}
		50 下	1.2		1.2		0.7	
	10	30	0.4	3.6×10^{-5}	1.1	7.8×10^{-6}	0.9	1.4×10^{-5}
		50 上	1.8	1.4×10^{-3}	1.8	4.6×10^{-6}	0.8	3.8×10^{-4}
		50 下			1.4		0.8	
	16	30		4.8×10^{-6}	1.6	7.1×10^{-6}	1.2	7.1×10^{-6}
		50 上	1.0	8.2×10^{-5}	1.8	8.8×10^{-6}	1.0	1.2×10^{-5}
		50 下	1.9		1.8		1.0	

機種	転圧回数	まき厚 (cm)	w_1 13%		w_2 18%		w_3 23%	
			q_u (Kg/cm ²)	k (cm/sec)	q_u (Kg/cm ²)	k (cm/sec)	q_u (Kg/cm ²)	k (cm/sec)
16 t 湿地	3	30	0.6	5.6×10^{-5}	0.5	2.9×10^{-5}	0.5	5.7×10^{-7}
		50 上	0.5	2.2×10^{-5}	0.4	3.6×10^{-5}	0.3	2.7×10^{-7}
		50 下	0.7				0.5	
	6	30		1.8×10^{-5}	0.5	1.1×10^{-5}	0.6	4.8×10^{-5}
		50 上	0.6	1.6×10^{-5}	0.6	8.7×10^{-6}	0.6	9.9×10^{-5}
		50 下	0.6		0.3		0.5	
	10	30	0.8	1.2×10^{-5}		5.6×10^{-6}	0.7	5.4×10^{-5}
		50 上	1.0	1.2×10^{-5}	0.6	2.1×10^{-5}	0.5	4.5×10^{-7}
		50 下	0.8		0.3		0.5	
	16	30		9.5×10^{-7}	1.2	6.5×10^{-6}	0.7	8.7×10^{-8}
		50 上		6.8×10^{-6}	1.1	1.2×10^{-5}	0.7	6.5×10^{-6}
		50 下	0.7		0.5		0.7	

表 4-8 実車の R.I. による乾燥密度等

10 t 普通ブルドーザ 含水比 13%

転圧回数	まき厚 (cm)	$r_s(g/cm^3)$	$w(\%)$	$r_d(g/cm^3)$	$S_r(\%)$	e	$v_a(\%)$
0	30	1.468	12.5	1.305	32.0	1.038	34.1
	50	1.495	13.0	1.323	34.2	1.011	33.1
3	30	1.704	14.0	1.388	42.4	0.920	27.9
	50	1.716	13.3	1.362	42.0	0.957	28.4
6	30	1.641	13.3	1.449	42.3	0.836	26.7
	50	1.699	14.0	1.490	47.4	0.785	23.1
10	30	1.756	13.7	1.544	50.4	0.723	20.8
	50	1.694	15.2	1.471	48.9	0.808	22.3
16	30	1.809	14.0	1.587	55.1	0.676	19.1
	50	1.864	13.1	1.648	56.7	0.614	16.4

13 t 湿地ブルドーザ 含水比 13%

転圧回数	まき厚 (cm)	$r_s(g/cm^3)$	$w(\%)$	$r_d(g/cm^3)$	$S_r(\%)$	e	$v_a(\%)$
0	30	1.455	13.4	1.283	33.2	1.073	34.6
	50	1.512	12.3	1.346	33.5	0.976	32.8
3	30	1.664	11.5	1.492	39.1	0.783	26.7
	50	1.690	13.6	1.488	45.9	0.788	23.8
6	30	1.796	15.6	1.554	58.3	0.712	17.3
	50	1.762	11.3	1.583	44.2	0.680	22.6
10	30	1.665	12.8	1.476	42.4	0.802	25.6
	50	1.680	11.9	1.501	41.0	0.772	25.7
16	30	1.795	12.5	1.596	49.9	0.667	20.0
	50	1.726	12.1	1.540	44.3	0.727	23.5

表4-9 実車のR.I.による乾燥密度等

10t 普通ブルドーザ 含水比 18%

転圧回数	まき厚 (cm)	r_s (g/cm ³)	w (%)	r_d (g/cm ³)	S_r (%)	e	v_a (%)
0	30	1.598					
	50	1.613					
3	30	1.613	18.5	1.361	51.5	0.957	23.7
	50	1.642	18.4	1.387	53.2	0.922	22.5
6	30	1.824	20.2	1.517	71.3	0.753	12.3
	50	1.767	19.5	1.479	65.0	0.799	15.5
10	30	1.872	18.8	1.576	72.7	0.688	11.1
	50	1.883	19.1	1.581	74.4	0.682	10.4
16	30	1.958	18.7	1.650	81.3	0.612	7.1
	50	1.927	19.8	1.609	80.6	0.653	7.6

13t 湿地ブルドーザ 含水比 18%

転圧回数	まき厚 (cm)	r_s (g/cm ³)	w (%)	r_d (g/cm ³)	S_r (%)	e	v_a (%)
0	30	1.635					
	50	1.660					
3	30	1.591	17.4	1.355	62.7	0.963	25.5
	50	1.538	17.6	1.308	45.3	1.034	27.8
6	30	1.632	18.1	1.382	52.3	0.929	23.2
	50	1.642	17.9	1.393	51.9	0.913	22.8
10	30	1.672	17.8	1.419	54.0	0.877	21.5
	50	1.650	17.1	1.409	51.2	0.888	22.9
16	30	1.714	17.6	1.457	56.7	0.826	19.6
	50	1.666	17.0	1.424	52.1	0.868	22.2

表4-10 実車のR.I.による乾燥密度等

10t 普通ブルドーザ 含水比 23%

転圧回数	まき厚 (cm)	γ_t (g/cm ³)	w (%)	γ_d (g/cm ³)	Sr (%)	e	v_a (%)
0	30	1.555	28.5	1.210	63.3	1.198	20.0
	50	1.496	25.3	1.194	54.8	1.228	24.9
3	30	1.928	21.8	1.583	85.0	0.683	6.1
	50	1.898	22.2	1.553	79.3	0.715	8.8
6	30	1.903	22.2	1.557	83.2	0.711	7.0
	50	1.867	21.8	1.533	78.6	0.738	9.0
10	30	1.962	21.7	1.612	88.6	0.652	4.5
	50	1.930	21.3	1.591	84.1	0.674	6.4
16	30	1.986	21.7	1.632	91.4	0.632	3.3
	50	1.924	23.1	1.563	87.0	0.704	5.2

13t 湿地ブルドーザ 含水比 23%

転圧回数	まき厚 (cm)	γ_t (g/cm ³)	w (%)	γ_d (g/cm ³)	Sr (%)	e	v_a (%)
0	30	1.762					
	50	1.526					
3	30	1.847	22.6	1.507	78.6	0.765	9.3
	50	1.846	22.5	1.507	78.2	0.765	9.4
6	30	1.837	24.0	1.481	80.2	0.796	8.8
	50	1.914	23.7	1.547	87.6	0.719	5.7
10	30	1.871	25.0	1.497	85.6	0.777	6.3
	50	1.859	24.3	1.496	83.1	0.778	7.4
16	30	1.919	22.5	1.567	85.8	0.698	5.8
	50	1.850	23.9	1.493	81.3	0.782	8.2

表4-11 実車のR.I.による乾燥密度等

15t 普通ブルドーザ 含水比 13%

転圧回数	まき厚 (cm)	r_s (g/cm ³)	w (%)	r_d (g/cm ³)	Sr (%)	e	v_a (%)
0	30	1.516	12.0	1.353	33.0	0.966	32.9
	50	1.542	10.9	1.390	31.7	0.914	32.6
3	30	1.737	13.5	1.531	48.7	0.737	21.8
	50	1.801	18.8	1.516	66.3	0.757	14.5
6	30	1.794	13.6	1.579	53.3	0.685	19.2
	50	1.762	13.7	1.550	50.9	0.716	20.5
10	30	1.826	14.6	1.594	58.1	0.669	16.8
	50	1.883	13.6	1.657	59.8	0.605	15.2
16	30	1.769	15.3	1.534	55.3	0.736	18.9
	50	1.808	14.2	1.583	55.4	0.682	18.1

16t 湿地ブルドーザ 含水比 13%

転圧回数	まき厚 (cm)	r_s (g/cm ³)	w (%)	r_d (g/cm ³)	Sr (%)	e	v_a (%)
0	30	1.586	10.9	1.430	33.7	0.860	30.6
	50	1.516	10.1	1.377	28.8	0.932	34.4
3	30	1.767	10.8	1.595	42.1	0.668	22.8
	50	1.700	11.0	1.531	39.7	0.737	25.6
6	30	1.801	11.2	1.619	46.1	0.643	21.0
	50	1.796	11.1	1.585	44.3	0.924	26.7
10	30	1.713	15.8	1.479	52.5	0.801	21.1
	50	1.621	13.4	1.557	56.9	0.801	19.2
16	30	1.653	15.4	1.433	47.7	0.860	24.2
	50	1.628	11.9	1.506	47.8	0.740	22.6

表4-12 実車のR.I.による乾燥密度等

15t 普通ブルドーザ 含水比 18%

転圧回数	まき厚 (cm)	r_s (g/cm ³)	w (%)	r_d (g/cm ³)	S_r (%)	e	v_a (%)
0	30	1.442	13.9	1.266	33.6	1.101	34.8
	50	1.416	16.6	1.214	37.1	1.191	34.2
3	30	1.725	17.9	1.463	58.2	0.818	18.8
	50	1.801	18.3	1.523	65.2	0.747	14.9
6	30	1.705	18.7	1.436	58.4	0.852	19.2
	50	1.794	17.6	1.525	62.9	0.744	15.8
10	30	1.883	17.8	1.598	71.2	0.665	11.5
	50	1.877	19.4	1.572	74.6	0.692	10.4
16	30	1.835	16.1	1.583	62.9	0.680	15.0
	50	1.901	17.4	1.619	72.0	0.643	11.0

16t 湿地ブルドーザ 含水比 18%

転圧回数	まき厚 (cm)	r_s (g/cm ³)	w (%)	r_d (g/cm ³)	S_r (%)	e	v_a (%)
0	30	1.451	15.3	1.259	36.5	1.113	33.4
	50	1.551	17.6	1.319	46.0	1.017	27.2
3	30	1.608	17.2	1.329	45.7	1.002	27.2
	50	1.656	19.7	1.391	55.7	0.912	21.1
6	30	1.636	18.0	1.387	52.2	0.918	22.9
	50	1.661	20.7	1.376	59.0	0.933	19.8
10	30	1.807	18.7	1.522	64.2	0.748	14.3
	50	1.762	20.7	1.460	67.0	0.822	14.9
16	30	1.896	18.4	1.601	73.8	0.543	10.3
	50	1.872	19.2	1.571	73.7	0.693	10.8

表 4-13 実車の R.I. による乾燥密度等

15 t 普通ブルドーザ 含水比 23%

転圧回数	まき厚 (cm)	γ_t (g/cm ³)	w (%)	γ_d (g/cm ³)	Sr (%)	e	v_a (%)
0	30	1.518	34.7	1.127	67.9	1.360	18.5
	50	1.546	35.0	1.146	70.5	1.321	16.8
3	30	1.909	23.3	1.548	86.3	0.718	5.7
	50	1.934	21.9	1.586	86.0	0.677	5.6
6	30	1.980	22.8	1.612	93.3	0.650	2.6
	50	1.947	24.1	1.569	92.2	0.695	3.2
10	30	2.029	24.9	1.625		0.637	
	50	1.979	25.4	1.578	98.5	0.686	0.6
16	30	1.871	26.7	1.477	88.7	0.801	5.0
	50	1.896	26.0	1.505	90.1	0.767	4.3

16 t 湿地ブルドーザ 含水比 23%

転圧回数	まき厚 (cm)	γ_t (g/cm ³)	w (%)	γ_d (g/cm ³)	Sr (%)	e	v_a (%)
0	30	1.546	22.3	1.264	53.7	1.104	24.3
	50	1.643	24.0	1.325	63.4	1.008	18.4
3	30	1.746	23.4	1.415	70.7	0.880	13.7
	50	1.775	24.4	1.427	75.1	0.864	11.5
6	30	1.846	18.7	1.555	70.0	0.711	12.5
	50	1.801	23.7	1.513	83.2	0.758	7.3
10	30	1.913	21.2	1.578	82.2	0.686	7.2
	50	1.872	22.8	1.524	81.4	0.745	8.0
16	30	1.921	21.4	1.583	83.7	0.680	6.6
	50	1.817	24.3	1.462	78.9	0.819	9.5

表 4-14 転圧回数 6 回における飽和度、空気間ゲキ率

機 種	含 水 比 (%)	飽 和 度 (%)	空 気 間 ゲ キ 率 (%)
10 t 普通	$w_1 = 13$	4 7.0	2 5.0
	$w_2 = 18$	6 5.0	1 5.5
	$w_3 = 23$	8 2.4	8.0
13 t 湿地	$w_1 = 13$	4 4.4	2 4.7
	$w_2 = 18$	5 2.0	2 4.6
	$w_3 = 23$	8 4.0	7.5
15 t 普通	$w_1 = 13$	5 2.7	1 9.0
	$w_2 = 18$	6 4.9	1 5.0
	$w_3 = 23$	9 1.6	3.4
16 t 湿地	$w_1 = 13$	4 8.1	2 2.0
	$w_2 = 18$	5 9.2	2 0.0
	$w_3 = 23$	7 9.0	8.9

表4-15 室内比較試験結果

含水比	突固め回数	P_0 (kg/cm ²)	r_t (g/cm ³)	r_d (g/cm ³)	S_r (%)	v_a (%)
w_1 13%	5	1.70	1.512	1.334	35.6	32.1
	10	2.03	1.508	1.331	35.4	32.3
	15	2.04	1.654	1.457	43.4	25.6
	25	2.09	1.740	1.544	46.6	22.4
	35	2.08	1.801	1.591	52.1	19.3
	50	1.98	1.859	1.647	55.6	17.0
w_2 18%	5	1.51	1.812	1.490	73.1	11.9
	10	1.91	1.932	1.598	83.5	6.6
	15	1.90	1.974	1.638	87.2	4.9
	25		1.993	1.654	89.4	4.0
	35	2.00	1.988	1.639	90.7	3.6
	50	1.75	1.997	1.652	90.9	3.5
w_3 23%	5	1.70	1.865	1.531	78.5	9.1
	10	1.94	1.934	1.583	86.6	5.5
	15	1.80	1.979	1.619	91.7	3.3
	25	1.92	1.965	1.593	92.6	3.0
	35	1.75	1.968	1.597	92.6	3.0
	50	1.60	1.980	1.618	92.3	3.0

突固め回数	含水比 (%)	q_u (kg/cm ²)	k (cm/sec)
10	8.4	1.9	1.1×10^{-3}
	14.7	2.3	1.2×10^{-6}
	19.8	0.9	4.8×10^{-7}
	25.9		4.2×10^{-6}
25	8.4	3.9	2.0×10^{-4}
	14.7	4.8	1.8×10^{-6}
	19.8	0.9	3.7×10^{-8}
	25.9		2.0×10^{-7}
50	8.4	5.6	2.9×10^{-6}
	14.7	5.8	2.4×10^{-6}
	19.8	0.9	1.2×10^{-7}
	25.9		6.8×10^{-7}
75	8.4	7.1	5.3×10^{-6}
	14.7	6.9	6.6×10^{-6}
	19.8	1.0	1.2×10^{-7}
	25.9		3.7×10^{-8}

図4-1 まき厚の影響

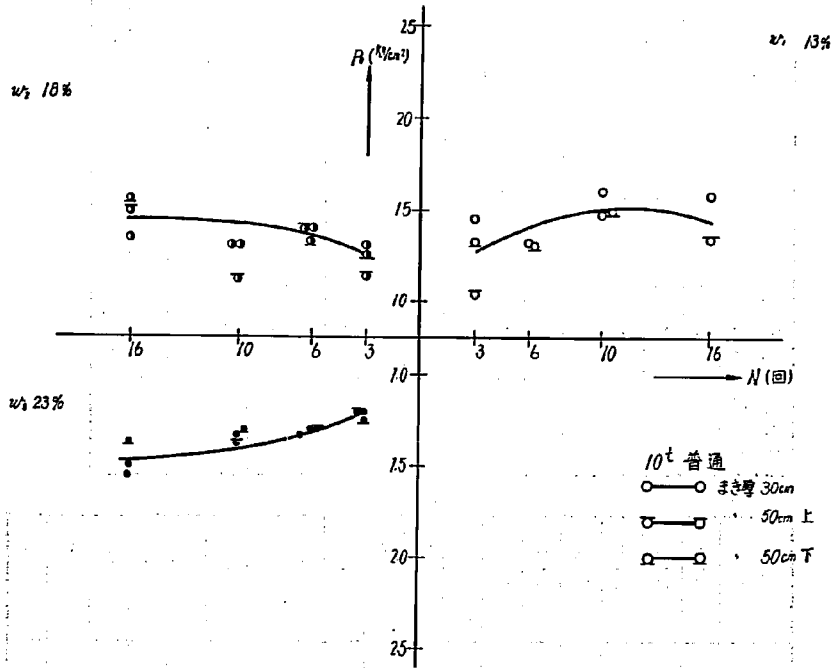


図4-2 まき厚の影響

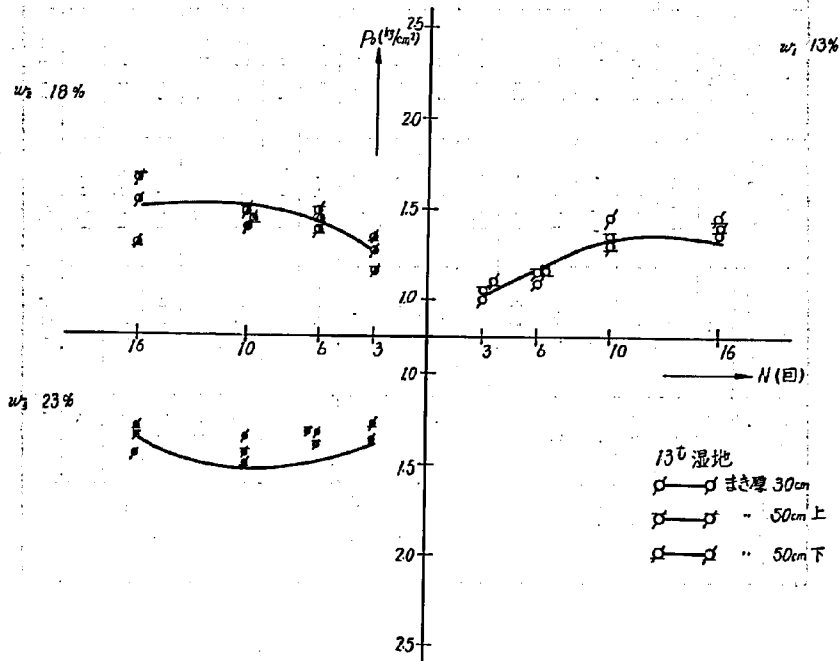


図4-3 まき厚の影響

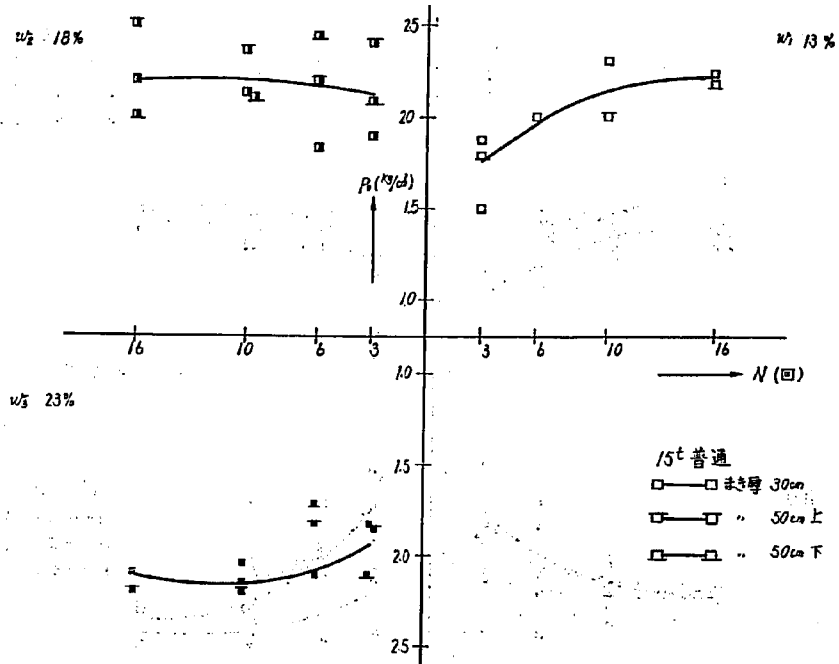


図4-4 まき厚の影響

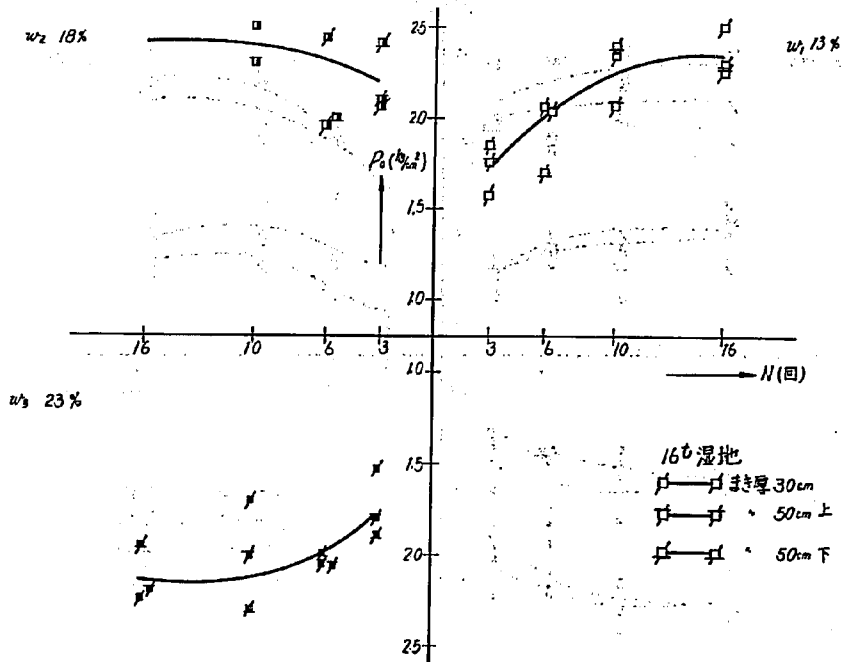


図 4-5 含水比の影響

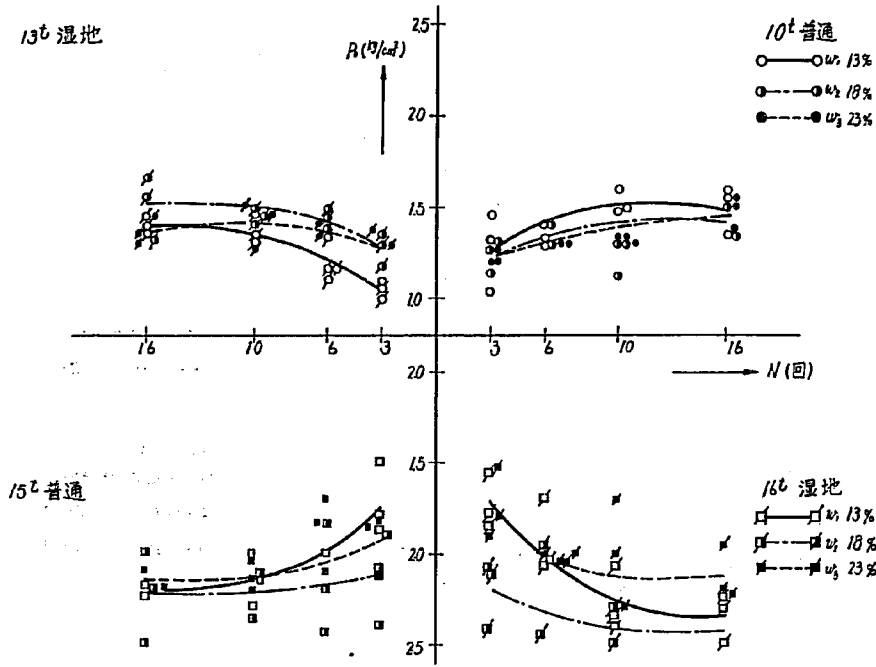


図 4-6 機種の影響

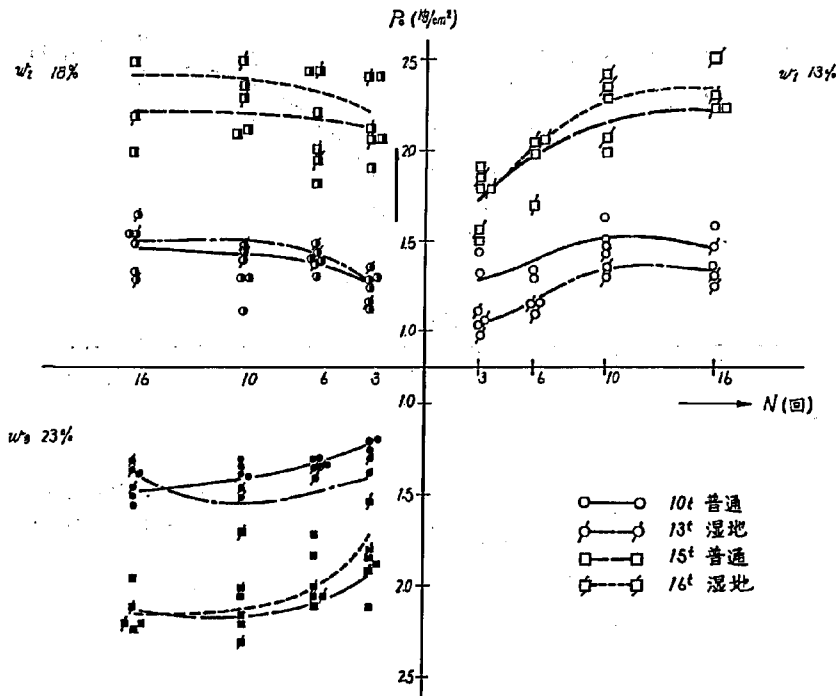


図 4-7 締固め機械重量による $P_0 \text{ max}$ 値

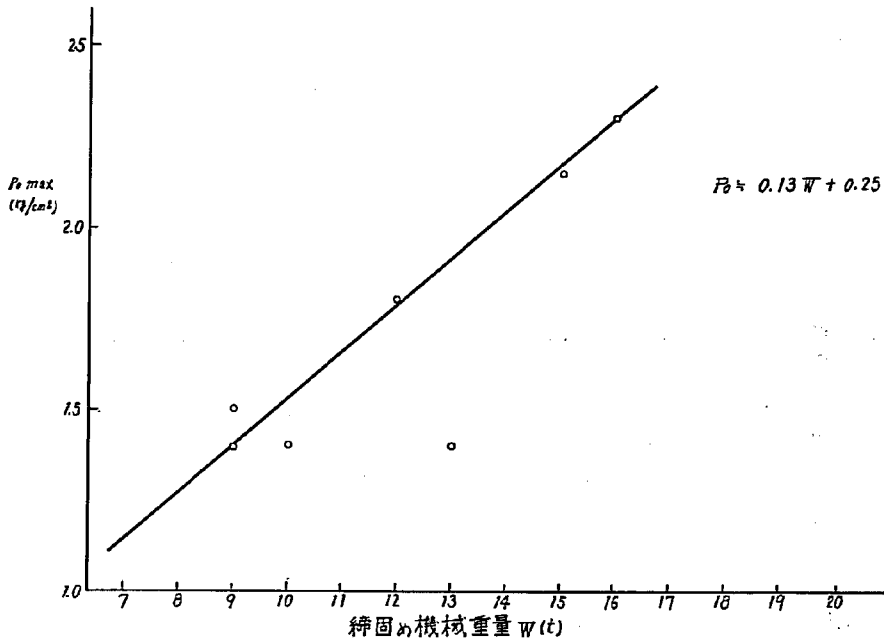


図 4-8 土圧実測値 (鉛直方向土圧)

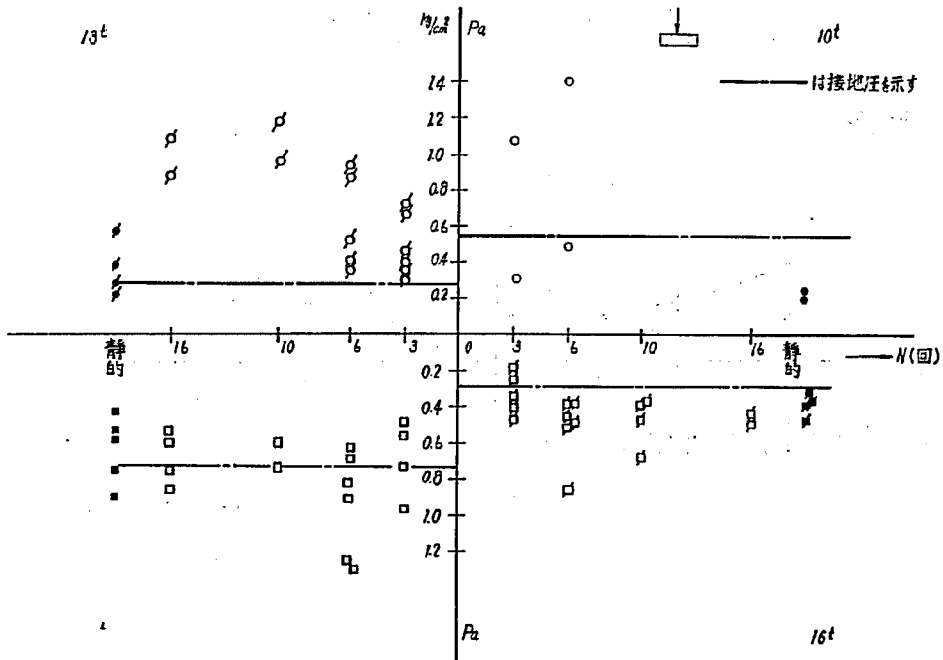


図4-9 土圧実測値（水平方向土圧）

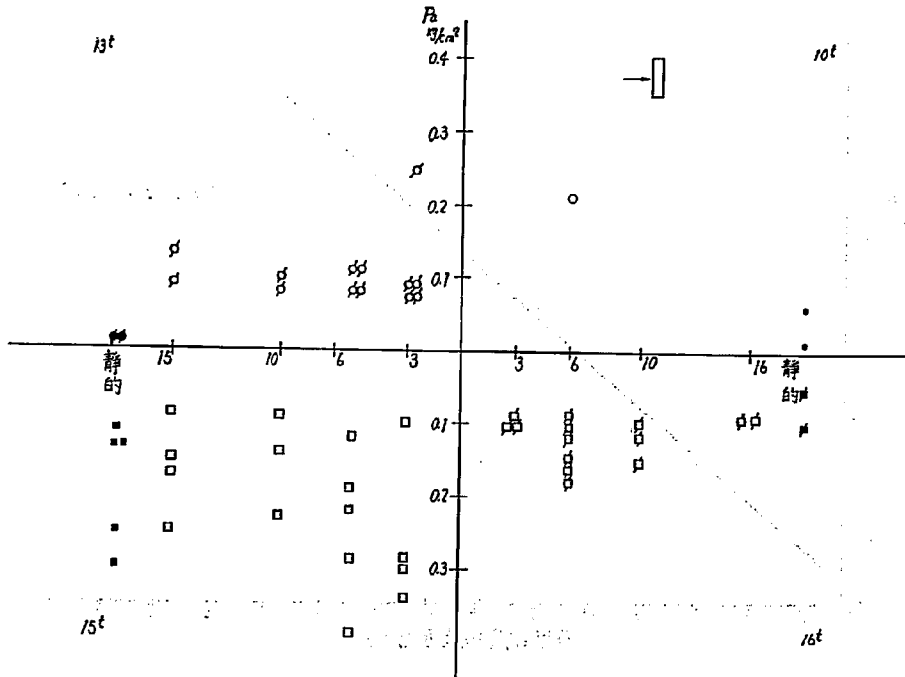


図4-10 まき厚の影響

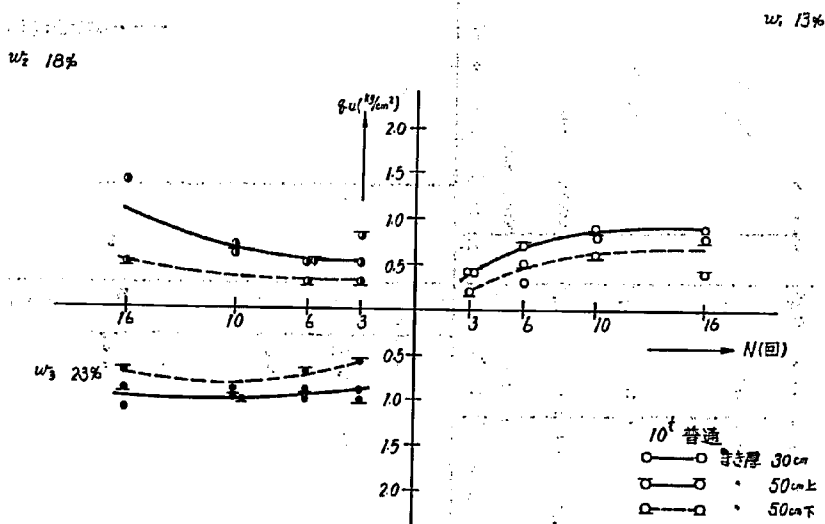


図4-11 まき厚の影響

w_1 13%

w_2 18%

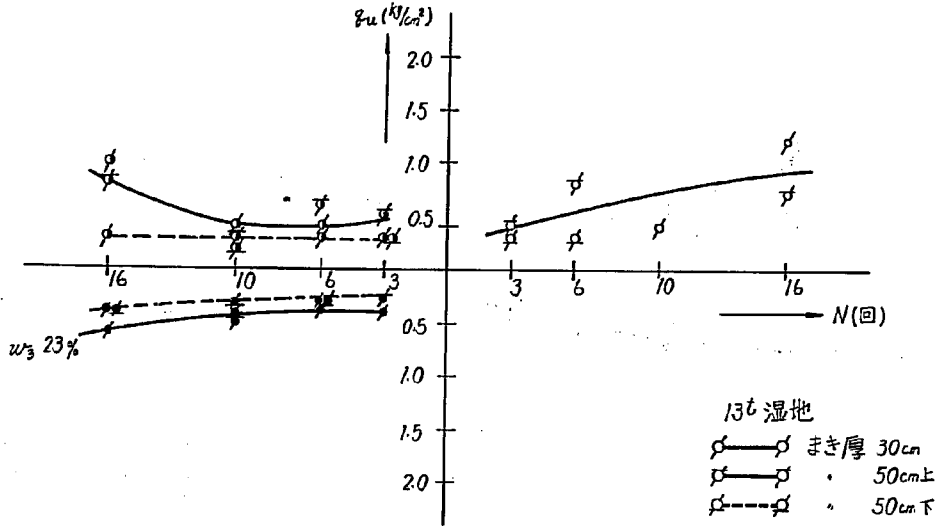


図4-12 まき厚の影響

w_1 13%

w_2 18%

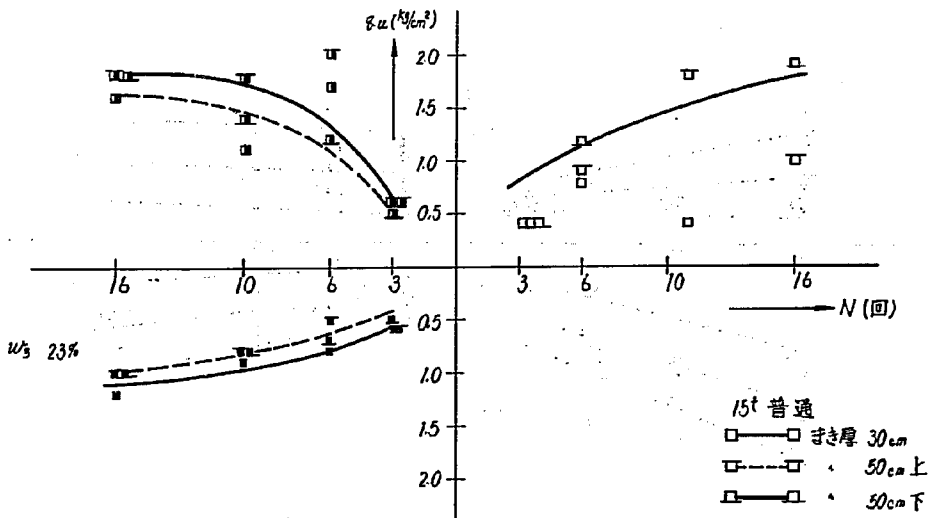


図4-13 まき厚の影響

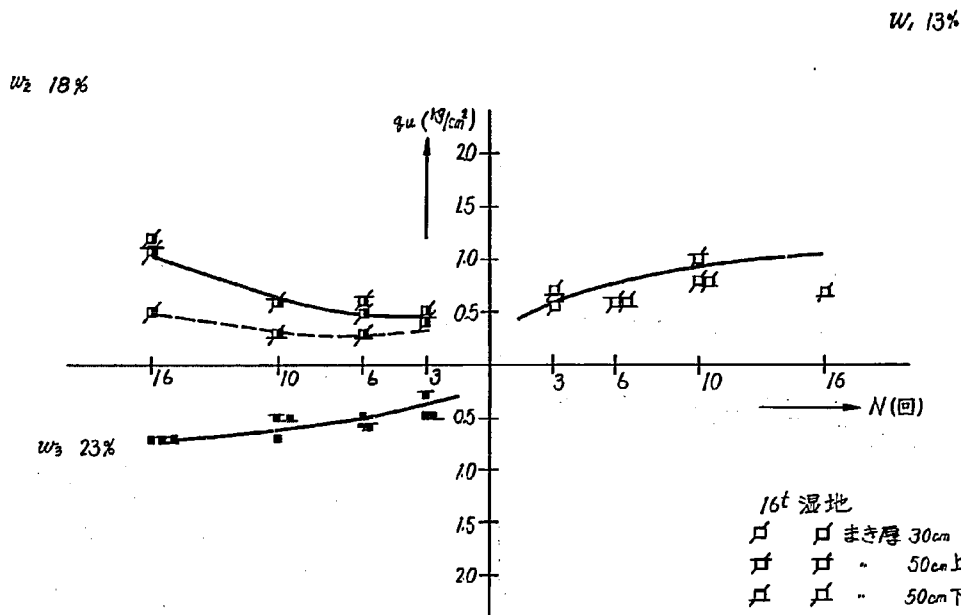


図4-14 含水比の影響

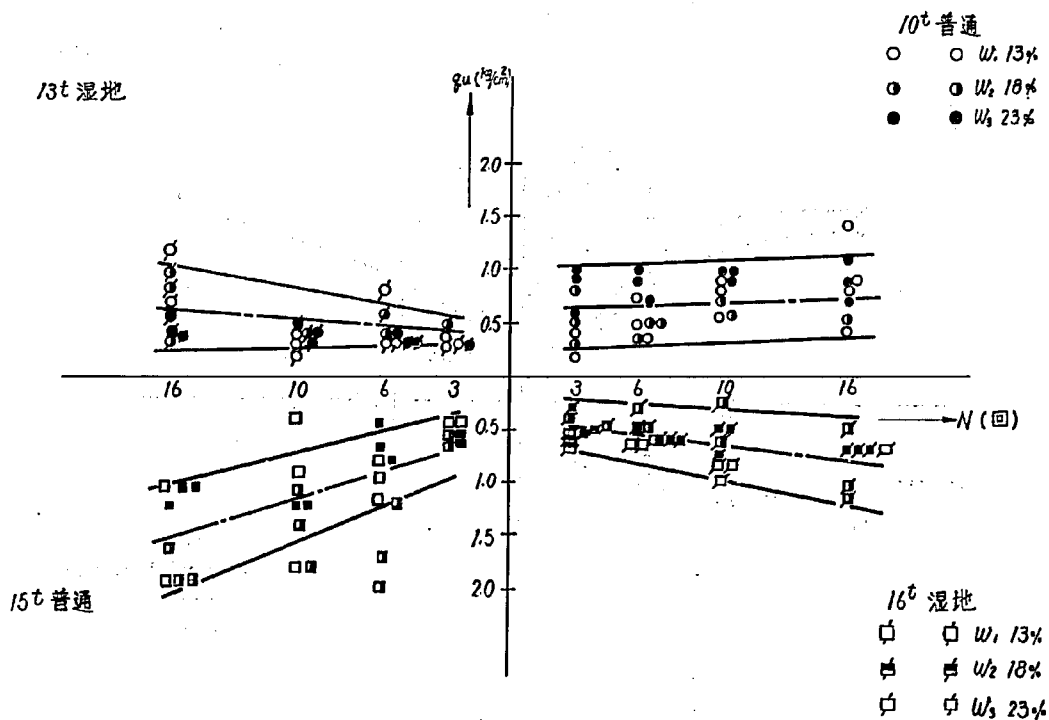


図4-15 機種の影響

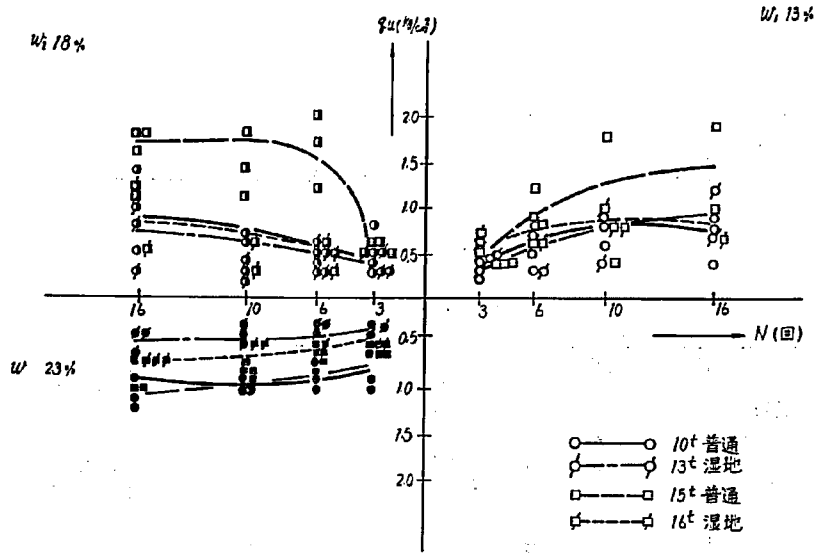


図4-16 まき厚の影響

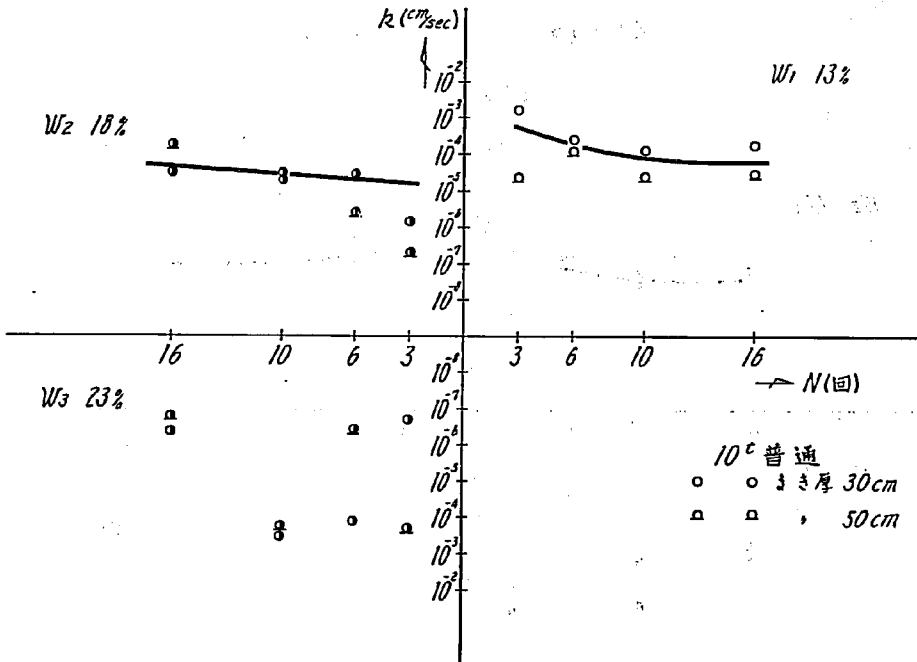


図4-17 まき厚の影響

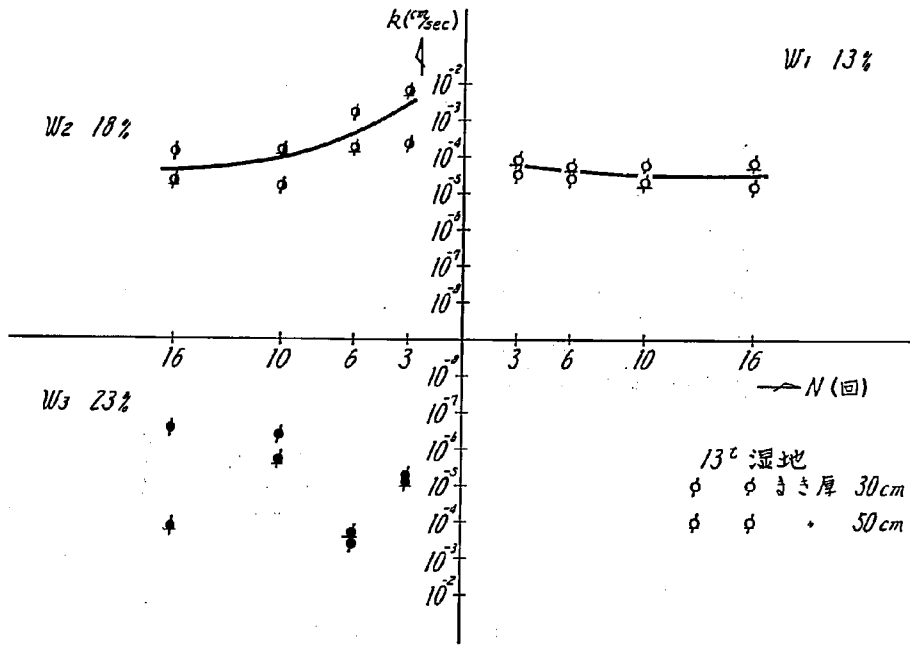


図4-18 まき厚の影響

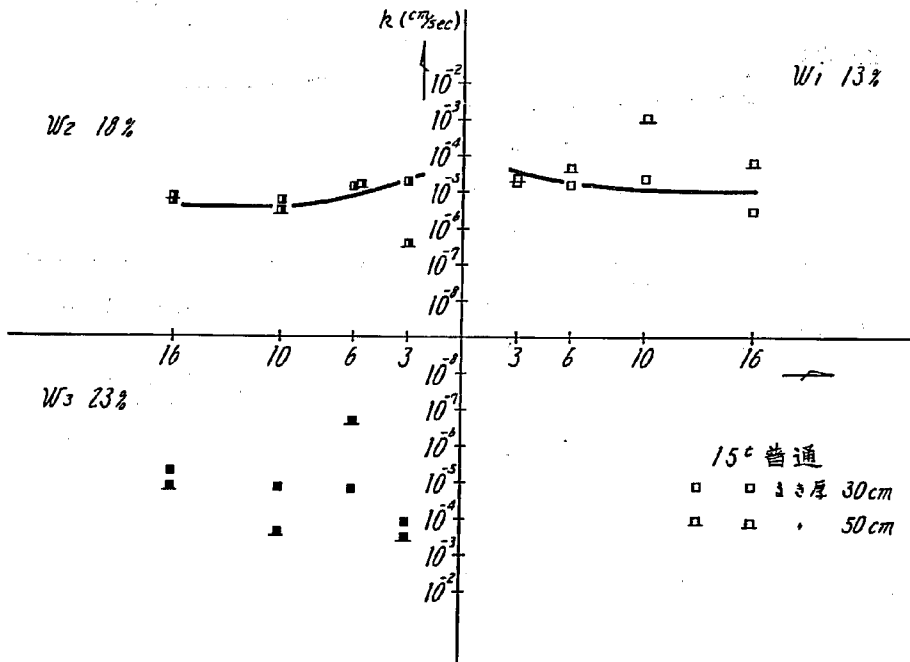


図4-19 まき厚の影響

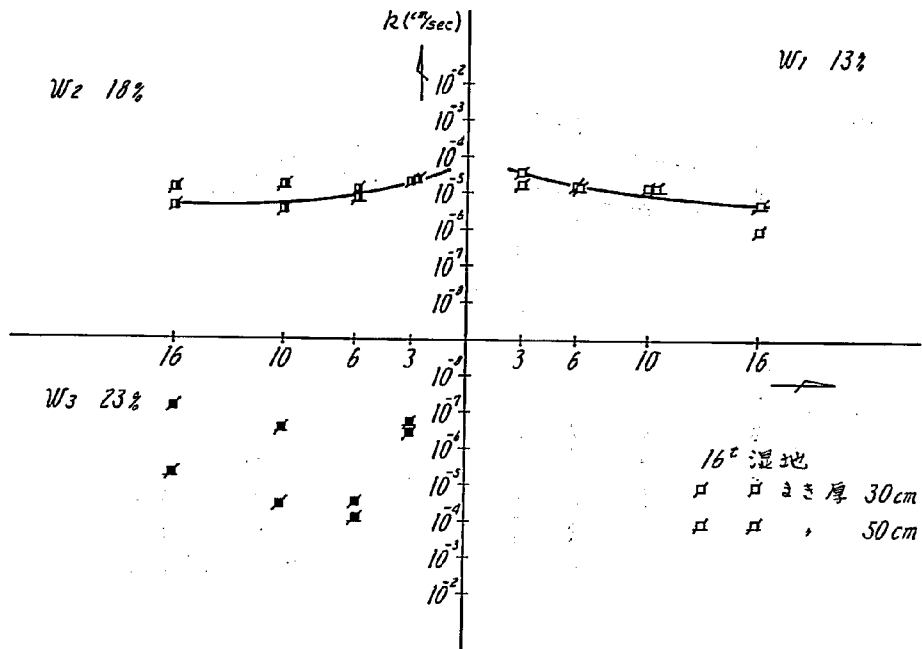


図4-20 含水比の影響

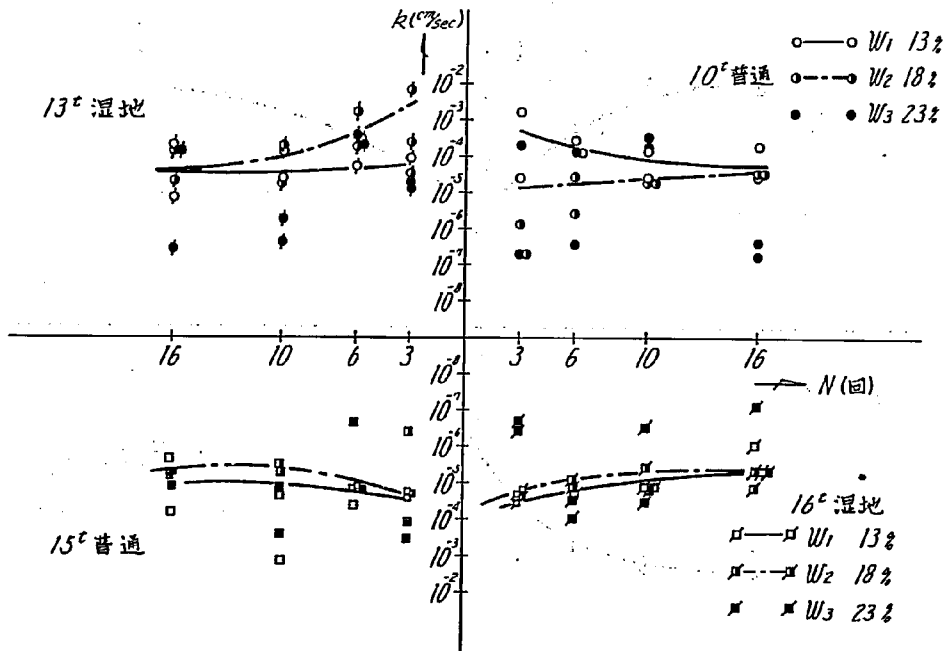


図4-21 機種の影響

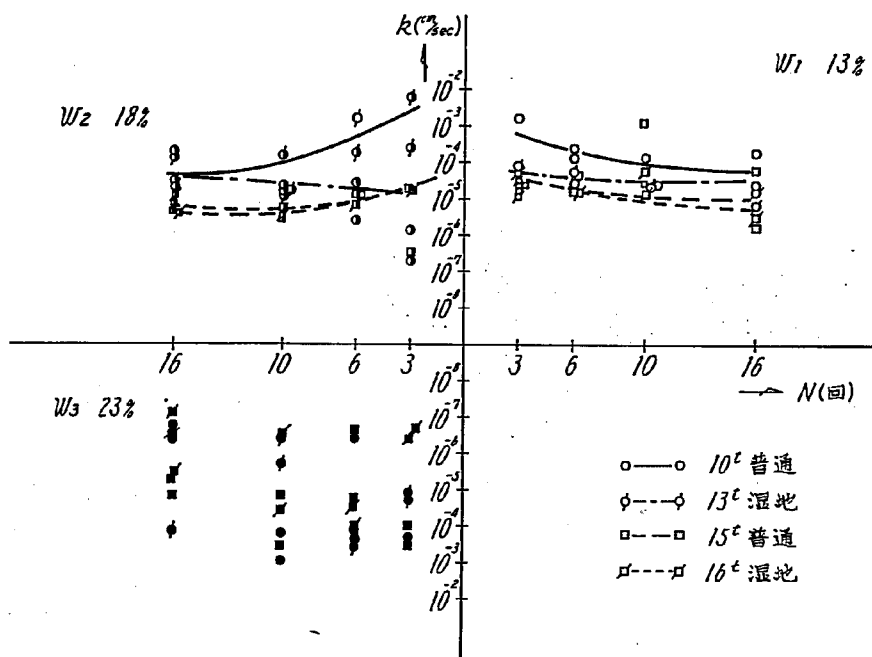


図4-22 まき厚の影響

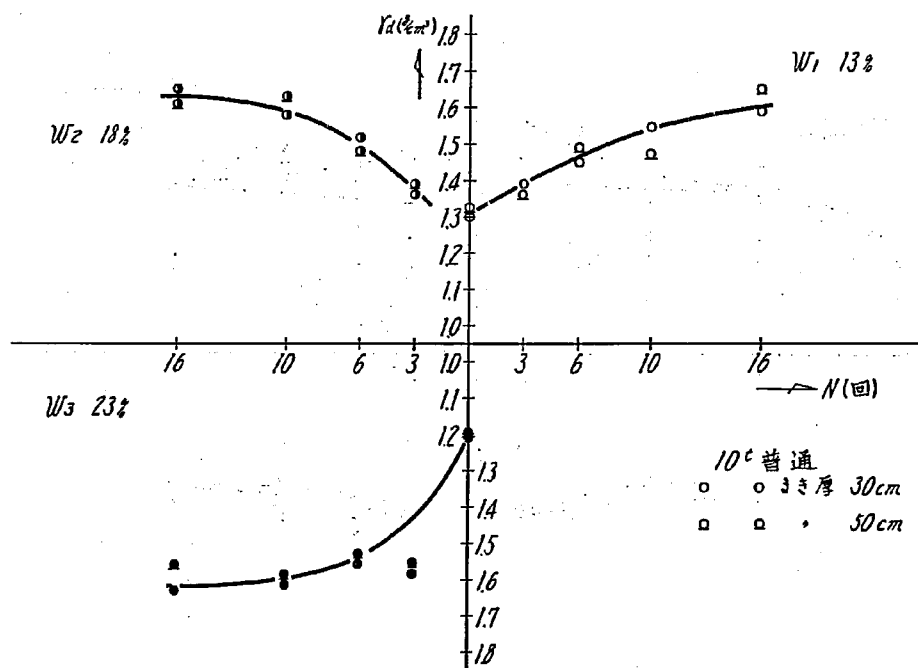


図4-23 まき厚の影響

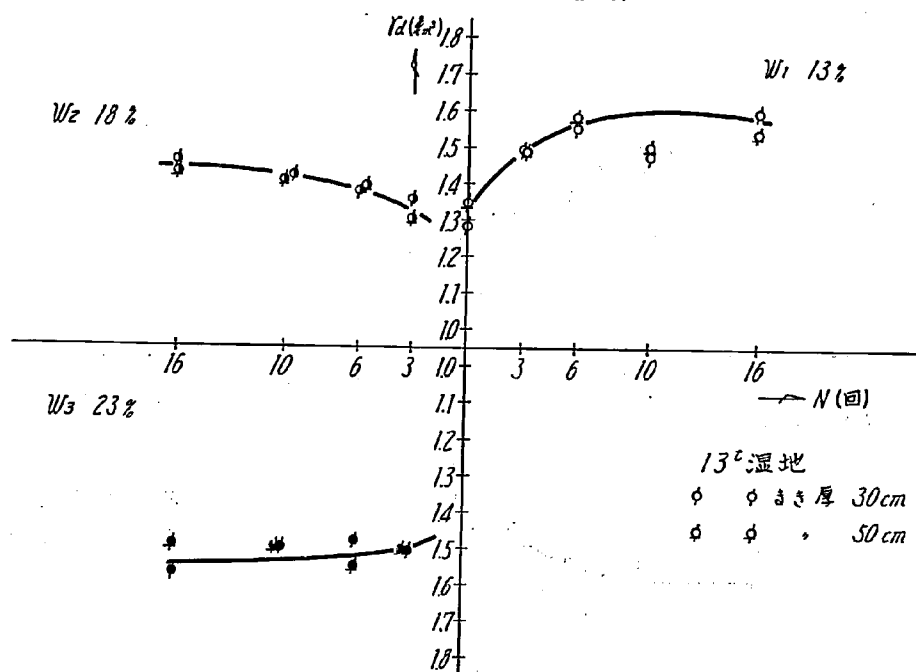


図4-24 まき厚の影響

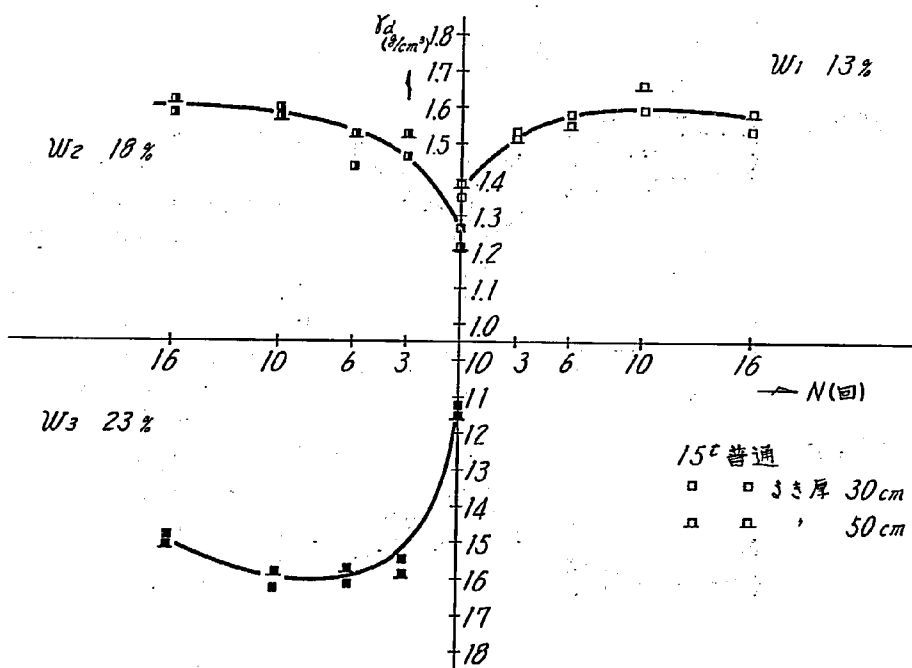


図4-25 まき厚の影響

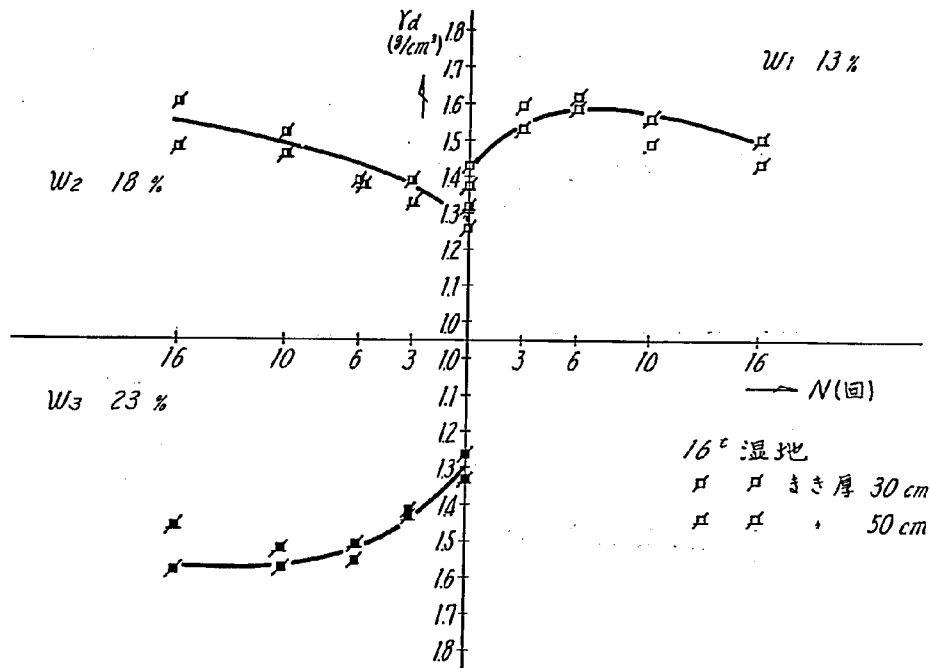


図4-26 含水比の影響

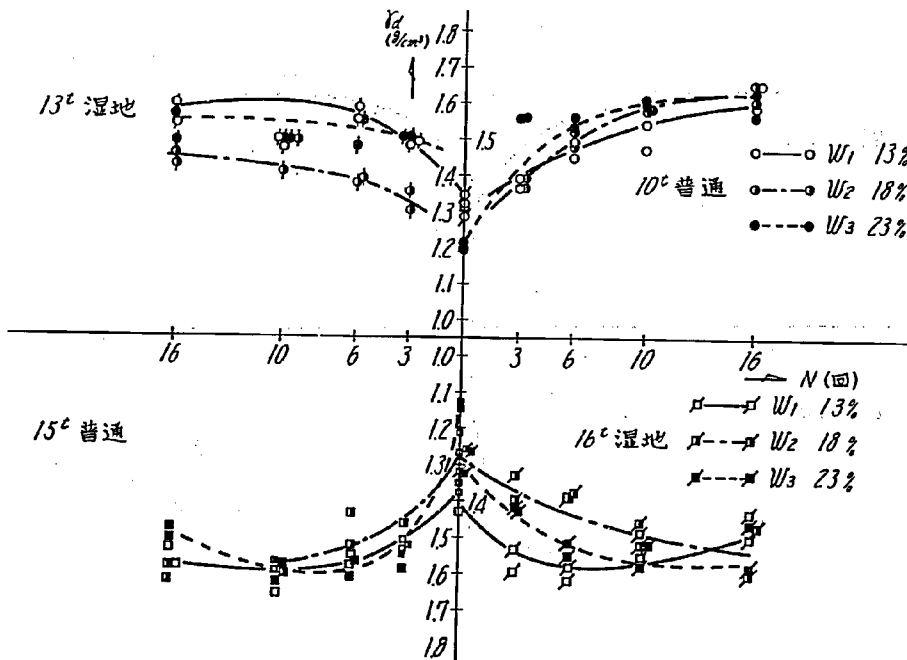


図4-27 機種の影響

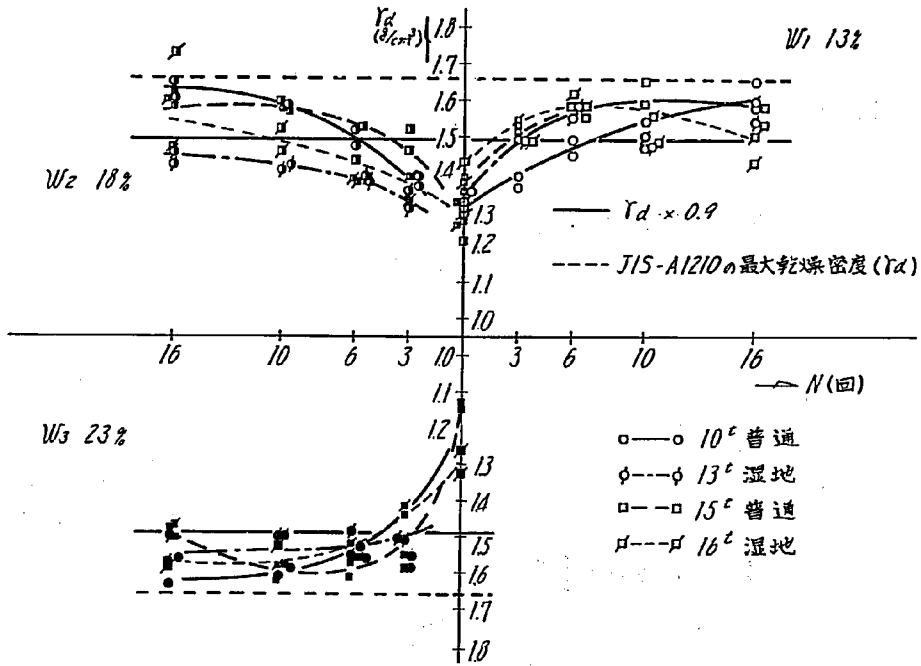


図4-28 まき厚の影響

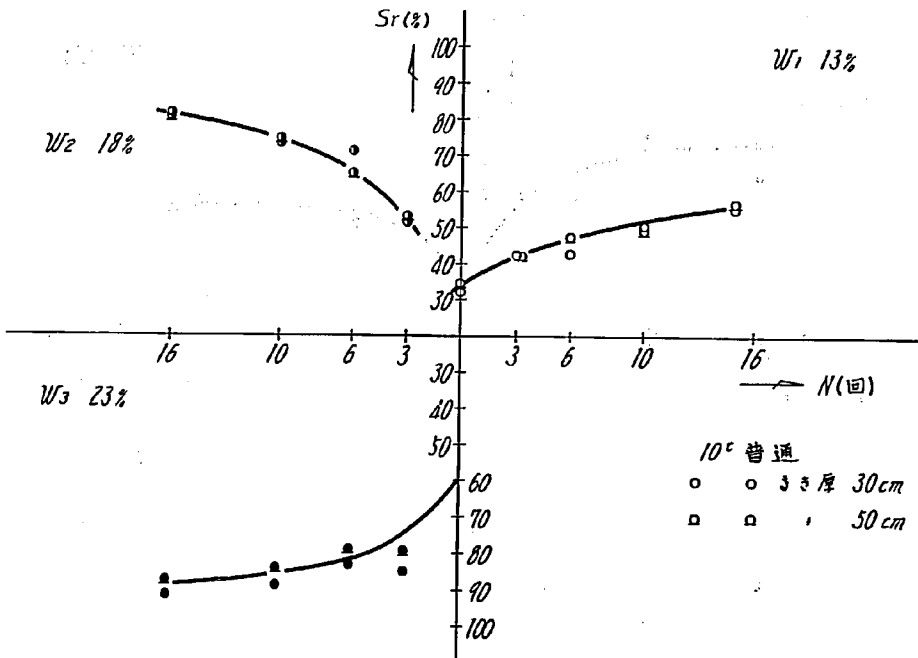


図4-29 まき厚の影響

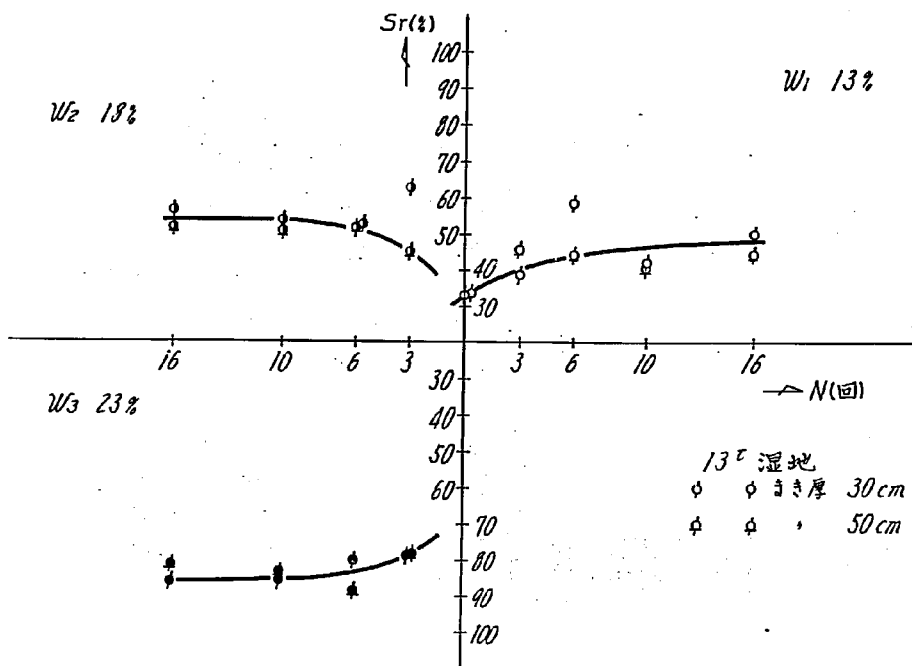


図4-30 まき厚の影響

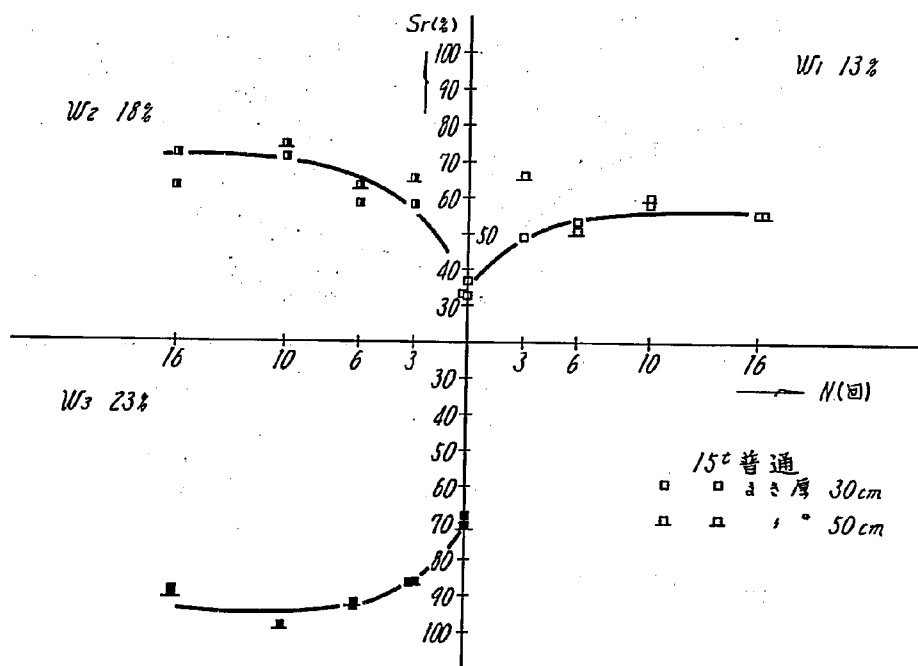


図4-31 まき厚の影響

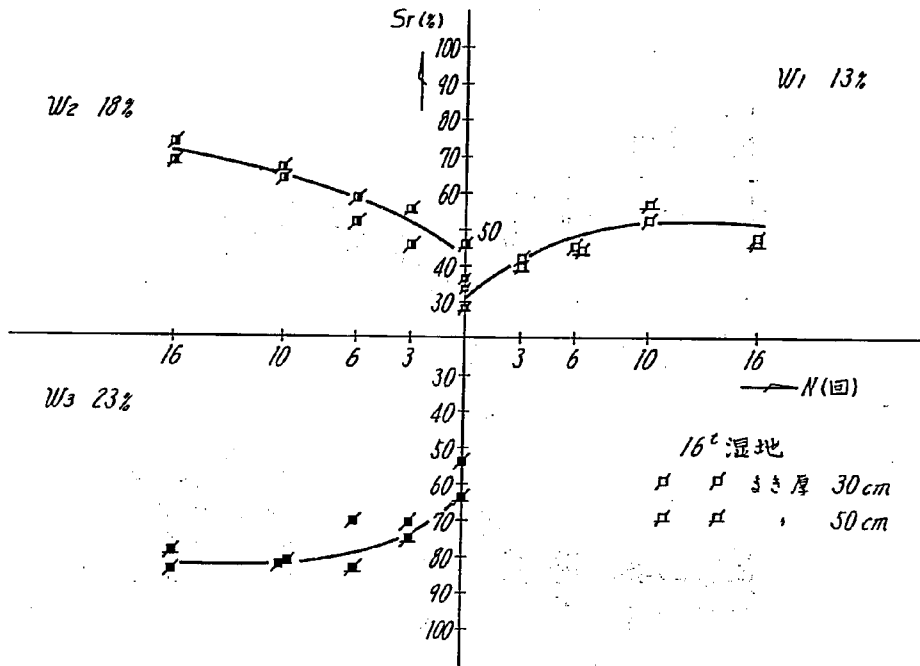


図4-32 含水比の影響

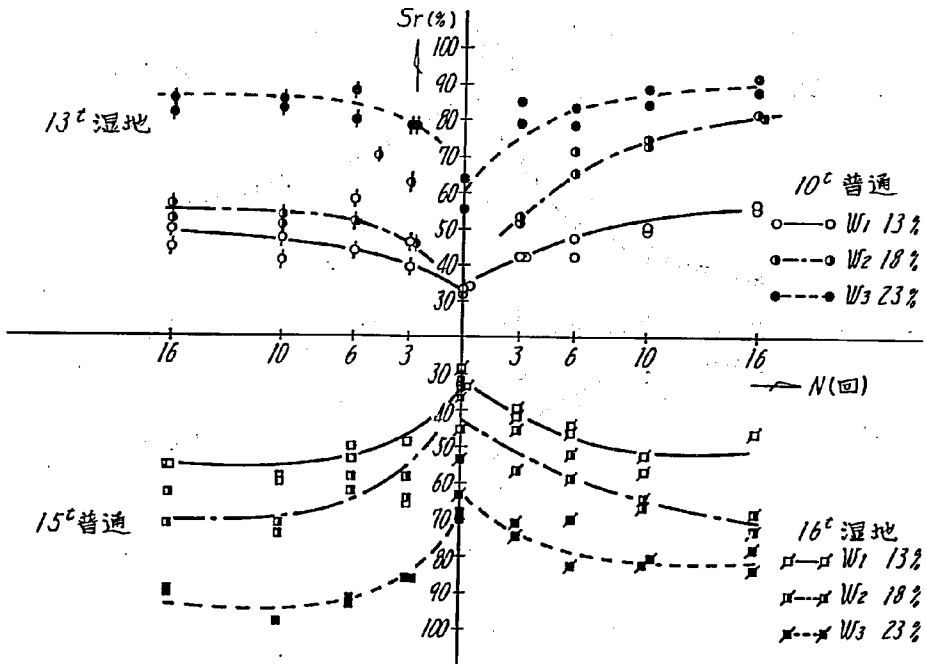


図4-33 濃度の影響

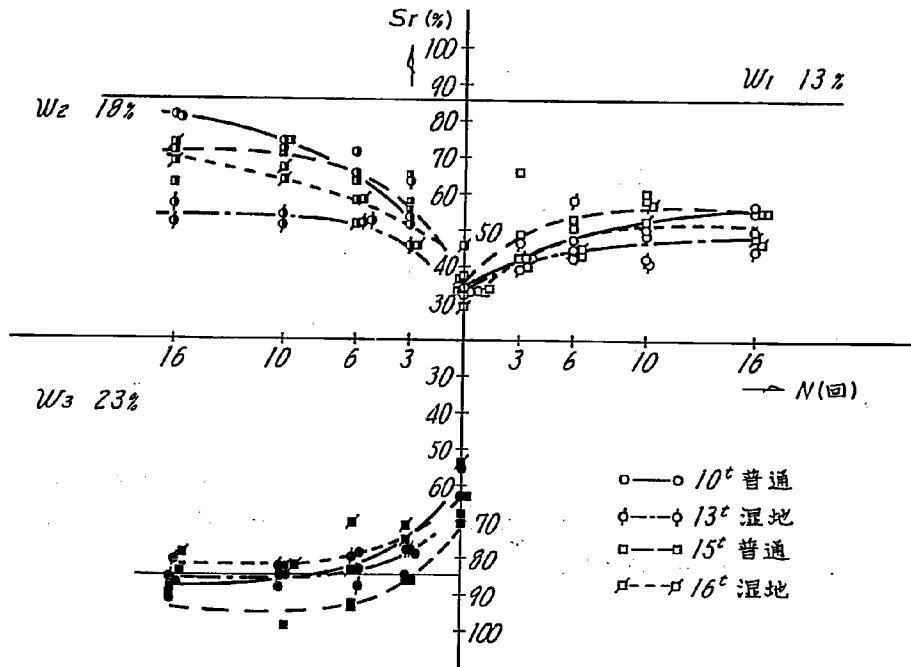


図4-34 まき厚の影響

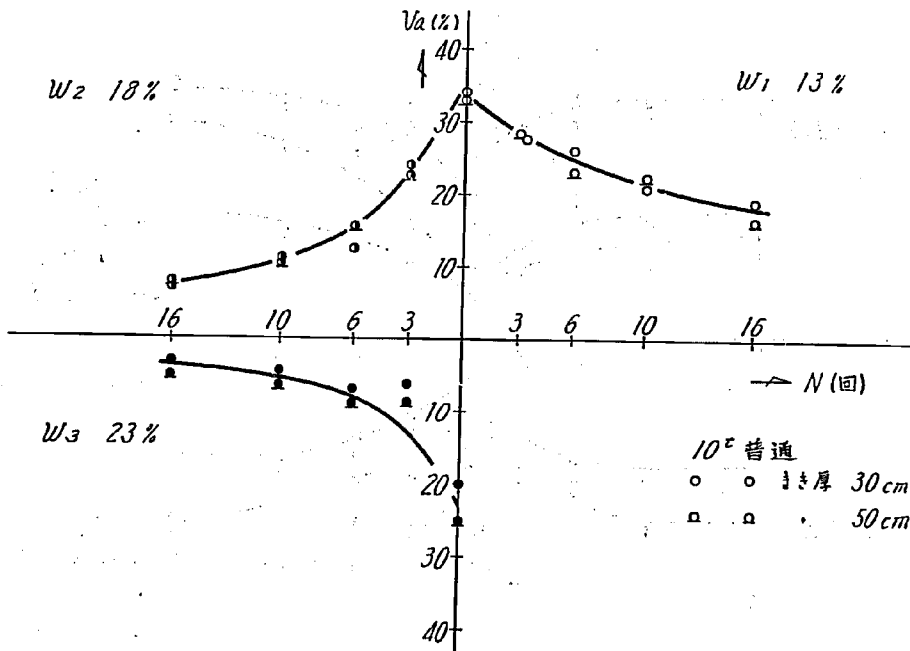


図4-35 まき厚の影響

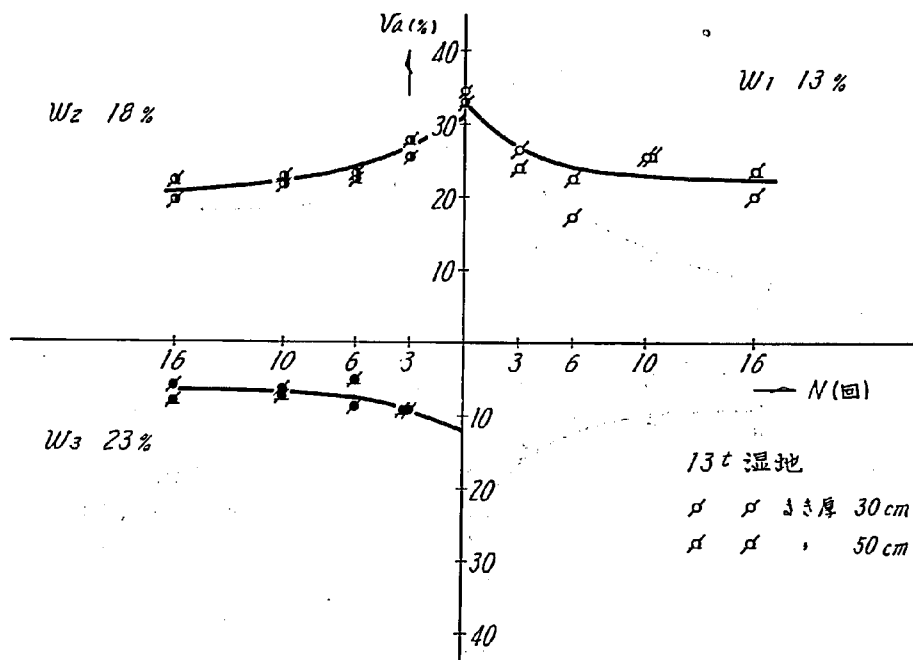


図4-36 まき厚の影響

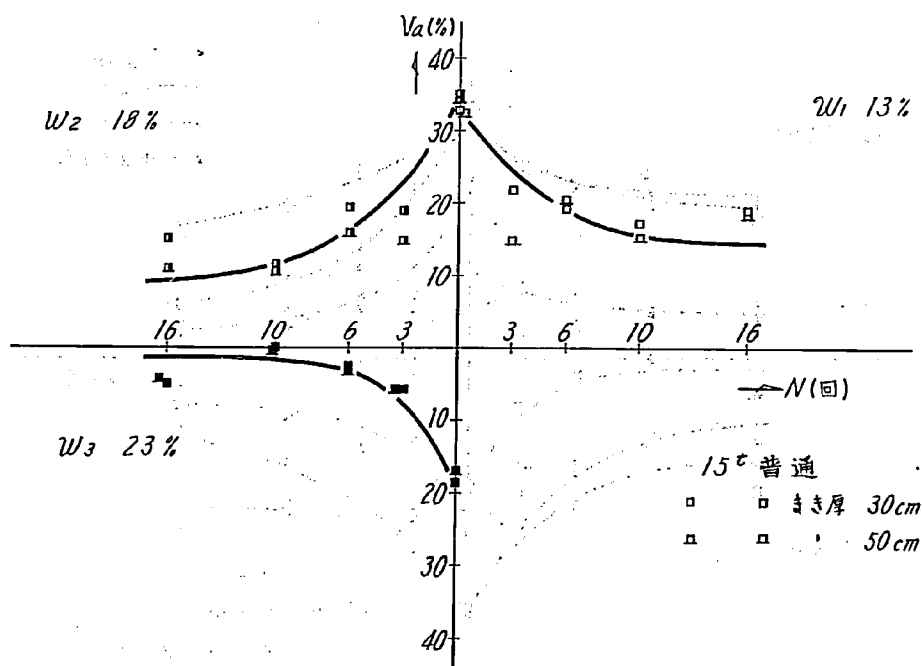


図4-37 まき厚の影響

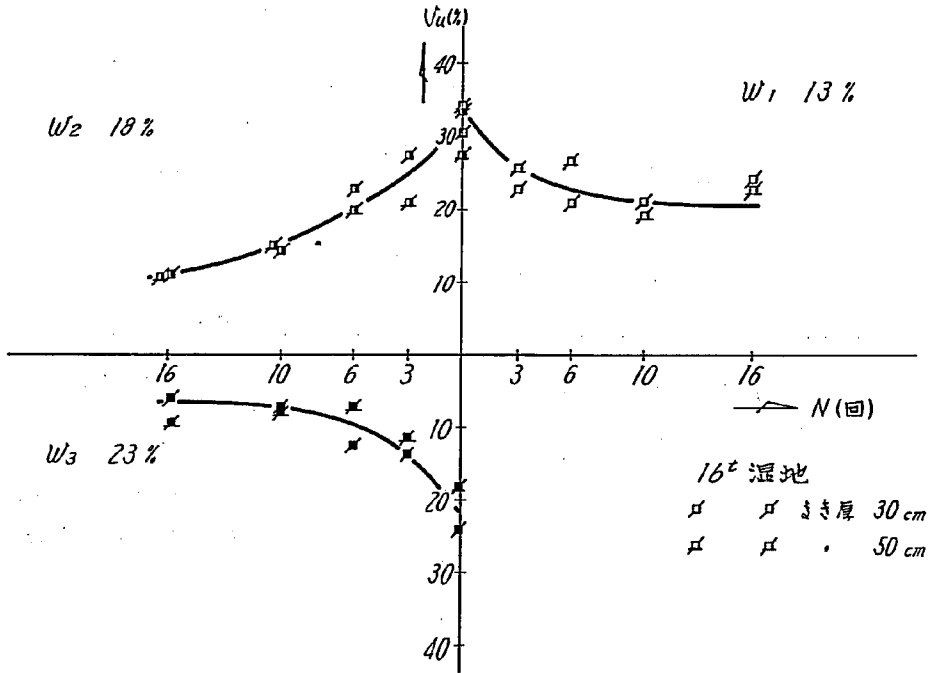


図4-38 含水比の影響

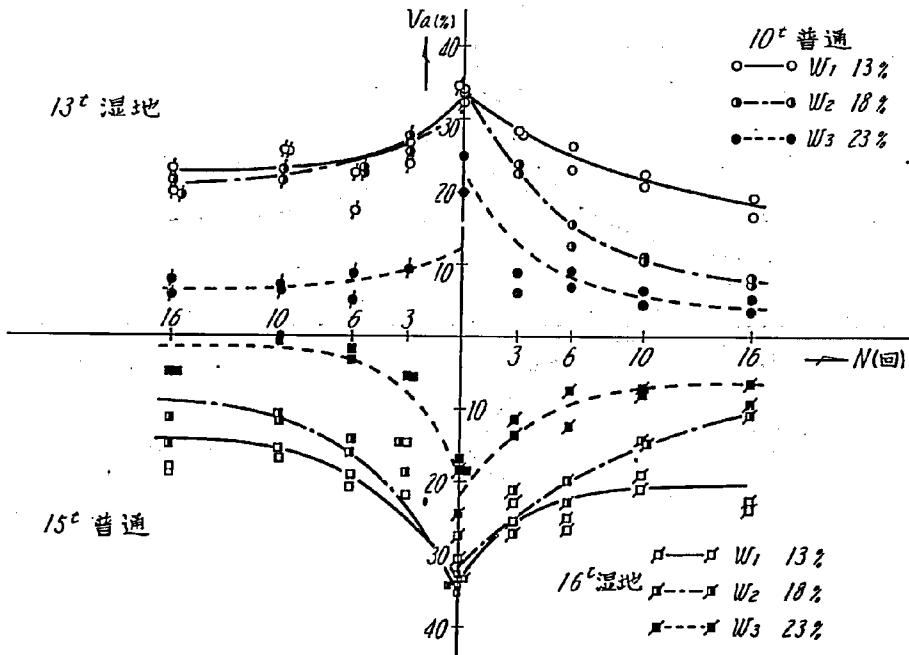


図4-39 機種による影響

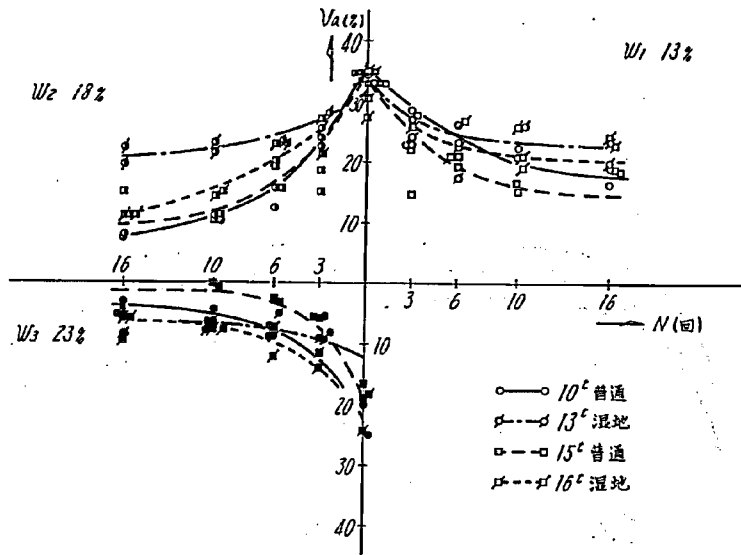


図4-40 転圧回数6回における S_r

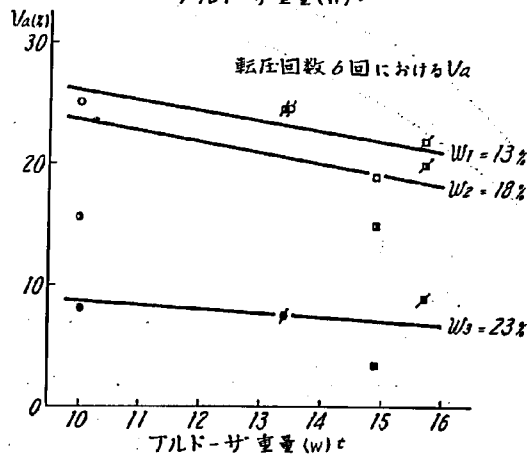
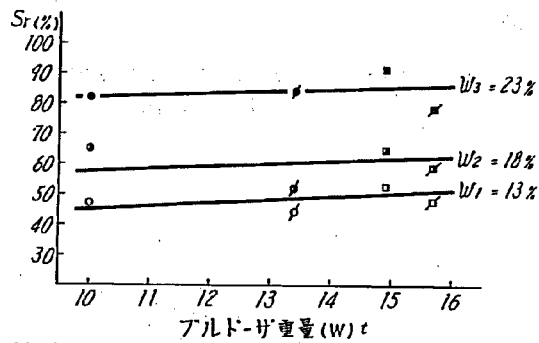


図4-41 JIS A1210モールド突き固めた
試料による先行圧縮応力値 P_0

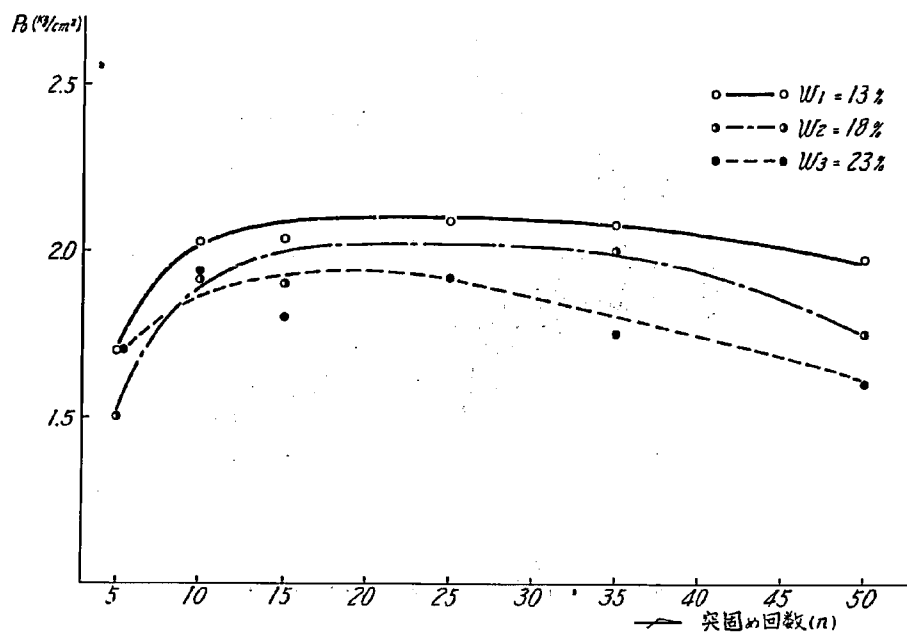


図4-42 JIS A1210モールドで突固めによる
一軸圧縮強度 q_u

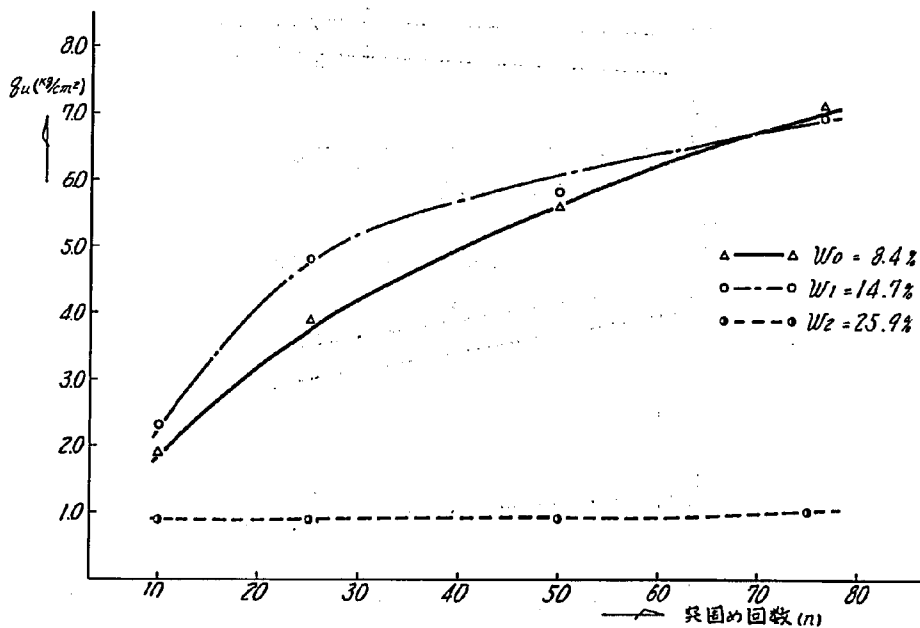


図4-43 JIS A1210モールドで突固めた
試料による透水係数 k

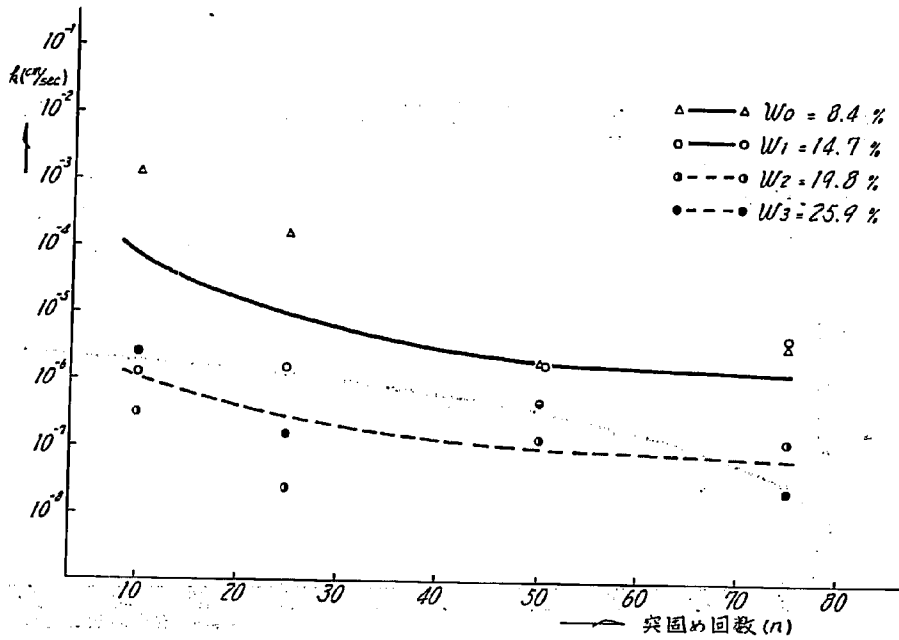


図4-44 JIS A1210モールドで突固めた
試料による乾燥密度 γ_d

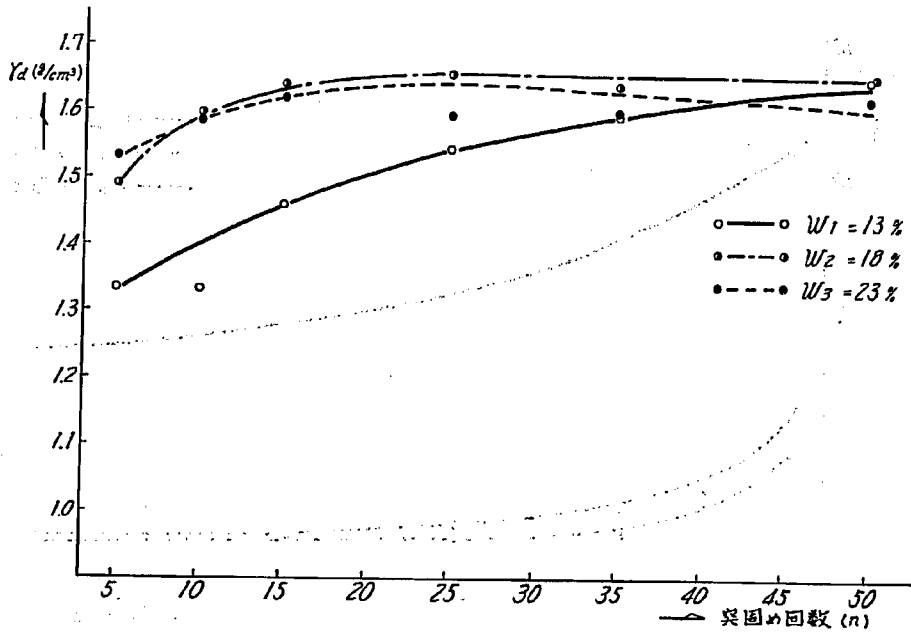


図4-45 JIS A1210モールドで突固めた
試料による飽和度 S_r

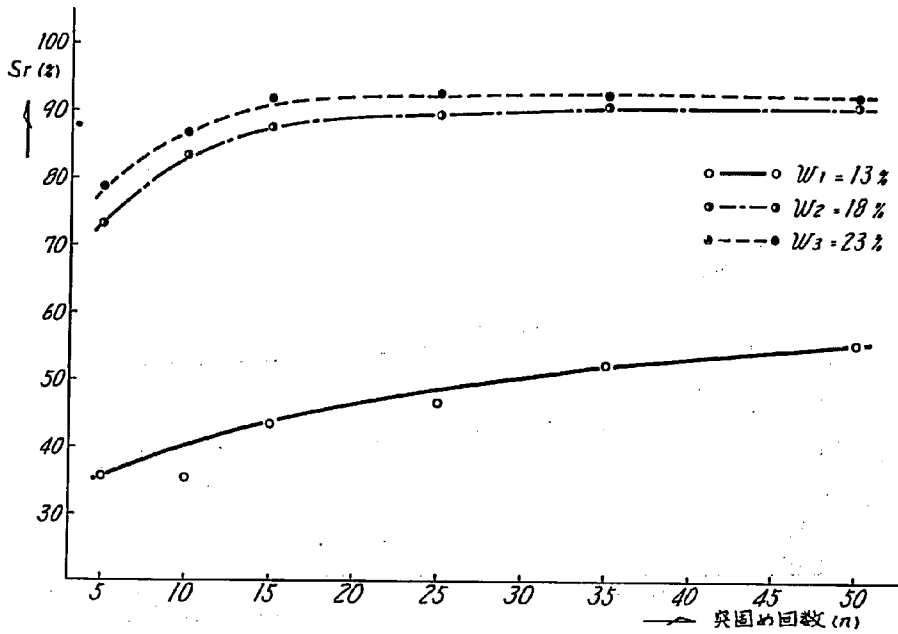


図4-46 JIS A1210モールドで突固めた
試料による空気間ゲキ率 V_a

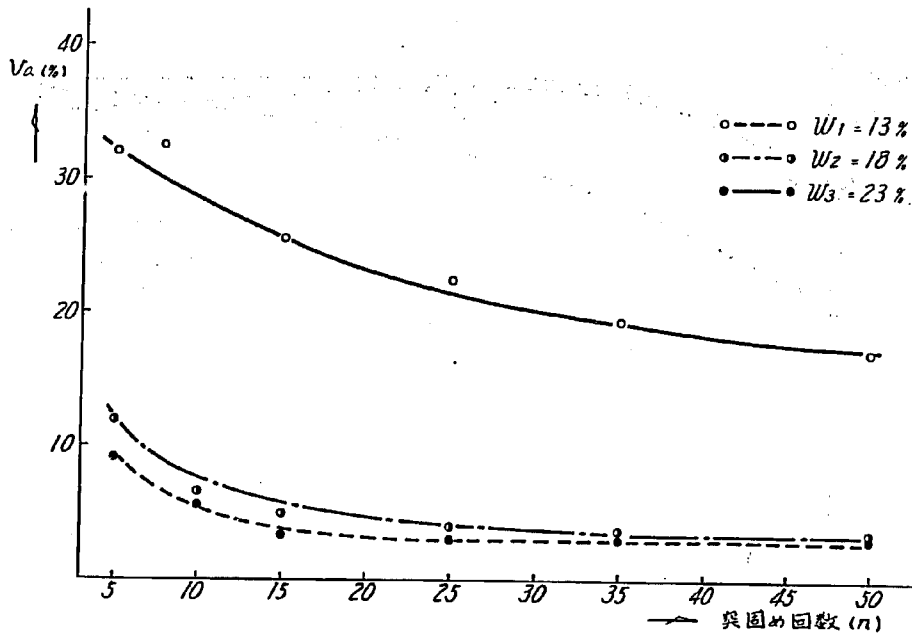


図 4-47 P_0 と q_u の比較

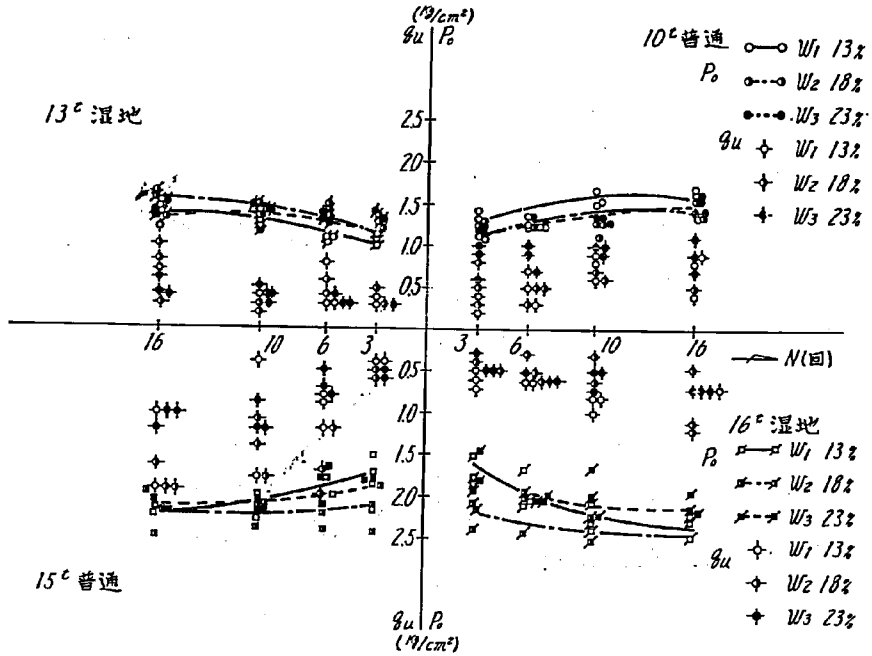


図 4-48 実車と突固めの比較 ($P_0 \sim U_a$)

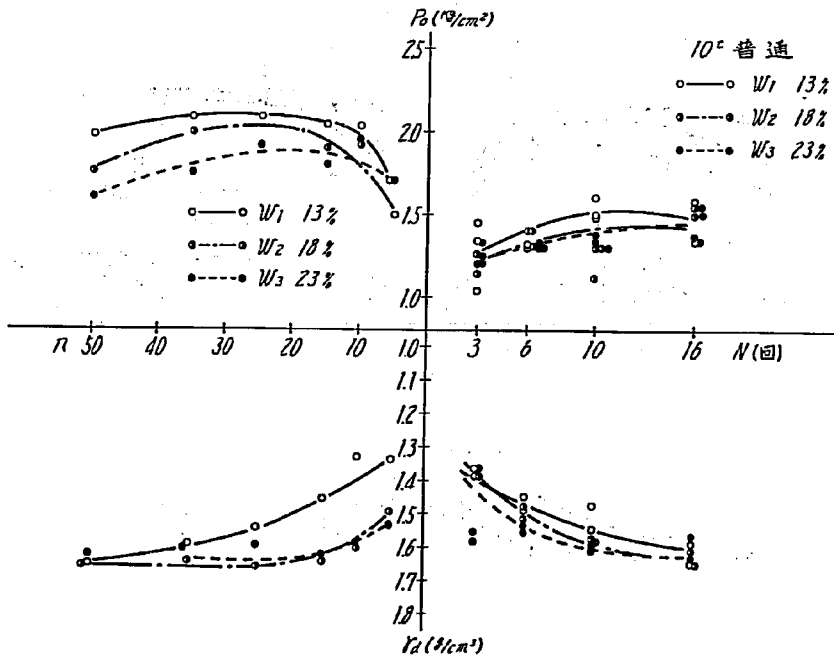


図4-49 実車と突固めの比較 ($P_0 \sim U_{a1}$)

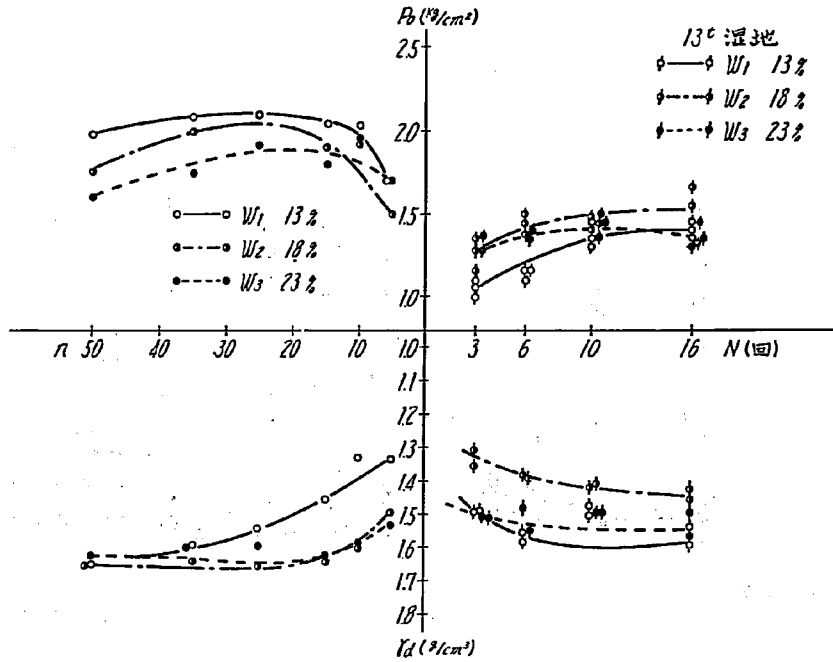


図4-50 実車と突固めの比較 ($P_0 \sim U_a$)

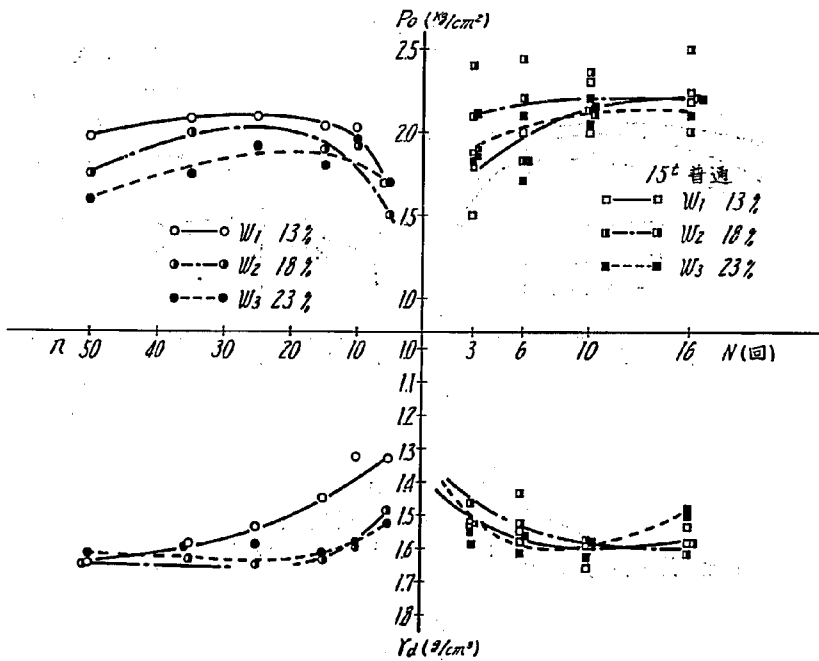


図4-51 実車と突固めの比較 ($P_0 \sim U_a$)

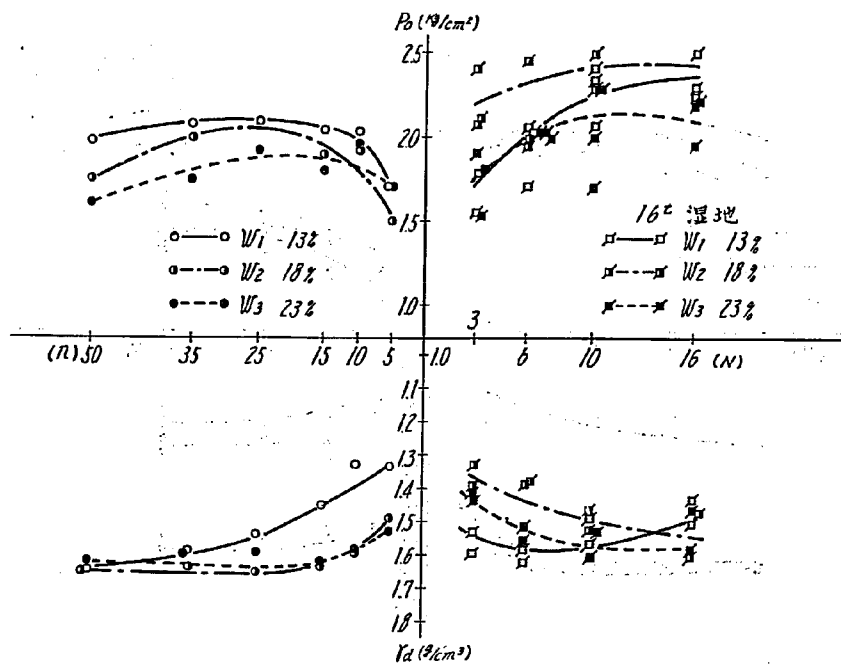


図4-52 実車と突固めの比較 ($P_0 \sim S_r$)

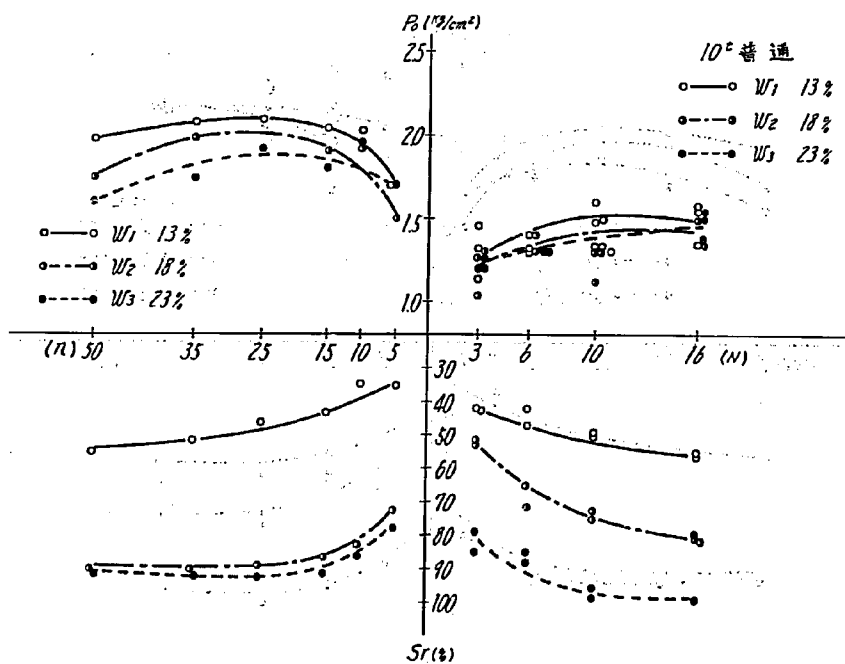


図 4-53 実車と突固めの比較 ($P_0 \sim S_r$)

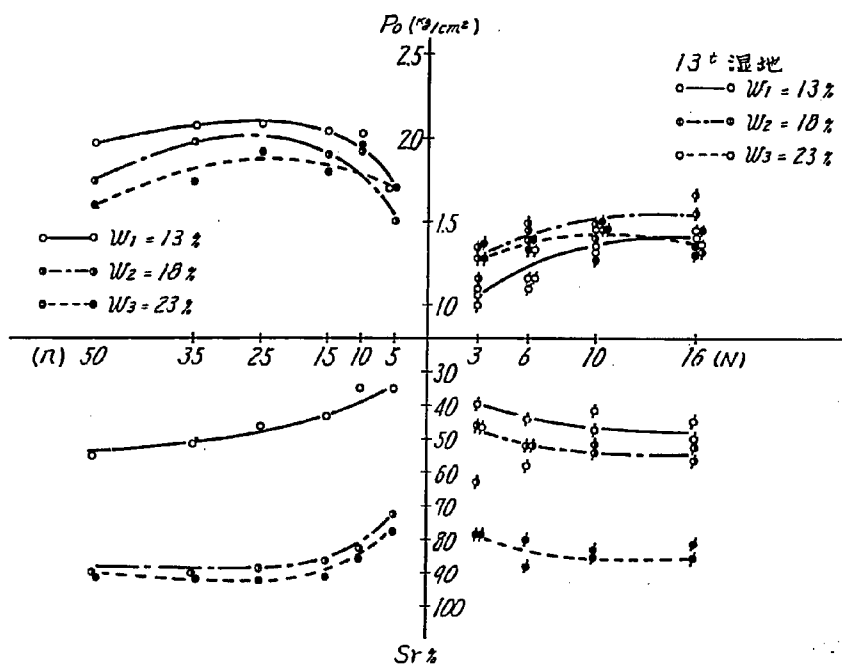


図 4-54 実車と突固めの比較 ($P_0 \sim S_r$)

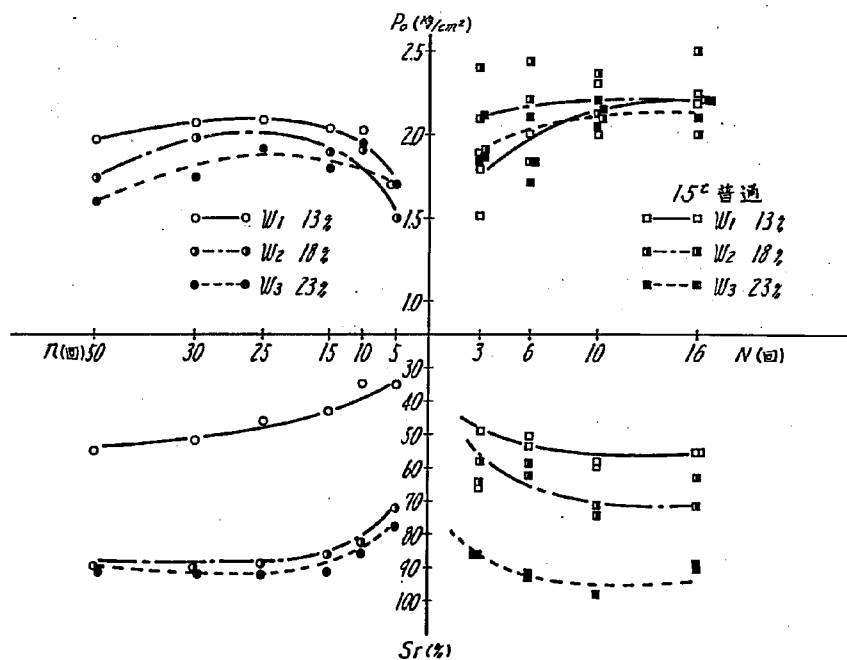


図 4-55 実車と突固めの比較 ($P_0 \sim S_r$)

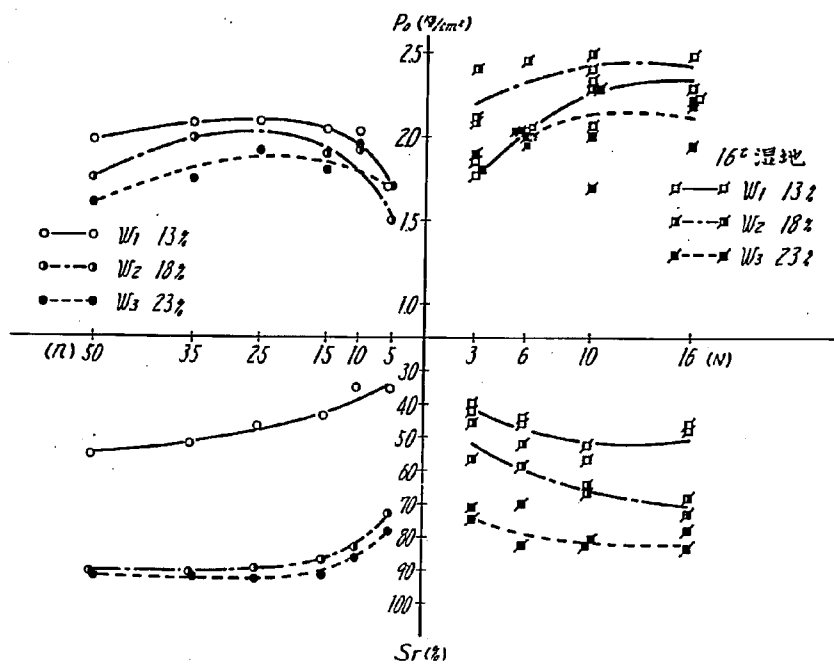


図 4-56 実車と突固めの比較 ($P_0 \sim U_a$)

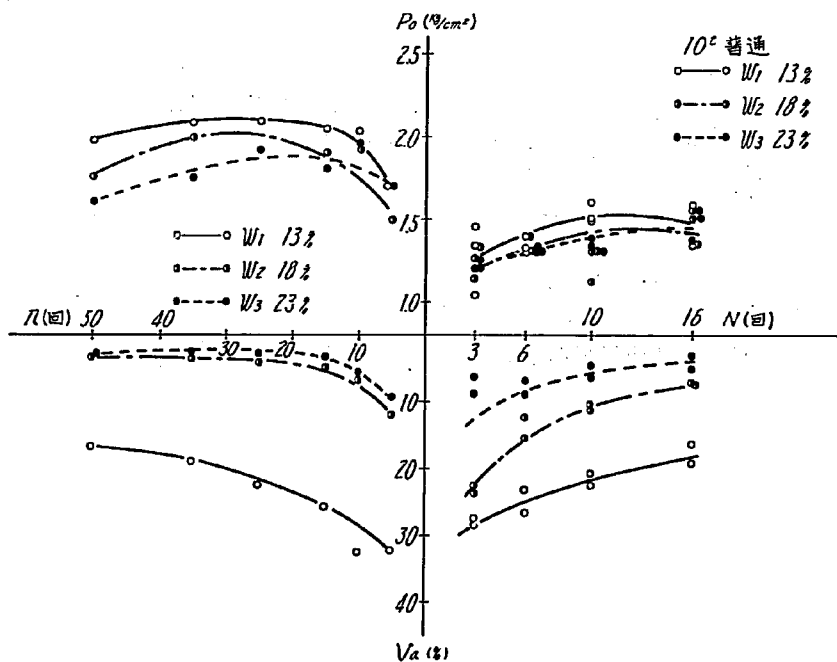


図 4-57 実車と突固めの比較 ($P_0 \sim U_a$)

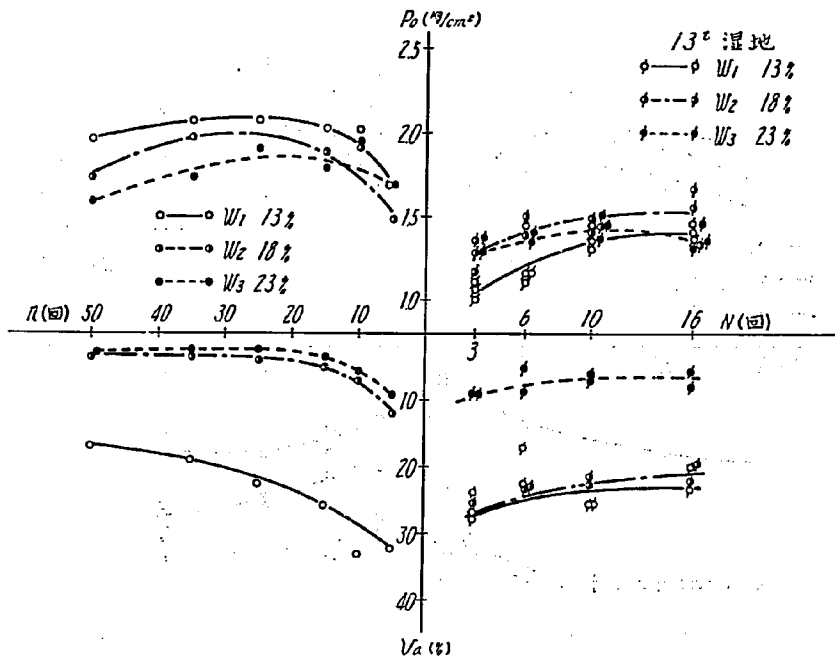


図 4-58 実車と突固めの比較 ($P_0 \sim U_a$)

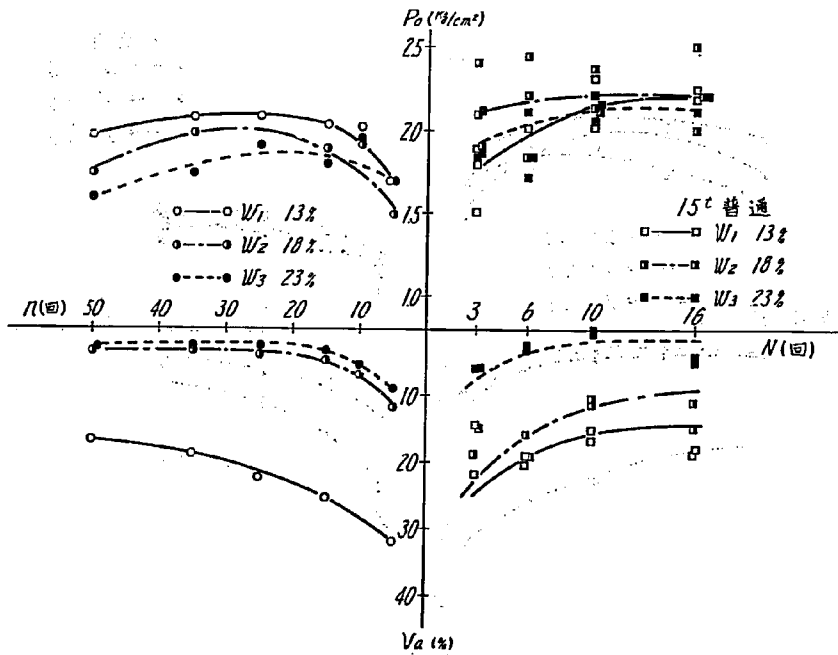


図4-59 実車と突固めの比較 ($P_0 \sim u_a$)

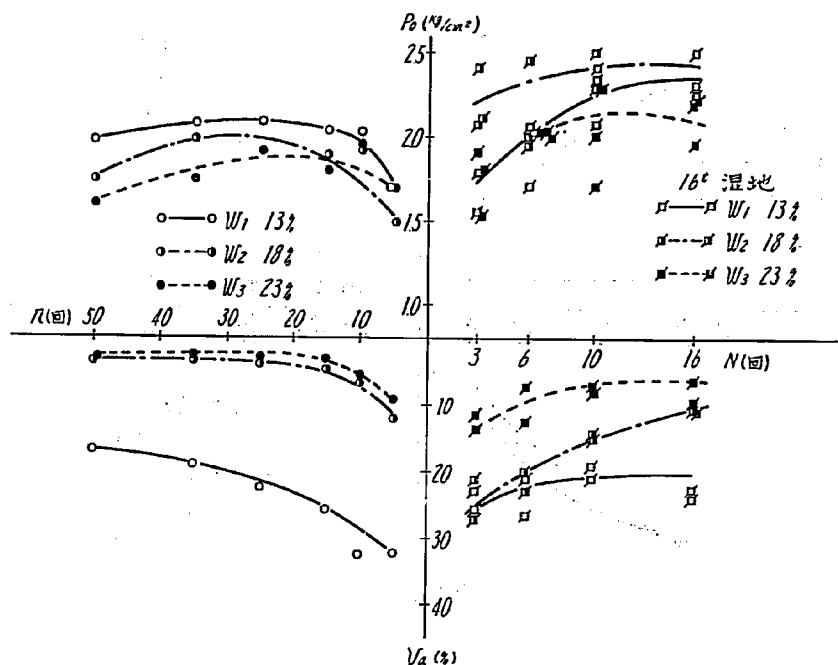


図4-60 実車と突固めとの比較

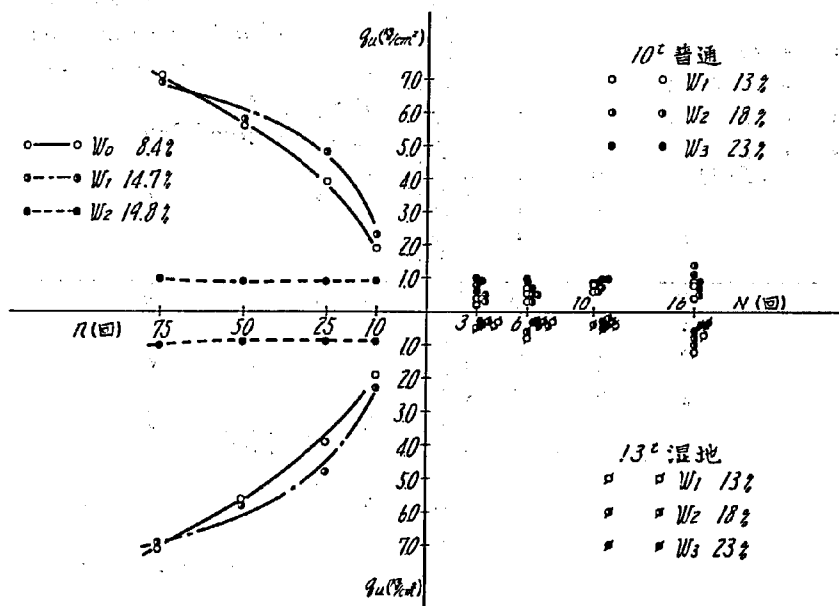


図4-61 実車と突固めとの比較

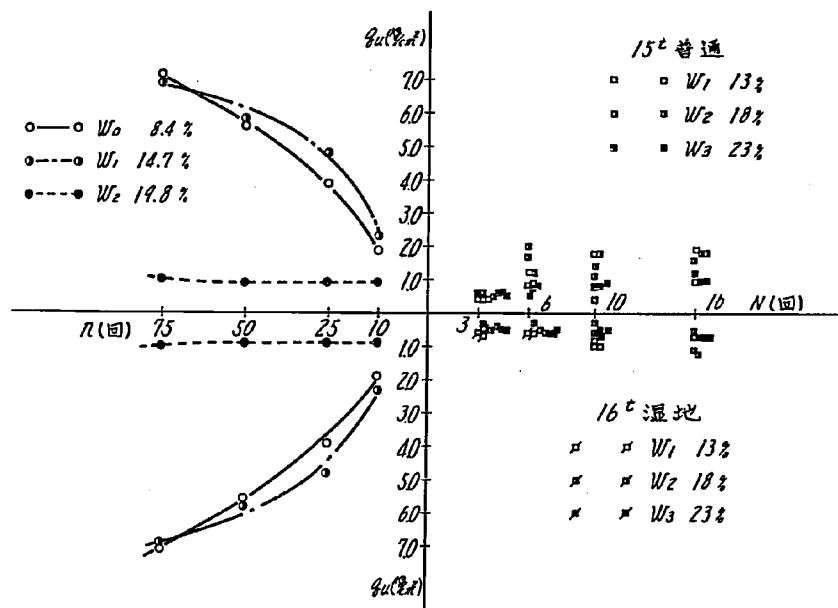


図4-62 実車と突固めとの比較

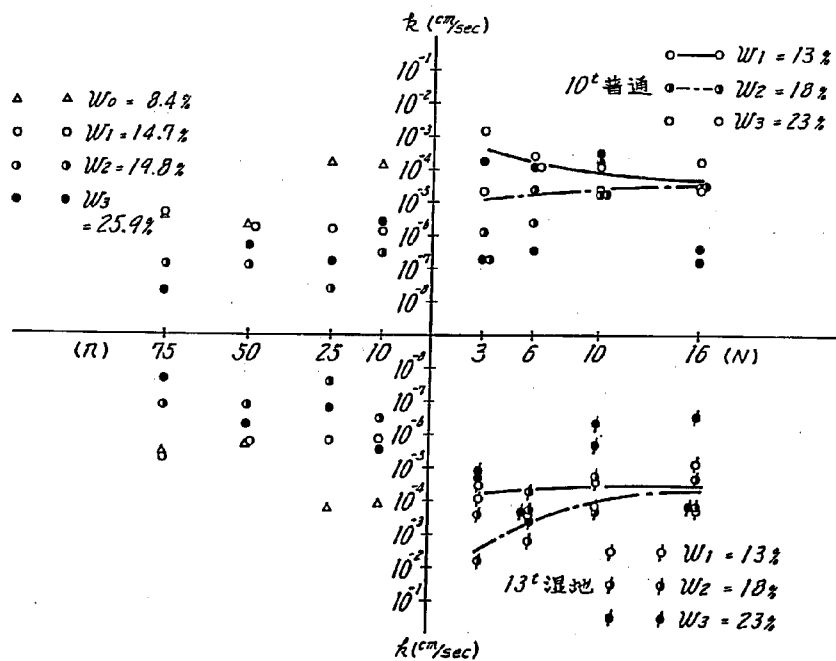


図4-63 実車と突固めとの比較

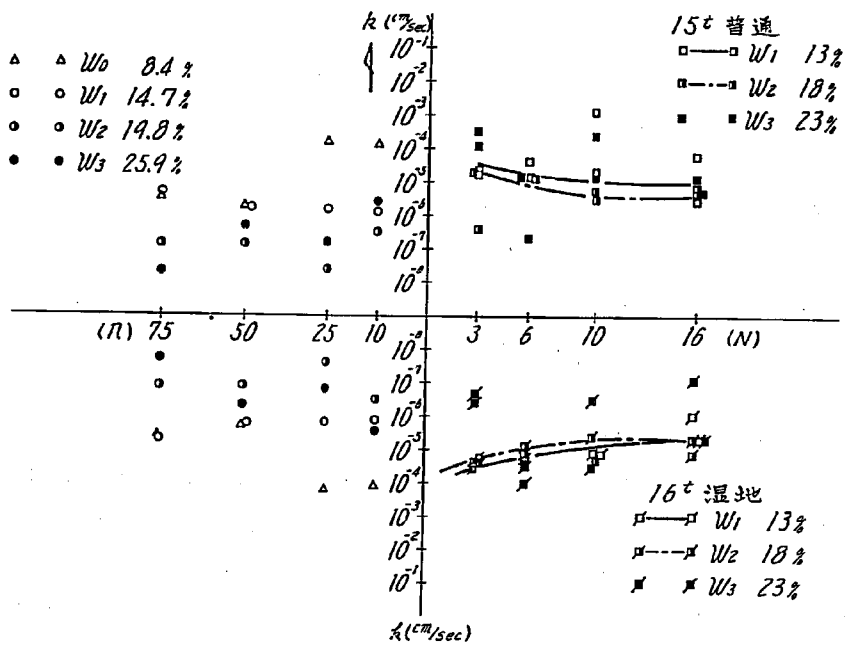
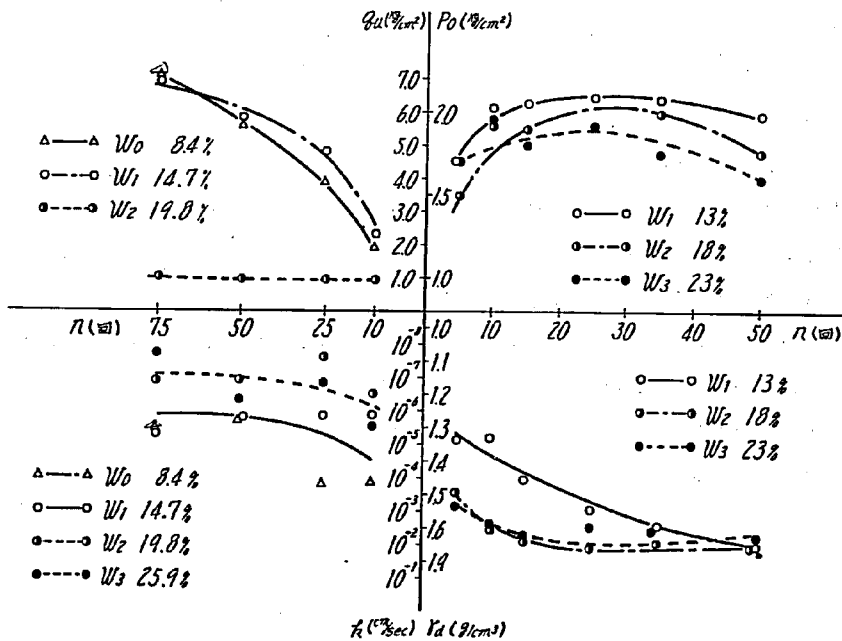


図4-64 室内比較試験



第5章 先行圧縮応力値の応用および今後の問題点

5-1 概説

盛土における土の締固め、特に道路盛土では、完成後の舗装面の破壊を伴う沈下や、不等沈下が問題となる。また、構造物と盛土接続部では、盛土の沈下を防止するため種々な対策がとられているが、設計、計画に困難なことが多い。この沈下や不等沈下の発生を考えると、後に加わる荷重が、先行圧縮応力値を超過すれば変形が大きくなるし、超過しないような先行圧縮応力値を土の締固めの際に与えれば、かかる沈下や不等沈下を少なくさせることができるものと考えられる。

これらの具体例について二、三述べる。

5-2 盛土高に対する締固め機械の選定

粘性土を材料とする低い盛土の施工には自重9t級の湿地ブルドーザが一般に用いられている。自重9tの湿地ブルドーザの場合図4-7から先行圧縮応力値 P_0 はほぼ1.4 t/㎡である。この場合土の密度(r_t)を1.4 g/㎤と仮定し、 $P_0 \geq r_t \cdot H$ (H :盛土高)を考えると、 $H \leq P_0 / r_t$ 、 $H \leq 10$ mとなる。このことより盛土高10 m程度までは自重9 t級の湿地ブルドーザの施工で大きな沈下変形は生じないものと考えられる。

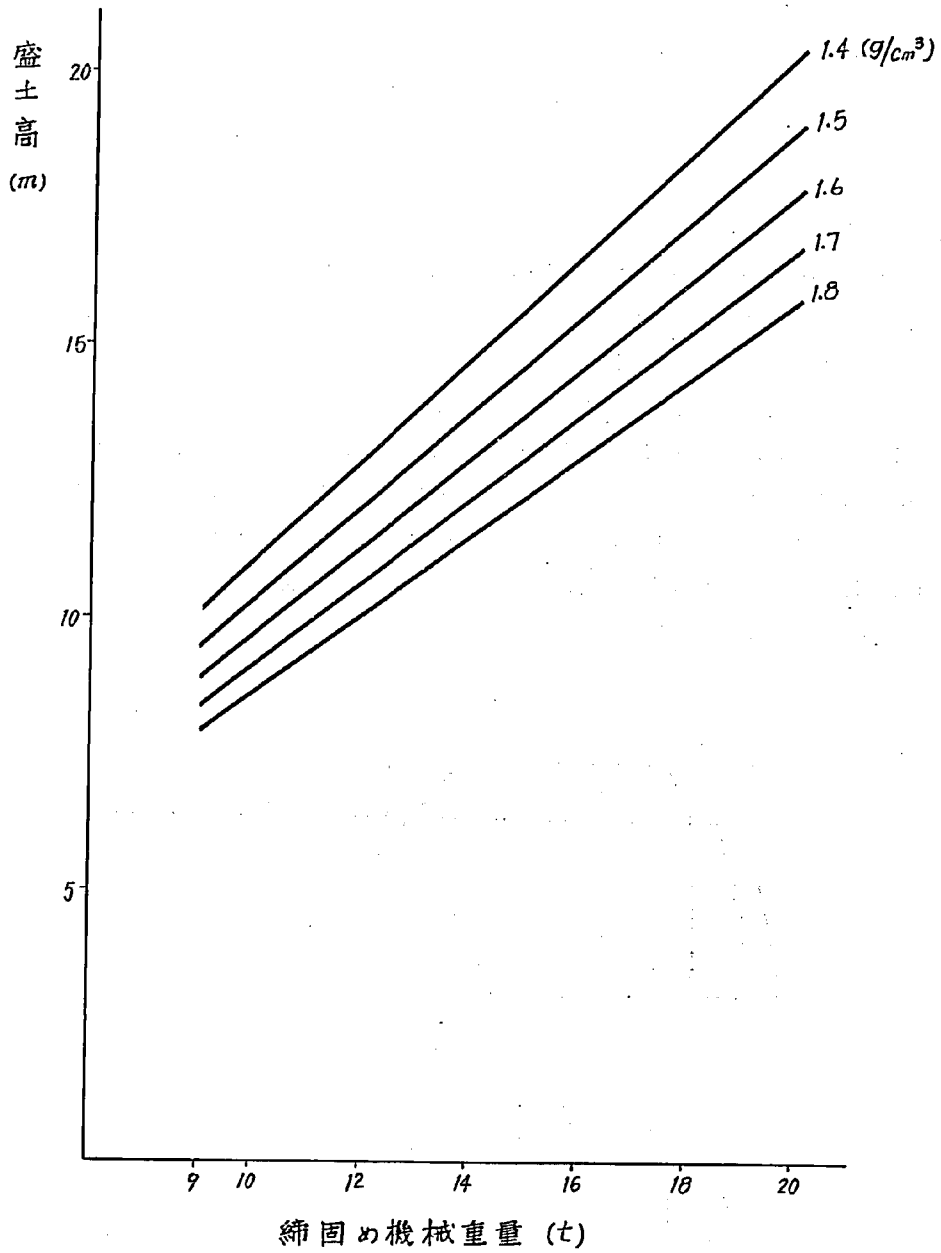
図5-1は密度をパラメータにとり締固め機械重量(t)と P_0 を対象にした場合の盛土可能高(m)を示したものである。同図で例えば密度が1.8 g/㎤だとすれば、高さ12 mの盛土を築造せんとすれば自重15 tの締固め機械で施工すれば、大きな沈下変形は生じないということになる。

5-3 締固め不足の盛土

上記のことから高盛土の場合はそれ相当の重い締固め機械で施工すると良いことになるが、実際には、盛土材料が高含水比の粘性土等の場合、トラフィカビリティーなどの関係から重い機械の投入が困難な場合が生ずることが多い。

そこで考えられる方法はあらかじめ2 m程度のかさ上げを行ない、1~2ヶ月放置し、(室内試験では7時間で所定の P_0 が得られている。)路床、路盤等の施工時に除去する工法である。これはかさ上げを行ない、かさ上げによって先行圧縮応力値を高め、その後かさ上げた土を取り除くことによって、計画の高さに適合した強さをもった盛土を築造せんとするような工法である。

図 5-1 自重の圧縮変形に対する盛土可能高



5-4 構造物との接続部

5-3の考え方と同様な考え方で、図5-2のように構造物を築造した時点で接続部に当たる区間の裏込めのかさ上げを先行させる。次に路床、路盤の施工時、または接続する盛土の施工時に図5-3のようにかさ上げ部分の盛土を削去する。

以上述べたように、先行圧縮応力値の概念を導入して、施工計画、施工管理に活用できる点、先行圧縮応力値の意義は大きいものと思われる。

5-5 今後の問題点

今まで述べたのは P_0 を境に変形量が増大するという事柄であって、変形量の具体的な数値についてはふれなかったが、今後はこの P_0 の変化にともなう具体的な盛土の変形量を求めることが必要であると思われる。

また、盛土内部の応力についても単に $\sigma = \gamma H$ という量を基準にしてきたが、F.E.M (Finite Element Method)等の方法で盛土全体の応力も明らかにされる必要がある。F.E.M.によれば盛土内部に P_0 , γ , ν (ポアソン比), E (ヤング率)の各ファクターの変化があっても、盛土の内部応力やひずみなどの算定は可能で、盛土全体の応力～変形の解析に好都合である。また経時的な追跡がなされることにより、盛土のクリープ変形についても論ずることが可能である。

図 5-2

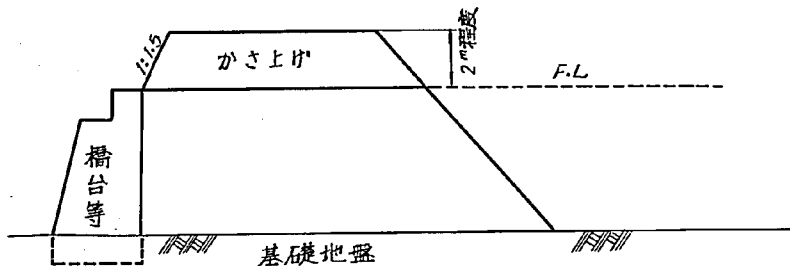
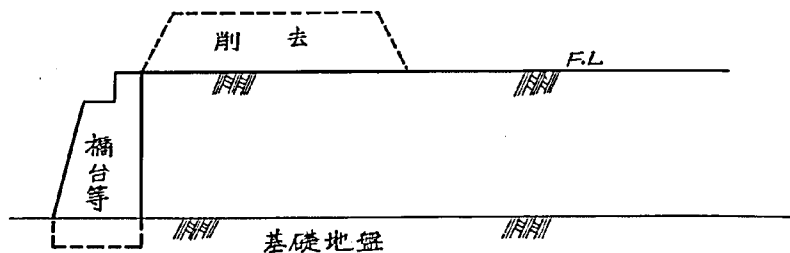


図 5-3



第 6 章 結 論

本試験により、次のことが明らかとなった。

6-1 実車試験、室内比較試験について

(1) 土の締固めに、先行圧縮応力値の考えを導入することにより、力学的取扱いが可能となり、実車から得られた先行圧縮応力値を用いることにより、盛土高に応じた締固め機械の仕様基準と高盛土の締固め施工法ならびに、構造物との接続部の施工法についての一つの指針を得た。

(2) 実車試験における先行圧縮応力値について

(a) 先行圧縮応力値は機種の種類による影響は認められず、締固め機械の重量と転圧回数に主に左右され、まき厚（この場合 30 cm, 50 cm）、含水比の影響を包括すれば、統一分類 MH, CL の粘性土では、転圧によって得られるそれぞれの転圧回数における P_0 の値の平均値で最大になるような P_0 の値と締固め機械重量 (t) との関係は近似的に次式で示される。

$$P_0 \approx 0.13 W + 0.25 \dots\dots (1) \quad P_0: \text{先行圧縮応力値 (暫)} \\ W: \text{締固め機械重量 (ton)}$$

従って、盛土高に応ずる締固め施工管理が(1)式を用いて可能である。しかしながら(1)式としての適用範囲を考える場合実験で確めた範囲から考えると極端な場合での適用性を期待することはむしろ高々適用範囲は $W=20$ t 程度までであろう。なお、これらについては今後確めてゆきたい。

(b) 先行圧縮応力値に対するまき厚の影響は、まき厚 30 cm, 50 cm では顕著に認められず、実際の施工において、先行圧縮応力値で締固め管理を行なう場合、この程度のまき厚の差は考慮する必要は本試験からは認めることはできなかった。

(c) 先行圧縮応力値に対する含水比の影響は特に認められず、含水比の差による値のバラツキも比較的小さく、実際の施工において、先行圧縮応力値で締固め管理を行なう場合には、(1)式を考慮するようにする。なお、室内比較試験による先行圧縮応力値については、突固め回数が少ない場合、含水比の影響は判然としないが、突固め回数が増加すると、含水比の差による影響が若干現われる。

(d) 先行圧縮応力値に対する転圧回数の影響は、2-6 の実車試験と同様に、転圧回数 6 ~ 10 回で最大値を与え、その後転圧回数が増加すると幾分減少する傾向を示し、先行圧縮応力値で締固め管理を行なう場合、転圧回数 6 ~ 10 回の間に規定する必要がある。

なお、MHの土では過転圧にならぬよう注意する必要がある。

一方、室内比較試験による先行圧縮応力値についてみても、突固め回数15～20回程度で最大値を示し、その後突固め回数が増加すると、幾分減少する傾向を示す。

- (e) 先行圧縮応力値は転圧回数が増せば、締固め機械による土中の垂直応力の値より大きくなるが、両者の間には特に関係は認められない。
- (f) 先行圧縮応力値と一軸圧縮強度、透水係数、乾燥密度、飽和度、空気間げき率との関係は特に認められない。
- (3) 実車試験における一軸圧縮強度は、まき厚30cm、50cm上部と50cm下部では、前者の方が0.1～0.2倍程度大きな値が得られたが、透水係数、乾燥密度、飽和度、空気間げき率についてのまき厚の差は特に認められなかった。
- (4) 一軸圧縮強度、透水係数、乾燥密度、飽和度、空気間げき率とも転圧回数6～10回で締固め効果はほぼ完了する。なお室内比較試験では、透水係数、乾燥密度、飽和度、空気間げき率については突固め回数15～20回で締固め効果は完了するが、一軸圧縮強度については含水比が低くなると突固め回数の増加に伴い著しく増加する。
- (5) 含水比の影響は透水係数、飽和度、空気間げき率において現われ、透水係数においては含水比が低ければ、ほぼ一定の値となるが、含水比が高くなるとバラツキが大きくなる。また飽和度、空気間げき率については、前者は含水比が高くなると大きな値となり、後者は小さな値となるという対照的な性状を明確に示す。室内比較試験による透水係数、飽和度、空気間げき率についても、実車試験と同様の含水比の影響が現われる。
- (6) 機種の種類による差は、一軸圧縮強度に若干影響が認められるが、透水係数、乾燥密度、飽和度、空気間げき率には定かに現われない。すなわち、一軸圧縮強度では、普通ブルドーザの方が湿地ブルドーザより幾分強度を増加させる傾向がみられる。
- (7) 以上を総括し、各機種、各含水比によって得られる先行圧縮応力値、一軸圧縮強度、透水係数、乾燥密度、飽和度、空気間げき率は下表に示す程度である。

機 種	含水比 (%)	先行圧縮応力値 (Kg/cm ²)	一軸圧縮強度 (Kg/cm ²)	透 水 係 数 (cm/sec)	乾燥密度 (g/cm ³)	飽和度 (%)	空気間げき率 (%)
10 t (普通)	13	1.4	0.3～1.0	10 ⁻⁴ ～10 ⁻⁵	1.5～1.6	47	25
	18					65	16
	23					82	8
13 t (湿地)	13	1.4	0.3～1.8	"	"	44	25
	18					52	25
	23					84	8
15 t (普通)	13	2.15	0.5～1.8	"	"	53	19
	18					65	15
	23					92	3

機 種	含水比 (%)	先行圧縮応力値 (kg/cm ²)	一軸圧縮強度 (kg/cm ²)	透 水 係 数 (cm/sec)	乾燥密度 (g/cm ³)	飽和度 (%)	空気間げき率 (%)
16t (湿地)	13	2.3	0.3~1.0	$10^{-4} \sim 10^{-3}$	1.5~1.6	48	22
	18					59	20
	23					79	9

6-2 実車試験と室内比較試験相互の対比

- (1) 先行圧縮応力値について、室内比較試験の結果は、実車試験における15tブルドーザと対応がみられる。
- (2) 先行圧縮応力値は一軸圧縮強度、透水係数、乾燥密度、飽和度、空気間げき率に対して、実車試験、室内比較試験についても、あるいはその相互においても対応は認められず、他のファクターで規定することはできない。
- (3) 力学的指標の先行圧縮応力値、一軸圧縮強度相互の関係は両試験で対応はみられない。
しかし物理的指標の乾燥密度、飽和度、空気間げき率では乾燥密度を除けば、その傾向は実車試験、室内比較試験とも対比でき、またその数値も実車試験と室内比較試験とおおよそ対応する。

あ　と　が　き

今回の実験は従来用いられてきた土の締固め規定の中では、締固め機種と締固め回数による規定方法をみい出そうとするものである。しかし、結果は未だ充分とはいいがたく今後検討すべき点が多いが、これらの事がこれからの研究の一助にもなれば幸いである。

本報告の作成にあたり、始終御協力いただいた関東地方建設局東京技術事務所工務課の方々に深く感謝をいたします。

施 工 研 究 室

伊 勢 田 哲 也

水 野 正 憲（現愛知県）

神 保 信 一

参 考 文 献

- 道 路 土 工 指 針
日本道路協会
- 道 路 建 設 講 座 3
道 路 土 工 (I)
川 崎 迪 一
伊勢田 哲 也 共著
土 肥 正 彦
- 土 の 締 固 め
久 野 悟 郎 著
- 土 質 試 験 法
土 質 工 学 会
- 第 14 回土質工学研究発表会
不飽和粘性土の圧縮特性試験について
伊 勢 田
嶋 津
宮 崎
- 土木技術資料 昭和45年11月号
粘性土を材料とする高盛土の機械化施工
伊勢田 哲 也 著
- 土木学会論文集 昭和46年4月号
締固めた土の圧縮性状に関する研究
伊勢田 哲 也
水 野 正 憲