

032

I S S N 0386—5878

土木研究所資料第2311号

土 木 研 究 所 資 料

大型擁壁実験 - 4 -

昭和61年 3 月

建設省土木研究所
機械施工部施工研究室

Copyright © 1986 by P.W.R.I.

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

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

大型擁壁実験 — 4 —

施工研究室長 嶋津晃臣

研究員 藤川昌幸

中田公基

嶋田 功

要 旨

現行の土留構造物の設計法の検証を目的として、大型擁壁実験装置を用いた各種の土圧測定実験を実施した。本資料は、これらの実験を通して明らかとなった土圧の実態及び各種の要因が土圧に及ぼす影響についてとりまとめるとともに、現行の土圧算定法との比較や数値解析により得られた知見を示したものである。

キーワード；土圧，もたれ式擁壁，嵩上げ盛土，切土部土圧，降雨，排水施設

まえがき

擁壁の設計において最も基本的な設計外力である土圧の算定には、テルツァギー・ベックの土圧図表、クーロン土圧公式、ランキン土圧公式およびクーロン系の図解法である試行くさび法などが適用いられる。これらの方法では、土圧は三角形分布をなし、クーロンやランキン土圧の場合には、土圧の大きさは裏込め土の単位体積重量と強度定数により決定されるが、その適用方法や定数の評価方法については統一されていない現状にある。さらに、実際の擁壁に作用する土圧は、裏込め土の施工方法、降雨などの気象条件、擁壁が設置される箇所の地形や地盤の状況などにも影響を受けるであろうことも容易に想像されるが、その実態が明らかにされていないために、これらの影響を考慮した土圧の算定は非常に困難な現状にあり、必ずしも合理的な擁壁の設計施工法が確立されているとは言い難い。したがって合理的な設計施工法の確立を図るには、先ず実際の擁壁に作用する土圧の実態を明らかにするとともに、各種の要因が土圧に与える影響の度合いについても把握する必要があると考えられる。

これらのことから、施工研究室では小型擁壁実験槽、大型擁壁実験装置を用いた土圧測定実験を通して、土圧の基本性状、主働土圧の発生メカニズム、各種要因が土圧に与える影響等に関する検討を行い、一定の成果を納めてきた。特に大型擁壁実験装置を用いた土圧測定実験では、実際の擁壁との力学的相似性や施工条件の反映等の問題点が解消されるとともに、土圧測定パネルと荷重計を組合せた測定システムを採用したことによりその測定精度も格段に向上した。

これらの実験結果は逐次発表されているが、本資料はその後に行われた実験結果をとりまとめるとともに、若干の検討を加えたものである。なお、本資料に収録した実験結果のうち、もたれ式擁壁および擁壁の排水施設に関する実験は、関東地方建設局相武国道工事々務所の依頼により実施したものである（課題名：「高切土における法留工法に関する調査」）。

昭和61年3月

機械施工部施工研究室

室長	嶋津晃臣
研究員	藤川昌幸
技官	中田公基
”	嶋田功

目 次

まえがき

1. 実験目的	1
2. 実験装置の概要	2
2-1 大型擁壁実験装置	2
2-2 降雨装置	7
3. 実験概要	10
3-1 実験方法	10
3-2 裏込め土	11
3-3 測定項目	12
3-4 測定結果の整理	13
4. 嵩上げ盛土部の土圧に関する実験	16
4-1 概 要	16
4-2 実験結果	18
(1) 実験その1 (No.1)	18
(2) 実験その2 (No.2)	21
(3) 実験その3 (No.3)	24
(4) 実験その4 (No.4)	26
(5) 実験その5 (No.5)	28
(6) 実験その6 (No.6)	31
(7) 実験その7 (No.7)	34
(8) 実験その8 (No.8)	37
4-3 考 察	39
(1) 嵩上げ盛土形状の影響	39
(2) 擁壁形状の影響	43
(3) 現行の設計土圧との比較	46
(4) 数値解析	47
5. 切土部土圧に関する実験	65
5-1 概 要	65

5-2 実験結果	67
(1) 実験その1 (No.9)	67
(2) 実験その2 (No.10)	70
(3) 実験その3 (No.11)	73
(4) 実験その4 (No.12)	76
(5) 実験その5 (No.13)	79
(6) 実験その6 (No.14)	82
5-3 考 察	85
(1) 地山形状の影響	85
(2) 裏込め土及び施工条件の影響	86
(3) 現行の設計土圧との比較	87
6. 降雨の影響に関する実験	89
6-1 概 要	89
6-2 実験結果	89
(1) 実験その1 (No.15)	89
(2) 実験その2 (No.16)	92
6-3 考 察	94
7. 擁壁の排水施設に関する実験	96
7-1 概 要	96
7-2 実験結果	99
(1) 実験その1 (No.17)	99
(2) 実験その2 (No.18)	102
(3) 実験その3 (No.19)	105
7-3 考 察	108
(1) 排水施設の効果	108
(2) 数値解析	109
8. 結 論	114
あ と が き	116
参 考 文 献	117
付 録	119

1. 実験目的

擁壁に作用する土圧は、一般に擁壁・裏込め土・地盤の三者の相互作用の結果として促える必要がある。従って土圧に影響する要因も非常に多岐に亘ると考えられるが、例えば次に示すような事項が影響要因として挙げられよう。

- 擁壁の種類及び形状（壁面性状、剛度など）
- 裏込め土の土質特性（強度特性、変形特性、排水特性など）
- 盛土形状（嵩上げ比、法勾配など）
- 盛土の施工方法（締固め方法、まき出し厚など）
- 地盤の性状（沈下特性、変形特性など）
- 切土面の性状（位置、形状、粗度など）
- 載荷重（道路交通など）
- 気象状況（降雨、気温など）
- 地震（加速度、周波数など）
- 排水性（浸透水、地下水などの排水用施設の性能）
- 擁壁の挙動（滑動、沈下、傾斜など）

現状では、これらの要因が土圧に及ぼす影響の度合い及び機構が明確にされていないため、その影響を考慮した土圧を推定することは非常に困難である。従って先ずこれらの要因を考慮した土圧測定実験を行い、土圧の実態を把握することが重要となる。

これまでの一連の^{1)~3)}土圧測定実験では、擁壁の種類や裏込め土の土質特性、盛土の施工方法などに着目した検討が行われてきた。

ここではこれらの実験の成果を踏まえて、さらに

- 盛土形状
- 切土面の性状
- 降雨
- 擁壁の排水施設

が土圧に及ぼす影響について調査し、合理的な擁壁の設計施工法確立のための基礎資料を得ようとするものである。なお、これらはいずれも土圧を推定する際に考慮すべき最も基本的な要因と考えられる。

2. 実験装置の概要

2-1 大型擁壁実験装置

大型擁壁実験装置は、擁壁面を想定した実験壁、実験壁の移動を行う油圧ジャッキ並びにスクリージャッキ（以下ジャッキ類と言う。）及び各種の測定装置、制御装置等で構成され、これらは図-2.1に示すように専用の実験ピット（深さ6.0m、幅8.0m、長さ20.0m）内に設置されている。ここでは本実験で使用したこれらの装置の概要を述べることとする。

① 実験壁

実験壁は、図-2.2に示すように土圧測定に使用する中央部の測定壁とその両面のダミー壁で構成され、実際の擁壁と同じ状況となるように、その表面にはいずれもコンクリートパネルが取付けられている。測定壁はさらに上段、中段、下段に分割され、これらはそれぞれピン結合された水平荷重計及び鉛直荷重計を介して支持フレームに支持されている。一方、ダミー壁は土圧測定においてピットの側面の摩擦の影響を少なくし、可能な限り二次元の土圧測定を行うことを目的としたもので、直接支持フレームに支持されている。また実験壁全体は支持フレーム及び連動したジャッキ類によってピットの反力壁に支えられており、ジャッキ類の操作により測定壁及びダミー壁が一体となった移動を行うことが可能である。また測定壁には、土圧分布を把握するための壁面土圧計が各段4個計12個取付けられている。

なお、本実験では、主に重力式擁壁（直壁）を対象とした嵩上げ盛土が土圧に及ぼす影響やもたれ式擁壁（もたれ壁）を対象とした切土地山が土圧に及ぼす影響などの調査を目的としているので、実験には図-2.3及び図-2.4に示すように下段の測定壁のみを用いている。また写真-2.1にもたれ式擁壁実験用治具を取付けた大型擁壁実験装置の全景を示す。

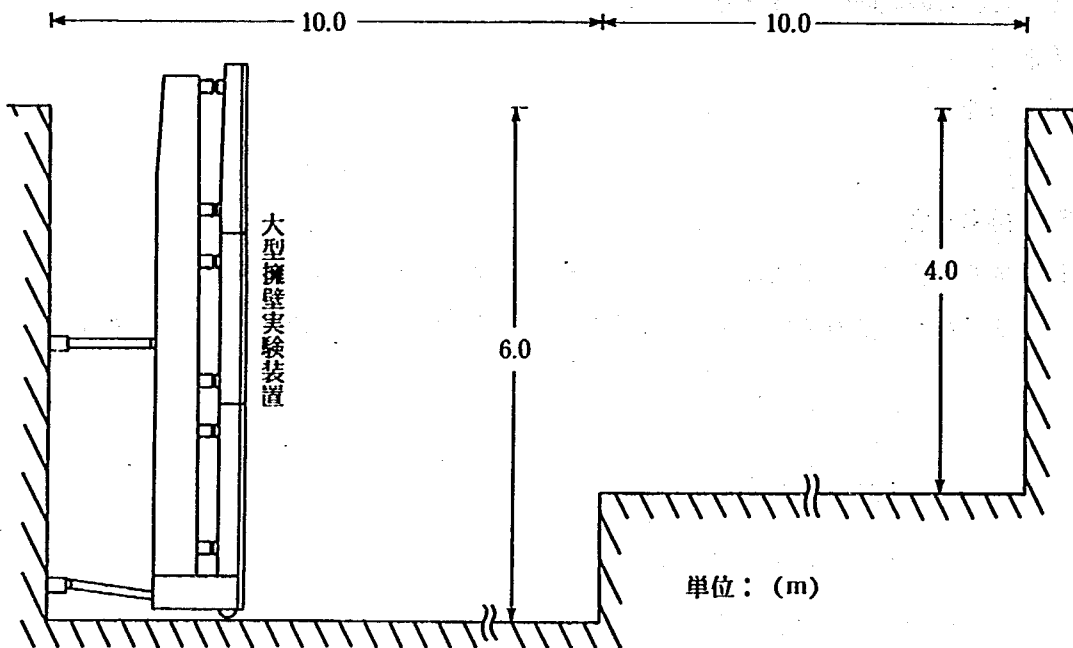
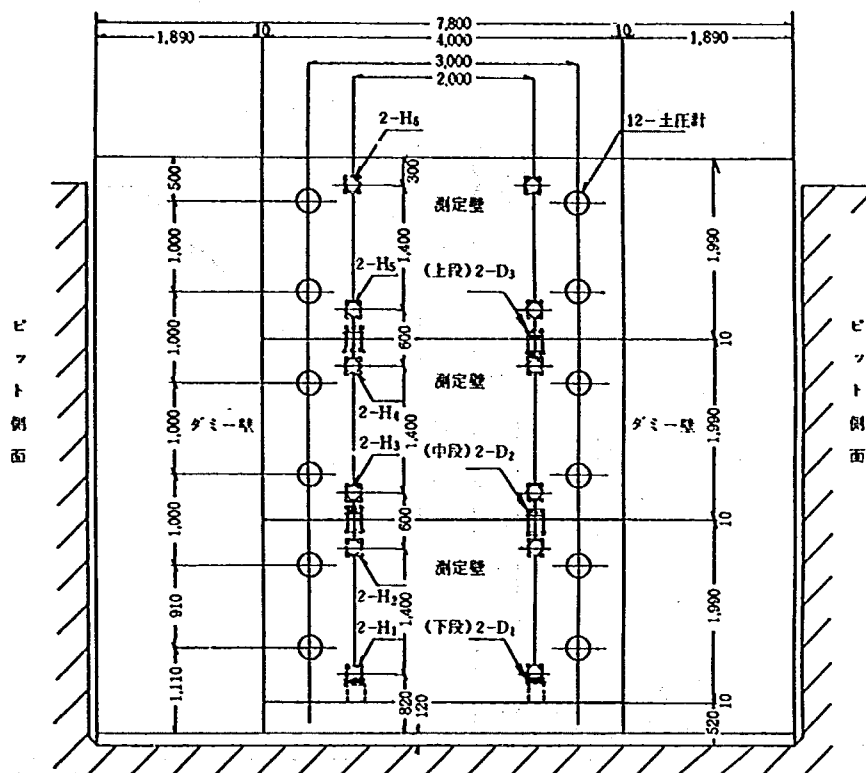
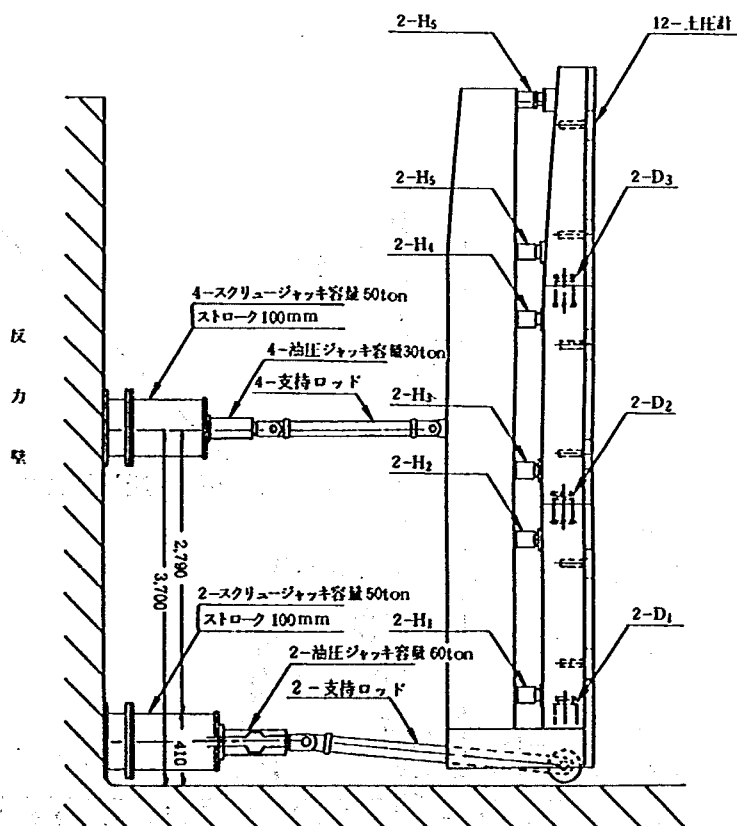


図-2.1 大型擁壁実験装置



(a) 正面図(裏込め側より)



(b) 側面図

図-2.2 実験壁

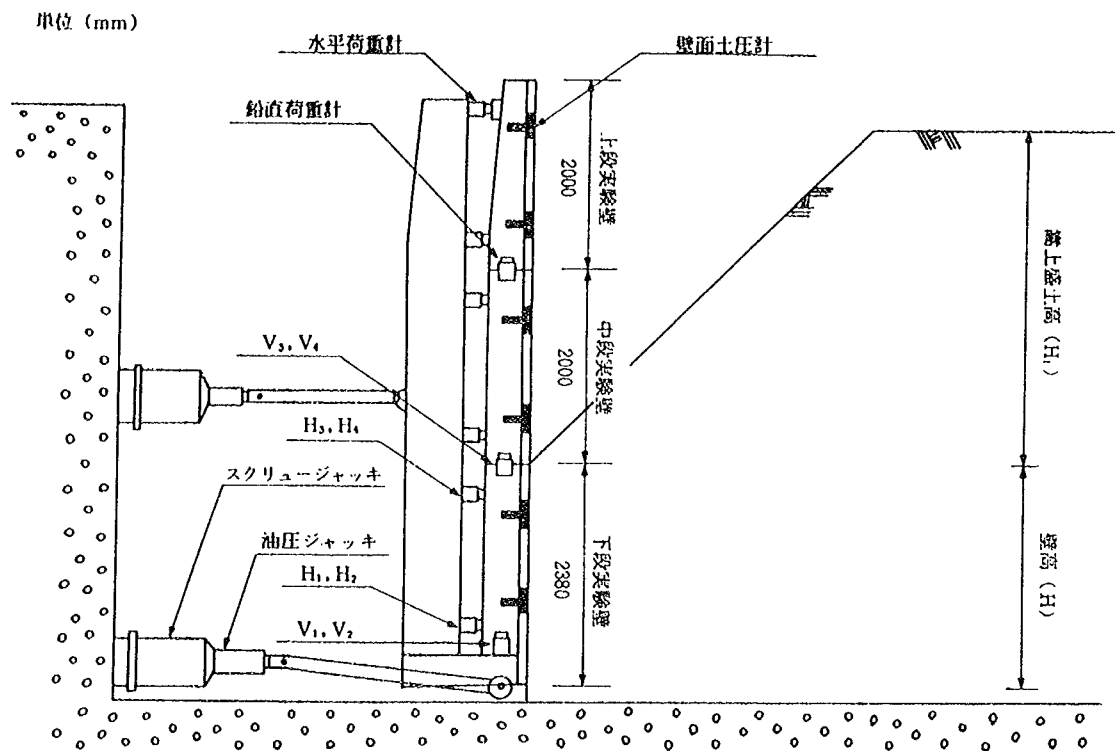


図-2.3 実験状況 (直壁)

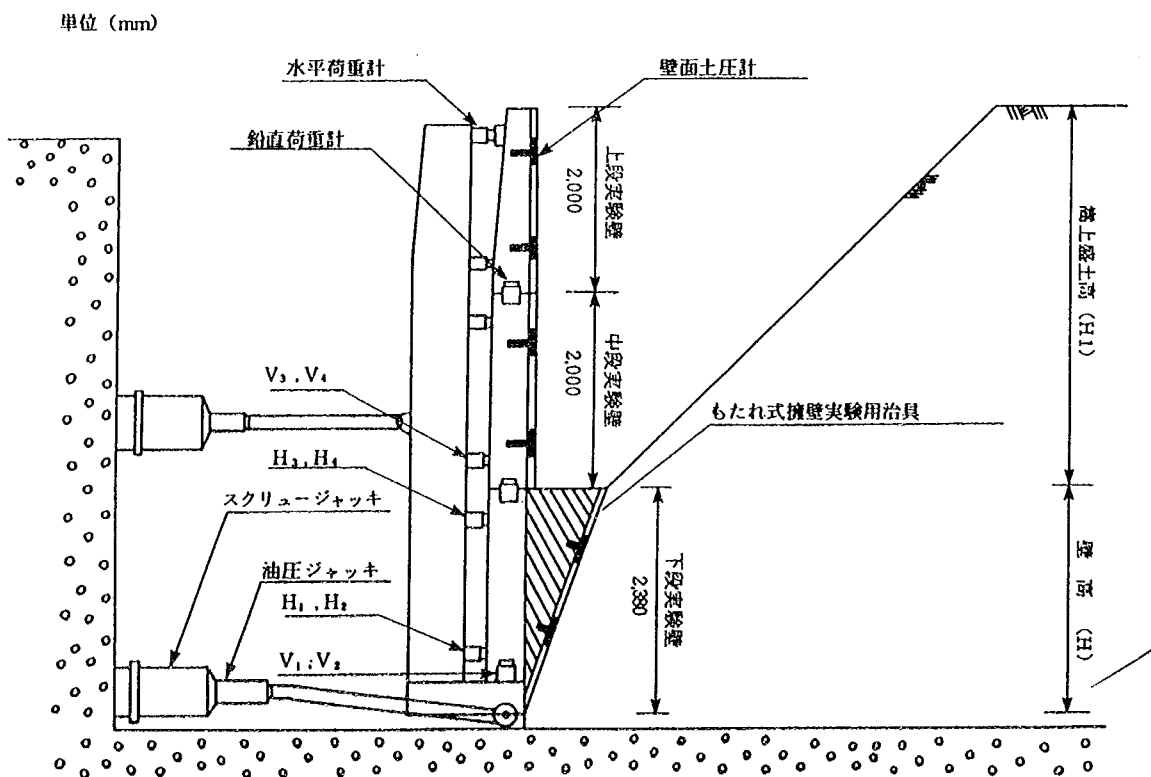
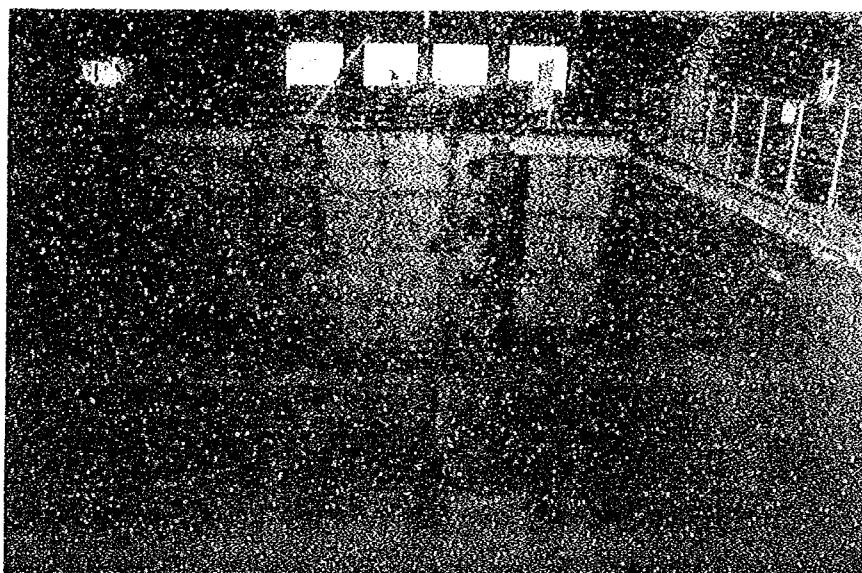


図-2.4 実験状況 (もたれ壁)



写真－2.1 大型擁壁実験装置の全景
(もたれ式擁壁実験用治具を取付けた状態)

② ジャッキ類

実験壁を固定あるいは移動させるジャッキ類は、図2-2に示したように油圧ジャッキとスクリージャッキの組合せで構成されている。これは、スクリージャッキにより微少な実験壁の移動を行うとともに、油圧ジャッキを併用することによりスクリージャッキと実験壁支持ロッドの接点を常に接触させ、ゆるみが生じないようにするためである。これらのジャッキ類は支持ロッドを介して実験壁最下端（下段）と中央部（上段）をそれぞれ2点及び4点で支持している。油圧ジャッキは下段に容量60tonが2台、上段に容量60tonが4台使用されている。一方スクリージャッキは全て容量が50tonで計6台使用されているが、0.1mm単位での移動量のモニターが可能のほか100mmのストロークを有している。さらにジャッキ類は同期及び任意の組合せでの作動が可能のため、実験壁の移動形式としては平行移動、下端ヒンジによる回転等が選択できる。

③ 測定装置及び制御装置

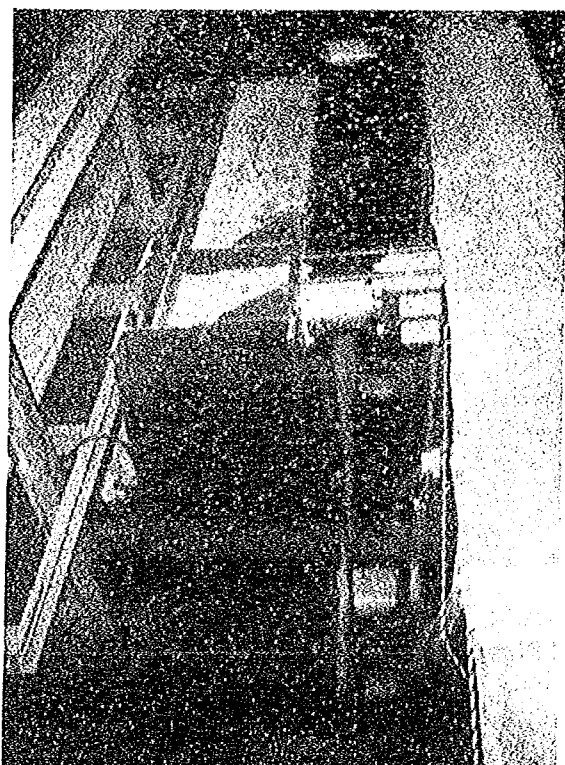
大型擁壁実験装置に用いられている測定装置には荷重計、壁面土圧計、移動計及び記録器がある。

荷重計は、測定壁に作用する土圧を合力として測定するもので、水平荷重計と鉛直荷重計によりそれぞれ土圧の水平成分及び鉛直成分が測定される。これらの荷重計の諸元は表2-1に示す通りである。その作動原理は差動トランス式で、測定結果は打点式連続自記記録器により記録される。また荷重計は降雨実験等を考慮して防水構造を採用している。写真-2.2、写真-2.3にそれぞれ

表－2.1 荷重計の緒元

	記号※	容量(ton)	個数(台)
水平荷重計	H ₆	10	2
	H ₅	10	2
	H ₄	10	2
	H ₃	15	2
	H ₂	15	2
	H ₁	15	2
鉛直荷重計	D ₃	10	2
	D ₂	20	2
	D ₁	30	2

※ 図-2.2の記号を参照



写真－2.2 水平荷重計



写真－2.3 鉛直荷重計

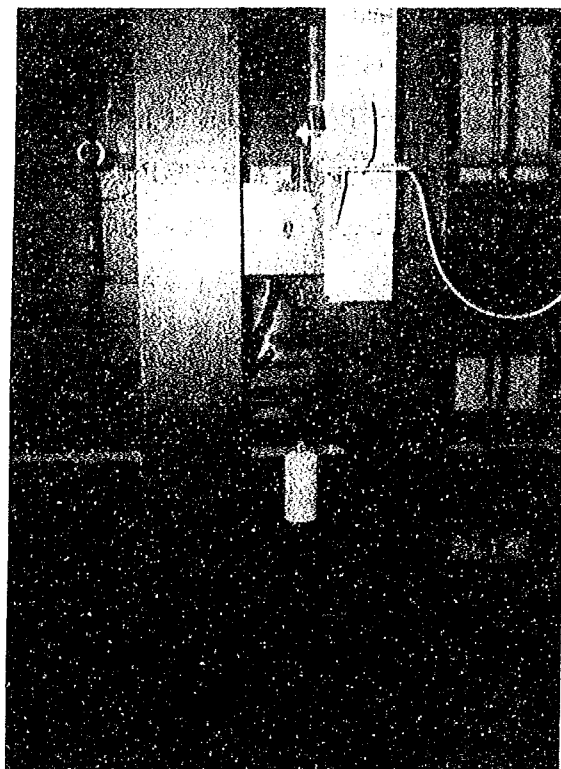
水平荷重計，鉛直荷重計の取付け状況を示す。

壁面土圧計は，実験壁に作用する土圧の分布性を把握するために用いるもので，12個の土圧計が壁面と同一平面をなすようにコンクリートパネルに埋込まれている。これらの壁面土圧計の諸元は次の通りである。

作動原理	差動トランス式
容 量	0.5, 1.0, 1.5kgf/cm ²

なお測定には差動トランス型の測定器を用いる。

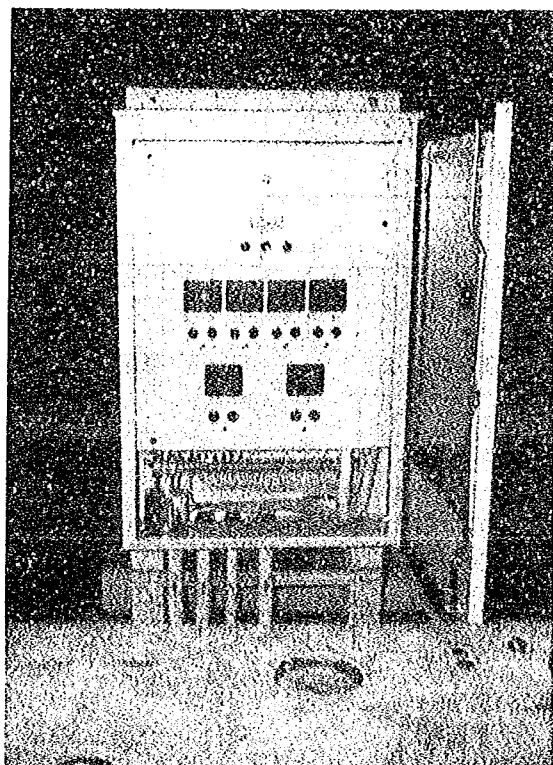
移動計は，裏込め土施工中の実験壁のたわみ量，実験壁移動時の移動量などを測定するもので，実験壁の上段，中段，下段に各2個設置されている。移動計は実験壁との間に張りわたされたピアノ線をプーリで受け，2点間の距離変化を撓動抵抗により検出する形式を採用している。写真－2.4に移動計の取付け状況を示す。



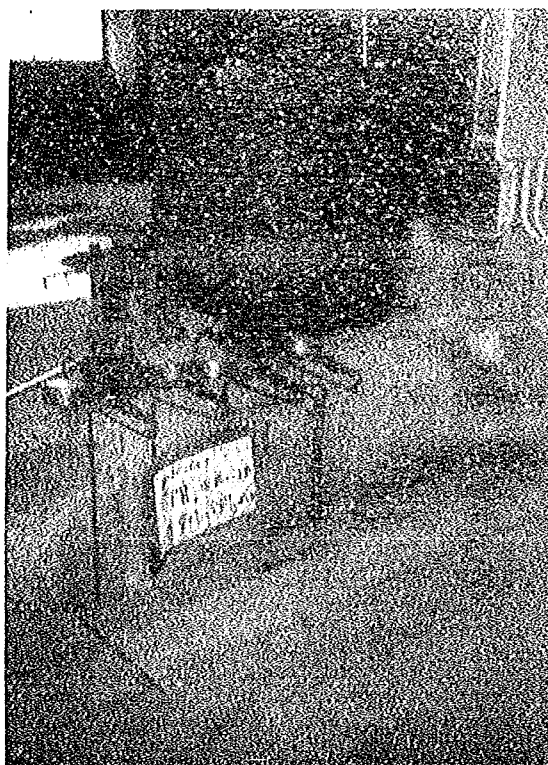
写真－2.4 移 動 計

一方制御装置には，スクリージャッキの制御スイッチ，電磁カウンター，電源スイッチなどで構成される操作盤及び油圧ジャッキの油圧ユニット

などがある。写真－2.5，写真－2.6にそれぞれ操作盤及び油圧ユニットを示す。



写真－2.5 操 作 盤



写真－2.6 油圧ユニット

2－2 降雨装置

降雨は，擁壁に作用する土圧に影響を及ぼす主な要因の一つと考えられるが，本実験では以下に述べるような降雨装置を用いて，降雨の影響に関する検討を行った。

降雨装置は，大型擁壁実験装置が設置されているピット上に人工的に降雨を与えることを目的としたもので，図－2.5に示すように降雨ポンプ，各種調節弁，流量計，散水装置等で構成されている。

表－2.2に散水装置の概要を示す。散水装置は，実験棟天井に固定され， (A_1) ， (A_2) の2ブロックで構成されている。これらのブロックは同時運転および個別運転が可能のため，適宜降雨面積を設定することができる。また各ブロックには，図－2.6に示すように大小2種類の散水ノズルが準備されており， $20 \sim 150 \text{ mm/H}$ の広範囲の強雨強度を設定することが可能である。

降雨装置の運転は，コントロール盤での遠隔操作と，手元操作の両方式が可能である。また流量監視は，あらかじめ所定の流量を設定しておけば，自動的に行われるため，通常は無人運転が可能である。

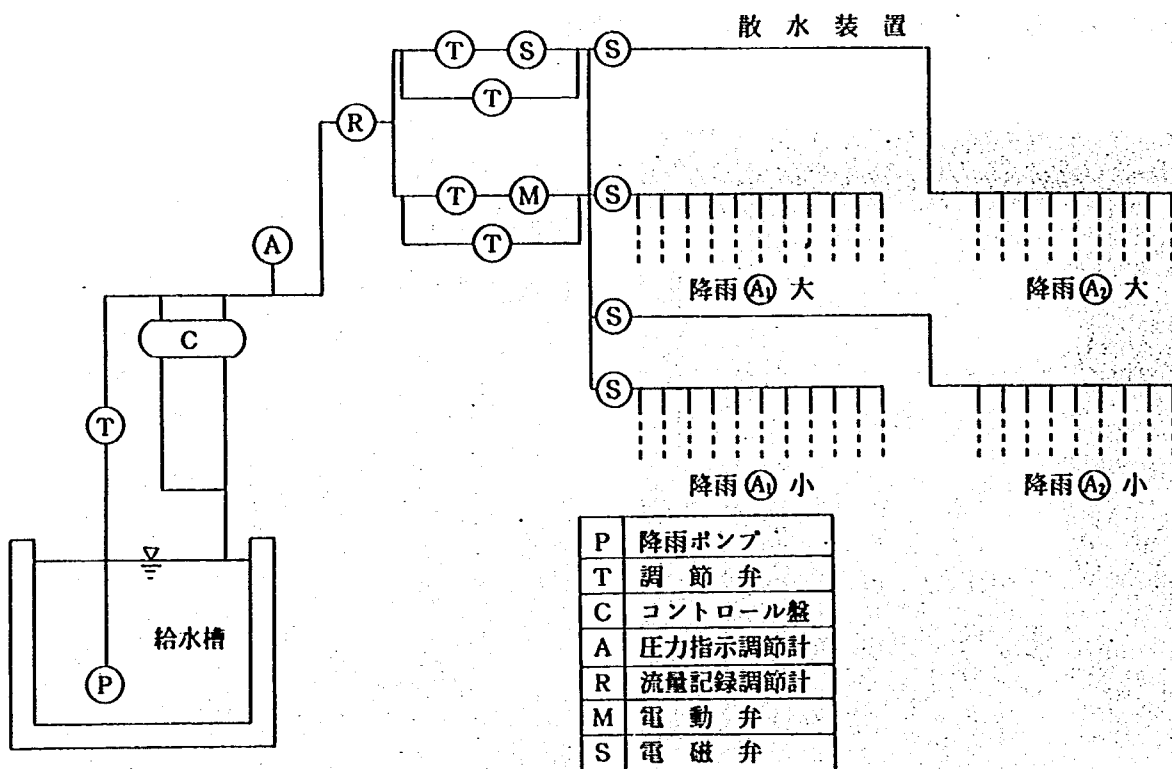
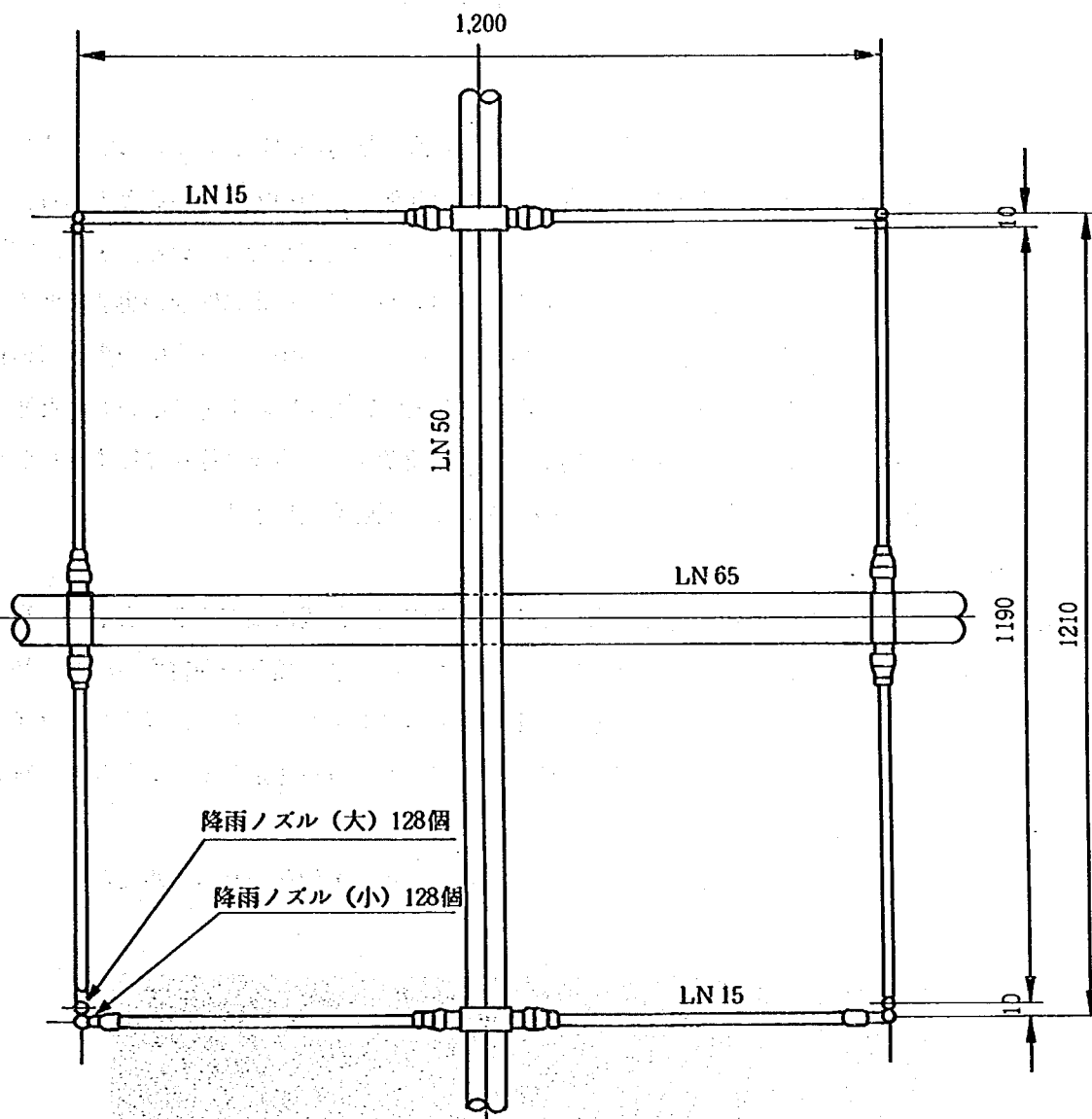


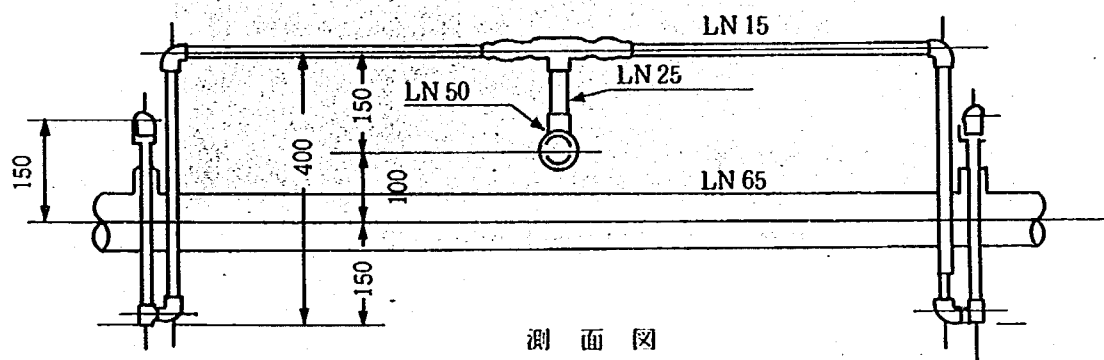
図-2.5 降雨装置の概要

表-2.2 散水装置の概要

降雨範囲	全ブロック	$W 8 \text{ m} \times L 18 \text{ m} = 144 \text{ m}^2$
	(A ₁) ブロック	$8 \text{ m} \times 9 \text{ m} = 72 \text{ m}^2$
	(A ₂) ブロック	$8 \text{ m} \times 9 \text{ m} = 72 \text{ m}^2$
ノズル数	大	128 箇
	小	128 箇
ノズル容量	大	50 ~ 150 mm/H
	小	20 ~ 60 mm/H
降雨強度	20 ~ 150 mm/H	
雨量精度	全降雨量に対して±10%以内	



平面図



側面図

図-2.6 散水ノズル

3. 実験概要

3-1 実験方法

本実験では、土圧に影響を及ぼすと考えられる各種の要因を検討の対象としているが、その実験工程は共通する部分が多いので、ここでは実験方法の基本的な部分について述べることにする。

本実験では、静止状態における土圧と主働状態における土圧の測定を行っている。まず、実験壁をジャッキ類により固定した状態で、裏込め土の搬入、締固めを繰返し所定の断面の裏込め盛土を造成する際に、これと平行して実験壁に作用する土圧の測定を行う。この場合、盛土中の実験壁の移動量は0.2mm程度であることから、このようにして得られた土圧は静止状態の土圧に近いものと考えられる。次に実験壁の拘束を解き、ジャッキ類の制御により実験壁を水平方向に徐々に緩ませながら土圧を測定し、主働土圧の測定を行う。これら一連の実験工程の概要を次に示す。

① 実験壁及び切土面の設定

実験のモデルとなる擁壁の種類や材質に合わせて実験壁を所定の位置に設定するとともに、裏込め盛土の施工に伴う実験壁の変位を防止するために、ジャッキ類により実験壁を固定する。また切土部を想定した実験では、切土面の位置や勾配などを設定し、川砂にセメントを約5%混入したソイルセメントを用いた切土地山を作成する。この場合、地山は安定した状態を想定している。なお、写真-3.1に地山の作成状況を示す。

さらにピット側壁と裏込め土の摩擦を少なくするために、ピット側壁をビニールで覆う。

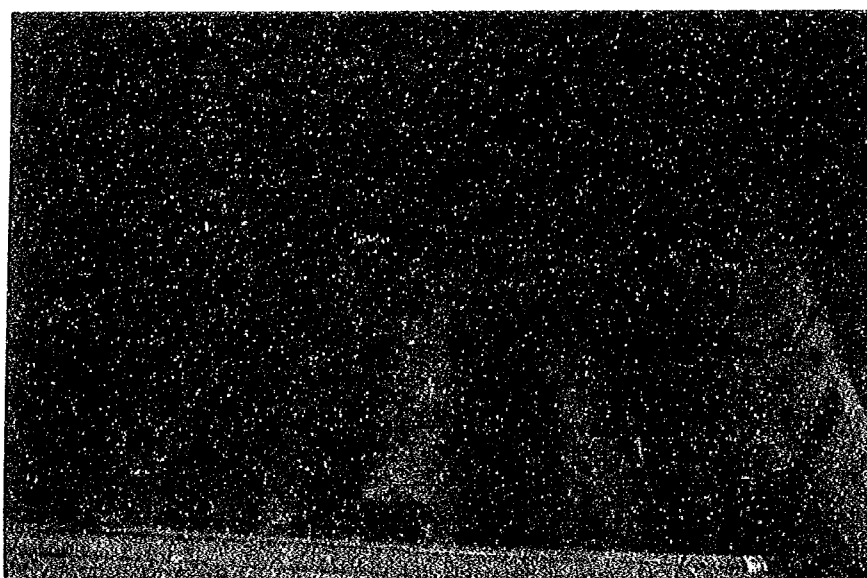


写真-3.1 切土部地山の作成状況

② 裏込め土の搬入・締固め

実験壁を固定した状態で、バケットを用いて裏込め土を搬入し、人力によるまき出しを行う。まき出し厚は25cmとし、裏込め土の施工条件が緩詰めの場合はまき出しのみ、締固めの場合はソイルコ

表-3.1 ソイルコンパクタの諸元

モーター出力	1.5 kw
モーター回転数	3,000 r.p.m
振動板有効面積	650 × 300 mm
締 固 め 幅	650 mm
総 重 量	140 kg
起 振 力	1,310 kg
振 動 数	3,000 c.p.m
走 行 速 度	6 ~ 8 m/分

ンパクタによる転圧を3回行った。表-3.1にソイルコンパクタの諸元を示す。さらに裏込め土の締固め状況を把握するための密度及び含水比の測定、主働すべり面測定のための石灰等の散布を行うとともに土圧の測定を行う。これらの一連の作業を各盛土高毎に行い、所定の裏込め盛土を完成させる。なお、写真-3.2に石灰の散布状況を示す。

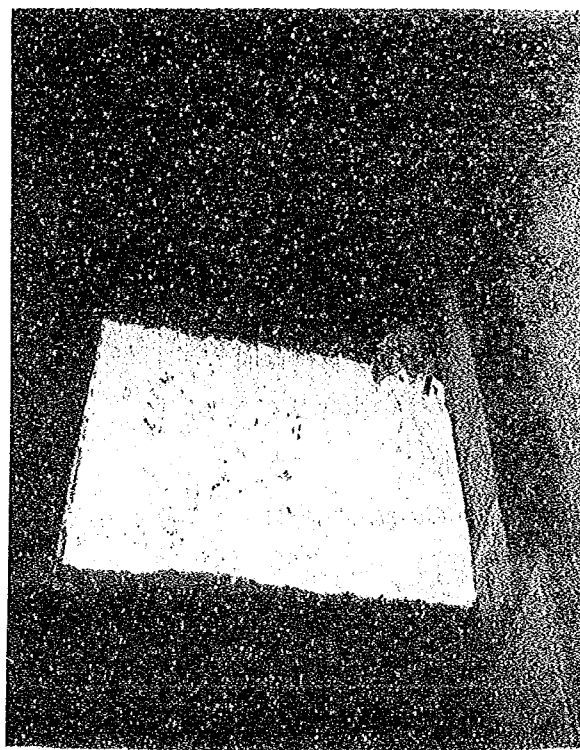


写真-3.2 石灰の散布状況

③ 土圧実験

盛土完成後の土圧を測定した後、降雨等の所定の実験条件の下で実験壁を主働変位させる。変位のピッチは、移動量が5mmまでが0.1mm~0.3mm、5mm~25mmまでが2.5mmとし、最終移動量50mmまで変位させる。また、各変位毎の時間間隔は約10分とし、この間に実験壁に作用する土圧及び実験壁の変位量等の測定を行う。

④ 裏込め土の搬出

土圧実験終了後、裏込め盛土の一部を掘削し、予め散布した石灰等のすべり面検出層の変位状況によりすべり面の測定を行うとともに、裏込め土の状況を調査する。一連の調査が終了すると、バケットにより裏込め土を搬出し、実験が終了する。

なお、実際の擁壁では裏込め土の施工に伴って擁壁が変位すると考えられるが、この変位を実験で再現するのは非常に困難なこと、現状の擁壁の設計においては破壊の限界状態すなわち塑性平衡状態を想定していることなどから、本実験では上に述べたような実験方法を採用した。

3-2 裏込め土

従来、施工研究室で実施してきた各種の土圧実験においては、盛土材として粗砂を用いた実験が多い。粗砂以外に、粘性土や玉石を用いた実験も実施しているが、近似的にφ材料として扱うことのできる粗砂は、最も基本的な盛土材と考えられる。したがって本実験においても、盛土材には主に川砂を用いた。なお、切土部土圧に関する実験においては、裏込め土の種類が土圧に及ぼす影響を検討するために碎石（クラッシャーラン、0~40mm）を一部用いた。さらに降雨を設定した実験においては、

排水層に碎石(単粒度碎石 30～40mm)を用いた。これらの裏込め土の土質試験結果は付録－3に示す。

3－3 測定項目

本実験で測定の対象とした項目は次に示す通りである。

- ① 壁面土圧
- ② 実験壁の変位
- ③ すべり面および地表面クラックの観察
- ④ 裏込め土の密度および含水比
- ⑤ 降雨量

以下これらの測定項目における測定方法の概要を示す。

① 壁面土圧

壁面土圧は、実験壁全体に作用する土圧合力として測定するため、荷重計を用いて行った。荷重計は水平方向、鉛直方向に設置されており、それぞれ土圧の水平成分、鉛直成分を測定する。これらの測定結果は「3－4 測定結果の整理」に示した方法に従って整理される。

また実験壁には土圧分布を測定するための土圧計が設置されており、これを用いた壁面土圧の測定も行った。

② 実験壁の変位

実験壁の変位は、実験壁背面に設置された移動計によって測定した。変位の測定は、実験壁の固定状態および設定した壁移動量の確認を目的として、盛土材搬入開始から実験壁の移動終了時まで、土圧測定と同時に行った。

③ すべり面および地表面クラックの観察

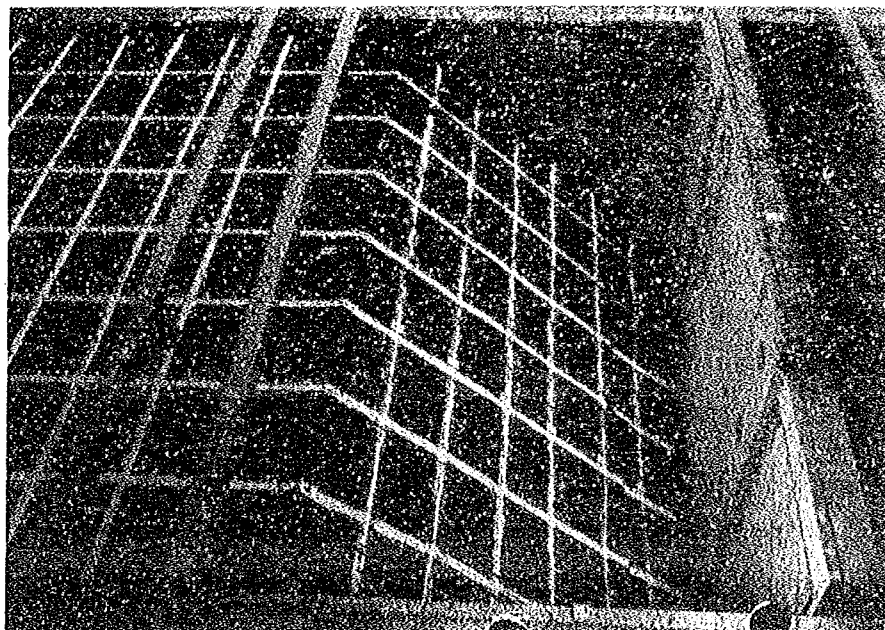
実験壁の移動に伴い裏込め盛土中に生じる主働すべり面の発生状況は、盛土造成時に所定の盛土高毎に設けた石灰層によって測定した。すなわち、主働すべり面の発生により石灰層に段差が生じるが、実験終了後、裏込め土を掘削し、段差の状況を直接測定するものである。また主働すべり面の発生に伴う裏込め地表面のクラック発生状況の観察も同時に行った。写真－3.3、写真－3.4にすべり面及び地表面クラックの発生状況を示す。

④ 裏込め土の密度および含水比

裏込め土の密度は、擁壁に作用する土圧を推定する上で最も基本的な要素である。本実験では、



写真－3.3 すべり面発生状況



写真－3.4 クラック発生状況

所定の盛土高さ毎に含水比と併せて密度測定を行った。なおこれらの測定はR.I 水分密度計およびコアカッター法などによった。

⑤ 降雨量

降雨装置を用いた実験においては、設定した降雨強度の確認及び面的な降雨強度の変動の把握を目的として、自記雨量計を用いた降雨量の測定を行った。

3－4 測定結果の整理

実験開始から終了までの間、継続して測定されるのは、実験壁に作用する土圧と実験壁の移動量である。

実験壁に作用する土圧は、荷重計と壁面土圧計の両者によって測定しているが、本実験では荷重計の測定結果に基づいて実験壁に作用する土圧の実態を把握することとした。これは壁面土圧計を用いた土圧の測定においては、裏込め盛土の局所的な条件に大きく影響を受け、全土圧荷重を必ずしも精度良く推定できないと考えられること、壁面垂直方向の土圧しか測定できないことなどの問題があるのに対して、荷重計を用いた場合は測定壁を介して全土圧荷重の測定を行うことが可能であることを考慮したためである。したがって、壁面土圧計は壁面に垂直な土圧の分布性状の把握が測定の主目的となるが、本実験では、使用した測定壁が下段のみであり、高さ方向の測定点が2点のみとなるため壁面土圧の測定結果は参考程度にとどめている。

擁壁の設計を行う場合、設計外力としての土圧に関する情報として土圧の水平成分、土圧の鉛直成分、土圧合力の作用位置が必要となる。したがって、荷重計から得られた測定結果は、現行の設計土圧と比較できるように、以下に述べる方法に従って整理した。

図－3.1に示す実験壁に作用する力の釣合いにおいて、水平荷重計および鉛直荷重計による測定値

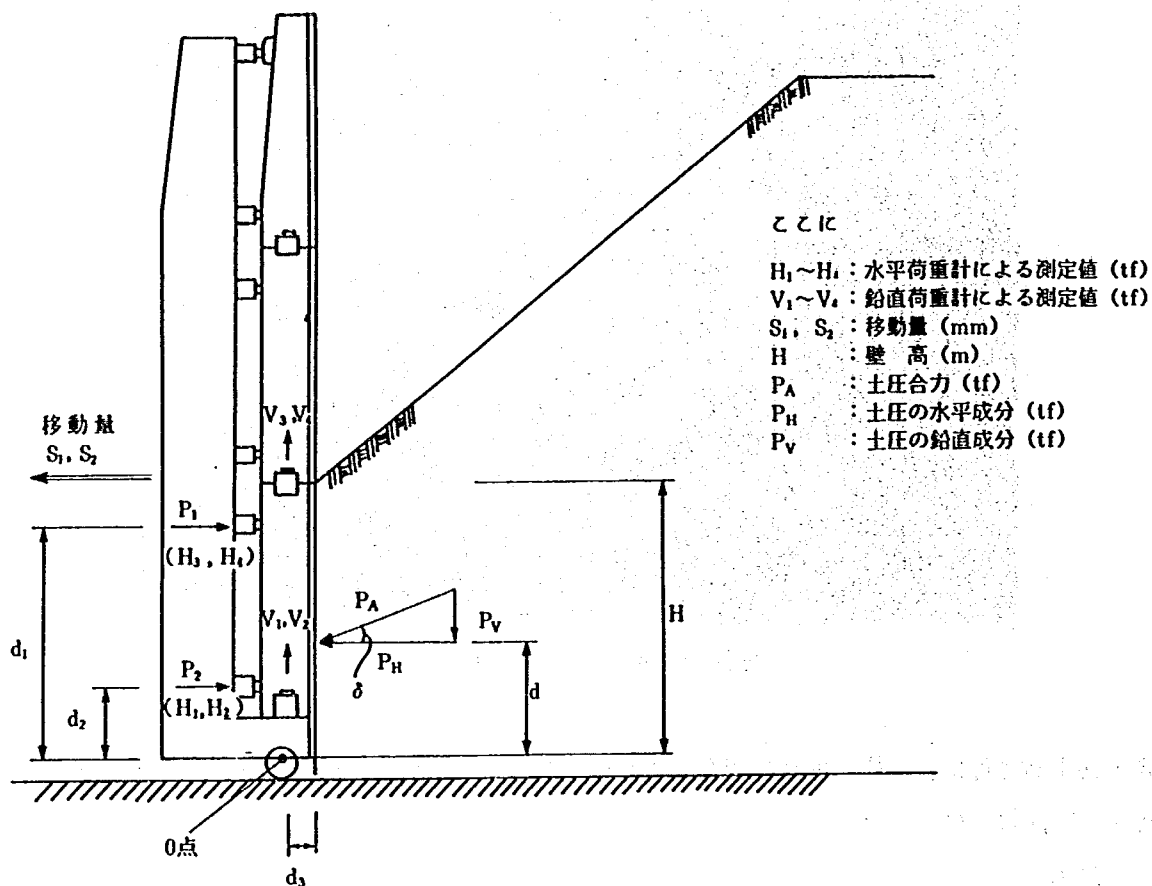


図-3.1 実験壁に作用する力の釣合い

をそれぞれ $H_1 \sim H_4$, $V_1 \sim V_4$ とすれば, 図-3.1の記号を参考にするとともに実験壁の幅が4.0mであることを考慮して

$\Sigma H = 0$ の条件から, 土圧の水平成分 P_H は

$$P_1 = \frac{H_3 + H_4}{4} \text{ (tf/m)}$$

$$P_2 = \frac{H_1 + H_2}{4} \text{ (tf/m)}$$

$$P_H = P_1 + P_2 \text{ (tf/m)}$$

$\Sigma V = 0$ の条件から, 土圧の鉛直成分 P_V は

$$P_V = \frac{V_1 + V_2 - (V_3 + V_4)}{4} \text{ (tf/m)}$$

また0点まわりのモーメントの釣合い $\Sigma M = 0$ の条件から, 土圧合力の作用高さ d は

$$d = (P_1 \cdot d_1 + P_2 \cdot d_2 + P_V \cdot d_3) / P_H : \text{直壁}$$

$$d = (P_1 \cdot d_1 + P_2 \cdot d_2 + P_V \cdot d_3) / (P_H - 0.3 P_V) : \text{もたれ壁 (3分)}$$

さらに以上の整理結果を用いて, 壁摩擦角 δ , 相対作用位置 d/H , 土圧係数 K_A などを次式により算出した。

$$\delta = \tan^{-1} \frac{P_V}{P_H} - \alpha \text{ (度)}$$

$$d/H = d/H$$

$$K_A = \frac{2P_A}{\gamma_1 \cdot H^2}$$

ここに α : 実験壁と鉛直面のなす角 (度)

H : 壁高 (m)

γ_1 : 盛土の単位体積重量 (tf/m³)

一方、実験壁の移動量は、3段に設置された6箇所の移動計のうち、下段の2箇所の移動計による測定結果の平均値を採用した。

4. 嵩上げ盛土部の土圧に関する実験

4-1 概 要

道路土工に伴って設置される盛土部擁壁は、図-4.1に示すように嵩上げ盛土を有する裏込め形状であることが多い。嵩上げ盛土を有する場合、擁壁の設計に必要な土圧の算定は、テルツァギ・ベックの土圧図表やクーロンの土圧論の拡張である試行くさび法などが一般に用いられている。これらの方法では、図-4.1に示した嵩上げ盛土の法勾配や嵩上げ盛土高 H_1 と壁高 H の比である嵩上げ比 H_1/H などの裏込め盛土の形状と裏込め土の土質あるいは土質定数が設定できれば土圧合力が推定できる。この場合、嵩上げ盛土に関する情報がパラメータとして扱われているので、嵩上げの影響を含んだ土圧合力は得られるが、土圧の作用位置についてはいずれの方法においても擁壁の底板下面より $H/3$ の点とされており、嵩上げ盛土の影響は考慮されていない。すなわち嵩上げ盛土は、単に土圧合力の増加のみならず、土圧の作用位置の上昇をももたらすと考えられるが、上に述べた方法では土圧の作用位置は常に一定である。さらにテルツァギ・ベックの土圧図表においては、嵩上げ比 $H_1/H \leq 1.0$ が適用範囲であり、嵩上げ比が1.0を超える場合の土圧は明らかにされていないこと、また試行くさび法については、嵩上げ比が大きく、嵩上げ盛土の法勾配が裏込め土の内部摩擦角に近似している場合、過大な土圧合力を与える恐れのあることなど、適用上の問題点も少なくない。

一方、擁壁の設計に用いる土圧の妥当性を検証するためには、擁壁に作用する土圧の測定を行う必要があるが、現状では土圧の実測例は非常に少なく、特に嵩上げ盛土の影響を系統的に調査した事例は皆無に近い。

このようなことから、嵩上げ盛土部の擁壁に作用する土圧の実態を把握し、設計上の問題点に対処することを目的として、大型擁壁実験装置を用いた土圧測定実験を実施した。実験は、表-4.1に示すように、実験壁の形状、嵩上げ盛土の法勾配、裏込め土の施工方法を組合せた8ケースについて行った。なお、嵩上げ盛土の高さは、実験壁が直壁の場合3.50m、もたれ壁の場合4.00mであり、これらを嵩上げ比 H_1/H で表現するとそれぞれ1.47、1.68となる。

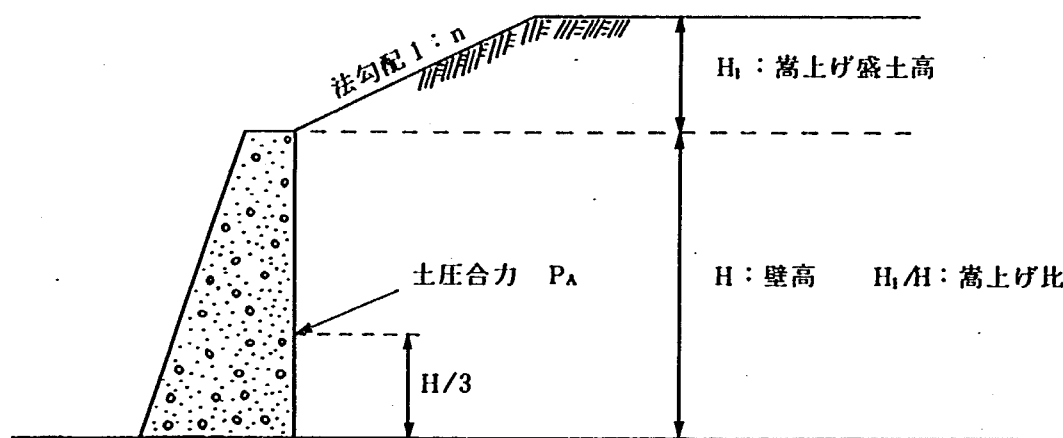


図-4.1 嵩上げ盛土部の土圧

表-4.1 実験条件一覧

実験 No	実験壁形状	盛土形状		裏込め土	施工条件	実験壁変位 モード
		嵩上げ盛土 高さ (m)	法 勾 配			
実験 No 1	直 壁	3.5	1 : 1.5	川 砂	締固め	平 行
実験 No 2	直 壁	3.5	1 : 1.5	川 砂	ゆる詰め	平 行
実験 No 3	直 壁	3.5	1 : 2.0	川 砂	締固め	—
実験 No 4	直 壁	3.5	1 : 2.0	川 砂	ゆる詰め	—
実験 No 5	直 壁	3.5	1 : 1.0	川 砂	締固め	平 行
実験 No 6	直 壁	3.5	1 : 1.0	川 砂	ゆる詰め	平 行
実験 No 7	もたれ壁	4.0	1 : 1.0	川 砂	締固め	平 行
実験 No 8	もたれ壁	4.0	1 : 1.0	川 砂	ゆる詰め	平 行

以下に一連の実験結果を述べるが、実験装置及び実験方法の概要は既に述べたので、ここでは次の各項について示すこととする。

○実験条件

実験壁の種類

嵩上げ盛土の高さ、法勾配

裏込め土の施工条件

○土圧測定結果

土圧合力 (P_A)、土圧の水平成分 (P_H)、土圧の鉛直成分 (P_V)

土圧係数 (K_A)、壁摩擦係数 ($\tan \delta$)、相対作用位置 (d/H)

○盛土の挙動観測結果

すべり面発生状況

なお、土圧測定結果については付録-2に詳細を示す。

4-2 実験結果

(1) 実験その1 (No.1)

本実験は、擁壁背面の嵩上げ盛土が壁面土圧に及ぼす影響の検討を目的とした一連の実験の中で、最も基本的なものである。すなわち、図-4.2に示すように、実験壁は重力式擁壁を想定した直壁とし、法勾配1:1.5で3.5mの嵩上げ盛土を行った。また裏込め土には川砂を用い、ソイルコンパクタによる締固めを行った。裏込め盛土造成時にRI水分密度計によって測定した湿潤密度 γ_t と含水比 w の平均値は次の通りである。

○湿潤密度 $\gamma_t = 1.709 \text{ tf/m}^3$

○含水比 $w = 9.88 \%$

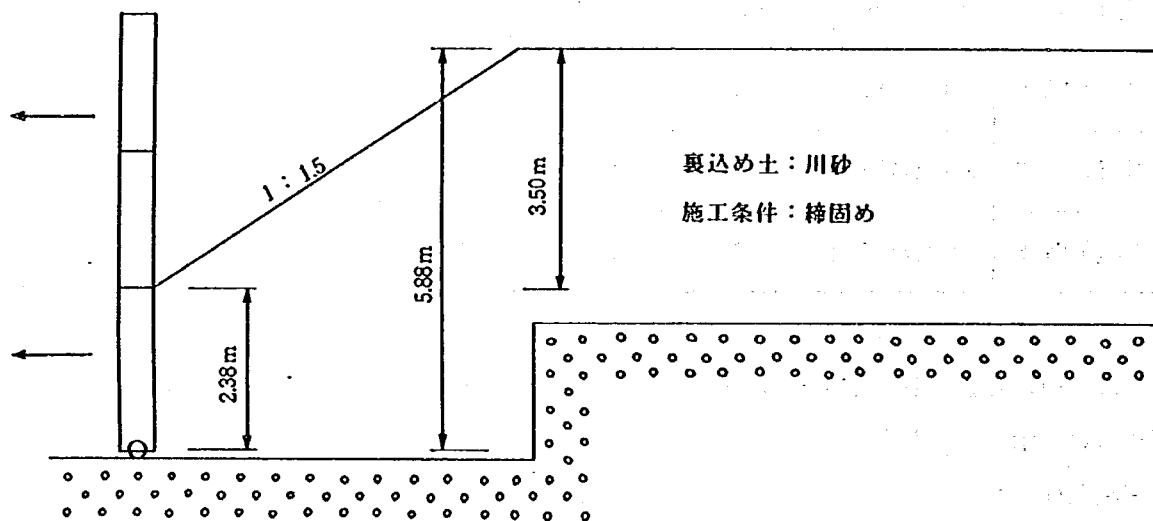


図-4.2 実験概要 (No.1)

図-4.3に盛土造成時及び実験壁移動時における荷重計による測定結果から得られた土圧及び土圧係数 K_A 、壁摩擦係数 $\tan \delta$ 、土圧の相対作用位置 d/H （以下土圧三要素と言う。）を示す。実験壁に作用する土圧は盛土高さとともに増加するが、盛土高さが壁高を超えると増加率が鈍化する傾向が認められる。壁移動時には、4mm程度の移動量で土圧は急激に減少する。この減少の度合は、従来実施されている嵩上げ盛土のない場合や嵩上げ盛土高さの低い場合の実験結果と比較すると格段に大きいものである。一方相対作用位置は、壁高までの盛土が完成した状態で0.4を超えており、三角形分布を仮定している設計土圧の相対作用位置0.33よりかなり大きな結果となっている。さらに嵩上げ盛土高さが高くなると、これに伴って相対作用位置も上昇する傾向が見られ最終的には0.5程度に達している。壁摩擦係数については、嵩上げ盛土の影響は特に認められない。

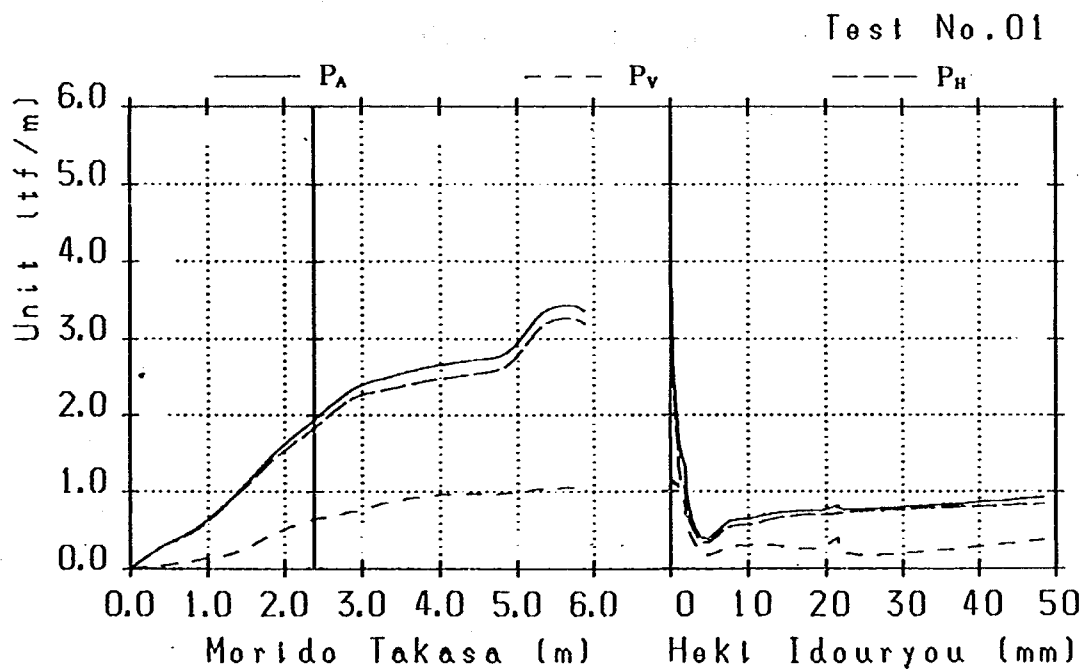
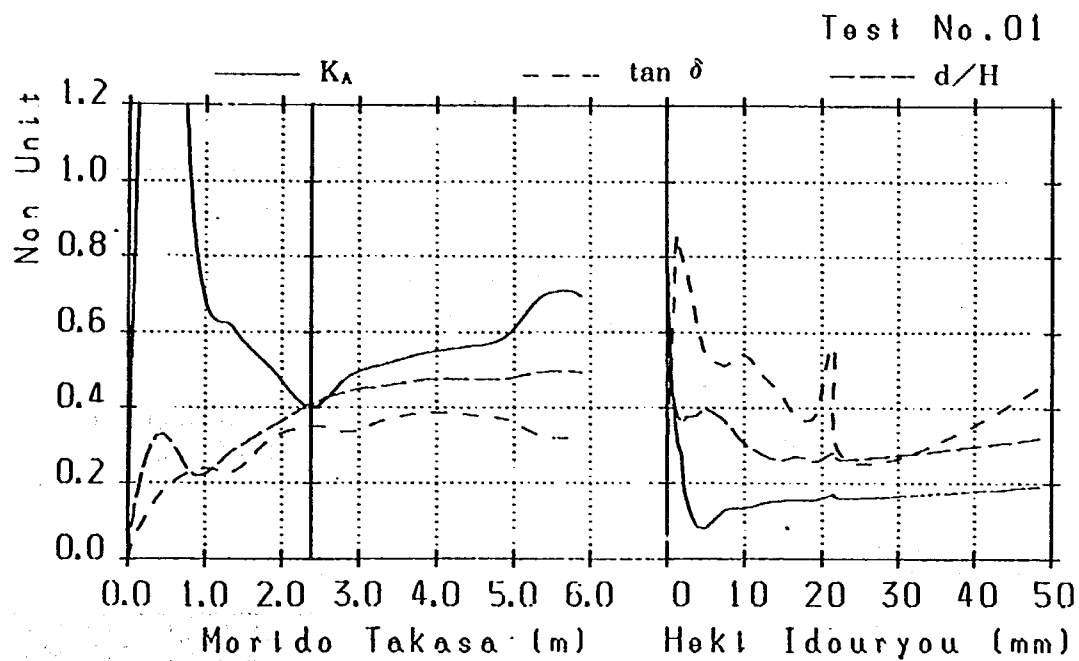


図-4.3 実験結果 (No.1)

図-4.4は、実験壁の移動に伴って裏込め盛土中に発生したすべり面の状況を示したものである。嵩上げ高さが大きいにもかかわらず、すべり面は実験壁近傍に生じており、この結果壁移動時の土圧が小さくなったものと考えられる。

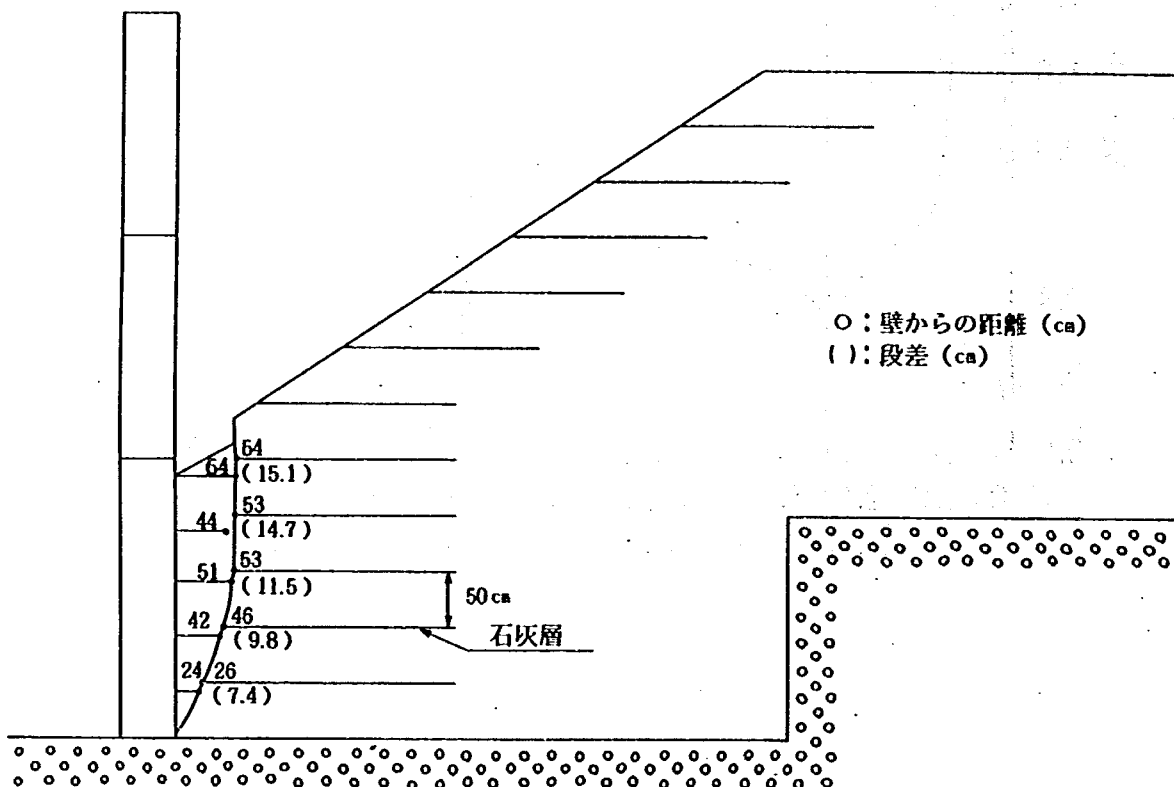


図-4.4 すべり面の状況

(2) 実験その2 (No.2)

本実験は、実験No.1と同様の嵩上げ盛土形状とし、裏込め土の施工条件をゆる詰めとしたもので、裏込め土の施工方法の違いが土圧に及ぼす影響の把握を目的としたものである。すなわち、図-4.5に示すように、実験壁は重力式擁壁を想定した直壁とし、法勾配1:1.5で3.5mの嵩上げ盛土を行った。また裏込め土には川砂を用いたが、搬入した裏込め土を敷均すだけで締固めは行っていない。裏込め盛土造成時にR1水分密度計によって測定した湿潤密度 γ_t と含水比 w の平均値は次の通りである。

○湿潤密度 $\gamma_t = 1.570 \text{ tf/m}^3$

○含水比 $w = 9.27\%$

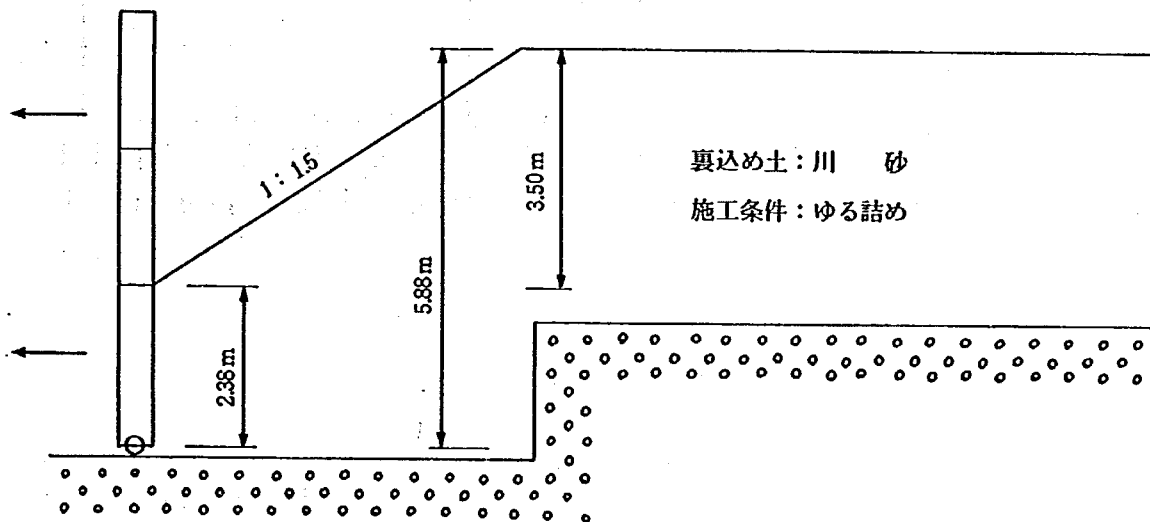


図-4.5 実験概要 (No.2)

図-4.6に盛土造成時及び実験壁移動時における荷重計による測定結果から得られた土圧及び土圧三要素を示す。壁高までの盛土過程における土圧の傾向は実験No.1とほぼ同じであるが、盛土高さが壁高を超えても土圧の増加傾向はあまり鈍化していない。したがって盛土完了後の土圧係数 K_A も約1.0と実験No.1の約0.7と比べかなり大きなものとなっている。壁移動時の土圧は移動量の増加とともに土圧は減少するが、実験No.1のように急激に減少せず、また減少量もかなり小さい。さらに一定の土圧に収束するのに約23mmの移動量を要している。

相対作用位置は、壁高までの盛土完成時点で既に設計土圧のそれを超えておりその後も嵩上げの進行に伴って上昇を続けている。しかしながら実験No.1と比較すると全体に低くなっており、施工方法の違いによる影響が認められる。また壁摩擦係数については実験No.1と同様、嵩上げ盛土の影響は特に認められない。

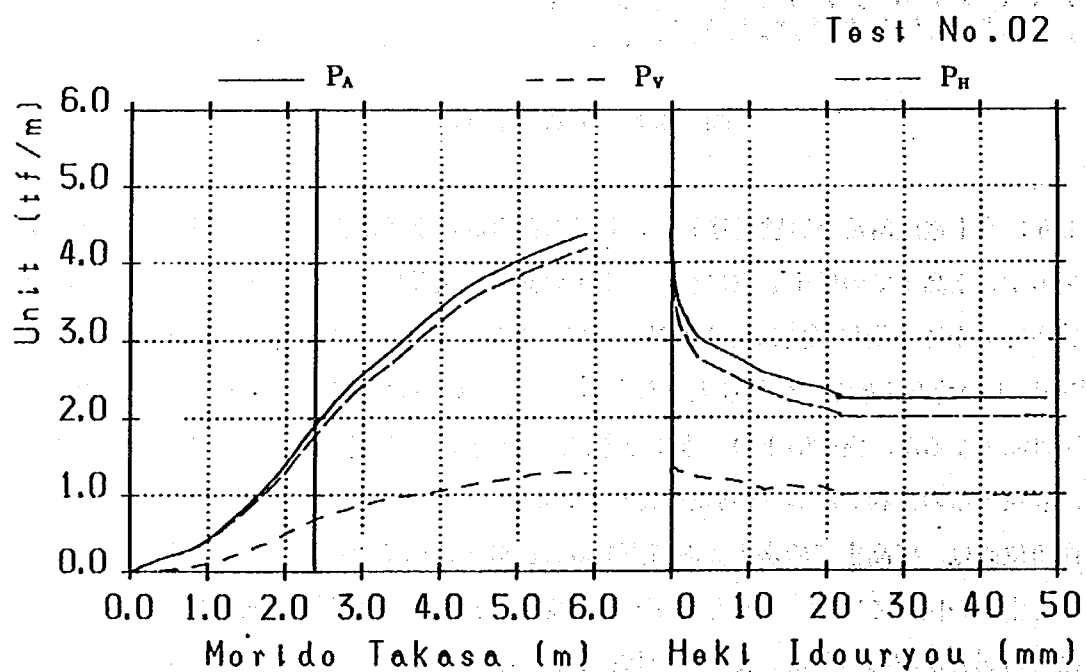
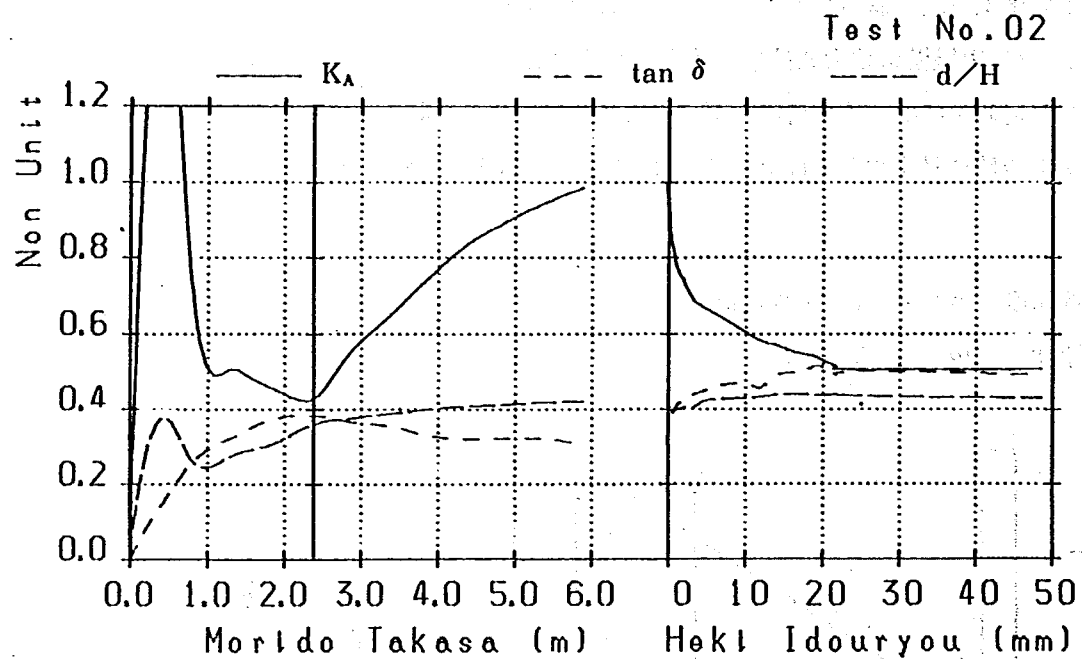


図-4.6 実験結果 (No2)

図-4.7は、壁移動終了後の盛土状況を示したものである。裏込め盛土中にはすべり面の発生した痕跡が認められず、わずかに盛土天端にクラックの発生が確認されたのみである。すなわち、実験壁移動時に盛土は全体として変位したと考えられ、このため主働土圧に収束するための壁移動量が大きくなったものと思われる。

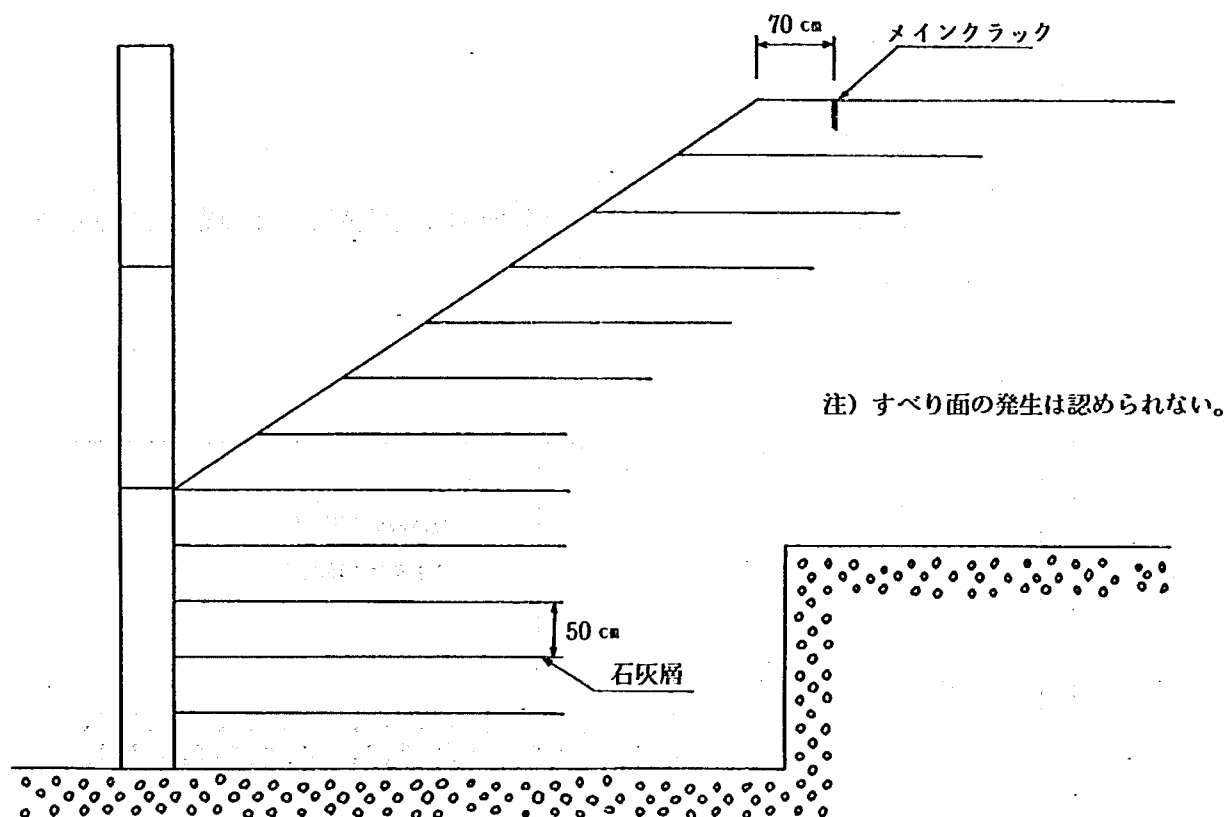


図-4.7 すべり面の発生状況

(3) 実験その3 (No.3)

本実験は、実験No.1との比較を通して嵩上げ盛土の形状が土圧に及ぼす影響を把握することを目的として実施したのである。図-4.8に実験概要を示すが、実験壁は直壁とし、法勾配1:2.0で3.5mの嵩上げ盛土を行った。また裏込め土には川砂を用い、ソイルコンパクタによる締固めを行った。裏込め盛土造成時にコアカッター法によって測定した湿潤密度 γ_t と含水比 w の平均値は次の通りである。

○湿潤密度 $\gamma_t = 1.749 \text{ tf/m}^3$

○含水比 $w = 9.49 \%$

なお、本実験では後述するように、嵩上げ盛土部のみを掘削し、法勾配1:1の嵩上げ盛土を再度築造したので実験壁の移動は行っていない。

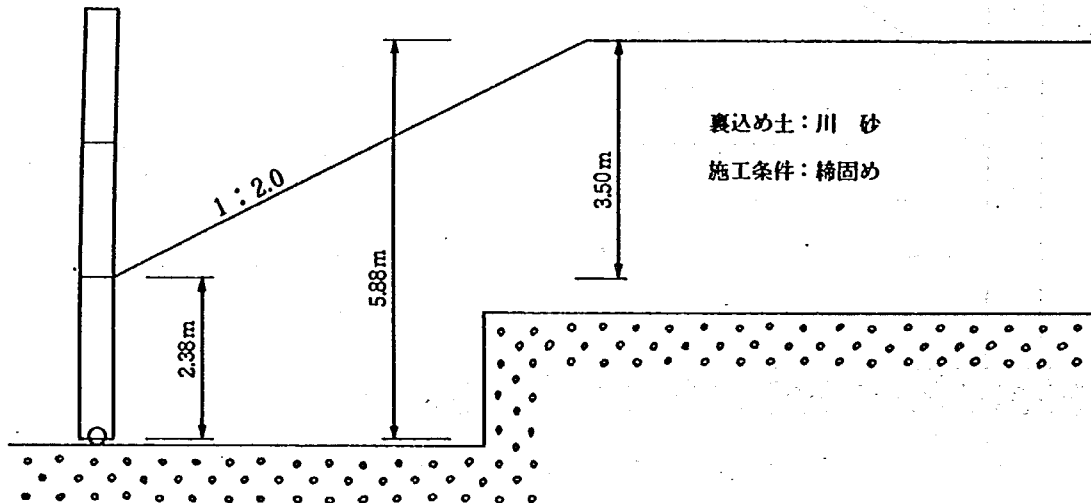


図-4.8 実験概要 (No.3)

図-4.9に盛土造成時における荷重計による測定結果から得られた土圧及び土圧三要素を示す。盛土高が高くなるに従って土圧は増加するが、その傾向は嵩上げ盛土の法勾配のみが異なり、その他の条件は全て同じである実験No.1の実験結果とほぼ同様である。また壁摩擦係数や相対作用位置についても土圧と同じく、実験No.1と良く似た傾向を示している。

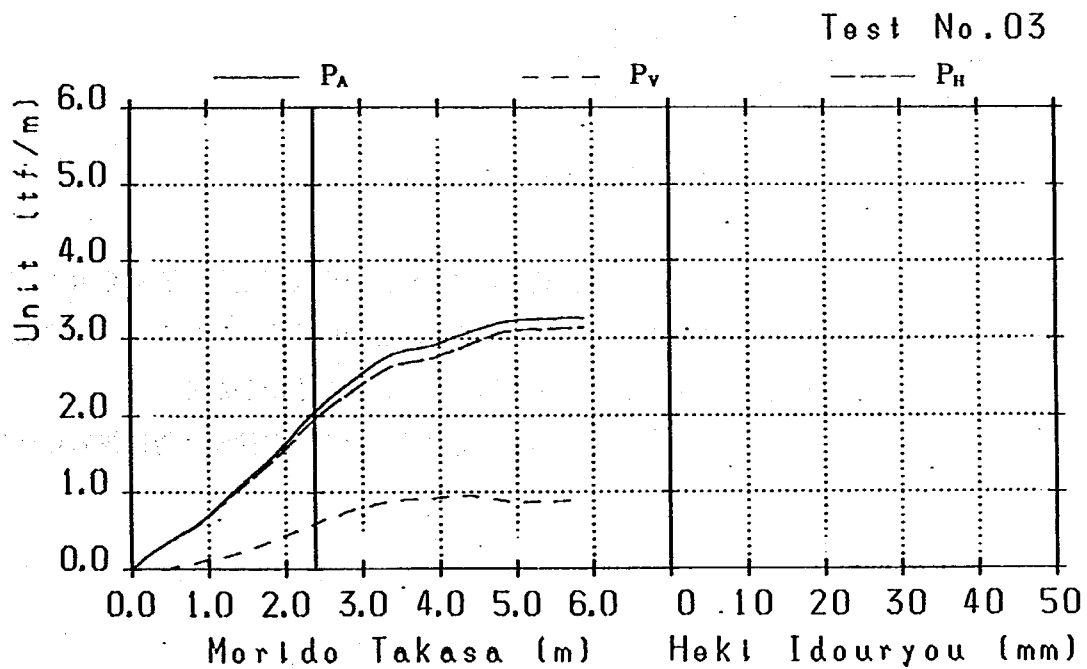
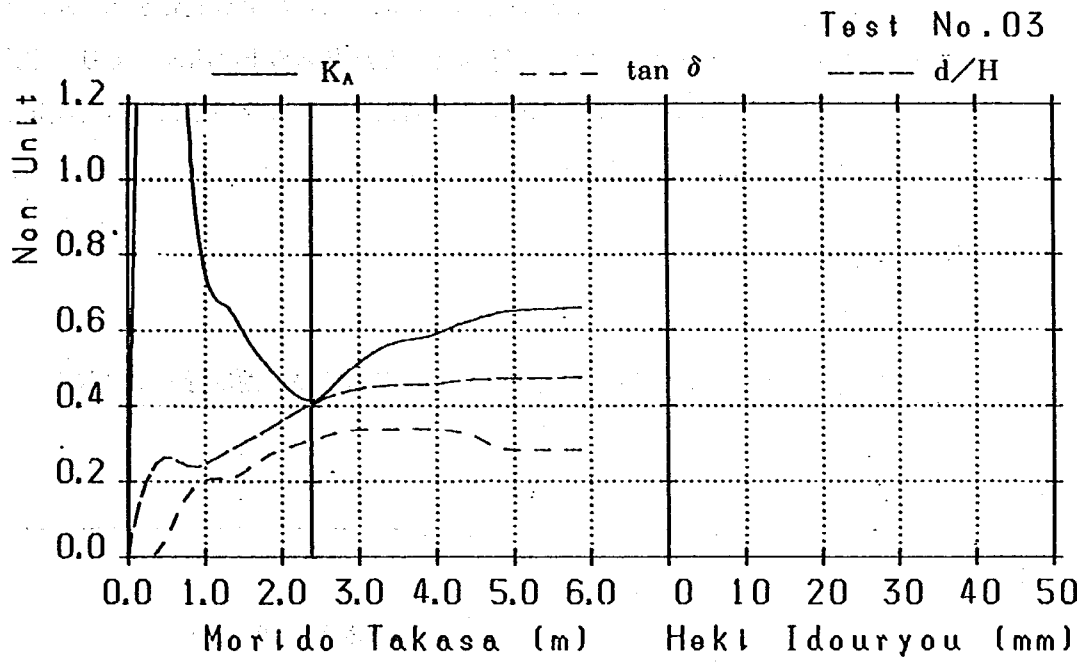


図-4.9 実験結果 (No3)

(4) 実験その4 (No.4)

本実験は、実験No.3と同様実験No.2との比較を通して嵩上げ盛土の形状が土圧に及ぼす影響の把握を目的としたもので、裏込め土の施工条件はゆる詰めである。図-4.10に実験概要を示すが、実験壁は直壁とし、法勾配1:2.0で3.5mの嵩上げ盛土を行った。また裏込め土は川砂であり、搬入後敷均しを行ったのみで締固めは行っていない。裏込め盛土造成時にコアカッター法によって測定した湿潤密度 γ_t 及び含水比 w の平均値は次の通りである。

○湿潤密度 $\gamma_t = 1.562 \text{ tf/m}^3$

○含水比 $w = 9.19 \%$

なお、実験No.3と同様嵩上げ盛土部の再築造を実施したので実験壁の移動は行っていない。

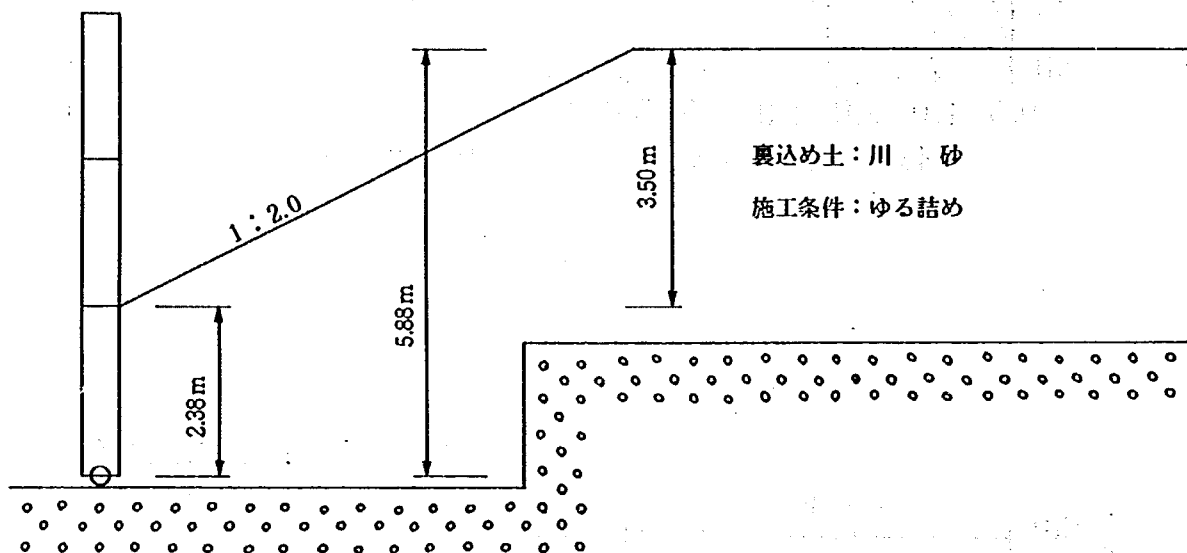


図-4.10 実験概要 (No.4)

図-4.11に盛土造成時における荷重計の測定結果から得られた土圧及び土圧三要素を示す。盛土高が壁高に達するまでの土圧の傾向は実験No.2と同様であるが、嵩上げ盛土が開始されると実験No.2に比べ土圧の増加が小さくなり、法勾配の違いが土圧に影響していることがわかる。

しかしながら、壁摩擦角や相対作用位置については、上に述べたような傾向は特に認められない。

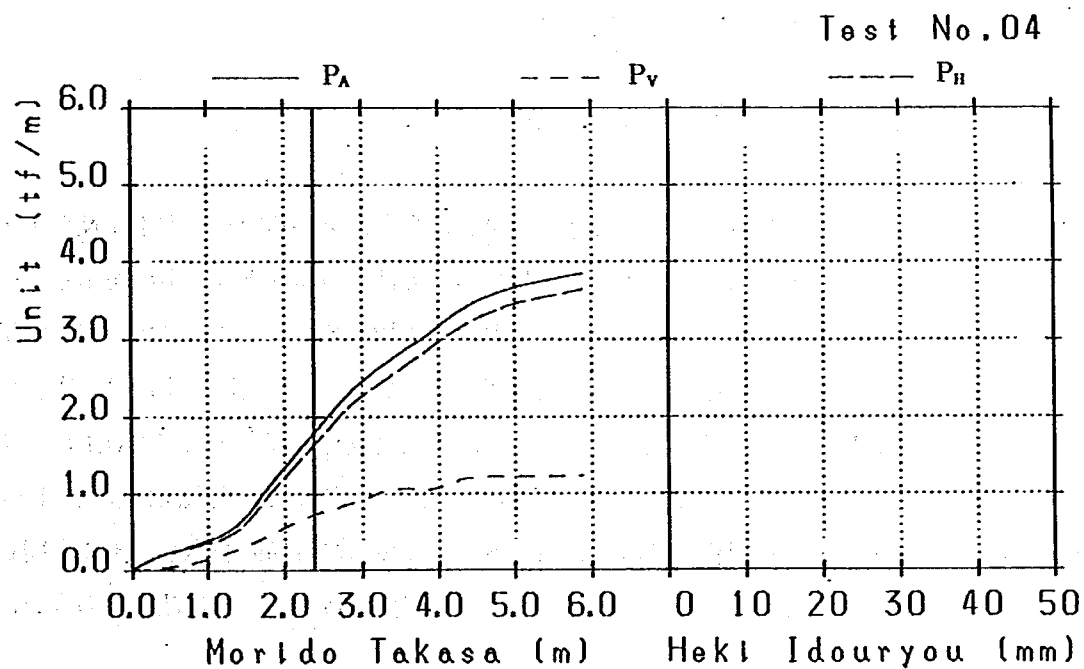
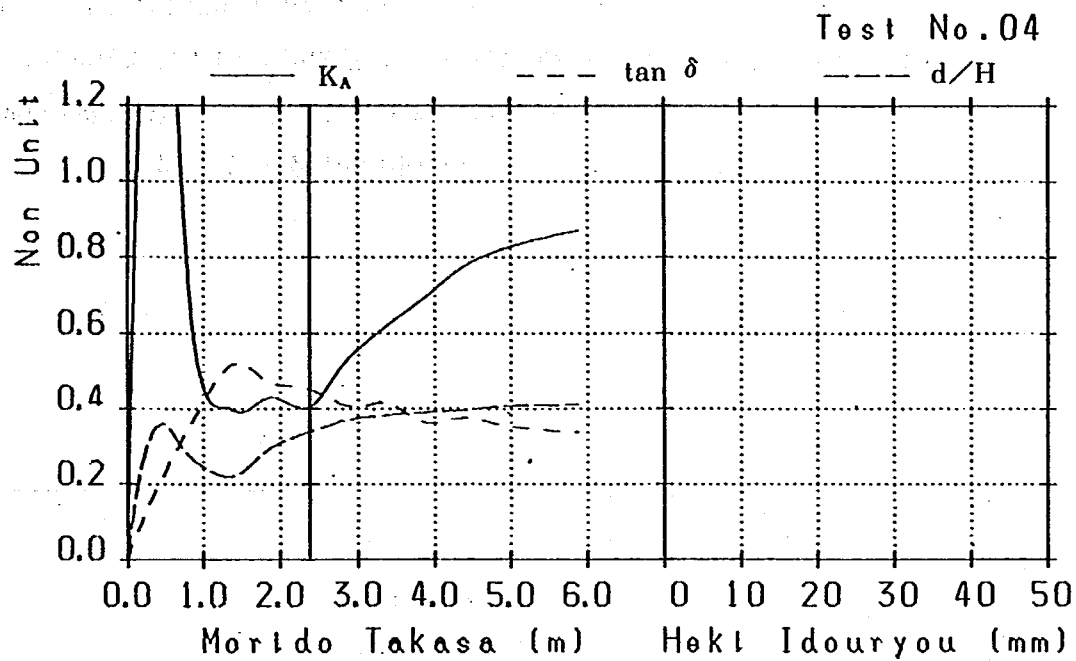


図-4.11 実験結果 (No.4)

(5) 実験その5 (No.5)

本実験は、嵩上げ盛土の形状が土圧に及ぼす影響の検討を目的として実験No.3より継続して実施した。すなわち、実験No.3の嵩上げ盛土を掘削・搬出し、新しく法勾配の異なる嵩上げ盛土を築造したものである。図-4.12に実験概要を示すが、実験壁は直壁とし、法勾配1:1.0で3.5mの嵩上げ盛土を行った。裏込め土は川砂を用い、ソイルコンパクタによる締固めを行った。裏込め盛土造成時にコアカッター法によって測定した湿潤密度 γ_t 及び含水比 w の平均値は次の通りである。

○湿潤密度 $\gamma_t = 1.749 \text{ tf/m}^3$

○含水比 $w = 9.49 \%$

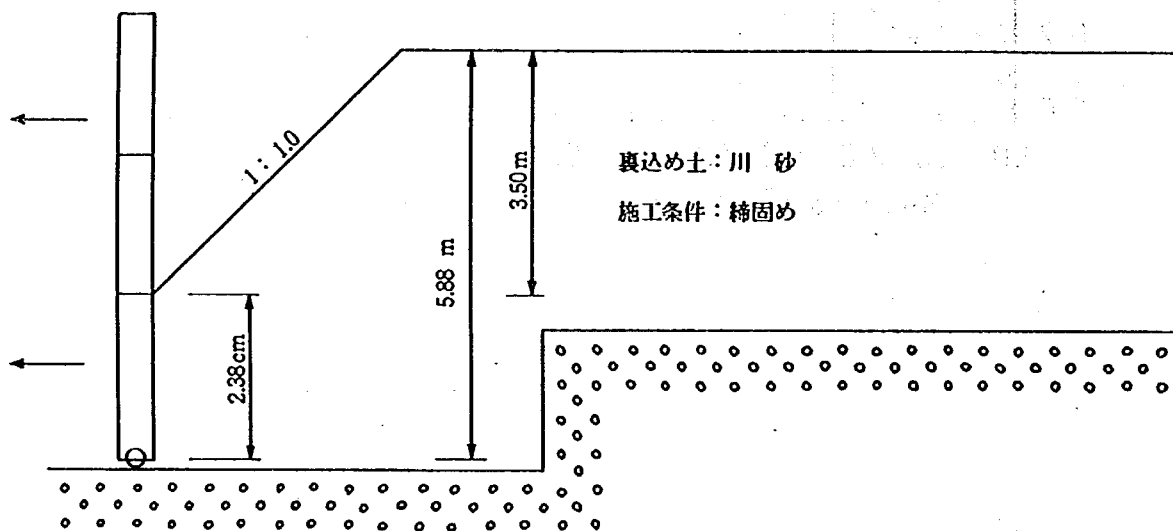


図-4.12 実験概要 (No.5)

図-4.13に盛土造成時及び実験壁移動時における荷重計の測定結果から得られた土圧及び土圧三要素を示す。なお、盛土高さが壁高に達するまでの結果については実験No.3と同じものを示している。実験壁に作用する土圧は、盛土高さが壁高を超えても着実に増加しており、これまでの実験結果において見られた嵩上げ盛土部の土圧の顕著な鈍化傾向は認められない。壁移動時の土圧は、実験No.1と同じ傾向を示し、5 mm程度の移動量で急激に減少するが、盛土完成時に存在する実験No.1の土圧測定結果との差は壁移動を行っても変化していない。相対作用位置はこれまでの実験同様壁高の1/3より高いが、実験No.1、実験No.3の相対作用位置と比較するとより高くなる傾向を示し、土圧と同じく嵩上げ盛土の法勾配の違いによる影響が認められる。一方、壁摩擦係数については法勾配の違いによる影響は認められない。

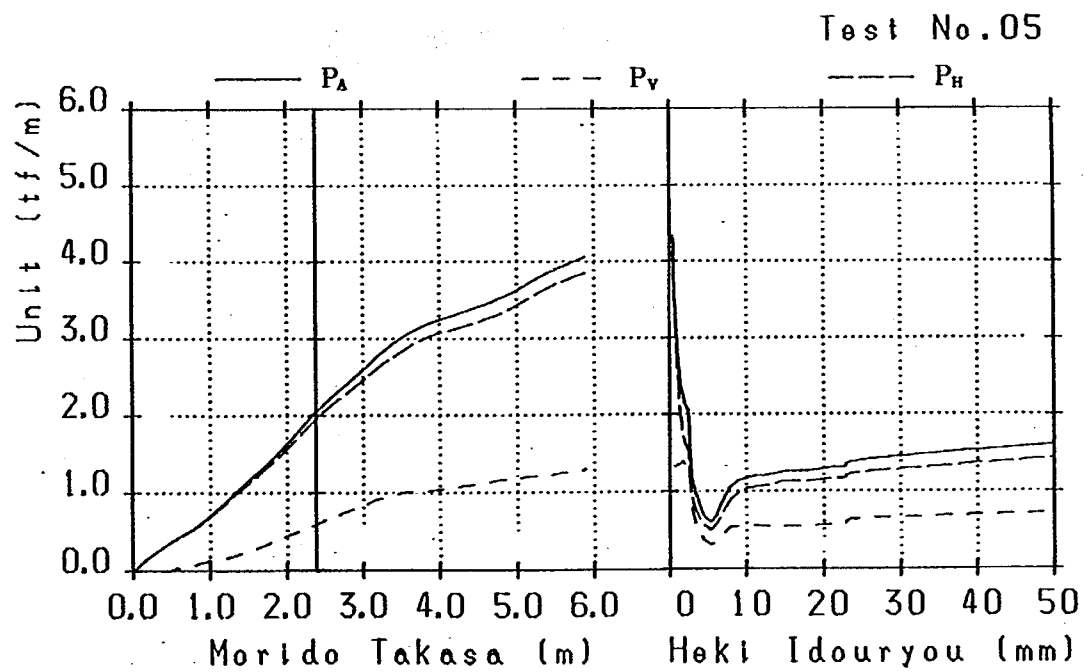
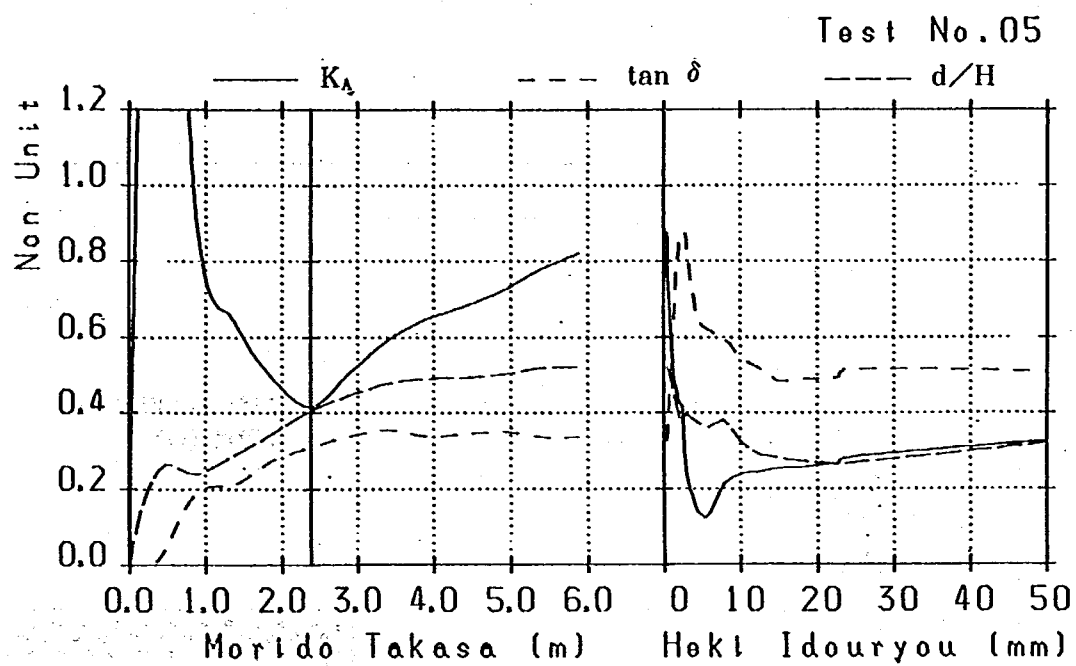


図-4.13 実験結果 (No.5)

図-4.14は壁移動に伴って裏込め盛土中に発生したすべり面の状況を示したものである。すべり面は実験壁の近傍に発生しているが、実験№1と比較すると土くさびはやや大きくなっている。この土くさびの大きさの違いによって主働時の土圧に差が生じたものと考えられる。

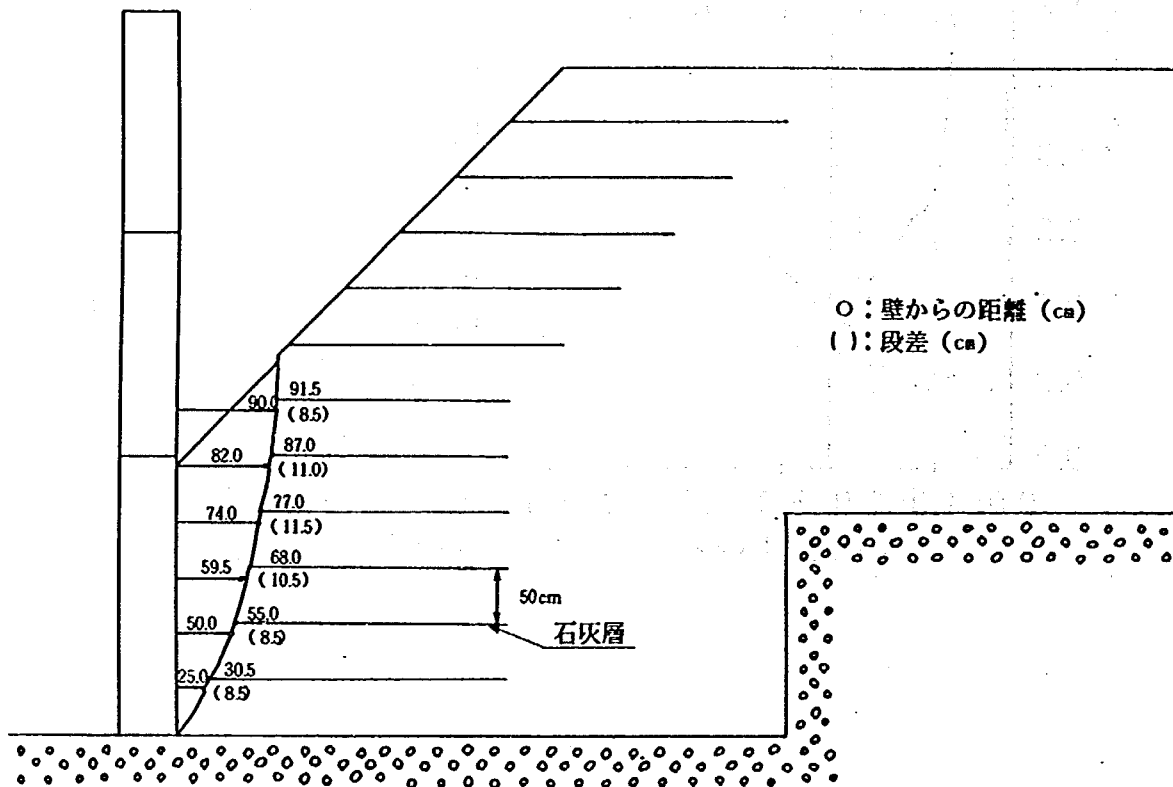


図-4.14 すべり面の発生状況 (№5)

(6) 実験その6 (No 6)

本実験は、嵩上げ盛土の形状が土圧に及ぼす影響の検討を目的として実験No 4より継続して実施した。すなわち、実験No 4の嵩上げ盛土を掘削・搬出し、新しく法勾配の異なる嵩上げ盛土を築造したものである。図-4.15に実験概要を示すが、実験壁は直壁とし、法勾配1:1.0で3.5mの嵩上げ盛土を行った。裏込め土には川砂を用い、搬入後敷均したのみで、締固めは行っていない。裏込め盛土造成時に、コアカッター法によって測定した湿潤密度 γ_t 及び含水比 w の平均値は次の通りである。

○湿潤密度 $\gamma_t = 1.562 \text{ tf/m}^3$

○含水比 $w = 9.12 \%$

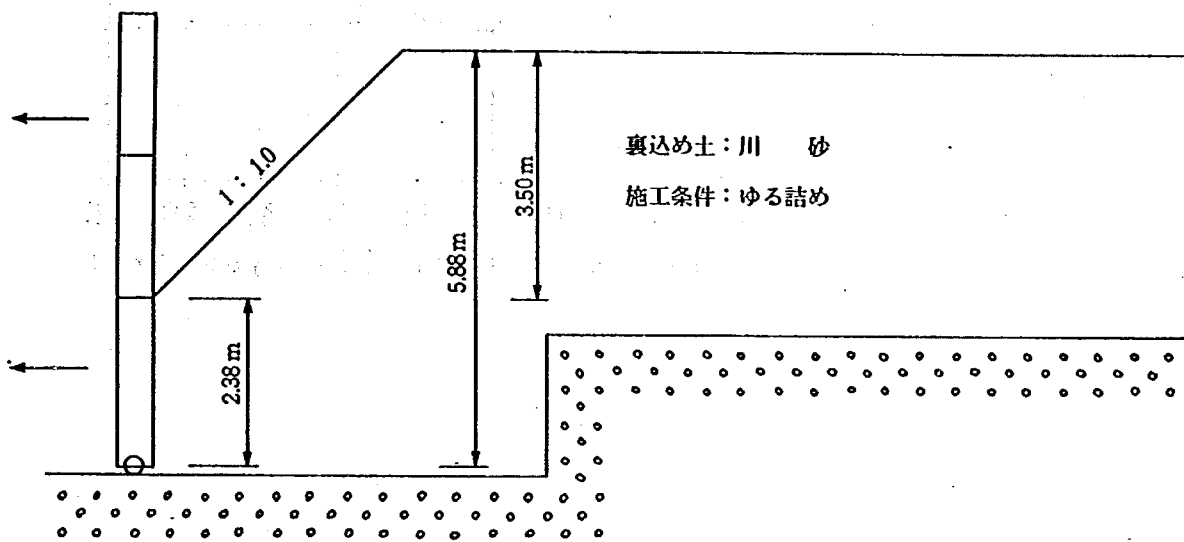


図-4.15 実験概要 (No 6)

図-4.16に盛土造成時及び実験壁移動時における荷重計の測定結果から得られた土圧及び土圧三要素を示す。なお、盛土高さが壁高に達するまでの結果については、実験No 4と同じものを示している。嵩上げ盛土が進むに従って実験壁に作用する土圧はほぼ直線的に増加し、盛土完成時の土圧は、これまでの実験結果の中で最も大きくなっている。一方、壁摩擦係数や相対作用位置については、実験No 2、実験No 4とほぼ同様の傾向を示し、法勾配の違いによる影響は特に認められない。

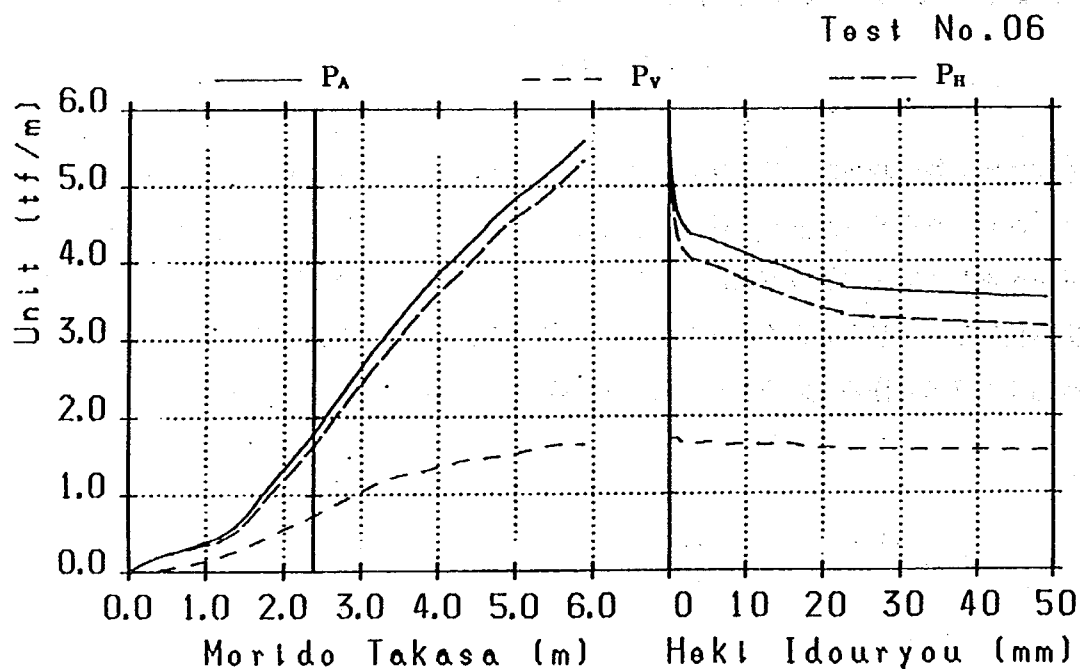
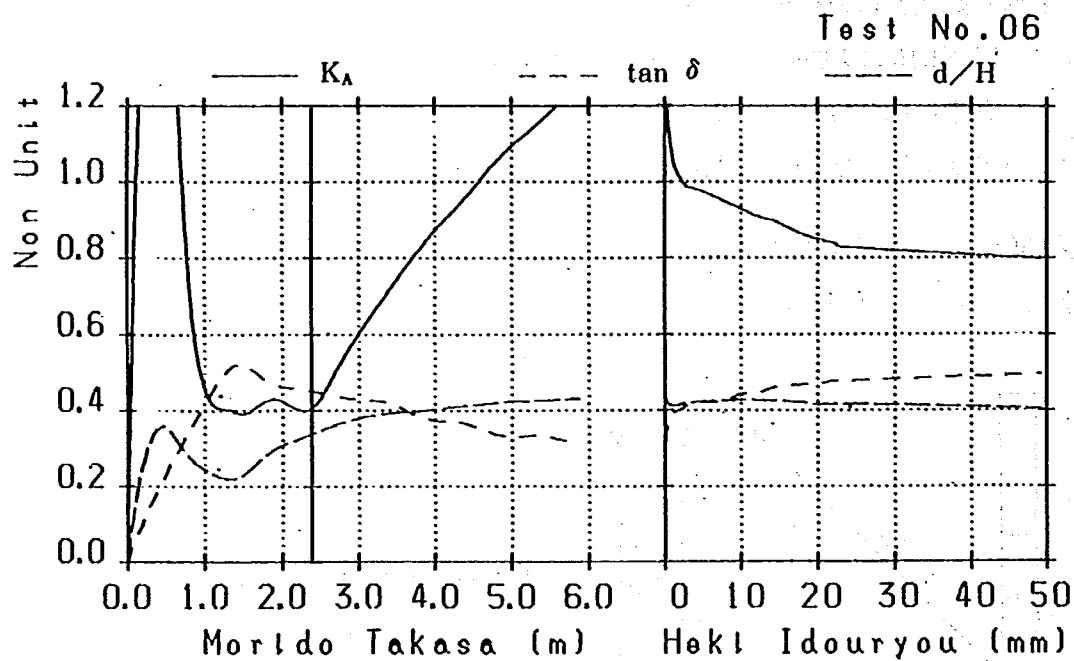


図-4.16 実験結果 (No.6)

図-4.17に、壁移動終了後の盛土の状況を示す。図から明らかなように裏込め盛土中には明確なすべり面が発生せず、石灰層に部分的な変状が認められたのみである。しかしながら、これらの変状箇所とメインクラックを結ぶと概略のすべり面が想定できようであり、このすべり面によって形成される土くさびは実験№5と比較するとかなり大きなものと考えられる。また本実験では、盛土天端の顕著な沈下が認められ、法肩で6.5cmの沈下が生じた。これはこれまでの実験、特に裏込め土の施工条件が締固めの場合には全く見られない現象である。

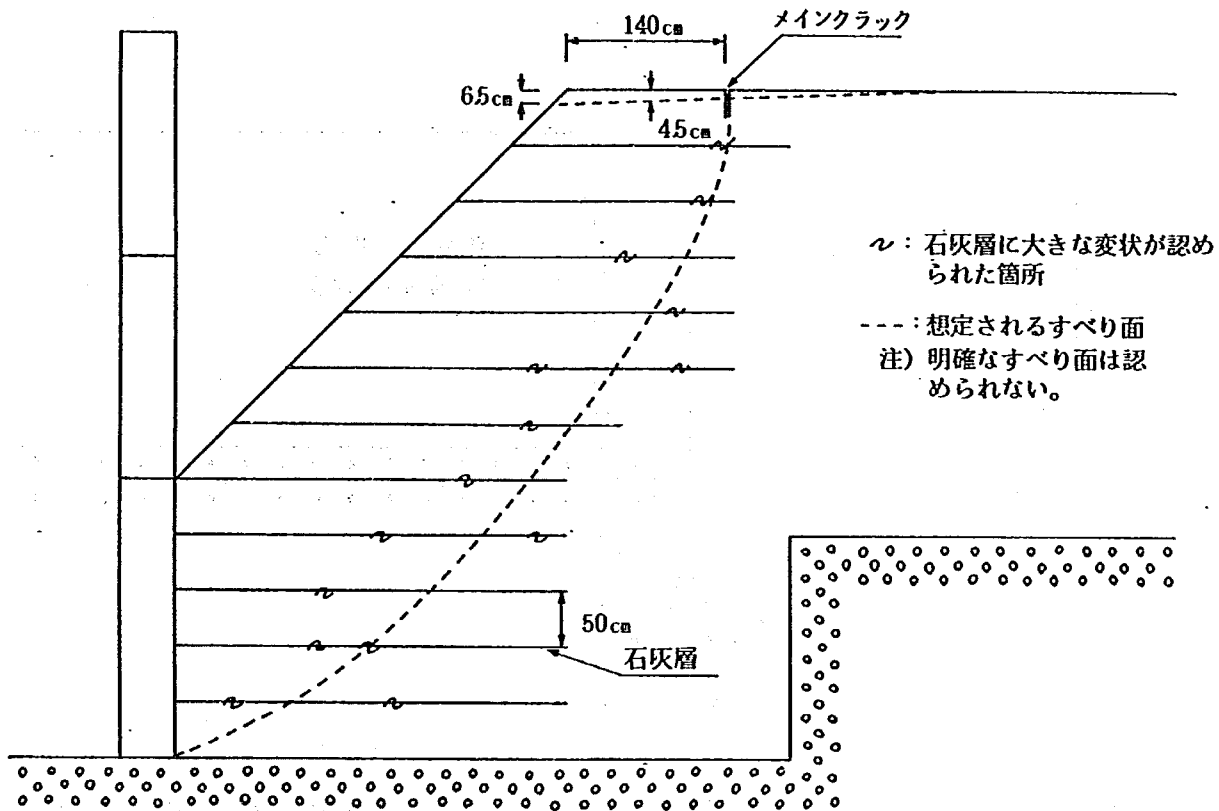


図-4.17 すべり面の発生状況 (No.6)

(7) 実験その7 (No.7)

本実験は、擁壁の形式の違いが土圧に及ぼす影響を把握することを目的として行ったものであり、実験概要を図-4.18に示す。実験壁には、もたれ式擁壁を想定した1:0.3の勾配を持つもたれ壁を用い、法勾配1:1.0で4.0mの嵩上げ盛土を行った。また裏込め土には川砂を用い、ソイルコンパクタによる締固めを行った。裏込め盛土造成時にコアカッター法によって測定した湿潤密度 γ_t と含水比 w の平均値は次の通りである。

○湿潤密度 $\gamma_t = 1.724 \text{ tf/m}^3$

○含水比 $w = 9.57 \%$

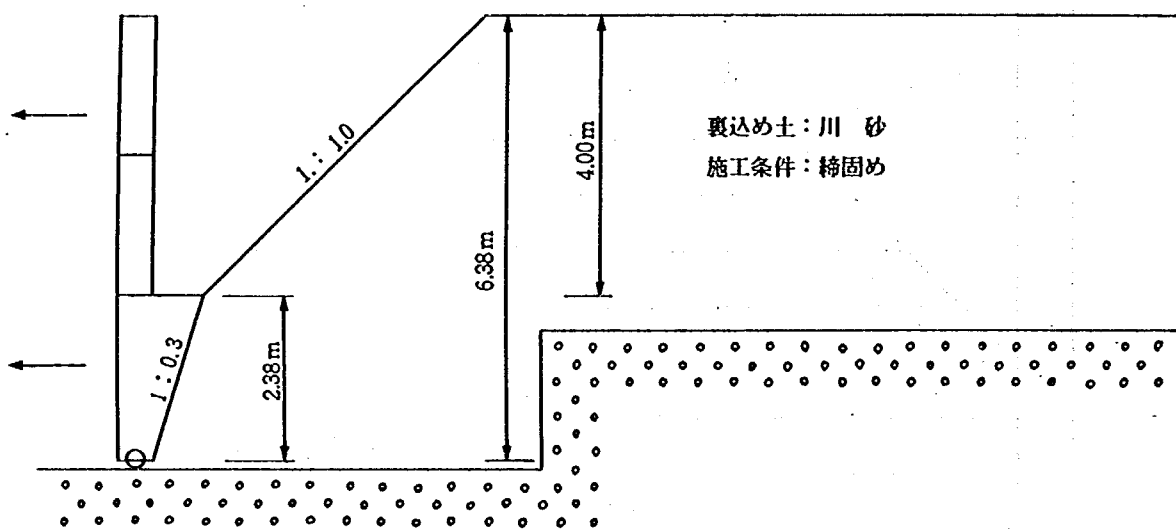


図-4.18 実験概要 (No.7)

図-4.19に盛土造成時及び実験壁移動時における荷重計の測定結果から得られた土圧及び土圧三要素を示す。裏込め盛土造成時に擁壁に作用する土圧は、盛土高が高くなるに従って単調に増加し、実験No.5とほぼ同じ傾向を示している。しかしながら壁移動時には、急激に土圧が激減し、その度合いは実験No.5よりも大きく、直壁ともたれ壁の違いによる差が認められる。ただし、土圧が十分減少するに必要な壁移動量は約4mm程度であり直壁と同様である。一方、壁摩擦係数は盛土完成時には0.6とかなり大きな値を示すが、壁移動時には、土圧の減少と同じく急激に低下する傾向が認められる。相対作用位置については、嵩上げ盛土の進行に伴って上昇を続けるが、直壁との差は明確ではない。

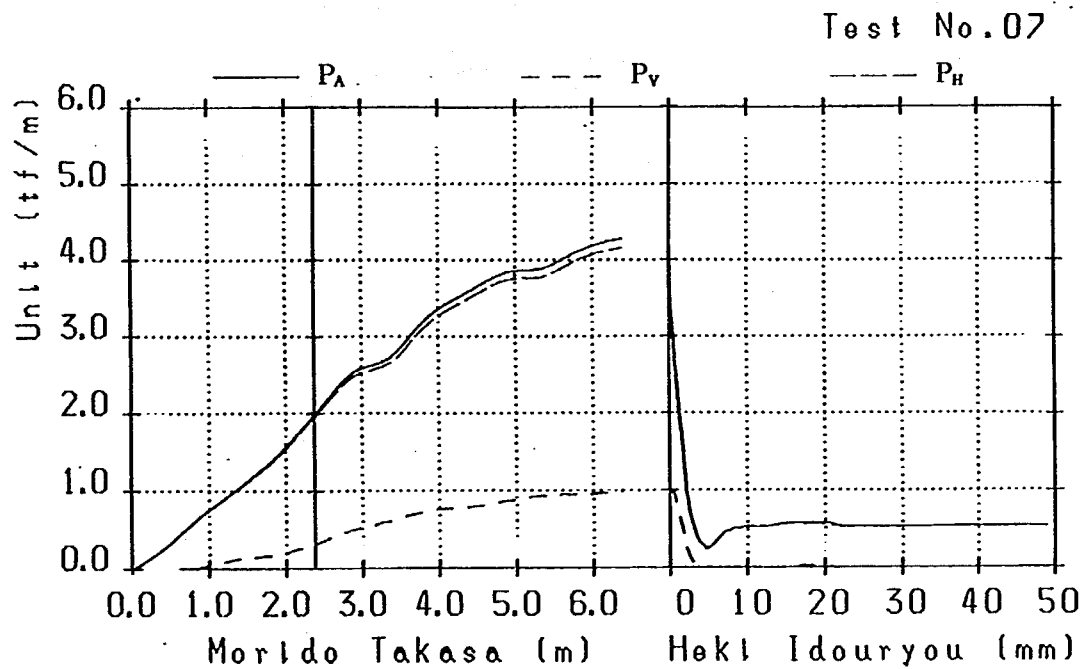
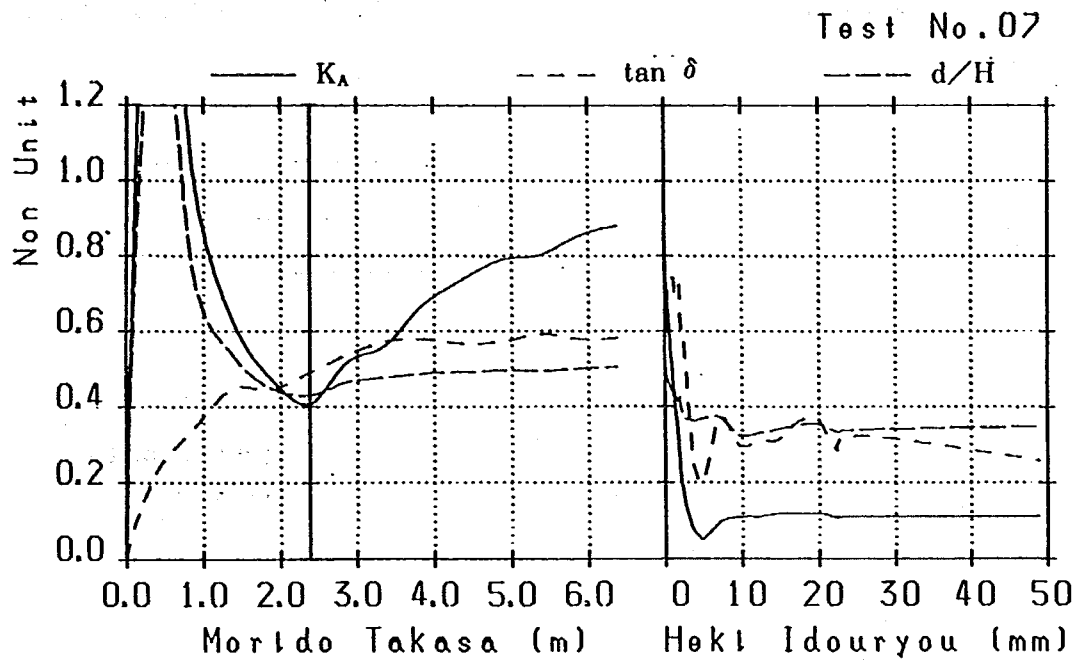


図-4.19 実験結果 (No.7)

図-4.20は、壁移動に伴って裏込め盛土中に発生したすべり面の状況を示したものである。法勾配が1:1.0と非常に急であるにもかかわらず、すべり面は実験壁の近傍に生じており、しかもすべり面によって形成される土くさびは直壁の場合よりも小さくなっている。この土くさびの大きさの違いが壁移動時の土圧の差につながるものと考えられる。

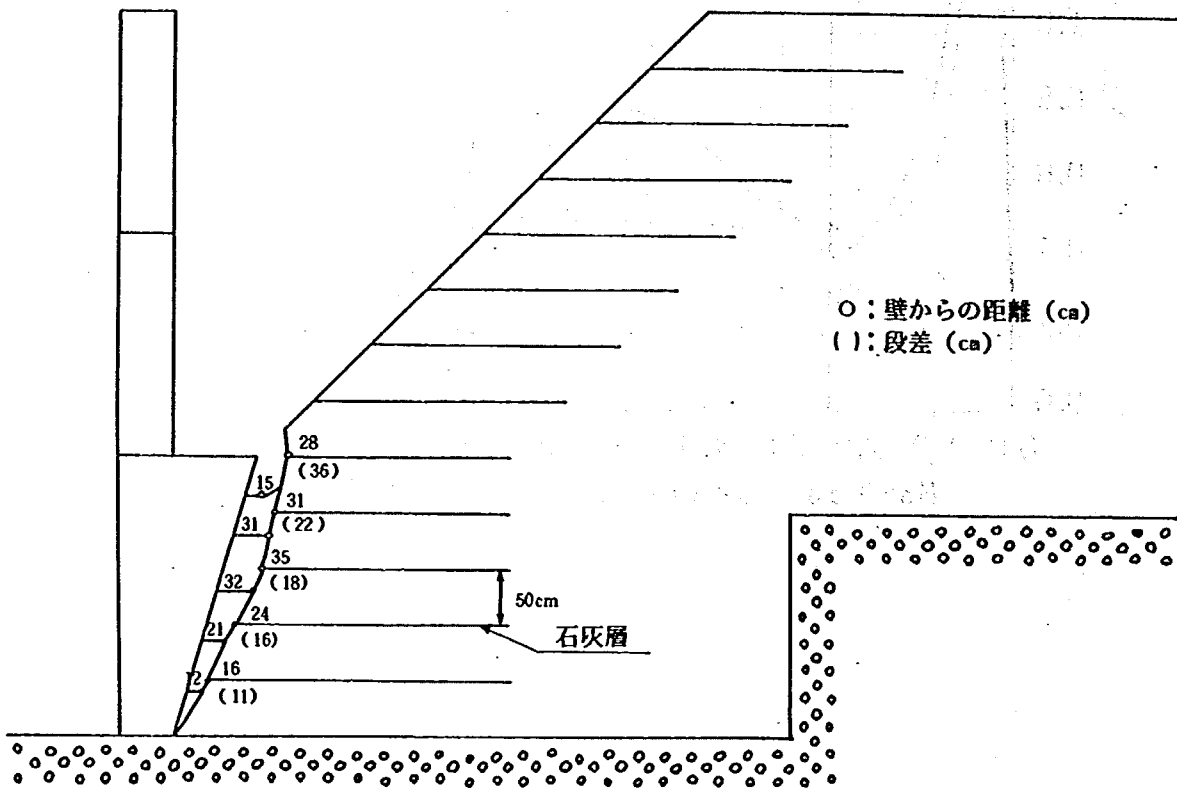


図-4.20 すべり面発生状況 (No. 7)

(8) 実験その 8 (No. 8)

本実験は、実験 No. 7 と同様の嵩上げ盛土形状とし、裏込め土の施工条件をゆる詰めとしたもので、裏込め土の施工方法の違いが土圧に及ぼす影響の把握を目的としたものである。図-4.21 に実験概要を示すが、実験壁は 1 : 0.3 の勾配を持つたれ壁とし、法勾配 1 : 1.0 で 4.0m の嵩上げ盛土を行った。裏込め土には川砂を用い、搬入後は敷均しのみで締固めは行っていない。裏込め盛土造成時にコア Cutter 法によって測定した湿潤密度 γ_t 及び含水比 w の平均値は次の通りである。

○湿潤密度 $\gamma_t = 1.561 \text{ tf/m}^3$

○含水比 $w = 9.36 \%$

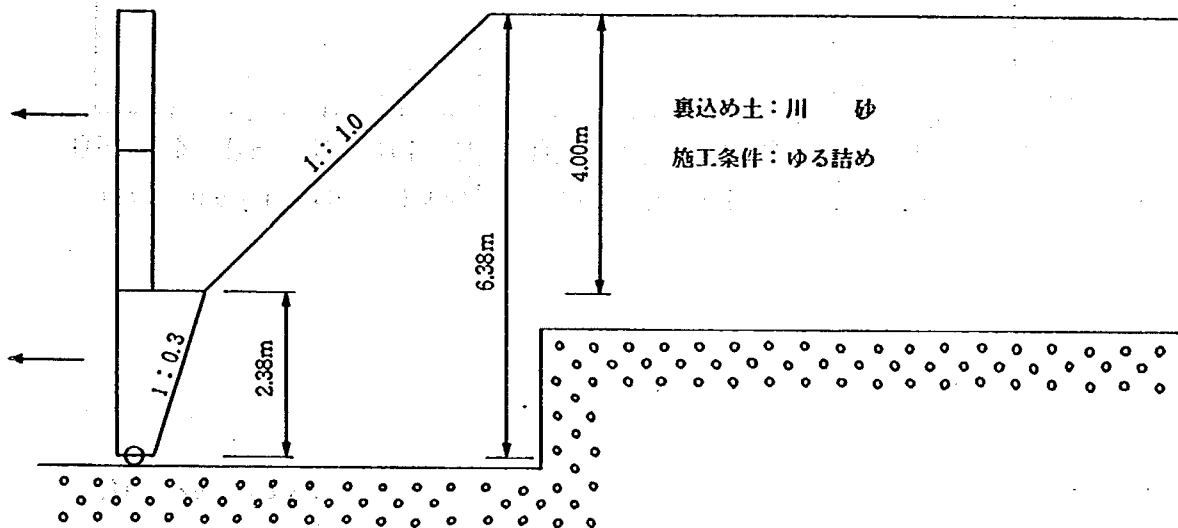


図-4.21 実験概要 (No. 8)

図-4.22 に盛土造成時及び実験壁移動時における荷重計の測定結果から得られた土圧及び土圧三要素を示す。盛土造成時の土圧は、盛土高さが壁高を超えてもその増加傾向が衰えず、直壁に関する実験において認められたのと同様、裏込め土の施工条件の違いが土圧に影響を及ぼすことがわかる。また壁移動時においても急激な土圧の変化は認められず、土圧の減少傾向が収束するには約 23mm 程度の移動量を必要としている。一方、相対作用位置については盛土完成時において、0.43 程度であり、設計土圧における相対作用位置よりはかなり高いものの、実験 No. 7 と比較するとやや低い結果となっている。壁摩擦係数については、嵩上げ盛土の進行に伴ってむしろ低下する傾向が認められる。

図-4.23 は、壁移動終了の裏込め盛土の状況を示したものである。図から明らかなように、盛土中には明確なすべり面が認められず、盛土天端にクラックが発生するとともに、盛土天端に沈下が生じたのみであった。

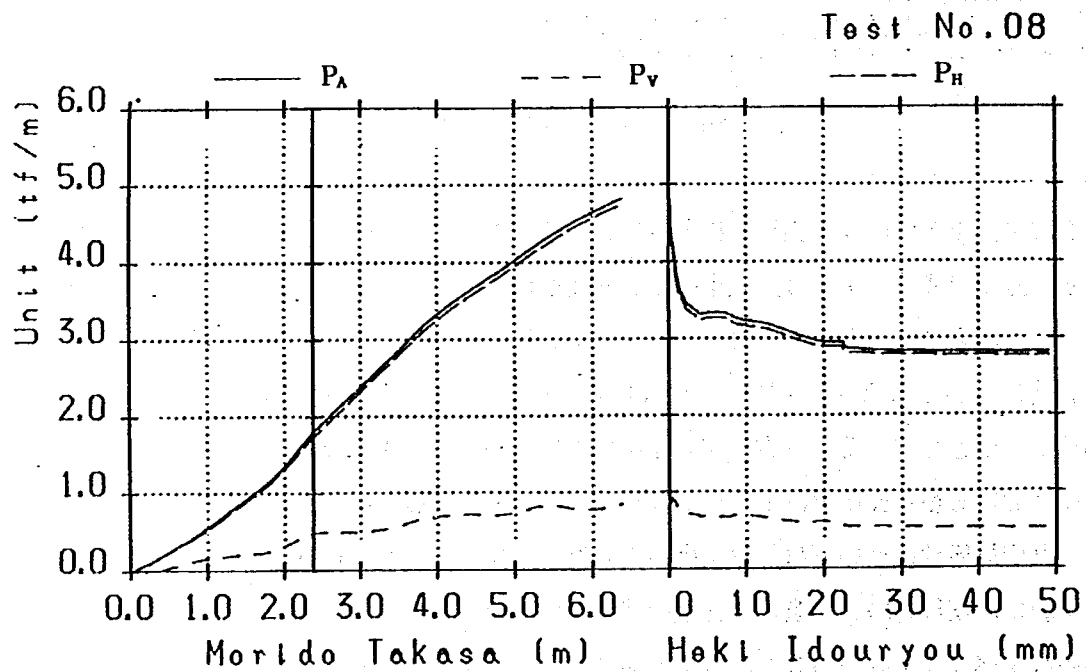
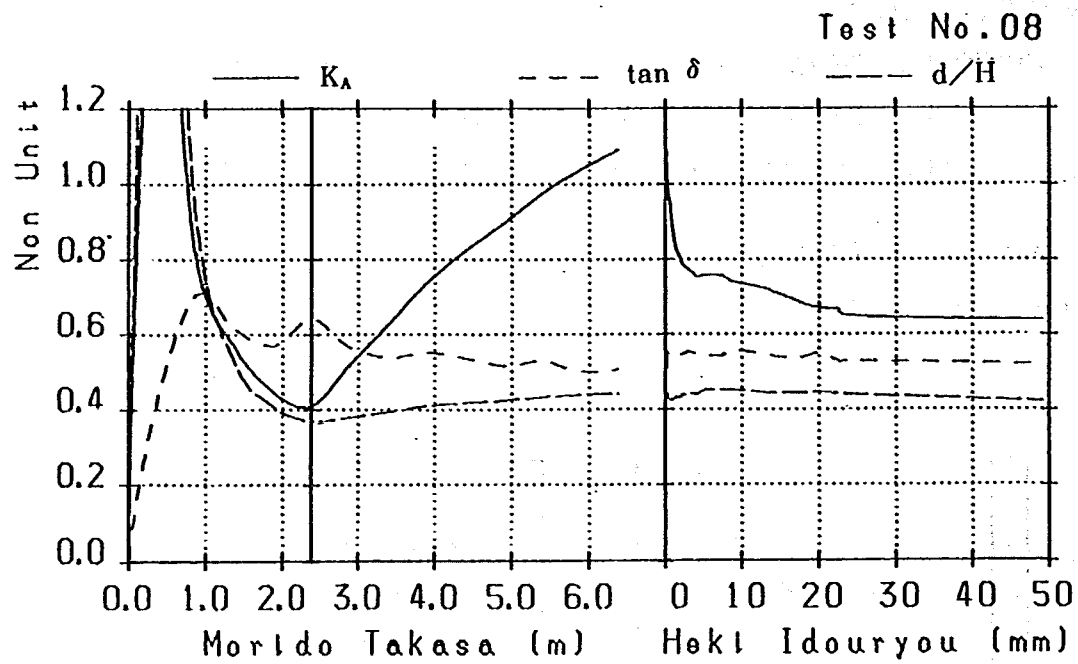


図-4.22 実験結果 (No.8)

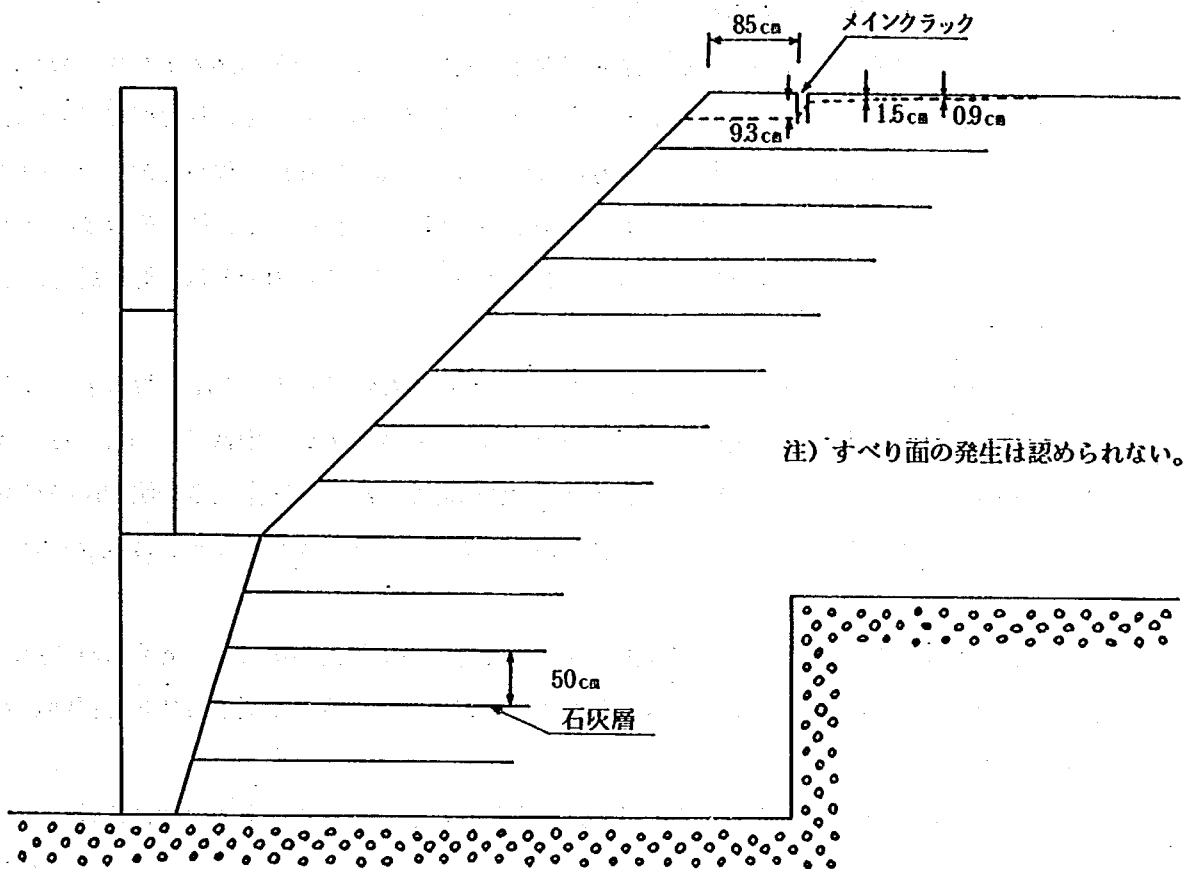


図-4.23 すべり面発生状況 (No. 8)

4-3 考 察

「4-2 実験結果」において各実験の概要を個々に述べたので、ここではこれらの実験結果の比較を通して土圧に影響を及ぼす要因について検討を加えることとする。

(1) 嵩上げ盛土形状の影響

実験No. 1 から実験No. 6 では、直壁を対象として嵩上げ盛土勾配や裏込め土の施工条件を変えた土圧実験を行った。図-4.24は、これらの実験結果を土圧合力と盛土高さ及び壁移動量の関係として示したものである。盛土造成時の土圧合力は、盛土高さが壁高に達するまでは一般に裏込め土の施工条件が締固めの場合の方が、ゆる詰めの場合よりも大きな結果となっている。これは盛土高さが低い場合は裏込め土の締固めによる影響が残っていると考えられるためであり、従来実施した実験壁の高さが5 m程度の実験においても同様の傾向が認められた。一方、嵩上げ盛土が開始されると両者の関係は逆転し、一般にゆる詰めの方が締固めた場合よりも土圧合力が大きくなる。これらのことから、嵩上げ盛土を有する擁壁においても、裏込め土の施工の良否すなわち締固めの程度が土圧合力に及ぼす影響は非常に大きいことがわかる。

次に嵩上げ盛土の法勾配の違いに着目すると、盛土高さが壁高を超えた付近からその影響が認められる。ゆる詰めの場合は法勾配の違いによる土圧合力の差が特に顕著であり、法勾配が急になると土圧合力も大きくなることがわかる。一方、締固めた場合についてもゆる詰めの場合ほど顕著ではない

が、法勾配が急になると土圧合力も大きくなる傾向が認められる。

壁移動時の土圧合力の挙動は、締固めとゆる詰めで大きく異なる。すなわち裏込め土を締固めた場合は、約5mmの壁移動（壁高の約1/500）によって土圧合力が急激に減少し、その後は壁移動量の増加に伴って徐々に増加する傾向が認められる。一方ゆる詰めの場合は、壁移動に伴う急激な土圧の減少は認められず、土圧の減少傾向が収束するのに約25mmの移動量を必要としており、その後の土圧の変化は非常に少ない。また盛土完成時における法勾配の違いによる土圧合力の差は、壁移動時にもほとんど変化していない。

図-4.25は、土圧係数と嵩上げ比及び壁移動量の関係を示したものである。土圧係数の挙動は土圧合力と同様の傾向を示しており、本実験のように壁の移動が拘束されている場合（実測によると盛土完成時までには約0.6mmの移動が生じた）には静止土圧状態に近く、嵩上げ盛土高さや法勾配の影響を強く反映している。また壁移動時の土圧係数も裏込め土の締固め程度によりその挙動は大きく異なる。

実際の擁壁では、裏込め盛土施工中及び完成後を通じて幾分かの壁移動が生じると考えられるが、これらの実験結果は締固めの重要性を示唆するとともに、許容変位量の設定に関する情報を提供しているものと考えられる。

図-4.26は壁摩擦係数と嵩上げ比及び壁移動量の関係を示したものである。土圧係数に比較して、壁摩擦係数は嵩上げ盛土の法勾配や裏込め土の締固め度合による影響が小さく、むしろ嵩上げが進むに従って減少する傾向が認められる。また盛土時の壁摩擦係数は約0.3～0.45の水準で推移しており、これは実務上使用されている $\delta=2/3\phi$ 程度に相当している。一方、壁移動時には法勾配の影響はそれほど顕著でないが、締固めの度合によって大きく異なった挙動を示す。すなわちゆる詰めの場合には、壁移動量の増加とともに壁摩擦係数は緩やかに増加するのに対して、締固めた場合は土圧合力が最小になる移動量（約5mm）のやや手前の移動量に達するまでは急激に増加し、その後減少する傾向を示す。この急激な壁摩擦係数の増加は、壁移動に伴って盛土中に発生したすべり面によって形成された土くさびが壁面に沿ってすべり落ちようとしていることを反映したものと考えられる。またゆる詰めの場合の挙動は裏込め盛土中に明確なすべり面が発生しなかったこととも合致するものと思われる。

図-4.27は相対作用位置と嵩上げ比及び壁移動量の関係を示したものである。嵩上げ盛土前の相対作用位置は、ゆる詰めの場合概ね1/3程度であるが、締固めた場合は0.4程度と約0.06程度の差が見られる。嵩上げ高さが高くなると相対作用位置は両者とも増加し、ゆる詰めの場合で0.42程度、締固めた場合で0.5前後となるが、両者の差は嵩上げ前と比較してそれほど変化していない。また僅かではあるが法勾配の違いによる影響も認められ、法勾配が急なほど相対作用位置が高くなる傾向が見られる。壁移動時については、ゆる詰めの場合はほとんど変化しないが、締固めた場合は一般に低下する傾向が見られる。

凡例 図-4.24, 図-4.25に共通

- 実験№5 (法勾配 1:1.0, 締め)
- 実験№6 (法勾配 1:1.0, ゆるめ)
- △-△ 実験№1 (法勾配 1:1.5, 締め)
- △-△ 実験№2 (法勾配 1:1.5, ゆるめ)
- 実験№3 (法勾配 1:2.0, 締め)
- 実験№4 (法勾配 1:2.0, ゆるめ)

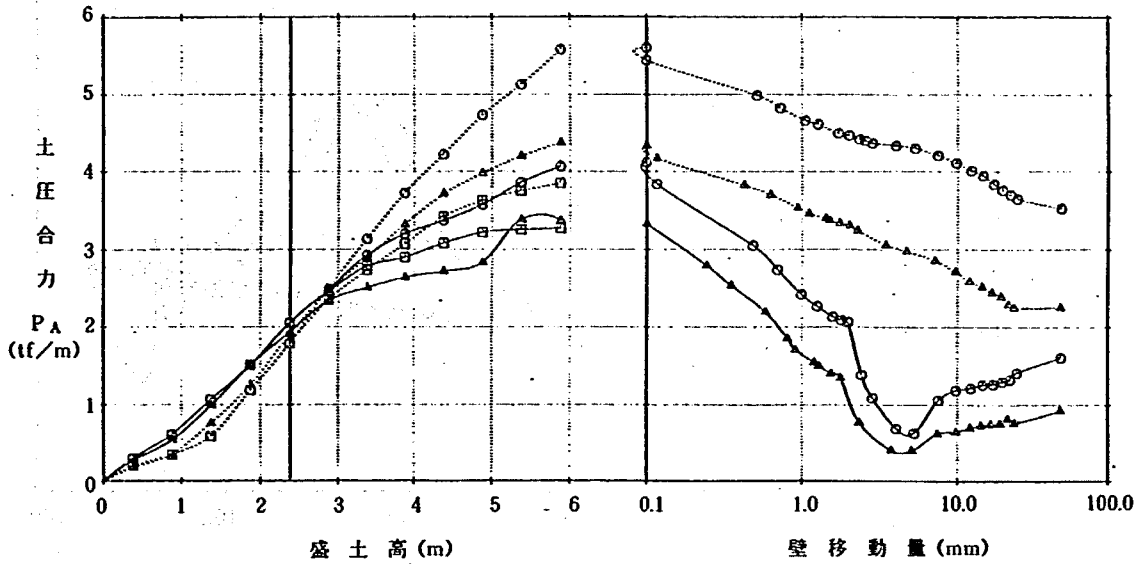


図-4.24 土圧合力と盛土高, 壁移動量の関係 (直壁)

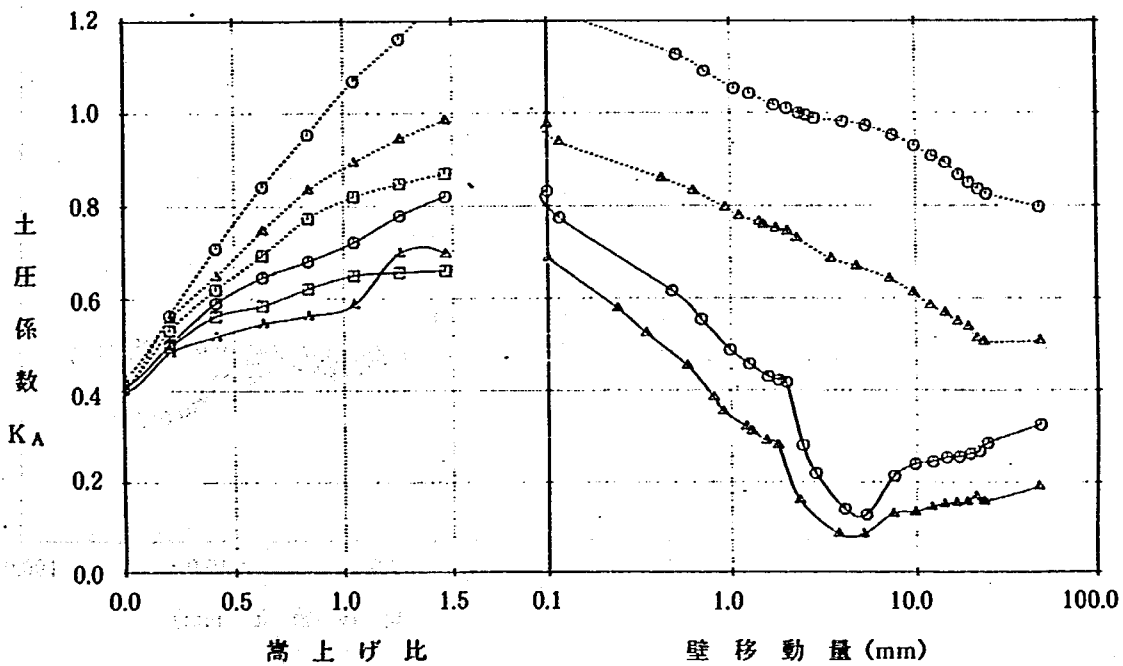


図-4.25 土圧係数と嵩上げ比, 壁移動量の関係 (直壁)

凡例 図-4.26, 図-4.27に共通

- 実験№5 (法勾配1:1.0, 締固め)
- 実験№6 (法勾配1:1.0, ゆる詰め)
- △-△ 実験№1 (法勾配1:1.5, 締固め)
- △-△ 実験№2 (法勾配1:1.5, ゆる詰め)
- 実験№3 (法勾配1:2.0, 締固め)
- 実験№4 (法勾配1:2.0, ゆる詰め)

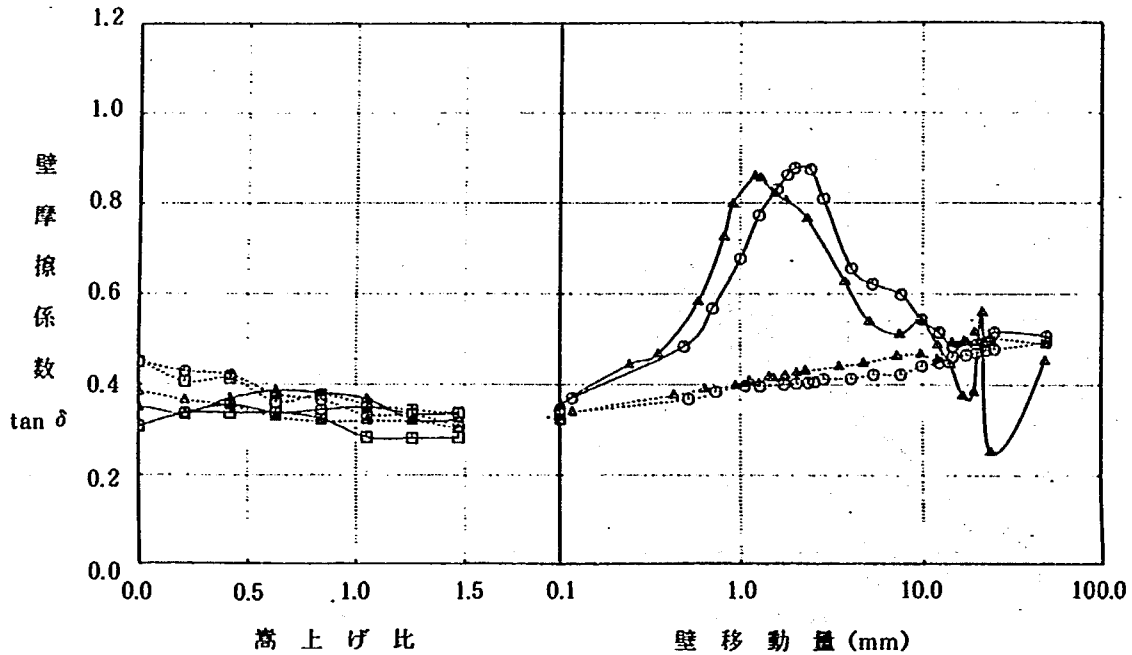


図-4.26 壁摩擦係数と嵩上げ比, 壁移動量の関係 (直壁)

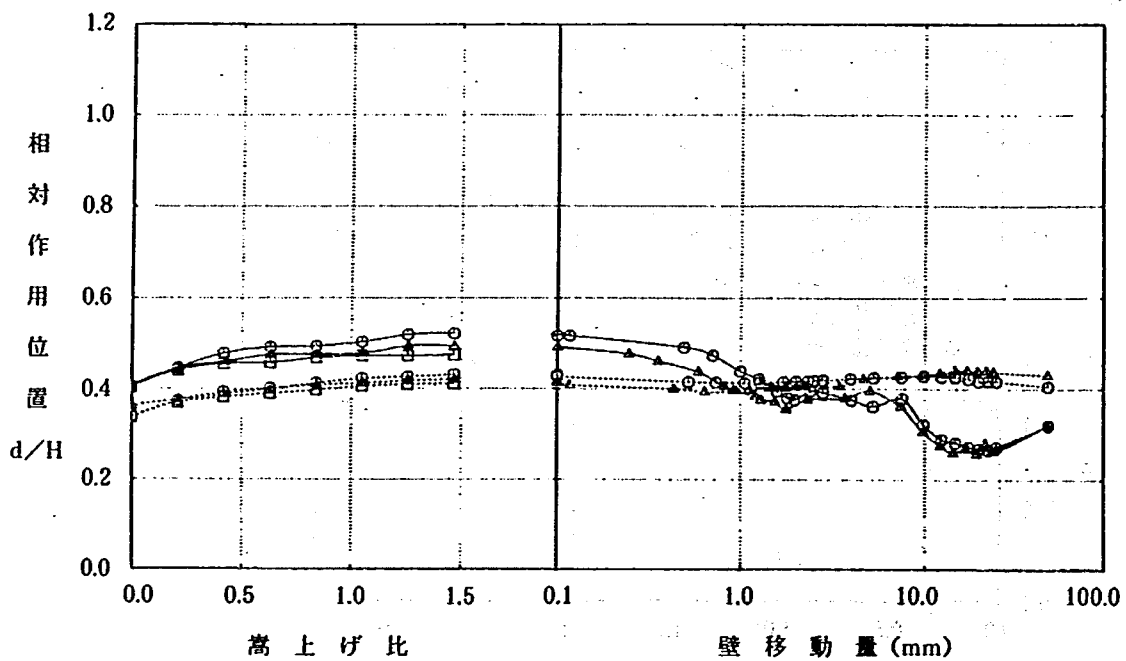


図-4.27 相対作用位置と嵩上げ比, 壁移動量の関係 (直壁)

(2) 擁壁形状の影響

実験No 5 から実験No 8 では、法勾配が 1 : 1.0 の嵩上げ盛土を行い、実験壁の形状を変えた土圧実験を行った。図-4.28 に土圧合力と盛土高さ及び壁移動量の関係を示す。直壁ともたれ壁の土圧性状の違いに注目すると、盛土造成時には締固めた場合は両者はほぼ同じ傾向を示すのに対して、ゆる詰めの場合は両者とも締固めた場合よりも土圧は大きくなるが、もたれ壁の方が土圧合力は小さくなっていることがわかる。すなわちもたれ式擁壁では、裏込め土の締固め度合が盛土時の土圧に及ぼす影響は直壁に比較してかなり小さいと言える。一方、壁移動時には締固めの程度によって土圧の挙動が大きく異なり、締固めが不十分な場合には急激な土圧の減少が認められない。またゆる詰めの場合の壁移動に伴う土圧の減少傾向は壁の種類によって差が認められないのに対して、締固めた場合は直壁よりももたれ壁の方が土圧の減少の度合が大きく、もたれ式擁壁の特徴が窺える。

図-4.29 は土圧係数と嵩上げ比及び壁移動量の関係を示したものである。土圧係数の挙動は当然のことながら、土圧合力と類似の傾向を示している。また主働土圧状態に達したと考えられるまでに必要な壁移動量は実験壁の種類にかかわらずほぼ同じである。

図-4.30 は壁摩擦係数と嵩上げ比及び壁移動量の関係を示したものである。嵩上げ盛土時の壁摩擦係数は壁の種類によって大きく異なり、一般にもたれ壁が 0.5 ~ 0.6 程度と直壁の 0.3 ~ 0.35 程度と比較してかなり大きな値を示している。また壁の種類に関係なく、ゆる詰めの場合には嵩上げ盛土の進行に伴って壁摩擦係数が低下する傾向が見られる。壁移動時の壁摩擦係数は、締固めた場合直壁では主働土圧状態のやや手前で最大値を示すのに対して、もたれ壁では直壁ほど明確なピークは存在せず、むしろ減少傾向が強い。このことは、許容変位量との関連もあるが、もたれ式擁壁においては盛土造成時の壁摩擦係数が常に確保される保証のないこと示唆するものであり、現行の擁壁設計において用いられている壁摩擦係数程度を考えるのが妥当と思われる。

図-4.31 は相対作用位置と嵩上げ比及び壁移動量の関係を示したものである。相対作用位置については、土圧係数や壁摩擦係数のように直壁ともたれ壁の差がほとんど認められず、裏込め土の締固めの度合による影響を強く受けていることがわかる。

凡例 図-4.28, 図-4.29に共通

- 実験№5 (直壁, 法勾配1:1.0, 締固め)
- 実験№6 (直壁, 法勾配1:1.0, ゆる詰め)
- △-△ 実験№7 (もたれ壁, 法勾配1:1.0, 締固め)
- △-△ 実験№8 (もたれ壁, 法勾配1:1.0, ゆる詰め)

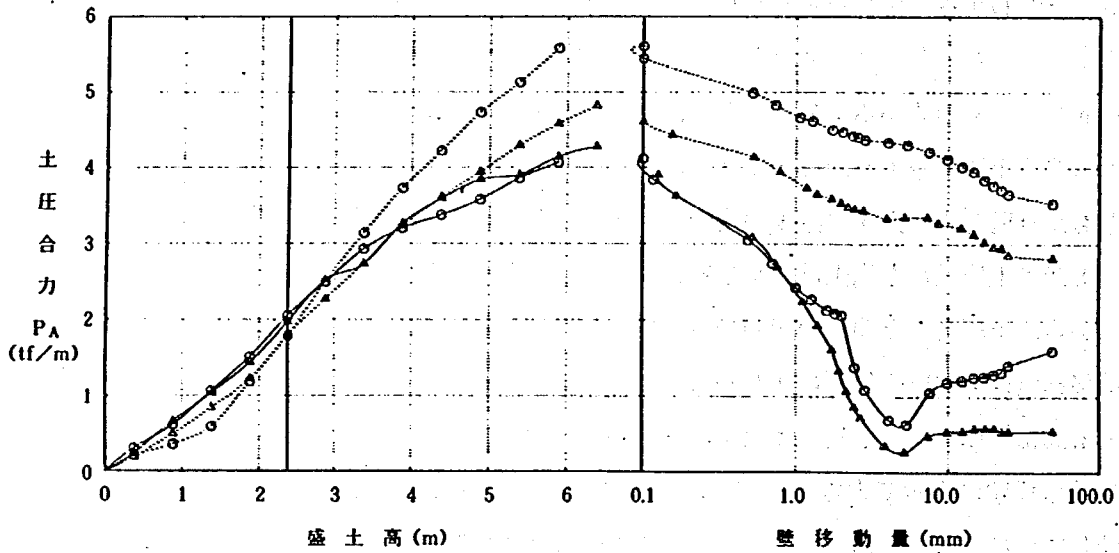


図-4.28 土圧合力と盛土高さ, 壁移動量の関係 (直壁ともたれ壁)

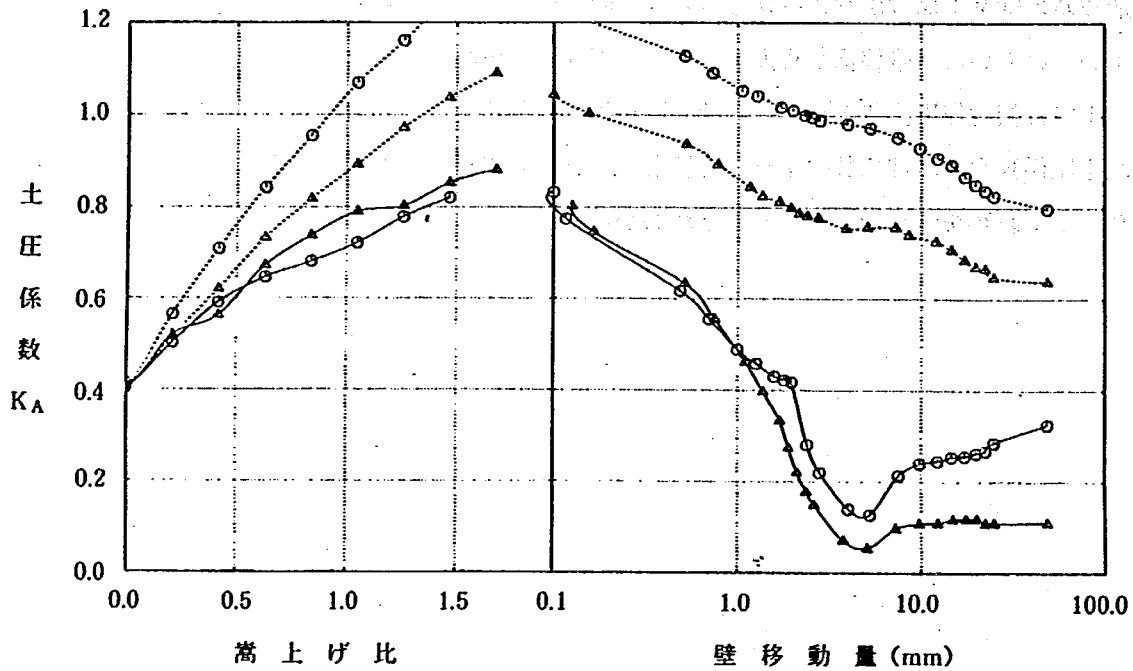


図-4.29 土圧係数と嵩上げ比, 壁移動量の関係 (直壁ともたれ壁)

凡例 図-4.30, 図-4.31に共通

- 実験№5 (直壁, 法勾配1:1.0, 締固め)
- 実験№6 (直壁, 法勾配1:1.0, ゆる詰め)
- △-△ 実験№7 (もたれ壁, 法勾配1:1.0, 締固め)
- △-△ 実験№8 (もたれ壁, 法勾配1:1.0, ゆる詰め)

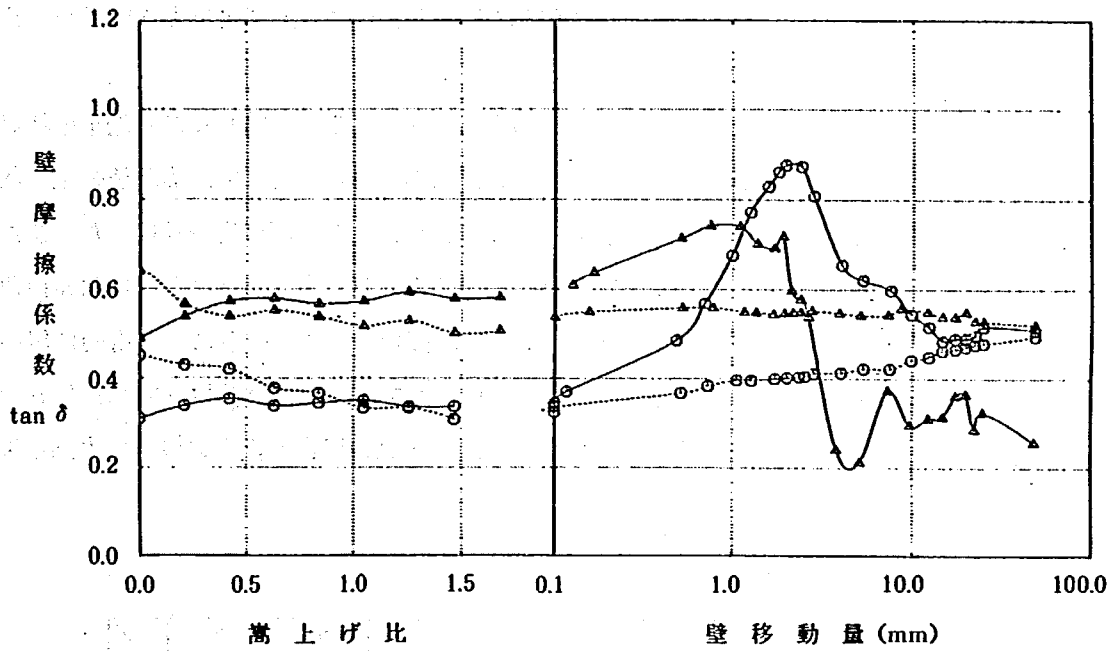


図-4.30 壁摩擦係数と嵩上げ比, 壁移動量の関係 (直壁ともたれ壁)

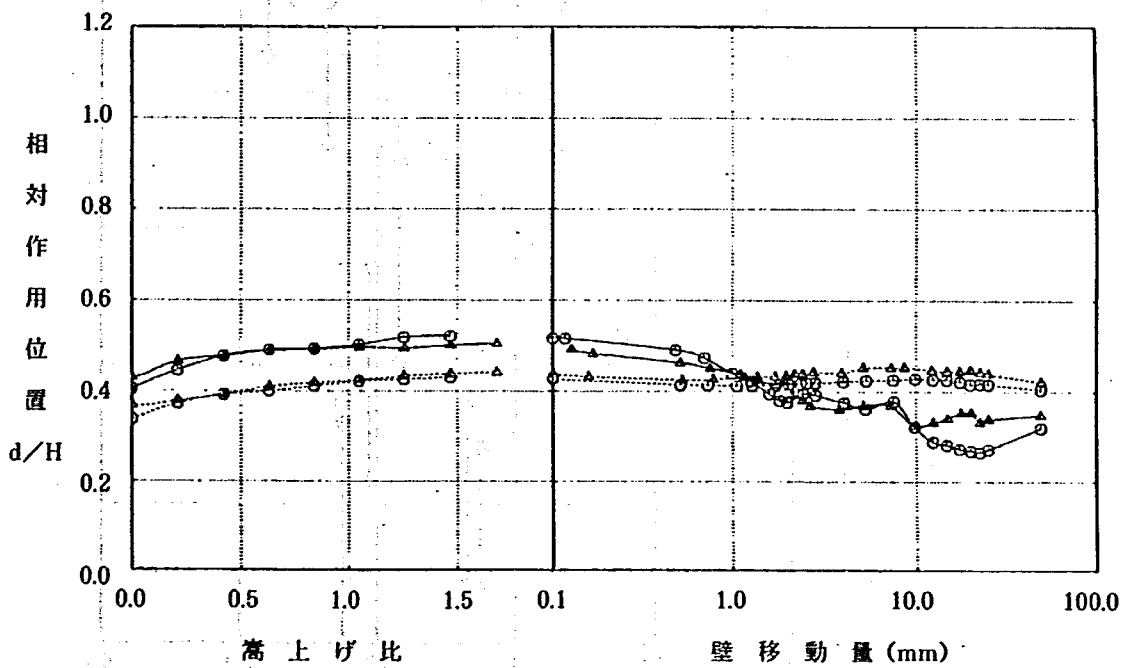


図-4.31 相対作用位置と嵩上げ比, 壁移動量の関係 (直壁ともたれ壁)

(3) 現行の設計土圧との比較

盛土部に設置する擁壁においては、設計に必要な土圧の算定には、クーロン系の図解法である試行くさび法やテルツァギ・ペックの土圧図表が使用されることが多い。ここではこれらの土圧算定法のうち、試行くさび法によって算定した土圧と実測された土圧との比較を試みることにする。なお、試行くさび法による計算値を実測結果との比較に用いたのは、テルツァギ・ペックの土圧図表では嵩上げ比が1.0を適用の限界としていることから、本実験におけるように嵩上げ比が大きい場合は比較の対象となり得ないためである。

図-4.32は、実験No.1から実験No.8における裏込め盛土完成時（ピーク時）及び主働土圧状態での土圧合力と、試行くさび法による計算値を対比して示したものである。ここで、実測値の主働状態における土圧合力は、壁移動量が10mmに達するまでに記録された最小の土圧合力を採用した。また計算値については上下の範囲があるが、これは土質試験結果から得られた表-4.2に示す内部摩擦角 ϕ 及び粘着力 c を用いた計算結果（壁摩擦角 $\delta = 2/3\phi$ ，壁付着力 $c' = 0$ ）を下に、慣用的に用いられる ϕ （ここではゆる詰め： $\phi = 25^\circ$ ，締固め： $\phi = 40^\circ$ ）のみを用いた計算結果（壁摩擦角 $\delta = 2/3\phi$ ）を上を示したものである。また湿潤単位体積重量は、いずれの場合も盛土造成時の実測結果を用いた。

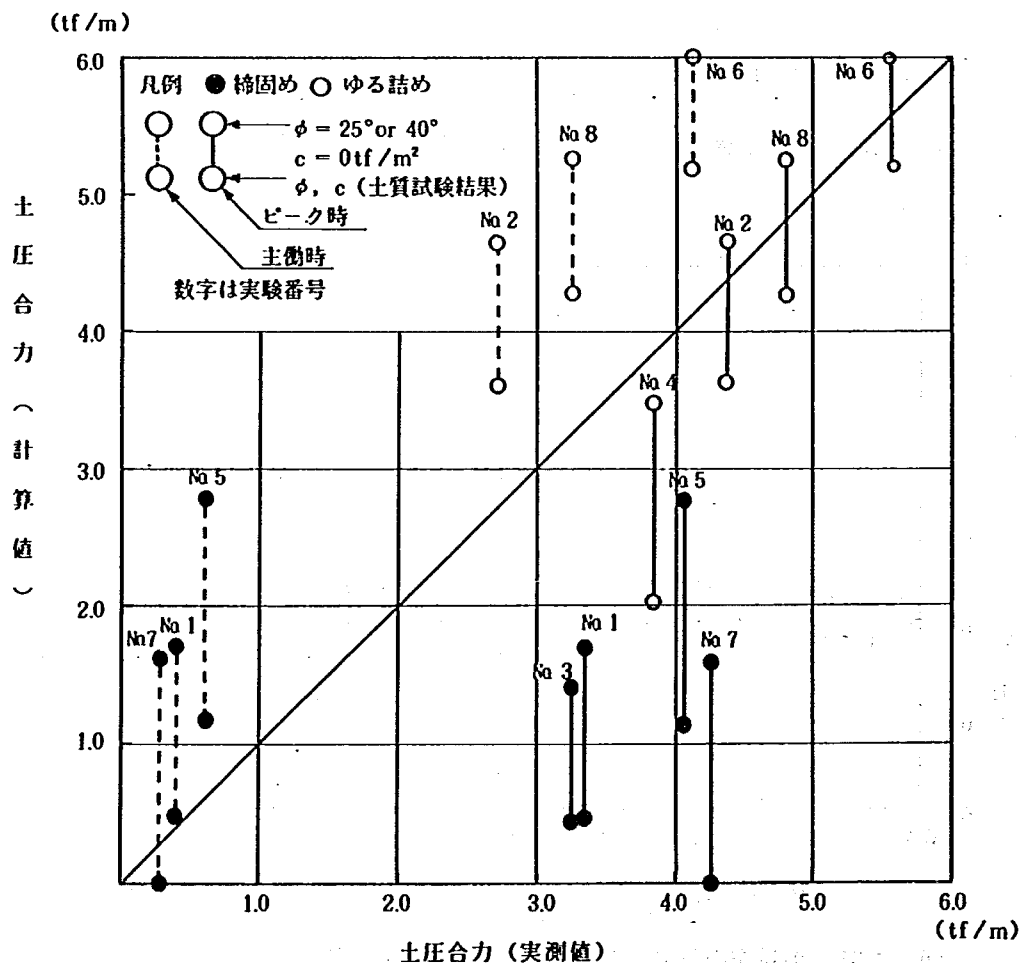


図-4.32 試行くさび法と実測値の比較

図-4.32において、まず実測値に注目すると、施工条件によってその傾向が全く異なる。すなわち「4-2 実測結果」で示した様に、施工条件がゆる詰めの場合、ピーク時の土圧合力は一般に施工条件が締固めの場合よりも大きく、またピーク時から主働時に移行する際の土圧の減少量が小さいため、主働時の土圧合力について

も、締固めの場合に比較してかなり大きい値を示している。一方、施工条件が締固めの場合は、ピーク時から主働時に移行する際の土圧の減少が著しく、主働時の土圧合力は非常に小さい。

次に計算値と実測値の対応を見ると、ピーク時の土圧に関しては、施工条件がゆる詰めの場合両者は良い対応を示しているが、施工条件が締固めの場合は実測値が計算値を大きく上回っている。一方、主働時の場合は、施工条件にかかわらず一般に計算値が実測値を上回る結果である。擁壁の設計の立場からすれば、設計に用いる土圧は、その擁壁の施工時から完成後を含めて予想される土圧の最も大きなものに対応させるのが一般的と考えられる。したがって、擁壁の許容変位量との関連はあるが、長期の土圧変化は考慮できないまでも、ある程度の大きさの土圧を設計土圧として採用する必要がある。この意味からすれば、施工条件が締固めの場合については、土圧の算定に用いる土質定数の選定は非常に重要であり、土質試験結果をそのまま採用するのは問題があると言える。

(4) 数値解析

現行の土圧算定法の多くは、塑性平衡状態における土圧を対象としているので、裏込め土の施工条件や壁移動に対応した土圧の変化を知ることにはできない。このためここでは有限要素法を用いて、壁の種類や裏込め土の施工条件及び嵩上げ盛土や壁移動が土圧に及ぼす影響について検討を加えた。

検討の対象としたのは、表-4.3に示すように実験No.5から実験No.8の4ケースであり、実験条件にあわせて盛土中及び壁移動時の土圧の変化を追跡した。図-4.33、図-4.34にそれぞれ直壁及びもたれ壁の解析に用いた解析モデルを示す。解析モデルの境界条件は、実験壁及びピット底面に接する

表-4.2 計算に用いた土質定数（実測値）

	内部摩擦角 ϕ	粘着力 c
締 固 め	37.8°	0.35 tf/m ²
ゆる詰め	21.3°	0.25 tf/m ²

表-4.3 検討ケース一覧

ケース No	実 験 No	壁の種類	壁 高 (m)	嵩上げ盛土形状		施工条件
				法 勾 配	嵩上げ高さ(m)	
ケース 1	実験 No. 5	直 壁	2.38	1 : 1.0	3.5	締 固 め
ケース 2	実験 No. 6	直 壁	2.38	1 : 1.0	3.5	ゆる詰め
ケース 3	実験 No. 7	もたれ壁	2.38	1 : 1.0	4.0	締 固 め
ケース 4	実験 No. 8	もたれ壁	2.38	1 : 1.0	4.0	ゆる詰め

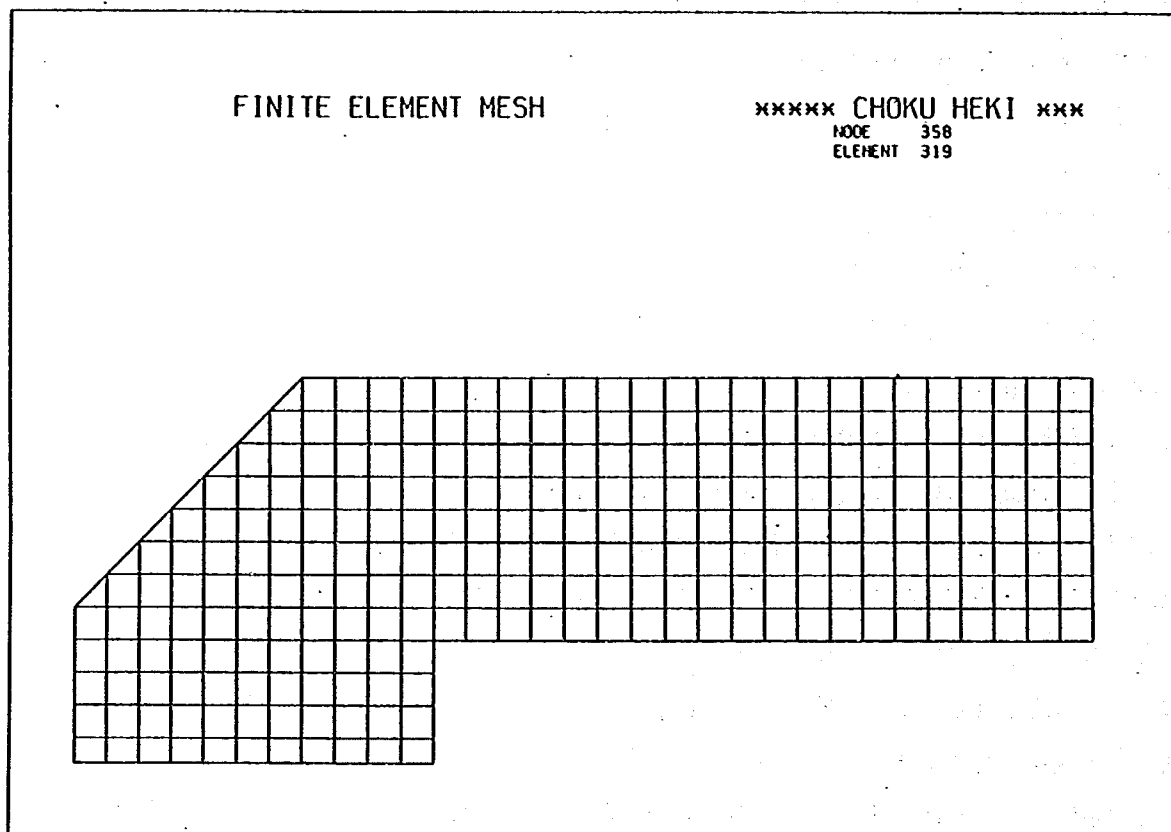


図-4.33 解析モデル (直壁)

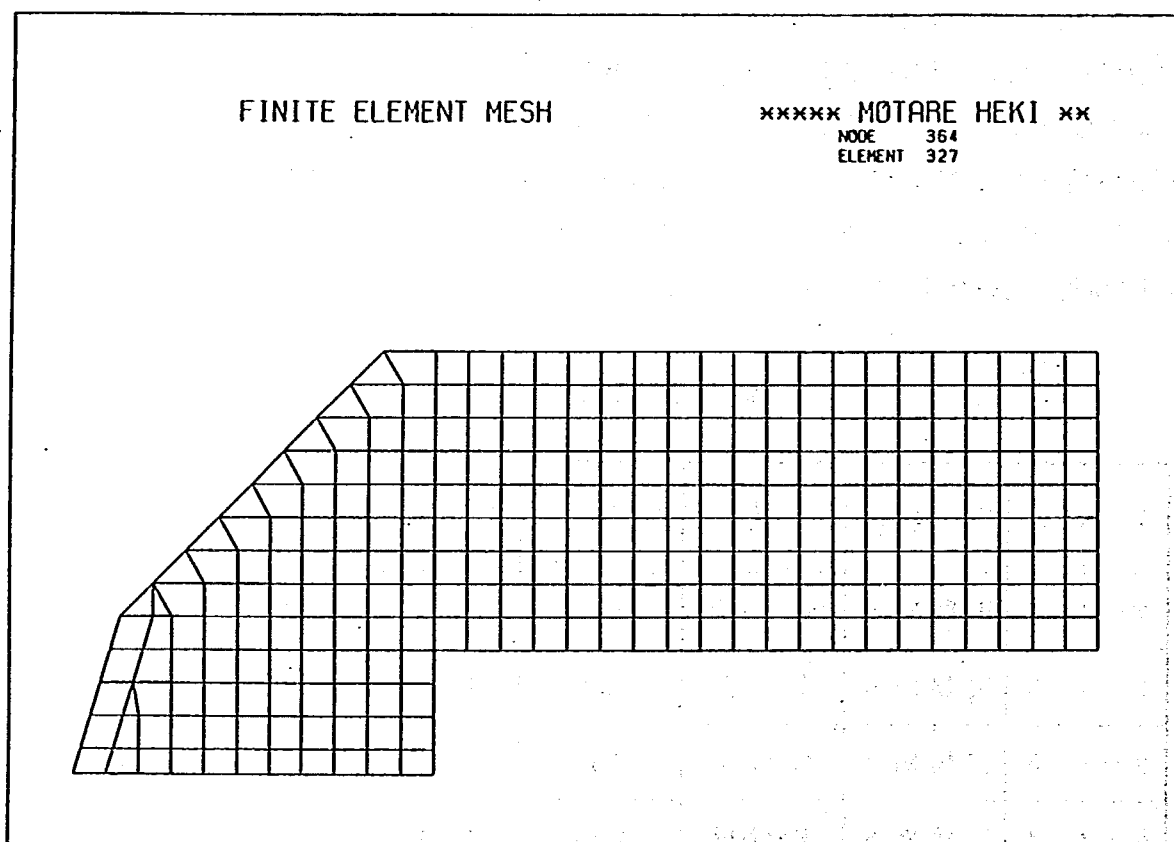


図-4.34 解析モデル (もたれ壁)

部分はいずれも固定とし、裏込め土との間には摩擦を考慮するためにジョイント要素⁴⁾を設けた。また、裏込め土の非線形性を考慮するために、土の構成式としてDuncan - Chanの双曲線型応力-歪曲線⁵⁾を採用するとともに、ジョイント要素のせん断応力-相対変位関係にも双曲線型の関数を採用した。表-4.4に解析に用いた物性定数を示す。解析を行うに際して、土は一般に引張力に対して抵抗し得ないと考えられることから、No Tension解析⁶⁾を行うとともに段階施工⁷⁾を考慮して、1ステップの盛土高さ50cmで盛土を行った。さらに、実験壁は盛土中は固定とし、盛土が完成すると主働方向に0.5mmピッチで16mmまで平行移動させた。

表-4.4 解析に用いた物性定数一覧

	単位体積重量 γ (tf/m ³)	粘着力 c (tf/m ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	初期接線係数 E_i (tf/m ²)	接線係数 (載荷時) K	接線係数 (除荷時) K_{ur}	双曲線指数 n	破壊比 R_f	ポアソン比 ν
締固め砂	1.8	0.7	40.0	4,000	700	700	0.25	0.96	0.35
ゆる詰め砂	1.6	0.7	25.0	4,000	350	350	0.25	0.96	0.35

	初期せん断剛性 K_I	双曲線指数 n	破壊比 R_f	内部摩擦角 δ (°)	垂直剛性 (引張側) KN_1 (tf/m ²)	垂直剛性 (圧縮側) KN_2 (tf/m ²)
ジョイント要素	50,000	1.0	0.9	18.0	20	2,000,000

以上の条件の下で行った解析結果の一部を図-4.35から図-4.44に示す。これらの図にはいずれもそれぞれの条件における変位及び主応力の状態を示しているが、裏込め土の施工条件や実験壁の種類、あるいは実験壁の移動量によって裏込め土の変位や応力状態が異なることがわかる。なお、施工条件が締固めの場合には、実験壁の移動量が5mm程度に達するとジョイント要素の開口現象が認められたので、壁移動量16mmの解析結果は割愛した。

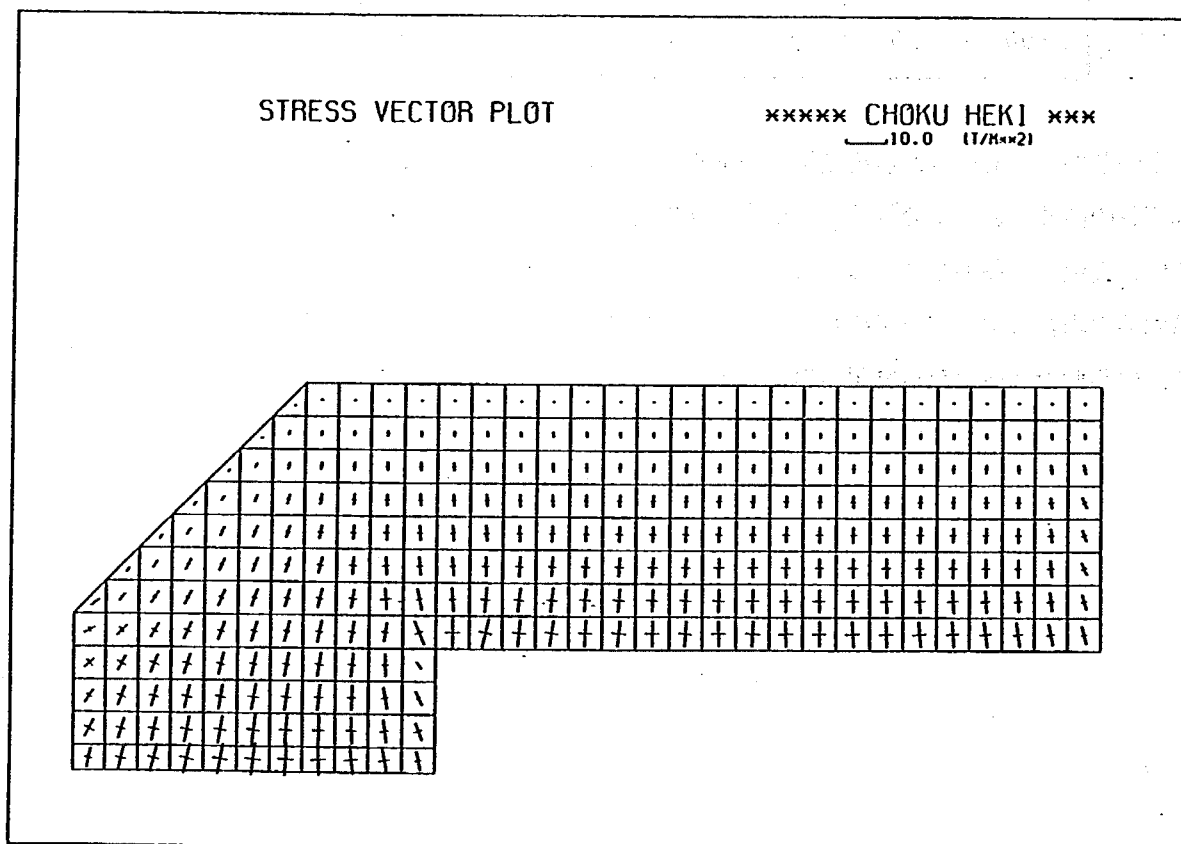
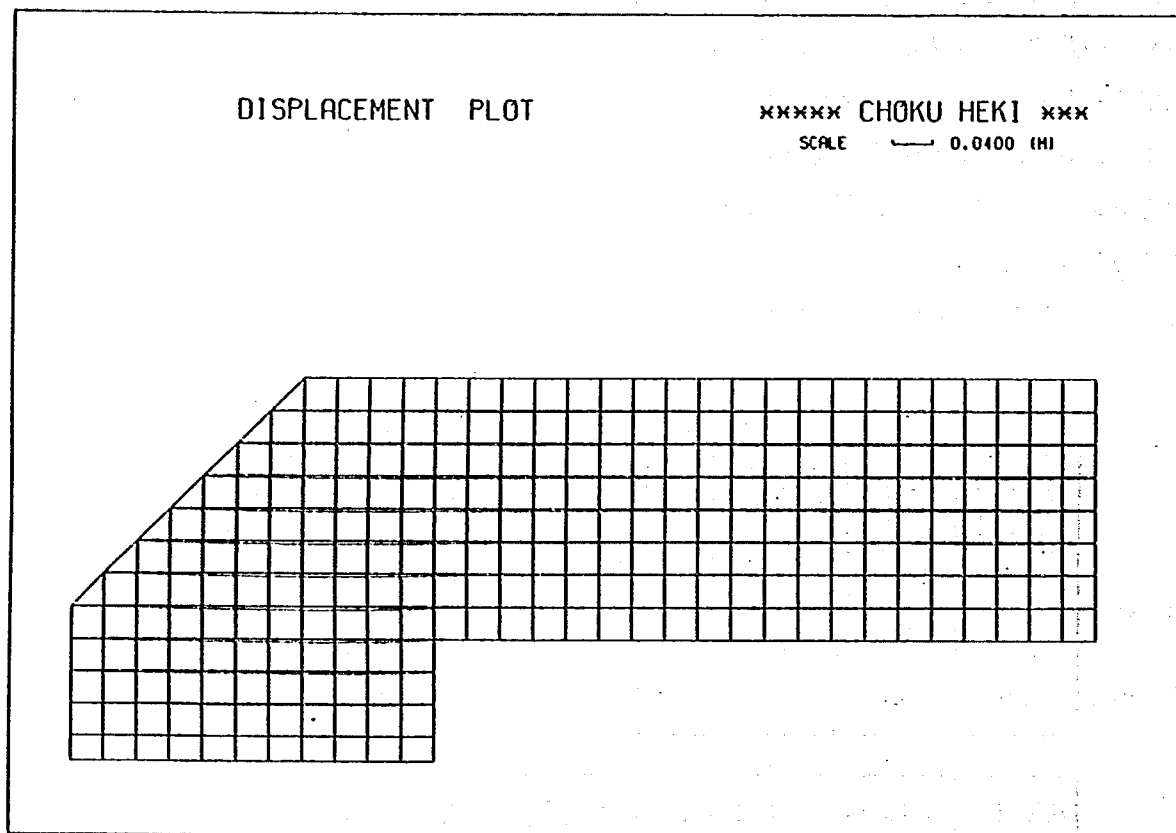
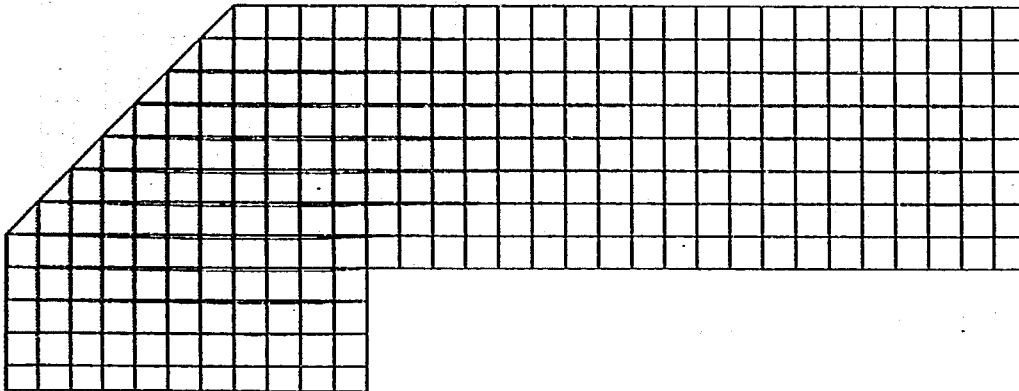


図-4.35 変位図及び主応力図（直壁，締固め，盛土完成時）

DISPLACEMENT PLOT

***** CHOKU HEKI ***

SCALE $\longrightarrow$ 0.0400 (H)



STRESS VECTOR PLOT

***** CHOKU HEKI ***

$\longrightarrow$ 10.0 (T/H=2)

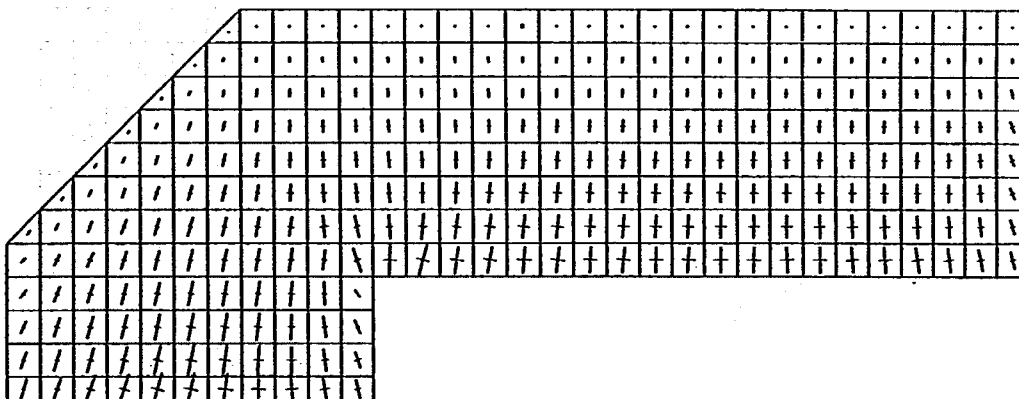
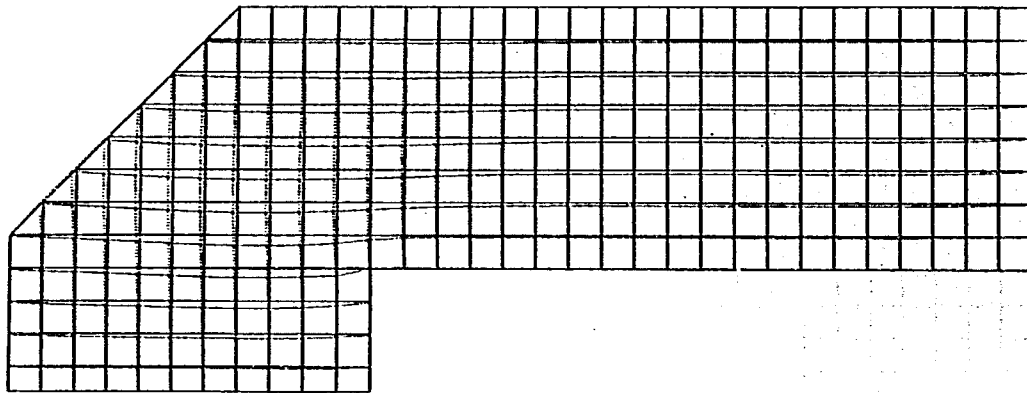


図-4.36 変位図及び主応力図（直壁，締固め，壁移動量 2 mm）

DISPLACEMENT PLOT

***** CHOKU HEKI ***
SCALE 0.0400 (M)



STRESS VECTOR PLOT

***** CHOKU HEKI ***
10.0 (T/M**2)

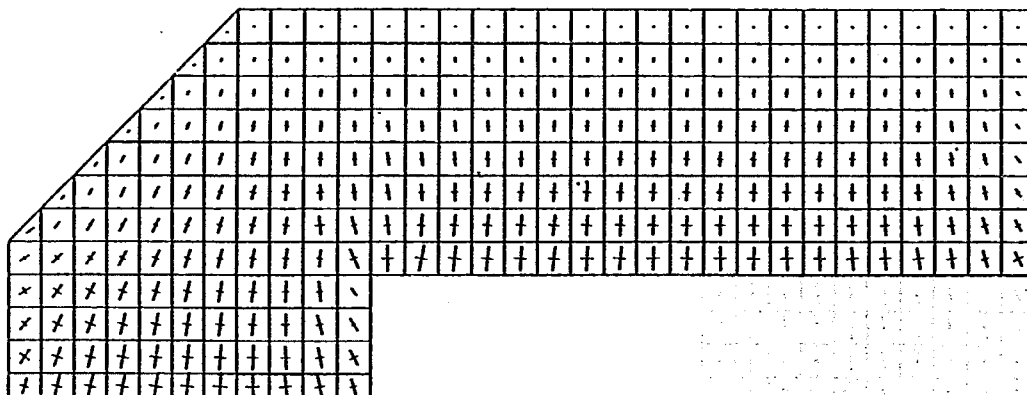


図-4.37 変位図及び主応力図（直壁，ゆる詰め，盛土完成時）

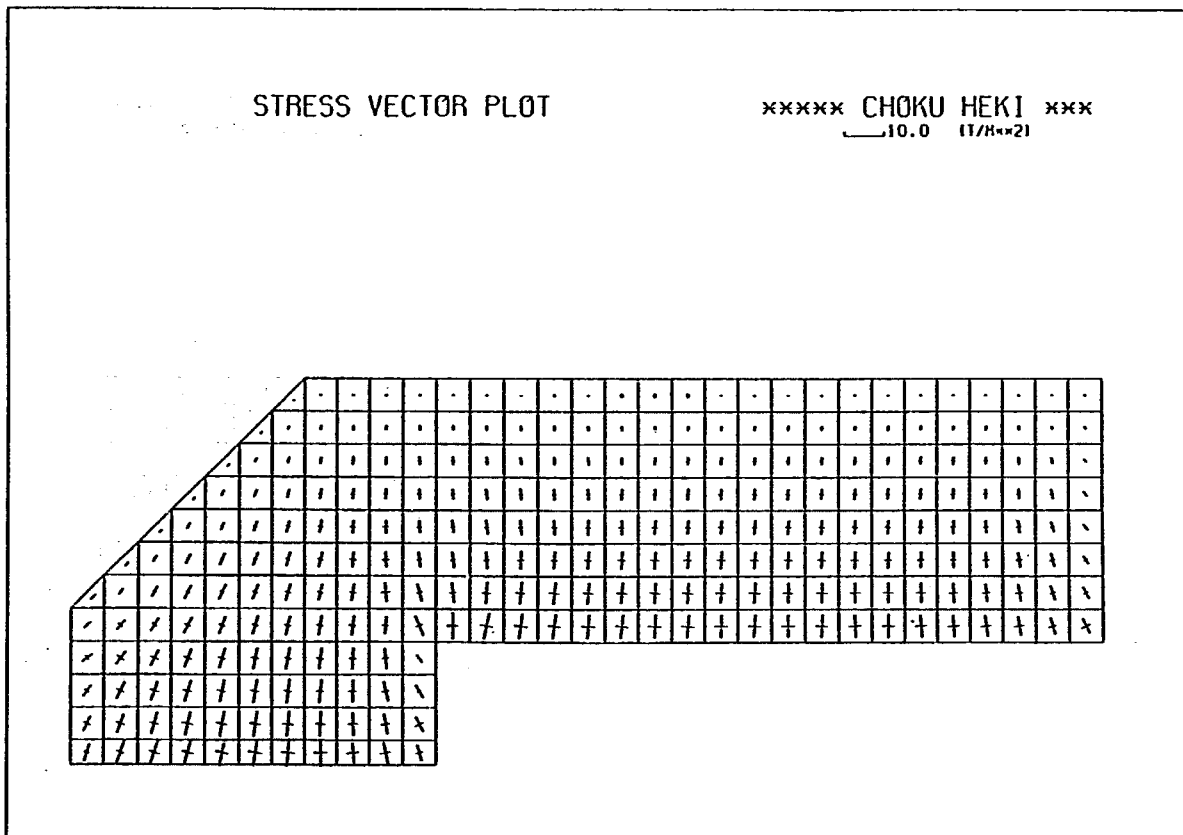
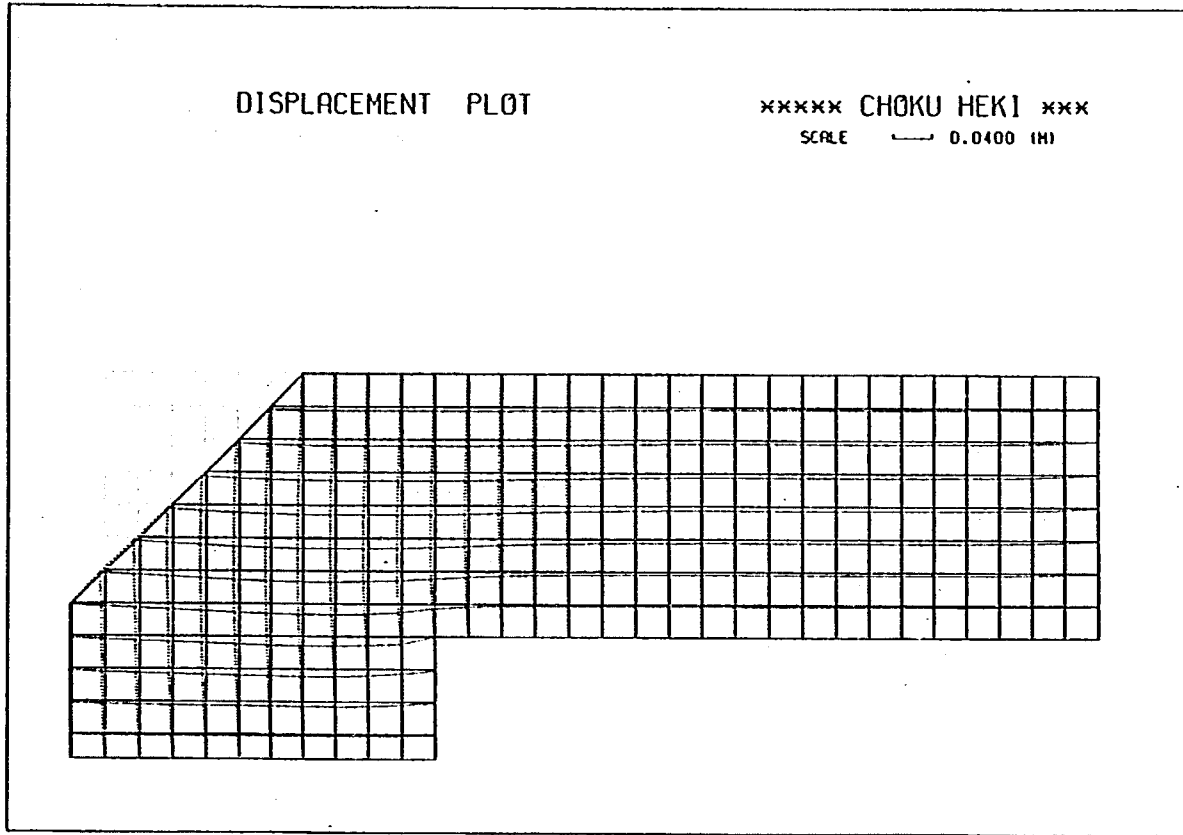


図-4.38 変位図及び主応力図（直壁，ゆる詰め，壁移動量2mm）

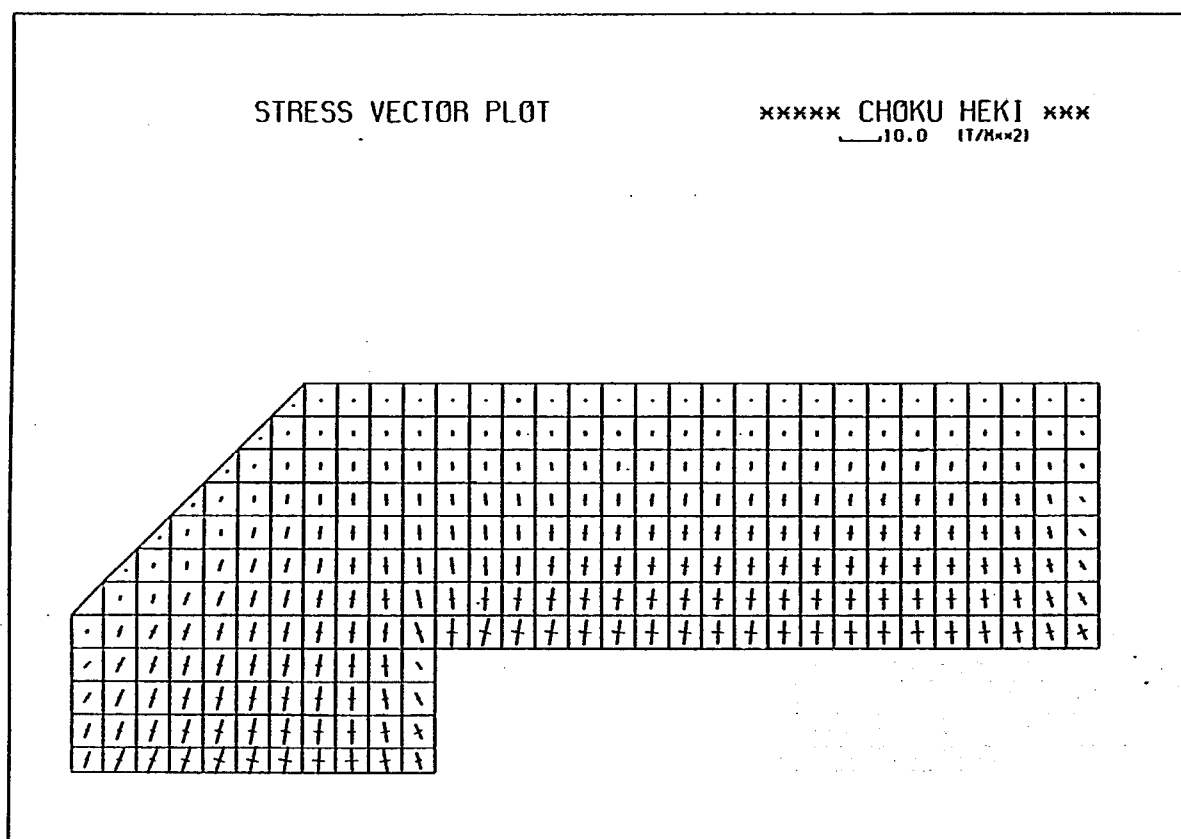
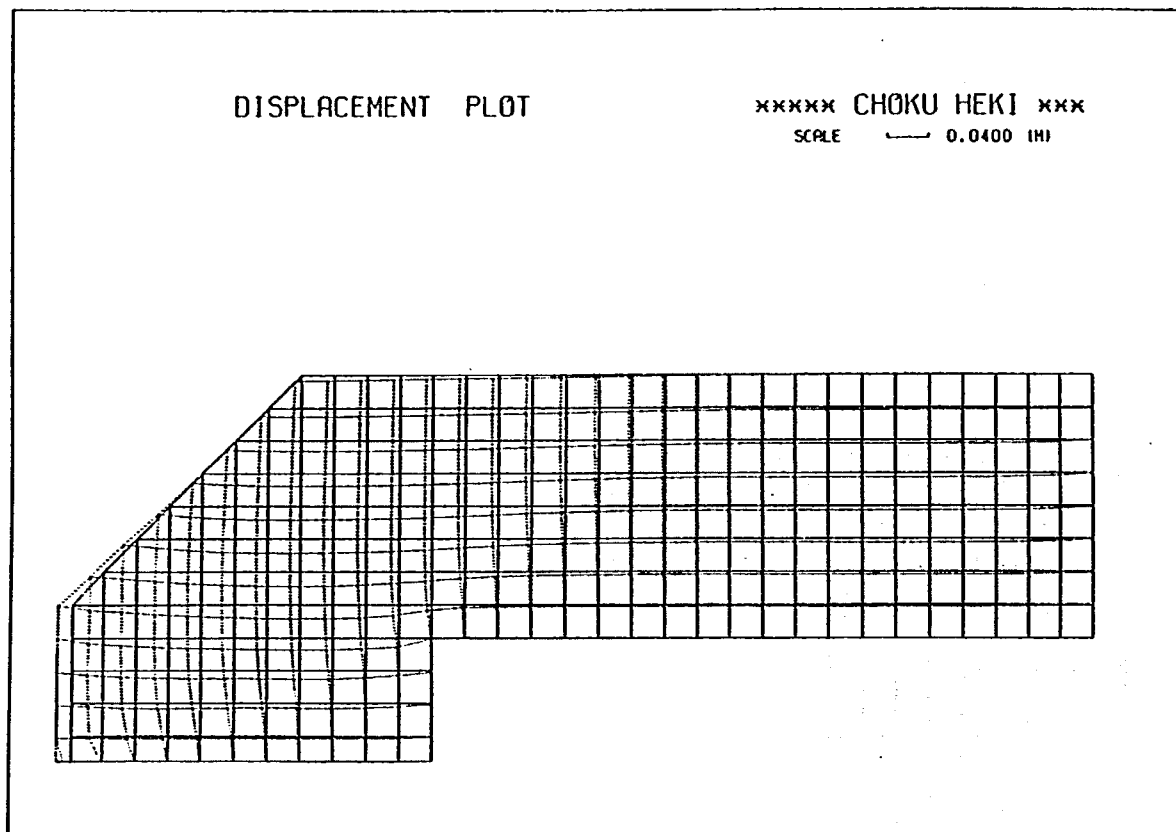
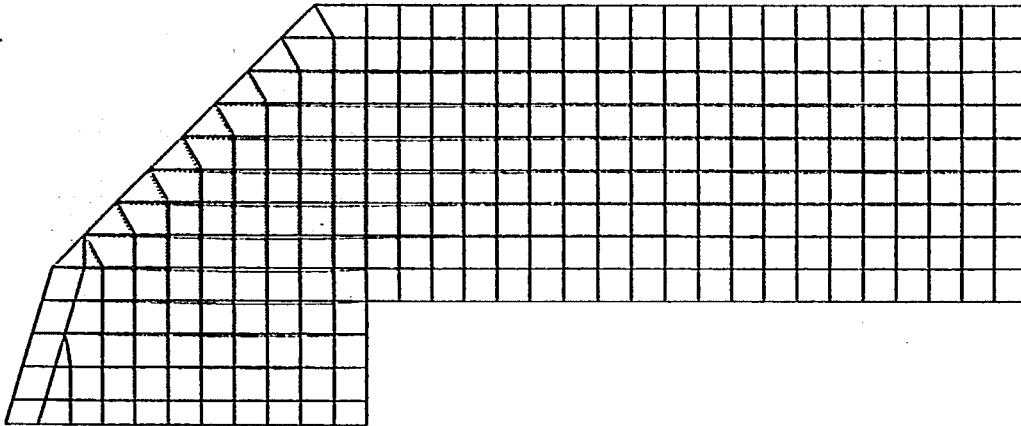


図-4.39 変位図及び主応力図（直壁，ゆる詰め，壁移動量16mm）

DISPLACEMENT PLOT

***** MOTARE HEKI **
SCALE 0.0400 (IN)



STRESS VECTOR PLOT

***** MOTARE HEKI **
10.0 (T/IN²)

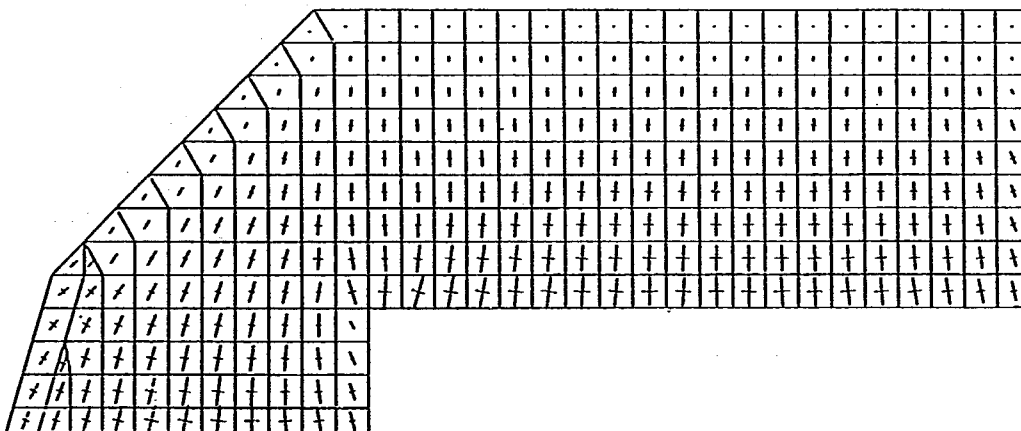


図-4.40 変位図及び主応力図（もたれ壁，締固め，盛土完成時）

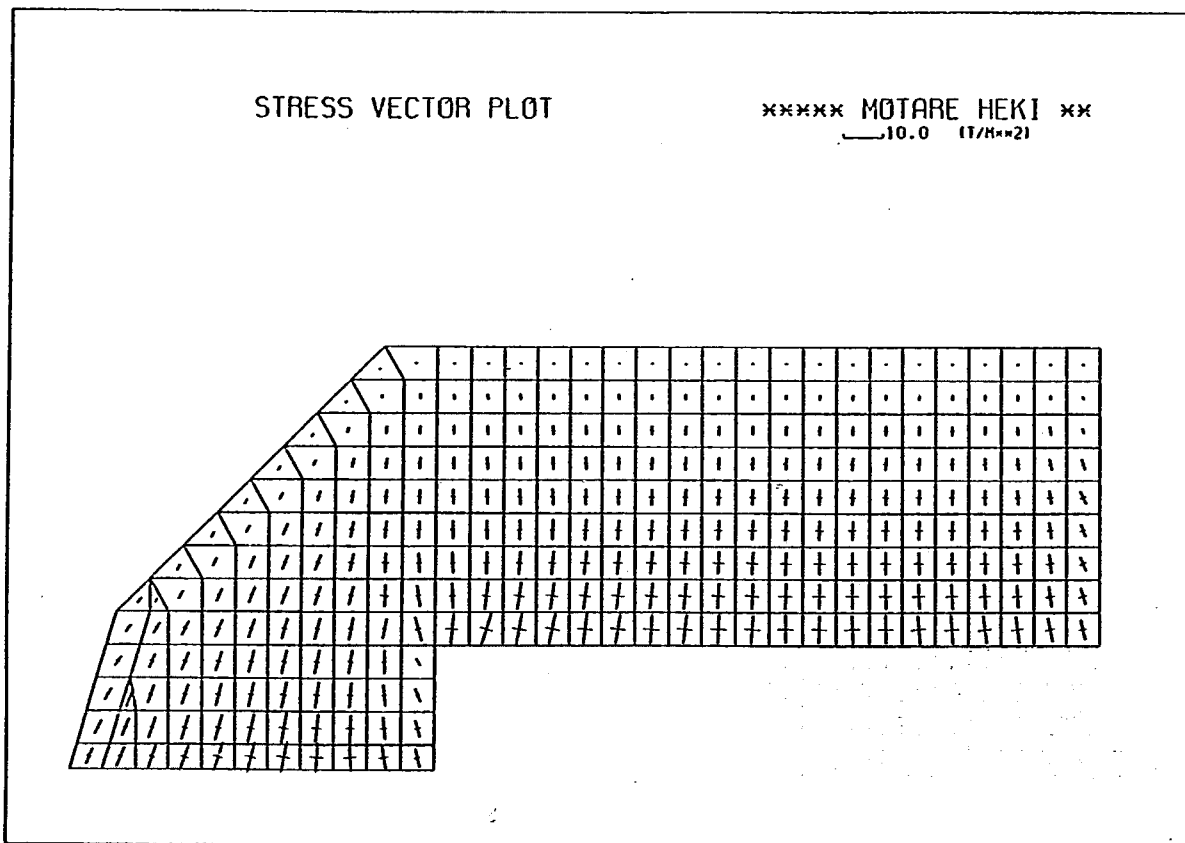
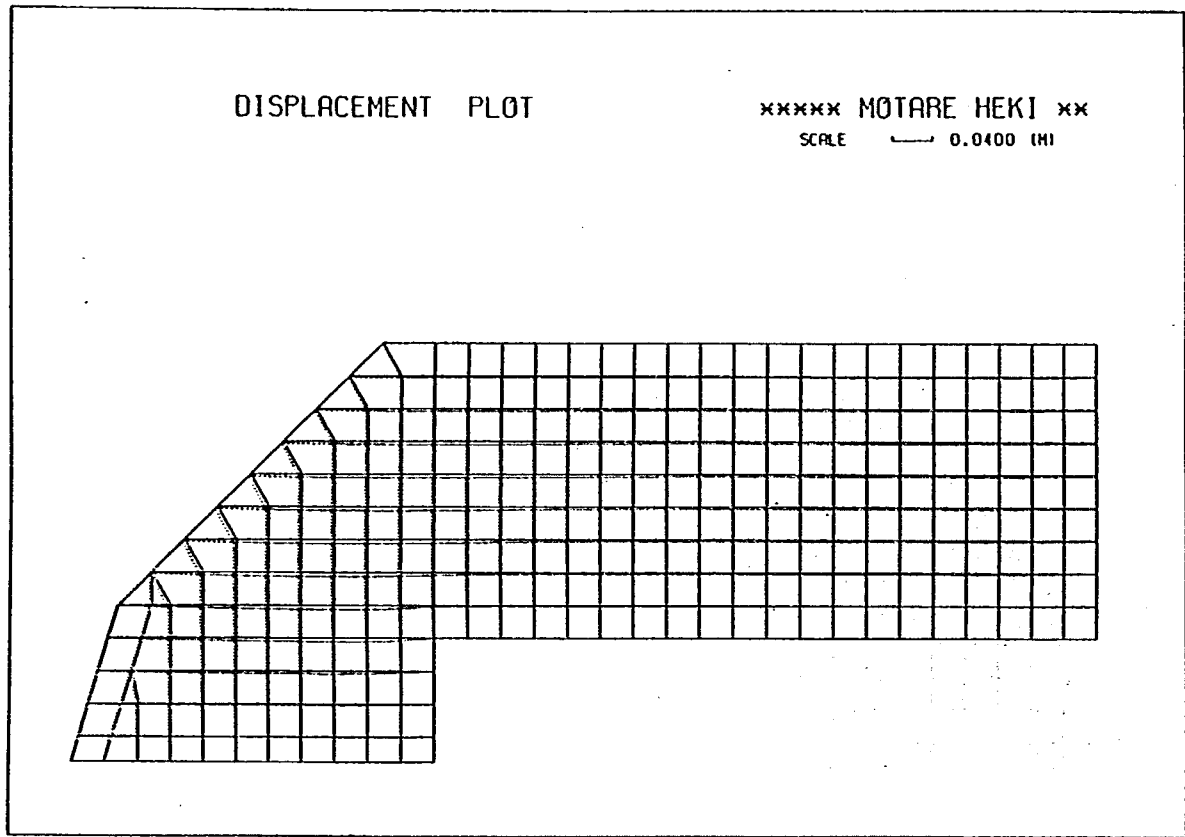
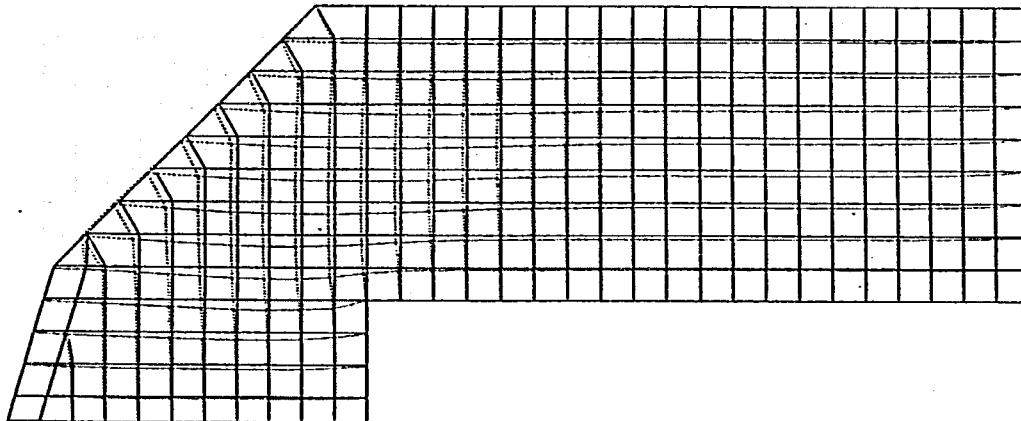


図-4.41 変位図及び主応力図（もたれ壁，締固め，壁移動量2mm）

DISPLACEMENT PLOT

***** MOTARE HEKI **

SCALE $\longrightarrow$ 0.0400 (H)



STRESS VECTOR PLOT

***** MOTARE HEKI **

$\longrightarrow$ 10.0 (T/H**2)

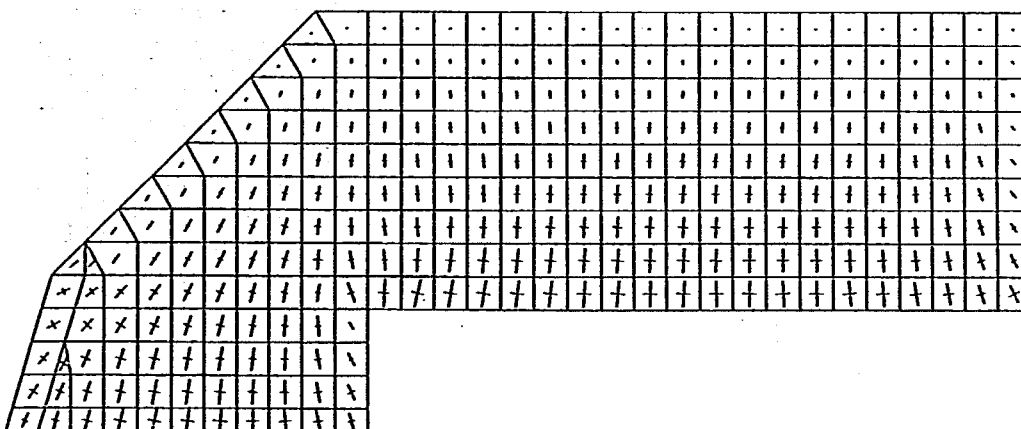
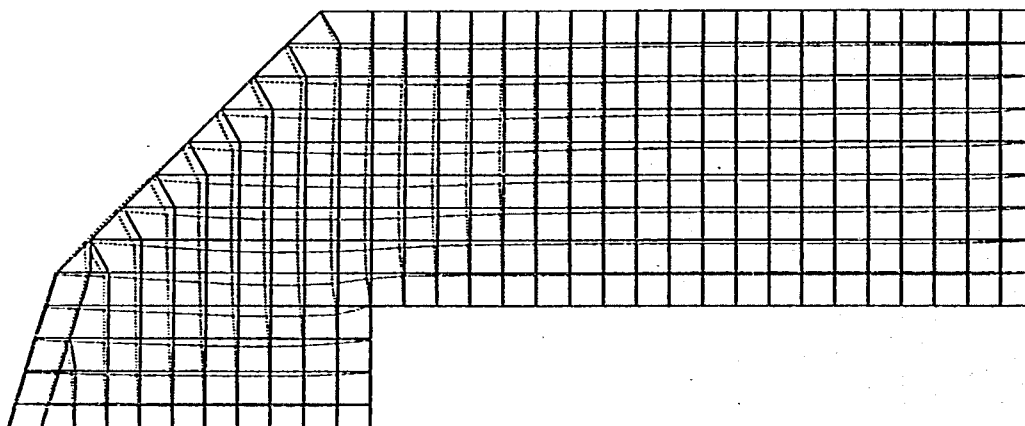


図-4.42 変位図及び主応力図（もたれ壁，ゆる詰め，盛土完成時）

DISPLACEMENT PLOT

***** MOTARE HEKI **
SCALE 0.0400 (IN)



STRESS VECTOR PLOT

***** MOTARE HEKI **
10.0 (T/K=2)

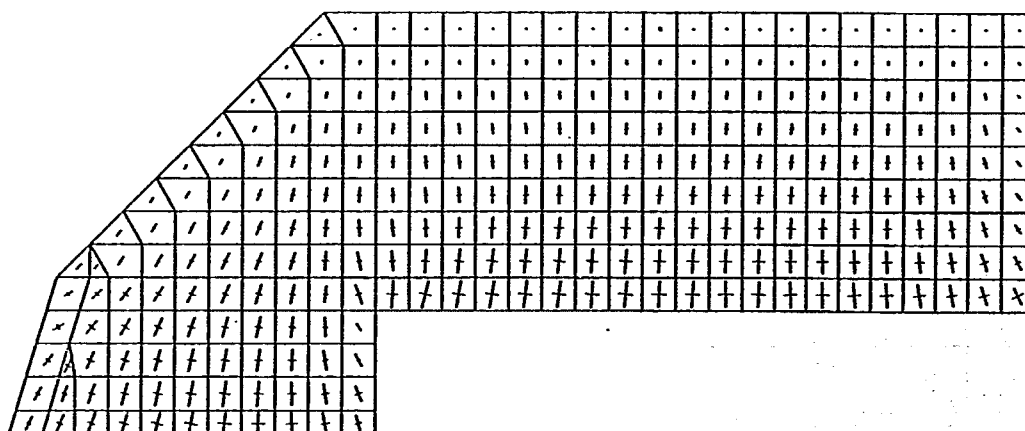
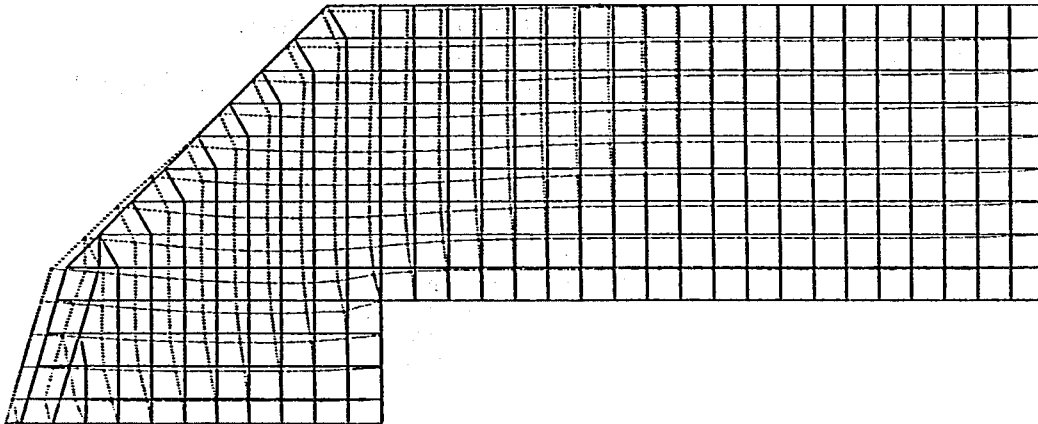


図-4.43 変位図及び主応力図（もたれ壁，ゆる詰め，壁移動量2mm）

DISPLACEMENT PLOT

***** MOTARE HEKI **
SCALE $\longrightarrow$ 0.0400 (in)



STRESS VECTOR PLOT

***** MOTARE HEKI **
 $\longrightarrow$ 10.0 (T/H**2)

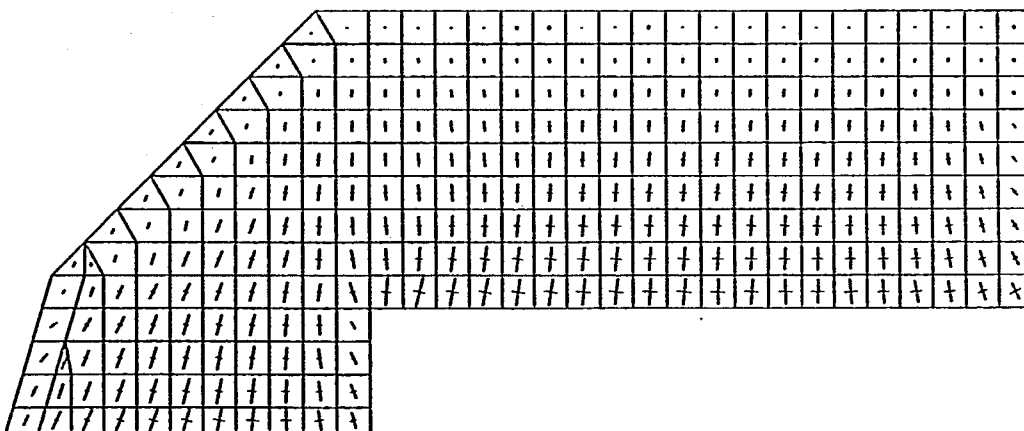


図-4.44 変位図及び主応力図（もたれ壁，ゆる詰め，壁移動量16mm）

擁壁の設計において、土圧の水平成分は重要な役割を持つが、図-4.45、図-4.46にそれぞれ施工条件に応じた直壁及びもたれ壁に作用する土圧の水平成分の分布を示す。さらに各図には盛土状態や壁移動に応じた分布形状の変化も示した。まず嵩上げ盛土の影響に注目すると、いずれのケースにおいても壁高までの盛土完了時と比較して、嵩上げが行われると土圧の水平成分は非常に大きくなるとともに、その分布形状も三角形分布から台形分布に近づく傾向を見せ、嵩上げ盛土の影響が顕著に見られる。また盛土完成時の土圧は施工条件にかかわらず、一般にもたれ壁よりも直壁の方が大きな結果を示している。次に壁移動時の土圧の挙動を見ると、施工条件によって大きく異なり、施工条件が締固めの場合は直壁、もたれ壁とも3mm程度の移動量で急激に土圧強度が減少するのに対して、ゆる詰めの場合は土圧強度の減少が緩やかなのみならず、その減少量も少ない。これらの傾向は、実験結果とも合致している。

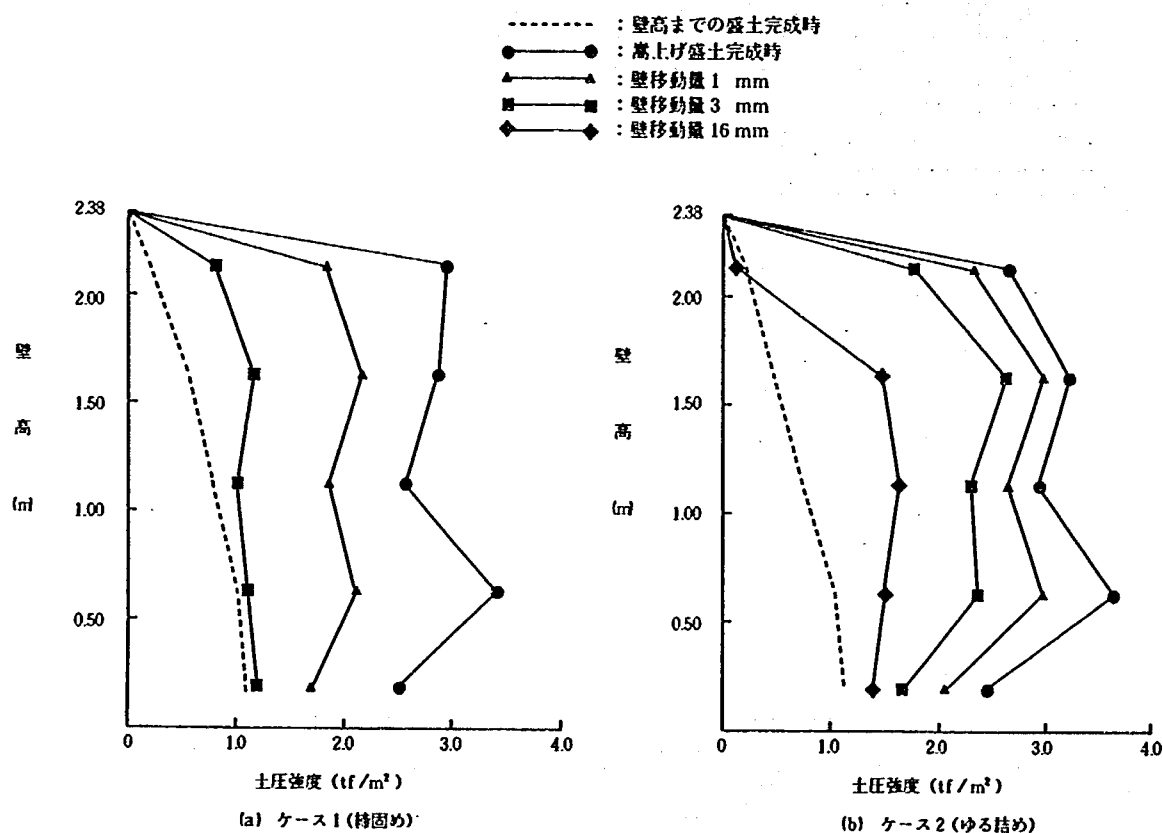
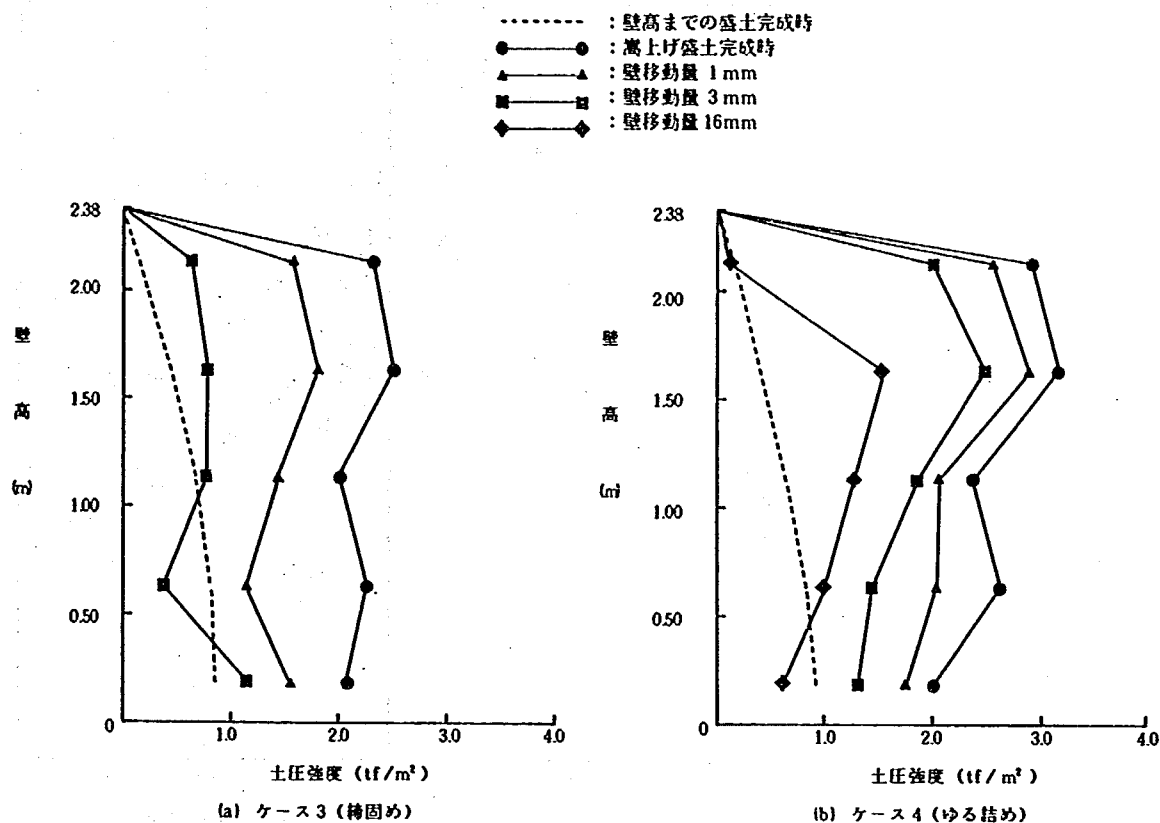


図-4.45 土圧の水平成分の分布形状 (直壁)



図－4.46 土圧の水平成分の分布形状（もたれ壁）

図－4.47から図－4.50に、各ケースの計算結果をそれぞれ土圧合力、土圧係数、壁摩擦係数及び相対作用位置に関して整理したものを比較して示す。盛土時の土圧合力は、一般にもたれ壁よりも直壁の方が、また施工条件が締固めよりもゆる詰めの方が大きい。壁移動時には、施工条件が締固めの場合、土圧合力はゆる詰めの場合に比べて急激に減少する。これらは土圧の水平成分で述べたと同じ傾向であり、土圧合力における水平成分の割合が大きいことから両者の挙動が一致するものである。

土圧係数は、概ね土圧合力と同様の傾向を示すが、盛土高が壁高に達するまでは、盛土高が高くなるに従って実験結果と同様に土圧係数が小さくなる点が土圧合力と異なる。

壁摩擦係数は、盛土高さが壁高を越えた付近でピークを示し、その後盛土高が高くなるに従って低下する傾向が見られる。壁移動時には、壁の種類にかかわらず施工条件が締固めの場合急激に増加する。

相対作用位置については、嵩上げ高さが高くなるに従って上昇する傾向が見られるが、土圧合力や壁摩擦角のように壁の種類や施工条件の違いによる影響は認められず、各ケースともほぼ同様の傾向を示している。また壁移動時には若干の低下が見られるが、これは実験結果とも対応している。

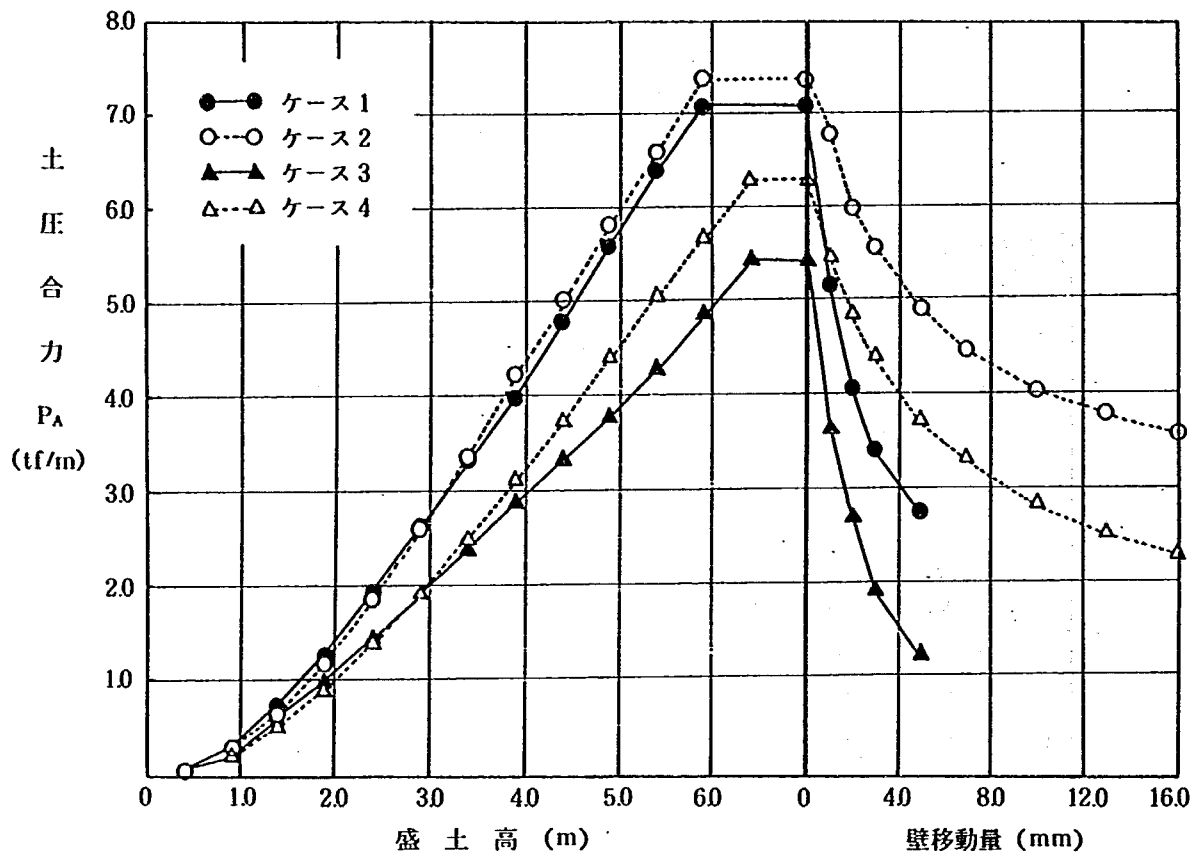


図-4.47 計算結果の比較 (土圧合力 P_A)

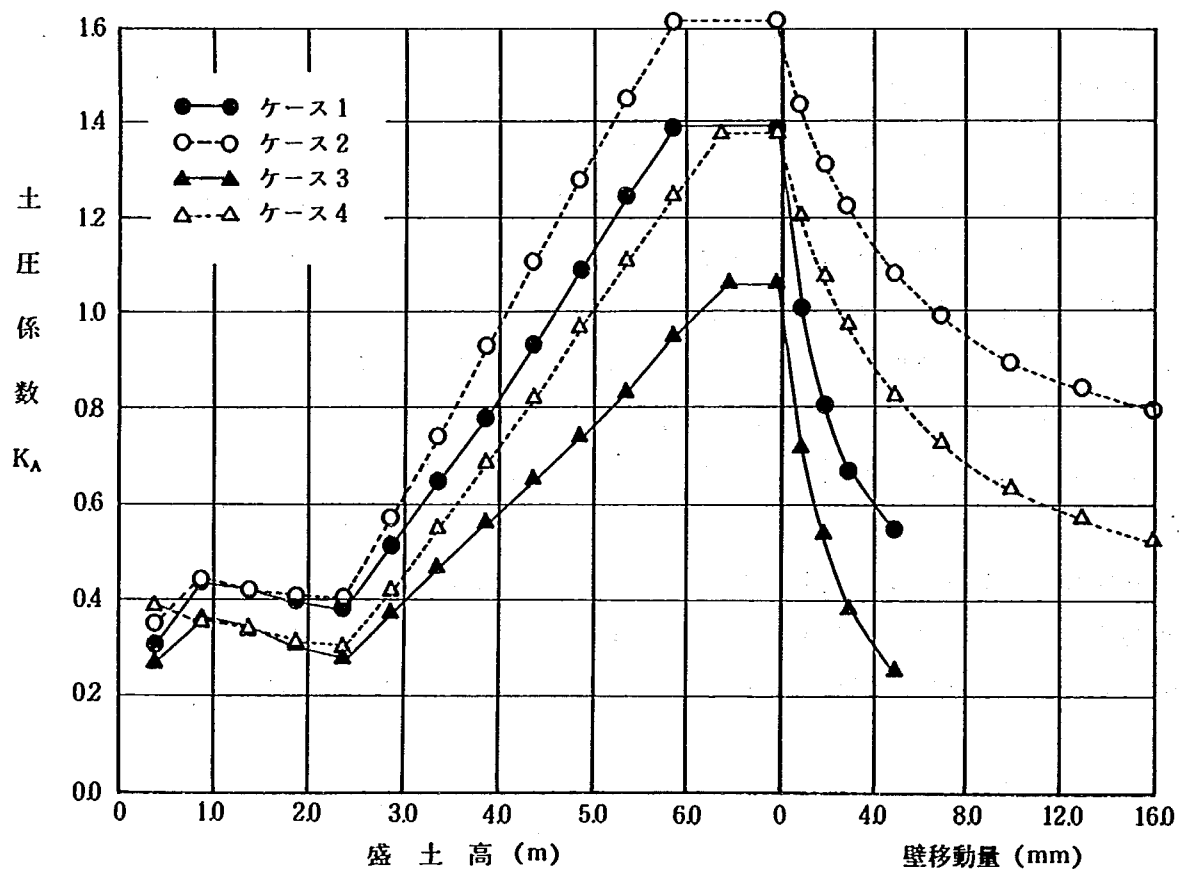


図-4.48 計算結果の比較 (土圧係数 K_A)

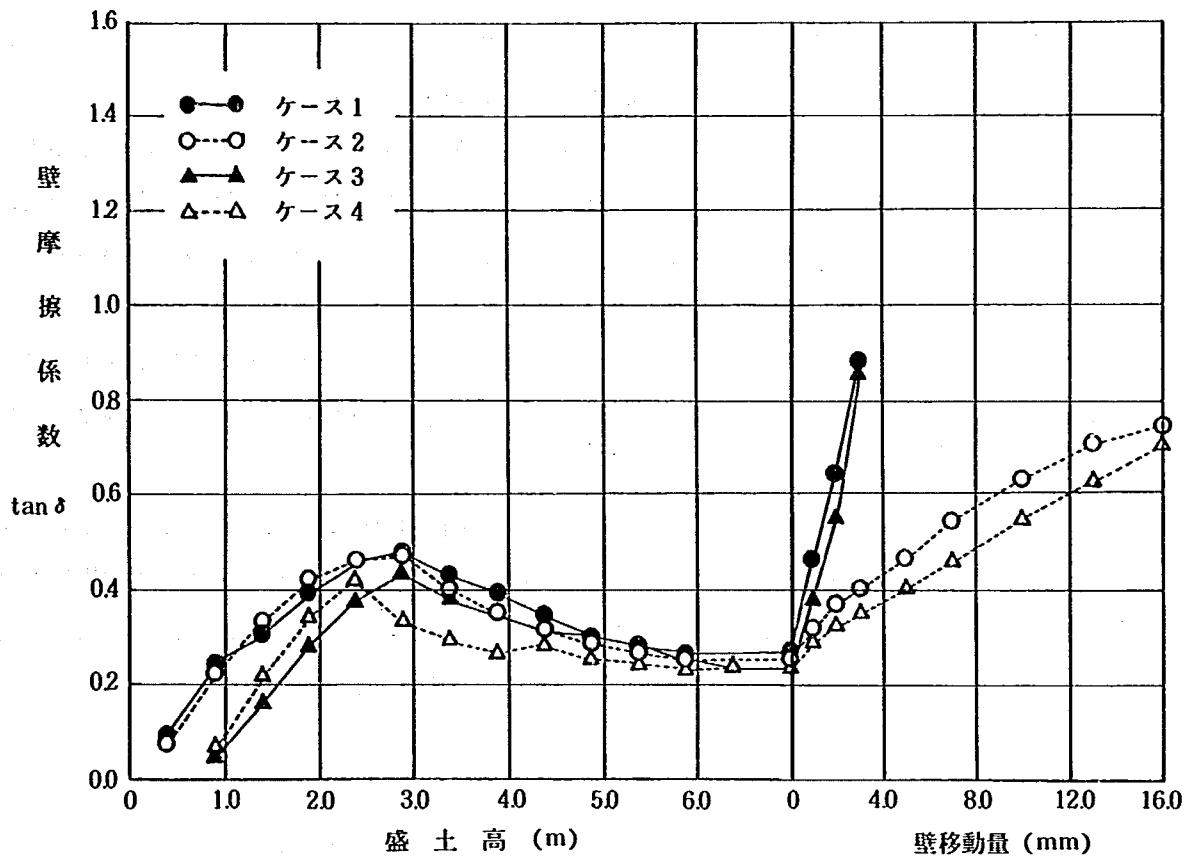


図-4.49 計算結果の比較 (壁摩擦係数 $\tan \delta$)

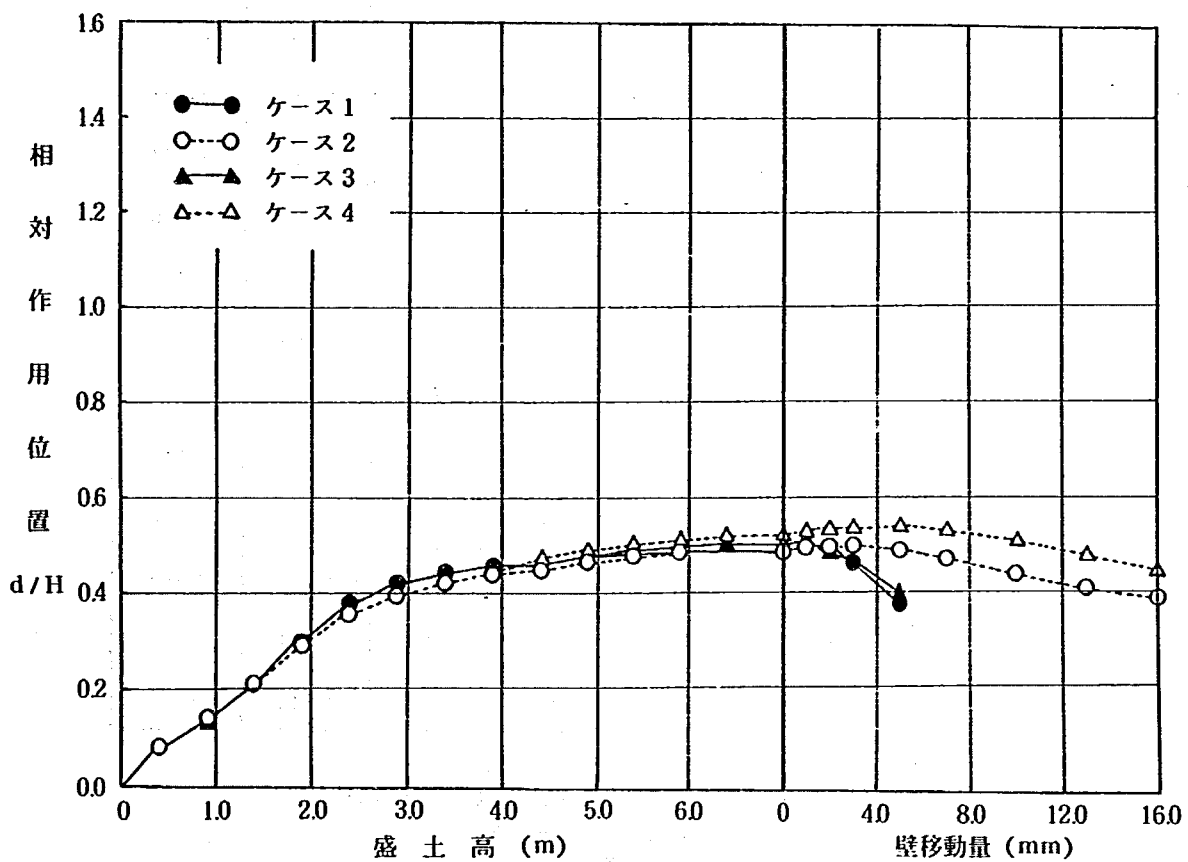


図-4.50 計算結果の比較 (相対作用位置 d/H)

以上に述べた計算結果を、土圧三要素について実測値と比較して表-4.5に示す。なお、各ケースとも壁高までの盛土完成時、嵩上げ盛土完成時及び主働時について示した。

土圧合力は、嵩上げ盛土完成時においては、計算値が実測値を大きく上回っており、嵩上げ盛土の影響を強く受けているが、盛土時から主働時までの土圧合力の増減傾向については、両者はよい対応を示している。ただし締固めの場合の主働時の土圧合力については、計算値は実測値ほどの急激な減少が認められない。

一方、壁摩擦係数は計算と実測値の対応はあまり認められず、ジョイント要素の物性や盛土の変位量に関する検討が必要なることを示しているものと思われる。また相対作用位置について一般に計算値と実測値はよい対応を示している。

これらのことから、擁壁に作用する土圧を推定する場合、現行の土圧算定法よりもここで示したような有限要素法の方がその挙動をより精度よく推定できることがわかる。特に嵩上げ盛土の影響や壁移動の影響を検討する場合には、有効な手段となり得ると考えられる。しかしながら、解析に用いる物性定数については今後とも検討を続け、解析精度の向上を図る必要がある。

表-4.5 土圧三要素の比較

		実 測 値			計 算 値		
		土圧合力 P_A (tf/m)	壁摩擦係数 $\tan \delta$ (-)	相対作用位置 d/H (-)	土圧合力 P_A (tf/m)	壁摩擦係数 $\tan \delta$ (-)	相対作用位置 d/H (-)
ケース1	壁高までの盛土完成時	2.053	0.310	0.404	1.936	0.468	0.380
	嵩上げ盛土完成時	4.064	0.337	0.521	7.134	0.272	0.504
	主働時	0.633	0.622	0.363	3.448	0.895	0.474
ケース2	壁高までの盛土完成時	1.790	0.451	0.339	1.850	0.904	0.356
	嵩上げ盛土完成時	5.584	0.308	0.431	7.375	0.608	0.494
	主働時	3.955	0.463	0.426	3.621	1.366	0.407
ケース3	壁高までの盛土完成時	1.972	0.489	0.430	1.445	0.385	0.377
	嵩上げ盛土完成時	4.283	0.582	0.505	5.445	0.240	0.510
	主働時	0.268	0.213	0.371	1.967	0.867	0.476
ケース4	壁高までの盛土完成時	1.802	0.640	0.370	1.387	0.428	0.363
	嵩上げ盛土完成時	4.824	0.507	0.441	6.298	0.244	0.530
	主働時	3.131	0.539	0.444	2.368	0.715	0.465

注) 主働の時の土圧について

実測値 ケース1, ケース3: 壁移動量 10 mm までの土圧合力の最小時

ケース2, ケース4: 壁移動量 15 mm 時

計算値 ケース1, ケース3: 壁移動量 3 mm 時

ケース2, ケース4: 壁移動量 15 mm 時

5. 切土部土圧に関する実験

5-1 概要

切土部に設置される擁壁では、図-5.1に示すように地山面など裏込め土とは異質の境界面（以下切土面と言う。）が近接していることが多い。この場合、擁壁に作用する土圧（以下切土部土圧と言う。）は、この切土面の影響を受け、通常の盛土部の擁壁に作用する土圧と異なることが予想される。すなわち切土面が安定している場合に擁壁に作用する土圧は、切土面の位置（以下地山距離と言う。）やこう配、表面の粗度などによって変化すると考えられる。

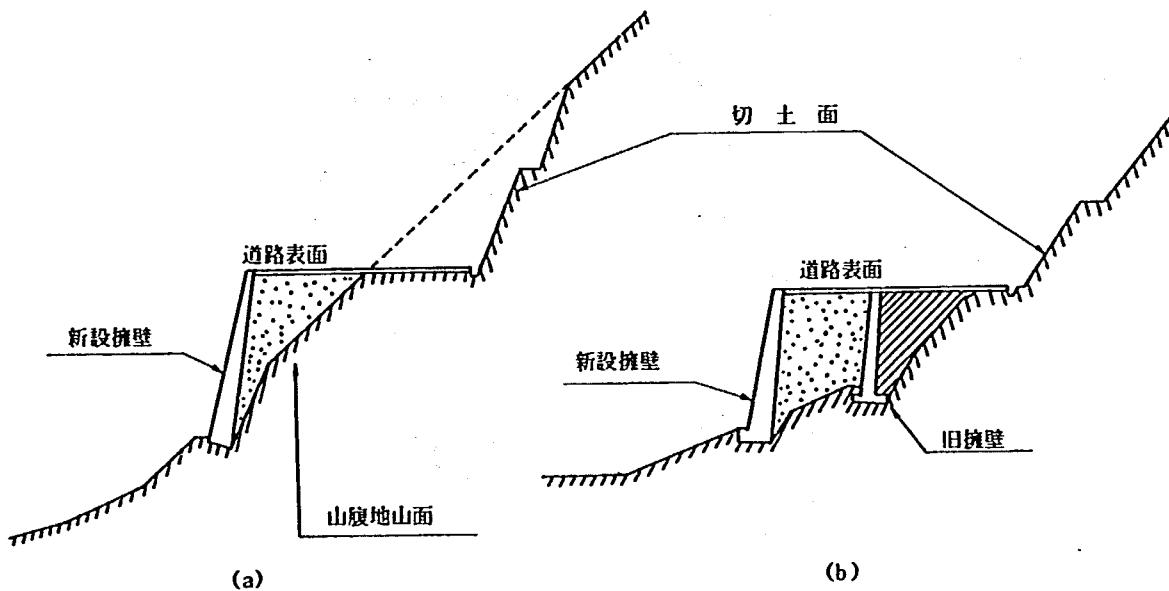


図-5.1 切土部擁壁の例

切土部土圧の算定には、図-5.2に示すようなクーロンの土くさび法の応用である複合くさび法が用いられることが多い。この方法によれば、切土面の位置や形状及び摩擦角などを考慮した土圧の算定は一応可能である。しかしながら、切土部土圧の実測結果が皆無に近い状態にあることから、上に述べた複合くさび法の適用性はもちろんのこと、切土面の位置やこう配などの要因が土圧に及ぼす影響についても明らかにされていない。

このようなことから、切土部擁壁に作用する土圧の実態を把握するとともに、土圧に影響を及ぼす要因の把握を目的として、大型擁壁実験装置を用いた土圧測定実験を行った。切土部に設置される擁壁はもたれ式擁壁が多いことから、実験はもたれ式擁壁を対象として実施した。実験条件は地山距離、地山勾配、裏込め土の種類、裏込め土の施工方法などを組合せ、表-5.1に示す6ケースを設定した。

以下にこれらの実験結果を述べるが、実験装置及び実験方法の概要は既に述べたので、ここでは次の各項について示すこととする。

○実験条件

地山距離及び地山勾配

裏込め土の種類

裏込め土の施工条件

○土圧測定結果

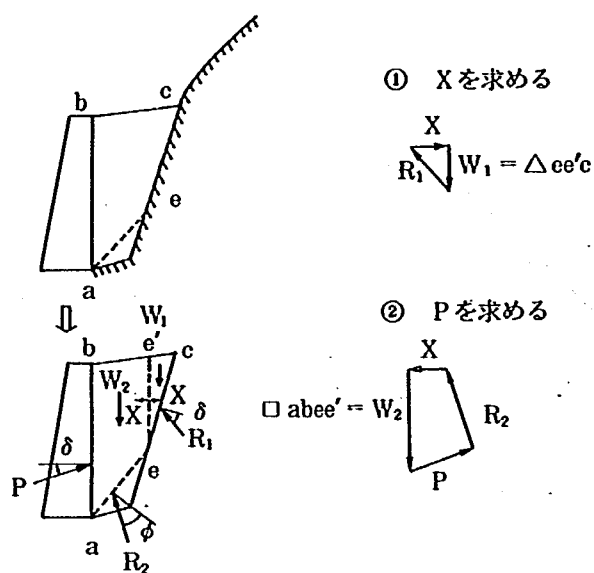
土圧合力 (P_A), 土圧の水平成分 (P_H), 土圧の鉛直成分 (P_V)

土圧係数 (K_A), 壁摩擦係数 ($\tan \delta$), 相対作用位置 (d/H)

○盛土の挙動観測結果

すべり面発生状況

なお, 土圧測定結果については, 付録-2 に詳細を示す。



すべり面 ae をいろいろ変えて得られた P の最大値が求める土圧である。

図-5.2 複合くさび法

表-5.1 実験条件一覧

実験 No	実験壁形状	地 山 形 状		裏込め土	施工条件	実験壁変位モード
		地山距離(m)	地山勾配			
実験 No 9	もたれ壁	0.5	1 : 0.3	川 砂	ゆる詰め	平 行
実験 No 10	もたれ壁	1.0	1 : 0.3	川 砂	締 固 め	平 行
実験 No 11	もたれ壁	1.0	1 : 0.3	川 砂	ゆる詰め	平 行
実験 No 12	もたれ壁	1.0	1 : 0.3	砕 石	締 固 め	平 行
実験 No 13	もたれ壁	1.0	1 : 0.3	砕 石	ゆる詰め	平 行
実験 No 14	もたれ壁	1.0	1 : 0.5	川 砂	ゆる詰め	平 行

5-2 実験結果

(1) 実験その1 (No.9)

本実験は、地山距離が土圧に及ぼす影響を把握することを目的とした一連の実験の一つとして行われたものである。図-5.3に実験概要を示すが、ソイルセメントで作成した1:0.3の勾配を持つ地山と実験壁との距離を50cmに設定し、その間に川砂を用いて裏込め盛土を造成した。盛土造成時には、搬入した裏込め土を敷均したのみで締固めは行っていない。この際にコアカッター法により測定した湿潤密度 γ_t 及び含水比 w の平均値は次の通りである。

○湿潤密度 $\gamma_t = 1.473 \text{ tf/m}^3$

○含水比 $w = 6.37 \%$

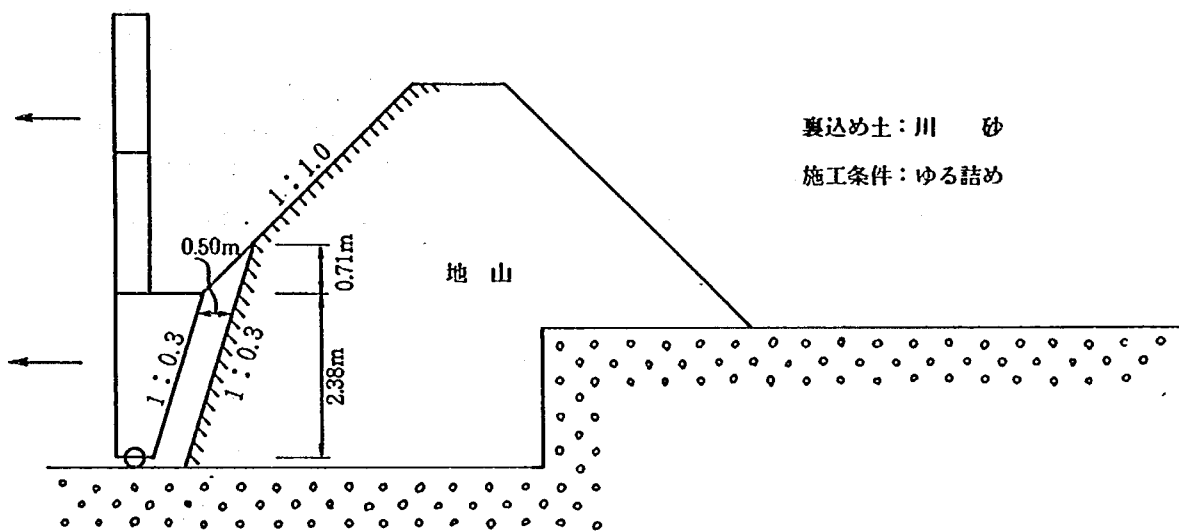


図-5.3 実験概要 (No.9)

図-5.4に盛土造成時及び実験壁移動時における荷重計の測定結果から得られた土圧及び土圧三要素を示す。施工条件がゆる詰めであるにもかかわらず、盛土完成時の土圧は非常に低い水準にとどまっている。このことは土圧係数にも反映されており、盛土完成時の土圧係数は約0.2と非常に小さい。

一方、この時の壁摩擦係数は約0.7程度とかなり大きな値を示しており地山の影響が窺えるが、相対作用位置については特に影響は認められない。壁移動時には、土圧合力は減少するものの、その傾向はこれまでのゆる詰めの施工条件で実施した地山のない実験結果に類似している。ただし土圧の減少率で見ると壁移動前の土圧合力が小さかったこともあってかなり大きくなる。

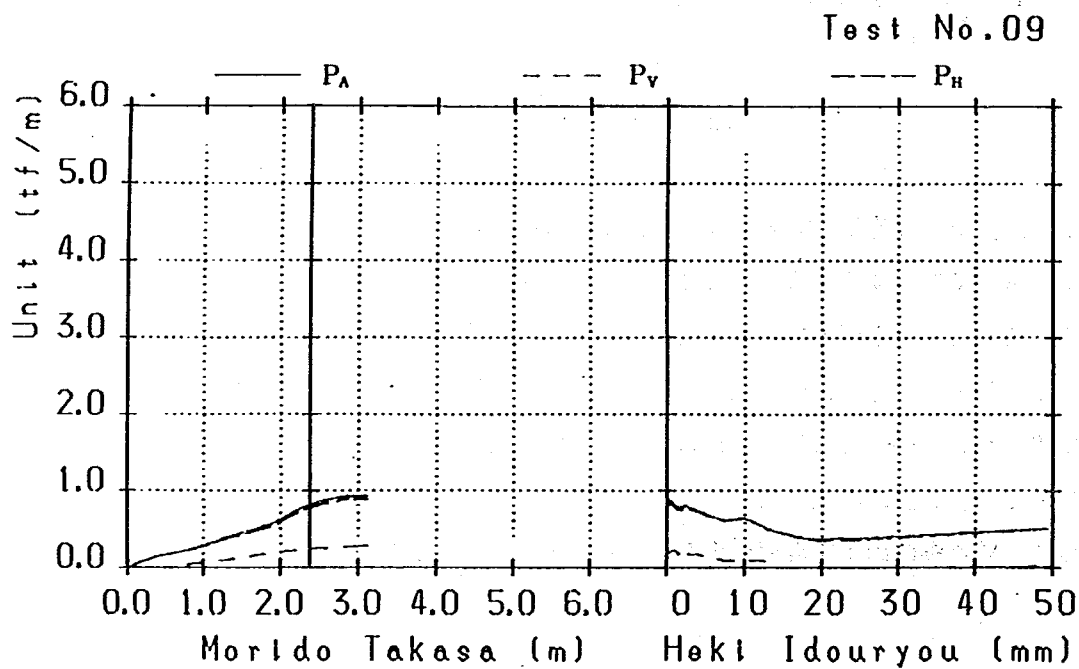
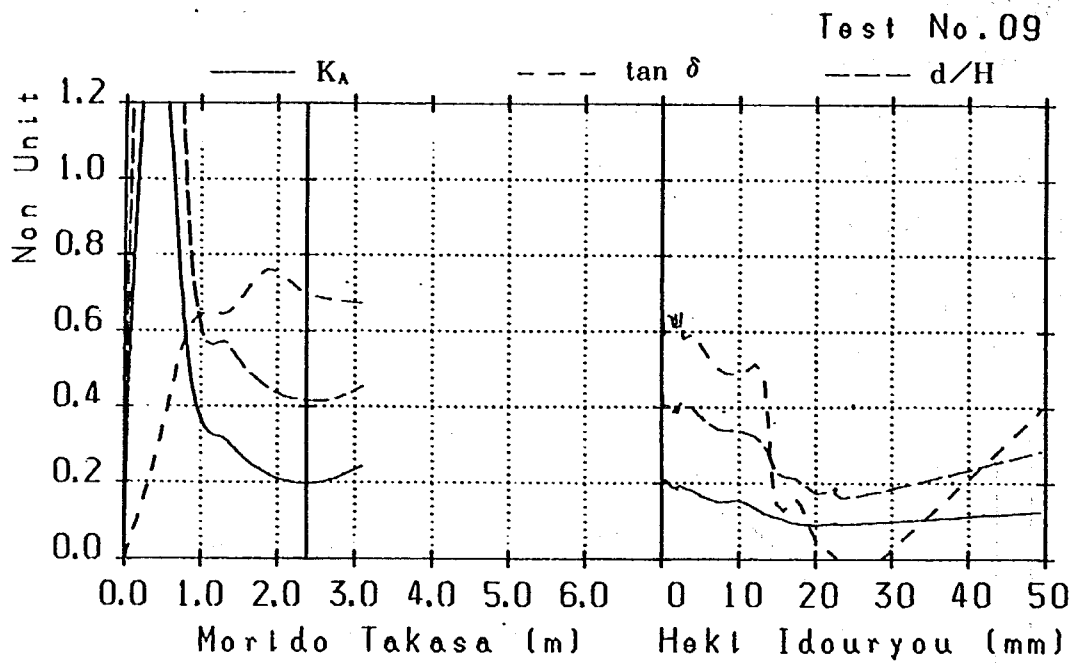


図-5.4 実験結果 (No.9)

図-5.5 は壁移動終了後の裏込め盛土の状況を示したものであるが、裏込め盛土中にすべり面は発生せず、地山面ですべりが生じていることがわかる。このことは、地山が存在しなければ、すべり面によって形成される土くさびがより大きくなる可能性のあることを示すものであり、この意味では地山の存在により主働時の土圧は小さくなったと考えられる。

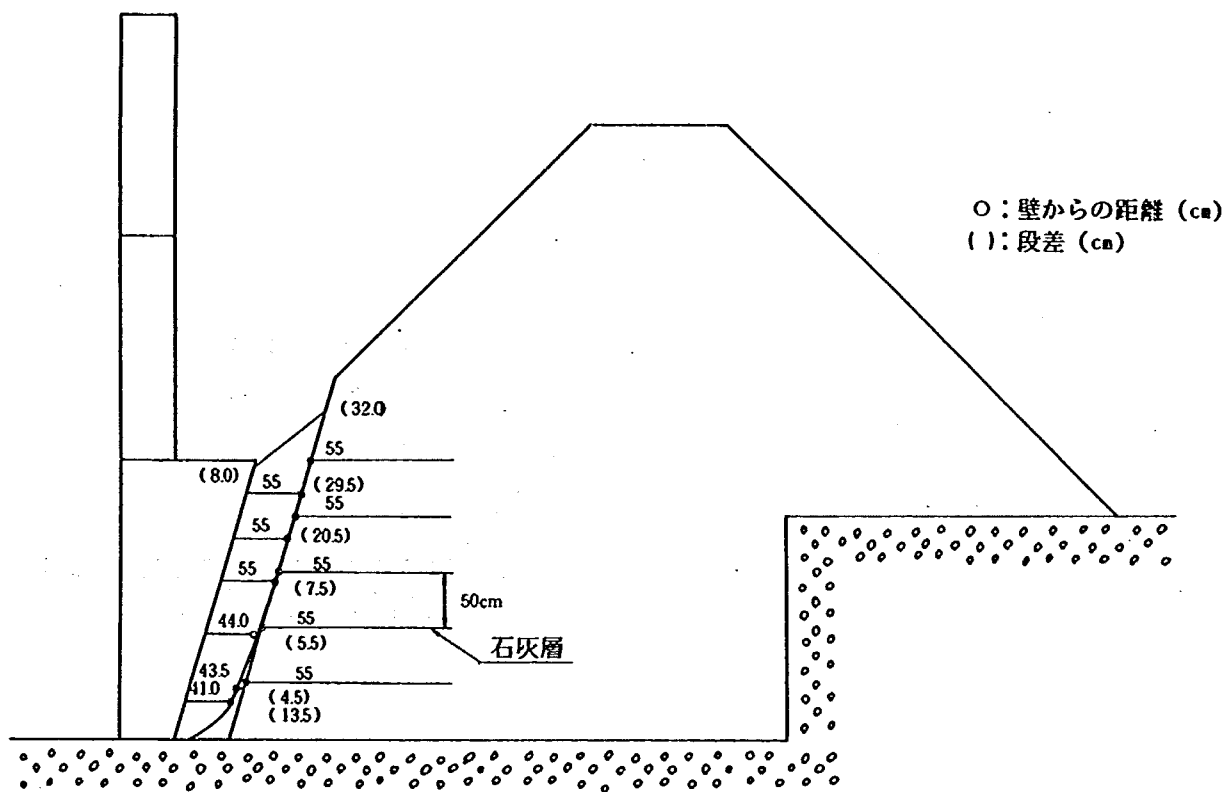


図-5.5 すべり面発生状況 (No.9)

(2) 実験その2 (No.10)

本実験は、実験No.9と同じく地山距離が土圧に及ぼす影響の把握を目的として行ったものであり、図-5.6に実験概要を示す。ソイルセメントで作成した1:0.3の勾配を持つ地山と実験壁の距離を1.0mに設定し、その間に川砂を用いて裏込め土を造成した。盛土造成に際してはソイルコンパクタによる締固めを行った。この時コアカッター法により測定した湿潤密度 γ_t 及び含水比 w の平均値は次の通りである。

○湿潤密度 $\gamma_t = 1.616 \text{ tf/m}^3$

○含水比 $w = 6.45 \%$

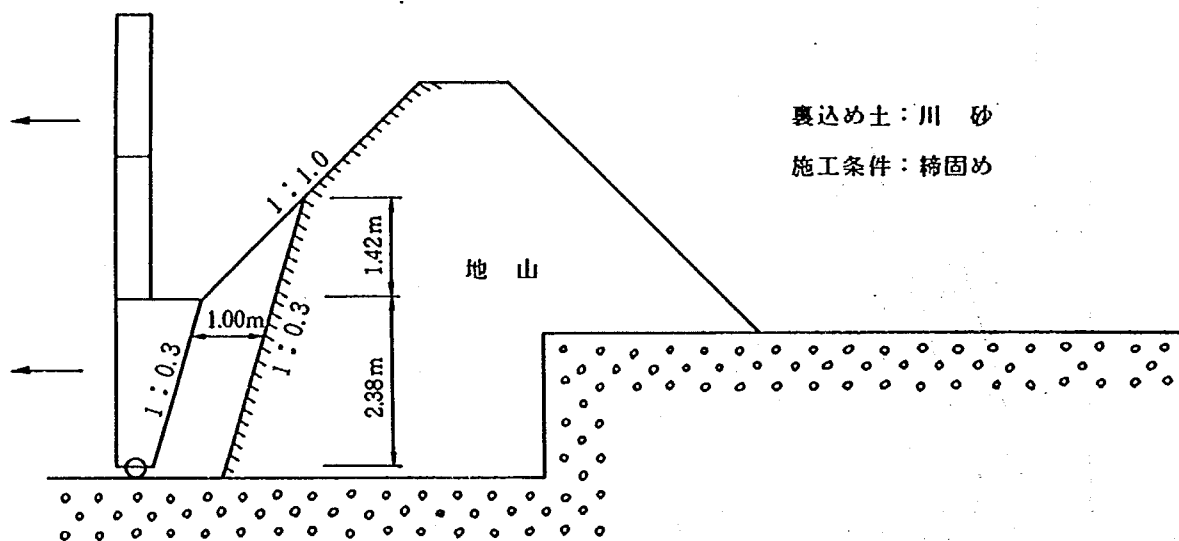


図-5.7 実験概要 (No.10)

図-5.7に盛土造成時及び壁移動時における荷重計の測定結果から得られた土圧及び土圧三要素を示す。盛土完了時の土圧合力は実験No.9と比較するとかなり大きく、土圧係数からも同様の事が指摘される。しかしながら実験No.7と比較するとかなり小さな結果であり、静止状態に近い場合の土圧は裏込め盛土の範囲によって異なることがわかる。

一方、壁摩擦係数は施工条件が締固めであったためか実験No.9よりやや小さく、相対作用位置についてはやや高くなっている。壁移動時には従来の施工条件が締固めの場合の実験結果と同様急激に減少するが、これに必要な壁移動量はやや小さい(3mm程度)ように思われる。

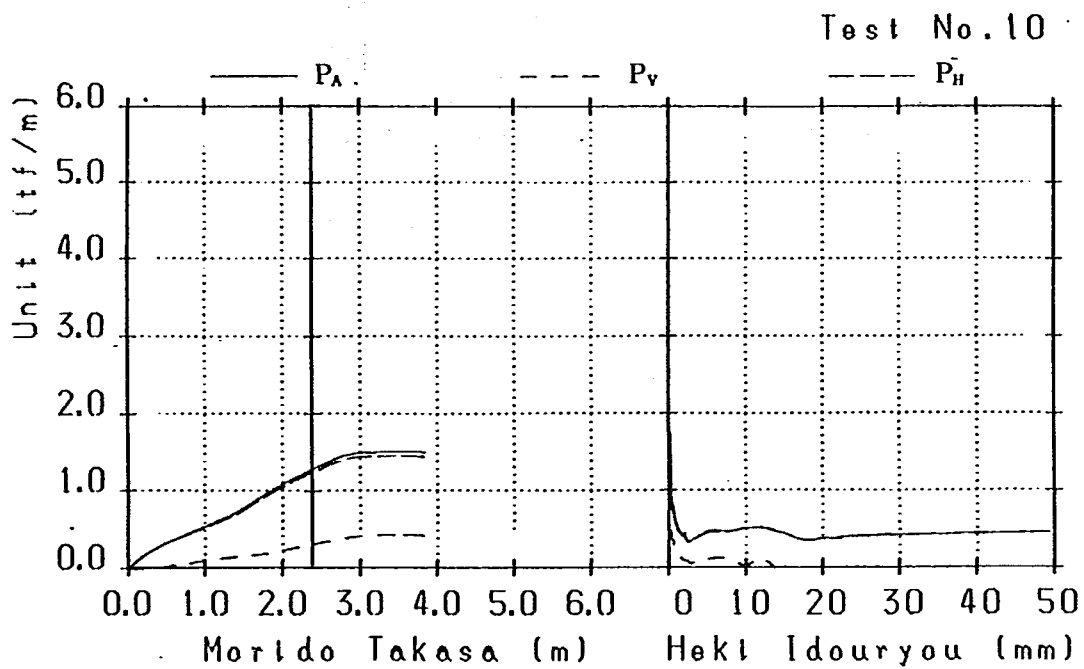
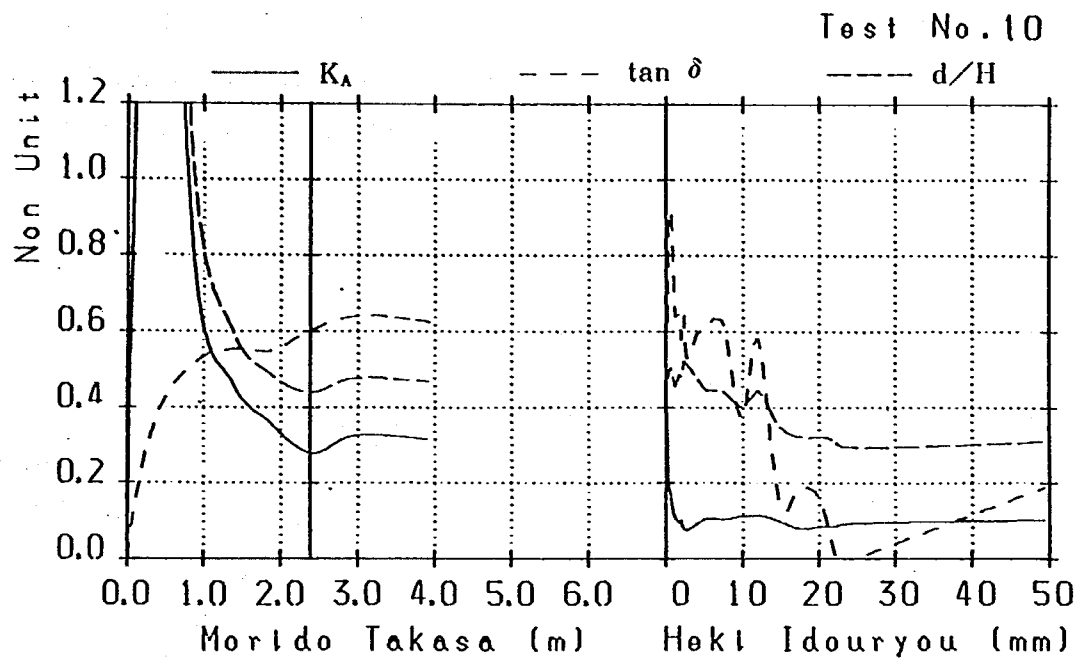


図-5.7 実験結果 (No.10)

図-5.8に壁移動に伴って裏込め盛土中に発生したすべり面の状況を示す。実験壁と地山面との距離が1.0mとかなり近いにもかかわらず、すべり面は実験壁近傍に生じており、しかも実験№7において観測されたすべり面と非常によく似ていることがわかる。これは、裏込め盛土を締固めて造成した場合、主働土圧状態においては地山距離が1m程度確保されていれば、地山の影響を全く受けないことを示すものと思われる。また壁移動終了時の土圧合力が実験№7とほとんど同じ水準になっていることからこのことが裏付けられる。

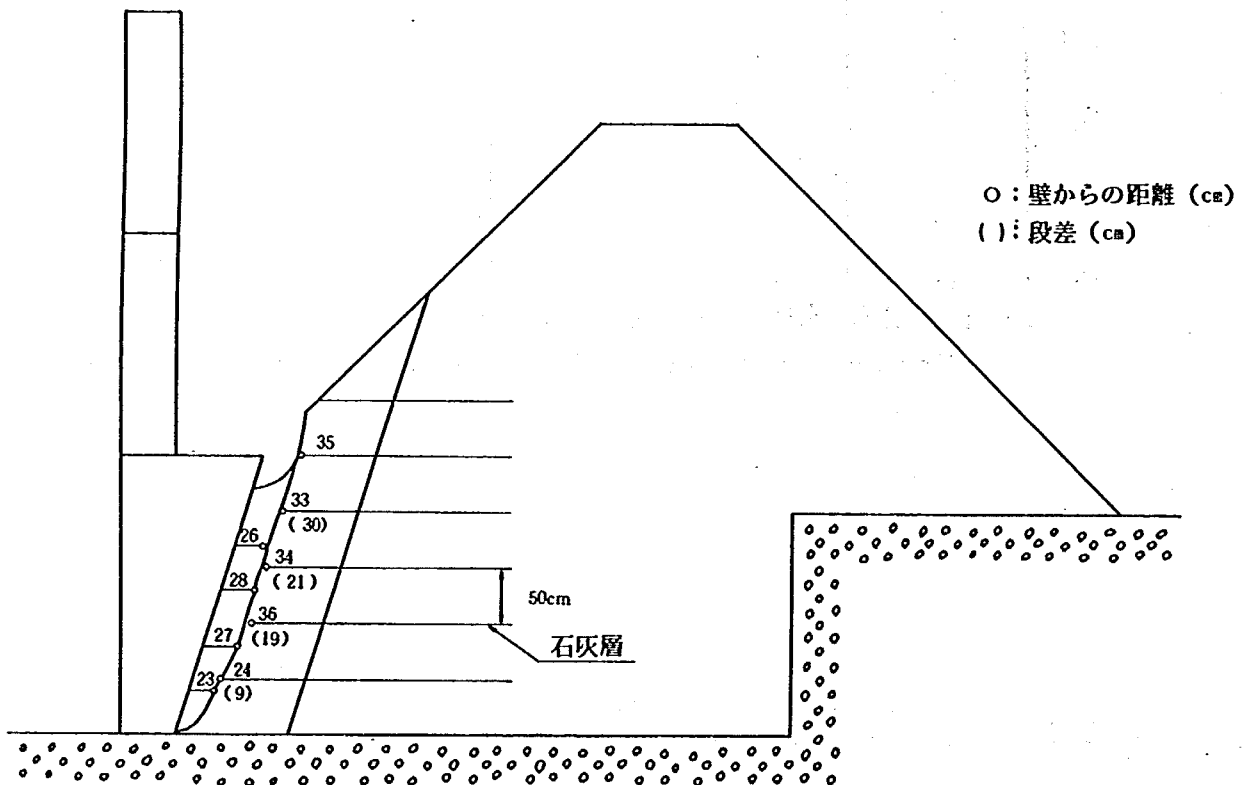


図-5.8 すべり面の発生状況 (No.10)

(3) 実験その3 (No.11)

本実験は、実験No.10と同じ盛土形状とし、裏込め土の施工条件の違いが土圧に及ぼす影響の把握を目的としたものであり、図-5.9に実験概要を示す。ソイルセメントで作成した1:0.3の勾配を持つ地山と実験壁の距離を1.0mに設定し、その間に川砂を用いて裏込め盛土を造成した。裏込め土は、搬入後敷均したのみで締固めは行っていない。盛土造成時にコアカッター法により測定した湿潤密度 γ_t 及び含水比 w の平均値は次の通りである。

○湿潤密度 $\gamma_t = 1.462 \text{ tf/m}^3$

○含水比 $w = 6.25 \%$

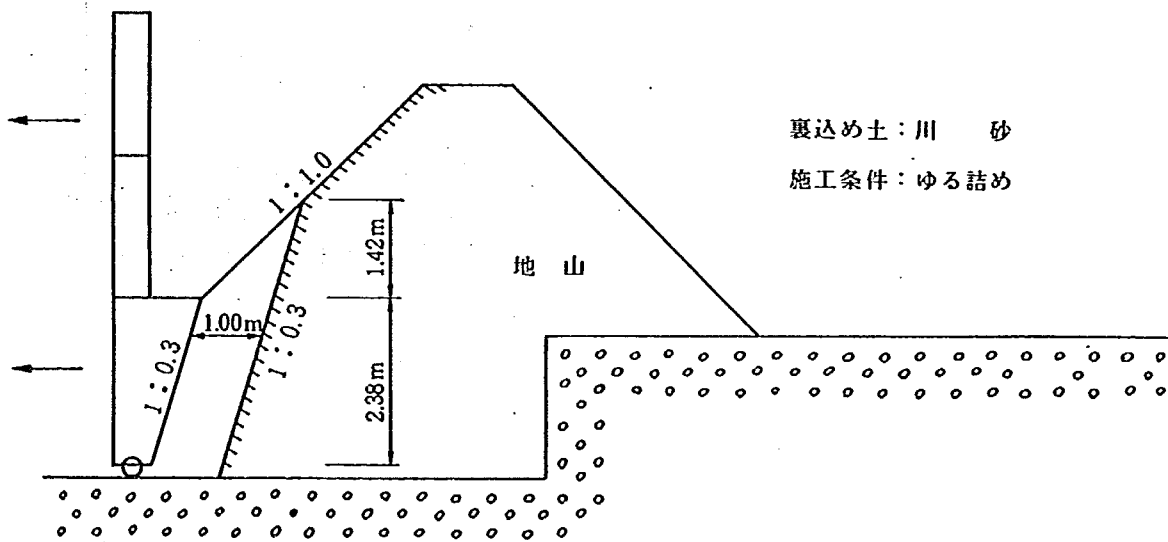


図-5.9 実験概要 (No.11)

図-5.10に盛土造成時及び壁移動時における荷重計の測定結果から得られた土圧及び土圧三要素を示す。盛土終了時の土圧合力は、実験No.10と比較するとやや大きく、施工条件の違いによる影響を受けていることがわかる。また相対作用位置に関しても同様であり、実験No.10と比べ相対作用位置はやや低く、盛土部土圧におけるそれと似た傾向が認められる。壁移動時には、従来のゆる詰めの場合の実験結果と同様の傾向を示し、急激な土圧の減少傾向が認められない。また壁摩擦係数や相対作用位置はそれほど変化していない。

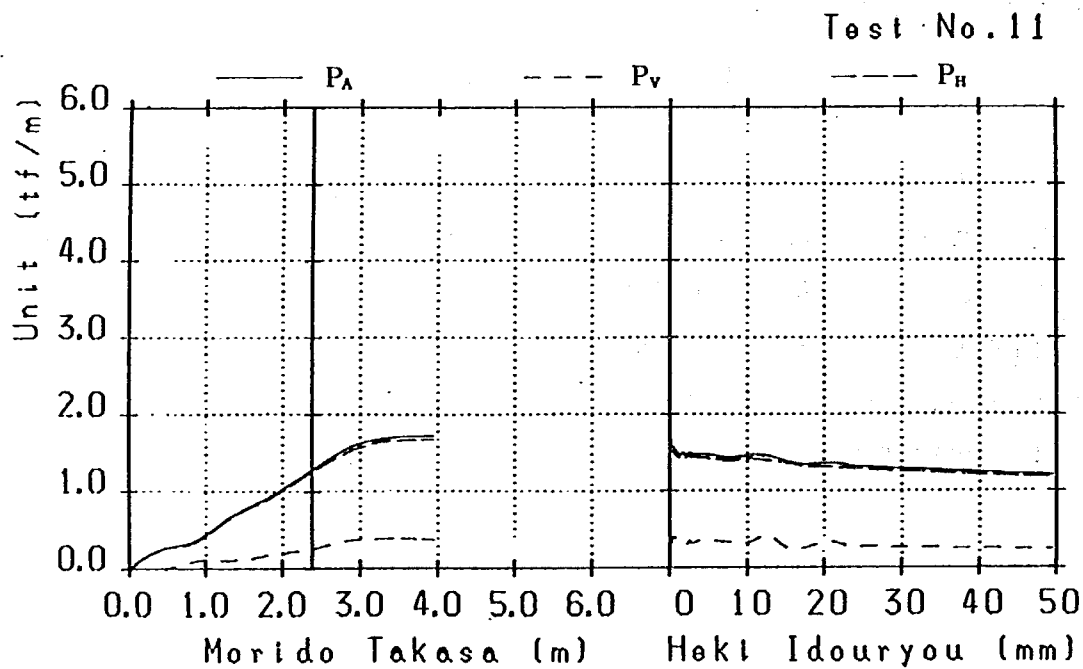
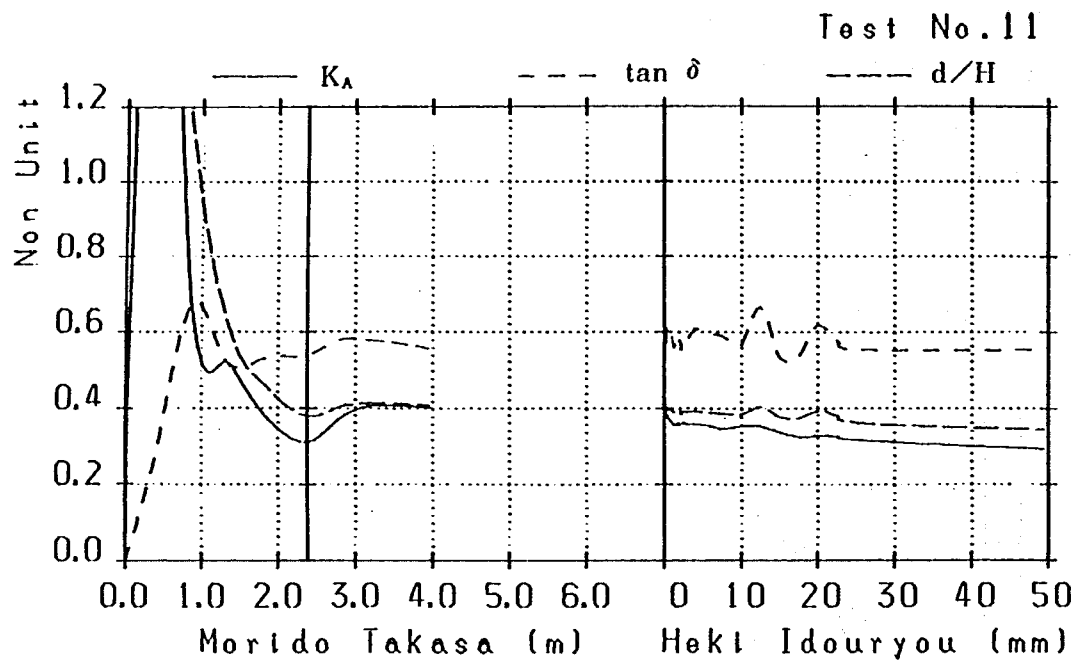
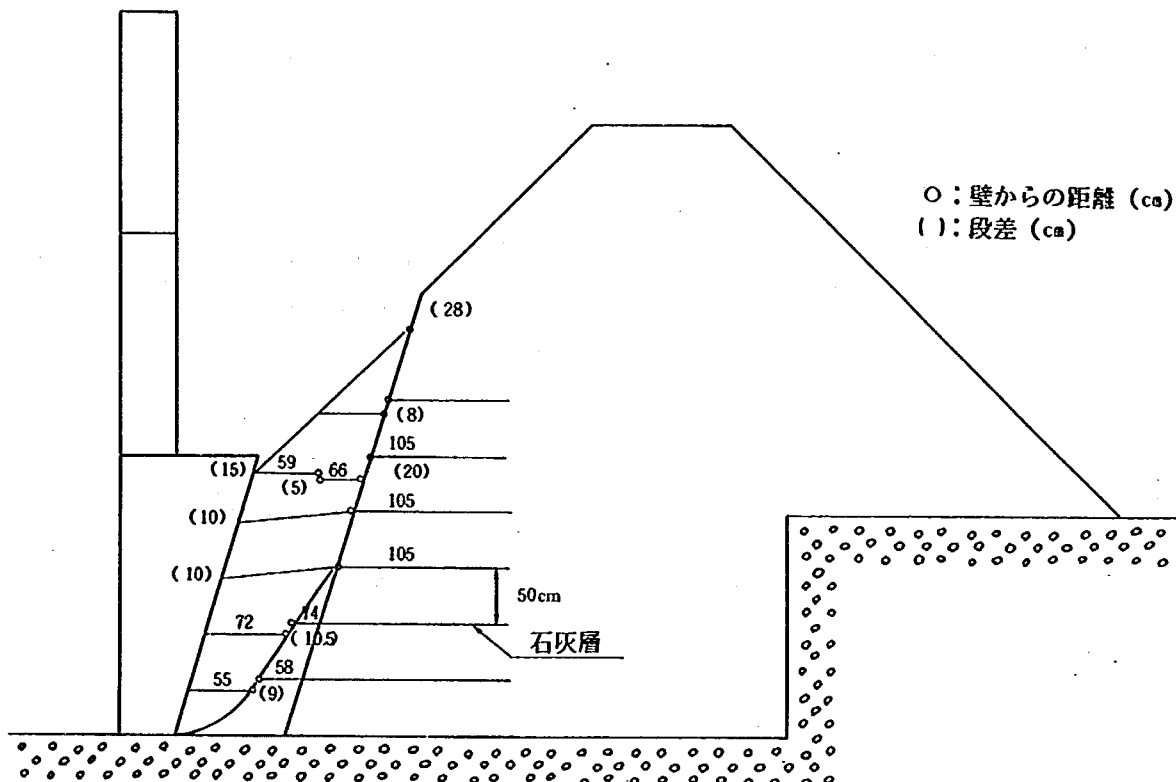


図-5.10 実験結果 (No.11)

図－5.11に実験壁移動終了後の裏込め盛土の状況を示す。裏込め土の施工条件がゆる詰めであるにもかかわらず、盛土中にはすべり面が発生しているが、途中からは地山面に沿ったすべり線となっており、明らかに地山面の影響を受けていることがわかる。すなわち地山距離が1 m程度の場合、主働土圧状態における地山の影響度合は裏込め土の施工条件によって異なり、実験№10のように締固めた場合は地山の影響は認められないが、締固めが不十分な場合はその影響を受けるため、設計上の配慮が必要になると考えられる。



図－5.11 すべり面発生状況 (No.11)

(4) 実験その4 (No.12)

本実験は、実験No.10と同じ盛土形状とし、裏込め土の種類の違いが土圧に及ぼす影響の把握を目的としたものであり、図-5.12に実験概要を示す。ソイルセメントで作成した1:0.3の勾配を持つ地山と実験壁の距離を1.0mに設定し、その間に碎石を用いて裏込め盛土を造成した。裏込め盛土造成時にはソイルコンパクタによる締固めを行った。また鉄製の箱に盛土造成時と同じ締固め状態で碎石を詰めて測定した重量及び含水比から算出した湿潤密度 γ_t 及び含水比 w は次の通りである。

○湿潤密度 $\gamma_t = 2.004 \text{ tf/m}^3$

○含水比 $w = 1.54 \%$

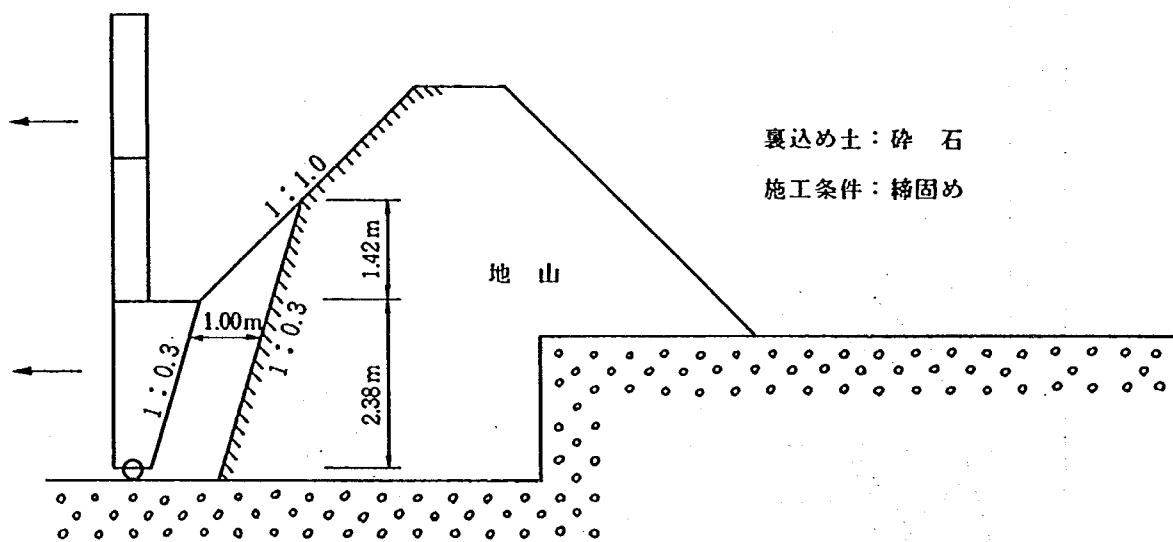


図-5.12 実験概要 (No.12)

図-5.13に盛土造成時及び壁移動時における荷重計の測定結果から得られた土圧及び土圧三要素を示す。盛土完成時の土圧合力は、完成直前の土圧合力より減少しているが、これは付録に示した移動量からも明らかなように実験壁に若干の移動が生じたことに起因するものと考えられる。しかしながら、実験No.10と比較すると一般に土圧係数は0.1程度小さくなっており、裏込め土の種類による影響が認められる。壁移動時の土圧合力は、2mm程度の移動量で急激に減少し、実験壁にはほとんど土圧が作用しない状態となっている。これは図-5.14に示した壁移動終了後の裏込め盛土の状況にも反映されており、実験壁と裏込め土の間に隙間が生じたのみで、盛土の変位は認められない。なお碎石の内部摩擦角及び粘着力はいずれも砂のそれを上回っていることから自立の可能性が窺える。

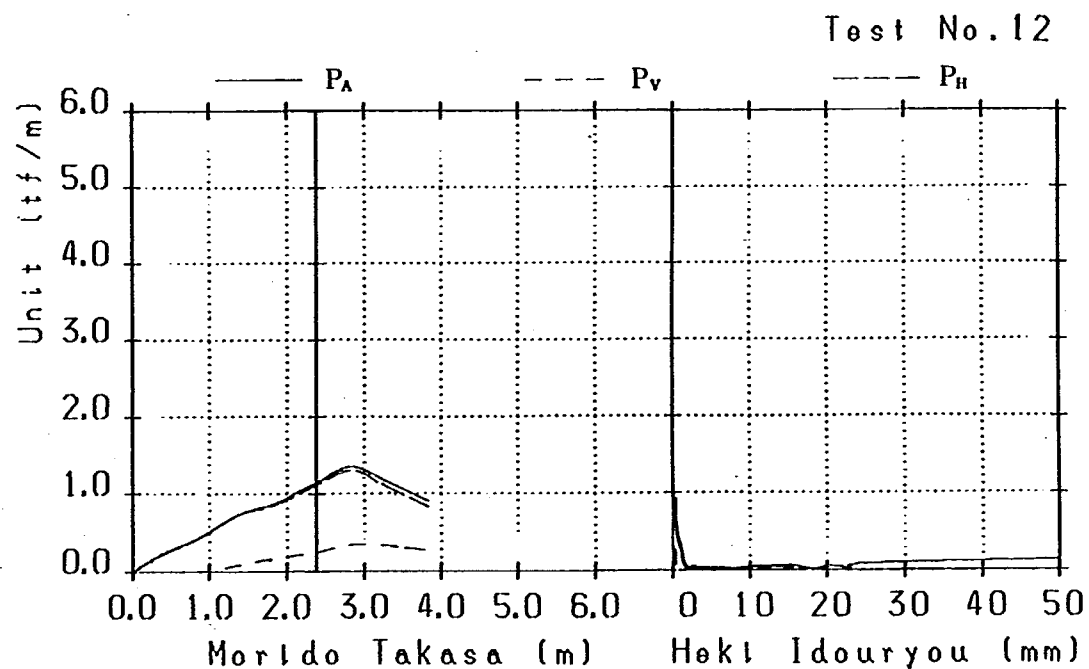
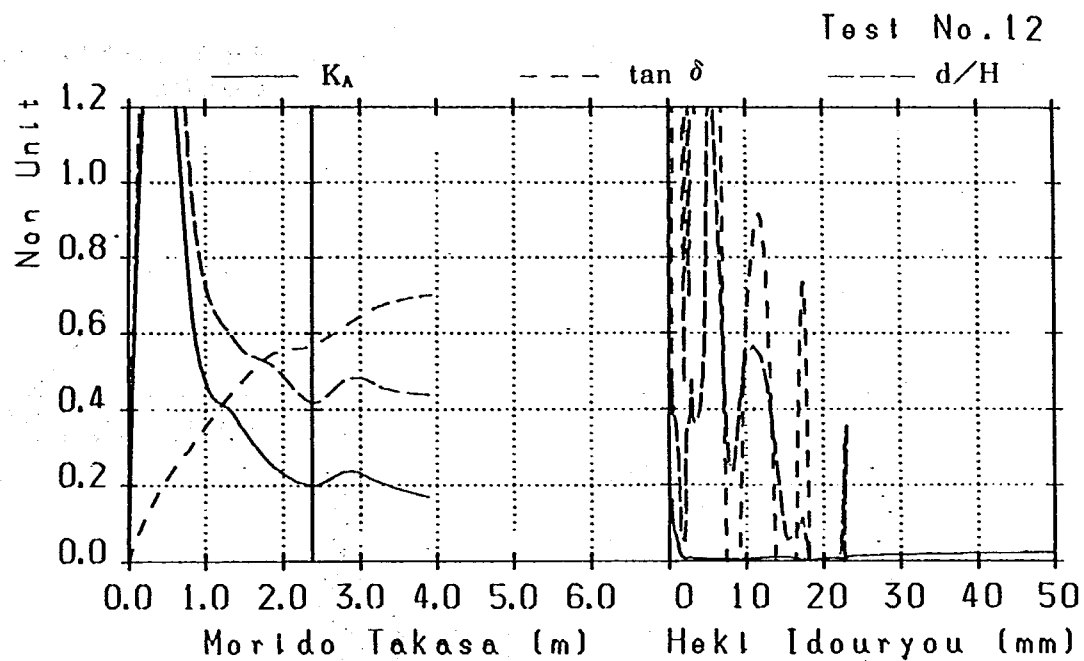


図-5.13 実験結果 (No.12)

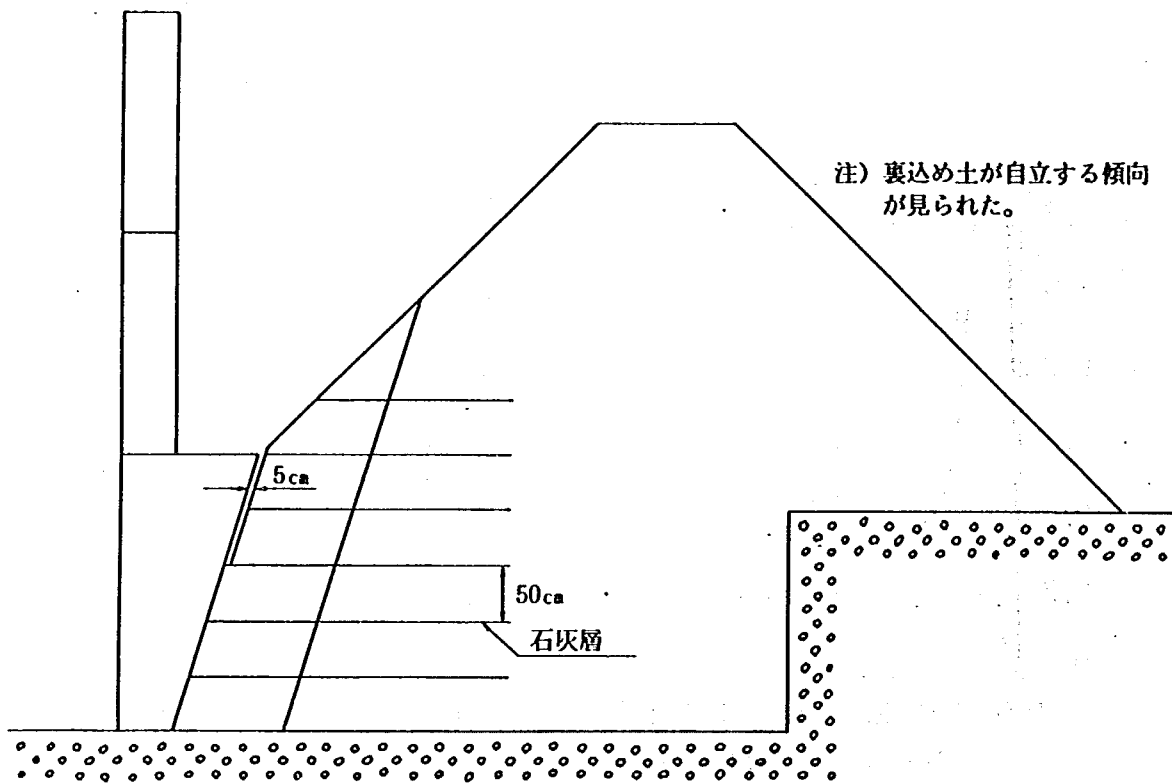


図- 5.14 すべり面の発生状況 (No.12)

(5) 実験その5 (No13)

本実験は、実験No12との比較を通して裏込め土の施工条件の違いによる影響の把握を目的としたものであり、図-5.15に実験概要を示す。ソイルセメントで作成した1:0.3の勾配を持つ地山と実験壁の距離を1.0mに設定し、その間に砕石を用いて裏込め盛土を造成した。裏込め土は、搬入後敷均したのみで締固めは行っていない。また実験No12と同様に、鉄製の箱に盛土造成時と同じ状態で砕石を詰めて測定した重量及び含水比から算出した湿潤密度 γ_t 及び含水比 w は次の通りである。

○湿潤密度 $\gamma_t = 1.701 \text{ tf/m}^3$

○含水比 $w = 1.54 \%$

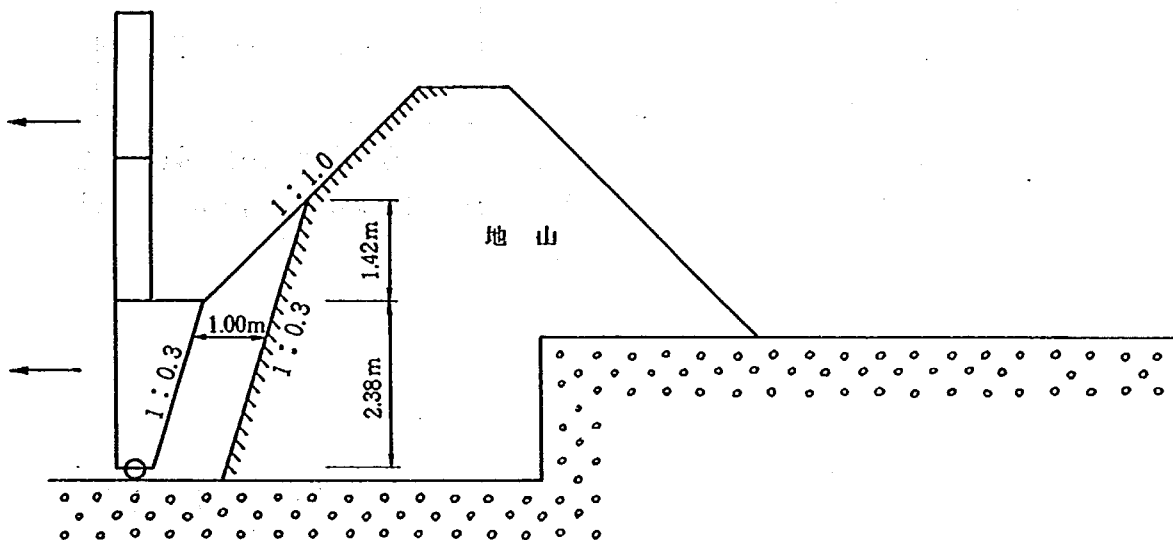


図-5.15 実験概要 (No13)

図-5.16に盛土造成時及び壁移動時における荷重計の測定結果から得られた土圧及び土圧三要素を示す。盛土完了時の土圧合力、壁摩擦係数及び相対作用位置は、いずれも施工条件の違いによる影響を受けていることが認められるが、その影響の度合は裏込め土に川砂を用いた場合とほぼ同程度と考えられる。壁移動時の土圧合力の挙動も、川砂を裏込め土に用い施工条件をゆる詰めとした場合の実験No11の結果と同様であり、施工条件の影響を強く受けていることが窺える。

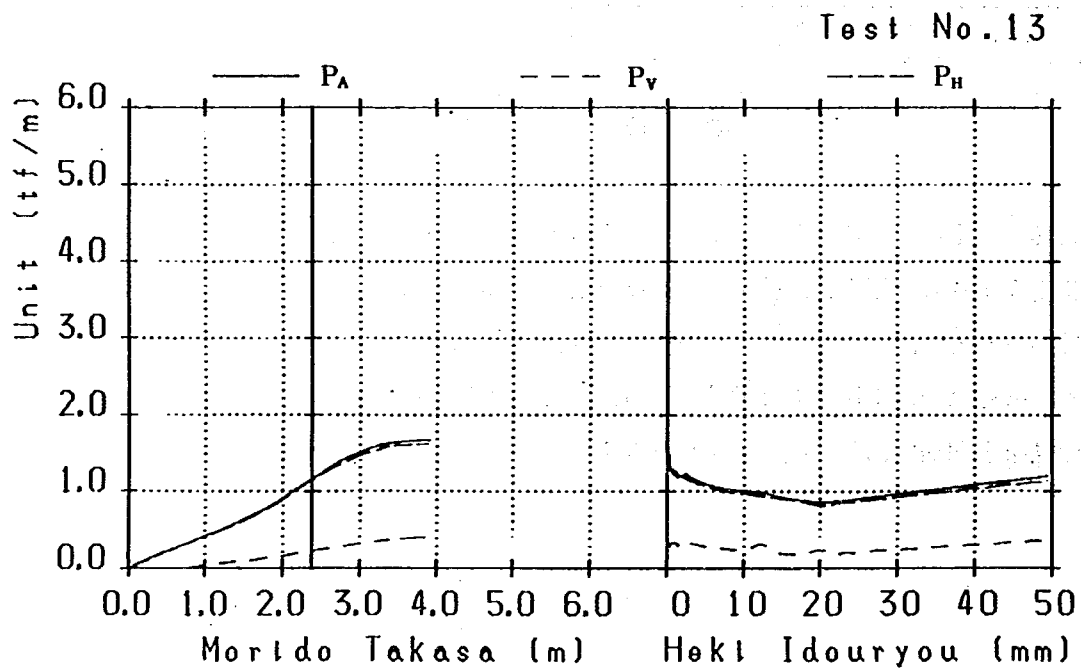
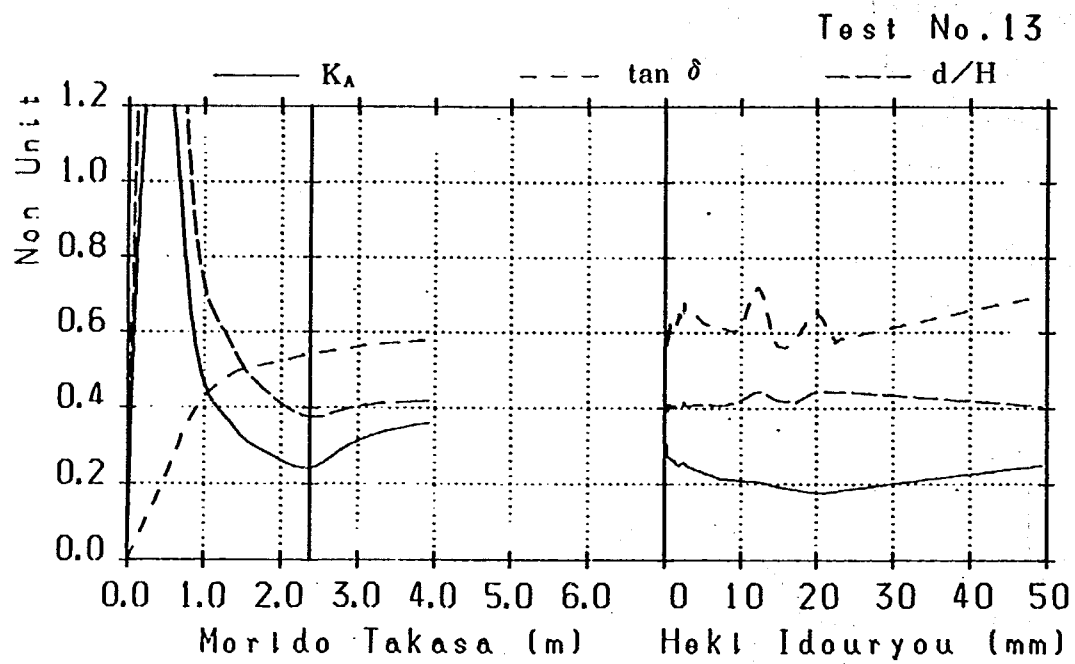


図-5.16 実験結果 (No. 13)

図-5.17は、壁移動終了後の裏込め盛土の状況を示したものである。

施工条件が同じゆる詰めである実験№11で見られた、裏込め盛土中のすべり面は発生せず、地山面に沿って裏込め盛土全体が沈下するにとどまっている。これは実験№12と同様裏込め土の違いに起因しているものと考えられる。

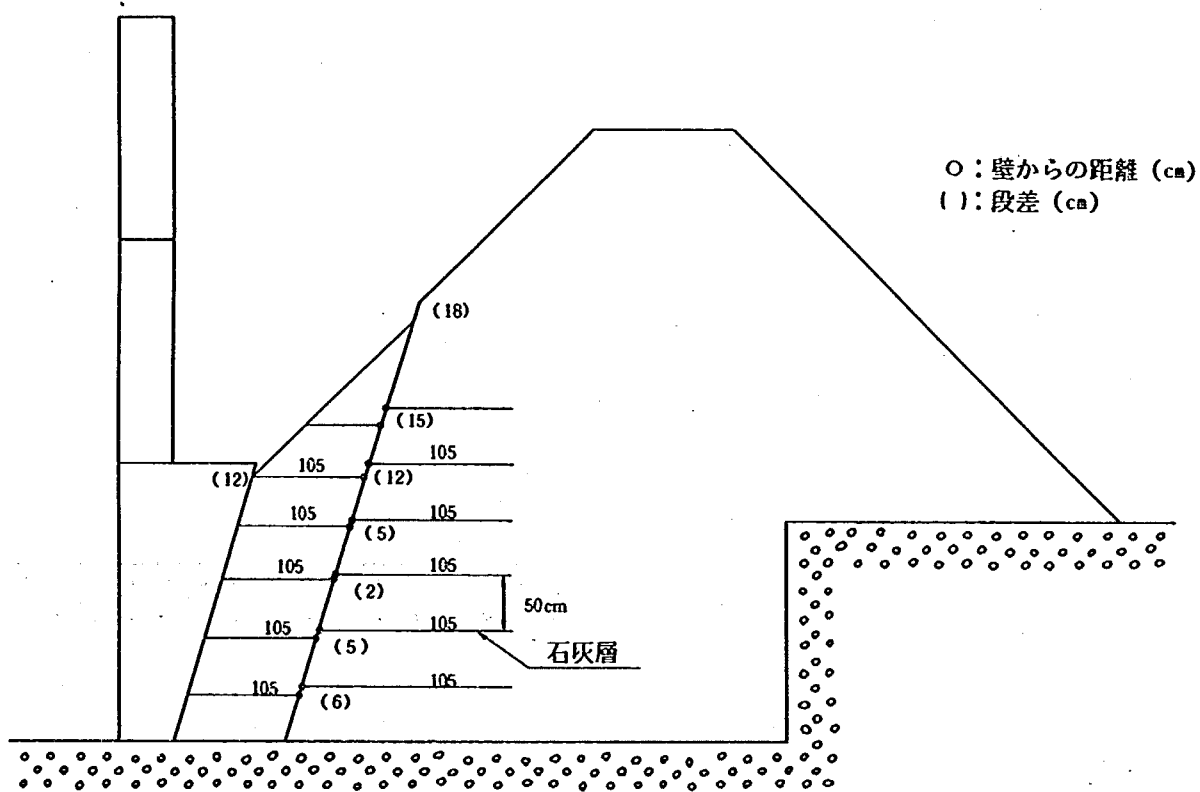


図-5.17 すべり面の発生状況 (№13)

(6) 実験その6 (No.14)

本実験は、地山の勾配が土圧に及ぼす影響を把握することを目的として行われたもので、図-5.18に実験概要を示す。ソイルセメントで作成した地山と実験壁の距離を1.0mとし、地山面の勾配を1:0.5に設定し、その間に川砂を用いて裏込め盛土を造成した。盛土造成時には、搬入した裏込め土を敷均したのみで締固めは行っていない。この際コアカッター法により測定した湿潤密度 γ_t 及び含水比 w の平均値は次の通りである。

○湿潤密度 $\gamma_t = 1.450 \text{ tf/m}^3$

○含水比 $w = 5.68 \%$

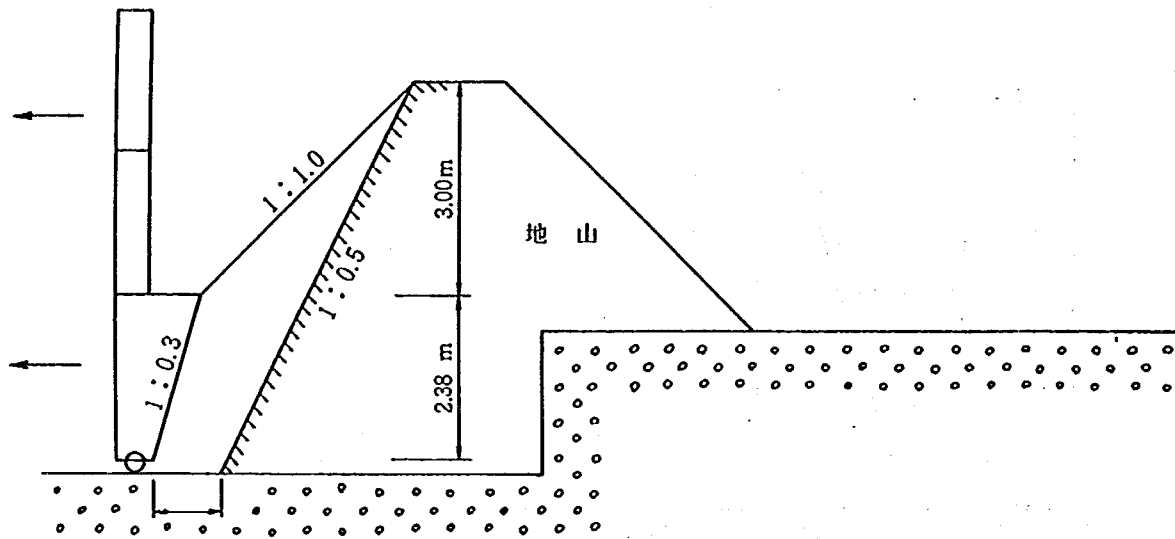


図-5.18 実験概要 (No.14)

図-5.19に盛土造成時及び実験壁移動時における荷重計の測定結果から得られた土圧及び土圧三要素を示す。地山の勾配が1:0.5のため盛土高は5.38mとかなり高くなっているが、盛土完成時の土圧合力は、実験No.8と比較するとかなり小さく、地山の影響を受けていることがわかる。しかしながら、実験No.11と同じ盛土高さである3.8mまでは、実験No.11の実験結果とほぼ同様であり、特に地山の勾配による影響は認められない。この点については実験ケースを増すなど今後の検討に負う所が大きい。また壁移動時の土圧合力及び土圧三要素の挙動についても、実験No.11と似た傾向を示している。

図-5.20は、壁移動終了後の裏込め盛土の状況を示したものである。なお、盛土完了直後に、実験壁天端を通るすべり面が生じたが、この状態のまま壁移動を行った。実験No.11と同様に、締固めが不十分であっても壁高付近まで盛土中にすべり面が生じている。しかしながら、すべり面によって形成される土くさびは実験No.11よりもかなり大きく、これが壁移動後の土圧合力に差の生じた原因と考えられる。

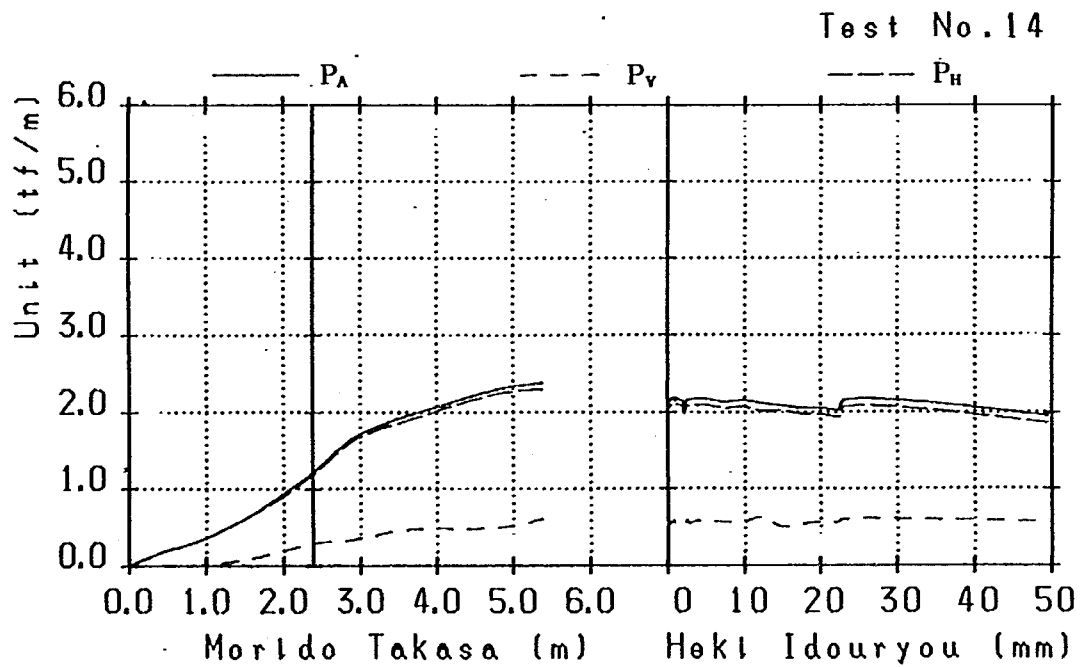
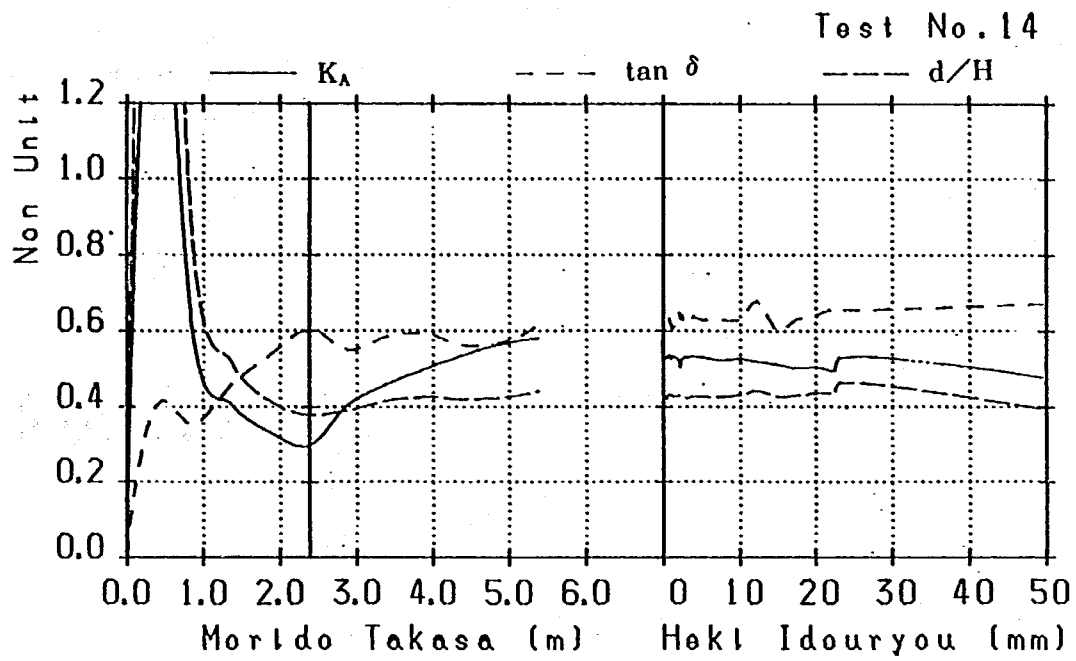


図-5.19 実験結果 (No.14)

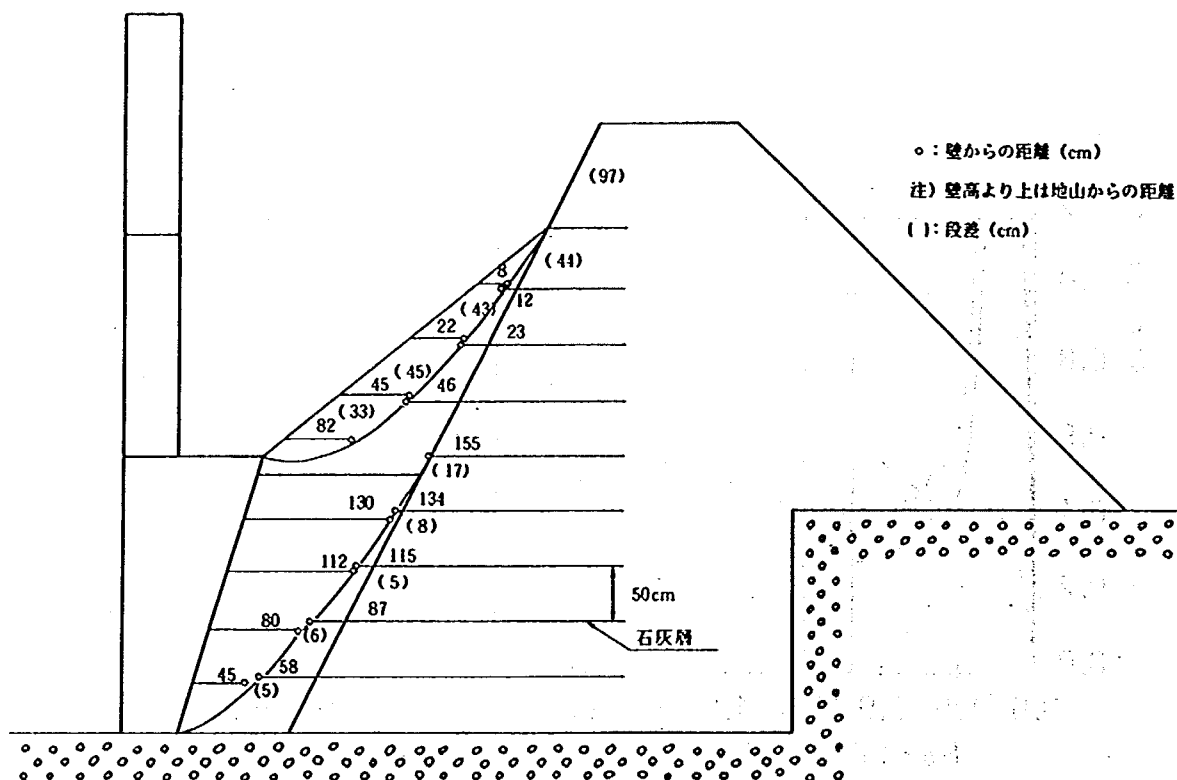


図-5.20 すべり面の発生状況 (No.14)

5-3 考察

「5-2 実験結果」において各実験の概要を個々に述べたので、ここではこれらの実験結果の比較を通して土圧に及ぼす要因について検討を加えることとする。

(1) 地山形状の影響

図-5.21は、嵩上げ盛土に関する実験において実施した実験№8も含めて、裏込め土に川砂を用い、施工条件をゆる詰めとして行った各実験の結果を、土圧合力と盛土高及び壁移動量の関係として整理したものである。各実験において設定した地山形状が異なるため、まず壁高までの盛土が完了した状態に注目すると、地山がない実験№8の土圧合力が最も大きく、地山距離が減少するに従って、すなわち裏込め土の量が少なくなるに従って土圧が小さくなる傾向が見られ、明らかに地山の影響を受けていることがわかる。次に壁移動後の土圧合力は、裏込め土の量でその大きさが決定される傾向が認められる。すなわち土圧合力は地山のない実験№8が最も大きく、地山距離50cmの場合が最も小さい結果となっている。また壁移動前の土圧合力と比較した場合の土圧の減少量あるいは減少率は、地山のない場合はかなり大きいのに対して、地山のある場合はいずれも小さい。これらのことから、主働土圧状態においても地山の影響を受けていることがわかる。

図-5.22は、裏込め土に川砂を用いた実験において、壁移動に伴って裏込め盛土中に発生したすべり面の状況を示したものである。ただし、実験№8については明確なすべり面が観測されなかったため、盛土天端のクラック発生状況等から想定したすべり面を示している。図から明らかなように、裏込め土の施工条件がゆる詰めの場合、地山面が存在すればすべり面はいずれも地山に沿って発生して

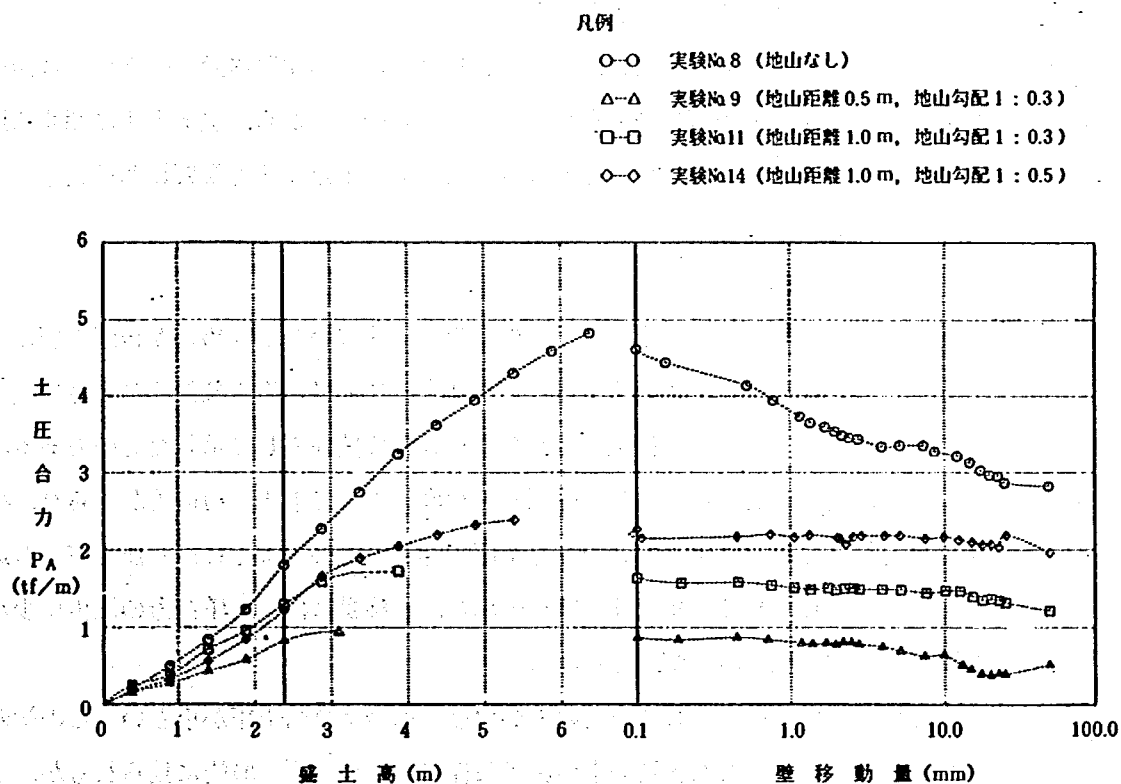


図-5.21 地山面の影響 (ゆる詰め)

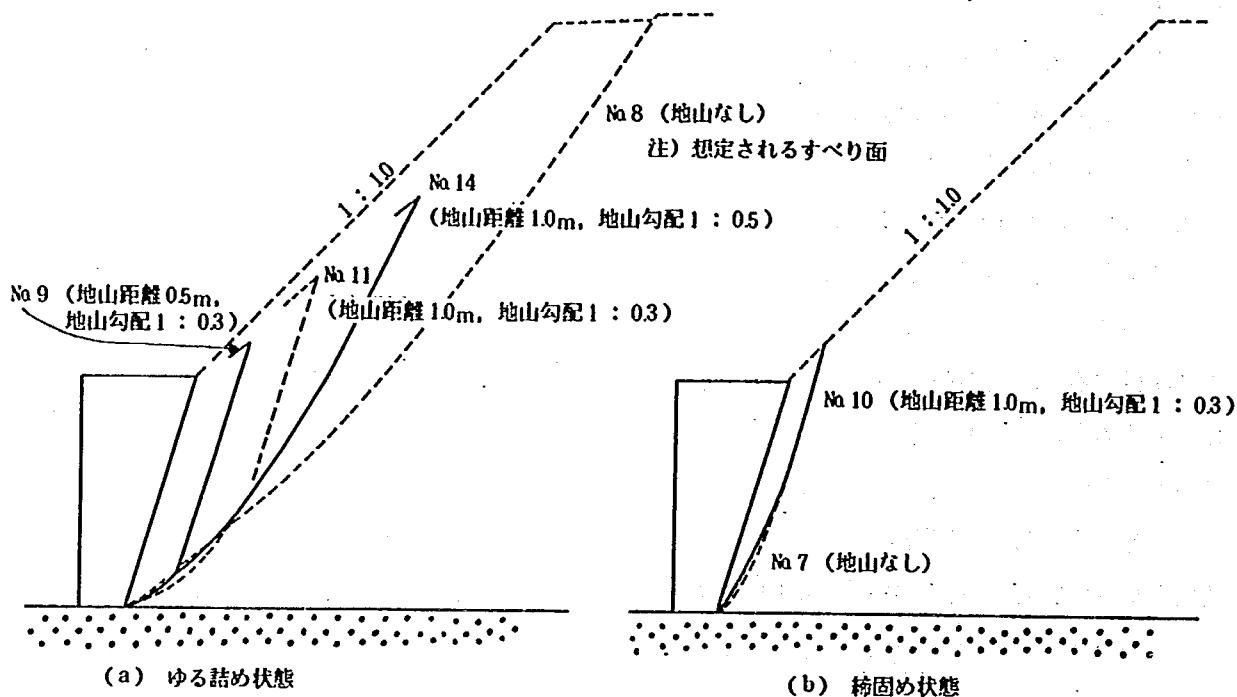


図-5.22 すべり面の比較

いる。これは、地山が無ければより緩かな傾きですべり面が発生することを示すものと考えられ、実験No. 8で想定したすべり面に近づくものと思われる。またこれらのすべり面によって形成される土くさびの大きさも各実験条件によって異なっており、土くさびの大きさがそのまま図-5.21の壁移動終了後の土圧合力の大きさに反映されていることがわかる。

一方、裏込め土の施工条件が締固めの場合は、地山の有無にかかわらず壁移動に伴うすべり面はほぼ同じ位置に発生しており、地山の影響は認められない。これらのことから、主働土圧に関する地山の影響範囲は裏込め土の施工方法によって大きく異なり、締固めが不足すると影響範囲は大きくなると言える。

(2) 裏込め土及び施工条件の影響

嵩上げ盛土部の土圧においては、裏込め土の施工条件の違い、すなわち締固めの度合いが土圧に及ぼす影響が大きいことが明らかになった。図-5.23は、切土部土圧における施工条件及び裏込め土の種類が土圧合力に及ぼす影響を、土圧合力と盛土高さ及び壁移動量の関係として示したものである。まず施工条件に注目すると、地山の有無に関係なく締固めの程度によって土圧合力に差が見られ、締固めた方が一般に土圧合力は小さい。盛土完成時の静止土圧状態ではこの差はそれほど顕著ではないが、主働土圧状態では大きな差が見られる。またゆる詰めの場合、壁移動に伴う土圧合力の減少は少ないが、締固めた場合には急激な土圧の減少が認められる。

一方、裏込め土の違いについては、一般に碎石の方が川砂の場合よりも土圧が小さい。この傾向は、盛土造成時及び壁移動時を問わず、また裏込め土の施工条件にかかわらず一般的に見られるが、これは土質試験結果における碎石の内部摩擦角 ϕ 、粘着力 c が、いずれも川砂のそれを上回っていること

凡例

- 実験No.7 (川砂, 締固め, 地山なし)
- 実験No.8 (川砂, ゆる詰め, 地山なし)
- △—△ 実験No.10 (川砂, 締固め, 地山あり)
- △—△ 実験No.11 (川砂, ゆる詰め, 地山あり)
- 実験No.12 (碎石, 締固め, 地山あり)
- 実験No.13 (碎石, ゆる詰め, 地山あり)

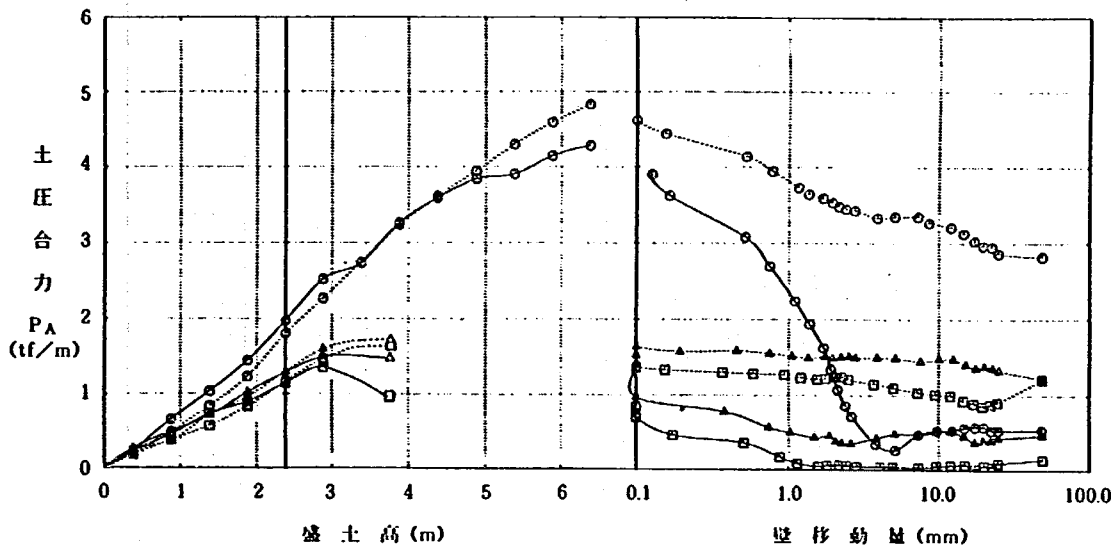


図-5.23 裏込め土及び施工条件の影響

に対応している。

なお、裏込め土に川砂を用い、施工条件を締固めとして実施した実験No.7と実験No.10の壁移動終了後の土圧合力は、ほぼ同じ水準を示しているが、図-5.22に示した壁移動終了後のすべり面の発生状況が両者でほぼ同じであったことと対応していると考えられ、非常に興味深い。

(3) 現行の設計土圧との比較

本実験では、安定した地山を想定した切土部土圧に関する検討を加えてきた。地山が安定している場合、擁壁の設計に必要な土圧の算定には、図-5.2に示した複合くさび法が用いられることが多い。

図-5.24は、実験No.9から実験No.14における裏込め盛土完成時（ピーク時）及び主働土圧状態での土圧合力の実測値と、複合すべり法による計算値とを比較して示したものである。なお、比較の意味で実験No.7、実験No.8についても試行くさび法による計算値と併せて示した。ここで、実測値における主働状態の土圧合力は、壁移動量が10mmに達するまでに記録された最小の土圧合力を採用した。また計算値については上下の範囲があるが、これは土質試験結果から得られた表-5.2に示す内部摩擦角 ϕ 及び粘着力 c を用いた計算結果（壁摩擦角 $\delta = 2/3\phi$ ，壁付着力 $c' = c/2$ ）を下に、慣用的に用いられる ϕ （ここではゆる詰め： $\phi = 25^\circ$ ，締固め： $\phi = 40^\circ$ ）のみを用いた計算結果（壁摩擦角 $\delta = 2/3\phi$ ）を上を示したものである。なお、湿潤単位体積重量 γ_t は盛土造成時の実測結果を用いた。

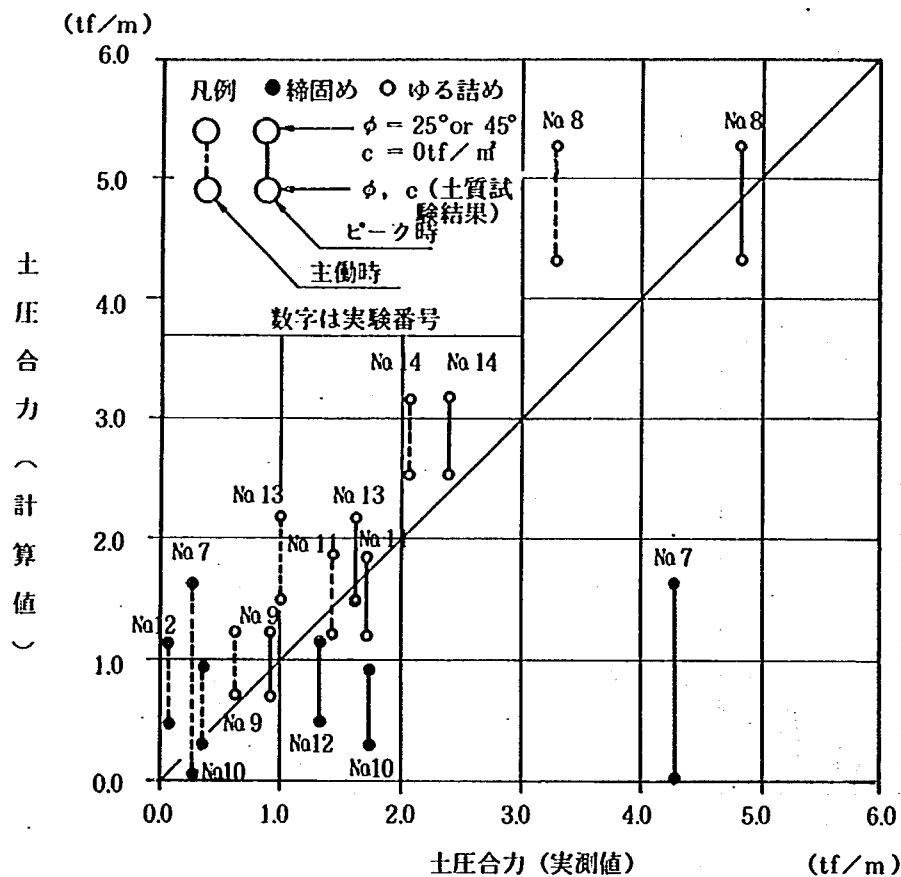


図-5.24 複合くさび法と実測値との比較

図-5.24から明らかなように、施工条件がゆる詰めの場合は、一般に土質試験結果を用いて算出した土圧合力と実測値の土圧合力は、ピーク時、主働時とも比較的良い対応を示している。一方、施工条件が締固めの場合は、土質試験結果を用いて算出した土圧合力と実測値の土圧合力は、主働時においてはある程度の対応が得られているが、ピーク時には実測値の方が計算値を大きく上回っており、くさび法による限り対応はつかない。

擁壁の設計に用いる土圧に、静止土圧状態を考えるか、ある程度の変位を認めるとして主働土圧状態を考えるかは、許容変位量や長期間の安定の問題に帰するが、長期の安定を考えれば、主働時よりも大きめの土圧に擁壁が耐え得るよう土圧を設定するのが望ましいと思われる。したがってこの意味では、嵩上げ盛土部の土圧と同様に裏込め土を締固めた場合の土圧の算定に土質試験より得られた結果をそのまま採用するのは問題があると思われる。

表-5.2 計算に用いた土質定数(実測値)

		内部摩擦角 ϕ	粘着力 c
川	締固め	37.8°	0.35 tf/m ²
	ゆる詰め	21.3°	0.25 tf/m ²
砂	締固め	41.2°	0.95 tf/m ²
	ゆる詰め	24.6°	0.18 tf/m ²

6. 降雨の影響に関する実験

6-1 概要

擁壁の変状や倒壊事故の多くは豪雨時に発生しているが、この原因の一つとして降雨によって擁壁に作用する土圧が増大することがあげられる。なおここで言う土圧とは、土圧と水圧を含めた全荷重をさしている。

降雨によって土圧が増加する原因として、次に示す事項が考えられる。

- ① 擁壁裏込め土の含水量の増加に伴う単位体積重量の増加
- ② 内部摩擦角及び粘着力の減少
- ③ 粘性土の含水膨張
- ④ 浸透圧あるいは静水圧の発生

したがって擁壁の設計に際しては、降雨の影響を十分考慮する必要があるが、現行の設計指針等では、排水工の整備の必要性を示しているのみで、とくに設計上の対応が示されていないことが多い。また、連続降雨による定常状態での浸透圧を考慮した土圧算定法は、幾つか報告されているものの大型実験によって降雨が土圧に及ぼす影響が検討された事例はほとんど見当たらない。

このようなことから、ここでは大型擁壁実験装置及び降雨装置を用いた土圧測定実験を行い、降雨が土圧に及ぼす影響について検討を加えた。実験は「5. 切土部土圧に関する実験」と同じくもたれ式擁壁を対象として、盛土形状を変えた2ケースについて実施した。なお、各実験ケースは表-6.1に示すように降雨強度や排水高さを組合せた幾つかの実験条件から構成されている。

表-6.1 実験条件一覧

実験 No.	排水高さ	降雨強度				
		20 mm/h	40 mm/h	60 mm/h	80 mm/h	130 mm/h
実験 No 15	0.5 m	①	②	③	④	—
	1.0 m	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
実験 No 16	0.5 m	①	—	—	—	—
	1.0 m	②	—	—	—	—

6-2 実験結果

(1) 実験その1 (No15)

図-6.1に本実験の概要を示す。既に述べたように実験壁はもたれ壁とし、実験壁背面には排水層として厚さ50cmの碎石層(D=30~40mm)を設けた。さらに、排水層下部に集水パイプを埋設し、これに排水パイプを接続することにより、排水高さを調節する構造とした。裏込め土には川砂を用い壁

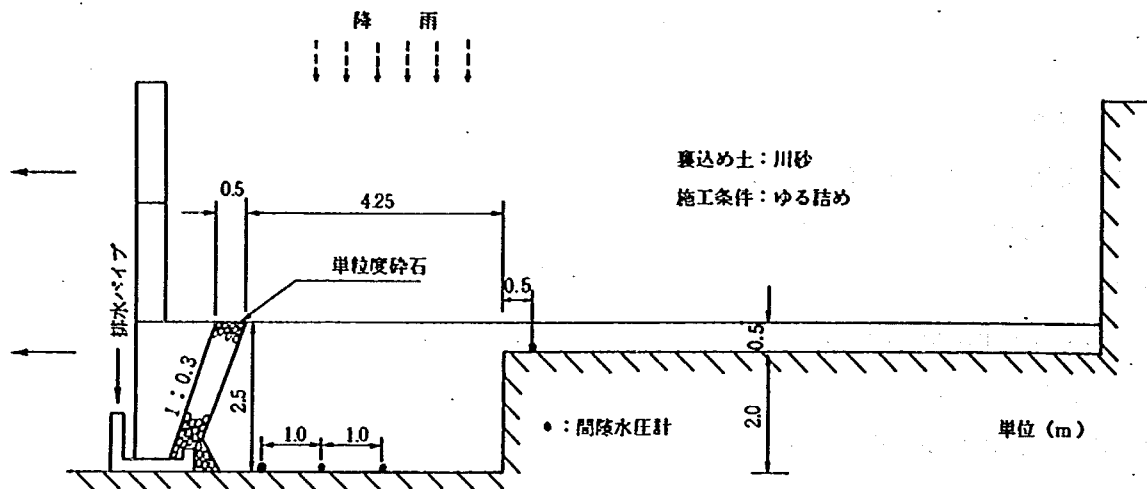


図-6.1 実験概要 (No.15)

高までの盛土を行った。裏込め土の施工条件はゆる詰めとし、搬入後敷均したのみで締固めは行っていない。盛土造成時にコアカッター法により測定した湿潤密度 γ_t 及び含水比 w の平均値は次の通りである。

○湿潤密度 $\gamma_t = 1.678 \text{ tf/m}^3$

○含水比 $w = 14.7 \%$

なお、排水層として用いた碎石と実験壁の摩擦角は、一面せん断試験によれば 32° であった。また実験壁移動時及びその後の放置期間中についても 20mm/h の降雨強度で降雨を継続した。

図-6.2 に、裏込め盛土造成時から、壁移動後の放置期間までの間の荷重計による測定結果から得られた土圧及び土圧三要素を示す。なお、本実験では荷重計による土圧の測定を行っているので、土圧と水圧の合計されたもの（以下土圧と言う。）を測定している。したがって、図-5.2 に示した実験結果は、実験壁に作用する全外力を整理したものである。また降雨強度や排水高さを変化させることによって盛土内の自由水面の位置が変わると考えられるが、ピット底面に埋設した間隙水圧計が示す水位の増減をモニターし、水位が一定となった時をもって図-6.2 で言う定常透水状態とした。

図から明らかなように、裏込め盛土完成後、降雨を開始すると土圧は確実に増加し、また降雨強度の強いほど、土圧の増加量も大きいことがわかる。しかしながら、一般的に降雨による土圧の増加は小さなものとなっており、後述するように盛土内の水位が低かったことがその原因と考えられる。壁移動時の土圧は、これまでの降雨を伴わない実験結果と同様、壁移動量の増加とともに減少するが、その傾向は施工条件が締固めの場合の実験結果に近く、降雨により裏込め土の締固めの度合が変化したものと思われる。また壁移動終了後、土圧は時間の経過とともに回復する傾向が認められる。

一方、相对作用位置については特に降雨の影響が認められず、壁移動の開始直後にわずかに上昇し、その後の放置期間中は徐々に低下している。壁摩擦係数についても同様であり、また排水層に碎石を用いたことによる影響もそれほど見られない。

なお本実験では、壁移動終了後の裏込め盛土の状況を観察するために、花崗岩の碎石を用いたすべり面検出層を設置したが、実験終了時の裏込め土の含水比が高く掘削及び観測は不可能であった。

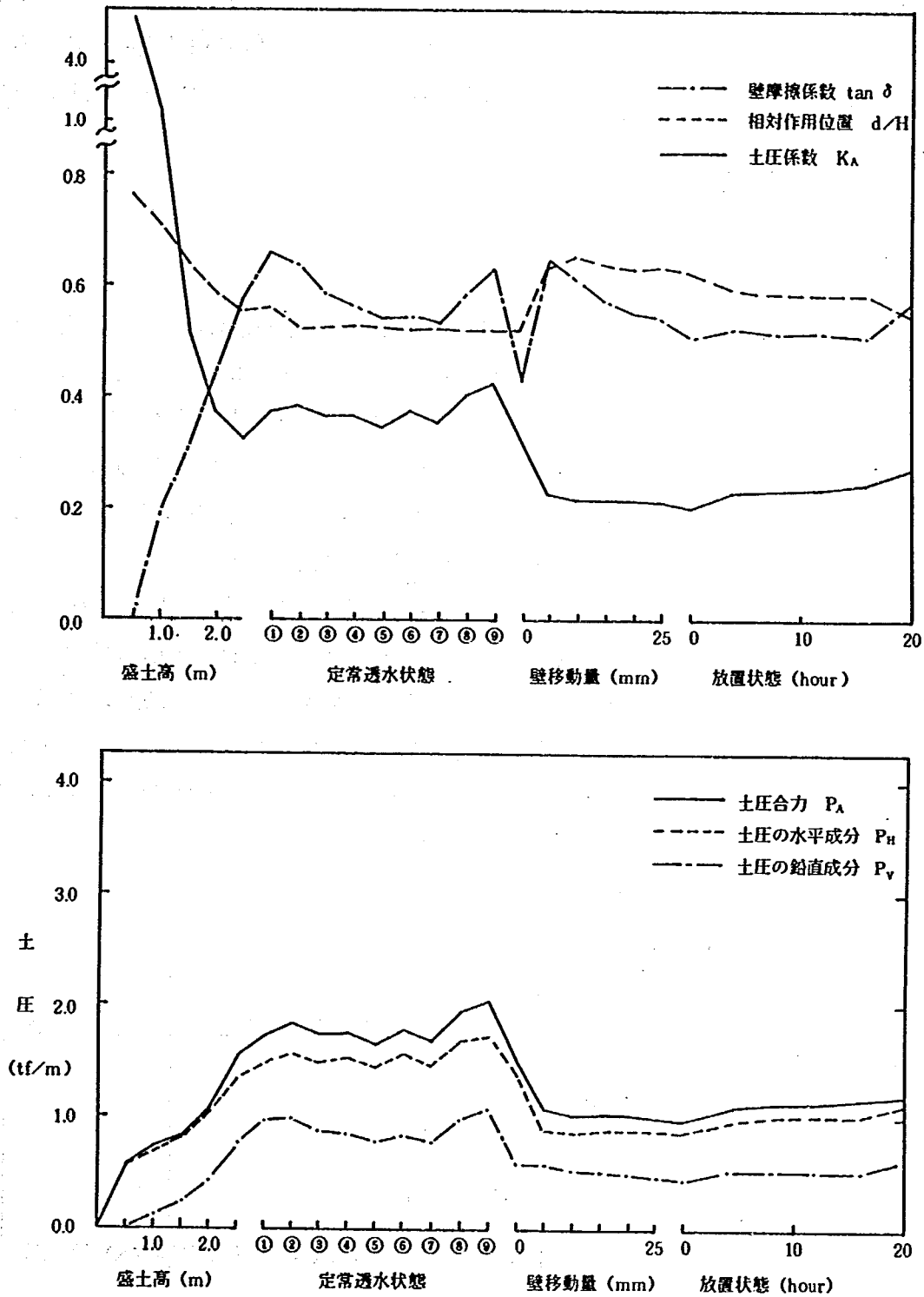


図-6.2 実験結果 (No.15)

(2) 実験その2 (No.16)

図-6.3に実験概要を示す。実験No.15と同じく実験壁はもたれ壁とし、碎石層と排水パイプによる排水施設を使用した。裏込め土には川砂を用い、法勾配1:1.0で3.4mの嵩上げ盛土を行うとともに、さらにその上に盛土の表面保護を目的とした厚さ30cmの碎石層を設けた。ただし、法勾配1:1.0の嵩上げ盛土は降雨開始直後、安定を保ち得ず法面の崩壊を生じたので、図-6.3に示すように崩壊した部分を掘削・整形して1:1.5の法勾配とした。また裏込め土の施工条件はゆる詰めとし、搬入後敷均しのみで締固めは行っていない。盛土造成時にコアカッター法により測定した湿潤密度 γ_t 及び含水比 w の平均値は次の通りである。

○湿潤密度 $\gamma_t = 1.601 \text{ tf/m}^3$

○含水比 $w = 13.5 \%$

なお、本実験では嵩上げ盛土部の法面崩壊が懸念されたので降雨強度は 20mm/h に固定した。また実験No.15と同様に実験壁移動時及びその後の放置期間についても 20mm/h の降雨を継続した。

図-6.4に、裏込め盛土造成時から、壁移動後の放置期間までの間の荷重計による測定結果から得られた土圧及び土圧三要素を示す。なお図-6.4に示した実験結果は、実験No.15と同様に、土圧と水圧の合計である全外力について示している。また定常透水状態についても実験No.15と同様、ピット底面に埋設した間隙水圧計の示す水位が一定となった時の土圧の測定結果を示した。

盛土高さが高くなるに従って増加した土圧は、断面変更により減少しているが、これは先に述べた様に嵩上げ盛土の法勾配が緩くなったためである。その後降雨が開始されると土圧は増加するが、その程度は実験No.15と同様かなり小さなものである。壁移動が開始されるとその初期(移動量5mm程度)に急激に土圧が減少し、裏込め土の施工条件が締固めの場合と似た傾向を示している。これは降雨によって裏込め土の締固め状態が変化したことを示すものと考えられる。また壁移動終了後の放置期間中においては、土圧はかなり急激な回復傾向を示している。

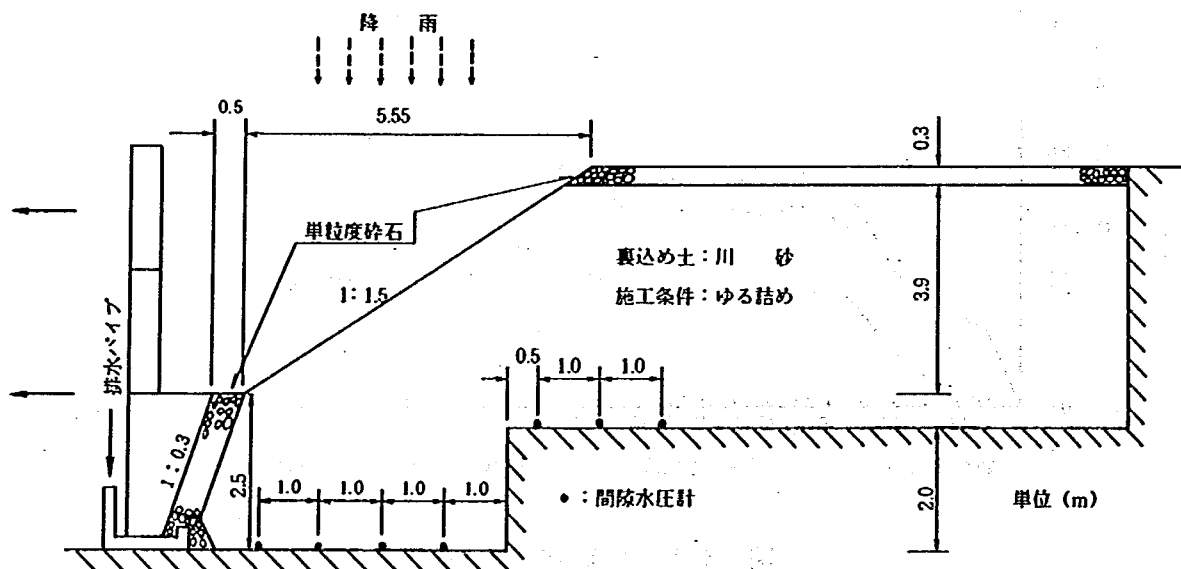


図-6.3 実験概要 (No.16)

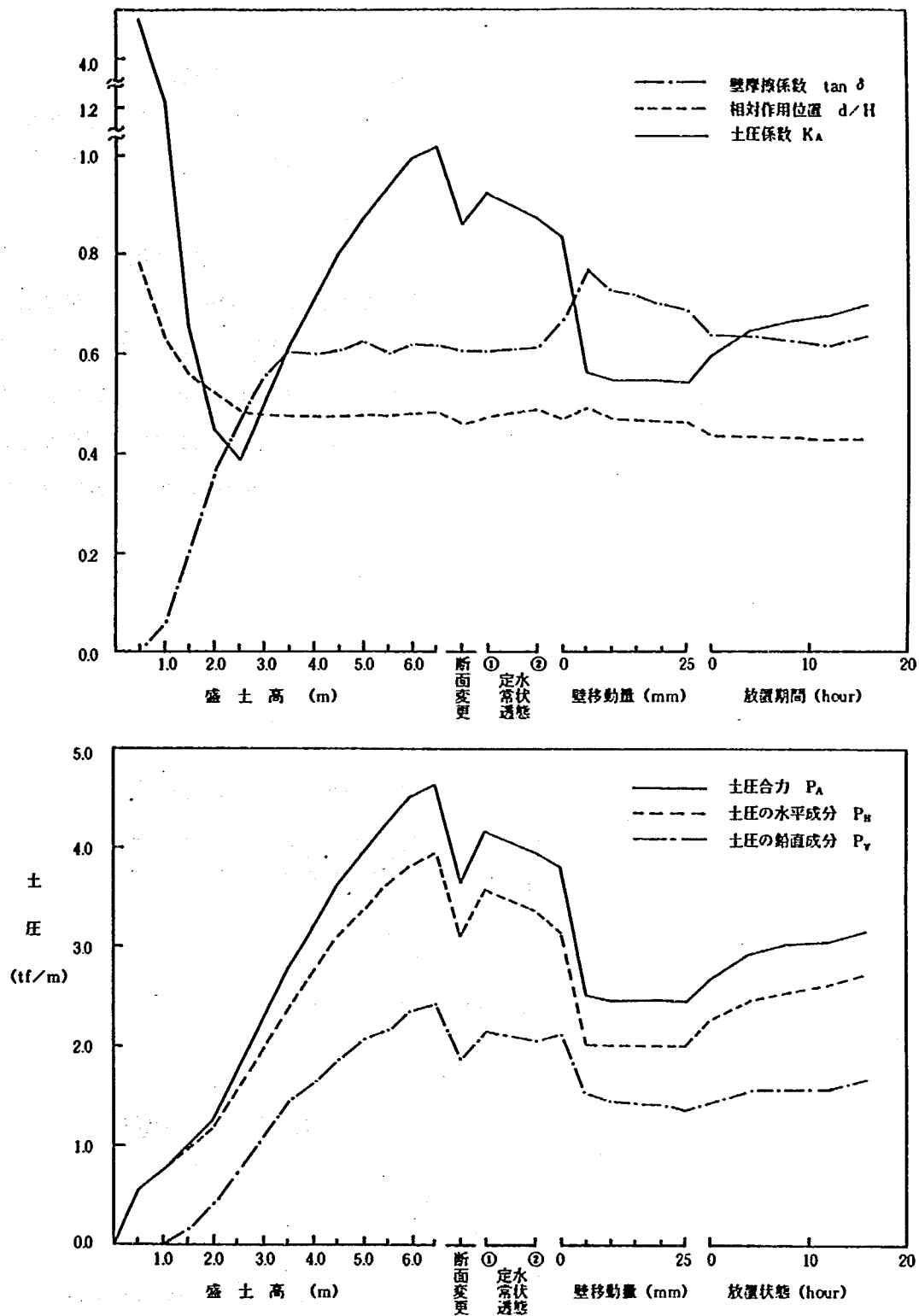


図-6.4 実験結果 (No.16)

一方、壁摩擦係数については、断面変更や降雨の影響は全く見られず、壁移動の初期に増加した後、時間の経過とともに減少する傾向を示している。また相対作用位置についても同様に降雨の影響は全く認められず、実験No.8によく似た傾向を示す。

なお、壁移動終了後の裏込め土の状況は、裏込め盛土の掘削が不可能だったため、観察できなかった。

6-3 考 察

「6-2 実験結果」では降雨が土圧に及ぼす影響に着目した実験の概要を述べたが、これらの実験結果では降雨に起因すると考えられる土圧合力の増加は小さいものであった。土圧合力の増加を、降雨開始前の土圧に対する比率、すなわち増加率で示すと、実験№15で3~27%程度、実験№16で9~15%程度となる。

土圧合力の増加が小さかった原因の一つとして、降雨によって裏込め盛土内に発生した自由水面の位置がかなり低かったことが考えられる。図-6.5に実験№15、実験№16において、間隙水圧計によって観測された各定常透水状態における盛土内自由水面の位置を示す。実験№15では、降雨強度や排水高さによって若干の違いが認められるものの実験№16では盛土内水位は変化していない。また実験壁近傍においては、壁高の $1/2 \sim 1/3$ 程度の水位となっており、盛土内にすべり面を仮定した場合に、すべり面に作用する浸透圧は非常に小さいことが予想される。盛土内の水位が低い位置に発生

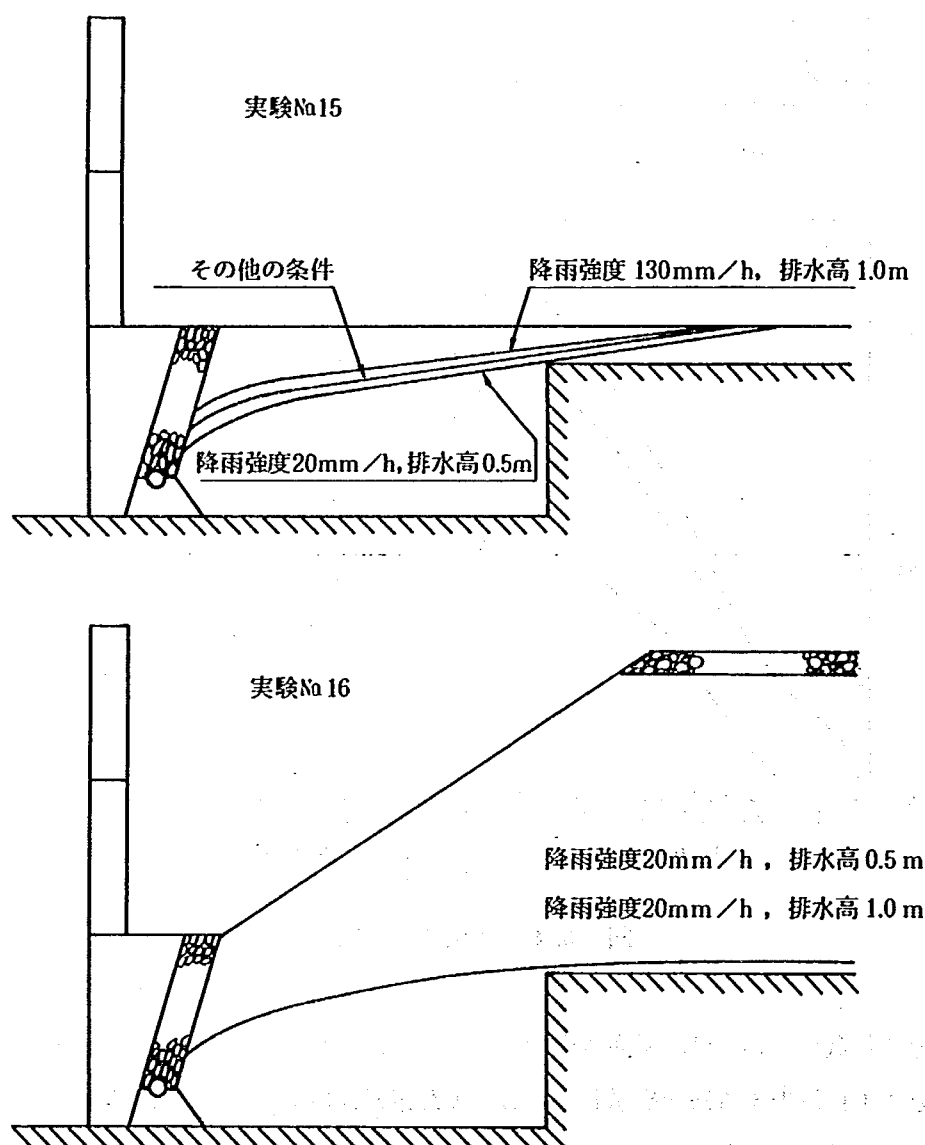


図-6.5 盛土内自由水位

したのは、裏込め土に透水性の良い川砂を用いたこと、実験壁とピットの間の止水性が良好でなかったことなどにその原因が求められるが、いずれにしても擁壁の排水が良好であり、裏込め盛土内の自由水面が低い位置に発生する場合、降雨に伴って発生する浸透圧による土圧の増加は小さいものと思われる。

先に述べたように降雨によって土圧が増加する原因としては浸透圧の他に裏込め土の含水量の増加に伴う単位体積重量の増加及び裏込め土の内部摩擦角及び粘着力の低下が考えられる。実験№16において、降雨開始後、間隙水圧計に変化が現れるまでに約4%の土圧合力の増加が認められたが、これは降雨による盛土材の単位体積重量の増加や土質定数の低下が土圧に及ぼす影響を示していると思われる。なお、この場合単位体積重量のみが増加したと仮定して含水比の増加率を試算すると約5%に相当する。一方、裏込め土の土質定数の低下に関しては、供試体の含水比を5%から18%までに变化させた土質試験結果によるとそれほど顕著とは言えず、内部摩擦角については4°程度の低下が認められたが、粘着力の低下は認められなかった。

これらのことから、排水施設が良好に機能している擁壁においては、降雨によって土圧は確実に増加するものの、増加の程度は小さいと考えられる。ただし壁移動後の放置期間中における土圧の回復は著しく、また壁摩擦係数も減少する傾向を示していることから、長期間降雨が続く場合に、何らかの要因で擁壁に主働変位が生ずると擁壁の安全性が低下する恐れのあることに留意する必要がある。また降雨の影響を考慮した土圧の算定を行う場合、盛土内に発生する自由水面の位置を適切に評価することが重要であると考えられる。

7. 擁壁の排水施設に関する実験

7-1 概 要

「6. 降雨の影響に関する実験」において、降雨が続くと擁壁に作用する土圧は確実に増加することが明らかとなった。したがって、擁壁の設計に際しては、裏込め盛土や基礎地盤に雨水が浸透するのを防ぐことが重要となる。しかしながら雨水の浸透を完全に防ぐことは困難であり、擁壁背面に浸透した雨水を排除するための排水工が重要となる。

擁壁の設計において、排水施設は非常に重要な意味を持ち、排水工の良否が完成した擁壁の安全性に大きく関与するにもかかわらず、排水工の設計を具体的に示した基準等は見当たらない。したがって、一般には図-7.1に示すような各種の排水工を経験的に使い分けているものと考えられ、排水工の設計に関する基礎資料の蓄積が望まれる。

このようなことから、ここでは排水工の種類とその効果の検討を目的とした土圧測定実験を実施した。実験は、図-7.2に示すようにプレキャストL型擁壁及び軽量ブロックを組合せて作成したピット（ $2\text{ m}^{\text{H}} \times 1\text{ m}^{\text{W}} \times 5.5\text{ m}^{\text{L}}$ ）を用いて行った。このピットは、図-2.1に示した大型擁壁実験装置専用のピット側壁を利用したものであり、図-7.3に示す実験壁も大型擁壁実験装置のダミー壁部に設置した。高さが2.0mの実験壁は一枚のパネルを鉛直荷重計2個及び水平荷重計3個（各々容量2tf）で支持する構造を採用し、これまでの実験と同様、土圧を全荷重で計測する方式とした。またピットの止水性を確保するために、ピット内にビニール製の袋を設置し、この中に裏込め盛土を造成した。

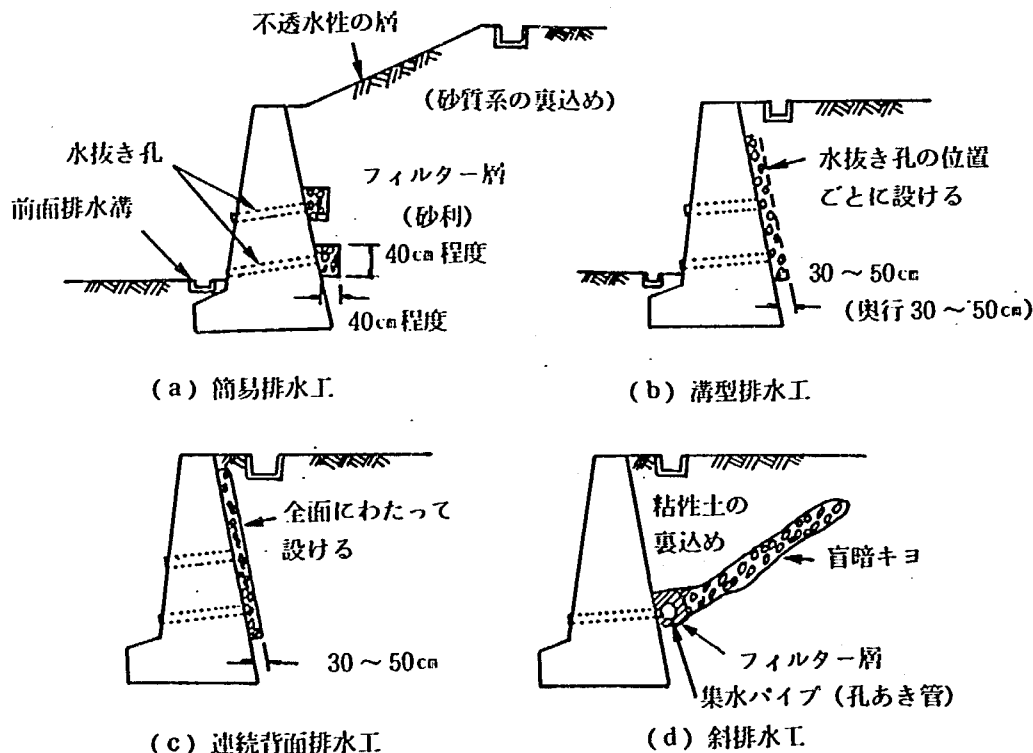


図-7.1 主な排水工の種類

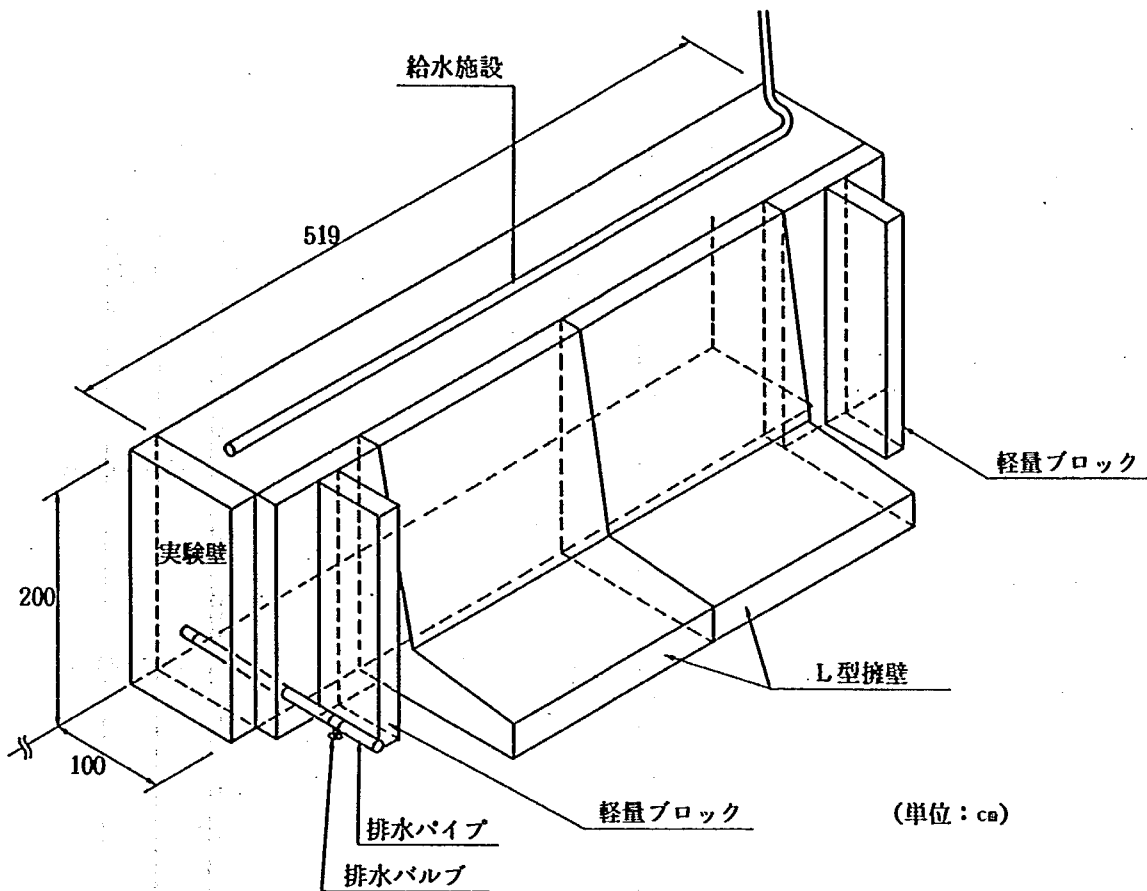
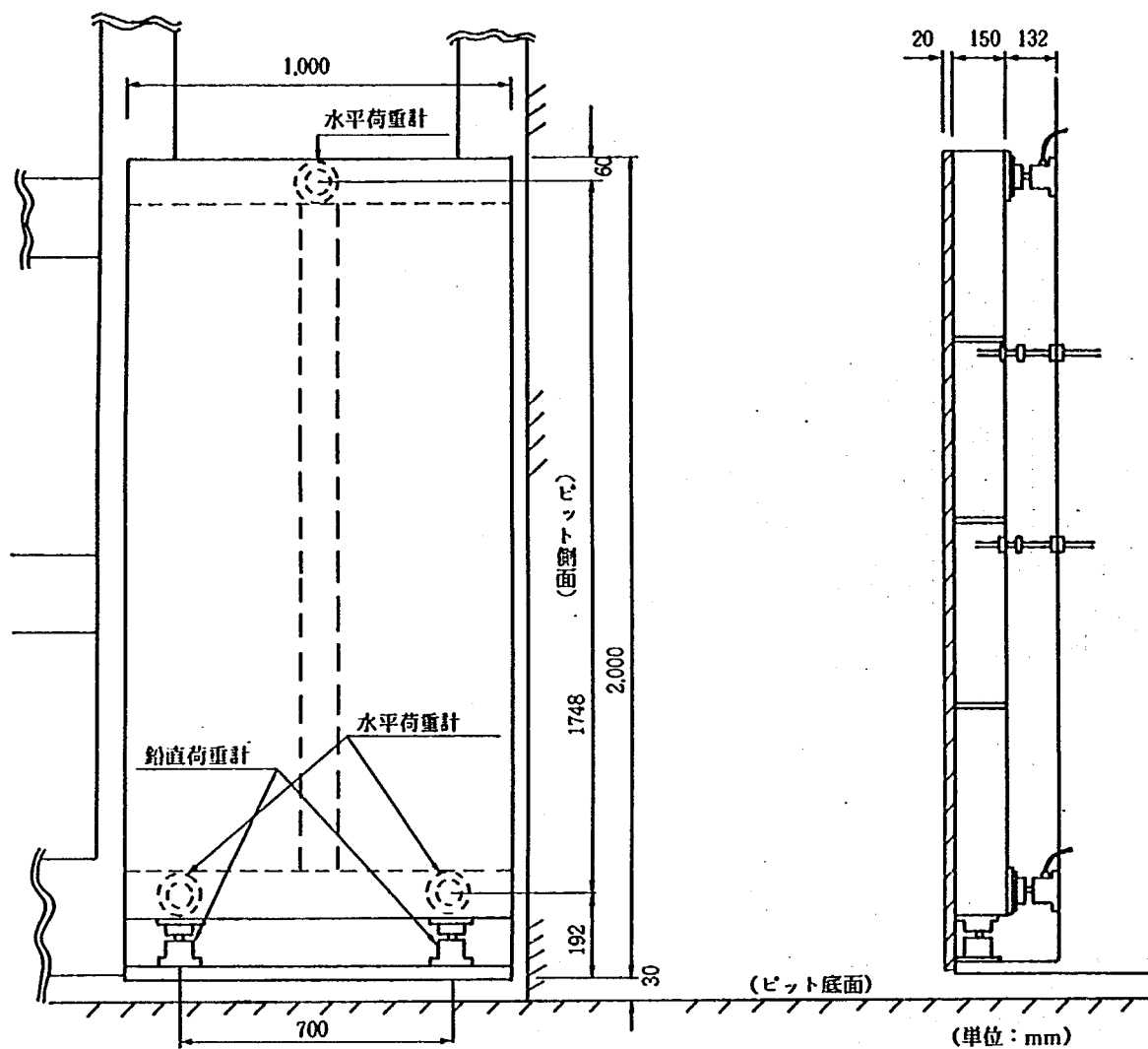


図-7.2 実験装置の概要

裏込め土に雨水を供給するための給水施設は、水道水に接続した穴あき管を使用した。給水量は、裏込め土が飽和するまで約 160mm/h とし、その後は約 60mm/h の給水を行いながら排水バルブを開いて排水し、定常状態を現出した。なお、この状態は壁移動終了後まで継続した。また裏込め盛土内の水位は、「6. 降雨の影響に関する実験」と同様にピット底面に埋設した間隙水圧計により測定した。

実験は、排水施設を変えた2ケース及びこれらとの比較のための降雨のないケースの計3ケースについて実施した。以下これらの実験の概要を示すが、土圧及び土圧三要素については土圧と水圧を併せた見かけの結果について整理している。なお、各実験とも実験壁の移動量は 20mm を目標とした。



擁壁ピット平面図 (深さ 6,000)

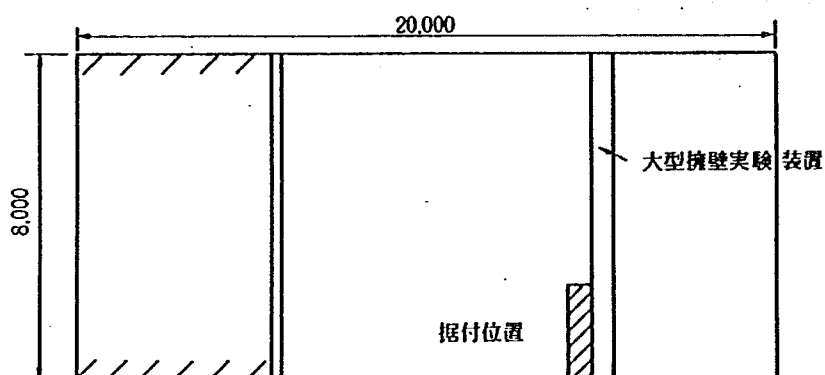


図-7.3 実験壁の諸元及び掘付位置

7-2 実験結果

(1) 実験その1 (No.17)

本実験は、実験No.18、実験No.19との比較を目的として、降雨を行わない場合の土圧の挙動を調査したものであり、図-7.4に実験概要を示す。実験壁は重力式擁壁を想定した直壁とし、裏込め盛土形状は水平とした。また裏込め土には川砂を用い、搬入後は敷均すのみで締固めは行っていない。裏込め盛土造成時にコアカッター法によって測定した湿潤密度 γ_t 及び含水比 w の平均値は次の通りである。

$$\circ \text{湿潤密度 } \gamma_t = 1.541 \text{ tf/m}^3$$

$$\circ \text{含水比 } w = 6.2\%$$

図-7.5に、盛土造成時及び実験壁移動時の土圧及び土圧三要素を示す。盛土高さが高くなるに従って二次放物線的に増加した土圧は、壁移動に伴い漸減傾向を示し、施工条件がゆる詰めの場合のこれまでの実験結果とよい対応を示している。一方、土圧係数については、盛土中においてもほぼ一定の値を示しており、本実験に用いた実験壁の測定精度の良さが窺われる。壁摩擦係数は壁移動開始時に急激に増加し、その後の顕著な変化は認められない。

図-7.6は、壁移動終了後の裏込め盛土地表面に発生したクラックの状況を示したものである。実験壁から約60cm離れた箇所にメインクラックが認められるが、実験壁下端から発生した直線のすべり面がこのクラックに連続していると仮定して、すべり面と水平のなす角を計算すると約 73° となる。

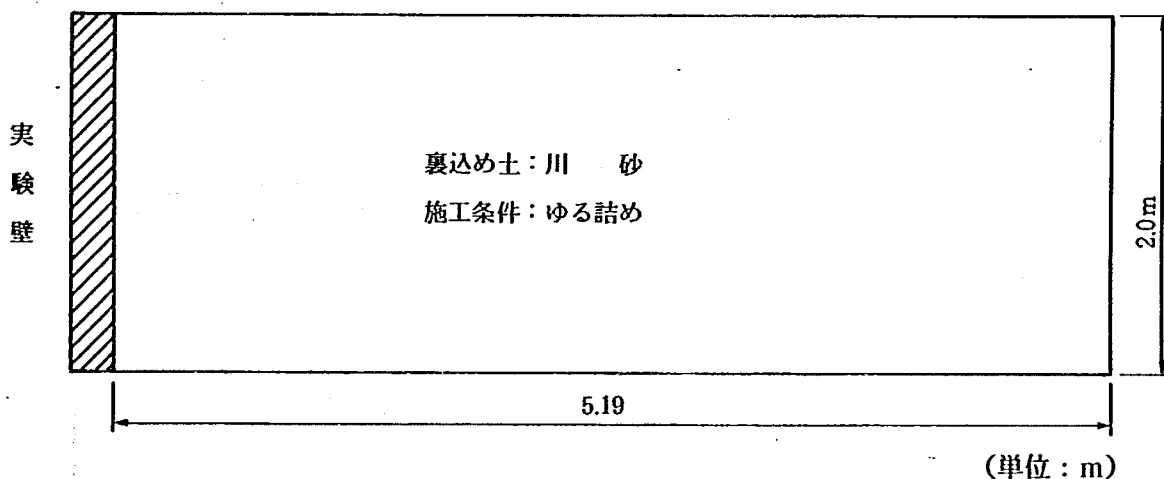


図-7.4 実験概要 (No.17)

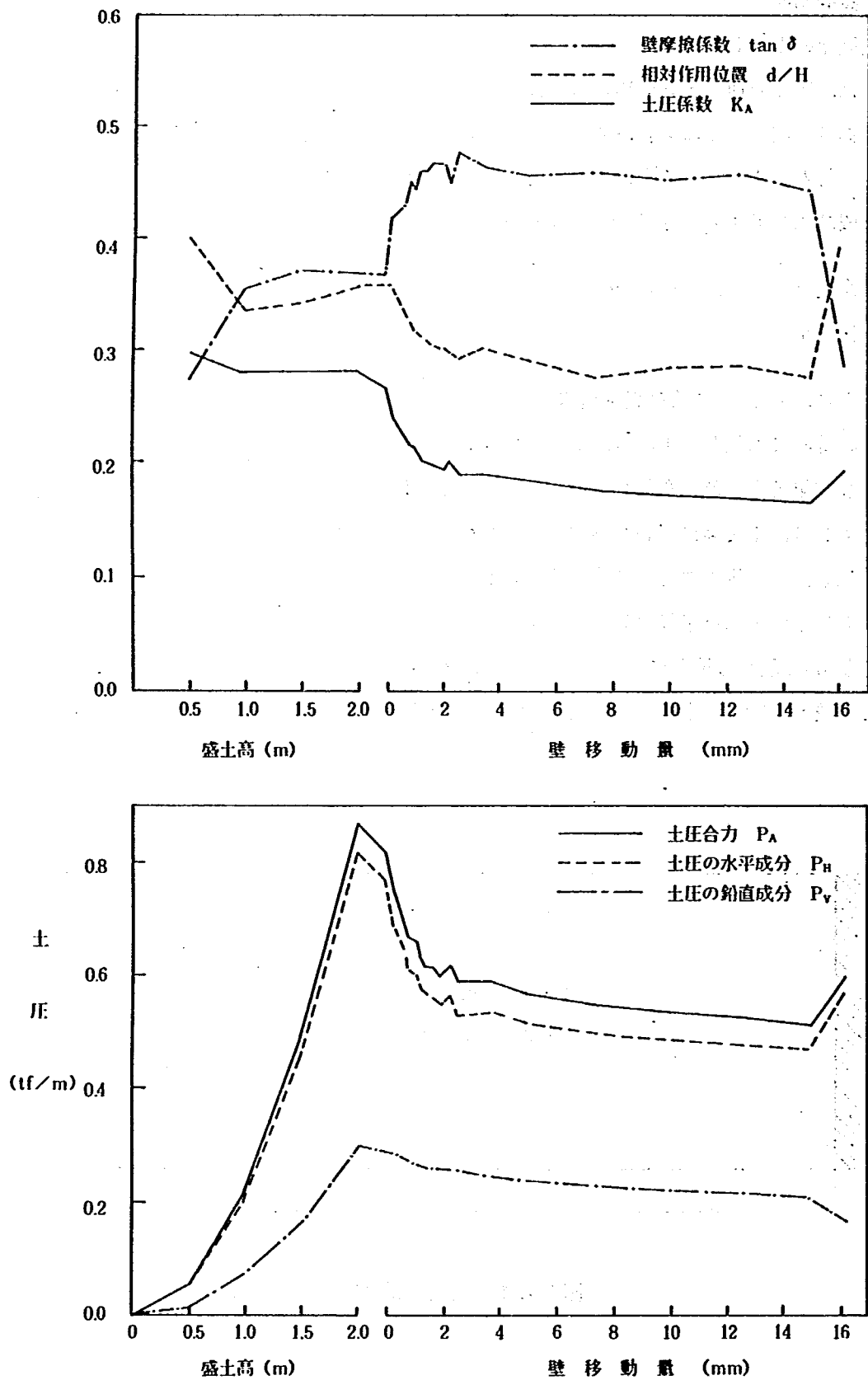


図-7.5 実験結果 (No.17)

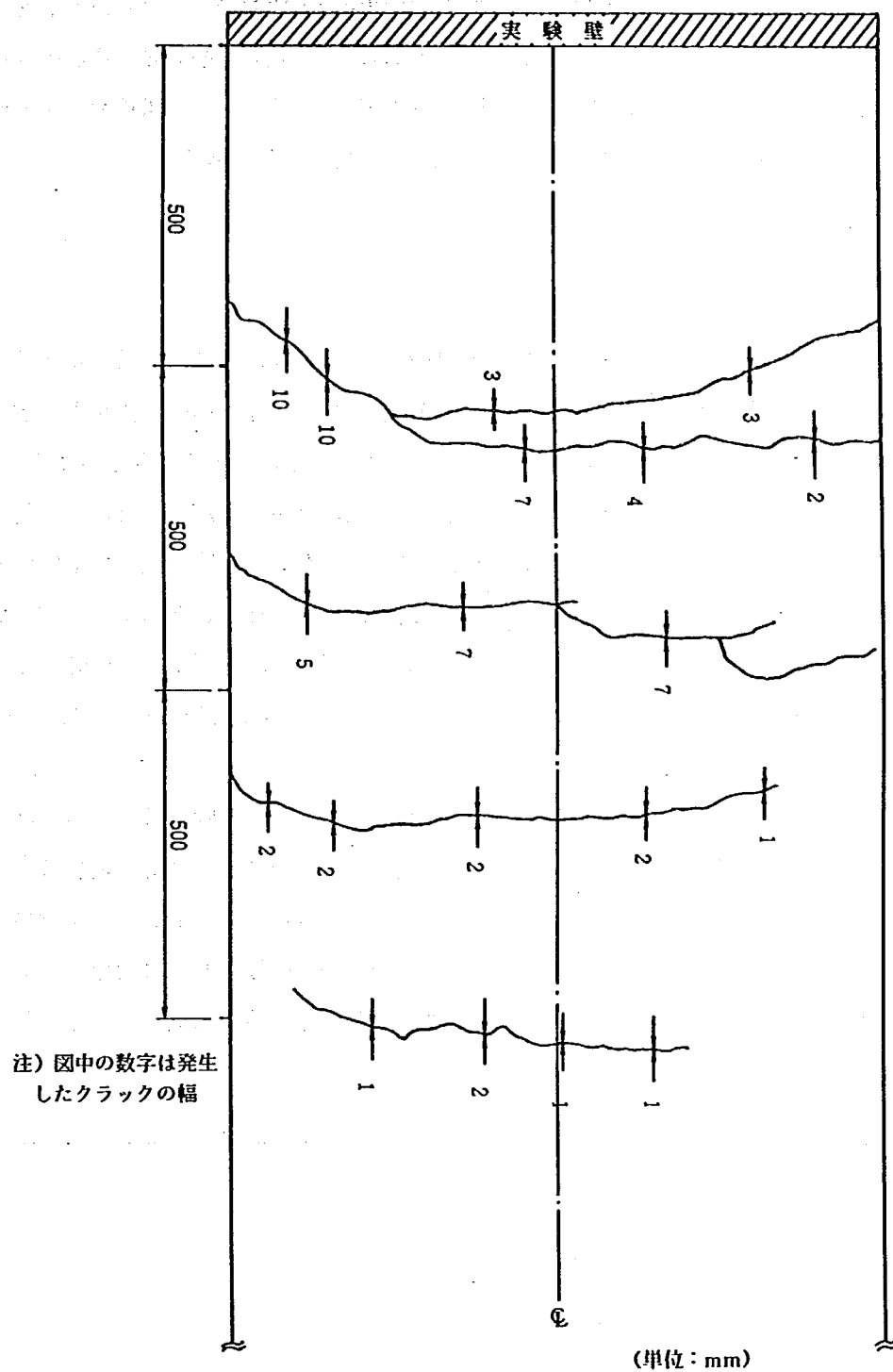


図-7.6 クラックの発生状況 (No.17)

(2) 実験その2 (No.18)

本実験は、実際の擁壁において多用される連続背面排水工の効果の検討を目的として行ったものである。図-7.7に実験概要を示すが、実験壁の背後に厚さ50cmの単粒度碎石による排水層を設置し、その下部に排水パイプを埋設するとともに、ピット底面には、水位観測用の間隙水圧計を5個埋設した。裏込め土には川砂を用い、搬入後は敷均すのみで締固めは行っていない。裏込め盛土造成時にコア Cutter 法によって測定した湿潤密度 γ_t 及び含水比 w の平均値は次の通りである。

○湿潤密度 $\gamma_t = 1.547 \text{ tf/m}^3$

○含水比 $w = 7.6 \%$

図-7.8に、盛土造成時から壁移動終了時までの土圧及び土圧三要素の測定結果を示す。盛土完成時の土圧は、実験No.17とほとんど同じであるが、その後降雨が開始され盛土内の水位が上昇するに従って土圧は増加し、降雨前には約 0.8 tf/m であった土圧合力が、盛土が飽和すると約 2.5 tf/m と約3倍となっている。降雨を続けながら排水バルブを開くと土圧は減少するが、これは実験壁に作用していた水圧が静水圧から浸透圧に移行したためと考えられる。また壁移動時の土圧の挙動は実験No.17とよく似た傾向を示している。一方、壁摩擦係数は盛土内水位が高くなるとともに減少するが、これは水圧が作用することによって土圧の水平成分が増加するのに対して、土圧の鉛直成分がほとんど変化しないためである。相対作用位置については、降雨による影響は特に認められず、0.3前後で推移している。

図-7.9は、壁移動終了後の裏込め盛土の状況を示したものである。実験No.17に見られたような明確なメインクラックは認められない。しかしながら実験壁に最も近いクラックでも実験壁から約70~80cm離れており、実験No.17よりも実験壁から遠ざかる傾向が見られる。図-7.9には実験終了後の盛土天端の沈下量もあわせて示したが、碎石部分を除いて一般に10cm前後と非常に大きい沈下が発生している。これは裏込め土の施工条件がゆる詰めのために、いわゆる水締め効果が発揮されたことに起因するものと考えられる。

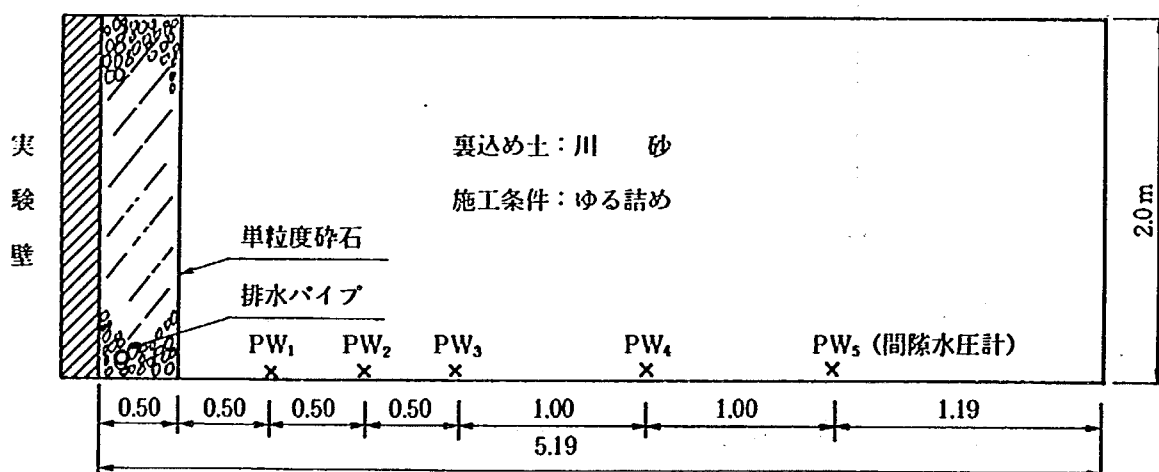


図-7.7 実験概要 (No.18)

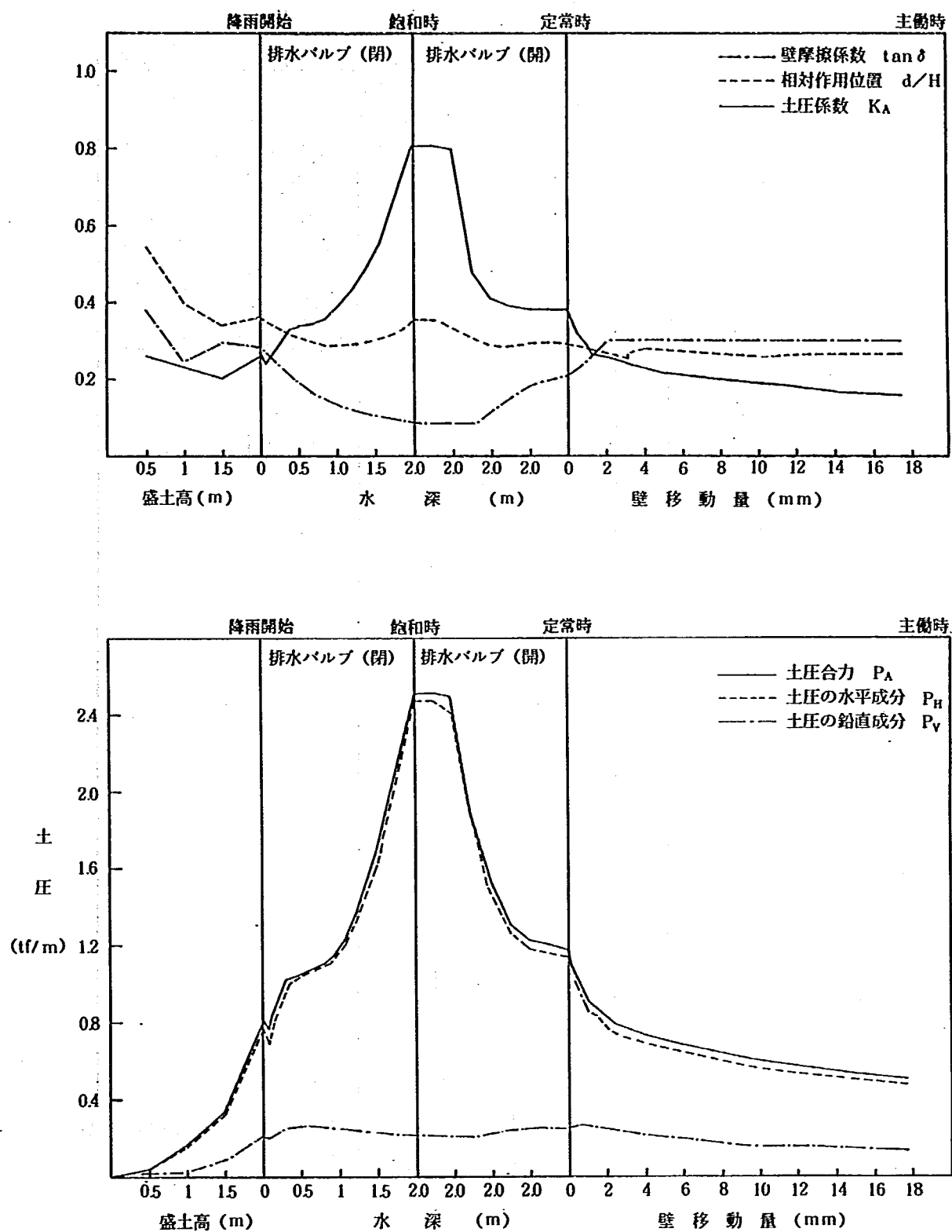


図-7.8 実験結果 (No.18)

- 沈下量
(d1~d9:沈下量)
- d 1 : 40mm
 - d 2 : 30
 - d 3 : 60
 - d 4 : 90
 - d 5 : 100
 - d 6 (壁より3.0m)
: 100
 - d 7 (壁より4.0m)
: 120
 - d 8 (壁より5.0m)
: 110
 - d 9 (壁より5.2m)

注) 図中の数字は
発生したクラック
の幅

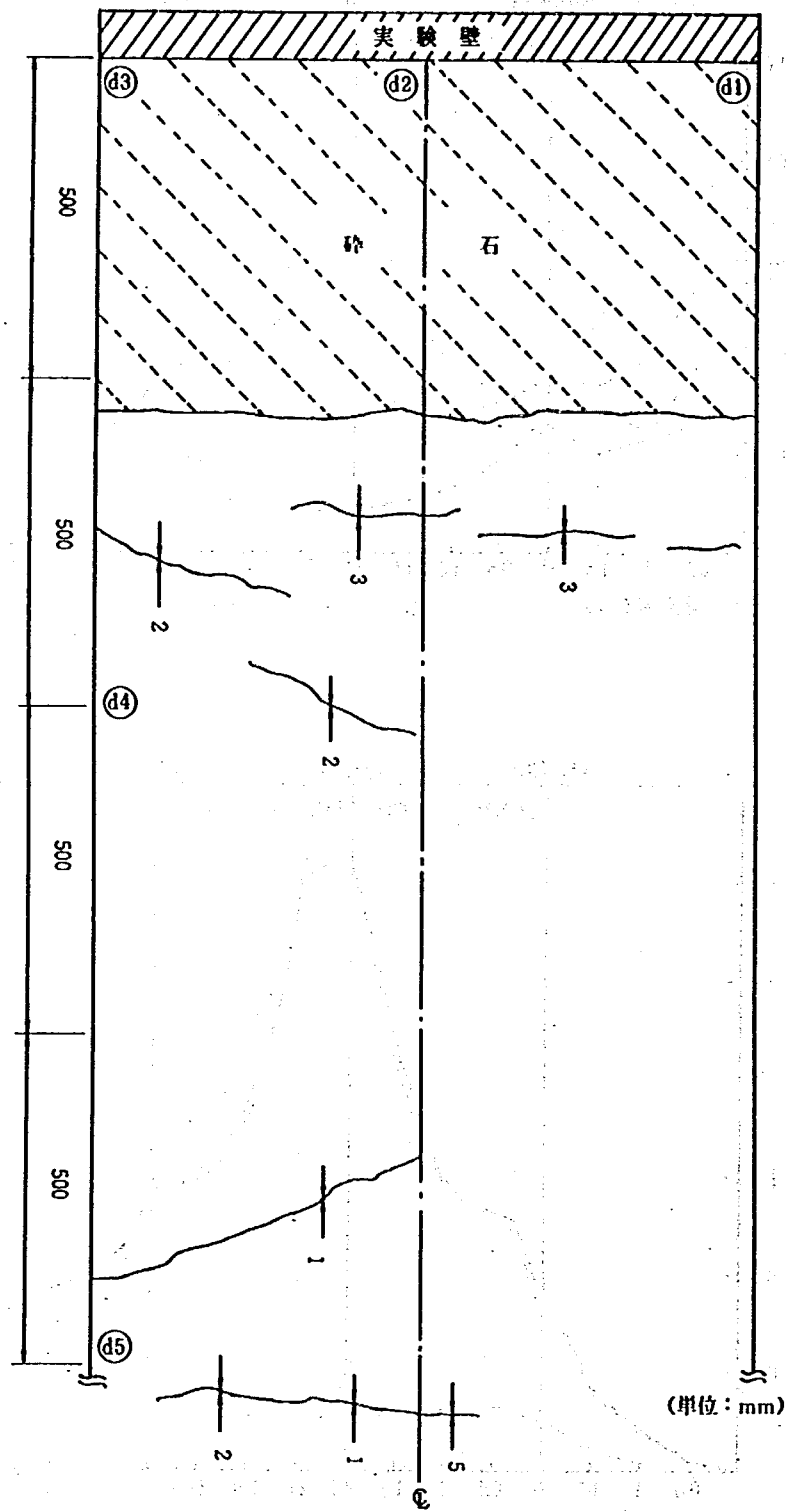


図-7.9 クラックの発生状況 (No.18)

(3) 実験その3 (No19)

本実験は、最も簡単な排水工である簡易排水工の効果の検討を目的として行ったものである。図-7.10に実験概要を示すが、実験壁の下部に単粒度碎石を用いたフィルター層を一段のみ設け、その中に排水パイプを設置した。裏込め土には川砂を用い、搬入後は敷均したのみで締固めは行っていない。裏込め盛土造成時にコアカッター法によって測定した湿潤密度 γ_t 及び含水比 w の平均値は次の通りである。

○湿潤密度 $\gamma_t = 1.565 \text{ tf/m}^3$

○含水比 $w = 7.5 \%$

なお、盛土内水位の測定は実験No18と同様、ピット底面に埋設した間隙水圧計によった。

図-7.11に、盛土造成時から壁移動終了後までの土圧及び土圧三要素の測定結果を示す。盛土造成時及び盛土飽和時における土圧は実験No18とほとんど同じ傾向を示している。また、排水施設に不備が生じた場合（排水バルブ閉）に壁に作用する外力は非常に大きくなっており、排水施設の重要性が示唆される。その後、排水バルブを開いて定常透水状態に移行すると土圧は減少する。しかしながら、減少の程度は実験No18よりも小さく、この違いは排水施設の種類が異なることに起因すると考えられる。すなわち、排水施設によって、裏込め盛土中の等ポテンシャル線の形状が異なるため、後述するように作用する浸透圧も異なる。したがって、簡易排水工を採用した本実験の方が実験No18よりも浸透圧が大きくなり、この結果土圧も大きくなったと考えられる。また、壁移動時の土圧の挙動については、実験No18とよく似た傾向を示している。一方、壁摩擦係数は、降雨が開始されると実験No18で述べたと同じ理由により減少するが、壁移動中も含めて一般に実験No18より大きな値を示す。これは実験壁に接する部分の裏込め材が異なることに起因すると思われるが、ビニールシートを介して土圧を測定しているためか、川砂の場合の方が壁摩擦係数は大きくなっている。

図-7.12は、壁移動終了後の裏込め盛土の状況を示したものである。実験壁から約80cm離れた箇所にメインクラックが認められるが、これは実験No17、実験No18と比較して、最も実験壁から遠い位置に相当する。また裏込め盛土の天端には実験No18と同様10cm前後の大きな沈下が生じている。

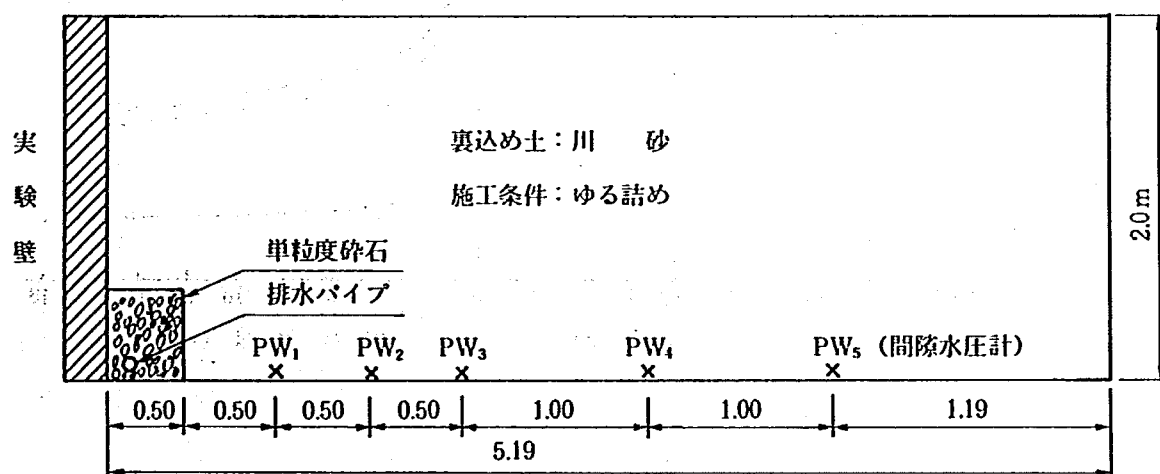


図-7.10 実験概要 (No19)

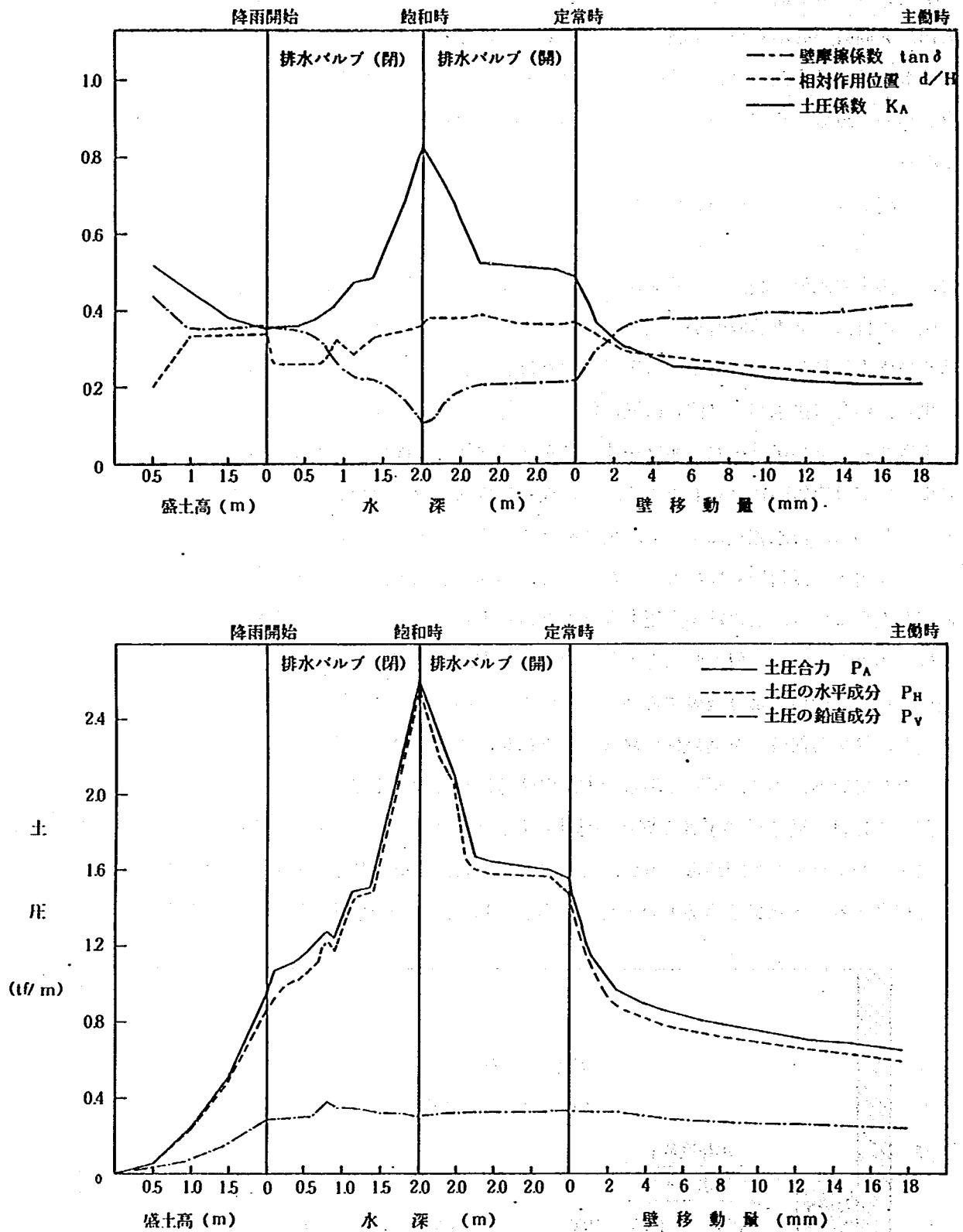


図-7.11 実験結果 (No.19)

沈下量
(d1~d9: 沈下量)
d 1 : 130 mm
d 2 : 140
d 3 : 140
d 4 : 120
d 5 : 100
d 6 (壁より 3.0 m)
: 100
d 7 (壁より 4.0 m)
: 90
d 8 (壁より 5.0 m)
: 100
d 9 (壁より 5.2 m)
: 60

注) 図中の数字は
発生したクラック
の幅

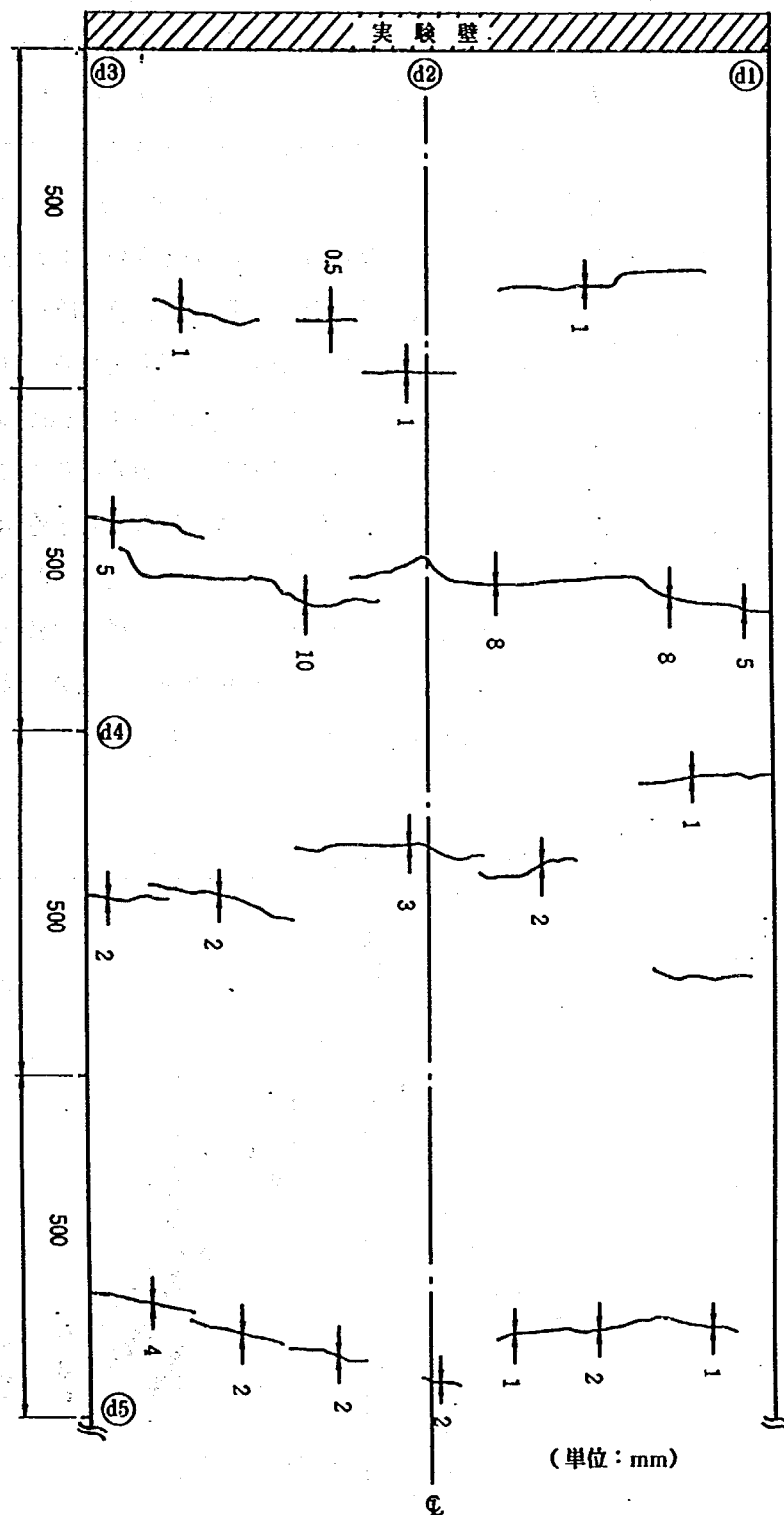


図-7.12 クラック発生状況 (No.19)

7-3 考 察

(1) 排水施設の効果

図-7.13は、各実験で得られた土圧合力の変化を比較して示したものである。また表-7.1には、各状態における土圧合力 P_A 、壁摩擦係数 $\tan \delta$ 、相対作用位置 d/H を示す。これらの図表から、擁壁に作用する土圧は、排水施設の種類や機能状況により大きく異なることがわかる。すなわち、いずれの実験においても盛土完成時の土圧は 0.9tf/m 前後であるが、排水施設が不備（排水バルブ閉）であると盛土内水位の上昇とともに土圧が増加し、裏込め土が飽和した状態では実験No18、実験No19ともに約 2.5tf/m と非常に大きくなる。定常透水状態では、静水圧から浸透圧に移行するため土圧合力は減少するが、降雨前と比較するとかなり大きな値を示している。さらに実験No18と実験No19を比較すると、実験No18の方が土圧合力が小さくなるが、これは排水施設の種類により発生する浸透圧の大きさが異なることに起因しているものと考えられる。これらのことは、排水施設の重要性を示唆するとともに、排水施設の種類によってその効果が大きく異なることを示すものである。

一方、現行の擁壁の設計においては、先に述べたように排水施設は経験的に決定されることが多く、しかも裏込め土の排水は完全に行われるという前提のもとに、擁壁の背面に作用する水圧は考慮の対象となっていない。しかしながら、上に示したように排水施設が十分に機能していても裏込め土内に水が存在すると、排水施設の種類に応じた浸透圧が作用する。したがって擁壁の設計に際しては、裏

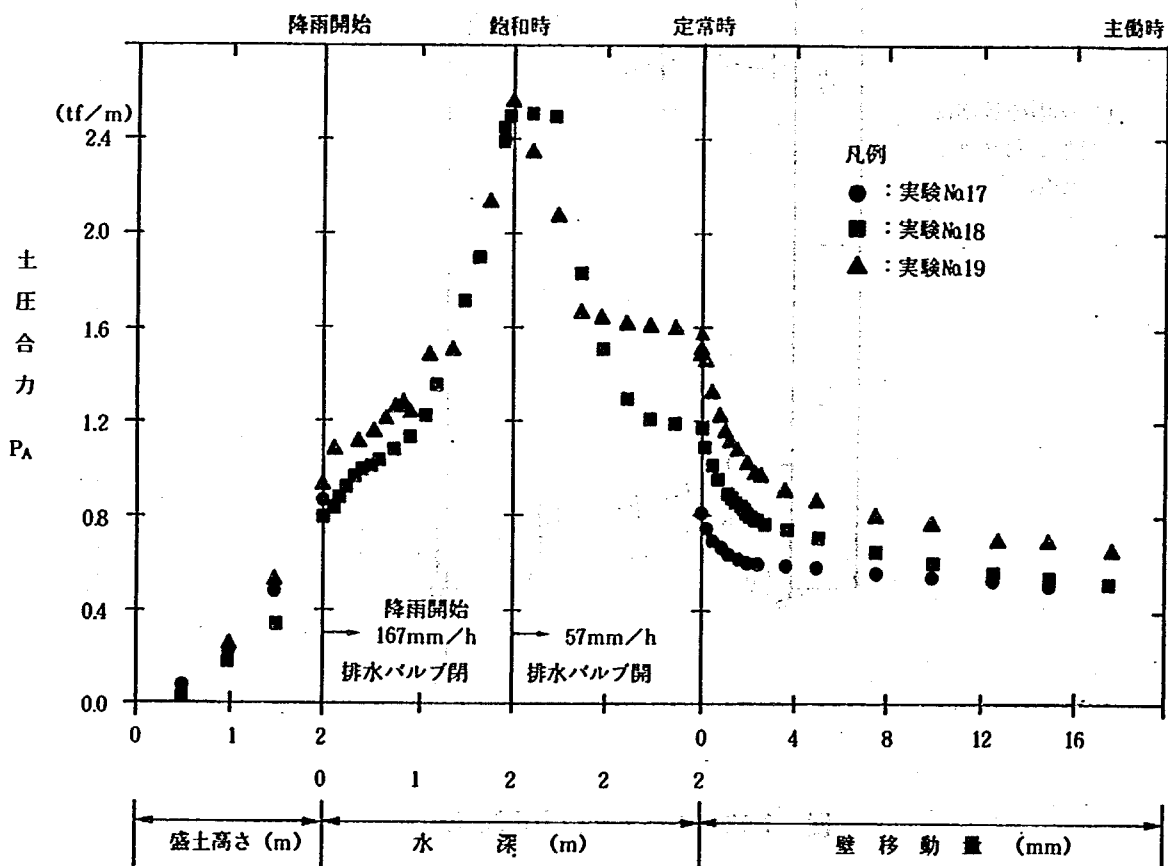


図-7.13 土圧合力の比較

表-7.1 土圧三要素の比較

実験 No	三要素	降雨前	飽和時	定常時	主働時
No 17	P_A	0.868	-----	-----	0.508
	$\tan \delta$	0.367	-----	-----	0.444
	d/H	0.355	-----	-----	0.274
No 18	P_A	0.798	2.496	1.180	0.509
	$\tan \delta$	0.282	0.086	0.211	0.301
	d/H	0.362	0.360	0.297	0.288
No 19	P_A	0.922	2.563	1.570	0.636
	$\tan \delta$	0.333	0.114	0.218	0.401
	d/H	0.341	0.366	0.379	0.209

込め盛土内の水の流れを十分に検討し、それに見合った排水施設を選定することが必要であり、またその機能を損なわないよう維持管理に努めることも重要であると考えられる。ただし以上に述べたことは、裏込め盛土が飽和した状態に限られ、「6. 降雨の影響に関する実験」で示したように、盛土内水位が低い場合については土圧に及ぼす影響が小さいことを再記しておく。

(2) 数値解析

各種の排水工に関して、その効果を実験的に検討するのは困難を伴うため、ここでは実験結果との比較の意味も含めて数値解析による効果の検討を行った。検討の対象としたのは、図-7.14に示す5種類の排水工であり、裏込め盛土が飽和しかつ定常透水がある場合に擁壁に作用する土圧を算定した。裏込め土の透水係数は等方性を有するものとし、擁壁は不透水性地盤上に設置されているものとした。また擁壁の高さは2.0m、裏込め地表面は水平として「7-2 実験結果」で述べた実験条件に合せた。

連続降雨による浸透圧を考慮した土圧の算定法はいくつか提案されているが、ここでは次に示す順序で行った。^{8), 9)}

- ① 裏込め盛土中の各点における浸透圧を計算する。
- ② 裏込め盛土中にすべり面を仮定し、その面に浸透圧を作用させた状態での土くさびの釣合いから主働土圧を決定する。

定常透水状態における浸透圧を計算するには、次に示すLaplace 方程式

$$\nabla^2 h = 0$$

を適当な境界条件のもとで解く必要がある。しかしながら、解析的に解けるのは図-7.14に示した排水工においてはケース1のみであり、一般的には数値解析による必要がある。このためここでは有限要素法を用いて図-7.14に示した各ケースの境界条件及び解析領域のもとでLaplace 方程式を解き、裏込め盛土中の各点の水頭を求めた。

次に土圧の算定は、浸透圧を考慮した試行くさび法によった。すなわち盛土中に直線のすべり面を

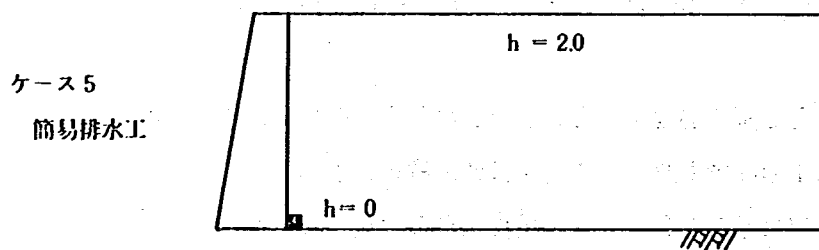
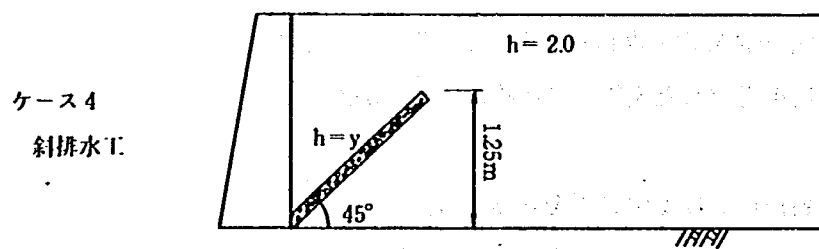
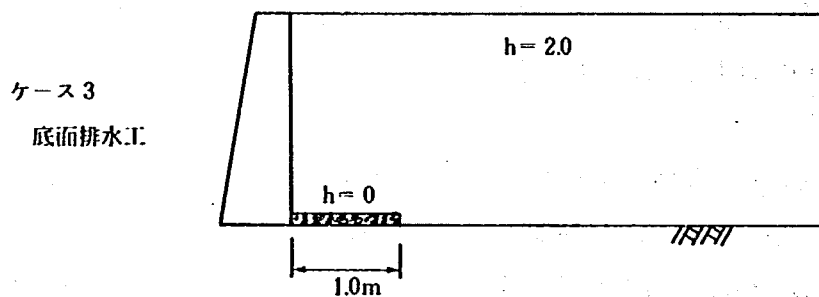
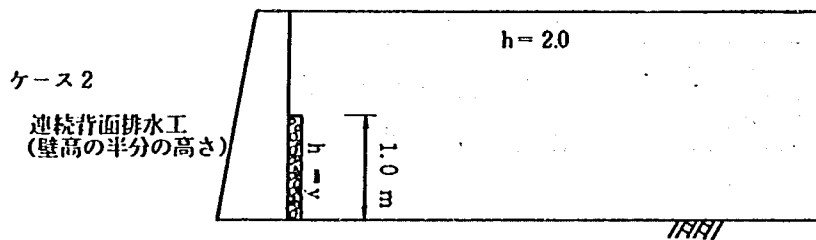
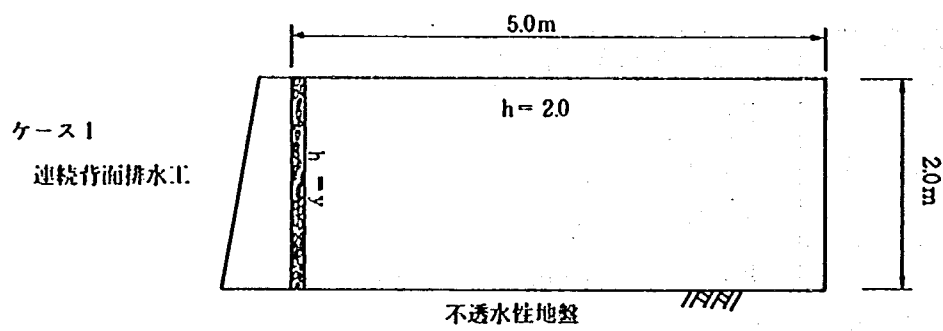


図-7.14 検討した排水工の種類

仮定し、既に求めた盛土中の各点の水頭からすべり面に作用する浸透圧を計算した後、これを考慮した力の釣合いから土圧を算定し、その最大値をもって主動土圧とするものである。

なお、計算に用いた土質定数は次に示す通りである。

湿潤単位体積重量	$\gamma_1 = 1.7 \text{ tf/m}^3$
飽和単位体積重量	$\gamma_{\text{sat}} = 1.9 \text{ tf/m}^3$
裏込め土の内部摩擦角	$\phi = 30^\circ$
壁摩擦角	$\delta = 20^\circ$

以上の手順により計算を行った結果を図-7.15に示す。図中には、等ポテンシャル線、すべり面及びすべり面に作用する浸透圧、土圧合力を示した。また表-7.2にこれらを一覧表にして示す。

これらの図表から、排水工の種類によってその効果が大きく異なることがわかる。まず浸透圧の大きさに注目すると、実際の擁壁において採用されることが最も多いと思われるケース1と比較して、ケース3は36%，ケース4ではわずか2%と浸透圧は非常に小さくなるのに対して、ケース5は163%と非常に大きな値を示している。これは排水工の種類によって裏込め盛土中の等ポテンシャル線が異なることに起因するものであり、すべり面を横切る等ポテンシャル線の水頭が位置水頭に等しければ浸透圧は発生しない。

土圧合力は、発生する浸透圧によって異なり、浸透圧が大きい程土圧合力も大きくなる傾向が認められる。これを土圧係数と比較すると、降雨がない場合に比べケース1、ケース2では約30%の増、ケース5では56%の増となる。またすべり面については、降雨のない場合と比較して、各ケースとも一般に盛土側に後退した位置に発生しているが、ケース1、ケース2、ケース5の土圧合力が大きい

表-7.2 各排水工の効果

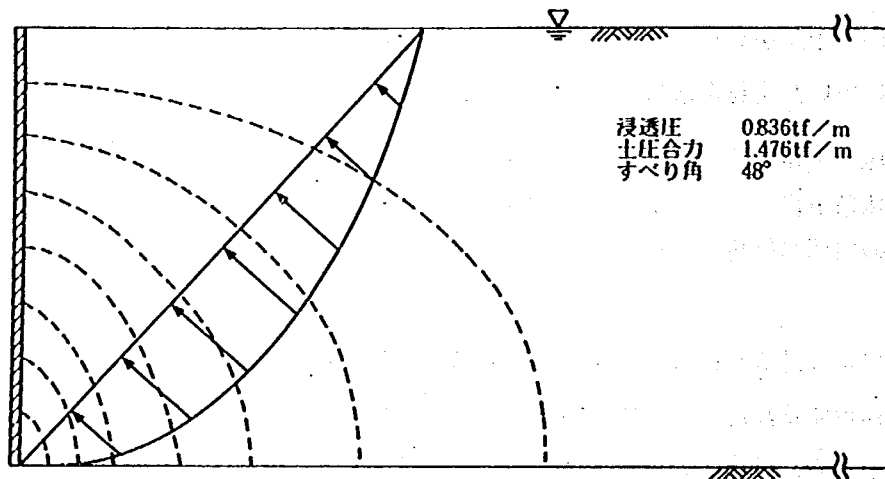
		降雨なし	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
浸透圧	tf/m	0	0.836	0.853	0.303	0.018	1.363
	%	0	100	102	36	2	163
土圧合力 (tf/m)		1.011	1.476	1.485	1.272	1.138	1.757
土圧係数	—	0.297	0.388	0.391	0.335	0.299	0.462
	%	100	131	132	113	101	156
すべり角 (°)		56	48	48	53	55	49

参考) 排水施設が不備で擁壁背面に水が地表面までたまると

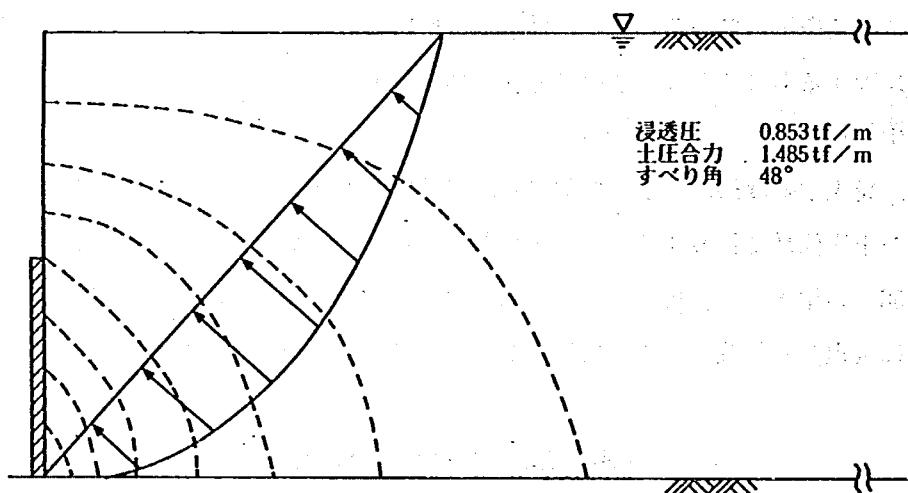
$$\text{土圧 } P_A = \frac{1}{2} \times 0.297 \times 0.9 \times 2^2 = 0.535 \text{ tf/m} \quad 0.9 : \text{水中単位体積 (tf/m}^3\text{)}$$

$$\text{水圧 } P_W = \frac{1}{2} \times 1.0 \times 2^2 = 2 \text{ tf/m}$$

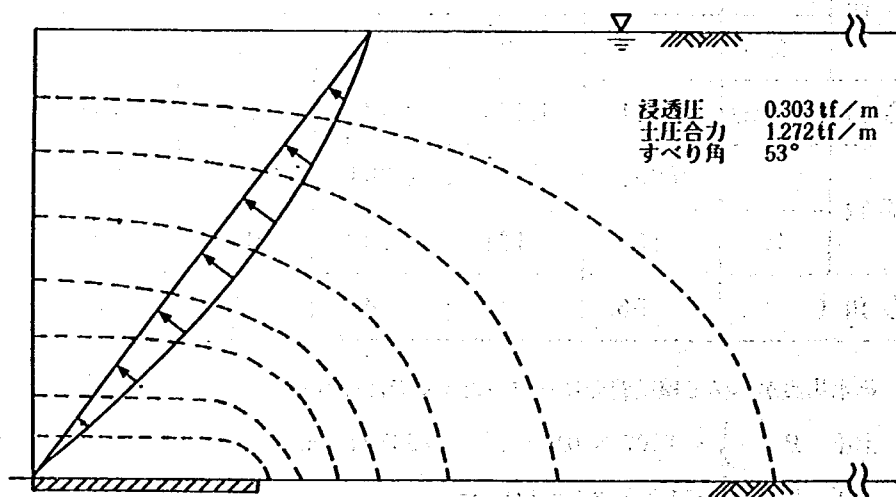
$$\text{合力 } P = \sqrt{(P_W + P_A \cos 20^\circ)^2 + (P_A \sin 20^\circ)^2} = 2.51 \text{ tf/m}$$



ケース1 連続背面排水工

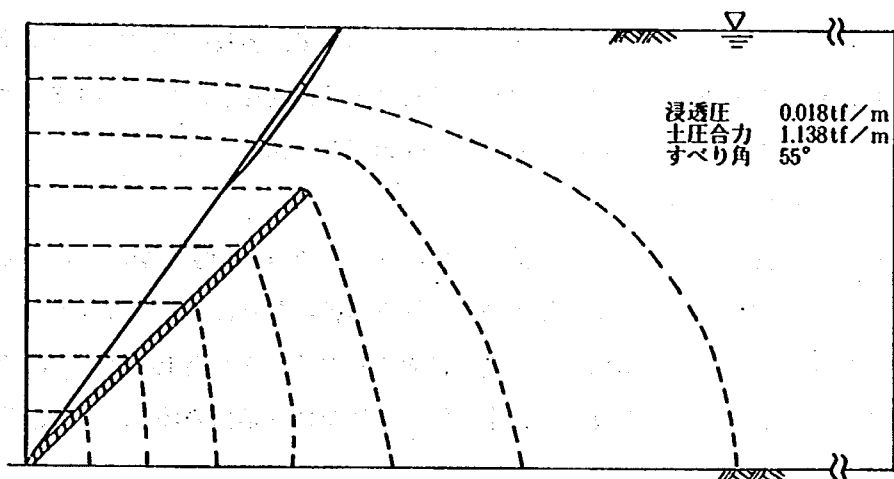


ケース2 連続背面排水工 (壁高の半分の高さ)

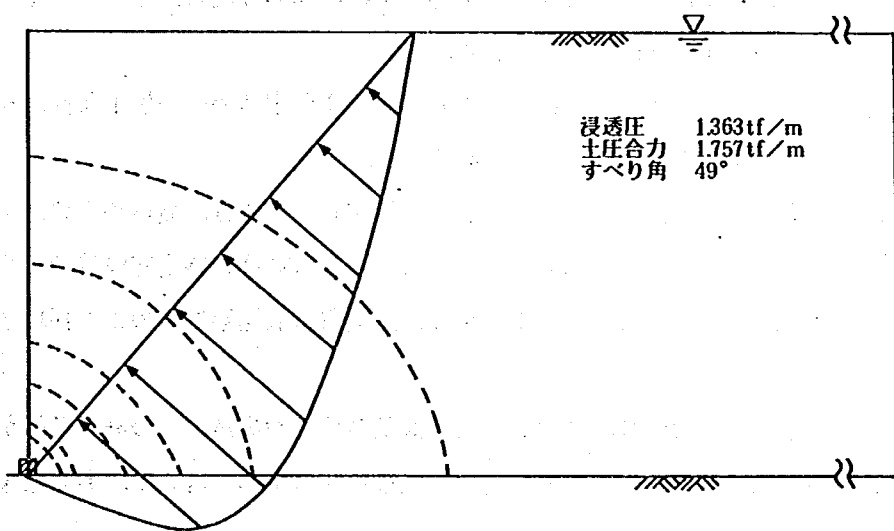


ケース3 底面排水工

図-7.15 計算結果 (その1)



ケース 4 斜排水工 (45°)



ケース 5 簡易排水工

図-7.15 計算結果 (その2)

ケースについては特にこの傾向が強く、実験結果とも良い対応を示している。さらに排水施設が不備で裏込め地表面まで飽和した状態では、擁壁背面に静水圧が作用するので、降雨がない場合の約 2.5 倍の荷重が作用することになる。

以上に述べたことは、「7-2 実験結果」で示した各実験結果とも良い対応を示していることから、ここで採用した方法によって排水工の検討を行うのも一方法と考えられる。さらに、現状ではケース 1 の連続背面排水工が使用されることが多いが、場合によってはケース 3 の底面排水工あるいはケース 4 の斜排水工の採用を検討することも必要と思われる。

8. 結 論

本実験では、大型擁壁実験装置を用いた土圧測定実験を通して、各種の要因が土圧に及ぼす影響を調査するとともに、現行の土圧算定法や若干の数値解析による検討を加えた。その詳細は各章で述べたが、これらの検討の結果得られた知見を要約すると次の通りである。

1) 嵩上げ盛土部の土圧について

- a) 嵩上げ盛土を行うことによって、擁壁に作用する土圧は増加するが、その増加の程度は嵩上げ盛土高さ、法勾配、裏込め土の施工条件、擁壁の種類などによって異なる。
- b) 嵩上げ盛土高さが高くなるに従って土圧は大きくなる。また嵩上げ盛土の法勾配が急な程土圧は大きくなるが、この傾向は裏込め土の施工条件がゆる詰めの場合、特に顕著に認められる。
- c) 嵩上げ盛土を有する擁壁においても、裏込め土の締固めの程度が土圧に及ぼす影響は大きく、一般に締固めが不足すると土圧は大きくなる。
- d) 壁摩擦係数は、嵩上げ盛土の法勾配や裏込め土の締固め程度の影響が小さく、むしろ嵩上げが進むに従って減少する傾向が認められる。
- e) 相対作用位置は、嵩上げ盛土を行うと上昇する。また裏込め土の施工条件が締固めの場合、ゆる詰めの場合よりも相対作用位置は高くなる。
- f) 土質試験結果を用いた試行くさび法によって算定した土圧は、裏込め土の施工条件がゆる詰めの場合は実測値と良い対応を示すが、締固めの場合は裏込め盛土完成時の実測土圧を大きく下回った。したがって設計に用いる土質定数に、土質試験結果をそのまま採用するのは問題がある。
- g) 有限要素法を用いた数値解析においても、擁壁の種類や裏込め土の施工条件が土圧に影響を及ぼすことが確認された。またその傾向は、壁移動時の挙動も含めて、実測結果と比較的良好な対応を示した。

2) 切土部土圧について

- a) 地山が安定している場合、地山の存在によって土圧は減少し、減少の度合は裏込め土の量が少ないほど大きい。
- b) 主働時における地山の影響範囲は、裏込め土の施工条件によって異なり、締固めると影響範囲は小さくなる。また主働時の土圧の大きさは、壁移動に伴って発生するすべり面によって形成される土くさびの大きさによって規定される傾向が強い。
- c) 地山部土圧においても、裏込め土の施工条件によって土圧が異なり、一般に締固めた方が土圧は小さい。
- d) 裏込め土に碎石を用いた場合の土圧は、川砂を用いた場合の土圧よりも小さく、土質試験結果との関連が認められた。
- e) 土質試験結果を用いた複合くさび法によって算定した土圧は、嵩上げ盛土部の土圧と同様

裏込め土の施工条件が締固めの場合、裏込め盛土完成時の実測土圧を大きく下回った。したがって土圧の算定に用いる土質定数の設定には注意が必要である。

3) 降雨の影響について

- a) 擁壁の排水性が良い場合、降雨によって土圧は増加するが、その度合は比較的小さい。この原因として裏込め盛土中に生ずる自由水面の位置が低く、作用する浸透圧が小さかったことが考えられる。
- b) 含水量の増加に起因する裏込め盛土の単位体積重量の増加及び強度定数の低下が土圧に及ぼす影響は小さいものであった。
- c) 壁移動終了後も降雨を続けた結果、著しい土圧の回復傾向が認められた。したがって長期間降雨が続く場合、擁壁に主働変位が生じると安全性が低下する恐れがある。

4) 排水施設について

- a) 排水施設が不備で裏込め盛土が飽和すると、静水圧が発生し、擁壁には非常に大きな力が作用することから排水施設の重要性が明らかとなった。
- b) 排水施設の種類によって、その効果が異なる。したがって、擁壁の設計に当っては裏込め盛土内の水の流れを検討し、それに応じた排水施設を選定することが重要である。
- c) 浸透圧を考慮した試行くさび法によって算定した土圧は、実験結果と良い対応を示した。また土圧は、浸透圧の大きい程大きくなる傾向が認められた。

以上に述べたことは、いずれも大型擁壁実験装置を用いた一連の土圧測定実験によって明らかになったものである。したがって地盤の上に築造される実際の擁壁に、これらの結果をそのまま適用するには困難を伴うことも予想されるが、擁壁の設計を行う上でのいくつかの有用な知見が得られたものと思われる。

あ と が き

本報告では、一連の実験で明らかになった擁壁に作用する土圧の実態及び土圧に影響を及ぼす要因について述べるとともに、若干の解析結果についても報告した。擁壁に作用する土圧は、擁壁、基礎地盤、裏込め土の三者の相互作用の結果生ずるものと考えられるが、本実験は基礎地盤の影響については検討の対象となっていない。これは室内実験において基礎地盤の挙動を再現するのが困難なためである。したがって、今後は大型擁壁実験装置を用いた土圧の基本性状に関する検討を続けるとともに、実際の擁壁の挙動やそれに作用する土圧の計測を行うことが必要であると考えられる。

最後に本実験の実施に際して御協力戴いた関係各位に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 建設省土木研究所施工研究室「大型擁壁実験－1－」土木研究所資料第673号, 1971.9
- 2) 建設省土木研究所施工研究室「大型擁壁実験－2－」土木研究所資料第994号, 1975.7
- 3) 建設省土木研究所施工研究室「大型擁壁実験－3－」土木研究所資料第1096号, 1976.2
- 4) R. E. Goodman著, 赤井浩一, 川本脩万, 大西有三共訳「不連続性岩盤の地質工学」森北出版, 1978
- 5) James M. Duncan and Chin-Yung Chang "Non Linear Analysis of stress and Strain Soils" ASCE SM5 September 1970
- 6) Zienkiewicz, O. C., Vllaliappan, S. and King, I. P. "Stress Analysis of Rock as a 'No Tension' Material" Geotechnique 18, 1968
- 7) Ray W. Clough and Richard J. Woodward "Analysis of Embankment Stress and Deformations" ASCE SM4 July 1967
- 8) 河邑真, 渡辺敏晴; 浸透流とのカップリングを考慮した擁壁土圧の算定, 第18回土質工学研究発表会
- 9) 市原松平, 伊藤文隆; すべり面に浸透水圧を考慮した場合の土圧係数, 第13回土質工学研究発表会

付 録 目 次

- 1 模 型 実 験
- 2 実験結果（実験No.1～実験No.19）
- 3 裏込め土の土質試験結果

目 录

第一章 总 论

第一节 工程概况

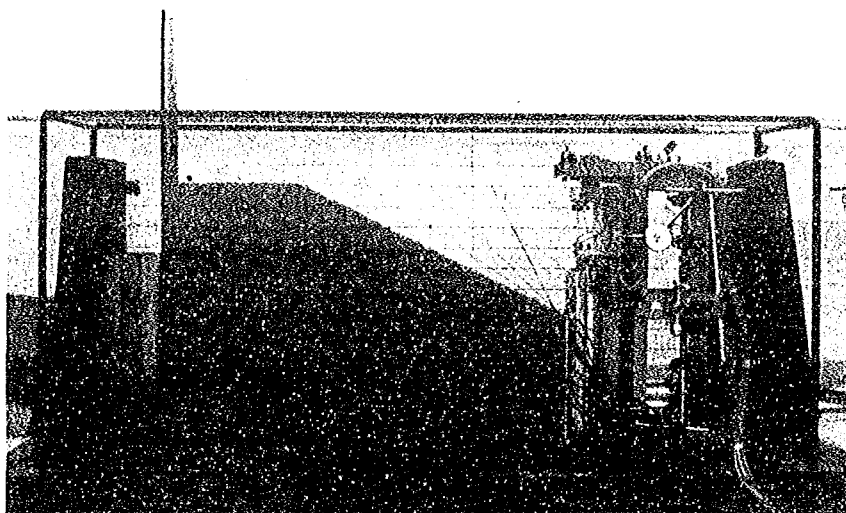
第二节 编制依据

1 模型実験

1. ま え が き

従来実施してきた大型擁壁実験装置を用いた土圧測定実験では、擁壁の設計に必要な土圧に関して様々な有益な情報を得ることができた。しかしながら、大型実験のためもあって実験ケースは自ずと限られ、各種の要因が土圧に及ぼす影響を連続的に把握するのは困難である。このため大型擁壁実験の結果を補完する意味で小規模な実験装置を用いた模型実験を実施した。

この模型実験（写真－１）では力の作用方向及び変位の方向を完全に二次元化することが可能であり、また裏込め材には鉄製加工品を用いているので盛土の締固めの影響が無い。したがって裏込め盛土の作成には大型擁壁実験と比べてかなり高い再現性が期待できるが、裏込め材の物性及び模型の寸法に関して相似率等の問題が残されているため、ここでは各実験結果の傾向を述べるにとどめておく。なお実験は大型擁壁実験に準じて壁の種類（直壁、もたれ壁）、かさ上げ盛土の影響、地山の影響等に着目して行った。



写真－１ 実験状況

2. 実 験 概 要

実験は図－１に示す実験装置を使用して行った。この装置は壁体を吊り下げた薄鋼板の伸びを検出することにより荷重の鉛直成分を測定し、壁体の上部１個所、下部２個所を支持する荷重計により荷重の水平成分と土圧合力の作用位置を測定するものである。また壁面に設けた三枚の受圧板は、それぞれ４個ずつの荷重計によって支持されており荷重の分布を測定することが可能である。さらに、壁体を主働方向に移動させることができるので、静止土圧に加えて主働土圧の測定も可能である。

裏込め材には粘着力の無い材料を想定して鋼棒を用いることとし、直径 8 mm、4 mm、2 mm のものを重量比 4 : 2 : 1 の割合で混合して使用した。この裏込め材（鋼棒）の物性試験の結果を図－２に示す。盛土中の土圧の計測は、盛土高 5 cm ごとに行った。また主働方向への壁移動は、土圧の計測を行いながら最低 0.1 mm ピッチで移動量 10 mm（写真－２）まで行った。

なお、嵩上げ盛土を行う場合はそのままでは斜面が不安定となるので、補強材（紙片）を用いて盛土の安定を図った。

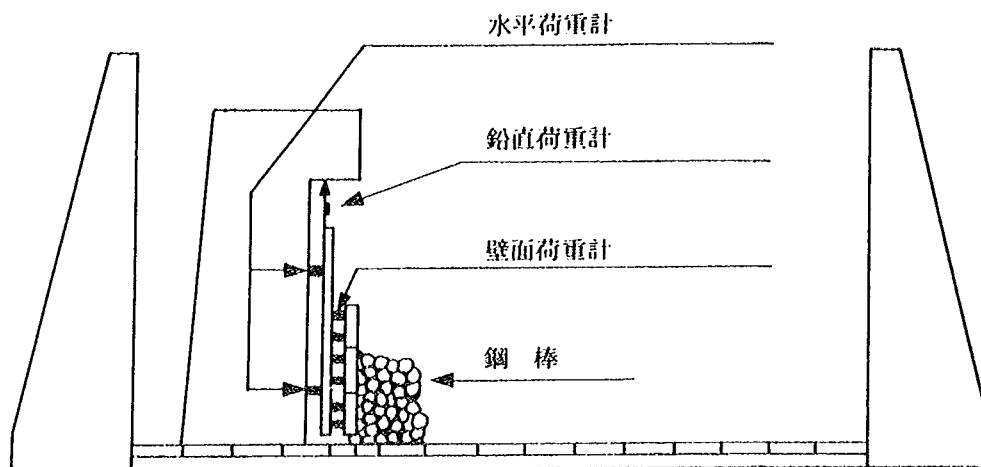
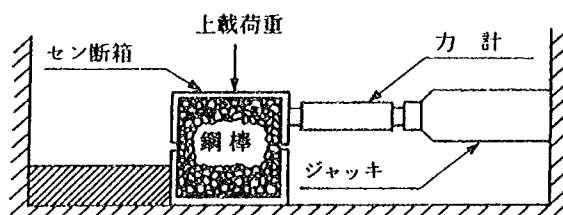


図-1 実験装置

鋼棒の内部摩擦角の測定



裏込め材（鋼棒）の物性

○裏込め材（鋼棒）の単位体積重量

$$\gamma = 6.466 \text{ gf/cm}^3$$

○裏込め材（鋼棒）の内部摩擦角，粘着力

$$\phi = 18.7^\circ$$

$$c = 41.1 \text{ gf/cm}^2$$

○裏込め材（鋼棒）と壁面の摩擦角，粘着力

$$\delta' = 11.6^\circ$$

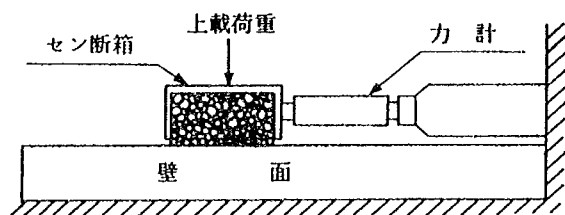
$$c' = 2.4 \text{ gf/cm}^2$$

○裏込め材（鋼棒）と切土面の摩擦角，粘着力

$$\delta'' = 12.5^\circ$$

$$c'' = 18.5 \text{ gf/cm}^2$$

壁摩擦角の測定



切土面の摩擦角の測定

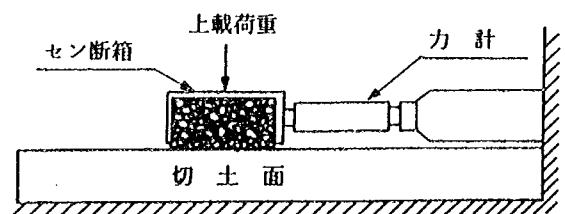


図-2 裏込め材（鋼棒）の物性試験結果



写真－２ 壁移動における連続写真

3. 実験条件

実験は図－３に示す条件で実施した。壁の種類は直壁ともたれ壁（１：０．３）とし、嵩上げ盛土や地山が土圧に及ぼす影響について調査することを考慮して実験条件を設定した。各実験における実験目的は以下に記すとおりである。

実験１：直壁における盛土傾斜角を変えた嵩上げ盛土の影響

実験２：もたれ壁における盛土傾斜角を変えた嵩上げ盛土の影響

実験３：直壁における地山傾斜角の影響

実験４：もたれ壁における地山傾斜角の影響

実験５：直壁における地山距離の影響（地山は直立）

実験６：直壁における地山距離の影響（地山勾配１：０．３）

実験７：直壁における地山距離の影響（地山勾配１：０．５）

実験８：もたれ壁における地山距離の影響（地山勾配１：０．３）

実験９：もたれ壁における地山距離の影響（地山勾配１：０．５）

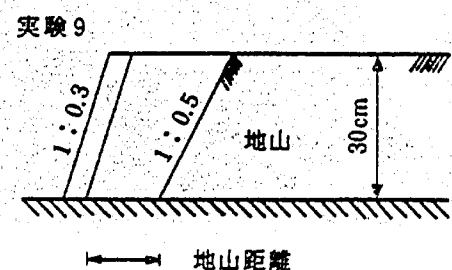
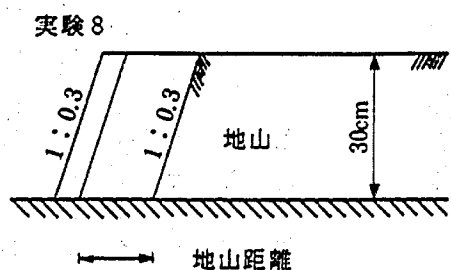
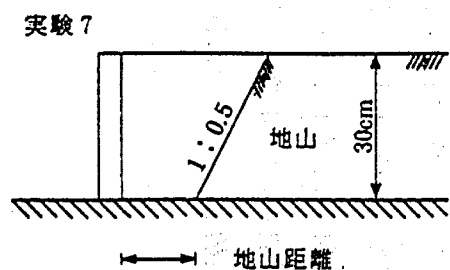
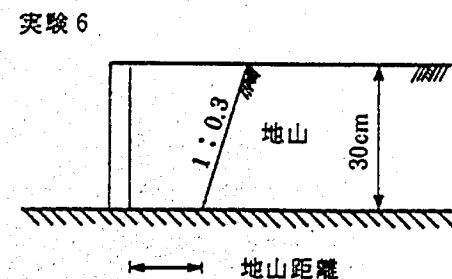
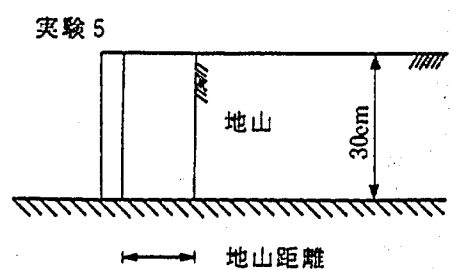
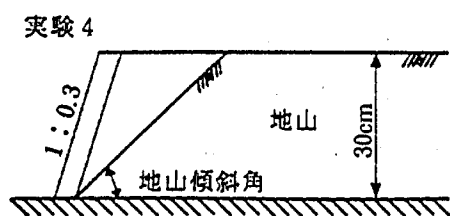
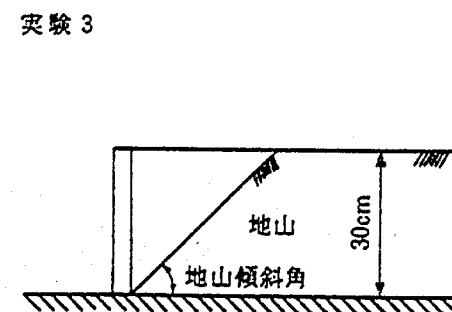
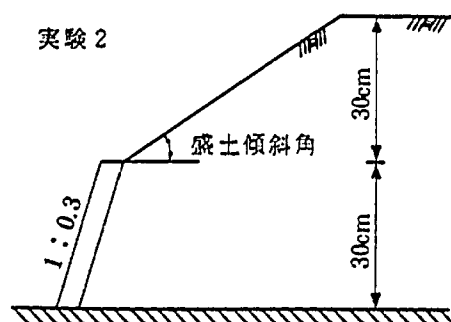
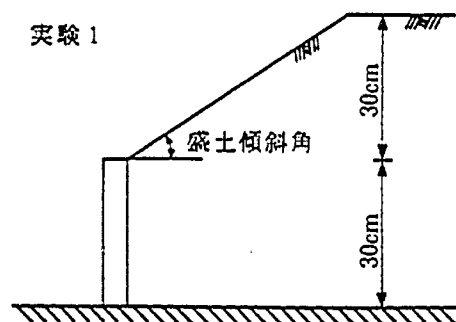


図-3 実験条件

4. データの整理方法

実験結果は土圧三要素（土圧係数 K_A 、壁摩擦係数 $\tan \delta$ 、相対作用位置 d/H ）について整理した。整理方法は以下に示す通りである。

P_H : 壁面に対して直角に作用する力

P_V : 壁面に対して平行に作用する摩擦力

P_A : 土圧合力 $P_A = \sqrt{P_H^2 + P_V^2}$

K_A : 土圧係数 $K_A = \frac{2P_A}{\gamma H^2}$

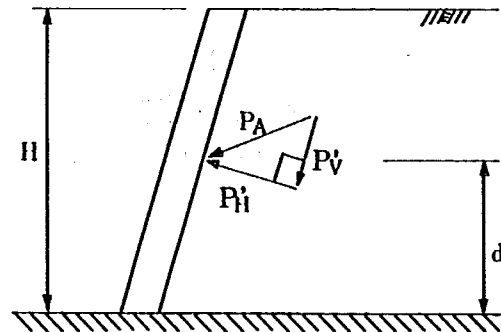
但し、 γ : 鋼棒の単位体積重量(6.466 gf/cm³)

H : 壁高 (30cm)

$\tan \delta$: 壁摩擦係数 $\tan \delta = \frac{P_V}{P_H}$

d/H : 相対作用位置 $d/H = \frac{d}{H}$

但し、 d : 土圧合力の作用位置



5. 実験結果

5.1 嵩上げ盛土における盛土傾斜角の影響

実験1, 実験2の結果をもとに、盛土完成時（静止時）及び壁移動量2mm（主働時）の土圧三要素（土圧係数、壁摩擦係数、相対作用位置）と盛土傾斜角の関係を図-4, 図-5, 図-6に示す。

土圧係数（図-4）は盛土傾斜角が大きいほど大きくなるが、これは盛土荷重の増加を反映しているものと思われる。また、静止時と比べて主働時は一般に土圧が小さく、微小な壁変位により土圧が減少することがわかる。壁の種類の違いに着目すると、もたれ壁の土圧係数が直壁よりも小さく、もたれ壁による土圧軽減効果が認められる。これらの結果を試行くさび法による計算値と比較すると実測値は計算値より小さく、盛土傾斜角が大きくなるほどその差は大きくなる。これは、試行くさび法を大規模なかさ上げ盛土に適用する場合、注意する必要があることを示すものと考えられる。

壁摩擦係数（図-5）は盛土傾斜角が変化しても0.4~0.8の範囲で変動しており、盛土傾斜角との関連は明確ではない。また直壁ともたれ壁の間にも有意な差はみられない。主働時の壁摩擦係数は静止時と比べて一般に大きい、これは壁移動により生じる土くさびをささえるため壁面の摩擦力が発揮されたことに起因するものと考えられる。なお、計測された壁摩擦係数の値（0.4~0.8）は、物性試験による壁摩擦角 11.6° に比べて非常に大きな値であり裏込め材（鋼棒）の内部摩擦角 18.7° をも超えている。この原因は実験装置の吊り構造に求められると考えられるので、以下の壁摩擦係数についてはその傾向を述べるにとどめる。土圧係数、相対作用位置については壁面荷重計によって測定

凡 例

- 実験1 (静止時)
- 実験1 (主動時)
- △ 実験2 (静止時)
- ▲ 実験2 (主動時)
- 実験1 (試行くさび法)
- 実験2 (試行くさび法)

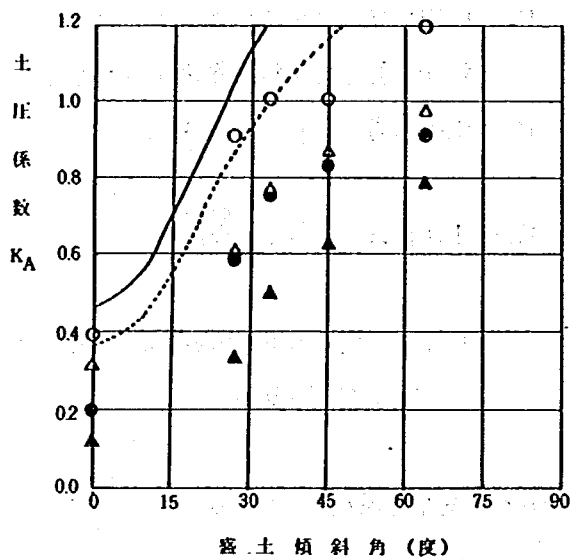


図-4 盛土傾斜角と土圧係数の関係

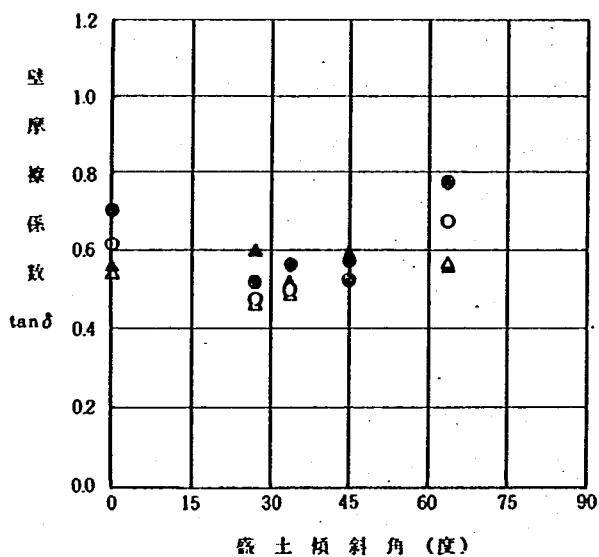


図-5 盛土傾斜角と壁摩擦係数の関係

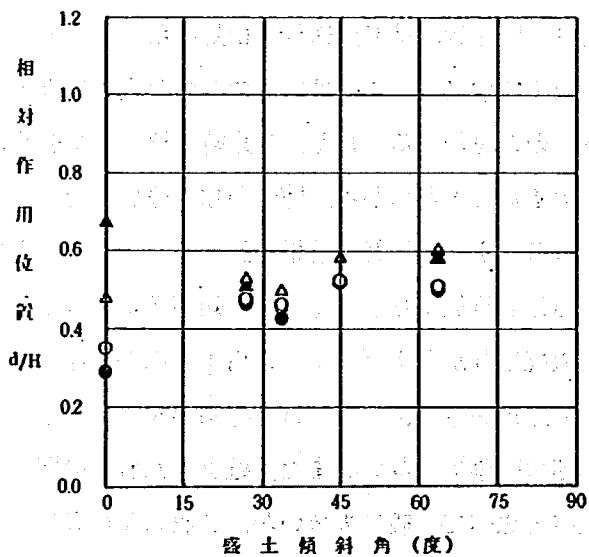


図-6 盛土傾斜角と相對作用位置の關係

しているので、吊り構造による影響は非常に小さいかまったく認められない。

相対作用位置（図－6）は盛土傾斜角が大きくなるに従って高くなる傾向にあるが、これは壁体近傍における盛土荷重の増加の影響が壁上部で大きいためと考えられる。また、もたれ壁のほうが直壁よりも作用位置が高く、さらに静止時と比較して主働時における作用位置はやや低下する傾向も認められる。なお、現行の土圧算定法では土圧の作用位置は壁高の $1/3$ に設定されているが、ほとんどの実験結果がそれより高い結果となっていることから、作用位置については検討の必要があると考えられる。

5.2 地山傾斜角の影響

実験3、実験4の結果をもとに、盛土完成時（静止時）及び壁移動量 2 mm （主働時）の土圧三要素（土圧係数、壁摩擦係数、相対作用位置）と地山傾斜角の関係を図－7、図－8、図－9に示す。

土圧係数（図－7）は地山傾斜角が小さくなるに従って、すなわち裏込め材が多くなるに従って大きくなる。また、地山傾斜角が大きい場合、静止時と主働時における差は無限地盤（地山傾斜角 0° ）と比べて非常に小さい。さらに複合くさび法による計算値と実測値を比較すると計算値は実測値を大きく上まわっている。壁の種類が異なってもこれらの傾向は変わらないが、一般に盛土量の少ないもたれ壁の土圧係数が直壁よりも小さい値となっている。

壁摩擦係数（図－8）は地山傾斜角が小さくなるほど大きくなる。また、静止時と主働時の間には有意な差はみられないが、もたれ壁の方が直壁よりもやや小さく、壁の種類の違いによる影響が認められる。

相対作用位置（図－9）は地山傾斜角が小さくなるほど小さくなるが、静止時と主働時の間には有意な差はみられない。これはアーチ作用の働きによるものと考えられその詳細は5.4で説明する。また、壁の種類による違いについてはもたれ壁のほうが直壁よりも作用位置が高くなっている。

5.3 地山距離の影響

実験－5～実験－9の結果をもとに、盛土完成時（静止時）及び壁移動量 2 mm （主働時）の土圧三要素（土圧係数、壁摩擦係数、相対作用位置）と地山距離の関係を直壁（実験5、実験6、実験7）については図－10、図－11、図－12に、もたれ壁（実験8、実験9）については図－13、図－14、図－15に示す。実験結果は、静止時と主働時の土圧係数に差があるということを除いて、地山傾斜角の及ぼす影響と同じ傾向が認められる。

- 凡例
- 実験3 (静止時)
 - 実験3 (主働時)
 - △ 実験4 (静止時)
 - ▲ 実験4 (主働時)
 - 実験3 (複合くさび法)
 - 実験4 (複合くさび法)

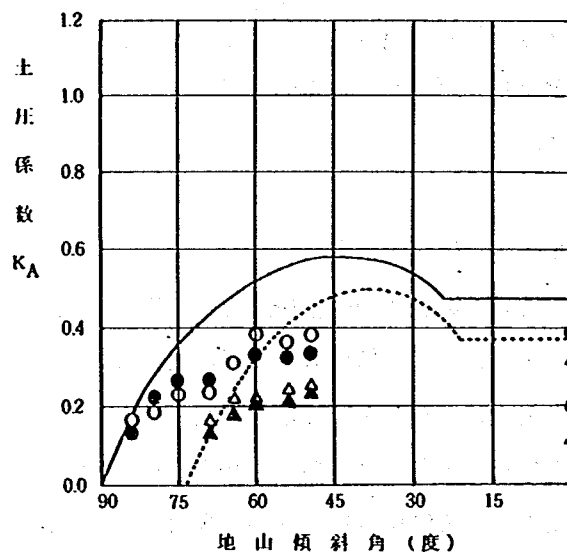


図-7 地山傾斜角と土圧係数の関係

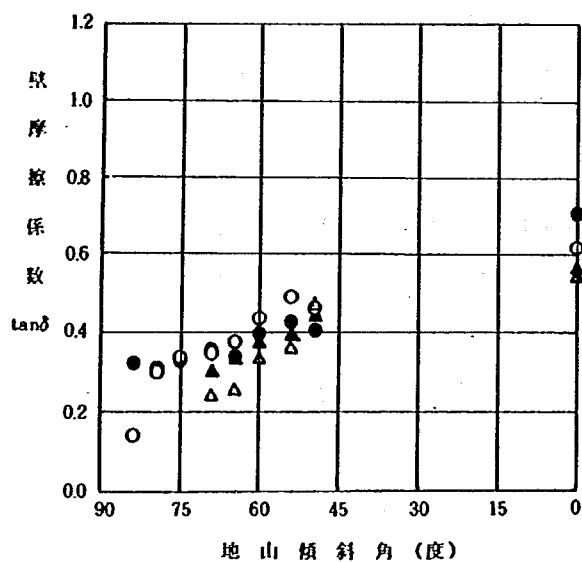


図-8 地山傾斜角と壁摩擦係数の関係

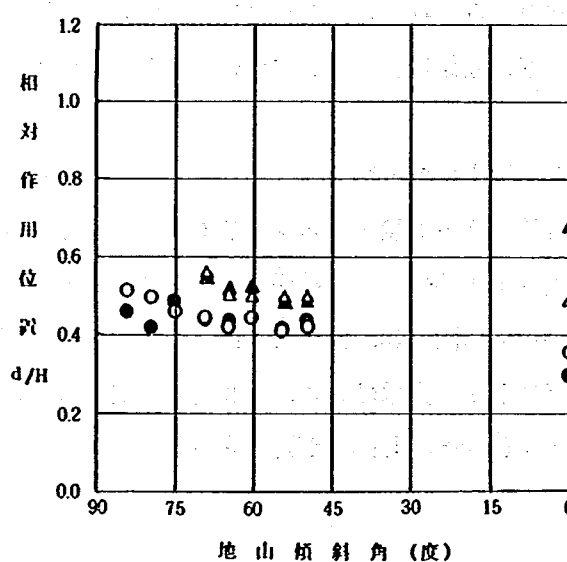


図-9 地山傾斜角と相対作用位置の関係

- 凡例
- 実験5 (静止時)
 - 実験5 (主働時)
 - △ 実験6 (静止時)
 - ▲ 実験6 (主働時)
 - 実験7 (静止時)
 - 実験7 (主働時)

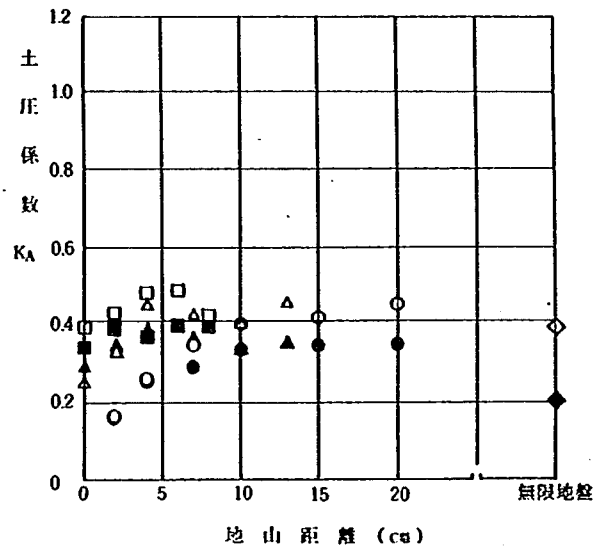


図-10 地山距離と土圧係数の関係 (直壁)

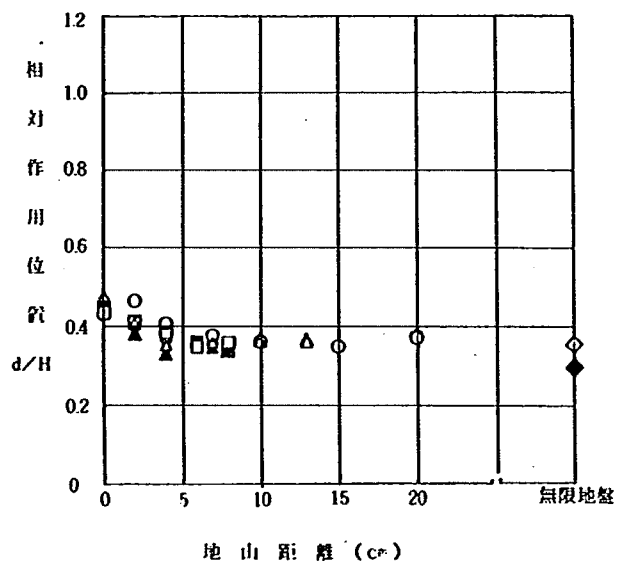
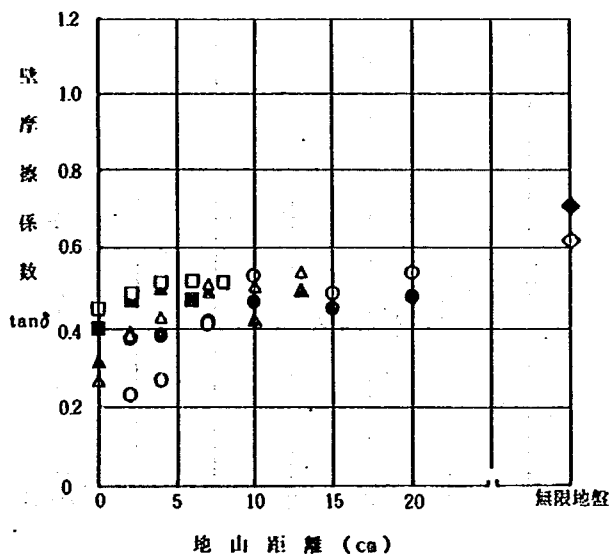


図-11 地山距離と壁摩擦係数の関係 (直壁) 図-12 地山距離と相対作用位置の関係 (直壁)

凡 例

- △ 実験 8 (静止時)
- ▲ 実験 8 (主働時)
- 実験 9 (静止時)
- 実験 9 (主働時)

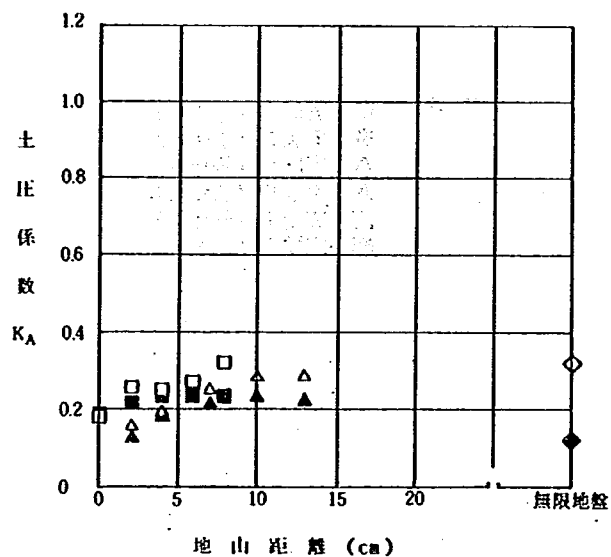


図-13 地山距離と土圧係数の関係 (もたれ壁)

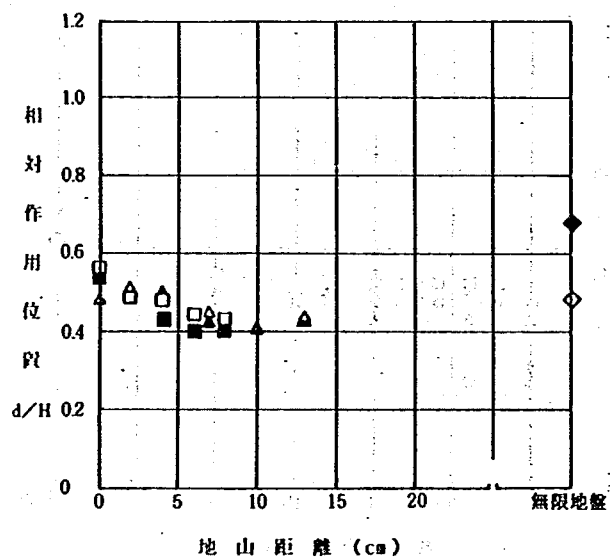
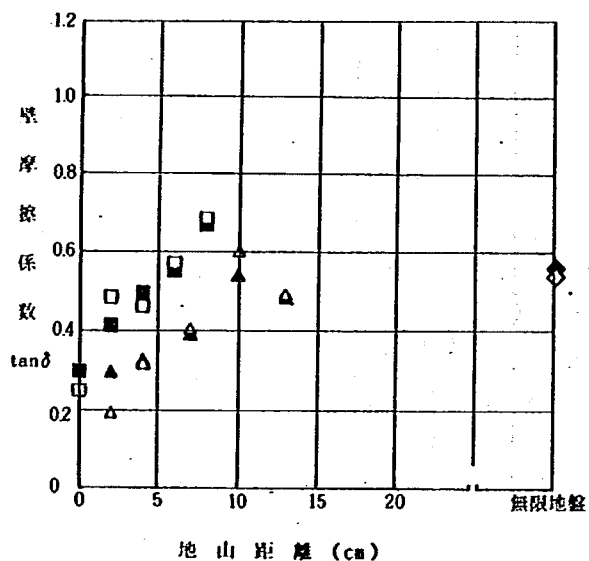
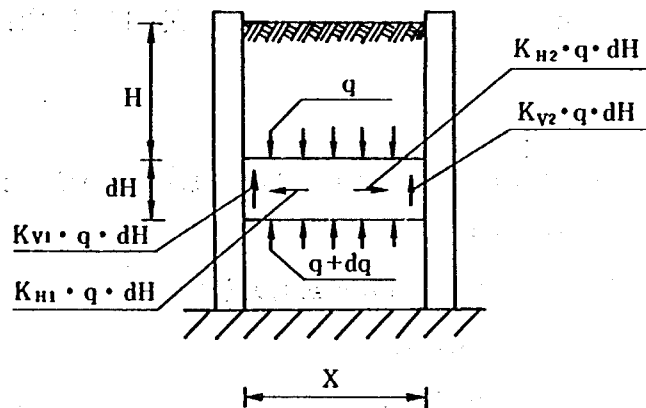


図-14 地山距離と壁摩擦係数の関係 (もたれ壁) 図-15 地山距離と相対作用位置の関係 (もたれ壁)

5.4 サイロ土圧による検討

特定条件（ここでは実験5を対象としている。）のもとでは図-16～図-18、式（1）～式（5）に示したサイロ土圧による検討も有効である。サイロ土圧による計算方法の長所としては、盛土荷重の伝達効率の悪くなるアーチ作用の現象をよく説明できるということが挙げられる。したがって、サイロ土圧によれば複合くさび法では表現できなかった相対作用位置の変化に対しても、図-17に見られるように実測値と良い対応を示す。また、実測値における静止時と主働時の相対作用位置には有意な差は認められず、壁変位が生じてサイロ効果がなくなっても壁が安定すれば再びサイロ効果を發揮してアーチ作用を生じるものと考えられる。土圧合力（図-16）については、複合くさび法による計算結果との差はそれほど認められない。また、計算値は主働時よりも静止時の土圧合力とよく適合している。

サイロ効果による計算法の短所としては、現状では嵩上げの状態や地山の傾きを考慮できないため、その適用範囲が限られることが挙げられる。しかしながら、特定の条件の下では、試行くさび法よりも現象を良く説明できることから、擁壁に作用する土圧の検討手法のひとつとして利用することは可能であると考えられる。



$$r \cdot X \cdot dH + q \cdot X = (q + dq) \cdot X + (K_{v1} + K_{v2}) \cdot q \cdot dH \quad \text{.....(1)}$$

$$n = \frac{K_{v1} + K_{v2}}{X} \quad \text{.....(2)}$$

$$P_A = \frac{K_{A1} \cdot r}{n} \cdot \left(H - \frac{1}{n} \cdot (1 - e^{-n \cdot H}) \right) \quad \text{.....(3)}$$

$$M_A = \frac{K_{A1} \cdot r}{n} \cdot \left(\frac{H^2}{2} + \frac{H}{n} \cdot e^{-n \cdot H} - \frac{1}{n^2} \cdot (1 - e^{-n \cdot H}) \right) \quad \text{.....(4)}$$

$$\frac{d}{H} = (H - M_A / P_A) / H \quad \text{.....(5)}$$

r : 単位体積重量

P_A : 土圧合力

d/H : 相対作用位置

K_{A1} : 壁土圧係数

K_{v1} : 壁鉛直土圧係数

K_{A1} : 壁水平土圧係数

K_{v2} : 地山鉛直土圧係数

K_{A2} : 地山水平土圧係数

図-16 サイロ土圧

凡例 (図-17, 図-18 共通)
 ○ 実測値 (静止状態)
 ● 実測値 (主働状態)
 — 計算値 (複合くさび法)
 --- 計算値 (サイロ土圧)

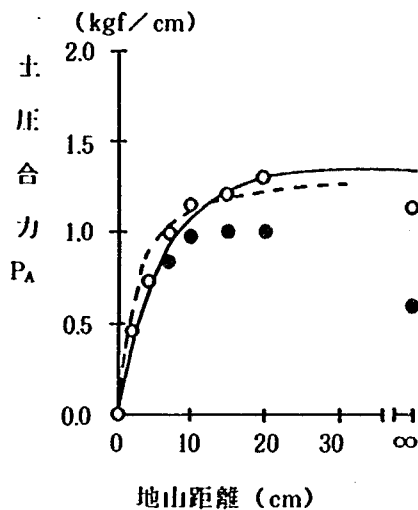


図-17 土圧合力

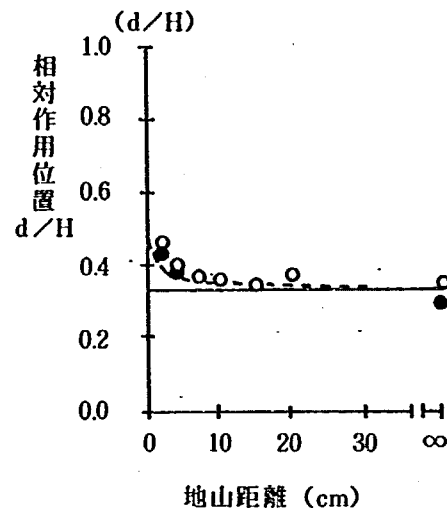


図-18 相对作用位置

6. あとがき

模型実験により土圧の挙動を説明する上で参考となる次の傾向を見いだした。

- 1) 嵩上げ盛土を行うと土圧係数は大きくなる。
- 2) 嵩上げ盛土の盛土傾斜角が大きいほど土圧係数も大きくなる。
- 3) 主働土圧は一般に静止土圧より小さい。
- 4) 地山が近接するほど土圧係数は小さくなる。
- 5) もたれ壁は直壁よりも土圧係数が小さい。
- 6) 地山が近接していなければ壁摩擦係数は静止時よりも主働時が大きくなる。
- 7) もたれ壁は直壁よりも土圧の作用位置が高い。
- 8) 嵩上げ盛土を行うと土圧の作用位置は高くなる。
- 9) 地山が近接するほど土圧の作用位置は高くなる。

しかし、これらのうちのいくつかは相似率などの問題により現実に適合しない部分もあり、これらについては大型擁壁実験等により検証する必要があると考えられる。また、土留構造物を設計する上で土圧は重要な要因のひとつであるが、土圧以外にも地山全体の安定性を解析することも重要である。

2 実験結果（実験No.1～実験No.19）

CONFIDENTIAL (U.S. GOVERNMENT)

	変位 (mm)	土圧合力 P_A (tf/m)	鉛直土圧 P_V (tf/m)	水平土圧 P_H (tf/m)	土圧係数 K_A	壁摩擦係数 $\tan \delta$	相対作用位置 d/H
盛土高さ (m)	0.00m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.38m	-0.157	0.274	0.042	0.270	2.221	0.158
	0.88m	0.156	0.542	0.125	0.527	0.819	0.220
	1.38m	0.039	0.989	0.222	0.964	0.608	0.288
	1.88m	0.077	1.514	0.462	1.442	0.501	0.351
	2.38m	0.196	1.939	0.641	1.830	0.401	0.408
	2.88m	0.078	2.344	0.747	2.222	0.484	0.445
	3.38m	0.264	2.512	0.873	2.356	0.519	0.459
	3.88m	0.352	2.644	0.955	2.466	0.546	0.475
	4.38m	0.411	2.723	0.971	2.544	0.563	0.475
	4.88m	0.480	2.839	0.981	2.664	0.587	0.477
	5.38m	0.275	3.385	1.047	3.219	0.699	0.494
	5.88m	0.313	3.371	1.049	3.203	0.696	0.492
壁移動量 (mm)	0.0mm	0.205	3.651	1.147	3.466	0.754	0.504
	0.1mm	0.205	3.328	1.123	3.133	0.688	0.491
	0.2mm	0.450	2.799	1.138	2.557	0.578	0.476
	0.5mm	0.558	2.542	1.078	2.302	0.525	0.460
	0.7mm	0.792	2.198	1.107	1.898	0.454	0.437
	1.0mm	1.017	1.859	1.091	1.504	0.384	0.406
	1.2mm	1.114	1.709	1.066	1.335	0.353	0.397
	1.5mm	1.409	1.549	1.010	1.174	0.320	0.384
	1.7mm	1.498	1.505	0.978	1.144	0.311	0.376
	2.0mm	1.743	1.406	0.892	1.087	0.290	0.372
	2.2mm	1.968	1.354	0.849	1.054	0.280	0.356
	2.5mm	2.526	0.775	0.471	0.615	0.160	0.377
	3.7mm	3.905	0.413	0.219	0.350	0.085	0.380
	5.0mm	5.265	0.411	0.195	0.361	0.085	0.396
	7.5mm	7.623	0.627	0.286	0.558	0.130	0.362
	10.0mm	10.000	0.650	0.310	0.571	0.134	0.307
	12.5mm	12.300	0.707	0.310	0.635	0.146	0.276
	15.0mm	14.441	0.734	0.299	0.670	0.152	0.261
	17.5mm	16.877	0.750	0.264	0.702	0.155	0.270
	20.0mm	19.364	0.759	0.273	0.708	0.157	0.259
	22.5mm	21.607	0.817	0.399	0.713	0.169	0.282
	25.0mm	24.072	0.765	0.189	0.742	0.158	0.264
	50.0mm	48.446	0.925	0.382	0.842	0.191	0.320

		変 位 (mm)	土圧合力 P_A (tf/m)	鉛直土圧 P_v (tf/m)	水平土圧 P_H (tf/m)	土圧係数 K_A	壁摩擦係数 $\tan \delta$	相対作用位置 d/H
盛 土 高 さ (m)	0.00m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.38m	0.000	0.179	0.024	0.177	1.579	0.137	0.372
	0.88m	-0.157	0.359	0.094	0.346	0.591	0.272	0.247
	1.38m	-0.157	0.756	0.238	0.717	0.506	0.331	0.283
	1.88m	-0.157	1.256	0.442	1.176	0.453	0.376	0.310
	2.38m	-0.401	1.902	0.680	1.776	0.428	0.383	0.361
	2.88m	-0.127	2.474	0.849	2.324	0.556	0.365	0.376
	3.38m	-0.155	2.888	0.965	2.722	0.649	0.354	0.389
	3.88m	-0.106	3.320	1.038	3.153	0.747	0.329	0.400
	4.38m	-0.106	3.715	1.135	3.538	0.835	0.320	0.408
	4.88m	-0.086	3.976	1.219	3.784	0.894	0.322	0.412
	5.38m	-0.057	4.196	1.280	3.996	0.944	0.320	0.418
	5.88m	-0.057	4.375	1.272	4.186	0.984	0.304	0.420
壁 移 動 量 (mm)	0.0mm	-0.106	4.436	1.309	4.238	0.998	0.308	0.415
	0.1mm	-0.106	4.338	1.327	4.130	0.976	0.321	0.413
	0.2mm	0.011	4.169	1.345	3.946	0.938	0.340	0.408
	0.5mm	0.324	3.826	1.350	3.580	0.860	0.377	0.400
	0.7mm	0.530	3.700	1.349	3.445	0.832	0.391	0.394
	1.0mm	0.833	3.538	1.309	3.287	0.796	0.398	0.396
	1.2mm	1.009	3.461	1.310	3.204	0.778	0.408	0.398
	1.5mm	1.323	3.401	1.309	3.139	0.765	0.417	0.403
	1.7mm	1.402	3.374	1.295	3.115	0.759	0.415	0.402
	2.0mm	1.647	3.338	1.293	3.077	0.751	0.420	0.403
	2.2mm	1.901	3.308	1.301	3.041	0.744	0.427	0.405
	2.5mm	2.146	3.246	1.285	2.981	0.730	0.431	0.406
	3.7mm	3.329	3.056	1.235	2.795	0.687	0.441	0.407
	5.0mm	4.592	2.977	1.219	2.716	0.670	0.448	0.422
	7.5mm	7.067	2.858	1.203	2.593	0.643	0.464	0.428
	10.0mm	9.591	2.722	1.154	2.464	0.612	0.468	0.431
	12.5mm	11.878	2.595	1.079	2.360	0.584	0.457	0.434
	15.0mm	14.383	2.526	1.120	2.264	0.568	0.494	0.440
	17.5mm	16.810	2.444	1.091	2.186	0.550	0.498	0.440
	20.0mm	19.375	2.398	1.101	2.130	0.539	0.517	0.439
	22.5mm	21.725	2.292	1.012	2.056	0.515	0.492	0.440
	25.0mm	23.676	2.253	1.012	2.013	0.507	0.503	0.437
	50.0mm	48.545	2.258	0.994	2.027	0.508	0.490	0.431

実 験 No.3

		変 位 (mm)	土圧合力 P_A (tf/m)	鉛直土圧 P_v (tf/m)	水平土圧 P_H (tf/m)	土圧係数 K_A	壁摩擦係数 $\tan \delta$	相对作用位置 d/H
盛 土 高 さ (m)	0. 00m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0. 38m	0.088	0.301	0.004	0.301	2.384	0.016	0.250
	0. 88m	0.108	0.611	0.114	0.600	0.902	0.191	0.241
	1. 38m	0.137	1.062	0.222	1.039	0.638	0.213	0.291
	1. 88m	0.147	1.513	0.403	1.458	0.490	0.276	0.346
	2. 38m	0.078	2.053	0.608	1.960	0.414	0.310	0.404
	2. 88m	0.156	2.463	0.785	2.334	0.497	0.336	0.440
	3. 38m	0.195	2.790	0.893	2.643	0.563	0.338	0.455
	3. 88m	0.205	2.900	0.929	2.747	0.585	0.338	0.457
	4. 38m	0.156	3.080	0.955	2.929	0.622	0.326	0.468
	4. 88m	0.059	3.223	0.888	3.098	0.651	0.286	0.472
	5. 38m	0.059	3.252	0.888	3.128	0.657	0.284	0.472
	5. 88m	0.078	3.269	0.897	3.143	0.660	0.285	0.474

実 験 No.4

		変 位 (mm)	土圧合力 P_A (tf/m)	鉛直土圧 P_v (tf/m)	水平土圧 P_H (tf/m)	土圧係数 K_A	壁摩擦係数 $\tan \delta$	相对作用位置 d/H
盛 土 高 さ (m)	0. 00m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0. 38m	-0.137	0.207	0.037	0.204	1.835	0.181	0.351
	0. 88m	-0.088	0.354	0.123	0.332	0.585	0.370	0.263
	1. 38m	0.009	0.591	0.272	0.524	0.397	0.518	0.221
	1. 88m	-0.020	1.190	0.506	1.077	0.431	0.469	0.296
	2. 38m	0.087	1.790	0.736	1.632	0.405	0.451	0.339
	2. 88m	0.097	2.352	0.888	2.178	0.532	0.407	0.370
	3. 38m	0.097	2.741	1.050	2.532	0.620	0.414	0.382
	3. 88m	0.097	3.074	1.050	2.889	0.695	0.363	0.390
	4. 38m	-0.020	3.422	1.208	3.202	0.774	0.377	0.397
	4. 88m	0.019	3.633	1.224	3.420	0.821	0.357	0.406
	5. 38m	-0.011	3.753	1.221	3.548	0.848	0.344	0.409
	5. 88m	-0.040	3.849	1.238	3.645	0.870	0.339	0.411

		変位 (mm)	土圧合力 P_A (tf/m)	鉛直土圧 P_v (tf/m)	水平土圧 P_H (tf/m)	土圧係数 K_A	壁摩擦係数 $\tan \delta$	相对作用位置 d/H
盛土高さ (m)	0.00m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.38m	0.088	0.301	0.004	0.301	2.384	0.016	0.250
	0.88m	0.108	0.611	0.114	0.600	0.902	0.191	0.241
	1.38m	0.137	1.062	0.222	1.039	0.638	0.213	0.291
	1.88m	0.147	1.513	0.403	1.458	0.490	0.276	0.346
	2.38m	0.078	2.053	0.608	1.960	0.414	0.310	0.404
	2.88m	0.234	2.492	0.801	2.360	0.503	0.339	0.445
	3.38m	0.293	2.930	0.980	2.760	0.591	0.355	0.477
	3.88m	0.449	3.203	1.030	3.032	0.647	0.339	0.491
	4.38m	0.567	3.372	1.102	3.187	0.681	0.345	0.493
	4.88m	0.577	3.577	1.186	3.375	0.722	0.351	0.503
	5.38m	0.489	3.858	1.233	3.655	0.779	0.337	0.519
	5.88m	0.558	4.064	1.300	3.850	0.820	0.337	0.521
壁移動量 (mm)	0.0mm	0.460	4.342	1.347	4.128	0.877	0.326	0.525
	0.1mm	0.557	4.121	1.347	3.895	0.832	0.345	0.516
	0.2mm	0.577	3.841	1.338	3.601	0.775	0.371	0.516
	0.5mm	0.948	3.054	1.334	2.747	0.617	0.485	0.491
	0.7mm	1.163	2.747	1.357	2.389	0.555	0.568	0.473
	1.0mm	1.456	2.424	1.360	2.007	0.489	0.677	0.439
	1.2mm	1.720	2.275	1.392	1.800	0.459	0.773	0.422
	1.5mm	2.043	2.136	1.365	1.643	0.431	0.830	0.395
	1.7mm	2.258	2.093	1.367	1.584	0.423	0.862	0.380
	2.0mm	2.435	2.070	1.365	1.556	0.418	0.877	0.376
	2.2mm	2.876	1.390	0.914	1.046	0.281	0.874	0.395
	2.5mm	3.287	1.092	0.687	0.849	0.220	0.809	0.392
	3.7mm	4.490	0.695	0.381	0.581	0.140	0.656	0.376
	5.0mm	5.733	0.633	0.334	0.537	0.128	0.622	0.363
	7.5mm	8.011	1.060	0.545	0.909	0.214	0.599	0.379
	10.0mm	10.282	1.189	0.569	1.044	0.240	0.544	0.323
	12.5mm	12.789	1.217	0.558	1.082	0.246	0.516	0.290
	15.0mm	15.148	1.261	0.550	1.134	0.255	0.485	0.283
	17.5mm	17.730	1.268	0.558	1.138	0.256	0.490	0.274
	20.0mm	20.323	1.301	0.572	1.168	0.263	0.490	0.270
	22.5mm	22.916	1.328	0.591	1.189	0.268	0.497	0.267
	25.0mm	25.450	1.417	0.650	1.258	0.286	0.516	0.273
	50.0mm	49.616	1.609	0.729	1.434	0.325	0.508	0.320

	変位 (mm)	土圧合力 P_A (tf/m)	鉛直土圧 P_V (tf/m)	水平土圧 P_H (tf/m)	土圧係数 K_A	壁摩擦係数 $\tan \delta$	相対作用位置 d/H
盛土高 h (m)	0.00m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.38m	-0.137	0.207	0.037	0.204	1.835	0.181
	0.88m	-0.088	0.354	0.123	0.332	0.585	0.370
	1.38m	0.009	0.591	0.272	0.524	0.397	0.518
	1.88m	-0.020	1.190	0.506	1.077	0.431	0.469
	2.38m	0.087	1.790	0.736	1.632	0.405	0.451
	2.88m	-0.059	2.497	0.988	2.293	0.564	0.430
	3.38m	0.038	3.137	1.218	2.891	0.709	0.421
	3.88m	0.038	3.726	1.320	3.484	0.842	0.379
	4.38m	0.038	4.227	1.457	3.968	0.955	0.367
	4.88m	0.009	4.736	1.503	4.492	1.070	0.334
	5.38m	0.078	5.134	1.628	4.869	1.161	0.334
	5.88m	0.049	5.584	1.646	5.335	1.262	0.308
壁移動量 (mm)	0.0mm	0.117	5.652	1.716	5.385	1.278	0.318
	0.1mm	0.117	5.609	1.732	5.335	1.268	0.324
	0.2mm	0.195	5.451	1.737	5.167	1.232	0.336
	0.5mm	0.635	4.992	1.728	4.683	1.128	0.368
	0.7mm	0.851	4.831	1.733	4.510	1.092	0.384
	1.0mm	1.174	4.664	1.722	4.335	1.054	0.397
	1.2mm	1.398	4.616	1.703	4.290	1.043	0.396
	1.5mm	1.838	4.502	1.673	4.179	1.018	0.400
	1.7mm	2.122	4.474	1.673	4.149	1.011	0.403
	2.0mm	2.455	4.425	1.659	4.102	1.000	0.404
	2.2mm	2.651	4.405	1.659	4.081	0.996	0.406
	2.5mm	2.925	4.375	1.667	4.045	0.989	0.412
	3.7mm	4.099	4.343	1.664	4.012	0.982	0.414
	5.0mm	5.449	4.306	1.680	3.965	0.973	0.423
	7.5mm	7.600	4.215	1.645	3.880	0.953	0.423
	10.0mm	10.017	4.113	1.663	3.762	0.930	0.442
	12.5mm	12.474	4.016	1.646	3.663	0.908	0.449
	15.0mm	14.824	3.955	1.662	3.589	0.894	0.463
	17.5mm	17.486	3.840	1.624	3.480	0.868	0.466
	20.0mm	19.971	3.764	1.605	3.404	0.851	0.471
	22.5mm	22.562	3.705	1.594	3.344	0.837	0.476
	25.0mm	25.019	3.655	1.580	3.296	0.826	0.479
	50.0mm	49.243	3.530	1.567	3.162	0.798	0.495

		变 位 (mm)	土压合力 P_A (tf/m)	铅直土压 P_v (tf/m)	水平土压 P_H (tf/m)	土压系数 K_A	壁摩擦系数 $\tan \delta$	相对作用位置 d/H
盛 土 高 水 (m)	0. 00m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0. 38m	0.029	0.236	-0.018	0.235	1.904	0.219	1.491
	0. 88m	-0.069	0.662	0.026	0.661	0.996	0.343	0.746
	1. 38m	0.058	1.034	0.132	1.026	0.632	0.446	0.538
	1. 88m	0.067	1.440	0.183	1.428	0.475	0.445	0.449
	2. 38m	-0.010	1.972	0.321	1.946	0.406	0.489	0.430
	2. 88m	-0.050	2.523	0.506	2.472	0.519	0.538	0.466
	3. 38m	-0.128	2.733	0.620	2.662	0.562	0.573	0.478
	3. 88m	-0.196	3.268	0.756	3.179	0.672	0.579	0.489
	4. 38m	-0.206	3.589	0.798	3.499	0.738	0.567	0.493
	4. 88m	-0.157	3.842	0.872	3.742	0.790	0.573	0.496
	5. 38m	-0.010	3.907	0.943	3.792	0.803	0.593	0.495
	5. 88m	-0.010	4.147	0.959	4.035	0.853	0.579	0.501
	6. 38m	-0.020	4.283	1.000	4.165	0.881	0.582	0.505
壁 移 动 量 (mm)	0. 0mm	0.029	4.218	0.997	4.099	0.867	0.586	0.500
	0. 1mm	0.156	3.906	0.990	3.778	0.803	0.610	0.492
	0. 2mm	0.195	3.626	0.989	3.488	0.746	0.638	0.483
	0. 5mm	0.547	3.085	0.997	2.919	0.634	0.715	0.463
	0. 7mm	0.782	2.698	0.919	2.537	0.555	0.743	0.451
	1. 0mm	1.135	2.246	0.762	2.113	0.462	0.741	0.437
	1. 2mm	1.409	1.937	0.612	1.838	0.398	0.703	0.424
	1. 5mm	1.732	1.623	0.502	1.543	0.334	0.693	0.415
	1. 7mm	1.927	1.337	0.436	1.264	0.275	0.719	0.423
	2. 0mm	2.152	1.075	0.263	1.042	0.221	0.598	0.395
	2. 2mm	2.417	0.866	0.200	0.843	0.178	0.578	0.381
	2. 5mm	2.662	0.724	0.145	0.709	0.149	0.538	0.369
	3. 7mm	3.807	0.349	-0.019	0.348	0.072	0.242	0.362
	5. 0mm	5.157	0.268	-0.022	0.267	0.055	0.213	0.371
	7. 5mm	7.327	0.478	0.031	0.477	0.098	0.373	0.370
	10. 0mm	9.766	0.532	-0.002	0.532	0.109	0.296	0.325
	12. 5mm	12.340	0.537	0.005	0.537	0.110	0.311	0.333
	15. 0mm	14.884	0.574	0.008	0.574	0.118	0.315	0.342
	17. 5mm	17.525	0.580	0.032	0.579	0.119	0.362	0.355
	20. 0mm	20.001	0.580	0.034	0.579	0.119	0.365	0.355
	22. 5mm	22.447	0.532	-0.006	0.532	0.109	0.287	0.334
	25. 0mm	24.942	0.537	0.012	0.537	0.110	0.324	0.340
	50. 0mm	48.963	0.540	-0.021	0.540	0.111	0.258	0.349

	変 位 (mm)	土圧合力 P_A (tf/m)	鉛直土圧 P_V (tf/m)	水平土圧 P_H (tf/m)	土圧係数 K_A	壁摩擦係数 $\tan \delta$	相对作用位置 d/H
盛 土 高 さ (m)	0.00m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.38m	-0.030	0.189	0.020	0.188	1.677	0.417
	0.88m	0.000	0.489	0.156	0.464	0.809	0.911
	1.38m	-0.010	0.842	0.216	0.814	0.566	0.526
	1.88m	0.000	1.231	0.276	1.200	0.446	0.408
	2.38m	-0.010	1.802	0.494	1.733	0.408	0.370
	2.88m	-0.069	2.271	0.505	2.214	0.514	0.380
	3.38m	-0.108	2.743	0.553	2.687	0.620	0.394
	3.88m	-0.098	3.239	0.684	3.166	0.733	0.411
	4.38m	0.009	3.615	0.723	3.542	0.818	0.419
	4.88m	0.009	3.947	0.729	3.879	0.893	0.424
	5.38m	0.000	4.296	0.833	4.215	0.972	0.433
	5.88m	-0.029	4.586	0.789	4.518	1.037	0.438
	6.38m	0.146	4.824	0.853	4.748	1.091	0.441
壁 移 動 量 (mm)	0.0mm	0.205	4.800	0.867	4.721	1.086	0.440
	0.1mm	0.235	4.614	0.919	4.522	1.044	0.437
	0.2mm	0.362	4.439	0.928	4.341	1.004	0.432
	0.5mm	0.733	4.141	0.897	4.043	0.937	0.425
	0.7mm	0.988	3.946	0.854	3.852	0.893	0.427
	1.0mm	1.370	3.731	0.780	3.649	0.844	0.431
	1.2mm	1.565	3.647	0.760	3.567	0.825	0.433
	1.5mm	1.889	3.588	0.736	3.512	0.812	0.433
	1.7mm	2.153	3.533	0.733	3.456	0.799	0.435
	2.0mm	2.368	3.480	0.725	3.404	0.787	0.438
	2.2mm	2.603	3.453	0.722	3.377	0.781	0.439
	2.5mm	2.955	3.434	0.726	3.356	0.777	0.442
	3.7mm	4.110	3.339	0.693	3.266	0.755	0.441
	5.0mm	5.323	3.353	0.683	3.283	0.758	0.452
	7.5mm	7.513	3.348	0.685	3.277	0.757	0.452
	10.0mm	8.816	3.273	0.704	3.196	0.740	0.453
	12.5mm	12.290	3.215	0.672	3.144	0.727	0.447
	15.0mm	14.883	3.131	0.631	3.067	0.708	0.444
	17.5mm	17.446	3.031	0.608	2.969	0.686	0.444
	20.0mm	20.010	2.965	0.620	2.900	0.671	0.447
	22.5mm	22.622	2.950	0.572	2.894	0.667	0.442
	25.0mm	25.206	2.867	0.554	2.813	0.648	0.439
	50.0mm	49.198	2.823	0.528	2.773	0.639	0.422

		変位 (mm)	土圧合力 P_A (tf/m)	鉛直土圧 P_v (tf/m)	水平土圧 P_H (tf/m)	土圧係数 K_A	壁摩擦係数 $\tan \delta$	相对作用位置 d/H
盛土高さ (m)	0.00m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.38m	-0.030	0.155	-0.009	0.155	1.457	0.241	2.712
	0.88m	0.117	0.268	0.069	0.259	0.470	0.616	0.795
	1.38m	0.117	0.426	0.120	0.409	0.304	0.650	0.561
	1.88m	0.088	0.577	0.203	0.540	0.222	0.761	0.451
	2.38m	0.137	0.829	0.259	0.787	0.199	0.698	0.416
	3.09m	0.127	0.939	0.286	0.895	0.225	0.685	0.432
壁移動量 (mm)	0.0mm	0.127	0.922	0.237	0.891	0.221	0.615	0.423
	0.1mm	0.137	0.865	0.248	0.829	0.207	0.659	0.434
	0.2mm	0.313	0.842	0.203	0.817	0.202	0.592	0.401
	0.5mm	0.577	0.874	0.217	0.847	0.210	0.602	0.405
	0.7mm	0.841	0.841	0.233	0.808	0.202	0.644	0.404
	1.0mm	1.311	0.797	0.217	0.767	0.191	0.637	0.397
	1.2mm	1.516	0.786	0.196	0.761	0.188	0.604	0.387
	1.5mm	1.820	0.798	0.222	0.767	0.191	0.645	0.403
	1.7mm	2.094	0.779	0.189	0.756	0.187	0.595	0.386
	2.0mm	2.309	0.810	0.200	0.785	0.194	0.601	0.398
	2.2mm	2.593	0.807	0.226	0.775	0.193	0.648	0.411
	2.5mm	2.877	0.783	0.183	0.761	0.188	0.583	0.400
	3.7mm	4.022	0.749	0.182	0.727	0.180	0.595	0.401
	5.0mm	5.274	0.692	0.149	0.676	0.166	0.558	0.375
	7.5mm	7.484	0.627	0.108	0.618	0.150	0.501	0.343
	10.0mm	10.019	0.644	0.103	0.636	0.154	0.486	0.339
	12.5mm	13.162	0.509	0.083	0.502	0.122	0.490	0.308
	15.0mm	14.953	0.459	-0.068	0.454	0.110	0.144	0.228
	17.5mm	17.556	0.395	-0.053	0.391	0.095	0.158	0.211
	20.0mm	20.109	0.377	-0.090	0.366	0.090	0.051	0.175
	22.5mm	22.731	0.403	-0.114	0.387	0.097	0.006	0.186
	25.0mm	25.109	0.395	-0.133	0.372	0.095	-0.053	0.167
	50.0mm	49.404	0.516	0.042	0.514	0.124	0.392	0.285

		変 位 (mm)	土圧合力 P_A (tf/m)	鉛直土圧 P_v (tf/m)	水平土圧 P_H (tf/m)	土圧係数 K_A	壁摩擦係数 $\tan \delta$	相对作用位置 d/H
盛 土 高 さ (m)	0.00m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.38m	-0.098	0.271	0.017	0.270	2.323	0.368	2.587
	0.88m	-0.108	0.492	0.091	0.484	0.786	0.517	1.003
	1.38m	0.126	0.715	0.152	0.699	0.465	0.554	0.604
	1.88m	0.205	1.021	0.213	0.998	0.358	0.549	0.487
	2.38m	0.282	1.285	0.318	1.245	0.281	0.602	0.441
	2.88m	0.370	1.489	0.406	1.432	0.325	0.638	0.476
	3.80m	0.370	1.489	0.406	1.432	0.325	0.638	0.476
壁 移 動 量 (mm)	0.0mm	0.243	1.766	0.471	1.702	0.386	0.629	0.488
	0.1mm	0.243	1.520	0.487	1.440	0.332	0.710	0.497
	0.2mm	0.303	1.397	0.440	1.326	0.305	0.702	0.488
	0.5mm	0.332	0.970	0.396	0.885	0.212	0.864	0.476
	0.7mm	0.625	0.780	0.340	0.702	0.170	0.917	0.505
	1.0mm	0.987	0.570	0.218	0.527	0.125	0.814	0.488
	1.2mm	1.271	0.500	0.137	0.481	0.109	0.640	0.457
	1.5mm	1.712	0.432	0.121	0.415	0.094	0.649	0.484
	1.7mm	2.093	0.459	0.107	0.446	0.100	0.581	0.482
	2.0mm	2.289	0.383	0.100	0.370	0.084	0.620	0.494
	2.2mm	2.485	0.358	0.099	0.344	0.078	0.642	0.520
	2.5mm	2.837	0.354	0.069	0.347	0.077	0.532	0.513
	3.7mm	4.070	0.427	0.103	0.414	0.093	0.593	0.481
	5.0mm	5.333	0.485	0.124	0.469	0.106	0.614	0.447
	7.5mm	7.494	0.479	0.126	0.462	0.105	0.624	0.444
	10.0mm	9.921	0.513	0.035	0.512	0.112	0.376	0.402
	12.5mm	12.112	0.525	0.121	0.511	0.115	0.578	0.444
	15.0mm	14.942	0.452	-0.066	0.447	0.099	0.145	0.351
	17.5mm	17.554	0.369	-0.040	0.367	0.081	0.185	0.324
	20.0mm	20.010	0.392	-0.050	0.389	0.086	0.165	0.325
	22.5mm	22.446	0.399	-0.114	0.382	0.087	0.001	0.315
	25.0mm	24.981	0.429	-0.122	0.411	0.094	0.004	0.297
	50.0mm	49.414	0.465	-0.049	0.462	0.102	0.188	0.313

		変 位 (mm)	土圧合力 P_A (tf/m)	鉛直土圧 P_v (tf/m)	水平土圧 P_H (tf/m)	土圧係数 K_A	壁摩擦係数 $\tan \delta$	相対作用位置 d/H
盛 土 高 さ (m)	0. 00m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0. 38m	0.019	0.242	-0.011	0.242	2.293	0.253	2.292
	0. 88m	0.049	0.374	0.111	0.357	0.661	0.675	1.133
	1. 38m	-0.098	0.715	0.129	0.703	0.514	0.511	0.605
	1. 88m	-0.088	0.963	0.190	0.944	0.373	0.534	0.453
	2. 38m	-0.048	1.293	0.261	1.266	0.312	0.539	0.381
	2. 88m	-0.028	1.593	0.372	1.549	0.385	0.582	0.410
	3. 80m	-0.018	1.713	0.361	1.675	0.414	0.551	0.410
壁 移 動 量 (mm)	0. 0mm	0.021	1.728	0.338	1.695	0.417	0.531	0.407
	0. 1mm	0.108	1.633	0.376	1.589	0.394	0.578	0.412
	0. 2mm	0.216	1.568	0.338	1.531	0.379	0.558	0.390
	0. 5mm	0.480	1.582	0.404	1.529	0.382	0.613	0.400
	0. 7mm	0.774	1.540	0.400	1.487	0.372	0.619	0.401
	1. 0mm	1.077	1.509	0.351	1.468	0.364	0.581	0.397
	1. 2mm	1.371	1.486	0.322	1.451	0.359	0.559	0.393
	1. 5mm	1.772	1.505	0.342	1.466	0.363	0.574	0.394
	1. 7mm	1.978	1.482	0.357	1.438	0.358	0.592	0.398
	2. 0mm	2.261	1.499	0.317	1.465	0.362	0.552	0.389
	2. 2mm	2.545	1.507	0.353	1.465	0.364	0.583	0.395
	2. 5mm	2.800	1.491	0.339	1.452	0.360	0.574	0.392
	3. 7mm	3.905	1.490	0.377	1.442	0.360	0.609	0.394
	5. 0mm	5.196	1.482	0.366	1.436	0.358	0.601	0.391
	7. 5mm	7.603	1.442	0.343	1.401	0.348	0.588	0.388
	10. 0mm	10.071	1.475	0.330	1.438	0.356	0.569	0.387
	12. 5mm	12.576	1.470	0.430	1.406	0.355	0.667	0.407
	15. 0mm	15.188	1.399	0.275	1.372	0.338	0.533	0.378
	17. 5mm	17.644	1.352	0.271	1.324	0.327	0.538	0.376
	20. 0mm	20.198	1.370	0.357	1.323	0.331	0.620	0.394
	22. 5mm	22.859	1.350	0.306	1.315	0.326	0.573	0.381
	25. 0mm	25.225	1.322	0.281	1.292	0.319	0.554	0.363
	50. 0mm	49.562	1.217	0.259	1.189	0.294	0.554	0.347

		変 位 (mm)	土圧合力 P_A (tf/m)	鉛直土圧 P_V (tf/m)	水平土圧 P_H (tf/m)	土圧係数 K_A	壁摩擦係数 $\tan \delta$	相对作用位置 d/H
盛 土 高 さ (m)	0.00m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.38m	-0.020	0.230	-0.027	0.228	1.590	0.177	1.992
	0.88m	-0.040	0.448	0.008	0.448	0.577	0.320	0.860
	1.38m	0.107	0.736	0.096	0.730	0.386	0.450	0.583
	1.88m	0.088	0.897	0.186	0.877	0.253	0.547	0.514
	2.38m	0.078	1.141	0.254	1.112	0.201	0.567	0.419
	2.88m	0.284	1.350	0.359	1.301	0.238	0.628	0.482
	3.80m	0.460	0.974	0.303	0.926	0.172	0.695	0.438
壁 移 動 量 (mm)	0.0mm	0.499	0.937	0.071	0.934	0.165	0.385	0.384
	0.1mm	0.470	0.846	0.329	0.779	0.149	0.827	0.463
	0.2mm	0.499	0.703	0.285	0.643	0.124	0.858	0.422
	0.5mm	0.675	0.463	0.275	0.373	0.082	1.331	0.397
	0.7mm	1.008	0.358	0.210	0.290	0.063	1.306	0.333
	1.0mm	1.370	0.170	0.117	0.123	0.030	1.757	0.244
	1.2mm	1.634	0.081	0.058	0.057	0.014	1.907	0.061
	1.5mm	2.055	0.044	0.007	0.043	0.008	0.475	0.054
	1.7mm	2.290	0.059	0.047	0.036	0.010	2.694	0.326
	2.0mm	2.642	0.067	0.021	0.064	0.012	0.695	0.368
	2.2mm	2.906	0.058	0.047	0.034	0.010	2.925	0.474
	2.5mm	3.308	0.047	0.026	0.039	0.008	1.190	0.367
	3.7mm	4.541	0.044	0.034	0.028	0.008	2.403	0.523
	5.0mm	5.411	0.040	0.034	0.021	0.007	3.896	1.262
	7.5mm	7.808	0.033	-0.022	0.024	0.006	-0.483	0.261
	10.0mm	10.099	0.053	0.013	0.051	0.009	0.607	0.536
	12.5mm	12.516	0.065	0.025	0.060	0.011	0.821	0.501
	15.0mm	15.373	0.073	-0.060	0.042	0.013	-0.785	0.057
	17.5mm	17.907	0.020	0.003	0.020	0.004	0.476	0.043
	20.0mm	20.460	0.060	-0.059	-0.009	0.011	-6.910	-1.071
	22.5mm	23.073	0.047	-0.047	0.000	0.008	-3.357	0.340
	25.0mm	25.273	0.093	-0.093	0.004	0.016	-2.900	-0.344
	50.0mm	49.894	0.141	-0.141	0.005	0.025	-2.970	-0.267

		変 位 (mm)	土圧合力 P_A (tf/m)	鉛直土圧 P_v (tf/m)	水平土圧 P_H (tf/m)	土圧係数 K_A	壁摩擦係数 $\tan \delta$	相对作用位置 d/H
盛 土 高 さ (m)	0.00m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.38m	0.000	0.181	-0.024	0.179	1.474	0.162	2.167
	0.88m	-0.039	0.377	0.031	0.376	0.572	0.392	0.887
	1.38m	0.019	0.574	0.093	0.566	0.354	0.488	0.561
	1.88m	0.049	0.833	0.153	0.819	0.277	0.516	0.430
	2.38m	0.058	1.165	0.236	1.141	0.242	0.541	0.376
	2.88m	0.166	1.461	0.314	1.427	0.303	0.557	0.401
	3.80m	0.205	1.638	0.375	1.594	0.340	0.576	0.417
壁 移 動 量 (mm)	0.0mm	0.342	1.481	0.328	1.444	0.307	0.566	0.406
	0.1mm	0.391	1.360	0.336	1.318	0.282	0.601	0.411
	0.2mm	0.499	1.327	0.297	1.293	0.275	0.569	0.393
	0.5mm	0.714	1.293	0.347	1.246	0.268	0.631	0.410
	0.7mm	0.929	1.277	0.348	1.229	0.265	0.637	0.407
	1.0mm	1.282	1.266	0.337	1.220	0.263	0.628	0.408
	1.2mm	1.546	1.225	0.318	1.183	0.254	0.619	0.402
	1.5mm	1.888	1.206	0.337	1.158	0.250	0.648	0.407
	1.7mm	2.094	1.214	0.337	1.166	0.252	0.645	0.406
	2.0mm	2.397	1.233	0.325	1.190	0.256	0.624	0.406
	2.2mm	2.583	1.233	0.369	1.177	0.256	0.677	0.414
	2.5mm	2.838	1.207	0.339	1.158	0.251	0.650	0.407
	3.7mm	4.032	1.146	0.319	1.101	0.238	0.646	0.410
	5.0mm	5.333	1.098	0.288	1.060	0.228	0.622	0.410
	7.5mm	7.554	1.036	0.265	1.002	0.215	0.613	0.409
	10.0mm	9.844	1.014	0.257	0.981	0.210	0.610	0.420
	12.5mm	12.340	0.997	0.324	0.943	0.207	0.718	0.445
	15.0mm	14.864	0.933	0.208	0.910	0.194	0.567	0.422
	17.5mm	17.457	0.899	0.215	0.873	0.187	0.590	0.419
	20.0mm	20.001	0.862	0.244	0.827	0.179	0.653	0.444
	22.5mm	22.545	0.884	0.206	0.860	0.183	0.581	0.441
	25.0mm	24.982	0.913	0.220	0.886	0.190	0.593	0.440
	50.0mm	49.484	1.205	0.377	1.144	0.250	0.699	0.405

		変位 (mm)	土圧合力 P_A (tf/m)	鉛直土圧 P_v (tf/m)	水平土圧 P_H (tf/m)	土圧係数 K_A	壁摩擦係数 $\tan \delta$	相对作用位置 d/H
盛土高さ (m)	0.00m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.38m	0.029	0.175	0.016	0.174	1.672	0.401	2.486
	0.88m	0.019	0.322	0.015	0.322	0.574	0.353	0.806
	1.38m	-0.040	0.559	0.077	0.554	0.405	0.458	0.514
	1.88m	-0.050	0.851	0.170	0.834	0.332	0.536	0.415
	2.38m	-0.069	1.218	0.304	1.180	0.297	0.604	0.378
	2.88m	-0.089	1.658	0.345	1.622	0.404	0.548	0.393
	3.38m	-0.079	1.886	0.443	1.833	0.459	0.584	0.417
	3.88m	-0.050	2.045	0.494	1.985	0.498	0.593	0.426
	4.38m	0.029	2.195	0.482	2.141	0.534	0.563	0.421
壁移動量 (mm)	4.88m	-0.001	2.320	0.519	2.261	0.565	0.569	0.425
	5.38m	-0.108	2.387	0.613	2.307	0.581	0.615	0.440
	0.0mm	-0.040	2.391	0.619	2.309	0.582	0.618	0.439
	0.1mm	-0.021	2.262	0.630	2.173	0.551	0.646	0.435
	0.2mm	0.068	2.149	0.601	2.063	0.523	0.648	0.431
	0.5mm	0.410	2.168	0.556	2.096	0.528	0.614	0.423
	0.7mm	0.704	2.198	0.592	2.117	0.535	0.633	0.433
	1.0mm	1.017	2.156	0.551	2.084	0.525	0.613	0.430
	1.2mm	1.291	2.188	0.550	2.118	0.533	0.607	0.428
	1.5mm	1.966	2.154	0.561	2.080	0.525	0.620	0.429
	1.7mm	2.045	2.147	0.598	2.062	0.523	0.646	0.431
	2.0mm	2.241	2.068	0.554	1.992	0.504	0.631	0.431
	2.2mm	2.505	2.163	0.595	2.080	0.527	0.641	0.430
	2.5mm	2.818	2.177	0.561	2.103	0.530	0.616	0.424
	3.7mm	3.982	2.183	0.593	2.101	0.532	0.636	0.429
	5.0mm	5.038	2.180	0.581	2.101	0.531	0.629	0.428
	7.5mm	7.406	2.145	0.571	2.068	0.522	0.628	0.426
	10.0mm	9.785	2.164	0.576	2.086	0.527	0.628	0.432
	12.5mm	12.300	2.126	0.638	2.028	0.518	0.679	0.443
	15.0mm	15.050	2.099	0.519	2.034	0.511	0.601	0.427
	17.5mm	17.564	2.060	0.555	1.984	0.502	0.633	0.431
	20.0mm	20.059	2.069	0.570	1.989	0.504	0.642	0.436
	22.5mm	22.613	2.033	0.588	1.946	0.495	0.662	0.436
	25.0mm	25.374	2.187	0.625	2.096	0.533	0.657	0.463
	50.0mm	49.590	1.963	0.578	1.876	0.478	0.670	0.394

実験 No 15

		変位 (mm)	土圧合力 P_A (tf/m)	鉛直土圧 P_V (tf/m)	水平土圧 P_H (tf/m)	土圧係数 K_A	壁摩擦係数 $\tan \delta$	相対作用位置 d/H
盛土高さ (m)	0.5	0.010	0.588	-0.005	0.588	4.853	-0.009	0.764
	1.0	0.059	0.708	0.133	0.695	1.090	0.191	0.711
	1.5	0.176	0.827	0.240	0.791	0.518	0.303	0.640
	2.0	0.176	1.099	0.446	1.005	0.371	0.444	0.589
	2.5	0.351	1.550	0.773	1.344	0.326	0.575	0.554
定常透 水状 態 (ケース)	①	0.351	1.777	0.978	1.483	0.374	0.660	0.561
	②	0.332	1.841	0.991	1.552	0.387	0.639	0.529
	③	0.322	1.732	0.876	1.495	0.365	0.586	0.528
	④	0.302	1.745	0.857	1.520	0.367	0.564	0.531
	⑤	0.351	1.647	0.786	1.448	0.347	0.542	0.529
	⑥	0.351	1.786	0.855	1.568	0.376	0.545	0.520
	⑦	0.332	1.684	0.794	1.485	0.354	0.534	0.525
	⑧	0.341	1.945	0.986	1.677	0.409	0.588	0.521
	⑨	0.283	2.027	1.082	1.715	0.427	0.631	0.523
壁 移 動 量 (mm)	0.0	0.302	1.512	0.599	1.388	0.318	0.432	0.528
	0.1	0.322	1.452	0.574	1.333	0.305	0.431	0.535
	0.2	0.400	1.357	0.535	1.247	0.286	0.429	0.551
	0.5	0.595	1.266	0.555	1.138	0.266	0.488	0.574
	0.7	0.800	1.201	0.571	1.057	0.253	0.541	0.593
	1.0	1.073	1.173	0.588	1.015	0.247	0.580	0.606
	1.2	1.297	1.149	0.599	0.981	0.242	0.611	0.617
	1.5	1.541	1.128	0.597	0.958	0.237	0.623	0.626
	1.7	1.706	1.123	0.606	0.945	0.236	0.642	0.630
	2.0	1.950	1.118	0.609	0.937	0.235	0.650	0.632
	2.2	2.155	1.100	0.604	0.919	0.231	0.658	0.636
	2.5	2.408	1.107	0.615	0.921	0.233	0.667	0.637
	3.7	3.549	1.063	0.589	0.884	0.224	0.667	0.645
	5.0	4.719	1.071	0.583	0.899	0.225	0.649	0.639
	7.5	7.206	1.029	0.537	0.878	0.217	0.612	0.641
	10.0	9.440	1.012	0.527	0.864	0.213	0.611	0.652
	12.5	11.837	1.012	0.518	0.869	0.213	0.595	0.646
	15.0	14.323	1.018	0.509	0.882	0.214	0.577	0.639
	17.5	16.878	1.020	0.500	0.889	0.215	0.562	0.633
	20.0	19.422	1.017	0.492	0.891	0.214	0.552	0.630
	25.0	24.444	0.998	0.477	0.877	0.210	0.544	0.637
降雨放 置状 態	0		0.971	0.441	0.865	0.204	0.510	0.624
	4		1.094	0.510	0.967	0.230	0.527	0.598
	8		1.129	0.520	1.002	0.238	0.519	0.589
	12		1.137	0.523	1.010	0.239	0.517	0.589
	16		1.154	0.523	1.028	0.243	0.509	0.588
	20		1.291	0.642	1.120	0.272	0.573	0.549

		有効水深 (m)			
		1	2	3	4
盛土高さ (m)	0.5				
	1.0				
	1.5				
	2.0				
	2.5				
定常透 水状 態 (ケース)	①	1.234	1.482	1.756	0.409
	②	1.393	1.608	1.874	0.473
	③	1.412	1.589	1.866	0.465
	④	1.469	1.608	1.874	0.417
	⑤	1.459	1.608	1.866	0.530
	⑥	1.450	1.599	1.874	0.514
	⑦	1.459	1.599	1.832	0.522
	⑧	1.469	1.608	1.849	0.506
	⑨	1.544	1.676	1.967	0.473
壁 移 動 量 (mm)	0.0	1.158	1.356	1.604	0.161
	0.1	1.158	1.375	1.578	0.193
	0.2	1.149	1.385	1.587	0.177
	0.5	1.149	1.375	1.604	0.169
	0.7	1.177	1.375	1.587	0.193
	1.0	1.158	1.366	1.604	0.169
	1.2	1.177	1.356	1.604	0.169
	1.5	1.177	1.366	1.612	0.161
	1.7	1.158	1.375	1.612	0.169
	2.0	1.187	1.366	1.604	0.185
	2.2	1.158	1.385	1.604	0.177
	2.5	1.158	1.395	1.604	0.177
	3.7	1.149	1.375	1.612	0.169
	5.0	1.187	1.366	1.621	0.169
	7.5	1.187	1.375	1.595	0.193
	10.0	1.187	1.375	1.604	0.185
	12.5	1.205	1.375	1.612	0.185
	15.0	1.187	1.385	1.629	0.153
	17.5	1.196	1.404	1.612	0.193
	20.0	1.205	1.414	1.621	0.193
	25.0	1.205	1.404	1.655	0.161
降雨放 置状 態	0	1.224	1.424	1.638	0.193
	4	1.299	1.472	1.739	0.209
	8	1.309	1.482	1.739	0.233
	12	1.309	1.472	1.731	0.257
	16	1.318	1.492	1.731	0.273
	20	1.318	1.492	1.764	0.265

実 験 No 16

		変 位 (mm)	土圧合力 P_A (tf/m)	鉛直土圧 P_V (tf/m)	水平土圧 P_H (tf/m)	土圧係数 K_A	壁摩擦係数 $\tan \delta$	相対作用位置 d/H
盛 土 高 さ (m)	0.5	7.513	0.556	-0.028	0.556	4.810	-0.051	0.782
	1.0	7.522	0.754	0.041	0.753	1.216	0.055	0.633
	1.5	7.522	0.995	0.194	0.976	0.653	0.199	0.558
	2.0	7.649	1.260	0.428	1.185	0.445	0.361	0.525
	2.5	7.630	1.735	0.725	1.577	0.383	0.460	0.489
	3.0	7.669	2.256	1.092	1.974	0.498	0.553	0.480
	3.5	7.727	2.789	1.441	2.388	0.615	0.603	0.478
	4.0	7.776	3.192	1.637	2.740	0.704	0.598	0.471
	4.5	7.913	3.625	1.877	3.101	0.799	0.605	0.474
	5.0	8.020	3.949	2.085	3.354	0.871	0.622	0.478
	5.5	8.030	4.243	2.182	3.639	0.936	0.600	0.476
	6.0	8.156	4.511	2.372	3.837	0.995	0.618	0.481
	6.5	8.176	4.627	2.421	3.943	1.020	0.614	0.481
	断面 変更		3.656	1.894	3.128	0.806	0.606	0.461
定常 透水 (ケース)	①	8.234	4.193	2.164	3.592	0.925	0.602	0.477
	②	8.166	3.969	2.073	3.385	0.875	0.612	0.488
壁 移 動 量 (mm)	0.0	8.166	3.803	2.107	3.166	0.839	0.666	0.469
	0.1	8.186	3.714	2.071	3.084	0.819	0.672	0.472
	0.2	8.225	3.623	2.023	3.005	0.799	0.673	0.473
	0.5	8.332	3.400	1.932	2.797	0.750	0.691	0.478
	0.7	8.488	3.245	1.876	2.648	0.716	0.708	0.482
	1.0	8.596	3.075	1.811	2.485	0.678	0.729	0.487
	1.2	8.713	2.934	1.755	2.351	0.647	0.747	0.493
	1.5	8.977	2.810	1.701	2.237	0.620	0.761	0.496
	1.7	9.133	2.718	1.664	2.149	0.599	0.774	0.499
	2.0	9.318	2.707	1.659	2.139	0.597	0.776	0.498
	2.2	9.474	2.706	1.659	2.138	0.597	0.776	0.496
	2.5	9.679	2.672	1.650	2.117	0.589	0.770	0.496
	3.7	10.324	2.563	1.572	2.024	0.565	0.777	0.497
	5.0	11.241	2.538	1.547	2.011	0.560	0.769	0.491
	7.5	13.211	2.524	1.501	2.029	0.557	0.740	0.477
	10.0	15.356	2.477	1.454	2.005	0.546	0.725	0.470
	12.5	17.521	2.473	1.439	2.012	0.545	0.716	0.466
	15.0	19.550	2.482	1.440	2.021	0.547	0.713	0.465
	17.5	21.626	2.483	1.425	2.033	0.548	0.701	0.461
	20.0	23.878	2.481	1.419	2.035	0.547	0.697	0.461
	25.0	28.460	2.450	1.389	2.018	0.540	0.689	0.461
降 雨 放 置 状 態	0		2.692	1.446	2.270	0.594	0.637	0.434
	4		2.941	1.573	2.485	0.649	0.633	0.434
	8		3.009	1.589	2.556	0.664	0.622	0.430
	12		3.064	1.597	2.615	0.676	0.611	0.426
	16		3.163	1.693	2.672	0.698	0.634	0.428

		有効水深 (m)						
		1	2	3	4	5	6	7
盛土高さ (m)	0.5							
	1.0							
	1.5							
	2.0							
	2.5							
	3.0							
	3.5							
	4.0							
	4.5							
	5.0							
	5.5							
	6.0							
	6.5							
断面変更		0.265	0.084	0.252	0.153	-0.111	-0.120	-0.135
定常透過水 (ケース)	①	1.205	1.220	1.629	1.556	0.016	0.083	0.110
	②	1.299	1.269	1.663	1.420	0.033	0.116	0.144
壁移動量 (mm)	0.0	0.999	0.890	1.198	0.915	-0.073	-0.023	-0.037
	0.1	0.999	0.900	1.198	0.923	-0.069	-0.023	-0.032
	0.2	1.027	0.900	1.215	0.947	-0.073	-0.015	-0.027
	0.5	1.027	0.919	1.224	0.963	-0.073	-0.010	-0.022
	0.7	1.036	0.919	1.232	0.963	-0.069	-0.010	-0.022
	1.0	1.046	0.929	1.249	0.979	-0.069	-0.006	-0.017
	1.2	1.046	0.938	1.257	0.987	-0.065	-0.002	-0.012
	1.5	1.046	0.938	1.257	0.995	-0.065	-0.002	-0.012
	1.7	1.055	0.948	1.274	1.003	-0.060	-0.002	-0.008
	2.0	1.064	0.958	1.283	1.011	-0.060	0.002	-0.003
	2.2	1.074	0.958	1.291	1.027	-0.060	0.007	0.002
	2.5	1.064	0.977	1.300	1.027	-0.056	0.007	0.007
	3.7	1.083	0.977	1.308	1.043	-0.056	0.011	0.007
	5.0	1.093	0.987	1.317	1.051	-0.056	0.015	0.012
	7.5	1.093	0.997	1.333	1.067	-0.048	0.015	0.017
	10.0	1.111	1.006	1.342	1.083	-0.052	0.019	0.022
	12.5	1.111	1.016	1.359	1.091	-0.048	0.023	0.022
	15.0	1.121	1.026	1.367	1.107	-0.043	0.023	0.027
	17.5	1.130	1.035	1.376	1.115	-0.043	0.028	0.032
	20.0	1.140	1.045	1.393	1.123	-0.039	0.028	0.032
	25.0	1.149	1.055	1.401	1.139	-0.043	0.032	0.032
降雨放置状態	0	1.177	1.133	1.443	1.243	-0.031	0.040	0.066
	4	1.281	1.220	1.595	1.340	-0.005	0.074	0.090
	8	1.346	1.288	1.680	1.436	0.008	0.095	0.120
	12	1.375	1.337	1.739	1.476	0.025	0.104	0.120
	16	1.393	1.346	1.756	1.492	0.025	0.112	0.125

実 験 No. 17

		変 位 (mm)	土圧合力 P_A (tf/m)	鉛直土圧 P_v (tf/m)	水平土圧 P_H (tf/m)	土圧係数 K_A	壁摩擦係数 $\tan \delta$	相对作用位置 d/H
盛 土 高 (m)	0	0.12	0.000	0.000	0.000			
	0.5	0.08	0.057	0.015	0.055	0.298	0.271	0.407
	1.0	0.10	0.216	0.072	0.203	0.280	0.355	0.335
	1.5	0.10	0.487	0.168	0.457	0.281	0.369	0.341
	2.0	0.10	0.868	0.299	0.815	0.282	0.367	0.355
壁 移 動 状 態 (mm)	0.0	0.00	0.817	0.281	0.767	0.265	0.366	0.357
	0.2	0.27	0.738	0.286	0.681	0.239	0.420	0.353
	0.5	0.61	0.688	0.273	0.631	0.223	0.432	0.333
	0.7	0.75	0.668	0.274	0.609	0.217	0.450	0.324
	1.0	1.06	0.655	0.266	0.598	0.213	0.445	0.317
	1.2	1.18	0.630	0.264	0.572	0.204	0.462	0.312
	1.5	1.47	0.616	0.258	0.560	0.200	0.462	0.308
	1.7	1.67	0.612	0.258	0.554	0.198	0.466	0.303
	2.0	1.98	0.597	0.253	0.541	0.194	0.468	0.300
	2.2	2.22	0.615	0.254	0.560	0.200	0.452	0.296
	2.5	2.49	0.585	0.252	0.528	0.190	0.478	0.293
	3.7	3.65	0.589	0.247	0.534	0.191	0.463	0.300
	5.0	4.94	0.567	0.235	0.516	0.184	0.456	0.291
	7.5	7.51	0.546	0.228	0.496	0.177	0.460	0.278
	10.0	9.90	0.531	0.220	0.483	0.172	0.455	0.284
	12.5	12.51	0.524	0.218	0.477	0.170	0.457	0.285
	15.0	14.86	0.508	0.206	0.464	0.165	0.444	0.274
	17.5	16.20	0.596	0.161	0.574	0.194	0.281	0.391

実験 No.18

		変位 (mm)	土圧 合力 P_A (tf/m)	鉛直 土圧 P_V (tf/m)	水平 土圧 P_H (tf/m)	土圧 係数 K_A	壁摩擦 係数 $\tan \delta$	相対作 用位置 d/H	有効水深 (m)				
									1	2	3	4	5
盛土高 (m)	0.0	-0.02	0.000	0.000	0.000				0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.5	0.08	0.040	0.014	0.037	0.204	0.385	0.548	0.067	0.091	0.015	0.098	0.450
	1.0	0.10	0.168	0.041	0.163	0.215	0.250	0.398	0.053	0.136	0.015	0.130	0.433
	1.5	0.10	0.342	0.098	0.328	0.194	0.299	0.347	0.047	0.128	0.000	0.114	0.415
	2.0	0.08	0.798	0.217	0.768	0.255	0.282	0.362	0.040	0.128	0.008	0.147	0.415
降雨状態 (164mm/h) 排水バルブ閉		-0.06	0.723	0.200	0.695	0.234	0.287	0.356	0.087	0.106	0.031	0.016	0.104
		-0.06	0.742	0.214	0.710	0.240	0.302	0.350	0.107	0.143	0.069	0.114	0.190
		-0.04	0.776	0.222	0.744	0.251	0.299	0.352	0.114	0.136	0.061	0.082	0.156
		-0.02	0.801	0.222	0.770	0.259	0.289	0.342	0.120	0.143	0.069	0.098	0.190
		-0.02	0.817	0.227	0.785	0.264	0.289	0.339	0.114	0.136	0.076	0.114	0.190
		-0.02	0.837	0.230	0.805	0.271	0.285	0.333	0.127	0.151	0.076	0.114	0.173
		0.00	0.880	0.241	0.847	0.284	0.285	0.321	0.174	0.136	0.069	0.114	0.190
		0.00	0.926	0.245	0.893	0.299	0.274	0.313	0.254	0.136	0.076	0.130	0.208
		0.00	0.962	0.249	0.930	0.311	0.267	0.307	0.334	0.143	0.084	0.114	0.173
		0.00	0.994	0.249	0.962	0.321	0.259	0.303	0.421	0.143	0.069	0.098	0.173
		0.00	1.015	0.246	0.985	0.328	0.250	0.298	0.494	0.287	0.076	0.114	0.173
		0.00	1.036	0.242	1.008	0.335	0.241	0.295	0.601	0.430		0.114	0.190
		0.00	1.079	0.238	1.053	0.349	0.226	0.291	0.741	0.657		0.228	0.190
		0.00	1.130	0.233	1.105	0.365	0.211	0.287	0.915	0.898		0.456	0.225
		0.00	1.229	0.232	1.207	0.397	0.192	0.289	1.089	1.102		0.831	0.294
		0.00	1.360	0.229	1.341	0.440	0.171	0.291	1.229	1.238		0.962	0.502
		0.00	1.522	0.229	1.505	0.492	0.152	0.298	1.383	1.374		1.125	0.692
		0.00	1.703	0.226	1.688	0.550	0.134	0.306	1.516	1.502		1.288	0.900
		0.00	1.897	0.219	1.884	0.613	0.116	0.316	1.657	1.638		1.418	1.125
		0.00	2.379	0.213	2.370	0.769	0.090	0.353	1.924	1.910		1.793	1.678
		0.00	2.392	0.212	2.382	0.773	0.089	0.353	1.931	1.933		1.940	1.920
		0.00	2.433	0.212	2.424	0.786	0.088	0.356	1.957	1.963		1.989	1.972
		0.00	2.493	0.212	2.484	0.806	0.086	0.359	1.991	2.008		2.038	2.024
		0.00	2.496	0.214	2.487	0.807	0.086	0.360	1.997	2.001	1.999	2.005	2.007
降雨状態 (57mm/h) 排水バルブ開		0.00	2.505	0.213	2.496	0.810	0.085	0.360	1.991	2.001	2.014	2.038	1.990
		0.00	2.509	0.211	2.500	0.811	0.084	0.359	1.991	2.001	1.999	2.038	2.024
		0.00	2.490	0.211	2.481	0.805	0.085	0.358	1.977	1.993	2.007	2.038	1.990
		0.00	2.451	0.211	2.442	0.792	0.086	0.355	1.957	1.978	1.984	1.989	1.990
		0.00	1.826	0.219	1.813	0.590	0.121	0.308	1.623	1.752		1.940	1.938
		0.00	1.506	0.226	1.488	0.487	0.152	0.291	1.363	1.578	1.663	1.842	1.903
		0.00	1.294	0.235	1.272	0.418	0.184	0.290	1.136	1.442	1.549	1.809	1.834
		0.00	1.210	0.240	1.186	0.391	0.203	0.297	1.022	1.351	1.503	1.744	1.834
		0.00	1.189	0.246	1.163	0.384	0.211	0.298	0.962	1.314	1.465	1.728	1.799
		0.00	1.180	0.244	1.155	0.381	0.211	0.297	0.955	1.299	1.442	1.712	1.782

		变位 (mm)	土压合力 P_A (tf/m)	铅直土压 P_V (tf/m)	水平土压 P_H (tf/m)	土压系数 K_A	壁摩擦系数 $\tan \delta$	相对作用位置 d/H	有效水深 (m)				
									1	2	3	4	5
壁 移 動 状 態 (mm)	0.0	0.00	1.171	0.244	1.145	0.378	0.213	0.295	0.935	1.284	1.419	1.679	1.782
	0.1	0.12	1.076	0.252	1.046	0.348	0.241	0.299	0.915	1.253	1.366	1.663	1.730
	0.2	0.24	1.083	0.251	1.053	0.350	0.238	0.300	0.902	1.238	1.343	1.646	1.713
	0.5	0.55	1.010	0.254	0.977	0.326	0.260	0.294	0.895	1.231	1.328	1.614	1.678
	0.7	0.73	0.961	0.249	0.928	0.311	0.269	0.284	0.895	1.208	1.305	1.532	1.626
	1.0	1.14	0.898	0.244	0.864	0.290	0.283	0.281	0.882	1.193	1.297	1.532	1.609
	1.2	1.33	0.875	0.240	0.842	0.282	0.285	0.276	0.882	1.178	1.267	1.532	1.592
	1.5	1.57	0.854	0.234	0.822	0.276	0.285	0.275	0.882	1.170	1.251	1.500	1.592
	1.7	1.82	0.828	0.235	0.794	0.268	0.296	0.273	0.868	1.155	1.251	1.483	1.557
	2.0	2.00	0.812	0.233	0.778	0.262	0.299	0.269	0.868	1.163	1.244	1.467	1.522
	2.2	2.35	0.790	0.230	0.756	0.255	0.305	0.272	0.868	1.140	1.228	1.483	1.557
	2.5	2.57	0.775	0.225	0.741	0.250	0.303	0.269	0.855	1.148	1.236	1.451	1.505
	3.7	3.73	0.731	0.213	0.700	0.236	0.304	0.278	0.855	1.125	1.213	1.434	1.505
	5.0	5.02	0.693	0.205	0.662	0.224	0.309	0.279	0.862	1.140	1.221	1.434	1.488
	7.5	7.53	0.643	0.187	0.615	0.208	0.303	0.279	0.848	1.117	1.213	1.451	1.540
	10.0	10.00	0.595	0.175	0.568	0.192	0.309	0.281	0.862	1.133	1.206	1.418	1.488
	12.5	12.55	0.562	0.165	0.537	0.182	0.307	0.284	0.848	1.110	1.198	1.434	1.488
	15.0	14.96	0.528	0.155	0.505	0.171	0.307	0.284	0.855	1.125	1.206	1.418	1.505
	17.5	17.69	0.509	0.147	0.488	0.165	0.301	0.288	0.855	1.125	1.198	1.402	1.488

実験 No.19

		変位 (mm)	土圧合力 P_A (tf/m)	鉛直土圧 P_V (tf/m)	水平土圧 P_H (tf/m)	土圧係数 K_A	壁摩擦係数 $\tan \delta$	相対作用位置 d/H	有効水深 (m)				
									1	2	3	4	5
盛土高 (m)	0.0	-0.02	0.000	0.000	0.000								
	0.5	0.04	0.056	0.023	0.051	0.289	0.444	0.198					
	1.0	0.06	0.242	0.081	0.228	0.313	0.353	0.333					
	1.5	0.06	0.521	0.173	0.491	0.299	0.351	0.340					
	2.0	0.06	0.922	0.291	0.874	0.298	0.333	0.341					
降雨状態 (164mm/h) 排水バルブ閉		0.04	0.932	0.280	0.889	0.301	0.315	0.337	0.154	0.166	0.099	0.114	0.121
		0.04	0.919	0.281	0.875	0.297	0.321	0.339	0.160	0.174	0.107	0.130	0.104
		0.02	0.916	0.279	0.873	0.296	0.320	0.340	0.160	0.151	0.114	0.114	0.087
		0.02	0.919	0.277	0.876	0.297	0.316	0.338	0.160	0.159	0.107	0.130	0.121
		0.02	0.917	0.279	0.873	0.296	0.320	0.338	0.160	0.159	0.099	0.130	0.087
		0.02	0.916	0.277	0.873	0.296	0.318	0.335	0.154	0.159	0.099	0.082	0.104
		0.02	0.918	0.279	0.874	0.297	0.319	0.330	0.154	0.151	0.092	0.098	0.104
		0.02	0.923	0.281	0.880	0.298	0.319	0.325	0.147	0.143	0.099	0.114	0.104
		0.02	0.921	0.283	0.877	0.298	0.322	0.323	0.147	0.143	0.084	0.065	0.069
		0.02	0.921	0.283	0.876	0.298	0.324	0.321	0.154	0.143	0.092	0.082	0.104
		0.02	0.926	0.279	0.883	0.299	0.316	0.315	0.147	0.151	0.099	0.065	0.069
		0.02	0.928	0.283	0.884	0.300	0.321	0.309	0.140	0.151	0.099	0.082	0.069
		0.02	0.941	0.284	0.897	0.304	0.317	0.305	0.140	0.136	0.099	0.114	0.087
		0.02	0.942	0.283	0.899	0.304	0.315	0.302	0.140	0.136	0.084	0.065	0.069
		0.02	0.952	0.283	0.909	0.308	0.312	0.297	0.134	0.136	0.076	0.065	0.052
		0.02	0.953	0.287	0.909	0.308	0.316	0.296	0.140	0.136	0.076	0.082	0.104
		0.02	0.957	0.285	0.913	0.309	0.312	0.292	0.127	0.136	0.076	0.098	0.087
		0.02	1.004	0.295	0.959	0.324	0.308	0.279	0.134	0.151	0.092	0.065	0.087
		0.02	1.021	0.297	0.976	0.330	0.304	0.270	0.134	0.128	0.092	0.065	0.069
		0.02	1.029	0.297	0.985	0.331	0.302	0.263	0.134	0.136	0.328	0.245	0.121
		0.02	1.054	0.302	1.010	0.341	0.299	0.259	0.134	0.385	0.572	0.473	0.225
		0.02	1.071	0.309	1.025	0.346	0.302	0.258	0.127	0.672	0.786	0.668	0.242
		0.02	1.107	0.313	1.062	0.358	0.295	0.258	0.367	0.831	1.916	0.880	0.415
		0.02	1.156	0.332	1.107	0.374	0.300	0.257	0.541	0.959	1.045	1.060	0.692
		0.02	1.202	0.354	1.149	0.388	0.308	0.258	0.661	1.042	1.129	1.157	0.796
		0.02	1.260	0.386	1.200	0.407	0.322	0.263	0.788	1.140	1.221	1.239	0.882
		0.02	1.271	0.394	1.208	0.411	0.325	0.276	0.885	1.193	1.282	1.320	1.021
		0.02	1.239	0.372	1.182	0.400	0.244	0.326	0.915	1.253	1.366	1.581	1.228
		0.02	1.477	0.351	1.435	0.477	0.234	0.307	1.129	1.397	1.480	1.565	1.453
		0.02	1.499	0.342	1.460	0.484	0.145	0.326	1.396	1.563	1.633	1.728	1.659
		0.02	2.120	0.304	2.098	0.685	0.122	0.347	1.770	1.804	1.816	1.785	1.851
		-0.02	2.417	0.293	2.399	0.781	0.119	0.360	1.944	1.948	1.946	1.956	1.938
		-0.02	2.488	0.295	2.471	0.804	0.116	0.363	1.971	1.978	1.969	2.005	1.955
		-0.02	2.547	0.293	2.530	0.823	0.114	0.367	1.997	2.001	1.999	2.005	2.007

		変位 (mm)	土圧 合力 P_A (tf/m)	鉛直 土圧 P_v (tf/m)	水平 土圧 P_H (tf/m)	土圧係 数 K_A	壁摩擦 係数 $\tan \delta$	相対作 用位置 d/H	有効水深 (m)					
									1	2	3	4	5	
降雨状態・排水バルブ開 (57mm/h)			2.563	0.290	2.547	0.828	0.114	0.366	2.017	2.016	2.022	2.005	1.990	
			2.562	0.291	2.546	0.828	0.129	0.366	2.011	2.001	2.014	2.038	2.024	
			2.333	0.297	2.314	0.754	0.142	0.373	1.830	1.940	1.976	2.038	1.990	
			2.167	0.304	2.146	0.700	0.152	0.374	1.657	1.820	1.900	1.989	1.990	
			2.067	0.311	2.043	0.668	0.207	0.376	1.550	1.752	1.854	1.989	1.972	
			1.657	0.335	1.622	0.536	0.206	0.390	1.136	1.533	1.724	1.940	1.972	
			1.660	0.335	1.626	0.536	0.211	0.385	1.116	1.518	1.694	1.923	1.972	
			1.630	0.336	1.595	0.527	0.212	0.386	1.109	1.495	1.679	1.907	1.938	
			1.620	0.336	1.585	0.524	0.214	0.386	1.109	1.510	1.663	1.891	1.920	
			1.614	0.337	1.578	0.522	0.217	0.384	1.109	1.487	1.671	1.858	1.903	
			1.601	0.340	1.564	0.517	0.218	0.383	1.109	1.495	1.648	1.842	1.886	
			1.593	0.339	1.557	0.515	0.218	0.383	1.096	1.480	1.648	1.875	1.920	
壁移動状態 (mm)		0.0	0.00	1.507	0.325	1.471	0.487	0.221	0.370	1.082	1.457	1.618	1.809	1.851
		0.1	0.10	1.451	0.334	1.412	0.469	0.236	0.376	1.069	1.457	1.602	1.809	1.851
		0.2	0.25	1.453	0.332	1.415	0.470	0.235	0.375	1.069	1.450	1.595	1.793	1.851
		0.5	0.59	1.315	0.351	1.267	0.425	0.277	0.356	1.049	1.412	1.572	1.809	1.817
		0.7	0.82	1.211	0.354	1.158	0.391	0.306	0.339	1.009	1.374	1.549	1.777	1.817
		1.0	1.08	1.142	0.350	1.087	0.369	0.322	0.330	1.009	1.374	1.526	1.728	1.799
		1.2	1.29	1.110	0.343	1.055	0.359	0.326	0.322	0.989	1.359	1.503	1.712	1.799
		1.5	1.63	1.064	0.341	1.008	0.344	0.338	0.317	0.982	1.344	1.480	1.728	1.782
		1.7	1.76	1.040	0.339	0.983	0.336	0.345	0.311	0.975	1.321	1.488	1.728	1.765
		2.0	2.04	1.018	0.330	0.963	0.329	0.343	0.303	0.962	1.321	1.488	1.728	1.782
		2.2	2.33	0.970	0.327	0.913	0.314	0.359	0.304	0.955	1.314	1.465	1.679	1.747
		2.5	2.63	0.952	0.325	0.895	0.308	0.363	0.297	0.949	1.299	1.457	1.679	1.765
		3.7	3.67	0.896	0.313	0.840	0.290	0.373	0.293	0.949	1.291	1.442	1.679	1.747
		5.0	4.96	0.851	0.297	0.797	0.275	0.373	0.279	0.942	1.284	1.442	1.663	1.765
		7.5	7.59	0.785	0.277	0.734	0.254	0.378	0.258	0.949	1.299	1.442	1.679	1.730
		10.0	10.04	0.747	0.263	0.700	0.241	0.375	0.240	0.942	1.276	1.412	1.646	1.730
		12.5	12.77	0.690	0.252	0.642	0.223	0.393	0.225	0.935	1.284	1.412	1.630	1.730
15.0	15.02	0.679	0.247	0.632	0.129	0.390	0.212	0.929	1.276	1.396	1.630	1.678		
17.5	17.69	0.636	0.237	0.590	0.206	0.401	0.209	0.929	1.253	1.389	1.614	1.661		

3 裏込め土の土質試験結果

吳昌碩與徐悲鴻的「中西合璧」

土質試験結果一覧表

試料名			川砂	川砂	川砂	川砂	砕石	砕石
試料の状態			締固め	ゆる詰め	締固め	ゆる詰め	締固め	ゆる詰め
粒 度 特 性	礫分(2000 μ m以上) %		18					
	砂分(75~2000 μ m) %		78					
	シルト分(5~75 μ m) %		4					
	粘土分(5 μ m以下) %							
	最大粒径 d_{max} mm		19.1					
	均等係数 U_c		3.13					
	曲率係数 U_c		1.04					
コンシステンシー特性	液性限界 w_L %							
	塑性限界 w_p %							
	塑性指数 I_p							
分類	日本統一土質分類		SPu					
土粒子の比重 G_s			2.701					
自然状態	含水比 w %							
	湿潤密度 A g/cm ³							
	乾燥密度 A_d g/cm ³							
	間隙比 e							
	飽和度 S_r %							
締固め特性	試験方法		1.1. b					
	最適含水比 w_{opt} %		16.1				2.6	
	最大乾燥密度 A_{max} t/m ³		1.785				2.239	
力 学 特 性	一軸圧縮試験	一軸圧縮強さ q_u kg/cm ²						
	二軸せん断試験	試験の条件 ⁽¹⁾	CD	CD	※	※	※	※
		粘着力 c kg/cm ²	0.1	0.07	0.035	0.025	0.095	0.018
		せん断抵抗角 ϕ 度	39.5	35.1	37.8	21.3	41.2	24.6
	三軸圧縮試験	試験の条件 ⁽¹⁾	CD	CD				
		粘着力 c kg/cm ²	0.05	0.0				
		せん断抵抗角 ϕ 度	40.4	37.5				
	圧密試験	圧密降伏応力 p_c kg/cm ²						
		圧縮指数 C_c						
					※原位置	※原位置	※原位置	※原位置

土質試験結果一覧表

試料名			川砂	川砂	砕石	砕石				
試料の状態			締固め	ゆる詰め	締固め	ゆる詰め	～	～		
粒 度 特 性	礫分(2000 μ m以上)	%								
	砂分(75~2000 μ m)	%								
	シルト分(5~75 μ m)	%								
	粘土分(5 μ m以下)	%								
	最大粒径	mm								
	均等係数 U_c									
	曲率係数 U_c'									
コンシステンシー特性	液性限界 w_L	%								
	塑性限界 w_p	%								
	塑性指数 I_p									
分類	日本統一土質分類									
土粒子の比重 G_s										
自然状態	含水比 w	%								
	湿潤密度 ρ	g/cm ³								
	乾燥密度 ρ_d	g/cm ³								
	間隙比 e									
	飽和度 S_r	%								
締固め特性	試験方法									
	最適含水比 w_{opt}	%								
	最大乾燥密度 ρ_{dmax}	t/m ³								
力 学 特 性	一軸圧縮試験	一軸圧縮強さ q_u	kgf/cm ²							
	二軸せん断試験	試験の条件 ⁽¹⁾		※	※	※	※			
		粘着力 c		kgf/cm ²	0.030	0.014	0.041	0.022		
		せん断摩擦角 ϕ		度	37.8	24.5	42.6	38.3		
	三軸圧縮試験	試験の条件 ⁽¹⁾								
		粘着力 c		kgf/cm ²						
		せん断摩擦角 ϕ		度						
	圧密試験	圧密終止応力 p_c		kgf/cm ²						
		圧縮指数 C_c								
			※原位置 川砂と地山	※原位置 川砂と地山	※原位置 川砂と地山	※原位置 川砂と地山				

土質試験結果一覧表

試 料 名			川 砂	川 砂	川 砂	川 砂	川 砂	川 砂
設 定 含 水 比			~	W= 5%	W=10%	W=14%	W=16%	W=18%
粒 度 特 性	礫 分 (2000 μ m以上) %	8						
	砂 分 (75~2000 μ m) %	87						
	シルト分 (5~75 μ m) %	5						
	粘土分 (5 μ m以下) %	0						
	最大粒径 mm	9.520						
	均等係数 U_c	3.4						
	曲率係数 U_c'	1.35						
コンシステンシー特性	液性限界 w_L %							
	塑性限界 w_p %							
	塑性指数 I_p							
分類	日本統一土質分類	SPu						
土 粒 子 の 比 重 G_s			2.688					
自然 状 態	含 水 比 w %	17.3						
	湿 潤 密 度 A g/cm ³							
	乾 燥 密 度 A_d g/cm ³							
	間 隙 比 e							
	飽 和 度 S_r %							
締固め特性	試 験 方 法	1.1.b						
	最適含水比 w_{opt} %	13.9						
	最大乾燥密度 A_{max} t/m ³	1.679						
力 学 特 性	一軸圧縮試験	一軸圧縮強さ q_u kg/cm ²						
	二面せん断試験	試験の条件 ⁽¹⁾		UU	UU	UU	UU	
		粘 着 力 c kg/cm ²		0	0	0	0	
		せん断摩擦角 ϕ 度		31.5	32.0	33.5	31.0	
	三軸圧縮試験	試験の条件 ⁽¹⁾		UU	UU	UU		UU
		粘 着 力 c kg/cm ²		0.05	0.12	不飽和 0	飽和 0	0.05
		せん断摩擦角 ϕ 度		36.0	33.4	35.0	35.0	32.0
	圧密試験	圧密終止応力 p_e kg/cm ²						
		圧 縮 指 数 C_c						
透 水 係 数 K (cm/sec)				定水位 4.89×10^{-3} 変水位 5.09×10^{-3}			定水位 0.96×10^{-3} 変水位 1.31×10^{-3}	

土質試驗結果一覽表	
-----------	--

試 料 名		川 砂	川 砂	川 砂			
設 定 含 水 比		W=20%	W=22%	W=28.1%	~	~	~
粒 度 特 性	礫分 (2000 μ m以上) %						
	砂分 (75~2000 μ m) %						
	シルト分 (5~75 μ m) %						
	粘土分 (5 μ m以下) %						
	最大粒径 d_{max} mm						
	均等係数 U_c						
	曲率係数 U_c'						
コンシステンシー特性	液性限界 w_L %						
	塑性限界 w_p %						
	塑性指数 I_p						
分類	日本統一土質分類						
土 粒 子 の 比 重 G_s							
自然状態	含水比 w %						
	湿潤密度 ρ g/cm ³						
	乾燥密度 ρ_d g/cm ³						
	間隙比 e						
	飽和度 S_r %						
締固め特性	試験方法						
	最適含水比 w_{opt} %						
	最大乾燥密度 ρ_{max} t/m ³						
力 学 特 性	一軸圧縮試験	一軸圧縮強さ q_u kgf/cm ²					
	一円せん断試験	試験の条件 ⁽¹⁾					
		粘着力 c kgf/cm ²			0		
		せん断抵抗角 ϕ 度			36.0		
	三軸圧縮試験	試験の条件 ⁽²⁾	UU	UU			
		粘着力 c kgf/cm ²	0.05	0.12			
		せん断抵抗角 ϕ 度	30.0	26.5			
	圧密試験	圧密終状態力 p_e kgf/cm ²					
		圧縮指数 C_c					

調査名・調査地点

試料番号・深さ: No. (..... m ~ m)

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 7.56 %

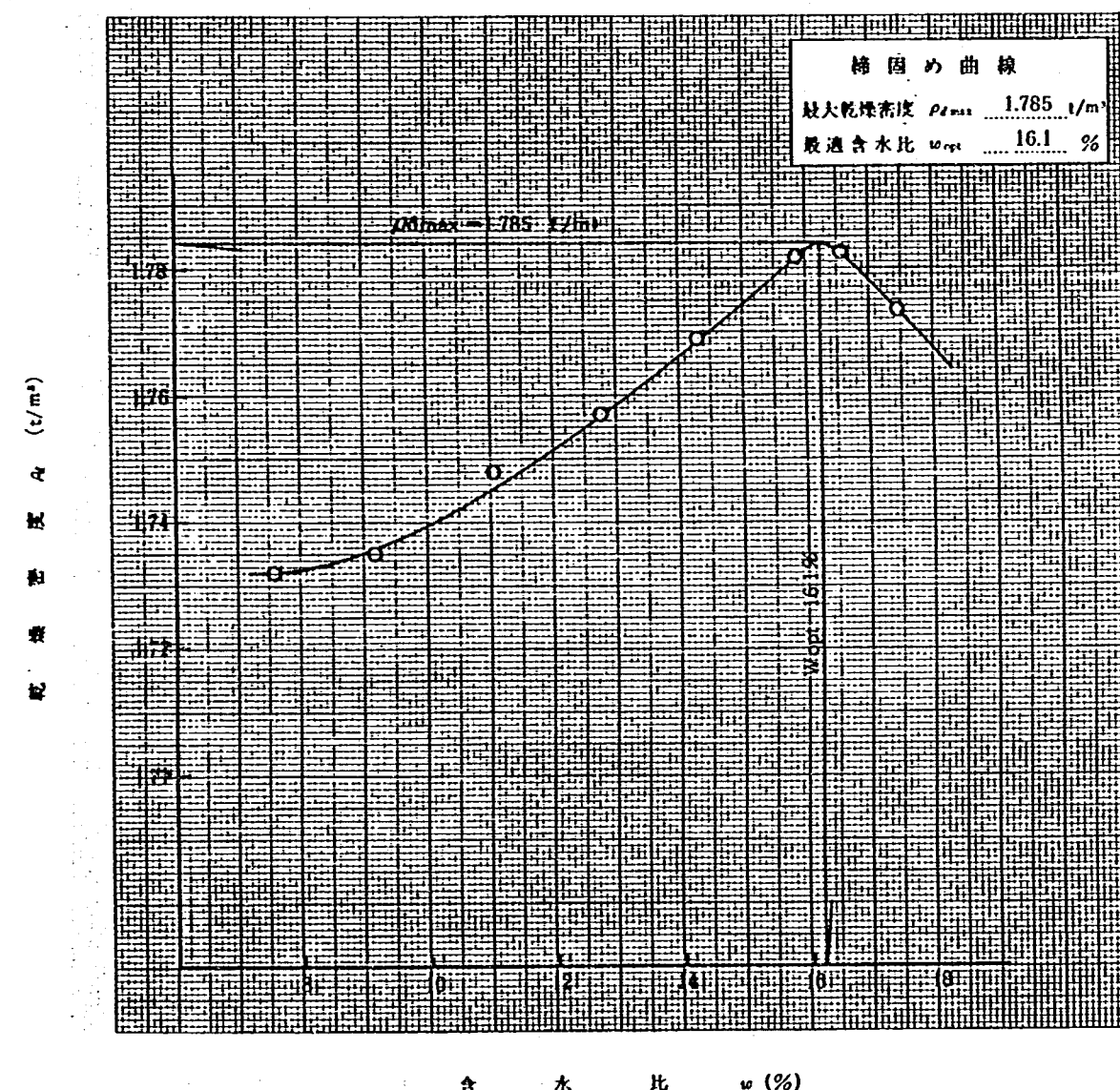
試験方法(呼び名) 試験開始前含水比^(注2) 7.56 % 土粒子の比重 2.701

突固め方法: (第1方法) 第2方法, その他^(注1) 試料の準備方法: (乾燥法) 非乾燥法

モールド内径: (10cm), 15cm, ... cm 試料の使用別: (繰返し法) 非繰返し法

試料許容最大粒径 4.76 mm 許容最大粒径以上の粗粒分の乾燥質量百分率 %

測定番号	1	2	3	4	5	6	7	8
乾燥密度 ρ_d (t/m ³)	1.732	1.735	1.748	1.757	1.769	1.782	1.783	1.774
平均含水比 w %	7.56	9.14	10.99	12.67	14.16	15.67	16.38	17.28



備考
 注1) その他の突固め方法 ランマー質量 2.5 kg, 落下高 30 cm, 突固め回数 25 回/層, (3)層
 注2) 非乾燥法を用いた場合
 ゼロ空気間隙曲線 $\rho_{d,m} = \frac{\rho_w}{1/G_s + w/100}$ t/m³

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

試料番号・深さ: No 砂 (m ~ m)

試験目的: (普通締固め) CBR締固め 乾燥処理前含水比 17.3 % 乾燥処理後含水比 6.2 %

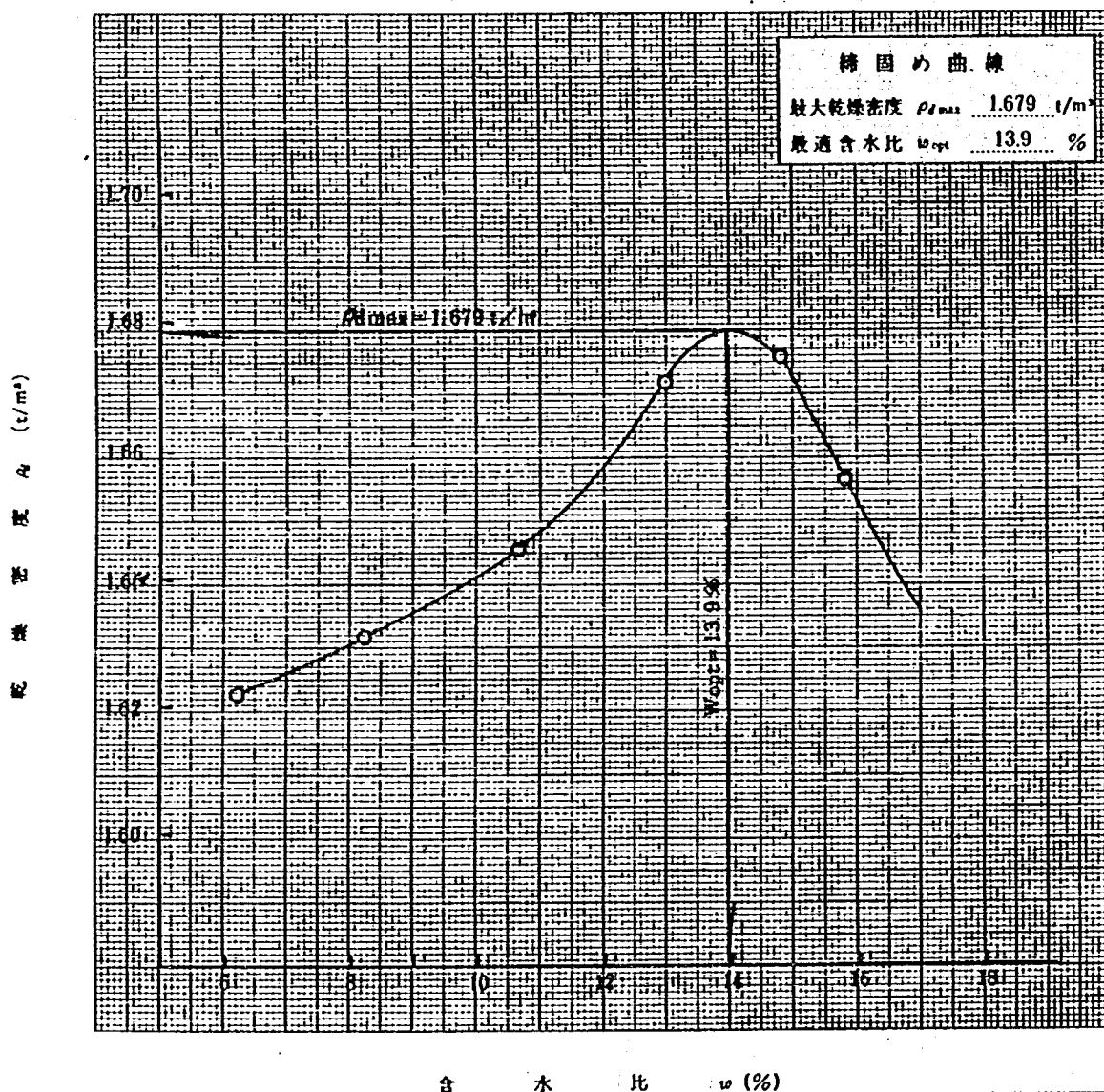
試験方法(呼び名) 1・1・b 試験開始前含水比 7.56 % 土粒子の比重 2.688

突固め方法: (第1方法) 第2方法, その他^{注1)} 試料の準備方法: (乾燥法) 非乾燥法

モールド内径: (10cm), 15cm, cm 試料の使用別: 繰返し法 (非繰返し法)

試料許容最大粒径 4.76 mm 許容最大粒径以上の粗粒分の乾燥質量百分率 %

測定番号	1	2	3	4	5	6	7	8
乾燥密度 ρ_d (t/m ³)	1.622	1.631	1.625	1.671	1.675	1.654		
平均含水比 w %	6.2	8.2	10.6	12.9	14.7	15.7		



備考 注1) その他の突固め方法 ランマー質量 2.5 kg, 落下高 30 cm, 突固め回数 25 回/層, (3) 層

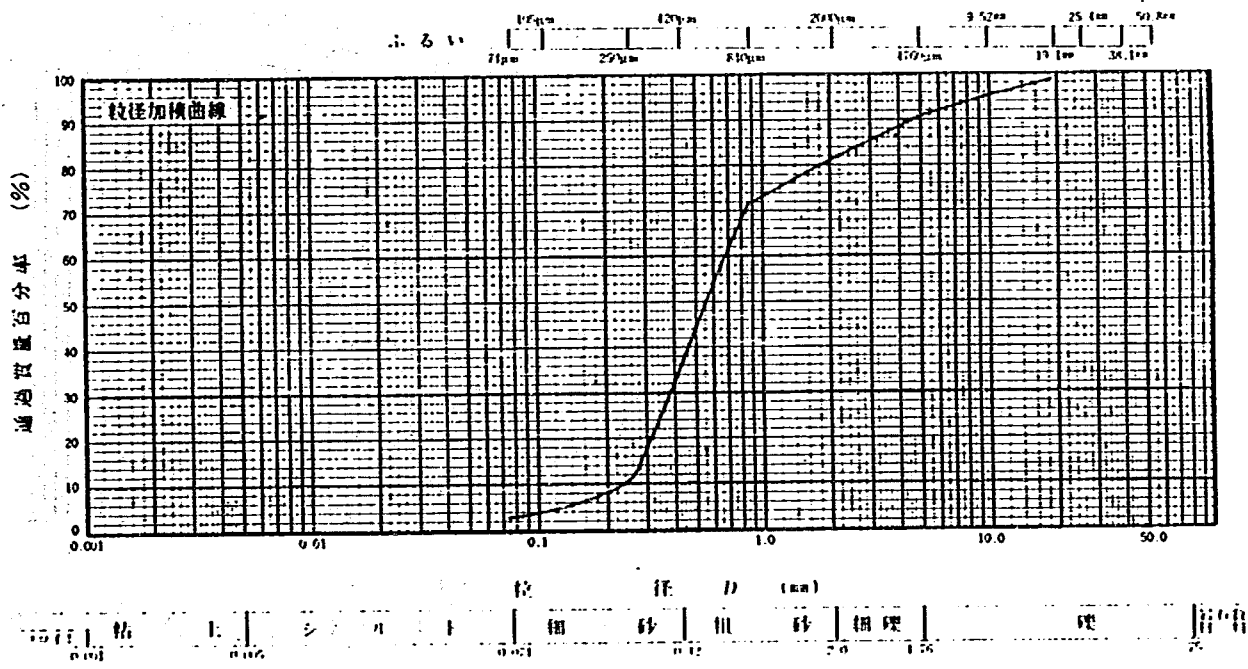
注2) 非乾燥法を用いた場合

ゼロ空気間隙曲線 $\rho_{dmax} = \frac{\rho_w}{1/G_s + w/100}$ (t/m³)

調査名・調査地点 _____ 試験年月日 _____ 年 _____ 月 _____ 日

試験者 _____

試料番号 深さ	No. 1 (0.00 m ~ 0.00 m)		No. _____ (_____ m ~ _____ m)		試料番号 深さ	No. 1 (_____ m ~ _____ m)		No. _____ (_____ m ~ _____ m)	
	粒 径 mm	質量百分率 %	粒 径 mm	質量百分率 %		粒 径 mm	質量百分率 %	粒 径 mm	質量百分率 %
ふ ろ い 分 け	50.8		50.8		4.76mm以上の粒子 %	8			
	38.1		38.1		細砂分 (4.76 ~ 2mm)%	10			
	25.4		25.4		粗砂分 (2 ~ 0.42mm)%	44			
	19.1	100.0	19.1		細砂分 (0.42~0.074mm)%	34			
	9.52	95.9	9.52		シルト分 (0.074~0.005mm)%	4			
	4.76	91.6	4.76		粘土分 (0.005mm以下)%	※			
	2.00	82.2	2.00		コロイダル分 (0.001mm以下)%	※			
	0.84	72.0	0.84		2000μm以上の過剰質量百分率 %	82			
比 重 γ _s	0.42	37.8	0.42		125μm以上の過剰質量百分率 %	38			
	0.25	12.3	0.25		75μm以上の過剰質量百分率 %	4			
	0.105	5.3	0.105						
	0.074	3.9	0.074						
					最大粒径 mm	19.100			
					60 % 粒径 mm	0.6364			
					30 % 粒径 mm	0.3683			
γ _s					10 % 粒径 mm	0.2032			
					均等係数 U_c	3.13			
					曲率係数 U_s	1.04			
					土粒子の比重 G_s	2.701			
γ _s					使用した分散剤				

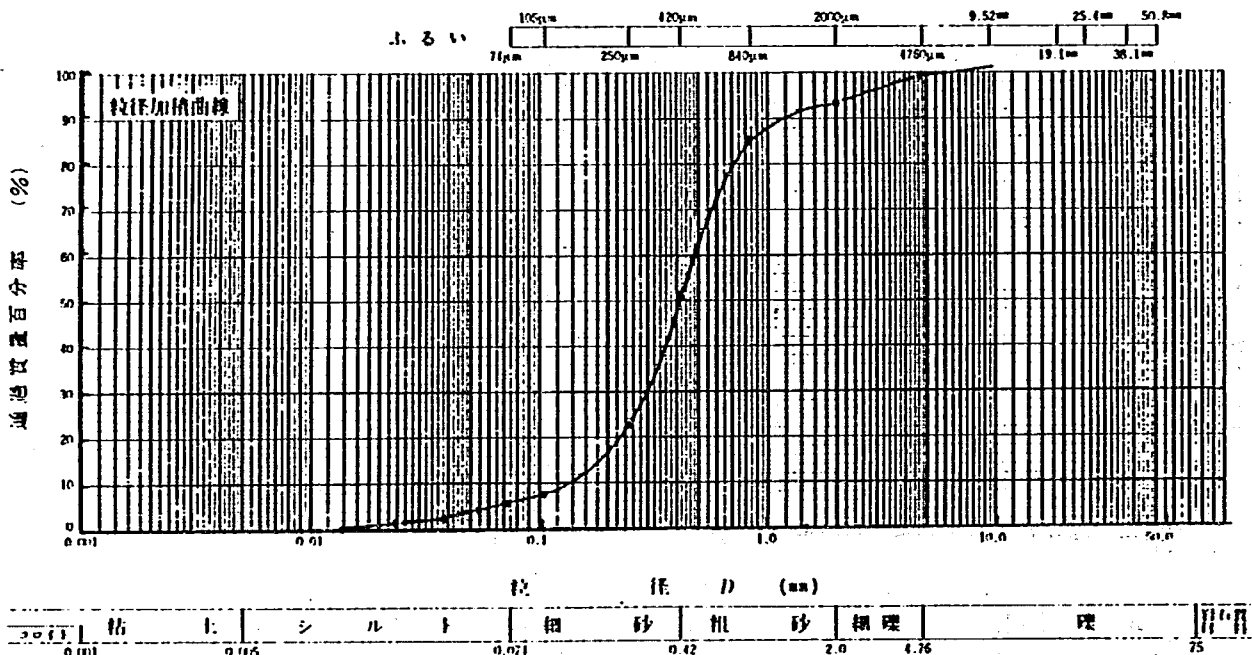


備考 _____

注) コロイダル分を含む

調査名・調査地点

試料番号 深さ	No. (m ~ m)	No. (m ~ m)	試料番号 深さ	No. (m ~ m)	No. (m ~ m)
	粒径 mm	質量百分率 %		粒径 mm	質量百分率 %
ふるい分け	50.8		4.76mm以上の粒子 %	2	
	38.1		細砂分 (4.76 ~ 2mm)%	6	8
	25.4		粗砂分 (2 ~ 0.42mm)%	42	
	19.1		細砂分 (0.42 ~ 0.075mm)%	45	87
	9.52		シルト分 (0.075 ~ 0.005mm)%	5	
	4.76	98.2	粘土分 (0.005mm以下)%	0	
	2.00	91.6	コロイド分 (0.001mm以下)%	0	
	0.84	23.7	2000 μ mより大きい通過質量百分率 %	92	
	0.42	49.6	420 μ mより大きい通過質量百分率 %	50	
	0.25	21.6	75 μ mより大きい通過質量百分率 %	5	
比重 浮力	0.105	6.6	最大粒径 mm	9.52	
	0.074	5.2	60 % 粒径 mm	0.490	
	0.055	4.0	30 % 粒径 mm	0.310	
	0.039	2.2	10 % 粒径 mm	0.145	
	0.024	1.0	均等係数 U_e	3.4	
	0.014	0.4	曲率係数 U_c	1.35	
			土粒子の比重 G_s		
			使用した分散剤		



備考

注) コロイド分を含む

嶋津晃臣 藤川昌幸 中田公基 嶋田 功

キーワード：土圧、もたれ式擁壁、嵩上げ盛土、切土部土圧、降雨、排水施設

要 旨

現行の土留構造物の設計法の検証を目的として、大型擁壁実験装置を用いた各種の土圧測定実験を実施した。本資料は、これらの実験を通して明らかとなった土圧の実態及び各種の要因が土圧に及ぼす影響についてとりまとめるとともに、現行の土圧算定法との比較や数値解析により得られた知見を示したものである。



郵便はがき

下を40
さは円切
い。て手

305



茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所
機械施工部施工研究室 御中

No. _____

土研資料2311号

No. _____

配布先氏名



配布先住所

○

土木研究所資料第2311号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

○