

土木研究所資料

全孔長ストレーナーパイプによる孔内水位 に関する模型実験

平成9年5月

建設省土木研究所
砂防部地すべり研究室

Copyright © (1997) by P.W.R.I.

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

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

全孔長ストレーナーパイプによる孔内水位 に関する模型実験

地すべり研究室 研究員 石 濱 茂

要 旨

本資料は、複数の帯水層地盤において全孔長ストレーナーパイプによって水位を測定した場合の孔内水位がどのような水位になるかについて模型実験により検討を行った結果の報告である。複数帯水層地盤の全孔長ストレーナーパイプによる孔内水位は、上下帯水間の水頭値と流量によって決定され、全水頭値の大きい帯水層から小さい帯水層へ流れ、流用の大きい帯水層の水頭値に近い値を与えることが明かとなった。

キーワード：孔内水位、ストレーナーパイプ、帯水層、模型実験、地すべり

ま え が き

本資料は、平成4年度から平成6年度に、地方建設局依頼費（近畿地方建設局）における研究テーマ「亀の瀬地すべり調査」において実施した全孔ストレーナーパイプにおける孔内水位の形成に関する模型実験について整理したものである。

地すべり地内の地下水位の測定方法に関しては、以前よりその測定方法に問題があり、特に帯水層が複数存在する場合に、全孔長に渡ってストレーナー加工されたパイプを用いて計測した孔内水位では、すべり面に作用する間隙水圧値正確に測定できないという大きな問題点が指摘されている。

本研究テーマにおいては、全孔ストレーナーパイプの水位が一体どのような水位を表すのかを解明するため、模型実験により検討を行った結果の報告である。

平成9年5月

地すべり研究室 石 濱 茂



目 次

1. 研究目的	1
2. 地すべり地内の帯水層構造	2
3. 実験概要	4
4. 実験装置	5
5. 土層構造	7
6. 実験ケース	9
7. 実験結果	11
8. 結 論	31

1. 研究 目 的

地すべりの安定解析を行う場合に用いる間隙水圧は、直接すべり面に間隙水圧計を設置して測定するのが好ましいが、

- ① すべり面位置の判定が難しい
- ② 間隙水圧計及びデータ収録装置が高価である
- ③ 間隙水圧計の設置が難しい
- ④ 間隙水圧計の耐用年数が短い

などの理由から、ボーリング孔内に塩ビパイプを挿入してその中の水位を測定し、その水位の高さからすべり面に作用する間隙水圧値に換算している。この場合ボーリング孔内に挿入する塩ビパイプは、一般にパイプの全面にストレーナー加工をほどこし、どの面からでもパイプ内へ地下水が流入あるいは排水されるようになっている全孔ストレーナーパイプと呼ばれるものを用いている。したがって、複数の帯水層が存在する場合には孔内には各帯水層からの水が流れ込み、各帯水層の水頭値（その帯水層のみにストレーナー加工したパイプによって計られた水位）の合成となると考えられ、孔内水位≒すべり面に作用する間隙水圧とするのは問題がある。

そこで、本研究においては、複数の帯水層が存在する場合に、全孔ストレーナーパイプを用いて測定した孔内水位がどのような値になるかについて模型実験により検討を行い、今後の間隙水圧測定方法の改善の必要性について検討を行うものである。

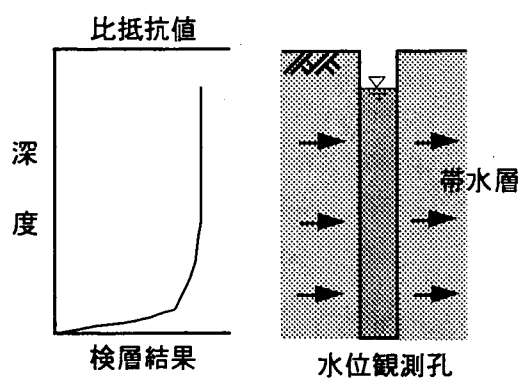
2. 地すべり地内の帯水層構造

過去に実施された地下水検層結果から地すべり地における帯水層構造を整理すると、以下の4つに大きく分類できる(図-1)。

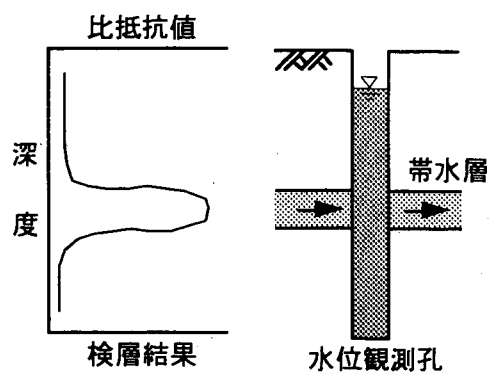
- (a) 不透水基盤までほぼ均等な帯水層が確認できるもの(全層流動型)
- (b) 不透水基盤までに1カ所だけ帯水層が認められるもの(単層流動型)
- (c) 不透水基盤までに2カ所以上の帯水層が認められるもの(多層流動型)
- (d) 帯水層が認められないもの(非流動型)

この中で、(a)(b)のタイプについては、全孔ストレーナーパイプによって水位を測定してもすべり面に作用する間隙水圧とほぼ等しくなるので問題はないが、(c)のタイプについては全孔ストレーナーパイプによって水位を測定した場合、各帯水層の水頭値の合成となることが想定されすべり面に作用する間隙水圧として安定解析に用いるには問題がある。そこで、今回はこの複数の帯水層が存在する場合の帯水層構造に焦点を絞って、この時の全孔ストレーナーパイプにおける孔内水位がどのように形成されるかについて検討を行うものである。

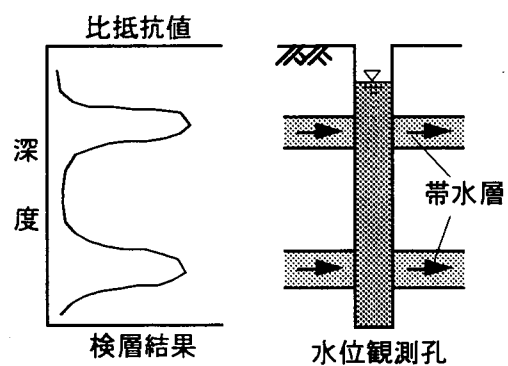
なお、(d)のタイプについては、孔内に貯留された水により形成された水位となると想定されるため、(c)のタイプと同様に全孔ストレーナーパイプから測定された孔内水位とすべり面に作用する間隙水圧値は等しくならないが、孔内水位の形成機構が(c)のタイプとは全く異なるため、ここでは検討を行わない。



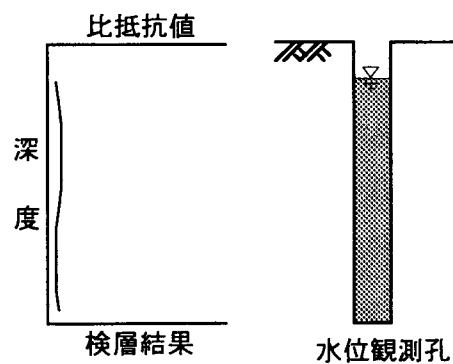
(a) 全層流動型



(b) 単層流動型



(c) 多層流動型



(d) 非流動型

図一 1 地すべり地内の帯水層構造

3. 実 験 概 要

実験は、実験装置内に複数の帯水層を有する土層構造を作成し、その中に全孔ストレーナーパイプを鉛直に設置し（写真1）、その中に形成される孔内水位を測定するものである。今回の実験においては、帯水層の数が多すぎると全孔ストレーナーパイプにおける孔内水位の形成機構が複雑になり過ぎて検討が行えなくなるので、複数において最も単純である2層の場合を想定して実験を行っている。帯水層の水頭値の変化は、各帯水層に連結する水槽の水位を変化させることによって行っており、各帯水層の水頭値はそれぞれ独立して変化させることが可能である。さらに、各帯水層の透水係数を変化させるため、砂とシルトの2種類の実験試料を用いている。



写真－1

4 実 験 装 置

実験装置は、長さ100cm、幅60cm、高さ300cmの水槽型の装置であり、複数の帯水層が存在する時に各帯水層の水頭値をそれぞれ変化させることができるように、片側に3つの独立した水槽を有するものを作成した（図-2）。装置は、全体が鉄板で前面のみ水の流れが確認できるようアクリル板としてある。また水槽への水の流入出用のバルブを取り付け、さらに水槽内の水位が目視できるようにピエゾ管を各水槽ごとに取り付けている（写真-2）。

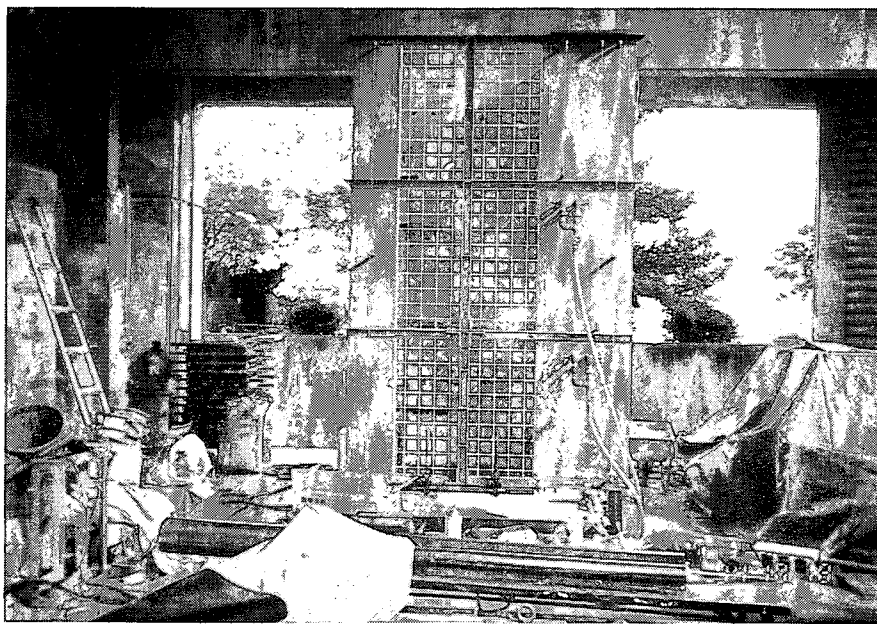
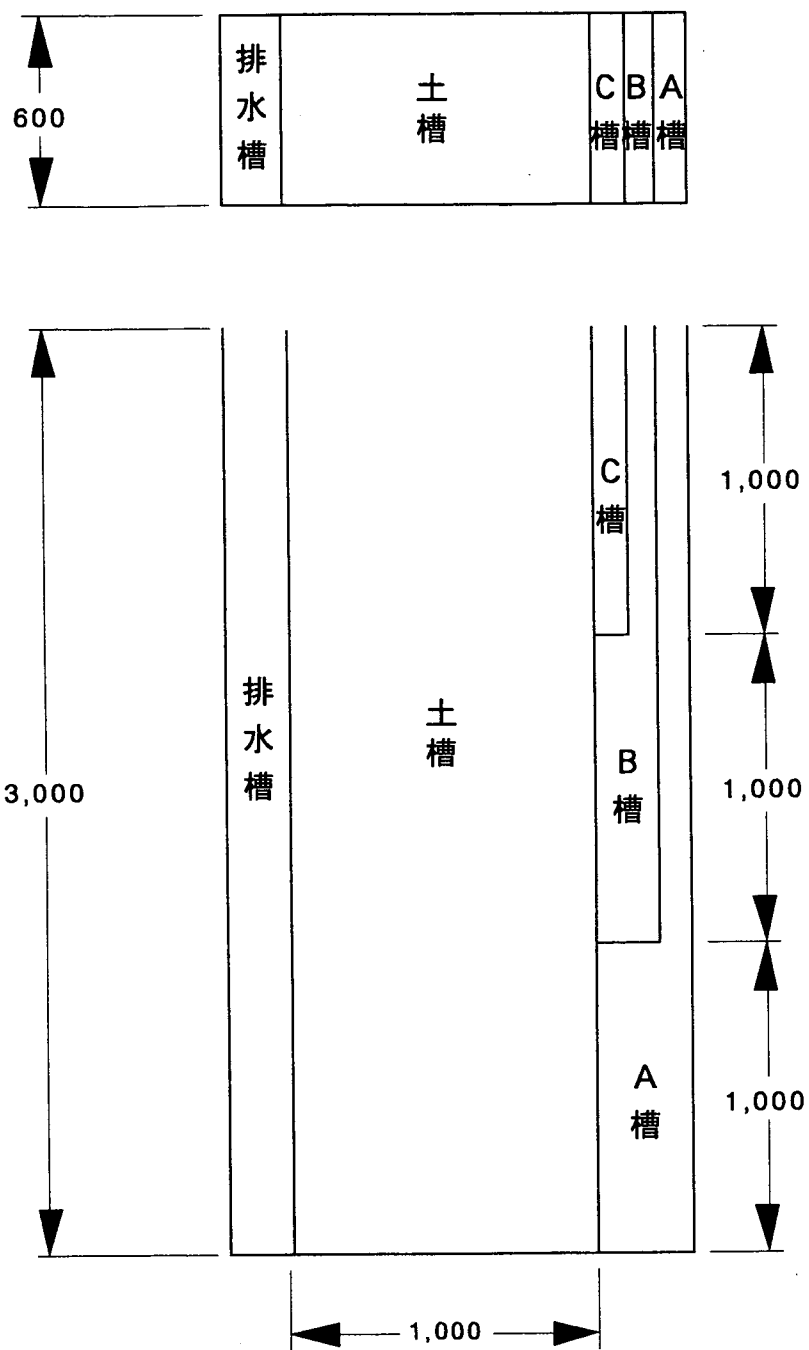


写真-2



单位 : mm

图-2 实验装置概要图

5. 土 層 構 造

土層構造は、厚さ20cmの帯水層を、実験装置の底面からそれぞれ130cm、30cmの位置に上部帯水層、下部帯水層として作成している（図-3）。また、不透水層は透水性の悪い土では完全に水を通さないようにすることが不可能なので発砲スチロールを用いており、さらに、土および発砲スチロールと実験装置側壁の境界部分に隙間ができそこを多量の水が流れてしまうため、帯水層および発砲スチロールと実験装置側壁の境界をビニールおよび止水剤を用いて止水処理を行っている（写真-3）。

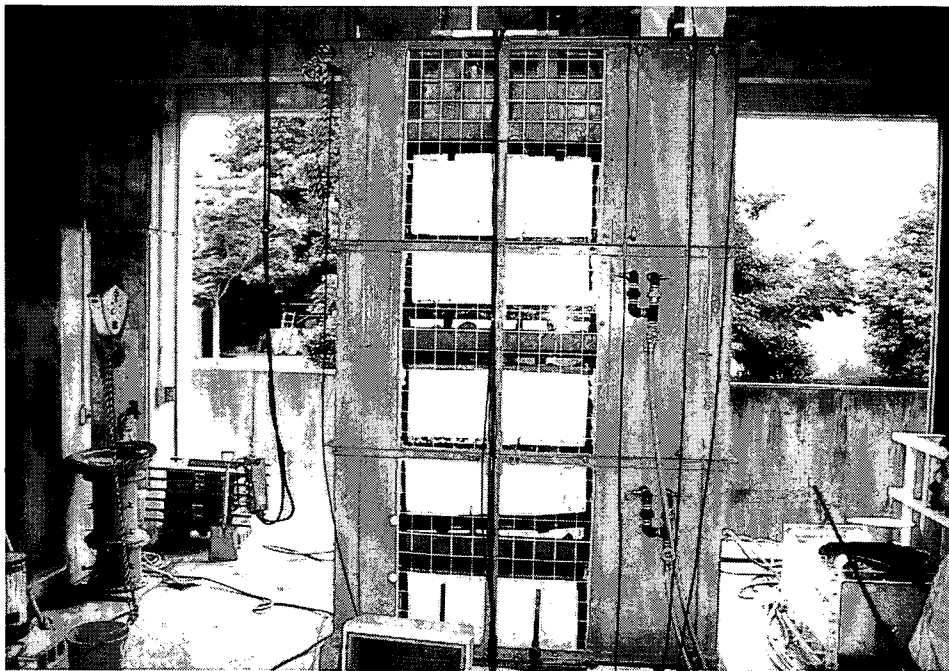
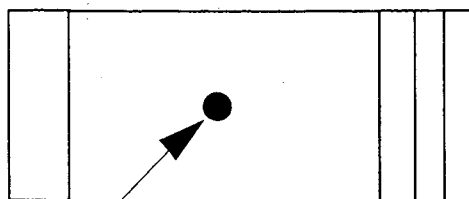
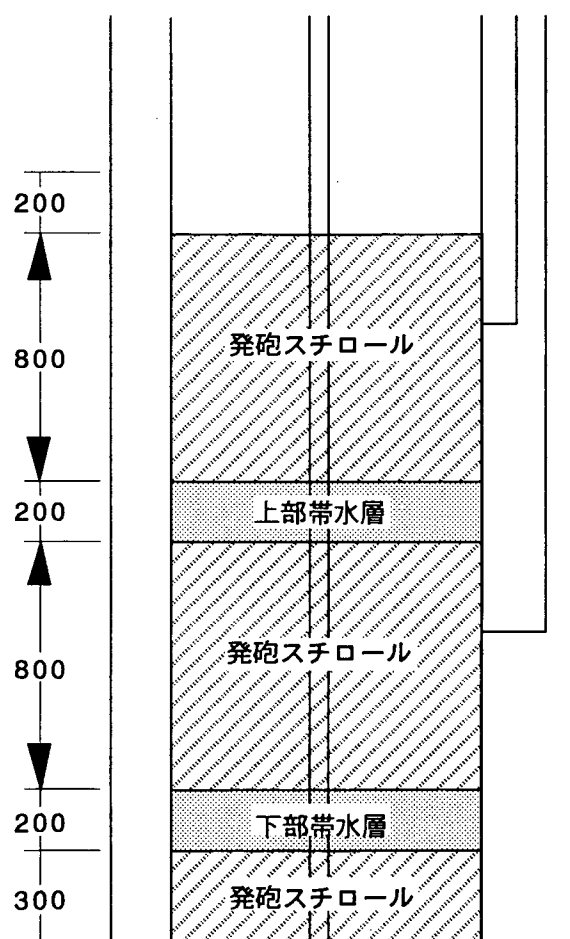


写真-3



全孔パイプ



図－3 実験土層構造

6. 実験ケース

実験においては、①上部帯水層と下部帯水層の水頭値の大きさの相対関係の影響、②上部帯水層あるいは下部帯水層のどちらかの水頭値が変化した場合の影響、③上部帯水層と下部帯水層の透水係数が異なる場合の影響について検討するため、各水槽の水位および帯水層に用いる実験試料の種類を変化させて実験ケースを設定している（表－1）。また、各帯水層の水頭値と水槽の水位との関係を求めるため、図－4に示す実験土層を作成し水槽水位と孔内水位の関係を2つの実験試料ごとに求めている。

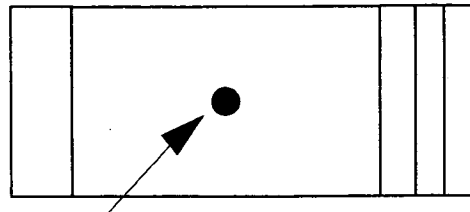
なお、実験試料の透水係数は室内透水試験によって求めており、砂が 4.51×10^{-2} cm/sec、シルトが 3.18×10^{-5} cm/secである。

表－1 実験ケース

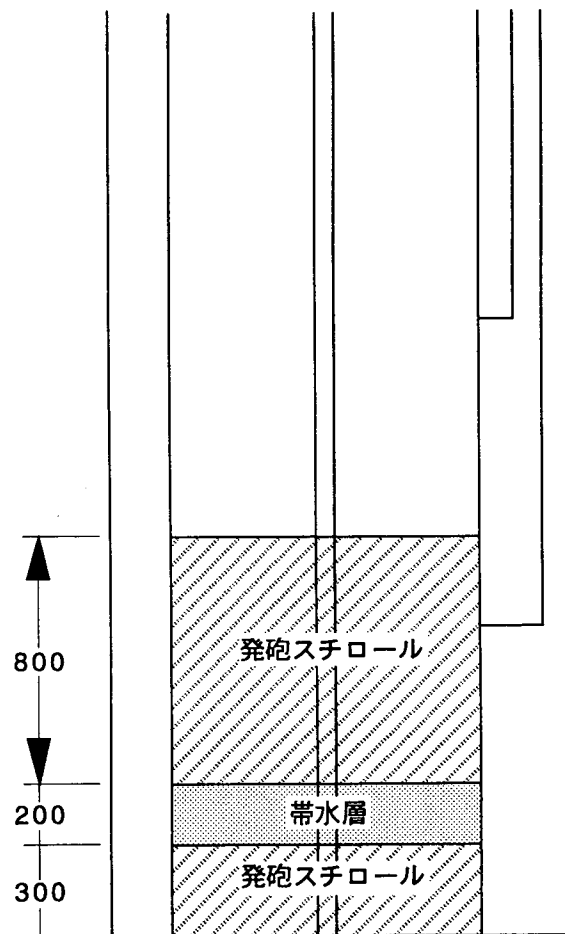
ケース番号	上部帯水層試料	下部帯水層試料	上部水槽水位	下部水槽水位
1-1	砂	砂	190	250
1-2	砂	砂	130	250
1-3	砂	砂	80	250
1-4	砂	砂	0	250
1-5	砂	砂	250	190
1-6	砂	砂	250	0
2-1	シルト	砂	190	250
2-2	シルト	砂	130	250
2-3	シルト	砂	80	250
2-4	シルト	砂	0	250
2-5	シルト	砂	250	190
2-6	シルト	砂	250	0
3-1	砂	シルト	190	250
3-2	砂	シルト	130	250
3-3	砂	シルト	80	250
3-4	砂	シルト	0	250
3-5	砂	シルト	250	190
3-6	砂	シルト	250	0

※水位は水槽底面からの高さ、各ケースとも排水槽の水位なし

単位：cm



全孔パイプ



図－4 水槽－孔内水位の実験土層構造

7. 実 験 結 果

実験結果として、各ケースごとの水槽水位と全孔ストレーナーパイプの孔内水位、水槽水位と孔内水位の関係式から得られた各帯水層の換算水頭値と全孔ストレーナーパイプの孔内水位の関係を図－5～22に示す。また、水槽水位と孔内水位の関係式を表－2に示す。

表－2 水槽水位と孔内水位との関係式

試料	関係式
砂	$h=0.739 \times H+11.668$
シルト	$h=0.793 \times H+13.027$

※H：水槽水位、h：孔内水位

実験結果を整理すると、以下のとおりとなる。

- ① 上部帯水層と下部帯水層の透水係数が同じで、上部帯水層の水頭値が下部帯水層の水頭値よりも大きい場合（図－5～図－8）

ケース1－1からケース1－4までは、上部帯水層の水頭値が一定で下部帯水層の水頭値を変化させていったものである。これらケースにおいて全孔水位は、下部帯水層の水頭値の低下に伴って低下しており、全てのケースにおいて上部帯水層と下部帯水層の水頭値のだいたい中間的な値をとっている。

- ② 上部帯水層と下部帯水層の透水係数が同じで、下部帯水層の水頭値が上部帯水層の水頭値よりも大きい場合（図－9～図－10）

ケース1－5からケース1－6までは、下部帯水層の水頭値が一定で上部帯水層の水頭値を変化させていったものである。これらケースにおいて全孔水位は、上部帯水層の水頭値の低下に伴って低下しており、全てのケースにおいて①と同様上部帯水層と下部帯水層の水頭値のだいたい中間的な値をとっている。

- ③ 上部帯水層の透水係数が下部帯水層よりも小さく、上部帯水層の水頭値が下部帯水層の水頭値よりも大きい場合（図－11～図－14）

ケース2－1からケース2－4までは、上部帯水層の水頭値が一定で下部帯水層の水頭値を変化させていったものである。これらケースにおいて全孔水位は、下部帯水層の水頭値の低下に伴って

低下しており①の傾向と同じであるが、値は上部帯水層と下部帯水層の水頭値の中間値よりも小さく下部帯水層の水頭値に近いものとなっている。

- ④ 上部帯水層の透水係数が下部帯水層よりも小さく、下部帯水層の水頭値が上部帯水層の水頭値よりも大きい場合（図-15～図-16）

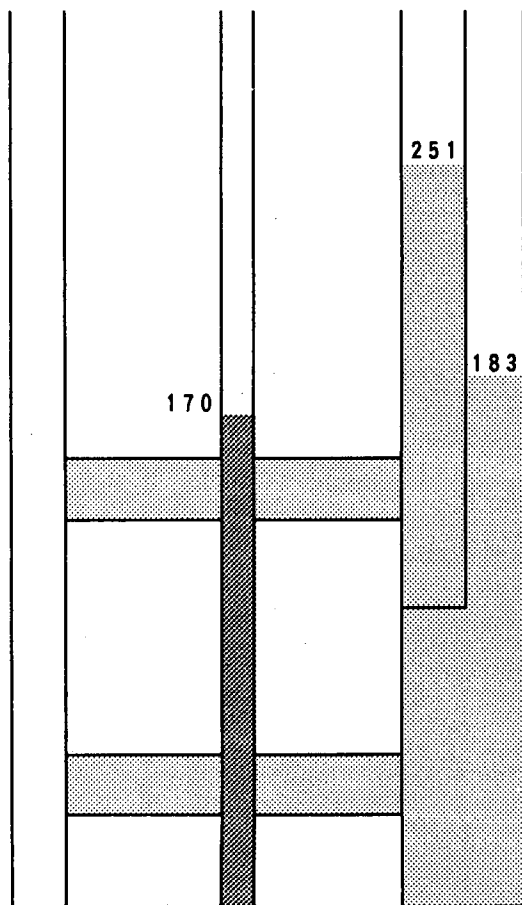
ケース2-5からケース2-6までは、下部帯水層の水頭値が一定で上部帯水層の水頭値を変化させていったものである。これらケースにおいて全孔水位は、下部帯水層の水頭値の低下に伴って低下しており②の傾向と同じであるが、値は上部帯水層と下部帯水層の水頭値の中間値よりも小さく下部帯水層の水頭値に近いものとなっている。

- ⑤ 上部帯水層の透水係数が下部帯水層よりも大きく、上部帯水層の水頭値が下部帯水層の水頭値よりも大きい場合（図-17～図-20）

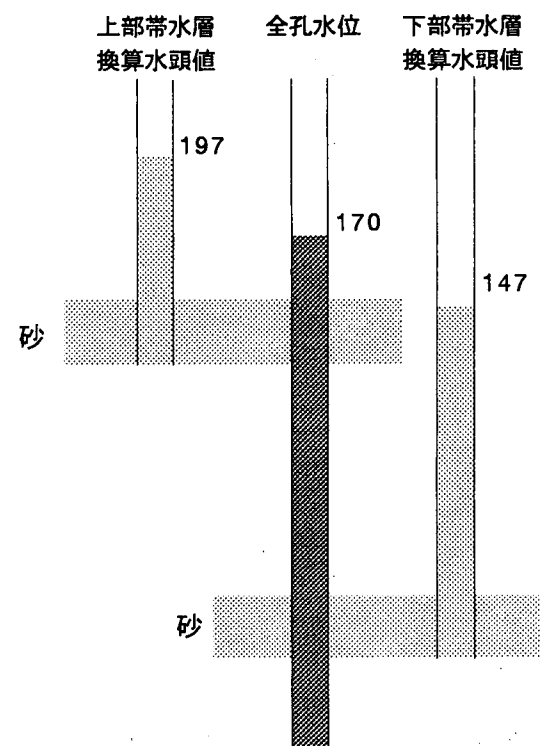
ケース3-1からケース3-4までは、上部帯水層の水頭値が一定で下部帯水層の水頭値を変化させていったものである。これらケースにおいて全孔水位は、下部帯水層の水頭値の低下に伴って若干の低下は見られるものの変化は少なく、値は上部帯水層の水頭値に近いものとなっている。

- ⑥ 上部帯水層の透水係数が下部帯水層よりも大きく、下部帯水層の水頭値が上部帯水層の水頭値よりも大きい場合（図-21～図-22）

ケース3-5からケース3-6までは、下部帯水層の水頭値が一定で上部帯水層の水頭値を変化させていったものである。これらケースにおいて全孔水位は、下部帯水層の水頭値の低下に伴って低下しており②④の傾向と同じであるが、値は上部帯水層と下部帯水層の水頭値の中間値よりも小さく下部帯水層の水頭値に近いものとなっている。

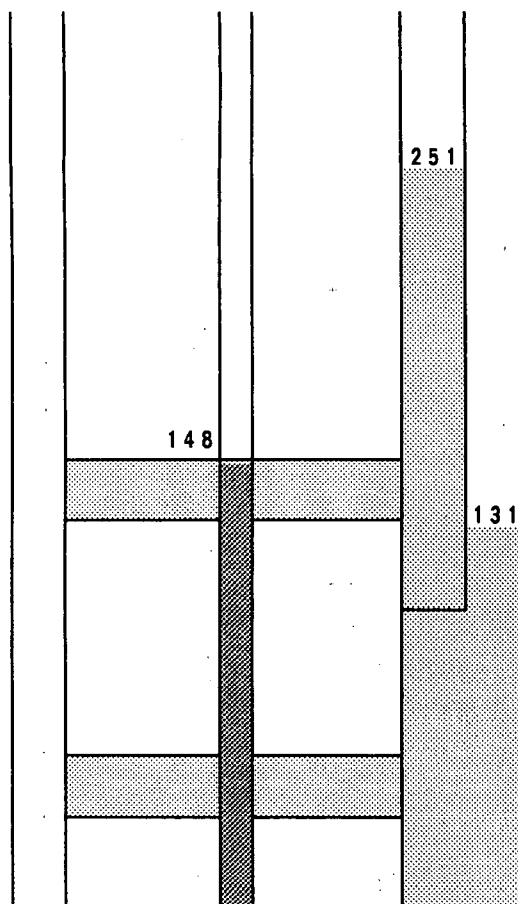


(a) 水槽水位と孔内水位

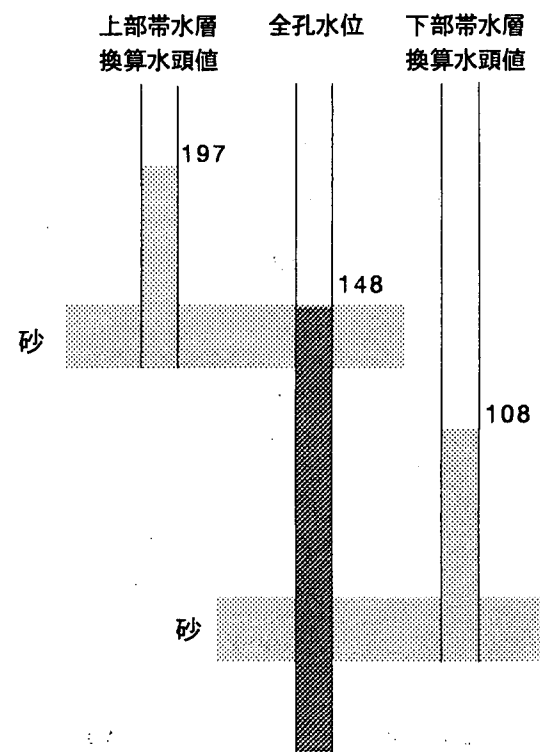


(b) 換算水頭値と孔内水位

図-5 ケース1-1の実験結果

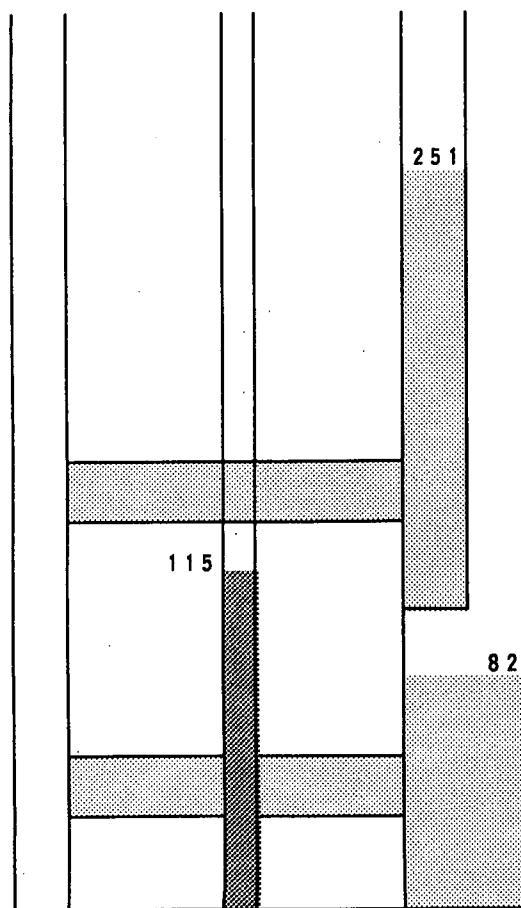


(a) 水槽水位と孔内水位

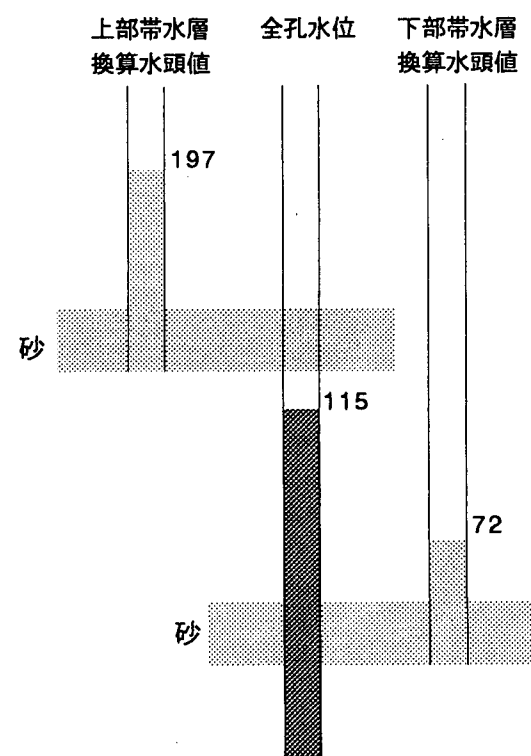


(b) 換算水頭値と孔内水位

図-6 ケース1-2の実験結果

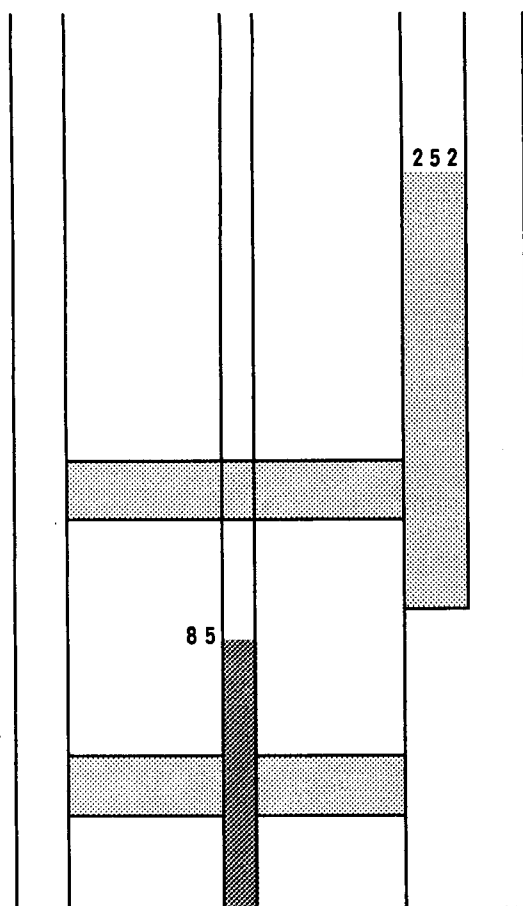


(a) 水槽水位と孔内水位

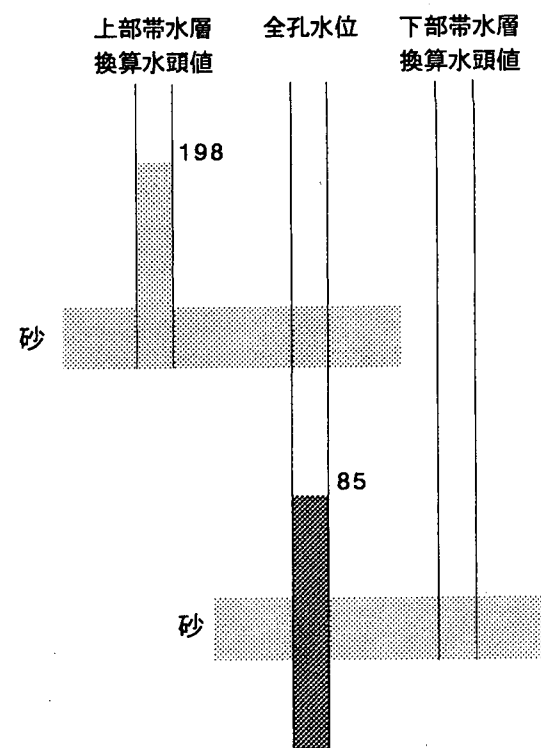


(b) 換算水頭値と孔内水位

図-7 ケース1-3の実験結果

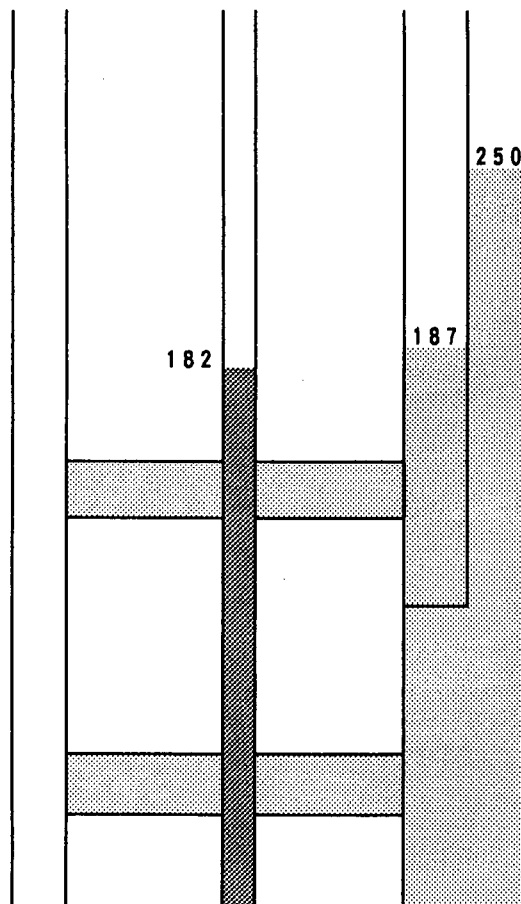


(a) 水槽水位と孔内水位

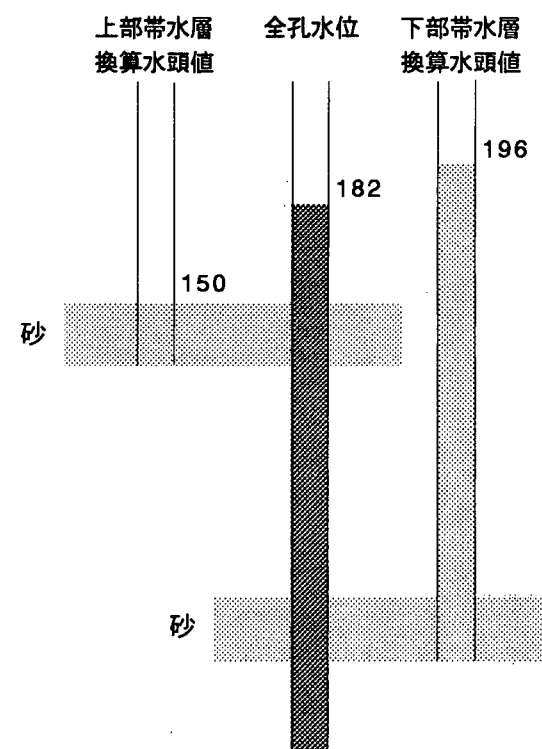


(b) 換算水頭値と孔内水位

図-8 ケース1-4の実験結果

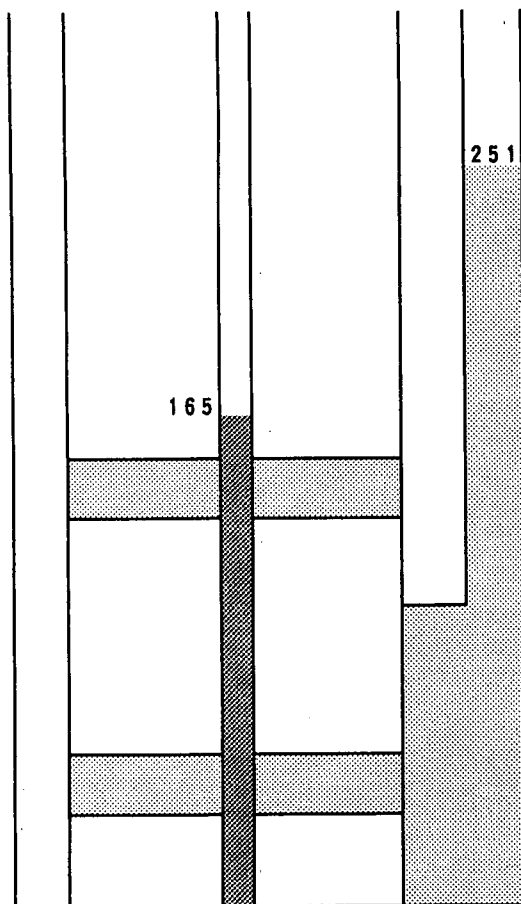


(a) 水槽水位と孔内水位

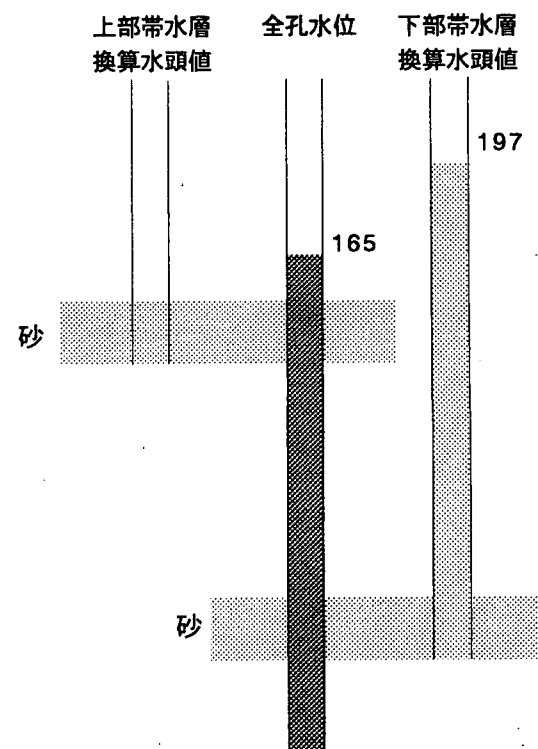


(b) 換算水頭値と孔内水位

図-9 ケース1-5の実験結果

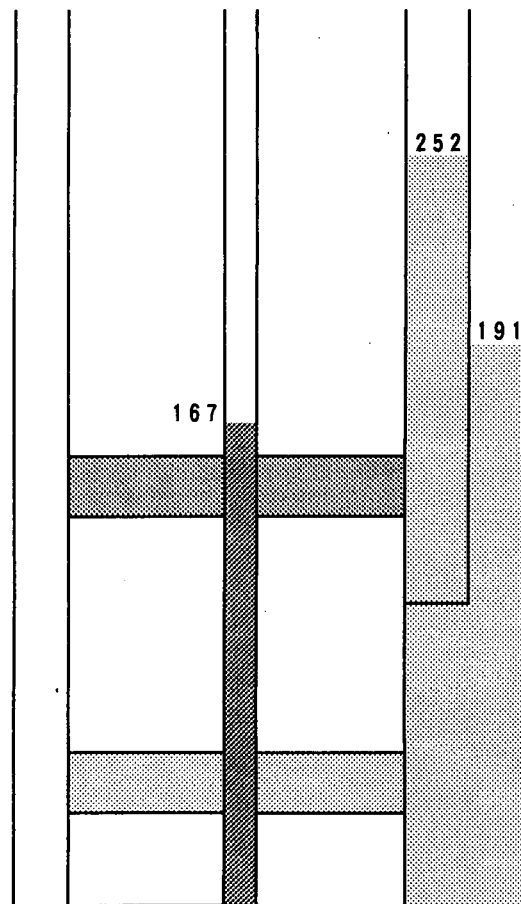


(a) 水槽水位と孔内水位

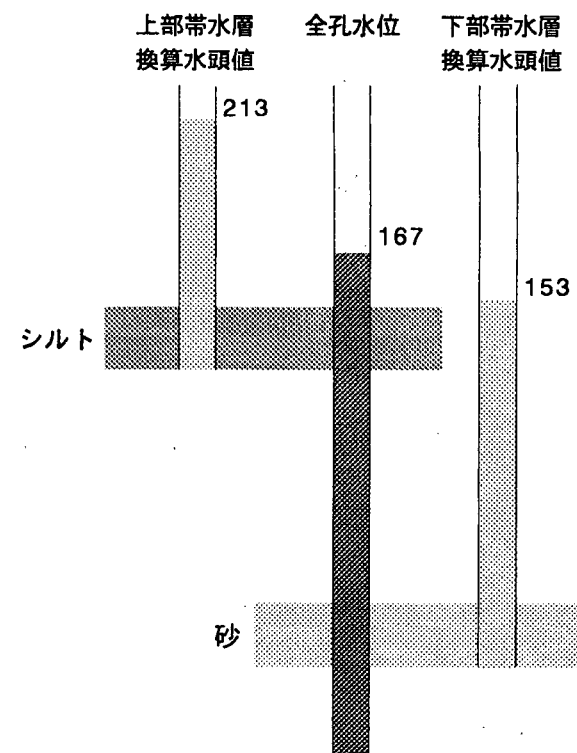


(b) 換算水頭値と孔内水位

図-10 ケース1-6の実験結果

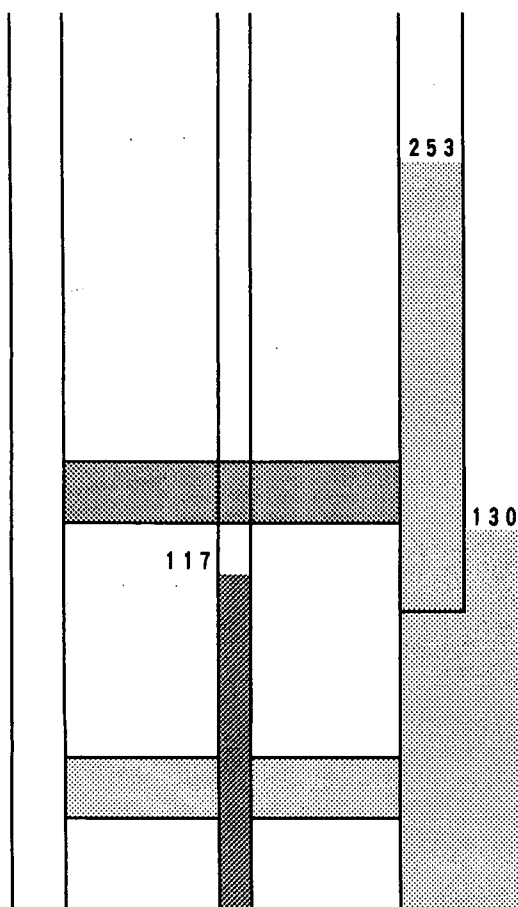


(a) 水槽水位と孔内水位

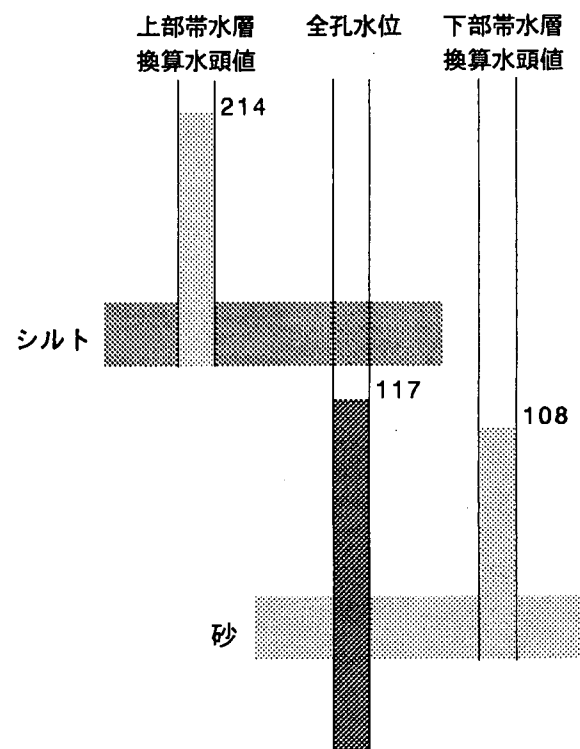


(b) 換算水頭値と孔内水位

図-11 ケース2-1の実験結果

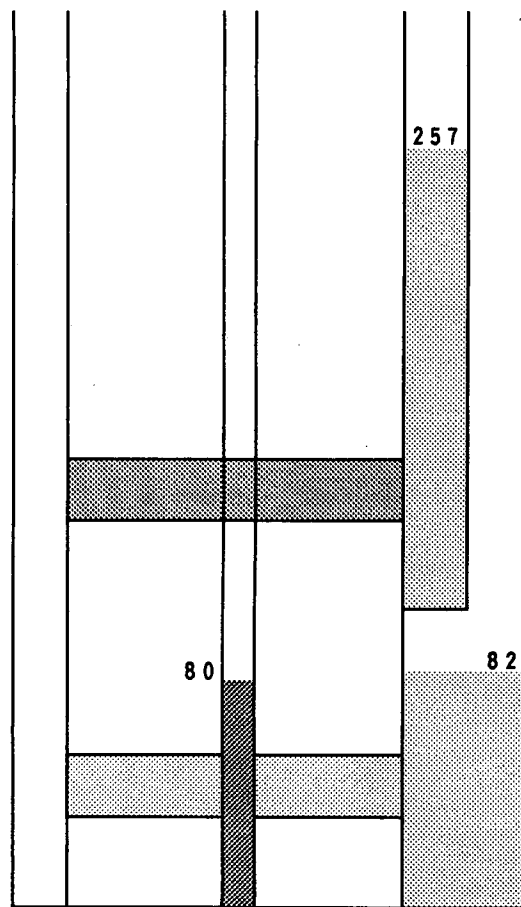


(a) 水槽水位と孔内水位

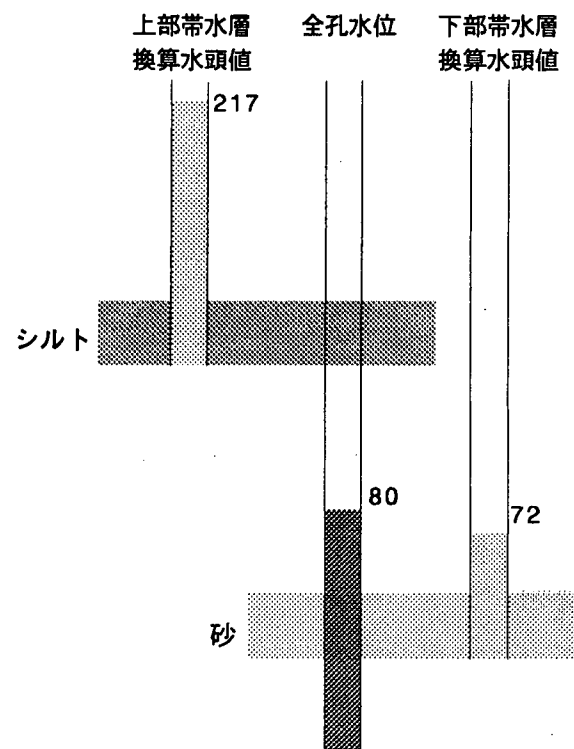


(b) 換算水頭値と孔内水位

図-12 ケース2-2の実験結果

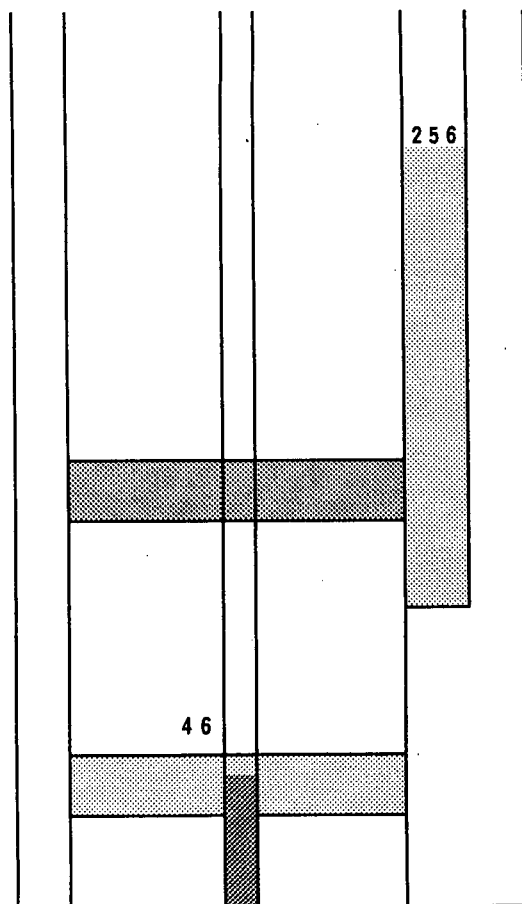


(a) 水槽水位と孔内水位

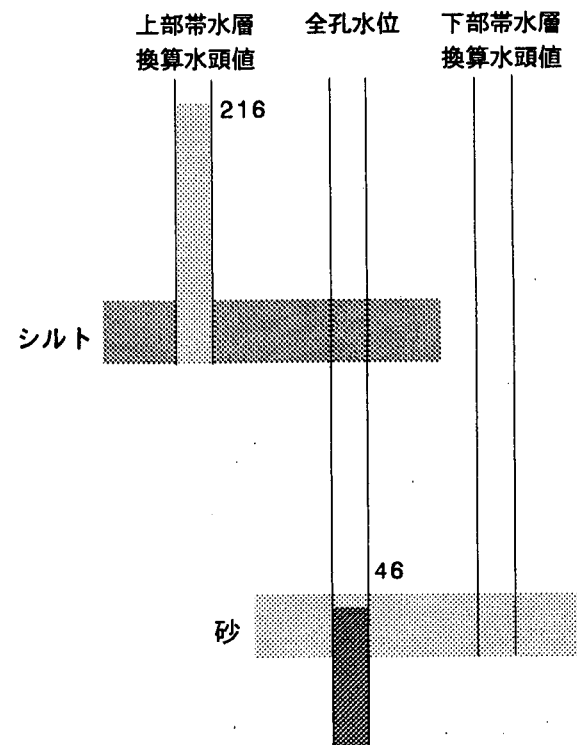


(b) 換算水頭値と孔内水位

図-13 ケース2-3の実験結果

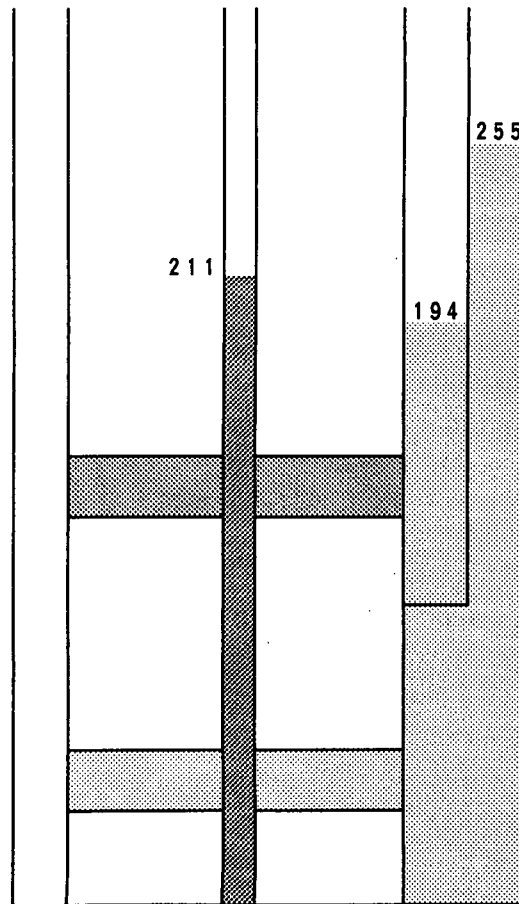


(a) 水槽水位と孔内水位

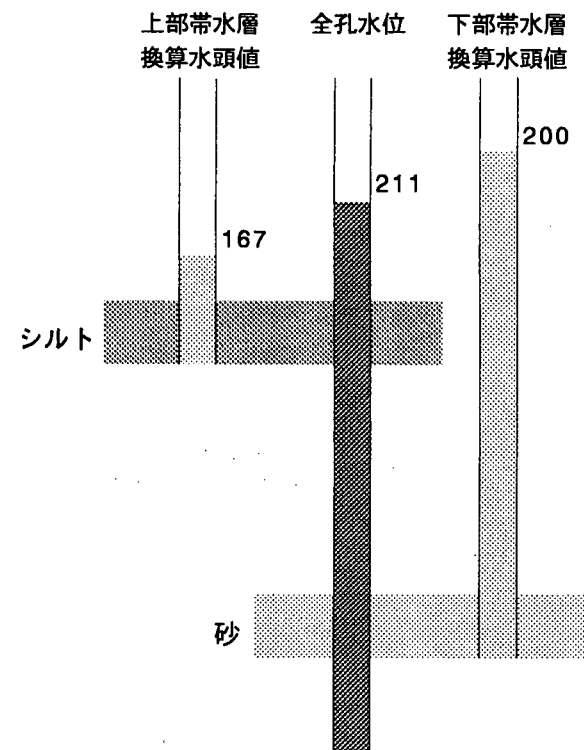


(b) 換算水頭値と孔内水位

図-14 ケース2-4の実験結果

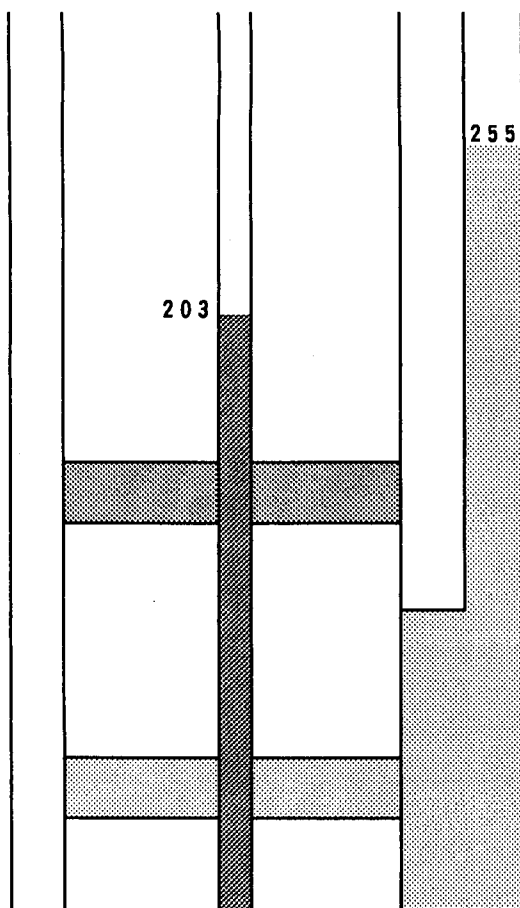


(a) 水槽水位と孔内水位

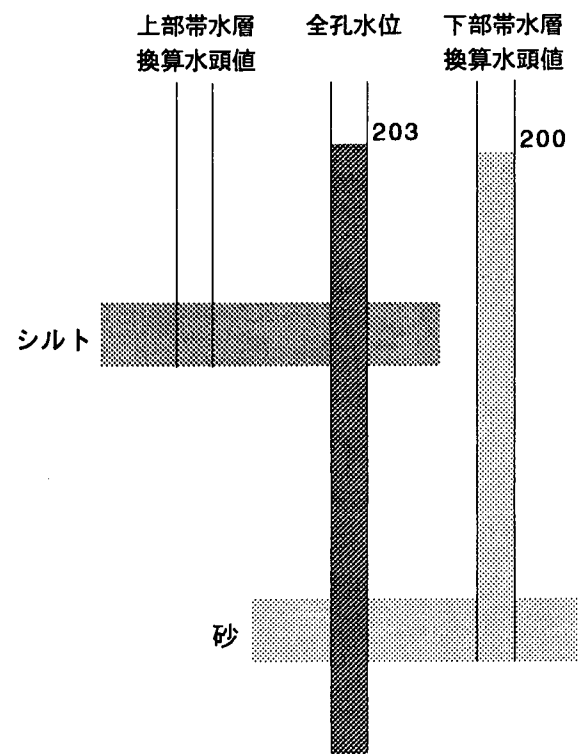


(b) 換算水頭値と孔内水位

図-15 ケース2-5の実験結果

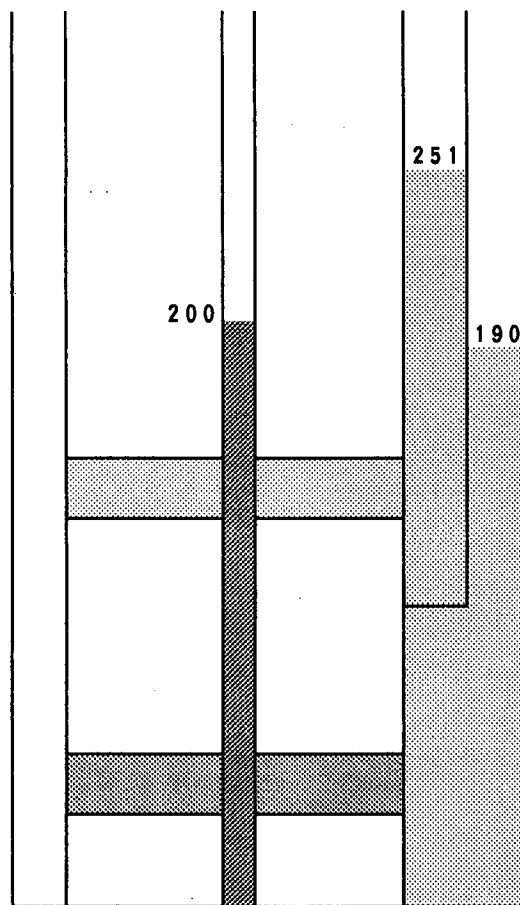


(a) 水槽水位と孔内水位

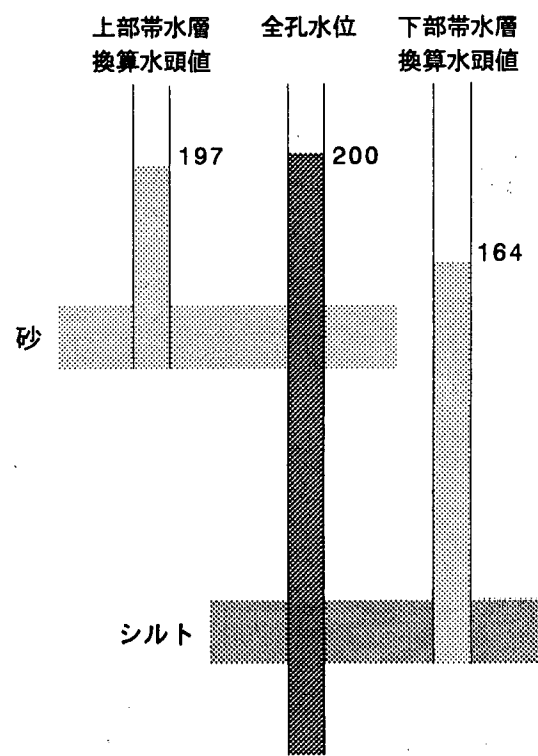


(b) 換算水頭値と孔内水位

図-16 ケース2-6の実験結果

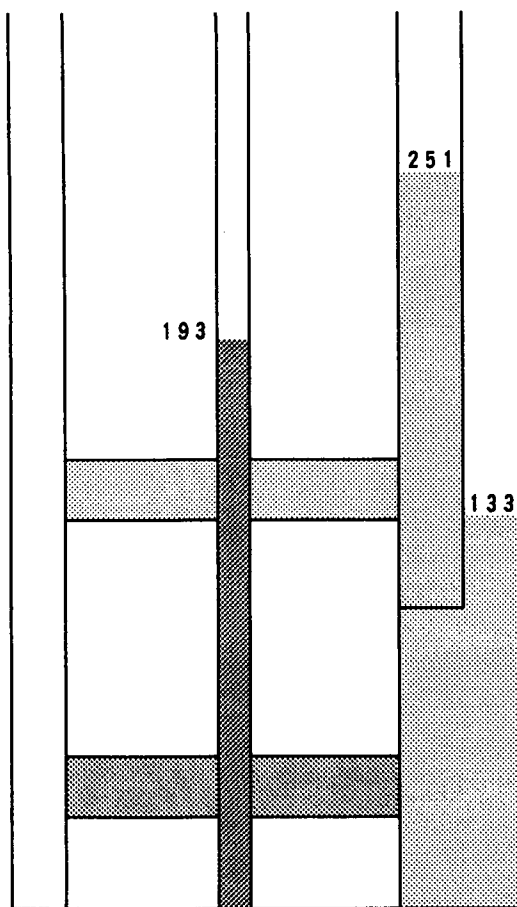


(a) 水槽水位と孔内水位

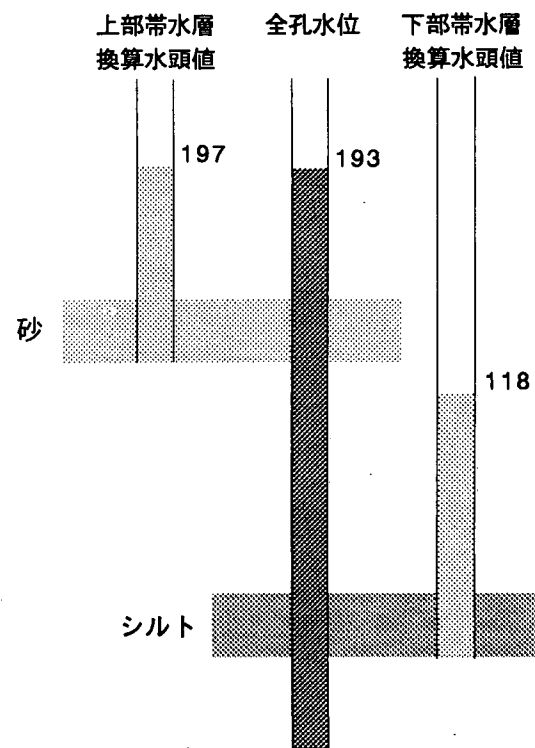


(b) 換算水頭値と孔内水位

図-17 ケース3-1の実験結果

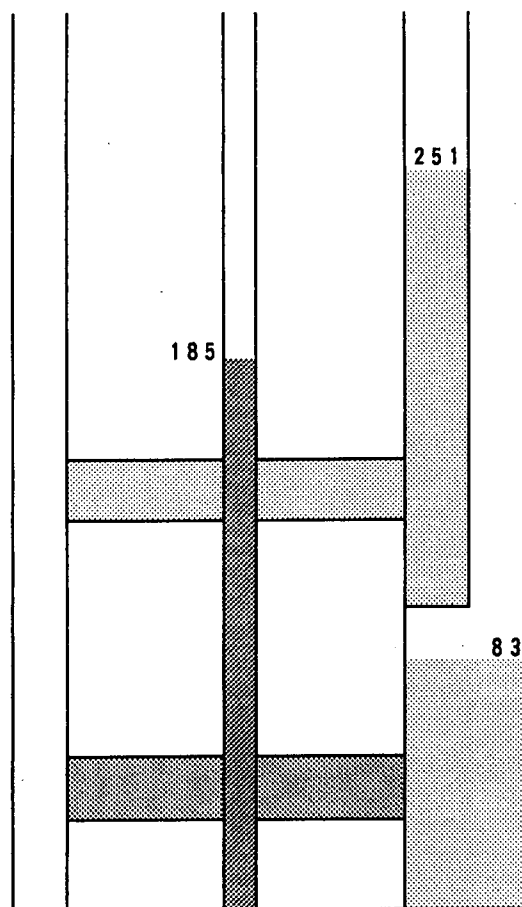


(a) 水槽水位と孔内水位

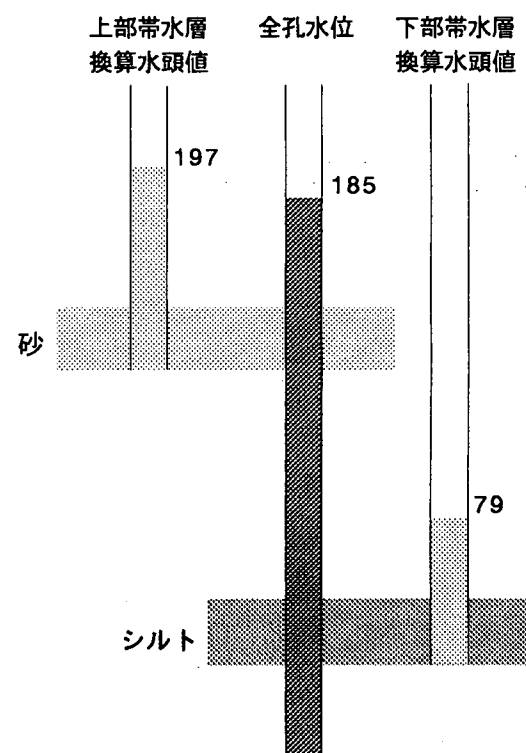


(b) 換算水頭値と孔内水位

図-18 ケース3-2の実験結果

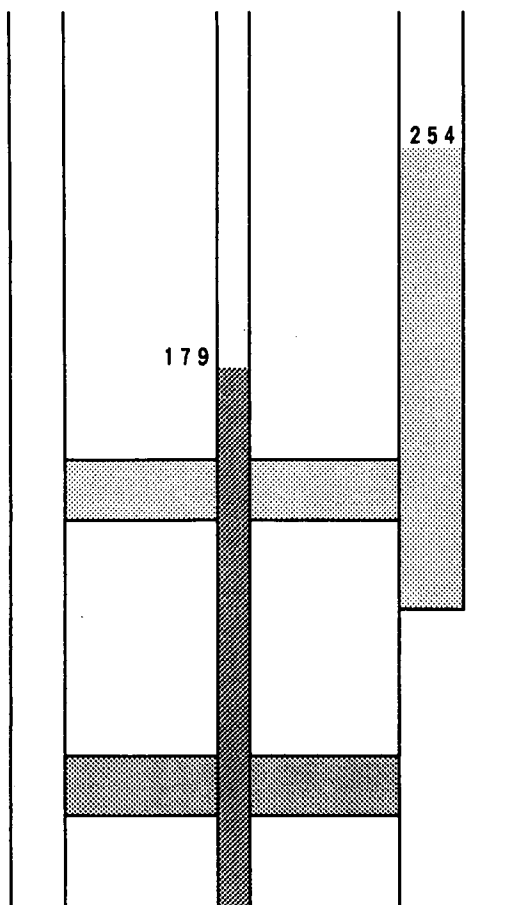


(a) 水槽水位と孔内水位

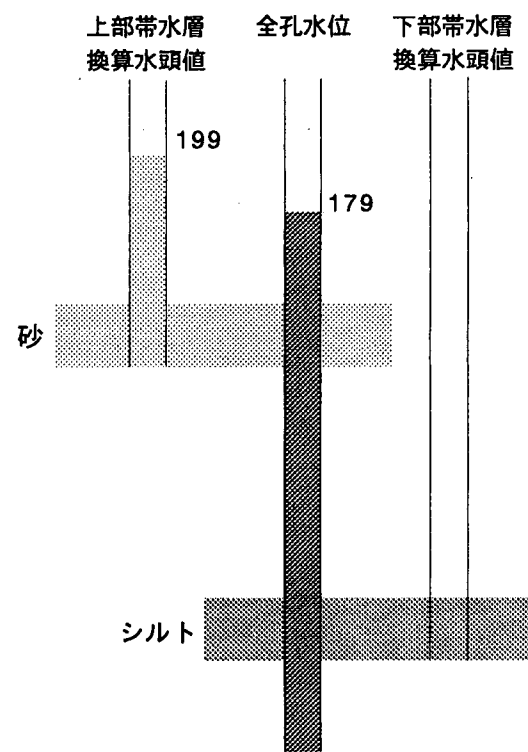


(b) 換算水頭値と孔内水位

図-19 ケース3-3の実験結果

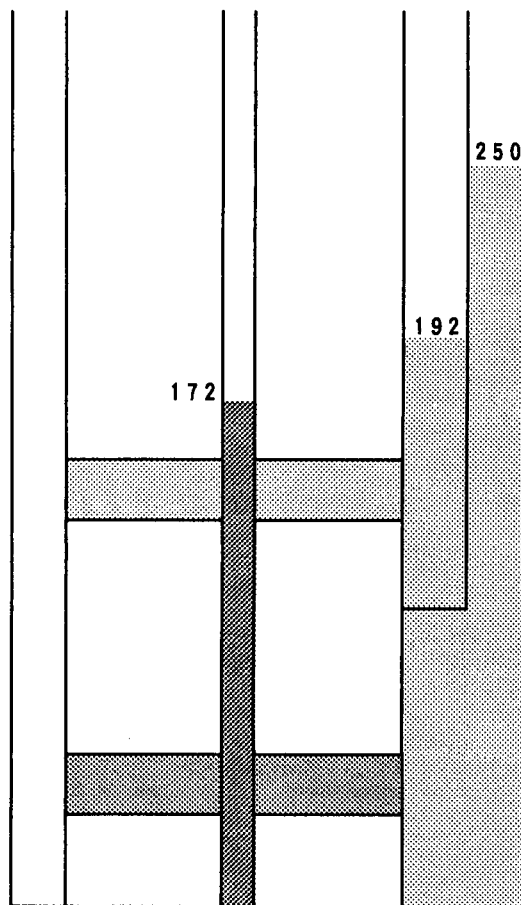


(a) 水槽水位と孔内水位

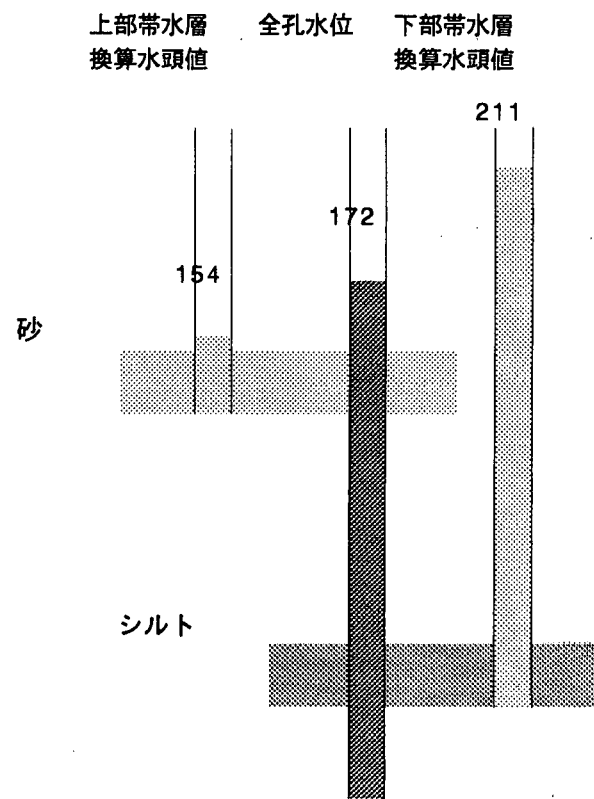


(b) 換算水頭値と孔内水位

図一20 ケース3-4の実験結果

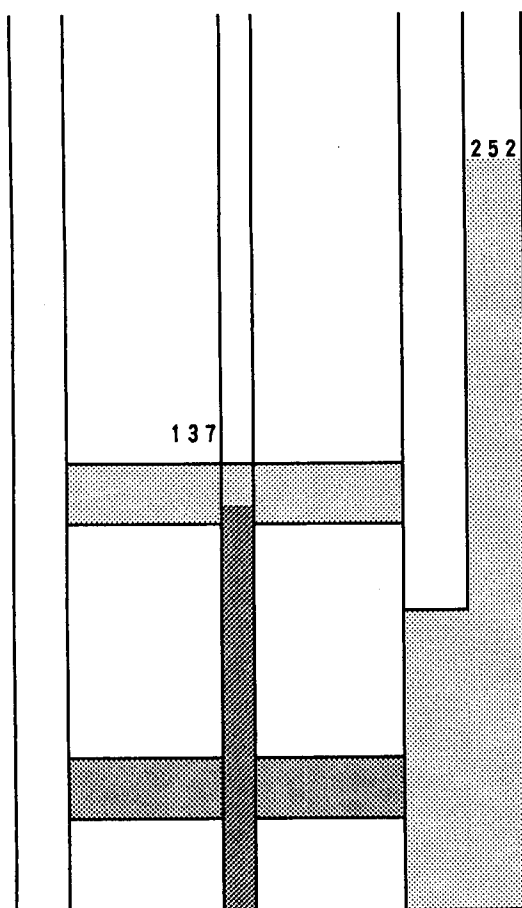


(a) 水槽水位と孔内水位

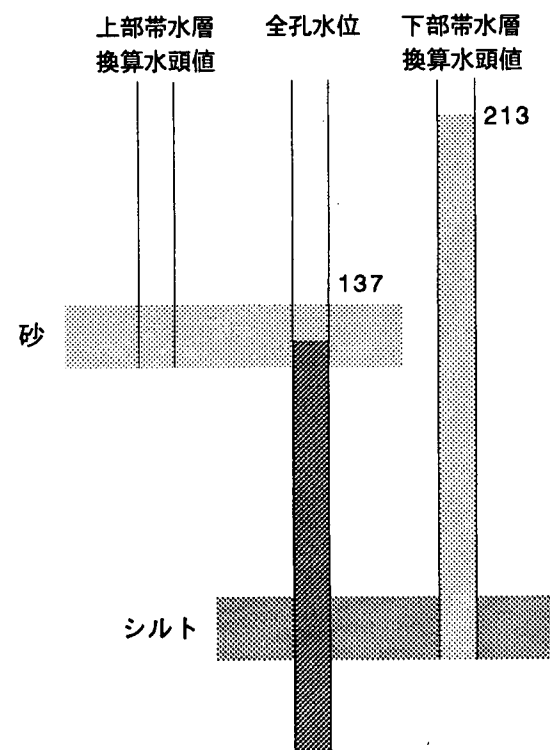


(b) 換算水頭値と孔内水位

図-21 ケース3-5の実験結果



(a) 水槽水位と孔内水位



(b) 換算水頭値と孔内水位

図-22 ケース3-6の実験結果

8. 結 論

以上の実験結果を整理すると、表一3に示すようになり、全孔ストレーパーパイプによる孔内水位は、上下2つの帯水層の水頭の差および上下帯水層の透水性の違いに大きく影響することが分かる。

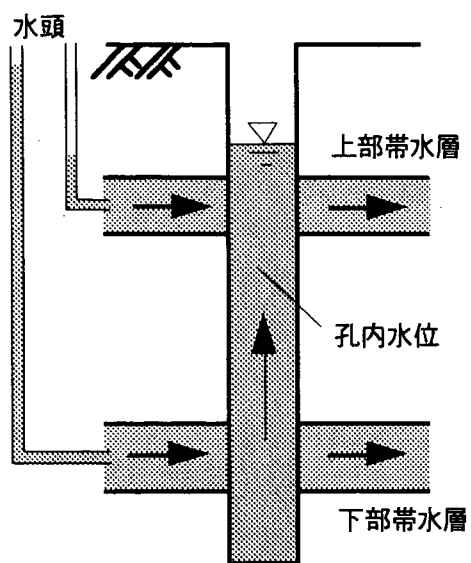
表一3 帯水層水頭値と孔内水位の関係

上下帯水層の透水係数の 相対関係	上下帯水層の水頭値の相対関係	
	上部>下部	下部<上部
上部=下部	全孔水位 $\approx$ (上部+下部) $\div 2$	全孔水位 $\approx$ (上部+下部) $\div 2$
上部<下部	全孔水位 $\geq$ 下部	全孔水位 $\leq$ 下部
上部>下部	全孔水位 $\approx$ 上部	全孔水位 $\geq$ 上部

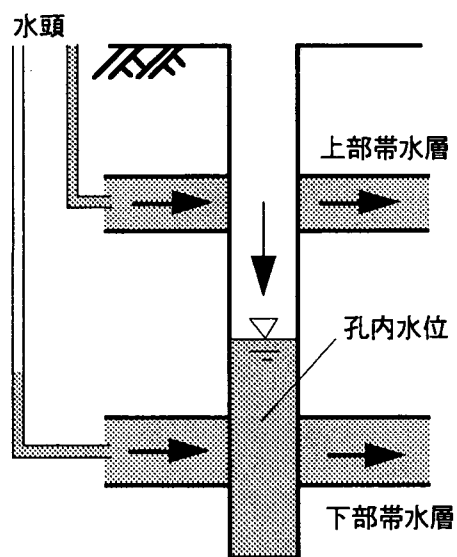
※ $\leq$ ：やや小さい値、 $\geq$ やや大きい値

つまり、全孔ストレーパーパイプにおける孔内水位は上下帯水層間の水頭差によってパイプ内に流れが生じた結果形成され、たとえば、図一23(a)に示すように下部帯水層の水頭が上部帯水層の水頭よりも高い場合には下部帯水層からの水が全孔ストレーパーパイプを通して上部帯水層へ流れ、反対に、図一23(b)に示すように上部帯水層の水頭が下部帯水層の水頭よりも高い場合には上部帯水層からの水が全孔ストレーパーパイプを通して下部帯水層へ流れると考えられる。そして、上下帯水層間の流れはその流量（透水係数）にも大きく影響し、流量の大きい帯水層の水頭値の影響を大きく受けるため、流量の差が大きいほど大きい水頭値を持つ帯水層の水頭値に近い値を与える。

したがって、複数の帯水層が存在する場合、全孔ストレーパーパイプでは正確なすべり面に作用する間隙水压を測定することは困難であり、早急に改善する必要がある。なお、今後は現地計測による検証も必要である。



(a) 上部水頭 < 下部水頭



(b) 上部水頭 > 下部水頭

図-23 2つの帯水層における合成水位

あ と が き

今回の実験によって、全孔ストレーナーパイプによる孔内水位は各帯水層の水頭値の合成であることが明らかとなった。特に、単純に各帯水層ごとの水頭値の差によって孔内水位が形成されるのではなく、各帯水層を流れる水の流量が大きく孔内水位に影響を与えることが明らかとなった。したがって、複数の帯水層を持つ位置に設置されている全孔ストレーナーパイプによる水位観測孔においては早急に地下水位の測定方法を見直す必要がある。ただし、すべり面に作用する間隙水圧のみを測定するためには、正確なすべり面位置の把握や正確な設置が必要であり、この点についてもさらに精度の高い調査手法の開発が不可欠である。