

土 木 研 究 所 資 料

泥水シールド工法に関する試験研究報告書
—泥水の物性と砂層の安定性に関する試験—

昭和 5 8 年 3 月

建設省土木研究所

道路部トンネル研究室

泥水シールド工法に関する試験研究報告書

—— 泥水の物性と砂層の安定性に関する試験 ——

目 次

1 概 説	1
2 試験方法	2
2.1 粘性試験	2
2.2 P H試験	2
2.3 比重安定性試験	2
2.4 A P I ろ過試験	2
2.5 透水試験	4
2.6 掘削透水試験	4
2.7 使用材料	8
3 試験結果と考察	11
3.1 粘性試験	11
3.2 P H試験	14
3.3 比重安定性試験	15
3.4 A P I ろ過試験	17
3.5 透水試験	19
3.6 掘削透水試験	22
4 ま と め	51

ま え が き

土木研究所トンネル研究室では、湾岸地域等における道路トンネル建設工法の一つとして、シールドトンネル工法の可能性に注目し、昭和53年度より、泥水シールド工法に関する研究を進めてきたところである。

道路トンネルは、大断面トンネルであり、未だその適用事例はなく、この工法の適用に際しては、経済的問題のみならず、種々の技術的課題を克服しなければならない状況にある。

本報告書は、この問題について、トンネル研究室で行ってきた一連の研究のうち、泥水シールド工法で切羽に使われる泥水に関して行った種々の調査試験を、取りまとめたものである。泥水は、切羽の安定を左右するものであり、地山や施工の条件に適したものでなければならない。すなわち、泥水は、材料等の画一的な選定では十分な効果が期待できない性質のものであり、使用材料の相違による泥水の性状の違いや、その地山への適用性を把握しておくことは極めて重要である。

本資料が、より適切な泥水シールドトンネルの施工に利用され、また、より合理的な設計施工法の確立のために参考となることをねがうものである。

昭和58年3月

トンネル研究室 室長	水 谷 敏 則
前 トンネル研究室 室長	今 田 徹
現 東京都立大学 助教授	
企画課 トンネル計画官	時 枝 繁
前 トンネル研究室 主任研究員	島 田 巖 乃
現 日本道路公団 本社課長代理	
前 トンネル研究室	木 村 美知秋
現 建設省宇都宮国道工事々務所	
トンネル研究室	石 村 利 明

1. 概 説

シールドトンネル工法は、下水道や地下鉄の建設によく用いられているトンネル工法である。

本工法が、道路トンネルに適用された事例は我国ではないが、大都市周辺の住宅密集地や湾岸部の道路建設でよく問題となる環境や土地利用上の制約に対して、比較的対応が容易な工法であり、今後、都市部の道路建設方法としてクローズアップされる可能性をもっており、その技術的諸問題について調査研究を行っておく必要がある。

本工法を道路トンネルに適用する際、まず問題となるのは、2車線以上の道路トンネルでは、その断面が、従来、この工法により建設されたものに比べ、大口径とならざるを得ない点である。大口径になれば、単に工費が増大するのみでなく、湧水や地層の変化への対応が難しくなり、切羽の安定の保持がより困難となってくる。その他、地表沈下の増大、推進力の必要等、種々の問題が生じてくる。

これらのうち、切羽の安定保持、地表面の沈下対策として有力な工法の一つが泥水加圧シールド工法という密閉式シールド工法である。泥水加圧工法は、シールド材前面の切羽部に、加圧した泥水を送り、掘削した土砂をこの泥水に攪拌混入させ排土しながら前進するという工法であり、噴発の危険が少なく、地表沈下対策としても有効とされている。

この泥水加圧シールド工法の切羽安定のメカニズムは複雑で十分に解明されているとは言えず、また、地山の性質によっても異なるが、その非常に重要なメカニズムとして、滞水砂質層における泥膜の形成がある。これは、加圧された泥水が、切羽前面に貼り付き、あるいは、切羽部の地山に一部浸入し、地山の表層剥離を防止し、泥水の逸水を止めるなど切羽をより安定させる作用を有するものである。しかし、この効果は、どんな泥水にでも期待できるものではなく、地山の性質や加圧する圧力に適した粘性、透水性、透過性、比重等を有していなければならない。

この問題に対し、本研究室では、代表的な泥水材料として、ベントナイト、沖積粘土、CMCを選び、その混合比を変え各種の材料試験を行い、粘性、PH、比重等の物理的、化学的性質について検討するとともに、泥水が地山に対して使用される場合の透水性等の適性の検討を行った。

本報告書は、これらを取りまとめたものであり、試験方法および、試験結果の考察、まとめとからなっている。

2. 試験方法

泥水シールド工法によるトンネル掘進に使用する泥水は、ベントナイト、沖積粘土、CMCなどと水を混合して調整されるが、ここでは、これら3種の泥水用材料をつかった泥水の粘性試験、PH試験、比重安定性試験、APIろ過試験、透水試験及び掘削透水試験を実施した。試験の流れを図-2.1に示す。

2.1 粘性試験

(1) ファンネル粘度計による試験

試料(図-2.1)及び48時間放置した試料について図-2.2に示す容量500mlのファンネルを使用して試料の流出に要する時間(秒)を測定した。

(2) VGメーターによる試験

ファンネル粘度計の場合と同様の試料について、B8L型VGメーターを使用して粘性を測定した。粘性の高い泥水に対してはローターを、粘性の低い泥水に対してはBLアダプターを用いて、できるだけシリンダーの高回転域で測定するようにした。それぞれ、粘性(C.P.)を求めるための乗数は表-2.1のとおりである。

表-2.1 VGメーター換算乗数表

BLアダプター		換算乗数表 (C P)								
r pm	乗数	ローター								
60	0.1									
30	0.2									
12	0.5									
6	1									
3	2									
1.5	4									
0.6	10									
0.3	20									

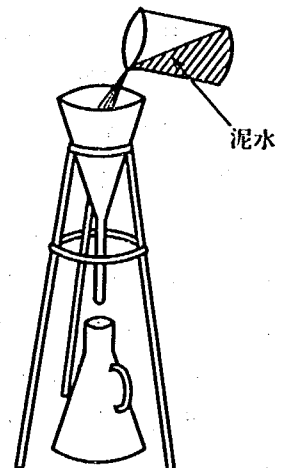


図-2.2 ファンネル粘度計

2.2 PH試験

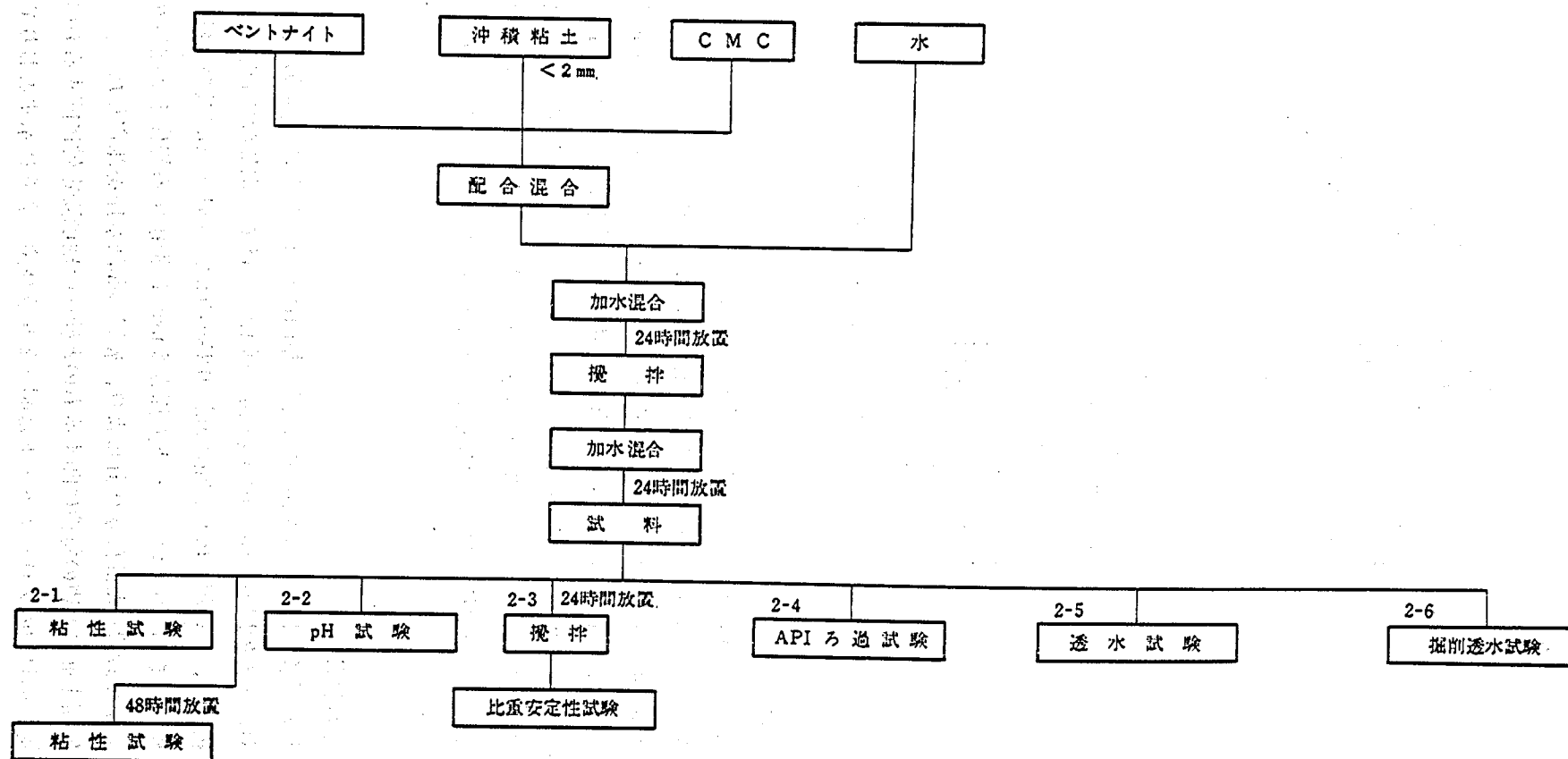
PHメーターをフタル酸塩標準液(PH 4.01)と中性リン酸塩液(PH 6.86)を用いて検定した後、泥水のPHを測定した。

2.3 比重安定性試験

試料は、土の粒度試験(JIS A1204)と同様の比重浮標及びメスシリンダーを用いて、経過時間1分、2分、15分、30分、1時間、4時間、24時間及び48時間の比重を測定した。

2.4 APIろ過試験

図-2.3に示すAPI(American Petroleum Institute)ろ過試験装置のシリンダー内に試



図－2.1 試験の流れ

料 500 ml を入れ 3.0 kg/cm^2 の圧力をシリンダー上部からかけ、30 分間にろ過される水量を測定するとともに、試験後ろ紙上の泥膜を観察した。

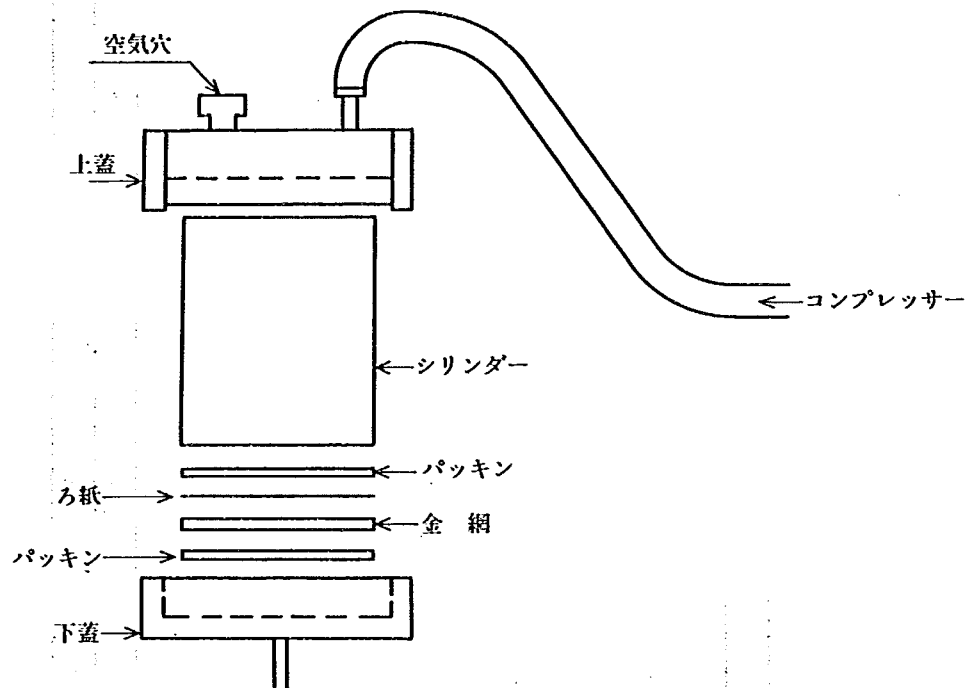


図-2.3 API ろ過試験装置

2.5 透水試験

透水試験は図-2.4 に示す試験槽内に砂 30 kg を 2 層に分けてランマでつき固め、層厚 20 cm となるようにした後、層の底部から徐々に水位を上げて砂層を飽和状態とし、試験槽内を水で満たし、圧力槽を通して 0.8 kg/cm^2 の圧をかけて透水量が一定となったときから透水試験を行った。

透水試験終了後、水位を砂層上端まで下げ、圧力槽の水を排除し両槽に泥水を入れ、試験槽の泥水圧を 0.1 kg/cm^2 、 0.2 kg/cm^2 、 0.4 kg/cm^2 、 0.6 kg/cm^2 (0.8 kg/cm^2) と上げていき、各圧力段階での経過時間 6 秒、9 秒、15 秒、30 秒、1 分、1 分 30 秒、2 分、3 分及び 5 分において透水量を測定した。しかる後、試験槽を 90° 傾けて砂層上面が鉛直となるようにして槽内の圧力を下げて砂層の安定性を観察した。

2.6 掘削透水試験

前節に示した試験と同じ装置を用いて、試験槽内に 5 cm ごとに締固めた砂層を 4 層、計 20 cm の砂層をつくり、まず砂層の上面に 0.2 kg/cm^2 の水頭をかけて透水係数を測定した後、砂層上部の水を泥水と入れ換えて、この泥水に 0.1 kg/cm^2 、 0.2 kg/cm^2 、 0.3 kg/cm^2 及び 0.4 kg/cm^2 の圧力をかけ、各段階で砂層上面を巾 10 cm のブレードで深さ 5 mm に掘削する操作を 2 回繰返し、砂層表面から 5 cm 及び 15 cm に設置した間隙水圧計により、砂層の間隙水圧を測定した。

試験では砂層上面の泥膜の特性に関するものと砂層の掘削安定性に関するものを各 5 ケース行っており、それぞれの試験のプロローグは図-2.5 及び図-2.6 に示すとおりである。

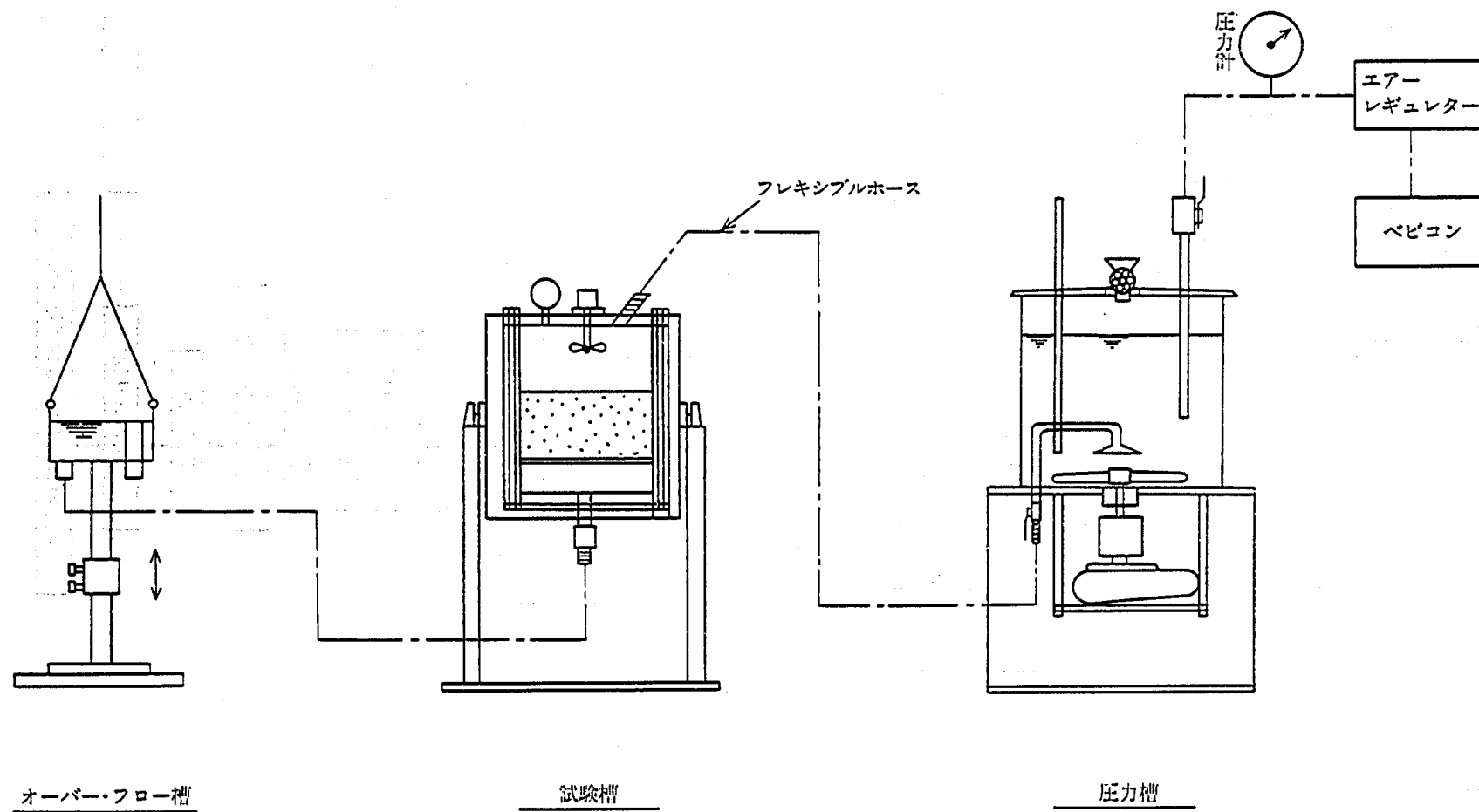


図-2.4 透水試験装置配置図

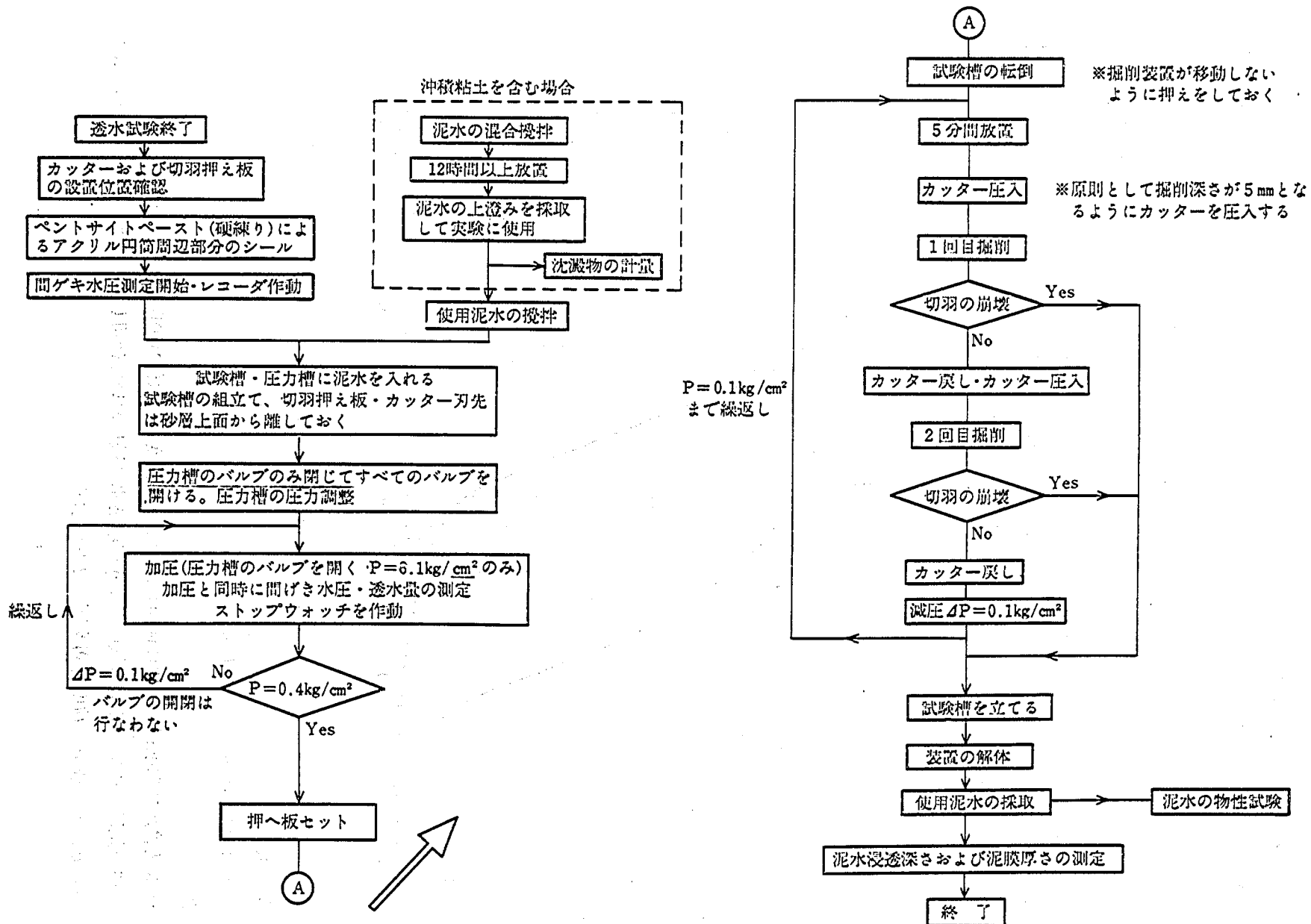


図-2.6 掘削透水試験フローチャート(掘削安定性)

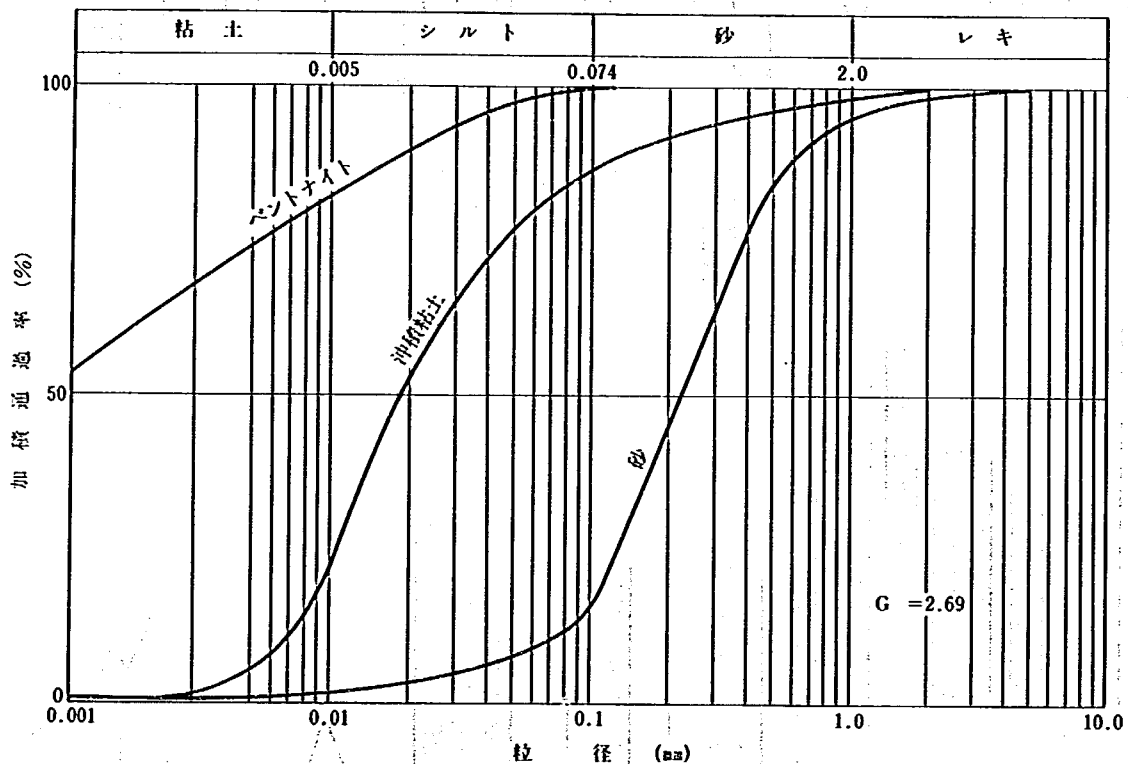
2.7 使用材料

(1) 砂、沖積粘土及びベントナイト

試験に用いた砂、沖積粘土及びベントナイトの粒度分布等の試験結果を表－2.2、図－2.7に示す。

表－2.2 使用材料物性試験結果一覧表

	粒 度 試 験			粘土分%	比重試験	液性限界 WL %	塑性限界 WP %	塑性指数 IP %
	レキ分%	砂分 %	シルト分%					
沖 積 粘 土	0.0	17.0	78.0	5.0	2.698	49.9	32.9	17.0
ベントナイト	0.0	0.1	25.9	74.0	2.487	—	—	—
砂	2.0	87.0	10.0	1.0	2.710	—	—	—



図－2.7 使用材料粒度分布

(2) 泥 水

泥水の配合割合を表－2.3に示す。

(3) 砂 層

透水試験及び掘削透水試験に使用した砂の乾燥密度と透水係数の関係を図－2.8に示す。

一連の試験の中で2.5 透水試験、2.6 掘削透水試験において使用した材料配合は表－3.1に示すとおりで、その成分の粒度分布を図－2.9に示す。

表-2.3 泥水配合表(重量比)

(a) 泥水の物性試験

	S1-1	S1-2	S1-3	S1-4	S1-5	S2-1	S2-2	S2-3	S2-4
水	100	100	100	100	100	100	100	100	100
ベントナイト	-	6	8	10	12	-	1	5	8
沖積粘性土	-	-	-	-	-	10	8	5	1
C M C	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	S3-1	S3-2	S3-3	S3-4	S3-5	S3-6	S3-7		
水	100	100	100	100	100	100	100		
ベントナイト	-	10	5	10	-	10	5		
沖積粘性土	10	-	5	-	10	-	5		
C M C	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.4	0.4		

(表中の数字は概略の値を示している)

(b) 透水試験

	P-1	P-2	P-3
水	100	100	100
ベントナイト	10	10	10
沖積粘性土	-	-	-
C M C	0	0.2	0.2

(c) 掘削透水試験

	SP-1	PS-2	PS-3	PS-4	PS-5	PS-6	PS-7	PS-8	PS-9	PS-10
水	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
ベントナイト	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
沖積粘性土	-	-	-	3.25	1.30	3.74	3.24	3.17	1.31	1.58
C M C	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

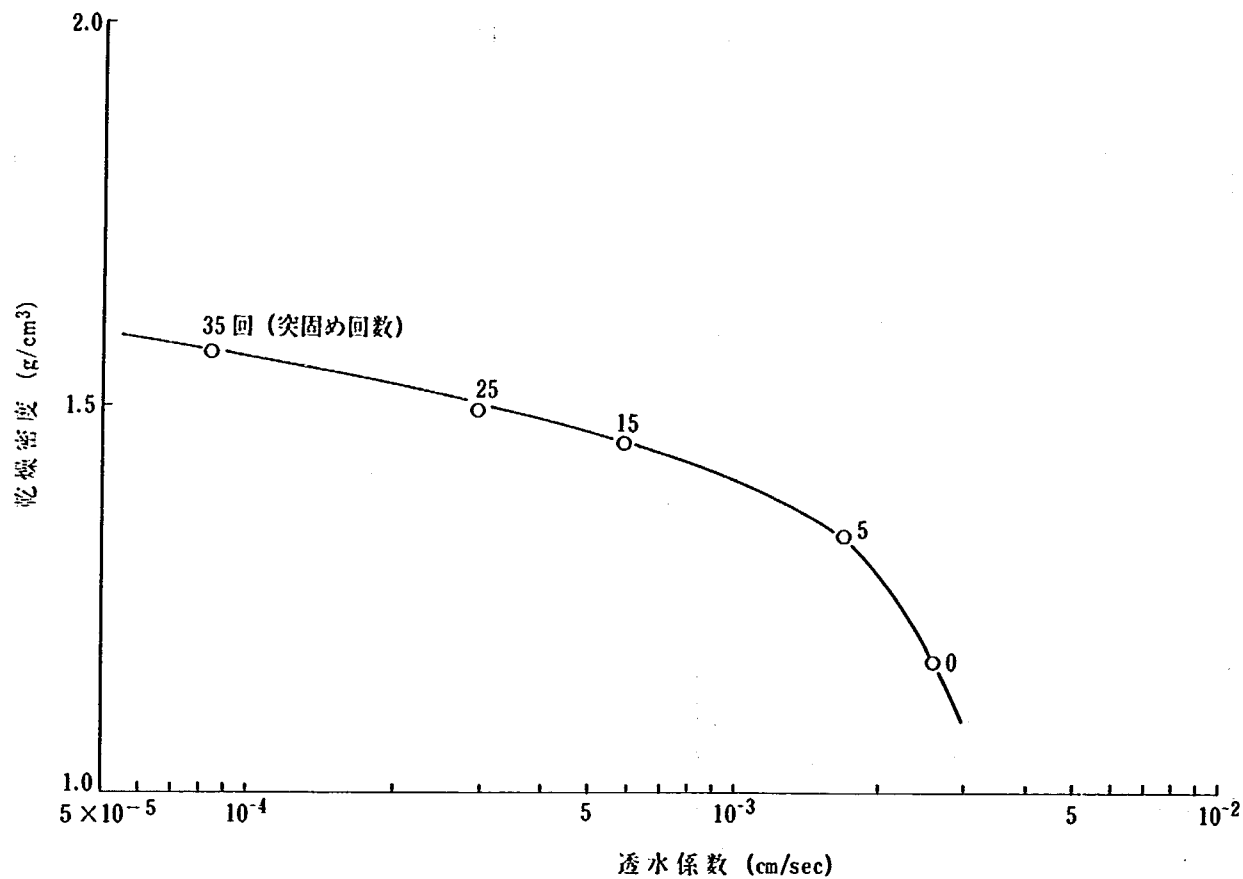


図-2.8 乾燥密度と透水係数

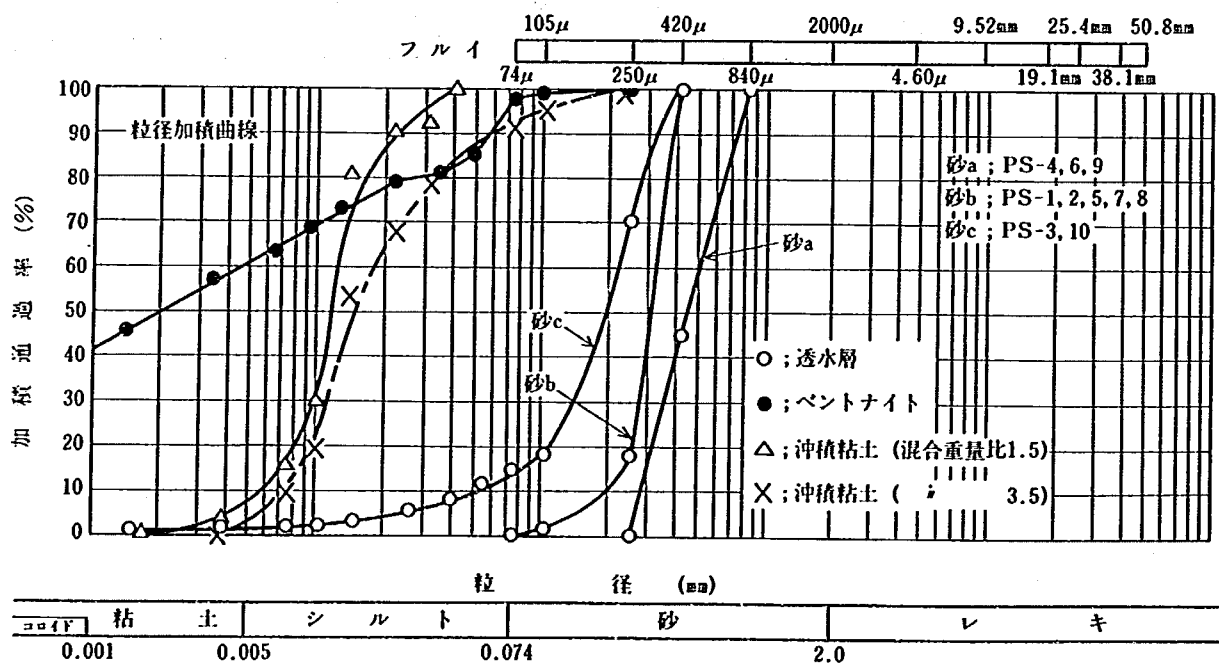


図-2.9 使用材料粒度分布

3. 試験結果と考察

3.1 粘性試験

攪拌後1分及び24時間後のファンネル粘度あるいはVGメーターによる粘度（以後VG粘度とよぶ）とベントナイト混合率の関係を図-3.1, 3.2に, CMC混合率との関係を図-3.3, 3.4に示す。ベントナイト混合率が7%を越えると急激に増加するとともに、シクソトロピー^{*}による粘性の増加も顕著になっている。ベントナイト混合率が一定の場合のCMCの混合による粘性の増加はほぼ一定割合となっており、経時的な粘性の増加はベントナイトの影響が大きいことがわかる。

図-3.3をみると、ベントナイト混合率が低いとCMCによる粘性増加の効果も少ないことがわかる。

図-3.5は比重とファンネル粘度との関係を示しているが、比重が1.05以下になるとほぼ水と同じ粘性になっており、泥水としての効果は少ないことがわかる。

図-3.6はファイネル粘土とVG粘度の関係を示したもので、50 cp程度まではかなりよい相関を示しているが、それ以上では、ファンネル粘度計の適用範囲を越えているためにばらつきが大きくなっていると思われる。

*) ; 一度強度が低下した材料が時間の経過と共に再び強度を取りもどす現象。

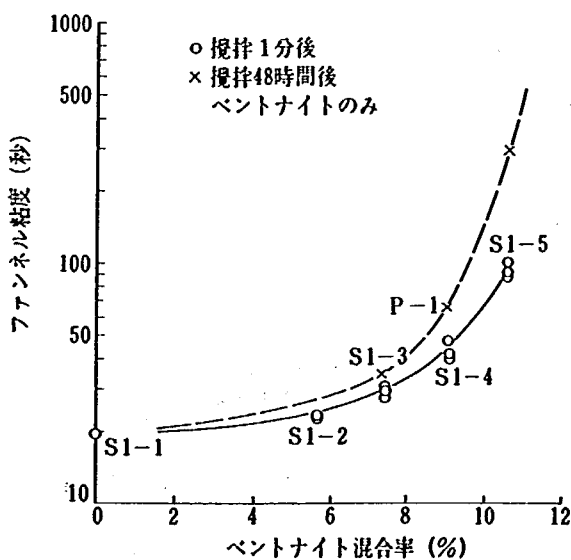


図-3.1 ファンネル粘度とベントナイト混合率

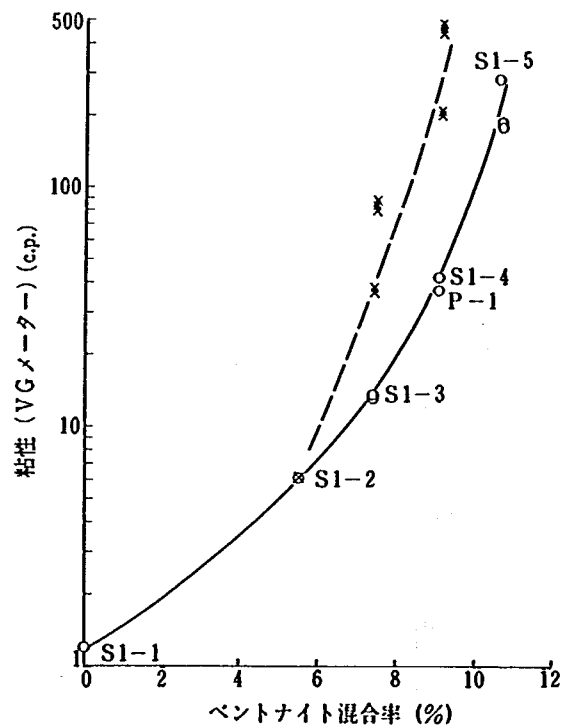


図-3.2 VG粘度とベントナイト混合率

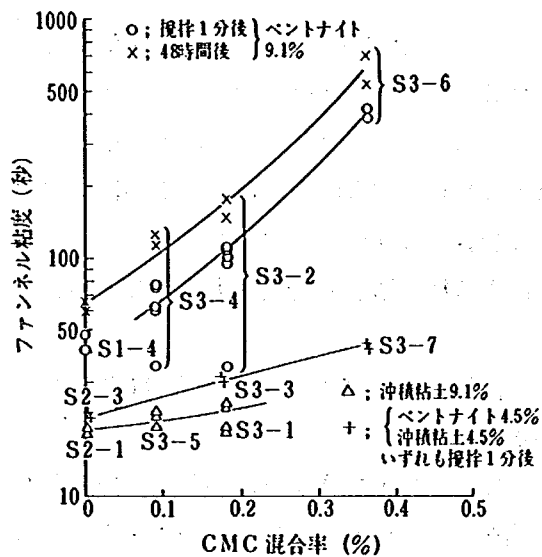


図-3.3 ファンネル粘度とCMC混合率

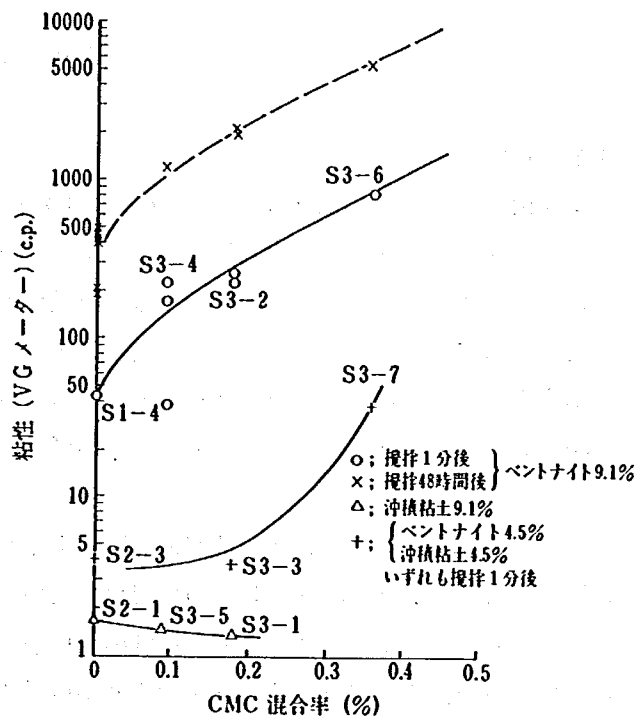


図-3.4 VG粘度とCMC混合率

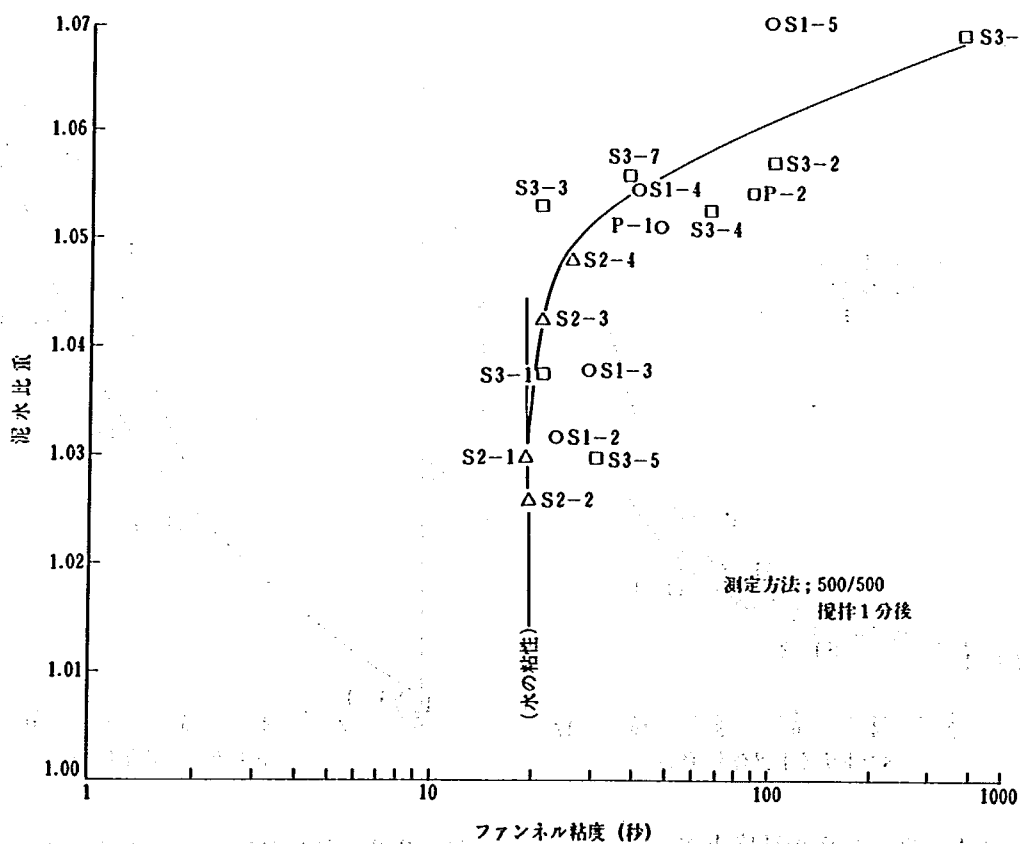


図-3.5 比重とファンネル粘度

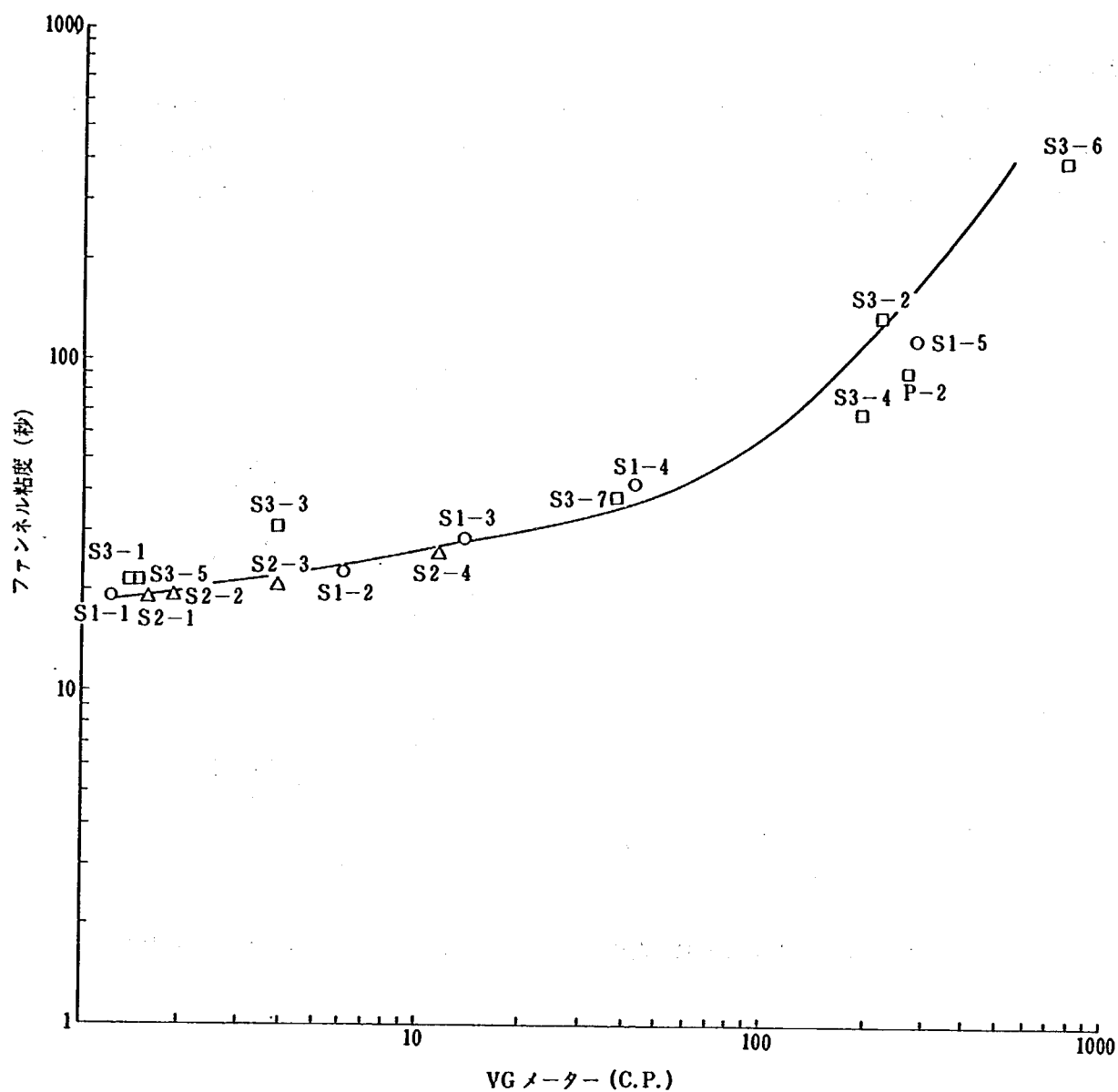


図-3.6 ファネル粘度とVG粘度

3.2 pH 試験

ベントナイト混合率あるいはCMCの混合率の変化に対するpHの変化及び経時変化を図-3.7及び3.8に示す。これらの図をみるとベントナイトが混入した泥水はpHがおおむね9から10に、ベントナイトを混入しない泥水は約8程度となっており、ベントナイトがpH値を上昇させていることがわかる。

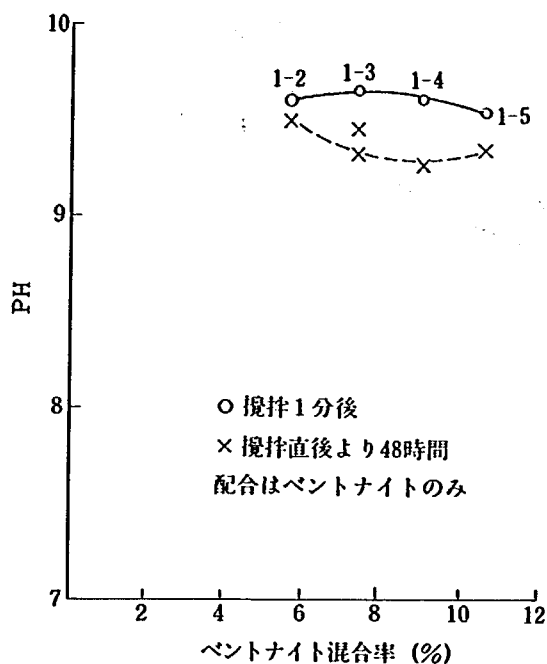


図-3.7 ベントナイト混合率によるPHの変化

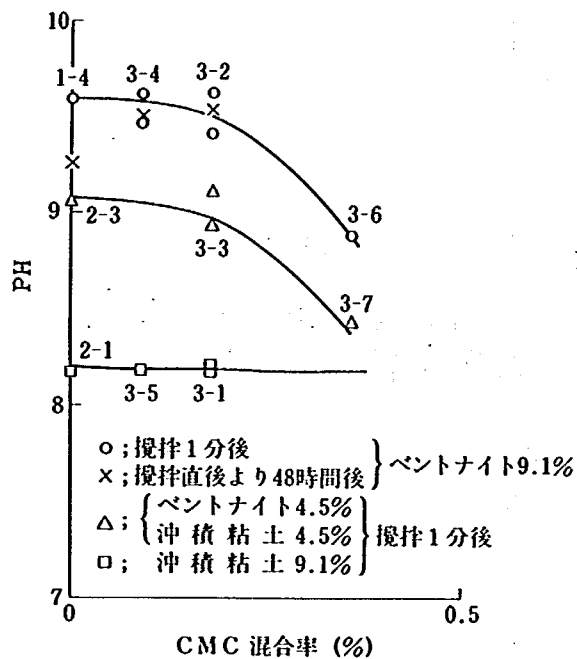


図-3.8 CMC混合率によるPHの変化

3.3 比重安定性試験

表-2.3に示した泥水の比重の経時変化を図-3.9に示す。

図から泥水比重の変化は4時間後にほぼ収まり、以後一定値を保持していることがわかる。この比重の変化によって、時間にほとんど関係なく初期の値を保持するタイプの泥水と、かなりの時間を経過した後一定値を保持するタイプの泥水に分けることができる。前者には、表-2.3に示した場合でS1-5, S3-2, 4, 6であり、ベントナイト混合率が高く、沖積粘土を含まないという特徴をもっていることがわかる。

1分後に測定した比重をA, 48時間後の比重をBとし、比重の低下率を $((A-B)/A) \times 100$ とすると、ベントナイトの混合率の変化に対しては図-3.10に示すように、CMCの混合率の変化に対して図-3.11に示すようになる。

図から、ベントナイト混合率が高くなるにしたがい、比重の低下率は小さくなっていること、ベントナイトや沖積粘土混合率が低ければCMCの混合率が高くなるにつれ比重低下率も高くなることがわかる。

図-3.12は攪拌後1分の泥水比重とCMC混合率との関係を示したものでありCMCの混合率は、他の混合物の混合率に関係なく一定率の比重増加効果をもっていることがわかる。

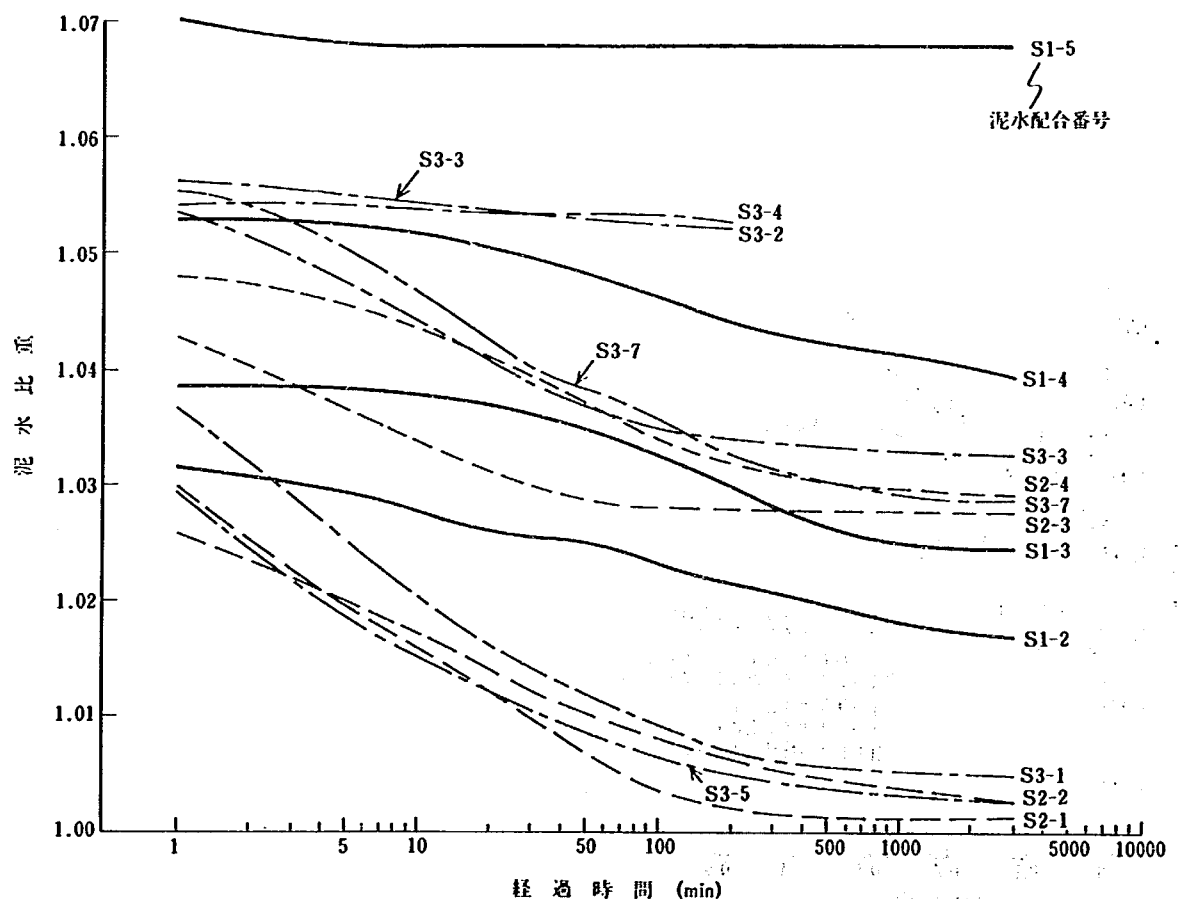


図-3.9 泥水比重の経時変化

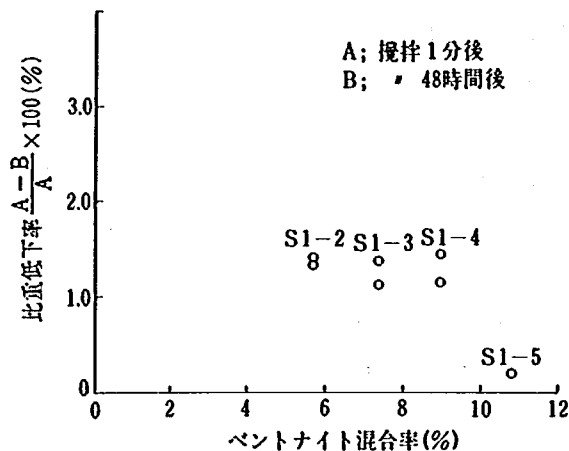


図-3.10 ベントナイト混合率による比重低下率の変化

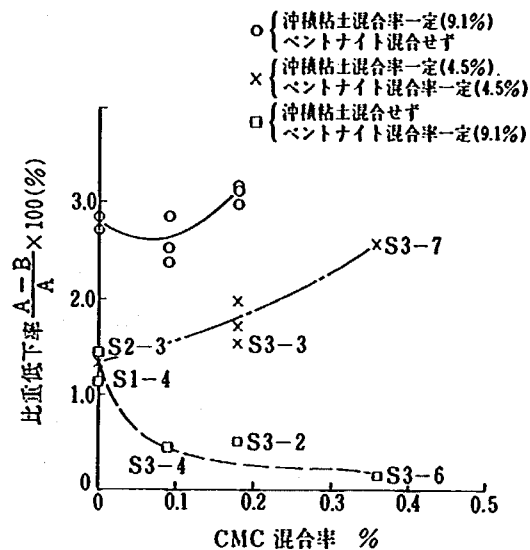


図-3.11 CMC混合率による比重低下率の変化

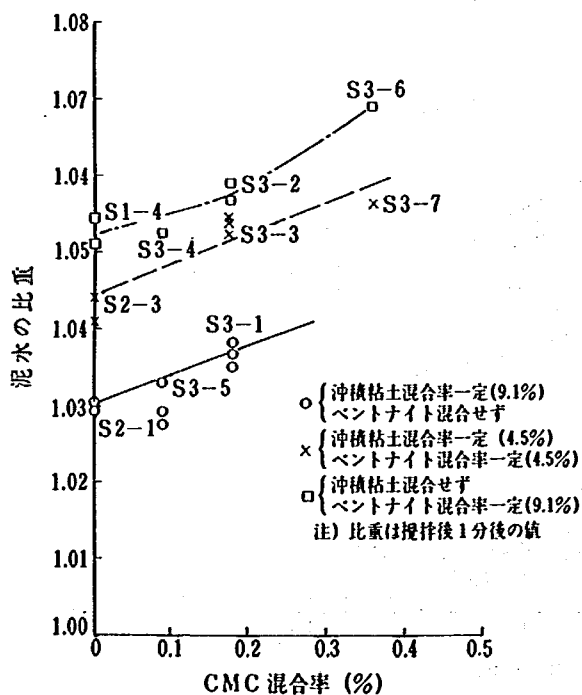


図-3.12 泥水比重とCMC混合率

3.4 API ろ過試験

泥水シールドを使ったトンネル掘進工法においては、圧力泥水によって掘削面に不透水性の泥膜をつくり、掘削面に有効に内圧をかけてその安定を図るのが最大の特徴である。

ベントナイトの混合率あるいはCMCの混合率の変化とろ過水量及び泥膜厚さの関係を図-3.13, 3.14, 3.15に示す。ベントナイトのみの泥水についてみると、ベントナイトの混合率が高くなるにしたがいろ過水量、泥膜厚さとも減少している。CMCを混合すると、沖積粘土のみ、及びベントナイトと沖積粘土との泥水についてはCMCの混合率の増加とともにろ過水量、泥膜厚さとも減少しているが、ベントナイトのみの泥水については泥膜厚さは逆に増加する傾向をみせている。

泥水のAPIろ過試験においては、ろ過水量は10~20ml以下で、泥膜厚さは2~3mmが良好な泥水といわれているが、いま、ろ過水量を10mlとして考えると、ベントナイトのみの場合、その混合率は9%程度、ベントナイト+沖積粘土の混合率が等しく合計9%の場合、CMCの混合率は約0.15%、ベントナイト混合率が約9%の場合、CMCの混合率は約0.1%、沖積粘土の混合率が9.1%の場合、CMCの混合率が約0.2%となっており、CMCは不透水性膜形成に大きく寄与していることがわかる。

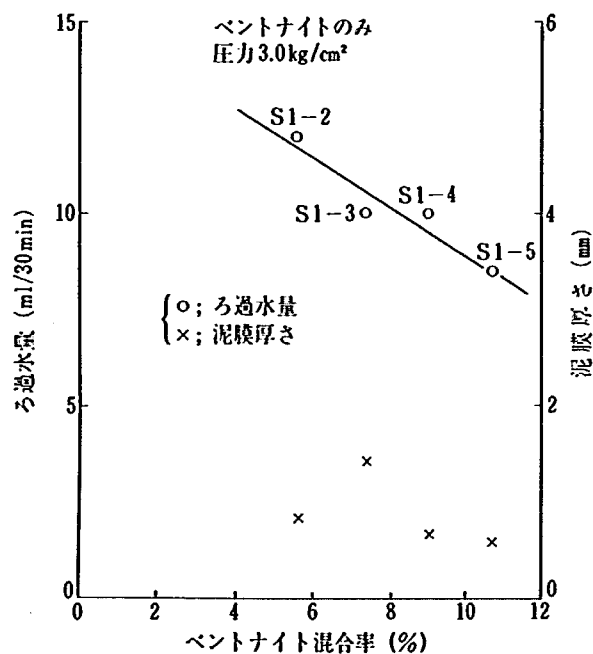


図-3.13 ベントナイト混合率の変化とろ過水量、泥膜厚さの関係

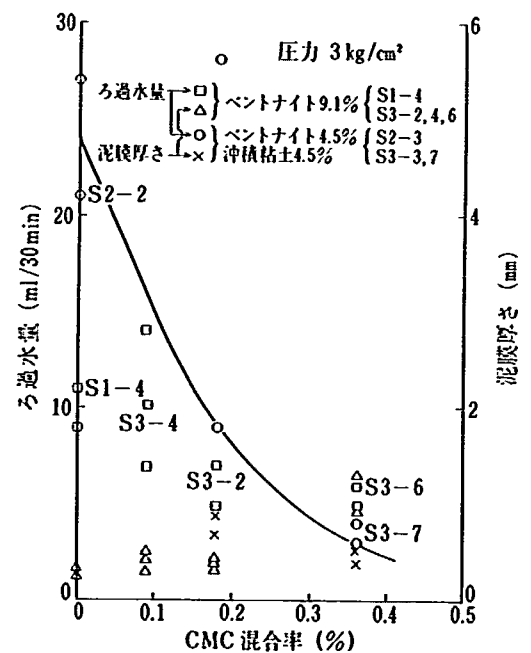


図-3.14 CMC 混合率の変化とろ過水量、泥膜厚さの関係

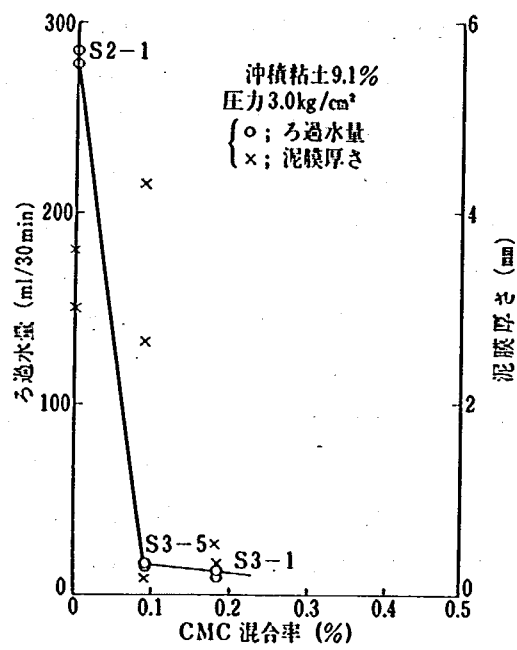
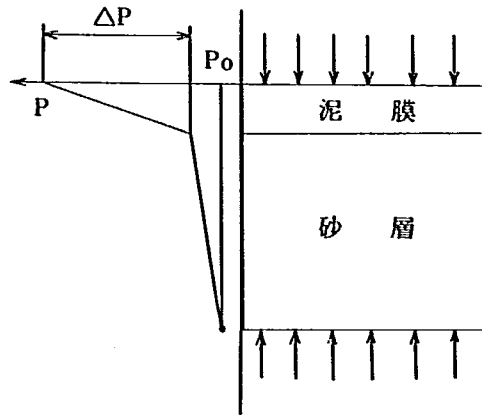


図-3.15 CMC混合率の変化とろ過水量、
泥膜厚さの関係

3.5 透水試験

各圧力段階と透水量の関係を図-3.16, 17及び18に示す。また、砂層表面の泥膜の効果を泥膜による圧力損失の程度を図-3.19の記号に従って



$$Q = k \cdot \frac{(P - \Delta P) - P_0}{L} \cdot A \cdot t$$

から

$$\frac{\Delta P}{P} = \left[\left(1 - \frac{P_0}{P} \right) - \frac{L}{kA} \cdot \frac{Q}{t} \cdot \frac{1}{P} \right]$$

として求めた値をプロットしたのが図-3.20である。圧力が上昇したときに値が一旦下がるのは容器の変形、砂層の圧縮が影響しているものと思われる。(a)と(c)を比較すると、(c)の砂層の透水係数の方が高いにもかかわらず、効率が高いのは(c)の泥水にCMCが混入され、良好な泥膜がより早く形成されており、CMCの効果がでていることを示している。また、泥水が同じである(b)と(c)を比較すると砂層の透水係数の大きい(c)のほうが有効な泥膜の形成が早くなっているのは興味深いことである。(b)の図で圧力が0.5 kg/cm²をこえると効率が下がっているのは槽と砂層の境界からの逸泥によるものである。

図-3.19 透水試験時の圧力状態

好な泥膜がより早く形成されており、CMCの効果がでていることを示している。また、泥水が同じである(b)と(c)を比較すると砂層の透水係数の大きい(c)のほうが有効な泥膜の形成が早くなっているのは興味深いことである。(b)の図で圧力が0.5 kg/cm²をこえると効率が下がっているのは槽と砂層の境界からの逸泥によるものである。

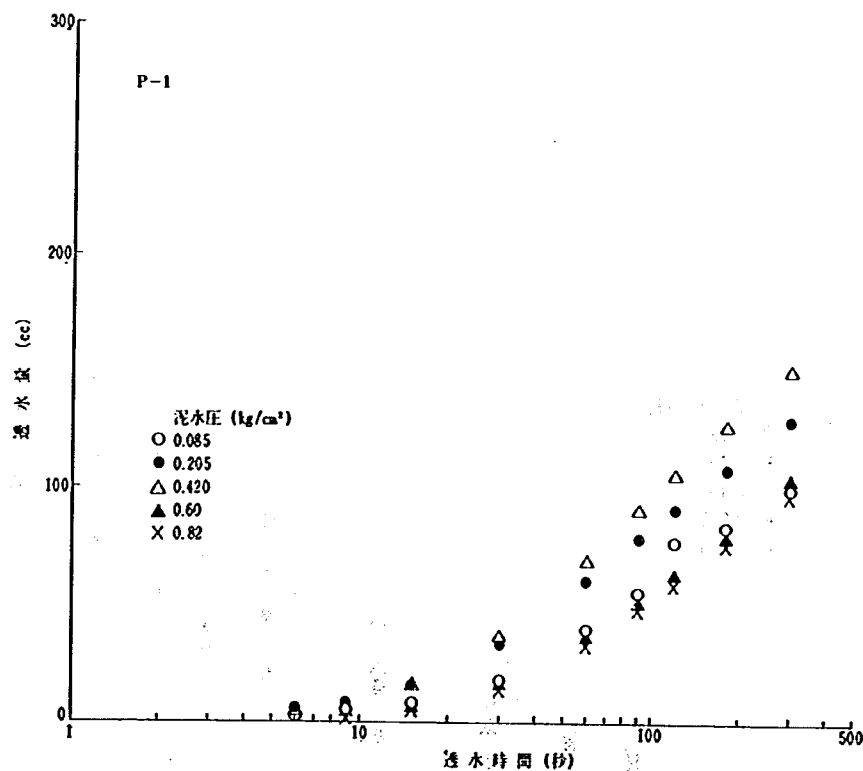


図-3.16 各圧力段階と透水量の関係 (P-1)

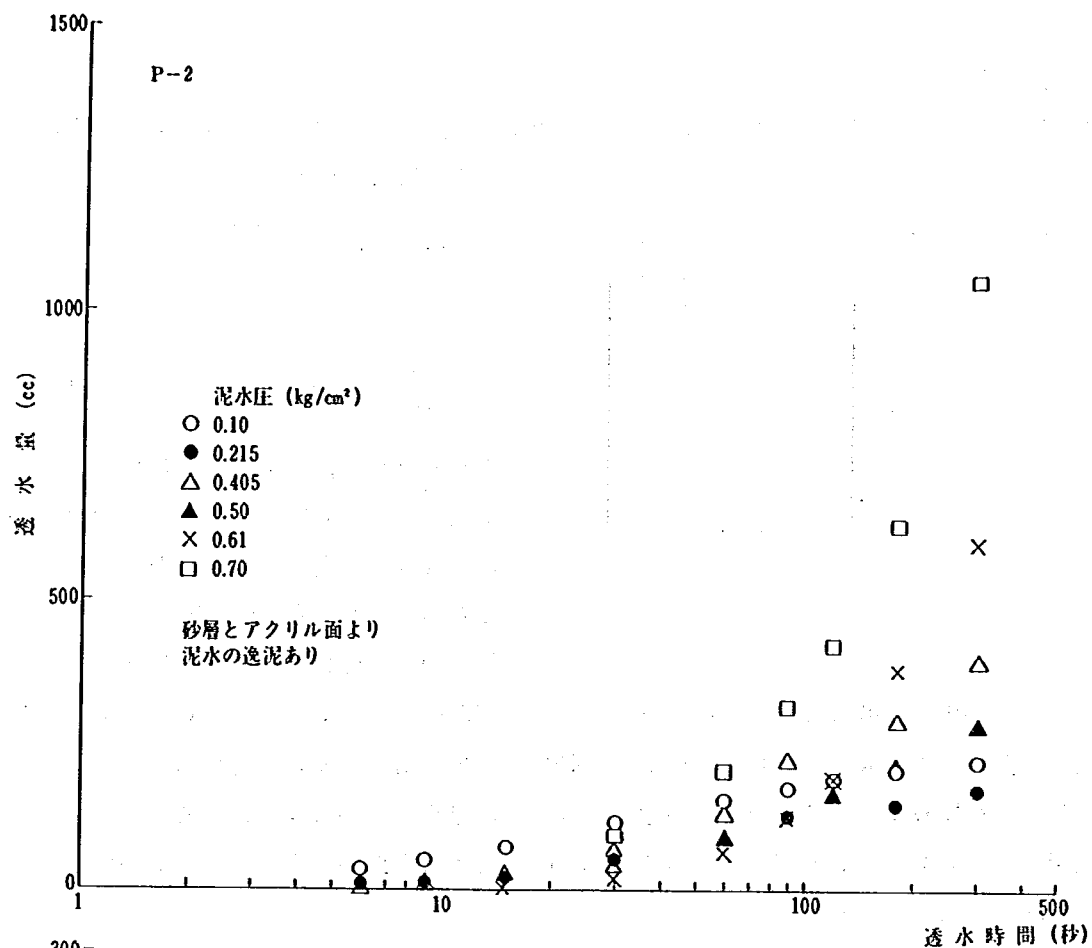


図-3.17 各圧力段階と透水量の関係 (P-2)

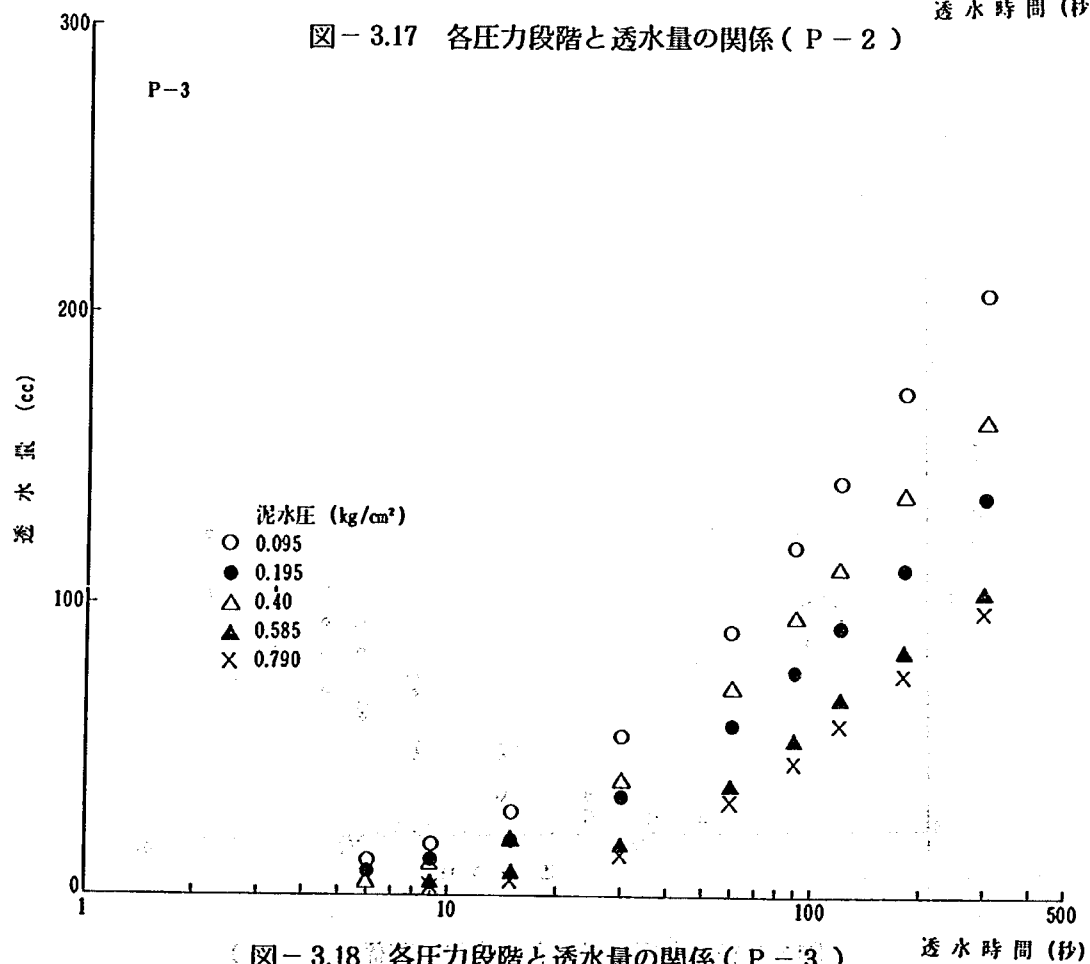


図-3.18 各圧力段階と透水量の関係 (P-3)

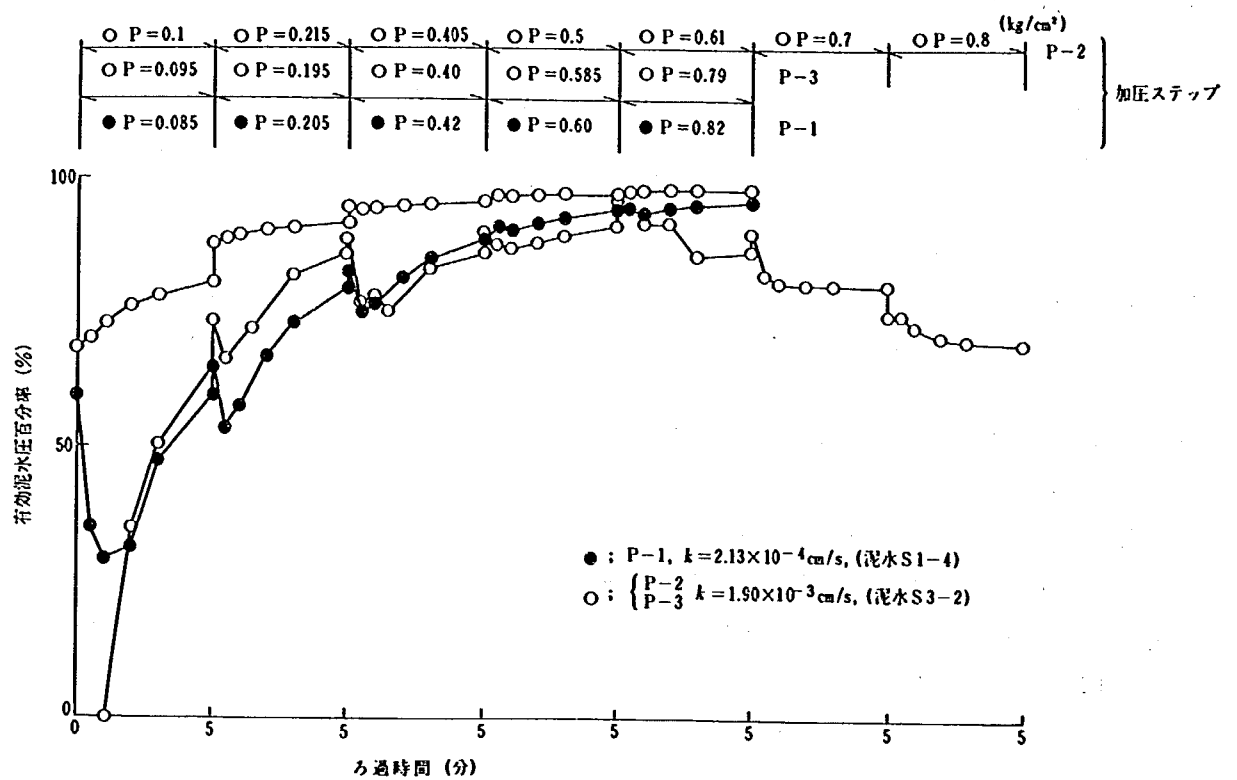


図 - 3.20 各圧力段階と有効泥水圧の関係

3.6 掘削透水試験

透水試験と同様に掘削透水試験においても透水試験を行っており、その結果を表－3.1に示す。また、図－3.21(a)～(j)に、各圧力段階における経時的な間隙水圧、透水量の変化を示す。

図－3.22に同じ泥水を使用した場合の泥水圧力と砂層上部の間隙水圧計の間隙水圧との間の動水勾配の経時的変化を示す。また、図－3.23に泥水配合と砂層の透水係数の異なる場合の動水勾配を示す。これらの図をみると、沖積粘土を含まない場合は透水係数の大きい方（図－3.22，PS－1）が動水勾配が小さいのに対し、沖積粘土を混入した場合は透水係数の大きい方（図－3.23，PS－4）が動水勾配が大きくなっており、地山の透水係数が大きくなるにしたがい、泥膜をつくるべき泥水の成分の粒度も大きくしていく必要があることを示唆しているものと考えられる。

図－3.24に、地山の透水係数がほぼ一定の場合において、泥水配合を変化させた時の動水勾配の変化を示している。

加圧力が $P = 0.1, 0.2 \text{ kg/cm}^2$ においては、粘土を含まない泥水の方が粘土を含むものに比べて、動水勾配が小さくなっており、泥水が砂層中へ浸透していることが予想される。しかし、 $P = 0.3, 0.4 \text{ kg/cm}^2$ の加圧時において両者は等しくなっている。すなわち、この時点で両者とも同様な効果を示す透水層を形成していることがわかる。

しかし、掘削によって両者の関係は逆転している。これは、両者の浸透性の違いによるものと思われる。すなわち、粘土を含まないものは、深く砂層へ浸透しているため、掘削による影響が小さいと考えられる。しかし、粘土を含んだ泥水は、砂層中へあまり浸透していないため、掘削の影響がより

表－3.1 透水試験結果

実験番号	使用材料	透水係数 cm/s	乾燥密度 g/cm^3	締固め方法
PS-1	川 砂 420 μ 通過分	6.8×10^{-3}	1.61	各層突固め棒で軽く締固め
-2	〃	2.1×10^{-3}	1.65	〃
-3	ローム砂 420 μ 通過分	3.0×10^{-4}	1.41	各層突固め棒で十分締固め
-4	川 砂 840～250 μ	2.4×10^{-2}	1.48	各層、砂を自然落下突固めなし
-5	川 砂 420 μ 通過分	6.9×10^{-3}	1.61	各層、突固め棒で軽く締固め
-6	川 砂 840～250 μ	2.4×10^{-2}	1.53	各層、砂を自然落下突固めなし
-7	川 砂 420 μ 通過分	6.3×10^{-3}	1.59	各層突固め棒で軽く締固め
-8	〃	5.0×10^{-3}	1.62	〃
-9	川 砂 840～250 μ	1.8×10^{-2}	1.47	各層、砂を自然落下突固めなし
-10	ローム砂 420 μ 通過分	1.8×10^{-4}	1.39	各層、突固め棒で十分締固め

大きいからであると考えられる。

図-3.25に砂層内の間隙水圧を、加圧あるいは掘削後60秒の値で示す。泥水圧と砂層上部の間隙水圧の差の泥水圧に対する比率の高いものほど泥膜の効果が高いといえる。

表-3.2に泥膜の形成の良否を、泥膜上面と砂層上位の間隙水圧計位置の間の平均動水勾配と砂層上位と下位の間隙水圧計間の平均動水勾配の比に着目し、

◎：両動水勾配の比が大きく、圧力損失の約90%以上が泥膜及び上位砂層（上位層）で生じているもの

○：両動水勾配の比が比較的大きく、圧力損失の約70~90%が上位層で生じているもの

△：両動水勾配の比が小さく、圧力損失の約70%以下が上位層で生じているもの

×：両動水勾配の比が1より小さくなっているもの

の順にランクをつけて評価したものである。図-3.26は加圧あるいは掘削の各段階における経過時間が10秒及び60秒の動水勾配の比を示している。

表-3.3は、表-3.2と同様に

○：両動水勾配の比が大きく、砂層が安定していると考えられるもの。

△：両動水勾配の比が小さく切羽の安定性が低いと考えられるもの。

×：掘削抵抗がなく、崩壊していると考えられるもの、あるいは観察によって崩壊したと考えられるもの。

の順にランクをつけて評価したものである。図-3.27は加圧、減圧、あるいは掘削の各段階における経過時間が10秒及び60秒の動水勾配の比を示している。

以上の各試験（粘性、PH、比重安定性、APIろ過試験、透水試験）結果の主要な項目について整理したものを表3.4に示す。

表-3.2 泥膜形成の評価（泥膜の特性）

試験 番号	透水係数 k (cm/sec)	泥水配合比				泥膜の形成性												備 考
		水	ベント ナイト	CMC	CL AY	P=0.1kg/cm ²			P=0.2 kg/cm ²			P=0.3 kg/cm ²			P=0.4 kg/cm ²			
						0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	
PS-1	68×10^{-3}	100	5	0.2	—	◎	△	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	P=0.3kg/cm ² で 水圧計位置の移 動が考えられる
PS-2	2.1×10^{-3}	100	5	0.2	—	△	△	△	○	○	○	◎	○	△	△	△	△	
PS-3	3.0×10^{-4}	100	5	0.2	—	△	○	○	△	○	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
PS-4	2.4×10^{-2}	100	5	0.2	325	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎	△	△	
PS-5	6.9×10^{-3}	100	5	0.2	130	○	○	○	◎	○	△	○	△	△	△	△	△	

注) 0：掘削なし

1：1回目掘削

2：2回目掘削

表-3.3 泥膜形成の評価(掘削安定性)

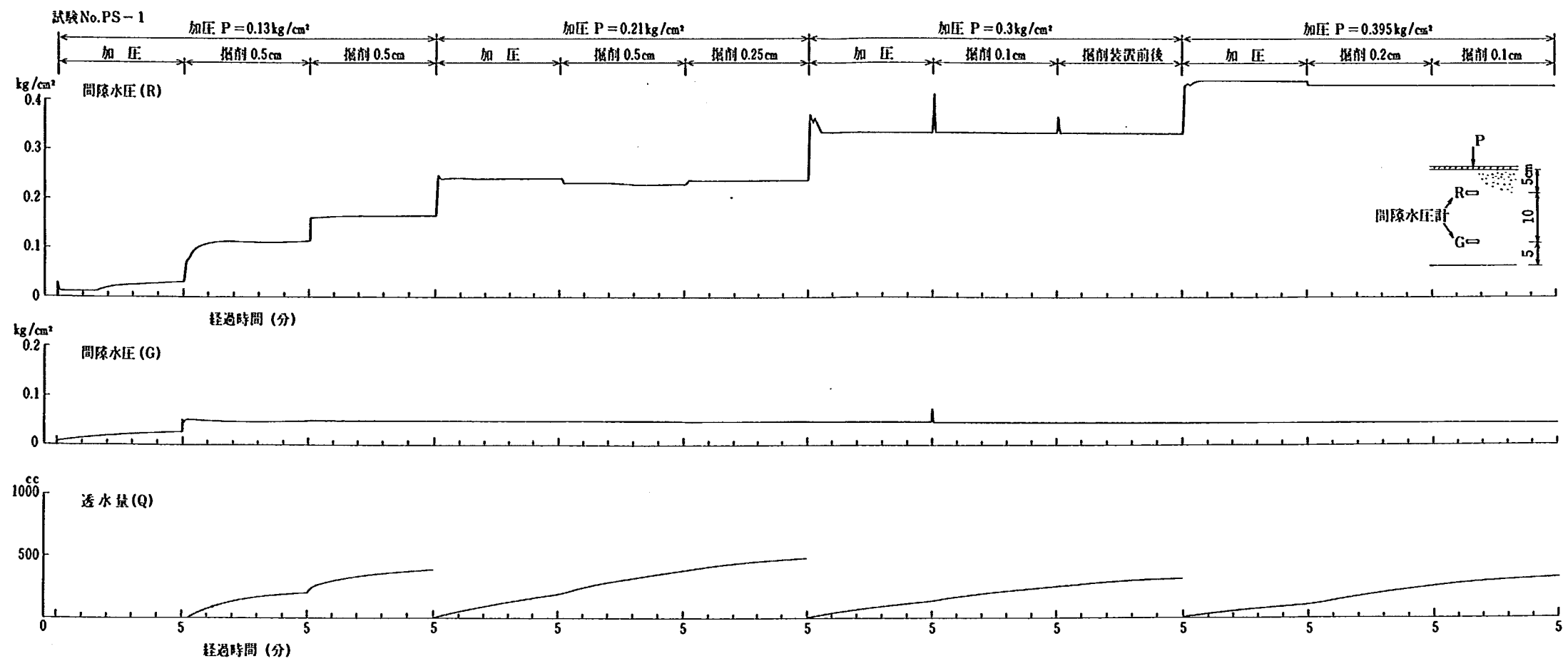
試験 番号	透水係数 k (cm/sec)	透水係数 による対 応する泥 膜の特性 試験番号	泥水配合比				切羽の安定性											
			水	ベン トナ イト	CMO	CL AY	P=048kg/cm ²			P=03kg/cm ²			P=02kg/cm ²			P=01kg/cm ²		
							0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
PS-6	24×10^{-4}	PS-4	100	5	02	3.74	○	○	○	○	△	△	△	△	×	-	-	-
PS-7	63×10^{-3}	PS-5	100	5	02	3.24	○	△	△	△	△	×	-	-	-	-	-	-
PS-8	50×10^{-3}	PS-5	100	5	02	3.17	○	○	△	○	△	△	△	△	△	△	△	×
PS-9	18×10^{-2}	PS-4	100	5	02	1.31	○	△	△	○	△	△	△	△	△	△	△	×
PS-10	18×10^{-4}	PS-3	100	5	02	1.58	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

注)

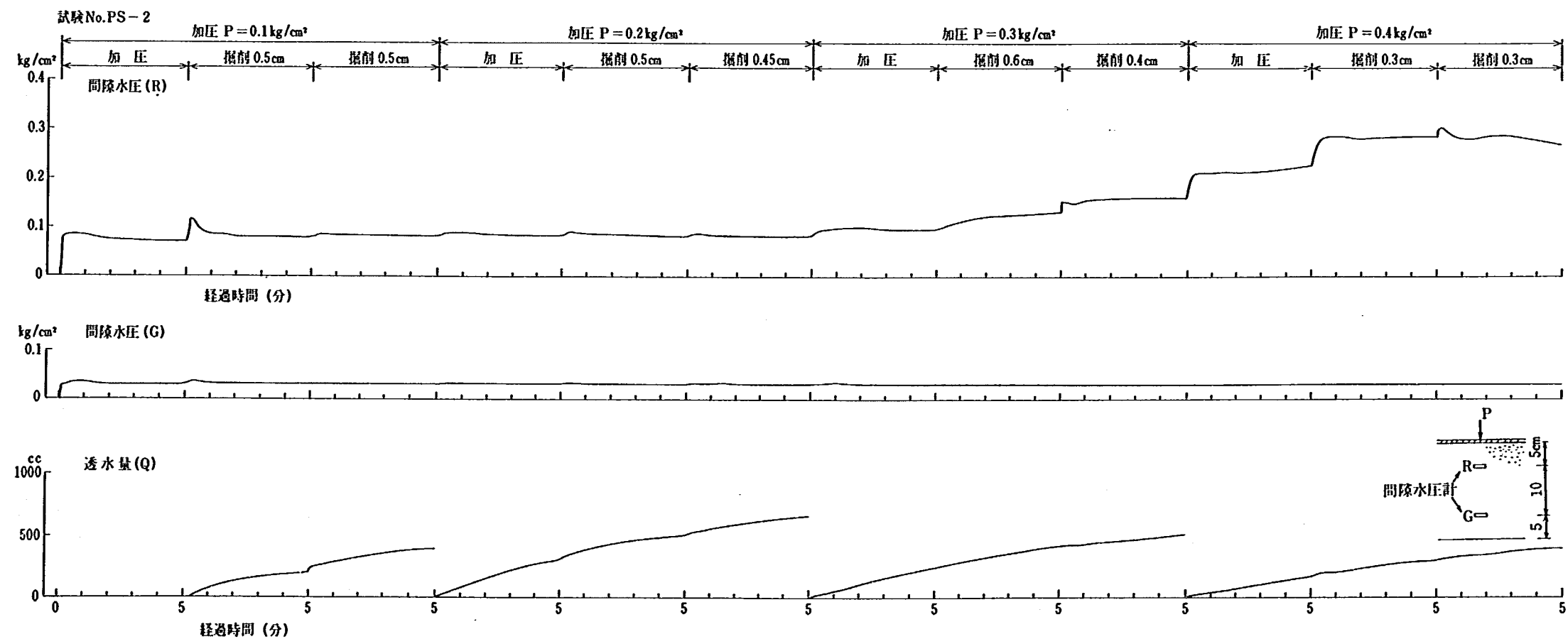
0 : 掘削なし

1 : 1回目掘削

2 : 2回目掘削

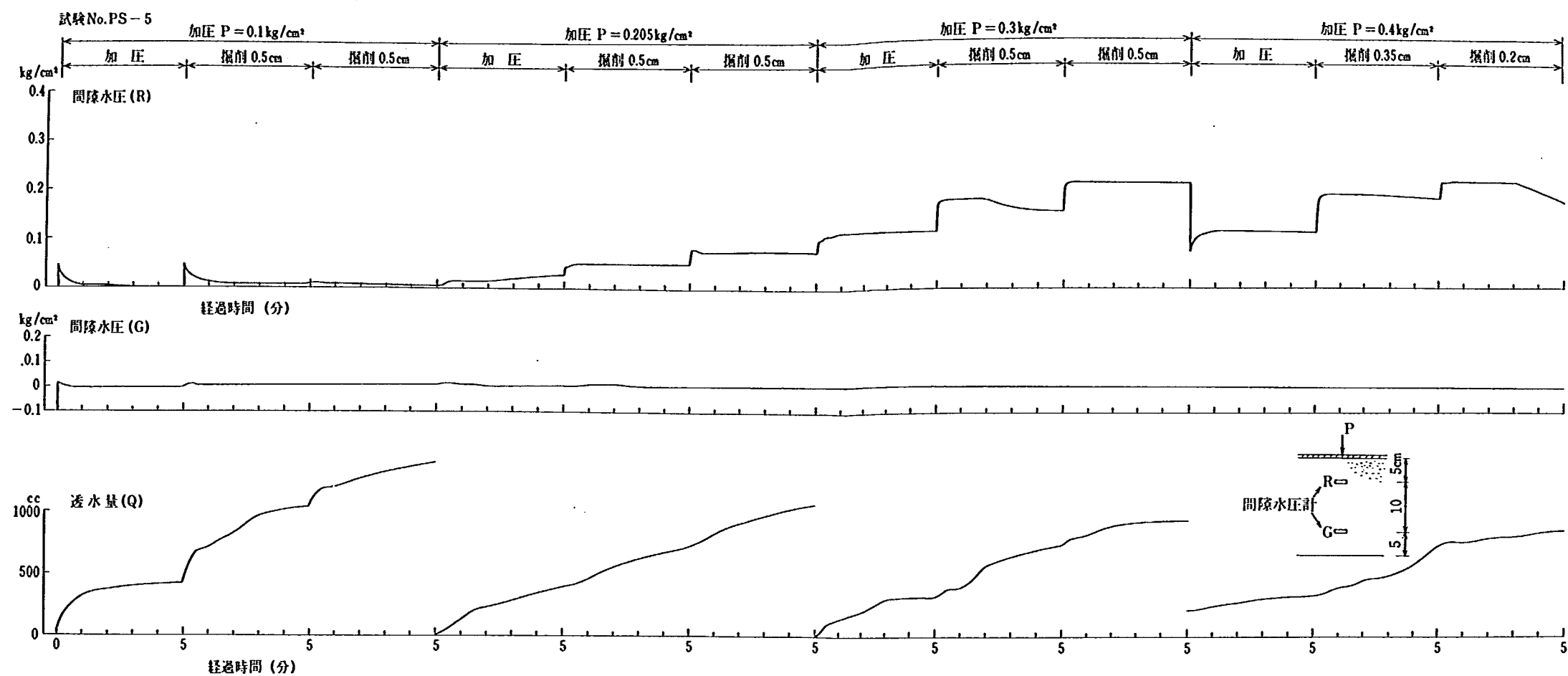


(a) 試験No PS-1

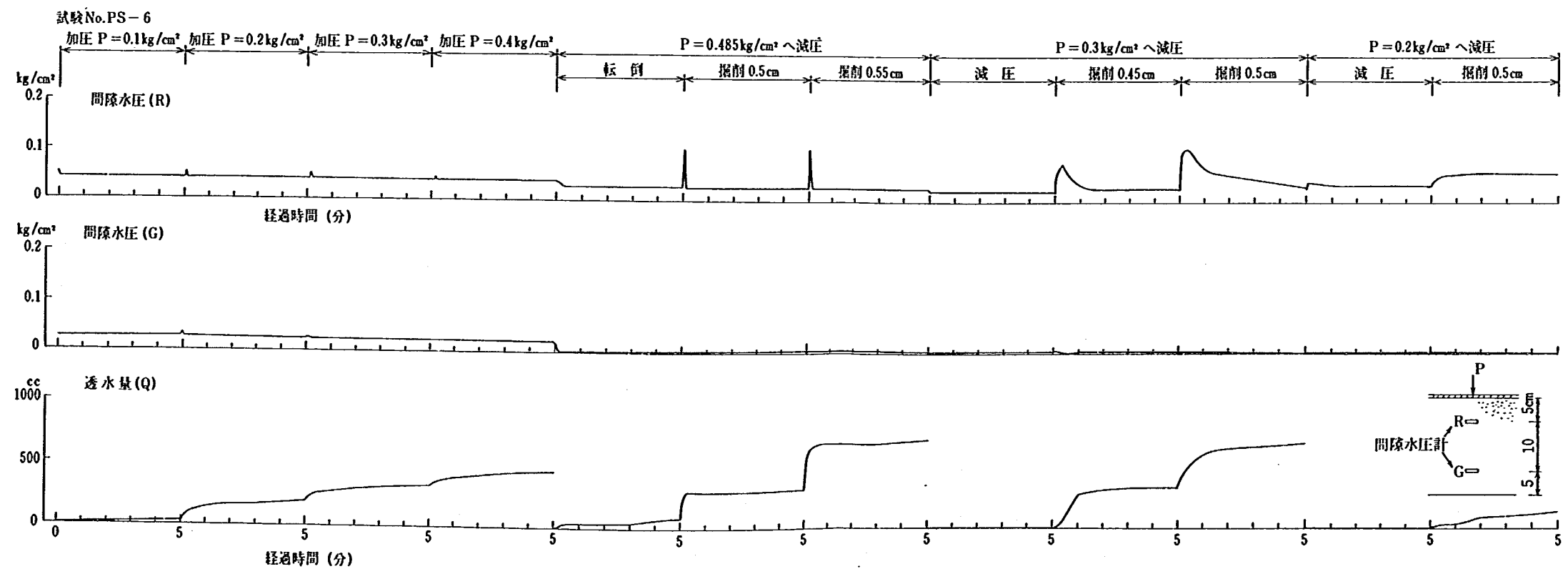


(b) 試験No PS-2

図-3.21 各圧力段階における間隙水圧、透水量の経時的変化



(e) 試験No. PS-5



(f) 試験No. PS-6

図-3.21 各圧力段階における間隙水圧、透水量の経時的変化

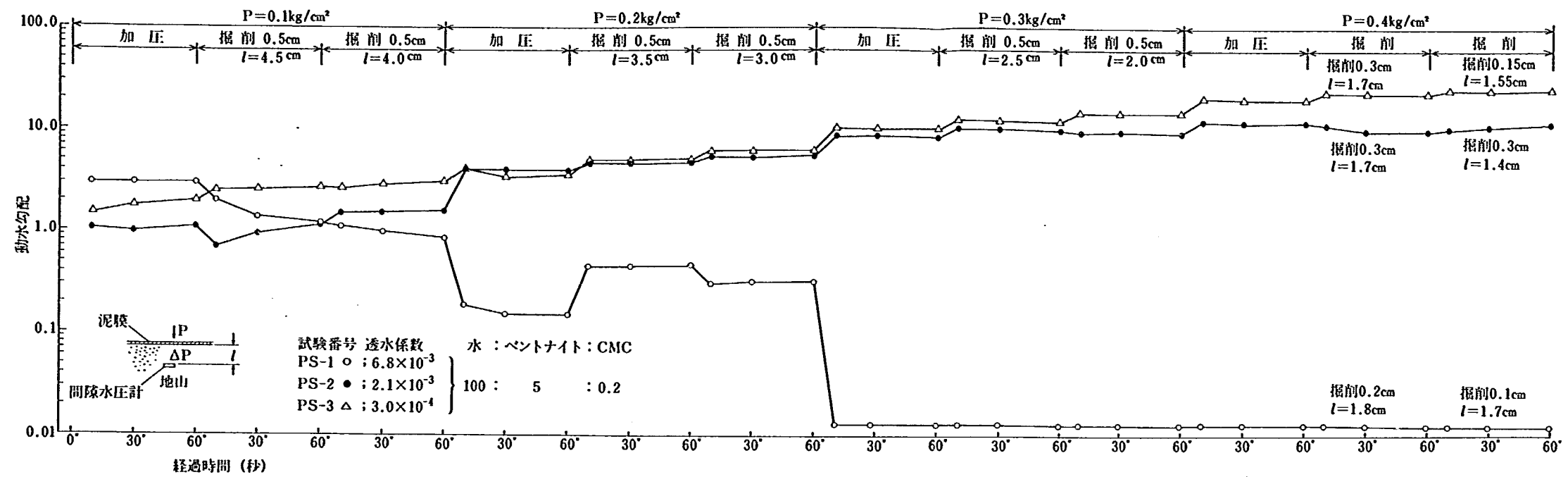


図-3.22 掘削透水試験における動水勾配の経時的変化

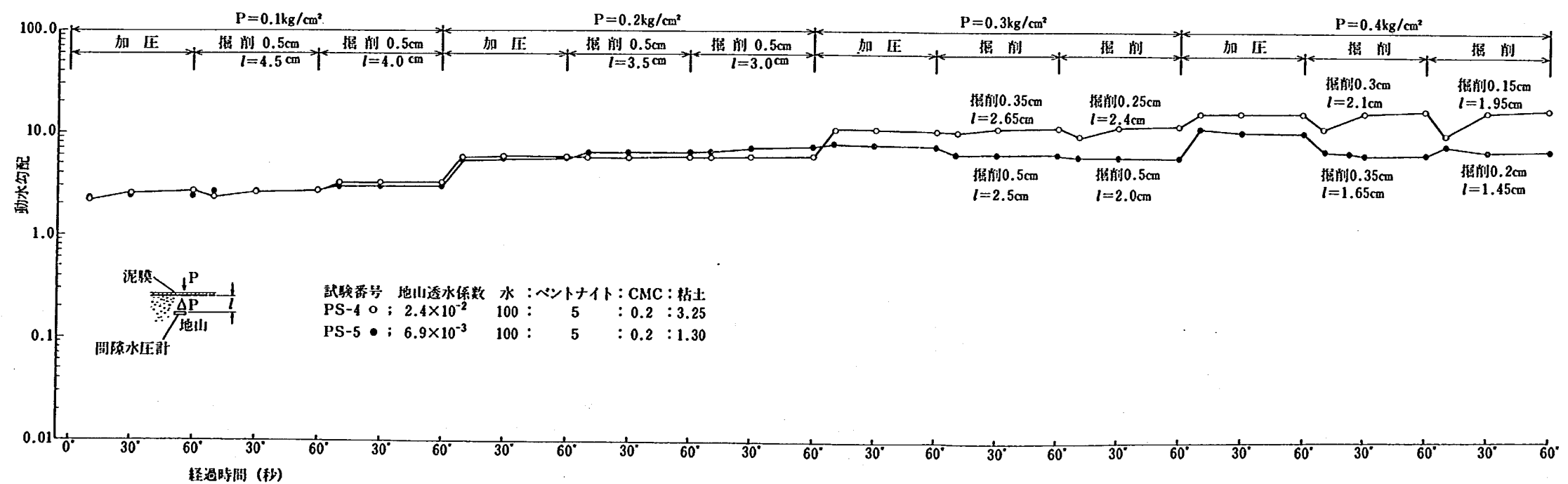


図-3.23 掘削透水試験における動水勾配の経時的変化

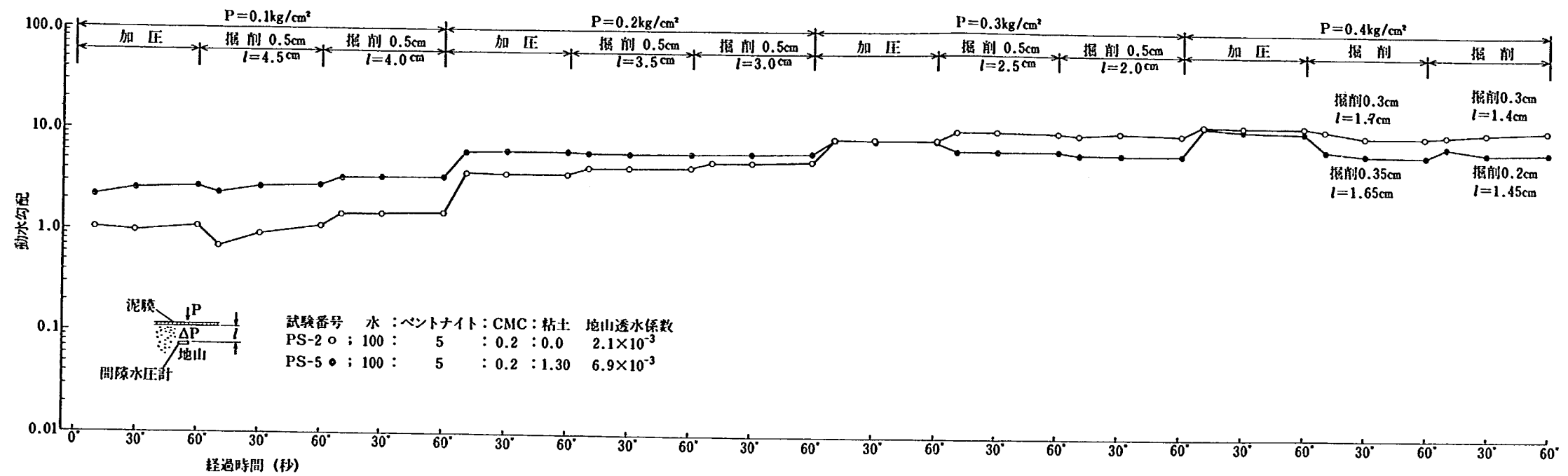
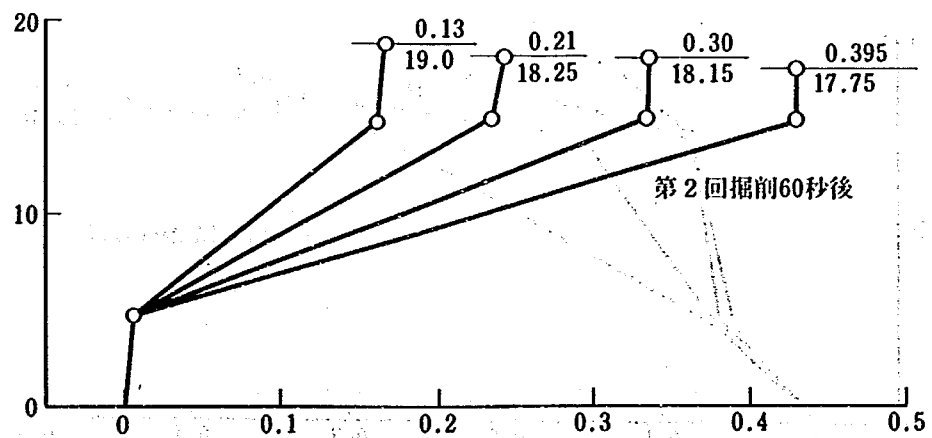
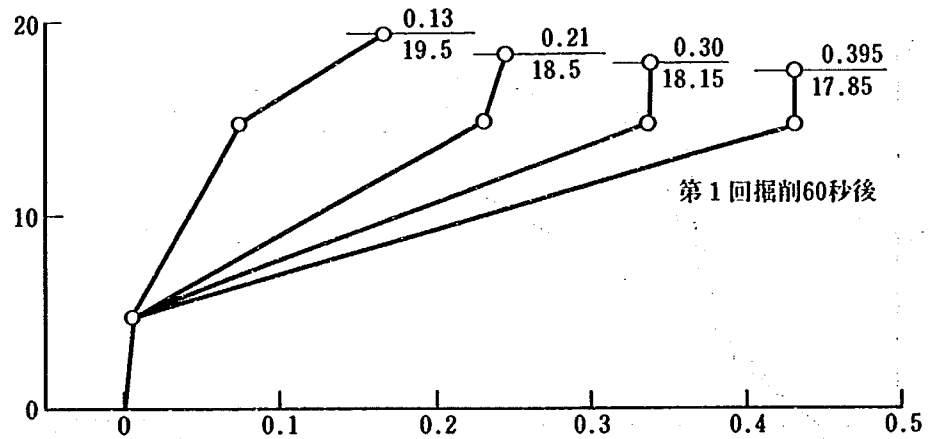
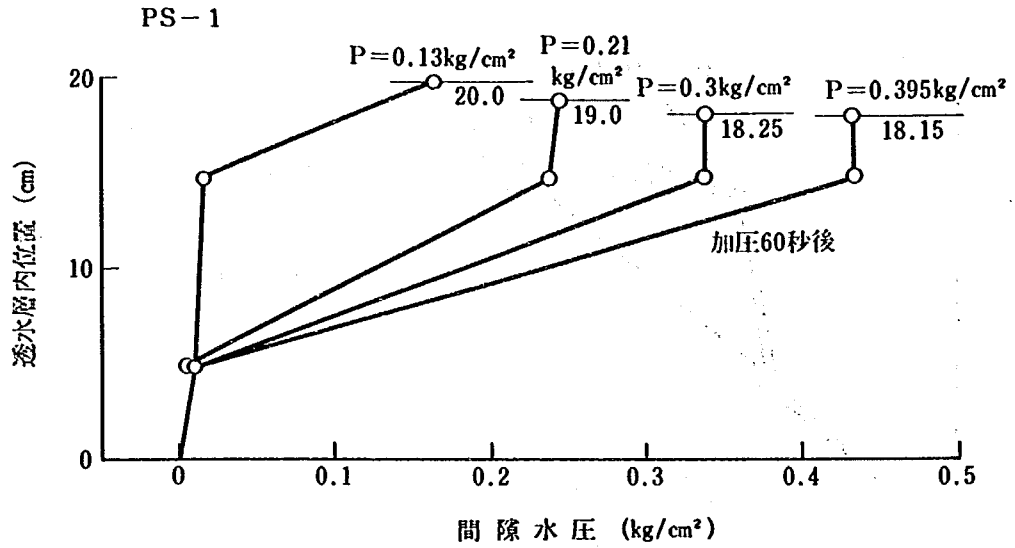
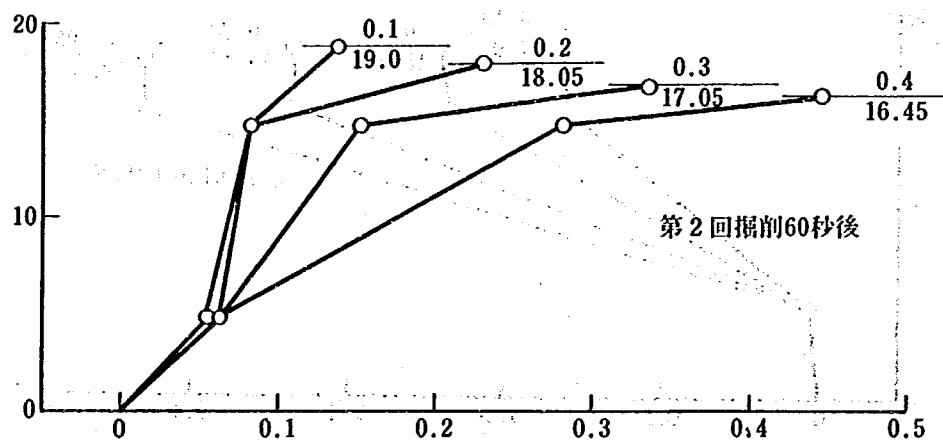
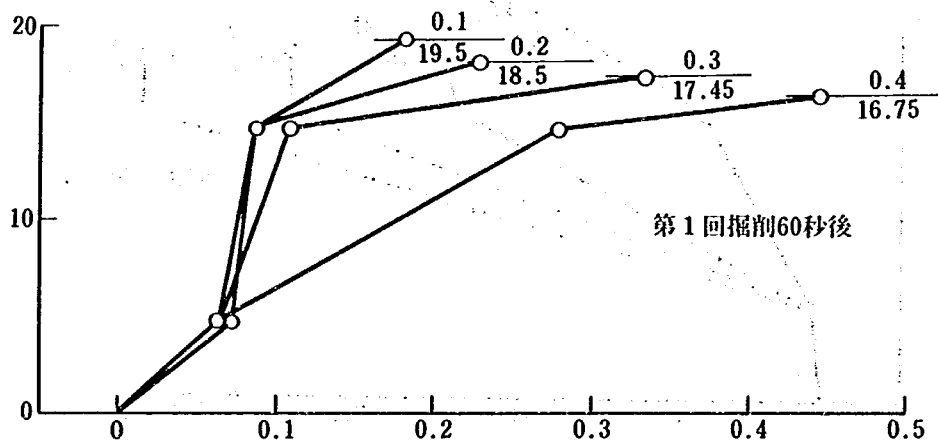
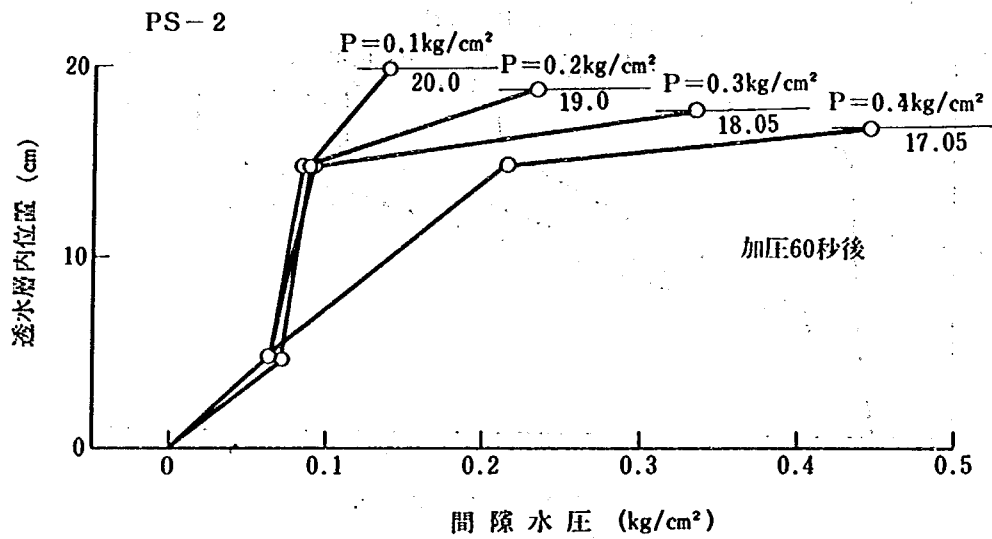


図 - 3.24 掘削透水試験における動水勾配の経時的変化



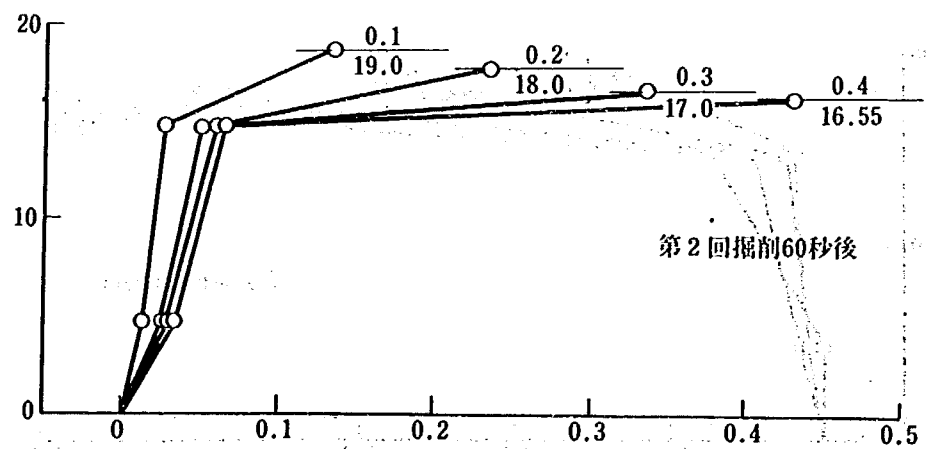
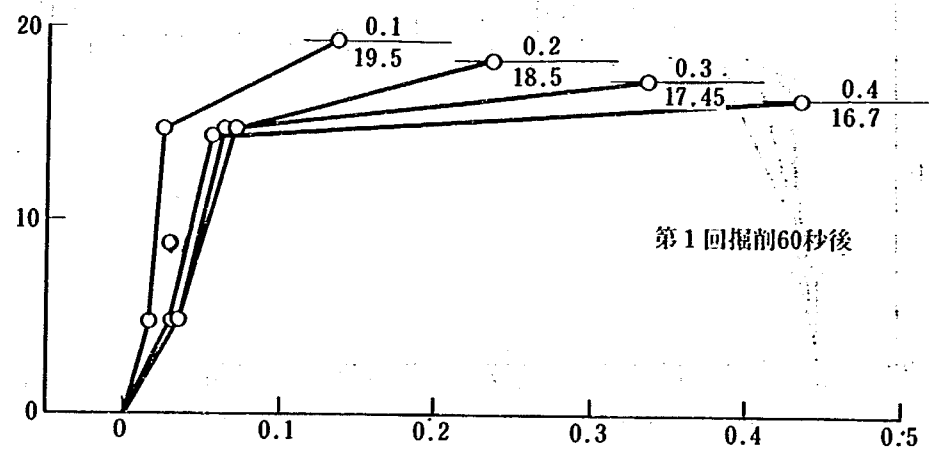
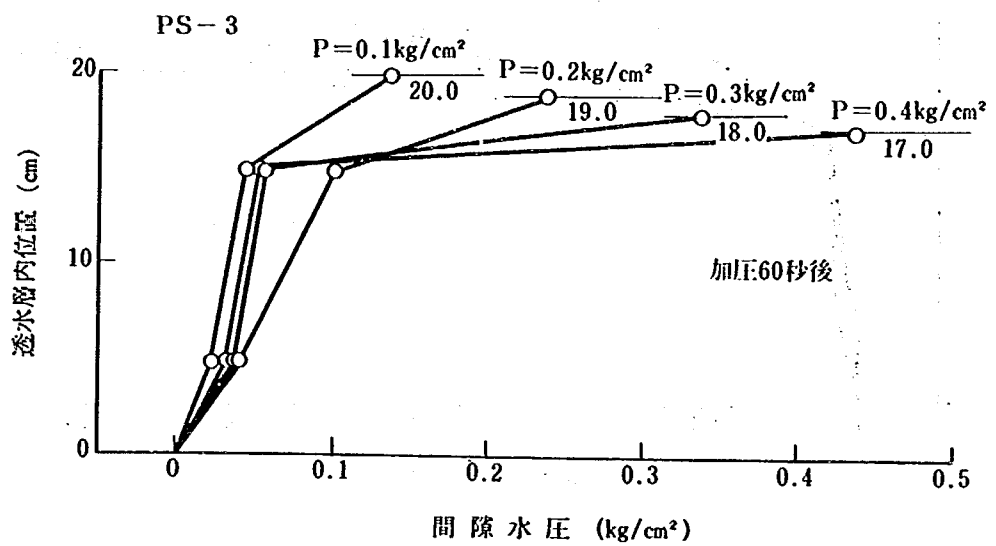
(a) 試験NaPS-1

図-3.25 掘削による間隙水圧の変化



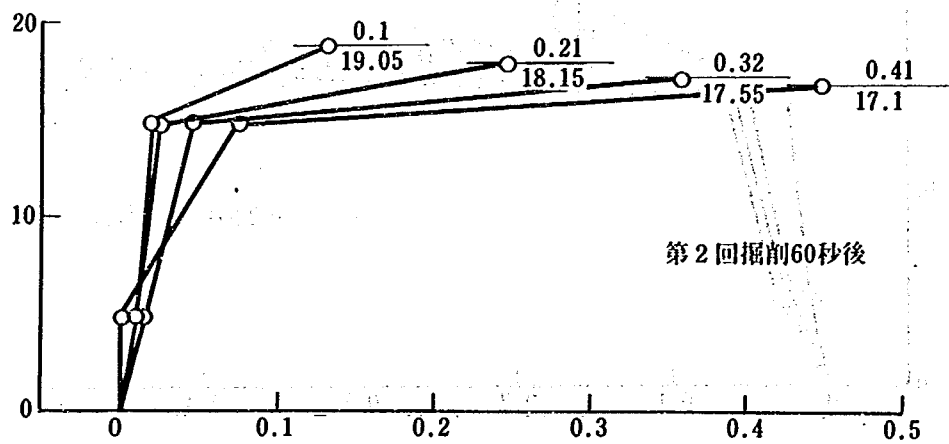
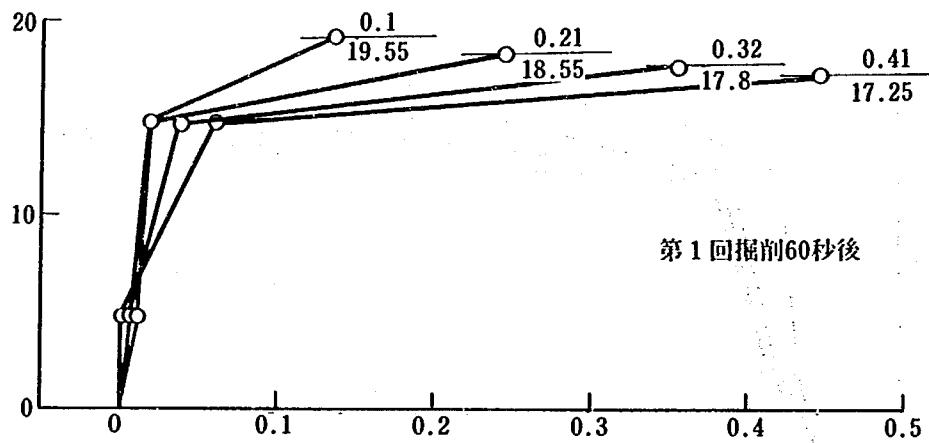
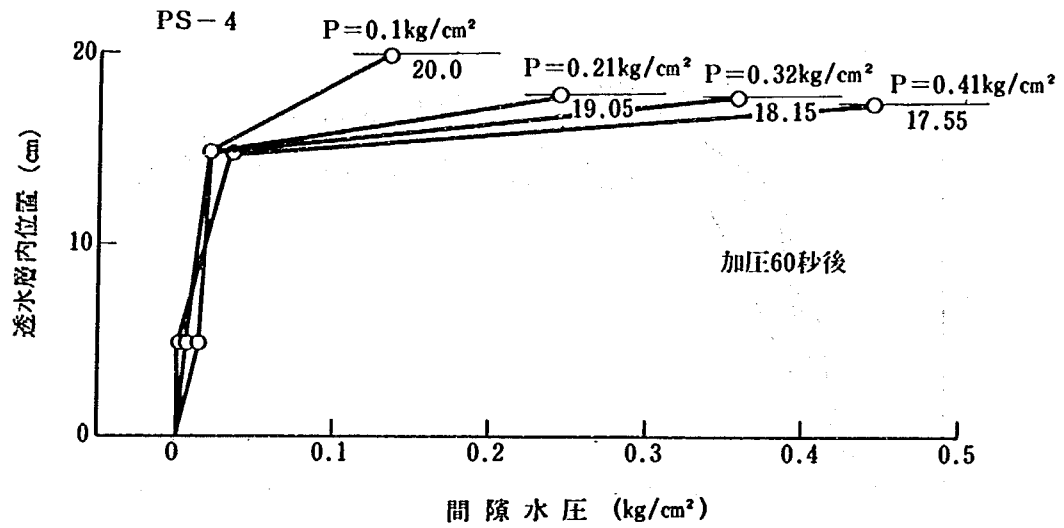
(b) 試験NaPS-2

図-3.25 掘削による間隙水圧の変化



(c) 試験No PS-3

図-3.25 掘削による間隙水圧の変化



(d) 試験Na PS-4

図-3.25 掘削による間隙水圧の変化

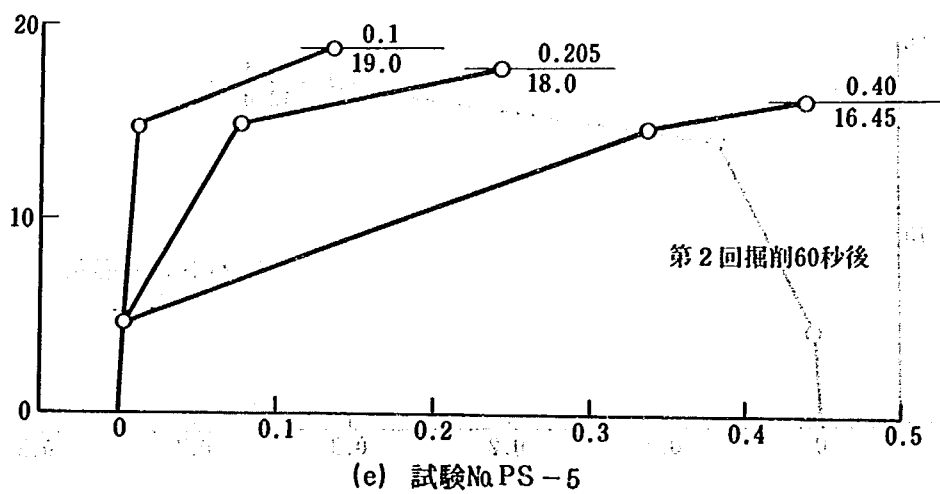
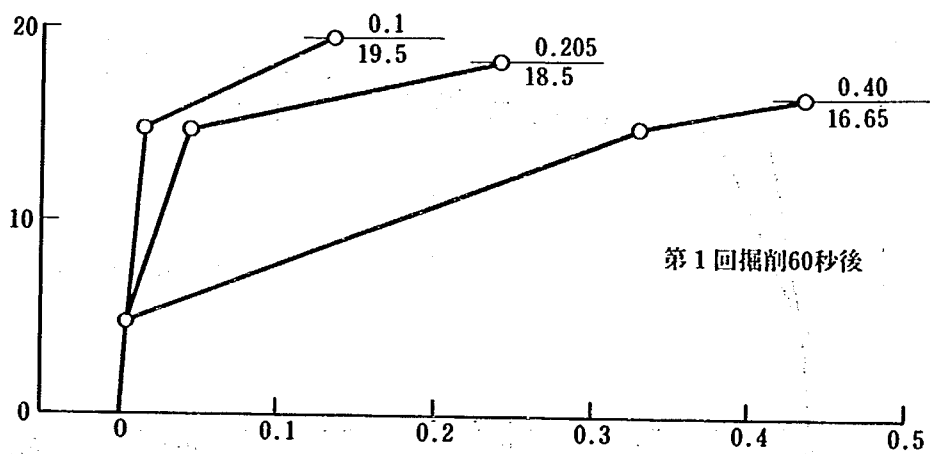
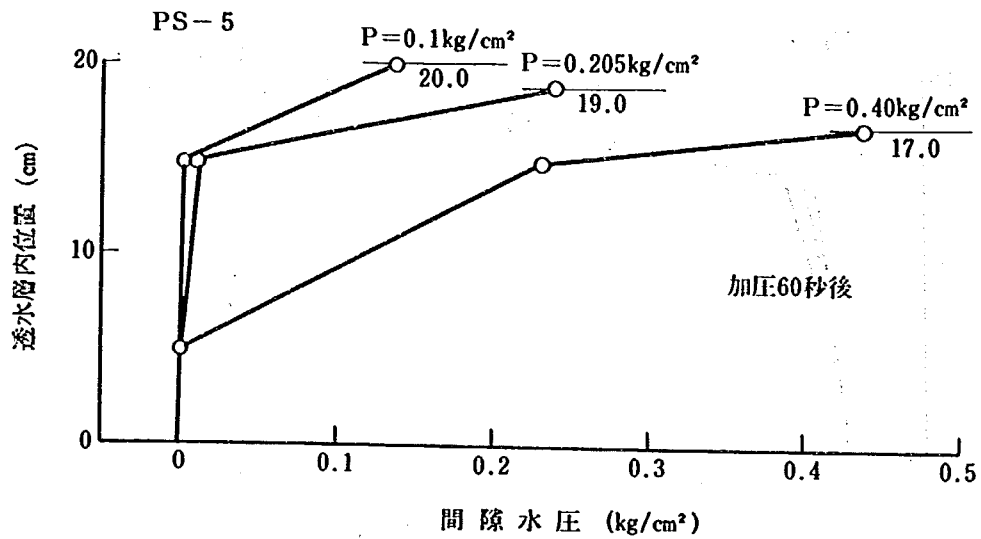
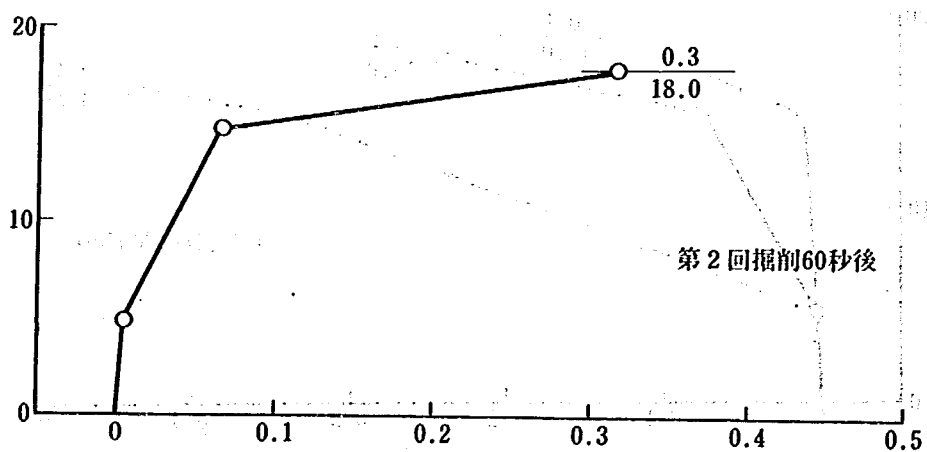
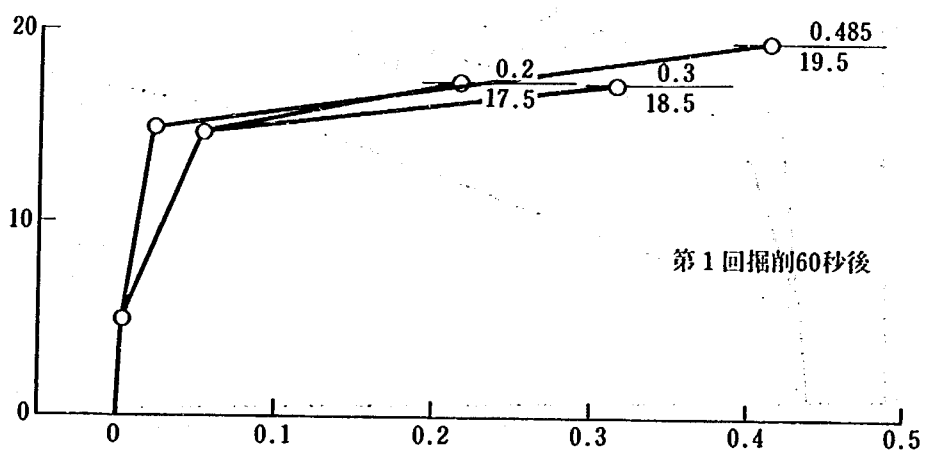
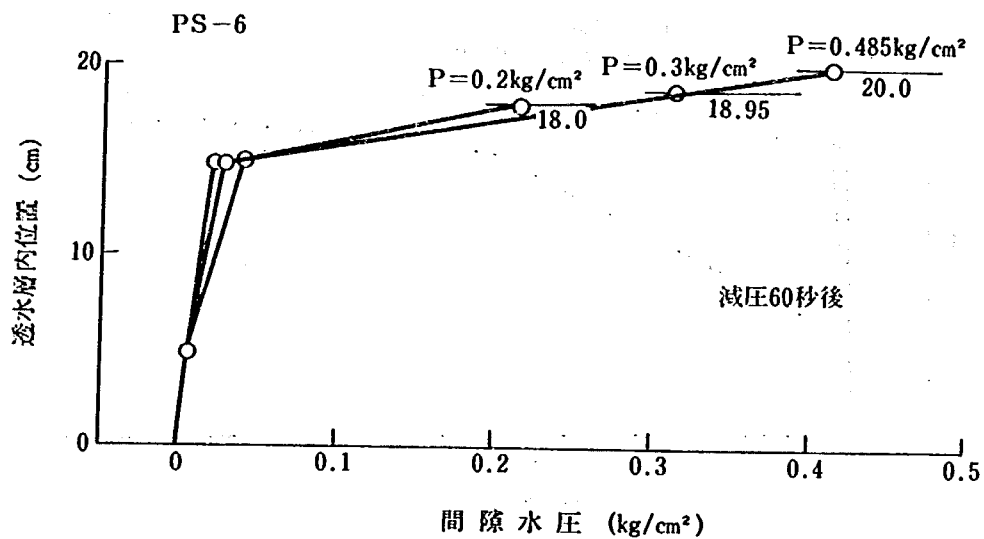
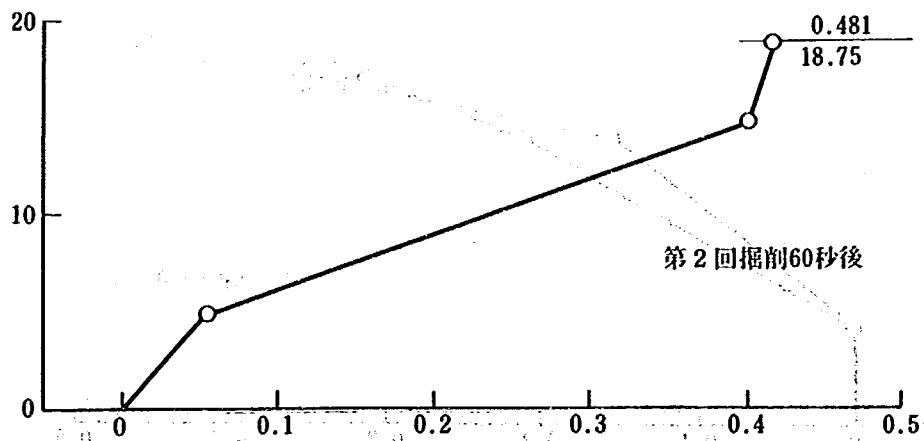
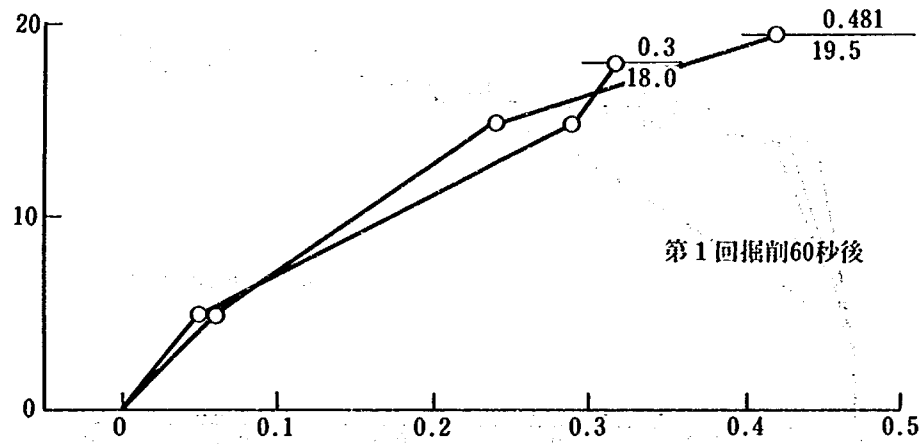
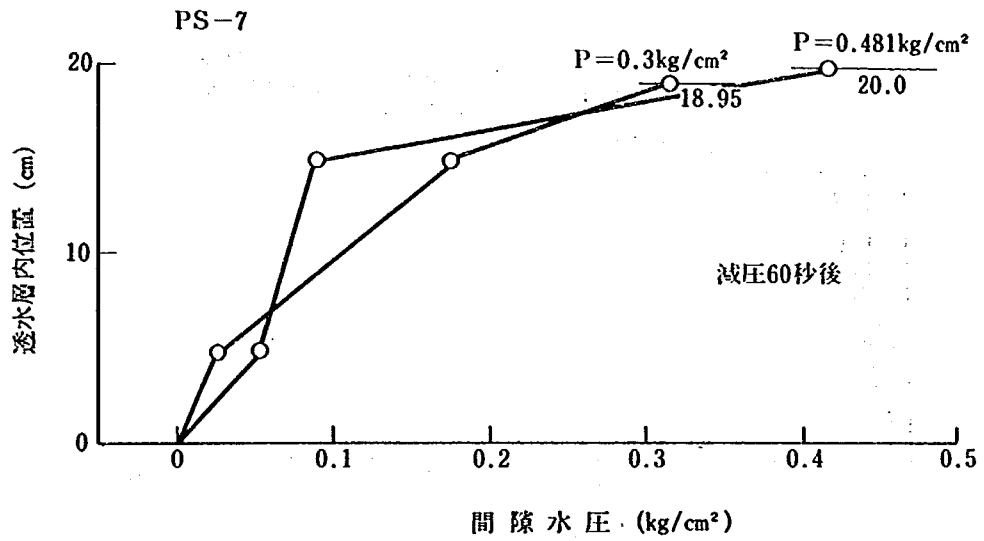


図-3.25 掘削による間隙水圧の変化



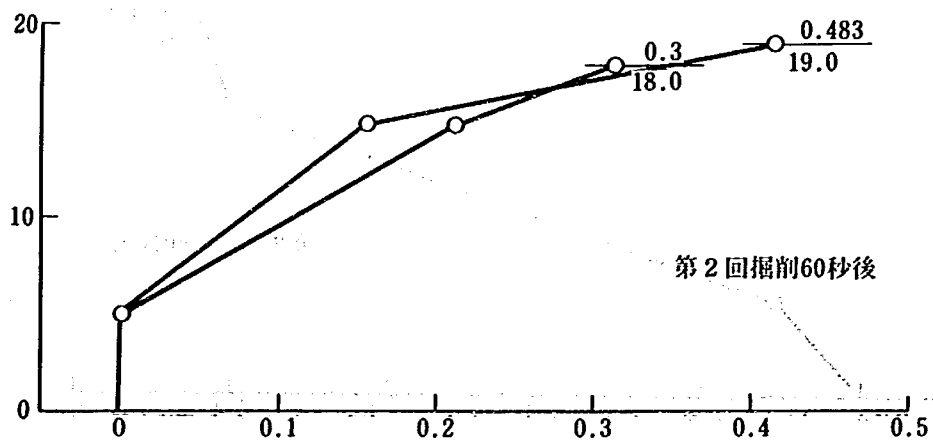
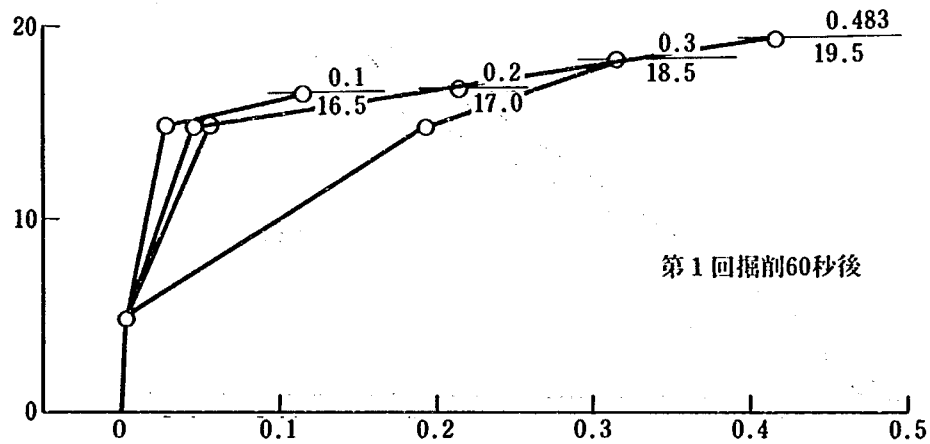
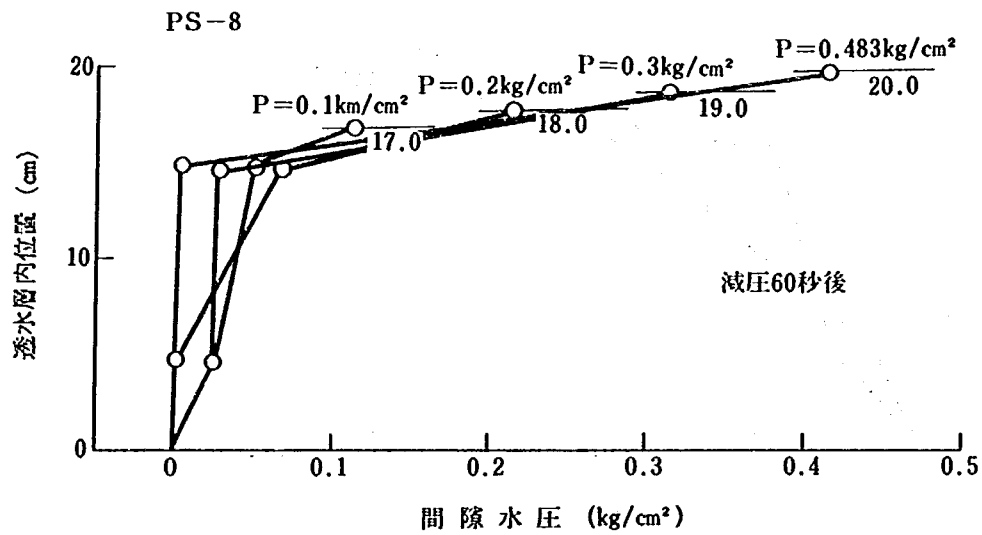
(f) 試験No PS-6

図-3.25 掘削による間隙水圧の変化



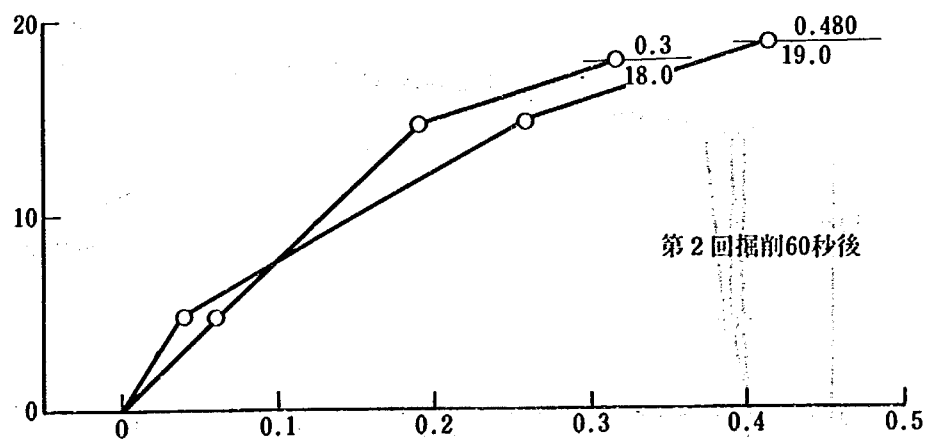
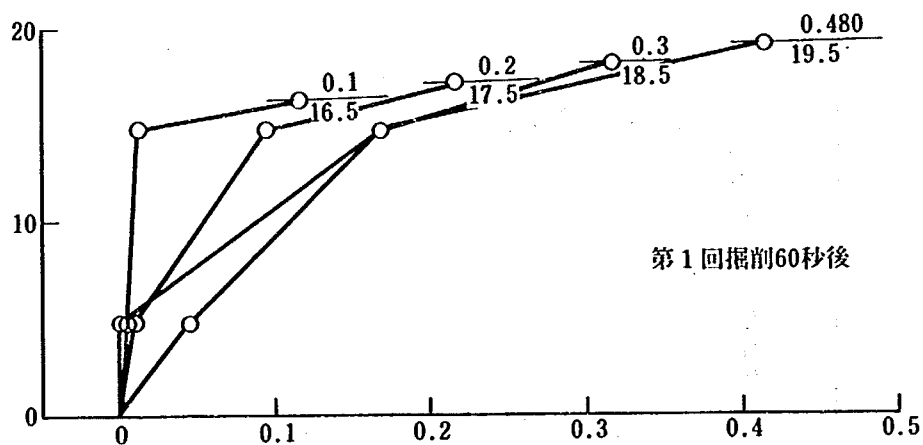
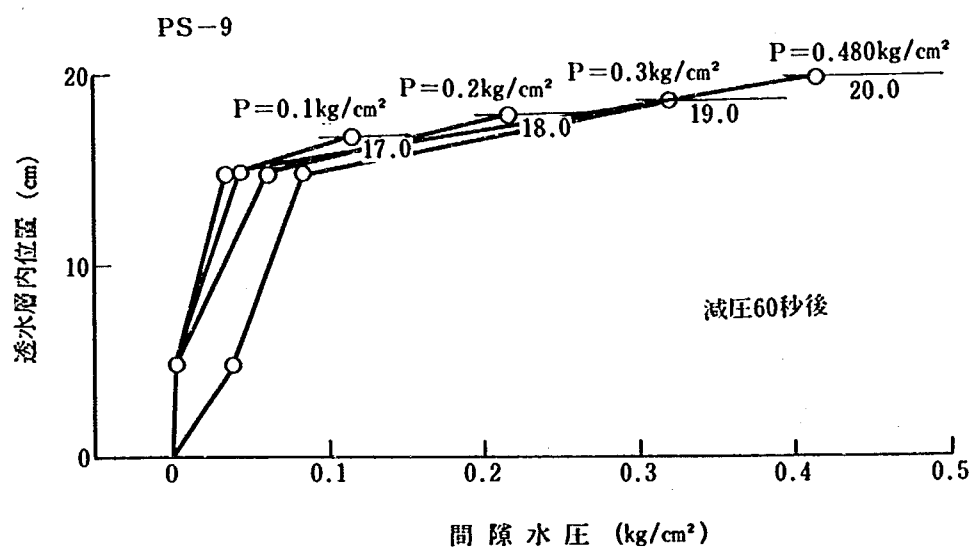
(g) 試験NaPS-7

図-3.25 掘削による間隙水圧の変化



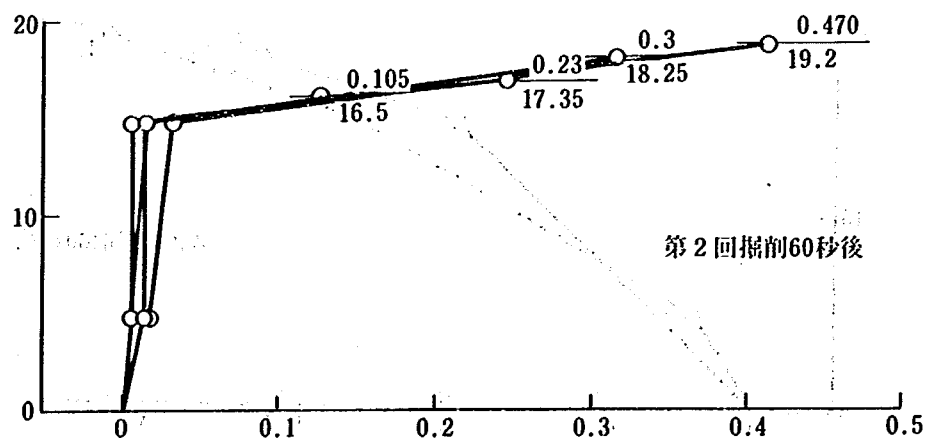
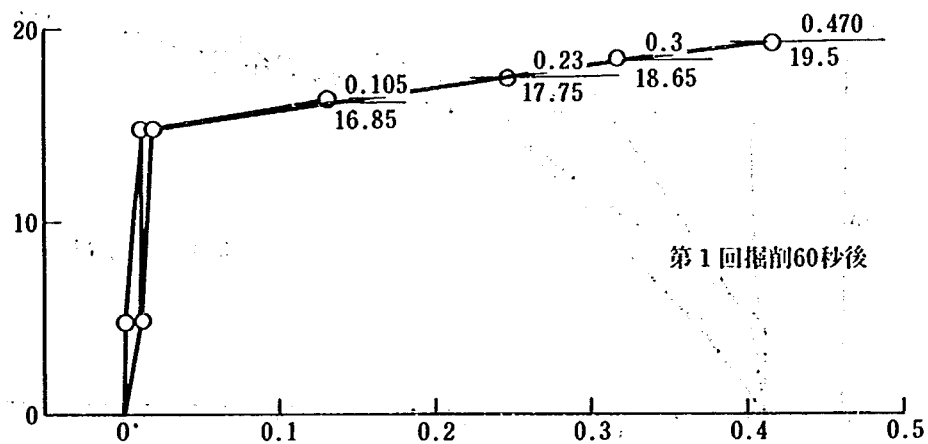
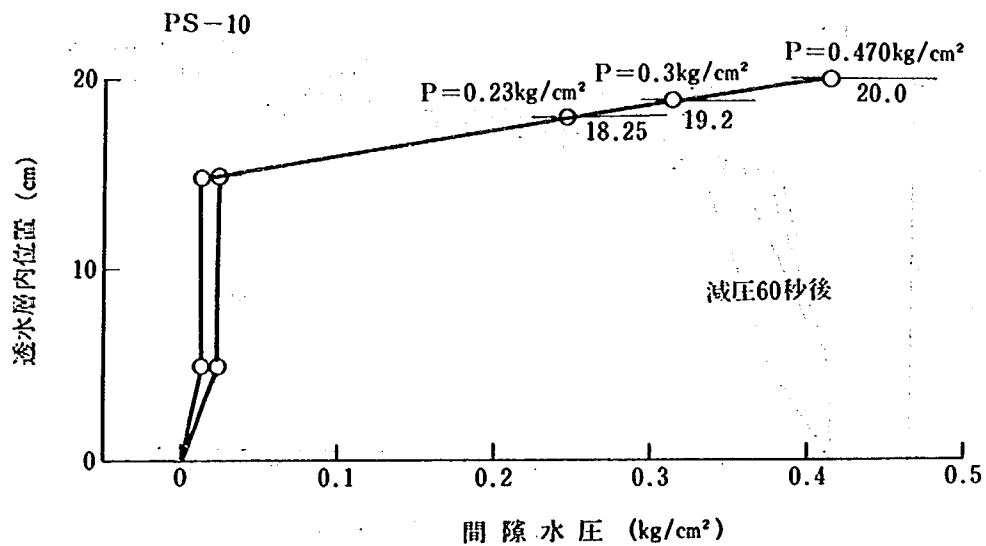
(h) 試験Na PS-8

図-3.25 掘削による間隙水圧の変化



(i) 試験No PS-9

図-3.25 掘削による間隙水圧の変化



(j) 試験NaPS-10

図-3.25 掘削による間隙水圧の変化

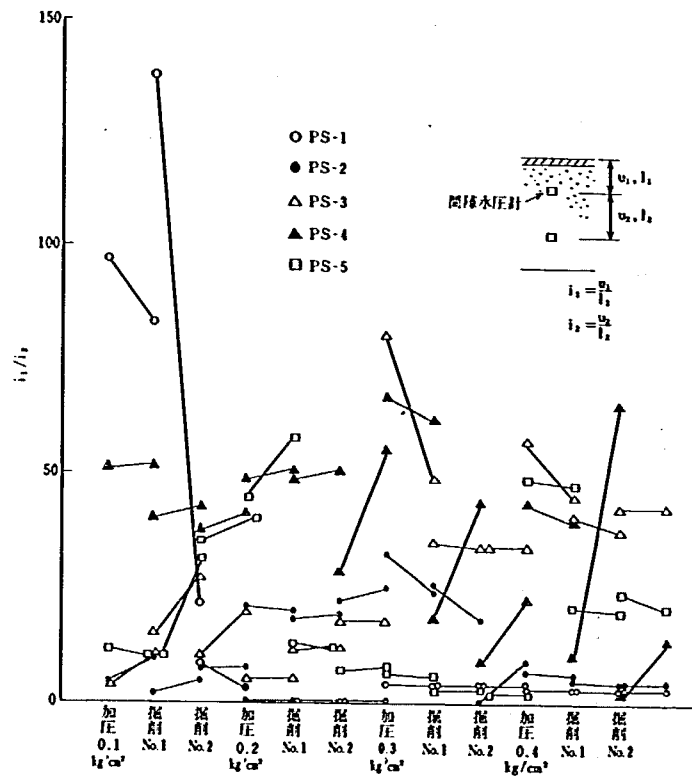


図-3.26 動水勾配比の経時変化

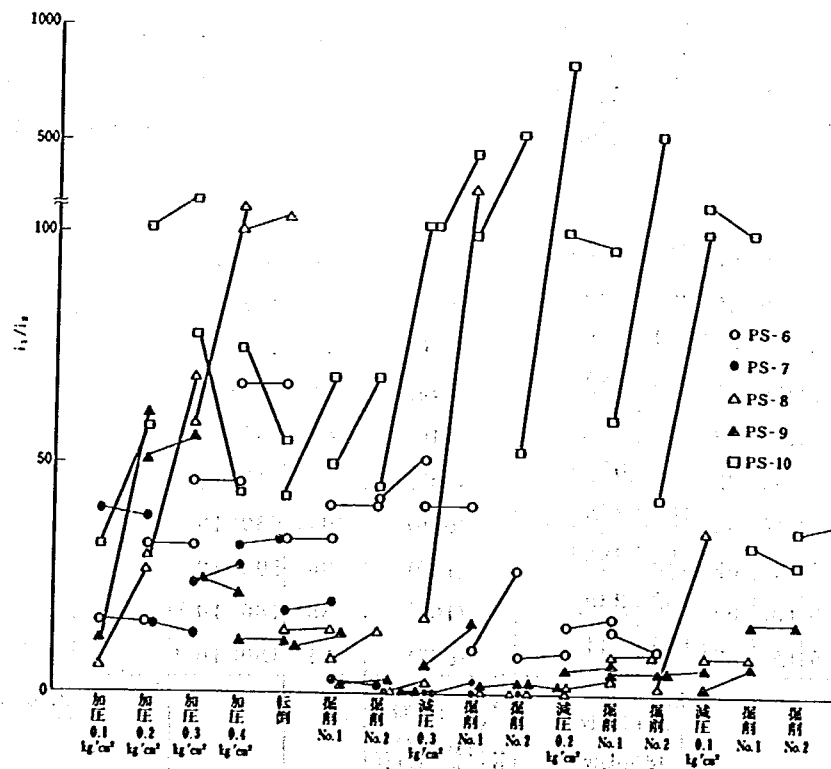


図-3.27 動水勾配比の経時変化

表-3.4 試験結果一覧表

試験 番号	泥水配合(重量比)				粘 性		PH	比重安定性 (比重低下率)	APIろ 過試験 ml/30 minat 3kg/cm ²	砂層透水 係数 k cm/s	透水量 (ml/5min)							
	水	ベン トナ イト	粘土	CMC	ファン ネル	VG					P=0.1kg/cm ²	02	03	04	05	06	07	08
泥水の物 性試験																		
S1-1	100	0	0	0	194	12	743	—	—	—								
2	100	6	0	0	233	61	959	137	120	—								
3	100	8	0	0	293	136	964	127	100	—								
4	100	10	0	0	341	619	938	131	100	—								
5	100	12	0	0	412	422	959	0.196	85	—								
S2-1	100	0	10	0	624	320	926	280	2805	—								
2	100	1	8	0	101	282	953	228	640	—								
3	100	5	5	0	263	1493	933	142	240	—								
4	100	8	1	0	193	16	817	186	110	—								
S3-1	100	0	10	02	—	14	808	3.10	120	—								
2	100	10	0	02	194	19	843	—	70	—								
3	100	5	5	02	219	39	906	176	280	—								
4	100	10	0	0.1	93	890	—	—	100	—								
5	100	0	10	0.1	262	113	949	259	160	—								
6	100	10	0	0.4	—	660	942	0.234	55	—								
7	100	5	5	0.4	219	14	819	254	35	—								
透水試験																		
P-1	100	10	0	0	103	226	952	(0.14)	100	2.13×10 ⁻⁴	100	130	—	152	—	103	—	98
2	100	10	0	02	160	1888	953	(0)	70	4.56×10 ⁻⁴	218	172	—	398	283	598	1050	—
3	100	10	0	02	316	39	902	—	70	1.90×10 ⁻³	207	137	—	164	—	105	—	98
低割透水 試験																		
PS-1	100	5	0	02	896	259	956	(0.07)	96	6.80×10 ⁻³								
2	100	5	0	02	219	1720	934	(0.08)	82	2.10×10 ⁻³								
3	100	5	0	02	896	259	956	(0)	79	3.00×10 ⁻⁴								
4	100	5	325	02	219	1720	934	(0.74)	76	2.40×10 ⁻²								
5	100	5	130	02	284	213	—	(1.10)	8.7	6.90×10 ⁻³								
6	100	5	374	02	384	306	—	(1.32)	88	2.40×10 ⁻²								
7	100	5	324	02	321	305	—	(0.85)	104	6.30×10 ⁻³								
8	100	5	317	02	253	329	—	(1.40)	96	5.00×10 ⁻³								
9	100	5	131	02	142	256	—	(1.06)	86	1.80×10 ⁻²								
10	100	5	158	02	167	856	—	(0.97)	8.1	1.80×10 ⁻⁴								
摘 要					上段： 攪拌1分後 下段： 48時間後		A-B×100(%) A：攪拌1分後 B： " 48h後 (内はBの比重 24h後を使用		各圧力段階に設定した後 5分間における透水量									

4. ま と め

(1) 泥水の粘性について

- ㊤ ベントナイトのみの場合、混合率の増加とともに粘性が大きくなり混合率が7%（比重が1.05）を超えるとその増加傾向が特に著しい。
- ㊦ ベントナイトとともにCMCを混合すると粘性は著しく増大し、ベントナイトの混合率が9.1%の場合でみると、0.4%のCMCの添加により粘性が約10倍となる。

(2) 泥水の比重について

- ㊤ 泥水の経時的な安定性を比重の変化により評価すると、ベントナイトのみ、あるいはCMCも添加したもので、ベントナイトの混合率が多い場合に安定性がよい。その他の配合では、約4時間後に安定化するものの、比重が初期値より相当に低くなる。
- ㊦ CMCの添加により、ベントナイトあるいは粘土による泥水の比重を増加させることができる。

(3) 泥水による不透水膜の形成とその効果について

- ㊤ ベントナイトの混合、およびCMCの添加は、泥水の浸透を防ぐ泥水膜の形成に有効である。
- ㊦ 泥水の配合、泥水圧の大きさにより異なるが、泥水膜（不透水膜）の形成により、泥水圧の50～90約%が切羽等の崩壊を防ぐための有効圧力として作用することを明らかにした。
- ㊧ 掘削による切羽面への影響は、掘削後約60秒までに有効応力が回復し、泥水膜を再形成することから、掘削時においても早期の泥水膜の形成が切羽の安定に大きく寄付していることがわかった。
- ㊨ 地山の透水係数の大小により、泥水の成分の粒径もそれに応じて変化させることが泥水膜の形成に有効である。

泥水シールド工法に関する試験研究報告書
—泥水の物性と砂層の安定性に関する試験—

土研資料第1953号
昭和58年3月(1983)

キーワード トンネル, シールドトンネル工法
泥水シールド
泥水(圧), 泥膜
切羽の安定性
泥水材料

水谷敏則
今田徹
時枝繁
島田巖乃
木村美知秋
石村利明

要 旨 本報告書は, 泥水シールド工法に使われる泥水に
関して行った物性と砂層の安定性に関する試験の結果を
まとめたものである。

郵便はがき

四十四切
手
を
は
い
て
下
さ

305-□□

茨城県筑波郡豊里町大字旭一
建設省土木研究所
トンネル研究室
御中

No. 27

No. 27

配布先氏名

配布先住所

○

土木研究所資料第1953号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印