

泥水加圧切羽の安定に関する実験的研究

齊藤 顕次*

要 約

粘土泥水による砂地盤の切羽の静的安定について、二次元模型シールド切羽装置を用いて、模型実験を行った。その結果、粘土泥水では、泥水の圧力よりも泥水の濃度が、砂地盤の切羽の安定にとって、重要な要素であることが明らかになった。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 実験装置
- § 3. 実験材料
- § 4. 実験方法
- § 5. 実験結果及び検討
- § 6. まとめ
- § 7. おわりに

§ 1. はじめに

泥水加圧シールドにおいて、粘土泥水による砂地盤の切羽の安定は、地山に泥水が浸透することによる浸透壁の形成と、泥水圧によってはかられると考えている。

実際のシールド切羽は、連続切削により、つぎつぎと新しい切羽が現われる動的な状態であるが、本報文は、切羽の静的な状態において、砂地盤の切羽の安定に対する粘土泥水の作用を、二次元模型シールド切羽装置によって調べ、上記の考え方について検討を行なったものである。

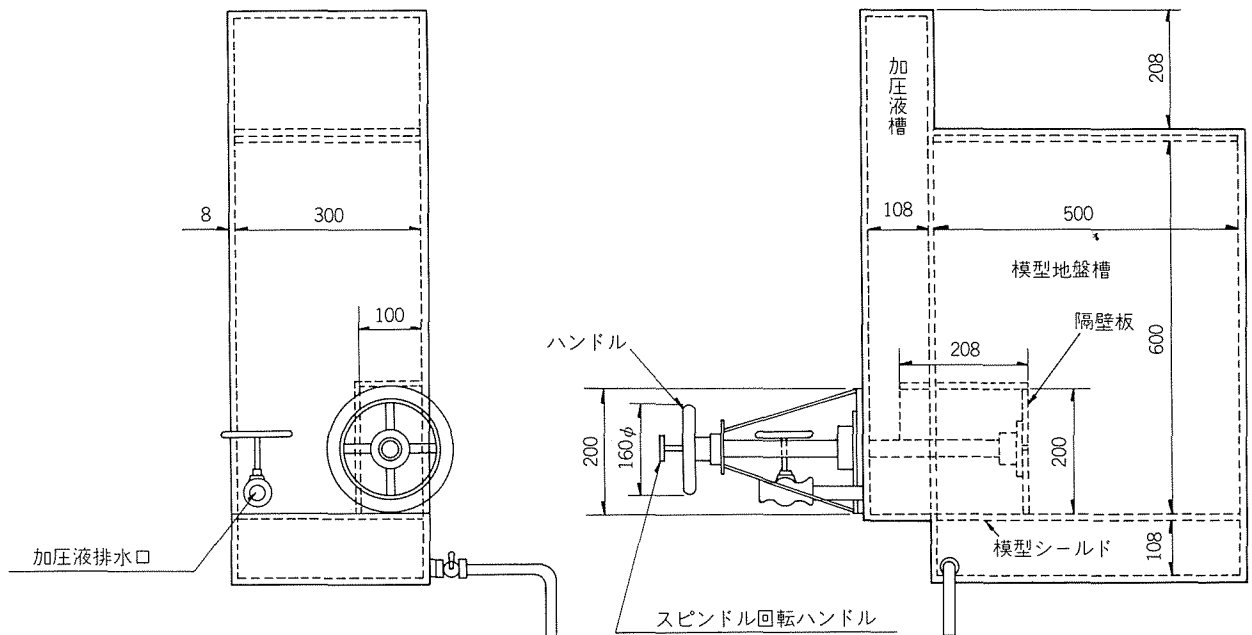


図-1 実験装置

* 技術研究所係長

§ 2. 実験装置

実験装置は、図-1に示すように、模型地盤槽・泥水加压槽及び模型シールド部より構成されている、アクリル樹脂製の二次元模型である。

模型地盤槽と模型シールド部前面との間に、中央に径20mmの開孔を有し、スピンドルの回転によって、この穴の開閉ができるようになっているアクリル樹脂製の長方形の隔壁板がある。この隔壁板は、ハンドルの回転によって後退し、模型地盤の切羽を露出することができる。

隔壁板を後退させて、泥水加压槽に満たされた泥水による、模型シールド部切羽の自立、崩壊などの作用を観察することができる。

§ 3. 実験材料

3-1 粘土泥水

粘土泥水は信楽産粘土^{しからき}を用いて作製した。信楽産粘土は土粒子の比重2.61、0.074~0.005mmのシルト分44%、0.005mm以下の粘土分56%、0.001mm以下のコロイド分34%である。

信楽産粘土を用いた泥水の重量濃度 n (%) と単位体積重量 γ (tf/m³) の関係を図-2に示す。

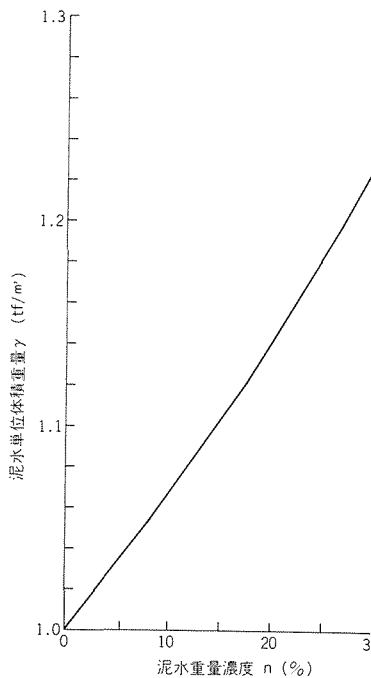


図-2 信楽粘土泥水の濃度 n と単位体積重量 γ の関係

3-2 砂地盤

模型砂地盤は、標準砂を用いて作製した。標準砂は土粒子の比重2.65、10%粒径 (D_{10}) 0.164mmである。

標準砂を用いた模型地盤の乾燥単位体積重量 γ_d (tf/m³) と間隙比 e の関係を図-3に示す。

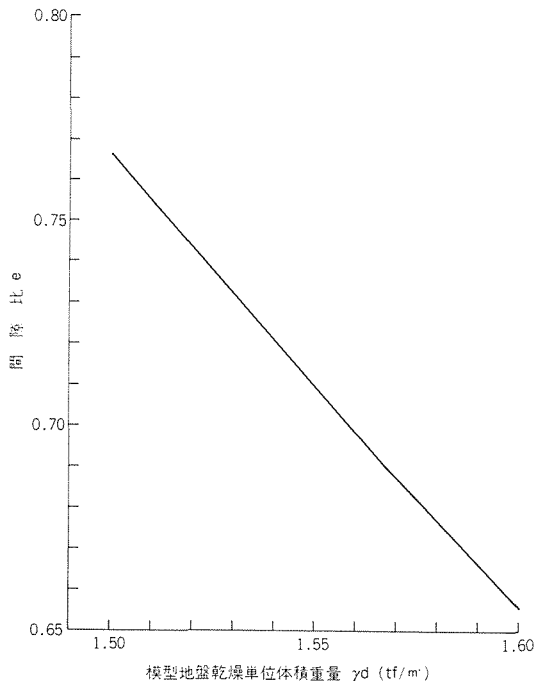


図-3 標準砂模型地盤の単位体積重量 γ_d と間隙比 e の関係

§ 4. 実験方法

模型地盤槽に、所要の単位体積重量になるように標準砂を詰め、下部の浸透水注入口より水を送り、飽和状態の地盤を作製した。このとき、砂層10cmごとに標識用砂を薄く散布し、模型地盤に水平の縮目を付けた。標準砂は、シールド底面から50cmの所まで詰め、水位は模型地盤面上5cmの所に保っておく。標準砂を詰めるとき、隔壁板は、所定の位置に設置し、隔壁板の中央の穴を閉じておく。

模型地盤作製後、泥水加压槽の水を排除しながら、所定濃度の粘土泥水を、十分な高さ(70~80cm)まで満しスピンドルを回して、隔壁板の穴を開き、泥水圧を切羽に作用させてから、ハンドルを回して、隔壁板を静かに後退させた。

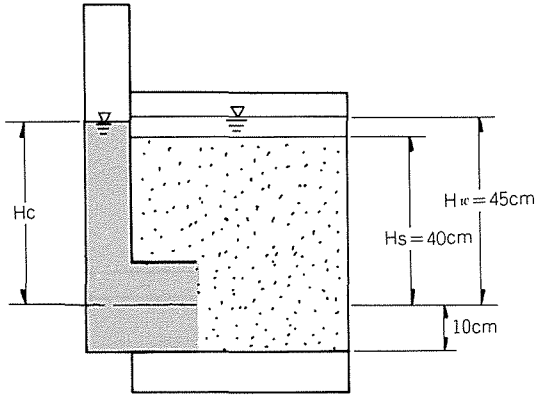
隔壁板を十分後退させたのち、泥水加压槽下部の排水口を開いて泥水位を下げ、切羽に作用する泥水圧を低下させて、切羽の崩壊状態を観察した。泥水位を下げる速度は毎分1cmである。

§ 5. 実験結果及び検討

5-1 切羽の安定状態と崩壊状態

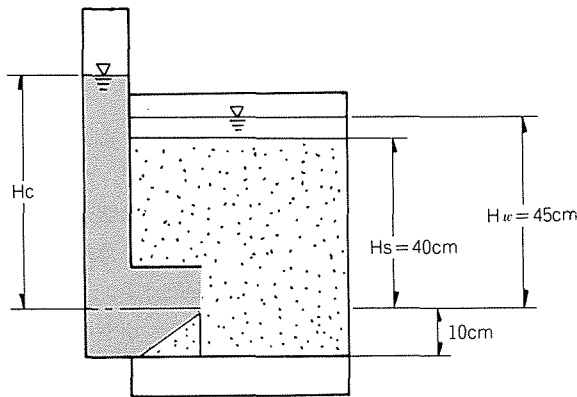
泥水濃度と泥水位の関係に応じて、切羽は図-4の安定状態と図-5の崩壊状態を示す。

図-5に示す崩壊砂の堆積投影面積 S と泥水位 H_c の関係を、実験により求めると図-6~12のようになり、明らかに、 S と H_c の関係に二つの型があることが認められる。



Hc: 泥水位, Hst: 静水位 Hs: 地盤高

図-4 切羽安定状態



崩壊砂堆積投影面積 S

図-5 切羽崩壊状態

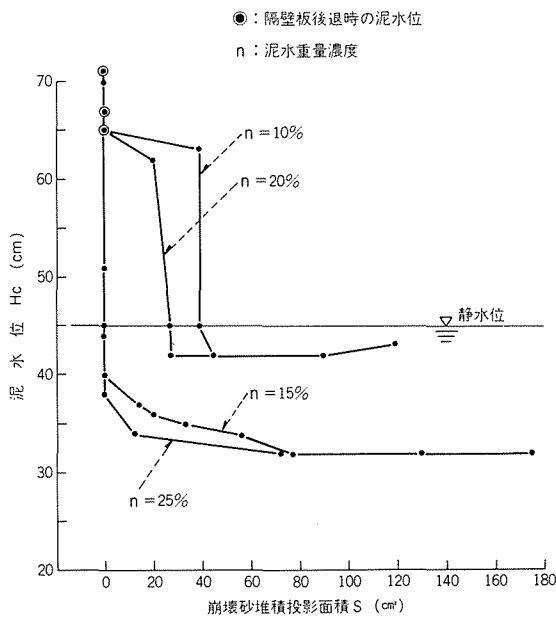


図-6 $\gamma_d = 1.50 \text{tf/m}^3$ の Hc ~ S の関係

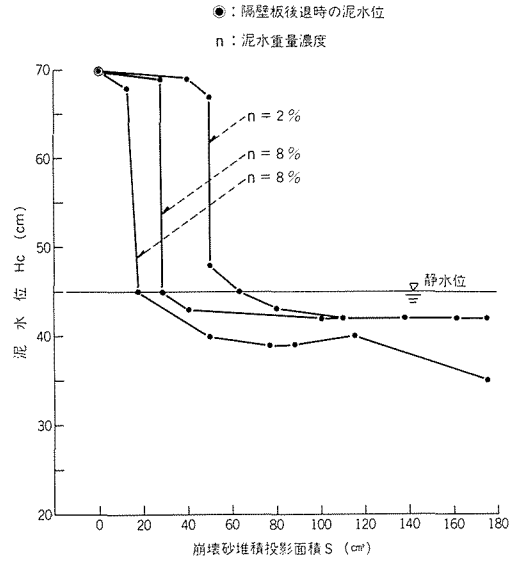


図-7 $\gamma_d = 1.51 \text{tf/m}^3$ の Hc ~ S の関係

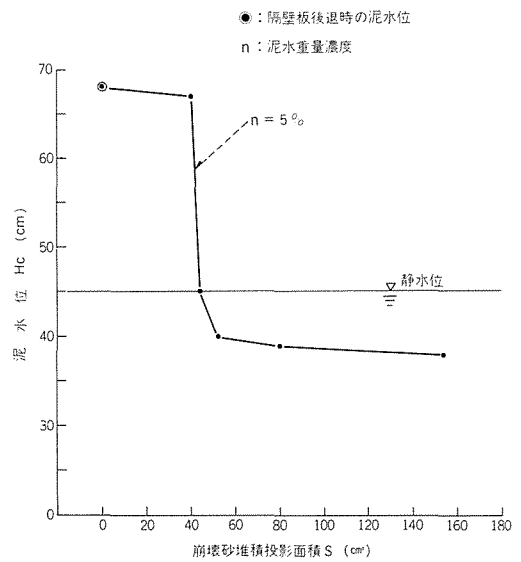


図-8 $\gamma_d = 1.52 \text{tf/m}^3$ の Hc ~ S の関係

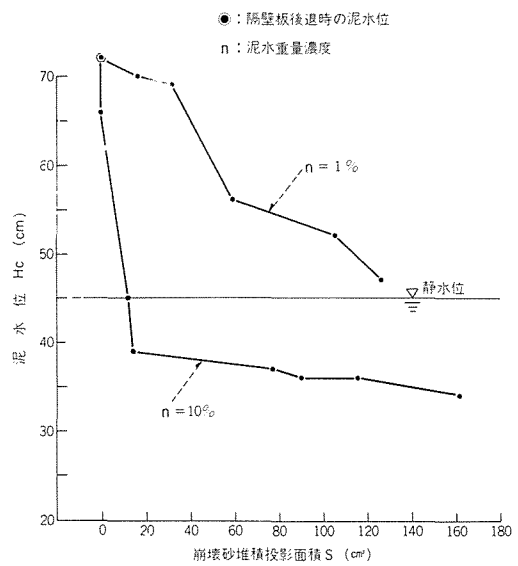


図-9 $\gamma_d = 1.54 \text{tf/m}^3$ の Hc ~ S の関係

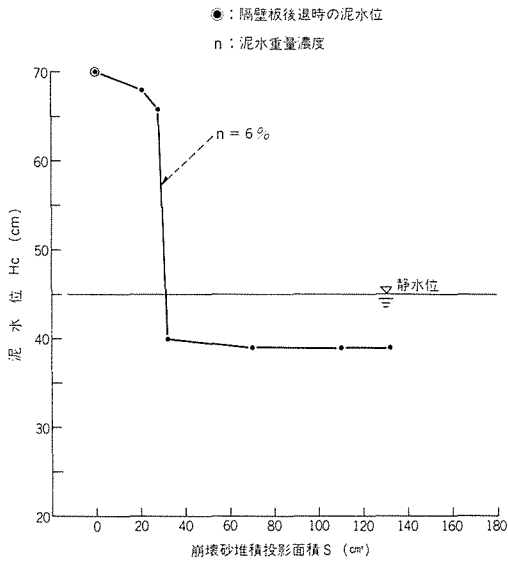


図-10 $\gamma_d = 1.57 \text{tf/m}^3$ の $H_c \sim S$ の関係

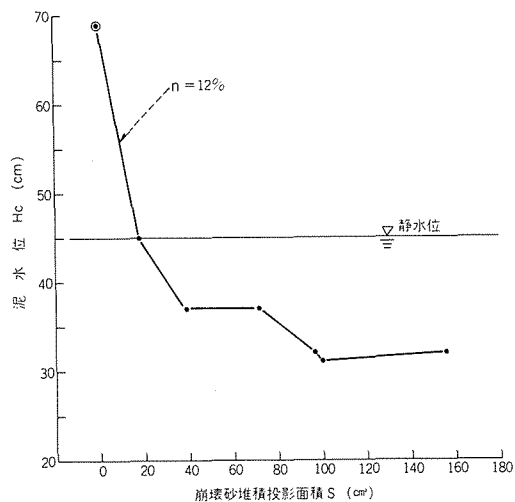


図-11 $\gamma_d = 1.58 \text{tf/m}^3$ の $H_c \sim S$ の関係

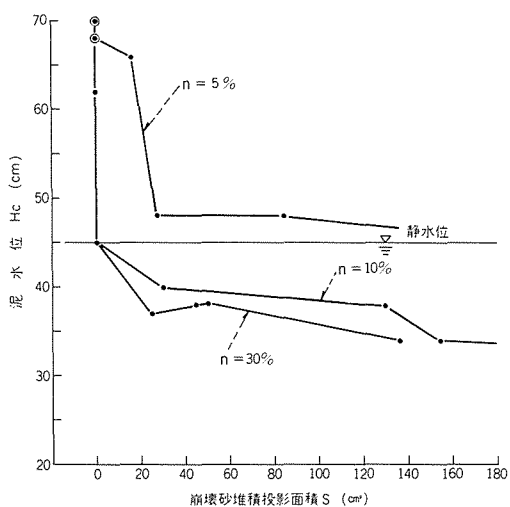


図-12 $\gamma_d = 1.60 \text{tf/m}^3$ の $H_c \sim S$ の関係

この二つの型を模式的に示したものが図-13である。

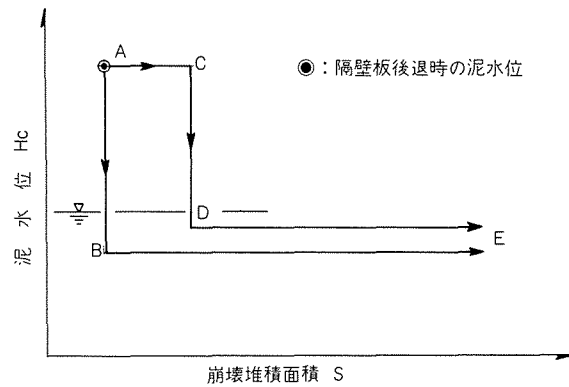


図-13 $H_c \sim S$ の関係模式図

図中の A B E の行程は、切羽を押えている隔壁板の後退、泥水位の低下によっても切羽は崩壊せずに、安定状態を維持することができ、泥水位が B 点に下がった時点で、初めて、急激に切羽が崩壊することを意味する。(図-4)

また、A C D E の行程は、隔壁板の後退とともに、切羽の崩壊が生じるが、完全後退時には、一応、小康状態を保っており、泥水位の低下による切羽の崩壊があまり見られず、泥水位が D 点に下がった時点で、急激に切羽が崩壊することを意味している。(図-5)

従って、A B E の行程をたどる場合を、切羽の安定をはかることのできる場合、A C D E の行程をたどる場合

●：切羽の安定状態

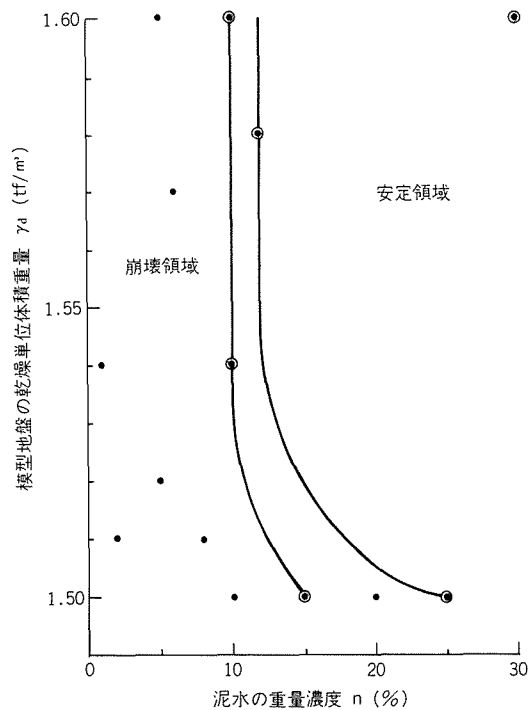


図-14 切羽の安定分類図 (その1)

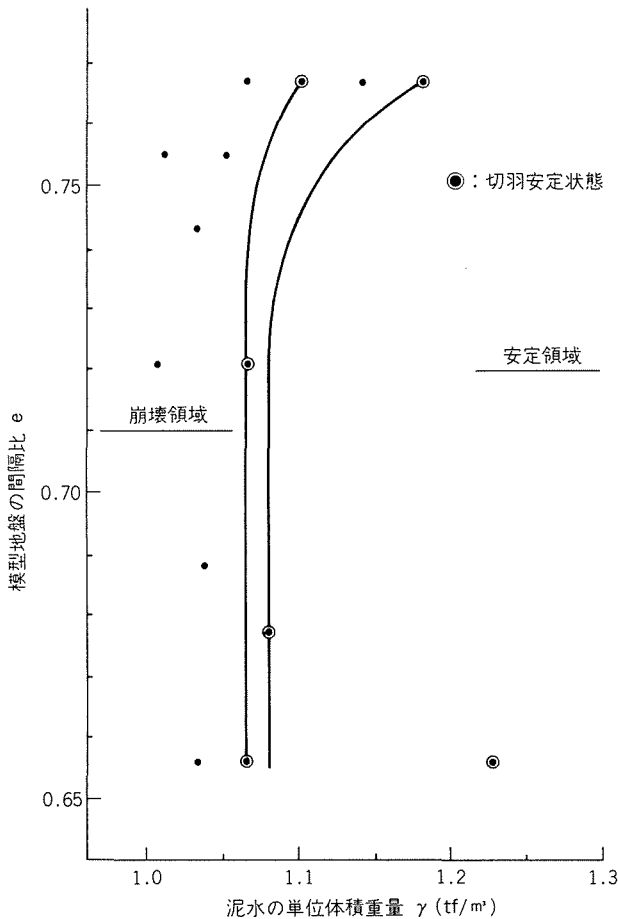


図-15 切羽の安定分類図 (その2)

を切羽の安定をはかることのできない場合と判定する。
 実験結果を、この判定基準に基づいて分類し、模型地盤の乾燥単位体積重量 γ_d と泥水の重量濃度 n の関係図に示すと、図-14のようになり、模型地盤の間隙比 e と泥水の単位体積重量 γ の関係図に示すと、図-15のようになる。
 これらの図によると、切羽の安定をはかることのできる領域と、そうでない領域が明らかに存在する。

5-2 切羽の安定状態における泥水圧と泥水濃度

図-13に示すB点の泥水位は、切羽の安定状態における最小泥水位 H_{cmin} である。この泥水位を推定して、切羽の安定を保つことができる最小泥水圧 p_{cmin} を求める。
 B点の泥水位の推定値を図-16~19に示す。
 この最小泥水位 H_{cmin} より、切羽安定時の最小泥水圧 p_{cmin} を計算したものが表-1である。
 表-1の計算結果より、模型地盤の間隙比 e 、泥水の単位体積重量 γ 及び最小安定泥水圧比(最小安定泥水圧/静水圧) $\frac{p_{cmin}}{p_w}$ の相互関係を図示すると図-20のようになる。

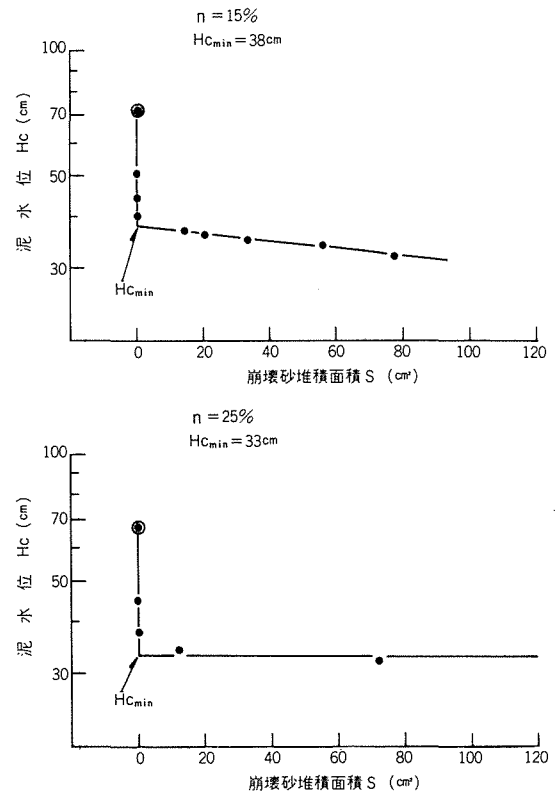


図-16 $\gamma_d = 1.50 \text{tf/m}^3$ の安定最小泥水位の推定

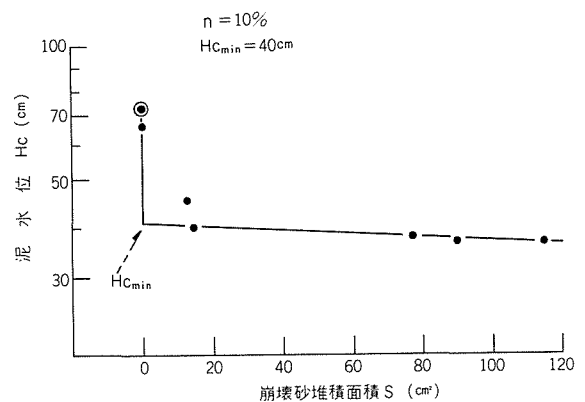


図-17 $\gamma_d = 1.54 \text{tf/m}^3$ の安定最小泥水位の推定

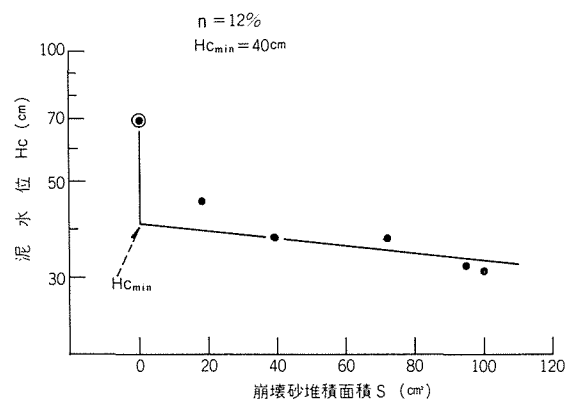


図-18 $\gamma_d = 1.58 \text{tf/m}^3$ の安定最小泥水位の推定

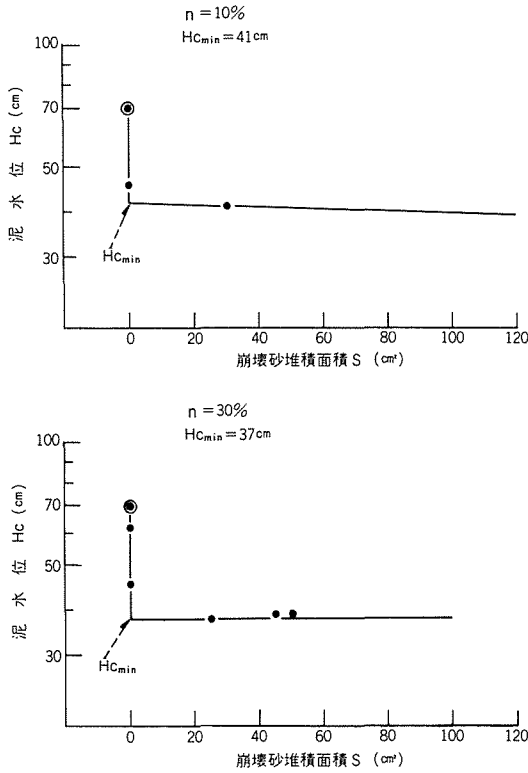


図-19 $\gamma_d = 1.60 \text{ t/m}^3$ の安定最小泥水位の推定

図-20に示すA線は、切羽の安定領域境界における最小安定泥水圧比を表すもので、模型地盤の間隙比が大きくなるにつれて最小安定泥水圧が、低下することを示している。また、泥水の単位体積重量が大きくなるにつれて、最小安定泥水圧比が低下することも示している。

切羽の安定領域における、模型砂地盤の間隙比の増加

にともなう最小安定泥水比の低下は、粘土泥水が、砂地盤に浸透することによって生じるものと考えられる。すなわち、地盤が緩くなるほど泥水の浸透が進み、高濃度の泥水の浸透により、低い泥水圧で切羽が安定することを意味している。

表-1 最小安定泥水圧の計算

	模型砂地盤		静水圧		粘土泥水		最小安定泥水圧 $H_{cmin}(\text{cm})$	最小安定泥水圧 $\frac{p_{cmin}^n}{\gamma(\text{gf/cm}^3)}$	最小安定泥水圧比 $\frac{p_{cmin}^n}{p_w}$
	γ_d	e	$p_w(\text{gf/cm}^2)$	n	γ				
1	1.50	0.767	45	15%	1.102	38	41.88	0.93	
2	1.50	0.767	45	25	1.182	33	39.01	0.87	
3	1.54	0.721	45	10	1.066	40	42.64	0.95	
4	1.58	0.677	45	12	1.081	40	43.24	0.96	
5	1.60	0.656	45	10	1.066	41	43.71	0.97	
6	1.60	0.656	45	30	1.227	37	45.40	1.01	

また、安定領域において、最小安定泥水圧比が1.0以下、すなわち、静水圧よりも低い泥水圧で、切羽を安定することができるのは、切羽が静的状態のため、泥水の浸透が十分に進むためである。

図-20のB点は、地盤の間隙に比較して、泥水の濃度が高く、地盤への浸透があまり進まず、切羽の安定をはかることができる最小安定泥水圧が、静水圧よりも大きくなっていることを示している。

切羽の安定には、泥水の浸透が、きわめて重要な要素である。泥水の浸透と浸透した泥水の濃度に応じて、形成される泥水の浸透壁により、切羽の安定がはかられるかどうかの判断は図-14、図-15の切羽の安定分類図、

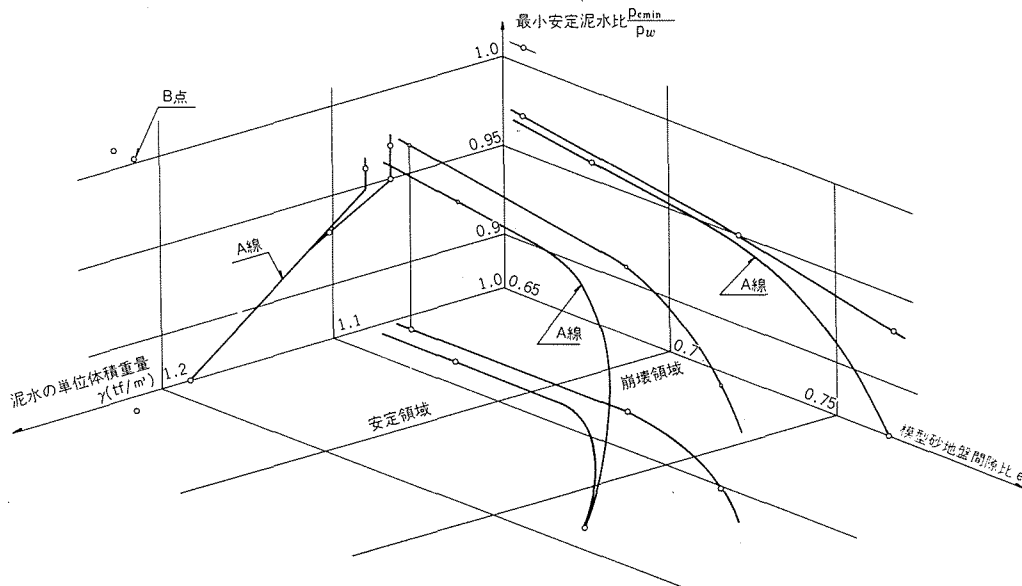


図-20 $\gamma \sim e \sim \frac{p_{cmin}}{p_w}$ の関係

又は図-20によって行なうことができる。

模型砂地盤の性状を表す量を“Fs”，粘土泥水中の粘土含有率を“α”として、表-1よりFs, αを求めると表-2のようになる。

ここに、

$$F_s = D_{10}^3 \times \frac{e^3}{1+e}$$

$$\alpha = \frac{\frac{\gamma}{\gamma_w} - 1}{\frac{\gamma}{\gamma_w} \times \left(1 - \frac{1}{G_s}\right)} \times P(\%)$$

D₁₀ : 10%径 (cm)

e : 地盤の間隙比

γ_w : 水の単位体積重量 (tf/m³)

G_s : 土粒子の比重

γ : 泥水の単位体積重量 (tf/m³)

P : 0.005mm以下の粘土分 (%)

表-2 Fs, αの計算

	模型砂地盤		粘土泥水				
	D ₁₀ (cm)	e	F _s	G _s	P(%)	γ(tf/m ³)	α(%)
1	0.0164	0.767	0.687×10 ⁻⁴	2.61	56	1.102	8.38
2		0.767	0.687×10 ⁻⁴			1.182	14.00
3		0.721	0.586×10 ⁻⁴			1.066	5.63
4		0.677	0.498×10 ⁻⁴			1.081	6.79
5		0.656	0.459×10 ⁻⁴			1.066	5.62
6		0.656	0.459×10 ⁻⁴			1.277	16.79

表-2のFsとαの関係を図示すると、図-21の砂地盤と粘土泥水の状態を一般化した形での、切羽の安定分類図(その3)が得られる。

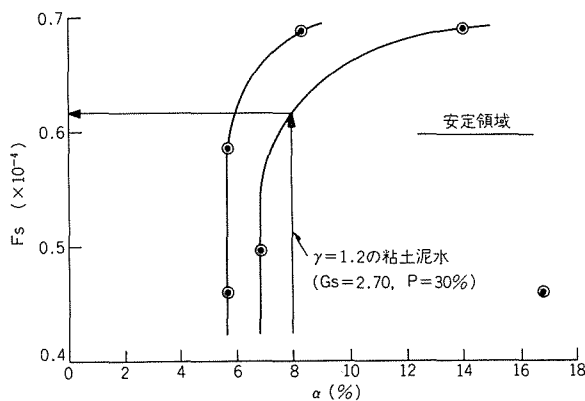


図-21 切羽の安定分類図(その3)

§ 6. まとめ

本実験の結果、切羽の静的安定について、次の事が明らかになった。

- (1) 砂地盤の切羽の安定には、泥水圧よりも、泥水の浸透と浸透する泥水の濃度が、重要な要素であり、これによって、切羽に泥水の浸透壁が形成される。
- (2) 標準砂による砂地盤と、浸透する信楽粘土泥水との関係において、浸透壁の形成によって、切羽の安定をはかることのできる領域が存在する。
- (3) 切羽の安定領域では、標準砂地盤の静水圧よりも低い粘土泥水圧で、切羽の安定をはかることができる。
- (4) 切羽の安定領域でも高濃度の泥水の場合、浸透壁の形成が不十分となり、切羽の安定をはかるための泥水圧が、砂地盤の静水圧よりも大きくなることもある。

§ 7. おわりに

本実験により、粘土泥水による浸透壁の形成によって生じる、砂地盤に対する静的状態の切羽の安定について有益な知見を得ることができた。この浸透壁の形成状態と、安定泥水圧の定量的な検討が、今後の研究課題である。

本報文は、昭和46年10月から昭和48年9月にわたって実施した、泥水加圧シールド切羽の安定に関する一連の模型実験によって、得られた実験結果を検討したもので、実験に協力された関係者各位に深く感謝する。