

東京電力株式会社地中線建設研究所

〇岡崎憲吉

I〔まえがき〕

帯水しな砂層中に泥水加圧式シールドが掘進する場合発生する問題を解決するために、鹿島建設技術研究所に依頼し基礎実験を行なっているが、今回次の1)、2)について概要を報告する。

1)泥水による切羽の安定条件を、模型実験によりもとめた。

2)実際の地盤に泥水を加圧した場合の逸泥水量を、現場逸泥試験を行ない推定した。

II〔実験の進め方〕

(表-1)

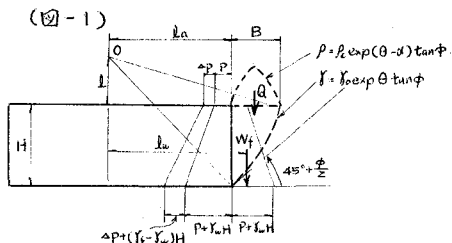
1. 予備実験：泥水材料の選定を目的としており、泥水の材料試験として1)密度低下試験、2)粘性試験、3)口過試験、を行なう。
2. 切羽安定実験：泥水材料、過剰圧と切羽の安定状態とを関連づけることを目的とし、泥水材料と過剰圧と変化させ、切羽の状態を観測する。
3. 現場逸泥試験：室内試験の結果をもとに、現地盤に対して逸泥試験を行ない、過剰圧が有効にかかるのかを逸泥水量により推定する。

試験、実験項目	実験目的
予備実験	密度低下試験 切羽が静止した状態で、泥水が一定の密度を保っているかを判定する。
	粘性試験 切羽の安定に直接関係ないが、送排水用のポンプ容量が粘性により左右され、全体のコストに關係する。
	口過試験 泥水の膜形成効果が期待できるかを判定する。
模型実験	切羽安定実験 泥水の過剰圧と、泥水の種類を、パラメータとして、切羽の安定状態を観測する。又切羽の状態と計算値とを比較する。
現場試験	逸泥試験 現地盤において、泥水の膜形成効果を確かめ、地盤と逸泥水量との関連を把握する。

これをまとめて(表-1)に示す。

III〔切羽安定の考え方〕

1. 従来、バントサイト泥水による掘削壁面の崩壊防止の主機構は、マウロ的に次のように考えられている。
- 1)掘削壁面に不透水性の泥壁がバントサイト泥水により形成される。これは壁面からの湧水、逸泥を防止し壁面の土砂の肌落ち防止と、泥水圧を有効に作用させる。 2)泥水圧が切羽の土圧に作用して、これを釣り合うこと。
2. 泥水加圧式シールドにおける切羽の土圧と、泥水圧との釣り合いを(式-1)でこれを表示する。
- すべり形状の仮定及び計算式の算出仮定を1)~4)に示す。
- 1)すべり形状は一体すべり崩壊型として、地山のすべりモーメントより泥水の抵抗モーメントが大きい場合、安定する。
- 2)切羽前面のすべり面の形状は、切羽下端で水平方向と $\theta = 45^\circ + \frac{\phi}{2}$ の方向を持ち、上端で鉛直方向を持つ対数らせん線 $r = r_0 \exp \theta \tan \phi$ とする。



3) すべり土塊の上方のゆるみ領域の形状を、ゆるみ幅の中心軸を対称とした対数線

$$\rho = \rho_0 \exp \{ (\theta - \alpha) \tan \phi \}$$

4) 泥水はそ水自体のせん断強さ無視し水平分布をなしていると考え、又地山の砂の粘着力を無視する、

切羽の安定式
$$F = \frac{(\frac{H}{2} + \frac{L}{2}) \cdot H \cdot \Delta p + (\frac{H^2}{3} + \frac{L^2}{2} L) (Y_f - Y_w)}{W_f L_w + Q (L_n + \frac{B}{2})} \quad \text{----- (式-1)}$$

式-1の 右辺分母 = (すべりモーメント + ゆるみモーメント)

右辺分子 = (泥水圧による抵抗モーメント)

H: (シールド掘外径) L: (すべり中心からクラウン高さまでの鉛直距離)

Δp : (クラウン部における過剰圧) Y_f : (泥水密度) Y_w : (清水密度) B: (ゆるみ幅)

F: (安全率) W_f : (すべり土塊の重量) Q: (ゆるみ土圧)

IV [実験結果と考察]

1. 予備実験 (泥水の材料試験)

一般に切羽の安定の面からは、粘土物質の多いベントナイトを密度を高くして使用する方がよいが、ベントナイトの値段が高いこと、粘性が高くなり逆排水の輸送が困難になること、又密度が高くなるため、泥水処理のプラントが大きくなること、等のため不経済になる。このためシルトとベントナイトの混合泥水を泥水材料として採用することにし、混合泥水の物性を試験した。(グラフ-1)

1-1 密度低下試験

泥水作製時の密度 $Y_f = 1.22$ と、 $Y_f = 1.06$ について、

シルト及びベントナイトの配合さ(表-2)のよう
に变化させ、経過時間と泥水密度の関係を調べた。

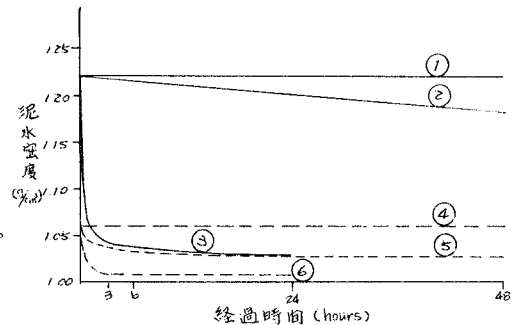
結果は(グラフ-1)に示す。

この結果より、次のことがいえる。

1) シルトのみの泥水は短時間に密度低下が著しい。

2) ベントナイトとシルトの混合液はシルトのみの泥水にくらべ、密度低下が抑制される。

3) ベントナイトのみの場合は密度低下がほとんど見
られない。



(表-2)

試料 NO	①	②	③	④	⑤	⑥
泥水2L中に含まれる シルト重量(g)	500	600	700	0	100	200
ベントナイト重量(g)	200	100	0	200	100	0
泥水密度 (g/cm³)	1.22	1.22	1.22	1.06	1.06	1.06

(表-3)

泥水作製時 配合	泥水密度	(Sec) 7.5%粘性	脱水量(cc)	4.5厚(mm)	4.5厚の 透水係数
ベントナイトのみ	1.05	35°	12	1.3	3.6 × 10 ⁻⁹
“	1.15	—	8	2.1	4.1 × 10 ⁻⁹
“	1.05	24°	15	1.2	3.5 × 10 ⁻⁹
2:1	1.15	60°	10	1.8	3.9 × 10 ⁻⁹
“	1.05	23°	16	1.0	4.3 × 10 ⁻⁹
4:1	1.25	120°	8	1.9	3.1 × 10 ⁻⁹
“	1.15	35°	12	1.5	3.5 × 10 ⁻⁹
“	1.05	24°	16	0.8	3.1 × 10 ⁻⁹
8:1	1.25	60°	9	1.7	2.9 × 10 ⁻⁹
“	1.15	28°	13	1.3	4.0 × 10 ⁻⁹
“	1.05	24°	18	0.3	3.9 × 10 ⁻⁹
シルトのみ	1.05	24°	24	0.9	4.3 × 10 ⁻⁹
清水	1.00	19°	—	—	—

1-2 粘性測定と口過試験

泥水材料としてシルトとベントナイトの乾重量配合 1:1, 2:1, 4:1, 8:1,

1:0, 0:1 の6種類作製し、密度低下が

ほぼ終了したと思われる作製後24時間後の上澄み液について、泥水密度を $Y = 1.05$,

1.15, 1.25 g/cm³ 変化させて、API規格のファンネル粘度、及び口過試験(30min後の脱水量、4.5厚さ測定する。)を行なった。

測定結果を(表-3)に示す。

2. 切羽安定実験

2-1. 実験装置

シールド機内径 52 の $1/20$ のモデルとして

(図-2) のような実験装置を作った。

ベントナイトは市売されている豊順 300

メッシュを使用し、地盤用砂および混合泥水

用シルトの成分は(表-4)に示す。

2-2. 実験方法

1) 肉鎖板により、模型地盤と泥水を分け、泥水位

および清水位と所定の値に調節する。

2) 肉鎖板にある窓を開き泥水を切羽に作用させ、

モーターを回し、肉鎖板を切羽面よりはなし、

切羽の状態を観測する。

以上の方法により、過剰圧、泥水密度、泥水配合

を变化させ計 26 通り実験した。

2-3. 実験結果

1) 切羽の状態を次のように大きく 4 つに分類して

考えた場合、泥水配合、泥水密度、過剰圧の変化による

切羽の状態は(表-5)の通りである。

①全般崩壊： シールド切羽上の地盤にアーチング作用
が見られず、ゆるみが地表面まで及び陥没。

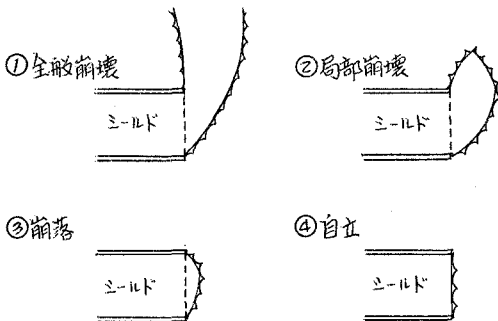
②局部崩壊： アーチング作用により地表面は陥没してな
いが、切羽前面が崩壊している。

③崩落： 局部崩壊まで至っていないが、大きな肌落
が生じている。

④自立： 少しの肌落のみで自立している。

(図-3) 参照。

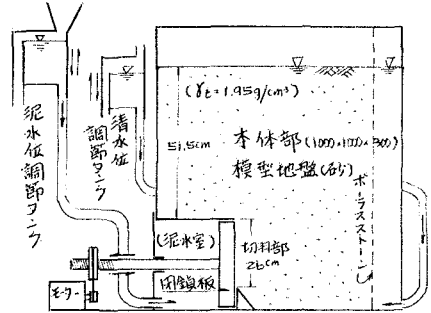
(図-3)



2-4. 考察

1) シルトのみの泥水の時の $\gamma_s = 1.03 \sim 1.05 \text{ g/cm}^3$ の範囲で自立し
たものはない。

(図-2)



(表-4) 実験使用材料成分表

	砂	シルト	粘土
模型地盤用砂	95%	5%	
泥水用シルト	22%	52%	26%

(表-5)

泥水配合	γ/cm^3 泥水密度	γ/cm^3 過剰水圧	切羽状態
清水	1.00	5.2	①
シルトのみ	1.03	4.0	②
		7.2	③
	1.05	5.0	②
		7.3	③
シルト：ベントナイト	1.03	7.4	③
		0	①
	1.05	7.0	②
		0	④
	1.10	4.2	③
		4.4	④
		3.0	④
		5.0	④
シルト：ベントナイト	1.03	7.0	④
		2.0	①
	1.05	2.0	②
		7.0	④
	1.10	3.0	④
		5.2	④
ベントナイトのみ	1.05	7.0	④
		3.2	④
		4.6	④
		6.2	④
	1.075	5.0	④

2)シルト：ベントナイト = 8:1の泥水では $\gamma_f = 1.10\%$ で過剰圧

さ3%以上作用させると自立した。

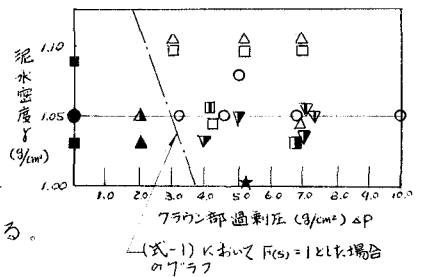
3)シルト：ベントナイト = 4:1の泥水では $\gamma_f = 1.05\%$ で過剰圧

さ7%以上作用させると自立した。

4)ベントナイトのみの泥水ではわずかな過剰圧で自立した。

以上のことよりベントナイトの配合の高いほど切羽の安定に寄与している。これはベントナイトの泥水膜形成作用と関係がある。

(グラフ-2)



3 現場選泥試験

実際の現場において選泥試験を行ない、実際の地層の選泥水量を把握することと目的として、図-4の装置を用いて、泥水による定水位透水試験のフナロジ-を行なった。結果は表-6に示す。これより清水及びシルトのみの泥水は選泥水量が多く、泥水材料としては適さないと思われる。シルトとベントナイトの混合泥水は短時間に選泥水量が著しく減少し、泥水膜形成効果は十分期待できる。

泥水配合

切羽状態

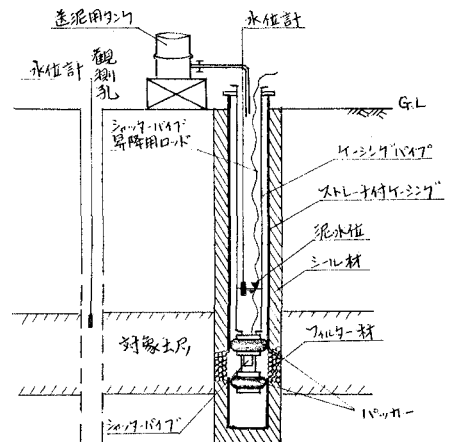
- ベントナイトのみ
- △ シルト：ベントナイト 4:1
- 8:1
- ▽ シルトのみ
- ☆ 清水

- 全面崩壊
- 局部崩壊
- ① 崩落
- 自立

(図-4)

(表-6) 泥水量 $Q (l/min)$

経過時間 min	砂しきり層 (GL-10.2 ~ 11.0)						砂層 (GL-12.1 ~ 12.7)					
	清水	シルト	シルト：ベントナイト 8:1	シルト	シルト	シルト	清水	シルト	シルト	シルト	シルト	シルト
0.05	0.10	0.10	0.20	0.10	0.20	0.10	0.20	0.13	0.17	0.10	0.20	
1.0	38.8	50.5	36.4	31.7	27.6	—	—	14.1	9.4	16.5	—	—
2.0	34.1	48.8	34.1	51.7	31.7	29.4	11.8	15.3	8.0	11.8	5.4	12.9
3.0	28.1	41.1	20.0	56.9	3.5	2.4	9.4	12.9	7.2	8.2	2.1	9.2
4.0	32.9	41.1	14.1	55.2	3.5	2.9	9.4	14.1	4.7	7.1	3.8	6.3
5.0	29.4	42.4	9.4	50.5	1.2	1.2	11.8	15.3	—	4.7	1.4	5.7
6.0	31.4	41.1	9.4	30.0	1.0	—	—	15.3	3.5	8.2	—	5.5
7.0	34.5	—	11.8	11.2	—	—	10.0	14.1	—	—	1.4	—
8.0	32.8	47.8	4.7	5.0	—	—	9.4	15.0	2.4	3.5	—	3.1
9.0	32.6	—	5.9	7.1	—	—	9.4	14.0	—	—	1.9	—
10.0	—	44.3	4.8	6.6	—	—	10.5	14.3	—	4.7	1.2	—
6.0	29.5	—	—	—	0.1	—	9.5	13.7	—	—	0.5	1.0



V まとめ

1 今回の実験で明らかしたこと

1-1.シルトのみの泥水は密度低下が著しく、泥水膜形成に時間がかかり、選泥水量が多くなるため、砂層を対象とした泥水加圧工法の材料には適さない。

1-2.ベントナイト・シルトの混合泥水は密度低下が少なく、 $\gamma_f = 1.25\%$ 程度に作製でき、又短時間で泥水膜が形成され、選泥量が少いため、泥水材料として十分使用できる。

1-3.切羽安定条件として次の1), 2)の条件と揃えなければならない。1) (式-1)の安全率 $F \geq 1$ となるように過剰圧をかけること。2)シルトとベントナイトの配合を定めると、切羽が安定するための最小泥水密度が定まり、それ以上の密度の泥水を使用すること。今回想定したシールド機内径5.2mのシールドの切羽はシルト：ベントナイト = 8:1の配合の泥水で密度1.1%以上、過剰圧0.1%以上で安定すると思われる。

2 今後の検討事項

1)ベントナイトとシルト又は粘土の成分が知り、切羽の安定に最適な混合泥水の配合を推定する一般的な目安をすること。

2)現場選泥試験と各種地層で行ない、地層による選泥水量の標準的値をもとめること。

3)現場選泥試験の際の選泥水量と実際のシールドの切羽よりの選泥水量の相関関係を見いだすこと。