

泥水特性に関する基礎的研究 (その3) (泥水式シールドにおける礫地盤用泥水の開発)

Fundamental Study on Characteristics of Slurry – Part 3 –
(Development of the Slurry for Gravelly Ground in Slurry Shield)

齊藤 顕次*	野本 寿**
Kenji Saitō	Toshi Nomoto
広川 文明***	渡辺 徹**
Fumiaki Hirokawa	Tōru Watanabe
平岡 博明****	新藤 敏郎*****
Hiroaki Hiraoka	Toshirō Shindō
佐藤 靖彦*****	
Yasuhiko Satō	

要 約

本研究は、間隙率30~40%程度 ($k > 5 \times 10^{-1}$ cm/sec) の礫地盤を対象とした泥水式シールド工法に用いる泥水の逸泥防止対策及び泥水加圧効果の向上を目的として研究開発を行ったものである。その結果、粘性についてはイールドバリューYVが100dyn/cm²以上で、また目詰め材としては砂、高吸水性樹脂及びセルロースの混合泥水が比較的良好な結果を収めた。また、逸泥パターンとしては一度泥壁が形成された後に再貫入するケースがあることも確認された。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 配合計画
- §3. 材料選定
- §4. 浸透実験
- §5. まとめ
- §6. おわりに

§1. はじめに

透水性の高い礫層に適用する泥水式シールドの泥水は、逸泥が少ないもの、すなわち加圧効果の高いものが必要であり、これは切羽の安定に対して不可欠なものと考えられる。

本研究は、透水係数が 5×10^{-1} cm/sec以上の地山を対象として逸泥防止及び泥水加圧効果の向上を図り、同時に泥水特性や逸泥防止剤の有効性を明らかにすることを目的とした

§2. 配合計画

逸泥防止対策としては、適当な目詰め材を用いることと、高粘性を保つことが有効とされている。このため次に示す手順で基本配合設計を行った (Fig.1 参照)。

2-1 対象土質

対象とした土質の粒径加積曲線をFig.2に示す。また、同土質の室内透水試験で得られた透水係数は 5×10^{-1} cm/sec (間隙率 $n = 29\%$) であった。

2-2 逸泥に対する検討

泥水材料は地盤条件によって制約され、その逸泥有無のチェックは、注入工法で用いられる粒子グラウトの適用限界の式¹⁾が利用される。

*技術研究部技術研究所副所長
**技術研究部土木技術課係長
***技術研究部技術研究所係長
****技術研究部技術研究所
*****技術研究部土木技術課

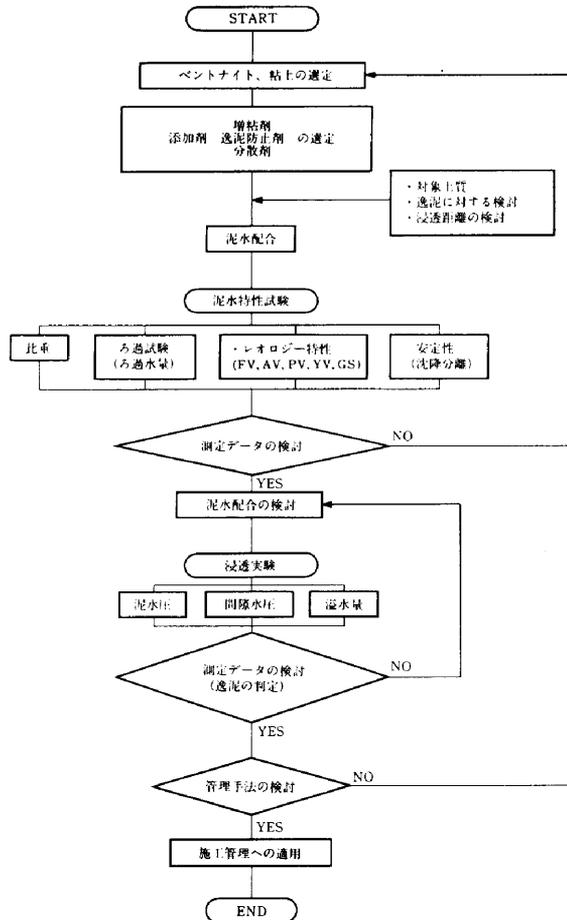


Fig.1 泥水配合検討フローチャート

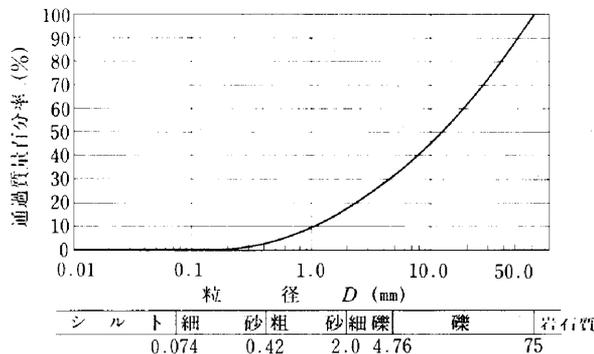


Fig.2 対象土質の粒径加積曲線

$$D_{15}/G_{85} \geq 15 \quad (1)$$

$$D_{10}/G_{95} \geq 8 \quad (2)$$

ここに、 D_{15} 、 D_{10} ：土の粒度試験より求めた粒径加積曲線の15%径と10%径

G_{85} 、 G_{95} ：グラウト材料の粒度試験より求めた粒径加積曲線の85%径と95%径

Fig.2より $D_{15}=1.40\text{mm}$ 、 $D_{10}=0.97\text{mm}$ であり、基本泥水

材料として笠岡粘土を用いると $G_{85}=0.06\text{mm}$ 、 $G_{95}=0.12\text{mm}^2$ となる。したがって、 $D_{15}/G_{85}=23$ 、 $D_{10}/G_{95}=8$ となり、式(1)及び(2)と比較すると逸泥し易い材料であることがわかる

このため、配合計画では目詰め材(砂、高吸水性樹脂、セルローズ)の使用を考えた。

2-3 浸透距離の検討

泥水等のビンガム流体の浸透距離は、

Buckingham-Reiner方程式³⁾から次式で示される。

$$l = \frac{P \cdot R}{4 \tau_f} \quad (\text{cm}) \quad (3)$$

ここに、 l ：浸透距離 (cm)

P ：泥水圧 (dyn/cm²)

R ：間隙等価半径 (cm)

τ_f ：泥水のイールドバリュウYV (dyn/cm²)

$$\text{また、} R = \frac{800 \cdot \eta \cdot k}{\gamma_w \cdot n} \quad (\text{cm}) \quad (4)$$

η ：水の粘性係数 (gf·sec/cm²)

k ：透水係数 (cm/sec)

γ_w ：水の単位体積重量 (gf/cm³)

n ：間隙率 (%)

Fig.3に間隙等価半径 R と泥水の必要イールドバリュウ τ_f の関係、Fig.4に間隙率 n と間隙等価半径 R の関係を示す。対象地盤について $k=5 \times 10^{-1}\text{cm/sec}$ 、 $n=29\%$ とし、また $\eta=1 \times 10^{-5}\text{gf} \cdot \text{sec/cm}^2$ 、 $\gamma_w=1.0\text{gf/cm}^3$ (20°C)とすると式(4)から $R=0.012\text{cm}$ が得られる (Fig.4参照)。さらに、泥水圧 $P=250 \times 980\text{dyn/cm}^2$ 、 $R=0.012\text{cm}$ 、 $l=10\text{cm}$ として式(3)から必要YVを求めると、 $\tau_f=73.5\text{dyn/cm}^2$ となる (Fig.3参照)。

2-4 土粒子保持の検討

泥水の土粒子保持に関しては、Weiss⁴⁾により次式が提案されている。

$$D_v = 3/2 \cdot \tau_f \cdot \pi / (\gamma_s - \gamma_f) g \quad (\text{cm}) \quad (5)$$

ここに、 D_v ：泥水中に保持される土粒子の限界径 (cm)

γ_s ：土粒子の密度 (gf/cm³)

γ_f ：泥水の密度 (gf/cm³)

g ：重力加速度 (cm/sec²)

一方、TerzaghiやH.Muller-Kirchenbauer⁵⁾によれば、限界径 D_v と切羽土層の粒径加積曲線の D_{15} が関係づけられ、

$$D_{15} \leq (5 \sim 8) D_v \quad (6)$$

のとき、限界径 D_v を保持する泥水は切羽の崩壊を防止して

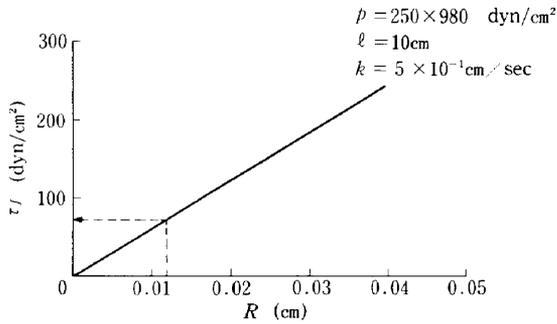


Fig.3 間隙等価半径Rと泥水のイールドバリューτfの関係

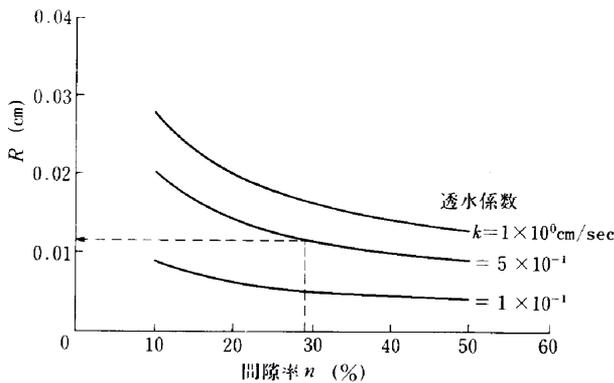


Fig.4 間隙率nと間隙等価半径Rの関係

きることが実験的に確認されている。

したがって、対象土層の $D_{15}=1.40\text{mm}$ を式(6)に代入すると $D_v=0.3\text{mm}$ となる。目詰り材として限界径の3倍程度の砂の混入を計画すると $D_v=1\text{mm}$ 程度の保持力 τ_f が必要となる。

式(5)に $D_v=1\text{mm}$, $\gamma_s=2.65\text{gf/cm}^3$, $\gamma_f=1.20\text{gf/cm}^3$ を代入すると、 $\tau_f=30\text{dyn/cm}^2$ となる。

2-5 必要粘性の決定

2-3および2-4の検討から、粘性の高い値を取ると $\tau_f=73.5\text{dyn/cm}^2$ となる。

したがって、配合計画に当たっては $YV=73.5\text{dyn/cm}^2=15.4\text{lb}/100\text{ft}^2$ 以上の泥水を目標とした。

§3. 材料選定

粉末粘土だけの泥水は、ろ過特性等において劣るためベントナイトの添加を計画した。また、所要の特性を得るためTable 1に示すような増粘剤、逸泥防止剤および分散剤等の添加剤を加えた。

対象地盤の地下水には塩分が1%程度含まれるため、塩分混入による特性の変化を調べ、ベントナイトの選定を行うこととした。各種の泥水配合を行い、その泥水試

験結果をFig.5,6にYVとろ過水量の関係で表した。これらの結果から、塩分混入によるろ過水量への影響の少ない妙義ベントナイトを選定した。

Table 1 使用添加剤

添加剤	品名	効果・特性
増粘剤	TP30 クニモス	泥壁形成性が良く、耐菌性、耐塩性に優れるクニゲルV ₁ 、泥水改質剤
逸泥防止剤	砂 KTシール スマカゲル S-50	目詰り効果 綿花及強化スフを成分とし、分散性が大きい高吸水性樹脂
分散剤	テルフロー-E	セメント、塩分による汚染の予防、改善

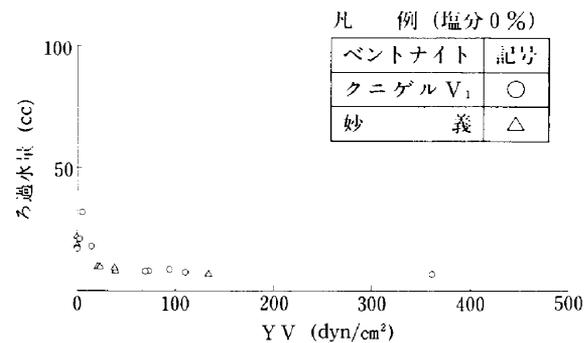


Fig.5 イールドバリューYVとろ過水量の関係 (塩分0%)

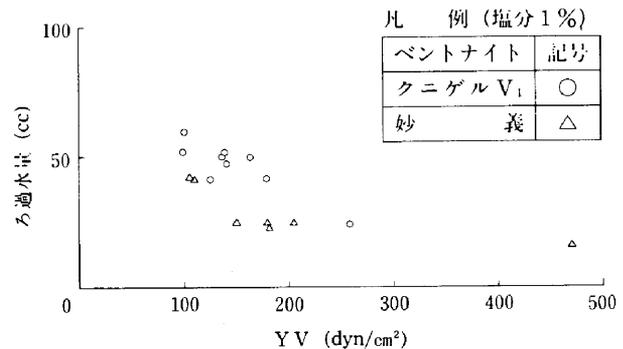


Fig.6 イールドバリューYVとろ過水量の関係 (塩分1%)

§4. 浸透実験

4-1 泥水配合

泥水配合に当たっては、Table 2に示す基準を設け配合泥水を選定した。

4-2 浸透実験結果

選定された泥水について浸透実験²⁾を実施し逸泥の判定をした。逸泥状態を3パターンに分け、その例をFig.7~9に示す。Fig.7の逸泥の場合では、溢水量の勾配が小さくならず、3箇所の間隙水圧が上昇している。Fig.8の

Table 2 泥水特性基準

比重	1.10~1.25
Y V	15 lb/100ft ² 程度
ろ過特性	20cc以下(塩分混入後)
比重安定度	90%以上

示す。YVが³100dyn/cm²以上で逸泥がほぼなくなっている。図中の黒ヌキは砂を添加せず増粘剤だけを添加した泥水であり、かなり大きなYVを持たないと逸泥を防ぐことはできない。砂を目詰め材として用いた泥水では、それ以外に高吸水性樹脂等を添加した混合泥水が比較的良好な結果を得た。

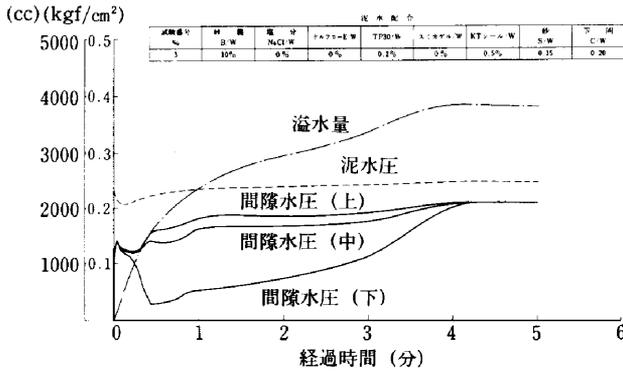


Fig.7 浸透実験結果 (逸泥の場合)

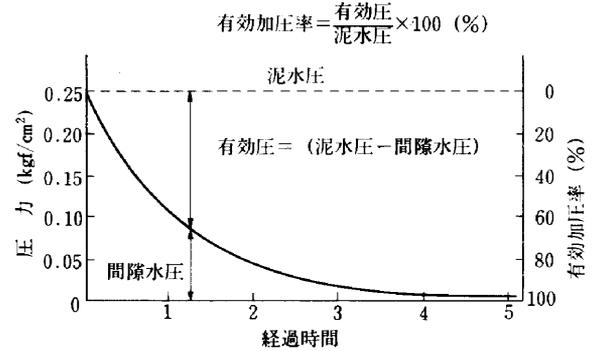


Fig.10 有効加圧率の説明

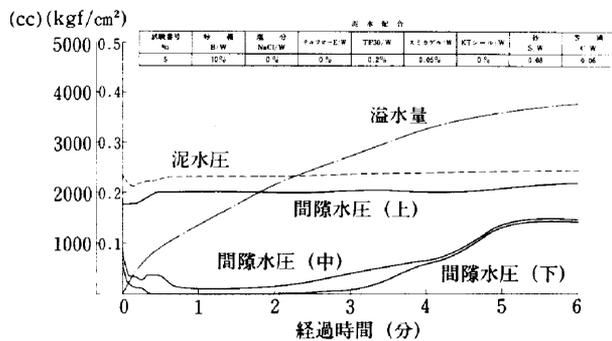


Fig.8 浸透実験結果 (再貫入の場合)

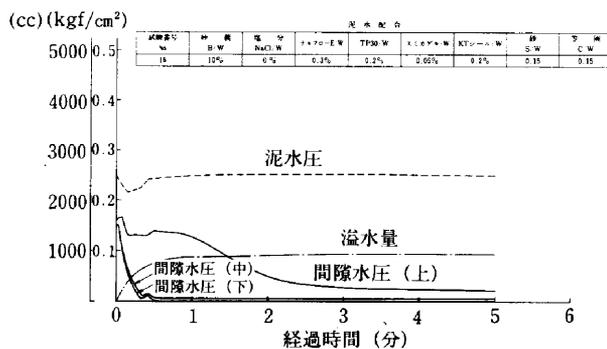


Fig.9 浸透実験結果 (逸泥しない場合)

再貫入状態では一度減少した間隙水圧が再び上昇する。Fig.9の逸泥のない場合では、間隙水圧が減少し溢水量の増加もなくなり、有効加圧率が³100%に近づく。ただし、ここで有効加圧率はFig.10に示されるように定義され、対象地盤に対する泥水の加圧効果の程度を表す。

浸透実験結果を間隙率 n とYVとの関係でFig.11に

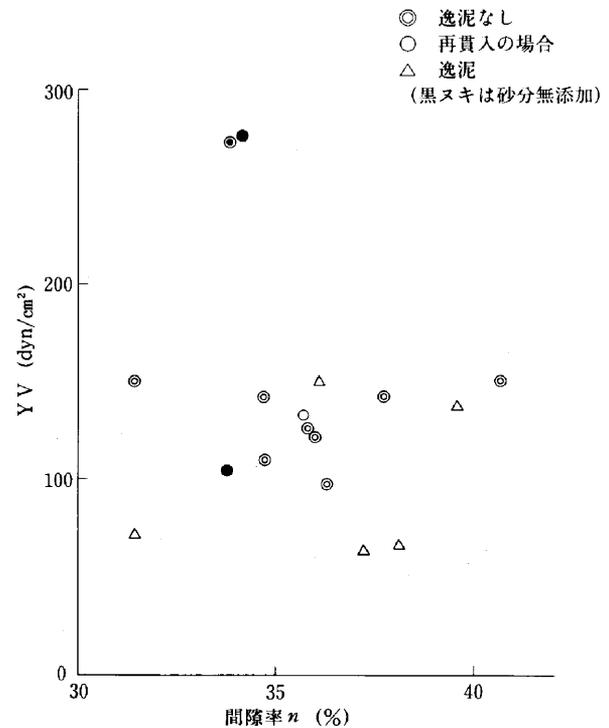


Fig.11 浸透実験結果 (間隙率 n とYVの関係)

また、溢水量 Q と間隙率 n から泥水浸透距離を換算し、溢水量の時間変化量と浸透距離換算値の関係($dQ/dt \sim l$ 曲線)を逸泥の有無別にFig.12,13に示す。逸泥の有無によらず dQ/dt のピーク値は同程度であるが、逸泥する場合には、ピーク後 dQ/dt が0に収束せず一定値を保って溢水する。このように、 $dQ/dt \sim l$ 曲線は間隙水圧の変動とともに逸泥判定指標の一つとなる。

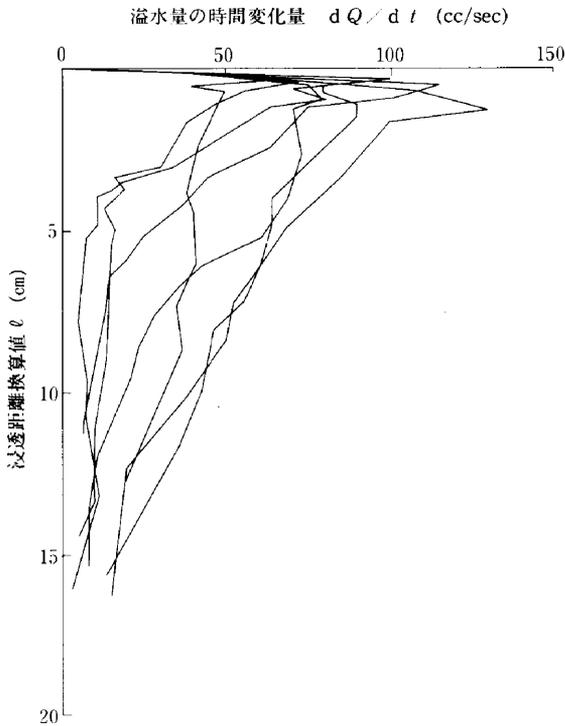


Fig.12 $dQ/dt \sim l$ 曲線 (逸泥の場合)

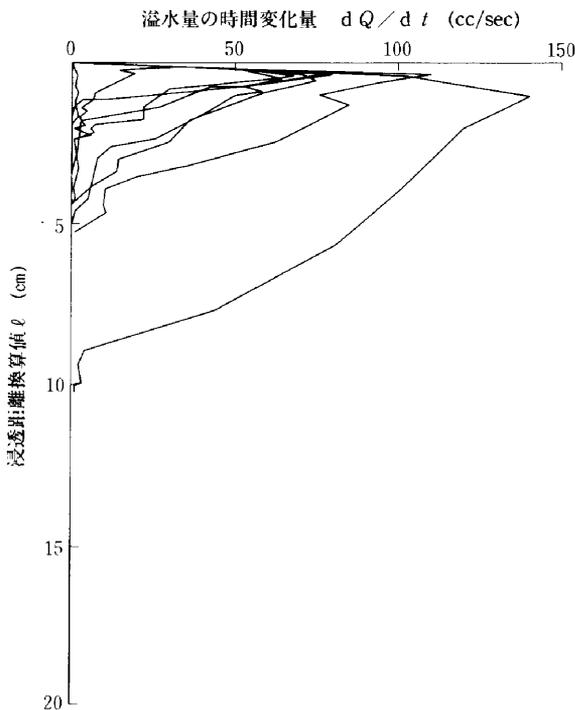


Fig.13 $dQ/dt \sim l$ 曲線 (逸泥しない場合)

§ 5. まとめ

礫地盤用泥水の研究開発から明らかになった事項は以下のとおりである。

- 1) 浸透層の構造上、室内透水試験よりも大きな間隙率

の上層での実験となったが、 $k > 5 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$ の地盤ではYVが100dyn/cm²以上で逸泥はなく有効加圧率が100%に近づく。

2) 浸透実験から、逸泥のパターンは大別すると2つに分けられる。1つはまったく泥膜が形成されず逸泥するパターンと、もう一つは1度泥膜が形成された後、有効加圧率の増加に伴い泥水が再貫入するパターンである。

3) 逸泥の有無によらず泥水加圧直後の溢水量は同程度であるが、逸泥する場合には dQ/dt が0に収束せず一定値を保って溢水する。

4) 間隙率の大きい礫層では、逸泥防止剤は単一で使用するよりも、複数の添加による混合泥水が、定性的ではあるが、良い結果を得ている。また、高吸水性樹脂は吸水すると弾力のある粒状となるため、間隙になじみ易く、目詰り材として有効な働きをする。

§ 6. おわりに

本研究は礫地盤に泥水式シールドを採用する現場を対象に泥水の逸泥防止対策と有効加圧率の向上を目的として実験を行った。現在、工事は進行中であり室内実験との対比を十分に行えないが、今迄の掘進では逸泥等もなく順調に推移している。

参考文献

- 1) 例えば、土質工学会：地盤改良の調査・設計から施工まで, pp.271, 1978.
- 2) 斉藤 他：泥水特性に関する基礎的研究, 西松建設技報 Vol. 8, pp.10~18,1985.
- 3) 島田・兼松：現場技術者のための薬液注入工法, コンストラクション, 第11巻1号, 1973.
- 4) Weiss: Die standsicherheit Flüssigkeitsgestutzter Erdwände, Bauingenieur-Praxis, Heft70, Verlag von Wilhelm Ernstu.Sohn,Berlin-Munchen,1967.
- 5) Muller-Kirchenbauer: Stability of slurry trench in inhomogeneous subsoil, 第9回国際土質基礎会議, session 3, 東京, 1977.