

# 泥水工法における泥水管理に関する研究 (第14報)

—現場泥水の実態調査結果とその活用—

喜 田 大 三  
川 地 武

## Studies on Control of Slurry for Underground Excavation (Part 14)

—Field Research on Properties of Slurry in Excavation—

Daizo Kita  
Takeshi Kawachi

### Abstract

The properties of slurry used in underground excavation vary on excavation. Therefore, suitable control of slurry is needed and several methods together with the OHBAYASHI method have been proposed and applied. Field research was thereupon carried out to compare these methods and to establish a more suitable one and the results obtained were as follows:

i) The properties of slurry vary after the nature of soil excavated, type of excavator and mix proportions of slurry. Especially, fine particle content, viscosity and specific gravity of slurry vary mainly according to the nature of the soil.

ii) As viscosity and the wall building property depend on fine particle content and salt concentration of the slurry, the proposed method consisting of viscosity and water loss measurement cannot be applied.

### 概 要

泥水工法で地盤掘削に使用する泥水の性質は掘削中に変化するので、適切な管理が必要である。泥水管理の方法には、当社の大林式泥水試験法をはじめ、二、三の方法が提案されている。そこで、地盤の異なる9現場において掘削孔内の泥水について実態を調査し、この結果をもとに適切な泥水管理について検討し、以下の結果を得た。

i) 掘削孔内の泥水の性質は、掘削地盤の土質、掘削機種、泥水の割合によって変化する。なかでも、微細粒子濃度、粘性、比重は主として掘削地盤の土質によって変化し、脱水量、砂分率、pHは各種の要因に複雑に影響されている。

ii) 泥水の粘性および造壁性（脱水量）は微細粒子濃度および塩類濃度の双方に支配されるため、従来提案されているような、粘性や脱水量で泥水の良否を判定することは困難である。

iii) 実態調査の結果から、掘削地盤の土質に応じた泥水試験項目が設定できる。

## 1. まえがき

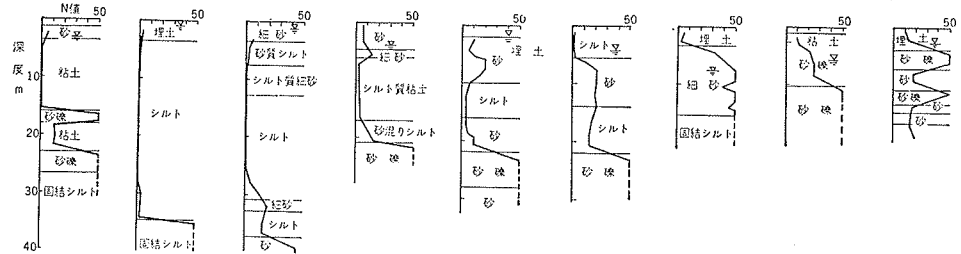
泥水工法で使用される泥水の性質は掘削壁面の安定化および施工性の向上を支配するため重視されるが、この泥水の性状は使用中、特に掘削時およびコンクリート打設時に大きく変化するので、泥水管理を適切に行なう必要がある。

泥水管理の方法としては、従来から石油ポーリングの分野で採用されている方法が泥水工法にも準用されることが多いが、筆者の一人喜田は従来とは異なり、化学的手法を導入した大林式泥水試験法<sup>1)</sup>を確立し、

当社の泥水工事現場のほとんどに適用している。そして、この泥水管理法を適用した現場における実態調査<sup>2),3),4)</sup>を行ない、本方法の妥当性を明らかにしてきた。

しかし、この泥水管理法が確立されてすでにかなりの年月を経過しており、現場では掘削機、対象とする地盤も多様なものとなっているため、実情に合わない点があれば改善する必要がある。そこで、現場の実態を調査し、大林式泥水試験法と他の方法との関連を検討するとともに、泥水試験の運用方法についても検討した。

現場	A(東京)	B(横浜)	C(東京)	D(大阪)	E(大阪)	F(東京)	G(東京)	H(札幌)	I(神戸)
工期	46.6~46.10	46.10~47.12	47.2~47.8	44.4~44.6	46.7~46.11	46.9~47.5	44.6~46.7	43.10~43.11	44.11~45.1
壁面積 m <sup>2</sup>	9,500	29,000	8,700	3,960	10,955	6,660	768	720	2,100
掘削深度 m	26.5	40.0	38.0	22.0	33.4	26.4	17.0	13.0	20.0
掘削機 *	O・S・K	S	O・S	O	O・S	O・S・K	S	S	S
泥水材料 **	B・S	B・P	B・P	B・H	B・P・C	B・C・S	B・P	B・C	B・C・A



\*O:OWS S:SOLETANCHE K:KELLEY

\*\*B:ベントナイト S:炭酸ソーダ P:ヘキサメタリン酸ソーダ H:フミン酸ソーダ C:CMC A:粗粒フライアッシュ

表一 調査現場概要

## 2. 調査法

### 2.1. 調査現場

表一に示す、9現場について調査した。

### 2.2. 泥水試料の採取

掘削機が稼働中の掘削孔内からバケツなどで採取しポリエチレン製の広口ビンに保存した。

### 2.3. 測定項目と方法

- i) 微細粒子濃度, ii) 懸濁分散度 (塩類濃度) …… 大林式泥水試験法による。
- iii) 粘性: ファンネル粘度計 (500/500ml) による。
- iv) 造壁性: API 規格加圧濾過試験機で 3kg/cm<sup>2</sup>, 30分の脱水量を測定
- v) 比重: マッドバランスによる
- vi) 砂分率: 砂分計による
- vii) pH: ガラス電極法による

## 3. 調査結果

### 3.1. 微細粒子濃度, 懸濁分散度

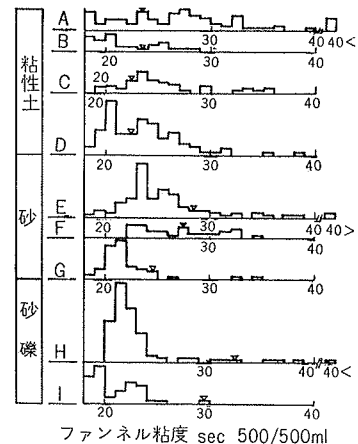
図示しないが、微細粒子濃度 (使用前5.6~7%, ベントナイト濃度として8~10%) はいずれの現場においても低下し、その低下程度は現場により異なるが、特に掘削地盤の土質と掘削機種によって異なる。すなわち、掘削地盤が粘性土の場合には低下程度がわずかであり、1回の掘削で0.5%内外の濃度低下であるのに対し、砂地盤では1%前後、砂礫地盤では2%前後であり、極端な場合には3%以上に及ぶこともある。このように、地盤の粒度組成によって微細粒子濃度の低下程度に差があるのは、粗粒物から構成される地盤ほど泥水と置換される間隙水が多く、また、粗粒地盤では掘削機が冷却水を使用する CIS-58 であることが

多いため、この水が掘削孔内に入ることなどに原因があると思われる。

一方、後述するように掘削中には泥水中に掘削土が混入し、また、コンクリート打設の際にはセメント成分が混入し、泥水中の塩類濃度は高くなり、その結果、懸濁分散度が低下する。懸濁分散度の低下は、砂礫地盤で大きい。これは、粘性土地盤においては粘性土の混入による懸濁分散度の低下を抑制するために分散剤を添加しているのに対し、砂礫地盤では逸泥防止のために、加えたセメントやアッシュが懸濁分散度を低下させることによる。

### 3.2. 粘性, 造壁性

泥水の粘性は掘削土の分離、泥水の循環などの施工性に関与し、又、逸泥防止の際にも重視される。図一に泥水のファンネル粘度の分布を示す。この図によればいずれの現場でも掘削中の泥水の大部分は30秒以下である。粘度の分布範囲を見ると、粘性土地盤では



図一 掘削孔内の粘度の分布 (▽は未使用泥水の標準値)

未使用泥水を中心に広範囲に分布し高くなるものが多い。これは、後述するように多量の掘削土が混入するためであろう。これに対し、砂礫地盤では未使用の泥水より大幅に低下する。この理由は、前述のように微細粒子濃度の低下程度が大きく、また粘性土地盤のように多量の掘削土が混入しないことなどであろう。砂地盤では両者の中間的な分布を示す。

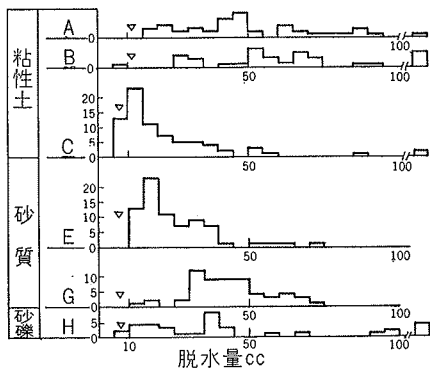
ところで、藤井は地盤に応じた適正な粘度範囲を表一2のように提案<sup>5)</sup>している。この範囲と今回の調査結果を比較すると適正粘度範囲内のものは、いずれの

地盤の地質	循環	非循環
砂混りシルト	23~27	24~28
砂	28~35	32~40
礫	37~45	45~55

表一2 安定液の適当な粘性（ファンネル粘度）

現場でも50%以下であり、特に砂地盤では大部分がこの範囲外にある。したがって、この粘度範囲は再検討の必要があろう。しかし、後述のように、粘性と大林式泥水試験の結果を関連して見ても、粘度によって泥水の使用可否を決めることはできない。

次に、泥水の造壁性は掘削面に不透水性の泥壁を形成する性質であるので、壁面安定上重視されるが、すでに報告した<sup>3)</sup>ように、この性質は主として懸濁分散度に支配される。今回の調査では、図一2に示すように、脱水量は10~100mlに分布し、いずれの現場で



図一2 掘削孔内の脱水量の分布

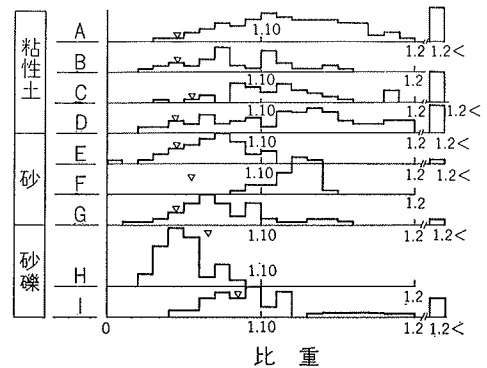
も未使用の泥水に比べて高くなる。すなわち、泥水の造壁性は掘削中に低下し、その低下程度と掘削地盤との関係は明らかではない。

なお、安定液掘削工法研究会<sup>6)</sup>では、脱水量により泥水の良否を判定する際、脱水量10ml以下を良、20ml以上を不良としている。今回の調査結果によれば、この基準で良と判定されるものはほとんどなく、大部分

が不良と判定される。しかし、現場では特に壁面安定上の問題は発生していない。したがって、この判定基準も実情に即したものとは言えない。さらに、後述のように、脱水量と大林式泥水試験の結果との関連から脱水量を泥水の良否の判定に用いることは困難である。

### 3.3. 比重, 砂分率, PH

比重は壁面に作用する泥水圧を決定する要因のひとつであるので、壁面安定上重視される基本的性質である。図一3に孔内泥水の比重分布を示しているが、その分布範囲は掘削地盤によって異なる。すなわち、粘性土地盤では1.20を越えるものも相当認められ、未使用の泥水より平均10%程度高くなる。一方、砂地盤では分布範囲がせまく、比重増加率も平均3~5%である。また、砂礫地盤ではさらに分布範囲がせまく、現場Hのように、平均比重が未使用泥水より低くなることもある。なお、比重分布は掘削機によっても異なり、循環方式よりクラムシェル方式の場合に高くなる傾向にある。



図一3 掘削孔内の比重分布

このように、主として地盤の土質によって比重分布に差異が見られるのは、粘性土地盤では泥水中に混入する掘削土が粘土、シルトを主体とするため、砂や砂礫の地盤に比べて、サイクロン、スクリーンあるいは自然沈降などによって分離されにくいいため、泥水中の掘削土が増加するためであろう。

ところで、筆者らは現場泥水の比重 ( $\gamma_m$ ) と計算で求められる所要泥水比重 ( $\gamma_R$ ) との比を比重に関する係数 ( $f$ ) とした場合、 $f$  は地盤の平均N値 ( $\bar{N}$ ) と関係づけられることを報告<sup>4)</sup>しているが、今回の調査結果について  $f$  を  $\bar{N}$  に対してプロットして図一4に示す。この図によれば、 $\bar{N}$  が20以下の地盤 (粘性土および大部分の砂地盤) では、 $f$  が0.8前後であり、この地盤における壁面安定には泥水圧以外に、アーチ作用や泥壁の作用も有利に作用していることが推察される。一方、 $\bar{N}$  の高い地盤では計算上の所要泥水比重が小さい

ために、 $f$  が大きく算出されたと考えられる。

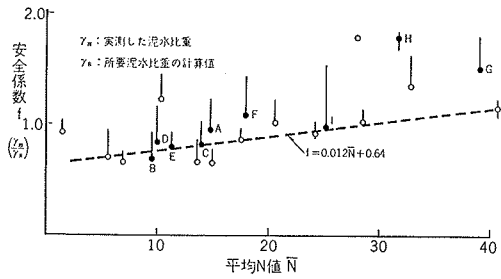


図-4 係数  $f$  と平均N値 ( $\bar{N}$ ) との関係

次に、砂分率はスライムの原因となる泥水中の粗粒子 ( $<74\mu$ ) の量であるが、掘削中には図-5 に示すような分布を示す。この図によれば、一般的傾向として大部分は3%以下に分布し、1%以下に最大分布を示す。しかし、砂礫地盤の現場Iは例外であり、逸泥防止用にアッシュを添加しているため、砂分率が高い。

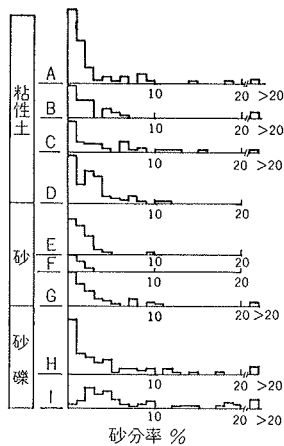


図-5 掘削孔内の砂分率の分布

また、pH の分布は図-6 に示すように、大半の現場では7~9に大部分が分布するが、現場D, Gでは8~10, 現場Hでは7~12に分布する。砂礫地盤の現場Hで特に高いpHに分布するのは、逸泥防止用に加えたセメント、石灰によるものである。

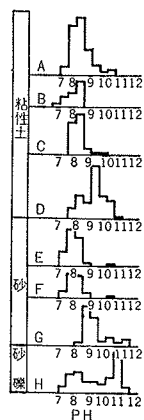


図-6 掘削孔内のpH分布

#### 4. 検討

##### 4.1. 粘性、造壁性による管理と大林式泥水管理との関係

前述のように、従来泥水の良否を粘性および造壁性(脱水量)によって判定できるとされ、その場合の基準値も提案されているが、これらの方法を現場泥水に適用するには問題があることを指摘した。

そこで、これらの性質と大林式泥水試験法で得られる性質との関係を検討するため、図-7および図-8を作成した。この図は群馬県産のベントナイトを用いた3現場につき、大林式泥水試験法<sup>1)</sup>(簡易判定法)における管理図上に泥水の微細粒子濃度と塩類濃度をプロットし、同時にそのファンネル粘度および脱水量を区分したものである。

図-7によれば、泥水の粘性は当然ながら、微細粒子濃度と塩類濃度とによってほぼ決定され、微細粒子濃度が高いほど、また塩類濃度が高いほど大きな粘性を示すと言える。したがって、粘性のみで泥水の良否を決定することは困難である。ところで、この管理図で使用可とされる泥水は懸濁タイプがI型(分散型)であり、微細粒子濃度が3.5%以上(微細粒子濃度の下限は地盤の性状、泥水材料によって異なる)の範囲である。したがって、微細粒子濃度から判断すると、使用可の泥水はファンネル粘度が20秒以上、45秒以下のものである。しかし、この粘度範囲を判定基準とすると、塩類濃度が増せば、微細粒子濃度が限界以下の泥水やIII型(凝集型)の泥水も使用可と判定される。したがって、粘性によって使用可否は判定できない。しかし、前報<sup>7)</sup>で報告したように、コンクリート打設の際には、泥水の微細粒子濃度が変化しないで、セメントの混入によって粘性が大きくなるので、この泥水の再使用の可否は粘性によって判定できる。

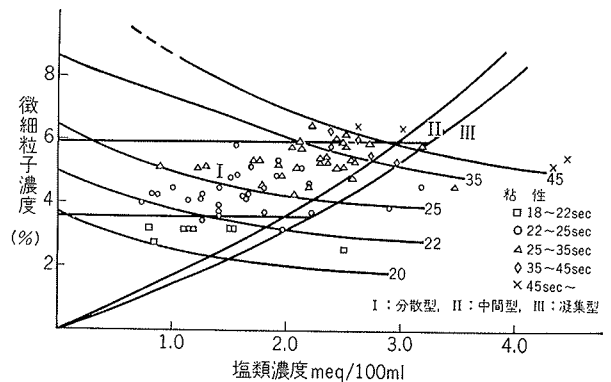


図-7 管理図中の粘度分布

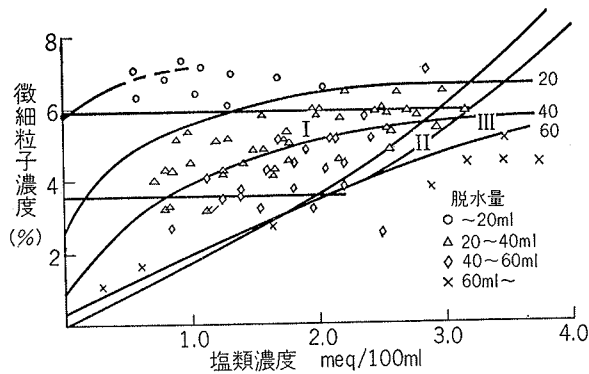
次に、図-8には脱水量を区分している。この図では、脱水量は微細粒子濃度と塩類濃度とで決定され、微細粒子濃度が高いほど、また塩類濃度が低いほど脱水量が小さく、すなわち造壁性がすぐれているといえる。この管理図中で使用可とされる領域は上述と同様

であるので、その脱水量は 60ml 以下である。しかし、60ml 以下を使用可とすると 塩類濃度が低い場合には微細粒子濃度が限界値以下のものを使用可とすることになる。また、安定液掘削工法研究会のように、塩類の混入しない場合の値 (20ml 以下) を判定基準とすると、微細粒子濃度が限界値以上で I 型の泥水でも使用不可と判定することになる。以上、二つの理由から脱水量で泥水の使用可否を決定することはできない。

なお、泥水の pH についても同様の図を作成したが、pH と管理図上の位置とは関連が認められない。

4.2. 掘削中の泥水の管理項目

今回の調査結果から、掘削中に変化する泥水の性質は、i) 微細粒子濃度、ii) 懸濁分散度 (塩類濃度)、iii) 粘性、iv) 造壁性、v) 比重、vi) 砂分率であり、iii) および iv) は従来の大林式泥水試験法 (i) および ii) と関係づけられることが判明し、また、v)、vi) は泥水の使用可否の判定に用いられない。したがって、基本的な管理項目としては従来通り、i) および ii) を採用すればよいと思われる。



図一8 管理図中の脱水量の分布

このうち、微細粒子濃度の低下は粘性土、砂、砂礫の順に大きく、特に砂礫地盤で大きい。したがって、この測定は砂および砂礫の地盤で重点的に測定する必要がある。また、懸濁分散度は砂礫で低いが、これは泥水調合時にすでに低く、また微細粒子濃度の低下が大きいためであり、一方、粘性土では掘削土などによる低下が主体である。したがって、懸濁分散度の測定は粘性土、砂の地盤で必要であり、砂礫地盤では逸泥が防止さえできれば懸濁分散度の低下は問題ではないので測定の必要はない。

一方、粘性、造壁性は大林式泥水試験の二項目を測定していれば、ある範囲に入っているため、特別な場合を除き測定する必要はない。ただし、砂礫地盤では逸泥防止のために、ある粘性値が必要であり、例えば逸泥防止剤として綿の実やオガクズを加えた場合には

30秒以上が必要とされる。

その他の項目として、比重、砂分率、pH などがあるが、いずれも常時必要な測定項目ではない。すなわち、比重は砂礫地盤を除き、掘削中には上昇する傾向にあるので、掘削当初に孔内泥水の比重を測定し、壁面崩壊がなければ常時測定する必要はない。なお、砂礫地盤では掘削中に比重が低下する場合があるが、所要の微細粒子濃度、粘性を維持していれば壁面安定上の問題はないので、測定の必要はない。また、砂分率の測定は、掘削後の除砂作業の際の除砂程度を判定するのに有効であるが掘削中は必要ではない。なお、砂礫地盤で逸泥防止剤を添加した場合の逸泥防止剤の混入程度を把握するのに砂分率を測定する必要がある。以上をまとめると表一2のようになる。

5. まとめ

泥水工法で地盤掘削に使用される泥水は掘削時に性質が変化するため、これを適切に管理する必要がある。そこで、大林式泥水管理を行なった9現場における泥水の実態を調査し、その結果にもとづき、他の管理法との関連、現場におけるより有効な運用について検討

地 盤	試験項目
粘 性 土	懸濁分散度、微細粒子濃度
砂	微細粒子濃度、懸濁分散度、砂分率
砂 礫	微細粒子濃度、粘性、砂分率

表一3 掘削中の泥水試験項目

した。その結果を以下にまとめる。

i) 泥水中の微細粒子濃度は掘削中に低下し、その程度は掘削地盤および掘削方式によって異なり、地盤の土質が粘性土、砂、砂礫の順に低下程度が大きくなる。また、掘削土に由来する塩類濃度の増大、微細粒子濃度の低下によって懸濁分散度が低下し、前者は粘性土地盤で、後者は砂礫地盤で顕著である。

ii) 粘性の変化も地盤によって異なり、粘性土地盤では粘性の分布範囲が広く、未使用泥水より高くなる傾向が強くなり、砂礫地盤ではこの逆であり、砂地盤は両者の中間に位置する。また、脱水量はいずれの地盤でも増大し、特に地盤との関連は認められない。比重は粘性土、砂の地盤で高くなり、その増大の程度は粘性土地盤で平均10%、砂地盤で3~5%である。砂礫地盤には低下する場合がある。また、砂分率はほとんどの現場で1%未満に最大頻度があり、大部分は3%以下である。pH は掘削中には大きく変化せず、7~9のものがほとんどである。

iii) 従来提案されている粘性および脱水量による管理法は、これらの性質が泥水の微細粒子濃度と塩類濃度とに支配されるため双方が変化している。掘削孔内の泥水に適用することはできない。なお、大林式泥水試験によって管理すれば、泥水はある範囲の粘性、脱水量を示す。

#### 引用文献

- 1) 喜田：第1回土質工学研究発表会講演集，33（1967），大林組技研報，No. 1, 73（1966）
- 2) 喜田・中田・扇：第3回土質工学研究発表会講演集，（1968），大林組技研所報，No. 3, 121（1969）
- 3) 喜田・中田：第3回土質工学研究発表会講演集，287（1969），大林組技研所報，No. 4, 101（1970）
- 4) 喜田・中田・扇：第3回土質工学研究発表会講演集，487（1969），大林組技研所報，No. 3, 114（1969）
- 5) 藤井：施工技術，No. 4, 8（1971）
- 6) 安定液掘削工法研究会：安定液の管理方法，15（1969）
- 7) 喜田・川地：大林組技研所報，No. 7, 167（1973）