

泥水工法における泥水管理に関する研究 (第13報)

—コンクリート打設時の泥水の性状に関する実態調査の結果—

喜 田 大 三
川 地 武

Studies on Control of Slurry for Underground Excavation (Part 13)

—Field Research on Properties of Slurry during Concrete Placement—

Daizo Kita
Takeshi Kawachi

Abstract

The bentonite slurry used for underground excavation has been known to be polluted when the slurry is replaced with fresh concrete, but systematic studies of this problem have not been conducted. The process and degree of slurry pollution was therefore studied in the field and the results obtained were as follows: i) the value of pH, viscosity and water loss change markedly within the range of 10 meters from the contact plane between slurry and concrete and especially up to around one meter. ii) For quality control of slurry during concrete replacement, the OHBAYASHI method for judging availability of slurry is useful in all cases and pH and viscosity measurements in some cases.

概 要

泥水工法ではベントナイト泥水によって地盤を掘削したのち、コンクリートを打設する。その際、泥水の一部は劣化し、再使用が不可能となるが、その実態については十分な調査が行なわれていない。そこで、4現場において実態調査を行ない以下の知見を得た。

i) コンクリート打設の際に、泥水の一部は pH、粘性、脱水量が増大し、その範囲はコンクリートとの接触面から10mまでであり、特に1m前後までが著るしい。ii) 泥水劣化の主因は混入するセメント成分であり、pH、粘性、脱水量はセメント混入量の増大につれて高くなるが、その傾向は現場により異なる。iii) コンクリート打設時の泥水管理には大林式簡易判定法が適当であり、粘性および pH による管理も基準値の設定が適切であれば可能である。

1. まえがき

泥水工法ではベントナイト泥水によって地盤を掘削し、掘削終了後、泥水中にコンクリートを打設して、鉄筋コンクリートの壁体を地中に構築する。その際、泥水中にはコンクリート中のセメント成分が混入して、泥水が劣化する。劣化した泥水のうち、劣化程度のわずかなものは再使用されるが、劣化の著るしいものは廃棄されたり、機械的あるいは化学的に処理されている。最近のように、廃液の捨て場所が制限されてくると、可能な限り廃液を少なくする必要があり、また泥水の主材料であるベントナイトが不足気味であることから、泥水をより経済的に、すなわち転用回数を向上させて使用する必要がある。そのためには、コンクリート打設時の泥水の使用可否の判定をより適確なもの

にすると共に、セメント成分が混入しても劣化しない泥水を開発する必要がある。したがって、コンクリート打設の際の泥水劣化の実態を正確に把握する必要があり、調査結果も二、三報告^{1),2)}されているが、系統的な調査は行なわれていない。そこで、当社で施工した4現場において実態調査を実施し、興味ある結果を得たので報告する。

2. 調査方法

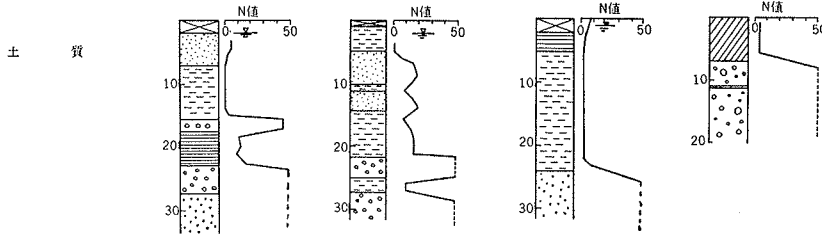
2.1. 調査現場

表—1に示した4現場について調査した。

2.2. 泥水の採取

コンクリート打設時にミキサー車が1台入ると共に打上ってくる泥水をバケツで採取するとともに、打設終了近くではアクリル製シリンダー(長さ2m、内径

現場記号		A	B	C	D
所在地		東京都千代田区	東京都板橋区	埼玉県川口市	東京都清瀬市
1パネルの規模	深さ m	25.1	28.0	27.5	16.0
	コンクリート量 m ³	79.1	199.0	179.8	45.0 (21.1)
標準配合(%)		ベントナイト 8.3 炭酸ソーダ 0.2	ベントナイト 1.0 CMC 0.08 炭酸ソーダ 0.3	ベントナイト 12 CMC 0.05 ヘキサメタ 0.2 リン酸ソーダ	ベントナイト 8.3
使用回数		2.47	2.40	2.64	2.00

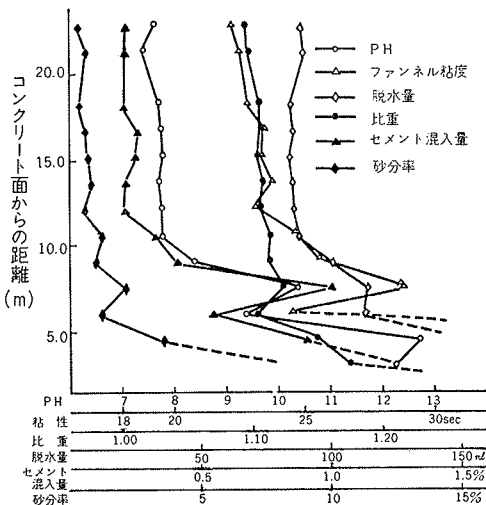


表一 調査現場概要

10cm) によって泥水とコンクリートとの接触面(コンクリートの粗骨材が入ってくる部分)より上部を乱さないように採取した。採取した泥水はポリエチレン製の試料ビンに保存した。

2.3. 測定項目

- i) セメント混入量：泥水一定量を塩酸(6N)で抽出し、溶出したカルシウムを原子吸光法で定量し、この値からセメント混入量を算出し、重量百分率で示した。
- ii) pH：流動状のものはそのまま、ゲル化したものは蒸留水で2倍に希釈し、ガラス電極法によって測定した。
- iii) 塩類濃度、微細粒子濃度：大林式泥水試験法のうち簡易判定法³⁾によって測定した。
- iv) 比重、砂分率：API規格のマッドバランス、砂分計によって測定した。



図一 1 コンクリート打設時の泥水の諸性質(現場A)

v) 造壁性, 粘性: 造壁性はAPI規格の汜過試験器で加圧条件を 3kg/cm², 30分として測定し、脱水量(ml)で表示した。又、粘性はAPI規格のファンネル粘度計(500/500ml)により測定し、ファンネル粘度(sec)で表示した。なお、固化した泥水については粘性が測定できないので、1週間以上放置して一軸圧縮強度を測定し、kg/cm²で表示した。

3. 調査結果

3.1. コンクリート打設に伴う泥水の変化

図一1に現場Aのパネルにおける泥水の性状変化の一例を示した。これによれば、打設深さ25mのうち、泥水の性状が極端に変化するの、コンクリートとの接触面から8~9mの位置であり、この範囲になると、セメント混入量、pHおよび粘性が急激に上昇し、5m以内の範囲では粘性が測定不能となり、流動性を失ないゲル化する。また、脱水量もこの範囲で高くなり造壁性を失なう部分では測定ができない。

一方、泥水比重の変化はそれほど極端ではないが、接触面に近づくにつれて高くなる。また、砂分率も接触面に近づくにつれて高くなる。これはセメント混入量に比べて高い値であり、孔底に堆積していたスライムが押し上げられたものと思われる。なお、ここには示さないが、泥水中の微細粒子濃度はコンクリートとの接触面のごく近くを除いて、ほとんど変化しないで一定の範囲にある。

以上の傾向はいずれの現場においても、また、ほとんどのパネルにおいて認められるが、接触面から10m以上離れた所でも、所々でセメント混入量が高くなるパネルもあった。また、泥水が劣化する範囲はパネルによって異なり、接触面から2,3mまでの場合もあれば、図示したように10m近くまで劣化する場合もあるが調査したパネルでは5mまでが劣化する場合が多かった。

3.2. コンクリートとの接触面付近の泥水の性状

3.1.で述べたように、コンクリートとの接触面付近の泥水はゲル化が著るしく、一部は固化する。そこで、この部分を乱さないように採取し、測定結果の一例(現場D)を図一2に示す。セメント混入量は著るしく増大し、接触面では27%となる。この値はコンクリートからモルタル分が分離した場合のセメント混入量

25.6%をややうまわる。当然ながら pH も極端に高く13を示す。一方、ベントナイトに由来する微細粒子濃度は接触面に近づくにつれて低下するが、接触面でもゼロとはならない。このように微細粒子濃度が低下するのは、この範囲では泥水とモルタルが混合しているものと思われる。また、比重、砂分率も接触面に近づくにつれて増大し、接触面から10cm の所では、砂分率が27%、比重が1.5 近くなる。これらの値をもとに、この部分が泥水とモルタルの混合した部分と仮定して、その混合比を求めると重量比で4 : 6、体積比で6 : 4となる。なお、接触面から10cm の所のセメント混入量が17%であり、この値を用いて計算しても同様の結果が得られる。

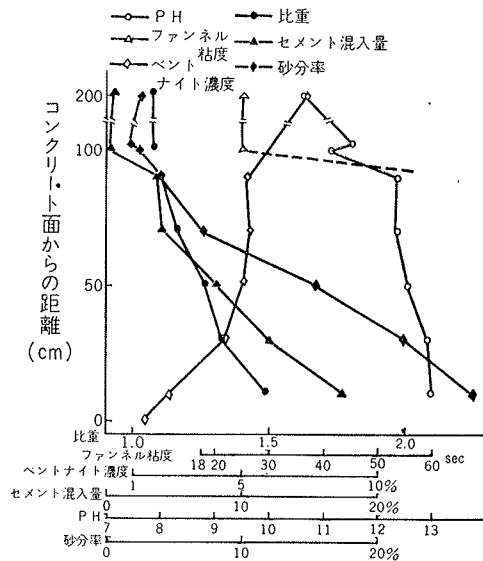
なお、この範囲の泥水の多くは固化するので、粘性は測定できないが、圧縮強度を測定すると 0.5 kg/cm^2 をうまわるものもある。

以上の傾向は他の現場でも類似しており、コンクリートとの接触面付近では、泥水の劣化はモルタルの混入によって生じているといえる。

4. 検討

4.1. 泥水劣化因子としてのセメント

泥水の性状がコンクリート打設の際に劣化するのは、主としてコンクリート中のセメント成分の混入によるものであるが、泥水の性状とセメント混入量との関係を詳細に見るため図一3を示す。この図には各現場の固化していない試料がプロットされている。まず、泥水の pH はセメント混入量の増大につれて上昇するが、ある pH 値で頭打ちの傾向を示し、平衡 pH の値は現場によって異なり、同一のセメント混入量でも異なった pH 値を示す。例えば、セメント混入量 0.5% の場合、現場Aの8.5前後から現場Dの11.5前後までがある。このように現場によって pH が異なるのは、泥水

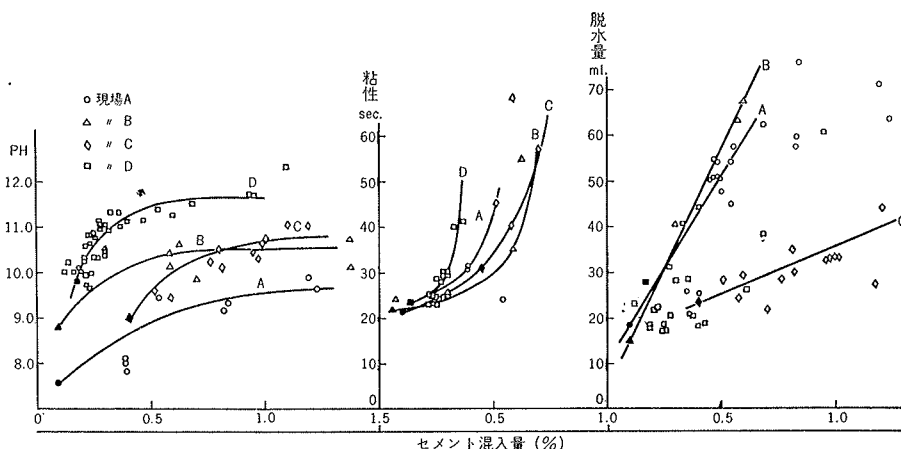


図一2 コンクリートとの接触面付近の泥水の性状 (現場D)

の調合や掘削地盤のちがいが影響していると思われ、沖積層シルトを主体とする現場AおよびCと台地部の洪積層を主体とする現場BおよびDとの間には差が認められる。

泥水の粘度は少量のセメント (0.3~0.5) の混入で急激に上昇する。上昇の様子は現場によって大差はないが、急上昇する際のセメント混入量は現場Dでやや低い。これは現場Dでは分散剤を添加しない泥水を使用したため、泥水のセメントに対する抵抗性が小さいものと思われる。なお、泥水の使用可否をファンネル粘度で判定する際の基準値45秒を示す泥水のセメント混入量は0.35~0.65%である。

また、脱水量もセメント混入量の増大につれて大きくなる傾向にあるが、現場Dの場合には明瞭な関係が認められない。現場AおよびBは類似した傾向を示し、セメント混入量が0.5%以上で脱水量が60ml をうま



図一3 泥水のセメント混入量と pH 粘性、脱水量の関係

わるが、現場Cではセメント混入量が1%の場合にも、脱水量は40ml未満である。これは現場Cでは泥水のベントナイト濃度が他の現場より相当高いことに原因があると思われる。

次に、泥水の比重および砂分率をセメント混入量に対してプロットし、図-4に示す。泥水比重は相当のばらつきはあるものの、セメント混入量とほぼ直線の関係にある。この直線のこう配をモルタルとしてセメントが混入した場合のこう配と比べると、現場AおよびCではこう配が大きい。これはコンクリート打設の際に、接触面に近づくにつれて泥水比重が高くなるのは、コンクリートによって押し上げられたスライムが混入することを示唆するといえよう。現場BおよびDでこう配が近似するのはスライムが少なかったためであり、現場Dではコンクリート打設前に完全にスライムを除去している。砂分率の傾向も比重と同様であるが、現場AとCとではこう配が逆転している。これはスライムとして混入したものの粒径分布に差があり、現場Cの方が砂の多いスライムであることを示唆している。

4.2 泥水劣化の模式と劣化泥水の分類

すでに述べたように、コンクリート打設時の泥水の劣化は主として二つの原因によっている。すなわち、泥水に直接モルタルが混入する場合とコンクリート中

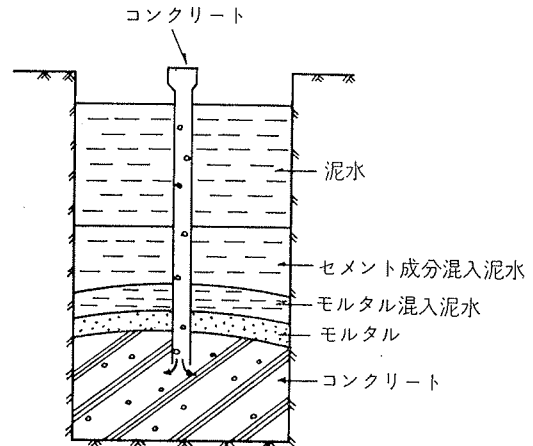


図-5 泥水劣化様式の模式図

部分の泥水を固化させる。この部分ではセメント混入量は10%以上にも及ぶ。

ところで、後述する大林式泥水試験法で再使用不可と判定される泥水を分類すれば、表-2が得られる。この表は泥水の流動性に着目して分類したものであり、ゲル化点としてファンネル粘度45秒を固化点として一軸圧縮強度 0.2 kg/cm^2 を境界としている。

表中、タイプAおよびBは上述のセメント成分の溶出による劣化泥水であり、タイプCはモルタルの混入によるものである。このうち、タイプA、Bはゲル化はするが固化しないので廃液として場外へ搬出するか、

機械的あるいは化学的な処理を施して固化させる必要がある。工事現場で問題となるのはこのタイプのものであり、量的にもタイプCに比べて多く、今回の調査では、掘削溶積の30%程度であった。したがって、このような廃液を生じさせない為には、セメント混入量3%となってもゲル化しない泥水が必要である。

またタイプCのものは放

置すれば固化するものであるから、処理は比較的容易であり、量的にも最終打上りの1m前後であるので、平均的な掘削深さを25mとすれば4%前後といえる。なお、このタイプのものは他のタイプのものに比べてセメント混入量が著るしく多いので、劣化していない泥水と混合しないように別扱いすることが望ましい。

4.3 コンクリート打設時の泥水管理

コンクリート打設時には一部の泥水が劣化し、再使用が不可能となるが、現場ではこれを適確に判定する

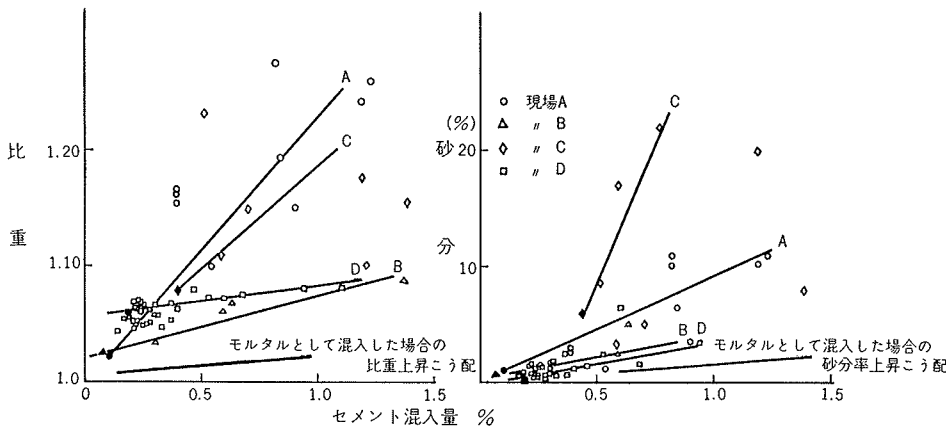


図-4 泥水のセメント混入量と比重、砂分率との関係

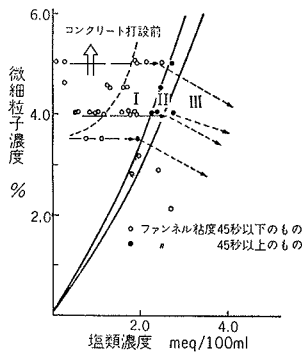
のセメント成分の少量が泥水中に溶出、拡散して泥水をゲル化させる場合の二つである。この劣化様式を模式的に示したのが図-5である。打設作業中にコンクリートの上部ではモルタルが分離し、そのモルタル中のセメント成分の一部はイオンとして溶出し、押し上げられたスライムとともに泥水中に混入して泥水をゲル化させる。ゲル化された部分のセメント混入量は1%内外である。また、分離したモルタルは、泥水とコンクリートとの接触面付近の泥水と直接混合し、この

タイプ	流動性		組成		成
	ファンネル粘度 sec.	一軸圧縮強度 kg/cm ²	セメント混入量 %	微細粒子濃度 %	砂分率 %
A	~45	—	~1.0	~3.5	—
B	45~	~0.2	0.5~3.0	3.5~	5~20
C	測定不能	0.2~	3.0~	3.5~	10~30

表一 劣化泥水の分類法

必要がある。現在コンクリート打設時の泥水試験項目として、pH、粘性、塩類濃度などが測定されている。そこで、これらの試験項目の適否について検討する。

まず、図一5に大林式泥水試験法のうち、簡易判定用管理図上に、現場Dの結果をプロットした。図中の矢印はコンクリート打設の進行につれて泥水の塩類濃度の高くなることを示しており、当初I型のものがIII型になることを示し、大林式泥水試験法ではII型およびIII型のものを再使用不可と判定している。



図一6 コンクリート打設時の泥水の管理図上の位置(現場D)

次に、コンクリート打設の際に泥水の使用可否を粘性で判定できるか否かを見るため、図一6の中にファンネル粘度45秒以上のものを黒く塗りつぶして示す。微細粒子濃度が3.5%以上の場合にはII型、III型のものがファンネル粘度45秒以上となり、この値を基準値とすれば微細粒子濃度が3.5%以上の範囲では、粘性による判定結果と大林式泥水試験法による判定結果は一致する。なお、微細粒子濃度が低い場合には粘性による判定はできない。

一方、コンクリート打設時にセメントが混入するため pH が上昇するので、pH 値によって泥水の使用可否を決定することが提案⁴⁾されているが、前掲の図一3でも明らかのようにセメント混入量が同一の場合にも、泥水調合、土質によって pH 値が大きく異なるので、一律に基準値を作ることは問題であろう。したがって、pH によって泥水の使用可否を判定する場合、現場に応じて基準値を設定する必要がある。

5. まとめ

泥水工法ではベントナイト泥水を用いて地盤を掘削

したのち、コンクリートを打設するのが、その際泥水の一部が劣化するが、その実態について十分な調査が行われていない。そこで、泥水の劣化状況を四現場で調査し、その結果をもとに泥水の管理、調合について検討し、以下の知見を得た。

i) コンクリート打設の際に泥水のpH、粘性、脱水量が上昇し、泥水はゲル化あるいは固化し、同時に比重、砂分率も上昇する。劣化する泥水の範囲はコンクリートとの接触面から10m前後の範囲である。

ii) 泥水劣化の主因はコンクリート中のセメント成分であり、泥水のpH、粘性、脱水量はセメント混入量と一定の関係が認められ、その関係は現場によって異なり、泥水の調合、掘削地盤の土質などによって異なる。また、劣化泥水の比重および砂分率が高いのは、押し上げられたスライムおよびモルタルの混入による。

iii) 泥水劣化の様式は二つに大別され、接触面から10m内外までは少量のセメント成分の混入により泥水はゲル化し、接触面の1m内外ではコンクリートから分離した多量のモルタルが混入し、泥水は固化する。

iv) コンクリート打設時の泥水管理には大林式泥水試験法が適用できる。また、ファンネル粘度で管理する場合には、45秒以上を再使用不可とするのが妥当であるが、微細粒子濃度が3.5%以下の泥水になれば、この値が適用できない。また pH による管理を行なう場合には、基準値を泥水の調合、掘削地盤の土質に応じて設定する必要がある。

おわりに、本研究における実験を担当した結城恒子職員に謝意を表します。

また、本報告は第8回土質工学研究発表会において発表したものであることを併記する。

参考文献

- 1) 石山他：施工時における安定液の性状、連続地下壁工事における掘削安定液に関する研究I、第6回土質工学研究発表会講演集 695~698 (1971)
- 2) 喜田・扇・中田：現場泥水の粘度の実態調査と管理に関する研究(第6報)、第3回土質工学研究発表会講演集 493~498 (1968) 大林組技研所報 No.3, 121~126 (1969)
- 3) 喜田：泥水有効性の簡易判定法、泥水工法における泥水管理に関する研究(第1報) 第一回土質工学研究発表会講演集、73~80 (1966) 大林組技研所報 No 1, 73~80 (1966)
- 4) 藤井：安定液の基本的性質と管理方法、施工技術、Vol 4, No. 7, 8~13 (1971)