

# 泥水工法における泥水の品質管理の自動化（その1）

——粘度および比重の自動計測装置の開発——

辻 博 和 喜 田 大 三  
炭 田 光 輝

## Studies on Automatic Control System of Quality of Slurry in Underground Excavation Method (Part 1)

——Development of Measuring Apparatus for Viscosity and Density of Slurry——

Hirokazu Tsuji Daizo Kita  
Mitsuteru Sumida

### Abstract

The scale of construction by the slurry excavation method has become larger and the use of the method has been expanded. It has therefore become an important theme to automate quality control of the slurry for the sake of improving its quality and decreasing the cost of the work. As the first step in automating quality control of the slurry, an automatic measuring apparatus for viscosity, density and other properties was developed. Newly designed instruments were provided for measurement of the abovementioned properties. This apparatus was adopted for diaphragm wall construction projects and it was confirmed that the apparatus was capable of automatically measuring the quality of slurry and immediately judging the suitability for diverted use of returned slurry from the trench at placing of concrete and whether there existed a necessity for the circulating slurry to be chemically treated.

### 概 要

地中連続壁工法などの泥水工法において、工事規模の拡大・構築物の用途拡大などに伴って、泥水品質の今まで以上の向上が望まれるとともに、省力化・コスト低減のために、泥水の品質管理の自動化が重要な課題となっている。

そこで、泥水の品質管理の自動化の第一歩として、粘度・比重・PHなどを連続計測できる泥水品質の自動計測装置を開発した。前二者の項目については、計測手法を新規に考案し製作した計器を装備している。この自動計測装置を地中連壁工事に適用した結果、コンクリート打設時の回収泥水およびカッティングパネル掘削時の掘削泥水について、泥水品質を自動計測でき、その転用性の可否および化学的再生処理の必要性の有無をリアルタイムで判断できることを確認した。

#### 1. はじめに

地中連続壁工法・場所打ちぐい工法・泥水シールド工法などの泥水工法において、工事の施工性・経済性さらに構築される壁体などの性能は泥水技術に負う所が多い。

泥水性状を適切に管理するいわゆる泥水の品質管理技術、そして掘削泥水から土砂を分離しさらに使用不能となった廃棄泥水（余剰泥水）の処理などの泥水の処理技術はともに必要不可欠である。筆者らを含めたグループは昭和41年以来上述の泥水技術に関連する研究開発を押し進め、その成果は数多くの現場に活用されており、その内容は「泥水工法における泥水管理に関する研究<sup>1)</sup>」。「泥水シールド工法における泥水に関する研究<sup>2)</sup>」。「土工事における濁水処理に関する研究<sup>3)</sup>」と題して報告している。

さて、泥水の品質管理は品質の計測・判定さらに対策の実施で構成されるが、従来計測は大部分泥水を採取したのち手作業で行なわれ、その判定は経験豊富な現場技術者によってなされていた。しかし、工事規模の拡大・構築物の用途拡大などに伴って、泥水品質の今まで以上

の向上が叫ばれ、さらに省力化・コスト低減のために、泥水の品質管理の自動化が望まれている。

そこで、まず第一歩として、粘度・比重・pHなどを連続計測できる泥水品質の自動計測装置を開発した。前二者の項目については、計測手法を新規に考案し、製作した計器を装備している。この報告では、装置の概要と現場適用した際の結果について述べる。なお、この報告の一部は第21回土質工学研究発表会で発表している。

## 2. 泥水の品質管理の概要と自動計測項目の選定

### 2.1. 泥水の品質管理の概要

泥水工法に使用する泥水の機能（役割）およびこの性能を発揮するために必要な所要性能を表一に示す。表中には、この所要性能を評価する際に実施されている泥水の試験項目も併記した。

泥水の主な機能は下記の3点である。

- ① 掘削壁面の安定
- ② 掘削土砂の運搬・分離
- ③ コンクリート置換を伴う場合の置換媒体

泥水はまず①壁面の安定を図るために用いられ、同時に②掘削土砂の保持・運搬・分離のための媒体として機能する。②の機能は、掘削方式、すなわち循環方式か非循環方式かによって重要度が異なり、循環方式の場合には重要な機能となる。さらに、③コンクリート打設を伴う場合には、その置換媒体としても重要な機能を果している。

泥水がこれらの機能を発揮するためには、泥水は各種の性能を保持している必要があり、これらの中で重要なものは下記の4点に集約できる。

- ㉑ 良好な泥壁形成能を有す
- ㉒ 適切な流動特性を有す
- ㉓ 適切な比重である
- ㉔ コンクリート打設を伴う場合にスライムの発生がない

上述の所要性能を泥水が保持していることを直接評価する試験項目は、表中に併記したように、「造壁性」・「粘性」・「比重」・「砂分率」である。なお、泥水品質の劣化の主要因の一つであるセメント成分の混入状況を把握するために「pH」も必要な試験項目である。

これらの試験項目を管理項目とした地中連続壁工事におけるポリマー泥水の品質管理の実施状況を表一に例示する。

表中に示したように、現在における品質管理の実施頻度は地中連続壁工法の開発当初に比べて大幅に少なくなっている。これは当社が開発したポリマー泥水によるところが多い。すなわち、ポリマー泥水はベントナイト泥水に比べて、耐塩性・耐セメント性が高く劣化しにくく、転用性に富んでいるためである<sup>4)</sup>。なお、当社のポリマー泥水の開発に対してはその功績が認められ、昭和57年に（社）土質工学会から学会賞技術賞を授与されていることを付記しておく。

さて、現状における泥水の品質管理上の特記すべき事項あるいは問題点を要約すると下記の通りである。

- (1) 各種の場所における各種の泥水について、品質管理する必要がある。
- (2) 試験に先立って、人間が泥水を採取し試験室に持ち帰っている。
- (3) 試験室での試験および品質判定、対策の決定を経験豊富な現場技術者が行なっている。

泥水の機能	泥水の所要性能	泥水の性能評価の為の試験項目								
		造壁性	粘性	比重	砂分率	pH	懸濁分散性	微細粒子濃度	セメント混入量	電気伝導度
壁面の安定 土砂の運搬・分離 コンクリートとの置換	良好な泥壁形成能を有す。	◎	○	○		○	○	○	○	○
	適切な流動特性を有す。		◎	○		○	○	○	○	○
	適切な比重である。			◎	○			○		
	スライムの発生が少ない。		○	○	◎		○			

◎:泥水が左欄の所要性能を保持していることを直接確認し管理するための試験項目。管理基準がある。  
○:泥水が左欄の所要性能を保持するに際し、影響する各種因子に関する試験項目。

表一 泥水の機能・所要性能および性能評価の試験項目

工程	泥	掘削	スライム処理	コンクリート打設
場所	良液槽	回収槽	孔内	孔内天端付近
泥水名称	作成泥水(良液)	転用泥水	孔内泥水(掘削泥水)	回収泥水
主目的	●泥水が割合計測通りに作成されているか	●回収槽内の泥水が転用できるか	●孔内泥水が壁面安定・送泥防止・土砂分離機能を発揮するのに適した品質を有しているか	●後続のコンクリート打設時にスライムの発生が少ない状態まで、スライム処理が行われたか
実施頻度	1~2回/日	1~2回/日	2~4回/日・孔	3~5回/打設
品質管理項目	造壁性	○	○	○
	粘性	○	○	○
	比重	○	○	○
	砂分率			○
	pH		○	○
管理基準に合格しない場合の対策例	●使用材料・作業のチェック	●再生処理 ●廃棄泥水として処理	●良液精給 ●再生処理 ●良液・転用泥水で重燃	●スライム処理を継続 ●廃棄泥水として処理

表一 地中連続壁工事における泥水の品質管理の実施状況

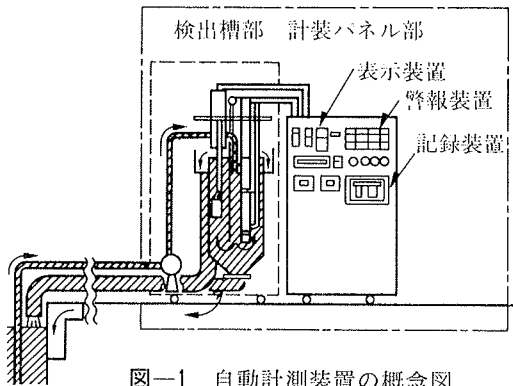
(4) 手作業である試験に、経験豊富な現場技術者が比較的長時間拘束されている。

## 2.2. 品質管理の自動化に向けた計測項目の選定

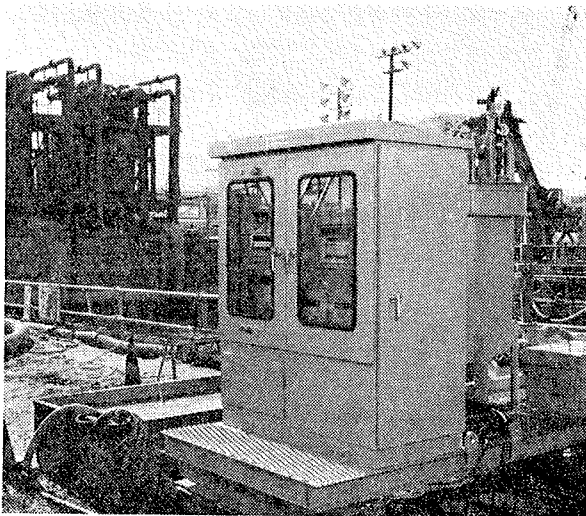
地中連続壁工法などの泥水工法において、工事規模の拡大あるいは構築物の用途拡大に伴って、泥水品質の今まで以上の向上が望まれるとともに、上述した問題点を踏まえて省力化・コスト低減のために、泥水の品質管理の自動化が重要な課題となっている。

さて、泥水の品質管理の自動化を図るためには、まず品質計測を自動化せねばならない。その項目については先の2.1.で述べた五つの項目が考えられる。しかし、「砂分率」については、下記に述べる理由からその対象から外すこととし、当面の自動化に向けた計測項目は、「造壁性」・「粘性」・「比重」・「pH」の4項目とした。

「砂分率」の測定は、コンクリートの打設を伴う工法にのみ、かつコンクリートを打設する直前のみ実施されていること、さらに、自動連続計測によって品質管理上投資効果が大きいと判断される対象泥水は掘削中の孔内泥水とコンクリート打設時の回収泥水であり、これらの泥水については「砂分率」の測定を必ずしも必要としないこと、などから、「砂分率」を当面の自動計測項目から除外した。



図一 自動計測装置の概念図



写真一 自動計測装置の全景

## 3. 泥水品質の自動計測装置の概要

### 3.1. 計測方式

図一1、写真一1に示すように、計測対象とする泥水をポンプアップし、検出槽へ送り、槽内に浸漬した検出器によって泥水品質を計測する。

### 3.2. 計測項目

「粘性」・「比重」・「pH」・「温度」の4項目である。前二者については、新しい計測手法を考案し製作した計器である粘稠度計と比重計を用いている。

「粘性」については、回転体を泥水中で公転させ、回転軸の受ける抵抗をトルク検出器で測定する。その際、金属ベローズの使用によって、回転体は泥水中にあるが回転軸および軸受け部が泥水にいっさい触れない構造となっており、正確かつ故障なく測定できる。

「比重」については、ひずみゲージ式微小圧力変換器を用いて泥水中の2深度の圧力差を検出し、比重に換算する。

「pH」・「温度」については、市販の計器を用いている。なお、「造壁性(脱水量)」については、現在計画中の2号機に装着する予定である。

### 3.3. 計装および規模

4項目の計測値は計装パネルに表示・記録し、各項目について管理基準を超えた場合には警報ランプが点滅し、警報ブザーが発声する。

装置全体の設置面積は約 4.5 m<sup>2</sup> (1.5 m<sup>W</sup> × 3.0 m<sup>L</sup> × 2.0 m<sup>H</sup>) であり、重量は約 800 kg である。

## 4. 自動計測装置の地中連続壁工事への現場適用

### 4.1. コンクリート打設時の回収泥水

地中連続壁工法では、掘削終了後スライム処理ののちコンクリートを打設する。打設の際には、打設速度に合わせて泥水を回収し、再度転用できるものは回収槽に、使用不可能なものは廃棄泥水槽に分配しなければならない。回収泥水で、コンクリートと接触する部分の泥水はセメント成分の混入を受けその泥水品質が劣化している。したがって、回収泥水が転用できるか否かの判断は迅速に行なう必要がある。

大深度地中連続壁工事におけるコンクリート打設時の回収泥水の計測例を図一2に示す。自動計測装置用の採泥ポンプの位置は、回収泥水転送用のポンプの位置と同じレベルで、GL-2.0 m である。なお、図中には、自動計測装置の採泥口から採取した泥水について、従来の方で直接測定した値も併記した。

#### 4.1.1. 劣化過程への応答性について 図から明らか

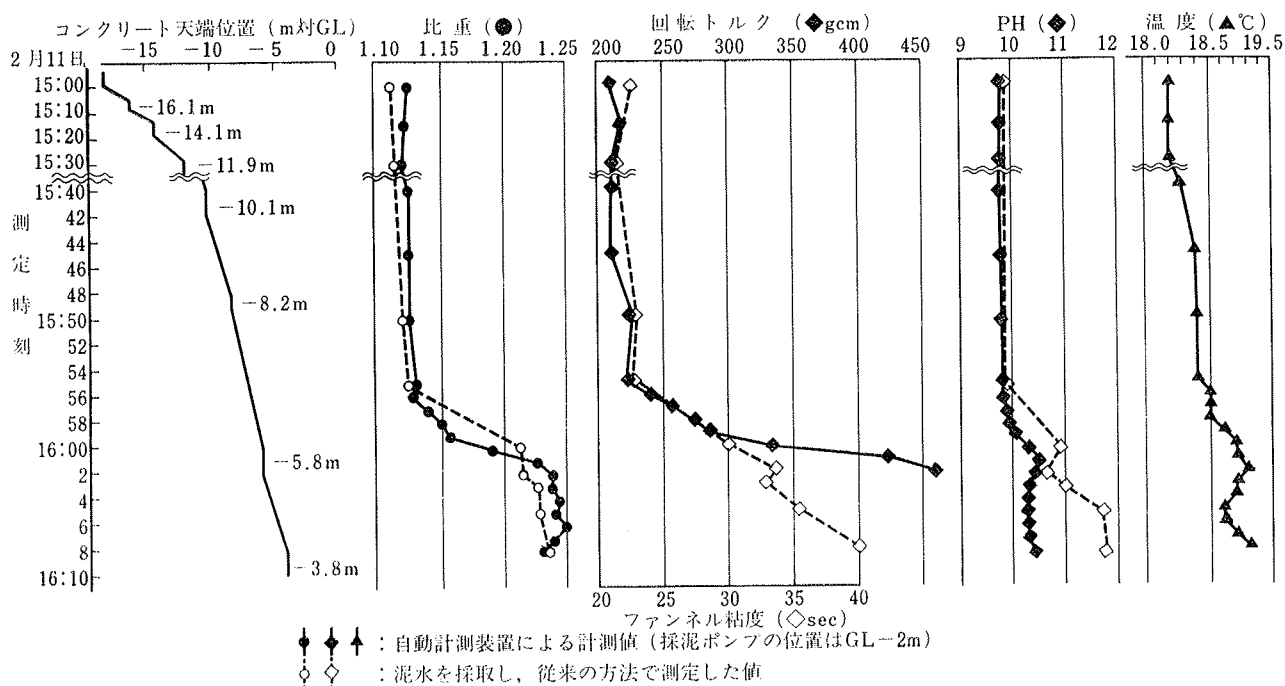


図-2 コンクリート打設時の回収泥水の計測例

のように、打設コンクリートの天端がGL-7mに至るまでは、回収泥水の品質はほとんど変化せず、泥水比重で1.12~1.13に、回転トルクで210~230 g・cmに、pHで9.7~9.8に、温度で18.2~18.4度にある。しかし、天端がGL-6mになった段階で、回収泥水の品質は急激に劣化し、泥水比重で1.23~1.25に、回転トルクで350~450 g・cmに増大している。

この回収泥水の劣化過程はわずか5~6分間で進行しているが、自動計測装置の比重と回転トルクはこの劣化過程を即座に検出している。なお、図中には他の計測項目である温度とpHも示しているが、劣化過程の温度上昇は0.4~0.6度程度とわずかであり、pHも上昇するがその応答が鈍い。

以上のことから、回収泥水が転用できるか否かの判断

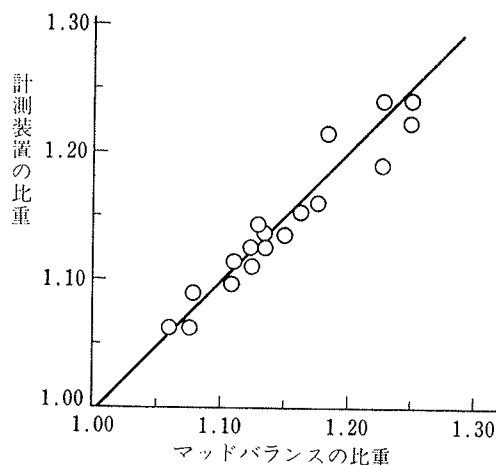


図-3 計測装置の比重とマッドバランスの比重との関係

は、自動計測装置の比重と回転トルクによって、迅速に行なうことができることが明らかとなった。

4.1.2. 計測値の再現性について 自動計測装置による比重の計測値と手作業で測定したマッドバランスによる比重との関係を図-3に示す。両者の値はほぼ一致している。

なお、比重の計測に使用しているひずみゲージ式微小圧力変換器は温度依存性が高いので、泥水の温度変化が大きい場合には、泥水比重として±0.02程度の誤差を生じた。しかし、この程度の誤差は泥水の品質管理上許容できると考えている。

つぎに、自動計測装置による回転トルクの計測値と手作業で測定したファンネル粘度との関係を図-4に示す。ファンネル粘度の増大に対応して、回転トルクの計

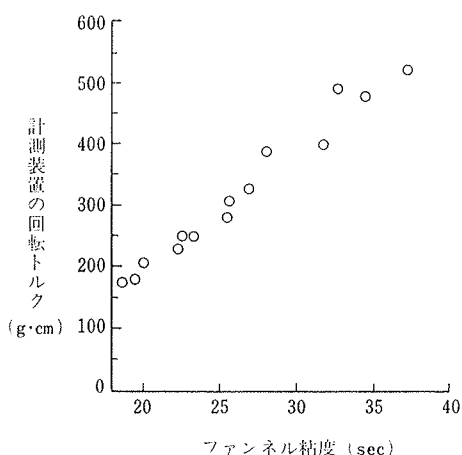


図-4 計測装置の回転トルクとファンネル粘度との関係

測値もほぼ直線的に増大している。このことから、泥水の流動特性の管理項目として、従来はファンネル粘度を用いていたが、この自動計測装置では連続計測が可能な粘度計の回転トルクで代用できることが明らかとなった。

#### 4.2. コンクリートカッティング時の掘削泥水

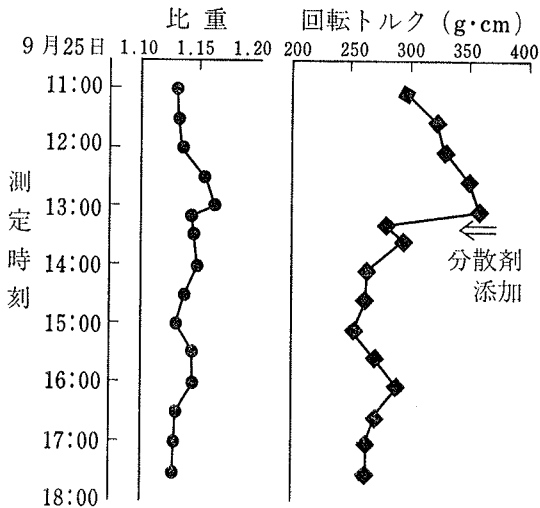


図-5 コンクリートカッティング時の掘削泥水の計測例

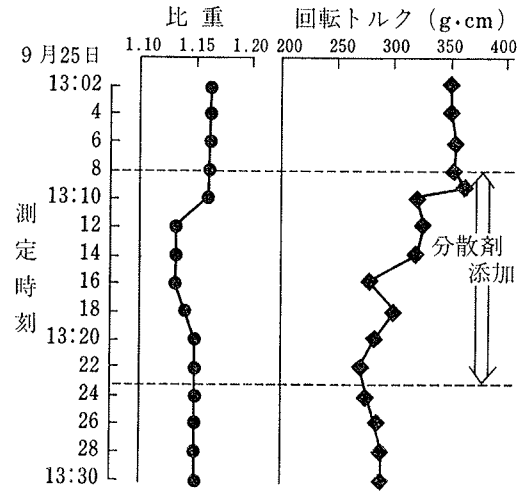


図-6 コンクリートカッティング時の掘削泥水の計測例 (左図の一部を拡大)

当社のハイドロフレーズ掘削機を使用する地中連続壁工事では、ジョイント部の施工に、先行パネルのコンクリート端部をカッティングし後行パネルを打設する方式を多く採用している。

コンクリートカッティング時には、一般の地盤を掘削する工程と比較して泥水品質の劣化が早い。もちろん、使用泥水はポリマー泥水であるので、その劣化程度は一般のベントナイト泥水に比べて少ないが、やはり対策が必要である。

このコンクリートカッティング時の掘削泥水の劣化・再生過程における泥水品質の計測例を図-5、6に示す。図-5から明らかのように、コンクリートカッティングの進行に伴って、セメント成分が混入し、掘削泥水の回転トルクが徐々に上昇しており、泥水品質の劣化の進行状況を把握できる。この劣化対策として、分散剤を添加し化学的再生処理を行っており、図-6に示したように、約15分間の分散剤添加工程におけるこの化学的再生効果を確認できる。

この現場では、今回開発した自動計測装置を使用することによって、分散剤の添加時期・添加量などを泥水品質に対応して適宜決定し、化学的再生処理を無駄なく行なうことができた。

## 5. おわりに

以上、報告したように、泥水の品質管理の自動化の第一歩として、粘度・比重・pHなどを連続計測できる泥水品質の自動計測装置を開発した。前二者の項目につい

ては、計測手法を新規に考案し製作した計器を装備している。

この自動計測装置を地中連続壁工事に適用した結果、コンクリート打設時の回収泥水およびカッティングパネル掘削時の掘削泥水について、泥水品質を自動計測でき、その転用性の可否および化学的再生処理の必要性の有無をリアルタイムで判断できることを確認した。

今後は、泥水品質の中で掘削壁面の安定にとって重要な性質である造壁性の試験も自動計測でき、かつよりコンパクトな装置を開発する予定である。

最後に、今回の自動計測装置の企画・設計・製作ならびに現場適用に際しては、本社特殊工法部・土木技術部・機械部・東京機械工場の多数の方々のお力添えを頂いた。ここに深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 喜田, 川地, 他: 泥水工法における泥水管理に関する研究, 第1報~第29報, 大林組技術研究所報, No. 1~No. 30, (1966~1985)
- 2) 喜田, 川地, 炭田, 他: 泥水シールド工法における泥水に関する研究, (その1~その3), 大林組技術研究所報, No. 17, No. 29, No. 33, (1978), (1984), (1986)
- 3) 喜田, 辻, 炭田, 他: 土工事における濁水処理に関する研究, (第1報~第21報), 大林組技術研究所報, No. 10~No. 32, (1975~1986)
- 4) 喜田, 川地: 高分子・粘土複合体の泥水工法への適用, 土と基礎, Vol. 28, No. 2, (1980), pp. 23~30