

泥水工法における泥水の品質管理の自動化（その2）

——壁面安定試験紙の開発——

辻 博 和 喜 田 大 三
炭 田 光 輝

Studies on Automatic Control System for Quality of Slurry in Underground Excavation Method (Part 2)

——Development of Test Paper for Judging Wall-Building Characteristic of Slurry——

Hirokazu Tsuji Daizo Kita
Mitsuteru Sumida

Abstract

A certain type of slurry is used in underground excavation methods. The wall-building characteristic of the slurry is one of its important features. A filter-press test apparatus according to standards of the American Petroleum Institute, or a vacuum filtration test apparatus developed by Ohbayashi Corporation have been used to check the characteristic in the field. The testing procedures are so troublesome, however, that a simple and rapid testing method has been demanded. A new test paper has been developed to judge the wall-building characteristic taking advantage of the capillary suction capacity of filter paper. With this method the only equipment required is the test paper and the testing time is as short as one minute. Adoption of this new test paper will reduce cost of the work, enhance construction safety, and improve construction efficiency.

概 要

地中連続壁工法や泥水シールド工法などの泥水工法において、掘削壁面の安定を図るために、泥水の泥壁形成能すなわち造壁性は泥水の重要な性質である。この造壁性の試験は採取した泥水について室内に設置したAPI規格の加圧ろ過あるいは当社開発の減圧ろ過の試験器で行なわれていた。そのため、原位置において簡易かつ迅速に測定できる試験法の開発が要望されていた。

そこで、吸水性のろ紙が持つ毛管吸引力を利用して泥水を固形分と分離水に分け、分離水の毛管上昇高から泥水の造壁性を測定できる試験紙を開発した。造壁性の試験に必要な器具は試験紙だけであり、しかも測定時間は1分間と短い。この方法の採用によって、泥水の品質管理が手軽にその場でできるので、工事の省力化に加えて、工事の安全性・施工性の向上に大きく寄与できる。

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ところが多い。

そして、工事に使用する泥水の性状を適切に管理するいわゆる泥水の品質管理技術は必要不可欠であり、近年工事規模の拡大・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。

筆者らは、前報¹⁾で報告したように、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の一号機を開発している。そして、地中連続壁工事に適用し、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ている。

さて、上述の自動計測装置の計測項目は粘度・比重・pH・温度の4項目であり、泥水の品質管理において重要である造壁性が欠如している。

そこで、造壁性試験の自動化を図る第一歩として、造壁性を迅速にかつ簡易に測定できる試験紙を開発し、この試験紙を「壁面安定試験紙」と命名している。この報告では、泥水工法における造壁性試験の重要性を述べるとともに、新規開発した「壁面安定試験紙」の概要を述べる。なお、この「壁面安定試験紙」については、特許3件を出願済である。

2. 泥水の品質管理における造壁性試験

2.1. 泥水の機能と所要性能

泥水工法において、泥水は、当然のこととして、まず掘削壁面あるいは切羽の安定を図るために用いられる。さらに、泥水を循環して掘削する方式の工法では、掘削土砂の保持・運搬・分離の媒体としての機能が重要となる。また、泥水シールド工法以外の泥水工法では、掘削完了後コンクリートを打設するので、その置換媒体として重要な機能を果たしている。

泥水が上述の機能を発揮するためには、各種の所要性能を保持している必要がある。主要な所要性能は下記の四つである。

- (1) 良好な泥壁形成能を有する。
- (2) 適当な流動特性を有する。
- (3) 適当な比重を有する。
- (4) コンクリート打設を伴う場合スライムの発生が少ない。

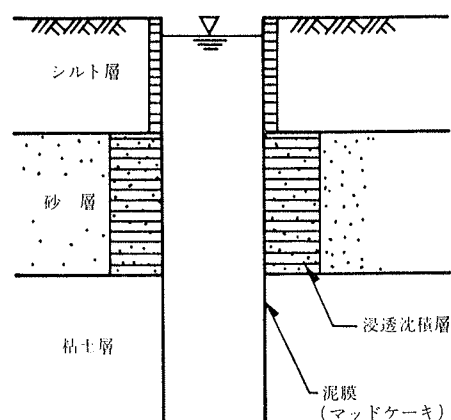
これらの所要性能は相互に関連性が高く、一つの泥水機能に一つの泥水性能が対応するものではない。従って、泥水工法における工法の種類・掘削方法・掘削地盤・泥水材料などを考慮して、泥水の機能のいずれを重視するかによって、泥水の所要性能が決定されている。

しかし、いずれの場合においても、掘削壁面の安定を図る上でもっとも重要とされる泥水の泥壁形成能は常に良好でなければならない。

2.2. 泥水の泥壁形成能

掘削壁面の安定機構は十分に解明されていないが、泥水の性能に関連して、下記に示す三つの性質の相互作用によるものといわれている。

- (1) 壁面に不透水性の泥膜（マッドケーキ）を形成し、泥水圧を有効に地盤に作用させる。
- (2) 泥水圧によって、壁面に作用する土圧および水圧に抵抗する。
- (3) 壁面からある程度の範囲の地盤内に泥水が浸透し、壁面周辺の地盤の安定を図る。



図一 泥壁の模式図

なかでも、壁面に不透水性の泥膜を形成し、泥水位を保持しながら泥膜を介して泥水圧を地盤に作用させる性質、いわゆる泥壁（泥膜）形成能が、掘削壁面の安定にもっとも重要視される。

掘削壁面に形成される泥膜の概念図を図一1に示す。筆者の一人が報告しているように²⁾、泥膜の厚さは泥水の性状などにもよるが2~20mmであり、その透水係数は 10^{-7} ~ 10^{-8} cm/secである。この泥膜の形成は一般に泥水圧が作用して数秒から数分で完了する。

ところで、このような泥膜の形成能に優れた泥水では、砂質地盤などにおける壁面以深の地盤での浸透沈積層の形成による土質改良効果、止水効果も大きい。前掲の報告では、ある地中連続壁工事現場の調査によると、N値の小さい上部砂層で50m近く、下部細砂層で25mほど泥水が浸透しており、この浸透範囲の砂に0.05~0.3 kgf/cm²程度の粘着力の増加がみられたとされている。この泥水浸透効果は、泥膜が掘削によって順次除去される泥水シールド工法で顕著であろうと考えられている。

このような泥壁形成能を評価する試験が造壁性試験である。

2.3. 現状における造壁性試験

造壁性試験の方法はAPI (American Petroleum Institute) 規格³⁾で規定されており、一般の泥水工法ではこの方法に準じて行なわれている。なお、当社では、より簡便な方法として減圧方式の試験法を独自に開発して、この方法を採用している。

2.3.1. API規格の造壁性試験（加圧ろ過方式） 図一2に示すAPI規格の加圧ろ過試験器（ろ過面積：45cm²）を組立て、シリンダーセル内に泥水を約300ml入れ、上ふたを密閉固定し、コンプレッサーなどを用いて3 kgf/cm²の圧力で30分間加圧ろ過する。容器下端から流出するろ液の脱水量（ml）およびろ紙上のケーキの厚さを測定する。なお簡便には、7.5分間加圧ろ過して、流出したろ液の量を2倍して脱水量としてもよい。

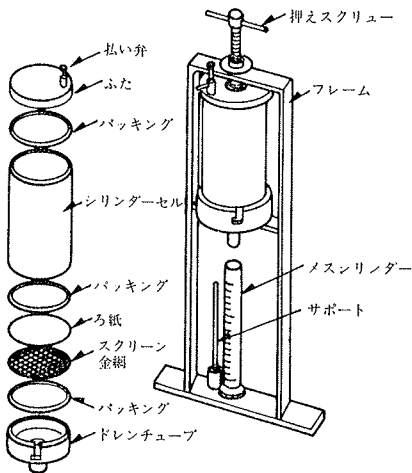


図-2 API規格の造壁性試験器 (加圧方式)

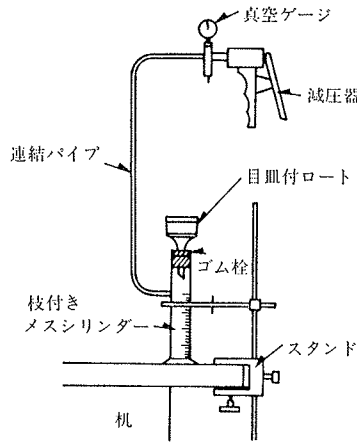


図-3 大林式の造壁性試験器 (減圧方式)

この脱水量が小さい程、泥水の造壁性が優れており、泥水掘削に適した泥水であると判定される。一般に、この脱水量の管理基準値は 30~40 ml 以下とされている。

2.3.2. 大林式の造壁性試験 (減圧ろ過方式) 図-3 に示す減圧ろ過試験器 (ろ過面積: 19.6 cm²) を組立て、ろ紙を密着させた目皿付ロートに泥水を約 50 ml 入れ、減圧器で 500 mmHg の減圧状態にして 5 分間減圧ろ過する。容器下端から流出するろ液の脱水量 (ml) を測定する。

この大林式造壁性試験の脱水量は、図-4 に示すように、API 規格の造壁性試験の脱水量の約 1/8 である。

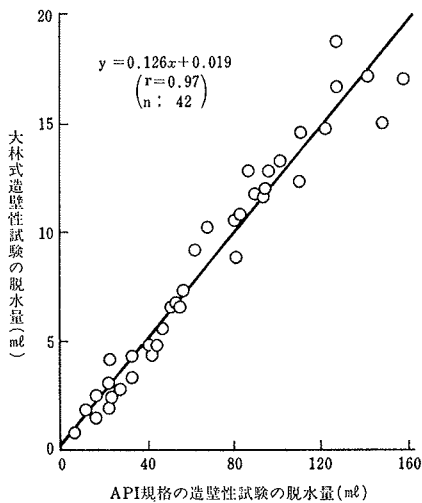


図-4 API規格の脱水量と大林式の脱水量との関係

2.3.3. 造壁性試験の煩雑さ API規格あるいは大林式の造壁性試験においては、上述した試験方法から明らかなように、下記に示すような煩雑さを指摘することができる。

- (1) 煩雑な器具を必要とする。
- (2) 掘削中に現位置での測定が難しく、試験室に泥水

を持ち帰って測定せねばならない。

- (3) 時間がかかる。

このことから、掘削場所において、簡単にかつ迅速に、泥水の造壁性を評価できる試験法が望まれている。

3. 各種泥水におけるろ紙の毛管上昇の測定試験

3.1. 目的

API規格あるいは大林式の造壁性試験においては、加圧あるいは減圧によってなんらかの圧力を泥水に与え、ろ紙を通してろ過することによって、その際の脱水性の難易から、泥水の造壁性を評価している。

そこで、筆者らは吸水性のろ紙が約 2 m 水頭の毛管吸引力を有していることに着目し、この毛管吸引力を利用して泥水を固形分と分離水に分け、脱水の程度を分離水の毛管上昇高で評価できないものかと考え、各種の泥水を対象に 1 分間におけるろ紙の毛管上昇高を測定した。

3.2. 泥水別の毛管上昇高

当社の地中連続壁工事で使用しているポリマー泥水、一般のアースドリル工事などで使用しているバントナイト泥水、あるいは泥水シールド工事・リバースサーキュレーション工事で使用しているシルト泥水などに対して、消石灰などを添加して泥水品質を劣化させたもの、あるいは CMC・分散剤などを添加して泥水品質を良好させたものについて、1 分間におけるろ紙の毛管上昇高を測定した。

たとえば、ポリマー泥水に消石灰を添加した泥水の劣化過程における毛管上昇高の変化は図-5 に示すとおりである。良好な品質のポリマー泥水の毛管上昇高は 1~2 mm と低く、消石灰を 5 g/l まで添加してもほとんど

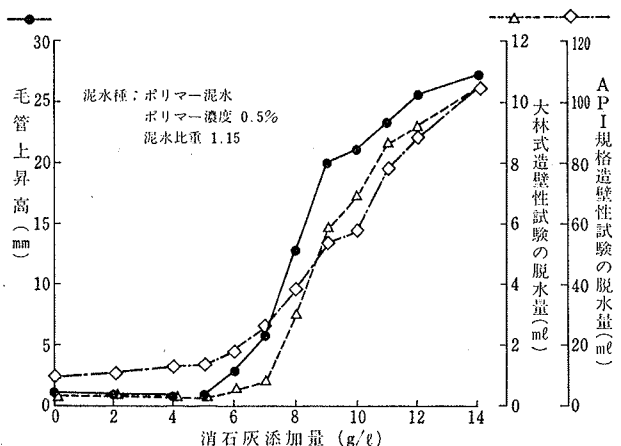


図-5 ポリマー泥水における消石灰添加時の性状変化

変化しない。しかし添加量が 5 g/l を超えると添加量とともに毛管上昇高が高くなり、10~14 g/l の添加量で毛管上昇高が 21~27 mm にも及んでいる。

ところで、図中には、API 規格あるいは大林式の造壁性試験の脱水量の変化も併記してある。図から明らかなように、消石灰添加による泥水の劣化過程における毛管上昇高の増大傾向は、API あるいは大林式の造壁性試験の脱水量の増大傾向とほぼ対応していることが分かる。

さらに、ここでは特に図示しないが、ポリマー泥水以外のベントナイト泥水・シルト泥水についても、泥水品質の劣化あるいは良化過程における毛管上昇高の変化は上記二者の造壁性試験の脱水量の変化とほぼ対応していた。

3.3. 毛管上昇高と造壁性試験の脱水量との関係

先の3.2.における泥水別の毛管上昇高の測定結果に基づき、室内で作成した泥水60点さらに各種の泥水工法の工事現場から入手した泥水30点の合計90点の泥水について、大林式の造壁性試験の脱水量と一分間の毛管上昇高との関係を図-6に示す。

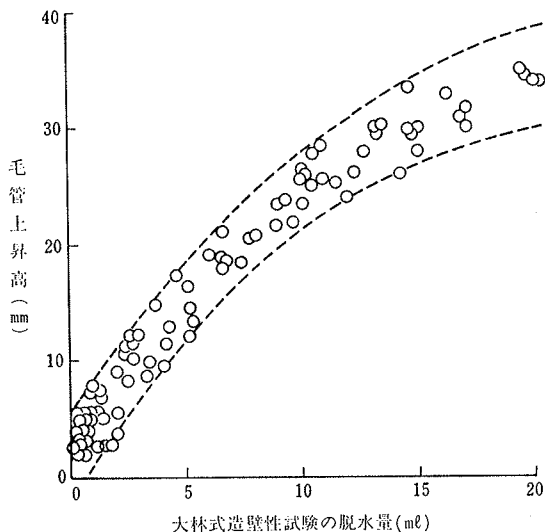


図-6 大林式造壁性試験の脱水量と紙の毛管上昇高との関係

図から明らかなように、両者の対応関係は非常に良好である。そして、両試験の測定原理を考慮すると、毛管上昇高として評価される泥水の特性は造壁性試験の脱水量として評価される泥水の特性とほぼ同じであろうと考えられる。

言い換えれば、1分間の毛管上昇高を測定することによって泥水の造壁性を評価できることが明らかになった。

4. 壁面安定試験紙の開発

4.1. 壁面安定試験紙とは

前章の試験結果に基づいて、吸水性のろ紙が持つ毛管

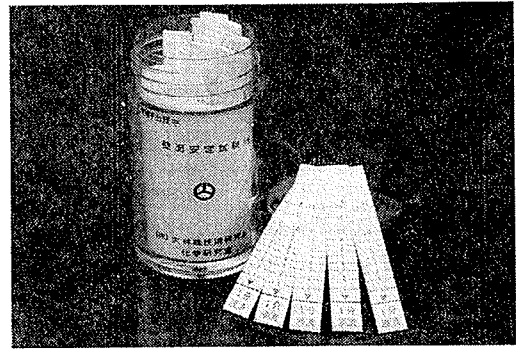


写真-1 壁面安定試験紙

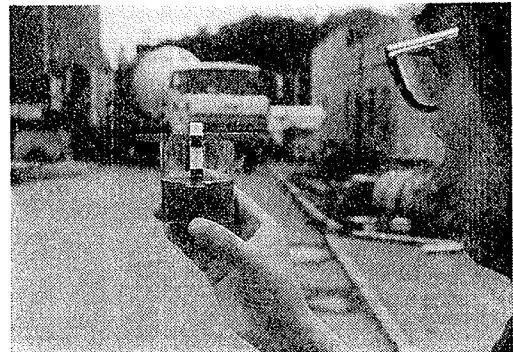


写真-2 試験紙による造壁性の測定

吸引力を利用して泥水を固形分と分離水に分け、分離水の毛管上昇高で泥水の造壁性を測定できる試験紙を開発した。泥水の造壁性は泥水の壁面安定機能に影響する泥水品質に関する重要な性能であるので、この試験紙を「壁面安定試験紙」と命名した。

「壁面安定試験紙」は写真-1, 2に示すとおりであり、その仕様を下記に示す。

- (1) 紙質：特注品
- (2) 形状：幅 1 cm・長さ 6 cm の短冊状
(浸漬部 1 cm, 測定部 5 cm)
- (3) 表示：大林式造壁性試験（減圧ろ過方式）の脱水量に対応する指標線を 0~20 ml の範囲で表示

4.2. 壁面安定試験紙の使用法

- (1) 泥水に試験紙の下端を所定線まで浸漬する。
- (2) 浸漬 1 分後に、毛管上昇した先端の読みを測定する。なお、試験紙が特殊薬品で染色してあるので、毛管上昇部は青色に着色する。また、API 規格の造壁性試験の脱水量を求める場合、試験値を 8 倍する。

4.3. 壁面安定試験紙の特長

今回開発した試験紙を使用して造壁性試験を行なう場合の特長を、API 規格（加圧ろ過方式）あるいは大林式（減圧ろ過式）の造壁性試験と比較して表-1に示す。

この方法の特長は、必要器具が壁面安定試験紙だけと

項目	方法	加圧ろ過試験法 (API規格)	減圧ろ過試験法 (従来の大林法)	壁面安定試験紙法 (今回の開発)
測定原理		3kgf/cm ² の加圧条件下での脱水量	500mmHgの減圧条件下での脱水量	約2m水頭の毛管吸引力による毛管上昇高
測定器具		コンプレッサー 加圧ろ過試験器 メスシリンダー、他	減圧器 目皿付ロート 枝付メスシリンダー、他	試験紙のみ
測定時間		30分	5分	1分

表一 造壁性試験方法の比較

少なく、測定方法が簡単であり、かつ測定時間が1分間と非常に短いことにあり、壁面安定試験紙による方法は簡便でかつ迅速に行なえる試験方法である。

しかも、試験値のバラツキは変動係数で主旨3~6%程度であり、API規格あるいは大林式の造壁性試験の脱水量のそれとほぼ同じである。

さらに、壁面安定試験紙による試験値と大林式の造壁性試験による脱水量との関係は図-7に示すとおりである。図中には、室内試験のデータ90点と実際の地中連続壁工事およびリバースサーキュレーション工事の現場における野外試験のデータ80点を併記している。

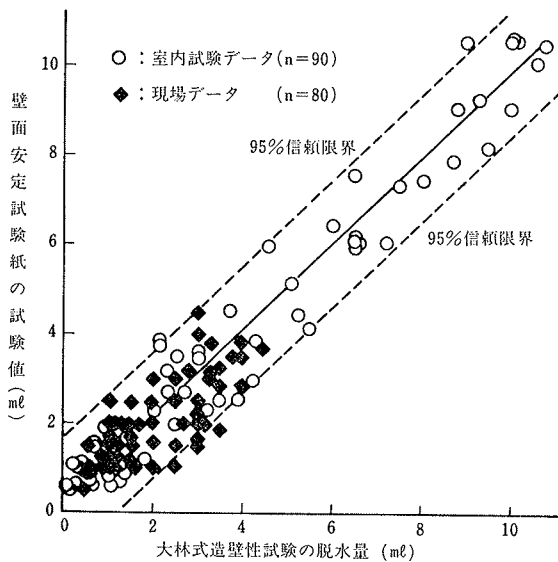


図-7 大林式の造壁性試験の脱水量と壁面安定試験紙の試験値との関係

図から明らかなように、脱水量が0~10 mlの範囲で、両者の相関係数は $r=0.95$ であり、95%信頼限界は ± 1.5 ml程度である。

このことから、壁面安定試験紙によって1分間で得られる試験値は大林式の造壁性試験によって5分間で得られる脱水量とほぼ一致することが確認できた。

5. おわりに

以上報告したように、今回開発した壁面安定試験紙は長さ6cm、幅1cmの試験紙で、泥水に1分間浸漬することによって、健康診断における簡易の尿検査と同じように、泥水の造壁性(脱水量)を簡便にかつ迅速に測定することができる。

この壁面安定試験紙の採用により、現場において随時、泥水の造壁性を測定することによって、泥水の品質管理が手軽にその場でできるので、工事の省力化に加えて、工事の安全性、施工性の向上に寄与できるものと考えている。

さらに、この壁面安定試験紙による泥水の造壁性の測定原理を利用して、現在自動造壁性試験機を試作中であり、今後、前報で報告した泥水品質の自動計測装置一号機よりコンパクトでありかつ粘度・比重・造壁性・pHを自動計測できる二号機を製作する予定である。

参考文献

- 1) 辻, 喜田, 炭田: 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 -, 大林組技術研究所報, No. 33, (1986), pp. 22~26
- 2) 喜田, 川地: 泥水工法における泥水管理に関する研究(第22報) - 泥水浸透による土質改良効果 -, 大林組技術研究所報, No. 13, (1976), pp. 90~96
- 3) American Petroleum Institute: Recommended Practice 29, Standard Field Procedure For Testing Drilling Fluids, (1985)