

泥水工法における泥水の品質管理の自動化（その3）

——造壁性の自動計測装置の開発——

喜 田 大 三 辻 博 和
炭 田 光 輝

Studies on Automatic Control System for Quality of Slurry in Underground Excavation Method (Part 3)

——Development of Measuring Apparatus for Wall-Building Characteristics of Slurry——

Daizo Kita Hirokazu Tsuji
Mitsuteru Sumida

Abstract

In a slurry excavation system, quality control of slurry is necessary to improve construction efficiency, decrease cost of the work, and improve diaphragm quality. The wall-building characteristic of the slurry is its most important feature for stabilizing the trench. Investigations were carried out with the aim of automating tests of the characteristic. The existing tests concerning the wall-building characteristic of slurry are a filter-press test according to standards of the American Petroleum Institute and a vacuum filtration test developed by Ohbayashi Corporation. These tests use complicated apparatus which are bothersome to operate. For this reason, it is very difficult to automate the tests. Therefore, a new test was devised. This test takes advantage of the capillary suction capacity of filter paper and measures the time required for water separated to rise a certain height. Automating this method led to development of an automatic measuring apparatus for the wall-building characteristic of slurry. As a result of adopting this apparatus for a diaphragm wall construction project it was succeeded in confirming that measured values had good reproductivity and the wall-building characteristic of slurry could be evaluated automatically in a short time.

概 要

地中連続壁工法などの泥水工法において、工事の施工性・経済性さらには構築物の性能にとって泥水の品質管理は必要不可欠である。泥水品質のうち泥膜形成能すなわち造壁性は掘削面を安定させるうえで最も重要な管理項目である。そこで、この造壁性試験の自動化を検討した。現在行なわれている試験は加圧あるいは減圧のろ過試験であり、煩雑な器具を使用し、操作も複雑である。そのため、これらの試験を自動化することは非常に困難と判断し、従来法とは異なる全く新しい試験法を考案した。すなわち、泥水に浸した吸水性ろ紙の所定距離を分離水が毛管上昇する時間を計測する方法である。この方法を自動化することによって自動造壁性試験装置を開発することができた。この装置を現場に適用した結果、計測値の再現性もよく、全自動でしかも短時間で造壁性が評価できることが確認できた。

1. はじめに

地中連続壁工法などの泥水工法では、工事の施工性・経済性さらには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く、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る。近年、工事規模の拡大・構築物の用途の拡大などに伴って、泥水品質の向上が今まで以上に叫ばれ、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、こうした背景のもとに既に、粘度・比重・pH・温度を連続計測できる泥水品質の自動計測装置の一号機¹⁾を開発し、報告している。

ところで、泥水品質のうち泥水の泥膜形成能すなわち造壁性は掘削面を安定させるうえで最も重要な性能であり、これはろ過試験の脱水量の大小で評価している。このろ過試験は使用器具、方法が煩雑であるので自動化することは非常に困難である。

そこで、造壁性の新しい評価法について検討した結果、吸水性ろ紙の分離水の毛管上昇時間で造壁性の良否が判定可能であることが明らかとなり、この試験方法を自動化することによって造壁性が全自動で計測できる装置が開発できた。

ここでは、新たに開発した自動造壁性試験装置の概要さらには現場に適用した結果について報告する。

2. 造壁性試験の現状

泥水工法において、掘削面が安定するためには泥水圧が地盤に有効に作用する必要がある。この泥水圧は不透水性の泥膜を介して作用するものであり、造壁性試験は泥水の泥膜形成能を評価する試験である。

この試験は、現在、図-1、図-2、表-1に示すように、API (American Petroleum Institute) 規格の加圧ろ過試験と大林式の減圧ろ過試験の2通りの方法があり、泥膜形成能はろ過試験の脱水量が小さいものほどよく、通常 API の加圧ろ過試験の場合脱水量は 30~40 ml 以

下で管理されている。なお、大林式の減圧ろ過試験の脱水量は API の脱水量の約1/8である。

これらの造壁性試験では、表-1に示したように、煩雑な器具を使用し、試験方法も比較的複雑である。また、所定の脱水時間は API の場合30分、大林式の場合5分であり、その他の作業時間を含めると1回の試験を行なうのに比較的長時間を必要とする。

3. 造壁性試験の自動化の検討

計測を自動化するためには、装置が比較的容易に製作可能であり、運転時にトラブルがなくしかも計測値に再現性がある必要がある。

さて、現在行なわれている造壁性試験では、2章で述べたように、煩雑な器具を使用し、ろ紙のセット、試料の注入、所定の圧力で所定時間ろ過、ろ過後の容器中のマッドケーキの廃棄・容器の洗浄などの操作が必要である。そのため、これらの試験を自動化することは非常に困難であると判断し、造壁性試験を自動化するための簡易な評価法を検討した。

ところで、API 規格や大林式の造壁性試験では、加圧あるいは減圧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、その際の脱水量の難易から、泥水の造壁性を評価している。

そこで、筆者らは吸水性ろ紙 (以下試験紙と称す) 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、種々の泥水を対象として室内試験を行なった。

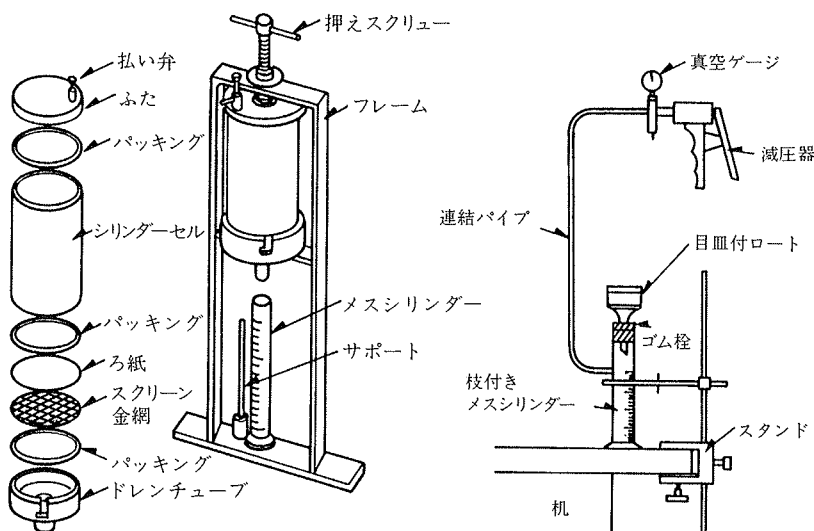


図-1 API 規格の造壁性試験器 (加圧方式)

図-2 大林式の造壁性試験器 (減圧方式)

造壁性試験の名称	試験方法の概要	試験に必要な主な器具
API 規格の造壁性試験 (加圧ろ過方式)	図-1に示すAPI規格の加圧ろ過試験器に泥水約300ml入れ、3 kg f/cm ² の圧力で30分間加圧ろ過した際の脱水量を測定する	コンプレッサー ろ紙 API規格の加圧試験器 メスシリンダー ストップウォッチ
大林式造壁性試験 (減圧ろ過方式)	図-2に示す減圧ろ過器に泥水を約50ml入れ、50cm Hg の減圧状態で5分間減圧ろ過した際の脱水量を測定する	減圧器 ろ紙 枝付シリンダー 目皿付ロート ゴム栓 ストップウォッチ

表-1 造壁性試験の方法と必要な器具

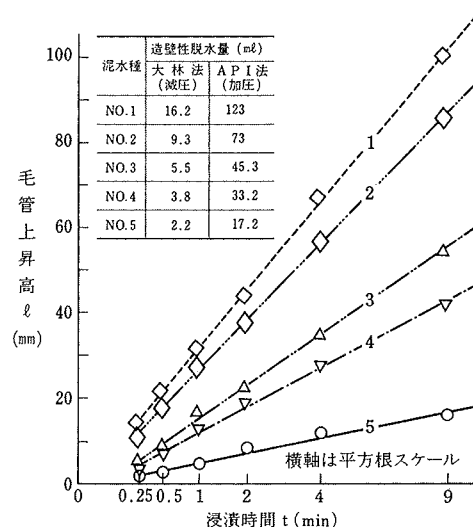


図-3 毛管上昇時間の経時変化例

結果の一例を図-3に示す。図から明らかなように、毛管上昇高 (l) と浸漬時間 (t) の関係は l/\sqrt{t} =一定の関係にあった。これは、試験紙の毛管吸引力をろ過圧、毛管上昇高をろ液量と考えれば Ruth のろ過理論に基づいていることを示している。しかも、図-3の傾きは泥水の種類によって特有の値を示し、従来の造壁性試験の脱水量の大小と対応していた。このことから、試験紙の所定距離(高さ)を分離水が毛管上昇する時間を計測することによって泥水の造壁性が評価できることが判明した。

そこで、造壁性に関するこの簡易な評価法を自動化することによって次章で示す自動造壁性試験装置を開発した。

なお、既にこの原理を応用して、1分間の分離水の毛管上昇高さから造壁性が測定できる「壁面安定試験紙」を開発し、発表している²⁾。

4. 自動造壁性試験装置

4.1. 概要

今回開発した自動造壁性試験装置は、吸水性ろ紙の毛管吸引力によって分離水が所定の距離を毛管上昇する時間から造壁性の良否を判定する装置であり、その全景を写真-1に示す。また、表-2に主な仕様を示す。装置は

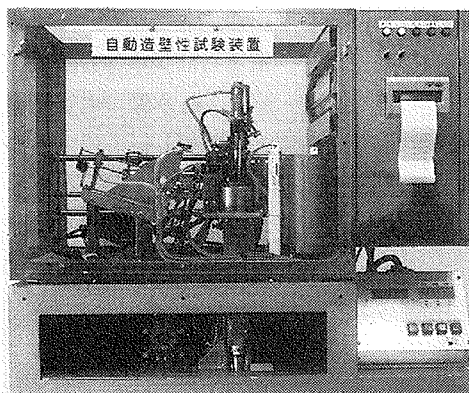


写真-1 自動造壁性試験装置

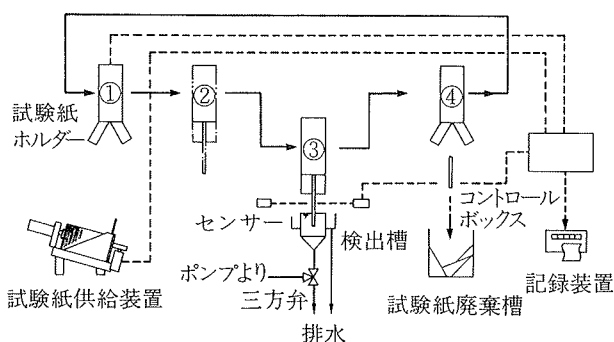


図-4 自動造壁性試験装置の計測模式図

泥水供給部、検出部、制御記録部から成り、外形寸法は L75 cm×W40 cm×H60 cm である。

4.2. 計測フロー

図-4に計測模式図を示す。自動計測は次に述べる動作順序で行なわれる。まず、泥水がポンプで検出槽へ送られて、泥水が所定時間オーバーフローした段階でポンプは停止する。次に、試験紙供給装置から試験紙が一枚供給され、これを試験紙ホルダーがつかみ検出槽まで移動し、試験紙を泥水に浸す。浸漬開始とともにタイマーが作動する。試験紙の毛管上昇水が所定の高さまで上昇してきたことをレーザーセンサーで検出し、毛管上昇時間を計測する。計測が終了するとデータが記録され、試験紙が廃棄槽に廃棄され、検出槽内の泥水も排出される。

以上が計測の1サイクルで一連の動作が全て自動化されており、所定の時間間隔でこの計測を継続する。

5. 自動造壁性試験装置の現場適用結果

適用した現場はハイドロフレーズ掘削機を使用した泥水循環式の地中連続壁工事の2現場であり、両現場とも沈砂槽オーバーの泥水を対象として連続計測した。これに先だって、掘削泥水以外の泥水も対象にしてセンサーの位置を変えて毛管上昇時間の再現性を調査した。

5.1. 毛管上昇時間の再現性

自動造壁性試験装置による毛管上昇時間の計測における計測値の再現性を調べるため、各種の泥水についてセンサーの距離(検出槽上端からセンサーの中心までの距離)を変えて計測した。

図-5は結果の一例を示すものであり、各条件5連で計測した。図から明らかなように、いずれの条件においても再現性がよく、センサーの距離が15~25 mmの範囲では、いずれの泥水においても変動係数は5~10%程度であり、4.3.に示した計測方法で毛管上昇時間が精度よく計測可能であることが明らかになった。

ポンプ	定量ポンプ 200ml/min
検出槽	オーバーフロー型φ60×56H三方電磁弁付
センサー	レーザー方式 透過形
試験紙供給装置	自動供給 最大200枚ストック
試験紙ホルダー	チャック式 エア駆動
ホルダー移動装置	上下・左右移動式 エア駆動
試験紙廃棄槽	円筒型 φ100×171H
制御・記録装置	コントロールボックス 400□×200 ^D 制御指示 押ボタン式 デジタル表示、プリンター

表-2 自動造壁性試験装置の主な仕様

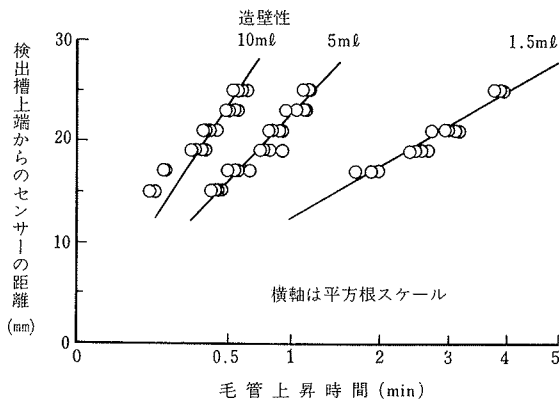


図-5 センサー位置と毛管上昇時間

5.2. 毛管上昇時間と造壁性

図-6は自動造壁性試験装置の毛管上昇時間と、同時に採取した泥水の壁面安定試験紙による造壁性試験の結果との関係を示すものである。なお、センサーの距離は25mmであり、図中には室内で各種の泥水について試験した結果も併記している。

図から明らかなように、造壁性試験の脱水量の増大に対応して毛管上昇時間が減少している。たとえば、脱水量0~3mlで毛管上昇時間は概ね3~10分(180~600秒)であるのに対して脱水量8ml以上で25~30秒である。

ところで、工事現場における泥水の品質管理において、造壁性の脱水量に関する基準値とそのときの対応は通常以下のとおりである。脱水量が0~5mlの場合は良好と判定しそのまま使用する。5~8mlの場合はやや不良と判定し、注意して使用し0~5mlになるように再生する。8ml以上の場合には不良と判定し、使用不可能であり、廃棄するか再生する。

従って、造壁性試験の脱水量で管理上重要となる値は5mlあるいは8mlと言った脱水量の比較的大きな領域である。このときの毛管上昇時間は極端に短くなり、センサーの距離が25mmのときは、5ml、8mlでそれぞれ50~100秒、25~50秒である。

以上のことから、自動造壁性試験装置を使用して泥水の毛管上昇時間を計測することによって、従来行なわれていた造壁性の脱水量に変えて、泥水の泥膜形成能を短時間で自動計測できることが判明した。

6. おわりに

泥水の品質管理において、掘削面を安定させるうえで

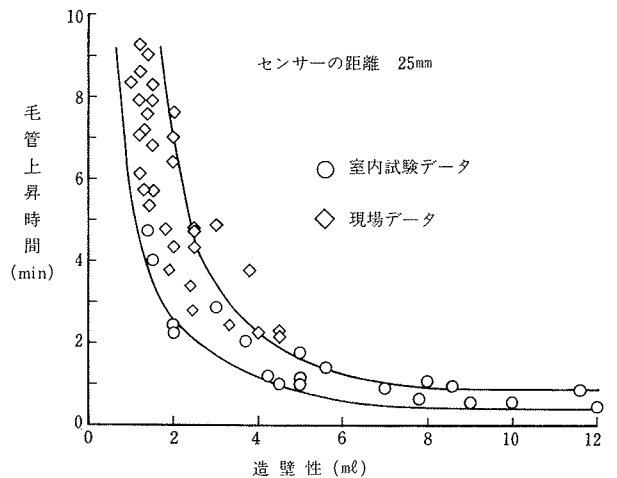


図-6 壁面安定試験紙による脱水量と自動造壁性試験装置の毛管上昇時間

最も重要な泥膜形成能すなわち造壁性を評価する試験は、煩雑な器具を使用し、操作も比較的複雑なため自動化することは非常に困難であった。

そこで、簡易な評価法を検討した結果、吸水性ろ紙の所定距離を分離水が毛管上昇する時間を計測することによって泥水の造壁性が評価できることが判明した。この原理に基づいて全自動の自動造壁性試験装置を開発した。この装置を地中連続壁の工事現場に適用した結果、計測値の再現性もよく、また従来の造壁性試験の脱水量の増大に対応して毛管上昇時間も減少するので、この時間から造壁性を評価することが可能であることが判明した。

今回開発した装置と同じ装置を既に開発した粘度・比重などが自動計測できる一号機を改造して搭載し、現場に適用して良好な成績をあげている。この成果については追って発表する予定である。

最後に、現場調査に協力していただいた本社特殊工法部の皆様及び現場の皆様深く謝意を表します。

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一, 大林組技術研究所報, No. 33, (1986), pp. 22~26
- 2) 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2) - 壁面安定試験紙の開発一, 大林組技術研究所報, No. 34, (1987), pp. 42~46