

III-35

礫質地盤における泥水式シールドの施工管理手法について

飛鳥建設(株) 正 長谷川 昌弘
正 藤原 雅博

1. はじめに

泥水式シールド工法では、切羽崩壊を生じやすい細粒分の少ない均一砂層や透水性の高い砂礫層での適正泥水物性やリアルタイム施工管理手法の確立が課題である。著者らは、シルト質砂層や均一砂層に対する適正泥水物性と施工管理手法については、すでに実験と実施工での検討を行い多くの知見を得てきた^{1), 2), 3)}。本文は、透水性の高い砂礫地盤を対象に実施した泥水物性試験と浸透実験の結果と大断面泥水シールド工事での検証結果をまとめたものである。

2. 室内実験用模擬地盤及び泥水材料

実験に用いた模擬地盤1, 2の粒度分布を図-1に示す。透水係数はそれぞれ 2×10^{-4} 、 2×10^{-2} cm/secである。泥水材料には東京層中の洪積粘土を用いた。

3. 室内実験の概要

泥水物性試験と粘土水浸透実験を実施した。各実験方法の概要は次の通りである。

3-1 泥水物性試験

泥水比重、ファンネル粘性、イールドバリユ、濾過脱水量、分離度と特性を把握する。試験方法はアメリカ石油協会規格(API規格)に準拠した。試験は泥水比重を1.05~1.30、砂分添加率を0~30%に変化させた。

3-2 泥水浸透実験

シールド機で掘進中の切羽はビットにより一定時間毎に常に切削されている。泥水浸透実験は切削された直後の地山(切羽)に泥水が接触した時の泥水の浸透状況や泥膜の形成状況及び泥水圧の伝播過程等を観察するために行うもので、内径480mm長さ570mmの亚克力製の土槽部と、同径で長さ200mmの鉄製泥水チャンバーからなる円筒型実験装置を用いて、図-2に示すシステムにより実施した。泥水圧は実験当初、 2 kgf/cm^2 とし、順次0.5、1.0 kgf/cm^2 まで昇圧した。泥水の浸透状況を観察するとともに、土槽内に土圧計と間隙水圧計を設置して、泥水圧、土圧、間隙水圧および模擬地盤からの脱水量を測定した。

4. 実験結果

4-1 泥水物性試験

4-1-1 泥水材料の比重と粘性の関係

泥水比重とファンネル粘性と関係は図-3のようになる。泥水比重が1.15以下では泥水材料の粒度によらず両者の関係は略同一であって、泥水比重の増加に伴うファンネル粘性の増加は僅かである。泥水比重が1.15を越すと泥水比重の増加によりファンネル粘性が急激に増加するが増加の割合は砂の添加率が増加するにしたがって小さくなっている。

したがって、泥水比重が1.15以上では、泥水比重と粘性の関係は泥水材料の粒度分布に依存するため泥水比重のみでは泥水材料の粘性を評価出来ないことが分かる。一方、ファンネル粘性とイールドバリユの関係を示すと図-4のようになる。両者の相関関係は高くファンネル粘性からイールドバリユを推定することが可能である。

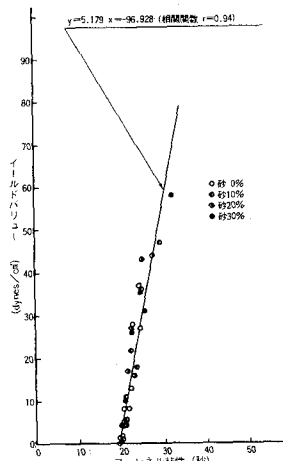


図-4 ファンネル粘性とイールドバリユの関係

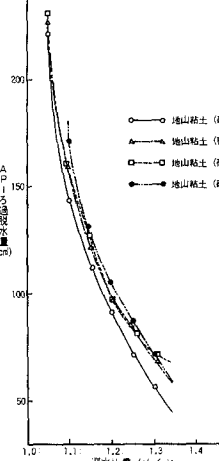


図-5 泥水比重とAPI透過脱水量の関係

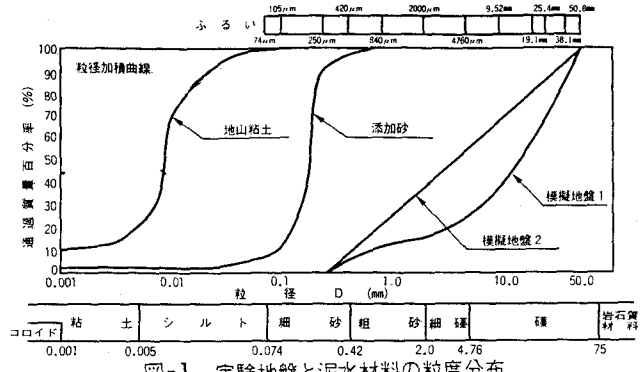


図-1 実験地盤と泥水材料の粒度分布

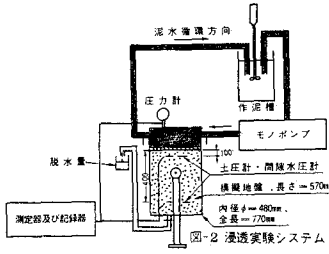


図-2 浸透実験システム

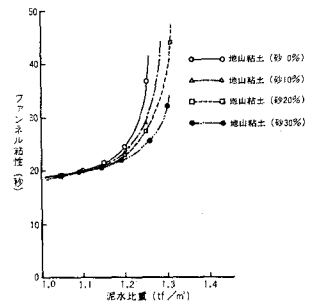


図-3 泥水比重とファンネル粘性の関係

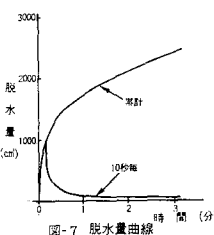


図-7 脱水量曲線

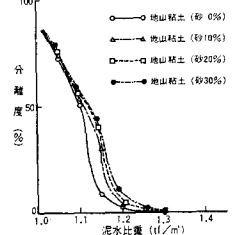


図-8 泥水比重と分離度の関係

4-1-2 泥水比重とAPI濾過脱水量との関係

泥膜の止水性が良い程濾過脱水量が減少することからAPI濾過脱水量は泥膜止水性の指標となる。図-5に示すように泥水比重とAPI濾過脱水量には負の相関性が認められ、泥水比重の増加にしたがってAPI濾過脱水量が減少し泥膜の止水性が向上する傾向にあるといえる。また、砂添加により泥膜の止水性が低下することが伺える。

4-1-3 泥水比重と分離度との関係

静置状態の泥水がどれだけ沈降するかで泥水の安定性を判断できるので、分離度は泥水安定性の判定指標となる。分離度が小さい程泥水の安定性が高いと言える。泥水比重と分離度との関係を示すと図-6の様になり、両者には負の相関関係があり砂添加により分離度が高くなり泥水の安定性が低下することがわかる。

4-2 浸透実験結果

模擬地盤からの脱水量（累計）は図-7に示す様に浸透開始後30秒～1分付近で増加の割合が減少し、浸透開始後2分を過ぎると増加の割合はほぼ一定となる。浸透開始当初の脱水量は、泥膜形成のための地盤への貫入と濾過によるもので、泥膜形成後は泥膜での濾過のみによるものと考えられる。泥膜の形成性を浸透開始後0～1分の脱水量で評価し、泥膜の止水性は同じく2～3分の脱水量で評価すると、実験結果は図-8, 9の様にまとめられる。

0～1分の脱水量は泥水比重が大きくなる程、また砂の添加量が増す程少なくなる傾向を示した。砂の添加による「目詰め効果」により泥膜の形成性が良くなっており、その傾向は模擬地盤1の方が顕著である。模擬地盤1での砂分30%含有の泥水は模擬地盤2とほぼ同じ泥膜の形成性を示した。

2～3分の脱水量は泥水比重が大きくなる程少なくなり泥膜の止水性が良くなるが、砂の添加により脱水量が増加し、泥膜の止水性が低下することがわかる。

5. 実施工での泥膜の形成性の確認³⁾

浸透実験の脱水量から推定した掘削偏差流量と、掘削偏差流量の実測値を比較する事により実施工での泥膜形成性の確認を行った。掘削偏差流量は排泥流量－（送泥流量＋理論掘削量）である。浸透実験の脱水量から掘削偏差流量Vは次式で推定した。

$$\text{推定掘削偏差流量 } V = (\Sigma \Delta Q \times 1 \text{ 分間の切削回数} \times \text{面積倍率}) \times \text{掘削時間 (分)}$$

ここで、 ΔQ ＝切削間隔時間（分）に対する浸透実験での脱水量

1分間の切削回数＝1分間の cutter 回転数×ビットのパス数

面積倍率＝実機の断面積／実験装置の断面積

対象としたのは外径約6.8mの泥水式シールド工事で粘性土、砂層、礫層の互層地盤を掘進するものである。切削は27秒間隔で切削される部分と54秒間隔で切削される部分に分かれているので、実施工で使用した泥水の各地盤に対する浸透実験での27秒と54秒の脱水量から掘削偏差流量を推定すると図-10のようになる。泥水性状は、浸透実験、落し戸実験等から各地盤毎に求められた最適値で管理した³⁾。

推定値と実測値とは高い相関を示し、回帰式の係数がほぼ1.0であることから、推定値は実測値を良く説明している事がわかる。従って、室内実験から得られた泥膜の形成性が実施工でも同様であった事が確認された。このことは、掘削偏差流量を指標としたリアルタイムの施工管理手法の有効性を示唆している。尚、推定値に対して実測値がばらつきを生じているのは、泥水圧のうち地盤の側圧に対する過剰圧が正確に測定できないために過剰圧に対する補正をしていないことや、シールド切羽面の土性が地質想定図から推定されたものであることなどが原因として考えられる。

6. おわりに

泥水物性試験や浸透実験の脱水量から推定した掘削偏差流量によるリアルタイム施工管理手法が礫質地盤でも有効であることが分かった。しかし、この管理手法の精度向上には、土質性状の正確な把握が課題となる。

参考文献

- 1) 藤原他：泥水加圧式シールド工法における適正な泥水性状の把握、とびしま技報No. 36, 1986. 1
- 2) 長谷川、藤原：濾過脱水量による大断面泥水加圧式シールドの泥水管理について、第43回土木学会年次講演会Ⅲ部門、1988. 10
- 3) 長谷川、藤原：泥水式シールドの最適泥水性状について（その1、その2）、第44回土木学会年次講演会Ⅲ部門、1989. 10
- 4) 長谷川、藤原、佐野、武永、熊谷：泥水式シールドの礫質地盤用泥水についての実験研究、とびしま技報No. 42, 1991. 3

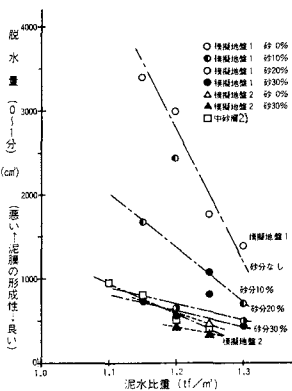


図-8 浸透実験脱水量（0～1分）

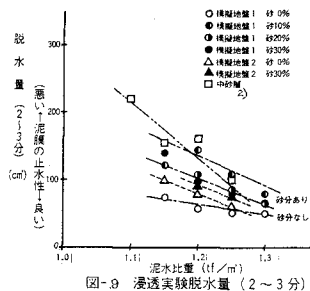


図-9 浸透実験脱水量（2～3分）

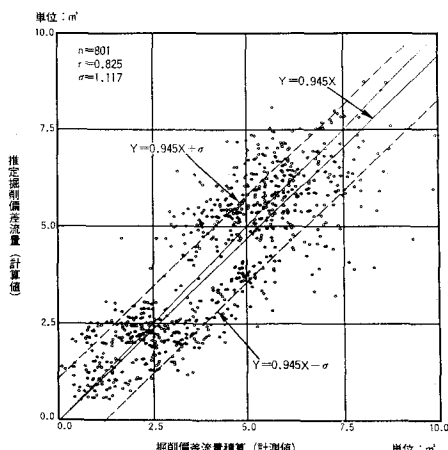


図-10 推定掘削偏差流量