

1. はじめに 泥水を利用する場所打ち杭や地中連続壁、泥水シールドトンネル等の施工に際しては、泥水の性質が工事に大きな影響を及ぼすため、泥水の基礎的特性に関して多くの研究が行われている。泥水の造壁性や浸透(逸水)性についても活発に検討されているが、粗粒分(砂分やシルト分)が少なく目詰まりを生じ難い泥水の造壁性・浸透性について調べられた例は少ない。今回、粗粒分を含まない泥水を用い、長さ2mの砂供試体について、供試体内部の水頭分布を測定しながら泥水を浸透させ、浸透量の経時変化、ならびに供試体内部の透水性分布とその経時変化を調査した。その結果、泥水の浸透性低下過程と機構の一端について知ることが出来たので報告する。

表-1 砂の性質

砂の種類	豊浦標準砂
85%粒径(mm)	0.24
15%粒径(mm)	0.17
間隙比	0.63
透水係数(cm/s)	2×10^{-2}

2. 試料と供試体作成法 砂試料とした豊浦砂の性質は表-1、図-1に示すとおりで、粒径 $74\mu\text{m}$ 以下の細粒分が殆ど無く、粒径の揃った細砂である。泥水は、ベントナイトを用いて乾燥重量比で4%と5%の2種類作成した。試験には、2日放置しシルト分を沈澱させて除去した後の安定な泥水を使用した。図-1にベントナイトの粒度分布を、表-2に作成直後と2日静置後の泥水の性状を示す。粘度や泥膜厚は2日放置しても変化がないが、比重や脱水量には差を生じ、特に4%泥水の脱水量は大幅に増加する。比重値から計算すると、供試体泥水中の懸濁粒子の最大径は $1\mu\text{m}$ 程度である。

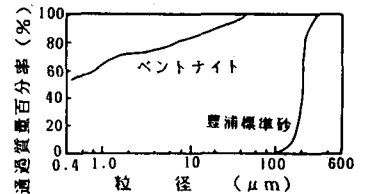


図-1 試験試料の粒度分布

3. 試験方法 泥水の浸透試験は、図-2に示す装置を用い供試体上端から下方へ向け、動水勾配 $i=1$ で行った。砂供試体は、内径5.2cm長さ2mの塩ビパイプに予め水を満たして置き、パイプ外周を軽く叩きながらこの中に砂を投入して作成した。供試体内部の4箇所(供試体上端より11、46、96、146cmの位置)では、圧力変換器を用いて水頭分布を測定した。なお、泥水浸透試験に先立って透水試験を行い、供試体各部が一様な透水性を示すことを確認している。

表-2 泥水の性質

粘土の種類	ベントナイト(クニゲルv1)			
配合	4%		5%	
比重	1.03	1.02	1.033	1.023
ファンネル粘度(s)	21.7	21.7	23.5	23.8
脱水量(ml)	16.3	159	13.7	23.0
泥膜厚(mm)	1.0	1.1	1.0	1.1

4%、5%欄中の左側は作成直後、右側は使用時の値を示す。

4. 試験結果 (1) 経過時間～浸透量の関係 図-3に泥水浸透量の経時変化を示す。なお、浸透量は供試体単位断面積当りの累積浸透量で表示した。4%、5%泥水とも、単位時間当りの浸透量(浸透量～時間関係曲線の勾配)は時間の経過と共に次第に減少する。4%泥水では300時間以降も1時間当たり $0.7\text{ml}/\text{cm}^2$ 浸透しているが、5%泥水では120時間以降は僅か $0.1\text{ml}/\text{cm}^2/\text{h}$ である。最終浸透量は、4%泥水で $1,060\text{ml}/\text{cm}^2$ 、5%泥水で $220\text{ml}/\text{cm}^2$ であり、両者には5倍近くの差が有る。表-2に示すろ過試験では脱水量が $23\sim 159\text{ml}$ 、単位面積当り脱水量は $0.5\sim 3.5\text{ml}/\text{cm}^2$ (ろ過面積 45.8cm^2)なので、本浸透試験では300～400倍も浸透量が多いことになる。これは、今回の供試体泥水中の懸濁粒子の最大径が約 $1\mu\text{m}$ と砂粒子に比べ極めて微細であるためであろう。

(2) 透水性～経過時間の関係 図-4、5に泥水浸透試験時の透水係数 k (正確に言えば透泥水係数)の経時変化を各区分別に示す。泥水浸透開始初期には、供試体内部における透水性の差が顕著で4%泥水では5倍、5%泥水では10倍の大差が認められる。数時間後に泥水が供試体全体に浸透すると、供試体内の k の差は4%泥水で0.5、5%泥水で2倍以下と小さくなる。以後、4%泥水

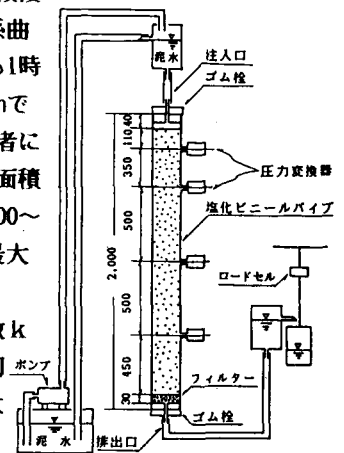


図-2 泥水浸透試験装置

では80時間、5%泥水では30時間頃まで、両対数図上で時間の経過に対して k が緩やかに低下する状態が続くが、それぞれ40、80時間以後からは、経過時間に対する k の低下が顕著になる。浸透開始100時間後頃には k は、4%泥水で 1×10^{-3} cm/s、5%泥水では 1×10^{-4} cm/s以下となり、供試体の初期透水係数 2×10^{-2} cm/sに対してそれぞれ1桁、2桁小さな値を示している。

(3) 供試体内の動水勾配の分布 供試体内部の透水性の分布を見るために、供試体上端からの距離と動水勾配 i の関係を図-6に示す。なお、本図では図示の便宜上 k でなく i で表示したが、 i と k とは逆比例の関係にあるので、 i が大きいくほど透水性が低いことを示す。浸透開始1時間後は、泥水の浸透範囲に対応して、 i は供試体の上半分で著しく大きく下半分で小さい。これは、泥水の粘度が清水に比べてかなり大きく、泥水の粘度に反比例して泥水が浸透した区間の k が低下するためである。浸透開始7時間、30時間後には4%、5%何れの泥水とも供試体全長にわたってほぼ一様に供試体全体の平均動水勾配1.0付近の値を示している。しかし、5%泥水では120時間後には、供試体上端から下端に向かって緩やかではあるが i が直線的に減少し、供試体全長にわたる目詰まりが上端側から生じているのを示唆している。また140時間後には上端～11cmの区間の i が1.4から3.1に急増し泥膜の形成を示唆する。一方4%泥水では、供試体上端～11cmの区間で同様に、 i が140時間後の1.5から360時間後の2.4に増加しているが、11cmより先の区間では360時間後でも変化なく0.8～1.3の間のほぼ一定値を示している。

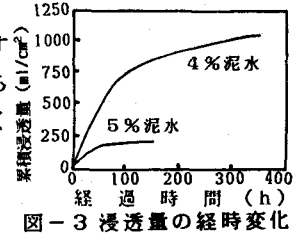


図-3 浸透量の経時変化

5. 泥水の浸透性低下過程と機構 以上のデータに基づいて、泥水の浸透性低下過程を3段階に区分できる。第一段階は浸透開始直後から始まる浸透性低下

で、泥水の浸透により間隙流体の粘度が上昇する結果生じるものである。第二段階は、数時間から数十時間後に生じる緩やかな浸透性低下過程で、2mの供試体全体がほぼ一様な透水性を示し経時変化も少ないこと等から、泥膜や目詰まりではなく、泥水自身の粘性が増加することによって生じるものと推定される。第三段階は、数十時間～100時間後頃から生じる急激な浸透性低下過程で、一般には泥水流入側である供試体上端からの目詰まり進行と泥膜形成との二つの作用によって浸透性低下が起こると予想されるが、今回の供試泥水中の懸濁粒子は、最大粒径が $1 \mu\text{m}$ 程度と砂粒子に対して極めて微細であるので、粘土粒子が砂の間隙を k のオーダーが変わるほど物理的に閉塞するとは考え難く、主な原因は泥膜形成にあるものと推定される。

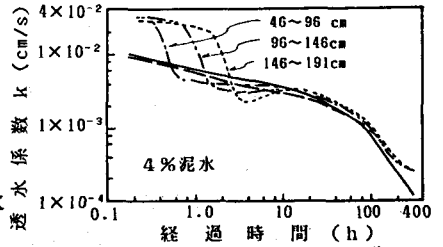


図-4 透水係数の経時変化

6. おわりに 従来、砂に対する泥水の浸透性低下機構としては、泥膜形成が第一に上げられており、効果的な泥膜形成のためには、泥水中に目詰まりを起こす適度な粒径の粗粒分が含まれる必要のあることが知られている。今回の結果からも同じことが言え、微粒子だけしか含まない泥水の場合には、数十時間間の間浸透性は殆ど低下しないことが判明した。また、このような泥水でも、百時間後頃になると泥膜の形成が始まって浸透性は急速に低下し、目詰まりに必要な粗粒子の存在が泥膜形成にとって絶対に必要不可欠な条件であるというわけではない。今後、泥水濃度や、土の種類を変えた試験を行い、浸透性低下のメカニズムを究明して、より効果的な造壁性・浸透（逸水）性を持つ泥水について検討して行きたい。

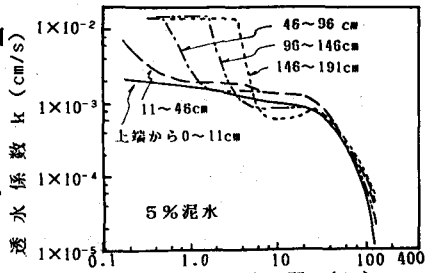


図-5 透水係数の経時変化

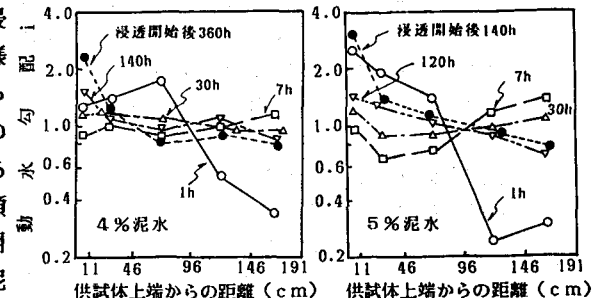


図-6 供試体内部の動水勾配分布