早稲田大学 学生会員 出口倫 雅之 早稲田大学 学生会員 増田 勝己 西松建設 正会員 細川 早稲田大学 正会員 赤木 寬一 早稲田大学 名誉会員 森 麟

1.はじめに

- 泥水式シールドでは、シールド前面において加圧された泥水がテールボイド部に回り込むと考えられる.この実験は、テールボイド部の泥水により形成された泥膜がシールド周辺地盤の安定状態に及ぼす影響を把握する目的で行った.今回は、泥水の浸透終了後泥水圧を地下水圧に低下させる条件で実験を行った.実験条件としては、泥水及び 地盤の種類とトンネル周辺地盤の応力レベルを変化させた.

2.実験装置および地盤と泥水の性状

図1に本研究に用いた実験装置,土槽寸法及び各圧力計の設置位置を示す.作成地盤の物性値を表1に,使用泥水の性状を表2に示す.表中のケーキ厚とは、濾過試験において濾紙表面に形成される泥土の厚さである.実験土槽の上蓋には加圧ゴム袋が取り付けてあり,空気圧を加えることにより,地盤内の応力状態を変化させた.使用した泥水は、ベントナイト泥水と海成粘土泥水の2種類とした.



図 1.作成地盤の物性値

地盤の種類	乾燥密度 d(g/cm ³)	間隙比 e	$D_{50}(mm)$
豊浦標準砂	1.44	0.85	0.2
珪砂NS30	1.61	0.59	1.4

図 2.使用泥水の性状

泥水の性状	⊬重	ファンネル粘性	ろ過水量	ケーキ厚
	μŦ	Sec	CC	mm
ベントナイト泥水	1.063	30.4	16.2	3.1
海成粘土泥水	1.063	20.2	全てろ過	

図1.実験装置概略図

3. 泥水浸透による地盤内円形空洞の自立実験

ここでは泥水式シールドトンネルにおいて1次覆工なしで,泥膜のみが地盤に形成されている状態での飽和砂地 盤内円形空洞の状態を調査した.実験では円形空洞を支持する円管を引き抜き,土槽壁面の土圧(壁面土圧)と水圧(壁 面水圧),円形空洞側方の地盤中の水圧(地中水圧),及び土槽壁面の排水口からの排水重量(浸透水量)を計測した. 次に,円形空洞内部の泥水を清水に入れ替え清水の圧力を1分間に5kN/m²の割合で低下させ、地下水圧と等しく なって、地盤が崩壊するまでに各測定値を計測した.この手順により,テールボイド発生から,トンネルが完成し泥水 圧が地下水圧に戻るまでの状態を調査することができる.実験条件は以下のように泥水の種類,地盤の応力状態を変 え5つの場合について行った.泥水圧についてはすべての場合で一般の施工条件にあたる(地下水圧+20kN/m²)とし た.

3.1地盤に豊浦標準砂を用いた場合

(CASE1)ベントナイト泥水を用いて壁面土圧 30kN/m² となるような上載圧の下で実験した.尚,自立実験の全グラフの時間軸は引き抜き開始及び内水圧低下開始をそれぞれ原点とする.

実験では円形空洞は外管引き抜きから内水圧除荷後まで自 立し、約 30 秒~5 分後崩壊した.円管を引き抜くと図 2 に示 すように壁面土圧は上昇するが水圧の変化量はわずかである これより、ベントナイト泥水の場合、泥膜が速やかに形成され、 泥膜を介して泥水圧が地盤に作用していると考えられる.図 4 より内水圧を除荷した後壁面土圧がわずかに上昇するが、内 水圧の減少により円形空洞内部の内圧が減少し,円形空洞が 側方に変形したためと考えられる.

(CASE2) 泥水式シールド工法では、現場発生泥水を切羽安定 のために使用されることが多い.ここでは現場の泥水を想定 して、海成粘土泥水を用いて壁面土圧 30kN/m²となるような

(KeyWords)トンネル,土圧,スラリー,浸透 (連絡先)〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 Tel03-5286-3405



上載圧の下で実験した.実験では CASE1 の場合と同様,円 形空洞は外管引き抜きから内水圧の除荷後まで自立し,約 30 秒~5分後崩壊した.図2の壁面水圧は円管引き抜き後 から引き抜き終了まで上昇し,壁面土圧は水圧と共に変化 している.これより,海成粘土泥水の場合,泥膜形成が不良で あり,土圧変化は浸透水圧変化に支配されている.図3の浸 透水量は,ベントナイトの約1.5 倍であり,海成粘土泥水の 泥膜はベントナイト泥水よりも浸透をより多く許している と考えられる.次に図4を見ると,内水圧除荷後の壁面土圧 はベントナイト泥水の場合のように増加していない.これ は,海成粘土泥水による泥膜のほうが含水比が小さく,硬質 であるので地山支持効果が高いためと考えられる.

(泥膜の調査) CASE1 及び CASE2 については実験後泥膜の 厚さと含水比を測定した.表3 に結果を示す.泥膜の厚さ はインバート側に向かって厚くなっている.これは,泥水中 の粘土粒子の沈降による濃度差が原因であると考えられる. また,海成粘土泥膜のほうがベントナイト泥膜よりも厚い. これは,透水性の高い海成粘土泥膜の方が浸透水量が多く, 円形空洞の地盤表面に残る粘土粒子が多くなるためである. 一方,含水比もインバート側の方が大きくなっている.これ は,泥水が自身の重量のため,インバートへと溜まっていく ためと思われる.また,海成粘土泥膜の方がベントナイト泥 膜より含水比は小さい.これも,泥膜自身の透水性のためと 考えられる.

(CASE3) 泥水浸透や泥膜形成に地盤の応力レベルがもた らす影響を調査する目的でベントナイト泥水を用い壁面土 圧 15kN/m²となるような上載圧に設定して実験をした.実 験結果は,CASE1とほぼ同様の結果が得られた.したがっ て,回り込み泥水による泥膜形成や泥水浸透は,地盤の応 力レベルに左右されないと考えられる.

<u>3.2 地盤に珪砂 NS30 を用いた場合</u>

泥膜が形成されるか否かは泥水の細粒分と地盤の粗粒分

の粒径の相互関係が大きく影響すると考えられる.そこで地盤を豊浦標準砂より粒径の大きい珪砂 NS30を用いて 実験した.

(CASE4) ここではベントナイト泥水を用いたが泥膜は形成されず,円管引き抜き途中で地盤は崩壊した.これより珪砂 NS30 に対してベントナイトの粒径は泥膜を形成するには小さすぎることが判明した.

(CASE5) ここでは,海成粘土泥水を用いた.実験では泥膜はわずかに形成され,円管引抜きまで円形空洞は自立していたが内水圧低下中に崩壊した.これは、ベントナイトよりも海成粘土の方が平均粒径が大きく,地盤に対して目詰まりを生じさせて泥膜が形成されたためである.

4. 円形空洞自立の観点からみた泥水管理基準

トンネル切羽面に泥膜が形成されるか否かを判定する因 子として従来泥水比重,ファンネル粘性,API 濾過特性が あげられており,これらにより泥水は管理されてきた.本 研究に用いた泥水については比重は同じであり,海成粘土 泥水の API 濾過特性は測定不能であったためファンネル粘 性と GR 値の両面から実験結果を整理した.なお,GR 値は セメント注入工法等で用いられる指標(対象地盤の粒径加積 曲線の 15%粒径を泥水の粒径加積曲線の 85%粒径で除した もの)である.

内水圧低下後まで円形空洞が自立していることを適切な 泥水管理基準とすると図 5 より点線の下の部分の領域に位 置するファンネル粘性及び GR 値を持った泥水が円形空洞 の安定には必要であると考えられる.



図5.円形空洞自立の観点からみた泥水管理基準

5.まとめ

(1) 泥膜形成については泥水の違いにより機能の違いが明らかになった.また,その違いは,地盤の土水圧や浸透水量の測定結果に顕著に反映されており,泥膜形成状態の把握にはこれらの測定がきわめて有効である.
(2) 回り込み泥水による地盤への浸透や泥膜形成等の現象は地盤の応力レベルに左右されない現象である.
(3) 泥膜形成が可能か否かの判定には地盤の粗粒分と泥水の細粒分の粒径との相互関係が重要な因子でありGR 値等を利用して泥膜形成に必要な基準を設定できる可能性がある事が明らかになった.

<u>参考文献</u>赤木,増田ら: 飽和砂地盤の泥水式シールド工法におけるトンネル土圧について,第54回土木学会年次 学術講演会講演概要集,第3部(B), pp.252~253,1999





表3.表層泥膜の性状

		クラウン	インパート	スプリングライン	上45度	下45度
厚さ	ペントナイト	0.70	1.25	1.30	1.35	0.85
mm	海成粘土	0.60	1.50	1.60	1.50	1.70
含水比	ベントナイト	64.4	68.5	89.7	127.5	40.4
%	海成粘土	34.9	45.0	67.1	67.9	88.0