

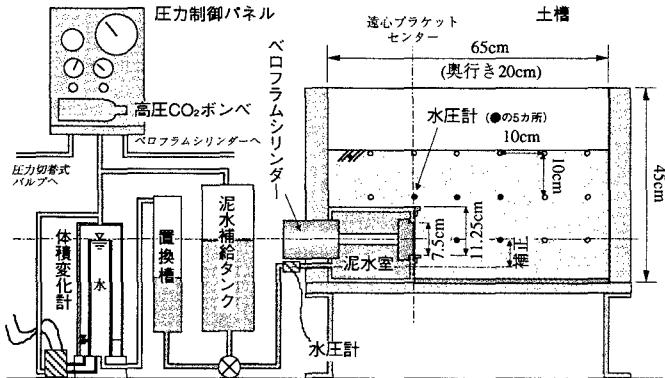
清水建設（株）技術研究所 正会員 杉山 博一 後藤 茂
土木東京支店 正会員 岡崎 雅好 四方 弘章

1.はじめに 筆者らはこれまでに東京湾横断道路シールド工事において軟弱粘性土地盤を掘進する際の泥水圧の下限値の検討を目的として遠心模型実験を行ってきており、軟弱粘性土地盤における切羽安定に関するいくつかの知見を得ている^{1),2)}。しかしこまでの実験は鉛直方向での検討であったため、自立性のない砂質地盤では開口部を開けた直後に地盤が崩壊するなどの問題もあった。そこで本来の切羽である水平方向での検討が行えるように横方向の落し戸構造をもつ土槽を新たに作製し、砂試料を用いて実験したので報告する。

2.実験装置の概要 図1に実験装置の概要図を示す。新たに作製した土槽は内寸で高さ45cm×幅65cm×奥行き20cmであり、土槽の側面は地盤が観察できるようにアクリルガラスを用いている。シールドチャンバーを模擬した泥水室は土槽内に設置できる構造になっており、この泥水室には高さ7.5cm×奥行き20cmの開口部が設けてある。開口部はペロフラムシリンダーにより開閉できる仕組みになっており、開口部を開くことにより圧力泥水で地盤を支持させることができる。また開口部前面にはシールドのフードを模擬した金具が開口部を挟むように取り付けてあり、その間隔は11.3cmである。また土槽の側壁面には水圧計を取り付けられる治具が10cm間隔で配置してあるが、隙間水圧計はおもに切羽付近に取り付けて計測した。

泥水圧の圧力制御は遠心載荷装置の中央部に設置した圧力制御パネルにより行っている。圧力制御パネルは実験制御室からの信号により遠隔操作ができ、ペロフラムシリンダーや圧力切替式バルブに高圧CO₂ガスを送ることができる仕組みになっている。

体積変化計は二重管構造になっており、内側のパイプが泥水室に連絡している。地盤が泥水室側に変形してきたときは泥水室から泥水が排除され体積変化計内で水位変化となって現れるが、内側パイプの開放面の高さ（=水面）を泥水室開口部の中央高さと同じにしてオーバーフローさせることで管内の水位の変化に伴う圧力変動を受けないようにしている。



3.実験概要 実験条件を表1に示す。模型地盤は空中落下法により豊浦標準砂を

まきだすことで乾燥密度が1.50g/cm³になるようにした。またまきだしの際にはマーキングのために開口部の下端より5cm間隔で着色した豊浦標準砂を薄くまいている。

泥水は10%濃度のものと15%濃度のものを用いた。なお両濃度の泥水についてあらかじめ静的な浸透実験を行い、30秒ほどで泥膜ができる 것을確認しているが、実験開始直後の地盤崩落を防止するために開口部の前面に市販の工作用粘土を2mm程度の厚さで貼り、泥膜の代わりとした。

図1. 実験装置の概要

表1. 実験条件

	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4
開口部中央からの地盤高さ(cm)	21	16	21	16
開口部中央までの水深(cm)	21	21	21	21
遠心加速度(G)	30	30	50	50
開口部中心位置の応力状態(計算値)	$\sigma'_v(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ 0.95	$\sigma'_v(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ 0.72	$\sigma'_v(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ 1.58	$\sigma'_v(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ 1.20
	$\sigma'_v(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ 0.32	$\sigma'_v(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ 0.24	$\sigma'_v(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ 0.53	$\sigma'_v(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ 0.40
	$\sigma'_w(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ 0.63	$\sigma'_w(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ 0.63	$\sigma'_w(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ 1.05	$\sigma'_w(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ 1.05
泥水	濃度(%) 10	濃度(%) 10	濃度(%) 10	濃度(%) 12.5
	密度(g/cm ³) 1.05	密度(g/cm ³) 1.05	密度(g/cm ³) 1.05	密度(g/cm ³) 1.05

キーワード：泥水式シールド、砂質地盤、切羽安定、遠心模型実験

連絡先：〒135 東京都江東区越中島3-4-17 清水建設（株）技術研究所 tel:03-3820-5514 fax:03-3820-5955

実験手順ではまず所定の遠心加速度を作用させながら、泥水圧を水平方向の有効土圧+水圧相当の圧力に上昇させた後、開口部を開放する。次に地盤の状態や泥水圧が安定しているのを確認した後に泥水の経路を補給タンク側から体積変化計に切り替え、泥水圧を除荷し始める。その際の地盤の変形の様子は遠心載荷装置に設置したCCDカメラにより土槽側面から観察した。

4. 実験結果 図2は実験の典型的な経時変化の例であるが、グラフには遠心加速度の載荷時と除荷時の各計測値も示している。泥水圧は図1に示すように計器の取付位置の関係から開口部の中央高さでの値に補正して示しているが、体積変化計は計測値の圧力のまま表示してある。体積変化計の内側の圧力が低下しているのは、泥水経路を切り替えた時にも泥水が地盤側へ浸透しており、そのため管内の水位が低下していることを示している。その後、地盤がチャンバー側へ変形するのに伴って水位が回復し、内側の体積変化計からオーバーフローした後は外側の体積変化計に圧力の変化となって現れている。図3は図2と同じケースで泥水圧を除荷している部分を拡大したもので、体積変化計のデータは圧力から体積に変換して示してある。図中に示した地盤崩壊の始点はCCDカメラで観察した結果から決定している。図4はCCDカメラで撮影した実験中の地盤の変形状況であり、マーキングした層のずれから崩壊幅が約3.5cm程度であることが分かる。表2は実験の地盤の応力状態および崩壊時の泥水圧をまとめたものであるが、全ケースで主働土圧ではなく、ほぼ間隙水圧に近いところで地盤の崩壊が始まっていることが分かる。また地盤の崩壊幅が開口高さの約半分の幅のまま地表面まで達するという結果は、これまでに1g場で行われた実験結果³⁾とよく一致しており、先の実験結果が地盤の有効拘束圧の高い遠心応力場においても確認できたことになると思われる。

5.まとめ 泥水式シールドにおける切羽安定のための泥水圧下限値を検討するため、新たに土槽を作製し、4ケースの遠心模型実験を行った。実験では開口部を開放した直後に泥水が地盤に浸透したために水位低下がおこり、泥水圧が間隙水圧に近い値まで下がってしまったケースが多く、今後改良すべき点であると考えられる。実験結果では自立性のない砂地盤でも泥水圧が間隙水圧に近い値まで自立しており、今後さらに実験回数を増やして再現性を確認するつもりである。

参考文献: 1)後藤他「軟弱粘性土地盤の切羽安定泥水圧検討のための遠心模型実験」、

第50回土木学会年次学術講演会、Ⅲ部門、pp.1304-1305

2)杉山他「軟弱粘性土地盤の切羽安定泥水圧検討のための遠心模型実験(その2)」、

第51回土木学会年次学術講演会、Ⅲ部門-B、pp.328-329

3)久武他「トンネル切羽挙動に関する模型実験とその考察」、トンネル工学研究発表会第5巻、1995

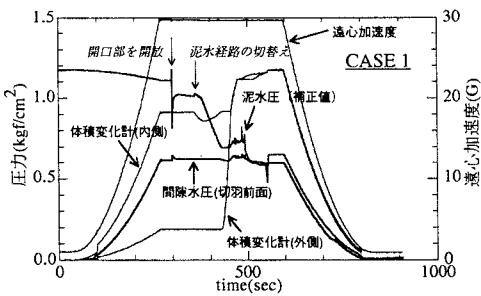


図2. 実験の経時変化

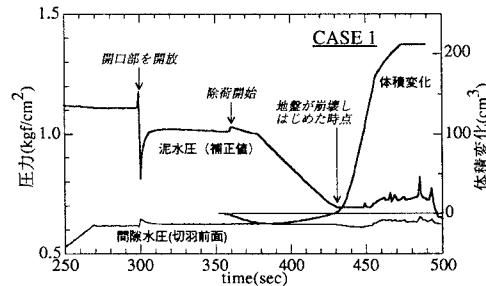


図3. 泥水圧の変化と地盤の変形

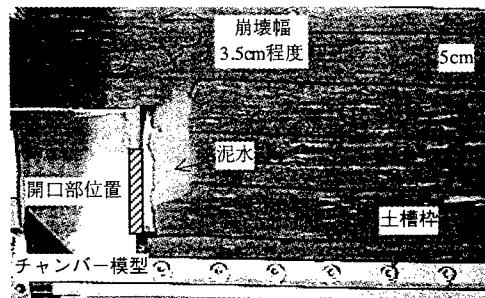


図4. 地盤の変形の様子

表2. 実験結果の一覧

	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4
開口部中心位置 の応力状態 (計算値)	$\sigma'_v(\text{kgf/cm}^2)$ 0.95	$\sigma'_v(\text{kgf/cm}^2)$ 0.72	$\sigma'_v(\text{kgf/cm}^2)$ 1.58	$\sigma'_v(\text{kgf/cm}^2)$ 1.20
切羽前面の 間隙水圧	$\sigma_w(\text{kgf/cm}^2)$ 0.62	$\sigma_w(\text{kgf/cm}^2)$ 0.67	$\sigma_w(\text{kgf/cm}^2)$ 0.93	$\sigma_w(\text{kgf/cm}^2)$ 0.91
主働土圧(kgf/cm^2)	0.83	0.83	1.27	1.17
崩壊時の泥水(kgf/cm^2)	0.70	0.67	0.99	0.95
地盤の崩壊幅(cm)	3.5	3.0	2.5	2.5