

III-650

泥水式シールドの切羽安定泥水圧に関する研究（その1）

軟弱粘性土地盤での加圧泥水を用いた原位置割裂実験

清水建設 技術研究所 正会員 後藤 茂 杉山 博一
清水建設 土木東京支店 正会員○後藤 徹 金丸 清人
早稲田大学 正会員 森 麟

1.はじめに 泥水式シールドでは軟弱地盤の掘進時において過剰な泥水圧が作用した場合に、地盤に割裂が発生して割裂脈が地表面にまで達すると、切羽泥水圧の低下を誘発し切羽の安定を損なうおそれがある。東京湾横断道路シールドは高水圧下で比較的土被りが浅い部分の掘削もあるため、割裂の発生およびその進展には留意する必要がある。割裂発生圧については室内試験¹⁾や現場実験²⁾などが行われているが、割裂発生以降の挙動についてはあまり明らかにされていない。今回、軟弱粘性土地盤において割裂実験を行い、大型の水槽を用いて圧力泥水を供給することにより割裂の発生とそれ以後の泥水圧・泥水流入量の変化等を検討した。

2.実験実施地盤の性状 実験実施地盤の土質柱状図を図-1に示す。地盤はGL-1.5m以浅がガラ混じりの埋土であり、GL-7.2mまで砂質シルト・シルト質細砂が続き、それ以深は粘土質シルト層である。地下水位はGL-1.3mである。表-1に力学試験結果を示すが、三軸圧縮と三軸伸張強度は土被り相当圧下での全応力の値である。

3.実験方法と実験条件 実験は粘土質シルト層を対象に行い、φ86mmで所定の深度までボーリングした後、セメントベントナイトで裏込めしてケーシングを立込んだ。その下に割裂を発生させる部分としてφ40mm深さ50cmの素掘り孔を設け、ボーリング孔全体を泥水で満たした。図-2に実験の模式図を示すが、今回は容量196ℓの水槽を用い空気圧を作用させて泥水を加圧させた。計測項目は水槽およびボーリング孔底部での泥水圧と泥水の地盤への流入量である。表-2は実験条件であり、豊順（浅間印）のベントナイトを用いて作成した泥水を用い、3ヶ所のボーリング孔で実験を行った。実験は圧力管理型と流量管理型の2種類を行ったが主体は圧力管理型である。圧力管理型実験では泥水圧力をステップ状に上げ、泥水の地盤への流入速度を計測する。また、割裂発生後にボーリング孔への圧力供給を一時的に遮断し、割裂発生圧より低い圧力から载荷を再開する繰返し载荷も行った。

4.実験結果および考察 実験中の泥水圧および地盤への泥水流入速度の経時変化例を図-3に示すが、この例では泥水圧が1.85kgf/cm²で割裂が発生して地盤へ泥水の流入が始まり、その後に泥水圧を上昇させると流入速度も増加している。図-4は各孔の泥水の孔内圧力と流入速度の関係を示したものであり、ボーリング深度の浅いA孔は比較的低い圧力で割裂が発生しているが、互いに泥水濃度の異なるB孔とC孔の割裂発生圧はほぼ等しい。表-3は各実験深度での地盤内応力と割裂発生圧を示したものであり、有効応力表示の側圧は側圧係数K₀を0.5として計算している。割裂発生圧P_tは

$$P_t = \sigma_{\min} + \alpha q_u$$

で表されるが、今回の結果では $\sigma_{\min}$ として有

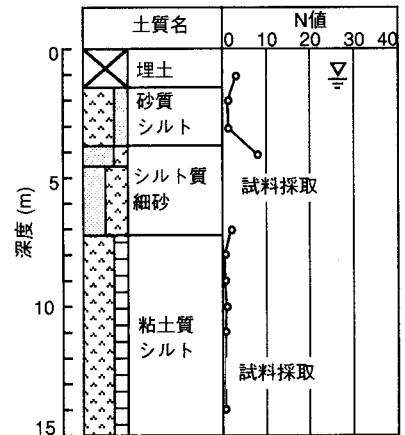


図-1 実験サイトの土質性状

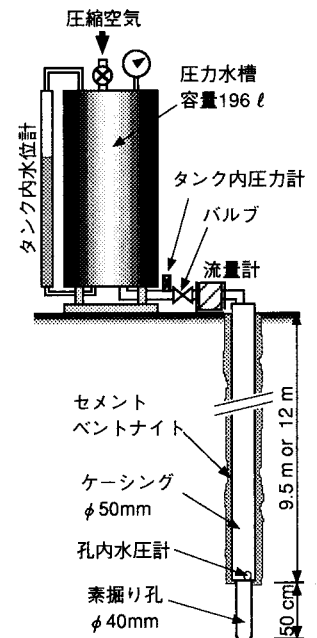


図-2 地盤割裂実験の模式図

表-1 土質試験結果 単位: kgf/cm²

	シルト質 細砂	粘土質 シルト
一軸圧縮強度	0.39	0.61
三軸圧縮強度	1.66	1.06
三軸伸張強度	0.66	0.67

表-2 実験条件の割り付け

	A 孔		B 孔		C 孔
実験方法	圧力管理	流量管理	圧力管理	圧力管理	
ボーリング深度(m)	9.5	9.5	12	12	
素掘り孔深さ(cm)	50	50	50	50	
泥水濃度(%)	10	固化剤	10	5	
泥水比重	1.07	1.23	1.07	1.03	
ファンネル粘性(sec)	35"34	21"68	34"03	22"02	

表-3 割裂深度での地盤応力と割裂発生圧 (単位:kgf/cm²)

深度(m)	上載圧		水圧	側圧		割裂発生圧
	有効応力	全応力		有効応力	全応力	
12	0.97	2.04	1.07	0.485	1.56	1.85
9.5	0.83	1.65	0.82	0.415	1.24	1.5

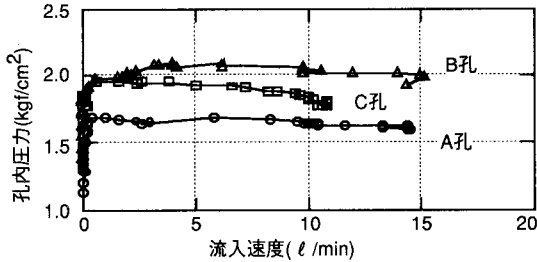


図-4 各孔の1回目の泥水圧と流入速度の関係

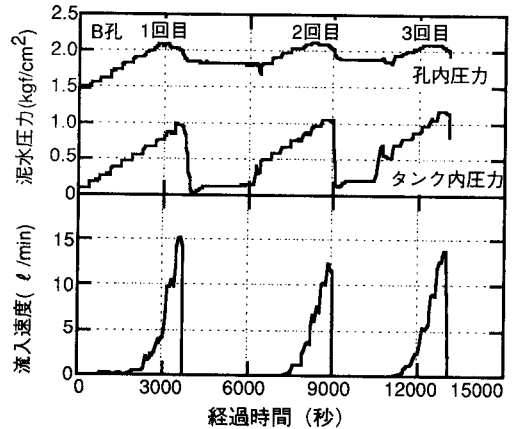


図-3 泥水圧と泥水流入速度の経時変化例

効応力表示の側圧を用いた場合、GL-12mでは α が2.3になり、GL-9.5mでは1.8となるが、全応力表示を用いると α は両者ともほぼ0.45になる。両深度とも地層的には同一であるので α も等しくなると考えられ、今回のような地盤に対しては上記の式は全応力表示を用いることが妥当であることがわかった。

図-5は繰返し載荷時の孔内圧力と流入速度の関係を示したものである。この実験では各載荷シリーズの間には約40分の圧力供給停止時間を取っているが、地盤が処女状態である1回目の載荷に比較して、2回目および3回目の載荷での泥水流入が発生する圧力はほとんど変わっていない。このことは、割裂が発生した場合でもある程度の時間、圧力供給を停止すれば割裂発生圧以下では割裂脈が進展しないことを示唆している。それに対し、図-6は割裂の発生とともに水槽での圧力上昇を停止させた場合の結果であるが、孔内の圧力が低下していくにも関わらず流入速度は増加している。図-7はA孔で行った流量管理型の実験結果であり、割裂がある程度進展した後は流入速度を増加させても孔内圧は増加しない。このことは割裂が発生した後に圧力を遮断しなければ割裂の進展が促進される可能性を示唆していると思われる。

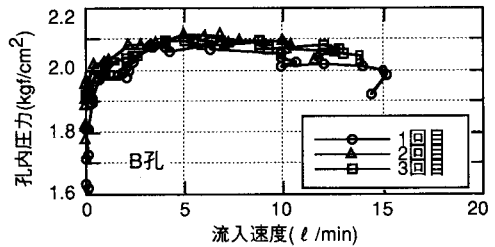


図-5 繰返し載荷時の泥水圧と流入速度の関係

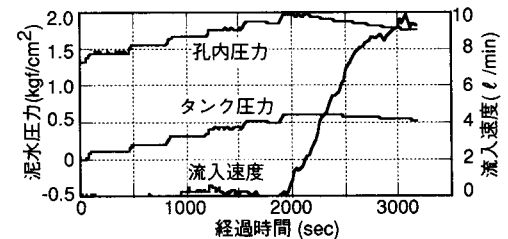


図-6 C孔の泥水圧と流入速度の経時変化

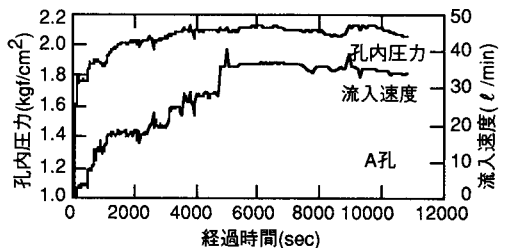


図-7 流量管理型実験での泥水圧と流入速度

5.まとめ 軟弱粘性土地盤にボーリング孔を設け、圧力泥水による地盤割裂実験を行い、今回の実験の範囲では以下のことが明らかになった。

- ① 今回の地盤では割裂発生圧は全応力を用いて $P_t = \sigma_{\min} + \alpha q_u$ と表すことができ、 α は約0.45になった。
- ② 泥水濃度5～10%、比重1.03～1.07の範囲では泥水濃度が異なっても割裂発生圧はほぼ同じになった。
- ③ 割裂が発生した後に圧力を供給し続けると、供給圧が多少低下しても割裂の進展が継続された。
- ④ 割裂が発生した後も一時的に圧力の供給を遮断すると再度圧力が作用したときには割裂発生圧程度以下では割裂は進展しなかった。

参考文献 1)たとえば、Mori, A. and Tamura, M.: Hydrofracturing pressures of cohesive soils, Soils and Foundations, Vol. 27, No.1, pp14-22,1987、2)たとえば、森、北原、梶山、長塚：現場実験による軟弱粘性土地盤の泥水ブロー圧に関する研究、土木学会第47回年次学術講演会、Ⅲ部門、pp138-139、1992