

III-48

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

早稲田大学 正員 森 麟

(傍) 熊谷組 正員 北原 陽一・梶山 雅生・正員○直塚 一博

1. はじめに

泥水式シールドは、切羽に作用する土圧および水圧に対し、泥水圧力で対抗しながら掘進する。しかし東京湾横断道路トンネルの計画などにみられる土被りの浅い海底下の超軟弱地盤の掘進では、泥水圧力の制御範囲が著しく小さくなる。さらに、泥水のブローは泥水圧による切羽の局所的な破壊に起因するクラックが、くさび作用で進展し、地盤の最小主応力よりやや高い程度の圧力でブローが発生することが室内実験で明らかにされている。本報告では、実際の粘性土地盤に下記のような素掘り孔を作って実測した結果と室内実験で求められている粘性土地盤のブロー発生圧(割裂圧)実験式との比較研究を行った。実験式は下記の通りである。

$$P_b = \sigma_3 + \alpha q_u \quad \text{----- 式①}$$

(P_b : ブロー発生圧, σ_3 : 拘束圧, q_u : 一軸圧縮強度, α : 泥水粘性、土被り比、空洞の形状により決まる定数)

2. 実験方法

実験は、有楽町層(Ac層)が厚く堆積する羽田沖の東京国際空港沖合展開埋立地内で実施した。表-1に現地地盤の地質調査結果を示す。実験は、1ケース毎に、1つのボーリング孔を削孔して実施した。実験の全体概要図を図-1に示す。実験方法は、泥水タンクに所定のベントナイト(豊順)泥水を満たした後上部にエア管をつなぎ、泥水タンク下部のバルブを開放して実験を開始した。泥水の加圧はレギュレーターにより行い、エア加圧に伴う逸泥量は、泥水タンクの貯留泥水表面を測定することで、圧力と流量の関係を把握した。割裂の判定は貯留泥水表面が降下した時点で割裂が発生したと考え、この時点(以後、最初に割裂が発生したと考えられる圧力を一次割裂圧と呼ぶ)から泥水表面の変化がほぼなくなるまで、加圧圧力を一定に保った。この後、再び加圧を続け同様の動作を繰り返し、ブロー(逸泥量が多いため切羽泥水圧力の保持ができず泥水タンクが空になる状態)させ、その時の圧力(ブロー発生圧)を確認した。泥水圧の測定は、試験孔先端部と泥水タンク下面にそれぞれ圧力計を設置、さらに載荷圧力調整用にエア管理用圧力計を設けて1秒毎にデータアナライザーを介して記録させた。実験ケースは載荷深度と泥水濃度を変えて、表-2に示す8ケースを離隔3mで実施した。

3. 実験結果

図-2. 1に時間に伴う圧力の変化の1例を、図-2. 2に時間に伴う液面高さの変化の1例を示す。図-3は $\sigma_3(K_0 \gamma h)$ および一次割裂圧(クラック発生圧)、ブロー発生圧(最大泥水圧力)、ブロー継続圧(ブロー後、泥水圧力が降下し、一定値に収束する状態になるが、この時点の泥水圧力)などの実験結果を各ケース毎にプロットした図で、各測定ポイントのデータを一次回帰させた線も併記した。図-4はブロー発生圧(kgf/cm²)と加圧速度(kgf/cm²/sec)ならびに逸泥速度(cc/sec)の関係を示したもので、これらより次のことがいえる。

表-1 地質調査結果

測定深度 G.L-m	12.0	15.5	20.0
調査項目			
σ_3 (kgf/cm ²)	1.80	2.47	3.15
q_u (kgf/cm ²)	0.730	0.460	0.667
γ (kgf/cm ³)	1.686	1.491	1.472

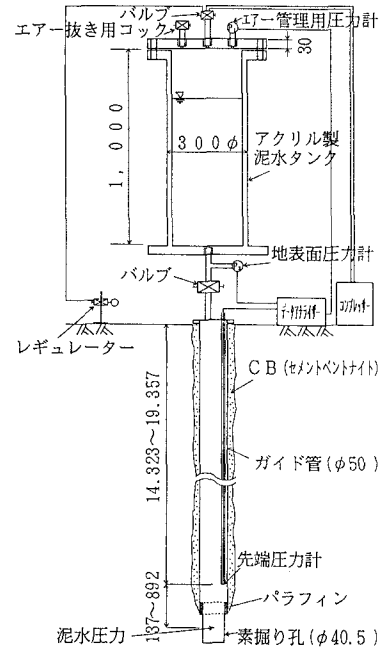


図-1 実験装置全体図

表-2 実験ケース

泥水濃度 マンネル粘性	12%	18%
載荷深度	25.08 秒	39.59 秒
15 m	3 ケース	2 ケース
20 m	3 ケース	—

①. 一次割裂圧は、泥水の粘性や深度に関わらず $0.85\sigma_s$ 程度で発生する。拘束圧より低い圧力となったのは、削孔時に素堀り孔周面地盤が若干乱れてゆりみ、素堀り孔付近の σ_s が小さくなったものと考えられる。また、この値は各ケースとも殆ど一定値を示すため、今回のような場合、乱れの影響は15%程度の拘束圧の低減とも考えられる。

②. 孔壁のクラックは σ_s より小さい泥水圧により局部的に発生するが、素堀り孔周面の外周地盤は拘束圧が σ_s となっているので、それ以上割裂は進行しない。

③. ブロー発生圧は F_v （ファンネル粘性）が25秒前後の泥水で、平均的に $P_b' = \sigma_s + (1.3 \sim 1.6) q_u$ 程度となった。この圧力は、室内実験式 $P_b = \sigma_s + 1.0 q_u$ より高いブロー発生圧となった。地盤にやや透水性がある場合は孔壁面に泥膜が形成されやすく割裂の進行が妨げられるためブロー発生圧が高くなるが、本実験の場合にもこのような理由があてはまると考えられる。

④. 泥水の加圧はマニュアル操作で行ったため、加圧速度にばらつきが出たが、図-4のように加圧速度が大きい程ブロー圧が高くなる傾向がある。この傾向は室内実験²⁾でも同様である。またブロー発生圧が高い程、逸泥速度が大きくなっている。

⑤. ブロー継続圧は、 $1.0\sigma_s$ 程度で、ブロー発生圧より低い。今回のような地盤ではブローが発生した後は、 σ_s の圧力でブローが継続することがわかった。

4. おわりに

本実験から軟弱粘性土地盤では、素堀り孔周面地盤の乱れにより、拘束圧自体が低下し、地盤の初期拘束圧よりも小さな泥水圧で一次割裂の発生が確認できた。ブロー発生圧は $\sigma_s + (1.3 \sim 1.6) q_u$ となったが、泥膜が形成されにくい場合にはブロー発生圧は低下し、 $\sigma_s + q_u$ 程度になることが予想される。また、ブロー発生後、ブロー継続圧は σ_s 程度に低下することもわかった。これらはシールド掘進時の泥水圧管理値に参考になるものと思われ、今後、室内実験等よりシールド掘進による影響について研究を行う必要がある。

<参考文献>

- 1). 森麟, 他: シールドトンネルの裏込め注入圧および切羽泥水圧による粘性土地盤の割裂現象, トンネルと地下, Vol.22, No.1, pp.41-46, 1991
- 2). 森麟, 田村昌仁: HYDROFRACTURING PRESSURE OF COHESIVE SOILS, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol.27, No.1, pp.14-22, Mar.1987, JSSMFE

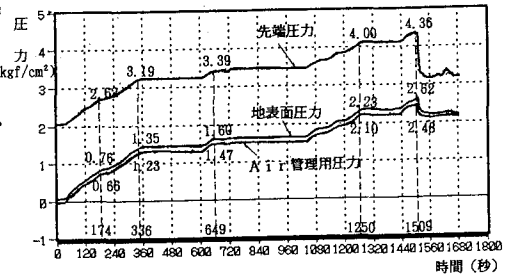


図-2. 1 時間に伴う圧力の変化の1例

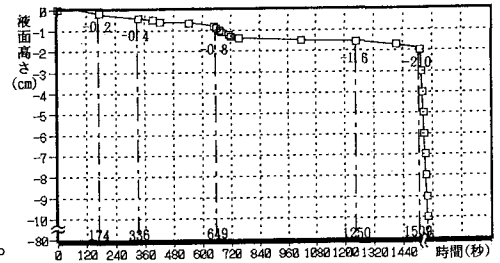


図-2. 2 時間に伴う液面高さの変化の1例

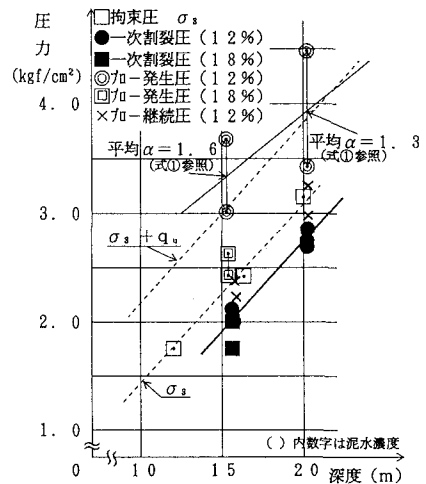


図-3 σ_s および各割裂圧の測定結果

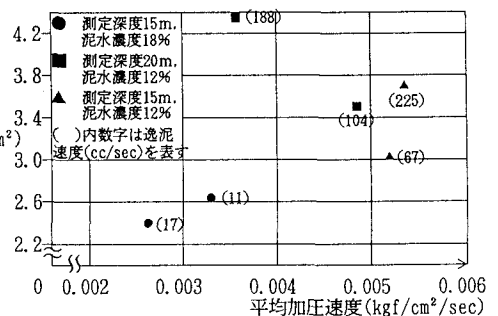


図-4 ブロー発生圧と加圧速度の関係図