

III-18 泥水式シールドにおけるカッタービット間の切羽面安定に関する実験的研究

早稲田大学 学生員 近藤啓二(現鹿島建設(株)) 早稲田大学 正員 森 麟  
西松建設(株) 正員 栗原和夫 森 仁司 早稲田大学 学生員 小川雄二

1.はじめに 泥水式シールドにおける砂質土地盤での切羽安定は、切羽面がカッターで切削されて泥膜が形成されにくいので、泥水圧により切羽地盤の間隙水圧はかなり上昇し、有効泥水圧は僅かである。つまり、切羽土圧全体に対抗するのは泥水圧ではなく、カッタービットを介して切羽面へ伝達されるカッター圧によるものであることを報告した<sup>1)2)</sup>。しかし、切羽全体の土圧には、カッター圧によって対抗できるものの、カッタービットとカッタービットの間の切羽表面には、カッター圧は直接作用せず、また、押え圧としての切羽面の平均有効泥水圧は僅かな上、カッター切削直後の切羽部分の有効泥水圧はさらに小さいことになる。そこで、ビット間の切羽面の安定がどのように達成されているかについて調査した。

2.実験方法 実験装置は、図-1に示す高さ90cm、縦80cm、横40cmの土槽を使用して行う。土層には、地下水圧タンクから、切羽中心で0.1kgf/cm<sup>2</sup>の設定地下水圧を与えられる。地盤とチャンバーは引戸で仕切られていて、チャンバー内には泥水タンクから泥水圧または水圧を与えることができる。また土層表面には風船により上載圧をかけることができる。対象とする地盤は飽和した豊浦標準砂で、水中落下により均一に地盤を作製する。その諸量は、水中単位体積重量が0.921(g/cm<sup>3</sup>)、透水係数は $1.45 \times 10^{-2}$ (cm/sec)である。実験方法は、地盤作成後、水圧または泥水圧を差圧(チャンバーの泥水圧-土層の設定地下水圧)として0.1kgf/cm<sup>2</sup>をかけてから引戸を引き抜き、引き抜き終了後、地盤中の間隙水圧が一定になったところで泥水タンクを少しずつ下げ、切羽が崩壊する時の差圧を測定する。同時に、土槽側面のアクリル板を通して崩壊形状も観察する。実験条件は、カッタービット間隔に相当する切羽面の高さDを5, 10, 20, 30cmに変化させ、泥水タンクには、水または14%ベントナイト泥水を入れ、これらを組み合わせて実験を行う。

3.実験結果及び考察

3.1.泥水の代わりに水で加圧した時の切羽安定実験 カッタービット間の切羽安定は水加圧ではどうなるか調査するために、泥水の代わりに水をチャンバーに入れ、ビット間隔20cm、上載圧0.374kgf/cm<sup>2</sup>とし、水で加圧する実験を行った。この場合、水の浸透流が生じ切羽には動水勾配による浸透力が押え力として作用する。この時の崩壊形状を図-2に示す。まず、差圧を0.062kgf/cm<sup>2</sup>まで下げた時に、直立していた切羽は崩壊を始め(初期崩壊)、②の位置で崩壊は止まる。さらに水圧を下げると、③→④→⑤へ段階的に崩壊し、差圧を0.038kgf/cm<sup>2</sup>

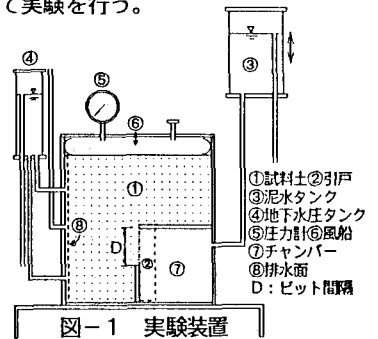
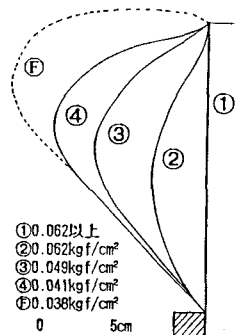


図-1 実験装置

より下げると⑤の崩壊形状は、次第に地盤上面まで波及するので、⑤は最終崩壊と考えられる。従って、崩壊領域(⑤と①の領域)の土塊と、その上に作用するゆるみ鉛直土圧を動水勾配による浸透力で押さえられれば崩壊しないことになり、これは、初期崩壊時の動水勾配の $i = 2.164$ に相当すると考えられる。しかし、現場の場合は排水長が長いので、この大きさの動水勾配を与えることは困難である。また、ビット間隔を5, 10, 20, 30cmに変化させた場合の崩壊形状はそれぞれ相似形になり、どのビット間隔でも崩壊領域天端部の幅が0.6Dになると最終崩壊が起こる。なお、インポート部での立ち上がり角はどれも約45°であった。



①0.062以上  
②0.062kgf/cm<sup>2</sup>  
③0.049kgf/cm<sup>2</sup>  
④0.041kgf/cm<sup>2</sup>  
⑤0.038kgf/cm<sup>2</sup>  
0 5cm

図-2 崩壊形状 (ビット間隔20cm)

3.2.泥膜付き切羽面に水加圧した時の安定実験 ビット間隔20cm、上載圧0.374kgf/cm<sup>2</sup>で、まず泥水を加圧して切羽面に泥膜を形成させた後に、泥水を水に置換して実験を行った。この場合、切羽直前の間隙水圧から、差圧がすべて有効圧として切

羽面に作用していた。切羽が崩壊する差圧は、0.0016~0.002kgf/cm<sup>2</sup>と小さい値になった。そして、この差圧になると地盤上面まで一気に崩壊し、崩壊領域は、ビデオ撮影した結果、図-2の③の形状とほぼ同一になっていた。図-3にビット間隔を10,20,30cmに変化させた場合の崩壊差圧を示す。図から、ビット間隔と崩壊差圧は、比例している。この差圧が、ビット間の切羽安定に必要な有効泥水圧である。

3.3.ビット間の安定計算方法 3.2.からビット間の切羽を押さえるのに必要な有効泥水圧が判ったので、これを安定計算から検討する。3.1.と3.2.から得られた崩壊領域を図-4のように天端部の長さが0.6Dの台形に近似し、この天端部には、村山<sup>3)</sup>によるゆるみ鉛直土圧の合力Qがかかるとする。また、切羽下端の水平となす角 $\theta$ を45°(実験による)とする。BC面に垂直方向と水平方向で釣合の式をたてると次式になる。

$$\text{垂直方向: } N - W \cos \theta - P_w \sin \theta = 0 \quad \text{----- (1)}$$

$$\text{水平方向: } S - W \sin \theta + P_w \cos \theta = 0 \quad \text{----- (2)}$$

N: BC面に垂直方向の合力, S: BC面に水平方向の合力,

W: 鉛直方向の有効土圧合力, P<sub>w</sub>: カッタービットセンター

位置での必要有効泥水圧が $\Delta P$ の時の泥水圧合力

ここで、W、P<sub>w</sub>、N、Sはそれぞれ、

$$W = W_s + Q = 0.42 D^2 \gamma' + 0.628 \gamma' (0.6 D)^2 = 0.646 D^2 \gamma' \quad \text{----- (3)}$$

$$P_w = \Delta P \cdot D \quad \text{---- (4)} \quad N = \sigma_n' \cdot L, \quad S = \tau_s \cdot L \quad \text{---- (5)}$$

W<sub>s</sub>: 崩壊領域の水中重量, Q: ゆるみ鉛直土圧の合力, D: カッター

ビット間隔,  $\gamma'$ : 土の水中単位体積重量,  $\sigma_n'$ : BC面に作用する垂

直応力,  $\tau_s$ : BC面に作用するせん断応力, L: BCの長さ

砂質土のモール・クーロンの破壊基準により、

$$\tau_s = \sigma_n' \cdot \tan \phi' \quad \text{----- (6)}$$

式(1)~(6)より、 $\Delta P$ について解くと、

$$\Delta P = \frac{0.646 D \gamma' (\sin \theta - \cos \theta \cdot \tan \phi')}{\sin \theta \cdot \tan \phi' + \cos \theta} \quad (\text{gf/cm}^2) \quad \text{----- (7)}$$

今回の実験結果より、 $\gamma' = 0.921$ 、 $\theta = 45^\circ$ 、 $\phi' = 36^\circ$ であったので、 $\Delta P = 9.42 \times 10^{-5} D$  (kgf/cm<sup>2</sup>)となり、必要な有効泥水圧は、ビット間隔に比例することになる。また、式(7)から得られる値を、図-3に示すと、3.2.での実験値とほぼ同じである。

3.4.泥水加圧した時の安定実験 実際のシールド掘進中の切羽は、泥膜がカッターで切削されるので、有効泥水圧が僅かな状態である。これをシュミレートするために、泥水をチャンパーに入れ、引戸の代わりにテフロンシートを切羽面に置き、差圧として式(7)で得られる値を泥水圧にした後、このテフロンシートを取り除いた時に切羽が安定するかを実験した。その結果、ビット間隔5,10,20,30cmいずれの場合も切羽の崩壊は起こらなかった。この場合の切羽安定のメカニズムは、カッターが泥膜を切削してから、泥水のせん断抵抗で切羽面の砂粒子の落下を拘束し、崩壊状態になるまでの間に泥膜が次第に形成されて必要な有効泥水圧が作用し、切羽が安定するものと考えられる。従って、泥水を用いればビット間の切羽安定は水加圧と比較し、大変容易であることが明らかになった。

4.まとめ 1)崩壊領域の形状を実験的に求め、これをもとにビット間の安定計算方法を示した。2)シールド掘進中のカッタービット間の安定には、水加圧では必要な動水勾配が大きいので困難であるが、泥水では安定が容易となることを示した。

5.参考文献 1)森, 他: 現場の排水条件を考慮した場合の泥水式シールドによる発生間隙水圧について 第45回年次学術講演概要集, 第3部, pp96~97, 1990 2)栗原・森: 泥水式シールドの適正泥水圧に関する実験的研究 土木学会論文集, 第409号, pp37~46, 1989 3)村山朔郎: 砂層内局部沈下部にかかる垂直土圧 京大防災研究所年報第11号B, pp549~565, 1968

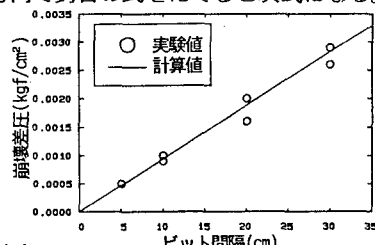


図-3 ビット間隔と崩壊差圧の関係

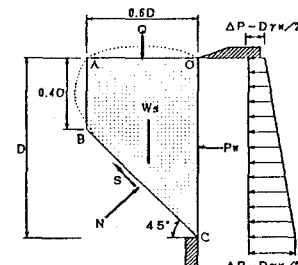


図-4 切羽前面の釣合条件