

III-5

泥水加圧シールドの前面圧に占めるカッター圧に関する研究

早稲田大学 正員 森 麟
西松建設株式会社 正員 栗原 和夫
○ 早稲田大学 学生員 稲垣 賢一
早稲田大学 学生員 近藤 啓二

1. まえがき

泥水加圧シールド掘進時には切羽を安定させ掘進中の切羽地盤の動きを最も小さくすることが必要でありこのためにはシールドの前面圧を静止側圧に合わせる必要がある。しかしシールドの前面圧としては泥水圧のほかにかッターによる押え圧があるので、泥水圧の大きさは本来このカッター圧を考慮して決める必要がある。このカッター圧は切削面の切削時に生じるもので、その大きさや影響要因についてはよくわかっていない。

本研究は、実験土槽中に模型泥水加圧シールドを掘進させて砂質土地盤と粘性土地盤におけるカッター圧の大きさとそれに影響する要因について調査し実際のシールド現場での適正泥水圧の決定に際する適用について考察したものである。

2. 実験装置及び実験方法

図-1に実験装置の概略図を示す。この装置の直方体土槽は地下水压・上載圧が、円筒形の模型泥水式シールドは泥水圧・カッター回転数・貫入速度がそれぞれ調整できるようになっている。カッター盤は、実機を参考にしたもので1回転当り同一箇所が2度切削できるようになっている。使用した試料は表-1に示すとおりである。

実験方法は所定の条件で泥水圧・カッター回転数・貫入速度を変え、カッターシャフト終端部に取り付けられたロードセルによってシャフトに作用する軸力を測定しそれをシールド断面積で除したものをカッター圧とし、このカッター圧に影響する要因となると思われるものとして泥水圧・切削厚さ・切削速度・透水係数（砂質土のみ）・粘着力（粘性土のみ）をとり上げ、これらとの関係について調査した。

3. 実験結果

3.1 砂質土地盤

砂質土地盤における実験結果として図-2～5が得られそれらから以下のようなことがいえる。

a) 有効泥水圧とカッター圧の関係について：図-2に示すように、有効泥水圧を上げることによってカッター圧も上昇する。これは有効泥水圧が上昇することによって、切羽面付近の有効応力 σ' が直線的に上昇し、それによって切削時の切羽のせん断抵抗 $(\tau = \sigma' \tan \phi)$ が増加するためと思われる。

b) 切削厚さとカッター圧の関係について：図-3に示すようにカッター圧は切削厚さの増加とともに2次曲線的に増加しており、切削厚さがカッター圧に大きな影響があることを示している。

c) 切削速度とカッター圧の関係について：カッタービットが土を切削する速度は、回転数とシールド中心からの距離のよって決まる。ここではシールド中心から1/2半径のものが全体の平均値となるのでこれを切削速度として用いた。図-4に示すようにカッター圧は切削速度の増加とともに直線的に増加している。これは水中切削の場合、砂のダイレイタンシー現象が起り瞬間的ではあるが負圧が発生して有効応力が増加し、せん断抵抗が大きくなるためであると思われる。

d) 透水係数とカッター圧の関係について：透水係数が大きくなると水が通り易くなり先ほど述べた負圧が生じにくいため負圧の影響が少なくなり、カッター圧は小さくなる。図-5はそれを裏付ける結果となった。

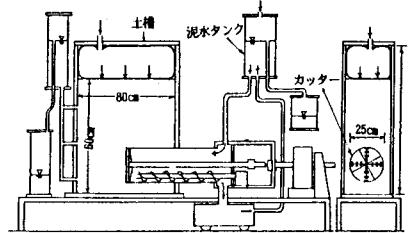


図-1 模型シールド実験装置

表-1 実験に用いた試料

砂質土	透水係数	使用した泥水
霞浦標準砂	1.45×10^{-2}	12%ベントナイト
ケイ砂7号	6.69×10^{-2}	12%ベントナイト
ケイ砂5号	7.34×10^{-2}	8%ベントナイト+1%結晶材

粘性土	粘着力	使用した泥水
A	0.03	水
B	0.29~1.94	水

A: カオリン; 霞浦標準砂: 水=3:2.2.1
B: カオリン; ケイ砂7号: 水: 石膏=3:3:3.0.8~1.2

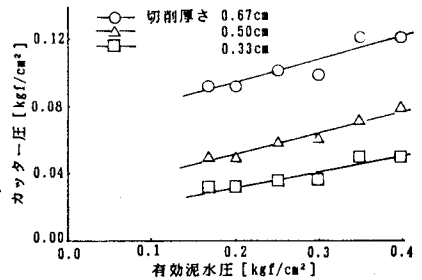


図-2 有効泥水圧とカッター圧

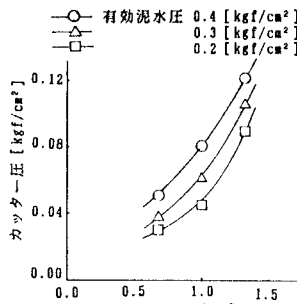


図-3 切削厚さとカッター圧

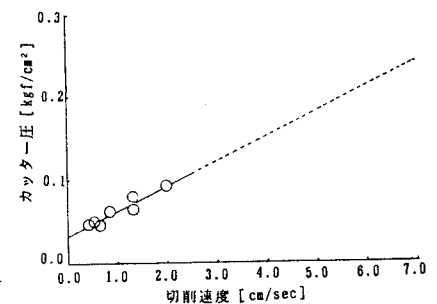


図-4 切削速度とカッター圧

以上のことから砂質土地盤のカッター圧は有効泥水圧・切削厚さ・切削速度が大きくなるほど増加する。実験の場合模型シールドよりカッター半径が大きくなるため、とくに切削速度の値は本実験の場合より数十倍も大きくなるのでこれが大きく影響すると思われる。いま図-4の関係直線をそのまま延長できるとすればカッター圧はかなり大きなものとなる。そのため、カッター圧の前面圧に占める分担率も50%程度になると思われ、砂質土地盤の場合、カッター圧が適正泥水圧の決定に重要な役割を持つと思われる。

3. 2 粘性土地盤

粘性土地盤における実験より図-6~9が得られそれらから以下のようなことがいえる。

a) 泥水圧とカッター圧の関係について: 図-6に示すように粘性土の場合カッター圧は泥水圧の影響を受けない。これは砂質土の場合と異なり、せん断抵抗が泥水圧と無関係であるためと思われる。

b) 切削厚さとカッター圧の関係について: 図-7に示すように切削厚さとカッター圧の関係は砂質土の場合と同様な2次曲線の増加傾向があり、切削厚さの影響が大きいことを示している。

c) 切削速度とカッター圧の関係について: 図-8に示すように切削速度はカッター圧とは無関係であると思われる。これは粘性土では透水係数が非常に小さいので切削速度の大小にかかわらず非排水せん断条件となり、せん断抵抗の増加が少ないためである。

d) 粘着力とカッター圧の関係について: 非排水条件では $\tau = c_u$ となり粘着力はカッター圧に重要な役割を果たすものと思われるが、本実験においても図-9に示すようにその関係は正比例増加傾向にありそれを裏付けるものとなった。

以上のことから粘性土地盤のカッター圧は、切削厚さと粘着力がカッター圧に影響し、泥水圧と切削速度は無関係にあると思われる。また実験結果のカッター圧が小さい上に切削速度が無関係とすると粘性土のカッター圧の絶対値は比較的僅かであるといえる。実際の粘性土地盤においても、その粘着力と切削厚さからみて、カッター圧は大きくなり得ず、カッター圧の前面圧に対する分担率は砂質土の場合と異なり小さいものと思われる。

4. 適正泥水圧について

泥水加压シールドの適正泥水圧は、① 切羽地盤を安定させる ② 切羽地盤の動きを押さえ掘進時の周辺地盤の変状を極力小さくする ③ 泥水の噴発(ブロー現象)を起こさない が必要条件である。今までの研究より①と②を満足する適正泥水圧は、一般の場合次の式で表わされる。

$$(\text{適正泥水圧}) = (\text{静止側圧}) - (\text{カッター圧}) \quad (1)$$

砂質土の場合、③に関してはブロー圧は十分大きいことがわかっているためそれほど問題とならず適正泥水圧は(1)式で与えられる。ただしカッター圧が大きくなるため(1)式で求められる泥水圧が地下水压よりも小さくなる場合があり、この様なときは泥水圧を地下水压よりも大きくして地下水の流入を防止しなければならない。従ってこの時の泥水圧は(地下水压+0.2kgf/cm²)程度にする必要がある。

粘性土地盤の場合基本的にはカッター圧が小さいので(1)式の適正泥水圧は静止側圧に近い大きさになる。ただし粘性土地盤の泥水ブロー圧は(最小主応力+軸圧縮強度 q_u)であり、軟弱粘性土でシールド半径の大きいときはブロー圧が(1)式の値より小さくなり得るので注意が必要である。

以上のようにカッター圧を考慮して泥水圧を適正值に設定すればより地盤変動の少ないシールド工事を行うことができると思われる。

(参考文献) 栗原和夫、森崎 田村昌仁: 泥水シールドのブロー現象に関する実験的研究、土木学会論文集、

397号 p.95~104、1988

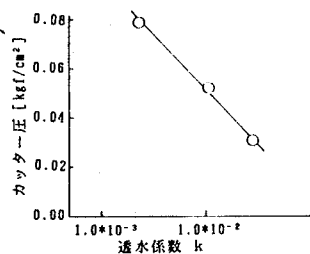


図-5 透水係数とカッター圧

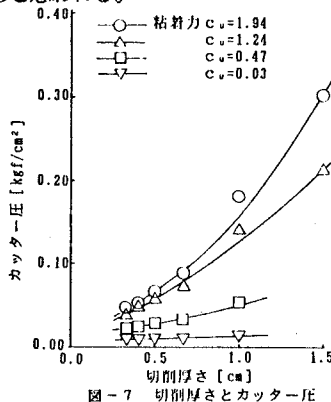


図-7 切削厚さとカッター圧

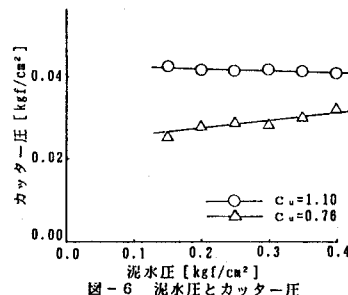


図-6 泥水圧とカッター圧

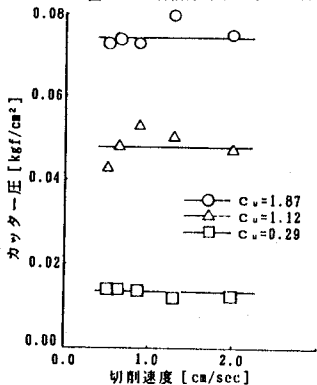


図-8 切削速度とカッター圧

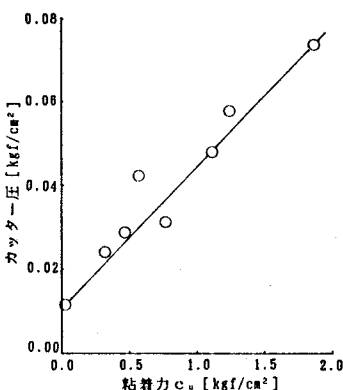


図-9 粘着力とカッター圧