

早稲田大学理工学部土木工学科 正会員 森 麟
同大学院 学生会員○秋葉芳明

1. まえがき

切羽密閉式シールドによりトンネルを掘削する場合にも切羽の安定確保が重要であり、また適正な取込み土量の保持により切羽前方の地盤沈下の防止が必要である。本研究はこのために必要な下記の2点につき粘性土地盤を対象として実験的に調査したものである。

- 1) 切羽の安定を確保するために必要なシールド前面圧力と土被り圧との関係
- 2) シールドの取込み土量を支配する条件と現場における適正土量管理方法

2. 切羽密閉式シールドの模型実験

本研究では、透明実験土層箱と縦割り半断面シールドによる方法により実施した。ここでは密閉式シールドとして土圧系シールドを考えるが先端部に装備されているカッター、スクリュウの回転体は半断面シールドには装備不可能であるので回転体ははずした図-1のものとした。これはチャンバー付ブラインドシールドと言えるが密閉式シールドは粘性土地盤では原理的に機械化したブラインドシールドであるのでその挙動は本質的には同一であり本研究のような基礎的問題を調査するには差しつかえない。本研究では図-1のチャンバー付ブラインドシールドの他にチャンバーの無い図-2の様な一般的なブラインドシールドについても実験しチャンバーの有無による変化影響も調査しカッター、スクリュウのある場合の影響を推論することにした。実験装置は写真-1に示すもので推進速度は2.5mm/minに固定し、土被り圧は圧気圧で変化させている。また開口率は4%である。

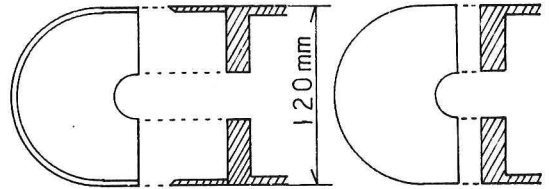
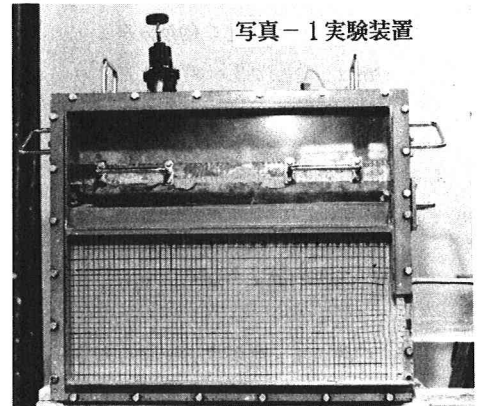


図-1 チャンバー付ブラインドシールド

図-2 ブラインドシールド



3. 土被り圧と前面圧力と取込み土量の関係

開口率4%のシールドを一定の粘着力をもつ土層に推進させた場合、切羽中心位置の土被り圧 r_H とシールド前面圧力 p の関係は図-3の様になり破壊が生じない状態ではシールド前面圧力 p は一定値を示しシールドの取込み抵抗 F と一致する。シールド前面圧力 p がこの取込み抵抗 F を維持できる間の土被り圧と取込み率 M の関係は直線的な比例関係であり土被り圧の差による取込み土量の変化率すなわちこの直線部分の勾配を a とするとこの値は破壊発生領域における勾配と比較するとはるかに小さい。また取込み率が100%になるのは土被り圧がシールド前面圧力 p (シールドの取込み抵抗 F)にほぼ等しいことが図-3からわかる。

また、土被り圧が小さくなると切羽地盤に受傷破壊が生じるがその点ではシールド前面圧力 p が取込み抵抗 F より下がり、取込み土量は急激に低下してくる。そして切羽地盤にはすべり破壊面が発生する。この時シールド前面圧力は受傷土圧に近づくが、その時でも土は少し取込まれているため受傷土圧に漸近していく。逆に土被り圧が大きくなりある値になると切羽地盤に主働破壊が生じ、その点ではシールド前面圧力 p が取込み抵抗 F より増加し始め、取込み土量は急激に多くなり土層にすべり破壊面が発生する。以上の様な破壊発生時の土被り圧 r_H と取込み抵抗 F との差と粘着力 C_u との比率を表-1に示す。表-1によると切羽地盤に破壊が生じるのは主働、受傷の場合とも土被り圧 r_H とシールド取込み抵抗 F との差が土の粘着力 C_u の4～5倍になった時であることがわかる。またチャンバーを付けると $r_H - F / C_u$ の値が約15%程度大きくなって

いるが、これはチャンバーを付けるとシールド前面の圧力分布が平均化され破壊が生じにくくなると考えられる。

次に破壊しない範囲での取込み土量の過不足は先に述べた取込み土量の変化率 a によって決まる。またこの範囲である圧力差に対する取込み土量の関係が比例関係にあるということは切羽地盤の動きが弾性的であることを意味する。従って a は切羽地盤の弾性係数 E に逆比例することが推定できる。実験結果を整理すると図-4に示すようなものとなり a は $1/E_{50}$ にほぼ比例するとしてよい。この関係式を次に示す。

$$\text{チャンバー無し} \quad a = 90 / E_{50} \quad (1)$$

$$\text{チャンバー付} \quad a = 60 / E_{50} \quad (2)$$

チャンバーを付けることによって前面の圧力分布が平均化するために土の動きが緩やかになり a の値が小さくなる。参考のためチャンバー付シールド推進時の土の取込み状況を写真-2に示す。

4. 現場におけるシールド前面圧力と取込み土量

現場のシールドとして土圧系シールドを考えると、その前面の圧力分布は本研究のチャンバー付シールドよりさらに平均化されると考えられる。このために本実験の取込み土量の変化率 a の値よりやや小さくなるためここでは次式をとる。

$$a = 50 / E \quad (\% / \text{kg/cm}^2) \quad (3)$$

また $|rH - F| / Cu$ はやや大きくなるので次式を提案する。

$$|rH - F| / Cu \geq 5.5 \quad (4)$$

(4)式では F を前面圧力 p としてよいので次式の方が便利である。

$$|rH - p| / Cu \geq 5.5 \quad (5)$$

現場の E の大きさは $E = 100 \sim 200 Cu$ という値が提案されており切羽地盤の乱れの影響を考慮して $E = 100 Cu$ とする。これを(3)式に代入すると $a = 1 / 2 Cu$ (6)

となる。いま粘性土層の平均粘着力を 0.3 kg/cm^2 とすると破壊直前の状態で推進した場合の取込み率の過不足分 ($M - 100\%$) は、

$$a (rH - p) = (1/2 Cu) \times (\pm 5.5 Cu) = 5.5/2 = \pm 2.8\%$$

となり主働破壊で $+2.8\%$ 、受働破壊で -2.8% の過不足で破壊することになる。

以上のようにシールド施工管理として使用されている取込み土量による方法は、その誤差が数%程度と考えるとほとんど意味をもたないことになる。合理的に施工管理をするには切羽地盤に破壊を生じないような範囲に前面圧力 p を保持させさらにできるだけ p を静止土圧に近づけるように p の値を管理していくことが必要であろう。すなわちシールドの前面圧力 p をカッターフェース上に設置した土圧計で測定する方法等が施工管理上有効である。

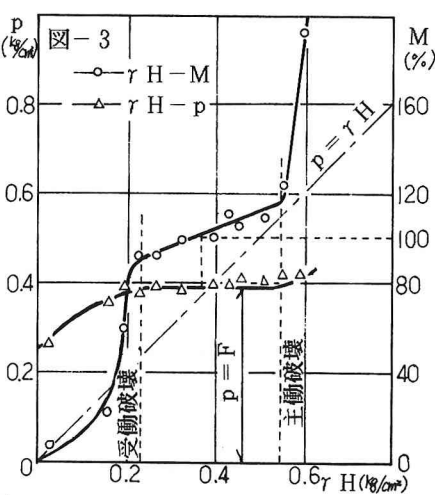
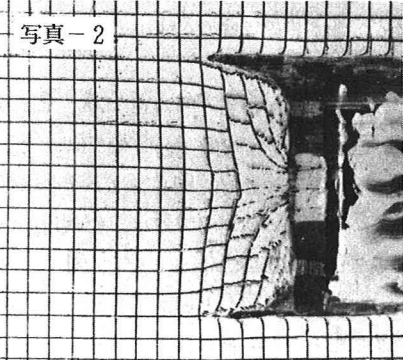
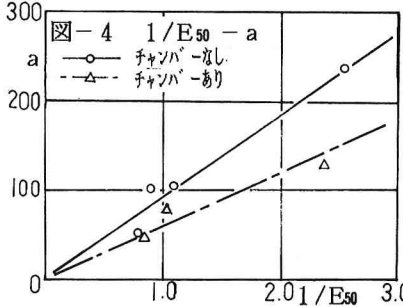


表-1

破壊	チャンバー	C_u [kg/cm²]	rH [kg/cm²]	F [kg/cm²]	$ rH-F $ [kg/cm²]	$ rH-F $ C_u
受働	無	0.030	0.25	0.38	0.13	4.3
		0.037	0.30	0.47	0.17	4.6
	有	0.032	0.23	0.39	0.16	5.0
		0.039	0.29	0.49	0.20	5.1
主働	無	0.030	0.51	0.38	0.13	4.3
		0.037	0.63	0.47	0.16	4.3
	有	0.032	0.55	0.39	0.16	5.0
		0.039	0.70	0.49	0.21	5.4



この研究に当っては東京電力(株)の御援助を受けたことを付記し、謝意を表する。