

III-46 軟弱粘性土海底部の泥水式シールド掘進を考慮した場合の割裂現象に関する実験的研究

早稲田大学 正会員 森 麟 熊谷組 正会員 鈴木 真
西松建設(株) 正会員○森 仁司 早稲田大学 学生員 袁 大軍

1. はじめに 泥水式シールド工法は、チャンバー内を泥水で満たし切羽を加圧しながら掘進する工法であるので、地山条件や施工条件によっては、泥水圧によって地盤が割裂して逸泥するブロー現象が生じる危険性がある。特に、軟弱粘性土地盤においては、設定泥水圧が鉛直土圧前後の大きさでも地盤が割裂する可能性が指摘されており¹⁾、土被り全体が軟弱粘性土の場合の多い海底下のシールド掘進には、泥水圧の設定に十分な検討が必要となる。

そこで、本研究では、模型シールド掘進装置を用いて静的な割裂実験と動的な割裂実験を行い軟弱粘性土地盤での割裂現象のメカニズムを調査している。

2. 実験概要 本研究の実験装置は、図-1に示す模型シールド掘進装置を用いた。地盤は、表-1に示す配合の石膏粘土とし、泥水は、10%ベントナイト泥水（群馬産#300）とローダミンで着色した水を用いた。

実験は、シールドを20cm掘進させた後、シールドを停止し泥水圧を徐々に上げて割裂させる静的実験と、シールドをカッターにより掘進させながら泥水圧を徐々に上げ割裂させる動的実験を行った。

3. 実験結果および考察

1) 割裂の方向性 写真-1は、上載圧(0.1kgf/cm²)、シールド停止状態の静的実験で10%ベントナイト泥水を用いた時の割裂の状況を示し、割裂はシールド機の中心を通り地表面に鉛直な方向に生じていた。写真-2には、上載圧(0kgf/cm²)の時の割裂状況を示したものである。この場合は、シールド機の上部から地表面に向かって斜め水平に割裂していた。また、シールドを掘進させながらの動的実験でも上載荷重の有無によって同じ結果となった。つまり、前者は鉛直圧 σ_1 の側圧 σ_3 に対する比率 σ_1/σ_3 がある程度大きいので鉛直に割裂したものと思われる。三軸装置を用い正方形断面の供試体に $\sigma_1 > \sigma_3$ の外圧を与え、円孔内を加圧すると、 σ_3 に直角に鉛直方向に割裂が生ずることからも立証できる。また、後者は、 σ_1/σ_3 の比率が1に近いため、地表面に向かって斜め水平に割裂したものと考えられる。横長の長方形断面の供試体を用いた割裂実験²⁾では、 $\sigma_1 = \sigma_3$ の状態でも内圧により円孔が縦長的に変形し易くなるので、割裂は、ほぼ水平に生じる。また、この場合割裂圧 $P_t = \sigma_3 + \alpha q_u$ の α が円筒形や正方形断面のものよりかなり小さく、割裂し易いことを明らかにした。このことから、海底下の軟弱粘土地盤で $\sigma_3 \approx \sigma_1$ に近く、かつ土被り比の小さい条件下ではシールド切羽部が縦長的に変形し、割裂方向がほぼ水平に発生してから写真-2の様に斜め上方に向かうことが予測され、割裂圧も小さくなるものと考えられる。

2) 割裂圧に及ぼす泥水性状の影響 図-2は、上載圧(0.1kgf/cm²)、シールド停止状態で10%ベントナイト泥水と水を用いた時の割裂圧と地盤の一軸圧縮強度の関係を示したものである。図から、割裂圧は、強度の増加と共に直線的に高くなっており泥水の方が水より高くなっている。この差は、泥水の粘性と造膜性、そして地盤の透水性によって変化することを、今回別に発表した関連研究³⁾で示している。実際のシールド工事では、排水距離が長くなり粘土地盤では不透水状態となるので、どんな泥水を用いても造膜性がなく、泥膜効果は発生しないと思われる。

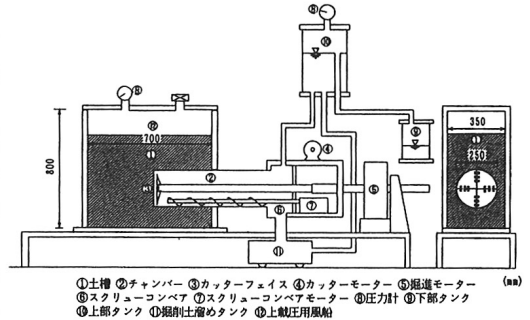


図-1 実験装置の概略図

表-1 地盤材料の配合

試 料	配 合 (g/g)				一軸圧縮強度 q_u (kgf/cm^2)
A	カオリン 石 膏	3000 2000	フィラー 水	2000 4000	0.8~1.1
B	カオリン 石 膏	3000 2000	フィラー 水	2000 5000	0.3~0.5
C	カオリン 石 膏	3000 2000	フィラー 水	2000 6000	0.05~0.2

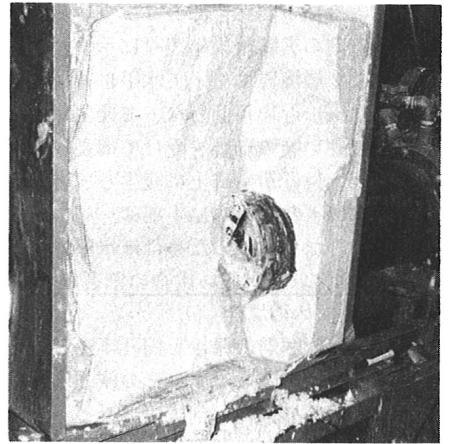


写真-1 割裂状況（鉛直方向）

3) 割裂圧に及ぼすシールド掘進の影響 図-3は、上載圧(0.1kgf/cm²)で10%ベントナイト泥水を用いて、シールド停止状態と掘進状態の時の割裂圧と地盤の一軸圧縮強度の関係を示したものである。図から、粘性土の場合にはシールド停止状態と掘進状態とでは、割裂圧には違いは見られなかった。

図-4は、上載圧(0.1kgf/cm²)、一軸圧縮強度(0.175kgf/cm²)の地盤に10%ベントナイト泥水を用いてシールド掘進した時の実験中の泥水圧と掘進距離との関係を示したものである。また、実験終了後、地盤を解体しシールドが通過したトンネル壁面の状況を調査した。図中A区間では、壁面には異常は見られないが、B区間では、壁面に等間隔でクラックが発生しており、このクラックは、割裂発生地点に近づくにつれて深くなり、割裂発生地点では切羽の円周隅角部から放射状に発生していた。クラックの間隔は、シールド機の Cutter ビットの先端からシールド本体のスキンプレートまでの間隔(1.2cm)とほぼ

同じになった。また、割裂発生圧の0.561kgf/cm²は、最初にクラックの発生の認められた地点での泥水圧0.113kgf/cm²の約5倍にも大きくなっている。これは、土槽幅が小さいのでシールド掘進と泥水圧により拘束 σ_3 。図-2 割裂圧に及ぼす泥水性状の影響が増加し、0.3kgf/cm²程度になったことが原因と思われる。

4. 動的な割裂現象のメカニズム 以上の結果から、粘性土地盤における泥水式シールドの動的な割裂現象のメカニズムを考える。この実験の様に掘進中泥水圧を徐々に上げる状況下では泥水圧が σ_3 より少し大きくなると、切羽の隅角部にクラックが発生するが、割裂圧より小さいのでクラックが伸びない。つぎに、シールド機が前進して、そのクラックがスキンプレートに達するとクラックには泥水圧が作用しなくなるため、新たに切羽隅角部にクラックが発生する。この現象が繰り返されて等間隔にクラックが生じ、実際のシールド機の場合はこのクラック間隔は10~20cm程度になろう。したがって、泥水圧が割裂圧程度まではクラックの伸展速度は十分に大きくないので、隅角のクラック発生部からCutterが通り過ぎてしまう。この様な状態では、クラックを割裂にまで進展させる泥水圧の作用は、停止状態と同じになるので、掘進状態の割裂圧は停止状態と違いがほとんど生じなくなるものと考えられる。

参考文献

- 1) 栗原他：泥水式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，VI-9，pp. 95~104，1988
- 2) 森他：粘性土の割裂位置と発生方向及び割裂圧，土木学会第47回学術講演土第3部門，1992
- 3) 森他：シールド泥水の性状が粘性土地盤の割裂圧に及ぼす影響，土木学会第47回学術講演土第3部門，1992

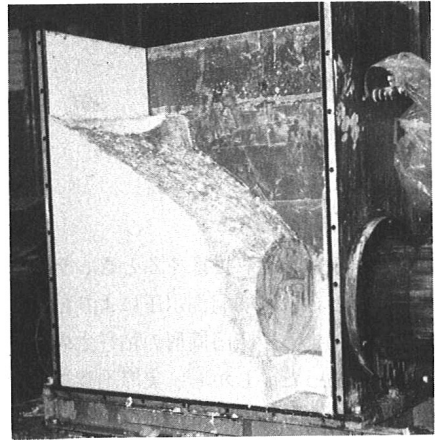


写真-2 割裂状況（斜め水平方向）

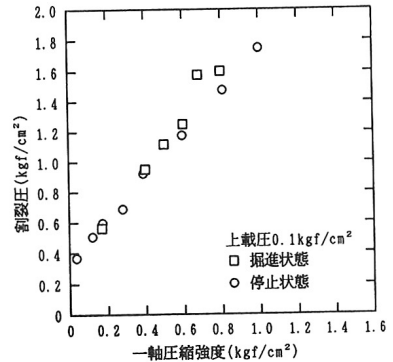
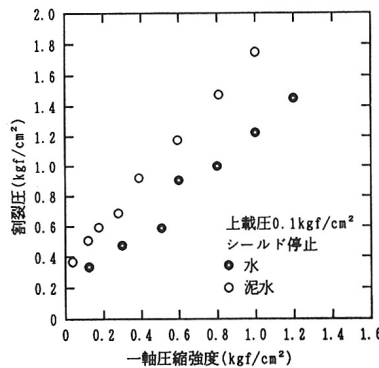


図-3 割裂圧に及ぼすシールド掘進の影響

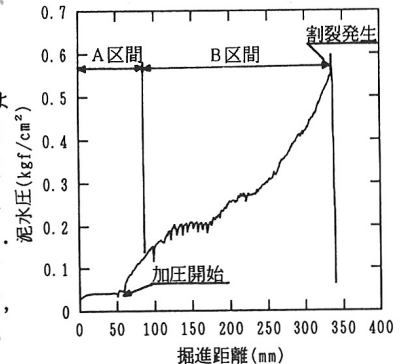


図-4 割裂発生過程