

III-25

割裂圧に影響する粘性土地盤のゆるみ土圧の研究（泥水式シールドの場合）

早稲田大学 正会員 森 麟 学生員 ○片桐 年弥
 ㈱ 熊谷組 正会員 鈴木 真 袁 大軍

1. 実験目的

泥水シールド工法における軟弱粘性土地盤の切羽安定で問題とされる事の一つは割裂による泥水ブロー現象である。この現象に関する研究は筆者らによって行われ、割裂圧 p_r は $p_r = \sigma_3 + \alpha q_0 \cdots (1)$ と表されることを示した。実際の現場で割裂圧 p_r を予想する時、シールド切羽地盤に沈下が生じたとき、ゆるみ土圧の発生による σ_3 の低下があれば、(1)式からその分だけ p_r が小さくなること分る。ゆるみ土圧に関する研究は砂質地盤を対象としたものがほとんどであり、粘性土地盤はゆるみ発生により一時的に土圧は減少したとしても、その後、経時的に回復するために設計上対象とされていなかった。しかし、割裂現象を考える場合、一時的な σ_3 の減少でも問題になり得る。

そこで、本研究では、落し戸実験土槽において粘性土地盤に沈下を生じさせた場合の土圧減少量を調査研究し、さらに粘性土のゆるみ土圧現象が発生した時の割裂発生圧についても検討した。

2. 実験方法及び試料

実験は図-1に示すような底面中央部に落し戸が装着されている土槽を用いて行った。落し戸の幅は10cmと5cmの2種類があり、取り替えることができる。粘性土試料は、カオリン、ベントナイト及びフィラーを4:1:1の割合で配合し、水を加え真空攪拌機で混合した。実験条件は、 $\gamma H/c$ を軟弱地盤におけるトンネルの場合をカバーする2~9となるように試料の粘着力、土被り、上載圧を変化させた。また落し戸幅、落し戸の降下速度などを変化させてその影響も調べた。落し戸に取り付けた土圧計により土圧変化を計測し、同時に、土の変形・移動状況を見るために、土槽正面透明アクリル板に接する試料の表面に2cm間隔の線を引き、落し戸降下後の写真や降下前後の重ね取り写真を取り、変位状況を測定した。

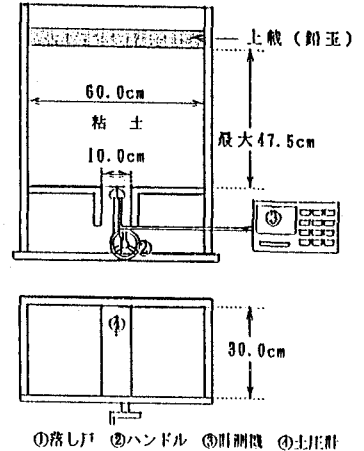


図-1 落し戸実験装置

3・実験結果

3. 1 落し戸に作用する鉛直土圧

図-2は、落し戸の降下量と落し戸に作用する鉛直土圧の関係を表したものである。鉛直土圧は、最初土被り重量と一致しているが、落し戸を降下させると、降下量の増加にともない鉛直土圧は減少する。その土圧減少曲線の勾配は落し戸降下開始直後が一番きつく、徐々に緩やかになっていき、降下量が4cmになった後はほぼ一定値に落ちついている。初期減少勾配や降下量6cmを最終土圧減少量 ΔP_L とした。

3. 2 落し戸付近の粘性土の変形

写真-1は、6cm降下後の写真である。落し戸を降下させると、その降下量にともない粘土が変形し、降下量が2cmを超えたときに、落し戸の入り口付近から左右一本ずつ破壊すべり線が発生し、落し戸に対して約45度で内側に立ち上がる。4cmを超えたらこのすべり線が交わり、三角形の領域が形成される。また、落し戸に対して、約45度外側にもすべり線が観察された。

3. 3 最終鉛直土圧減少量 ΔP_L に影響する諸要因

図-3は、 $\beta = (\text{土圧減少量 } \Delta P_L / \text{粘着力 } c)$ とした時、初期鉛直土圧に対する β の関係を表したものである。これから、土被り、上載圧の違いによる影響としては、土被りが大きくなると β は大となり土圧減少量が増す。同じ土被りで上載圧を大きくすると β は大となり土圧減少量は増加する。また、土被りと上載圧を変化させて初期鉛直土圧を一定にした場合、土被りが落し戸幅以上であれば一定である。落し戸幅の違いによる影響としては落し戸幅が小さい方が β は大となり土圧減少量が多い。落し戸の降下速度の違いは土圧減少量に影響はなかった。

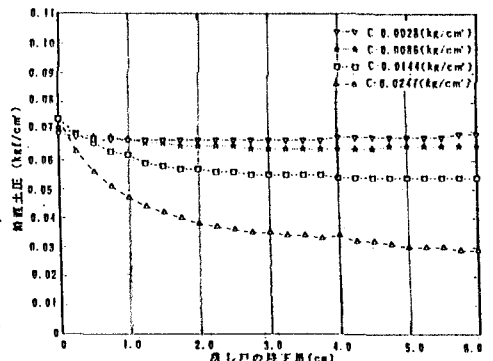


図-2 落し戸の降下量と鉛直土圧

4. 粘性土のゆるみ土圧（最小鉛直応力）について

実験結果より、落し戸降下量が4cm以上になった時すべり線は図-4のようになる。落し戸降下により、粘性土の2cm角の要素が縦長になる領域Ⅰと、横長になる領域Ⅱに分けられる。まず、領域Ⅰに着目すると、縦長になって破壊しているので水平応力が鉛直応力より大きいせん断破壊状態であり、水平応力を P_a とすると、鉛直応力 σ_v は破壊条件から $\sigma_v = P_a - 2c$ になる。次に領域Ⅱでは、逆に鉛直土圧が水平土圧より大きい状態であるので、主働の状態にあると考えられる。領域Ⅱが破壊状態になると水平応力 P_a は主働土圧 $(q + \gamma H - 2c)$ まで減少する。この場合落し戸に作用する σ_v は最小値の $q + \gamma H - 4c$ である。破壊しない場合は鉛直応力 $\sigma_v = q + \gamma H - \beta c$ ($0 < \beta \leq 4$)となる。土被り厚の小さい場合などは、落し戸の降下にともない下方への粘性土の移動が大きく横方向からの移動が少ない状態で領域Ⅰが破壊状態に達する。このとき領域Ⅱは主働土圧状態に至らず、静止土圧状態に近いと考えられる。この場合の最小鉛直応力 σ_v は $(q + \gamma H - 2c)$ になる。つまり、領域Ⅱがどれだけ横方向に移動するかによって最小鉛直応力 σ_v は変ってくる。領域Ⅰが破壊状態にあるときに、土被りを大きくしたり、上載圧をかけたり、落し戸幅を小さくすると、粘性土の落し戸幅に対する水平方向移動が大きくなり P_a が主働土圧に近づくため、 σ_v 減少量は大きくなるものと考えられる。しかし、実験結果では $\beta = 4$ となることはなく、ほぼ $\beta = 1 \sim 3$ となった。この理由は、 P_a が主働土圧まで下らないことや測定時間中に生じる応力リラクゼーションによるためと考えられる。

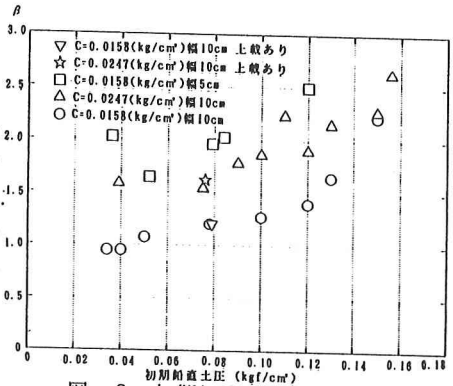


図-3 初期鉛直土圧と β の関係

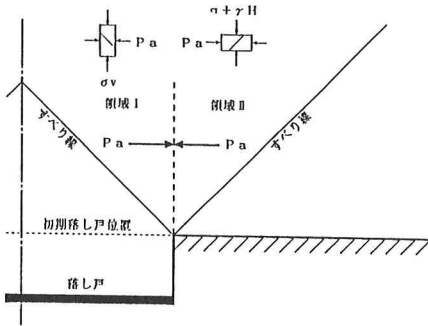


図-4 落し戸付近の粘性土

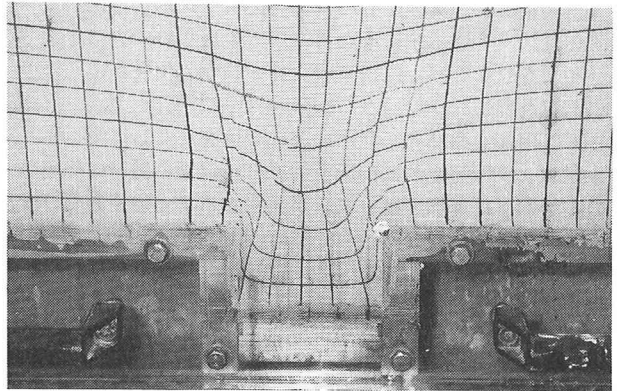


写真-1 6cm降下後の落し戸（幅10cm）

5. ゆるみ土圧が割裂圧に及ぼす影響

ゆるみ土圧状態で、泥水シールドの泥水圧による割裂圧 p_t を円筒形素堀孔として考える場合、孔壁のクラック発生圧は孔壁の σ_v の値に関係するが、シールド付近のゆるみ土圧状況下では σ_v の値は特定できない。また、破壊状態に達しているゆるみ土圧状況下では、既に3.2で述べたように孔壁にクラックが発生している。しかし、孔壁にクラックが発生したとしても、これは直接割裂に関係せず割裂にまで発展するには(1)式の $p_t = \sigma_v + \alpha q_v$ の泥水圧が必要である。クラック発生圧が小さいと α はや小さく考えられる。さらに、 p_t に直接影響をもつ σ_v が減少してゆるみ土圧になるのでその割裂し易くなる。4.で述べたゆるみ鉛直土圧 σ_v の最小値は $q + \gamma H - 4c$ であるので、この時の割裂圧 p_t は最も小さく、その値は $p_t = (q + \gamma H - 4c) + \alpha q_v$ となる。しかし、実験結果では σ_v 最小値は $q + \gamma H - (2 \sim 3)c$ にとれば良いと考えられる。 α の値は泥水の性状や加圧速度などの影響を大きく受け、0.5~2.0程度となる。

6. 参考文献

- 森・田村他：粘性土の割裂圧に及ぼす諸要因に関する実験的研究，土質工学会論文報告集，vol. 31, No. 1, pp. 222~229, 1991
- 石原研而：土質力学，丸善株式会社，pp. 255~271