

東京電力(株) 正 竹内信次
日本工営(株) 正 O 柚木裕二

1. はじめに

前報²⁾では、模型実験手法及び切羽の崩壊と粘着力の関係などについて報告したが、今回は実験中に写真撮影したものを判読することにより、切羽の破壊形状や破壊時の地山の挙動を考察し、その結果を踏えて村山の式及び剛体バネモデルを実情に近づける工夫を試みたのでここに報告する。

2. 切羽の破壊形式

前報で報告した実験のうち、地下水を考慮しないケースでの切羽の崩壊の典型例 Case-3 を写真1~3に示す。(Case-3の条件は、相対密度60%、初期含水比12%、細粒分含有率9%、セメント混入率0%である。)

まず、天端のはた落ちが発生し(写真-1)、次にこれに伴な、て切羽上部が少し崩壊する(写真-2)。その後、天端、切羽上部とも大きく崩壊する(写真-3)。実験では、この間60g~90gに遠心加速度を上昇させて切羽を崩壊させたわけだが、実物でもこの様な一様地盤では同様の過程を経て崩壊が発生すると考える。

3. 地山の挙動

実験では60gから徐々に遠心加速度を上昇させて切羽を崩壊させたが、図-1, 2は、60gから切羽崩壊に至るまでの地山の動きを示す。この図は模型地盤に予め埋め込んでおいた標点の動きを、実験中に写真撮影したものを読み取り図化したものである。図-1は、Case-1 (Case-1の条件は、相対密度60%、初期含水比27%、細粒分含有率9%、セメント混入率0%である。)の場合であり、破壊時の地山の挙動としては典型的である。鉛直成分は、遠心加速度の増加により地盤が沈下したために現われたものである。また、水平成分は、切羽のはらみ出しによって現われたものであるが、切羽近傍にだけ見られる現象であることに注目したい。一方、図-2は、

Case-4 (Case-4の条件は、相対密度60%、初期含水比27%、細粒分含有率15%、セメント混入率0%である。)の場合であり、地山全体が切羽面に向って移動していることがよくわかる。

4. 村山の式による切羽安定検討

シールド切羽の安定検討のために開発された村山の式は、ナトム切羽安定の事前検討に応用する場合、ナトム特有の切羽付近の素掘り状態を表現する工夫が必要となる。

また、前報では、切羽の崩壊は村山の式で仮定している切羽面下端を通過するスベ

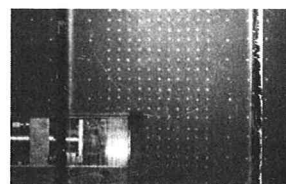


写真-1 (60g)

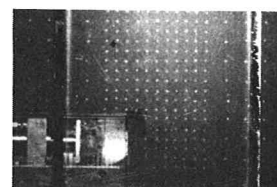


写真-2 (80g)

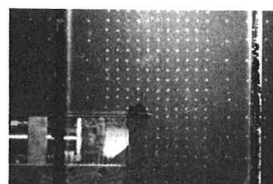


写真-3 (90g)

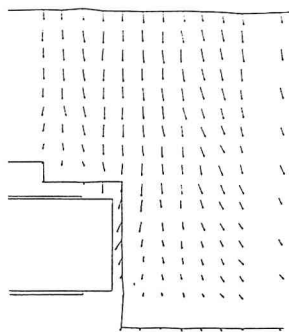


図-1 地山の挙動
実験ケース1 ($F_c=9\%$)
60g → 107g

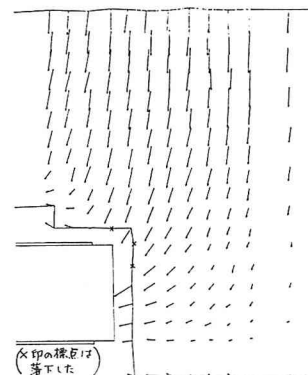


図-2 地山の動き
実験ケース4 ($F_c=15\%$) 60g → 108g

り線(図-3)ではなく、天端から切羽上部にかけての崩壊が主であった。そこで素掘り状態を表現する工夫として、図-4に示すスベリ線を仮定し、かつ素掘り部分のゆるみ土圧に関しては考慮しない切羽安定検討を試みた。素掘り状態を考慮したもの、しないもの、それぞれの試算結果を図-5、6に示す。素掘り部分と考慮した方が傾きがゆるやかになり、 $P=0$ における粘着力 C はどのケースも小さくなっているが両者で大きな違いはない。切羽の自立に必要な粘着力は従来の方で $C=0.8$

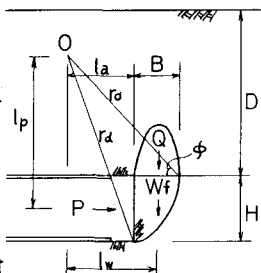


図-3 素掘りを考慮しない場合のスベリ線

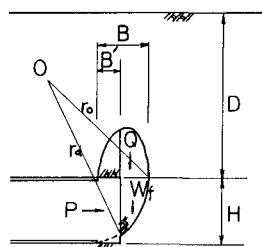


図-4 素掘りを考慮した場合のスベリ線

表-1 計算ケース一覧表

計算 ケース	単位体積重量 γ_k tf/m^3	内部摩擦角 ϕ $^\circ$	掘削高さ H m	土盛り厚さ D m	素掘り長さ B' m
1	1.721	35	3.15	8.39	1.0
2	1.715	39	3.15	8.41	1.0
3	1.442	33	3.15	10.0	1.0

～1.0%、素掘りを考慮した方法では $C=0.7$ ～0.9%程度となっているが、いずれにせよ、前報の実験値とほぼ等しい値である。

5. 剛体バネモデルによる解析

剛体バネモデルはモデルのメッシュの切り方によって破壊形状が左右されるので、慎重に取扱わなければならない。シールドの破壊線は、切羽下端を通ることが一般的であるが、前報の模型実験では、破壊は天端から切羽上部にかけてまず発生し、次第に切羽全域に広がるという傾向があった。今回は、これを考慮して図-7に示すメッシュを設定した。試算結果を図-8、9に示す。

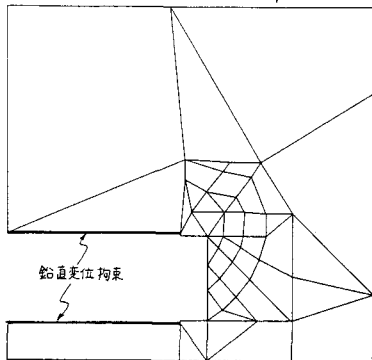


図-7 剛体バネモデルメッシュ図

表-2 計算条件

地盤条件	計算条件
$\gamma_k = 1.720 \text{ tf/m}^3$	○ 降伏条件
$E = 3600 \text{ tf/m}^2$	モルファン
$\nu = 0.35$	○ ステップ解析
$C = 1.4 \text{ tf/m}^2$	山田の土層分法
$\phi = 35^\circ$	

図-8では、実験結果と同様にまず切羽上部から降伏して、切羽全域に降伏領域が広がっているのがわかる。しかし、天端の崩壊は現われていない。

図-9にその変位を示すが、図-8で見られるようなバネの降伏領域があったとしても大きな破壊に至らないものとする。

6. まとめ

実験で明らかとなった切羽の破壊形状を考慮した解析を実施した結果、村山の式では切羽の自立に必要な C_d は素掘り部分の存在にはあまり影響されず、 $C_d=0.8$ %前後である。また同じ C_d に対応する内圧 P は素掘りを考慮した方が小さい。一方、RBSMではバネの降伏する様子が実験と傾向が一致した。

参考文献：徳永竹内川井「非線形化モデルによるシールド切羽安定解析」40回土学会関東支部研究発表会1982
竹内・徳永「遠心力を利用した土砂ハムの切羽安定に関する模型実験」40回土学会1985

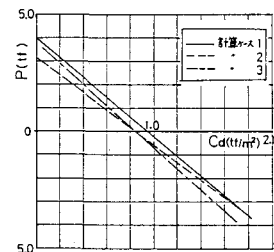


図-5 図-3のスベリ線による試算結果

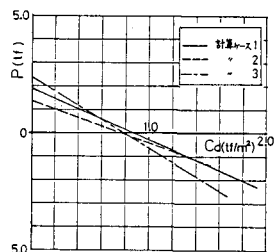
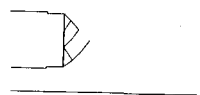


図-6 図-4のスベリ線による試算結果

Step 5 $R_{min} = 0.79$



Step 10 $R_{min} = 0.86$



Step 16 $R_{min} = 1.0$



図-8 降伏バネの発達状況

Step 16 $R_{min} = 1.0$

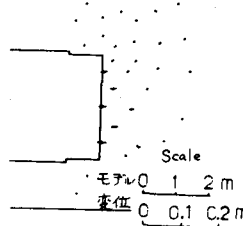


図-9 変位図