

東京電力(株) 正 ○ 竹内信次
日本工学(株) 正 柚木裕二

1. はじめに

ナトムは従来山岳部での施工が大部分を占めていたが、近年、この工法の利点を生かし、都市部でも施工されるようになって来た。中でもナトムを砂層に適用する場合、切羽の安定性をいかにして確保するかが重要な課題となっている。そのため、通常、事前に解析を実施し、かつ経験的な見地から安定性の検討され、対策がなされている。解析手法としては、FEMや村山の式による方法が主に用いられているが、この場合切羽の実情に合う様な工夫が必要となる。一方、経験的手法としては、細粒分含有率や含水比などの物理定数と掘削高との関係で、過去の施工実績に照らして安全性が検討されている。これらの手法に対して、今回、最近各分野に適用が試みられている遠心力模型実験装置を用いて現実の応力状態を再現し、掘削高3.35mと比較的小口径のナトムトンネルを全断面掘削したときの切羽の安定性を検討したのでここに報告する

2. 実験装置及び模型地盤作成方法

実験に用いた遠心载荷装置は、回転半径1.55m、模型容器寸法50cm×32cm×20cm、スイングアップ方式(アームの回転とともにね上がる)による。模型は実物を1/60に縮小したものを用いた。模型地盤は、図-1に示す粒度分布曲線の砂を用いて、所定の含水比、密度になる様に模型容器内で締め固めた後、重力加速度の60倍に相当する遠心加速度を加え、この状態を約1時間保持して、自重による実物地盤の応力状態を再現した。次に図-2に示す位置に素掘り部分を含むトンネル模型を埋設するとともに、実験中には模型地盤の動きがよくわかる様に約150個の標点を埋め込んだ(写真1)。トンネル模型は、図-3に示す半断面の3次元構造とした。トンネル内には、油圧ジャッキを設置し、遠心载荷中にトンネル切羽が全断面開放できる様に工夫した。なお、本実験は切羽の安定に着目しているため、トンネルライニングは変形しないものとして模型を作成した。

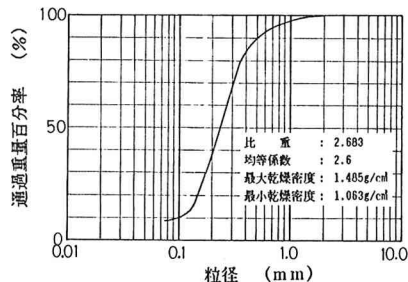


図-1 模型地盤に用いた砂の粒度分布曲線

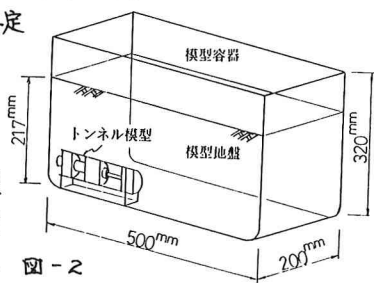


図-2 模型概略図

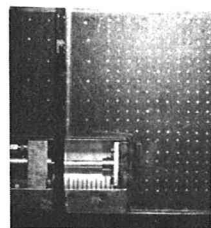


写真-1
標点の埋設状況

3. 実験手順

図-4に示すように、上記の方法で作成した模型地盤に、60gの遠心加速度を加え保持した状態で5分間放置。次に油圧シリンダーを作動させ切羽の拘束圧を解放し、切羽の状況を観察する。また、この間の切羽の変化を読み取るために写真撮影する。なお、60gで崩壊しないものについては、10gづつ徐々に加速度を増加させて、崩壊形状について観察した。

4. 実験条件

模型地盤の砂には、①締め固め密度、②初期含水比、③細粒分含有率を変化させて実物地盤の再現性に幅をもたせた。セメントを混入することによって砂地盤の固結度を変化させる方法

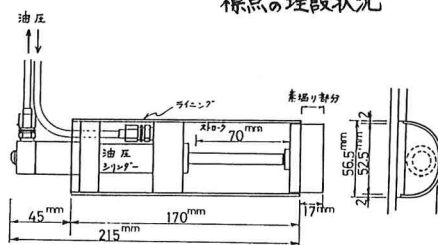


図-3 トンネル模型

や、鉄矢木の効果を考慮したケース、あるいは地下水を考慮したケースも行なった。

5. 実験結果

本実験に先立ち、60g場での切羽近傍における含水比、密度、強度定数を測定した。結果を表-1に示す。密度は遠心力場では自重によって締め固まるため、Case-3の含水比が低いケースを除いてはあまり差はない。また、含水比も間隙水が重力排水されるため20%前後に下がった。強度定数は、改良型一面せん断試験機を用いて圧縮定圧せん断試験により、 C_d 、 ϕ_d を求めた。

本実験は、切羽崩壊の観察に主眼を置いたが、地下水のないCase-1~7では実物の応力状態に相当する60g場で崩壊したケースはなく、いずれも60g以上の加速度を加えた。その中では含水比の低いCase-3が最も早く崩壊しており、含水量の影響が大きいことがわかる。

図-5は細粒分含有率による影響を示したものだが、細粒分が多いほど切羽の自立性が良いものの、細粒分が9%と15%ではあまり変わらないことがわかる。また、セメントを混入したケースでは、切羽の自立性が良いことから地盤の固結度合いも切羽の安定の大きな要因になっていることがわかる。

図-6は、 C_d と切羽の崩壊が発生した時の遠心加速度から換算した掘削径の関係を示したものであるが、ほぼ直線的な関係が認められる。この図より、計画掘削高3.35mに対する切羽安定に必要な粘着カ C_d は、約0.8 $\frac{tf}{m}$ であることが読み取れる。

6. まとめ

今回の実験結果をまとめると、以下の様である。

- (1) 含水比が12%程度以下では、切羽の自立が難しくなる。
- (2) 細粒分含有率は、大きいほど切羽の自立性は良くなるが、9%を越えるとあまり変わらない。
- (3) 同一地盤であれば、掘削径と切羽自立に必要な粘着力は直線関係にある。

参考文献

- 1) 山田・佐藤・柚木「遠心力装置によるフーチング引揚実験(その1)」、第39回土木学会

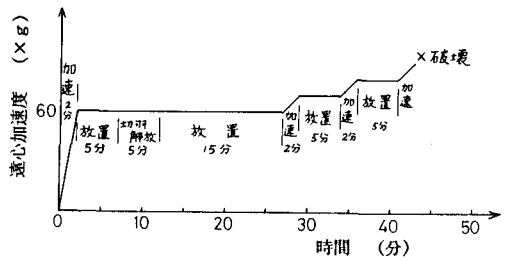


図-4 実験手順

表-1 実験ケース及び結果一覧表

定 験 条 件						実 験 結 果						
Case No.	掘削機 Dr	掘削機 No	掘削機 時刻 Dr	掘削機 時刻 No	掘削機 時刻 No	掘削機 時刻 No	掘削機 時刻 No	掘削機 時刻 No	掘削機 時刻 No	掘削機 時刻 No	掘削機 時刻 No	
	掘削機 Dr	掘削機 No	掘削機 時刻 Dr	掘削機 時刻 No	掘削機 時刻 No	掘削機 時刻 No	掘削機 時刻 No	掘削機 時刻 No	掘削機 時刻 No	掘削機 時刻 No	掘削機 時刻 No	
1	60	27	9.0	0	なし	標準地盤	1431	191	1.4	35	107	天端から切羽上部にかけて崩壊規模は小さい。
2	60	27	5.0	0	なし	標準地盤	1434	170	1.2	35	90	天端から切羽上部にかけて崩壊規模は小さい。
3	60	12	9.0	0	なし	含水比の低い地盤	1271	133	1.0	33	72	72gで天端から切羽上部にかけて崩壊した。20gで天端から切羽上部にかけて崩壊した。
4	60	27	15.0	0	なし	細粒分含有率が高い地盤	1455	205	1.6	35	108	天端から切羽上部にかけて崩壊した。
5	90	27	5.0	0	なし	セメントを混入した地盤	1447	204	1.7	39	120	120gまでの遠心加速度で崩壊した。天端から切羽上部にかけて崩壊した。
6	60	27	9.0	2	なし	標準地盤	1428	195	1.8	39	113	天端から切羽上部にかけて崩壊した。
7	60	27	9.0	0	なし	標準地盤	1434	191	1.4	35	120	120gまでの遠心加速度で崩壊した。天端から切羽上部にかけて崩壊した。
8	60	27	9.0	0	切羽中央部へ地下水を注入	標準地盤	1434	191	1.4	35	60	地下水注入による軟化が崩壊の原因となった。
9	60	27	9.0	2	切羽中央部へ地下水を注入	標準地盤	1428	195	1.8	39	60	地下水注入による軟化が崩壊の原因となった。
10	60	27	15.0	0	切羽中央部へ地下水を注入	標準地盤	1455	205	1.6	35	60	地下水注入による軟化が崩壊の原因となった。

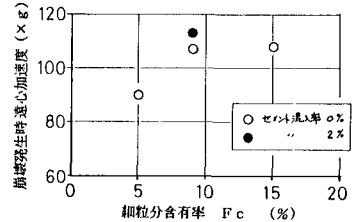


図-5 細粒分含有率の影響

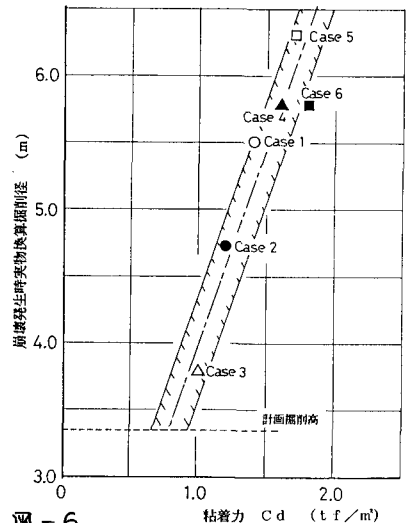


図-6

粘着力 C_d と切羽破壊時換算掘削径