

III-96

トンネル切羽の崩壊挙動とそのCEM解析

近畿大学理工学部 正会員

久武 勝保

(株)地崎工業 正会員

村上 敏夫

西松建設(株)

金澤 賢次

関電興業(株)

角谷 俊紀

1. はじめに

本研究は、切羽の崩壊挙動を明らかにし、切羽崩壊が生じるか否かについて、また生じる場合にはどのような切羽を安定させる事が出来るかを究明する事を最終目的とするが、本報告では、砂を用いた模型実験を行ってその結果について考察すると共に、CEM(Contact Element Method)解析¹⁾⁻⁴⁾を行う事により、崩壊挙動の数値解析の可能性について検討する。

2. 模型実験

切羽の安定、崩壊挙動を明らかにするために、トンネルの土被り、及び粒子間の粘着力に影響を与える含水比を変えた模型実験を行った。地表面が水平であればトンネル軸を通る鉛直面で二つの対称な領域に地盤とトンネルを区切る事が出来るので、以下ではその一領域を対象として実験を行い、上記鉛直面内の地盤挙動について検討した。即ち、トンネルの接近にともなって、将来切羽となる前方地盤のトンネル坑口方向応力は減少し、ついにはゼロになることから、実験ではこれを近似的に表現するために、切羽の動きを制御する半円形の鉛直支持板を切羽にあらかじめ作用させておき、これを坑口方向に平行移動させ、その時の上記鉛直面内の色砂地盤の動きを、ガラス面を通した写真撮影によりとらえた。

3. 実験結果

Fig. 1は乾燥砂を用い、土被り(H)がトンネル外径(D)に等しい場合について、切羽支持板の移動量の増加による地盤挙動を示したものである。ここに、トンネル外径Dは14cm、ネジ1回転当たりの支持板の移動量は1/6cmである。支持板の移動に伴い地盤の崩壊領域は増加するが、その傾向は、トンネル下端からほぼ一定の角度で上方に広がるが、しかしトンネル上端付近より上部では煙突状に上方に伝達していくのが理解できる。Fig. 2は、Hを変化させた場合の結果であるが、これより、トンネル縦断面内の崩壊境界は、Hにほとんど影響されない事が分かる。Fig. 3(A)は、砂に若干の水分を含ませ、表面張力により砂に粘着力を与えた場合の実験結果である。なお、写真中の斜めのすべり線は乾燥砂の場合のものであり、(A)の結果とほぼ同一であった。粘着力が小さい場合には、崩壊領域がドーム状に形成され、崩壊がその上部方向に伝達されない。また粘着力がさらに増えるFig. 3(B)の場合には、切羽は完全に自立し、崩壊は全く発生しなかった。これより、若干の粘着力の導入は、切羽の安定に非常に有効である事が分かる。しかし、上記の実験は相似則が満足されていないので、切羽を安定させるに必要な粘着力の定量的な値を、上記の結果から求める事は出来ない。切羽周辺地盤の挙動を解明する一手法として、

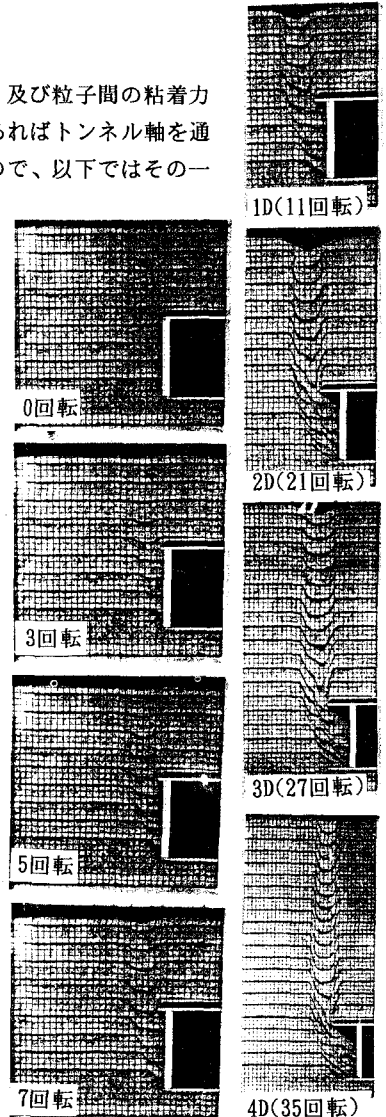


Fig.1 崩壊領域の発達(H=D)



Fig.2 土被り変化による崩壊領域

数値解析が挙げられるが、しかし用いる解析手法は粘着力の導入による地盤の崩壊と安定挙動を明確に表現できなければならないことは明かである。以下では、CEMが上記挙動を表現できるかについて検討する。

4. CEM解析結果

3種類の円形粒子を用い、切羽支持板の移動に伴う地盤挙動について、CEM解析を行った。Fig. 4は、導入粘着力Cのみの値を

(A) 0、(B) $1 \times 10^8 \text{ dyn/cm}^2$ 、(C) $2 \times 10^8 \text{ dyn/cm}^2$ 、

と3種類変化させた場合の粒子挙動について、粒子の位置と中心の変位ベクトルによって表現したものである。実際の現象は3次元であるが、本解析は2次元であり、また計算機の時間・費用の関係から、粒子半径が大きく粒子数が少ないなど、種々の改善すべき点はあるが、しかし粘着力のみの値を変化させる事により、切羽の完全な崩壊、一部の崩壊、及び安定挙動をCEMによってとらえる事が出来る事が確認できる。

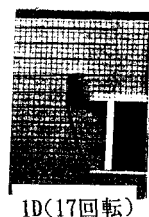
5. 結 論

以上から得られた成果は以下の通りである。

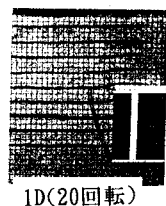
- 1) 乾燥砂地盤の崩壊領域はトンネル下端からほぼ一定の角度で上方に広がるが、しかしトンネル上端付近より上部では煙突状に上方に伝達していく。また、崩壊境界は土被りの影響をほとんど受けない。
- 2) 砂にある程度の粘着力がある場合には、崩壊領域がドーム状に形成され、崩壊がその上部方向に伝達されない。また粘着力がさらに増えると、切羽は完全に自立し、崩壊は全く発生しない。これより、若干の粘着力の導入は、切羽の安定に非常に有効である。
- 3) 地盤の完全な崩壊、ドーム状の一部の崩壊、及び切羽の安定といった実験事実を、CEM解析により表現できる事が明らかになった。

参考文献:

- 1) M. HISATAKE & T. MURAKAMI: Unified Analysis of Continuous and Discontinuous Behavior of the Ground by CEM, Proc. Int. Symp. Assessment and Prevention of Failure Phenomena in Rock Engg., Istanbul, April 1993.
- 2) 久武・村上: CEMによる地盤解析に関する考察, 第25回岩盤力学に関するシンポジウム, 1993.
- 3) 久武・村上・森: CEMによる連続体・不連続体の統一解析の試み, 第24回岩盤力学に関するシンポジウム, 1992.
- 4) 村上・久武: CEMにおけるパラメータと積分時間間隔の関係についての考察, 土木学会第47回年次学術講演会講演概要集, 第三部門, 1992.

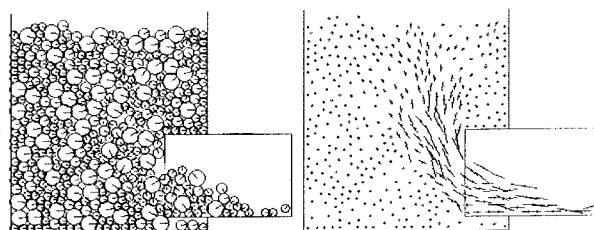


(A) 粘着力小

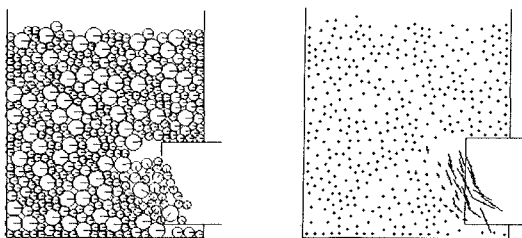


(B) 粘着力大

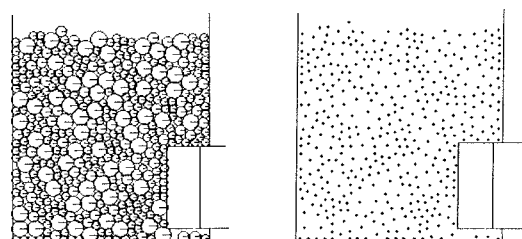
Fig.3 粘着力変化による崩壊域



(A) $C = 0$



(B) $C = 1 \times 10^8 \text{ dyn/cm}^2$



(C) $C = 2 \times 10^8 \text{ dyn/cm}^2$

Fig.4 粘着力(C)の違いによる粒子の動きと変位ベクトル