

トンネル切羽の CEM 解析による安定性評価

近畿大学 正会員 久武 勝保
 近畿大学大学院 学生会員 佐藤 光平
 上武建設 野村 武彦

1.はじめに

強度が小さい砂質系地盤にトンネルを建設する場合においては、切羽の安定が保たれない場合がよく発生する。本研究はトンネル建設における切羽の安定性や周辺環境への影響について、地盤の連続体・不連続体挙動を統一的に取り扱える CEM 解析^{1),2)}により予め評価する事を目的としたものである。まず、CEM 解析により二軸圧縮解析を行い CEM 入力パラメータ（摩擦角 f_e 、粘着力 c_e ）と、強度パラメータ（摩擦角 f 、粘着力 c ）の関係を明らかにする。次に、強度パラメータを種々変化させて切羽挙動解析を行い、強度パラメータと切羽の安定・崩壊特性の関係を明らかにする。そして著者の一人が既に提案した安全率⁴⁾によりこれらの結果を表現し、切羽の安定・崩壊特性を CEM 解析により判定できる事を示す。また、切羽接近に伴ってその前方地盤はトンネル軸方向に変位するが、切羽が崩壊する場合と安定する場合でこの変位がどのような挙動を示すかを解析により明らかにする。切羽前方地盤変位を現場計測する事により切羽崩壊を事前に把握できる事を示す。

2.解析手順

a)二軸圧縮解析

矩形の解析領域内に乱数発生・等方圧縮解析を行って供試地盤を作成した後、それに一定の拘束圧 σ_3 のもとで軸応力 σ_1 を載荷して定ひずみ圧縮解析をする。得られた軸応力、拘束圧、軸ひずみの3量を軸ひずみと軸差応力($\sigma_1 - \sigma_3$)の関係で表し、この関係から軸差応力の最大値を読み取り、モールの応力円を描く。このような解析を拘束圧を種々変化させて行い、モールの応力円群を作成し、摩擦角 f および粘着力 c を読み取る。これにより、 f, c の結果と CEM 入力パラメータ f_e, c_e との関係を明らかにする。

b)トンネル切羽解析³⁾

実地盤を想定した解析領域内に CEM 粒子を乱数発生・自由落下させ、種々の摩擦角・粘着力を導入した解析地盤を作成する。その後、切羽の変位を拘束していた土留壁を移動させ、切羽の安定・崩壊挙動の解析をおこなう。

c)トンネル切羽安定評価式⁴⁾

トンネル模型実験結果から導かれた切羽の安全率 F

$$F = 2c \cdot \tan(45 + f/2) / (g D) \quad (1)$$

ここで、 $F > 1$ ：安定、 $F < 1$ ：崩壊

g ：単位体積重量、 D ：トンネル径

を用いて上記 b)の結果を表現し、解析における切羽挙動と F の関係について検討する。

3.解析結果と考察

図.1 は二軸圧縮解析により得られた応力～ひずみ関係である。この結果から最大主応力、最小主応力を求め、

図.2 のモールの応力円を描き、 f, c を得る事が出来る。これによって、一組の(f_e, c_e)と(f, c)の関係が導き出される。次に、種々の(f, c)を有する地盤について、

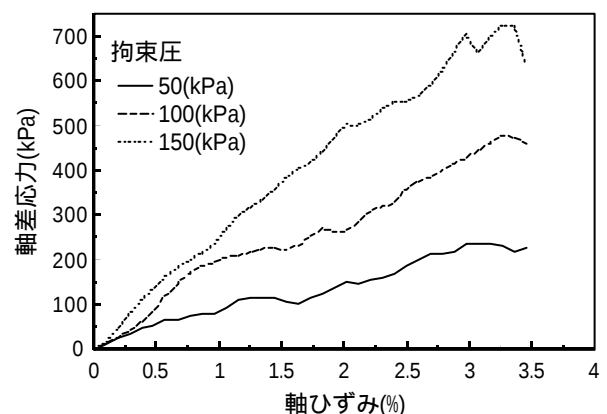


図.1 CEM 解析による応力～ひずみ

キーワード：トンネル切羽，安全率，個別要素法，崩壊，評価

連絡先：〒577-8502 東大阪市小若江 3-4-1 近畿大学理工学部社会環境工学科 Tel 06-6730-5880ext4673

トンネル切羽解析を行い、このパラメータと式(1)の F の関係を示せば図-3 が得られる。安全率 $F=1$ を境に安定・崩壊が明確に区別されている。なお、図-4 はいくつかのトンネル現場において計測された (f, c) の結果を式(1)に適用して F を算出し、この現場における切羽の安定・崩壊結果と F との関係を示したものである。この図においても $F=1$ を境に切羽の安定・崩壊挙動が明瞭に区別されているのが確認できる。従って、図-3 と 4 の解析と実測の安定・崩壊結果から CEM 解析によって切羽の安定・崩壊挙動を予測できる事が認められる。

次に、切羽接近によってその前方地盤のトンネル軸方向応力は減少するが、その際地盤変位がどのように発生するかについて、トンネル高さ 6m の実地盤を想定して CEM 解析を行い検討してみる。図-5 は切羽中央水平測線における地盤の坑口方向変位について、切羽が完全崩壊する場合、一部崩壊する場合、及び安定する場合について示したものである。切羽が崩壊する場合においては、切羽から奥行き 4m の位置から切羽にかけてトンネル軸方向変位が急増しているのが確認できる。この結果より、予め切羽前方に変位測線を埋設しておき、切羽接近に伴って坑口方向変位がどのような挙動を呈するかを把握できれば、崩壊の予測とそれを未然に防ぐ工法変更等に有効に役立たせる事が出来るのではないと思われる。

4. 結論

- 1) CEM 解析によって切羽の安定・崩壊を予測できる事を示した。
- 2) 切羽崩壊の予測とそれを未然に防ぐ工法変更等に有効に役立たせるために、切羽奥行き地盤の水平変位計測を行う事を提案した。

参考文献

- 1) 久武勝保・村上敏夫：地盤の連続体・不連続体挙動の統一解析手法，土木学会論文集，No.523/-32, pp.105-115, 1995
- 2) 村上敏夫・久武勝保・櫻井春輔：CEM による地盤のモデル化とその入力パラメータの決定法，土木学会論文集，No.529/-33, pp.11-18, 1995
- 3) 久武勝保：トンネル切羽の安定・崩壊挙動に関する基礎的研究，土木学会論文集，No.517/-31, pp.105-115, 1995
- 4) 久武勝保：トンネル切羽の静的・動的崩壊特性とその安定性評価，土木学会論文集，No.694/-57, pp.297-304, 2001

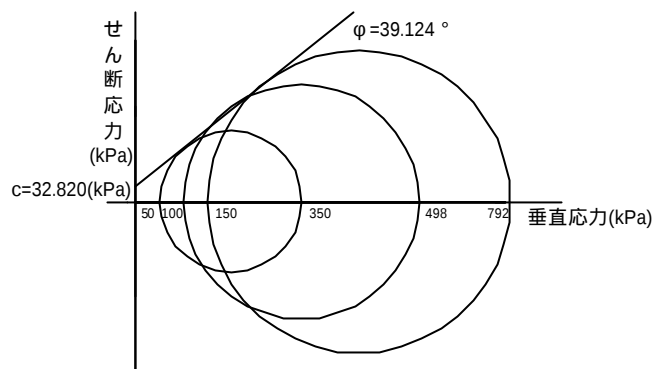


図.2 モールの応力円

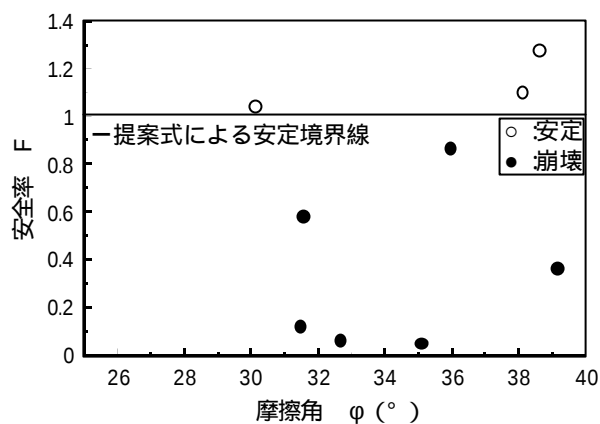


図.3 CEM 解析における安全率 F と f の関係

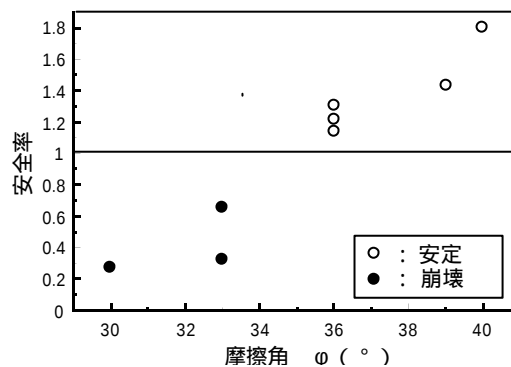


図.4 現場実測結果による安全率 F と f の関係

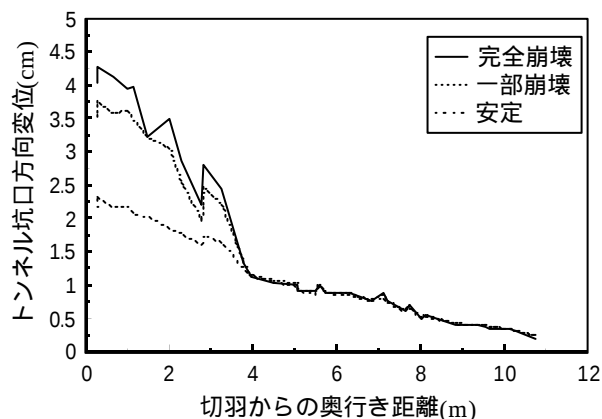


図.5 切羽前方地盤の坑口方向変位特性