

補助工法がトンネル切羽崩壊機構に及ぼす影響

熊本大学大学院 学生会員 高野 大樹
 熊本大学 正会員 大谷 順
 鹿島技術研究所 正会員 永谷 英基
 熊本大学大学院 学生会員 倉吉 祐輔

1. 目的

山岳トンネル工法やシールドトンネル工法掘削時における切羽前方の地山は、掘削時の応力解放によって不安定な状態となる。この際、切羽前方あるいは直上にすべり面が生じ、局部的な破壊や地表面まで到達するような大規模な崩壊に至ることから、山岳トンネル工法においては先受け工法や鏡ボルトなどの各種補助工法、シールドトンネル工法においては高度な切羽圧管理が必要となる。こうした切羽の安定問題に対して、これまでも実験的研究は数多くなされているが、その多くが二次元あるいは三次元面対象モデルでの検討であり、本来起きている三次元的な崩壊挙動については十分に解明されているとはいえない。著者らはこれまでに、トンネル切羽の三次元的な崩壊メカニズムの解明を目的に産業用 X 線 CT スキャナ装置に搭載可能で大規模な崩壊まで再現可能なトンネル引抜き実験装置を開発し、トンネル切羽崩壊時における崩壊領域の三次元可視化による分析を行い、切羽前方に生じるすべり面や緩み領域の定量的な評価を試みている。本研究は、先受け工法等の各種補助工法、特に今回は、先受け工の打設長が切羽崩壊メカニズムに及ぼす影響の解明を目的に、先に開発した実験装置及び産業用 X 線 CT スキャナを用い、補助工法の切羽崩壊機構に及ぼす影響を考察するものである。

2. 実験概要

実験装置を Fig. 1、実験手順を Fig. 2、また、実験ケースを Table 1 に示す。CT 撮影は、トンネル底面部から 2mm 間隔で模型地盤表面まで撮影し、画像解析によって鉛直断面や 3 次元画像の処理を行う。模型地盤は、乾燥状態の豊浦砂を使用し、空中落下法によって相対密度約 80% に設定した。なお、本論文では、トンネル引き抜き部の高さ 20mm を 1D とし、土被り厚 2D の模型地盤について実験を行っている。また、トンネル引き抜き量は、破壊領域が地表面に至らない局所的な崩壊を想定し、切羽高さの 1/10 となる 0.1D (2mm) とした。CASE2 及び CASE3 においては、補助工法を再現するために、塩ビ製のパイプを 120° の打設範囲に設置した。また、今回は、先受け工の打設長が地盤変状抑止効果に及ぼす影響を把握するために、打設長を 0.5D、1.0D の 2 ケースとした。先受け工の打設位置を Fig. 3 に示す。

3. 実験結果及び考察

Fig. 4 にそれぞれのケースにおける X 線 CT 撮影による水平断面画像を示す。全ケースにおいてトンネル切羽前方では、半楕円状の低密度領域が生じており、その形状については大きな違いは見られない。CASE1 では、トンネル天端から地表面に向かい、その範囲は拡大しており、トンネル上方においては楕円状へと変化し、地表面に近づくにつれて縮小していくことが確認できる。CASE2 においては先受け工の上方にも破壊領域は確認できるが、CASE1(無対策)と比較すると破壊領域は縮小していることがわかる。CASE3 においては、トンネル天端より上方において、破壊領域は確認できない。これらそれぞれのケースの画像データを 3 次元的に再構成し、トンネル側面をスライスした鉛直断面画像を Fig. 5 に示す。CASE1 においては、切羽底面からすべり線が曲線を描きながら切羽前方に 0.5D ほど延び、切羽上方においてアーチング効果によって閉じた領域を形成している。CASE2 においては、破壊領域は、先受け工によりそれ以上に発達することを遮られるも、先受け工の打設長が 0.5D と十分でないために切羽前方方向にずれた後、上方に発達しているが、その範囲は縮小しているのが確認できる。CASE3 では、先受け工の打設長が十分であるために破壊領域はトンネル天端より上方には達していない。以上の結果より、極限状態の崩壊に対する先受け工を施工する際の打設長としては、1D 以上あれば、十分にトンネル天端以上の地山の安定は十分保たれると言える。

4. まとめ

X 線 CT によるトンネル引き抜き実験の結果、先受け工を打設しても、切羽前方に向かってすべり面が発達することが確認できた。また、先受け工を施工する際は、打設長を 1D 以上とすると、トンネル天端より上方地山に発生する局所的な崩壊は抑止できることがわかった。最後に、Fig. 6 に崩壊領域の三次元画像を示す。補助工法についても、本実験手法によって 3 次元的な破壊領域が抽出可能であることから、今後は、鏡ボルトなど他の補助工法についても同様の実験を行い、その有用性を定量的に評価していきたい。

参考文献

- 1) 永谷ら 「トンネル切羽の三次元崩壊メカニズムの可視化」 応用力学論文集 Vol.7, pp.553-560, 2004
- 2) 土木学会 「プレライニング工法」 トンネルライブラリー第 10 号, 2000

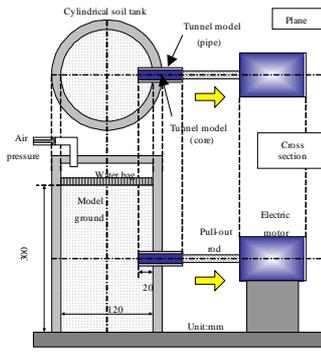


Fig. 1 Tunnel pull-out model test system.

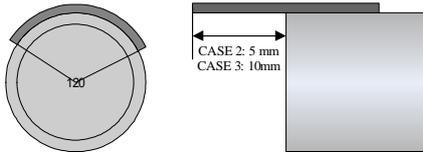
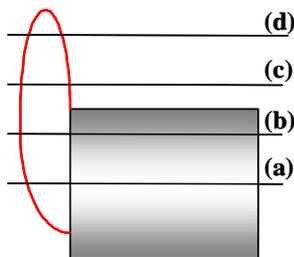


Fig. 3 Position of pre-lining.

Table 1. Test cases.

Test case	Overburden ratio	Pull-out length	Relative density	Pre-lining length	Pre-lining angle
		mm			
CASE 1	2D *	2	80	-	-
CASE 2	2D *	2	80	5 (0.5D)	120
CASE 3	2D *	2	80	10 (1.0D)	120

(*) 1D: Diameter of tunnel 20mm



Location of cross sectional images

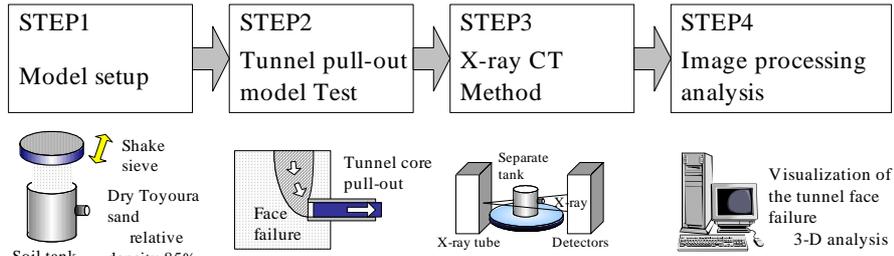


Fig. 2 Experimental procedure.

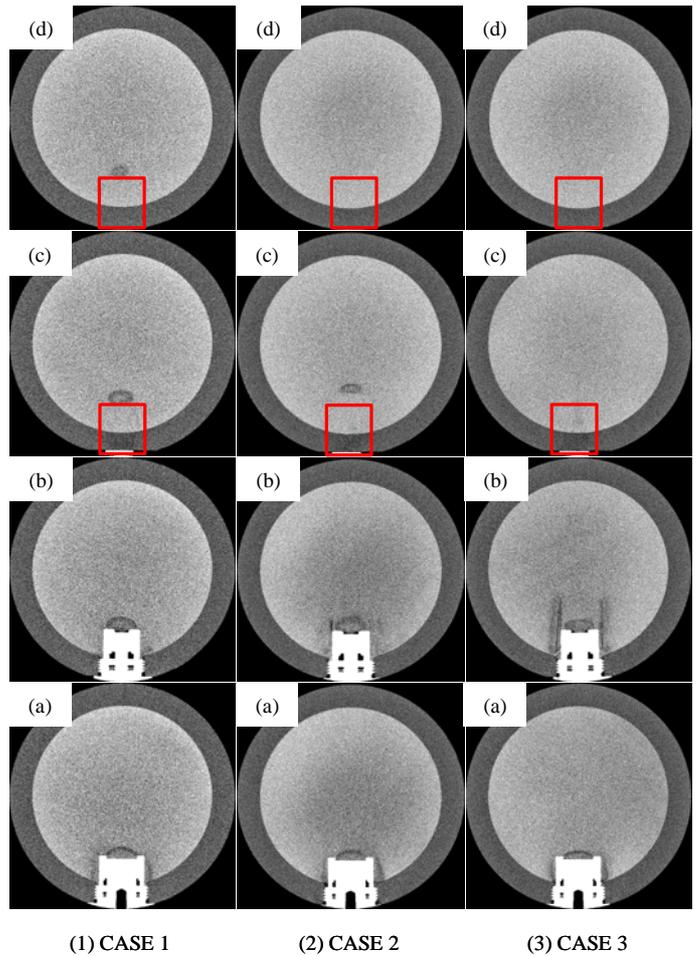


Fig. 4 Cross sectional images.

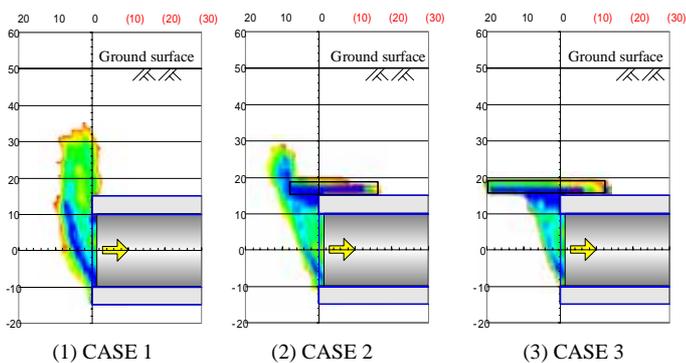


Fig. 5 Vertical cross sectional images from tunnel side.

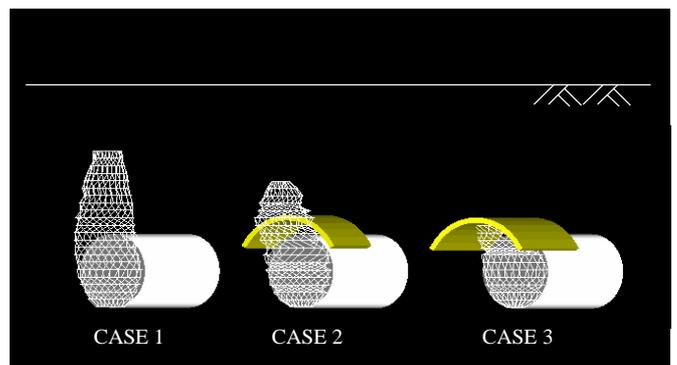


Fig. 6 3-D X-ray CT images of loosening zone.