

切羽崩壊機構の可視化に関する研究

熊本大学大学院 ○学生会員 高野大樹
 鹿島建設 正会員 永谷英基
 熊本大学 正会員 大谷 順
 熊本大学 古賀武寛

1 はじめに

山岳トンネル工法あるいはシールドトンネル工法などのトンネル掘削では、その切羽面の地山は掘削による応力開放で著しく不安定な状態となる。切羽のバランスが崩れる時、切羽前方地山にすべり面が生じ、局部的な破壊、あるいは、それが地表面まで達するような全面的な破壊に至る。

本研究では、地盤内のトンネル模型を引抜くことで切羽崩壊を模擬し、X線CT法により地盤内を観察することで、3次元的に破壊領域を可視化し、切羽崩壊機構を解明するとともに、土被りやトンネルの引抜き量に対する破壊領域の差異についても定量的な評価を試みるものである。

2 実験概要

研究を進めるにあたってまず CT 用トンネル模型実験装置を開発した。実験装置を図-1に示す。トンネル模型は外筒部と引抜き部から構成され、外筒部外径が 20mm、引抜き部外径が 13mm となっている。地盤材料は豊浦砂を用いており、相対密度は 85%とした。地盤を作成後、トンネル引抜き実験装置に円筒土槽を設置しトンネル引抜き部を引抜き、X線CT室で撮影を行った。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た。

本研究では、トンネル引抜き部外径 13mm を 1Dとし、4Dの土被りで引抜き量 1mm、引抜き速度 0.1mm/secを基本ケースとした。また、引抜き量が 10mm のケースや、土被りを 1D,2D,4D と変えた実験の計 4 ケースについて行った。実験ケースを表-1に示す。

3 実験結果

3.1 切羽崩壊機構の可視化

引抜き部を 1mm 引抜くことで切羽をやや緩ませ、切羽崩壊に至る極限状態について評価を行った。図-2にケース 1 での各断面での CT 画像を示す。鉛直断面画像を見ると、切羽前面でやや弧を描くすべり面が発達し、トンネル天端以上では、落し戸実験で見られるアーチング効果による破壊領域が確認できる。水平断面を見ると、トンネル切羽前方で半円状に広がるすべり面が、トンネル天端以上では楕円形状となり、上方に向かって小さくなるのが 3 次元的に把握できる。

次に、引抜き量を大きくすることで大規模崩壊時の切羽崩壊機構について検討を行った。(ケース 2) 土被りは 4 D とし、10mm 引抜いた。鉛直断面で明らかのように、破壊領域はほぼ地表面まで到達しており、地表面付近ではアーチング効果が認められ

た。水平断面からトンネル天端における破壊領域は、1mm 引抜ききの破壊現象と同様に楕円形状を示し、この楕円形状を維持しながら直上に発達していることが伺えた。

以上の実験結果をもとに、極限状態から大規模崩壊に至る際の切羽前方すべり面、並びに上方破壊領域について、3次元細線化画像を作成することで比較を行った。その結果を図-3に示す。切羽前方に生じるすべり面は、極限状態から大規模崩壊に至っても大きな変化は見られない。また、上方破壊領域に関しては、極限状態からそのまま直上に破壊領域が発達することがわかった。

3.2 土被りがアーチング効果の形成に及ぼす影響

切羽崩壊時に十分な土被りがある場合、アーチング効果により破壊領域(緩み領域)が生じることを X線CT法により可視化した。土質条件によって異なるが、一般的に 1Dから 2D以上の土被りでアーチングが形成されるとされている。そこで、土被り比が 1D(ケース 4)、2D(ケース 3)、4D(ケース 1)について破壊領域の比較を行い、アーチング効果について検証する。図-4に 3次元画像を全 3 ケースについて示す。2D 以上ではアーチング効果が現れ、切羽前方におけるすべり面形状などに違いが見られないことが確認できる。

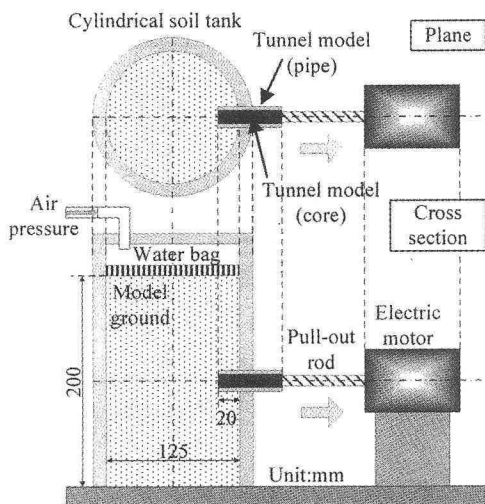
以上の結果をもとに、切羽前方の破壊領域の体積を算出し土被り比との関係について図-5に示す。その結果、1Dは地表面まで破壊領域が到達したため異なるが、2Dと4Dは破壊領域の体積がほとんど同じであった。このことより、十分なアーチング効果が発揮できる土被りの限界が 2Dであり、それ以上では破壊領域の形成に土被りは影響しないことを定量的に確認することができた。

4 まとめ

本実験手法により、切羽崩壊機構を 3 次元的に可視化することができた。これにより、破壊領域は切羽前方に半球状のすべり面が生じ、トンネル上方では円筒状となり直上に発達することが確認できた。また、土被り比 2D 以上ではアーチング効果が生じ、破壊領域の形状や体積に大きな違いが生じないことが確認できた。

今後は、切羽面土圧の計測や上載圧を付与した状態での実験、そして、粘着力を考慮した地盤材料での実験を行い、3次元効果に着目した切羽崩壊機構の解明を進める予定である。

参考文献：小西真治「砂と粘性土の相互地盤の切羽安定評価に関する研究」京都大学博士論文、2000



Test case	Overburden ratio	Overburden depth	Pull-out length	Pull-out velocity
		mm	mm	mm/sec
1	4D	52	1	0.1
2	4D	52	10	0.1
3	2D	26	1	0.1
4	1D	13	1	0.1

1D:Outer diameter of tunnel core

表-1 実験ケース

図-1 CT用トンネル模型 実験装置

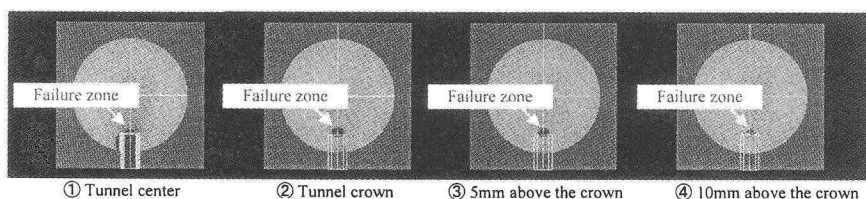
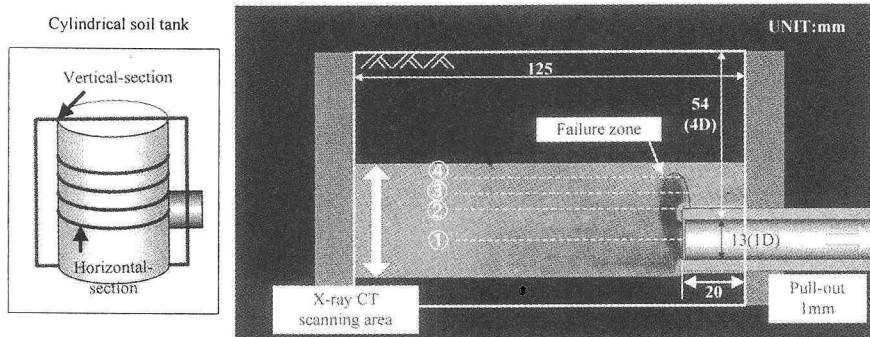


図-2 CT断面画像(1mm 引抜き)

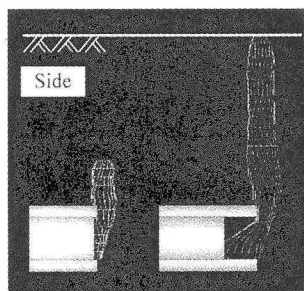


図-3 三次元細線化画像による比較

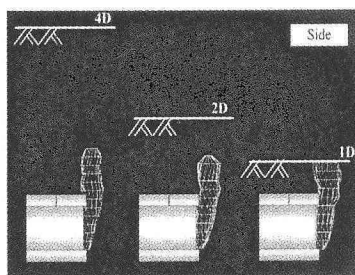


図-4 土被りの違いによるアーチング効果

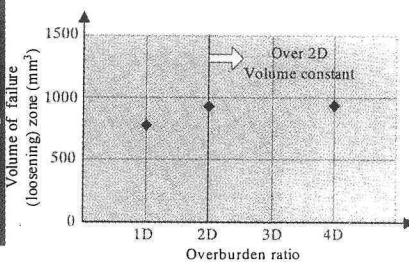


図-5 破壊領域と土被り比の関係