トンネル崩壊挙動に関する模型実験

近畿大学大学院 学生会員 〇中村 尚人 小林 嵩 近畿大学 正会員 久武 勝保 大野 司郎

## 1. 緒論

近年低土被りのトンネル施工に NATM を適用する 事例が増加しているが、建設中のトンネルの崩壊はし ばしば生じており,その代表例として牛鍵トンネルの 事故が広く知られている.しかし、そのような事例が あるにも拘らずトンネル崩壊に関するメカニズムは十 分解明されているとは言えない.

そこで、本研究は一定土被りのトンネルにおいてト ンネルが動的崩壊する過程をビデオカメラで撮影し, その結果を粒子画像流速測定法(PIV)によって変位べ クトル等を算出し分析した.

## 2. 実験装置および実験方法

本研究で使用した実験装置およびその設置状況を写 真1に示す.本実験では幅40cm,奥行き5cmの領域 内に,初期土被り 1.5cm のトンネルを設定した. そこ から1層約5mmの厚さでアルミ棒を1層ずつ載荷し ていき、この作業をトンネルが崩壊するまで続け、崩 壊状況をビデオカメラで撮影した.使用アルミ棒は, 摩擦角 31°,長さ 5cm,直径 3mm および 1.5mm の ものを2対3の比率で混合し、地盤の単位体積重量は 2.1g/cm<sup>3</sup>である.トンネルは直径 5cm のパイプに厚さ 0.095mmのコピー用紙を2枚重ねたものを緩まない ようにパイプに巻きつけ、それをトンネル設置部分に 設置し、アルミ棒を初期土被りの高さまで積み上げた 状態でパイプを抜き取り,実験を開始した.



写真1 実験装置

## 3.実験結果と考察

トンネル崩壊は土被りが 2.5D(D:トンネル直径)に 達してから、約1分30秒後に始まった.写真2の崩 壊開始時の状態を時間0秒としている.

写真2より、トンネルの左の肩部分より崩壊が生じ 始めていることが分かる.そして、崩壊開始から 0.03 秒経過した写真3の状態ではトンネル左肩付近のアル ミ棒がトンネルになだれ込んでいる.

トンネルの肩部分から崩壊が発生する結果は、久武 らの研究結果1)と一致している.

崩壊開始 0.06 秒(0.03 秒~0.06 秒)の状況を写真 4 に 示す.写真3と比べると、変位発生領域が地表面にま で達しており,またトンネルは原形をとどめていない.

崩壊開始 0.09 秒(0.06 秒~0.09 秒)の状況を写真 5 に 示す. これより, 崩壊がほぼ終了段階に達しているこ とが分かる.また、トンネル上部から地表面に至る領 域が他の部分に比べて色が異なることから、この部分 全体が崩落していることが分る.



キーワード:トンネル、崩壊、アルミ棒実験 連絡先:〒577-8502 東大阪市小若江3-4-1 近畿大学理工学部 TEL:06-6730-5880



写真4 崩壞開始0.06秒



写真5 崩壞開始0.09秒

崩壊開始から 0.03 秒経過した状態の変位ベクトル を図 1-a に示す.これより,崩壊領域が鉛直上方だけ でなく左右に広く発達していることが分る.

これは、テルツァーギの論文の結果<sup>2)</sup>よりも広い範囲に変位領域が発達していることを示している.

また,この結果から変位発生領域はトンネルから斜 め方向に直線的に発達するのではなく,トンネル下部 からトンネル高さまでは斜め方向,トンネル上端から 地表面までの中間までは鉛直方向,そこから地表面ま では再び斜め方向に発達している.

崩壊開始 0.06 秒(0.03 秒~0.06 秒)の変位ベクトルを 図 1-b に示す.これより,図 1-a に比べて崩壊領域が さらに広くなり、またベクトルの長さが長くなってい ることから、たくさんのアルミ棒がトンネルに向かっ て崩落またはなだれ込んでいる状況がうかがえる.

また、トンネルの左領域のベクトルが右領域のそれ と比べるとより多く発達している.これはトンネルの 左肩部分から崩壊が発生しているためだと考えられる.

崩壊開始 0.09 秒(0.06 秒~0.09 秒)の変位ベクトルを 図 1-c に示す. これより、ベクトルが発達している領 域が図 1-b より減少しており、またトンネル周辺で変 位が鉛直に分布している. これは崩壊が終了し始めた ためだと考えられる.

また、写真の結果とベクトル図を比較すると、写真 では崩壊がトンネル上部領域付近に発達していること が見てとれるが、変位ベクトル図ではトンネル上部領 域以外にもかなり広い範囲に崩壊領域が発達している



図 1-c 変位ベクトル(0.09 秒)

という、写真の結果だけでは認められなかったことが 確認できた.

## 4. 結論

本実験より、トンネルが崩壊する過程を写真、変位 ベクトルにより表現することができた.トンネルが崩 壊する際にはかなり広い範囲に崩壊領域が発生し、ト ンネル上部が崩落するだけではなく周辺部からもトン ネルに向かってなだれ込んでいることが確認できた. 参考文献

- 1)久武勝保,大野司郎,片山達章,大前幸寛,鈴木啓 介:トンネルの安定性に対するインバート工の効果 に関する遠心模型実験,土木学会論文集F1特集号, Vol.67, No3, pp.1-8, 2011.
- 2)Terzaghi, K : In Proctor, R.V., White, T.(Eds), Rock defects and load on tunnel supports rock tunneling with steel supports.Commercial Shearing and stamping Co., Youngstown, Ohio, pp.15-99, 1946.