

開削トンネル模型の側壁破壊時における耐力把握のための静的載荷実験

京都大学大学院 正会員 ○川西 智浩

京都大学大学院 正会員 清野 純史

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 井澤 淳

1. はじめに

兵庫県南部地震における神戸高速鉄道の大開駅の崩壊事例のように、開削トンネルの中柱・中壁がせん断破壊した場合にはトンネル全体が崩壊し、大きな被害が生じる¹⁾などが、その他の部材が損傷した場合にトンネル全体系がどのような破壊となるかはよくわかっていない。そこで、開削トンネルの耐震設計や既設トンネルの耐震診断においては、安全側の配慮から、高架橋と同様にトンネルを構成する部材ごとに破壊形態の確認（せん断破壊の防止）および損傷レベルの照査を行っており、どれか一部材でも破壊した場合、トンネル全体の安全性が確保されず、設計変更や耐震対策が必要になってくる。

しかし、開削トンネルは一般に不静定構造であるため、その構造の特性を考慮すると、どこか一部材が破壊しても構造物としての形状は確保され、構造全体系としての安全性が確保される場合も十分考えられる。そこで本検討では、中柱以外の部材として側壁を取り上げ、側壁が大きく損傷した場合におけるトンネル全体の破壊状況や耐力を把握するため、鉄筋コンクリートを用いた1層2径間の開削トンネル模型を製作し、静的載荷試験を実施した。

2. 実験概要

製作した1層2径間の開削トンネル模型を図1に示す。トンネル模型部の寸法は幅1.6m×縦0.95mであり、奥行きは1mである。また、中壁の厚さは0.1m、その他の部材厚さは0.15mである。別途コンクリートの圧縮試験を実施したところ、圧縮強度は 29.7N/mm^2 であった。また、トンネルの各部材にはD6(SD295)の主鉄筋および帯鉄筋を配置しているが、今回の検討では中柱以外の部材として、側壁がせん断破壊した場合のトンネル全体系の耐力把握を最終目的とすることとし、側壁については帯鉄筋を配置せず、主鉄筋のみの配置とした。

次に、気中静的載荷実験の状況を図2に示す。下床版を床に固定し、左側壁の上方をアクチュエーターで右方向に静的載荷する。また、トンネルの上載荷重を模擬するために、トンネル上部に計20kNのインゴットを載せた。アクチュエーター位置の変位および荷重を測定するとともに、供試体の損傷状況を逐次目視にて確認することで、トンネルの荷重-変位関係と損傷状況の対応関係を整理することとした。

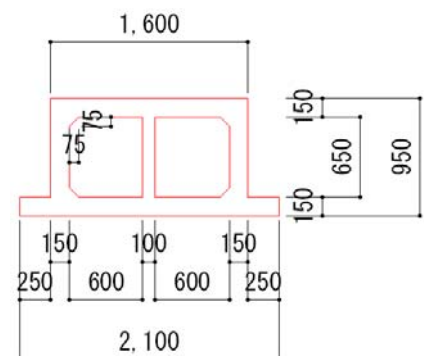


図1 開削トンネル模型（寸法単位：mm）

3. 実験結果

アクチュエーター位置での荷重-変位関係および損傷状況を図3に示す。実際の載荷では供試体の状況確認のために1~2mmおきにアクチュエーターの制御を止めており、細かな荷重低下がその度に起きているが、図3(a)ではピーク値のみを抽出して荷重-変位関係を作成している。

まず、変位が約7mm（変形角：約7/1000）になった時点で鉄筋の破断音がしたため状態を確認したところ、左上隅角部、右下隅角部、右側壁に曲げひび割れを確認したが、鉄筋の破断箇所は確認できなかった(①)。載荷が進むにつれて、左側壁や中壁にも

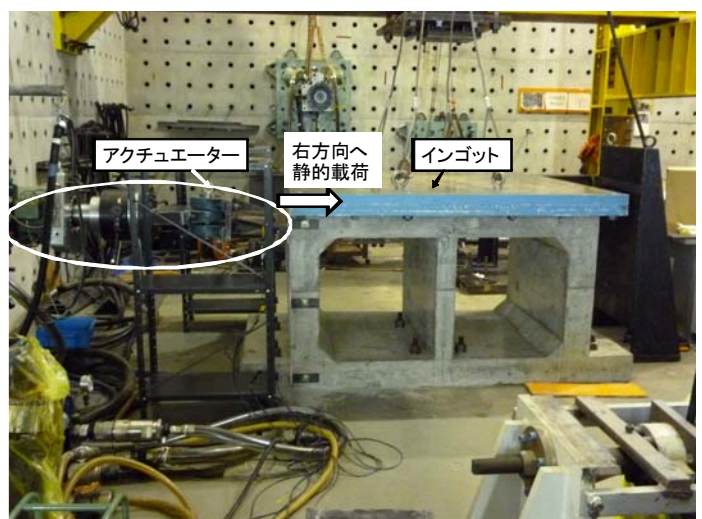


図2 静的載荷試験状況（載荷前）

キーワード 開削トンネル、静的載荷実験、せん断破壊

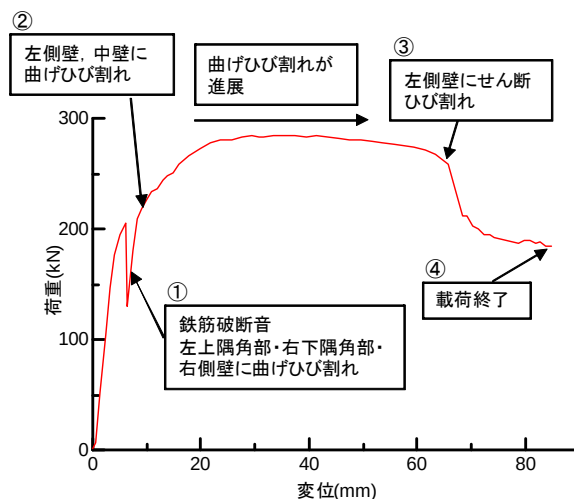
連絡先 〒615-8530 京都市西京区京都大学桂 船井交流センター TEL 075-383-7558 FAX 075-383-3410

曲げひび割れが発生した (②)。左右側壁の曲げによる損傷が進行する形でトンネルが変形していったが荷重は増加し続け、変位が約 30mm (変形角: 約 32/1000) の時点で最大荷重点に達した。その後さらに载荷を続けたところ、曲げ変形が進行したが全体系の耐力はそれほど減少することなく変形が増大していった。そして変位が約 67mm (変形角: 約 70/1000) の時点で左側壁にせん断ひび割れが発生し (③)、これに伴いトンネル全体系の荷重がピーク時の 7 割程度にまで減少した。载荷が進むにつれてせん断ひび割れの幅が大きくなるとともに、ひび割れが貫通したが、トンネル全体系の荷重はほとんど減少せず、図 3 (a) の④および図 4 に示すように、変位が約 85mm (変形角: 約 89/1000) に達しても、全体系が崩壊することにはなかった。

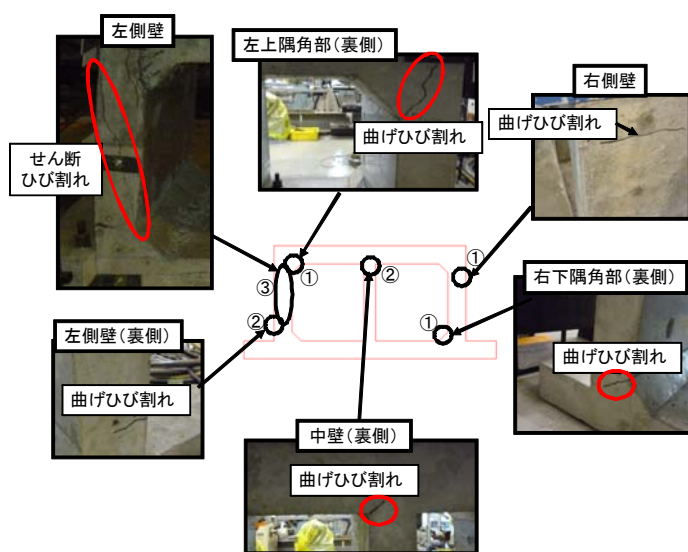
本実験では中壁の曲げに対する変形性能が高く、せん断破壊も起こさなかった。したがって、側壁がせん断破壊を起こしても中壁が崩壊しなければ、ある程度上床版やその上方の荷重を支えることができ、トンネル全体系の崩壊は免れることがわかった。

4. まとめ

本検討では、主に側壁にせん断破壊を含む大きな損傷が発生した場合に、トンネル全体系の形状や荷重・変位関係に及ぼす影響について検討を行った。その結果、中壁が大きく損傷しなければ、側壁の曲げ破壊が相当進行してもトンネル全体系の耐力はそれほど低下しないことを確認した。また、側壁がせん断破壊を起こすことでトンネル全体系の耐力は低下するが、せん断破壊が進行しても中壁が破壊しなければそれほど荷重は低下せず、トンネル全体系が崩壊しないことがわかった。今後は、トンネル各部材の破壊形態が異なるケースについても実験を実施するほか、破壊の評価方法について検討していく予定である。



(a) アクチュエーター位置の荷重-変位関係



(b) 損傷時の状況

図 3 実験結果と主な損傷状況

また、側壁がせん断破壊を起こすことでトンネル全体系の耐力は低下するが、せん断破壊が進行しても中壁が破壊しなければそれほど荷重は低下せず、トンネル全体系が崩壊しないことがわかった。今後は、トンネル各部材の破壊形態が異なるケースについても実験を実施するほか、破壊の評価方法について検討していく予定である。



(a) 正面より



(b) 反対側より

図 4 载荷終了時 (④) の損傷状況

参考文献 1) 矢的照夫, 梅原俊夫, 青木一二三, 中村晋, 江寄順一, 末富岩雄: 兵庫県南部地震による神戸高速鉄道・大開駅の被害とその要因分析, 土木学会論文集, No.537/I-35, pp.303-320, 1996.