

開削トンネルの破壊箇所がトンネル全体の耐力に及ぼす影響把握のための実験的研究

(公財) 鉄道総合技術研究所 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

開削トンネルの中柱・中壁がせん断破壊した場合には、兵庫県南部地震における神戸高速鉄道の大開駅のように、トンネル全体が崩壊し、大きな被害が生じることが危惧される一方、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。著者らはこれまでに、開削トンネル模型を用いて主に側壁にせん断破壊を含む大きな損傷を発生させる静的載荷試験（以下、前回の実験）を実施しており¹⁾、その結果、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一定の耐力を維持できることを確認している。ただし、この結果は限られた条件下における1ケースの実験結果に過ぎず、大きく損傷する部材の違いによる影響など、実験における結論の確度の向上を目指すためには、さらなる実験ケース・データの蓄積が必要である。そこで本報告では、前回の実験から条件を変化させて開削トンネル模型の追加実験を行い、開削トンネルの破壊箇所がトンネル全体の耐力に及ぼす影響について検討した結果を示す。

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1.6(m)×縦0.95(m)、奥行きは1(m)であり、これは前回の実験と同じである。また今回の実験では、側壁の厚さを0.1(m)、その他の部材厚さを0.15(m)としており、さらに中壁のみせん断補強筋を配置しない仕様とすることで、前回の実験と違って中壁がせん断破壊しやすくなるようにしている。また、前回の実験ではハンチ筋を設けていなかったが、ハンチ部分のひび割れも大きくなったことから、今回はハンチ筋も配置することとした。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 $34.2(\text{N}/\text{mm}^2)$ であり、主鉄筋、せん断補強筋、ハンチ筋にはD6(SD295)を用いた。

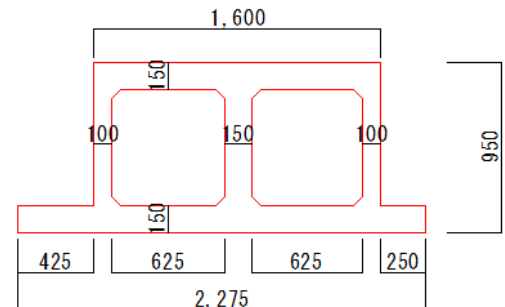


図1 開削トンネル模型（寸法単位：mm）

次に、気中静的載荷実験の状況を図2に示す。前回の実験と同様、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40(kN)のインゴットを載せている。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。データ整理における荷重としてはアクチュエーターに取り付けられたロードセルにて計測された荷重を用い、一方、変位につ

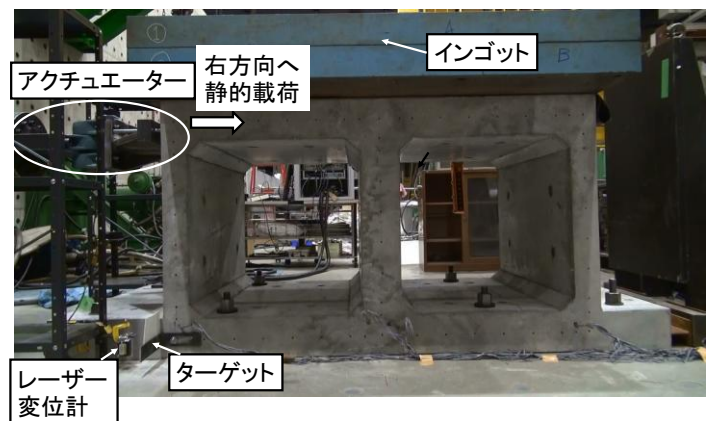


図2 静的載荷試験状況（載荷前）

いては、トンネルを下床版に固定しているものの、載荷時に滑りによるズレが生じる可能性があることから、下床版位置にターゲットを取り付け、レーザー変位計にてトンネル自体の変位量を測定し、アクチュエーター位置での変位からトンネル自体の変位を引くことにより求めたトンネルの相対変位を、データ整理に用いることとした。

3. 実験結果

トンネル模型の荷重-相対変位関係および損傷状況を図3に示す。図には側壁をせん断破壊させた前回の実験結果

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 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 TEL 042-573-7394 FAX 042-573-5326

も示している。実際の載荷では、供試体の状況確認のためにその都度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では全時刻データを用いて描かれる荷重-変位関係を概ね包絡できるようなタイミングの値のみを抽出して、荷重-変位関係を作成している。

まず、荷重が増加するにつれて、隅角部や中壁に曲げひび割れが生じ始めるが、荷重はそのまま増加し続ける(①)。その後、相対変位が約10(mm) (変形角：約11/1000) になった時点で、中壁にせん断ひび割れが現れ始める(②)。この時点で荷重はピークとなり、その後一気にせん断破壊が進行する。続いて、相対変位が約17(mm) (変形角：約18/1000) になった時点から、右側壁にもせん断破壊が現れ始めて荷重が急激に低下し、まもなく右側壁のせん断ひび割れも貫通した(③、図4(a))。

その後いったん耐力は回復するものの、ピーク値の半分程度まで耐力は低下しており、さらなるせん断破壊の進行とともに荷重は徐々に低下していく(④)。相対変位が約102(mm) (変形角：約107/1000) になると中壁に別のせん断ひび割れも現れ始め、このあたりから上床版が崩れ落ち始める。なお、インゴットの設置状況の都合で途中からインゴットが上床版から浮き始めてしまい、上載荷重が十分に載っていないことも影響しているが、上床版が完全に崩落する形にはならず、相対変位が約351(mm) (変形角：約369/1000) の時点で載荷を終了した(⑤、図4(b))。

前回の実験では、中壁の変形性能を高めるとともに側壁がせん断破壊しやすくなるようにトンネル模型を製作し、側壁が破壊しても中壁の損傷が軽ければトンネルは一定の耐力(前回の実験では7割程度)を維持できる可能性があることを確認したが、今回の実験では最初にせん断破壊する箇所が中壁になることで、その後側壁にもせん断破壊が起こって耐力の低下割合がより大きく、耐力の急激な低下後に再び耐力が安定した後でもピーク時の半分程度となっている。前回の実験と今回の実験は、破壊箇所の違いを生じさせるために部材厚さや配筋を変える一方、上載荷重やハンチ筋の有無などその他のいくつかの条件が異なっているものの、破壊箇所の違いがトンネル自体の破壊状況や残存耐力にも影響を及ぼす可能性があることがわかった。

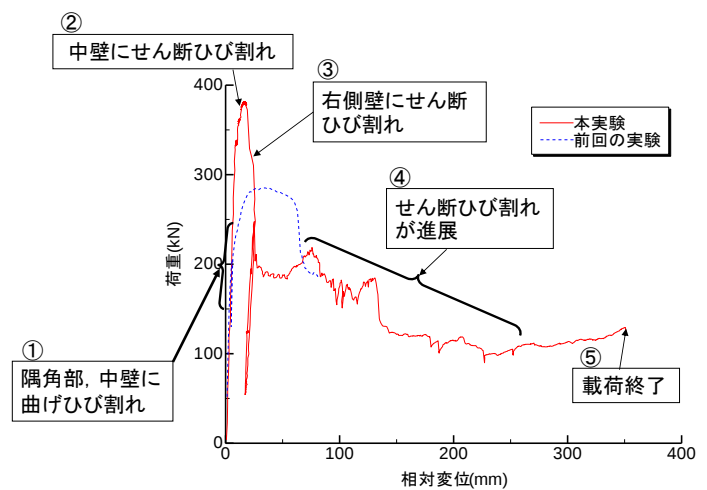


図3 荷重-相対変位関係



(a) ステップ③



(b) ステップ⑤ (載荷終了時点)

図4 主な損傷状況

4. まとめ

本検討では、最初に中壁がせん断破壊するようなトンネル模型を製作して静的載荷試験を実施し、側壁をせん断破壊させた実験結果と比較することで、破壊箇所の違いがトンネル自体の破壊状況や残存耐力に及ぼす影響を確認した。今後は、解析による破壊の評価方法について検討していく予定である。

参考文献 1) 川西智浩, 清野純史, 井澤淳: 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, 第67回土木学会年次学術講演会講演概要集, I-548, pp.1095-1096, 2012.