

開削トンネル部材のせん断破壊による全体系の耐力低下に関する解析的検討

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○川西 智浩
 (公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 室野 剛隆
 (公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 井澤 淳
 京都大学大学院 正会員 清野 純史

1. はじめに

開削トンネル部材がせん断破壊した場合には、トンネル全体系の耐力にも影響を及ぼすと考えられるが、部材のせん断破壊とその耐力低下量の関係についてはまだ明らかになっていない。そこで本研究では、開削トンネル部材をせん断破壊させた静的載荷実験¹⁾²⁾のシミュレーションを、せん断破壊する部材を無視したりせん断破壊部材の非線形特性を変えた応答変位法を用いて実施することにより、各部材のせん断破壊時におけるトンネル全体系の耐力低下量を把握する方法について検討する。

2. シミュレーション手法

シミュレーションの対象となる開削トンネル模型および静的載荷実験の概要を表1に示す。Case1のトンネルは側壁にせん断補強筋を配置しない一方、中壁はせん断耐力を十分有する条件とすることで、トンネル全体として側壁がせん断破壊しやすい構造であり、Case2のトンネルはCase1とは逆に、中壁のせん断補強筋を配置しないことで、中壁がせん断破壊しやすくなる構造である。静的載荷実験の詳細については、文献1)2)を参照されたい。次に、本検討において用いる解析モデルを図1に示す。静的載荷実験では、左右側壁および中壁におけるハンチ部と一般断面部の境界位置で曲げひび割れが発生していることから、この箇所にRC部材の

M-θ 関係を表す回転ばねを設け、それ以外の箇所については剛体として開削トンネルをモデル化する。また本検討では、開削トンネル構成部材をすべてモデル化した通常モデル ((a)および(c))に加えて、Case1では左側壁、Case2では中壁がそれぞれ先行してせん断破壊していることを勘案し、これらの部材を無視したモデル ((b)および(d))も検討に用いることとした。次に、RC部材のM-θ関係のモデル化を図2に示す。鉄道の耐震標準³⁾では、RC部材のM-θ関係を、C点、Y点、Yb点、M点、N点を結ぶテトラリニア型の骨格曲線でモデル化している。本検討ではまず、耐震標準に基づきテトラリニア型の骨格曲線を設定し、鉄筋の伸び出しを考慮して図2(a)に示すようにその骨格曲線を修正したものを、「基本型」のM-θ関係とする。次に、静的載荷実験における各部材のせん断破壊を模擬するために、図2(b)に示すよう

表1 開削トンネル模型および静的載荷実験の概要

Case No.	開削トンネル模型の特徴	実験結果の概要
Case1 ¹⁾	側壁せん断破壊型	左側壁がせん断破壊
Case2 ²⁾	中壁せん断破壊型	中壁がせん断破壊した直後、右側壁がせん断破壊

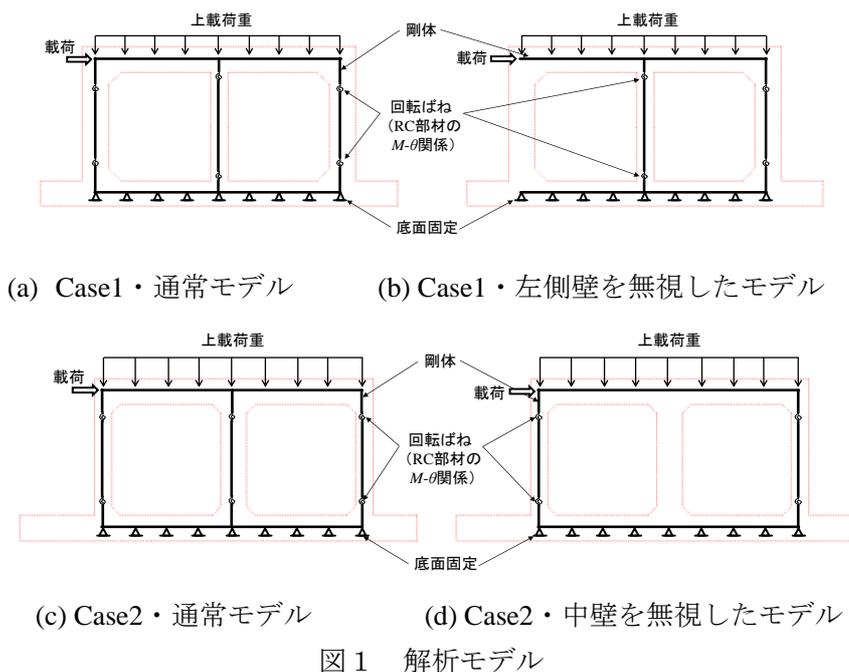


図1 解析モデル

キーワード 開削トンネル, せん断破壊, 側壁, 中壁, シミュレーション

連絡先 〒185-0034 東京都国分寺市光町 2-8-38 TEL 042-573-7336 FAX 042-537-5326

に、変形角 θ_s で当該部材のモーメントが0に向かって低下するモデルを「耐力消失型」の M- θ 関係として設定する。 θ_s の値は、静的載荷実験における各部材のせん断破壊のタイミングにあわせて設定する。以上の解析条件を踏まえて設定した、本検討における解析ケースを表2に示す。

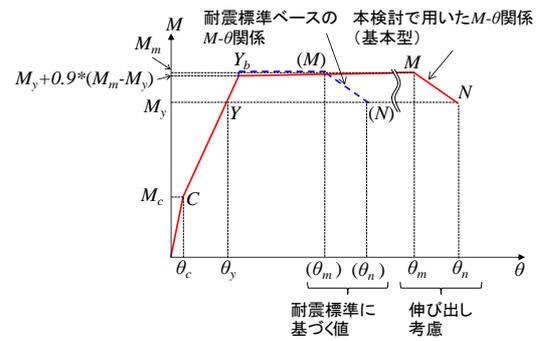
3. 検討結果

Case1, Case2 における開削トンネルモデルの荷重-変位関係を、静的載荷実験における荷重-変位関係とともに図3に示す。Case1 に着目すると、静的載荷実験において左側壁がせん断破壊したことに伴い全体系耐力が低下するが、その低下量は、解析ケース 1-A と解析ケース 1-B の最大荷重の差と概ね整合しており、左側壁のせん断破壊に伴って、通常モデルの荷重-変位関係から左側壁を無視したモデルの荷重-変位関係に徐々に乗り移るような形になっている。一方、解析ケース 1-C の荷重-変位関係を見ると、左側壁の変形角が θ_s に到達したことで、実験結果と同様に通常モデルから左側壁を無視したモデルへの荷重-変位関係の乗り移りが起こっている。したがって、開削トンネルにおいて側壁のせん断破壊が起こる場合の全体系耐力の低下量は、その側壁がそれまで負担していた水平力(部材のせん断力)の損失量に概ね等しく、せん断破壊する部材を無視したモデルへの荷重-変位関係の乗り移り、あるいは耐力消失型の M- θ 関係を用いることで、せん断破壊時の荷重-変位関係が概ね表現できることがわかる。Case2 では、中壁・右側壁両部材のせん断破壊による耐力低下が混合した状態になっているが、部材のせん断破壊による耐力低下量が、せん断破壊部材を無視したモデルへの荷重-変位関係の乗り移りや耐力消失型の M- θ 関係を用いることで表現可能な傾向は同様である。

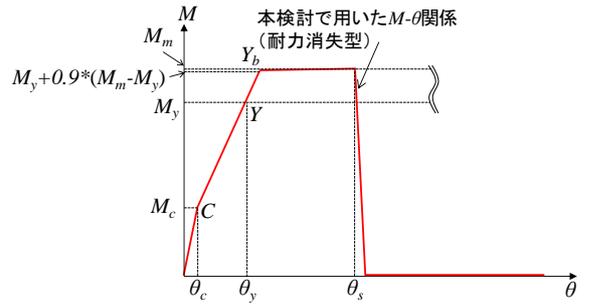
4. まとめ

本研究では、開削トンネルの部材がせん断破壊した場合の静的載荷実験のシミュレーションによりせん断破壊時の全体系の耐力低下量を把握する方法について検討した。その結果、開削トンネル部材がせん断破壊する場合の全体系の耐力低下量は、当該部材を無視したモデルへの荷重-変位関係への乗り移り、あるいはせん断破壊する部材に対して耐力消失型の M- θ 関係を用いることで概ね表現できることがわかった。

参考文献 1) 川西ら：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，2012. 2) 川西ら：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，第 68 回土木学会年次学術講演会，2013. 3) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計），平成 24 年 9 月。



(a) 基本型

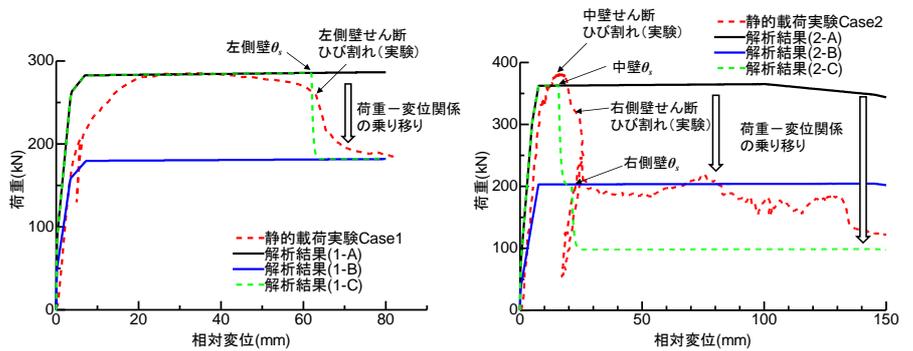


(b) 耐力消失型

図2 解析モデル

表2 解析ケース (全ケースとも、トンネル左上部を右方向へ押して静的載荷する)

実験ケース	解析ケース	解析モデル	RC部材のM-θ 関係
Case1	1-A	通常モデル	すべて基本型
	1-B	左側壁を無視したモデル	すべて基本型
	1-C	通常モデル	中壁・右側壁：基本型 左側壁：耐力消失型
Case2	2-A	通常モデル	すべて基本型
	2-B	中壁を無視したモデル	すべて基本型
	2-C	通常モデル	左側壁：基本型 中壁・右側壁：耐力消失型



(a) Case1

(b) Case2

図3 シミュレーション結果

がせん断破壊する場合の全体系の耐力低下量は、当該部材を無視したモデルへの荷重-変位関係への乗り移り、あるいはせん断破壊する部材に対して耐力消失型の M- θ 関係を用いることで概ね表現できることがわかった。