

都市内既設開削トンネルの耐震性能照査検討

首都高速道路株式会社
日本技術開発株式会社
日本技術開発株式会社

正会員
〇中西 禎之
佐伯 宗大
蟹江 名担

1. はじめに

平成7年兵庫県南部地震以降、首都高速道路では地下構造物に対しても、レベル2地震動に対する耐震検討を行ってきた。現時点において、解析法や評価方法などの照査手法を確立しつつある。

既設開削トンネルのレベル2地震動を対象とした耐震性照査として、図-1に示すような耐震性能照査フローを設定し、2次元材料非線形動的解析（プログラムコードWCOMD）を用いた照査を行なった。本報告では、その耐震性能照査方法とその事例について報告する。

2. 耐震性能照査フローに基づく照査概要

これまでトンネル耐震補強の考え方は、トンネル全体の崩壊に繋がる恐れのあるせん断破壊先行型の中壁・中柱に着目し、せん断補強を実施することとしていた。しかしながら、その場合、補強対象が数多くなり高速道路の長期間の工事規制による社会的影響がかなり大きなものとなることが考えられることから、できる限り精度よく合理的な耐震性能照査を実施することが求められる。

トンネルは、地震時に部分的な損傷を生じるが構造全体の崩壊が生じなければ、耐震性能2を満足できると考えられる。そのため、既設トンネルの横断面の照査では、トンネル構造全体としての崩壊の有無に着目し、図-1に示す耐震性能照査フローを設定して照査を実施することとした。

1) 照査1：WCOMD 動的解析による耐震性能照査

ひずみ量により「軽微な損傷」「重度の損傷」「破壊」を判定する。

損傷程度の定義を表-1に示す。この判定指標で「破壊」と判定されなければ、コンクリートは圧壊せず、またせん断ひび割れは部材の耐荷力が保持されるレベルであるため、部材の軸力保持機能は、確保されトンネルが崩壊に至ることはないと評価する。

2) 照査2：中壁・中柱の破壊形態の判定

照査1で「破壊」と判定されなくても、中壁・中柱を有するトンネル構造の場合、中壁・中柱のせん断破壊はトンネルの全体崩壊に繋がる恐れがあることから、安全側の照査として破壊形態がせん断破壊先行型となるケースを確認する。

3) 照査3：中壁・中柱が軸力保持能力を喪失した場合の照査

照査2において、せん断破壊先行型と判定された部材を有する断面を対象に、中壁・中柱が軸力保持能力を喪失した場合の照査を行なう。これはせん断破壊先行型と判定された部材を取り除いた状態で、常時荷重を載荷させたWCOMD静的解析を実施し、表-2に示す指標で判定する。

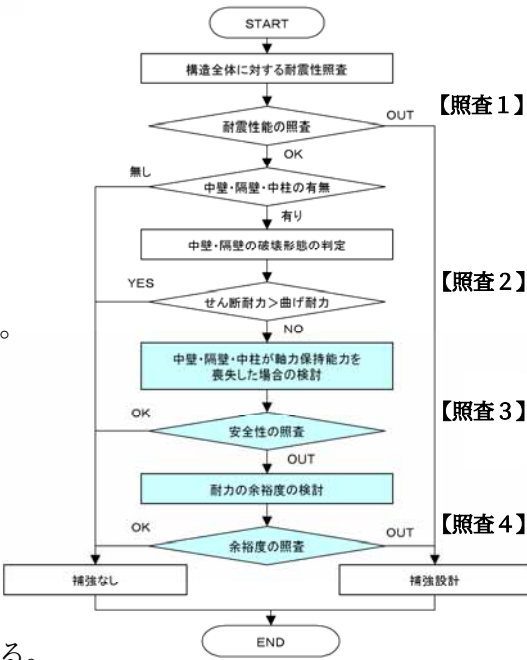


図-1 耐震性能照査フロー

表-1 損傷程度の分類と定義

損傷程度の分類	定義	
軽微な損傷	引張ひずみ>0.1%	—
重度の損傷	圧縮ひずみ>1.5ε peak	—
破壊	引張ひずみ>1.0%	破壊に至らなければ耐震性能2を満足する
	引張ひずみ>3.0%	
	せん断ひずみ>2.0%	

表-2 中壁・中柱軸力保持能力

喪失時の判定基準	
照査項目	判定基準
安定性	解析が途中で終了することなく最後まで実行できる
残留変位	上下床版の鉛直方向の相対変位が10cm以下
引張ひずみ	部材の引張ひずみが0.1以下

キーワード 開削トンネル、トンネル耐震、WCOMD

連絡先 〒102-0093 東京都千代田区平河町 2-16-3 首都高速道路株式会社西東京管理局 T E L 03-3264-8529

4) 照査 4：中壁・中柱のせん断耐力の余裕度照査

照査 3 を満足しない断面に対し、中壁・中柱のせん断耐力の余裕度を照査する。

想定外の外力に対する安定性照査を目的とし、構造物の変形が照査 1 の 3 倍以上となるように入力地震動を割増し、表-3 の指標でせん断耐力の余裕度を判断する。

3. 耐震性能の照査事例

1) 実被害を受けた鉄道トンネルの耐震性能照査

過去に実被害を受けたトンネルにおいて、今回設定した耐震性能照査フローに従った耐震性能照査事例を報告する。

兵庫県南部地震において、開削トンネル構造の神戸高速鉄道大開駅は中柱のせん断破壊により上床版が崩壊するという深刻な被害を受けた。ここでは、大開駅駅舎部の耐震性能照査を行なった。

①照査 1： WCOMD 解析による耐震性能照査

中柱上端にてせん断破壊が生じており（図-2）、せん断補強が必要である。実構造物は写真-1 に示すとおり、中柱上端にてせん断破壊が発生して、トンネル構造全体が崩壊しており、解析結果と実現象が一致していることから、解析手法の妥当性が確認された。

2) 都市内道路トンネルの耐震性能照査

都市内道路トンネル(図-3)の耐震性能照査事例を報告する。

①照査 1： WCOMD 解析による耐震性能照査

上側中壁・下側中壁ともに端部において圧縮ひずみが終局ひずみを超えており、コンクリート打換えなどの補修が必要な「重度の損傷」を受けているが「破壊」までには至らなかった。

(図-4)

②照査 2：中壁・中柱の破壊形態の判定

対象断面はせん断破壊先行の形態であるため、照査 3 を実施した。

③照査 3：中壁・中柱が軸力保持能力を喪失した場合の照査

照査 2 において中壁がせん断破壊先行型と判定されたため、中壁を取り除いた状態で、常時荷重を載荷させた WCOMD 静的解析を実施した。

残留変位量は3.28cmと判定基準の10cmを下回っており、中壁がせん断破壊したとしても構造全体の崩壊には至らないので、補強不要と判定した。(図-5)

(耐震性能照査フローに従い、照査 4 は不要)

4. おわりに

耐震性能照査の事例として2断面の照査結果をまとめた。

今後は、偏土圧を受けるような特殊部のトンネルについて、水平方向の残留変位等の課題に対しても、引き続き合理的な耐震性能照査を実施していくつもりである。

表-3 せん断耐力余裕度の判定基準

照査項目	判定基準
安定性	解析が途中で終了することなく最後まで実行できる
せん断破壊の有無	中壁・中柱に連続した斜めせん断ひび割れの発生が見られない

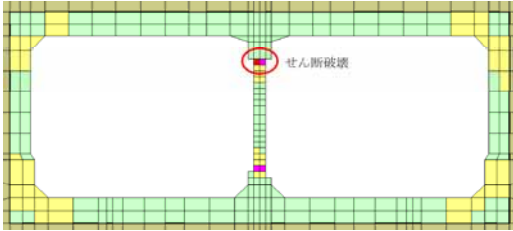


図-2 駅舎部最終損傷図



写真-1 駅舎部実被害写真

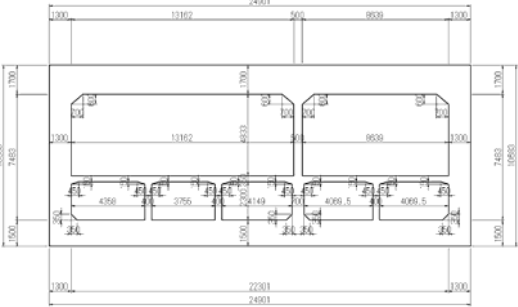


図-3 対象断面図

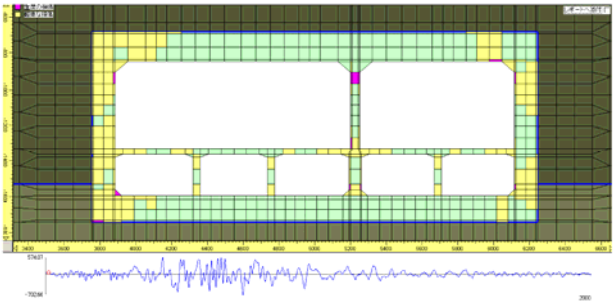


図-4 最終損傷図

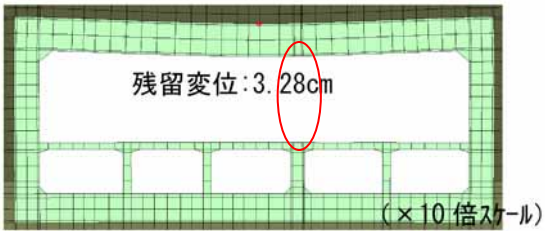


図-5 中壁喪失時の安定照査