

偏土圧を受ける中柱・側柱構造トンネルの耐震補強検討

首都高速道路株式会社 正会員 ○中西 禎之

1. はじめに

首都高速道路における既設開削トンネルの耐震補強検討については、トンネルの全体崩壊の有無に着目して行なってきた。偏土圧を受ける特殊な既設開削トンネルについては、地震後の水平残留変位がトンネルの全体崩壊に繋がる恐れがあることから、水平残留変位にも着目して耐震補強検討を行った。

2. 目標耐震性能と解析手順

1) 目標耐震性能

目標耐震性能は、レベル2地震動に対して、地震直後にも緊急車両の通行が可能で、補修・補強により建設当初の機能回復が可能であることとした。これは、地震時に部分的な損傷を生じたとしても、構造全体の崩壊が生じなければ、目標耐震性能を満足できると考えられることから、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に基づいて照査を実施することとした。

2) 解析手順

2次元材料非線形動的解析（プログラムコードWCOMD）を用いることとする。

①【照査1】ではWCOMDによりレベル2地震動時において、構造物に破壊モード（圧縮、引張、せん断）が出現しないか照査する。

②破壊モードが出現しない場合は【照査2】において中壁の破壊形態を確認し、破壊形態が曲げ破壊先行の場合は、耐震補強不要とする。

③破壊形態がせん断破壊先行の場合は、【照査3】において、中壁がせん断破壊して軸力保持機能を喪失した場合を想定して、常時荷重において上下スラブの鉛直残留変位量を照査し、10cm以下の場合、耐震補強不要とする。

④鉛直残留変位量が10cmより大きい場合は、【照査4】において、想定外の外力に対して中壁に連続した斜めせん断ひび割れの発生がみられるかどうかせん断耐力の余裕度を照査する。

3) 偏土圧を受けるトンネルの解析手法

偏土圧を受ける開削トンネルの場合は、上記の照査に加え地震後の水平残留変位についても、全体崩壊の一因になることから、水平残留変位を考慮する必要がある。その許容残留変位量は、RC橋脚と同等と見なし『道路橋示方書・同解説 V耐震設計編』に従って、層間変形角が1/100以下となる【中壁下端からの慣性力作用位置×1/100】＝【(中壁高さ＋上床版厚/2)×1/100】と設定した。

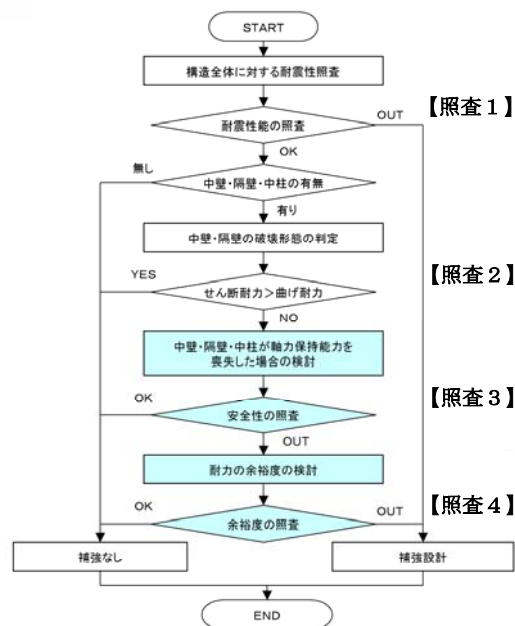


図-1 耐震性能照査フロー

キーワード 開削トンネル、トンネル耐震、WCOMD、残留変位量

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 TEL 03-3264-8529

3. 偏土圧を受ける中柱・側柱構造トンネル耐震補強検討

1) 構造概要

延長528mの開削トンネル区間において、片側坑口付近の約70m区間は、中央部及び片側面部が柱構造となっている。中央部は500mm×700mmの楕円形柱、側面部はφ500mmの円形柱が、それぞれ2.0m間隔で34本設置されており、側壁側より偏土圧を受けている状況である。(図-2)

現地では確認できないが、竣工図上では側柱及び中柱の上下端部においてコンクリートが縁切りされ、主筋が連続していない状態である。(図-3)

2) 耐震性能照査

(1)照査1：WCOMD解析による耐震性能照査

構造物のモデル化に際し、上下端部はヒンジ構造として評価した。解析の結果、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：中柱の破壊形態の判定

中柱は上下端ともヒンジ構造として評価しているため、地震時水平力による曲げは中柱には発生しない。よって破壊には至らない。

(3)慣性力作用位置における水平残留変位量の算定

許容水平残留変位量5.2cmに対し、水平残留変位量は6.8cmとなり許容値を上回るため、許容値内に収まるよう補強対策を講じる必要がある。(図-5)

(4)耐震補強検討

耐震性能照査結果では、柱上下端部がヒンジ機能を保持し続けた場合でも補強対策は必要であるが、実構造がレベル2地震動時にヒンジ構造として機能を保持できるかは疑問であり、保持できない場合には全体崩壊は明らかである。

補強検討では、補強時の交通影響を極力抑えるため、側柱のみの補強でレベル2地震動において目標耐震性能を満足させることとし、明快な補強構造である剛結構造を選定することとした。

①既設柱の剛結化②新設柱(500×500)の設置③新設柱の設置(500×1000)の3案を抽出して耐震性能照査を行なった。

①既設柱の剛結及び②新設柱(500×500)の設置による補強工法では、側柱に破壊モードが出現されるため全体崩壊の可能性があるが、補強不可であった。③新設柱(500×1000)の設置は、破壊モードが出現せず、残留変位量は【 $(4.672\text{m} + 1.0\text{m}/2) \times 0.0083 = 0.043\text{m} = 4.3\text{cm}$ 】となり、許容残留変位量の5.2cmを下回ることから、目標耐震性能を満足することが確認された。(図-6)

よって、新設柱(500×1000)を既設柱の間に設置することとした。

4. おわりに

関係機関と協議が整い次第、現場着手予定である。本報告が特殊な既設開削トンネルの耐震補強の参考となれば幸いである。

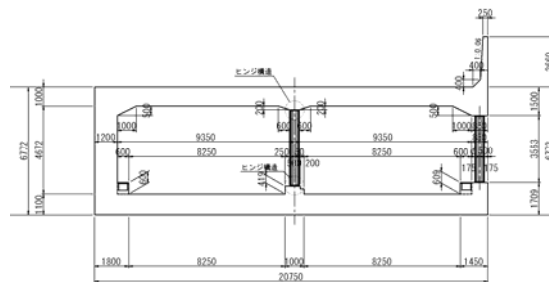


図-2 断面図

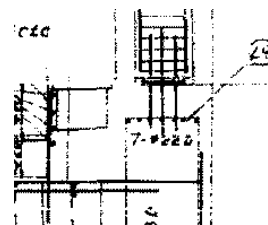


図-3 側柱基部構造

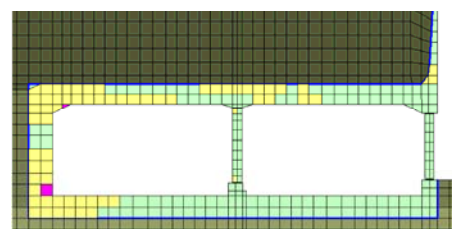


図-4 耐震性能照査結果

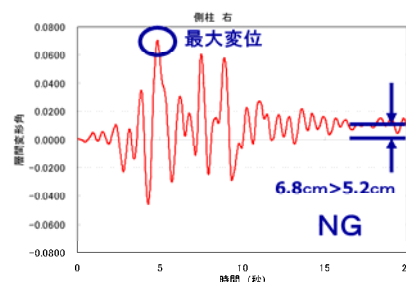


図-5 慣性力作用位置での
時間 - 層間変形角の関係

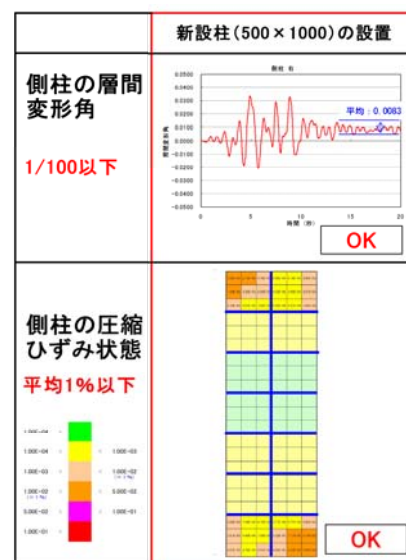


図-6 構造的補強工法の
耐震性能照査結果