既設開削トンネルに対する耐震検討

首都高速道路（株）正会員　○津田　誠　，小林健二郎
日本技術開発（株）正会員　　森　　敦　，佐伯　宗大

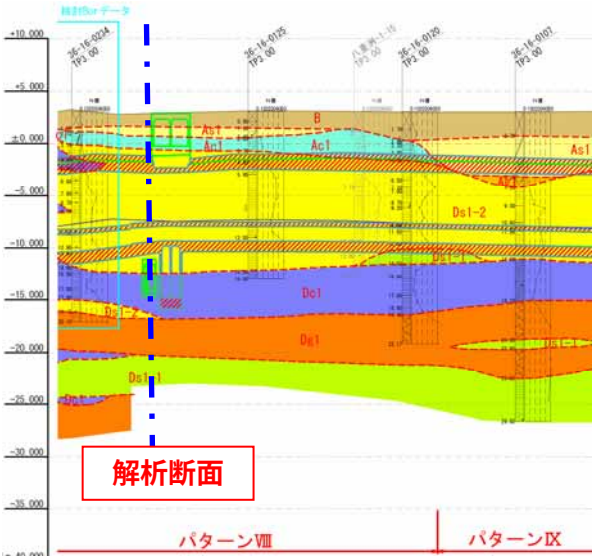
１．はじめに

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．しかしながら,解析法や評価方法についての明確な手法は確立していない．本文は，都市内の開削トンネル構造のレベル２地震動を対象とした耐震性能照査を行った事例について述べたものである．

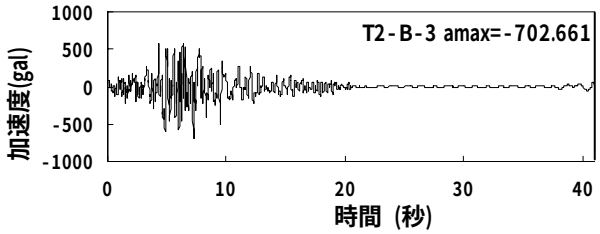
２．検討条件の整理・設定

既設開削トンネルの耐震性能照査にあたっては，２次元弾塑性有限要素法（プログラムコード WCOMD）にもとづいた地盤～構造物一体モデルによる動的解析を適用した．このため，トンネル路線における構造条件（断面寸法，配筋等），地盤条件（土かぶり，地層構成，支持地盤等）および入力地震動条件に着目して，以下の方針にもとづいた整理を行った．

① トンネル路線沿いの土層縦断（**図-1**）を作成し、地層構成パターン毎に地盤の一次元地震応答解析（SHAKE）を実施することで，地盤条件の違いによる応答への影響を把握．
② この結果にもとづき,地盤の変形量が相対的に大きい断面を中心に，WCOMD 動的解析を行う解析対象断面を選定．
③ 首都高速道路用のレベル２地震動（タイプⅠ，タイプⅡ各３波形）のⅠ種地盤用波形により，地盤の地震応答解析（SHAKE）を行い，最も構造物への影響が大きい波形（構造物位置の相対変位角が最も大きい波形）を WCOMD 動的解析に用いる波形として選定(**図-2**)．



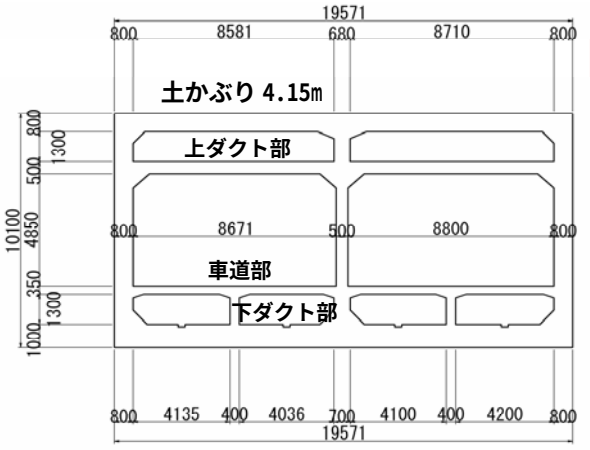
図－1　トンネル路線沿いの地層構成図



図－2　WCOMD 動的解析に用いる波形

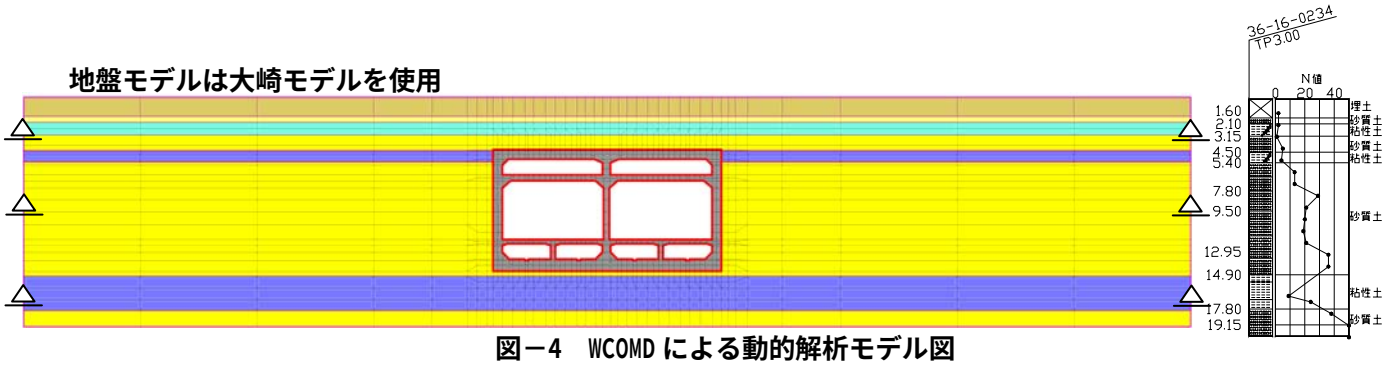
３．解析条件の設定

既設開削トンネルの耐震性能照査は，前記した方針にもとづき選定された代表断面に対して実施しているが，ここでは照査事例として，**図-3** に示す三層二径間構造について示す．解析による照査基準は，解析コードの仕様に従いひずみに着目して行い，引張破壊ひずみ 3%，圧縮破壊ひずみ 1%，せん断破壊ひずみ 2%と設定した．解析モデルは**図-4** に示すように，地盤幅は躯体幅の５倍以上，地盤モデルの境界条件は底面を粘性境界，側面を水平ローラー境界とした．また，本解析の入力地震動は 2.で示した手順に従い，T2-B-3 波（トンネル上下面位置の地盤層間変形角 0.8%）を採用することとした．



図－3　解析対象断面図

Keyword　；既設開削トンネル，動的解析，レベル２地震動，弾塑性解析，有限要素解析
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）　ＴＥＬ03-3264-8526

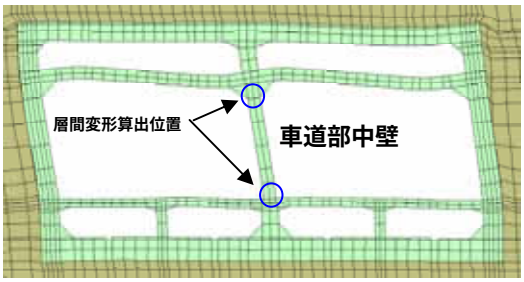


図－4　WCOMD による動的解析モデル図

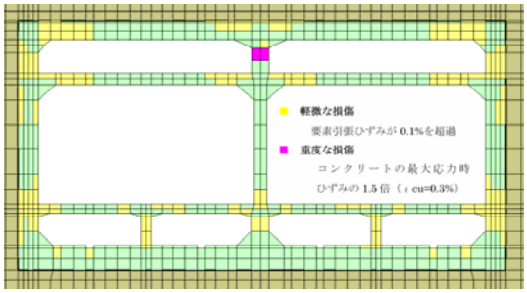
4．解析結果

図-5 に動的解析における最大層間変形角発生時の変形図（スケール 10 倍表示）を示す．地盤の変形に追随し構造物がせん断変形しているのが確認できる．また，このせん断変形は、下ダクト部より上側で顕著となっている．

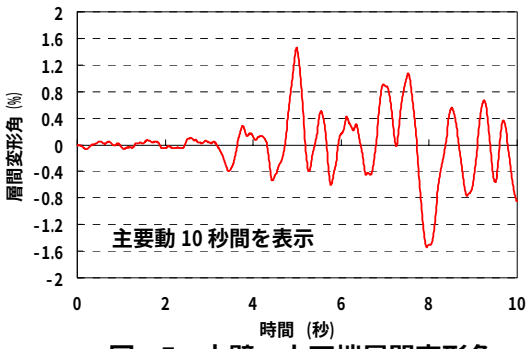
図-6 に対象断面の最終損傷結果を示す．断面の損傷状態は概ね要素引張ひずみが 0.1%を超過している軽微な損傷に留まっている．一方，上ダクト部の中壁では崩壊に繋がる破壊には至っていないが，要素圧縮ひずみが終局ひずみ（本例では 0.3%）を超過している．**図-7** は各鉛直部材の層間変形のうち最大値を示した車道部中壁の時刻歴層間変形角である．最大層間変形角は 1.6%程度発生している．そこで,トンネル本体の形状保持ができているかを検証するために,**図-8** に示す頂版上面と底版下面間における相対水平変位と相対鉛直変位の履歴を解析した。層間変形角が比較的大きく 1.6%程度発生かつ要素圧縮ひずみが終局ひずみ付近に達しているが，時刻歴に相対鉛直変位が下側につぶれていく挙動は見られないことから,トンネル頂版を十分支持していることがわかる．よって,断面としての安全性が確保されていると判断される．



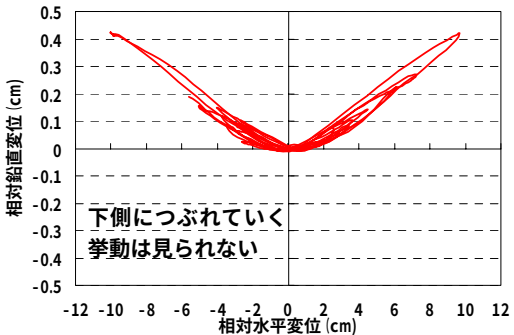
図－5　変形図（10 倍）



図－6　最終損傷図



図－7　中壁　上下端層間変形角



図－8　相対水平変位と相対鉛直変位の関係

5．おわりに

既設開削トンネルを対象とした 2 次元弾塑性有限要素モデルによる動的解析を実施した．この結果，レベル 2 地震動に対する耐震安全性については，断面保持の前提となる鉛直支持部材の中壁や側壁の損傷は少なく，比較的大きな層間変形角が発生するものの，上床版沈下のような構造全体の安全性に影響する現象も見られないことがわかった．今後，都市内での重交通高速道路網の重要性を鑑み，既設開削トンネルの耐震性能照査方法の洗練化を図り，具体設計に反映させ，地震動や地盤のばらつき・脆性的は破壊形態をさけるということから，特に要となる中壁については曲げ破壊先行となるように補強を行っていく予定である．

参考文献

1）土木学会原子力委員会；原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針，2002 年 5 月
2）K.MAEKAWA, A.Pimanmas,and H.OKAMURA ：Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete, SPON Press, 2003
3）岡村甫，前川宏一：鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則，技報堂，1991.5