

継続時間が長い地震動による開削トンネルの横断方向に対する耐震性能検討

首都高速道路

正会員 ○長田 光正

オリエンタルコンサルタンツ

正会員 久木留 貴裕

オリエンタルコンサルタンツ

正会員 大竹 省吾

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震を契機に道示¹⁾等では、タイプⅠ地震動の改訂が行われ、時刻歴応答解析に用いる加速度波形のもととなる地震記録として、継続時間が長い特性を有するものが選定されている。

本検討では、既設の開削トンネルを対象に材料非線形性を考慮した FEM 解析を適用し、現行の地中構造物用の設計地震動²⁾と継続時間が長い地震動に対する横断方向の耐震性能照査を実施し、両者の応答を比較することで、地震動の継続時間が開削トンネルの横断方向の耐震性能に与える影響を検討した。

2. 検討対象断面と解析モデル

検討対象は、首都高速道路管内において耐震性能照査・補強設計が実施されている開削トンネルの中から、表-1 に示す特徴を有する3断面とした。各断面ともタイプⅡ地震動に対する応答が厳しく、耐震補強は、タイプⅡ地震動により設計されている。図-1 に解析モデルを示す。本検討では、二次元非線形有限要素法解析コード WCOMD³⁾を用いた。

3. 設計地震動

現行の設計地震動は、設計要領²⁾に示されているレベル2タイプⅠ地震動とした(図-2(1))。一方、継続時間が長い地震動は、首都高速道路が建設されている地域の代表波形として、K-NET 新宿、K-NET 横浜及びお台場地震観測所において観測された2011年東北地方太平洋沖地震の際の観測波を抽出し、継続時間の長さを図-3に示す継続時間スペクトル⁴⁾により評価し、代表1波形を選定した。ここで、トンネルの応答は地盤変位に支配されるため、スペクトルは、変位継続時間スペクトルとした。さらに振幅調整として設計要領のタイプⅠ地震動の速度応答スペクトル(図-4)への適合を図った(図-2(2))。

表-1 検討断面の特徴

No.	検討断面の特徴
断面1	・中柱が曲げ破壊型 ・最大平均圧縮ひずみ1% (かぶりコンクリートの剥離) 程度以下
断面2	・せん断破壊先行型で設計要領 ²⁾ のせん断耐力を超過 ・中柱が喪失した場合、上床板の沈下量が大き ⇒中柱のせん断補強を実施
断面3	・偏土圧が作用する断面で中柱と右外柱の上下がピン構造 ・左側壁のコンクリートの圧縮ひずみ1%程度以上 ⇒右外柱を補強

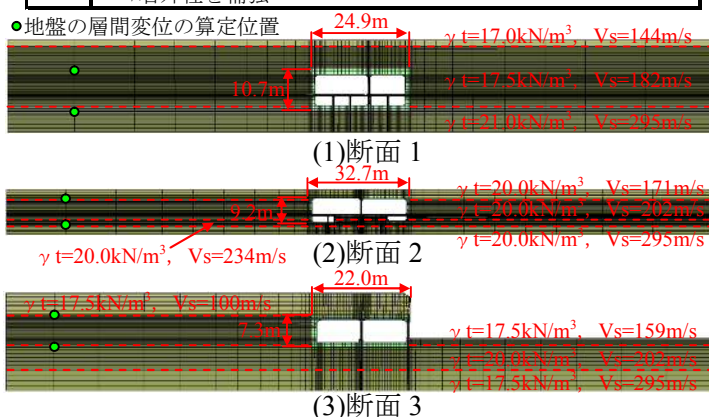
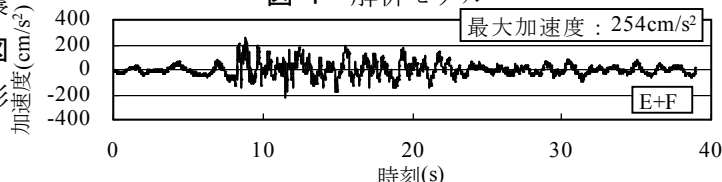
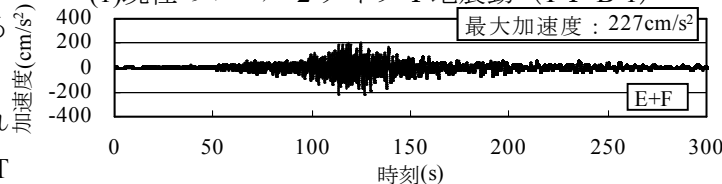


図-1 解析モデル



(1)既往のレベル2タイプⅠ地震動 (T I-B-1)



(2)振幅調整波 (K-NET 新宿 NS 波)

図-2 入力地震動

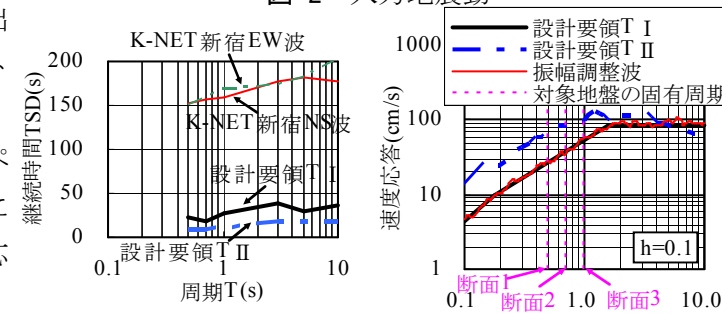
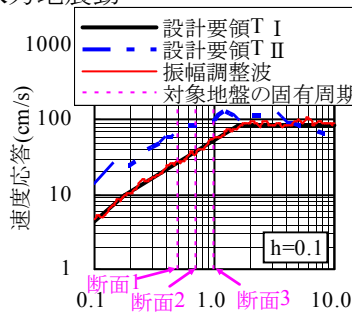
図-3 変位継続時間
スペクトル

図-4 速度応答スペクトル

キーワード 地震動, 継続時間, 開削トンネル, 横断耐震, FEM 解析, 材料非線形

連絡先 〒100-8930 東京都千代田区霞ヶ関 1-4-1 首都高速道路(株) TEL03-3539-9464

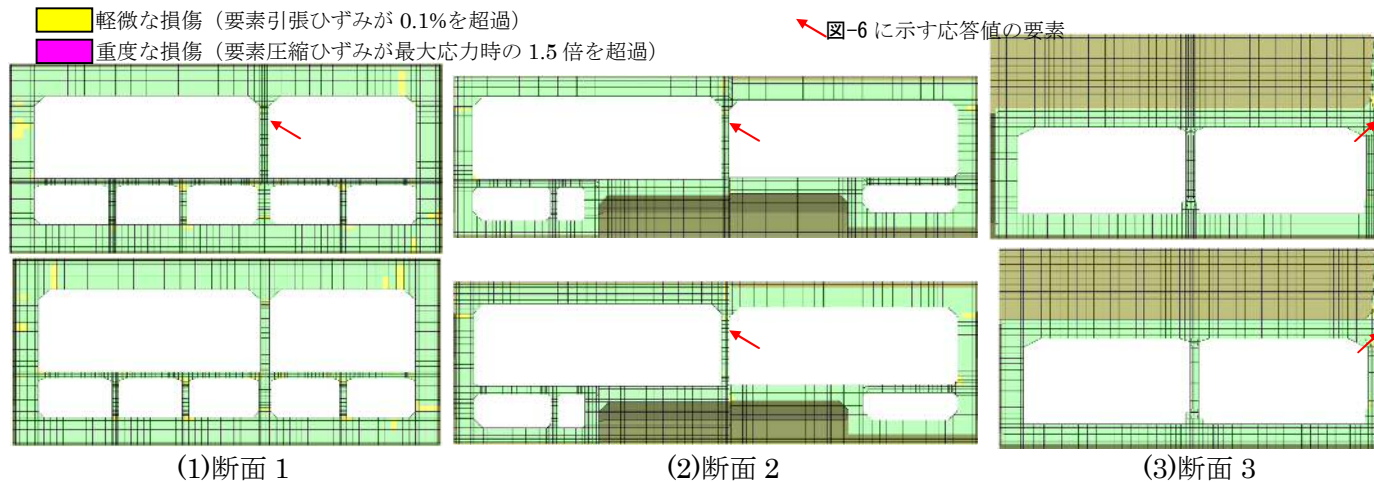


図-5 最大時の損傷状況（上が設計要領タイプⅠ，下が振幅調整波）

表-2 構造物及び地盤の最大層間変形角の比較

断面	位置	最大層間変形角(rad)		比率 (②/①)	比率 (構造物/地盤)
		①設計要領TⅠ	②振幅調整波		
断面1	左側	構造物	1/356	1/450	1.06
		地盤	1/257	1/344	
断面2	左側	構造物	1/883	1/766	1.16
		地盤	1/514	1/519	
	右側	構造物	1/788	1/732	1.04
		地盤	1/523	1/503	
断面3	左側	構造物	1/412	1/310	1.34
		地盤	1/104	1/105	

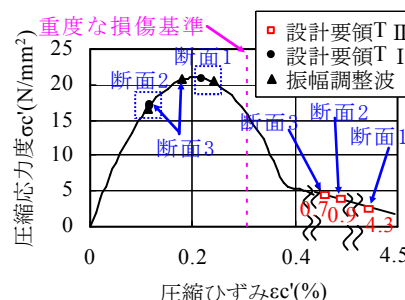


図-6 最大圧縮ひずみの比較

4. 検討結果

図-5 に各断面の損傷状況を示す。これによると、3 断面ともに両波形の解析結果の損傷状況は、軽微な損傷に留まっている。表-2 に構造物及び地盤の最大層間変形角の比較を示す。ここで、構造物の層間変形角は上下床版位置、地盤の層間変形角は構造物と同高さで構造物から離れた位置（図-2）の層間変位より算定した。これによると、地盤に対する構造物の最大層間変形角の比率は、設計要領の値に比べ、断面 1, 2 では 5～15% の増加であるが、断面 3 では 30% 程度増加している。これは、断面 3 は偏土圧を受ける断面であるためと考えられる。ただし、構造物の最大層間変形角は、1/310rad 程度であり、現行の設計要領の基準値 1/85rad に比べて小さいため所要の安全性は確保出来ると考えられる。

タイプⅠ地震動の際の応答のレベルを把握するため、図-6 に最大圧縮ひずみの比較を示す。これによると、タイプⅡによる応答では、コンクリートは降伏しているのに対し、タイプⅠ及び振幅調整波での応答は、降伏ひずみ程度以下である。このため、タイプⅠ地震動では、繰返し回数の影響は少なかったものと考えられる。

5. 結 論

本検討により得られた知見は以下の通りである。

- (1)対象地盤に対する設計スペクトルの大きいタイプⅡ地震動で耐震性能照査・補強設計を行っているため、設計スペクトルの小さいタイプⅠ地震動において継続時間の影響を考慮してもその影響は小さい事がわかった。
- (2)偏土圧の作用を受ける断面 3 では、継続時間の影響で構造物の最大層間変形角は、30%程度増加した。断面 3 では、現行の設計要領の基準値の 3% 程度の応答であり、問題とならなかったが、特殊な条件を有する断面では注意が必要になる可能性がある。

謝辞：本検討では、K-NET による調査結果を使用させて戴きました。記して謝意を表します。

参考文献 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 耐震設計編Ⅴ，2013 年 3 月。2) 首都高速道路：トンネル構造物設計要領（開削工法編），2008 年 7 月。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，技法堂出版，1991 年 5 月。4) 石井透：地震動の応答継続時間スペクトル 評価手法の提案と 2011 年東北地方太平洋沖地震およびその前震・余震・誘発地震による，日本建築学会構造系論文集 第 77 巻 第 676 号，PP.843-850，2012 年 6 月。