

地下構造物の耐震設計方法に関する一考察

パシフィックコンサルタンツ (株)

正会員 ○森崎 啓

正会員 新田 勸

正会員 西村 学

1. はじめに

一般に、地下構造物の横断方向の耐震設計法は、①応答変位法、②静的二次元 FEM 解析法、③動的二次元 FEM 解析法に大別され、構造物特性や周辺地盤の堆積状況等に応じて適宜選択され、採用されている¹⁾。

旧来から採用されている応答変位法では、地盤ばねの設定に関する高度な工学的判断が必要とされ、その設定の如何によって解析結果が左右されるという難点がある。近年では、その技術的な課題の解消が可能な解析手法として、応答震度法に代表される静的二次元 FEM 解析法が設計実務で採用されるようになってきた。また、詳細な解析方法としての地盤の動的解析技術に関する技術革新も進歩しており、液状化を考慮した有効応力解析手法も設計実務上で採用されるようになってきた。

一方、旧来の応答変位法や近年の応答震度法においては、地盤の液状化を考慮することは稀である。これは、液状化状態よりも非液状化状態での解析が、設計対象構造物に対して厳しい結果を与えると信じられてきたことが大きな要因であると考えられる。

本論では、液状化層が存在する既設道路トンネルを対象とした耐震計算法として、応答震度法解析と動的二次元 FEM 有効応力解析（以下、「動的解析法」という）を採用し、地下構造物の断面照査に与える影響に関する考察を行ったものである。

2. 検討条件

(1) 解析対象施設

解析対象とした既設道路トンネルを図-1および図-2に示す。当該トンネルは、1層2径間のボックスカルバート構造で、構造物延長は約800mとなっている。

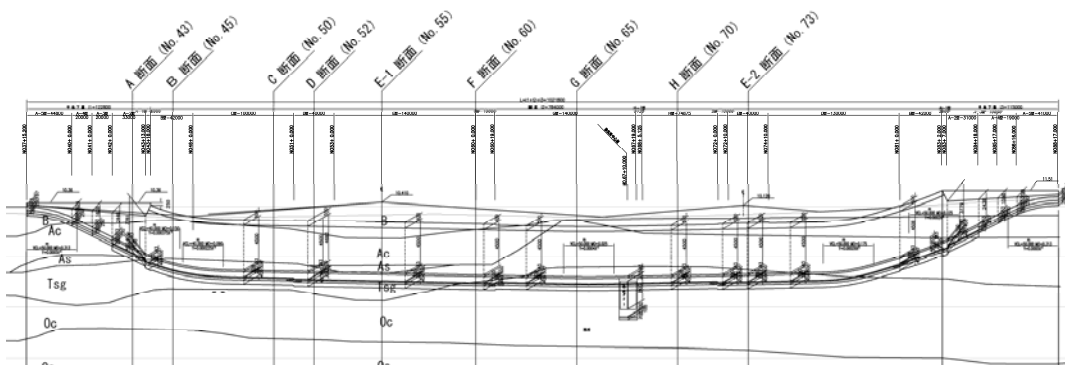


図-1 トンネル縦断面図および検討断面図

別途実施した地盤の液状化検討結果から、側壁部の埋戻し土および底版下面の沖積砂層が液状化するものと考えられている。

(2) 検討手法

本検討では、以下に示す3ケースの耐震解析を行った。

- ①動的解析法（液状化状態を再現：プログラム“FLIP”を使用）
- ②動的解析法（非液状化時：プログラム“FLIP”を使用）
- ③応答震度法（非液状化時：一般的な解析条件）

なお、いずれの解析においても、構造部材にはM-φ系の非線形特性を与えている。

(3) 入力地震動

本検討で採用する入力地震動は、図-3に示す当該地域特性を考慮したレベル2地震動とした。

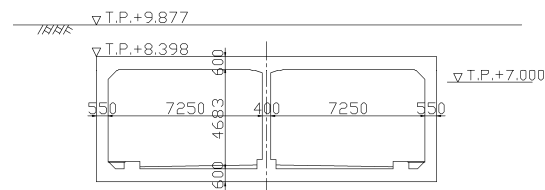


図-2 検討断面図 (E-1)

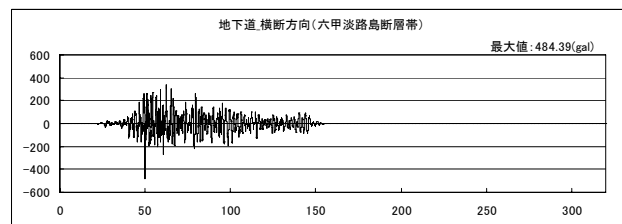


図-3 入力地震動

キーワード 地下構造物, 耐震検討, 応答震度法, 動的解析法, F L I P, レベル2地震動

連絡先 〒541-0052 大阪市中央区安土町 2-3-13 大阪国際ビルディング パシフィックコンサルタンツ(株) TEL:06-4964-2296

3. 解析手法の比較検討

レベル2地震動に対する解析手法の比較を行った。曲げ応答値（曲率）の比較検討結果を表-1、せん断力の比較検討結果を図-4に示す。

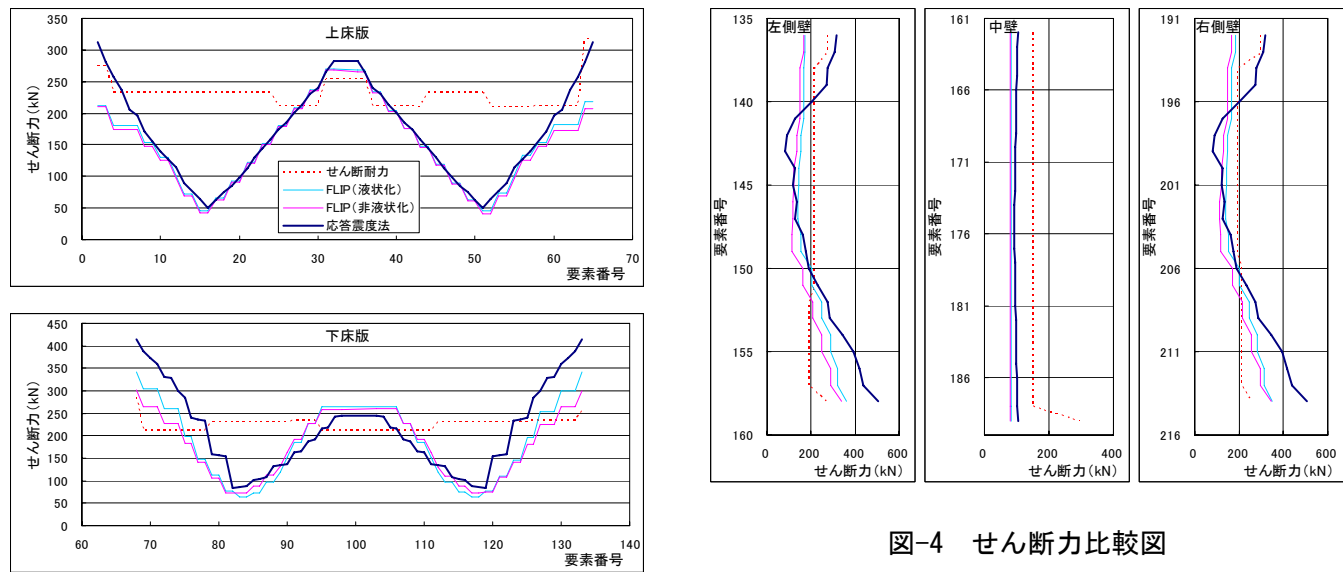


図-4 せん断力比較図

表-1 および図-4 より明らかなとおり、曲げモーメント（曲率）はケース③（応答震度法）が全部材位置で最大値となった。せん断力については、ケース③が最大値とならない部材が、両側壁の径間中央付近、下床版の中壁下端となった。径間中央付近はせん断力が小さく、実際、構造部材を決定するせん断力は部材の支点近傍の値で行う。ここでは、中壁下端の床版を除いて、応答震度法による耐震検討が安全側の設計と考えられる。

4. 耐震設計の検証

ここでは、応答震度法によって決定された耐震設計断面を動的解析法で照査した結果を報告する。耐震補強としては、既設構造物断面に対し側壁及び中壁に補強が必要となる。その耐震設計断面を図-5に示す。

照査結果は、耐震補強前の既設構造物の照査（3. 解析手法の比較検討）と全く同じ傾向であり、下床版の中壁下端では動的解析法の解析値が応答震度法の解析値を少し上回る。ただし、せん断耐力以内となり、応答震度法で決定された耐震設計断面の変更は生じない。

5. まとめ

地下構造物であるボックスカルバートを耐震設計する場合、応答震度法によって決定された耐震設計断面を動的解析法（FLIP）で最終的に照査する手順とすれば安全側の設計であることがわかった。今後、種々の地山条件における地下構造物の耐震設計の解析手法をより詳細に評価したいと考えている。

参考文献

1) 土木学会：2008年7月 トンネル・ライブラリー第9号 開削トンネルの耐震設計

部材位置	解析結果最大応答値						
	①FLIP液状化		②FLIP非液状化		③応答震度法 非液状化	最大値	決定 ケース
	ϕ max(+) (1/m)	ϕ max(-) (1/m)	ϕ max(+) (1/m)	ϕ max(-) (1/m)	ϕ d (1/m)	ϕ max (1/m)	
右側壁	2.22E-05	-1.49E-03	3.39E-05	-8.61E-04	-2.51E-02	-2.51E-02	③
	2.22E-05	-1.49E-03	3.39E-05	-8.61E-04	-1.71E-03	-1.71E-03	③
	5.55E-03	-8.85E-03	1.38E-03	-3.77E-03	-1.25E-01	-1.25E-01	③
	5.55E-03	-8.85E-03	1.38E-03	-3.77E-03	-3.72E-03	-8.85E-03	③
	5.55E-03	-8.85E-03	1.38E-03	-3.77E-03	-2.85E-03	-8.85E-03	③
	5.55E-03	-8.85E-03	1.38E-03	-3.77E-03	-2.63E-03	-8.85E-03	③
	1.46E-03	-2.16E-03	8.89E-04	-1.51E-03	-2.29E-03	-2.29E-03	③
	1.46E-03	-2.16E-03	8.89E-04	-1.51E-03	-1.88E-03	-2.16E-03	③
	1.14E-03	-2.68E-04	8.38E-04	-2.67E-04	-3.70E-02	-3.70E-02	③
	1.14E-03	-2.68E-04	8.38E-04	-2.67E-04	-3.12E-04	-3.12E-04	③
	3.15E-04	-1.34E-04	3.21E-04	-1.28E-04	-2.34E-04	-2.34E-04	③
	3.15E-04	-1.34E-04	3.21E-04	-1.28E-04	-1.55E-04	-1.55E-04	③
	2.28E-04	-1.01E-04	2.11E-04	-1.01E-04	-7.98E-05	-1.01E-04	③
	2.28E-04	-1.01E-04	2.11E-04	-1.01E-04	-8.75E-06	-1.01E-04	③
	2.03E-04	-1.29E-04	1.26E-04	-1.30E-04	5.68E-05	2.03E-04	③
	2.03E-04	-1.29E-04	1.26E-04	-1.30E-04	1.23E-04	2.03E-04	③
	2.85E-04	-2.81E-04	2.05E-04	-1.83E-04	1.89E-04	2.85E-04	③
	2.85E-04	-2.81E-04	2.05E-04	-1.83E-04	2.57E-04	2.85E-04	③
	6.98E-04	-1.87E-03	2.67E-04	-5.77E-04	3.25E-04	6.98E-04	③
	6.98E-04	-1.87E-03	2.67E-04	-5.77E-04	1.36E-02	1.36E-02	③
	7.53E-03	-4.20E-03	2.87E-04	-2.71E-03	6.36E-02	6.36E-02	③
	7.53E-03	-4.20E-03	2.87E-04	-2.71E-03	9.60E-02	9.60E-02	③
	6.92E-05	-2.84E-03	-3.64E-05	-1.99E-03	2.09E-03	2.09E-03	③

表-1 曲げ応答値比較表

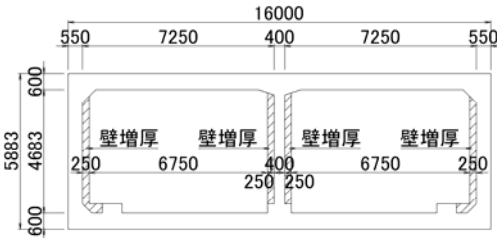


図-5 耐震設計断面図