

掘削深さの異なる上下線分離削道路トンネルの耐震設計に関する一考察

阪神高速道路公団 正会員 南荘 淳 非会員 森 喜仁 正会員 石橋 照久
 パシフィックコンサルタンツ(株)** 正会員 森崎 啓 正会員 馬渡 あかね

1. はじめに

阪神高速道路公団で現在施工中の神戸市道高速2号線(神戸山手線)長田トンネルの開削トンネル部(図1)では、大断面RCボックスカルバート二連を、同一掘削域内に平行して施工する計画である。開削トンネルの耐震設計手法は、「開削トンネル耐震設計指針(案)」(以下「指針(案)」)¹⁾をはじめとして、多くの基準類で採用されている「応答変位法」が一般的であり、設計体系としても概ね確立されている。

当該区間の設計においても、応答変位法により耐震検討を行ったが、施工条件・地盤条件を考慮すると、下記の技術的な課題が考えられるため、二次元FEM動的解析による耐震検討を実施した。

- 1) 同一掘削域に規模や設置深さが異なる単独ボックスカルバートが二連計画されており、埋戻し地盤を含めた複雑なトンネル・地盤間の相互作用が想定されること。
- 2) 当該地の地盤は不均一地盤であり、応答変位法で仮定している成層地盤の地震応答特性とは異なる可能性が高いこと。

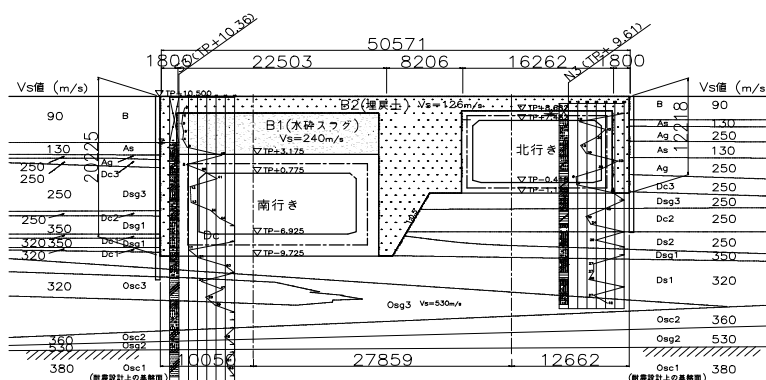
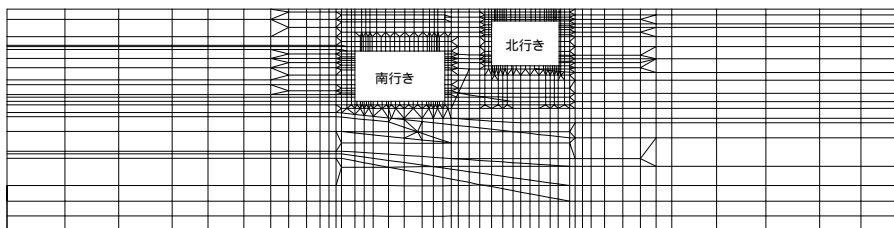


図 1 検討対象断面図

本稿では、二次元FEM動的解析に基づく地盤応答特性の評価、並びに応答変位法による応答値との比較検討結果について報告するものである。

2. 動的解析モデルおよび解析条件

動的解析は、二次元FEMモデルを用いた複素応答解析とした。周辺地盤・埋戻し・RCボックスカルバート(南行き・北行き)を対象とした二次元FEM解析モデルを図2に示す。



(側方境界条件: エネルギー伝達境界, 下方境界条件: 粘性境界)

図 2 動的解析モデル

地盤は、平面ひずみ条件の二次元ソリッドモデルとし、非線形特性は土木研究所資料²⁾に基づいたひずみ依存曲線で評価した。構造物は、死荷重軸力時のM~特性から求めた降伏時剛性を有する等価線形梁にモデル化した。これは、別途実施した応答変位法において、梁部材が非線形化していないことによるものである。入力地震動は、「指針(案)」に示される標準加速度応答スペクトルに適合させたL2標準加速度波形(図3)とし、基盤面に入射波形(2E)として入力した。

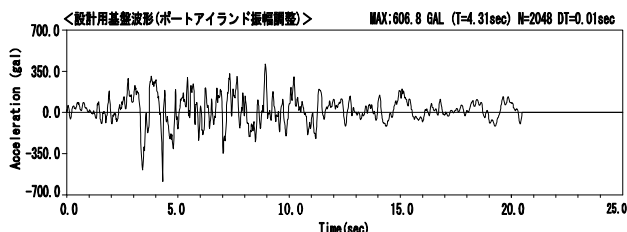


図 3 入力地震動

3. 解析結果

代表位置における最大水平変位と発生時刻を図4に示す。周辺地盤(No.73, No.1823)では、それぞれ25cm、23cmとなる一方、埋戻し領域(No.906)では18cmであり、周辺地盤よりも約7cm小さく、発生時刻も異なっている。これは、掘削領域が良質埋戻し・水砕スラグ・ボックスカルバート等で構成された複合地盤となり、掘削領域全体の剛性が周辺地盤よりも相対的に高くなっているためと考えられる。図5に示す掘削領域の卓越周波数が周辺地盤よりも高いことからこのことが推察される。

キーワード : 開削トンネル、耐震設計、応答変位法、二次元地震応答解析、不均一地盤

連絡先: *) 〒650-0041 神戸市中央区新港町16-1 阪神高速道路公団神戸第一建設部 設計課 TEL:078-331-9801 FAX:078-391-5846

**）〒532-0011 大阪市淀川区西中島4-3-24 パシフィックコンサルタンツ(株)大阪本社 TEL:06-6886-8460 FAX:06-6886-8489

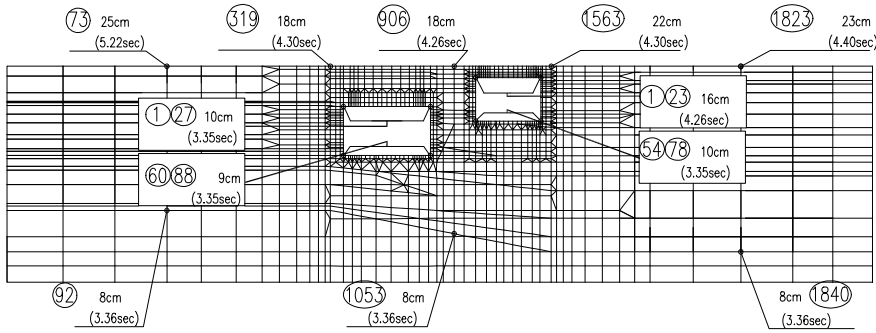


図 4 着目位置における最大変位分布図

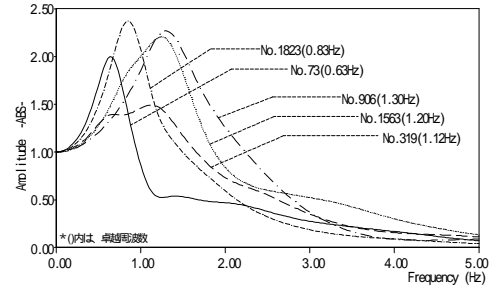


図 5 周波数加速度応答関数

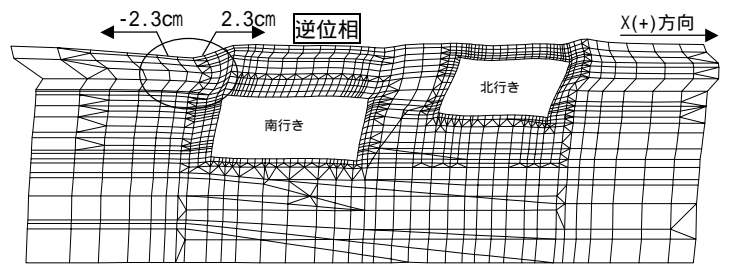
4. 動的解析結果と応答変位法の比較

4.1 最大断面力発生時刻での地盤応答

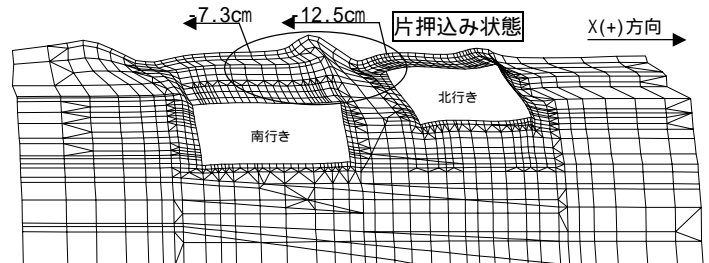
図 6a)は、南行き断面に最大断面力が発生する時刻 ($t=3.66$ 秒) での変形モード図であり、南行き背後地盤地表付近と掘削地盤領域を含む地盤が逆位相の変形状態を示している。

図 6b)は、北行き断面に最大断面力が発生する時刻 ($t=4.26$ 秒) の変形モード図であり、北行き断面周辺部の水平変位と南行き断面周辺部の水平変位に大きな差異が見られ、片押し込み状態となっている。

以上の構造物～地盤間の挙動は、応答変位法で前提としている「同方向・同位相」の地盤挙動とは明らかに異なる挙動である。



a) 南行き隅各部最大断面力発生時刻 (3.66 秒) の変形モード図

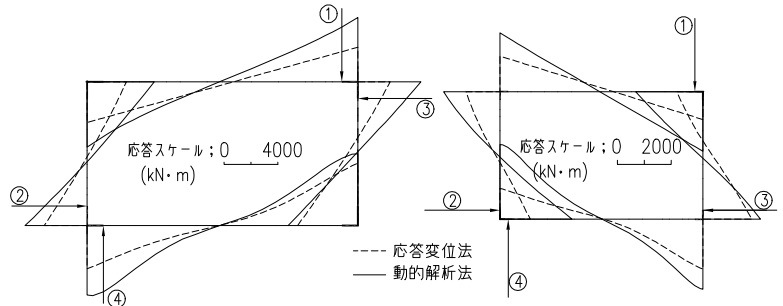


b) 北行き隅各部最大断面力発生時刻 (4.26 秒) の変形モード図

図 6 地盤変位分布図

4.2 発生断面力比較

図 7 は、応答変位法および動的解析による地震時増分曲げモーメントを比較したものであり、各部材の最大値に着目して比較したものを表 1 に示す。動的解析は応答変位法に比べて、南行きで 1.71～2.01 倍、北行きで 2.16～2.46 倍の値を示しており、土被りが浅い北行き断面の比率が最大で 2.46 倍と大きくなっている。なお、本稿には掲載していないが、せん断力に対しても同様の結果が得られている。



a) 南行き断面(3.66 秒) b) 北行き断面(4.26 秒)

図 7 曲げモーメント比較図 (地震時増分断面力)

表 1 応答曲げモーメント一覧表

着目要素		南行き (kN・m)		北行き (kN・m)		断面力比率 (A)/(B)
		動的解析法 (A)	応答変位法 (B)	動的解析法 (A)	応答変位法 (B)	
頂版	1	3907	2065	1967	912	1.89
左側壁	2	3808	2149	2258	946	1.77
右側壁	3	3617	2065	2189	1594	2.01
底板	4	5005	2930	2667	1084	1.71

以上の結果は、応答変位法による耐震設計は必ずしも安全側の設計にならない場合があることを示唆している。

5. まとめ

当該対象断面のように、同一掘削域に規模や設置深さが異なるボックスカルバートが計画される場合や、不均一地盤である場合等、特殊な設計断面の耐震設計においては、応答変位法のみでの耐震設計には限界がある。

このような場合には、地盤の二次元的な変化や構造物間の動的相互作用の影響を的確に再現できる解析手法を用いて、応答変位法による耐震設計を照査する必要がある。

【参考文献】 1) 阪神高速道路公団：開削トンネル耐震設計指針(案), 1999.12.

2) 建設省土木研究所資料・第 1778 号, 1982.2.