

超大断面扁平山岳トンネルへの応答変位法の適用性に関する検討

前田建設工業（株） 正会員 大嶋 義隆、松井 幹雄
東京都立大学 正会員 西村 和夫、岩楯 敏広

1. はじめに

山岳トンネルは一般に岩盤中に建設され、原地盤がもともと保有している地盤耐力を利用して構築されることから、地盤条件がある程度良ければ耐震性は高く、耐震検討は不要と言われてきた。しかしながら、兵庫県南部地震では、この地域にある山岳トンネルのいくつかは、開削トンネルに比べて明らかに小さいものの被害を受けた。一方、近年、交通量確保のために経済的な超大断面の扁平トンネルが基幹路線として建設されており、その耐震性能を検討、評価することは重要である¹⁾。このような状況を背景に、筆者たちは超大断面の扁平トンネル横断面を対象に、開削トンネルやシールドトンネルなどの地中構造物の耐震設計に広く用いられている応答変位法の適用性を検討したので報告する。

2. 対象断面及び物性値

山岳トンネルでは、1) トンネルの横断形状が上下非対称でかつ曲率が異なること、2) 地表・地層傾斜が存在し土被りが変化すること、3) 地層の剛性の変化が大きいこと、等が特徴である。これらを踏まえ、本検討では実際の現場で比較的多く見られる図-1の3ケースを設定した。ケース1やケース2は山岳トンネルの坑口部によく見られる例であり、ケース3は坑口部をかなり過ぎた位置に見られる一例である。

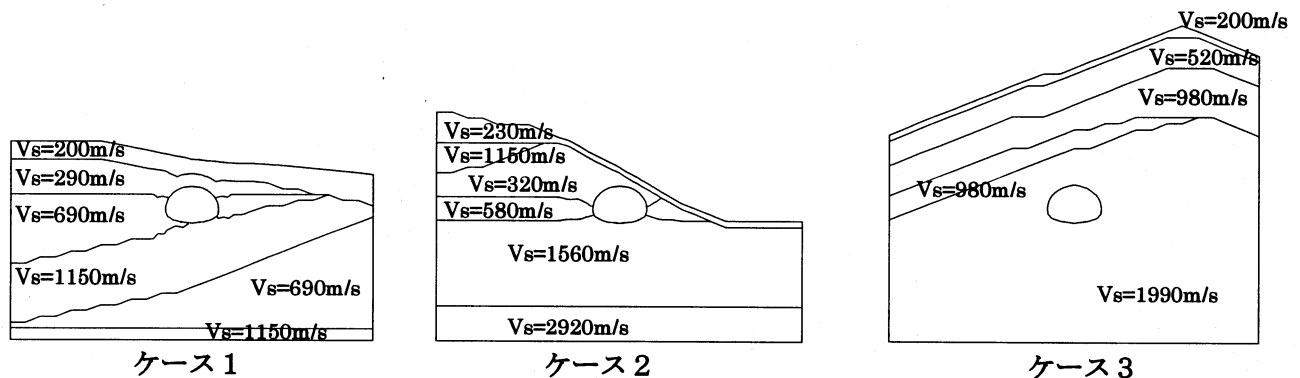


図-1 解析の対象断面

3. 二次元FEMによる動的解析

山岳トンネルは図-2のように支保工と覆工、インバートからなる。そこで、本検討では、支保工及び覆工のはり要素を覆工の軸線に重ね合わせてモデル化した。また、インバートのはり要素は、覆工の軸線に合うように位置をずらした。入力地震波は、兵庫県南部地震における強震記録を工学的基盤に戻した解析波（図-3）とし、トンネル周辺地盤が比較的硬いことから解析は二次元FEMによる線形動的解析とした。

4. 応答変位法による解析

図-4に応答変位法の解析モデルを示す。トンネルのモデル化は動的解析と同様である。地盤ばねは参考文献2)にしたがい次式で評価した。

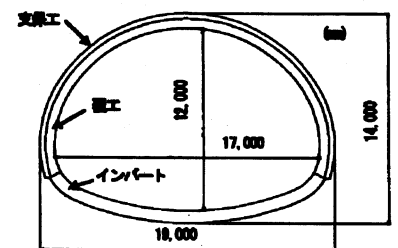


図-2 山岳トンネルの横断面図

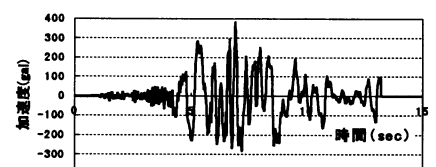


図-3 解析に使用した地震波

$$Kn=2 \times G_D/R$$

ここに、 Kn ；法線方向または接線方向の地震時地盤反力係数、 G_D ；覆工が接する地層の動的せん断弾性係数、 R ；覆工の図心半径でトンネルの水平方向（スプリングライン）と鉛直方向（センターライン）の長さの平均値の半分、とした。地盤の応答変位およびせん断力は、トンネルセンター位置における掘削前の地盤を一次元地盤モデルとして、SHAKE による線形応答解析から求めた。

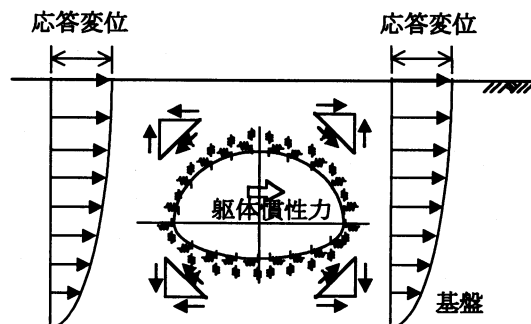


図-4 応答変位法のモデル図

5. 解析結果

トンネル底部と天端の相対変位及び覆工、インバートの断面力を表-1 に示す。

(1) 動的解析による覆工及びインバートの地震時断面力の特徴

土被りが大きく硬岩中にあるケース 3 では、曲げモーメントが非常に小さく、それに比べて軸力が卓越する。土被りが少ないケース 1、2 では、曲げモーメントはケース 3 の 10～20 倍、軸力は 2～8 倍に増大している。これは地表面付近の地山の剛性が深部に比べて小さく、トンネル底部と天端の相対変位が大きくなったためである。この解析から、山岳トンネルでは軸力が卓越すること、坑口部の断面力は土被りが大きい部分に比べて大きくなることが明らかになった。

(2) 動的解析と応答変位法の解析結果の比較

覆工とインバートに生じる曲げモーメント、せん断力は小さいので、山岳トンネルの耐震性に大きな影響を与える軸力に注目する。地表面傾斜が少ないケース 1、ケース 3 の相対変位は動的解析と応答変位法は比較的良好に一致していると言える。しかしながら、応答変位法による軸力は動的解析の 0.5～2 倍程度の値となり一致しているとは言えない。また、地表面傾斜が急なケース 2 では、相対変位、断面力とも応答変位法と動的解析の結果は一致しない。これは、応答変位法の地盤モデルが地表面傾斜の影響を考慮していないことが原因と思われる。

表-1 トンネルの相対変位及び覆工とインバートの断面力

		変位 (cm)	軸力(tf)		せん断力(tf)		曲げモーメント(tf・m)	
			最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値
ケース 1	動的解析	1.8	238(311)	-123(-148)	25(3)	-20(-19)	19(16)	-22(-7)
	応答変位法	1.7	118(260)	-129(-239)	28(10)	-14(-27)	18(21)	-18(-25)
ケース 2	動的解析	1.9	265(175)	-76(-55)	13(0.3)	-12(-12)	13(16)	-12(-9)
	応答変位法	0.3	39(72)	-40(-67)	4(7)	-2(-14)	4(8)	-6(-7)
ケース 3	動的解析	0.17	32(55)	-21(-34)	0.2(2)	-2(-1)	1(2)	-1(-2)
	応答変位法	0.1	62(102)	-63(-102)	3(6)	-0.3(-7)	2(4)	-2(-4)

※1 変位はトンネル底部と天端の相対変位 ※2 括弧外；覆工の断面力 括弧内；インバートの断面力

6. まとめ

超大断面扁平山岳トンネルの覆工及びインバートの地震時断面力は曲げモーメントが小さく軸力が卓越する。このような構造物に応答変位法を適用したところ、地表面傾斜が少ない場合でも軸力が動的解析の 0.5～2 倍程度となり精度良く解析することができなかった。このことから山岳トンネルの耐震検討を簡便な応答変位法でおこなうことには問題があると思われる。

参考文献

- 1) 西村他、超大断面山岳トンネルの地震時挙動に関する解析的検討、第 25 回地震工学研究発表会講演論文集、pp.489～492、1999.7
- 2) 土木研究所資料、大規模地下構造物の耐震設計法・ガイドライン（案）、平成 4 年 3 月