

山岳トンネルの耐震性に関する解析的検討

日大生産工（院） ○飯塚 悟 日大生産工 高崎 英邦

1. はじめに

トンネルに代表される地下構造物は、躯体が地盤に拘束され、かつ軽量なことから、地震時も周辺地盤の変形による影響が支配的となる。すなわち地盤が安定ならば地震による影響は少ないと考えられ、地震の影響を考慮した設計は重要視されてこなかった。しかし近年、阪神・淡路大震災や新潟中越地震など、各地で大地震によるトンネル被害が散見され、過去には見られることのなかったトンネル被害の状況が浮き彫りとなった。将来起こりうる大地震に備え、既存のトンネルに対する、地震被害メカニズムの把握と新たな耐震設計指針の確立が早急の課題となっている。

これまでの研究から、地震時においても地盤剛性が変位量・躯体応力等に大きな影響を及ぼし、トンネルの耐震設計には地山の地形・地質の考慮が最も重要な要素であることが確認された。その上で本報告では、FEM 応答変位法¹⁾を用いて、新潟中越地震の再現を試み、実際の被害と比較することで、地震時におけるトンネル挙動を解析的に理解することを目的とする。

2. 解析方法・解析モデルの概要

本研究では、トンネル及び周辺岩盤を FEM でモデル化し、岩盤のひずみ量に相当する変位分布を解析モデルの境界に強制変位として作用させ、覆工及び周辺岩盤の地震時応力などを算出する FEM 応答変位法により地震時応力解析を行った。解析手順の概略を図-1、解析モデルの概念を図-2 に示す。

3. 解析条件

解析条件として、新潟県中越地震の本震による地震記録から、震源に近く、被災トンネルの地質に多く見られる泥岩地帯の KIK-net 川西²⁾の記録を選定した。地盤条件を図-3、観測強震記録を図-4 に示す。

躯体の構造条件は、実際に被害を受けた魚沼トンネルをモデルにトンネル断面、工法、材料特性を決定し

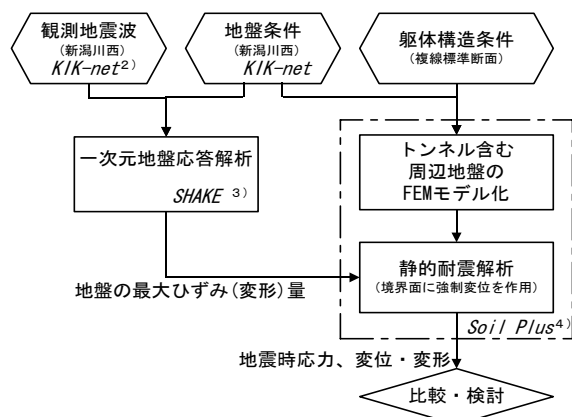


図-1 FEMによる応答変位法の手順

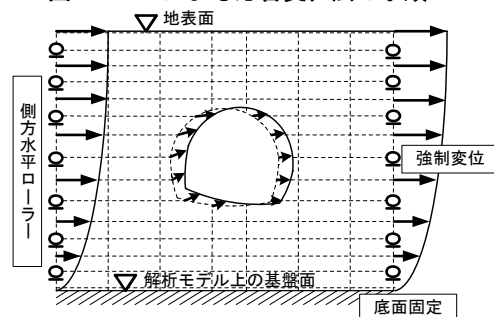


図-2 FEMによる応答変位法の概念

標尺	深度	柱状図	岩種区分	せん断波速度	単位体積重量	観測深度
(m)	(m)			Vs (m/s)	γ (kN/m ³)	(m)
	2.00		表土	200		
20	30.00		軽石混り礫	400		
40	57.00		泥岩	700		
60	63.97		泥岩シルト互層	520		
80	85.00		玉石混り泥岩	650	20 (設定値)	
100	112.00		泥岩	850		
120	185.00		中礫			
140	198.50		砂質泥岩			
160	200.90					
180						
200						

図-3 地盤条件（PS 検層値）

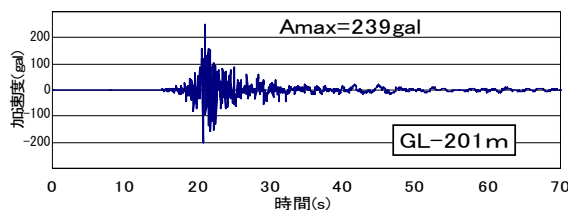


図-4 強震記録（地中・NS成分）

土被り 70m、覆工コンクリート厚 50cm（インバート厚 35cm）とした。被害箇所を**図-5**に示す。

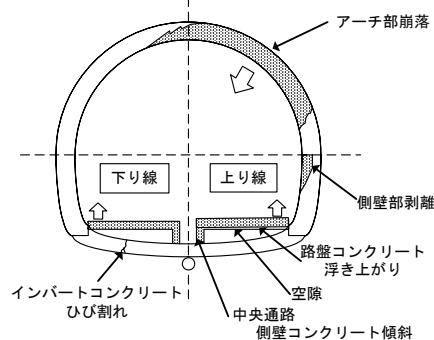


図-5 魚沼トンネル被害状況 ⁵⁾

4. 解析結果の照査と考察

4-1. 変形量・地盤応力について

図-6に示す変形図より、境界面に作用させた強制変位により、躯体が右上に釣られるような変形が確認できる。また、**図-7**に示す主応力分布において、左肩アーチ部、右下隅角部に引張応力が集中的に発生している。このことから、地震時の地盤の変形に応じた土圧及び慣性力が片方向の水平力として加わった結果、引張応力がアーチ肩部のコンクリート引張強度を上回り、**図-5**のような、覆工の崩落が発生したと推察される。

4-2. 躯体に作用する応力について

図-8の曲げモーメント図より、覆工とインバートの接合部分である形状変化の激しい両下隅角部に、他覆工部平均値の5倍もの曲げモーメントが局所的に作用している。このことは、地山荷重を想定したアーチ（馬蹄形）トンネルが、横方向からの地震力に対する耐力に問題があることを示唆しており、**図-5**のインバートコンクリートのひび割れや路盤隆起の原因となったと推察される。

5. おわりに

本研究では、地震波、地盤ひずみを考慮したFEMによる応答変位法を用いて、トンネルの地震被害の再現と地震時挙動の照査を行った。結果として、地震被害の概ねの再現と、地震動特有の周辺地盤や躯体断面における応力の集中箇所を特定することができた。以上を基礎に今後は、従来工法とNATM、補修工法や、覆工（インバート）厚等をパラメータ変数として、地震特性の検証を行うことで、耐震性により有効な断面形状や工法の選定に繋げたい。

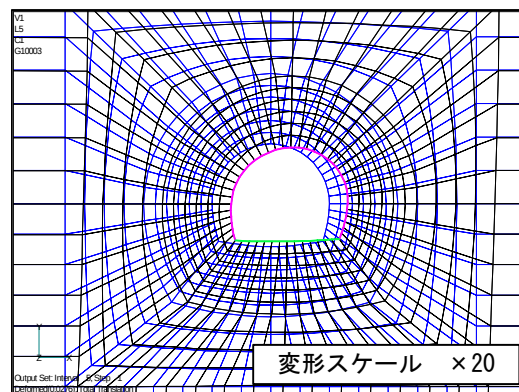


図-6 トンネル周辺変形図

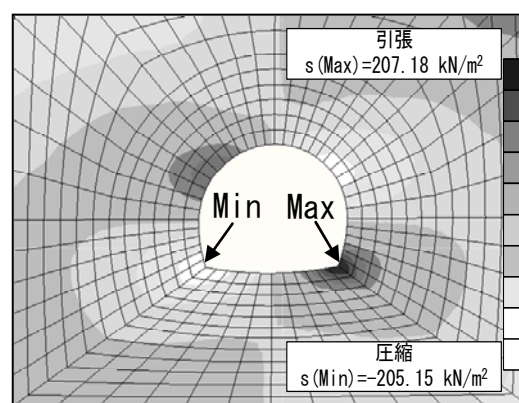


図-7 地盤の主応力図

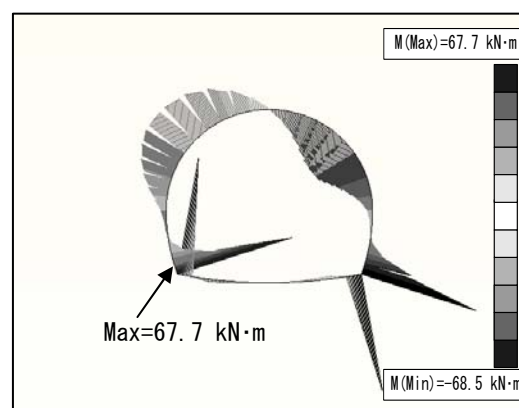


図-8 曲げモーメント図

<参考文献>

- 1) 浜田政則ほか(1984)：岩盤空洞の地震時ひずみの解析と耐震設計，土木学会論文集，No. 341，pp197-205
- 2) (独) 防災科学技術研究所，基盤強震観測網
- 3) 伊藤忠テクノソリューションズ
：一次元地盤波動伝播解析プログラム，D-PROP
- 4) 伊藤忠テクノソリューションズ
：FEM 解析システム，Soil Plus Static
- 5) トンネル工学委員会（2005）
：新潟中越地震特別小委員会報告書