

擦り付け半径を有する山岳トンネル断面の耐震設計に関する検討

東海旅客鉄道（株）

正会員　○藤田　輝一

正会員　　實地　雄大

非会員　　石井　啓稔

1. 目的

山岳トンネルにおいて、坑口部については小土被りで地山条件も悪いことから、RC 覆工としている例が多い¹⁾。本検討では、中央新幹線の山岳トンネルの RC 覆工の設計を行うにあたり、耐震を考慮した設計手法を整備することを目的とする。また、山岳トンネルの設計では、一般的に下半とインバートの隅角部において断面力が大きくなるが、**図-1** に示す通り、中央新幹線では都市部山岳工法トンネル断面で多く採用される²⁾ように、下半とインバートの接合部に擦り付け半径 R1000 を挿入した断面を設定している。中央新幹線の山岳トンネル断面で耐震設計の試設計を実施し、その影響等について考察する。

2. 検討概要

耐震設計は鉄道標準³⁾をもとに実施し、耐震設計フローを**図-2** に示すとおり設定した。**表-1** に示す通り、要求性能は安全性及び復旧性とし、それぞれ性能項目を設定した。部材の損傷レベルは、**表-2** に示す通り、曲げ破壊形態で復旧性を損傷レベル 2、安全性を損傷レベル 3 と設定した。また、走行安全性は建築限界内の変形量、残留変位は地震後の剥落対策等の保守余裕を加味して 100mm と設定した。地震時の荷重組合せは、「常時の耐久性（鋼材腐食）＋地震の影響 E_Q 」とし、常時で得られた設計断面力に対し、地盤応答解析で得られた地震による影響を加え、地震時の設計断面力とした。

3. 設計条件

試設計箇所は、**図-3** に示す通り、新第三紀の瑞浪層群（礫混じり砂岩）に位置し、坑口部は坑門工および保護盛土を実施する計画である。耐震設計の実施断面については、トンネル全体の変形が大きくなる基盤面がトンネル下端に位置する場合（A-A 断面）、およびトンネルにせん断ひずみが大きく作用する基盤面がトンネル中央付近に位置する場合（B-B 断面）について検討する。地山の変形特性は GHE-S モデルを用いた非線形特性を設定し、基準ひずみ $\gamma_{0.5}$ の算定には安田・山口の式⁴⁾を用いた。覆工コンクリートの非線形特性は、常時軸力を用いた骨格曲線（M- ϕ モデル）による、バイリニアモデルとし、 Y_b 点を通る等価剛性とした。FEM でモデル化した解析モデルを**図-4** に示す。地盤のモデル化の範囲はトンネル外方より水平方向に 5D、下端に 2D と設定し、坑口上部の傾斜から成層としてモデル化した。設計地震動の設定地盤は L1・L2 地震動とも G0 地盤のものを入力した。

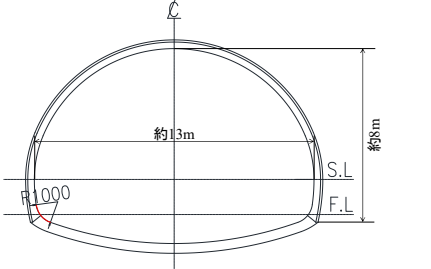


図-1 中央新幹線断面（Ⅱ_Nパターン）

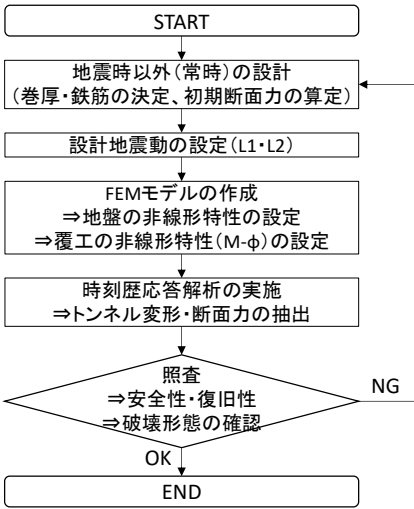


図-2 耐震設計フロー

表-1 要求性能と性能項目の例

要求性能	性能項目	作用	照査指標
安全性	破壊	地震時 (L1・L2)	力、変位・変形
	走行安全性	地震時 (L2)	力、変位・変形
復旧性	損傷	地震時 (L1・L2)	力、変位・変形
	残留変位	地震時 (L2)	力、変位・変形

表-2 要求性能に対する損傷レベル

構造物の要求性能		復旧性	安全性
部材の損傷レベル	曲げ破壊形態	2	3
	せん断破壊形態	1	1

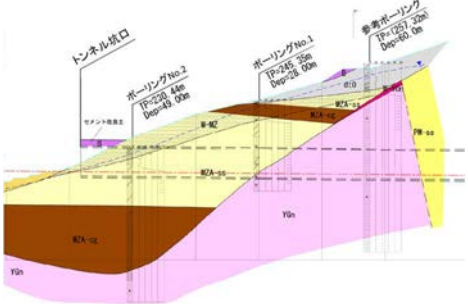


図-3 トンネル位置及び地質縦断図

キーワード 山岳トンネル、擦り付け半径、坑口部、耐震設計、鉄道標準

連絡先 〒450-6101 愛知県名古屋市中村区名駅 1-1-4 東海旅客鉄道（株）名古屋建設部 TEL 052-856-2805

4. 解析結果

A-A 断面における，最大変形時の相対変形角およびせん断ひずみを図-5 に示す．相対変形角は $1/79$ (1.26%) と大きく，離隔 $1D$ の地盤におけるせん断ひずみは最大 6% であった．一方，B-B 断面では，相対変形角が $1/454$ (0.22%) と小さかった．図-6 に A-A 断面における設計断面力図を示す．常時から地震時にかけて，軸力の大きな変動は見られない．曲げモーメントでは，アーチ肩部や隅角部において常時の 2 倍程度の値が見られた．B-B 断面においては，軸力の大きな変動は同様に見られず，曲げモーメントはアーチ肩部において 1.4 倍程度となり，A-A 断面の結果に比べて，地震の影響は小さかった．

次に，A-A 断面における曲げに関する損傷レベル図を図-7 に示す．アーチ肩部や隅角部において計 3 箇所損傷レベル 2 となるが，復旧性（損傷）に関する要求性能は満足している．せん断に関しては損傷レベル 1 であった．なお，安全性（走行安全性）および復旧性（残留変位）については，建築限界までの離隔と比較し，限界値以内であることを確認した．破壊形態の確認については，部材が曲げ耐力に達する時のせん断力と設計せん断耐力を比較する方法³⁾で実施し，A-A 断面における結果を図-8 に示す．せん断破壊先行の箇所が多い結果となったが，これは曲げ破壊に対する余裕度が極めて大きいためである．該当箇所は，全て損傷レベル 1 であり，せん断補強筋を過剰に入れるのは不合理のため，設計地震動の 1.2 倍の作用に対して部材のせん断照査が満足することを確認し，問題無いと判断した．

以上より，常時設計で決定した RC 覆工のスペックで耐震設計も満足すること，および基盤面がトンネル中央付近に位置する場合（B-B 断面）よりも基盤面がトンネル下端に位置する場合（A-A 断面）の方が地震の影響が大きいことを確認した．

5. まとめ

中央新幹線山岳トンネルにおける耐震設計を実施した結果，下半とインバートの接合部に擦り付け半径が挿入されている場合には，耐震設計では無く，常時設計で RC 覆工のスペックが決定する可能性を示した．また，基盤面の位置関係については，トンネル中央よりもトンネル下端に位置する場合の方が地震の影響が大きいことを確認した．

本検討では，坑口上部の地盤に傾斜の無い箇所の中で地盤条件の厳しい所を選定した．今後は傾斜のついた箇所において同様の検討することで，地盤条件から耐震設計の実施要否の判断ができないか，検討を深度化し，設計手法を整備していく．

参考文献

- 1) 鉄道運輸機構：山岳トンネル設計施工標準・同解説，2008
- 2) 丸善出版：鉄道構造物等設計標準・同解説（都市部山岳工法トンネル），2002
- 3) 丸善出版：鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計），2012
- 4) 鉄道運輸機構：「鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計」による時刻歴応答解析の手引き（地盤解析編），2004

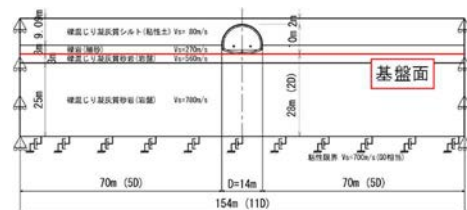


図-4 解析モデル（A-A 断面）

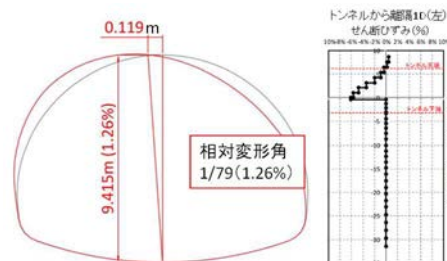


図-5 相対変形角・せん断ひずみ（A-A 断面）

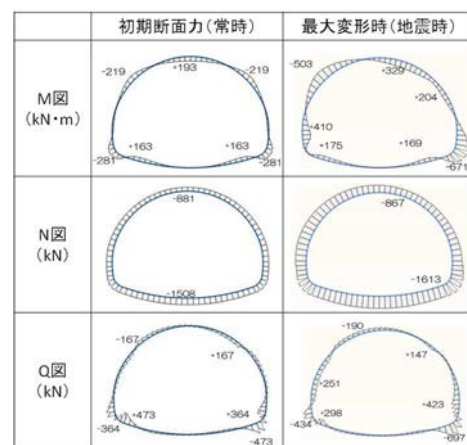


図-6 設計断面力図（A-A 断面）

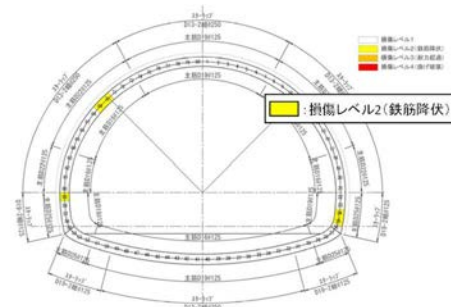


図-7 損傷レベル図（A-A 断面・曲げ）

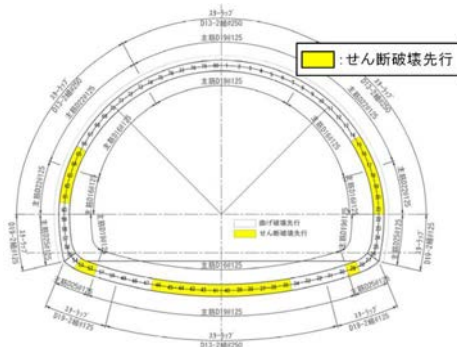


図-8 破壊形態図（A-A 断面）