

トンネル周辺地山の緩みのトンネル耐震性に及ぼす影響

中央復建コンサルタンツ 正会員 ○橋 直毅 山本雅広 宮城 大助

1. はじめに

山岳トンネルは、安定した地山中にあることより耐震性に富む構造物とされているが、2004 新潟県中越地震等の大規模地震においては、覆工の崩落等の大被害をもたらした事例もあり、一旦被害を受けるとその閉鎖性から地表の構造物に比べ、復旧に時間を要し、社会的・経済的に大きな影響を与えることとなり、想定されるあらゆる可能性を考えてトンネルの耐震性を評価することが必要である。

一般的に山岳トンネルは、①に示すようなトンネル掘削に伴う緩み(図-1)、②地山の経年劣化等に伴う緩み(岩盤の風化作用、塑性化等)等により、特に、地質が不良な場合、トンネル周辺部は緩みを生じやすく、トンネル周辺の剛性が大幅に低下する。文献2)によれば、軟岩中の掘削において、計測により施工時に緩み領域は3m程度まで生じていることが報告されている。通常、地盤の地震時挙動においては、地盤強度が高い部位から、低い部位に入ると、地震時慣性力が増加することから、トンネル周辺部の緩みに伴う強度変化によって、覆工に有害なせん断ひずみを生じることも予測される。

以上より、軟岩中に存在する山岳トンネルを想定し、地山に緩みを生じた場合のトンネルの耐震性に及ぼす影響を確認することを目的に、動的応答解析を行い、覆工発生断面力を相互に比較することで、地震時における周辺地山の緩みの影響について考察することとした。

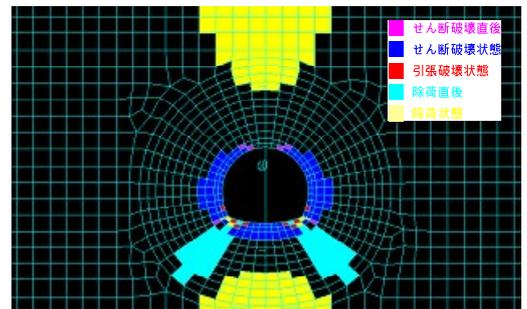


図-1 掘削解析結果:地山緩み(非線形 FEM)

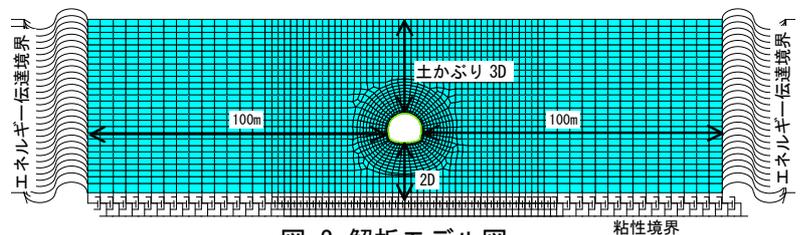


図-2 解析モデル図

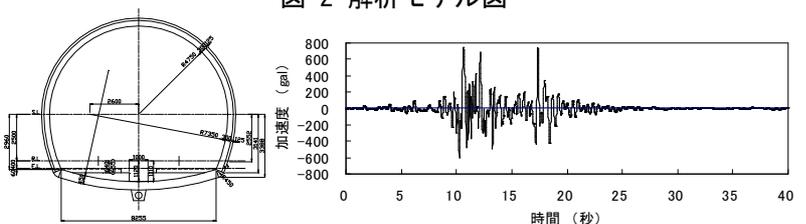


図-3 トンネル断面図と L2 地震動波形

2. 解析モデル

図-2 に示すように、トンネルの土被りは 3D 程度の土被りであり、地質は軟岩(DL 級岩盤)相当を想定した。なお、解析モデルは、地山については平面ひずみ要素、覆工はビーム要素によって構築し、解析領域の側方にエネルギー伝達境界、下面に粘性境界を設けた。なお、動的解析は等価線形化法により実施し、入力地震波形は鉄道構造物設計標準の L2 地震動を用いた。

3. 物性値および非線形特性

(1) 軟岩 (DL 岩盤)

DL 級の軟盤を想定しており、弾性波速度 $V_p=1,300\text{m/s}$ 、 $V_s=500\text{m/s}$ 程度とし、トンネルは工学的基盤層内に位置するものと想定され、一般の耐震検討は不要とみなせる(表-1)。非線形特性については図-4 に示す。

(3) 緩み領域

トンネル周辺部が沖積土砂程度の $V_s=170\text{m/s}$ 程度まで低下していると考え、であり、せん断弾性係数は 1/10 である(表-1)。非線形特性については、図-4 に示す軟岩と同じ特性とした。

(3) トンネル覆工

覆工は、線形弾性ビーム要素として設定した。なお、単位重量は 23.0kN/m^3 、変形係数は $2.0 \times 10^7 \text{kN/m}^2$ とした。ただし、ここでは、一次支保工、補助工法の剛性は考慮しない。

表-1 地山と緩み領域の物性値

	単位重量 γ (kN/m ³)	弾性波速度 V (m/s)	初期せん断弾性係数 G_0 (kN/m ²)	ポアソン比 ν_d	減衰定数 h (%)
軟岩(DL)	20	500	500,000	0.4	5
緩み領域	16	170	50,000	0.5	5

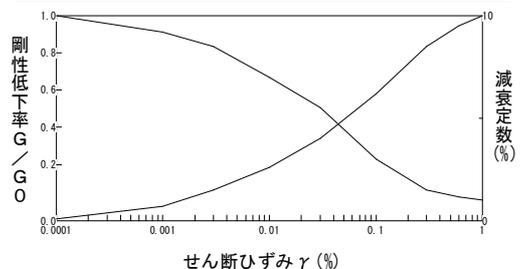


図-4 非線形特性

キーワード 山岳トンネル, 耐震性, 緩み

連絡先 〒533-0033 大阪市東淀川区東中島 4 丁目 11 番 10 号 中央復建コンサルタンツ(株) TEL 06-6160-3206

4. 検討ケース

図-5 に示す 4 パターンの緩み領域について動的解析を行い、それぞれの発生最大断面力について比較し、考察した。

5. 解析結果

図-6 に地山の変位図、図-7 にトンネル覆工の変形図および発生最大断面力を示す。

トンネル覆工変形については、Case2, Case4 で小さくなるが、Case2 は、側壁からアーチ肩部に掛けて軟岩と密着していること、また、通常、基盤層との境界部の位置からせん断変形が大きくなることから、Case2 はトンネルに影響を及ぼす範囲が小さいためと考えられる。

Case4 については、覆工周辺地山全体が低強度のため、せん断変形が緩衝されること。また、インバート下部から軟岩まで 3m の離隔が存在するため、トンネルに与えるせん断ひずみは小さくなるものと考えられる。Case3 は、変形が大きくなるが、緩み領域と軟岩との境界部の位置がインバート付近であり、最もせん断ひずみが大きい深度においてトンネルが存在しているためであると考えられる。

曲げモーメントについては、Case2 では、トンネル変形が小さくなるが、アーチ肩部の地盤反力も小さくなるため、結果として、曲げモーメントが大きくなる。Case3 では、トンネル変形が大きくなる結果として、曲げモーメントが大きくなり、一方 Case4 では、変形が小さくなる結果として、曲げモーメントが小さくなる。

軸力はどのケースについても、緩み領域の範囲で軸力が増加する傾向があり、せん断力については、緩み領域と軟岩との境界部の位置から、覆工に入力される力が大きくなることから、緩み領域と軟岩との境界部の位置で卓越することがわかった。

5. まとめ

トンネル周辺地山の緩みのトンネル耐震性に及ぼす影響について以下にまとめる。

- ① トンネル周辺地山に緩みが存在する場合、覆工断面力に影響を与えることがわかった。
- ② 緩み領域と地山との境界部の位置によりトンネル覆工の位置の関係によりトンネル覆工の変形、曲げモーメントの大小が異なる。
- ③ 緩み領域と地山との境界部において、せん断力が大きく卓越する傾向が見られる。

以上から今後、緩みに伴う剛性の低下程度の影響(インピーダンス比等による影響)、緩み領域の影響、基盤層の形状による影響などを含めて検討を行い、山岳トンネルの耐震性評価を実施する予定である。

参考文献

1) 橘ら：兵庫県南部地震(1995)、新潟県中越地震(2004)におけるトンネルの被害の傾向、トンネル工学報告集, pp. 215-219, 2007. 11.
 2) 野々村ら：初期高強度吹付けを用いた NATM 新支保パターンにおける計測結果と考察、トンネルと地下, pp. 47-54, 2006. 10

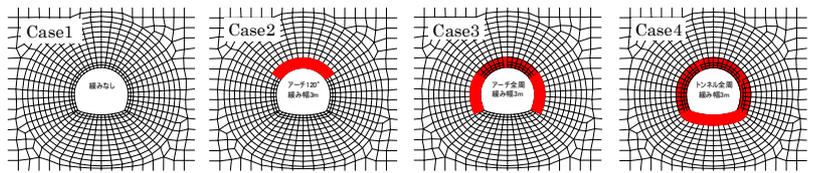


図-5 検討ケース

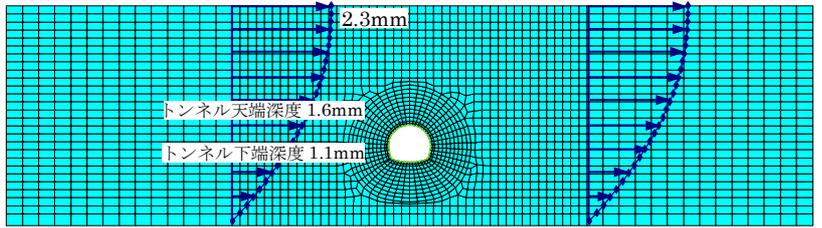
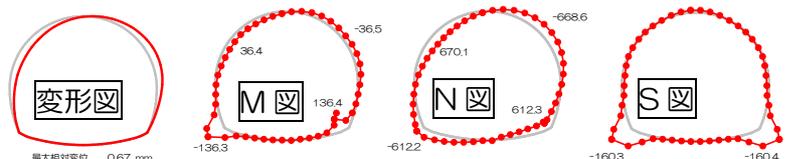
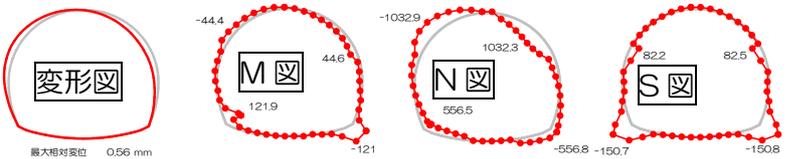


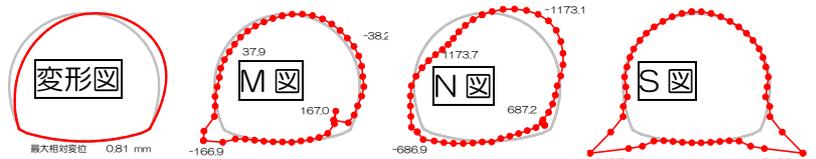
図-6 地山全体の最大変形(時刻 18.22sec)



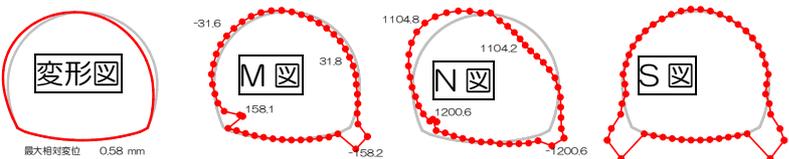
Case1 緩み領域なし(最大時刻 18.22sec)



Case2 アーチ 120° 緩み幅 3m(最大時刻 12.24sec)



Case3 アーチ全周 緩み幅 3m(最大時刻 18.22sec)



Case4 トンネル全周 緩み幅 3m(最大時刻 12.24sec)

図-7 トンネル覆工の変形図および発生最大断面力