

山岳トンネルの地震被害に関する考察

日本道路公団
パシフィックコンサルタンツ（株）
同 上

正会員 関 茂和
正会員 ○山本 一敏
正会員 山本 秀樹

1. はじめに

兵庫県南部地震や新潟県中越地震において、山岳トンネルの覆工に被害が生じている。被害パターンには様々なものがあるが、図-1のように覆工のアーチ天端部にクラックが生じたものも数多く見られ、なかには覆工が崩落したものもある。¹⁾ 本検討では、無筋コンクリート覆工のアーチ天端部の被災に着目し、被災メカニズムについて考察する。

2. 覆工のクラック位置に関する考察

検討対象とする覆工および地盤条件を図-2に示す。地山等級はDI、土被りは150m、覆工は30cm厚のNATMの無筋コンクリートである。ここでは、覆工に作用する変形とクラックのパターンを把握するために、図-3のように覆工と周辺地山をモデル化し、解析モデル周囲にせん断、水平および上下圧縮変形を独立に作用させた。覆工および地山は平面要素でモデル化し、覆工には分散ひび割れモデル²⁾を適用し、周辺地山の変形特性は線形とした。図-4にはクラックが進行し解析が不安定となる段階（覆工部の平均せん断ひずみが 5.6×10^{-5} 、水平および上下圧縮変形が3.8cmと2.9cm）のクラック状況を示す。せん断変形に対してはアーチ肩部や隅角部でクラックが生じている。水平および上下圧縮変形に対しては、アーチ天端部、インバート中心部および側壁等にクラックが見られる。このことから、アーチ天端部の損傷には、水平および上下圧縮変形が関係していることが推察される。

3. 内空の残留変位の推定

覆工に地震時および地震後に作用する変形を推定するために、周辺地山をモデル化した地震応答解析を実施した。なお、トンネルが掘削された際の掘削解放応力に伴う初期せん断を考慮し、周辺地山にはH-Dモデルで非線形特性を与え残留変位を算出した。入力地震動はレベル2タイプII地震動とし、兵庫県南部地震で観測された強震記録に基づいて設定された解放工学的基盤面における地震動の加速度応答スペクトルに合致するように振幅調整した波形を用いた。図-5～6に地震後の残留変形図および内空の相対変位波形を示す。図-6のようにトンネルの内空は地震時に全体としてせん断変形を受けるが、次第に残留変形が蓄積し、最終的に左右に0.5cm程度、鉛直方向に1.0cm程度内空が縮小している。この残留変形は、図-4の水平および上下圧縮変形よりもやや小さいレベルである。図-7に示す側壁近傍の要素の応力-ひずみ関係を見ると、掘削に伴うせん断変形を受けている周辺地山が、地震時に繰り返しせん断を受け、残留ひずみが生じていることがわかる。

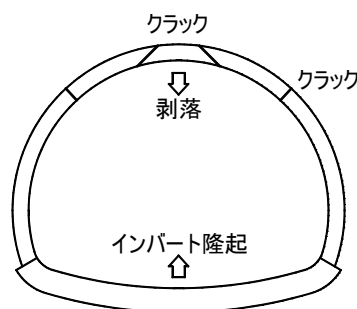


図-1 覆工の被害パターン

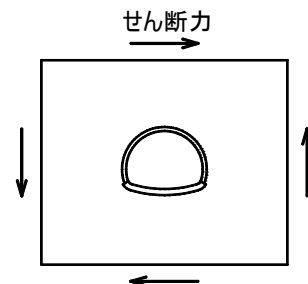


図-3 覆工のクラック解析

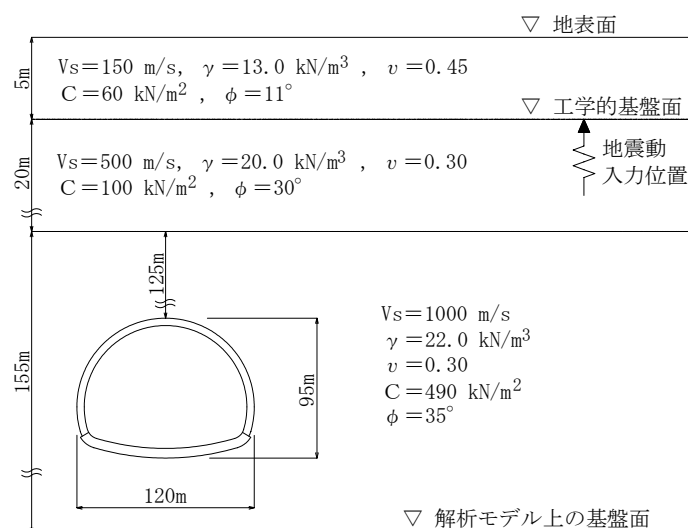


図-2 対象地盤および覆工

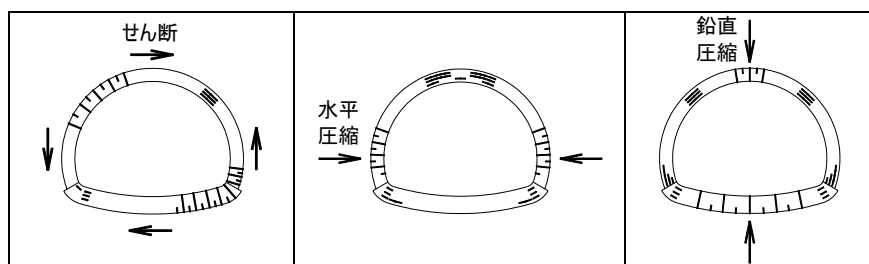


図-4 覆工のクラックの状況

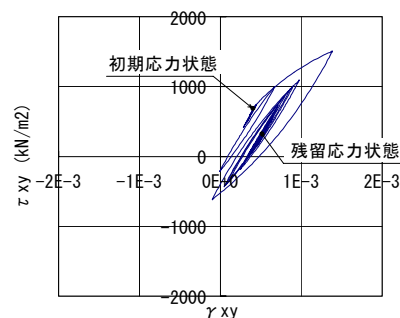
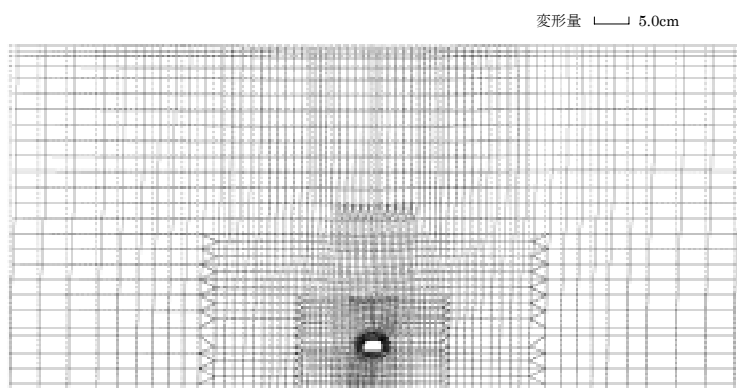
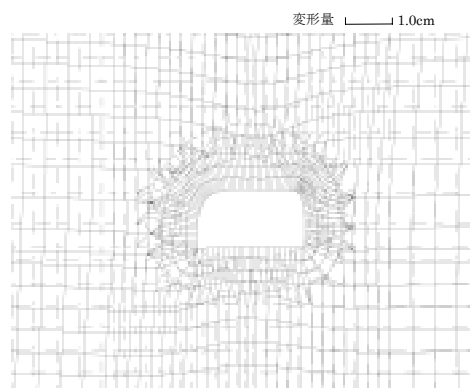


図-7 地山の応力ひずみ関係



a) 全体図



b) 内空部拡大

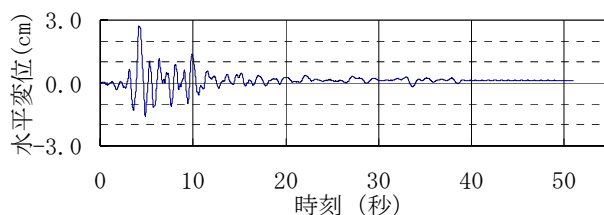
図-5 周辺地山の残留変形

4. まとめと今後の課題

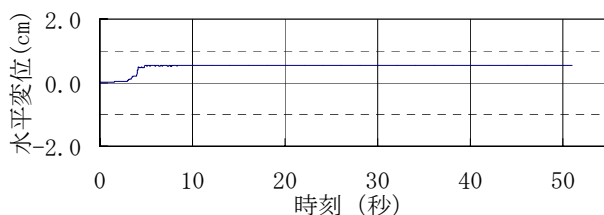
山岳トンネルのアーチ天端部の地震被害については、周辺地山に地震後に残留変位が生じ、トンネル内空が縮小することが原因の一つとして考えられることを示した。

しかし、無筋コンクリートの覆工では数 cm レベルの小さい残留変位が議論となると想定されるが、実トンネルで地震後の残留変位を精度よく把握できことは稀であるので、現時点では検証は困難である。さらに、実際の山岳トンネルの地震被害は多様であり、地震前の地山や覆工の状態が地震被害に深く結びついていることが予想されるものの、評価が困難である。

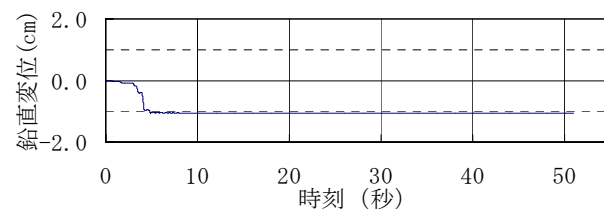
今後、周辺地山の初期応力状態や変形特性の把握、覆工周面の滑り・剥離の影響の評価、無筋コンクリートの覆工の初期応力状態や変形特性の把握、トンネルの限界状態の設定等が課題として挙げられ、取り組んでいく必要がある。



a) 天端～インバート間(水平方向)



b) 側壁間(水平方向)



c) 天端～インバート間(鉛直方向)

図-6 内空の相対変位波形

参考文献

- 1) 例えば、<http://www.pwri.go.jp/jpn/news/20041026c/earthquake.htm>
- 2) 岡村、前川：鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則