

動的解析によるトンネルの地震時変状評価の基礎的研究

長崎大学工学部 学生会員 ○福田展弘

長崎大学工学部 正会員 王 純祥

長崎大学大学院 フェロー会員 棚橋由彦

長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静

長崎大学工学部 正会員 杉本知史

1.はじめに

本研究では、2007年に発生した新潟中越沖地震及び2008年に発生した岩手・宮城内陸地震で被害を受けた道路トンネルの情報を収集し、それらの情報をGISによりデータベース化して、トンネルの地震被害の変状分析を行う。被害分析では、被害特徴を抽出した上、モデルトンネルを用い、動的解析により地震時の変状メカニズムを検討する。その結果を基にトンネルの損傷原因と、補強箇所を明らかにし、損傷を軽減させることを目的とする。

2. 動的解析におけるモデルの設定

図-1は本研究の動的解析概略図で、地中構造物とfree field(自由領域)の地震波の分析モデルである。free fieldを設けることにより、地中構造物の基礎地盤の揺れを拘束せずに地盤を半無限的に続け、エネルギーを横に逃がしていると仮定している。また、free fieldの境界条件を粘性と仮定することで地震波の反射を吸収している。図-2は標準断面(二車線)トンネルの解析モデルを示す。土被りは280m、表-1に物性値を示すが、吹き付けコンクリートの厚さは0.15m、覆工コンクリートの厚さは0.3m、緩み領域は、吹き付けコンクリートの背面から周囲3mとした。図-1に示すように、真下の境界から地震波を加えて解析を行う。地震波の入力には式(1)に示す速度波形を用いる。

$$V = \sin(2.0\pi ft)A \quad (1)$$

ここで、 V は速度(m/sec)、 A は振幅(m/sec)、 f は振動数(Hz)、 t は経過時間(sec)を示す。媒体を通ったP波の伝播速度及び媒体を通ったS波の伝播速度を式(2)、(3)に示す。

$$C_p = \sqrt{\frac{K + 4G/3}{\rho}} \quad (2)$$

$$C_s = \sqrt{G/\rho} \quad (3)$$

ここで、 C_p は媒体を通ったP波の伝播速度(m/s)、 C_s は媒体を通ったS波の伝播速度(m/s)、 K は体積弾性係数(MPa)、 G はせん断弾性係数(MPa)、 ρ は媒体の密度(kg/m³)を示す。静止境界面に地震の運動を入力するために、応力境界条件が使われる。式(1)の速度波形は、式(2)、(3)を用いることにより応力に変換することができる。

$$\sigma_n = 2(\rho C_p)v_n \quad (4)$$

$$\sigma_s = 2(\rho C_s)v_s \quad (5)$$

ここで、 σ_n は垂直応力(MPa)、 σ_s はせん断応力(MPa)、 ρ は媒体の密度(kg/m³)、 v_n は入力した垂直方向粒子速度(m/s)、

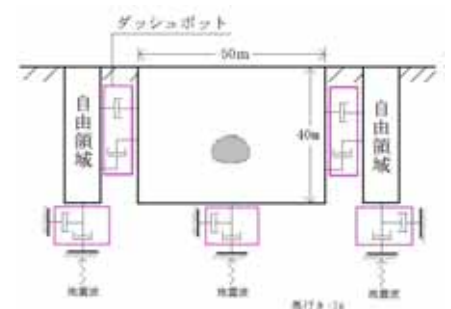


図-1 動的解析概略図

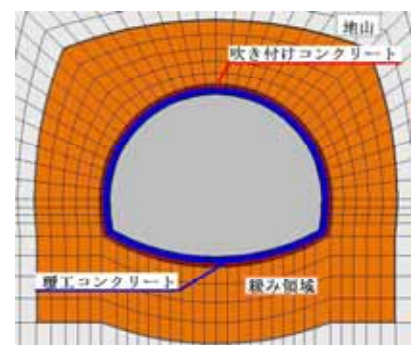


図-2 解析モデル図

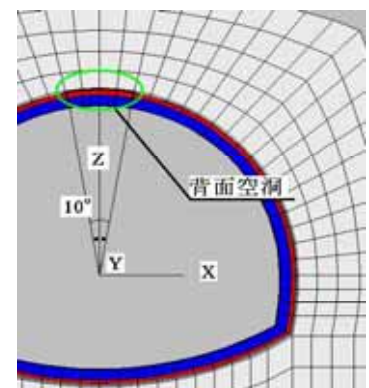


図-3 背面空洞箇所

キーワード：トンネル、地震、三次元動的解析

連絡先 〒852-6521 長崎県長崎市文教町 1-14 長崎大学工学部社会開発工学科 地盤環境研究室 TEL:095-819-2618

v_s は入力したせん断方向粒子速度(m/s)を示す。また、在来工法のトンネルの場合で、吹き付けコンクリート裏に空洞が存在するので、本研究では、図 - 2 の天端部の吹き付けコンクリート裏に図 - 3 に示した天端部に深さ 5cm、空洞範囲 10° の空洞を再現した要素を設けて背面空洞を表現した。

3. 解析結果と考察

入力地震波形は図 - 4 に示すように 2007 年に発生した新潟中越沖地震である記録データであり、振動数 1.47 (Hz)、振幅 0.958(m/sec)の地震波を解析モデルに 2.5 秒間加えた。

解析するにあたり、モデルの x 軸方向、z 軸方向をモデルの水平方向、鉛

直方向とした。表 - 2 の物性値を持つ新潟県中越沖地震で最も被害を受けた第一米山トンネルの地山をモデルとした。地震波を与え始めてから 3.0 秒及び 15.0 秒後背面空洞無しの場合と背面空洞有りの場合における覆工コンクリートの時間経過による変位及びせん断応力の変化について考察した。

図 - 5 は、覆工コンクリートの全変位の分布と変位ベクトルの変化を

表している。地震力を加えてから 3 秒後では、赤色の印で最大の全変位を示す。また、インバートの脚部や背面空洞有りの天端では、曲げが作用していた。15 秒後では、インバートで最大の全変位を示した。また、3 秒後と同じように曲げが作用していた。

次に、図 - 6 は地震力を加えて 3 秒後の覆工コンクリートのせん断応力を表す。天端及びインバート付近でせん断応力が大きくなっており、背面空洞有りの方がせん断応力は集中していることが分かる。

4. 結論

本研究では、覆工背面空洞の存在による損傷を動的解析により考察した。トンネルの構造から上部アーチやインバートが損傷を受けやすいことが分かった。本研究では、地震時にトンネルのどこが損傷を受けやすいのかは推定できたが、トンネルがどのような損傷を受けるのかをさらに検討し、損傷原因の抽出と補強対策技術の提案につなげていきたいと考える。

【参考文献】1) DYNAMIC ANALYSIS : Itasca Consulting Group, Inc. 2) 行武里恵, 上田静, 蒋宇静, 棚橋由彦 : GIS を用いた地震によるトンネル被害状況の分析, 平成 18 年土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 2007.

表 - 1 コンクリートの物性値

種類	吹き付けコンクリート	覆工コンクリート
ヤング係数(GPa)	10	20
ポアソン比	0.25	0.25

表 - 2 地山の物性値

種類	地山	緩み領域
ポアソン比	0.42	0.42
密度 ρ (kg/m ³)	2142	2142
内部摩擦角 ϕ (°)	35.0	30.0
粘着力 c (MPa)	1.00	0.50
ヤング係数(MPa)	1000	1000

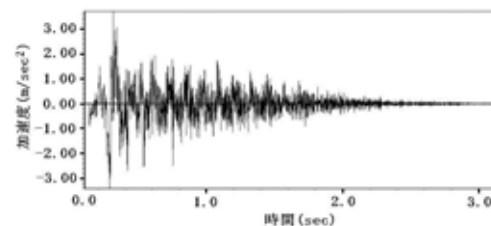


図 - 4 入力地震波形

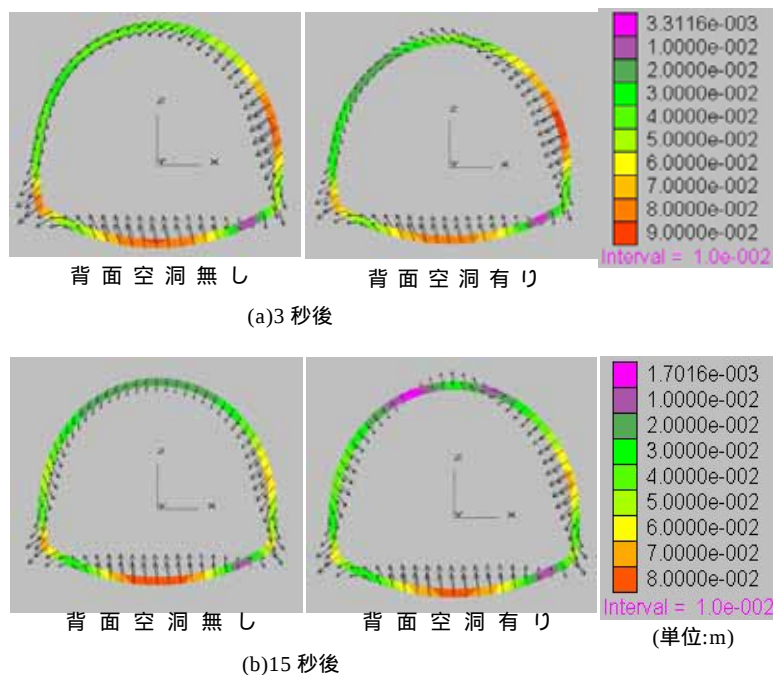


図 - 5 時間経過による変位ベクトルの変化

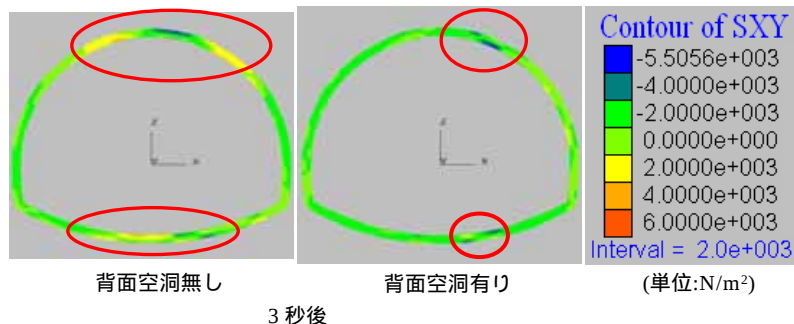


図 - 6 覆工コンクリートのせん断応力