

新潟県中越地震において被災した木沢トンネルの最も可能性の高い被害原因の推定

愛媛大学大学院	学生会員	○土谷 基大
愛媛大学大学院	フェロー	森 伸一郎
愛媛建設コンサルタント	正会員	神野 邦彦
キンキ地質センター	正会員	増田 信

1. はじめに

2004年新潟県中越地震が発生し、木沢トンネルにおいて重大な被害の発生が確認された。このトンネルは南北に延びる延長 305 m の道路トンネルで、被害はトンネル全体に及んでいる。森ら¹⁾によると北側坑口から 30～75 m 区間での被害は特に甚大で、コンクリート剥落を伴う巨大亀裂(圧挫亀裂)が生じ、それと平行して開口状態の亀裂が生じていることが明らかにされた(図-1)¹⁾。さらに、図-2 に同区間におけるトンネル横断面図の変形の様子が、圧挫亀裂、開口亀裂の部分があたかもヒンジの働きをし、横断面がせん断変形して、アーチコンクリートが東側に移動していることが明らかにされた。このため、当初これらの被害はトンネル周辺の地山の地すべり性挙動が原因であると推測された。しかし、その後の森らの研究²⁾によると、トンネル上部の地山には表層崩壊などの小規模な被害は見られるものの、地すべり性の挙動は無いと確認されている。これにより、被害原因は地盤の振動による可能性が高いことを示唆している。本論文では、周辺地山の地震応答を評価してトンネル被害との関連性を検討した。

2. 解析対象地点の概要

図-3 に木沢トンネル北側坑口から 60 m 地点における地質横断面図を示す。この地点の地盤構造は4層に区分することができ、表層には Dt1, Dt2 層、その下部には W2 層, W1 層, Rf 層がある。トンネルは、強風化岩である W2 層と風化岩である W1 層の境界部を貫通し、その境界部はおおよそトンネル S.L 上に位置している。図-4 には BV17-2 のボーリング柱状図を示しているが、深さ約 23 m 地点(W2 層と W1 層の境界)を境として N 値が急激に変化している。また、W2 層は N 値が極めて小さい。

3. 解析方法

BV17-2(L=31.12 m)のボーリングデータを用いて地震応答解析を実施した。1次元地盤モデルを作成し、プログラム SHAKE³⁾を用いて等価線形化法による解析を行った。土の密度は、試験値を参考にした。せん断波速度は N 値より道路橋示方書の推定式⁴⁾から推定した。また、各層のひずみ依存の繰り返し変形特性は山口・安田の式⁵⁾より推定した。この際に必要な土の粒径については、ボーリング柱状図記載の土質名に基づき、平均粒径の設計値を与えた。また、入力地震動については、木沢トンネルから南南西に約 3.1km 地点の JMA 川口町川口が最も近く、次いで、北北東に約 4.9 km 地点に位置する JMA 山古志村竹沢が近い。震央距離はそれぞれ約 2.5 km, 5.5 km であり、これら

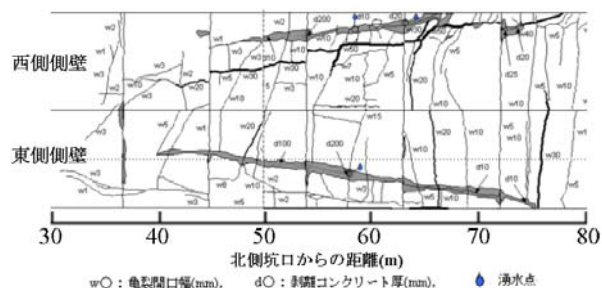


図-1 北側坑口から 30～80 m 区間の亀裂展開図

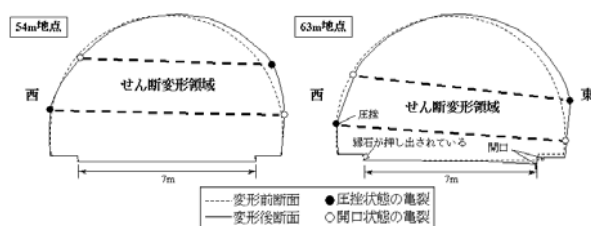
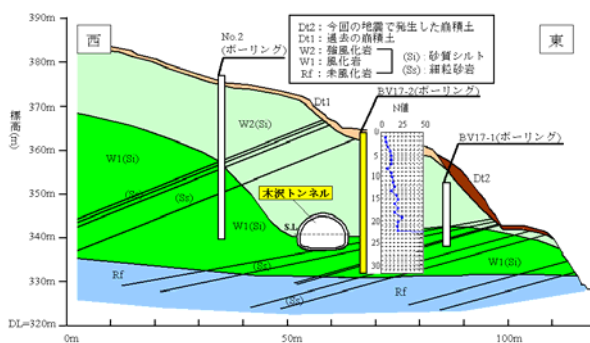
図-2 巨大な軸方向亀裂区間のトンネル横断面の変形¹⁾(北側坑口から 54 m, 63 m 地点)

図-3 北側坑口から 60m 地点における横断面

キーワード トンネル, 地震, 振動, 震害

連絡先 〒790-8577 松山市文京町 3 FAX : 089-927-9845, e-mail : mori@dpc.ehime-u.ac.jp

2つの観測点を結ぶ線分間上に木沢トンネルおよび震央はおおよそ位置している．そこでこの2つの観測記録を使用した．着目するトンネル被害が東西方向に卓越する変形であるため，入力地震動は観測記録のEW成分を使用した．図-5にその加速度時刻歴を示す．80秒間を解析に使用するが，図では始めの50秒間を示している．地震動はBV17-2の最深点である31m地点を基盤として入力した．

4. 地震応答解析結果

図-6に，最大加速度，（基盤に対する）最大相対変位，せん断ひずみの最大応答値分布を示す．どちらの入力動地震動に対する応答結果も同様な傾向が見られる．最大加速度は深さ20～27m区間において変化が著しく，川口町川口の結果では同区間で 500 cm/s^2 以上の応答値の差がみられる．また，地表面の最大加速度は入力基盤よりも増幅する傾向にある．相対変位は，深さ23.5m地点を境界として急激に増加し，地表面での変位は21cmにも達する．これは，深さ23m地点においてひずみが急増したためである．山古志竹沢においては0.79%，川口町川口に至っては破壊領域に入る1%を超える結果となっている．

5. 結論

- (1) 地表面での最大加速度は入力基盤よりも増幅する傾向がみられる．また，入力基盤面に対する地表面の相対変位は21cmにも達しており，これらがトンネル上部の地山表層の被害に繋がった可能性がある．
- (2) W1, W2層の地層境界付近で最大加速度，（入力基盤に対する）最大相対変位，最大せん断ひずみの変化の割合が著しく大きく，木沢トンネルはこの地層境界に位置していることが原因で，トンネル横断面変形を伴う被害を受けた可能性がある．

謝 辞

新潟県土木部には木沢トンネルの各種資料（設計に関する資料や地震後の調査資料を含む）をご提供いただくとともに，現地調査にご協力いただきました．(株)興和の坂井 俊介氏には木沢トンネル周辺地質の資料を提供して頂きました．また，気象庁による川口町川口，山古志村竹沢の地震動観測記録を使わせて戴きました．ここに記して感謝します．

参考文献

- 1) 森 伸一郎，土谷 基大：新潟県中越地震における木沢トンネルの被害とそのメカニズム，土木学会地震工学論文集，第28巻，CD-ROM，#182，pp.1-10，2005.8
- 2) 森 伸一郎，土谷 基大：新潟県中越地震において被災した木沢トンネル周辺地盤被害，第41回地盤工学研究発表会，2006.7.（投稿中）
- 3) Schnabel, P.B., Lysmer, J. and Seed, H.B.: SHAKE - A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites -, University of California Berkeley, Report NO.EERC 72-12, pp.1-54, 1972.
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説(V 耐震設計編)，1996.
- 5) 安田 進，山口 勇：種々の不攪乱土における土の動的変形特性，第20回土質工学研究発表会，pp.539-542，1985.

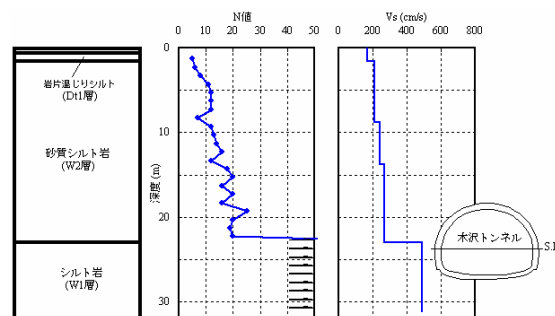


図-4 BV17-2 ボーリング柱状

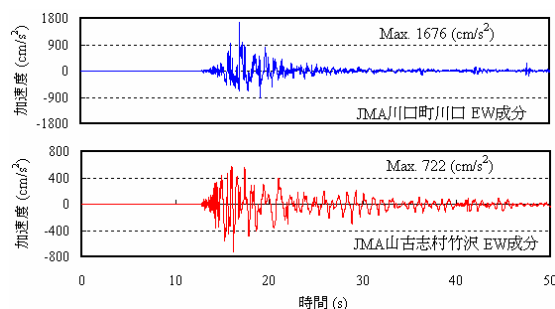


図-5 入力地震動 (JMA 川口町川口 EW 成分，JMA 山古志村竹沢 EW 成分)

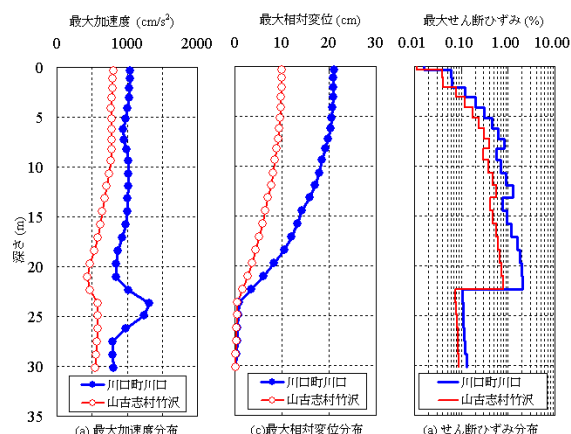


図-6 最大値応答分布