

地震によるトンネル被害と地盤の関係及び被害機構の考察

前橋工科大学 学生会員 ○増山 裕幸
前橋工科大学 フェロー会員 那須 誠

1. まえがき

2004年10月23日に発生した新潟県中越地震では、今まで比較的被災例の少なかったトンネルが各所で深刻な被害を受けた。また、1978年伊豆大島近海地震(M7.0)において伊豆急行鉄道の稲取トンネルが被災し、そのほか常時や施工中においても地層境界(不連続面)附近で被害が発生している。今回の調査からトンネル被害の中で共通する要因として、地層境界(不連続面)が挙げられることを以下に述べる。

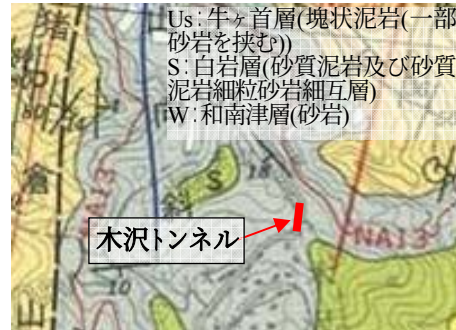


図1 木沢トンネル周辺の地質²⁾

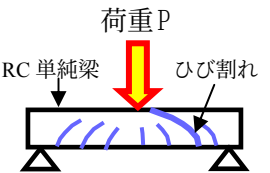


図4 RC単純梁
載荷試験

2. 主なトンネル被災例

(1) 県道71号木沢トンネル(2004年新潟県中越地震)

このトンネル(延長305m、幅9.2m、高さ約6m)では、北側坑口より30~80m区間で巨大低角亀裂、100~307m区間で横断方向亀裂や打継目の開口が現れるなどの被害が生じた¹⁾。新潟県中越地震の発生前(2004.10.20)には、各地で記録的な被害をもたらした台風23号による降雨102mm/day(長岡観測所³⁾)が観測されていて、巨大低角亀裂附近の沢地形(図2)での地下水の集中が地すべりの素因となり、これがトンネルの地震被害に影響を与えたものと考えられる。この附近のトンネルひび割れ展開図(図3⁵⁾)をみると、沢地形(図2のA部)に集中荷重が作用したように、即ち沢の下流方向に地すべりが生じたように曲げひびわれが発生している。これはRC単純梁載荷試験時の曲げせん断ひびわれの現れ方に似ている(図4)。

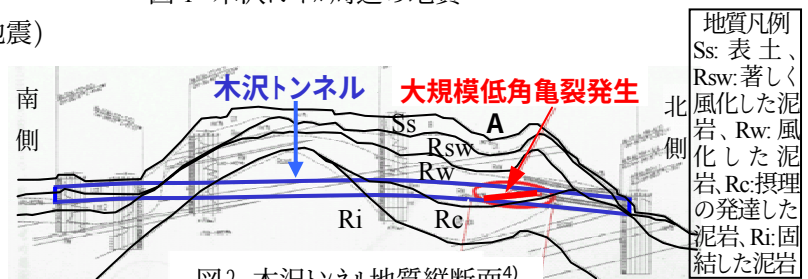


図2 木沢トンネル地質縦断面⁴⁾

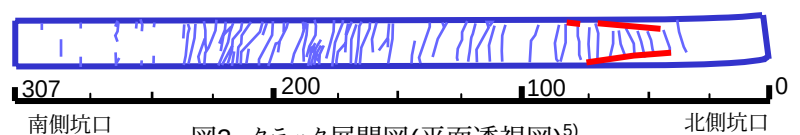


図3 クラック展開図(平面透視図)⁵⁾

(2) 上越新幹線魚沼トンネル(新潟県中越地震)

小千谷市から川口町に跨るこのトンネル(延長8,624m、幅9.6m、高さ7.4m、覆工厚50~90cm)で、コンクリートアーチ部崩落、路盤コンクリート隆起、側壁の押し出しなどの被害が発生した(図5⁶⁾)。図5よりこのトンネルは右側から編土圧を受けたように変形した。主な被害箇所は南側坑口より①約2,400m附近、②約2,820m附近、③約6,020m附近で図6,7に示した。図6,7より、①及び②の被害地点は震央と非常に近く、附近をほぼNS方向に延びる猪倉山断層が通る。そして両者は地層境界部に位置している。この地点はトンネル施工時に多量の湧水が発生した場所に近い⁷⁾。一般に岩盤の節理を水みちに地下水が存在することもあるが、地層境界部には透水性の違いから地下水が集中し易いといえる。

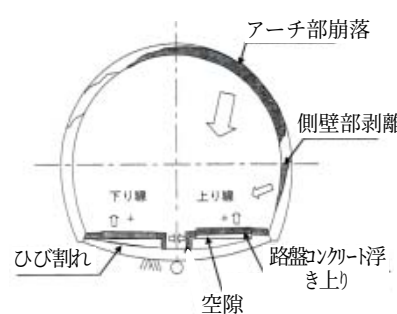


図5 魚沼トンネル変状図⁶⁾

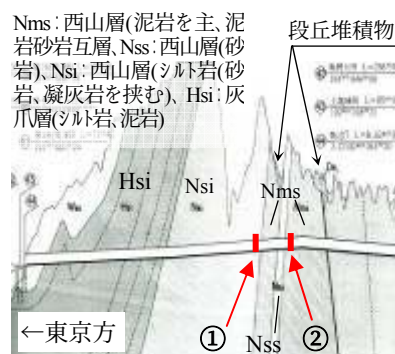
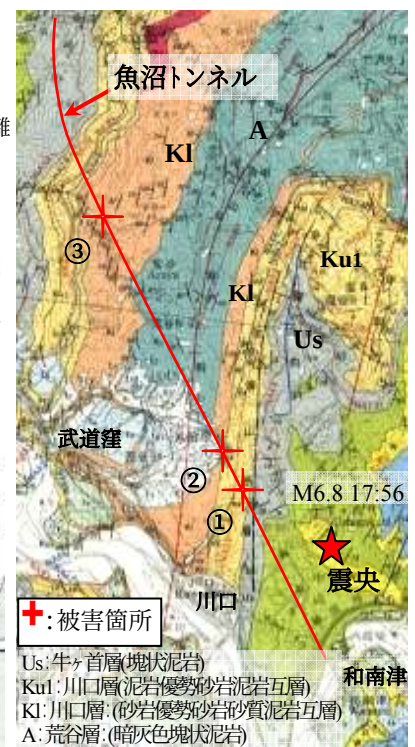


図7 魚沼トンネルの地質縦断面図¹⁾ 図6 魚沼トンネル周辺の地質²⁾



キーワード: 活褶曲構造、地すべり、新第三紀層、地層境界、曲げせん断、スレーキング、覆工コンクリート崩落、活断層
連絡先: 群馬県前橋市上佐鳥町460-1、TEL.027-265-7342、E-mail:@maebashi-it-ac-jp

(3) 塚山トンネル (新潟県中越地震、常時、1964 年新潟地震(旧トンネル))

このトンネル (延長1766m、幅8.7m、高さ6.3m) では、1966 年の完成直後から覆工コンクリートひび割れ、断面縮小、墳泥発生、沈下などの変状が現れ、長期間修復を行ってきたが、今回の新潟県中越地震でも圧さ、ひび割れなどの被害が発生した。また、1964 年の新潟地震(M7.5)において、旧トンネルの塚山第一トンネルと第二トンネルが圧砕、剥離、ひび割れなどの被害を受けた(図8⁸⁾の①、②に示す)。この地点は新潟地震の震央から直線距離で約 120km 離れている。現在の塚山トンネルで常時から著しい変状を見せた区間は、西側坑口より 300m 地点から約 30m 区間(図8の③に示す。)で、ここは地層境界(不連続点)にあたる⁹⁾。この地層境界部をモデルに 2 次元 FEM 静的応力変形解析¹⁰⁾を行った結果、図9に示すように地層境界部(同図の joint 部)に卓越するせん断変形を確認することができた。よって、常時でも変位量に違いの現れる地層境界部は、地震時であればなおさらそこにせん断変位が大きく生じ、トンネルに被害を及ぼすと考えられる。

(4) 稲取トンネル(1978 年伊豆大島近海地震)

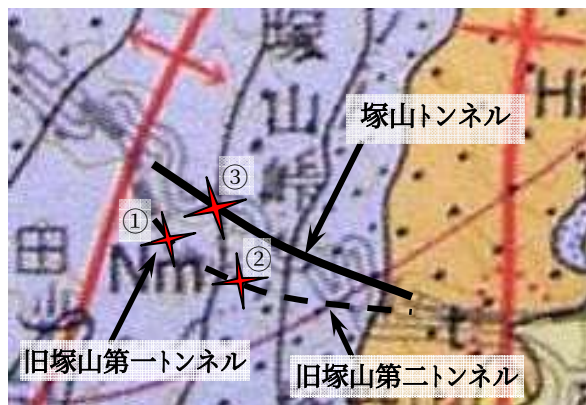
この地震(M7.0)で稲取トンネル(延長 906m、伊豆急行鉄道)が、トンネルのほぼ中央部(図10¹¹⁾の丸印)で、横断方向にレールが最大73cmの食い違いを生じた。被害箇所附近には、トンネルとほぼ直交するかたちで稲取—大峰山断層(右横ずれ)が通っている(図 10¹¹⁾)。また、この断層の約 3km ほど北側に浅間山断層(左横ずれ)がほぼ平行するかたちで存在する。この 2 つの断層に挟まれた部分で地すべりが起きたとする見かたもあるが、トンネルが大きなせん断力を受けたことは間違いない¹²⁾¹³⁾。

3. あとがき

新潟県中越地方は、全国的にも有数の地すべり地帯であると共に活褶曲構造を呈している。地質は新第三紀中新世から鮮新世の未固結の層で、砂泥互層を中心に成り立つ。軟岩層や地質境界部の湧水の著しい箇所などでは、トンネル掘削により地山のゆるみ域を生じやすい。また、拘束圧の低くなった泥岩は、水に触れると水を吸収し、液性限界に至るまで軟化する(1974Morgenstern & Eigenbrod¹⁴⁾)と共に、スレーキング指数も低い。したがって、ゆるみ域を生じた泥岩層では、地山の拘束圧低下により軟化し、これが塑性圧と、地層境界部によっては偏圧となってトンネルに作用するものと推定できる。これを地山における弱面とすれば、地山の弱面はトンネルの弱面でもあり、地震時に限界耐力を超えたときトンネル被害が発生する。また常時においても塚山トンネルのように変状が現れるものもあり、常時の弱面は地震時の弱面であるともいえる。そして、弱面は地層境界(不連続点)に多いといえる。

参考文献

- 1) 土木学会中越地震被害調査団(第 1 次)速報、小長井一男:活褶曲地形と地震被害概要、pp.9-17、2005.1.
- 2) 産業総合技術研究所編:5 万分の 1 数値地質図(Ver.1)、長岡、小千谷地質図、2004.11.
- 3) 気象庁 HP、気象統計情報、長岡観測所記録、2004.10.
- 4) 土木学会トンネル工学委員会:新潟県中越地震特別小委員会報告書、2005.6.
- 5) 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、2005.8.
- 6) 清水 満、鈴木 尊、安東 豊弘:新潟県中越地震の鉄道トンネル被害と復旧、土木技術、60-6、pp.92-92、2005.6.
- 7) 上越新幹線地質図(水上-新潟間)、1983.3.
- 8) 通商産業省地質調査所工業技術院:日本地質図大系中部地方、朝倉書店、1991.9.
- 9) 東日本旅客鉄道株式会社:変状トンネル保守からの教訓-塚山トンネル検査補修の記録より-、pp.1-27、東日本旅客鉄道株式会社施設電気部土木課、
- 10) 基礎地盤コンサルタンツ(株):二次元 FEM 静的応力変形解析システム SOIL2N/PVWIN、1999.9.
- 11) (社)建築学会編、1974 年伊豆半島沖地震・1978 年伊豆大島近海地震災害調査報告、pp200-228、1980.6.
- 12) 池田俊雄:わかりやすい地盤地質学、pp160-161、鹿島出版会、2002.2.
- 13) 田村重四郎:写真と図で学ぶ、地盤と地震被害、pp67-69、山海堂、1996.
- 14) R.E.グッドマン、わかりやすい岩盤力学、pp26-27、鹿島出版会、1984.11



Nm:西山層, Hi:灰爪層(砂岩泥岩互層), t:段丘堆積物

図 8 塚山トンネル附近地質平面図⁸⁾

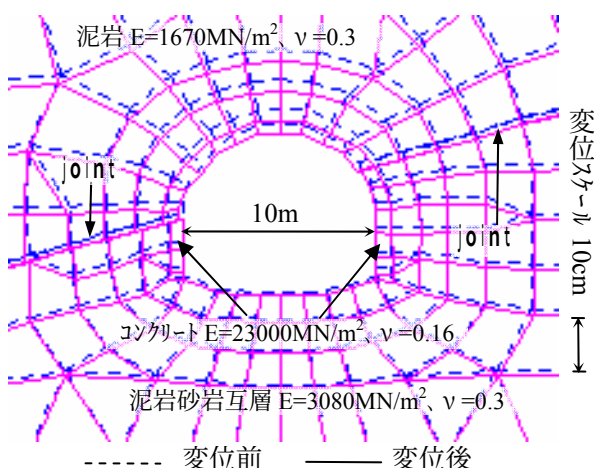
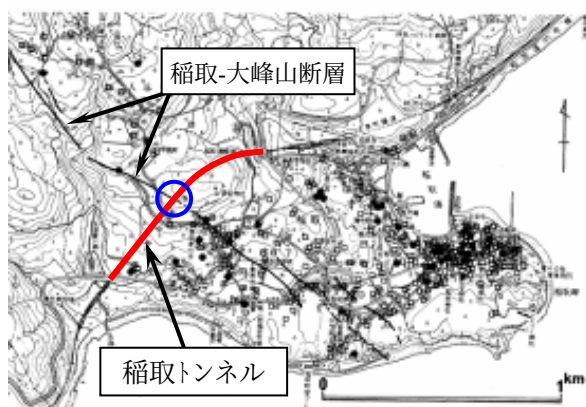


図 9 2次元 FEM 静的応力変形解析変形図¹⁰⁾



(○印はレール 73cm 食い違い箇所)

図 10 稲取トンネル位置図¹¹⁾