2004 年 10 月 23 日新潟県中越地震による木沢トンネルの被害
活褶曲地帯における地震被害例

東京大学大学院　　学生会員　○藤田　智弘
東京大学　生産技術研究所　　正会員　小長井　一男
株式会社　建設技術研究所　　正会員　高津　茂樹

1.目的

活褶曲地帯における過去の地震では，長期にわたる地盤変形が大きな課題になってきた。1847 年 5 月 8 日の善光寺地震の 37 年後、1884 年には茶臼山の南側斜面の開口亀裂が拡大し、その後山腹全体がゆっくりと滑り出した。1932-1934 年に至ってその速度は 93m/年に達したが、1970 年代の大規模な水抜き工事により，ようやく斜面の動きは鎮静化した[1]。このような活褶曲地帯での地盤変形の事例を踏まえると，2004 年 10 月 23 日に起きた中越地震被災地での斜面の早期安定が急務であると考えられた。地下構造物は周囲の地盤に追随して動くため，これらの構造物の復旧には，地盤が安定しているかどうか細心の注意を払う必要がある。以下に中越地震で被害を受けた木沢トンネルの事例を示す。

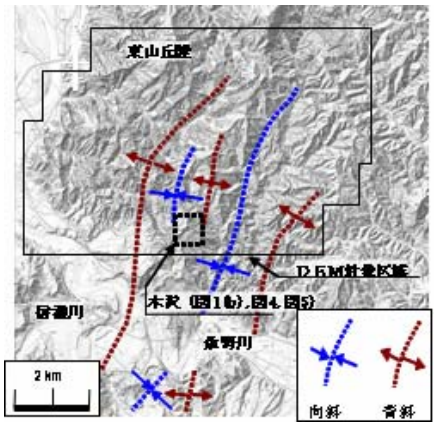

図 1（a）中越地域と褶曲軸

図 1（b）木沢トンネルの位置

2.被害の概要

木沢トンネルは古い地すべりの滑落崖下を通る全長 300mの道路トンネルである（図 1（a），(b)）。最も顕著な被害は北坑口付近の両壁面に現れた二つの平行する斜め亀裂である。図 2 はレーザ計測により得られた北坑口から 59m 地点でのトンネル断面である。この図からトンネル天端がインバートに対し相対的に約 0.5m 東に向かって横ずれを起こしたことが確認できる。

ボーリング調査で確認されたせん断面の等高線を図 3 に示す。せん断面上部の N 値は下部より小さく、この部分の堆積岩は全体的に乱されている。トンネルの北端セグメントはせん断面下位の基盤岩，南側セグメントは上部の乱された岩盤に埋まっている。図 3 の矢印は北端部を不動として道路センターラインの変位を示している。南側セグメントが全体的におよそ 0.5m から 1.2m 南東へ動いている。この事実から，せん断面上部の岩塊全体が南側セグメントを保持しつつ東から南東へ移動したと推定できる。

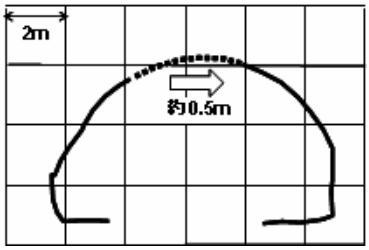

図 2　トンネル断面図（北向き）

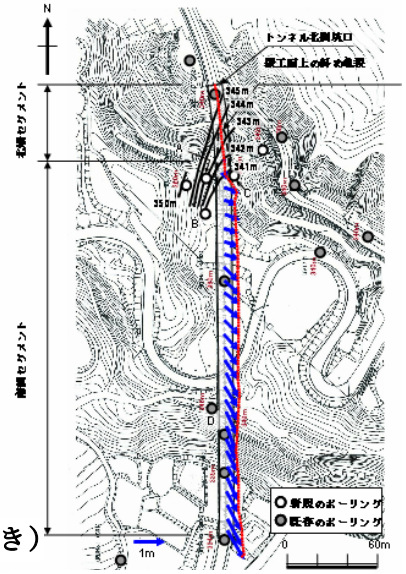

図 3　木沢トンネルの被害

3.地形の変状

新潟県長岡地域振興局は，木沢トンネル付近を通る町道の舗装に現れた亀裂の詳細な記録を残している [3]。

キーワード　トンネル，活褶曲，堆積岩，地盤変動
連絡先　　〒153-8505　東京都目黒区駒場 4-6-1　Bw-301　ＴＥＬ03-5452-6098（内 57271）

左横ずれ亀裂群と右横ずれ亀裂群には卓越する方向性があって、このあたりが北西から南東方向へ圧縮された可能性を示唆している（図４）。またその圧縮の主軸の方向はトンネル南側セグメントがシフトした方向と一致する。

小長井ら（2008）は，この中越地域の地形変化を検討するために，デジタル標高モデルを複数の時期で収集し [4]，中越エリアでの地殻変動３成分を抽出した。木沢トンネル近傍のエリアを拡大すると（図５），二子山三角点の南側の変位ベクトルはトンネルの移動方向と同じく南東方向が卓越している。抽出された地殻変動は，二子山の三角点で計測された移動（図５の三角の太矢印）と整合する。

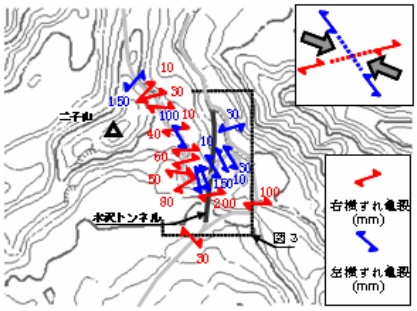

図４　道路舗装における亀裂

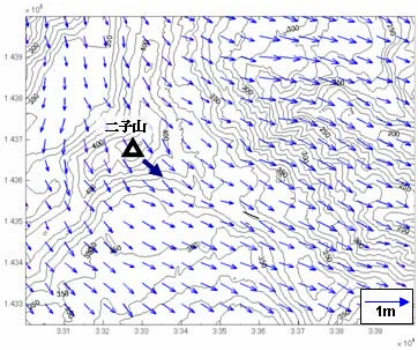

図５　地殻変動の水平成分

4.せん断面周辺の透水性

図３のボアホール A において，低圧ルジオン試験を実施した。この試験では有効透水係数(k)を，下記の式で求めている[5]。

$$k = 1/(2\pi L a)\ \ln(2L/D) \qquad (1)$$

ここで，$a = \Delta s/\Delta Q$，Δs＝水頭の増分＝$\Delta P/(\rho g)$，L＝試験長，D＝ 孔径

図６は各試験区間の透水性と限界注入水圧を示している。せん断層付近の限界注入圧力は 176kPa であった。これは，孔内水位がさらに 17m～18m 上昇する状態を示すもので，この水位にいたると土塊の安定になんらかの影響が現れる可能性が懸念された。新潟県長岡地域振興局は，新たに２つのボーリングを行って、孔内水位及び傾斜の経時変化を１年間計測した。その結果，大きな水位上昇も傾斜の変化も現れなかったことを慎重に判断し，地震発生から１年半を経て木沢トンネル内部の復旧に取り掛かった。

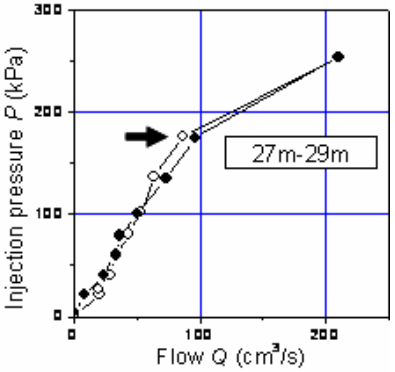

図６　注入圧力－流れ曲線

5.結論

活褶曲地帯での地震は，長期にわたる地形変化を引き起こし得る。地下構造物等は，周囲の地盤の動きに追従するため，復旧に際しては地盤のわずかな動きの兆候も注意深く観測しなければならない。木沢トンネルは，東西の覆工壁面に斜めの亀裂が確認されるなど，激しく損傷した。地震による地殻変動は,この地域を北西－南東方向に圧縮する形になり、これが層状の堆積軟岩の弱層部分の滑りの原因となった可能性が考えられる。あるいは断層付近で同じ方向に強い地震動を受け、これが弱層面での滑りに繋がった可能性もある。この原因の特定は高ひずみ速度帯と重なる活褶曲地帯で起こりえる被害とその対応に重要な意味を持つものであり、更なる調査・研究が必要である。

参考文献

[1] 加藤碩一，赤羽貞幸：長野地域の地質,地域地質研究報告（５万分の１地質図幅）,新潟（７）第96号,地質調査所, 1986年, 120p.
[2] 新潟県長岡地域振興局，株式会社本間組：小千谷川口大和線（木沢トンネル）16年道路災害復旧工事工事報告書,１６災害第4903－00－00－03号,2007年.
[3] 新潟県長岡地域振興局，基礎地盤コンサルタンツ株式会社：小千谷川口大和線 維持管理調査費（地質調査業務）委託 報告書,平成17年度委管調第2000-00-01-09号,2006年.
[4] Konagai, K., Fujita, T., Ikeda, T. And Takatsu, S. (2008), Tectonic deformation buildup in folded mountain terrains in the October 23rd, 2004 Mid-Niigata Earthquake, Soil Dynamics and earthquake Engineering, approved for publication.
[5] Earth Manual 2nd Edition, Appendix Designation E-18, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, 1278p, 1990.