

## 2004年新潟県中越地震における開削トンネル直上の建物と道路の被害

愛媛大学工学部 フェロー 森 伸一郎

## 1. はじめに

2004年10月23日に新潟県中越地震において鉄道の開削トンネル直上の地盤や道路が限定的に陥没し、建物が傾斜したりゆがみが生じるという被害が生じた。著者は、地震後の12月6日と4月1日に現地被害調査により実態を調査し、その原因を考察した。

北越急行（ほくほく線）は、新潟県六日町（むいかまち）と犀潟（さいがた）を結ぶ路線であり、十日町市の十日町駅から南南西に延びた路線は、駅から約300mの地点から約1.7kmのトンネル区間（十日町トンネル）が始まり、緩やかに曲がっておよそ西に向きを変えて地上部となる。被害を受けた部分の地形は信濃川の河岸段丘に相当し、地盤では砂礫が卓越する。図-1にトンネル付近の地図を示す。トンネルは、十日町市丑丸山町から美雪町（みゆきちょう）、川治（かわじ）、北新田（きたしんでん）、城之古（たてのこし）の地下を通る。各地区とも地表面はほぼ平坦である。

## 2. 十日町トンネル概要

このトンネルはRC造であり、1973年3月から約2年をかけて開削工法により建設された。開削は、親杭横矢板工法によっており、親杭はアースオーガーで削孔後、ベントナイトで孔壁保護し、横矢板の背面は、セメントミルクパックを詰めて空隙を残さない方法が採用された。箱形トンネル断面の寸法は、高さ6.83m、幅6.15m、上版厚0.55m、壁厚0.55m、下版厚0.60mであり、土被りは3mから11mである（図-2）。親杭とトンネル外面との間は40～50cmであり、その間（トンネル側方）はトンネル上面までは砂で埋め戻し、水締めが施された。トンネル上面より上は掘削砂礫を埋め戻し、埋め戻し時には「何層かに分けながら」転圧された。したがって、掘削・埋め戻し共に入念に計画・施工がなされており、後に陥没などを引き起こす可能性のある施工方法は採用されていない。トンネル下部砂礫層のN値は40～50であり、よく締まっている。地下水位はトンネル上面より1～2mにある。よって、トンネル側方の砂は液状化しやすい状態にあったと考えられる。トンネル上部の埋め戻し砂礫も強い揺れに対しては液状化や揺すり込み沈下が生じる可能性はある。

## 3. トンネル直上の地盤変状と建物の被害

トンネル直上のいずれの地区でもトンネル直上部で陥没被害が生じ、「トンネル上の住宅33軒のうち、少



図-1 十日町トンネル位置図

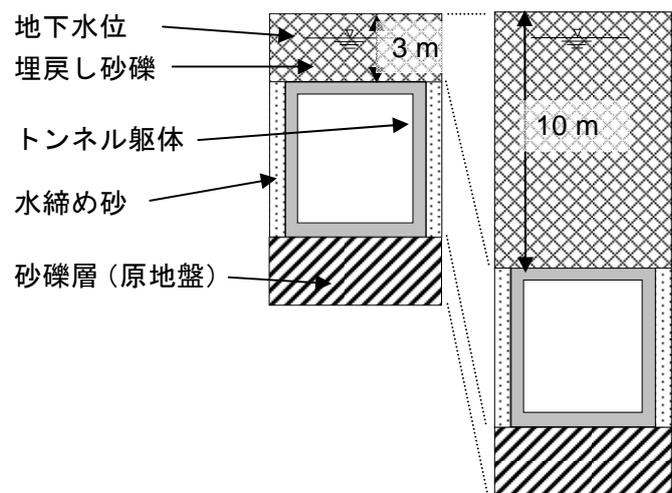


図-2 十日町トンネル断面図(土被り最小, 最大地点)

キーワード：開削トンネル，地震被害，建物，傾斜，砂礫，液状化

連絡先：790-8577 松山市文京町3 愛媛大学 環境建設工学科 FAX: 089-927-9845, email: mori@dpc.ehime-u.ac.jp)

なくとも 19 軒が傾き、住宅の基礎部分にひびが入る」（読売新聞 11 月 21 日）という被害が生じた。現地調査の結果、帯状陥没およびそれに伴う構造物被害は見事にトンネル直上部に限定的に生じていた。最も被害程度の大きい美雪地区の被害状況を述べる。

美雪町 3 丁目あたりは、トンネル上面の土の厚さは約 3 m である。地図でトンネルの通る部分の地表には、幅 10 m 前後で深さおおよそ 10 cm 程度（最大 20 cm）の帯状の陥没が連続的に認められ、道路の帯状陥没、それに伴う陥没部両側に見られるトンネル軸に平行方向の亀裂、路面の変状、畑の帯状陥没と陥没部両端のトンネル軸に平行方向の亀裂、それらの地盤変状に伴う家屋・建物の傾斜・変形、土留め擁壁の変状、側溝の変状が認められた。畑では、帯状陥没部分の内側で噴砂が認められ、畑の所有者の話では、地震後に噴き出し、流れ出た泥水は畝に堆積したとのことであった。写真-1 には、帯状陥没部を跨ぎ向かい合っ



写真-1 帯状陥没部を跨ぎ向かい合うように傾斜した2棟の家屋（十日町市美雪町2丁目）

て傾斜した2棟の家屋（美雪町2丁目）の様子を示す。陥没部に片側が乗る建物では、ことごとく陥没方向に傾斜やゆがみが生じていた。したがって、陥没部で隣り合わせる家屋では向かい合うように傾いている事例が複数見られた。なお、建物全体が帯状陥没部にある場合には傾斜は小さい。美雪町3丁目のトンネルには異常が認められなかったため、トンネル自体が沈下していないとすると、美雪地区ではトンネルより上の埋め戻し部 3 m で 10 cm の沈下が生じたことになるが、その圧縮率は約 3 % である。

なお、南西部の方では土被り厚も大きくなるが、そのようなところでも、なだらかで陥没部両端が不明瞭ではあるが帯状に陥没していた。なだらかなせいか、建物の被害の程度は相対的に軽い。

#### 4. 考 察

新潟県中越地震では本震のあと大きな余震が続いた。十日町では大きな地震の揺れは3度あったが、地元の人のお話では、3度目の揺れが大きく、このときに傾斜が生じたとのことである。北越急行によれば、十日町城之古（トンネル出口付近）で独自地震計により地震観測がなされており、最大加速度は、1度目（17:56）では 463 Gal、2度目（18:11）では 188 Gal、3度目（18:34）では 468 Gal が観測されている。最大加速度が1度目と3度目がほぼ等しい。結論づけるには詳細な検討が必要であるが、1度目の地震で軽度の液状化が生じていたところに、過剰間隙水圧が消散し終わらない内に3度目の揺れがあり、側方および上方の飽和地盤が液状化状態に至ったか、揺すり込み沈下が発生したものと考えられる。

前述の噴砂は茶灰色の中砂～粗砂であり、耕作土の黒色の有機質土とは一見して区別が付く。付近の地盤柱状図や既往の土質試験データなどと照らし合わせる必要があるが、噴砂の粒度や色は埋め戻しによく用いられる砂に似ている。トンネル側方の埋め戻し部の砂の液状化が発生し、トンネル上方の埋め戻し砂礫の液状化もしくは揺すり込み沈下により陥没した可能性が高い。このような形態のトンネル被害は極めて珍しい。

#### 5. 結 論

新潟県中越地震で開削トンネル上方の地盤で限定的な帯状陥没が生じ、その部分に掛かる建物には傾斜やゆがみなどの被害が生じた。トンネル構築後の埋め戻し砂礫が立て続けの2度あった 460 Gal 程度の地震の揺れによって液状化もしくは揺すり込み沈下により陥没した可能性が高い。

謝 辞：北越急行の技術部二瓶久夫課長はじめ皆様には、技術資料の入手やお話を聞かせて戴きました。また、調査では地元の方にお話を聞かせて戴きました。記して謝意を表します。