

# 土木構造物の被害

大川秀雄・保坂吉則・神立秀明

工学部建設学科

## 1. はじめに

新潟県中越地震による被害は、道路、鉄道、フィルダム、河川施設、電力施設、住宅団地、上下水道施設、防雪施設など土木・社会基盤施設の広い範囲に及びました。新幹線や高速道路をはじめ新潟と首都圏を結ぶ大動脈を寸断し、ライフラインなどの住民の生活基盤に大きな傷跡を残しました。その被害の概要を、まず工学的な観点から大きく次の3項目に分けて考えてみたいと思います。

- (1) 新幹線高架橋や道路橋をはじめとするコンクリートや鋼製のいわゆる構造物被害
- (2) 道路・鉄道盛土や河川堤防、宅地、フィルダムおよび付帯的な擁壁などの土構造物被害
- (3) 液状化被害や地すべり、斜面崩壊など地形・地質条件に支配された自然地盤の被害

設計基準に従って耐震設計がなされている鉄筋コンクリート構造物のような剛な施設の被害は、概ね震源地近傍の非常に強い地震動を受けた地域、すなわち震度6強～7を記録した小千谷市や川口町周辺に集中しています。しかし、阪神・淡路大震災で高架橋が大規模に倒壊したような壊滅的な被害にはなりません。なお崩落した中小の橋梁は、大規模な斜面崩壊に巻き込まれた事例がほとんどとなっており、この場合は地盤災害の視点で検討することが適当でしょう。

盛土や宅地など土構造物の被害は、その発生範囲が広く、海岸に近い震度5弱の地域にまで及びました。その結果、道路や鉄道が機能を失い、宅地や河川堤防が危険な状態にさらされました。とくに山間地では壊滅的な道路被害が発生しました。集落や村全体の避難を余儀なくされています。

自然地盤の被害も、土構造物被害と同様な範囲で発生し、とくに地すべり地帯であった新第三紀層の丘陵・山地においては非常に多くの地すべりや山崩れが発生しました。これに伴って道路が寸断されたり河道閉塞が生じたりと二次的な災害も起こり、一方、液状化に関しては、臨海沿岸部の地震と比較すると少なく、信濃川とその支流流域の低地で限定的に生じましたが、その多くが農地

であり、都市・インフラが展開されている区域にはあまり影響が及んでいません。ただし、下水道管渠施設が液状化によって広範囲に被害が発生しています。これは人工的に埋め戻した地盤の被害であり、自然地盤の問題というより、土構造物の問題として考える必要があります。

本報告では、前述の概括に基づき、個別の管理単位、すなわち鉄道、道路、フィルダム、宅地、液状化の被害事例について詳細の報告と考察をおこないます。地すべりなど自然斜面の被害については割愛しました。報告中の市町村名は、地震発生時の呼称で表記します。

## 2. 鉄道の被害

### 2.1 新幹線の被害

東京から新潟に向かう新幹線「とき325号」は約200km/hで走行中、滝谷トンネルを出て平野部に入った直後で脱線し、坑口から長岡寄り約2kmの地点で停止しました。走行中の車両が脱線するという新幹線営業運転上初のできごとでしたが、幸いなことに人的被害はありませんでした。一方、構造物においては川口町和南津地区と長岡市南部の高架橋、および震源域直上にある川口町と長岡市間のトンネル内に大きな被害が生じました。筆者らは、このうち高架橋区間の被害について調査した結果を報告します。

まず、脱線車両の停止位置から滝谷トンネルま



写真-1 上越新幹線魚野川橋梁の被害(川口町)



写真-2 上越新幹線和南津高架橋柱のせん断破壊



写真-3 JR 飯山線魚野側橋梁の橋脚被害

での高架橋の被害を調べてみたところ、一部の柱の頭部で亀裂や鉄筋が露出するなどの損傷が見られましたが、高架橋が崩壊するような深刻なものではなく、ほとんどの柱は無傷でした。この区間は東山丘陵山麓の緩やかな傾斜のある扇状地を横断しています。表層の地盤は富山平野のような硬い砂レキではなく、東山丘陵を形成する新第三紀層の未固結な岩などが運ばれて堆積した軟弱な層と考えられます。また、トンネル坑口付近から湧水が見られたことと、地震動によって高架橋柱と地盤の間から泥水のはね上がった跡が確認されたことは、扇状地全体の地下水位が高かったことを示唆しています。このような軟弱な地盤条件で地震動が大きくなったことが、柱の損傷の一要因になったとも考えられます。

川口町の和南津地区は、魚沼地域の地勢的な要因から新幹線のほかに上越線、国道17号、関越自動車道などの幹線が集中する交通の要衝となっています。本震震源直近でもあってとくに強い揺れが作用して、新幹線の他、国道17号の和南津トンネルに被害が生じ、首都圏と新潟を結ぶ広域の交通網に大きな支障となりました。新幹線高架橋は、魚野川横断部がコンクリート連続桁形式の橋梁で、その南側、東京寄りの堀之内トンネルまでの区間は柱と梁で構成されたいわゆるラーメン構造となっています。

魚野川橋梁部では写真-1のように円柱橋脚の中央部で、水平かつ狭い幅の中で破壊が生じていました。一方ラーメン橋では写真-2のように柱に斜めに大きな亀裂が入るせん断破壊が生じた柱が多数ありました。このようなせん断破壊は構造物の倒壊につながる場合もあり、被害の程度としては深刻なものとなります。とくに損傷が激しい箇所は設備用の囲いの内部やその近傍と、トンネル坑



写真-4 JR 信越線の被害 (越後広田駅付近)

口付近のよう構造上の変化のある場所に集中しています。また、地形的にも複雑な場所であり、今後の被害原因の究明が待たれます。

なお上越新幹線は、およそ2ヶ月間の応急復旧工事を経て12月28日に営業運転を再開しました。

## 2.2 在来線の被害

在来線は上越線、信越線、飯山線、只見線が地震の被害を受けて長期間の運休を余儀なくされ、越後線やほくほく線の沿線でも同様の被害が出ています。飯山線では激震地の川口町で魚野川を横断する橋梁の橋脚に被害が見られました。昭和初期に建設された無筋構造の柱が写真-3のように中央部で打ち継ぎ目と思われる大きな横ずれを起こしていました。

川口駅と小千谷駅の間部、川口町天納地区で、信濃川右岸段丘の端部を走る上越線は、その上の国道17号とともに川に向かって大きく崩落しました。いわゆる流れ盤すべりで川側に向かって平らな岩盤面に沿ったすべりが生じたためです。上越線はまた、長岡市妙見地区の斜面崩壊の影響も受け、ほかにも線路の蛇行や沈下被害が多く箇所で見られました。

信越線は、越路町と柏崎市の境界周辺で盛土被害が生じました。写真-4は越後広田駅から少し長岡寄りの線路の状況です。

なお、各線の全区間運行再開は、越後線：10月26日、ほくほく線：11月2日、只見線：11月20日、信越線：11月29日、上越線・飯山線：12月27日となっています。

### 3. 道路の被害

#### 3.1 高速道路の被害

北陸自動車道では、主に長岡市内の長岡ジャンクションから大積PA間で路面の陥没や路肩が崩れる被害が発生しました。関越自動車道は長岡ICと小出IC間にとくに被害が集中しており、北陸道と比較して甚大な被害となっています。主な被害形態としては、(1) 高盛土の沈下や陥没、(2) 支承すなわち橋桁を支える部材周囲の破損、(3) 盛土の大規模な崩壊の3つが挙げられ、その他、切土斜面の崩落やトンネル内の亀裂、標識や情報板の傾斜・転倒など付帯施設にも被害がありました。



写真-5 関越道横断ボックスカルバートの移動



写真-6 関越道越後川口橋固定支承周辺の損傷

高盛土の沈下、陥没は主に長岡ICと小千谷IC間の平野部で連続的に発生しました。一方、橋梁などのコンクリート構造物は比較的変状が小さかったものの、盛土との境界部で数センチから数10センチの段差が生じて通行不能となりました。この区間内でも、地質的に安定した段丘面にある小千谷市片貝町～小栗田地区は一般道にほとんど被害がありませんが、造成された高速道路の盛土は被災しています。

高盛土被害に関連して、一般道や農道交差部の横断ボックスカルバートに沈下と水平移動を生じました。写真-5に示すように、2連ボックスの継ぎ目が開くという、従来見られなかった被害となりました。このため、中央分離帯の土砂が開口部からボックス内に流出しました。小千谷IC付近の横断ボックスは軒並みこのような被害が見られ、遠く離れた柏崎市の北陸自動車道曾地バス停付近でも、開口幅は5センチ程度と小さかったものの、類似の変状を確認しました。また、盛土を横断する排水用コルゲートパイプが上下を逆にしたハート形での座屈する被害が見られました。

小千谷市の山本山トンネルと堀之内IC間は、信濃川と魚野川が蛇行する複雑な地形であるため、盛土、切土、橋梁が交互に現れる区間ですが、塩殿橋や越後川口橋などの比較的規模が大きな鋼製の橋梁が、橋軸方向、すなわち道路の縦断方向に大きな変位を生じ、写真-6に示すように橋桁を支える支承部周辺に荷重が集中し、桁材に座屈や破断を生ずる被害が発生しました。

震源に近い川口町の和南津地区から堀之内町の新道島地区では大規模な盛土崩壊が生じています。

#### 3.2 道路橋の被害

中越地震では、山古志村などの山間部で大規模



写真-7 斜面崩壊に伴う県道橋の落下 (長岡市妙見)



写真-8 国道 117 号山辺橋基礎の被害 (小千谷市)



写真-9 橋梁取付け部の段差 (国道 117 号山辺橋)



写真-10 道路盛土の崩壊例 (柏崎市)

な土砂崩れや地すべりに伴って橋梁が崩壊した事例がありますが、阪神・淡路大震災のときのように強い震動が原因となる倒壊や落橋は確認していません。写真-7は長岡市妙見町の大規模崩壊地において、県道橋の橋桁が信濃川まで運ばれてしまった様子です。

小千谷市山本の国道 117 号山辺橋は、JR 小千谷発電所の導水管を跨ぐ鋼橋ですが、高速道の橋と

同様に橋軸方向への揺れによって桁が橋台を押しよすようなかたちとなり、橋台が少し傾斜するような被害となりました。両端の橋台は斜面上に設置され、太い深礎杭で支持されていますが、写真-8に示すように斜面全体の沈下・すべりに伴って杭頭部が露出していました。橋脚部の鉄筋コンクリート柱にも亀裂や曲げ破壊が生じていて、落橋や倒壊の恐れはないものの、全般的に大きな被害となりました。なお橋脚の下部は導水管を支持する巨大な基礎コンクリートで固められています。これによって大規模な斜面崩壊が抑止された可能性があり、橋梁の被害も最悪の事態に至らなかったのかもしれない。

### 3.3 道路盛土の被害

中越地域の道路は、広い範囲で土砂崩れや盛土の陥没、沈下、崩壊が多数発生し、避難や救急活動、復旧活動の大きな障害となりました。とくに山古志村では周辺の市町村を結ぶ道路がすべて寸断されたため、全住民がヘリコプターによる避難を余儀なくされました。この他にも山間地で孤立した集落が多くあります。

路面の陥没、沈下は様々な要因で生じます。高盛土では、震動によって盛土内で道路進行方向に亀裂が入り、側方に広がりながら全体が沈下する事例、盛土下の軟弱な基礎地盤が沈下・崩壊する事例、盛土基礎地盤の液状化に伴って沈下・崩壊する事例、盛土内で液状化した部分が局所沈下する事例などが挙げられます。路面全体が沈下、陥没した箇所は非常に多いと考えられますが、とくに高速道路の事例と同様に、橋梁などの沈下しにくい構造物境界で大きな段差を生じて、車両の通行が困難となる事例が多発しました。(写真-9)

山間地の盛土区間や河岸段丘の端部に造成された道路では、すべりを伴う大規模な陥没や崩壊を生じています。盛土区間は、いわゆる地山と比べて強度が小さいことが多いことと、谷間を埋め立てている事例が多く、沢沿いの水が集まり易いため地下水位が高くなり、崩壊を誘発すると考えられます。写真-10は谷筋部の盛土区間が崩壊した事例です。

### 3.4 道路の復旧状況

国土交通省と新潟県が管理する国道、県道の全面通行止めは 200 箇所を超えました。その大半は道路陥没・沈下、盛土崩壊、土砂崩れが原因となっています。土構造物である道路の完全な耐震対策はなかなか難しいのですが、避難、救急、復旧活

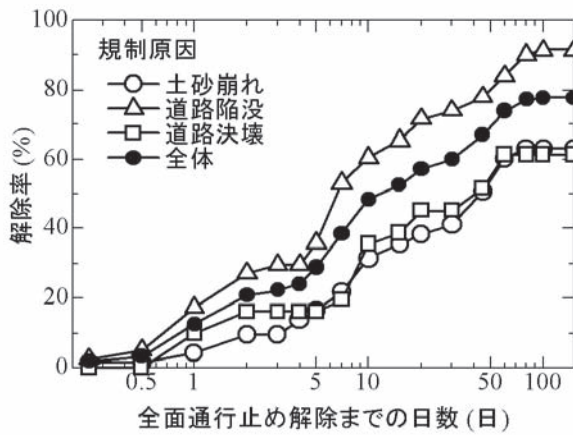


図-1 道路の復旧期間 (被害形態別)

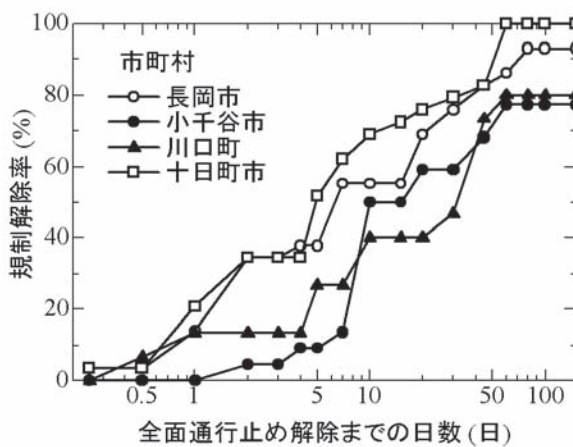


図-2 道路の復旧期間 (市町村別)

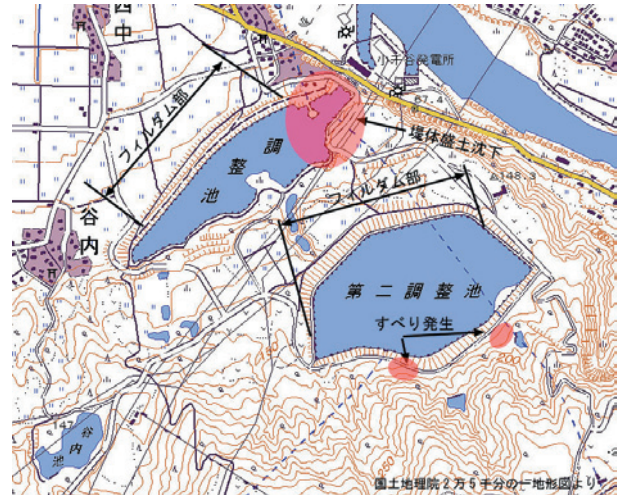


図-3 JR小千谷発電所周辺図



写真-11 第二調整地の山側盛土崩壊状況

動を迅速に行うためにも、その被害の程度を最小限に抑えて、少なくとも一車線が確保できることが非常に重要であることが今回の地震でも改めて認識されました。

この地震が原因となって発生した全面通行止め箇所の復旧状況を、国土交通省と新潟県の発表した資料<sup>1)</sup>から再構築してみると、通行止めの解除率が対数時間軸で直線的に上がっていくことがわかりました。しかし通行止めの原因によってその傾きがかなり異なります。図-1から、路面の沈下や陥没被害では比較的復旧が迅速に行われているのに対して、路面が完全に崩壊したり土砂崩れに巻き込まれたりした箇所では復旧が遅れ気味であることがわかります。とくに地すべりや土砂崩れの箇所が多い山古志周辺では年内の復旧にほとんど手を付けられなかったため、全体の復旧率が十分でない結果となっています。関越自動車道では、盛土の沈下被害が大半を占めていたため、土のうを使った応急対策を行って地震発生から19時間後には緊急車両の通行を可能としています。11月4日には一般車両の通行もできるようになり、迅

速な支援活動に大きな寄与があったと評価することができます。

市町村別に見た復旧率の変遷を図-2に示します。箇所数の多い市町村を選んでまとめてみましたが、やはり震源に近い川口町と小千谷市での復旧は、少し離れた十日町市や長岡市に比べて遅いことがわかります。

堤体を土や岩石で築造したフィルダムは、土構造物として最も大規模な部類に入ります。中越地区では首都圏のJR電車を動かしている水力発電用調整池と、農業用水用のフィルダムなどがありますが、ここでは小千谷市の山本地区にある二つの発電調整池の堤体を調査した結果について報告します。

信濃川に面した下部の調整池は発電所に水を送る導水管に変状が発生し、水漏れを起こすようになっていました。その取付け部のコンクリート壁にも変状が見られます。また、調整地東側のコンクリート擁壁で囲まれた裏込め盛土部分では沈下を生じて、構造物との間に数十センチの段差があ



写真-12 高町団地の被害(長岡市)

りました。一方、北西側のフィルダム部では、内側の法面で小規模なすべりクラックがありましたが、大きな沈下変状は認められませんでした。

山本山の中腹にある第二調整池は、北向きに傾斜した緩やかな斜面に築造されており、北側は高低差の大きなフィルダム構造、南側は山腹部に盛土を行って堤体の築造がなされています。山側(南側)の盛土部では、背後の斜面とともに2箇所の中規模なすべりを生じていましたが、影響範囲は主に上部のみで収まっており、調整地の底部までは及んでいません。写真-11はこのすべりによって堤体上部の管理道路が大きく陥没している様子です。すべりを起こした領域は道路の事例と同様に概ね沢筋に盛土した部分になります。

谷側(北側)のフィルダム部では堤体上端にクラックが入り、非常に浅いすべり面ができていたことと、堤体外側の中段部で一箇所小規模なすべりが発生していましたが、全体の安定に影響を及ぼすような被害ではありませんでした。一般的にフィルダムは、その止水効果を得るために粘土を締め固めて念入りにコアを作りますので、この部分が十分耐震性を発揮したものと考えられます。また、米国ではフィルダムの基礎地盤が液状化を起こして大規模な崩壊をした事例<sup>2)</sup>がありますが、山本山の地盤はフィルダムの基礎として十分な強度であったものと思われる。

## 5. その他土構造物の被害

### 5.1 宅地の被害

住宅など建築物では、非常に強い地震動を受けたことにより全半壊に至った場合の他、基礎地盤の沈下や崩壊を伴って大きな被害となった事例が少なくありません。長岡市の東山山麓高台に造成された高町団地では、写真-12のように団地周囲の盛土が崩壊して道路が失われるとともに、宅地

部分にも亀裂や沈下が生じました。1978年の宮城県沖地震では、仙台市の丘陵部の谷を埋めて造成された大規模な住宅団地の被害が発生し、このような宅地開発の問題点として度々指摘<sup>3)</sup>されてきましたが、中越地震においても小規模ながら類似の被害が生じてしまいました。

### 5.2 擁壁の被害

急勾配の切土、盛土や斜面の崩壊を防ぐために設置された擁壁の被害は二通りに分類できます。まず、施工時において自立するような安定した地山の表面保護が目的であるブロック積みや石積み擁壁は、厳密な耐震検討をしないことが多いので、写真-13のような崩壊やはらみ出しを生じたものがあります。とくに、間詰めコンクリートを充填しない、いわゆる空石積み擁壁は至る所で崩壊を起こしていました。

一方、原則として土圧の検討を行う重力式擁壁やL字、T字型の片持ばり式擁壁などでは、単独で転倒や崩壊に至った例はほとんど見られず、被害の大半は橋梁の事例と同様に設計上の想定を超える大規模な地すべりや斜面崩壊に巻き込まれたものでした。

## 6. 液状化被害

新潟地震や阪神・淡路大震災のように沿岸部で起きた地震に比べて、中越地震による液状化被害は相対的に少なかったと言えます。液状化現象は、新潟市内に見られるような緩く堆積して地下水位の高い砂地盤という限定された地盤条件で生ずるのに対して、中越地域の大半はそのような地盤条件でなかったことが要因です。しかしながら、条件が合致すれば震度5強程度の揺れでも十分液状化する可能性があるため、被害の発生した範囲は非常に広いものとなりました。農地の被害では寺泊町まで及び、宅地被害は見附市や刈羽村で深刻なものとなりました。

### 6.1 信濃川流域の被害と農地の事例

前述のような液状化しやすい地盤は、一般的に河川の下流域に広く分布し、とくにかつて河道だった土地で液状化の被害が顕著となります。この地震による自然地盤が液状化した事例は主に小千谷市の北部から寺泊町南部にかけての信濃川の河道周辺、また渋海川や刈谷田川の下流域に集中しています。

寺泊町の岩方地区、信濃川堤防道路下の農地では広い範囲で液状化が確認されました。直径2m



写真-13 ブロック積み擁壁の崩壊 (小千谷市)

に及ぶ噴砂孔があり、連続する亀裂に沿った噴砂、沈下や流動を生じた箇所もあります。一部は信濃川の堤外側の堤防のり尻にまで流動に伴う亀裂が生じていました。

## 6.2 地盤沈下の事例

広い範囲で液状化が生ずると、地盤全体の沈下が生じます。阪神淡路大震災では、神戸市のポートアイランド全体が液状化で 30～60 cm 沈下した事例があります。中越地震でそのような広域な事例はありませんが、たとえば写真-14 のような水田の液状化に伴って中央を通る県道の路面が大きく沈下した事例や、信濃川河川敷にある JR 小千谷市発電所の敷地全体が沈下した局所的な事例があります。

## 6.3 刈羽村の事例

刈羽村の JR 越後線刈羽駅周辺、荒浜砂丘の麓に広がる低地一帯で液状化が発生しました。これによって、刈羽駅の待合室など建物が不等沈下を起こし、大きく傾く被害がありました。住宅でも、同様な傾斜・沈下被害を生じたものがあり、居住



写真-14 液状化による路面の沈下 (長岡市)



写真-15 液状化による刈羽駅待合所の傾斜

が不可能となったものが少なくありません。この地域がとくに被害が大きかった理由としては、ゆるい砂地盤であることはもちろん、砂丘末端で地下水位が高いという地形・地質条件が作用していると考えられます。これは新潟市内では一般的な条件でもあり、今後の参考とするためにも刈羽の事例についてさらに詳細に調査する必要性を認識しています。

## 6.4 下水道施設の浮き上がり被害

下水道マンホールの浮き上がり、管渠上の路面沈下が至るところで生じました。その主な原因は、下水道工事後の埋戻しに用いた砂が液状化したためであり、地盤が比重 2 に近い液体として振る舞うことにより大きな浮力が発生し、マンホールのような相対的に比重が小さな地下構造物は浮き上がるという現象が起きたものと考えられています。この被害は 1993 年十勝沖地震で注目されましたが、阪神・淡路大震災ではあまり目立ちませんでした。中越地震ではこのようなライフラインとしての下水道被害が多発して住民の生活に



写真-16 下水道マンホールの浮き上がり (柏崎市)

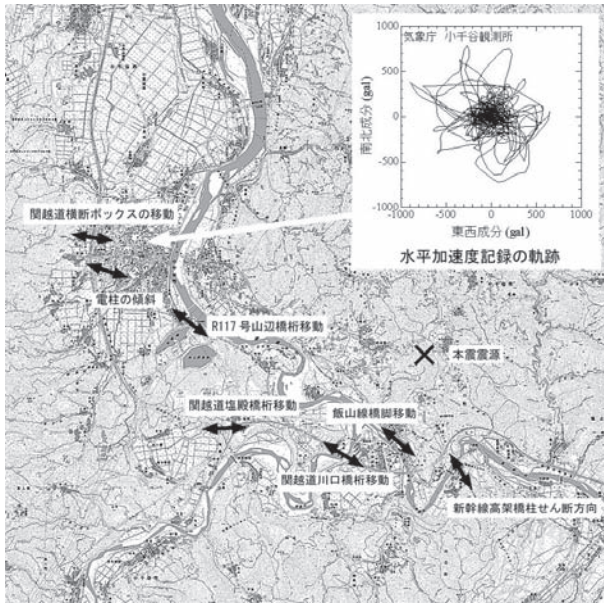


図-4 構造物被害と震動の卓越方向

大きな影響を及ぼすとともに、道路交通の障害となった箇所も少なくありません。この被害は、地盤工学的にはたいへん大きな注目を集めており、管渠やマンホールの浮き上がり防止対策の確立が急務となっています。

緊急の対策としては、液状化を起こさないことを目的に、埋戻し土に碎石を用いることや、埋戻しの砂をセメント系で改良することが提案されています。しかし、碎石は管渠に対して悪影響を及ぼす恐れがあることと、固結化は再掘削が困難になるなどの問題が残ります。中越地域の復旧だけでなく、今後の施工法に関するモデルケースとして全国的な影響をもつ可能性があることから、コストが小さく合理的な浮き上がり対策工法の開発が求められています。

下水道管の被害は、車道部より歩道部に多く見られました。これは、敷設工事時の車線への影響低減や家屋からの排水管接続のため路肩や歩道など道路端部に設置するケースが多いためでもあります。車道部に埋設した場合は、施工時の締固め基準が歩道部に比べて厳しいことと、施工後の大型車両の走行による締固め効果で液状化しにくくなっていた可能性も考えられます。

浮き上がり被害はその他の地盤被害と同様に山麓部や谷間の地形に多く、平野中央部ではあまり顕著に見られません。全体を詳細に調査したわけではないので断定はできませんが、その差異は地下水位の影響が考えられます。下水道管渠の多くは地表面から1 m程度の比較的浅い場所が多いので、浮き上がりを生じた場所はほとんど地表面近くまで水位があった可能性があります。山麓部や

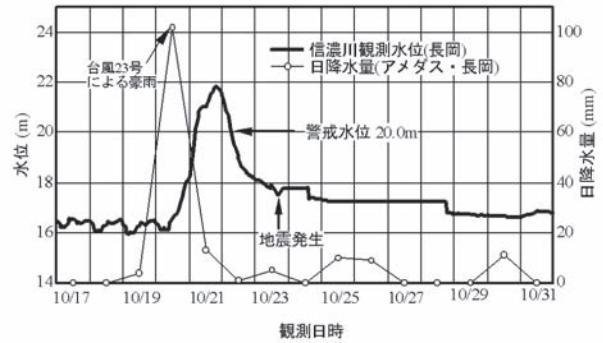


図-5 地震前後の降雨<sup>4)</sup>と河川水位<sup>5)</sup>の変化(長岡市)

斜面の末端では、一般的に地下水が被圧されて湧水があるなど、地下水位が高くなる条件が揃っている一方、平野部では、ゼロメートル地帯でもなければ、地表面近くまで水位がある場所は少ないでしょう。消雪井戸による長年の水位低下の影響もあるかもしれませんが、長岡市や越路町の中心部ではほとんど浮き上がり被害が見られませんが、これまでの沿岸部の地震において浮き上がり被害が目立たなかったのも、このような理由によるものと推測しています。

## 7. 震動の卓越方向と被害の関係

橋梁などの構造物の被害状況から、とくにその移動や変位の方向を個別に調べ、これを図-4のように地図上に落とし、水平面上における地震動の卓越方向、すなわち大きく揺れた方向を検討しました。いずれの構造物も、東西軸から北西-南東軸方向に大きな移動や変形が生じていました。構造物毎には揺れ易い方向があるので単独では断定できませんが、このように複数の被害を見ることによって概ね西北西-東南東軸方向の揺れが大きかったことが推定できます。一方、気象庁の小千谷観測所における加速度データの水平軌跡と比較してみると、構造物被害から推定した方向とほぼ一致していることがわかります。

## 8. 降雨の影響

2004年は、7月に豪雨水害があり、夏から秋にかけて観測史上最多の上陸となった台風の影響で新潟県内の降水量は例年に比べて多い年となりました。10月20日に上陸した台風23号は、関西をはじめとして各地に大きな水害をもたらし、新潟県内でも各地で100mm近い降雨を記録しています。長岡市における地震前後の降雨状況と河川



水位の変遷をまとめると図-5のようになります。10月20日には日降雨量102mmを記録し、その後河川水位が上昇して、台風通過の翌日には信濃川で警戒水位を超えました。中越地震は河川水位がピークに達してからちょうど2日後に起きています。このため、河川水位はまだ平常時より1m以上高い状態であり、長野県内からの流出の影響もあると思いますが、降雨の一部は中越地域山間地の地盤中に地下水として蓄えられた状態であった可能性をこの図は示しています。

一般的に地盤は、水分を多く含んだり地下水位が高くなったりすると強度低下が起こるため、斜面崩壊が起こる恐れが高くなります。この状態で強い地震動が作用したために崩壊に至る場合もあり、その繰返し荷重の作用によってさらに地盤の強度低下が進むこともあります。したがって、時々起こる豪雨程度では崩れないような箇所まで崩壊する可能性が高くなります。

地下水位の高い地盤の、地震による強度低下の最たるものは砂地盤における液状化現象で、これは地盤強度がゼロにまで低下するために、建物や構造物を支える力を完全に失い、非常に緩やかな傾斜でも大きなすべりや流動が生じます。粘性土地盤で完全に液状化に至ることはまずありませんが、地盤強度が大きく低下する可能性は十分あります。

降雨は地形・地質条件により谷間や沢筋、山麓部に表流水や地下水として集まってきます。下水道管の被害も、埋戻し領域に地下水としての浸入が考えられます。中越地震の地盤被害を概観すると、このような地下水位が高くなる要因である地

形・地質条件と直前の台風豪雨が大きく関与していたことが推察されます。

## 9. むすび

新潟県中越地震は、わたしたち土木技術者に多くの教訓を残しました。阪神・淡路大震災以降取り組んできた構造物への補強対策が功を奏した事例も多いのですが、想定外の被害によって今後の検討課題もまた新たに抱えることとなりました。高速道路や新幹線がネットワークとして全国に展開し、下水道普及率が飛躍的に伸びてきた昨今の状況において、土木構造物の耐震対策の重要性は臨海・沿岸地域に展開した大都市部だけではなく、山間地を抱える地方の中小都市部でも例外でないことを改めて認識させてくれました。また、この地域の地形・地質条件と被害の関係は、日本国内では広い面積を占めながら今まで事例の少なかった山間地の地震対策に対して様々な示唆を与えてくれるものと思います。

## 参考文献

- 1) 新潟県ホームページ：<http://www.pref.niigata.jp/>
- 2) 吉見吉昭(1991)：「砂地盤の液状化」、技報堂出版
- 3) 釜井俊孝・守随治雄(2002)：「斜面防災都市」、理工図書
- 4) 気象庁気象データ閲覧室：  
<http://www.data.kishou.go.jp/>
- 5) 国土交通省水文水質データベース：  
<http://www1.river.go.jp/>