

新潟県中越地震における 道路施設の被害水準と道路機能の特性

常田賢一¹・小田和広²・鍋島康之³・江川祐輔⁴

¹ 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻社会基盤工学部門 教授 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-1)

E-mail: tokida@civil.eng.osaka-u.ac.jp

² 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻社会基盤工学部門 助手 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-1)

E-mail: oda@civil.eng.osaka-u.ac.jp

³ 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻社会基盤工学部門 助手 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-1)

E-mail: nabesima@civil.eng.osaka-u.ac.jp

⁴ 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻社会基盤工学部門 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-1)

E-mail: yegawa@civil.eng.osaka-u.ac.jp

新潟県中越地震は直下型地震であり、その被害の範囲は地方部かつ山間部を中心としているのが特徴である。道路施設に関する被害でも地域性が反映されているが、将来の地震災害の防止、軽減のためには、地方部・山間部における道路施設の震害特性および道路機能を明らかにして、今後の地震防災対策に反映することが必要である。

本研究は、現地調査および関係資料の収集により得られたデータを基にして、道路盛土の被害水準、道路の通行止めおよび道路被害の影響の各特性に着目して分析し、地方部・山間部の地震による道路施設の被害水準および道路機能の特性、さらに震度階と土木施設の被害水準・道路機能の関係を定量的に評価することにより、今後の地震防災対策に関する新たな知見が得られている。

Key Words : Mid Niigata Earthquake in 2004, Road Facilities, Damage Factor, Damage Level, Road Performance

1. まえがき

2004年新潟県中越地震は内陸直下型地震であり、その被害の範囲は地方部かつ山間部を中心としているのが特徴である。土木構造物の被害のうち、道路施設に関する被害でも地域性が反映されており、盛土等(橋梁の取り付け盛土を含む)の沈下、すべり崩壊、斜面崩壊が多数発生し、それらによる通行止めが多数発生している。

このように、中越地震では盛土等の耐震性向上の必要性がクローズアップされたが、道路密度が低く、迂回路の限られる地方部の幹線道路では道路のネットワークを構成する橋梁、盛土等が十分な耐震性を有し、震災直後の迅速かつ円滑な救援、復旧に寄与することが緊要である。そのためには、地方部・山間部における道路施設の震害特性および道路機能を明らかにして、今後の地震防災対策の推進に反映することが必要である。

本研究は、地震被害に関する現地調査および関係資料の収集により得られたデータを基にして、道路盛土の被害水準、道路の通行止めおよび道路被害の影響の各特性

に着目して分析し、地方部・山間部の地震による道路施設の被害水準および道路機能の特性を分析している。さらに、従来から明示されていない震度階と土木施設の被害水準・道路機能の関係を定量的に評価することを試みている。その結果、地震直後の限られたデータという制約はあるが、道路施設の被害水準および道路機能の特性を定量的に評価することができ、今後の道路施設に対する地震防災対策に関する新たな知見が得られた^{1), 2)}。

2. 現地調査と資料収集

筆者らは2004年12月1日から3日までの3日間の行程で道路施設を中心とする被害状況及び復旧状況に関する調査を実施した。調査範囲は国道17号、117号、関越自動車道を中心とする主要な道路および上越新幹線の脱線現場、信濃川の河川堤防、小千谷市内などである。現地調査の目的は、地震被害の状況把握もあるが、地震発生後、概ね40日程経過した時点でもあることから、道路施設

の被害形態や規模といった被害水準と復旧の規模や進捗状況との関係を把握することに主眼に置いた。調査では予めマスコミの情報や関係機関のウェブサイトから公開されている被害情報を収集するとともに、現地において関係機関からの情報提供を得て実施した。

本研究で対象とした被害および復旧状況に関するデータは、現地調査の前後に国土交通省北陸地方整備局^{3)~5)}、日本道路公団⁶⁾、JR東日本⁷⁾、新潟県⁸⁾のウェブサイトから入手したデータおよび現地調査において北陸地方整備局の本局、長岡国道事務所、信濃川河川事務所から提供を受けたデータ、さらに現地調査で独自に得たデータである。なお、これらのデータは入手時点（平成16年10月～平成17年2月）の資料であることや現地調査は目視が中心であることから、内容や精度において不十分な場合もある。

3. 道路施設の被害水準および道路機能の特性

(1) 被害形態と全面通行止め

a) 道路施設の被害形態

道路の全面通行止めの規制の原因となった被害形態は、「沈下、段差」、「盛土崩壊」、「斜面崩壊、土砂崩れ」、「橋梁損傷」、「事前通行規制」および「その他」の6種類に分類した。ここで、「沈下、段差」は道路に沈下、段差、陥没が発生した被害形態とするが、橋梁の取り付け盛土の沈下も段差として分類する。また、「盛土崩壊」はすべりを伴う崩壊など、盛土が大規模に崩壊する被害形態である。さらに、「斜面崩壊、土砂崩れ」は斜面崩壊や法面が崩壊する被害形態、「橋梁損傷」は橋梁の上部工や下部工に損傷がある被害形態である。なお、「事前通行規制」は全面通行止めに至るような被害は生じていないが、今後発生する危険性があると判断されて通行止めの措置がなされた場合を指す。以上の5種類の分類以外の被害形態は「その他」であるが、トンネルの損傷やスノーシェットの損傷等の被害形態が含まれる。

b) 全面通行止めの特性

調査対象とした全通行止め箇所はウェブ上で公開されている直轄国道と県管理国道の77箇所であるが、被害形態毎の全面通行止め箇所数およびその割合は図-1の通りである。今回の地震は地方部の山間部が震源であることから、通行止めに関係した最も多い被害形態は「沈下、段差」であり、全面通行止めの箇所数のほぼ半数を占めている。次いで「斜面崩壊、土砂崩れ」、「盛土崩壊」が多い。「沈下、段差」および「盛土崩壊」を合わせた全通行止め箇所数は全体の6割強を占めている。一方、「橋梁損傷」による全面通行止め箇所数は全体の7%程度である。これは橋梁の耐震対策の進捗と強震動域における橋梁の数自体が少ないこと等が関係すると思われる。

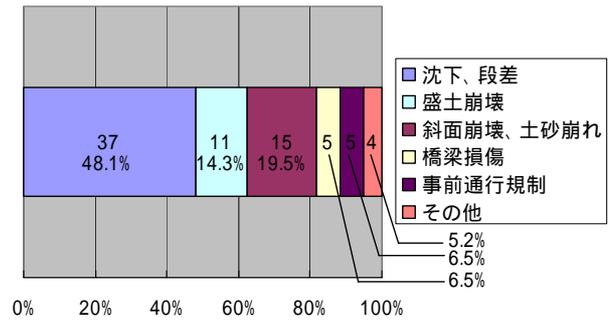


図-1 被害形態ごとの全面通行止め箇所数およびその割合

(2) 盛土の被害水準の特性

地震被害が顕著であった道路盛土について、被害の形態、規模に着目した被害水準について検討した。

a) 道路盛土の被害形態

現地調査によると、道路盛土の被害の形態は盛土の周辺地形あるいは盛土構造によって異なることが推測された。例えば、写真-1は盛土全体がすべりにより大規模に崩壊した形態の事例（国道117号小千谷市細島地先）³⁾であるが、盛土の横断方向は地山が傾斜し、盛土本体は片盛構造であるのに加えて、縦断方向は尾根の切土部との境界部に位置する。また、写真-2は盛土の天端が横断方向にほぼ均一に沈下するとともに、地山傾斜の下方側の



写真-1 片盛構造の盛土の天端崩壊の事例³⁾
(国道117号小千谷市細島地先)



写真-2 両盛構造の盛土のり面崩壊・沈下の事例
(国道117号小千谷市細島地先)



写真-3 橋梁の取り付け盛土の沈下の事例
(関越自動車道芋川橋左岸)

のり面部がすべり崩壊した中規模被害の形態の事例（写真-1の付近）であるが、盛土の横断方向は地山が傾斜し、盛土本体は両盛構造であるのに加えて、縦断方向は沢部を横断する構造である。さらに、写真-3は橋梁の取り付け盛土部が沈下した比較的小規模な被害形態の事例（関越自動車道芋川橋左岸）であるが、盛土の横断方向は基礎地盤が平坦であり、盛土本体は両盛構造であるが、縦断方向は異種構造の橋台との境界部である。

上記のように現地調査で確認した道路盛土の被害の状況によると、まず道路盛土の被害形態は横断方向と縦断方向に区分し、次に横断方向では平坦地盤および傾斜地盤に区分し、さらに傾斜地盤では盛土構造を両盛構造と片盛構造に区分することが適当と判断されたので、これらの区分毎に被害形態の分類を行った。つ

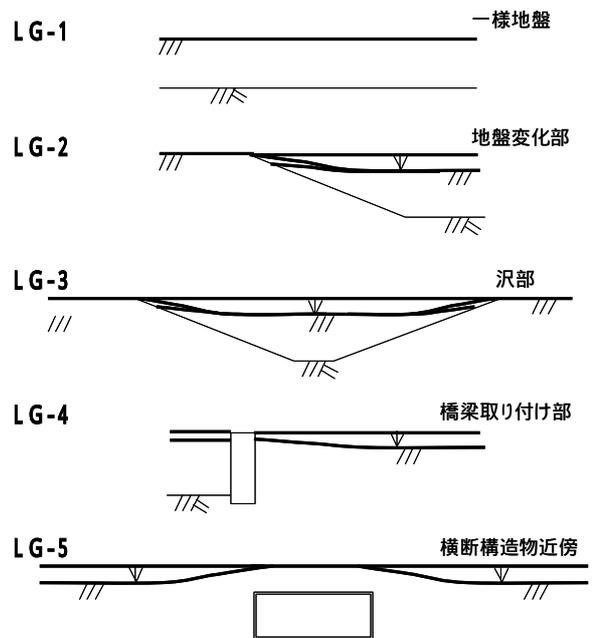


図-3 盛土の縦断方向の被害形態の分類

まり、横断方向の平坦地盤上の被害形態は図-2(1)のように分類する。また、横断方向の傾斜地盤上の被害形態は、両盛構造および片盛構造毎に、それぞれ図-2(2)および図-2(3)のように分類する。ここで、各図における被害形態は単一ではなく、組み合わせられる場合がある。また、片切片盛構造は片盛構造を準用する。さらに、縦断方向の道路盛土の被害形態は、地盤構造あるいは他の構造物（橋梁、横断構造物）との関係に基づいて図-3のように分類する。

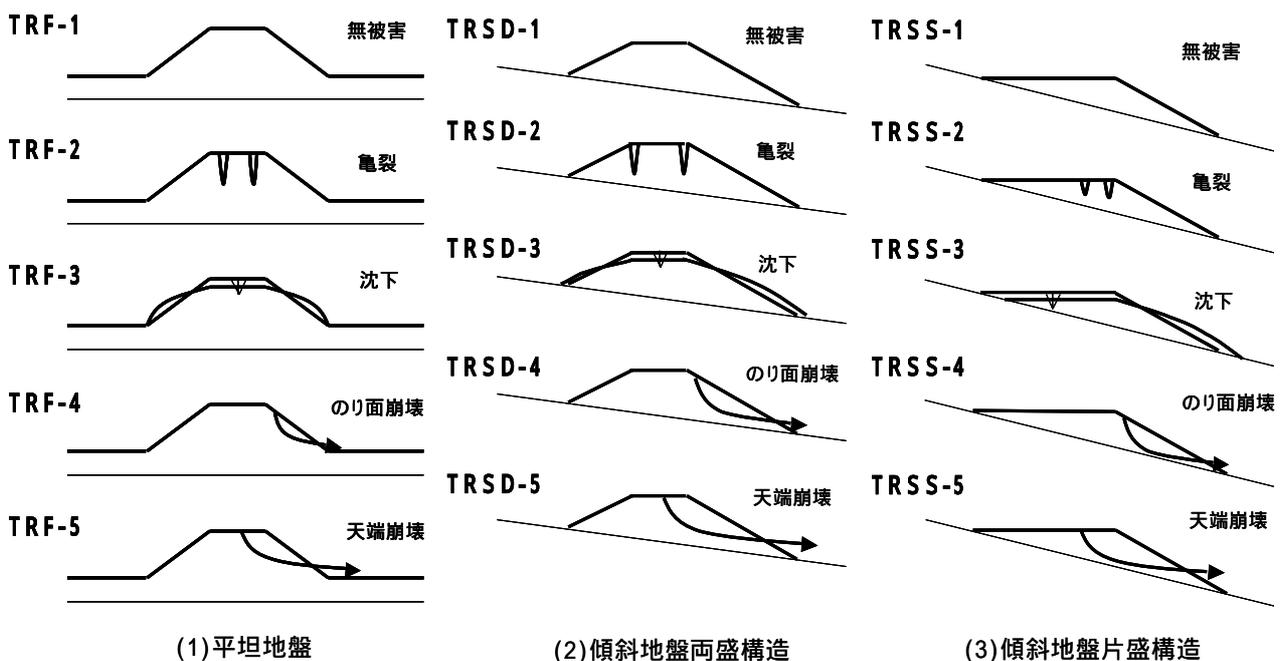


図-2 盛土の横断方向の被害形態の分類

表-1 被害道路盛土の被害形態分類

盛土箇所名	地盤条件	盛土構造	被害形態	
			横断方向	縦断方向
国道17号 ちじみの里付近	平坦	両盛	TRF-3	LG-5
国道17号 和南津橋右岸橋詰	平坦	両盛	TRF-3	LG-4
関越道 小千谷IC付近	平坦	両盛	TRF-3	LG-4 LG-5
関越道 茅川橋左岸橋詰	平坦	両盛	TRF-3	LG-4
国道17号 天納	傾斜	片盛	TRSS-5	LG-1
国道17号 天納	傾斜	両盛	TRSD-3	LG-3
関越道 214.5km	傾斜	両盛	TRSD-5	LG-1 LG-5
関越道 215.1km	傾斜	片盛	TRSS-5	LG-1
関越道 215.9km	傾斜	片盛	TRSS-5	LG-1
国道117号 細島	傾斜	片盛	TRSS-5	LG-2
国道117号 細島	傾斜	両盛	TRSD-2	LG-1
国道117号 細島	傾斜	両盛	TRSD-3 TRSD-4	LG-3 LG-5
国道117号 信濃川発電所付近	傾斜	片盛	TRSS-3	LG-1

現地調査で被害確認をした道路盛土について、横断方向および縦断方向の被害形態を対比して分類を行うと表-1のようになる。このように、特に山間部では横断方向および縦断方向の基礎地盤の条件が複雑であるので、図-2および図-3により分類することが適当である。

b) 道路盛土の沈下規模と震度

道路面において段差が発生すると、道路機能は著しく影響を受ける。そのため、段差高さは道路機能への影響も含めた、道路盛土の被害規模を示す指標の1つと考えることができる。さらに、地震発生直後に気象庁から発表される震度階級は、マクロ的に地震動の規模あるいは被害の状況を推定できる指標である。

従って、本研究では道路盛土の被害規模（＝道路面の横断方向に発生した段差の高さ）と震度との関係を検討した。分析に用いたデータは、長岡国道事務所より提供を受けた直轄国道における被害状況写真である。写真に基づいて道路面の段差高さを判読し、前項の縦断方向の被害形態の分類に対応させて集計を行った。なお、推計震度の推定方法は本文の4.(1)を参照されたい。

直轄国道における22箇所の被害箇所について、段差高さや震度との関係を図-4に示す。同図によれば、概ね推計震度が大きくなるほど、段差高さが増加する傾向が分かる。さらに被害形態別に比較すると、橋梁の取り付け部において生じた段差の数が多く、その段差高さも大きいという傾向が読み取れる。推計震度5強において40cmの段差高さが発生している箇所（橋梁の取り付け盛土の段差）があるが、その理由としては推計震度が実際の震度と一致していないこと、取り付け盛土の耐震性が低いことなどが考えられる。また、段差の発生の被害形態において「不明」と定義されているものが多いが、これは写真データから被害形態を判読することが困難な場合が多かったためであり、今後実態把握が必要である。

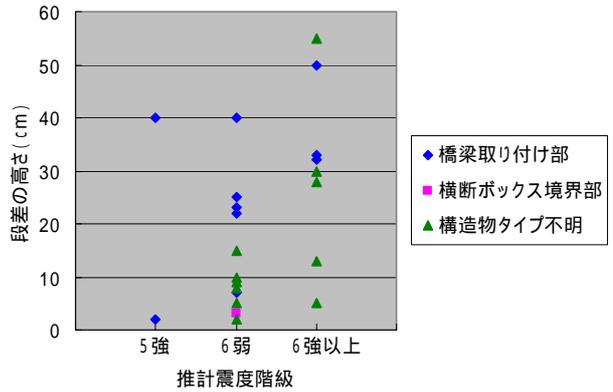


図-4 道路面の段差高さや推計震度との関係

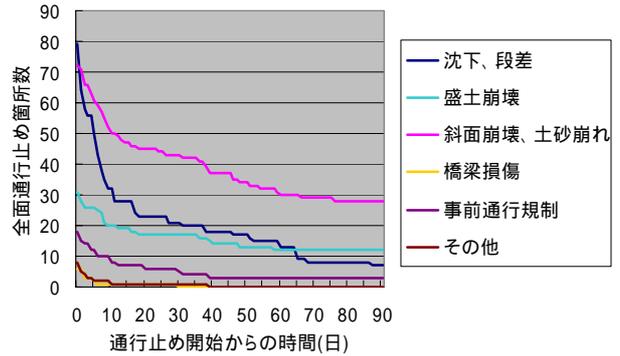


図-5 被害形態別の全面通行止め箇所数の経時変化

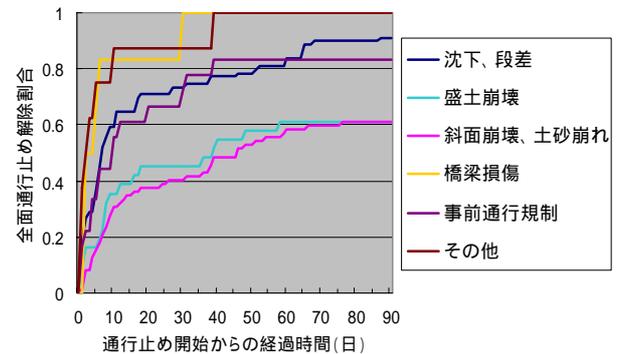


図-6 全面通行止めの全箇所数に対する規制解除箇所数の割合の経時変化

(3) 通行止めの復旧特性

道路施設に被害が発生した場合、被害の規模により道路機能に及ぼす影響の程度が異なる。本研究では、影響の大きい被害の状況を表すデータとして、道路の全面通行止めの規制が実施された被害箇所に着目し、全面通行止めの規制が解除されるまでに要した時間など、通行止めの復旧特性を検討した。

a) 被害形態別の復旧特性

国道、県道における全面通行止め箇所が、規制開始から解除までに要した時間を集計し被害形態別に分類した。被害形態別の全面通行止めの箇所数の経時変化は図-5の通りである。また、全面通行止めの全箇所数に対する規制解除箇所の割合の経時変化は図-6の通りである。なお、時間の単位は1日であり、1日に満たない時間は切り上

げて集計している。

これらの図によれば、「沈下、段差」による全面通行止めは箇所数こそ多いものの、解除が比較的早いことが分かる。一方、「盛土崩壊」や「斜面崩壊、土砂崩れ」による通行止めは解除に時間がかかる傾向が読み取れ、60日間を経過した段階においても、概ね4割の箇所でも全面通行止めが解除されていないことが分かる。特に、「斜面崩壊、土砂崩れ」に起因するものは箇所数も多く、国道、県道を合わせた道路全体の傾向としては、最も道路機能を阻害させた被害形態といえる。逆に、「橋梁損傷」による全面通行止めの箇所は少ないが、解除も早く、今回の地震では道路機能への影響が小さかったことがうかがえる。

b) 道路種別毎の復旧特性

直轄国道、県管理国道、主要地方道および一般県道の道路種別毎の全面通行止めの箇所について、規制の開始から解除までに何日間を必要としたかを集計した。道路種別毎の全面通行止めの箇所数の経時変化は図-7の通りであり、解除割合の経時変化は図-8の通りである。

これらの図によれば、直轄国道では全面通行止めの箇所数が少ないものの、解除は最も早く実施されており、早期の応急復旧が実施されている。続いて、県管理国道が早く、県道は国道と比較して復旧に多くの時間を要している。このことから、当然とも言えるが、重要度レベルの高い道路ほど応急復旧が優先的に実施されたことが分かる。

直轄国道と県管理国道を国道としてまとめ、被害形態別の全面通行止めの箇所数を集計した結果の経時変化は図-9となる。同図によれば、国道での全面通行止め箇所の被害形態は「沈下、段差」が多いが、「斜面崩壊、土砂崩れ」が相対的に少なく、このことが早期の復旧につながった要因の1つと考えられる。ここで、「斜面崩壊、土砂崩れ」が相対的に少ない原因は、斜面に対する防災対策が進んでいること、山間部における国道の延長密度が小さいこと等が考えられるが、詳細な要因は個別の被害箇所に対する調査が必要である。なお、国道の応急復旧は迅速に実施されたといえるが、地震発生後の1週間では「沈下、段差」による道路機能の低下は著しかったといえる。

(4) 道路機能の影響特性

塩沢 - 長岡間は東京と新潟市を結ぶ途中の区間にあたり、上越新幹線、上越線、関越自動車道および国道17号がほぼ平行に走っている。本研究では、主要道路の早期復旧の重要性に関する分析をするために、「塩沢」から「長岡」間について、同区間内にある「南魚沼」、「魚沼」、「川口」および「小千谷」の主要地点により5つのリンクに分割し、これらのリンクにおける道路の道路機能の回復状況を各交通機関間で比較検討した。

a) 交通機関別の影響特性

地震発生後30日間の交通機関毎のリンクの開通状況は図-10の通りである。なお、各交通機関におけるそれ

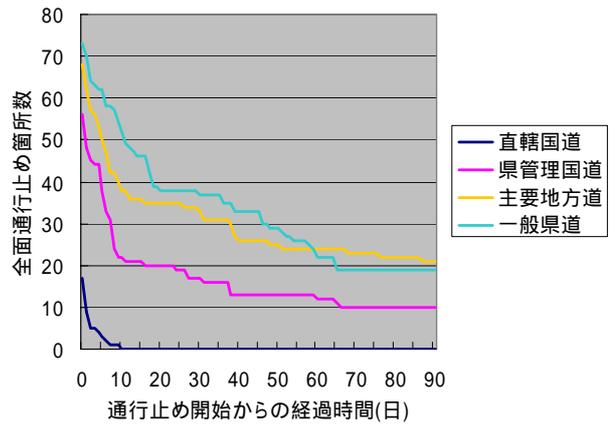


図-7 道路種別毎の全面通行止め箇所数の経時変化

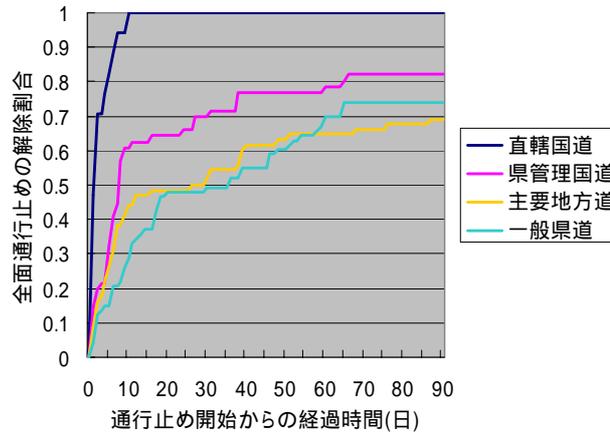


図-8 道路種別毎の全面通行止めの解除割合の経時変化

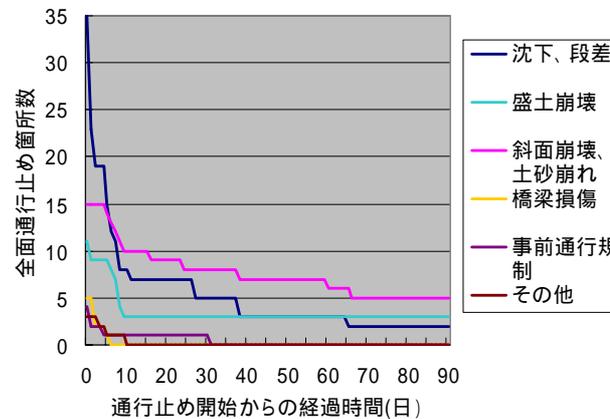


図-9 国道における被害形態別の全面通行止めの箇所数の経時変化

それぞれのノードとの対応地点は表-2とした。あるリンク中において1箇所でも不通の箇所があれば、そのリンク全体を不通と評価している。また、同図における地震発生直後とは2004年10月24日0時で定義し、経過日数はこれを基準としている。

同図によれば、鉄道の方が道路よりもリンクの開通により多くの時間を要していたことが分かる。このため、地震発生後の初期段階においては道路交通への依存度が高かったといえる。

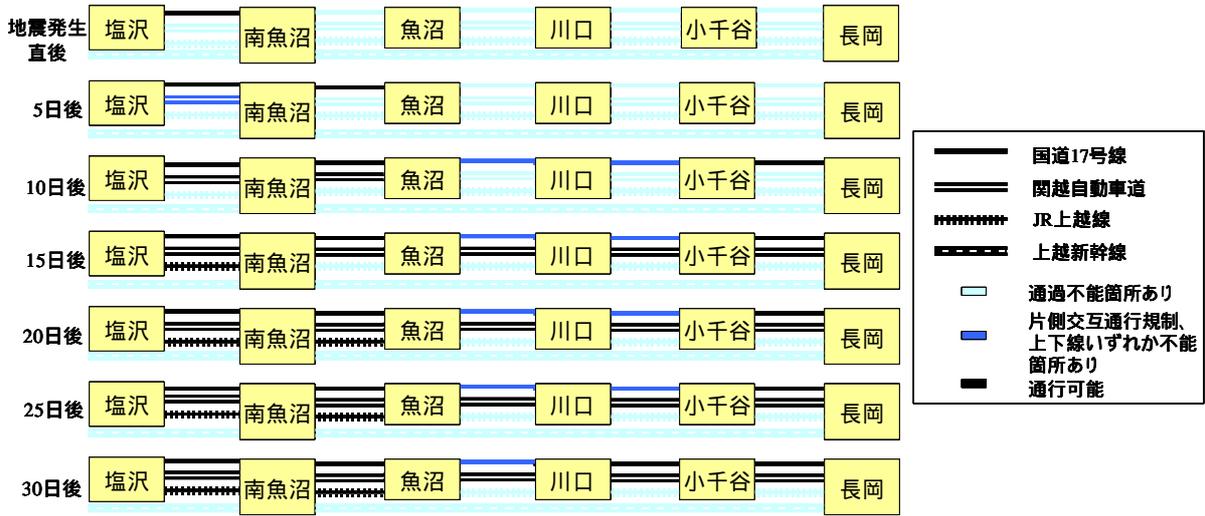


図-10 交通機関毎のリンクの開通状況

表-2 各ノードとの対応地点

交通機関	塩沢	南魚沼	魚沼	川口	小千谷	長岡
国道17号線	塩沢駅前交差点	六日町交差点	井口新田交差点	川口交差点	稗生IC	川崎IC
関越自動車道	塩沢石打IC	六日町IC	小出IC	越後川口IC	小千谷IC	長岡IC
JR 上越線	塩沢駅	六日町駅	小出駅	越後川口駅	小千谷駅	長岡駅
上越新幹線	-	浦佐駅	-	-	-	長岡駅

表-3 各リンクの設定交通量

	塩沢-南魚沼	南魚沼-魚沼	魚沼-川口	川口-小千谷	小千谷-長岡
国道17号線	上町 14041 (台/12h)	五箇 10012 (台/12h)	新道島 12762 (台/12h)	木津 15620 (台/12h)	六日市 20621 (台/12h)
関越自動車道	塩沢石打-六日町 8215 (台/12h)	六日町-小出 8575 (台/12h)	小出-堀の内と堀の内-越後川口の平均 9434 (台/12h)	越後川口-小千谷 11135 (台/12h)	小千谷-長岡 11414 (台/12h)

b) 関越自動車道と国道17号の影響特性

道路の被害水準の影響を評価するために、常時の交通量に着目することにより、関越自動車道および国道17号の通行止めあるいは解除の影響あるいは効果を定量的に比較することを試みた。つまり、或るリンクにおける常時交通量を全リンクのその合計量で除した値は、全リンクで構成される道路ネットワークの道路機能に対する当該リンクの相対的な影響あるいは回復の割合を表す指標として定義した。

具体的には、各リンク内の全面通行止め箇所が全て解除された時点を当該リンクの道路機能の回復時と見なし、当該リンクの常時交通量を全リンクに対する回復交通量として算入した。なお、片側交互通行のような規制が実施されている状態は、道路ネットワークにもたらす影響が小さいため通常時の道路機能と同等とみなしている。交通量は1999年度交通センサスの12時間交通量を用いた。関越自動車道および国道17号における各リンクの常時交通量として採用したデータは表-3に示す通りである。なお、国道17号では域内交通量を極力除外するために、各市町村の行政境界に最も近い箇所の交通量データを採用するようにした。

国道17号および関越自動車道において回復交通量に基づいた道路機能の回復割合の経時変化は図-11の通りである。同図によれば、国道17号の方が関越自動車道よりも道路ネットワークとしての道路機能の回復割合が早かったことを示している。これは、本研究で定義した道路機能の回復割合は、全面通行止めのないリンクが多いほど、また常時交通量の多いリンクの回復が早いほど道路

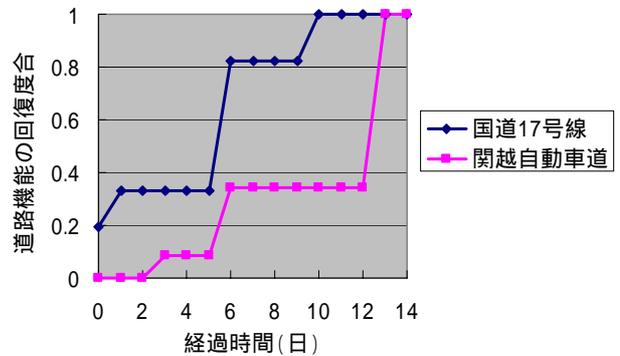


図-11 道路機能の回復割合の経時変化

ネットワークの回復が早くなることを表現するので、国道17号の方が全面通行止めの無いリンクがあったり、全面通行止めの影響が大きいリンクが早めに回復されていることを意味する。

4. 震度階と土木施設の被害水準・道路機能

地震発生時に気象庁から発表される震度は、地震直後に地震動の規模あるいは被害の状況をマクロ的に推定する指標として有効である。従って、震度階を地震発生時

の道路等，土木構造物の被害状況の把握やパトロールなどの管理活動の要否の判断材料として活用することが考えられる。しかし，現在の震度階級は，特に土木構造物を意識した内容にはなっていないのが実情である。従って，本研究では，震度階を地震時の道路施設等の管理に活用することを目的として，震度と道路施設の被害水準の関係を定量的に評価する方法を検討した。

(1) 被害箇所 の震度の推定法

被害箇所 の震度は，「新潟県中越地震復旧・復興GISプロジェクト」⁹⁾のウェブサイト上の本震の推計震度分布図と地形図を重ね合わせた地図において，各被害箇所 の位置情報との照らし合わせを行うことにより推定した。また，同ウェブサイトの距離計測機能を用いて，25,000分の1縮尺の地図から各道路の推計震度毎の延長を計測した。距離計測機能ではプロットした点間の距離を計測できるが，100mから400m程度ごとにプロットをすることにより道路に沿った計測を行った。計測距離は3回の平均値とした。なお，各推計震度域における道路延長が異なるため，各震度域の道路延長で全面通行止め箇所数を除すことにより，1km当たりの「全面通行止め発生率」を算定した。

(2) 国道における全面通行止め発生率と震度

a) 全面通行止め発生率と震度

国道（直轄国道および県管理国道）における全面通行止めの全箇所数に関する推計震度毎の全面通行止め発生率と被害形態の関係は図-12の通りである。なお，各推計震度域における全面通行止め箇所数および道路延長を表-4に示す。これらの結果によれば，震度が5弱，5強，6弱および6強以上での全面通行止め発生率は，それぞれ0.003，0.030，0.105および0.291箇所/kmであり，推計震度の増加に伴い全面通行止め発生率が増加する。一方，被害形態別に見ると，推計震度が6弱以下の場合には，比較的軽微な被害である「沈下，段差」による全面通行止め発生率の占める割合が大きいが，推計震度が6強以上では比較的大きな被害である「盛土崩壊」，「斜面崩壊，土砂崩れ」による全面通行止め発生率の割合が増加する。また，「沈下，段差」および「盛土崩壊」を合わせた盛土被害による全面通行止め発生率は，震度が5弱，5強，6弱および6強以上において，それぞれ0.0，0.018，0.081および0.160箇所/kmであり，全通行止め発生率の主要部分を占めている。さらに，「斜面崩壊，土砂崩れ」による斜面被害による全面通行止め発生率は，震度が5弱，5強，6弱および6強以上において，それぞれ0.0，0.003，0.012および0.110箇所/kmである。一方，「橋梁損傷」による全面通行止めは推計震度が6弱以上の地域に発生している傾向が見られるものの，その割合は小さい。

b) 全面通行止め発生率の経時変化と震度

各震度域における国道の道路機能の復旧状況を知るために，全面通行止め発生率の経時変化を震度毎に集計し

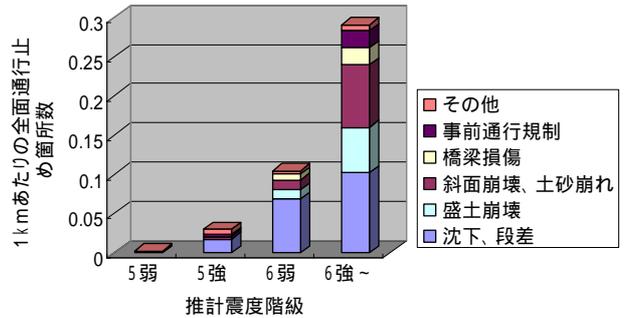


図-12 全面通行止め発生率と被害形態の関係

表-4 各推計震度域における全面通行止め箇所数および道路延長

	5弱	5強	6弱	6強以上
全面通行止め箇所数	1	10	26	40
道路延長(km)	365.22	334.34	247.95	137.51

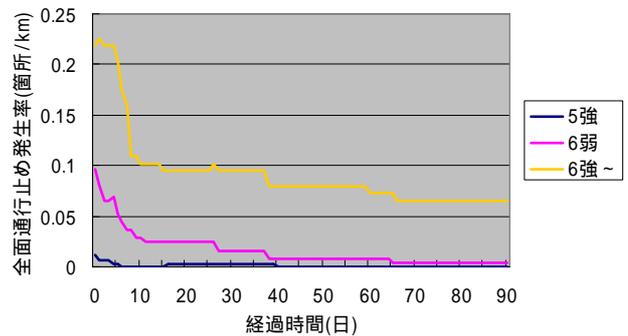


図-13 全面通行止め発生率の経時変化

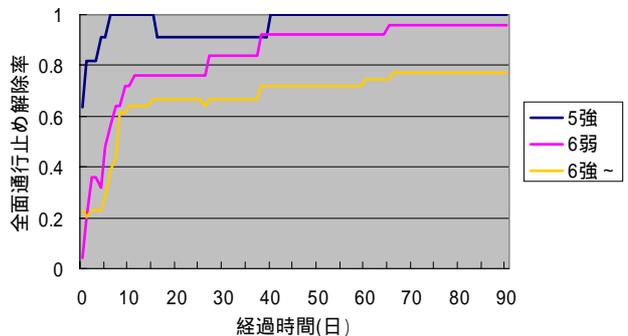


図-14 全面通行止め解除率の経時変化

たが，その結果は図-13の通りである。なお，時間軸の原点は2004年10月24日午前0時である。同図によれば，例えば震度6強以上の場合，地震発生3日後，10日後および30日後の全面通行止め発生率は，それぞれ0.218，0.102および0.095箇所/kmであり，時間の経過に伴って低下している。図中において全面通行止め箇所数が増加している時期が一部に見られるが，これは地震直後において被害を把握できなかったために通行規制の開始が遅れたこと，余震の影響で通行規制を行う必要のある箇所が新たに生じたためと考えられる。また，全面通行止め箇所数を全ての全面通行止め箇所数で除し，それと1との差から「全面通行止め解除率」を算出したが，その経時変化を図-14に示す。

(3) 被害想定のための全面通行止め発生率

道路施設に対する既往の被害想定基準には、道路機能の低下の程度や復旧に要する時間への考慮がなされていないものが多い。本研究ではそれらを考慮し、本節の(2) a) およびb) で明らかにした全面通行止め発生率とその経時変化に基づいて、道路施設の被害想定基準を検討した。道路施設の全被害形態に基づく全面通行止め発生率は表-5(1)のように整理できる。また、道路盛土および斜面の被害に起因する全面通行止め発生率は、それぞれ表-5(2)および表-5(3)のように整理できる。これらの表によれば、全被害形態あるいは被害形態毎に、地震発生直後あるいは時間経過後の全面通行止め発生率が想定できる。

5. 気象庁震度階級と道路施設被害との関連

気象庁震度階級関連解説表には道路施設の被害に対する記載がなされていない。本研究では、前章までの道路施設の被害水準および道路機能の特性に関する調査研究成果に基づいて、新潟県中越地震と同様な地域条件および地震クラスを想定した震度階級と道路施設の被害状況との関連を検討して、表-6としてとりまとめた。対象とする震度階級は、道路施設に被害が発生するレベルである、5弱、5強、6弱および6強以上とした。

同表から分かるように、被害の状況を可能な限り具体的に表現するため、本研究により得られた知見に基づいて、全面通行止め発生率、段差高さ、復旧日数などを定量的に表記するようにした。同表によれば、地震発生直

表-5 国道の全面通行止め発生率(箇所/km)

(1) 全被害形態

震度	5弱	5強	6弱	6強以上
全体	0.003	0.030	0.105	0.291
3日経過時点	0.003	0.006	0.065	0.218
10日経過時点	0	0	0.028	0.102
30日経過時点	0	0.003	0.016	0.095

(2) 道路盛土の被害

震度	5弱	5強	6弱	6強以上
全体	0	0.018	0.081	0.160
3日経過時点	0	0.003	0.048	0.109
10日経過時点	0	0	0.024	0.036
30日経過時点	0	0	0.012	0.036

(3) 斜面の被害

震度	5弱	5強	6弱	6強以上
全体	0	0.003	0.012	0.110
3日経過時点	0	0	0.012	0.080
10日経過時点	0	0	0.004	0.058
30日経過時点	0	0.003	0.004	0.051

後の震度情報に基づいて、おおよその道路施設の被害状況を想定することができる。

6. まとめ

本研究の結果から、中越地震における道路施設の被害水準および道路機能の特性に関して得られた知見は以下の通りである。

(1) 道路の全面通行止めに至る規模の被害の発生箇所は、「沈下、段差」および「盛土崩壊」によるもの

表-6 震度階級と道路施設被害状況との関連

震度階級	道路施設被害
0-4	通行に支障をきたす被害は発生しない。
5弱	通行が不能になるような被害はほとんど発生しない。山間部においては、斜面崩壊の可能性により事前に通行規制が必要となる場合がある。
5強	道路上に亀裂や陥没が生じることがあるが、通行には支障がない程度であるものがほとんどである。また、橋梁の取り付け部や横断ボックスの境界部に段差が生じることがある。被害が大きい時には、段差により通行が不能になることもある。橋梁の下部構造に損傷が生じることがあるが、通行には影響を与えない程度である。また山間部においては落石などにより、通行規制が必要になることがある。およそ30 kmあたり1箇所で行き止まり箇所が発生する。応急復旧は2,3日以内で終わることが多い。
6弱	多くの箇所で行き止まり箇所を確認できる。また、橋梁の取り付け部や横断ボックスとの境界部における段差が多く見られ、通行が不能になることもある。しかし、30cm以下の段差がほとんどである。道路の盛土部において通行が不能になる程度の規模のすべりを伴う崩壊が生じることがある。橋梁の下部構造においては、損傷が生じることがあり、通行が不能になることがある。また山間部においては落石が多数発生し、土砂崩れや法面の崩壊が発生することもある。およそ10 kmあたり1箇所で行き止まり箇所が発生する。それらの被害のうち半分程度は1週間以内で応急復旧を終えられる程度であるが、山間部では2ヶ月以上を要する被害もある。
6強	道路上のほとんどの箇所で行き止まり箇所を確認できる。ほとんどの橋梁の取り付け部や横断ボックスの境界部において段差が発生し、通行が不能になることもある。また30cm以上の段差の発生も顕著になる。道路の盛土部におけるすべりを伴う崩壊の発生が顕著になる。耐震性の高い橋梁においても、下部構造に損傷を多く確認でき、通行が不能になることも多い。トンネルのコンクリート擁壁が剥離、落下することがある。山間部においては土砂崩れや法面崩壊の発生が顕著になる。およそ10 kmあたり3箇所程度で行き止まり箇所が発生する。それらの被害のうち半分程度は10日以内で応急復旧を終えられる程度であるが、山間部を中心に2ヶ月以上を要する被害も多い。
7	

が6割強，「斜面，土砂崩れ」に起因するものが2割弱，「橋梁損傷」に起因するものが7%弱であり，盛土の被害に起因するものが多い。

(2) 道路盛土の被害形態は，横断方向および縦断方向に，また横断方向は平坦地盤と傾斜地盤に，さらに傾斜地盤は両盛構造と片盛構造に区分して，これらの組み合わせにより分類することが適切である。

(3) 交通機能別の復旧状況は，道路交通が鉄道交通に比べると復旧が早い傾向があり，地震発生後の道路機能の復旧の初期段階では道路交通への依存度が高い。

(4) 地震直後における道路ネットワーク全体の機能低下を抑制するためには，道路施設毎の耐震水準の適切な設定および道路施設間のバランスの取れた耐震対策が必要である。

(5) 地方部の山間部においては，道路盛土や斜面・法面に対しても道路機能に応じた耐震対策が必要である。そのために，既往の工法の効果的な適用，効果的かつ経済的な新工法の開発が必要である。

(6) 震度と道路の全面通行止め発生率とは一義的な関係があることを明らかにし，表-5により全被害形態および盛土被害，斜面被害毎に，震度毎の全面通行止め発生率およびその経時変化を提示した。

(7) 地震発生直後の震度情報に基づいて道路施設の被害状況を想定できるように，新潟県中越地震と同様な地域条件を想定した震度階級毎の道路施設の被害特性および道路機能特性の関連付ける表-6を提案した。

なお，本研究で収集し，分析したデータは地震直後の限られたものであるため，データ数およびその精度について不十分な場合もあるので，今後はデータの精度を向

上させることが必要である。

謝辞：現地調査に際しては，北陸地方整備局の本局（企画部・河川部・道路部），長岡国道事務所，信濃川河川事務所およびJR東日本（株）信濃川発電所の協力を得た。ここに紙面を借りて感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 常田・小田・鍋島・江川：新潟県中越地震における道路被害の道路機能への影響，土木学会関西支部年次学術講演会，2005.5
- 2) 常田・小田・鍋島・江川：新潟県中越地震における震度と道路施設の被害特性の関係，土木学会年次学術講演会，2005.9（投稿中）
- 3) 国土交通省北陸地方整備局道路部：平成16年新潟県中越地震（第一報），2004.10
- 4) 国土交通省北陸地方整備局長岡国道事務所：平成16年新潟県中越大震災，2005.2
- 5) 国土交通省北陸地方整備局ウェブサイト：
http://www.hnr.mlit.go.jp/saigai/H161023/1023_top.html
- 6) 日本道路公団ウェブサイト：<http://www.jhnet.go.jp/index.html>
- 7) JR東日本新潟支社ウェブサイト：
http://www.jreast.co.jp/caution/niiigata_earthquake.html
- 8) 新潟県庁ウェブサイト：
http://bosai.pref.niigata.jp/content/jishin/jishin_1.html
- 9) 新潟県中越地震復旧・復興GISプロジェクトウェブサイト：<http://chuuetsu-gis.nagaoka-id.ac.jp>

(2005.3.15 受付)

DAMAGE CHARACTERISTICS AND TRAFFIC PERFORMANCE OF HIGHWAY IN 2004 MID NIIGATA EARTHQUAKE

Ken-ichi TOKIDA, Kazuhiro ODA, Yasuyuki NABESHIMA and Yuusuke EGAWA

Because the Mid Niigata Earthquake in 2004 occurred at the local and mountainous regions, the highway facilities such as road embankments and road slopes were damaged severely and the road performance were interrupted at many sites. For future earthquake disaster prevention, it is very important to clarify the characteristics of damage factor, damage level and road performance induced by earthquakes.

This study conducts to estimate the characteristics of damage level of road facilities such as embankment, slope and bridge and the regulation of road traffic after the earthquake based on the data obtained by field investigation and other references. Several effective lessons on the damage level and road performance just after the earthquake can be obtained in this study.