

領域 7：災害時における対応をスピーディかつ的確に支援する

# 災害発生時の被災規模等の早期把握技術に関する調査

Study on technologies of a damage survey on road in first stage after a disaster

(研究期間 平成 27～29 年度)

道路構造物研究部 道路地震防災研究室  
Road Structures Department  
Earthquake Disaster Management Division

|                   |                 |
|-------------------|-----------------|
| 室長                | 片岡 正次郎          |
| Head              | Shojiro KATAOKA |
| 研究官               | 梶尾 辰史           |
| Researcher        | Tatsushi KAJIO  |
| 研究官               | 中川 量太           |
| Researcher        | Ryota NAKAGAWA  |
| 研究員               | 石井 洋輔           |
| Research Engineer | Yosuke ISHII    |

In this study, The damage situations of the highway bridges and road structures in the 2016 Kumamoto Earthquake are analyzed. An automatic device to find damaged road structures is developed for early detection of traffic obstacle after disaster.

## [研究目的及び経緯]

平成 23 年東北地方太平洋沖地震や、平成 28 年熊本地震では、緊急輸送道路の早急な交通確保の重要性が再認識された。大規模地震発生時には、道路橋が被災することで通行障害が発生し、職員の現場到着が遅れ、被災状況把握に時間を要する恐れがある。また道路啓開時には、安全に通行できる道路橋の選定が求められることから、被災位置や被災規模などの状況把握を早期に行い、通行の可否を判断することが地震後の初動対応において効果的である。

本研究は、地震発生時の道路管理等に必要な被災情報を早期に把握するため、既存の道路情報や新技術・新材料、ICT を活用し、低コストで効率良く必要な被災情報を道路管理者へ提供する早期把握技術の検討及び検証を行う。

平成 28 年度は、熊本地震における道路橋の被災状況を整理した結果、過年度成果である道路橋被災状況把握システム(図-1)では計測できない被災が複数確認された。その結果を踏まえ、道路橋被災状況把握システムに新たな計測機器を追加した。そして、熊本県と大分県の実橋 4 橋を試行フィールドとして選定し、改良した道路橋被災状況把握システムの設置を行い、計測機器の要求性能を整理した。

## [研究内容及び成果]

### 1.被害分析から得られた既存システムの改善点

熊本地震では、2 度の強い揺れにより図-2 のような

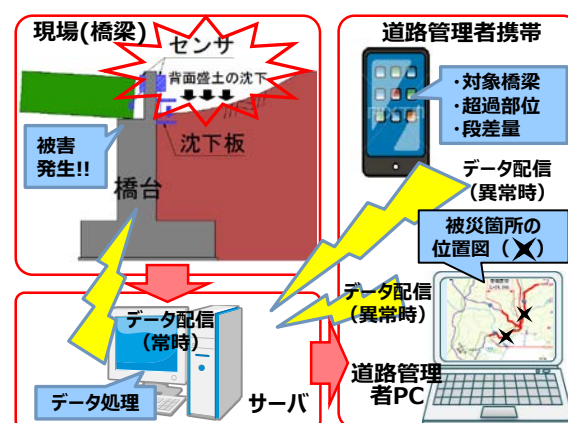


図-1 道路橋被災状況把握システムの概要

道路橋の被災が発生し、通行障害により復旧活動に影響を及ぼした。そこで、熊本地震の道路橋の被災状況を整理し、被災の特徴と桁の変位量を計測できる既存の道路橋被災状況把握システムの機能を比較することで、道路橋の被災度を把握するために必要な追加機能を抽出した。その結果、上部工や下部工の変状、支承周りの各部材の損傷状況を把握する機能追加の必要性が明らかとなった(表-1)。これらの各部材の損傷状況を把握するために、ウェブカメラや傾斜計、加速度計を新たに追加することとした(図-3)。なお、ウェブカメラについては、過年度に設置した道路橋被災状況把握システムの試行運用時に、桁の変位量だけでなく、写真などによって被災状況を確認したいとのニーズが道路管理者より得られたことから採用を決定した。

また道路管理者の意見を踏まえ、詳細な点検ができない夜間でも被災状況を撮影できるような性能の機器を採用した。

加速度計はウェブカメラや傾斜計とは違い、直接的な数値により被災度を把握することが困難なため、今後、振動台実験等のデータを分析し、被災が発生した時に作用した外力と被災度の関係を整理することで、被災度把握手法を検討していきたい。

## 2.新たな道路橋被災状況把握システムの実橋への設置

1.の結果を踏まえ、既存5橋の試行フィールドに加えて、新たに熊本県と大分県の4橋（2橋上下線）を選定し、システムの設置を行った。

システム設置の際には、道路橋の被災を想定することで設置計画を取り決めた。曲線橋に関しては、熊本地震の被災による桁の移動を踏まえ、計測機器の設置箇所や個数を決定した。また、多くの橋脚を有する多径間の道路橋に関しては、地震時の水平力が最も大きくなる橋脚を動的解析により算出し、監視すべき箇所を選定した。設置橋梁や設置した計測機器の状況を図-4に示す。本研究での設置計画や設置後の状況から、計測機器の検証方法や仕様を整理した検証項目（案）を表-2に示す。この検証項目は、試行を継続する中で詳細に整理していく予定である。

今後、本研究において改良した道路橋被災状況把握システムを実際の道路管理に活用するため、試行フィールドでの観測を継続し、運用するための計測機器の要求性能を確立していく。

### [成果の活用]

本研究成果を地方整備局等が使用することにより、地震時の道路管理者の迅速な初動対応を支援する。また、地方整備局が策定している道路啓開計画に本研究成果を反映し、道路啓開計画の高度化に貢献する。



図-2 熊本地震における道路橋の特徴的な被害  
(H28.6.24 第5回道路技術小委員会配布資料より引用)

表-1 熊本地震を踏まえたシステムの改善点の整理

| 主な被害内容         | 計測内容                                           | 既存システムによる計測 | 改善の必要性 |
|----------------|------------------------------------------------|-------------|--------|
| 上部工の移動         | ・上部工の相対変位<br>・支承の損傷                            | 計測可         | —      |
| 上部工の変状         | ・主桁、横桁、横構の変形<br>・支点上補剛材の変形                     | 計測不可        | ○      |
| 支承、落橋防止システムの損傷 | ・支承部材（サイドブロック等）の変形<br>・支承周りの部材（コンクリートブロック等）の損傷 | 計測不可        | ○      |
| 下部工の変状         | ・下部工の傾斜<br>・下部工の沈下<br>・下部工のひび割れ                | 計測不可        | ○      |
| 橋台背面盛土部の変状     | ・橋台背面盛土の段差<br>・橋台背面盛土の流出                       | 計測可         | —      |

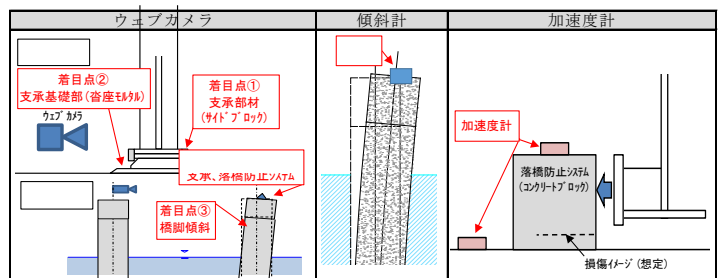


図-3 新たにシステムに追加した計測機器



図-4 道路橋被災状況把握システムの設置状況

表-2 計測機器の要求性能検証項目（案）

| 計測機器等                             | 検証項目     | 検証内容                   |
|-----------------------------------|----------|------------------------|
| ワイヤー式変位計<br>ウェブカメラ<br>傾斜計<br>加速度計 | 計測位置     | 計測目的と被災内容の整合、設置位置、設置方法 |
|                                   | 計測値      | 計測精度、誤差、計測範囲           |
|                                   | 被災度判定の閾値 | 判定方法、設置環境条件の影響         |
|                                   | 設置環境     | 設置位置、雨水、温度、塩害、草木、小動物   |

# 道路橋の耐震補強効果の評価に関する調査

Study on effectiveness of seismic retrofit for highway bridges

(研究期間 平成 28～30 年度)

道路構造物研究部道路地震防災研究室  
Road Structures Department  
Earthquake Disaster Management Division

|                   |                 |
|-------------------|-----------------|
| 室長                | 片岡 正次郎          |
| Head              | Shojiro Kataoka |
| 主任研究官             | 中尾 吉宏           |
| Senior Researcher | Yoshihiro Nakao |
| 研究官               | 中川 量太           |
| Researcher        | Ryota Nakagawa  |

This study aims to show effectiveness of seismic retrofit for highway bridges clearly in order to encourage regional administrators to implement seismic retrofit. The study also intends to show how seismic retrofitting of highway bridges should be promoted for further efficient improvement.

## 〔研究目的及び経緯〕

本研究は、これまでに実施されてきた道路橋の耐震補強の効果を分かりやすく示すことで、地方公共団体による耐震補強を促すことを目的としている。また、道路橋の耐震補強を一層効率的に進めていけるよう、地震による道路橋の被災状況を分析し、未補強橋梁に対する今後の耐震補強の進め方を検討するものである。

28 年度は、平成 23 年東北地方太平洋沖地震及び平成 28 年熊本地震を対象として、道路橋の被災状況や地震発生当時の耐震補強の実施状況等に関する情報を地方整備局等から収集した上で、耐震補強による道路橋被害の軽減効果を分析した。また、耐震補強により道路機能が地震の発生直後から確保できたことによる効果について分析を行った。

## 〔研究内容〕

### 1. 耐震補強による道路橋被害の軽減

地震による道路橋の被災状況等、以下の①～④に示す情報を地方整備局、地方公共団体、高速会社から収集し、耐震補強による道路橋被害の軽減を分析する。

- ①道路橋の地震による被災状況
- ②道路橋への耐震補強の実施状況(地震発生当時)
- ③道路橋の耐震設計、補強設計、適用基準
- ④道路橋の構造諸元 等

### 2. 道路橋の耐震補強の様々な効果

道路橋への耐震補強により、道路機能が地震直後から確保できたことや、被災したとしても速やかに機能回復できたことによって得られた様々な効果を、道路橋、道路土工・自然斜面、トンネル等の被災による道路の実際の通行止めの状況や、応急復旧による通行止め解除の状況を踏まえて分析する。

## 〔研究成果〕

### 1. 耐震補強による道路橋被害の軽減

耐震補強による道路橋被害の軽減に関する分析例を図-1 に示す。図は、東北地方太平洋沖地震による直轄国道の道路橋の被災度を、「大被害」、「中被害」、「小被害又は被害無し」に分類し、それぞれの発生状況を道路橋への適用基準毎に整理したものである。平成 7 年兵庫県南部地震では、昭和 46 年以前の技術基準を適用した橋脚に倒壊や変形などの甚大被害が多く生じたが、その様な傾向は図には認められない。これは、1978 年宮城県沖地震の被災により耐震性が低い道路橋の更新・補強が進められたこと、また、兵庫県南部地震と同程度の地震動に対しても落橋等の甚大な被害を防止する「緊急輸送道路の橋梁耐震補強 3 箇年プログラム(平成 17～19 年度)」等により、地震による橋の損傷が致命的とならない耐震性能 3 を確保する補強が進められてきたことによる。



図-1 適用基準毎の被災率

### 2. 道路橋の耐震補強の様々な効果

#### (1) 東北地方太平洋沖地震

東北地方太平洋沖地震では、津波被害を受けた太平洋沿岸部への救援路を速やかに確保するための「くしの歯作戦」が決行された。これにより、内陸を縦貫する東北自動車道及び国道 4 号の縦軸ラインを確保した上で、沿岸主要都市への国道を中心とするアクセス 15

ルート等を確保する早期啓開が実現された(図-2(1))。この様な早期啓開が可能となったのは、上述の耐震補強により、昭和46年以前の技術基準が適用された道路橋の被害が軽減されたためである。実際、例えば震度6弱以上の地域(図-3(1))に着目すると、くしの歯作戦の啓開対象路線(以下、「啓開路線」とする)には道路橋が約170橋あり、昭和46年以前の技術基準が適用された橋に耐震性能3を確保する補強が全橋で完了していた。補強済み橋梁に生じた比較的大きな被害としては、亀田大橋(下り)で橋脚横梁部にひびが入る被害が唯一生じたが、応急復旧により6日後には通行止めが解除できるものであった。これに対し、啓開路線以外は、耐震補強が進んだ直轄国道及び高速道路を除くと、約400の道路橋のうち補強未対応が約2割残っていたため、大被害が6件発生し、通行止め解除に9ヶ月を要するものもあった。なお、啓開路線の速やかな道路啓開には、くしの歯作戦により道路啓開を集中的に進める路線が絞られたことや、啓開にあたり災害協定に基づく地元建設業等の協力が得られたことも寄与したとされる<sup>1)</sup>。

同地震では、東北地方の石油拠点である仙台と塩竈の沿岸施設や、鹿島や千葉の石油沿岸施設が津波で被害を受けた。比較的小さかった塩竈は早期復旧され、苫小牧や西日本の拠点からタンクローリー等を使って石油が集約された。この様な対処が可能となった背景には、道路の早期啓開・復旧がある。

## (2) 熊本地震

九州自動車道は、ロッキング橋脚を有する跨道橋等の被災で、植木IC～松橋IC間が通行止めとなった。その間、道路橋の耐震補強が各所でなされていたために地震直後から通行可能であった国道3号が、九州自動車道の代替路の役割を果たし(図-2(2))、九州北部からの緊急物資の搬入拠点となった熊本県民総合運動公園(以下、物資拠点とする)への輸送を支えた。実際、例えば震度6弱以上の地域(図-3(2))に着目すると、国道3号には道路橋が約50橋あり、昭和46年以前の技術基準が適用された橋に耐震性能3を確保する補強が全橋で完了していた。九州自動車道では、ロッキング橋脚を有する跨道橋等の被災に加え、本線橋の木山川橋及び秋津川橋の被害も通行止めの要因となったが、耐震性能3を確保する補強がこれら2橋を含む全橋で済んでいたことから、ロッキング橋脚を有する跨道橋以外で致命的被害は発生せず、これら2橋の被災も応急復旧により本震から13日後に通行止め解除できるものであった。この結果、九州自動車道の通行止めは比較的早期に解除され、国道3号で地震直後から生じていた渋滞が劇的に緩和したことが民間プローブデータの解析で

明らかとなっている。これに対し、地方公共団体が管理する道路橋は震度6弱以上の地域に約40橋あり、耐震性能3を確保する補強が未対応の橋が約3割あった。この様な状況を受け、大被害が9件発生し、通行止め解除に11ヶ月以上(H29年3月現在も通行止め)を要するものが出ている。

## 3. まとめ

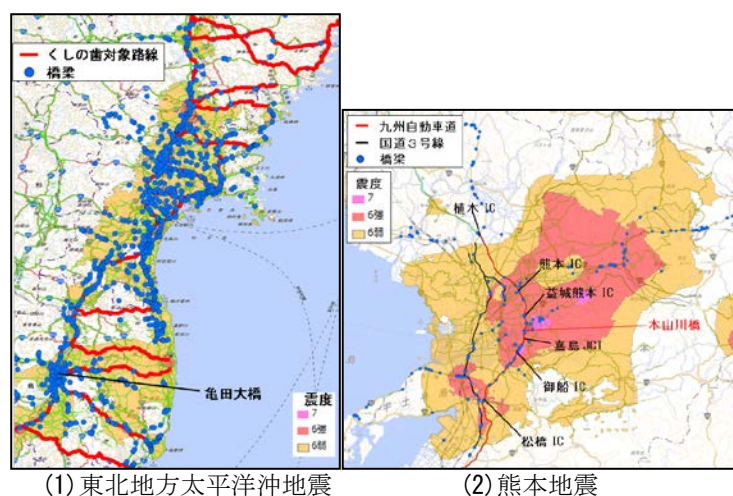
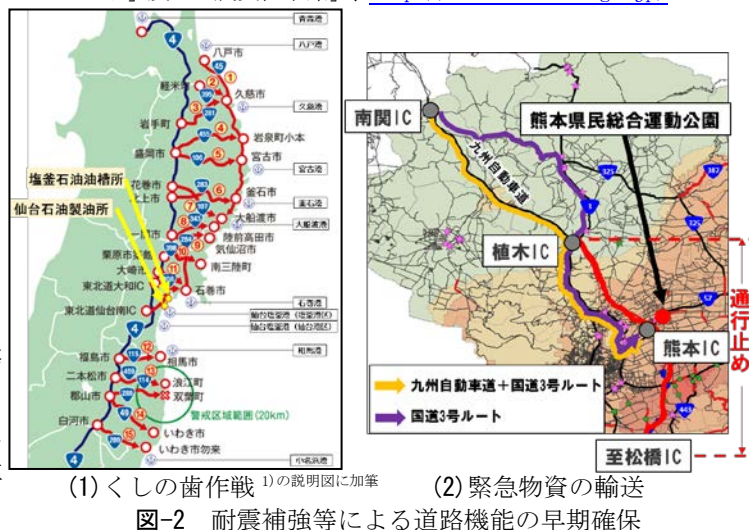
熊本地震等による道路橋の被災状況等に関する情報を収集した上で、これまで実施されてきた耐震補強の主な効果を分析した。今後は、耐震補強の様々な効果を見える化する検討を更に進めるとともに、地方公共団体が管理する道路橋の被災状況を踏まえた課題分析を行い、未補強橋梁への耐震補強を効率的に進めるための検討を行うことを予定している。

### 【成果の活用】

震災対策便覧(震前対策編)に反映する。

### 【参考文献】

- 1) 東北地方整備局 HP:「東日本大震災 復興までの道のり」及び「震災伝承館」、<http://www.thr.mlit.go.jp/>



# 道路災害発生時の危機管理対応能力に関する調査

Survey on crisis management ability in case of road disaster

(研究期間 平成 28～30 年度)

道路構造物研究部 道路地震防災研究室  
Road Structures Department  
Earthquake Disaster Management Division

室長 片岡 正次郎  
Head Shojiro KATAOKA  
主任研究官 今長 信浩  
Senior Researcher Nobuhiro IMACHOU  
研究員 石井 洋輔  
Research engineer Yousuke ISHII

Appropriate road opening is necessary in order to provide relief activities and emergency supplies promptly after large-scale earthquake disasters occur. To that end, it is necessary to consider the amount of debris assuming large-scale earthquake disasters, the roadside situation, and the ease of opening based on the road structure. We gathered and organized the large-scale earthquake disaster data prepared by the Regional Development Bureau etc., and made various studies on the construction of a rubble calculation formula and the road opening.

### [研究目的及び経緯]

大規模地震災害発生後の救援活動や緊急物資の輸送を適切且つ迅速に行うには、道路啓開を適切に実施する事が必要不可欠である。そのためには、事前に大規模地震災害を想定して、道路閉塞の要因である瓦礫量の適切な算定、沿道環境及び道路構造を踏まえた路線毎の啓開容易性把握、道路用地以外を啓開路線の一部として活用する等の検討が必要になる。

本調査では、この様な経緯を踏まえ、地方整備局等が策定している大規模震災に関するデータを収集、それを基礎データとすることで道路啓開検討に必要な各種要件について検討を行ったものである。

### [研究内容]

#### (1) 瓦礫の原単位と瓦礫発生推定式の作成

道路啓開計画策定の事前策定においては、沿道環境毎に瓦礫量を限られたデータで簡易に且つ適切な方法で算定することが重要となるため、瓦礫の原単位と瓦礫発生推定式の作成を行った。

#### (2) 道路用地以外を活用した啓開の事例と課題整理

道路用地以外を活用した道路啓開に関する課題及び民地や河川敷などを道路啓開ルートの一部として利用する案について、関東、中部、四国の各地方整備局、熊本県等へヒアリングを実施して整理した。

#### (3) 啓開の容易性から見た道路の特徴整理

道路の啓開は、救援救急活動や震災後の復旧に大きな影響を与える。そのため、啓開計画の検討においては、事前に啓開の容易な条件について整理しておく必

要がある。そのため、道路管理者に対してヒアリングを実施し整理した。

### [研究成果]

#### (1) 瓦礫発生量の原単位と瓦礫発生推定式の作成

原単位は、過去の地震被災路線を撮影した航空写真の判読により道路上の瓦礫量を求め、主要交差点間などのある一定区間の道路延長で除して設定した。原単位へ影響を与える条件として、沿道建物の密度、建物種別の割合（木造・非木造）が考えられるため、それぞれの組合せごとに瓦礫原単位を設定することとした。

航空写真判読より設定した瓦礫原単位を表 1 に示す。表中、正体文字は航空写真判読により実数の把握ができた箇所、斜体文字は判読値から推定した値である。

表 1 地震瓦礫原単位 (m<sup>3</sup>/km)

| 建物種別の割合 | 建築分類   |        | 建物密度  |        |        |        |         |
|---------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|---------|
|         | 木造     | RC、S造  | 0～20% | 20～40% | 40～60% | 60～80% | 80～100% |
|         | 20%未満  | 80%超   | 0     | 59     | 228    | 397    | 565     |
|         | 20～50% | 50～80% | 120   | 210    | 412    | 463    | 612     |
|         | 50～80% | 20～50% | 198   | 240    | 454    | 652    | 762     |
|         | 80%超   | 20%未満  | 437   | 490    | 629    | 690    | 809     |

また、推定式は、次式(1)のとおり瓦礫量 (m<sup>3</sup>/km) 原単位に道路延長を乗じることで瓦礫量が算出されるものとした。なお、作成した瓦礫原単位と推定式を用いて、H28 熊本地震で被災した熊本県益城町を対象に瓦礫量の算定を行い、当該箇所の航空写真実体視判読から求めた実態量と比較する事により、その妥当性を確認した。

妥当性確認の結果、本推定式を用いる場合には、1 km程度以上の道路延長を算定単位とする必要があることが判った。なお、この場合における推定式による算出瓦礫量と実量の相関は0.86であった。

$$V_r = q \times L \cdots \cdots (1)$$

ここで、 $V_r$ ：(瓦礫量 ( $\text{m}^3/\text{Km}$ ))  $q$ ：原単位 ( $\text{m}^3/\text{km}$ )  $L$ ：道路延長 (Km)

## (2) 津波瓦礫原単位と推定式

津波により発生する瓦礫は外部から運ばれてくる物であり、道路沿道の建物倒壊等により発生する物とは性質が大きく異なる。また、周辺の地形や建物等の密度によっても大きく変化するため、正確な瓦礫量の推定は困難である。そのため、津波が発生した場合の大まかな瓦礫原単位について推定することとし、東日本大震災時の沿岸市町村における津波浸水範囲で発生した瓦礫量と最大波高に着目し検討した。最大波高と津波浸水面積あたりの瓦礫量 ( $\text{m}^3/\text{km}^2$ ) を図1に示す。最大波高が高くなるに従って発生瓦礫量が多くなる傾向にある事が分かる。瓦礫量算定式は、図1から2次近似式として以下のとおり求めた。ただし、最大波高が20mを超える実データが得られなかったため、本式は最大波高20mまでを適用範囲としている。

$$V_t (\text{瓦礫量 } (\text{m}^3/\text{km}^2)) = -0.27H^2 + 10H - 34$$

ここで、 $H$ ：最大波高 (m)

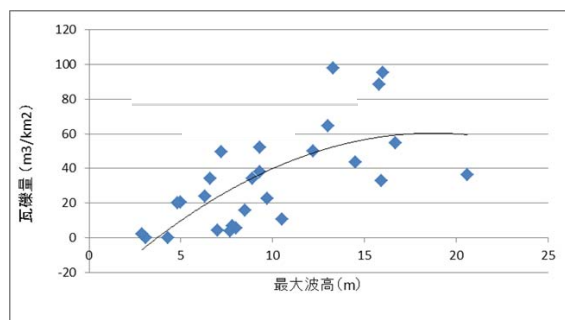


図1 最大波高と瓦礫量の関係

## (3) 道路用地以外を活用した啓開の事例と課題整理

### 1) 民地利用に関する課題

道路啓開時、道路用地以外を使用することは道路法第42条、土地収用法第122条の適用により可能である。ただし、民地を使用する場合、土地所有者による確認作業が必要となるが、不在や所有者被災等により確認作業が困難となることが課題として挙げられている。そのため、事前に啓開路線沿線の土地所有者の状況について調査を行うことが重要である。

### 2) 道路用地以外を啓開路線の一部とした活用事例

原則として道路啓開時、民地など道路用地以外を利用することは基本的には想定されていない。ただし、

道路密度が低い山間部等において道路閉塞が発生し迂回路等が存在しない場合や、他に啓開ルートが存在しない場合は道路用地以外の活用事例がある。前者は、熊本地震の被災県道の迂回路として道路側方の民地を活用した事例がある(写真1)。

後者は中部地方整備局で名神高速道路の河川渡河部と揖斐川堤防天端部分を接続し、災害時には堤防天端を道路の一部として活用するといった計画があり、それに対応した緊急開口部などが整備されている。いずれの事例も道路啓開を迅速に進めるという効果を有している。



写真1 道路用地以外を迂回路として整備した事例

## (4) 啓開の容易性から見た道路の特徴整理

啓開の容易性に影響を与える要因として道路構造と沿道環境が整理された。

### 1) 道路構造から見た啓開の容易性

幅員、車線数が多いこと、地震によって被害を受ける橋梁などの構造物が少ないこと、中央分離帯や横断防止柵など既設構造物が少ないこと、縦断勾配が小さいこと、軟弱地盤通過路線では無いこと等が啓開容易路線として整理された。

### 2) 沿道環境から見た啓開の容易性と啓開作業に影響を与える要因

倒壊の可能性を有する建造物種別や密度、土砂崩落の要因となる地形などが啓開の容易性に影響を与える項目として整理された。また、地震発生後、啓開の進捗に影響を与える要因として、夜間時の初動遅れ、情報収集の遅延、余震による作業中断、新たな点検、啓開箇所が発生することなどが挙げられる。道路啓開作業の実施においては、これらの要因を考慮し適切な啓開路線の選定を行う必要がある。

## [成果の活用]

各地方整備局、自治体等における道路啓開計画の策定等への活用が期待できる。特に瓦礫原単位と算定式は限られたデータのみで瓦礫発生量が想定可能なので、市町村等の防災計画での活用が有効である。

# 災害対応時の管理基準に関する調査

Survey on management standards at the time of disaster response

(研究期間 平成 28～30 年度)

道路構造物研究部 道路地震防災研究室  
Road Structures Department  
Earthquake Disaster Management Division

室長 片岡 正次郎  
Head Shojiro KATAOKA  
主任研究官 今長 信浩  
Senior Researcher Nobuhiro IMACHOU  
研究員 石井 洋輔  
Research Engineer Yousuke ISHII

The Ministry of Land, Infrastructure Transport and Tourism has set a timeline to respond when abnormal snowfall occurs. In order to enhance its effectiveness, it is necessary to analyze regional characteristics and snow cover patterns in detail. In addition, in order to properly perform snow removal, it is necessary to accurately grasp the snowfall situation and construct a prediction method. In this survey, we conducted analysis of regional characteristics, meteorological conditions that are likely to cause disturbance, road characteristics, and investigation of snow cover radar technology, etc.

## [研究目的及び経緯]

近年、積雪量は減少しつつある一方で、短時間に局所的な豪雪が各地で発生する傾向にある。また、自動車交通は国内輸送の主体であり、高速自動車国道網等の整備が進捗したこともあり、九州から東北等、長距離トリップが日常茶飯事となっている。このような状況下で降雪による道路交通障害（以下、道路雪害と称す）が発生した場合、極めて大きな社会的影響が発生する。このため、国土交通省では、異例の降雪が発生した場合、具体的対応を行うタイムラインを設定しているが、その実効性を向上させるためには、地域特性や積雪パターンを詳細に分析し、それらから得られた情報をタイムラインに反映する必要がある。さらに、適切な除雪を実施するためには、正確な降雪状況の把握、予測技術の構築も必要になる。

本調査では、このような経緯を踏まえ地域特性を踏まえた道路管理行動、道路雪害の発生し易い気象条件及び道路構造の整理、降雪状況を把握するセンサ技術等の検討を行った。

## [研究内容]

### (1) 積雪、非積雪地域毎の道路管理行動の把握

積雪地域として北陸地方整備局整長岡国道事務所、関東地方整備局長野国道事務所、非積雪地域として四国地方整備局に対して積雪時の行動と必要とする情報についてヒアリングを行った。

### (2) 道路交通障害発生時の気象条件及び道路特性の整理

過去に発生した道路雪害による通行止め時の気象条件、

道路周辺状況、道路構造等、25 事例について整理した。

### (3) レーダによる降雪把握技術の検討

2015 年以降、道路雪害が発生した 7 カ所について、X バンドレーダで取得した降雨データと気象庁が保有する近傍地点における降雪及び降雨量データを比較することにより検出性能の検討を行った。

## [研究成果]

### (1) 積雪、非積雪地域毎の道路管理行動の把握

積雪地域においては、除雪機材や人員等の体制も一定量確保されているため、除雪効率を高める情報、特に将来的な降雪場所や量に関する予測情報が必要との結果になった。一方、非積雪地域においては、積雪に対する資機材や体制が十分では無く、積雪が発生した場合は十分な除雪は不可能であるため、道路利用者に対して運転経路の変更、中止等に資する情報提供が重要との結果になった。

### (2) 道路雪害時の気象条件及び道路特性の整理

#### 1) 道路雪害時の気象条件

気圧配置は南岸低気圧型と西高東低型の 2 パターンに分類された。南岸低気圧は太平洋側での降雪が特徴的であり、関東地方において発生する降雪の多くがこのパターンに属する。また、西高東低型は、典型的な冬型気圧配置であり、気温にもよるが日本海側の地域で大量の降雪が発生することが多い。これらの気圧配置が予測された場合、道路管理者は早めの体制構築を行う必要がある。

#### 2) 道路特性の整理

道路雪害が発生した路線について存在する地域（積雪寒冷地、非積雪寒冷地）、道路勾配、周辺道路状況の整理を

行った。その結果、道路雪害は、積雪・非積雪地域の区分無く発生していること、路面に積雪した状態で車輛が一時停止した場合、再発進が困難となる道路勾配 5%以上の勾配を有する路線に多く発生していた。(図 1)

また、当該路線と並行する高速道路が周辺に存在する場合にも同様の傾向が見られた。これは、並行する高速道路は積雪が発生した場合、一般国道よりも早めに通行止めを行う可能性が高く、通行止めにより一般国道に車輛が流入する状況が発生した場合、交通量の増大や雪道に不慣れたドライバーによるスタック発生等により道路交通障害が発生することが原因と考えられる (図 2)。

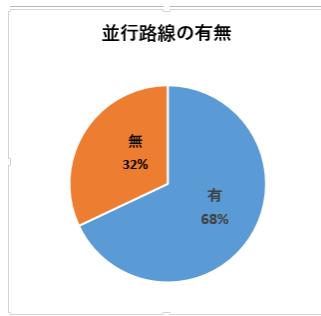
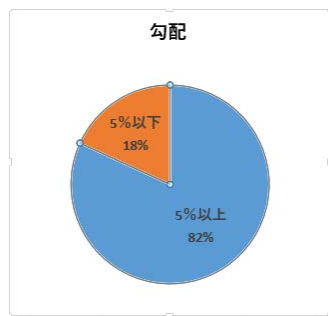


図 1 道路雪害と勾配の関係

図 2 道路雪害と並行高速道路の関係

### (3) レーダによる降雪把握技術の検討

除雪を行う際に必要となる情報は、「いつ」、「どこで」、「どの程度 (量)」の雪が「どの程度降り続くか」等に関する情報である。これらの情報は気象 (予測) データの他、雨量計、積雪深計、CCTV 等各種センサから入手することができ、それらを道路管理者が総合的に判断し、除雪を行っている。

国土交通省では、集中豪雨等を把握すべく X バンド MP レーダ雨量計 (以下、X バンドレーダと記す) の整備を進めている。これは、マイクロ波 (9.7GHz 帯) を利用したレーダであり、250m メッシュで降雨データとその量が把握可能であり更新頻度は 1 分、検出可能距離は半径 60 km ~ 80 km、24 時間でデータ取得が可能な特徴を有している。このレーダで一定範囲且つ、任意地点で常時降雪に関する情報が把握可能となれば、有効な冬期道路センサの一部となり得る。本来、X バンドレーダは集中豪雨を観測するために整備されたものである。そのため、一種の積雪深計の一部として活用するため、降雪の有無とその量が把握可能であるかの検証を行った。図 3 は、2016 年 1 月 24 日 ~ 25 日にかけて発生した新潟県長岡市における大雪による交通障害発生時の気象庁データと X バンドレーダデータである。降雪の有無は、気象庁データと X バン

ドレーダは一部に乖離が見られるものの、ほぼ一致していた。一方、降雨 (雪) 量については、大きな乖離が生じている時間帯が散見された。

そのため X バンドレーダによる降雪量把握には、C バンドレーダにおける降雨量把握補正法であるダイナミックウインドウ法等の活用や、テレメータや CCTV 等から得られる降雪量や降雪状況に関する観測機器の組み合わせ活用についても検討を行う予定である。また、図 4 に示すとおり比較を行った幾つかの地点データでは、レーダにより把握した雨量が一定の時間帯において連続して低くなった。これは X バンドレーダの検知エリア前面に密度の濃い雨滴群が存在するとその面でレーダ波が反射し (電波消散)、その後方に存在する雨滴群は検出が困難になる事の影響と考えられる。そのため、正確な降雪を把握する場合、把握対象とするエリアについては、複数のレーダ波を重複させる運用が必要になると考えられる。さらに、X バンドレーダは風向、風速も測定可能であるため、それを活用した短時間降雪予測に関する検討も実施する予定である。

### [成果の活用]

道路雪害発生時の気象条件及び道路特性は各地方整備局が策定しているタイムラインの実効性向上データとして、X バンドレーダによる降雪把握技術は、道路除雪実施の判断支援に活用できる可能性がある。

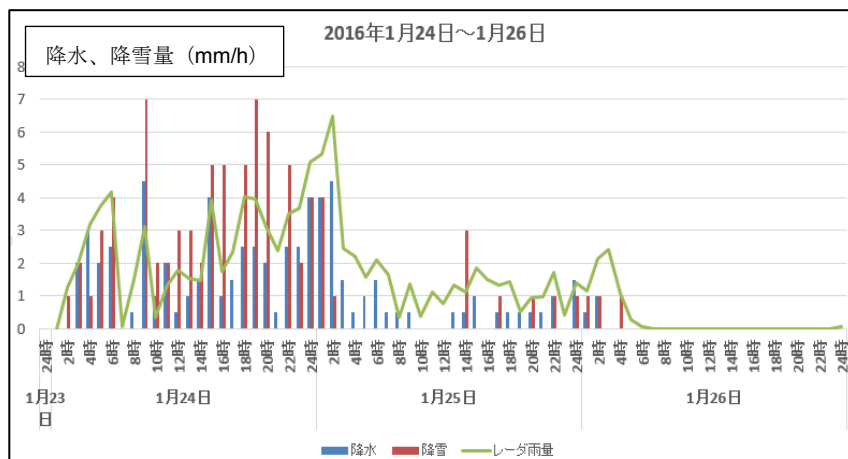


図 3 X バンドレーダと気象庁降水量データの比較

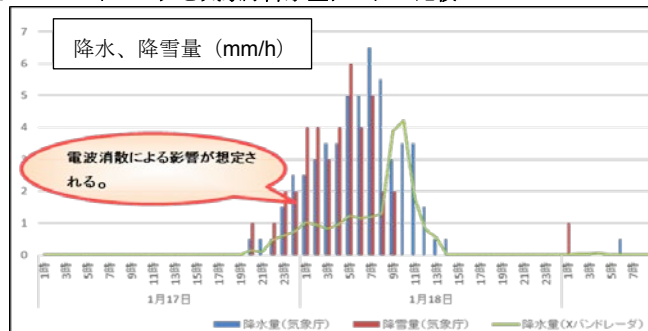


図 4 電波消散の影響

# 降雪パターンの変化に対応した除雪体制評価のための社会経済調査

Study on socio-economic effects of the framework to remove snow on changing trend of snowfall

(研究期間 平成 27～28 年度)

社会資本マネジメント研究センター 建設経済研究室  
Research Center for Infrastructure Management,  
Construction Economics Division

室長  
Head  
主任研究官  
Senior Researcher

村田 英樹  
Hideki MURATA  
竹本 典道  
Norimichi TAKEMOTO

The disasters occur due to heavy snowfall recently. Because the trend of snowfall and the traffic environment change, the framework in winter is not enough to remove the snow on the road. On this study, the economic loss for traffic is evaluated and the advantages are declared on the different framework in winter. It is contributed to construct the ideal framework.

## 〔研究目的及び経緯〕

大雪時にスタック車両や放置車両が発生し、それに起因して 1000 台を超える立ち往生が発生するなど、道路除雪の体制・対応が課題となっている。一方、災害時に大量の放置車両や立ち往生車両が発生すると消防や救急活動、緊急物資輸送などの災害応急対策に支障が生ずる。これに対応するため 2014 年、災害対策基本法の改正がなされた。

本調査は、大規模な立ち往生等の発生するリスクを降雪量の長期的トレンドから評価した上で、大規模な降雪時における道路交通に与える社会的経済損失を除雪のオペレーションやタイムラインの違いを考慮して評価し、実施されている雪対策の手法やタイミングの妥当性を確認する。これにより、今後あるべき除雪体制の構築と大雪による損失の最小化を目指すものである。

## 〔研究内容〕

本調査では、近年の雪対策に関係する法令等の見直し状況、取組みを強化している雪対策の状況を調査した。また、降雪パターンの長期的トレンド変化を把握するため、文献調査及び過去 40 年分の気象データの整理を行った。法令では災害対策基本法の改正(2014 年)における放置車両対策が最も道路交通確保に関係深いものである。取組みを強化している対策は集中除雪により交通回復までに掛かる時間を短縮する方策、関係機関との連絡協力体制の充実などが挙げられる。降雪パターンは少雪傾向であり、大雪の発生回数も減少傾向にあることがわかった。また、大規模な降雪時の被害項目を抽出し、経済損失を計測する項目について体系的整理を行い、交通

障害に起因する経済損失項目について算定の考え方を明らかにした。さらに、実際に発生した大規模な立ち往生の事例に対し、近年行われるようになった集中除雪を行う場合の対策シナリオを想定し、実際の対応で発生した経済損失と新たな対策シナリオを実施した場合の経済損失を試算し、集中除雪により早期の交通回復を図った場合の有効性を確認した。

## 〔研究成果〕

### 1. 雪対策に係る法令・制度・運用の見直し状況

災害時に大量の放置車両や立ち往生車両が発生すると消防や救急活動、緊急物資輸送などの災害応急対策に支障が生ずる。これに対応するため 2014 年に災害対策基本法の改正がなされた。災害対策基本法改正のポイントは、(1) 緊急車両の通行ルート確保のための放置車両対策、(2) 土地の一時使用等、(3) 関係機関・道路管理者間の連携・調整についてである。特に放置車両対策については、道路管理者が対策の必要がある区間を指定して、支障となっている車両の運転者等に対して移動を命令し、運転者の不在時等には、道路管理者自ら車両を移動できることを規定した。

自治体に対して制度・基準・運用の見直し状況をアンケート調査により確認した。災害対策基本法の改正に直接起因するものは少ないが、多くの自治体で近年何らかの見直しがなされていた。例えば北海道では住民からの苦情や問合せを背景として「作業方法」を見直しており、日本海側では人員不足を背景に「人員配置計画」や「委託方法」を、内陸部では大雪等の教訓から「除雪基準」、「作業方法」、「連絡体制」の見直しが行われていた。

## 2. 降雪パターン変化と通行止め等発生リスクの整理

### (1) 気象データにみる降雪パターン変化

「年合計降雪量」、「年最大積雪深」、「雪の降り方」、「大雪頻度」の経年変化を検証した。検証では、北海道、日本海側、太平洋側、内陸から合計 27 地点を対象として選定し、降雪パターンの経年変化を分析した。使用データは、気象庁 HP より収集した。分析の結果、以下の点が把握された。

- ・ 近年、過去と比べていずれの地域でも降雪量は減少している(表-1)
- ・ 一般的に、降雪強度や大雪が増加している印象はあるが、熊谷や甲府、松江など一部地域で大雪がみられるものの、総じて雪の降り方は安定的となり、大雪も減少している

表-1 降雪パターンの長期的変化

| 項 目    |                        | 直近10年(2005～2014年)は              |                                 |                                 |
|--------|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|        |                        | 30～40年前<br>(1976～1984年)<br>と比べて | 20～30年前<br>(1985～1994年)<br>と比べて | 10～20年前<br>(1995～2004年)<br>と比べて |
| 年合計降雪量 |                        | 減少<br>(特に日本海側)                  | 変化なし                            | 変化なし                            |
| 年最大積雪深 |                        | 減少<br>(特に日本海側)                  | 変化なし                            | 変化なし                            |
| 雪の降り方  | 降雪日数                   | 減少                              | 増加                              | 増加                              |
|        | 降雪強度<br>(降雪日あたりの平均降雪量) | 減少<br>(特に北海道と日本海側)              | 減少<br>(特に北海道と日本海側)              | 減少<br>(特に北海道と日本海側)              |
|        | 日降雪量の標準偏差              | 減少<br>(内陸の一部除く)                 | 減少<br>(内陸の一部除く)                 | 減少<br>(内陸の一部除く)                 |
| 大雪頻度   | 最大日降雪量                 | 減少<br>(日本海側と内陸の一部除く)            | 減少<br>(日本海側と内陸の一部除く)            | 減少<br>(日本海側と内陸の一部除く)            |
|        | 大雪日数                   | 減少                              | 減少                              | 減少                              |

### (2) 大雪による通行止め等発生リスクの整理

大雪による通行止めと停滞の発生条件と規模(通行止め時間)を分析した。分析の結果、積雪、雪崩・倒木、スタック・スリップを原因とした通行止めは、直前の合計降雪量やピーク時降雪量、降雪時間が一定の条件を満たすと発生する傾向を確認した。吹雪(視界不良)による通行止めは、合計降雪量と平均風速の関係で発生条件が決まり、降雪量が少なくても平均風速が大きい場合や、平均風速が小さくても降雪量が多い場合に発生することを確認した。また、何れの原因も通行止め時間は、通行止め発生後の降雪時間や最大降雪量、累積降雪量、最大風速等の関数で表現することができる。なお、停滞も通行止めと概ね発生条件は同様である。

## 3. 大雪時の対策シナリオ設定による経済損失縮減効果の試算

### (1) 大雪時の対策シナリオ設定

大雪による経済損失の試算事例として、2014 年福島県(国道 4 号、東北道)で大規模な立ち往生等が発生し

た事例を取り上げる。この事例は、広域的かつ大量の降雪により、東北道と国道 4 号の通行止めを伴う交通障害が 3 日間にわたった事例である。

対策シナリオ(図-1)として、東北道で早期の通行止めによりスタック車両を発生させない除雪を行う。国道 4 号では Stop&Go 作戦と呼ばれる交通規制を伴う集中的な除雪を行う方法を適用した場合を想定した。これらの対策を効果的に実施するためには、「集中除雪方法の策定」、「タイムラインの策定」等の事前のソフト対策、「マスコミとの連携」、「情報提供サイト」等の情報提供の継続実施などを組合せて行う必要がある。

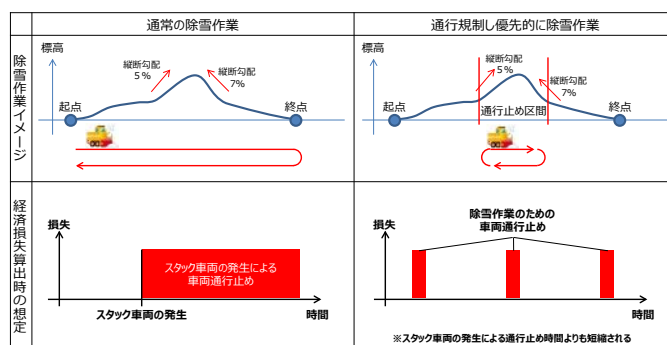


図-1 対策シナリオのイメージ

### (2) 経済損失縮減効果の試算

実際の大雪事例の経済損失と対策シナリオを実施した場合の経済損失をそれぞれ試算し比較することで、対策シナリオの経済損失縮減効果を求めた。

経済損失を計測する被害項目として、立ち往生、渋滞の発生、他のルートへの迂回、移動の取り止めの 4 つを設定した。これらについて、費用便益分析マニュアルに基づき、走行速度、走行経費、交通事故の観点から計測方法を整理した。

実際の大雪事例では 3 日間交通障害が発生しており、移動の取り止めによる経済損失がほとんどを占めている。対策シナリオを実施した場合には、交通障害発生時間を 3 分の 1 以下に短縮できるため、経済損失も約 30 億円から 6 億円以下に大幅に縮減される。(図-2)

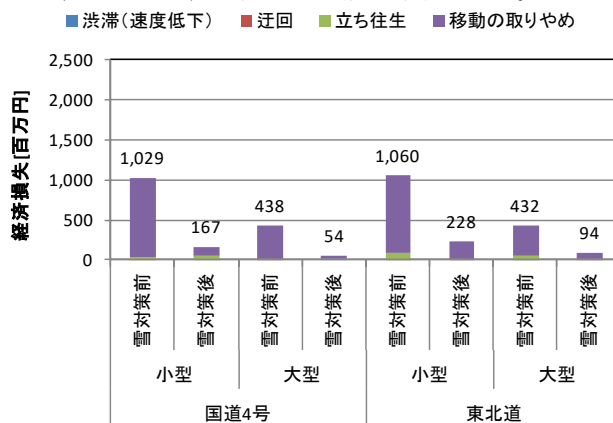


図-2 大雪事例(2014 福島)の経済損失試算結果