

9. 道路の地震防災・減災対策

冬期道路管理を踏まえた降雪予測情報に関する調査

Study on snowfall forecast information applicable to winter road management

(研究期間 令和元年度～令和4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 中尾 吉宏
Head NAKAO Yoshihiro
主任研究官 長屋 和宏
Senior Researcher NAGAYA Kazuhiro

In order to set a timeline for proper snow removal, it is necessary to know the snow depth on the road. This study aims to develop the method of estimating the snow depth on the road using the weather forecast by the Japan Meteorological Agency (JMA). The method for estimating the snow depth on the road was developed and verified by field observation data.

[研究目的及び経緯]

近年の集中的な大雪時に備え、道路管理者は広域的に連携し、除雪体制を強化すること等が検討されている。そのため、タイムラインを作成し、道路ネットワークへの影響を最小化する取り組みが求められている。現在の道路管理の現場では、気象庁等が発表する予測情報を活用して降雪量を推定し、除雪等の判断を行っている。しかしながら、これらを実施するためには、精度の高い積雪量推定が必要となる。また、その判断にあたっては、除雪機械の移動等を考慮した早期の積雪量推定が必要である。

本調査では、路面積雪量の予測手法の開発を目的として、気象状況等と路面積雪量との関係を明らかにするとともに、実際の気象観測データおよび気象庁等により配信されている気象予測データを用いて路面積雪量の予測手法の検証を行った。

[研究内容]

(1) 路面積雪量の観測及び路面積雪量推定手法の検証

本調査により過年度に概成した路面積雪量推定手法について、現地気象観測を通じた検証を行った。

検証にあたっては、令和3年度冬期に宮城県仙台市の国道48号作並除雪ステーションで表-1に示す気象観測を行うとともに、同地点の道路テレメータの気温、降水量等の観測値を入手した。その上で、降水量、気温、路面(積雪面)温度等より路面積雪量の推定値の算出を行い、実測の路面積雪量との比較を行った。

表-1 路面積雪量予測手法検証を目的とした観測要素と機器

観測要素	観測機器	備考
路面積雪の温度	放射温度計	表面温度を計測
日射量・大気放射量	長短波放射計	
降雪量	積雪深計	積雪深差から推定
降雪強度	降雪強度計	積雪しない降雪を観測
積雪状況	WEBカメラ	積雪の開始や状況を把握

なお、本調査で扱う路面積雪量推定手法は、融雪と圧密により積雪層ごとに生じる沈降量を推測し、各層厚から沈降量を差し引いた積算値と新たな積雪量とを足し合わせて路面積雪量とするものである。

(2) 路面積雪量予測の試行及び有用性評価

(1)に示した路面積雪量推定手法を用い、12時間～72時間先の路面積雪量の予測値を算出するとともに、その精度の評価を行った。

路面積雪量の予測は、気象テレメータ等で積雪深を観測している表-2の直轄道路箇所等(21箇所)で12時間、24時間、48時間及び72時間先の路面積雪量を対象とし、気象庁より発表される降雨量、気温などの予測情報を用いて行った。その後、比較的多くの降雪があった時間帯を抽出し、実測の路面積雪量と予測による積雪量の比較検証を行った。

路面積雪量予測の試行終了後には、試行を行った箇

表-2 路面積雪量予測の実施地点

	管理事務所	路線	予測実施地点
東北	仙台河川国道	48号	作並
	湯沢河川国道	13号	峰吉川、上院内
	山形河川国道	112号	月山沢
北陸	長岡国道*	8号	中之島、長岡
	高田河川国道*	8号	親不知、糸魚川、玉ノ木
	富山河川国道	8号	富山
関東	高崎河川国道	17号	三国
中部	高山国道*	41号	数河峠
近畿	福井河川国道	8号	熊坂、大良
		161号	山中
	滋賀国道*	8号	彦根
中国	鳥取河川国道	鳥取道	下味野
		9号	宇谷
	松江国道	54号	上赤名
四国	三次河川国道	54号	横谷
	大洲河川国道	56号	鳥坂

※はヒアリング実施事務所

※本報告は令和3年度当初予算の標記の研究課題を令和4年度に継続して得た結果をまとめたものである。

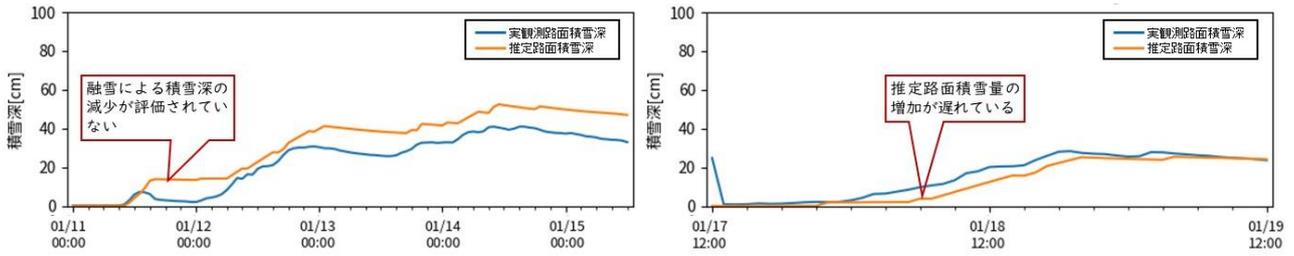


図-1 道路雪害時の気象観測データによる検証結果

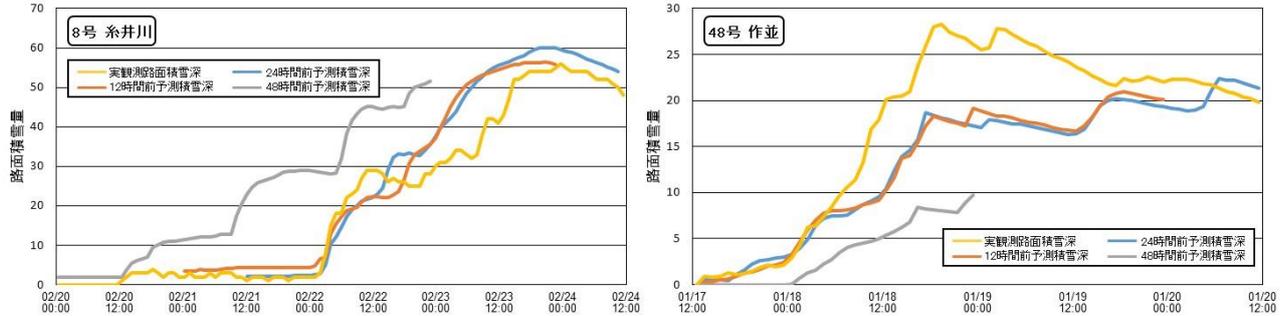


図-2 降雪事例による路面積雪量予測手法の検証結果

表-3 感度分析結果による気象要素ごとの路面積雪量予測への影響

気象要素	感度分析の結果
気温	雨雪判別に影響を与える可能性があり注意を要する
降水量	路面積雪量に直接影響し、精度に大きな影響を与える
風速	風速が路面積雪量の大小に与える影響は小さい
相対湿度	相対湿度が路面積雪量の大小に与える影響は小さい
全天日射量	全天日射量が路面積雪量の大小に与える影響は小さい
長波放射量(雲量)	長波放射量(および雲量)が路面積雪量の大小に与える影響は小さい

所のうち4地点の道路管理者を対象にヒアリング調査を実施し、路面積雪予測情報の有用性の評価を行った。

[研究成果]

(1) 路面積雪量の観測及び路面積雪量推定手法の検証

気象観測により得られた実測の積雪量と観測地点のテレメータより得られた実測の降水量、気温等より算出した積雪量の推定値の一例を図-1に示す。この結果、実際の積雪に比べて融雪による積雪量の減少が過小となったり、推定値がやや遅れて立ち上がった状態が見られたものの実測の気象観測値を用いた路面積雪量の推定値は実際の路面積雪量と概ね一致することが確認された。

なお、路面積雪量の推定情報を実際に活用する場合は、気象予測情報を活用して数時間先を予測することとなる。一方、気象予測値にも予測精度による実際の気象値との誤差があることから、それぞれの気象値の差異が路面積雪量推定にどの程度影響を及ぼすかの感度分析を行った。分析の整理結果を表-2に示す。この結果より、気温や降水量は、路面積雪量の推定に大きく影響することが明らかとなった。特に、気温は、雨雪判別にも関ることから路面積雪量の精度に与える影響

が大きい。一方、その他の気象要素は、路面積雪量推定に与える影響は小さく、予測精度の改善には、気温、降水量の推定精度が重要であることが把握された。

(2) 路面積雪量予測の試行及び有用性評価

予測の試行結果の一例を図-2に示す。路面積雪量の予測精度は事例によって異なるが、概ね24時間先までは、一定の精度で予測可能であることが明らかとなった。24時間より先の予測については、気温の予測精度が確保されておらず、特に気温0℃前後では、雨となるか雪になるかの気象状況の違いが路面積雪量の予測のぶれに影響を及ぼす結果となった。

予測情報の有用性に関するヒアリング調査では、いずれの道路管理者も従前より降雪時の管理等で業務委託等による気象予測情報を活用しており、その予測精度が課題である認識を有していた。本検討で用いた路面積雪量予測手法では、24時間先までの予測には一定の精度が確保されており、24時間前より実施する体制強化、道路表示板やSNSなどを通じた広域迂回の呼びかけ等の活用により有効な情報となり得ることが示された。

また、降雪時対応の経験が少ない管理事務所等で突発的に大規模降雪が発生する場合での活用を期待する意見が示された。

[成果の活用]

本調査で検証した手法は、道路管理者の降雪時タイムラインを運用する上で、降雪発生時の24時間前から体制強化等に活用可能である。今後の事例の積み重ねによる予測精度の向上を行うことで、道路管理の実情に即した情報として展開できる。

道路災害リスクマネジメントに関する調査

Study on road risk management against natural disasters

(研究期間 令和2年度～令和4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 中尾 吉宏
Head NAKAO Yoshihiro
研 究 官 中川 拓真
Researcher NAKAGAWA Takuma

Guidelines for Road Risk Assessment against Natural Disasters were tentatively compiled. In this research, we verified the validity of the guidelines by applying the evaluation method to real road structures and road networks which have suffered from past disasters.

[研究目的及び経緯]

国土交通省では、発災後、1日以内の緊急車両の通行の確保、1週間以内の一般車両の通行の確保を目標に掲げ、災害に対して強靱な道路ネットワーク整備の加速化・深化を推進している。

国総研では、道路構造物の耐災害性能に着目した道路ネットワークのリスクを評価する手法に関する研究を行い、その成果として「道路リスクアセスメント要領(案)」(以降、「要領(案)」という。)の原案をとりまとめ、令和4年3月に第16回道路技術小委員会にて審議されたところである。

本研究では、要領(案)の実装に先立ち、リスク評価のケーススタディを行い、その有効性について検証するとともに、要領(案)に基づくリスク評価が被災リスクをどの程度適切に捉えられているか検証を行った。本稿ではそれらの成果について報告する。

■ケーススタディ

[研究内容]

大規模な被災・通行止めが発生した10ケースを対象に要領(案)に基づく道路のリスク区分(表-1)によるリスク評価を行った。ここでは、令和2年7月豪雨で発生した国道41号の洗掘被災に対し、リスク評価を適用した結果(個別断面のリスク評価)と、令和3年8月の大雨で被災した国道9号(島根県出雲市)と並走するE9山陰自動車道に対し、リスク評価を適用した結果(道路ネットワークのリスク評価)について報告する。



図-1 国道41号における洗掘被災の様子

表-1 道路空間のリスクの程度の区分

I	通行規制が生じない可能性が高いと認められる。
II	一時的に通行止めになる可能性があるが、一定期間内に一定の規制で通行できる可能性が高いと認められる。
III	通行止めとなる可能性が高いと認められる。

[研究成果]

(1) 個別断面のリスク評価事例

令和2年7月豪雨では、岐阜県の国道41号の河川隣接区間において、洗掘による道路流出が発生し、40日間の通行止めが発生した(図-1)。要領(案)に基づく河川洗掘のリスク評価を行った結果は図-2のとおりであり、当該箇所の河川洗掘リスクはIIIである。リスク評価を適用することで、被災リスクをあぶり出すことができることを確認できた。

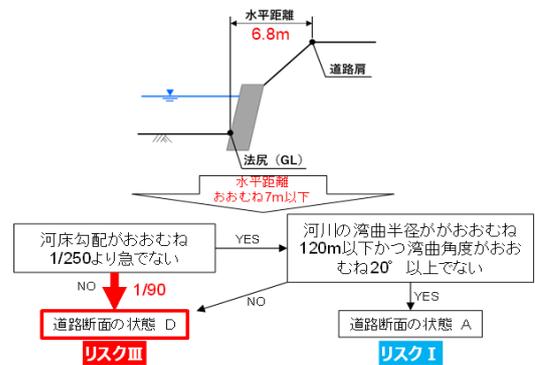


図-2 国道41号の洗掘被災箇所のリスク評価フロー

(2) 道路ネットワークのリスク評価事例

令和3年8月の大雨により島根県出雲市の国道9号において幅約100m、高さ約30mの地すべりが発生し、約2ヶ月にわたり全面通行止めとなり(図-3)、並行するE9山陰自動車道が迂回路として活用された。

被災箇所を含む上記の全面通行止め区間と当該区間に並行するE9山陰自動車道の出雲多伎IC～大田朝山ICを対象に要領(案)に基づくリスク評価を実施した結果を図-4に示す。

動的耐震照査法の信頼性向上に関する調査

Study on reliability improvement of dynamic seismic verification method

(研究期間 令和3年度～令和5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
Head

中尾 吉宏
NAKAO Yoshihiro

研 究 官
Researcher

石井 洋輔
ISHII Yosuke

This study verifies the standard parameters employed in the dynamic seismic verification method for highway bridges in order to improve the reliability of the method. Therefore, the vibration characteristics of entire bridge systems were calculated by using their observed behavior.

[研究目的及び経緯]

道路橋の耐震設計では、橋全体を構成する部材の耐荷性能を動的な解析で照査することが一般的である。道路橋示方書・同解説に示される動的耐震照査に用いる標準的な設定値は、不確実性を踏まえて安全余裕を考慮して設定しているものが存在し、設定値の説明性や照査手法の信頼性のさらなる向上が求められている。

国総研では、一つの橋に地震計を密に配置し、加速度を多点で観測することで全体系の挙動を観測するシステムを全国24橋に設置している。橋全体系の挙動をきめ細やかに観測することで、固有振動数や減衰特性などの地震応答特性の分析が可能になる。

そこで本研究は、システムで観測された挙動記録から橋の振動特性（固有周期、減衰特性）を直接的に評価し、算出した振動特性より標準的な設定値を検証する取り組みを実施している。

令和4年度は、複数の橋に対して観測記録より振動特性を算出し、既往の振動実験で得られている値と比較検証した。また、地震時の挙動が桁橋と比較して複雑な構造形式の橋の振動特性を詳細に分析して減衰特性を評価し、設計に用いる減衰特性を検証した。

[研究内容]

1. 実測記録から求めた橋の振動特性

橋全体系の挙動観測記録より、対象橋の振動特性（固有周期、減衰特性）を算出した。観測記録より橋の振動特性を算出する方法は、システム同定手法を用いた。システム同定は、観測データの入力信号 $\{u_k\}$ と出力信号 $\{y_k\}$ から状態方程式と出力方程式を解き、観測記録から直接的に振動特性（固有周期、減衰特性）を推定する手法である。システム同定を橋の挙動観測に対応させた概念図を図-1に示す。

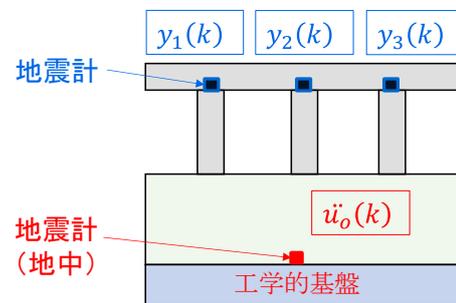


図-1 橋の観測点へのシステム同定の適用

表-1 に示す14橋にシステム同定手法を適用し、それぞれの橋の固有周期と減衰特性を算出した。また、算出した振動特性について、土木研究所が従前の振動実験で明らかにした橋の固有周期と減衰特性の関係と比較した。

2. 解析モデルによる橋の振動特性の評価

本研究では、桁橋より比較的挙動が複雑と考えられる逆ランガー橋と曲線橋を対象に解析モデルを構築し、地震応答解析を用いて詳細に振動特性を検証した。システム同定で算出した振動特性と、設計モデルで適用されている振動特性を比較し、地震応答解析を用いて応答に与える影響を検証した。なおシステム同定に用いた記録は、レベル1地震動より小さい加速度であり、比較対象の設計モデルは線形状態としてモデル化する場合のものを用いた。

[研究成果]

1. 実測記録から求めた橋の振動特性

地震時の記録を対象にしたシステム同定で得られた各橋の固有周期と減衰特性の関係について、前述した既往実験結果との比較を図-2に示す。システム同定で得られた固有周期と減衰定数の関係は、概ね固有周期0.2-1, 減衰定数0.005-0.05の範囲であり、

表-1 本研究の対象橋

	形式等	橋長 (m)	センサー 数	
			橋	地盤
1	4径間連続鋼桁橋	152	13	1
2	ランプ橋	133	19	1
3	3径間合成箱桁橋	150	12	1
4	鋼逆ランガー橋	152	9	1
5	8径間鋼箱桁橋	470	9	1
6	15径間連続鋼桁橋	439	9	1
7	16径間鋼桁橋	240	9	1
8	10径間PC箱桁橋	886	10	1
9	7径間箱桁橋	280	10	1
10	10径間PC桁橋	268	9	1
11	18径間連続鋼桁橋	575	55	4
12	7径間連続鋼非合成箱桁橋	443.65	17	3
13	7径間連続鋼非合成箱桁橋	443.65	18	3
14	9径間連続鋼床版2主鋼桁橋	515	31	4

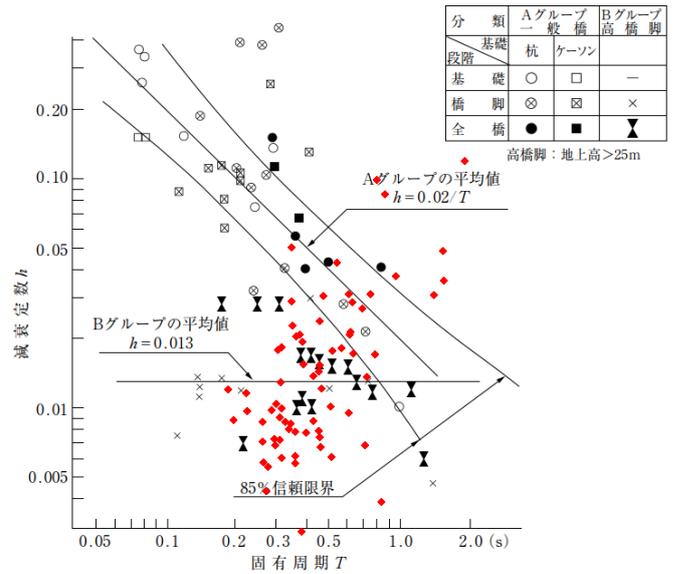
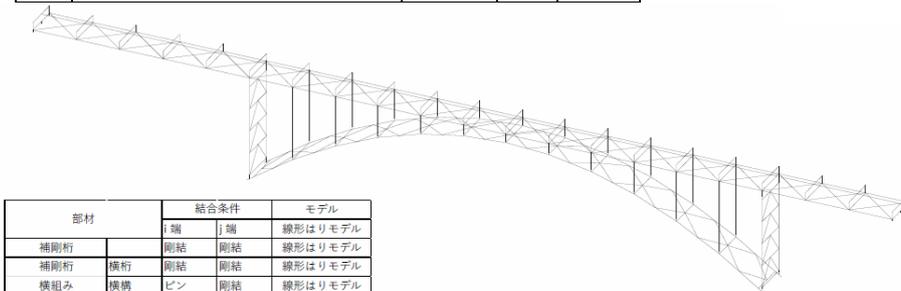


図-2 推定した固有周期と減衰特性の関係
(既存資料にひし形点を加筆)



部材	結合条件		モデル	
	I端	J端		
補剛桁	剛結	剛結	線形はりモデル	
補剛桁	横桁	剛結	線形はりモデル	
横組み	横構	ピン	剛結	線形はりモデル
アーチリブ	剛結	剛結	線形はりモデル	
アーチリブ	横桁	剛結	剛結	線形はりモデル
横組み	横構	ピン	剛結	線形はりモデル
鉛直材	剛結	剛結	線形はりモデル	
鉛直材端部(EP)	横桁	剛結	剛結	線形はりモデル
アーチクラウン	剛結	剛結	線形はりモデル	
支承		剛結		
床版拘束ブレース		ピン	剛結	線形はりモデル

図-3 対象橋(逆ランガー橋)の解析モデル

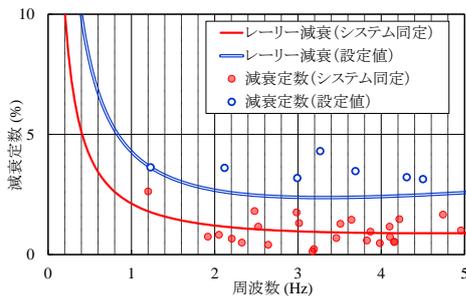


図-4 解析モデルに設定する減衰特性の比較

既往実験結果の B グループ (全橋および橋脚単体) で得られている範囲と概ね整合していた。一方、一部既往実験結果と整合しない結果も得られており、今後、構造形式や算出に用いた観測データを踏まえ詳細に分析する。

2. 解析モデルによる橋の振動特性の評価

本項では代表して、図-3に示す逆ランガー橋の検証結果を示す。システム同定で算出した固有周期と減衰定数を解析モデルに反映した場合と、設計基準に示される値を用いた場合に、解析で設定されるレーリー減衰の比較を図-4に示す。

図-4より、システム同定と固有値解析で算出されたそれぞれの固有周波数は概ね同様の帯域であった。一方、システム同定で算出された減衰定数は、設計モデルと比較して概ね2%小さく設定された。これは、システム同定で対象とした地震が微弱であり、部材間の振動伝達で生じる減衰など、地震時に想定されているような減衰が生じていない可能性があり、システム同定で算出された減衰特性が小さくなったと考えられる。今後は大きい地震の記録を用いて分析し、地震の大きさによる解析結果のばらつきを検討する。

【成果の活用】

基準に記載されている動的耐震照査の設定値の検証結果等を技術基準類に反映し、耐震設計の一層の合理化に貢献する。

地震時の道路施設変状の即時把握に関する調査

Study on technology for immediate detection of road facility damage by earthquakes

(研究期間 令和4年度～令和6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 中尾 吉宏
Head NAKAO Yoshihiro
主任研究官 長屋 和宏
Senior Researcher NAGAYA Kazuhiro

Various sensors and wireless communication devices are becoming smaller, less costly, and less power consuming due to advances in technology. The purpose of this research is to realize simple and inexpensive detection of road deformation that occurs in the event of a disaster. We organized the road surface deformation detection technology, etc., made a prototype of the road surface deformation detection system, and conducted an operation test.

[研究目的及び経緯]

頻発化・激甚化する災害に対し、二次災害の防止や災害復旧業務への早期着手を一層推進するため、災害の発生時刻等に依らず、施設の被害状況等を迅速に把握することが求められている。

国総研では、被害状況把握の迅速化を進めるため、無人航空機や衛星、センサ等を活用した道路施設被害の把握に関する調査、実証実験を道路管理者と連携して実施してきている。

本調査では、技術進展により各種センサ及び無線通信機器が小型化、低コスト化、省電力化されていることを踏まえ、災害発生時の道路面に生じる変状の検知を簡便かつ安価に実現することを目的とする。

[研究内容]

(1) 道路面変状を検知するセンサ及び伝送技術の調査

災害時には、道路を通行中の車両や災害対応を行う緊急車両の通行に支障を及ぼす道路面変状をいち早く把握できることが求められる。

そのため、変状を検知するセンサ要件の整理を行うとともに要件を満たすセンサに関する市場調査を行った。想定する路面の変状の対象は、路面そのものの変状及び路面上への土砂等の堆積、冠水等とした。なお、調査対象とするセンサは、車両が通行する路面の変状を検知することから、非接触で対象物の変位等を検知するものとした。

また、地震等により発生した道路面の変状は、管理事務所等に伝送し、施設管理者等が把握する必要がある。そのため、検知結果を伝送する技術についても同様に要件整理と対応する技術の市場調査を行った。

(2) 道路面変状検知システムの動作試験

(1)の検討結果を踏まえ、災害により発生した道路面の変状をセンサで検知し、検知結果を伝送して汎用PCの画面等で結果を表示させる道路面変状検知システム

の試作を行った。試作にあたり伝送装置と組み合わせるセンサは、超音波センサおよび光学レーザセンサをそれぞれ1組ずつ用いた。

試作後は、変状の検知および検知結果の伝送の動作試験を行った。動作試験では、模擬した道路面の変状をセンサが検知し、伝送の上、PC画面に表示される一連の流れを確認するとともに精度検証を行った。

[研究成果]

(1) 道路面変状を検知するセンサ及び伝送技術の調査

センサの要件整理に先立ち、災害時に把握すべき車両の通行に支障をきたす恐れのある道路面の変位量について、車両の構造特性、段差の走行実験に基づく既往研究より調査を行った。その結果、徐行走行では5cm程度の段差、災害対応等を行う緊急車両の通行では20cm程度の段差で支障をきたすことが明らかとなった。また、道路の管理瑕疵判例の調査では、多くの場合5cm程度以上の段差で瑕疵が問われることが明らかとなった。これを踏まえ、センサの精度要件は、5cmの段差を検知できるものとした。

災害時に道路面変状を検知するセンサに求められるその他の要件項目を含む整理を行った。整理結果を表-1に示す。

表-1 センサに求める要件項目と内容（抜粋）

要件項目	要件内容
検知処理速度	・地震発生前後の状況が分かること ・職員が参集時（地震発生後30分程度以内）までに検知結果が分かること
検知精度	・自動車の運行に支障が生じると考えられる5cm程度の段差が検知できること
検知範囲	・車道の建築限界を考慮し、道路上路面から4.5m以上離れた位置から検知できること
検知結果の出力	・データ量が少ないこと
測定環境	・雨・雪などの天候の影響、夜間の明るさの影響を受けないこと
消費電力	・省電力で、電池やソーラー電源等により単独で稼働可能であること
機器の大きさ 価格	・道路付属物等に設置し、計測できること・既存の道路付属物等に設置できるようにコンパクトであること ・安価であること

※本報告は、令和4年度当初予算「地震時点検基準の高度化に関する調査」の成果をまとめたものである。

表-2 非接触で道路面変状を検知可能なセンサ技術(抜粋)

要件	超音波センサ	光学レーザセンサ
概要	超音波を放射し、障害物等にぶつかり反射して戻ってくるまでの時間から距離を計測。超音波は、周波数が高く、人間の耳には音として感じるができない。	レーザ光を照射し、障害物等にぶつかり反射して戻ってくるまでの時間から距離を計測。レーザ光は、一定方向に向けた単色の光がまっすぐに届く。
検知処理速度	1秒	1秒
検知精度	1cm 単位	数 mm 単位～数 cm 単位
検知範囲	最大 10m 程度	数十 m 程度
検知方向(設置方法)	超音波ビームと反射面を直角にセンサを設置した状態で計測可、斜め方向の検知は不可	計測方向の距離を計測可能
測定環境	天候不良・明るさに影響されない 音を吸収する素材を対象として計測はできない	雨・雪・霧などの天候不良時は難がある場合がある
消費電力	0.1～1W 程度	2W 程度
価格	数百円～数千円程度	数百円～数万円程度
活用例	水位計測、車両検知 等	人体検知 等

さらに、表-1の要件を満たすセンサの市場調査を行った結果の例を表-2に示す。

検知結果の伝送技術に関する市場調査にあたり情報伝送のタイミング(周期)については、施設管理者が管理事務所等に参集し、状況を把握する流れより、地震発生後30分程度以内に伝送できるものを目安とした。これは、従来の被害検知システムでは、検知結果を可能な限り早く伝送するために過剰な伝送周期を求めた結果、伝送コスト、消費電力が負担となるものが多く見られたことから、伝送コストと消費電力を低減させる目的より、被災情報が求められる時系列から必要となる伝送のタイミングを見直したものである。

(2) 道路面変状検知システムの動作試験

動作試験状況を図-1に示す。動作確認にあたっては、基準となる正確な距離を同時に計測し、精度評価を行う必要がある。このため、高額であるが計測精度が担保されたレーザ測距器と動作確認対象となる超音波センサ、光学レーザセンサを一体化させる治具を作成し、同一の長さを計測することで計測精度の確認を行った。また、計測対象は道路面と類似する素材としてコンクリートブロックを用いて変状を模擬した。

動作試験の計測結果を表-3に示す。光学レーザセンサでは、道路照明柱などの道路の付属施設にセンサを設置して計測することを想定し、計測対象に対して斜めにレーザを照射した動作試験を行った。一方、超音波センサでは、計測特性より計測対象に対して垂直に照射する必要があることから、計測対象を真下とした。

動作確認試験の結果、対象物との距離計測には、1%

程度の計測誤差があることが分かったが、地震等が発生した際の変状検知としては、十分な分解能を有していることが確認された。

【成果の活用】

本調査で検証した路面の変状検知手法については、今後、実道路での試験観測を通じ、地震発生時の道路の異常検知手法として確立する。

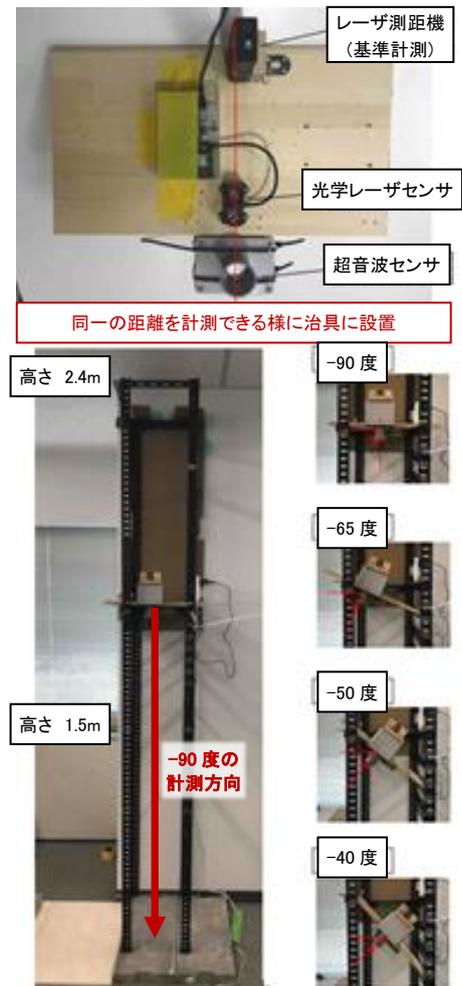


図-1 道路面変状検知システムの動作試験状況

表-3 動作確認結果(抜粋)

実測角度[度]		超音波センサ						光学レーザセンサ								
		-90			-90			-65			-50			-40		
レーザ測距器	段差	無	5 cm	10 cm	無	5 cm	10 cm	無	5 cm	10 cm	無	5 cm	10 cm	無	5 cm	10 cm
		計測値[cm]	235.2	230.2	225.4	235.2	230.2	225.4	255.7	250.3	244.8	290.1	283.6	278.0	335.9	328.8
	段差無との差[cm]	-	5.0	9.8	-	5.0	9.8	-	5.4	10.9	-	6.5	12.1	-	7.1	15.0
	計測値と角度から求めた段差[cm]	-	5.0	9.8	-	5.0	9.8	-	4.9	9.9	-	5.0	9.3	-	4.6	9.6
	センサの計測値[cm]	234.9	229.9	224.7	237.9	232.6	227.6	258.1	250.9	245.4	293.1	286.4	280.9	341.9	334.0	325.8
	レーザ測距器との誤差[cm]	0.3	0.3	0.7	2.7	2.4	2.2	2.4	0.6	0.6	3.0	2.8	2.9	6.0	5.2	4.9
	誤差割合[%]	0.15%	0.11%	0.30%	1.15%	1.04%	0.98%	0.94%	0.24%	0.25%	1.03%	0.99%	1.04%	1.79%	1.58%	1.53%
	段差無との差[cm]	-	4.9	10.1	-	5.3	10.3	-	7.2	12.7	-	6.7	12.2	-	7.9	16.1
	計測値と角度から求めた段差[cm]	-	4.9	10.1	-	5.3	10.3	-	6.5	11.5	-	5.1	9.3	-	5.1	10.3
	レーザ測距器とセンサの段差の誤差[cm]	-	0.1	0.3	-	0.3	0.5	-	1.6	1.6	-	0.2	0.1	-	0.5	0.7

リモートセンシング技術を活用した災害時の道路状況把握 に関する調査

Study on road disaster investigation by utilizing remote sensing technologies

(研究期間 令和4年度～令和5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
Head
研 究 官
Researcher

中尾 吉宏
NAKAO Yoshihiro
梅原 剛
UMEBARA Takeshi

When a large-scale disaster occurs, it may take a lot of time to grasp the damage situation since serious damage could distribute widely. Therefore, for the purpose of quickly grasping the damage situation of road facilities due to earthquakes, heavy rain disasters, etc., efficient methods to grasp the damage situation by using remote sensing technologies are studied.

〔研究目的及び経緯〕

地震や豪雨等による大規模災害が発生すると、被害が甚大となりその分布が広範囲にわたる場合など、被災状況の把握に多大な時間を要することがある。そこで、地震や豪雨災害等による道路施設の被災状況の迅速な把握を目的として、リモートセンシング技術を活用した災害時の調査支援の検討を行っている。

本年度は、リモートセンシング技術のなかでも衛星に着目し、災害時の道路被災状況調査への活用可能性について検討した。

〔研究内容〕

熊本地震において、震度6強以上を記録した市町村の国道57号、国道325号、県道28号を対象に、震災前後の衛星アーカイブ画像を用いて、道路被災箇所抽出を試み、実際の被災状況と比較すること等により、道路被災状況調査への衛星画像の活用可能性について検討した。

〔研究成果〕

(1) 衛星画像を用いた道路被災箇所の把握

平成28年熊本地震の被災箇所について、震災後の現地調査資料等を用いて、道路被害(路面クラック、段差等)、橋梁被害(落橋、橋台の破損、伸縮装置の段差等)、土砂崩壊等に区分した上で、ALOS-2(Lバンド衛星)の分解能3m画像(常時観測モード)を用いた一時期強度解析、二時期強度差解析、干渉解析により、道路被災箇所と推測される箇所の目視判読を行い、実被害箇所と比較した。ここで、強度解析は電波の振幅に、干渉解

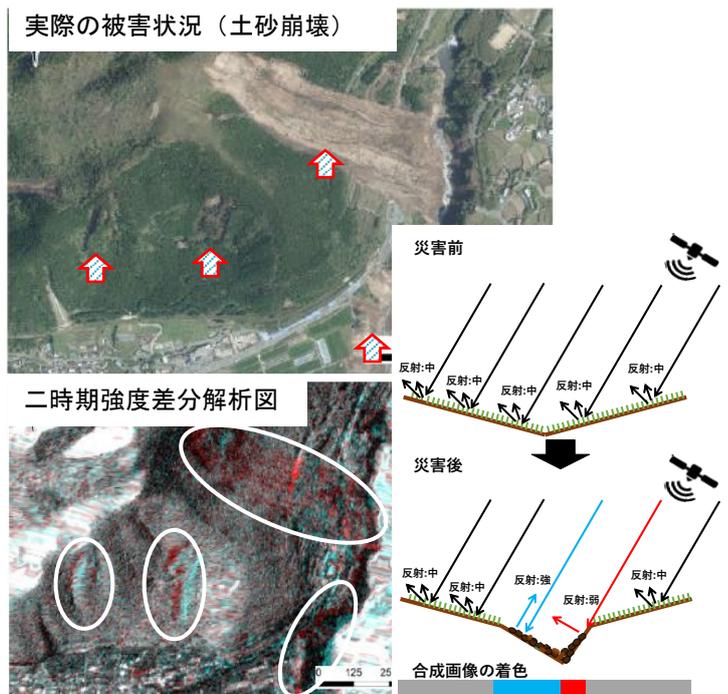


図-1 Lバンド衛星画像による判読結果

析は電波の位相に着目した解析である。

今回の事例では、一時期強度解析と干渉解析による被災箇所の判読は難しかったが、図-1に示すように二時期強度差解析では大規模土砂崩壊のような規模の大きい事象についての判読は可能であった。なお、紙面の関係で詳細な報告はしないが、いずれの解析においても路面クラックや路面段差のような小規模な事象は判読が困難であることも分かった。

※本報告は、令和4年度当初予算「災害覚知技術を用いた道路被災状況調査の情報取得方策に関する調査」の成果をまとめたものである。

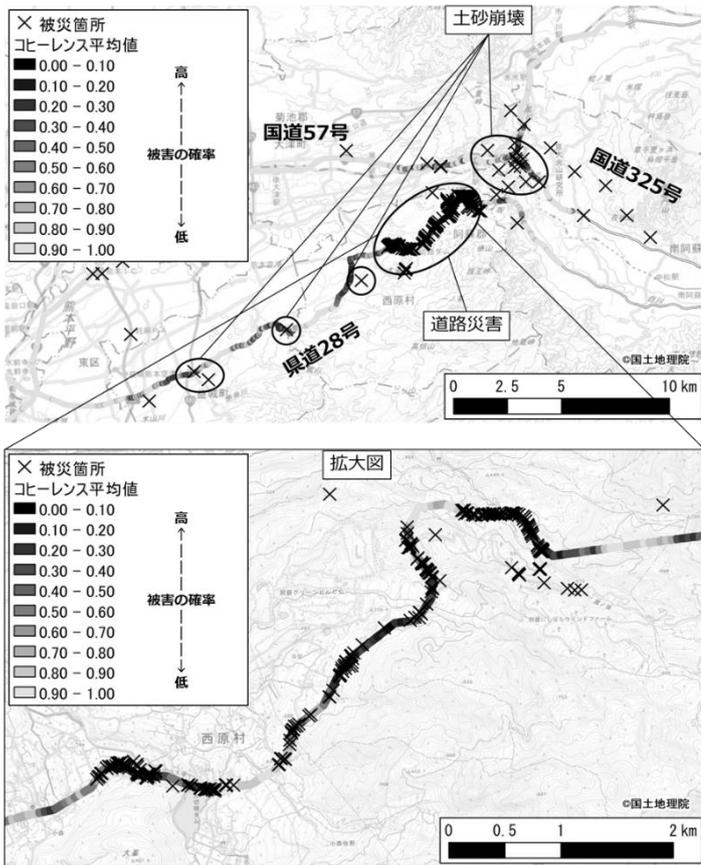


図-2 コヒーレンスヒートマップと被災箇所

(2) コヒーレンス値を用いた道路被災箇所の把握

衛星画像からコヒーレンスを算出し、その値から、被災箇所の絞り込みができないうかを検討した。ここで、コヒーレンスは、干渉 SAR 処理において、地震発生前後の2つの SAR 画像の干渉度合い（電波の振幅と位相の双方に着目した二時期電波の相関性）を示す値で、1に近いほど干渉度合いが高いことを、また、0に近いほど干渉度合いが低いことを示す。本検討は、地震前後の電波の振幅、位相の双方に着目して算出した干渉度合いが低くなった箇所を抽出すれば、振幅又は位相の何れかのみに着目した前述の(1)よりも、道路変状で引き起こされた地表面の乱れを把握することができるのではないかと考えて進めたものである。なお、コヒーレンスは、分解能 3m の SAR 画像ピクセル毎に求められるものではあるが、レーダー特有のノイズに起因する乱れが含まれているため、本検討では、係るノイズの低減を図るための処理を施した上で、コヒーレンス値を算出し、路線を道路中心から幅各 15m の計 30 m、延長 50m に分割した道路ポリゴン内で平均化したコヒーレンス平均値を求めている。そして、その大きさを道路ポリゴンを色分け表示したコヒーレンスヒートマップを作成した。さらに被災箇所と重ね合わせて図化することで、コヒーレンスヒートマップにより道路被災箇所の絞り込みが可能であるかを評価した。

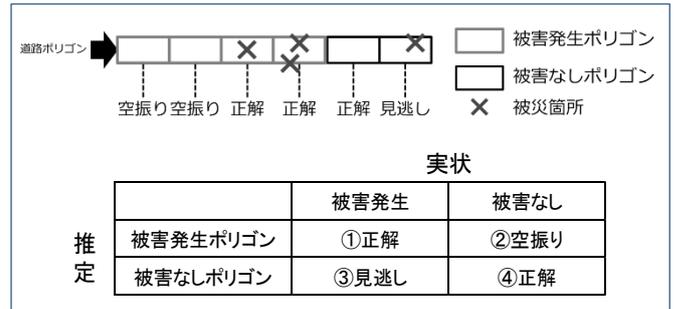


図-3 評価概念図

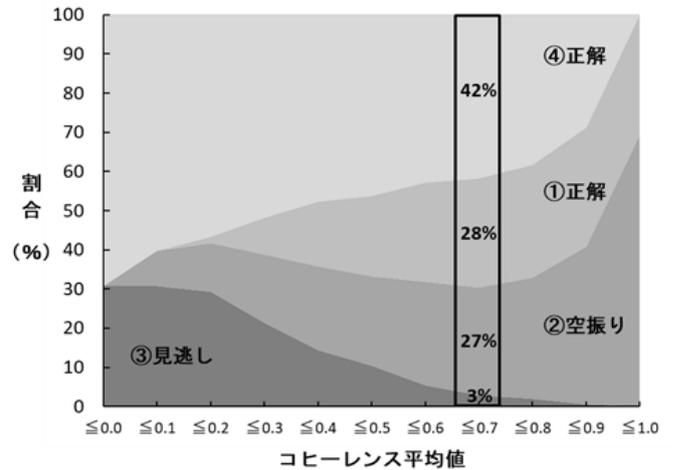


図-4 評価整理結果

図-2 にコヒーレンスヒートマップと被災箇所の関係を示す。被災箇所の多くでは、コヒーレンス平均値が小さくなっており、被災箇所とコヒーレンス平均値には関連性があることが認められる。今回、コヒーレンスヒートマップを用いることで道路被災箇所の絞り込みはある程度可能であることが確認できた。

ここで、道路被災箇所の絞り込みの推定精度を把握するため、ある閾値以下のコヒーレンス平均値を持つ道路ポリゴンを被害があった箇所と推定し、実状と比較することで、当該道路ポリゴンの推定結果を図-3 に示す正解、見逃し、空振りに分類、整理する試みを行った。被害があったとみなすコヒーレンス平均値の閾値を変化させ、正解、見逃し、空振りの構成がどのように変わるかを整理した結果を図-4 に示す。本結果から、0.7 以下のコヒーレンス平均値を持つ道路ポリゴンを被災箇所と推定すれば、7 割の正解率を確保しつつ、見逃しの発生を抑制できることがうかがえる。

今回、コヒーレンスヒートマップを活用した被害発生箇所の推定手法を提案したが、今後、他の地震災害でも同様の検証を行うことで、衛星を活用した道路被災箇所の把握手法を取りまとめていく予定である。

[成果の活用]

衛星画像を用いた道路被災状況調査において、今後、本提案手法が活用されることが期待される。