

地震被災の分析に基づく 道路橋の被災状況把握システムの構築

猿渡基樹・梶尾辰史・石井洋輔・片岡正次郎

1. はじめに

大規模地震が発生した際、道路管理者は、道路の被災状況を早急かつ正確に把握し、迂回路を含めた緊急輸送のための道路を確保する必要がある。

このような背景から、国総研では、道路施設のうち、被災が甚大となった場合に迅速な復旧が困難な道路橋に着目し、被災状況を把握するシステム（道路橋の被災状況把握システム¹⁾）を構築した。

本報文では、近年の地震による道路橋の被災分析を述べ、システムの概要、センサの選定及び検証を示したあと、センサ設置位置ごとに閾値を設定する際の考え方について報告する。

2. 近年の地震による道路橋の被災分析

近年の地震による道路橋の被災状況を分析した。その結果、地震によって被災状況は異なり、下部構造が被災した道路橋もみられたが、9割近くを橋台背面盛土の沈下と伸縮装置の段差が占めることが分かった。このような被災を受けた場合、通行障害が生じる可能性がある。以下に、分析結果を示す。

- ・2011年東北地方太平洋沖地震では、橋台背面盛土の沈下は78%、伸縮装置の段差は10%の橋梁で生じた¹⁾。
- ・2016年熊本地震では、橋台背面盛土の沈下は17%、伸縮装置の段差は71%の橋梁で生じた。

3. 道路橋の被災状況把握システムの概要

上記分析結果より、本システムは、道路橋の車両通行可否を早急に判断するために、橋台背面盛土の沈下及び伸縮装置の段差を把握することを目的とする。

本システムでは、道路橋の被災により生じた

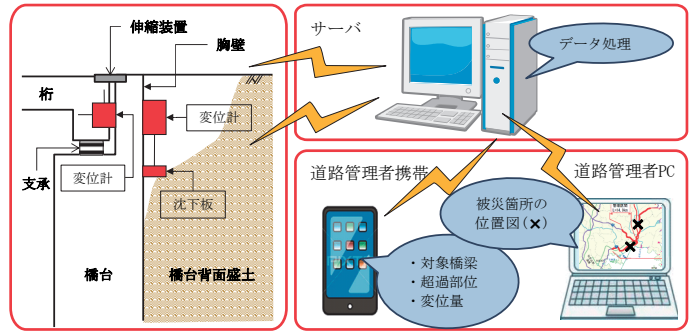


図-1 道路橋の被災状況把握システムの概要

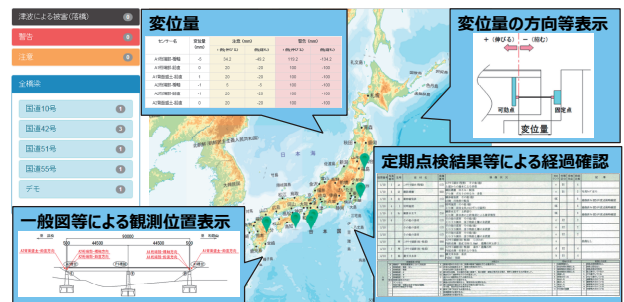


図-2 道路橋の被災状況把握システムのPC画面イメージ

段差の把握はできるが、構造安全面からの橋の状態は把握できないため、点検等で確認する必要がある。

本システムの構成は、道路橋の被災状況を把握するセンサ、センサから送られるデータを処理するサーバからなる。

図-1に道路橋の被災状況把握システムの概要を、図-2に道路管理者PCの表示画面イメージを示す。

本システムの仕様は、以下のとおりである。

平常時は、20秒おきに道路橋の状況把握及び電源等の動作確認を行う。サーバ情報の更新は4回/日行うが、道路管理者へのメール配信はない。

設定する閾値を超過した場合には、即座にサーバ情報の更新及び道路管理者へメール配信を行う。その後、閾値を下回るまで10分おきに、サーバ情報の更新及びメール配信を行う。

サーバ情報は、道路管理者PCで把握できる。橋梁一般図を活用した計測内容（位置や方向等）の表示や、被災情報と定期点検調書や補修履歴との照らし合わせができる。

メール配信は、閾値を超過した道路橋とその

部位などの簡易な情報を、事前登録された道路管理者のアドレスへ行う。

4. 被災状況を把握するセンサの選定

センサは、精度、設置費等の項目について、3Dレーザースキャナ、レーザー変位計、ワイヤー巻取り式変位計などを比較検討し、比較的構造が単純で安価なワイヤー巻取り式変位計を採用した。

設置位置は、通行を妨げないように、橋台背面盛土の沈下を把握するセンサは橋台背面部、伸縮装置の段差を把握するセンサは胸壁部とした。

4.1 橋台背面盛土の沈下を把握するセンサ

橋台背面盛土の沈下を把握するには、盛土沈下の挙動に追随できなければならない。

そこで、鋼製の板（沈下板）を用いることにより橋台背面盛土の沈下を把握できると考え、センサの構成を、ワイヤー巻取り式変位計+沈下板とした。変位計と沈下板はワイヤーで接続した。なお、センサは、通行への影響を避けるために盛土内に設置する必要があるが、ワイヤーが土に接触すると安定した計測値を得ることができないため、ワイヤーを保護する伸縮可能な保護管を設置した。

4.2 伸縮装置の段差を把握するセンサ

伸縮装置の段差を把握するには、橋軸方向（車両の進行方向）と鉛直方向の変位を把握できなければならない。ただし、ワイヤー巻取り式変位計は、1方向しか把握することができないため、センサは、把握する方向ごとに設置した。

直線橋でズレが生じてても、通行には支障がない。また、斜橋及び曲線橋でズレが生じた場合、隙間が生じるが、橋軸方向の変位を把握することにより、隙間を把握できる。このため、橋軸直角方向の変位を計測しないこととした。

5. 被災状況を把握するセンサの検証

5.1 橋台背面盛土の沈下を把握するセンサの検証

沈下板で橋台背面盛土の挙動を把握できるか、沈下板の大きさ、厚さ及び設置方向を変えて検証した。橋台背面盛土の挙動は、油圧ジャッキを用いて再現した。

図-3に実物大実験の概要を、図-4に実験による検証結果を示す。

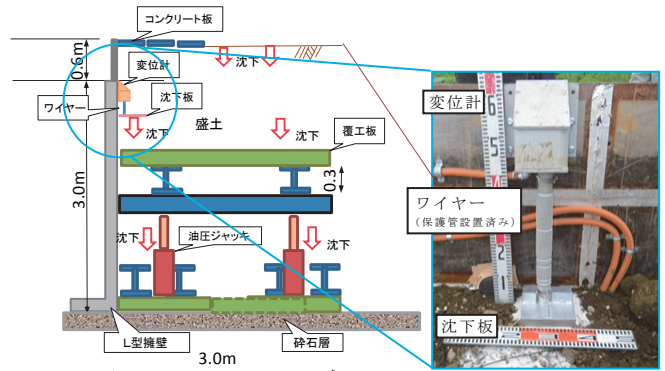


図-3 実物大実験の概要

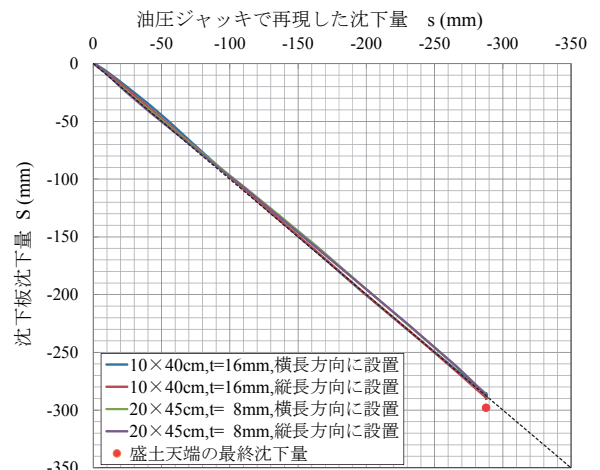


図-4 実物大実験による沈下板の挙動の検証結果



a)鉛直、橋軸（桁上） b)橋軸（桁下）

写真-1 外部環境条件の実験状況

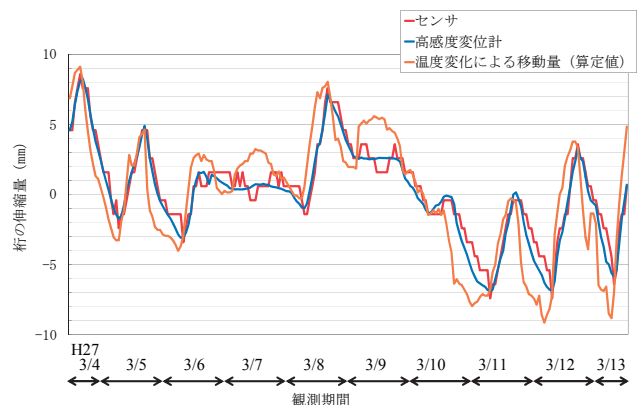


図-5 温度変化による影響の検証結果

図-4から、全てのケースで沈下板と油圧ジャッキで再現した沈下量がほぼ一致し、設定した範囲では沈下板の形状等に制約は少ないことが示された。

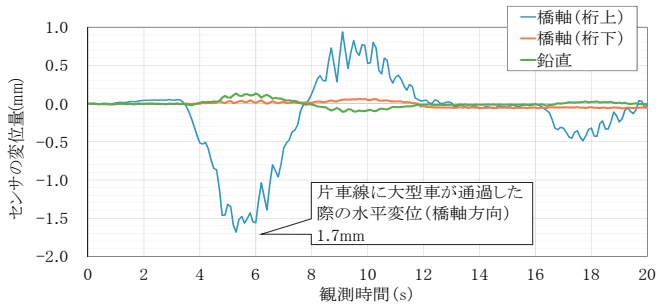


図-6 交通荷重による影響の検証結果

5.2 伸縮装置の段差を把握するセンサの検証

センサで伸縮装置の挙動を把握できるか、桁の温度変化による伸縮を用いて検証した。

写真-1に実験状況を、図-5に桁の温度変化による影響の検証結果を示す。図-5の高感度変位計は、変位計の測定軸の変位より被測定体の変位量を求めるものである。

図-5から、センサと高感度変位計の伸縮量を比較すると、ほぼ同じ値を示したため、高感度変位計と同等の性能を有していることが分かった。

ここで、伸縮装置の段差を把握するセンサの閾値を設定する際に、どのように外部環境条件の影響を考慮すべきか、上記検証実験の際に併せて検証した。検証する外部環境条件は、特に影響が大きいと想定される桁の温度変化と交通荷重による変位とした。

図-5の温度変化による移動量(算定値)は、支承部の設計移動量を設定する際に用いる温度変化による移動量の式²⁾を用いて算定した値である。温度は、9日間連続で計測した外気温を用いた。

図-5から、センサの伸縮量と算定値を比較すると、若干の違いはあるが概ね同じ傾向を示した。

図-6に、交通荷重による影響の検証結果を示す。交通荷重は、一般車両及び試験車両(20tダンプ)走行による計測とした。

図-5及び図-6から、交通荷重による変位は桁の伸縮量に比べて小さい値であることが分かる。ここで、車両通過時に瞬間的に変位が生じているが、通過後に元に戻っているため、これは弾性的に生じた変位である。

以上より、閾値を設定する際、外部環境条件の影響として、桁の温度変化のみを考慮することとし、その値は上記の移動量の式²⁾から算定することとした。

表-1 路面の損傷程度の評価区分³⁾

区分	一般的状況
a	損傷なし
b	—
c	橋軸方向の凹凸が生じており、段差量は小さい(20mm未満)。
d	—
e	橋軸方向の凹凸が生じており、段差量が大い(20mm以上)。

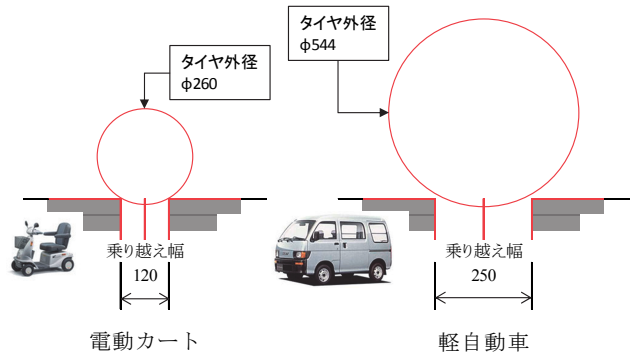


図-7 溝乗り越え幅とタイヤ外径の関係

表-2 伸縮装置の伸縮量簡易算定式²⁾

橋種	鋼橋	鉄筋コンクリート橋	プレストレストコンクリート橋	
伸縮量	①温度変化	0.6l(0.72l)	0.4l(0.5l)	0.4l(0.5l)
	②乾燥収縮	—	0.2lβ	0.2lβ
	③クリープ	—	—	0.4lβ
	基本伸縮量	0.6l	0.4l+0.2lβ	0.4l+0.6lβ
	(①+②+③)	(0.72l)	(0.5l+0.2lβ)	(0.5l+0.6lβ)
余裕量	基本伸縮量×20%、ただし、最小10mm ※施工誤差等が大い場合は別途考慮			

l=伸縮桁長(m)、β=低減係数
表中の()内は、寒冷な地域に適用

6. センサ設置位置ごとの閾値設定

車両が通行可能かどうか把握するため、以下の警告と注意それぞれに閾値を設定した。なお、被災ごとに把握する状態が違うため、センサ設置位置ごとに警告と注意の閾値を設定した。

警告：車両通行不可能な状態

注意：損傷は生じているが通行可能な状態

6.1 橋台背面盛土の沈下を把握するセンサ

6.1.1 沈下の閾値設定(警告)

東北地方太平洋沖地震により被災した道路橋について、被災状況と通行障害の関係を整理した。その結果、被災した道路橋は、橋台背面盛土の沈下が100mm未満でのすり付け補修は実施されていないことが分かった。

これは、車両が通行可能かどうかの基準を概ね100mmとして、すり付け補修が実施されたと考えられる。このため、閾値は、下記のとおりとした。

警告：100mm以上

6.1.2 沈下の閾値設定(注意)

表-1に、橋梁定期点検要領³⁾の路面の損傷程度の評価区分を示す。路面に生じる橋軸方向の凸凹や段差の損傷程度の目安が20mmであり、20mm以上の段差は、車両の通行に支障を及ぼす懸念があると考えられる。このため、閾値は、下記のとおりとした。

注意：20mm以上 100mm未満

6.2 伸縮装置の段差を把握するセンサ

鉛直方向は、橋台背面盛土の沈下を把握するセンサで設定した閾値と同じとする。

6.2.1 段差の閾値設定(警告)

橋軸方向は、軽自動車通行不能となる乗り越え幅とした。ただし、軽自動車の乗り越え幅について定められたものはない。そこで、公開されている電動カートの諸元の溝乗り越え幅を用いて、電動カートと軽自動車のタイヤ外径の関係より、軽自動車が通行不能となる乗り越え幅を算出した。図-7に、電動カートと軽自動車の溝乗り越え幅とタイヤ外径の関係を示す。

鉛直方向は、上記6.1.1による。

以上より、閾値は、下記のとおりとした。

警告 橋軸：250mm以上

鉛直：100mm以上

6.2.2 段差の閾値設定(注意)

橋軸方向は、桁の温度変化による影響とし、伸縮装置の設計伸縮量を設定する際に用いる伸縮量簡易算定式²⁾より算出した。表-2に、伸縮量簡易算定式を示す。乾燥収縮及びクリープは終了していると考え、考慮しない。

鉛直方向は、上記6.1.2による。

以上より、閾値は、下記のとおりとした。

注意 橋軸：設計伸縮量以上 250mm未満

鉛直：20mm 以上 100mm未満

7. まとめ

本研究では、近年の地震による道路橋被災の分析結果より、道路橋の被災状況把握システムを構築し、信頼性の検証を実施し、センサ設置位置ごとに閾値を設定した。

その結果、本システムにより、地震後に、早急に道路橋の被災状況が把握でき、迅速かつ効率的な道路啓開の支援が可能となると考える。

伸縮装置の段差を把握するセンサの閾値は、算定式等を用いて設定している。そのため、現在、直轄国道の道路橋にセンサを設置し、閾値の妥当性の検証を行っているところである。

今後は、検証結果を基に、被災状況を確実に把握できるシステムとして確立させる研究を進める必要がある。

参考文献

- 1) 梶尾辰史、長屋和宏、松本幸司、金子正洋：変位計による地震後の道路橋被災状況把握システムの開発に関する技術資料、国土技術政策総合研究所資料、No.969、2017.3
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編、2012.3
- 3) 国土交通省道路局：橋梁定期点検要領、2014.6
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編、2017.11

猿渡基樹



国土交通省国土技術政策総合研究所道路構造物研究部道路地震防災研究室
研究官
Motoki SARUWATARI

梶尾辰史



研究当時 国土交通省国土技術政策総合研究所道路構造物研究部道路地震防災研究室研究官、現国土交通省九州地方整備局佐賀国道事務所建設監督官、工博
Dr. Tatsushi KAJIO

石井洋輔



国土交通省国土技術政策総合研究所道路構造物研究部道路地震防災研究室研究員
Yosuke ISHII

片岡正次郎



国土交通省国土技術政策総合研究所道路構造物研究部道路地震防災研究室長、工博
Dr. Shojiro KATAOKA