

道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究状況報告書（2年目の研究課題対象）】

①研究代表者	氏名（ふりがな）		所属		役職	
	杉浦邦征（すぎうらくにとも）		京都大学大学院工学研究科 社会基盤工学専攻		教授	
②研究 テーマ	名称	多機能検査車走行による道路構造物の健全性評価				
	政策 領域	[主領域] 政策領域8： 道路資産の保全		公募 タイプ	タイプ：技術的課題の画 期的な解決を目指す研究 (技術ブレイクスルー型)	
		[副領域] 該当なし				
③研究経費 (委託金額) (単位：千円)	平成17年度	平成18年度	研究期間			
	29,970	30,000	平成17～19年度(3年)			
④研究者氏名 (研究代表者以外の主な研究者の氏名、所属・役職を記入して下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加して下さい。)						
氏名		所属・役職				
大島義信		京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻・助手				
山口隆司		大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻・助教授				
陵城成樹		(株)ニュージェック・道路G橋梁T・マネージャー (JBEC出向中)				
小林義和		(株)ニチゾウテック・技術コンサルティング本部・部長				
岡野晴樹		(株)東京測器研究所桐生工場・工場長				
⑤研究の目的・目標 (提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入して下さい。)						
<p>加振機能と高精度な計測機能を具備した多機能検査車両を開発し、検査車が走行しながら道路構造物の加振と応答計測を行うことで、構造体の健全性を評価するシステムを構築するとともに、本システムを用いた管理手法を提案する。また、本管理手法を活用した管理体系の提案、評価システムの構築、加振装置および計測装置搭載の試験車両の作成を開発の最終目標とする。</p> <p>平成18年度では、橋梁を対象構造物として取り上げ、加振状態下での橋梁全体の応答を橋梁上を走行する車両から計測し、その異常検知技術の実現性、実用性についての基礎的な検討を行った。</p>						

⑥これまでの研究経過

(研究の進捗状況について、必要に応じて図表等を用いながら、具体的に記入して下さい。)

A. 評価手法の検討

- (1) 走行する車両の応答値から、橋梁の振動成分を抽出するアルゴリズムを開発し、橋梁の振動成分と損傷との関連性に基づき、振動特性による損傷評価手法を確立する
- ・ 土木研究所の試験橋梁において、起振状態にある起振機を車両上に配置した起振車両を橋梁上を走行させ対象橋梁を加振し、起振車両の後を追尾する計測車両にて車両応答の計測を行い、橋梁振動の卓越振動数が検知できることを確認した。橋梁振動の加速度振幅が20 gal程度以上であれば、走行中の計測車両のバネ上加速度、バネ下加速度、鉛直方向軸重のいずれでも橋梁振動と同じ卓越振動数(5Hz程度まで)が検知できる。ただし、十分な波形分解能を確保するためには、20km/hの速度に制限する必要がある。
 - ・ 土木研究所の試験橋梁をモデル橋梁として、橋梁全体を細部まで再現した有限要素モデルを用いて固有振動解析を行い、各種模擬損傷と固有振動数の変化を定量的に把握した。10%程度の振動数変化の特定は本手法でも可能であるが、この振動数変化では、支承の機能異常などは十分検知可能である。それ以外の損傷としては、(i)桁端に腐食損傷がある場合、低次振動数および高次振動数の変化では、それぞれ90%程度、60%程度の損傷レベルに対応する；(ii) 支間中央にき裂損傷がある場合、90%程度の損傷レベル(桁1本のみ)に対応するが、すべての桁に同等の損傷を仮定すれば、20%程度の損傷レベルに対応する等の点がわかった。
- (2) 走行する車両の衝撃応答値から、路面、床版、支承、伸縮装置の健全度を評価するアルゴリズムを開発し、衝撃応答特性による損傷評価手法を確立する
- ・ 6径間連続橋(ノージョイント化橋梁)2連を走行した時の車両バネ下応答加速度の実効値の時刻歴から、(i)伸縮装置を通過する時、加速度実効値が大きくなる；(ii)ノージョイント化された橋脚上を通過する時、橋梁一般部を走行する時と比較して加速度実効値が大きくなる等の点が明らかになった。したがって、走行車両の速度と車両バネ下加速度応答の実効値の最大値との関係から、例えば、正の相関では、路面段差・鉛直支持機能異常など、負の相関では、路面凹凸といった橋梁の高速概略点検の可能性が伺える。

B. 管理手法の提案および現行維持管理体制との対比

検査車両の走行により評価する振動特性変化を一次スクリーニング項目と設定し、異常が認められた橋梁に対して更なる詳細点検を行うといった管理手法を、現行の体制と対比しながらコスト比較、適性・役割分担、適用限界などを整理した。単位広さ当たりの積算が一般であるが、橋梁点検費用は、橋長、橋梁の現場架設状況や点検方法(点検足場、リフト車、船、はしご)によって大きく変わり、概略は、約1000~2000円/m²(この費用には第三者被害対策も含む)であり、車両走行による変状スクリーニングの合理性・経済性は高いと判断できる。

⑦研究成果の発表状況

(本研究から得られた研究成果について、学術誌等に発表した論文、および国際会議、学会等における発表状況等があれば記入して下さい。)

対外発表はなし

⑧研究成果の活用方策

(本研究から得られた研究成果について、その活用方法・手段・今後の展開等を記入して下さい。)

振動モード評価への応用

橋梁振動が加速度振幅レベルで20gal程度以上であれば、橋梁上の車両応答から橋梁振動の振動数の把握が可能である。走行時でも可能である。したがって、加速度センサーなどを橋梁に設置する必要が無くなった。ただし、一般的に常時微動で20gal以上の加速度応答を得ることは稀であり、高次振動数での応答値はさらに低レベルとなるので、起振機能を有する車両の起振走行は、不可欠である。一方、振動性状から健全性評価を行うには、振動数の把握に加えて、振動モードの特定が役立つことが分かっている。複数の検査車両がお互いの相対位置を把握しながら並走して、応答計測を行うことで、もしくは複数の計測車両(橋面上での複数の計測点)を牽引する検査車とすることで、振動モードの評価も同時に行える可能性がある。

損傷推定のガイドライン整備

多様な橋梁形式に対しても同様な基礎資料の作成が必要である。橋梁全体を細部まで再現した有限要素モデルを用いて固有振動解析を行い、各種模擬損傷と固有振動数の変化を定量的に把握し、振動性状の変化から、特定できる損傷タイプ、損傷程度を明らかにした。これらの固有振動数の変化を利用した損傷推定のガイドライン策定のための基礎資料となる。

緊急時の点検・検査の迅速な対応

大地震による被災地域では、道路が緊急物資の輸送や復旧工事に重要な役割を果たす。このような場合、きわめて短時間の間に道路が安全に通行可能かどうかの判断を行う必要があり、走行しながら道路の健全性評価が行えるメリットは大きい。特に、本研究で提案する検査車が実装する計測項目として車両のバネ下応答加速度の実効値などは、段差などの路面性状の情報を反映するものであり、大地震時のような災害時における道路使用性(走行性)を迅速に判断する指標と成り得、緊急時の点検・検査にも対応可能である。

⑨特記事項

(本研究から得られた知見、学内外等へのインパクト等、特記すべき事項があれば記入して下さい。また、研究の目的・目標からみた、研究成果の見通しや進捗の達成度についての自己評価も記入して下さい。)

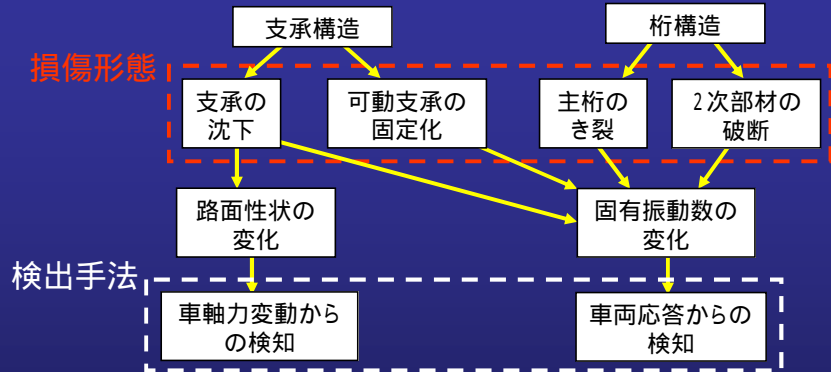
橋梁上の車両応答による橋梁の振動性状評価

加速度センサーなどを橋梁に設置すること無く、橋梁上を走行する車両応答から橋梁振動の振動数の把握が可能であることを実証した。走行車両自体を加速度センサーと考えることができる。現状の技術では、起振車両走行が不可欠であるが、支承の変状などは、十分検知可能である。局所的な損傷評価のためには、高次振動数・振動モードを特定する必要があり、応答波形の処理法などに改善が不可欠と考えられるが、不可能ではない。ただし、固有振動数の変化を利用した損傷推定を確立するには、周辺環境が振動数変化に及ぼす影響なども検討が必要である。

走行車両の応答性状から路面変状評価

伸縮装置の異常は支承部、下部工の損傷が反映されることが多く、また、路面の異常は床版の損傷を反映することが多いことから、走行車両のバネ下の応答加速度実効値とこれらの損傷との関係が定量的に関連づけられれば、現在、実施されている定期点検の結果を有効利用でき、橋梁定期点検対象橋梁を合理的、かつ高速に絞り込むことが可能となり効率的な橋梁定期点検の実施に寄与するものとも考えられる。一般的な路面凸凹と、支承・下部工などの変状によるバネ下の応答加速度実効値と走行速度などとの特徴的な相関が特定できるかによる。

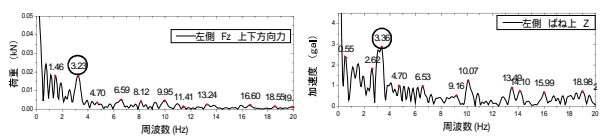
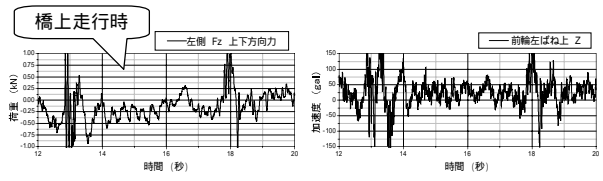
平成18年度における着目損傷と検知手法



車両振動から橋梁固有振動数検出の実証

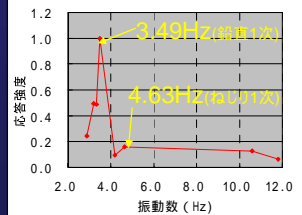
車両速度20km/h程度
橋梁加速度振幅20gal程度以上 → 橋梁の共振振動数を検知

起振車両 (10t車両に起振機などを配置し、牽引カーゴに制御ユニットを配置)



車両の応答: 20060927case1
起振周波数: 3.17Hz
起振振幅: 20mm
車両速度: 20km/h

鉛直1次固有振動数 (3.49Hz) 等を抽出

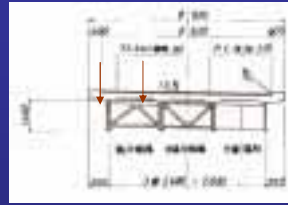


走行車両ばね上加速度パワーのボード線図による評価

固有振動解析により固有振動数変化と各種損傷を関連付け

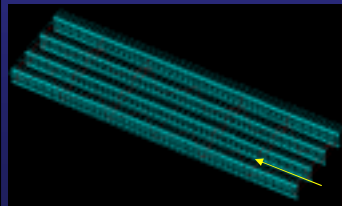


(独)土木研究所の「試験橋梁」



G1 G2 G3 G4

固有振動数10%の変化で特定できる損傷例



板要素を基本に離散モデルの構築
橋梁構造解析用コードEPASS/USSPを使用

- ・ 支承の機能異常 → 鉛直1次, ねじり1次
- ・ 主桁の腐食(桁端) → 鉛直2次
- ・ 主桁のき裂(スパン中央) → 鉛直1次
- ・ 2次部材の破断 → 鉛直1次, ねじり1次
- ・ 床版の損傷 → 影響なし(特定不可)

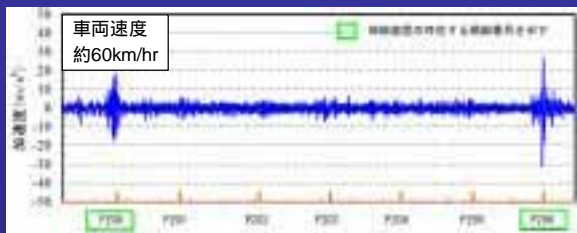
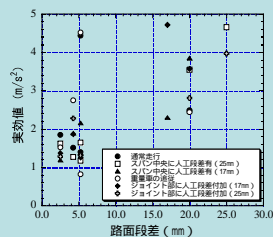
走行車両ばね下応答実効値と路面段差の関連付け

伸縮装置位置で大きな応答値
→ 当然の結果

中間橋脚上の応答値
(実効値) が大きい
→ ノージョイント化の影響
= 支点条件と主桁剛性
の影響の顕在化?

橋脚部以外で応答値
が大きい箇所(路面異常?)

支承種類・機能状態との関連付け



パネ下加速度: 左前輪
6径間連続鋼1桁連続高架橋