

車両振動に基づく道路地盤評価技術の開発

筑波大学 学生会員 ○森川 みどり
筑波大学 正会員 山本 亨輔

1. 背景

道路舗装の維持管理コストを抑制するには予防保全^[1]が有効な手段の一つとしてあげられる。予防保全のメリットとして、補修費用の省コスト化と予算確保の容易化が挙げられる。本研究では SSMA (Spatial Singular Mode Angle) の特性を検証することで、予防保全への適用性を検討する。

2. 検討手法

2.1. SSMA について

SSMA とは、走行車両の振動から橋梁の健全性を評価する指標である。本研究では、地盤を橋梁と同様の構造システムとみなす。車両-地盤相互作用モデルを用いて数値的に車両振動を再現する。その車両振動を用いて SSMA を算出し、道路舗装の損傷前後で比較を行った。

先ず、ここでは橋梁のモード形状推定値としての SSMA の導出法について説明し、地盤への適用性についてはその後論じるものとする。一般に、モード解析理論で想定される橋梁振動の計測値は、固定点で得られるものである。一方、車両振動から推定される橋梁振動は、車両走行に伴って計測位置が時間変化する移動計測点での計測値である。ここでは基底関数を導入し、移動計測点での計測データを、仮想した固定計測点での推定値に変換する。既往の研究^{[2], [3], [4]}において、SSMA の有効性は実験的に見出された。

固定計測点における振動の推定値を m 列並べた行列をデータ行列 $\mathbf{D} (\in \mathbb{R}^{n \times m})$ とすると、特異値分解は $n \times m$ 行列に対して適用可能であるから、 \mathbf{D} に対して特異値分解を適用し、

$$\mathbf{D} = \mathbf{U}\mathbf{\Sigma}\mathbf{V}^T \quad (1)$$

と分解できる。ゼロ行列となる部分を省略すると、モード形状推定値 $\mathbf{U} (\in \mathbb{R}^{n \times n})$ 、推定基準座標 $\mathbf{V} (\in \mathbb{R}^{n \times m})$ は直交行列(ただし、 $\mathbf{V}^T\mathbf{V} = \mathbf{I}$, \mathbf{I} : 単位行列)、 $\mathbf{\Sigma} (\in \mathbb{R}^{n \times n})$ は特異値を対角成分にもつ対角行列である。また、 $\mathbf{\Sigma}$ の対角成分を大きなものから順に並べると、 \mathbf{U} , $\mathbf{\Sigma}$ および \mathbf{V} は一意に求められる。

2.2. 計算モデル

本研究では地盤が車両振動にどのような影響を与え、SSMA が変化するかを検討するため、図 1 に示すような車両-地盤相互作用モデルを作成し、車

両振動を計算した。車両にはバネ剛体モデル (図 2) を、地盤には FEM モデルを用いた。損傷は要素剛性の低下で表現した。地盤の深さや材料・損傷位置を変更しながら、車両の加速度を再現する。なお、動的方法として Newmark- β 法を用いた。地盤モデルの作成にあたっては 1m ごとに等間隔に設置されたノードから 1m 四方の正方形要素を構成し、その要素から長方形の地盤を作成した。地盤モデルは 3 種類用意した。各ノードに密度を、各要素にヤング率とポアソン比を設定した。地盤の深さ方向に y 軸を、車両進行と並行方向に x 軸を取る。地盤の長さは 100m とし、地盤を構成する材料は土とアスファルトを設定した。路面凹凸 (図 3) は計測データに基づいて、モンテカルロ・シミュレーションにより作成した。パラメータの設定には既往の研究^[5]で使用された値を参考に設定した。本研究では、地盤を橋梁と同様の線形システムとみなし、SSMA の適用可能性を検討する。

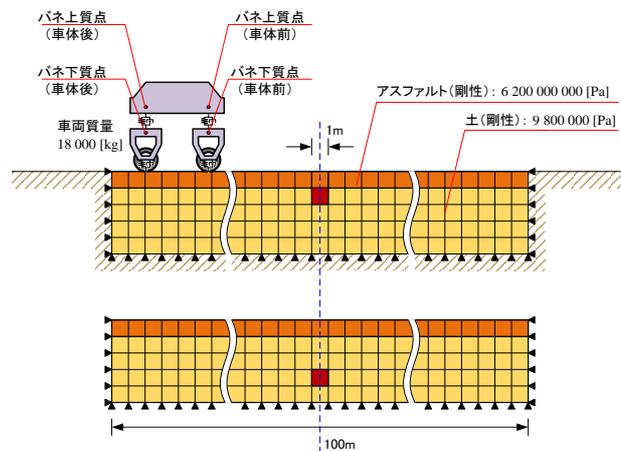


図 1 車両-地盤相互作用モデル

3. 結果と考察

図 4, 図 5 において、車両バネ下の振動は、損傷前後で変化していることがわかる。一方、図 6, 図 7 は、同一地盤、同一損傷、同一損傷深度で、損傷程度のみが異なる振動データから求めた SSMA を表す。図から読み取れるように、損傷時の SSMA は、健全時から異なる値をとっている。シミュレーションには上部 1m がアスファルトで、下部 4m が土で構成されたモデルを用いた。図 6, 図 7 を比較すると、損傷程度が 25% である方が、損傷程度が 50% である方より

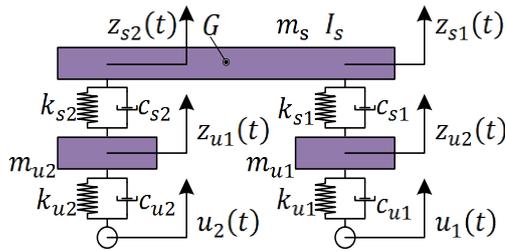


図2 車両モデル

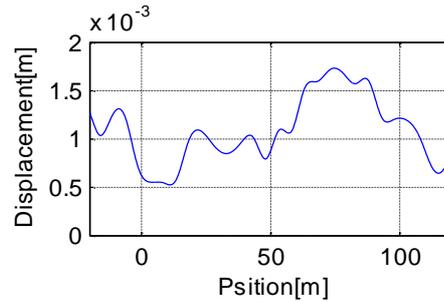


図3 路面凹凸

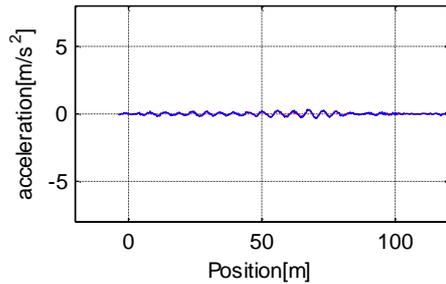


図4 車両加速度波形 (後輪バネ上)

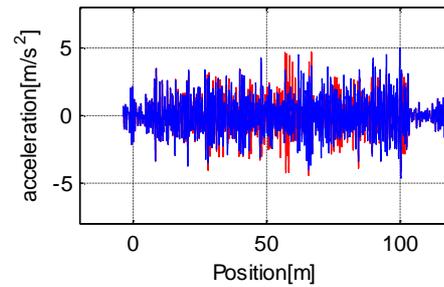


図5 車両加速度波形 (後輪バネ下)

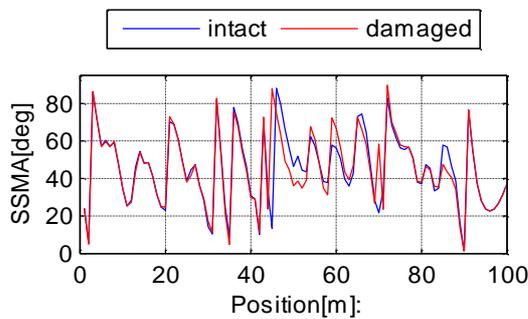


図6 損傷程度 50%

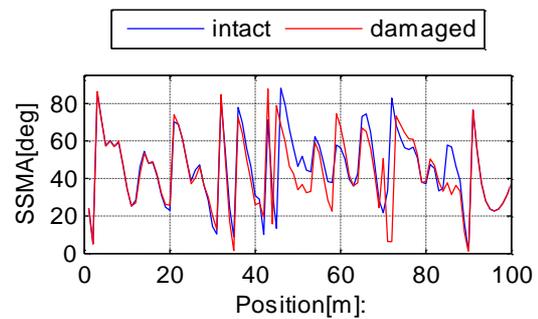


図7 損傷程度 25%

も SSMA が大きく変化していることがわかる。図6、図7において、損傷はアスファルトの下部に位置しているが、それを検知することができる可能性があることを示している。以上のことから、SSMA に基づく道路地盤の損傷検知の適用可能性があるといえる。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金(若手研究(B), 課題番号 25820200)によって実施した。ここに記し謝意を表す。

参考文献

1) 田崎 忠行 他：道路橋の予防保全に向けた提言，土木工事共通仕様書，2008。

2) 中釜祐太：模型桁実験による車両応答を用いたモード形状推定法の桁損傷検知への適用性に関する検討，筑波大学理工学群工学システム学類卒業論文，2014。
 3) 山本亨輔，大島義信，金哲佑，杉浦邦征：車両応答データの特異値分解による橋梁損傷検知技術の提案と検討，構造工学論文集，Vol.59A，pp.320-331，2013。
 4) 山本亨輔，伊勢本遼，大島義信，金哲佑，杉浦邦征：鋼トラス橋の部材破断が橋梁および走行車両の加速度応答におよぼす影響，構造工学論文集，Vol.58A，pp.180-193，2012。
 5) 山本亨輔，大島義信，杉浦邦征，河野広隆：車両応答分析に基づく橋梁モード形状推定手法の開発，土木学会論文集，土木学会論文集A1，Vol.67，pp.242-257，2011。

キーワード SSMA (Spatial Singular Mode Angle)，道路舗装，損傷検知

連絡先 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 フロンティア工学研究室 TEL 029-853-5146