

地中レーダによる床版内部の異常検知アルゴリズムにおける気象条件の検知精度への影響分析

東京大学 学生会員 ○山口 貴浩

東京大学 正会員 水谷 司

東京大学 学生会員 坂口 綾佳

(株) 土木管理総合試験所 正会員 垂水 稔

1. 研究背景・目的

近年、膨大な数の鉄筋コンクリート床版の急速な老朽化に伴い、非接触・高速に床版内部を探索可能な地中レーダ法が注目されている¹⁾。一方で、レーダ画像からの異常検知において、検査者は膨大な実橋梁データから損傷の有無を定性的に判定している。そこで著者らは、画像データから損傷を表すカラーマップを自動的に表示する、波形の相互相関に基づく新たな異常検知アルゴリズムを提案した²⁾。

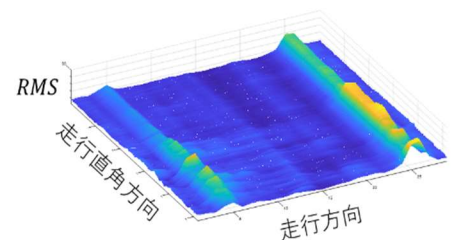
一方で、提案した異常検知アルゴリズムを実橋梁データに適用する際に、計測時の気象条件、特に降雨による損傷内部の水の有無が検知精度に大きな影響を与えられと考える。一般に水が存在する場合、電磁気学的な観点から、反射波の強度は大きくなるため、検知精度は向上すると考えられ、またコンクリート工学的な観点からも、劣化が早く進行するため、水の存在する損傷を適切に検出する必要がある。そこで、本研究では、散水実験により実環境における検知精度への水の有無の影響を明らかにし、多数の実橋梁データから、適切な降雨条件を決定する。

2. 相関演算に基づく異常検知アルゴリズムの構築

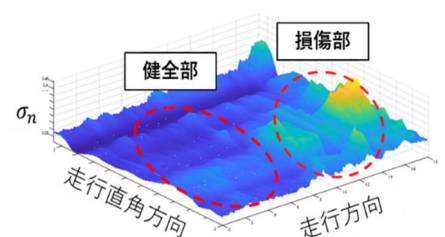
本研究で用いられる異常検知アルゴリズムは、リファレンスの抽出及び相関演算による損傷度カラーマップの表示からなる。まず、リファレンスの抽出について、深度方向のRMSを算出することで三次元データを二次元に圧縮し、つづいてRMSの走行方向の移動分散 V を計算することで、波形の局所的なばらつきから健全部をリファレンスとして抽出する(図1)。つづいて、損傷度のカラーマップ表示について、抽出したリファレンスと各位置の波形との相関演算を行うことで、健全部からの波形のばらつきを損傷度としてマップ表示する。

$$RMS(x) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f(x))^2} \quad (1)$$

$$V(x) = \sqrt{\frac{1}{a} \sum_{i=1}^a (RMS(x) - E[RMS(x)])^2} \quad (2)$$



(a) 深度方向の RMS

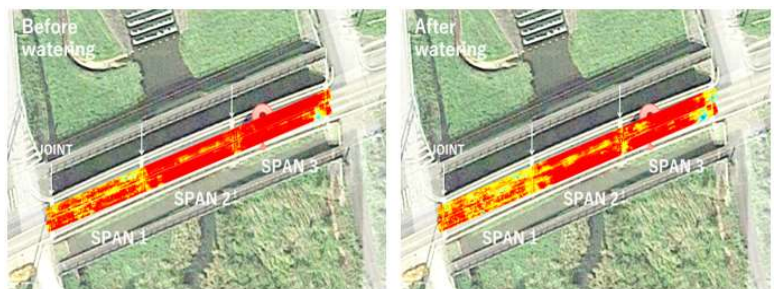


(b) 走行方向の移動分散

図1 リファレンス位置の抽出

3. 散水実験による降雨の異常検知精度への影響分析

図2、図3に東北のある実橋梁における散水前後の損傷度カラーマップおよびスパン1で健全部、損傷部と判定された箇所の生波形を示す。散水実験では、散水車によって約16mmの降雨を再現し、散水から2～3時間前後において計測を行った。この橋梁は、経験的にスパン1の劣化が比較的速く進行していることが知られているが、図2から、散水後、スパン1の劣化が強調され



(a) 散水前

(b) 散水後

図2 散水試験前後の損傷度カラーマップ

キーワード 地中レーダ, RC床版, 非破壊検査, 累積降雨量, 散水実験, 相互相関

連絡先 〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻橋梁研究室 TEL 03-5841-6099

ていることが分かる．また，図 3 から，損傷部においてのみ散水前後で波形が変化しており，表 1 に示す各部での各波形の相互相関関数も，大きく低下していることが分かる．

4. 多数の実橋梁データによる適切な降雨条件の決定

地中レーダによる床版探査において適切な降雨条件を決定するため，東北および北陸に位置する橋梁 A～L までの 12 橋梁について累積降雨量を算出し，打音試験との整合性を調査した．表 2 に 24 時間以内の累積降雨量について比較結果を示す．また，図 4 に打音試験と整合的であった橋梁 A, B および整合的でなかった橋梁 H を示す．24 時間以内の累積降雨量 W は，対象橋梁に距離的に最も近い気象観測所の累積降雨量が最も正確であると考えられるため，近隣の 3 点以上の地点の AMeDAS の累積降雨量 x_i について，距離 a_i の重み付け平均によって算出している．

$$W = \frac{a_1 x_1 + a_2 x_2 + \cdots + a_n x_n}{x_1 + x_2 + \cdots + x_n} \quad (1)$$

表 2 から，24 時間以内の累積降雨量と打音試験結果との間には明確な相関があり，累積降雨量が 10mm 以上の場合，打音試験の結果と整合的であることが分かる．図 3(c) に示す通り，累積降雨量が 10mm 以下の橋梁では，打音試験の損傷箇所において相関の低下を確認することができなかった．したがって，24 時間以内の累積降雨量が 10mm 以上の場合に計測を行うか，散水実験の結果から，散水車によって 10mm 以上の散水を行った場合に，損傷部が損傷度カラーマップにおいて明確な相関の低下として検知可能であることが分かった．

表 2 24 時間以内の累積降雨量と打音試験結果との比較

橋梁	累積降雨量 (mm)	打音試験との整合性	橋梁	累積降雨量 (mm)	打音試験との整合性
A	47	○	M	5	×
B	34.5	○	N	2	×
C	34	○	O	16	○
D	35.5	○	P	13.5	○
E	19	○	Q	10.5	○
F	15	○	R	10	○
G	0	×	0	12.5	○
H	0	×	T	11	○
I	2	×	U	12	○
J	10	○	V	11	○
K	1	×	W	19.5	○
L	0	×	X	13.5	○

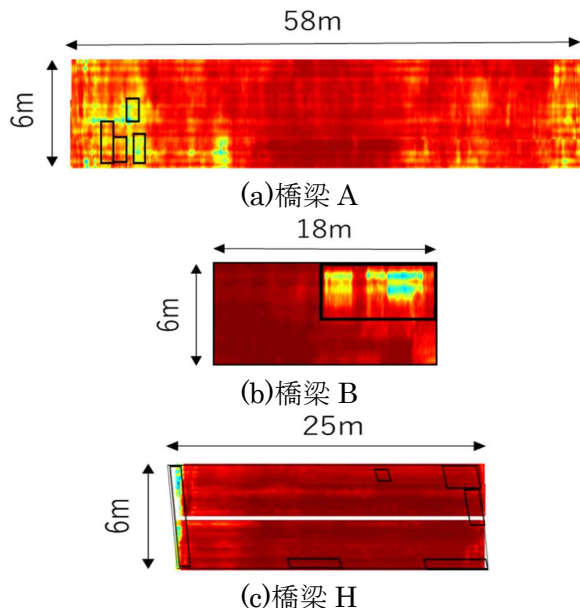


図 4 橋梁 A, B, H の損傷度カラーマップ

5. 結論と今後の課題

本研究では，まず実橋梁において散水実験により散水前後の損傷度カラーマップおよび波形を比較することで，異常検知アルゴリズムの検知精度への水の影響を明らかにした．つづいて，多数の実橋梁データから累積降雨量とカラーマップと打音試験との整合性を分析することで，24 時間以内の累積降雨量が 10mm 以上である場合，損傷がカラーマップの相関の低下として検知可能であることが明らかになった．今後，多数の実橋梁について検証を行い，実際の損傷種類や程度に対する本手法の感度についてより詳細に分析を行う．

参考文献

- 1) Hugenschmidt, J.: Concrete Bridge Inspection with a Mobile GPR System, Construction and Building Materials, 16(3), pp.147-154, 2002.
- 2) Mizutani, T. Nakamura, N. Yamaguchi, T. Tarumi, M. Ando, Y. and Hara, I.: Bridge Slab Damage Detection by Signal Processing of UHF-band Ground Penetrating Radar Data, Journal of Disaster Research, 12(3), pp.415-421, 2017.