

Dynamic Time Warping を用いたコンクリート舗装の異常箇所検出方法について

大成ロテック（株）技術研究所	正会員	○城本 政一
同上	正会員	平川 一成
北海道科学大学	正会員	亀山 修一
太平洋セメント（株）中央研究所	正会員	岸良 竜

1. はじめに

コンクリート舗装は、アスファルト舗装に比べライフサイクルコストが優れており、積極的に適用されている。しかしコンクリート舗装は、破損前の異常箇所の検出が難しく、破損が顕在化した場合は、維持修繕を行うために規制時間が長くなるなどの懸念がある。

本論文では、コンクリート舗装版下の空洞を検出する方法について検討を行った。具体的には、FWD 試験装置で 0.5m ピッチで測定したコンクリート版の D_0 たわみ曲線を用い空洞が存在するコンクリート版を検出できるのか検証を行った。判定方法として、測定された D_0 たわみ曲線と健全なコンクリート版の D_0 たわみ曲線との違いを、音声認識の分野で利用されている、動的時間伸縮法¹⁾ (Dynamic Time Warping : DTW) を用い、その値から空洞箇所を検出可能であるか検討を行った。検討結果を以下に示す。

2. 損傷箇所検出手法

コンクリート版内で発生した空洞等の異常箇所検出する場合、たわみ量を比較し、他の場所よりたわみ量が多い時に異常箇所だと判定してきた。しかしながら、コンクリート舗装は剛性が高く、FWD で測定される D_0 たわみ量は小さいため、たわみ量の差から空洞の有無を判定することが難しい。

また、コンクリート舗装は、目地を有していることから、版中央部、目地縁部、自由縁部、隅角部などの載荷位置により FWD のたわみ量が異なるという特徴がある。

筆者らは、異常検出方法について、点によるたわみ量の比較ではなく、たわみ曲線を比較することで、コンクリート版の異常箇所が検出できるかについて検討を行った。検出方法としては、音声分野で使用されている DTW を用いた。DTW の計算方法を式 (1) に、計算概要を図-1 に示す。DTW は、2つの時系列データの類似度を測る方法で、DTW 距離が小さいほど類似していることを示す。ただし、今回の計算では、時系列のデ

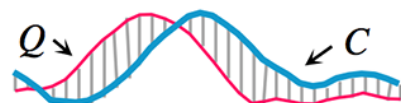
測定たわみ曲線 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$

基準たわみ曲線 $Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$

$D(X, Y) = f(n, m)$

$$f(t, i) = \|x_t - y_i\| + \min \begin{cases} f(t, i-1) \\ f(t-1, i) \\ f(t-1, i-1) \end{cases} \quad \text{式(1)}$$

初期条件 $f(0, 0) = 0, f(t, 0) = f(0, t) = \infty$



2つの時系列について、相関があるか調べる場合、一般的には上図のように同時刻における絶対差の合計距離から判断する。しかしながら、周期が異なる時系列では相関がでない。

DTW では 2つの時系列の各点の距離を総当りで比較した上で、系列同士の距離が最短となるパスを見つける。これが DTW 距離になる。DTW の特徴として 2つの系列の周期性および時間が違って、DTW 距離が計算できる。

図-1 DTW の計算概要

キーワード コンクリート舗装, 維持修繕, 非破壊調査, 空洞検出, 動的時間伸縮法

連絡先 〒365-0027 埼玉県鴻巣市上谷 1456 大成ロテック（株）技術研究所 TEL 048-541-6511

3. 検証方法

DTW を用い、空洞のあるコンクリート版が検出できるかを確認するために、図-2 に示すように構内に模擬空洞を有したコンクリート舗装を構築し、FWD 試験を行った。試験ヤードの舗装構成は、Co 版厚 20cm、路盤は粒度調整砕石 20cm、路床 CBR12%である。模擬空洞の大きさは 1m×1m、厚さ 10cm の硬質発泡スチロールを路盤上部（青色）と路盤下部（緑色）に埋設した。FWD 試験は模擬空洞を設置した右ラインと模擬空洞のない左ラインにて 0.5m 間隔で実施した。その結果を図-3 に示す。

DTW 距離を計算するにあたり、比較する基準たわみ曲線は、L1,L6 を除いた健全部（左ライン）で測定された Co 版 4 枚分の D_0 たわみ曲線の平均値を用いた。

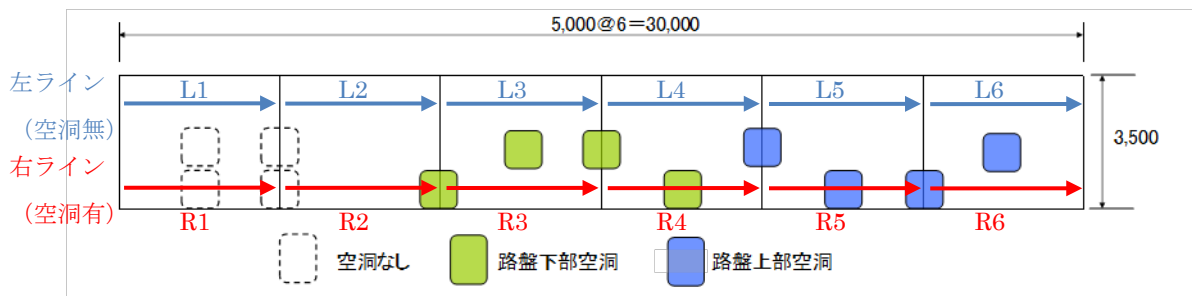


図-2 試験ヤード平面図（緑：路床直上空洞，青：Co 版直下空洞）

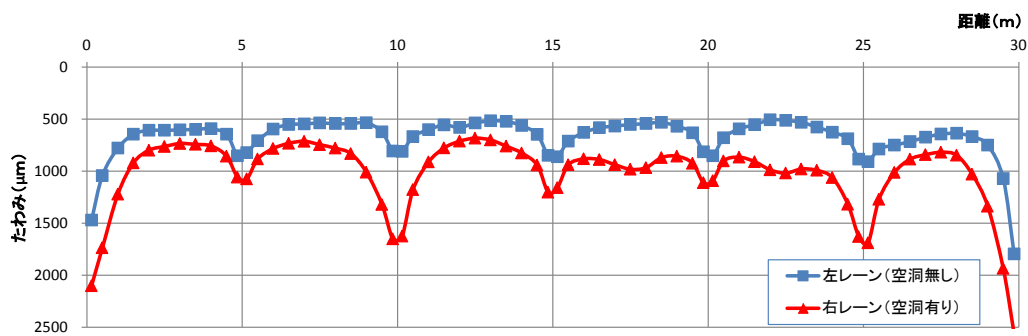


図-3 たわみ量測定結果（ D_0 たわみ量）

4. 検証結果

DTW を用いDTW 距離計算した結果を図-4 に示す。図より、健全箇所のたわみ曲線の DTW 距離は平均 159、標準偏差 63 となった。空洞箇所有無を検出する閾値を平均+3 σ =347 とすると、空洞箇所全てでこの値より大きな値であったことから、空洞の Co 版について検出できることが確認された。

5. まとめ

DTW 距離を比較することで、コンクリート版下に空洞が存在するコンクリート版を検出することが出来た。今後は供用中のコンクリート舗装で本方法が適用できるように、基準たわみ曲線や、しきい値について検討を行う予定である。

また、本検討では、FWD によりたわみ量を測定したデータを用いているが、今後実用が期待されている Moving Wheel Deflectometer (MWD) においても適用できか検討を行ってきたい。

参考文献 1) 櫻井保志, Christos Faloutsos, 山室雅司：ダイナミックタイムワーピング距離に基づくストリーム処理，電子情報通信学会 第 18 回データ工学ワークショップ論文集，2007. 6

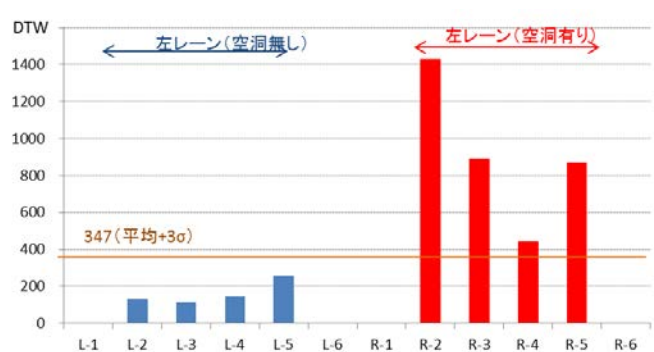


図-4 DTW 計算結果