

OCMによる路面のたわみ計測技術に関する検討

大阪大学	正会員	○小泉	圭吾
復建調査設計(株)	正会員	中西	典明
地球観測(株)	非会員	福田	芳雄
東亜道路工業(株)	正会員	塚本	真也
神戸大学	正会員	澁谷	啓

1. はじめに

道路管理者は路面陥没事故防止のため、レーダー探査による空洞調査を実施している。空洞箇所については、スコープによる詳細調査および補修作業が実施されるが、空洞箇所が膨大であることからそれら全てを修復することは困難であり、実際に補修作業が必要かどうかを簡便に評価するための手法が求められている。これに対し現在、FWDを用いた路面の健全度を評価する手法が提案されている¹⁾。この手法は、重錘を空洞上部に落下させた際の路面のたわみ量と空洞部の路面耐力の関係性を評価するものである。ただし、計測には道路を占有する必要があるため、全ての路面下空洞の健全度を当手法のみで評価するには限界がある。

そこで本研究ではOCMに着目してこの課題を解決することを考えた。OCM(Orientation Code Matching)とは、CCDカメラで連続撮影した複数枚の画像にある被写体(テンプレート画像)の動きを精度良く検出する画像処理法の1つであり、この手法を応用することで路面のたわみ量を推定できる可能性がある²⁾。筆者らは道路端部、或いは歩道にカメラを設置し、走行中のトラック等の輪荷重から路面変位を検出することを最終目的とし、本研究では最初の試みとしてOCMによる路面のたわみ計測の可能性とその手法を探ることを目的とした。

2. 実験概要

FWDで発生させた路面のたわみに対し、FWDの計測結果を基にOCMのたわみ検出性能を評価する。図-1はFWDおよびOCMによる計測概要を示している。FWDは重錘を落下させることで発生する舗装表面のたわみ量を複数点で同時に計測することでたわみ曲線を求めることができる。一方、OCMでは重錘を落下させた際の路面の連続画像をCCDカメラで記録し、その結果を解析することで地点毎のたわみ量を推定することになる。本研究では計測に有効なCCDカメラを選定し、その計測結果を基に路面のたわみを計測する手法について検討を行った。

3. カメラ選定

ここでは解像度とフレームレートの異なる二種類のCCDカメラを選定し、適用性に関する比較検証を行った。表-1にカメラA、Bそれぞれの仕様を示す。比較的安価に入手できるCCDカメラの解像度とフレームレートにはトレードオフの関係があるため、解像度が高くフレームレートが遅いカメラAと、フレームレートは速いが解像度が低いカメラBを選定して検証を行った。具体的には、カメラAは60fps、カメラBは522fpsでそれぞれ撮影を行い、OCMにより路面のたわみ量を解析した。

図-2~4は10tfの衝撃荷重を与えた際の中心から300、450、600(mm)の位置におけるFWD、カメラA、カメラBによるたわみの計測結果を示している。いずれも画角を被写体にズームした条件で計測を行った。図-2より、FWDのD300、D450、D600におけるたわみ量はそれぞれ880、728、601 μ m、周波数は45Hz程度であることがわかる。これに対し、図-3のカメラAでは周波数45Hzに対して60fps(60 frames/sec)であることから明らかにデータが不足している。従ってこの条件下での解像度の優位性は確認できなかった。次に図-4のカメラBでは周波数に対して10倍程度の速度があるため必要最小限のデータは取得できている。ただし図-2と図-4を見比べると、重錘落下直後5ms

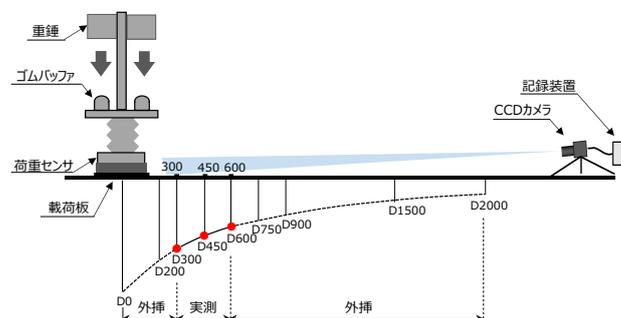


図-1 FWDおよびOCMによるたわみ計測概要

表-1 CCDカメラの仕様

	カメラA	カメラB
USB3.0カメラ	FL3-U3-13E4M-C	BFS-U3-0452
カラー	モノクロ	モノクロ
最大解像度(pixel)	1280×1024	720×540
最速フレームレート(fps)	60	522
寸法(mm)	29×29×30	29×29×30
レンズ	メガピクセルリフォーカリス*	TVR555MIR
焦点距離(mm)	9-90mm	5-55mm
絞り範囲	F1.8-C	F1.4-C
作動距離(mm)	300	300
マウント	C	C
寸法(mm)	Φ45×93	Φ45.5×64

キーワード 画像センシング、空洞調査、カメラ、たわみ計測

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 TEL:06-6879-7346

付近までの立ち上りは概ね一致しているが、その後の波の速度と振幅に違いがみられる。この要因は載荷板の振動がカメラ三脚を介してカメラに伝わったことによるものと推察される。次節ではこの問題を解決するためにソフト面、ハード面での対策を検討した。

4. LPF による高周波成分の除去

ソフト面での対策として、LPF を用いてノイズ除去を試みた。ここでは処理後の波形が FWD の波長と一致するように試行錯誤的にカットオフ周波数を決定することとした。図-5 は 300mm 地点における解析結果を示している。このグラフより、カットオフ周波数 45Hz で FWD の計測結果と整合性が確認された。地点 450, 600mm においても同様の結果となったことから LPF 処理が三脚に伝わった振動源を除去する手法として有効であることがわかった。一方、カットオフ周波数の決め方には明確な根拠が無いので、これについては引き続き検討が必要である。

5. カメラ取付架台の改良

ハード面での対策として、カメラ取付架台である三脚を改良することで、載荷板の振動がカメラに伝わらない方策を検討した。ここでは安価に改良できることを前提に、表-2 に示す 5 つの候補を挙げ、この中から最適な取付架台を選定することとした。(a)は一般に用いられているカメラ三脚、(b)はこの三脚に防振材を組合せた条件、(c)は H 鋼と防振材の組合せ、(d)は小型カメラ用のミニ三脚、(e)はミニ三脚に防振材を組合せた条件である。(b)、(c)、(e)はいずれも振動を吸収することを目的に設定し、(a)と(d)はその比較のためである。図-6 は 5tf の衝撃荷重を与えた際の中心から 300mm 地点の FWD と各取付架台における計測結果を示したグラフである。カメラの位置は中心から 3m の地点である。この結果より、FWD の計測結果と最もよく整合しているのは三脚+防振材の組合せであった。H 鋼やミニ三脚においてもたわみ量である最大振幅は概ね整合しているものの、波形が乱れていることから載荷板からの振動が十分に吸収されていないものと推察される。

6. まとめ

OCM を用いたたわみ量の計測手法について検討を行った結果、①カメラの選定にあたっては解像度よりもフレームレートを優先して選定する必要がある、②LPF 処理によって載荷板からの振動の影響を除去

できるが条件設定には課題がある、③カメラの取付架台として、市販の三脚に防振材を組合せた条件が精度よく計測できることがわかった。
参考文献：1)塚本 真也,澁谷 啓,梅田 準,白 濟民,道路表面のたわみ測定による陥没危険度評価方法の開発。基礎工, pp.40-42, 2019.12. 2) Fukuda, Y.et al.:Vision-based displacement sensor for monitoring dynamic response using robust object search algorithm. IEEE SENSORS Journal, Vol.13. No.12 pp. 4725-4732. 2013.

謝辞：本研究の一部は（公財）昭瀝記念財団の研究助成によって行われた。ここに記して深甚の謝意を表する。

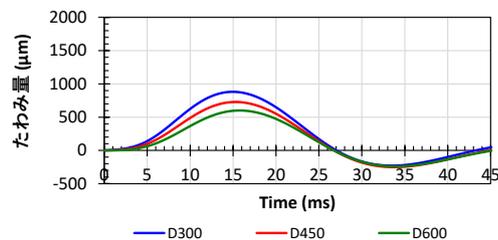


図-2 FWD によるたわみ計測結果

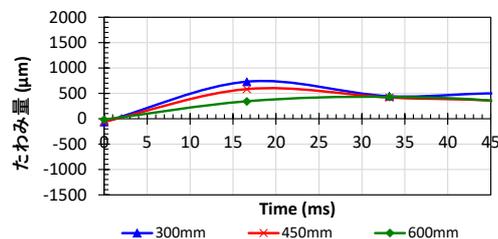


図-3 カメラ A によるたわみ計測

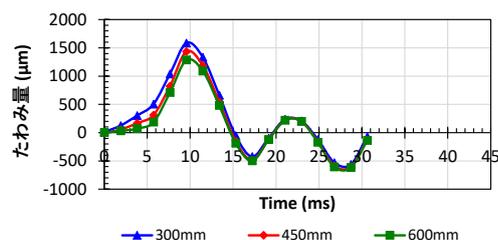


図-4 カメラ B によるたわみ計測

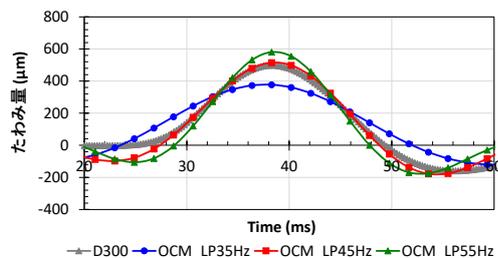


図-5 LPF による補正

表-2 カメラ取付架台の候補

選定候補	三脚	防振材	H鋼
(a) 三脚のみ	○	○	○
(b) 三脚+防振材	○	○	○
(c) H鋼+防振材	○	○	○
(d) ミニ三脚	○	○	○
(e) ミニ三脚+防振材	○	○	○

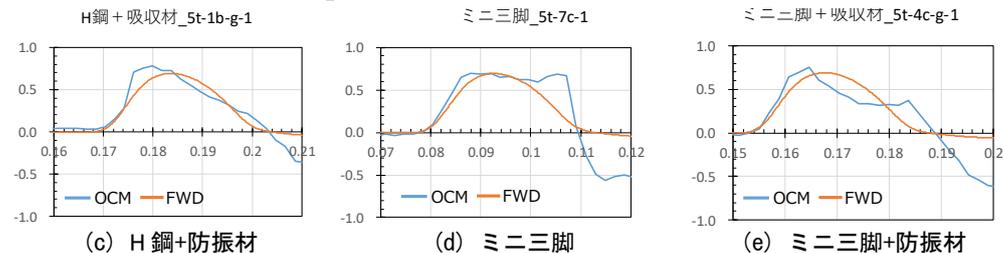


図-6 カメラ取付架台の選定結果