

床版たわみ計測の効率化を目的としたたわみ計測システムの開発

Development of a simplified system for measuring the deflection of reinforced concrete slab

鈴木 真* 野村勝義** ○岡田裕行** 藤原啓隆** 樺山好幸***

Makoto Suzuki, Katsuyoshi Nomura, Hiroyuki Okada, Kiyotaka Fujiwara, Yoshiyuki Momoyama

* 西日本高速道路エンジニアリング関西(株) 道路技術部 (〒567-0032 大阪府茨木市西駅前町)

** (株)フジエンジニアリング 調査設計部 (〒532-0002 大阪府大阪市淀川区東三国5丁目)

*** 博工, 西日本高速道路エンジニアリング関西(株) (〒567-0032 大阪府茨木市西駅前町)

RC slabs under the repetition of traffic loads and dusting of antifreeze admixture progresses load carrying capacity Degradation. In particular, in performing maintenance, it has become a major problem that degradation of the upper surface of the slab has progressed, even so that may have damaged the lower surface of the slab. Therefore, it is important to understand quantitatively the deterioration of the slab.

Under such circumstances, we have developed a simplified system for measuring the deflection of reinforced concrete slab. This paper presents an overview of our system.

Key Words: Reinforced concrete slab, Measurement of Deflections. Monitoring

キーワード: RC 床版, たわみ測定, モニタリング

1. はじめに

鋼橋 RC 床版は、交通荷重の繰返し作用による疲労により床版下面に変状が生じ、耐荷性能が低下する。また、交通安全上散布する凍結防止剤の塩分により生じる鉄筋腐食に起因した変状も耐荷力の低下に影響を与えている。なかでも、床版上面における変状は床版下面に変状が認められない場合でも進行している場合があり、耐荷性能はもちろんのこと、舗装路面の変状による走行安全面や橋梁振動へも影響しており、維持管理上大きな問題となっている。このため、床版の変状状況を定量的に把握することは重要であり、その指標の一つに床版たわみ量が挙げられる。

床版たわみは床版直上への輪荷重の载荷によって発生するものであり、設計上同一断面である床版コンクリートであっても、劣化状況によってたわみ量は異なるものとなる。

たわみ計測は、一般車を対象とした頻度測定が一般的である。ただし、計測対象である床版たわみは微小であることから、計測システムの選定や変位計の支持条件など注意を要する項目は多い。このため、床版たわみの定

期的な計測（モニタリング）の実施に向けては、より簡易的な計測手法の確立が求められている。

このような背景のもと、我々は床版たわみの効率的な計測を目的とし、作業性・携帯性に優れた簡易的なシステムを開発した。本稿では、今回開発したたわみ計測システムの概要を紹介する。

2. 床版たわみ計測の現状と課題

2.1 既往の測定手法

床版たわみの代表的な動的計測方法は、次のようなものが挙げられる。

- ① 変位計+動ひずみ測定器+データレコーダー
(時系列の詳細データが集録可能)
- ② 変位計+ヒストグラムレコーダー
(一定時間での頻度のみ測定可能)

上記の動的測定システムは、集録されるデータ内容に違いはあるものの、いずれも計測時に電源を確保する必要がある。また、変位計を支持するために必要となる不動梁は通常、鋼製のフレームなど用いるが、これらは重いことから設置時の作業性に問題がある。

2.2 効率的な床版たわみ計測のための要求性能

従来の測定方法が有する問題点を解消し、床版たわみの効率的なモニタリングを実現するためには、下記の性能を満足する必要があると考えた。

- ・ バッテリー駆動により最低でも 24 時間連続測定ができること。
- ・ 携帯性に優れ、検査路上での作業・計測が可能であること。
- ・ 従来の測定機器と同程度の計測精度が確保できること。

我々は、これら要求性能に対して、伸縮可能なアルミ製の不動梁とパソコンを必要としない簡易的な計測器（以下、「簡易たわみ計測器」と称す）を組み合わせたシステムの開発を行った。

3. 簡易たわみ計測システムの概要

3.1 簡易たわみ計測器

(1) 概要

前述の要求性能を満足するように設計・開発した簡易たわみ計測器を図-1 に示す。また、主な仕様・性能を表-1 に、内部ブロックを図-2 に示す。

図-2 に示すように、簡易たわみ計測器にはひずみアンプ、A/D 変換器、Micro SD コントローラなどの電子集積回路（IC）が組み込まれており、一台でたわみ測定からデータ保存までが可能となる。各ICは、Micro Computer（マイコン）により制御されており、マイコンの内部クロック（100Hz）を基準に変位量をサンプリングし、1 分毎に整理されたピーク値（最大値および最小値）を Micro SD カードに記録する。



図-1 簡易たわみ計測器の外観

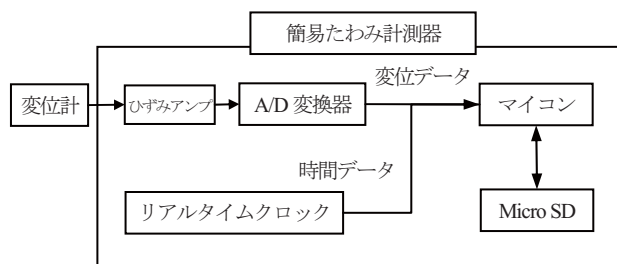


図-2 内部ブロック図

表-1 簡易たわみ計測器の仕様・性能

測定点数		1点
変位計入力部	対応センサー	東京測器研究所 高感度変位計 CDP-25B
	ブリッジ電圧	DC5V
	レンジ	×100
	測定範囲（ひずみ）	$\pm 50,000 \times 10^{-6}$
	入力端子	NDISコネクタ
A/D変換部	入力電圧	0～5V
	分解能	12bit
	サンプリング間隔	100Hz
データメモリー部	対応記録媒体	Micro SD
	ファイル形式	FAT32
	容量	128MB～2GBまで対応
	データ集録間隔	1分間に一回
寸法		85×100×55 (mm)
使用電源	対応電圧	推奨12V (DC9V～18V)
	入力端子	φ2.1mm (－) — ⊙ (＋)
消費電力		0.2A

(2) 計測フロー

計測からデータ保存までの流れを図-3 に示す。

簡易たわみ計測器は、電源の入力とともに計測を開始し、電源を切るまで図-3 のフローによって計測・データ記録を繰り返す。これにより、計測者は複雑な設定をすることなく、変位計と電源のケーブルを本体に接続し、電源を投入することで、たわみ計測を実施することができる。

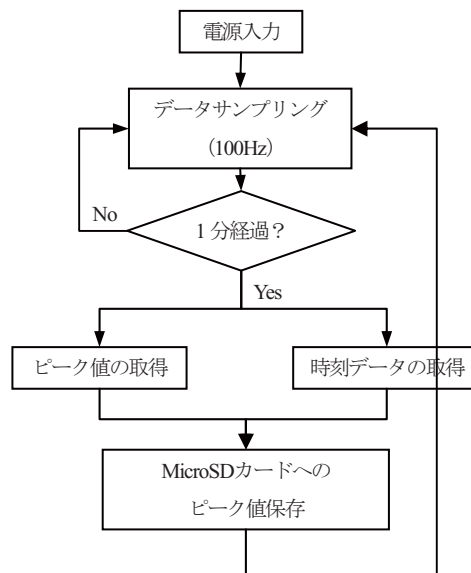


図-3 計測フロー

(3) 集録データの内容

一般的に、床版たわみは図-4に示すような応答波形となる。たわみは、無載荷時には一定値を示すが、車両通過に伴って正負のたわみが生じる。

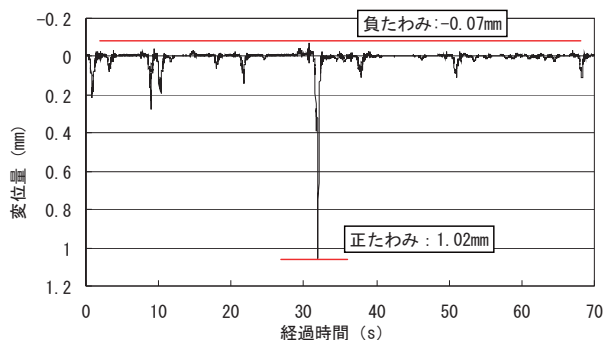


図-4 動的計測により得られた床版たわみ波形

簡易たわみ計測器では、1分間における床版たわみの最大・最小値(図中でいう-0.07mmと1.02mm)と無載荷時のたわみ量(図中でいう0mm)を代表値として集録している。

なお、無載荷時のたわみ量は、計測で無視できないドリフト成分や設置位置のずれなどを測定結果からキャンセルするために集録するものである。

集録結果の一例を表-2に示す。表-2に示すように、簡易たわみ測定器により集録されたデータは、変位計からの応答値であるひずみであり、物理量への変換により変位量が得られる。

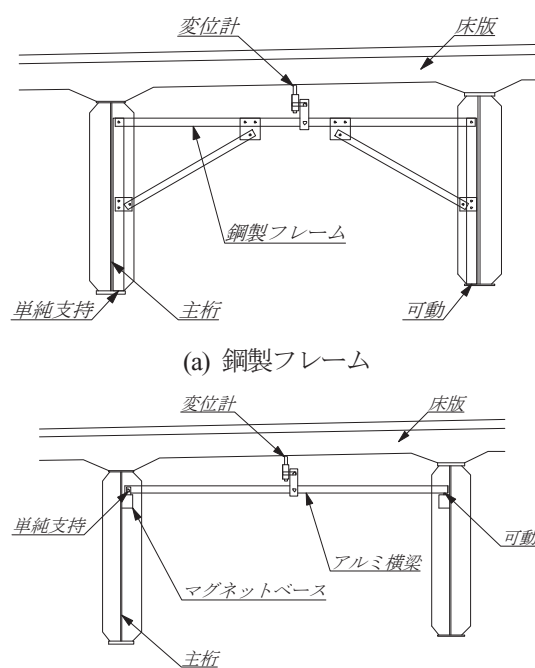
表-2 集録データの一例

計測日時	Max	Min	Zero
2011/1/13 11:41:30	2242	2165	2218
2011/1/13 11:42:30	2237	2176	2216
2011/1/13 11:43:32	2232	2091	2215
2011/1/13 11:44:32	2226	2142	2215
2011/1/13 11:45:34	2224	2148	2215
2011/1/13 11:46:36	2227	2132	2215
2011/1/13 11:47:36	2230	2143	2216
2011/1/13 11:48:38	2229	2171	2216
2011/1/13 11:49:38	2229	2047	2216
2011/1/13 11:50:40	2225	2163	2216

※ Max: 正たわみ、Min: 負たわみ
Zero: 無載荷時のたわみ

3.3 不動梁

たわみの計測は、図-5に示すように隣接する主桁間に不動梁を設置し、これに変位計を取り付けて、不動梁と床版との相対変位の変化を測定する。不動梁は、図-5(a)に示す鋼製フレームを用いる方法が一般的であるが、足場や高所作業車を用いずに検査路を活用して計測を行うには重く、作業効率が低下する。このため、図-5(b)に示す伸縮可能なアルミ製軽量梁とマグネットベースを利用した簡易的な不動梁を新たに開発した。



(b) 簡易的な不動梁

図-5 不動梁の外観

なお、不動梁は主桁のたわみ差や梁自身の変形による影響が生じないように、一端を単純支持、他端を可動とすることを基本としており、簡易的な不動梁についてもこれに従っている。また、鋼製フレームは通常L型鋼を用いるのに対して、簡易的な不動梁は剛度を確保するため、表-3に示すような中空矩形断面の梁を採用した。

表-3 梁断面の諸元

	断面形状	断面寸法 (mm)	板厚 (mm)	断面積 (cm ²)	断面2次モーメント (cm ⁴)
鋼製フレーム		75 × 75	6	8.127	37.1
簡易的な不動梁 (アルミ梁)		100 × 50	3	8.640	112.1

4. 性能・動作の検証

実橋における計測を実施し、動作の検証、集録データの精度確認を行った。以下に、集録データの精度について検証結果を述べる。

4.1 検証方法

集録データの精度は、同一箇所での床版たわみを測定し、両者を比較することで確認を行った。

ここで言う「簡易計測」とは簡易たわみ計測器を用いた計測である。一方、「動的計測」とは、シグナルコンディショナーを内蔵したAD変換システムを用いたたわみ変位の応答波形を時系列でパソコンの外部記憶装置に磁気記録したものである。両システムは、異なる形式で床版たわみを集録しているため、計測終了後にデータ整理した上で両者を比較した。

測点位置図を図-6 に示す。また、計測状況を図-7 に示す。

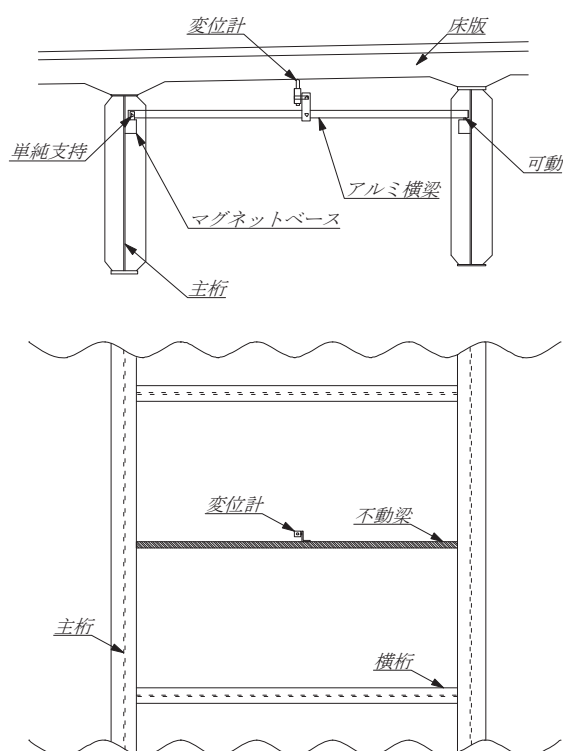


図-6 測点位置図

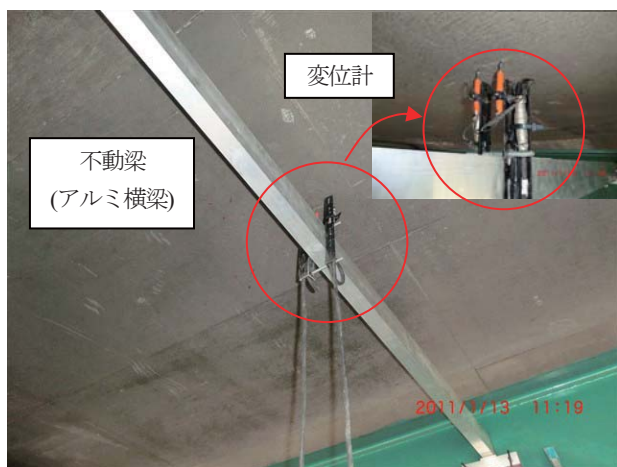


図-7 測定状況

4.2 検証結果

(1) 簡易計測結果

簡易計測は、バッテリー駆動時間を検証する意味もあり、24 時間連続測定を実施した。その結果、簡易たわみ測定器は、外部バッテリーとして 10A のリチウムイオン

電池を採用することで 24 時間の測定も可能であることが確認できた。

簡易計測による測定結果は図-8 に示す。これより、24 時間測定によって得られた最大たわみは、正たわみ 1.092mm、負たわみ 0.292mm であった。

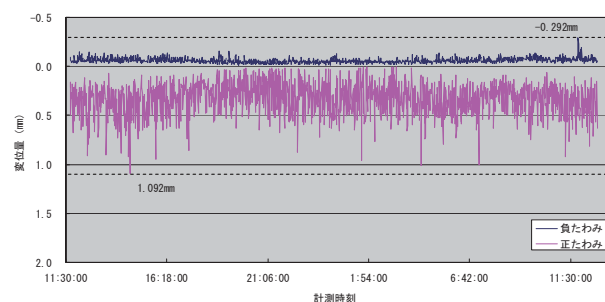


図-8 24 時間測定結果

(2) 計測データの精度

計測精度は、簡易計測と動的計測に対して単回帰分析を行うことで検証した。分析に用いたデータは、24 時間のうち約 3 時間分の正負のたわみ（データ個数：414）に着目した。

動的計測の結果は、簡易たわみで得られた結果と比較するため、図-9 に示すように簡易たわみ計測器よりデータ分析の開始と終了時に出力されるパルス信号をもとに、パルス間の変位波形の代表値を整理した。

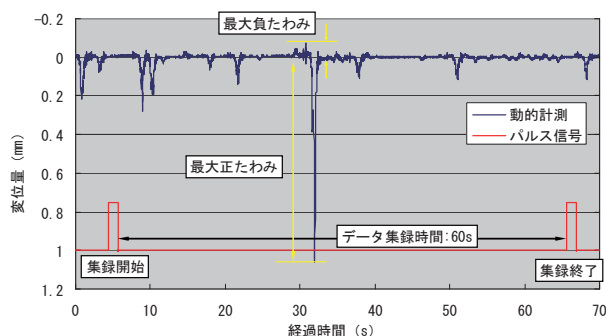


図-9 1 分間の動的計測データと代表値

簡易計測結果を独立変数に、動的計測結果を従属変数とした場合の単回帰分析結果を表-3 に示す。また、散布図と回帰直線を図-10 に示す。なお、表中には相関係数 r の検定を行った結果も併記している。

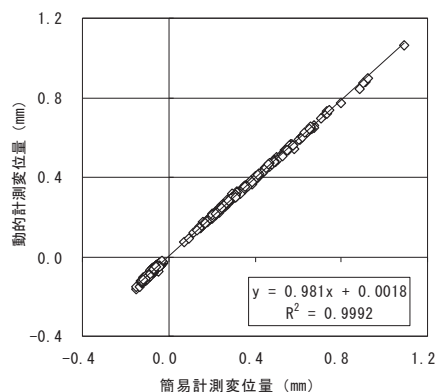
表-3 より、相関係数 $r = 0.9996$ が得られており、2 変数間に強い正の相関があることがわかる。また、有意確率 p 値に着目すると、有意水準 0.05(5%) より小さな値を示しており、両変数間には有意な相

表-3 単回帰分析結果

決定係数	r^2	0.9992
相関係数	r	0.9996
検定統計値	t	715
自由度	df	412
有意確率	p	$< 2.2e-16$

関があると判断できる。

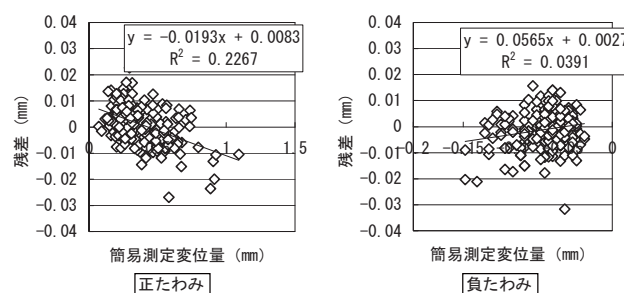
以上のことより、簡易たわみ計測による計測データは従来の測定機器と同程度の計測精度が確保できているといえる。



図－10 散布図と回帰直線

最後に、残差分析結果を図－11 に示す。測定結果は、正負のたわみそれぞれについて着目している。

これより、残差はそれぞれの散布図によるとほぼ均一なデータの散らばりを示しており、二次曲線や系統的な分布は観察できない。このことより、簡易測定で得られたデータには、温度や IC 自体の持つ特性による測定値への影響はほとんどないものと考えられる。



図－11 残差分析結果

5. おわりに

簡易たわみ計測器による計測システムは、性能・動作の検証を行った結果、当初の要求性能をほぼ達成したものと考えられる。今後は、集録データの分解能の向上や、一定時間間隔での代表値の保存に留まらず、計測データを時系列で集録できるシステムとするほか、各種センサー(電圧、加速度、温度など)にも対応するマルチな計測器へと改良し、完成度を高めたい。

また、今後は実橋での測定事例を蓄積するとともに、松井らが提案する床版の劣化度評価¹⁾に適用し、維持管理の一つの指標を得るためのシステムとして活用していきたい。

参考文献

- 1) 松井繁之：道路橋床版（設計・施工と維持管理），pp237，森北出版，H19.8