

KMLA センサーの改良と使用事例

(株) 熊谷組 正会員 ○大越 靖広
(株) 熊谷組 佐々木 裕一
(株) 熊谷組 榎 駿介

1. はじめに

KMLA (Kumagai Magnet Light Alarm) センサーは、施工中の仮設部材等に設置することにより、想定外の力が仮設部材に生じた場合に危険をリアルタイムで目視できるセンサーとして開発されたものである。しかし、長期に亘り現場に設置した場合、対象の鋼材の温度変化による膨張・収縮が大きいばかりでなく、センサー内部の計測部も温度変化による膨張・収縮の影響を受けることから、当初アクリル製であった計測部を熱膨張率の小さいアルミ製に変更した。変更にあたり考慮した事項と比較的長期間現場にて使用した結果を報告する。



写真-1 KMLA センサー

2. KMLA センサーの概要と改良

(1) センサーの概要

KMLA センサーを写真-1 に示す。サイズは16×8cm、厚さは6.5cm、重さは425gでありコンパクトな仕様となっている。図-1 に示すように、対象鋼材に本体の磁石を介して設置するだけで、ひずみゲージを貼り付けることなくひずみを計測することが可能である。

(2) センサーの改良

温度補正等に起因する誤差を小さくするため、当初は平板のアクリルを用いていた計測部に、熱膨張率の小さいアルミを用いることとした。しかし、アルミはアクリルよりも剛性が高いため、鋼材のひずみを、磁石を介してアルミに伝達させようとすると、磁石が滑るかアルミに面外変形が生じる。そこで、平板の中央を円弧状に加工し、円弧部分に変形を集中させる形状とした。このことから、本センサーでは温度補正だけではなく形状補正も行う必要が生じた。

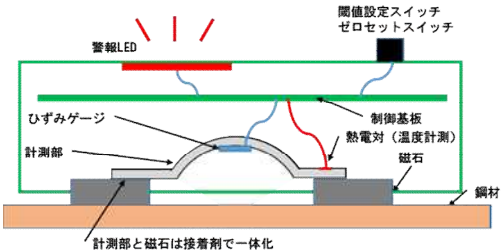


図-1 KMLA センサーの仕組み

3. ひずみの形状補正

(1) 計測部の形状の選定

表-1 に示す3種の形状のアルミ製計測部を設置したH形鋼を、写真-2 に示すように万能試験機にて圧縮し、鋼材のひずみ ϵ_s と計測部中央の表裏のひずみ ϵ を比較した。図-2 に加力方法を、表-2 に試験結果を示す。[1]~[3]のどの加力方法に対しても、各計測部の試験体のひずみの比(ϵ_s/ϵ)は同等であり、その比は③の裏側で最少となり、より高精度で計測部のひずみから鋼材のひずみを算出できることが分かった。

(2) 計測部ひずみの形状補正

表-2 のひずみの比は計測部の形状に依存する定数であり、これを形状補正係



写真-2 載荷試験状況

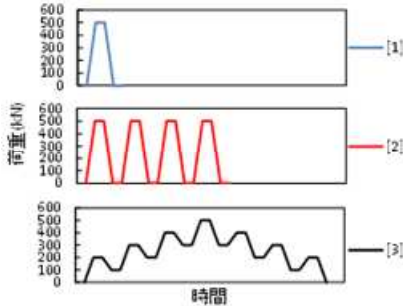


図-2 加力方法

表-1 計測部諸元

試験体	厚さ	開き角	半径
	t mm	θ 度	r mm
①	アルミ:2.0mm	120	30
②		180	25
③		120	25

表-2 試験結果

	r mm	θ 度	加力方法	ϵ_s/ϵ	
				表	裏
①	30	120	[1]	-4.10	3.24
			[2]	-4.06	3.24
			[3]	-4.03	3.22
②	25	180	[1]	-9.89	7.49
			[2]	-9.25	7.76
			[3]	-9.35	7.76
③	25	120	[1]	-3.35	2.52
			[2]	-3.33	2.52
			[3]	-3.29	2.54

数 c_1 とする。鋼材ひずみの変化量を $\Delta\epsilon_s$ 、計測部のひずみの変化量を $\Delta\epsilon_1$ とすると式(1)が成り立つ。先述のように、計測部③のひずみは、形状補正係数が最も小さいため、以降はこれを用いる。

$$\Delta\epsilon_s/\Delta\epsilon_1=c_1 \quad \dots \quad (1)$$

4. 計測部の熱膨張の影響と補正

写真－3に示すように計測部③を設置したセンサーをH125のH形鋼にセットし、温度変化による鋼材および計測部のひずみの変化を計測した。鋼材と計測部の温度とひずみ、およびそれぞれの熱膨張率（鋼材： $11.8 \mu/\text{℃}$ 、アルミ： $23.9 \mu/\text{℃}$ ）から求めた熱膨張によるひずみを図－3に示す。計測部の温度は鋼材と一致していることから各々の比較が可能であり、鋼材についてはひずみゲージにより計測した値が実際の鋼材のひずみに対して精度よく計測できていることが分かる。一方、アルミについては、計測部の表裏に設置したひずみゲージにより計測した値は、アルミの熱膨張ひずみに一致していない。

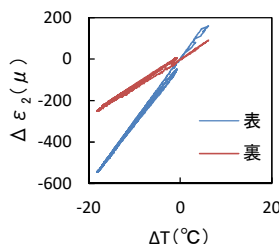
ところで、計測部のひずみは、①鋼材から伝達されるひずみ（ $\Delta \varepsilon_1$ ）と②計測部の熱膨張に起因するひずみ（ $\Delta \varepsilon_2$ ）の2つからなることから、計測部のひずみ変化量を $\Delta \varepsilon$ とすると式(2)が成り立つ。

$$\Delta \varepsilon = \Delta \varepsilon_1 + \Delta \varepsilon_2 \quad \cdots (2)$$

$$\Delta \varepsilon_2 = c_2 \Delta T \quad \cdots (3)$$

$$\Delta \varepsilon_s = c_1 (\Delta \varepsilon - c_2 \Delta T) \quad \cdots (4)$$

なお、式(1)より、 $\Delta \varepsilon_1$ は鋼材のひずみ変化量 $\Delta \varepsilon$ を形状補正係数 c_1 で除して求められ、 $\Delta \varepsilon_2$ は式(2)より $\Delta \varepsilon$ と $\Delta \varepsilon_1$ の差で求めることができる。算出した $\Delta \varepsilon_1$ と $\Delta \varepsilon_2$ の時刻歴を図－4に示す。また、図－5に示すように、 $\Delta \varepsilon_2$ は計測部の温度変化量 ΔT と比例関係があり、これを温度補正係数 c_2 とすると式(3)が成り立つ。式(1)と式(3)を式(2)に代入すると、鋼材のひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_s$ は計測部のひずみ変化量 $\Delta \varepsilon$ と温度変化量 ΔT を用いて式(4)で表される。これまでの実験にて得られた補正係数 c_1 、 c_2 を表－3に示す。なお、式(4)で求まる値は、鋼材ひずみの本センサーによる計測値であり、図－6に鋼材のひずみとの比較を示す。前述のように計測部裏面の計測値が、鋼材のひずみと良好に一致していることが分かる。



図－5 $\Delta \varepsilon_2$ と ΔT の関係

表－3 補正係数

補正係数	表	裏
c_1	-3.32	2.53
c_2	31.5	14.1

5. 現場での使用事例

本センサーを実際に現場にて使用した事例を示す。写真－4は設置状況であり、図－7は鋼材のひずみとの比較を示す。この図より、比較的長期に亘って本センサーを使用した、大きな誤差は認められず、切梁のひずみを精度よく計測できたことが分かる。



写真－4 センサー設置状況

6. まとめ

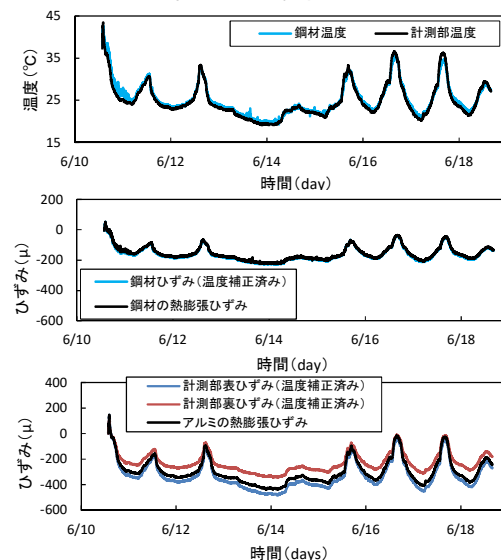
温度変化に対する精度を向上させるため、KMLA センサーの計測部をアクリル製からアルミ製に変更した。載荷試験などの室内試験の他、温度変化による影響の確認等を行った後に現場で使用したところ、十分な精度を有していることが確認できた。今後は、本センサーのIoT化も視野に入れ、安全の見える化に貢献するセンサーとしてのみではなく、計測機器としての機能や精度を追求する予定である。

参考文献

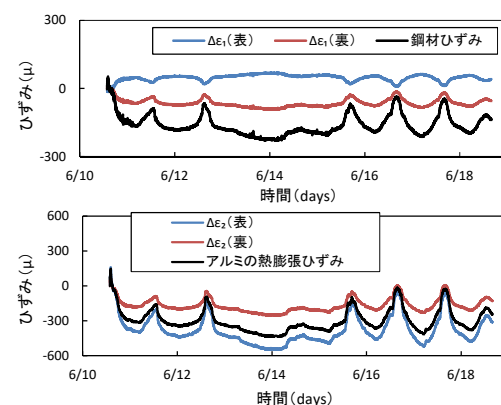
- 1) 大越・張・服部：KLA センサーの開発、土木学会第74回年次学術講演会、2019.9



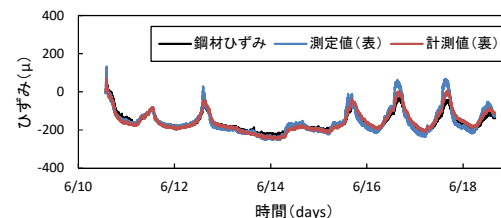
写真－3 センサー内部（左）と設置状況（右）



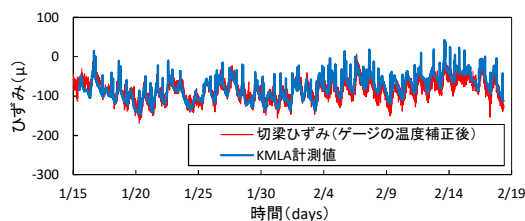
図－3 鋼材と計測部の温度とひずみ



図－4 $\Delta \varepsilon_1$ と $\Delta \varepsilon_2$ の時刻歴



図－6 鋼材ひずみと計測値の比較



図－7 使用事例