

雪寒地域の橋梁傾斜角モニタリングシステムの研究開発

日本仮設 (株) 正会員 ○日向 洋一 北見工業大学 正会員 宮森 保紀
 (株) 構研エンジニアリング 今泉 宜人 (株) 構研エンジニアリング 竹原 智久
 北見工業大学 正会員 三上 修一 北見工業大学 名誉会員 大島 俊之

1. はじめに

社会インフラの維持管理部門ではインフラの老朽化、技術者不足、点検費用の増大、自然災害多発の対策のため、性能点検及びモニタリングに対する期待が大きい。しかしながら、センサと通信機器等の電子機器は土木構造物より使用期間が短く経済的な課題がある。また北海道のような広大で積雪寒冷地に対応したモニタリングシステムは、最低使用温度と通信距離の制限から普及が困難であった。本稿では、雪寒地に対応した低廉かつ普及型の橋梁下部工傾斜角モニタリングシステムの研究開発について報告する。

2. システム検討

国内で一般的な歪ゲージ式センサは精密が故に高価であり、過負荷に弱く絶縁劣化の懸念から長期耐久性が期待できず、 -30°C のような低温使用にも向いていない。一方、静電容量式 MEMS 加速度センサは安価であるが、0 点ドリフトと温度影響が大きく長期モニタリングに不向きである。そこで筆者らは温度影響が大きい再現性が高く、部材の劣化要因が極めて少ないガス温度検知式 MEMS センサ (以下 MEMS センサ) に着目した。本研究では MEMS センサ内部温度を測定し、リアルタイムに補正する計測方法を検討した。次に通信方式はプライベート LoRa 通信方式 (以下 LoRa 通信) を基本に検討を進めた。モニタリングセンサの全てに 5G・4G 通信モジュール搭載は経済的制約から困難であり、また北海道のような人口分布の地域では、高密度地域を優先整備する Sigfox は不向きである。表 1 にシステム仕様を示す。

3. 長距離通信実験

無雪期に LoRa 通信モジュールの通信実験を異なる条件で実施した。実験結果を表 2 に示す。

(1) ケース 1 市街地エリアの送受信間には工場群、JR 駅、集合住宅群等があり見通しは利かなかったが、920 MHz 帯電波の回り込み特性により通信は成功した。

表 1 システム仕様

項目	仕様
計測範囲	$\pm 30^{\circ}$ (X 軸, Y 軸)
計測分解能	0.006°
周波数	920.6~928.0 MHz
変調方式	LoRa 変調
帯域幅	62.5~500 kHz
伝送速度	146~22k bps
送信出力	13 dBm 以下
接続方式	スター型ネットワーク
最大通信距離	15km
使用温度範囲	$-30^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$

表 2 通信実験結果

ケース	実験条件	距離(km)	受信電力 (dBm)	天候
1	市街地	3.0	-115	曇り
2	郊外	9.7	-123	時々
3	海岸	15.6	-	雨
4	展望台	14.5	-105	晴

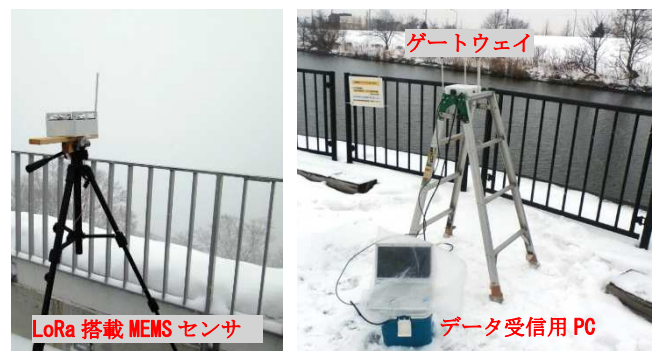


図 1 冬季の通信実験

(2) ケース 2 郊外エリアの送受信間の見通しはよく通信距離は 9.7km、受信電力は -123dBm であった。

(3) ケース 3 海岸の送受信間には発電所があり、通信障害となる多くの電波が存在すると共に電波上の見通しが悪く通信は成功しなかったと推定される。

(4) ケース 4 展望台の送受信間には高低差があり好

キーワード 橋梁下部工、リモートモニタリング、MEMS センサ、LPWA、LoRa

連絡先 〒063-0836 札幌市西区発寒 16 条 14 丁目 6 番 50 号 日本仮設 (株) TEL 011-662-6231

条件であった.無雪期の通信実験では最長距離の 14.5 km の通信に成功した.

次に雪寒期における通信実験を展望台と 3G・4G 圏外の山間部で行った.展望台の実験当日の天候は雪,気温は -1°C ,2 点間の距離は 9.7km であった.降雪のため目視上の見通しはなかったが,傾斜角データの送受信に成功した(図 1).山間部の実験当日の天候は晴れ時々雪,気温は -10°C であった.LoRa 搭載 MEMS センサを橋梁の左岸付近に,ゲートウェイを 1.1km 離れた道路わきにフレネル半径 60%を確保して地面から 5.65m の高さに設置した(図 2).傾斜角データの送受信に成功した.フレネル半径は式 1 により求めた.

$$r = \sqrt{\frac{300}{f} \times \frac{d1 \times d2}{d1 + d2}} \quad (\text{式 1})$$

ここで, r : フレネル半径 (m) f : 周波数 (MHz)
 $d1, d2$: 距離 (m) である.

$f=928\text{MHz}, d1=d2=550\text{m}$, フレネル半径は 9.42m, フレネル半径の 60%は 5.65m であった.

4. 低温実験

低温室で -30°C の低温環境における LoRa 搭載 MEMS センサの計測精度の実験を行った.図 3 のように傾斜ステージの上に固定した本センサに X 軸 0.22° ピッチ Y 軸 0.33° ピッチで傾斜角度を与えた.X 軸と Y 軸のピッチの違いは傾斜ステージの縦横長さの違いによるものである.計測データは本センサのマイクロコンピュータで演算し LoRa 通信及びゲートウェイ経由で受信した. -30°C の低温環境の中でもエラー発生がなく正常動作した.最大計測誤差は X 軸 -0.022° , Y 軸 -0.024° であった(図 4).

5. まとめ

MEMS センサと LoRa 通信をコアとしたリモートモニタリングシステムの研究開発を行った.LoRa 通信は電波上の見通条件を満たせば 15km の送受信が可能であり, MEMS センサは -30°C の低温下で計測精度 $\pm 0.05^{\circ}$ を満たすことを確認した.今後は実橋の FEM を用いた橋脚洗掘に対する安全閾値の基礎的検討を踏まえて実用的なモニタリングシステムの検討を進めて行く所存である.

謝辞

本研究は(国研)科学技術振興機構 A-STEP 及び(公財)北海道科学技術総合振興センターの助成を受けました.ここに記して感謝申し上げます.



図 2 山間部の通信実験



図 3 低温実験

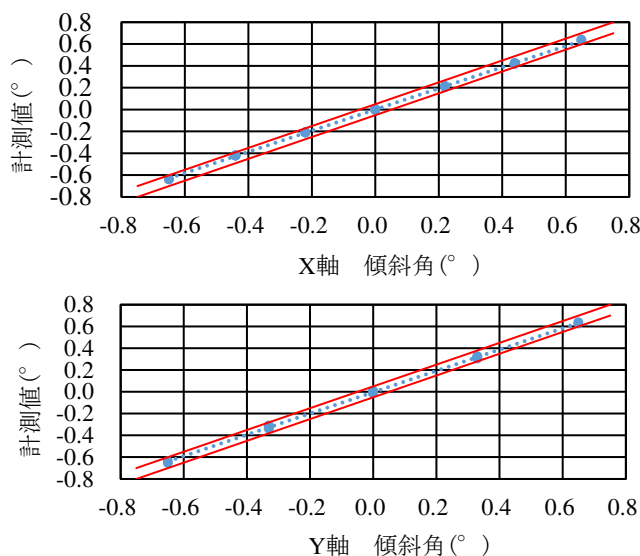


図 4 低温実験結果