

橋梁モニタリングのための LPWA 通信実験

The Communication Range of LPWA Communication for Bridge Structural Monitoring

北見工業大学 正会員 ○宮森 保紀
 三菱マテリアルテクノ株式会社 佐々木 竜太
 北見工業大学 正会員 山崎 智之
 日本仮設株式会社 正会員 日向 洋一

1. はじめに

橋梁の状態監視のために、センサや通信技術を用いたモニタリングシステムが注目されている。このうち通信技術としては、無線通信規格の LPWA (Low Power Wide Area) はインフラのモニタリングに適用性が高いと期待されている。モニタリングシステムに無線通信を導入する場合、通信距離は様々な条件に左右される。本研究では、LPWA 通信規格の LoRa を用い、基地局から半径 15km 圏内の橋梁を対象として、各地点からの通信距離、地形などの違いから送受信状況の比較を行い、橋梁を対象として LPWA 通信を行う際の留意事項について検討した。

2. LoRa 無線計測システム

本研究で用いる LoRa 無線計測システムの概要を図-1 に示す。本システムは、センサユニットに MEMS 型高精度傾斜計を搭載して、橋梁などの構造物の傾斜を測定するものであるが、本研究では無線通信機能について検討を行う。センサユニットからゲートウェイに LoRa 通信でセンサユニットの傾斜角や電波強度、電源電圧の情報を送信する。ゲートウェイからは LTE 通信でインターネット上のクラウドサーバーに情報を送信する。LoRa 通信に用いたゲートウェイ (親機) の仕様を表-1 に、センサユニット (子機) の仕様を表-2 に示す。

ゲートウェイは北海道北見市内の常呂川左岸にある大学建物の屋上に設置した。高さは標高 (85m)、建物高さ (31m)、ゲートウェイ架台高さ (0.84m) の合計 116.84m である。周辺

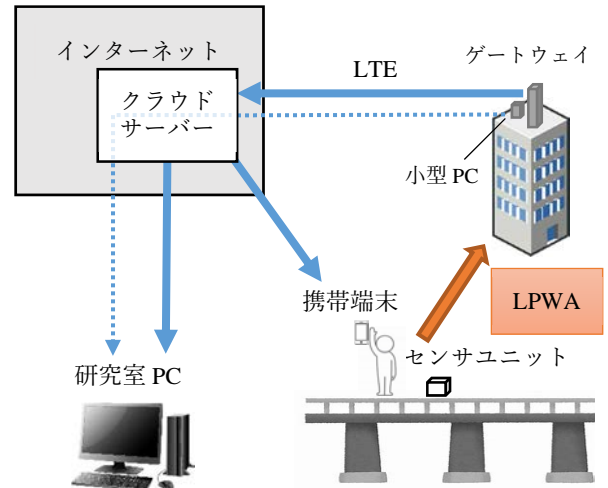


図-1 LoRa 無線計測システムの概要

表-1 ゲートウェイの仕様

項目	仕様内容
型名	ES920GWX2
無線方式	920MHz 帯 LoRa 変調 / LTE
アンテナ	外付けダイポールアンテナ

表-2 センサユニットの仕様

項目	仕様内容
無線方式	920MHz 帯 LoRa 変調, 最大 15 km
傾斜角	XY 2 軸 ±30°, 精度±0.025°
筐体サイズ	125×125×75 mm
電源	内蔵電池, 太陽電池

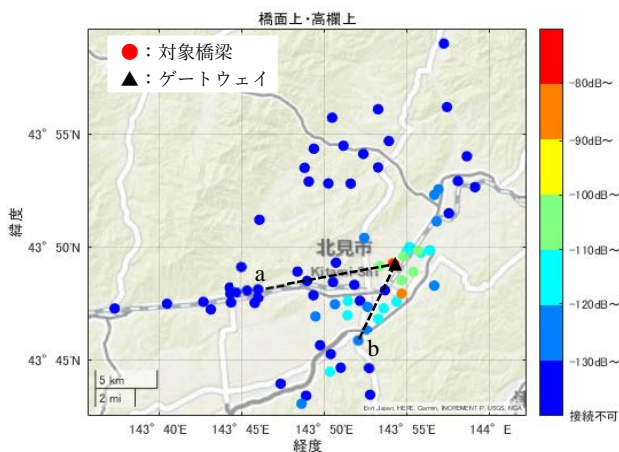


図-2 通信状況と電波強度(橋面上・高欄上)

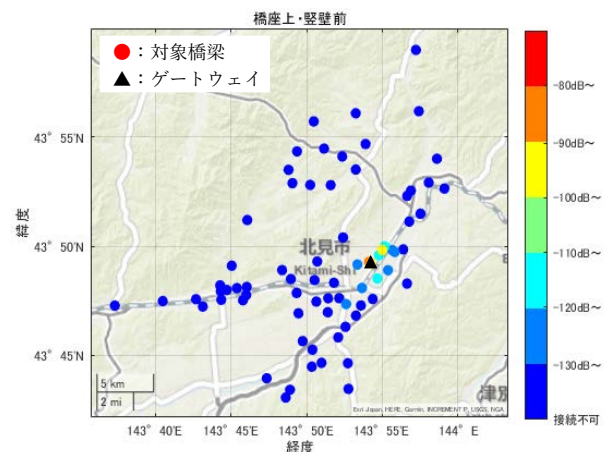


図-3 通信状況と電波強度(橋座上・壁前)

キーワード LPWA, モニタリング, フレネルゾーン, 橋梁

連絡先 〒090-8507 北見市公園町 165 北見工業大学社会環境系

は、中心市街地が大学の南西にあり、周辺には住宅地と畑地、山林が広がっている。また、大学の北西は丘陵となっている。

3. 通信実験と実験結果

実験対象は北見市内の橋梁で、ゲートウェイを中心に半径1km 間隔で5 橋ずつ選定し、15km を超える橋梁も5 橋選定し、計75 橋を対象とした。センサの設置場所と通信への影響を検討するため、各対象橋梁で橋面上あるいは高欄上と、実際にセンサユニットを設置することが想定される橋座上あるいは堅壁前の2 か所で計測を行った。実験は2021 年10 月の11 日間で、1 日平均7 橋を移動しながら計測した。同一の計測個所では2分ごとに3回の通信が行われるまで計測を続け、電波強度の平均値を記録した。また、3回連続して通信ができない場合に、通信不可として計測を終了した。

図-2 はセンサユニットを橋面上・高欄上に設置した場合の各点の通信状況と電波強度、図-3 は橋座上・堅壁前に設置した場合の通信状況と電波強度である。高欄上・橋面上で通信できたのは75 橋中29 橋であり、ゲートウェイの東から南東方向に分布している。一方、橋座上・堅壁前で通信できたのは75 橋中13 橋で、通信できた橋梁はゲートウェイの近傍に集中している。

図-4 は通信可能だった各点のゲートウェイからの距離と電波強度を示す。通信距離が延びるにしたがって電波強度は低下する距離減衰がある。橋面上・高欄上では、約7km 地点まで安定して通信ができ、最長14km の通信ができた。本研究で使用した通信機器の最大通信距離は15km であり、設置条件が良ければその性能を十分発揮できることが確認できた。また、橋座上・堅壁前での通信は橋面上・高欄上と比べて10～20dB 程度、電波強度が減少している。橋梁自体による電波が遮蔽され、最長通信距離は4.4km だった。この結果から、実際にLPWA 通信を橋梁モニタリングに適用する場合には、センサとアンテナを分離するなど適切な設置方法を検討する必要がある。

通信経路の障害物の状況を把握するため、ゲートウェイと各橋梁間の標高の変化とフレネルゾーン¹⁾について検討した。図-5 は図-2 に示した a, b の2 橋における標高の変化とフレネルゾーンである。図-5(a)の地点 a は通信距離11km で通信に失敗した。計測点周辺は農地で通信を阻害するものは特になかったが、フレネルゾーン内に丘陵があり通信できなかった。図-5(b)の地点 b は通信距離7km で通信に成功した。計測点周辺に障害物はなく、フレネルゾーンが十分に確保されているため通信に成功した典型的な例と考えられる。

5. おわりに

本研究では橋梁を対象にLPWA の通信実験を行い通信条件の違いから、送受信状況の比較を行った。

- 1) 橋上で通信できた橋梁は橋面上で通信できた橋梁の半数以下であり橋梁自体による通信への影響は大きい。センサユニットからアンテナを分離して橋面上に設置することで、通信距離を延ばすことが期待できる。
- 2) 建物や局所的な地形も影響するものの、2 点間の標高の変化とフレネルゾーン内の障害物の割合で通信可否がある程度判断できる。

以上から、例えば河床低下が進行する河川で複数の橋梁の洗掘状況を監視する場合には、周辺地形とフレネルゾーンを考慮してゲートウェイを配置すれば、LPWA によって効率的なセンサーネットワークを構築できる可能性があることがわかった。

謝辞

本研究の一部は、北海道科学技術総合振興センター（ノーステック財団）イノベーション創出研究支援事業スタートアップ研究補助金の助成を受けて実施いたしました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献 1) 高田潤一：電波伝搬の基礎理論，映像情報メディア学会誌，70 巻，1 号，pp. 142-148，2016。

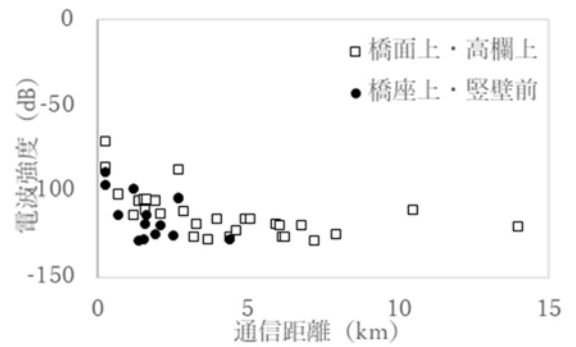
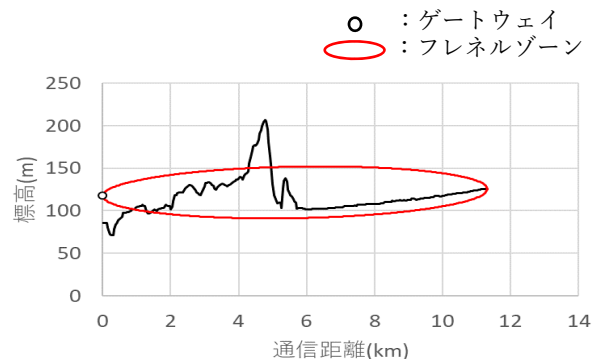
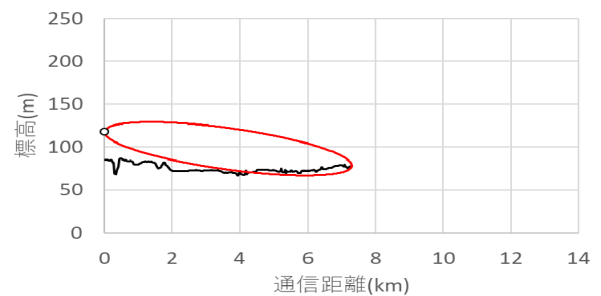


図-4 電波強度と通信距離の関係



(a) 地点 a (通信失敗)



(b) 地点 b (通信成功)

図-5 通信経路上の標高とフレネルゾーン