

無線式山留め壁変位計測システムの検証

Experiment of Wireless Displacement Measurement System for Earth Retaining Wall

相羽均修*1 安部 剛*2 五十嵐治人*3

概 要

建設現場で山留め壁の変位計測は、長期間、安定した計測が求められるため、一般的には有線で接続する差動トランス式傾斜計を用いたシステム(以下、有線式)で構築される。この方式は、配線および多数の機器設置が必要であるが、無線式のシステムを構築できれば大きな省力化に繋がる。しかし、無線式の新しいシステムを現場に導入するためには、傾斜計自体の精度のほか、設置方法および通信性能を含めたシステム全体の検証が必要である。そこで、実現場において無線通信で接続するデジタル式傾斜計を用いた山留め壁変位管理システム(以下、無線式)を実験的に導入し、約6か月間の計測を実施した。その結果、導入した無線式の計測精度は従来の有線式と同等であり、920MHz帯の電波を用いた無線モジュールでシステムを構築することで、安定して長期間計測できることが分かった。

key words : 山留め壁、変位計測、無線式、デジタル式傾斜計

1. はじめに

山留め壁の変位計測で使用する傾斜計は、耐久性、防じん性、耐衝撃性、取り扱いの簡便性、瞬間的に計測値を把握できることなどが求められる。このため、差動トランス式傾斜計を用いた有線式を構築する場合が多い¹⁾。有線式は、山留め壁の変位計測場所に差動トランス式傾斜計およびスイッチボックスを設置し、各スイッチボックスからデータロガーへ配線する必要があるため、建設現場で有線式を構築するには大きな手間が掛かる。

これに対し、無線通信可能なデジタル式傾斜計を使用した無線式を構築すれば、計測場所からアクセスポイントへの機器同士の配線、機器設置の作業を省略できる。有線式、無線式のプロット図を図-1に示す。

本報ではデジタル式傾斜計を用いた無線式の実用性を確認するため、掘削から埋め戻しまでの約6か月間の計測により有線式と無線式の計測精度、耐久性、通信安定性、計測手間を比較した。

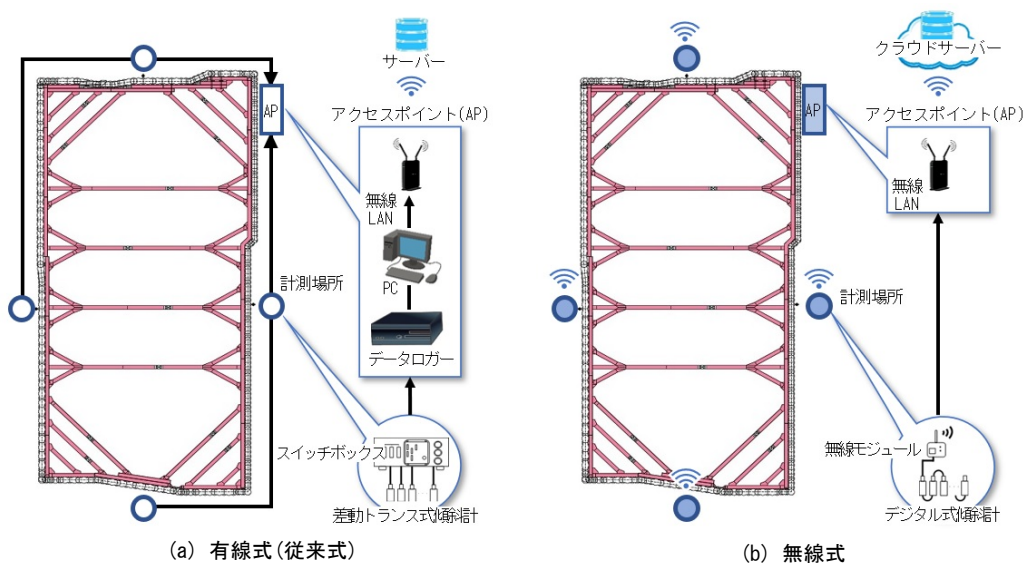


図-1 有線式と無線式のプロット図

*1 Masanobu AIBA

技術本部技術研究所 研究員

*2 Takeshi ABE

技術本部技術研究所 主任研究員

*3 Haruhito IGARASHI

技術本部技術研究所 主席研究員

2. 変位計測システム概要

2.1 有線式と無線式の構成機器

有線式と無線式の構成を図-2 に示す。従来の有線式は、傾斜計で読み取ったアナログデータを、スイッチボックスでデジタルデータに変換し、データロガーに保存後、パソコンで表示し、無線 LAN を介してサーバーへ送信する。また、安定したシステムを構築するため機器同士は有線で接続する必要があり、システムの構築は煩雑となる。有線式の構築状況を写真-1 に示す。

これに対し無線式は、3 軸 MEMS センサを搭載した TDK 社製のデジタル式傾斜計で計測したデータを無線モジュールにて送信し、アクセスポイント (以下、AP) を介してクラウドサーバーに送信する。

無線式の構成機器はデジタル式傾斜計、無線モジュール、AP のみで、スイッチボックス、データロガーなどは不要である。これは、デジタル式傾斜計内部に組み込まれたマイコンが、スイッチボックスの役割を果たし、クラウドサーバーでデータの保存、表示、閲覧を行うためである。これにより、機器設置の手間を大幅に削減することができる。

2.2 傾斜計

傾斜計の仕様を表-1 に示す。デジタル式傾斜計は、3 軸超高精度加速度センサにより、地球の重力加速度を基準として傾きの計測を行う。デジタル式傾斜計の質量は差動トランス式傾斜計の約 1/10 であるため、設置作業の省力化が期待できる。

2.3 データ通信方法

デジタル式傾斜計で計測した値は、無線モジュールから無線 LAN へ送信する。無線モジュールは 920MHz 帯の電波を用いている。920MHz 帯の電波は、Wi-Fi (2.4GHz 帯) と比較すると、通信速度は遅いが、通信距離は長く、電波の回り込み特性が良いため、障害物があっても安定した通信が可能である。これにより、中継器および配線が無くても安定した計測が可能である。従来の有線式と比較し、この点においても設備の簡素化・設置作業の省力化が可能である。

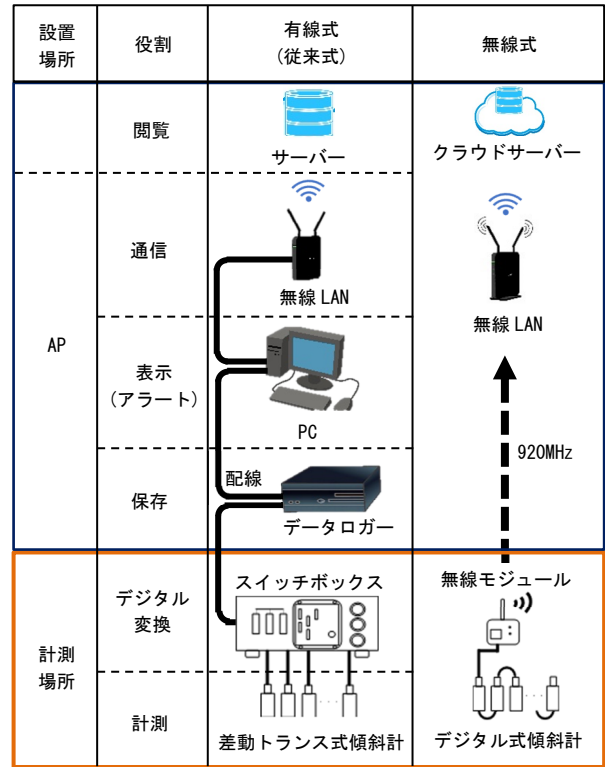


図-2 システム構成

表-1 傾斜計の仕様

システム	有線式	無線式
傾斜計	差動トランス式	デジタル式
測定範囲	±5°	±10°
分解能	1/6000°	1/5000°
使用温度範囲	-60~+80°C	-10~+55°C
通信部	有線	無線 (920MHz 帯)
外形寸法 (mm)	W×H×D =80×190×50	W×H×D =100×230×50
質量	約 2000g	約 220g



(a) 機器同士の配線



(b) 傾斜計の設置



(c) 機器の設置

写真-1 有線式の構築状況

3. 実験概要

3.1 山留め壁概要

山留め壁の平面図および断面図を図-3示す。敷地の地層構成は表層から埋土、細砂、礫混り細砂、シルトである。山留め壁はソイルセメント柱列壁(H-488×300×11×18@900、L=18.5m)で、支保工は3段切梁である。

3.2 計測概要

デジタル式傾斜計(無線式)の精度を検証するため、図-3(a)に示す計測位置の同一芯材にデジタル式傾斜計と差動トランス式傾斜計(有線式)を設置し、設置位置の角度変化から山留め壁の水平変位を計測した。

測定管設置断面図を図-4に示す。傾斜計は芯材に取り付けた測定管(□75×75 t=2.3)内部に1段目を表層から深さ1mの位置に、2段目以降を2m間隔で計9段設置した。

また、デジタル式傾斜計の耐水性を確認するため、測定

管内部は水で満たした。最深部(9段目)傾斜計の水深は17mである。

3.3 傾斜計の設置方法

差動トランス式傾斜計と、デジタル式傾斜計の固定方法を写真-2、3に示す。傾斜計は、測定終了後に回収することを前提として、測定管の変形に追従するよう、計測位置で固定される必要がある。差動トランス式傾斜計は、計測位置での固定度を確保するため、金属板のばねが取り付けられている。しかし、この方式は挿入時の抵抗が大きくなり、設置が煩雑となる。

これに対し、デジタル式傾斜計は、エアーにより伸縮する位置固定用のばねを取り付けた。これにより、挿入時の抵抗を従来の方式よりも低減することができ、傾斜計の測定管内部への設置作業を省力化することができる。

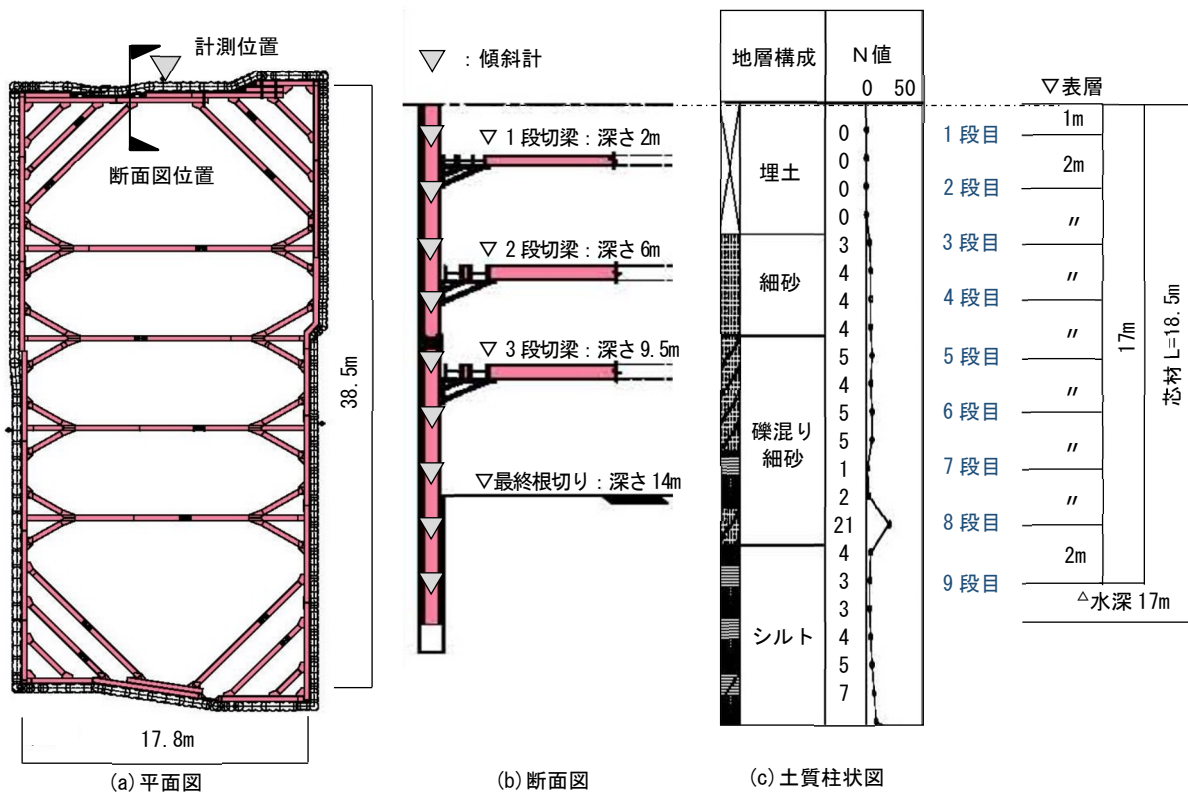


図-3 山留め壁平面図および断面図

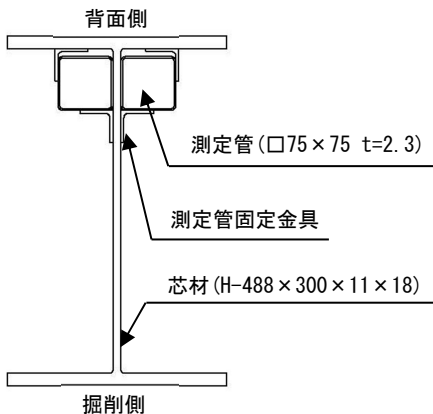


図-4 測定管設置断面図



写真-2 差動トランス式傾斜

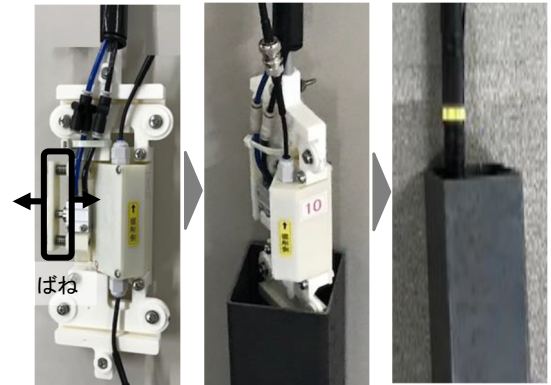


写真-3 デジタル式傾斜計

3.4 傾斜計による水平変位の算出方法

各測点の水平変位 δ_t の算定式を式(1)に示す。 δ_t は各測点の傾斜角 θ_t から図-5 に示すように算出する。山留め壁の水平変位は、下端 P_0 の変位 δ_0 を 0 とし、測点 P_t より下方に傾斜角を積分して求めた²⁾。表層面の変位 δ_{10} は、最上段の測点 P_9 より上方に傾斜角を積分して求めた。

$$\delta_0 = 0$$

$$\delta_t = \delta_{t-1} + L_t \tan \theta_t \tag{1}$$

θ_t : 基準線(鉛直線)に対する傾斜角

δ_t : 基準線に対する変位

4. 実験結果

4.1 山留め壁の変位分布

デジタル式傾斜計は、2020年11月から約6か月間の連続計測において、耐水性等に不具合なく計測値を送信できている。各施工ステップにおける山留め壁の変位分布を図-6に示す。いずれの施工ステップにおいてもデジタル式傾斜計の変位分布形状および最大変位値は、差動トランス式傾斜計と同等であることが確認できた。

また、設計値で最大となる図-6(d)最終根切り完了時の水平変位は、設計値を下回っている。

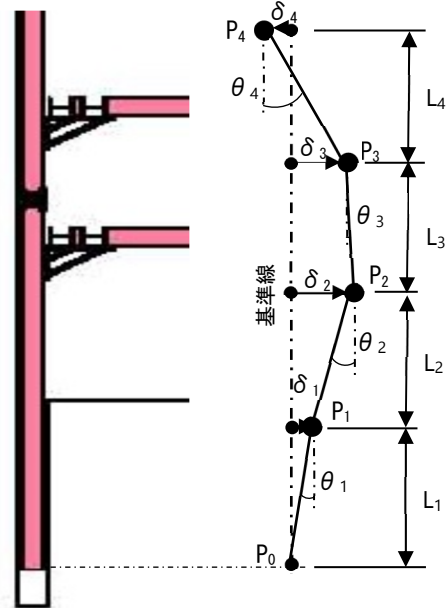


図-5 水平変位算定方法

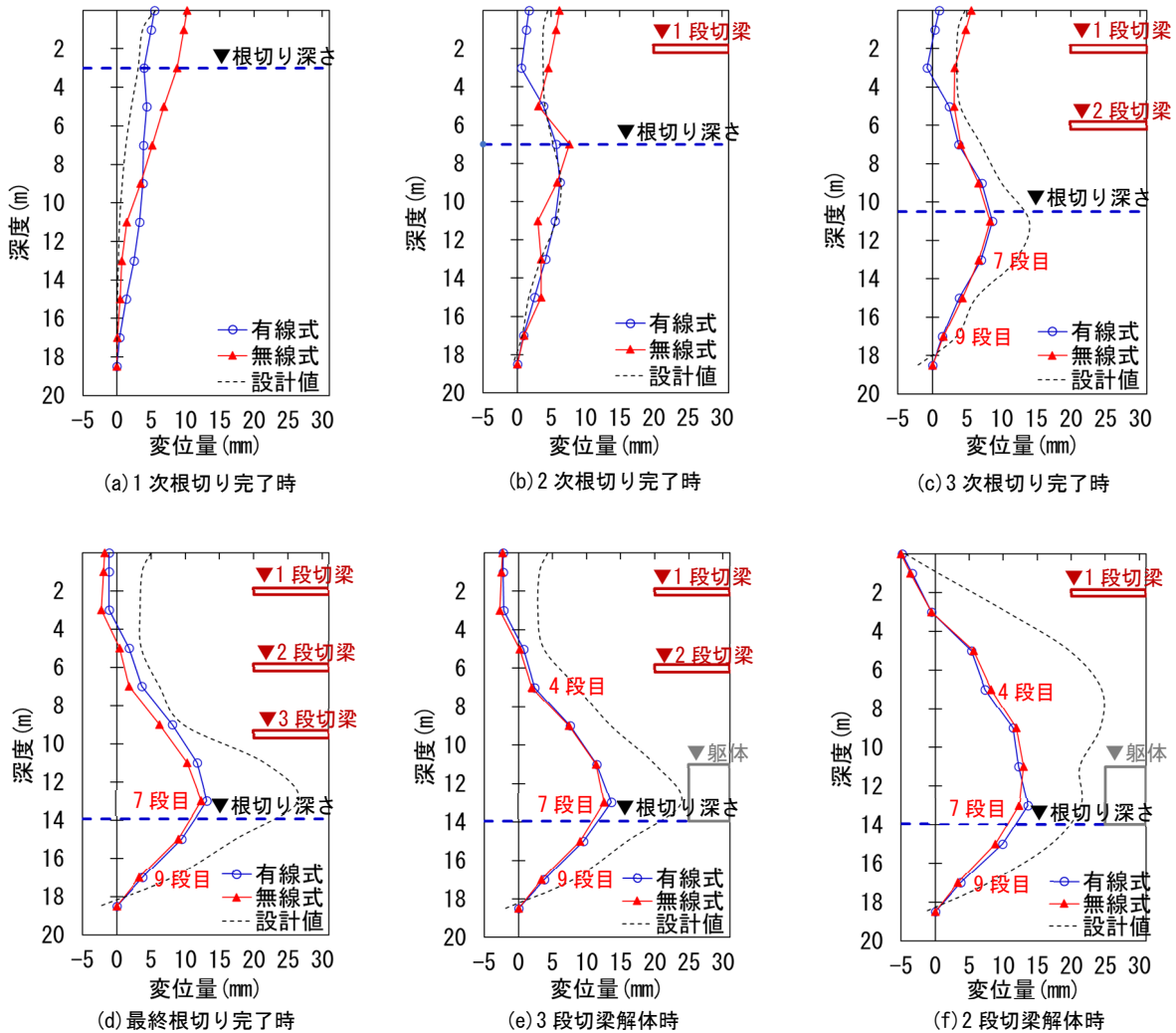


図-6 山留め壁の変位分布

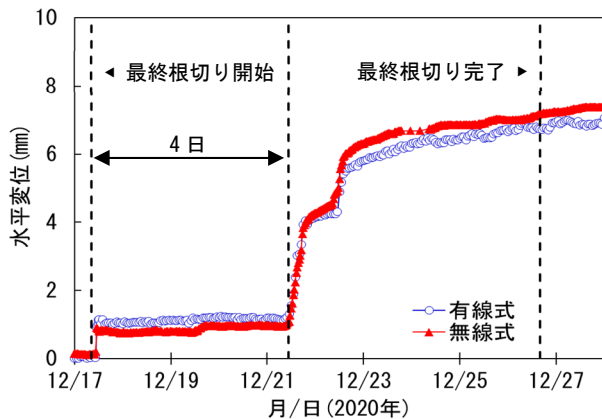
4.2 変位の経時変化

最終根切り時の、7 段目(山留め壁最大水平変位部)と 9 段目(根入れ部) に設置した傾斜計の水平変位の経時変化を 図-7 に示す。変位は、12 月 17 日 0 時 00 分を 0mm としている。12 月 17 日 10 時 30 分に計測箇所付近から最終根切りを開始した。デジタル式傾斜計は差動トランス式と比べ、計測値のばらつきは小さく、最終根切り開始から 4 日程度経過後に差動トランス式傾斜計と同様に水平変位が大きくなる傾向を示した。

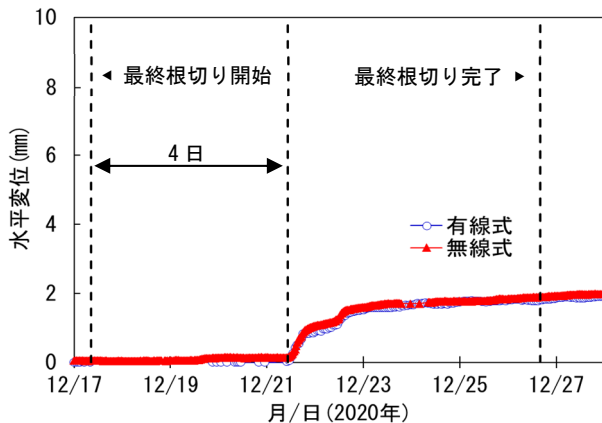
2 段切梁撤去時の、4 段目(山留め壁最大水平変位部)、7 段目(躯体構築部)、9 段目(根入れ部)に設置した傾斜計の水平変位の経時変化を 図-8 に示す。変位は、3 月 11 日 0 時 00 分を 0mm としている。3 月 11 日 9 時 00 分に計測位置付近から 2 段切梁の撤去を開始した。デジタル式傾斜計は 2 段切梁撤去開始直後から差動トランス式傾斜計と同様に水平変位が大きくなる傾向を示したが、切梁撤去直後の変位差は 1.5mm であった。これは、傾斜計の固定方法の違いによるものと推察するが、今後の課題である。

4.3 設置に要する時間

無線式と有線式の計測システム構築に要する時間を表-2 に示す。機器設置人員はいずれも 2 名である。無線式は傾斜計が軽量、小型であることに加え、通信機器の設置および配線作業が不要であるため、構築作業にかかる時間を 50%程度削減できることがわかった。

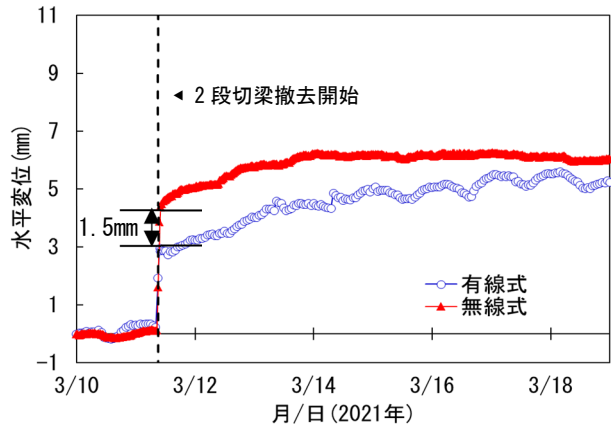


(a) 7 段目(最大水平変位部)

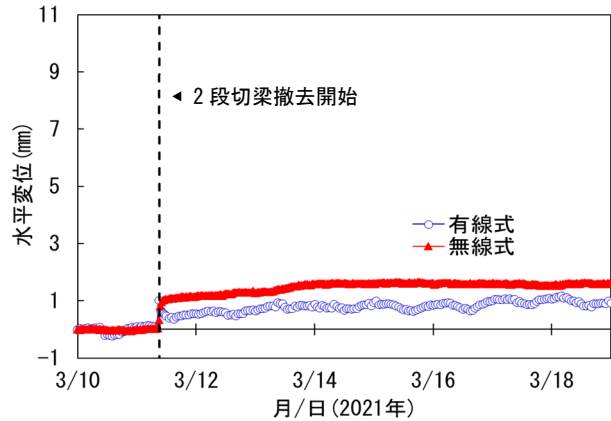


(b) 9 段目(根入れ部)

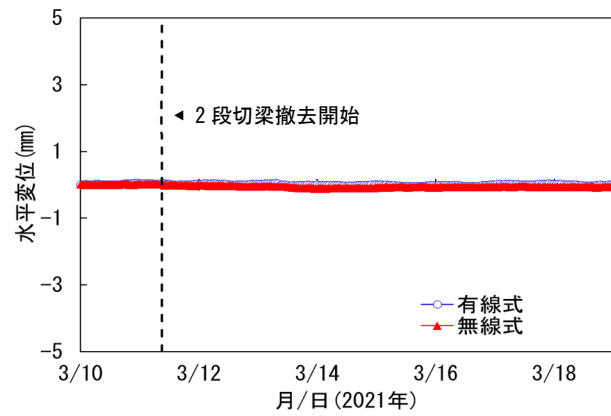
図-7 最終根切り時の水平変位変化



(a) 4 段目(最大水平変位部)



(b) 7 段目(躯体構築部)



(c) 9 段目(根入れ部)

図-8 2 段切梁撤去時の水平変位変化

表-2 計測システム構築に要する時間

設置	有線式	無線式	削減率※
傾斜計(9 段)	50 分	40 分	80%
データロガー	10 分	5 分	50%
スイッチボックス	15 分	なし	—
配線(約 25m)	15 分	なし	—
合計	90 分	45 分	50%

※無線式/有線式

5. まとめ

無線式の山留め壁変位計測システムの実用化を目的とした実証実験を実施し、以下の知見を得た。

- ① デジタル式傾斜計の計測値は、ばらつきも少なく差動トランス式傾斜計で計測した結果と同等である。
- ② デジタル式傾斜計は、920MHz 帯の電波を用いた無線モジュールでシステムを構築することで、安定して長期間計測できる。
- ③ 山留め壁の変位計測システムを無線化することで、機器設置および配線、撤去の手間を大幅に削減できる。

今後、切梁軸力、グラウンドアンカー反力、地盤沈下量、地下水位等のモニタリングも含めた山留め管理システムを構築し、更なる現場の管理業務の効率化および安全性向上に役立てる予定である。

【謝辞】

本実験は銭高組、TDK(株)、計測技研(株)の3社共同で実施したものである。システム構築、データ収集、解析にご協力頂いた関係者各位に深甚なる謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会：山留め設計指針、2017.11
- 2) 大西靖和：傾斜計による山留め壁の水平変位における累積誤差、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 385-386、2003.9