

特定小電力無線による小域データリンク網の整備とその実際

Construction of Local Data Linkage Using Specific Small Electric Power Wireless Telecommunication and Its Practical Application

山地 宏志 HIROSHI YAMACHI

大津 慎一 SHIN-ICHI OOTSU

東京土木支店 大石 眞也 SHINYA OOISHI

複雑な地形条件下に設置される災害監視機器類のデータを，包括的に統合・処理するため特定小電力無線機を介して自立型地盤災害監視局 GENESIS/FPS と相互にリンクさせる小域データ通信網 GENESIS/FDL の整備手法を開発した。また，同システムを供用中トンネルの坑口斜面・崖錐の動態観測に適用した。システムの運用開始（平成 24 年 12 月 28 日）以来，約半年が経過したが，同システムは今日も安定して挙動計測を継続している。本文は，GENESIS/FDL の概要を示し，併せて適用トンネル周辺における動態観測への導入の実際を示すものである。

キーワード：特定小電力無線，小域データリンク，地盤災害監視

The authors developed a construction procedure for local data link system GENESIS/FDL to linking to stand-alone ground disaster monitoring station GENESIS/FPS through specific small electric power wireless telecommunication in order to integrate and transact acquired data from monitoring apparatuses installed in measurement spots under complicated topography condition. The system was applied to the slope behavior monitoring around the Tunnel. Since the operative start (December 28, 2012) of the system, about a half year passed, the system continues stable behavior monitoring today. This paper shows a summary of GENESIS/FDL and also shows the design of apparatus placement and radio transmitting path for slope monitoring around the Tunnel.

Key Words: Specific Small Electric Power Wireless Telecommunication, Local Data Link, Ground Disaster Monitoring

1. はじめに

筆者らは，斜面崩壊などの地盤災害の監視を目的に，太陽電池とパケット通信機能を備えた自立型防災監視ステーション GENESIS/FPS (Field Power Station) を開発した。GENESIS/FPS は，不安定な太陽光発電条件下でも，安定した監視を行うことを目的に充・発電状況のモニタリングと，消費電力量の遠隔操作，ならびに測定機器保護のための自動停止・再起動の機能等を整備したシステムで，これまでに安定した稼動実績を示してきた。

山岳部や海岸部などの峻険な地形条件下の災害監視において GENESIS / FPS を運用する上での問題点は，災害監視機器が GENESIS/FPS 周辺 1km 程度の範囲に分散して設置される点である。すなわち，分散して設置される各監視機器と GENESIS/FPS との間で，計測データと

機器制御指令を相互に通信するためには，この間を有線により接続することが必要となる。また，各監視機器の作動のための電力も GENESIS / FPS から有線で供給しなければならない。この敷設作業は，敷設距離が 1km 程度に限定されるものの，峻険な地形条件下における作業となるため，工費が嵩むだけでなく，作業上の危険を伴う場合もある。また，その維持管理に要する人的・経済的負担も大きい。

このような状況に鑑み，GENESIS/FPS の地盤防災監視をより効率的に実施する目的で，リチウムイオン電池で 5～10 ヶ月作動可能な防災監視機器の整備を進めるとともに，特定小電力無線を利用して小域の無線データリンク GENESIS/FDL (Field Data Link) を効率的に整備する手法を開発し，供用中トンネルの坑口法面動態観測に適用した。本文は，GENESIS/FDL の概要を示し，併

せて実際の動態観測におけるデータリンク網の設計と整備について示すものである。

2. GENESIS/FDL の概要

特定小電力無線は、総務省令電波法施行規則第6条第4項第2号に「次に掲げる周波数の電波を使用するものであつて、総務大臣が別に告示する用途、電波の型式及び周波数並びに空中線電力に適合するもの」と定義され、その用途と周波数帯が定められている無線の総称である。ライフスタイルやビジネスシーンが多様化し、近距離間での簡易連絡用のコミュニケーション手段を求める声が強くなったことに対応し、比較的狭いサービスエリアにおける無線通信の需要は増加したため制定された無線規格であり、日本独自の制度のため海外では使用はできない³⁾。

電波強度（空中線電力）は1W以下で、無線機器には他の無線局の運用を阻害する混信などの妨害を生じさせない機能が装備されなければならない。また、技術基準には、「一の筐体に収められており、容易に開けることができないこと」とあるように、改造はもちろん、保守・修理の為であっても分解してはならず、改造機は技術基準適合証明が無効となり、不法無線局となる点に注意が必要である。

GENESIS/FDL は、このような特定小電力無線のうち医療用テレメータ等に使われる429.250MHzの無線機器NetMI（株式会社オサシ製）をデータ転送に利用した野外小域データ転送システムである。表-1に、NetMIの仕様を示す。表に示すように、NetMIは各観測機器からデータを発信する子機（NetMI-Child）と、データを受信し、各観測機器を制御する親機（NetMI-Parent）で構成され、一つの親機に対して最大15局の子機との間で通信が確立される。なお、GENESIS/FDLでは親機がGENESIS/FPSと接続され、観測データが汎用パケット通信網上で供用される。

通信距離は、表-1にあるように、子機と親機の見通しが確保される地点（無障害）では1,000m以上が保障されるが、林間部では100m程度に限定され、樹木の繁茂状況によっては保証の限りではない。また、海岸線や山間部等における地盤災害監視では、親機からの電波が遮蔽される山陰や谷凹部に観測地点が設けられることも考慮しなければならない。

このため、子機を中継機としても利用することのできる機能を付加し、通信の迂回網を形成することを考えた。例えば、仮想の離島の東半分にNetMIを利用した監視網が、図-1のように、構築されたものとする。こ

表-1 NetMI-P/Cの仕様

機器型番	NetMI-P/C	
使用周波数	429.250MHz	
通信速度	2400bps	
通信距離	無障害: 1,000m以上 林間等: 100m以上	
通信方式	単信方式(半二重)	
電源	リチウム電池 CR123A	
外形寸法	200×200×132mm	
重量	1.90kg	

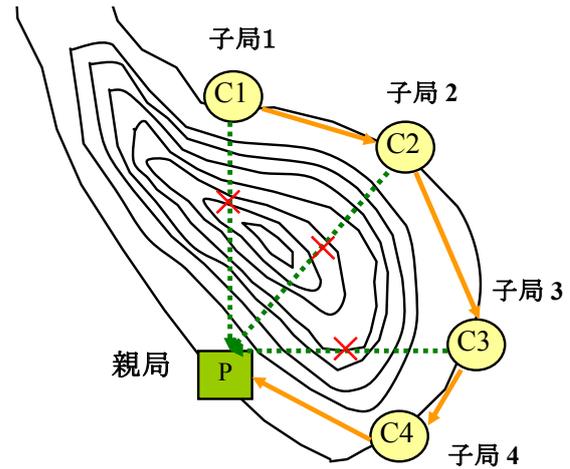


図-1 離島における迂回無線網

のとき、子機1号、2号、3号は図の緑線で示されるように離島中央の山地によって遮蔽され、親機との交信が確立できない。このとき子機が中継局として利用できるならば、子機3号のデータは子機4号を図-1の実線のように中継機とすることで親機へデータ送信することが可能となる。同様に、子機2号のデータは、子機3,4号を中継局として、また子機1号のデータは子機2,3,4号を中継局として、親機との交信が確立する。このように、逐次、子機を中継局として利用することが最大13段まで可能であり、一つのNetMIを二つ以上の子機の中継局として利用することも可能である。

3. 供用トンネル坑口斜面動態観測の概要

当該システムを適用したトンネルは、図-2の地質縦断面図に示されるように、産業施設のエントランスにあたり、上下線がそれぞれ独立した双設トンネルである。同施設では、BCPの観点から構内施設のレベル2地震動に対する検証を進めており、今回の坑口部法面・崖錐部挙動観測もその業務の一環である。なお、トンネル本体の耐震性検証は、別途、実施されている。

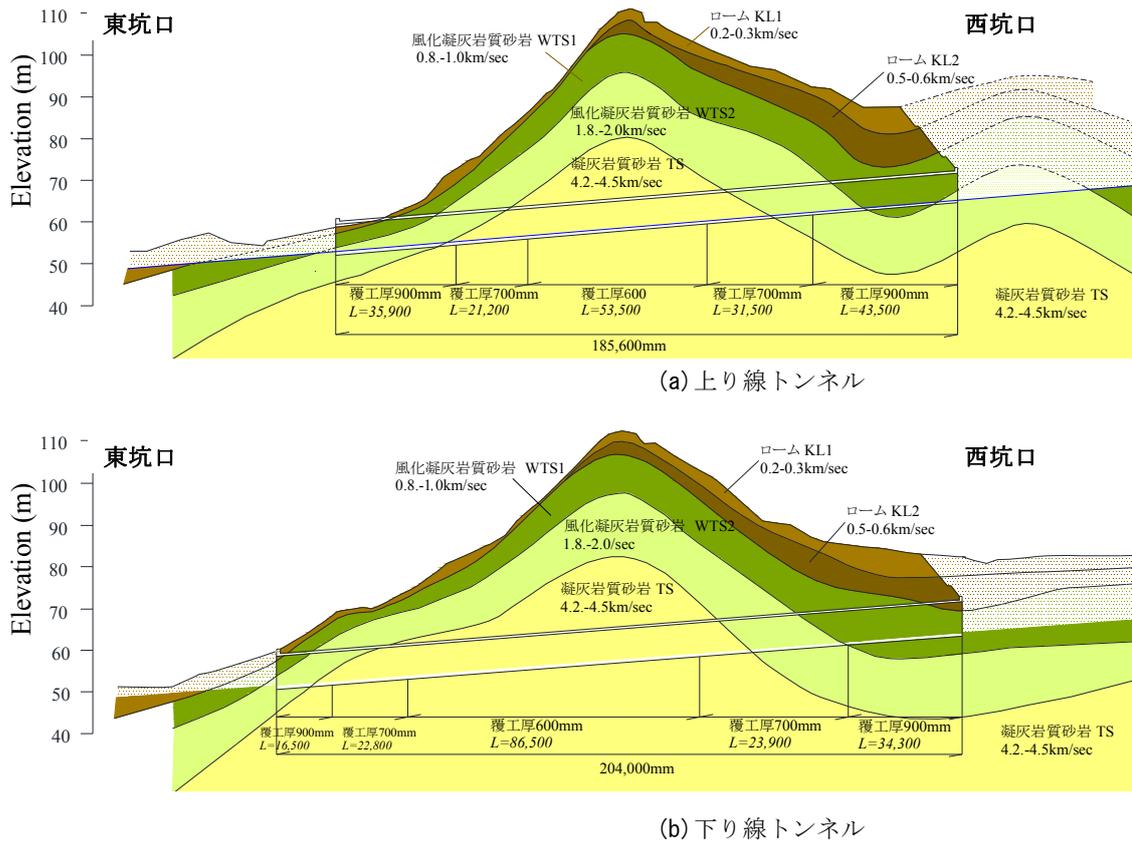


図-2 トンネル地質縦断図（建設時弾性波探査による）

図-2 に示されるように、東側坑口側の山腹部のローム層 I は極端に痩せており、その下部の坑口直上部に厚い堆積が弾性波探査で確認されている。これは、過去に山腹崖錐が大規模に崩壊したことを示すものであり、その崩壊形態は 2013 年 5 月に浜松市の茶畑で発生した崖錐崩落と類似するものであると推定される。現在、当該山腹部は安定な状態にあるものと判断されるが、頂上付近にはまだ不安定な状態でローム層 I が残存しており、これが突発的に崩落する可能性は棄却できない。

一方、西坑口部直上の法面は、写真-1 に示されるように、一部が沈降し、その下部が隆起する等の変状が見られ、法面枠が一部破損している箇所もある。この程度の変状や不具合は、当該トンネルのように竣工後 40 年を経たトンネル切土法面では、一般に確認される事象であり、当該法面が喫緊の危険性にあるものではないが、長期にわたって経常的な微小変形挙動が計測しているものと判断せざるを得ない。したがって、東坑口側山腹部、西坑口側法面とも、レベル 2 地震動に対して、崩壊発生の可能性を棄却できず、これを評価・検証するためには、一定期間以上の挙動観測が必要となる。

地盤挙動観測計画を作成するため、地質ボーリング調査とそのボーリング孔を利用した PS 検層を実施するとともに、地質専門員との現地踏査を実施した。その結果、

東坑口側山腹部では頂上付近で 2 箇所、また西坑口側法面では法面枠破損箇所、上下 2 測線の地すべり観測が必要であると判断された。また、両坑口部とも、周辺降



写真-1 法面枠破損，法面沈降・隆起

表-2 挙動観測項目の一覧

計測項目	設置箇所	ID	使用機器
地盤変位計測	西坑口法面 B1	#1	SLG-100
	西坑口法面 B2	#2	
	遊歩道 A1	#3	
	遊歩道 A2	#4	
地下水位計測	東坑口	#5	DS-1 NetLG-001
	西坑口	#6	

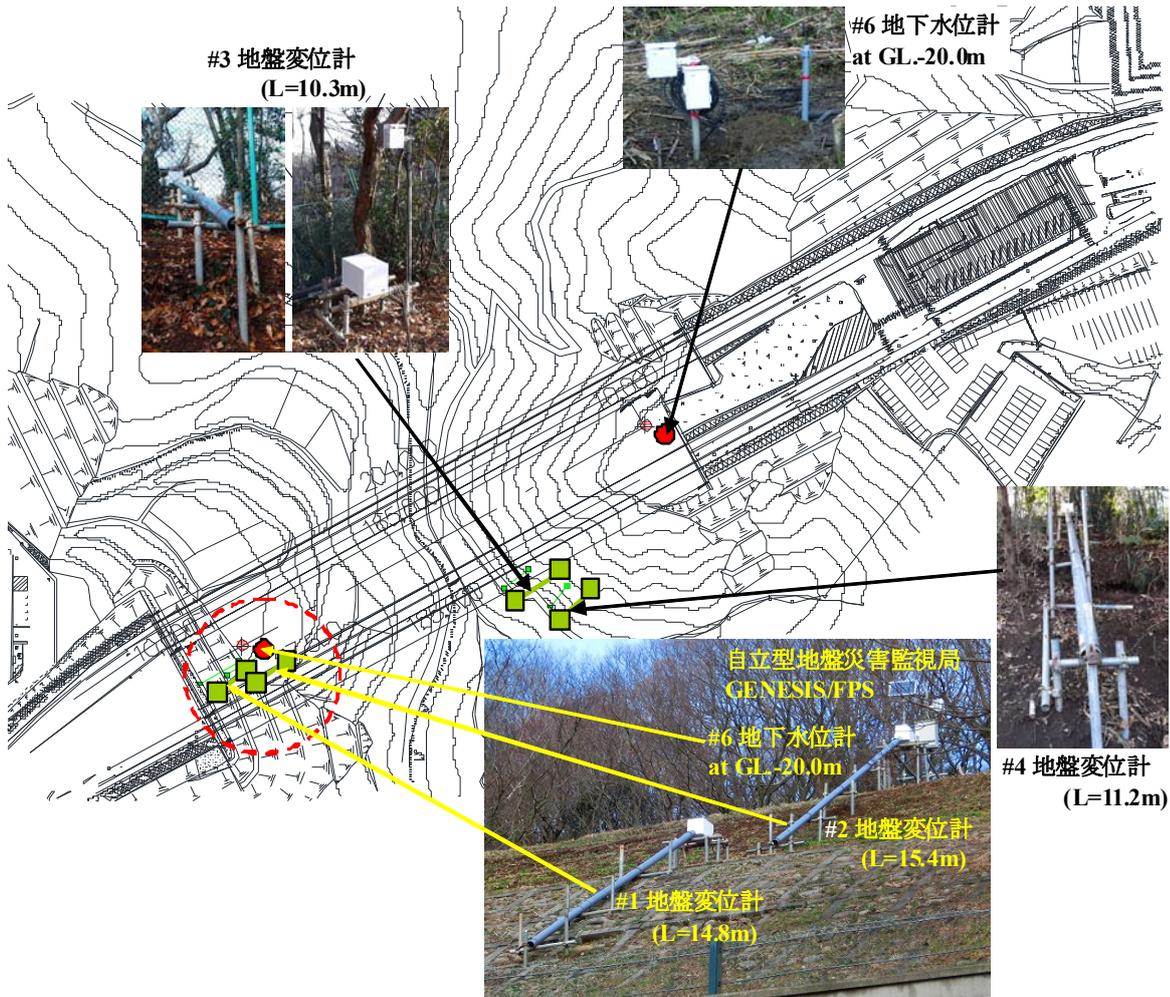


図-3 トンネル周辺地盤動態観測地点，および観測機器設置状況

雨の集水地形を形成することから，崩落発生 の検討には地下水流動形態の把握が不可欠であると判断された。

表-2 に現地踏査から選定した挙動観測項目の一覧を，図-3 に設置位置と状況を，さらに表-3 には使用機器の一覧を，それぞれ示す。

図-3，表-3 から明らかなように，観測地点数は6箇所すぎないが，その位置は東坑口側と西坑口側に大きく分断される。この両方に，自立型地盤災害観測局 GENESIS/FPS を設置することは，観測網の規模に比して経済的負担が大きいいため，西坑口側にだけ GENESIS/FPS を設置し，東坑口側の観測データは NetMI-C の中継機能を利用して，迂回伝送することを計画した。これは，樹木が繁茂する状況下での山越えデータ転送となる。以下，その機器設置経緯を踏まえて，小域データリンク網構築の概要を示す。

4. 小域データリンク構築の実際

小域データリンク GENESIS/FDL の構築手順を図-4 に示す。当該動態観測では，観測地点を図-3 のように

定め，その基地局となる自立型地盤災害観測局 GENESIS/FPS を西坑口斜面の変位計測線#1，#2 直上に設置した。

表-3 動態観測に供した機器一覧

ネットワーク型地盤変位計		
機器型番	SLG-100	
測定範囲	0～1,000mm	
分解能	0.1mm	
直線性誤差	±0.8mm 以下	
繰返し誤差	1mm 以下	
動作温度	-20～55℃	
外形寸法	120×130×216	
重量	1.60kg	
水位検出器		
機器型番	DS-1	
測定範囲	0～120m	
分解能	10mm	
直線性誤差	±0.1%F 以下	
動作温度	-0～30℃	
外形寸法	φ25×130mm	
重量	0.12kg	
ネットワーク型水位計		
機器型番	NetLG-001	
測定範囲	水位検出器による	
分解能		
直線性誤差		
動作温度	-20～55℃	
外形寸法	120×130×216	
重量	0.50kg	

このとき、#1、#2の地盤変位計 SLG-100 と#6の水位計 NetLG-001 は、GENESIS/FPS と 16m 以内の離れしかないので、有線でネットワークを構成することが経済的、かつ合理的となる。

したがって、特定小電力無線によって、ネットワークを構成する必要がある観測点は、西坑口側の山頂部近傍遊歩道沿いに設置する地盤変位計#3、#4、ならびに坑口直上の地下水位計#5に限定される（図-3 参照）。これらの各点と GENESIS/FPS との間で電波強度測定を実施したところ、#3 との間では 100～115mW の安定した電波強度が確認されたものの、#4 との間では最強でも 60mW 程度の電波強度しか確認されず、#5 との間では全く感度が得られなかった。

このため、#3 を#4、#5 の中継局として利用することとし、その間の電波強度を、再度、測定した。その結果、#3 と#5 の間で 90～110mW、#3 と#4 の間で 105～115mW の安定した電波強度を、それぞれ確認できた。以上より、図-5 に示すネットワーク構成を計画し、現地に実装・構築したところ、電波強度測定に準じる電波環境で機器間の交信を確立することができた。

なお、当該計測に使用した機器はすべて電池によっても作動することができ、各機器の電池による理論的な稼働日数は表-4 に示すものである。表に示されるように、無線通信機の親機は 119 日と、最も短く、子機と比べて

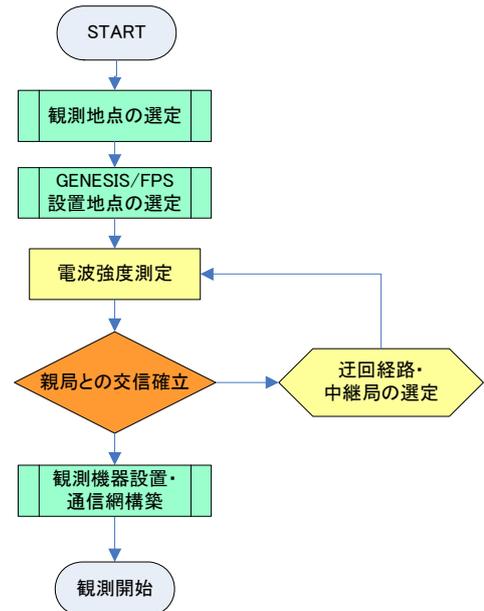


図-4 小域データリンク GENESIS/FDL の構築手順

も 30 日以上短いため、近接する GENESIS/FPS から電源を供給することとした。また、地盤変位計#1、#2、および地下水位計#6 についても、距離的に近いため GENESIS/ FPS から電力を供給するものとした。既往研究²⁾で確認された GENESIS/ FPS の発電・蓄電能力からすれば、当該機器類は天候・日照条件に左右されること

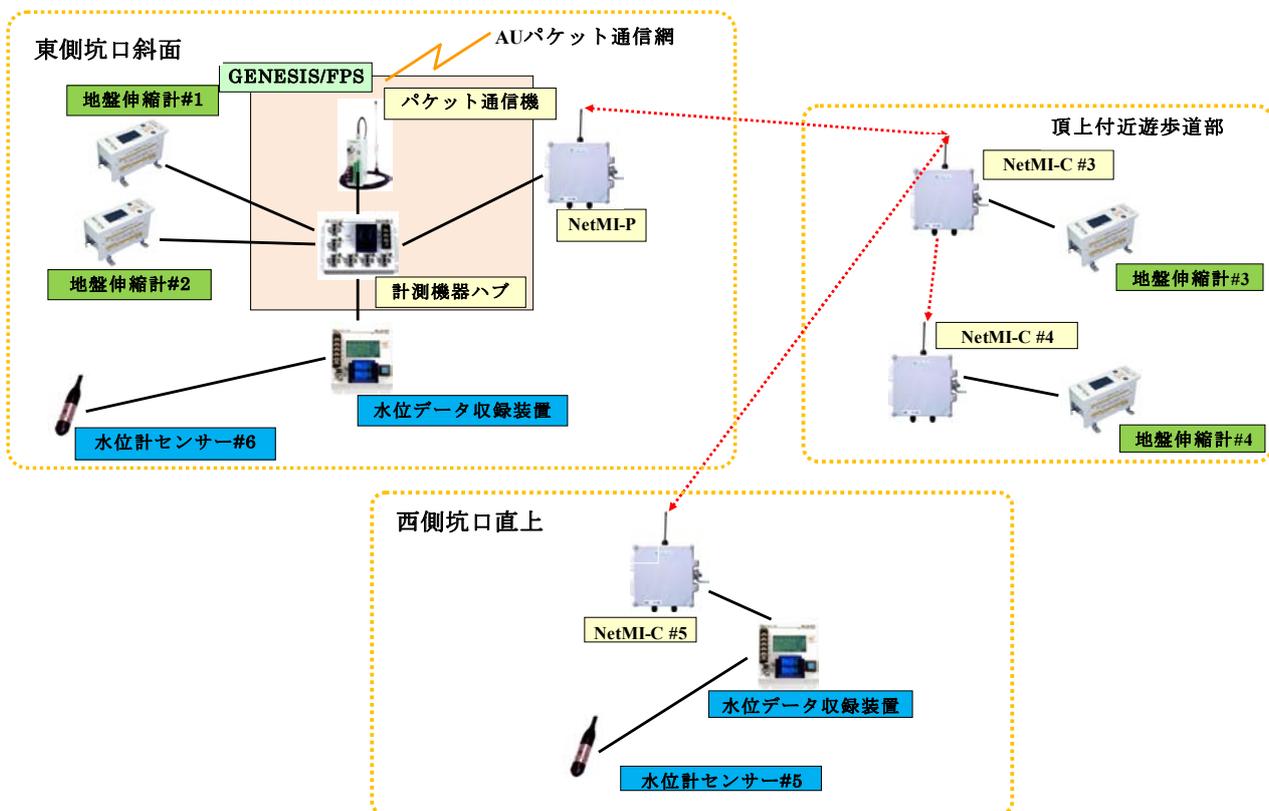


図-5 トンネル周辺斜面観測に採用したネットワーク構成

表-4 各計測機器の電池による可能稼働日数

機器名称	稼働日数
地盤変位計 SLG-100	252日
圧力式水位計	300日
水位変換ロガー NetLG-001	300日
6ポートハブ	173日
無線通信機(親)	119日
無線通信機(子)	154日

なく稼働可能である。

したがって、当該動態観測において電池作動としたのは地盤変位計#3, #4, 地下水位計#5, およびこれらに付帯する無線通信機子機となる。表-4 に示すように、これらの電池稼働日数は無線子機で約 150 日、地盤変位計で約 250 日、圧力式水位計・水位変換ロガーで 300 日と機器間の差異が、効率的な電池交換作業工程を組むことが難しい。また、表-4 の値はあくまでも理論的な値のため、設置条件により変動することも考えられる。

これらのこのため、1ヶ月に1度、測定機器の設置状況点検を実施することとし、これに併せて各機器に装備した電池電圧を測定することで、今後の設置計画に資するデータを採取するものとした。その実際に関しては、別途、報告する。

5. おわりに

自立型地盤災害監視局 GENESIS/FPS は、開発以来、種々の用途に用いられてきた。今回、より広域に実用的な観測網を構築することを目的に、特定小電力無線機による小域データリンク GENESIS/FDL を開発した。

GENESIS/FDL が有効に機能するためには、システムに採用する特定小電力無線機の性能と省電力性もさることながら、安定した無線交信を担保する電波環境を構築するため、観測地点に適した柔軟な無線機器配置と、事前の電波環境評価が重要となる。

本文では、小域データリンク GENESIS/FDL の機器構成を示すとともに、供用中トンネル坑口部の斜面動態観測網構築を例に、小域データリンク構築法の考え方とその実際を示した。

同観測は開始から約7ヶ月経過した時点においても問題なく継続されており、気象変動などによる観測機器や無線類の不具合も発生していない。今後も動態観測データの評価だけでなく、機器稼働の安定性も併せて評価する予定であり、GENESIS/FDL の長期動態観測への適用性がより実用的なスパンで検証し得るものと考えられる。

参考文献

- 1) 山地宏志, 戸村豪治, 大津慎一; 自立型災害監視ステーションの設計とその性能評価, 三井住友建設技術開発センター報, 2012.9
- 2) 山地宏志, 古島広明, 戸村豪治, 羽馬徹, 芥川真一; 太陽電池を用いた自立型地盤災害監視局の設計・実装とその充電・発電特性に関する考察, 土木学会論文集 F6 (安全問題), Vol.69, No.1, pp.19-31, 2013.
- 3) 郵政省; 電波法施行規則第六条第四項第二号の規定に基づく特定小電力無線局の用途, 電波の型式及び周波数並びに空中線電力, 郵政省告示第 42 号, 1989.
- 4) 総務省: 特定小電力無線局について, <http://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/system/ml/small.htm>