

大規模地下空洞の情報化施工における無線センサの利用

大成建設(株)	正会員	○松村 謙治	正会員	名合 牧人
正会員 志波由紀夫	正会員	青木 智幸	正会員	澤田 茉伊
(株)エーティック				武田 幸司
地球観測(株)				藤田 行茂
大阪大学			正会員	小泉 圭吾

1. はじめに

トンネルや地下空洞の情報化施工においては、切羽近傍で計測を開始することが重要である。そのためには、多くの計測点から出るケーブルを掘削進捗に合わせて合理的に配線する計画が必要であるし、発破工法を採用している場合には計測配線に発破防護を施す必要があるなど、多くの課題を伴う。一方で、近年、センサと無線通信モジュールとを組み合わせた簡便かつローコストな無線式モニタリングシステムの開発が進められており^{例えば 1), 2)}, トンネル坑内における計測データ回収の無線利用事例³⁾も報告されつつある。ただし、坑内では屋外と比較して無線通信環境が劣ることもあり、未だ研究開発途上の計測技術である。

現在建設中の京極地下発電所（北海道虻田郡）地下空洞掘削工事は、積極的な情報化施工で進めており、その中でアンカーおよびロックボルトの計測に無線センサ技術を取り入れた計画を立てている。本稿では、今回採用した小型無線計測ユニット（以下、KWS）の概要を述べるとともに、現場内で実施した通信試験結果について報告する。

2. 無線センサの概要と採用理由

当現場は大規模地下空洞の掘削現場であり、深度方向へ 40m 程度掘り下がることから、施工が進むにつれて計器の設置位置と基地局との距離が延び、双方が見通せない環境となる（図-1）。また、発破防護のため、KWS は金属性のケースに内蔵する必要があるため、これが無線通信の障害になる可能性がある。これらの点を考慮して、無線通信モジュールには、指向性が小さく通信距離が 1km 程度とされる（見通し条件で）429MHz 帯の国内特定小電力無線（免許不要）を採用した。その際には、アドホック・マルチホップ型の Zigbee などでも採用されている 2.4GHz 帯の通信モジュールも採用候補にあがったが、指向性が強いことから、必要となる中継器の数などを考慮して今回は採用を見合わせた。

KWS としては測定点数により 1CH 用、4CH 用、5CH 用の 3 種類とした。また、発破によるケーブルの損傷や断線の危険性を避けるため、荷重計等の計測機器と KWS 間のケーブルが最短になるように構成した。掘削が進むと最終的には 1CH 用が 33 箇所、4CH 用が 4 箇所、5CH 用が 24 箇所必要であり、総測定 CH 数は 169 となる。最短の場合、10 分間隔で全点のデータを測定する必要があることから、KWS の無線は常時電源投入状態とし、データ送信命令があれば、即座に応答できる構成とした。計測機器は測定時以外の時は KWS 回路から絶縁され、印加電圧の消費を抑えた設計となっている。なお、各チャンネルの電源投入時間については、計測機器への印加電圧投入から応答までの時間を考慮して、計測する間のディレイ時間を設けている。



写真-1 発破防護取付け状況

キーワード 地下発電所, 情報化施工, 計測, 無線センサ, 地下空洞

連絡先 〒044-0112 北海道虻田郡京極町字春日 122-1 大成建設(株) 札幌支店 京極地下発電所作業所 TEL. 0136-41-2180

3. 空洞内で実施した実証実験結果

実証実験では、図-1(c)に示す通り、発電所空洞内に KWS を設置し、ここから既に埋設されているロックボルト軸力計の出力データを発信し、換気トンネル内に設けた基地局でこのデータを受信した。KWS と基地局とは互いに見通せない位置関係に置くこととし、離間距離を空洞延長(140m)以上の150mとした。また、KWS には実際の運用時と同様に、通信アンテナ側に孔を開けた発破防護カバーを被せた(写真-1)。実験期間は3日間とし、発破、ズリ出し、吹付けなど、全ての施工サイクルの坑内環境を経験できるようにした。計測インターバルは1時間に1回として、計72回の計測データの回収を試みた。

結果として、96%に当たる69回分のデータが回収され、本システムの京極地下発電所空洞における実用性が確認された。回収できなかった3回の時間における坑内作業状況としては、吹付け作業中や休憩中であり、特定の坑内状況と欠測との関連は認められず、欠測原因は特定できていない。実運用時には、1回の送信でデータを受信できなかった場合に、最大で3回の自動リトライを行うことで欠測を防ぐ予定である。

4. まとめ

今回、京極地下発電所空洞の計測工に採用した無線センサについて適用性の実証実験を行ったところ、適用可能であることが確認された。今後は、KWS への電源供給に関して、現状電源ケーブルを設置しているが、電池式、照明や換気などを利用した、またはこれらのハイブリッドによる電源供給を検討する。また、ネットワークセンサとの融合など、更なる坑内環境への適合、コストダウンを検討する予定である。

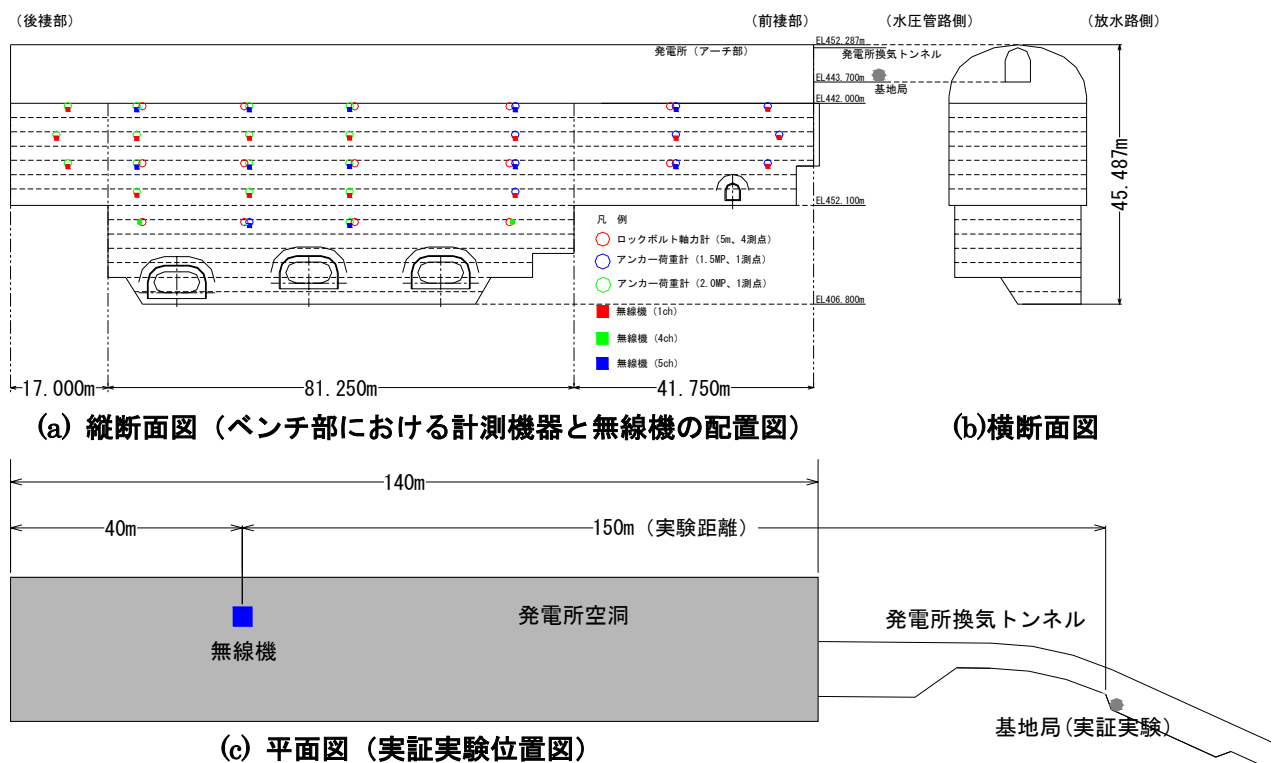


図-1 京極地下発電所空洞形状

参考文献

- 1) 小泉圭吾, 藤田行茂, 上出定幸: 「メッシュ型ネットワークによる多点式土砂災害検知システムの検討」, 第54回地盤工学会シンポジウム論文集, pp.251-256, 2009.
- 2) 藤田行茂, 湯尻克宏, 横尾裕, 小泉圭吾, 上出定幸: 「簡便型ワイヤレス現場計測手法及び実用システムの開発」, 地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム 2008, pp.147-150, 2008.
- 3) 津野 究, 蒲池秀矢, 中西祐介, 仲山貴司: 「無線センサを用いたトンネル変状監視」, トンネルと地下, 第41巻3号, pp.49-53, 2010.