

低周波電磁波を用いたワイヤレス計測システム

Wireless Measurement System Using Low Frequency Electromagnetic Wave

林 田 洋 一[†]

(HAYASHIDA Yoichi)

向 後 雄 二^{††}

(KOHGO Yuji)

浅 野 勇^{†††}

(ASANO Isamu)

増 川 晋[†]

(MASUKAWA Susumu)

田 頭 秀 和[†]

(TAGASHIRA Hidekazu)

I. はじめに

フィルダムなどの盛土構造物には、施工時、運用時の構造物の安全性を確認するため、間隙水圧計や土圧計などの埋設計器が設置されている。これらの多くは対象とする物理量を電気信号に変換する電気式計器であり、電源の供給および計測データの配信のための導電ケーブルが必要であった。このため、(1)ケーブルの断線、絶縁低下や誘導雷による埋設計器の故障による計測の不安定化、(2)ケーブル敷設用トレンチの掘削、ケーブル敷設、埋戻し工程に伴う盛立て作業効率の低下、等の問題点が指摘されてきた。そこで筆者らは、フィルダムにおける施工性の向上、埋設計器による計測の安定性の向上を目的に、低周波電磁波を用いた地中通信技術を活用した導電ケーブルを必要としないワイヤレス埋設計器の開発を行った。本報では、ワイヤレス埋設計器の概要と、フィルダム堤体への適用事例について報告する。

II. ワイヤレス埋設計器

1. 地中通信技術の概要

低周波電磁波は、高周波電磁波に比べて距離減衰は大きいものの、透過する媒質の導電率や誘電率による影響をあまり受けないという特徴がある。このため低周波電磁波の場合、比較的近距离であれば、土中や水中においてもその減衰は少なく通信が可能となる。このような低周波電磁波の特性と、微弱な信号の読み取り精度を上げるために0, 1のデジタル信号を位相変調し識別するデジタル通信技術を併用することで、信号対ノイズ比(S/N比)が2以上であればデータ送受信が可能となり、地中においても最大約100mの双方向無線データ通信が可能である。

地中通信技術の概念を図-1に示す。図-1に示すよ

うに、コイルに発生する低周波電磁波には指向性があるため、機器側のコイルと送受信装置のコイルの軸が一致する位置関係において最も効率的な地中通信が可能となる。なお地中通信技術では、周波数8.5kHzの低周波電磁波を用いるが、これは電波法により無許可で使用できる範囲である。また、ワイヤレス埋設計器の通信出力は5Wと小さいため、機器から発生する磁界の強さは、機器から7cm程度離れた距離で、300mGと地球の地磁気と同程度になり、WHOの基準を十分に満足する。

2. ワイヤレス埋設計器の概要

ワイヤレス埋設計器の開発に当たって、堤高100m程度のフィルダムに設置することができ、かつ10年以上安定した計測ができることを目標とした。そのた

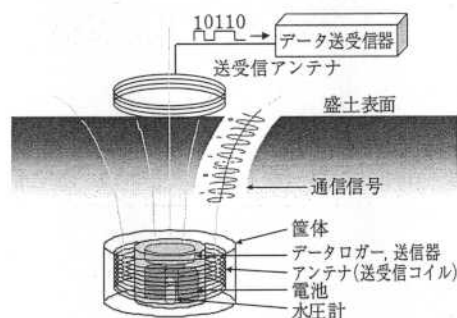


図-1 地中通信技術の概念図

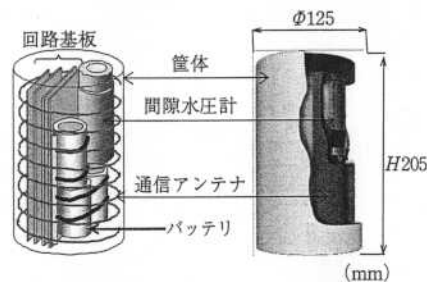


図-2 ワイヤレス埋設計器本体部の概要

[†](独) 農研機構農村工学研究所^{††}東京農工大学大学院^{†††}農林水産省農林水産技術会議事務局

めの仕様として、耐水圧性能 3 MPa 以上、地中通信距離 100 m 以上および電池寿命 10 年以上を設定した。また、堤体に対して異物とならないよう、計器寸法をフィルダムの遮水材の最大粒径以下とし、質量も同程度とした。ワイヤレス埋設計器本体部の外形と内部構造を図-2 に示す。計器は、①筐体、②回路基板、③バッテリー、④通信アンテナ、⑤間隙水圧計により構成される。回路基板部の小型化、省電力化、送受信アンテナの統合、部品数の削減、高エネルギー密度のリチウム電池の使用により、設計仕様を満たす小型化に成功した。形状は、直径 125 mm、高さ 205 mm の円筒形である。電源には装置内部の電池を利用しており、計測頻度：1 回/日、通信頻度：1 日/週の使用条件下で 10 年以上の計測寿命を確保している。また、設計仕様として設定した 10 年では計測期間が不十分な場合、ワイヤレス埋設計器の寸法は若干大きくなるものの、電池量を増やすことで 15 年の計測期間に対応させた事例もある¹⁾。このように必要な計測期間と許

容可能なワイヤレス埋設計器の大きさを検討することで、計測期間については柔軟に対応可能である。なお、間隙水圧計そのものの機構、性能については従来型センサと同等である。

現在では、間隙水圧計だけでなく、最大 8 つのセンサを接続可能なものが開発され、図-2 に示す形状の本体部を無線通信型データロガーとして活用している。その一例として、間隙水圧計と一成分の土圧計を併用したワイヤレス埋設計器を、写真-1 に示す。

ワイヤレス埋設計器によるフィルダムの計測システムの概要を図-3 に示す。なお比較のため、従来型の埋設計器による計測システムも併記している。ワイヤレス埋設計器を用いた計測システムでは、ダム天端あるいは監査廊にデータ送受信装置を設置し、ワイヤレス埋設計器との間でデータの送受信を行う。図-3 から明らかのように、従来型の埋設計器を用いた場合には、堤体内にケーブルが張り巡らされるため、設置作業が複雑で、コストも掛かる。これに対しワイヤレス埋設計器を用いた場合には、埋設計器の設置が簡便で、堤体内で大きな異物となるケーブルが存在せず堤体内の均質性が保たれるため、施工性、堤体の安全性の観点から、有効と考える。

III. ワイヤレス埋設計器のフィルダムでの適用

1. ワイヤレス埋設計器の設置方法

従来型間隙水圧計の設置にはケーブルを敷設するためのトレンチの掘削が必要であった。写真-2 に、従来のケーブルトレンチを用いたケーブル敷設の状況を示す。これから、従来型の埋設計器を設置するには、多大な労力と時間を必要とすることが明らかである。

一方、ワイヤレス埋設計器の場合、このような長大なケーブルトレンチが必要ない。ワイヤレス埋設計器の本体部（以降、「本体部」と記述）を設置する場合、「コア抜き法」²⁾と呼んでいる方法を用いる。これは、盛土面にスクリーポイント等を用いて穿孔し、その中に本体部を静置し、埋め戻すという簡便な方法であ



写真-1 間隙水圧・土圧併用型ワイヤレス埋設計器

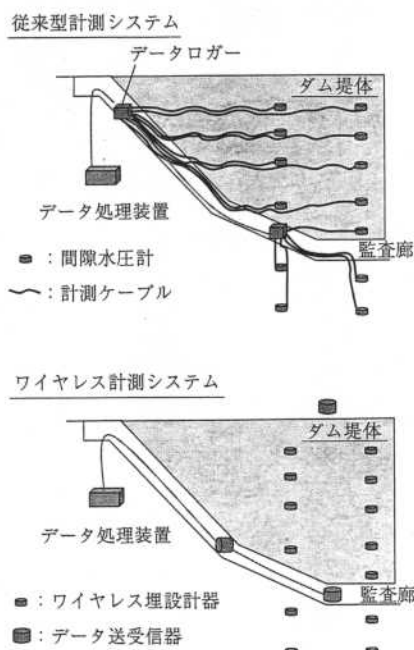


図-3 従来型とワイヤレス計測システムの比較



写真-2 ケーブルトレンチの施工状況

る。

この方法は従来の長大なケーブルトレンチを掘削する設置法に比べ、短時間で計器の設置が可能であり、堤体に損傷を与える可能性も少ない。また、前章で述べたように、ワイヤレス埋設計器のアンテナコイルに発生する低周波電磁波には指向性があるため、ワイヤレス埋設計器の設置に当たっては、本体部を傾けず円筒の中心軸が鉛直になるように設置することが重要となるが、「コア抜き法」の場合、本体部のアンテナ軸方向を鉛直に保つことが容易である。

ここでは、間隙水圧・土圧併用型のワイヤレス埋設計器の設置方法について、一連の設置状況を写真-3に示す。

作業手順を概説すると、①土圧検出部およびそれに付随する約1.5mのケーブルを敷設するための3.0m×1.2m程度のトレンチを掘削し整形する、②本体部埋設のための穿孔および整形、土圧検出部設置箇所の整形を行い、設置標高を確認する、③本体部および土圧検出部を静置する、④人力により2mmアンダーのコア材で計器周辺を締め固め覆土する、⑤計器周辺を覆土後、トレンチを重機によりコア材で三層に別け埋め戻す、⑥各層を振動ローラーにより締め固める、となる。なお、一連の作業に要する時間は、1時間弱である。

2. ワイヤレス埋設計器における計測事例

実際のロックフィルダムでワイヤレス埋設計器によ

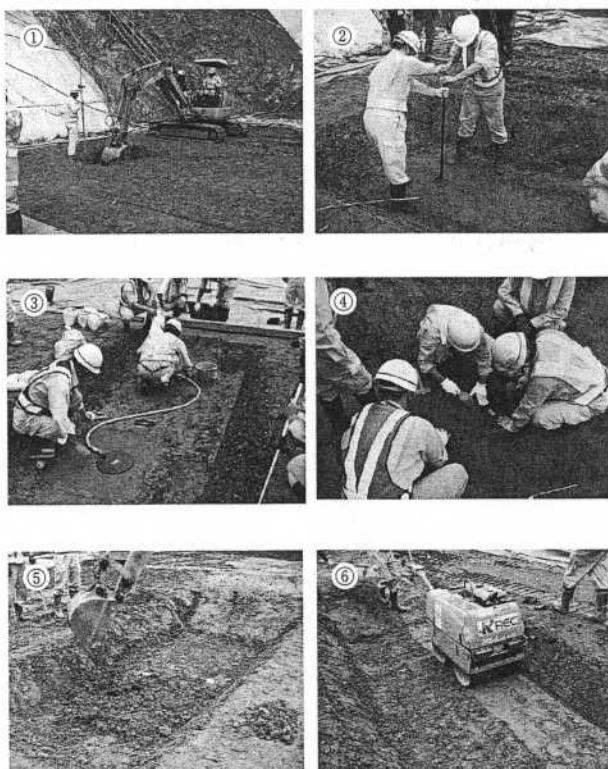


写真-3 ワイヤレス埋設計器の設置手順

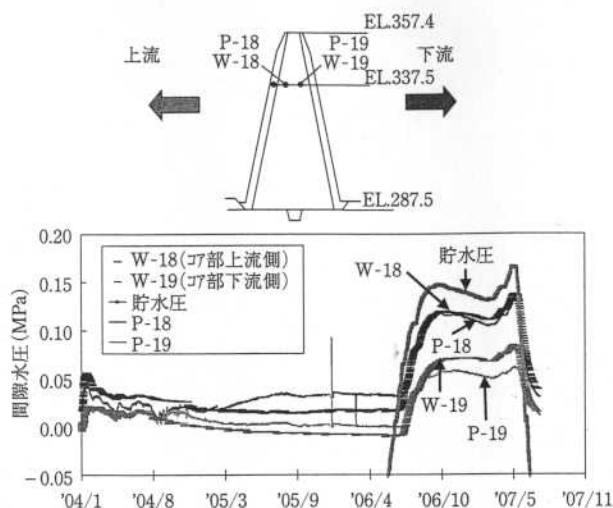


図-4 Aダムにおける観測結果

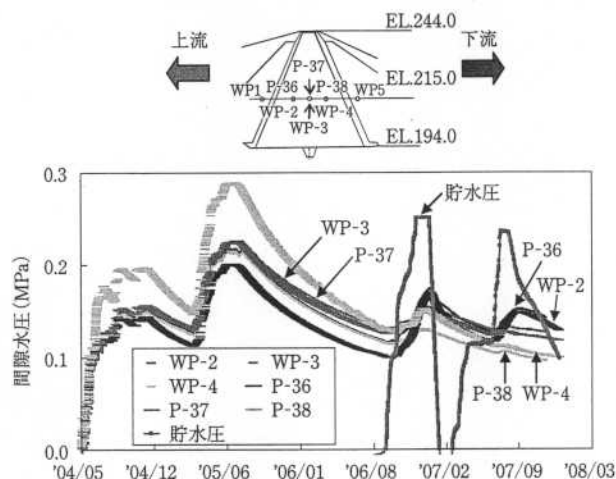


図-5 Bダムにおける観測結果

る計測を実施している事例の一部を紹介する。

図-4に示すAダムは、堤高69.9m、堤頂長312.5m、堤体積1,575千 m^3 の中心遮水ゾーン型ロックフィルダムである。EL.337.5mに設置されている従来型の間隙水圧計(P-18, P-19)の近傍に、ワイヤレス間隙水圧計(W-18, W-19)を試験的に設置し両者の比較を行っている。図-5に示すBダムは、堤高50.0m、堤頂長256.0m、堤体積801千 m^3 の中心遮水ゾーン型ロックフィルダムである。EL.215.0mに設置されている従来型の間隙水圧計(P-36, P-37, P-38)の近傍に、ワイヤレス間隙水圧計(WP-2, WP-3, WP-4)を試験的に設置し両者の比較を行っている。両ダムともに、盛り立て中には従来型のセンサとワイヤレス間隙水圧計の間で傾向は一致しているものの一部計測値に乖離が見られたが、それらも試験湛水開始後はほぼ同一の値となった。

図-6に間隙水圧・土圧併用型のワイヤレス埋設計器を設置しているCダムでの計測結果の一部を示す。

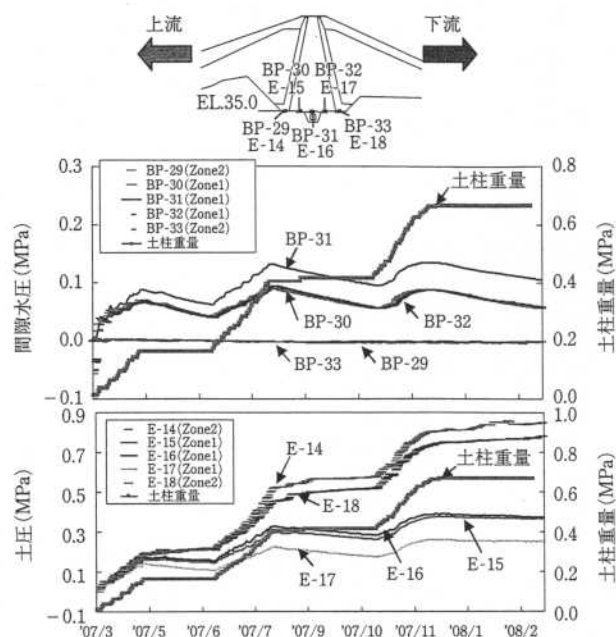


図-6 Cダムにおける観測結果

Cダムは、堤高52m、堤頂長298m、堤体積922千 m^3 の中心遮水ゾーン型ロックフィルダムである。なお、このダムでは、16台のワイヤレス間隙水圧計と16台の間隙水圧・土圧併用型のワイヤレス埋設計器が設置されている。従来型のセンサとの併設による比較は行っていないが、間隙水圧、土圧ともに一般的なロックフィルダムでの傾向と一致しており、ワイヤレス埋設計器により適切に計測が実施されている。

IV. まとめ

ワイヤレス埋設計器は、従来型のセンサに比べ施工が簡便であり、ケーブルに起因する計測トラブルなく安定的に計測を実施することが可能である。

また、実際のフィルダムでの計測事例から、従来型のセンサと比べ同等の計測結果が安定的に得られている。これらのことから、フィルダム建設におけるワイヤレスセンサの有効性は高いと考えられる。

謝辞 ワイヤレス間隙水圧計は、農林水産省農村振興局官民連携新技術研究開発事業により(独)農業工学研究所、(株)坂田電気、(株)東京電力で研究開発い

たしました。また、計測データをご提供いただきました各関係機関の皆様には、末筆ではありますがここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 菅原俊幸ら：ITを活用した胆沢ダムの合理化施工，土と基礎 56(1)，pp.8～11(2008)
- 2) 向後雄二ら：ワイヤレス間隙水圧計の開発とフィルダムにおける観測，ダム工学 16(3)，pp.165～176(2006)

(2008.5.30 受稿)

林田 洋一



略歴
2000年 京都大学大学院農学研究科修了
農林水産省農業工学研究所
2001年 (独) 農業工学研究所
2006年 (独) 農研機構農村工学研究所
施設資源部構造研究室研究員
現在に至る

向後 雄二



1978年 東京農工大学農学部卒業
農林水産省農業工学研究所などを経て
2007年 東京農工大学大学院農学府
国際環境農学専攻准教授
現在に至る

浅野 勇



1988年 東京農工大学農学部卒業
農林水産省農業工学研究所などを経て
2006年 農林水産省農林水産技術会議事務局
研究調査官
現在に至る

増川 晋



1985年 神戸大学大学院農学研究科修了
農林水産省農林水産技術会議事務局などを経て
2007年 (独) 農研機構農村工学研究所
施設資源部構造研究室長
現在に至る

田頭 秀和



1992年 京都大学大学院農学研究科修了
農林水産省農業工学研究所などを経て
2003年 (独) 北海道開発土木研究所(現(独)土木研究所寒地土木研究所)
2007年 (独) 農研機構農村工学研究所
施設資源部構造研究室主任研究員
現在に至る