

## 学位論文内容の要旨

学位論文題目

ロックフィルダムの安全管理のための GPS を用いた外部変位計測法の実用化に関する研究

氏名

小堀 俊秀

ダムは貯水池に大量の水を貯める構造物であり、万一の際に下流に及ぼす影響が大きい。そのため、常に安全管理を行っている。ロックフィルダムの安全管理上の主要計測項目は、堤体および基礎地盤浅部からの漏水量と外部変位の計測が規定されている。これは、これらの項目の計測により、特定断面に限った局所的な挙動ではなく、堤体および基礎地盤の全体的な挙動が把握できるためである。

近年、完成後長期間が経過したダムの数が増加する一方で、ロックフィルダムの安全管理のための外部変位計測は、従来行われている測量では、計測やデータ整理の煩雑さや、人件費がかなりの負担となっている場合がある。また、将来においては合理化のための複数ダムの統括的な管理、また長期的なコスト縮減のため、人的労力によらない自動計測が必須となると考えられる。そのためには、連続的な計測が難しく、地震時などの臨時点検の対応が困難な従来の測量手法に代わる計測手法を整備することが課題である。

本論文は、GPS 変位計測システムによるダムの外部変位計測の実用化のために、ダムの計測に適した GPS 変位計測システムの開発、GPS 変位計測システムによる地震時の挙動計測の検証、計測の合理化のために GPS アンテナを設置するための外部変位計測箇所を選定方法の提案を行った。

第1章『序論』では、本研究の背景を述べるとともに、関連する研究として、近年のダムの各種計測に関する研究についてとりまとめ、その中から堤体変位計測について概要を示した。また、本研究の課題を明確にするために、目的および構成を示した。

第2章『ダムの安全管理・点検と現場計測』では、現在ダムで行われている安全管理のための計測項目と計測頻度や臨時点検について述べ、ダムの安全管理のための計測の現状と課題を示した。また、これまで計測されたロックフィルダムの常時と非常時の計測事例を示し、変位計測のための要求性能として、常時は年間数 mm 単位から非常時は短時間に数十 cm 単位と幅広い計測が行えることが求められることを示した。

第3章『GPS 変位計測システムのロックフィルダム外部変位計測への初期の適用』では、フィルダムに適用する GPS 変位計測システムについて示した。また、ロックフィルダムにおいて、光波測量および水準測量に基づく従来の外部変位計測とともに、GPS 変位計測システムによる外部変位計測を実施し、両計測結果の比較を行い、課題の抽出を行った。初期の適用では、GPS センサーの天端への設置方法が課題となった。

第4章『ロックフィルダム天端堤体内部に設置するためのGPS変位計測システムの改善』では、第3章で得られた課題を踏まえ、ロックフィルダム天端でのGPSセンサー設置について検討を行った。GPSセンサーの設置は、これまでのダムの安全管理の障害にならないようにするとともに、GPSアンテナをコアに直接設置する方法が必要となる。そこで、ダム天端の視準測量用のマンホール内にGPSアンテナを設置方法について提案した。マンホール内に設置するにあたり、蓋の材質、深さ、積雪時の基本的な実験を行った。その結果を踏まえ、実際のダムにおける計測を実施し、マンホール内に設置できるよう改善したGPSセンサーは実用性があること確認した。

第5章『GPSを用いたロックフィルダム堤体の地震時変位挙動計測』では、GPSによる変位計測の有効性を検証するために、地震時における計測の即応性および地震後の堤体の変位計測について検討した。その結果、地震時における計測の即応性については、GPSによる変位計測により地震による数mm～10数mmの比較的小さなダム堤体の変位が、三次元的に連続計測できた。また、変位は地震発生1時間後には明瞭に計測されており即応性は高く、迅速な計測を行うことが可能であることがわかった。地震後の計測については、地震後の15mm程度の沈下による変位が精度よく計測することができた。これらの結果より、GPSによる変位計測は地震時の迅速な安全性の判断、地震後の精度高い安全性の判断に有効な手段となり得ることが示された。

第6章『GPSによるフィルダム外部変形計測における計測点の選定方法』では、GPS変位計測システムのための外部変位計測の重要測点の選定方法について提案を行った。前章までの研究の成果により、設置場所に関する問題が解決され、従来の測量からGPS変位計測システムによる計測に移行することが可能となった。しかし、管理段階のダムでは計測にかかるコストは限られており、既存のフィルダム堤体表面の外部標的全地点を網羅するようにGPSセンサーを設置することは難しい。そこで、これまでダムで行われてきた安全管理の体制を考慮しながらGPS変位計測システムの導入が行われるように、外部変位計測の重要測点の選定方法について提案を行った。

第7章『結論』では、本研究の各章の成果について取りまとめるとともに、今後の課題、展望について述べた。

## 【論文審査結果の要旨】

完成後、長期間経過したダムが増加し、その安全管理は社会的関心事となっている。また、ダムの合理的かつ統括的な管理、長期的なコスト削減、さらには、地震時などの非常時の迅速な点検のために、人的労力によらない自動計測が必須であり、従来の測量手法に代わる計測手法を整備することが喫緊の課題となっている。

本研究は、これらの課題を克服するために、GPSの利用に着目し、GPS変位計測システムによるダムの外部変位計測の実用化を目的とするものである。具体的には、ダムの計測に適したGPS変位計測システムの開発と長期安定計測の検証、地震時計測の検証、合理的なダム変位計測のためのGPSセンサー設置箇所を選定方法を提案している。

まず、第1章では、序論として研究の背景と近年のダムの各種計測に関する研究についてとりまとめ、本研究の目的と論文の構成を示した。第2章では、ダムの安全管理のための計測の現状と課題を述べ、さらにロックフィルダムの計測事例を示し、ダムの外部変位計測に対して要求される計測精度を示した。

第3章では、GPS変位計測システムをロックフィルダムの変位計測に試験適用し、2章で示した要求される計測精度を満足することと、従来の測量法による変位計測結果と比較することによって、GPS変位計測の適用性を検証した。一方、適用を通して、特に、ダムの安全監視において重要なダムコアの沈下計測に対しては、GPSセンサーの設置箇所と方法に課題があることが示された。

第4章では、第3章で得られた課題に対し、GPSセンサーによってダムコアを直接計測することができるようにするために、ダム天端のマンホール内にGPSアンテナを設置することとし、必要なセンサーの改善と計測方法の確立のために実験と計測を実施した。すなわち、マンホール蓋の材質、および、マンホール内におけるセンサーの適切な設置深さを決定するための実験を行い、さらに、マンホール上の積雪の影響を調査するために、冬季のダムにおいて実際の雪を使った雪の影響調査実験を実施し、積雪時の精度および管理方法について検討した。最後に、これらの結果を踏まえ、2か所のダムにGPS変位計測システムを設置し、長期にわたる計測によって、マンホール内センサーの妥当性とシステムの長期安定性が実証された。

第5章では、地震時における計測の即応性および地震後の堤体の連続変位計測の有効性を、東北地方太平洋沖地震における実測結果から検証した。その結果、地震による数 mm～10 数 mm の小さなダム堤体の変位が地震発生直後 1 時間後には明瞭に計測され、さらに、地震後、連続計測することで余震による影響、また、地震の影響の収束を的確に捉えることができた。このことより、これまで困難とされてきた地震直後およびその後の長期にわたる影響把握が可能となった。

第6章では、GPS センサーの設置位置を適切に選定するための考え方を明確にし、計測点の具体的な選定方法を提案した。これによって、GPS 変位計測システムをダムの安全管理の実務に適用することが可能となる。第7章では、本研究の各章の成果について取りまとめるとともに、今後の課題と展望について述べている。

公聴会には学外からの 10 数名を含め 30 名以上の参加者があり、①計測される変位の大きさの限界と精度の保証、②雪が計測に及ぼす影響と対処法、③大地震時の変位計測への適用の信頼性、④ダム安全管理における計測結果の評価の在り方、⑤計測に基づくダムの寿命の予測の可能性、などについて質問があり、いずれに対しても適切な回答がなされた。

以上より、本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士（工学）の論文に十分値するものと判断した。