

GPS 自動計測による地震時のフィルダム堤体変位の検出に関する研究

国際航業(株)・shamen-net 事業推進部	正会員	○岩崎 智治
国際航業(株)・shamen-net 事業推進部	正会員	佐藤 渉
国際航業(株)・shamen-net 事業推進部	非会員	飯島功一郎
独立行政法人水資源機構・浦和技术センター	正会員	曾田 英揮

1. はじめに

フィルダム堤体の安全確認は、ダム構造物管理基準（日本大ダム会議）などにに基づき、目視点検および計測が実施される。特に地震後には浸透量ならびに測量作業による堤体の外部変形計測が重要である。しかし、従来の測量による計測では、①計測や結果の整理に比較的長い時間を要し費用もかなりかかる、②そのため地震後などの非常時において直ちに対応できていない等の課題があった。そこで我々は、新しいGPS計測システムを用いたフィルダム堤体の外部変形自動計測を試験的に実施している¹⁾。

本研究では、このGPS自動計測で連続的な堤体外部変形を観測できることを利用して、地震時等に発生する突発的な変位に対して2～3時間の間に変位発生の有無を、また24時間以内には信頼できる数値情報を含む速報を行うための手法について検討した。

2. GPS 自動計測システムと計測フィールド

本研究で使用したGPS自動計測システム²⁾は、新しく開発された地盤計測用の安価なGPS計測機器を用いて、1時間に1度の計測頻度で24時間連続的に自動計測を行う。計測データは最も高精度なスタティック測位法により基線解析（座標計算）され、トレンドモデルと呼ばれる時系列統計処理手法で誤差処理を行うことで従来に比べて数倍優れた計測精度を得ることができる³⁾⁴⁾。なお、計測結果はインターネットで常時配信される。

このGPS自動計測システムを木曾川水系阿木川に建設されている阿木川ダム（中央遮水壁型ロックフィルダム、堤頂長362m、堤高101.5m）の堤体に設置した。図-1に、ダム堤体平面図を示す。図中の●はGPSセンサーを設置した外部標的で、GPSセンサーの設置状況写真も掲載した。

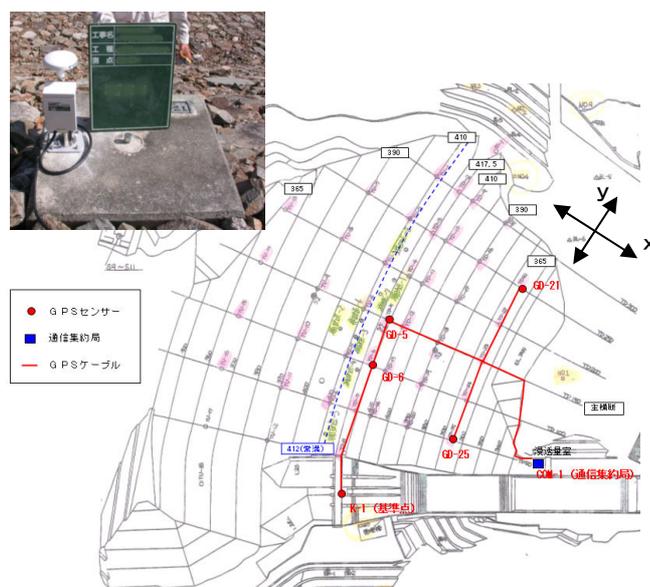


図-1 ダム堤体平面図とGPSセンサーの配置

3. 変位発生時のGPS計測値について

通常の基線解析のみによるGPS計測値は、様々な誤差要因のために数mm～10数mm程度バラつくが、当該GPS自動計測システムではトレンドモデルによる誤差処理を行うことで、水平成分で1～2mm程度、鉛直成分で2mm～3mm程度の高精度計測が可能である。岩崎ら⁵⁾、山口ら⁶⁾は、試験湛水中のフォルダム堤体計測において、当該システムと従来の光波・水準測量とを併用し、GPS自動計測の結果が従来手法と同等かそれ以上の計測精度を有することを確認した。また、曾田ら¹⁾は供用中のフォルダムにおいて、貯水位変化に伴う堤体の変動を1mm～2mm程度の誤差で計測できることを確認した。しかし、地震時などに発生する突発的な変位に対してはトレンドモデルによる誤差処理後の値が実際の変位を検出までに数時間程度のタイムラグがあることを示した。

4. GPS自動計測による地震時等の突発的な変位の検出方法

上述のように、当該GPS自動計測システムを用いれば、通常の堤体外部変形に対しては高精度（1mm～3mm程度）

キーワード : フィルダム, 地震, 堤体, GPS, 計測

連絡先 : 〒102-0075 東京都千代田区三番町5番 国際航業(株) shamen-net 事業推進部 TEL03-3288-5719

な計測が可能であるが、突発的な変位に対しては真の変位を検出するまでにタイムラグが生じる。したがって、地震直後の堤体の安全確認の際には、トレンドモデル以外の方法でGPS計測値を客観的に評価する必要がある。

そこで、本研究では、GPS計測値のバラつきが正規分布に従うことに着目して、トレンドモデル以外の統計的手法を用いて2～3時間後に突発変位の発生の有無を検知し、速報するための計測値の評価を行った。

図-2は、阿木川ダム堤体の外部標的に設置したGPSセンサーGD-6（図-1参照）で実際に取得したGPS計測値を使用し、X（上下流）方向とZ（鉛直）方向に30mmの変位を付加して地震による突発的な変位発生をシミュレートしたものである。図中の実点はGPS計測値、赤実線はトレンドモデルによる誤差処理後の値、横軸の経過時間0hの時点で地震による変位が発生したことを示している。

【標準偏差σによる評価】 図中のGPS計測値に±3σ（出現確率99.7%）の高低線を棒グラフで記入した。ここで、標準偏差σはX方向1.3mm、Z方向2.8mmで、変位発生前4日間の計測値から求めた。この方法では、変位発生から時間が経過しても変位検出精度は向上せず、X方向±3.9mm、Z方向±8.4mmと一定である。

【t推定(式1)による評価】 変位発生後に取得された計測値から標準偏差 U_1 をもとめ、発生した変位を推定する。図には青破線で信頼確率99%のt推定幅を示した。この方法では、時間経過と共に変位検出精度は向上するが、変位発生2時間後の変位検出は難しい。

【Z推定(式2)による評価】 推定に使用する標準偏差 U_2 は、変位発生前の計測値から求めた標準偏差σと同じと仮定する。図には緑実線で信頼確率99%のZ推定幅を示した。この方法では、時間経過と共に変位検出精度は向上し、変位発生2時間後の変位検出精度もトレンドモデルより良好である。

5. まとめ

本研究では、GPS自動計測で連続的な堤体外部変形を観測し、地震時等に発生する突発的な変位に対して客観的な速報を行うための手法について検討した。その結果、図-2の30mmの変位発生のケースで、X（上下流）方向では地震発生後3時間経過まで、Z（鉛直）方向では同・5時間経過まではZ推定による変位検出を行い、それ以後はトレンドモデルによる誤差処理後の値を用いることで、2～3時間の間に変位発生の有無を、また24時間以内には信頼できる数値情報を含む速報を行うことが可能と考えられる。

参考文献

- 1) 曾田英揮, 田口孝男, 佐藤信光, 工藤勝弘, 岩崎智治, GPSを用いたフィルダム堤体変形の測定と地震時速報, ダム技術, 2006年4月(掲載予定)。
- 2) 岩崎智治, 武智国加, 武石 朗, 清水則一: 道路斜面の維持管理を目的とした計測評価システムの開発, 土と基礎, Vol. 50, No. 6, No. 533, pp. 25-27, 2002年6月。
- 3) 清水則一, 安立 寛, 小山修治: GPS変位モニタリングシステムによる斜面変位計測結果の平滑化に関する研究, 資源と素材, Vol. 114, pp. 397-402, 1998年6月。
- 4) 松田浩朗, 安立 寛, 西村好恵, 清水則一: GPSによる斜面変位計測結果の平滑化処理法と変位計測予測手法の実用性の検証, 土木学会論文集, No. 715/III-60, pp. 333-343, 2002年9月。
- 5) 岩崎智治, 萩野晃平, 小野博之, 大野 誠, 屋我直樹, 清水則一, インターネットを用いたGPS自動計測・監視システムによるフィルダム堤体計測, 土木学会第59回年次学術講演会講演集, 2004年9月。
- 6) 山口嘉一, 小堀俊秀, 横森源治, 大野誠, 岩崎智治: GPSを用いたフィルダム外部変形計測に関する一考察, ダム工学, Vol. 15 No. 2, pp137-148, 2005年8月

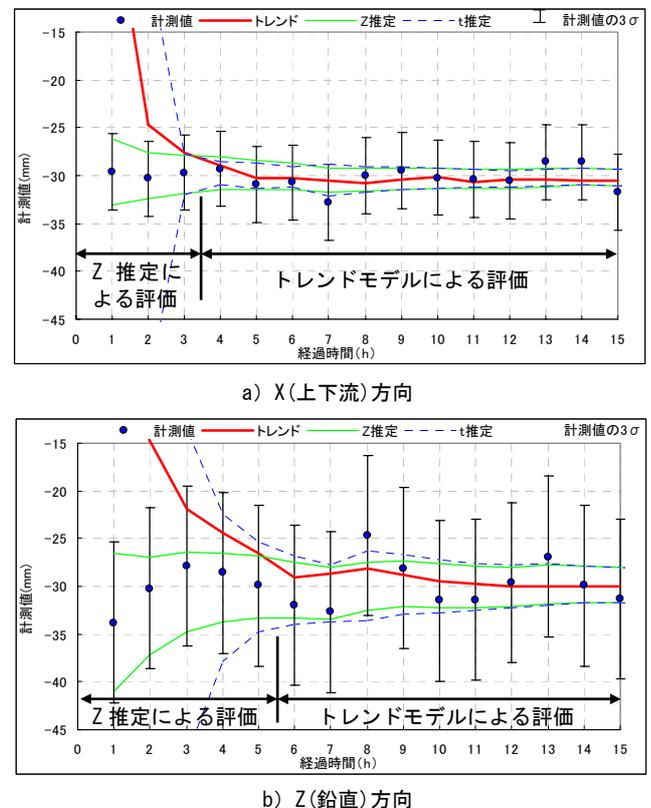


図-2 30mmの突発的な変位発生時の検討結果図

$$m = x + t(\alpha, n-1) \frac{U_1}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

$$m = x + z(\alpha) \frac{U_2}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

m : 変位
 x : 標本の平均値
 $t(\alpha, n-1)$: 統計量 t
 $Z(\alpha)$: 統計量 Z
 U_1 : t 推定の標準偏差
 U_2 : Z 推定の標準偏差
 α : 信頼度
 n : 標本数