

ドローンを用いたダム堤体の挙動観測手法の開発

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 五十嵐 弘記^{*1}

東日本旅客鉄道株式会社
東日本旅客鉄道株式会社
東日本旅客鉄道株式会社

正会員 ○大森 友博^{*1}
非会員 金井 英司^{*2}
正会員 小野 桂寿^{*2}

1. はじめに

JR 信濃川発電所は、宮中取水ダム、浅河原調整池、千手発電所、山本調整池、小千谷発電所、山本第二調整池、小千谷第二発電所で構成されている。信濃川発電所にて発生した電力は、新幹線、首都圏および上越線の電車運転用で使用されており、調整池に水を貯めることで、朝夕のラッシュ時と合わせピーク発電を行っている。

信濃川発電所では、水路工作物の状況に関する測定を実施しており、その一つに各調整池における堤体の変動測定がある。その測定方法は、トータルステーション(以下、「TS」という)にて固定標点から堤体に設置されている標定点を測定するほか、固定標点を基準とした水準測量を行っている。測定結果は、堤体に設置されている測定点が限られているため、堤体の面的な把握が難しく、また変動測定は将来にわたり長期的に計測を実施する必要があることから、TSに頼る測定調査でなく効率的に計測する必要がある。

そのため堤体の変動測定をより視覚的に把握し、調整池を総合的に管理していくために、ドローンを用いた計測の導入を検討した。本稿は、ドローン撮影による堤体計測に適した標定点標識の開発およびデータ収集、精度の検証結果を報告する。

2. 堤体

2.1 浅河原調整池

堤体変動の計測箇所として、図-1に示すように堤体が直線となる浅河原調整池を検討の対象とした。

浅河原調整池では、3ヶ月に1回(12月~翌3月除く)堤体天端に設置した標定点についての水平方向変位量、および鉛直方向変位量を計測している。

2.2 変位量

過年度の計測結果として、1年あたりの変動量は、平均で水平方向±2mm、高さ方向±9mm程度の結果となっている。

3. 画像による変動測定の精度

堤体の変動量について、ドローンからの撮影画像による測定時での理論精度の検証を実施したところ、相対位置の理論精度は約20mmとなった。前節で示した堤体の変動量の約10倍となることから、現状の高解像度カメラを用いた写真測量やSFM(写真測量手法)の精度を理論精度20mmに近づける手法を検討した。

3.1 写真測量手法およびSFM手法

ドローンを用いた写真測量における主な精度管理は、

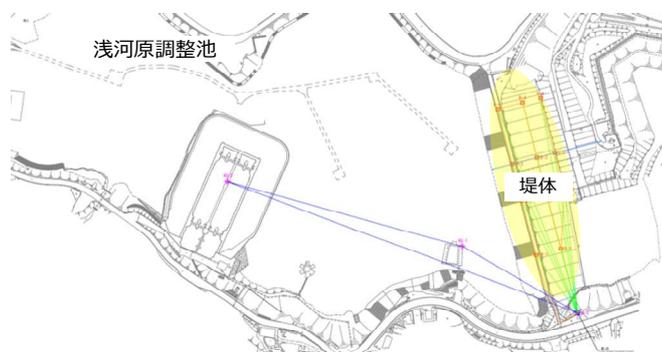


図-1 浅河原調整池平面図

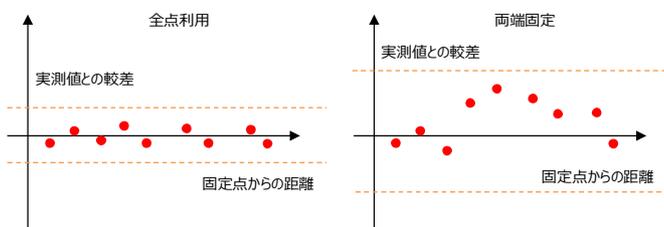


図-2 両端固定で予想される精度分布

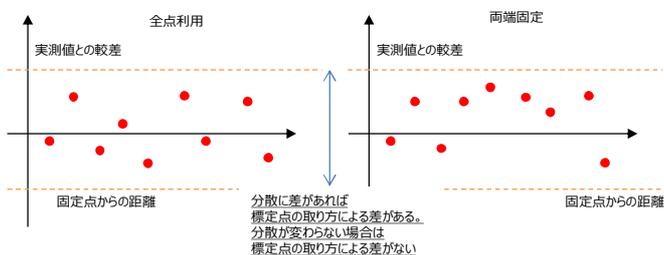


図-3 分散と精度

標定点の配置および対空標識の設置、空中三角測量時の目標残差である。またドローンを用いたSFM(写真測量手法)における主な精度管理は、標定点・検証点の配置および対空標識の設置、SFM計算時の目標残差である。そのため標定点の設置点数を28点とし、目標精度は空中三角測量の標定点の水平位置および標高、SFM計算時の残差を20mmとした。

3.2 標定点の選定による精度変化の検証

堤体の変動量を観測するには、変位する恐れのある堤体部分は利用できないと考えられる。そのことから変動しない固定点と変動する恐れのある可動点の2種類の標定点を設定し、①固定点と変動点の全点を利用

キーワード：堤体, SFM, 空中三角測量, 対空標識, ドローン

*1 東日本旅客鉄道(株) 信濃川発電所業務改善事務所
連絡先(住所:新潟県長岡市台町1-7-33 N Tour ビル3階 電話:0258-87-2538 Fax:0258-87-2545)

*2 東日本旅客鉄道(株) 信濃川発電所
連絡先(住所:新潟県小千谷市山本316番地 電話:0258-82-2702 Fax:0258-82-2716)

した場合と②固定点のみを利用した場合との違いによる精度変化を検証した。

3.3 標定点の設置位置

標定点の設定による精度の違いを検証するため、標定点の設置計画を行った。浅河原調整池の堤体の変動点は堤体の中央部に発生していると仮定し、変動点を28点設置し、変動が生じないと仮定した堤体の両端には固定点を5点設置した。

3.4 精度変化の検証方法

標定点の選定による精度変化の検証方法は、空中三角測量およびSFMの標定点全点を用いた処理、両端を固定した処理を行い、処理値と実測値の較差および平均、標準偏差を算出する。図-2, 3に示すように、散布図にて標定点全点と両端固定点において、固定点からの距離に応じて分散が変化すれば、標定点の選定による精度変化があることとなり、分散がほぼ同様となれば標定点の設定による精度差は無いものとした。

3.5 対空標識の形状による精度向上の検討

地図情報レベル 500 の標準的な対空標識は、200mm×200mm であるが、表-1 に示すように撮影画像内での抽出誤差を小さくすることを目的にした形状検討を行い、新たに多面体、円形、平面を組み合わせた対空標識を開発した。なお標定点周辺に従来の航空写真測量用に類似した対空標識および開発した対空標識を設置し、精度が向上しているか検証した。

4. 検証結果

ドローン撮影は、垂直および斜めで行い、対地高度25m、オーバーラップ80%、サイドラップ60%で対地高度一定で空中三角測量を実施した。なお精度検証および検討のために対空標識を各々選択し複数回行った。

4.1 標定点選定による精度検証結果

標定点選定による結果を図-4, 5に、全点用いた場合と両端固定を用いた場合の精度差を表-2に示す。標定点選定は、全点用いた方が両端のみとした場合より精度が高く、標定点を固定点のみとした場合は固定点からの距離に応じて精度が低下することがわかった。

精度の検証は、水平方向より高さ方向に大きくなる傾向が見られた。これは写真測量における水平精度より奥行き精度が悪いためと考えられる。また標定点を堤体全体に配置した場合は、目標精度20mmに対してほぼ精度内の成果が得られた。

4.2 対空標識の違いによる精度検証結果

開発した対空標識と標準標識を用いた空中三角測量/SFMの計算結果のうち、開発した対空標識6パターンの平均較差および標準偏差から、多面体が垂直および斜め撮影ともに視認性が高いことがわかった。

円形の対空標識については、垂直撮影時に標準および多面体の標識と比較すると正確性に劣る。これは、オペレーターが中央を安定して指針することが難しいからであると考えられる。

5. まとめ

ドローンでの堤体計測に適合した対空標識を開発するために、堤体計測への適切な対空標識の検討および試作、配置方法の検討を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- ・標定点を全体に配置した場合、目標精度20mmに

表-1 対空標識の形状検討

仮定	理由	適性形状
ドローン用に小型化する	デジタルカメラの地上解像度を考慮し40mm×40mm以上の大きさでよいと判断	地図情報レベル500の対空標識をスケールダウンした80mm×80mm
撮影面に正対すると精度が高くなる	斜め撮影時に対空標識がカメラに正対していると画像上で刺針が正確に行えると判断	対空標識を可動式にした80mm×80mm
対空標識は多面体の方が刺針しやすい	垂直撮影/斜め撮影でも角が鮮鋭であれば正確に指針ができると判断	半多面体、20面体
対空標識は多面体よりも球の方が刺針しやすい	垂直撮影/斜め撮影でも円で抽出すれば中心はとりやすいと判断	球、半球

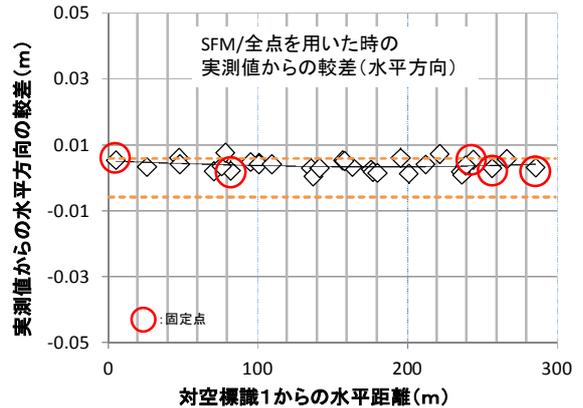


図-4 SFM(全点使用)時の実測値との較差

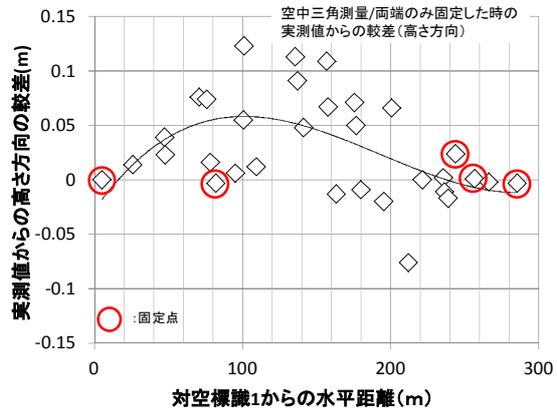


図-5 空中三角測量(固定点のみ使用)時の実測値との較差

表-2 全点および両端固定の精度差

※実測値からの較差の標準偏差

手法		写真測量/図化の標準偏差(m)			SFMの標準偏差(m)		
		X	Y	Z	X	Y	Z
垂直	全点	0.012	0.014	0.024	0.003	0.002	0.006
	固定	0.023	0.044	0.078	0.009	0.022	0.020
斜め	全点	0.013	0.013	0.032	0.004	0.005	0.011
	固定	0.025	0.033	0.077	0.037	0.052	0.065

してほぼ精度以内の成果が得られた。

- ・対空標識の作成は、標準と比較し多面体の20面体の対標が垂直および斜めの撮影とともに視認性が高い。これは頂点が各方向から明瞭にとらえられる多面体の対空標識は精度向上に寄与すると考えられる。
- ・両端の固定点のみで堤体の変動量測定が実施でき、土砂災害時などの大きな変状を捉えることも現状で可能と考える。