



所属名：株式会社 岩根研究所
発表者：若桑 朝之

1. はじめに

国土交通省中国地方整備局では、「堤防点検5カ年計画」として、平成21年までに直轄河川13河川の詳細点検を行う計画である。平成18年3月までに対象区間634kmのうち、約268kmが完了し、そのうち、約30%の区間で、計画の水位に達する規模の洪水が発生した場合、浸透に対する安全性が確保されていないことが確認された。

その後は、安全性が確保されていない堤防の強化を図っていく予定になっている。

一方、平成16年12月に発表された「防災能力の高い地域づくりに向けた5つの取り組み」のなかで、「河川の現状把握に関する取り組み」の一環としてGISを利用した現状把握と、県と直轄での情報共有を行う計画である。

以上の背景のもとに、本開発研究では、河川を維持管理するための情報管理の手法として、多くの情報を一元管理するとともに、様々な関連機関で共有化でき、さらにこの後の堤防強化記録や水位などのリアルタイム情報を取り込める総合的な管理システム構築を支援することを目的として下記の項目を実施した。

- (1)河川管理で最も効率的に運用できるシステムを構築するため、全周囲カメラを車両にとりつけ、堤防上及び河川敷を走行しながら撮影したCV映像と河川管理情報を一元管理できるシステムを作成した。
- (2)多くの時間と人手を必要とする目視点検や縦横断測量に替わる計測方法として、CV（カメラベクトル）映像から求めた座標値の精度検証を行った。

2. CV映像について

全周囲カメラによって撮影された映像を数学的に解析し、映像取得時のカメラの三次元位置（カメラ位置）と姿勢（カメラ向き）を求めた映像をCV（カメラベクトル）映像と呼ぶ。

2.1 全周囲カメラについて

全周囲カメラは図-2.1に示すもので、側面に5個、上面に1個のCCDカメラ（1024×768ピクセル/カメラ）を搭載している。

撮影は、毎秒15～30コマの速度で撮影を行う。撮影した映像は、ひずみ補正を行った後に6個の映像を接合し、図-2.2に示すような画像（1000×2000ピクセル）を得る。

この画像では、図-2.2に示すような座標軸を定め、極座標変換により画像上の任意の点を視線方向に対応づけている。この座標系は画像毎に持っており、カメラ座標系と呼ぶ。



図-2.1 全周囲カメラ
(Ladybug2 :
Point Grey Research社製)

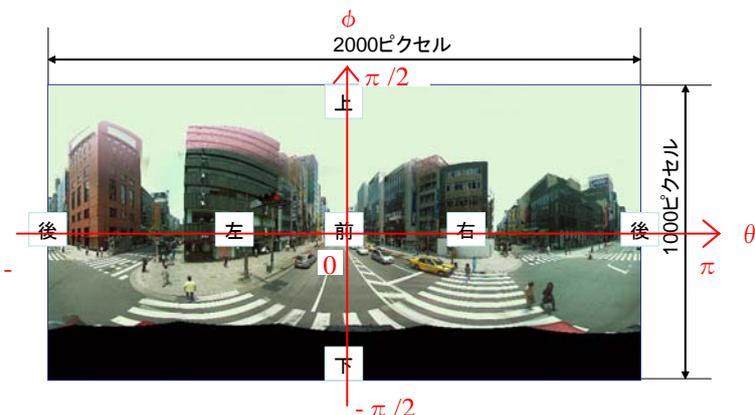


図-2.2 全周囲カメラで撮影した画像

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \phi \sin \theta \\ \sin \phi \\ -\cos \phi \cos \theta \end{pmatrix}$$

この全周囲カメラは小型軽量であることから、車両やヘリコプター、あるいは電動カートなどに搭載することが可能である。

2. 2 CV 映像への変換

図-2.2 に示した、ひずみ補正を行った後に接合した画像は、撮影時のカメラ位置や姿勢の影響を受けており、そのままでは任意の点の座標を求めたり、2 点間の距離を測定したりするなど三次元データとしての取り扱いを行うことができない。このため、この画像を CV 演算することにより三次元化を行う。

CV 演算のイメージを図-2.3 に示す。

撮影した各画像から、3次元相対位置 T_i と相対姿勢（回転行列） R_i を求める。対象物 P は各画像での映像への投影位置 p_i と距離 s_i の関係から次式で表される。

$$P = s_i R_i p_i + T_i$$

これより、多くの対象物 P 点より、 T_i 、 R_i を求めることができる。

T_i 、 R_i が求めれば画像上の対象物 p_i より P を求めることができるようになるため、対象物の3次元座標や形状を計測することができる。

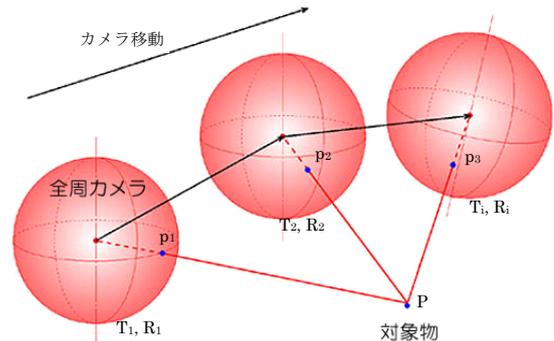


図-2.3 CV 演算概念図

3. 開発の詳細

中国地方の河川の中から一級河川小瀬川を対象に、河川堤防点検が行われている区間のうち延長2km程度を対象に以下の開発を行った。

- (1) CV(カメラベクトル)から求めた座標精度の検証
- (2) CV 映像と河川管理情報を一元管理できるシステムの作成

3. 1 CV(カメラベクトル)から求めた座標精度の検証

(1) 現地撮影

立入許可を得た後、対象地区の撮影を行った。

撮影は、4k200~5k600 区間は堤防天端および堤防敷を車載により（堤防敷の約半分は電動カートに搭載により）実施した。また、6k100~7k300 区間は堤防天端および堤防敷を車載により実施した。



写真-3.1 現地撮影状況

(2) 主要点測量

撮影した映像のうち、良好な映像が取得できた 6k100~7k300 区間から、図-3.1 に示す代表3地点を選定した。そして、その地点付近の画像で明瞭に確認できる地点（主要点）を選択し、現地測量により X, Y, H を求めた。

測量にあたっては、基準点として距離標を利用した。

図-3.2 に、地点1において測量を行った主要点の位置を示す。

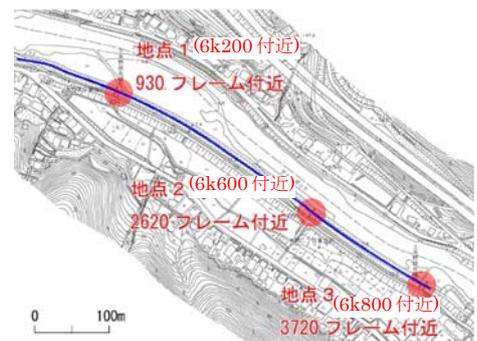


図-3.1 主要点測量位置

(3) CV(カメラベクトル)から求めた座標精度の検証

データ解析は下記の 3 条件下で実施した。

CASE1: 地点 1~地点 3 付近の測量点の内 30~40 地点を既知点として与え, 地点 1 および地点 2 の残りの測量点の内, 10 地点の X,Y,H を求めた。



図-3.2 主要点測量位置(地点 1 付近堤防天端より撮影)

CASE2: 地点 1 および地点 3 付近の測量点の内 CASE1 と同じ地点を既知点として与え, 地点 2 付近の CASE1 と同じ 10 地点の X,Y,H を求めた。

CASE3: 3 地点それぞれから 4 個の測量点を選定し, 計 12 個の測量点を既知点として与え, 地点 1 と地点 2 の CASE1,CASE2 と同じ 10 地点の X,Y,H を求めた。

以上 3 ケースで求めた X,Y,H と, 測量実測結果とを比較した。

表-3.1 実測値と解析値の差

解析結果と実測値の X,Y,H 座標より求めた両者の差(距離)をまとめて表-3.1 に示す。

		CASE1	CASE2	CASE3			CASE1	CASE2	CASE3
地点1 付近	①	0.034	0.057	0.054	地点2 付近	⑪	0.044	2.435	0.091
	②	0.026	0.061	0.027		⑫	0.099	2.405	0.137
	③	0.043	0.057	0.066		⑬	0.047	2.483	0.054
	④	0.033	0.021	0.064		⑭	0.047	2.478	0.110
	⑤	0.042	0.085	0.024		⑮	0.048	2.449	0.093
	⑥	0.117	0.141	0.103		⑯	0.062	2.428	0.058
	⑦	0.086	0.126	0.062		⑰	0.022	2.445	0.029
	⑧	0.056	0.074	0.081		⑱	0.050	2.456	0.035
	⑨	0.144	0.109	0.152		⑲	0.051	2.441	0.073
	⑩	0.126	0.082	0.126		⑳	0.059	2.493	0.113
	平均	0.071	0.081	0.076		平均	0.053	2.451	0.079

これより, CASE1 と CASE3 では両者に有意な差は見られず, 求めたい地点の周辺に 4 点程度の既知点があれば, X,Y,H 座標は 10cm 以下の精度で測定できることがわかる。

図-2.2 に示したように, 本画像は水平方向に 2000 ピクセルを有している。このため, 解像度は 0.18 度/1 ピクセルとなり, ±1 ピクセルの誤差が生じると, カメラより 10m の位置では約 6cm, 20m の位置では約 12cm の誤差となる。これより, CASE1 および CASE3 で生じている実測値との誤差は, 画像解像度に見合ったものと考えられる。

表-3.2 地点 2 における実測値と解析値の差

	CASE1			CASE2		
	X	Y	H	X	Y	H
⑪	0.006	-0.041	0.015	-1.495	-1.667	0.957
⑫	-0.027	0.091	-0.027	-1.548	-1.616	0.881
⑬	0.013	-0.044	-0.008	-1.522	-1.741	0.902
⑭	-0.042	0.020	-0.006	-1.558	-1.680	0.944
⑮	-0.036	0.010	-0.029	-1.522	-1.706	0.879
⑯	0.023	-0.057	0.007	-1.503	-1.683	0.896
⑰	0.002	0.021	0.005	-1.550	-1.673	0.882
⑱	0.043	-0.013	0.022	-1.520	-1.704	0.903
⑲	-0.026	0.042	-0.014	-1.566	-1.663	0.862
⑳	-0.053	0.027	-0.001	-1.588	-1.667	0.956
最大と最小の差	0.097	0.149	0.052	0.093	0.125	0.096

また, CASE2 では地点 1 では既知点が付近にあるため, CASE1 および CASE3 と比べて誤差は大きく違わないが, 地点 2 では実測値と解析値で 2m 以上の差が生じている。表-3.2 には地点 2 における X,Y,H の実測値と解析値の差を示した。これより, CASE2 では CASE1 に比べて実測値と大きな差が生じているが, 最大と最小の差を取ると CASE1 と大きな違いは見られず, 測点間の相対的な

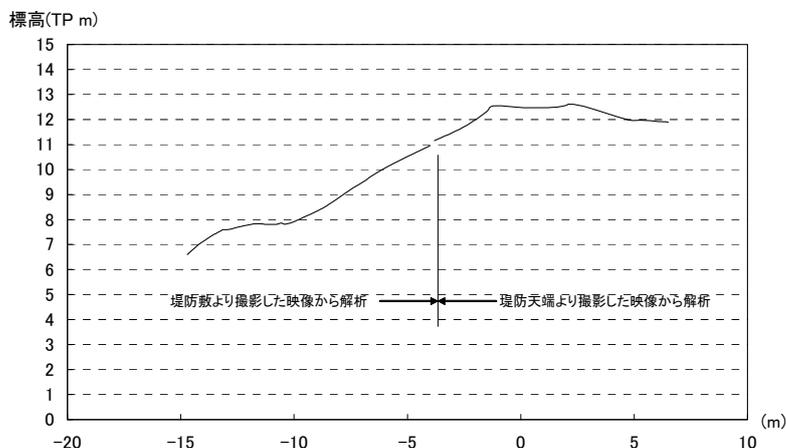


図-3.3 解析結果から作成した横断面図(地点 2, CASE1)

位置は CASE1 とほぼ同じ精度を有していると考えられる。

(4) 断面図について

地点 2 において、(3)の CASE1 で解析を行った座標を用いて横断面図を作成した。横断面図は、堤防天端より撮影した画像より求めた天端付近の横断面図と、堤防敷より撮影した画像より求めた堤防法面付近の横断面図を重ね合わせて作成した。その結果を図-3.3 に示す。

これより、両者の横断面図はほぼ一致しており、既知点を与えて X,Y,H を求めることにより、横断面図の作成は可能であると考えられる。

3. 2 CV 映像と河川管理情報を一元管理できるシステムの作成結果

(1) 堤防点検結果の収集

本開発対象区域（小瀬川左岸 4k200～5k600, 6k100～7k300）は浸透に関する堤防詳細点検が終了している区域であり、その結果を管理者である国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所の協力により収集した。

(2) データベース化するデータの選択

収集した資料より、当区域に関連する資料を抜粋し、さらに本開発でデータベース化するデータを選択した。

選択したデータは堤防点検結果、土質調査結果など 9 項目である。

(3) データベース化

データベース化にあたっては、これまでに実績がある道路ビデオ GIS システムをベースにして、河川管理に適合するシステムを構築した。

(4) 撮影データとのリンク

以上の条件においてシステムを構築した。構築したシステムの例を以下に示す。

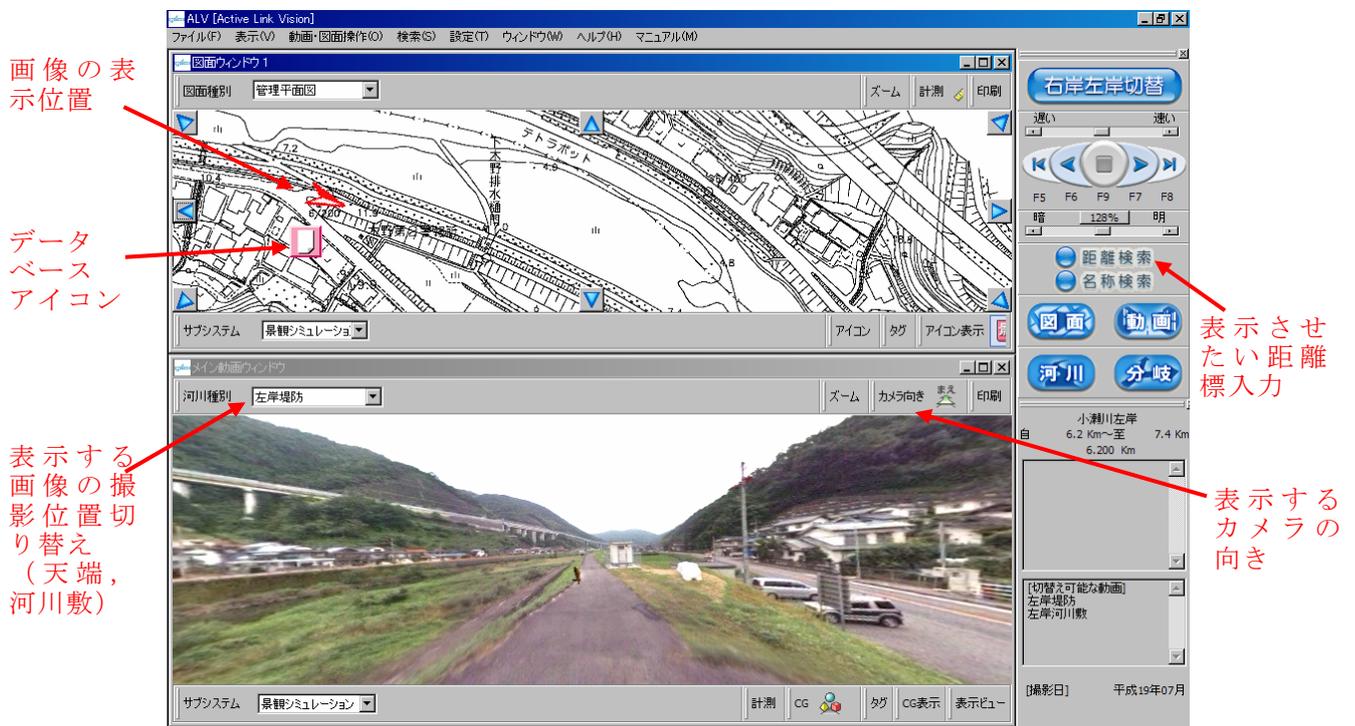


図-3.4 システム表示例（一般）

4. まとめと今後の課題

河川を維持管理するための情報管理の手法として、多くの情報を一元管理するとともに、様々な関連機関で共有化でき、さらにこの後の堤防強化記録や水位などのリアルタイム情報を取り込める総合的な管理システム構築を支援することを目的として開発を行った。その結果をまとめ、以下に示す。

(1)CV（カメラベクトル）映像を用いた座標値の精度検証

①小瀬川を対象として CV 映像を取得し、別途実施した主要点の現地測量結果を既知点として解析を行い、求めた座標値の精度検証を行った。この結果、求める地点の周辺に既知点を設けることにより、撮影位置との距離が 20m 以内であれば、10cm 程度の誤差で測定可能であった。なお、1 画像に数点程度の既知点が比較的均等に配置されていれば、数 10 点配置した場合とほぼ同等な精度を確保できた。

なお、周辺に既知点が配置しない場合は、座標の測定精度は悪くなるが、相対的な位置関係（点間距離など）は、既知点を配置した場合とほぼ同等の測定精度を確保できた。

②天端から撮影した画像と河川敷から撮影した画像から横断図を作成した。その結果、付近に既知点を配置することにより、横断図を作成することは可能と考えられた。

③以上のことより、車両などに搭載した全周囲カメラによって河川堤防天端や河川敷等から撮影し、適切に配置した座標既知点を用いて解析を行うことにより、画像上での座標測定や点間の距離測定、あるいは横断図作成などが比較的精度良く実施できると考えられる。

(2)CV 映像と多くの河川管理情報を一元管理できるシステムを作成した。

データベース化するにあたっては、これまでに実績がある道路ビデオ GIS システムをベースにして、河川管理に適合するシステムを構築した。

今後の課題を以下に示す。

① 本開発においては、撮影間隔として標準的な 15 コマ/秒を設定した。使用したカメラは 30 コマ/秒まで撮影可能であるため、取り扱いデータ量は多くなるが、解析精度が高くなる可能性もある。このため、今後は撮影間隔を短くして同様の検証を実施したい。

② 撮影に使用したカメラの解像度が向上すれば、解析精度は大きく向上する可能性がある。

③ 本開発で構築したシステムには、横断図作成機能や座標表示機能を有していない。今後必要に応じて開発していきたい。

④ 現地撮影時に、一部で 360 度カメラを電動カートに搭載して撮影を行ったが、河川敷に大きな段差が多く設置されていて、カメラ位置が大きく変動したため、精度良いデータ解析を行うことができなかった。段差などがあって、電動カートも走行できないような場合の効率的な画像取得方法について、今後検討していきたい。

なお、本開発は、全体統括を元広島工業大学教授宇野尚雄が、全周囲カメラ撮影、CV 演算、三次元計測、数値解析、CV 映像と既存資料を一元管理できるシステム構築等を岩根研究所が、全体計画および現地調査等を ECR が、現地踏査、資料収集、測量を復建調査設計が、報告書とりまとめを岩根研究所と復建調査設計が共同で担当して実施した。

〈謝 辞〉

本開発の実施にあたっては、国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所から、現地撮影における配慮ならびに堤防詳細点検結果などの資料提供をしていただきました。ここに記して感謝します。