小河川灌漑堰災害を対象とした高解像度衛星画像の 目視判読による情報抽出

Visual interpretation of high-resolution satellite imageries to address failures of small stream irrigation weirs

鈴木 研二*・三輪 弼**

Kenji SUZUKI and Hajime MIWA

Abstract: This paper introduces the availability of satellite image interpretation on the failures of irrigation weirs on a small stream in northeast Thailand. For the purposes, high resolution satellite imageries, QuickBird, were employed to carry out visual interpretations. As the results, the weir failures such as river side collapse due to obstructed flood flow and sedimentation on riverbeds can be identified. Through a series of image interpretations, the effectiveness of high-resolution satellite imagery for field science and investigation was confirmed. Also the possibilities were indicated that the actual status of agricultural facilities can be monitored remotely for maintenances and managements by using high resolution satellite imagery.

1. はじめに

近年、IKONOSやQuickBirdに代表される地上解像度1mクラスの高解像度衛星画像が提供されるようになり、世界各地で航空写真並の細かな画像の利用が容易になりつつある。これによってはじめて解析可能となった地物も多く存在し、判読の基準や成果に関する整理が徐々に行われつつある(例えば、衛星リモートセンシング推進委員会, 2003)。こうした背景から、今後の農業関連分野における高解像度衛星画像の実利用を考えたときに、フィールドである現地に通曉した者による画像判読過程の知見およびその蓄積が必要であると思われる(鈴木・山本, 2006a)。

筆者らは、これまでにタイ国東北部の小規模な溜池で発生している堆砂状況を目視判読によって把握可能であることを示してきた(鈴木・山本, 2006b)。遠隔

地域に所在する施設の詳細な状態を衛星画像により確認する手法が確立されれば、維持・管理計画等へ大いに貢献することになる。

本報告では、タイ国東北部における小河川の灌漑堰周辺で発生した災害を対象として、現地調査に基づいた実態把握と高解像度衛星画像の目視判読結果を比較して、判読に際して読み取るべき情報の特徴を認識し、判読技術の向上を目論んだ成果を述べる。

2. 対象地域の概要と使用データ

雨季と乾季の明瞭なタイ国東北部では、降雨の大部分は雨季に集中しており、時に局地的なスコール性の降雨がある。限られた水資源を有効に利用するため、圃場に隣接する溜池や小河川の灌漑堰など小規模な水利開発が行われている。

本報告では、タイ国東北部のKhon Kaen県、Khon Kaen市中心部より南方約30kmに位置するBan Haet郡の3村(HM村、NS村、NT村)周辺を対象地区として選定した。本地区はChi川支流のHuai Muang(Huaiは小河川の意)流域に含まれる。対象とした画像の範囲(図1、約27km²)にはHuai Muangの本流および支流が流れ、現時点でこの区間中に11の堰を確認している。本地区は緩やかな起伏が連続し、

* 国際農林水産業研究センター

Japan International Research Center for Agricultural Sciences

〒305-8686 茨城県つくば市大わし1-1

**岩手大学

Iwate University

「写真測量とリモートセンシング」VOL. 45, NO. 5, 2006

図1 対象地区・堰の分布

図2 小河川の灌漑堰

谷地である低位部には主に水田が、高位部には畑地が広がる。土壌は砂質で保水力、栄養分共に乏しく、浸食が起こりやすい。

本報告では、乾季に相当する2002年4月13日、2004年1月29日、および雨季后半の2004年10月15日に撮影されたQuickBird画像のパンクロマティック画像(0.6m/pixel)とマルチスペクトル画像(2.4m/pixel)をもとに作成したパンシャープン画像(0.6m/pixel)を目視判読に用いた。

対象地域における小河川灌漑堰の実態を把握するために、2002～2006年にかけて断続的に現地踏査や河川水位の観測、雨量の観測、日雨量データの収集などを行った。これらの総合的な情報に基づいて、衛星画像の目視判読を行った。

3. 小河川と灌漑堰の概略

3.1 対象地域における灌漑堰

灌漑堰は一般に河川の流水を堰き止めて、河道外に導くための構造物であるが、当地区では主に堰の上流側河道内に貯留された水をポンプで利用するという使われ方をしている。本地区における堰は全てコンクリート製で、多くは堰の天端高が約1.5m、堰幅は川幅と同様に15～20m程度と構造も画一的であった(図2)。また、河道堤防の護岸は整備されておらず、河岸は土堤のままで、降雨や水流による浸食を受けやすい状態にさらされている。多くの堰で、洪水時に運搬された土砂が堰直上河道に堆積し、堰の貯留容量が低下の傾向にあった。

3.2 堰の水位変化

堰地点における洪水時の水位変化を把握するため、堰④直上流部において水位の観測を行った(図3)。8月の断続的な降雨により貯留水位が上昇し、9月に入って堰の天端高(1.5m)を超える越流が発生した。9月中旬には100mm/dを越える日雨量が観測され、この降雨によって、堰の天端高から更に1mを越える水位が観測された。比較的流域面積の小さな堰④地点(約16km²)でもこのような高水位が発生していることが確認された。加えて、100mm/dを越える日雨量はまれなことではなく、例えば当該地区の郡役所で観測された過去8年間(1997～2004年)の日雨量のうち、6年間で100mm/d前後の日雨量が観測されている(図4)。なお、2000年と2002年については年間に100mm/d前後の日雨量が2回観測されている。また、連続する3日間で200mmを超える雨量が、4年に1度の割合で観測されている。こうしたことから、侵食・堆砂等の問題を引き起こす恐れのある降雨や洪水は頻繁に発

図3 堰④直上流部の水位変化(1.5m超え越流、雨量はNS村圃場での観測、2003年)

図4 年最大 k 日雨量 (Ban Haet 郡役所)

生していることが推察される。

3.3 国内の頭首工災害研究の知見

日本国内では、灌漑堰の一種である頭首工の災害に関する幾つかの研究事例があり (三輪, 1990, 三輪, 1994, Miwa and Kurashima, 2003), 堰の建設に際しては, 図5に示すような蛇行河道におけるみお筋 (低水時の流路) や洪水主流部などの関係を念頭に適地を選定すべきであると指摘している。災害を避け, 良好な取水・貯水を実現するためにも, この様な河川の特徴を理解しておくことが不可欠となる。

図5に示す洪水時の主流部とは, 流速の大きな洪水流の流下経路を推定し, 線で示したものである。これが河岸に衝突する部分を洪水時水衝部と呼び, 洪水時に河岸浸食を最も受けやすい区間となっている。平水時の寄洲とは, 流砂が河床に沈積して河床が高くなって水面上に現れる領域である。

図5 蛇行河道における洪水時の主流部や水衝部等の概念図 (三輪, 1994より)

4. 目視判読による情報抽出

4.1 堰の取付河岸の迂回流路

はじめに, 堰と河岸の接合部における浸食の被害が, 迂回流路へと進展した例を示す。図6aの蛇行河道において画面中央には堰⑥があり, 堰の右岸側 (北側, 画面堰の上) に迂回流路が形成されていることが目視による判読で確認される。

図5の概念を元にして, 推定される洪水時の状態を図6bに示した。この図から, 堰右岸側の河岸に近い部分を洪水主流部が通過しており, 堰の直上流部に洪水水衝部が位置していたものと思われる。こうした立地条件に堰を建設し, 洪水流の流下を阻害したため, これらが引き金となって迂回流路の形成に至ったものと推察される。

図7aは堰⑥右岸のやや上流側から付近の様子を撮影した写真で, 画面左に堰が, 画面手前から右にかけて迂回流路の様子が確認できる。図7bは堰⑥本体の右岸接合部の写真で, 礫やコンクリート片が散乱している様子や, 堰本体の破損状態を観察することができる。

4.2 堰上流側の甚大な堆砂

濁流を流下させる河道を堰き止める構造上, 堰の直上流側地点における堆砂は避けがたい。図8aはこうした状況のうち, 深刻な堆砂の状況を示す画像である。堰⑧の直上流側河道に甚大な堆砂が生じ, この堆砂により堰の貯留容量は皆無となり, 河道が閉塞状態に陥った (図9a)。そのため, 洪水時に溢流が発生し迂回流路が形成されている (図8b)。

図6 堰⑥接岸部の迂回流路 (QuickBird, パンシャープン画像, 0.6m/pixel, 2004年10月, 画像の範囲: 縦240m×横240m)

(a) 堰と迂回流路

(b) 堰本体の破損状況

図7 堰⑥付近の様子 (2006年2月撮影)

図8cに示したように、蛇行河道において堰の上流側に寄洲が形成される地点が存在することが予想される。この地点から堰までの区間で堆砂が進んだことに加え、堰の上流側に位置する洪水水衝部で濁流の乗り上げ（溢流）が生じたため、こうした事態に至ったものと推察される。なお、低水時の水流からは、波長の短い蛇行が見られるが、洪水時には河道の蛇行形状に支配された図示したような長い波長の水流蛇行になると推定される。また、溢水箇所の堤内地盤が低くなっている可能性も高いと推察される。

その後、図8dや図9bに示すように、堰上流側の閉塞河道の掘削や堤防の整備など河道の改修が行われているが、護岸の整備には至っていない。また、固定堰の上流側には、堰の天端高まで堆砂が進行するので、堰による貯水からポンプ取水する方式を継続する場合は、堰上流のこまめな河床掘削作業が必要である。こ

(a) 画像 (2004年1月) (b) 実態 (2004年1月)

(c) 推定 (2004年1月) (d) 画像 (2004年10月)

図8 堰⑧上流側に生じた迂回流路と河道の改修 (Quick-Bird, パンシャープン画像, 0.6m/pixel, 画像の範囲: 縦240m×横240m)

(a) 堰上流側の堆砂により貯留不可能な状態 (2003年10月撮影)
(b) 堰上流側の改修後の様子 (2006年2月撮影)

図9 堰⑧上流側の様子

のように、本地域では堰の機能を維持し、河道や河岸の状態を保つためには、堆砂や浸食に伴う頻繁なメンテナンスが必要となる。

4.3 下流の堰周辺河岸の崩壊

ここでは下流の堰地点周辺における河岸の崩壊によって貯留が困難となった例を示す。図10は、下流側の堰⑩～⑪付近の画像である。2002年4月の画像では河道に水が存在することから、堰の形状が明確に判読される。一方、2004年10月の画像では河道に水が少ないため、判読しにくい部分もあるが、2つの堰とも周辺の左岸側河岸に崩壊の痕跡を確認できる。堰の⑩では右岸側に主流が寄り、⑪では左岸側に主流が寄ると

(a) 2002年4月

(b) 2004年10月

図10 堰⑩、⑪左岸側における河岸の崩壊 (QuickBird, パンシャープン画像, 0.6m/pixel, 画像の範囲: 縦120m×横240m)

推定される箇所である。固定堰によって上下流に落差が生じる場合は、堰の取付け部の河岸高や強度などの関係で、主流側でなくても河岸侵食を受ける場合があることを示している。これら河岸崩壊のため、4月と比較して通常は水位の高い10月であっても、有効な貯留が難しくなったものと推察される。実際に、堰⑩左岸側付近の様子を現地で撮影した写真を図11に示す。固定堰の上部に狭い間隔のピア（橋脚）を立て、その

図11 堰⑩左岸側付近の様子(2003年10月撮影, 写真手前が上流側)

上部に通路を設けているが、ピアに滞留した流木などによってさらに堰上げが大きくなり、被害を拡大させている。また、画面左側に河岸が崩壊した痕跡があり、貯留が困難な状態に陥っていることがわかる。

本報告で対象とした範囲の内、比較的集水面積の大きい下流側の複数の堰で、堰本体の損傷や河岸部分の侵食が見られた。周囲の様子からも、過去の洪水時に相当量の濁流が流下した形跡が伺える。これら下流側堰地点の流域面積は80km²を超えるものもあり、堰④（集水面積約16km²）での水位観測の結果（図3）からも予想されるように、下流地点では洪水時により大量の水が流下することになる。災害を避けるためには、大きな集水域となる下流地点での堰の建設においては、洪水に備えて護岸の整備を行うとともに、十分な通水断面を確保するといった対策が必要となろう。

5. まとめ

タイ国東北部において発生している小河川の灌漑堰に関連する災害を対象として、高解像度衛星画像の目視判読による情報抽出の具体例を示した。QuickBird画像を用いた目視判読の結果、洪水被害により灌漑堰付近で発生した河岸の崩壊や堆砂状況等を詳細に把握し、災害の原因推定に寄与し得ることが確認された。

本報告を通じて、フィールドでの調査を踏まえた上での目視判読による高解像度衛星画像の活用方法および展開方向を提示することができたものと思われる。判読による事例をさらに積み上げれば、多時期の画像によって小規模な公共事業であっても状態が確認され、今後の計画等へ役立てることが可能であろう。こうした目的を達成する上でも、流域の状況を俯瞰的に把握しつつ、詳細な情報の得られる衛星データの役割は大きいものと考えられる。

(受付日2006.7.4, 受理日2006.9.8)

引用文献

- 衛星リモートセンシング推進委員会（空間データワーキンググループ）, 2003, 高分解能衛星画像による地物の判読可能性. <http://www.restec.or.jp/eeoc/gis/9kanweb2002/index.htm> (accessed 4 Jun. 2006)
- 鈴木研二, 山本由紀代, 2006a, フィールド調査における高解像度衛星画像の利用, 農業土木学会誌, 74(4), pp.321-324.

- 鈴木研二, 山本由紀代, 2006b. 高解像度衛星データを用いた小規模溜池の水文立地に関する画像判読, 水文・水資源学会誌, 19(3), pp.205-211.
- 三輪 式, 1990. 取水堰の取付河岸の浸食災害の実態, 農業土木学会東北支部, 第36回研究発表会, 講演要旨, pp. 6 - 9 .
- 三輪 式, 1994. 頭首工の改築における河川水理学上の問題点と対策, 農業土木学会誌, 62(5), pp.421-426.
- Miwa, H., Kurashima, E., 2003. Present situation and cause analysis of diversion dam failures in Japan, *Paddy and Water Environment*, 1(4), pp. 207-214.