

リモートセンシング技術を活用したインドネシア・アンボン島の天然ダム決壊対応

国土交通省国土技術政策総合研究所
前国土交通省国土技術政策総合研究所
独立行政法人土木研究所
株式会社パスコ
株式会社 NTT データ

○江川真史、水野正樹(現、新潟大学)、神山嬢子、蒲原潤一
渡部文人
森田耕司(現、国土交通省都市局都市安全課)
吉川和男
筒井健

1 はじめに

インドネシア共和国マルク州アンボン島ウェイエラ川において、2012 年(平成 24 年)7 月 13 日に形成された深層崩壊に伴う天然ダムが、約 1 年後の 2013 年(平成 25 年)7 月 25 日 10 時 30 分頃に決壊し、下流域のヌグリ・リマ村では甚大な氾濫被害となった。

本報では、アンボン島における天然ダム決壊災害の概況把握を目的として、リモートセンシング技術を活用した以下の対応事例について報告する。

- SAR 緊急観測、及び SAR 画像解析による決壊規模や氾濫範囲の推定(平成 25 年 8 月 5 日国土交通省記者発表)
- 高分解能光学衛星画像を用いた決壊前後の DEM 作成、及び差分解析による概略的な地形変化把握

2 SAR 衛星による緊急観測

SAR 衛星による緊急観測において、特に留意した観測条件等を以下に示す。

- ① 天然ダムの位置が明確なため、観測範囲の広域性よりも高分解能撮像を優先(SAR 観測では、観測範囲と分解能はトレードオフの関係)。
- ② 決壊前後の湛水域や河道、氾濫域の変化を把握するため、決壊前のアーカイブ画像の有無の確認及び調達(アーカイブが存在する場合、緊急観測時に観測条件を揃えておくことで画像の重ね合わせによる前後比較が可能)。
- ③ 崩壊地(裸地)や植生など土地被覆状況の視認性を高めるため、複偏波観測を実施(2 偏波画像(HH+HV カラー合成画像)を作成することで、裸地は赤紫色、植生は緑色に表現され、単偏波画像(グレースケール)よりも視認性が向上)。

現在運用中で分解能 10m 以上の新規撮像可能な SAR 衛星は、**COSMO-SkyMed**、**RADARSAT-2**、**TerraSAR-X** の 3 種類である。上記の観測条件を考慮した結果、**TerraSAR-X** が最適と判断し、緊急観測をオーダーした。後述する SAR 画像判読等を含む緊急観測からの時系列的な対応状況を表-1 に、観測条件を表-2 に整理した。

3 SAR 画像を用いた天然ダム決壊状況把握

3.1 SAR 画像判読

天然ダム決壊前後の SAR 画像を図-2 に示す。天然ダム決壊に伴う湛水域や河道、氾濫域の変化をより精度良く把握するため、複偏波観測による HH と HV 偏波を組み合わせた 2 偏波カラー合成画像(R:HH、G:HV、B:HH)、及び天然ダム決壊前後のスタック画像(R:決壊前、G:決壊後、B:決壊後)の両方を用いて判読した。2 偏波画像は主に崩壊地(裸地)及び氾濫範囲(建物や立木の流出)が赤紫色、湛水域が黒色、植生域は緑色で表現され、スタック画像は主に決壊前の湛水域が水色、決壊後の残存湛水域が黒色、決壊後に流出した氾濫域や天然ダム箇所が赤色、変化なしが灰色で表現されるといった特徴がある。

3.2 氾濫域及び残存湛水域の推定

SAR は衛星進行方向に対して横斜め下方向を観測するセンサのため、得られる画像には幾何的な歪みが生じるが、斜め写真や鳥瞰図のようなイメージとなるため直感的な判読は可能である(Geocoded Ellipsoid Corrected:GEC 画像[正射投影なし])。しかし、SAR 画像からより正確に氾濫域や残存湛水域の(平面投影)面積を計上するため、画像の歪みを補正した正射投影画像(Enhanced Ellipsoid Corrected:EEC 画像[正射投影あり])を作成し、GIS 上で面積計測を行った。その結果、残存湛水面積は 6.7 万 m²(湛水池と想定される黒色の範囲(一部シャドウを含む可能性あり))、氾濫面積は、37 万 m²(家屋



図-1 天然ダム決壊前後の光学衛星画像

表-1 TerraSAR-Xによる緊急観測

月日	時間	対応
07/25	10:30 頃	天然ダム決壊
	15:45	国総研で天然ダム決壊を把握
	16:54	撮像オーダー(表-2)
07/28	06:11	撮像
07/29	12:25	2 偏波画像作成 ⇒決壊状況把握
	16:16	スタック画像作成 ⇒決壊状況把握
	19:51	2 偏波画像作成(正射投影あり) ⇒決壊規模推定
08/05	14:00	国交省記者発表

表-2 TerraSAR-Xにおける観測条件

分類	決壊後 (緊急観測)	決壊前 (アーカイブ)
観測日時 (日本時間)	2013/07/28 06:11:44	2012/12/09 06:11:39
撮影モード	StripMap	
入射角	約 41°	
軌道方向	Descending(南行軌道)	
偏波	HH、HV	HH
地上分解能	約 6m	約 3m
処理レベル	GEC(正射投影なし) EEC(正射投影あり)	

倒壊や立木の流出等、明瞭な変化が生じた陸地に限定した範囲(水主体の氾濫範囲は更に広いと想定))と推定した。

3.3 深浅測量データを利用した湛水流出量の推定

決壊前の湛水域内の深浅測量データをもとに、判読した湛水面積となる湛水標高を求め、決壊前後の湛水量の差を流出量とした。具体的には、天然ダムの天端標高 194m から約 140m まで約 54m 低下(決壊前の高さ約 110m から半減)、湛水流出量は約 1,300 万 m^3 (東京ドーム約 10 杯分)、湛水湖底の最低標高 110m から残水深 30m 程度と推定した。これは我が国の戦後最大級の天然ダム決壊事例(昭和 28 年和歌山県有田川災害時の最大規模の決壊)に相当することが判明した。

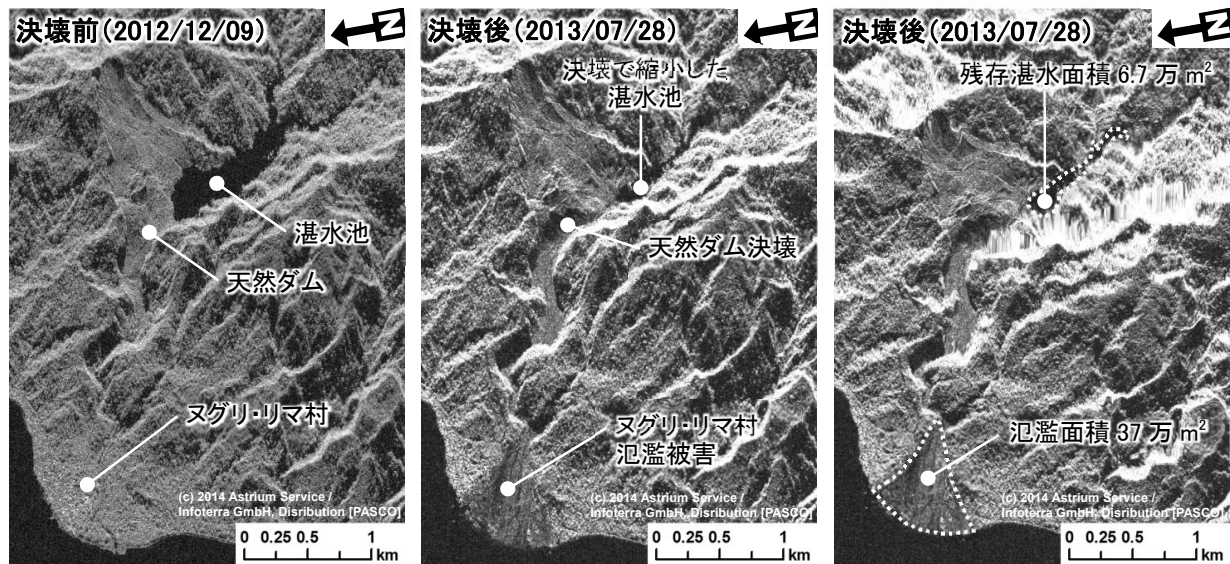


図-2 TerraSAR-XによるSAR画像判読(【左】単偏波(HH):GEC、【中】2偏波(HH+HV):GEC、【右】2偏波(HH+HV):EEC)

4 高分解能光学衛星DEMによる天然ダム決壊状況把握

4.1 高分解能光学衛星画像を用いた天然ダム決壊前後のDEM作成

高分解能光学衛星画像を用いたステレオ画像解析により、天然ダム決壊前後 2 時期の 2m メッシュ DEM(水平・垂直精度約 2m)を作成した。DEM 作成エリアは被雲の影響が大きいと、表-3 に示す光学画像(決壊前 7 シーン、決壊後 6 シーン)を用いて、複数のステレオペアを組み合わせて DEM を作成した。また、天然ダムの影響範囲外の被雲エリアについては、主に ASTER-GDEM Ver.2(30m メッシュ、垂直精度約 10m)で補間した。また、氾濫域となる下流集落付近(決壊前 DEM)については、現地植生調査結果を踏まえた樹高補正(低木群の平均樹高 10m、高木群の平均樹高 15m)を実施した。

4.2 決壊前後 DEM の差分解析による地形変化の概略把握

決壊前後 DEM の差分解析の結果、天然ダム決壊前後の地形変化を以下のとおり推察した(図-3 参照)。

- 天然ダム決壊箇所付近では、-50~-70m 程度侵食が認められた。
- 天然ダム下流の河道区間では、全体的に堆積傾向であり、概ね一様の堆砂勾配(3° 程度)となっている(上流側で+35m 程度堆積、下流側(氾濫開始点付近)で+5m 程度堆積)
- 氾濫域では、左岸側で+2~3m 程度堆積が認められたが、元々集落が密集していた付近では-0.5~-2.0m 程度侵食が認められた。

5 おわりに

本報では、インドネシア・アンボン島での天然ダム決壊災害において、SAR・光学衛星を用いた効果的な被災状況の把握について報告した。特に SAR 緊急観測結果については、速報として国土交通省記者発表資料として公表され、インドネシア政府にも情報提供された。今回の対応では、リモートセンシング技術を活用した土砂災害監視の有効性に資する結果が得られ、今後更なる技術開発を進めるとともに、実用的な手法として国内外問わず普及を図っていきたい。

表-3 DEM 作成に利用した光学衛星画像

	衛星	撮影日	分解能	撮影角度
決壊前	WV2	2012/10/08	0.5m	28.0°
	QB	2012/12/29	0.6m	25.9°
	WV2	2013/02/02	0.5m	5.1°
	WV1	2013/02/05	0.5m	32.2°
	WV1	2013/02/08	0.5m	40.7°
	WV1	2013/02/08	0.5m	41.8°
	WV2	2013/02/10	0.5m	18.5°
決壊後	WV2	2013/09/07	0.5m	17.2°
	WV1	2013/09/13	0.5m	37.5°
	WV2	2013/09/13	0.5m	35.0°
	WV2	2013/09/18	0.5m	24.2°
	WV2	2013/10/04	0.5m	33.1°
	WV2	2013/10/07	0.5m	22.3°

WV1: WorldView-1, WV2: WorldView-2, QB: QuickBird

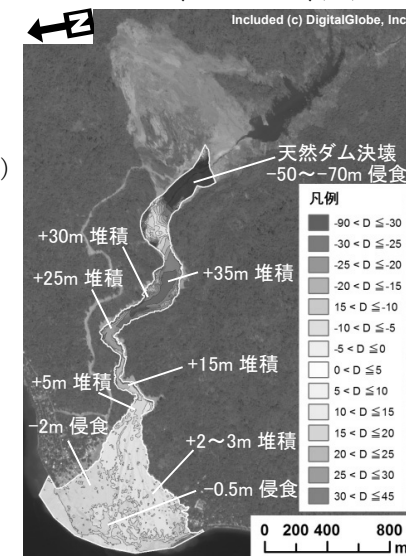


図-3 決壊前後 DEM の差分解析結果