

ブータンにおける天然ダム形成・決壊の事例と越流決壊に伴う洪水流量予測

財団法人砂防フロンティア整備推進機構：森 俊勇

京都大学大学院農学研究科：水山高久

独立行政法人土木研究所 土砂管理グループ火山・土石流チーム：吉野弘祐

アジア航測株式会社：○臼村伸浩 柏原佳明

1. はじめに

2008年5月12日、中国の四川省西北部付近を震源とする大地震により、各地で大規模崩壊や地すべりが発生し、北川県唐家山では高さ80mもの天然ダムが形成され、人為的に決壊させるなどの対策を実施したことは記憶に新しい。また、地震が誘因ではないが、近隣のネパールやブータンなどヒマラヤ山脈を擁する各国においても天然ダム形成・決壊が多数発生しており、これらの実態が報告されている。天然ダムの越流決壊による洪水流量予測については、里深ほか(2007a, b)が開発した天然ダム決壊シミュレーションモデル(LADOFモデル)により、正確な地形データ等を用いることによって、従来の経験式よりも精度よく推定することができる状況にあるが、ネパールやブータンなどの国々では、我が国のように正確な地形データ等が整備されていないため、LADOFモデルを用いて洪水流量を予測する際には、天然ダムの規模等のほかに河道モデルの設定が重要となる。一方、やや精度は低いながら90mDEMについては、STRM(Shuttle Radar Topography Mission)により、全世界の数値標高モデルが整備され、大規模河川を対象とした河道モデルの設定にあたっては、ある程度適用できると考えられる。そこで、STRMの90mDEMを用いて、ブータンで形成されたTsatichhu天然ダム決壊による洪水流量の計算及び検証を行い、比較的精度の低い地形データから河道モデルを設定する場合の課題を検討した。

2. Tsatichhu天然ダムの概要

2003年9月10日、Tsatichhu川右岸斜面において、高さ400m、最大幅600m、崩壊生産土砂量700~1,200万 m^3 もの大規模崩壊が発生し、崩壊した土砂が河道を閉塞して、高さ110m、湛水量1,250万 m^3 (DGM, 2004b)もの天然ダムが形成された(S. A. Dunnig *et al.*, 2005)。

Tsatichhu天然ダムについては、1/2,000レベルの地形図(DGM, 2004a)により、天然ダムの規模等が把握されており、天然ダムの最大幅約600m、縦断方向の長さ約700m、上流法勾配 32° 、下流法勾配 25° (元河床勾配 10°)となっている。2004年7月10日、この天然ダムが越流決壊し、下流35km地点のKulricchu水力発電プラントにおいて、ピーク流量5,900 m^3/s が観測された。

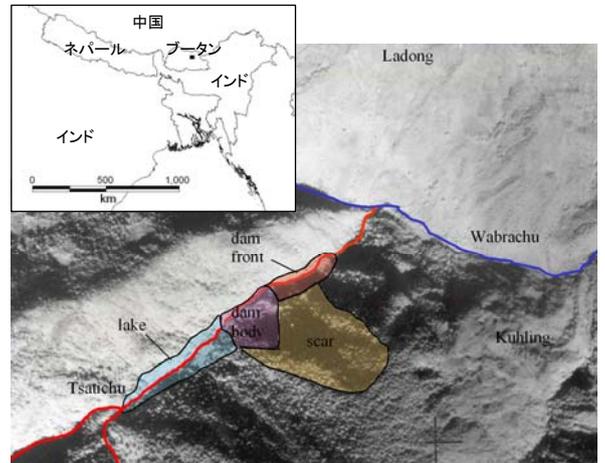


図-1 Tsatichhu天然ダムの位置

3. Tsatichhu天然ダムの決壊計算

3.1 河道モデル及び計算条件の設定

天然ダムの規模は、DGM(2004b)を参考にして設定し、天然ダム下流の縦横断形状については、CGIAR-CSI(Consultative Group for International Agriculture Research-Consortium for Spatial Information)のSTRMの90mDEMを用い、上記DEMから赤色立体地図(アジア航測株式会社特許技術)を作成し、これらを用いて河道モデルを設定した。限界侵食深は、河床の最大粒径程度とすることが一般的であるが、天然ダム決壊による洪水流量は大きくなると想定されることから一律10mとし、流入流量については、S. A. Dunnig *et al.* (2005)を参考にして雨季の流量の10倍(天然ダム決壊時は激しい降雨が降り続いていた)となる50 m^3/s とした。なお、粒径については、DGM(2004b)の報告をもとに0.2mとした。図-2に縦断図及び川幅を示す。

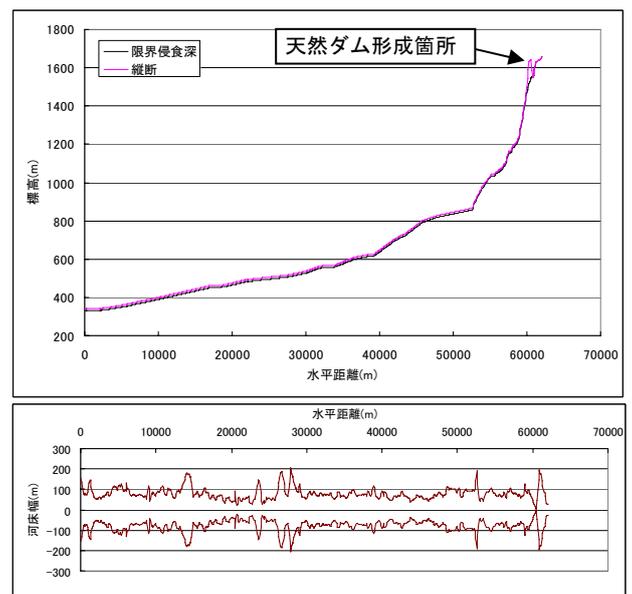


図-2 縦断及び川幅

3.2 計算結果

天然ダム決壊計算の結果を図-3に示す。天然ダム直下のピーク流量は、約 25,000 m³/s となり、実測流量が観測された Kulricchu 水力発電プラント (KHP:実測値 5,900m³/s) 付近では、約 3,300 m³/s とやや小さい値となった。

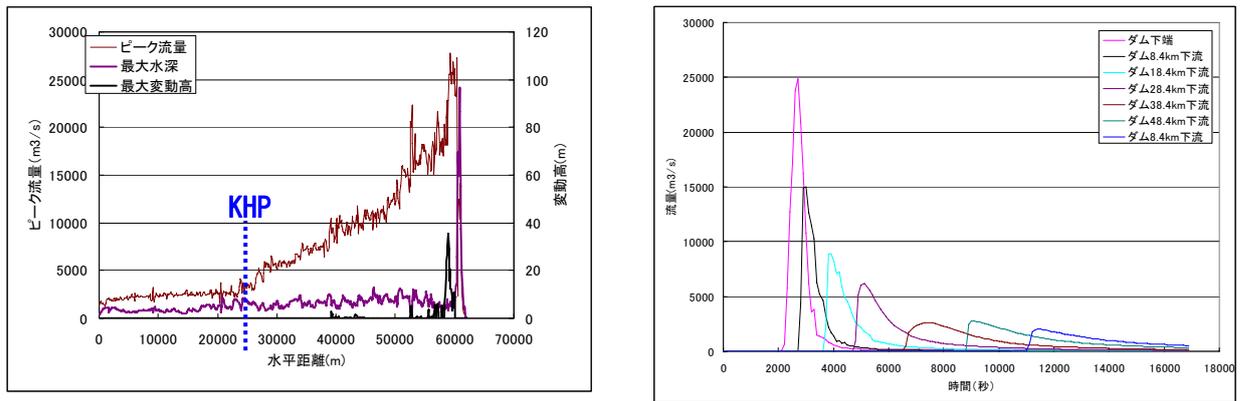


図-3 天然ダム決壊時のピーク流量及び変動高

4. 縦断勾配を変化させたケースの決壊時のピーク流量

Tsatichhu 川の川幅は、150~200m 程度 (図-2 参照) であり、一部に狭窄部があるものの大きな変化はない。一方、縦断勾配については、天然ダムの形成箇所から下流で約 15° と急勾配を呈し、徐々に緩く変化している。そこで、川幅を 150m と一定に設定し、縦断勾配については、90mDEM により作成した縦断勾配 (図-2) としたケース (ケース①)、天然ダム形成箇所から下流 40km 地点までの平均勾配 (2°) と縦断勾配を緩くしたケース (ケース②) で計算を行った。図-4~5 に計算結果を示す。天然ダムから下流 20km 程度までのピーク流量をみると、ケース①の方が大きくなる傾向があることが分かる。

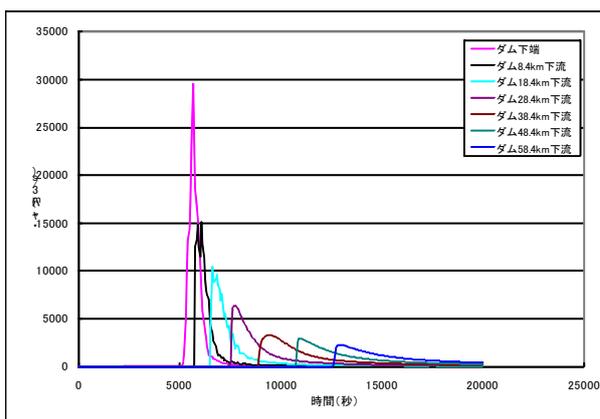


図-4 ケース① (90mDEM による縦断)

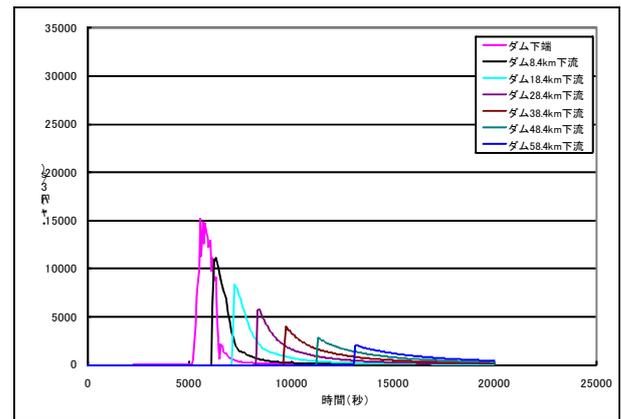


図-5 ケース② (平均勾配による縦断)

5. まとめ

LADOF モデルを用いて天然ダム決壊による洪水流量を予測するにあたって、精度の低い地形データを使用せざるを得ない場合、川幅がほぼ一定という条件であれば、縦断勾配は平均勾配を用いるのではなく、なるべく現状の縦断勾配を反映した河道モデルを設定した方がよいと考えられる。特に、天然ダム形成箇所の下流近くに保全対象や発電所プラントなどの重要施設等が位置している場合には、河道モデルの設定に留意する必要がある。

引用文献

- DGM(2004a): Stability Assessment of the Tsatichu dam and lake. Department of Geology and Mines, Royal Government of Bhutan. Thimpu. 19pp.
- DGM(2004b):The Tsatichu Landslide Dammed Lake. Slope stability and downstream hazard assessment and some reflections on the lake outburst. DGM Report August 2004 37pp.
- DGM(2005):Tsatichu Revisited. Hazard appraisal after the breach of the landslide dammed lake and some comments on mitigation options.
- S.A.dunnig, N.J.Rosser, .N.Petley and C.R.Massey(2006):Formation and failure of the Tsatichhu landslide dam,Bhutan,Landslodes No3,p.107-113
- 里深ら (2007a) :天然ダム決壊時のピーク流量推定に関する一考察, 砂防学会誌, Vol. 59, No. 6, p55-59.
- 里深ら (2007b) :天然ダムの決壊に伴う洪水流出の予測手法に関する研究, 水工学論文集, 第 51 号, p901-906.