

複数形成された天然ダムの危険度レベル分類基準 —緊急対策の視点からの分類—

Risk level classification standard on plural formed landslide dams

: Classification from the viewpoint of urgent countermeasures

千葉 幹* 森 俊 勇*
Miki CHIBA Toshio MORI

1. はじめに

今回ご紹介するのは、汶川（四川）大地震のあと、中華人民共和国水利部が取りまとめた「天然ダム危険度レベルの分類基準（未定稿）」¹⁾を翻訳したものの概要である。元資料では本文と解説に分離して記述されているが、分かりやすくするため、適宜、解説文を引用して挿入している。以下、主な部分を紹介する。

地震、豪雨および融雪等の自然災害によって発生する天然ダムの堤体は、主に急速な堆積によって生じたものであるため、その構成物質は複雑かつ多様で、堤体構造は比較的ルーズな状態である。そのため、河道閉塞に伴い天然ダム上流域の水位が上昇し、浸透圧が徐々に増大した場合、ルーズな状態の堆積物中にパイピングが発生し、堤体を決壊させる恐れがある。また、貯水池が満水して越流することによっても決壊し、天然ダム上下流において二次的な災害を引き起こすこともある。

危険度の分類については、中国においてもこれまでは統一した考え方がなかったが、四川省汶川大地震で形成された唐家山等、104カ所の天然ダムに対する危険性レベルの分類および応急対策における経験を総括し、この基準が制定された。そのため、この基準は氷河湖の決壊に関連するモレーン（氷堆石）ダムに対しては適用されない。

“堤体の安定性に影響を与える主な要因”は、①堤体材料の構成、②堤体高さおよび③天然ダムの規模等である。天然ダムの規模は、主に天然ダムの湛水容量によって決定づけられる。また、“天然ダムの決壊による損失の重大性”については、危険が及ぶ上下流の①危険区域内人口、②重要都市部、③公共または重要施設を主に考慮する。

2. 天然ダム危険度レベル

2.1 堤体の危険性の判別

表-1の天然ダムの湛水容量に応じて、天然ダムの規模を大型、中型、小（1）型および小（2）型に分けるこ

表-1 天然ダム規模分類

天然ダムの規模	天然ダムの湛水容量 $V(10^6\text{m}^3)$
大型	$V \geq 1.0$
中型	$1.0 > V \geq 0.1$
小（1）型	$0.1 > V \geq 0.01$
小（2）型	$V < 0.01$

とができる。

堤体の危険性は、天然ダムの規模、堤体材料の構成および堤体高さに応じて、表-2により、①超高危険、②高危険、③中危険および④低危険に分けることができる。

1) 同一の危険性レベルの3つのレベル分け指標のうち、2つ以上を満たす場合には、堤体の危険性は当該レベルに該当する。

2) 3つのレベル分け指標がそれぞれ異なる危険性レベルに該当する場合には、該当する最も高いレベルのレベル分け指標を1レベル引き下げて、それに対応する危険性レベルを堤体の危険性レベルとすることができる。

堤体形成の成因の複雑性により、異なる成因の堤体材料の構成、構造的特徴等には、明らかな差が存在する。従って、堤体の危険性を判別するにあたっては、現地調査の状況や堤体の災害が発生する潜在的な可能性、外観の異常や対策工事の難易度に基づき、堤体の危険性レベルを適宜引き上げまたは引き下げることができる。

2.2 天然ダムの決壊による損失規模の判別

天然ダム影響域の危険人口、重要な都市部、公共または重要施設等の状況に基づき、表-3を用いて、天然ダムの決壊による損失の重大性を、①極めて重大、②重大、③比較的重大および④中程度に分けることができる。

表-2 堤体危険性の判別

危険性レベル	レベル分け指標		
	天然ダムの規模	堤体材料の構成	堤体高さ(m)
超高危険	大型	主に土質	> 70
高危険	中型	大型粗石混じり土	$30 \sim 70$
中危険	小（1）型	土混じり大型粗石	$15 \sim 30$
低危険	小（2）型	主に大型粗石	< 15

* 正会員（一財）砂防フロンティア整備推進機構 Member, Sabo frontier foundation (rijicyou@sff.or.jp)

表-3 天然ダムの決壊による損失の判別

決壊損失の 重大性	レベル分け指標		
	危険人口	重要都市部	公共または重要施設
極めて重大	$\geq 10^6$	地級市政府または市街地以上	国の重要な交通、送電、オイル・ガスパイプラインおよび工場・鉱山企業、並びにインフラストラクチャー
重大	$10^5 \sim 10^6$	県級市政府または市街地	省レベルの重要な交通、送電、オイル・ガスパイプラインおよび工場・鉱山企業、大型水利施設または大規模な工場、農業工場および猛毒化学工業工場
比較的重大	$10^4 \sim 10^5$	郷・鎮政府の所在地	市レベルの重要な交通、送電、オイル・ガスパイプラインおよび工場・鉱山企業、中型水利施設または大規模な工場、農業工場
中程度	$< 10^4$	郷・村（農村）以下の住宅地	一般的な重要施設、小型水利施設、一般的な工場および農業工場およびそれ以下の施設

(中国における地方行政組織の階層：省、地、県、郷、鎮、村)

天然ダム影響域の危険人口、重要都市部、公共または危険施設とは、ダムの決壊洪水の計算により決定した、天然ダムの決壊洪水の影響範囲内における①人口、②重要都市部、③公共または危険施設の分布状況をいう。

天然ダムの決壊による損失の重大性判定には、単一指標による判別を採用することができる。また、3つのレベル分け指標が異なる決壊損失レベルに該当する場合には、該当する最も高いレベルの指標により決壊損失の重大性レベルを決定する。

2.3 天然ダム危険度レベルの分類

天然ダム危険度レベルは、堤体の危険性および決壊損失の重大性に基づき、①超高危険、②高危険、③中危険および④低危険に分けることができ、それぞれレベルⅠ、レベルⅡ、レベルⅢ、レベルⅣと表す。

天然ダム危険度レベルは、「ルックアップテーブル」と「数値解析」という2種類の方法によって分類することができる。

ルックアップテーブル法とは、表-2および表-3の評価結果を総合し、表-4によって天然ダム危険度レベルを決定する方法である。

表-5は、2008年5月12日に発生した汶川大地震で形成された天然ダムの一部の事例を示したものであり、ルックアップテーブル法を採用して危険度レベルの分類を行った結果である。

天然ダムに関する問題の複雑さと天然ダムの安全性リ

表-4 天然ダム危険度レベルの分類基準

天然ダム危険度レベル		決壊損失の重大性			
		極めて重大	重大	比較的重大	中程度
堤体の危険性	超高危険	レベルⅠ	レベルⅠ	レベルⅡ	レベルⅡ
	高危険	レベルⅠ	レベルⅡ	レベルⅡ	レベルⅢ
	中危険	レベルⅠ	レベルⅡ	レベルⅢ	レベルⅢ
	低危険	レベルⅡ	レベルⅡ	レベルⅢ	レベルⅣ

表-5 2008年5月12日の汶川大地震で形成された一部の天然ダム危険度レベルの判別例（初期のデータに基づくもの）

天然ダム名称	危険性レベル	重大性レベル	危険度レベル
老鷹岩	高危険	極めて重大	レベルⅠ
唐家山	超高危険	極めて重大	レベルⅠ
小崗剣発電所上流	高危険	比較的重大	レベルⅡ
石板溝	高危険	重大	レベルⅡ
肖家橋	高危険	極めて重大	レベルⅠ
罐灘	中危険	比較的重大	レベルⅢ
苦竹ダム下流	中危険	極めて重大	レベルⅠ
黒洞崖	中危険	重大	レベルⅡ
岩羊灘	高危険	比較的重大	レベルⅡ
南壩	中危険	重大	レベルⅡ
唐家湾	高危険	比較的重大	レベルⅡ
紅松発電所建屋	中危険	比較的重大	レベルⅢ
馬槽灘中流	中危険	比較的重大	レベルⅢ
馬槽灘上流	中危険	比較的重大	レベルⅢ
馬槽灘下流	中危険	比較的重大	レベルⅢ
木瓜坪	中危険	比較的重大	レベルⅢ

スク影響要因の不確定性により、天然ダム危険度レベルの評価過程では、指標に対応する重要性に変化が生じることがある。また、堤体物質の構成、高さ、天然ダムの湛水容量、天然ダム下流影響域における危険人口、重要都市部および公共または危険施設といった6項目の静的指標にのみ基づくことから、天然ダム危険度レベルを十分に反映させられないこともある。

そのため、天然ダム対策の現時点での外部条件、すなわち強い余震の有無、地すべりの有無等や天然ダムの湛水容量、水位上昇速度といった要因を考慮する必要がある。「数値解析手法」を採用して、堤体の危険性レベルを評価することができる。

天然ダム危険度レベルの分類について、数値解析手法を用いて行う場合の個々の指標の重要性係数は、天然ダムに詳しい複数の専門家が、自らの経験と、対象となる個々の天然ダムの特徴に基づき、総合的判断を行い決定する。

具体的な数値の決定にあたっては、状況に応じて臨機応変に、「デルファイ法」、「調査統計法」、「階層分析法」といった、さまざまな方法を選択することができる。

堤体の危険性レベル評価指標には、定量指標も定性指標もある。2種類の指標を総合した堤体の危険性レベルは、ファジィ数学的手法を採用して評価を行う。その最終的なレベルの決定には、所属度最大値の原則を採用する。算出した隣接するレベルの所属度がほぼ等しい（すなわち、算出した隣接するレベルの所属度の差が非常に小さく、当該差が主に計算の誤差によって生じている）場合には、そのうちの最も高い危険度レベルを取るものとする。

3. 洪水基準

天然ダム応急対策の洪水基準（洪水再現期間（年）：年超過確率）は、天然ダム形成時の季節、影響対象の重要度、施工可能な期間、利用可能な建設資源、交通・輸送条件等の具体的な状況を総合的に勘案して決定するものとする。

天然ダム応急対策期間の洪水基準は、表-6により決定することができる。条件が許す場合には、実情に応じて洪水基準を引き上げることができる。

堤体の上流に重要施設がある場合には、応急対策期間の洪水基準は、保全対象の洪水基準に基づいて決定するものとする。天然ダム応急対策を実施したあと、堤体の恒久対策を行うまでの残留堤体の洪水基準は表-7に基づいて決定することができる。

天然ダムの恒久対策プランの検討にあたっては、ダムとして改造し長期的な運用を行うケース等、多面的な論証を行う必要がある。改造後の総湛水容量および洪水調節、灌漑、冠水防止、給水、発電等に関する効果・利益の指標に基づき、施工の規模、洪水基準及び構築物レベルを決定するものとする。

4. 堤体の安全基準

4.1 堤体の余裕高

越流に対する危険水位の管理については、堤体の遮水区間頂部の高さ、それに対応する洪水基準時の静水位に最大波高、余裕高および堤体の沈下量を加味して行うものとする。

堤体の沈下量は、堤体の岩石や土壌の成分および密実の状態に基づき検討して決定する。初期には、ダム高さの1%～3%で見積ることができる。天端の余裕高は、天然ダム危険度レベルに応じて、表-8に基づき決定することができる。

4.2 堤体全体の安全基準

堤体に応急対策を施したあと、「簡易ビショップ法」を

表-6 天然ダム応急対策期間の洪水基準

危険度レベル	洪水再現期間(年)
レベルⅠ	≥5
レベルⅡ	3～5
レベルⅢ	2～3
レベルⅣ	≤2

表-7 天然ダム応急対策後の洪水基準

危険度レベル	洪水再現期間(年)
レベルⅠ	≥20
レベルⅡ	20～10
レベルⅢ	10～5
レベルⅣ	≤5

採用して堤体の法面全体の安定解析を行う場合には、そのすべり抵抗安全率は、表-9に定める数値を下回らないものとする。

「スウェーデン法」を採用して堤体法面のすべり抵抗安全率を算出する場合には、最小安全率は、表-9に定める数値よりも8%減少させるものとする。

5. まとめ

2008年の汶川大地震を経験した中国における天然ダムの危険度分類基準（未定稿）の概要を紹介させていただいた。

ここまでの紹介内容を踏まえつつ、天然ダムが同時に複数形成された場合の対策について、著者らの意見を述べる。

天然ダムが同時に複数形成され、その緊急対策について検討する場合、その対策の重要度・緊急性は短時間で判断しなければならない。それは保全対象の重要性もあるし、決壊する危険性とその影響度などにより判断されるべきである。

我が国の場合、急流河川が多く、湛水容量は比較的小さい。そのため、降雨等に伴い流入量が増大すると短期間で満水し、越流する可能性がある。これにより、緊急対策に許容される日数が極めて限定されることとなる。そのため、本流沿いに形成された天然ダムは、一連の降雨の間に決壊するものも多い。2011年の台風12号に伴う豪雨により紀伊半島で形成された17カ所の天然ダムのうち、12カ所の天然ダムは洪水期間中に越流決壊している。

また、天然ダムが形成される場所は、アクセス条件が極端に悪い山間部であることが多く、このような地域で複数形成された天然ダム全てに対し緊急対策を実施しようとする、物的にも人的にも無理が生ずる可能性が高い。

これらのことを前提にすると、未決壊の天然ダムが複数ある場合は、全般的な監視を行うとともに危険度分類を行い、ハード面の対策を実施する箇所を限定する必要

表-8 天端の余裕高

天然ダム危険度レベル	レベルⅠ	レベルⅡ	レベルⅢ	レベルⅣ
天端の余裕高(m)	1.5	1.0	0.7	0.5

表-9 堤体全体のすべり抵抗最小安全率

運用条件	天然ダム危険度レベル			
	レベルⅠ	レベルⅡ	レベルⅢ	レベルⅣ
正常時	1.30	1.25	1.20	1.15
非常時	1.20	1.15	1.15	1.10

正常時：設計洪水水位により形成した安定的な浸透流の状態。

非常時：1) 天然ダム水位の急速な低下。

2) 正常時に地震が発生した場合。

が出てくるケースがあるものと考えている。

決壊のしやすさについては、天然ダムの「堤体の形状」と「満水までの猶予時間（上流の空き容量/流入量）」から判断するのが妥当と考えている。堤体の形状は、千葉ほか（2007）²⁾に示しているように、河川の縦断方向に長く堆積している場合の方が、短いものより安定性が高いと言える。先ずは、猶予時間の長・短により、緊急対策の実施の可否を判断し、「否」の場合は、直ちに監視システムを整備し、上・下流域に対する警戒避難体制の構築を図るべきである。

次に、緊急対策実施の優先度の分析を行う。アクセス等の問題から対策の実施が困難と判断した天然ダムは、警戒避難で対応することになる。対策の実施が可能であると判断されたその他の天然ダムについて、その対策の優先度は、満水した場合の上流側水没被害の大・小と、決壊した場合に想定される洪水と下流域への影響の大・小で判断すべきであろう。

我が国においては、国土交通省により、天然ダムができた場合の緊急に調査・対応すべき事項についての考え方が示されているが、複数形成された天然ダムの緊急対策について、優先度を判断して対応方針を決定するという考え方は示されていない。

越流決壊した場合の洪水量は、LADOF モデル^{4),5)}で洪水ハイドロを簡易に算定することができる。全ての天然ダムについて、決壊しないように取り組むのではなく、複数の天然ダムをレベル分けして、緊急対策の優先度を判断し、場合によっては中国のように警戒避難のみとい

う対応もあり得るのではないだろうか。

また、3. 洪水基準で紹介した緊急対策の整備水準に相当する年超過確率や、堤体の安定性に関する安全率などについての考え方は、我が国における対策を考える際に参考になるのではないかと考えている。

なお、翻訳した全文の PDF を、ウェブ⁶⁾に掲載しているので、興味のある方はダウンロードしていただきたい。

参考文献

- 1) 中華人民共和国水利部：堰塞湖风险等级划分标准（天然ダム危険度レベルの分類基準），<http://www.giwp.org.cn/upload/file/2009/20090227164147577497.pdf>，参照 2010-01-19，2009
- 2) 千葉 幹・森 俊勇・内川龍男・水山高久・里深好文：平成 18 年台風 14 号により宮崎県耳川で発生した天然ダムの決壊過程と天然ダムに対する警戒避難のあり方に関する提案，砂防学会誌，Vol. 60，No. 1，p. 43-47，2007
- 3) 国土交通省砂防計画課・国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター・独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ：土砂災害防止法に基づく緊急調査実施の手引き（河道閉塞による土砂災害対策編），2011
- 4) 里深好文・吉野弘祐・水山高久・小川紀一郎・内川龍男・森 俊勇，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，Vol. 51，p. 901-906，2007 a
- 5) 里深好文・吉野弘祐・小川紀一郎・水山高久：天然ダムの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，p. 55-59，2007 b
- 6) <http://www.sff.or.jp/content/uploads/cyugoku-tennendam-kikendo-bunrui.pdf>，参照 2015-06-03

(Received 7 July 2015)