

# 途上国におけるダム再生に関する情報収集 および具体化に向けた技術提案

研究第二部 上席調査役 山下 幸弘

## 1. 背景と調査目的

わが国では、戦後の高度経済成長期における急速な電力需要、その後の都市開発に伴う水需要や洪水対策のため、多くのダムが建設され、現在、高さ15mを超えるダム（大ダムと呼ばれる）は2,500以上となっている。その後、経済の低成長期を迎え、社会環境が重視される中、ダムの建設数は著しく減少したが、一方で、多くのダムは建設後の長期運用により、老朽化の問題が顕在化し、既設ダムの維持管理や点検等による安全管理が重要課題となってきた。

このような現象は、東南アジア諸国でも類似の傾向がみられる。わが国から約四半世紀遅れで経済成長を迎えたフィリピン、ベトナム、マレーシア、インドネシア、ミャンマーなどにおいて、主に電力需要を賄うために建設された多くのダムが、老朽化による安全上のリスクを抱えている。

さらに、地球規模で発生している気象変動に伴う異常降雨等で、ダム決壊による洪水被害も頻発し、既設

ダムの安全性低下を露見させる事態を招いている。

東南アジア諸国では、日本が ODA 事業を主として60を超えるダム建設に関わっており、日本国内で培ったダム維持管理および点検技術を活用した技術協力・支援が期待されており、様々な日本との二国間会議においてもダムの安全管理は重要議題となっている。

本報告は、今後、東南アジア諸国の既設ダムの安全管理および再生に当たって、日本が技術支援を行うために必要な技術情報の収集と具体化に向けてのソフト、ハードの両面における技術提案事例について整理したものである。なお、本報告で使用する資料の一部は、国土交通省との合同調査によるものも含まれている。

## 2. 途上国における既設ダムの現状

東南アジア諸国で、日本企業が設計や工事監理で関与したダムは、表-1に示す通り、インドネシア22ダム、マレーシア18ダムに次いで、タイ7ダム、ベトナムとラオスが各5ダム、ミャンマー2ダムおよびフィリピン1ダムとなっている。

表-1 日本が関与したダムの形式や規模および目的、資金源等

国名	ダム数	ダム型式		ダム高 50m以上 (100m以上)	竣工経過年 20年以上 (30年以上)	発電 専用ダム	多目的ダム		ODA 案件	日本企業	
		重力式	フィル				治水有	治水無		設計	工事
インドネシア	22	6	12	13 (3)	12(4)	8	6	4	11	18	16
タイ	7	0	7	4(1)	4(4)	5	1	0	7	6	1
ベトナム	5	1	4	5(1)	0	4	1	0	4	5	4
マレーシア	18	3	13	6(2)	14(13)	9	5	1	8	2	16
ラオス	5	4	1	2(1)	2(1)	5	-	-	1	1	4
フィリピン	1	0	1	1(1)	0	1	-	-	1	-	1
ミャンマー	2	1	1	0	0	2	-	-	-	2	-
合計	60	15	39	31(9)	32(22)	34	13	5	32	34	42

注) データ根拠は、「世界のダム（日本大ダム会議）」、雑誌「ダム技術」などを参照した。

ダム型式は、フィルダムが多く、重力式ダムは半数以下である。また、ダム高が50mを超える大規模なダムは、全体の約50%となっている。さらに、ダム高100mを超える特大ダムは9ダムあり、各国において1～3ダムが建設されている。竣工経過年が20年以上のダムは、全体の約50%であり、このうち、30年以上経過したダムは30%以上ある。

個別に整理すると次のとおりである。

インドネシアは、重力式もフィルダムもあるが、半数は古い時期に建設されている。タイは、すべてフィルダムである。ベトナムは、20年以内の新しいダムが多く、規模が大きい。マレーシアは、ほとんどが古い時期に建設されたフィルダムである。ラオスは、重力式ダムが多いが、いずれも規模が小さい。

表-1には、60ダムの目的、資金源および日本企業が関与内容についても整理しているが、これより、次のことがわかる。

インドネシアおよびベトナムでは設計・工事とも日本企業のダムが多い。電力専用ダムが50%強を占めており、多目的ダムのうち多くは治水目的を有している。資金源では、ODAのダムは全体の50%強であり、上記3国はほぼ全ダムがODA案件である。とくに、インドネシアとベトナムのダムは、設計、工事とも日本企業によるものである。

### 3. 既設ダムの課題と解決策に向けた提案

#### (1) 海外ダムの決壊事例に学ぶ

これまで途上国を問わず、海外で多くのダムが決壊や事故を起こしてきたが、わが国ではこれまでに致命的なダム決壊を経験していない。これは日本の厳格な設計基準、さらには設計、施工の適正さの結果であるともいえるが、現実的には決壊リスクはあり、維持管理や補修等により緊急事態を回避しているともいえる。

表-2に、著名な世界のダム決壊事例を示す。

表-2 世界のダム決壊事例一覧表

事件事例	ダムの概要	事故状況及び原因
マルパッセダム決壊事故 (フランス)1959年	1954年竣工 水道・灌漑用ダム アーチダム、堤高66.5m	大雨により満水状態になった直後、左岸の基礎地盤が下流側へ移動して崩壊、ダムが決壊した。原因は、ダム基礎岩盤の強度不足。
バイオントダム越流事故 (イタリア)1963年	1960年竣工 電力ダム アーチダム、堤高262m	隣接する地山で地滑りが発生し、崩壊土砂が貯水池に流入。大量の水がダムを越流し、下流に被害をもたらした。
ティートダム決壊事故 (アメリカ)1976年	1975年竣工 治水、灌漑、電力ダム ロックフィルダム、堤高93m	盛土内部の侵食により右岸側の着岸部に漏水が発生。やがて堤体内にパイピング現象が生じて堰堤が決壊した。
石岡ダム決壊事故 (台湾)1999年	1977年竣工 灌漑、電力ダム 重力式ダム、堤高25.0m	地震に伴う断層変位により、鉛直7mの堤体変位が生じて決壊した。
ゾーチャワンダム決壊事故 (ミャンマー)2018年	2001年竣工灌漑ダム アースダム、堤高30m	豪雨で、貯水位が上昇、洪水吐きの越流堤がほぼ全壊した。原因は、越流時の急激な水圧上昇による堰堤の安定性低下。

最近のダム決壊事例として、2017年に米国カリフォルニア州のオロビルダムの事故を紹介する。なお、本

ダムの現地調査には、当協会も参加している。



常用洪水吐シュート部の洗堀  
(カリフォルニア州水資源局)



非常用洪水吐越流部の状況  
(カリフォルニア州水資源局)

写真-1 オロビルダム洪水吐きの決壊状況

a) 事故の状況

- ・ 常用洪水吐きから放流中にシュート部(コンクリート製)が洗掘され、床板の一部が陥没した。
- ・ 急遽、放流を停止させたが、貯水位上昇に伴い、非常用洪水吐きから放流された。(ダム完成後、はじめての放流であった)
- ・ 非常用洪水吐きの越流堰の基礎が洗掘され、ダム決壊の危機を招き、下流住民を避難させた。
- ・ 再度、常用洪水吐きからの放流に切り替え、貯水位が低下したため、避難命令を解除した。

b) 事故の原因

直接の起因は、シュート部床板の洗掘であったが、それが地質、水理、施工等のいずれの原因かの究明は現在も継続中である。いずれせよ、ダム施設の老朽化に伴う強度の低下と考えられるが、ダムの決壊原因は、常に社会問題に発展し、責任の所在をどこに求めるか等がクローズアップされることから、究明までに多くの時間と調査を要することが多い。

(2) ダムの安全及び機能点検の提案

ダムは構造的には非常に長い耐用期間を有している。しかし、適切な維持管理・更新を行わなければ、機能を損ない、また最悪の場合、大規模な事故につながるリスクを抱えている。さらに、ダム建設時にはみられなかった気候変動による異常降雨の発生や土地利用、水利用の変化に必ずしも既設ダムの機能が対応できていない場合もある。

管理ダム数が増加している国、管理年数が蓄積したダムを多く有する国、流域の土地利用が著しく変化している国などにおいて、既設ダムの課題や問題点を把握・抽出し、その有効活用を図ることは、極めて重要である。

このため、当協会では、日本で実施しているダム点検の考え方を参考に、日本側からの技術協力のもとで、途上国のダム管理体制を踏まえた実用的なダム点検を実施することを提案した。

これにより、以下の効果が期待できる。

STEP-1; 客観的かつ一元的に複数の既設ダムの安全性と機能性を検証することができる。
STEP-2; 既設ダムの課題を抽出し、改善策検討に必要な情報を得ることができる。
STEP-3; 今後の環境変化を踏まえたダム機能(治水・利水等)の向上策が見つかる。

本提案の「実用的なダム点検方法(案)」は、上記のうち、STEP-1 (安全性および機能性検証) およびSTEP-2 (課題解決策) を実行するために活用するものであるが、今後、対象国の事情を踏まえて、STEP-3 (ダム再生) に取り組んでいくためのシナリオについても提案している。STEP-3 は、本報告(3)の中で解説する。以下に、「実用的なダム点検方法 (案)」の概要について解説する。

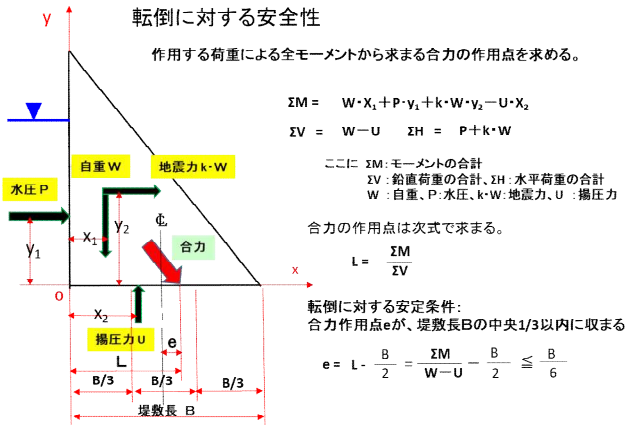
a) ダム管理の基本

ダムは社会的影響が大きい施設であり、高い安全性が求められる。このため、要求される性能が長期間、保持されるように維持管理しなければならない。表-3 にコンクリートダムおよびフィルダムに要求される性能について示す。各形式のダムにとって、最も重要な要求性能は、その構造的な特徴から、コンクリートダムの場合は「滑動および転倒に対する安全性」であり、フィルダムの場合は「すべり破壊および浸透破壊に対する安全性」である。図-1 には、両形式のダムの構造メカニズムを示す。

表-3 ダムに要求される性能

構造物	要求される性能
ダムの堤体	・ 止水機能 ・ 必要な強度と安全性
・ コンクリートダム堤体	・ 滑動および転倒に対する安全性
・ フィルダム堤体	・ すべり破壊および浸透破壊に対する安全性
ダムの基礎地盤	・ 滑動、すべり破壊および浸透破壊に対する安全性
洪水吐き	・ 洪水処理機能 ・ 堤体、基礎地盤に支障を及ぼさない構造
堤体周辺斜面	・ 地山の地すべり等に対する安全性

## 重力式ダムメカニズム



## フィルダムメカニズム

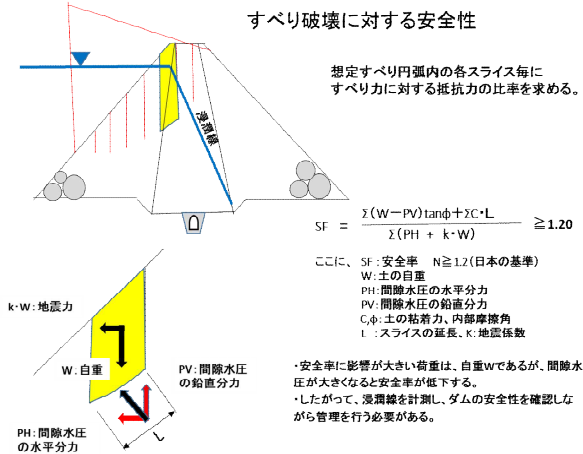


図-1 ダムの構造メカニズムの説明図

### b) 日本のダム検査・点検の概要

日本におけるダム検査および点検には、表-4に示すような4つの代表的な規定がある。日本で管理中のダムは日常点検のほか、3年に1回程度、ダム管理者以外の専門家によりダム定期検査を実施し、必要な補修や設備更新を行っている。さらに、長期的視点により効果的、効率的なダム管理を行うため、約30年に1回、ダム管理者が専門家と相談しながら、ダム総合点検を実施している。このうち、ダム総合点検では、ダムの安全性評価に加えて、当該ダムの今後の維持管理方針を策定することを目的としている。

表-4 日本におけるダム検査・点検の概要

種類	主な目的(頻度)	内容	ダム点検者
日常点検	状態確認(毎日)	・ダム施設等の状態を把握(巡視や観測装置の計測)	ダム管理者
臨時点検	異常時の安全確認(地震・洪水発生後)	・ダム施設の異常発生の有無を確認(急激な事象によるダムの損傷)	ダム管理者
定期検査	第三者による安全確認(3年に1回程度)	・ダムの管理体制および管理状況 ・資料および施設設備状況の検査	ダム管理者以外の専門家
ダム総合点検	安全確認及び今後の維持管理方針の策定(30年に1回程度)	・技術的知見による総合的な評価 ・今後の維持管理方針の策定	ダム管理者

### c) 実用的なダム点検方法(案)の概要

「実用的なダム点検方法(案)」は、日本のダムの点検や検査の考え方を、人員不足や技術的、予算的理由で、管理が十分ではないと想定される東南アジア諸国の既設ダムに適用し、日本側からの技術協力・支援として、最小限かつ重要な点検項目の選定と点検結果の評価および今後の維持管理方針の策定などを簡易的に行うための方法を示したものである。同点検は、ダム点検者がダム及び貯水池の安全性を確認するとともに、ダム管理者が適切な維持管理方針を策定することを目的としている。

図-2 に日本の技術協力のもとで行うダム点検の実施手順を示す。

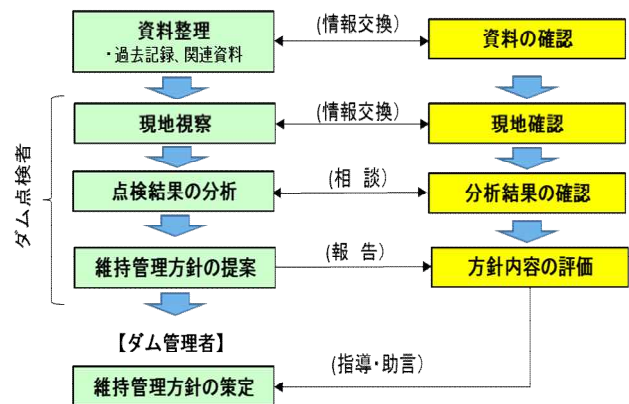


図-2 ダム点検の実施手順(案)

①ダム点検項目

点検項目は、日本のダム定期検査を参照し、表-5 に示すとおり、必要最小限かつ重要（ダム・貯水池に直結する項目）と考える項目とする。

表-5 ダム点検項目(案)

種 類	点検項目	点検内容
維持管理 状 況	① 管理体制	・ 平常時および非常時の管理体制 ・ 「地震時」「出水時」等の連絡体制および記録方法
	② ダム維持管理体制	・ 通常点検および臨時点検の実施状況
	③ 貯水池管理体制	・ 貯水池状況の把握方法： 堆砂、水質など ・ 貯水池対策の実施状況： 堆砂の浚渫など
	④ 流水管理状況	・ 洪水操作ルールの有無 ・ 気象・水文記録、操作記録の保管状況
ダム・貯水池 状 況	①ダム本体	・ 観測値 コンクリートダム：漏水、変形、揚圧力 フィルダム：漏水、変形、浸潤線 ・ ダム本体の劣化状況
	②機械設備	・ 放流管、ゲート等、排水ポンプ等の状況
	③電気設備	・ 受変電設備・配電設備等の損傷 ・ 通信設備、放流警報設備の不具合
	④貯水池	・ 貯水池斜面の状況（崩壊危険性） ・ 貯水池堆砂状況（堆砂量、形状等）
	⑤その他	・ 管理用通路の状況 ・ 上流域の地山状況（崩壊地等） ・ 下流域の状況（下流河道、土地利用状況等）

②安全点検の評価方法

表-6(1) 点検結果の評価方法(維持管理状況)

点検項目	指摘事項および改善事項		
	I	II	III
① 管理体制			
② ダム維持管理体制			
③ 貯水池管理体制			
④ 流水管理体制			
判定基準	断区分		状態
	I. 軽微な問題		全体的に問題はない
	II. 部分的な問題		一部問題はあるが、全体的な問題ではない
	III. 重大な問題		直ちに改善措置が必要である

表-6(2) 点検結果の評価方法(ダム本体・貯水池)

点検項目	管理レベル	指摘事項および改善事項		
		I	II	III
① ダム本体	M			
	H			
判定基準 【リスクレベル】：状態の緊急度 【管理レベル】：ダムへの影響度	リスクレベル	管理レベル		
		M	H	
	I. 軽微な問題	保全に至ってない	状態監視を継続	
	II. 部分的な問題	状態監視を継続	必要に応じて対策実施	
III. 重大な問題	必要に応じて対策実施	直ちに対策実施		

③ 機能点検の評価方法

ダムの機能を大きく、「洪水調節」「利水運用」「河川環境」および「貯水池堆砂」に区分し、そ

れぞれの現状を調査して課題点を評価する。

表-7(1)に洪水調節、表-7(2)に利水運用に関する機能の評価方法を示す。

表-7(1) 点検結果の評価方法(洪水調節)

項目	細目	記録および課題	緊急性
洪水調節方式	洪水調節方式に関する課題 (一定率一定量、一定量放流方式)	・放流開始流量の見直しが必要 ・一定率をもう少し大きくしたい、等	
洪水時操作	洪水操作の回数	・最大、平均( 回/年) 年月日:	
	洪水操作ルール運用上の課題	・操作ルールの適正な運用が困難 ・管理職員への操作技術の共有、等	緊急
異常洪水時 防災操作	実施回数・時期	・回数: 、時期:	
	最大放流量・最高水位	・最大放流量: 最高水位: ・ダムへの影響: (例)・貯水池斜面が崩落、急激な漏水増、等	
放流警報	警報時期に関する改善事項	・警報開始時期の明確な基準がない ・警報対象地域の見直しが必要、等	
下流地域	浸水頻度や浸水地区の状況 (ダム建設当時から状況変化)	・浸水区域の開発により被害予測が増大 ・ハザードマップ作成と住民への共有、等	緊急

表-7(2) 点検結果の評価方法(利水運用)

項目	細目	記録および課題	緊急性
渇水対策	暫定的な貯水池運用方法 ①取水制限、②発電容量の利用 ③死水(堆砂)容量の利用	・頻度と期間 最大( 回/年、 ヶ月/年)	
	利水容量に過不足がないか	・都市開発により灌漑用水が減、発電用水が増となり、運用計画を見直す必要あり ・堆砂が進行し、利水容量が減少した、等	
	低水管理のためのルール	・取水制限の開始基準が不明確である ・受益者との協定が守られず、管理が困難	
利水放流 施設	利水放流施設の操作性能	・操作性が悪く、微少調整ができずトラブルの原因となっている。等	緊急
	施設の機能や老朽化	・放流可能水位が高く、渇水時の取水不能 ・老朽化により機能の停止、等	緊急

(3) ダム再生プロジェクト推進方法の提案

ダム点検によりダムが抱える様々な機能上の課題解決を図るためには、現状機能の回復に加えて、機能向上を図るためのダム再生方法を検討することが有効である。表-8 に、ダム機能に関する主要課題

となる「堆砂対策」「洪水対策」「維持管理」および「耐震強化」について再生プロジェクトを推進する場合の検討手順を示す。図-3 に、「洪水対策」の課題についてのプロジェクトの実施手順(案)を示す。

表-8 ダム再生プロジェクト推進のための課題整理

ダム課題	調査	計画・解析	設計(FS/DD)	工事	管理
堆砂対策	・貯水池測量 ・材料試験等	・堆砂量予測 ・発電影響検討	・貯砂ダム設計 ・事業可能性、事業費	・工事発注 ・工事監理 ・貯砂ダム完成	・堆砂掘削 ・砂利転用
洪水操作	・既往洪水操作ルール	・洪水予測手法 ・操作規則	・放流設備設計 ・事業可能性、事業費	・工事発注 ・工事監理 ・放流設備完成	・洪水調節 ・被害軽減
ダム観測	・観測設備 ・現行管理基準	・挙動解析 ・安定解析 ・観測増強案 ・新管理基準	・観測設備設計 ・事業費算定	・工事発注 ・工事監理 ・観測設備完成	・計測実行 ・ダム安全性評価 ・ダム管理者教育
耐震強化	・耐層調査 ・既往地震加速度	・動的解析 ・安全性評価	・補強工設計 ・観測計画立案 ・事業費	・工事発注 ・工事監理 ・耐震補強完成	・加速度データ蓄積 ・ダム点検

【想定仮題】：洪水吐ゲートの放流能力が不足するとともに、電力ダムであり洪水時の詳細な操作ルールが定められておらず、洪水時の安全性への懸念がある。

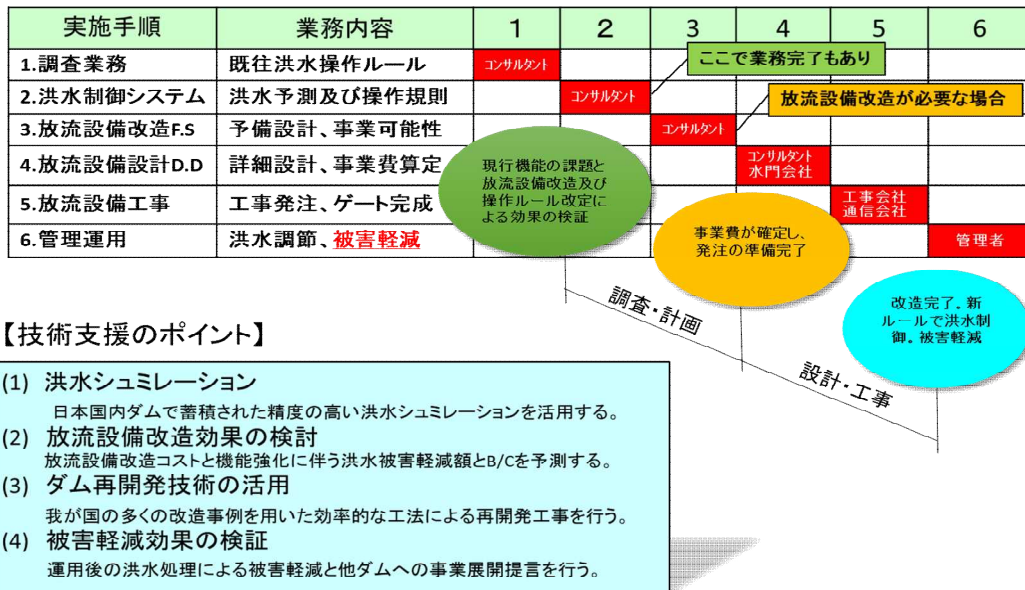


図-3 洪水対策プロジェクトの実施手順(案)

#### 4. 日本企業の意識調査

##### (1) 調査経緯

途上国において日本企業が多くのダム建設に関与したことは既に述べた。これらのダムの老朽化あるいは社会、自然環境の変化によるダム機能の見直し等に伴うダム再生の可能性に関して、当時、建設に関わった日本の建設企業の取り組み意欲は重要な関心事でもある。国土交通省水管理・国土保全局河川計画課国際室では、このテーマについて 2019 年 3 月に、日本の大手建設企業 5 社を対象に個別にヒヤリング調査を行っている。当協会が事務局を務めたので、その概要を紹介する。

##### (2) ヒヤリング調査結果

ヒヤリング 5 社が過去に海外で建設したダムは、途上国以外の国も含めて表-9 に示すとおり計 20 ダムある。このうち、最も多い国はインドネシア 5 ダム、次いでマレーシア、タイ、インドおよび中国の各 2 ダムであり、大部分は ODA によるものである。

以下にヒヤリング結果の要点を示す。

##### a) ダム再生工事への対応

- ・相手国から相談はないが、要請あれば対応したい。
- ・ダム再生のためには、元データ入手が必須である。
- ・ダムの安全点検の必要性は認識している。
- ・ダム再生実績を活用して、海外展開につなげたい。
- ・ダム堆砂問題は、世界共通の課題である。

##### b) 海外展開への方針

・海外展開有望国は、東南アジアのインドネシア、ベトナム、フィリピン、タイ、ミャンマー、ラオス、カンボジアであり、このうち、リスクの少ないエリアに展開していきたい。

・海外ダム技術者の人材育成・確保のためには、海外ダム案件の継続的な受注が望ましく、プロマネを要請する機会がほしい。

・請負ではなく、プロジェクト全体に関わるような契約方式に参加したい。(BOT 方式の SPC など)

##### c) 海外展開におけるリスク

- ・工事の責任分担があいまい (トラブルの原因)。
- ・設計変更が困難 (借款工事であり手続きに消極的)
- ・契約 (FIDIC) に対する理解が足りない。
- ・クレームによる訴訟問題が頻発 (竣工後も継続)。
- ・水没世帯や環境団体からの反対運動がある。

- ・コンプライアンス（盗難、賄賂、粗悪品質など）。
- ・法令や規定等の頻繁な変更がある。
- ・工期短縮等によるボーナス条項も反故にされる。

以上、日本企業は、途上国のダム再生について、機会があれば関わる意欲はあるが、数多くのリスク対策が不可欠であること、事業の継続性による人材育成の必要性、確実な予算措置に加え契約方法への改善要望等もあり、ダム再生プロジェクトの展開に当たっては、新たな契約制度の導入も視野に入れた行政的な取り組みの必要性があることを認識した。

#### 4. おわりに

本報告書は、日本のダム再生技術を途上国で活用することで、新たな海外市場を開拓するために有効と考える技術情報および技術提案を紹介した。

今後、途上国のダム再生プロジェクトを具体化させるためには、国交省が主体となって実施する防災協働対話等の二国間会議やその他の国際会議などにおいて、日本側からの積極的な発信を継続するとともに、常時、国内企業とも情報共有を行うことが重要であると考えます。

表-9 大手企業5社が建設したダム一覧

国名	ダム名	発注者	コンサルタント	目的	資金	竣工年	型式	高さ(m)
インドネシア	スンポール	公共事業省	—	A	日本 ODA	1978	R	57
	ウォノレジョ	公共事業省	日本工営	F、W、P	日本 ODA	1999	R	100
	アサハン	民間	日本工営	P	日本 ODA	1982	G	48.5
	カレベ	民間	SNC（加）	P	自己資金	2011	G	80
	チラタ	電力公社	ニュージエック	P	日本 ODA	1988	CFRD	125
マレーシア	バタンアイ	電力庁	SMEC（豪）	P	ADB	1986	R	85
	ベリス	農業省	建設技研	A、I	日本 ODA	2004	CFRD	40
タイ	ラムドンノイ	王国政府	—	P	日本 ODA	1970	R	41
	チュラポーン	電力庁	—	P	日本 ODA	1972	R	73
ベトナム	ダーミー	電力公社	日本工営	P	日本 ODA	2000	R	71.5
ラオス	ナムニアップ	SPC	関西電力	P	BOT 方式	2019 予	G	167
カンボジア	プレクトノット	王国政府	SMEC（豪）	A、P	日本 ODA	中止	E	28
インド	タウリガンガ	水力発電公社	日本工営	P	日本 ODA	2005	CFRD	57
	プルリア	電力公社	電源開発	P	日本 ODA	2007	R	主 71・副 95
スリランカ	アッパーコトマレ	電力庁	電源開発	P	日本 ODA	2013	G	35.5
	ククレガンガ	電力庁	日本工営	P	日本 ODA	2004	G	20.5
中国	水口	福建省電力局	中国国内	P	世界銀行	1994	G	101
	張河湾/西龍池	発電会社	中国国内	P	自己資金	2007	AFRD	張 57/西 97
台湾	湖山	水資源局	台湾国内	A、I、W	自己資金	2014	R	主 75・副 62
サンビセンテ	米国	郡水道局	米国国内	F、W、R	政府	2013	G	103(嵩 36)

注) 型式: G(重力)、R(ロックフィル)、E(アース)、CFRD(コンクリート表面遮水型ロックフィル)、AFRD(アスファルト表面遮水型ロックフィル)

目的: A(灌漑)、F(治水)、W(水道)、I(工水)、P(電力)、R(レクレーション)