

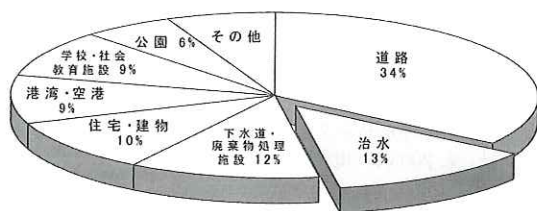
◆特集：新しい時代に向けたダム技術◆

ダムの維持管理コストとライフサイクルマネジメント

金銅将史* 川崎秀明**

1. はじめに

流域における治水・利水上のさまざまなニーズに応えるために建設されてきたダム施設は、全国でその数2,700余りに至っている。これは、わが国が有する社会資本ストック（公共部門）のうち、各種社会基盤施設を含む有形固定資産全体（1999年現在約430兆円相当¹⁾）の少なくとも数%程度の規模に相当するとみられ（図-1およびその付注参照）、水の管理を通じて国民生活や経済活動を支える貴重な資産となっている。



注1) 1999年度現在の推計

注2) 本推計における「治水」に係る資産としては、河川改修事業、河川総合開発事業、砂防事業による構造物が対象とされている。なお、資産額は、事業費をもとにこれを現在価値化して総計することにより算定されている。

注3) 「ダム」という区分でみたストック量に関する明確な統計はないが、本推計に用いられた「治水」（有形固定資産全体のうち約13%相当）に係る事業全体のうちダム（河川総合開発事業）に関する事業費の割合が概ねこれまで20%程度で推移していること、また農業用ダムや民間資本に分類される発電専用ダム等がこれに含まれていないことから、これらを加えると国内のダム全体では有形固定資産総額の少なくとも数%程度の規模に相当すると推定される。

図-1 日本の社会資本ストック

（公的部門の有形固定資産）^{1), 2)}をもとに作成

一方、管理ダム数の増加に伴い、既設のダムの維持管理に関するハード・ソフトの技術がますます重要となってきている。国土交通省が平成13年に公表した「新しい時代のダム管理のあり方」においては、ダムの堆砂対策の推進による機能回復や、メンテナンス、検査基準の整備を通じて、「ライフサイクルの長期化」を目指すべきとしている。このため、個々のダム管理所レベルの対応はもとより、長期的視点に立った合理的な維持管理のための方法論の確立とその適用といった構造的な取

り組みが求められている。

しかし、現状ではダム現場での維持管理業務の実態について共有・分析できる基本情報は必ずしも十分ではない。このため、国土技術政策総合研究所では、国土交通省の総合技術開発プロジェクト「社会資本ストックの管理運営技術の開発」の一環としてダムの維持管理費用に関する全国調査を実施した。

本稿では、その結果をもとにコストという切り口からダムの維持管理の実態を分析した結果を報告する。あわせて、限られた投資余力の中で水管理のための貴重な資産を将来にわたり半永続的に活用していくために必要なダムのライフサイクル・マネジメント論への足掛かりとして、合理的な維持管理を実現するための方法論について内外の取り組み事例を2,3紹介することとしたい。

2. ダムの維持管理投資の動向

わが国におけるダムの総数は図-2のとおり増加し続けており、同時に各ダムの供用年数も確実に増加している。図-2によれば、供用年数が50年を超えるダムは20年後に現在の約1.5倍、40年後には約2倍に達することがわかる。

次に、ダムの維持管理投資の規模の推移を見よう。発電、農業、水道用などのいわゆる利水ダムを含む全国の全てのダム（堤高15m以上）のうち、河川総合開発事業（国土交通省）（ダム数で約16%、有効貯水容量では約53%を占める）³⁾によるダムに対する毎年の投資額の推移を図-3に示す。なお、図中、過年度の金額はすべて建設工事デフレータ（河川総合開発）により平成13年度価格に換算した値を用いている。（以降、本稿では過年度の金額は全て同様の取扱いとしている。）

これによれば、建設事業に係る新規投資は1970年代に大きな伸びを見せ、1980年代末をピークに減少に転じている。その一方、維持管理投資は増加の一途を辿っている。この傾向は、毎年の投資

総額に対する維持管理支出の割合で見ると一層顕著となる。図-3によれば、それまで5%程度以下で推移していた維持管理費の割合が1990年頃から大きく増加し始め、1995年に約10%に達し、今や20%に近づこうとしていることがわかる。

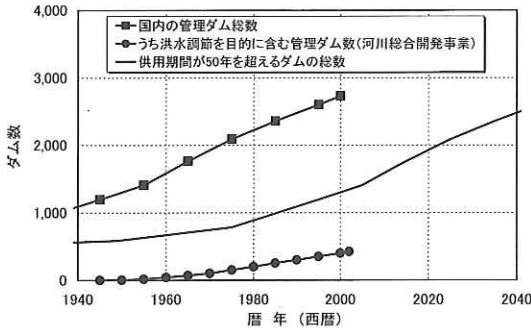


図-2 国内の管理ダム数の推移³⁾ などにより作成

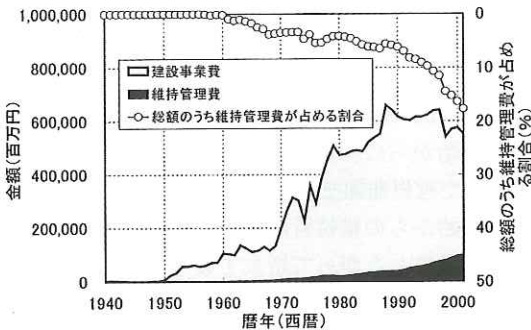


図-3 ダム関連年間投資額と維持管理費の占める割合 (河川総合開発事業)⁴⁾ により作成

3. ダムの維持管理コストに関する全国調査

3.1 調査の概要

国土技術政策総合研究所では、ダムの維持管理費用の動向(発生事由別内訳、年間発生額の経年変化など)に関する全国調査を行った。対象は、平成13年度末現在、国土交通省(北海道開発局および各地方整備局)、内閣府沖縄総合事務局および水資源開発公団が管理している全国のダム(計98ダム)である。調査対象ダム(母集団)のダム形式別内訳を図-4に、各形式のダムの基本諸元のうち規模(堤高)および供用年数の分布を図-5に示す。

3.2 調査結果

3.2.1 維持管理コストの内訳

まず、図-6に調査対象ダムにおける

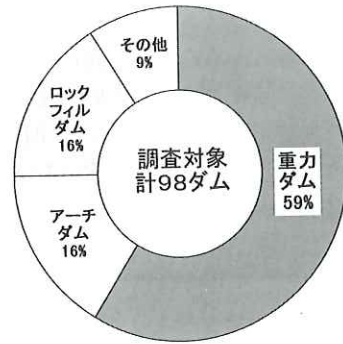


図-4 調査ダム内訳(ダム形式)

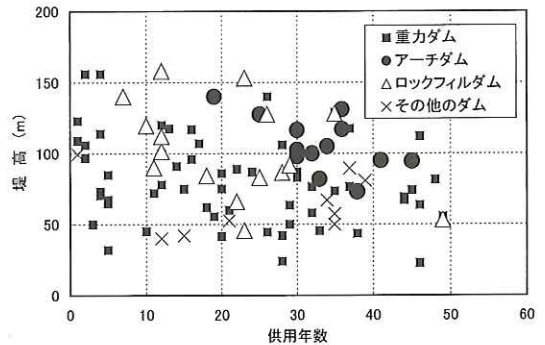


図-5 調査ダムの規模(堤高)と供用年数

平成13年度支出額のデータから求めた維持管理コストの構成比率を示す。これより、ダムコンなどの操作・制御設備関係に係る費用が20%を超えて最も大きく(経過年数別10年未満のダムを除く)、次いで放流設備関係や管理用諸設備(管理棟の維持補修など)、また貯水池対策(土砂対策、水質対策、法面保護など)が全体の10~15%程度を占めている。一方、ダム堤体そのもののメンテナンスに要する費用は、付属構造物(放流設備は除く)を含めても数%以下であることがわかる。

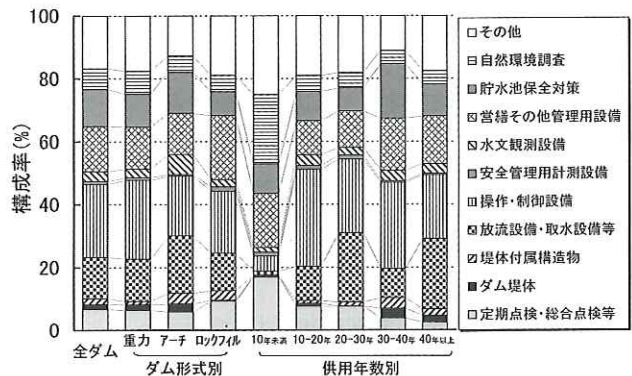


図-6 維持管理コストの構成

次に、維持管理コストの全体規模についてダム形式や供用年数による違いを比較した結果を図-7に示す。なお、規模の違うダム間の比較を行うため、維持管理費用は絶対額でなく初期投資額（建設事業費のうち用地・補償費を除いた支出額を平成13年度価格に換算した額）に対する比率により整理している。調査対象ダム全体では、平均0.6%程度であったが、供用年数別にみると、維持管理コストは竣工後20年を超えると急激に大きくなることがわかる。形式別ではアーチダムで維持管理費の初期投資額に対する比率が大きくなっているが、これは、図-5からもわかるとおり比較的大規模なダムが多く、維持すべき管理用設備が多いことが一因と考えられる。

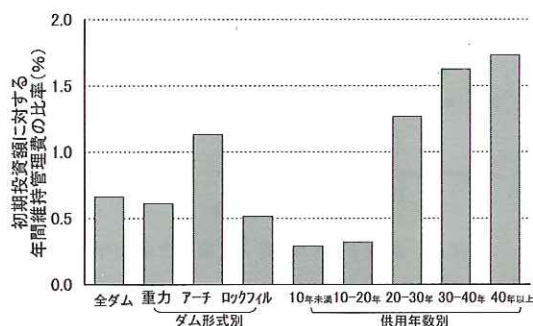


図-7 維持管理コストの規模

3.2.2 維持管理費の経年変化

今回の調査では、各ダムの管理開始時以降の毎年の維持管理費の推移についても調査した。図-8は、管理開始以降の供用年数に対する年間維持管理費の推移を調査対象全ダムの平均値により示したものである。なお、図-7と同様、ダム規模の違いを考慮して維持管理費は初期投資額に対する比率で示している。

これより、維持管理費の全体額は、管理開始から年数が経過するとともに増大傾向にあり、その大きさは、今回の調査対象ダムの平均値でみて、管理開始後25年で初期投資額の約2%、管理開始後50年では5%程度となっている。なお、各ダムごとにみるとばらつきが大きく、最も維持管理費率が大きいダムでは管理開始後25年で6%程度に達しているところもある。

また、維持管理費の内訳を支出費目別でみると、いわゆる一般管理費（おもに毎年必要な施設点検や管理補助などの業務委託費用（人件費）、電力

費などの通常費用に相当）は、供用開始以降比較的緩やかな増加傾向であるのに対し、維持補修費（必要に応じて実施される補修・改良工事や設備更新などに相当）は、供用開始当初はごくわずかなのであるが年々大きくなり、供用開始後25年程度までは一般管理費より小さいものの、それ以降では逆転する結果となっている。

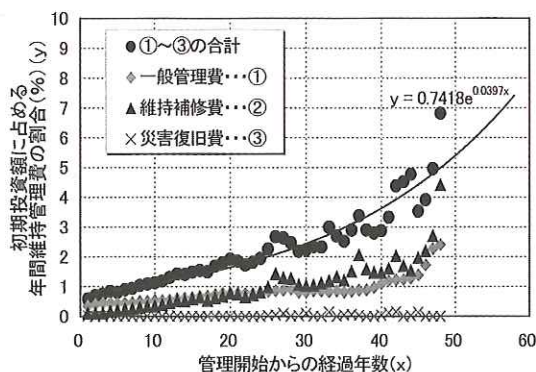


図-8 維持管理費の経年変化

なお、図-8中には、維持管理費率の経年変化を管理開始からの経過年数の関数（指数関数）として求めた近似曲線を併せて示している。いま仮に、管理開始からの維持管理費が当該近似曲線で示される関数にしたがって増大する平均的なダムを想定した場合の供用開始からの経過年数に応じた平均年価の算出を試みる。ここで平均年価とは、その時点までの発生費用（建設費および維持管理費）の総額から社会的割引率を考慮して平均的な各年の発生費用を算定した額である。いわゆる年価法に基づくこの指標は、特定の供用期間を予め設定することなく長期的な維持管理投資計画を経済性の観点から点検するのに有効である。平均年価が減少し続ける限りは、引き続き所要の維持管理投資を行いつつ当該施設を維持していくことが経済的に有利と考えることができる。

算出結果は図-9のとおりで、もともと半永続的な使用を前提として建設されるダム施設の平均年価は70年程度までは減少し続け、それ以降わずかに増加するものの100年を超えても急激には増加しない。このことから、ダムは数十年での更新を前提とする一般的な建築物や橋梁などと異なり、適切な維持管理投資を継続し続けることで物理的のみならず経済的にもかなりの長期供用に合理性を有する構造物といえる。しかしながら、年々の

維持・補修のための投資必要額は確実に増加すること、またさらに長期間、半永続的な供用を可能とするためには、投資対象の選定や投資のタイミングを資産管理の観点から合理的に判断できる仕組みが不可欠となる。

なお、今回調査した維持管理コストには、施設の老朽化などに伴う機能低下の回復を目的としたものだけでなく、治水・利水上のニーズの変化や管理技術の高度化に対応するための施設・設備の改良など、機能向上を目的とした投資も含まれており、投資の必要性や効果のより詳細な分析にはこの点にも留意する必要がある。

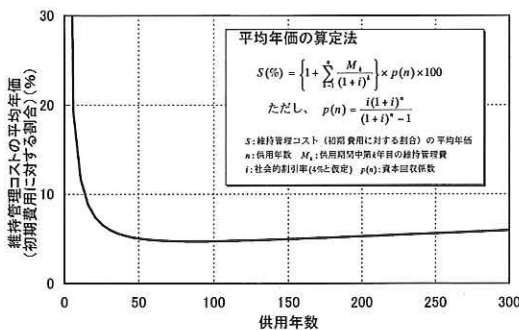


図-9 供用年数とダムの平均年価の関係

4. ダムのライフサイクルマネジメント

4.1 長寿命化に向けた維持管理の方法論

今回調査データとして得られた各ダムにおける維持管理投資の実績は、定期的な点検結果、予め定められた設備・部品の耐用年数、機器メーカーの助言、施設の機能向上に対するニーズのほか、予算上の制約その他さまざまな要因を踏まえて決定、実行された結果であるが、補修や更新の技術的な判断は、ダムごとや設備ごとに蓄積されてきたノウハウによるところが大きい。

今後の限られた投資余力の中で増大するダム数(資産規模ともいえる。)や経年化の進行を考慮すると、長期的な維持管理のシナリオに基づく計画的、効率的な維持管理が望まれる。

それにはどのダム(あるいはどの施設・設備)に、いつ、どのような手段で、どの程度の投資を行えばよいのかを合理的に決定できる方法論が必要である。これによって、例えば図-10に示すような合理的な維持管理計画の策定およびそれに基づく的確な対応が可能となり、図-11に示すよう

にダムの長寿命化が実現する。

しかしながら、このような方法論の整備は、わが国では、道路舗装や橋梁などの土木施設や建築物を中心にある程度進んでいるものの、ダムについては放流用ゲート設備に関する分析⁵⁾など、部分的な検討にとどまっているのが実情である。

その背景のひとつには、道路舗装等と異なり、ダムは堤体、放流設備、貯水池および各種管理設備にわたる極めて多種多様な施設・設備の総合体であることに伴う困難性があると考えられる。各施設・設備の機能低下要因や点検方法、耐用年数、対策技術がさまざまに異なる一方で、それらが互いに関連しあっており、健全性の評価単位をどのようにとり、膨大な点検データをどう関連づけ、優先度を評価していくかといった問題をクリアしなければならない。

とはいえ、このような問題に対しては内外で既に一定の取り組みが始まっている。次にその事例を紹介する。

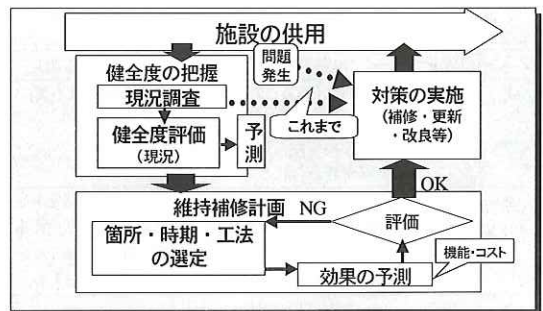


図-10 合理的な維持管理フロー(イメージ)

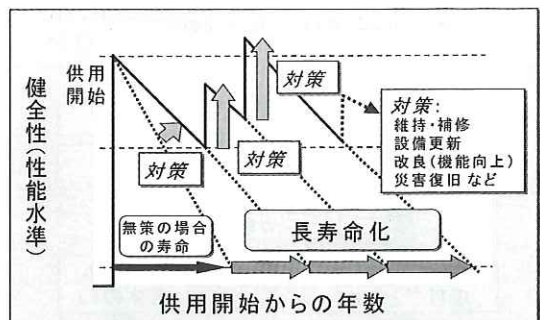


図-11 合理的な維持管理投資によるダムの長寿命化

4.2 内外の事例

4.2.1 統合化指標によるダムの健全性の評価

(米国陸軍工兵隊)⁶⁾

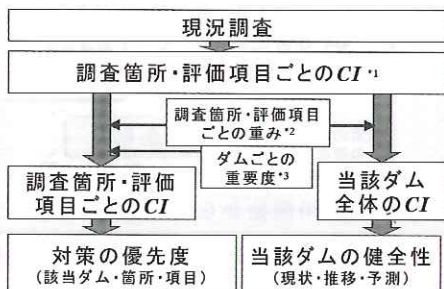
河川水運や洪水調節用のダム、水門施設を管理

する米国陸軍工兵隊では、合理的な優先順位づけを行うことで限られたメンテナンス予算の効率的な配分および執行を可能とするため、RERM (Repair, Evaluation, Maintenance, and Rehabilitation) Management Systems と称する一連の意思決定支援ツールの開発が行われている。

このシステムは、①構造物の診断・健全性評価機能 ②ライフサイクルコスト分析機能 ③データ蓄積・加工機能からなるが、最大の特徴は、構造物や設備の種類に応じ、さまざまな手法で計測される診断データを表-1に示すCI (Condition Index : 状態指数) と呼ばれる健全性に関する普遍的な評価指標に結びつける手法が明示されていることである。重力ダム堤体、フィルダム堤体、各種ゲート設備など、対象とする施設ごとにその算定方法は異なるが、CIの定義は共通であるため、これにより図-12に示すように①多数の所管施設のうち優先的に対処が必要な施設や対処すべき具体の問題の抽出、また②当該施設全体として

表-1 工兵隊における Condition Index の定義⁶⁾

ゾーン	CI:状態指数	施設の状態	推奨される対応
1	85-100	Excellent:目立った欠陥なし。いくらか老朽化や摩耗が見られる。	早急な対応は不要。
	70-84	Good:わずかな劣化や欠陥が認められる。	
2	55-69	Fair:いくらか劣化や欠陥が認められるが、機能には大きな影響はない。	最適な対策を選定するため、補修方法の代替案に関する経済分析を行うことが望ましい。
	40-54	Marginal:中程度の劣化がみられるが、機能はほとんど正常に保たれている。	
3	25-39	Poor:深刻な劣化が複数箇所で行進し、正常な機能が損なわれている。	修理や補修、更新の必要性を判断するための詳細な評価が必要。安全性についても評価することが望ましい。
	10-24	Very Poor:極端に劣化が進行し、正常な機能はほとんど失われている。	
	0-9	Failed:機能を果たさない。主要な構造部分全体が損傷している。	



¹⁾ 計測値等を換算
²⁾ 想定される破壊形態との関連性等をもとに設定
³⁾ 決壊時の被害程度等を勘案して設定

図-12 REMR Management Systemにおける健全度評価の仕組み (対象施設により異なる部分がある。図はフィルダムの例) ⁶⁾をもとに作成

の健全性のモニタリングが可能となる。

なお、CIによる評価はそれが全てではなく、定期的検査で得られる膨大な点検データをもとに具体の対策に関する詳細な検討が必要な項目を洗い出すという1次的なふるい分けに活用されているようである。また、点検データとCIとの関連づけには、具体の施設を用いた専門技術者によるキャリブレーションが重要とされている。

4.2.2 合理的な貯水池堆砂対策 (世界銀行の RESCON プロジェクト) ^{7) 8)}

ダムの維持管理では、堤体だけではなく貯水池の管理も重要な課題である。中でも、堆砂による貯水容量の損失はダムが本来有する能力を直接低下させることとなる。世界銀行では、この問題に対し、経済的合理性に基づく堆砂対策を実施するための計画立案を支援する RESCON (Reservoir Conservation) と呼ばれるプログラムを開発するためのプロジェクトが実施されている。同プログラムには、掘削や浚渫、フラッシングなどの排砂対策あるいは無対策といった各代替案について、その結果各年に回復または損失する貯水容量や対策費用などから費用と便益を定量的に算出する手法が取り入れられており、堆砂対策に係る各種代替案の比較検討を可能としている。

4.2.3 国内の状況

ではわが国の状況はどうだろうか。健全性の評価に関しては、堤体コンクリートや各種機械設備、電気設備など、構造物や設備・機器ごとに一定の点検・整備の基準が整備されている。加えて各ダム管理所独自で実際の施設・設備構成に応じた独自の点検マニュアルを整備しているところもあるようである。しかしながら、図-10に示したような長期的な維持補修計画の立案に活用できるような一般的な仕組みは整備されていない。

ダム全体を総合的に調査し、補修などの必要性を判断するために、例えば、国土交通省では、所管ダムの定期検査⁹⁾における判定基準 (表-2) を

表-2 「ダム定期検査」における判定基準⁹⁾

判定	基準
a	直ちに何らかの処置が必要であると判断される場合
b	何らかの兆候があり、今後注意して監視する必要があると判断される場合
c	特に問題がないと判断される場合

注) このほか、上記の一般の基準に対応して具体の各計測項目等に対応する判定基準がある。

設けている。これは図-10における現況調査や健全度評価に相当するものである。ただし、図-12にある米国の事例のように、評価項目ごとの評価結果を総合化してダム全体の健全性を定量評価したり、複数のダム間や評価項目間の対策の優先度の比較が可能とするような手法は示されていない。この点に関する取り組みとしては、例えば、発電用ダムの維持管理コスト縮減の観点から設備ごとの重要度を加味した健全性の評価手法を検討した例¹⁰⁾ などがある。

5. まとめ

土木施設の中でもダムは元来極めて長期間の供用を前提として建設される施設である。しかし、投資余力が減退する中でこの貴重な資産を有効活用していくためには、その安全性や機能を適切に維持していくための計画的、効率的な維持管理戦略が必要となる。それを可能とするのは①ハードの維持補修技術（維持管理コストの縮減を可能とする技術開発など）と②ライフサイクルを通じた計画的維持管理のための方法論 が有機的に結びついたダムのライフサイクルマネジメントである。

本稿では、このような問題意識のもと、議論の材料として維持管理コストの実態調査結果を紹介した。調査結果の分析では、維持管理コスト全体に占める割合が特に高いのは操作・制御設備や放流設備、貯水池対策に要する費用であること、また経年化に従って実質的な維持管理コストは増大することなど、これまで定性的に言われてきた一般的傾向を定量的データにより示すことができた。

今後は、このうち特に全体コストに対する比率の大きな項目を中心にコスト縮減方策を重点的に検討するとともに、図-10に示したようなダムの長寿命化を実現する合理的な維持管理システムの確立を目指す必要がある。それには、既存の各種点検・整備基準類の体系化や維持管理ノウハウの共有化を可能とする仕組みの整備が重要なカギとなる。

なお、健全度の定量的評価手法について検討する場合には、既存の手法との関連にも配慮しつつ、これまでの維持管理ノウハウの蓄積や経験豊かな技術者による総合的判断を受け入れ難い画一的運用にならないよう留意する必要がある。一定のルールに従えば現場技術者が専門家による詳細な

検討が必要かどうか判断できる、あるいは政策担当者が中長期の予算計画を立案できるような、第1次的な判断ツールとして活用されるものを目指すことが現実的と思われる。

最後に、本稿で紹介した維持管理費の全国調査にあたり、データ提供並びに整理にご協力いただいた関係各位に紙面を借りて感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 内閣府：平成13年度年次経済財政報告, 2001
- 2) 経済企画庁：日本の社会資本, 1998
- 3) 日本ダム協会：ダム年鑑, 2002
- 4) 国土開発調査会ほか：河川便覧（各年版）
- 5) 薬師寺公文、柏井条介：洪水吐きゲートの維持管理費用, ダム工学, Vol 7 No. 1, 1997
- 6) US Army Corps of Engineers (Construction Engineering Research Laboratories) URL : <http://www.cecr.army.mil/fl/remr/remr.html> (重力ダム堤体、フィルダム堤体、各種ゲート設備等、施設ごとの具体的な評価手法を示した Technical report がダウンロード可能)
- 7) A. Palmieri, F. Shah, A. Dinar : Economics of reservoir sedimentation and sustainable management of dams, Journal of Environmental Management 61 pp.149-163, 2001
- 8) A. Palmieri : Social and Economic Aspects of Reservoir Conservation, The 3rd World Water Forum 流域一貫の土砂管理（貯水池土砂管理に向けた挑戦）論文集 pp.109-121, 2003
- 9) 国土交通省：ダム定期検査の手引き, 2002
- 10) 鈴木一広、松澤義浩：設備重要度を考慮した水力土木設備健全性評価手法の検討, 電力土木, No.290, pp.6-10, 2000.11

金銅将史*



国土交通省国土技術政策
総合研究所河川研究部ダ
ム研究室主任研究官
Masafumi KONDO

川崎秀明**



国土交通省国土技術政策
総合研究所河川研究部ダ
ム研究室長, 工博
Dr. Hideaki KAWASAKI