

施設重要度に着目した 樋門施設のアセットマネジメントに関する検討

A STUDY FOR ASSET MANAGEMENT OF SLUICEWAY FACILITIES
FORCUSING ON THE FACILITY IMPORTANCE

小林 潔司¹・角 哲也²・猿橋 崇央³
Kiyoshi KOBAYASHI, Tetsuya SUMI and Takao SARUHASHI

¹正会員 工博 京都大学教授 大学院経営管理研究部/工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

²正会員 工博 京都大学准教授 大学院経営管理研究部/工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

³正会員 工修 (株)ニュージェック 大阪本社 (〒531-0074 大阪市北区本庄東2-3-20)

Asset management is recently applied to consider cost performance for maintenance and renewal of infrastructure facilities. In this study, the maintenance cost and economic loss caused by disorder of the river administration facilities as follows is described; (i)maintenance and renewal cost of sluiceway facilities, one of the river administration facilities for flood control,(ii)potential economic loss due to flood inundation supposing that these facilities lose their function. As for the result of this study, the priority of the facilities for flood risk is presented, which can be used for making decision for renewal and renovation of these facilities.

Key Words : Asset management, facility importance, maintenance and renewal cost, flood inundation analysis, potential economic loss

1. はじめに

既存の社会基盤施設の老朽化や更新から、今後維持更新投資の増大、一時期な更新コストの集中、また、公共事業費削減により維持管理・更新財源の不足等が懸念されている。こうした背景から、道路・橋梁・港湾施設・下水道施設などでは効率的な維持管理のためにアセットマネジメントによるコストの平準化と低減化に関する検討が進められている。

一方、河川管理施設に関しても、樋門・水門などのゲート・開閉装置などの機械設備等の観点から維持管理コスト低減に関する研究が進められ始めているが、研究や議論は緒についたばかりである。水門や樋門は洪水時に堤防の一部となる治水上の重要構造物であり、アセットマネジメントを進める際には、施設群としてマクロ的に見て機能低下が発生した場合の社会的影響度など、施設の価値評価や優先度評価も加味することが重要となるが、これらに関する検討はほとんど行われていないのが現状である。

そこで本研究は、河川管理施設のうち治水施設へのアセットマネジメント検討に必要な要素を整理するととも

に、治水施設特有の課題（洪水リスク、故障のリスクへの対応等）を考慮に入れ、施設優先度の検討を行ったものである。

2. 検討の概要

検討にあたり、はじめに治水施設の特徴を整理した。治水施設の特徴として、まず、多種多様な構成要素から構成されている点が挙げられる。治水施設の中でも、堤防はその構成要素すらも現在のところ不明であり、アセットマネジメントの検討は困難な状況である。また、水門・樋門、堰、排水機場に関しては、構成要素は概ね明らかではあるが、土木設備を始め、機械設備、電気設備と多様な構成要素により成り立っている。次に、道路・橋梁など他の施設と同様、経年的な劣化はあるものの、常に稼働しているのではなく、洪水という確率的な事象において稼働するため、洪水等の突発的な事象の経験により施設の劣化度合いは大きく影響する。さらに、施設が故障や事故等のトラブルにより稼働しない場合、もしくは更新工事により使用できない場合には、代替的な機能を果たす施設は存在しないために、その際には社

表-1 検討対象施設の諸元一覧

	新設又は 改修年	扉体 形式	開閉 方式	設備 数量	扉体 幅	扉体 高さ	開口部 面積	大きさ 区分	塗装面 積(m ²)	水密ゴム 長さ(m)
樋門1	1997	ローラ	ラック	4	5.9	3.28	77.4	中形	625.70	73.44
樋門2	1998	ローラ	ラック	2	9.1	4.4	40.0	中形	210.67	54.00
樋門3	1999	ローラ	ラック	4	5.2	3.28	68.2	中形	528.82	67.84
樋門4	1987	ローラ	ラック	2	3.8	3.18	24.2	中形	223.75	27.92
樋門5	1991	ローラ	ワイヤー ロープ	2	6.85	3.5	48.0	中形	605.90	41.40
樋門6	1987	ローラ	ラック	2	3.27	3.01	19.7	小形	251.26	25.12

表-2 ゲート一門当たりの点検費用 (年間)

ゲート種別	月点検 工数(年)	年点検 工数	工数 合計	点検費用 (年間)	保守整備 費用(年)	合計 (年間)
小型ゲート(ラック式)	4×7=28	9	37	280千円	40千円	318千円
中型ゲート(ラック式)	4×7=29	9	38	280千円	40千円	325千円
中型ゲート(ワイヤーロープワインチ式)	6.5×7=46	18	64	480千円	60千円	540千円
大型ゲート(ワイヤーロープワインチ式)	9×7=63	40	103	770千円	120千円	893千円

注)点検費用=工数×20,000円/時間×300%(人工から算出される原価に間接費を見込んだもの)

保守整備費用:点検時に同時に実施される簡単な整備(電気部品の取替、給油等)の材料費(点検費用の12%程度を見込んだ)

会的に及ぼす影響は非常に大きい。

こうしたことから、治水施設に関するアセットマネジメントの検討にあたって重要なことは、①施設および施設を構成する機器の劣化予測の考え方の整理、②施設の稼働の可否に致命的な要素の抽出整理、③施設の重要度(社会に及ぼす影響)の整理、が重要であると考えられる。このうち、①②に関しては、機械設備分野の観点から、維持管理コスト低減のための研究や施設を構成する重要機器の抽出に関する検討が進められている¹⁾。しかしながら、③に関して、施設群として見た場合のマクロ的な観点での施設の価値評価や優先度評価といった検討事例はほとんどないものといえる。

そこで、本研究では、木津川左岸域という一定の範囲内に存在する施設群(樋門)を対象に、まず、維持管理コストシミュレーションにより、各施設の維持管理・修繕コストの経年変化の将来予測を行った。次に、各施設の社会的影響度を把握するために、各施設が洪水時に稼働しなかった場合に生じる氾濫被害リスクを算出することにより、施設重要度の算定を行った。ここで、洪水時の機能低下として樋門が稼働しない条件を、復旧時間ごとに検討を行うとともに、洪水時に樋門が閉操作できず、本川からの外水が流入することによる外水氾濫被害(外水リスク)と、洪水経過後に樋門が開操作できないことによる内水氾濫被害(内水リスク)とに分けて被害算定を行った。

3. 維持管理コストシミュレーション

(1) 検討対象施設

検討の対象とする領域は、淀川水系木津川の左岸を対象とした。また、流域には様々な治水施設が存在するが、本検討では、領域内に複数点在し、なおかつ資料収集が比較的容易であった樋門を対象とした。

表-3 ゲート一門当たりの点検費用 (年間)

出所:1)

修繕項目	修繕内容	ゲート区分	設備区分 別周期	コスト 単価	単位
塗装	塗替塗装	小形	13年		千円/m ²
		中形	12年	20	千円/m ²
		大形	11年		千円/m ²
扉体・ 戸当り	水密ゴム取替え	大・中・小とも	20年	100	千円/m
	ローラ分解点検	小形	15年	500	千円/回
		中形	12年	800	千円/回
開閉装置 分解点検	大形	10年		2,000	千円/回
	ラック式開閉装置 分解点検	中形	15年	300	千円/回
		大形	12年	500	千円/回
ワイヤーロープ 開閉装置分解点検	中形	12年		1,000	千円/回
		大形	10年	2,000	千円/回
	ラック式開閉装置 更新	小形スライド	19年	5,000	千円/回
開閉装置 更新		小形ローラ	21年	5,000	千円/回
		中形	23年	10,000	千円/回
	ワイヤーロープ取替	中形	17年	3,000	千円/回
ワイヤーロープ 開閉装置電動機取替	大形	14年		5,000	千円/回
		中形	25年	1,000	千円/回
		大形	23年	6,000	千円/回
ワイヤーロープ 油圧挙上式ブレーキ取 替	中形	30年		1,000	千円/回
		大形	27年	4,000	千円/回
	ワイヤーロープブレーキ 減速機取替	中形	32年	6,000	千円/回
ワイヤーロープ 切替装置取替	大形	29年		7,000	千円/回
		中形	32年	2,000	千円/回
		大形	29年	3,000	千円/回
制御機器	小形	20年		3,000	千円/回
	機側操作盤取替	中形	21年	5,000	千円/回
		大形	19年	6,000	千円/回

注)コスト単価は、実績データより参考地として設定。シミュレーションを実施するための参考値(目安)としての位置付けであり、厳密なコスト単価を表す数値ではない。

そして、検討対象施設それぞれに対し、建設年次もしくは最新の改造年次、扉体形式、開閉方式、設備数量、扉体大きさ諸元・塗装面積等の諸元を整理した。表-1に対象施設の諸元の一覧を示す。

(2) コストシミュレーションの概要

コストシミュレーションにより各施設のライフサイクルコスト(LCC)を算定するにあたり、既往検討¹⁾を参考に、以下の各項目について樋門規模、各点検・更新項目、更新周期を考慮してコスト算定を行った。

LCC=点検費(月点検・年点検)

+修繕費(塗装、扉体・戸当り、開閉装置点検、開閉装置更新、制御装置)

なお、コストシミュレーションの手法としては、既往検討に従った。以下にその概要を示す。

まず、コスト算定にあたり、施設規模に応じた単価設定を行うため、(社)ダム・堰施設技術協会『ダム・堰施設技術基準』(1999)で区分されている以下の規模区分を適用した。

- ・大形:扉体面積50m²以上
- ・中形:扉体面積10m²以上50m²未満
- ・小形:扉体面積10m²未満

点検費については、表-2を適用し、表に示された点検費用(年点検+月点検)が毎年かかるものとして費用計上を行った。

修繕費については、検討対象とする修繕内容とその周期およびコストを表-3通り設定し、各樋門の建設あるいは現時点で最新の改造年から、表に示すコストが周期的に発生するものとしてコストシミュレーションを行った。

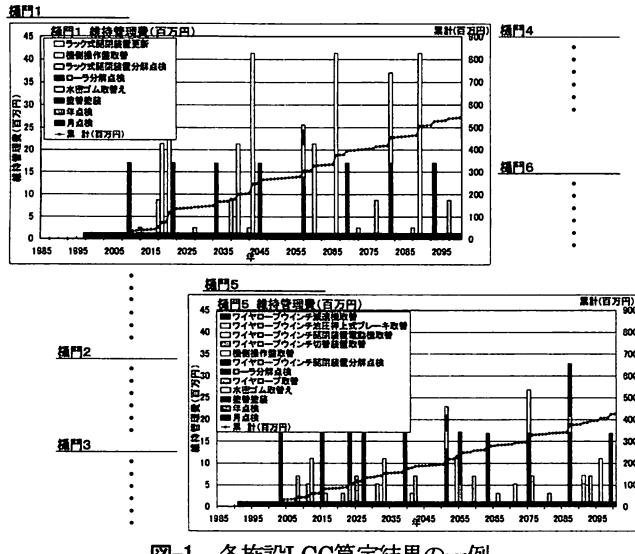


図-1 各施設LCC算定結果の一例

(3) コストシミュレーション結果

各施設のLCC算定結果は、図-1のようになる。図に示されたように、上記で設定した修繕項目毎、また周期毎に修繕費用が発生するために、修繕該当年次において大きな費用が発生することが示されている。また、これらで示された各施設の経年的な維持管理費を足し合わせることにより合計値を算定すると、図-2のようになる。これより、維持管理コストは各年次により大きなばらつきがあり、また複数施設の更新が重なった年次にはコストが非常に大きくなることが示されている。このことから、持続可能な維持管理を継続的に行っていくためには、修繕・更新コスト自体の低減とともに、一時期に発生するコストを平準化することが重要であると考えられる。そこで、以降の章で示すように、更新・修繕の優先順位を決定し、優先度の低い施設については後送りにすることが可能であるかを判断するための、施設重要度の評価に関する検討を行った。

4. 施設重要度の評価

(1) 検討の概要

施設毎の重要度の評価にあたり、各施設が稼動しなかつた場合の想定被害を算定することにより、各施設の治水に対する効果を評価し、施設の重要度評価のための根拠資料とする。以下に、検討の概要を示す。

a) 対象ブロックの設定

まず、検討対象施設の影響が及ぶ範囲を勘案してブロックを設定する。そして、そのブロック内において重要施設の有無、ブロック内の資産、地形条件の整理を行う。

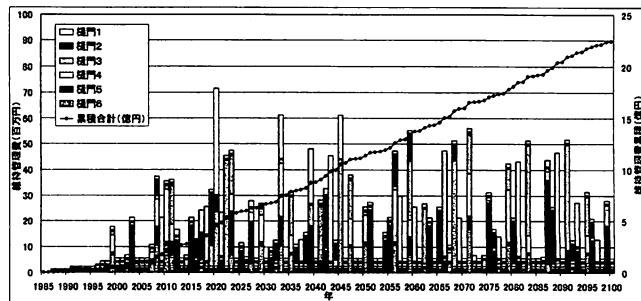


図-2 LCCの経年変化（全樋門合計）

b) 泛濫解析モデルの構築

次に、上記で設定したブロック毎に、格子メッシュ（100mメッシュ）で氾濫解析モデルを構築する。解析を行う外力の条件としては、外水リスクに関しては本川の水位時系列および樋門の開口部の条件・支川の堤防高より氾濫流量ハイドログラフを作成する。また、内水リスクに関しては、内水河川（当該樋門へ流入する支川）への流入量を合理式により算定することで氾濫流量ハイドログラフを作成する。

c) 稼働状況による被害のイメージ

樋門が正常に稼動する場合は、上記で求めた外水の流入はないものと考えられる。また、内水についても樋門より全量排水されるものとする。一方、樋門が電源トラブルや流木の挟み込みなど、なんらかのトラブルにより操作できない場合の被害としては次の2パターンを設定した。まず、洪水時に樋門が閉操作できない場合は、樋門地点より上記b)で設定した流量分だけ外水が浸入する（外水氾濫）。また、洪水経過後等、樋門が閉鎖状態で、トラブルにより開操作出来ない場合には、b)で算出した流量が樋門地点において氾濫する（内水氾濫）ものとした。

このような条件によるハイドログラフを外力条件として氾濫解析および被害算定を行うことにより、各ブロックにおける被害を算定する。そして、施設が稼動しない場合の被害が大きい施設は、重要度が高いものとして評価を行う。

(2) 検討の条件

樋門が正常稼動しない場合のリスクシナリオとして、洪水時に閉操作できない（外水リスク）と洪水経過後等に開操作できない（内水リスク）の2通りを想定する。樋門がトラブルにより操作できなくなつてから復旧までの時間については、（社）日本建設機械化協会関西支部におけるヒアリング結果をもとに、以下のように設定する。

まず、洪水時に閉操作できなくなつた場合、概ね3時間程度で応急復旧が可能であるとのことから、3時間で復旧可能であるとし、上記で算出した外水流入ハイドログラフのうち初期の3時間が流入すると設定した（ケース①）。

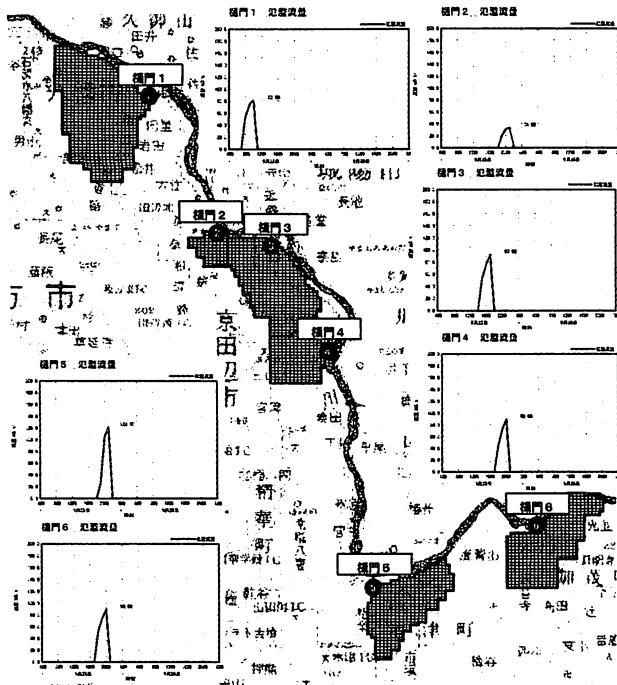


図-3 解析モデル図とハイドログラフ

また、開操作については復旧作業には重機を必要とすることが多い、復旧には概ね1日程度の時間を要することから、内水リスクについては24時間の内水氾濫ハイドログラフを設定することとした。なお、ここでは、若干過大気味ではあるが、10mm/時間の降雨が、24時間続いた場合の支川流出量が排水できずに樋門地点で氾濫するものとして設定した（ケース②）。

(3) 解析モデルの概要

氾濫解析モデルとして、100mメッシュ直行格子を用いた二次元不定流計算モデルによる氾濫解析モデルを構築した。解析モデル構築にあたり、平均地盤高は、市販の「数値地図50mメッシュ（標高）」より100mメッシュ平均値を算出することにより設定した。また、粗度係数、流出率、建物占有率については、市販の「細密数値情報（10mメッシュ土地利用）」および国土交通省によりWEB公開されている「国土数値情報（土地利用メッシュ）」を使用して、土地利用分類毎の係数を設定した。

また、被害額算定の際の資産データの作成に際しては、総務省統計局が整備している、「国勢調査に関する地域メッシュ統計」、「事業所・企業統計調査に関する地域メッシュ統計」、および(財)日本建設情報総合センターが発行する「100mメッシュ延べ床面積データ」と前出の土地利用メッシュデータを用いて被害算定のもととなる資産データの設定を行った。

図-3に、構築した氾濫解析モデル図および外水リスク評価（ケース①）の際に用いた氾濫流量のハイドログラフを示す。図に示されたそれぞれの樋門1～6のそれぞ

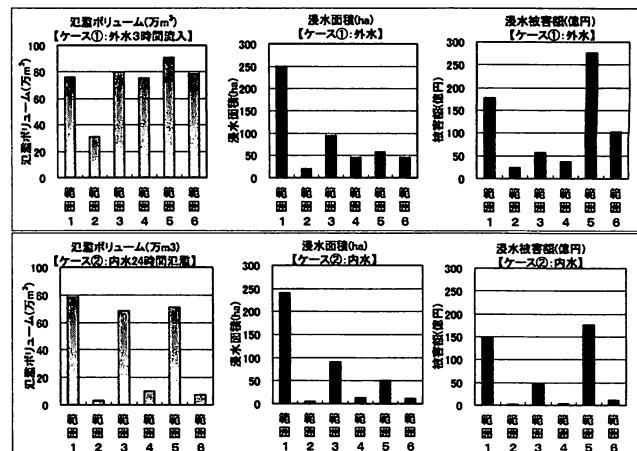


図-4 被害算定結果（上図：外水リスク、下図：内水リスク）

れのブロックにおいて、同図のハイドログラフに示された流量が各樋門地点において氾濫するという条件で氾濫解析を行った。

(4) 想定氾濫解析結果

a) 外水リスクおよび内水リスクの評価

上記で設定した外水リスク（ケース①）および内水リスク（ケース②）に対する被害算定結果を示すと、図-4のようになる。ここで、外水・内水の両ケースについて、各ブロックにおける氾濫量ボリューム、浸水面積、浸水被害額が示されている。これより、浸水面積としてはブロック1が最大であるが、被害額で評価するとブロック5の被害が最大であることが示されている。これは地形上ブロック1で氾濫水が拡大する一方で、ブロック5において浸水面積は小さいものの浸水深が大きいこと、また樋門直近に資産が集中していることによるものと考察される。また、外水リスクと内水リスクを比較すると、ブロック1や5に着目した場合に氾濫ボリューム／浸水面積が外水・内水ともに同程度であるのに対し、被害額で評価した場合には、資産が集中している箇所に大きな浸水が生じるということから、外水による被害額が内水被害に比べて相対的に大きくなっているものと考察される。ただし、ここで検討対象としている内水氾濫の条件

（降雨量・流入域等の条件）については、その妥当性が十分であるとは言い難い。地形条件や対象支川への流入状況、氾濫原の水路網や下水道整備状況等を調査し、解析モデルおよび検討条件に反映させる必要がある。また、内水リスク検討の際に、ここでは10mm/時間の雨量が24時間継続するという条件で検討を行ったが、洪水経過直後の降雨としては過大であるものと考えられる。洪水経過後の雨量資料を収集・整理し、確率処理を行い適切な降雨量を選定する等、条件の精査が必要である。

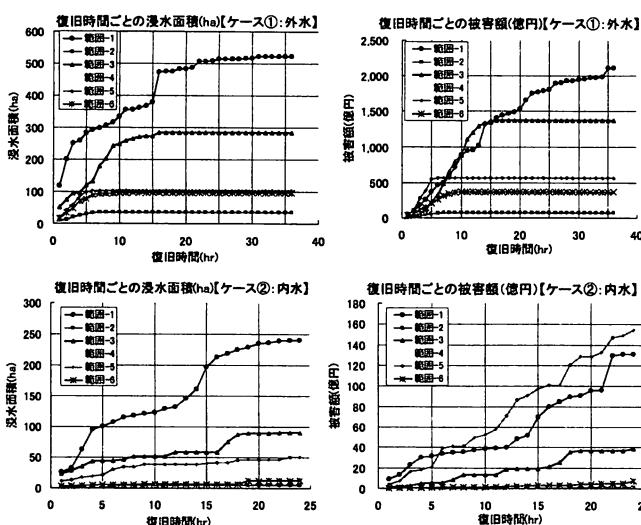


図-5 復旧時間ごとの被害算定結果

(上図：外水リスク、下図：内水リスク)

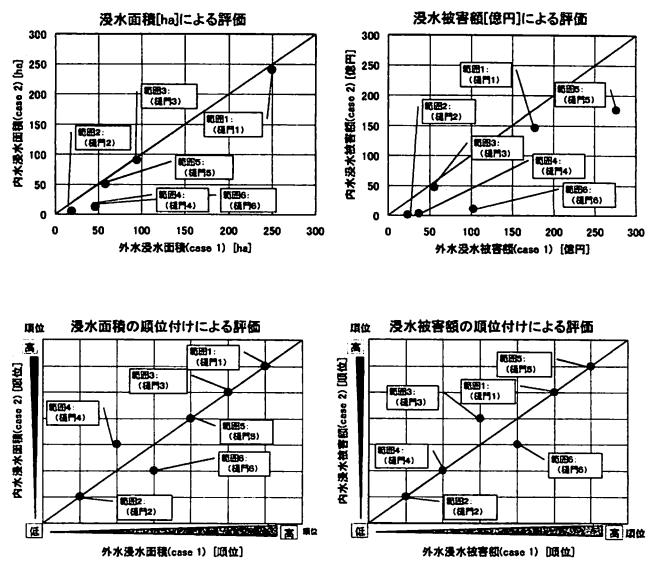


図-6 外水リスクおよび内水リスクの評価

(浸水面積および被害額、順位の評価)

b)復旧時間ごとの評価

また、上記で設定した復旧時間の条件（ケース①②）のほか、復旧時間を変えて検討を行った結果について示すと、図-5のようになる。これより、上記のケース①②では、復旧時間を樋門閉操作の際は3時間、開操作の際は24時間として設定したが、復旧時間が遅くなれば当然ながら浸水面積は大きくなることが示されている。また、被害額については、ブロック毎の資産の分布状況に応じて変わること、そして、樋門直近に資産が集中している場合には、復旧時間が短くて済んだ場合にも被害が大きくなることが示されている。このように、復旧時間を考慮した、短時間での復旧を考えて被害の評価を行う場合、資産の分布が大きな影響を及ぼすことが示されている。

(5) 各施設の優先度の評価

a)外水リスクと内水リスクの相対的な比較

上記の検討結果より、外水リスク（ケース①）と内水リスク（ケース②）の被害の相対的な比較を行うと、図-6のようになる。図に示されたように、外水リスクが大きなブロックは内水リスクについても大きいことが示されているとともに、内水リスクに比べて外水リスクが相対的に大きいことが示されている。

b)施設優先度評価のまとめ

以上の検討結果を整理し、各施設の受け持つブロック毎に施設評価を行うと表-4のようになる。このように被害額の大きなブロックの施設が高い重要度を持つとともに、各項目に関する数値的な評価指標により各施設の重要度評価が可能となる。

5. まとめ

(1) 各施設の優先度評価のLCC平準化への活用

上記の結果に基づき、表-4に示された外水リスクおよび内水リスクの大きさ（被害額）の2つの指標により、各施設の優先度について順位付けをすると、①樋門5、②樋門1、③樋門6、④樋門3、⑤樋門4、⑥樋門2と優先順位付けを設定することができる。この優先順位付けを活用することにより、LCCの平準化のための検討を行うことが可能となる。

一例として、年間の維持管理費が5,000万円を超えないようにコストの平準化を行うことを考える。コストの平準化の考え方として、各年次において上限額を超える場合、優先順位の低い施設の更新を後送りすることにより平準化を図るとすると、図-7のような平準化が可能となる。ただし、修繕・更新を後送りにする場合、その施設の設備としての安全性の検討を行い、1年後送りしても危険性はないということを整理した上で、意思決定を行う必要がある。

上述のような機械設備的な安全性の検討は別途検討の必要があるが、それを踏まえた上で、本検討に示されたような手法で施設優先度の判定を行うことにより、維持管理コストの平準化のための判断材料を供することができるものと考えられる。

表4 施設優先度評価一覧

ブロック番号	1	2	3	4	5	6
樋門施設名	樋門1 優位	樋門2 優位	樋門3 優位	樋門4 優位	樋門5 優位	樋門6 優位
流入堤面積(km ²)	6.8	1	0.2	6	6.5	3
ブロック面積(km ²)	7.3	1	0.9	6	4.9	2
(1)樋門最高TP+tm	10.2	—	15.3	—	16.5	—
(2)支川堤防高TP+tm	13.0	—	21.2	—	19.7	—
(3)外水位HWL TP+tm	19.2	—	23.5	—	25.0	—
流入しやすさ:(3)-(1)	9.0	2	8.1	6	8.5	4
氾濫しやすさ:(3)-(2)	6.2	2	2.3	6	5.3	3
LCC(100年間累計)(億円)	6.5	1	3.2	4	6.3	2
資産額(億円)	1,307	2	258	6	2,116	1
*** 汎用性の比較 ***						
〔外水リスク・樋門開閉操作3時間遅れ〕						
ケース	没水面積(ha)	250	1	19	6	94
①	被害額(億円)	177	2	24	6	56
	LCC当り被害額	27.2	3	7.4	6	8.9
	ケース	没水面積(ha)	240	1	5	6
②-A	被害額(億円)	148	2	1	6	47
	LCC当り被害額	22.4	2	0.3	6	7.4
*** 総合評価 ***						
優位の和		4	2	12	6	7
被害額の和		324	2	25	6	102

(2)まとめと今後の課題

- 本検討の成果を整理すると、下記が挙げられる。
- 施設毎の経年的な維持管理コストの算定のためのコストシミュレーションの実施
 - 治水施設のアセットマネジメント検討のための施設重要度の定量的な評価
 - アセットマネジメントの目的の一つであるコスト平準化のための判断材料の提示

また、本検討における課題点として、以下の点が挙げられる。

- 被害算定のための解析精度および氾濫原内の資産の評価の考え方の精査
- 各治水施設を構成する要素のうち、機械設備以外の電気通信設備や土木構造物等を考慮した維持管理コスト算定の検討
- 各治水施設を構成する設備・機器の重要度の評価により予防保全／事後保全の必要性の整理
- 各治水施設を構成する設備・機器の劣化予測
- 樋門以外の治水施設への拡張
- 検討対象領域を、管轄事務所単位、複数の事務所を統括する整備局単位への拡張
- 施設を資産としてみた場合の、資産管理の観点からの検討

以上のように、今後の検討の課題点は多岐広範にわたるが、本検討により、定量的な評価が可能になったこと、および第一義的な検討の枠組みを示すことができたものと考えられる。

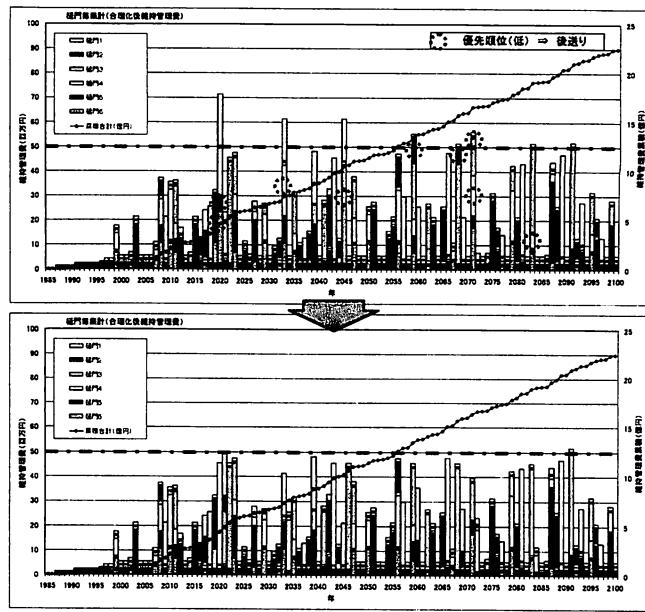


図7 施設優先度評価のLCC平準化への活用事例

謝辞：本検討を実施するにあたり、資料やデータを提供していただいた国土交通省近畿地方整備局淀川河川事務所の関係各位に謝意を表します。また、樋門施設の運用・管理に関し情報提供していただいた(社)日本建設機械化協会関西支部の関係各位に謝意を表します。

参考文献

- (財)国土技術研究センター：「堰・水門等ゲート設備の危機管理に関する検討会」資料, 2007.3.
- (社)ダム・堰施設技術協会『ダム・堰施設技術基準』1999.
- 岩佐義朗・井上和也・水鳥雅文：氾濫水の水理の数値解析法、「京都大学防災研究所年報」第23号B-2, 1980.4.
- 栗城稔, 末次忠司, 海野仁, 田中義人, 小林裕明：氾濫シミュレーション・マニュアル（案）-シミュレーションの手引き及び新モデルの検証-, 土木研究所資料, 第3400号, 1996.
- 建設省河川局(2000)：治水経済マニュアル（案）, 2000.5.

(2008.4.3受付)