

十勝川上流域における 樋門改良工事の優先度評価

帯広開発建設部 帯広河川事務所 計画課

○猪瀬真裕
飯尾直人
小林瞬

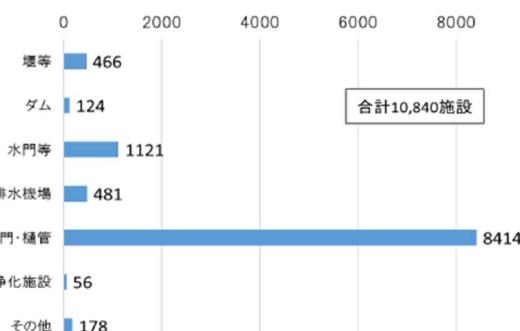
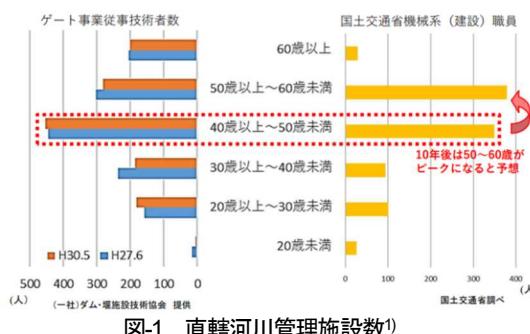
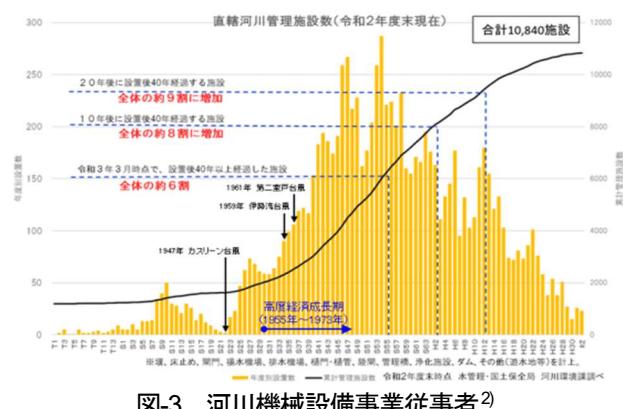
全国的に河川管理施設である樋門の老朽化が進み、少子高齢化や人口減少により操作員の人手不足が課題である。さらに気候変動における豪雨の増加による流下断面不足も懸念される。十勝川上流域における樋門も同様の課題があり、対応が急務となっている。そこで上流域の樋門の現況を経過年数や排水能力等で整理・評価し、ゲートのフラップ化や遠隔化を考慮した改良工事の優先度を決定した。本稿はその内容を報告するものである。

キーワード：維持管理、ゲート形式、遠隔化

1. はじめに

河川管理施設の老朽化は深刻な問題となっており、2040年に完成後40年以上となる直轄河川管理施設は、約9割に上る(図-1)。なかでも樋門・樋管は直轄河川管理施設のうち約8割を占めており(図-2)、多くの樋門・樋管の老朽化が進んでいることが分かる。また河川管理施設を操作する民間並びに官庁の河川機械設備事業従事者は、いずれも40歳代、50歳代が多く、30歳代以下が急激に減少しており、20年後までには経験豊富な技術者が大きく減少すると想定されている(図-3)。さらに気候変動による豪雨の頻発化・激甚化が懸念されており、これにより河道や樋門の流下断面が不足し、堤防の決壊等による河川の氾濫のリスクが高まるという課題もある。

十勝川上流における樋門・樋管も同様の課題があり、対応が急がれている。さらに、近年の物価高騰による工事費等の増加や災害の増加といった経済的・時間的な制約があり、迅速な樋門・樋管の改良工事が進められていない。

図-2 直轄河川管理施設¹⁾図-3 河川機械設備事業従事者²⁾

本稿は、十勝川上流域における各樋門の現況、追加の耐震性能照査の要否、及び自動化した場合の河積阻害率、自動化した場合に必要となる追加検討事項等を整理・評価し、ゲートのフラップ化や遠隔化を考慮した樋門改良工事の優先度を検討した。

2. 橋門改良計画検討

(1) 十勝川上流域の橋門の現況

今回検討の対象としているのは十勝川、音更川、札内川に設置されている45の橋門である（表-1）。図-4に示すように設置されている橋門のうち、約7割が完成から40年以上経過している。

表-1 十勝川上流域における橋門

対象橋門名		
白人橋門	ニトマップ第1橋門	帶広橋門
下土幌橋管	ニトマップ第2橋門	木野第1橋門
下土幌橋門	ニトマップ第3橋門	下土幌二号橋門
木賊原橋門	屈足橋門	木野橋門
然別橋門	途別第1橋門	南音更二号橋門
伏古橋門	途別第2橋門	柳町橋門
西土狩橋門	相生第1橋門	音更橋門
西帶広橋門	土幌橋門	音更四号橋門
西帶広第2橋門	相生第2橋門	音更六号橋門
ピウカ橋門	旭橋門	東昭栄橋門
茅室太第1橋門	東帶広橋門	音更一二号橋門
茅室太第2橋門	川西第1橋門	武儀橋門
関山橋門	川西第2橋門	南土幌橋門
茅室太橋門	戸窓別橋門	南豪橋門
毛根橋門	愛國橋門	美生橋門

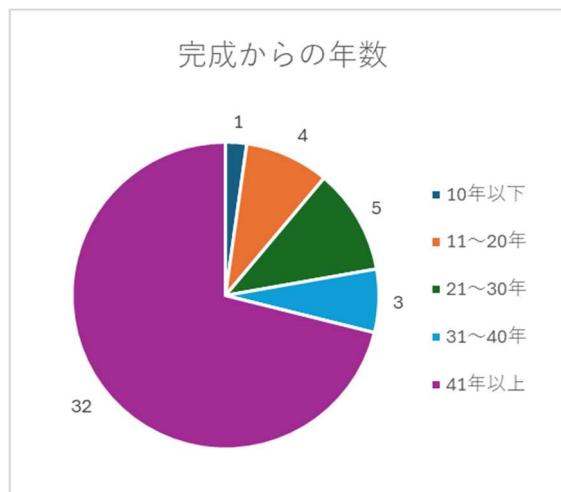


図-4 設置されている橋門の完成からの年数

また、現地踏査及び既往資料より各橋門の構造物評価や耐震性能照査を実施しているが、対策が必要となっている橋門が多く改良の優先順位が定まっていなかった。

そのため、各橋門の改良計画を定め、橋門の現況や経済性を考慮した改良優先度順位を決める必要があった。

(2) 改良計画検討フロー

現地踏査及び既存資料を踏まえ、橋門改良（改築・自動化・遠隔化）に関する更新計画を検討する。検討に際しては、各橋門の現況（排水機場の有無、老朽度、操作頻度、寸法及び構造的課題等）、追加の耐震性能照査の要否、自動化した場合の概略の阻害率、自動化した場合に必要となる追加検討事項等も併せて整理する。図-5に橋門改良計画におけるフローを示す。

次節より、各判定について述べる。

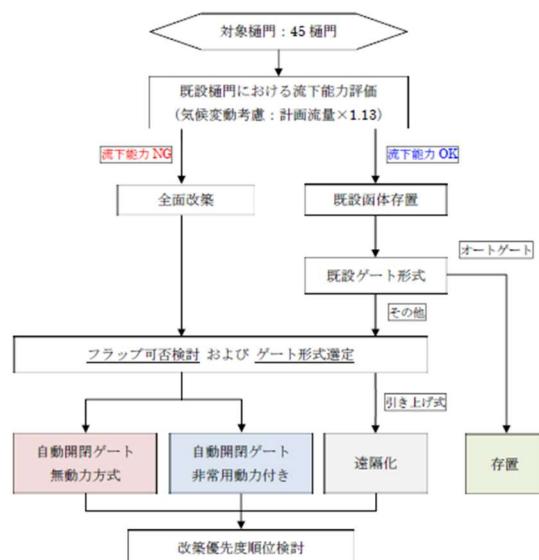


図-5 改良計画検討フロー

(3) 既設橋門における流下能力評価

a) 評価方法

現況流下能力評価における管内流速は、既往検討事項実績より、2.5m/sとする。また本検討は、気候変動の影響を考慮³⁾し、現況流出量を1.13倍（2°C上昇時）して、箇体断面不足となった場合は、全面改築の対象とする。

b) 流下能力検討結果

表-2に対象橋門の流下能力の検討結果を示す。

表-2 橋門の流下能力検討結果一覧

橋門名	流下能力評価結果	橋門名	流下能力評価結果
白人橋門	流下能力不足	相生第2橋門	流下能力不足
下土幌橋管	OK	旭橋門	流下能力不足
下土幌橋門	流下能力不足	東帶広橋門	OK
木賊原橋門	OK	川西第1橋門	OK
然別橋門	流下能力不足	川西第2橋門	OK
伏古橋門	流下能力不足	戸窓別橋門	流下能力不足
西土狩橋門	OK	愛國橋門	流下能力不足
西帶広橋門	OK	帶広橋門	OK
西帶広第2橋門	流下能力不足	木野第1橋門	OK

ピウカ樋門	O K	下土幌二号樋門	流下能力不足
茅室太第1樋門	O K	木野樋門	O K
茅室太第2樋門	流下能力不足	南音更二号樋門	O K
関山樋門	流下能力不足	柳町樋門	流下能力不足
茅室太樋門	O K	音更樋門	流下能力不足
毛根樋門	O K	音更四号樋門	O K
ニトマップ第1樋門	流下能力不足	音更六号樋門	O K
ニトマップ第2樋門	流下能力不足	東昭栄樋門	O K
ニトマップ第3樋門	O K	音更一二号樋門	O K
屈足樋門	流下能力不足	武儀樋門	流下能力不足
途別第1樋門	流下能力不足	南士幌樋門	O K
途別第2樋門	O K	南豪樋門	O K
相生第1樋門	流下能力不足	美生樋門	流下能力不足
士幌樋門	流下能力不足		

表-2の結果より、流下能力不足となり全面改築が必要と判定された樋門は22あった。

(3) フラップ化に伴うゲート形式の検討

1章図-3で示したように、樋門操作員の減少及び高齢化が進行しているため、樋門の自動化（フラップ化）や遠隔化の導入が求められている。

a) 樋門ゲートフラップ化の判定基準

既設樋門におけるフラップ化の可否判定は、現況施設・周辺環境を考慮して、総合的な判定を行う必要がある。本検討におけるゲート形式は、以下のフロー図（図-6）に従い選定した。なお、このフロー図（図-6）が今後変更となった場合は、変更となったフロー図を用いて再度検討する。

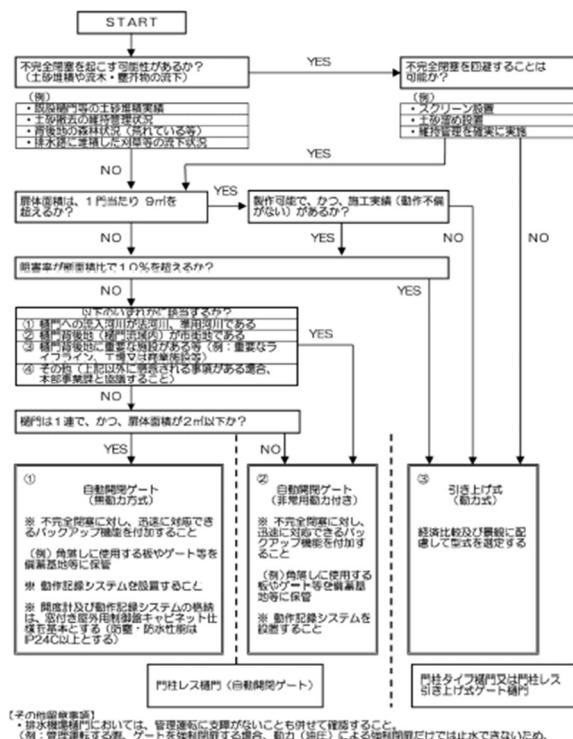


図-6 樋門開閉機の選定フロー

b) 樋門遠隔化

図-6よりゲート形式が引き上げ式になった場合は、樋門の改築方針は遠隔化となる。遠隔化の場合には樋門遠隔監視操作システムを設置するが、光ケーブルを介して操作機器等を整備する必要がある。

(4) 樋門改良計画検討結果

各樋門の改築方針及びゲート形式を検討した一覧を表-3に示す。

表-3 樋門改良計画一覧表

樋門名	改築方針	ゲート形式(計画)	樋門名	改築方針	ゲート形式(計画)
白人樋門	全面改築	自動開閉ゲート (非常用動力付き)	相生第2樋門	全面改築	自動開閉ゲート (非常用動力付き)
下土幌樋管	ゲート改良	自動開閉ゲート (非常用動力付き)	旭樋門	全面改築	自動開閉ゲート (非常用動力付き)
下土幌樋門	全面改築	自動開閉ゲート (非常用動力付き)	東帯広樋門	存置	-
木刻原樋門	遠隔化	引き上げ式	川西第1樋門	ゲート改良	自動開閉ゲート (非常用動力付き)
然別樋門	全面改築	自動開閉ゲート (非常用動力付き)	川西第2樋門	ゲート改良	自動開閉ゲート (非常用動力付き)
伏古樋門	全面改築	自動開閉ゲート (非常用動力付き)	戸高別樋門	全面改築	自動開閉ゲート (非常用動力付き)
西土狩樋門	ゲート改良	自動開閉ゲート (非常用動力付き)	愛國樋門	全面改築	自動開閉ゲート (非常用動力付き)
西帯広樋門	存置	-	帯広樋門	遠隔化	引き上げ式
西帯広第2樋門	全面改築	自動開閉ゲート (非常用動力付き)	木野第1樋門	ゲート改良	自動開閉ゲート (非常用動力付き)
ピウカ樋門	ゲート改良	自動開閉ゲート (非常用動力付き)	下土幌二号樋門	全面改築	自動開閉ゲート (非常用動力付き)
茅室太第1樋門	ゲート改良	自動開閉ゲート (非常用動力付き)	木野樋門	存置	-
茅室太第2樋門	全面改築	自動開閉ゲート (無動力方式)	南音更二号樋門	ゲート改良	自動開閉ゲート (非常用動力付き)
関山樋門	全面改築	自動開閉ゲート (非常用動力付き)	柳町樋門	全面改築	自動開閉ゲート (非常用動力付き)
茅室太樋門	存置	-	音更樋門	全面改築	自動開閉ゲート (非常用動力付き)
毛根樋門	ゲート改良	自動開閉ゲート (非常用動力付き)	音更四号樋門	ゲート改良	自動開閉ゲート (非常用動力付き)
ニトマップ第1樋門	全面改築	自動開閉ゲート (非常用動力付き)	音更六号樋門	存置	-
ニトマップ第2樋門	全面改築	自動開閉ゲート (非常用動力付き)	東昭栄樋門	存置	-
ニトマップ第3樋門	ゲート改良	自動開閉ゲート (非常用動力付き)	音更一二号樋門	ゲート改良	自動開閉ゲート (非常用動力付き)
屈足樋門	全面改築	自動開閉ゲート (非常用動力付き)	武儀樋門	全面改築	自動開閉ゲート (非常用動力付き)
途別第1樋門	全面改築	自動開閉ゲート (非常用動力付き)	南士幌樋門	ゲート改良	自動開閉ゲート (非常用動力付き)
途別第2樋門	ゲート改良	自動開閉ゲート (非常用動力付き)	南豪樋門	遠隔化	引き上げ式
相生第1樋門	全面改築	自動開閉ゲート (非常用動力付き)	美生樋門	全面改築	自動開閉ゲート (無動力方式)
士幌樋門	全面改築	自動開閉ゲート (非常用動力付き)			

次章より表-3の結果を踏まえ、改築が必要となる39の樋門の優先度検討について述べる。

3. 改築優先度検討

(1) 優先度評価方法

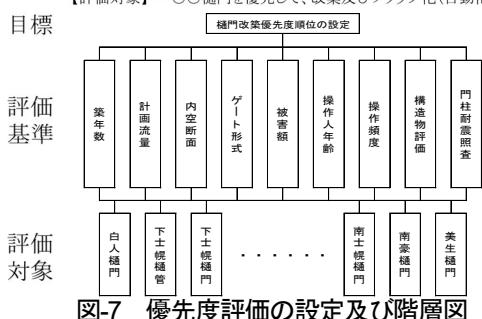
全面改築、自動化（フラップ化）及び樋門遠隔化の優先度は、洪水を伴う被災発生確率と影響の大きさに関する項目による重みづけを簡便に変更でき、かつ客観的な評価を行うことが可能となる「重回帰型」の評価手法を用いる。本検討では、「重回帰型」の評価手法のうち「階層分析法（AHP：Analytic Hierarchy Process）」を用いて優先度評価を実施した。

(2) AHPを用いた優先度評価方法の設定

a) 階層化

AHPを用いて問題解決する際は、問題の要素を「目標、評価基準、評価対象」の関係でとらえ、階層構造を作る。そして、目標から見て評価基準の重要さを求める、次に各評価基準からみて評価対象の重要度を評価し、最後に目標からみた評価対象の評価に換算する。本検討では、以下のように目標、評価基準及び評価対象を整理した（図-7）。次項にて評価基準の設定について述べる。

【目標】…樋門改築及びフラップ化（自動化）の優先順位の選定
【評価基準】…洪水時に伴う影響の発現程度に関する項目
【評価対象】…○○樋門を優先して、改築及びフラップ化（自動化）する



b) リスク評価項目

本検討では、洪水時に伴う影響の発現程度に関する9つの項目を抽出した。表-4に各項目の整備優先度の高低及び重要度評価に必要となる重み付けを示す。重み付けについて、実際に被災時に及ぼす項目（既設ゲート形式、被害額、操作人年齢）は、被害規模に直結すると考えられるため重要度は高く設定している。また項目同士で比較し、どちらがより優先度に影響を与えるかを考慮して設定している。

リスク評価項目 (評価基準)	整備優先度		重み付け (6段階)
	低	高	
築年数	新しい	古い	2
計画流量	少ない	多い	2
内空断面	大きい	小さい	2
ゲート形式	オートゲート	引き上げ式	5
被害額	安い	高い	6
操作人年齢	若年	高齢(不在)	5
操作頻度	少ない	多い	4
構造物評価	A(異常なし)	D(措置段階)	3
門柱耐震照査	OK	OUT	1

表-4 リスク評価概要

c) 一对比較

評価基準（リスク評価項目）における任意の2つの要素を1つ上の階層である目標に対して比較評価した。ただし、複数の要素について一度に重要度を比較することは困難のため、最も単純な一对比較を行う。前項表-4にて設定したリスク評価の6段階の重み付けを表-5のような重要度評価の9段階に置換すると表-6中の一对比較評価値となる。一对比較の手順の例として築年数と被害額の一对比較を示す（図-8）。この結果は、築年数が被害額より7程度重要であることを表している。評価基準の一对比較結果をまとめたものを表-7に示す。

同様に評価対象（対象樋門）における任意の2つの要素についても各評価基準に対して一对比較評価した。

同じように重要	1	
やや重要	2	上段、下段の中間の値を使う
かなり重要	3	
非常に重要	4	上段、下段の中間の値を使う
きわめて重要	5	
	6	上段、下段の中間の値を使う
	7	
	8	上段、下段の中間の値を使う
	9	

表-5 重要度評価の目安

項目		評価基準 (重み付け)
条件	入力値	最大値
		6
	評価差分	最小値
		1
	補正	最大値
		5
	正	9分割
		0.444
	負	評価
		差分値
一对比較評価値	1.000	1.000
	2.000	0.500
	3.000	0.333
	4.000	0.250
	5.000	0.200
	6.000	0.167
	7.000	0.143
	8.000	0.125
	9.000	0.111

表-6 一对比較評価値への置換

例) 築年数と被害額の一対比較

重要度の重み付け

築年数 : 2

被害額 : 6

差分値 : $6 - 2 = 4 > 0$

9段階に置換 : 正、3.667～に該当

一对比較評価値 : 7.000

図-8 一对比較評価の一例

	築年数	計画流量	内空断面	ゲート形式	被害額	操作人年齢	操作頻度	構造物評価	門柱耐震照査
築年数	1.000	1.000	1.000	0.200	0.143	0.200	0.333	1.000	1.000
計画流量	1.000	1.000	1.000	0.200	0.143	0.200	0.333	1.000	1.000
内空断面	1.000	1.000	1.000	0.200	0.143	0.200	0.333	1.000	1.000
ゲート形式	5.000	5.000	5.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	7.000
被害額	7.000	7.000	7.000	1.000	1.000	1.000	3.000	5.000	9.000
操作人年齢	5.000	5.000	5.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	7.000
操作頻度	3.000	3.000	3.000	1.000	0.333	1.000	1.000	1.000	5.000
構造物評価	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.333	1.000	1.000	3.000
門柱耐震照査	1.000	1.000	1.000	0.143	0.111	0.143	0.200	0.333	1.000

表-7 評価基準の一対比較結果

d) 重要度計算

本項では、前項で評価した一対比較評価の結果を基に評価基準及び評価対象の重要度を評価した。任意の評価基準要素 i の重要度を ω_i 、任意の評価基準要素 i における任意の評価対象要素 j の重要度を p_{ij} とし、各重要度の評価は、式(1)、式(2)により決定した。ただし式中の x は評価基準（リスク評価項目）における任意の2つの要素の一対比較評価値を、 y は評価対象（対象樋門）における任意の2つの要素を評価基準に対して評価した一対比較評価値を表している。

$$\omega_i = \sqrt[9]{x_1 \times x_2 \times x_3 \times \cdots \times x_9} \quad (1)$$

$$p_{ij} = \sqrt[39]{y_1 \times y_2 \times y_3 \times \cdots \times y_{39}} \quad (2)$$

(3) 改築優先度順位の選定

前節にて決定した評価基準及び評価対象の重要度を基に、総合評価を行った。総合評価は、評価対象における各評価基準の重要度を評価基準の重要度で重みづけをして以下の式(3)のように和をとり実施した。

$$\text{評価対象要素 } j \text{ の総合評価} : \sum_{i=1}^9 (\omega_i \times p_{ij}) \quad (3)$$

上記を実施し、優先度順位に並べたものを以下に示す（表-8、図-9）。

順位	樋門名	築年数	計画流量	内空断面	ゲート形式	被害額	操作人年齢	操作頻度	構造物評価	門柱耐震照査	総合評価	
1	東広樋門	0.00185	0.001	0.00065	0.00582	0.03623	0.01508	0.00177	0.00323	0.00019	0.06583	
2	伏古樋門	0.00108	0.00102	0.00074	0.00582	0.03623	0.00473	0.00177	0.00323	0.00187	0.05634	
3	木戸根樋門	0.00127	0.00164	0.00055	0.00582	0.03623	0.00217	0.0019	0.00323	0.00187	0.05448	
4	川西第2種門	0.0002	0.00102	0.00074	0.00582	0.00372	0.01508	0.01053	0.00323	0.00019	0.04654	
5	塗別1種門	0.00138	0.001	0.00171	0.00582	0.00582	0.0054	0.00248	0.01702	0.00023	0.00107	0.03883
6	西土根樋門	0.0002	0.00102	0.0006	0.00582	0.00372	0.01508	0.0087	0.00036	0.00019	0.0359	
7	柏生第1種門	0.00108	0.00102	0.00056	0.00582	0.00353	0.00738	0.01702	0.00323	0.00187	0.03517	
8	音更第1種門	0.00091	0.00109	0.00084	0.00605	0.01015	0.01508	0.0048	0.00036	0.00019	0.03408	
9	墨曾東一号樋門	0.00065	0.00107	0.00074	0.00582	0.01015	0.00487	0.0048	0.00036	0.00019	0.02375	
10	木野第1種門	0.00118	0.00107	0.00074	0.00582	0.01015	0.00269	0.0019	0.00036	0.00187	0.02558	
11	旭樋門	0.00113	0.00107	0.0008	0.00582	0.00353	0.00487	0.00334	0.00323	0.00187	0.02550	
12	茅笛太第2種門	0.00219	0.00094	0.00171	0.00582	0.00372	0.01724	0.00177	0.00036	0.00187	0.0254	
13	下土根樋門	0.00031	0.00059	0.00043	0.00582	0.00372	0.02028	0.0019	0.00036	0.00187	0.02538	
14	白人樋門	0.00018	0.00128	0.00073	0.00582	0.00582	0.00217	0.00334	0.00323	0.00187	0.02482	
15	土根樋門	0.00101	0.00115	0.00122	0.00582	0.00353	0.00458	0.00166	0.00323	0.00187	0.02387	
16	愛国樋門	0.00027	0.00122	0.00067	0.00605	0.00353	0.01508	0.00177	0.00036	0.00019	0.02375	
17	ビカツ樋門	0.00021	0.00059	0.00171	0.00582	0.00353	0.00249	0.00177	0.00323	0.00187	0.02312	
18	南豪樋門	0.00136	0.00091	0.00171	0.00582	0.00353	0.00458	0.00166	0.00323	0.00019	0.02299	
19	美生樋門	0.00155	0.00102	0.00171	0.00582	0.00353	0.00373	0.00166	0.00323	0.00019	0.02244	
20	ニマツノ第2種門	0.00144	0.00102	0.00096	0.00582	0.00353	0.00414	0.00166	0.00323	0.00019	0.02199	
21	毛根樋門	0.00199	0.00096	0.00096	0.00582	0.00372	0.00177	0.00166	0.00323	0.00187	0.02178	
22	武蔵樋門	0.00163	0.00102	0.00096	0.00582	0.00353	0.00592	0.0019	0.00036	0.00019	0.02133	
23	柏生第2種門	0.00108	0.00119	0.00074	0.00582	0.00353	0.00207	0.00166	0.00323	0.00187	0.02099	
24	塗別第2種門	0.00033	0.00122	0.00064	0.00582	0.00582	0.0054	0.00458	0.00243	0.00036	0.00019	0.02097
25	西帝山第2種門	0.00083	0.00107	0.0008	0.00582	0.00372	0.00281	0.0019	0.00323	0.00019	0.02037	
26	柳町樋門	0.00062	0.00115	0.00074	0.00605	0.01015	0.00458	0.0019	0.00036	0.00019	0.02034	
27	足尾樋門	0.00087	0.00107	0.0008	0.00582	0.00353	0.00281	0.00166	0.00323	0.00019	0.01998	
28	南土根樋門	0.00123	0.00107	0.00074	0.00582	0.00353	0.00273	0.00166	0.00036	0.00187	0.01981	
29	川西第1種門	0.00118	0.00107	0.00074	0.00582	0.00372	0.00473	0.00177	0.00036	0.00019	0.01958	
30	ニマツノ第1種門	0.00127	0.00107	0.00074	0.00582	0.00353	0.00429	0.00166	0.00036	0.00019	0.01883	
31	下土根樋門	0.00033	0.00112	0.00067	0.00582	0.00372	0.00473	0.00177	0.00036	0.00019	0.01871	
32	茅笛東第1種門	0.0002	0.00102	0.0008	0.00582	0.00372	0.00404	0.00177	0.00036	0.00019	0.0179	
33	音更第2号樋門	0.00175	0.00102	0.0008	0.00582	0.00353	0.00112	0.00177	0.00036	0.00167	0.01784	
34	ニマツノ第3種門	0.00155	0.00102	0.00096	0.00582	0.00353	0.00226	0.00166	0.00036	0.00019	0.01735	
35	開山樋門	0.00062	0.00112	0.00073	0.00582	0.00372	0.00129	0.00166	0.00036	0.00167	0.01699	
36	下土根二号樋門	0.00033	0.00112	0.00067	0.00605	0.00372	0.00722	0.0019	0.00036	0.00019	0.01616	
37	然別樋門	0.00032	0.00107	0.00074	0.00605	0.00353	0.0063	0.00177	0.00036	0.00019	0.01493	
38	音更四号樋門	0.0002	0.00088	0.00084	0.00582	0.00353	0.00091	0.0019	0.00036	0.00019	0.01455	
39	戸萬樋門	0.00014	0.00102	0.00081	0.00605	0.00353	0.00112	0.00177	0.00036	0.00019	0.00959	

表-8 改築優先度設定にあたっての総合評価

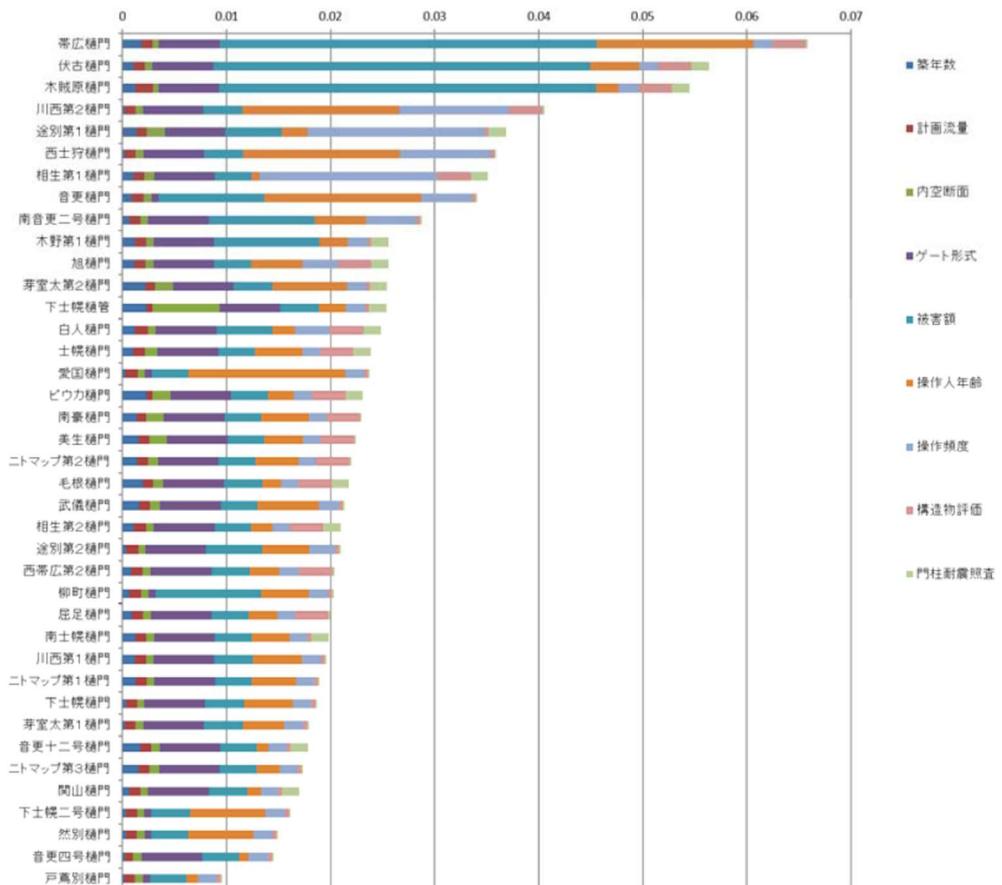


図-9 対象樋門における優先重要度

4. おわりに

現在国土交通省は、河川における戦略的維持管理として新技術の積極的導入、必要な制度整備（法改正）や河川維持管理のICT化などに取り組んでいる。

本検討では、十勝川上流域の樋門改良計画を検討することを目的として、十勝川上流域に設置されている樋門を対象とし、現地踏査及び既存資料から階層分析法を用いて改良の優先度を評価し、整備順位を決定した。

今後の樋門の整備では、本検討で得られた結果を基に、樋門改良計画を策定し、周辺状況や経済面等を考慮し効率的に整備を進めていく。

謝辞：本稿の作成にあたりましては、株式会社開発工営社をはじめとする多くの皆様に御意見や御協力、並びに種々の御助言を賜りました。この場をお借りして感謝申し上げます。

参考文献

- 1)国土交通省水管理・国土保全局河川環境課河川保全企画室：河川の戦略的維持管理について, 2021.9
- 2)国土交通省：河川用ゲート設備の現状,社会資本整備審議会河川分科会第5回河川機械設備小委員会, 2021.11
- 3)国土交通省：十勝川水系河川整備計画〔変更〕, 2023.3