

洪水流入防止のための無動力止水ゲート

向井章恵*・川井 明**・村上文明**・江田保正***・佐竹正文***・中 達雄****

目 次			
緒 言	267	無動力止水ゲートの設計フロー	271
無動力止水ゲートの概要	268	1 ゲート設置位置の選定	271
1 ゲートの機構	268	2 設計条件の設定	271
2 ゲートの作動式	269	3 ゲート形状の仮定	272
無動力止水ゲートの作動実験	270	4 閉作動水深の算出	272
1 実験装置	270	5 閉作動水深と計画閉作動水深の比較	272
2 実験方法及び実験条件	270	6 ゲートの詳細設計	272
3 実験結果	270	結 言	272
4 ゲートの作動係数	271	参考文献	272
		Summary	274

. 緒 言

中小溪流を水源とする中山間地域の導水路では、洪水時に河川水位が上昇すると、河川から大量の水が流入し、オーバーフローによる水路崩壊が起こる。また、水とともに河川内の土砂が大量に流入する（Fig.1）。よって、洪水後は、崩壊した水路の復元と堆積した土砂の浚渫作業が必要となる。これらの作業は、受益農家によって行われる場合がほとんどであり、一部作業に交付金（中山間地等直接支払い制度など）が支払われるようになったが、依然として大変な労力が必要とされる（米澤ら、2003）。

受益農家の労力を軽減するためには、導水路への洪水の流入を防ぐことが有効である。これには、頭首工で行われているように、取入れ口をゲート操作によって止水する管理が必要となる。しかし、中山間地域の取入れ口（Fig.2）における止水は、角落としなどによって人力で行わねばならない。また、取入れ口から受益地までの水路延長が長く、導水路沿いの管理用道路（Fig.3）は狭くて未舗装である場合が多いため、洪水時の止水管理は危険を伴う。加えて、過疎化・高齢化の影響でゲート管

理者は減少している。これらのことから、中山間地域における洪水時のゲート管理は実質不可能となっている。

この問題を解決するために、洪水時に水路内の水位が上昇すると自動的に閉鎖して全量をカットし、洪水後に水位が低下すると自動的に開放して送水を開始する自動止水ゲートが開発された（島ら、2002）。自動止水ゲートの作動特性は、縮尺模型実験によって確認されたが、実用化にあたっては、規格や材質等を変更して検討する必要があると考えられる。

そこで、本報では、自動止水ゲート（以下、本文では



Fig.1 水路に流入した土砂

Sediment flowed into canals on hillsides

（農工研高齢化対応指標研究グループ作成パンフレット『山あいの用水路が棚田を守る』より）

* 施設資源部水路工水理研究室

** 日本工営株式会社

*** 豊国工業株式会社

**** 施設資源部上席研究員

平成19年3月19日受理

キーワード：ゲート，洪水流入防止，水路，中山間地域



Fig.2 溪流取水工の取入れ口
(鳥取県日南町宮内東井手地区)

Intake of mountain stream diversion works



Fig.3 水路と管理用道路
(鳥取県日南町宮内東井手地区)

Canals on hillsides and road parallels the canal

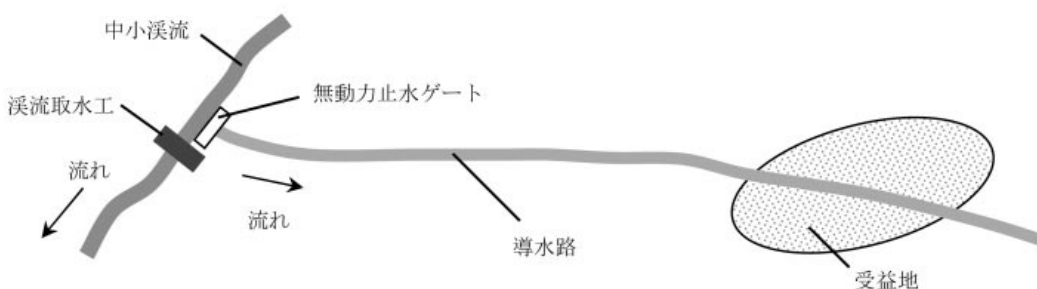


Fig.4 無動力止水ゲートと受益地の位置関係

Relative locations between non-powered cut-off gate and agricultural land

無動力止水ゲートと呼ぶ)の実用化に向け、プロトタイプ(鋼製)を製作し、実験によって作動特性を明らかにした。また、本ゲートの設計フローについても検討を行った。

なお、本報は、平成15~16年度に実施された独立行政法人農業工学研究所、日本工営株式会社、豊国工業株式会社との共同研究「水路防災施設としての無動力自動止水ゲートの実用化に関する研究」の成果をまとめたものである。

無動力止水ゲートの概要

1 ゲートの機構

無動力止水ゲートから受益地までの概要図をFig.4に示す。ゲートの設計・製作は、幅0.7m、高さ1.0mの現地スケールの水路に設置することを想定して行った (Fig.5)。設計は鋼構造物計画設計技術指針(農業土木事業協会, 1999)に従って行い、ゲートの強度は水路のオーバーフロー時の水圧や土砂圧に耐えるものとした。ゲートの部材は、一般的に入手可能なものとし、スキンプレートやフレーム、カウンターウェイトに一般構造用圧延鋼材(SS400)、回転軸に炭素鋼鋼管(SGP)、軸受にピローブロック型を使用した。カウンターウェイトは管理者が容易に付け外しできる分銅の形状とし、10kgを2個、5.5kgを2個、2.5kgを1個製作した。ゲートの重

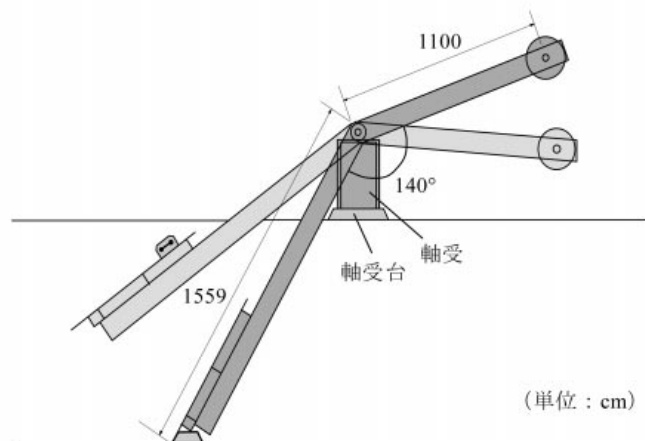
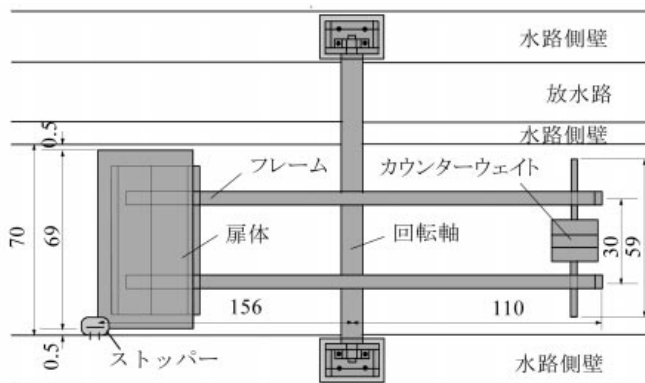


Fig.5 無動力止水ゲート平面図と側面図

The gate plan view and side view

Table 1 無動力止水ゲート重量表
Weight of the gate

ゲート重量 (kg)		
扉体 W_1	スキムプレート	26.0
	桁	8.9
扉体側フレーム W_2		23.8
回転軸		16.1
カウンターウェイト側フレーム W_3		23.8
カウンターウェイト W_4		10.0×2
		5.5×3
		2.5×1

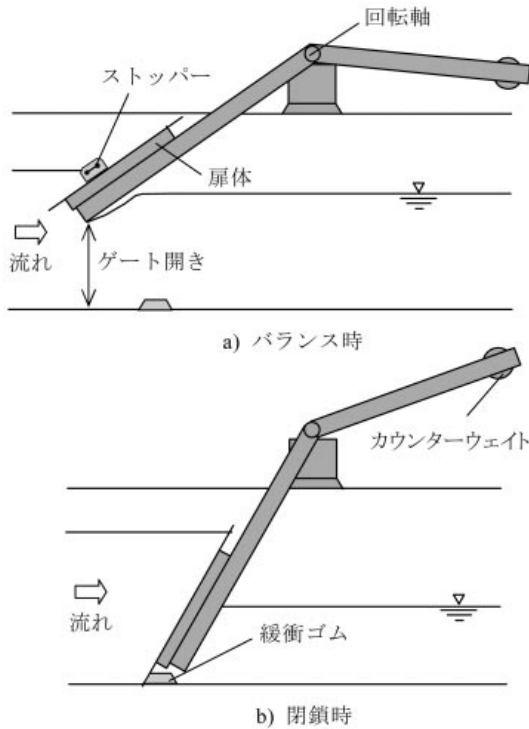


Fig. 6 無動力止水ゲートの機構
The gate structure

量表をTable 1に示す。

ゲートの機構を以下に示す (Fig.6)。1) 平水時は、回転軸を中心として上流側の扉体と下流側のカウンターウェイトがバランスを保ち、ゲートは開放した状態で静止する。2) ゲートの開きは、洪水の規模に合わせてカウンターウェイトの量で調節する。3) 洪水時は、水位と流量の増加とともに扉体に作用する力が増加し、ゲートは閉鎖する。4) 洪水後は、流量の減少とともに扉体に作用する力が減少し、ゲートは自動的に開放する。

また、水路底にはゲートの閉鎖時の衝撃を緩和するゴムを取り付け、水路側壁には作動位置を保つために、ゲートのバランス時の状態を固定するストッパーを取り付けた。

2 ゲートの作動式

閉作動は、回転軸を中心として上流側の閉方向のモーメント M_c (ゲートに作用する力 F のモーメント M_{gc} + 扉

体とフレーム重量のモーメント M_{wc}) が、下流側の開方向のモーメント M_o (カウンターウェイトのモーメント + フレーム重量のモーメント) を上回ると開始される (Fig.7)。それぞれのモーメントを式 (1)(2)(3)(4) に示す。

$$M_c = M_{gc} + M_{wc} \quad (1)$$

$$M_{gc} = \rho B \sin \theta \left[h_1 v_1 (v_1 - v_2) + \frac{1}{2} g (h_1 - h_2) \right] \left[L - \frac{1}{2} \frac{(h_1 - a)}{\sin \theta} \right] \quad (2)$$

$$M_{wc} = w_1 g l_1 \cos \theta + w_2 g l_2 \cos \theta \quad (3)$$

ここに、 ρ : 水の密度, B : 水路幅, θ : 扉体と水路底との角度, h_1 : 上流水深, v_1 : 上流流速, h_2 : 下流水深, v_2 : 下流流速, g : 重力加速度, L : 回転軸から扉体先端までの距離, a : ゲートの開き, w_1 : 扉体重量, l_1 : 回転軸から w_1 までの距離, w_2 : 扉体側フレームの重量, l_2 : 回転軸から w_2 までの距離である。

$$M_o = w_3 g l_3 \cos (\theta + 140^\circ - 180^\circ) + w_4 g l_4 \cos (\theta + 140^\circ - 180^\circ) \quad (4)$$

ここに、 w_3 : カウンターウェイト側フレームの重量, l_3 : 回転軸から w_3 までの距離, w_4 : カウンターウェイトの重量, l_4 : 回転軸から w_4 までの距離である。

開作動は、開方向のモーメント M_o (カウンターウェイトのモーメント + フレーム重量のモーメント) が閉方向のモーメント M'_c (ゲートに作用する静水圧 F のモーメント M'_{gc} + 扉体とフレーム重量のモーメント M_{wc}) を上回ると開始される (Fig.8)。それぞれのモーメントを式 (5)(6) に示す。

$$M'_c = M'_{gc} + M_{wc} \quad (5)$$

$$M'_{gc} = P \left(L - \frac{P_1 h'_1 - P_2 h'_2}{3P \sin \theta} \right) + M_{wc} \quad (6)$$

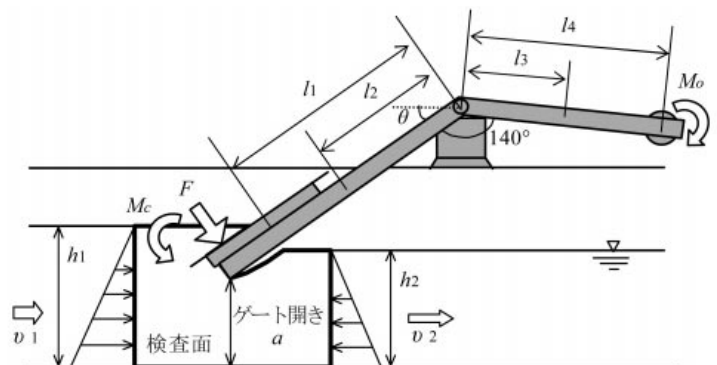


Fig. 7 閉作動時に作用する力
Moment of force as the gate started closing

ここに、 P ：扉体に作用する全水圧、 P_1 ：扉体上流の全水圧、 h_1 ：上流水深、 P_2 ：扉体下流の全水圧、 h_2 ：下流水深である。

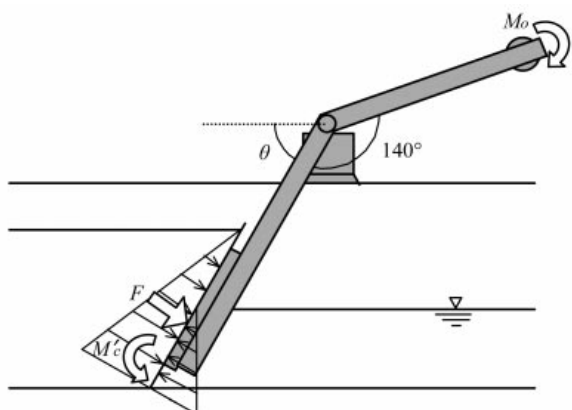


Fig.8 開作動時に作用する力
Moment of force as the gate started opening

無動力止水ゲートの作動実験

1 実験装置

実験で使用した水路 (Fig.9) は、農工研水路工実験棟内の幅1m、高さ1m、長さ65mのコンクリート水路である。上流から25~45mの間は、水路内を幅10cmの隔壁で分割し、幅70cm側を主水路、幅20cm側を側水路 (ゲート閉鎖時に生じる余水を放流する) とした。主水路にゲート、隔壁に余水吐を取り付けた。水路下流端には水深を調節するための堰を設けた。扉体から上流2mを計測断面①、下流3mを計測断面②とした。計測断面①では、予備実験 (流量70, 100, 150 l/s, 下流堰高さ10, 15, 20cm) によって平均流速が計測された $x=35\text{cm}$, $y=10\text{cm}$ の位置に電磁流速計、 $x=35\text{cm}$ の位置にサーボ式水位計を設置した。断面②では、同じく予備実験によって平均流速が計測された $x=40\text{cm}$, $y=14\text{cm}$ の位置に電磁流速計、 $x=40\text{cm}$ の位置にサーボ式水位計を設置した。

2 実験方法及び実験条件

ゲートの開作動を確認する実験は、カウンターウェイトの増減によってゲートの開き a を20, 30, 40, 50cmに固定し、上流からの流量を ϕ 1/sから5分毎に30秒間で5 l/s増加させながら行った。ゲートの開作動が開始された時の断面①、②の水深 h_1, h_2 と流速 v_1, v_2 を計測した。

ゲートの開作動を確認する実験は、閉鎖状態にあるゲートの上流水深 h_1 を余水吐からの流出とポンプによる汲み出しによって下げながら行った。ゲートの開作動が開始された時の断面①、②の水深 h_1, h_2 を計測した。

実験条件をTable 2に示す。

3 実験結果

a ゲートの開作動特性

ゲートの開作動は、流量の増加とともに、扉体にかかる水深 $h_1 - a$ 、または扉体に作用する上流流速 v_1 、下流流速 v_2 が大きくなることで開始された。CASE 1~15の $h_1 - a$ と v_1 をグラフにプロットし、作動特性ごとに領域分けした (Fig.10)。また、 $h_1 - a$ と v_2 についても同様の整理を行った (Fig.11)。

(1) 領域①の作動特性

初期水深が大きいことから、 v_1, v_2 は20~30cm/sと

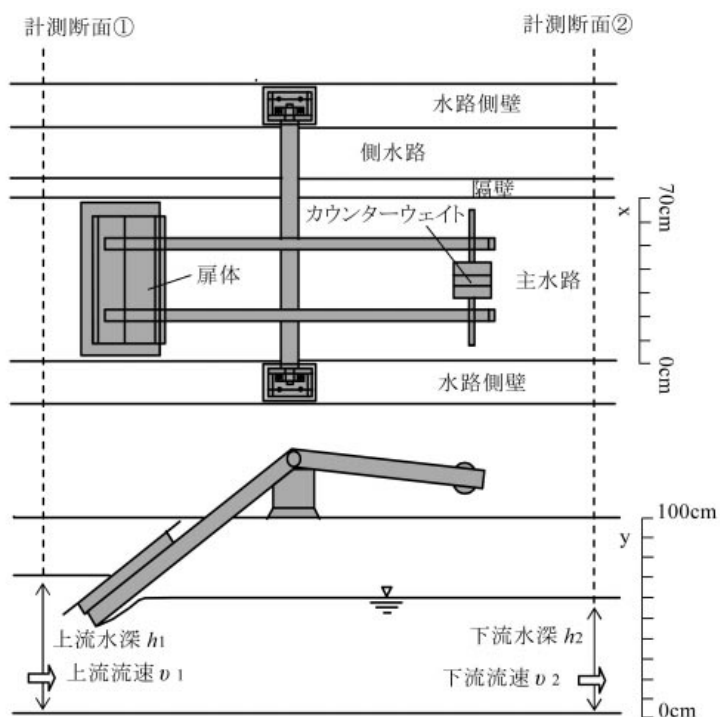


Fig.9 実験装置
Experimental apparatus

Table 2 実験条件
Experimental conditions

	ゲート開き a (cm)	カウンターウェイト (kg)	下流堰高さ (cm)
CASE 1	20	31.0	10
CASE 2			15
CASE 3			20
CASE 4	30	33.5	15
CASE 5			20
CASE 6			25
CASE 7			30
CASE 8	40	36.5	20
CASE 9			25
CASE 10			30
CASE 11			35
CASE 12			40
CASE 13	50	39.0	30
CASE 14			35
CASE 15			40

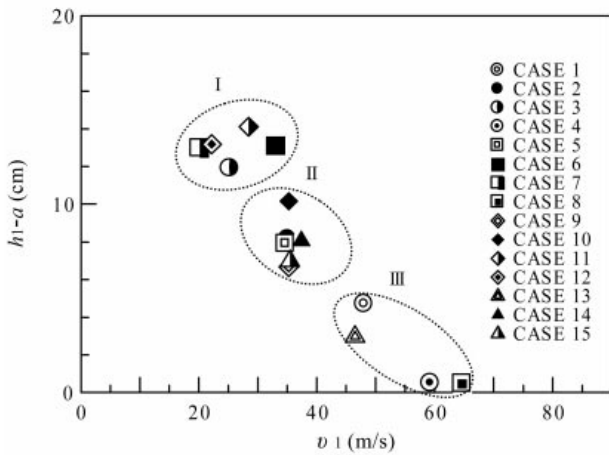


Fig.10 閉作動開始時の $h_1 - a$ と v_1 の関係
Relation between $h_1 - a$ and v_1 as the gate started closing

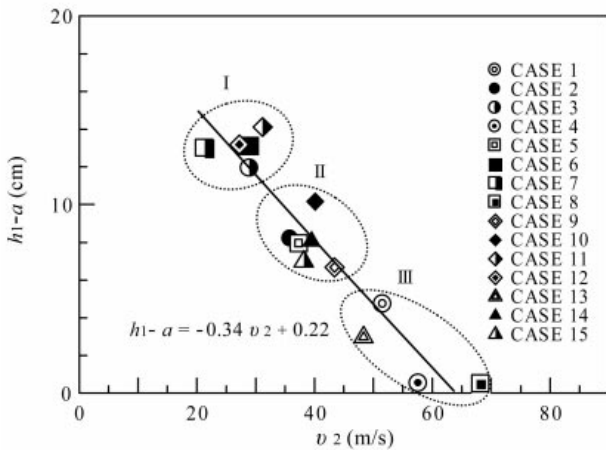


Fig.11 閉作動開始時の $h_1 - a$ と v_2 の関係
Relation between $h_1 - a$ and v_2 as the gate started closing

遅かった。流量の増加に伴い、 $h_1 - a$ が12~14cmまで大きくなると、閉作動が開始された。閉作動が開始されるまで、ゲートに微少な揺れが見られ、このとき扉体下部の流れは自由流出状態となっていた。なお、閉作動開始から閉鎖までの所要時間は8~12秒と長かった。

(2) 領域 I の作動特性

v_1, v_2 は30~40cm/s、 $h_1 - a$ は8~10cmとなり、領域 I と領域 II の中間の測定値であった。この領域では、ゲートの揺れが大きくなる現象が見られ、このとき扉体下部の流れは遷移流出状態となっていた。また、閉作動開始から閉鎖までの所要時間は4~5秒となった。

(3) 領域 III の作動特性

初期水深が小さいことから、 v_1, v_2 は50cm/s~60cm/sと速かった。 $h_1 - a$ は4cm以下であり、扉体下部に接水すると間もなく閉動作が開始された。よって、ゲートの揺れは生じなかった。なお、振動閉作動開始から閉鎖までの時間は2~4秒と短かった。

b ゲートの閉作動特性

ゲートの閉作動は、流量の減少とともに、上流水深 h_1 が小さくなると開始された。

CASE 1~15において、 h_1 と下流水深 h_2 との水深差が+2~4 cmの時に閉作動が開始された。なお、 h_2 は下流堰の高さとほぼ同じであった。

4 ゲートの作動係数

ゲートの閉作動・閉作動が開始されるための条件を示すと考えられる作動係数を、閉作動では $= M_o/M_c$ 、閉作動では $= M_o/M'_c$ として、実験結果から算定した。

閉作動が開始されるための条件 $= M_o/M_c$ は1.02~1.09となった。よって、 v_1 がこれらの値以下であれば、ゲートは閉鎖する。

閉作動が開始されるための条件 $= M_o/M'_c$ は1.02~1.14となった。よって、 v_2 がこれらの値以上であれば、ゲートは開放する。

無動力止水ゲートの設計フロー

ゲートの設計にあたっては、まず始めに、水路諸元からゲート形状を仮定し、ゲートの閉作動が開始される水深などを設定する。次に、これらを用いて、閉作動開始時の閉方向・開方向のモーメントを算出する。モーメントが閉方向>開方向とならない場合は、ゲート重量の修正やゲート形状の修正を行うこととする。このように、設定した水深でゲートの閉作動が開始されるまで、試算を繰り返す手順をとることとする。

設計のフローをFig.12に示す。

1 ゲート設置位置の選定

ゲートの設置位置は、取水工の取入れ口に近い方がよい。これは、ゲート閉鎖時に生じる余水を河川に排水することができるためである。設置位置が取入れ口から離れる場合は、放水路などの付帯施設を設備し、余水を河川まで排水する必要がある。また、設置位置の水路は矩形断面を持つこととする(ゲートの形状より)。ゲートが適用可能な水路幅は、中山間地域の水路幅と同程度と見なし、0.5~1.5m程度とする。

2 設計条件の設定

a 水路諸元の整理

ゲート設置位置の水路幅、水路高、勾配を整理する。

b 水路の設計流量・水深・流速の整理

平水時に流下する設計流量とゲート設置位置における設計水深、流速を整理する。平水時における流下を妨げないよう、ゲートの開きは設計水深以上とすることが望ましい。

c 閉作動開始時の水深・流速の設定

ゲートの閉作動が開始される水深を設定し、これを計

画閉作動水深 H_p とする。 H_p は、水路高、水路の流下能力、下流側の水路構造物等から勘案して決定する。また、 H_p は、設計水深（平水時）よりも5cm以上大きくする。これは、閉作動が容易に開始されるためである。5cm未満の場合はゲート設置位置における水路の形状を再検討する必要がある。閉作動開始時の流速は、等流計算より算出する。

d ゲートの設計最大水深

ゲート閉鎖時における最大水深を設定する。この水深は、ゲート上流部における余水吐のクレスト天端に越流水深を考慮したものとす。設計最大水深はゲート扉体高の決定、ゲート部材の構造計算に使用する。

3 ゲート形状の仮定

a 扉体幅

水路幅に合わせるが、摩擦を避けるため、壁面との間に0.5cm程度の間隙ができるようにする。

b 扉体高

ゲート閉鎖時に扉体の天端が設計最大水位となるよう設定する。実際の扉体寸法は、閉鎖時の水路底との角度をもとに決定する。

c 扉体とカウンターウェイトとの角度

扉体とカウンターウェイトを接続するフレームの角度は、プロトタイプゲートと同様の 140° 程度とする。これは、カウンターウェイトが水路天端付近に位置する角度であり、カウンターウェイトの付け外しが容易になるよう設定したものである。

d 水路底と扉体との角度

水路底と扉体との角度（閉鎖時）は、プロトタイプゲートと同様の 60° 程度とする。

e ゲートの開き

ゲートの開きは、平水時の水深以上とする。また、閉作動開始時に扉体にかかる水位が $10\text{cm} \sim 15\text{cm}$ となるよう設定するのが望ましい。

f ゲート重量

全ての部材の材質を構造計算により決定し、各部材の重量を別々に計算する。

g カウンターウェイト重量

eで設定したゲートの開きを維持しつつ、回転軸を中心とするゲートの左右のモーメントがバランス状態となる重量とする。

4 閉作動水深の算出

2, 3で定めた条件と、 α の2で示した作動式、 β の3で示した作動係数（ここでは、 $\beta_1=1.05$, $\beta_2=1.08$ とする）を用いて、閉作動開始時の水深 H_c を算出する。なお、 h_2 の算出については、様々な方法が考えられるが、ここでは、 $h_1-0.4\text{cm}$ とする（実験結果より）。また、 α については、 h_2 を用いて平均流速公式から算出した値とFig.11から求めた値を比較検討して決定する。

5 閉作動水深と計画閉作動水深の比較

4で算出した閉作動開始時の水深（ H_c ）と、2で設定した計画閉作動水深（ H_p ）との差を比較する。水深差がある場合は、以下のとおり諸条件の変更を行い、試算を繰り返す。

$H_p = H_c$ のとき

ゲート形状を確定する。

$H_p > H_c$ のとき

カウンターウェイトの重量を増やして H_p を大きくし、4に戻り再計算を行う。

$H_p < H_c$, かつ $H_c - H_p < 50\text{cm}$ のとき

水深差が小さいとき（扉体高の $1/2$ 程度の50cm未満）であれば、カウンターウェイト重量、扉体と水路底との角度・ゲートの開きの再検討を行い、4に戻り再計算を行う。

$H_p < H_c$, かつ $H_c - H_p > 50\text{cm}$ のとき

水深差が大きい場合は、3に戻り再度ゲート形状の見直しを行う。

6 ゲートの詳細設計

ゲートの形状確定後、戸当り、ストッパー、緩衝ゴムの形状、諸元を確定する。また、付帯施設として、放水路、立入防護柵などの検討を行う。

結 言

無動力止水ゲートのプロトタイプについて、作動特性を明らかにした。また、作動式と実験によって求めた作動係数を用い、プロトタイプを設計する手順を示した。

本報では、プロトタイプの作動特性を室内実験で確認したのみであることから、ゲートを現場に設置する場合には、様々な問題が生じることが想定される。例えば、流木などの漂流物がゲートの閉作動の障害になる可能性が考えられる。また、ゲートの開作動は、扉体の上流水深が低下し、下流水深との差が $+2 \sim 4\text{cm}$ の時に開始されることから、ゲート閉鎖後に下流水深が平水時並みに保たれていなければ、ゲートは無動力で開放しないことが予想される。よって、現場の状況を確認し、下流水深が低い場合は、これを確保する方法を考える必要がある。その他、雪荷重や強風の影響でゲートの閉作動が想定外に開始される場合も考えられる。これら現場で生じる諸問題については、今後検討していく必要がある。

なお、本ゲートは、農村工学研究所、日本工営株式会社、豊国工業株式会社の共願により、「止水ゲートの開閉構造」として特許出願中（特願2006-143293）である。

参考文献

- 1) 米澤健一・竹内和彦 (2003): 中山間地域直接支払制度が集落レベルの多面的機能の維持増進に及ぼす影

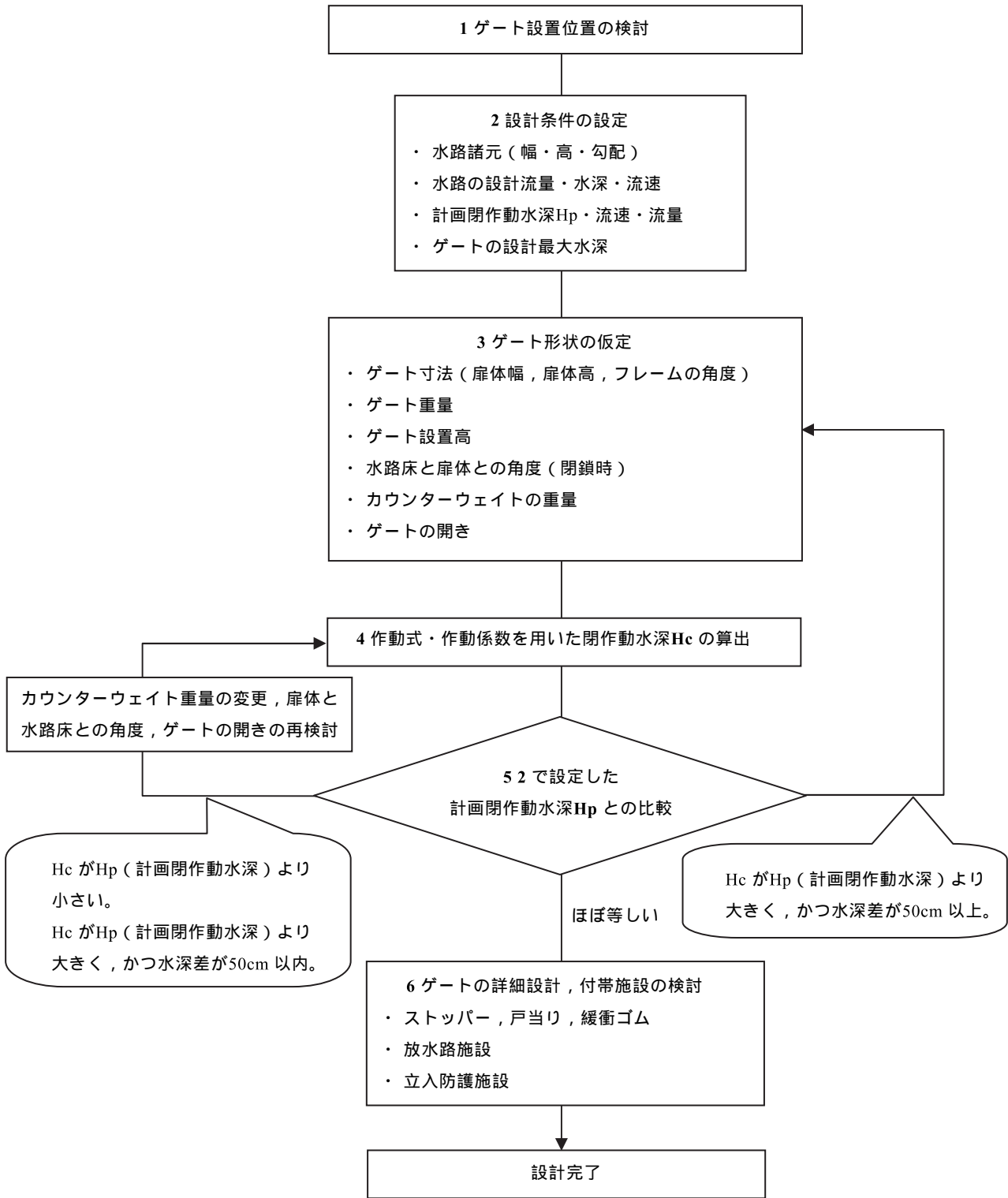


Fig.12 無動力止水ゲートの設計フロー
Flowchart of design procedures for the gate

響, 農村計画学会誌, 22(1), p.17-25

2) 島 武男・田中良和・中 達雄・川尻裕一郎・片山 秀策 (2002): 中山間地水路の維持管理実態と自動止

水ゲートの開発, 農業土木学会誌, 70(2), p.121-125

3) 社団法人農業土木事業協会 (1999): 鋼構造物計画設計技術指針 (水門扉編)

Non-powered Cut-off Gate to Prevent Inundation by Floods

MUKAI Akie, KAWAI Akira, MURAKAMI Fumiaki, KOHDA Yasumasa,
SATAKE Masafumi and NAKA Tatsuo

Summary

In hilly and mountainous areas affected by the depopulation and aging of the residents, water-use facilities are often managed by elderly people who must exert a lot of effort. Particularly for irrigation canals on hillsides extending from mountain streams, gate management is essential to protect the agricultural land from inundation by flooding, though the direct operation of gates by elderly people in the event of flood involves danger. Then, as a practical application of gate operation intended for labor-savings and safety management, a prototype of a non-powered cut-off gate was constructed. The characteristics of the gate are as follows: 1) the gate was designed to keep the gate panel on the upstream side and the counter weight on the downstream side in balance around the hinge. 2) The height of the opening of the door varies in response to the scale of flood by increasing or decreasing the counter weight. 3) The gate starts to close the moment in the closing direction on the upstream side exceed the moment in the opening direction on the downstream side. In this paper, at first, we clarified operating characteristics of the gate using full-scale hydraulic experiments. We found the experimental factor indicating the requirements for start of the closing and opening. Using these results, finally, we proposed flowchart of design procedures for the gate.

Keywords : gate, prevent inundation by floods, canal, hilly and mountainous areas