

官民連携新技術研究開発事業

研究課題名	取水堰土砂吐用ライジングセクターゲートの開発
研究開発組合代表社名	石川島播磨重工業株式会社 代表取締役社長 伊藤 源嗣

1. 研究目的

本課題では、今後、改修が見込まれている頭首工や新たに土砂吐ゲートを必要とする事業に対し、流量調節、排砂機能を確保しつつ、コンパクト化によるコスト縮減と、操作性、景観性、静粛性に優れた取水堰土砂吐用ゲート開発を目的とする。

導入効果を以下に示す。

- (1) 門柱を低くでき、上屋の建設が不要となることから建設費の軽減が図れる
- (2) 巻き上げ機修理や巻き上げワイヤーの交換などが不要となり維持管理費の軽減が図れる
- (3) ゲート引き上げのための二段操作を必要としないため操作性の向上が図れる
- (4) 門柱や上屋を排除することによる農村地域並びに都市地域の景観保全が図れる
- (5) ゲート背面に沿って流れることによる落下水音の軽減が図れる

2. 研究内容

- (1) 放流機能・・・堰上流水位と流量の関係把握
- (2) 排砂効率・・・土砂吐ゲート上流取水口堆積土砂の排砂状況把握
 - ・洪水減水期 取水口堆積土砂の排砂状況
 - ・洪水時フラッシュ 土砂吐部および土砂吐下流堆積土砂のフラッシュ
- (3) 排砂操作性・・・土砂の噛み込み状況およびゲート操作と排砂状況把握
- (4) 静粛性・・・・・・・・ゲートでの騒音発生状況の把握

3. 目標とする成果

研究成果の目標を以下に示す。

項目	内容	目標とする成果
放流機能	放流能力を全開操作時および流量調節時において評価	水位と流量の関係を把握
放流操作性 (水密機能)	土砂の噛み込みおよびゲート操作性と水密が得られるゲート操作	土砂の噛み込み状況把握とゲート操作方法との関係
排砂効率	排砂操作時および洪水時の土砂フラッシュ	堆積土砂フラッシュ範囲の把握
静粛性	オーバーフローでのゲート背面に落下する水脈による騒音軽減	音圧レベルの低減率

4. 研究成果の状況(現地適用の状況、普及活動状況等)

1) 放流特性、2) 放流操作、3) 排砂性能、4) 景観性、5) 静粛性の視点から、ライジングセクターゲートと起伏ゲート付きのローラーゲートの対比を行う。

1) 放流特性

ライジングセクターゲートは、水位調節機能(放流特性:オーバーフロー)と土砂吐機能(放流特性:アンダーフロー)をあわせ持つゲートであり、従来のシェル構造倒伏ゲートと同じ機能を有している。

【水位調節時の放流特性の比較】

従来型のゲート(図1)と開発中のライジングセクターゲート(図2)について、水位調節機能の比較を行った。水位調節時(オーバーフロー時)の放流特性を以下の式より流量係数Cを求め比較を行った。

$$Q = CBh^{\frac{3}{2}} \quad \text{式-1}$$

ここに、Q: 流量(m³/s)、C: 流量係数、B: 水路幅(m)、h: 越流水深(m)

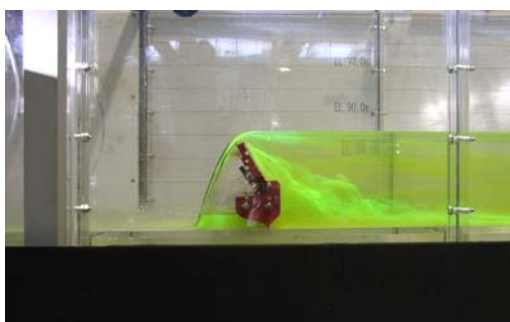
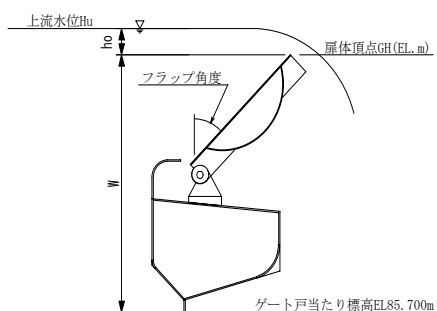


図1 従来型の放流状況

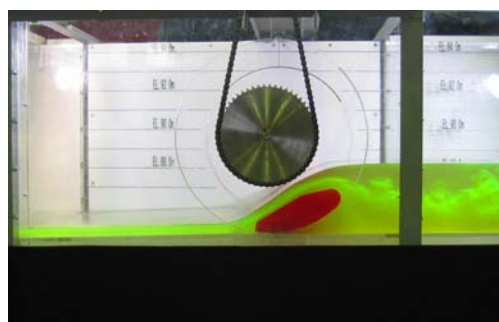
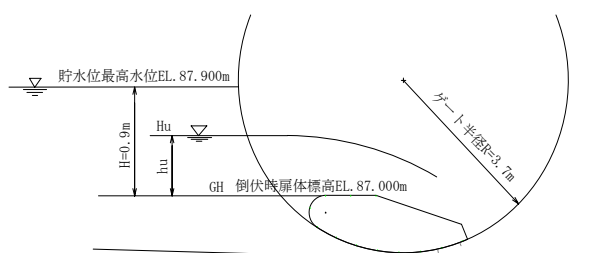


図2 ライジングセクターゲートの放流状況

図3に従来型ゲートとライジングセクターゲートの放流特性の比較を行った。

従来型に比べライジングセクターゲートは流量係数が大きく、流れやすいことがわかる。また、従来型の流量係数は、限られた範囲に流量係数がまとまるものに対し、ライジングセクターゲートは、比較的広範囲に広がっている。

これは、ライジングセクターゲートは越流部に円弧を採用しているため、円運動をするライジングセクターゲートは支配断面がゲートの傾きにより異なり、ゲート背面

に水脈に沿って流れ圧力の低下が生じ流れやすくなっているものと考えられる。一方、従来型ゲートは、ナップが切れゲート背面は空洞となることからほぼ一定の流量係数となる。

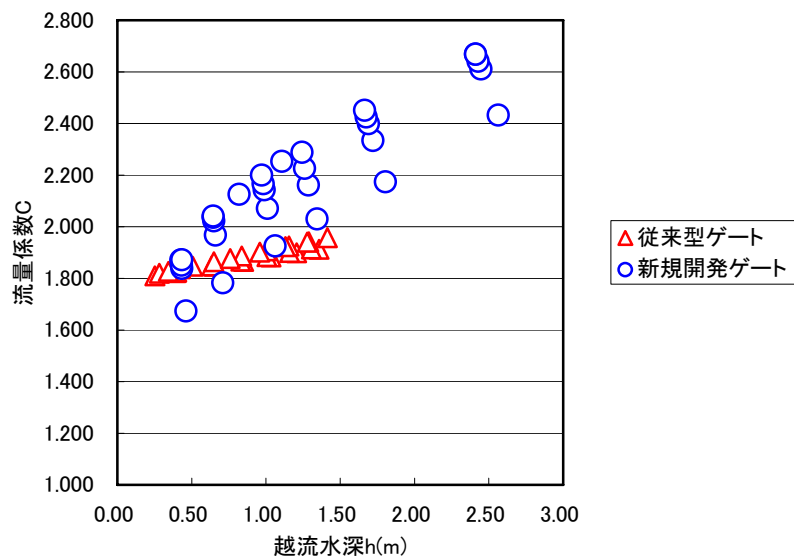


図3 従来型と新規開発ゲート放流特性比較

【排砂時の放流特性の比較】

排砂時(アンダーフロー)での放流特性をアンダーフローでの流出係数の関係により、従来型ゲート (図4) とライジングセクターゲート (図5) を以下比較した。

$$Q = CBGg\sqrt{2ghu}$$

ここに、Q : 流量(m³/s)、C : 流量係数、B : 水路幅(m)、hu : 上流水深(m)
Gg : ゲート開き(m)

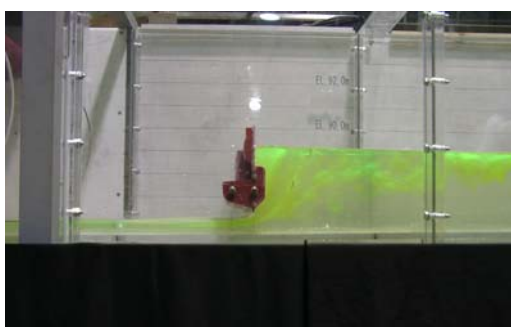
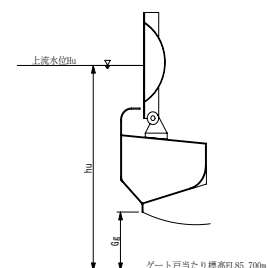


図4 従来型ゲート放流状況

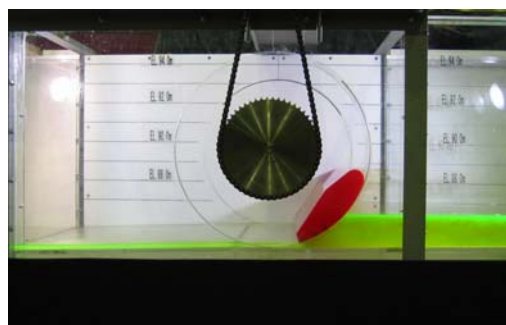
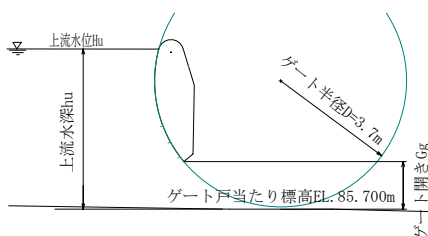


図5 ライジングセクターゲートの放流状況

図6に従来型ゲートとライジングセクターゲートのアンダーフロー時の流出係数を示した。

従来型ゲートに比べ同一開口高でライジングセクターゲートは特に微小開度で流れやすく、開口高が大きくなるにしたがって、従来型の流出係数とほぼ一致する。

従来型ゲートは、接近流速が小さくゲートリップにより急縮されることから、リップ下流で最高流速となるベナコントラクタが形勢される。一方、ライジングセクターゲートは、扉体が円弧であることから、流線の急激な変化がなく、接近流速が従来型のゲートに比べ速いことから流出係数が大きくなったものと考えられる。

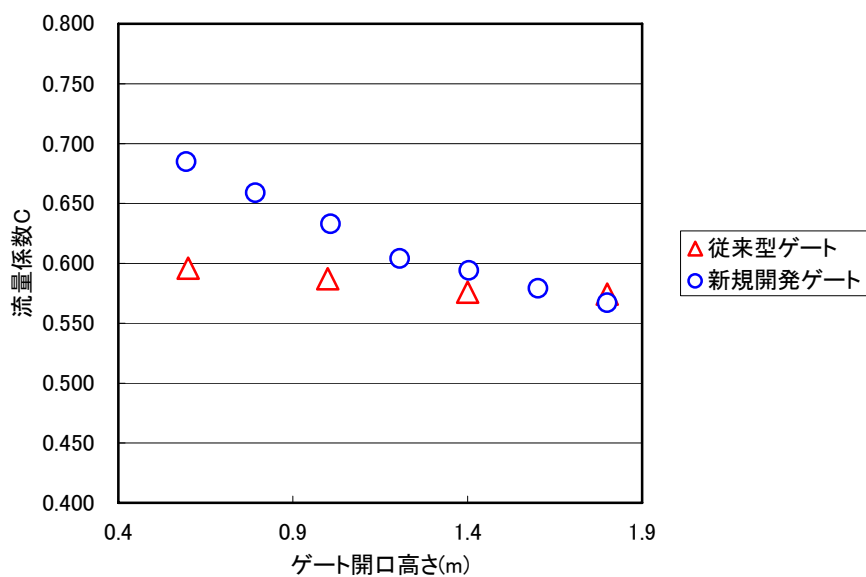


図6 アンダーフロー時の放流特性比較

2) 放流操作

土砂吐に用いられるローラーゲートには水位調節用の起伏ゲートが取り付けられることが多い。放流操作は、起伏ゲートの起立と倒伏で行い、扉体のアンダーフローによる水位調節は困難である。

洪水時には、起伏ゲートを起立させてからローラーゲートを巻き上げる、二段階操作となる（図7）。

起伏ゲート付ローラーゲートの操作

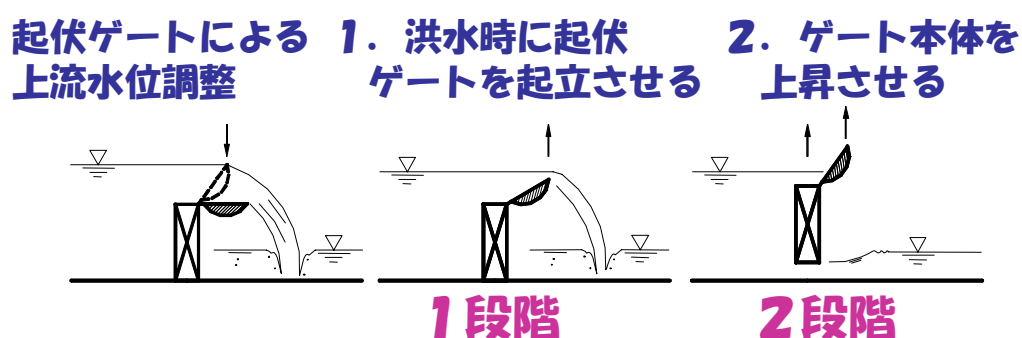


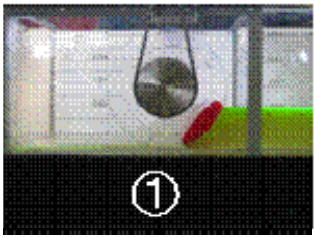
図7 起伏ゲート付ローラーゲートの放流操作

ライジングセクターゲートは、扉体を時計または反時計回りに回転させることで放流操作や水位調節を行うことができる。

ライジングセクターゲートの洪水時の放流操作について述べる（図8）。

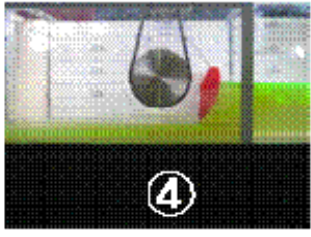
- ①計画取水位を維持し、上流部に湛水している
- ②出水時にゲートを越流させ放流する
- ③小洪水時にはゲートを時計回りに回転させて、倒伏状態にして放流する
- ④洪水時にはゲートを反時計回りに回転させ、ゲート下部から放流する
- ⑤ゲートを上部まで回転させ、洪水を流下させる

ライジングセクターゲートの放流操作



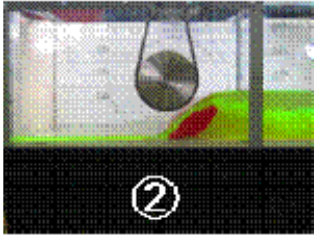
ゲート上側に
水を注いでいる

①



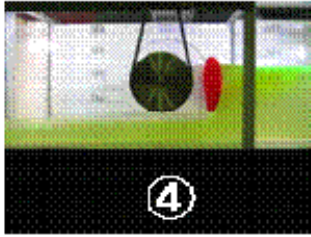
ゲートを縦向きに
回転させて下部から
放流している

④



ゲートを降下している

②



さらにゲートを
上昇させた状態

④



ゲートを縦向きに
回転させて、再び水
ゲートを降下させ放
流している

③

ゲート全開状態



ゲートが
最上段に位置し
再び水を増やした状態

⑤

ゲート全開

図 8 ライジングセクターゲートの放流操作

3) 排砂性能

ゲートを部分開放することによって、ゲート近傍に堆積している土砂をフラッシュすることができる。そこで、ゲートリップ（水密点）より、フラッシュされた堆砂先端までの距離（ L ）と開口高（ α ）の関係を模型実験により求めた（図9）。使用した土砂は、模型サイズで $d_m = 1.2\text{mm}$ および $d_m = 4.75\text{mm}$ とした。

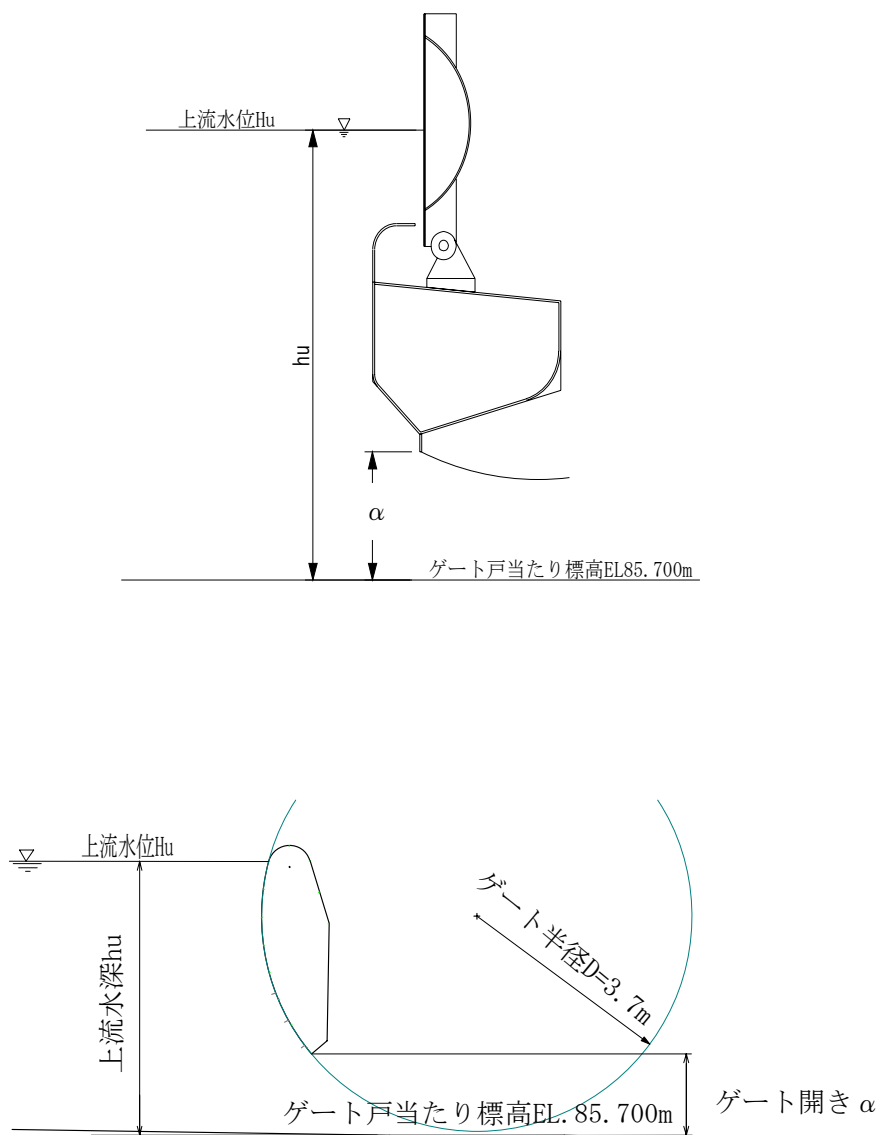


図9 模型実験に用いたゲートの断面図（寸法は現地換算）

従来型のゲート（引き上げ式ゲート）に比べライジングセクターゲートは、ゲート水密点より上流のフラッシュ範囲が広く、ゲートの開閉時のかみこみ等に対して、微小開度でゲート上流面の土砂を広い範囲にフラッシュすることができる（図 10）。模型実験の結果では、排砂範囲が従来の引き上げ型ゲートに比べて 4 倍程度広くなることが確認された（図 11）。

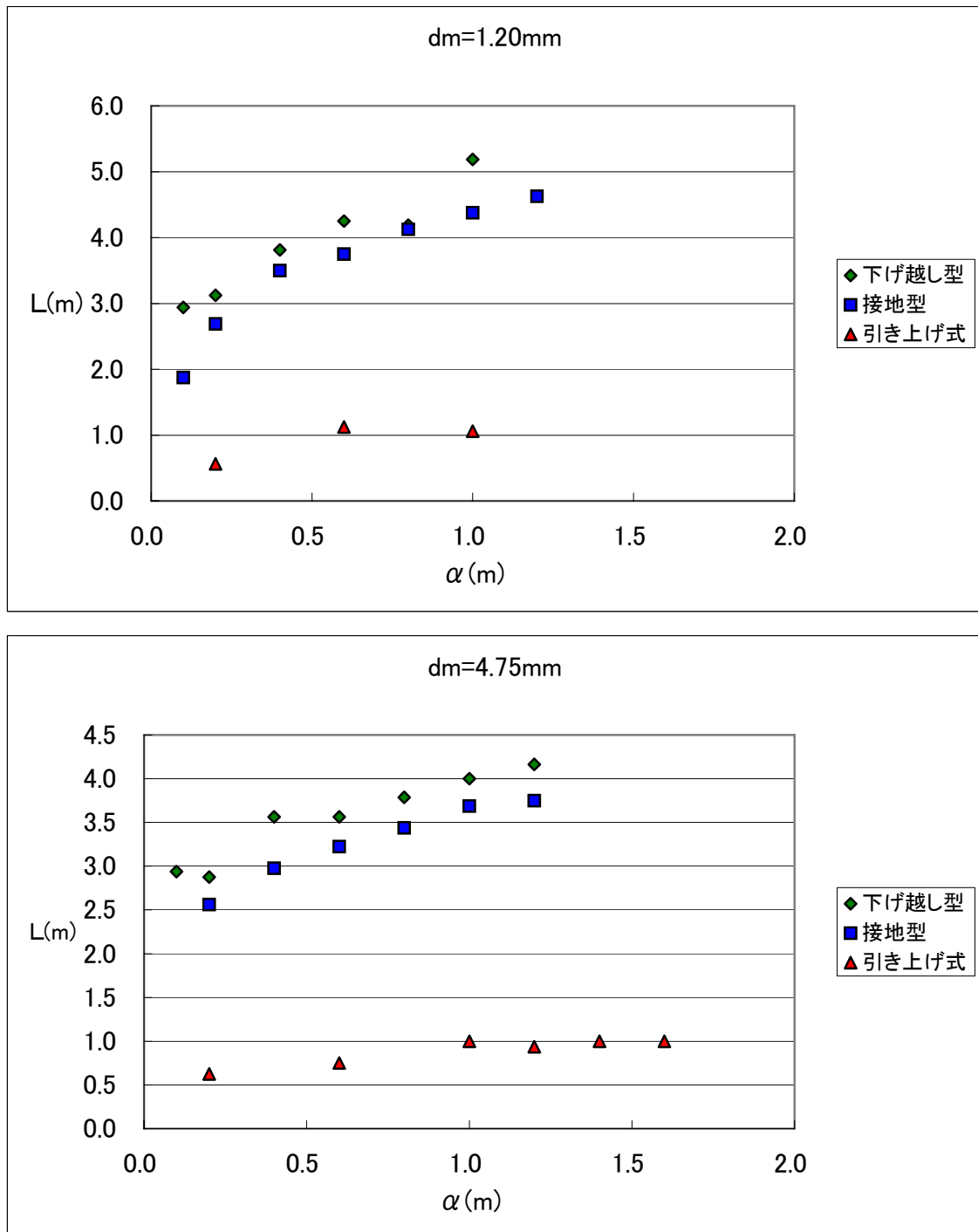
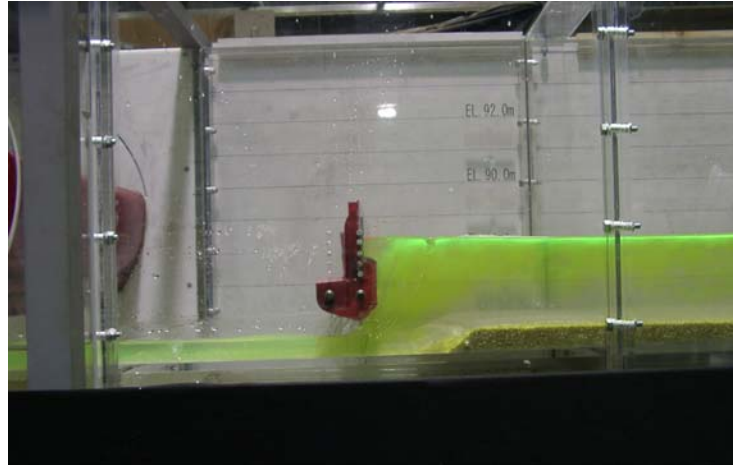
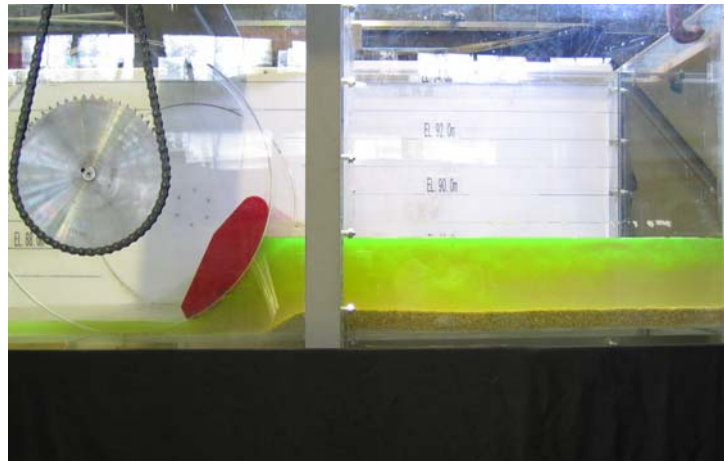


図 10 開口高と堆砂先端までの距離（寸法は現地換算）

【ゲート開き $G_g=0.6\text{m}$ 】



【ゲート開度 $G=0.4\text{m}$ 】



【ゲート開き $G_g=0.4\text{m}$ 】

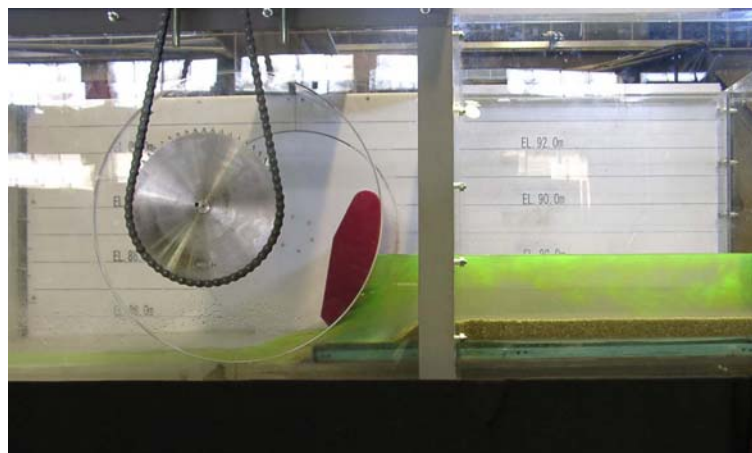


図 11 排砂状況

4) 景観性

従来型のゲート（引き上げ式ゲート）では、ゲート下端を計画高水位より上部に引き上げることから、巻き上げ機を設置する上屋および門柱が必要となる。このため門柱および上屋が突出するため景観性が劣る（図12、13）。

一方、ライジングセクターゲートは、門柱と上屋が無いいため周囲の景観保全が図れる。上屋分を差し引くと高さを10m程度低くすることが可能となる（図12、13）。

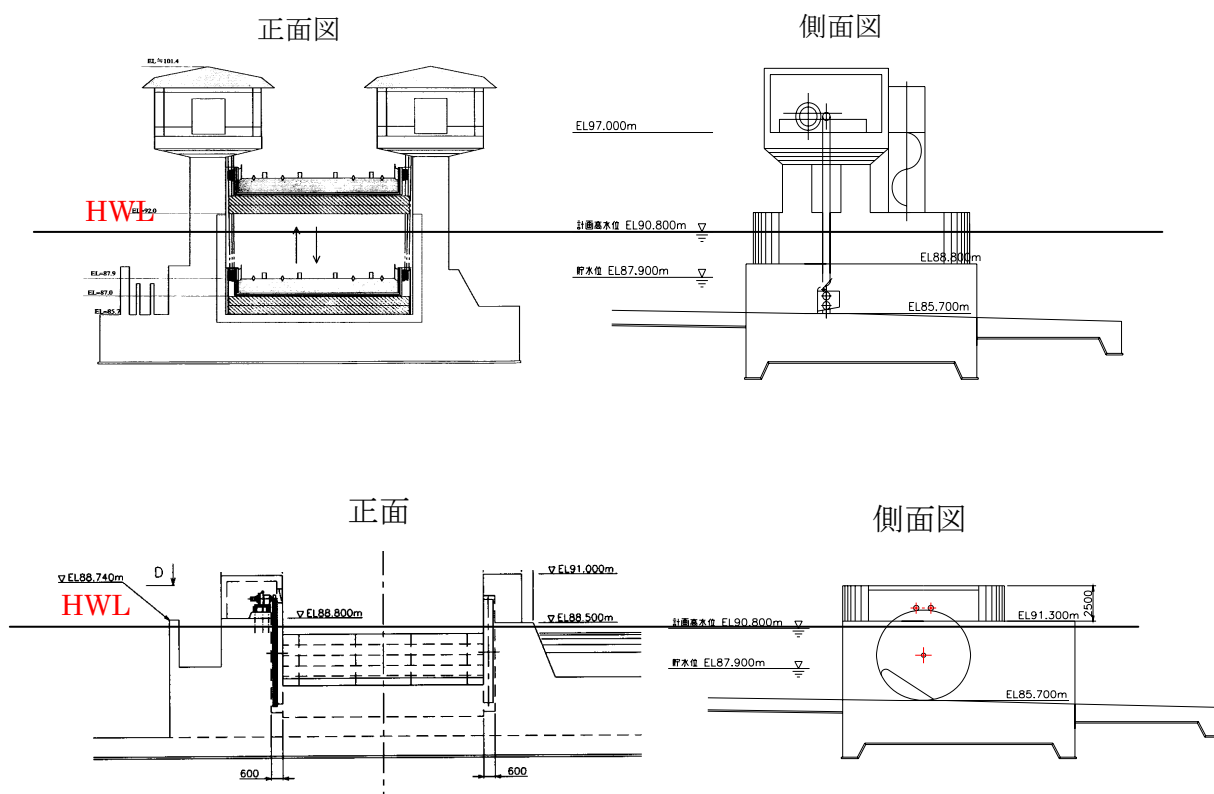


図12 従来型ゲートとライジングセクターゲートの形状比較



図13 設置状況（左：一般的なゲート 右：北海道 永山取水ゲート）

5) 静粛性

起伏ゲート付ローラーゲートの場合、ゲート越流後に落下流を生じ、ゲート下流面で水音を発生する（図 14）。都市化、混住化の伸展に伴って、ゲートからの越流水により発生する音が、昔から住んでいる周辺居住者と違い、新住民には騒音となり、環境公害として認識される。また、低周波音については、物理的問題の他、頭痛、睡眠への影響といった心理的、生理的問題を誘発しているため、早急な対策が急務となっている。

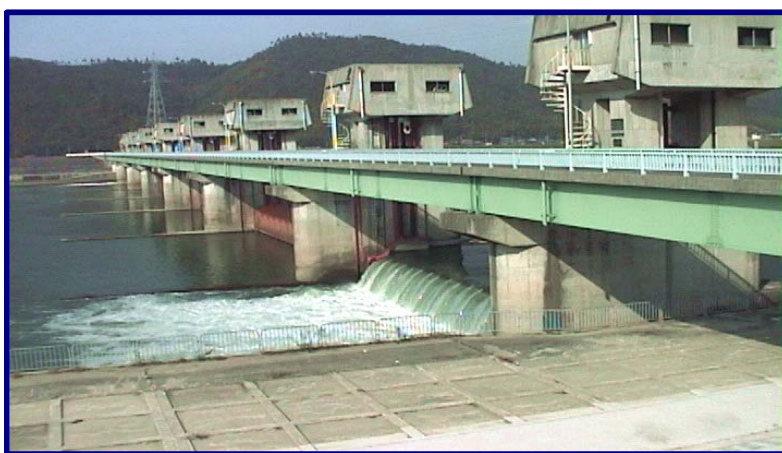


図 14 起伏ゲート付ローラーゲートからの越流状況

模型実験を行い、従来型ゲート（●）とライジングセクターゲート（△）を比較したところ、従来型ゲートは卓越する周波数がある。一方で、ライジングセクターゲートは、越流水脈がゲート面に沿って流下するため水音と振動の発生が軽減される。ライジングセクターゲートは、卓越する周波数がなく、同一条件においてピーク音圧レベルは約 20dB の低減が観測された（図 15）。

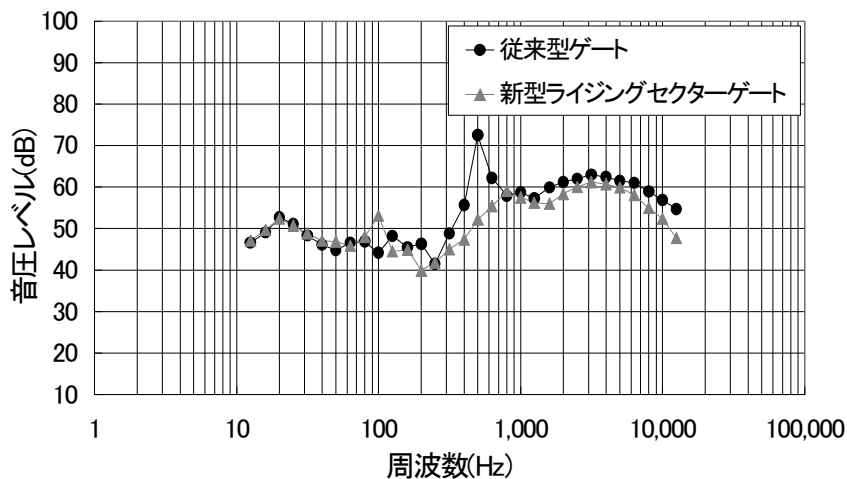
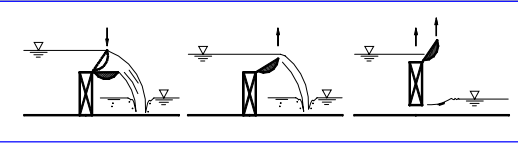
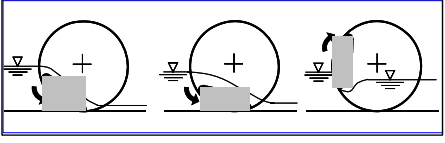
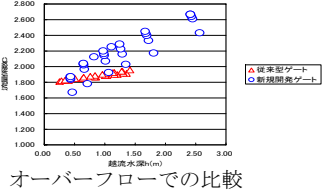
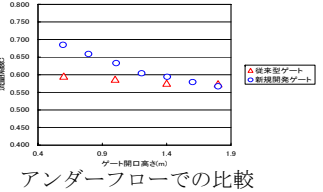
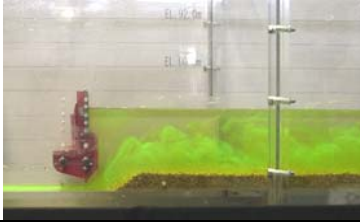
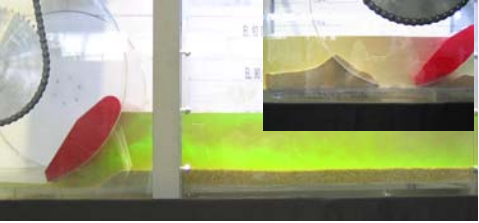
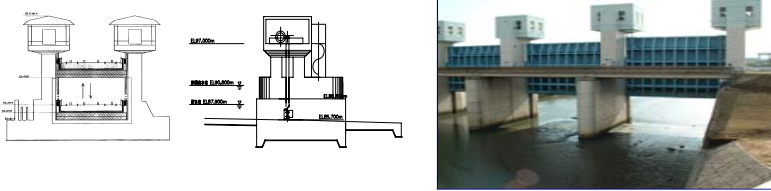
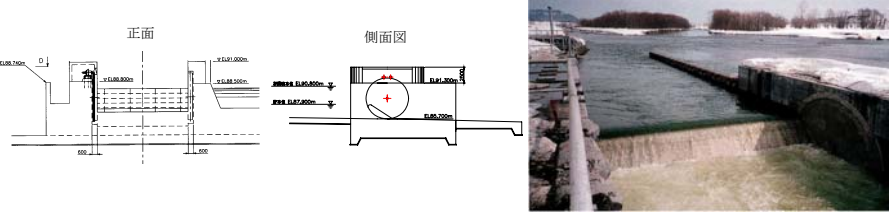




図 15 模型実験における音響特性結果

6) 結果の概要

	従来工法	新型ライジングセクターゲート
洪水対応	扉体を巻上機で計画洪水水位以上に引き上げる。 	扉体を回転し、計画洪水水位以上に扉体を待避させる。 
水位調節性能 (放流特性)	<ul style="list-style-type: none"> 起伏ゲートの起立と倒伏で水位調節を行う。 扉体のアンダーフローによる水位調節は困難である。  <p>オーバーフローでの比較</p>	<ul style="list-style-type: none"> 扉体を時計または反時計回りに回転させ、水位調節を行う。 水密性を確保しつつ水位調節を行う。 高い放流特性を有する。  <p>アンダーフローでの比較</p>
排砂性能	アンダーフローにより、信頼性の高い排砂性能を発揮する。ただし、操作を間違えると土砂が残り、ゲートを閉めることができなくなる。 	従来工法と同等以上の排砂性能を発揮する。戸当たり部に土砂が残ってもブルドーザー様に土砂を排除しゲートを閉めることができる。 
操作性	起伏ゲートとローラーゲートによる二段階操作となり、操作性は劣る。	回転操作により取水位の調節と洪水対応が一体的に制御でき、操作性に優れる。
景観性	門柱および上屋が突出するため景観性が劣る。 	門柱と上屋が無い場合周囲の景観保全が図れる。 
静粛性	起伏ゲートから越流落下する水脈によって発生する水音と振動が大きい。 	越流水脈がゲート下流面に沿って流下するため水音と振動の発生が軽減される。 
建設費	100%	80%

5. 今後の課題

今後の課題として、以下に示す2点が挙げられる。

①普及活動

ライジングセクターゲートを普及させるために、特許出願を行い、その後随時学会への投稿などを積極的に実施していくものとする。

②現地への適用