

土砂吐用ライジングセクターゲートの水理特性

HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF RISING SECTOR GATE FOR SAND SLUICeway

後藤真宏¹・小林宏康¹・浪平篤²・常住直人¹・

由井孝昌³・粉川博³・正沢勝幸⁴・関谷明⁴

Masahiro GOTO, Hiroyasu KOBAYASHI, Atsushi NAMIHIRA, Naoto TSUNESUMI
Takamasa YUI, Hiroshi KOGAWA, Katsuyuki SYOUZAWA, Akira SEKIYA

¹正会員 農博 (独) 農研機構 農村工学研究所 (〒305-8609 茨城県つくば市観音台2-1-6)

²正会員 農修 (独) 農研機構 農村工学研究所 (〒305-8609 茨城県つくば市観音台2-1-6)

³石川島播磨重工業 (〒135-8710 東京都江東区豊洲3-1-1)

⁴正会員 建設技術研究所 水理室 (〒300-2651 茨城県つくば市鬼ヶ窪1047-27)

Headworks(diversion weir) are defined as the facilities which divert water from a river into a canal for irrigation use. Many headworks will reach it in durability for the next 50 years. Therefore we clarified hydraulic characteristics and various performance of a new gate (rising sector gate for sand sluiceway) by hydraulic model tests. Rising sector gate is a shell type gate with a disk at both ends. In comparison with fixed wheel type gate, the following characteristics became clear; 1) coefficient of discharge was higher, 2) gate operation was simple, 3) removal area of sediment spread to 4 times, 4) the sound pressure level was reduced 20 dB, 5) reduction of around 10% in running cost was anticipated.

Key Words : Rising sector gate, fixed wheel type gate with flap, sand sluiceway, diversion weir, hydraulic characteristics, hydraulic model test

1. はじめに

農業用水を河川より取水する施設である頭首工(取水堰)の中で平成15年以降50年間に耐用年数に到達するのは、約1,100件と推定されており、順次、整備、更新されることになる。これら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おいて、土砂吐用ゲートに求められる種々の性能がある。水理・水利面からは、水位調節の簡素化、高い放流能力や排砂特性、経済性からはコンパクト化によるコスト縮減、環境面からは、特に都市化された地域への設置において求められる性能として景観性や静粛性である。

本報では、英国テムズ川に防潮水門として設置されているライジングセクターゲートを参考にして¹⁾、頭首工の土砂吐用ライジングセクターゲートの研究開発を行った。研究では、1/12.5の縮尺模型を作製して水理模型実験を行い、ライジングセクターゲートの各種特性を明らかにした。ここでは、ゲート開発に関する本研究の成果及び落水水音の実験結果を報告する。

2. ライジングセクターゲートの概要

ライジングセクターゲートは、図-1に示したように、シェル構造の扉体の両端に端部円盤を設けて、この円盤を回転させることにより開閉を行うゲートである。

ライジングセクターゲートの型式(図-2, 3, 4)として、越流タイプと非越流タイプがある。越流タイプにはゲ-

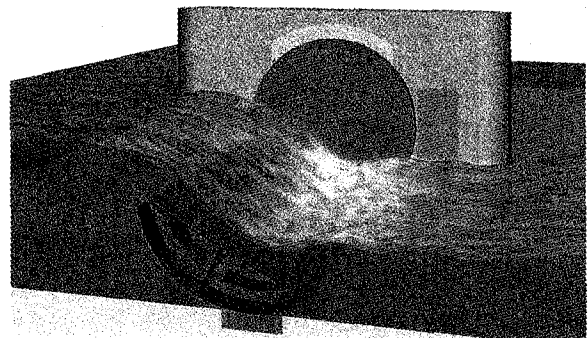


図-1 ライジングセクターゲート

トが床盤に潜り込むピット型と潜り込まない接地型がある。一方、非越流タイプは、防潮水門などに用いられる。これまで頭首工などの水位調整施設ではピット型が用いられているが、下流部に堆砂しやすい問題があった。そこで本研究では、これまで頭首工の土砂吐に用いられていない接地型の各種特性を水理模型実験によって明らかにした。

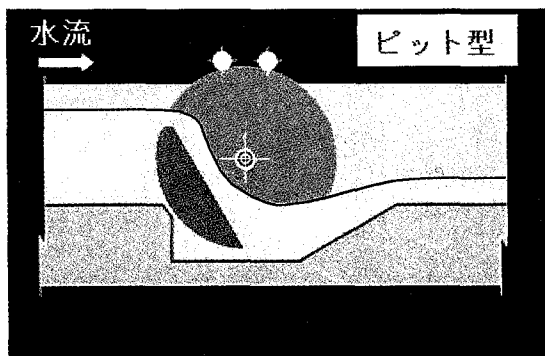


図-2 越流タイプ (ピット型)

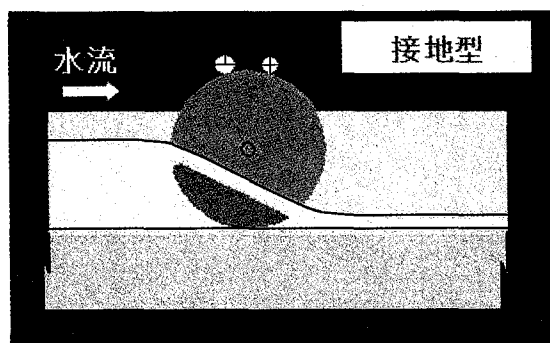


図-3 越流タイプ (接地型)

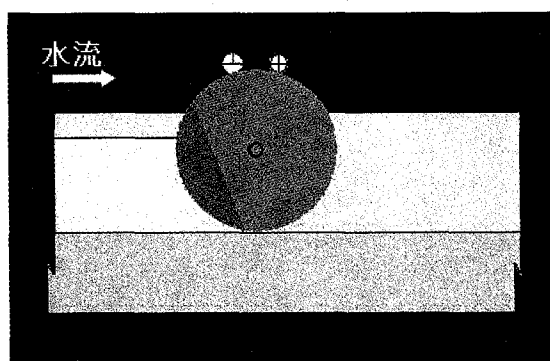


図-4 非越流タイプ (水門型)

ライジングセクターゲートの構造上の特徴を以下に記載する。

- ①扉体はシェル構造で、長径間 (40m程度) にも適用できる
- ②引き上げ式のローラゲートのように開閉装置が不要となるため、門柱を低くできる
- ③オーバーフローによる流量調節が可能で、落下流が生じないことから、落水音を小さくできる
- ④自由ナップが無く、スポイラは不要となることから、

堰頂部にゴミが留まらない

- ⑤開閉装置に油圧モータを用い、ピンラック・ピニオン方式で開閉するため、開閉装置室をコンパクトにできる (図-5)

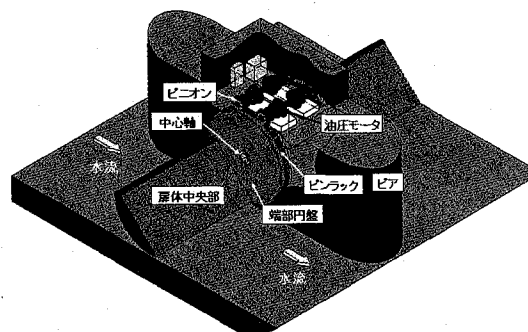


図-5 ライジングセクターゲートの構造概要

3. ライジングセクターゲートの特徴

土砂吐用ライジングセクターゲートの特徴について、水理模型実験の結果等をもとに、放流特性、放流操作、排砂性能、景観性、静粛性、経済性の視点から、従来型ゲート (起伏ゲート付ローラゲート) の対比を考察する。

(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、従来のシェル構造の起伏ゲート付ローラゲートと同じ機能を有している。

a) 水位調節時の放流特性の比較

従来型ゲートと土砂吐用ライジングセクターゲートについて、水理模型実験により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。

$$Q = CBh^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

ここに、 Q : 流量 (m^3/s)、 C : 流量係数、 B : 水路幅 (m)、 h : 越流水深 (m) である。

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 (図-6)。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ばらつきが少ないが、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の発生位置がゲートの傾きにより異なること、またゲート背面に沿って水脈が流れることから圧力の低下が生じて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。

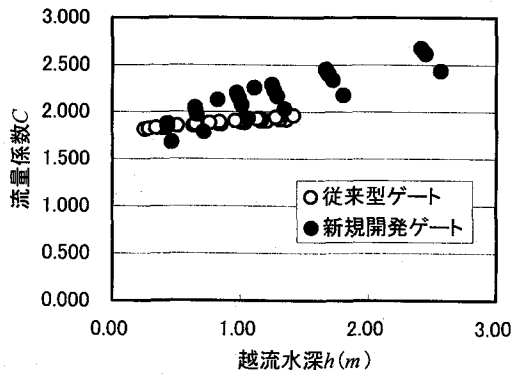


図-6 オーバーフロー時の従来型とライジングセクターゲートの放流特性比較

b) 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-7)とライジングセクターゲート(図-8)で比較した。

$$Q = CBG_g \sqrt{2gh_u} \quad (2)$$

ここに、 Q : 流量(m^3/s)、 C : 流量係数、 B : 水路幅(m)、 h_u : 上流水深(m)、 G_g : ゲート開き(m)、 g : 重力加速度である。

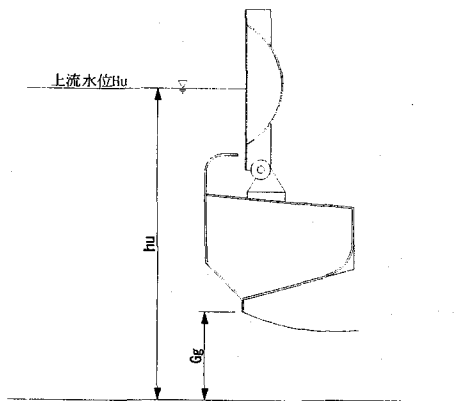


図-7 従来型ゲートの側面図

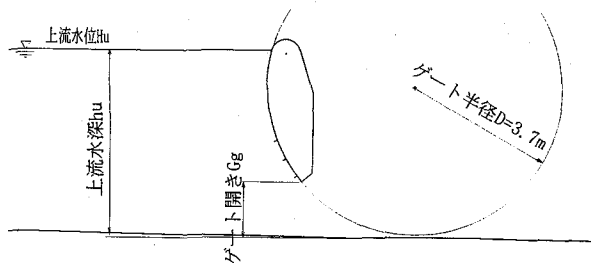


図-8 ライジングセクターゲートの側面図

図-9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量係数を示した。

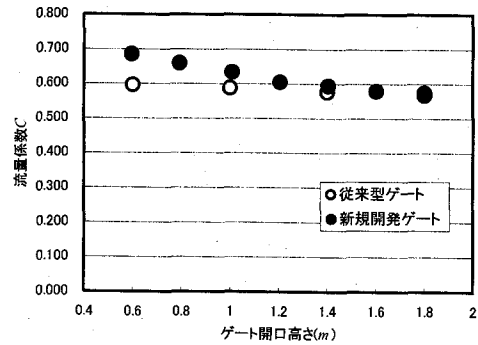


図-9 アンダーフロー時の従来型とライジングセクターゲートの放流特性比較

従来型ゲートに比べて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、開口高さが大きくなるにしたがって、従来型の流量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成される。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量係数が大きくなったものと考えられる。

ライジングセクターゲートの高い放流特性は、水位変動に対するゲート調整回数の低減とゲート稼働に伴う消費電力の低減が期待できる。

(2) 放流操作

土砂吐に用いられるローラゲートには水位調節用の起伏ゲートが取り付けられる場合が多い。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ゲートを巻き上げる、二段階操作となる(図-10)。

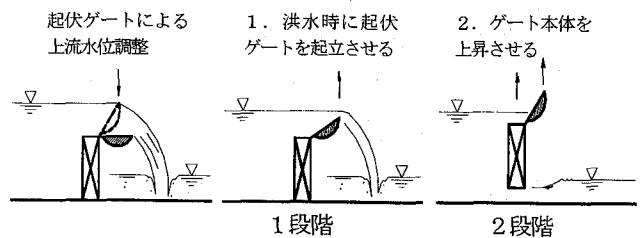


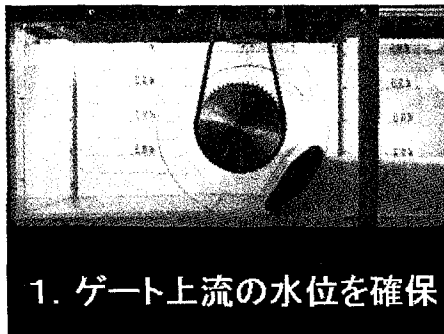
図-10 起伏ゲート付ローラゲートの放流操作

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、ゲート操作の簡素化が期待できる。

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。

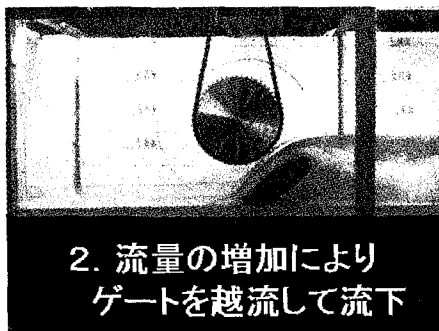
- ①計画取水水位を維持し、上流部に湛水(図-11)
- ②出水時にゲートを越流させ放流(図-12)

- 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(図-12)
- 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(図-13)
- ⑤ゲートを上部まで回転させ、洪水を流下(図-14)



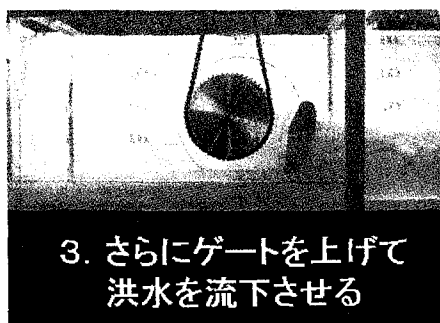
1. ゲート上流の水位を確保

図-11 ライジングセクターゲートの放流操作
(上流水位確保時)



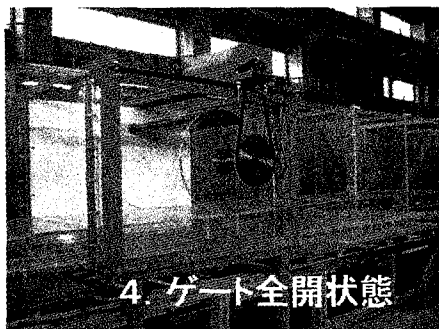
2. 流量の増加により
ゲートを越流して流下

図-12 ライジングセクターゲートの放流操作
(小洪水時の越流状況)



3. さらにゲートを上げて
洪水を流下させる

図-13 ライジングセクターゲートの放流操作
(ゲート全閉状態までの移行操作)



4. ゲート全開状態

図-14 ライジングセクターゲートの放流操作
(洪水回避時のゲート状況)

(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。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。

従来型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範囲にフラッシュすることができる。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-15, 図-16, 17, 18: 寸法は現地換算)。

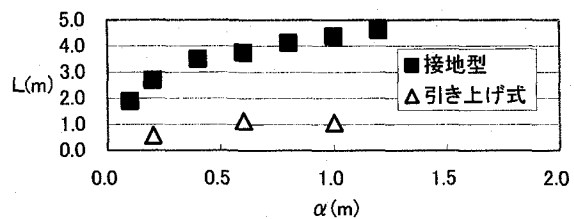


図-15 開口高と堆砂先端までの距離 $d_m=1.2\text{mm}$

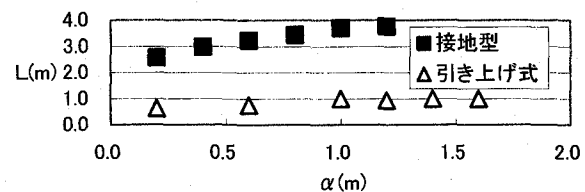


図-16 開口高と堆砂先端までの距離 $d_m=4.75\text{mm}$



図-17 従来型ゲートの排砂状況

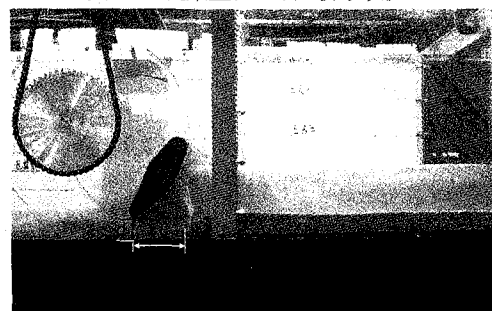


図-18 ライジングセクターゲートの排砂状況

(4) 景観性

従来型の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、開閉装置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-19)。

一方、ライジングセクターゲートは、門柱と上屋が無いので周囲の景観保全が図れる。上屋と門柱相当分を差し引くと高さを低くすることが可能となる(図-20)。

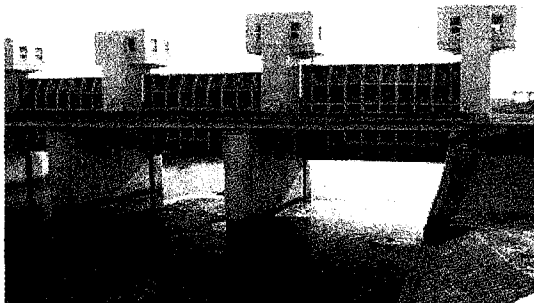


図-19 従来型ゲートの設置状況



図-20 ライジングセクターゲートの設置状況

(5) 静粛性

従来型ゲート(起伏ゲート付ローラゲート)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。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-21)。

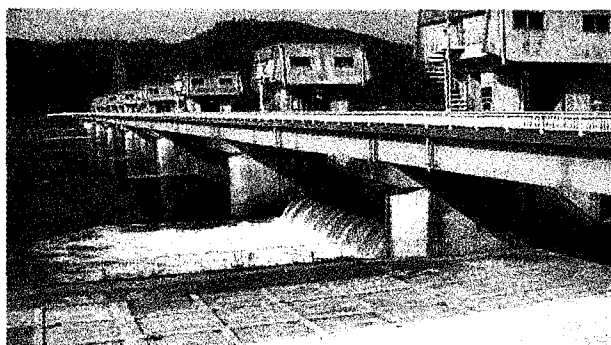


図-21 起伏付ローラゲートからの越流状況

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、従来型ゲートに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20 dBの低減が観測された(図-22)。

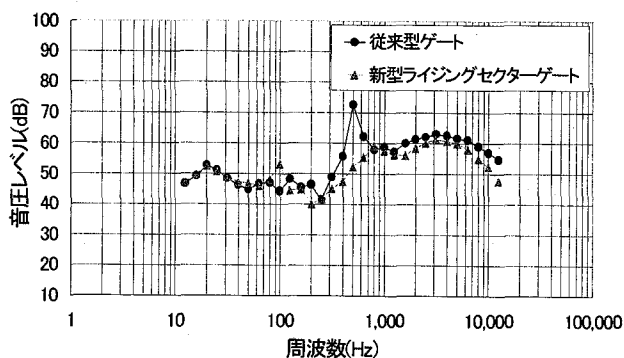


図-22 模型実験における音響特性比較

農工研実験棟内の幅1.0m、高さ2.0mの2次元水路に、実物大の木製堰を設置して落下水音の測定を行った。水音の計測には、低周波音は低周波音レベル計、可聴音は精密騒音計を用いた。

実験条件として、堰の角度(90°、30°)、堰の高さ(1.1m、1.3m、1.5m)、越流水深(0.1m、0.2m、0.3m)、下流水深(0.4m、0.6m、0.8m)を種々に変えて計測した(図-23、図-24)。



図-23 実物大の木製堰(90°)

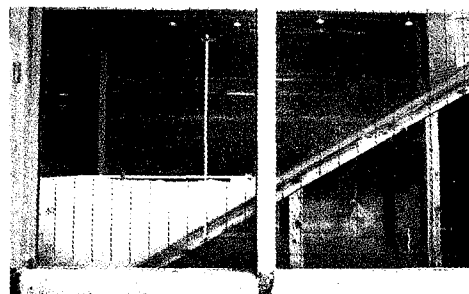


図-24 実物大の木製堰(30°)

堰下流面角度が、落下流を生じる90°と斜面流を生じる60°、30°で比較すると、60°、30°にすることにより低周波音域(20~80Hz)、可聴音域(20~20,000Hz)ともに低減することが明らかになった(図-25)。このことから、流れの形態を落下流から斜面流にすることは落下水騒音の低減対策として有効であると考えられる。

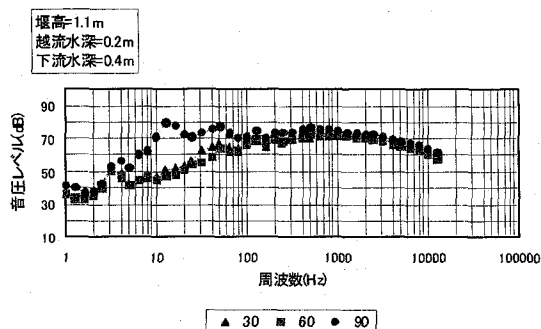


図-25 堰角度の違いによる音圧レベル

斜面流と落下流における流れのエネルギーと発生する水音の音響エネルギーの関係を比較した。流れのエネルギーが低周波音のエネルギーに変換される率は、堰下流面角度が30°、60°ではほぼ同一の約 3.2×10^{-7} となるが、下流面角度90°の場合、その約19倍の約 6.0×10^{-6} の変換率を示すことが明らかになった(図-26)²⁾。

可聴音域の場合についても同様で、堰下流面角度が30°、60°ではほぼ同一の約 2.04×10^{-6} となるが、下流面角度90°の場合、その約5倍の約 1.01×10^{-5} の変換率を示すことが明らかになった(図-27)。

以上のことから、斜面流を生じるライジングセクターゲートは騒音レベルの低減対策技術として有効であるといえる。

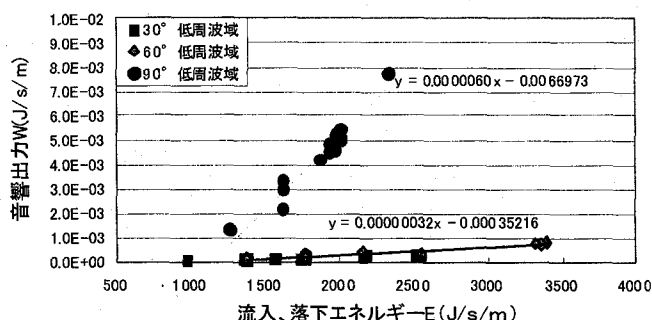


図-26 落下エネルギーと音響出力の関係(低周波音)

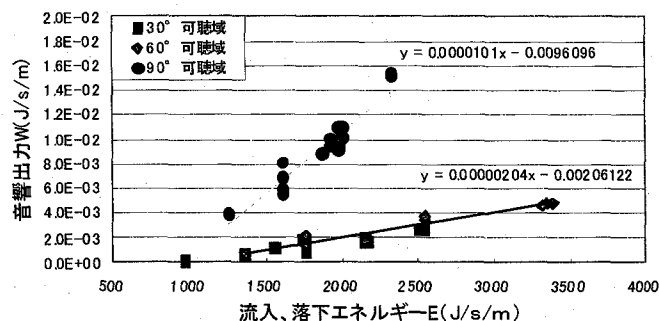


図-27 落下エネルギーと音響出力の関係(可聴音)

(6) 経済性

従来型ゲート(起伏ゲート付ローラゲート)とライジングセクターゲートの経済性を検討するために、設備規模を想定し、建設時のイニシャルコスト(ゲート建設費のみ)、建設から50年間の維持管理コストを算出して比較した。この結果、イニシャルコスト及び50年間のライフサイクルコストで、ライジングセクターゲートが10%程度の削減を見込めることが明らかになった(表-1)。

表-1 コスト比較

項目	周期	回数 (50年間)	起伏ゲート付ローラゲート B11.0m×H2.081m 2門 (単扉+2段起伏式)	ライジングセクターゲート B11.0m×H2.081m 2門
イニシャルコスト				
概算工事費(2門)①			227,000	207,000
ランニングコスト				
月点検	1月		管理者で実施	管理者で実施
年点検	1年		管理者で実施	管理者で実施
水密ゴム交換	15年	3回	30,000	30,000
主ローラ整備	25年	1回	5,000	
ワイヤロープ交換	20年	2回	14,000	
電動機、ブレーキ等交換	25年	1回	20,000	
油圧ユニット分解整備	25年	1回		20,000
油圧ユニット作動油交換	15年	3回		14,000
電力料金	年	50年	12,000	76,000
概算維持管理費 小計(2門)②			81,000	76,000
ライフサイクルコスト				
合計(①+②)			308,000	283,000

※1 ランニングコスト算出は、影響が大きく、かつ取り替え頻度の高い部品について算出した。
 ※2 ランニングコスト算出の周期は過去の実績の平均的なものとした。
 ※3 ランニングコスト算出は電気制御盤は各項目共通のため省いた。
 また、電気関係の部品の交換は月点検、年点検に含むものとした。
 ※4 電力料金は、1回/日、全開-全閉操作するものとして算出した。

4. まとめ

接地型ライジングセクターゲートの土砂吐への適用を図るために、水理模型実験によって放流特性、操作性、排砂特性、静粛性、景観性などを明らかにした。高い放流特性や操作性を有しており、維持管理の簡素化が図られる。また、門柱と上屋がないことから、地震時の振動に対しても安定性が高いといえる。テムズ川に設置されたライジングセクターゲートの径間長は60mで、国内での最大径間長は22mである。土砂吐用ライジングセクターゲートの今後の導入が期待される。

謝辞：本研究は、科学技術振興調整費「伊勢湾流域圏の自然共生型環境管理技術開発」の一部として行った。

参考文献

- 1) 小島治久：ドルフィンゲートの水理、排砂特性について、水門鉄管, No.191, pp.65-76, 1997.
- 2) 後藤眞宏, 小林宏康, 浪平篤, 常住直人：堰下流面角度の違いによる落下水音の音響特性, 農業土木学会論文集, No.242, pp.19-27, 2006.

(2007.4.5受付)