

上げ潮時にマイターゲート*に発生する振動

Kurt Petrikat



●まえがき● シュトゥットガルト大学のペトリカット教授は西ドイツにおける水工学の代表的な教授の一人であり、水工学における数多くの優れた業績をあげておられるが、とりわけ、水門および鉄管等水理鋼構造物の水力弾性振動についてなされた幾多の研究は世界的に非常に有名であり、関係各方面で実際設計上の指針に供せられている。

同教授は 1975 年 5 月、東京において開催された第 9 回世界石油会議に出席のため来日されたが、そのおりに土木学会水理委員会主催により土木学会において講演された。このたび、そのときの講演内容の一部を要約して土木学会誌に寄稿して下さったので、和訳して紹介する次第である。同教授のゲート振動に関する最新の研究の一端とその方向を平易に記述しておられ、きわめて興味深いものである。

訳 者

ウェーゼル (Weser) 川の支流フンテ (Hunte) 川に築造された防潮堰には、中央部に 2 門の水門が設けられており、これにより船幅 26 m の船舶の航行が可能になっている (図-1)。この水門にはマイターゲート (斜接扉) が設置されており、その駆動は水面上に固定された油圧シリンダーで行われる。また、この中央部 2 門の水門の左右には径間 20 m のセグメントゲートが 1 門ずつ取り付けられている。上げ潮時には、まず中央開口部のマイターゲートを 5 分間で閉じ、次いでセグメントゲートを閉じることとしている。

マイターゲートの上部にある油圧シリンダーに作用する引張力を理論的に決定することは不可能であるので、この研究のための模型実験をシュトゥットガルト大学水

工研究所の水理実験室において 1/25 の縮尺 (以後 $\lambda=25$ と記す) の模型により行った。ただし、実験室の大きさの関係から、模型は実物の対称半分にあたる部分模

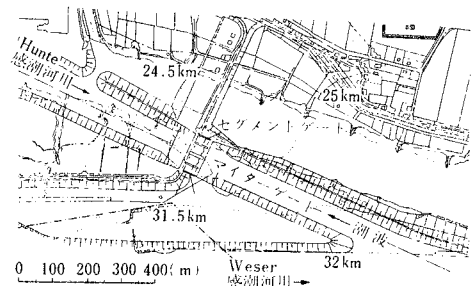


図-1 フンテ川の防潮水門

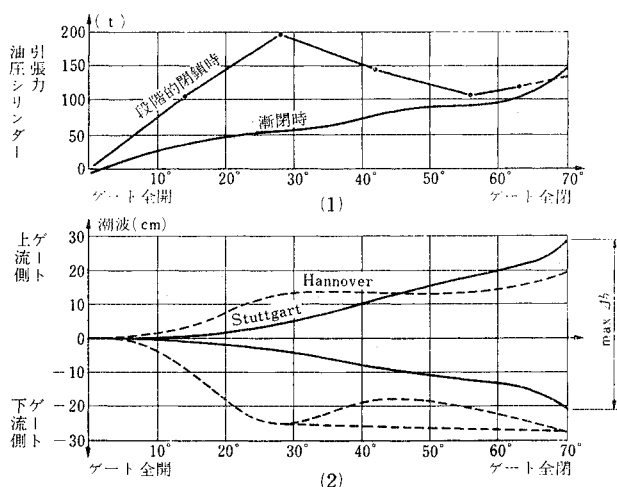
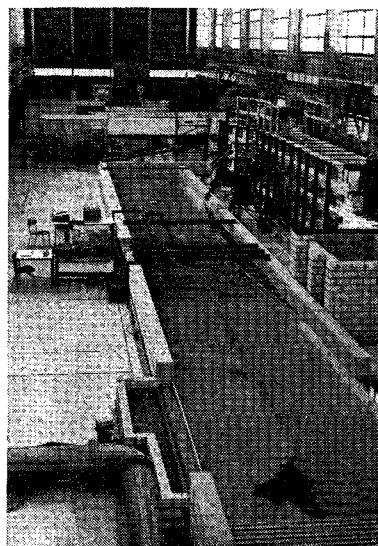


図-2 油圧シリンダーに作用する引張力 (1) と潮位曲線 (2)



(模 型 : 長さ 34 m, 幅 2.8 m / 水理)
(実 験 室 : 長さ 87 m, 幅 18 m)

写真-1 フンテ川の模型

型としている (写真-1)。マイターゲートの操作により生じられる水位変動はウェーゼル川合流点まで行きそこから反射してくるが、実験室の長さが十分でないためこの反射波が実際よりも早くマイターゲートまで戻ってきてしまうことになり、潮位曲線は実験では正確には再現できなかった。このため、ハノーバー (Hannover) で行った $\lambda=50$ の模型実験から得られた潮位曲線についての実験結果をその補正に用いた (図-3)。

引張力の測定は、マイターゲートが徐々に閉じてゆく場合と、角度にして $\epsilon=14^\circ, 28^\circ, 42^\circ, 56^\circ, 63^\circ$ と段階的に閉じる場合とについてそれぞれ測定を行った。図-2 (1) に示す引張力と図-2 (2) の水面変動はともに原型値に直したものである。電気的な荷重計を、駆動するゲートの両側に取り付けた。模型におけるゲート駆動装置は、ゲートを閉じる期間中、力を正確に測定記録できるように原型の油圧シリンダーと全く相似に製作した (図-3)。

図-3 に見られるように、油圧シリンダーに働く引張力は時間的に変動している。その変動部分の全振幅と周

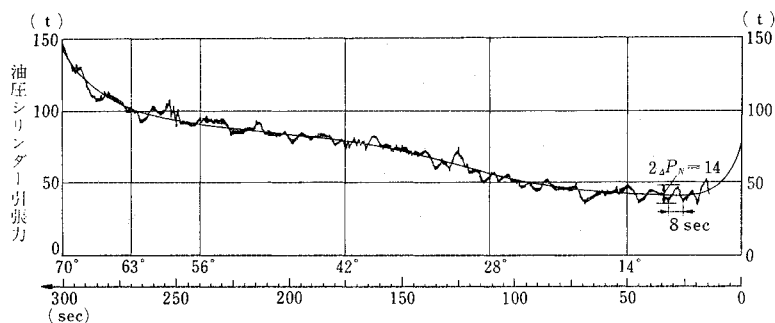
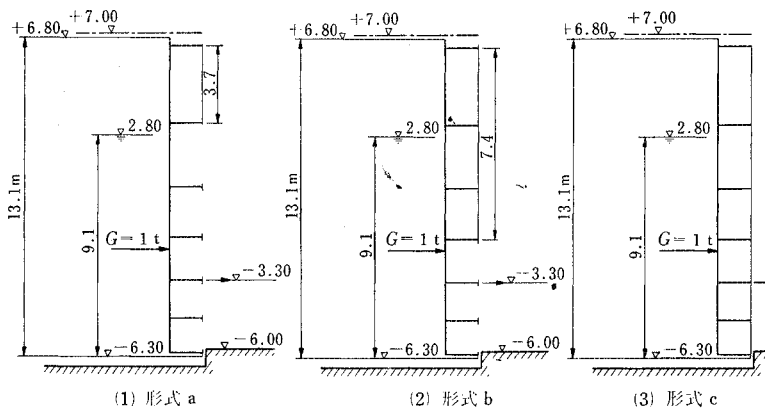


図-3 ゲート閉鎖期間中に油圧シリンダーに作用する引張力



(EL 7.00 m はオイルシリンダーの位置である)

図-4 検討した防潮ゲートの3つの形式

期は、それぞれ次のようになっている。

$$2.4 P_N = 2.4 P_M \cdot \lambda^3 \approx 14 \times 10^3 \text{ kg}, \quad T_N = T_M \cdot \sqrt{\lambda} \approx 8 \text{ s}.$$

ただし、 N は原型値、 M は模型値であることを示す添

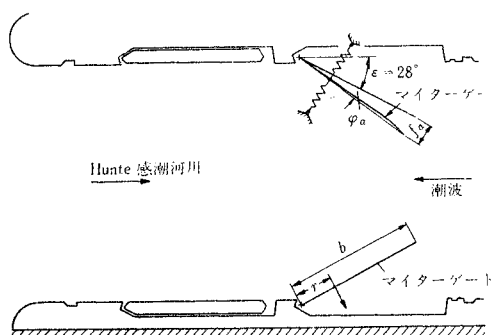


図-5 スプリングを使用したゲート弾性の模擬図

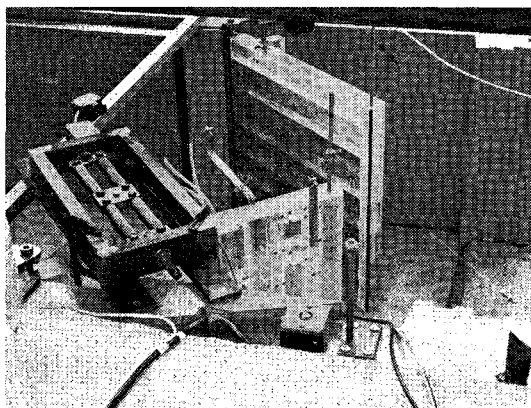


写真-2 図-5 に対する写真

字とする（以下同様）。

ゲートが $\epsilon=14^\circ$ の位置に固定されたとき、力の全振幅は上述のものより増し、また、周期はいくらか短くなつて次のようになった。

$$2.4P_N=47 \times 10^3 \text{ kg}, T_N=7.5 \text{ s}.$$

この場合の振動数は $n_N=1/T_N=0.125 \text{ s}^{-1}$ 。

原型に対してゲート振動の振幅と固有振動数を計算する必要があるが、この計算のためにはゲートの弾性特性諸値を求めておかなければならない。そこで、図-4 に

示すような3つの異なった型のゲートについて考えてみる。a型は水面上3.7mの部分だけ閉じた断面とした開放型構造であり、経費と維持（清掃、塗装、修理）のうえからは三者の中では最も優れている。c型は全部閉じた構造であるので変形に対して非常に強い。また、この固有振動数は大きい。しかし、価格の点からみるとc型は非常に高価となり、維持費も非常に高価となる。b型は以上の観点からみるとa型とc型の中間的なものとなっている。

これら3つの型に対して計算されたねじり剛性 e の値は次のようである。

$$\text{a 型} \quad e_N=40\,000 \times 10^3 \text{ kgm},$$

$$\text{b 型} \quad e_N=52\,000 \times 10^3 \text{ kgm},$$

$$\text{c 型} \quad e_N=72\,000 \times 10^3 \text{ kgm}.$$

固有振動の角速度 ω は、ゲートの慣性モーメント（水の付加質量によるものも含む）を J とすると $\omega=\sqrt{e/J}$ で計算されるが、この計算のためには、まず J_N を求めなければならない。 J_N の値に対する水の付加質量の寄与は理論ではわからないので、 J_N の値は模型実験から得られた値 J_M から $J_N=J_M \cdot \lambda^5$ の関係式で算出した。また、ゲートのねじり剛性は、ばねを用いることにより原型に模擬した（図-5、写真-2）。また、模型実験値から原型値を直接換算するように、模型ゲートの慣性モーメントの大きさは原型のそれと力学的に相似とした。

このようにして実験値に基づいて算出されたゲートの固有振動の角速度 ω_N および同振動数 n_N の各値は次のようである。

$$\text{a 型} : \omega_N=2.9 \text{ rad/s}, n_N=\omega_N/2\pi=0.46 \text{ s}^{-1}$$

$$\text{c 型} : \omega_N=3.5 \text{ rad/s}, n_N=\omega_N/2\pi=0.56 \text{ s}^{-1}$$

一方、既述のように強制振動の振動数は $n_N=0.125 \text{ s}^{-1}$ （したがって、強制振動の角速度 Ω_N は $\Omega_N=2\pi n_N=0.8 \text{ rad/s}$ ）であり、上記の固有振動数と比較すると共振の可能性はないことを示している。

マイターゲート端点における振動の振幅 a_N は、次式

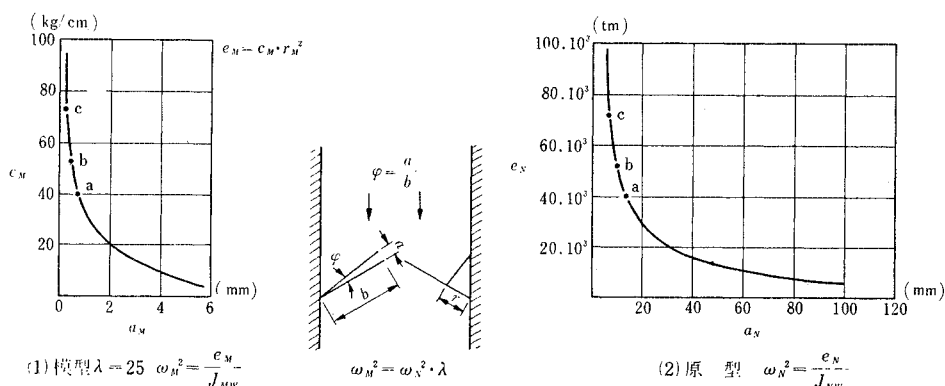


図-6 ねじり剛性とねじれ角振幅

により計算する。

$$J_N \ddot{\varphi}_N + \omega_N \dot{\varphi}_N + e_N \varphi_N = M_N \cos \Omega_N t$$

$$a_N = \frac{b_N M_N}{J_N \sqrt{(\omega_N^2 - \Omega_N^2)^2 + (\Omega_N \omega_N / J_N)^2}}$$

ただし、 b_N ：ゲート幅、 $\varphi_N = a_N / b_N$ ：ゲートの回転変位角、 $\omega_N = \omega_N \cdot \lambda^4 \sqrt{\lambda}$ ：模型値から算出した減衰係数、 M_N ：模型値から算出した強制モーメントの最大値、 Ω_N および ω_N は既述のとおりそれぞれ強制振動の角速度およびゲートの固有振動の角速度，である。

この a_N の計算値は，模型実験より得られた値とよく一致している（図—6）。振幅（ a_N の値）は，a, b, c

・マイターゲートは水平方向に合掌式に開閉する形式のゲートであることは周知のとおりである。わが国では開門が少なく，このためマイターゲートは一般には比較的なじみの少ないものになっているが，ヨーロッパにおいては多くの開門によくこの形式のゲートが用いられている。マイターゲートの特長は，上下に開閉する形式の水門に比べて開門時に上部に障害物がなく（門扉運転用のウインチを設置するための塔や橋床を必要としないため），また，大型門扉でも比較的小さな動力で開閉できること（開閉時に水門に作用する主たる外力は水門の上下流面に生ずる僅かな水位差による水圧差と回転軸の摩擦のみであるため），などである。そして，これ

型ともいづれも小さかったので，a型を採用することとした。ゲートの閉じる速度は $v_s = 60 \text{ mm/s}$ で，これに振動速度 $v_a = \pm 10 \text{ mm/s}$ が加わるのである。

参考文献

Hammer, Marotz, Petrikat : Modellversuche zur Frage der Stemm- und Antriebskräfte beim Hunesperrwerk sowie des Schwingungsverhaltens des Tores, TB, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, Feb. 1975.

（訳者：林 泰造／正会員 工博 中央大学教授 理工学部土木工学科）
山田 正／学生会員 中央大学大学院 理工学部博士課程

（1976.3.22・受付）

らの理由により，この形式のゲートは開門用ゲートとして特に適している。しかし，マイターゲートは，開閉時には水門前後の水圧差をほとんど0として開閉することが必要となるので，開門用や逆水門以外にはあまり使用されていない。また，土砂堆積の多い河川では隅部に土砂がたまって開閉に不便となることがあり，門扉が常に水中にあるため修繕にも不便である。このようなことから，わが国では大型のマイターゲートの例としていえるものはまだないようである。しかし，比較的小さなものとしては，その特徴を生かして魚道に設置されているものが各所に見られるという。

（訳者）

土木学会海外活動委員会編

海外建設工事の契約・仕様

エンジニアリング関係
理解のために

A・552 ページ 6 000 円 会員特価 5 400 円（〒250 円）●学会または全国主要書店へ●

現場技術者のための

仮設工事施工計画便覧

本州四国連絡橋公団常任参与 松崎彬彦編 B5判・上製函入472頁・定価5,900円・〒600円

本書は経済的かつ安全な仮設工事施工計画をたてるために役立つ唯一の便覧です。数値と計算図表に重点をおき，現場での応用例を豊富に収録。どこの現場でも使える施工計画を詳しく解説してあるため現場技術者必読の参考書です。

第1章 運搬荷役設備	第5章 土留工	第9章 型わく	第12章 給排水設備
第2章 仮設建物	第6章 クイ打計画	第10章 支保工・足場	第13章 給気，換気，圧気設備
第3章 測量遣方	第7章 路面覆工	第11章 トンネルの支保工と型わく	第14章 電気設備
第4章 締切工	第8章 プラント設備		

現場技術者のための

続 土圧・土留計算法と実例

東京大学教授・工学博士 福岡正巳編／B5判・上製函入250頁・定価4,000円・〒600円

さきに出版した「土圧・土留計算法と実例」が好評につき読者の要求にこたえて第二集出版。

第1章 土圧概論／第2章 土留工／第3章 締切工／第4章 擁壁／第5章 トンネル／第6章 セル型岸壁

計算図表を中心とした 土・基礎調査設計マニュアル

東京大学教授・工学博士・福岡正巳編 B5判・328頁・定価4,500円・〒600円

東京都新宿区新小川町
1—9—6 〒162

近代図書株式会社

電話 03(268)8771
振替東京4—23801