

## 越流型フラップゲートの静力学的特性に関する研究

太田 勝<sup>1)</sup> 川原龍太郎<sup>2)</sup>  
 中村 浩志<sup>3)</sup> 谷口 健男<sup>4)</sup>

近年採用例が増えているフラップ付き親子ゲートで、上部構造にあたるフラップゲートの断面は、ねじり応力によって支配されると考えて、シェル構造とするのが一般である。しかしその応力の評価については、現在統一的に確立された設計法がなく、面内の連続な梁の挙動とゲート中央を起点として線形に変化するねじり力を受けるシェルの挙動とを重ね合わせて評価した手法が多く採用されてきた。ところが実際ゲートの挙動を見ると、その幾何学的特性および支持条件が複雑であるためか、従来の設計法で得られた結果とは異なり、特に端部においてねじり力が極端に増大していると思われる例が多数見られた。本報告では模型実験によるデータおよび3次元梁の理論と有限要素法を用いた数値解析によりフラップゲートの静力学的挙動を明らかにし、設計法の妥当性について検討する。

## ま え が き

越流・底流両放流方式が可能なフラップ付き親子ゲートは流量・水位の高精度調節が容易で、他の調節ゲート型式と比較して経済的にも優れていることより採用される事例が増えてきている。さらに近年この種のゲートの効率を高める目的で上段フラップの高さが全体扉高に占める割合を大きくしようとする傾向が見られる。

扉構造体は上段フラップゲートと下段ゲートの二つの部分より構成され、洪水時には両者一体で上下動して河川の断面阻害を防ぎ、通常時は上段フラップ上部より越流させることで流量・水位のより精密な調節が可能な構造となっている。いま、上段フラップの支持法をみるとその基部において下段ゲートの間でヒンジ結合がなされ、またフラップ傾斜角調節のためにゲート両端上部にケーブルが取り付けられている。このような支持条件よりフラップゲートには必然的にねじり力が作用することになり、このねじりに対する抵抗力を高めるためにフラップゲートはシェル構造を採用している例が多い。フラップゲートの水位調節機能を高めるためにフラップ高さを大きくすれば、フラップゲートに作用するねじり

力が増すことは明らかであるが、外殻上面すなわちスキンプレートは直接水圧を受けることから局所的には板として挙動していることは容易に推測でき、高さが大きくなればなるほど板の面外曲げとしての挙動が顕著になると予想される。

以上のことより、上部フラップゲートは構造全体ではシェル体としての力学挙動を、そしてスキンプレートはねじりと静水圧による曲げの二つの変形挙動をしていると考えられ、その部分の設計においてはこれら両者の検討が要求されることになる。

本報告の目的はこのような大きな高さを持つフラップゲート全体の力学的挙動および特に注意を要すると思われるスキンプレートの力学挙動を明らかにし、従来の面内梁の理論による設計法の妥当性を検討することにある。手法としては弾性模型を用いた構造実験と3次元梁の理論および有限要素法による数値解析の3者を採用する。模型実験には既報(駒井技報、Vol. 6. 1987))“越流型フラップゲートの流体力特性について”で用いられた構造模型を使用している。また、数値解析ではこの模型の弾性解析モデルを作成して数値解析を行い、3者の結果の対比を行って初期の目的である設計法の妥当性を検討する。

さらに、細部に渡って検討することでフラップゲートの力学的な挙動を明らかにする。

1) 大阪工場 水門機械課副課長    2) 大阪工場 水門機械部部長  
 3) 大阪橋梁工事部部長            4) 岡山大学 工学部助教授

## 1. 模型実験

### (1) 実験用弾性模型

構造実験模型は、フラップ付き親子ゲートの力学的挙動、特に上段フラップゲートの挙動を解明する目的で製作している。想定したフラップ付き親子ゲートの縮尺1/10の全体模型となっている。上段フラップゲートは、アクリル樹脂を主に、ステンレス鋼棒、鉛板を重心位置に配置して、形状、重量、Y軸回りの曲げ剛性、ねじり剛性等を相似則にあわせて再現し、下段シェルゲートは、アルミニウム製で半剛体として製作している。また、フラップゲートの支持条件は、実際のゲートと同様下段扉とはヒンジ結合、両端上縁をケーブルで弾性支持している。構造実験に用いた模型概略図を図-1に、断面図を図-2に示す。なお、下段ゲートの剛性は上段フラップに比べて十分高いと考えて、以下の考察においてはその弾性的挙動を無視する事とする。

実際の上段フラップゲートの構造材料はスチールが一般であるが、材料特性も相似則を合わせる必要があるため、スキンプレート、隔壁等主要部分はアクリル樹脂で製作している。ただし、アクリル樹脂のみで弾性相似則をすべて合せることは困難なので、想定されるゲートのねじり剛性、スキンプレートの曲げ剛性等はアクリル樹脂の板厚を調整することで相似則をあわせ、ゲート全体としての曲げ剛性はステンレス鋼棒(図-1中の破線で示した部分)をシェル体の重心を貫通するように配置することで剛性の不足分を補っている。

### (2) 実験方法

フラップゲートの全体挙動およびスキンプレートの挙動の解明を目的としているので、実験に際して

はゲートのたわみ変形量とスキンプレートのひずみを計測して応力分布状態を把握する。前者の計測はポイントゲージにより、また後者については抵抗線ひずみゲージによる電気的計測法によった。ポイントゲージによる変位計測はゲートの上面中央線に沿って行い、ひずみ計測点は図-3に示した諸点にひずみゲージを配置している。なお、同図における(○)印は一軸ゲージを、(×)印は二軸ゲージをそれぞれ示し、それぞれ軸方向ひずみおよびせん断ひずみ計測に使用する。なお、シェル部分におけるゲージはシェル外殻の外表面側に貼付している。

実験方法は、まずフラップ両端上部に取り付けられたケーブル長さを調節してフラップ傾斜角を設定する。次いで上流側より水を流し越流水深が一定となったところでポイントゲージを降ろしてフラップのたわみ変位を測定、ひずみゲージによりひずみ計測を行う。フラップ傾斜角を変化させ、その都度以上示した実験手段を繰返し行う。

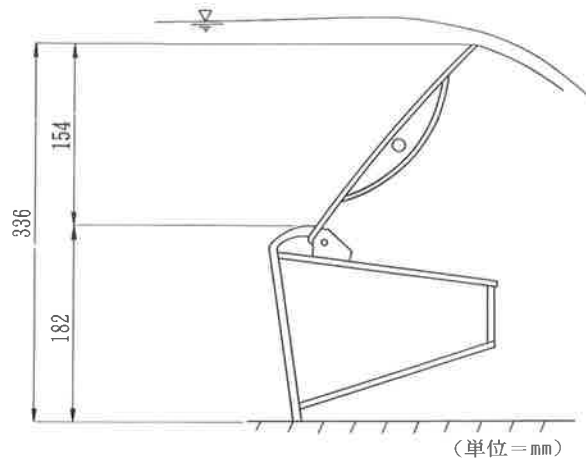


図-2 模型断面図

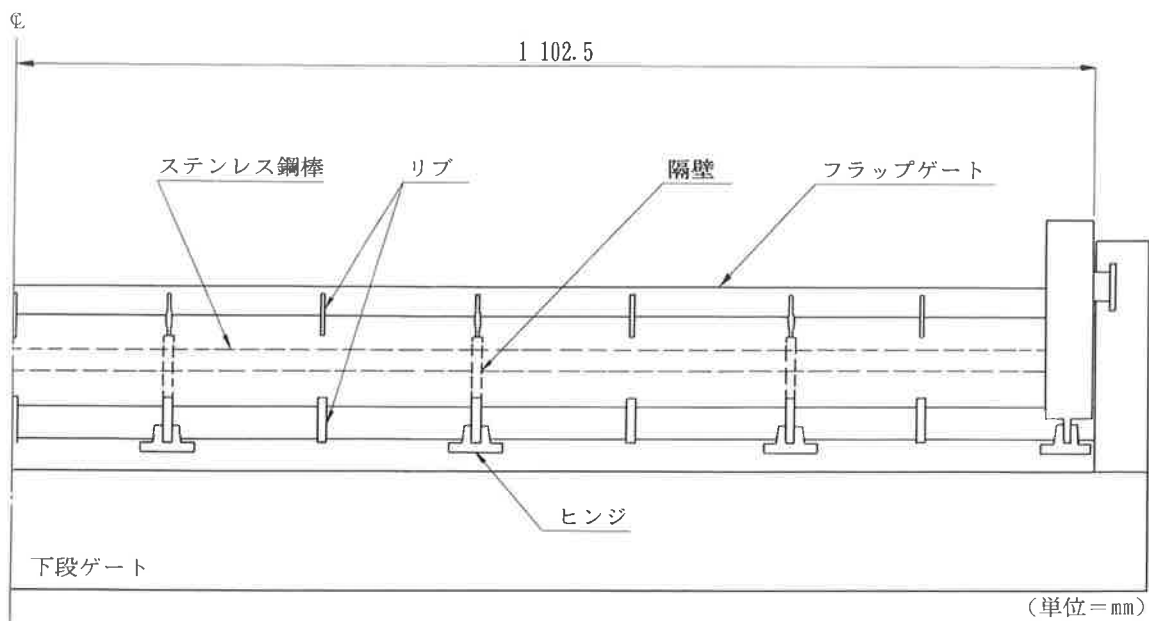


図-1 模型概略図

## 2. 数値解析法

### (1) 3次元梁の理論による数値解析

ここではシェル体を梁として近似するが、面外曲げとねじりの組み合わせとなるので、3次元梁の理論により解析を行う。実際には薄肉弾性梁の理論により求めたシェル体のアクリル製スキンプレーートの剛性と、中央を貫通しているステンレス鋼棒の剛性とを合成してシェル全体の剛性を求めて、3次元梁の理論により節点変位と節点力を解析する。得られた解をアクリル部分のみ取出して、薄肉弾性梁の理論により面内の応力分布を解析する。その結果得られる解は全体系の挙動のみなので、模型実験および有限要素解析の結果と比較するためには、局所応力と合成して検討する必要がある。

フラップゲート全体の剛性は、アクリルとステンレス鋼棒とを合成して、下式のように与えられる。

$$EI = EA \cdot IA + ES \cdot IS \dots\dots\dots (1)$$

なお、添字Aはアクリルを、Sはステンレスを示している。

スキンプレーートの局所応力は中央部においては近似的に等しいと考えて、等分布荷重を負荷したすべの辺が固定されている長方形板の面外曲げの式により求める。

$$\sigma = \kappa \cdot p \cdot \left(\frac{a}{t}\right)^2 \dots\dots\dots (2)$$

ここでは、aは長方形の短辺長、bは長方形の長辺長、tは板厚、pは等分布荷重、 $\kappa$ はb/aによる係数をそれぞれ示している。

全体系の応力と局所応力の合成は、せん断ひずみエネルギー理論によりゲージによる応力計測の方向を考慮して以下の式で合成する。

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{xf} + \sigma_{xs})^2 + \sigma_{ys}^2} - (\sigma_{xf} + \sigma_{xs}) \sigma_{ys} \dots\dots\dots (3)$$

ただし、添字x,yは応力の軸方向を、fはシェル体表面の応力、sはスキンプレーート局所応力を示す。

次に3次元梁の理論の概要について説明する。3次元梁要素の変形は要素座標系のx軸方向並進、y軸方向並進、z軸方向並進、x軸回り回転、y軸回り回転、およびz軸回り回転の6つを考えなければならない。これらの変形を要素座標系と合せて図-4に示す。

3次元梁の理論においても他の構造解析の場合と同様、仮想仕事の原理を用いており、節点変位と節点力の関係は式(4)に示される。

$$[K] \{\delta\} = \{P\} = \{P_v\} + \{P_s\} + \{P_i\} \dots\dots (4)$$

なお、[K]は要素剛性マトリクス、{\delta}は変位ベクトル、{P}は等価節点力ベクトルであり、それを構成する{P<sub>v</sub>}は物体力、{P<sub>s</sub>}は表面力、{P<sub>i</sub>}は初期ひずみにそれぞれ等価な節点力ベクトルである。

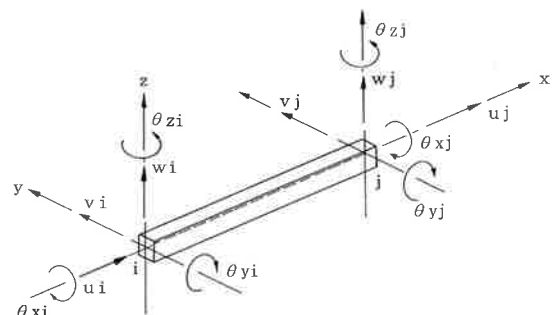
上式における要剛性マトリクス [K] を以下に示す。x軸方向並進については、

$$[K] = \frac{EA}{\ell} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (5)$$

y軸方向並進とz軸回りの回転(xy平面内の変形)、z軸方向並進とy軸回り回転(xz平面内の変形)およびx軸回り回転については

$$[K] = \int \int \int v_e [B]^T [D] [B] dV = \int \int \int [B]^T [D] [B] dx \cdot dy \cdot dz \dots (6)$$

として表現される。なお、[B]はひずみ-変位マトリクス、[D]は応力-ひずみマトリクスである。内容は各成分によって異なるので、合成した後の要素の剛性マトリクスを式(7)に示す。



- x, y, z : 要素座標系 (右手直交座標系)
- u<sub>i</sub> : i 端 x 軸方向並進
- v<sub>i</sub> : i 端 y 軸方向並進
- w<sub>i</sub> : i 端 z 軸方向並進
- θ<sub>xi</sub> : i 端 x 軸回り回転
- θ<sub>yi</sub> : i 端 y 軸回り回転
- θ<sub>zi</sub> : i 端 z 軸回り回転
- u<sub>j</sub> : j 端 x 軸方向並進
- v<sub>j</sub> : j 端 y 軸方向並進
- w<sub>j</sub> : j 端 z 軸方向並進
- θ<sub>xj</sub> : j 端 x 軸回り回転
- θ<sub>yj</sub> : j 端 y 軸回り回転
- θ<sub>zj</sub> : j 端 z 軸回り回転

図-4 3次元梁要素座標系

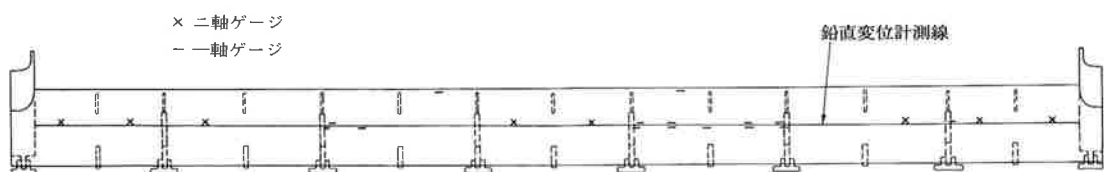


図-3 鉛直変位およびひずみ計測点

$$[K] = \begin{pmatrix} \frac{EA}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{EA}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{12EI_z}{\ell^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{\ell^2} & 0 & -\frac{12EI_z}{\ell^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{\ell^2} \\ \frac{12EI_y}{\ell^3} & 0 & \frac{6EI_y}{\ell^2} & 0 & 0 & 0 & -\frac{12EI_y}{\ell^3} & 0 & -\frac{6EI_y}{\ell^2} & 0 & 0 \\ \frac{GI_x}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{GI_x}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{4EI_y}{\ell} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{\ell^2} & 0 & \frac{2EI_y}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{4EI_x}{\ell} & 0 & -\frac{6EI_x}{\ell^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_x}{\ell} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{EA}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{12EI_z}{\ell^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_z}{\ell^2} & 0 & -\frac{12EI_z}{\ell^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{\ell^2} \\ \frac{12EI_y}{\ell^3} & 0 & \frac{6EI_y}{\ell^2} & 0 & 0 & 0 & -\frac{12EI_y}{\ell^3} & 0 & -\frac{6EI_y}{\ell^2} & 0 & 0 \\ \frac{GI_x}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{GI_x}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{4EI_y}{\ell} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{\ell^2} & 0 & \frac{2EI_y}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{4EI_x}{\ell} & 0 & -\frac{6EI_x}{\ell^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_x}{\ell} & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \dots\dots\dots (7)$$

対称

表-1 数値解析モデルの要素

模型構成要素	3次元梁解析	有限要素法解析
シェル外殻	薄肉弾性梁要素	板シェル要素 or アイソパラメトリック要素
ステンレス鋼棒	弾性梁要素	弾性梁要素
ヒンジ・隔壁	z軸回りに剛体 x軸回りに弾性梁要素	2次元面内要素
シェル裏面リブ	影響力小と考え無視	弾性梁要素
端部隔壁	剛体梁要素	2次元面内要素

上で述べた3次元梁理論を適用する場合のゲートのモデル化については、表-1に示す要素を用いて、全体モデルを形成した。

なお、材料定数としてアクリル樹脂は

ヤング率  $E = 33,000 \text{ kgf/cm}^2$

ポアソン比を  $\nu = 0.4$

ステンレス鋼 (SUS304) では

ヤング率  $E = 1,970,000 \text{ kgf/cm}^2$ 、

ポアソン比を  $\nu = 0.3$

として計算した。

今回使用した断面モデルを図-5に、全体系モデルを図-6に示す。

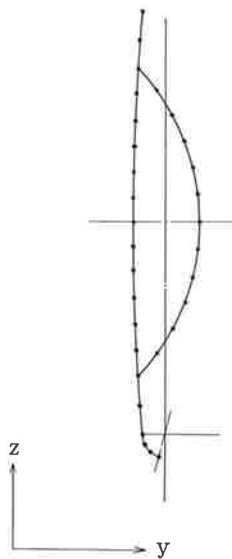


図-5 フラップ断面モデル

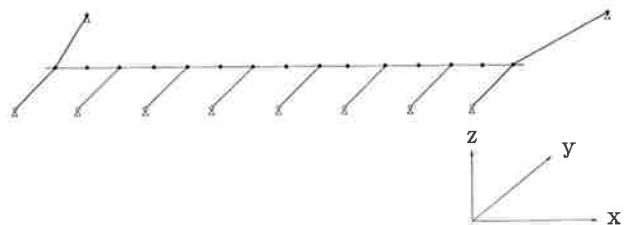


図-6 3次元梁全体系モデル

(2) 有限要素法による数値解析

フラップゲートは3次元形状を有する構造体であることより3次元有限要素解析を行う。ここでは汎用性の高い変位形有限要素法を用いるので、各有限要素の節点変位と節点力の関係は3次元梁理論での式(4)に一致する。この式(4)中には構造系を構成する様々な構造要素が組み込まれる。

本解析においては表-1に掲げた種々の要素を用いるので、それらの要素の剛性マトリクスを具体的に示す。

梁要素は

$$[K] = \int \int \int [B]^T [D] [B] dx \cdot dy \cdot dz$$

$$= \frac{2EI_{xx}}{l^3} \begin{bmatrix} 6 & 3l & -6 & 3l \\ & 2l^2 & -3l & l^2 \\ & & 6 & -3l \\ \text{対称} & & & 2l^2 \end{bmatrix} \dots\dots (8)$$

なお、上式においてEはヤング率、Lは梁の長さ、Iは梁の断面2次モーメントをそれぞれ示す。

2次元面内要素では

$$[K] = \int \int [B]^T [D] [B] t \cdot dx \cdot dy$$

$$= [B]^T [D] [B] t \cdot \Delta \dots\dots (9)$$

ここではΔは要素の面積、tは板厚であり、[B]は既に述べたようにひずみ-変位マトリクスである。

[D] 行列は平面応力問題では

$$[D] = \frac{E}{1-\nu} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1-2\nu)/2 \end{bmatrix} \dots (10)$$

また、平面ひずみ問題においては

$$[D] = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1 & \frac{\nu}{(1-\nu)} & 0 \\ \frac{\nu}{(1-\nu)} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{(1-2\nu)}{2(1-\nu)} \end{bmatrix} \dots\dots (11)$$

となる。ここでνはポアソン比を表わす。

アイソパラメトリック要素ではこの要素剛性は面積座標系ξηを用いて

$$[K] = \int \int [B]^T [D] [B] t \cdot dx \cdot dy$$

$$= \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [B]^T [D] [B] t \cdot \det [J] d\xi \cdot d\eta \dots\dots (12)$$

なお、上式において[J]はヤコビアンであり、積分はガウスの数値積分を用いて計算する。

平面シェル要素は平面要素と板曲げ要素を単に合せることによって作成できる要素で、上に示した平面要素の剛性に板曲げ要素を加えればよい。

以上に示した種々の要素剛性を用いてゲートの各構成要素を離散化して、それにより3次元モデルを

作成して解析を行う。特にここに示すような3次元シェル構造の解析は節点の自由度が多く、系全体の一括解析はその全体系の挙動把握には十分であっても、要素それぞれの応力分布等を詳細に調べるには計算機の記憶容量・演算時間等の困難な問題が発生するので、ここでは多段階数値解析(ズームング技法)を用いる。

ズームング技法とは全体解析を行った後、系の一部を取出しそれをより詳しいメッシュに再分割し、前回で得られた全体系の解(ここでは変位形有限要素解析であることより変位)の内、取出した部分系の周辺部に関する変位をこの新しいモデルの周辺に強制変位として与え解析するという手法である。この手法の導入により検討を要する部分を更に高精度で、また容量的・計算時間的に容易に解を求めることが可能となる。

次に境界条件は構造実験模型と同様、隔壁位置においてフラップ下縁はヒンジで支持し、フラップ両端上縁はケーブルにより弾性支持する。なお、材料定数は前述の3次元梁理論と同じものを用いる。

有限要素解析により得られる解は近似解であり、用いた要素の種類および分割方法に大きく支配されることは良く知られた事実である。したがって、モデル作成においては複数のメッシュ分割を必ず行い、得られた解の動向によりメッシュ再分割を行うものとする。実際の数値解析モデル設定法は次のようなものである。まず、有限要素分割を行い、それを解析してゲート長手軸方向に沿って鉛直変位を求める。この変位状況が構造実験で得られた変位形に一致するように要素の再分割を繰返し最終的に数値解析モデルを決定する。ここではこのモデル設定には越流水深10.02cmでフラップ傾斜角を30°に設定したときの実験結果(変位状態)に合わせて有限要素分割を行っている。このようにして決定されたモデルを対象として部分系の解析を行い、最終的な変形・応力分布を求める。有限要素の種類としては通常良く用いられる定ひずみ要素を主として利用し、シェル外殻部分のモデル化においては、要素としては定ひずみ平面シェル要素および4点アイソパラメトリック要素を解の比較検討のために用いる。

全体系の有限要素モデルを図-7に、また部分系のモデルを図-8に示す。系の形状および荷重条件がいずれも対称形であることより解析対象を対称モデルとした。また部分系は、隔壁と隔壁にはさまれたフラップ部であり、したがって、計4個の部分系を別個に解析しており、図-8に示したメッシュ図はその一つを示したものである。

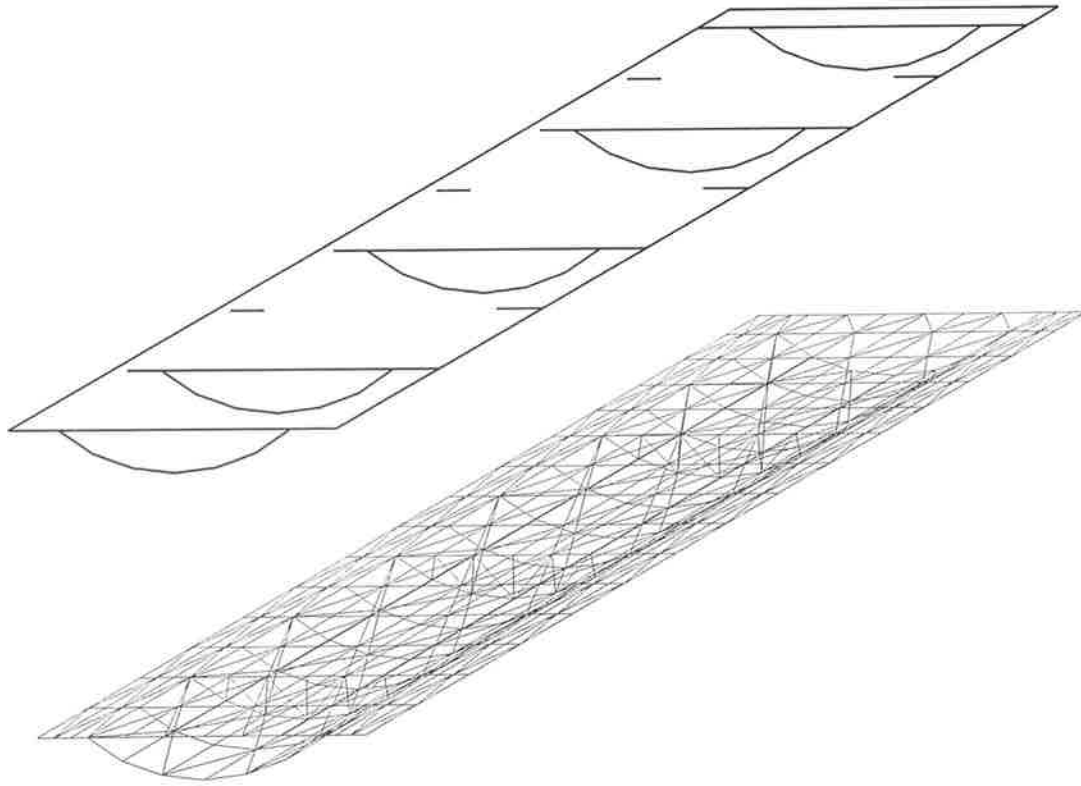


図-7 全体系有限要素モデル

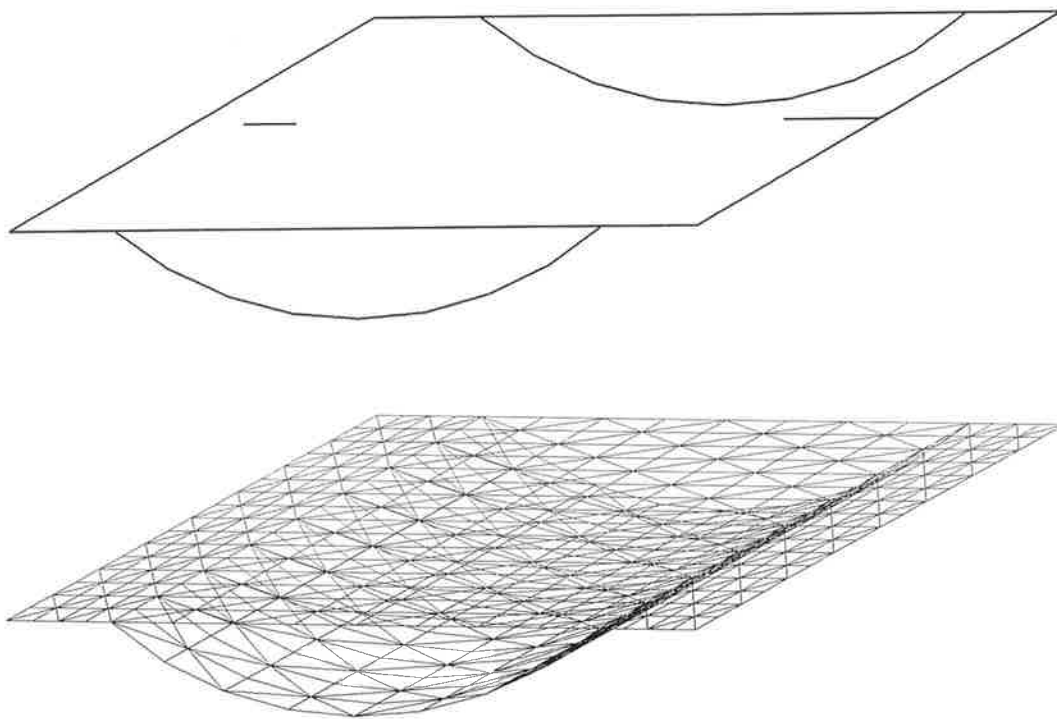


図-8 ズーム用の部分系モデル

### 3. 模型実験および数値解析の結果とその検討

模型実験による鉛直変位の計測結果を図-9に示す。グラフはフラップ傾斜角を $30^\circ$ に設定し越流水深を2.10, 4.13, 6.10, 8.07, 10.02cmと変化させた時のゲート鉛直変位状況を示したものである。なお、ゲート端部における変形量はケーブルの弾性伸び変形によるものではなく、ケーブルに固定点の移動によるものであることが確認されているので、この変位量は以下の検討では無視して考える。

図-10は、フラップ傾斜角 $30^\circ$ 、越流水深10.02cmのときの実験値と数値解析値の比較したものである。同図に示されたように実験値と数値解析の結果は良く一致している。3次元梁による数値解析の結果が実験値と近似的に一致したことは、模型が全体的にはシェルとして挙動していることを示しており、有限要素法によるシェル外殻上面の解析結果と良く一致したことは板の面外曲げとしての挙動も並存していることを示している。特に、ヒンジ・隔壁のある箇所とその中間位置の変位を比較すると、スキンプレー

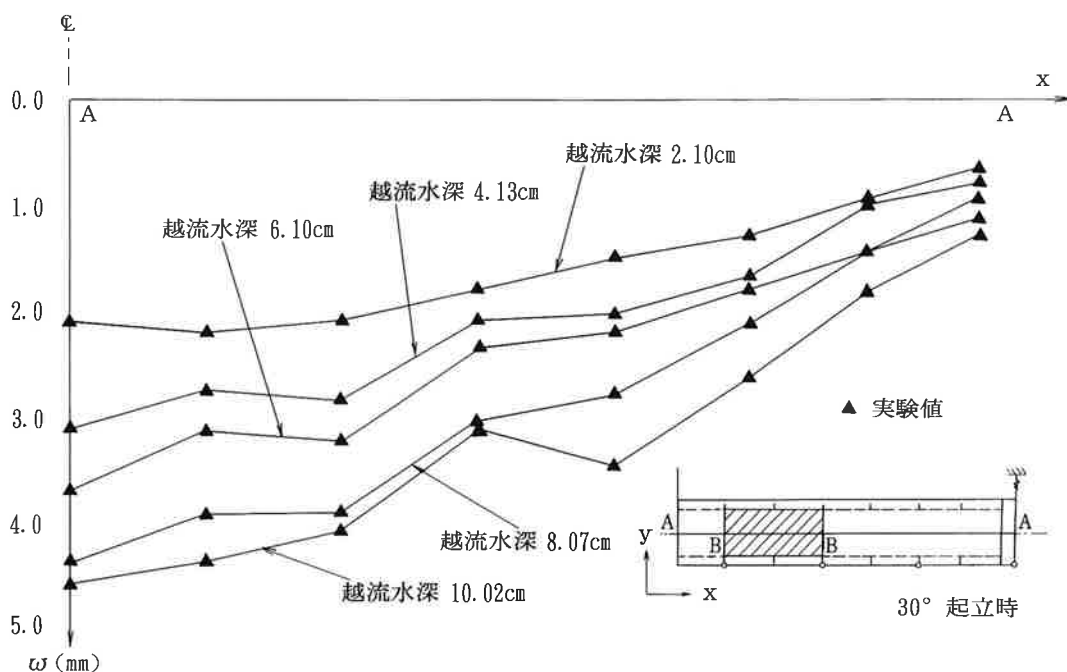


図-9 5種類の越流水深での鉛直変位計測値

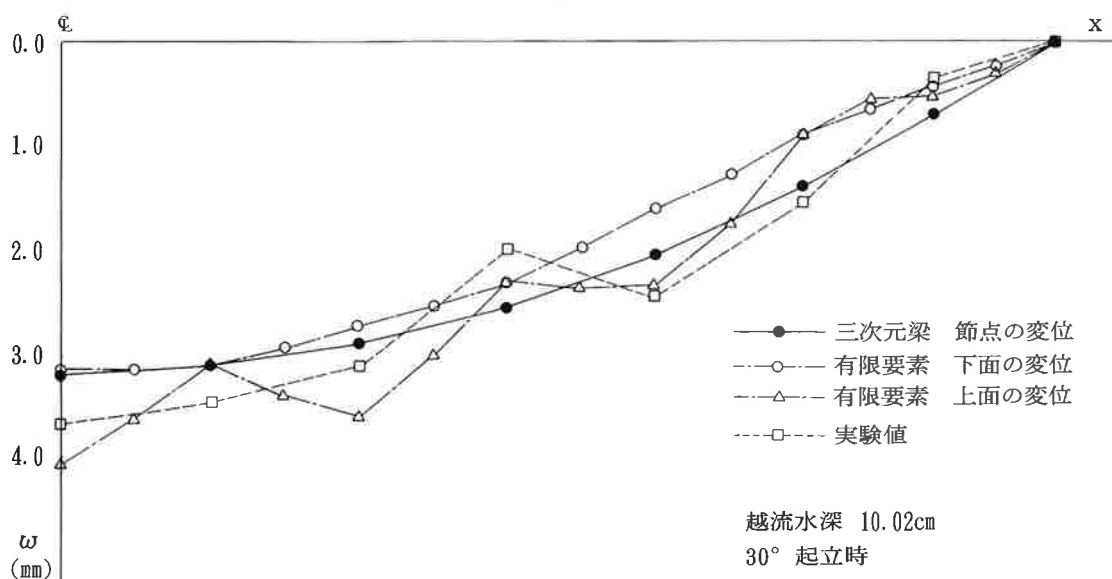


図-10 鉛直変位の実験値と解析値

トの局所変位は越流水深の増加に従って顕著になることがわかる。なお、有限要素法による解析値は、2種類のモデル解析を行った結果を比較して選定したものである。したがって、有限要素解析値と実験値との一致はモデルの妥当性を示しており、このモデルをズームングして以後ゲート細部の変形および応力の解析を行う。

実験におけるひずみ計測値を応力に換算した結果と数値解析の結果との比較を図-11, 12, 13, 14に示す。フラップ傾斜角は20°と45°で双方とも満水状態の場合で、ひずみ計測値を応力に換算するとき用いたヤング率は  $E = 33,000 \text{ kgf/cm}^2$  である。

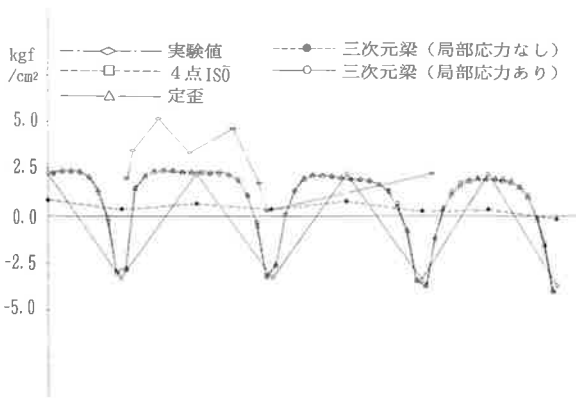


図-11 曲げ応力  $\sigma(x)$  (傾斜角20°)

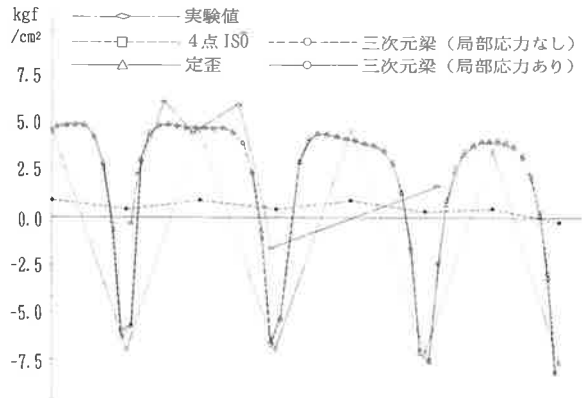


図-12 曲げ応力  $\sigma(x)$  (傾斜角45°)

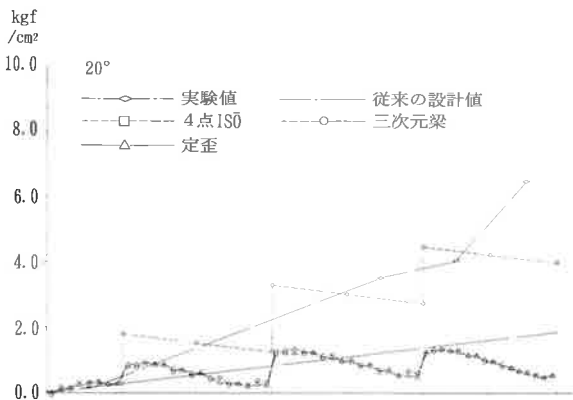


図-13 ねじり応力 (傾斜角20°)

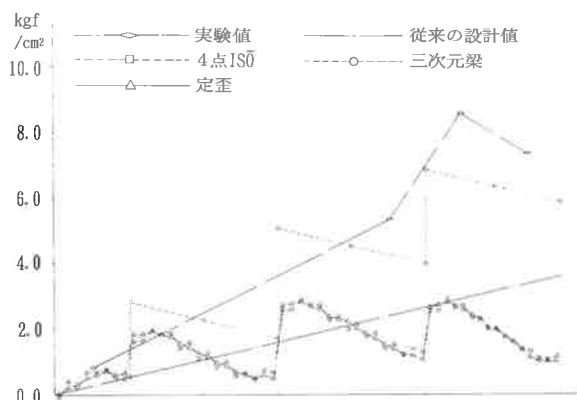


図-14 ねじり応力 (傾斜角45°)

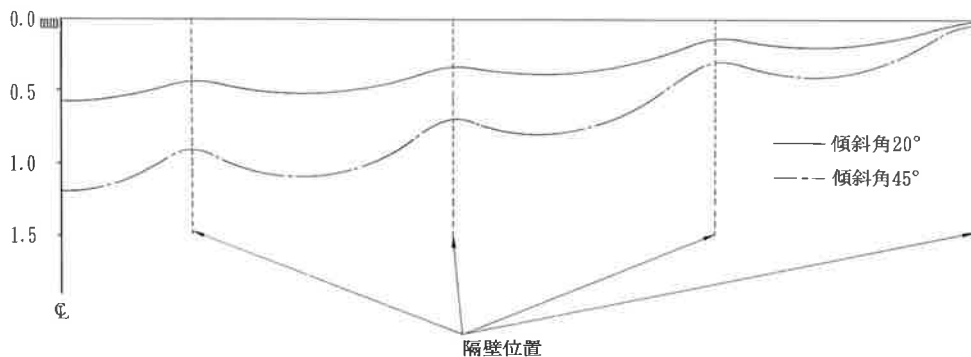


図-15 スキンプレートのたわみ挙動

図-11, 12は長手軸方向の曲げ成分  $\sigma(x)$  を比較したものであるが、3次元梁解析値にスキムプレートの局所応力を合成した結果と有限要素解析の結果は良く一致しているが、実験値とは誤差が見られる。

これは模型に使用したアクリルは残留ひずみの発生し易い材料として知られており、連続して実験を行ったため、残留ひずみの影響を受けたものと考えられる。実際、シェル外表面にのみひずみゲージを貼付しているので補正が不十分で、傾斜角20°と45°のときの応力を比較すると解析値との誤差はほぼ一定であることから同様の推測が可能である。



ねじり応力 $\tau$ の分布状態を図13、14に示す。ここでは模型の構造より、曲げによるせん断成分はステンレス鋼棒が受け持つと予測されるので、シェル外殻にはねじり応力だけが発生していると考えて比較している。また、同図には比較のため従来の設計法による計算結果を併記した。ここで曲げ応力の場合に問題となった残留ひずみについて検討すると、ねじり応力の場合、ブリッジの特性から二軸ゲージで自動的に補正されるのでほぼ正しい応力値が算出されたと考えることができる。図-12、14によれば3次元梁の解析結果は実験値と良く一致しているが、有限要素解析の結果は応力分布の傾向は類似しているもののその絶対値に大きな差異があった。これは採用した有限要素がねじり応力解析用としては不適当であったことと同時にステンレス鋼棒がねじり力の一部を分担したのではないかと考えられる。またね

じり力は線形に変化すると考える従来の設計法による計算結果は、応力分布状態においてもその絶対値においても半分以下と大きな差異があった。

以上の結果は、ねじり応力に関してはフラップゲートはシェル体として挙動しており、ヒンジ隔壁の影響を非常に強く受けることを示している。

次に有限要素解析によるスキンプレートの挙動を図-15に示す。同図は20°と45°二種類の傾斜角について全体解析を行い、その結果を境界条件としてズーム解析で得られた結果のうち、スキンプレート中央の長手軸方向曲げ挙動を示したものである。

また同じくズーム解析で得られたゲート高さ方向の曲げ応力 $\sigma$  (y) の分布状態を図-16に示す。

以上の結果により、スキンプレートは連続な板として挙動していると考えることができる。

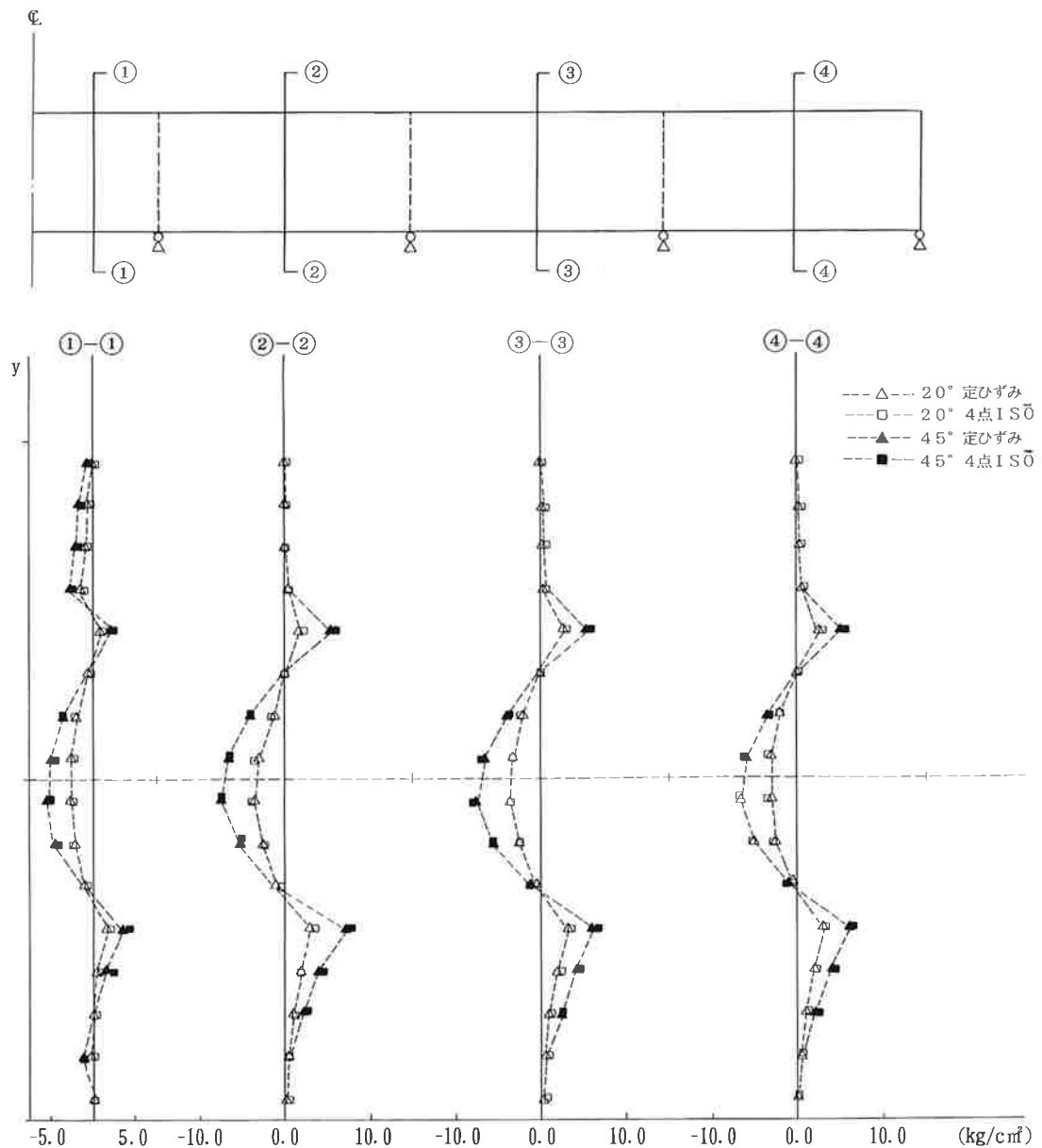


図-16 曲げ応力 $\sigma$  (y) の分布

## あ と が き

本報告においてはフラップゲートの静力学的挙動を弾性模型を用いた構造実験と3次元梁の理論および有限要素法による数値解析を用いて調べ、次に示すような結果を得た。

- (1) フラップゲートは全体としてはシェルの曲げ、ねじりとして挙動しているが、スキンプレートは連続板としての挙動も示しており、両者はひずみエネルギー理論による重ね合わせが可能である。
- (2) 応力的にはねじりが支配的で、特にゲート端部においてねじりが顕著であるが、中央部においては曲げ挙動が顕著でねじりの影響は微小である。
- (3) ねじり応力はヒンジ隔壁によって強く影響を受けて階段状の分布をしている。またその絶対値は従来の設計法による結果の2倍以上と大きな差異がある。

以上の結果よりフラップゲートの設計に当っては、全体としてはねじり剛性が必要なことよりシェル構造が適当であり、その応力解析にはヒンジ隔壁の影響を考慮できる3次元梁解析を行うのが妥当である。下段ゲートの弾力的挙動によっても影響を受けるの

で一概には結論付けられないが、フラップゲートだけを検討した場合、ねじり力が線形に変化すると考える設計法では危険側の応力評価となっている。さらに、スキンプレートはヒンジ隔壁で支持された連続板として、全体のシェル体としての挙動に重ね合わせて検討するのが適当である。

本報告で示した構造実験を行うに際しては楠原栄樹氏の、また有限要素解析では鶴海康雄、本郷英樹の諸氏のご協力を得た。ここに深甚なる謝意を表するものである。

なお、薄肉弾性梁のプログラムはBOXYZ、3次元梁解析はISAP、3次元有限要素解析は岡山大学工学部応用力学研究室で開発したものによった。

## 参 考 文 献

- (1) 鷺津久一郎、宮本博、山田嘉昭、山本善之、川井忠彦共編、“有限要素法ハンドブック”基礎編、培風館、昭和56年
- (2) 細田直久、“越流型ゲートにおけるフラップ部の静力学特性”、岡山大学卒業論文、昭和62年
- (3) 鶴海康雄、“3次元鋼構造物の応力解析に関する基礎的研究”、岡山大学修士論文、昭和63年