

で、全開時には扉体が空中に現れる。

百間川河口水門は、防潮ゲートであり、防食の観点からスキンプレートとなる円筒面が下流側に配置される。また基本的に流量調節を行わないこと、オーバフロー式とすると構造規模が大きくなることからアンダーフロー式が提案されている。

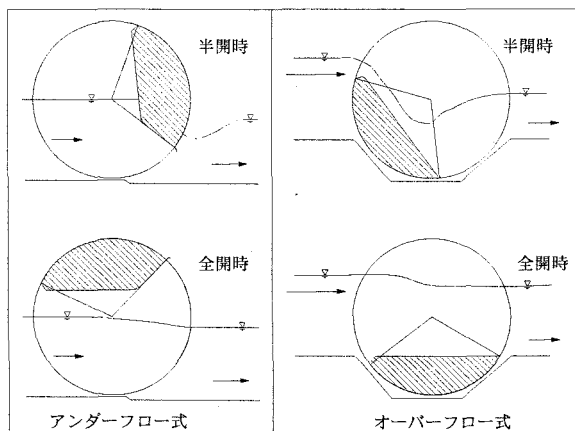


図-2 ライジングセクタゲートの分類

(2) ゲートの形状

扉体は半月状のシェル構造であり、基本的な形状要素は、扉高、円盤の回転半径、シェル下面板傾斜角、扉高の確保位置である。これらを設定すれば、基本形状が定まる。百間川新設河口水門の諸量を表-1にまとめるとともに、断面を図-3に示す。

扉体の材質は十分なメンテナンスを前提に、普通鋼材とすることになっている。また開閉装置は油圧モータラック式とした。

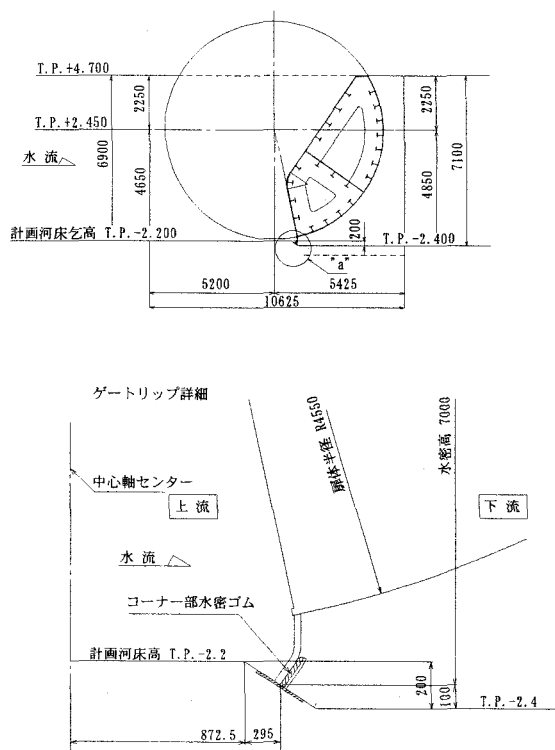


図-3 ゲート断面形状

表-1 百間川新設河口水門の諸元

項 目	諸 元
純 径 間	33.4m
総 径 間	100.2m(3門)
扉 高	6.9m
扉体半径	4.55m
敷 高	TP-2.20m

(3) 扉体に作用する流体力

扉体には表面に作用する水圧のほか、スキンプレートを下流側とすると上流側から扉体内に入り込んだ水重が作用する。そのため、開閉荷重の設定にあたっては扉体の重量に加え、扉体に作用する流体力を考慮する必要がある。

図-4,5には諸量の定義と荷重計算の概要を示した。扉体内水位 Z_m と扉体の表面に作用する水圧の水頭 H_p の差を $\Delta p = \rho g(Z_m - H_p)$ とし扉体面の外向き法線を $n(n_x, n_y)$ 、扉体表面に沿った経路を s とすれば、扉体に作用する単位幅あたり水平荷重 P_x 、鉛直荷重 P_y 、モーメント M は(1)式であらわされる。

$$P_x = \int \Delta p \cdot n_x ds, \quad P_y = \int \Delta p \cdot n_y ds, \quad M = \int \Delta p \cdot l ds, \quad (1)$$

ここに Z_0 :総水頭水位, H_u :上流水深, Z_d :下流水位, G :ゲート鉛直開き, q :単位幅流量, θ :ゲート回転角, p :壁面作用圧(扉体外水圧), H_p :外水圧のピエゾ水頭, l : P_x, P_y の合力ベクトルと回転中心の距離, ρ :水の密度, g :重力加速度。

引き上げ式シェルゲートでは図-4のリップより上流の網掛け部面積をダウンプルフォース^{2),3)}として定義しおり、引き上げ式シェルゲートの開閉装置の能力を検討する上で P_y が重要な流体力となる。

一方、本検討の対象であるライジングセクタゲートはスキンプレート円弧中心周りの回転運動により開閉するものであり、モーメント M が開閉能力の検討上重要となる。

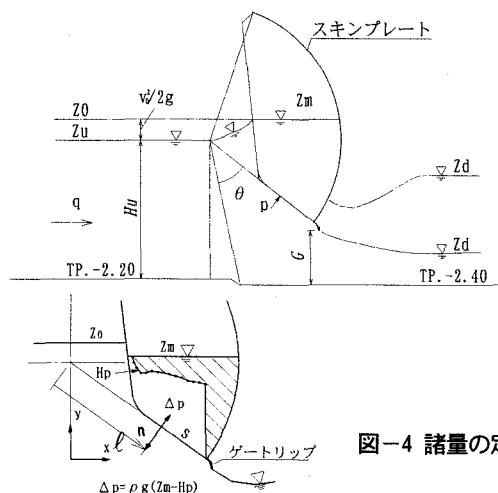


図-4 諸量の定義

3. 実験概要

実験は幅70cm、長さ15mの二次元水路に模型縮尺1/10で再現したゲート模型を設置して実施した。模型の概要図を図-7、写真-1に示す。

百間川河口水門の操作水位は図-5に示すとおりである。荷重の増加はゲート放流により扉体に作用する圧力の低下に起因する。そのため、開閉荷重が最も大きくなるのは洪水時であると予想されたため、洪水時の水位条件にて実験を行うこととした。

実験はまず、水抜き孔がない場合（以下、扉体密閉時）の放流機能及び扉体の外水圧の調査を行った。続いて、モーメント荷重を軽減させる目的で設置した水抜き孔（実寸法φ300mm、横断ピッチ1.35m）の最適配置方法について検討を行った。なお実機では密閉時の扉体内水位は上流水位に一致することを想定している。

実験条件を表-2に示す.

計測項目は水位～ゲート開度～放流量、扉体に埋設したピエゾメータによる圧力計測、扉体内水位である。圧力計測は図-6の位置で実施した。

表-2 実験条件

諸量	実験条件
上流水位	計画高水位TP. 2. 45m
下流水位	朔望平均満潮位TP. 1. 30m
回転角	7, 14, 21, 35, 37, 29, 42, 49, 56, 60° の11開度
水抜き孔	ケース1:No. ⑦ピエゾ位置 ケース2:No. ⑫ピエゾ位置 ケース3:No. ⑰ピエゾ位置 ケース4: No. ⑦及び⑰ピエゾ位置 (2孔)

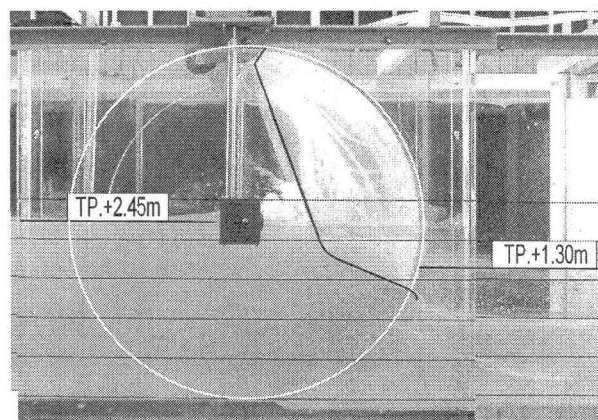
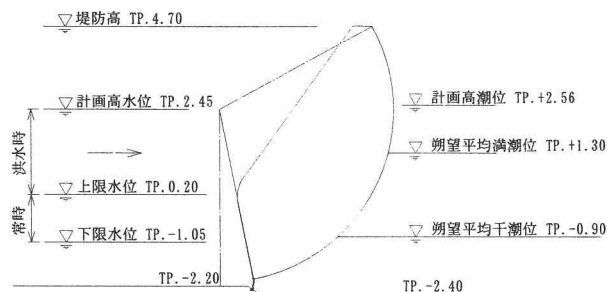
写真-1 実験例（回転角 56° ，水抜き孔ケース2）

図-5 百間川河口水門の操作水位

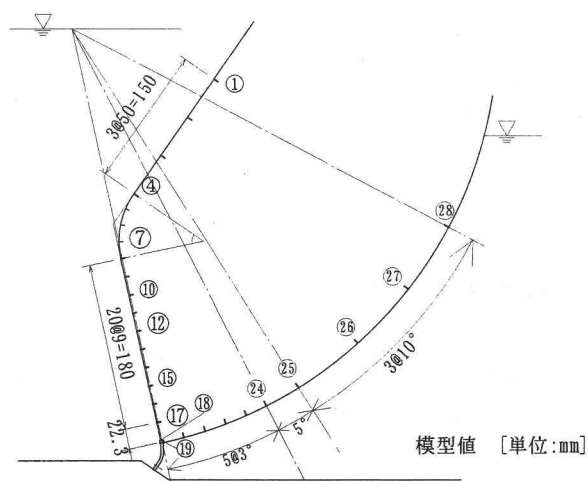


図-6 ピエゾ配置

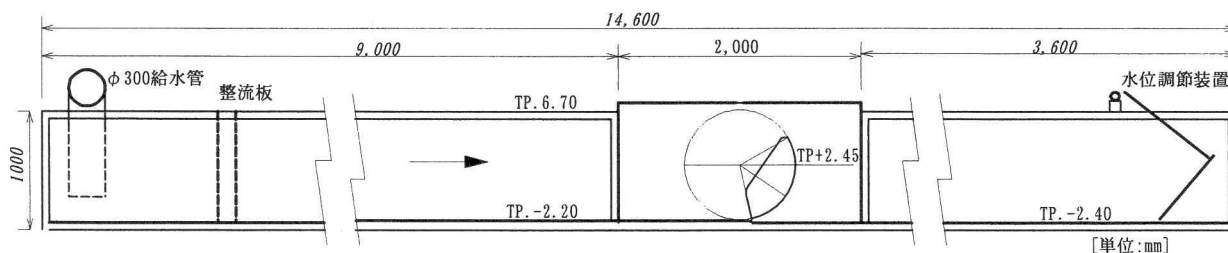


图-7 模型概要图

4. 実験結果

(1) 流況分類

流れはゲート回転角により、完全潜り流、自由流出に分類される。しかしながら、(2)式で表される流量係数で評価すると回転角の増加に伴い流量係数が変化する遷移領域が存在することが確認された。

$$C = q / G \sqrt{2gH_u} \tag{2}$$

ここに、q:単位幅流量、G:ゲート開きでTP-2.4mを基準したリップ先端の鉛直高、g:重力加速度、Hu:上流水深。

ゲート回転角θとゲート開きG、流量係数の関係、ゲート断面平均流速v、レイノルズ数Reを図-8に示す。回転角21°以下は潜り流、42°以上は自由流出となり、その間は遷移流となる。潜り流出区間及び自由流出区間ではそれぞれの流量係数はθによらず、ほぼ一定値となる。

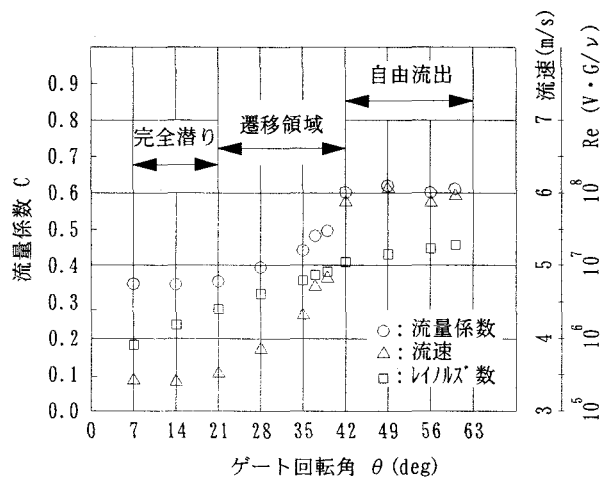


図-8 放流機能

(2) 扉体密閉時の圧力特性

扉体壁面作用圧の分布例として、完全潜り流の21°、遷移流の35°、自由流出の42°、56°の圧力分布形状を図-9に示す。回転角42°よりも小開度ではピエゾ水頭の最低値はリップ近傍にて発生し、回転角が49°以上になると、上流円弧部にて発生する。円弧部では流れが曲率をもつために流速が大きくなり、一般に圧力が降下するが、ゲート開度が小さい場合には円弧部での流速そのものが小さく圧力降下量も小さいのに対し、ゲート開度が大きくなるに従って円弧部での圧力降下量も大きくなる。最低圧力がゲート開度の増加に従ってゲートリップから円弧部に移るのはこのためである。

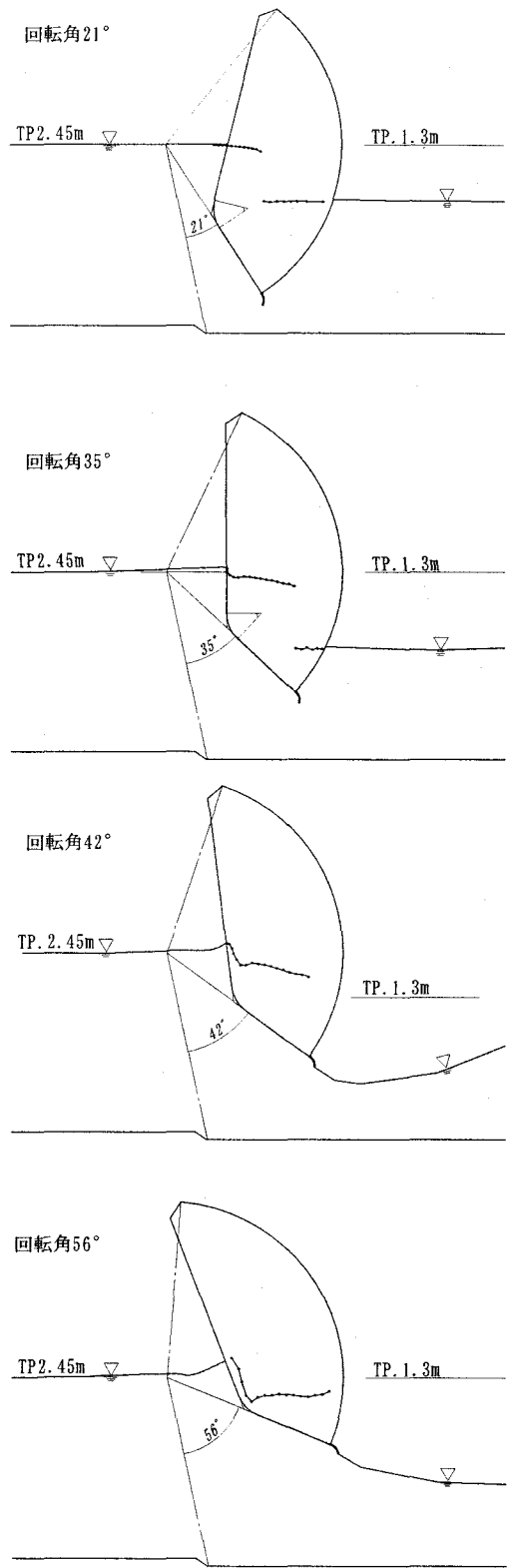


図-9 圧力計測結果

(3) 扉体に作用する流体力

先にも述べたがライジングセクタゲートの開閉操作は扉体の回転運動であり、開閉荷重は回転軸周りのモーメントにより定まる。

図-10には、スキンプレートを下流側とした時の扉体内水位とピエゾ水頭の差分により与えられる合力のモーメント荷重 M とともに、合力をモーメント水重のみによるダウンプル、扉体作用圧によるアップリフトに分割したもののあわせて示した。また圧力低下が発生しない場合アップリフトとして水重の逆符号も示してある。

ゲート回転角の増加に伴い、水重によるダウンプルは減少し、扉体作用圧によるアップリフトも減少するものの、ダウンプルの減少率に比べ、アップリフトの減少率が大きくなっている。これは圧力の低下に起因するものであり、その結果、回転角が大きくなると合力のモーメントも大きくなることとなる。

図-11には合力ベクトルの値と回転軸からの距離を示した。合力ベクトル値 F は潜り流から遷移領域にかけて回転角の増加に伴い減少し、遷移領域～自由流出開始点付近でピークをもち、これより大きい回転角で小さくなる。それに対し、モーメント M が増加し続けていくが、これは回転角が大きくなると合力ベクトルと回転中心の距離が大きくなるためである。

(4) 開閉荷重の軽減策

一般的なシェルゲートでは開閉荷重（主としてダウンプルフォース）の軽減方法として、シェル下面板に水抜き孔を設けている³⁾。これは扉体に孔を設けることで扉体内水压を水抜き穴位置の圧力とバランスさせることにより、扉体内水位を低下させ、ダウンプルフォースを軽減させるものである。

ライジングセクタゲートの場合にはゲートの回転とともに圧力分布形状と、モーメントの距離が変化するため、シェルゲートと同じ設計手法を用いることはできない。開閉荷重を最小限にするには図-10の水重によるダウンプルのモーメントが圧力によるアップリフトとつりあうような扉体内水位となるのが望ましい。

図-12にはピエゾ水位と水抜き配置時の扉体内水位を比較し、図-13にはモーメントの比較を示す。同図によると水抜き設置位置のピエゾ水位と扉体内水位は同程度となり、その結果モーメント荷重も同様の傾向を示すことが確認された。なお、扉体内水位は回転角 49° までは回転角とともに低下していくものの、それよりも大きくなると上昇する傾向にあるが、これは圧力分布形状が変化したためである。そのため、回転角の変化に伴う圧力

分布形状の変化が小さい扉体形状とすることにより、扉体水位の変化傾向が一定となり、水抜き孔の配置設計手法等、設計の一般化が有利になるものと考えられる。

水抜き孔位置の最適位置として、回転角の変化に伴いモーメントの変化が小さく、且つ絶対値が小さい位置とすると、最適位置はシェル下面板中央部のNo. ⑫ピエゾ位置の水抜き案2となる。

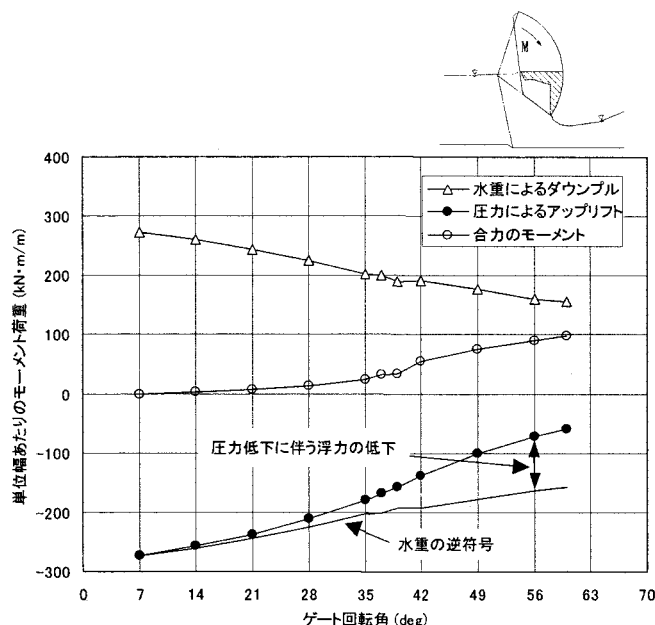


図-10 扉体に作用する荷重（密閉時）

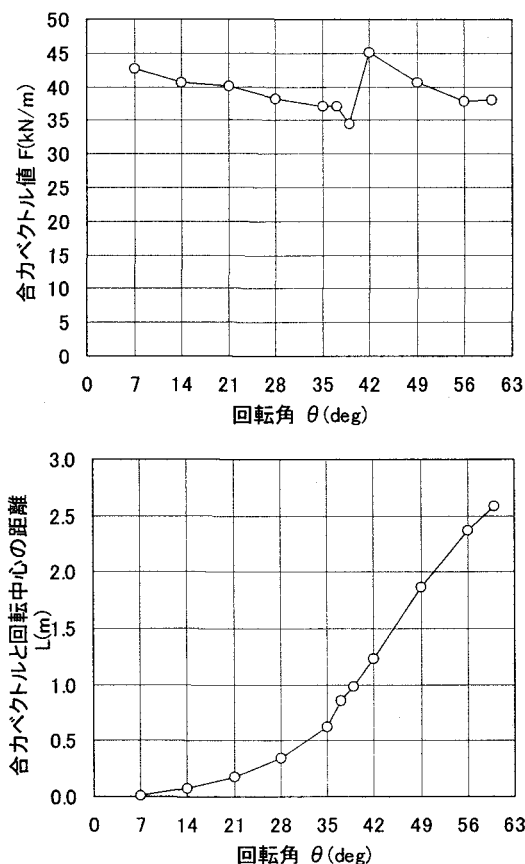


図-11 合力ベクトルと回転中心からの距離

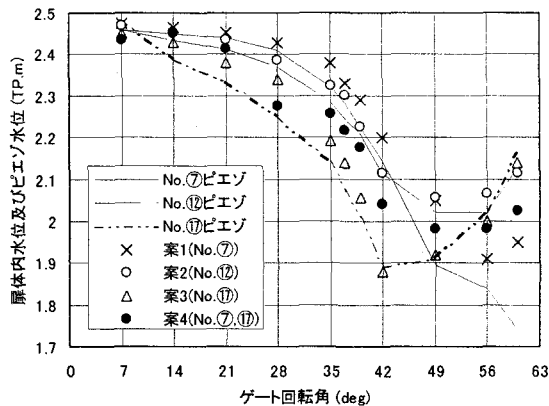


図-12 ピエゾ水位と扉体内水位の比較

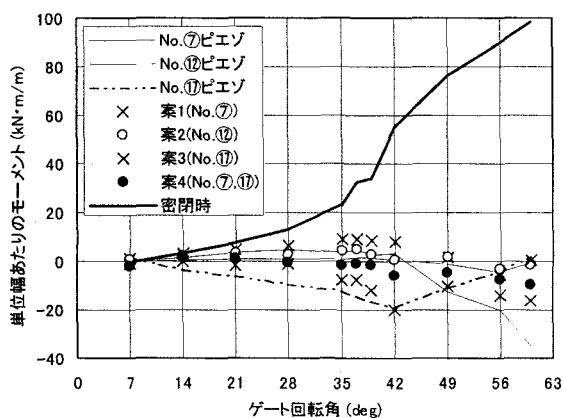


図-13 モーメントの比較

5. 終わりに

アンダフロー式のライジングセクタゲートの流体力及び開閉荷重の軽減策について検討した。計画高水時の水位のみと狭い条件範囲ではあるが、以下の成果が得られた。

(1) 水抜き孔を設けない時の扉体に作用する流体力

モーメント荷重 M は回転角が大きくなるに従い、増加する傾向にあるが、自由流出が始まる 42° 付近において、増加率が大きくなる。これは扉体の回転にともない、合力の大きさはあまり変化しないものの、回転中心との距離が大きくなることに起因する。

(2) 開閉荷重の軽減策とその検討方法

- 開閉荷重を軽減するためには水抜き孔を配置してモーメントを小さくする必要がある。
- 水抜き孔の最適位置は扉体壁面作用圧の分布形状により予測でき、アンダーフロー式ではシェル下面板中

央部であることが確認された。

c) 回転角の変化に伴う圧力分布の変化が小さいような扉体形状を選び、かつ適当な位置に水抜き穴を設けることにより、開閉荷重に及ぼす流体力を大きく軽減させることができる。

ライジングセクタゲートは景観性、耐震性に優れており、今後の発展が期待される形式のゲートである。今後の課題としては、より一層系統だった設計手法を確立するための技術開発が必要である。

参考文献

- 1) 小島治久・後藤光寿：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, 1997
- 2) 柏井条介・関野斉：ダムゲートのダウンプルフォース，土木技術資料，Vol. 28, No. 3, pp. 27, 1986
- 3) 社団法人 ダム・堰施設技術協会：ダム・堰施設技術基準(案) (基準解説編・マニュアル編)，pp. 424, 1999
- 4) ライジングセクタゲートに作用する流体力と操作荷重の軽減，流体力の評価とその応用に関する研究論文集，第2巻，2003年1月

(2003. 4. 11 受付)