

## 分力計による壁体に作用する衝撃的流体力計測

防衛大学校	正会員	林建二郎
砂防鋼構造物研究会	フェロ-	石川信隆
砂防鋼構造物研究会	正会員	松岡順二

### 1. はじめに

河川・海岸構造物に作用する洪水流や土石流、砕波や津波等による衝撃的流体力の的確な評価は、これら構造物の性能設計において重要である。衝撃的流体力の計測には、圧力計や分力計が使用される。高周波数成分を有する衝撃的流体力の計測においては、圧力計や分力計の固有振動数  $f_n$  や減衰定数を的確に考慮する必要がある<sup>1),2)</sup>。

物体表面の局所圧力の計測には、固有振動数  $f_n$  の高い圧力計が使用される。物体の全表面において局所圧力の同時計測を行い表面圧力分布の積分を行えば、二・三次元物体の全体に作用する衝撃的流体力の評価は可能であるが、物理的にも精度的にも中々困難である。一方、分力計を使用すれば、二・三次元物体の全体に作用する衝撃的流体力の評価は原理的に可能であるが、分力計の固有振動数を上げることは中々困難である。本研究は、六分力計を用いて構造物全体に作用する衝撃的流体力の計測を試み、その評価法に対する検討を行なったものである。

### 2. 実験装置および方法

実験には、長さ 12m、幅 0.5m、高さ 0.4m の可変勾配水路を使用した。水槽一区間の床を底上げし 1/50、と 1/5 勾配の河床を作製した。水路の上流端の堰を急開放し静水土石流（洪水流）を発生させた。

急勾配河床の途中に図-1 に示すようにアルミ製チャンネルの模型堰堤（高さ=100mm、横幅=100mm、水路方向長さ=50mm、厚み=5mm、重さ=270gf）を鉛直に設置した。模型堰堤の上端を 6 分力計（容量=20kgf (=200N)、日章電機（株））に片持梁形式で取り付け、堰堤に作用する水平方向の衝撃的流体力  $F_x$  と  $F_y$  による曲げモーメント  $M_y$  を計測した。 $M_y$  の計測原点は、堰堤下端より 13.4cm 上方にある。堰堤下端と水路床との間隙は 1mm 以下である。堰堤設置時の 6 分力計の空中における固有振動数  $f_{na}$  と減衰定数  $h_a$  は、450Hz と 0.1 である。

堰堤の局所圧力分布を計測するために、3 個の圧力計（受圧面積 10mm、固有振動数=2.5Kz、共和電業（株））を取り付けた。主流の代表流速  $U$  の計測にはレザードップラ流速計（ダンテック社）を使用した。 $U$  の計測点は、堰堤前面のから横断方向に 5cm 離れた水路床から 1cm 上方の位置とした。

### 3. 計測原理

衝撃的流体力  $F_x(t)$  が作用する堰堤の振動方程式は次式となる<sup>2)</sup>。

$$(Ma+Mb)d^2y/dt^2 + C.dy/dt + K.y = F_x(t) \quad (1)$$

$$d^2y/dt^2 + 2 f_{na}2h_a dy/dt + (2 f_{na})^2 y = F_x(t)/(Ma+Mb) \quad (2)$$

$Ma$  は 6 分力計内のひずみ計測梁部の等価質量、 $Mb$  は堰堤の等価質量、 $C$  は等価減衰係数、 $K$  は等価バネ係数、 $y$  は堰堤の等価変位量、 $h_a = c/(2.2 f_{na}(Ma+Mb))$  は等価減衰定数である。(1)式左辺の  $K.y$  は、6 分力計が検知する力  $F_a(t) = K.y$  である。 $f_{na} = \{K/(Ma+Mb)\}^{1/2}/(2)$  は模型堰堤設置時の 6 分力計の固有振動数である。 $h_a$  と  $f_{na}$  は空中における減衰自由振動実験より求められる。6 分力計は、 $y$  に対応する計測梁部のひずみ量をひずみゲージを用いて評価し、力  $F_a(t) = K.y$  を検知する。作用流体力  $F_x(t)$  が定常の場合

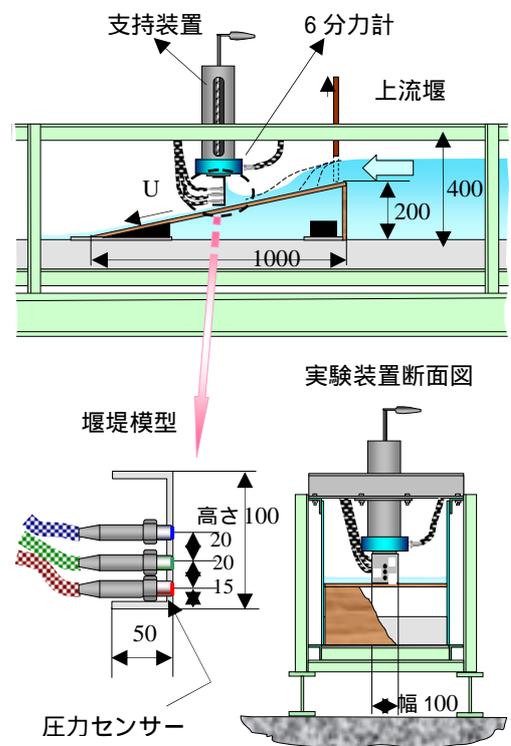


図-1 実験装置

キーワード 衝撃的流体力, 分力計, 洪水流, 砕波波圧, 振動方程式

連絡先 〒239-0811 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL 046-841-3810

には、 $K \cdot y = Fx(t)$ となり、分力計が検知する力  $Fa(t)$ は作用流体力  $Fx(t)$ と等しい。

$Fx(t)$ が時間変動する場合には、慣性力 $= (Ma+Mb)d^2y/dt^2$ および減衰力 $= Cdy/dt$ が生じ、分力計が検知する  $Fa(t)$ には、作用流体力  $Fx(t)$ の他に慣性力 $= (Ma+Mb)d^2y/dt^2$ および減衰力 $= Cdy/dt$ が含まれる( (3) 式参照 )。

$$Fa(t) = K \cdot y = Fx(t) - (Ma+Mb)d^2y/dt^2 - Cdy/dt \quad (3)$$

作用流体力を  $Fx(t) = F \cdot \sin(2\pi ft)$ で表せるとすると、応答変位量  $y = A \sin(2\pi ft - \phi)$ の片振幅  $A$ と位相遅れ  $\phi$ は(4)、(5)式で示される。 $f$ は作用流体力の周波数である。

$$A = (F/K) / \{ (1 - (f/f_{na})^2)^2 + (2ha(f/f_{na}))^2 \}^{1/2} \quad (4)$$

$$\tan \phi = 2ha(f/f_{na}) / \{ 1 - (f/f_{na})^2 \} \quad (5)$$

(4)式より、作用流体力の周波数  $f$ が  $f_{na}$ に比べて十分小さい場合には、 $Fa(t)$ は  $Fx(t)$ と概ね一致する。 $f = f_{na}$ となる共振時には、 $Fa(t)$ は  $Fx(t)$ の $(1/(2ha))$ 倍となる。

(4)式より共振時には  $Fa(t)$ の位相は作用流体力より $=90^\circ$ 遅れることが分かる。一方、 $f$ が  $f_{na}$ に対し十分小さい場合には位相差  $\phi$ は小さい。従って、高周波数成分  $f_i$ を有する衝撃的流体力  $Fx(t)$ の計測には、 $f_i$ に対し十分高い固有振動数を有する分力計が必要である。

#### 4. 結果および考察

変動流体力計測の一例として、直立護岸壁の局所に作用する砕波波圧力とブロック衝突力を1分力計( $f_{na}=58\text{Hz}$ ,  $ha=0.1$ )で計測した結果<sup>3)</sup>を図-3に示す。力計で検知した  $Fa$ は、砕波波圧力とブロック衝突力の作用に伴い鋭い立ち上がりを示し大きなピク値をとり、その後は、固有振動数  $f_n$ で振動しながらゆるやかに減少している。従って、 $Fa$ には、慣性力 $= (Ma+Mb)d^2y/dt^2$ および減衰力 $= Cdy/dt$ の影響が含まれている。 $Fx$ は、 $Fa$ より逆算した変位量  $y$ および  $dy/dt$ ,  $d^2y/dt^2$ を(1)式に代入して得られた、本分力計に作用する砕波波圧力とブロック衝突力の合力の推定値である。共振による慣性力、減衰力の影響が概ね除去されている結果、 $Fx$ のピク値は  $Fa$ のそれより減少している。

6分力計( $f_{na}=450\text{Hz}$ ,  $ha=0.1$ )で検知された本模型堰堤に作用する  $Fa$ と  $Fa$ による曲げモーメント  $Mya$ の計測例を図-4に示す。 $t=0.3\text{sec}$ に洪水流の先端が堰堤に到達し、 $t=0.43\text{sec}$ の短い間に衝撃的な流体力が作用している。主流速度  $U$ は  $t=0.3\text{sec}$ では計測されて無いが、 $t=0.41\text{sec}$ から計測されている。 $U$ の時間平均値は約  $2.6\text{m/s}$ である。

6分力計で検知した  $Fa$ と(1)式による推定値  $Fx$ の比較を図-4に示す。6分力計の固有振動数( $f_{na}=450\text{Hz}$ )が高い結果、 $Fa$ と  $Fx$ の一致は良好であり、6分力計は堰堤に作用する衝撃的流体力  $Fx$ は正確に検知している。但し、 $0.39 < t < 0.4$ では高周波数成分の衝撃的流体力が生じた結果、6分力計に共振現象が生じている。

参考文献 1)合田ら：直柱に働く衝撃砕波力の研究,港湾技術研究所報告,第4号,1972. 2)林ら：分力計による揺動している植生および変動流体力の計測について,土木学会年講第2部門,2002,3)山口・林ら：消波ブロック被覆堤におけるブロックの動揺・衝突現象の解明のための水理模型実験,第27回海洋開発論文集,Vol.18,2002.

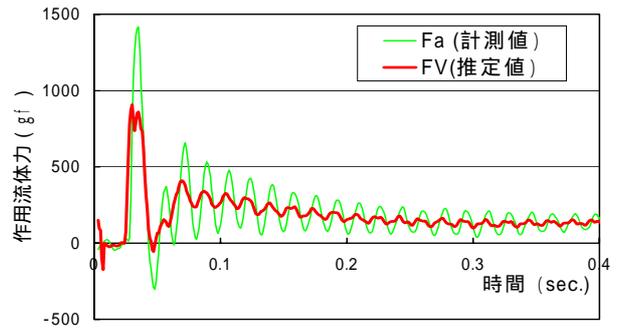


図-3 砕波による衝撃的流体力の計測値と推定値

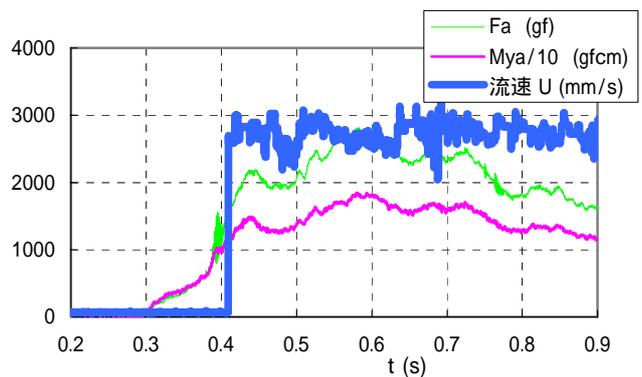


図-3 堰堤に作用する衝撃的流体力の時間変化

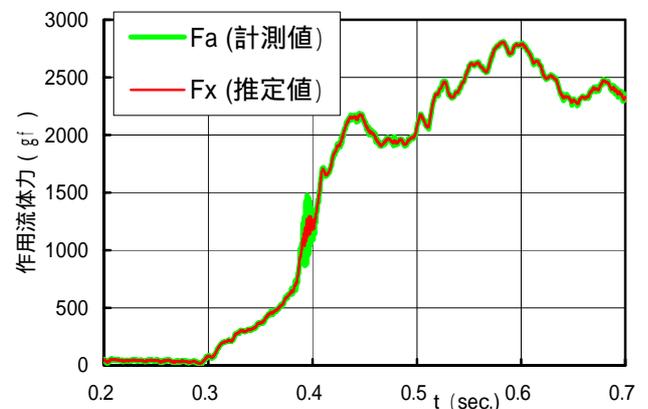


図-4 堰堤に作用する衝撃的流体力の計測値と推定値