

II-312 相関法による構造物背後の渦領域の解析

パシフィックコンサルタンツ 正 員○武田光弘
 東北大学工学部 正 員 真野 明

1. はじめに

流れの中に隅角部をもつ構造物を設置するとその背後で複雑な渦領域が生ずる。この渦領域では、構造物の本堤から生ずる鉛直渦と潜堤から剝離する水平渦などの存在がわかっていたが、渦領域全体について詳しい解析はなされていなかった。本論文では、可視化手法と相関法によって渦領域の解析を行なった。

2. 実験装置と実験方法

実験水路は、長さ20m、高さ0.4m、幅0.4mの矩形水路を用いた。流量の調節を上流と下流にある2つのバルブの開閉で行ない、下流端に設置した可動堰の上下によって水位を調節した。水路の上流端から約10mの地点には、図-1に示すような、アクリル製の堤体模型及びマウンドを設置した。可視化手法には、水素気泡法を採用した。陰極には、流れの中に不均一に水素気泡を入れるためにキンク状のタングステン線を用い、陽極には銅版を用いた。タングステン線は、本堤と潜堤の剝離点に一本ずつ張り、さらに鉛直渦をよく可視化するために鉛直渦の流下方向と平行に一本張った。大きなコントラストを得るために、水路床および模型を黒く着色した。光源にはスライドプロジェクタを2台用い、厚さが約4mmのスリット光とした。可視化状況は8mmVTRで撮影記録した。実験で用いた詳しい測定条件を表-1に示す。本論文で用いた座標系は、隅角部より流下方向をx軸、スパン方向をy軸、鉛直上方をz軸とした。実験条件は、潜堤天端上での水深が3.0cm、断面平均流速が約30cm/sである。

3. 流れの解析

①相関法

渦の解析には水素気泡法で可視化した画像を用いた。輝度分布の一例を図-2に示す。このような輝度データを用い、流れを相関法によって解析する。相関法とは、 $t=t_0$ の画像データに (x_0, y_0) を中心とする小領域を設け、 $t=t_0+\tau$ の画像上を移動する同じ大きさの小領域との相互相関係数を計算し、もっとも相関係数の高い小領域の中心 (x_1, y_1) に粒子が移動したとするものである。2枚の画面での輝度をそれぞれ f, g で表わすと、相関係数 R は

$$R = \frac{\sum_i \sum_j^{2n+12n+1} (f_{ij} - \bar{f}) \cdot (g_{ij} - \bar{g})}{\sqrt{\sum_i \sum_j^{2n+12n+1} (f_{ij} - \bar{f})^2 \cdot \sum_i \sum_j^{2n+12n+1} (g_{ij} - \bar{g})^2}}$$

と表わされる。ここで $\bar{f}, \bar{g}$ は小領域内での輝度の平均値であ

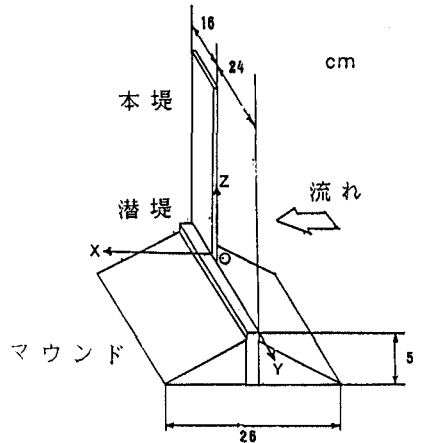


図-1 堤体模型

電圧付加時間	0.04sec
電圧付加時間間隔	0.04sec
電 圧	200V
シャッタースピード	1/60
添 加 物	NaCl

表-1 測定条件

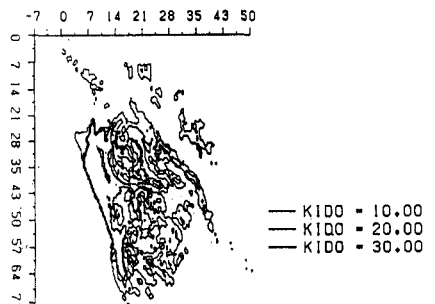


図-2 輝度分布

る。流速ベクトルは,

$$u=(x_1-x_0) \cdot d / \tau \quad v=(y_1-y_0) \cdot d / \tau \quad (\text{m/s})$$

で計算される。ただし、 d は一画素の実寸(mm)、 τ は時間間隔(ms)である。相関法を用いる場合、誤差が生じないように小領域の大きさは慎重に決定しなければならない。小領域の大きさ N を輝度分布から仮定し、その前後の N について流速を計算して流速ベクトル分布がほぼ一定になった時の N を小領域の大きさとした。 $t=t_0+\tau$ での計算領域は、VTR画面で粒子の最大移動画素数を調べ、その約1.5倍の領域とした。本論文では、小領域の大きさは一辺が15ドット、計算範囲は、 $x \cdot y$ 方向とも、 $-20 \sim +40$ ドットとした。また、相関係数が0.7より高い地点でのみ、流速を計算した。

②流速の補間・平滑化

相関法で求められた流速には多少の誤差が含まれている。また、気泡が存在するのに流速ベクトルが求められない点も存在するので流速ベクトルの補間・平滑化を行なう必要がある。そこで、 u, v にそれぞれ2次元曲面を当てはめ、最小自乗法を用いて曲面を決定し流速ベクトルの補間・平滑化を行った。

4. 結果

以上の操作で求められた $z=0.0\text{cm}$ での流速ベクトルを図-3、図-4に示す。主流領域では流速ベクトルは大きく、渦領域では複雑なものとなっている。相関法で求められた主流領域の流速の大きさは約 $10\text{cm/s} \sim 20\text{cm/s}$ と、VTR画像から読みとった流速とほぼ同じとなっている。死水域では、ゆっくり循環しながら主流に連行している様子がよく表わされている。これより、相関法で求められた流速場は、流れをよく表わしているといえる。図-5に渦度分布を示す。渦の中心がある $(x, y)=(35, 17)$ 付近に大きな負の値が存在し、高速流体と死水域との境目に大きな渦度がある。また、 $(x, y)=(35, 17)$ での渦度を渦の大きさから概算してみると約 $20/\text{s}$ となり、相関法で求められた値とほぼ同じ値が得られた。図-6に2次元発散を示す。渦度と同様に $(35, 17)$ 付近に大きな負の値が存在する。VTR画面では、渦の中心に気泡があまり入らず渦の外縁部に集中していたことより、この面でわき出しがあると考えられる。

5. 結論

水素気泡法と相関法を用いた解析により、渦の定量的解析ができた。

《参考文献》真野他：相関法による碎波の気泡混入領域の流動解析，土木学会論文集第423号(pp. 171-180)，1990。

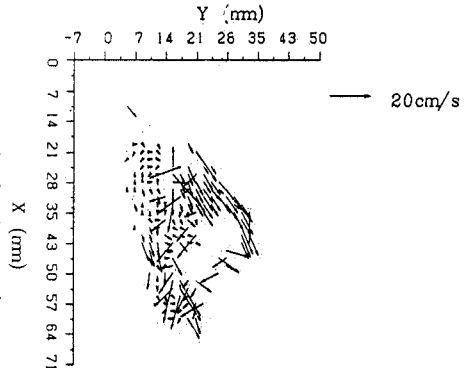


図-3 補間・平滑化前の流速分布

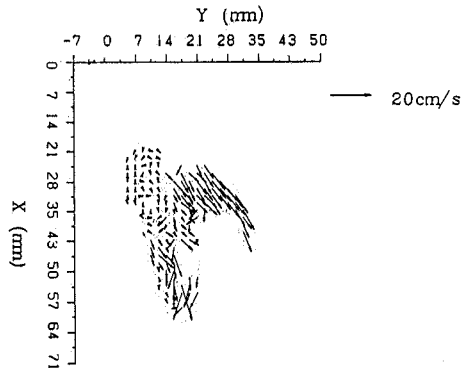


図-4 補間・平滑化後の流速分布

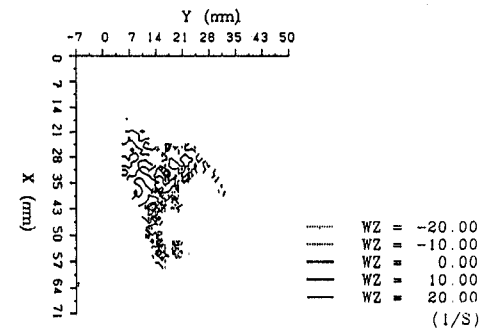


図-5 渦度分布

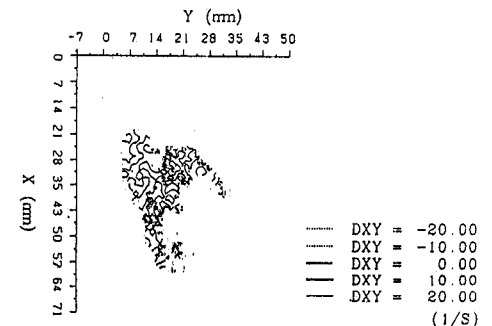


図-6 2次元発散