

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3762945号

(P3762945)

(45) 発行日 平成18年4月5日(2006.4.5)

(24) 登録日 平成18年1月27日(2006.1.27)

(51) Int. Cl.	F I
GO 1 F 1/00 (2006.01)	GO 1 F 1/00 F
GO 1 F 1/52 (2006.01)	GO 1 F 1/00 H
GO 1 P 5/00 (2006.01)	GO 1 F 1/52 Z
GO 1 P 5/20 (2006.01)	GO 1 P 5/00 C
GO 1 P 21/02 (2006.01)	GO 1 P 5/20 F
請求項の数 2 (全 11 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号	特願2003-5025 (P2003-5025)	(73) 特許権者	301031392
(22) 出願日	平成15年1月10日(2003.1.10)		独立行政法人土木研究所
(65) 公開番号	特開2004-219179 (P2004-219179A)		茨城県つくば市南原1番地6
(43) 公開日	平成16年8月5日(2004.8.5)	(73) 特許権者	000173810
審査請求日	平成15年1月10日(2003.1.10)		財団法人土木研究センター
			東京都台東区台東1-6-4
		(73) 特許権者	591074161
			アジア航測株式会社
			東京都新宿区新宿4丁目2番18号 新宿
			光風ビル
		(73) 特許権者	390010054
			小糸工業株式会社
			神奈川県横浜市戸塚区前田町100番地
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 非接触型流速計を用いた開水路流量観測方法及びその装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

非接触型流速計により開水路の流水の表面流速を計測して開水路の流量を観測する方法において、観測所近傍で計測された風速値を観測水面上の一定の高さにおける流水の流れ方向の風速値に換算し、該換算された風速値に定率補正係数を乗じて風により発生する吹送流の値を求め、該吹送流の値に観測所近傍で測定された風向値を乗じて得られた値を前記水面上で計測された流速値に加算することにより補正された流速値を得ることを特徴とする非接触型流速計を用いた開水路流量観測方法。

【請求項2】

非接触型流速計により開水路の流水の表面流速を計測して開水路の流量を観測する装置において、非接触型流速計の計測値を風により発生する吹送流の値に基づいて補正する補正手段を設け、該補正手段が、観測所近傍で計測された風速値を観測水面上の一定の高さにおける流水の流れ方向の風速値に換算し、該換算された風速値に定率補正係数を乗じて風により発生する吹送流の値を求め、該吹送流の値に観測所近傍で測定された風向値を乗じて得られた値を前記水面上で計測された流速値に加算することにより補正された流速値を得る手段であることを特徴とする非接触型流速計を用いた開水路流量観測装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、河川を始めとする開水路を流れる流体の流量を非接触型流速計を用いて観測す

10

20

るシステムに関し、特に風の影響を考慮した流量観測装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来の開水路における流量観測として、自由水面を有する流体が流れる水路の上部空間に流れ方向に向け超音波、電波、光などを放射する流速センサを配置し、流体表面に発生する波などからの反射信号に基づいて流速を測定し、上記流速センサに近接して設けた水位センサにより水位を測定し、これら流速と水位とから開水路における流量を観測するシステムが知られている（例えば、特許文献1参照。）。

【0003】

【特許文献1】

特開平5-52622号公報

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

従来の非接触型流速計を用いて流量を観測する流量観測システムは、河川等に非接触で河川表面の流速計測が可能であり、無人でのリアルタイム計測が可能のため、洪水時のような流れが激しい時、大量の流下物がある場合にも安全・確実に河川流量を把握できる有効な流量観測システムであるため、いくつかの河川に利用されている。しかし、非接触型流速計は流水の表面流速を計測していることから、台風襲来時のように強風が吹いた場合、流体の表面流速は水面上を吹いている風の影響を受け、順風時には大きく、逆風時には小さくなるため、実際の流量は一定であるにもかかわらず、流量を過大あるいは過小に評価してしまうという問題があった。

【0005】

本発明は、流体表面に発生する波紋や波などからの反射信号に基づいて流速を測定する非接触型流速計を用いた開水路流量観測装置において、吹送流の理論と実験により体系化された補正手法により、風の影響を取り除いた精度の良い開水路の流量観測装置を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため本発明の非接触型流速計を用いた開水路流量観測方法は、非接触型流速計により開水路の流水の表面流速を計測して開水路の流量を観測する方法において、非接触型流速計の計測値を風により発生する吹送流の値に基づいて補正することを特徴とする。

また、本発明の非接触型流速計を用いた開水路流量観測方法は、観測所近傍で計測された風速値を観測水面上の一定の高さにおける流水の流れ方向の風速値に換算し、該換算された風速値に定率補正係数を乗じて風により発生する吹送流の値を求め、該吹送流の値に観測所近傍で測定された風向値を乗じて得られた値を前記水面上で計測された流速値に加算することにより補正された流速値を得ることを特徴とする。

また、本発明の非接触型流速計を用いた開水路流量観測装置は、非接触型流速計により開水路の流水の表面流速を計測して開水路の流量を観測する装置において、非接触型流速計の計測値を風により発生する吹送流の値に基づいて補正する補正手段を設けたことを特徴とする。

また、本発明の非接触型流速計を用いた開水路流量観測装置は、補正手段が、観測所近傍で計測された風速値を観測水面上の一定の高さにおける流水の流れ方向の風速値に換算し、該換算された風速値に定率補正係数を乗じて風により発生する吹送流の値を求め、該吹送流の値に観測所近傍で測定された風向値を乗じて得られた値を前記水面上で計測された流速値に加算することにより補正された流速値を得る手段であることを特徴とする。

【0007】

【発明の実施の形態】

非接触型流速計は、ドップラー方式と画像処理方式の2つに大別される。ドップラー方式は、図1に示すように、電波もしくは超音波を水面上から流水方向に斜めに照射し、水面

10

20

30

40

50

から反射してくる電波・超音波の周波数のドップラー効果による変化量を測定することにより水面の表面流速を計測するタイプである。

一方、画像処理方式は、図2に示すように、あらかじめ画面内の位置評定を行ったカメラで水面の画像を撮影し、その画像上に写っている波・紋様あるいはトレーサ粒子等の移動量を測定することによって水面の表面流速を計測するタイプである。これらの非接触型流速計の計測値、すなわち表面流測値に深さ方向の流速分布を考慮するための更正係数を乗じることにより深さ方向平均流速が求められ、複数測線における流速値による区分流量を合算することにより河川流量を観測できる。

【0008】

仮に河川水表面が限りなく滑らかな平面（鏡面状態）だったとすると、ドップラー方式では電波又は音波照射方向に反射波が生じ得ず、画像処理方式では水表面の紋様が存在しないため、いずれも表面流速を計測することは不可能である。したがって、水表面に存在する波がこれらのセンサの直接の計測対象である。水表面に存在する様々な凹凸のうち、非接触型流速計の計測値に流速成分を生み出す波は、何らかの乱れや風等を契機として発生し、水粒子自体の動き（表面流速）の上に載る形で水表面を伝播する微小振幅波であり、不規則波である。したがって、風がない場合は、ある領域内の平均流速を計測している非接触型流速計の計測値においては、様々な周波数・方向を持った不規則波成分は打ち消し合って表面流速成分が検出される。

しかしながら、風が吹いた場合は、一律に風方向の成分波が発生し、その波速が非接触型流速計の計測値に影響を及ぼすものと考えられ、また、波が載っている表面流速自体に風によって生じる吹送流が重畳し、鉛直方向の流速分布に影響を与えているものと予測される。

【0009】

図3及び図4は、流れに対し逆風の場合の流れに対する風の影響を示した概念図であり、図3は正面図、図4は平面図である。

風は、川の自流に対して θ の角度をなして逆向きに風速 V で吹いており、流れの表面に吹送流 U_0 が発生している。図3において、 P_1 は川の自流により本来あるべき流速プロファイルであり、 P_2 は風により発生する吹送流 U_0 の影響を受けた現実の流速プロファイルである。

【0010】

今、風がない場合の川の自流によって本来あるべき表面流速を U_1 、風による吹送流を U_0 、静止水面上の微小振幅波の波速を C_0 、及び非接触型流速計の計測値を C （固定座標系からみた風波の速度）とする。

風による吹送流 U_0 は水面上10mの風速を U_{10} とすると、

$$U_0 = \alpha U_{10} \quad (\alpha \text{ は定率補正係数}) \quad (1)$$

で表される。

一方、流れのないときの波速 C_0 は、表面張力も考慮に入れて一般に次式で表現される。

$$C_0 = [(g/k + Tk/\rho) \tanh(kd)]^{1/2} \quad (2)$$

ここに、 g ：重力加速度、 k ：波数 $2\pi/L$ （ L ：波長）、 T ：表面張力、 ρ ：水の密度、 d ：水深である。

もし、風がなく、流速プロファイルをべき乗則で表現することができる河川自流のみに上記の微小振幅波が載っている場合は、 $L < 1.5 \text{ m}$ において、その波速 C_1 は、次式で近似することができる。

$$C_1 = C_0 + U_1 \quad (3)$$

しかし、風がある場合には、その風に起因した微小振幅波（風波）の波速 C は、(1)式による吹送流 U_0 の影響を受け、次式で表される。

$$C = C_0 + U_1 + \gamma \cdot U_0 \quad (4)$$

ここに、 γ ：風波の波長 L 及び吹送流が流速プロファイルに与える影響深さ d によって変化する係数である。

10

20

30

40

50

ここで、河川においては、海上と異なり吹送時間・吹送距離が短いため、波長 L は小さく d も小さいと考えられることから、 $\gamma = 1$ とおくことにより、固定座標系からみた風波の波速 C は、図5に示すように、

$$C = C_0 + U_1 + U_0 \quad (\text{上流} \rightarrow \text{下流方向を正とする。}) \quad (5)$$

と近似できる。

上記(5)式から、非接触型流速計の計測値 C 及び風による吹送流 U_0 から風がない場合の川の自流によって本来あるべき表面流速 U_1 を求めることができる。

なお、吹送流 U_0 は上記(1)より、水面上10mの風速 U_{10} 及び定率補正係数 α から求められる。

また、 C_0 は上記(2)式により、波長 L を測定もしくは仮定することにより求めることができるが、波長 L の測定装置を組み込むことは現時点においてコスト等の問題から現実的でないこと、及び後述する実験結果から C_0 を無視しても風速影響成分の相当部分を減少できることから、本発明においてはこれを無視して川の自流によって本来あるべき表面流速 U_1 を求めるものとする。

$$U_1 = C - U_0 \quad (6)$$

【0011】

風速 U_{10} の求め方について説明する。

図6は、 U_{10} を求める手法について説明したものであり、水面上の任意の高度で風向値 θ と風速値 U を測定し、滑面の式である▲1▼式により $U(10)$ を求め、風速値 $U(10)$ が 7 m/s より大きい場合は粗面の式である▲2▼式により $U(10)$ を求める。▲2▼式により求めた $U(10)$ が 7 m/s より大きい場合はその値を水面上10mの風速 U_{10} とする。一方、▲1▼式より求めた風速値 $U(10)$ が 7 m/s より小さい場合は▲1▼式で求めた値を水面上10mの風速 U_{10} とする。また、▲2▼式により求めた $U(10)$ が 7 m/s より小さい場合は、▲1▼式で求めた値と▲2▼式で求めた値の和の $1/2$ の値を U_{10} とする。

なお、上記した水面上の任意の高度における風向値 θ 及び風速値 U の測定設備をわざわざ設置するのが困難であるような場合には、観測地点近傍の地面上の任意の高度に設置した測定設備で、又は観測地点近傍にある既存の測定設備の任意の高度で測定された値を以て上記水面上の任意の高度における風向値 θ 及び風速値 U の近似値として用いることができる。

また、本明細書において、「観測所近傍」という場合は水面上又は観測地点近傍を含んだ概念として用いる。

【0012】

次に、定率補正係数 α について説明する。

既往の研究では、静水時でも風のせん断力により水面付近に吹送流が発生し、その吹送流速値は、水面上10m地点の風速の3%～4%程度となるとされている。

しかし、既往の研究が海上のような吹送距離が数km～数十kmもある場所を対象としているのに対し、河川の場合には、吹送距離はせいぜい数百m～1km程度であることから、実験を行うことにより河川における定率補正係数 α を求めることとした。

【0013】

定率補正係数 α についての実験について説明する。

実験で使用した非接触型流速計は、ドップラー効果を利用した電波流速計、超音波流速計と画像処理により表面流速を計測するPIV法、オブティカルフロー法の4つの非接触型流速計を水路上に設置した。

図7に示すように、幅3m、長さ50mの水路の中央部分25mを幅2mに狭めて実験水路とし、その中央にアクリル製の風洞を設置した。風は、最大風速 190 m/s の風量が異なる2種類の送風機を各4基使用した。実験ケースは、風向について、流れに対して順風と逆風の2ケース、風速について、風無し、弱風（水面上10m換算値： 6.0 m/s 程度）、逆風（水面上10m換算値： 7.6 m/s 程度）の3ケース、水の流れとして、静水、低流速（ 0.7 m/s 程度）、高流速（ 1.1 m/s 程度）の3ケースの合

10

20

30

40

50

計14ケースである。計測項目は、各非接触型流速計による表面流速値、1辺が5cmの厚さ0.5cmの木片をトレーサとした表面流速である計測値、風洞出口において、水面上約5cm、40cmの2個所で風速値、非接触型流速計の計測地点の波高計測値である。

【0014】

本実験の吹送流速（トレーサ流速）が水面上10m換算風速の何%に当たるかを検討した結果を図8に示す。この図より、弱風・強風ともに水面上10m換算風速の1.6%程度になっており、既往の研究の3%～4%よりもかなり小さいことがわかった。静水時の非接触型流速計計測値は、PIV法を除いて、弱風時で20数cm程度、強風時で40～50cm程度トレーサ流速を上回る計測値が得られた。波高計の計測結果から風波が確認されていることから、吹送流に加えて風波の影響を受けている可能性が高い。その波速を考慮すると、PIV法を除く非接触型流速計の計測結果と一致することが確認できた。

10

【0015】

次に、流れがある場合で風が無い場合の非接触型流速計計測値を基準とし、風がある場合の代表として順風時の計測値の差異を図9に示す。この図より風速が増加すると無風時の同じ流量の流速値よりも大きくなっており、静水時同様に風による吹送流の影響が考えられる。そこで、吹送流を水面上10m地点風速換算値の1.6%とみなして風無し時の非接触型流速計計測値に加算し、風有り時の非接触型流速計計測値と比較する。図10は電波流速計の結果である。順風低流速を除き吹送流1.6%と良く一致している。また、順風低流速でも、風によって発生する波の波速を考慮すると比較的一致することがわかった。

20

【0016】

〔風の影響を受ける開水路断面の流量観測〕

図11は、本発明の実施の形態における流量観測装置の概略を示した図である。

観測所に設けられる流量観測装置は、開水路の表面流速を計測する非接触型流速計1、観測所近傍に設けられた風向・風速計2及び開水路の水位を測定する水位計3とを備えている。非接触型流速計1からの表面流速データ及び風向・風速計2からの風向・風速データは流速計変換器4に入力され、また、水位計3からの水位データは水位計変換器5にそれぞれ入力される。流速計変換器4には、非接触型流速計1の計測値を風により発生する吹送流の値に基づいて補正する補正手段、すなわち、観測所近傍で計測された風速値を観測水面上の一定の高さにおける流水の流れ方向の風速値に換算し、該換算された風速値に定率補正係数を乗じて風により発生する吹送流の値を求め、該吹送流の値に観測所近傍で測定された風向値を乗じて得られた値を前記水面上で計測された流速値に加算することにより補正された流速値を得る補正手段が内蔵されている。

30

そして、流速計変換器4及び水位計変換器5から出力される信号は演算処理装置6に入力され、所定の演算がされ、流速及び流量を外部出力するようになっている。

【0017】

図12は、本発明の実施の形態における流量観測のフローを示した図である。

上記流量観測装置を用いて流量を観測する手順は、次のとおりである。

(1) 非接触型流速計1を用いて水面上の風波の速度Cを測定する。

40

併せて、風向・風速計2を用いて観測所近傍の風向値 θ と風速値Uを測定する。そして、測定された風向値 θ 及び風速値Uを平滑化处理（一定時間内に計測された値の平均化处理）を行う。

(2) 平滑化处理された風速値Uから上記式▲1▼又は式▲2▼により水面上10mの風速値 U_{10} を求める。

(3) 風速値 U_{10} を、平滑化处理された風向値 θ を用いて水の流れ方向の風速成分に換算する。

(4) 水の流れ方向の風速成分に換算された風速値 U_{10} に実験で求めた定率補正係数（ $\alpha = 1.6\%$ ）を乗じて吹送流 U_0 を求める。

(5) 非接触型流速計1で測定された風波の速度Cと吹送流 U_0 とから上記(6)式を用

50

いて、川の自流によって本来あるべき表面流速 U_1 を求める。

(6) 表面流速 U_1 に、風がないことを前提とした鉛直方向平均流速への区分断面毎の更正係数 β を乗じて、風の影響を取り除いた断面平均流速を求める。

(7) 風の影響を取り除いた断面平均流速に断面積を乗じて開水路の流量を算定する。

【0018】

上記手順で示した本発明による風の影響の除去手段を、4種の非接触型流速計に適用して計測した実験結果を図13に示す。

図から、電波流速計、超音波流速計及びオプティカルフロー流速計において、風の影響を補正した計測値が風の影響を補正しない計測値に比較して測定誤差が大幅に向上していることが確認できる。

10

【0019】

【発明の効果】

本発明は、以下の効果を奏する。

(1) 河川を始めとする開水路における流量を非接触式流速計を用いて観測するシステムにおいて、風の影響を正確に補正するという新規な手段より風の影響を取り除いた精度の良い流量観測装置を提供することができる。

(2) 風の影響を補正する手段としては、風向、風速を計測する装置及びこの計測値に基づいて非接触式流速計の流速値を補正する演算手段だけで良く、特別な装置を必要としないため、安価にできる。

(3) 非接触式流速計を用いた流量観測装置の唯一の弱点である風の影響を除去できることから、特に台風襲来時のように強風が吹き、洪水で接触式流速計が被害を受けるような場合でも、安全・確実に流量観測を行うことができる。

20

【図面の簡単な説明】

【図1】 非接触型流速計におけるドップラー効果を利用した計測手法の原理を説明する図である。

【図2】 非接触型流速計における画像処理方式を示す概略図である。

【図3】 流れに対し逆風の場合の流れに対する風の影響を示した正面図である。

【図4】 図3の平面図である。

【図5】 固定座標系から見た風波の速度を説明した図である。

【図6】 観測所近傍の任意の高度での風速値から水面上10mの風速値を求める手法を説明する図である。

30

【図7】 実験水路の平面図である。

【図8】 吹送流速が水面上10m換算風速の何%に当たるかを検討した結果を示す図である。

【図9】 各流速計の無風時の計測値を基準とした時の風速増加による増分率を示した図である。

【図10】 無風時の電波流速計の計測値に風速値の1.6%分を加算した吹送流速と各ケースでの計測値の比較を示す図である。

【図11】 本発明の実施の形態における流量観測装置の概略を示す図である。

【図12】 本発明の実施の形態における流量観測装置のフローを示した図である。

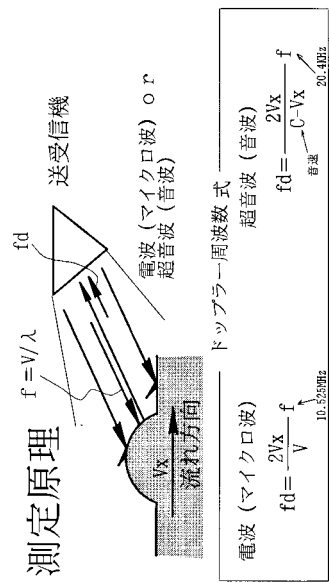
40

【図13】 本発明の実施の形態による風の影響の除去手段を、4種の非接触型流速計に適用して計測した実験結果を示す図である。

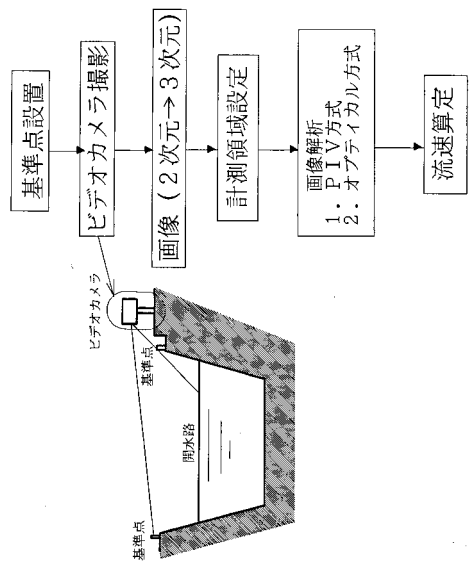
【符号の説明】

- 1 非接触型流速計
- 2 風向・風速計
- 3 水位計
- 4 流速計変換器
- 5 水位計変換器
- 6 演算処理装置

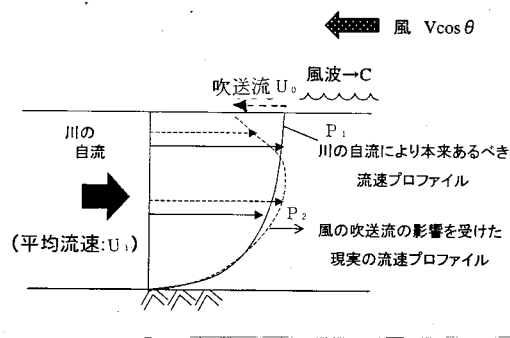
【図 1】



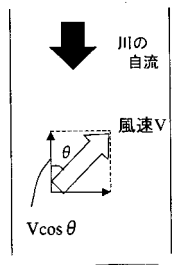
【図 2】



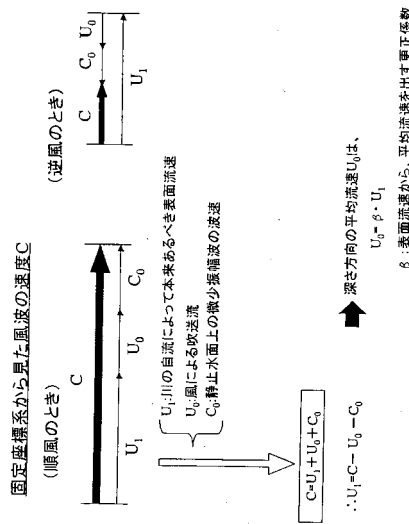
【図 3】



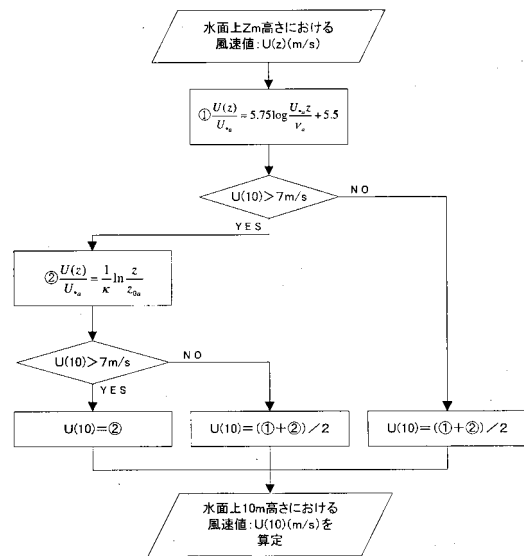
【図 4】



【図 5】



【图 6】



U(10) : 水面上 10m 地点における平均風速

U(Z) : 水面上 Zm 高さにおける平均風速

z : 水面からの高さ

 z_{0a} : 風速分布に関する水面粗度

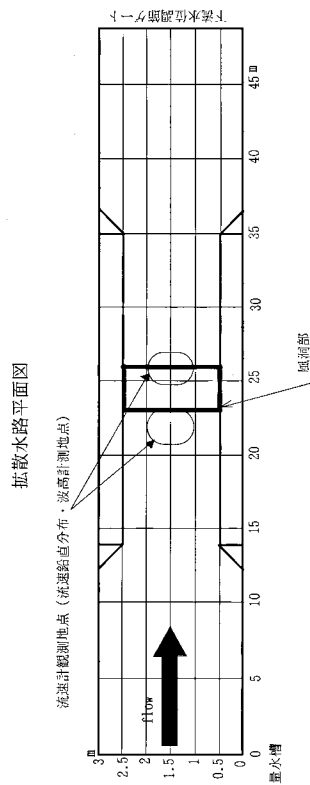
U_a : 風の摩擦速度

 ν_a : 空気の動粘性

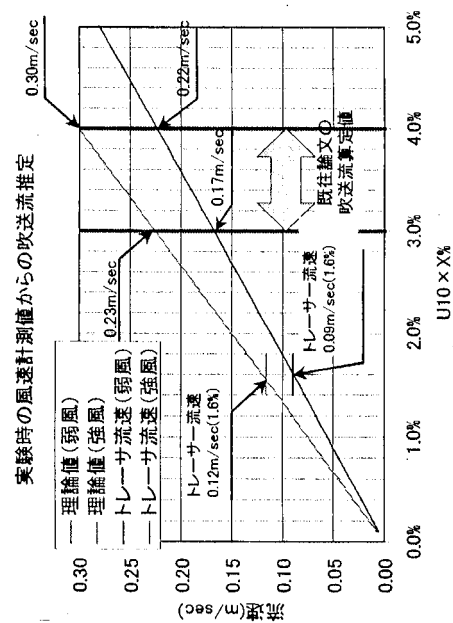
K : カルマン定数

θ : 河川流向に対する風向の角度

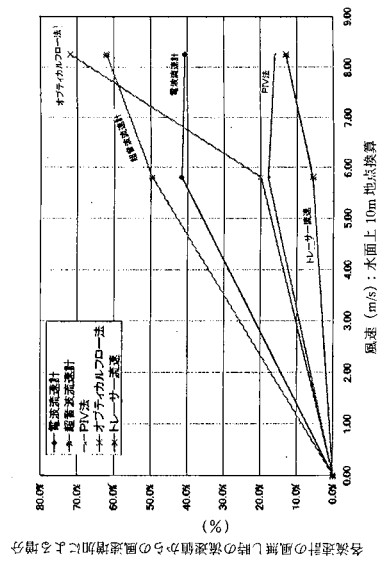
【圖 7】



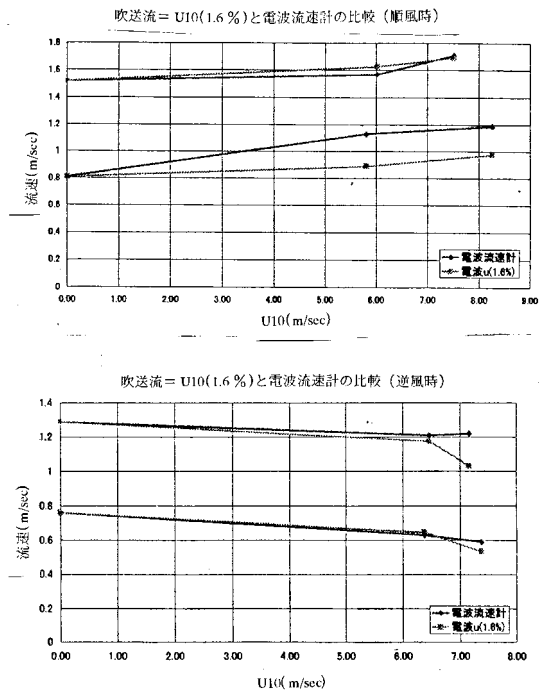
【图 8】



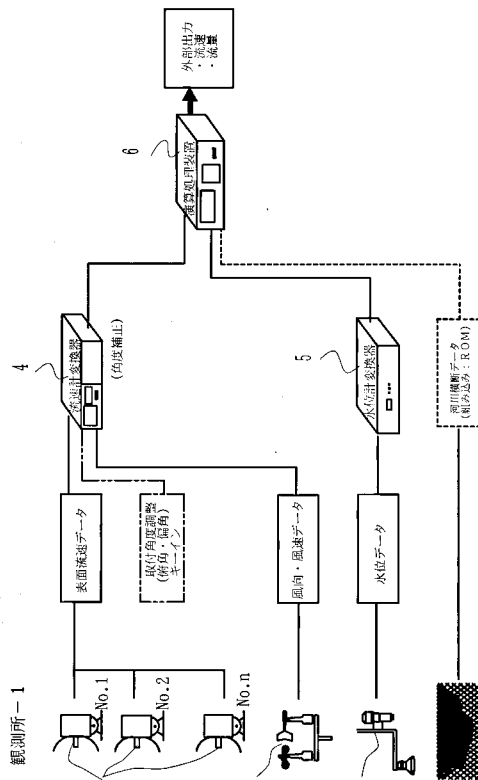
【図 9】



【図 10】

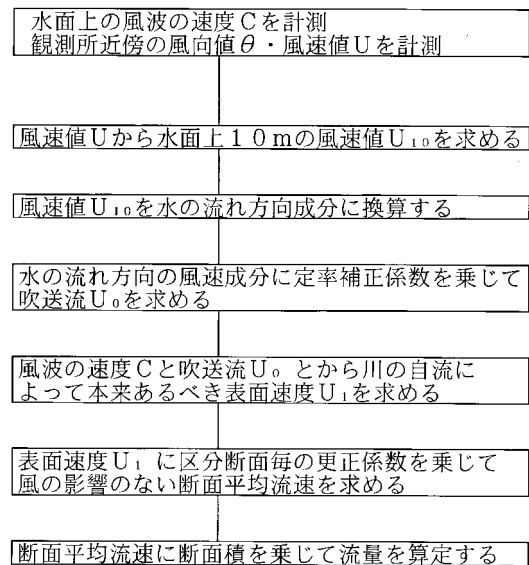


【図 11】

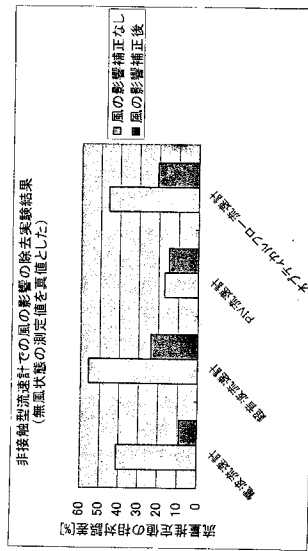


【図 12】

流量観測フロー



【図 13】



4種の非接触型流速計で風の影響の除去手法を適用した実験結果

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
G O 1 P 21/02

(73)特許権者 591015278

株式会社 拓和

東京都千代田区内神田1丁目4番15号

(73)特許権者 000232357

横河電子機器株式会社

神奈川県秦野市曾屋500番地

(73)特許権者 597052330

株式会社 東京建設コンサルタント

東京都豊島区池袋2丁目43番1号 池袋青柳ビル

(74)代理人 100116506

弁理士 櫻井 義宏

(72)発明者 吉谷 純一

茨城県つくば市南原1番地6 独立行政法人土木研究

所内

(72)発明者 深見 和彦

茨城県つくば市南原1番地6 独立行政法人土木研究

所内

(72)発明者 東 高德

茨城県つくば市南原1番地6 独立行政法人土木研究

所内

(72)発明者 芳賀 渉

東京都台東区台東1丁目6番4号 財団法人土木研究

センター内

(72)発明者 小林 範之

東京都新宿区新宿4-2-18新宿光風ビル アジア

航測株式会社内

(72)発明者 淀川 巳之助

神奈川県横浜市戸塚区前田町100番地 小糸工業株

式会社内

(72)発明者 小松 朗

東京都千代田区内神田1丁目4番15号 株式会社拓

和内

(72)発明者 奥田 慎二

東京都千代田区内神田1丁目4番15号 株式会社拓

和内

(72)発明者 中島 洋一

神奈川県秦野市曾屋500番地 横河電子機器株式会

社内

(72)発明者 清水 敬生

東京都豊島区池袋2丁目43番1号 株式会社東京建

設コンサルタント内

審査官 榮永 雅夫

(56)参考文献 特開平05-052622 (JP, A)

加藤始, 鶴谷広一, 土肥俊満, 宮崎豊, 流れの中の風波についての実験的研究(第2報), 港湾
技術研究所報告, 日本, 港湾技術振興会, 1976年12月, 15巻4号, 3-48頁

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01F 1/00 - 90

G01P 5/00

G01P 21/02