

可搬式加速装置による河川狭さく部上流水位低下現地実験

Ddrop down the water level by the deck-mount accelerator in open-channel

竹束 正孝* 和泉 清** 吉川 秀夫***

By Masataka TAKETSUKA and Kiyosi IZUMI and Hideo KIKKAWA

Temporary cofferdam used in river improvement work causes the backwater. In flood time, this backwater increases the risk of overflow over the bank. To diminish this backwater there are two method. One is kinematic method which is to diminish the flow resistance by using smooth shutterings in shape and roughness. The other is dynamic method which is to diminish this backwater by adding momentum of accelerator. We carried the mock-up test of dynamic method using the propellers of work-ship as accelerator, and as the result the water level fall down 10 cm. The result exhibited good agreement with the momentum principle. This paper presents the result of mockup test.

Keywords : cofferdam, backwater, accelerator, propeller

1. 河川改修工事の現状

河川改修工事では、通常下流から上流に向かって護岸改修が行われるため、中小河川の改修河道では工事地点下流側は川幅が広く、上流側は未改修のままで川幅が狭い。また、工事区間では、図-1に示す仮締切りのため旧河道よりさらに川幅が狭い状態となる。河川改修工事は、通水能力を改善するために行われる工事であることから、工事期間中に洪水が発生した場合、工事地点では同図に示すように水位の堰上げが発生し、未改修の上流側が氾濫する危険性が増大する。この問題に対して、現在は締切りの高さを低く抑えて、洪水時には締切り内を流路に解放し、旧河道と同じ河積を確保するような努力を払っている。

しかし、このように河積を確保しても、締切り上下端の渦抵抗や、締切り内の杭などの障害物の抵抗などにより、所定の流下能力を確保することは難しい。また、洪水後は、築造中の構造物が破壊されたり、締切り内に大量の土砂やゴミが堆積するなど、その復旧には多大な時間と費用を要する。このため、洪水時に締切り内を流路としてに解放せず、そのままの状態ですべての流下能力を確保する方法の提案が望まれている。

* 正会員 清水建設株式会社土木本部技術第一部
(〒108 東京都港区三田三丁目十三番十六号)

** 正会員 東京都土木研究所技術部
(〒108 東京都港区港南一丁目一番十八号)

*** 正会員 工博 早稲田大学教授 理工学部土木工学科
(〒160 東京都新宿区大久保三丁目四番一号)

2. 洪水対策工法の概要

締切りの高さを高くし、内部への洪水の流入を許さない場合は、締切り上下端で発生する渦によるエネルギー損失、および締切区間の流速増加による摩擦損失の増大が、上流側水位上昇の主な原因となる。この水位上昇を抑える方法としては、これらの損失を抑えて自然の流下能力を手助けする静的な方法と、外部より力を加えて強制的に水位を低下させる動的な方法が考えられる。

静的な対策としては、締切り形状および材料粗度係数の改善によりエネルギー損失を低減する方法があり、解析理論は十分に研究されている。しかし、この方法では多くの効果は望めず、さらに、そのような締切り形状にすることは新旧護岸基礎などの問題より現実的には非常に難しい。

動的な方法としては、加速装置などにより水を強制的に下流に排水する方法が考えられる。この方法では、与えた外力に応じて図-1に示すような上流側の水位低下効果が得られると考えられ、対策工法として十分な効果が期待できる。また、装置としては、デッキマウントタイプの船舶用推力装置などがあり、図-2に示すように栈橋上に設置可能である。機種も最大3千馬力まで揃っており、利用の可能性は高い。しかし、解析理論の研究は、最近始まったばかりであり¹⁾²⁾、今だに十分行われていないのが現状である。本研究では、小型作業船の推力装置を利用して流れを加速し、上流側の水位を強制的に低下させる方法の現場実験結果を報告する。

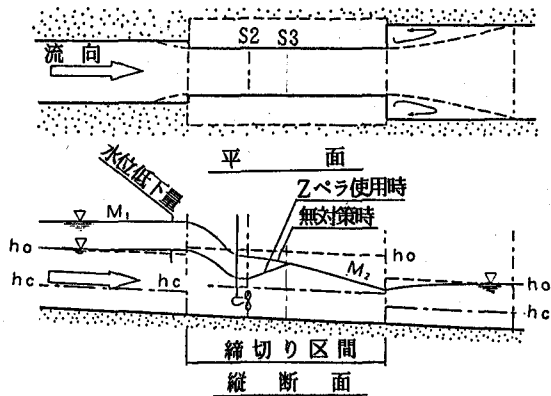


図-1 概要

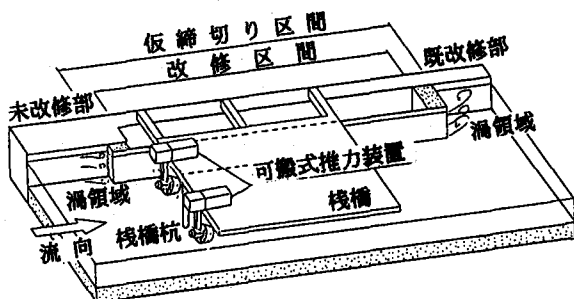


図-2 工法概要

3. 運動量保存則

本工法では外部より力を加えるため、運動量保存則に従って解析を行う。上流側断面をS1, 運動量付加断面をS2, 下流側断面をS3, 運動量付加量を ΔM とすると、運動量の関係は次式により示される。ただし、断面S2でのスクリーからの噴流 V_p は、断面S3でその速度が V_3 に低下し、流速分布は一樣になっているものとする。

$$M_1 = \rho Q V_1 + \frac{\rho g}{2} h_1^2 B_1 = \rho \frac{Q^2}{A_1} + \frac{\rho g}{2} h_1^2 B_1$$

$$M_2 = \rho (Q_p V_p + Q_n V_{n2}) + \frac{\rho g}{2} h_2^2 B_2 = \rho \left(\frac{Q_p^2}{A_p} + \frac{Q_n^2}{A_{n2}} \right) + \frac{\rho g}{2} h_2^2 B_2$$

$$M_3 = \rho Q V_3 + \frac{\rho g}{2} h_3^2 B_3 = \rho \frac{Q^2}{A_3} + \frac{\rho g}{2} h_3^2 B_3$$

$$M_1 = M_2 - \Delta M = M_3 - \Delta M$$

$$Q = Q_p + Q_n$$

$$P = \Delta M (V_p - V_1) / (2 \times 0.735 \eta_p \eta_t)$$

ここに、 Q :全流量、 Q_p :スクリー部の流量、 Q_n :スクリー部以外の流量、 h_i :各断面の水深、 V_p :スクリー部の平均流速、 V_{n1} :スクリー部以外の平均流速、 B_i :水路幅、 M_i :断面の運動量、 ΔM :運動量付加量、 P :外部動力馬力数、 η_p :スクリー効率(= 0.5)、 η_t :機関の伝達効率(= 0.9)を示す。

4. 1. 實驗目的

- (1) 解析理論の確認および実大規模実験による実証
- (2) 加速装置運転前後の緩和過程の解明
- (3) 吹き出し流のリアタッチ距離の確認

リアタッチ距離の確認は、解析断面の設定のため重要である。従来の研究では、剝離流や運河を通行する船舶の後流が約11～12度の角度で拡散することがわかっている。しかし、本工法では複数台の装置を並べて運転することもあるため再度確認しておく必要がある。

4. 2. 実験方法

(a) 実験場所

実験は、護岸改修工事を行っている東京都内の実河川で行った。水面幅は、上流側・締切り区間・下流側でそれぞれ25.0m, 14.4m, 25.0mで、上下流の水面幅は同じであるが、上流側は傾斜堤、下流側は直立堤となっている。実験場所および仮締切り部の断面形状を図-3、図-4に示す。

(b) 実験方法

実験は、図-5に示すように仮締切り部に3隻に小型作業船を係留し、その推力を利用して行った。実験は3ケース行ったが、図中に示すスクリュウの位置は実験ケース1, 2, の場合で、実験ケース3ではスクリュウの位置を1.5m下流側に変更した。

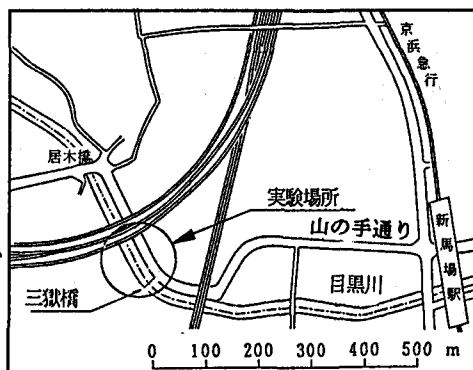


図-3 実験場所

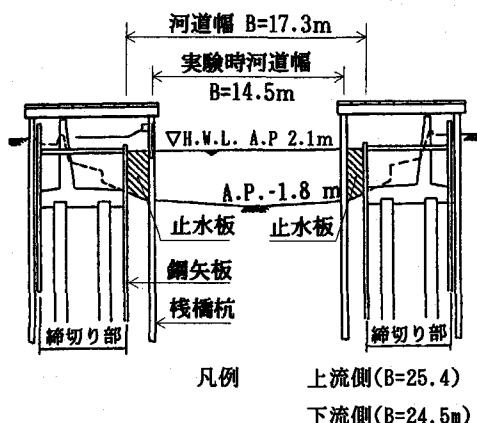


図-4 締切り断面

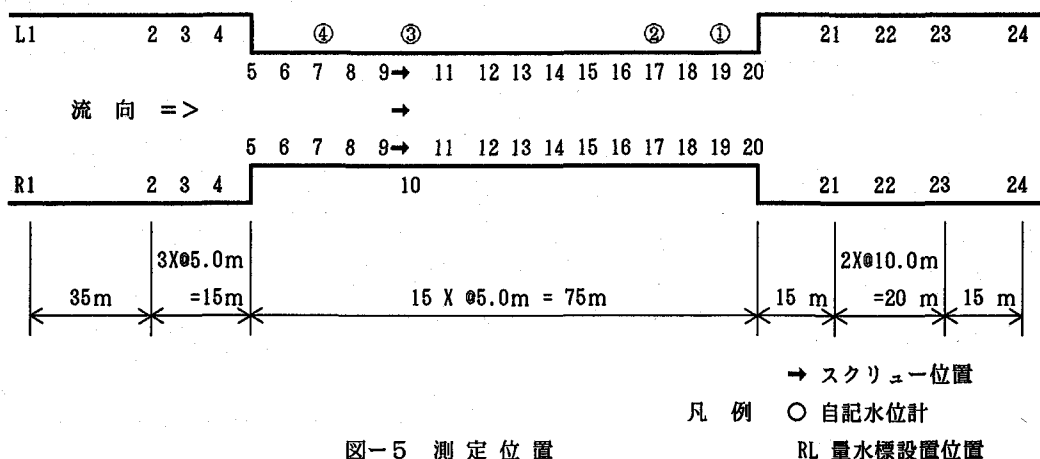


圖-5 測定位置

(c) 加速装置

加速装置として小型作業船3隻を使用した作業船の仕様を表-1に示す。作業船は各船4本の係船ロープを用い、船首船尾を栈橋杭に係留した。

(d) 測定項目および仕様

測定項目および測定計器の仕様を表-2に示す。また、計器の設置位置を表-3に示す。

測定は、水位・流速・作業船の推力などについて行った。水位の測定では水面の振動が予想されたため、自記水位計・量水標の目視観測および量水標のビデオ撮影を行い、ビデオは後日読みとる方法を併用した。また、自記水位計についてはケーシング内に砂利袋を入れ感度を低下させる方法を取った。作業船のボラードブルは、係船ロープの中間に定格荷重5tonのロードセルを取り付けて測定した。

なお、仮締切りと栈橋杭の間にある間隙には左右岸合計8カ所に止水板を取り付けて逆流を防いだ。

(e) 実験スケジュール

実験スケジュールを表-4に示す。実験はクリューの損傷を防ぐため、水位の高い満潮時前後の時間帯を選び1.5時間ずつ合計3ヶを行った。実験時の潮位(予報値)を図-6に示す。外潮位の振幅と実験場所の水位変動はほぼ1対1に回答しており、実験時の流況は外潮位に回答して複雑に変化している。

表-1 作業船仕様

作業船名	出力 (ps)	船体寸法 (LXWXD m)	スクリー径 (mm)	位置
第5東庄丸	120	11.98X3.32X1.42	1,014	左岸側
辰丸	160	11.52X2.82X1.45	1,250	中央
第三海竜丸	120	13.42X3.53X1.70	1,014	右岸側

表-2 測定仕様

測定項目	測定計器	測定方法	測定頻度	計器台数
水位	自記水位計	連続自記記録	連続	4
	量水標	目視 ビデオ撮影	指定時刻	48
流速	磁気流向 流速計	60秒間平均の 読みとり	指定時刻	4
推力	ロードセル	ボラードブル	3	1

表-3 測定位置

項目	10月 7日		10月13日
	10:30~12:00	14:00~15:30	14:30~16:00
スクリー位置	L10~R10	L10~R10	L13~R13
自記水位計 (左岸側栈橋杭)	L7, L10 L17, L19	L7, L10 L17, L19	L10, L13 L17, L19
量水標 (目視、ビデオ)	L1~L24 R1~R24	L1~L24 R1~R24	L1~L24 R1~R24
流速測定断面	L1~R1 L5~R5 L18~R18 L24~R24	L1~R1 L5~R5 L18~R18 L24~R24	L1~R1 L5~R5 L18~R18 L24~R24

表-4 実験スケジュール

測定項目	時刻									
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
10月 装置運転										
10月 水位測定										
7日 流速測定										
日 採泥採水										
日 推力測定										
10月 装置運転										
10月 水位測定										
13日 流速測定										
日 採泥採水										

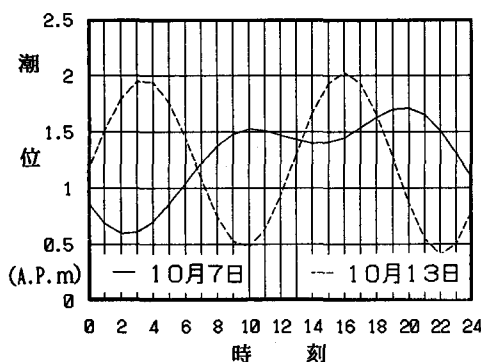


図-6 潮位変化(予報)

注) 流速測定は、各ケース起動・停止前後の4回ずつ行う。

5. 実験結果

5. 1. 推力測定結果

ロードセルによるボラードブルの測定結果を図-7に示す。小型作業船のボラードブルは 160ps作業船で最大約 2.5Ton、同120psで最大約1.5Tonであった。実験時の作業船の推力は、エンジン回転数から換算した結果合計約 4.8トンであった。ボラードブルおよび実験時のエンジン回転数から求めたスクリーアの排水量は表-5に示すとおりで、作業船3隻の合計で約 10.8~11.5 m^3/s となる。

5. 2. 水位測定結果

自記水位計の測定結果を図-8に示す。同図より、定常状態で上流側で約10cmの水位低下が発生していることがわかる。量水標による時刻別の水位測定結果は、図-9に示すとおりである。ただし、ビデオの読みとりは約10秒間の平均とした。

また、設置した流量標が

傾斜していた測定点L-21,R-3,R-4については各実験ケース毎にそれぞれ水位を補正している。自記水位計と同様に加速装置の運転による水位の変化状況が読み取れる。

流速分布の測定結果より求めた流量の経時変化は図-10に示すとおりである。実験ケース1では、小型作業船の配置が多少片寄っていたため、水路内で渦流が発生しており、各断面で流量分布にバラツキがみられる。

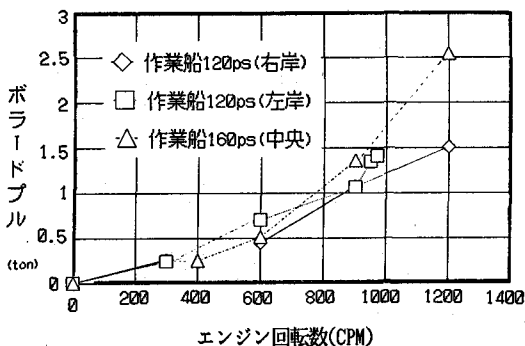


図-7 ボラードブル測定結果

表-5 スクリーア排水量

項 目	10月7日(第一回目)			10月7日(第二回目)			10月13日(第三回目)		
	左岸	中央	右岸	左岸	中央	右岸	左岸	中央	右岸
最大出力P (ps)	120	160	120	120	160	120	120	160	120
スクリー径 D (mm)	1.014	1.250	1.014	1.014	1.250	1.014	1.014	1.250	1.014
回転数n (cpm)	1000	1100	1050	900	1000	1000	1000	1100	1000
スラストT (ton)	1.220	2.148	1.410	1.075	1.757	1.410	1.220	2.148	1.410
流速V (m/s)	3.848	4.142	4.137	3.612	3.748	4.137	3.848	4.142	4.137
流量Q(m^3/s)	3.107	5.083	3.340	2.917	4.597	3.340	3.107	5.083	3.340
合計流量Q(m^3/s)	11.530			10.854			11.530		

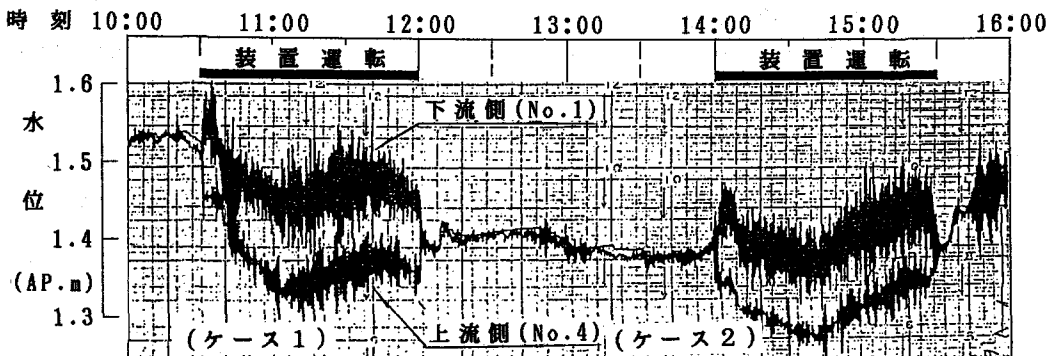
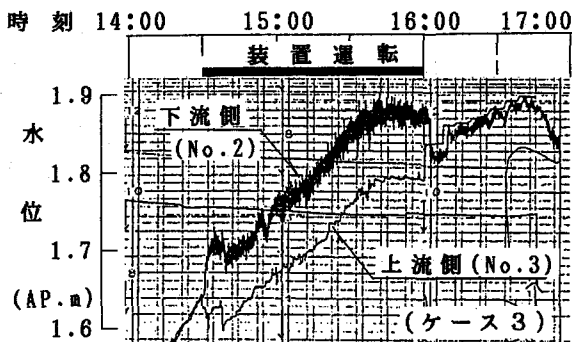


図-8 自記水位計測定結果

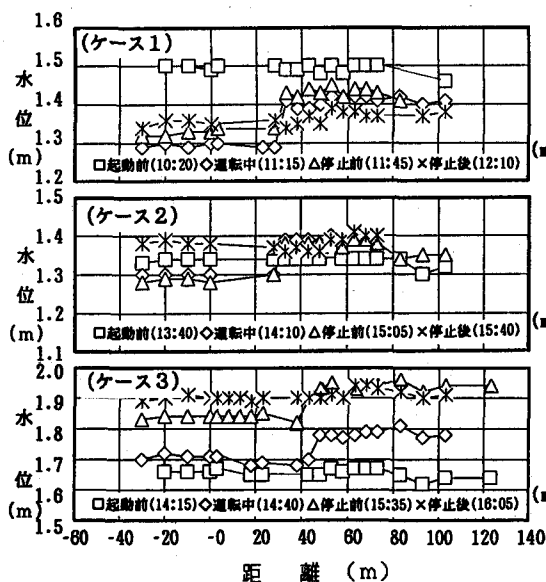


図-9 水位測定結果

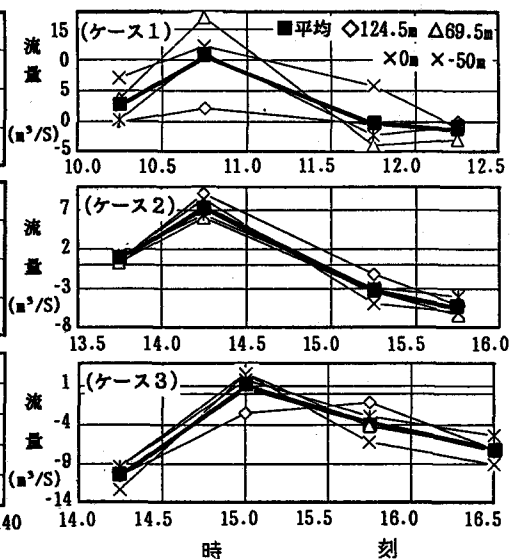


図-10 スクリュー排水量

6. 考 察

加速装置の運転による水位変化は図-11に示すように、(1) 起動時緩和過程 (2) 定常状態 (3) 停止時緩和過程により構成されると考えられる。

この緩和過程は、図-1の上流側の水位変化にともなう、上流側河道内貯留水量の変化にともなって発生すると考えられる。

(1) 起動時緩和過程

加速装置の起動により局所的運動量の釣り合いが発生し、下流側では $\Delta h/2$ の水位上昇が、上流側では $\Delta h/2$ の水位低下が発生する。この水位差により、加速装置設置断面から下流側の河口にかけて水面勾配が大きくなるため、流量が一時的に増加する。

また、上流側でも同じ理由により流量が増加する。この現象により、上流側の余剰河道内貯留水が平衡状態に達するまで下流側に排水される。

ここで、河川に流入する流量が一定の条件では、上流側貯留水の排水に従って局所的な流量変化は徐々に元の状態に戻るため、時間の経過に従って下流側の水位も低下し、元の水位に戻る。また、上流側の水位もさらに $\Delta h/2$ だけ低下し平衡状態となる。この過程は、局所的な運動量の釣合いが河川全域に伝播する過程と考えられる。

(2) 定常状態

上流側の余剰貯留水が下流側に排水され、初期状態に比べて上流側水位が Δh だけ低下し、河川全体の運動量・エネルギー保存および連続条件が釣り合った状態となる。

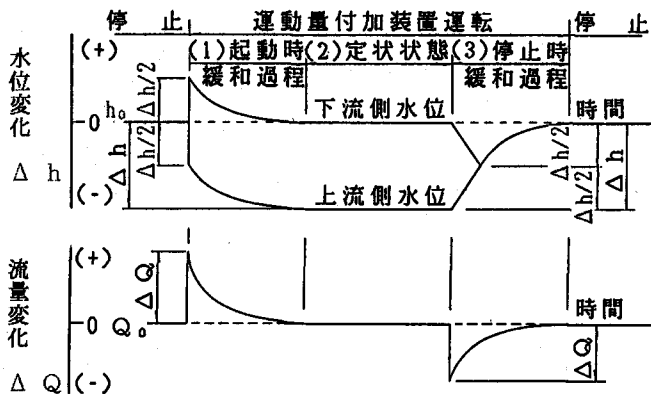


図-11 水位の経計時変化

(3) 装置停止時非定常過程

装置の停止により、上流側の水位が $\Delta h/2$ 上昇、下流側の水位が $\Delta h/2$ 低下して上下流の水位差がなくなり、定常状態から元の水位に回復する。この過程では起動時緩和過程と反対の状況が発生し流量が一時的に減少する。

測定結果の解析に当たっては、上記のどの過程に属するかを把握し整理を行う必要がある。自記水位計による測定結果は図-8に示したとおりであり、装置の起動停止時とも上記の現象が発生している。

スクリー吹き出し流のリアッチ距離については、図-9に示した水位測定結果では水位差約10cmがスクリー後方10m~15mの区間で発生しており、スクリーの吹き出し流は従来の研究どうり約11度前後の角度で拡散すると考えられる。

流量の変化では、起動時に流量が約 $10\text{m}^3/\text{秒}$ 増加している。推力から求めたスクリーの排水量も約 $11\text{m}^3/\text{秒}$ であり上記と対応している。なお、テレメータ観測により、上流約2kmの地点でも同等の水位低下が確認されている。

作業船の推力を $T=4.8\text{ton}$ とした時の、水深・流量別上流側水位低下量の計算結果を図-12に示す。実験時の水深は $h=3.2\sim 3.8\text{m}$ であり、実験結果とほぼ一致している。また、同図より、水位低下量は流量よりも水深の影響が大きいことがわかる。ただし、スクリーによる推力は、流水との相対速度によって多少変化するが、ここでは一定とした。

実工事への適用に当たっては、水深とスクリー直径の関係およびゴミに留意する必要がある。スクリー破損の原因は主にキャビテーションや水面からの空气の吸い込みである。キャビテーションについてはスクリー設計時に十分考慮されているが、空气の吸い込みについては利用上の問題である。船舶の設計では、スクリー軸心の水没水深をスクリー直径の1.0~1.3倍、揚排水機場のポンプ設置基準³⁾では同ポンプ口径の3.0~4.0倍以上となっている。この相違は、施設としての重要度や船体による空气吸い込み防止効果などが考えられるが、船体と同様の空气吸い込み防止装置を工夫すれば、軸心の水没水深はスクリー直径の1.5倍程度でも可能と考えられる。また、河床とスクリー下端の距離は、安全上1m以上とする必要がある。これより、スクリーの直径は河川の水深より、設置台数は川幅より決めることができる。

7. あとがき

本報告では、河川改修工事時の動的洪水対策工法の概要、および作業船の推力を利用した現地実証実験結果を報告した。実験の結果、本工法の有効性、および水位低下効果は外部からの運動量付加を含めた運動量保存則に従うことなどが確認できた。

本研究は、河川改修工事時の洪水対策工法として研究を進めてきた。しかし、原理的には、強制的に上下流の水面勾配を変化させたり、ポンプとしての排水を行うこともできるため、例えば静止した循環水路に流れをつくることや、ゲートに取り付けて容量の大きい軸流排水ポンプなどとして利用することも可能である。今後、このような用途への応用も考えて行きたい。

(参考文献)

- 1) 吉川、萩原：障害物による排水効果に対するポンプの有効性、土木学会論文集 第399号/Ⅱ-10
- 2) 竹束、和泉、吉川：運動量付加装置による開水路水位低下、第45回年次学術講演会講演概要集 Ⅱ-248
- 3) 揚排水ポンプ設備技術基準(案)解説、(社)河川ポンプ施設技術協会

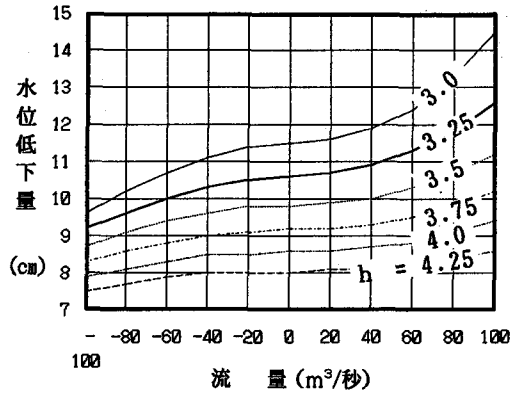


図-12 水位低下量計算結果