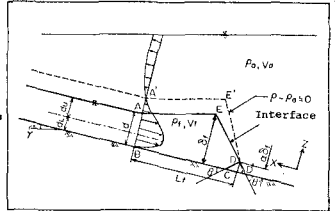


密度流先端部の挙動に関する研究 (2)

京都大学防災研究所 正員 芦田 知男
 京都大学防災研究所 正員 江頭 進治
 京都大学大学院 学生員 ○中川 一

1. まえがき 貯水池に流入する微細土砂による堆砂や濁水長期化現象は、ダムのもつ利水、治水の機能を有効に利用するうえで大きなマイナス面であり、これらの問題を解明する立場から、密度流の研究が活発に行われている。著者らは前報^{2), 3)}で、種々の研究成果を参考にして、密度流先端部形状のモデル化を図り、これに基づいて形状抵抗係数と先端部前面の傾斜角が先端部の移動速度、密度および波高におよぼす影響について検討した。本報では、オーバーハングの高さ、連行速度、水路勾配および定常部と周囲水との密度差が、先端部の諸特性に対してどのような影響を与えるかについて若干の考察を行う。

2. 先端部の解析モデルと支配方程式 先端部の解析モデルと支配方程式(体積・質量・運動量保存則)は、前報のものと同様であり、これらはそれぞれ図・1および(1)(2)(3)式のようなものである。



図・1 先端部の解析モデル

$$dA_f/dt = \int_0^L \{U(x) - V_f\} dx + d\delta_f(V_f - V_a) - W_{DE}DE - W_{EA}EA \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$d(\rho_f A_f)/dt = \int_0^L \{\rho_a U(x) - \rho_f V_f\} dx + d\delta_f \rho_a (V_f - V_a) - \rho_f (W_{DE}DE + W_{EA}EA) \quad \dots\dots\dots (2)$$

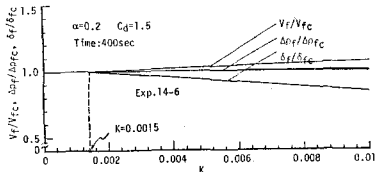
$$d(\rho_f A_f V_f)/dt = \int_0^L \{\rho_a \{U(x) - V_f\}^2 dx - \frac{1}{2} C_f \rho_f L_f V_f^2 - \rho_a d\delta_f (V_f - V_a)^2 - \rho_a (W_{DE}DE + W_{EA}EA) V_f - V_a\} \\ + [\frac{1}{2} \rho_a g d^2 \cos \theta + \rho_f g d^2 - \rho_a g d^2] - \rho_a g d_f [\frac{1}{2} d_f \cos \theta \sin(\theta + r) - d_f^2 \sin \theta \cot \theta] + \rho_f A_f g \sin \theta - \frac{1}{2} C_d \rho_a (1 - \alpha) d_f V_f^2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに A_f : 先端部 ABCDE の面積, V_f : 移動速度, V_a : 周囲水の流速, δ_f : 最大波高, $U(x)$: 定常部の流速分布, ρ_a : 周囲水密度, ρ_f : 定常部水の密度, ρ : 先端部の密度, L_f : 先端部の長さ, C_f : 底面の抵抗係数 ($C_f = 1.328/\sqrt{Re}$), W_{DE} , W_{EA} : DE, EA 面からの単位長さ当りの流出流量

3. 計算値と実験値との比較 V_f , ρ_f および δ_f は (1) ~ (3) 式を数値的に解くことによって求められるが、これらの特性量は、 θ , W_{DE} , W_{EA} , α および C_d の影響を受けて変化する。

このうち θ については、前報で考察しているもので、これを $\theta = 60^\circ$ とおき、 C_d を適当に与えて W_{DE} , W_{EA} および α の影響について調べよう。まず、 W_{DE} , W_{EA} は成層流の連行速度と同様に、 $W_{DE} = W_{EA} = K V_f^2 / (\rho_f - \rho_a) g d_f$ と置けるものとし、 V_f , ρ_f および δ_f に対する K の影響を計算しにのが図・2である。ここに V_{fc} , ρ_{fc} , δ_{fc} はそれぞれ $K = 0.0015$ とし求めた 400 秒のときの値である。この図から、 ρ_f に対する K の影響は無視できる程度であるが、 δ_f に対してはかなり大きいことがわかる。これは、DE, EA 面からの流出流量が先端部の体積、すなわち波高に直接的に影響するためである。 V_f に対しては、波高変化による形状抵抗と推進力とが相殺するため、その変化は波高の変化ほど大きくなく、 K が大きくなるにつれて若干増加する程度である。

図・3(a)(b)、図・4および図・5は、 $K = 0.004$, α をシンプソンの経験式³⁾をもとにして 0.7 および 0.2 と設定したときの V_f , ρ_f および δ_f の計算値と実験値とを比較したものである。 V_f に関しては $\alpha = 0.1$, $C_d = 1.5$ の計算値が実験値をよく説明している。なおシンプソンの経験式から α を算定すると 0.091 となり、0.7 に近い。 $\alpha = 0.2$ (図・3(b)) では取り込み量が増加し、波高の発生に



KAZUO ASHIDA, SHINJI EGASHIRA, HAJIME NAKAGAWA

よる推進力の増加よりも抵抗の項がさらに大きくなるため、 $\alpha=0.1$ の場合より移動速度が小さくなっている。また図

中には、定常部の平均流速 V_U も示されているが、先端部の移動速度は、ほぼこれに等しい。密度に関して $\alpha=0.1$ としたときの計算値が実験値との対応がよく、 $\alpha=0.2$ の場合は、周囲水の取り込みの増大に起因する密度梯度のため、 δ_f は小さく算定されている。波高に関しては、実験値の変動が大きいため、計算値との比較が十分できないが、計算値はいずれも増加傾向を示す。当然、 α が大きくなると δ_f の増加率も大きくなる。

つぎに、路床勾配や定常部と周囲水との密度差に、 V_f , δ_f および δ_f がどの程度影響を受けるかを検討しよう。図6および図7は、これらについての計算結果を示したものである。 δ_f は勾配(γ)が大きくなると形状の幾何学的条件による増加率が卓越するため、 γ の増加とともに大きくなり、一方、定常部の密度差 $\Delta\rho$ が大きくなると、定常部の厚さが小さくなるため、 δ_f は小さくなる。 $\Delta\rho$ は図7の結果のように、 $\Delta\rho$ の増加に伴って大きくなるのに対し、図6に示すように、勾配が大きくなると、波高が増加してオーバーハングの高さが大きくなり、周囲水の取り込みが活発になって $\Delta\rho$ は減少する。 V_f は、 K と α を一定にした場合、波高変化による形状抵抗と推進力とによって規定されるため、 γ の変化に対しては複雑に変化して、ある勾配において最小値をとったのち、漸増する。また、 $\Delta\rho$ が増加すると $\Delta\rho$ が増加して推進力が大きくなり、 V_f は顕著な増加を示す。

4. あとがき 以上のことを総合すると、実験領域において、 K の値は0.004程度であって、 $\alpha=0.1$ および $C_d=1.5$ としたとき、先端部の特性量 V_f , δ_f および δ_f の変化が説明される。数値計算に基づく種々の考察より、勾配の変化に対しては、 δ_f が最も影響を受け、また、定常部の密度差 $\Delta\rho$ が大きくなると、 $\Delta\rho$ および V_f は増加するのに対し、 δ_f は減少することが明らかにされた。

<参考文献> 1) 芦田・江頭・中川: 密度流先端部の挙動に関する研究, 土木学会論文報告会, 1979

2) 福岡・木村・加納: 密度流先端部の流動機構に関する研究, 土木学会論文報告会, 274, 1978

3) Simpson, J.E: Effects of the lower boundary on the head of a gravity current, J. Fluid Mech. Vol 53, Part 4, 1972

4) 芦田・江頭: 密度躍層のある場における濁水の挙動に関する研究, 京大防災研報, 18号B, 1975.

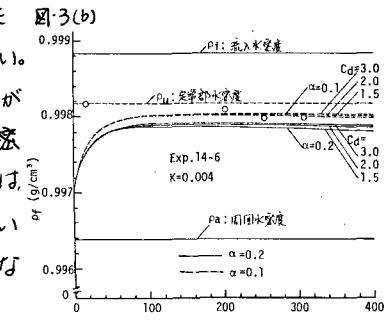
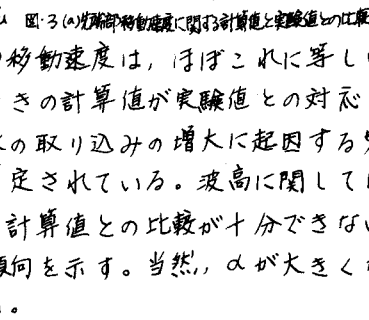
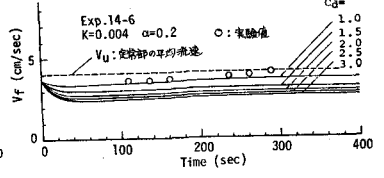
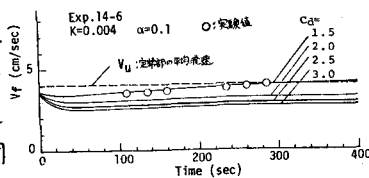


図4 密度に関する計算値と実験値との比較

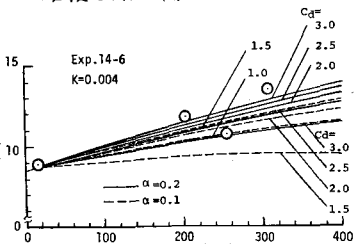


図5 波高に関する計算値と実験値との比較

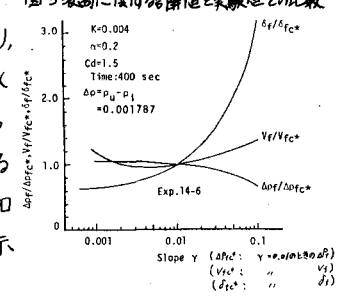


図6 先端部特性量に対する勾配の影響

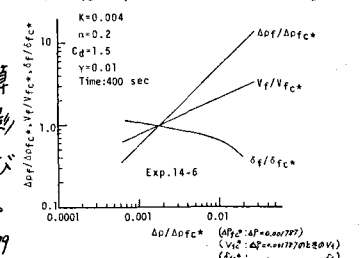


図7 先端部特性量に対する密度差の影響