20 曳航水槽における流れの可視化 試験用の新しいトレーサの開発

三菱重工業 (株) 武隈克義, 笹島孝夫
長崎研究所・船型試験場 池田 勉

On the New Tracer for Flow Visualization Test in Towing Tank

Katsuyoshi TAKEKUMA*, Takao SASAJIMA* & Tsutomu IKEDA*

A tracer was developed to visualize the diffusion process of the soiled water discharged from the bottom of a hopper dredger in a towing tank.

Comparative tests on several candidate tracers were conducted to select a tracer most suitable for this kind of visualization tests within the restrictions imposed on the tests in towing tank. As the results, the mixture of microscopic particles and water was chosen, which was obtained by filtering a red-colored soil with 100 μ m mesh and adjusted to the specific gravity of 1.05.

By using this tracer, diffusion process of discharged soiled water, namely the flow of the discharged soiled water along the ship hull and accelerated by the propeller into its race and widely diffused, was successfully visualized. This tracer was shown to be useful for visualizing the macroscopic turbulent flow around the stern part of ship models.

1 ま え が き

模型船周囲の流れ可視化については、使用する設備および観察の対象により種々の方法が試みられている。最近、当場では浚渫船の船底より吐出される汚濁水が船底に沿って後方に流れ、プロペラによって加速されて水面に広く拡散される状況を可視化する試験を曳航水槽を用いて実施した。曳航水槽という既存設備の制約下で、目的に適う調査を行うために、まず各種のトレーサに関する比較検討のための予備試験を実施し、その結果、粒度および比重を調整した赤土の水溶液を選定した。このトレーサは船体周囲の広い範囲の流れの状況を巨視的に観察する試験のみならず、肥大船の船尾付近の流れの観察にも適していることが分かったので、以下報告する。

* Nagasaki Experimental Tank, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., 3-48 Bunkyo-Machi, Nagasaki

2 曳航水槽での流れの可視化の条件

曳航水槽は，曳引車で模型船を曳航し，その抵抗計測や自航性能調査の試験を Routine Work として実施するように設計されている。したがって模型船を用いた流れ可視化試験に際しては，設備上の制約の中で本来の機能に支障を来たさぬように配慮する必要がある。又，今回の試験では，浚渫船の船底より吐出される汚濁水が船底に沿って後方に流れ，プロペラにより加速・拡散され水面近傍に浮上して拡がるまでの広い範囲の流場観察が必要であり，その目的に合ったトレーサーを開発する必要がある。これらの条件を整理すると次のとおりである。

- (1) 試験時の船速において拡散の状況に追従すること。 $(0.3\text{m/s} \sim 3.0\text{m/s})$
- (2) 模型船の長さ方向の比較的広い範囲で調査が可能であること。
- (3) 多量のトレーサーを投入しても水槽水の化学的，物理的性質に悪影響を及ぼさないこと。
- (4) トレーサーの回収が容易であること。
- (5) 水中写真撮影の観点から，トレーサー色彩のコントラストが良いこと。
- (6) 安価で，取扱いが便利で，人体に無害であること。

これらの条件を考えると，ミルクやインクより，最近流れの可視化によく用いられるポリエチレン粒子等の方が適していると考えられるが，価格，回収方法に問題がある。予備的な検討からは，流れによく追従するためには，吐出後の拡散の遅い微粒子を含む液体が好ましいと判断されたので，従来より知られている，インク等，数種のトレーサーを候補に選び，比較調査を実施した。

3 トレーサーの調査

3.1 静的拡散試験

まず12種のトレーサー候補材（赤インク，黒インク，顔料，カーボン，マイラー，鋳物砂2種，園芸用硬質土，赤土3種，アルミ粉）をアクリル樹脂製円筒の中の静止水中へ重力で放出し，拡散の様子を観察した。なおインク以外は水に溶かしたものを使用した。Fig. 1に，黒インク，アルミ粉，および赤土（ただし $200\mu\text{m}$ の金網でこしたものの）の試験例を示す。静水中放出時の拡散状況，粒子の沈降の様子（水の透明度）および，色彩のコントラストの面で評価すると，Table 1に示すとおりである。すなわち静止水中への放出の様子から判断すると，黒インク，および赤土（ただし $200\mu\text{m} \sim 500\mu\text{m}$ の粒子を含む）が良いことが分かった。

Table 1 静止水中への拡散状況

トレーサ	赤インク	黒インク	顔料 (紫)	マイラー	カーボン	鋳物砂 (赤・黒)	園芸用 硬質土	赤土 (200 μm 以下)	赤土 (500 μm 以下)	赤土 (200 μm 500 μm)	アルミ粉
拡散	×	○	×	×	×	×	○	○	○	○	○
沈降	×	×	×	×	○	○	×	△	△	○	×
コントラスト	△	○	○	×	△	×	△	○	○	○	△

ただし ○印は良好、△印は問題あり、×印は不適格、の意を表す。

3.2 流速の影響 (1)

流速の影響は、今回の流れの可視化では重要なパラメーターである。まず小型の水槽(4m×0.6m×0.6m, 側面はアクリル樹脂の観測窓)内の水槽水中を前進する垂直な細管の下端からトレーサを放出したときの拡散状況, 粒子の沈降の様子, 色彩のコントラスト等を調査した。使用したトレーサは黒インク, アルミ粉および比重調整した赤土の水溶液である。試験結果の評価を Table 2 に, 又, 赤土の粒子を用いた試験の例を Fig. 2 に示す。

黒インク 赤土 アルミ粉

(200 μm ~ 500 μm)

Fig. 1 トレーサ拡散状況 (10秒後)

Table 2 トレーサ拡散等への流速の影響

トレーサ	黒インク	アルミ粉 比重0.84	赤土 200 μm 以下	赤土 200 μm 以下	赤土100 μm 以下 顔料(紫) 比重1.1	赤土200 μm 以下 顔料(紫) 比重1.1
吐出量	2 cc/s	7 cc/s	5 cc/s	10 cc/s	15 cc/s	15 cc/s
拡散	○	×	○	○	△	○
沈降	×	×	○	○	○	○
コントラスト	○	×	×	△	○	○

ただし ○印は良好、△印は問題あり、×印は不適格、の意を表す。

赤土 (200 μm 以下) 赤土 (200 μm 以下) + 顔料(紫) 比重1.1

Fig. 2 トレーサ拡散への流速の影響 (速度 0.5m/s)

流速が 0.5m/s 程度であれば，黒インクでも拡散の状況は良いが，更に流速が早い場合には問題がある。この点赤土を $200\mu\text{m}$ のフルイでこして比重を1.1程度に調整した水溶液（コントラスト増加のため茶色の顔料を混ぜ合わせた）が比較的良好な結果を示した。

3. 3 流速の影響 (2)

次に浚渫船における吐出水の拡散状況可視化のように多量のトレーサーを放出した場合について調査を行った。トレーサーとしては赤土で粒子を $200\mu\text{m}$ 以下，比重を1.1程度に調整したものが適していることが，上記の調査で判明したので，比重が1.1および1.05の場合について，円筒状の吐出口から放出する試験を試みた。結果を Fig. 3 に示すが，多量に放出する場合，赤土のみでも十分色彩のコントラストが得られ，かつ比重が1.05の方が吐出水の挙動に良く追従すると判断された。

Fig. 3 トレーサー拡散への流速の影響
(放出量を増加した場合，比重 1.05)

3. 4 赤土の選定および沈降試験

トレーサーの素材である赤土は，その採取場所により色調が異なり，コントラストに影響する。そのため，長崎県内の数箇所から採取した赤土でトレーサーを作り，3.2項および3.3項に示す方法で試験を実施し，最終的に，長崎市郊外から採取した赤土を採用した。トレーサーの水槽水透明度に及ぼす影響を調べるため，Fig. 4 に示すように，水槽の水深と同じ深さ3mのアクリル樹脂製円筒（直径15cm）にトレーサー200ccを注入し，沈降の様子を調査した。その結果，トレーサー注入後90分で水の透明度が回復し連続して試験が可能なることが分かった。なお供試トレーサーの粒度分布調査結果を Fig. 5 に示す。またトレーサー使用による水槽水質（PH濃度，粘性係数等）への影響が無いことを水質検査により確認した。

Fig. 4 トレーサー沈降試験

4 曳航水槽試験への応用

4.1 浚渫船のオーバーフロー水汚濁
拡散状況の可視化試験

ホッパー式浚渫船は、浚渫された海底の泥を海水と共に吸引し、泥のみを泥槽内に沈殿させ、上澄液を船外に放出する。その上澄液は微細な土の粒子を含む汚濁水であり船底から放出された後、船底に沿って流れ、プロペラにより加速、拡散されて水面に浮上し、船体後方海面に拡散する。このような汚濁水の挙動とプロペラによる干渉の様子を調査するために、船底より汚濁水の代りに、トレーサーを吐出して流れの様子を可視化した。Fig. 6に可視化の1例を示す。この写真から、吐出された汚濁水が船底に沿って流れながら拡散する様子、およびその上端がプロペラ後流にかかり急速かつ広範囲に拡散する様子が示されている。

Fig. 5 トレーサーの粒度分布

Fig. 6 浚渫船の吐出オーバーフロー水拡散の可視化

(模型船長 4.5m 船速 0.47m/s, プロペラ回転数 14.6rps, トレーサー吐出量 1.35ℓ/s)

4.2 船尾近傍流れの可視化への応用

今回開発したトレーサーを、模型船の船尾付近の船体表面から放出することにより、プロペラ近傍の流れを可視化した例を Fig. 7 に示す。参考までに、この種の観察に良く利用されているタフト試験の写真を比較して示している。それによると、流れの様子を巨視的にとらえていること、又、タフト試験では良く観察できないプロペラ上方での乱れや、逆流の様子などを観察することができる。

タフトによる可視化

トレーサーによる可視化

タフトによる可視化

トレーサーによる可視化

Fig. 7 船尾近傍流れの可視化

(模型船長 7m, 船速 1.46m/s , プロペラ回転数 8.6rps)

5 あとがき

今回開発したトレーサーは，流線の可視化用というよりは，粒子の拡散の過程で流れに追従するタイプのものであり，流れを巨視的に観察する目的に適していると言える。浚渫船の吐出オーバーフロー水の可視化試験は，直接的な適用例であるが，船尾近傍流れを可視化する場合，トレーサーの放出位置，放出方法，放出量等については，さらに検討の余地がある。また，より詳細な調査を要求される場合には，微細な粒子を加えたときの流体力学的性質の変化，あるいは模型と実船の相関関係など問題についても検討する必要があると考えられる。