

III—1 噴流による砂礫の移動限界について

名古屋工業大学 正員 土屋 義人

水流による砂礫の移動限界の問題は、従来限界掃流力としてもつばら一様流れによる場合が取り扱われてきたが、この研究において述べる噴流による砂礫の移動限界の問題は、水流による局所洗掘の防止に対する一つの基礎的な水理現象であるばかりでなく、その洗掘機構の解明に当っても重要なものと考えられる。

著者はすでに昭和32年度土木学会中部支部研究発表会において、上記の問題についての若干の実験結果とその考察について報告したが、その後この移動限界の機構を水理学的に解明するために、*Submerged jet* が衝突することによって生ずる砂面付近の流れに関する実験を行い、その結果を基にして砂礫の移動限界に対する理論的な考察を進めてきた。今回はそのうちとくに *submerged circular jet* による砂礫の移動限界を解析しようとした結果について説明する。その概要はつぎのようである。

1. 砂面付近の流れ：砂礫の移動限界を解析するためには、砂面付近の流れを明確にする必要があるが、噴流の拡散の他に砂面へ流れが衝突するという現象のため、その解析はなかなかむずかしい。従つて標記の問題に対しては、主として噴流の中心付近の流れが最も重要であることから、つぎのように近似的に取り扱つた。

i) まず図-1に示すように、流れを三つの領域に分けて考えることにする。すなわちAは自由噴流の拡散に関する *Schlichting* などの理論が適用される領域、Cは境界層によって限られる領域であり、またBはそれらの中間的な領域とあらわし、噴流の中心付近においては十分ポテンシャル流れによって近似されると

図-1 流れの説明

考えられる部分である。

ii) 境界層を解析するためには、境界層外の流速分布を必要とするので、ポテンシャル流れに基づく近似的な取り扱いをもとにして、実験的に求められた。

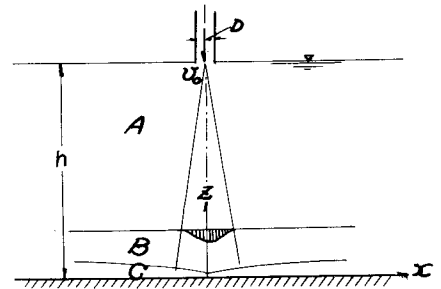
iii) 境界層は層流および $1/n$ 乗法則による乱流の場合について解析され、その結果境界層の厚さおよび摩擦速度の分布などが明らかにされた。

iv) これらの結果と実験結果に比較することによつて、噴流の中心からはなれるに従つて実験値の方が小さくなり、また粗面の効果がかなり大きくあらわれていることなどがわかった。

2. 砂礫の移動限界：移動限界を解析するために、図-2に示すような力学的模型と考へ、つぎのような方法によつて、流れに対する砂礫の平衡条件と考察した。

i) 砂礫に働く力としては、鉛直方向の流体抵抗と圧力勾配による抵抗の和 R_L 、水平方向の流体抵抗と圧力勾配による抵抗の和 R_T 、および砂礫に働く重力 W のみを考へた。

ii) 砂礫が境界層の中に入つてしまう場合および露出する場合の両者に対して、層流お



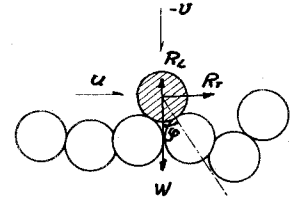
よび乱流境界層を仮定して平衡条件が取り扱われた。

iii) 境界層外に砂礫が露出する場合のB領域における水平方向の流速は、実験結果に基づいて近似的に取り扱われた。

図-2 球状の砂礫に作用する力

iv) 速度変動による乱れの効果は、実験結果との比較において、付加的に考慮された他はすべて省略された。

以上の取り扱いによつて進められた考察およびその実験結果との比較によつて、つぎのことが明らかにされた。



i) 砂礫の移動限界においては、 $U_{max}^2/(\sigma/p-1)gd \tan \phi$ が d/h_k および $U_{max} h_k/\nu$ のみの関数としてあらわされることがわかった。ここに、 h_k : 移動限界における噴流と砂礫面との距離、 U_{max} : h_k まで自由噴流が拡散した場合の中心流速、 ν : 動粘性係数、 g : 重力の加速度、 d : 砂礫の大きさ、 σ/p : 砂礫の比重、 ϕ : 砂礫の静止摩擦角。

ii) i) の関数を変形して $\{U_{max}^2/(\sigma/p-1)gd \tan \phi\} (U_{max} h_k/\nu)^{-1/2}$ を $U_{max} h_k/\nu$ のパラメータとし、 $(d/h_k) (U_{max} h_k/\nu)^{1/2}$ との関係によつてあらわすと、 $(d/h_k) (U_{max} h_k/\nu)^{1/2}$ の小さい部分においてほとんどすべての曲線が一致し、また $\{U_{max}^2/(\sigma/p-1)gd \tan \phi\} (U_{max} h_k/\nu)^{-1/5}$ と $(d/h_k) (U_{max} h_k/\nu)^{1/5}$ との関係によつてあらわした場合 $(d/h_k) (U_{max} h_k/\nu)^{1/5}$ が $2 \times 10^3 \sim 10^4$ の範囲において $U_{max} h_k/\nu$ によつてあまり変化しない。ここに $U_{max} h_k/\nu$ の指数はそれぞれ層流および乱流(1/7乗法則)境界層の解析に基づいている。

iii) $\{U_{max}^2/(\sigma/p-1)gd \tan \phi\} (U_{max} h_k/\nu)^{-1/2}$ が $(d/h_k) (U_{max} h_k/\nu)^{1/2} \approx 6 \times 10^4$ 、 $\{U_{max}^2/(\sigma/p-1)gd \tan \phi\} (U_{max} h_k/\nu)^{-1/5}$ が $(d/h_k) (U_{max} h_k/\nu)^{1/5} \approx 2 \times 10^2$ において極小となり、また前者においては $(d/h_k) (U_{max} h_k/\nu)^{1/2} \rightarrow 0$ において一定値に近づくようである。

iv) 理論曲線と実験値との比較によれば、全般的傾向はかなり良好であるが、速度変動の効果は比較的大きいようである。

v) D/h_k (ここに D は噴流の大きさ) $\leq 8 \sim 10$ になると(いわゆる Zone of flow establishment) 噴流の拡散に対する取り扱いが妥当でなく、以上の諸量の他に D/h_k が介入するようであつて、実験値は非常にちらばつてくる。

vi) 砂礫の移動限界の位置は摩擦速度が最大になるところとほとんど一致することが理論上明らかにされ、かつその限界の位置は実験結果とかなりよく一致する。

最後にこの研究を行うに當つて終始御指導を賜つた京大石原教授、岩垣助教授、岩佐助教授および名工大橋本教授に深く感謝するとともに、実験および計算に熱心な助力をあたえられた小泉重雄君(元学生)に謝意を表す。