

水たたき下流部における局所洗掘について

京大防災研 正会員 上屋 義人

1. 緒言

水たたき下流部における局所洗掘現象は、一般に水たたき上下流部における流砂に因する不連続性の存在と、流れの局所的な変化との関連から、きわめて複雑であり、その水理学的な機構もいまだ適確に解明されていないのが現状である。

最近 Schoemaker, Vinge および Prins は局所洗掘現象における相似性の問題を詳細な実験によって検討し、きわめて興味ある結論もえている。すなわち、洗掘形状の相似性は実物と模型とにおいてかなり成立するけれども、両者における時間縮尺の決定がきわめて問題であって、砂礫が掃流状態で流送される場合と浮遊状態の場合とで相違することから明らかなにされている。そしてまた、一般に洗掘実験においては Reynolds 数は十分大きいので、粘性効果は無視できるが、一方大きな渦は幾何学的に決められるのに反して、最小渦に関しては縮尺効果が起りやすいために、模型の相似性の確保が必ずしも不可能な結論になっている。著者らも局所洗掘に関する若干の実験的研究を進めて、二、三の興味ある事実を確認してきたが、とくに相似性の問題に関しては上述の結論とはほぼ同一であることも大小二つの実験水槽を用いて検討した。しかしながら、局所洗掘機構の解明はきわめて困難であって、その定性的な関係の導入に対しても、適確な理論的考察を進めることが必ずしもできず、その主たる原因としてつぎのように考えてきた。すなわち、その第一は流れの局所性であって、それが洗掘の進行にともなうて変化することであり、第二は洗掘孔内における流砂問題であって、これは第一は流れの特性と密接に関連するが、とくに非平衡状態における流砂問題もいかに解決するかということであって、これらの根本的特性が明確になつてはじめて局所洗掘現象を統一的に解しやうできる方法論が確立できると思われる。したがって、ここでは水たたき下流部における局所洗掘現象をとりあげて、若干の方法論について考察してみたいと思う。

2. 洗掘限界付近における局所洗掘と非平衡状態における流砂問題

著者らはさきに水たたき下流部における洗掘機構を wall jet の特性と平衡状態における流砂法則にもとづいて考察したことがあるが、これはいわば流砂現象が平衡状態のものに近似できるとする河床変動の方法論に、前述した流れの局所性を導入したにすぎないものであって、当然水たたき上下流部において流砂の不連続性が確保されない場合には、水たたき先端において理論上最大洗掘深を生じ、現象に近い洗掘形状を呈する。こういふことは、いふまでもなく現象が非平衡状態における流砂法則に支配されるためと考えられる。この問題は、きわめてむずかしい問題であるが、洗掘現象を解明するうえに重要であると思われるので、つぎに最も簡単な場合について考察してみたい。

まず、流砂が浮遊現象として取扱われる場合を対象とし、さらに流れは一律な南水路流れであって、水たたき下流端から一律な移動床になつてゐるものとする。この場合には、

浮遊流砂に関する基礎式は、周知のように、 $u \partial C / \partial x = \partial (E \partial C / \partial z) + w_0 \partial C / \partial z$ であらわされる。ここに、 u : 流速であって、いまの場合平均流速で代表できるものとする、 C : 浮遊砂の濃度、 w_0 : 沈降速度、 x および z : それぞれ流れ方向および鉛直方向における座標である。境界条件 $x=0$; $C=0$, $z=0$; $C=C_0$ および $z=\infty$ において $E \partial C / \partial z + w_0 C = 0$ を満足する解は C の値が一定の場合すなわち野満らによって解かれており、その結果断面を輸送される流砂量 Q_s は、 $Q_s / Q_0 = f(w_0 x / (C u), w_0 / u, w_0 h / C)$ であらわされることを見出されている。ここに、 Q_0 は、いわゆる平衡状態における流砂量であって、上式は $x=0$ において $Q=0$ であり、漸次 Q_0 に近づくことを示す関係である。

つぎに、掃流現象として流砂について考えるべきであるが、この問題はきわめておずかしい。いま簡単のために、飛砂に関する河村の理論を参考にして、単位時間に床面から飛出す砂粒の質量 G が掃流力に比例するものとし、また床面に着着くもの G' が流砂量に比例するものと考えることにすれば、砂粒の平均移動距離を L としてつぎの関係が成立する。 $dG/dx = -(G' + G)/L$ 。ここで、 G および G' に対して上記の仮定を用い、浮遊の場合と同様の条件で積分した結果は、つぎのようである。 $Q_s / Q_0 = 1 - \exp\{-L(E_0 - E_c)x / Q_0\}$ 、ここに、 E_0 および E_c : それぞれ掃流力および限界掃流力、 L は G と掃流力との関係における比例係数であって、一般には複雑な意味をもつ係数である。この式は、非平衡状態の飛砂現象をかなり説明するが、これと同種の流砂の実験はいまのところ実施されていない。したがって、係数の値がどの程度一般性をもつかは全く不明である。

以上の結果によると、洗掘限界付近において洗掘の進行にもよって流れの特性がほとんど変わらなない場合には、著者らの実験結果から明らかなように洗掘深は時間按比例に増加し、その形状は上記の解析結果からえられるものにならなると示される。

3. 洗掘が十分進んでからの洗掘機構

洗掘限界付近における洗掘機構と同様に、本質的に非平衡状態における流砂機構が問題になることはいうまでもないが、さらに洗掘の進行にもよる流れの特性をいかにあらわすのが重要になってくる。著者らの実験と前述した Schoemaker の結果のように、洗掘現象に roller のような規模の流れが大きく影響すると考えられる場合には、その特性をなんらかの形で導入することによって、洗掘機構を考察できるものと思われる。ただし、この場合重要なことは、洗掘形状の相似性であって、これと roller の特性との関連を見出す必要がある。

以上、水たまた下流部における局所洗掘現象を取扱う場合の方法論について、三考察した。要するに非平衡状態における流砂法則が問題であって、適当な取扱いをすればある程度現象を説明できることを述べた。講演時には実験結果との直接的な比較について説明を追加した。

本研究は文部省試験研究費による研究の一部であることを付記する。