

京都大学工学部 正員 鈴木 幸一
 京都大学大学院 学生員 〇 吉舎 慶幸
 京都大学大学院 学生員 辻本 哲郎

1. まえがき 橋脚周辺部における局所洗掘現象は、図-1に示すように流れと砂の運動および洗掘孔形状の相互関係として考えられるべきものであり、表-1に示すように様々なモデルが考えられている。すなわち流れについては橋脚側面での縮流に注目するもの、前面での馬蹄型渦に注目するものなどがあり、洗掘孔形状については逆円錐形が実験事実によって考えられ、また砂の運動に関しては従来からの一樣平衡状態での流砂量公式を基礎としたものがおもに用いられている。

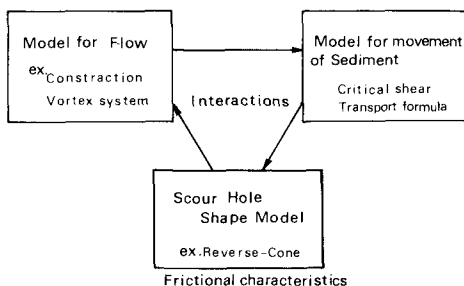


図-1 洗掘現象のモデル化

表-1 従来の洗掘モデル

Investigator	Model for flow	Scour hole shape	Model for Sediment movement
Laursen ¹⁾	Constriction	reverse-cone	Critical tractive force
Saito ²⁾	Constriction	(front) reverse-cone (back) trigonal-pyramid	Kalinske-Brown formula
Carstens ³⁾	$u_0/\sqrt{(0.4p-1)gd}$	reverse-cone	Experimental formula
Shen ⁴⁾	Horse shoe Vortex	reverse-cone	
Tarapore ⁵⁾	Velocity diffusion at the scour hole	reverse-cone	Du Boys' formula

本研究は、円柱橋脚周辺の局所洗掘現象を解明するために洗掘機構に対するモデルとして最終的に最大洗掘深の現れる橋脚前面のみについて、流れは Shen ⁴⁾ のように馬蹄型渦に注目し、洗掘孔形状は砂の水中摩擦角に支配されるものとし、砂の移動に関しては確率の概念を導入したものであり、それにもとづいて現象支配要素について考察したものである。

2. 洗掘モデル 上述の従来の多くのモデルは洗掘領域全体を一つの流砂量式の適用範囲として

しているがために、円柱による流れの変化、渦の発生などを考慮した合理的な流砂量式を与え得ないという欠陥がある。これを視し著者らは円柱周辺の洗掘にとくに支配的である馬蹄型渦に注目して、そのみで現象が支配される前面だけで流砂式を適用する試みを行なった。

一般に流砂法則は単位時間あたりの砂粒の移動率と、一つの運動状態にある砂粒の移動距離の二つの要素からなるが、複雑な流況下にあつてはこれらを普遍的に予測することは至難である。ところが前面のみに注目すると砂の動きは単位時間あたりの移動率 β_s のみで記述でき、またさらに著者らの実験による観測によれば、あるいは循環保存則より渦の強さの変化は無視できるから β_s は時間的に変化しないと仮定できる。すなわちよみ面内においては、(A) 渦の自由な洗掘過程、(B) 洗掘孔内の渦の洗掘領域への斜面滑落砂量は無視できない過程に分けて流砂の連続式をたてられる。ここに渦の大き

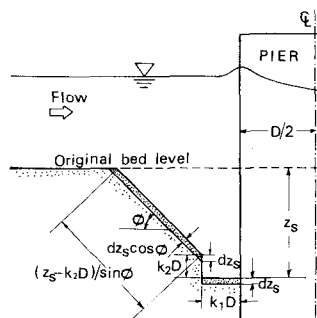


図-2 (B)過程モデル

さはおもに円柱径 D のみによって決まり ⁶⁾ その時間的な変化は実験での事実によれば無視できるので図-2 において渦による洗掘領域のスケールを規定する k_1, k_2 を一定として

$$(A) \text{過程: } k_1 D dz_s = \beta_s A_d \cdot k_1 D dt - \beta_s(z_s) dt \quad (1)$$

$$(B) \text{過程: } k_2 D dz_s = \beta_s A_d \cdot k_2 D dt - \frac{z_s - k_2 D}{\sin \phi} dz_s \cdot \cos \phi - \beta_s(z_s) dt \quad (2)$$

ただし、 d : 砂粒径、 D : 円柱径、 z_s : もとの河床面からの洗掘深

A_1 ; 砂の填密・間隙その他三次元的な考慮をした係数

ϕ ; 洗掘孔前面傾斜角で, clear water scour では水中静止摩擦角($\phi=45^\circ$)

$g_s(z_s)$; 上流からの単位幅当り給砂量(総作種)で水理条件のほか洗掘孔の大きさによる。洗掘孔形状は ϕ によって規定されているのでこれを支配するのは z_s である。

p_s ; 単位時間あたりの砂粒移動率で著者らは Paintal の絶対確率⁷⁾を沈降速度に関する時間で換算して用いた。(したがって $p_s = \text{func.}(u_0/(\phi-1)gd)$)である。

いま, clear water scour を考えると $g_s(z_s) = 0$ かつ(1), (2)式は容易に積分され, これを無次元表示すれば,

$$(A): \frac{z_s}{D} = \frac{A_1}{A_2} \cdot \frac{d}{D} \cdot p_s \{ t \sqrt{(\phi-1)gd} \} \quad (3)$$

$$(B): \frac{z_s}{D} = \sqrt{2k_1 \tan \phi} \cdot \sqrt{\frac{A_1}{A_2} \cdot \frac{d}{D} \cdot p_s \{ t \sqrt{(\phi-1)gd} \} + \frac{\tan \phi}{2} (k_1 \tan \phi - 2k_2)} - k_1 (\tan \phi - \frac{k_2}{k_1}) \quad (4)$$

($\Rightarrow$ に p_0 は Paintal の確率で $p_s = p_0 A_2 \sqrt{(\phi-1)gd}$, ϕ : 砂粒の比重, g : 重力加速度)

のように, 洗掘深の時間的変化が得られる。もちろん側面洗掘の影響が考慮されない短所があり, その効果を前面に取り入れるる努力が今後必要である。ところで工学的に興味のあるのは continuous sediment motion での洗掘で, とくに平衡洗掘深 $z_{sc}(t \rightarrow \infty)$ であろう。その時の支配要素間の関係は, (2) 式より明らかに

$$z_{sc}/D = \text{func.}(p_0, \phi, \frac{d}{D}) = \text{func.}(\frac{u_0}{\sqrt{(\phi-1)gd}}, \frac{d}{D}) \quad (5)$$

となる。

3. 実験 実験は幅30cm, 全長4.5mの水路に厚さ10mmに中央粒径 0.05mm の砂を敷き水路中央に円柱を設置して行なった。図-3は $g_s=0$ の時の(3),(4)式を検証したもので時間が充分経過すると洗掘孔で移動状態にはいった砂がよみ面系外に出られなくなり洗掘深~時間曲線は鈍化する。工学的には, この値の変化点を平衡洗掘深に代用され得る。図-4は, (5)式の関係を, 実験条件の明瞭な他の研究者の実験結果を併せ示したものである。明らかに $z_{sc}/D \sim N_s$ の関係($N_s = u_0/\sqrt{(\phi-1)gd}$, u_0 : 上流摩擦流速)

は D/d をパラメータとしているが, z_{sc}/D は D/d の増加に伴って減少する傾向がみられる。また z_{sc}/D は河床全体が動き出す限界の N_s , N_{sc} (clear water scour と scour with continuous sediment motion との境界) で最大値をとることが認められる。図-4では限界掃流力に相当するとして N_{sc} を計算した。實際上, 工学的には $D/d \geq 100$ であれば, $z_{sc}/D < 1.5$ となり根入れ深さに対して設計指標を与え得よう。

4. あとがき 本報告は円柱前面の洗

掘機構を多くの仮定のもとにモデル化したものであり, 実験により, 定性的に検証(したが, 定量的に論ずるには, 洗掘孔内への流入砂量の評価など多くの検討すべき問題点が残されている。

<参考文献> 1) Laursen; Trans. ASCE, 1962, 2) 浦藤・浦柴田; 山工学部報 20巻, 1969, 3) Carstens; Proc. ASCE, 1966, 4) Shen, Schneider & Karaki; Proc. ASCE, 1969, 5) Tarapore; Thesis for Ph.D., Univ. of Minnesota, 1962, 6) 鈴木河村; 土木学会 27 回年報, 1972, 7) Paintal; Jr. Hy. Research, IAHR, 1971, 8) 小川; 北海道開発局土木試験所報, 1966, 9) Chitale; Trans. ASCE, 1962 (Discussion)

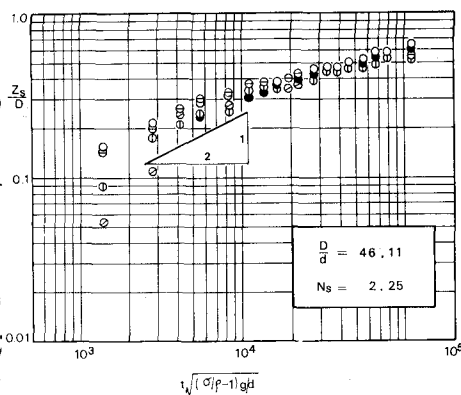


図-3 洗掘深の時間的変化の例

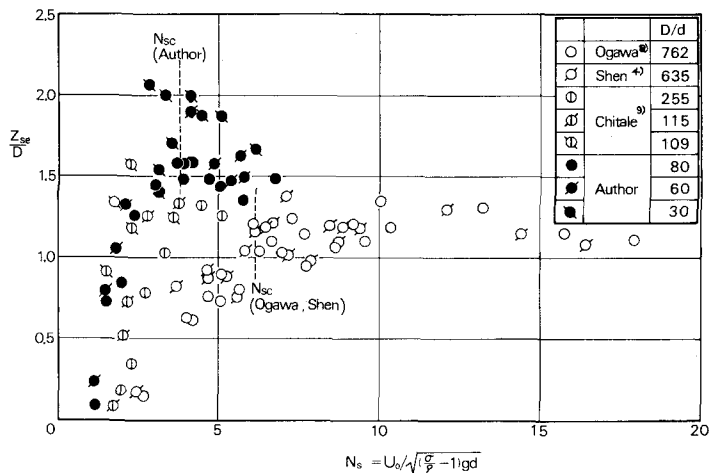


図-4 水理条件と平衡洗掘深