

円柱橋脚周辺の動的洗掘について

鳥取大学 工学部 正員 道上正規

鳥取大学 工学部 正員 鈴木幸一

○津山市役所 正員 片岡幸三

1. はじめに

橋脚周辺部における局所洗掘は、一様流中の砂の移動のあるなしで、1) clear water scour(静的洗掘)と2) scour with continuous sediment motion(動的洗掘)とに分けられるが、従来より、工学的に危険な状態、すなわち、洗掘深が最も大きい状態は、静的洗掘から動的洗掘への移行状態であるといわれている。動的洗掘状態の洗掘深は、時間とともに変動するため、時間的に平均化したものを、動的洗掘状態の洗掘深(Z_{se})としている。しかし、動的洗掘状態の最大洗掘深(Z_{smax})は、この平均平衡洗掘深 Z_{se} よりもかなり大きい可能性がある。本研究は、この点に注目して、動的洗掘状態の洗掘深の変動特性を実験的に明らかにするとともに、工学的に重大である最大洗掘深 Z_{smax} の評価を行なおうとするものである。

2. 実験的考察

i) 実験の概要： 実験に用いた水路は、全長20m、幅0.5m、深さ0.5mのコンクリート製長方形断面水路で、上流端にエレベータ式給砂装置を有している。通水後、水路上に発生する河床波が、定常状態となった後、下流端から8.0m地点に直径 $D=5\text{cm}$ の円柱模型橋脚を、河床を乱さないように設置する。実験条件は、表-1に示す通りの10ケースで、所定の流量・流砂量の動的洗掘の水理条件である。また、河床高の時間的変動を測定する地点は、図-1のように橋脚上下流に設置し、30秒毎に測定する。なお、河床砂および給砂の粒径は、上下限がそれぞれ0.10cm、0.03cmのフルイでふるい分けられた平均粒径0.061cmのほぼ均一な砂である。

ii) 実験結果の検討： 水路上に発達している河床形態は、砂堆(dunes)である。図-2は、橋脚前面の洗掘深 Z_s の時間的変化を表わしている。この図より、洗掘進行は、洗掘開始のごく短時間のうちに平衡洗掘深に達し、それ以後は変動している。平衡洗掘深に達したのちこの変動は、橋脚上流に発達した河床波の通過による影響によって生じる現象である。図-3は、各測定点での河床高の時間的変動を正規確率紙にプロットしたものである。この図のように、河床高の時間的変動は、正規分布に近似しえるものと考えられ、とくに、橋脚前面部の河床高(洗掘深)の時間的変動の印は、その中でも、きわだって正規分布に従うものと思われる。また、時間的変動の標準偏差 σ_z の測定地点との関係を表わしているのが図-4であり、 X は橋脚からの距離、 σ_{zpier} は、橋脚前面部の標準偏差である。ある幅を持って、 1.5 のもの、橋脚上流側の標準偏差と橋脚前面部の標準偏差との関係は、ほぼ、

$$\sigma_{zpier} = 0.6 \sigma_z$$

表-1 実験条件

Run	B (cm)	q (cm ² /s)	q _s (cm ² /s)	h _o (cm)	U _o (cm/s)	i _o (x10 ⁻²)
1	50	400	0.222	8.72	45.9	0.286
2	50	400	0.167	9.89	40.4	0.187
3	50	400	0.111	9.58	42.0	0.221
4	50	285	0.041	8.59	33.2	0.179
5	50	320	0.167	7.87	40.7	0.173
6	50	240	0.167	7.48	32.1	0.241
1-A	50	400	0.222	9.16	43.7	0.288
1-B	50	400	0.222	10.57	37.8	0.264
1-C	50	400	0.222	8.65	46.2	0.200
1-D	50	400	0.222	10.18	39.3	0.218

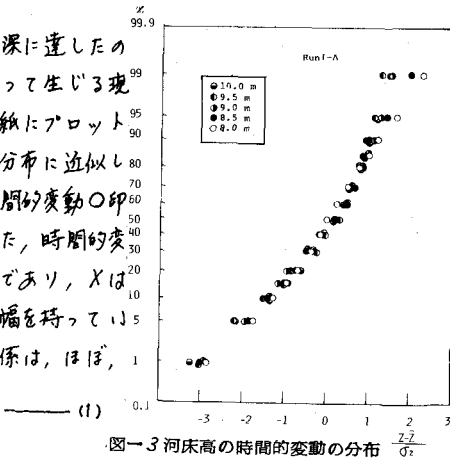
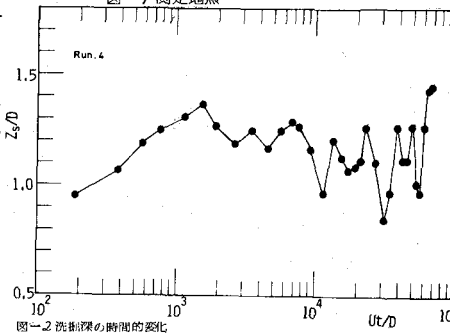
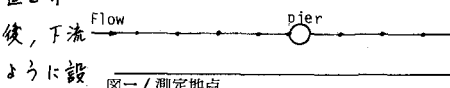


図-3 河床高の時間的変動の分布

で近似されている。

つぎに、図-5は、橋脚周辺の水路中央部の河床縦断形状の時間的変化をわ表わしたものであり、 z_{sm} は、平衡洗掘深である。河床高が平均河床高より高い場合、 z/z_{sm} は正をとる。この図のように、洗掘孔形状の橋脚上下流の斜面形状は、巨視的に見ると、時間的にほとんど同じである。その斜面勾配は、ほぼ一定値を保っていることが認められ、その値は、上流斜面の場合、約 $45^{\circ} \sim 55^{\circ}$ 、下流側は、約 20° であることがわかった。また、橋脚後流域に堆積部が形成されているのが認められるが、この形状は、堆積部の砂も移動するため、時間的に変化している。

3. 最大洗掘深の評価

洗掘深の時間的変動が、正規分布に近似することにより、99.7%の確率でその洗掘深より小さい洗掘深が現われるような洗掘深を最大洗掘深 z_{smax} と定義すると、

$$z_{smax} = z_{sm} + 3 \sigma_{gpiet} \quad (2)$$

である。ここに、平衡洗掘深 z_{sm} としては、従来のデータを整理すると、

$$z_{sm}/D = 1.25 \quad (3)$$

で示されることがわかった。また、従来の河床高の標準偏差 σ と平均波高 $\bar{H}$ との関係は、

$$\bar{H} = 2\sigma \quad (4)$$

である。さらに、河床高の標準偏差 σ と河床高の時間的変動の標準偏差 σ_g とは、同じものと考え、 $\sigma \approx \sigma_g$ とした。一方、本研究の河床波は、砂堆であることより、Yalin²⁾の式を補正した、 $\bar{H}/h_0 = \frac{1}{3}(1 - \frac{\tau_c}{\tau_0})$ の関係を導入し、上式をまとめ、橋脚径 D で無次元化すると、次式が得られる。

$$\frac{z_{smax}}{D} = 1.25 + 0.3 \left(1 - \frac{\tau_c}{\tau_0}\right) \frac{h_0}{D} \quad (5)$$

ここに、 h_0 は一様流水深、 τ_c は砂の限界掃流力、 τ_0 は一様流での掃流力である。

図-6は、式(5)と本研究で得られたデータと他の研究者によって求められた提案式とデータをプロットしたものである。ただし、本研究の場合、 $\tau_c/\tau_0 = 0.17 \sim 0.36$ である。

4. おわりに

本研究において、動的洗掘の洗掘深は、河床波の影響を全面的に受けるのではなくて、洗掘深の変動は、河床波の変動の約0.6倍程度であり、洗掘深の時間的変動は、正規分布に近似する。従来の動的洗掘の洗掘深 z_{se} よりも最大洗掘深 z_{smax} は、河床波の平均波高の約1倍程度大きく、式(5)によって、ほぼ予測される。ただし、河床形態は、砂堆(dunes)であることに注意しなければならない。

参考文献

- 1) 芦田・田中：砂運に関する実験的研究(2)，京都大学防災研究所年報，第9号，昭和41年。
- 2) Yalin：Geometrical properties of sand wave，Proc of ASCE，HY5，1964。

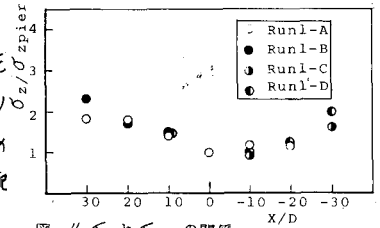


図-4 z と σ_{gpiet} の関係

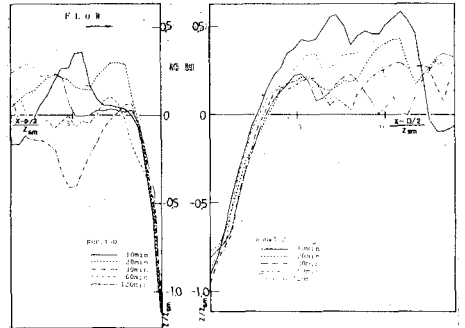


図-5 洗掘孔形状の時間的変化

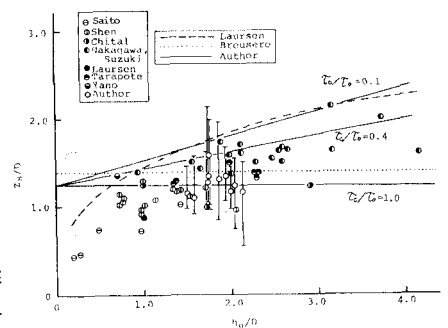


図-6 提案式と実験値(動的洗掘)