II-158 平坦河床の Critical Sediment Number について

日本大学大学院 学生員 吉田 保
日本大学理工学部 正 員 粟津清蔵

水理構造物周辺の局所洗掘を解析するため

(I) 構造物設置以前の平坦河床の移動限界を Sediment Number によって表わし、

(II) その結果を用いて構造物周辺の局所洗掘発生限界を考察し、

(III) 洗掘発生限界と平衡洗掘深との関係を検討する。

以上の方針で研究を進めたいと考えている。今回の報告は上述の(I)についてである。

平坦河床上の sediment の限界掃流力時の平均流速を限界平均流速 V_c とすると Critical Sediment Number は次のように定義される。 $N_c \equiv V_c/\sqrt{(s-1)gd_m}$ ここに s：河床物質の比重，d_m：平均粒径 である。 $N_c=\{v_{*c}/\sqrt{(s-1)gd_m}\}(V_c/v_{*c})$ と表わし、一様粒径から成る河床物質上に水深 h の二次元粗面乱流を考えると、$v_{*c}^2/(s-1)gd_m=0.05$， $V/v_*=5.75\log(h/d_m)+6.0$ の両式から $N_c=\sqrt{0.05}\{5.75\log(h/d_m)+6.0\}$ が得られ、また、Manning・Strickler の関係 $n\propto d_m^{1/6}$ を用いると $N_c\propto(h/d_m)^{1/6}$ が得られる。既報の限界平均流速公式を N_c を用いて表わすと表－1 のようになり、式の形としては定数型 $N_c=Const$、対数型 $N_c=a\log(h/d_m)+b$，指数型 $N_c=a(h/d_m)^b$ に分類される。移動限界に対し摩擦速度 v_* の代わりに平均流速 V を用いると、Shields relation には含まれていなかった相対粗度 h/d_m の影響が現われるはずであり、定数型は h/d_m の変化が小さな流れに対して提案されたものと思われる。表－2 に示す $d_m\geq 0.5$ mm の砂および

表－1

Investigator	Original Form (E):English Units	Relation between N_c & h/d_m	Note	References
Isbash (1935)	$V_c=0.85\sqrt{2(S-1)gd_m}$	$N_c=1.20$	for riprap design	IAHR Task Force J.of Hyd.Res. 1977
Straub (1953)	$V_c=8.45\sqrt{(S-1)d_m}(h/d_m)^{1/6}$ (E)	$N_c=1.49(h/d_m)^{1/6}$	Manning's $n\sim d_m^{1/6}$	Proc.IAHR Cong. Minesota 1953
Priest (1954)	$V_c/\sqrt{gd_{min}}=4.29$	$N_c=3.05$	d_m=0.5&0.7mm $40<h/d_m$	Cornell Univ. 1954
Laursen (1958)	$\tau_0'/\tau_c=V^2/120d_m^{2/3}h^{1/3}$ (E)	$N_c=1.50(h/d_m)^{1/6}$	same way as Straub	Proc.ASCE 1958
Rottner (1959)		$N_c=(h/d_m)^{1/2}[5.50/\{(h/d_m)^{2/3}+4.75\}]$		Yalin:Mechanics of Sediment Transport
Jarocki (1963)	$V_c=1.4\sqrt{gd_m}\ln(h/7d_m)$	$N_c=2.51\log(h/d_m)-2.12$	$60<h/d_m$	Graf:Hydraulics of Sediment Transport
Carstens(1966)	N_c = (N for lowest recorded movement) - (0.1 ~ 0.2)		N:Simons' data	Proc.ASCE 1966
Neill (1967)	$V_c^2/(S-1)gd_m=2.50(d_m/h)^{-0.20}$	$N_c=1.58(h/d_m)^{1/10}$	3mm<d_m $2<h/d_m<35$	Proc.IAHR Cong. Colorado 1967
Shen (1967)	$V_c^2/(S-1)gd_m=0.20\{2.21+2.03\log(r_b/d_m)\}^2$	$N_c=0.447\{2.03\log(h/d_m)+2.21\}$	Discussion on Neill	Proc.IAHR Cong. Colorado 1967
Bogardi (1968)	$V_c/\sqrt{(S-1)gh}=1.7(h/d_m)^{-0.405}$	$N_c=1.7(h/d_m)^{0.095}$	$2<h/d_m<2000$	Sediment Transport in Alluvial Streams
Hancu (1971)	$V_c=a\sqrt{(S-1)gd_m}(h/d_m)^{0.2}$	$N_c=a(h/d_m)^{1/5}$	d_{90}>0.7mm : a=1.0 d_{90}<0.7mm : a=1.2 ~ 1.4	Proc.IAHR Cong. Paris 1971

$d_m\geq 1.2$ mm のメサライト（軽量骨材）を河床物質として用いた実験資料により N_c と h/d_m との関係を指数型に従い図示すると図－1 が得られる。ここに表－2 の中の γ は粒径の混合状態を表わす係数[1]で次式により定義され、たとえば $\sigma=\sqrt{d_{84}/d_{16}}$ と対数正規分布の関係のような粒度分布形の制約は受けない。

$$\gamma\equiv 1+\sqrt{(S/d_m)^2/\{(S/d_m)^2+1\}}$$

（S；標準偏差， $1.0\leq\gamma<2.0$ ）

表－2

Name	Material	d_m (mm)	γ	
Kramer (1934)	Sand s = 2.70	0.56	1.46	
		0.69	1.63	
		0.80	1.64	
USWES (1935)	Sand s = 2.65	0.51	1.49	
		0.53	1.41	
		0.54	1.53	
		0.59	1.80	
		4.08	1.32	
Aki&Sato (1939)	Sand s = 2.70	0.70	1.67	
		1.24	1.48	

Name	Material	d_m (mm)	γ	
Ishihara (1938-42)	Sand s = 2.58	0.71	1.61	
		0.91	1.50	
Author B=40cm	Sand s = 2.60	1.21	1.10	
		1.71	1.10	
		1.71	1.28	
		1.71	1.49	
		2.19	1.05	
	Mesalite s = 1.75	1.21	1.10	
		1.71	1.10	
		2.19	1.05	

図－1にはかなりのばらつきが見られるが、その原因を次のように考える。

① 粒径混合による粗度高の変化

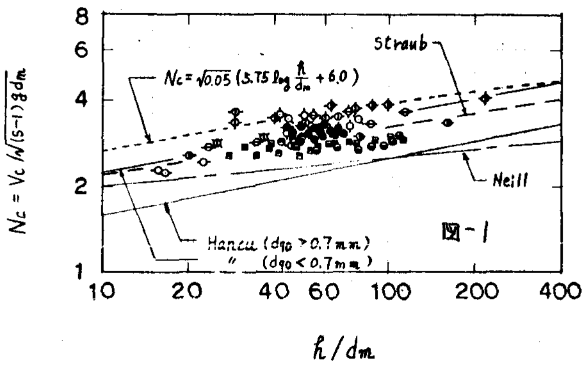
② 側壁の影響

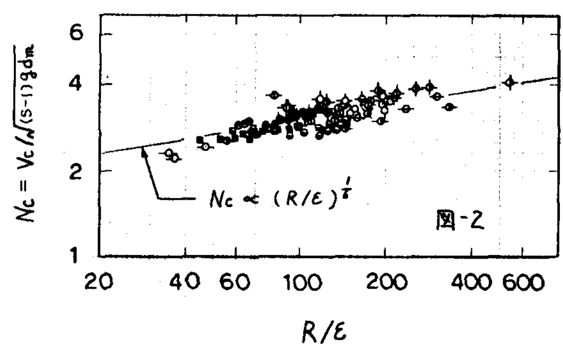
③ Reynolds数の効果

④ 移動限界の判定基準の不明確さ

①として平均粒径 d_m の代わりに粗度高 ε，②として水深 h の代わりに径深 R，すなわち，相対粗度として h/d_m の代わりに R/ε を用いると図－2が得られた。ここに粗度高 ε は次式で与えられ[2)]、完全に一様な粒径から成る河床物質に対し $\gamma = 1.0$ $\varepsilon/d_m = 1/2$，最大密度を与えるFullerの粒度分布式および自然河床砂礫に対し $\gamma = 1.67$ $\varepsilon/d_m = 1/3.25$ となる。

$$\frac{\varepsilon}{d_m} = \frac{1}{3.25-(1.25|1.67-\gamma|/0.67)}$$

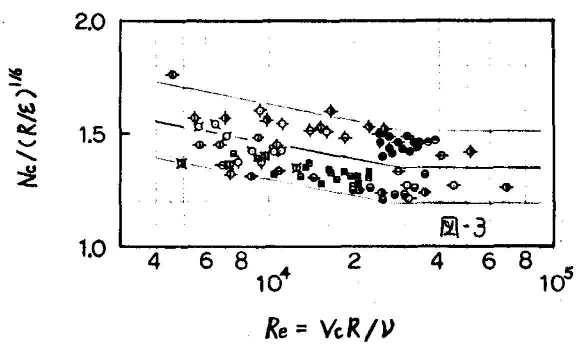




さらに図－2のばらつきについて③を検討するため流れのReynolds数 $Re \equiv V_c R/\nu$ と $N_c/(R/\varepsilon)^{1/6}$ との関係を考察した結果、図－3に示すように次式[1]が得られた。

$$4\times10^3 < Re < 3\times10^4 \qquad N_c = \left(1.35+0.23\log\frac{3\times10^4}{Re}\right)(R/\varepsilon)^{\frac{1}{6}} \quad (1)$$

$$3\times10^4 < Re \qquad N_c = 1.35\,(R/\varepsilon)^{\frac{1}{6}} \quad (2)$$



上式は水深 h の代わりに径深 R を用いて得られたので、実験資料における径深と水深の比 $R/h = 1/(2\frac{h}{B}+1)$（B：水路幅）の範囲を調べると、(1)式は $R/h = 0.60 \sim 0.98$ (2)式は $R/h = 0.60 \sim 0.90$ となっている。R/h の範囲が広いので図－3のばらつきに対しその影響を検討したが相関は得られなかった。以上より $30 < R/\varepsilon < 600$，$0.6 \leq R/h$（$h/B \leq 1/3$）の範囲における平坦河床上のsedimentの移動限界に対し(1)(2)式を提案したい。今後、上式により計算される平坦河床の移動限界と橋脚周辺の洗掘発生限界との関係を検討する予定である。

おわりに、共同実験者である瑞沢孝俊君（現、神奈川県庁），保利一徳君（現、保利組）に感謝致します。

参考文献

1) 粟津清蔵　橋脚周辺の洗掘について　土木学会年次講演会 1974

2) Awazu, S.　On the shearing stress on the boundary surface of open channels (unpublished) 1976

3) Kramer, H.　Sand Mixtures and Sand Movement in Fluvial Models, Proc. ASCE 1934

4) USWES　U.S. Waterways Experiment Station Paper 17, 1935

5) 安芸・佐藤　砂粒河床模型実験の基本に関する実験並に限界掃流力に関する研究　土木試験所報告 1939

6) 石原藤次郎　橋脚による河床洗掘に関する研究　土木学会誌 1938, 1942