

橋脚周圍에서 洗掘深度 影響因子의 敏感度에 대한 實驗的 研究

安相鎭* · 崔桂 濬** · 金宗 燮*** · 安昌鎭****

1. 序 論

橋脚 周圍에서의 洗掘 現象은 물의 흐름에 의하여 水路境界를 조성하고 있는 河床 材料가 移動 또는 제거됨에 따라 水路 斷面이 확장되는 現象으로 定義될수 있으며 이 現象은 물의 흐름에 의한 浸蝕 작용, 河川의 水路 斷面으로부터 浸蝕된 材料의 運搬作用, 운반된 재료의 퇴적작용들을 포함한다. 따라서, 하천내 유체의 흐름상태나 河床 材料의 구성등에 따라 洗掘현상에 큰 차이를 나타낸다. 非粘着性 土壤은 하상에 작용하는 유체의 힘에 의해서 빠르게 浸蝕되는 반면에 粘着性土壤은 洗掘에 抵抗하는 힘이 非粘着性 토양에 비해 크기 때문에 느리게 침식된다.

일반적으로 橋脚 주위의 洗掘현상은 하상의 점진적인 변화, 단면의 확장이나 축소 여부, 장애물의 설치여부 및 上流로부터의 移動流砂의 存在여부 등에 따라 河床 上昇 (aggradation) 및 下降(degradation)작용, 收縮 洗掘 및 局部 洗掘의 3종류로 分類된다. 河床 上昇 및 下降作用은 河川이나 流域 上流部內의 水理學的 및 河川形態學의 特性變化에 크게 기인되는데 河床 上昇作用은 河川의 上流로부터 운반된 하상材料의 堆積作用에 의하여 하상이 높아지는 것을 말하며, 반면에 河床 下降作用은 하상재료의 침식에 의하여 하상이 낮아지는 作用을 말한다. 收縮 洗掘은 自然 및 人工水路의 단면적이 감소됨에 따라 일어나는 것으로 이로 인한 流速이 增加됨으로 發生하게 된다. 局部 洗掘은 橋脚, 橋樁, 돌출부 및 둑이나 堤防과 같이 흐름을 방해하는 장애물에 의하여 흐름을 加速化시켜 주위의 河床재료를 이동시키거나 제거시켜 하상변화를 가져오는 것으로 정의할 수 있다. 일반적으로 局部 洗掘에 의한 洗掘深度는 하상상승 및 하강작용이나 收縮洗掘에 비하여 더 큰편이며 또한 河川에 設置되어 있는 교각에 가장

* 忠北大學校 工科大學 土木工學科 教授

** 韓國水資源公社 水資源研究所 責任研究員

*** 忠北大學校 工科大學 土木工學科 講師 · 大學院 博士過程

**** 忠北大學校 大學院 土木工學科 碩士過程

큰 影響을 주는 洗掘이다. 이와 같은 교각주위에서 발생하는 세굴현상은 流體의 特性, 流體의 흐름특성, 河床材料의 特性 및 설치된 교각의 특성등에 따라 상당히 다르게 나타난다. Richardson(1990), Molinas(1989)등, Melville(1984), Breusers(1977)등, Laursen(1952)등이 교각주위에서의 洗掘因子들에 대하여 研究하였지만 各各의 因子들이 洗掘深度에 끼치는 相對的인 비교나 實際 河川등에서 쉽게 접근할 수 있는 하상경사 등에 의한 影響檢討等에 대한 研究는 부족한 狀態이다. 따라서, 本 研究에서는 세굴영향 인자들을 파악하고 이들 인자들이 洗掘深度에 대하여 미치는 影響을 既存 研究를 통하여 조사한후 비교적 敏感한 影響因子를 導出하여 洗掘深度에 영향을 미치는 상대적 비교를 河床傾斜에 따라 實施하였으며 對象流域을 錦江水系內 報靑川으로 정하고 이때 채취한 河床材料를 利用하여 實驗하고 實驗結果를 圖表로 제시하므로써 橋脚設置時 洗掘에 대한 安全度 檢査에 參考도록 하였다.

2. 洗掘에 관한 基本理論의 考察

局部 洗掘을 解析的으로 취급하는 理論的인 接近方法은 주로 渦流系에 基礎하고 있으나, 이러한 渦流系로부터 洗掘 現象의 力學的인 舉動을 적절하게 記述하기가 쉽지 않으며 또한 실제에 適用하기가 상당히 어려운 실정이므로 더 많은 研究가 必要하다.

현재까지 알려져 있는 洗掘에 影響을 주는 渦流系를 크게 나누면 마제형 와류, 反流型 渦流 및 trailing 渦流로 區分되며, 이와같은 渦流는 橋脚의 형상 및 자유흐름조건에 따라 전부 혹은 한, 두가지 現象으로 나타난다.

2.1 馬蹄型 渦流系

馬蹄型渦流는 주로 橋脚前面에서 發生되는 것으로써 橋脚設置로 인하여 水路바닥 또는 壁面에 3次元的인 分離를 일으키게 되며 이 3次元的인 分離로 말미암아 馬蹄型 渦流가 發生한다.

馬蹄型 渦流는 橋脚주위의 停滯面에서 發生하는 下降흐름에 의한 影響으로 發生하며 흐름의 初期에는 그 크기가 상당히 작다. 이와 같이 形成된 渦流는 그 크기가 매우 急速하게 成長하고 또한 流體의 下向成分을 追加的으로 일으키며, 下流方向 흐름의 強度를 증가시킨다.

2.2 反流型 渦流系

反流型 渦流는 馬蹄型 渦流와는 반대로 橋脚自體에 의해 發生되며 주로 橋脚後面에서 發生한다. 反流型 渦流는 橋脚 表面에서 일어나는 不安定한 剪斷層(shear layer)의 流體가 미끌어지거나 回轉하면서 形成된다.

2.3 Trailing型 渦流系

Trailing형 渦流는 대개 물에 의해 완전히 잠긴 水中에서만 發生한다. 이 渦流는 3

次元 橋脚의 尖頭部分과 接觸된 狀態에서 여러개로 分離된 膜돌이로 이루어진다.

3. 橋脚 周圍에서의 洗掘에 影響을 주는 因子

橋脚周圍에서의 洗掘에 影響을 주는 因子로는 크게 流體 자체의 特性因子, 河川內 흐름因子, 河床材料因子 및 橋脚의 形態因子로 大別할 수 있으며 이들 因子들을 정리하면 표 3.1과 같다.

표 3.1 橋脚周圍에서 洗掘에 影響을 주는 因子

流體 特性 因子	흐름 因子	河床 材料 因子	橋脚 形態 因子
流體의 動粘性係數 密 度	接近流速 水 深 持續期間 安定狀態	크 기 粒度分布 流砂의 密度 粘着力 河床被服	橋脚形狀 橋脚의 幅 橋脚의 길이 表面粗度 開 度 接近角

위의 表中에서 流體特性因子에 관한 影響은 人爲的으로 調節할 수 없으므로 現場과 同一한 유체를 사용하여 實驗을 실시한다면 이에 대한 影響을 無視할 수 있다. 흐름 인자 중에서 接近流速과 水深에 의한 영향은 洗掘深度에 대하여 상당히 중요한 인자이나 평형상태이후의 持續期間은 세굴심도에 큰 영향을 미치지 않으므로 本 實驗因子로는 채택하지 않았다. 河床材料中 하상재료의 크기와 입도분포는 비교적 세굴심도에 중요한 영향인자이나 실험재료로 現場과 類似한 流砂를 使用할 경우 流砂의 密度, 점착력등은 영향력이 적은 편이다. 또한, 교각형태 인자중에서 橋脚形狀 및 幅, 橋脚間 通水斷面減少率(開度, opening ratio), 接近角度 등이 중요한 인자이며 교각의 길이는 橋脚이 흐름의 方向과 同一하지 않을 경우에 重要하지만 흐름의 方向과 일치할 경우에는 영향이 적다. 이와 같은 事項을 정리하여 이들 重要因子들에 대한 영향을 檢討하면 아래와 같다.

3.1 水 深

洗掘深度는 橋脚의 幅이나 直徑과 관련되는 水深에 의해 영향을 받는다. 여러 實驗的인 結果들에 의하면 $y/b > 3$ 일경우 수심의 영향이 상당히 적으나 $y/b < 3$ 인 경우에는 상당히 큰 영향인자로 알려져 있다. 여기서 y 는 水深, b 는 橋脚幅이다.

3.2 流 速

세굴의 초기 형성과정에서는 洗掘深度는 流速에 거의 線形的으로 增加하며 最大洗掘深度에 접근한다. 그러나 평형상태에 이른 후에는 平衡을 이루는 깊이에서 파장형상으로 변동하며 일반적으로 洗掘深度는 射流 흐름에서 Froude 數의 增加에 따라 커진다.

3.3 流砂의 크기

河川이 오랜 기간동안 定常流 狀態에 있으면 流砂의 크기는 局部洗掘深度에는 영향을 미치지 않는다. 특히 큰 流砂粒子의 크기에 의해 發生되는 극한세굴이나 최대세굴은 크기에 영향을 받지 않는다. 그러나 이들 粒子의 移動에 걸리는 時間은 流砂의 크기에 의존한다.

3.4 流砂의 입도분포

Raudkivi & Ettema(1977)는 다음과 같은 理論을 수립했다. 그들은 流砂의 입경분포의 變化는 純粹물洗掘의 최대깊이에 영향을 주게되며 純粹물洗掘의 最大深度와 流砂가 증가하는 기하학적 標準偏差사이의 關係式을 유도하였다.

3.5 橋脚의 크기

橋脚의 幅은 洗掘深度에 直接的인 영향을 미친다. 교각의 폭이 증가함에 따라 橋梁設置時 流速이 質量保存의 法則에 의하여 增加하게 되며, 결국 洗掘深度가 增加한다. 일반적으로 橋脚의 길이는 흐름에 평행하게 위치시키면 洗掘深度에는 큰 영향을 미치지 않는다. 그러나 橋脚이 흐름방향과 角을 이루고 있다면 橋脚의 길이는 洗掘深度에 큰 影響을 주고 있다.

3.6 橋脚의 形狀

上流의 橋脚形狀은 洗掘深度에 강한 영향을 주지만 下流의 橋脚形狀은 橋脚이 흐름방향과 나란히 되어있다면 거의 영향이 없다. 타원형교각이나 렌즈형교각은 直四角形 橋脚에 비해 20 - 30%정도 세굴이 減少하는 것이 豫測된다. 반원형교각은 직사각형 교각보다 약 10%정도 減少하게된다.

3.7 接近角

원형이외의 橋脚 形狀에서 局部洗掘의 深度는 흐름방향과 橋脚사이의 정렬상태에 의존한다. 局部洗掘深度는 橋脚의 投影幅과 관련되며, 이 投影幅은 흐름의 接觸角의 增加에 따라 증가한다. 교각이 흐름방향에 대해 角度를 가진다면 投影幅은 增加하게되며 같은 入射角에서 投影幅을 두배로 하면 洗掘深度는 33%가 增加한다.

4. 實驗 裝置

교각주위에서의 洗掘深度 影響因子들의 敏感度를 分析하기 위하여 측면은 투명유리 벽면으로 하였으며 水槽로부터 자체 揚水펌프기능을 갖추어 길이 12 m, 폭 40 cm, 높이 40 cm의 開水路 裝置를 이용하였다. 설치된 實驗水路는 河道 傾斜과 流量 調節이 가능하고 洗掘現象을 파악하기 위한 하상재료는 橋脚 設置 地點 上下流部에 各各 3 m 씩 現地試料를 깔았다. 사용된 모래의 比重은 2.58이었으며 平均粒徑은 0.85mm였다. 使用된 河床材料의 체가름 分析結果는 그림 4.1과 같다. 교각주위에서의 유속은 자

체에 설치된 Magnetic 流速計를 利用하여 測定하였다. 설치된 실험장치의 概略圖는 그림 4.2와 같다.

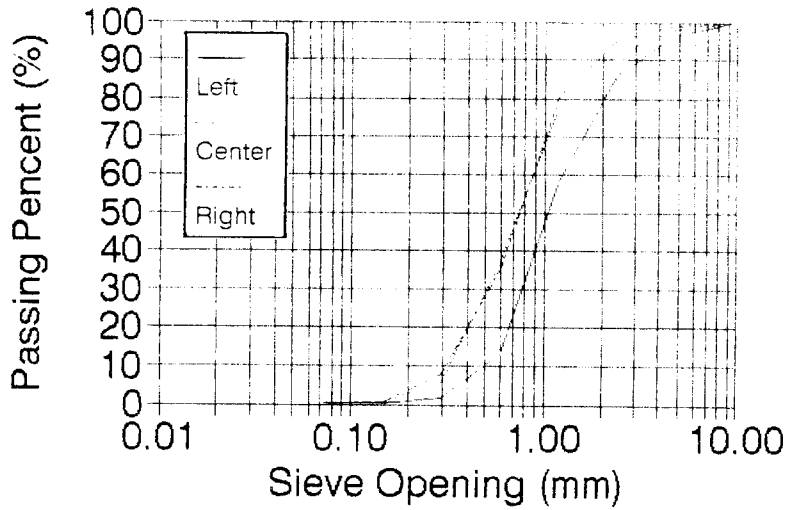


그림 4.1 河床材料의 粒度分布 分析結果

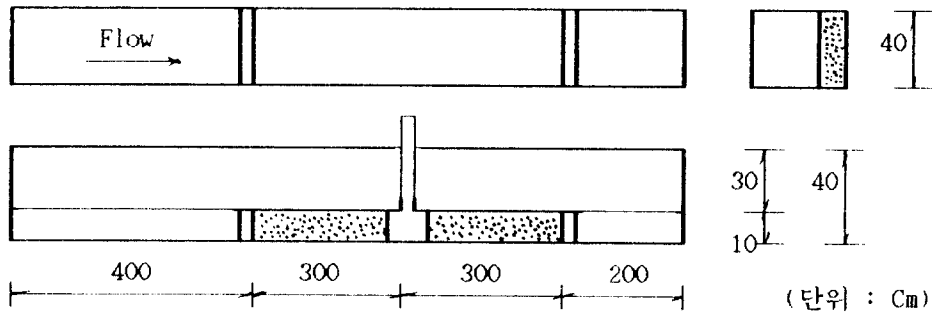


그림 4.2 設置된 實驗裝置의 概略度 (上:平面圖, 下:側面圖)

5. 實驗 結果 및 分析

위에서 檢討한바와 같이 洗掘深度에 影響을 주는 敏感한 因子로 水深, Froude 數, 開度(opening ratio)에 따른 洗掘深度에 미치는 影響을 實驗을 통하여 그에 대한 敏感度를 分析하였다.

5.1 水深에 대한 敏感度

水深에 따른 最大洗掘深度 關係를 表示코져 無次元하여 各 河床傾斜別로 나타낸 것이 그림 5.1(a)와 그림 5.1(b)이다. 이때 (a)와 (b)의 開圖는 各各 93.8%, 97.5%이다.

그림에서 나타난 바와 같이 河床傾斜가 급해질수록 洗掘深은 커지는 경향을 알 수 있고 水深을 增加시킬수록 洗掘深도 또한 增加됨을 알 수 있다.

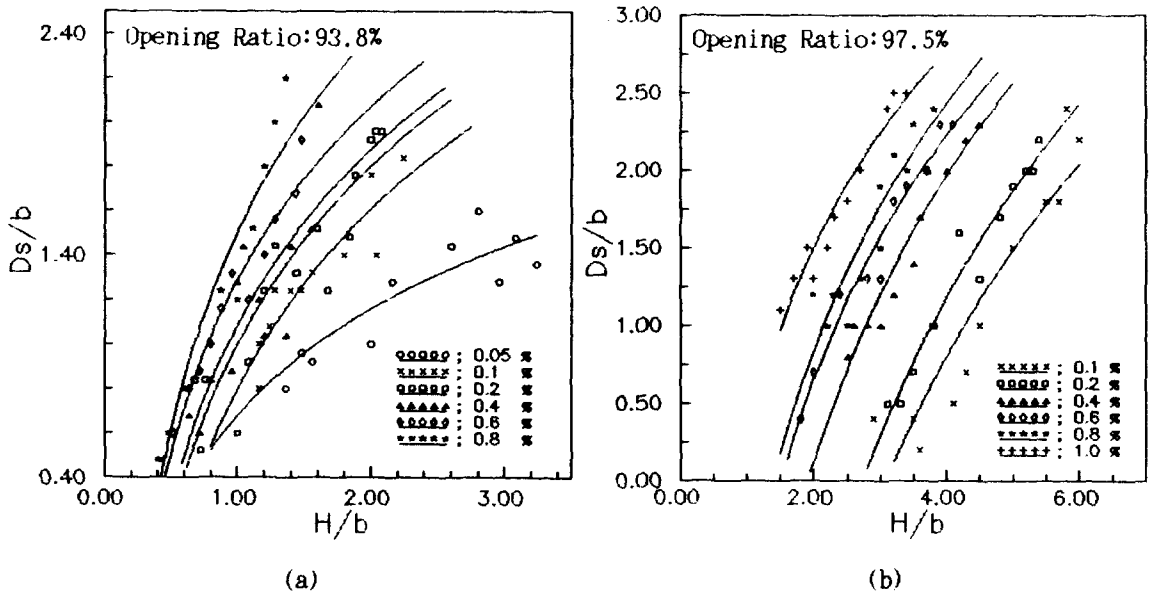


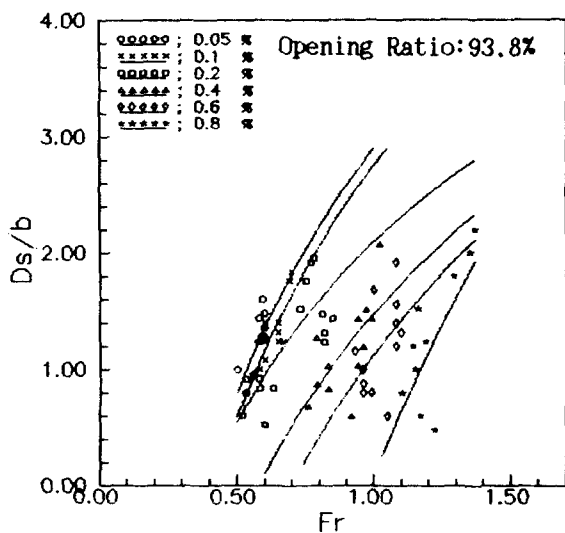
그림 5.1 水深에 대한 最大洗掘深도의 比較

5.2 Fr 數에 의한 敏感度

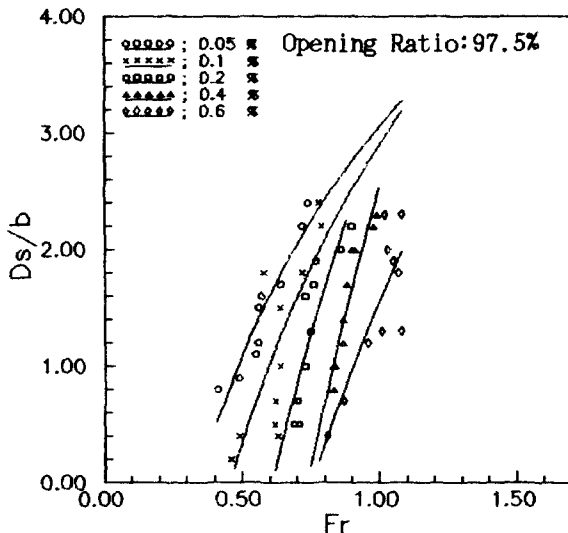
Fr 數에 따른 最大洗掘深도 關係를 表示코져 無次元하여 各 河床傾斜別로 나타낸 것이 그림 5.2(a)와 그림 5.2(b)이다. (a)와 (b)의 開度는 各各 93.8%, 97.5%이다. 그림에서 알 수 있듯이 河床傾斜가 급해질수록 Fr 數는 增加하는 반면 洗掘深의 增加 傾向은 둔화되고 또한 各各의 河床傾斜別로 Fr 數가 增加할수록 洗掘深은 점점 커짐을 알 수 있다.

5.3 開度(Opening Ratio)에 의한 敏感度

開度는 橋脚設置에 따라 河川의 폭 減少의 정도를 나타내는데 開度가 100%일때는 河川幅의 減少가 전혀 없는 狀態를 나타내며 開度가 0%인것은 河川幅이 完全하게 차단되어 있는 狀態를 意味한다. 그림 5.3은 河床傾斜가 0.1%인 實驗水路에서 各各의 開度가 90%, 93.8%, 95%, 97.5%인 경우 Fr 數에 따른 洗掘深을 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 各各의 Fr 數가 增加할수록 洗掘深은 增加하는 傾向을 띠고 있으며 이때 같은 Fr 數에 있어서 開度가 增加할수록 洗掘深도 역시 增加함을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 5.2 Fr 數에 따른 最大洗掘深度의 比較

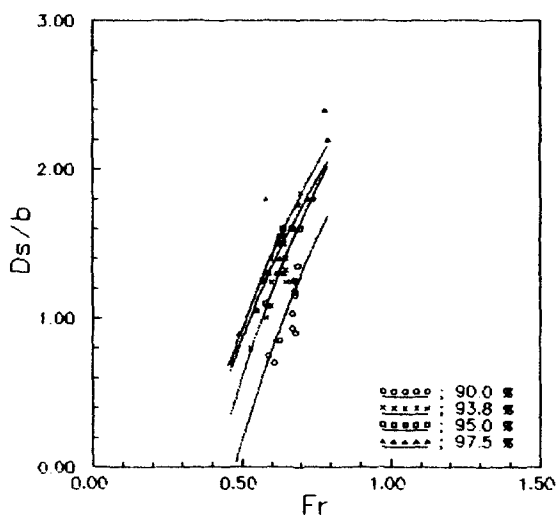


그림 5.3 同一傾斜에서 開度에 따른 最大洗掘深度의 比較($S_o=0.1\%$)

6. 結 論

本 研究에서 洗掘深度에 많은 影響을 주는 因子인 水深, Froude 數, 開度(opening ratio)에 따른 洗掘深度에 미치는 影響을 實驗을 통하여 그에 대한 敏感度를 分析하였다. 水深에 대한 敏感度를 分析한 結果 傾斜이 急해질수록 洗掘深은 커지는 傾向을 띠고 있으며, 또한 水深이 增加할수록 洗掘深도 역시 增加하고 있다. Fr數에 대한 민감

도를 分析한 結果 Fr數가 增加할수록 洗掘深은 增加하는 傾向을 띠고 있다. 開度에 대한 敏感度를 分析한 結果 Fr數가 增加할수록 洗掘深도 또한 增加하며 같은 Fr 數에 있어서 開度가 增加할수록 洗掘深도 增加함을 알 수 있었다. 이와 같은 實驗을 통하여 水深과 Fr數가 세굴심도에 크게 영향을 미치는 因子임이 밝혀졌으며 각각의 傾斜에 대하여 洗掘深度를 圖表로 提案하였다. 이를 利用하여 橋脚 設置에 따른 洗掘深度를 豫測할 수 있어 橋脚 設計나 設置된 橋脚의 安定 判斷에 參考할 수 있다.

參 考 文 獻

1. Breusers, H. N. C., Nicollet, G., Shen, H. W., (1977) Local Scour around Cylindrical Piers, J. Of Hydraulic Research, pp.221-252.
2. Chee, R. K. W., (1982) Live-Bed Scour at Bridge Piers, School of Engineering Report No.290, Dept. of Civil Engineering, Univ. Of Auckland, Auckland, New Zealand.
3. Choi, Gye Woon et. al., (1991) State-of-the-art of Pier Scour Prediction for Design Application, Korean Journal of Hydrosiences, Vol. 2, Korean Association of Hydrological Sciences.
4. FHWA, (1988) Interim Procedures for Evaluating Scour at Bridges, U.S., Dept. of Transportation, FHWA(Federal Highway Administration), Washington, D.C.
5. Jain, S. C., Fisher, E. F., (1980) Scour around Bridge Piers at High Flow Velocities, J. Of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.104, pp.1827-1842.
6. Laursen, E.M.,(1962) Scour at Bridge Crossings, Transaction, ASCE, Vol. 127, pp.166-209.
7. Melville, B.W.,(1984) Live Bed Scour at Bridge Piers, J. Of Hydraulic Eng., ASCE, Vol. 110, pp.1234-1247.
8. Molinas, A., Choi, G.W. And Greager, B.A.,(1989) User's Manual for BRI-STRS, Hydraul-Tech Engineering & Software, Fort Collins, Co.
9. Raudkivi, A.J., Ettema and R.,(1983) Clear Water Scour at Cylindrical Piers, J. Of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 109, pp 338-350.
10. Raudkivi, A.J. And Ettema, R., (1977) Effect of Sediment Gradation on Clear-Water Scour, J. Of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 103. State Univ., Fort Collins, Co.