

있고, 現場의 다짐程度 即 室內最大乾密度와 現場다짐乾密度와의 百分率은 88.6% ((A)의 境遇), 95.3% ((B)의 境遇)였다.

(e) 現場含水量, 現場轉壓의 作力, 轉壓의 現場 觀測, 塑性限界, 標準다짐曲線을 綜合한 結果 施工管理에 있어서 含水量 乾密度, 針入抵抗 등은 A. A. S. H. O 規定의 95%를 基準하여 含水量 14.7~21.2%, 最低乾密度 104.3 lb/ft³, 針入抵抗 100~1150 lb/in²이던 가장 適合하다고 생각되었다.

參 考 文 獻

[1] R. R. Proctor : "Fundamental Principles of Soil Compaction" Eng. News-Record, Aug. 31, Sep. 7. 21. 28, 1933, From Fundamentals of Soil mechanics (Taylor)

[2] 河上房義; "土工의 締固め 作業에 當面する 二三의 問題에 對하여" (日本土木學會誌 第41卷 第11號, 昭和 31年 11月)

[3] Spangler; Soil Engineering (1951) P. 64.

[4] Lee; Selection of materials for Rolled fill Earth Dam, Transactions of A. S. C. E. 1938, P.1, 37. 56. 60, From "河川堤防의 ための 土質力學 (內田一郎)

[5] Terzaghi & Peck : Soil mechanics in

Engineering Practice P.387.

[6] 河上房義; (2)의 P.9, 圖 6.

[7] A. M. Skempton : Pore Pressure Coefficient A and B, Geotechnik Vol.4. No.4 P.143~147. (日本農業土木研究 24卷 1號 P.11)

[8] 和田 保, 穴瀬 眞, 土堰堤의 締固め 過程에 對하여 間隙壓에 對하여 (I) (II) 日本農業土木研究 第24卷 1號

[9] 內田一郎...河川堤防의 ための 土質力學 P.88

[10] 最上武雄; 土質力學 P.26

[11] [9]의 P.64

[12] U. S. Department of the Interior Bureau of Reclamation : Earth manual(1957) 或은 林迎春; 音分類에 對한 提言 (農業土木學會誌 4291.9. 第1卷 第2號 P.40.

[13] Tylor : Fundamentals of Soil mechanics P.112

[14] Justin, Hinds, Creager : Engineering for Dams. Vol. III . P.649.

[15] [14]의 P.646, Fig.22.

[16] Terzaghi & Peck : [5]의 P.66.

[17] Hogentogler : 宇都 譯 : 土의 工學的性質 P.184. (筆者 서울大農大講師)

潛管內의 流送砂礫吐出에 必要한 最小許容流速

及 吐口水槽限界深에 對하여

金 哲 基

[I] 머 리 말

既히 施工된 많은 潛管(特히 排水潛管)을 본 바 土砂 및 石礫의 排出不能으로 어떤 것은 새로히 工作物을 設置하지 않으면 아니되겠고 또 다른 것은 土砂 및 石礫等沈澱物을 사람으로 하여금 일부러 除去하지 않으면 닥쳐오는 用排水期에 被害를 惹起시킬것이 相當히 많았다. 勿論 이들 工作物中에는 潛管을 架橋으로 構造를 變更하면 前記缺陷을 除去할 수 있는것도 있었다. 그러나 現在까지 潛管機能에 惡影響을 주는

障害物中에 特히沈澱物의 處理問題에 對하여는 ① Syphon 入口에 Screen 및 沈砂箱을 設置한 다음에 ②入口의 Tank의 斷面을 出口의 Tank의 그것보다 크게하여 入口部流速을 減殺시키어 上流側에서 流送土砂沈澱을 促進시킨다. ③ 管의 最低部에 土砂吐를 設置하여 가끔 管內의 沈澱物을 排出시킨다든가 하는等 여러가지 方法을 潛管設計에 反映하여 왔든 것이다. 그런데 前記 ①②의 方法은 어떠한 地形에서도 應用할 수 있기는 하나 ①의 沈砂箱 設置問題는 一般的으로 現在 우리나라에서는 洪水時의 流送砂礫過多로

排水潛管에 應用할 必要性이 極히적을것이고 ③의 方法은 地形이 許諾하지 않는 限 應用할 수 없는等 難關에 逢着함이 많을것이다. 다음 이들 難關을 多少나마 回避하기 爲하여 潛管內에 流入한 各砂礫의 吐出에 必要한 最小 許容流速은 얼마나 있어야 하며, 이 最小許容流速으로 流出部 Tank의 깊이(管의 最低部)는 最大 얼마나 있으면 潛管의 完全機能의 發揮을 期待할 수 있을가 하는 問題를 水理學의 面으로 敢히 살펴 보 고저 한다.

[II] 水理學的解析

다음 公式를 誘導하기 爲하여 于先 (a)項과 같은 假定을 세웠다.

(a) 假定

- 1) 砂礫의 形狀은 立方體로 본다.
- 2) 管의 斷面의 크기와 流出部 Tank의 斷面의 크기가 同一하며 形狀의 같다고 본다.
- 3) 流線의 方向이 Tank의 底部에서부터 石礫의 底面에 垂直으로 作用한다.
- 4) 石礫底面에 作用하는 물의 運動 Energy와 같은 位置 Energy를 石礫이 갖는다.
- 5) 물의 石礫에 對한 動粘性 摩擦抵抗 및 石礫相互間의 摩擦抵抗 또는 石礫과 Tank 側壁間에 이리나는 摩擦抵抗을 無視한다.

(b) 公式의 誘導

(a)의 各項에 依하여 石礫의 粒徑과 管內의 流速에 依하여 石礫이 浮上할수 있는 높이에 對한 關係式을 誘導코저 한다.

砂礫 1粒의 體積 $z = \gamma^3 \dots \dots \dots (1)$

一粒의 砂礫의 水中에서의 質量 $m = \gamma^3(p - \alpha) = \gamma^3 p \dots \dots \dots (2)$



fig. 1 潛管側面圖

여기서 γ粒徑
 p砂礫의 比重...2.7
 (安全上 2.7를 取함)
 α물의 比重...1

$p_1 = (p - \alpha) \dots$ 砂礫의 水中에서의 比重 = 1.7

이 1粒이 砂礫이 水槽內에서 dh 만큼 上昇하면 位置 Energy의 增加는 (fig.1 參照)

$dp = mgdh = \gamma^3 p_1 g dh \dots \dots \dots (3)$

이 位置 Energy의 增加는 dt 時間에 管內에서 Tank에 나오는 물이 石礫의 底面에 作用하는 運動 Energy에 依한 砂礫이 한 일이라고 할 수 있고 換言하면 물의 運動 Energy의 置換이라고도 할 수 있을 것이다. 그런데 fig.1에서 높이 h에서의 石礫의 速度 V는

$V = v_0 - gt \dots \dots \dots (4)$

여기서 V_0 ...砂礫의 初速度, 即 管內의 물이 Tank로 나오는 瞬間의 速度

높이 h에서의 dt 時間에 砂礫의 底面에 일하는 물의 運動 Energy dk는 [II. (a), (4)의 假定에 依함]

$dk = dm \cdot V^2/2 = \alpha \gamma^2 V dt \cdot V^2/2 \dots \dots \dots (5)$

$\therefore dm = \alpha \gamma^2 V \cdot dt \dots \dots \dots (5')$

여기서 dm砂礫의 底面에 dt 時間에 作用하는 물의 微少質量

- α물의 比重
- γ^2石礫의 徑 γ 로 하는 底面積(m²)
- $\gamma^2 V$높이 h에서의 單位時間當 石礫底面에 作用하는 流量(m³/sec)
- $\gamma^2 v dt \dots dt$ 時間內의 作用流量(Dim. L³)

(5)式에 (4)式을 代入하면

$dk = \alpha \gamma^2 \cdot V^3/2 \cdot dt = \alpha \gamma^2 \cdot (V_0 - gt)^2/2 \cdot dt$
 $= \alpha \gamma^2 \cdot 2 \{V_0^3 - 3V_0^2 gt + 3V_0 (gt)^2 - (gt)^3\} dt \dots \dots \dots (6)$

[II. (a), (4)]의 假定에 依하여

$dp = dk$
 $p_1 \gamma^3 g dh = \alpha \gamma^2/2 \{V_0^3 - 3V_0^2 gt + 3V_0 (gt)^2 - (gt)^3\} \cdot dt$

$\therefore p_1 \gamma g dh = \alpha/2 \{V_0^3 - 3V_0^2 gt + 3V_0 (gt)^2 - (gt)^3\} \cdot dt \dots (7)$

(7)式의 微分方程式을 풀면

$p_1 \gamma gh = \alpha/2 (V_0^3 t - 3/2 \cdot V_0^2 \cdot gt^2 + V_0 \cdot gt^3 - g^3 t^4/4) + c \dots \dots \dots (8)$

fig.1에서 t=0 일때 石礫은 Tank 底部에 位置하고 있을 것이니까 h=0라는 境界條件이 成立함으로 C=0.....(9)

그리고 石礫이 높이 h=H까지 上昇하였을때

II 表 (吐 口 Tank 最大許容深)

| $\frac{V^2}{gH}$ (m) | 5.0 | 4.8 | 4.6 | 4.4 | 4.2 | 4 | 3.8 | 3.6 | 3.4 | 3.2 | 3.0 | 2.9 | 2.8 | 2.7 | 2.6 | 2.5 | 2.4 | 2.3 | 2.2 | 2.1 | 2.0 | 1.9 | 1.8 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.3 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | | |
|-------------------------|-------|--------|------|-----|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-----|-----|-----|--|--|
| 0.100 | 4.78 | 4.063 | 4.22 | 862 | 381.95 | 1.591 | 1.28 | 1.02 | 0.80 | 0.62 | 0.540 | 0.47 | 0.400 | 0.340 | 0.29 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.095 | 5.03 | 4.273 | 603 | 022 | 502 | 06 | 1.681 | 1.35 | 1.07 | 0.84 | 0.65 | 0.570 | 0.49 | 0.420 | 0.360 | 0.30 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.090 | 5.31 | 4.513 | 803 | 182 | 642 | 17 | 1.771 | 1.42 | 1.13 | 0.89 | 0.68 | 0.600 | 0.52 | 0.450 | 0.380 | 0.330 | 0.28 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.085 | 5.62 | 4.784 | 033 | 372 | 802 | 30 | 1.871 | 1.51 | 1.20 | 0.94 | 0.72 | 0.630 | 0.55 | 0.480 | 0.400 | 0.350 | 0.30 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.080 | 5.98 | 5.084 | 283 | 582 | 972 | 44 | 1.991 | 1.60 | 1.27 | 1.00 | 0.77 | 0.670 | 0.58 | 0.510 | 0.430 | 0.370 | 0.32 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.075 | 6.38 | 5.414 | 573 | 823 | 172 | 61 | 2.121 | 1.71 | 1.36 | 1.07 | 0.82 | 0.720 | 0.62 | 0.540 | 0.460 | 0.390 | 0.34 | 0.28 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.070 | 6.83 | 5.804 | 894 | 093 | 402 | 79 | 2.281 | 1.83 | 1.46 | 1.15 | 0.88 | 0.770 | 0.67 | 0.580 | 0.490 | 0.420 | 0.36 | 0.30 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.065 | 7.36 | 6.253 | 274 | 413 | 663 | 01 | 2.451 | 1.97 | 1.57 | 1.23 | 0.95 | 0.830 | 0.72 | 0.620 | 0.530 | 0.450 | 0.39 | 0.32 | 0.28 | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.060 | 7.97 | 6.775 | 714 | 783 | 973 | 26 | 2.662 | 2.12 | 1.70 | 1.33 | 1.03 | 0.900 | 0.78 | 0.670 | 0.570 | 0.490 | 0.42 | 0.35 | 0.30 | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.055 | 8.70 | 7.386 | 235 | 214 | 333 | 56 | 2.902 | 2.33 | 1.86 | 1.45 | 1.13 | 0.980 | 0.85 | 0.730 | 0.630 | 0.540 | 0.46 | 0.39 | 0.33 | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.050 | 9.57 | 8.126 | 855 | 734 | 763 | 91 | 3.192 | 2.57 | 2.04 | 1.60 | 1.24 | 1.080 | 0.94 | 0.800 | 0.690 | 0.590 | 0.50 | 0.43 | 0.36 | 0.29 | | | | | | | | | | | | | |
| 0.045 | 10.63 | 9.037 | 616 | 375 | 294 | 35 | 3.542 | 2.85 | 2.27 | 1.78 | 1.37 | 1.201 | 1.05 | 0.890 | 0.770 | 0.660 | 0.56 | 0.47 | 0.40 | 0.33 | 0.28 | | | | | | | | | | | | |
| 0.040 | | 10.168 | 567 | 175 | 954 | 89 | 3.993 | 3.21 | 2.55 | 2.00 | 1.55 | 1.351 | 1.17 | 1.010 | 0.870 | 0.750 | 0.63 | 0.53 | 0.45 | 0.37 | 0.31 | 0.28 | | | | | | | | | | | |
| 0.035 | | 9.798 | 196 | 805 | 539 | 4.563 | 3.67 | 2.92 | 2.29 | 1.77 | 1.41 | 1.541 | 1.34 | 1.160 | 0.990 | 0.850 | 0.72 | 0.61 | 0.51 | 0.42 | 0.35 | 0.28 | | | | | | | | | | | |
| 0.030 | | 9.567 | 946 | 805 | 539 | 5.324 | 4.28 | 3.41 | 2.67 | 2.06 | 1.61 | 1.801 | 1.56 | 1.351 | 1.160 | 0.990 | 0.84 | 0.71 | 0.59 | 0.49 | 0.40 | 0.33 | | | | | | | | | | | |
| 0.025 | | | | | | 9.527 | 83 | 6.385 | 4.09 | 3.21 | 2.48 | 2.161 | 1.88 | 1.921 | 1.391 | 1.191 | 0.91 | 0.850 | 0.710 | 0.590 | 0.49 | 0.39 | 0.36 | | | | | | | | | | |
| 0.020 | | | | | | 9.79 | 7.986 | 4.2 | 5.11 | 4.01 | 3.10 | 2.702 | 2.35 | 2.031 | 1.741 | 1.491 | 1.27 | 1.070 | 0.890 | 0.740 | 0.61 | 0.490 | 0.380 | | | | | | | | | | |
| 0.015 | | | | | | | 10.648 | 5.7 | 6.82 | 5.35 | 4.13 | 3.613 | 3.13 | 2.712 | 2.331 | 1.991 | 1.69 | 1.421 | 1.030 | 0.970 | 0.81 | 0.660 | 0.510 | 0.420 | 0.33 | | | | | | | | |
| 0.010 | | | | | | | | 10.23 | 8.02 | 6.02 | 5.414 | 4.70 | 4.063 | 3.492 | 2.992 | 2.54 | 2.141 | 1.791 | 1.491 | 1.22 | 0.990 | 0.770 | 0.640 | 0.500 | 0.380 | 0.29 | | | | | | | |
| 0.009 | | | | | | | | | 8.92 | 6.89 | 6.015 | 5.22 | 4.523 | 3.883 | 3.22 | 2.82 | 2.371 | 1.991 | 1.651 | 1.36 | 1.100 | 0.860 | 0.700 | 0.550 | 0.430 | 0.32 | | | | | | | |
| 0.008 | | | | | | | | | 10.03 | 7.75 | 6.765 | 5.88 | 5.084 | 4.373 | 3.733 | 3.17 | 2.672 | 2.21 | 1.861 | 1.52 | 1.240 | 0.960 | 0.790 | 0.620 | 0.480 | 0.36 | | | | | | | |
| 0.007 | | | | | | | | | | 8.85 | 7.736 | 6.72 | 5.814 | 4.994 | 4.273 | 3.62 | 3.052 | 2.52 | 2.121 | 1.75 | 1.421 | 1.100 | 0.910 | 0.710 | 0.550 | 0.410 | 0.31 | | | | | | |
| 0.006 | | | | | | | | | | 10.33 | 9.027 | 8.4 | 7.855 | 6.834 | 5.984 | 5.08 | 4.273 | 3.572 | 2.972 | 2.45 | 1.991 | 1.541 | 1.271 | 1.000 | 0.770 | 0.580 | 0.430 | 0.31 | | | | | |
| 0.00 | | | | | | | | | | | 10.839 | 9.41 | 8.136 | 6.995 | 5.965 | 4.98 | 4.273 | 3.572 | 2.972 | 2.45 | 1.991 | 1.541 | 1.271 | 1.000 | 0.770 | 0.580 | 0.430 | 0.31 | | | | | |
| 0.003 | | | | | | | | | | | | 10.178 | 7.476 | 6.35 | 5.334 | 4.473 | 3.703 | 3.05 | 2.481 | 1.931 | 1.591 | 1.250 | 0.960 | 0.730 | 0.540 | 0.390 | 0.27 | | | | | | |
| 0.002 | | | | | | | | | | | | | 9.968 | 4.46 | 7.115 | 5.964 | 4.954 | 4.08 | 3.322 | 2.582 | 1.21 | 0.671 | 0.280 | 0.980 | 0.720 | 0.520 | 0.37 | | | | | | |
| 0.001 | | | | | | | | | | | | | | 10.348 | 9.37 | 4.46 | 6.11 | 4.973 | 3.853 | 1.72 | 0.501 | 0.971 | 0.461 | 0.090 | 0.780 | 0.550 | 0.38 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | 10.007 | 7.786 | 4.05 | 0.033 | 0.882 | 0.952 | 1.61 | 0.581 | 0.060 | 0.76 | | | | | | | | | |

下位線 各段距離 總距離 及出口 吐口 最大許容深 可查圖表

石礫의 速度 $V=0$ 가 될것임으로

$$(4) \text{式은 } V_0 - gt = 0 \therefore t = V_0/g \dots\dots (10)$$

(8)式에 $h=H$ $c=0$ $t=V_0/g$ 를 代入하면

$$p \cdot \gamma g H = \frac{\alpha}{2} \frac{V_0^2}{4g} = \frac{\alpha V_0^2}{8g}$$

$$\therefore H = \frac{\alpha V_0^2}{8g^2 p \cdot \gamma} = \frac{V_0^2}{8 \times 9.8^2 \times 1.7 \times \gamma} = \frac{V_0^2}{1.306^{14} \gamma} \dots\dots (11)$$

設計上 安全을 考慮하면

$$H < V_0^2 / 1.306^{14} \gamma \dots\dots (12)$$

即 (11)式에서 Tank의 最大許容深 H 는 石礫의 徑 γ 와 潛管内의 流速 v_0 를 알면 決定된다.

(c) 石礫의 徑 γ 및 流速 v_0 의 算出에 對한 考察

1) 石礫의 徑 (γ)

石礫의 徑 γ 를 決定하자면 于先流域의 地形 및 地貌를 考慮하여야 할 것이다. 勾配로 보아서는 降雨時에 相當히 大粒의 石礫이 流水에 混入하여 流下할 수 있는 곳이라도 山林이 우거졌든가 岩石으로 덮여 있다든가 하면 石礫이 混合된다 하더라도, 粒度 및 量의으로 보아서 小少할 것이요, 이와 反對로 勾配가 緩和한 곳이라도 森林이 우거지지 않는 裸地이라면 流送土砂 및 砂礫의 粒度는 비록 작다 하더라도 量의으로 無視할 수 없음은 勿論일 것이다. 故로 流送砂礫의 最大粒度를 決定하자면 주어진 上流側의 勾配에 依한 流速 即 이 流速에 依하여 流送할 수 있는 最大粒度를 算出할 수 있는式

$$\gamma = \frac{V_0^2 \times 0.076\alpha}{f(P-\alpha)\cos\theta} \dots\dots (A)$$

를 반드시 適用할 수도 없는 노릇이다. 即 上流側이 裸地일 경우는 (A)式을 適用하여도 無妨하리라고 보나 이 때에도 上流側에 位置하고 있는 礫의 徑이 (A)式에 依한 γ 보다 클경우에 限하게 될 것이요, 이와 反對로 上流側에 草木이 繁茂한 곳이라면 (A)式에 依한 γ 보다 작은 砂礫만이 流下할 경우가 많을 것이고 粒度自體를 無視하여도 좋을 경우도 있으리라.

(A)式에서 V_0 ...限界速度 (洪水時의 最大流速을 取함)

θ ...上流側勾配

f ...摩擦係數

P ...石礫의 比重

α ...물의 比重

그런데 (A)式을 適用할 수 있는 경우라도,

Syphon 呑口에 Screen을 裝置한다면 이때 管内에 流入할 수 있는 石礫의 粒度는 이 Screen의 눈의 크기에 制限을 받을 경우도 있을 것이다.

2) 流速 (V_0)

이 流速 v_0 는 砂礫이 混流한 狀態의 流速이라고 볼 수 있음으로 大體의으로 現在까지 使用하여 왔든 다음 式에 依하여 決定함이 좋을 것이다.

$$V_0 = v \frac{\alpha}{\alpha + k(p - \alpha)} \dots\dots (B)$$

여기서 V_0 ...純粹한 물의 流速 m/sec

α ...물의 比重

p ...砂礫의 比重

k ...混入된 砂礫의 물에 對한 體積比 (0~0.3)

여기서 (B)式을 運用하자면 管内의 流速 V 를 head와 管徑과의 關係를 現場地形에 依하여 調節하면서 Buckley氏 또는 Shewior氏의 潛管公式에 依하여 決定하고 (B)式에 이 V 의 值를 代入함으로써 V_0 를 算出할 수 있을 것이다.

III. 結 論

以上 潛管内의 土砂礫의 排出能力限界에 對하여 考察하여 왔다. 即 潛管의 流出部 Tank의 最大許容深(下流部計劃水深包含)은 물의 比重 α 와 流速 V_0 의 積에 比例하고 水中에서의 石礫의 比重 P_1 과 重力加速度 g^2 과 石礫의 徑 γ 와의 積에 反比例함을 알 수 있었다. 그러나 [II (a)]의 各項의 假定이 實際와 符合하지 않는 點이 많이 있음을 自認한다. 特히 礫의 形狀도 數多한 形狀을 이룰것임으로 물의 動粘性 摩擦抵抗도 相異하여 Reynold's 數의 크기도 달라질 것임으로 石礫의 運動狀態도 各己 다물것이라고 보며 [II (a) (3)]의 假定은 오히려 在來式構造보다 流線式構造인 潛管에 對하여 近似的으로 成立할 수 있을 것이고, 물의 損失 anergy도 流線式이 보다 작으니가, 石礫 排出能力이 더욱 良好하지 않을가 한다. 以上 Reynold's 數의 算出問題等 여러가지 難問題의 解決에는 더욱 深奧한 科學的理論의 展開 및 專門的實驗에 依存할 바 많이 있음을 確信하며, 筆者의 學理不足으로 科學的理論에 未及한 點이 許多히 있음을 自認한다. 先輩諸賢의 忌彈없는 批判과 教示를 仰請하는 바 올시다. 다만 上述한바가 潛管設計에 多少라도 寄與하는 點이 있다면 筆者로서의 기쁨 무어라고 形言할 수 없다.

(筆者, 大韓水聯忠北支部勤務)