filter(填材, 濾過材)에 對하여

宋 永 壽

I. filter에 對하여

地下水를 集水할 目的으로 우물(井)을 파면 어느 期間後에는 地下水道가 메어 (埋) 集水가 不完全하게 되거나 反對로 piping이 생겨서 우물自體가 메이는수가 있고 降雨後에는 濁水가 浸入하여 飮料水로 不適當하게 되는경우가 許多하다. 所謂 "수렁"이라하여 水稻作에 害를 끼치는 地下水의 湧出은 地下水位와 그의 浸透壓에 依해서 表土가 軟化되는 現象인데 이때 地下水의 浸透壓이 크면 表土의 單位重量(水中重量)이 水重量보다 작아져서 地下水가 湧出하는 部分의 表土粒子가 水中에 浮遊하게 된다.(quick sand) 또 土堰堤에 있어서는 中心剛土를 넘어온 漏水는 可及的 빨리 排除하는 것이 上策인데 이것이 能率的으로 되지못하면 堤體內滯水로 因하여 浸透壓이 生기어 堤體安定에 甚한 危險을 준다.

盲暗渠나 管水路에 依한 地下排水(pipe drain)에 있어서도 管을 덮어주는 材料 (礫, 其他)의 設計와 施工을 그릇 되게하면 不遠間 그管의 集水效果가 喪失되어 버린다.

이와같은 現象들을 原因上으로 詳細히 따져보면 各其 사소한 差異는 있을것이나 原因上으로 크게보아 同一한 原因에 屬하는것을 알수있고 이들의 障害나 機能마비를 除去하는데는 물이 礫에서 湧出하는 面에 粒度를 調節한 (粒度의漸次的인變化) 礫을 塡充하여 流路가 메꾸워 지지도 않고 커지지도 않는 卽 "필타"作用을시켜 所期의 目的을 達하는 것이다.

필타(filter)라 함은 上記한바와 같이 물의 流動에 따른 諸障害에 對處하기 爲하여 물의 湧出面에 塡充하는 一種의 礫濾過材이다.

filter의 原理나 設計標準은 大端히 簡單하고 反面 그의 利用範圍는 大端히 廣範圍하다 以下 filter의 槪念을 얻기爲해서 그의 原理를 簡單히 살펴보기로 한다.

우물에 濁水가 浸入하는것은 地下水의 流路中 上流側의 地盤礫의 細粒子가 洗流되어 下流로 흘려오는 것이고, 地下水道가 메인다는 것, 또는 盲暗渠가 메인다는 것은 上流에서 洗流되어 온 礫粒子가 下流側土粒子間을 빠져나갈수 없다는것 換言하면 그만한 空隙이 없기 때문에 礫粒子가 下流部에 메인다는 뜻이 된다. 萬一 이때에 地下水의 水頭가 크면 細粒材로 메인 下流側 礫部分에는 浸透水壓이 作用하여 結局은 이部分이 터지고 만다 土堰堤斜面이 터지는것은 降雨로因한 粒着力의 喪失外에 이와같은 浸透壓에 起因하는 例가 많이 있다.

그러면 이와같은 不安全한 條件을 除去하려면 어떻게 할것인가? 卽 filter는 어떠한 條件을 가추어야 할것인가 하는點을 上記의 例와 連關시키면서 檢討해보면

첫째로 우물에 濁水가 浸入한다는等의 現象은 上流側에서 細粒材가 흘려오는 것이므로 이에 對備하기 爲해서는 下流側礫—filter—의 空隙이 充分히 작아야 한다. 卽 filter의 粒經은 작어야 한다.

그러나 filter의 粒徑이 너무 작으면 其空隙도 작아지므로 上流側에서 흘러온 粒子가 filter에 메이어 地下水의 流速을 減少시키고 이로 因해서 壓力水頭는 크게되므로 結局은 下流側礫이 터져버린다. 이 條件에 依하면 下流側의 filter는 可及的 其粒徑이 커서 地下水의 流速을 크게하고 그에따라 浸透水壓을 減勢하여 排除效果를 增加시킬것이 要求된다.

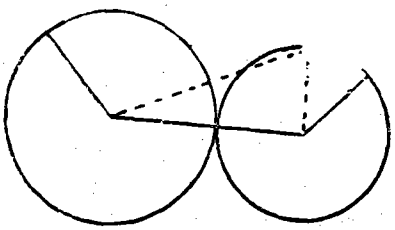
以上에서 본바와같이 上流礫 (卽 要保護材料)을 保護하기 爲하여 不流側에 施工하여줄 filter는 結論的으로 다음과 같은 條件을 具備하는 것이라야 한다.

(a) filter는 排水를 가장 效果的으로 할수있도록 其粒徑이 크야 한다.

(b) filter는 細粒材의 洗流를 防止할 範圍內

로 其粒徑이 작아야 한다.

以上과 같이 filter는 서로 相馳되는 2個의 條件을 同時에 充足하는것이 되어야 함으로 filter는 其 適格範圍가 甚히 縮少하여진다 理論的으로 말하면 相馳되는 2個條件의 兩極端이 合致되는 點에서만 filter로서의 機能을 發揮할수가 있다는것이 된다. 이條件은 filter와 地盤土(要保護材料)의 粒子를 完全球形이라 假定하면 原理上으로는 쉽게 알아볼수 있다. 지금 第1圖에서 R을 filter의 粒經 r을 地盤흙의 粒徑이라 하면 正三



(第 1 圖)

角形의 性質에 따라

$$R \fallingdotseq 6.5r$$

이것은 filter의 粒徑이 地盤흙粒經의 6.5倍이면 filter가 메이지않는 限度內에서 地下水의 水頭損失을 가장크게 할수있다는 것을 말하여준다. (卽 排水를 最大限度로 能率的으로 할수있다) 그러나 이것은 假定에서 아는바와같이 흙粒子를 球形으로 보고 또 uniform 한것으로 假定하였기 때문이며 實際로는 粒子의 形狀이 球形이 아니고 均等하지도 않기 때문에 上記條件을 그대로 實地應用할수는 없다. 이런理由로 filter의 設計는 全部가 實驗的基礎위에서 其 標準을 求하고있으며 G.E. Bertram氏의 設計標準을 爲始하여 數種의 filter 設計標準이 있다. 以下 몇가지 設計標準에 나타난바와 같이 係數上 서로合致되는 點도 있으나 其範圍에 많은 差異가 있음을 發見할수 있다. 그리고 以下 紹介하는 標準外에 全然特殊한 條件을 써서 設計한 filter도 있으나 이들에 對하여서는 紹介하는것을 略하기로 한다.

다만 filter의 設計標準은 純理論的으로 다룰 性質의것이 아이라는點에 對해 强調하고 싶다.

II. filter의 設計標準

A) G.E. Bertram氏의 標準

① 試驗室에서 모래에 對한 硏究로써 얻은 標準인데 地盤흙과 filter가 uniform할때의 設計標準이다.

卽 $\dfrac{\text{filter의 粒徑}}{\text{地盤흙粒徑의 10倍의 것을 filter로}} = \dfrac{(\text{地盤흙의粒徑})\times 10}{\text{地盤흙粒徑의 10倍의 것을 filter로}}$ 써면 된다는 것이다.

② 흙이 uniform하지 않을때는

여기서 $\dfrac{\text{filter의 } D_{15}}{D_{15}} = \dfrac{(\text{地盤흙의 } D_{15})\times 9}{D_{15}}$라함은 그흙의 15% (重量比)는 이 보다작고 85%는 이 보다큰 粒徑—(粒度分析에 依해서 求한다)

이標準은 filter의 設計와 選定이 容易하며 Justin, Creager, Hinds 三氏의 共著인 Engineering for Dams에서는 土堰堤의 filter設計에 主로 이 標準을 採用하고 있으며 가장 먼저 發表된 標準이다. Bertram標準에서 留意할點은 上記의 標準은 filter氏를 最少限 50% 搗固한다고할때의 標準이라는것을 말하여둔다. 이點은 filter의 施工에 꼭 反影시켜야 할 重要한 點이며 50% 搗固란 말은 例컨데20cm의 層을 搗固하여 10cm의 層이되도록 하였을 때와 같이 層의 두께를 50%다져줌을 意味한다.

B) Terzaghi의 設計標準

有名한 Terzaghi 氏의 filter 設計標準이며 Bertram以後의 標準이다. 이標準은 美國의 水路試驗所(U.S.W.E.S)에서도 歡奬하는 標準이며 Bertram標準보다 훨신 詳細하다. 記號的으로 表現하면

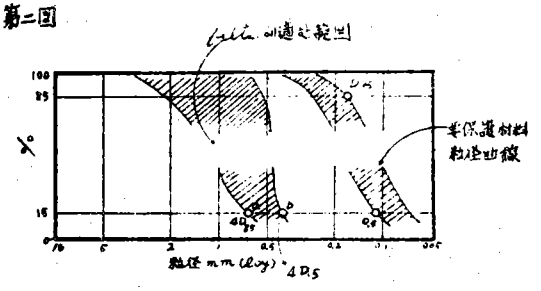
$$\frac{\text{filter의 } D_{15}}{\text{地盤土의 } D_{85}} < 4\sim 5 < \frac{\text{filter의 } D_{15}}{\text{地盤흙의 } D_{15}}$$

(D_{85}는 D_{15}에서 類推)

이것을 具體的으로 表現하면 filter의 D_{15}는 地盤흙의 D_{85}의 4倍보다 작아야 하며 地盤흙의 D_{15}의 4倍보다는 커야 한다는 것이다. Bertram 標準이나 其他어느 標準에서도 마찬가지 이지만 filter의 設計에 있어서는 爲先 地盤흙의 粒度分析이 先行되어야하며 이로서 其地盤흙에 適合한 filter의 粒徑範圍가 求해

지는 것이다. Bertram 標準에 對해서는 이適合範圍를 곧알수있으므로 Terzaghi 標準에 依한 filter의 適格範圍作圖를 簡單히 말하겠다.

第二圖



第2圖는 Terzaghi의 設計標準을 說明하는 그림인데 爲先 地盤흙에 對하여 其 가장 粗한 部分과 가장細한 部分에서 各其代表的인 試料을 採取하여 粒度分析을 施行한다. 第2圖의 最右側曲線은 地盤土의 가장細한 部分의 粒度分析曲線이며 其左側은 粗한部分에 對한 것이다. 다음에 그림과같이 가장細한 部分의 D_{85} 및 가장粗한 部分의 D_{15}를 求하여 各其 其의 4倍를 計算하여 第2圖의 a.b 點과 같이 作圖한다. 萬一 filter 候補土를 粒度分析한 結果 其 D_{15}가 a.b 間에 들어 오면 그흙은 filter로서 適合하다는 것이다. 萬一 別途로 filter를 求할길도 없이 filter 候補土의 D_{15}가 이範圍內에 들어오지 않으면 篩로서 어떤範圍의 粒子를 除去 또는 添加하여 標準範圍에 들도록 하여야 한다. 이러한 까다로운 條件때문에 filter는 그單價가 相當히 高價로 되는때가 있다. Terzaghi氏의 標準은 土堰堤以外에도 여러種類의 filter에 適用되고 있으며 相當히 細密한 標準인것으로 믿고있다.

C) 美國 War Department Office of the Chief Eng, 의 標準,

이標準은 型式上 Terzaghi氏의 標準과 恰似하며 貫通徑(d_o)까지 考慮한 點이 特色이다. 貫通徑이라함은 集水를 目的으로 하는 地下管等에 人工的으로 鑿孔한 구멍의 徑을 말한다.

이 標準은

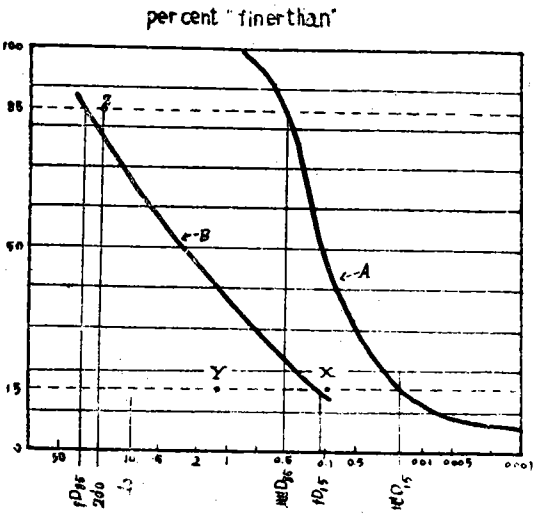
$$\frac{D_{15}\text{(filter의)}}{D_{85}\text{(地盤土의)}} \leqq 5$$

$$\frac{D_{15}\text{(filter의)}}{D_{15}\text{(地盤土의)}} > 5$$

$$\frac{D_{85}\text{(filter의)}}{\text{貫通徑}} > 2$$

이標準에 따라 filter를 設計하려면 第3圖와 같이 地盤土의 粒度曲線 A를 求하고 이로서 地盤土의 D_{15}及 D_{85}를 求하여

第3圖



$\frac{D_{15}\text{(filter)}}{D_{15}\text{(地盤土)}} > 5$ 인 關係로부터 點을크게 作圖하고

$\frac{D_{15}\text{(filter)}}{D_{85}\text{(地盤土)}} \leqq 5$ 및 貫通徑에 依하여 Y 및 Z를 作圖한다.

다음 filter의 候補로 選定한 흙을 粒度分析한 結果 其粒度曲線 B가 X.Y의 中間과 Z의 左側을 通하면 filter로 適合하다는 것이다.

이標準은 盲暗渠 pipe drain等에 應用하기 便宜한 것이다.

上記外에 美國開拓局의 設計標準도 있으며 지금이들의 標準을 表로 一括하면 다음과 같다.

第 1 表

	Bertram	Terzaghi	Beurau of Reclamation	U. S. W. E. S	War Department Office of Chief Eng
F_{15}/B_{15}	粒度分布不良 >5 粒度分布良好<25	>4	粒度分布良好12~40	4~20	>5
F_{15}/B_{85}	粒度分布不良 <4 粒度分布良好 <5	<4	—	粒度分布不良 <5	<5
F_{50}/B_{50}	—	—	粒度分布不良5~10 粒度分布良好12~58	<25	—
F_{85}/有効排水管의孔徑	—	—	—	圓孔>1 長孔>12	>2

表中 F_{15}, F_{50}, F_{85} 等은 filter의 D_{15}, D_{50}, D_{85} 等을 意味하고 文字 B는 地盤土의것을 表示한다. 그리고 이表中의 Bertram의 標準은 처음에 提示한 Beatram 標準以後의 것이다. 또 有効排水管의 孔徑은 貫通徑의 뜻으로 보면 된다.

上記諸標準을 比較하면 大體로 各標準이 서로 合致되어 있기도 하지마는 其範圍에는 係數的으로 相當한 差異를 보이고 있다. 이것은 filter의 標準이 어떤 一定한 係數로서 規程지울 性質의 것이 아니라는點 換言하면 設計 施工 其他의 與件으로 相當히 큰變化를 갖이게된다는點을 가르쳐 준다. 그르므로 設計에 있어서는 上記諸標準의 全部에 共通되는 係數를 찾는것과 같이 係數上으로만 너무 구애 當하지 말고 한가지 標準에 따르되 施工, 設計等에 그標準이 指示하는 點을 잘지키는것이 더욱 効果的이고 工費도 低廉하리라 생각된다.

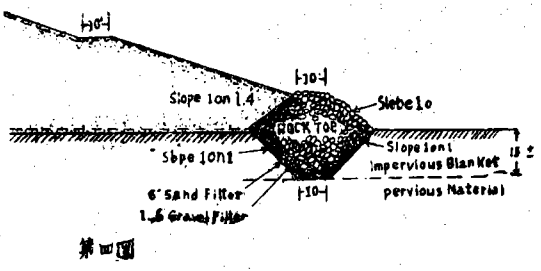
III. filter의 目的

그러면 filter는 大體로 어떠한 경우에 利用되는것인가 繁雜한 說明은 빼고 利用되는 目的別로 論기하로한다. 그러나 filter는 이들 여러가지 目的中의 한가지만를 爲하여 使用된다 하기보다는 비록 한가지 目的을 爲하여 施工한 경우라도 結果的으로는 여러가지 目的을 同時에 達할수가 있는것이다. 卽 여러가지 目的은

① 浸潤線의 低下
② 堤法尾의 軟化(Sloughing) 防止
③ 堤體의 貫孔作用 防止
④ 排水의 能率化
⑤ 壓密의 促進
⑥ 堤體基盤의 安全
⑦ 堤體의 安全
⑧ 斜面의 安全
⑨ Quick sand의 防止
⑩ 地盤의 剪斷破壞 防止

IV. filter의 設計例

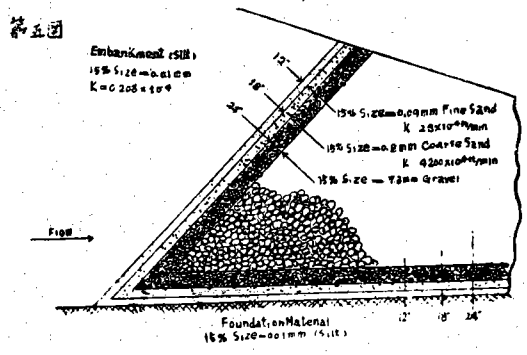
A. 이例는 (第四回)地表下 15ft 까지가 不透水層 이고 其以下는 砂礫이 混合된 透水層으로 되어있고 filter를 設置한 堤法尾部分에는 舊河川流心에 依한 流量이 相當量있고 地盤浸透水는 若干의 浸透水壓을 가지는 條件下에 設計된 것이다



第四圖

이 filter는 法尾의 Sloughing 防止가 其目的이다.

B. 이例는 (第五回)Bertram 標準에 따라 設計한 複式 filter이며 (各其 D_{15} 參考) 이런 filter는 單層으로된 filter보다 機能이 增加된다.

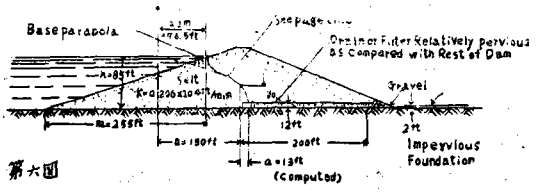


第五圖

이와같은 法尾 filter는 漏水排除를 促進시켜 堤體安全을 圖謀하고 同時에 Sloughing를 防止할수 있다. 이런경우 filter의 높이는 堤高의 25—35%로 함이 理想的이고 各 filter의 두께는 理論上으로는 엷을수록 좋으나 築堤後의 變位 施工上의 便宜等을 考慮하여 다음에 依하여 定한다.

① filter의 두께는 其 D_{15}의 最少限 50倍 以上일것
② sand filter는 그 두께를 ①의 如何에 不拘하고 12 inch보다 작게는 하지말것.

美國開拓局에서 設計한 filter의 實例는 其平均厚가 2~4 feet 이라 한다.



第六圖

C. 第6圖는 浸潤線을 低下시킬 目的으로 堤中心線까지 filter를 設置한 例이다. 法尾部分의 것은 第5圖와 같은 機能을 가지게 한것이다. filter의 長을 法尾에서 어느程度까지 延長시키느냐 하는問題는 어느程度로 浸潤線을 低下시키는가 하는 問題로 大體的인 決定을 할수 있다. (이例는 堤中心까지 延長되어 있음) 지금 이 filter의 厚를 圖面의 條件을 써서 計算해 보기로 한다.

堤體浸透水量 q는

$$q=ky_o \text{ or } =2ka$$

※土質力學書, 土堰堤計算法, 農業土木 Hand book等 參照

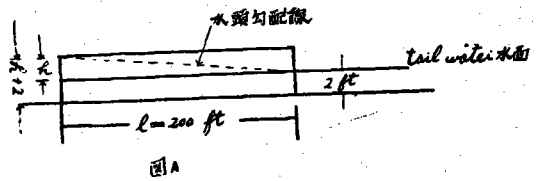
여기서 $y_o=(\sqrt{h^2+d^2}-d)=\sqrt{85^2+130^2}-130=26$ (ft)

$$\therefore q=ky_o=0.0000206\times 26=0.000536 \ \frac{ft^3}{min}$$

지금 filter의 透水係數를 $k=0.0034 \ \frac{ft}{min}$ 라하면 Darcy 法則에 依하여

$$q=k.\frac{h}{l}.A \quad \cdots\cdots(\text{filter 單位幅에 對하여})$$

그런데 tailwater의 水面이 2ft 이르므 A는 (filter內를 浸透水가 通過하는 面積)



圖A

$$A=\frac{1}{2}\left\{(h+2)+2\right\}=\frac{1}{2}h+2$$

이値를 上式에 代入하면

$$q=k\frac{h}{l}A=\frac{k}{l}h.\ A=\frac{k}{l}h.\left(\frac{h}{2}+2\right)$$

即 $$q=\frac{k}{l}\left(\frac{h^2+4h}{2}\right)$$

$$\therefore \frac{2ql}{k}=h^2+4h$$

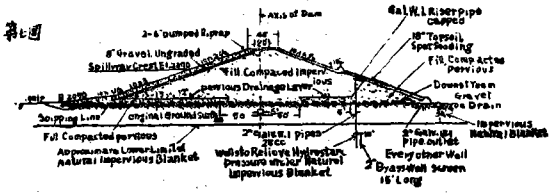
여기서 $q=0.000536 \ \frac{ft^3}{min}$ $l=200ft$

$k=0.0034 \ \frac{ft}{min}$, 을 代入하면

$$h^2+4h=\frac{2\times 0.000536\times 200}{0.0034}=63.0$$

$$\therefore h=6.2$$

故로 filter의 所要厚는 6.2+2=8.2ft가 된다.


第七圖

D. 이例는 浸潤線의 低下以外에 地盤沈下로 因한 壓出水를 效果的으로 排除하기 爲하여 設計된 例이다. 이結果 堤體의 地盤沈下에 對한 安全性이 增進한다. Justin, Creager, Hinds 諸氏에 依하면 地盤沈下의 憂慮가 있는境遇는 언제나 이런 種類의 filter를 設置하도록 勸하고있다. 이와같은 filter를 設計하려면 地盤에 對한 各種 試驗資料가 必要하게 된다.

filter를 施工함에 있어서는 Bertram 標準에 依하면 50% 搗固가 必要하다는 點을 留意하여야 할것이며 其他標準에 따를 경우라도 filter를 施工할때는 普通 그의 搗固層을 18 incn 內外로하여 撒水하면서 搗固한다. 이搗固는 filter의 運搬機具가 重機이면 그의 往復으로서 搗固効果는 滿足하게 期待할수 있다고 한다.

filter의 位置와 厚等의 決定은 그때 그때의 事情의 따라 適宜하게 定할 問題이다. 細密을 要한다고 하면 地盤土及地盤, 地下水等에 對한 詳細한 試驗資料가 必要하게 된다. 普編的으로 말해서 留意할點은 filter의 뚜께限界와 施工上의 注意點이며 언제든지 粒度分析이 先行되어야 한다는 點이다. 그리고 係數上으로는 filter로서 適格範圍에 屬한다 하드래도 粘質土는 filter로 써서는 않된다고한다.

以上 filter의 設計例를 몇가지 提示하였으나 filter는 이以外에도 여러가지 目的에 利用된다.

우리나라에서도 土堰堤나 透水層上에 設計된 取入堰 其他 우물이나 地下管等에 對해서는 必要에 따라 filter를 施工하여 構造物의 安全을 增進시켜야할 경우가 많은點에 비추어 此等 構造物의 設計나 施工에 있어 filter에 對한 考慮를 게을리 해서는 않된다고 생각하는 바이다.

(筆者; 水聯 試驗室 勤務)