

築堤工事의管理

A Note on Dam Construction

編 輯 部

1. 序 言

貯水池堤防工事의 施工管理의 必要性은 누구나 다 같이 認定하는 바이나 Justin은 다음과 같이 記述한바 있다. 아주 安全하고 健實하게 設計한 것이라도 不注意하고 걸치레식의 施工으로 因하여 破壞되고 構造物의 欠潰의 可能性도 大端히 많다. 그러므로 工事細部에까지 注意를 하는 것은 豫備調査와 設計와 똑 같이 重要한 것이다. 管理를 疎忽히한 結果로 貯水되지 않는 土壤堤가 많이 있다. 調査에 依하면 이들 大部分의 댐은 土壤含水量에 關心을 두지 않고 또 特別한 搗固效果를 適用치 않은 結果라한다. 土質力學의 知識이 갑자기 增加함에 따라 粗鬆한 흙도 築造材料로 轉換시키는 要因을 理解하는 方向으로 進歩하고 있다. 그러나 同一한 時期에 巨大하고 經濟的인 흙을 움직이는 土運機械의 發達は 漸次盛土率을 增加시켰으며 그로말미아 마 質管理問題가 增大하게 되었다.

土工分野에 있어서 設計制度의 將來進歩는 土質力學과 基礎工學의 發展에 依存할뿐 아니라 또한 大部分은 適切한 示方書에 따라 良好한 工事施行에 關하여 監督員들의 主義主張과 健全한 管理技術을 理解하고 良心의으로 適用할 수 있는 能力에 달려 있는 것이다. 施工管理는 調査試驗報告로써 完成된다. 基礎와 土工의 監督者는 示方書에 따라 自己에게 負荷된 任務를 完遂할 責任이 있는 것이다. 이 責任을 效果的으로 履行하기 爲하여는 工事に 關係되는 設計와 示方書에 關하여 完全히 알아야 한다. 監督員은

創意的이고 賢明한 判斷 그리고 公明正大하고 確固한 信念이 있음이 極히 重要하다. 그 工事의 狀態와 進展에 關한 資料와 請負者에게 주어진 對話와 指導에 關한 記錄과 監督員의 日記는 慎重히 保管해야 할 價値있는 書類이다. 適切한 土工管理는 實驗室 施設을 利用함이 좋다. 小規模의 댐에는 携帶用도 좋고 小規模의 實驗室을 敷地附近에 設置할 수도 있다. 管理試驗費는 可及的 적게 하여 滿足한 結果를 봄이 좋다. 옛날에는 東西를 莫論하고 土壤堤 築造에 있어서 勞務者가 발로 밟거나 家畜이 밟거나 하여서 다졌다는 것이다.

19世紀 中葉에 歐羅巴에서 비로소 무겁고 平滑한 콘크리트나 金屬으로 만든 Roller가 使用되었으며 美國에도 傳導되었던 것이다 1906년에 羊足 Roller를 搗固機로서 特許를 받게 되어 1912년에야 南加州에 있는 石油會社가 貯水池工事に 처음으로 使用하였다는데 이 種類의 Roller는 흙을 펴고 다지는데 層이 지지 않게 均一하게 다질 수 있는 唯一한 機械인 것이다.

主로 強度가 큰 路盤이나 飛行場의 下部層이 必要한 自動車나 飛行機의 發達로 因하여 모든 建設工事に 무겁고 큰 Roller가 使用되게 되었다. Basell은 다음과 같이 記述하였다. 含水量이 너무 많거나 적은 것은 害로우며 避해야 한다. 經驗에 依해서만이 適當量의 물은 여러가지 種類의 材料나 條件에 따라 使用할 수 있도록 決定지을 수 있다. 목을 다지고 壓密함에 있어서 振動할 傾向이 있는 모든 部分은 即刻 除去해야 한다.

1933년까지는 水分과 搗固管理에 必要한 一定

한 방법이發表되지 않았다. 1939年 Proctor는 흙을 다지는 原理와 그 適用에 關하여 發表하였다. 卽 어떠한 搗固效果에 對하여는 주어진 粘着性 土壤의 最大密度 또는 極少量의 全空隙量을 나타내는 最適含水量이라고 하는 水分含量이 있음을 指摘하였다. 同一 土壤에서 搗固效果를 크게 할려면 여러가지 水分密度曲線을 그려지게 되는데 그 最適點은 水分含量이 더 적은데서 또 搗固效果가 적은 것보다는 密度가 큰 것에서 생기는 것이다.

II. 施工管理와 土質力學

粘着성이 있는 土壤의 搗固는 Proctor 가 發表한 原理에 따라 明確히 證明되었다. 搗固基準으로서 또는 粘着性 土壤을 搗固하는데 使用한 搗固效果의 種類는 많이 있지만 水分含量의 變化가 結果된 單位重量이 미치는 影響은 모든 方法이 다 비슷한 것이다. 各搗固效果는 제각기 最適含水量을 가지고 있는 것이다. 美國開拓局에서 使用하고 있는 搗固에 關한 實驗室基準은 堤土를 20~23cm 程度로 撤布한다음 20ton Roller로써 12回 往復하면 大略 15cm 두께의 現場 密度로 된다는 것이다. 盛土에 있어서 이 Roller의 效果에 必要한 水分~密度曲線과 標準實驗室 搗固曲線間의 關係는 土壤이 다름에 따라 다르나 實驗室基準은 施工管理 目的으로 使用하여도 充分하다. 搗固한 粘着性 土壤에 있어서는 透水度 剪斷強度 壓縮性에 重要한 關係가 있다. 理論의으로나 經驗에 依하면 乾燥單位重量의 增加는 그만큼 土壤內의 孔隙量을 減少시키기 때문에 어느 주어진 土壤의 透水도를 적게 한다는 것이다. 不透水性的 見地로서 보면 最大로 搗固하는 것이 必要하다. 그러나 極度の 不透水성이 設計에 반드시 必要한 것도 아니며 특히 粘土의 境遇에는 適當한 搗固效果만이 不透水성을 確實히 하는데 要求되는 것이다. 이와 反對로 잘 類別된 모래나 자갈 또는 成層岩까지도 무거운 다지기 Roller로써 粉碎하고 잘다지면 아주 完全한 不透水性으로 만들 수 있다.

III. 土堰堤의 設計基準

設計의 基本原則은 最少의 工事費로써 滿足히 作用할 構造物을 만드는 것이다. 創設時의 工事費減少로 因하여 竣工後에 過大한 維持費가 所要되도록 하여서는 아니된다. 竣工後의 維持管理費는 上下流傾斜面의 保護準備 排水特性 附帶 構造物 또는 機械設備의 如何에 따라 달라질 것이다.

土堰堤는 工事中 또는 作業中 모든 部分에 對하여 安全하고 또 安定度を 維持해야 한다. 이와 같은 條件에 맞는 標準은 다음과 같다.

1. 堤防은 餘水吐와 排出口의 充分한 容量이 있어야 하며 流入設計洪水가 發生하여도 越流되지 않도록 設計되어야 한다.

2) 堤防의 傾斜面은 貯水用법의 境遇에 있어서 貯水位가 急作스러이 降下할 때나 工事中 또는 貯水池를 使用할 때도 恒常 安全해야 한다.

3. 堤防은 그 基礎地盤에서 過度한 應力을 받지 않도록 設計되어야 한다.

4. 堤防, 基礎地盤, 兩岸接合部 등을 通하는 流出水의 流出을 調節하여서 內部侵蝕이 생기지 않고 또 浸潤水가 出現하는 部分에서 脫落이 생적서는 아니 된다. 浸潤에 依한 損失水量은 計劃地區에 作用을 妨害하지 않도록 安全해야 한다.

5. 堤防은 波浪作用으로 因한 越流에 對하여 安全해야 한다.

6. 上流側 傾斜面은 波浪作用에 依한 浸蝕에 對하여 保護되어야 하며 堰頂과 下流側 傾斜面은 風雨에 依한 浸蝕에 對하여 保護되어야 한다. 以上 標準에 맞는 設計를 한 土堰堤는 適當한 施工管理를 한다면 永久히 安全할 것이다.

粘着力에 미치는 密度의 影響은 水分含量이 變함에 따르는 影響에 比較하면 적다하지만 試驗에 依하면 어느 주어진 土壤의 眞正한 內部摩擦角은 그 土壤의 搗固度에 따라 變한다는 것이다.

土壤의 內部摩擦角은 土粒子의 鑛物質成分 크기 모양 粒度에 差異가 있기 때문에 달라지는

것이다. 粘着性 土壤에서는 搗固로써 얻을 수 있는 最大強度는 最大密度로 되는 水分含量에서 생기는 것이 아니라 最大以下の 密度를 가진 若干水分含量이 적은데서 생기는 것이다. 이와 같은 狀態는 土壤強度를 減少시키기 爲한 壓縮力 作用에 依하여 孔隙壓力이 減少되기 때문에 結果 되는 것이다. 이 孔隙壓力은 搗固曲線 絶頂 附近에서 水分含量이 增加됨에 따라 迅速히 增加하게 된다. 最適水分 含量보다 若干 적은 水分狀態에서 土壤을 搗固하면 密度도 적어지는 剪斷強度의 減少는 孔隙壓力을 不安定하게 만들어서 純強度는 增加하게 된다. 土壤의 壓縮性은 土壤組織에 미치는 有効應力과 그 容積變化에 關係가 있는 것이다. 不透水性 土壤은 細粒子の 量이나 性質에 따라 또는 粗粒子の 量과 粒度에 依하여 그의 壓縮性이 달라진다. 어느 水分含量의 特殊한 土壤에는 密度가 크면 클수록 壓縮性은 적어진다.

壓縮性과 孔隙水壓形成의 發達과의 關係는 다음과 같다. 即 特殊한 空氣와 水分含量에 關하여는 壓縮性이 增加하면 孔隙水壓도 迅速히 增加한다. 一般으로 壓縮性이 大端히 강한 粘着性 土壤은 搗固된 뒤에도 相當한 空氣가 있지 않는 限 荷重이 걸리면 孔隙水壓은 매우 높아진다. 土壤內에 空氣가 있어도 相當히 높은 密度를 가지게 하는 가장 有効한 方法은 Proctor 最適含水量보다 若干 적은 水分含量으로 土壤을 다지는 것이다.

粘着力이 없고 排水가 잘 되는 粗粒子の 滲透性 土壤은 土壤堤內의 主要한 層 또는 樋管周圍나 擁壁뒤를 채우는데 使用하는것이 普通이다. 이 種類의 흙은 또한 水理構造物 밑이나 周圍의 排水를 하기 爲한 濾過材로서 使用한다. 이러한 흙은 元來 透水性이고 搗固하면 剪斷強度가 相當히 높아진다. 그러나 搗固되지 않은 狀態에서는 壓縮性이 있으며 飽和되면 液化될 수도 있다. 透水性 土壤을 잘 다지면 強度는 높고 壓縮性은 낮은 性質의 것으로 改良할 수 있다. 이로 因하여 透水度는 減少되지만 이것은 設計上으로는 許容할 수 있는 것이다. 粘着性이 없는 흙을 다지는 가장 有効한 方法은 그것이 完全히 乾燥

되었거나 물로서 거의 飽和되었을 때 振動시키는 것이다. 흙이 自然的으로 完全 乾燥狀態에 있을수는 없기 때문에 飽和된 때 振動시키는 것이 現場에서 實行할 수 있는 唯一한 方法인 것이다. 相當히 淸淨한 모래 자갈 石塊와 같은 透水性材料의 剪斷強度는 大體로 內部摩擦角에 따라 다르다. 粘着力은 無視할 程度이며 排水가 잘 되기 때문에 孔隙水壓은 靜水壓보다 決코 크지는 않다. 內部摩擦角은 粒子の 크기 모양 粒度의 函數이다. 어느 粘着力이 없는 土壤의 內部摩擦角은 그 孔隙比에 따라 크기가 大端히 變化한다. 土壤의 搗固狀態는 相對密度를 주는 것이다.

IV. 基礎地盤準備

土壤堤工사에서 弱點이 되는 것은 一般的으로 基礎內나 自然地表面과 堤防과의 接觸部이다. 設計에 包含된 基礎浸潤調節과 安定度를 마련하려면 示方書에 依하여 觀察力으로써 注意깊게 監督해야 한다.

止水溝을 과거나(床堀) 基礎를 安定시키기 爲하여 揚水(水替)하는 것은 도랑을 不適當하게 遮斷하므로 因하여 細粒材가 負土에서 洗流되지 않도록 注意해서 檢査해야 한다. 可能하다면 “웰 포인트”나 坑底는 물이 噴出하여서 밑바닥이 움지게 됨을 막기 爲하여 掘削해서 地域外側에 位置하게 해야 한다. 止水壁이나 “콘크리트 그라우트”에 必要한 “콘크리트 후팅”을 破碎되지 않을 岩盤上에 그 基礎를 두어야 한다.

이러한 構造物을 만들기 爲하여 發破하는 것은 禁止해야 한다. 即 基礎가 動搖되는 것을 避하기 爲하여 示方書에 따라 嚴格히 管理되어야 한다. 岩盤基礎까지 負土를 剝取할 때는 모든 Pocket나 凹地를 包含한 岩石表面은 堤防을 쌓기 前에 흙이나 岩屑을 注意하여 깨끗이 淸掃해야 한다.

이와 같은 作業은 手工이나 壓縮空氣 掃除機를 必要로 한다. 露出되면 即時 崩壞되는 岩石表面은 築堤土로써 빨리 더퍼야 한다. 基礎地盤이 흙인 境遇에는 나무그루(刈株) 柴草, 떼, 큰

나무뿌리와 같은 有機物이나 其他 不適當한 것은 剝取하여 버려야 한다. 剝取作業은 飽和되면 不安定하게 되는 모—는 物質 基礎와 築堤土間의 適當한 接合을 防害하는 모든 物質 平均基礎 物質보다 훨씬 더 壓縮性인 土壤의 모든 Pocket는 注意하여 이것을 除去하도록 해야 한다. 堤防中에서 透水性 또는 半透性層 밑의 透水性土材를 剝取하는 것은 表層岩屑과 草木根에 限定되어야 한다.

萬一 剝取하여 보아서 不安定하거나 其他 不適當한 物質이 出現하게 된다면 더욱 探求하기 爲하여 試坑을 파야 할 것이며 經驗이 豊富한 技術者에 依하여 檢査를 받아야 한다. 흙 基礎上에다 築堤土의 첫 層을 넣기 前에 Tamping Roller를 굴리면서 地面을 적시고 搗固하면 適當히 附着된다. 岩盤基礎面도 적시어야 하나 첫 層을 넣을때 물이 고이지 않도록 해야 한다.

때로는 基礎面을 適當히 다져지도록 Roller를 더 많이 往復시킬 必要가 있다.

손다지기와 같은 特殊한 搗固方法은 搗固하기에 均一表面을 만들기 爲하여 相當히 두꺼운 初期層을 올리는 代身에 指定된 Roller로서 搗固할 수 없는 Pocket에 使用해야 한다. 不規則한 岩石面은 Roller로서는 適當히 搗固할 수 없다.

基礎에 對하여 처음올리는 層의 土壤을 너무 濕하게 하는 것은 避해야 하고 기초를 適當히 濕하게 해야 한다. 急峻하고 不規則한 兩岸接合部에서는 最適含水量보다 더 濕한 材料가 附着을 잘시키기 爲하여 必要하고 重要하다. 그러나 이와 같은 材料를 使用하는 것은 契約者의 認定을 받을 特殊한 境遇에만 局限시켜야 한다.

材料가 連續的으로 層을 이루고 있는 사이를 附着시키기 爲하여 特殊한 搗固를 하려면 注意해서 實行해야 한다. 이것은 搗固된 材料의 層올리기의 사이를 若干 고를 必要가 있다.

V. 盛 土

小堤堰工事에서는 粘着性土壤의 築堤에 關한 管理計劃은 Proctor 最適含水量과 最大實驗室 密度를 가진 土材를 넣는 것이다. 土堤에 影響

을 미치는 가장 重要한 要素는 堤土의 分配 흙 쌓기 含水量과 全撒布材料의 均一性 土取場材料의 含水量 堀削材가 너무 乾濕하다면 그의 水分 含量修正法 Roller의 特性 Roller의 通過回數層의 두께 材料의 最大 크기와 자갈크기의 量 Roller로 다진後의 表面層의 狀態 Roller의 作業으로는 接近할 수 없거나 不必要한 곳에서 “다짐대”로써 다진 效果等이다. 盛土工事의 管理를 잘 할려면 充分한 監督과 實驗室試驗이 重要하다. 粘着性 土壤의 搗固程度를 肉眼으로 보아 決定한다는 것은 特히 흙이 適當히 乾燥하였다면 아무리 經驗이 많은 技術者라도 不可能한 것이다. 土壤의 假粘着力은 흙을 단단하게 하고 外見으로는 稠密한 것 같으나 飽和되게 되면 없어지는 것이다. 이러한 土壤의 다짐 程度를 決定하기 爲한 調節試驗이 必要한 滿足스러운 代用法은 없다. 물이새고 強度가 적어져서 缺潰될 念慮가 있는 危險한 地域은 모두 試驗한 다음 施工할 것이다. 土取場調査는 堤防에다가 흙을 쌓기 前에 모든 土工을 調節하고 記錄하는 것이다.

파야할 地域이 選擇되고 파야될 깊이가 決定된 後特殊한 材料를 넣어야 할 堤防部分이 豫定되는 것이다. 土取場檢査者는 請負者가 使用하는 混合 또는 分離法에 對한 妥當性を 檢査한다. 必要하다면 흙을 넣기 前에 土材의 適當한 水分含量을 얻기 爲하여 土取場에다 灌水를 하거나 排水로서 물을 없애는 量을 決定하는데 請負者와 協同해야 한다. 圓筒內에서 水分含量 試驗을 한 Proctor針 값은 最適含水量에 關하여 土取場의 自然水分狀態를 決定하는데 使用할 수 있다. 土取場에서 堀削한 흙은 堤防으로 가져가기 前에 最適水分量에 가깝게 되도록 모든 努力을 해야 한다. 工事監督者는 堤防에서 한 試驗場所와 標高를 決定하고 또 請負者의 作業位置를 報告하는 方法을 講究해야 한다. 土取場材料를 堤防에 가져올 때는 그것이 適當한 場所에 놓게 되는가를 잘 보아야 한다. 萬一 指定된 層대로 築造된다면 岩石接合部에 페인트칠을 하거나 깃발로 表示하여 境界線을 그린다. 特殊한 層이나 均質 堤防에서는 가장 不透水性 土壤은 不透水層中

心에 位置하게 하고 굵고 透水性이 많은 土壤은 堤防 비탈 쪽으로 넣게 하여 材料의 透水性과 安定度가 바깥 비탈 쪽으로 向하여 增加하여 材料를 넣는 方向을 指示해야 한다.

一般的으로 材料의 乾燥密度는 다르나 滲透率이 大略 同一할 때 乾燥密度가 더 큰 材料는 外部層이나 境遇에 따라서는 堤防部에 넣어야 한다.

適當한 位置에 다 흙을 配置한다음 堤防監督者는 搗固하기 前에 水分含量이 適當한가를 決定한다. 이것이 가장 重要한 일이다. 이 決定에는 Poctor針 試驗方法으로서 하면 된다. 堤防으로 가져올 土材가 너무 乾燥하면 撒布하기前 撒布中 또는 撒布한後 灌水하여서 좋은 狀態로 만드는 것이 必要하다. 灌水하거나 흙과 물을 섞는 方法에는 여러가지가 있는 것이나 가장 重要한 것은 다지기 前에 撒布層全體를 適當한 水分含量이 되도록 均一하게 뿌리는 것이다. 또 하나의 重要한 것은 搗固層의 두께를 決定하는 것이다. 너무 두껍게 撒布한다면 搗固狀態에 對한 所要密度를 주지 않을 것이다. 이 適當한 層의 두께는 盛土를 15cm 두께로 決定하는 方法은 對照點에서 每日 盛土斷面을 測量하여 그리면 된다. 그날의 監督者의 報告는 그 斷面의 쌓을린 層의 數를 말하여야 하며 따라서 平均두께로 決定된다. 너무 큰 岩石含量이 約1%以上일 때는 盛土材料에서 이 큰岩石을 除去하는 것은 堤防 흙을 配置하기 前에 가장 效果的으로 實行해야 한다. 큰 돌의 量이 적으면 손으로 주어낼 수 있고 條件이 좋으면 여러 種類의 Rock Rake도 除去할 수 있다. 다지기 前에 빠트렸던 큰돌은 過大한 것은 다지는 동안에 監督者에 依하여 發見할 수 있는 것이 普通이며 과묵힌 돌위를 Roller가 通過할 때 이러나는 反撥力을 觀察함으로써 發見할 수 있다. 監督者는 盛土에서 除去되었나를 恒常 確認해야 한다. 또 監督者는 指定된 Roller 通過數가 各올리기마다 제대로 行하여졌나를 確認할 責任이 있다. 適當한 回數의 通過를 維持하기에 失手를 하면 搗固度에 相當한 蹉跌이 生길 것이다. 盛土에 關하여 正確性을

고집하고 築堤作業을 順調롭게 한다는 것은 Roller 通過數가 적으므로 因한 心慮를 덜게 될 것이다. 4番제를 通過한 材料의 現場乾燥密度가 最少 許容密度以上이거나 含水量이 許容限度에 있다면 그 堤防은 層間의 附着을 잘 시키기에 必要한 흙을 섞는 作業과 濕氣를 주는 作業을 한 後에 다음 層에 對하여 準備한다. 構造物 周圍나 兩岸接合部를 따라 또는 搗固裝備가 接近할 수 없는 地域에서 機械의 搗固를 할라면 注意 깊게 觀察하고 密度試驗을 자주 하여서 檢査해야 한다. 密度에 影響을 미치는 要素는 쌓는 層의 두께 다지는 度數 空氣다짐대를 使用한다면 空氣壓力材料의 含水量 搗固機의 무게 등이다. 監督의 重要한 機能은 現場密度試驗의 時期와 場所를 決定하는 것이다. 다음과 같은 境遇에는 반드시 試驗을 해야한다.

- 1) 搗固程度에 確實性이 없는 곳
- 2) 築堤作業이 均一하지 않고 集中된 곳
- 3) 疑訝한 點이 없거나 集中作業을 하지 않았을 때는 土量 每 2,000立方米에 對하여

不充分的 搗固에 影響을 받기 쉬운 곳은 다음과 같다. 接合部나 止水壁을 따라 機械의 搗固로 한 곳과 Roller를 굴린 堤防間의 이음에 Roller 作業中 Roller가 廻轉한 곳 다져야할 層을 두껍게 한곳 材料內에 水分含量이 適當한 곳 지정된 Roller 通過數보다 적은 곳

築堤作業이 小區域에 集中되었을 때(即 單日에 數많은 層의 材料를 接접이 쌓는다면)는 所要 密度를 確實히 하게하기 爲하여 每셋째層 또는 넷째層마다 試驗을 해야 한다 萬一 疑心스러운 搗固地域도 없고 集中된 區域으로 因한 試驗은 必要치 않다면 搗固된 築堤土量 每 2,000立方米에 對하여 最少限 一回의 現場 密度試驗을 해야 하며 그것이 搗固程度를 알려는 代表가 되어야 한다.

工事現場에서 Bulldozer나 Tonapull을 搗固機로 생각하는 技術者도 가끔 있는데 이것은 錯覺도甚한 것이며 上記 機械는 掘削乃至는 運搬用이요 搗固의 性能은 없는 것을 添言하는 바이다.