

Secondary Compression이 포함되어 있지 않기 때문일 것이다. 故로 4年後의 沈下量이 30cm 보다 若干 큰값이 되리라고 믿는 것이 좋을 것이다.

20年後에는 沈下量이 約 70cm에 到達하게 된다. 土堰堤의 壽命과 沈下量과 關聯시켜서 土堰堤를 設計해야 할 것이다.

#### 4. 基礎의 透水性

粘土層의 壓力이  $2\text{kg/cm}^2$  일때 透水係數  $k$ 는  $2 \times 10^{-5}\text{cm per sec}$ 이다. 土堰堤의 心壁을 岩盤까지 하지 않는限 물이 滲透해 나가게 된다.

$2 \times 10^{-5}\text{cm per sec}$ 라던 透水性으로서는 작은 便이나 考慮할 餘地는 있다고 본다.

끝으로 農林部改良課長韓乙出氏의 後接에 感謝하며 水聯企劃課長 林迎春氏의 好意에 謝意를 表한다.

(1) Taylor : Fundamentals of Soil Mechanics p.241

(2) Taylor : Fundamentals of Soil Mechanics p.237

(3) Terzaghi : E Peck : Soil Mechanics in Engineering Practice p.66

(筆者, 서울大工大專任講師)

## 古三貯水池中心壁土材의 다짐에 關한 實驗的考察

鄭 昌 柱

### 1. 緒 論

土壤의 物理的 力學的 性狀이 그가 保有하고 있는 土壤水分에 依하여 相當한 變化를 갖으며 土材가 다른 工業材料에 比하여 複雜多樣한 性質을 示現하는 重大한 理由中의 하나도 바로 이 含水量에 緣由한다고 할 것이다.

土堰堤 築造에 있어서 土壤의 透水性을 制限하고 安定度を 높이기 爲하여 不透水斷面 (Impervious Section)에 다짐(Compaction)을 行하는 것은 力學的으로나 水理學的으로 安定한 構造物을 만드는데 必要不可缺한 過程이라 할 것이나 이다짐에 關係되는 土壤의 性質, 含水量, 轉壓機具의 種類重量, 通過回數, 土材의 鋪設深 등이 그 效果에 至大한 影響을 미치게 되며, 特히 含水量의 多寡는 다짐이 結果하는 密度, 施工의 難易, 構造物의 安定등에 相當한 差異를 갖어오는 것이므로 이와같은 性狀에 精通한 現場 技術者나 監督者라 할지라도 綿密한 實驗調查를 遂行하지 않고서는 周到한 理解에 이를 수 없다는 事實이 一般으로 認定되고 있으며 合理的인 施工管理의 必要性도 이點에 基因한다고 할 것이

다.

土堰堤 築造에 關聯하여서 1933年 R.R. Proctor[1]는, 어느 一定한 다짐의 作力(compactive effort)에 對하여 얻어질 수 있는 어느 土壤의 乾燥密度가 다짐을 하는 동안에 包含되고 있는 土壤水分에 依存하며, 最大密度를 賦與하는 最適含水量이 存在한다는 事實을 發見하였으며 그後 이와같은 事實이 道路, 土堰堤 等々の 土工과 關連하여 論議되어 왔다.

小論의 目的하는바는 이와같은 事實을 中心으로 土堰堤 心壁土의 다짐에 關한 概括的 性質을 論하고 古三貯水池 心壁土材를 試料로한 稠度限界試驗 粒度分析試驗 室內 Proctor 試驗 針入抵抗試驗 現場다짐試驗 等を 通하여 그의 物理的 性質을 規定하고 다짐 曲線의 性質과 合理的인 施工管理를 爲한 含水量, 密度關係를 考察하는데 있다. 壓密沈下나 間隙水壓, 다짐된 壁土의 透水度等を 供與한 壓密試驗과 現場다짐의 充分한 試驗은 施設不備, 現場事情 등으로 이룩하지 못하였다.

우리나라는 灌溉用貯水池로서 到處에 흙을 材料로 한 堰堤가 널리 築造 되고 있으며 立地的與

件經濟的 利點으로 보아 將來도 이 土壤堤가 數多히 築造될 것으로 認定되는바나 아즉도 設計 施工에 있어서 實驗을 통한 科學的인 檢討를 行하지 않고, 一連의 過程을 밟고 있음은 이 分野에 限한바 아닌 全般的인 科學的 後進性에 基因한다 하더라도 하로 速히 止揚해야 할 緊急한 問題라 할 수 있는 것이다. 堤堤가 設置될 基礎나 使用材料에 關한 實驗을 통한 檢討 이에 基準한 새로운 方式의 設計, 合理的인 施工管理, 어느하나 우리에게 時急을 要하지 않는 것이 없을 것이며 論者가 表題를 研究對象으로 擇한 切實한 理由도 限定된 問題이기는 하나 이러한 現實的 緊要性에 順應한 所以라 할 것이다.

小論을 爲하여 親히 指導하여 주신 本校 農工學科長 李昌九 教授, 實驗機具를 利用케하여 始終指導鞭撻하여 주신 土木試驗所長 金鎔會 先生任에게 深深한 謝意를 表하여 맞이 않는바다.

## II. 다짐의 概括的 性質

### A. 室內다짐 曲線

土壤에 壓力, 衝擊力 등의 힘을 作用하여서 그를 더욱 稠密한 狀態로 되게하는 過程을 다짐이라고 하며 그 效果는 密度(Density)로서 表示하는것이 一般的이다.

이 密度에 關係되는 要因으로서는 土壤의 性質, 다짐의 作力(compactive effort), 含水量 등이 例擧 될 것이다. 지금 一定한 다짐의 作力이 比較的 乾燥土를 다짐하는 境遇를 생각하여 보면 土壤粒子間에 作用하는 摩擦抵抗때문에 稠

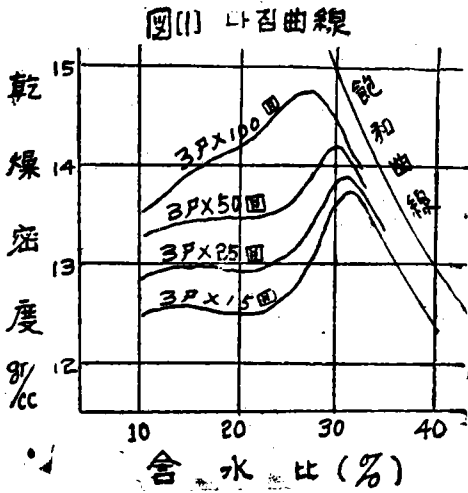
密한 狀態로 되기 어려우며, 結果的으로 空隙은 크고 密度는 적다. 이 土壤에 漸次 물을 加하여 다짐하면 이 水分은 潤滑(Lubrication) 作用을 하기 때문에 粒子間의 摩擦抵抗이 減小되어 보다 더 稠密한 狀態로 再配列이 쉽게 되어 密度는 크게 될것이고 이와같은 現象은 물이 各粒子를 떠밀 수 있을 程度로 飽和되기 即前까지는 계속되어 密度는 漸次增加할 것이다. 以上 더 물을 加하여 다짐하면 比重이 물보다 큰 土粒子가 물과 代置하게 됨으로 密度는 減小할 것이다. 勿論 다짐의 作力이 달라지고 土壤이 相異하더라도 이와같은 性質은 亦是 나타날 것이다.

1933年 R. R. Proctor가 最初로 이와 같은 事實을 研究하였으며 上記의 것을 바꾸어 말하면, 다짐하는 土壤의 密度, 다짐 過程에 作用할 Energy 그리고 다짐하는 사이에 土壤이 갖이는 含水量사이에는 一定한 關係가 있으며 어느 一定한 土壤, 一定한 다짐의 作力에 對하여 最大密度를 賦與하는 含水量이 있다는 것이다. 이 가장 큰密度를 Proctor 密度 或은 最大密度, 이에 相當하는 含水量을 最適含水量(Optimum Moisture Content)라고 하였다. 이 最大密度 및 最適含水量을 求하기 爲한 室內標準試驗規定을 表[1]에 表示하였다. 近來에 이르러 美國工兵團(U. S. Corps of Engineers)은 飛行場鋪裝, 盛土等에 標準다짐 試驗에서 表示되는 密度보다 더 高度인 密度의 必要性을 느끼고, 이 標準方法을 改正한 것이 表[1]의 修正 A. A. S. H. O. 規定이다.

表 [1] 다 짐 試驗 法 比較

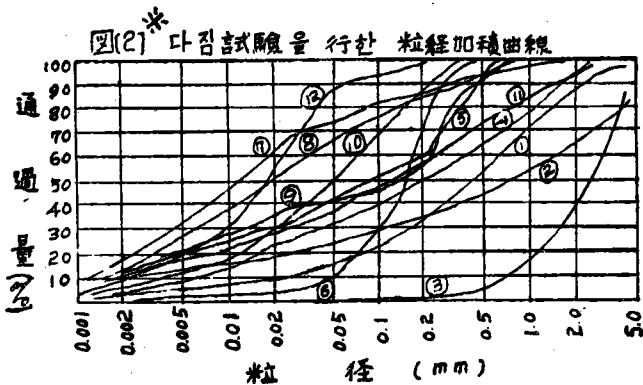
試 驗 法	A. S. T. M., A. A. S. H. O., B. 5		Modified A. A. S. H. O.	
	標準 方法	同效果의 方法	正規의 方法	同效果의 方法
mold 의 直徑	4"	4"	4"	6"
mold 의 높이	4.6"	4.6"	4.6"	6"
mold 의 容積	1/30 ft <sup>3</sup>	1/30 ft <sup>3</sup>	1/30 ft <sup>3</sup>	1/10.2 ft <sup>3</sup>
Rammer의 무게	5.5 lb	10 lb	10 lb	10 lb
自由 落下 高	12"	6.5"	18"	18"
다 짐 層 數	3	3	5	7
다 짐 回 數	25	25	25	55
다 짐의 作力	12375 ft.1b	12188 ft.1b	56250	58905 ft.1b

이와같은 試驗規定에 依하여 試驗한 것을 橫 (Dry Density)를 圖示하면 曲線으로 나타나는 軸에 含水量(water content), 縱軸에 乾密度 이 曲線이 다짐 曲線(Compaction Curve)



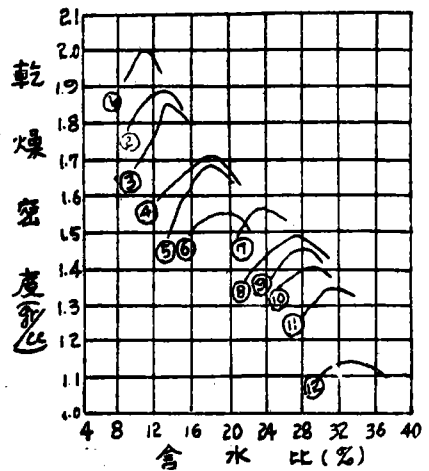
或은 含水量-密度曲線이라 부르는 것이다. 이 다짐 曲線은 다짐에 關係되는 要素사이의 相互 關係를 明確하게 表示하는 것임으로 이에 依하여 다짐의 性質을 考察코져 한다.

圖 [1]은 日本關東 Loam에 對하여 實施한 JIS 다짐試驗結果(A 曲線)과 그에 準하여 다짐의 作力을 變更하여서 行한 結果를 併示한 것이다. 이 그림에서 알 수 있는바와 같이 어떠한 다짐의 作力에 對하여서도 最適含水量이 存在하며 作力이 增加함에 따라서 最大乾密度는 增加하며 最適含水量은 減少한다. 또한 다짐曲線은 各土壤에 따라서 一定한 다짐作力에 對하여 그의 特性曲線을 表示하게 된다.



\* 內田一節 著 '河川堤防의 土質工學'에서

圖(3)\* 圖(2)에 對한 다짐試驗結果



圖(3)은 圖(2)의 粒徑加積曲線(Soil particle distribution Curve)의 爲에 對하여 다짐 試驗을 行한 結果를 表示한 것이다. 여기에서 一般으로 粒徑이 작아질수록 最適含水量은 增加하고 乾燥密度는 減少하며 理想粒度土(Well Graded Soil)는 다짐 曲線이 보족하고, 即 含水量의 變化에 依한 密度의 變化가 顯著한데 反하여 均質 粒度土(Uniform Graded Soil)에 있어서는 평정한 다짐 曲線을 나타낸다.

Proctor氏는 이다짐 曲線과 連關하여서 現場 施工管理를 爲한 針入抵抗 試驗法(Needle Penetration)을 考案하였다. 이 試驗<sup>(12)</sup>은 室內試驗에서 다짐한 흙의 針入抵抗力과 다짐된 密度-含水量等의 關係를 求하고, 이 關係에서 現場

의 다짐程度를 測定하는 것이며 一般으로 널리 利用되고 있는 것이다. 同一한 土壤, 同一한 作力에 對하여 다짐된 흙은 含水量의 變化에 따라 그 抵抗이 相異하며 含水量이 增加할수록 抵抗 力은 減少한다. 그러나 針入抵抗은 다짐試料의 密度에 依하여 影響을 갖어오기 때문에 含水量과 針入抵抗曲線과의 關係는 結코 簡單한 것은 아니며 더욱 이 針入中 砂質土等의 큰 알갱이와 接하면 抵抗이 相異하게 됨으로 正確한 關係는 나타나지 않는다. 그러나 다짐 曲線과 針入抵抗 曲線과의 關係는 一般으로 보족한 다짐 曲線을 갖이는 材料에 對하여 그에 相當하는 針入抵抗 曲線은 그 傾斜가 急하고 平坦한 다짐曲線의 材料는 比較的 平坦한 曲線으로 나타나게 된다.

B. 粒度和 密度와의 關係

土壤의 性質이 密度와 깊은 關係가 있다는 것은 앞에서 말하였다. 土工의 다짐의 效果가 密度에 依하여 나타난다고 假定한다면 一定한 다짐에 對하여서는 큰 密度를 賦與할 性質의 土壤이 最良일 것이다. 圖[4] (a)(b)는 同一한 容積이나 (b)는 (a)에 比하여 보다 큰 密度를 나타낼 것이므로 均質土보다는 理想粒度土를 다짐하였을 때 보다 높은 密度를 얻을 수 있다고 말할 수 있다. 이 關係는 圖[2] 圖[3]의 關係에서도 明確히 表示되고 있다.

最大密度를 賦與할 粒度에 關하여서 Talbot 氏는 다음 式으로 判定하고 있다.

$$p = \left(\frac{d}{D}\right)^n \times 100 \dots \dots \dots \text{①}$$

여기서 p: 어느 粒徑 보다 작은 粒子의 重量과 全重量에 對한 比

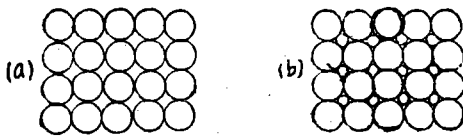
d: 粒子의 直徑

D: 最大粒徑

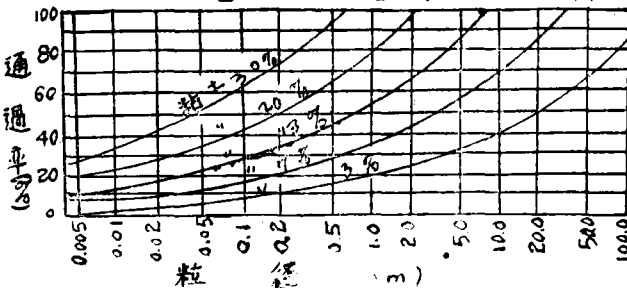
n: 土壤의 性質에 依存하는 指數

이 n의 값은 相當한 範圍로 變化시킬 수 있으나 Talbot는 0.25~0.04 사이가 理想粒度土로 規定하였고 粒徑加積曲線이 이 範圍內에 屬하면 透水性에서 말하더라도 理想的이라고 말하였다.

圖(4) 土粒子의 結合狀態



圖(5) 堰堤土에 適合한 不透性材料



Lee[4]氏가 土堰堤材料選擇에 關한 研究에서 Creager氏의 論議에 基低하여 粒徑加積曲線이 圖[5]의 五個의 서로 接하고 있는 實線사이에서

包含되면 適當한 材料라 한것은 密度와 透水度를 考慮한 材料選擇의 基準으로 提示한 것이라 생각된다. 圖[5]의 各曲線의 性質은 다음 表와 같다.

表 [2] [5]圖의 粒徑加積曲線의 性質

曲 線	最大粒徑 (mm)	n
粘土量 3%	127	0.33
" 7	32	0.30
" 13	8	0.28
" 20	2.36	0.25
" 30	0.60	0.25

C. 含水量 密度의 施工管理

施工管理란 設計事項을 具體化하는 現場技術者의 業務라고 할것인데 中心壁土에 關係되는 것으로는 材料에 關한 管理를 除外한다면 다음에 論할려고 하는 다짐에 있어서의 含水量密度에 關한 施工管理일 것이다.

室內에서의 다짐曲線은 圖에서 表示할 것이지만 實驗室과 現場에 있어서의 다짐의 效果가 一定하고 그 다짐된 密度가 土壤의 諸性質, 例컨대 透水性, 壓縮性, 吸水時의 膨大性, 安定度 등을 支配하는데 直接的인 關係가 있다고 假定한다면 圖[12] [13]의 다짐曲線과 針入抵抗曲線은 施工管理의 基準으로 利用될 수 있다. 一定한 다짐의 作力均質의 土壤에 對해서는 다짐에서 結果하는 密度가 含水量에 影響되기 때문에 問題의 所在은 現場含水量의 如何에 달려 있다고 할 것이다. 우리 나라는 現場含水量이 最適含水量보다 乾燥側인지 濕潤側인지에 關한 共通의 樣相을 아즉도 알바 없으나 이웃의 日本國에서는 最適含水量보다 濕潤側임이 一般의이고, 甚至於는 液性限界에 가까운 材料도 있으며 다른 外國의 例로서는 乾燥한 例도 볼 수 있는 것이다.

이와같이 現場의 含水量이 氣象條件 場所時期等에 依하여 變化할 것임으로 施工管理도 이에 準하여 特殊性을 갖게 되며 以下 外國에서 施行되는 方法을 論述하고자 한다.

이와같이 現場의 含水量이 氣象條件 場所時期等에 依하여 變化할 것임으로 施工管理도 이에 準하여 特殊性을 갖게 되며 以下 外國에서 施行되는 方法을 論述하고자 한다.

(1) 示方書(Specification)에 依한 方法

實驗室 다짐曲線의 最大密度를 中心으로 하여 示方書規定에서 定한 最低密度를 現場에서 다짐

한 最低密度가 超過하는 것을 原則으로 하고 現場含水量이 다짐 曲線의 最低限密度에 相當하는 含水量의 範圍內에 있겠끔 調節하는 方法이다.

萬若 現場含水量이 이 範圍內에 있지 않으면 乾燥 또는 加水에 依하여 施工을 遂行하여야 할 意味할 것이다.

表 [3] 다짐의 程度를 規定한 示方書

(a) 美國 ohio 州 道路課示方書

盛土 높이 10ft 以下		盛土 높이 10ft 以上	
實驗室最大乾密度 (lb/ft <sup>3</sup> )	所要現場 다짐程度 (%)	實驗室 最大乾密度	所要現場 다짐程度
<89.9	※	<94.9	※※
90.0~102.9	100	95.0~102.9	102
103.0~109.9	98	103.0~109.9	100
110.0~119.9	95	110.0~119.9	98
>120.0	90	>120.0	95

※, ※※는 盛土材로서 不適合

(b) AASHO의 規定

A.ASHO의 標準最大乾密度	最大乾密度에 對한 所要되는 다짐程度
90~99.9 lb/ft <sup>3</sup>	100 %
100~119.9	95
120 以上	90

(c) 美國開拓局의 規定

盛土 높이	最適含水量의 乾燥側 Percent	最大乾密度에 對한 所要다짐程度
0~150 ft	0~2.0	98
150~300 ft	1.0~2.5	96
300~450 ft	1.5~3.0	94

上表 [3]은 A. A. S. H. O 規定 美國 ohio州 道路課 規定, 美國開拓局規定을 表示한 것이다.

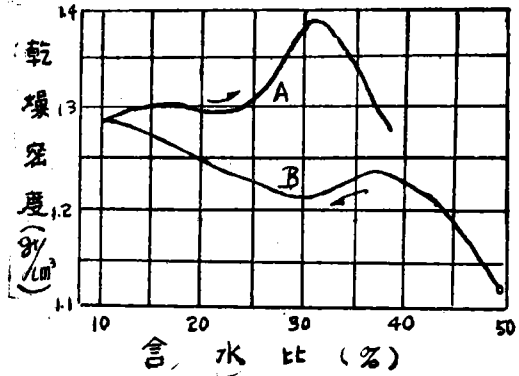
여기에서 (a), (b)는 道路에 關係되는 것이나 Terzaghi[5]는 土壤堤에 있어서도 道路와 똑같이 嚴格해야 할것을 말하고 있다.

表 [3]에서 알수 있는 바와 같이 規定의 嚴格程度는 標準最大乾密度에 基準하고 있으며 (c)는 含水量까지 合해서 考慮하게 되어 있다.

標準最大乾密度가 크고 작다고 하는것은 結局은 土壤의 性質에 依據하는 것이며 密度가 높은 土壤은 낮은 土壤에 比하여 嚴格程度가 낮다는 것은 密度가 모든 土壤의 性質과 關連되며, 密度가 크며는 堤體로서의 充分條件을 滿足한다는 假定下에서 規定한 것이라 하겠다. 그러나 事實

上 이것이 一般의인 關係는 滿足할 지라도 絕對的이 못되기 때문에 構造物 自體의 重要程度가 낮은 곳이나 壓密現象, 透水, 安定度 등의 有效한 試驗을 遂行할수 없는 곳에서 一般으로 採擇되는 方法인 것이다. 여기에 附加해서 重大한 事實은 設定된 含水量의 限界를 벗어나 濕潤側에 있는 含水量을 太陽熱에 依하여 乾燥시켜 다짐하면 圖[6]<sup>(4)</sup>에서 表示한바와 같이 乾燥에서 水分을 加하여 다짐한 關係와 一致되지 않는 다짐曲線을 나타내는 것이다. J.I.S.에서 實驗室 다짐試驗을 乾燥側에서 加水하며 施行할것을 規定한 理由도 여기에 있다고 한다.

圖 [6] 다짐 曲線



(2) 美國工兵團(U.S. Corps of Engineers)의 方法

實驗室의 Proctor 試驗에서 다짐의 作力을 여러가지로 變更하여 다짐密度-含水量의 關係를 求하고 다시 現場에서 經濟的으로 實施될 含水量 및 다짐密度의 範圍를 定하여 이 範圍內에 있는 試料의 剪斷試驗(Shear Test)에서 求한 剪斷強度가 設計條件을 滿足할 수 있는 密度와 含水量의 上下限界를 規定하는 方法이다.

(3) 美國開拓局(U.S. Bureau of Reclamation)의 方法

盛土中에 發生할 間隙水壓(Pore water Pressure)이 土構造物의 安定을 크게 減殺하는 것이므로 盛土材料의 現場含水量의 下限(乾燥側의 限界)를 壓密試驗의 結果에 基低하여 다짐後 飽和하여도 壓密을 일으키지 않을것이라 豫想되는 限界를 壓密試驗에서 定하고, 또한 上限(濕潤側

의 限界)도 壓密試驗을 實施하여 設計上 許容되는 限界以下의 間隙水壓의 生起를 制限하는 方法이다.

以上 ii, iii의 方法은 實用面을 考慮한 充分한 理論的根據에 依據한 것이라 할 수 있다. 一般으로 一定한 土壤이라 하여도 다짐 作力이 變化하면 最大密度, 最適含水量이 變化하는 것은 앞에서 말하였다.

現場에서 다짐하는 轉壓機具의 種類重量, 通過回數材料의 鋪設深 등이 一定한 規準下에서 遂行된다 하더라도 그것이 實驗室의 標準의 인 것과 달라질 수 있음으로, 이 兩處에서 求해지는 最大密度와 最適含水量이 同一한 土壤에 對하여 一致될 수 없다는 것은 當然한 歸結이라 할 것이다. 그러므로 ii의 方法은 이런 缺陷을 補正하는 方法으로써 含水量과 密度를 現場條件에 符合하도록 하고 그 結果가 設計上 條件을 離脫하지 않도록 한 것이라 할 수 있다. iii의 壓密에 關한 問題는 壓密이란 用語에서도 理解할 수 있는 바와 같이 土壤의 過剩水가 그 土材中의 壓力 勾配에 依하여 물이 빠져 나감으로써 壓縮되는 것임으로 含水量이 많아서 壓密이 生길 수 있는 境遇(含水量이 最適含水量보다 작았다가 飽和된 경우도 같이 取扱될 수 있음)은 여러가지 重大한 問題를 內包함으로 項을 바꾸어 論述코져 한다.

iv. 間隙壓과 施工管理

土壤堤에 있어서 力學的 安定이란 말은 上流水壓에 依한 堤體의 全般的인 滑動에 對한 安定, 圓形滑動에 依한 法面의 全體的인 安定을 말할 것이다. 堤體에 生길 수 있는 힘에 對하여 安定이 되기 爲해서는 그 힘보다 큰 堤體의 材料固有의 抵抗力을 가져야 한다. 이와 같은 土材가 가지는 抵抗力은 Coulomb氏에 依하여  $\tau = c + \delta \tan \phi$ 로 表示되었다. 여기서  $\tau$ : 剪斷強度,  $c$ : 粘着力,  $\delta$ : 垂直壓力,  $\phi$ : 內部摩擦角,  $\tan \phi$ : 摩擦係數이다.  $\tau$ 는 이와같이 여러 要素의 函數로써 나타나며, 이 要素들은 土壤의 性質에 依하여 相異한 것이지만 一般으로 loose한 狀態보다 다짐을 行하여 Dense한 狀態로 될수록 增加한다.

$\delta$ 는 粒子相互間의 壓力이며 이 壓力은 堤體에 있어서는 그의 自重에 依하여 나타난다. 土壤이 乾燥하면 堤體自重으로 因한 粒子間의 壓力은

土壤粒子間이 받을 것이나 含水量이 飽和狀態에 이룰수록 그 壓力의 一部에서 全部까지를 물이 받게 된다. 이 물이 받는 壓力이, Terzaghi가 말한 過剩水壓(Uberdruck) 또는 間隙水壓(Pore water Pressure)이다. 土壤水가 많으면 垂直壓力의 一部를 形態變化에 아무런 抵抗力을 가지지 않는 물이 支持하게 됨으로 Coulomb의 式은  $\tau = c + (\delta - \mu) \tan \phi$ 로 表示되며 有效壓力(Effective Stress) 即 粒子間壓力은 減少하게 되고 結果的으로 剪斷強度  $\tau$ 는 間隙水壓으로 因하여 減少한다. 乾燥側 土材를 다짐해서 吸水한 境遇나 濕潤側 土材를 다짐한 境遇나를 莫論하고 이와 같은 間隙水壓으로 因한 剪斷強度弱화, 即 堤體의 安定을 크게 減殺하는 現象은 나타난다.

以上에서는 間隙水壓에 關해서 생각했으나 A. W. Skempton<sup>(7)</sup>氏 등은 空隙에 殘有하는 空氣를 包含한 間隙壓(Pore Pressure)을 다음과 같이 求하고 있다.

壓力에 依한 容積變化를 求하여

$$\Delta V_c = -C_c V (\Delta \delta_s - \Delta U_s)$$

空隙에 依한 容積變化量을 求하여

$$\Delta V_v = -C_v n V \Delta U_s$$

$\Delta V_c = \Delta V_v$ 에서

$$\frac{\Delta U_s}{\Delta \delta_s} = \beta = \frac{1}{1 + \frac{n C_c}{C_c}} \dots \dots \dots (2)$$

여기서  $\Delta V_c$ ...容積變化量

$C_c$ .....土材構造의 壓縮性

$V$ .....試料의 原容積

$\Delta \delta_s$ ...側壓,  $\Delta U_s$ ...間隙壓

Skempton氏는 이  $\beta$ 를 間隙壓係數라 하며 이  $\beta$ 와 飽和度와 對比시켜 圖(7)과 같은 結果를 얻었다. 모든 試料는 水分量이 飽和에 가까워짐에 따라  $0 < \beta \leq 1$ 로서 Proctor의 最適含水量에서는  $\beta = 0.1 \sim 0.5$ 이며 飽和度 100%의 경우는 加해진 壓力에 같은 間隙壓이 作用하는 셈이 된다.

和田, 穴瀬<sup>(8)</sup> 兩氏는 이 Skempton氏의 實驗과 그들의 實驗을 綜合하여 土材의 空隙率在 작으면 작을수록, 또한 壓縮性이 크고 그의 體積彈性係數가 작을수록, 그리고 含水量이 增加할수록 間隙壓이 增加한다고 말하였으며 飽和狀態가 아니더라도 多少의 間隙壓이 作用하고 있음을 보여주는 것이라 하였다.

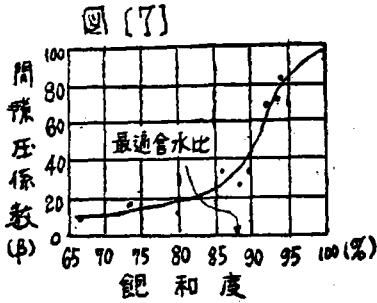


圖 [7]과 같이 含水量이 飽和度에 接近할수록 有效壓力이 減少하는 現象은 現場含水量이 過度한 境遇에 施工管理의 問題點을 提起하는 것이다. 여기에서 緩速施工의 必要性이 나타나며, 이것은 間隙水壓을 減少시켜 土粒子의 有效壓力을 增加시키는것을 意味한다. 即 盛土工事에 있어서 階段的으로 荷重을 加하여 各階段마다 壓密에 依하여 土材를 沈下시키고 間隙壓을 消散함으로써 密度를 높이자는 것이다.

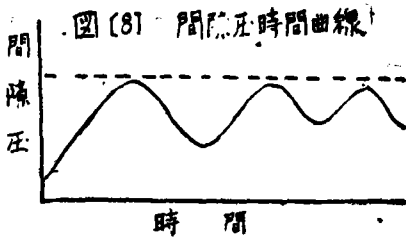


圖 [8]은 間隙壓時間曲線으로서 이 曲線의 上昇部分은 盛土工事의 進行에 依하여 堤體中の 間隙壓이 減少되어가는 一般의 樣相을 圖示한 것이며 點線은 最大許容間隙壓을 나타낸다. 여기에서 間隙壓의 減少는 곧 壓密現象이 나타나는 것을 말함인데 中心壁土材는 一般으로 粘性土이

기 때문에 壓密에 長期間이 所要되며 即 間隙壓의 消散이 높이므로 緩速施工의 合理性을 말할 수 있으나 이와같은 點을 考慮하여 施工하면 長期間의 施工空白이 生起게 되고, 特히 오늘날의 施工能力이 좋은 機械力을 利用하는 盛土工事에서는 上記의 合理性을 充分히 考慮한다는 것은 施工能率에 至大한 影響을 갖어오는 것이다. 日本의 各研究所에서는, 얼마만한 間隙壓이 作用할때 다음의 盛土를 始作할 것이며, 또한 다음의 盛土는 얼마만한 높이로 할것인가 하는 點에 關해서 研究論議中<sup>(9)</sup>에 있다 한다.

III. 材料 및 實驗

試料은 京畿道安城郡畿湖水利組合管下 古三貯水池中心壁土材를 採取했으며, 實驗은 內務部 土木試驗所 土質課 實驗室과 採取現場에서 遂行하였다. 그 結果를 略記하면 다음과 같다.

比重測定試驗은 J.I.S의 Pycnometer 方法에 依하여 行하였으며, 稠度限界試驗(Consistency Limit Test)——液性限界, 塑性限界——은 A.S.T.M. 粒度分析(Analysis of Soil Particle)은 A.S.T.M.에 依한 體分析和 Hydrometer 分析을 行하였다. 여기서 Hydrometer의 Correction

表 [4] 比重測定試驗值

施行番號	1	2	3
Pycnometer의 무게 (Wp)	73.40	69.37	72.70
試料의 무게 (Ws)	48.00	35.00	42.00
Py+물의 무게 (W <sub>2</sub> )	321.66	317.62	322.11
Py+물+試料무게 (W <sub>1</sub> )	352.10	339.80	349.11
比重 (G)	2.73	2.73	2.80

表 [5] 稠度 限 界 試 驗 值 表

試 驗 番 號	塑 性 限 界		液 性 限 界			
	1	2	1	2	3	4
can 番 號	11023	11027	11068	11012	11035	1111
打 擊 回 數	.	.	43	31	14	8
can+濕 土 무 게	36.98	36.59	48.27	54.01	51.04	52.84
can+乾 土 무 게	34.13	33.98	41.89	46.19	43.48	44.42
물 의 무 게	2.85	2.61	6.38	7.82	7.56	8.42
乾 土 의 무 게	13.64	12.05	21.19	25.18	22.58	23.63
can 의 무 게	20.49	21.93	20.70	21.01	20.90	20.79
含 水 量 %	20.88	21.63	30.10	31.05	33.48	35.63

古三貯水池 中心壁土材의 다짐에 關한 實驗的考察

液性限界	塑性限界	塑性指數
32.0	21.3	10.7

대로 있는 盛土에서의 實驗이 B는 約 30cm의 흙두께위에 Bulldozer로 四回通過한 境遇를 表示한 것이다.

은 J.I.S.의 方法에 依據하였다. 室內다짐試驗은 美國開拓局의 規定에 依하였으며 表 [9](a)는 標準方法, (b)는 打擊數를 (a)의 25回에서 50回로 變更하여 施行한 結果이다.

現場다짐試驗은 試驗器具의 準備關係上 簡便한 方法에 依하였는데, 針入抵抗試驗은 室內의 그것과 同一方法, 密度測定에 있어서는, 25番을 通過하고, 35番에 殘有하는 均質의 모래를 使用하였으며, 含水量測定試驗은 密閉된 Can을 室內에 가져와서 行하였다. 表[10]의 A.B.는 相異한 다짐 條件下의 試驗인데, A는 施工中止한

圖 [9] 流動曲線 (Flow Curve)

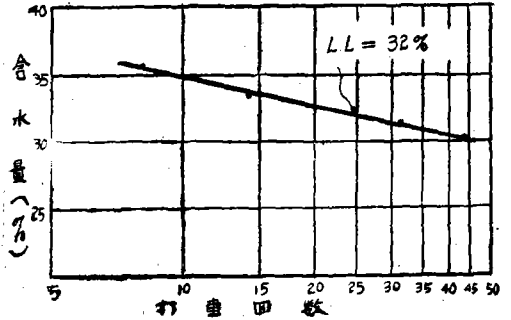


表 [6] 比重計에 依한 粒度試驗計算表

試日 驗字	時間	總過時間 (T)	比重計 比留量 (未補正值)	比重計 比留量 (補正)	水溫	槽度 $r = R - R_{10}$ (全補正值)	P 通過百分率	L 沈降距離	L/T	$\sqrt{L/T}$	直徑 (D)
10月 27日	時分 12.13	1	43.5	43.0	21.5°C	43.8	71.4	10.6	10.6	3.255	0.424
" "	12.14	2	41.0	40.5	21.5°C	41.3	68.83	11.05	5.53	2.35	0.0306
" "	12.17	5	35.5	35.0	21.5°C	35.8	58.34	10.8	2.16	1.469	0.01914
" "	21.27	15	31.0	30.0	21.5°C	31.3	51.00	11.6	0.773	0.879	0.01145
" "	12.42	30	26.0	25.5	21.5°C	26.5	43.07	12.7	0.425	0.651	0.00848
" "	1.12	60	19.5	19.0	21.5°C	19.8	32.25	14.1	0.235	0.4847	0.0063
" "	4.22	240	9.5	9.0	21.5°C	9.8	16.06	16.1	0.067	0.258	0.00336
" 28日	12.22	1440	5.5	5.0	21.5°C	5.8	9.45	16.8	0.006	0.109	0.0014

表 [7] 沈 分 折 實 驗 值 表

試 番 號	20	40	60	120	200
殘 溜 量	2.78	3.39	2.70	2.87	1.53

表 [8] 粒 度 分 析 結 果 表

試 沈 番 號	沈 降 時 間	粒 徑 (mm)	對 試 料 通 過 百 分 率	
			10 試 料 通 過 百 分 率	全 試 料 通 過 百 分 率
分 析	4	4.8	.	97.58
	10	2	.	94.30
	20	0.84	95.63	90.18
	40	0.42	89.72	84.60
	60	0.25	85.22	80.36
	120	.	80.44	75.85
比 重 計 分 析	200	0.074	77.80	73.36
	1	0.0424	71.40	67.33
	2	0.0306	68.83	64.90
	5	0.0191	58.34	55.01
	15	0.0115	51.00	48.09
	30	0.0085	43.07	41.27
	60	0.0063	32.25	30.41
240	0.00336	16.06	15.14	
1440	0.0014	9.45	89.11	



古三貯水池 中心壁土材의 다짐에 關한 實驗的考察

表 [9] (a) 室內 다짐 試驗 值 表

施行番號	1	2	3	4	5	6
密 度 測 定 試 驗						
加水量(cc)	.	60	40	40	40	60
몰드+濕土重(1b)	8.30	8.59	8.69	8.80	8.75	8.67
몰드의 무게(1b)	4.46	4.46	4.46	4.46	4.46	4.46
濕土의 무게(1b)	3.84	4.13	4.23	4.34	4.29	4.21
濕土의 密度(1b/ft <sup>3</sup> )	115.2	123.9	126.9	130.2	128.7	126.3
檢針番號	0.252	0.357	0.357	0.564	0.798	1.128
檢針面積	1/20	1/10	1/10	1/4	1/2	1
平均讀數	75	99	61	80	116	67
針入抵抗	150	990	610	320	232	67
can 番 號	11036	11098	11027	11046	11002	11023
can+濕土重(gr)	74.77	79.63	85.51	77.85	81.15	85.39
can+乾土重(gr)	68.49	71.63	76.27	68.81	71.20	73.60
can의 무게 (gr)	20.52	21.04	21.92	20.47	20.96	20.48
물 의 무게 (gr)	6.28	7.95	9.42	9.04	9.95	11.79
乾土의 무게 (gr)	47.97	50.64	54.35	48.34	50.24	53.12
含水量 (%)	13.09	15.7	17.0	18.7	19.8	22.2
乾燥密度(1b/ft <sup>3</sup> )	101.83	107.03	108.46	109.8	107.4	103.3

表 [9] (b) 室內 다짐 試驗 值 表

施行番號	1	2	3	4	5	6
密 度 測 定 試 驗						
加水量(cc)	.	50	50	50	50	50
몰드+濕土重(1b)	8.23	8.66	8.83	8.87	8.81	8.78
몰드의 무게(1b)	4.46	4.46	4.46	4.46	4.46	4.46
濕土의 무게(1b)	3.97	4.20	4.37	4.41	4.35	4.32
濕土密度(1b/ft <sup>3</sup> )	119.1	126.0	131.1	132.3	130.5	129.6
檢針番號	0.252	0.252	0.357	0.357	0.564	0.798
檢針面積	1/20	1/20	1/10	1/10	1/4	1/2
平均讀數	108	79	121	49	78	92
針入抵抗	2160	1580	1210	490	312	184
can 番 號	11004	1100	11052	11046	11085	11001
can+濕土重(gr)	82.98	69.90	71.18	77.40	71.09	80.61
can+乾土重(gr)	76.72	64.05	64.41	68.80	63.23	70.33
can의 무게 (gr)	20.92	21.40	20.72	20.46	22.58	20.87
물 의 무게 (gr)	6.25	5.85	6.77	8.60	7.86	10.28
乾土의 무게 (gr)	55.80	43.65	43.69	48.34	40.65	49.46
含水量 (%)	11.2	13.4	15.5	17.8	19.4	20.80
乾燥密度(1b/ft <sup>3</sup> )	107.1	111.1	113.5	112.3	109.2	107.3

表 [10] 現場 다짐 試驗 值 表

針 入 抵 抗 試 驗						
	檢 針 番 號	檢 針 面 積	平 均 讀 數	針 入 抵 抗		
A	0.564	1/4	46	184		
B	0.798	1/2	68	136		

密 度 決 定 試 驗					
	濕土의 무게	Sand의 容積	濕土密度(gr/cc)	濕土密度(lb/ft <sup>3</sup> )	乾土密度(lb/ft <sup>3</sup> )
A	719.7	383	1.878	117.3	97.3
B	1153.7	550	2.085	128.2	104.7

舍 水 量 測 定 試 驗						
	can+濕土重	can+乾土	can의 무게	물의 무게	흙의 무게	舍 水 量
A	33.9	35.52	14.72	4.38	21.15	20.64
B	61.4	52.78	14.34	8.42	38.44	22.42

IV. 實驗結果의 考察

A. 試料의 物理的 力學的性質

土壤의 物理的性質은 土質子 個個에 關한것에서 이것의 集團인 土塊에 이르기 까지의 性質을 意味할 것임으로 事實上 困難한 일이라 할 것이다, 그러므로 이것을 性質이 相異한 數個의 集團으로 分類하여서 어느 特定한 土壤이 어느 集團에 屬하느냐는 것을 把握하여 그 土壤의 性質을 理解하는 것이 一般으로 取해지는 方法이며 以下 實驗한 試料의 性質을 이에 基準하여 究明코져 한다.

土壤의 物理的 性質을 規定지우는 가장 큰 要素는 粒徑의 分布狀態이다. 土粒子의 모양, 그의 化學的性質等도 土壤의 性質에 重大한 影響을 가져오는 것이나 工學的인 면에서 본다면 大小粒子의 分布狀態 即 粒徑加積曲線의 모양과 細粒子에 依하여 나타나는 塑性度 등이 그 性質의 支配的 要素가 된다.

圖[10]은 表[8]에서 表示한 實驗結果를 粒徑加積曲線(Soil Particle distribution Curve)으로 表示한 것이다. 이 加積曲線은 有效徑(Effective Size),  $D_{10}=0.0023$ , 均等係數(Uniformity Coefficient)  $C_u=0.023/0.0023=10$ 에 相當하며 粒徑에 依한 土壤分類를 하면

表[11]과 같다.

表 [11] 粒徑에 依한 土壤分類表

名 稱	粒 徑	試料의 重量比
Gravel	72mm	5.7
Sand	2~0.05mm	26.3
Silt	0.05~0.005mm	43.0
Clay	0.005~0.001mm	18.0
Colloid	<0.001mm	7.0

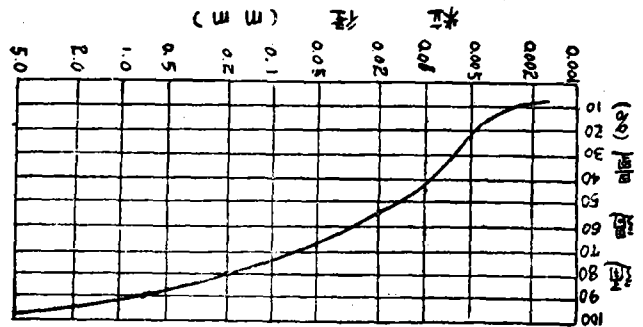


圖 [10] 試驗한 試料의 粒徑加積曲線

美國開拓局等에서는 綜合土壤分類(Unified Soil Classification)를 爲하여 粒徑加積曲線의 0.074mm (井200 號)를 基準하여 이 粒徑보다 큰것이 50% 以上되는 것을 粒粒土(Coarse-Grained Soil), 50% 以下되는 것을 細粒土(Fine-Grained Soil)로 規定하고 前者에 對

하여서는 均等係數, 曲率係數(Coefficient of Curvature) 등과 같은 加積曲線의 性質에 依하여, 後者에 對하여서는 圖[12]의 塑性圖(Plasticity Chart)에 依하여, 細分하여 群記號(Group Symbols)를 만들어 土壤의 性質을 論하고 있다. 本試料는 細粒土(0.074mm 以下가 50% 보다 많

은 73.36%임)에 屬하며, 表[5]에서 表示한 塑性指數(Plasticity Index)와 液性限界(Liquid Limit)를 塑性圖에서 보면 群記號 C.L에 屬함으로 이 CL에 關한것을 AC分類表 [ ]와 土工專用圖表[12]에서 뽑아서 (表[12]) 論述코져 한다.

表 [12] CL 群記號에 屬하는 土材의 性質

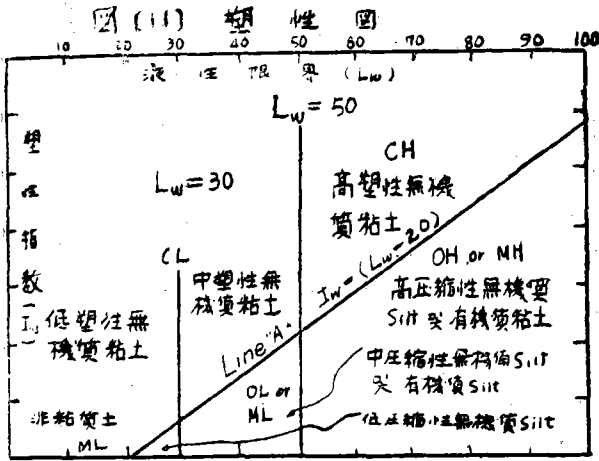
群記號	土壤의 種類 및 代 表 的 名 稱	透 水 性	다짐하고 龜裂의 斷 強 度	壓縮性 膨脹性	中心壁土材 로써의 良 好 度 順 位	다짐의 性質 및 使用 機 械	標準 最適 다짐 時의 密度 (t/m <sup>3</sup> ) 와 間隙比 (e)
CL	塑性이 普通이고, 軟은 粘土, 無機質粘土, silt質粘土, 泥粘土	不透水性	중 다	中 間	3 位	可-良 Tamping Roller	ra>1.60 e<0.70

土壤의 物理的 力學的 性質이 土粒子의 分布 狀態에 依存하며 特히 細粒土가 粘土 Colloid의 含有量에 影響된다는 것은 綜合的인 土壤分類가 粒徑加積曲線과 稠度限界에 基低하고 있다는 事實으로써도 알 수 있다. 本試料는 粒徑加積曲線에서 Silt 43%, 粘土 18%, Colloid 7.0%로서 全試料의 68%에 相當하는 細粒土임에 曄된없다. 그러므로 이 土壤은 Silt, Clay, Colloid의 性質에 支配되는 土壤이다. 表[4]에서 比重이 2.75로 相當히 높은것은 이 細粒土가 生物體의 分類로써된 腐植土가 아니고, 岩石鑛物의 風化로써 이루어진 無機質土壤이라는 것을 立證하는 것이 며 塑性度가 中位라는 것은 非塑性細粒土라 할 수 있는 Silt가 43%나 含有되어 있기 때문이라 생각된다. Casagrande의 塑性圖에 依하면 이것은 無機質粘土(Inorganic Clay)의 性質을 가진 土壤이라는 것을 알 수 있다.

透水性에 關하여서는, 直接의 透水試驗에 依하여 判斷함이 正確하나, 이것이 遂行되지 않는 境遇는 概略值나마 間接的 推定方式 即 이미 實驗을 通하여 얻은바에 그 土壤의 性質을 適用시켜 論議할 수 있다. Allen Hazen<sup>(13)</sup>은 管路의 流速이 管(Pipe)의 直徑의 自乘에 比例한다는 Poiseulle의 法則에 基低하여 이를 어느 土壤 空隙의 平均直徑이 土粒子直徑(D)에 比例한다는 事實과 關連시켜  $k = CD^2$ , (c...透水係數)이라는 實驗式을 만들었으나 이것은 loose 狀態의 平均砂에만 適用할 수 있음으로 本試料와 같은 粘質土에 對하여서는 適用上 困難한 것이다. 故로 美國의 여러 Dam에서, Clay에서 Sand

에 이르는 여러 土壤에 對하여 數百回의 透水試驗을 通하여 얻은 平均狀態의 透水係數를 表示하는 表[14]에 依하여 推理해 보면 그表에서 가장 微粒인  $D_{20} = 0.005$  ( $D_{20}$ ...粒徑加積曲線에서 보다 작은 粒子가 20% 되는 粒徑)가  $k = 3 \times 10^{-6}$  cm/sec으로서 이것은 不透水性[15]이므로 이보다 微粒인 圖[10]의  $D_{20} = 0.0042$ 에 對하여서는 그 透水係數值를 알 수 없을지라도 적어도 不透水性이라는 것은 規定할 수 있다.

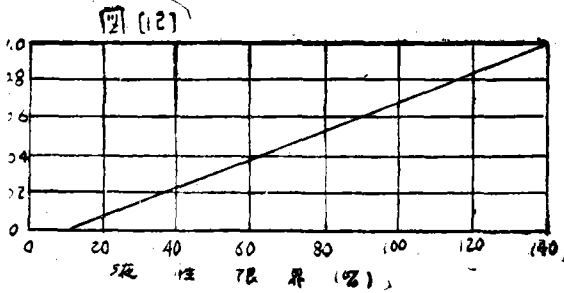
塑性의 細粒土가 가지는 重大한 性質의 하나는 含水量의 變化에 따라서 그의 容積變化가 顯著한것 即土壤水가 많아지면 膨脹하며 작아지면 收縮하는 程度가 甚한 이른바 壓縮性土壤이라는 것이다. 土壤의 壓縮은 ①彈性的인 壓縮 ②塑性 流動에 依한 壓縮 ③土壤의 間隙量의 減少에 依한 壓縮 등을 例舉할 수 있는데, 여기에서 論議對象이 되는 것은 ③의 境遇라 할것이다. 砂質土에 있어서는 그가 飽和狀態以下의 含水量일때는 그의 變化에 依한 容積의 變化는 極히적이나 粘質土는 比表面積이 크기때문에 含水量에 依한 容積의 變化는 대단히 큰것이다. 이와같은 土壤은 特히 粘土層地盤上에 堤體를 築造할때 論議의 焦點이 되고 있으나 盛土에 있어서도 重大한 問題라 할 것이다. 即 이런 土壤은 물과 接觸할 때 隆起(Swelling)로 因하여 膨脹하며 乾燥하면 相當히 收縮할 것이므로 이것이 不等할때는 龜裂이 생기고 斜面은 破壞하게 된다. 純粘土質 中心壁土材가 不適當한 理由는 그의 密度가 相對的으로 낮고 摩擦角이 零에 接近하는것 以外에 前記壓縮性 土壤이라는 點에 있다고 할 것이다.



差位를 가져오는 限이 있더라도 適度히 透水性이 아니고 安定이 될 수 있는 材料라면 合宜히 採用될 수 있기 때문이다. 그러나 구태여 論及한다면 本古三池 壁土材는 理想粒徑가 되기에는 細粒土가 多少間 많은 感이 있으나 不透水性이고, 또 다짐된 密度(標準 最大)가 近 110 lb/ft<sup>3</sup>로써 中位程度이고, 美國 Ohio州 道路課에서 規定한 不適合材料로서의 液性界限의 限界 L.L. = 65%를 越한 未達하는 32%, 即 中位의 塑性細粒土이므로 大體로 良質의 壁土라 할 수 있다.

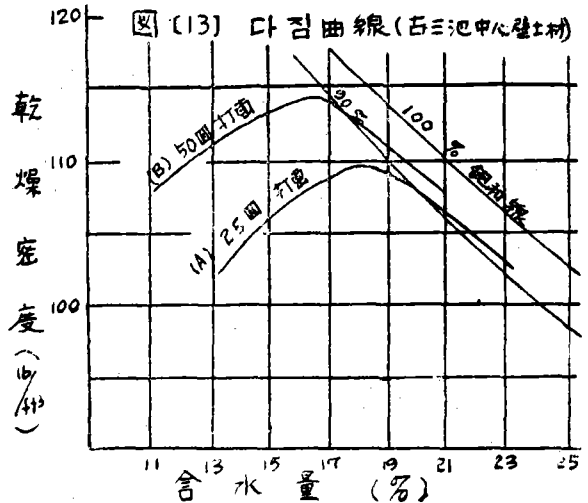
縮性을 나타내는 壓縮指數(Compression ex)와 膨脹性을 表示할 膨脹指數(Swelling

B. 다짐曲線의 物理的 內容



表[10] (a), (b)의 實驗値를 圖示하면 圖[14]와 같다. 即 圖[13]은 乾燥密度와 含水量과 의 關係를 表示한 것이며, (A) 曲線은 標準다짐試驗, (B) 曲線은 打撃 50回의 境遇이다. 이 圖表에서 標準最大乾密度는 109.8 lb/ft<sup>3</sup>이고, 最適合含水量은 18.5%로 나타났다. 다짐作力을 12375 lb/ft<sup>2</sup> (25回打撃)에서 24750 lb/ft<sup>2</sup>로 增加한 114 lb/ft<sup>3</sup>로 나타났다. 다짐作力의 變化에 따른 最大乾密度와 最適合含水量의 變化率은 土壤의 性質에 依하여 一樣한 關係로 表示되지 않은 것이나 이 두 曲線에서 알 수 있는것은 含水量이 적은 境遇에는 密度의 差가 大단히 크며 含水量이 增加함에

ex)는 壓縮試驗에 依하여 求할것이나 A. W. mpton氏는 壓縮指數를 液性界限과 關連시 圖[12]의 結果를 얻었으며 壓縮指數 C<sub>c</sub>를 C<sub>c</sub> = 0.07 (L<sub>w</sub> - 10)의 直線式으로 表示하였다<sup>(10)</sup>. 서 平穩한 性質은 液性界限가 增加하면 C<sub>c</sub>가 增加함을 알 수 있고, 即 Clay나 Colloid의 細粒土가 많으면 많을수록 壓縮性은 增加될 수 있다.

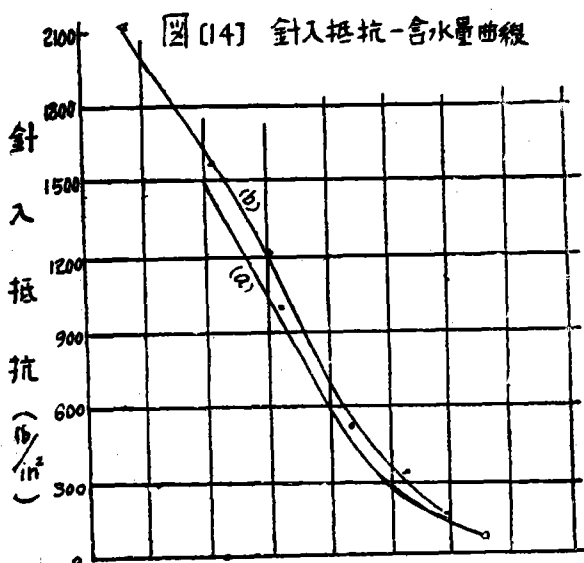


試料는 Skempton氏 圖表의 直線式에서 壓縮指數 C<sub>c</sub> = 0.154로서 壓縮性이 적은 土材에 屬할 수 있다.

上 中心壁土로서 重要視되는 土壤의 性質을 實驗이 미치는 範圍內에서 論及하였다. 本古三池 壁土材가 不透水性斷面의 壁土로서 適合하안느냐의 問題는 事實上 重要한 論議는 될 수 있다.

나하면 土質力學의 理論과 現代의 意味의 施工 方法에 基準한다면 設計 施工方法에

따라서 그 差位는減少되어 標準最適含水量을 넘어서는 約1 lb/ft<sup>3</sup>의 差로 되었다. 이 事實은 土壤이 乾燥한 境遇에는 다짐作力의 增加의 效果가 큰것을 意味하며, 또한 다짐作力이 작을때는 다짐된 密度가 대단히 작아질 수 있는것을 意味하며, 施工時에 含水量이 적은 土材를 充分히 다짐하지 않으면 좋지 못한 結果가 나타나고, 그렇다고 해서 密度를 높이기 爲하여 轉壓을 充分히하면 不經濟의이 될 수 있는 것이다. 또한 含水量이 最適含水量보다 過濕하면 다짐을 많이 하여도 結果하는 密度에는 別다른 效果가 없으므로 여기에서 盛土工事에서 含水量의 如何가 重大한 것임을 強調할 수 있다.

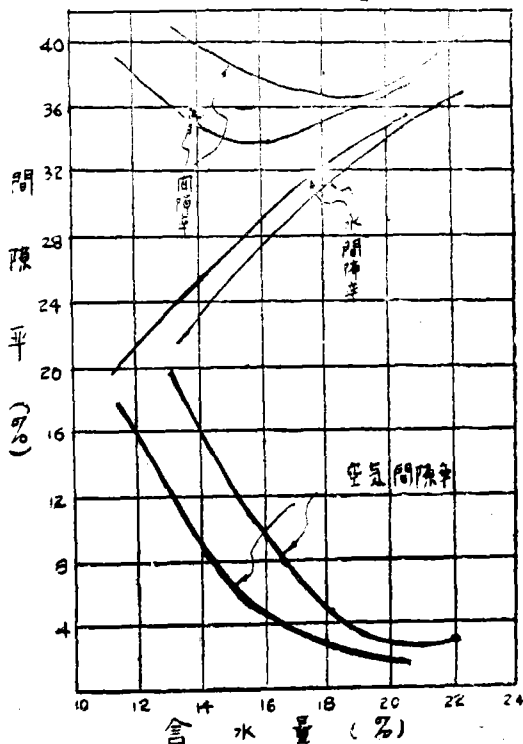


圖[14]는 이 다짐試驗과 併行된 針入抵抗을 含水量과 連關시켜 圖示한 것이다. (a), (b) 曲線의 圖[13]의 (A)(B) 曲線에 相當한다. 最適含水量 18.5%에 相當하는 針入抵抗은 約 500 lb/in<sup>2</sup>이고 (b) 曲線에서는 約 800 lb/in<sup>2</sup>이다.

여기에서 뚜렷이 나타나는 關係로서는 (a)(b) 兩曲線은 거의 같은 比率로 變化하고 있으나 含水量이 增加함에 따라서 二兩曲線의 差는 甚하지 아니하였다.

萬一 이 針入抵抗이 含水量에만 關係된다고 생각하면 이 曲線은 理論上 一致해야 할 것이나 이것이 密度와도 關係되는 것은 다짐의 作力이 큰경우 即 (b) 曲線의 경우가 (a) 曲線의 境遇

圖(15) 間隙率-含水量 關係曲線



보다 같은 含水量에서 抗抵이 크다는 것은 當然한 歸結이라 생각된다.

다음에 이 다짐 曲線과 關連하여서, 이 다짐된 土壤의 物理的 內容을 考察하여 보자. 지금 乾燥密度가 比重(G), 含水量(W)과의 關係式(透導省略)은

$$\gamma_a = \frac{G\gamma_w}{1 + \frac{wG}{S}} \dots\dots\dots (2)$$

여기에 空氣空隙率( $n_a$ )을 考慮하면

$$\gamma_a = \frac{G(100 - n_a)\gamma_w}{Gw + 100} \text{ 或은}$$

$$n_a = 100 - \frac{\gamma_a}{\gamma_w} \left( w + \frac{100}{G} \right) \dots\dots\dots (3)$$

로 된다. 100% 飽和, 90% 飽和의 各境遇에 對하여 含水量과 乾密度와의 關係를 [2]式으로 計算한 結果(表[3])를 다짐曲線에 並示한것이 100%, 90% 飽和曲線이다. 여기에서 가장 重要하게 느끼지는 것은 다짐의 過程에서 飽和되지 않고, 恒常 空氣가 土壤中에 殘留하고 있을것임으로, 이 다짐曲線과 100% 飽和曲線은 交叉하기 어렵다는 事實이다. 本實驗 結果에 依하면 最適

含水量을 넘어서는 90% 以上の 飽和度(Degree of Saturation)을 이루고 있다.

表 [13] 諸含水量과 飽和度에 對한 乾燥密度

飽和度	含水量 (%)			
	25	20	15	10
100%	106.66	110.66	121.45	134.54
90	97.28	106.49	117.66	131.4

兩다짐曲線에 對하여 어느程度의 空氣間隙率을 갖고 있는가를 [3]式에 依하여 計算해보자. 그 計算結果가 表[14]이며 그를 圖示한것이 圖[15]의 空氣間隙率이다.

表 [14] 空氣間隙率 計算表

	A 曲 線						B 曲 線					
	13.09	15.7	17.0	18.7	19.8	22.7	11.2	13.4	15.5	17.8	19.4	20.80
w(%)	13.09	15.7	17.0	18.7	19.8	22.7	11.2	13.4	15.5	17.8	19.4	20.80
$\gamma_d$	101.86	107.08	108.18	109.8	107.4	103.3	107.1	111.1	113.5	112.3	109.2	107.3
n (%)	19.37	10.73	7.76	3.22	3.47	3.44	18.46	11.5	5.69	3.67	2.5	1.75

表 [15] 水 間隙率, 間隙率計算表

	A 曲 線						B 曲 線					
	115.2	123.9	126.9	130.2	128.7	126.3	119.1	126.0	131.1	132.3	130.5	129.6
$\gamma_m$ lb/ft <sup>3</sup>	115.2	123.9	126.9	130.2	128.7	126.3	119.1	126.0	131.1	132.3	130.5	129.6
$\gamma_a$ lb/ft <sup>3</sup>	101.86	108.08	108.46	109.8	107.4	103.3	107.1	111.1	113.5	112.3	109.2	107.3
$W_w$ (lb)	13.34	16.82	18.33	20.4	21.3	23.0	12.0	14.9	17.6	20.0	21.3	22.3
$V_w = \frac{W_w}{62.4}$	0.2137	0.2694	0.2954	0.3269	0.3413	0.3685	0.1923	0.2387	0.282	0.32	0.34	0.3573
$N_w = \frac{V_w}{V} \times 100$	21.37	26.95	29.54	32.69	34.13	36.85	19.23	23.87	28.2	32.00	34.00	35.73
$N = n + n_w$	40.74	37.68	37.30	35.91	37.60	40.29	38.69	35.37	33.89	35.67	36.50	37.48

또한 다짐曲線과 間隙率을 求한結果는 表[15]와 같으며 여기에서 明白한 것은 最大乾密度에서 間隙率은 가장 적다. 勿論 같은 土壤에 對하여서 密度가 가장 크다고 하는것은 間隙率이 가장 작은 것을 意味하는 것이나 이 關係를 가장 뚜렷이 나타낸것은 間隙率-含水量曲線이다. 이 線(圖[15]의 最上位 二個曲線)은 다짐曲線을 꺼꾸로 圖示한것과 모양이 같다. 이 曲線의 最上值가 다짐曲線의 最大值를 나타내는 것은 勿論이다.

c) 施工管理를 爲한 密度-含水量 考察  
現在 外國에서 施行되고 있는 數個所의 施工

다짐의 過程이 壓密現象에 依한 間隙水의 排除가 아니고 土壤中의 空氣를 減少시키는 것임으로, 圖[15]에서 알 수 있는 것처럼 含水量의 增加와 더불어 空氣가 急激히 減少할 것은 當然하다 할것이다.

標準다짐材料의 空氣間隙率——含水量曲線은 含水量 18.7%에서 空氣間隙率이 最低(3.22%)가 되고, 다음은 多少間 이보다 큰 값(含水量 19.8%, 22.2%에서 各己 3.47%, 3.44%)으로 나타났으나 이것은 實驗上 誤差라고 생각되며 같은 다짐에 對하여서는 含水量이 增加할수록 workability가 좋아점으로 空氣의 量은 減少될 것으로 생각된다.

管理方法에 對하여서는 앞에서 論及하였다. 다짐曲線의 實用上 價値는 이 施工管理와 直結할 수 있다는데 있을 것이다.

表[3]의 (a)(b)(c) 三規定에서 標準乾密度에 對한 所要다짐의 程度에 多少間 差異는 있으나 現場다짐試驗等도 考慮하여 가장 合理的인 含水量의 限界를 摸索해 보고져 한다. (a)의 規定에서 最大乾密度가 103.0~109.9 lb/ft<sup>3</sup> 사이일때는 100% 다짐해야 함으로 本土材에 對하여서 109.8 lb/ft<sup>3</sup> 까지 다짐해야 할것이며, 現場含水量은 理論上 標準適含水量에 一致하여야 할 것이다. 그러나 現場含水量은 正確히 標準最適含水

量에 一致시키기에 는 너무도 어리우므로 100%에 相當하는 109.8 lb/ft<sup>3</sup> 以上の 密度를 얻기 爲하여서도 다짐의 作力을 增加시킬 수 밖에 없다.

(b)의 規定에서는 所要 다짐程度가 95%로 되어 있음으로  $109.8 \times 0.95 = 104.3 \text{ lb/ft}^3$  이 最低 密度로 되며 含水量의 範圍는 14.7~21.2%, 이에 相當하는 針入抵抗은 約 100~1150 lb/in<sup>2</sup> 이라야 한다. 이것을 現場 다짐試驗과 關連해 보자. 表[10]에서 (A)는 實驗次 現場에 갔을 때는 施工中止時였음으로 먼저 施工된 盛土의 密度가 어느 程度 되는가를 調査하기 爲하여 約 30cm 를 깎아내고, 그 現場에서 하고 있다는 施工慣例 即 土材를 約 30cm 間위에 Bulldozer로 四回 通過한 境遇에 試驗을 表示한 것이다. 于先 여기에서 注目되는 것은 降雨에 依한 影響은 있겠었지만은 現場含水量이 (A), (B) 兩境遇에 있어서 最適含水量을 超過한 20.64%, 22.42%로 나타났다는 事實이다 그러므로 이 實驗으로 基準한다면 問題의 所在은 濕潤側의 含水量에 있다고 할 것이다.

(A), (B) 兩境遇의 다짐의 程度는

$$\begin{aligned} \text{(A)의 다짐程度} &= \frac{\text{現場다짐乾密度}}{\text{標準最大乾密度}} \times 100 \\ &= \frac{97.3}{109.8} \times 100 = 86.6\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(B)의 다짐程度} &= \frac{\text{現場다짐乾密度}}{\text{標準最大乾密度}} \times 100 \\ &= \frac{104.7}{109.8} \times 100 = 95.35\% \end{aligned}$$

로 된다. 여기에서 (A)의 境遇는 降雨로 因한 吸水, 거의 全無한 載荷重때문에 膨大한 結果로 생각됨으로 論外로 하고, (B)의 境遇는 95.35%의 다짐程度를 나타내는 것임으로 앞에서 求한 A.A.S.H.O 規定의 95% 密度를 多少間 超過하기는 했으나 現場含水量은 이 規定의 上限인 21.2%를 넘어난 22.42%로 나타나고 있다. 그러므로 이 關係에서 室內다짐의 作力보다 現場의 轉壓이 컸다는 事實을 두몇이 알 수 있다. 왜냐하면 萬一 室內外 다짐作力이 同一하였으면 이 現場의 水量에 對해서는 A.A.S.H.O 規定의 95% 密度 104.3 lb/ft<sup>3</sup> 보다 작은 다짐 密度가 나타나야 하기 때문이다. 그리고 Bulldozer로 轉壓을 하고있는 동안 그의 接地面 近處에는 地面이 多少間 波狀으로 움직이는 것을 目睹하였

는데 이것은 含水量이 過度하고 過壓縮(Over-Compacting)을 하는 경우에 나타나는 現象이라 생각되었고, 塑性限界보다 若干 乾燥側을 適當한 含水量이라고 規定하고 있는 舊來의 方法<sup>(14)(17)</sup>에 基準하더라도 本試料의 塑性限界 21.3보다 濕潤한 22.42%는 確實히 過濕한 含水量이라 느껴졌다.

以上の 關係에서 施工管理를 爲한 現場含水量의 濕潤側限界를 本實驗이 미치는 範圍內에서 다음과 같이 注意깊게 論及하고 싶다. 即 現場의 다짐程度가 95.35%로서 A.A.S.H.O 規程의 95%를 超過하고 있으며 이것은 現場含水量이 多少間 乾燥하면 密度는 더 높아질 것이므로 現場含水量을 조금 乾燥시키는 範圍에서 다짐의 密度를 더 높이는 A.A.S.H.O의 95% 規定을 適用하면 하는 것이다.

## V. 結 言

實驗結果를 綜合하면

(a) 이 土壤은

(1) 粒度分析結果에 의하면 자갈(>2mm) 5.7%, 모래(2~0.05mm) 26.3%, Silt(0.05~0.005mm) 43%, Clay(0.005~0.001) 18%, Colloidal Size(<0.001mm) 7.0%의 細粒土에 屬하며

(2) 稠度限界는 液性限界 32%, 塑性指數 10.7임으로 塑性圖에서 中間塑性度 (Medium Plasticity)의 無機質粘土라는 것을 알 수 있으며,

(3) A.C. 分類의 群記號 CL에 屬하는 不透水性, 普通의 壓縮性을 가지는 土材였다.

(b) 標準最大乾密度는 109.8 lb/ft<sup>3</sup>, 標準最適含水量은 18.5%, 이에 相當하는 針入抵抗力은 約 500 lb/in<sup>2</sup>, 飽和度는 89.2%였으며

(c) 다짐曲線 (A) (B)에 關하여 空氣間隙率 水間隙率 間隙率과 含水量과의 關係를 圖示한것은 圖[15]와 같으며 이것은 間隙比(void ratio), 間隙率(Porosity), 飽和度등을 直接읽고 計算하는데 便利하며, 特히 間隙率—含水量曲線은 다짐曲線을 뒤집어 놓은 모양과 類似하며 最大密度가 最小間隙率에서 나타나는 것을 明確하게 表示하는 曲線이었다.

(d) 現場의 含水量은 最適含水量보다 濕潤側이

였고, 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/ft<sup>3</sup>, 針入抵抗 100~1150 lb/in<sup>2</sup>이던 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; "土工の締固め 作業に 當面する 二三の 問題について" (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, 穴瀨 眞, 土堰堤の 締固め 過程における 間隙壓について(I) (II) 日本農業土木研究 第24卷 1號
- [9] 內田一郎, 河川堤防の 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; 畝分類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)

## 潛管内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 다든가 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 管内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적으로 現在 우리나라에서는 洪水時의 流送砂礫過多로