

軟弱地盤에 對한 斜面安全의 研究

Study on the Stabilization of Slope in Soft and Weak Layer

*吳 武 泳
Oh Moo Young

目 次

1. 緒 論
2. 흙의 粒子構造와 形成
3. 滲透水壓에 對한 安全
4. 工事場에서의 滲透水壓
5. 滲透水壓計算에 對한 注意
6. 軟弱地盤斜面的 安全工法
7. 現場工事中の 滑動原因調査
8. 結 論

1. 緒 論

지금까지의 土地改良事業工事に 있어서 軟弱地盤工事は 많은 難問題를 屢번히 일으켰다. 그러나 正確한 力學的 解釋과 根本的인 原因을 究明하지 못했으며 施工者의 idea 로 任意 處理되었었다.

筆者는 몇개 지구의 工事現場을 調査한 後에 依하여 그곳에서 惹起된 問題를 解決함에 있어 그 對策工法을 제시하고 基本的인 과제, 즉 흙의 構造, 滲透水의 影響, 斜面安全을 期할 수 있는 간단한 工法의 原則等을 檢討하고자 한다.

2. 흙의 粒子構造와 形成

軟弱地盤 處理問題에 있어서 흙의 粒子構造와 그 形成過程을 研究檢討할 必要가 있다.

흙의 粒子構造에는 單粒構造와 綿毛構造의 두가지로 分類할 수 있으며 單粒構造(Granular)는 흙의 骨格을 한개의 粒子가 形成하고 있는 것이며 대개 모래나 자갈과 같은 粗粒土砂의 構造를 말한다.

또한 單粒構造의 흙은 空隙의 體積이 적고 그 變化도 적은 것이다. 이와 같은 構造의 흙은 대개 滑動을 일으키지 않는다.

綿毛構造(Floccule)란 細粒土로 構成된 흙을 말하며

예를 들면 Silt 나 진흙과 같은 것으로 空隙의 量이 크고 構造도 느슨하여서 含水量이 높다.

軟弱地盤에서 滑動이 일어나는 것은 大部分 이와 같은 綿毛構造로 構成된 粘性土이며 흙속의 含水量의 增加로 因하여 剪斷強度가 減少되기 때문에 滑動을 일으키는 重要한 原因을 만들고 있다.

工事中 崩壞되는 軟弱地層을 調査해 보면 대개 風化 侵蝕, 運搬, 堆積의 過程으로 形成된 沖積層이다.

우리나라의 沖積土層은 주로 河底堆積土, 三角洲堆積土, 沿岸堆積土, 野水堆積土等에 依한 것이다.

沖積土層은 流水에 依하여 運搬되어 水中에서 沈澱堆積하여 形成된 土層으로서 流水에 依하여 運搬堆積된 흙의 微粒子가 電氣化學的 引力으로 中和됨에 따라 綿毛化現象(Coagulation)이 생기고 沈積이 促進되어 silt와 진흙등의 粒子는 동시에 堆積하여 土層을 形成한다. 이와 같은 沖積層은 一般的으로 綿毛構造를 形成하여 間隙비가 큰 軟弱地盤을 形成하는 것이다.

3. 滲透水壓에 對한 安全

低地帶 혹은 軟弱地盤工사에서 地下水의 流動은 水理學的인 解釋이 必要하며 한편 土質力學의 重要한 研究對象이면서도 지금까지 工事現場에서 等閑視되어 왔다.

흙속에는 언제나 물이 流動하고 있으며 流線에 따라서 흙과 물의 摩擦이 일어난다. 이러한 摩擦力의 作用에 따라 水頭損失이 發生하게 된다.

滲透水壓(Seepage Force)란 流線의 方向에 따라서 흙의 作用으로 因한 水頭的 差를 말한다. 즉 Potential의 差를 말하는 것이다.

예를 들면 흙에서 斷面 A와 거리 l 되는 區間에 透水壓 P가 作用한다고 하면 그 區間의 水頭損失은 dh 로 假定하고 여기서 單位體積當에 미치고 있는 透水壓力은 $A=1.0$ 이며 물의 單位重量은 $\gamma_w=1.0$ 이 되니까 다음과 같은 式이 된다.

* 筆者 : 前 土師 水利部 勤務 現, 忠北大學 勤務

$$P = \frac{dh}{l} \cdot A \cdot r_w$$

$$= \frac{dh}{l}$$

$$= S$$

上記式에서 $S = \frac{dh}{l}$ 는 그 時點에서의 水頭傾斜를 나타내고 있다.

또한 흙의 極限平衡狀態에서는 다음식과 같은 水頭傾斜를 얻게 된다.

$$P = Scr = \frac{G-1}{1+e}$$

모래層과 같은 곳에서 水頭傾斜가 極限平衡狀態로 되면 모래가 boil하기 始作하여 모래粒子는 上向하는 流水中에 浮游하는 즉 Quick Sand 狀態가 된다.

即 水中에 있는 모래가 만약 느슨하게 堆積되어 있고 또 전면 다져지지 않고 있다면 弱한 粒子의 構造는 적은 衝擊에도 급격히 破壞되고 모래層 전체가 순간적으로 液化되어 Quick Sand 現象을 일으켜 예기치 못한 害를 입는 경우가 많이 있다.

Quick Sand의 發生에 對한 安全率을 다음 式과 같이 흙의 極限平衡狀態 Scr에 對한 그 時點의 水頭傾斜와의 比로서 表示하면

$$\text{安全率 } F = \frac{Scr}{S}$$

4. 工事場에서의 滲透水壓

軟弱地盤에서 堀鑿비탈面은 그 비탈面이 地下水面以下에 있는 경우 그 斜面의 安全에 對한 檢討는 施工前에 해야 할 重要한 문제이다.

이와 같은 경우 自由水面보다 위에 있는 흙은 飽和될 것이며 그 單位重量은 增大할 것이다. 따라서 moment도 增大하게 된다.

같은 現象이긴 하지만 보다 심한 영향은 水面이 갑자기 低下한 경우일 것이다. 즉 河口의 防潮堤, 河川護岸防水堤 또는 깊은 堀鑿切土를 하게 되는 揚水場 등의 基礎工事中에 水位面이 급속히 低下하는 경우이다.

例를 들면 상당한 水深을 갖고 있는 水路의 水面이 dh 만큼 低下되었다고 假定하면 흙에서 물이 排水되어 새로운 低下水位가 되기까지는 다소의 時間을 要하는 것이다. 그리고 dh 만큼의 흙의 두께는 水面이 低下하기 前에 浮力을 받고 있었다. 水面이 低下된 후에는 浮力은 없어지고 飽和重量이 되기 때문에 흙의 重量은 거의 2倍로 상승한다. 따라서 轉倒 moment가 상당히 增大하게 되는 것이다.

工事中인 土堰堤中에 비록 적고 얇은 모래層이 水平으로 존재한다 하더라도 이것이 隣接된 높은지대나 큰 산에 연결되어 있으면 土堰堤의 安全上 큰 위험을 초

래하게 될 것이다. 왜냐하면 이것은 降雨로 因한 滲透가 高地帶에 있는 透水層에 상당한 水位를 상승시켜 工事中인 堰堤의 모래層을 통하여 높은 揚壓力을 일으킬 것이며 따라서 揚壓力에 依한 滑動可能性을 增加시키게 된다.

5. 滲透水壓計算에 對한 注意

滲透水壓의 계산은 既知의 사실로서 施工計劃斷面에서 滲透水壓에 對한 流線圖를 그리고 流線網으로 作成된 各長方形部의 滲透水壓을 計算하면 된다. 이와 같이 하여 轉倒 moment의 增加分도 求하여 진다. 그러나 이런 경우 重要한 問題는 地下水面의 上部에 있는 흙의 飽和單位重量과 下部의 浮力을 받는 單位重量에 對한 고려없이는 moment 計算에서 중복되기 쉬우므로 이 점에 注意를 要한다.

실제적으로 水面이 低下한 경우 流線網의 作成은 더욱 곤란하고 확실성이 적다. 이것은 流動하는 地下水面을 정확히 調査하기 곤란하기 때문에 推定에 의해서 地下水面을 求해야 하기 때문이다.

6. 軟弱地盤斜面的 安全工法

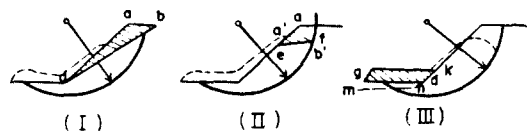
어떤 特定한 軟弱地盤에 關하여 設計者는 그 實情에 맞도록 慎重한 設計를 하여야 하며 施工에 있어서 그 安全條件, 地域的 條件 및 經濟的 條件 등을 勘案하여 研究設計해야 할 것이다.

安全한 工法에는 여러가지가 있고 아직도 開發도중 에 있는 것도 있어서 今後 研究가 계속될 것으로 믿어 진다. 本文에서는 斜面滑動에 對한 安全한 工法의 基本概念만을 紹介코져 한다.

보통 斜面은 그 轉倒 moment를 減少시킬 수 있는 施工法을 使用하므로써 安全度를 높일 수 있다. 다음 그림에서 보는 바와 같이 그 要點을 몇가지로 例를 들어 說明하면

① 그림(I)의 경우는 그림의 빗금部分만큼 滑動을 일으킬 轉倒 moment를 減少시킨다. 그림에서 비탈面 d, a 를 d, b 까지 깎아서 흙의 重量이 減少되도록 傾斜面의 傾斜角, 즉 비탈면기울기를 減少시키는 方法이다. 이와같은 方法은 土堰堤工事에 흔히 사용된다.

② 그림(II)의 경우 滑動이 이미 일어난 후 傾斜面



(그림 1) 圓弧滑動에 의하여 崩壞된 비탈面의 安定化의 3종류 例

을 고를때 滑動의 原因이 된 重量만큼 除去하는 것이다. 그림에서 a'b' 면을 ef 면까지 깎아내서 滑動의 原因이 된 荷重을 除去시키는 方法이다. 이와같은 方法은 깊은 水路의 掘鑿切土에 적용된다.

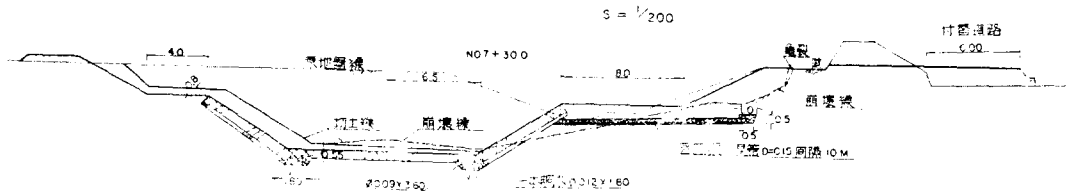
③ 그림(II)의 경우 이미 滑動이 끝나고 안정된 상태를 유지하도록 滑動으로 인하여 비탈면에 隆起된 흙을 그대로 남겨 놓는 方法이다. 이러한 施工方法은 軟弱地盤의 道路工에서 사용되며 外國에 많은 例가 있다.

④ 軟弱地盤의 掘鑿切土한 비탈면위에 切土한 흙을 盛土하는 경우가 많이 있다. 그러나 이경우 盛土된 흙의 重量은 軟弱土質斜면에 과대한 荷重을 加하기 때문에 轉倒 moment 를 증대시킨다. 또한 地表面上的 물의

신속한 排除가 곤란하여 滲透水가 제절로 비탈면 부근의 흙을 弱하게 하고, 한편 흙은 飽和되어서 單位重量이 증가된다. 따라서 抵抗 moment 는 減少되고 轉倒 moment 는 增加된다. 그러므로 이러한 施工法은 여러한 경우라도 避해야 한다.

7. 現場工事中의 滑動原因調査

다음에 紹介하는 A, B 두개 地區는 洛東江下流와 河口沿岸에 있는 地區로서 砂質泥土와 泥土의 堆積層으로 形成된 軟弱地盤이며 侵蝕過程에 있는 地域이다. 또 地下水位가 높은 低地帶로서 軟弱地盤工事に 難問題를 많이 일으켰다.



(그림 2) 1964년 운하절토 공사중 도로면의 인장구열과 사면활동 붕괴와 재시공단면

① A 地區의 調査

<現 況>

本地區는 1964年 비탈면기울기 1:1.5로서 切土깊이 5.0m 程度 施工中 그 비탈면이 滑動했다.

工事場의 右側에는 自動車道路가 있으며 道路面은 切土면에서 8.0m 높이가 된다. 그리고 道路의 옆도랑에는 상당한 물이 있었다.

本地區의 土質은 地表로부터 모래層, 泥土質, 壤土層, 砂質壤土層 등으로 섞여서 구성된 軟弱地層이다.

<原 因>

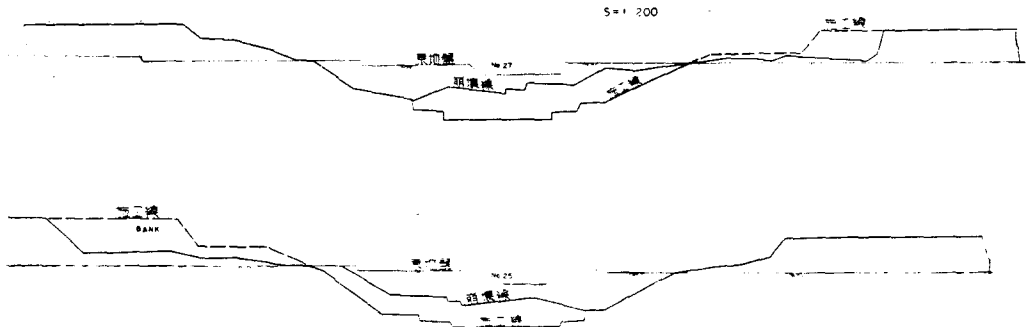
工事場에서 20m 떨어져 있는 道路의 옆도랑으로 부터의 滲透水는 軟弱地層을 따라 透水壓이 作用했으며

含水비가 높은 흙의 飽和狀態로 因하여 剪斷強度가 減少했다. 또 한편 8.0m 높이나 되는 路面에서의 引張龜裂과 그 흙의 重量은 滑動 moment 를 增大하였다.

<對 策>

道路에 沿하여 있는 옆도랑을 폐지하고 道路를 舊道路에서 10m 밖으로 移設토록 했다. 또 道路側으로부터 切土計劃中心線을 7.0m 이동시켰으며 崩壞의 原因이 된 重量이 除去된 狀態로 安定되도록 小段(턱)을 8.0~10.0m 設置했다.

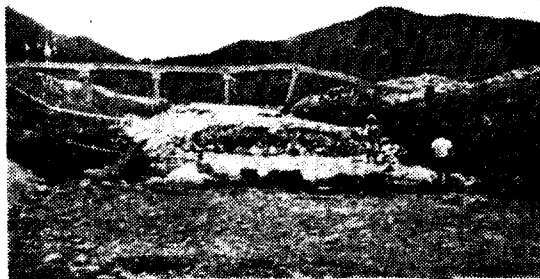
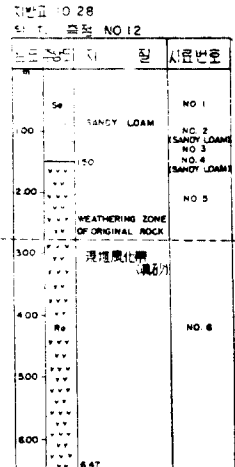
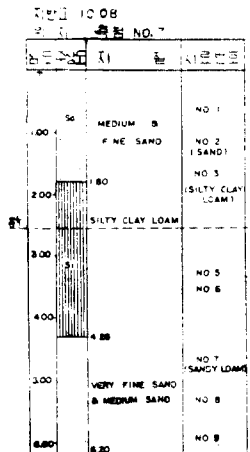
비탈면의 軟弱地層에서 신속한 排水가 되도록 舊道路 비탈끝 땅속에 盲暗渠를 설치하고 모래排水層을 만들었다.



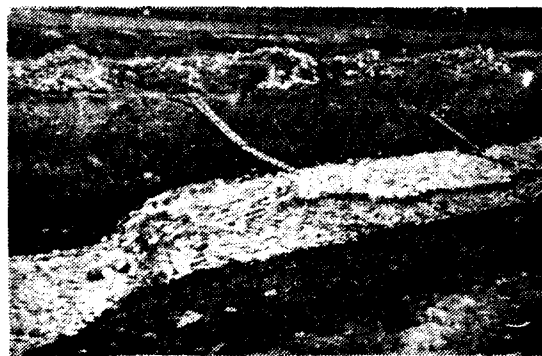
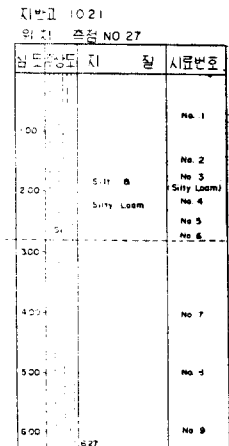
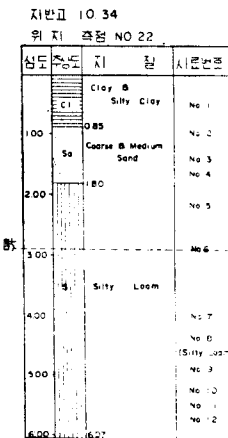
(그림 3) 1966년 운하 저면 준비불입 공사중 토사잔으로부터 활동 저면 융기현상(No.19+20~No.28 區間)



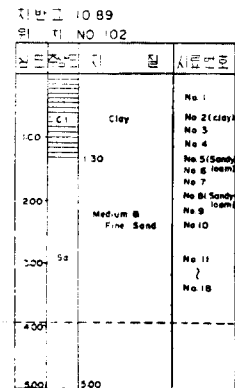
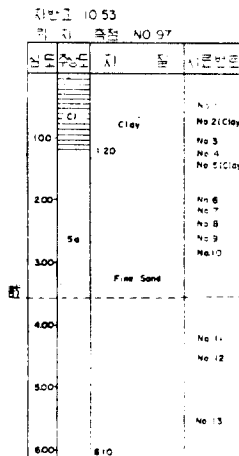
<독봉괴 광경>



<비탈붕괴와 수로바닥의 융기로 인하여 파괴된 교량>

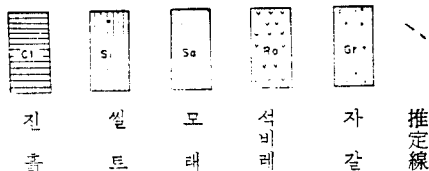


<비탈붕괴로 수로밑바닥 돌출임이 솟아 올랐음>



地質柱狀圖

범례



② B 地區의 調査

<現 況>

本地區는 1966 年 비탈기울기 1:1.5, 밑면나비 13.0 m 的 水路工事を 깊이 4.0 m 까지 切土를 完成하고 밑면돌출입을 施工中 비탈面이 滑動沈下했으며 밑면은 1.8 m 隆起했다. 또 同地點의 橋梁과 流込工이 滑動破壞되었다.

本地區의 土質은 大部分 泥土質이며 切土計劃高이하 3.3 m 깊이까지 泥土層으로 形成된 軟弱土層이며 地下水位는 地表面에서 3.0 m 깊이에 있었다.

施工계획은 切土된 飽和土砂를 水路비탈머리에서 불과 20m 떨어진 곳에 盛土高 2.5 m 로 전부 盛土하도록 했으며 現場施工도 계획대로 하였다.

<原 因>

水路에서 切土한 飽和된 흙을 비탈面위에 성토하므로 과중한 흙의 重量이 加하여 젖고 灌溉期間 이었으므로 논으로부터 滲透는 흙粒子 사이의 壓力을 減少시켰다. 水路水深의 低下와 地下水面의 降下는 上部의 飽和重量增加와 下部의 浮力作用에 依하여 剪斷強度의 低下와 抵抗 moment 를 低下시켰으며 이상과 같은 原因으로 滑動 moment 的 增加를 초래했다.

<對 策>

1966 年 11 月 土聯 農業土木研究所의 地盤土質調査에 依한 計劃斷面의 安全率檢討를 보면 安全率은 $F_s=1.18$ 이므로 切土斜面의 安定度가 不足하였다. 滑動崩壞된 狀態의 安定率은 $F_s=1.8$ 이상이 된다. 따라서 土捨場을 計劃面 비탈어깨에서 15.0 m 이상 20.0 m 밖으로 除去하여 載荷重을 없애고 滑動停止된 狀態의 安全도를 얻도록 했다. 이와 같이 變更施工한 斷面의 安全率은 $F_s=1.8$ 이 된다.

한편 滲透水의 신속한 배재를 위하여 비탈 메물임이면에 자갈이 혼합된 모래층두께 1.0 m 를 填充補強했다.

圓弧滑動面計算表(斜面安全度)

$$F = \frac{CL + \tan \phi \sum(N-U)}{\sum T}$$

원설계 상태 $R=15.0 \text{ m}$

AN	rt	N	AT	rt	T	L	C	CL
82.2	1.820	149.6	24.0	1.820	43.68	27.8	1.29	35.86

$$F = \frac{35.86 + 0.2125(149.6 - 74.8)}{43.68}$$

$$= 1.18$$

$$\tan \phi = 0.2125 \quad \phi = 12^\circ \quad \text{단 } U = N \text{ 의 } \frac{1}{2}$$

土捨場除去 $R=16.3 \text{ m}$

AN	rt	N	AT	rt	T	L	C	CL
120	1.820	218.50	18	1.820	32.80	30	1.29	38.7

$$F = \frac{38.70 + 0.2125(218.50 - 218.50/2)}{32.80}$$

$$= 1.89$$

8. 結 論

이상에서 記述된 軟弱地盤 斜面의 安全條件을 土臺로 하여 A, B 두개地區 工事中 일어난 滑動崩壞原因과 對策을 再檢討한은 重要한 일일 것이다.

①設計 當時 철거한 土質調査가 이루어지지 못했고 斜面安全率의 檢査가 없었다. 때문에 切土된 飽和土砂를 비탈面위에 높이 盛土하도록 計劃 및 施工함에 따라 滑動, 隆起現象을 일으켰으며 事後에 비로소 土捨場을 除去하는 二重工事を 하지 않을 수 없었다.

②地下水位의 流動狀態와 水路의 水位降下 및 降雨와 灌溉水등 그 處理에 對한 迅速한 對應策은 現場施工者로서도 根本的 概念만 갖고 있다면 이와 같은 剪斷強度低下와 滑動 moment 에 對한 安全등의 研究 및 對策工法을 講究했을 것이다.

一部地域에서 나무 Sheet pile 을 使用하여 비탈面의 滑動을 막으려 했으나 效果를 얻지못하고 崩壞된 例가 있는 것은 施工者의 滑動圓에 對한 概念이 없기 때문이라 하겠다.

擁壁이나 말뚝을 使用하려면 滑動圓弧面 밑까지 그 깊이가 상당히 있어야 할 것이다.

다시 한번 整理하여 보면 圓弧滑動面의 考慮, 滲透水의 影響, 切土量의 滑動可能原因 影響圈 밖으로의 除去等에 對한 再檢討가 必要했던 것이다.