

土木纖維에 의한 軟弱地盤上 補強盛土設計에 대하여

柳 然 澤
(農漁村振興公社 責任村研究員)

1. 緒 論

盛土構造物이나 軟弱한 基礎地盤을 補強材를 使用하여 安定시키는 工法은 옛부터 活用되어 왔으며, 最近 合成纖維製品인 土木纖維가 出現하여 土木工事に 널리 使用되고 있는데, 軟弱地盤上 盛土時 土木纖維로 補強하면 그의 剛性係數가 地盤 安定에 큰 影響을 준다는 것은 널리 알려져 있다. 따라서 本 資料는 Geotechnical Fabrics Report(1991. 5, 6월호)에 掲載된 내용으로서 地盤土의 表層이 軟弱한 경우와 固結된 경우에 強度特性을 彈塑性 材料로 模型化하여 Carter가 開發한 有限要素解析프로그램(AFENA)으로 分析한 軟弱地盤上 補強盛土에서 土木纖維의 剛性係數가 地盤土의 變形에 미치는 效果에 대하여 간단히 紹介하고자 한다.

2. 模型條件

盛土模型은 그림. 1과 같이 堤項폭(B) 18m, 비탈기울기 1:m=1:2로서, 盛土高가 h인 構造物을 軟弱地盤上에 築造하는 것으로 假定하고 Janbu식에 의한 變形係數가 應力에 따라 變化

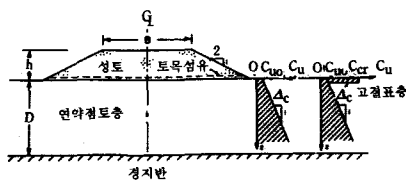


그림. 1. 모형단면조건

하는 것으로 하였다.

여기서 盛土材와 軟弱地盤의 土質條件은 표-1과 같으며, 軟弱地盤은 深度(D)가 15m로서 深度에 따라 強度가 線形的으로 增加하는 것으로 假定하였다.

施工條件은 軟弱地盤上에 盛土材를 37cm 敷設한 後 그 위에 土木纖維를 깔고 계속하여 水平盛土하였으며, 盛土材와 土木纖維間의 摩擦角은 32°, 滑動은 盛土材, 土木纖維 및 基礎地盤土의 接觸面으로 模型化했다.

土木纖維는 低剛性係數(J=76.5tf/m)와 高剛性係數(J=816tf/m)로 나누어 補強하는 것으로 假定했다.

破壞時 盛土高와 土木纖維의 變形解析에는 表層의 粘着力(C_{uo}) 및 深度에 대한 粘着力增加率(Δ_c)에 安全率(F_s) 1.3으로 補完한 C_{uo}* = C_{uo}/1.3, Δ_c* = Δ_c/1.3을 사용하였다.

3. 解析結果

가. 表層이 軟弱한 基礎地盤

土木纖維에 의한 軟弱粘土地盤上 補強盛土時

표-1. 模型條件時 土質定數

區 分	盛土材	軟弱地盤
單位重量(tf/m ³)	2.04	1.683
內部摩擦角 φ (deg)	32	—
포아슨비 ν	0.35	0.48
膨脹性	0	—
非排水變形係數比(E _w /C _u)	—	500
靜止土壓係數(K _c)	—	-0.6

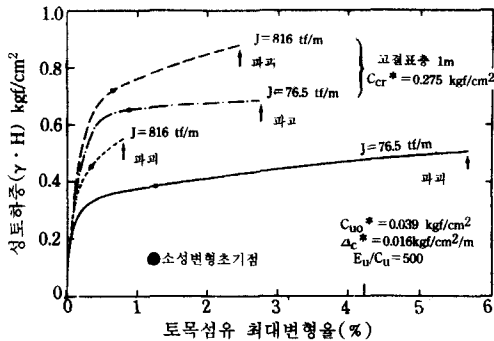


그림. 2. 보강성토시 토목섬유의 최대변형률과 성토하중의 관계

에 影響을 주는 因子는 地盤土의 強度와 土木纖維의 剛性係數로 그림. 2는 盛土荷重과 土木纖維에 생기는 最大變形率의 關係를 나타낸 것이다.

그림. 2의 曲線에 의하면 盛土荷重 0.077kgf/cm²(37cm盛土)에서 시작하여 盛土高가 增加함에 따라 土木纖維의 變形率이 增加되는데, 이때 地盤土의 塑性破壞가 생기면 補強된 土木纖維가 追加荷重을 支持하게 되며, 土木纖維의 變形이 許容하는 最大盛土高가 限界許容盛土高가 된다.

低剛性 土木纖維로 補強된 盛土構造物의 破壞時 變形率은 5.7%이고 限界盛土高는 2.5m로서 補強치 않은 경우의 限界盛土高 1.7m에 비하면 47%의 改良效果가 있다.

高剛性 土木纖維로 補強된 盛土破壞時 限界盛土高는 2.8m로서 低剛性 土木纖維로 補強時보다 0.3m 增加했으나 이때 破壞時 變形率은 0.8%로 盛土構造物의 舉動메커니즘이 변한다.

즉 그림. 3은 補強된 土木纖維의 剛性係數別 盛土構造物과 基礎地盤의 變位를 벡터로 表示한 것으로서 좌표는 變位方向과 相對的인 크기를 나타낸 것이다.

그림. 3(a)는 低剛性係數 土木纖維로 補強時 變位로 破壞메커니즘은 圓弧滑動의 形態를 나타낸다. 그러나 그림. 3(b)는 高剛性係數 土木

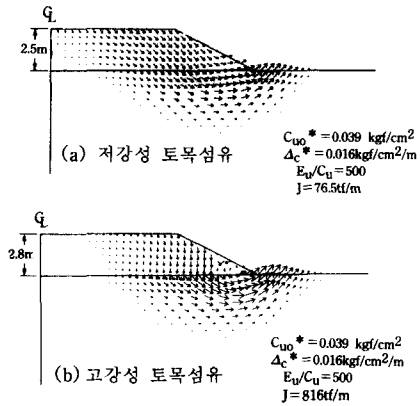


그림. 3. 토목섬유의 강성별 파괴거동

纖維로 補強한 경우에 破壞時 變位로서 剛性構造物과 같이 垂直方向變位가 크고, 盛土材와 基礎地盤의 接觸部가 滑動되면서 軟弱한 粘土地盤이 壓出되는데, 圓弧滑動破壞보다는 剛性構造物의 支持形態에 의한 破壞로 解析된다.

이 때 有效堤項폭 (B*)은 當初의 堤項폭(B)보다 좁은 9m이며, 理論的으로 계산한 支持力에 해당하는 盛土高는 2.7m로서 破壞時 盛土高 2.8m와 잘 符合된다.

低剛性 土木纖維의 10배 이상인 高剛性 土木纖維로 補強하여도 破壞時 盛土高의 增加는 적는데, 이는 低剛性 土木纖維補強에서는 破壞形態가 圓弧滑動이며, 또한 盛土高가 이미 支持力으로 負擔하는 限界盛土高에 도달하였기 때문으로 생각된다.

그림. 4는 破壞時 土木纖維의 剛性係數別 補強盛土構造物의 基礎地盤에 대한 最大剪斷變形의 等值線을 나타낸 것이다.

여기서 그림. 4(a)는 低剛性 土木纖維에 의한 補強으로 最大剪斷變形率이 30% 이상인 띠가 基礎地盤에 形成되었고 이 때 土木纖維의 最大變形率은 5.7%이다.

그림. 4(b)는 高剛性 土木纖維補強時로 最大剪斷變形率이 15% 이상인 띠가 形成되었으며 이때 土木纖維의 最大變形은 0.8%이다. 즉

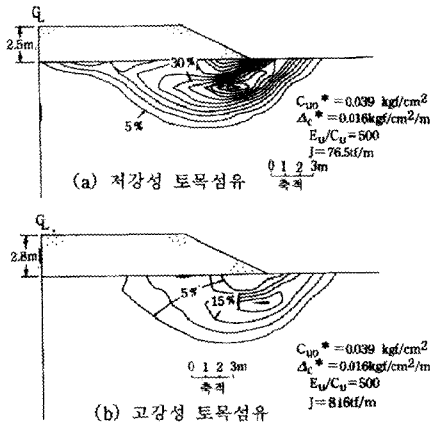


그림. 4. 파괴시 최대전단변형율의 등치선(표층연약)

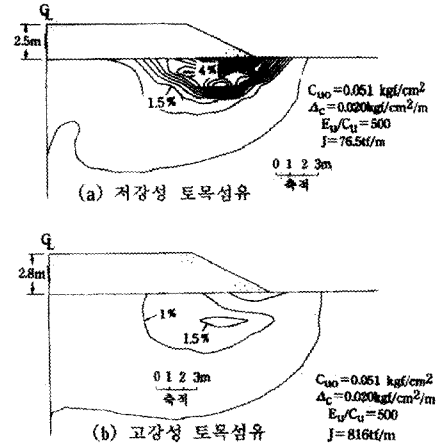


그림. 5. 시공조건시 최대전단변형율의 등치선(표층연약)

土木纖維의 剛性係數가 增加할 수록 破壞時 盛土高의 增加는 微小하지만 基礎地盤의 剪斷變形은 급격히 減少한다.

일반적으로 銳敏粘土의 最大強度를 나타낼 때의 軸變形率은 1% 이내로서 非排水試驗條件時 이에 대한 最大剪斷變形率은 약 1.5% 해당하므로 剪斷變形率이 1.5% 이상이 되면 粘土地盤이 變形에 의한 強度低下가 생긴다.

그림. 5는 安全率(F.S=1.3)을 고려치 않은 施工條件의 強度定數(이하 公稱強度라 함)를 사용하여 解析한 것이다.

그림. 5(a)는 公稱強度를 사용한 低剛性 土木纖維로 補強時 最大剪斷變形의 等值線으로 1.5% 이상 變形이 생기는 부위에서는 變形에 의한 地盤土의 強度가 低下되며, 이 때 限界盛土高에 대한 土木纖維의 變形率은 11.3% 이다.

그림. 5(b)는 高剛性 土木纖維로 補強時 最大剪斷變形等值線을 나타낸 것인데 地盤土의 剪斷變形率이 1.5% 이상인 부위는 급격히 減少한다.

이 때 土木纖維의 變形은 0.3%이며 許容盛土高를 2.5m로 制限하면 地盤土의 最大剪斷變形率은 약 1% 정도 發生한다, 따라서 高剛性

土木纖維로 補強時는 地盤土를 특별히 改良할 必要가 없으며, 土木纖維의 剛性에 따라서 破壞메카니즘이 변하는 것을 設計時에 고려하여야 한다.

나. 表層이 固結된 基礎地盤

일반적으로 沖積粘土의 表層은 應力履歷 및 乾燥收縮 등에 의하여 固結된 경우가 많으며, 이러한 表層은 盛土施工時 構造物 安定에 效果가 크다. 즉 固結된 表層이 軟弱한 경우보다 限界許容盛土高가 크며, 補強材의 變形 및 基礎地盤의 最大剪斷變形이 적다.

解析時 表層의 固結深度는 1m, 非排水剪斷強度(C_u)는 0.357 kgf/cm^2 , 그 밑의 剪斷強度初期值는 0.071 kgf/cm^2 , 深度에 따른 強度增加率(Δ_c)은 $0.020 \text{ kgf/cm}^2/\text{m}$ 로 假定하여 安全率 1.3을 고려한 補完된 強度定數를 사용했다.

固結表層에서 引張應力이 誘發되어 龜裂이 地盤으로 傳播되면서 破壞가 發生하는데 表層이 龜裂된 경우에는 改良效果가 減少된다.

低剛性 土木纖維로 補強한 盛土의 限界盛土高는 3.4m로서 補強치 않은 限界盛土高 3.2m에 비하여 미미한 改良效果가 나타나지만 高剛性 土木纖維로 補強한 경우는 限界盛土高가 4.4m

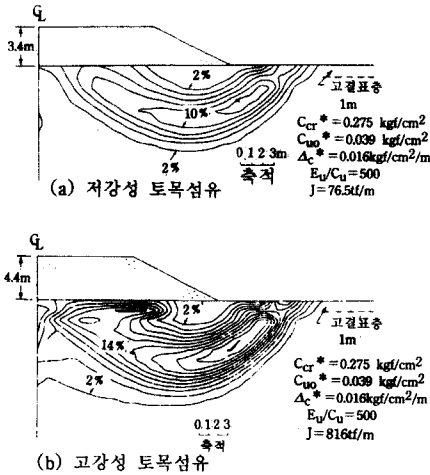


그림. 6. 파괴시 최대전단변형률의 등치선(표층고결)

로 補強치 않은 경우에 비하여 38%의 改良效果가 나타났다.

그림. 2와 같이 高剛性 土木纖維로 補強時는 塑性變化範圍에서도 強度가 增加하는 延性(ductile)反應을 나타낸다.

그림. 6은 表層固結時 破壞盛土高에 대한 地盤의 最大剪斷變形 等值線을 나타낸 것이다. 그림. 6(a)는 低剛性 土木纖維로 補強時 地盤의 最大剪斷變形 等值線으로서 地盤에 10% 이상의 剪斷變形이 發生하였으며, 그림. 6(b)는 高剛性 土木纖維로 補強時 地盤의 剪斷變形 等值線으로 破壞時 限界盛土高는 크지만 變形率이 14% 이상으로 크게 發生했다.

이를 그림. 4와 비교해 보면 表層固結效果가 상당히 큰 것을 알 수 있다.

그림. 7은 表層固結時 當초 強度定數로 解析한 結果를 地盤土의 最大剪斷變形 等值線으로 나타낸 것이다.

여기서 低剛性 土木纖維로 補強時(그림. 7(a))는 最大剪斷變形率은 1% 정도이지만 高剛性 土木纖維로 補強時(그림. 7(b))는 最大剪斷變形率이 1.6% 를 넘는다.

물론 限界盛土高는 다르지만 剪斷變形이 1.5

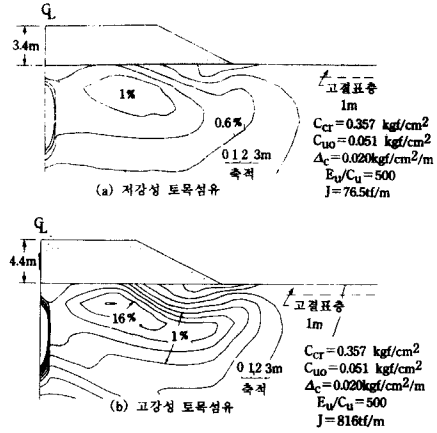


그림. 7. 시공조건시 최대전단변형률의 등치선(표층고결)

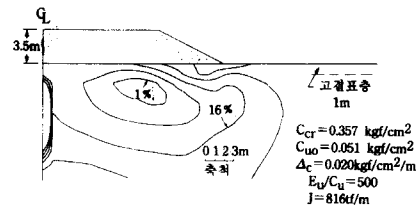


그림. 8. 시공조건시 최대전단변형률의 등치선 (표층고결, 토목섬유 변형률 0.5%인 경우)

%을 超過하면 地盤土 變形으로 強度가 低下되며, 그림. 2에서 土木纖維의 變形을 0.5%로 制限한 限界盛土高 3.5m에 대한 最大剪斷變形을 나타내면 그림. 8과 같은데 이는 그림. 7(a)에 비하여 地盤의 最大剪斷變形이 1% 이상인 部位가 減少됨을 알 수 있다.

일반적으로 高剛性 土木纖維로 補強時 基礎 地盤의 變形率을 2%로 규정하여 設計하는데, 이렇게 하면 變形에 의한 地盤土의 強度低下 가능성이 크므로 不合理한 設計가 된다.

4. 結 論

지금까지 土木纖維에 의한 軟弱地盤 補強盛土에 대하여 記述하였는데, 表層의 固結與否,

土木纖維의 剛性係數를 考慮하여 有限要素法으로 解析한 結果를 要約하면 다음과 같다.

· 1. 表層이 軟弱한 條件에서는 土木纖維의 剛性係數가 클 수록 破壞時 限界 盛土高가 增加하며, 地盤土의 剪斷變形이 작다.

2. 高剛性 土木纖維로 補強時의 破壞메커니즘은 剛性構造物의 支持力解析과 類似하며, 水平變位가 적고 垂直變位가 크다.

3. 地盤土의 變位가 許容範圍를 넘으면 強度가 低下되어 破壞된다.

4. 軟弱地盤의 表層이 固結된 경우는 表層이 軟弱한 경우에 비하여 破壞時 限界盛土高가 크

며, 高剛性 土木纖維로 補強하면 더욱 커진다.

5. 土木纖維 補強盛土時 基礎地盤의 最大強度를 사용하여 解析할 때는 地盤土의 最大剪斷變形率을 1.5% 이하로 하여야 하며, 그 이상의 變形을 許容하면 變形率에 대한 強度를 사용하여 解析하여야 한다.

이 이외에도 軟弱地盤上 盛土時 建設裝備의 振動荷重 및 施工性 등 解決하여야 할 問題點이 많으며 表層固結에 의한 效果가 큰 것을 勘案하면 現實에 맞는 表層處理工法의 研究開發이 要望된다.