

시이트(Sheet)工法에 의한 軟弱地盤의 表層處理

黃 圭 泰* · 柳 基 松*

1. 序 論

最近 合成化學工業의 發達로 建設資材部門에 驚異의 革命을 가져오게 되었다. 즉, 1937年¹⁾에 美國에서 나이론의 開發된 이레 비니론, 폴리에스터, 레용, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌 등의 合成纖維製品이 出現하였다. 이 合成纖維는 天然纖維와 달라서 引張強度가 크고 透水性, 材料의 分離, 濾過 및 地中에서 거의 腐蝕하지 않는 特性을 가지고 있어서 여러 가지 形態의 시이트(sheet)로 만들어져 道路, 鐵道, 港灣, 댐等 廣範圍한 建設工事に 利用되고 있다. 그리하여 이들의 成果는 1980年 스웨덴의 스톡홀름에서 열린 土質學會議에서 發表된바 있으며, 美國의 學術用語에 土木纖維(Geotextile)²⁾란 用語가 正式으로 登錄되었다. 이러한 土木纖維가 使用되기 시작한 것은 確實하지 않으나 옛날 로마帝國時代³⁾에 道路工事中에 늘지대를 通過할 때 갈잎을 엮어서 시이트를 만들어 간 것이 始初이라고 전해지고 있다. 最近에는 美國에서 1927年⁴⁾에 綿纖維를 路盤上에 敷設하고 그 위에 아스팔트를 撒布하여 道路의 基盤強化에 使用한 일이 있으며, 現在는 綿纖維대신 폴리에스터, 폴리프로필렌 등을 利用하여 아스팔트鋪裝道路의 耐久年數를 훨씬 增加시키고 있다. 그러나 土木纖維가 새로운 資材로 登場하기 始作한 것은 1960年代의 중반이며, 이들은 土木技術者가 먼저 着眼해서 利用法, 設計法을 開發한 것이 아니고 纖維會社가 大量으로 生産되는 化學纖維利用의 一部로서 開發한 것이다. 한편 우리나라의 農業土木分野에서는 1970年代 초반에 大單位農業開發事業이 活發해지면서 平澤, 插橋川, 榮山江(Ⅱ), 大湖地區 등의 防潮堤工事 및 榮山江 2段階에 불거 拓事業地區

의 低盛土道路工事に 本시이트를 利用하여 試驗施工을 한 바 있다. 따라서 本稿는 시이트를 利用한 軟弱地盤表層處理의 設計와 施工을 하는데 도움을 주고저 시이트工法의 原理와 施工方法을 紹介한 것이다.

2. 시이트工法의 原理와 効果

가. 盛土敷設時의 陷沒防止效果

軟弱地盤上에 直接 盛土를 하면 盛土材料와 施工

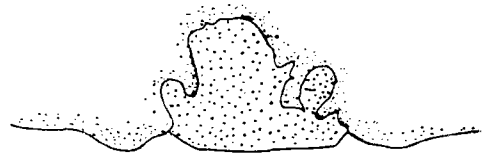


그림. 1. 敷設한 盛土의 陷沒

裝備의 荷重에 의해 그림. 1과 같이 原地盤이 陷沒되어 不規則한 盛土層이 形成된다. 이는 一般적으로 盛土材料가 軟弱地盤土의 單位重量보다 크고 또한 地盤의 支持力이 不足하여 小規模의 破壞가 反復되고 攪亂되어 自體의 強度가 한층더 低下되기 때문에 敷設한 盛土材料가 攪亂된 地盤中으로 陷沒하는 것으로 생각된다. 여기서 시이트를 軟弱地盤上에 敷設하면 시이트의 引張力에 의한 支持效果와 荷重分散效果에 의하여 軟弱地盤의 塑性流動이 減少하므로 敷設한 盛土의 陷沒을 防止할 수 있다. 즉 그림. 2와 같이 軟弱地盤上에서 幅 b에 荷重 P_c 가 載荷될 때 限界支持力 Q 는 Terzoghi의 支持力理論 ($\phi \neq 0$)에 의하여 다음식이 成立된다.

$$P_c = Q = \alpha C N_c b \dots \dots \dots (1)$$

* 農業振興公社 農業土木試驗研究所

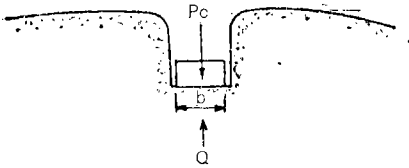


그림. 2. 軟弱地盤上에 直接載荷

여기서 一般的으로 軟弱地盤의 粘着力 c 는 아주 적으므로 限界支持力에 대한 載荷可能荷重도 적어진다. 이에 대하여 軟弱地盤上에 시이트를 敷設하면 載荷重 P_c 에 의하여 地盤이 沈下함과 동시에 이 시이트는 그림. 3과 같이 變形이 생기므로 載荷重 P_{s+c} 에 의한 上向의 引張力 P 가 생기므로 다음식이 成立한다.

$$P_{s+c} = Q' + 2Ps \sin \theta \dots \dots \dots (2)$$

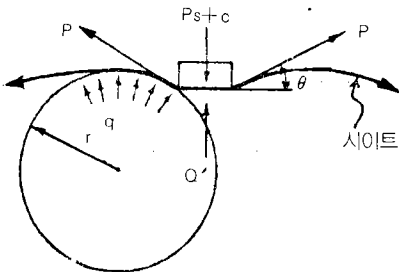


그림. 3. 敷設된 시이트의 變動

한편 시이트의 引張力은 側面地盤의 隆起에 대한 押盛土의 役割을 하므로 近似的인 半徑 r 의 圓을 생각하면 $P = qr$ 에 의하여 軟弱地盤側面의 押上力 q 는,

$$q = \frac{P}{r} \dots \dots \dots (3)$$

이 된다. 따라서 (2)式中的 Q' 는,

$$Q' = (\alpha CN_c + r D_f N_q) b = (\alpha CN_c + \frac{P}{r} N_q) b \dots (4)$$

(4)式을 (2)式에 代入하면,

$$P_{s+c} = \alpha CN_c b + 2Ps \sin \theta + \frac{P}{r} N_q b \dots \dots \dots (5)$$

로 된다. 이것을 (1)式과 比較하면 시이트의 引張力에 의한 第2項의 支持力效果와 第3項의 押盛土效果로 地盤의 支持力이 增加함을 알 수 있다.

나. 盛土構造體의 安定效果

盛土를 完工한 後의 盛土構造體에 대한 시이트의 效果에 대하여 檢討하면 다음과 같다. 敷地造成과 같이 平面이고 均等히 盛土한 狀態에서는 原則的으로 시이트에는 어떠한 힘도 作用하지 않으므로 問題가 없다. 그러나 載荷幅이 적은 道路와 같은 경우는 盛

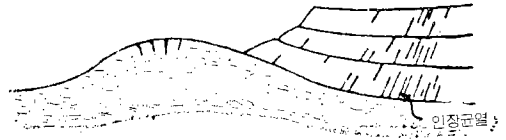


그림. 4. 軟弱地盤上 盛土의 滑動破壞

土完了後에도 계속 시이트에 引張力이 作用하여 盛土構造體의 安定性을 높이는 效果를 주는 것으로 생각된다.

즉, 盛土構造體兩端部에서의 시이트의 引張力에 의한 支持力, 押盛土 및 滑動破壞防止等の 效果, 시이트와 盛土材料사이의 作用하는 摩擦力에 의한 盛土의 擴散破壞防止, 시이트와 軟弱地盤사이의 作用하는 摩擦力에 의한 地盤의 塑性流動輕減等の 效果가 있다. 한편 軟弱地盤上의 盛土破壞는 그림. 4와 같이 軟弱地盤의 側方流動으로 盛土는 下層으로 갈수록 引張力이 많이 생겨 盛土自體는 滑動에 대하여 抵抗할 수 없는 狀態로 되기 때문에 盛土體가 破壞될 것이나 盛土體下部에 시이트를 敷設하면 그림. 5와 같은 破壞가 일어나지 않으므로 滑動에 대

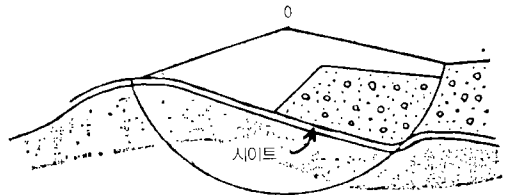


그림. 5. 盛土의 滑動破壞에 대한 시이트의 敷設效果

하여 盛土自體가 抵抗할 수 있으며, 또한 시이트의 引張力이 抵抗力으로 作用하므로 盛土斜面의 滑動破壞에 대한 防止效果가 있다. 이때 시이트의 抵抗力은 그의 引張強度와 引裂強度의 中間程度의 값을 생각할 수 있다.

3. 시이트의 設計와 施工

가. 시이트의 材料

本工法에 使用되는 시이트는 引張強度, 縫合強度, 伸度, 透水性, 耐久性 및 흙과의 摩擦力 등이 優越해야 한다. 現在 우리나라에서 볼 수 있는 시이트는 나이론, 비니론, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌 등의 化學纖維製品으로서 代表的인 시이트의 種類와 性能은 表-1과 같으며, 그의 形態는 그림. 6과 같이 化學纖維를 織造한 시이트, 化學纖維를 그대로 織

表-1. 시이트의 種類와 性能

品名	材 料	引張強度		引裂強度 (kg)	伸度(%)		透水係數 (cm/sec)	重量 (g/m ²)
		經 絲	緯 絲		縱	橫		
第31971號 ¹⁰⁾	폴리프로필렌	132.2kg	149.6kg	—	18.1	13.1	8.04×10^{-2}	840.4
K/M8401 ¹¹⁾	나이론	230kg/ 2.54cm	220kg/ 2.54cm	—	35~40		—	230
PM-400 ¹²⁾	폴리에스터	4kg/5mm	5kg/5mm	5	30이상	60이상	10^{-1}	110
TS500 ¹³⁾	폴리에스터	64kg/2.54cm		90	72.5		2.32×10^{-1}	150
Terram700 ²⁾	폴리프로필렌 폴리에틸렌 } 混成物	48.9kg/2.54cm		—	50이상		—	100

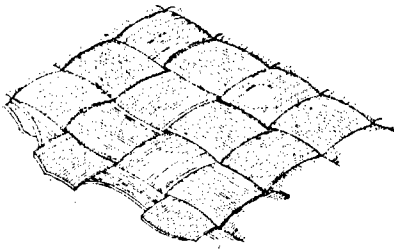


그림. 6. 織造한 시이트

密하게 結束(needle punching)한 시이트 및 이 兩者를 結合한 시이트가 있으며, 日本에서는 그림. 7과 같은 網形의 시이트도 使用하고 있다.

나. 시이트의 選定

시이트選定時의 가장 重要한 事項은 軟弱地盤表層部의 強度이다. 그림. 8⁵⁾ 및 表-2⁷⁾는 長期間의 實績資料를 土臺로한 地盤強度와 시이트引張強度의 關係를 나타낸 것이다. 이것은 어디까지나 基本的인 것으로서 盛土의 形態, 載荷條件等を 함께 考慮하여 適合한 시이트를 選定해야 한다. 盛土作業을 할 경우는 盛土形態가 平面敷地인가 또는 帶狀인 道路인가에 따라 시이트에 作用하는 應力이 다르다. 즉, 帶狀인 경우는 平面인 경우보다 시이트에 過大한 引張力이 作用하므로 平面敷地造成에 使用하는 시이

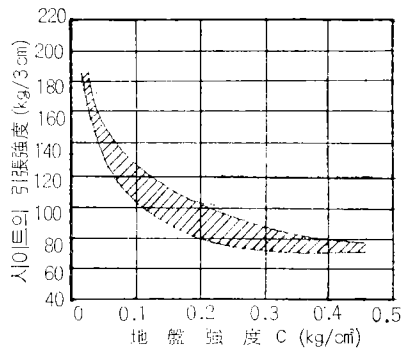


그림. 8. 平面敷地造成일때 地盤強度와 시이트引張強度의 關係

表-2 시이트의 引張強度와 地盤強度의 關係

地盤土의 強度 (kg/cm ²)	시이트의 引張強度 (kg/3cm)	
	平面敷地造成	道路造成
C=0.02~0.05	120	180
C=0.05~0.10	90	150
C=0.10~0.20	90	120

트의 引張強度보다 30%程度⁸⁾ 強度가 큰 시이트를 使用해야 한다. 그러나 道路造成일 경우도 幅이 25~30m以上이던 平面으로 생각해도 좋다. 한편 地盤強度가 0.2kg/cm²程度以下의 軟弱地盤두께가 1~2m이던 沈下도 적고 盛土施工中 壓密에 의하여 地盤의 強度가 增加하기 때문에 盛土施工方法을 考慮하면 약간 낮은 強度의 시이트를 選定할 수 있다. 施工裝備는 集中荷重으로 作用하기 때문에 시이트의 強度를 變化시키는 것보다는 地盤의 反力이 적은 施工裝備를 選定하는 것이 좋다. 盛土作業時 시이트兩端부터 먼저 敷設하고 中央部를 施工하면 中央部의 沈下量이 減少하여 緩衝作用이 적어지기 때

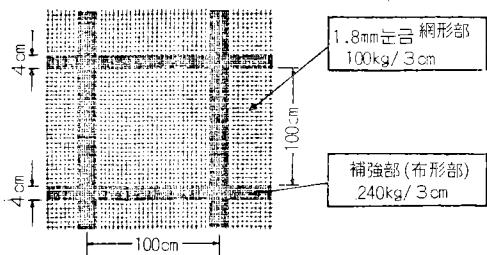


그림. 7. 網形시이트

문에 中央部가 큰 引張力을 받게 되는 경우가 있으므로 이러한 때에는 시이트의 引張強度가 큰 것을 選定해야 한다.

다. 시이트의 縫製

시이트는 一般的으로 幅이 1m程度의 帶狀으로 生産되므로 使用者는 必要한 條件을 定하여 縫製加工을 하도록 해야 한다. 이 縫製는 一般的으로 재봉틀로 하며, 現場經驗으로 보면 시이트의 破損은 이 縫製部分이 가장 많으므로 注文時에는 縫製部分의 引張強度가 시이트의 引張強度보다 크게 해야 한다. 한편 現場에서 시이트를 縫合할때는 로프로 結合하는 경우가 많다. 그림. 9는 시이트의 縫製例를 보인 것이다.

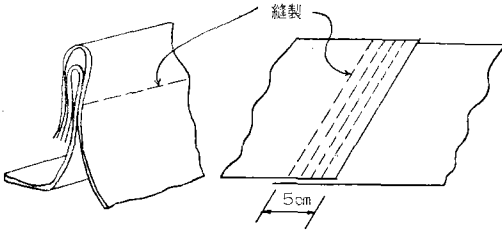


그림. 9. 시이트의 縫製

라. 시이트敷設 및 盛土施工

1) 시이트敷設

시이트를 敷設할 때 地盤이 아주 軟弱하면 板板이나 板子를 使用하여 人力으로 하는 경우가 많다. 시이트를 平面으로 敷設할 경우는 시이트에 引張力을 주는 敷設方法보다는 시이트工法의 原理를 考慮하여 약간 느슨하게 敷設해서 第1段階盛土荷重으로 沈下시키고 시이트의 引張力은 第2,3段階盛土施工時에 有効하게 利用하는 것이 좋다. 시이트를 帶狀으로 敷設할 경우는 盛土完工後 盛土荷重에 의하여 시이트가 盛土中心方向으로 引張되는 作用을 받는 동시에 큰 引張力을 받는다. 그러나 시이트의 兩端部는 地盤과의 摩擦力이 充分치 않으므로 그림. 10과 같이 말뚝을 박는 경우도 있으며 시이트의 摩擦을 增進시키기 위하여 시이트를 餘裕있게 敷設하

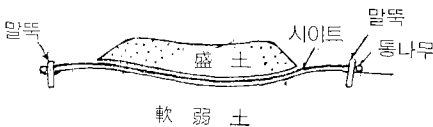


그림. 10. 말뚝에 의한 시이트拘束

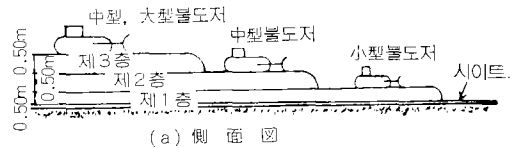


그림. 11. 道路盛土時의 시이트端部引張增進法

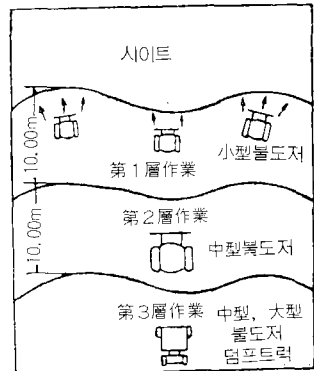
거나 그림. 11과 같이 盛土兩端部에 押盛土를 하면 좋다. 地盤의 強度가 아주 낮으면 盛土荷重이 增加함에 따라 시이트에 過大引張力이 作用하므로 破損되어 盛土體가 破壞되는 경우도 있다. 이와 같은 경우는 미리 盛土斜面에 대한 安定計算을 하여 限界盛土高를 判斷해야 한다.

2) 盛土體의 施工

軟弱地盤上에 敷設한 시이트에 作用하는 荷重은 盛土作業時는 盛土材料와 施工裝備의 荷重, 盛土完了後는 盛土自重과 車輛等의 交通荷重이 作用한다. 이중에서 盛土完了時는 시이트自體에 큰 荷重이 直接 作用하지 않고 또 車輛等의 交通荷重은 盛土形態에 따라 荷重이 分散되어 적은 荷重으로 作用하므로 가장 重要한 것은 盛土敷設時이며, 특히 第1段階의 盛土作業을 할 때가 가장 重要하다. 一般的으로 第1段階盛土作業時는 시이트에 過大한 引張力이 作用하지 않도록 그림. 12와 같이 두께 0.5m程度로 얇게 敷設하여 段階施工을 하는 것이 좋다. 이것은 局部的으로 集中荷重을 주지않게 하기 위함



(a) 側面圖



(b) 平面圖

그림. 12. 盛土의 段階施工

이다. 施工裝備는 自重 2~3t程度의 小型볼도저를 使用하면 粘着力 $c=0.02\sim 0.05\text{kg/cm}^2$ 程度의 軟弱地盤에서도 두께 0.3~0.5m의 盛土作業을 할 수 있다. 이와같이 軟弱地盤表層에 얇게 敷設한 盛土는 시이트와 一體로 되어 軟弱地盤의 安定을 기할 수 있으므로 盛土의 陷沒이 防止된다. 集中荷重을 載荷하거나 第1段階盛土層을 두껍게 施工하면 그림 13과 같이 先端部의 시이트 下部地盤이 塑性流動하여 盛土體下部는 沈下하고 前方의 시이트는 隆起하여 볼도저의 作業이 困難하며 시이트가 破損되기 쉽다. 第2,3段階盛土作業時는 第1段階盛土荷重에 의



그림 13. 盛土敷設等의 前方地盤隆起

하여 地盤의 表層部가 壓密되므로 強度가 增加하며 또한 第1盛土層에 의하여 荷重이 分散되어 트래피 커빌리티가 增加되므로 第2段階以上の 盛土는 濕地用 中型볼도저를 使用하므로 施工能率을 올릴 수 있다. 따라서 荷重을 分散시켜 車輛을 通過시킬 수 있는 所要두께(1.5~2.0m程度)의 盛土를 하면 된다. 여기서 層別盛土敷設두께는 0.5m程度가 좋다.

4. 結 言

시이트工法의 特徵은 軟弱地盤의 塑性流動을 抑制시켜 盛土의 陷沒을 防止시키므로 敷設盛土量을 輕減시키고 迅速한 施工을 할 수 있는 것이다. 특히 地盤의 強度가 낮고 軟弱地盤이 두꺼울수록 시이트의 使用效果가 크고 工事期間이 短縮되어 經濟的인 效果가 커진다. 그러나 三品⁷⁾이 指摘한 바와 같이 시이트工法의 理論과 效果에 대한 說明중 支持力公式(4)에서 γD_f 를 단순히 $\frac{p}{r}$ 로 置換한 점과 近似的인 圓의 半徑 r 를 假定하는데는 不明確한 점이 많으며 특히 施工後長期沈下에 대한 問題點等 設計時에 考慮되어야 할 事項이 적지 않다. 앞으로 더욱 많은 研究를 통하여 시급히 이 問題點을 解決해서 軟弱地盤上의 盛土施工時에 積極的으로 活用하면 큰 效果가 있을 것으로 생각된다. 한편 시이트를 KS 規格製品으로 生産하면 設計時 材料를 選定하는데 더욱 便利할 것으로 생각된다. 끝으로 本稿가 시이트工法을 理解하는데 다소나마 도움이 된다면 多幸이라 생각한다.

參 考 文 獻

1. J.P. Kaudsen(1983) : 土木資材(Geotextile)의 앞으로의 進路, 不織布誌創刊號, 韓國不織布工業協同組合, pp.29~34.
2. Imperial Chemical Industries Ltd. (1981) : Designing with Terram(2nd Edition), Sydney, pp.16~17.
3. Kiyoshige Nishibayashi(1982) : Surface layer stabilization of soft ground using synthetic chemical fiber sheet, Symposium on soil & rock improvement techniques including geotextiles reinforced earth and modern piling methods in Bangkok, Thailand.
4. 西林清茂(1969) : 合成纖維による軟弱地盤表層處理工法, 建設技術, 第220號, pp.121~134.
5. ——— (1980) : シート工法の計劃と施工, 地盤の表層安定處理工法, 綜合土木研究所, pp.43~50.
6. 福住隆二(1967) : 土質基礎分野への合成纖維の利用, 土と基礎・最近工法, 土質工學會, pp.135~158.
7. 三品直樹, 深山一彌, 海老名芳郎, 竹內正一(1974) : 軟弱地盤上の低盛土における合成樹脂シート類の使用について(I), 農業土木試驗場, 技報 C, 第15號, pp.41~74.
8. 吉田弘, 伊勢賢郎(1983) : 土木纖維の利用法, 土木施工, 卷24卷, 第5號, pp.13~16.
9. 野本壽(1983) : 補強材としての纖維利用, 土木施工, 第24卷, 第5號, pp.55~60.
10. 德世産業(株) : 軟弱地盤處理를 위한 mat 工法
11. 코오롱商事(株) : 코오롱코니매트
12. 韓國마이린(株) : 土木資材用 Vilene mat
13. 동해루드(株) : 폴리펄트티에스
14. J.P. Giroud; Designing with geotextiles, Materiaux et Construction, Vol.14, No.82, pp.257~272
15. Ramalho-Ortigao, J. A. and Palmeira. E. M.; Geotextile Performance at an Access Road on Soft Ground near Rio de Janeiro, Proceeding Second International Conference on Geotextiles, Vol. II, pp.353~358.