

植生이 비탈면의 安定에 미치는 영향*1

禹 保 命*2

Vegetation Influences on the Slope Stabilization*1

Bo Myeong Woo*2

As the development of national lands increase, the necessity to develop less favorable terrain also increases. It also becomes more difficult and complicated to provide access that is both economical and safe from contributing to soil erosion on roadsides and to landscape damages.

Because of the increased and justified emphasis upon environmental degradation, proper stabilization of the cut-and bank slopes of roadsides, plant sites and building sites in Korea requires careful planning as well as execution of the constructions. All fill slopes should be compacted to a degree consistent with design standards and material properties. Drainage facilities should be provided to prevent damaging concentrations of surface runoff and to avoid high pore pressures in cuts and fills. All surfaces of cut-fill slopes should be revegetated with suitable species as soon as possible after construction. To stabilize the cut-fill slopes of highway roadsides should be considered the factor of stabilization as well as landscape conservation especially.

Such basic influences as the effects of vegetations on water balance of rain fall, on the control of surface erosion and on the surface slope failures are briefly discussed in the report.

우리나라에서는 최근에 고도의 經濟成長으로 因한 國土開發事業이 全國土에서 施行되고 있다. 特別히 京釜高速道路를 비롯한 各種 高速道路의 建設과 產業基地 및 宅地 工場敷地의 造成工事 등으로 自然비탈면이 많이 破壞 毀損되었으므로 이를 復舊 綠化하기 위한 綠化工法으로서 주로 植生工法이 채용되고 있으나 切土나 盛土工事로 因하여 人爲的으로 만들어진 人工비탈면의 安定에 미치는 植生の 영향에 관한 문제가 아직 종합적으로 報告된 바 없다.

그러므로 本 研究에서는 우선 비탈면의 災害形態를 分析하고, 植生이 비탈면의 물 收支에 미치는 영향을 分析하였으며, 또 植生이 表面浸蝕防止 및 表層崩壞에 미치는 영향을 分析하였다.

緒 論

우리나라에서는 1968년에 처음으로 京仁高速道路가 開通된 以後에 계속하여 京釜, 湖南, 南海, 嶺東高速道路 등이 開設되었다. 그뿐만아니라 비약적인 國家經濟의 發達등으로 各種 產業基地와 宅地, 工場敷地 등의 超高速의인 建設 造成 등으로 因하여 기존 自然斜面(景

觀)이 一時에 破壞 毀損되었으므로 이것은 復舊하기 위한 各種 綠化工事와 施工法도 또한 急速度로 發達되고 있다. 人工비탈면의 安定과 綠化에 필수적으로 採擇되고 있는 各種 植生工法의 個個에 대해서는 이미 많은 調査試驗이 이루어지고 있지만 이것을 綜合的으로 分析된 報告는 아직 미흡하다.

一般的으로 植生工法은 주로 人工的으로 發生된 裸地 비탈면의 좋지 못한 生育與件下에서도 初期生長이

*1 Received for publication in Aug. 10, 1977

*2 서울大學校 農科大學 College of Agriculture, Seoul National University

바른 植物을 人爲的으로 導入해서 自然의 營力안에서 綠化를 이루도록 助長해 주는 綠化工法인 것이다. 植生工法은 콘크리트나 石材를 使用하는 工法보다 工費가 低廉하고 또 美觀上으로 좋으나, 植物은 살아 있는 生物이므로 施工時期와 施工場所에 制限을 받고 또 施工後의 維持管理가 必要한 短點이 있다. 主要한 植生工法으로는 씨뿌어붙이기工法, 植生매트工法, 植生盤工法, 植生袋工法, 植生穴工法, 植生帶工法, 신데말이기工法, 평메붙이기工法, 帶其工法, 줄메다지기工法, 메단쌓기工法, 새풀심기工法, 그리고 植樹工法 등이 있다.

植生은 비탈면 災害를 막기 위한 防災對策工法에 使用되므로 비탈면의 地形, 地質과 土質, 氣候條件에 適合해야 되며 또 裸地의 被覆條件에도 알맞아야 하고 비탈면의 景觀造成面에서도 가치가 있어야 한다.

人工비탈면의 綠化工法에 있어서 植生의 防災의 效果를 定量的으로 밝히 내는 것은 植生工法의 利用과 開發에 큰 도움이 되리라고 생각된다. 비탈면에 植生이 造成되면 비탈면에서의 降水의 水收支와 土層構造 등이 變化되어 表土層의 生態的 機械的 與件이 대단히 복잡하게 되므로 단순히 비탈면 위에 植物體가 서 있는 것과는 달리 根系은 말뚝의 作用과 같이 땅속에 들어가게 된다. 그러므로 이와 같은 根系의 現象과 作用을 간단하게 模型化 하기는 매우 어려운 것이다. 따라서 비탈면의 安定에 미치는 植生의 影響(長點, 短點등)을 定量的으로 直接 명확히 구명하기는 매우 어려운 問題이므로 本 研究에서는 이제까지의 研究結果를 綜合하여 主要한 點까지 影響을 分析해 보고져 한다. 本稿에서 비탈면이라 함은 주로 切土斜面이나 盛土斜面과 같은 人工斜面을 가리킨다.

研究 方法

人工的으로 形成된 切土斜面과 盛土斜面을 安定 綠化

하기 위하여 비탈면에 草木類를 導入하는 植生工法을 適用해서 비탈면을 處理할 때에 나타나는 여러가지 影響을 調査한 既存研究 資料를 수집해서 이를 分析하였다.

우리나라의 調査資料로는 1975년에 京仁, 京釜, 京水, 京春, 統一路 等の 新生 路邊砂防施工 斜面을 對象으로 하여 調査한 資料를 引用 分析한 것이다.

結果 및 考察

I. 비탈면의 재해형태

비탈면의 安定에 미치는 植生의 影響을 分析하기 위해서는 먼저 비탈면의 災害形態를 알아야하며 또 이러한 여러가지 形態에 대한 植生의 影響을 알아야만 된다. 비탈면의 主要한 형태로는 切土비탈면과 盛土비탈면이 있으며 그 災害形態는 表1과 같다.

땅꾸기비탈면이나 흙쌓기비탈면에 공통으로 적용되는 것은 浸蝕에 의한 被害이다. 浸蝕에는 빗물의 雨滴衝擊이나 또는 地表面流에 의한 것 이외에도 多期的 凍上과 霜柱에 의한 것도 많이 있다. 알의 것은 豪雨時에 發生해서 砂質土에 보다 큰피해를 입히게 된다. 뒤의 것은 寒冷地에 있어서 큰 문제인데, 특히 火山灰土等 細土質의 土質에서 큰 被害를 입히게 된다. 이와 같은 비탈면의 浸蝕防止工法으로서 植生被覆은 큰 效果를 가지고 있다는 것은 이미 널리 報告되어 왔다.

破壤現象으로서 땅꾸기비탈면에 가장 많이 發生되는 것은 表層崩壞現象이다. 이것은 비탈면의 比較的 높은位置에 基盤層이 있을 때 이 層 위에 風化土, 腐植土, 崩潰土 등 比較的 연약한 表層土가 存在하여 浸透水가 基盤層 위에 堆水로서 間隙水壓을 發生시키어 表層土가 崩落하게 된다. 이러한 崩壞現象은 豪雨時에 많이 發生되며 그 깊이도 1m 아래가 되기도 하고 또 崩壞土量도 數十m³ 程度의 규모에 達하기도 한다. 땅꾸기비탈면에 두꺼운 堆積層이 있을 때에는 땅덜림과 같은 特性을 가진 大崩壞가 發生되기도 하고, 또 비탈면의

表 1. 비탈면의 재해형태

Tab. 1 Erosions and slippages in slopes

땅꾸기 비탈면	흙쌓기 비탈면
浸蝕—{ <ul style="list-style-type: none"> · 빗물 浸蝕 · 凍上 · 霜柱 · 融雪水에 의한 浸蝕 	
表層崩壞 <ul style="list-style-type: none"> · 두꺼운 堆積物의 崩壞 · 地質的 弱點에 基因한 崩壞 	다지기흙 部分의 崩壞 흙쌓기 全體의 崩壞
	알다 ↓ 미끄러짐의 위치 ↓ 깊다
	直接的 ↓ 植生의 效果 ↓ 間接的

基盤內에 斷層이나 節理面이 있을 때에는 이러한 地質的으로 약한 層에서 큰 규모의 崩壞, 即 構造的인 崩壞가 發生되기도 한다. 이러한 경우에는 植生의 効果는 間接的으로 되며 비탈면안의 물 收支의 變化를 가져 오지만 땅밑의 位置가 깊기 때문에 그 直接的인 影響을 評價하기가 곤란하게 된다.

흙쌓기비탈면의 崩壞에서 가장 많이 發生되는 것은 흙쌓기의 다짐층部分의 崩落現象이다. 이것은 새로 시공한 흙쌓기 비탈면에서 많이 發生되는데 다지기部分의 다지기作業이 不良함에 主因이 된다. 또 軟弱地盤土의 흙쌓기에서는 基盤에서 破壞가 일어나기가 쉬운데 이것은 흙쌓기내에 항시 높은 地下水水位를 가지게 되므로 豪雨時에 地下水水位가 上昇되어 비탈면下部分에서 부터 崩壞하는 경우가 많기 때문이다. 흙쌓기를 人工的으로 만든 때에는 그 비탈면이 崩壞되지 않도록 흙다지기를 철저히 해서 破壞의 素因을 除去해야 된다.

植生은 地表面을 피복하고 그의 根系가 發達해서 1m 內外에서 根무하게 된다. 따라서 崩壞現象에 미치는 影響에 있어서 崩壞의 埋込面이 깊은 경우에는 그 效果가 적게 나타나므로 浸蝕現象과 表層崩壞現象이 主된 問題가 되는 것이다.

植生工事が 失敗한 事例을 調査^{16), 17)}해 보면 植生工事を 施工하기 以前에 基礎工事を 不實하게 施工하고 植生工法에 對하여 過大한 效果를 期待한 實例가 적지 아니하였다.



그림 1. 植生工法으로 綠化된 路邊비탈면의 再崩壞
Fig. 1. Slope sliding caused by the excess water

그림 1. 例를 들면 흙쌓기비탈면의 흙다지기 工事が 不良하거나, 排水處理(湧水 및 漏水處理의 不充分)가 不良할 때에는 깊은 位置에서 埋込面이 發生된 경우가 調査되었다.

II. 植生이 비탈면의 물 收支에 미치는 影響

빗물浸蝕과 表層崩壞는 그 發生機構가 다르지만 다 같이 降雨水의 水流의 作用에 의해서, 發生된다. 빗물은 地表面流로서 비탈면을 흐르면서 浸蝕現象을 이르고, 또 浸透해서 表層土中에 空隙水壓을 이르기어 表層崩壞의 原因이 된다. 그러므로 비탈면에서 雨水가 어느 程度 均等하게 分配되어야 할 것이며, 이런 作用이 植生에 의해서 어떻게 이루어지는가를 밝혀야 할 것이다.

植生이 비탈면의 물收支에 미치는 影響을 模式的으로 生覺해 보면 그림 2, 3과 같다. 이것은 地表面에서 얇은 位置의 表層土에서보다 透水性이 不良한 層이 있는 경우로서 땅가기비탈면에서의 表層崩壞와 흙쌓기 비탈면에서의 다지기 部分의 崩落과 같은 現象이 發生된 事例가 많이 調査되었다. 植生이 비탈면의 물收支에 미치는 影響에 대해서 植生內 貯留, 表層土 貯留, 地被物內流水 및 浸透水量的 增大 등으로 나누어 分析하고자 한다.

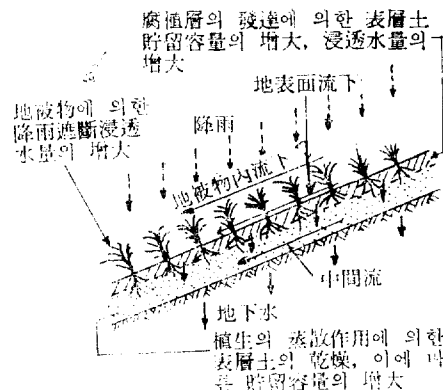


그림 2. 비탈면의 雨水收支
Fig. Water balances in slopes vegetated

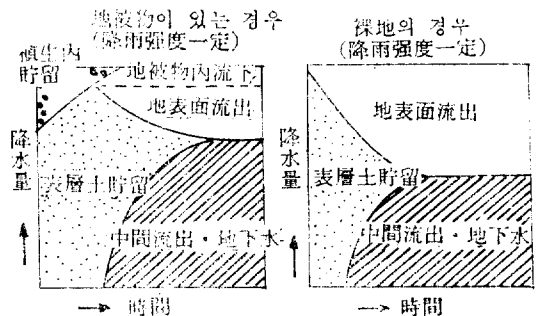


그림 3. 植物被覆이 降雨水收支에 미치는 影響
Fig. 3. Effects of vegetation on rain water

1. 植生內貯留의 영향

降雨水의 一部는 地被物인 植物體에 附着해서 地表面에 이르지 못하고 蒸發等으로서 消失되어 降雨의 遮斷을 가지오게 된다. 森林에서는 年降雨量의 20~30% 程度가 測定된 例가 많이 있다.^{9,10} 植生工法에 널리 使用되고 있는 Kentucky-31 fescue 풀은 $S_g=2.740Gd$ 의 關係가 實測되었다.

여기서, S_g : 地被物地上部 單位面積當의 重量에 對한 물의 貯留量(g/cm^2)

Gd : 地被物 地上部 單位 面積當의 乾燥重量 (g/cm^2)이다.

잘 被覆된 Kentucky-31 fescue 풀은 地上部 乾重 $0.055g/cm^2$ 정도로 調査된 例가 있으므로 이것을 가지고 計算해보면 貯留量은 單位面積當 $0.15g/cm^2$ (貯留高는 $1.5mm$)가 된다.

2. 表層土 貯留의 영향

植生으로 잘 被覆된 土層은 유연한 腐植土層이 形成되므로 一時的 貯留容量이 增大된다. 森林地¹¹에서는 A層(表層)에서 $0.2\sim 0.3l/m^2$ 의 貯留容量(表層土 1m 두께의 粗孔隙量에 있는 것, $pF0\sim 2.7$ 의 범위에 포함되어 얻을 수 있는 水量)에 달하고 있다.

그러나 裸地 比달면엔 植生工法을 채용한 후 腐植層이 發達되려면 아주 오랜 세월이 所要된다. 오히려 植物의 生長時期에는 植物體의 蒸發散作用에 의해서 表層土의 건조로서 貯留容量의 增大를 가지오게 될 수도 있다. 夏期에 長期間 無降雨가 계속된 후에는 降雨量의 數十mm 이상의 貯留容量의 增大를 가져온다.¹²⁾

3. 地被物內 流下水에 미치는 영향

地表面이 芝草로서 充分히 被覆되어서는 빗물이 地表面에 도달하지 못하게 되므로 地被物을 따라서 流出하는 水量이 問題가 된다.

이러한 現象을 實測한 것은 아직 發見하지 못하였지만, 차른 밧길을 比달면엔 작고 基礎實驗을 한 결과 降雨強度가 地被物의 量에 比例해서 增大하였으며, 그 最大値는 降雨量의 約 20%에 달하였다.⁹⁾

4. 浸透水量의 增大에 미치는 영향

植生이 繁茂해서 腐植層이 發達되면 地表面의 浸透水量이 增大하게 된다. 一般的으로 地表面에의 浸透水量은 降雨強度가 그 土地의 浸透能(地表面이 물을 浸透시켜 얻는 能力)을 초과할 때에는 地表面 流出을 일으키고, 그 이하의 降雨強度에서는 降雨水는 全部 浸透하게 될 것이다. 그러나 실제로는 낮은 降雨強度에서도 地表面流가 發生되고 降雨強度增大와 함께 浸透量이 증대하는 현상은 직선에 가깝게 나타나고 있다.

그림 4에서 比달면部位에서는 地表面 浸透能이 다르

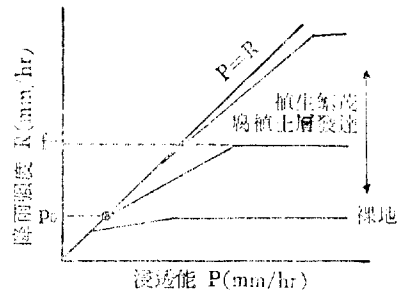


그림 4. 地表面浸透能에 미치는 植生の 영향(모식도)

Fig. 4. Effects of vegetation on infiltration

P_0 : 地表面流가 發生할 때의 浸透能
 f_c : 最終浸透能

기 나타나는데, 이것은 地表面流의 흐름의 版寄等에 기인된다고 생각된다. 다시 강우강도를 증대하면 直線은 橫軸에 平行하게 된다. 地表面流을 일으키는 浸透能(어떤 降雨強度에 대한 地表面의 浸透度合) P_c, P_0 보다 큰 때의 直線의 勾配, 最終浸透能은 植生の 繁茂가 높고 腐植層이 잘 발달된 곳에서는 크게 된다. 一般的으로 이러한 값은 林地)草地)裸地의 關係가 있고, 林地에서의 最終浸透能은 數 100mm/hr, 直線勾配는 0.5 이상인 때가 많다.¹⁰⁾

災害를 浸蝕과 表面崩塌에 국한해 본다면 浸蝕의 主因인 地表面流과 表層崩壞의 中間流의 擧動이 地表面浸透能과 밀접히 關係된다. 表層土 기타의 貯留容量의 問題는 豪雨時間 以前의 無降雨日數와 植物의 生長期 또는 休止期에 따라서 큰 變化가 있다.

植生이 繁茂해서 浸透能이 增大되려는 中間流 地下水의 流量을 增大시킨다. 中間流은 表層崩壞를 일으키는 主因인데 中間流은 堆水로서 空隙水壓을 생기게 한다. 中間流에 의해서 空隙水壓을 생기게 하는 것은 中間流가 比달면 외부에 流出하는 境界條件에 의해서 決定된다. 浸透水가 어느 정도 많아도 그것이 스르스하게 流出되려는 問題는 없게 된다. 中間流의 排出條件은 排水工事を 施行해서 人爲的으로 調節할 수가 있다.

야외 比달면에서는 실제로 植生の 狀態도 多様하고 또 腐植土層의 發達狀況도 매우 多様하므로 이러한 比달면의 물 收支에 關聯하는 各 要因의 作用이 時時刻刻으로 變化하게 된다. 이러한 考察체로서의 植生の 影響은 대단히 複雑하게 나타나서 이러한 분야를 조사할 研究하기가 매우 困難한 것이다. 그러므로 比달면의 安定과 植生과의 關係를 明確히 하고, 또 上述한 比달면의 물 收支面에서 본 植生の 狀況과 土壤條件의 再分類에 關한 研究가 더 進行되어야 할 것이다.

III. 植生被覆狀態가 表面 浸蝕防止에 미치는 영향

비탈면에 있어서 植生被覆이 完成되던 浸蝕은 完全히 防止될 수가 있다. 이것을 實證한 實驗은 그동안 많이 발표되었다. 따라서 비탈면에서의 浸蝕防止對策으로서 는 어떻게 急速히 全面綠化를 할 것인가(急速綠化工法) 全面綠化가 이루어질 때까지 잠정기간 동안 비탈면의 保護를 어떻게 할 것인가, (浸蝕防止劑나 被覆材의 檢討)하는 것이 큰 문제인 것이다.

豪雨에 의한 빗물침식은 砂質土에서 細粒分이 어느 정도 함유되어 있는가(透水係數 $10^{-3}cm/sec$ 程度)라는 문제와 직결된다. 모래는 透水係數가 대단히 커서 빗물이 地表面을 흐르지 못하고, 反面에 粘性土는 粘着力에 의해서 耐蝕性이 높아지게 된다.

砂質土 비탈면에서는 特別히 急速히 全面綠化를 도모할 必要가 있게 된다. 綠化工法으로서 種子뿌어넣이기 공법(그림 5)은 최초로 全面綠化의 工法으로서 채택해야 좋을 것이다. 비탈면에 작은 규모의 裸地部分이 있게 되면 그 個所로부터 浸蝕이 擴大된다. 여름철 雨期에 施工하는 경우에는 強力한 浸蝕防止劑 또는 被覆材를 併用해서 植生에 의한 完全한 被覆이 完成될 때까지 浸蝕을 防止해 줘야 된다.



그림 5. 씨뿌어넣이기工法에 의한 綠化施工
Fig. 5. Vegetation establishment measures by the hydroseedings

砂質土와 같은 硬質의 땅끼기비탈면(시라스, 이석토 등)을 급속히 全面綠化 시키려던 경비도 많이 소요되고 또 技術的으로도 疑問가 되지 않을 수 없게 된다.

一般的으로 硬質비탈면의 綠化工法은 植穴을 파고 客土를 하는 部分綠化工法이 主體가 된다(植生盤, 植生袋의 植生穴工法 등). 비탈면의 문태가 급할 때에는 格子분류工法(그림 6) 등을 기초로 하여 全面에 客土하는 全面綠化工法을 채용해야 될 것이다. 客土層이 充分하지 못하면 特別한 注意가 요구되고 또 비탈면의 浸蝕을 充分히 防止하기 어렵게 된다.

寒冷地에 있어서는 凍上霜柱에 의한 浸蝕被害(soliflu-

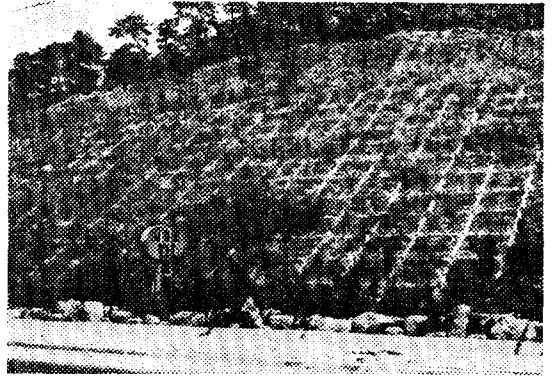


그림 6. 비탈면格子분류분이기工法(基礎)에 의한 綠化施工

Fig. 6. Slope stabilization by the trellis skeleton works

ction)와 融雪期의 浸蝕被害(washing) 등이 큰 문제가 된다. 이러한 피해가 극심한 경우에는 별도로 充分한 植生을 生育시켜서 이러한 피해를 제거해야 될 것이다. 問題는 多期까지 어떻게 越冬할 수 있는 크기에 달한 植物의 生育을 促進시키느냐에 있다.

Kentucky-31 fescue 풀과 같은 大型芝草는 地上部 20cm 이상 자랄 수 있게 된다¹¹⁾. 또 비탈면에 裸地部分이 없도록 全面被覆을 完成해야 된다. 이렇게 하기 위해서는 施工時期를 빨리하고, 硬質비탈면에는 客土層을 두껍게 하고, 또 充分한 施肥를 해서 生長을 促進시켜야 한다. 寒冷度가 높고 夏期의 植物生育期間이 짧은 장소에서는 種子播種에 의한 工法으로는 冬期에 이르기까지 充分한 生長을 기대하기가 곤란하므로 成長한 根 植物을 植栽하는 方法을 채택함이 좋을 것이다.

一般的으로 浸蝕防止의 面에서 보려는 地表面에 密着해서 生育하는 것이 보다 效果의인 것이다. 林地에 있어서는 浸蝕防止效果는 上部의 森林의 構成보다도 A₀層(地表面에 있는 未分解의 落葉落枝層)의 多少에 直接 關係되고, A₀層이 0.8kg/m²(氣乾重量) 이상 있으면 침식방지기능이 우수하다고 보도 된 바 있다.¹³⁾

비탈면에 있어서는 浸蝕防止의 面에서 芝草를 密生 시킴이 좋은데 上部에 樹木과 灌木類가 너무 繁茂하게 되면 下草가 枯死해서 裸地化하게 되므로 浸蝕이 再發될 우려가 생기게 된다.

IV. 植生이 表面崩塌에 미치는 영향

植生과 崩塌와의 關係에 대해서는 고래로 논란이 많이 되고 있다¹¹⁾. 간단히 고찰해 보아도 植生의 根系에 의해서 土層이 強化되는 부라스면과 上述한 바와 같이 植生이 繁茂하게 되면 雨水의 浸透性이 增大해서 비탈면 내부에 물을 供給해 주는 마이너스면이 나타나고 있으나, 現實的인 個個의 비탈면에서는 土層構造나 植

生狀況 등이 매우 多樣하므로 前述한 비탈면의 崩收支 면에서 보인 豪雨發生까지의 降雨前歷도 대단히 크게 영향을 미치므로 植生의 效果를 확인하기가 어려운 점이 있다.

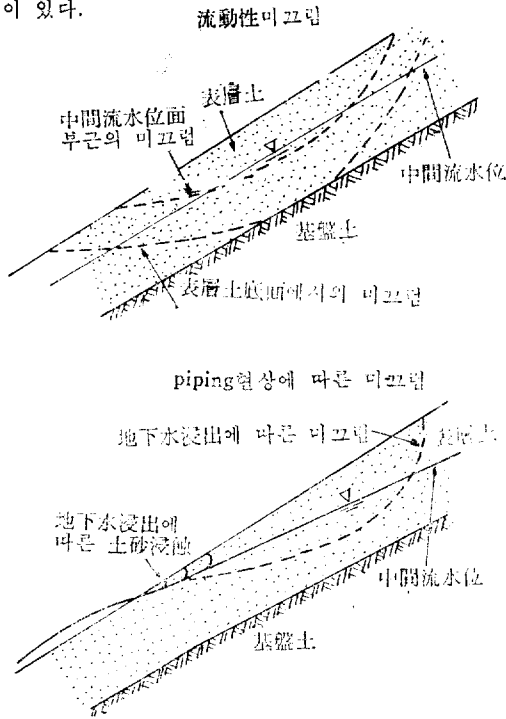


그림 7. 表層崩壞의 分類
Fig. 7. Types of slidings on slope

表層崩壞의 機構를 實驗的으로 다루어 본 연구에서 砂質土의 경우에 두 가지型이 있다고 보고된 바 있다. (그림 7)⁴⁾ 그 하나는 表層土의 密度가 낮은 경우에 雨水의 浸透가 增大되어 表層土中에 空隙水壓을 發生하고 이것은 급격히 上昇한) 대부분 同時에 表層土가 流動的으로 되어 미끄러지는 현상이 나타나게 된다. 이와 같은 流動性미끄럼이 생기는 密度의 限界에 관한 實驗이 많이 있는데,^{4),6)} 砂質土의 경우에 어떤 密度以下(보통 川砂에서는 乾燥密度 1.35程度)에서 飽和하고 급격히 減少된다는 것이 實驗的으로 조사되었다.^{5),7)}

또 하나의 現象은 파이핑(piping) 現象에 의한 崩壞이다. 上述한 限界 密度보다 높은 密度의 경우에는 表層土中에 空隙水壓을 생기게 하던 崩壞가 되고, 中間流의 水位가 次第에 上昇되면 어떤 地點에서 그 水位가 地表面 보다 높게 된다.

이렇게되며는 그 部分으로부터 浸蝕이 일어나서(또는 돌발적인 地下水가 噴出함) 그 뒤에 있는 土塊가 崩壞하게 된다.

이와 같은 現象과 植生의 根系의 역할을 考察해 보

아야 될 것이다. 流動性 미끄럼의인 崩壞에 대해서는 根系가 木목과 같은 作用으로 表層土의 強度를 補強한다고 생각된다.

根系에 의한 剪斷抵抗力의 增加에 對한 研究은 그리 많지 못하다. 遠藤¹⁾의 實驗에서는 根系量의 增大에 따라서 剪斷強度가 增大(그림 8)한다고 하였다.

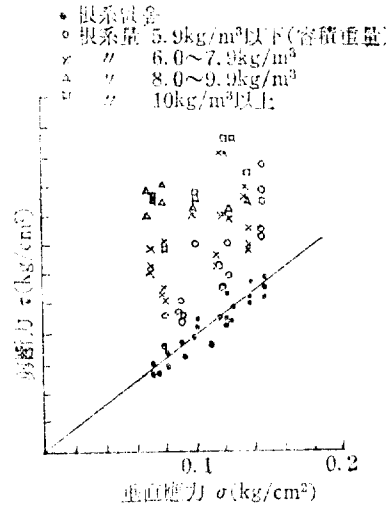


그림 8. 根系에 依한 剪斷強度의 增加
Fig.8. Increase of shearing stress by roots

植生의 存在는 表層土의 性質을 變化시킨다. 植生은 그의 新陳代謝에 의해서 表層土를 프라스틱성으로 軟하게 만들게 된다. 根系의 伸張' 微生物, 小動物의 活潑한 活動 등은 모두 表層을 낮은 密度의 方向으로 變化시킨다. 日本에서의 林地의 A層의 乾燥密度는 0.3~1.2g/cm³의 사이에 있는 경우가 많은데¹⁴⁾ 이것은 土質의인 見地에서 보인 현저한 低密度라고 生覺된다. 皆伐에 依해서 植生이 除去되고 根系가 枯死해서 低密度의 表層土가 낮은 경우에는 表層崩壞가 多數發生된다고 報告 되었다.

또한가치 重要한 것은 表層崩壞의 미끄럼면의 位置와 根系分布와의 關係이다.

即 根系의 作用은 그 總量이 問題가 되기도 하지만 미끄럼면과의 作用상태가 더욱 問題가 된다.

表層땅밀림에서 땅밀림이 일어나는 位置는 實驗에 의해서도 여러가지로 나타난다. 土質工學的으로 間隙水壓의 分布面에서 考察해보면, 表層土의 均기을 均質로 하면 表層土底面이 가장 땅밀림에서 약하게 된다. 그러나 實驗에서는 表層土內의 여러가지 位置에서 미끄러진다. 이것은 實驗土의 境界條件이 影響하는 점이 크고, 表層土中의 地下水面의 位置에서 흙이 飽和하고 剪斷強度가 가장 낮고 그 位置로부터 미끄러지

表 2. 흙의 硬度와 植物根의 生長과의 關係를 고려한 適用工種

Tab. 2. Conserving methods in relation with the soil hardness and root elongations

뿌리의 生長狀態	뿌리의 生長容量								生長可能	生長困難	뿌리의 侵入不可能, 節理에 따라서 地表面을 깬다.
	0	10	15	18	20	23	27	30			
硬度指數(mm)											
支持力(kg/cm ²)		1	2	3	5	10	20	30	50	100	500 ∞
비탈면 狀態				흙다지기 흙성기		컴페크터		다지기기준		固結土	軟岩 硬岩
비탈면 處理	다지기의 必要					섞임이불이기工法			客土가 必要		
適用工種	大面積의 경우					⇒ 섞임이불이기工法			溝切客土, 穴掘客土 併用		
	小面積의 경우					⇒ 植生매트工法 평대이불이기工法			植生穴工法, 植生袋工法 植生盤工法		

시작한다는 說¹⁵⁾이 있다. 한편 野外에서 現實的으로 비탈면의 表層崩壞의 모양을 보면 表層土 底面에서 미끄러지는 事例가 壓倒的으로 많게 나타나고 있다. 이것은 現實的으로 비탈면은 植生이 번무하고 그 根系가 단단하지 않은 表層土中에서 잘 發達해서 表層土中의 미끄럼 形成을 阻止해 준다고 생각된다. 表層土底面에서의 미끄럼發生에 對한 根系의 效果 有無는 表層土아래의 단단한 基盤土에 植生의 根系가 侵入할 수 있느냐 하는 問題와 關係된다.

根系의 侵入이 可能한 土壤의 硬度에 대해서, 芝草類는 一般的으로 山中式土壤硬度計로 測定하여 土壤硬度指數로서 26~27mm를 限度로 하고(土質에 따라서 多少差異가 있음), 樹木類는 이보다 더욱 단단한 흙에도

侵入할 수 있다.²⁾ 現實的으로 비탈면, 自然비탈면에서는 植生이 繁茂하고 여기에 高木의 森林이 있어도 表層土底面으로부터 崩落해서 基盤土의 面이 나타나는 事例가 있으며, 根系가 基盤土에 充分히 侵入할 수 있는 基盤土의 堅固도가 植生의 效果를 左右한다고 生覺된다. 흙의 硬度와 植物根의 生長과의 關係에 따른 適用工種을 보면 表 2와 같다.

그리고 파이핑現象에 起因하는 崩壞와 植生의 關係에 있어서, 그 最初에는 地下水面이 地表面보다 높게 될 때 그 位置에서 浸蝕(이것이 急速히 擴大함)이 일어난다. 地下水가 噴出하는 位置에서 土砂의 移動이 始作될 때에 土粒子의 移動을 阻止할 수 있게 된다. 이 問題에 對하여 小橋¹²⁾가 盛土의 崩壞實驗을 實施한

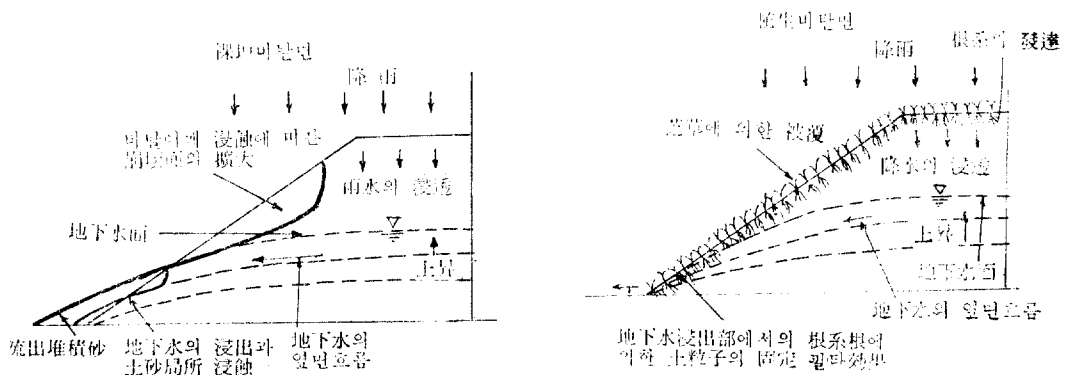


그림 9. 盛土內地下水水位上昇에 의한 비탈면으로부터의 破壞에 대한 植生 被覆의 效果
Fig. 9. Effects of vegetation on slope failures by increasing of ground water table in bank slopes.

바가 있다. (그림 9)

이 實驗에서 砂質土의 흙쌓기 裸地 比탈면과 Weeping love grass가 繁茂한 比탈면이 散水한 崩壞實驗을 수행하였는데, 雨水는 盛土內에 浸透하고 浸透水는 盛土底面(不透水層)에 到達해서 이것이 地下水을 形成하고 그 地下水位는 上昇해서 地下水가 側方으로 흐르고, 盛土 比탈면에서는 地下水의 浸出點附近에서 浸蝕이 일어나고, 地下水位上昇에 따라서 比탈면 先部로부터 浸蝕部分이 擴大한다.

한편 芝草로서 피복된 比탈면에서는 盛土內의 地下水位의 上昇은 裸地와 대체적으로 큰 差異가 없고(砂質土와 같이 浸透性이 좋은 곳에서는 裸地와 植生地의 浸透度의 差異가 적게 된다). 地下水의 浸出도 裸地와 같았으며 土砂浸蝕도 없었으므로 結果적으로 崩壞가 發生되지 아니하였다. 이것은 盛土가 부드러운 砂質土로 되어 있어서 芝草의 根系의 發達이 좋고(根系의 發生은 길이 1m까지 觀察되었음), 그 細根이 網目狀으로 土粒子를 固定하여, 土에 依한 移動을 防止하고, 根系 특히 그 細根이 어과지의 같은 效果를 發揮하게 된다고 하였다.

表層崩壞와 植生の 關係를 定量的으로 명확히 밝히기 위해서는 그 比탈면 高유의 土層構造에서 發生하는 崩壞의 型과 發生機構가 밝혀지지 않으면 아니 될 것이다. 崩壞의 發生은 比탈면의 물收支의 特性과 土層의 굳기에 의해서 特別히 植生이 存在하는 경우에는 比탈면의 물 收支의 特性이 어떻게 變化하고, 根系分布가 土層의 굳기의 增大에 따라서 어떤 형태로 作用하는가를 구명하는 것이 바로 植生の 影響을 正當히 評價하는 것이라고 생각된다.

結 論

比탈면의 安定과 綠化 및 植生과의 關係를 確立적으로 結論지을 수는 없는 것이다. 比탈면의 綠化의 必要性은 주로 環境保全과 景觀保護의 見지에서 取하여지고 있으므로, 綠化가 困難한 比탈면(岩石比탈면과 傾斜比탈면 等)에 대해서도 多額의 經費를 써서 이를 綠化하고 있다.

植生이 比탈면의 물收支에 미치는 影響은 이와 關聯되는 各 要因別로 分析될 수 있다. 植生內 貯留에 있어서는 植生工法에 적용된 도입초류(Kentucky-31 fescue)에서 $S_g=2.740 G_d$ 의 關係가 있었으며, 表層土貯留에 있어서는 森林地 A층에서 $0.2\sim 0.3L/m^2$ 이었다. 地被物內 流下水量에 있어서는 最大로 降雨量의 약 20%까지 測定되었다. 그리고 植生이 繁茂하게 되면 腐

植이 發達해서 地表面의 浸透水量을 增大시킨다.

植生の 防災效果를 現時點에서 綜合히 보면 우선 面狀浸蝕에 의한 被害에 對해서는 대체로 完全한 防止效果를 가지며 比탈면의 浸蝕防止工法으로서는 效果面에서나 經費面에서 뿐만아니라 效果의 永續性에서도 가장 좋은 方法이라고 생각된다.

表層崩壞에 對해서는 아주 여러 면으로 檢査하여야 하며, 언제든지 防止效果를 發揮하는 것은 아니다. 더욱 깊은 位置에 마그넨面을 가진 崩壞에 對해서는 植生の 影響은 더욱 間接的이라고 생각된다.

그러므로 임박적인 比탈면의 設計에 있어서는 安全性을 고려하여 植生の 防災效果는 浸蝕防止에 非定量的인 功을 것이다. 따라서 比탈면을 造成하는 경우에는 植生을 施工하기 전에 比탈면의 充分한 安定性을 確保할 수 있는 工法(比탈면 隆起와 比탈면 形狀, 必要에 따른 排水工事, 기타 崩壞防止工事等)은 채택하지 않으면 아니 될 것이다.

흙쌓기 施工時에는 흙다지기 部分의 더지기를 充分히 完후 植生工을 施工하여 흙다지기 部分의 崩壞를 防止해야 된다. 땅다지기 比탈면에서는 물處理를 잘하지 못하면 植生工을 施工해도 崩壞의 危險度는 감소되지 않게 된다. 그러므로 施工計劃과 植生計劃은 다같이 相互關聯計劃으로 여러되어야 한다.

最近에 와서는 景觀的인 面에서 적극적으로 比탈면에 木本類를 도입하고 있다. 表面浸蝕防止의 見점에서 보면 芝草로서 比탈면을 完全히 被覆하면 充分하며 또 樹木類는 너무 繁茂하게 되면 芝草가 枯死해서 裸地化되어 浸蝕이 再發된다. 景觀上의 見점에서 樹木類를 채택할 때에라도 比탈면에 樹木을 點在하는 정도를해서 芝草에 充分한 陽生을 넣어서 地土被覆을 破壞하지 않도록 해야 된다. 한편 큰 樹木은 바람에 잘 쓰러지거나 큰피해를 끼치고 또 表層土를 느슨하게 만든다. 樹木의 重量은 比탈면의 安定에 마이너스가 되므로 比탈면의 變하는 모양을 감시해야 될 것이다. 그러므로 比탈면에 植生을 도입할 때에는 景觀的인 面, 機能的인 面 그리고 防災的인 面을 總合的으로 검토해서 決定해야 될 것이다.

比탈면의 安定과 植生の 效果에 관한 問題는 今後에도 研究가 계속 진행되어야 할 것이다. 崩壞에 가장 關係가 큰 根系分布와 中間流의 變動에 미치는 植生の 影響에 관한 問題는 一般的인 比탈면 安定의 문제로서의 斜內部の 間接적인 剪斷強度와 空隙水壓을 구하는 일과 마찬가지로 큰 어려움이라 할 수 있다. 그러나 한편 森林生態學이나 森林土壤學 등 部門에서는 生産物의 源으로서 植生構造와 土壤構造에 관한 研究가 活發

히 進行되고 있으므로 이들 資料를 수집해서, 이것을 崩壞에 關聯한 要因의 物理量으로 정리하게되면 또 다시 큰 進전이 이루어 지리라 考察된다.

引用文獻

1. 遠藤, 鶴田: 1968. 樹木の根が土のせん断強さにあたえる作用(第1報), 林試北海道支場年報, 1968年度
2. 北村: 1974. 切土のり面植生に關する 基本的考察, 綠化工技術 2-1
3. 福嶋: 1975. 雨水流出に おける 樹冠層と 森林土壤層の 機能, 第86回 日本林學會大會講演集
4. 小橋, 今井, 草野: 1970. 砂質土斜面の 雨水浸透および 表層流動すべりについて, 鐵研報告 No.737
5. 小橋, 黑澤, 坂崎, 草野: 1974. 斜面の 雨水浸蝕防止の 研究, 鐵研報告 No.886
6. 小橋, 草野: 表層崩壞の 實驗(VI)—地下水水位變動と 土の 強度の 變化—, 新砂防 No.96
7. 小橋: 1976. ノリ面の安定に及ぼす 植生の 影響, 土と基礎 24(2):39-45
8. 高速道路調査會: 1972. 積雪寒冷地におけるのり面保護に 關する 調査研究報告.
9. 村井: 1970. 森林植生による 降水 遮斷に 關する 研究, 林試報告 第232號,
10. 村井, 岩崎: 1975. 林地の水 および 土保全機能に 關する 研究(第1報)— 森林狀態の 差異が 地表流下, 浸透および 浸蝕に及ぼす 影響, 林試報告 第274號.
11. 難波宣士: 1974. かけ崩れに及ぼす 森林の 影響, 地すべ10(3)
12. 新田, 小橋: 1968. 土木工事ののり面保護工, 鹿島出版會
13. 水利科學研究所: 1969. 森林の 公益的機能計量化基礎調査報告書
14. 堤: 1958. 森林土壤の 物理性相互の 關係について (第1報) 容積重と 孔隙量との 關係, 日林誌 40(2)
15. 佐佐木: 1972. 斜面安定解析 I, 新砂防 No.85
16. 禹保命: 1975. 造景綠化砂防에 關한 研究, 韓林誌 No.28:67-96
17. 禹保禹: 1976. 環境保全에 對한 綠化工法의 影響, 水原林學會誌, 第16號
18. 吉田: 1971. 吹付け後の 植生の 推移, 法面植生技術 第2集
19. Adcerfer, R.B. and Merkle, F.G. 1943. The comparative effects of various mulching materials. Soil Sci. Soc. of Ame. Proc., 8:79-86
20. Barnett, A.P. Ellis, G. Diseker, and Richardson, E.C. 1967. Evaluation of mulching methods for erosion control on newly prepared and seeded highway back slopes. Agronomy Journal 59:83-85
21. Gonsior, Michael J., William S. Hartsog, and Glen L. Martin. 1974. Failure surfaces in infinite slopes. USDA For. Ser. Res. Pap. INT-150
22. Hartsog, William S., and Glen L. Martin. 1974. Failure conditions in infinite slopes and the resulting soil pressures. USDA For. Ser. Paper. INT-149