

# 草生水路設計上の留意點

## *Problems in the design of grass waterway*

徐 廷 龍

### Summary

In this country grassed waterway practice has long been employed for the protection of drainage or diversion ditches in treating the sloped forest lands. However, the hydraulic characteristics of flow in the ditches have been entirely away from consideration in determining the dimensions of the ditches.

This paper is intended first to bring forth some problems which should be brought into consideration in designing grassed waterway including hydrologic aspect for determining the drainage requirement, erosion resistance of various grasses and other factors related to the hydraulics of ditch and second to introduce to readers a method of grassed waterway design, though modified, proposed for U.S. Soil Conservation Service practice.

The method presented in the paper was primarily based upon the data originated from the experiments of U.S. Soil Conservation Service laboratories and further investigations on the factors involved are hoped to be conducted for applying the design criteria in this country.

It is recommended to use the method of grassed waterway design presented in this paper from the view point of wide employment of grass lining on ditches which is obtainable at the lower cost and in abundance every where in this country.

### I. 序 言(Introduction)

水路에 繁殖하는 풀같은 植物은 水流에 相當한 亂流現象을 일으키며, Energy 損失 및 流水減速의 原因이 된다. 然이나 水路의 勾配가 甚하거나 水量이 集中되면 水路內의 土壤이 洗堀 當하여 漸次 擴大되어 下流地域에 沈澱을 가져오게 된다. 이것을 防止하기 爲하여 水路의 Lining이 必要하게 되며 가장 經濟的으로 目的을 達成할수 있는 것이 草生水路이다. 灌溉用水路 或은 排水路 其他 承水路等 水路에 잔디 Lining을 하므로서 잔디가 水路自體를 安定시켜 水路 底面의 土壤을 堅固히 하며 水路面의 浸蝕 및 底面に 따르는 土粒子의 移動을 阻止할수가 있다. 水路 Lining에 가장 經濟的이고 容易한것으로서 美國 農地保

存局(U.S. Soil Conservation Service)에서는 各種 草生水路에 對한 一連의 實驗을 하고 있으며 現在 UNKUP 安城川 및 東津江의 試驗地區에서 實地로 草生水路를 設計實施하여 훌륭한 成果를 거두고 있다.

### II. 草生水路(Grass waterway)

草生水路를 設計하려면 于先먼저 流出量의 計算이 必要하다. 流出量에 對하여는 一般水路나 其他 野溪工事같은 設計에서 알려진 限界流出量을 알면 된다. 限界流出量(Critical runoff)을 最大流出量으로 取함은 水路의 安定을 期하는데 있다.

限界流出量에 影響을 주는 要因으로는 降雨의 強度, 期間, 頻度, 流域의 크기와 形態, 地勢,

土壤, 浸蝕의 程度 植生의 種類와 分布狀態 및 氣象條件等이다. 이들 要因들이 降雨와 流域의 特徵을 나타내고 있다.

### Ⅲ. 限界流出量의 決定(Determination of critical runoff)

#### (A) 農耕地에 있어 滯溜湛水를 考慮하였을 境遇의 計算法 (可知貫一著農業水利學)

從來 農耕地의 排水 計劃에 있어 一般의 方法으로 採用되는 方法으로서 一般式은

$$Q = \frac{A \cdot R_n \cdot C \cdot 10,000}{T \cdot 3,600} \text{ (lit/sec)}$$

여기서

A: 流域面積(ha)

C: 流出率

$R_n$ : n時間 最大雨量(mm)

T: 排除時間(hr)로서 C,  $R_n$ , 및 T의 값은 다음과 같은 基準에 따라 決定할수 있다.

(1) 傾斜진 畚 或은 田으로서 階段狀態를 하고 面積이 50ha 以上인 境遇:

$$n=4, T=4, c=0.4 \sim 0.7$$

(2) 一般의 畚 或은 田으로서 面積이 50ha 以上인 境遇:

$$n=24, T=24, c=0.5 \sim 0.8$$

(3) (2)의 境遇보다 傾斜는 緩하나 流域面積이 50ha 以內인 것은 (2)의 境遇에 準한다.

(4) 平坦한 畚으로서 面積이 100ha 以內인 境遇:  $n=24, T=24, c=0.5 \sim 0.8$

(5) (4)와 같은 條件으로 面積이 500ha 內外인 境遇:  $n=24, T=24, c=0.4 \sim 0.6$

(6) (4) 및 (5)와 같은 平坦한 畚으로서 面積이 100ha 以上인 境遇:

$$n=24, T=48, c=0.6 \sim 0.8$$

(7) 平坦한 田으로서 面積이 100ha 以內이고 表土가 깊은 土地:

$$n=24, T=48, c=0.4 \sim 0.6$$

(8) 平坦한 田으로서 가볍고 허술한 表土로 되어 있어 吸收滲透가 旺盛한 洪積地로 面積 100ha 以上인 境遇, 火山性 山麓 或은 多少 勾配가 있어도 傾斜面의 等高線과 並行한 方向으로 되어 或은 傾斜面排水路가 同方向으로 發達되어

있을時:

$$n=24, T=72, c=0.4 \sim 0.6$$

#### (B) 合理式에 依한 計算法

本方法은 遲滯現象을 一段 無視하고 集水時間에 相當한 繼續降雨가 流域全般에 均하여 最大流出量이 生기는 것으로서 이때의 流量을 算出하는 方法이다.

이때는 降雨의 強度를 基準함으로 計劃의 對象으로 하려는 降雨強度(一般으로 第三位程度의 強度의 降雨를 採擇)公式이 必要하다.

強度公式은  $i = \frac{a}{b+t}$  或은  $i = at^{-b}$ 의 形式으로 表示되며 이것은 t分間에 降下한 雨量을 한 時間程度로 換算하여  $i^m$ 로 表示한 것이다.

只今 流域의 最遠點 M에 降下한 降雨가  $t_1$ 分後에 水路로 流入하여 다시  $t_2$ 分後에 計劃地點 P까지 流下하는 것으로 보면 地表流速을  $V_1$  m/sec 距離를  $L_1$  m, 水路內 流速을  $V_2$  m/sec, 그리고 距離를  $L_2$  m라 할때  $t_1 = \frac{L_1}{V_1} \times 60$ (分) 그리고

$$t_2 = \frac{L_2}{V_2} \times 60 \text{ (分)} \text{ 이므로, } t = t_1 + t_2 \text{ 後에는 全流域에 降下한 雨水가 P地點에 到達하는것이 된다.}$$

그러므로 繼續時間이 t分인 最大降雨가 最大流出量을 主게되므로 이 값은 i와 流域面積 A 및 流出率 C를 乘하여 最大流出量  $Q = CiA$ 로 주어진다.

例로서

$$V_1 = 0.25 \text{ m/sec} = 15 \text{ m/min}, L_1 = 75 \text{ m}$$

$$V_2 = 1.2 \text{ m/sec} = 72 \text{ m/min}, L_2 = 1,500 \text{ m}$$

$$A = 30 \text{ ha}, C = 0.5 \text{ 로}$$

$$\text{降雨強度 公式 } i = \frac{5,000}{40+t} \text{ 이라하면}$$

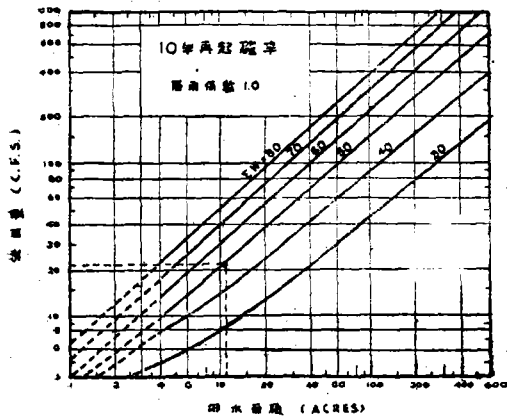
$$t = t_1 + t_2 = \frac{L_1}{V_1} + \frac{L_2}{V_2} = 25.8 \text{ 임으로}$$

이것을 i式에 代入하면

$$i = \frac{5,000}{40+25.8} = 76 \text{ mm/hr} = 0.076 \text{ m/hr}$$

$$\therefore Q = \frac{30 \times 10,000 \times 0.076 \times 0.5}{60 \times 60} = 3,165 \text{ m}^3/\text{sec}$$

以上의 方法은 降雨의 流集 遲滯現象을 無視한 것이다. 流域이 넓고 地形이 複雜한 境遇에는 對象으로 하는 強度의 降雨 繼續時間이 流速時間보다 짧을 때에 所謂 遲滯現象이 生기며, 그러므로 流量量은 此 計算보다 적어진다. 이降



雨 強度의 分布도 同一하지 않으므로 넓은 流域일 時는 全流域에 對한 平均強度를 생각하여 割引할 必要가 있다.

遲滯現象을 考慮하여 正確한 計算을 하기 爲 해서는 圖解法에 依하지만 元來 流出係數와 같은 不正確한 因子가 더러 있으므로 精密한 計算을 하여도 結果의 誤差가 大端한 뜻이 없다 고 본다. 여기서 注意를 要하는 것은 流出係數이다. 降水中, 蒸發, 滲透, 滯溜 或은 植物이나 落葉 이나 那落葉의 堆積等에 吸收된 殘餘水가 流出 되어 排水의 對象으로 되는 것인데, 此 流出量 의 全降水量에 對한 것이 流出係數이다. 流出係

數는 一般의 地形, 土壤의 性質, 地被狀態等 에 依하여 定하는 常數로 利用되고 있는데 實際 로는 降雨強度, 雨量, 繼續時間等의 降雨性質에 依하여 變化된다. 또 長時日에 河川이나 溜地에 流入하는 물에는 한번 滲透하고 다시 滲出하는 地下水까지 包含하고 있으며, 短時間의 純粹한 地表流出水만을 對象으로한 排水計劃을 한 境遇 의 流出量과는 性質이 다른 것으로서 前者의 것이 一般의 으로 큰 値를 取하며 때로는 100%를 超過한 觀測까지도 있다. 故로 既存 流出係數를 利用하여 計劃할 境遇에는 其 利用範圍의 條件 이나 係數作成當時에 實施한 實驗方法等을 잘 吟 味하여 誤用하지 않도록 하여야한다. 現在로서 此等 事項에 對하여 滿足하여 출만한 資料는 없 고 다만 技術者의 推定에 依하여 降雨의 性質과 는 無關係로 地表나 土壤狀態에 따라 一定한 係 數를 假定하여 利用하고 있는 것이다.

此 流出係數에 直接 比例하여 施設의 크기가 決定되는 것임으로 重要한 工事に 對하여서는 Concrete配合이나, 既述한 地下水勾配의 問題等 과 同樣으로 實地 現地의 諸條件에 對하여 實 測하여 決定하지 않으면 안된다. 流出係數로서 是 大端히 많아서 各各 다른 數字가 使用되고 있 으며 다음과 같은 一例를 들수있다.

地 質	不 滲 透 質			普 通			滲 透 質		
	急 峻	斜 面	平 地	急 峻	斜 面	平 地	急 峻	斜 面	平 地
密 林	60	55	45	55	45	35	45	35	25
耕 地 疎 林	75	65	55	65	55	45	55	45	35
草 地	85	75	65	75	65	55	65	55	45
不毛의 岩石地	90	80	70	80	70	60	70	60	50

流出係數가 地表面의 狀態(常數 m로表示)와 同時에 降雨強度(i耗/時) 降雨繼續時間(t分)에 依하여 變化하는것을 表示한 實驗式으로 다음과 같은 것이있으나, 現在 그다지 많이 利用되어 있 지않으며, 如斯한 簡單한 形으로 表示할수 있는 것인가가 疑問視 된다.

$C = m(it)^{\frac{1}{2}}$  或은  $(it)^{\frac{1}{2}}$  또 降雨量에 따라 變化 하는 例의 實驗結果로서 다음과 같은 것이있다.

此方法은 現在 美國農地保存局(U. S. Soil Conservation service)에서 小流域에 對하여 表 1 및 2에서 보는 바와같이 使用하고있다. 美國에

流域 狀態	雨 量			
	100mm	75mm	62mm	50mm
乾燥한 流域	30~40	20內外	15內外	10內外
濕潤한 流域	70~80	50內外	43內外	34內外

서는 流出量係數를 表 1에서 볼수있는것과 같이 나아가지 狀態로서 推算하고있다. 傾斜度, 滲透 性植生, 地表滯溜이다.

例로서

排水面積 6에카(Acre)耕作地

5 " 牧野地計 11에카(Acre)

일시表 1에서

傾斜 (平均 勾配 8%)	17
滲透 (平均 殖土)	10
植生 (作物收穫地 10%) (牧野地 5%)	
$\frac{(6 \times 10) + (5 \times 5)}{11} \dots\dots\dots 8$	

地表貯溜(排水溝가 잘되어 있음) 15  
 計 W 50  
 表 2에서 流出量이 22 cfs  
 가되는것을 알수있게 된다.

#### IV. 減速係數(Retardance Coefficient)

草生水路에 對한 Manning의 粗度係數(Roughness Coefficient)는 特히 減速係數로서 알려져있다. 美國農地保存局의 研究에 依하면 한種類의 풀(草)에 對한 manning의 n는 흐름의 水深, 水路의 形狀 및 勾配에 따라 크게 變化한다는것을 알게되었다. 따라서 n의 設計值를 選定한다는 것은 거이 不可能한것 같이 生覺되지만 多幸히 減速係數 n는 平均流速 V와 徑深 R의 積과의 사이에 一定한 關係를 갖는다는 것이 發見되었다. 이關係는 植物의 特性을 表示하는 것으로서 事實上 水路의 勾配나 形狀에는 無關하다. 그러므로 植物의 減速程度에 따라 極大, 大, 中, 小, 極小 等의 5段階로 分離하여 植物의 種類와 生育狀態에 따라 差를 實際 實驗曲線으로 表示하고 있으나 여기 其曲線表를 發表치 못하고 다음機會로 謄고저한다.

單只 다음 表에서 보는바와 같이 草生에 依한 減速程度의 選定基準에 茂盛이란 말은 풀(草)의

草生에 依한 減速程度의 選定基準

茂 盛	풀의 平均長(in單位)	減 速 程 度
良 好	> 30	極 大
	11~24	大
	6~10	中
	2~6	小
普 通	< 2	極 小
	> 30	大
	11~24	中
	6~10	小
	2~6	小
	< 2	極 小

密度 或은 群數를 表示하는것으로서,  $f, f^2$ 當 本數로 表示할때도있다.

#### V. 許容流速(Permissible)

草生水路의 許容流速은 相當 長時間에 亘하여 水路에 큰 浸蝕을 일으키지 않는 流速으로서 풀의 種類 水路勾配 및 土質狀態에 따라 다르다.

草生水路에서의 最大許容流速은 大別하여 다음과 같이 區別할수있다.

下 位	1.2m~1.3m/sec
中 位	1.4m~1.8m/sec
上 位	1.9m~2.4m/sec

#### VI. 풀(草)의 選定

##### (Selection of grasses)

水路 Lining에 使用되는 풀(草)의 選定은 植物이 所定의 條件下에 죽지않고 生育되어야 한다는點으로 주로 氣候와 土質에 左右되는데, 水理學的觀點으로는 安定性 其他要素도 考慮되어야 한다. 大體로 流量이 많으며 傾斜가 急한 水路에서는 強한 良質의 Lining이 必要하다 美國에서는 여러 草種을 試驗하여 data를 만들어내고있으나 우리로서는 草生水路는 只今 段階로서는 잔디떼로 Lining하는것으로 始作하여 漸進的으로 草種試驗을 하여서 水分이 많은 即 排水가 不良한 土質 같은데에도 茂盛할수있는 풀을 發見해 내야 하겠다.

#### VII. 水路의 形態

##### (Shape of waterway)

草生水路의 斷面은 梯形, 拋物線形, 三角形等의 水路形이 있으며, 어느形態의 水路를 擇하느냐에 對하여는 水路의 位置나 使用되는 機械나, 工事費와의 關係等으로서 選擇될것이다. 大體로 梯形水路를 많이 擇하는 便이나 掃流力(tractive force)關係로 理想의은 아니다. 掃流力에 對한 理想形으로서는 拋物線形이 좋으며 보다더 좋은 것이 半月形이 될것이다.

여기 同斷面積을 가진 水路에 對한 同勾配下에서의 流速의 變化를 試驗한 結果가 別表 3과 같이 表示된다.

#### VIII. 設計法(Design Procedure)

水路 Lining을하는 풀(草)의 種類가 選定되면

草丈이나 密集狀態로부터 減速程度가 決定된다. 于先 풀이 充分히 자라서 Lining 이 完成될 때까지는 풀의 成長 期間임으로 水路는 減速程度 小의 狀態로 생각되어 最大의 通水容量에 未達할 것이다. 따라서 草生水路의 水理設計는 다음 두가지 段階로 부터 되는것으로 말할수있다. 即 第1段階는 水路의 安定性에 關한 設計로서 작은 減速程度의 條件下에 水路의 크기를 決定한다.

第2段階는 最大의 通水容量에 對하여 設計를 檢討하는 것으로서 大減速程度의 條件下에 最大의 通水容量으로 되는데 必要한 水深의 增加量을 決定한다.

設計의 順序를 記述하면 먼저

1. 流域面積, 降雨量, 降雨時間, 流出率을 決定하여 極大流出量을 算出한다.
2. 水路斷面과 水深을 假定하여 動水半徑(R)을 求한다.
3. Manning 公式에 依하여 流速(V)을 計算하되 許容流速 以內로 決定한다.
4. 通水量은  $Q=A \cdot V$  임으로 極大流出量과 對照하여 適否를 決定한다. 萬若 通水量에 過不足이 生길時는 適當한 數字가 生길때까지 計算한다.

### IX. 草生水路의 維持管理(Maintenance of grass waterway)

(表 1)

流域의 狀態	流出量에 影響을 주는 諸條件			
	100 極上	75 上	50 普通(中)	25 下
平均 傾斜	(40) 急傾斜, 險惡한 岩層 平均勾配 30%以上	(30) 丘陵 平均勾配 10-30%	(20) 起伏한 土地 平均勾配 5-10%	(10) 比較的 平坦한 土地 平均勾配 0-5%
滲透性	(20) 事實上 表土層이 없는 岩이나 硬土로서 滲透性이  낮은 土壤	(15) 滲透가 느린 土壤 粘土나 透水性이 낮은 土壤	(10) 普通土壤 두꺼운 殖土層	(5) 滲透性이 넓은 土壤 두꺼운 土砂層이나 滲透性이 좋은 土壤
植生	(20) 植生이 거의 없는 裸地 或은 疎生狀態	(15) 植生이 若干있는 田이나 植生이 적은 土壤 全流域의 10%未滿이 植生되어 있는 狀態	(10) 若干 良好程度 流域의 5%程度가 草地나 林野地	(5) 良好 全流域의 90%가 草地나 林野地
地 表 貯 溜	(20) 無視할 程度 地表面에 若干의 얇은 低地, 排水溝가 急하며 非池沼	(15) 下 排水溝가 잘 되어있음 非池沼	(10) 普通 地表面貯溜가 相當한것 廣活한 平野地에서와 같은 排水狀態流域의 2% 未滿의 池沼가있음	(5) 上 地表面貯溜가 많음. 排水溝가 分明치않음. 廣活한 洪水氾濫地域이나 池沼가 많은곳

草生水路는 維持管理를 게을리 하여서는 안된다. 萬若 水路가 浸蝕 當하면 補修하거나 Seeding 을 하여서 補完하여야 한다. 풀(草)이 生長하면 베어주며, 때가 죽는 곳에 對하여는 原因을 究明하여 土質에 原因이있나 或은 排水不良에서 오는 原因인가 或은 含鹽量이 많아서 인가 等等의 原因調査를 하여 對策을 樹立講究 하여야 한다. 水路의 Lining 은 水路의 浸蝕을 防止함이 가장 重要한 目的인바에야 水路의 維持管理를 疎忽히함으로서 오는 被害가 없도록 하여야 하겠다.

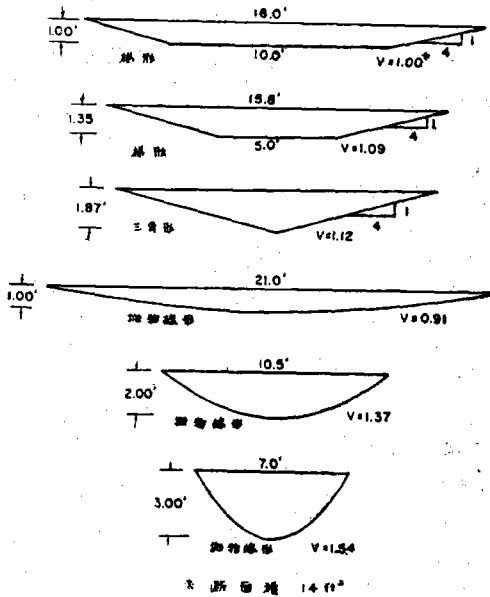
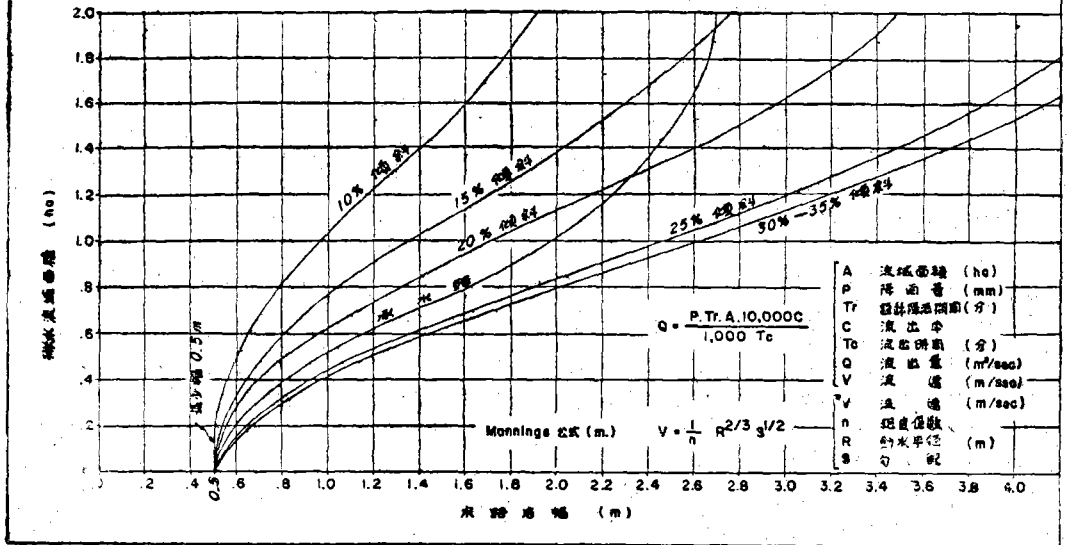
여기 階段式開墾(Bench terrace)에 있어 實地로 小流域에 對한 草生水路의 斷面決定 基準를 만들어 小面積의 開墾時에 適用토록 하여 現場 技術者의 參考에 供하고자 한다.

排水路設計에서 考慮되어야 할 重要點으로서

1. 排水面積
2. 設計降雨強度
3. 水路內許容水深
4. 排水路의 平均勾配
5. 草生水路의 掃流抵抗力 등이 있으며 이 모든點은 排水路의 適正斷面을 決定하는데, 基準이 될 것이다.

여기서 排水面積과 排水路의 勾配는 境遇에 따라 다르며 設計降雨強度는 10年再起確率을 갖는 10分間의 降雨로서 15mm를 採擇하였으며, 水

### 階段式開切排水路の水路断面見圖



路内の許容水深は最大 20cm 制限하였다. 集水量の計算은 全排水面積에 對하여 同時流出로 假定하였으며 水路内の平均流速은 Manning 公式에 依한 等流로 假定하였다. 水路内の最大流速 即 許容流速은 草生狀態에 따라 前述한바

#### 參考文獻

1. GLENN O SCHWAB and others;  
manual of soil & water conservation engineering
2. VEN TE CHOW:  
open-channel hydraulics

(筆者 Unkup)

와같이 決定할수 있으나 여기서는 安全을 보아 1.3m/sec 를 採擇하였다.

前述한 基準에 따라 計算한 排水路의 底巾은 排水面積과 排水路의 勾配가 相異한 여러가지 境遇에 對하여 圖表에 보이것과 같다. 여기서 水路形이 梯形이며, 最小幅을 50cm 로 한것은 餘裕 있게 安全을 보아서 그런것이며, 잔디메가 잘活着되어 生長하면 水路底面이 堅固하여 저서 往 往 農道로도 使用할수 있게끔한것이다.

#### X. 結論(Conclusion)

美國같은 先進國에서는 草生水路에 對한 研究 實驗을 繼續하며 實驗 data 를 만들어 내며 一般에 實施를 普及하고있는 實情인바 우리나라에 도 晚時之恨이 있지만 積極研究하고 實施하여야 할것으로 思料된다. 特히 우리나라가 現在 當面한 開墾事業 7 年計劃遂行에 있어 急傾斜의 排水路나 承水路等에 許容範圍內的 與件下에서 可能限 木材나 石材나 其他 水路保護用材料를 使用하질 말고 工事費가 低廉한 草生水路를 設計實施하며 여러實驗 data 를 作成하여서 一般的으로 草生水路에 對한 認識을 새로히 하였으면하는 마음 懇切하다.