

登録番号  
参照番号

4305

ODC分類	4	森林の被害と保護	
	3	森林火災	
質問内容	山火事防止について（隣接地からの延焼防止策）		
プロジェクト	南スラウエシ治山造林計画		
地域：国名	東南アジア	：インドネシア	
キーワード	森林火災 防火林 防火帯 防火線 急傾斜地 防火対策		
参考文献			
質問者	伊藤多一	回答者	梁瀬秀雄

## 個別技術情報支援のための質問書

1994年1月24日

プロジェクト名 南スラウェシ治山計画プロジェクト

専門家名 伊藤 多一

質問技術テーマ： 山火事防止について（隣接地からの延焼防止策）

### 1. 質問技術テーマの具体的背景、及びそのプロジェクト活動の中での位置付け

プロジェクトサイト外草成地の火入れの貫き火から、1991年度・1993年度と二度もプロジェクト内造林地の下草が焼かれ、造林木枯損の原因となった。当地一帯は草原地帯であって放牧地（過放牧状態）であり、乾期の終わり頃には牛馬に与える草地の新芽を期待した住民自ら下草に火を付ける風習がある。

プロジェクトサイト内では、啓蒙も進んだ現在、植栽済の林内に直接火を入れる者はいないが、プロジェクトサイト外からの貫き火の危機は毎年生じている。

### 2. 質問の具体的内容

乾期の終わり頃に茶色と化した枯れ草が燃え広がるのは、乾燥した林内では恐ろしく速い。下草が燃え広がって行くだけで大径木に燃え移ることはないが、幼令林に火が入れば、幼令木の葉が焼かれ枯損に至ってしまう。

今のところ防火線を設け（幅10M）地かきにより表土をはぎ取っているが、表土のはぎ取り時期により必ずしも完璧とは言い難い。

しかしながら一部箇所に石積み（高さ1M）を行ったところ、山火事跡の調査で隣接地からは火が入らず、サイト内に延焼してしまった火からの延焼であることがわかった。

今後の対策として、危険箇所に万里の長城よろしく石積みを更に張りめぐらしてみること検討しているが、長距離にわたることはかなりの困難も伴う。

### 3. 期待する回答の範囲

熱帯に於ける山火事防止対策の対処方法として、一般的にどんな方法がありどの様に実施しているのか、その効果も合わせご教示願いたい。

質問のキーワード： 山火事防止

希望資料名：

希望指導委員名：

## 熱帯における山火事防止対策

山火事防止対策の基本的な考えは可燃物の除去である。特に低木林地では可燃性のものが多いため、一度火が出ると広範囲に燃え広がる可能性が高く、防火のための適切な管理が必要である。一般的には植生の除去、防火性樹種または草種等への林種転換・防火林帯、植被を取り除いた防火帯または道路の設置などの作業を行い、林地の細分化を図ることが重要である。いうまでもなく山火事防止対策は先ず火を出さない、火を出したら、最小範囲に止めることが肝要で、それには山火事防止対策に対する地域住民の意識を向上させることは不可欠である。先進国と言われている日本においてもタバコの火など人為的な原因による出火が圧倒的であり、熱帯における生活に直結していると思われる火入れを行う土地利用形態では、経済的に生活水準を高めるような政策をとるなどして生活基盤を改善しない限り、山火事の発生防止対策は大変困難である。したがって、火入れの対象となる地域に対する地域住民が直接利益が得られるような生産緑地帯（バナナ、パイン等のように下草の生えない果樹園、収量の高い畑そして家畜放牧により制御可能な草地）を設けて管理させる方式をとり、地域住民が共同で山火事防止対策に取り組むことができるような状況作りが是非必要と思われる。

以下は山火事延焼防止対策に対する吉武 孝森林災害研究室長（森林総合研究所）からのコメントである。

### 1. 住民に対する山火事防止教育の徹底

- ① 度重なる火入れによる草の生産量低下
- ② 水源の枯渇など山火事による森林消失の弊害についての普及啓蒙活動

### 2. 造林地の防火対策

- ① 林道の設置、既存林道の延長（周辺の草地との境界に林道を設置）
- ② 防火帯の設置（植生の除去、石積み、水田、パイン畑・バナナ畑等の設置）
- ③ 防災林帯の設置（アカシアマンギューム等の早生樹種による林帯の設置）
- ④ 防火用水の設置（ドラム缶、バケツ等）。盗難防止対策が必要。

### 3. 消火体制の確立

- ① 火の見櫓の設置（乾期のみ）。見張りの常駐。
- ② 火災発生時の地元住民への協力参加賃金の支払い。

また、別紙資料として①林野火災ハンドブック、②林地と住宅地の接近に伴う林野火災対策のコピーを添付しますので参考にしてください。

# 林野火災ハンドブック

で、これに斜行する降筋の風襲側の位置はよい、防火線の位置と幅員の事例を  
 図 47 に示す。

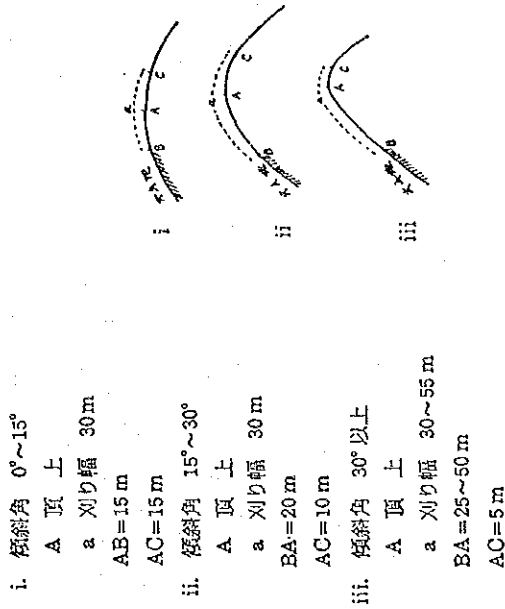


図 47 防火線の位置と幅員

## (3) 防火線の幅

正確な基準はないが防火線の幅としては樹高の約二倍以上草丈の十倍以上か  
 或いは幅員 10メートル以上を原則としている。

北海道の国有林では幅が 10~20メートルと 60~120メートルの二種がある  
 が、後者には防火樹帯を併設してある。刈払幅も 10~20メートルを必要とす  
 る。

## (4) 防火線の種類

大別すると火災の危険性の高いところに予じお作って置く固定防火線と、火  
 災が起きてこれの延焼を防止するため、火先の前方に作る臨時防火線の二種類  
 がある。また構造上から区分すると、土塁防火線、溝渠防火線、植樹防火線、  
 伐間防火線、斜取防火線、掘起防火線、焼切防火線、耕作防火線に分類され

## 4. 防火線

### (1) 防火線の機能

防火線とは林内または森林の外圍に設ける空間地帯で、これによって延焼は  
 阻止され、ここで自然鎮火したりする。また消火の拠点としたり消火活動の道  
 路として利用する。防火線は地震火に対し、とくに風上、風横の延焼を阻止す  
 るのに大きい効果がある。しかし樹冠火を防止するには相当大きな幅を必要と  
 する。とくに林内防火線の方向が火災時の風向と一致しているときには、かえ  
 って延焼を助長することがある。

### (2) 防火線の位置

防火線を設置するには地況、林況、気象条件を考慮して位置を決定するが、  
 一般には境界線、森林区画線、林道、河川、石礫地尾根などを利用することが  
 多い、とくに森林火災を拡大する危険風向は夫々の場所ではほぼ定まっているの

表 54. (その 1) 防 火 線 新 設

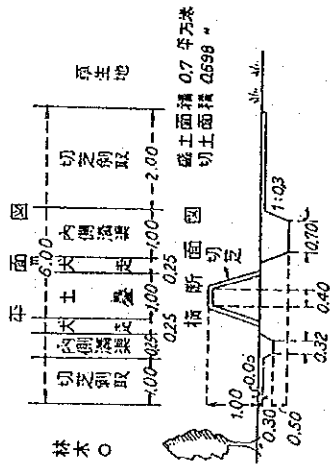
局名	東京	
作業の種類	刈払い・伐倒 片づけ・溝作設	
傾斜	21°	
足場	8~40°	
種業	良	
林種	皆用	
樹種	人工林	
本数	アカマツ 10	90
林齢	112	1,127
胸高直径 (cm)	10	32
樹高 (m)	4~26	6
雑草木、林木	100㎡	17.5 束
立木	10~35 束	
防火線	100㎡	6.4 本
幅	0~20 m	
溝	15m 深	上幅 下幅 39×29×3.4
観測時間	252	
労働時間	128	
余裕時間	380	
率	34	
480分換算労働時間	4.91	
労働平均RMR	343	
換算労働時間	137	
計	480	
平均出力	△作業 100㎡ 18束	B作業 8cm 5本/100㎡
均出程	28.7 30.9 33.2	2.5 2.6 2.6
功条	28.7 30.9 33.2	10.9 11.8 12.7
程上中下		
位置		
器具		
作業方法	(1)	(2)
		(3)

(1) A作業防火線内の雑草木の刈払い林木を切り倒し林地へ運び片づける。  
 (2) 林地付近の林木を林地をよけて伐倒し、そのまま片づける。  
 (3) 幅深さとも30cmの溝を掘り、土を2m幅にまき散らす。

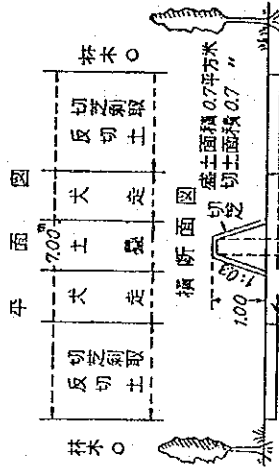
る。このほか森林の周囲にあるものを主防火線または林内(林縁)防火線といい、林内に設けられたものを副防火線または林内防火線と呼び区分している。

(5) 防火線の構築

防火線を構築する場合は、一応の基準と作業要領を述べ



(内側築堤)



(中央築堤)

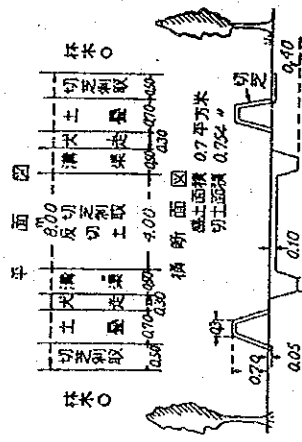


図 48 土塁防火線

(7) 土塁防火線(図 48 参照)

固定防火線の代表的なもので構築の為に多くの資材と労力を必要とするが効果は絶大なものをもっている。図 48 に三種の土塁防火線の例を示した。

また防火線作業の標準工程表(昭和45年度東京林局管内実施)を表 54 に示した。

(1) 伐開防火線(図 49)

防火線内の立木を伐倒し、灌木、笹、荊棘類の刈払いを行なうなどして、区内の可燃物を整理除去して構築する

表 54. (その2)  
防火線修繕

局名	東	東	京
作業の種類	刈払い		
足場	良	ヤ	90
植生	カ	カ	10
草丈	その他 10		
100㎡当り束数	30~120		
防火線の幅	10.7		
隣接地	7.9~18.8		
観測突動時間	12m		
" 余裕時間	左ヒノキ22年		
" 勤務時間	左カヤ採草地		
" 余裕率	194		
" 実働平均RMR	171		
480分換算実働時間	365		
" 余裕時間	47		
計	4.97		
平均単功	359		
功	121		
程	480		

表 54. (その3)  
防火線修繕功程要  
(雑草木の刈払)

100㎡当り束数	主作業時間(分)	ha当り所要人工数		
		上	中	下
6	18.10	4.31	5.22	6.13
7	18.86	4.70	5.44	6.18
8	19.63	5.07	5.66	6.25
9	20.40	5.34	5.88	6.34
10	21.17	5.75	6.11	6.46
11	21.93	5.98	6.33	6.67
12	22.70	6.13	6.55	6.96
13	23.47	6.23	6.77	7.31
14	24.24	6.30	6.99	7.68
15	25.00	6.36	7.21	8.06
1日主作業時間 346.66分				

表 54. (その4)  
防火線新設功程表  
(1) A作業(刈払い・伐倒み片付)

100㎡当り束数	主作業時間(分)	ha当り所要人工数		
		上	中	下
10	62.61	16.40	20.88	24.34
12	70.71	19.75	23.02	26.29
14	78.81	22.96	25.66	28.36
16	86.92	25.98	28.30	30.62
18	95.02	28.70	30.94	33.17
20	103.12	31.10	33.57	36.05
22	111.22	33.25	36.21	39.17
24	119.33	35.26	38.85	42.44
26	127.43	37.18	41.49	45.80
28	135.53	39.05	44.13	49.20
30	143.64	40.90	46.76	52.63
32	151.74	42.72	49.40	56.08
34	159.84	44.53	52.04	59.55
1日当り主作業時間 307.15分				

表 54. (その5)  
B作業(伐倒片付)

胸径 cm	功程	1本当り主作業時間(分)	ha当り所要人工数			
			5	10	15	20
4	上	0.5934	0.97	1.93	2.90	3.86
	中	0.7521	1.22	2.45	3.67	4.90
	下	0.9108	1.46	2.97	4.45	5.93
8	上	1.5571	2.53	5.07	7.60	10.14
	中	1.5699	2.56	5.11	7.67	10.22
	下	1.5827	2.58	5.15	7.73	10.31
12	上	2.2369	3.64	7.28	10.92	14.57
	中	2.3877	3.89	7.77	11.66	15.55
	下	2.5385	4.13	8.26	12.40	16.58
16	上	2.9007	4.72	9.44	14.17	18.89
	中	3.2055	5.22	10.44	15.65	20.87
	下	3.5103	5.71	11.43	17.14	22.86
20	上	3.5642	5.80	11.60	17.41	23.21
	中	4.0233	6.55	13.10	19.65	26.20
	下	4.4824	7.30	14.59	21.89	29.19
1日当り主作業時間 307.15分						

(3) 溝作設

項目	功程		
	上	中	下
1m当り主作業時間(分)	5.6709	6.1491	6.6272
1ha当り所要人工数(人)	10.88	11.80	12.71
1人1日当り出来高(m)	52.4	56.5	61.3

① 1ha当り溝作設長さ 666.7m  
② 1日当り主作業時間 347.52分

(4) 使用例

掘り作業	条	件	ha当り人工数	摘	要
A 作業	100㎡当り	16条	28.30人	(1) 表より	
B 作業	" 4cm	5本	1.22	(2) 表より	
溝作設	ha当り延長	600m	2.56	"	
計			30.85	50±56.5 (1日出來高)	
			40.93		

が、作業は鋸、斧、鎌、鉋などのほかチェーンソー・ブッシュクローナーを利用して効率を計る。位置は応急的に設けるため稜線に沿った背斜面あるいは路線・溪線沿いに作るほか、地形地物を利用すると有利である。

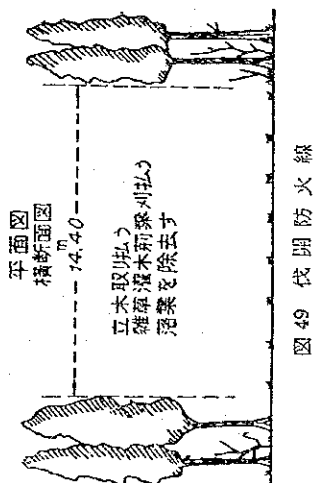


図 49 伐開防火線

(ウ) 刈取防火線 (図 50) は、防火線内の灌木雑草などの地被物を刈払い除去した後、表土を刈取り作業線外に捨てて構築する作業は伐開作業に使用した器具のほか、唐鋸、チェーンソー、スロップ等は便利である。通常原野に接する林間・伐採地などに設けるものでとくに地表火および地中火に対し有効である。

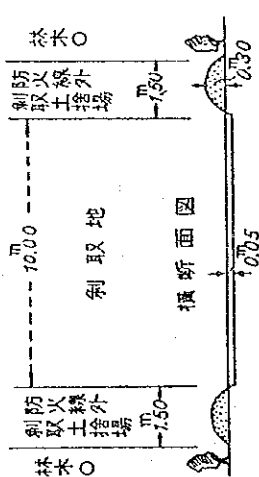


図 50 刈取防火線 (播防火線はこれに準ず)

(エ) 掻起防火線 (図 51) 作業は表土を露出する程度に地表可燃物を除去するもので主として仕、老令林分の林内か林縁に作るものである。

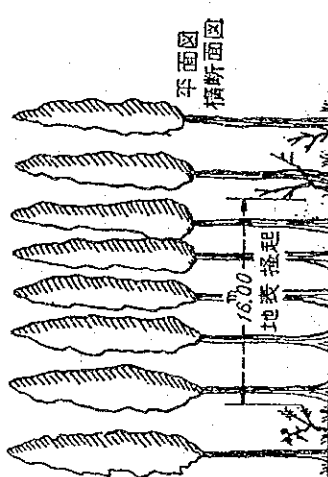


図 51 林内地表掻起防火線

地表火に効果が大きく、他の防火線に比べ作業が容易である。機材は、鉋、鎌、唐鋸または熊手を使用する。

(オ) 溝渠防火線 (図 52)

地形、地物を利用して、線内の地表を削取り、スコップ、唐鋸、鋤、鶴嘴などをを用いて掘土または積土して一定の幅員を掘起して作る地中火に対し効力が大きく、地表火にも相当有効であるが、樹冠火を抑制する効力は少ない。

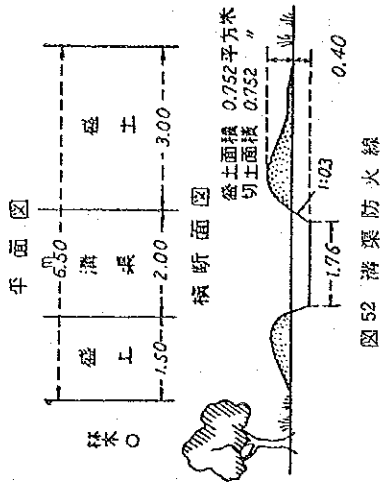


図 52 溝渠防火線

(カ) 焼切防火線 (図 53, 54)

伐開・掻起など他の防火線と併設する場が多い。拠点としては路線溪線等を利用するか通常林間へ設ける。地表火に対し効力が大きく作業はきわめて容易である。焼切りは風下の拠点から徐々に幅員を拡大するように行ない、急速に幅員を拡大すると往々危険を招くほか作業は全く天候に支配され失火のおそれも多いので適切な判断と指導がとくに必要である。

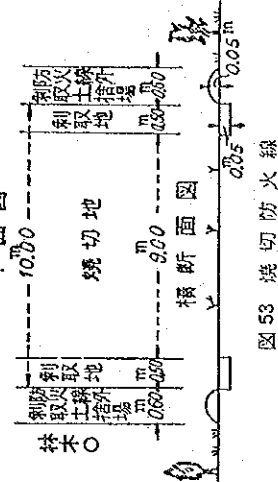


図 53 焼切防火線

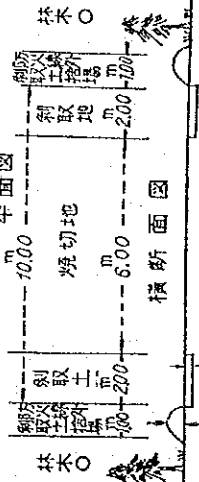


図 54 刈取焼切防火線

(キ) 耕作防火線 (図 55) 防火線内を開墾して、落類・白色クローバー・青刈大豆・蕎麥等を栽培して防火線を効率的に利用する方法で維持管

理がたいへんに楽である。

(6) 防火線の手入れ

固定防火線及び防火拠点となる路線、緩線などについては火災季に先だって防火線上の雑草、灌木などの可燃物を刈り払うか、焼き払って手入れを十分にしておく必要がある。維持管理の悪い防火線はその効果を發揮することができなないのはもちろん危険を倍加する。

このほか付近の風倒木、枯損木を整理、除去し、できうれば1メートル幅以上の掘り起しをしておくことよい。

5. 防火林 (防火樹帯)

防火林は林野火災の延焼を防ぐ目的で、固定防火線とほぼ同じ位置に道路、鉄道などに沿った部分や、火災延焼のおそれのある方向に防火樹を植栽した林帯をいう。

(1) 防火樹帯の種類

防火樹帯の種類と基準型を

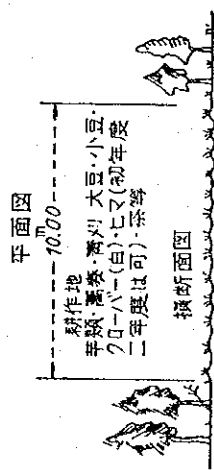


図 55 耕作防火線

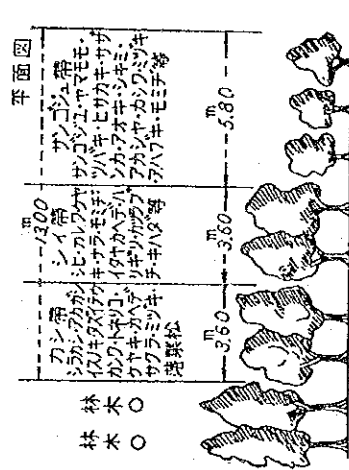


図 56 植樹防火線

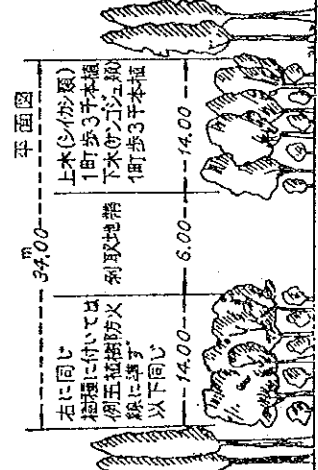


図 57 防火樹帯 (その1) 基準型防火樹帯

図 56~59 に、防火線と防火樹帯を併用した総合防火線の例を図 60 に示し、図 61 は神戸菅林帯、図 62 は高萩菅林帯管内にある防火樹帯の構造をのせた。

(2) 防火樹の種類

防火樹帯に使用される樹木で適当なものとしては、その地方に適した樹種のうちで火に包まれても炎を出しにくく、多くの水蒸気を出して炭化し、まき縮むような常緑の広葉樹は最適で、とくに防火樹が林業の対象となる林木であことが望ましい。燃えたと炎を出しやすい樹種は不適である。本州では、サンゴジ

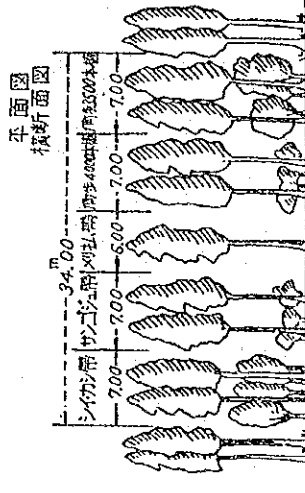


図 58 防火樹帯 (注 防火樹帯内上木は1町歩750本に間伐疎開す)

(その2) 下木植樹防火樹帯

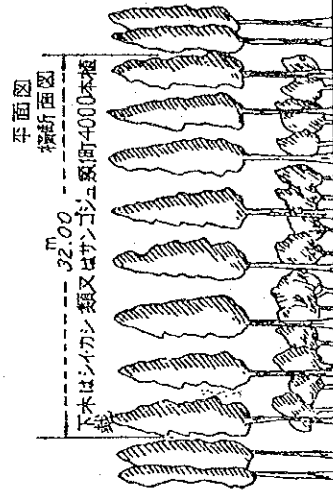


図 59 防火樹帯 (注 防火樹帯内上木は1町歩750本に間伐疎開す)

(その3) 下木単層防火樹帯

海産樹種では、カラマツ、アカエゾマツ、ヒハハシドイ、イチエウ、アカシヤ、イヌガヤ、ニズリハハが優秀である。(各種の樹葉の発火点は前掲第1編、第2節の表 21 を参照)

以上で主な防火線の構築作業要領を述べたが、実際の火災に対してはその規模、環境条件などを適確に判断して、地形、地物、気象などを利用した消火拠点の選定と強力な資材を投入して防火線の構築作業を開始し、早急な延焼防止



の対策を図らなければならぬ。とくに最近では強力な機械力の導入を図り、作業効率を倍加することが必要である。

## 第4節 法令等による規制

林野火災の出火原因の大部分がたばこ、たき火、火入れ等の人為的なものであることから、林野火災の起こり易い気象状態が続く期間などに財産的価値の高い森林や人家、文化財等に延焼する危険のある地域などを重点に喫煙、たき火等の行為を制限することは、出火防止にとって効果的である。しかし、これらは、一般に許されている行為を制限禁止するものであるから、これらを強制的に行なうためには法律（地方公共団体の条例を含む。）に根拠がなければならぬ。このため、消防法等に火の使用制限等に関する規定が設けられている。

なお、林野への立入り自体を制限する行政法規はないが、森林所有者がその所有権に基づいて、自己の所有林の出入りを制限することは、もちろん可能であり、国有林、公有林等で入林規制を行なって相当の効果も挙げている事例がある。

本節は、火災の予防および警戒に必要な法令等による規制について述べる。

### 1. 火の使用の制限

火の使用の制限に関する根拠法規としては、消防法第22条第4項および第23条、森林法第21条から第23条までなどがある。

#### (1) 消防法にもとづくもの

消防法第22条第4項は、火災警報発令中の火の使用制限に関する規定である。

#### 第22条

4 前頁の規定による警報が発せられたときは、警報が解除されるまでの間、その市町村の区域内に在る者は、市町村条例で定める火の使用の制限に従わなければならない。

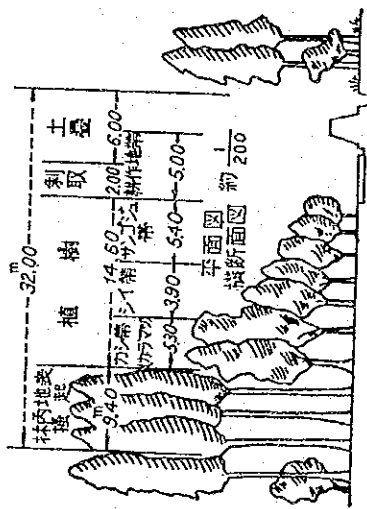


図60 総合防火線

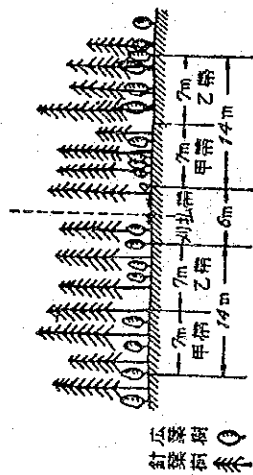


図61 防火樹帯

第1級防火樹帯 (幅員 34m)  
10m当り植栽本数 (甲帯 140本  
乙帯 50本 40本)

第2級防火樹帯 (幅員 32m)  
路傍防火樹帯 (幅員 34m) 第1級に同じ

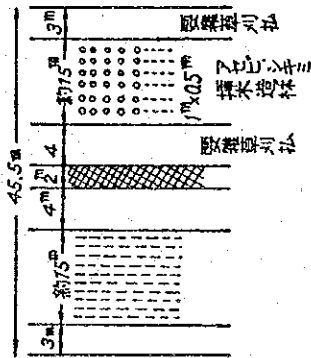


図62 防火樹帯

# 林地と住宅地の接近に伴う林野火災対策

吉

武

孝

# 林地と住宅地の接近に伴う林野火災対策

吉 武 孝

## はじめに

茨城県日立市で平成二年三月七日に発生した林野火災は、林地を住宅地として開発造成した、新興住宅地域への延焼事例としてまだ記憶に新しい。この林野火災は、最近の都市近郊林での住宅地開発における防災対策のあり方に貴重な教訓を残したものである。

## 一 林野火災が住宅へ延焼した事例

我が国で林野火災が住宅へ延焼した事例は多く、規模の大きいものでは昭和三十六年五月二十九日の三陸大火（焼損家

屋一、〇六二棟）、昭和五十八年四月二十七日の東北大規模林野火災（焼損建築物一四七棟）等において、林野火災が住宅に延焼して大きな被害が発生している。

後者の場合異常乾燥下で強風が吹き、同じ日に多数の地点で火災が発生し、被災地域の市町村の住民は大混乱となったものである。当時テレビや新聞で大きく報道され、林野火災の恐ろしさが全国に伝えられたはずであるが、未だに、林野火災は年間三千件以上も発生している。

## 二 管理不足の森林は燃えやすい

最近の我が国の林業経営は、安価な外材に押されて国産材

の材価が低迷し続けているため、極めて厳しい状況下にある。さらに、三Kの職業として若い労働者に敬遠されるため、山は深刻な労働力不足に陥っており、自守と手入れ不足の森林が増加している。

管理不足の森林で特に林野火災の面から危険性の高いものは、マックイムシの被害を受けて放置されたマツ林である。マックイムシの被害林は、立ち枯れたマツの下に、枯れ枝、落葉が堆積し、かつ、ススキ、シダ、ササ等の燃えやすい植

生が繁殖しており、一旦火が着くと激しく燃焼する恐れがある。また最近ではスギ材が売れないために、間伐手遅れや枝打ちされないスギ林も多い。スギの枯れ枝や枯葉は油脂成分に富んでいて燃えやすいため、枝打ちが行われないと地表火（地表の落葉・落枝や枯れた草本、あるいは生きた草本、厚木類等が燃えるもので、林野火災の中では最も多く発生する。）が、容易に樹幹火（樹木の幹が燃えるもの）や樹冠火（樹木の樹冠・枝葉が燃焼するもので、大部分は地表火から燃え移る。）へと移行しやすい。さらに、管理が不十分で林縁が蔽のままに林内に可燃物のゴミが不法に投棄される場合があり、林野火災予防上、好ましくない。

## 三 森林配置と住宅への延焼事例

一般的には、斜面の上方から上方へ火災が延焼するときは逆の下り火のときより延焼速度が早く、しかも炎の高さが高くなるため、樹冠火になり易い。このことは斜面林を住宅地として開発する際の林野火災対策上考慮すべき基礎知識のひとつである。図1は日立市の林野火災で住宅七棟が全焼した西成沢地区の、森林と住宅地の位置関係を示している。火災の延焼方向は、北西から南東方向であった。図中の番号1の六戸と4の五戸は延焼を免れ、2の五戸及び3の二戸が全焼した。2の全焼家屋の北西側はスギの壮輪林の斜面となっていて、全焼したスギ林から吹き上げる上り火の直撃を受ける位置にあった。2で延焼を免れた右隣の住宅は、当日家人が飛火で延焼した芝生や庭木に放水して住宅への延焼を防いだ



図1 森林配置と住宅への延焼事例

生が繁殖しており、一旦火が着くと激しく燃焼する恐れがある。また最近ではスギ材が売れないために、間伐手遅れや枝打ちされないスギ林も多い。スギの枯れ枝や枯葉は油脂成分に富

家である。この家と燃えたスギ林の間には低い土手があったこと、この家が切取り部分の造成地に建てられていたため、火災の進行方向からすると下り火に当たる位置にあった。これと同じことは4の非焼住宅5戸（切取り造成地で下り火斜面）についてもいえる。

当日、停電のためこの地区の防火水槽が使用不可能となったにもかかわらず、地元住民の消火作業（バケツ、洗面器等使用）で住宅への延焼を防止できたことは、少なくとも森林と住宅の微妙な位置関係が幸いしていたと考えられる。3の二戸の全焼住宅は当日家人が不在で飛火による延焼であった。1の六戸は四方を森林に囲まれていたにもかかわらず、無事であった。これは、当時消火活動を積極的に行った地区であるが、火災の進行方向からは下り火の斜面に位置していたこと、また、住宅とスギ林の間に道路、空き地、畑があったため、対岸の2の高台のように上り火の猛烈な直撃を受けずすんだものと推定される。この日立市の例のように、都市周辺部の林地に虫食い状に開発造成されている住宅地は、その造成の仕方、林地との位置次第では林野火災発生時に極めて危険な状況になりかねない。

#### 四 林野火災予防のための法的強化

近年の全国的な都市周辺部の急速かつ多様な市街地化は、

各地方自治体が作成する地域防災計画立案に際して、より詳細で複雑な作業を強いている。従来の林野火災の防止対策においては、森林そのものの保全が主たる目的であったため、林地における施設として有効な防火線等の配備を実施するにあたって、関係する法律の主なもの、災害対策基本法、森林法、及び消防法等である。しかし、都市化が進んで林地と市街地が入り乱れるようになると、都市計画法も関係するであろう。これらの法律を改善することで、市街地とそれに隣接する森林区域を含めた防火対策が構築されると思われる。

新興の住宅地造成に際して、法的に防火林道や消防水利の設置などの防火対策を義務づけることや既設住宅地の防火施設等の増設に関わる法律の改善が望まれる。

#### 五 管理不足の森林の防火対策

国産材の価格の低減と林業労働力の強制的な不足は、林業経営者の経営意欲を低下させ火災危険度の高い人工林を徐々に増加させている。しかし、そのような背景まで、雇用負担の援助もなく、山林所有者側に林野火災の予防のために、山の防火管理を徹底せよと言っただけではいかぬと思う。林業経営そのものが極めて困難しているとき、山林所有者が公益的機能の発揮のための投資を行う余力は乏しいと言える。

そこで、国や地方自治体は住宅地に隣接した林地において

防火帯としての機能を備えた林道や防火水槽の設置、あるいは住宅地と林地の境界に防火樹林帯を造成するなどの事業を推進して、山林所有者に負担がかからないようにする必要がある。日立市の場合、被災地の住民が自主的に防火運動に参加するようになったそうであるが、本来、災害に対してはこうした地域住民の積極的な協力があってこそ、市町村の防火対策も生きて来る。都市周辺の不在者地主の管理不十分の山林の手入れをその地域の住民のボランティアによって行うとい

う試みが一部で行われているが、このような組織づくりがさらに全国的に拡大することを期待する。

#### 六 防火緩衝帯の設置

林野火災から住宅への延焼を防ぐために、住宅地周囲に防火を兼ねた道路を設置することは極めて有効と思われるが、さらに安全性を高めるために、林地と住宅地の境界域に広い空間（菜園、公園等）を防火緩衝帯として設ける方法がある。

例えば図2-1(1)、(2)のように、帯状の質実菜園を住宅地の周囲の山林に設置し、新興住宅地の住民に貸し出しを行い、その菜園の借地料で山林所有者は森林管理を地元の森林組合に委託するという方法が考えられる。

#### 七 欧州の防火対策事例

日本の林野火災に対する予防、防火体制は外国に比べて劣るものではないと思われるが、最近の都市化の進行に伴う林野火災の危険度の高まる中、共通する背景を持つ他国の林野火災対策事情を知っておくことも今後の防火対策を考える上

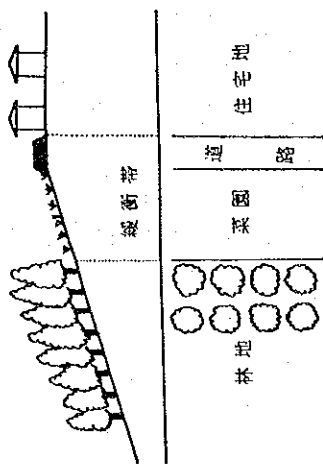


図 2-1(1) 緩衝帯設置例

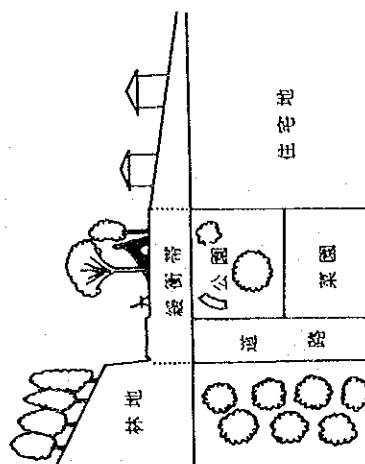


図 2-1(2) 緩衝帯設置例

が必要である。

ヨーロッパの地中海沿岸諸国は、我が国の瀬戸内海沿岸地方と同じく、降雨量が少ないため林野火災が起り易いところである。この地方は樹高が二―三mの低木林で構成される森林が多く、しかも近年我が国同様、都市周辺部の森林が急速に開発されており、林野火災が住宅へ延焼する被害が少ない。

フランス

フランスの地中海沿岸地方では、都市周辺部の森林が都市化されるたびに、林野火災が増加すると言われている。この地方の主たる防火対策は、低木林の管理を徹底することである。

林野火災の延焼を止めるために、植被を取り除いた防火帯を設置するほか、下層植生の除去が行われている。一部ではあるが除草剤を使用して植被を制御しているところもあるが、環境への影響を考慮してあまりに使われていない。他に火入れによって林内の燃料をあらかじめ燃やすこともある。また、下層植生の制御のため、羊を林内に放牧することは興味ある方法である。

住宅地域と森林が接している地域では、二〇m以上の防火帯を設けるとか、五〇―一〇〇mの刈刈区を設けている。防

のために、ウシ、ヒツジ、ブタ等を林間放牧する。③林道、防火林道の整備を行う。④防火帯を設置する。

これらの方策が地域防災計画に盛り込まれていると、行政府がその費用を負担することになっている。しかし、政府の資金は十分ではないようである。しかも、行政関係者の関心は火災予防よりも消防技術の開発の方にあり、多くの予算が航空機使用による消火、監視技術と赤外線火災探知システム等の開発に使われている自治体もある。また無秩序な土地開発を防ぐため、林野火災跡地における建築と土地利用の変更を禁じる法律もある。

ギリシャ

ギリシャでは土地所有権に関わる訴訟や牧畜業、政治的争い等に起因する放火が絶えず、マスメディアを導いた防火キャンペーンの効果もあがらない状況にある。

林野火災防止のための基本的な考え方は、可燃物である植生(低木林)の管理(植生の除去、防火性樹種あるいは草本等への林種転換、防火帯による林地の細分化)である。

植生の除去はフランス同様にヤキの放牧や火入れによって行われるほか、恒久的に植生を取り除くために除草剤等の化学薬品が使用される場合がある。また伐採された林木は薪炭材やチップ原料として利用されている。

火帯は火災発生時に消防車等の侵入路として使えるものが推奨されている。また、防火戦略上、地形区分による防火線設置場所の選定が行われ、各市町村、県単位の森林防火計画に生かされている。

住民に対する消防訓練と火災予防の啓蒙が林野火災防止に大いに貢献すると考えられているところは、我が国と同じである。

イタリア

イタリアでは一九九〇年に異常乾燥のため一四、四七七件の火災が発生して、九八、〇〇〇haの森林が焼失している。

イタリアの森林の所有区分は、民有林六六%、公有林二七%、国有林七%で、民有林の割合が多い。我が国同様の林業不況下にある現在、山村から都市部への人口流出が増加しており、民有林の労働者不足による管理不足が深刻化している。林内の可燃物の集積は管理不足の森林で進み、また、道路事情の悪さ、消防労働力の減少等が林野火災の危険性を大きくしている。反面、森林地域まで拡大した都市化により、林野火災が住宅地域へ延焼する危険性は我が国同様高まっている。

林野火災予防のため、下記のことを法制化している。

- ①火災の危険の高い、気温が高く乾燥した気候下では、炎を上げにくい植生への転換を行う。
- ②林地の下層植生の制御

都市化の進んだ地域では林地と住宅地の境界に防火線や広い緑地帯を設定して、林野火災から住宅地を隔離する必要があると指摘されている。

おわりに

我が国の林野火災原因のほとんどは人為的なものである。今後国民の一人ひとりが林野火災の予防に注意を払うように、防火に関する啓蒙活動をさらに推進していく必要がある。

(森林総合研究所・森林火災研究室)

参考文献

- ① Jacques Bourrinet (ed.) Wildland Fire and the Low 一九九二
- ② 小池政樹 林野火災被害とその対策、林業技術、No四九八 一九八三
- ③ NHK盛岡放送局編 久慈大火(災害現場からの報告) 一九八三
- ④ 坂本尚司 林野火災と気象、林業技術、No四九八 一九八三

TECHNICAL NOTE NO. 15

ANALYSIS OF THE EXISTING STATE OF FIRE OCCURRENCE

RP-Japan Technical Cooperation Project  
for Forestry Development in the Pantabangan Area

## ANALYSIS OF THE EXISTING STATE OF FIRE OCCURRENCE

### I. INTRODUCTION

Once a forest is destroyed, it will take a long time and a great deal of funds to restore it and it leads to national loss.

Recently, fire is the greatest cause of forest destruction in the Philippines. According to the Annual Report on Forest and Forestry (BFD, 1984), 50% of the forest area destroyed in 1981 was caused by forest fire. Similarly, 48% and 97% of forest area were destroyed by fire in 1982 and 1983, respectively.

Forest fire prevention holds a very important part in protecting the forest from destruction. The RP-Japan Project cannot be an exception, therefore, it has faced fire prevention as the most principal subject to maintain the established plantation after it starts. This area is under the dangerous climate for fire due to long dry season covering six months (November to April). In addition to that, the local people have been conditioned in using fire as traditional and daily custom for kaingin, grazing, hunting, cleaning paddy fields and bush and so on. Especially from February to April, burning is done everyday and everywhere as very often as no day that smoke cannot be seen which exposed the established plantation is to the danger of fire.

In this situation, an analysis of the existing state of fire occurrence was conducted to get useful information for improving the countermeasures in fire prevention.

### II. TRANSITION OF FIRE OCCURRENCE

The situation of fire occurrence in the Project is shown in Table 1. Usually, fire occurs in the dry season and concen-

trates from January to May, though there is a little difference every year. Since fire occurs during the dry season, its occurrence is directly related to the intensity of the dry season in those days.

Figure 1 shows the relation between the fire occurrence and rainfall and rainy day, which are considered to indicate intensity of the dry season.

With regards to annual rainfall, fire occurrence is generally inversely proportional, except in 1982, wherein the annual rainfall is low but the dry season has short duration due to the early rains in April and late rains in the previous year (1981). For rainfall and rainy day during the dry season, which is November (in the previous year) to April, fire occurrence is also inversely proportional, except in 1985. But in 1983, the most number of fire occurrence was experienced due to severe dry season and lack of rain.

The year with much rainfall is the one when it begins to rain earlier or it rains late. Therefore, the intensity of the dry season of that year or next year is strongly affected and it has significant effect on fire prevention.

Table I.

FIRE OCCURRENCE BY YEAR

YEAR	PLANTATION		NO PLANTATION		TOTAL	
	Occurrence	Area Burnt (has.)	Occurrence	Area Burnt (has.)	Occurrence	Area Burnt (has.)
1978	1	30	3	83	4	113
1979	4	16	17	393	21	409
1980	6	288	3	205	9	493
1981	8	94	6	403	14	497
1982	2	65	10	600	12	665
1983	19	726	16	1,161	35	1,887
1984	4	103	14	424	18	527
1985	16	65	18	269	34	334
TOTAL	60	1,387	87	3,538	147	4,925



### III. ANALYSIS

The existing state of fire occurrence was analyzed based from the data for 3 years, from 1983 to 1985. The results are the following:

#### 1. Temperature, relative humidity and fire occurrence.

The analysis was based on the relationship of the fire occurrence, temperature and relative humidity during the actual fire. However, the relationship could not be specified. This seems to be a natural matter because dry season in this area has always high temperature and low humidity and the ground surface is always under inflammable state due to dried grass. That is why fire occurrence is considered to have a severe relation with intensity of the dry season rather than the weather condition during the actual fire. However, the wind speed during the actual fire is a factor to determine whether the fire becomes bigger.

#### 2. Fire Occurrence Time

Figure 2 shows the number of fire by occurrence time. In 1983, as fire occurred at night time, it is impossible to specify the occurrence time. However, taking into account that the year was under abnormal situation which many suspicious fires occurred as compared to a normal year, most of the fire occurred at daytime and many occurred in the morning unexpectedly. In 1984 more than 40% of the total number occurred in the morning. In 1983, big scale of fire occurred two times in the morning of a strong windy day. Special attention should be paid on strong windy day as fire might become bigger. And also many fires occurred at night (20% of the whole number) and considering the difficulty of suppression activity at night time, it is better to enforce night time patrol and the like.

With regards to the burnt area, majority of the burns were in the afternoon wherein almost 80% of the burnt area

resulted in 1984 and 1985 except in 1983. It shows that fire occurrence increases in the afternoon in which temperature rises and wind gets strong and also its scale becomes bigger.

### 3. Fire Occurrence By Month

Figure 3 shows fire occurrence state by month. Usually, fire occurs from January to June. During the months of November and December, it is not under the circumstances that fire occurs because undergrass is not dried up and it is not inflammable. In this area, the temperature is lowest in January that undergrass becomes inflammable. After February, the temperature increases gradually and becomes highest in May. Besides, almost no rainfall occurs from January to March and it is only after April or May when it begins to rain (Figure 4). Therefore, it can be said generally that the months of January to April is the most dangerous time for fire. However, as the time of rainy season varies every year, fire occurs many times even in June with severe dry season like in 1982-1983 and 1984-1985, fire occurs even at the beginning of June when undergrass already began to grow.

Considering these matters, it can be stated that January to June will be the duration needed to guard this area against fire and especially, January to April as the most dangerous time for fire.

### 4. Fire Occurrence by Parcel

In every Parcel, fire commonly occurs as shown in Table 2 and close to the community. Most fires occurred in Parcel I, followed by Parcel II-A and Parcel II-B. Least five occurred in Parcel III located farthest to the community. It may be natural since almost all fires are caused by artificial act.

With regards to the burnt area, Parcel II-B gained the most per one case (Table 2), followed by Parcel I and Parcel II-A, and Parcel III, inspite of inconvenient place for fire fighting activities due to long distance from the office is considered as the least in the burnt area, as well as the burnt area

per one case. It may be due to the reason that many natural forests exist in that area and they perform effectively in forest fire prevention and extension work.

Table 2.

NUMBER OF FIRE BY PARCEL

PARCEL	NO. OF FIRE				BURNT AREA (HA.)			
	1983	1984	1985	Total	1983	1984	1985	TOTAL
I	12	3	12	27	(50)	(3)	(12)	762
II-A	10	6	8	24	(13)	(34)	(6)	388
II-B	9	3	8	20	(124)	(71)	(12)	1,435
III	4	6	6	16	(11)	(17)	(4)	163
TOTAL	35	18	34	87	(54)	(29)	(9)	2,748

NOTICE: The figure in parenthesis is the area burnt per one case of fire.

5. Fire Occurrence by Block

Figure 5 shows the frequency of fire occurrence by block for 3 years, 1983-1985. Most fires occurred in Block 84, followed by Block 86 and 57. These blocks have high probability of fire occurrence because they occupy vantage ground for the local people to go in and out due to being close to the community and border on the private land.

Many fires occurred in every Block of Parcel I and II-A with almost same frequency compared to other Parcels. Fire occurrence in Parcel II-B is concentrated in Block 84 and 86. Least fires occurred in Parcel III but they commonly occurred in every Block (except a portion). Since the cause of fire varies, like not only accident but intention, it is difficult to determine the fire danger zone precisely, but it will be possible to take countermeasure emphasizing on the danger zone

which is concluded to a certain extent by considering the topography, fuel loading, wind direction during the dry season and other factors that renders it a fire hazard area.

## 6. Fire Occurrence Causes

With regard to the causes of fire occurrence, investigation was conducted every time the fire occurred, however, it is difficult for many cases to specify because there is time lag between the fire occurrence time and the arrival time of fire fighters and in most cases, the fire occurred in grasslands. However, there are some definite causes like accident from clearing paddy fields and bush and also there are some cases judged as intentional fire based on the surrounding situation. On the hand, it is a traditional and social custom for local people to use fire for grazing, hunting, clearing paddy field and bush and so on in this area, therefore, it is supposed that many cases originated from these fires. Above all, it is presumed that most of the cases are caused by grazing and hunting based on the fire occurrence spots.

## 7. Characteristics of Fire

- a. Ground surface fire occurs in this area wherein undergrass burns and extinguishes itself when it reaches the natural forest occurring in strips along the creek or in spots.
- b. Even if fire is ground surface fire, the intensity of flame become strong depending upon the kind of grass, volume size, and fire coming from lower spot towards the upper spot in slope has a strong force. These cases of fire make suppression difficult and sometimes flying sparks can be seen depending upon the wind speed and may cause spotting.
- c. Since fire is a ground surface fire, the spread rate varies depending on the wind force and direction of actual fire.

- d. The existing forest roads (4 m. wide) are effective fire-break but there are some cases that they don't function as firebreak depending upon the burning direction wind force and type of fuel.

#### IV. CONSIDERATION OF FIRE PREVENTION

The countermeasures for fire prevention having been promoted so far by the Project can be divided into four items; prevention measure, organization of fire fighters, arrangement of equipments and enlightenment of the local people. After establishment of the Project, these matters have been faced as preferential scheme and carried forwards while improving in succession. Since there are some problems, including financial matter, actually, these cannot be a complete countermeasure and then it needs to be progressed by improvement as far as possible in necessity. To support the claim, the following are the matters which needs to be attended to for fire prevention considering the results of the above analysis.

##### 1. Flexible Correspondence to Organization of Firefighters

The intensity of the dry season gives strong effect to fire occurrence and it is different according to year. Moreover, in the dry season, it is possible to conclude the most dangerous term for fire. Therefore, it is not advisable to secure personnel for fire prevention fixedly. Depending on the intensity of dry season and the most dangerous time (or month), it is efficient to correspond by forming the organization of fire fighter through state of rainfall, the weather forecast and so on, and according to its prediction, an operational plan in necessary to be made flexibly like increase or decrease the number of personnel according to year and most dangerous time (or month). As it is undesirable to vary the number of personnel every time by employment, it is advisable to adjust it by diverting internal personnel. In short, it is very important for the Project to close with fire prevention in the fire danger term by rolling into one.

## 2. Fire Prevention Emphasized on Fire Danger Zone

The fire occurrence covers a wide area, but the danger zone in speciality can be specified by the fire records. It is advisable to devise proper countermeasures against fire according to extent of danger in the zone. Therefore, the following are useful:

### 1) Prevention Measure

- a. Planting of fire resistant species. Fire resistant species like Yemane (Gmelina arborea) and Teak (Tectona grandis) should be planted and at the same time it is effective to arouse the local people's interest in planting fruit trees.
- b. Establishment of Greenbelt. Greenbelt should be established at the time of firebreak construction. It will be economical to prevent fire by greenbelt in the future.
- c. Construction of Reservoir for Firefighters. The most effective means for fire extinguishing is by the use of water, therefore, damping-up a creek is useful to make a reservoir for fire suppression. In this case, it is important to mark the site to confirm easily from along distance.

### 2) Stationing of Fire Fighting Crew

It is principles in fire fighting activity to suppress fire when it is still small. Therefore, it is effective to station small fire fighting crew with extinguishing equipments in the danger zone so that the crew can be dispatched in early stage of fire. In this case, it should be necessary to assign a watchman in turn without fail at clear lookout to detect fire in its early stage.

### 3) Enforcement of Patrol

Since fire occurs in wide area, it is essential to try to detect fire in its early stage and to arouse the local people's

attention to fire prevention through going around by patrol crew to support the watchman at the lookout tower. Especially, during strong windy day, there is a danger of big fire occurrence. Therefore, it is important to patrol by varying number of crew flexibly according to the weather condition of the day. Considering that not few fires occur at night time (cover 20% at the total number) and it is difficult to suppress fire at night, patrolling at night is unforgettable point also.

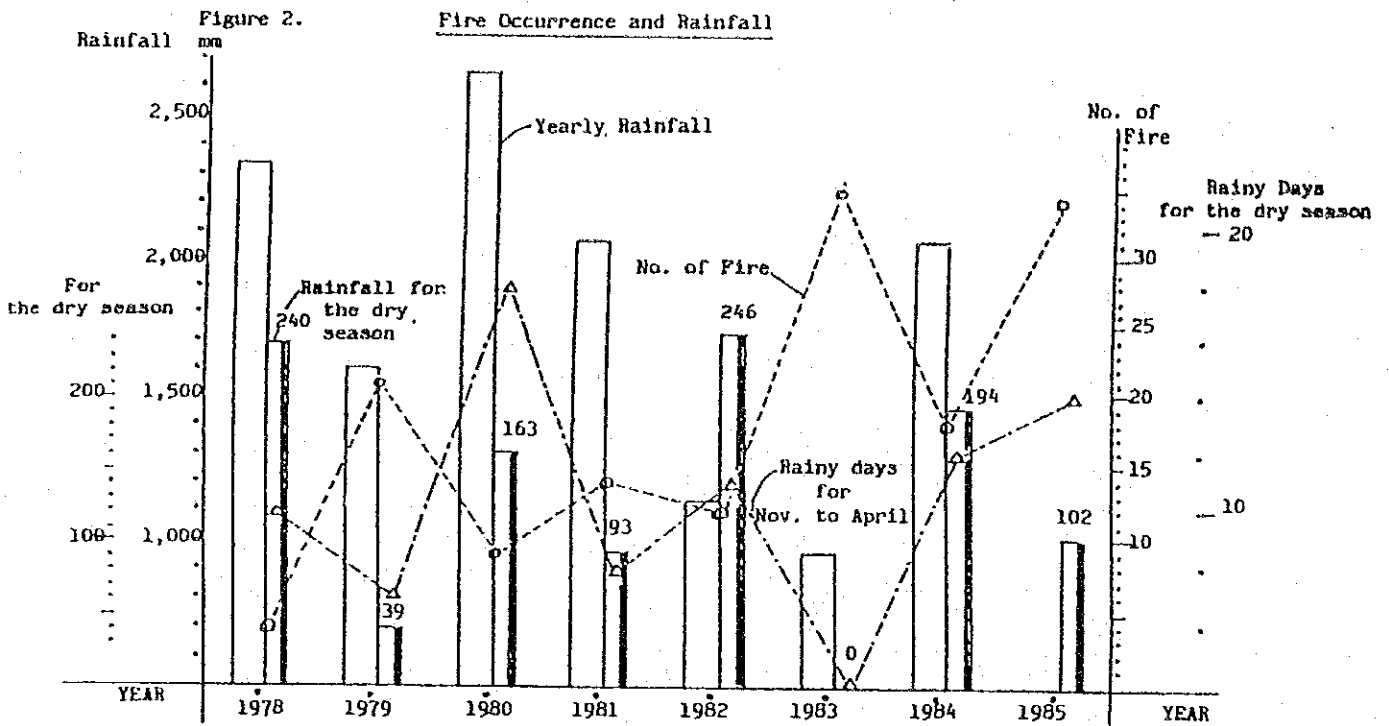
#### 4) Enlightenment of the Local People

As long as the local people have attituded of using fire for grazing and so on in this area, the countermeasure for fire prevention cannot show its effectiveness without the cooperation of the people. Though it is important to establish a good communication with the people which have been conducted so far through request for cooperation, tree-planting drive, sports festival, poster contest and the like, its effectiveness will be insufficient if there is not direct interest on the part of the people. Therefore, it may be one of the measures to give a compensation to the people of Barangay (community) where no fire occurred during the dry season and also it may be necessary to make the people concern through distributing fruit trees to plant around their houses. In addition to these, it will enhance more effectively the countermeasures conducted by the Project by going around the said patrol crew during the dry season to arouse the people's attention by giving concrete advice with regards to dealing with fire according to the weather condition of the day.

## REFERENCES

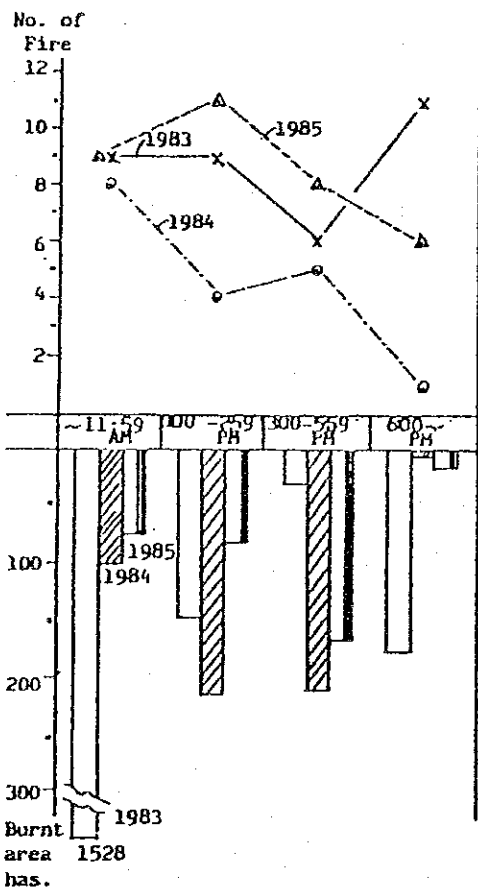
1. Compiled by H. J. Weidelt, 1975, Manual of Reforestation and Erosion Control for the Philippines.
2. Technical Bulletin Series No. 49, 1982. The Philippines Recommends for Reforestation.
3. Forester Eligio V. Soliman, 1983  
Forest Fire: Prevention and Control  
(Paper presented during the Silviculture Training at the RP-Japan Training Center)
4. FAO, 1978, Establishment Techniques for





NOTICE: 1. The locality measured is at Carranglan Project site except 1978.  
 2. The figure in 1978 were obtained at Pantabangan Dam.  
 3. The dry season means November of the previous year to April of that year.

**Figure 2 No. of Fire by Occurrence Time**



**Figure 3 No. of Fire By Month**

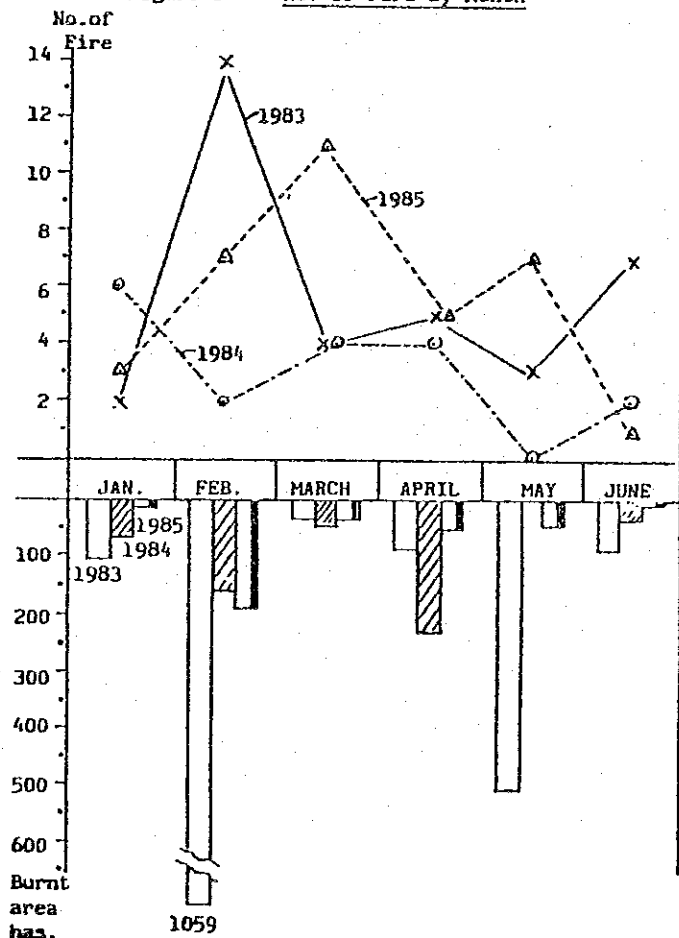
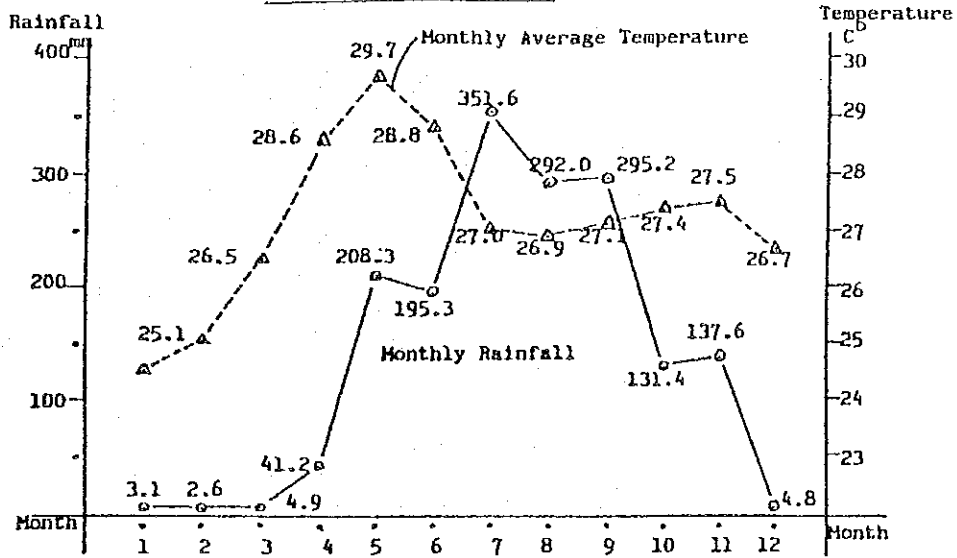
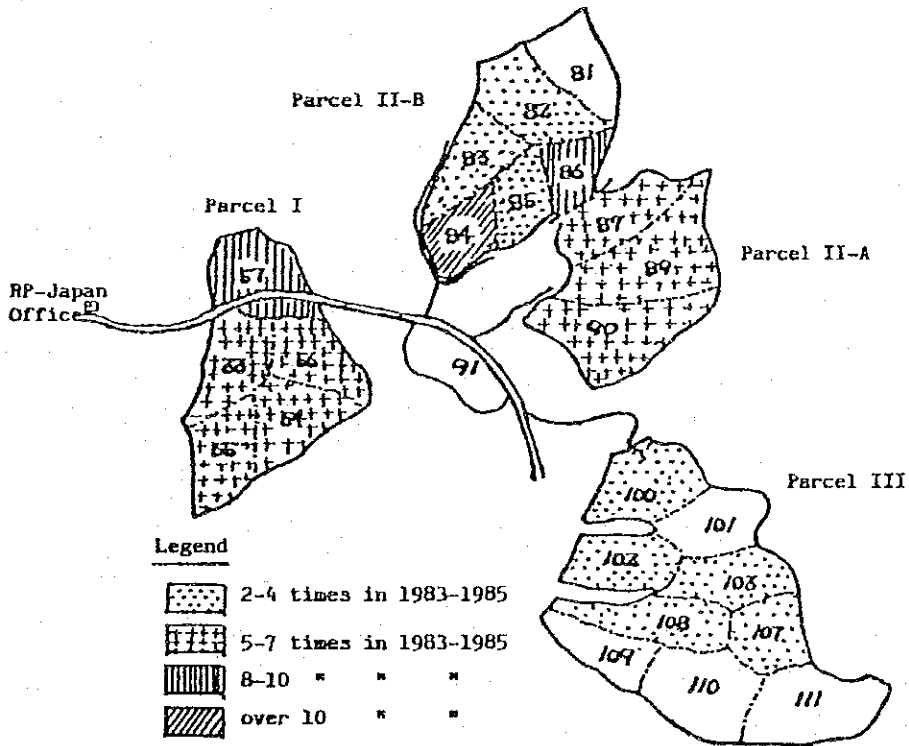


Figure 4. Rainfall and Temperature



NOTICE: 1. Rainfall is average in 1979-1985.  
 2. Temperature is in 1982.  
 3. The locality measured is at Carranglan Project site.

Figure 5. Frequency of Fire Occurrence by Block



平成3年3月

ウルグアイ東方共和国

造林技術手引書より

## 1-7-2 防火

山火事は、近隣で、牧草管理のため枯草に火をつけたり、農業の収穫あとの残存物を焼却したりする地域では十分警戒しなければならない。そのほか焚火の不始末、タバコの吸殻の投捨てによっても山火事になるケースが少なくない。

山火事防止で有効な手段は、(1)防火線の設置とその適切な管理、(2)山火消防システムの確保、(3)防火樹林帯の造成、(4)地域住民とくに学校生徒へのPR、等の方法が考えられる。

(1)の防火線の設置と適切な管理について述べる。1団地の森林は100ha以下となるよう、団地の境界には防火線を周囲に切れ目なく設定する。防火線の巾は15~20m位が適当である。巾が広い方がより有効であるが、作設コストは高くなる。一方、巾が狭くなれば、コストは低くなるが、効果は小さくなる。

適切な管理とは、防火線の刈払いと、表土の露出を時々行うことである。防火線に成育した雑草が冬に枯れたまゝになっている防火線の効果は低い。したがって、雑草の枯れる時期が近づいたなら、遅れることなく全面刈払いを行う。刈払った雑草はそのまゝ放置しないで、運び去るか、防火線のセンターに寄せて焼き払いを行う。

表土の露出は、防火線のセンターをトラクター、ブルドーザー、グレーダー等により実施する。

(2)の山火消防システムは消防チームの編成、監視タワーの作設、危険期の見張りと巡回、火事又は危険状態の発見と正確な伝達、消防チームの出動と消火作業等である。

監視タワーは見晴しの良い山の上に作設すれば、比較的低いタワーでも効果が大きい。

タワーには地図、方位を調べる磁石、望遠鏡、連絡用のデンワ又は無線又はサイレン等を備える。

山火事らしい煙を発見したら、位置・状況を連絡し、必要に応じて、偵察隊を送り出す。

消防チームの活動を有効なものにする要領は、(i)チームメンバーをあらかじめ決定して任命しておくとともに、緊急時の連絡方法を確立しておく。(ii)人員輸送の車輛の確保がいつでも可能な体制を確保しておく。(iii)消火に有効な消防器具は「火叩き」と「ジェットシューター」である。水の供給が確保できるなら「ジェットシューター」は極めて有効であるので、数を多く備えておく。大規模な造林事業の場合は、タンクローリーを備え、常時、タンクに水を入れて待機させておくことも、有効である。

(3)の防火樹林帯は、防火線に加えて、耐火性の強い防火樹(常緑で、葉には油分を含まず、葉が肉厚で、よく枝の繁る広葉樹がよい)を選定して造林地の周囲に1~2列植えておくと、防火上安全度が高まる。

(4)の住民および学校生徒へのPRはポスター、映画会などにより協力を求める。煙草の吸殻の投捨て防止のためには、アルミニウム製の小型の袋(ポケット吸殻入)を配ることもPRを兼ねて、行われる。

登録番号  
参照番号

3801

O D C 分 類	3	労働科学 木材の収穫 伐木集材 森林工学	
	8	森林工学	
質 問 内 容	アースダム（土堰堤）の施工について		
プロジェクト	南スラウエシ治山造林計画		
地域 : 国名	東南アジア : インドネシア		
キ ー ワ ー ド	アースダム 土堰堤 治山ダム 地表変動 濁度計 河川浮流土砂量 流出土砂量		
参 考 文 献			
質 問 者	開藤直樹	回 答 者	新谷融

# 個別技術情報支援のための質問書

1994年1月31日

プロジェクト名 南スラウェシアン計画プロジェクト  
専門家名 開藤直樹

質問技術テーマ：アースダム（土堰堤）の施工について

1. 質問技術テーマの具体的背景、及びそのプロジェクト活動の中での位置付け
2. 質問の具体的内容
3. 期待する回答の範囲

1. 現在インドネシアでは、乏しい予算の事情の中、溪間工としての構造物はアースダムが主流を成しており、設計施工については技術者の経験と勘によるところが多く、中には施工直後に崩壊流失した失敗例もみられる。当プロジェクトにおいては、数例の試験施工をとおして技術移転を行った。しかしながら現在日本ではコンクリートによる治山ダムが主流となっておりアースダムによる治山ダムは極めてまれである。専門家自身もアースダムの施工経験がないため、(財)日本農業土木総合研究所発行の海外技術マニュアル「フィルダム」を参考に技術移転を進めているのが現状である。このマニュアルの適用範囲が、「土砂の流失を防止し、及び調節するために設けるダム以外のダムで高さが15m以上のフィルダムについて適用する。(主としてかんがい用)となっており、治山ダムとして施工するのに多少の不安を感じているところである。
2. アースダム（土堰堤）を治山ダムとして施工する場合の技術基準・留意事項等の参考資料がありましたらお願いしたい。
3. 治山ダムとしてのアースダムの設計施工に関する資料等

質問のキーワード；

治山ダムとしてのアースダム

希望資料名；

希望指導委員名；

注意事項 当様式1枚に複数の質問技術テーマは記載しないこと。

私信

前略

初めてお便りします。アースダムの件、回答にならないと思いますが、私信を述べます。現地イメージが無いまま、勝手なことを言及することをお許し下さい。

1) このアースダムは治山溪間工として、特に侵食防止工として配置される物ならば、本当にダム（土砂抑止のための）構造が効果的かどうか問題と思います。溪間の侵食防止工ならば、基本的には溪間不安定土砂の侵食（洗掘）をはかるために、床固工群配置の方が良くはないのか、この場合、階段状に連続的（数十m間隔）に配置され、基本的には埋設型（ex 掘高 3メートルのうち2メートルは根入れ）となるため、大構造は不要となります。

溪間荒廃地は、谷内の拡幅部が対象となり、拡幅部の不安定土砂の固定が基本命題かと思えます。

しかし、このダムに農水と同様に水ガメとしての機能が求められているなら問題は別です。また、溪間施設配置によって生じる相対的安定化域のうち利用が求められている場合も違うかもしれません。

溪間の床固工あるいは谷止工としてアースダムを配置するには、それによって上流からの流下土砂及び溪水を考えれば、崩壊流失の危険性を常に有していることから、土砂・水の集中する溪間には不適であるし、掘高も低いものとなります。

問題は心壁部材になると思いますが、現地で適当なものが手に入るかどうかです。

別紙に資料等を送りますが、治山用としてはどれも同一内容です。また、少し古いものとして農水用アースダム資料も同封しました。

別 梓 研 究

「農林漁業における環境保全的技術  
に関する総合研究」試験成績書

(第 1 集)

— 地域生態系の実態解析 —

(土地利用の変化に伴う生態系の変動に関する実態解析)

昭和 5 3 年 1 1 月

農 林 水 産 技 術 会 議 事 務 局

# A-1)-11 表日本型ブナ天然林及びヒノキ人工林に

## おける実態解析 (地表変動調査)

林試 防災部 治山第1研究室

梁 瀬 秀 雄

秋 谷 孝 一

北 村 嘉 一

### 1. 試験の目的

山地に崩壊が発生すると大量の土砂が流出するが、これは同一の場所では数十年あるいは数百年に1回という形で発生する。これに対して、地表水の作用を受けて侵食された土壌粒子の流出は、年間では少ない量であるが、年々継続的に発生する。これら、崩壊や表面侵食等の地表変動に対し、森林はかなりの防止作用を発揮するといわれてきた。ここでは、既往の研究成果を整理し、また、固定試験地を設けて、山地斜面における森林生態系の変化に伴う地表変動の実態について検討した。

### 2. 試験の方法

#### 1) 既往の研究成果の整理

山地崩壊、山地土壌侵食についての研究は古く、既往の研究成果もかなり多く集積されている。山地崩壊は突発的に発生することが多く、地表変動の実態調査のための固定試験地が設定しにくいので、既往の研究成果から検討した。山地土壌侵食については、既往の研究成果を検討すると同時に、森林状態の異なる固定試験地を設定して調査した。

#### 2) 試験地の設定及び測定方法

試験地は前橋営林局矢板営林署管内釈迦ヶ岳固有林47林班のブナ天然林、栃木県矢板市高原県有林9林班の天然林伐採跡地及び23林班のヒノキ人工林内に設定した。ブナ天然林は原生林に近い林で、イヌブナを主林木としたブナ、カエデ、ササ等が生育している。試験地は48年8月に約1haの面積を南東斜面にとり、周囲をかこって土砂流出面積を限定するプロット(図-1)及び周囲の囲いがなく地表流が抑制されないトレンチ(長さ1mの土砂受箱のみ)を設置した。設置位置は図-2のとおりである。試験地を代表する平滑斜面にプロットを4個、トレンチは平滑、尾根、谷、荒地の各斜面に合計16個設置した。これは土砂受箱の設置条件を変えて傾斜、斜面上の位置、地表の被覆状態、斜面形の違による流出土砂量の変化を検討できるようにしたものである。天然林伐採跡地は伐採間もない東向きの平滑斜面の斜面上部と斜面下部に20m×20mの試験地を49年5月に設定し、2つの試験地にそれぞれプロット1個、トレンチ4個、合計でプロット2個、トレンチ8個を図-2のように設置した。この試験地は、試験地設定直後斜面上部にはヒノキが、斜面下部にはスギが植栽され、その後

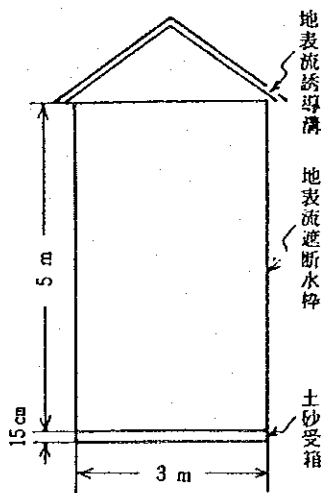


図-1 プロット平面図

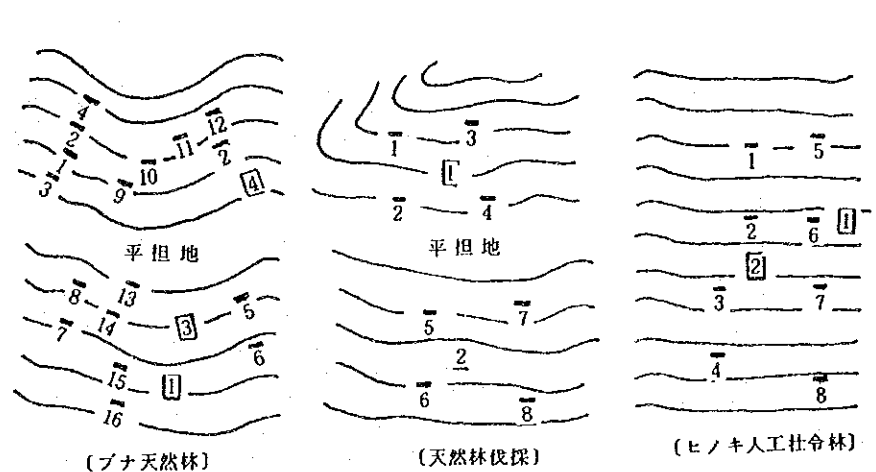


図-2 土砂受箱配置図 (□:プロット, ○:トレンチ)



毎年下刈りが行われた。ヒノキ人工社令林の試験地は天然林伐採跡地の試験地設定時期と同じく49年5月に、南東の平滑斜面上に設定した。試験地の大きさは30m×15mでこの中にプロット2個、トレンチ8個を図-2のように設置した。ヒノキの樹令は約45年生でよく手入れされた林である。土砂受箱に堆積した土砂の採集時期は凍上及び融雪のある冬期、比較的降雨強度は弱い長い間降り続く梅雨期、集中豪雨の多い台風期等を考慮に入れて5月、8月、11月の年3回とし、採集した土砂を風乾状態にして重量を測定した。

### 3. 試験結果

従来、崩壊も土壌侵食もあまり区別されることがなく、山に木さえあれば山崩れは起らないと考えられていた時代もあったが、調査、研究が進むにつれて森林が崩壊防止に万全であるとする説は陰をひそめ、山地崩壊の発生の軽減に役立つとする説に移行してきた。森林が崩壊を

軽減すると考えられる根拠は次のとおりである。幹、枝、葉などの地表面より離れている部分と落葉、落枝、草生、カン木などの地表面近くの部分のいずれかが土壌侵食軽減に寄与するかは未だ不明の部分も多いにせよ、森林に地表被覆物が存在することによって土壌の侵食量は減少し、これが原因となって崩壊へと発展することを阻止したり、林木の根系がもつ土壌緊縛力、さらには崩壊しにくい地層へと根系が伸長し絡みつくことによって崩壊に対する抵抗力が増し、崩壊の発生は軽減する方向へ導かれる。また、樹幹部は崩れ落ちてくる土塊をくい止め、崩壊の拡大を阻止する機能をもつ。そこで、有林地および無林地（伐採跡地や草地、笹生地などの無林地状態の所）と崩壊にはどのような関係があるかを既往の研究成果から比較してみた。表-1は林野庁が全国に点在する治山事業重点地区の中から約50地区選んで調査してまとめたものである。<sup>1)</sup> これらの地区は地形、地質、土壌等

表-1 有林地・無林地と崩壊

種別	占有面積 (町)	崩壊 箇所数	崩壊 面積 (町)	崩壊 土砂量 (100㎡)	1崩壊 平均面積 (町)	1崩壊平 均土砂量 (100㎡)	百町歩あたり 崩壊 箇所数	百町歩あたり 崩壊面積 (町)	百町歩あたり 崩壊土砂量 (100㎡)
有林地	128,097	10,400	1,577	289,251	0.15	28	8.11	1.23	223
無林地	22,213	2,216	291	36,181	0.13	16	18.14	2.38	296
総数	140,311	12,616	1,867	325,432	0.15	26	8.99	1.33	232

森林の立地条件が様々であり、このような条件をプールした形でまとめられているので厳密ではないが、森林の有無と崩壊の関係を単純に比較することは可能である。表-1によると、1崩壊平均面積は有林地0.15町歩、無林地0.13町歩とほとんどかわりないが、百町歩当りの崩壊箇所数は有林地8.11箇所、無林地18.14箇所、無林地の方が2倍も多くなっている。また、百町歩当りの崩壊面積も有林地1.23町歩、無林地2.38町歩、有林地に比べて無林地が約2倍である。しかし、百町歩当りの崩壊土砂量は有林地22,300㎡、無林地29,600㎡で無林地の方が多くはなっているが、崩壊面積や崩壊箇所数を勘案すれば有林地の方が無林地より深くまで崩壊していると考えられる。これを裏がえして考えると、無林地は土壌の浅い所で崩壊するのに対して、有林地は根系等の発達によってさらに深い所に崩壊が及ぶまで耐えることができると考えて差支えなからう。しかし、林木の根系分布範囲はせいぜい深さ3m位までであるから、それよりはるかに深い層から発生する崩壊は森林の有無には無関

係である。六甲山の花崗岩地帯で行われた調査<sup>2)</sup>によると、40cmより深い層の土壌中における根系の量が少ないほど崩壊の発生率が高くなるということからみても森林の崩壊に対する影響範囲は2~3mの深さまでである。このように森林の有無によって崩壊に対する影響が異なり、かつ森林の立地条件（気象、地質、地形、土壌）、樹種、樹令、下床植生及び森林の施業方法によっても崩壊の規模や形態は大きく左右される。昭和47年7月豪雨災害の大きかった神奈川県西丹沢中川流域の調査<sup>1)</sup>によると、崩壊地の規模は0.05ha以下の小面積のものが多く全体の48%、次いで0.06~0.10haのものが23%、0.11~0.16haが11%となっており、全体の82%が0.16ha以下の小崩壊であり、スギ林、広葉樹林とも小崩壊地が多くなっている。また、樹種、樹令と崩壊の関係については表-2のとおりである。これによると、スギ林、広葉樹林ともに樹令が小さいと崩壊面積率は大きく、特にスギ林の方が著しく大きい。これは広葉樹林は萌芽による天然更新のため伐採による影響がスギ林ほどではな

表-2 樹種ごとの樹令と崩壊

樹種	樹令 (年)	林地面積 (ha)	新 規 発 生				
			崩壊地面積 (ha)	崩壊地 個所数 (個)	崩壊面積率 (%)	100 ha 当り 崩壊地個所数	1 箇所当り 面積平均値 (ha)
スギ	I (0~10)	96.77	12.03	135	12.43	140	0.09
	II (11~20)	90.88	6.11	50	6.72	55	0.12
	III (21~40)	56.97	1.63	16	2.86	28	0.10
	IV (41~)	12.02	0.16	3	1.33	25	0.05
	計	256.64	19.93	204	7.77	79	0.10
スギ以外の 針葉樹	I	1.19	0.00	0	0.00	0	-
	II	16.50	1.34	19	8.12	115	0.07
	III	31.33	1.33	18	4.25	57	0.07
	IV	9.45	0.18	2	1.90	21	0.09
	計	58.47	2.85	39	4.87	67	0.07
広葉樹	I	247.61	13.87	126	5.57	51	0.11
	II	1,050.97	41.03	359	3.90	34	0.11
	III	899.75	30.28	253	3.37	28	0.12
	IV	603.86	6.03	70	1.03	12	0.09
	計	2,802.19	91.12	808	3.25	29	0.11
合 計		3,117.30	113.90	1,051	3.65	34	0.11
造 林 地		252.76	21.90	227	8.66	90	0.10
未立木地・伐跡地		10.50	1.16	13	11.05	124	0.09
合 計		3,380.56	136.96	1,291	4.05	38	0.11
そ の 他		63.75					
総 計		3,444.31	136.96	1,291	4.05	38	0.11

く、根の緊縛力の衰退が小さいためと考えられる。樹令が21~40年になると、スギ林の立木蓄積が広葉樹のそれより優るためスギ林の崩壊面積率は小さくなる。しかし、41年以上になると再び広葉樹林の方が崩壊面積率は小さくなる。これは、41年以上も経過すれば、広葉樹林には原生林に近い状態の林も多く含まれるようになり、立木蓄積も多くなるためと考えられる。

土壌の侵食量は一般には地表被覆が多いほど少なくなる。荒廃地からの流出土砂量と地表被覆度の関係をみると、地表被覆度が50%を越すと、荒廃地の流出土砂量は裸地の5分の1以下に減少しており<sup>4)</sup>、地表被覆状態によって流出土砂量が大きく左右されることがわかる。川口ら<sup>5)</sup>の研究によると、裸地の年間流出土砂量を100とすれば、森林の有無、落葉被覆のちがいによる流出土砂量の変化は図-3のようである。樹種のちがいによる流出土砂量は、カンシ林よりラクウショウ林で多く、針葉樹林

より広葉樹林の方が流出土砂量の軽減という点でやや優っているように思われる。有林地において落葉で地表面を被っている場合には、裸地地区の流出土砂量の約2割が流亡するにすぎない。落葉被覆が林内にない場合であっても、裸地地区に比べて流出土砂量は1~2割減少している。特に崩壊地のように荒廃した裸地は、崩壊以外で荒廃した裸地に比べて侵食作用が進む。年々の土壌侵食深で表現すると、崩壊地での侵食深は $10^1$ mmのオーダーであるのに対して、それ以外の裸地は $10^0$ mmのオーダーであり、さらに、林地や草地等のように地表が被覆されている所では $10^{-1}$ mmと極度に侵食深が小さくなる<sup>6)</sup>。

ブナ天然林、天然林伐採跡地及びヒノキ人工林内に試験地を設定して、林内からの流出土砂量を測定した結果を表-3に示す。土砂流出面積を限定しないトレンチを各試験地に設置した理由はトレンチ設置位置の違いによる林内流出土砂量の差を検討するためであったが、

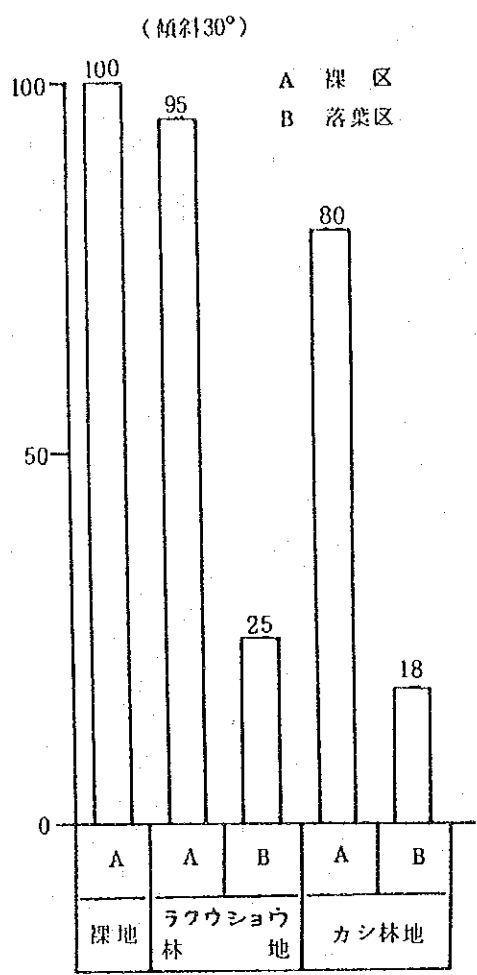


図-3 森林の有無落葉層の有無による流出土砂量の比較

土砂受箱に堆積した土砂量から判断すると設置位置によってかなりの差があることが認められた。林内流出土砂量の測定にあたっては測定方法及び測定位置を十分考慮しなければならない。林相別に流出土砂量をみるとブナ天然林、天然林伐採跡地、ヒノキ人工社令林の順で多くなる。各試験地とも試験地設定当年の流出土砂量は多いが、設定2年目以降になると流出土砂量はかなり減少し、変動幅も小さくなり、地表は大部落着いてくる。土砂受箱設置や資材運搬等の際には、地表面をできるだけ乱さないように細心の注意を払って作業を行ったにもかかわらず、その時の影響があらわれてしまった。林内の地表攪乱に最も敏感なのがヒノキ人工社令林で、ブナ天然林では影響が最も少ない。ここで、林内流出土砂量と関係の深い地表状況、例えば地表被覆度をみると、ブナ天然林ではササが一面に生え、その上、落葉層が厚く、荒廃斜面を除けば露出している地表は全くみることができない。天然林伐採跡地では伐採間もないため、地表状況は天然林地の土壌及び地表被覆物の状態をかなり残している。ヒノキ人工社令林は林内にほとんど陽光が入らないため地表を被覆するような下床植生は少なく、落枝落葉で地表の一部が覆われているにすぎない。したがって、地表被覆度はブナ天然林、天然林伐採跡地、ヒノキ人工社令林の順で小さい。ブナ天然林では、流出土砂のほとんどが石礫である荒廃斜面を除外すれば、設置時の影響も少なく、地表面の状態は短期間で設置前の状態にもどる。ヒノキ人工社令林は土砂受箱設置等による土砂攪乱行為の影響を受け易いが、その後は流出土砂量

表-3 林相別流出土砂量

林相	位置	傾斜(°)	土砂受箱番号	48年11月	49年5月	8月	11月	50年6月	8月	11月	51年5月	8月	11月	52年5月	8月	11月
ブナ天然林地 設定 48年8月	平滑斜面	30	P-1	332	93	376	372	0	43	36	67	15	17	2	2	1
		30	P-2	0	7	11	5	0	1	4	3	11	3	0	0	2
		28	P-3	51	12	24	13	0	1	3	0	4	7	0	2	2
		28	P-4	0	24	11	0	0	11	18	6	6	2	3	1	1
	平滑斜面	40	T-1,2,3,4	90	53	252	51	9	14	9	30	33	34	1	3	11
		26	T-13,14,15,16	16	2	21	4	0	5	9	8	7	6	1	0	1
		30	T-5,6	28	3	11	2	0	2	2	1	11	7	0	1	1
やや尾根	26	T-7,8	36	5	21	3	0	8	7	11	11	26	3	3	6	
荒廃部	26	T-9,10,11,12	174	422	151	200	420	21	33	605	459	90	257	71	77	
天然材伐採跡地地区 設定 49年5月	平滑斜面	36	P-1			527	114	102	84	63	168	49	30	16	16	6
		36	T-1,2,3,4			289	92	191	156	59	55	101	65	22	18	25
		35	P-2			655	0	7	63	30	356	22	23	9	10	15
		35	T-5,6,7,8			52	33	16	23	7	50	32	15	8	5	10
ヒノキ人工社令林地区 設定 49年5月	平滑斜面	35	P-1			2,205	515	126	104	67	76	178	195	46	35	61
		35	T-1,2,5,6			1,225	232	46	86	51	81	125	497	13	25	110
		35	P-2			1,623	448	109	94	68	20	250	220	50	29	76
		35	T-3,4,7,8			1,019	169	36	52	34	70	65	75	15	11	36

注：T欄はトレンチ2個ないし14個の平均値

は減少しており、地表の回復は早い。天然林伐採跡地は天然林の地表状態が存在しているといっても、他の林地に比べれば風雨及び寒さの影響を直接受けるようになるためか、裸地部も多く、流出土砂量の減少傾向も単年度でとどまらず、地表状態の回復は遅い。林相別の流出土砂量は地表被覆度の大きいブナ天然林、天然林伐採跡地、ヒノキ人工社令林の順で大なることから、森林を構成している樹種の違いよりも地表被覆度の差の影響が大

きいといえるかもしれないが、地表状況、特に地表被覆状態は森林を構成している林木の影響が大きく関係しているから、樹種に無関係とは言い切れない。表-3をもとにして、3試験地からの流出土砂量がどのようにちがうのか具体的に比較できるように、表-4を作成した。表の作成にあたり土砂受箱設置時の影響を受けた値は除外し、プロット内の面積(3×5 m=15 m<sup>2</sup>)から流出する年平均土砂量を基準にして1 ha当りの年平均侵食深を

表-4 林相別流出土砂量

林相	プロット番号	土砂採集期間	採集期間内土砂量 g	プロット内年平均土砂量 g/年/15 m <sup>2</sup>	1 ha 当り年平均土砂量 t/年/ha	1 ha 当り年平均侵食深 mm/年/ha
ブナ天然林	P-1	2年5月	183	76	51 × 10 <sup>-3</sup>	5.6 × 10 <sup>-3</sup>
	P-2	3年	29	10	6.7 × 10 <sup>-3</sup>	0.67 × 10 <sup>-3</sup>
	P-3	3年	32	11	7.3 × 10 <sup>-3</sup>	0.73 × 10 <sup>-3</sup>
	P-4	3年	48	16	11 × 10 <sup>-3</sup>	1.1 × 10 <sup>-3</sup>
	平均		73	28	19 × 10 <sup>-3</sup>	1.9 × 10 <sup>-3</sup>
天然林伐採跡地	P-1	2年3月	432	192	128 × 10 <sup>-3</sup>	1.28 × 10 <sup>-2</sup>
	P-2	2年3月	528	235	157 × 10 <sup>-3</sup>	1.57 × 10 <sup>-2</sup>
	平均		480	213	142 × 10 <sup>-3</sup>	1.42 × 10 <sup>-2</sup>
ヒノキ人工社令林	P-1	2年3月	762	339	226 × 10 <sup>-3</sup>	2.26 × 10 <sup>-2</sup>
	P-2	2年3月	807	359	239 × 10 <sup>-3</sup>	2.39 × 10 <sup>-2</sup>
	平均		785	349	233 × 10 <sup>-3</sup>	2.33 × 10 <sup>-2</sup>

算出したものである。ただし、重さから容積への正確な換算は、風乾重1トン⇔絶乾重1トン⇔1 m<sup>3</sup>と仮定した。風乾重⇔絶乾重としたのは、ここで比較しようとする目的に必要なオーダの算出には支障がないと考えたからである。各試験地の1 ha当りの年平均侵食深はブナ天然林 1.9 × 10<sup>-3</sup> mm、天然林伐採跡地 1.42 × 10<sup>-2</sup> mm、ヒノキ人工社令林 2.33 × 10<sup>-2</sup> mmであり、ブナ天然林の侵食深を1として比をとると、ブナ天然林：天然林伐採跡地：ヒノキ人工社令林：1：7：12となる。天然林伐採跡地及びヒノキ人工社令林はブナ天然林に比べて約10倍の侵食速度があり、単に森林といっても、森林を構成している林木によって林内の土壌侵食はかなりちがってくる。この結果を崩壊地及び崩壊地以外の裸地の侵食深と比較すると、天然林伐採跡地及びヒノキ人工社令林は崩壊地の10<sup>-2</sup>/10<sup>0</sup>=1/1000 崩壊地以外の裸地の10<sup>-2</sup>/10<sup>0</sup>・1/100 ブナ天然林に至ってはそれを10<sup>-2</sup>/10<sup>0</sup>=1/10000, 10<sup>-2</sup>/10<sup>0</sup>=1/1000 となって、もともと侵食の多かったヒノキ社令林でも、荒廃地の侵食量に比べると極めて少ない。森林は林内からの流出土砂量を大幅に

軽減するといえる。

#### 4. 考 察

森林は絶えず変化している生態系で、1個の固定因子として考えてはならない。森林が山地崩壊や土壌侵食の軽減に対して好ましい状態であるためには、生長の旺盛な根系の多い、かつ、深根性の林木から構成されていることと考えるのが常識的である。しかし、森林は絶えず状況が変化しているため、林内の地表変動を立地条件ごとに具体的に表現することは困難で、理想的な森林の実態がどのようなものかを具体的に明示することはむずかしい。しかし、今回の調査及び既往の研究成果から、森林は山地崩壊、山地土壌侵食のいずれに対しても軽減する方向へ働いていることが十分認められた。特に現地調査から、侵食量は崩壊跡地等のような荒廃地の1/1000～1/10000 荒廃地以外の裸地の1/100～1/1000 にすぎないことが認められた。侵食土砂量は急傾斜の平滑斜面、荒廃斜面、地表の被覆状態の悪い斜面で多くなる傾向があるので、地表変動の細部についての検討を進めていくには、場所による違いも十分考慮して

いかなければならないものと考える。

#### 5. 引用文献

- 1) 林野庁治山課：崩壊地の基礎的特性について（治山事業調査報告Ⅱ），1959.
- 2) 秋谷孝一ほか：六甲山地区における森林と山地荒廃の関係について，防災科学技術総合研究報告 24号，1970.
- 3) 難波宣士ほか：森林特性に関する研究，昭和47年7月豪雨災害に関する特別研究報告書，1975.

- 4) 滝口喜代志ほか：山地土壌侵食の研究（第4報），林試研究報告 164号，1961.
- 5) 川口武雄ほか：山地土壌侵食の研究（第3報），林試研究報告 95号，1957.
- 6) 川口武雄：山地土壌侵食の研究（第1報），林試集報 61号，1951.
- 7) 村井宏ほか：林地の水および土壌保全機能に関する研究（第2報），林試研究報告 286号，1976.

# 濁度計による河川浮流土砂量の推定

長沢徹明\* 片岡隆四\* 梅田安治\* 桜田純司\*

Estimation of Suspended River Sediment Loads by a Turbidity Meter

Tetuaki NAGASAWA, Takashi KATAOKA

Yasuharu UMEDA and Junji SAKURADA

Faculty of Agriculture, Hokkaido University

**Abstract** The transport of suspended sediment from basin is a complicated problem owing to various factors. In the case of small basin, transport susceptibly responds to hydrological factors and remarkably fluctuates with time. Thus continuous observation is indispensable for an understanding of the actual conditions of the transport.

Transport behavior of sediment was observed using a turbidity meter in a small basin.

The following results were obtained and confirmed the effectiveness of the continuous recording method using a turbidity meter.

1) Values obtained by the turbidity meter showed a linear relationship with suspended sediment concentration. Data of transported suspended sediment can thus be recorded continuously by calibration.

2) Behavior of suspended sediment concentration with rainfall~runoff changed more suddenly than discharge. Peak gap and loop properties of concentration~discharge could also be confirmed (Figs. 5, 6).

3) Peak values of suspended sediment concentration and load at the freshet were closely related to peak discharge (Figs. 7~9).

4) Total value of suspended sediment load for freshet was related to peak discharge, direct runoff percentage, total rainfall and average rainfall intensity (Figs. 10~13).

## I. ま え が き

自然状態の山林地は、比較的安定した系として存在する。たとえば降雨の流出に際して、林木・林床植生・腐植層・森林土壌のいずれもが表土の移動を押し止す機能を発揮し、流域からの土砂流亡を軽減ならしめている。しかるに、農地造成とくに機械造成によって、平衡安定系は変化を余儀なくされ、さまざまな影響が現れてくる。こうした影響を許容の範囲にとどめるために、多種多様な対応策が計画・実施されている。

さて、流域の農用地開発に伴う水食問題には、つぎの二つの観点があるであろう。一つは、圃場内における水食現象であり、表土の流亡や農地基盤自体が破壊されるなど、営農に著しいダメージを与える問題である。もう一つは、造成地で発生する土砂が、流域内の排水路系~河川を通じて、下流域へ流送される現象である。影響が広範囲に及ぶ点などから、後者のほうが問題の重要性は

むしろ大きいとする見方もできる。

傾斜地の造成農地で生じる侵食(生産)土砂は、できるだけ圃場内で捕捉・処理されるべきであるが、現実には完全に行われているとはいえない。たとえば、北海道で実施されている山成造成草地の場合、造成区内の抜根を斜面下方に押し出し、沢筋を囲むように置かれる場合が多い。この目的は、沢筋周囲の残存林地(土砂かん止林)とともに、侵食土砂の河川への流亡を阻止することにある。しかし、草地造成地区(北海道東部)で堆砂状態を調査した事例<sup>1)</sup>によると、造成作業時から冬にかけて大量の土砂が沢筋に堆積し、また春先の融雪流出に伴ってその多くの部分が本川へと流送されている。この例に関連して、草地造成流域を貫流する河川の断面形状変化を、造成の前後に測定した結果で示そう。調査は、Fig. 1 に示される流量測定用堰設置点Uを起点とし、20 m 間隔で上流側へ30点、600 m の区間で行った。断面測定は、1978年9月6日と1979年7月25日の2回行っているが、この間草地造成は同図に示されるように進捗している。測定した河川断面のうち、上・中・下流点

\* 北海道大学農学部

キーワード: 濁度, 降水, 流出要素, 浮流, 環境に関する計画

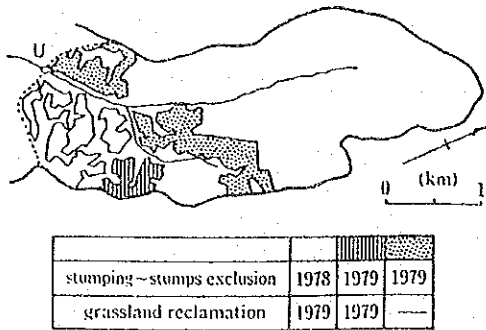


Fig. 1 Progress of grassland reclamation (U: measuring weir)

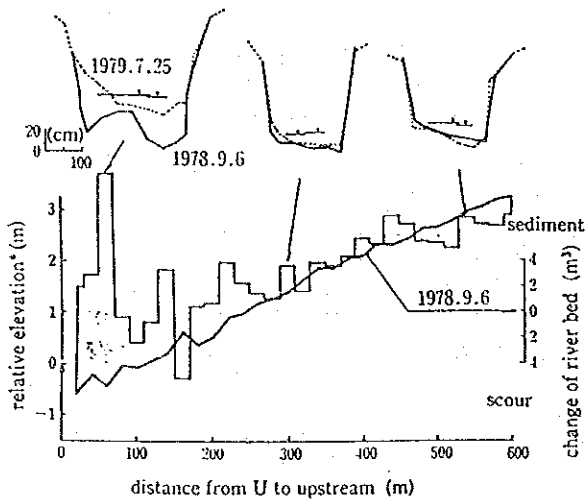


Fig. 2 Change of river bed from 1978.9.6 to 1979.7.25 (\* top of the measuring weir, U is zero elevation)

の3例を Fig. 2 に示す。ここに例示したような断面積の変化量に基づき、河床の変動量を試算してみると、同じく Fig. 2 のようになる。これにより、河床には土砂の堆積の様子がうかがえる。もちろん、これは実際の流出土砂のごく一部分であり、多くは浮流砂として下流へ流亡しているであろう。

河川を通じて下流へ土砂が流送される場合の諸問題に対処していくためには、当然のことながらその機構を解明しなければならない。そのためには、まず流域外への土砂流送の実態を把握することが必要不可欠である。

従来より、河川の土砂流送に関する問題は重視されてきており、種々の研究のなかから多くの成果が得られている。この場合の測定手段としては、一定時間間隔で採水して分析するのが一般的であるが、実際の測定には多大の労力と、高水時にはかなりの危険性が伴う。したがって、時間的変動を追跡していくことには困難さがつきまとい、とくに洪水時のデータは得られにくいのが実情であろう。

大河川の場合には、変動が緩やかなことから測定間隔

が大きくても、浮流土砂流送挙動を把握することは可能であろう。しかし、小河川とくに一団地の農地造成対象流域のように小規模な河川では、気象変化に対する応答が敏感で、数時間に1回といった観測体制では実態をとらえにくい。

以上のことから、河川による浮流土砂流送の実態を知るため、連続自記が可能でしかも比較的取扱いの容易な濁度によって、この種の問題にアプローチすることを考えた。本論は、市販の濁度計による、浮流土砂流送挙動把握の可能性を検討したものである。

II. 河川による土砂流送

流送土砂の供給源としては多種多様な場合を想定するが、影響の大きい事由を列挙すればつぎようになる。①土地の表面流出に伴う表土の侵食、②排水路系統における流路床・岸の洗掘、③法崩れ・山崩れ・地滑り、④農用地・商工業用地・宅地等の造成土工に伴う地表じょう乱。

上記の供給源を加味した流送土砂の分類例<sup>2)</sup>を、Table 1 に示す。ところで、浮流形態での移送物質、SS (Su-

Table 1 Forms of sediment loads transport<sup>2)</sup>

Total load	Bed-material load	Bed load
		Suspended load
	Wash load	

suspended solids) は、定義上 1 μm ~ 2 mm 径のものとなるが、物質の比重や流速によっては 2 mm 以上のものも浮遊して流下する。したがって、Table 1 の分類のうち SS は、

$$[SS] = [Wash load] + [Suspended load] + [Bed load \text{ の一部}] \dots\dots\dots (1)$$

と考えられ、Total load の多くの部分を占めるであろう。また従来の研究例によっても、河川による流送土砂は浮流形態の部分の割合が大きいことが示されている。たとえば高山<sup>3)</sup>は、掃流と浮流の比率を 1/6 ~ 1/20 としており、また水山<sup>4)</sup>は流送土砂の 62% が浮流形態によるとの観測例を示している。

浮流形態での土砂流送は、河川の流況に大きく影響され、浮流土砂量 (Q<sub>s</sub>) と流量 (Q) のあいだに、つぎのような経験式がたてられている。

$$Q_s = aQ^n \dots\dots\dots (2)$$

(2) 式の a と n は、流域の基盤である土壌の性質や、河川の勾配などの水理条件・河床条件等によって左右される。これまでの研究のなかから例を挙げると、Table 2 のように示すことができる。

上述のように、浮流土砂流送挙動はおおのこの流域特

濁度計による河川浮流土砂量の推定

Table 2  $n$  value of  $Q_s = aQ^n$ —examples of observation—

river	$n$	observer	literature
Hiigawa	1.92	Kikkawa, H.	5)
Tokatigawa	1.53~2.34	Dohkoshi, J.	6)
Sagamigawa	2.38~5.07	Ebise, S., et al	7)
Tamagawa	2.5	Asano, T., et al	8)

性を反映して複雑な様相を呈する。したがって、流量で流送土砂量を推定しようとする前記の経験式は、河川ごとに必要となるのであるが、さらに同一河川でも季節・時刻・地点・出水の前後半等で変動する。Walling<sup>9)</sup>は、経験式を適用して推定される流送土砂量が、同時に実測した値と 50% 以上の食違いが生じることを示した。そして、誤差を少なくするためには、出水の増・減水過程や季節ごとに分離して対応する式が必要なることを示すとともに、過信を戒めている。

III. 濁度計による推定

1. 濁度と浮流土砂濃度

濁度 (Turbidity) とは、濁水中の物質濃度を白濁土で換算した値であり、濁水 1 l 中に白濁土 1 mg が 1 ppm (または 1 度) と定義される。この指標は、「濁り」の程度を定量的に表現しようとするものであり、このほか SS (Suspended solids) とか TS (Total solids) などが用いられる。濁りの原因となる物質には、①地表に存在する粘土などの無機物質あるいは腐植などの有機物質、②プランクトンなどの微生物、③種々の廃水成分、④異なった水の混合による生成沈殿物、⑤河床物質の舞上がり等があり、前記指標によって包含物質は若干異なってくる。

ここでの研究手法に関連することから、SS と TS についても簡単に触れておく。SS は、規定のろ材で試料水をろ過した場合に、ろ材に残留する物質のことであり、砂など固形物の量を示す指標となる。水の外見上の「きれいさ」を決める最大の因子の一つとして、よく引合いに出される。濁度と強い相関関係を有する場合もあるが、例外も多いとされる。TS は、SS に溶解性物質 (DS: Dissolved solids) を加えたものである。すなわち、105~110°C で試料水を蒸発させ析出した残渣であり、含有物質のうち揮発性物質を除いた残りの全量のことをいう。海水の TS は高い (35,000 mg/l<sup>10)</sup>) ことからわかるように、水の外見上の「きれいさ」の目安とはならないことが多い。わが国の河川の化学成分の平均含量は、炭酸イオンの 31 mg/l を最大として合計 75 mg/l とされ、北海道の場合は 88 mg/l と若干大きい<sup>11)</sup>。

つぎに、濁度による浮流土砂量推定の考え方を述べる。山間の農林地流域においては、土砂以外の無機物質

は無視し得ることから、

$$[SS] = [\text{浮流土砂}] + [\text{有機物・生物}] \dots\dots\dots (3)$$

と考えることができる。しかるに、 $TS = SS + DS$  であるから、

$$[\text{浮流土砂}] = [TS] - \{[DS] + [\text{有機物・生物}]\} \dots\dots\dots (4)$$

であり、高水流出時においては、河川全体の浮遊流送物質量に対して、右辺第 2 項は比重がきわめて小さいとみなすことができる。結局、若干過大評価にはなるが、出水時には

$$[\text{浮流土砂}] \approx [TS] \dots\dots\dots (5)$$

とおいても大きな誤差は伴わないであろう。

濁度計によって表示される値は、そのままでは浮流土砂濃度を示すことにはならない。しかし、そのときの河川水の TS を別途求めることによって [濁度計指示値] ~ [TS] をキャリブレーションしておけば、浮流土砂濃度を推定できることになる。すなわち、濁度計によって、河川の浮流土砂濃度が「連続的」に収録できる可能性が与えられたことになるのである。

2. 草地開発小流域への適用

調査対象地区は、北海道北部の日本海に面した波状性丘陵のなかの小流域である。流域面積は約 200 ha であり、1975 年から開始された草地開発は、1979 年には地区内に 27 ha の草地を完成させている。

流域のほぼ中央を流下する河川の流量は、Fig. 3 に示される地点の複断面形態で、また同一地点で雨量が観測された。濁度計の設置点は、流量観測点の 650 m 下流で、この区間の右岸は自然林地、左岸は古い草地となっている。

使用した濁度計は、散乱光式連続記録濁度計 (北斗理研, MA-902 型) である。この計測には、赤外線波長の発光ダイオードを光源として用い、その散乱光の量を測

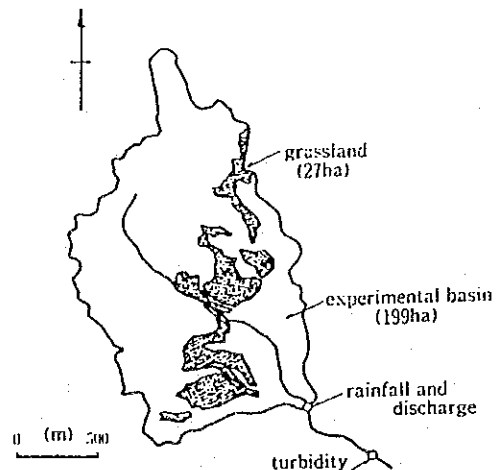


Fig. 3 Experimental basin and measuring points



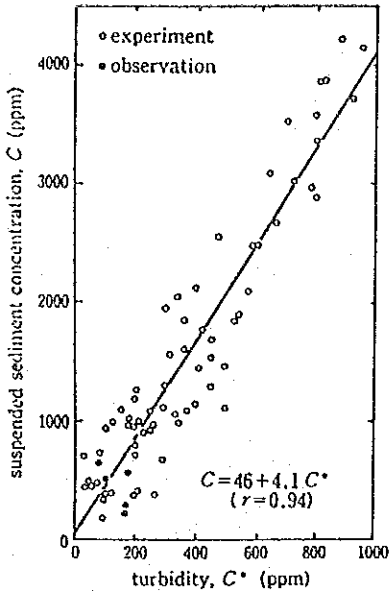


Fig. 4 Calibration from indicated data,  $C^*$  of measuring apparatus

って濁度を指示する方式を採用しているため、従来難点とされていた現場での連続計測が容易に、しかも精度よくできるようになっている。観測期間は、1981年5～10月および1982年4～10月である。

濁度計感部は、濁水時にも水面上に露出しない高さに固定し、流下物による破損を防ぐように設置されている。ただし、濁度の測定範囲が0～1,000 ppmとなっているため、強雨時にはオーバーレンジとなる場合があり、ピーク濁度を問題にするような時には、前後の変動の形状から推定することとした。

濁度計表示値を浮流土砂濃度（前述のように、ここではTSに近似させる）に換算するため、キャリブレーションを必要とする。これには、現地で採水するとともに、河川の底泥によって濁水を作り、計器測定レンジをカバーするTSを求めた。得られた結果をFig. 4に示す。記録紙に自記される値を読み取り、Fig. 4によって河川の浮流土砂濃度  $C$  (ppm) に換算し、さらに浮流土砂量  $Q_s$  (g/s) や1回の出水あるいは1日当りの全浮流土砂量  $L$  (ton) を求めて種々の検討を行った。

### 3. 浮流土砂流送挙動

Fig. 5は、降雨の流出に伴う浮流土砂濃度の挙動を示す一例である<sup>12)</sup>。オーバーレンジのため浮流土砂濃度のピーク付近は推定値であるが、浮流土砂濃度の変化挙動は流量に比べてより急激であり、流量のピークより先に出現するようである。他のデータからも、ピークは同程度ないし若干先行することがわかった。つぎに流量と浮流土砂濃度の関係を経時的にプロットすると、Fig. 6のように示される。すでに指摘されている<sup>13)</sup>ものと同様、

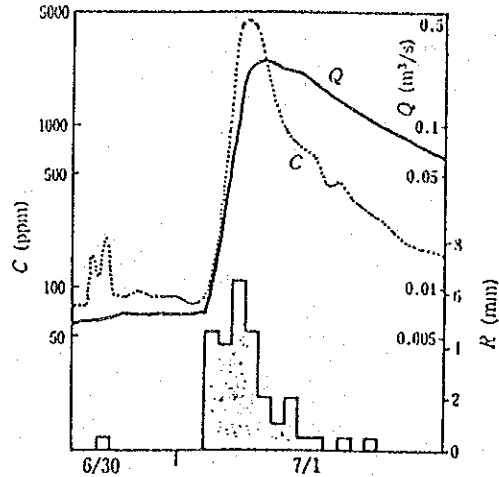


Fig. 5 Change of  $C$  with rainfall~runoff (1981, dotted line=observed, broken line=estimated)

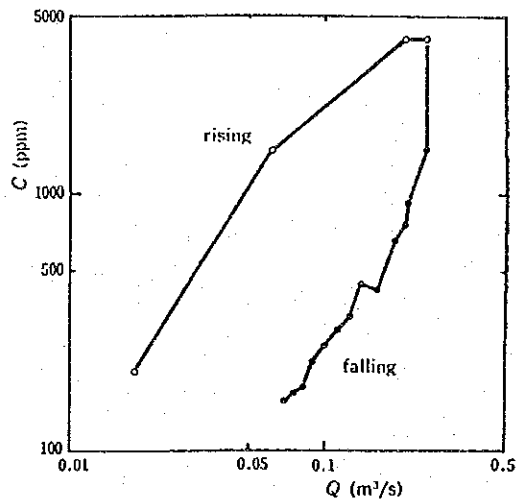


Fig. 6 The relationship between suspended sediment concentration and discharge (1981. 7. 1)

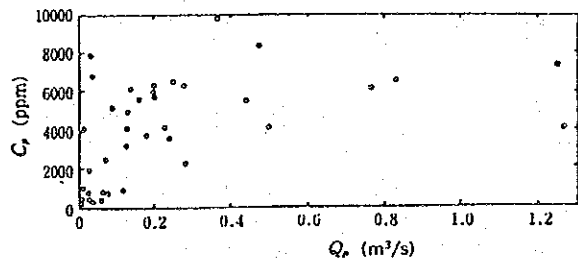


Fig. 7 The relationship between peak concentration,  $C_p$ , and peak discharge,  $Q_p$ ,

流量と浮流土砂濃度の関係は増水過程と減水過程で異なり、右回りのループを描いて変化することがわかる。いいかえると、浮流土砂濃度～流量曲線は、涵減部が上昇部に比べて急勾配で変化することを示している。

降雨～出水ごとの浮流土砂濃度と流量の関係を巨視的

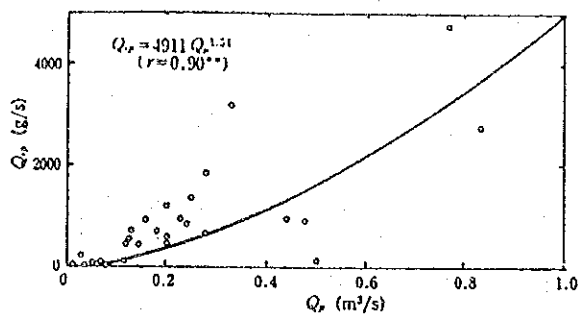


Fig. 8 The relationship between peak suspended sediment load,  $Q_{sp}$ , and  $Q_p$

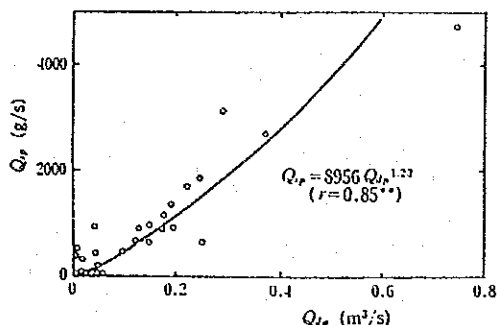


Fig. 9 The relationship between  $Q_{sp}$  and peak direct discharge,  $Q_{dp}$

に把握する目的で、ピーク流量 ( $Q_p$ ) とピーク浮流土砂濃度 ( $C_p$ , 推定値を含む) の関係をプロットして, Fig. 7 の結果を得た。ここではかなりのバラツキのためその傾向を断定するのは難しいが, およそ  $Q_p$  が  $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$  まで  $C_p$  は対応して増大し, それ以上の  $Q_p$  に対しては頭打ち状態にあるといえる。このように,  $Q_p$  と  $C_p$  のあいだには相関性のあることがうかがえるが, 有意な関係式を得るまでには至らない。しかるに, 浮流土砂量に換算して (流量データの無いものは除外) そのピーク値  $Q_{sp}$  と  $Q_p$  の関係をみると, Fig. 8 のように表すことができる。同時に, 浮流土砂濃度は直接流出成分の影響を強く受けると考えられることから,  $Q_{sp}$  と  $Q_{dp}$  (ピーク流量の直接流出成分) の関係を検討したところ, Fig. 9 の結果を得た。

#### 4. 浮流土砂流送量の推定

前節では, 降雨～出水に伴う河川の浮流土砂濃度・浮流土砂量の変動過程を検討した。これに基づき, ここでは全浮流土砂量, つまり流域からの浮流土砂流送量の推定を検討することにする。

出水時の全浮流土砂量は, 浮流土砂濃度が増加しはじめた時点から減衰して一定値を示す時点までの浮流土砂量を合計して得られる。出水時の全浮流土砂量  $L(t)$  と種々の水文要素について, その相関関係を検討した。このなかで,  $L$  との相関性が高いのは, ピーク流量  $Q_p$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), 直接流出率  $f$ (%), 総降雨量  $R_t$ (mm), 平均降

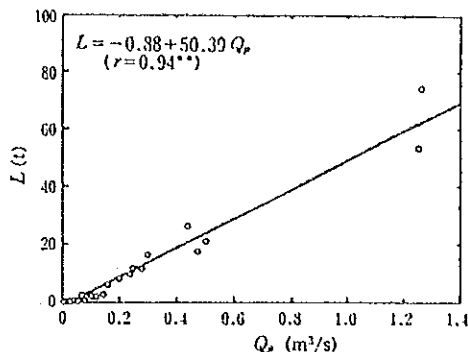


Fig. 10 The relationship between total load,  $L$ , and  $Q_p$

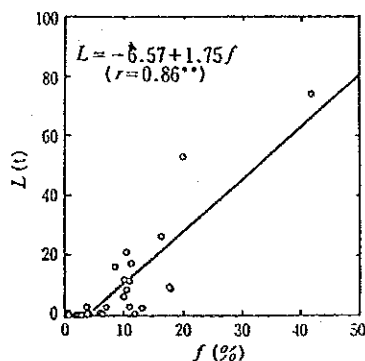


Fig. 11 The relationship between  $L$  and direct runoff percentage,  $f$

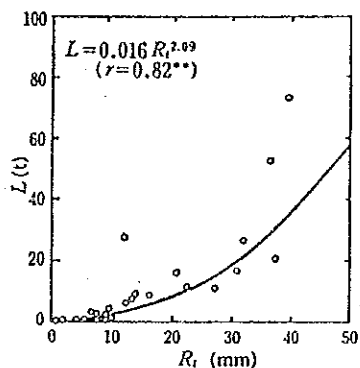


Fig. 12 The relationship between  $L$  and total rainfall,  $R_t$

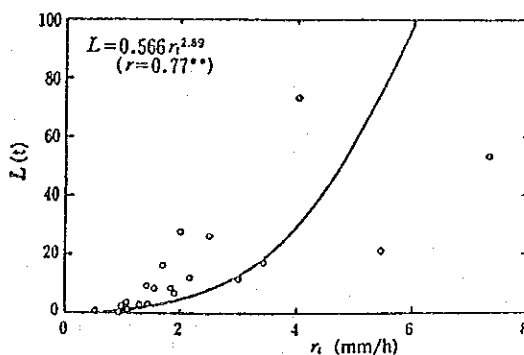


Fig. 13 The relationship between  $L$  and rainfall intensity,  $r_i$

雨強度  $r$  (mm/h) の1因子であった。それぞれの単相関図を、Figs. 10~13 に示す。

#### IV. 適用上の問題点

浮流土砂流送量は、河川のある断面を通過する土砂量で定義される。そして、これを算定する式として水理学的方法がおおく提案される一方、経験的な手法も用いられている。本論文は、後者によって山地小流域からの浮流形態の流送土砂量を把握することを試みたものであるが、適用に当っては以下のような問題がある。

本調査で用いた濁度計は、それ自体取扱いが容易で精度も高いが、感部を流水断面内の1点に固定しなければならない。河床を移動する掃流砂は当初から対象外としているが、断面内の浮流土砂濃度分布に正しく対応し得ず、ある程度の誤差を含むことは否めない。さらに、感部の設置上の問題として、河川の縦断方向における位置の適否があるであろう。とくに、ここで対象とするような山間の河川では、小さな瀬と淵が連続する複雑な縦断形状を示す場合が多い。浮流土砂濃度測定点は、流況の特異な地点を避け、河川形状の安定したところに求めるべきであろう。このことから、計器設置に当っては現場の状況を十分に調査し、慎重に検討する必要がある。

流砂、あるいは枝葉などの流下雑物による感部の埋没は論外として、データ精度上のネックとなるものに感部の汚れがある。これは、水中に存在する各種化学物質、および藻類が原因となる。感部の光源にこのような被覆ができると、当然正しいデータは得られない。このため、定常的な計器の管理を必要とする。

上記のほかにも、濁度測定範囲が機械的に制限されている(範囲を広げると精度がおちる)などの問題があるが、それにもまして得られるデータはきわめて有効であるといえよう。それは、気象条件に敏感に反応する小流域の浮流土砂流送形態を分析するには、時間的に連続した記録が必要不可欠だからである。

#### V. まとめ

傾斜農地で生産される土砂は、雨水や融雪水によって圃場外へ運ばれ、排水路系により流域外へと流亡していく。圃場が一般畑の場合、管理・作付け体系によっては、土砂の生産が継続的に行われるであろう。また草地の場合には、その高い耐食性のゆえに造成中～播種直後の期間に流亡の可能性が大きい。このような、流域外への土砂流送状況は、おおくの因子が介在して複雑な様相を呈するが、とくに小流域では時間的変動が著しい。したがって、くわしい情報を得るには、連続的な測定が不可欠である。このことから、市販の濁度計によって、草地造

成の行われた山地小流域からの浮流土砂の流送挙動を調査し、濁度計利用の可能性を確認するとともに、浮流土砂流送特性の検討を行った。

1) 濁度計で表示される数値は、河川の浮流土砂濃度と直線的な関係にあり、キャリブレーションによって浮流土砂量のデータを連続的に収録することができる。

2) 降雨～出水に伴う浮流土砂濃度の変化挙動として、従来の指摘と同様な、流量に対して急激に変化することや、ピークの先行、ループ特性等を確認した。

3) 流出時の浮流土砂濃度あるいは浮流土砂量のピーク値は、ピーク流量と強い相関性がある。

4) 1回の降雨～出水による全浮流土砂量は、ピーク流量・直接流出率・総降雨量・平均降雨強度等と相関性が高い。

以上のことから、浮流土砂流送状況の実態を把握するうえで、濁度計による連続記録方式はきわめて有効であるといえることができる。

#### VI. あとがき

山林傾斜地を農用地開発すると、地表条件の改変に伴いさまざまな影響が現れてくる。表土の侵食は重要なものの一つであるが、このほか流出状況の変化が挙げられよう。後者については多くの議論がなされているが、たとえば降雨流出時のピーク流量が増大するとして報告<sup>1)</sup>がある。一方、農用地開発に付随して、流域内には排水路が設けられ、また従来の水系を改修する場合がある。この場合、蛇行部を直線化したり、湿地などの遊水部分が改修の対象となる。これらは、流れの水理条件に影響を及ぼすことになり、流水の運動エネルギーの増大をもたらす。

開発に付随して生産される流亡土砂は、傾斜圃場面にかかわる非点源負荷とともに、上記の河川改修にかかわる河床と河岸の洗掘・崩壊、いわば「線源負荷」とでもいべき部分が無視し得ないように思われる。

#### 【謝辞】

本研究を進めるに当り、北海道開発局農業調査課および北海道開発局留萌開発建設部・帯広開発建設部の関係各位には、調査の実施に際して便宜と協力をいただいた。また、計器設置にひとかたならぬお世話をいただいた伊東牧場、観測に協力をいただいた専攻学生諸氏に対して、深甚の謝意を表する次第である。

#### 引用文献

- 1) 片岡隆四・稲田安治・桜田純司・長沢啓明：草地開発の水収支への影響, pp. 183~186, 北海道開発局農業調査課 (1983)
- 2) 河村三郎：土砂水理学 1, p. 242, 森北出版 (1982)
- 3) 高山彦次：新潟県海府浦付近の濁流河川の流送土砂濃に関する研究 (第二報), 地評 38, pp. 415~425 (1965)

### 濁度計による河川浮流土砂量の推定

- 4) 永山高久：山地河川の浮遊砂観測，土木技術資料 22(5)，pp. 46～51 (1980)
- 5) 吉川秀夫：浮遊流砂量に関する二、三の考察，土木研究所報告 83(2)，pp. 25～37 (1952)
- 6) 堂隈 純：河川の流送浮泥について，農土研 21(1)，pp. 21～30 (1953)
- 7) 海老須清一・宗宮 功・大塚尚史：市街地小河川の水質および負荷量の変動特性，水質汚濁研究 2(1)，pp. 33～44 (1979)
- 8) 浅野富夫・馬場洋二・伊藤雄二・柳貫克彦：河川における雨天時水質の変動について，第 24 水質論集，pp. 173～178 (1980)
- 9) Walling, D. E.: Limitations of the Rating Curve Technique for Estimating Suspended Sediment Loads, with Particular Reference to British Rivers, Erosion and Solid Matter Transport in Inland Water Symposium, pp. 34～48 (1977)
- 10) 合田 健爾：水環境指標，p. 115，思軒社 (1979)
- 11) 山本狂殺稿：澗水，p. 41，共立出版 (1974)
- 12) 長沢徹明・油川潤一：流域外への土壌流出量の推定について，農土学会大会講要集，pp. 405～406 (1982)
- 13) 吉川秀夫稿：流砂の水理学，p. 143，丸善 (1985)
- 14) 桜田純司・片岡隆四・梅田安治・長沢徹明：ユニットハイドログラフ法による流出形態の検討——草地開発の水収支への影響——，農土学会大会講要集，pp. 496～497 (1978)

[1986.2.7 受稿]

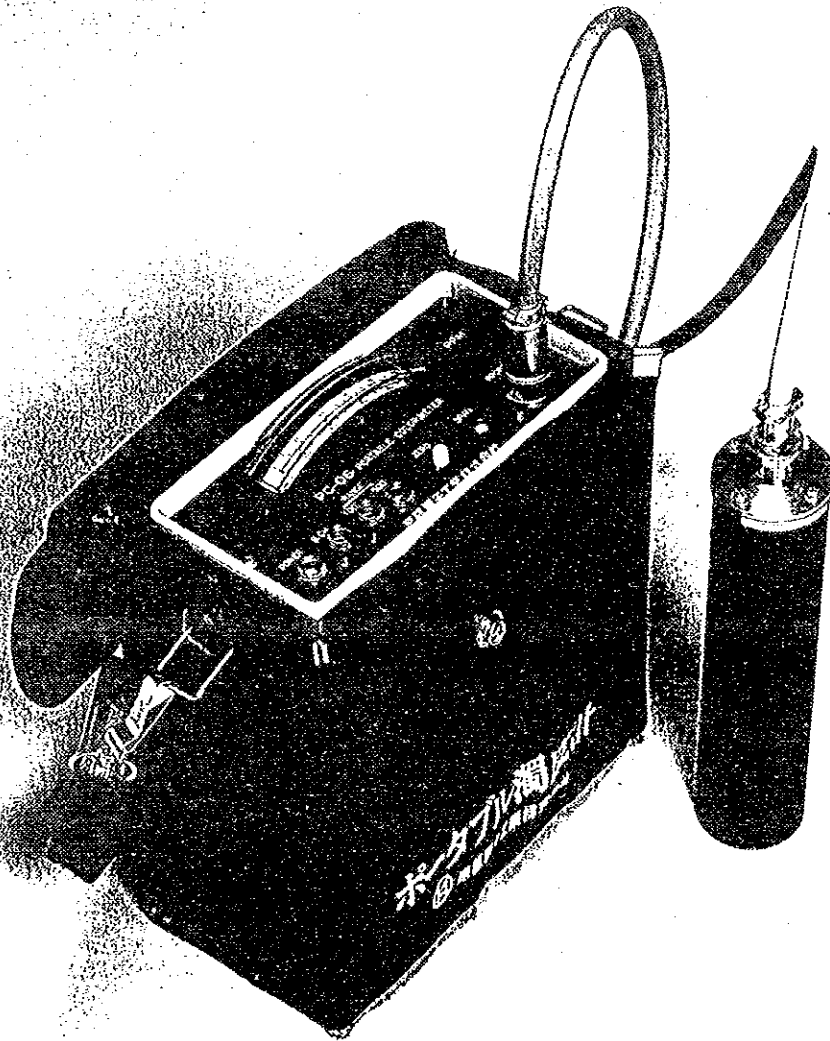
(この論文に対する公開の質疑あるいは討議 (4,000 字以内，編集委員会あて) は，1987 年 4 月 25 日まで受け付けます。)



# ポータブル濁度計

Portable Turbidimeter

PG-06



京都電子工業株式会社

# ポータブル濁度計 PC-06

水道水、工業用水、河川水、海水、廃水などの濁度を現場で簡単に測定できる、電池電源ポータブル形の濁度計で、測定値はppm目盛のメーターで直読できます。

測定器は指示部と投込みブローブ形検出端から構成されています。肩掛けできる携帯バックに収納してありますので野外、実験室のいづれでも容易に濁度を現場で測定することができます。

## 特長

ppm(白とう土標準濁度)で直読できます

JIS K 0101 で定められた濁度標準液を基準に調整してあります。電源スイッチを入れ、測定レンジを選択するだけで測定でき濁度ppm値が直読できます。

測定範囲は2レンジ切替です

0~100ppm、100~500ppmの2レンジ切替になっているので広範囲の測定が精度よくできます。

標準液は不要です

純水で零合せをするだけで、感度は自動的に校正できます。

現場で簡単に測定できます

検出端を測定点に投入し2~3度ケーブルを上下させると、サンプリングができ、その場で測定できます。

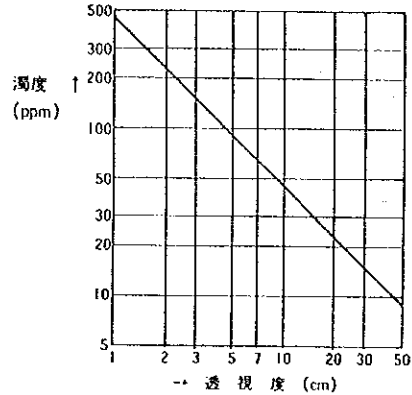
小形で軽量です

計器は検出端、電池を含めて3.3kgです。携帯バックに収納してありますから、どこにでも持ち運んで測定できます。

電池の寿命が長い

消費電力が少く、1回の電池交換で約50時間連続使用できます。電池は市販の単一乾電池6個を使用し、電池のチェック機構を内蔵しています。

(参考) 白濁の場合の濁度と透視度との関係



## 仕様

形式名称	PC-06 ポータブル濁度計
測定方式	透過光測定
測定範囲	0~100ppm (最小目盛5 ppm) 100~500ppm (最小目盛25ppm) 2レンジ手動切替, 白とう土標準濁度
測定精度	全目盛の±5%以内
指示計	濁度 2重目盛 目盛長65mm 感度100 $\mu$ A 2.5級 
応答時間	10秒以内
寸法重量	指示部 幅160×奥行190×高さ80mm 約2.5kg 検出端 $\phi$ 42×215mm 約0.8kg ケーブル長さ 3m*
塗装色	ケース マンセルN7 パネル マンセルN3
電源	単一乾電池 6本
電池寿命	連続使用換算 約50時間
検出端	形状 投込み浸漬形 材質 塩化ビニール, SUS304 光路長 50mm 光源 6Vタンクステンランプ 検出器 CdSセル 接続ケーブル長さ 3m*
付属品	携帯用バック……………1個 取扱説明書……………1部

\*別売でケーブル長さ10mの検出端も販売しています。

## 京都電子工業株式会社

東京営業所 102 東京都千代田区四番町4番地9 電話(03)239-7331 FAX.(03)237-0537  
横浜出張所 221 横浜市神奈川区鶴屋町3丁目35-1 電話(045)320-1451 FAX.(045)320-1457  
大阪営業所 541 大阪市中央区安土町1丁目6番22 電話(06)266-1512 FAX.(06)266-0253  
福岡営業所 812 福岡市博多区博多駅東1丁目11-5 電話(092)473-4001 FAX.(092)473-4003  
本社・工場 601 京都市南区西九条新田二の段町68 電話(075)691-4121 FAX.(075)691-4127

1990年7月現在 性能および外観は、改善のため予告なく変更することがあります。

IB22B

## 林内流出土砂量の測定法

梁瀬秀雄・秋谷孝一・滝口喜代志(林試)

森林の地表侵食防止効果は森林の状態によって異なり具体的な把握は容易ではない。そこで、林相のちがう3試験斜面での流出土砂量をプロット法(図-1)とトレンチ法(長さ1mの土砂受箱のみ)で測定し、測定方法を検討した。

### 1. 試験地の概要と測定法

前橋営林局矢板営林署管内釈迦ヶ岳国有林47林班のブナ天然林(A試験区)、栃木県矢板市高原国有林9林班の天然林伐採跡地(B試験地)および23林班のヒノキ人工壮合林(C試験地)を試験地とした。A試験地はイヌブナを主としたブナ、カエデ、ササ等のある原生林に近い林の東南斜面にあり面積は約1haである。48年8月、プロットを平滑斜面に4個、トレンチを平滑、尾根型、谷型、荒廃の各斜面に計16個設置して、プロットとトレンチでの流出土砂量の対比と同時に、測定位置の違いによる流出土砂量の差をチェックできるようにした。B試験地は伐採間もない所で東向き平滑斜面の上部、下部に広さ20m×20mのものをとり、49年5月に1箇所あたりプロット1個、トレンチ4個を設置した。その直後、斜面上部にヒノキ、下部にスギが新植された。C試験地は約45年生のヒノキ人工林で49年5月に広さ30m×15mの東南平滑斜面にプロット2個、トレンチ8個を設置した(図-2)。

流出土砂量測定時期は、冬期、梅雨期、台風期を考慮して5月、8月、11月とし、その絶乾重量を測定した。

### 2. 結果と考察

#### 1. ブナ天然林内の測定位置と流出土砂量(表-1)

傾斜、斜面上の位置と流出土砂量：傾斜40°の平滑急斜面のトレンチT2、T4を斜面上部グループ、T1、T3を斜面下部グループに分けると流出土砂量はおおむね下部グループの方が多く、斜面の長さに関係がありそうだ。しかし、傾斜26°の平滑緩斜面では斜面上の位置の違いによる土砂量の差は明らかではなく、量的にも平滑急斜面のそれより少ない。また、平滑急斜面では土砂受箱設置時の影響がみられるが平滑緩斜面ではその影響がみられない。

斜面形と流出土砂量：尾根型斜面より谷型斜面の方が土砂量が多い。両者ともにトレンチ設置時の影響が見られる。

荒廃斜面と流出土砂量：流出土砂量が他の設置斜面に比べて多く、土砂受箱設置時の影響も不明であるが、2mm以上の石礫(実際には数個の石)を除いた土砂量について考えると、土砂受箱設置当年は傾斜26°の平滑斜面、尾根型および谷型斜面での流出土砂量よりも多いが2年目になると減少して、他のトレンチと同じような傾向を示す。

地表の被覆状態と流出土砂量：地表の被覆状態は、P1は少、P2およびP3は中、P4は多で、被覆状態の悪いP1で流出土砂量が著しく多い。また、P1とP3では土砂受箱設置時の影響がみられるがP2とP4では明らかではなく、流出土砂量と地表の被覆状態は地表がある被覆状態に達するまで密接な関係を持っていると考えられる。

#### 2. プロット法、トレンチ法による流出土砂量の変動傾向(図-3)

A試験地は各トレンチにおける流出土砂量の変動傾向はプロットP<sub>B</sub>の傾向とほぼ似ている。プロットP<sub>A</sub>のみ異なった傾向を示しているが、これは地表被覆状態がよく土砂の移動がスムーズに行われなためと考える。B試験地はプロットP<sub>A</sub>、P<sub>B</sub>、トレンチT<sub>A</sub>の変動傾向が異なるが、プロットP<sub>B</sub>とトレンチT<sub>B</sub>は49年11月減少、50年6月横ばい状態、50年8月増加、50年11月で減少しており変動傾向が似ている。全体としてT<sub>A</sub>が特異な傾向を示している。C試験地ではプロットP<sub>A</sub>、P<sub>B</sub>、トレンチT<sub>A</sub>、T<sub>B</sub>の流出土砂量の変動傾向がいずれもほぼ似ている。

### 3. まとめ

流出土砂量は急傾斜の平滑斜面、荒廃斜面、地表の被覆状態の悪い斜面では多くなる傾向があり、測定位置の違いによる差が認められるが、林相の違う3試験斜面を対象にして、プロット法、トレンチ法による流出土砂量を絶対量の比較ではなく、流出土砂量の変動傾向で比較すると、両者の変動傾向はほぼ似ていると考えられる。

Hideo YANASE, Koichi AKIYA & Kiyoshi TAKIGUCHI (Gov. For. Expt. Sta., Meguro, Tokyo 153)

Measurement of soil loss in the forest land

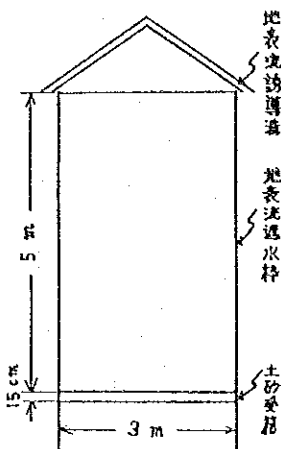


図-1. プロット平面図

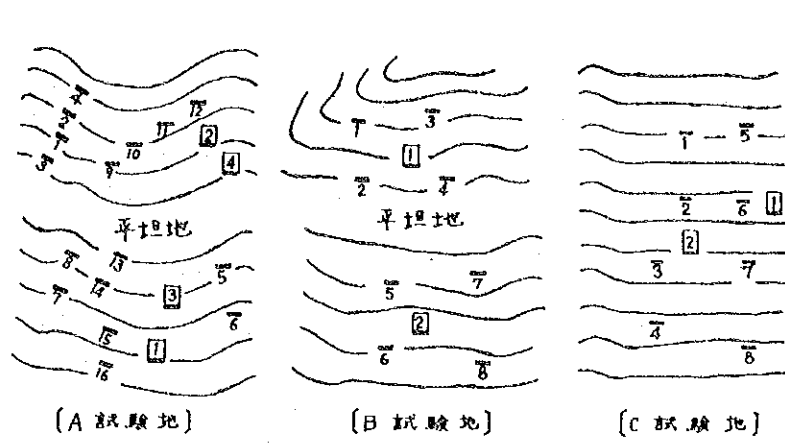


図-2. 土砂受箱配置図 (□: プロット, —: トレンチ)

表-1. 流出土砂量 (絶乾重量: g)

林相	設置斜面	傾斜	土砂受箱番号	48年11月	49年5月	49年8月	49年11月	50年6月	50年8月	50年11月
ブナ天然林 (A 試験地) 設置 48年8月	平滑	30°	P-2	0	5.5	8.6	4.3	0	0.7	2.2
		28°	P-4	0	20.0	7.0	0	0	10.1	15.4
			R-2,4	0	12.9	7.8	2.2	0	5.5	9.0
		28°	P-3	45.4	9.1	14.8	10.5	0	0.7	1.9
		30°	P-1	296.9	80.6	360.5	313.3	0	36.6	27.7
		R-1,3	171.2	44.9	187.8	162.0	0	18.7	14.9	
	平滑	40°	T-4,2	0	4.0	335.8	21.8	0	5.2	5.5
			T-1,3	80.6	88.8	111.4	70.2	16.4	19.9	10.6
			Ta-1,2,3,4	40.3	46.6	223.7	46.1	8.2	12.7	8.2
	平滑	26°	T-13,14	0	3.3	20.5	0	0	3.4	4.8
		T-15,16	19.9	0	11.2	6.7	0	4.7	6.7	
		Tb-13,14,15,16	6.9	1.6	15.9	3.4	0	4.1	5.8	
尾根型	30°	Tc-5,6	25.6	2.1	9.5	2.5	0	1.3	1.3	
	26°	Tc-7,8	30.8	4.1	17.4	2.3	0	6.5	6.2	
荒	26°	Tc-9,10,11,12	167.5(41.0)	40.9(20.4)	140.2(39.7)	197.6(6.8)	40.9(3.0)	20.6(6.8)	31.3(4.6)	
天然林保護 跡地 (B 試験地) 設置49年5月	平滑	36°	R-1			471.7	104.6	98.4	78.8	58.9
			Ta-1,2,3,4			255.2	85.7	179.7	149.2	56.3
		35°	R-2			537.9	0	4.9	51.0	24.5
ヒノキ人工 社令林 (C 試験地) 設置49年5月	平滑	35°	R-1			1864.2	471.0	93.0	95.7	63.3
			Ta-1,2,5,6			1103.1	182.8	40.9	79.6	47.4
		35°	Rb-2			1491.9	345.0	99.4	87.2	59.3
		Tb-3,4,7,8			854.5	138.8	31.1	47.5	31.0	
備考				①土砂受箱1枚数個の数字は平均値		②( )内の数字は粒径2mm以下の重量				

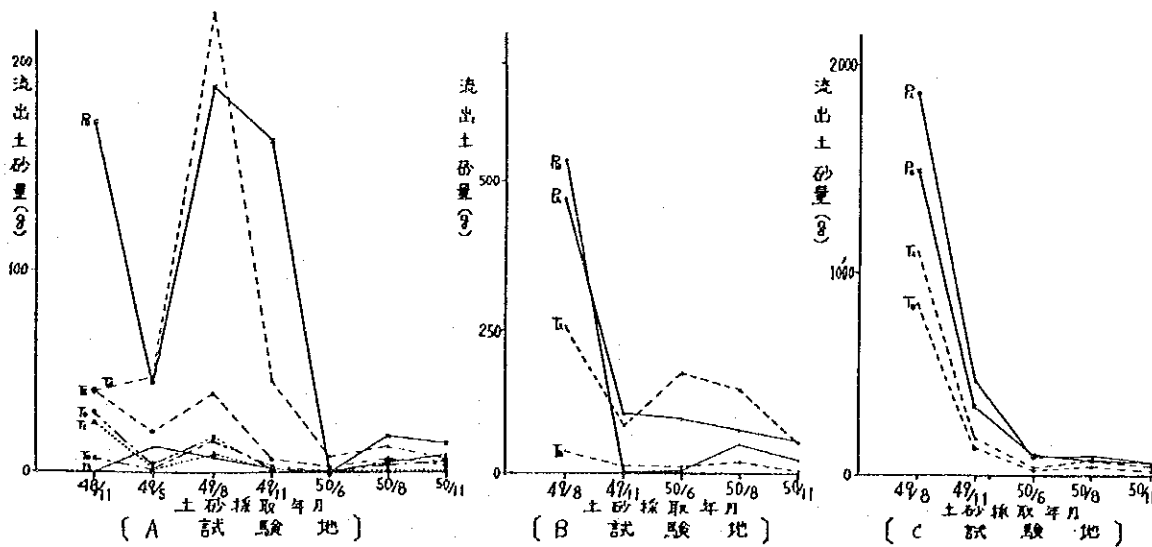


図-3. 流出土砂量 (PA~PB: プロット, TA~TB: トレンチ)



複製  
不可

林業土木ハンドブック  
(改訂版)

昭和43年3月25日 第1刷発行 定価 2800円  
昭和48年10月1日 改訂版発行 (送料 110円)

編者 林業土木技術研究会 代表  
松本 広 治  
村本 正 昭  
監修者 荻原 貞 夫  
上飯 坂 実  
発行者 増田 伊勢雄  
印刷者 株式会社熊谷印刷  
盛岡市山田1-6-19  
陽成印刷株式会社  
東京都文京区水道2-1-11

発行所 千代田出版株式会社  
(〒101) 東京都千代田区西神田 2-5-2  
電話 (262) 5171 接替東京15825

製本：(前)河上製本 乱丁、落丁はお取りかえ致しました。

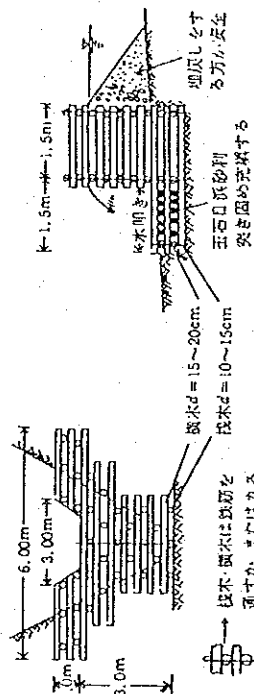


図-22

7 アースダム (図-22)  
堤体中央部に心壁 (例またはコンクリート) を入れ、心壁を中心として、砂質土または粘質土で締め固めて作ったものである。

アースダムは、流域面積が比較的狭く、流水量、流速が少なく、かつ深幅が広く、コンクリートまたは玉石コンクリートダムでは多額の造設を要する場合に採用される。

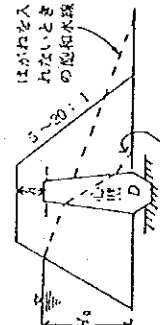


図-23

8 木ダム (図-23)  
設計、施工容易で、良質石材のないところ、運搬不便のところには適するが、安定度低く、腐朽しやすい。また洪水により放水路まで部が破壊されやすい欠点がある。小野溪に地質的に施設すると効果がある。高さは4m以下とする。最近では、あまり使用されない。

9 蛇かごダム  
蛇かごの柔軟性を利用して、蛇かごを組立立てて作る。このダムは、はげ山地帯、地すべり地帯あるいは崩壊地の崩落土砂部、ノリ切土の軟弱地盤の上に計画される。

蛇かごダムは、基礎の沈下、側圧、地盤沈下に対して即応して変形するという特性を利用して採用する。また、難建設物であるから高さは5m以下とする。また鉄線章が深押しやすく耐久性がないので、地盤が安定してからコンクリートで被覆することがある。いずれにしても緊急的な仮設工作物の一つとして利用されるべきものである。

10 幹ダム  
外側を木またはコンクリートブロック

で岸とし、内部に玉石をつめたものである。最近では、コンクリートブロックのものが多く用いられている。  
このダムは、大規模な土石流発生のおそれなく、平常水の少ない、砂利、礫の多い小野溪に採用される。また短い期間内に完成する必要がある場合にする。高さは、3~5m程度までとする。

11 モルタル注入ダム

型枠を使用して、内部に粗骨材を詰め、庇蓋された注入パイプを通じて、粗骨材の空隙に、特殊モルタルを注入して築造するものである。本工法の長所としては、

- (1) 工作物の施工技術にもとづく不均質が避けられる。
- (2) 作業の分割施工ができる。
- (3) 玉石コンクリートに比し労働者が少ない。
- (4) 工期を短縮できる。

などがあげられ、短所としては、

- (1) 最終値が少なく、粗骨材を含んだコンクリート強度に満足できない。
- (2) コンクリートの締結がおそいため、冬期施工にはあまりむかない。
- (3) 使用水量が多いので、水利用に富んでいない所では行なわれない。
- (4) 一般化していないため、モルタル注入技術が一般に下手である。

などがあげられるが、今後省力的えん堤として活用の道を講ずる必要がある。

12 玉石コンクリートダム (図-24)  
型枠を使用して、内部に玉石コンクリ

ートを充填して作るもので、上下流面および天端を表面コンクリートで0.1m位を覆い、また基礎に0.15~0.2mの厚さのコンクリートを打つものが多い。本工法の長所として、

- (1) コンクリートが少なくすむ。
- (2) 単位当りの重量が大である。
- (3) 単位当りがあがるが、短所としては、

(1) 玉石の気体積(空隙率)をおさえることが十分でない。

(2) 玉石とコンクリートとの密着が十分に保たれない。

(3) 玉石の配列とコンクリート打りの作業がさくさくし品質の均一化が困難である。

13 アーチダム  
アーチダムは、外力をアーチ作用で両岸および基礎岩盤に伝達して抵抗するものである。その結果両岸および基礎岩盤とも堅固であることが必要である。その断面は重力ダム断面と比較して非常に小であり、したがって橋脚立脚も僅少ですむための工事費、資材の節約はかかることができるが、このためダム地点の価額が高さの3倍以下でなければならぬ。

両岸岩盤が多少軟弱であっても、この部分だけ重力ダムとすれば十分目的は達することができる。治山ダムのように堆砂の早いダムでは、堆砂後に安定条件がよくなるから本工法を採用することが望ましい。

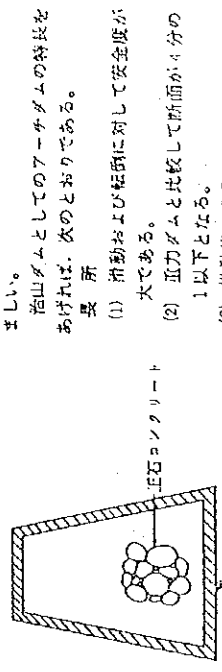


図-24

- (1) 消動および転倒に対して安全度が大である。
- (2) 重力ダムと比較して断面が1/4以下となる。
- (3) 堆砂後に安定条件がよくなる。

短所

- (1) 岩盤の支持力を高価に要求する。

治山設計の手引

昭和39年6月20日 印刷  
昭和39年6月30日 再版発行

¥ 800 (千180)

編 著 治山研究会  
監 修 林 野 庁  
発行所 慶林出版株式会社

東京都港区芝新橋6~78  
振替 東京 80543番

治山設計の手引

7) 土 堰 堤

流域面積が比較的狭く、流水量、流送石礫が少なく、かつ溪巾が広く、コンクリート堰堤または玉石コンクリート堰堤では多額の経費を要する場合に作られる。中心に上層粘土またはコンクリートで最上水位まで心壁（溝）を入れ、その両側は普通の山土、粘土等で15~20cmの薄い層で、銷、ランマーまたはははしを張り、天端より下は筋走を施行し放水路部は空張、練張、コンクリート張を行なうのが普通である。

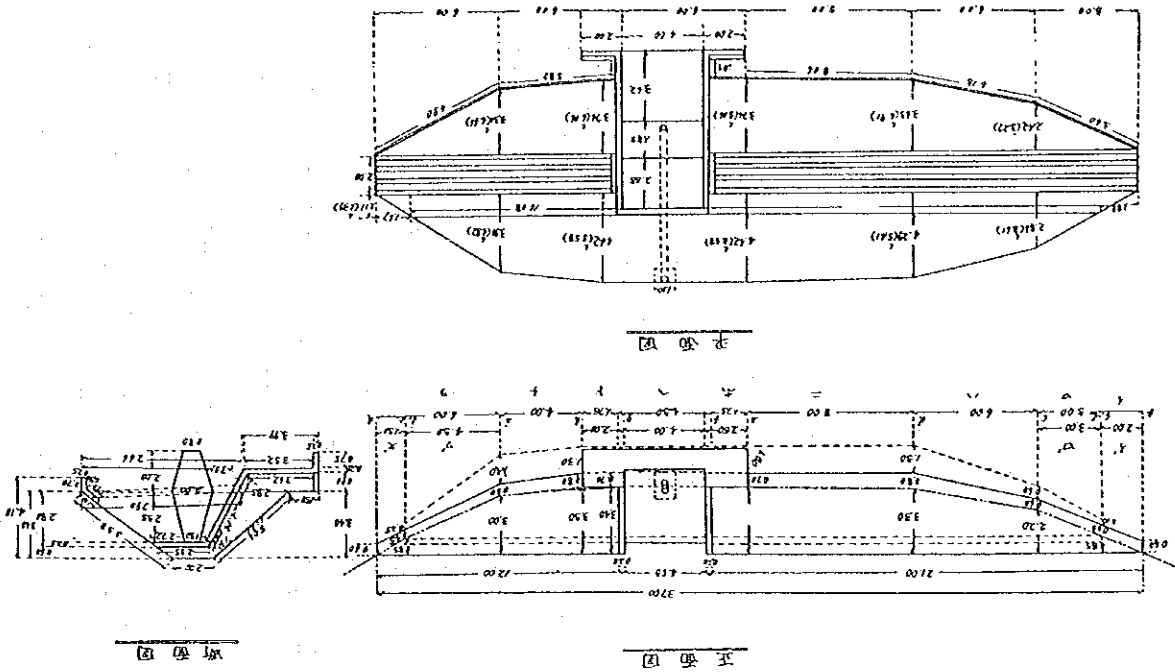
施行上の注意としては次のとおりである。

- a) 床礫は良質な岩盤か、不透水層をもつ地山に達するまで行なう。
- b) 床礫中湧水のある場合は排水施設を設けること。
- c) 用土は適当な水分を含むこと。  
(綱土30~50%, 築土15~30%を標準とする。)
- d) 盛土のまき出し厚さの限界は銷またはははしランマーによる場合は15cm以下とし、つきかためめの方向は必ず堰堤の縦断方向とする。
- e) 堤上にまき出された土は必ずその目のうちらにつきかためめを完了し、不十分な盛土の上には新しい土をまき出さないこと。
- f) つき固めはその材料密度が最大となるまで行なうこと。

標準は次のとおりである。

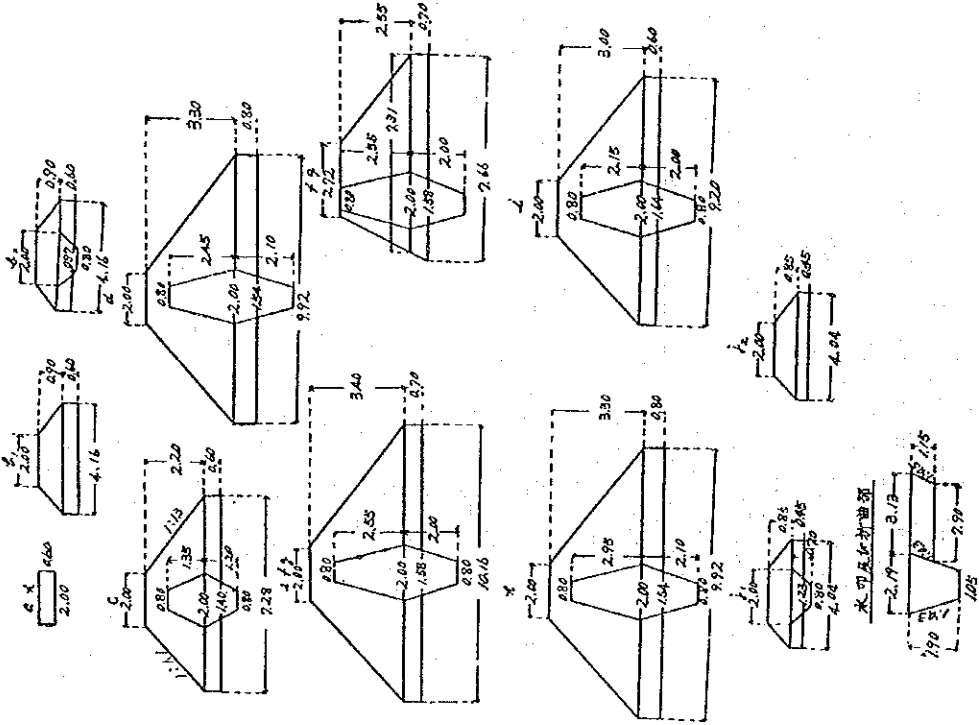
手つき	6回以上
ランマー	4 "
ローラーブレード	6 "

- g) 管柱の立った表土、または填上した表土は必ず除去すること。
  - h) 盛土上のコンクリートは盛土の沈下後に行なうこと。
- 高さ2~5m、水露法2割、水露法1~2割程度、天端厚は2.0~5.0mのものが多い。



第Ⅱ編 溪間工事

治山設計の手引



コンクリート体積		㎡
側壁部	$\frac{1}{2} \left\{ \frac{2.00+4.04}{2} \times 4.85 + \frac{4.32+2.85}{2} \times 2.55 + \frac{4.10+2.52}{2} \times 1.15 \right\} \times 25.2$	6.73
排水部 及水切部	$\frac{1}{2} \left\{ \frac{2.55+4.14+3.37+3.52+4.14+2.22}{2} \right\} \times 4.00 \times 0.25$	10.22
打曲部	$(1.90 \times 8.00 - 0.8 \times 4.00) \times 0.25$	2.90
水切部	$\frac{1}{2} \left\{ \frac{1.00+0.85+0.70+0.58}{2} \right\} \times 1.00 \times 0.25$	0.40
計		19.65
型枠面積		㎡
側壁部	$\frac{1}{2} \left\{ \frac{2.00+4.04}{2} \times 0.85 + \frac{4.32+2.85}{2} \times 2.55 + \frac{4.10+2.52}{2} \times 1.15 \right\} \times 2$	24.53
排水部	4.00 × 4.14	16.56
打曲部	$(8.00 \times 1.90) - (4.00 \times 0.90) - (1.90 \times 1.75) \times 2 + (4.50 \times 0.25) + (0.25 \times 1.90) \times 2$	22.58
水切部	1.00 × 0.7	0.7
計		64.37
床盛体積		㎡
イ	$\frac{1}{2} \left\{ \frac{2.00 \times 0.60}{2} + (4.16 \times 0.60) \right\} \times 2.00$	3.70
ロ	$\frac{1}{2} \left\{ \frac{1.07+1.90}{2} \times 1.01 + \frac{1.14+1.60}{2} \times 0.60 + \frac{1.40+2.30}{2} \times 0.60 + \frac{1.60+2.80}{2} \times 0.60 \right\} \times 6.00$	22.84
ハ	$\frac{1}{2} \left\{ \frac{1.40+2.30}{2} \times 0.6 + \frac{1.60+2.80}{2} \times 0.6 \right\} + \frac{1.50+2.8}{2} \times 1.30 + \frac{1.92+2.8}{2} \times 0.8 \right\} \times 6.00$	43.46
ニ	$\frac{1}{2} \left\{ \frac{1.54+2.8}{2} \times 1.3 + \frac{1.92+2.10}{2} \times 0.8 \right\} + \frac{1.58+2.8}{2} \times 1.34 + \frac{1.8 \times 0.7}{2} \times 8.00$	72.46
ホ+ト	$\left( \frac{1.58+2.8}{2} \times 1.80 + \frac{1.6 \times 0.7}{2} \right) \times 3.50 + \frac{2.77+2.05}{2} \times 1.90 \times 3.50$	41.08
ヘ	$\left\{ \frac{2.77+2.05}{2} \times 1.90 + \frac{3.02+2.9}{2} \times 1.15 \right\} + \left( \frac{2.51+2.55}{2} \times 0.7 \right) + \left( \frac{1.50+2.8}{2} \times 1.3 \right) \times 5$	59.99
チ	$\frac{1}{2} \left\{ \frac{1.54+2.8}{2} \times 1.30 + \frac{1.92+2.10}{2} \times 0.8 \right\} + \left( \frac{1.44+2.8}{2} \times 1.4 + \frac{1.92+2.10}{2} \times 0.6 \right) \times 4.00$	83.37
リ'	$\frac{1}{2} \left\{ \frac{1.64+2.8}{2} \times 1.4 + \frac{1.92+2.10}{2} \times 0.6 \right\} + \left( \frac{1.50+2.8}{2} \times 0.25 + \frac{1.4 \times 0.45}{2} \right) \times 4.50$	20.93
ロ'	$\frac{1}{2} \left\{ \frac{1.30+2.8}{2} \times 0.25 + \frac{1.04 \times 0.45}{2} \right\} + (4.4 \times 0.45) \times 1.50$	2.92
計		300.75



昭和39年7月1日発行

---

林業土木施工法 定価 1,200円  
(送料共)

編集・発行 財団法人 林業土木エソナルタソツ  
東京都千代田区永田町2-1

---

印刷・(有)千代田印刷

(2) 曲線えん堤の丁張

曲線堰堤の丁張は、次のように行う。

曲線堰堤の外円周の両端A、Bの位置を決め、A、B点に堅固な梁柱をつくる。

A、Bより上流部にC、D点を河岸に取り、また円中心点Oより下流部にE、F点を河岸にとり、これら4点(C、D、E、F)をA、B両点と同高に取り、緊縮点をつくる。

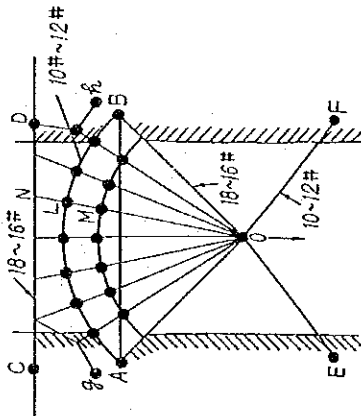


図3-10

次に図のようにOを中心として15~16本の半径線を、18#~16#の鉄線で作り、一端をOで繋ぎ、他端M、L、Nを弧のようにOM=内円半径、ML=天端幅にとり端末NをCD線にとめる。この場合、M、Lの点は円弧にしておく。この円弧に10#~12#線を通して外円と内円をつくる。このように15~16本の半径線をつくり、外円と内円が決定したのち、O、A、B、C、D、E、F点を(あらかじめ計算してその長さは決定しておくこと)A、B点に締結し、次にO点を10#~12#でE、F点より引張り上げる。次にCD線を張り、各半径線を上流方向に直に張って締めつけると求める弧ができる。この円型丁張から錘を下して床版位置を下して決定する方法は直線えん堤と同様である。A、B、C、D、E、F点は同高になるようレベル測定を行い、且つこれらの点は確実に保持しておくこと。

(註) 上図においてAB=a、中心角=rとすれば、曲線の半径は

$$\frac{a \cos \frac{r}{2}}{\sin r}, \quad \text{外円周の長さは } \frac{a \cdot r}{2 \sin \frac{r}{2}} \cdot 572.75 \text{ となる。}$$

以上の方法以外には、外円周の上流部に方向線A、Bを張り、A、Bより錘を下し、この点を基準として、あらかじめ計算して出した外円、内円周の各点を床版上に求めてもよい。

7. その他のえん堤の施工

いままでのべたのは、主としてコンクリートおよびこれに鋼管するえん堤について

であるが、この他のえん堤についてその要点をのべよう。

(1) 土えん堤

流域面積が比較的狭く、流水盛、流速石礫が少なく、かつ溪巾が広く、コンクリートえん堤または玉石コンクリートえん堤では多額の経費を要する場合に作られる。中心に上質粘土またはコンクリートで最高水位まで心壁(鋼)を入れ、その側は普通の山土、粘土等で15~20cmの薄い層で、鋪、ランマーまたはローラーでしめかためる。下流面には通常芝を張り、上流面には放水路天端より上に芝を張り、天端より下は筋芝を施行し、放水路は空張、絞張、コンクリート張を行なうのが普通である。

施行上の注意としては次のとおりである。

- a) 床版は良質な岩盤か、不透水層をもつ地山に建てるまで行なう。
- b) 床版中湧水のある場合は排水施設を設けること。
- c) 用土は適当な水分を含むこと。  
(鋼土30~50%、築土15~30%を標準とする。)
- d) 盛土のまき出し厚さの限界は、鋪またはランマーによる場合は15cm以下とし、つきかためめ方向は必ずえん堤の縦断方向とする。
- e) 堤上にまき出された土は必ずその目のうちにつきかためめを完了し、不十分な盛土の上には新しい土をまき出さないこと。
- f) つき固めはその材料密度が最大となるまで行なうこと。

標準は次のとおりである。

手つき	6回以上
ランマー	4 "
ローラーブレード	6 "

g) 霜柱の立った表土、または凍上した表土は必ず除去すること。

h) 盛土上のコンクリートは盛土の沈下後に行なうこと。

高さは2~5m、水致法2割、水表法1~2割程度、天端厚2.0~5.0mは多い。

(2) 砕えん堤

外側を木またはコンクリートブロックで枠とし、内部に玉石をつめたものである。



治山計画と実行

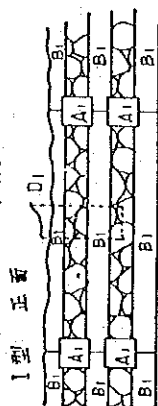
昭和34年4月10日印刷  
昭和34年4月15日発行

編集 林 野 芹  
発行 社団法人 日本治山治水協会  
印刷 新和印刷株式会社

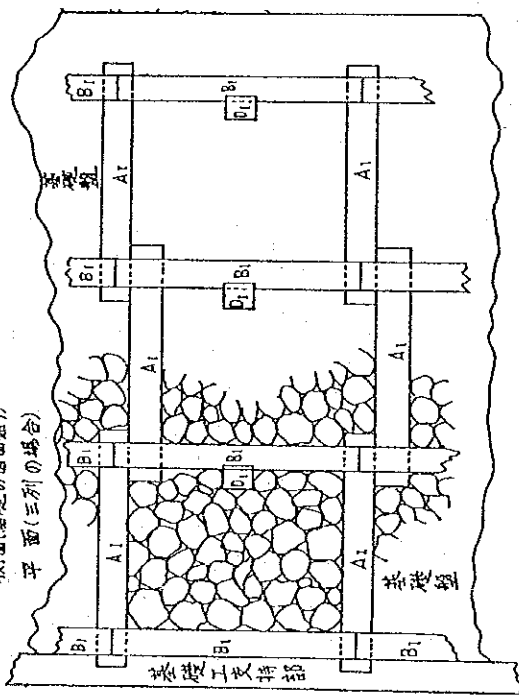
放水路及び袖は、D、Cブロックで被覆し、これをコンクリートで密着せしめる。

III-62図

コンクリートブロックの築致



側面(基礎の断面通り)  
上面(三列の場合)



5. 土堰堤

はげ山、ほた山地帯等で、溪流が小さく石礫の流下も少い野溪で、溪幅が広い場合には、土堰堤が構築される。

土堰堤の構造は、治山用としては、通常高さ2~5m程度であり高いものは作らない。水表法は2割、水裏法はこれより急に1割~2割とする。

天場幅の決定式には Merrimar 式があるが、通常 2.0m~5.0m 程

度でよい。

土堰堤の堰体中央部には、心壁(ハガネ)を入れる。土堰堤の安定条件として、III-63図のように飽和水線が、堤底部にあることが必要で、心壁は飽和水線を下げるために入れる。心壁の厚さは、構築材料によって次の程度とする。

i) 粘土の場合 側法  $\frac{1}{8} \sim \frac{1}{12}$   $h \geq 1.0 \sim 1.5 \text{ m}$

ii) コンクリートの場合  $l \geq 1.2 \sim 2.5 \text{ m}$   $D = \frac{1}{3} H_0$

$l = 70 \sim 200 \text{ cm}$   $D = \left( \frac{1}{6} \sim \frac{1}{7} \right) H_0$

註 Merrimar 式  $b = \frac{H_0}{5} + 1.5$

$H_0$  = 堤高,  $b$  = 天場幅

III-63図

築造にあたっては、

まず不透水層、または

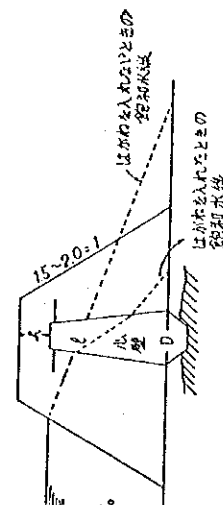
岩盤に達するまで床堀

し、良質粘土、または

コンクリートで放水路

下端に達するまで心壁

を築造する。



心壁の両側は、砂質土、または粘質土で厚さ 20~30 cm づつ、水分を与えながらローラー、タコ、またはランバーで締固める。土質の混合比は、砂 18~15%、粘土 82~85% が適当である。この際上流側は、水透しのよくない土をおき、下流側には粗粒の土を用いて、常に乾燥する状態におくようにする。また盛土は沈下するので、余盛として、全高の 10%

程度見込む。盛土終了後、盛土の沈下をまわって、水裏面天端には張芝、水表面には筋芝を施行する。

流水に対する保護のため、通常天端より水裏面にかけて、放水路として空張、斜張、コンクリート張りを行い、時には堤底保護のため、水叩を付する。土堰堤は放水路以外の場所では、越流すると破壊するから、放水路断面は十分に広く取る必要がある。

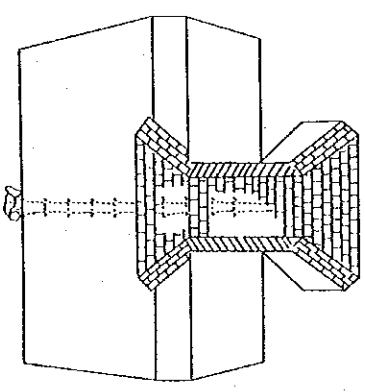
6. 曲線堰堤(アーチダム)

アーチダムは、応力計算の方法によって、円筒理論によるアーチダムと、弾性理論によるアーチダムに分けられる。円筒理論(シリンドラ理論)のアーチダムは、水平の円環だけによって外力に抗するものであり、その計算式は理論上の欠陥もあるが、10m前後の治山堰堤については、計算式も簡単であり、これで施行したダムでいさまで破壊された例はないので、実用上差支えないと考えられる。

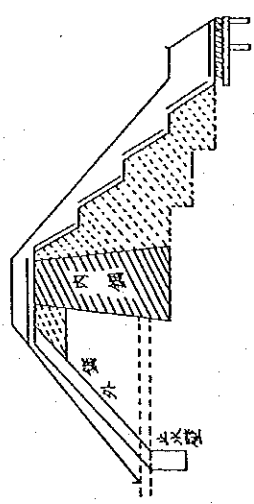
弾性理論によるアーチダムは、現在発電ダム等に應用されているが、その理論は、堰体を鉛直突桁と、水平拱翼部埋込よりなるものとし、拱作用と桁作用は、堰体の各点において両作用の強度を等しくのごとく力を

III-64図

土堰堤構造図



土堰堤堰体断面図



分担するよう厚さを決定するのであるが、計算も非常に面倒で、形も複雑になる。

アーチダムを、重力堰堤に比すと、施工技術が少々難しく、1 m<sup>3</sup> 当り工費は割高となるが、堰体総体積を比較すると、20~30% の節約になり、総工費はアーチダムの方が安くなる傾向があるので、岩盤の状態が良好であれば、アーチダムを積極的に採用した方がよい。

円筒理論によるアーチダムの断面 (III-65図)

アーチダムの断面の決定は、シリンドラ公式による。

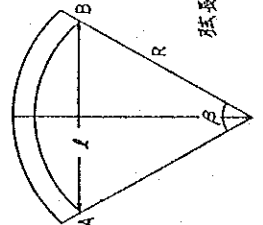
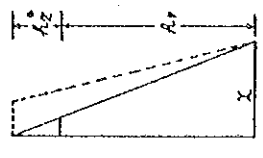
$$x = \frac{r \cdot R \cdot h}{N}$$

$r$  = 水の重量  
 $R$  = 外接円の半径  
 $h$  = 水深 =  $h_1 + h_2$   
 $N$  = ダムの許容圧力応度  
 $x$  = ダムの断面の幅

外接円の半径  $R$  は次の式で表わされる。

$$R = \frac{l}{2} \times \frac{1}{\sin \frac{\beta}{2}}$$

65図の例は「半径が一定で中心角が変るアーチダム」であるが、この外に「中心角を一定とし半径が



変化するアーチダム」 「半径及び中心角が変化する」アーチダムがある。前例では、中心角は天端附近は大きい、底部では小さくなるから、堰体上下を通じて経済断面にはならない。(中心角 = 133° 34' が経済断面である)

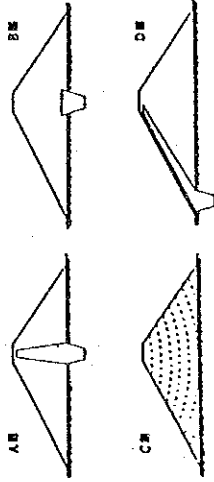
# 第一篇 溜池の土堰堤及びその附帯構造物の造構

## 第一章 總説

### 第一節 土堰堤構造上の分類

土堰堤をその構造に依り分けるときは次の四種となすことが出来る、即ち

- (1) 粘土又は石造或は泥漿土の中心鋼土又は心壁 (Central core) を有するもの (A圖)
- (2) 基礎下の地盤中にのみ阻水壁 (Trench wall) を有するもの (B圖)



第 1 圖

- (3) 心壁 (Core wall) 又は阻水壁を有することなく均質性の凝結土よりなるもの、通常水力沈積又は水締堰堤 (Hydraulic fill dam) はこの中に属する (C圖)
- (4) 前及金のろを有するもの (D圖) 等である。

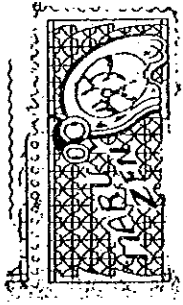
### 第二節 土堰堤の高さの制限

一般に100尺又は30米位が工事安全なりと考ふる場合の限度なりと雖も、事實上は必ずしも然らず、場合によりより高きものも立派に出来てゐる。

農業水利造構學・④ 定價 金九圓

昭和十六年三月二十日印刷  
昭和十六年三月二十五日發行

著作権所有



著 者 牧 隆 泰  
發 行 者 丸 善 株 式 會 社  
代 理 者 丸 善 株 式 會 社 本 部  
印 刷 所 丸 善 株 式 會 社 本 部  
印 刷 者 井 上 源 之 丞

發行所

東京市日本橋區區道二丁目

丸善株式會社

(印行所東京市日本橋區區道二丁目)

印刷製本工部・製本

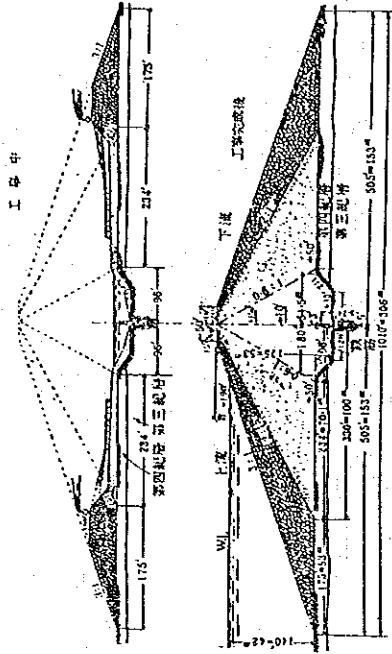
向又農業土木としては其の勞働に依り得たる賃金が企業者たる農民に戻るが如き場合は、農村の立場より考へ土堰堤の方が公益的事業たることが少くない。

現在世界各国に存在せる高土堰堤は、米國 Santiago 川を締め切る Capitan Dam を以て最高とし、その高さ標準地盤上 240 呎 (約 73 米) である。第二位は同國 Tieton Dam にして、標準地盤上 233 呎 (70 米) である。而して本邦に於て農業土木事業としては山口縣鹽浦郡安岡溜池の約 100 尺 (33 米)、水力發電事業としては東京電燈大野調整池の 120 尺 (36.4 米) 等が著名のものである。これから考へると土堰堤の高さは何尺又は何米位以上ではいかぬ、それ以上と成ると荷も溜池を造るなら須く石造又はコンクリート造堰堤でなければならぬといふ限界があるとしても、具體的に 100 尺が制限であると斷言は出来ない。併し實情は大體この位からは石造等の堰堤の出来ない場合は問題外であるが、出来る場所ならば土堰堤でない方がよい様である。

### 第三節 外國に於ける土堰堤の特色

- (1) 米國に於けるもの、特色
- (イ) 土堰堤に關する研究が最も進歩すること。
  - (ロ) コンクリート又は石造の心壁を使用して成績良好なるもの多く殊に大なる土堰堤を築造することに於て世界第一にして、鞘土(盛土、又は地方では縮土ともいふ)が純粘土より成るもの少なく砂利、砂との混成物を用ふること多きことも特色の一つである。
  - (ハ) 水縮土堰堤即ち水力沈積土堰堤 (Hydraulic fill dam) の大なるもの益々多くなりつゝあること、米國以外には斯の種のもの殆んど大きいものが無い(只臺灣には半水力沈積土堰堤がある)。

水力沈積土堰堤とは次の圖の如きものである。



第 2 圖  
臺灣台南州永康大排土堰堤築造設計圖(半水縮土堰堤)

### (2) 印度に於けるもの、特色

- (イ) 均質性土堰堤 (Homogeneous earth dam) の比較的多きことである。即ち強粘土の材料を特に水面側に使用し、中には鑄壁又は心壁を使用せずして相當に高きものが出来てゐること。
- (ロ) 地盤以下の部分のみ阻水壁を用ふる程度のもの少なくない。又下流側特に外法尻には水力による滑りにより抵抗する材料を混合するものあり。又本邦に於ける前負金に似たるものもあること。
- (ハ) 純粘土造の中心鋼土を用ふるものもあること。
- (ニ) 内外兩法共同勾配のものもあること。

### 第四節 堤頂 (馬踏 又は 天端) (Dam crest)

我が國に於ける例を見ると、昔から間を單位とした習慣から 3.5 米 (12 尺)

4.5米(15尺), 5.5米(18尺), 7米(24尺)の四種を一般の標準とする様である。古い溜池の馬踏は比較的狭いが、その代り側面勾配の急なるものが多い。往々古い土堰堤中高さの40%に相當するものがある。がこれは安全に過ぎるものであつて今日に於ては斯様なものを新造することはない。

堤堰幅については外國に於ても大體の標準はあるも、理論的に計算して定めたものに非ずして、所謂實驗式(Empirical Formula)である。例へばトロウトワイン氏は  $W = 0.61 + 2\sqrt{h}$ , 獨逸の武學者は  $W = 3 + \frac{5}{17}(h-3)$  (以上何れも米單位,  $h$  = 最大水深)なる公式を以て最小限度の堤頂幅を決定すべきであるといつてゐる。ウエグマン氏は最小なる堤頂として9米を越すべき必要はないといつてゐる。

土堰堤の頂幅は理論上静水壓に對しては問題にならないが、波に對する防備の一要素である。即ち置き方が波に對して安全である。普通は我國にては馬踏幅 =  $\frac{\text{堤高}}{5} + 1.5$ (米)の割合となりをも、實際上は10尺(3米)より小さくすることはよくないと思ふ。

第五節 最高水面より堤頂迄の高さ即ち餘裕高(Free board)

最高水面より堤頂迄の高さは池内に起ると思はるゝ最大の波高及び起り得べき堤の沈下(自然沈下)等を豫想して定むべきものにして、理論的に決定し難きことあるに依り經驗に因るものが多い。大家の説も實例も我が國に於けるが如き一般的に低き溜池にありては普通1.5米位である。一般に最大水深の1割を標準とせば可なるべしと雖も、普通一般に我が國に於ては池の對岸距離短きにより2.5米以上の必要は無いと思ふ。我國最大の風速から考へても、我國の如き小さい溜池では波高次の如く1.5米以上には成らない。

外國に於ける面積の廣大なるものは自然風波も高きを以て満水面上の餘裕

は2.5米以上のものが少くない。

波高と風速との關係(但し對岸距離5哩のとき)

風速	7.5哩/時(33米/秒)	56哩/時(24米/秒)	50哩/時(22米/秒)	44哩/時(19-18米/秒)	35哩/時(15米/秒)
波高	5呎(1.5m)	4呎(1.2m)	3.5呎(1.1m)	2.5呎(0.75m)	2.0呎(0.6m)

土堰堤の自然沈下は荷き固めの程度及び築造期間の長短に關係することが多い。例へば工事期間の長かりしものは工事中に於て大部分既に沈下するに より完成後の沈下の歩合小なることがある。著者本邦に於ける實測によるに 3~5%の沈下を見込めば安全なりといひ得るも例外はいくらも有つた。例へば福島縣にては堤高12米餘の溜池に於て1米餘即ち8%餘の沈下を實測したことがある。

今參考迄に米國に於けるベル・フォーチ堰堤(Belle Fourch dam)に就きての試験報告(1915 實測)の結論を掲げて見ると次の表の通りである。これにても4箇年間に最大約1%の沈下を示してゐるのみである。

堰堤の高さ(米又は呎)	1911年以降4箇年間の沈下(米又は呎)		1911年以降5箇年間の沈下(米又は呎)		附 記
	沈下高(米又は呎)	高に對する% (第一位)	沈下高(米又は呎)	高に對する%	
23.4米	0.1328米	0.57	0.1546米	0.6	(1) 4箇年
77呎	0.437呎		0.509呎		
24.3米	0.1388米	0.55	0.1862米	0.77	平均 0.1410米
80呎	0.457呎		0.613呎		
24.3米	0.2455米	1.01	0.2825米	1.16	(2) 9ヶ月間
80呎	0.808呎		0.930呎		
27.0米	0.1716米	0.71	0.2050米	0.86	平均 0.0620米
79呎	0.565呎		0.675呎		
22.8米	0.1060米	0.46	0.1583米	0.70	(3) 全期(5箇年)平均 0.202米
75呎	0.349呎		0.521呎		
15.2米	0.0331米	0.22	0.0589米	0.39	
50呎	0.109呎		0.194呎		
26.4米	0.1318米	0.50	0.1647米	0.62	(4) 最大は8箇年を過じ1.2%以下
87呎	0.434呎		0.542呎		
27.4米	0.1045米	0.38	0.1316米	0.48	
90呎	0.344呎		0.434呎		
20.4米	0.0403米	0.22	0.0732米	0.29	
69呎	0.133呎		0.241呎		

以上の外如何なる土堰堤でも満水面上の餘裕を定むるに更に次の二項目を

考慮し、これに適當の餘裕を見込んで安全を期せねばならぬ。

即ち

霜の堤頂土中に侵入する最大の深さ

想定最大洪水が餘水止を流るゝときの水位動搖に對する餘裕高

從て滿水面上の餘裕高は以上に述べたる各種の深又は高の總和を以て決定すべきである。

然るに滿水面上の餘裕が當を得ない程過小なるときは、堤の生命に關する問題となることあり。又過大なときはその餘裕は水の利用上不經濟なりといはねばならぬ。如何に安全なりと雖も農業用の溜池に不經濟なる餘裕は直しくない。元來溜池はその容積の形狀上、池底部の水深は若干之を死水として利用せずともその水の量は大了ものではなないけれど、上部水面に近き貯水は僅かの水深でもその水量たる實に大なる割合であるからである。

### 第六節 内法及び外法

(イ) 休止角と内外兩法勾配 凡て勾配は原則として土壌の休止角(Angle of repose)よりも緩にすべきである。土壌の休止角に就きてはその種類と實驗者により一定せざれども大體次の如くである。

メリマン氏(Merriman)によれば一麓水中に土を投じたる後これを取り出して休止角又は息角度を計りたるに次の如き結果を得た。

砂と粘質土壤との混合物	約 1:3 (垂直1に對し水平3)
粘土	〃 1:3.5
砂利と粘土との混合物	〃 1:3
普通土壤	〃 1:3.5

バツセル氏(Bassell)によれば

乾いた土壤 1:1.35

水で飽和した土壤 1:2.36

ファンニング氏(Fanning)によれば

乾細砂 1:1.88

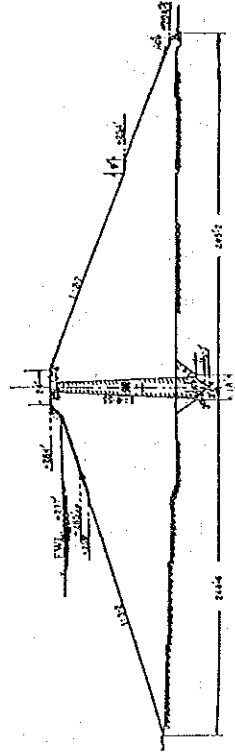
濡れた粘土 1:3.73

(ロ) 内外兩法勾配とストレンジ氏(Strange)の説 ストレンジ氏は良質の用土を有する場合でも高 25 尺以上のものには 75 尺のものと同様の側面勾配を興へ、只餘裕高及び堤頂幅を異らしめるが良しといつてゐる。

堤 高	堰堤成高水面 上 餘 裕 高	堤 頂 幅	内 法	外 法
15.15~22.8米 50~75尺	1~2.1米 7尺	3.03米 10尺	1:3	1:2
7.57~15.15米 25~50尺	1.8米 6尺	1.85米 8尺	1:3	1:2

(ハ) ウエグマン(Wegman)、スカイラー(Schuyler)氏等の意見 側面勾配を指定することなく土質、地盤、堤高によりて實地に臨みて決定せよといつてゐる。然し大體内法には 2~3割、外法には 1.5~2.5 割を興へねばならぬとしてゐる。

(ニ) 大走(小段) ウエグマン及びバツセル氏等は高さ約 80 尺即ち 9



第 3 圖

大阪府 光明池本堤標準横断面圖(大走及び波除石垣あり)  
(堤部中心點水面コンクリート心型は標準高さ 90 尺)

米毎に一箇所宛の割合を以て第3圖に於ける如き犬走(小段ともいふ)(Level Bench)を設け、外法に降る雨水を集め同時に横断面積を大にし、又表土の崩壊を犬走の部分で食ひ止めることの利益を唱へたるに反し、ストレンジ氏は犬走よりも寧ろ側面勾配を緩にする方が有利であるといつてゐる。

一般に土堰堤は將來餘り高きものは寧ろコンクリート造に設計を任せられる傾向がある。けれども30米以上のものは極めて數多くないこと、考へられる。將來吾人が設ける場合注意を要することは、15米以上の高さのものにはその断面形状は天端少くとも5米、満水面上の餘裕1.8米、内法3割、外法2.5割以上なることを注意せなくてはならぬ。

(木) 本邦に於ける高土堰堤(大體中心地盤上18米以上のもの) 統計の結果を要約すれば、本邦土堰堤中高きものでも堤高20米未満のものも多く、最高水面上の餘裕は1.2~1.8米のもの多くして、堤頂幅の3.63~5.45米のもの最も多い。これを外國のものに比するときは、餘裕高は一般に小にして堤頂幅が一般に廣いといふことが出来る。

(へ) 堰堤高(堰堤中心に於ける標準地盤面上の高)に應じて定むべき断面寸法標準表 次に堰堤の断面形状を高さに應じて表記することゝする。

單位	堤 高	内 法	外 法	堤 頂	最高水面 上の餘裕
尺 米	60~69 18~20	1:2.5~1:3.0	1:2.0~1:2.8	18~20 5.4~6.0	7~8 2.1~2.4
尺 米	70~79 21~23	1:2.8~1:3.0	1:2.5~1:3.0	20~24 6.0~7.2	7~8 2.1~2.4
尺 米	80~90 24~27	1:3.0~1:3.0 以上	1:2.5~1:3.0	24~24以上 7.2~7.2以上	7~8 2.1~2.4

單位	堤 高	内 法	外 法	堤 頂	最高水面 上の餘裕
尺 米	20~29 6~8	1:1.5~1:2.0	1:1.5~1:1.8	9~12 2.9~3.6	3~3以上 1~1.7
尺 米	11~39 3~12	1:1.8~1:2.5	1:1.8~1:2.0	12~15 3.6~4.5	4~4以上 1.2~1.2
尺 米	40~94 12~14	1:2.5~1:2.8	1:1.8~1:2.5	13~18 4.0~5.4	5~5以上 1.5~1.5
尺 米	50~59 15~17	1:2.5~1:3.0	1:2.0~1:2.8	15~20 4.5~6.0	6~6以上 1.8~1.8



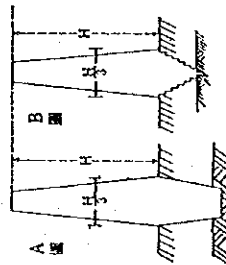
第二章 土堰堤各部の造構

階段よりは良いとせられてゐる。  
 地盤面上心壁の側面勾配は普通左右又は内外同法で高さの  $1/10$  内外の開きとする。又その高さは最高水面上少くとも  $0.6 \sim 1$  米高くする必要がある。心壁土の性質鞏固めの如何によりては地盤面上に於ける厚さは  $1/3 \sim 1/4$  を標準とすることがある。併しこれは極端なるものにて一般には適用しない。

第一節 粘土心壁 (Central puddle core)

心壁は結粘土に少しく砂利を入れて十二分搗き固むるものが成績直しく、土と砂利との混合と搗き固めとの二つが大切なることを注意せねばならない。

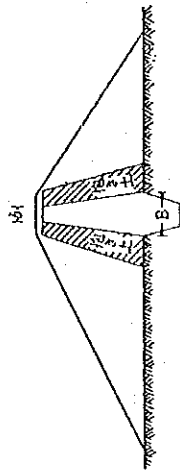
頂に於ける理論上の粘土心壁厚さは  $1$  米にて水を防ぎ得るが如しと雖も、普通心壁は頂端にて  $2.4$  米とし最も薄きものと雖も尙且  $1.6$  米を興へる。又標準地盤の所での心壁の厚さ即ち粘土壁の厚さは大體深さの  $1/3$  を可とするが如しといふも、深さは一定ならずして若しある程度まで掘込みても岩盤迄達せざるときは、第 5



第 4 圖 粘土心壁の図  
 左の方は標準地盤の中に勾配を附けて掘り込んだもの、右の方は傾斜を附けて埋入したるもの

第二節 コンクリート心壁 (Concrete core) 及び抱き土 (Retaining earth)

コンクリート心壁は地盤が岩盤なることを第一の要件とする。費用は相當大なるを要するも、水壩的となし得る利益がある。

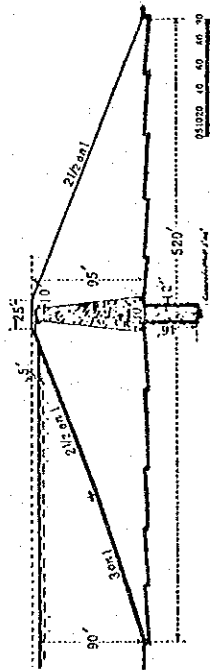


第 6 圖

その断面形状は頂厚を  $1.2 \sim 1.5$  米、底幅 (B) を  $1/7 \sim 1/10$ 、側面勾配を  $1:1/20$  内外、高さを最高水面上  $1.2 \sim 1.5$  米とする。コンクリート又は鉄筋コンクリート心壁は米國に多い。我が國でも第 7 圖の如く相當各地に出来てきたけれども、農業土木工事中には未だ極めて少ない。これは農民の勞力を利用することが殆んど出来ないからと思はねばならぬ。

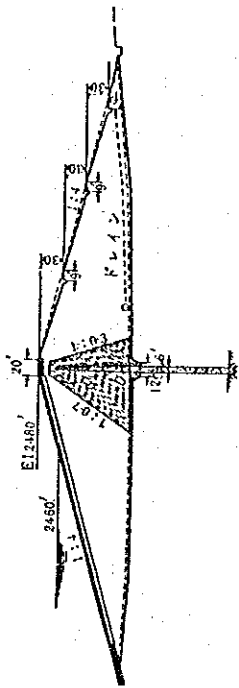
心壁には抱き土を附へることを忘れてはならない。抱き土は粘土心壁と盛土との中間の程度の材料を搗き固めて心壁を特別に保護するもので、粘土心壁たる粘土以外の鋼壁たるを固はす必要であるが特に石造、コンクリート造鋼壁には缺くべからざるものである。

石造又はコンクリート心壁に對する批判を次に掲ぐることにする。



第 5 圖 (粘土心壁の最下部にコンクリート型を有す)

圖の如く之を十分掘り下げて岩盤に達せしむる必要がある。然るときは硬岩盤までの深さによつて(勾配は幾分異にし得るも大體は一定になる)地盤上の厚さが自然的に定まつて来る。堤防左右の袖堀も同様である。床層中の心壁は第 4 圖の右側 B 圖の如く階段にすることがある。工事容易なれども斜面の方が下へ壓する力をよく傳へるから、同 A 圖の如く一定の勾配をつけた方が



第7圖  
 釜淵日月池水社土堰堤鉄筋コンクリート中心斜壁断面図  
 a.b 5 箇所断面中に Hinge がある

石積又はコンクリート心壁を否とする説  
 ミッドルトン(Middleton)氏はいふ。

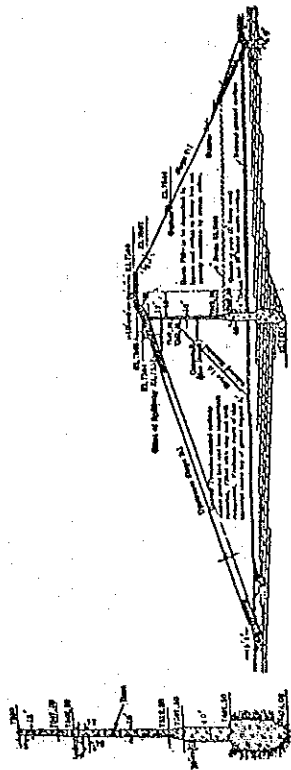
石積又はコンクリート心壁は下流側に於て盛土が少しでも移動するが如きことあらば心壁に影響し、石積又はコンクリート壁は龜裂が出来る。石積又はコンクリート心壁は施工の後下から無く地山の側面その他下方以外の所の附け根から水が漏ること多く、完全水密を得ることが容易でない。

又パツセル氏(Bassel)及びストレンヂ(Strange)氏はいふ。  
 工賃を要することが粘土心壁よりも大きい。

石積又はコンクリート壁と抱き土との間に間隙を生じこれが弱點となることがある。  
 この心壁を築造するには相當の経験を要し、農兵等の素人の作業では不可能である。

地袋に對して危険である。  
 粘土を用ひても築造方法宜しきを得れば確實に殆んど完全なる水密の状態に施工し得るにより、石造心壁は不經濟である。

石積又はコンクリート心壁を可とする説(スカイラー(Schnyler)氏等の説)



第8圖 鉄筋コンクリート心壁  
 背の断面は 5/8" 口 棒を 36" 間に挿入  
 水の断面は 5/8" 口 棒を下方は 10' 毎上方は 24" 毎  
 水面例正面は石積厚1尺裏面は2尺以内

米國に於ては經驗上石造心壁が良好の結果を幾多與へた即ち或程度の土壓及び水壓に堪へ有效安全なる臥の如き作用を爲し十分水密なることを得。特に鉄筋コンクリート心壁は良好なるものである。又以上の外に次の如き利盆を伴ふといつてゐる。

石造心壁は穿孔動物の侵入を避け得る。

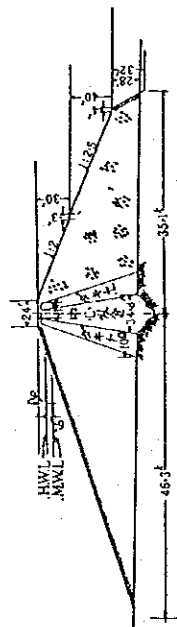
樋管を築造する場合心壁と連絡を附け水の浸透を阻止し得ることは完全で粘土心壁の比でない。

内外兩側の盛土の量を大に節約し得る。

以上は外國の學者及び經驗家の説なりと雖も、我が國の如き地震國に於ては基礎不良なるときは用ひない方が宜しい。地震の震動の場合に於ては土と石材、コンクリートとの比重が異なるにより、石造心壁とその表層の土との繰反を來し、兩側の盛土即ち粘土潰れ崩落崩潰等を來すことがあるから石積心壁を信頼して制土を大に節約することは考へるものである。

著者は以前淡路の洲本附近大野の大城池を調査し又岡地附地入木村成相池を設計したことがあつた。兩者共堤敷は和泉砂岩(Sand stone)で相當堅い

岩盤で土堰堤としては築造容易でないが、大野の大城池は兵庫縣耕地課技術官の周到なる設計監督により次圖の如く實施せられ、完全に止水し立派に貯水の目的を達したのである。即ち岩盤中の切り込みは十分思ひ切つて深く切り込み全く龜裂の無い岩盤に達し入念に粘土を搗き固めたのであつた。その粘土は純粘土といひ得ない部分もあつたけれども心壁用土の混合及び掘固めに遺憾な點が無かつたので豫定通りの成果を得たのであつた。

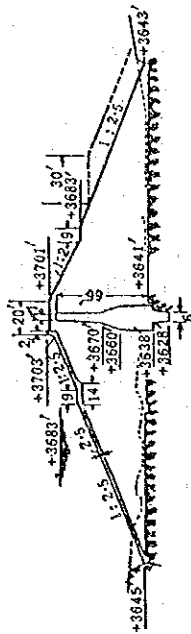


第 9 圖 兵庫縣大城池堤防断面圖

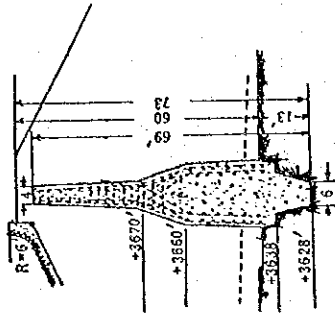
石状心壁に對しては上述の通り兎角の議論があり、特に我が國では昔から左様なものはあまり問題とされてゐない程適當なりとは思へない。併し近來鐵筋コンクリート又はコンクリート心壁は所々に實施せられ出した。就中第 7 圖の津野日月潭のもの、第 10 圖の群馬縣田代貯水池(灌漑用)では無く發電用であるけれど)等があり、その他各地に出來てを一つて好結果を收めてゐるからこの種のものならば施工方法さへ良かつたなら、前記のやうに否とする論は成り立たないかと思はれる。只考慮すべきは伸縮又は曲げモーメントに對する嚮手を施し、適當に偏壓や力率に對抗させる考案を忘れてはならぬと信ずる。

津野日月潭のもの、前掲のやうな断面であるが、(詳細は省略)鐵筋コンクリート造で梁番(Hinge)が水平方向に拵へてある管である。

第 11 圖(68 頁)は米國桑普上水道用の Priest dam で、コンクリート心壁



田代貯水池(群馬) 1. 掘固土中心止水壁  
2. 上流側面の保護

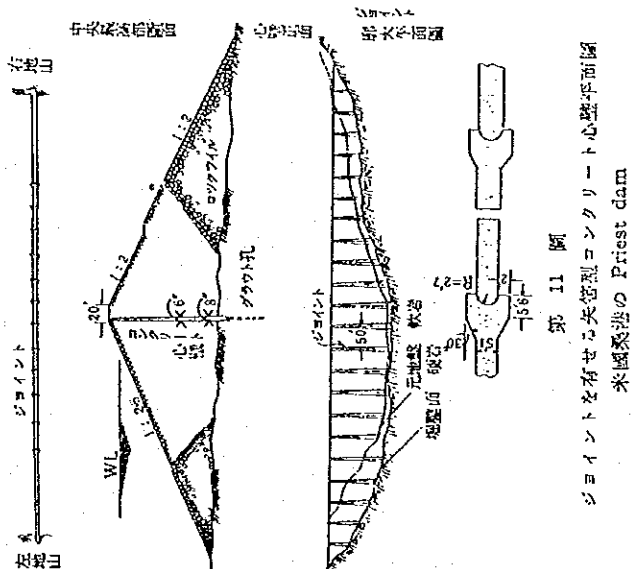


同上第 6 圖

第 10 圖 群馬縣田代池の断面とその中心壁

が堅即ち垂直の方向に Joint で接合してある。その目的は本築堤は一部水力沈積方法で行つたものであるから、工事申込に工事後に於ける新土の左又は右側から及ぼす不等の壓力故に高さ異なる心壁が地山兩側に對し又は基礎に對し直壓力等による偏壓乃至曲げモーメントを生ずるにより、堰堤に對する破潰を防止するため約 15 米毎に伸縮嚮手(Joint)を作つたのである。Joint は Socket 型であつてテールルージュ(Teres Louges)式鐵夾板に似た接合方法である。その幅 15 米、最高 48.6 米である。かやうに高くなると水平面に直角即ち上下に伸縮する囊があるから、高約 5 米毎に鋼版を挿入して上下方向に對する伸縮嚮手とした。この堰堤は最大 60 種の沈下を見ただけで約 10

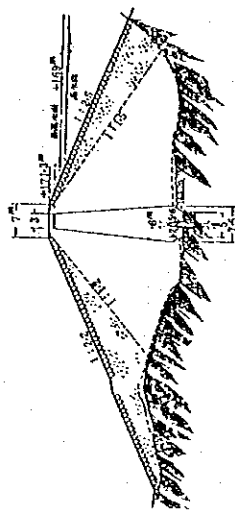
各論 第一節 溜池の土堰堤及びその附帯構造物の造構  
 餘年間故障なく現在に及んである。その最大漏水量も0.3個(0.0083米³/秒)を出  
 であることではないとのことである。(11圖参照)



第 11 圖  
 ジョイントを有せる矢筈型コンクリート心壁断面図  
 米國桑港の Priest dam

第 三 節 コ ン ク リ ー ト 楔 梁 柱 に 鉄 矢 板 及 び 碇 壁  
 我が國に於けるものは石造、コンクリート又は鉄筋コンクリートの心壁あるもの少なきも、將來は地盤可良ならば鉄筋コンクリート心壁又は鐵矢板が用ひられるであらう。この意味に於て將來ラルゼン式(Larsen)、テール・ルージュ式その他各種の鐵矢板を應用するを可とする。而して我が農業土木工事に於て次の如きものがある。即ち阻水の完全を期すためコンクリートの楔狀小壁を設けたものは多い。即ち一種の Cutoff wall である。これを底地盤の中へ約半分挿入し、他の半分を心壁又は中心鉛壁に挿入する。普通上下

第二章 土堰堤各部の造構  
 各高7米以内で2米宛のこともある。次に示すものは埼玉縣山根池の實例である。

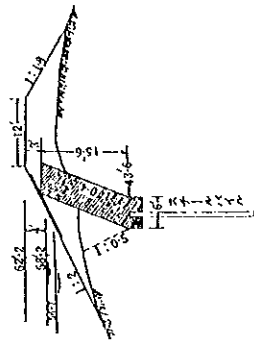


第 12 圖  
 埼玉縣山根池堰堤断面圖  
 (段下底にコンクリート止水校壁あり)

千葉縣では雄蛇ヶ池堤堰の増築工事を行ふに當り、堤の中央部 167.27 米に長 3~12 米の鋼鐵矢板を打込んで漏水を防ぐこととした。

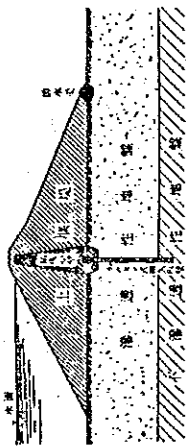
打込用の杭打機は杭打機、捲揚機、原動機、杭打機を主なるものとし、高さ 18.2 米で挫へとして二本子を建て、捲揚機は直徑 30 輻、長 50 輻の胴を有するもの、原動機は 20 馬力モートル、杭打機は 450 貫 (1,687.5 瓩) 錘の落下は平均 2.1 米(1.5~2.4 米)で鋼矢板の頂部には杭際をつけ矢板を支

保梁の中へ入れる。矢板はラルゼン式であつた。その取長のもの(12 米)の打込完了までの時間は(7 米挿入とし)取長 40 分、最短 18 分位であつた。重錘落下一回につき沈下高 3 輻以上 6 輻、落下一回数 125~300 回であつた。



第 13 圖  
 千葉縣雄蛇ヶ池土堰堤  
 (心壁下鋼矢板打込後の状況)

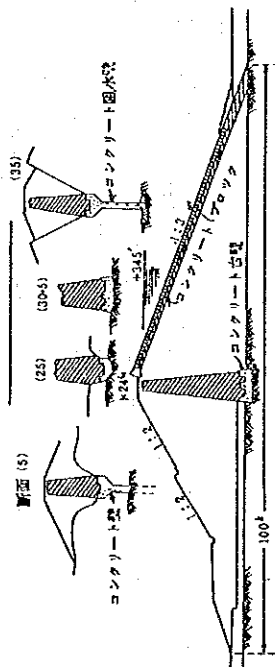
以上に要した總費用を矢板の總面積で割ると 1 平方米毎平均 7 圓 70 錢であつ



第 14 圖  
透水性地盤中に入れる場合の鐵矢板  
(不透水性地盤へ挿入するを要す)

たといふ。(13 圖)

堰壁とは泥濘土造及金臺で京都府、滋賀縣等で幾葉土木に施工したことが  
ある。併し規模大なるものは農業用にはないが、次の村山貯水池のものの上  
げざるを得ない。東京府埼玉縣方面第四紀古層又は第三紀新層に對しては硬  
質の岩盤に接せしめんとし、床掘りを施工しても到底越し得られないこと  
がある。かやうなときコンクリート壁を挿入すれば安全なるはいふまでもな  
いことであるが、經費が大したものである。(15 圖)

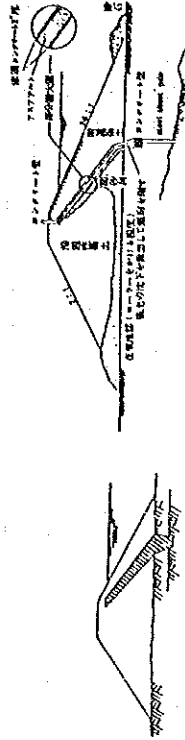


第 15 圖  
村山貯水池土堰堤及其の蓋型(コンクリート型)

#### 第四節 前 乃 金

中心鋼壁を用ひざるものにして第 16 圖の如く前金の土のみを有するもの數  
多あれど、極めて小なるものゝ外は一般に本邦にても成欲良好でない。水に

接する内法は摩擦抵抗又は息角減少し、水面以上の部分の重方これに加はり、  
それに對抗し得ざるに至れば必然滑動を招くことゝなる。故に急峻なる法面  
は堰堤自身は勿論兩岸取付部の天然地盤にても危険である。米國の大家ジャ  
スチン (Justin) 氏はこの主旨から考へて次圖のやうな方法は良好なるものゝ  
一つであるといふてゐる。(17 圖)



第 16 圖  
前金のもの(本邦在來のもの)

第 17 圖  
ジャスチン氏案の前金

#### 第五節 築 堤 材 料

築堤材料は我國に於ては心壁は純粘土を用ふる所あるも、或程度の礫を混  
ずる方が好く、拘固むるときは純粘土よりも結果良好である。特に心壁内外  
の部分は然りである。

米國の學者は鋼土は純粘土のみを用ふべからずといひ、英國にてはこれに  
反する人がある。フアニング氏 (Fanning) は次の配合のものを好く混合して  
搗き固め、宛もコンクリートの如くすべしといふてゐる。即ち純粘土 = 0.25,  
砂 = 0.36, 砂利 = 1.0, この合計を搗き固め 1.1 とすべしといふてゐる。又クル  
ーグノーラ (Crugnola) 氏は心壁土は粘土 1.0, 砂 1.0 を可なりといひ、その他  
ウエグマン (Wegman), フォルヒハイメル (Forchheimer), スミス (Smith) 氏  
等皆若干の砂を純粘土中に入れて好く混合するときは良好なりとなし、これ  
に反し純粘土のみにては乾燥せる場合急に縮少し、濕氣を得て急に膨脹する  
により割れ目、收縮等を生ずる事多きは當然なりといふてゐる。又ベーカー

氏(Baker)の實驗に依れば、純粘土が40~60%の水分を吸収すること及びこの吸収したる水分を乾燥せしむるときは、粘土は當初の5%を收縮した。然るに粘土1.0、砂2.0の混合物は3%を收縮せしに過ぎざりしといつてゐる。最近歐米の高土堤堤は次の表の如く純粘土は稀である。而して試験の結果次の如く水の透過度は、純粘土に近いものは約半量の砂を混じたるものに比し多少異なる。

土堤堤心壁(粘土心壁)示性表—ビンニー氏(Binnie)報告  
(世界動力分設大堤堤國際委員會に於て)

貯水池名	粘土成分 %	砂成分 %	水の透過率 (最大値を以て計算する) %	堤の材料 (砂、粘土、石、木等) の割合 %	水前2.1米を奥へ5塊の層としたときの透過率		粘着力 (乾燥後) 度	備考 (心壁、心柱、心管)	
					1日後	432日後			
1 Pontian ketchil	94.6	5.4	29.8	7.2	nil	nil	4,569	13.67	
2 Blaen-own	79.0	21.0	21.0	5.0	0.8	11.6	0.6	4,710	24.30
3 Carno	71.5	28.5	20.0	8.0	1.4	11.4	0.5	5,132	28.86
4 Taf Fochan	71.5	28.5	17.4	2.9	2.0	2.2	0.2	—	30.38
5 Silent Valley	60.0	40.0	20.9	4.0	nil	"	"	10,967	25.82
6 Brunhope	57.5	42.7	20.1	5.0	nil	"	"	7,522	39.50
7 Alwen	50.6	49.4	15.0	2.5	2.3	17.6	0.6	2,109	6.08
平均	69.2	30.8	20.6	5.1	0.7	6.1	0.2	5,835	24.00

英國のストレンヂ氏(Strange)は心壁には純粘土を可なりと、即ち純粘土或は埴粘土はこれを膨脹し得ざるやうに或方法を以て制限を加へ置くときは大に耐水性となし得るといふてゐる。即ちその實驗として同氏は粘土を長8呎、徑3寸の管中に壓力を加へて填充し置き、これに水を通過せしめむとせしめ少しも透過の形跡を見ざりしといふてゐる。又同氏はフアニング氏の推奨する配合方法を評していふに、“これは材料を豫期の通り十分混合して掘き置

むるに於ては空疎を無からしむることを得るならむも、一類粘土の%が少なきを以て充分の耐水性を得るや、又十分粘着力を發揮し目的を達し得るや疑無き能はず”といふてゐる。

我國に於ては一般に心壁は純粘土とし、外法側の下方のみには岩屑、礫等を混合せるものが多い。

土堤堤用土の選定に就て外國にて報告せられたる所によれば、従来用土の適否を決するには、經驗や外見、手觸りの感じ等の感覺によつて判斷してつたが、近年土堤堤の崩壊、築造難、不慮の缺壊等の所大増加と共にこれが用土の選定に就いても、もつと科學的な方法が必要とせらるゝに至つた。

先づ、土堤堤の不透水部分に對する用土選定上、その適否について考へて見なければならぬものは

- (1) 安定度 (Permanent stability)
- (2) 不溶性 (Insolubility)
- (3) 相當なる水密性 (Reasonable watertightness)
- (4) 取扱可能性 (Workability)
- (5) 費用 (Reasonable cost)

等がある。その内第一の安定度は土の凝集力からくる各粒子間の強い摩擦の作用に基づくものであつて、この凝集力は約 0.0000005 種以内の微小距離を離れてゐる土の粒子間の水膜及び濕潤粘土粒子等によつて生ずる分子引力に關係を有するとせられるものである。而して粒子の大きさの區分、配合の如何は大なる密度を得るために重要な要素であつて、最大凝集力に對して粘土の含有量は土の粒子間の空疎を稀たすべき必要量を多少超過してゐるべきである。けれども重量%で 30% の粘土含有量は最大の限界であらうといふ。

水密性は密度或は粒子間空疎に關するもので、安定度と同様適當の配合や

縮固め等によつて得られる。

取扱可能性は縮固めの容易さ、粗雑さ、粘着性等に關係する。縮固めの容易さは、配合された粘土及び水分の含有量の適當なるを意味し、又粗雑さとは含有小礫の大きさの制限、配合材料の精選等によつて避けられるものであり、粘着性は粘土量の過多、給水直後の作業如何等に基づくものである。

要するに機械的分析による用土の選定は現在ではまだ多少豫備的のものであつと致極的な試験の結果にもよるべきものである。

Charles Lee 氏によれば土堰堤用土の適否試験として、中層、中層、重の三種のローラーにて同一土壌を別々に縮固めた結果によると、軽いローラーを用ひても適當な水分があれば、重いローラーを用ひて不適當な水分がある場合に比較して良い結果が得られるといつてゐる。従つて極く水分の少ない状態にて縮固められた土壌は、飽水するときには他の場合よりも多くの水を吸ひ取るから非常に柔軟となる。故に水分の少ないときにローラーが軽いと非常に危険状態が惹起されることになるといふことである。

同氏は砂質粘土にこれよりも粒子の細微なる種々の土壌合計6種類に就て、同一の縮固めを施した。而して各含水量の場合に於ける「乾燥重量」曲線を求めた結果によると、細粒のもの程この曲線の頂點は（粗粒のものよりも）含水量の大なる部分に達し且「乾燥重量」の數値は小さくなるといふことである。即ち一定の縮固めに對して粗粒の方が細粒の方よりも乾燥重量大で安全であるといふことになる。普通細粒になる程水密性であると考えられてゐるが、これは前記曲線に於て含水量の變化に對して乾燥重量の變化が極めて微小であるといふことを意味してゐる。換言すれば縮められるときの含水量が相當變化しても、水密性には大なる影響を及ぼさないことになる。土堰堤内にて粒子が水流のために浸蝕されぬ程度の土壌ならば築堤に用ひら

れるのであるが、從來全く不適當と認められた土壌も上述せる如き適當の施工法によれば非常に良質となるもの多數に存在することがいひ得る譯であるが、果して Lee 氏の説の通りであるか参考のために附記しておく。

次に縮固め(Compaction)は箇々の粒子を喰合せて機械的結合力を大にし、水膜の厚さを減少させてその附着力を増し、空氣即ち水と置き代つて水膜の厚さを増し、凝集力を減少させることゝの空氣を一部追ひ出すにあり。結局縮固めの効果は密度を高め恒久的な凝集力を作り出すことであるが、堤土の恒久的安定のためには粘土含量が30~35%以下、3~15%以上(密度に應じ)でなければならぬといはれてゐる。

次に不透水度(Impermeability)は水頭勾配と水溫と堤土の性質とに依存するが、土堰堤では堤土の性質が最も重要である。堤土が不透水度に影響するのは水の運動に興へる摩擦抵抗、土の粒子が水に及ぼす分子引力等による。

Pacific Hydrologic Laboratory その他による數多の透水試験によれば、最少3%の粘土を含む粒のよい土または少くとも25%の粘土を含むものは十分粘土化せぬ土でもよく縮固めると、殆んど水密となり、やゝ粒産化した土は(正規粒度からの隔りに應じ)25~30%の粘土を含むとき水密になり得るといふことである。又最も容易に縮まるのは粒度のよい礫と砂とに10~25%の沈泥と粘土が加はつたものであるとし、粘着は粘土含量が大きいと勿論起るが、普通粘質土でも縮固めの最適當含水量の程度ではまだ粘土性を現はさないことであるが、果して然るか後日の實験に待つこととする。

### 第六節 腰石垣及び波除け石張工

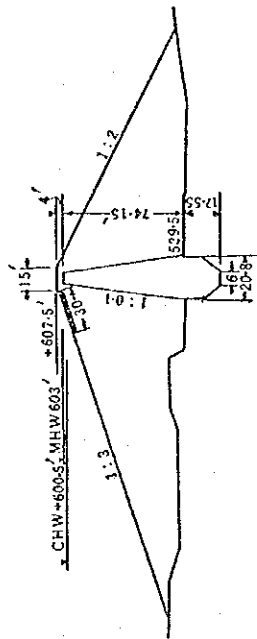
盛土又は靴土の量を節約するため石材の得易きときは、外法尻に高さ2~7米、勾配2~3分法の腰石垣を設けることがある。石垣は堤體內濕氣排除の



第 18 圖

ためには空石積が最も可良にて、コンクリートの擁壁は面白くない。又水面側全面一様に第 18 圖の如く張石を行ふことは効果的である。即ちこれは法面を幾分急ならしめ、盛土々量をも小省き得るものであるが、工費を節約する目的にて満水面の上下各直高 3.5~6 米位宛石張を行ふことがある。即ち單なる波除け石張工である。

著者が秋田縣で設計した馬鞍澤溜池のものはこの例である。



第 19 圖 著者設計の馬鞍澤溜池(秋田)

1. 満水面附帯の防護施設
2. 中心部土の組入方法

### 第七節 土堰堤内、外“法”面保護工

内法保護即ちライニング(Lining)は東京市上水道用の村山、山口貯水池

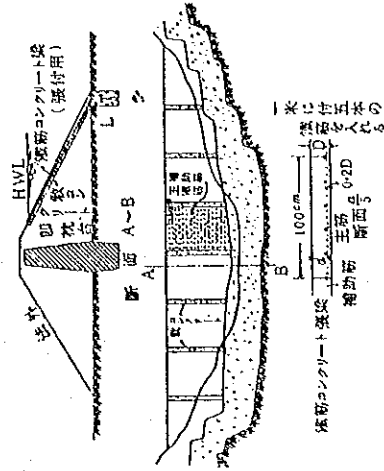
の如く費用を掛け得るものはコンクリート塊で張る。又農業用でも大なる堰堤では中心及金を設け、更に縦横に内法面上にコンクリートの框を埋め込み、コンクリート・ブロックを恰も道路の舗装工のやうに嵌込む(岡山縣鹽手池の如し)即ち第 21 圖の如くする。

又費用を大に省くためには空石張石が經濟である。これは各地到る所の農業用貯水池に見る。(18 圖参照)

鋼筋コンクリート・ライニング (Reinforced concrete lining)

鋼筋コンクリート・ライニングも極めて實例が多い。そして相當の効果を収めてゐるものが尠くない。例へば山口縣別府村千人塚の溜池の如きはライニングですすつかり經營難から脱した。その他當初から施行して立派な溜池となつてゐるものも多く各地に見る所である。

このライニングの施工方法は、第一に法面に基礎工事として土羽打等地帯へをすること。第二に 3~4 米毎に縦方向に張コンクリートを入れ枕とすること。第三に法脚部に直立のコンクリート及金壁(矢放用)を設け、適當なる礎盤まで深く挿入する。(20 圖の上段参照)



第 20 圖



この及金夫板壁 T の厚さは一尺即ち 30 釐内外、深さは不定でも 10 尺即ち 3 米位で相當有効であつた例もある。ライニングは鉄筋コンクリート又は鍍網コンクリートにて施行するのが普通で、この受臺となる鍍網コンクリートは上部は深 1 尺 (30 釐)、幅 5 寸 (15 釐) 位で下方次第に増大し及金壁 (T) に連絡させる。そこで鉄筋コンクリート張の場合、この鍍網コンクリート (枕) 相互間の距離 (L) を大體どの位に定めたらよいか、これが問題なのであるが次のやうな式を拵へて見た。勿論路算で鉄筋コンクリート梁と考へ鉄筋は單筋で短形梁とし、支端は單に支持の場合とし、溜池の水深 (h) に應じて壓力が多くなるかと考へると

$$\text{鉄筋コンクリート梁の抵抗力率} = \frac{7}{8} f_a d \quad \text{kg.cm}$$

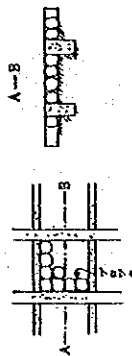
$$\text{曲げ力率} \dots \dots \dots = \frac{w l^2}{8} \quad \text{kg.m}$$

式中  $l$  は約 1.50 (kg/cm<sup>2</sup>)、 $\alpha$  は鉄筋斷面積 (cm<sup>2</sup>)、 $d$  は有効厚にして約 0.8D (cm)、 $D$  は梁の全厚、 $w = \frac{1000h}{\alpha} + 24 \times D$  (kg)、 $l$  はスパン即ち鍍網コンクリート間の距離 (m)、 $\alpha$  は係數で 2 以下 1 以上とする。(20 面の下段参照)

曲げ力率と抵抗力率から

$$0.7 f_a D = \left( \frac{1000h}{\alpha} + 24D \right) \frac{l^2}{8} \times 100$$

として各種の水深  $h$  とスパン  $l$  に對し梁厚  $D$  を算出して、これをダイヤグラムに表はして見ると面白いものが得られる。尤もスパン  $l$  は 3~6 米にて常數とし、 $\alpha$  をコンクリート斷面積の 0.2~0.3% 位とし、未知數を豫定して選いてコンクリート梁の厚さ  $D$  を水深  $h$  に對して増大變化させて行くのである。



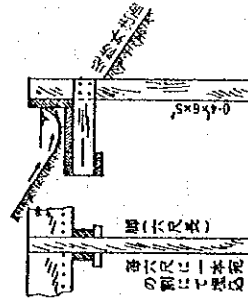
第 21 圖  
鍍網コンクリート板及び  
その中のブロック

以上の他に第 21 圖及び第 22 圖寫眞に示すやうに、コンクリートにて縱横に碁盤目の如く框を作り (水面側法面へ)、框内にはコンクリート・ブロックを充填する方法がある。

外法面の保護には必ず筋芝又は張芝を行ふ。併し豪雨に遭遇すると甚しく浸蝕されることがある。最近米國の雜誌に第 23 圖に示すやうな保護工を施行して目的を達したと報告された。



第 22 圖  
七堰堤内法面コンクリート張工施工中 (岡山縣)

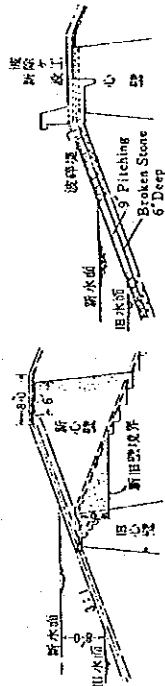


第 23 圖  
最近米國にて實施せられたる土堰堤外法面が雨水により侵蝕せらるるものを防止する設備  
本圖にしてこれを 1/100 内外の勾配にて法面に添付せるもの

第三章 土堤堤の嵩上げ

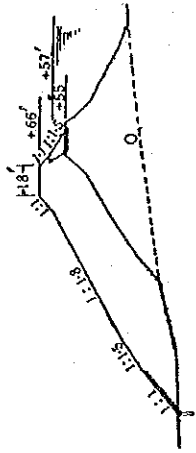
土堤堤は築造直後又は数年十數年後屢々堤防嵩上げ即ち嵩置きを施し、以て貯水量の増加を計り、溜池の利用價値を高める方法を講ずることがある。併し乍ら、往々にしてこの工事不完全、不注意のため嵩上げが原因となつて堤防破壊の非運を招いた例も多々ある。嵩上げは實に有益にして危険なる工事である。勿論水理學的に考へるならば、全貯水量は堤堤の高さの自乘に比例し、水壓に因る力率は堤高の $3$ 乗に比例することを考へるならば、いふまでもないことである。要は施工方法如何であつて、中心鋼土の古いものと新に嵩置きした部分との接合が氷に對し合理的なりや否やに因る。即ち水密性が十分であるならば安全な譯である。

又嵩上げは新に高めんとする嵩上げの大小に拘る。若し舊堤よりも著しく高く嵩上げせんとするならば、これは堤堤増築又は改築であつて最早や嵩上げ工事といひ得ないこととなる。今こゝに論ずるのはかやうな増築ではない。故に嵩上げは只に防波壁の新設(圖の如し)だけでも嵩上げといひ得る。

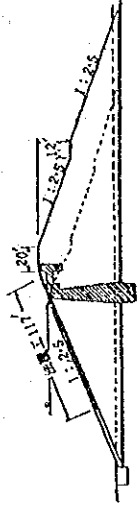


第24圖 波除ケ工新設のもの、例

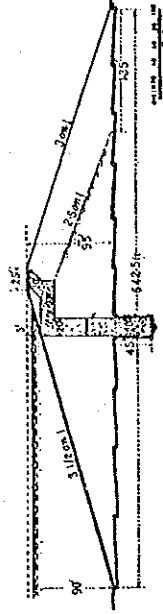
普通は上流法面を接ぎ足し、下流側に追土の添へ土を施すのである。即ち天端を従來通りの幅に保つか、或は堤高の増加に伴ひ多少廣めるためには、



第 25 圖 庄ノ原溜池(大分) 嵩上の一例



第 26 圖 和寒土功組合第一貯水池(北海道) 嵩上の一例



第 27 圖 鋼壁を接ぎたる例 (土堤堤嵩置きの場合)

下流側に上の圖の如く盛土の追加を行ふを要するは明かである。この場合注意すべきは中心鋼土の新舊接合部の結着、水面側法面保護工の延長施工、下流法面盛土搦き固め工等である。

## 第四章 土堰堤と地震

土堰堤は他の堰堤に比し震害に罹ることが多いといひ、特に頂部にては底部に比してより大なる加速度が作用するといふ。剛性係数小なる材料より成る土堰堤に於ては頂部は底部に比し少くとも 2~3 倍の地震力が作用するとのことである。従て剛性係数大なる材料を使用するのが得策であるから、築造の際掘固め及び材料の混和その他の注意により剛性係数を大きくする結果を得るやうな築造方法を採るとよい。又コンクリート心壁の如きを使用する場合ここはその心壁は周囲の盛土に比し著しく大なる地震力を受けるといふ。

剛性係数(Rigidity modulus)とは次の如きものである。

即ち右図中 (T) の如く剪断力を受けるとき、假りに土堰堤を弾性體とせば次の如き關係がある。

$$G = \frac{m}{2(1+m)} E$$

G は剛性係数

m はポアソンの反比といひ、従て

$\frac{1}{m}$  はポアソン比(Poisson's ratio)にて弾性體を引張るとき断面縮少し、この断面の半徑の縮少の割合(%)と伸張率( $\frac{\Delta l}{l}$ )との比である。但し l は弾性體從來の長とし、 $\Delta l$  は伸びた分量とする。

E は弾性係数

例へば花崗岩の如きは  $\frac{1}{m} = 0.202$ ,  $E = 518,000 \text{ kg/cm}^2$  である。

E は弾性係数

例へば花崗岩の如きは  $\frac{1}{m} = 0.202$ ,  $E = 518,000 \text{ kg/cm}^2$  である。

實際大正十二年の地震は大野池及び村山池の土堰堤は堤軸に平行の方面に縦起裂を生じたといふ。而して剛性係数 G の測定が行はれた。その結果は

## 第四章 土堰堤と地震

次の如きものであるといふ。但し縦方向に震動を起してゐるので、堰堤の諸點で E を測定したとのことである。

$$E = \frac{\text{單位應力度}}{\text{伸張率}} = \frac{f}{\frac{\Delta l}{l}}$$

ポアソン比( $\frac{1}{m}$ )は平均して 0.25 とし比重を 1.8 として G を計算したのであるといふ。

池名	最大高	築造年月	堤頂長	剛性係数 G		備考
				堤頂附近	斜面	
大野池	37.0	1912~14	260	kg/cm <sup>2</sup> 50	kg/cm <sup>2</sup> 140	斜面の値は頂以下 5m 位の斜面とこれから 10~15m 下の斜面にて求めたるもの、平均値なりといふ。
山口池	32.7	1930~33	690	140	160	
村山上池	24.2	1917~19	381	200	180	
村山下池	30.2	1916~13	587	240	270	

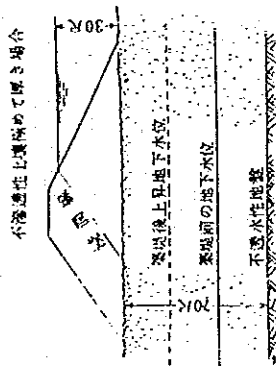
以上の表にて見る如く古き土堰堤にて而かも村山下池の如く堤の頂が自動車道路兼用となつてゐるやうなものは然らざるものよりも剛性係数が大きいことが分る。

第五章 土堰堤體と貯水の浸潤現象 (Saturation)

第一節 無心壁の場合

無心壁の堤體には浸潤線が下圖の如く不透過性岩盤上の透水性土層極めて厚く (21 米以上)、地下水位がこの土層

中を走るが如き場合若し心壁なき場合には築堤によつて地下水位が上昇する。而かも下流趾にて地表に達することは稀である。然るに透水性地層極めて薄き (21 米の 10~20%) 場合は第 30 圖の如く地表に表はれることがある。



第 29 圖

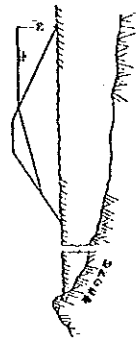


第 30 圖

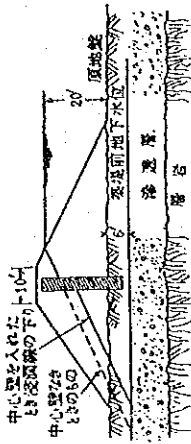
土堰堤均質材料から成り池水滲透する場合、若し堰堤の下流に層岩 (Led-ge Rock) の凸起あるときには地下水位が上昇する結果として堰堤の下流趾の所で非水不良となり危険状態を惹起する。(31 圖参照)

第二節 中心壁の挿入と水の浸透阻止

(a) 中心壁を入れたるとき第 32 圖の如く浸潤線が下ることにはあるけれど



第 31 圖  
堰堤下流に層岩の  
凸起ある場合



第 32 圖

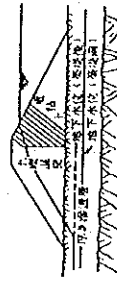
中心壁を入れても下に相當の透水性あるもの (a) の場合

も、中心壁と不透性地盤との間に透水性が相當厚くして水の通る大なる明きがあるときは、中心壁の効果殆ど無く無駄に近い。(32 圖参照)

(b) 岩盤上の地層が厚き透水性より成る場合は、中心壁を用ふるよりも水面側に亜粘土等を用ふる方が却つて地下水を下げる事が出来る。

(c) 岩盤上の地層が不透性のもより成る場合中心壁を設くれば飽和線は大いに下る。この場合中心壁は有効である。幾分上流側に不透性材料を以て築造するも直しい。中心壁と岩盤との間に間隙が相當大きいときには一部分は水が水平に流れ一部分は中心壁に沿つて上り、然る後に下りて流れる。

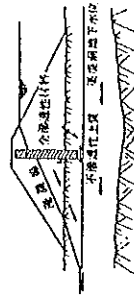
(d) 岩盤に達するまで完全に中心壁を築造したる場合、壁下流浸潤線は水平線をなし、浸透して来る相當の水量はあつても排水管の如きものを入れると排水せられ、非常に安全となるのである。



第 33 圖 (a) の場合



第 34 圖 (b) の場合



第 35 圖 (c) の場合