

治山用鋼製施設の
安全設計・施工技術

I 試験担当者

防災部治山第二研究室

陶 山 正 憲

(研究協力機関)

東京営林局治山課

前橋営林局治山課

長野営林局治山課

名古屋営林支局治山課

II 試験目的

国有林治山事業においては、従来、治山施設には一般にコンクリートが採用され、これを材料とした重力式構造がその主流をなしてきた。しかしながら、昭和43年頃から、鋼材の特徴を活かした鋼製ダム類が開発され、各地の治山現場でこれが施工されるようになった。鋼製構造物は従来のコンクリート構造物に比べて、材質の均質性や施工法の面で優れ、さらに工期短縮、通年施工の要求にも十分対応が可能であるため、適所に鋼製の治山施設を採用・配置すれば極めて効果的である。このような鋼製施設の安全性や部材の耐久性を考慮した設計・施工基準（統一的な指針）を早急に確立するための基礎資料を得るのが、本技術開発試験の目的である。

III 試験の経過と得られた成果

本試験は、昭和59年度から61年度まで3年間実施されたものであり、この期間中に東京営林局管内（昭和59年度、60年度）、前橋営林局管内（昭和59年度、60年度）、名古屋営林支局管内（昭和60年度、61年度）、大阪営林局管内（昭和60年度、61年度）、及び長野営林局管内（昭和61年度）でそれぞれ実態調査が行われた。これらの調査結果をもとにして、

- ① 鋼製治山施設の施工実績と問題点
- ② 鋼製治山施設の安全設計法
- ③ 鋼製施設採用上の留意点と今後の問題点

などについて検討したので、以下にその成果の概要を研究項目ごとに示す。

1. 治山施設の施工実績と問題点

1-1 鋼製治山施設の種類

鋼製治山施設の施工実績としては表-1.1、また現在鋼製治山施設として一般に販売されてい

るもの、ないし試験的にせよ施行実績のあるものとしては、表-1.2のようであり、その工種別特徴は表-1.3のとおりである。

これらの構造物を機能および構造形式で分類すると、表-1.4のようになる。

表-1.1 治山用鋼製施設の工種別施工実績

項目	主要用途	年 度				
		57	58	59	60	61
鋼製施設使用量(1000t)		21.8	20.0	22.1	22.0	22.0
工種別内訳(%)						
自 在 枠	石詰めダム、土留 治 山 ダ ム	54	50	52	52	55
バットレススクリーン擁壁	治山、林道用土留	25	27	21	23	22
エキスパンドメタル	治山、林道法面緑化	7	8	9	8	7
H-BB 鋼	林 道 橋	9	10	12	13	12
		5	5	6	4	4

表-1.2 鋼製治山施設の施行実績

名 称	販売開始時期	販 売 会 社 名
(1) 鋼製バットレススクリーンダム	S. 41	日鉄建材工業株式会社
(2) 井 ゲ タ 鋼 枠	S. 44	住金鋼材工業株式会社
(3) ビームタイプダム	S. 47	日鉄建材工業株式会社
(4) 鋼 製 自 在 枠	S. 49	同 上
(5) 鋼 製 ス リ ッ ト ダ ム	S. 51	新日本製鉄株式会社
(6) 鋼 製 続 枠	S. 53	川鉄建材工業株式会社
(7) 格 子 形 鋼 製 ダ ム	S. 54	株式会社 神戸製鋼所
(8) 鋼 製 箱 枠	S. 56	住金鋼材工業株式会社

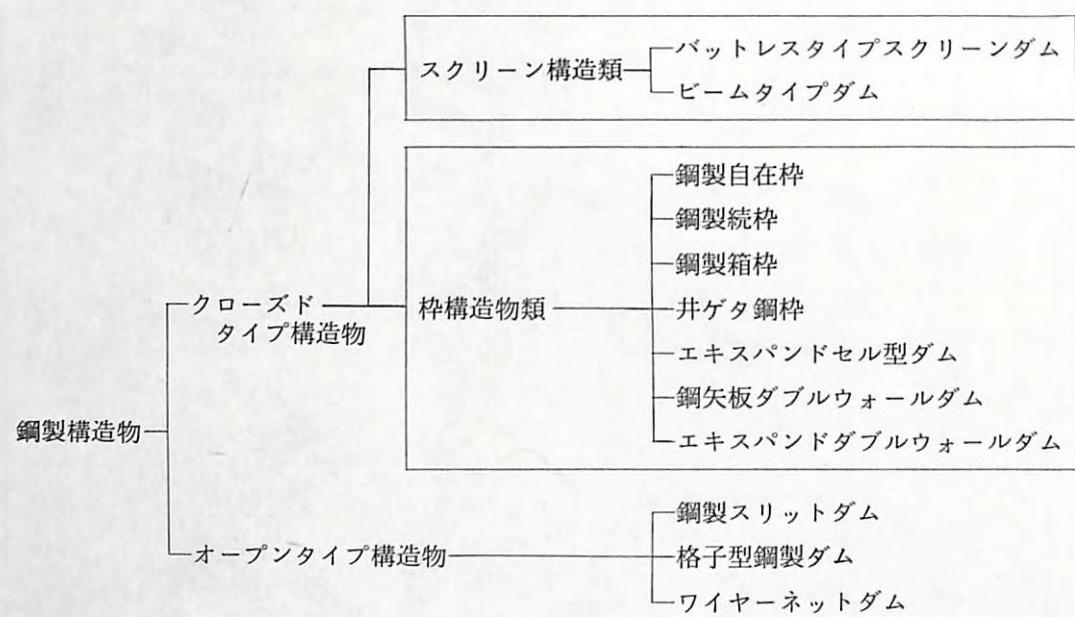
上記以外で試験的に施工されたものは次のようにある。

名 称	施工時期	施工事業所
(9) エキスパンドセル型ダム	S. 49	神通川水系砂防工事事務所など
(10) ワイヤーネットダム	S. 49	松本砂防工事事務所など
(11) 鋼矢板ダブルウォールダム	S. 53	北海道庁
(12) エキスパンドダブルウォールダム	S. 58	道路公団人吉工事事務所など

表-1.3 各メーカーの鋼製治山ダムの概要

名 称	新日本製鉄(株)	川鉄建材工業(株)	住金鋼材工業(株)	(株) 神戸製鋼所	日鉄建材工業(株)
ダム高	鋼製スクリーン堰堤	鋼製スリットダム	鋼製箱枠	格子形鋼製砂防ダム	鋼製自在枠
ダム高	3~9m(本体部高さ)	2~10.5m(本体部高さ)	2~10m(5段組み)	2~14m	8~20m
本体	H型鋼バットレスフレーム壁材としてスクリーン状にH型鋼を取付け	本体:鋼管A型フレーム構造、コンクリート充填	本体:角型鋼管骨組、1段高さ2.0mの枠	本体:鋼管立體格子骨組構造、各側面はネジ鉄筋スクリーンに砂袋を中詰め	本体:H型鋼と山型鋼骨組
基礎	コンクリート床板	基礎:コンクリート床板	基礎:コンクリート床板	基礎:コンクリート床板	1段高さ2.0mの枠(各底面は折曲げ鋼板)
構 造	フレーム構造	フレーム構造	フレーム構造	フレーム構造	フレーム構造
主たる使用材料	コンクリート	角形鋼管	日形鋼	コンクリート	H型鋼、山型鋼
使 用 実 積	H型鋼	平鋼	ネジ鉄筋	大径鋼管	平鋼(折曲げ加工)
		中詰用石材	中詰用石材		中詰用材
					昭和49年から
					昭和54年(小六郎ダム)から

表-1.4 鋼製治山施設の分類



1-2 鋼製治山施設の特徴

鋼構造物をダムの分野に利用する場合、鋼製ダムは平常時の流出土に対する貯留または透過の観点から、機能的にクローズドタイプとオープンタイプに分類される。クローズドタイプは透水性はあるが流出土砂の透過は計画上期待できないものである。オープンタイプは、大洪水に備えて平常時の流出土砂はすべてを透過させ、計画的にダムの空容量を確保するものである。なお、現在のスクリーンダムは水と細粒土砂は透過するので、コンクリートダムや枠構造物等に比べれば、満砂までの時間が長くなることや、平常時に湛水することがなく、堆砂が河床とほぼ平行して進行するので、流木を止める効果があるなどの利点がある。しかしながら、現在の構造を見直して、スクリーン間隔やフレーム構造が中小洪水時の流出土砂を通過させうるものとなるのであれば、オープンタイプに分類される。

1-3 鋼製治山施設の問題点

1-3-1 一般的な問題点

鋼製治山施設に関する一般的な問題点としては、鋼材の材質とその許容応力、腐食摩耗等を考慮した余裕厚や最小板厚などがあげられる。特に、鋼製施設は、腐食による耐久性について一般に通念的な疑問が存在しており、これに関する十分な検討が必要となる。

(1) 鋼材の材質と許容応力

鋼材の材質については、構造物の重要性、補修の困難さ、耐候性、溶接性などの観点から治山施設としての使用規格を定める必要があるが、現在は統一的な基準がない。また、許容

応力についても、現在治山施設としての基準が定められていない。この許容応力については、土石流の衝撃力のような動荷量を受ける場合の取り扱い、例えば塑性領域まで考慮するか否かなどについての問題がある。

(2) 鋼材の腐食・摩耗に対する耐久性

鋼材の耐久性についての疑念が鋼製施設の採用にあたって問題となることが多い。これについては鋸に関する問題と、断面がマッシブでないことに帰因する、摩耗に対する耐久性に問題が分けられる。

鋸に関しては、水や土に接する他の土木構造物と同様な問題であり、一般の河川では現在各社が製作している余裕厚片面 1.5 mm で問題はない。河川水の PH 度など環境条件による鋼製施設の適用条件や鋸代の見積りおよびメッキなどの防食対策についての考え方を整理する必要がある。

また、治山施設は、一般に流砂の激しい箇所に設けられるため、ダムの水通天端部などの摩耗に対する考え方についても検討を行い、鋸に対する問題を含めて、鋼材の余裕厚、最小板厚および防食対策、摩耗防止対策について設計上の基準を決める必要がある。

1-3-2 構造物の安定性

(1) 安定計算法

構造物の全体としての安定性については、基本的にはコンクリート構造物と同様、転倒、滑動および基礎地盤に対して安全であるか否かについて検討すればよいが、鋼製施設の場合はその前提として構造物が一体として働くことが保証されていなくてはならない。そのためには、各部材が確実に連結していて過度に変形しないことが必要である。

現在施工されている鋼製ダムの設計においては、それぞれの方法で安定計算を行っているが、特に構造物の一体性に関する検討方法がまちまちである。

例えば枠構造物が水圧等の水平力に抵抗する要素としては、枠の骨組構造の強さと、中詰材のせん断変形に対する抵抗が考えられるが、二つの要素の共同作用として考えるか、どちらかの単独作用として考えるかについて、その取扱い方が整理されていない。

このようなことから、鋼構造物の一体性に関する考え方、計算方法について検証することが必要である。

(2) 荷重

安定計算を行ううえでの荷重の組合せ、及びその大きさについては、現在コンクリート構造物に準じて行われている。しかしながら、鋼製施設は、コンクリート構造物のような一体となった剛体ではないため、荷重の組合せや数値についてはコンクリート構造物とは違った見方で検討を要するものと思われる。

鋼構造物は堤体内に水が透過するため、浮力や自重についての取扱いや土石流の衝撃力などについては、特に検討を要する事項である。

(3) 安全率

安全率についても、現在はコンクリート構造物に準じているが、鋼製施設としての安全率について検討を要するものと思われる。

特に鋼製施設は、変形を伴うが、変形に対する許容値についても検討が必要であろう。

1 - 3 - 3 構造計算

(1) 構造計算法

現在行われている鋼構造の計算法は、鋼材の弾性範囲内を許容応力とする許容応力度法によっており、一般的には問題ない。また、枠構造物では、前述したように、中詰材と骨組材との抵抗力の分担をどうするかといった問題や、中詰材の工学的性質と土圧の考え方など検討すべき課題が多い。

鋼構造物に土石流などの動荷重が作用した場合の部材の応答関係については、メーカーなどにより一部研究が行われているが、現段階では今後の検討に残されている部分が多い。

また、前記のような動荷重を受ける場合の設計法については、許容応力度法によらず、塑性領域まで考慮した極限設計法の適用についても検討することが必要となるかも知れない。

これは、鋼製治山施設は、構造物としての機能を失わない範囲であれば、部材の一部の变形は許容してもよいのではないかとの考え方によるものである。

(2) 部材の連結

鋼製施設は、部材の連結部の強度が構造物としての一体性を保証しているといつても過言ではなく、非常に重要な部分である。

現在の連結部の設計では、作用応力を基に継手設計を行っている例が多いが、設計の考え方について整理しておくことが必要であろう。

1 - 3 - 4 構造物の機能および形状

(1) オープンダムの開口間隔

スリットダムや格子形ダムのように、平常時の流砂はダムを流下させ、洪水時には大粒径の土砂により開口部を閉塞して貯砂させることを期待する場合には、開口部の間隔の決め方に問題がある。

現在は、水理模型実験の成果などにより決めているが、今後、現地での観測などを含め検討を要する問題と考えられる。

(2) 構造物の形状

今までに施行された鋼製ダムの被災例を見ると、土石などの衝撃による水通部、袖部の破壊や洗堀によるものが多い。

このため、特に衝撃に対する配慮が必要であり、水通天端や袖の構造について十分検討することが必要と考えられる。

また、ダム下流の洗堀対策についても検討が必要であろう。

2. 鋼製治山施設の安全設計の検討

2 - 1 鋼 材

2 - 1 - 1 規 格

鋼製治山施設に起用される鋼材は、表-2.1に示す規格に適合するものを標準としている。

但し、この規格以外のものを使用する場合には、事前に十分検討を加える必要がある。

2 - 1 - 2 最小板厚

最小板厚に関する各種基準を参照すると、水門扉では鋼板で6mm以上、形鋼では5mm以上と規定されている。その理由としては、腐食や摩耗の起りやすい環境にあるので、その下限値として規定されている。従って、鋼製治山ダムに用いる鋼材の最小板厚は6mmを原則としている。

表-2.1 鋼製治山施設用鋼材の規格

鋼材は下表に示す規格に適合するものを標準とする。但し、十分な検討を加えた場合には、これ以外のものを使用してよい。		
鋼材の種類	規格	鋼材記号
1. 構造用鋼材	JIS G3101 一般構造用圧延鋼材	SS41, SS50
	JIS G3106 溶接構造用圧延鋼材	SM41, SM50 SM50Y
	JIS G3114 溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材	SMA41 SMA50
2. 鋼管	JIS G3444 一般構造用炭素鉄鋼管	STK41, STK50
	JIS G3466 一般構造用角形鋼管	STKR41 RTKR50
	JIS G5201 溶接構造用遠心力鉄鋼管	SCW50-CF
3. 接合用鋼材	JIS B1180 六角ボルト	
	JIS B1181 六角ナット	
	JIS B1251 ばね座金	
	JIS B1256 平座金	
	JIS B1186 摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット・平座金のセット	F8T, F10T, F11T
4. 棒鋼	JIS G3112 鉄筋コンクリート用棒鋼	SR24, SD24 SD30, SD35
	JIS G3109 PC鋼棒	
5. エキスピンドメタル	JIS G3351 エキスピンドメタル	SPHC

2-1-3 許容応力度

鋼構造計算に用いる許容応力度は、表-2.2に示す値が採用されている。また、材料の継手部分では、その効率を考慮しなければならない。なお、主部材には座屈の危険がないように十分考慮しなければならない。

安定計画に用いる数値は、ダムの重要度が高い場合には、原則として実例によって求めるが、その他のダムでは既設ダムで用いられた数値が、下記および表-2.3に示す数値を参考にする。

- (1) 鋼材の密度 7.85 t/m^3
- (2) コンクリートの単位体積重量 2.3 t/m^3
- (3) 流水の単位体積重量 1.2 t/m^3
- ただし、異常な土砂流出を示す河川では別途考慮する必要がある。
- (4) 堆砂見掛け単位体積重量 $1.5 \sim 1.8 \text{ t/m}^3$
- (5) 中詰材料 原則として表-2.3に示す範囲とする。

一般に、碎石・河床礫では、円礫(玉石)状と角ばった碎石状のものなど、その形状の他に材質や粒度分布によって性質が異なるので、適切な値を採用するのが望ましい。また砂礫の場合も同様であるが、特に締固めの程度による影響が大きいので注意する必要がある。

中詰には、玉石や碎石あるいは河床礫のような堅硬で大径のものを用いるのが望ましいが、現地の状況によっては、河床砂礫を利用する方がメリットが大きい場合があると考えられる。このような小径のものを用いる場合には、確実な流出防止策を講じておかなければならぬ。この対策として、ジオテキスタイル材料を利用する場合には、その材料は強度、耐久性が十分保証されており、また万一の場合に備えて難燃性であることが望ましい。

2-1-4 部材の連結

鋼製治山施設の施工にあたっては、いかなる形式を採用する場合にも、必ず部材の連結が必要となる。従って、この連結部の強度がダムの一体性を保証することになるので、主要部材の連結部については十分な強度を持つように設計しなければならない。

部材の連結部の構造は、次の事項を満たすように設計する必要がある。

- (1) 応力の伝達が明確であること。
- (2) 構成する各部材において、偏心がないように注意すること。
- (3) 出来るだけ応力集中を発生させないこと。
- (4) 極度の残留応力や二次応力を発生させないこと。

2-1-5 腐食対策

鋼製治山施設には、鋳代を見込むか、鋳代と亜鉛メッキを併用することによって、耐久性を保証する必要がある。

鋳代は、酸性河川でないこと、清澄な大気中であること等を前提として、片面 1.5 mm を標準にしている。ただし、摩耗の恐れのある場合には別途考慮する必要がある。

表-2.2 構造用鋼材の許容応力度

- (1) 構造用鋼材の許容応力度は、下表のとおりとする。

応力度の種類		構造用鋼材の許容応力度 (kg/cm ²)			
鋼種	SS 41 SM 41 SMA 41	SS 50	SM 50	SM 50 Y SM 53 SMA 50	
軸方向引張応力度(純断面積につき)	1,400	1,700	1,900	2,100	
軸方向圧縮応力度(純断面積につき)	1,400	1,700	1,900	2,100	
曲げ引張応力度(純断面積につき)	1,400	1,700	1,900	2,100	
曲げ圧縮応力度(純断面積につき)	1,400	1,700	1,900	2,100	
せん断応力度(純断面積につき)	800	1,000	1,100	1,200	
支圧応力度(鋼板と鋼板)	2,100	2,500	2,500	3,100	

- (2) アンカーボルト、ピンおよび仕上げボルトの許容応力度

アンカーボルト、ピンおよび仕上げボルトの許容応力度は下表に示す値とする。

応力の種類		アンカーボルトなどの許容応力度 (kg/cm ²)		
鋼種	SS 41 S 30C	SS 50 S 30C	S 35C	
せん断応力度	アンカーボルト ピン 仕上げボルト	600 1,000 900	700 1,200 1,050	800 1,400 1,200
曲げ応力度	ビン	1,900	2,300	2,600
支圧応力度	仕上げボルト ピン(回転を伴わない場合) ピン(回転を伴う場合)	2,100 2,100 1,050	2,500 2,500 1,250	2,800 2,800 1,400

- (3) 鉄筋コンクリート用棒鋼の許容応力度は下表に示す値とする。

	SR 24, SD 24	SD 30	SD 35
引張応力度 圧縮応力度	1400	1800	2000

(4) 鋼管の許容応力度は下表のとおりとする。

鋼種 応力度の種類		鋼管の許容応力度 (kg/cm ²)		
SS 41, SM 41 SMA 41, STK 41	SM 50, STK 50	SM 50Y, SMA 50		
軸方向引張応力度（純断面積につき）	1,400	1,900	2,100	
軸方向圧縮応力度（総断面積につき）	$\frac{\ell}{r} \leq 20$ $1,400$ $20 < \frac{\ell}{r} < 93$ $1,400 - 8.4(\frac{\ell}{r} - 20)$ $\frac{\ell}{r} \geq 93$ $\frac{12,000,000}{6,700 + (\ell/r)^2}$	$\frac{\ell}{r} \leq 15$ $1,900$ $15 < \frac{\ell}{r} < 80$ $1,900 - 13(\frac{\ell}{r} - 15)$ $\frac{\ell}{r} \geq 80$ $\frac{12,000,000}{5,000 + (\ell/r)^2}$	$\frac{\ell}{r} \leq 14$ $2,100$ $14 < \frac{\ell}{r} < 76$ $2,100 - 15(\frac{\ell}{r} - 14)$ $\frac{\ell}{r} \geq 76$ $\frac{12,000,000}{4,500 + (\ell/r)^2}$	
曲げ引張応力度（純断面積につき）	1,400	1,900	2,100	
曲げ圧縮応力度（総断面積につき）	1,400	1,900	2,100	
せん断応力度（総断面積につき）	800	1,100	1,200	
軸方向力及び曲げモーメントを受ける部材	(1) 軸方向力が引張の場合 $\sigma_t + \sigma_{bt} \leq \sigma_{ta}$ かつ $-\sigma_t + \sigma_{bc} \leq \sigma_{ba}$ (2) 軸方向力が圧縮の場合 $\frac{\sigma_c}{\sigma_{ca}} + \frac{\sigma_{bc}}{\sigma_{ba}} \leq 1.0$			

記号は次のとおりである。

ℓ : 部材の有効座用長 (cm)

r : 部材総断面の断面二次半径 (cm)

σ_t, σ_c : 断面に作用する軸方向引張力による引張応力度及び軸方向圧縮力による圧縮応力度 (kg/cm²)

σ_{bt}, σ_{bc} : 断面に作用する曲げモーメントによる最大引張応力度及び最大圧縮応力度 (kg/cm²)

σ_{ta}, σ_{ca} : 許容引張応力度及び弱軸に関する許容軸方向圧縮応力度 (kg/cm²)

σ_{ba} : 許容曲げ圧縮応力度 (kg/cm²)

(5) 棒鋼をタイロッドとして使用する場合の許容応力度は下表に示す値とする。

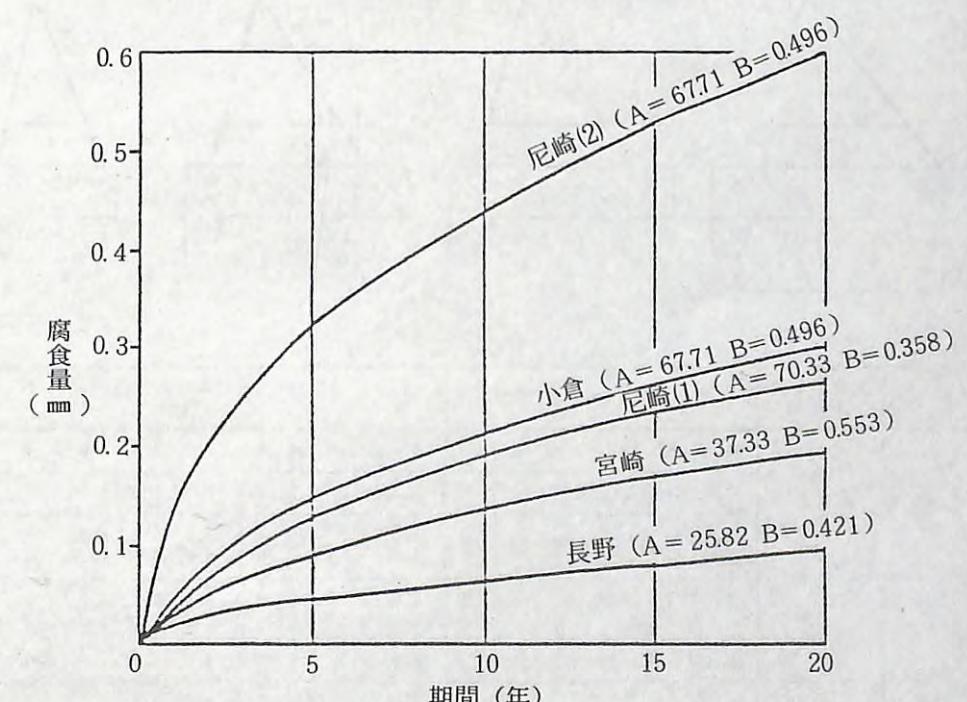
鋼種	SS 41		SS 50		高張力鋼			(kg/cm ²)
	φ 40mm 以下	φ 40mm 以上	φ 40mm 以下	φ 40mm 以上	30	40	50	
降伏点応力度	2400 以上	2200 以上	2800 以上	2600 以上	3300 以上	4000 以上	4500 以上	
許容引張応力度	960	880	1120	1040	1320	1600	1800	

なお、鋸代のかわりに亜鉛メッキのような防食対策をほどこす場合には、摩耗が危惧されないことを前提として、鋸代を片面 0.5 mmとした上で、500 g/m²の亜鉛メッキを実施するのを標準とする。また、ボルトのメッキは 350 g/m²以上とし、鋸代は特に見込まなくてよい。

各種環境下における鋼材の腐食量について、調査結果の 1 例を示すと図-2.1 のようになる。

表-2.3 中詰材料の種類

種別	単位体積重量 (t/m ³)	内部摩擦角 (度)
割石 (一般的もの)	1.8	40
割石 (もろい材質のもの)	1.6	35
割ぐり石	1.8	40
切込砂利	1.8	30
玉石	1.8	35
砂礫	1.6	30



(鉄鋼協会, 腐食防食討論会論文集 昭和46年)

図-2.1 鋼材の地域別腐食量 (SS 41 の場合)

2-2 鋼製バットレススクリーンダム (図-2.2)

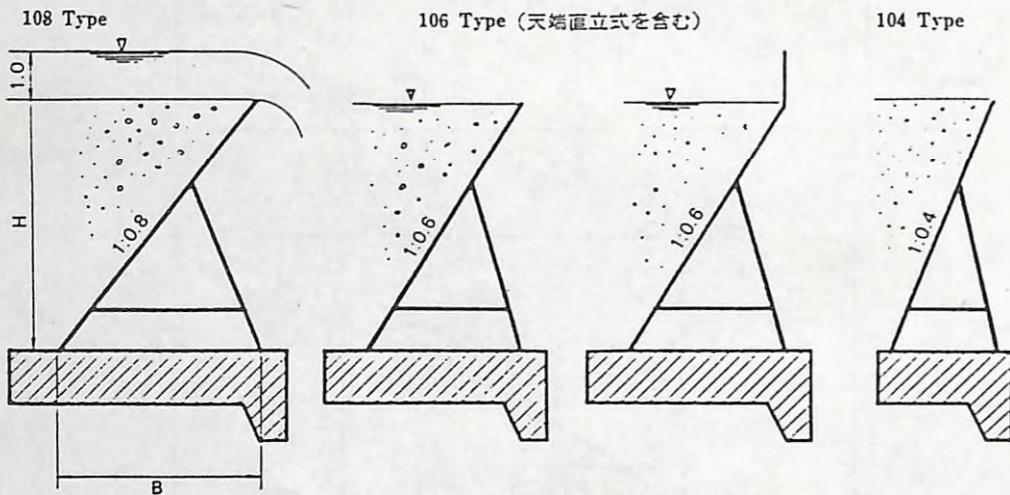
安定計算に用いる荷重は、原則として自重と静水圧であるが、ダムの高さや形式によっては堆砂圧、浮力(揚圧力)、地震時の慣性力と動水圧などについても検討するのが安全である。まず、ダムに作用する力を工種別に図示すると図-2.3のようになる。ここで、自重と静水圧については別に問題はないが、堆砂圧の計算は、

$$P_v = W \cdot h, \quad P_h = C \cdot W \cdot h$$

$$W = W_b - (1 - P) W_0$$

$$P = (W_a - W_b) / W_a$$

で表わされる。ここで、 P_v と P_h は堆砂圧の鉛直と水平分力、Cは堆砂の内部摩擦角によって決まる土圧係数、Wと W_b は堆砂の水中と空中の単位容積重量、 W_a は堆砂土粒子の密度、 W_0 は水の比重、hは堆砂面から任意点までの深さ、Pは堆砂の間隙率である。また、バットレス・スクリ



シリーズ	上流面勾配(B/H)	越流部非越流部の別	フレームの高さH(m)
108 タイプ	0.8	越流部(越流水深1.0)	3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0
		越流部(越流水深1.5および2.5)	5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5
		非越流部	3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5, 9.0, 9.5, 10.0, 10.5
106 タイプ	0.6	越流部	3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0
		非越流部	3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0
		非越流部(直立式)	4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0
104 タイプ	0.4	越流部	2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0
		非越流部	2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 6.0

図-2.2 バットレススクリーンダムの種類

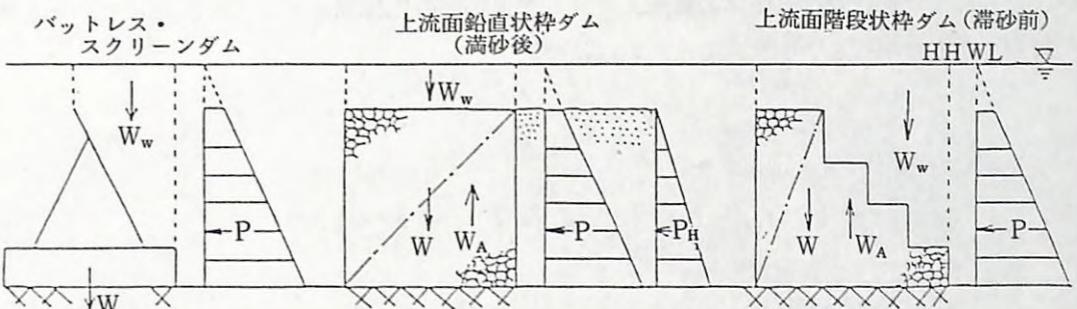


図-2.3 鋼製ダムに作用する力 (P: 静水圧, P_h : 堆砂圧, W: 自重, W_w : 水の重量, W_a : 浮力)

ーン構造のように、コンクリートフーチングを基礎とするダムの場合には、コンクリートダムの場合に準じて、揚圧力を計算する必要がある。これはダム底全面に鉛直上向きに働き、基礎地盤の種類で異なる。ダム底上流端から長さxの点における揚圧力(U_x)は、次式で表わされる。

$$U_x = W_0 [h_2 + \mu \cdot \Delta h (1 - x/\ell)] ; \Delta h = h_1 - h_2$$

ここで、 μ は揚圧力係数で $1/3 \sim 1$ の値、 h_1 と h_2 はダム上・下流側の水深、 ℓ はクリープ長である。なお、揚圧力の最大値はダム底上流端に発生し、その値は $h_2 + \mu \cdot \Delta h$ である。次に、安定計算は水通し部の2次元断面について行うが、前提条件として理想的な一体構造物としての部材結合と弾性域内での変形が保証されねばならない。安定条件としては、①ダムに働く合力がミドルサード内に入ること、②ダム底と基礎地盤の間、または基礎地盤内で滑動しないこと、③基礎地盤に発生する最大応力が地盤の許容支持力以下であること、などである。

さて、バットレスダムのように上流面に土砂が堆積することが予想される構造物では、竣工時よりも満砂後の方が鋼骨組に苛酷な荷重が働くので、このような予想荷重に対する構造解析を十分行っておく必要がある。また、枠構造物は重力構造物の一種であり、枠組と中詰めが一体として機能することが保証されねばならない。従って、外力あるいは内力による変形に対しては、鋼製枠組と中詰が一体となって抵抗するように期待される。しかしながら、この中詰材料の応力～ひずみ関係のような弾性的性質を解析的に求めることは不可能であり、その工学的な評価は現在困難である。これについては、次節で若干の検討を加える。

2-3 鋼製自在枠ダム

自在枠に外力が作用すると、壁材と中詰はそれぞれ異なった挙動を示し、中詰中にはダイラント現象が生じ、せん断応力の発生～構造系全体の破壊に至る過程をたどる。従って、自在枠の安定計算は、重力式構造物としての条件を満たすと共に、枠組を一種のセル壁体と仮定し、予想外の力によって壁材のねじれや変形が生じても、中詰物が流出しない限り、構造系全体としての安定が保持されるように、セル壁体の安定性を検討する必要がある。

自在枠の安定計算は、壁体の変形モーメントと中詰の抵抗モーメントを比較して、せん断変形に対する安全率(S)を次式で求めればよい。

$$S = M_1 / M_2$$

$$M_1 = P \cdot h \cdot \cos \theta$$

$$M_2 = r \cdot H^3 (K_p - K_a) (3 - \beta \cos \phi) \cos^2 \phi / 24 \beta^2$$

ここで、

M_1 : 壁体の変形モーメント

M_2 : 中詰の抵抗モーメント

H : 壁高

B : 壁幅

P : 外力

h : 外力の作用点までの高さ

θ : 壁面に対する外力の作用角

r : 中詰の単位体積重量

β : B/H

K_p : ランキンの受働土圧係数

K_a : 同主働土圧係数

ϕ : 中詰の内部摩擦角

中詰のせん断変形に対する抵抗の計算法は、鋼矢板セル式係船岸の設計計算法であり、この種構造物の解析法としては、ほぼ確立された方式である。抵抗モーメントの計算では、変形を許す場合と許さない場合を考えられる。前者は、セル体のせん断変形を1~2%程度許して、中詰が塑性化した場合に対応している。従って、一般に治山ダムの場合には、多少変形しても機能的に支障はなく、また静的荷重に対しては進行性の変形ではないので、せん断変形に対する抵抗は変形を許す場合の計算をすればよい。また、安全率については、設計荷重に対しては1.2以上、チェック荷重に対しては1.1以上とするのが適当である。ただし、高さ10m以上で集落に近接する構造物については、変形を許さない場合の計算をする必要がある。

上流面が傾斜している場合、換算壁体幅の算定が困難であるが、便宜的には断面積の等しい仮想の矩形断面の幅を採用すればよい。

2-4 鋼製擁壁工

鋼製擁壁工は、①地すべりの押え盛土の基礎工や保護工、②地すべり末端の小崩壊や小規模すべりの抑制、③軟弱地盤における盛土の保護工、④湧水の多い箇所における斜面や法面の保護工、などの目的に使用すると効果的である。

擁壁工の断面の安定計算に用いる荷重は、自重と土圧である。土圧については、図-2.4のよ

うな二つのケースが考えられる。すなわち、

(1) 押え盛土のような盛土の保護擁壁にかかる土圧

(2) 小規模地すべりや崩壊抑制のための擁壁にかかる土圧

である。

3. 鋼製施設採用上の留意点と今後の問題点

3-1 鋼製治山施設採用上の留意点

治山事業に鋼製施設を採用する場合には、次の諸点に十分留意する必要がある。

3-1-1 鋼製ダム

鋼製ダムの採用に当っては、原則として

(1) 溪床幅が広く、鋼材使用部分が多く、経済的に有利な場合

(2) 流木などが多く、流木と土・砂・水の分離が容易な場合

であって次の条件を満たす必要がある。

① 土石流、大転石の流下の可能性のない所

② なだれによる破損のおそれのない所

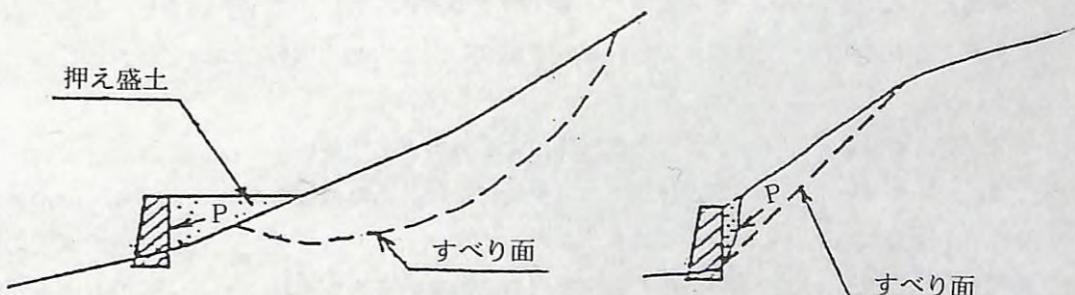
③ 下流に保全対象が近接している場合は、すでにその上流にコンクリートダムが築設されている所

3-1-2 鋼製自在枠

(1) 治山ダム

① 転石、流木、土石流などの流下に極めて弱いので、流水のある所は原則として計画しない。但し、地盤が軟弱でコンクリートでは施工不能な場合はやむをえない。

② やむをえず計画する場合は、安定計算の因子を十分検討し災害時にも十分耐えられるものであること。施工が安定計算の条件に合致することが可能な計画であること。(特に埋



(1) 押え盛土などの場合

(2) 小規模地すべりなどの土塊が直接
壁面にかかる場合

図-2.4 擁壁に作用する2種類の土圧

戻しをしなければ安定しないものもある。)

(2) 土留工, 護岸工

① 原則として地盤が軟弱又は地すべり地などで排水の必要があり又は移動の可能性があるもの以外は採用しない。

② 計画する場合は他の施設との関連を安定計算上においても十分検討すること。

3-1-3 エキスピンドメタル使用の簡易土留工

(1) 原則として筋工として使用し土留工としては使用しない。

(2) 筋工の場合は原則として2段までとし、土質的に礫質が多い場合でも3段までとする。

(3) 地下水などが背面に帶水する箇所の計画は、出来るだけ避けるか排水を十分考慮する。

3-1-4 落石防止柵工

(1) 安定計算は実際の石の大きさ、予想される高さを十分調査し、十分な安全性をもった構造で行うこと。

(2) 落石の衝撃力を緩和させるために、古タイヤの配置などを計画することができる。

(3) 落石防止柵は森林の造成の補助手段として行うのがたてまえであるので、必ず森林造成を計画すること。

3-1-5 鋼製U字フレーム

鋼製U字フレームは重量が比較的軽いので多く使用されるが、山腹の盛土の箇所は盛土の沈下により浮き上がることが多く、地表水が水路に乗らないことが多い。水路設置の位置、高さを十分考慮し、また浮き上がらないよう杭などを計画すること。

3-2 鋼製治山施設に係る今後の検討事項

各種鋼製治山施設の実用化にあたり、今後は次の諸点に十分検討を加える必要がある。

3-2-1 鋼製治山施設の安全性と耐久性に関する実態調査

既設の鋼製スクリーンダム、鋼製土石流減勢工(底面スクリーンダム)、鋼製枠ダムのような溪間工やエキスピンドメタル使用の山腹土留工の劣化、破損の実態を調査し、動的外力を推定するとともに工種・工法別に安定計算式を確立し、その適用限界について検討を行う必要がある。

3-2-2 鋼製スクリーンダムの天端に作用する外力と応力解析

現行のスクリーンダムの安定計算では、天端付近の外力は微少であると仮定して、補強部材等は全く使用されていない。それにもかかわらず、バットレスタイプのスクリーンダムの全被災件数中の70%以上は、天端張出部の倒伏で占められているのが現状である。その原因と対策について更に検討を行う必要がある。

3-2-3 土石流減勢工(底面スクリーンダム)の構造と堆砂機構に関する検討

土石流減勢工の施工に当り、その構造の基本となる要素を抽出し、土石流の大きさと構造規模について力学的に検討するとともに、流出土砂の堆砂機構、および効果的な排砂方法に関する実用化試験を行う必要がある。

参考文献

- 1) 岸岡 孝: 治山ダムに作用する動水圧, 日林誌, 46(8), 294~298, 1964
- 2) 水山高久: 砂防ダムに作用する土石流衝撃力とその問題点, 新砂防, 112, 40~43, 1979
- 3) 林業土木施設研究所: 落石危険地実態調査報告書(黒松内営林署管内497, 498および510林班)函館営林支局, 1981
- 4) 林業土木施設研究所: 鋼製えん堤(保水タイプ)等に関する営業用技術資料, 日本林業土木株式会社, 1983
- 5) 鋼製砂防構造物研究会: 鋼製砂防構造物に関する研究報告書, (財)砂防・地すべり技術センター, 1983
- 6) 陶山正憲: 治山鋼製施設の劣化現象とその要因分析(I)治山鋼製施設の劣化と安全設計に関する検討, 36回日林関東支論, 159~160, 1984
- 7) 陶山正憲: 同上(II)鋼製土留工の設計基準と劣化実態に関する検討, 96回日林論, 611~612, 1985