

河川工事課	土木試験所
小樽開発建設部	函館開発建設部
室蘭	旭川
留萌	稚内
網走	帯広
釧路	石狩川

まえがき

北海道の治水事業は、近年大幅に促進され、堤防も暫定断面の箇所を含め、おおむね連続してきた。築堤の未施工区間が多く、不連続区間が増加するにつれて、洪水時の築堤の安全性の再検討が大きな課題となってきた。

本調査研究は、この現状に対し、道内各地の既設築堤の品質の実態を調査するとともに、これらの築堤の安全度について検討を行い、安全度の判定方法を確立することを目的として、昭和47年度から4年間にわたり指定課題として取り組んできたが、ここに、一応の成果を収めたので報告するものである。

1. 調査の経緯

河川堤防の安全性は、堤体の形状はもちろんのこと堤体材料の土質工学的性質や堤体内浸透流、それに加えて基礎地盤の土層構成とその力学的性質などによって異なるが、既設築堤についてはとくに築堤の施工方法と経過年、およびそれらにもとづく現在の締固まりの程度などが、重要な安全性の要因と考えられる。したがって、築堤の安全性の検討結果に普遍性をもたせるために、全道の主要河川および支川の既設築堤について、現在の築堤高が計画高水位以上の築堤を対象として調査を行った。

この調査の初年度である47年度は、17ヶ所の既設築堤について表~1に示すような安全度に関する調査資料にもとずき既設築堤の密度締固の度、飽和度および空気間隙率などの実態、完成断面時の計画高水位に対する表ノリ面、裏ノリ面のスベリ破壊に対する安全率、軟弱地盤上の築堤について

表~1 既設築堤の安全度に関する調査項目

既設堤防の計画断面と洪水経歴の関係	(1) 堤防形状、計画高水位、計画洪水継続時間	
	(2) 過去の洪水時における水位、高水敷の洪水時間、水位上昇および下降速度	
	(3) 洪水の被害を受けた場合の被害状況	
堤体および基礎地盤の工学的性質	物理的性質	含水比、比重、粒度、液性・塑性限界、湿潤密度、飽和度、空気間隙率、強熱減量等
	強度特性	粘着力、内部摩擦角、コーン支持力、N値等
	締固め特性	最大乾燥密度、最適含水比等
	圧密特性	圧密指数、体積減少係数、圧密係数等

は基礎地盤を含むスベリ破壊に対する安全率の検討、さらに漏水、パイピングに対する検討を行った。

48年度は、さらに3ヶ所、49年度は、新たに3ヶ所の既設築堤について、安全度に関する調査資料を加えて、47年度と同様の検討を加えるとともに、49年度には、現地のあらゆる河川堤防に対して概略的な堤体の安定を知るために、各堤防の形状タイプ、土質、軟弱層厚とその強度を種々組み合わせ、スベリ破壊に関する安定計算を行った。



図-1 調査箇所

表-2 調査箇所一覧表

番号	河川名	築堤名	番号	河川名	築堤名	番号	河川名	築堤名
1	尻別川	初田	18	網走川	本郷築堤15線	35	石狩川	津
2	"	大曲	19	"	本郷	36	"	豊沼
3	津別川	稲穂	20	"	美幌左岸	37	千歳川	長部
4	"	博田	21	常呂川	日の出左岸	38	"	千歳
5	"	種	22	十勝川	相	39	"	"
6	鶴川	有明	23	"	西士狩	40	旧美幌川	第2幹線
7	沙流川	平取	24	"	札作別	41	旧美幌川	旧美幌川左岸
8	鶴川	生田	25	"	幌向	42	幌向川	幌向川右岸
9	名寄川	美深右岸第1	26	"	旗来	43	"	幌向川左岸
10	士別川	東川	27	利別川	高島	44	機春別川	機春別川右岸下流
11	天塩川	内湖	28	網走川	雪裡橋門起点	45	第2幹線	第2幹線右岸
12	石狩川	中受別右岸	29	"	標茶右岸	46	ゴクドウ川	ゴクドウ川左岸
13	留辺川	藤山	30	"	標茶右岸	47	石狩川水	志守川左岸
14	"	藤山右岸	31	石狩川	中村	48	月寒川	月寒川左岸
15	大塩川	東ワフシ	32	"	大曲左岸	49	石狩川	六戸島
16	狩別川	狩別中流右岸	33	"	美登位	50	"	下港布
17	網走川	本郷築堤11線	34	"	美登位	51	"	幌達布

この調査の最終年次である50年度は、51ヶ所の既設築堤と各種の築堤断面形状タイプについて、49年度の検討に引続き、完成断面になった状態で外水位が計画高水位に達し、堤体内に浸じり線が発達し、降雨により浸じり線上部の堤体が飽和状態になった時のり面のすべり破壊に関する安定計算を行なうとともに、よくに既設築堤についてのデータにもとづき、破壊原因のうち越流や表のり先の荒堀、のり面の浸食を除いた場合に発生件数の比較的少ない堤防のり面のすべり破壊に対する安全率のバラツキの状況について検討した。また、築堤の維持管理の参考資料とするとともに安全度向上対策工事の優先順位の判断資料とすることを志向して、築堤の安全度の判定方法について検討した。

47年度から49年度までの調査箇所は合計4ヶ所であり、その築堤の位置および築堤名は図1、表へ2に示すとおりである。

2. 既設築堤の品質の実態

(1) 堤体の土質帯数の実態と範囲

既設築堤の安全度に関する土質帯数はいくつかが考えられるが、そのうち大きな要素と考えられる環状密度(γ_r)、粘着力(C)、内部摩擦角(ϕ)および透水係数(K)について堤体土質をレキ質土(G係)、砂質土(S, M系)、粘性土(C系)、および(P_c)の4種類に大別してヒストグラムに表わしたのが図へ2であり、それぞれ平均値(\bar{x})、標準偏差(σ)、変動係数(V)を同図の右肩に示している。

これらの図表から次のようにまとめられる。なお、泥炭についてはデータ不足のためここでは取り

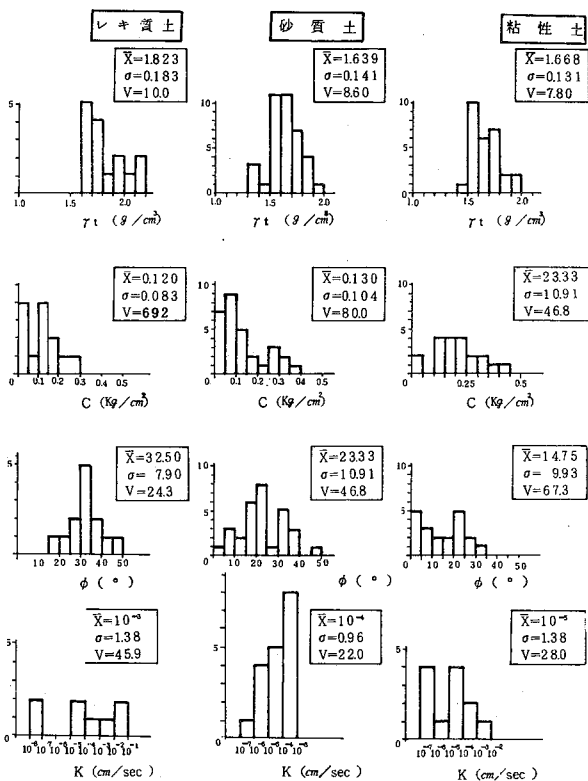


図-2 既設築堤の品質の実態に関するヒストグラム

(\bar{x} : 平均値、 σ : 標準偏差、 V : 変動係数)

よけていた。

イ、湿潤密度(ρ)

砂質土、粘性土については、試験値の分布が正規分布に似ており、変動係数も8%と比較的小さいが、レキ質土については試験値の集中が悪い。また、砂質土の ρ が通常考えられている試験値に比べて幾分小さいようであるが、これは現場における密度測定上の問題によるものと考えられるが明らかでない。

ロ、粘着力(C)、内部摩擦角(ϕ)

粘着力については、いずれの土質も変動係数が50%以上となっており、バラツキの度合が大きく、また内部摩擦角については、変動係数が24%~67%と広範囲なバラツキを示している。これはすべての土質を4種に大別したためであり、とくにレキ質土、砂質土における内部摩擦角の値のバラツキは少量のシルト分や砂分の割合による影響によるものであろうと推定される。

ハ、透水係数(k)

レキ質土の透水係数 k は、データ数が少ないが 10^{-1} cm/secから 10^{-8} cm/secの範囲であり、とくに k の小さいものを除くと平均 10^{-3} cm/secである。砂質土の k は 10^{-2} cm/secから 10^{-7} cm/secの範囲であり平均 10^{-4} cm/secである。粘性土は 10^{-2} cm/secから 10^{-7} cm/secの範囲であり、平均 10^{-5} cm/secである。

(2) 施工方法、経過年数による締固まりの程度

既設築堤の品質の標準として、従来盛土締固の管理基準として一般論に用いられてきた締固の度(ρ/ρ_{max})、飽和度(S_r)、および空気間けき率(V_a)を用い、これらの指標が築堤の施工方法や経過年数によってどの程度の値をとるかについて検討したものが図-3(a)~(c)である。

密度締固の度についてはレキ質土が64~103%の範囲に分布していて、約半分は80%以上であるが、70%前後のものがほぼ同数である。これはレキ質土の密度測定が非常に困難である場合が多いことによる測定上の誤差も考えられるが、施工上、締固のが困難な土質であるためと推定される。

砂質土、粘性土については、ほぼ70~100%の範囲に分布し、ほとんどのが80%以上である。また、高

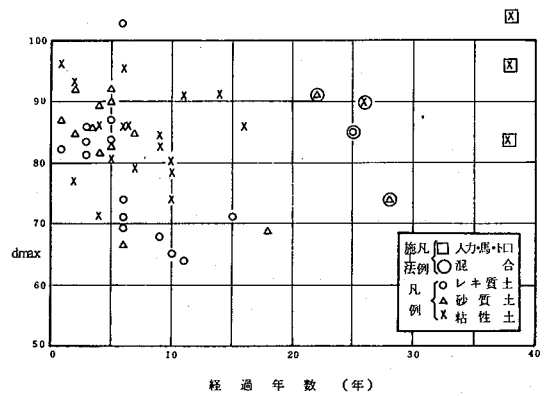


図-3 (a) 築堤盛土における経過年数と締固め度の関係

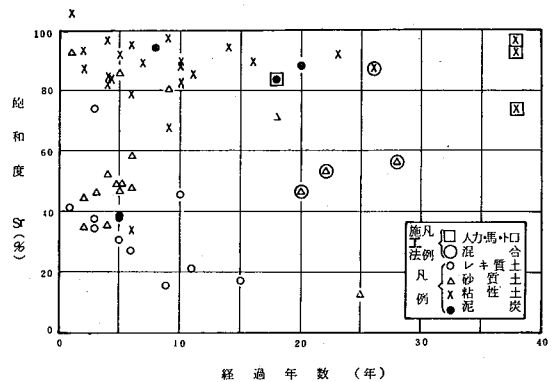


図-3 (b) 築堤盛土における経過年数と飽和度の関係

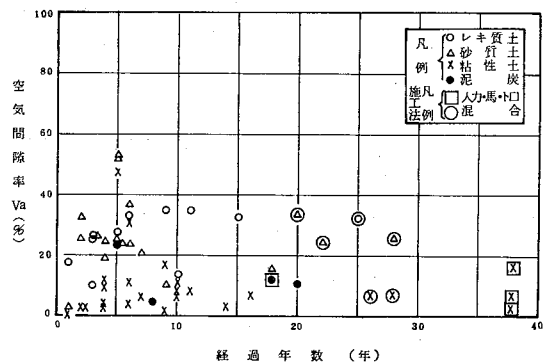


図-3 (c) 築堤盛土における経過年数と空気間率の関係

含水粘性土の締固の管理の際に一般的に用いられている飽和度、および空気間隙率については、ほとんどの粘性土が $w_p = 80 \sim 100\%$ 、 $v_a = 0 \sim 20\%$ の範囲に集中している。これらの結果は現行の、河川土工指針(案)の基準値をおおむね満足している。

一方、これらの締固まりの程度を表わす指標である密度、飽和度、空気間隙率が入力・馬・ト口施工と機械施工により異なることを予想したが有意差は認められぬ。また、これらの指標と経過年数との関係についても、ほとんど変化がなく有意差は認められぬ。

3. 既設築堤の安全度に関する考察

一般に河川堤防には下記のような安全性を確保することが要求される。

- イ、雨水が堤防、裏面から浸透し、堤体の含水比が増加した場合の、裏面前端に対する安定。
- ロ、河川水位が上昇することにより浸り線が発達し、浸り水が裏ノリから流出する時の裏ノリ面のスベリ破壊に対する安定
- ハ、河川水位が上昇し、堤体に揚圧力が働き堤体全体が一体となって生ずる滑動に対する安定。
- ニ、河川水位の急降下時における表ノリ面のスベリ破壊に対する安定
- ホ、軟弱地盤上の築堤の破壊と沈下に対する安定
- ヘ、堤体および基礎地盤が透水性の場合の漏水ならびにパイピングに対する安定
- ト、地震時における堤体の安定

この他に、破堤の原因として溢水、水衝部の洗掘などもあげられるが、前者については計画高水流量の決定の問題であり、後者については根固の護岸によって解決される問題であるので、ここでは触れないこととする。

上記の種々の安全度に関する項目のうち、現在、定量的な計算方法が一般確立されており、また、一般的な設計計算の際に検討の対象となるものは、ロの裏ノリ面、ニの表ノリ面、ホの軟弱地盤に関する安定と、ヘの漏水とパイピングに対する安定問題である。したがって、ここでは、すべての調査対象となった既設築堤について、これらの項目に関する検討を行うとともに、完成断面を確保した状態で外水位が計画高水位に達し、浸りやん線が発達することともに、降雨のために浸りやん線以上の土塊も飽和状態になった場合の堤防の表・裏ノリ面のスベリ破壊に対する安全率を計算した。

(1) 計算方法

検討に際しての計算方法は、次のとおりである。

- イ、裏ノリ面、表ノリ面、軟弱地盤を含む場合など、それぞれのスベリ破壊に対する安全率は次式を用いた。(図-4参照)

$$F_s = \frac{\sum (W \cdot \cos \alpha - U) \cdot \tan \phi + C \cdot l}{\sum W \cdot \sin \alpha}$$

ここに W : 各細片の土塊重量 (t/m)

U : 間隙水圧 (t/m)

l : 各細片の円弧長 (m)

α : スベリ面が水平となす角 (度)

C : 土の粘着力 (t/m^2)

ϕ : 土の内部摩擦角 (度)

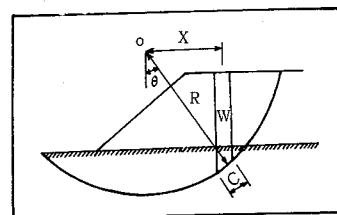


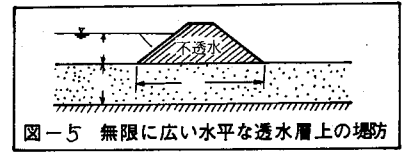
図-4 安定計算・分割法

□、漏水量について

漏水量については、透水係数が 10^{-5} sec^{-1} 以下の場合を不透水性、 10^{-4} sec^{-1} 以上の場合を透水性と考え、堤体と基礎地盤の透水係数の組合せに応じて下式にもとづいて算出した。

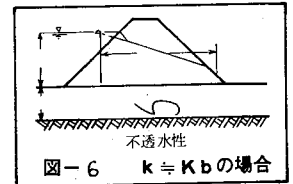
(1) 堤体が不透水性で基礎地盤が透水性の場合(図-5参照)

$$Q = \frac{b}{L + 0.866} \cdot k_s \cdot H$$



(2) 基礎地盤が透水性で堤体と基礎地盤の透水係数がほぼ等しい場合(図-6参照)

$$Q = \frac{4 \cdot k \cdot h^2}{9 \cdot l} + \frac{k_b \cdot h \cdot b}{l}$$



(3) パイピングの可能性については、堤体を不透水性と仮定して、次式によって検討した。

$$F = \frac{\frac{G_s - 1}{1 + e} \cdot \gamma_w \cdot d}{\gamma_w \cdot h_a} = \frac{G_s - 1}{1 + e} \cdot \frac{h_a}{d}$$

ここに F_s : 安全率

G_s : 土の真比重 e : 間隙比

γ_w : 水の単位体積重量 (t/m^3) h_a/d : 動水勾配

(2) 結果と考察

調査した5ヶ所の既設築堤の表ノリ面、裏ノリ面および軟弱地盤を含む場合のスベリ破壊に対する安全率、漏水量およびパイピングに対する安全率を表へりに示す。また、各土質別に区分した場合の表ノリ面のスベリ破壊に対する安全率のヒストグラムを図へりに示す。なお、表ノリ面、裏ノリ面のスベリ破壊に対する安全率の平均値範囲、標準偏差、変動係数を表へりに示す。これらの結果、次のことが明らかとなった。

イ 計画高水位(没じゅん線)下でのスベリに対する安定については、表ノリ面と裏ノリ面を比較すると、ほとんどの場合に表ノリで小さな安全率となっている。土質別にみた安全率については、登高などの関係もあって定量的に述べら

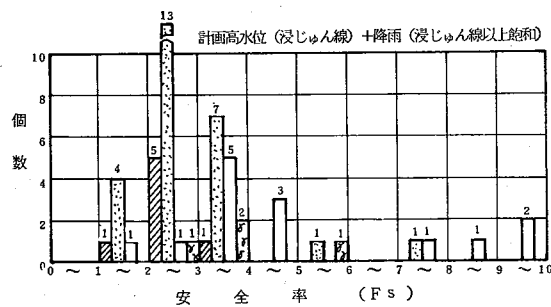
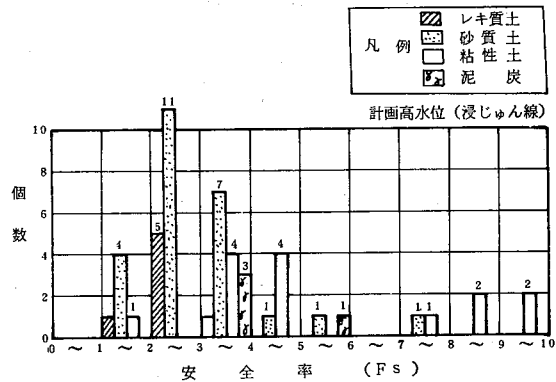


図-7 堤防ノリ面のスベリ破壊に対する安全率

れながら、レキ質土築堤では、 $F_s = 1.64 \sim 9.62$ の範囲で $F_s = 2 \sim 3$

表 4 堤防のり面のスベリ破壊に対する安全率の分布

のものが多い、砂質土では、 $1.65 \sim 7.80$ の範囲で $F_s = 2 \sim 4$ のものが多い、粘性土の F_s は $1.98 \sim 9.72$ の範囲で $F_s = 3 \sim 5$ のものが多い、泥炭では、 $F_s = 3.22 \sim 22.48$ の範囲で、 $F_s = 3 \sim 4$ のものが多い、レキ質土、砂質土が粘性土、泥炭にくらべて相対的に安全率が低くなっている。

堤体の土質	堤体材料数	のり面のスベリ破壊に対する安全率(F_s)								備考	
		範囲		平均値		標準偏差		変動係数			
レキ質土	8	X	1.64 ~ 9.62	2.05 ~ 9.95	3.42	4.33	2.58	2.54	76.0%	58.7%	
		Y	1.63 ~ 9.42	1.95 ~ 8.25	3.26	3.83	2.52	2.04	77.0	53.9	
砂質土	25	X	1.45 ~ 7.80	2.54 ~ 19.89	3.04	5.15	1.35	3.94	43.7	76.6	
		Y	1.42 ~ 7.48	2.14 ~ 5.29	2.81	3.41	1.32	1.24	47.2	31.6	
粘性土	13	X	1.98 ~ 9.72	3.57 ~ 19.55	5.18	7.26	2.48	4.43	47.9	61.0	
		Y	1.81 ~ 9.11	2.26 ~ 16.12	4.61	5.64	2.27	3.66	49.4	64.9	
泥炭	5	X	3.22 ~ 22.48	3.43 ~ 22.62	7.81	8.01	8.25	8.25	105.7	102.7	
		Y	2.97 ~ 21.21	3.34 ~ 21.23	7.34	7.55	7.81	7.70	106.4	102.0	
計(1)	51	X	1.45 ~ 22.48	2.05 ~ 22.62	4.17	5.81	3.31	4.45	80.0	76.3	
計(2)	46	X	1.42 ~ 21.21	1.95 ~ 21.23	3.77	4.44	3.14	3.35	82.9	75.5	泥炭除く
		Y	1.45 ~ 9.72	2.05 ~ 19.89	3.74	5.61	2.21	3.96	56.7	70.8	
			1.42 ~ 9.62	1.95 ~ 16.12	3.39	4.11	1.98	2.45	58.4	59.6	

注) 堤体の条件 X 計画高水位(浸れ線) Y 計画高水位(浸れ線) + 降雨(浸れ線以上飽和)

計画高水位(浸れ線)下での堤防、り面のスベリ破壊に対する安全率を、河川土工指針(案)に示されている基準安全率 1.25 と比較すると、すべての調査ヶ所でもこれを上まわっていることがわかる。

ロ、計画高水位(浸れ線) + 降雨(浸れ線以上飽和)の条件下での堤防、り面のスベリ破壊に対する安定については、イの場合と同様に、ほとんどの場合に表りの安全率が裏りの安全率に比較して小さくなっており、レキ質土築堤では $F_s = 1.64 \sim 9.62$ の範囲で $F_s = 1 \sim 3$ のものが多い、砂質土では $F_s = 1.45 \sim 7.80$ の範囲で $F_s = 1.4 \sim 3.0$ のものが多い、粘性土では $F_s = 1.98 \sim 9.72$ の範囲で $F_s = 3.0 \sim 4.0$ のものが多い、泥炭では $F_s = 3.22 \sim 22.48$ の範囲で $F_s = 3.0 \sim 5.0$ のものが多い、やはり、レキ質土、砂質土築堤が粘性土、泥炭築堤にくらべて相対的に安全率は小さくなっている。また、降雨(浸れ線以上飽和)の条件を考慮することによって、総体的に、おおよそ 10% 程度の安全率の低下が認められる。しかし、すべての調査ヶ所の既設築堤は、基準安全率 1.25 を満足している。

ハ、築堤における漏水量の大きさに対する評価については、ここでは一応、フィルダムの安全性を保つための漏水量の許容限界を参考にして、農長 100m 当たり 1/sec ($8.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{日}/\text{m}$) を基準として考えると、堤体および基礎地盤がレキ質土の場合には、この許容限界を越えるものもあるが、ほとんどの場合、漏水量はこの許容限界以下となっている。また、築堤の場合の許容水量をフィルダムの場合の値の 1/10 である 0.1 sec/km ($8.6 \text{ m}^3/\text{日}/\text{m}$) 程度と考えると、各築堤の計算漏水量はすべてこの許容限界以下となる。

ニ、基礎地盤の土質とパイピングに対する安全率の関係をみると、レキ質土では 8 ~ 12、砂質土では 7 ~ 16、粘性土では 7 ~ 17、泥炭では 9 ~ 16 となっており、所要安全率が 5 以上必要とする一般的な基準値と、それぞれの築堤のパイピングに対する安全率の計算値を比較して判定すると、いずれの築堤も基礎地盤を通してのパイピングの可能性はないものと推定される。

ホ、軟弱地盤ヶ所における既設築堤について、現在の暫定断面を完成断面とするための盛土嵩上げを行なった時の基礎地盤を含む堤防、り面のスベリ破壊に対する安全率も、1ヶ所を除いて上述の基準安全率 1.25 を上まわっている。基準安全率を僅か下まわっている1ヶ所についても、安全率の大きさを比較して比較的簡単な対策法を施すことにより安定を確保することができると思われる。

4. 堤体の形状寸法と土質、軟弱土層とセン断強さの組合せによる堤防のスベリ破壊に対する安全率の検討

(1) 検討の方法

イ. 堤体の形状寸法と土質区分の決定

堤体の形状、および寸法については、北海道開発局直轄河川築堤規定規程を参照し、天端幅、盛土高、ノリ勾配を表~5のとおり決定し、それぞれの定規に応じて計画高水位を同表のとおりとした。

また、堤体の土質については、レキ質土、砂質土、粘性土および泥炭の4種類とし、基礎地盤は、土質区分をせずに軟弱層厚を3種類、その強度を3種類に変化させ均一地盤と仮定して検討を行った。

ロ. 土質常数の決定

各土質の湿潤密度、粘着力および内部摩擦角については、既往の既設築堤の品質の実態に関する調査結果から、それぞれの平均値を用いることとしたが調査データのバラつきも考慮して、エラーに平均値をまとめた数字にして計算に用いることにした。すなわち、表~6に示すとおりである。このうち、泥炭については、堤体のコーン支持力などから、 $\phi = 0$ とし、 c を表のとおり決定した。なお、浸り線以下の湿潤密度は完全飽和時の氷態を想定した密度の値(ρ_{sat})とし、粘着力と内部摩擦角は浸り線以上と同じ値を用いた。

ハ. 堤体内浸り線の決定

堤体内の浸り線については、計画高水位からキヤサグランダの方法により求めた。したがって洪水時の時尚水位の関係や、堤体内浸り線の時尚推移などは一切考慮していない。

ニ. 計算式

スベリ破壊に対する安全率は(3~1)式を用い電算プログラムを作成しそれによって計算を行った。なお、堤防の条件は図~4に示す。

ホ. その他の条件

軟弱地盤については沈下量を考慮しておらず、盛土荷重を瞬間載荷した氷態で検討した。実際には盛土施工は緩速施工のため、盛土荷重による圧密沈下に伴って軟弱地盤の強度が増加するが、今回はこれを考慮していない。また、施工機械の重量も考慮していない。

(2) 計算結果

各堤体条件の組合せケースのスベリ破壊に対する安全率の計算結果は、図~8, 図~9(a)~(d)に示すとおりである。これより次のようなことがわかる。盛土が大きくなるにしたがって、安全率はそれぞれの図に示すような関係で減少する。また、単断面と複断面とで安全率に大きな差が生じているが、複断面の下段盛土が押え盛土として働いていることから当然であろう。

なお、天端幅の大小がほとんど安全率に影響を与えていないことが判明した。また、土質別の安全率を見るといずれの断面も砂質土が最も低い安全率であり、次いでレキ質土、粘性土の順であり、泥炭

表-5 築堤タイプの組み合わせ

堤体形状	築堤高 h	3m, 4m, 5m, 6m, 8m (但し3m, 4mは単断面のみ)
	天端幅 B	4m, 5m, 7m, 9m
	断面及びノリ勾配	単断面(1:2.0)、複断面 (上段 1:2.0 / 下段 1:2.5)
計画高水位 WH	B=4m, 5mは余裕高 1.5m	
	B=7m, 9mは " 2.0m	
堤体土質	レキ質土、砂質土、粘性土、泥炭	
基礎	軟弱層厚	0m, 2m, 4m, 6m
盛土	セン断強度 C	1t/m ² , 2t/m ² , 4t/m ² , ϕ は0とする

表-6 堤体の土質常数

名称		レキ質土	砂質土	粘性土	泥炭
湿潤密度	浸り線より上 $\gamma(t/m^3)$	1.82	1.64	1.67	1.00
	浸り線より下 $\gamma_{sat}(t/m^3)$	2.10	1.80	1.80	1.20
粘着力 C (t/m ²)		1.50	1.00	2.50	2.00
内部摩擦角 ϕ (度)		30°	25°	20°	0°

築堤の安全率が最も高い。すなわち、洪水が発生して計画高水位まで上昇し、堤体内に浸潤線が十分発達した後に水位が急低下した場合は、砂質土築堤が最も危険であることが推定される。

軟弱地盤を含む場合の堤体の安定については、当然のことながら軟弱層が深いほど、また、軟弱層のせん断強度が低いほど、安全率が小さくなっていることがわかる。

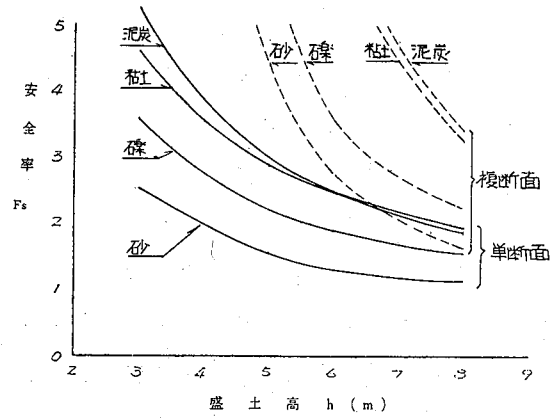


図-8 スベリ破壊に対する盛高と堤体みの安全率

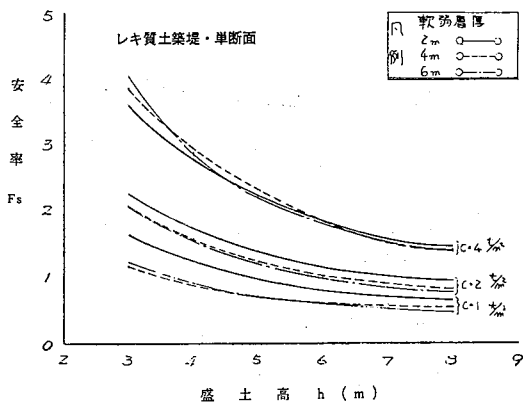


図-9~(a) スベリ破壊に対する盛高と安全率(軟弱地盤を含む場合)

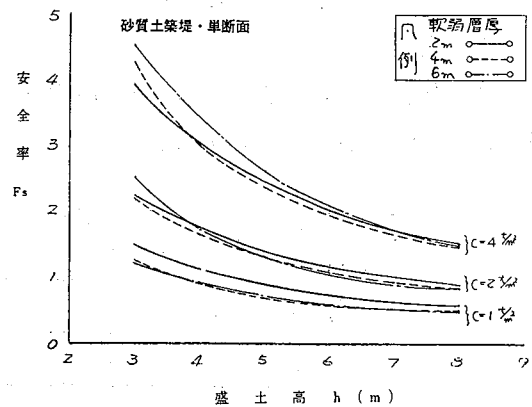


図-9~(b) スベリ破壊に対する盛高と安全率(軟弱地盤を含む場合)

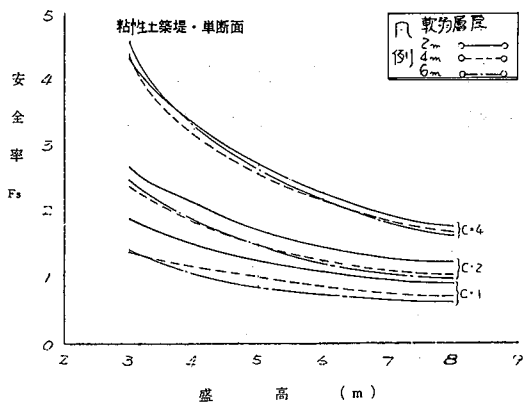


図-9~(c) スベリ破壊に対する盛高と安全率(軟弱地盤を含む場合)

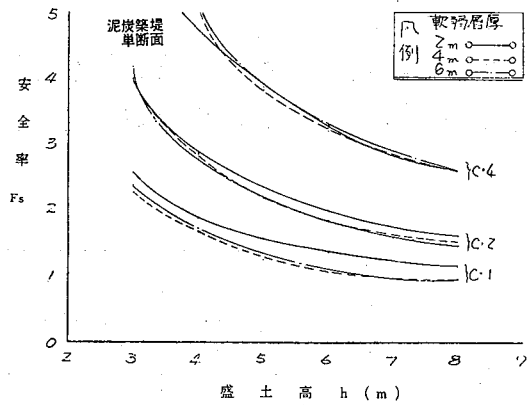


図-9~(d) スベリ破壊に対する盛高と安全率(軟弱地盤を含む場合)

6 築堤の安全度判定方法

先づ、建設省土木研究所が昭和22年~44年の調査資料にもとづいて整理した堤防の破堤状況を表にて示す。とくに破堤の大きい越流については、一般的には計画高水位設定の問題に帰すことになるが、北海道でとくに問題となる泥炭性軟弱地盤における築堤を考えると、盛土施工後の残留沈下量の大小が越流の可能性の有無に大きな影響を与える。

したがって、ここでは、とくに泥炭性軟弱地盤上の堤防

図-7 破堤原因の比率

破堤原因	越流	洗掘	洪水の9面崩壊	その他	計
箇所数	231	32	15	5	283
百分率(%)	82	11	5	2	100

については、何らの対策工法も施工できない場合の基礎地盤のスベリ破壊に対する安定とともに現状から完成断面までの不足分を嵩上げ盛土した時の残留沈下量の大きさも安全度判定の指標と考えたい。

その他、完成断面になった後、外水位に達し、堤体内に浸じゅん線が発達し、しかも降雨により浸じゅん線以上の土塊が飽和状態になった時（以下、このような条件をYで表わす）の堤防の表ノリ面、裏ノリ面のスベリ破壊に対する安全率、クイックサンドに対する安全率、漏水量の大きさなど、上記の条件下の状態に設計震度相当の地震が作用した時（以下、このような条件をZで表わす）の堤防の表ノリ面、裏ノリ面のスベリ破壊に対する安全率を安全度の指標とすることが考えられる。

ここでは、各種構造物の安全度を判定しようとする試みについての諸資料を参考にして、次に示すような築堤の安全度判定方法(案)を作成した。

(1) 河川堤防の安全度判定方法(案)

1) オ1次判定

軟弱地における築堤において完成断面まで嵩上げた時の基礎地盤を含む堤防ノリ面のスベリ破壊に対する安全率にもとづく判定

スベリ破壊 残留沈下	$X_{F\sim S}$	$X_{F\sim U}$	備 考
$X_{R\sim S}$	○	×	
$X_{R\sim U}$	×	×	

(注)

X : 軟弱地盤上の堤防で完成断面まで嵩上げ盛土した状態
 F : スベリ破壊
 R : 残留沈下量
 S : 安全率が基準値より大または残留沈下量が許容値より小
 U : 安全率が基準値より小または残留沈下量が許容値より大

2) オ2次判定

完成断面になった後、外水位が計画水位に達し、堤体内に浸じゅん線が発達し、しかも降雨により浸じゅん線以上の土塊が飽和状態になった場合の堤防ノリ面のスベリ破壊に対する安全率にもとづく判定

表ノリ 裏ノリ	$Y_{1F\sim S}$	$Y_{1F\sim U}$	備 考
$Y_{2F\sim S}$	○	×	
$Y_{2F\sim U}$	×	×	

(注)

Y : 計画高水位（浸じゅん線）+降雨（浸じゅん線以上飽和）の状態
 1 : 表ノリ
 2 : 裏ノリ

3) オ3次判定

堤防が2)の状態にある時のクイックサンドに対する安全率と漏水量の大きさにもとづく判定。

クイックサンド 漏水量	$Y_{Q\sim S}$	$Y_{Q\sim U}$	備 考
$Y_{L\sim S}$	○	×	
$Y_{L\sim U}$	×	×	

(注)

Q : クイックサンド
 L : 漏水量

4) オ4次判定

堤防が2)の状態にある時、設計震度 当の地震が作用した場合の堤防ノリ面のスレリ破壊に対する安全率にもとづく判定

	表ノリ	Z1F~S	Z1F~U	備 考
裏ノリ				
Z 2F~S		○	×	
Z 2F~U		×	×	

(注)
Z : 計画高水位 (浸じゅん線)
+ 降雨 (浸じゅん線以上飽和) + 地震の状態

5) 最終判定

オ1~4次の判定結果にもとづき、河川堤防の安全度を次のように判定する

	判定段階	I	II	III	IV	必要な安全度向上対策
安全度						
1		○	○	○	○	対 策 不 要
2		○	○	○	×	地震時の対策
3		○	○	×	×	同上のほか、漏水・クイックサンドの対策
4		○	×	×	×	同上のほか、計画高水位時の対策
5		×	×	×	×	同上のほか、完成断面を確保するための、軟弱地盤対策

あ と が き

本調査は、47年度から4年間にわたり、道内の既設築堤についてその品質の実態、現状における暫定断面の状態と将来、完成断面になった状態での安全度を明らかにし、その結果を今後の河川堤防の設計、施工に反映させることを目標に実施してきたものである。

多くの難しい問題を念むこの課題の調査研究に当っては、多数の関係者の熱心な討議があったことが、最終とりまこのを終えつつある今、懐しく思い出される。この報告は、十分満足できないものにして、今後の、より信頼度の高い堤防安全度の解析を行うために判定の方法を究明するための足がかりとなり得るものと信ずる。

最後に、重ねて、この調査にたずさわられた多くの関係者に敬意を表して報告を終る。

パネルメンバー

建設部名	所属名	氏名
本局	河川工事課・課長補佐	三浦昭男
本局	河川工事課・河川改修係長	小橋正治
石狩川開発建設部	工務2課・課長補佐	沢田美知男
◇	岩見沢河川事務所・第1工務課計画係長	菊地克幸
◇	岩見沢河川事務所・第2工務課工務係長	南波幸吉
帯広開発建設部	治水課・課長補佐	矢野久憲
旭川開発建設部	旭川河川事務所・第2工務課長	新井田史郎
土木試験所	土質研究室・室長	佐々木晴美
◇	土質研究室・主任研究員	能登繁幸
◇	土質研究室	矢幅幹邦

アドバイザー

建設部名	所属名	氏名
石狩川開発建設部	技術長	土佐林 宏
土木試験所	第1研究部長	相田俊郎