

れ以後をコンクリートプレッサーを使つて施工すると、堤内隧道填充工事としてきわめて効果的であるという確信を深め、前述のとおり仮排水路隧道の填充にあつてもこの方法を採用することに決めた次第である。

34. 漁川石塊ダムの安定計算について

札幌開発建設部 齋藤 昭

1. 安定計算

(1) 堤体の安定計算

法面の滑動に対する安定計算は、斜面崩壊に対する円形滑り面法により求めた。すなわち、安全率は次式により求め、一応想定される種々の危険円について検討を行い、最小の SF を与える円を臨界円とする。この最も危険な円弧に沿う全剪断抵抗と全剪断力との比によつて検討した。

$$SF = \frac{(\sum N - \sum pp - \sum Ne) \tan \phi + cL}{\sum T + \sum Te}$$

ただし、

$\sum N$: 築堤材料の重量による垂直分力の和

$\sum T$: 築堤材料の重量による接線分力の和

ϕ : 築堤材料の内部摩擦角

c : 築堤材料の粘着力

L : 円弧の長さ

$\sum pp$: 間隙水圧の和

$\sum Ne$: 地震力による垂直分力の和

$\sum Te$: 地震力による接線分力の和

(2) 計算に用いた諸試験値

この計算に用いる築堤材料の内部摩擦角、間隙水圧は、施工上の諸規制と関連して、滑動時の状態を推定しそれに近い状態のものを想定した。

i) 築堤材料の重量

($\sum T \cdot \sum N$ の構成要素)

地山密度および地山含水比を考慮し、実際施工し得る状態のものをとつた。計算に使用した数値はゾーン③の用土については、その最適含水比(34%)における最大乾燥密度および最大湿潤密度の92%に当る。

表 34-1

ゾーン③ 不透水性ゾーン	
飽和重量	1.70 t/m ³
湿潤重量	1.59 t/m ³
乾燥重量	1.18 t/m ³
水中重量	0.70 t/m ³
間隙率	52.0%
水の密度	1.0 t/m ³

表 34-2

ゾーン② 半透水性ゾーン	
飽和重量	2.15 t/m ³
湿潤重量	2.00 t/m ³
乾燥重量	1.85 t/m ³
水中重量	1.15 t/m ³
間隙率	30% 平均細粗混粒

表 34-3

ゾーン① 石塊部分	
飽和重量	2.10 t/m ³
湿潤重量	2.0 t/m ³
乾燥重量	1.70 t/m ³
水中重量	1.10 t/m ³
間隙率	40%
水の密度	1.0 t/m ³

ii) 内部摩擦角 ϕ と粘着力 c

地山含水比に近い状態における標準締固め試料についての ϕ と c を使用すべきであるが、手元にある資料はいずれも最適含水比時のものしかなく止むを得ずこれらの数値を採用した。

表 34-4

用 土	ϕ	$\tan \phi$	c	備 考
ゾ ー ン ③	33°~0.1'	0.65	2.0 t/m ²	ただし最適含水比時の標準
ゾ ー ン ②	40°~00'	0.84	3.0 t/m ²	突固めの試料を用いた
ゾ ー ン ①	45°~00'	1.00	0	推定

iii) 透水係数

表 34-5

用 土	透水係数 K cm/sec	備 考
ゾ ー ン ①	1.67×10^{-7}	ただし、最適含水比時の標準突固めの資料を用いた
ゾ ー ン ②	1.00×10^{-3}	推 定

iv) L と θ

臨界円の滑面についての弧長 L と中心 θ 角は作図により求めた。

上流側: R (半 径) = 75.00 m

θ (中心角) = 105°~00'

L (弧 長) = 0.01745 $R\theta$

下流側: R (半 径) = 62.80 m

θ (中心角) = 97°~38'

L (弧 長) = 0.01745 $R\theta$

v) 計算に用いた諸数値

表 34-6

	石 塊 部 分 ゾ ー ン ①	半透水性部分 ゾ ー ン ②	不透水性部分 ゾ ー ン ③
乾 燥 重 量 (t/m ³)	1.70	1.85	1.18
間 隙 率	40%	30%	52.2%
飽 和 重 量 (t/m ³)	2.10	2.15	1.70
水 中 重 量 (t/m ³)	1.10	1.15	0.70
湿 潤 重 量 (t/m ³)	2.0	2.00	1.59
粘 着 力 (t/m ²)	0	3.00	2.0 t/m ²
摩 擦 係 数	1.0	0.94	0.65

vi) 浸潤線の形状

本設計においては不透水性用土は下流に傾斜しており、Cosagrande-method による下流趾点を焦点とする基本放物線によつては解析できない。それ故に複合堤防の浸透(農業土木中堅技術者再訓練テキスト)による方法を採用した。

実際問題としてほとんど垂直に浸潤線が下降するものと考えて設計計算を行つた。

2. 安定計算上の諸問題について

法面の安定計算は次のような順序および種類について検討を行った。

- (1) 上下流法面について臨界円の決定, 更にこの臨界円について
- (2) 上下流法面について施工中に発生する間隙水圧が不透水性材料の鉛直高の $1/4$ の水頭に等しい場合
- (3) 上流側について貯水が満水した場合
- (4) 下流側について水平震度 0.2 の地震力を考慮した場合

以上 4 つの場合についてそれぞれ吟味検討を行った。ただし, (3) については浸潤線より下方を水中重量とし, 浸潤線より上方を湿潤重量として算定し, また (4) については水位急降下による揚圧力を不透水性材料の鉛直高さの水頭に等しいものとする簡便法による。その算式を示せば次のとおりである。

表 34-7 総括表

臨 界 円 の 種 類	安 全 率	
	上 流 側	下 流 側
① 施行完了後における場合	3.202	2.413
② 施行中に発生した間隙水圧が不透水性部分の鉛直高の $1/4$ の水頭に等しい時	1.743	2.140
③ 上流側に貯水が満水した場合	2.799	—
④ 貯水位が急激に降下した場合	1.862	—
⑤ 施行完了後において空虚(地震)の場合水平震度 0.2 を採用	—	1.29

i) 上流側臨界円の決定

表 34-8

区 分	全 面 積 (m^2)	単 位 重 量 (t/m^3)	全 重 量 (t)	備 考
N_0	0.5	2.0	1.0	ゾーン ① 湿潤重量
N_1	393.0	2.0	786.0	〃
N_2	333.5	2.0	667.0	〃
N_3	40.0	2.0	80.0	〃
N_4	305.0	2.0	610.0	〃
N_5	66.0	2.0	132.0	ゾーン ② 湿潤重量
N_6	29.8	2.0	59.6	〃
N_7				
N_8	600.0	1.59	954.0	ゾーン ③ 湿潤重量
N_9	135.2	1.59	214.97	〃
N_{10}	1.3	2.0	2.6	ゾーン ② 湿潤重量
N_{11}	4.5	1.59	7.16	〃
N_{12}	340.0	2.0	680.0	〃
T_1	160.7	2.0	321.4	
T_2	44.1	2.0	88.2	
T_3	339.5	1.59	539.81	
T_4	230.7	2.0	461.4	
T_1'	5.0	2.0	(-) 10.0	
T_2'	120.0	2.0	(-) 240.0	

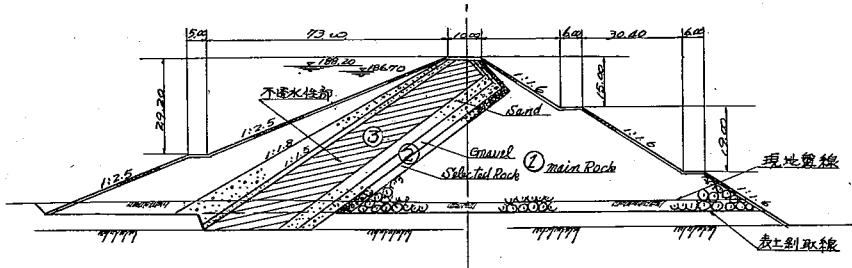
半 徑 $R=75.00\text{ m}$ $\theta_2=1^\circ\sim 30'$ $\theta_3=23^\circ\sim 0'$ $\theta_4=54^\circ\sim 0'$

石塊	$L_1 = 0$			
フィルター	$L_2 = 0.01745 R\theta_1 = 1.963$			
粘土	$L_3 = 0.01745 R\theta_2 = 30.101$			
フィルター	$L_4 = 0.01745 R\theta_3 = 70.673$			
ゾーン ①	$c = 0$	$L = 0$	$cL = 0$	$\tan \phi_1 = 1.0$
ゾーン ②	$c_1 = 3.0$	$L_1 = 72.64$	$c_1 L_1 = 217.92$	$\tan \phi_2 = 0.84$
ゾーン ③	$c_2 = 2.0$	$L_2 = 30.10$	$c_2 L_2 = 60.20$	$\tan \phi_3 = 0.65$

$$F_s = \frac{N_4 \tan \phi_1 + \{c_1 L_1 + (N_1 + N_3 + N_5 + N_{10} + N_{12} + N_8) \tan \phi_2\} + \{c_2 L_2 + (N_0 + N_2 + N_6 + N_9 + N_{11}) \tan \phi_3\}}{\sum T}$$

$$= \frac{610 \times 1.0 + \{217.92 + (2,634.19) \times 0.84\} + \{60.20 + (949.73) \times 0.65\}}{1,160.81}$$

$$= \frac{610 + 217.92 + 2,712.72 + 60.20 + 617.32}{1,160.81} = \frac{3,718.16}{1,160.81} = 3.202$$



計 画 概 要

形 式	傾斜遮水壁形	形 式	傾斜遮水壁形
堤 高	52.00 m	流域面積	100 m ²
堤 長	315.00 m	基礎岩盤	Tuff
天端標高	190.70 m	新規開田	1,663 町
総貯水量	23,500,000 m ³	補水田	2,951 町
有効水量	21,000,000 m ³	湛水面積	138.70 ha
余裕高	2.50 m		

図 34-1 漁川石塊北堤最大断面図

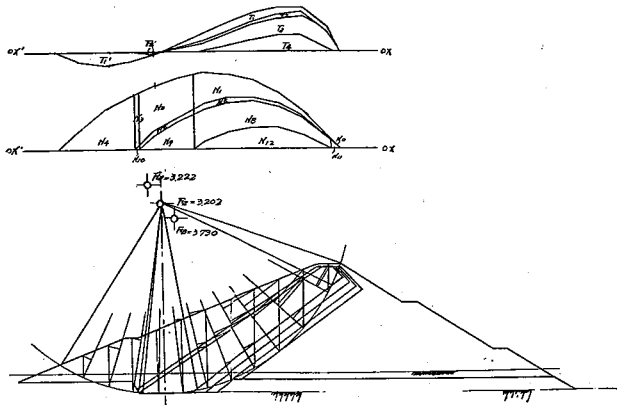


図 34-2 上流側臨界円の決定

ii) 施行中に発生した間隙水圧が不透水性材料の鉛直高さの $1\frac{1}{4}$ の水頭に等しい場合 (上流側)

表 34-9

区 分	全 面 積 (m ²)	単 位 重 量 (t/m ³)	全 重 量 (t)	備 考
N_0	0.5	2.0	1.0	ゾーン ① 湿潤重量
N_1	393.0	2.0	786.0	〃
N_2	333.5	2.0	667.0	〃
N_3	40.0	2.0	80.0	〃
N_4	305.0	2.0	610.0	〃
N_5	66.0	2.0	132.0	ゾーン ② 湿潤重量
N_6	29.8	2.0	59.6	〃
N_8	600.0	1.59	954.0	ゾーン ③ 湿潤重量
N_9	135.2	1.59	214.97	〃
N_{10}	1.3	2.0	2.6	ゾーン ② 〃
N_{11}	4.5	1.59	7.16	ゾーン ③ 〃
N_{12}	340.0	2.0	680.0	ゾーン ② 〃
T_1	160.7	2.0	321.4	
T_2	44.1	2.0	88.2	
T_3	339.5	1.59	539.81	
T_4	230.7	2.0	461.4	
T_1'	5.0	2.0	(-) 10.0	
T_2'	120.0	2.0	(-) 240.0	
$\Sigma pp.$	2,057.0	1.0	2057.0	

$$F_s = \frac{N_4 \tan \phi_1 + \{c_1 L_1 + (N_1 + N_3 + N_5 + N_{10} + N_{12} + N_8 - 1,884.7) \tan \phi_2\} + \{c_2 L_2 + (N_0 + N_2 + N_6 + N_9 + N_{11} - 172.3) \tan \phi_2\}}{\Sigma T}$$

$$= \frac{610 \times 1.0 + \{217.92 + (749.49) \times 0.84\} + \{60.20 + (777.43) \times 0.65\}}{1,160.81}$$

$$= \frac{610 \times 217.92 + 629.57 + 60.20 + 505.33}{1,160.81} = \frac{2,023.02}{1,160.81} = 1.743$$

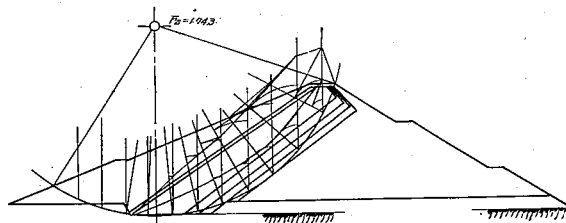


図 34-3 施行中に発生した間隙水圧が不透水性部の鉛直高さの $1\frac{1}{4}$ の水頭に等しい場合

iii) 臨界円について貯水位が満水した場合

表 34-10

区 分	全 面 積 (m ²)	単 位 重 量 (t/m ³)	全 重 量 (t)	備 考
N ₀	0.5	2.0	1.0	ゾーン ①の湿潤重量
N ₁	37.9	1.10	41.69	〃 水中 〃
N ₁ '	14.0	2.0	28.0	〃 湿潤 〃
N ₂	333.5	1.10	366.85	〃 水中 〃
N ₃	40.0	1.10	44.0	〃 〃 〃
N ₄	305.0	1.10	335.5	〃 〃 〃
N ₅	65.5	1.15	75.33	ゾーン ②の水中重量
N ₅ '	0.5	2.0	1.0	〃 湿潤 〃
N ₆	29.8	1.15	34.27	〃 水中 〃
N ₈	584.0	0.70	408.80	〃 ③ 〃 〃
N ₈ '	16.0	1.15	25.44	〃 湿潤 〃
N ₉	135.2	1.59	94.64	〃 水中 〃
N ₁₀	1.3	1.15	1.50	〃 ② 〃 〃
N ₁₁	4.5	1.59	7.16	〃 湿潤 〃
N ₁₂	339.5	1.15	390.43	〃 水中 〃
N ₁₂ '	0.5	2.0	9.0	〃 湿潤 〃
T ₁	145.7	1.10	160.27	〃 ① 水中 〃
T ₁ ''	15.0	2.00	30.00	〃 湿潤 〃
T ₂	43.1	1.15	50.00	〃 ② 水中 〃
T ₂ ''	1.0	2.00	2.00	〃 湿潤 〃
T ₃	304.5	0.70	213.15	〃 ③ 水中 〃
T ₃ ''	35.0	1.59	55.65	〃 湿潤 〃
T ₄	225.2	1.15	258.98	〃 ② 水中重量
T ₄ ''	5.5	2.00	11.00	〃 湿潤 〃
(-) T ₁ '	5.0	1.10	5.50	〃 ① 水中 〃
(-) T ₂ '	120.0	1.15	138.00	〃 ② 〃 〃
			637.55	

$$F_s = \frac{N_4 \tan \phi_1 + \{c_1 L_1 + A \tan \phi_2\} + \{c_2 L_2 + B \tan \phi_2\} + C \tan \phi_3}{\Sigma T'}$$

ただし, $A = N_1 + N_3 + N_5 + N_8 + N_{10} + N_{12} = 961.75$

$B = N_2 + N_6 + N_9 = 63.60$

$C = N_0 + N_1' + N_5' + N_8' + N_{12}' + N_{11}$

$\Sigma T' = 637.55$

$$\therefore F_s = \frac{335.5 + \{217.92 + (961.75 \times 0.84)\} + \{60.20 + (495.76 \times 0.65)\} + 63.6 \times 0.65}{637.55}$$

$$= \frac{335.5 + 217.92 + 807.87 + 60.20 + 363.58}{637.55} = \frac{1,785.07}{637.55} = 2.799$$

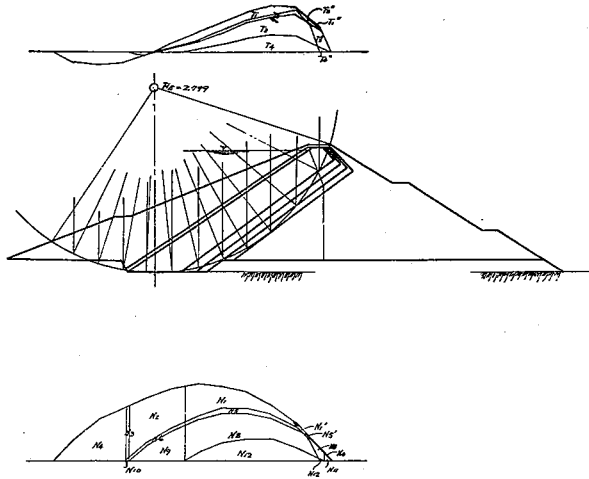


図 34-4 貯水位が満水した場合

iv) 臨界円について貯水位が急激に低下した場合

表 43-11

区 分	全 面 積 (m ²)	単 位 重 量 (t/m ³)	全 重 量 (t)	備 考
N_0	0.5	2.0	1.00	ゾーン ①の湿潤重量
N_1	37.9	2.10	79.59	〃 飽和 〃
N_1'	14.0	2.0	28.00	〃 湿潤 〃
N_2	333.5	2.10	703.35	〃 飽和 〃
N_3	40.0	〃	84.00	〃 〃 〃
N_4	305.0	〃	640.50	〃 〃 〃
N_5	65.5	2.15	140.83	〃 ② 飽和重量
N_5'	0.5	2.0	1.0	〃 湿潤 〃
N_6	29.8	2.15	64.07	〃 飽和 〃
N_8	534.0	1.70	992.8	〃 ③ 飽和 〃
N_8'	16.0	1.59	25.44	〃 湿潤 〃
N_9	135.2	1.70	229.84	〃 飽和 〃
N_{10}	1.3	2.15	3.80	〃 ② 〃 〃
N_{11}	4.5	1.59	7.16	〃 ③ 湿潤 〃
N_{12}	339.5	2.15	729.93	〃 ② 飽和 〃
N_{12}'	0.5	2.0	1.0	〃 湿潤 〃
T_1	145.7	2.10	305.97	〃 ①の飽和重量
T_2	43.1	2.15	92.67	〃 ② 〃 〃
T_3	304.5	1.70	517.65	〃 ③ 〃 〃
T_4	225.2	2.15	484.18	〃 ② 〃 〃
T_1''	5.0	2.10	(-) 10.5	〃 ① 〃 〃
T_2''	120.0	2.15	(-) 258.0	〃 ② 〃 〃

区 分	全 面 積 (m ²)	単 位 重 量 (t/m ³)	全 重 量 (t)	備 考
T ₁ '	15.0	2.00	30.0	ゾーン ① 湿潤重量
T ₂ '	1.0	2.00	2.0	" ② "
T ₃ '	35.0	1.59	55.65	" ③ "
T ₄ '	5.5	2.00	11.0	" ② "
Σpp	1,050.0	1.0	1,050.0	

$$F_s = \frac{N_4 \tan \phi_1 + \{c_1 L_1 + A' \tan \phi_2\} + \{c_2 L_2 + B' \tan \phi_3\} + C' \tan \phi_3 - \{1,083.6 \times \tan \phi_2 + 169.2 \tan \phi_3\}}{\Sigma T}$$

$$\text{ただし, } A' = N_1 + N_5 + N_8 + N_{12} + N_3 + N_{10} \quad B' = N_2 + N_6 + N_9 \quad C' = C$$

$$\begin{aligned} \therefore F_s &= \frac{640.5 + \{217.92 + (2,030.95 \times 0.84)\} + \{60.20 + (994.26 + 63.60) 0.65\} - (1,020.204)}{1,230.62} \\ &= \frac{3,312.228 - 1,020.204}{1,230.62} = \frac{2,292.024}{1,230.62} = 1.862 \end{aligned}$$

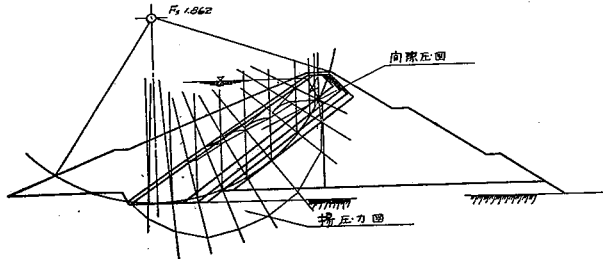


図 34-5 貯水位が急激に低下した場合

v) 下流側臨界円の決定

表 34-12

区 分	面 積 (m ²)	単 位 重 量 (t/m ³)	全 重 量 (t)	備 考
N ₁	1,274.2	2.0		ゾーン ①の湿潤重量
N ₂	2.5	"		" " "
N ₃	57.8	"		" ② "
N ₄	2.7	1.59		" ③ "
N ₅	22.9	"	36.41	" " "
N ₆	15.6	2.0	31.2	" ② "
N ₇	0.6	"	1.2	" ① "
N ₈	5.8	1.59	9.22	" ③ "
N ₉	0.3	2.0	0.6	" ② "
T ₁	447.0	2.0	894.0	" ① "
T ₂	133.0	"	266.0	" ② "
T ₃	34.0	1.59	54.06	" ③ "
T ₁ '	30.0	2.0	(-) 60.0	" ① "

$$\begin{aligned} \Sigma T &= 1,154.06 \\ R &= 62.8 \quad L_1 = 86.58 \quad \theta_1 = 79^\circ \sim 00' \\ & \quad L_2 = 9.10 \quad \theta_2 = 8^\circ \sim 38' \\ & \quad L_3 = 10.96 \quad \theta_3 = 10^\circ \sim 00' \end{aligned}$$

$$F_s = \frac{(N_1 + N_3 + N_4) \tan \phi_1 + \{c_2 L_2 + (N_2 + N_5 + N_6 + N_9) \tan \phi_2\} + \{c_3 L_3 + (N_8 + N_7) \tan \phi_3\}}{\Sigma T}$$

$$= \frac{2,668.29 + \{27.3 + (73.21 \times 0.84)\} + \{21.92 + (10.42 \times 0.65)\}}{1,154.06}$$

$$= \frac{2,668.29 + 27.3 + 61.50 + 21.92 + 6.77}{1,154.06} = \frac{2,785.78}{1,154.06} = 2.413$$

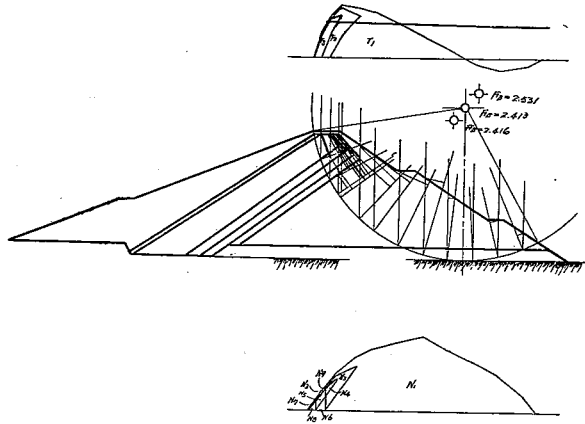


図 34-6 下流側臨界円の決定

vi) 施行中に発生した間隙水圧が不透水性材料鉛直高の $1/4$ 水頭に等しい場合

表 34-13

区 分	面 積 (m^2)	単 位 重 量 (t/m^3)	全 重 量 (t)	備 考
N_1	1,274.2	2.0	2,548.4	ゾーン ①の湿潤重量
N_2	2.5	"	5.0	" " "
N_3	57.8	"	115.6	" ② "
N_4	2.7	"	4.29	" ③ "
N_5	22.9	1.59	36.41	" " "
N_6	15.6	"	31.2	" ② "
N_7	0.6	2.0	1.2	" ① "
N_8	5.8	1.59	9.22	" ③ "
N_9	0.3	2.0	0.6	" ② "
T_1	447.0	2.0	894.0	ゾーン ①の湿潤重量
T_2	133.0	"	266.0	" ② "
T_3	34.0	1.59	54.06	" ③ "
T_1'	30.0	2.0	(-) 60.0	" ① "

$$\begin{aligned}
 F_s &= \frac{(N_1 + N_3 + N_4) \tan \phi_1 + \{c_2 L_2 + (N_2 + N_5 + N_6 + N_9 - 341.8) \tan \phi_2\} + \{c_3 L_3 + (N_8 - 45.2) \tan \phi_3\}}{\Sigma T} \\
 &= \frac{2,668.29 \times 1.0 + \{27.30 + (73.21 - 341.8) \times 0.84\} + \{21.92 + (10.42 - 45.2) \times 0.65\}}{1,154.06} \\
 &= \frac{2,668.29 - 198.316 - 0.69}{1,154.06} = \frac{2,569.284}{1,154.06} = 2.139 \approx 2.14
 \end{aligned}$$

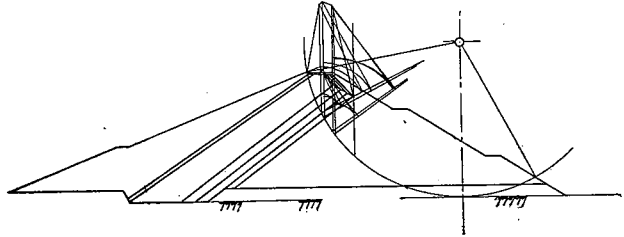


図 34-7 施行中に発生した間隙水圧が不透水性部の鉛直高水頭の $1/4$ に等しい場合 (下流側)

vii) 地震力を考慮した場合

表 34-14

区 分	面 積 (m^2)	単 位 重 量 (t/m^3)	全 重 量 (t)	備 考
ΣN_e	170	2.0	340	計算の便宜上湿潤重量 2.0 をと る。すなわち、安全側にある。
ΣT_e	370	2.0	740	

$$F_s = \frac{(2,668.29 - 340) + 27.3 + 61.50 + 21.92 + 6.77}{1,154.06 + 740} = \frac{2,445.78}{1,894.06} = 1.29$$

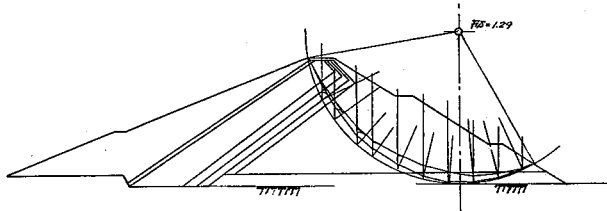


図 34-8 地震力を考慮した場合 (水平震度 0.2)