

鉄道省信濃川水力發電淺河原調整池 土堰堤盛土材料材質に就て

會員 渡 邊 義 道*

要 旨

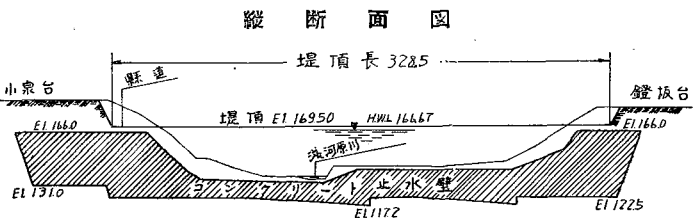
鉄道省信濃川水力發電に於ける土堰堤工事施行箇所は著名なる積雪地方で約5箇月間は雪に閉され其の他の季節と雖も晴天日數甚だ少き故1箇年を通じ盛土締固めを行ひ得る日數極めて少く例へば昨11年は作業日數195日内、粘土作業可能日數81日と言ふ有様なるに當初堤体の材料に心壁は勿論其の上流側即ち内面胴土にも粘土分多量のものを選定した爲、雨霽後と雖も施工に非常な困難を感じ従つて豫期せざる材料費、工費の膨脹と施工期間の延伸とを招ぐ虞あるに鑑み材質に就き各種の實驗研究を行ひ内面胴土には當初選定のものより粗質のものを選び經濟的に且つ安全なる断面に変更せんとするものである。

1. 緒 言

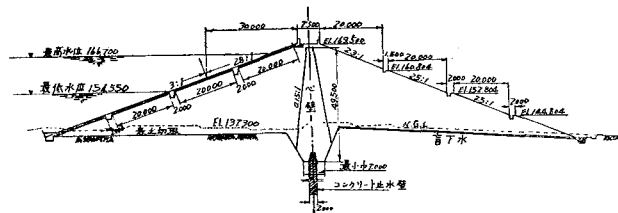
鉄道省が現在工事を施行しつゝある信濃川千手水力發電所水路の中間即ち新潟縣中魚沼郡吉田村淺河原川溪谷終端附近の地形を利用して調整池を設くる爲、築造する土堰堤當初の設計は第3回工学大會に於ても發表せる如く(圖-1)最大高39.4m、堤長328.5m、横断面に於て中央に心壁粘土を挟み其の上流側に粘土胴土を3:1~2.8:1の法面勾配。下流側に普通土砂を2.5:1~2.3:1の法面勾配を築造し心壁粘土の下端は厚2.2mのコンクリート止

水壁に連り此の止水壁をして堤体下部は不滲透性地盤迄、兩翼は地質を參酌の上左岸約100m、右岸約80m、夫々池の最高水位以上の高さに喰込ましめ且つ此の止水壁の上下流面と地盤との間はセメント乳圧入によつて空隙を完全に除去することにした。然るに古來土堰堤の崩壞事故は實に枚舉に遑なく特に晩近風水害頻出の禍中に在りて夥しき數字を示すところがあつたに鑑み又一面本工事の施行期間が相當永びくことでもある故工事に併行して本土堰堤に關する様々の實驗を行ひ(圖-2)、其の結果唯旨目的に現存實例を模倣することなく材料の選擇、盛土の形狀寸法等に就て能ふる限り理論的研究を進め安全且經濟なる断面を求めんとするものである。即ち土堰堤の盛土材料は經濟的に工事を施行し得らるゝものであり各部の法面勾配は使用材料の凝集力と摩擦力とに依り崩壞作用に抵抗するものであるとの理論に據り決定するもの1つの方法であると言ふのである。

圖-1. 淺河原調整池土堰堤



横断面圖



* 鉄道技師 工学士 鉄道省信濃川電氣事務所勤務 (昭和12年4月10日講演)

2. 使用材料の品質

(1) 心壁粘土 本工事場隣接地域に於て得らるゝ粘土の内特に次の如く定めた規格に合格せるものを選択してゐる。

心壁粘土の品質試験標準規格

- 粘土分：水簸分析に據り0.01 mm 以下の粒子含有量 60% 以上
- 比重：真比重に於て 2.50 以上
- 沸化：水中に浸し 36 時間以上沸化せざるもの（供試体寸法 3 cm² × 5 cm）
- 収縮率：5 cm の長さに於ける線収縮率 10.0 以上
（供試体寸法 1.5 cm² × 10 cm）

凝集力：収縮停止時に於ける抗張力 6 kg/cm² 以上（供試体寸法セメント試験ブリケットと同じ）

含水率：天然含有水分 30~50% 以下

その他：有機物及腐蝕性悪臭なきもの

此の規格に合格せる粘土は透水性も極めて弱小であることは後章に記述する。猶此の心壁粘土には径 5~10 cm の乾燥玉砂利を容積に於て約 30% 混合し含水率を一定に保ちて龜裂を防ぎ且つ締固作業の完璧を期することにした。

(2) 内面胴土 心壁粘土の上流側には心壁粘土の品質規格には不合格なる程度の普通粘土を用ひ前述の如き法面勾配に盛土締固を行ふ設計であつたのを其の後各種實驗の成績に照し、其の材質並に法面勾配の変更を必要とする結論に達した。即ち粘土質胴土の法面は 1.5:1 に止め其上流側には粘土分少き雜土（砂、沈泥及粘土の混合物）を用ふることに改め様とするのである。而して本論文の重點も茲に存するのである。

(3) 外面胴土 心壁粘土の下流側胴土には草木根塵芥等を含まぬ普通土砂を使用することにした。即ち此の外

図-2. 土質實驗室

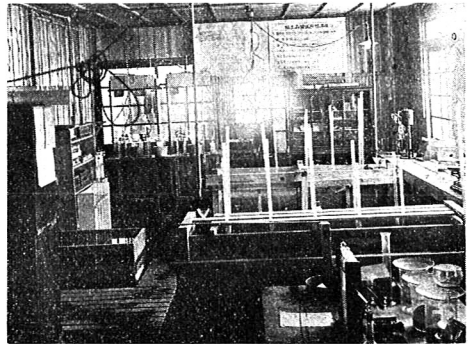


図-3.

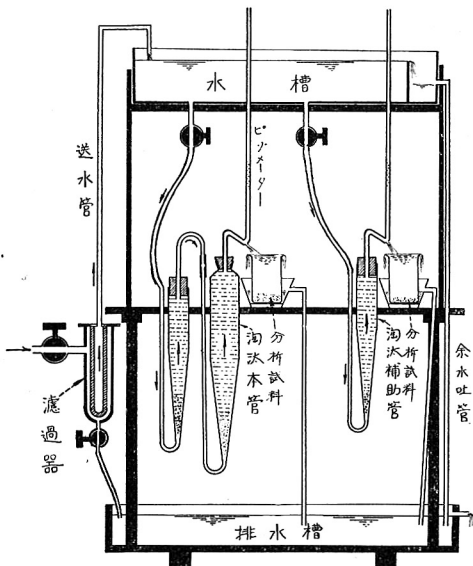
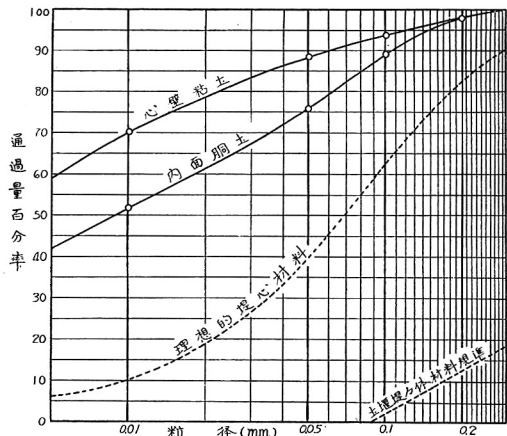


図-4.



名稱	粘土分	細土	微砂	粗砂	粗砂
流連	0.2%	20%	70%		
心壁粘土	70.2	18.5	5.0	4.2	2.1
内面胴土	51.9	24.2	13.2	8.8	1.9

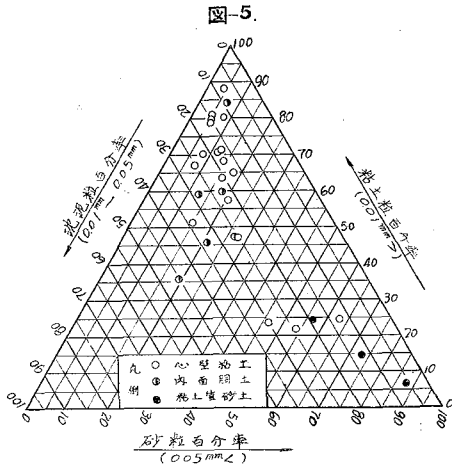


表-1.

種類	粒子径分析 (mm)					液性	塑性	含水率		剪断力試験		圧縮試験		間隙率			
	0.2	0.075	0.02	0.0075	0.002	(%)	(%)	(%)	(%)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(%)	(%)	(%)			
心壁土	2.1	4.2	3.0	18.5	70.2	36	7300	107	13.3	470	477	0.649	0.229	17.40	62	479	24.7
内面土	1.9	0.8	13.2	24.2	51.9	6	2320	1039	10.0	476	439	0.277	0.254	4.22	64	511	57.5

面胴土は多小の雨の日も施工し得るのみならず寧ろ適度の降水に依て締固を促進せしむることとなり経済的施工並に豫定工期等に影響する問題の域外に在るもので茲には深く論及せぬことにした。

3、使用材料の粘度分析

Shōne (図-3) の淘汰器を用ひて粘土の水籤分析を行つた結果 図-4, 5, 表-1 に示す如き粒径配列となり、心壁粘土及内面胴土の粘土分含有率は夫々 60% 以上及 50% 以上となつてゐる。今

北米に於ける現存實例より割出した心壁粘土並に堤体材料の粒径規準と比較對照する爲、同じ 図-3 に挿入すれば點線で示す如くなり心壁粘土に就て見るも相當の懸隔あり本工事に用ふる材料は餘りに粘土分多き爲、土堰堤材料として不適當なりと言ふことになり若し使用するならば比較的粒径の大なる土砂を適當に混和させなければならぬこととなるのである。然るに北米と我裏日本とは氣象や土の生因に溯つて其の素岩の性質等が著しく異つて居るから鵜呑式模倣こそ却て怖るべき危険に陥る不安があるので斯の如き規準に據らず單獨に探究すべきものであると考へた。

4. 使用材料の透水性

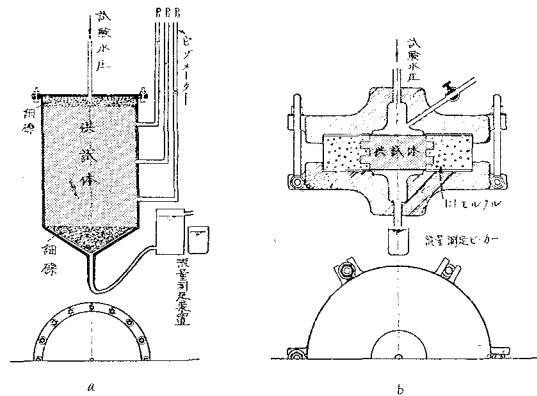
透水性係数の測定には変水位と定水位との 2 種類の試験方法があり前者の試験器に在りては供試体の直上にある既知断面積の導水硝子管よりの水が透過するに従つて低下する水位を觀測し之より次の算式によつて透水性係数を求め得る。

$$K = \frac{al}{F(t_2 - t_1)} \log \frac{H_1}{H_2}$$

- 茲に K: 透水性係数
- a: 硝子管の断面積
- F: 供試体の断面積
- l: 供試体の長さ
- t: 觀測時間
- H: 觀測時の水位

此の試験を實用水頭 40 m 前後に適應せしむるには相當の設備を要する故遺憾ながら之諦め有合せのコンクリート透水試験器 (図-6, b) を利用し幾分粗率的ではあるが定水位透水性試験方法を採用した。因に 図-6, a の試験器は土壤の透水性試験用として設備したものであるが砂に就ては比較的正確な數値を得たが粘土に就て

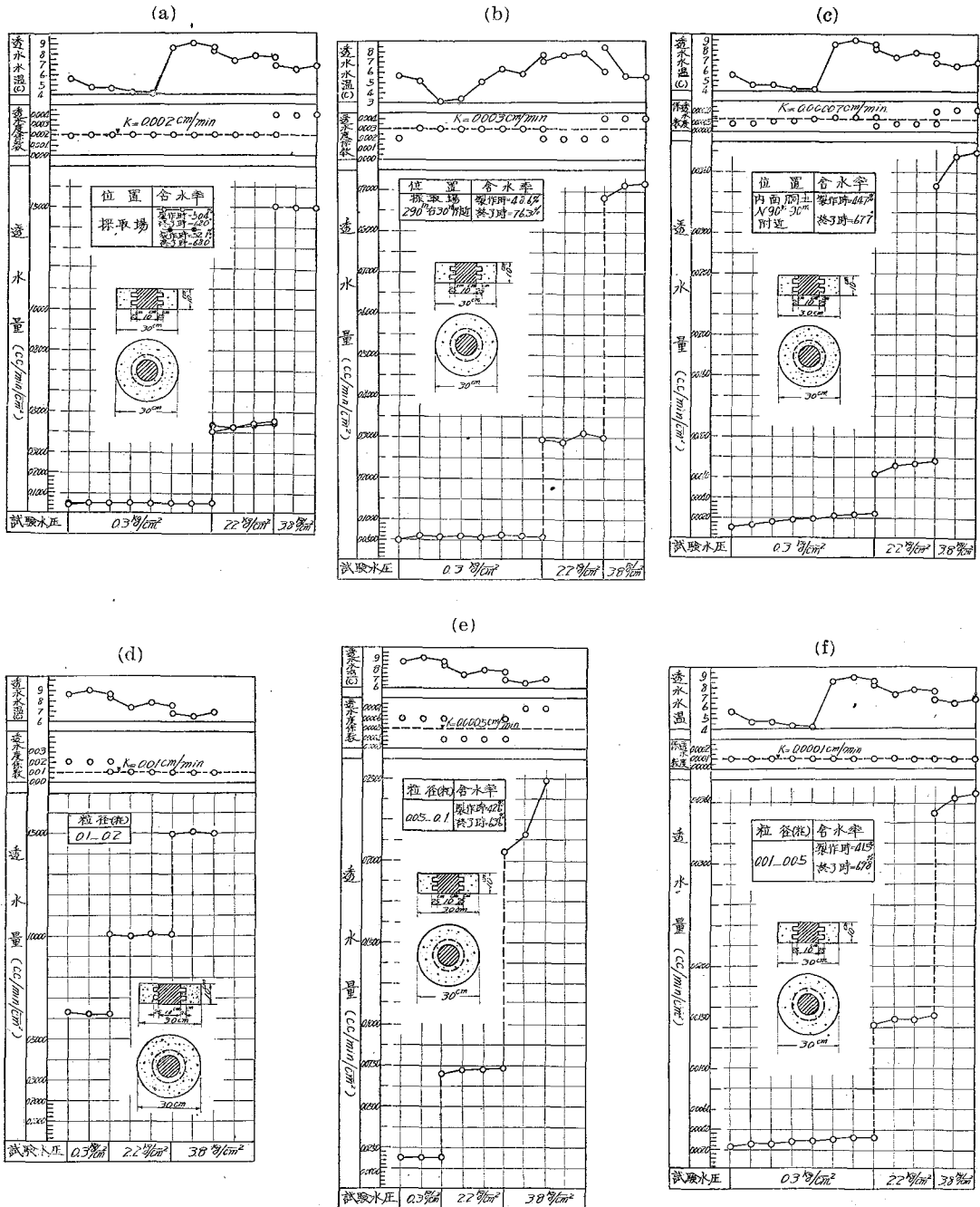
図-6.



は器壁に沿ふ不等齊の流水が多い爲、精密を缺く故之を使用せぬことにした。さて試験は實用水頭 38 m を最大に 22m 及 3 m の 3 段の靜水頭に據り滲透水の觀測を行つた。供試体は径 10 cm, 高 10~20 cm の円筒形で不均齊透過を防ぐ爲、其の外輪に径 15 cm, 高さに於て凹凸等分に分割した 2 個の鑿を附し之を重量配合 1:1 モルタルを以て外径 30 cm に包扼せしめたものである。其の場合動水勾配の水頭は供試体の上端に於ける靜水圧を採つた

が厳密に考ふれば導水管及供試体に於ける各種水頭損失を考慮すべきであり供試体中の不均齊透過や水温の変化に就ても更正を加へなければならぬのであるが実験水頭に比し供試体の長さが甚だ小である故夫等の事項に因て起る誤差は左程重要ならざるものとして取扱つた。

図-7.



Darcy の公式を用ひ

Q: 透水量, F: 供試体の断面積, p: 間隙率, V: 透水速度,
 K: 透水性係数, h: 水頭, l: 供試体の長さ

とすれば $\frac{Q}{F} = pV = K \frac{h}{l}$ であり此の場合透水量 Q を適当間隔時間毎に観測し單位面積の透水速度を算出し更

図-7. (g)

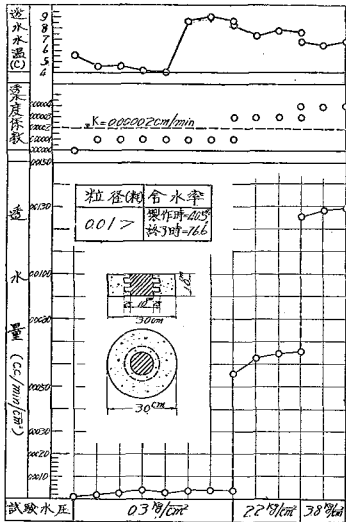
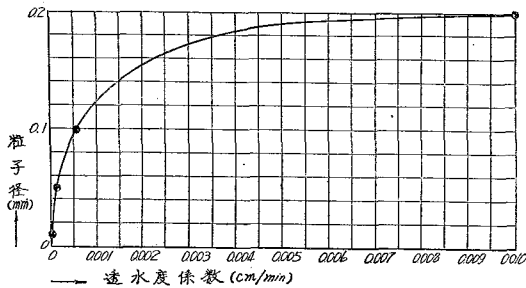


図-8.



に透水性係数 K を求めた結果は 図-7 a, b, c, d, e, f, g に示す如くなり施工後の内面胴土の K は 0.00007 cm/min と言ふ値を得

た。心壁粘土を分粒したものに就ては勿論粒子の小なるものより大なるものほど K の値は大となつた。心壁粘土と内面胴土用粘土に就ては透水試験の外に盛土締固現場に於て随時随所に面積 30 cm²、深さ 30 cm 以上の孔を穿ち之に清水を満して滲透状況を観測したところ地表面に近く比較的締固緩漫で時には氣象の影響等に由り龜裂の顯はれてゐる附近即ち深さ 5cm 内外のところ迄は數時間の中に減水を見るも其の後は蒸發と看做す程度の

減水以外滲透作用の如き現象は認め得ない。又粘土に就ては實驗室に於て縮尺 1/100 の實物模型を水槽内に作り透水状況を観測してゐるが水頭小なる理由もあるが昭和 11 年 12 月 4 日以来 4 箇月後の今日未だ些の透水現象をも見ず水位は蒸發以外変化なき有様である。

5. 使用材料の剪断抵抗測定

剪断抵抗測定機を用ひて各種材料に就き實驗を行つた。使用した機械は図-9 に示す如き形のもので上下圧は挺式、剪断力は振り子式の装置で次の如き性能を有するものである。

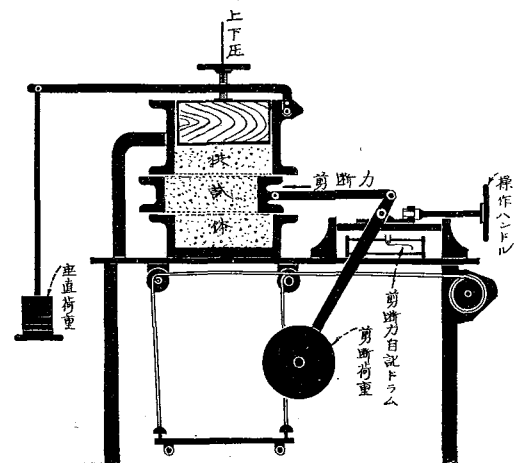
- 最大上下圧 1000 kg (感度 5 kg)
- 最大剪断力 1000 kg (感度 5 kg)

供試体の大きさは断面積 20×20 cm²=400 cm²、高さ約 30 cm である。此の機械の使用に就ては

1. 供試体自身の重量の差による 2 面の上下圧の違いを無視す。
2. 剪断面上下の供試体は全く異動せず剪断部の供試体も全く変形なく剪断さるゝものとす。
3. 剪断の進行による剪断面の大きさの違いは全断面に比して無視し得るものとす。

以上の假定を置けば一般に

図-9.



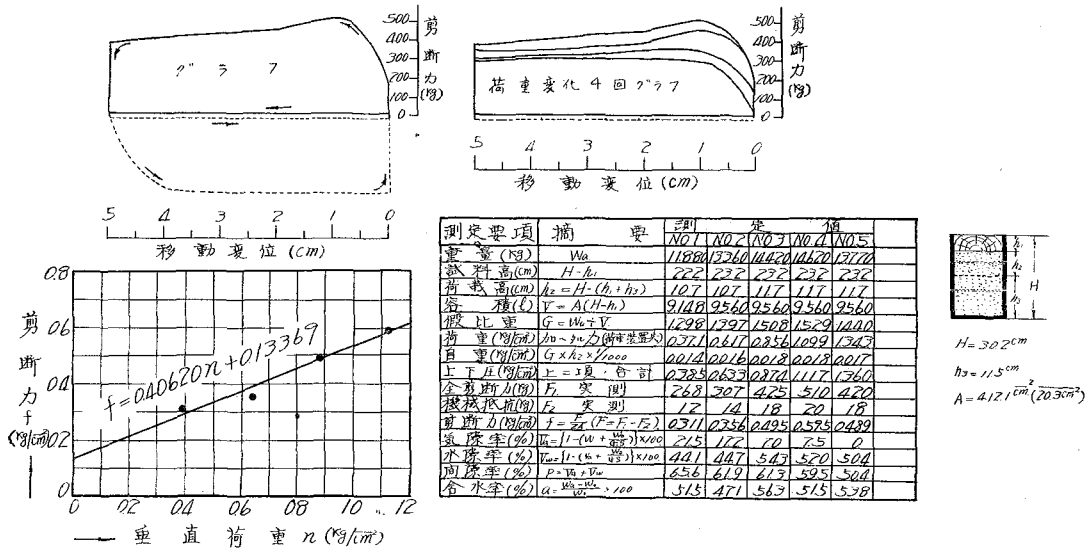
$$f = n \tan \theta + c$$

茲に f : 剪断強度 $= \frac{F}{2A}$, F : 測定機より得た剪断力, A : 剪断面積 n : 上下圧力強度 $= \frac{P}{A}$,

P : 上下圧 (測定機に加へた力), θ : 摩擦角度, c : 凝集力

なる式が當嵌まる (誘導式省略)。即ち此の機械を用ひて上下圧に変化を與へ夫々ドラムに自記されたグラフ(図-

圖-10.



10) より計算を行ひ各の場合の剪断力を出し縦軸に剪断力, 横軸に垂直荷重を取りたる作図に挿入して結べば結局 $f = n \tan \theta + c$ なる式が直線で図示され此の線が縦軸と交る點は凝集力 c を示し横軸となす角度は摩擦角を表すことになる。内面胴土用粘土に就き測定した結果は圖-11 に示す如くなつた。粒径の異なる試料に就き實驗した結果は勿論粒径の大なる程摩擦角は大, 凝集力は小となつた。又粘土と砂とを重量比にて 18:82, 40:60, 60:40 の割合に混和せる粘土質砂土に就て實驗した結果は含水率に因り値を異にするが大體粘土分少き試料程摩擦角は大, 凝集力は小となつた。次に普通一般に存在する砂土を含水率 40~50% (間隙を殆ど充滿する程度) のもとに實驗した結果は摩擦角は殆ど零に減退せるも凝集力は 3 t/m² 前後を示してゐることを知つた。

6, 盛土斜面の剪断崩壊と法面勾配の決定

法面の安定並に地滑の理論に於て實際の滑面は曲面を現出するものとして取扱はるべきであるが茲に

圖-11.

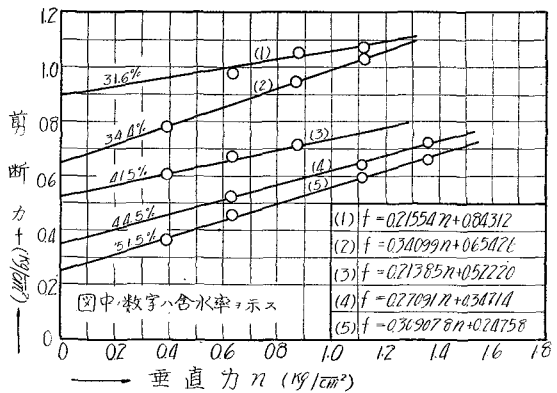
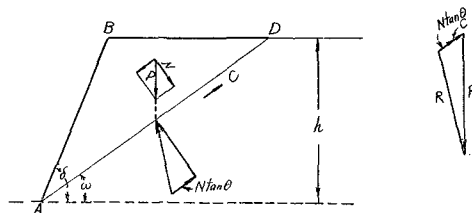


圖-12.



は図-12 に示す如き AD なる平面を採用した。曲面を凹面として計算すれば其の差は 10% 内外である。

今 h : 凝集力高, P : ABD の重量, N : P の滑面 AD に對する垂直分力, w : 土の單位容積の重量

C : 土の凝集力 θ : 土の内部摩擦角 δ : 法面の勾配角 ω : 滑面の勾配角

とすれば AD 面に於ける力の平衡條件

$$\frac{Ch}{\sin \omega} + N \tan \theta - \frac{wh^2}{2} \frac{\sin(\delta - \omega)}{\sin \delta \sin \omega} \sin \omega = 0$$

なる式で最も滑り易き面に在りて C は最大値をとる故 $\frac{dC}{d\omega} = 0$ と置いて誘導すれば

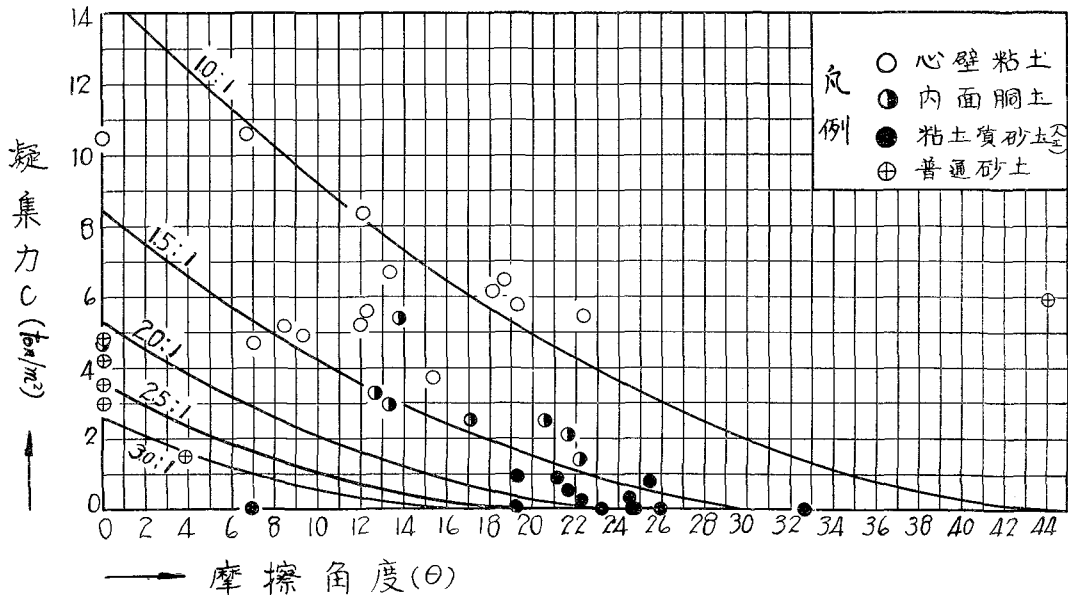
$$C = \frac{wh}{2} \frac{\sin^2 \frac{\delta - \theta}{2}}{\sin \delta \cos \theta} \text{ を得。}$$

内面胴土用粘土に就ては

$h = 40 \text{ m}$, 實用最大高, $w = 1.6 \text{ t/m}^3$ 實驗調査に據る粘土の單位重量

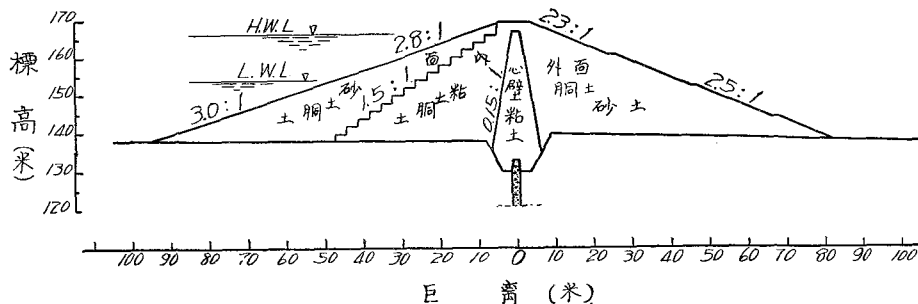
とし δ なる法面 3:1, 2.5:1, 2:1 及 1.5:1 の各勾配に就き摩擦角 θ に 0° より δ° まで中間數値を挿入し凝集力と摩擦角關係を求め之を曲線で表せば図-13 の如くなる。此の曲線に前章に記述した剪断抵抗測定より得た凝集力と摩擦角との關係點を挿入すれば同図に示す如き結果となり内面胴土に此の粘土を使用すれば 30~50% の含水率に於ては 1.5:1 の法面勾配が空中で最も適心せるものであり之以上の緩勾配は不必要であることが解る。然るに此の粘土は水中に在りては毛管作用に依る吸水膨脹現象を起し同時に凝集力並に摩擦角は減退し風波の影響其の他の原因により流動作用に移る傾向がある。そこで此の物理的變動を防ぎ一面湿度高き現場に在りて施工容易且つ吸水膨脹殆ど無き砂土を胴土粘土の上流側に盛土し締固めする必要があるのである。現場附近に於て經濟的に採取且つ施工可能なる材料として普通砂土をとり之に就き實驗を行つた結果(前章参照)を同じく図-13の曲線に挿入せば 3:1 の法面勾配を必要とすることが解つた。人工的に粘土と砂とを混和させた材料に就て實驗

図-13.



した結果も 3:1 勾配を要求してゐる。猶内面胴土の品質が吸水膨脹率相當大なる場合は其の変形に就き實驗を行ひ膨脹に由る圧力強度を算出し之と平衡を保ち得る重量を加へる爲、其の上流側に吸水膨脹殆ど無き砂土乃至砂礫を積載する寸法を見出し、依つて堤体上流面の法勾配を決定すべきであると思はるゝが現在實驗研究中で未だ結論に達して居らぬ。

図-14.



外面胴土に就ては縮尺 $\frac{1}{100}$ 模型を以て現在使用しつゝある材料の透水實驗を行ひ等水圧線、等圧力線、流水線等を求めたるに 2.3:1 が必要なる法面勾配なることを知つた。此の實驗方法等は既に神原信一郎博士、阿部謙夫氏、高田昭氏等の發表がある故省略する。以上の理由に基き本土堰堤を設計すれば図-14 に示す如き断面となる。