

講演 演

第 20 卷 第 12 號 昭和 9 年 12 月

東京市水道山口貯水池堰堤に就いて

(昭和 9 年 10 月 28 日土木學會創立 20 周年記念講演會に於て)

會員 工學士 小野 基 樹*

Roll fill Earthen Dam of Yamaguchi Impounding Reservoir, Tokyo Municipal Water Supply

By Motoki Ono, C. E., Member.

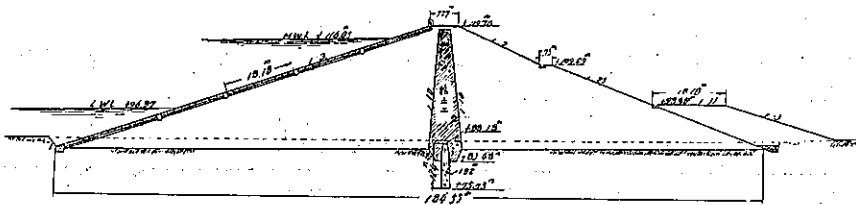
内 容 梗 概

山口貯水池土堰堤に採用した土壤の滲透水に關することを主として述べたものであつて、該土堰堤築造工事と併行して、大きな規模の實物模型を現場と同じ工法に依りて 2 個を作り、これが試料として 1 個には止水壁用の粘土、他の 1 個には盛土用の赤土を採用し、各試料の中央に壓力ある水を送り、長期間に亘つて滲透水量を精密に測定したる結果を示し、右兩者間に如何なる差異を生ぜしやを述べ、而して斯くの如き土壤にて土堰堤を築造したる場合に於て粘土止水壁は透水防止上果して如何なる價值をもつやを論じ、尙これ等の土壤と外國土堰堤に採用せられたる土壤の諸實例とを比較對照して、本土堰堤の土壤が優れたる特異性を有する點等に就いて叙したものである。

1. 緒 言

山口貯水池は東京市水道水源なる多摩川流量調節の目的で設けられ、埼玉縣入間郡山口村を中心とした地方に位置してをるのでありまして、以下に主として其の堰堤に用ひた土壤に就いて概略を述べることに致します。本堰堤は乾式工法に依る土堰堤でありまして、其の前面は 3 割勾配、背面は上部 2 割、下部 2 割 5 分勾配で断面の中央に止水壁を設けまして、其の上部は粘土、下部はコンクリート工とし、止水壁下部は不透層である粘土盤中に嵌入させたものであります。主要部の寸法を申上げて見ますと延長 690.91 m、高さ根拠敷以上 32.73 m、幅は頂部に於て 7.27 m、底部に於て 184.55 m であります。粘土止水壁は堰堤中央に於て高さ 30.61 m、厚さは上部 2.42 m、下部 8.55 m で、又コンクリート止水壁は堰堤中央に於て高さ 12.27 m、厚さ 1.82 m であります。

第 1 圖 山口堰堤横断面圖



2. 堰堤の施工

本堰堤工事は昭和 4 年 4 月に堰堤敷の掘鑿から先づ起工致しまして、堰堤の主體をなす盛土工事は昭和 5 年 8 月中旬、前面側の掘鑿の終つた所から逐次工を起しまして、排水路及びコンクリート工止水壁の完成につれて、

* 東京市水道局擴張課長

堰堤全面に互つて粘土止水壁と共に其の工を進めたのであります。昭和7年7月盛土工事が竣功し、水面側の防護工が半ば出来上りました。昭和7年10月中旬、貯水池に通水を開始する運びとなり、附帯工事等は本年の3月になつて完成したのであります。

次に堰堤の止水壁に就いて一言致します。土堰堤を築造するに當つて最も重要であり慎重な注意を要するものは止水壁でありまして、山口堰堤では前に述べました通り普通の工法に則つて、自然地盤以下はコンクリートで築造しそれ以上は特定の規格に合格した、精選した粘土を以て築造したのであります。當初に於きましてはコンクリート止水壁が可成不経済なものであるので、近來防水工法としても著しく進歩を來しました鐵矢板を以てこれに代へることにしたいと考へまして、現場に於て各種の鐵矢板を試験的に打ち込みまして、これが果して完全に止水し得る状態にありや否やを其の全面に監査孔を掘開して實地に就いて調べてみたのであります。此處の地質では何れもその結果が面白くなく滲透水防止の目的を達することが六ヶ敷いと認められたので此の鐵矢板止水壁は採用しないことに決めたのであります。

尙次にコンクリート止水壁と粘土止水壁との接際に就いて一言致します。この接際箇所は最大の水壓を受ける箇所でもあり特に重要視しまして、コンクリート止水壁の上部を楔形とし、此の部分を鐵筋によつて堅固に補強し、粘土止水壁中に深く嵌入させまして、若し後日粘土壁が沈下等を起せば益々深く嵌入して悉々水密を確保させる様に築造したのであります。先年萬國工業大會が東京に開催されました際に、偶々世界各國の専門家が數名本堰堤工事を視察に出張せられた好機會を得ましたので、此の接際部の工法に關し各大家の意見を求めました處が、各自の経験に基く色々の討論が行はれたのであります。各國に各種の異つた實例は多くあるが、この現場に採用した、前に申上げた様な工法が最適當であらうと云ふ説が有力であつた様に認められたのであります。

3. 堰堤を構成する土壤の性質

抑々土堰堤を構成する材料は貯水の滲透漏洩に抵抗する止水壁と、これを支持する盛土との種類に大別して考へるのを適當と認めるのであります。盛土材料に關しては成るべく良質のものを選定すること元より必要ではあります。その所要數量が尨大である關係上現場附近に於て多量に採取し得らるゝ土壤の中から、特別に不適當なものを取り除いた程度のもを、使用しなければならぬことになりまますから、土堰堤材料の適性なりや否やと云ふ事は結局は主として止水壁に使用する粘土材料の適性に關する問題に歸着するものと思はれます。従つてこゝでは主として止水壁を構成する粘土材料に就いて、適性と認める標準を申上げたいと思ひます。

從來迄は土堰堤を築造するに當りまして粘土に關する科學的研究が充分でなかつた關係上、その適否は各自の経験の程度で判定して居つたのであります。今回粘土規格を定めるに當りまして今迄の経験から割り出して合格品と見做されるものゝ代表的種類を選定して物理的試験を行ひましたところ、各試験種別の最小値、最大値及び平均値は第1表に示す様な結果が得られました。

第1表 代表的10種の粘土材料試験成績

種別	水 銀 分 析 微粒子分($\frac{1}{250}$ mm 以下)含有率	比 重 (比比重)	沸 化 収 (時 間)	縮 小 5cm長に對し	粘 結 力 粘 抗 張 力	水 分 分 (天然含有率)	有 機 物 (篩上の殘留物)
最小値	52.84(%)	2.64	8	9.00(%)	3.01(kg/cm ²)	29.33(%)	なし
最大値	77.70	2.71	36以上	17.00	9.77	39.96	"
平均値	64.24	2.67	36 "	12.89	6.63	35.75	"

そこで上記の結果を基礎として物理的試験規格として次の標準を採用することにしました。

- (1) 粘土分：水簸分析に依り 1/100 mm 以下の粒子含有量 60% 以上
- (2) 比重：真比重に於て 2.60 以上
- (3) 沸化：水中に浸して 36 時間以上沸化せざるもの
- (4) 収縮：5 cm の長さに於ける完全乾燥収縮率 10% 以上
- (5) 粘結力：収縮停止時に於ける抗張力 6kg/cm² 以上
- (6) 水分：天然含有水分 30%~50%
- (7) 其の他：有機物及泥土等を含有しないもの

即ち茲に採用しました規格は、堪能なる實地経験家が土堰堤用粘土材料として、之ならば合格品であると判定した品質のものを、多数採つて科學的に研究し其の結果を數字化したに過ぎませんので、従つて本規格の各試験種別の數値に就いては格段の根據を有する譯でないことを特に御斷りして置く次第であります。

参考の爲に水簸分析の標準を第 2 表に掲げます。

この物理的試験の外に化學的試験を行つたのでありますがこれは餘り重要な事柄ではありませんから分析試験の平均値のみを第 3 表に掲げることにします。

第 2 表

流速(mm/sec)	排流粒子の大小(mm)
0.2	0.01 (粘土分)
2.0	0.05 (細土)
7.0	0.10 (微砂)
淘汰管殘留物	0.20 (細砂)
篩別分	0.20 以上(粗砂)

第 3 表 粘土化學分析成績

種別	含有量の平均 %	種別	含有量の平均 %
珪酸 (SiO ₂)	40.79	苦土 (MgO)	0.19
礬土 (Al ₂ O ₃)	33.65	アルカリ (K, Na)	—
酸化鐵 (Fe ₂ O ₃)	9.72	灼熱減量	13.50
石灰 (CaO)	0.81	合計	93.66

備考：本現場附近の粘土は概して上部が黒色，中部が赤色，下部が白色を呈してをり是等種類の分析成績の平均値を掲げたのであります。

4. 土壤の滲透水試験

水深の大きい貯水池では土堰堤の下部に及ぼす水壓は、相當に増大するものでありますから、これに抵抗して滲透漏洩を防止するの役目は、主として止水壁で受持つことになるのでありますから、止水壁粘土の水壓に對する滲透漏洩の程度を知るの實驗的研究は、最も重要な事項と考へられるのであります。それで成る可く簡単に今申上げた目的を達する爲に粘土工を試料とした實物模型を作り、これに一定の静水頭なる 12 m 乃至 24 m の水頭が加はる様に裝置し、試料なる粘土工を滲透した水量が幾何であるかを、長期間に亙り精密に測定し得る様に工夫したのであります。村山上、下の堰堤、山口堰堤、この 3 種の土堰堤の實例によりますと貯水池満水位から 12 m 低下した箇所 に於ける止水壁粘土工の厚さは 2.4 m でありますので、實例にあてはまる様な寸法を有せしめる立方體(4.8 m 立方)の粘土工を現場に施工すると全く同様の方法によつて施工したものを以て試料としたものであります。而してこの試料の周圍をコンクリート壁にて繞らし其の壁内面にはアスファルトを塗つて水密ならしめ、其の試料の中央に、高架水槽から鐵管に依つて導かれる 12 m 乃至 24 m の水頭が加はる様にし、一面に於ては試料中を滲透して供給された水量を精密に測定出来る様にし、又他面に於ては底部コンクリート床に塗布されたアスファルト層

の上面に砂と砂利を敷き均し、試料中を滲透した水量即ち此の層を通して排水管によつて導き出された排出量を精密に測定出来る様に装置したのであります。この模型は2個作りまして1個は其の試料を粘土とし、他の1個は其の試料を盛土即ち赤土とし、前者を本実験の主體とし後者は單に前者に対する比較値を求めるのに充てたのであります。

本實驗は可及的に色々な誤差を除くため、長期の試験を必要と認めまして、昭和5年7月に粘土工と盛土工と相併行して始め、前者

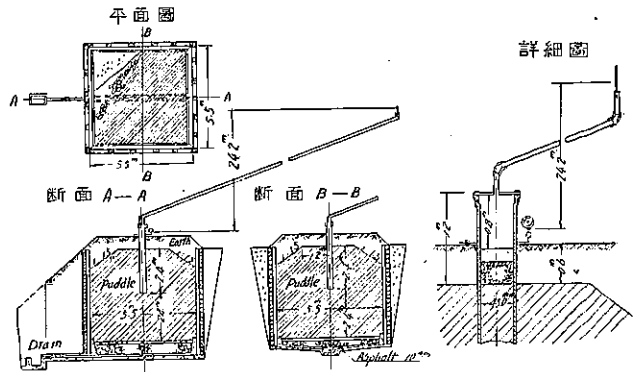
に對して總日數 631 日、後者に對して 574 日、連續的に記録を取り、滲透水観測の結果が略平衡の状態を保つ様になつた時を見極めて、本實驗を一先づ打ち切つたのであります。而して最後にこの實物模型を利用して高水壓試験を行つたのであります。高水壓試験としては高架水槽からの静水頭が、自然地盤の標高の關係から、最早これ以上得られないので、已むを得ず手押ポンプによつて、本模型の抵抗し得る最大限度の水頭を加へて、試料に對する滲透水量を測定したのであります。この高水壓試験に對して、前述の水頭 12m 乃至 24m に對するものを、便宜上低水壓試験と名付けることにしたのであります。

5. 粘土と赤土との滲透水比較

粘土工の滲透水試験に於ける粘土工配合の割合は、現場施工の方法と全く同一でありまして、粘土 2、砂利 1 の割合に混合して厚さ 9cm に敷均しましてこれを厚さ 4.5cm に縮固める程度に數回宛蝸搗をしたのであります。この使用粘土と砂利、それから締固めたものを 27 826 cm³ (1 立方尺) に切取つて試験をした成績は、第 4 表~第 6 表の通りであります。

粘土工の滲透水試験は最初に低水壓試験を行ひました。滲透水量の観測は毎日朝夕 2 回行ひまして其の平均値を記録し、山上に於ける高架水槽内の水量減少は観測の都度、夫を所定の水頭まで補給したのであります。が、本實驗を施行した全期間に互つて底部排水管から、粘土層を滲透排出して來る水量は全然これを認められなかつた次第で

第 2 圖 滲透水試験装置圖



第 4 表 粘土試験成績

水 籤 分 析(mm)					比 重	沸 化 (時間)	收 縮 (%)	粘 結 力 (kg/cm ²)	水 分 (%)
0.2以上	0.2~0.1	0.1~0.05	0.05~0.01	0.01 以下					
2.23%	4.59%	5.79%	17.03%	70.36%	2.66	36 以上	16.00	9.69	39.17

第 5 表 砂利試験成績

27 826 cm ³ (1 立方尺) の重量 (kg)	乾燥せる 重量 (kg)	水 分 (%)	比 重	空 隙 (%)	篩 分 析			
					砂 利		砂	
					38.0以上	38.0~4.76	4.76~0.59	0.59mm 以下
41.625	41.291	0.80	2.67	44.87	23.83%	74.04%	0.78%	1.35%

第6表の1 締固めたるものゝ成績

27.826 cm ³ (1立方尺) の重量(kg)	乾燥せる 重量(kg)	水分 (%)	混合割合(乾燥重量)	
			砂 利	粘 土
55.125	40.886	25.83	40.70%	59.30%

第6表の2 砂利を除きたる粘土の試験成績

比 重	沸 化 (時間)	収 縮 (%)	粘結力 (kg/cm ²)	水 分 (%)	水 籤 分 析 mm				
					0.2以上	0.2~0.1	0.1~0.05	0.05~0.01	0.01以下
2.66	36 以 下	15.83	8.80	38.66	4.11%	4.25%	3.98%	15.21%	73.45%

ありますから、本試料に對する滲透水量は已むを得ず、供給水の容量のみを以て示すことにしたのであります。この排出量の皆無と云ふことは、模型コンクリート周壁の内面アスファルト塗粧が、不完全なのに起因するのではないかと疑を起しまして、實驗が終つてから粘土を取り出して周壁を調べたのであります。些少の罅裂もなく完全に防水の目的を達して居つたものと認められたのでありますから、其の原因に就ては未だ諒解し得ない點が存して居るのであります。

次に高水壓試験は低水壓試験終了後に反復5回行ひましたが、その結果は水頭 105 m になつて初めて微量の排出量を見たのでありまして、水頭を 84 m に低下しましたところが排出水量は認められなかつたのであります。この結果から水頭が約 100 m に至る迄は、粘土工の厚さ 2.4 m で以て透水に對し安全に抵抗し得ることが推定されるのであります。そこで今申上げました粘土工の滲透水試験の結果を一括して第7表に掲げます。

第7表 粘土工の滲透水試験

種 別	10 日間平均滲透水量 cc	試 験 時 間	
低水壓	水頭 12.0 m	360	116 日
	水頭 24.0 "	267	585 日
高水壓	水頭 70.0 "	1 008	10 分
	水頭 100.0 "	1 440	5 分

この表の内、低水壓水頭 12 m の試験は、試験設備が竣工した直後に始めたものでありまして、設備が充分安定してない時の成績を含んで居りますから、滲透水量の標準値と見做すことは、少しく妥當を缺いて居る様に思はれますが、これに比べて試験設備の充分安定した後、長期に亘つて試験を行つた水頭 24 m の場合は、平均滲透水量を以て標準値と見做すのが妥當であると思はれるのであります。而してこの標準値を高水壓試験の成績に比べて見ますと、滲透水量は略水頭と比例すると云ふ結果を得られたのであります。

次に赤土即ち盛土を試料としての滲透水試験は、盛土材料と粘土材料との、透水抵抗に對する比較に就いて知るために施行したものでありまして、其の試験方法及び期間等は、粘土工の場合と同様であります。これに使用しました盛土の成績と締固めたるものを 27.826 cm³ (1 立方尺) に切取つたものを試験した成績は第8表の通りであります。

第8表の1 盛土試験成績

水 緘 分 析 (mm)					比 重	沸 化 (時間)	收 縮 (%)	粘 結 力 (kg/cm ²)	水 分 (%)
0.2以上	0.2~0.1	0.1~0.05	0.05~0.01	0.01以下					
4.12%	5.15%	3.97%	8.85%	77.89%	2.68	36以上	12.00	6.02	33.75

第8表の2 締固めしもの 27.826 cm³ (1 立方尺) の試験成績

27.826 cm ³ (1立方尺)の 重量 (kg)	乾燥せる 重 量 (kg)	水 分 (%)	比 重	沸 化 (時間)	收 縮	粘 結 力 (kg/cm ²)	水 緘 分 析				
							0.2 以上	0.2~0.1	0.1~0.05	0.05~0.01	0.01以下
49.500	32.400	34.55	2.69	36以上	13%	6.43	4.11%	5.98%	3.57%	7.48%	78.86%

本実験に於きましても低水圧試験と高水圧試験とを行つたのでありますが、後者の方の結果は標準値と認められる様な成績を得られませんでしたから省略しまして、前者の結果を第9表に示します。

第9表 盛土工の滲透水試験

種 別	10日間平均滲透水量 cc	試 験 期 間
低水圧 { 水頭 12.0 m 水頭 24.0 "	294	125 日
	900	449 "

盛土工の滲透水試験に於きましても、粘土工の場合と同様の理由に依りまして、水頭 24 m の場合の平均滲透水量を標準値と見做し得るのであります。そこで粘土工と盛土工との場合の標準値である平均滲透水量を比較して見ますと、粘土工の場合の 267 cc に比べて盛土工の場合の 900 cc は 3 倍強の滲透水量を示して居るのであります。粘土工は盛土工に比較して、滲透水に対する抵抗力が相當に大きいことを、明確に知る事が出来たのであります。

併しながら本実験の結果によりますと、本現場に使用した様な良質の盛土工に於ては、盛土材料その物が相當の透水抵抗力を持つて居り、且盛土工の厚さは粘土工のに比較して非常に大きいのでありますから、粘土工の有無はあまり大きな影響はないと云ふことになります。即ち上記の標準滲透水量を基準としてこれを山口堰堤の實物にあてはめ、堰堤の水壓に曝露する面積や、堰堤の厚さを計算の中に入れて、粘土中心壁を挿入した場合と、之を挿入しない場合とに對し、總滲透水量を算出しますと、前者は毎秒 1.98 cm³、後者は毎秒 2.25 cm³ と云ふ數値を得られまして、兩者の比は 1.00 と 1.14 に該當し其の差異が割合に少いと云ふことを認識せられるのであります。以上に述べました結果から考へますと、武藏野平野を一面に覆つて居る様な、赤土を堰堤盛土として使用する場合に於ては、止水壁粘土工の滲透水に対する抵抗力は、今迄期待した程の價値あるものではなく、場合に依つては之を省いても、滲透に對して不安を感じると云ふ様な心配は無いものと考へられます。

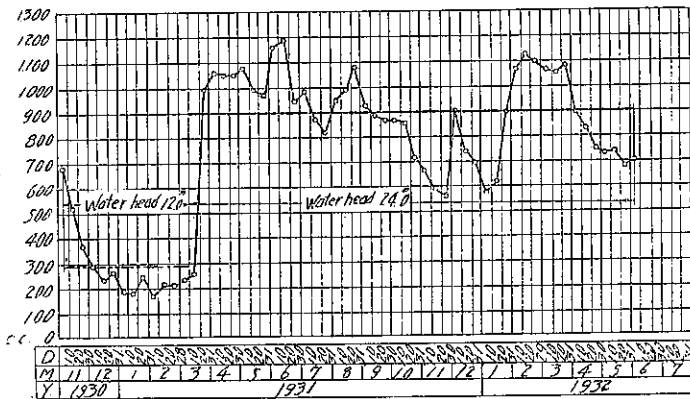
6. 他の堰堤に用ひたる土壤との比較

次に山口堰堤に使用した土壤と、外國に於ける他の堰堤に使用した土壤とを比較して見ますと、第5圖の様なものになるのであります。此の圖表の中で AA (山口堰堤の粘土)、BB (山口堰堤の盛土) 及び 13 (Springton Dam) の 3 線が乾式工法に依つたもので他はすべて濕式工法に依つたものであります。即ち此の圖表に示してある様に、山口堰堤に用ひました土壤は、他の堰堤のに比較しまして微粒子分を非常に多く含んで居ると云ふ事がわかるので

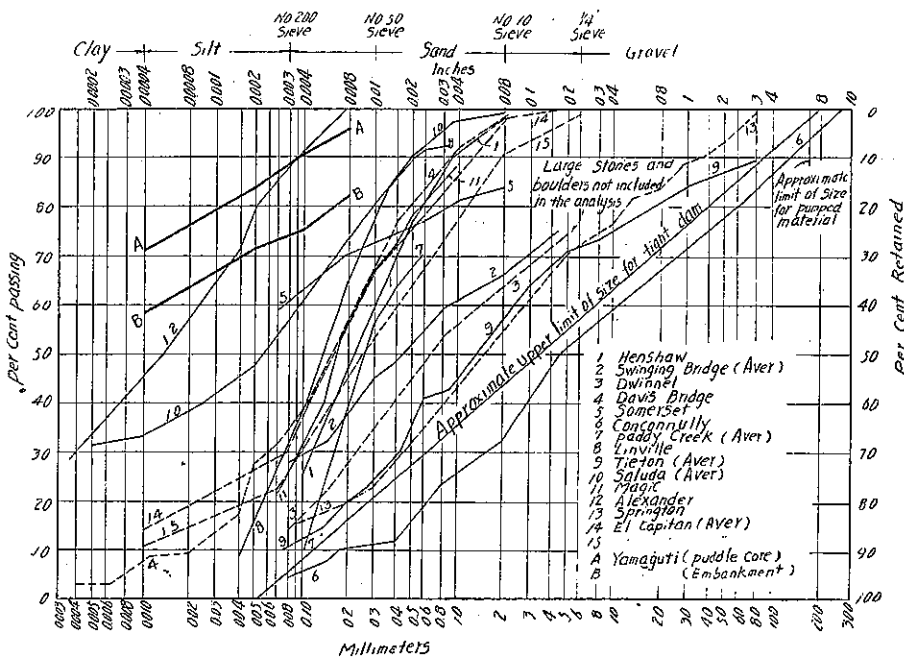
すが、上述の様に各粒子の吸水状態によつて、千變萬化する關係上測定が極めて困難でありますから、土壤の細率を以てこれが判定の基準となし、其の不備を補ふ爲には實物模型に依る試験の結果と對照して、滲透水に對する抵抗を觀測するより外には致し方がないと思はれます。

實物模型に依る實驗の價値如何に就いては、専門大家の間に於て可成議論のあるところでありますが、實物模型の容積を成る可く大にして、且堰堤施工と全く同じ熟練工により周到な注意を以て之を築造し、之を以て滲透水に對する長期間の觀測を緻密に行つたならば、其の結果に就いては相當信頼するに足る價値あるものと思はれるのであります。

第4圖 盛土工滲透水試験成績圖表 (10日間の供給水量を以て示す)



第5圖 他の堰堤材料との比較圖



この意味に於て山口貯水池堰堤施工と相併行して行ひました、この粘土工と盛土工との實物模型に對する、長期に亙る滲透水量の實驗の結果を、堰堤築造に用ひた土壤の細率及び其の他の性狀に併せて比較し、尙外國土堰堤の實例なども彼此對照するときは、相當價值ある資料であると考へましたのであります。即ち茲に堰堤用土壤の滲透水に關することを主題として實驗の結果等を發表し先程各位の御批判を仰ぐ次第であります。
