

資 料

リリーフウエルの実施例

内 山 嘉 美*

1. はじめに

いかなる型式のダムでもその基礎をかたい岩盤の上におくのは望ましいことであるが、原地表から比較的浅い所にかたい岩盤が存在するダムサイトは、ほとんど開発しつくされたようであるし、またそのほかの理由から滞積層の厚さが数10mにもおよぶような地点にでも、ダムをつくらなければならない場合が多くなってきた。

この滞積層が透水性であっても、ある程度の支持力があるのなら岩盤迄掘削しなくても、コンクリートダムより単位重量の小さいアースなどをその上に建設し、ただ滞積層を浸透する水が貫孔作用（パイピング）を起こさないよう、また堤体に作用する揚圧力を減少させるために、堤体下流斜面先にリリーフウエルを設置して安全なアースダムを建設する工法も、きわめて有効となってきた。

愛知用水公団で建設した東郷ダムの基礎は、地表から少なくとも30mの深さまでは、かたい岩盤はもちろん岩盤らしきものは存在しなかった。そしてこの30mの間の地層は粘土層、砂層、砂レキ層の互層であって、その間にリグナイト（亜炭）およびミガキ砂の層をはさんでおり、層全体はおおむね上流から下流へ、また右岸から左岸へそれぞれ約7°の傾斜をしていることがわかった。

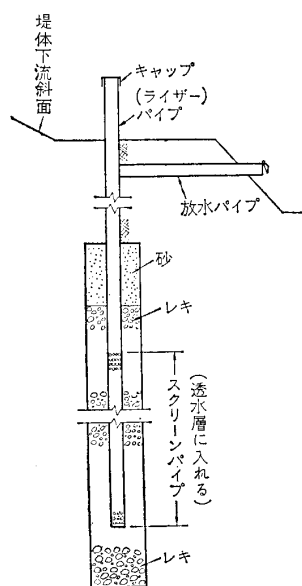


図-1 リリーフウエル標準図

このような地質にたいし、東郷ダムの基礎処理工法としては、上流側にブランケットを施工して堤体下の浸透路長を長くするとともに、下流のり先にリリーフウエルを設置した。リリーフ

ウエルは直径10cmの塩化ビニール管を用い、おおむね20m間隔で合計20本設けることにした。詳細は愛知用水設計図集を参照されたい。

このリリーフウエルは日本では最初に設置したものであり、設計、施工について多くの疑問があった。幸い、アメリカ滞在中に合衆国中部を占めるミズリー川流域開発計画の一環をなしている2,3のダムで設置をしているリリーフウエルを調査することができたので、その施工に重点をおいて報告する。

2. ミズリー川流域開発計画

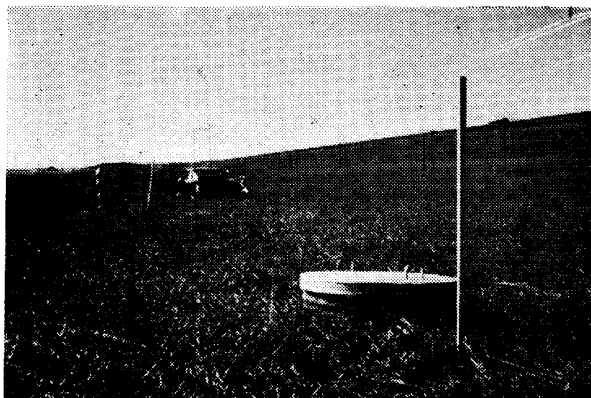
ミズリー川は世界最長のミシシッピー川の支流で、主要寸法は次のとおりである。

長さ 3,936 km (稚内・鹿児島間の約1.5倍)
流域 1,360,000 km² (日本全面積の約4倍)
流量 17,400 m³/s (カンサス市の最高)
降雨量 150~1,000 mm (年間)
標高差 1,089 m

ミズリー川流域開発計画のうち、治水、舟運は陸軍工兵隊が、かんがい、開拓局が、発電は両者協同して事業を進めている。この計画によって建設されたダムは上流から、フォートベック、ガリソン、オアヒ、フォートランドール、ゲイビンズポイントの各ダムであるが、そのうち、調査をしたダムについての主要項目は次表に示す。

ダムの名称	ゲイビンズポイント	フォートランドール	ガリソン
存在する州名	サウスダコダ ネブラスカ	サウスダコダ	ノースダコダ
もよりの町名	ヤンクトン	ビックスタウン	リバーデール
目的	治水、発電	治水発電舟運	治水発電、舟運 かんがい
型式	アースダム	アースダム	アースダム
高さ	22.2 m	48.0 m	63.0 m
長さ	2,610 m	3,210 m	3,390 m
堤体積	6,750,000 m ³	39,800,000 m ³	50,000,000 m ³
貯水量	511,000,000 m ³	7,720,000,000 m ³	28,300,000,000 m ³
発電能力	34,000 kw	320,000 kw	240,000 kw

* 愛知用水公団



写真一 ガリソンダム下流斜面先に設置されたリリーフウエルとピエゾメーターのパイプ

3. リリーフウエル

3.1 設置された地質

ミズリー川の滞積層は、ごくおおざっぱにいつて厚さ 30~45 m のもので、砂層と砂レキ層がほぼ水平に互層をなしており、ミズリー川の下流では地表に近い所に粘土層およびリグナイトの層が存在する。基礎岩盤は、ケツ岩であって、この岩は一見軟かそうではあるが、ぶっつけても割れないし、また風化にも強いという話であった。しかしコンクリートの骨材には使用していなかった。砂レキ層の透水係数は 0.1 cm/sec である。この値はフォートランドールダムで実測したものであるが、地質はほとんど同じであるという見解で、ほかのダムの設計にも使用していた。

各ダムの滞積層の厚さは、一番深い河床中心部で次のとおりである。

ゲイビンズポイントダム	42 m
フォートランドールダム	48 m
ガリソンダム	30 m

3.2 リリーフウエルの起源

前述のようなミズリー川流域の地質の上に、最初に建設されたのは、フォートベックダムであって、透水性基礎に対する当初の設計は次のとおりであった。

(1) シートパイル

延長約 6,000 m にわたって、基礎岩盤までシートパイルを打込み、止水の第 1 の対策としたが、一番長いシートパイルは 48.3 m であった。

(2) トードレインの設置

フォートベックダムの堤体積は約 94,000,000 m³ であるので 1934 年 10 月に水締めによる築堤を開始し、1939 年 11 月水締めによる築堤を完了、この年に貯水を開始した。

ところが、1945 年 2 月にダム在岸地山から漏水がはじまった。そこで陸軍工兵隊はこの地山の漏水について、地質調査などをおこなって、技術顧問団にその対策を依

頼したところ、リリーフウエルを勧告したのである。この時のリリーフウエルのパイプ内径は 15 cm であった。

その後、ミズリー川に建設されたフォートランドール、ゲイビンズポイントおよびガリソンダムには、シートパイルとトードレインのほかに、リリーフウエルもあわせて計画設計されるようになった。

3.3 リリーフウエルの設計

(1) リリーフウエルの直径

1945 年、フォートベックダムに設置されたのは、内径 15 cm のものであったが、その後、製作、設置および観測の点から種々改良され、現在では内径 20 cm の木製のものに統一されている。

(2) 深さ

地質の状況によって一概にはいえないが、基礎が均一な透水層である時は、その深さの 75% が最も経済的な深さであるといわれた。(陸軍工兵隊オマハ事務所リリーフウエル班長 Mr. C.N. Hoffman の談) これはおそらく経験による法則であって、しかも経済条件の異なる日本においてもなお、経済的であるかどうかは疑問である。

(3) 間隔

リリーフウエルの太さを 20 cm とし、深さを透水層の厚さの 75% としたとき、その間隔は次式によって求めることができる。

a. ウエル間の平均揚圧力を P_a としたとき

$$P_a/S = \frac{aD}{2\pi Z_w} \log_e \frac{a}{2\pi r_w} + 0.11 a \left(\frac{D}{a} - 1 \right) \left(\frac{D}{Z_w} - 1 \right)$$

b. ウエル間の最大揚圧力を P_m としたとき

$$P_m/S = \frac{aD}{2\pi Z_w} \log_e \frac{a}{2\pi} + 0.11 a$$

上記の式において

P_a ; ウエルを設置した面における平均揚圧力

a ; ウエルの間隔

D ; 透水層の厚さ

Z_w ; リリーフウエルの深さ

r_w ; ウエルの半径

S ; $S_u - S_d$: ウエルから流出をおこさせる正味の動水傾度

S_u ; h_1/d ウエル上流側の平均動水傾度

S_d ; P_a/X_1 ウエル下流側の平均動水傾度

h_i ; $H - P_a$ 水源からウエルまでの平均全損失水頭

d ; ウエルより上流側の全有効抵抗距離

X_1 ; ウエルより下流側の有効抵抗距離

H ; 全水頭

3.4 リリーフウエルの材料および構造

現在陸軍工兵隊で設置しているリリーフウエルのう

資 料

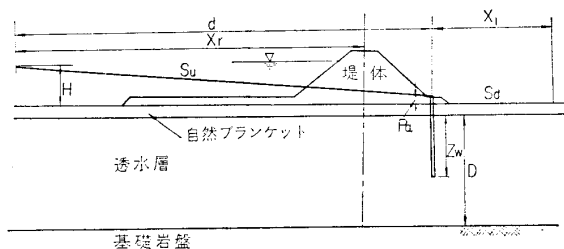


図-2

ち、ライザーパイプおよび放水パイプにはコルゲートパイプを使用し、スクリーンパイプには次のような構造のものをを用いた。材料は木材である。

厚さ 28 mm, 幅 7.5 ~ 10 cm の板材を 8 ~ 9 枚丸く集めて、内径 20 cm の円筒とし、そのまわりを針金で締め

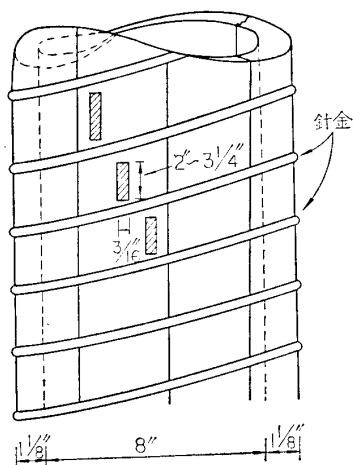


図-3

たものである。これらの板材には、幅 4.5 mm 長さ 50 ~ 81 mm の長方形の穴があいていて、この穴の合計面積は長さ 1 m にたいして、620 cm² 以上でなければならない。このことは 1 m² 当り 778 cm² である。

この木材の腐食を防ぐため、長さ 1 m に対して 10.8 kg 以上のクレオソート油を使用しなければならない。

以上がアメリカ陸軍工兵隊が実際に使用しているスクリーンパイプであるが、愛知用水公団の東郷ダムで計画されたスクリーンパイプの構造は、これと同じであってただ内径が 10 cm 以上、穴の総面積が 1 m 当り 350 cm² (977 cm²/1 m²) 以上であった。しかしこのような構造のスクリーンパイプを日本で製作し設置するのは、むずかしいのではないかと考えられた。その理由は

(1) 板材に切込まなければならない穴の幅を 5 mm とし、長さを 10 cm としても、1 m 当り、70 個の穴をあけなければならないので、人力の安い日本でも費用が高くなるし、工期にも影響するのではないか。

(2) このような構造のものを、掘削を試みなければわからない地層を推定して、総延長 (約 8 m の設計) を作り上げることは困難だし、作ったとしても運搬、設置に苦勞をする。延長の途中で継ぐとしても、現場では無理であるし、またその継目が構造的にも弱くなるのではないか。

以上二点について討議した結果、木製のものでなく、硬質塩化ビニールの有孔パイプを採用し、継目にはカラーをはめて現場で高周波溶接をすることにした。

ところがこれらの疑問に対してアメリカでは次のような方法をとっていた。すなわち

(1) 最初板材の内側に幅 4.5 mm のミゾをつけておいて、外側からこのミゾをねらって円形ノコで長さ 50 ~ 81 mm のキザミを入れていけばよい、という製作方法をとっていた。そしてこの木製スクリーンパイプは製品化されていて次の会社で販売されている。

National Tank & Pipe Co.
Kehton Station, Portland
17, Oregon

(2) 継ぎ方については次のような色々な方法をとっていた。

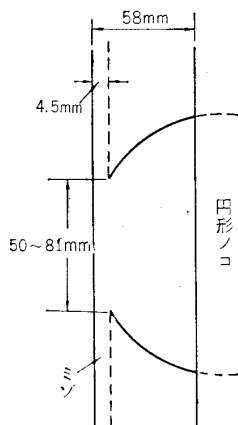


図-4

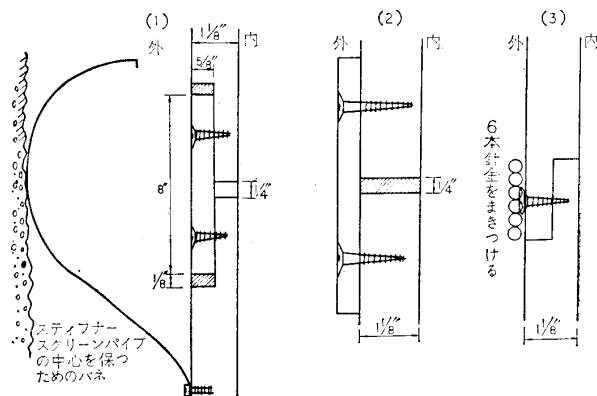


図-5

陸軍工兵隊がこのような材料および構造のものを決定するまでには、強度と耐久性という点で、金属性のもの、コンクリート製、金属にアスベストを塗布したものなど、種々の材料について研究調査した結果、木製のものが一番経済的であるという結論となった。

3.5 リリーフウエルの施工

リリーフウエルのために穴を掘削し、図に示したようなステイフナーで中心を保ちながら、スクリーンパイプをクレーンで、つり下げ継目を作って所定の長さに設置したのち、その周囲にトレミーで砂レキをつめることは、愛知用水公団の仕様と変りはないが、洗浄を十分行なうかどうかによって、将来のリリーフウエルの機能が大きく左右される。

3.6 リリーフウエルの洗浄

ガリソンダムで、リリーフウエルの一本が完了したので、ウエルの水位低下試験を行なってみたところ、リリーフウエルの機能を監視するために、約 1 m 離れた所に設置されたピエゾメーターの水位が、全然低下しないことから、このリリーフウエルの機能の低いことがわかった。調査した結果、穴を掘削したときの細粒が、穴の周壁に不透水性の膜をつくっていて、浸透水がリリーフ

ウエルに流入できないことが判明した。このようなことがあるため、ウエルの洗浄および揚水試験は、特に注意をしてやることになっている。

たとえば、図のような機械を現場で簡単に作って、水位低下試験がうまくいくまで洗浄を続ける。

機械で不透水性の膜が十分に清掃されないときには、

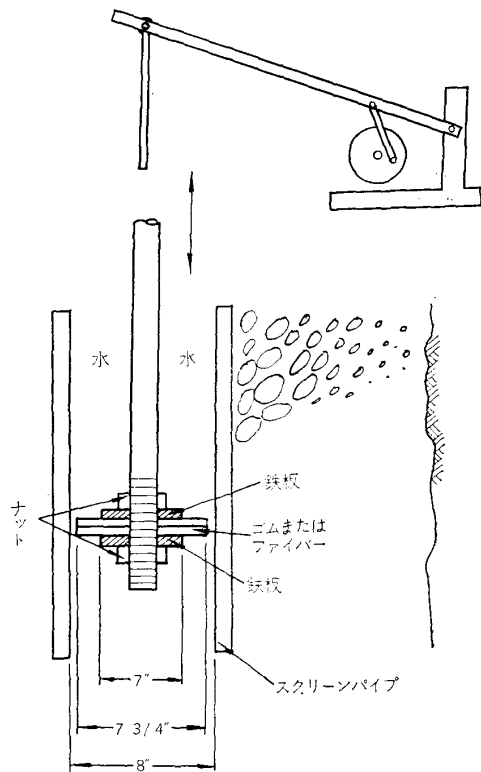


図-6

事業名		項目		揚水試験		日付
注意事項		リリーフウエル No. _____				
基準	標準	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)
	ウエル No. _____	右のウエル	左のウエル	右のウエル	左のウエル	センター
時間	放水	低下水位	低下水位	低下水位	低下水位	No. _____
1分	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	
5分	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	
10分						
15分						
20分						
25分						
30分						
35分						
40分						
45分						
50分						
55分						
60分						
65分						
70分						
75分						
80分						
85分						
90分						
95分						
100分						
105分						
110分						
115分						
120分						
125分						
130分						
135分						
140分						
145分						
150分						
155分						
160分						
165分						
170分						
175分						
180分						
185分						
190分						
195分						
200分						
205分						
210分						
215分						
220分						
225分						
230分						
235分						
240分						
245分						
250分						
255分						
260分						
265分						
270分						
275分						
280分						
285分						
290分						
295分						
300分						
305分						
310分						
315分						
320分						
325分						
330分						
335分						
340分						
345分						
350分						
355分						
360分						
365分						
370分						
375分						
380分						
385分						
390分						
395分						
400分						
405分						
410分						
415分						
420分						
425分						
430分						
435分						
440分						
445分						
450分						
455分						
460分						
465分						
470分						
475分						
480分						
485分						
490分						
495分						
500分						
505分						
510分						
515分						
520分						
525分						
530分						
535分						
540分						
545分						
550分						
555分						
560分						
565分						
570分						
575分						
580分						
585分						
590分						
595分						
600分						
605分						
610分						
615分						
620分						
625分						
630分						
635分						
640分						
645分						
650分						
655分						
660分						
665分						
670分						
675分						
680分						
685分						
690分						
695分						
700分						
705分						
710分						
715分						
720分						
725分						
730分						
735分						
740分						
745分						
750分						
755分						
760分						
765分						
770分						
775分						
780分						
785分						
790分						
795分						
800分						
805分						
810分						
815分						
820分						
825分						
830分						
835分						
840分						
845分						
850分						
855分						
860分						
865分						
870分						
875分						
880分						
885分						
890分						
895分						
900分						
905分						
910分						
915分						
920分						
925分						
930分						
935分						
940分						
945分						
950分						
955分						
960分						
965分						
970分						
975分						
980分						
985分						
990分						
995分						
1000分						
1005分						
1010分						
1015分						
1020分						
1025分						
1030分						
1035分						
1040分						
1045分						
1050分						
1055分						
1060分						
1065分						
1070分						
1075分						
1080分						
1085分						
1090分						
1095分						
1100分						
1105分						
1110分						
1115分						
1120分						
1125分						
1130分						
1135分						
1140分						
1145分						
1150分						
1155分						
1160分						
1165分						
1170分						
1175分						
1180分						
1185分						
1190分						
1195分						
1200分						
1205分						
1210分						
1215分						
1220分						
1225分						
1230分						
1235分						
1240分						
1245分						
1250分						
1255分						
1260分						

資 料

1957 年 2 月19日	29.2 l/min
“ 8 月1日	35.2
1958 年 8 月29日	33.0
1958 年 7 月29日	31.1
“ 8 月1日	30.0
1960 年 10 月5日	31.6 内訳 No. 1 7.9 l/min
	No. 2 1.6
	No. 3 } 22.1
	No. 4 }
	No. 5 }



写真-3 ガリソンドムに設置されたリリーフウエル放水パイプからの流出水

5. フローメーター

リリーフウエルの設置後、状況にもよるが一年に少なくとも一回は洗浄をして、その機能をよくし、流量の測

定をおこなって観測記録としているが、リリーフウエルの流量を測定するのに、工兵隊自身で設計製作したものを使用している。

最初のフローメーターは、工兵隊で設計をし、Leupold & Stevens Instruments, Inc. (4445 NE Glisan St. Portland 13 Oregon) で製作させたものであるが、羽根が3種類あって、その選択は測定者にまかせられており、その機構も測定者個人の能力に負う点が多いので、測定者によって異なった観測値の出ることが多かった。

このフローメーターについて、使用法および使用結果を検討の上、工兵隊所属の水理実験所で設計製作した改良型が、現在使用されているものである。その寸法は図に示すが、性能は次のとおりである。

測定可能範囲	フローメーター
10~1,000 g.p.m.	主要部詳細寸法
正確度	
97%	

A ; 普通の流速計と同じ機構で、接点が2個あり、1個は羽根の回転が、1回ごとに、他は5回ごとに、地上のブザーが1回鳴る。

電線2本の中1本は、計器つり下げ用を利用し、地上の計器で1回と5回を切替える。

B ; この中に羽根の軸を自由にささえる接点がある。

C ; ネジ式ナットで下へおろすと軸が上って、使用しないとき、軸の先端を保護する。

フローメーターを綱に結びつけて、ウエルの中へ降ろ

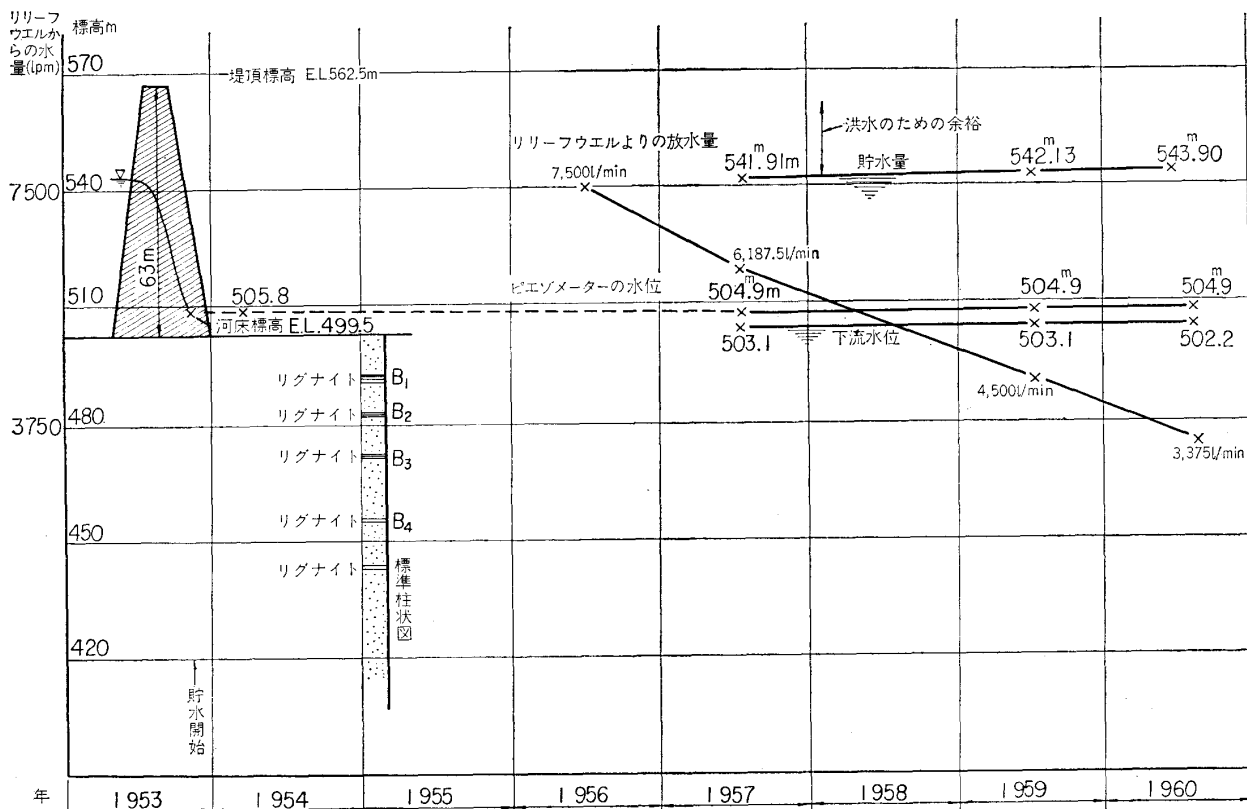


図-8 ガリソンドムにおけるリリーフウエルの観測結果概要

し、所定の深さで羽根の回転数を地上のブザーで聞き、その回転数から補正表によって流量を知る。

これで測定することによって、ウエル全体の流量のみ

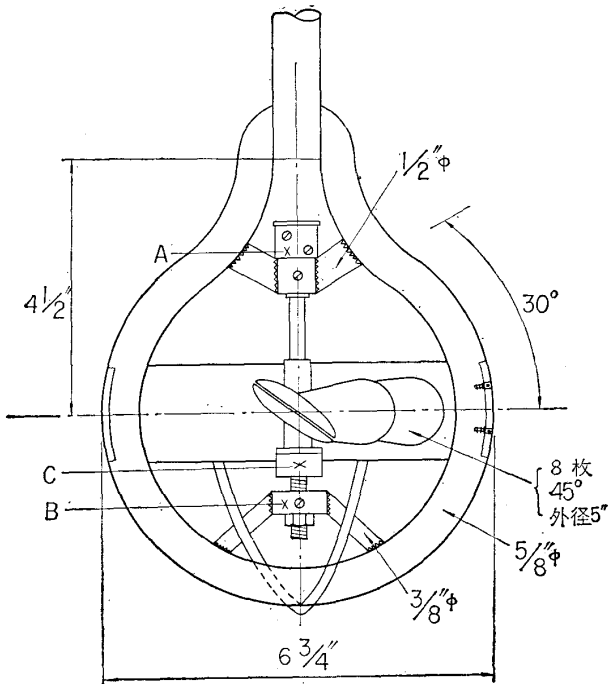
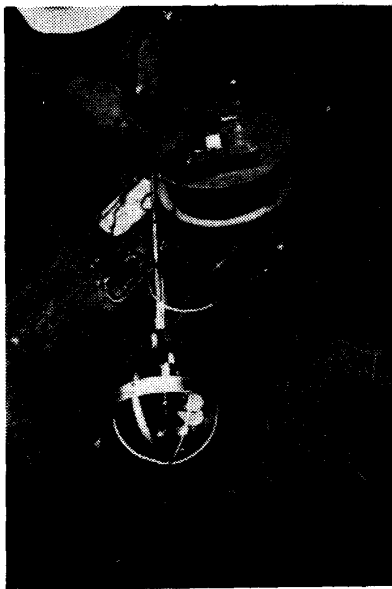


図-9



真写-4

でなく、リリーフウエルのいかなる深さにおける流量をも知りうる利点があり、またこのフローメーターによって、フーフウエルの内径を 20 cm に統一したともいえる。

リリーフウエルのスクリーンパイプは時により、場所によって板材の 1 部が内側に折れ込んでいたり、途中で障害物があったりするので、フローメーターを保護するためメーターをウエルの中におろす前に 図-10 のようなカゴをおろして、障害物の有無を調査し、またメーターを操作している途中、何かの原因でフローメーターが脱落した時、その下に常時ぶらさげてあるこのカゴで回収をする。

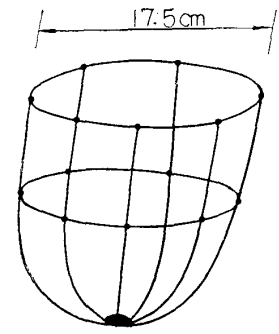


図-10

6. 工 事 費

1954 年 12 月 ゲイビンスポイントダムのリリーフウエルについて陸軍工兵隊で見積られた工事費である。

項 目	数 量	単 価	金 額
リリーフウエル	1,242 m	3,240円	13,413,600円
パイプ(スクリーンより上部)	144 m	1,674	803,520
スクリーンパイプ	1,008 m	1,836	6,168,960
砂レキ充てん	1,038 m	1,656	5,729,760
掘 削	48 孔	72,000	3,456,000
放水パイプ	954 m	792	2,518,560
洗浄作業追加	50 孔	954	477,000
揚水試験	288 時間	9,090	2,643,840
ピエゾメーターパイプ	151.5 m	2,160	1,090,800
ウエル・ポイント	17 個	5,760	97,920
保護サク	17カ所	9,000	153,000
山事費 計			36,552.960
諸経費及予備費			7,310,520
合 計			43,863.480

土 質 工 学 会 発 行 図 書 案 内

土質試験法解説第1集改訂版

定 価 350 円
会員特価 280 円

1冊の場合

送 料 60 円

土質試験法解説第2集

定 価 350 円
会員特価 300 円

送 料 60 円

土と基礎の新工法

定 価 350 円
会員特価 300 円

送 料 60 円

土と基礎の設計法(その1)

定 価 500 円
会員特価 450 円

送料都内 50 円
その他 80 円

土と基礎の設計法(その2)

同 上 同 上

土質試験用データシート

詳細は土と基礎 52 号 p 33 をごらん下さい。53号に掲載とあるは52号の誤りでした