



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	北大附属農場温水池建設工事報告
Author(s)	権平, 昌司; GONDAIRA, S.; 山本, 茂 他
Citation	北海道大学農学部附属農場報告, 12, 25-65
Issue Date	1964-02-28
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/13265
Type	departmental bulletin paper
File Information	12_p25-65.pdf



北大附属農場温水池建設工事報告

権平昌司・山本 茂・梅田安治

I. 緒 言

北大付属農場の水田作付面積は昭和36年現在2.4ヘクタールあり、昭和35年までは構内を流れる小河川構内川から5馬力、口径125ミリの渦巻ポンプによって揚水し、これをコンクリート製箱形暗きょ水路で送りかんがいをしていたのであるが、最近札幌市内のビルディングの建設工事おびただしく、これらの上水自給のためのポンプ揚水のためと、都市下水工事の進捗につれて地下水位の低下著しくて構内川の水源の枯渇を招くに至ったが、さらに北8条通り札幌市都市計画路線の完成とともに従来の源流は完全に遮断されてしまったために、構内川の流水の大部分は学内で排除される汚水のみとなり、その汚染の程度は急速に甚だしくなった。こういう水を用水とすることは水稲成育に対し芳しくなく、とくに試験研究という立場からみれば絶対に避けるべきことは自明である。また水量は著しく減少し成育に必要な水量の確保も保証しがたくなり、その上人体の健康上にも憂慮すべき状況になった。ここにおいて急遽井戸水によるかんがいが立案せられ、昭和36年度よりこれを使用することに決定し、当教室にこの具体計画と設計とを委嘱されることになった。井戸水は年間を通じ常に低温であるため、このままかんがい水として使用できないので温水池によって水温の上昇をはからなければならない。そこで問題になることは用水量の決定、これより井戸の問題として井戸の口径、掘削深、揚水ポンプの種類、口径、揚水量と揚程等を決めなければならない。つぎに水温の上昇施設として温水池の設置が必要になる。これに関してはその水量に対し確実に目的に適った温水にまで温度を上げることができな

ければならない。そこで与えられた気象条件と水量に対し水稲成育に必要な温度、少なくとも障害を与えない水温までは上げなければならない。これに関係する項目は温水池の水面積と水深はもちろんのことではあるが、非常に大切なことは死水や鉛直および水平方向の循環流を作らないことである。つまり水を均一に放水口方向に一樣に流すことが肝要なのである。

II. 温水池の計画についての検討

寒冷地において冷水を用水に使用しなければならないところでは温水池が計画され、すでに各地に各種各様の水温上昇施設が建設されている。これらのものについて、いちいち詳細に調査することは容易でないが、すでに当教室ではその若干のものについて実測調査を行ないその結果の概要をすでに発表している¹⁾。これらのものを検討してみればおのずと温水池に対する設計方針が導き出されるが、その一、二について触れてみよう。

1. 旧札幌村掘抜井戸湧水の水温上昇施設

2箇所の湧水源に対しそれぞれ温水池を設け、

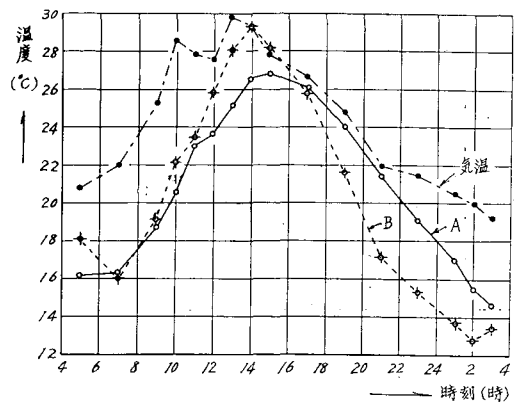


図2-1 水温上昇観測例

その設備の様式を異えて水温上昇の変化を比較した。その設備概要は表 2-1 に示すごとく水温の観測例は表 2-2 および図 2-1 に示すごとくである。

表 2-1 鳥氏水田温水池 (昭和 26 年)

温水池名称	水面積 (m ²)	水深 (cm)	井湧水量 (ℓ/sec)	様式 延長 16 m 幅 8.2 m	滞留時間 (時間)	平均流速 v (m/sec)
A	132	25	0.745	せき板 3 箇所 越流式整流法	12.3	3.7 × 10 ⁻⁴
B	130	8	0.815	迂廻水路 延長 75 m, 平均幅 1.73 m	3.55	5.9 × 10 ⁻³

表中の水の滞留時間はつぎの計算式によった。

$$V = A \cdot v \cdot t = Q \cdot t = S \cdot h$$

これより $t = \frac{V}{Q}$ (2.1)

$$v = \frac{Q}{A}$$
 (2.2)

または $v = \frac{L}{t}$

ここに V は温水池貯留水量, A は流水断面面積, v は平均流速, L は温水池全延長, t は滞留時間, Q は流量, S は温水池水面積, h は水深である。なお湧水の温度は常時 9.7°C であった。

表 2-2 温水池出口水温観測例 (July, 26 th ~ 27 th, 1951)

日	時	気温 (°C)	A 池 (2ヶ所平均)	B 池	天候
26	5	20.8	16.2	18.1	曇 風
	7	22.0	16.3	16.0	雨
	9	25.2	18.7	19.1	曇, 微 風
	10	28.5	20.5	22.1	晴, 微 風
	11	27.8	23.0	25.4	薄 曇, 風
	12	27.5	23.6	25.8	晴, 風
	13	29.8	25.1	28.0	晴, 風
	14	29.3	26.5	29.3	曇, 微 風
	15	27.8	26.8	28.1	曇 り
	17	26.6	26.0	25.8	曇 り
	19	24.8	24.0	21.6	晴, 日 没
	21	22.0	21.4	17.1	晴
	23	21.5	19.1	15.3	晴
27	1	20.5	17.0	13.7	晴
	2	20.0	15.5	12.8	晴
	3	19.2	14.6	13.4	晴

この両者にとって温めるべき水量はほぼ等しくまた水面積もほとんど同一であるが, A は水深 25 cm, B は 8 cm で A は B の約 3 倍深い。従って滞留時間も約 3 倍となる。直観的に考えれば外気温度およびその他の気象的熱源によって A は B の 3 倍の効率を上げ得られるかのように考えられるが, 観測の結果によればむしろ最高温度は B が高く, 一がいに A が B に勝れているとは言えない。しかし日射の減少とともに B は急速に水温が下がるという欠点がある。また両者のこの間の平均温度は A = 465.05/22 = 21.14 (°C), B = 4470.05/22 = 20.32 (°C) であって大差はない。すなわち流量全体についてみれば受け入れた熱量には大した差はない。もちろんこれは気象条件が異なれば当然異なるもので, 一, 二回の観測の結果からにわかにその優劣を論ずるわけにはいかないし, また水稻の时期的な成育条件に関して考えなければならぬものである。また夜間水温はある程度下っても昼間高ければよいという一般性は有していても, これにも一定の限度がありその最高, 最低差は B 池の方ははるかに大きくて, この点では A 池が B 池に勝るようである。その上さらに水温が夜間水稲成育に障害を与える程度にまで降下するということになればさらに条件は一層悪くなる。このように見れば水深を極端に浅くして 10cm にも満たないようにするということはあまりにも外気に順応しすぎて余裕性に欠けるという欠点を伴ってくる。もちろん実際には水温は田面上を流過するにつれてさらに上昇する。この実験観測による経験は北大農場の温水池を計画するに当たって大なる示唆を与えた。

2. 上川郡東川町第一遊水池

昭和 26 年 8 月 18 日から 19 日にかけて当教室をあげて水温と流れの状態の観測を行なった。その結果は表 2-2 に示すごとくである。

なおこの日の流入水量は約 2.5 (m³/sec) であり, 1 枚の池の水面積は 80 × 330 = 26,400 (m²) で, 池 3 枚で約 80,000 (m²), 深さは 1.50 m であるから全貯留水量は 120,000 m³ となる。従って (2.1) 式より $t = \frac{120000}{2.5 \times 60 \times 60} = 13.3$ 時間 平均流速は近似

表2-3 東川第一遊水池観測値
(Aug. 18th~19th, 1951)

時刻 日時	気温 (°C)	取水口 (°C)	第一池 出口 (°C)	最終出口 (第三池) (°C)	上昇温度 (°C)
18日 20時	24.4	17.7	18.7	19.0	1.3
23.5	22.0	16.7	18.3	19.0	2.3
19日 2	20.0	17.0	17.2	18.8	1.8
5	19.4	15.2	16.5	18.7	3.5
6	21.5	15.0	16.2	18.7	3.7
8	25.8	15.1	16.2	18.8	3.7
11	29.4	16.3	17.0	19.3	3.0
14	28.0	17.9	18.1	20.0	2.1
17	27.4	18.7	19.5	20.0	1.3
20	22.5	17.8	18.7	19.0	1.2
平均	24.0	16.7	17.2	19.1	2.4

摘要 快晴，朝夕は無風，日中は微風ある程度。
池は三池あり，各池には中央に整流工を設けて
流れの整一性をはかっている。

的に $v = \frac{L}{t} = \frac{1200}{48000} = 0.025$ (m/sec)，または

$v = Q/A = 2.5/120 = 0.021$ (m/sec) 程度である。

これは単なる平均流速であるが，実際の流れは
こういうものとはほど遠い状態である。我々は水
中フロートを用いたり，流速計を用いて水表面よ
り 40 cm および 1 m の箇所の流速を測った結果，
流入口における越流式整流工の前面の 5 地点に等
間隔で投入したフロートは図 2-2 にみるようにい
ずれも一側に片寄り流線 (I) のような経路をたど
って流れた。また流速計によって流線 (II) のよう
な循環流があることを知った。図における A およ
び B は死水域でありこの部分の水は利用されない。

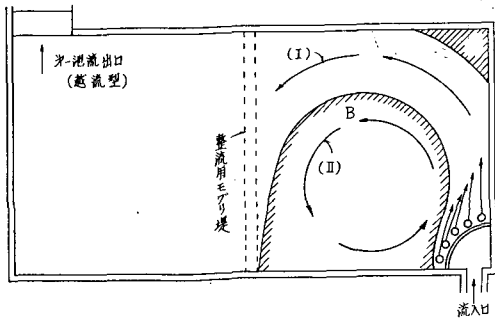


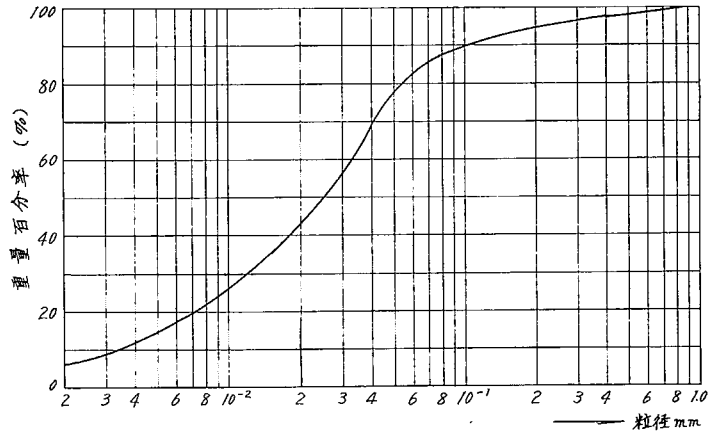
図2-2 東川町第一遊水池における
流水の偏向とを循環流

一池の長さ 330 m，幅 80 m の大部分は温水に寄与
しないほとんど無駄な領域になり，その結果は
狭い水路があるのと同じで，その部分を流れる水
は流速早く，短い滞留時間しか与えられず，充分
に水温を上昇させることができない。この流れの
偏向および循環流は平面的のみでなく，鉛直方向
にも存在するようである。このように広い水路幅
になると，水は一樣に一定方向に向って流れるこ
とが不可能になることが明らかになった。整流工
として各池ごとに一条ずつのもぐり堤があるが，
これ一つのみではとうてい整流の目的を果すこと
は不可能である。この結果水温の上昇は少なく
て三池全体で僅かに 2~3°C に過ぎなかった。この
対策としてはすくなくとも流入口における円弧状
越流式整流工から，ある距離の間は高さの低い流
導隔壁を設け，流れの斉一性をはかるよう改良す
べきであると思う。この事実より導かれる基本方
針は水路幅をあまり広くしないで，日影を作らな
いよう高さの低い隔壁導流堤を設けることと，小
距離ごとに越流ゼキ式整流工を設け，地形に従い
小落差を付して階段状に水域を分ち，強制的に均
一な流れを現出させなければならないということ
である。

3. 農場温水池計画

北大農場の水田表土は図 2-3 の粒度分析にみる
ように工学的表示ではシルト質ローム，農学分類
ではロームであるが，これに対する純用水量を
2.6 (ℓ/sec・ha) と仮定し，従来の計画を 3 ヘクタ
ルとすれば全体で $Q_0 = 0.468$ (m³/min) となり漏水
等の損失をかりに 2 割とすれば $Q = 0.6$ (m³/min)
となり，しろがき期その他不慮の場合に備えて
 $Q_{max} = 1.0$ (m³/min) を確保する計画を樹て，この
水量に応ずる井戸およびポンプの規模や形式を定
めることとした。札幌地区一帯の地下水は被圧水
であり，北大構内の各深井戸の実績から見当をつ
けたものに余裕を持たして直径 250 mm，深さ 40
m とし，揚水量を 1.0 m³/min 以上とした。ポンプ
は荏原製作所製水中モーターポンプ B.H.S 型口径
100 mm，揚水量 1.3 m³/min，揚程 20 m，回転数
2,900 rpm，7.5 KW のものを使用した。地質は表
2-4 に示すようになっている。

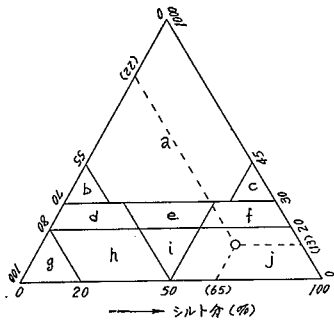
粒径別名称	砂分	シルト分	粘土分
含有量 (%)	22	65	13



加付	粘 土	シ ル ト	砂		
	粘 土	微 砂	細 砂	粗 砂	

JISA-1204
日本農学会

図2-3(a) 粒径加積曲線



a	粘 土
b	砂質粘土
c	シルト質粘土
d	砂質粘土ローム
e	粘土質ローム
f	シルト質粘土ローム
g	砂
h	砂質ローム
i	ローム
j	シルト質ローム

図2-3(b) 土の分類図

図2-3 北大農場水田表土粒度分析試験

表2-4 温水池付属井戸地質表

層 別	1	2	3	4	5
深さ (m)	0-10	10-16	16-24	24-30	30-40
土 質	粘 土 微 砂	粗 砂 小砂利	粘 土 微 砂	粗 砂 小砂利	粘 土 微 砂

表2-5 ポンプ試験成績表

水 量 (m ³ /min)	全水頭 (m)	仕 事 (KW)	モーター (KW)	効 率 (%)
0	39.5	0	3.94	0
0.680	32.0	3.55	5.67	62.6
0.989	26.0	4.19	6.39	65.7
1.203	20.0	3.92	6.52	60.2
1.444	12.0	2.82	6.24	45.2

第2層と第4層とを採水層とし、それぞれ長さ5.0mのストレーナを取り付けた。ポンプの試験成績を表2-5に、その性能曲線を図2-4に示す。

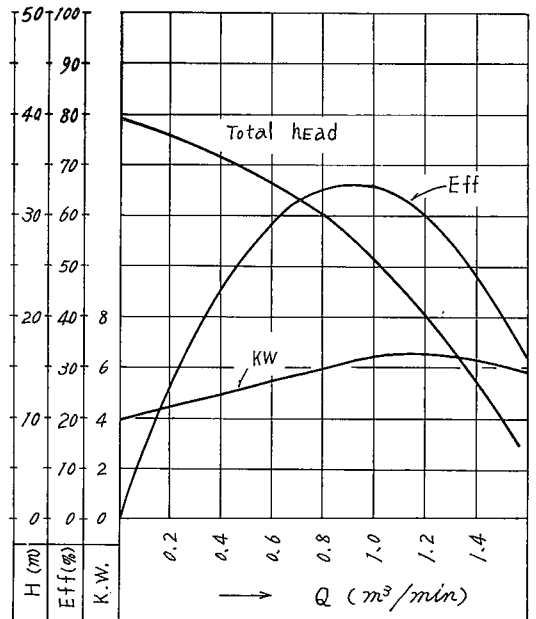
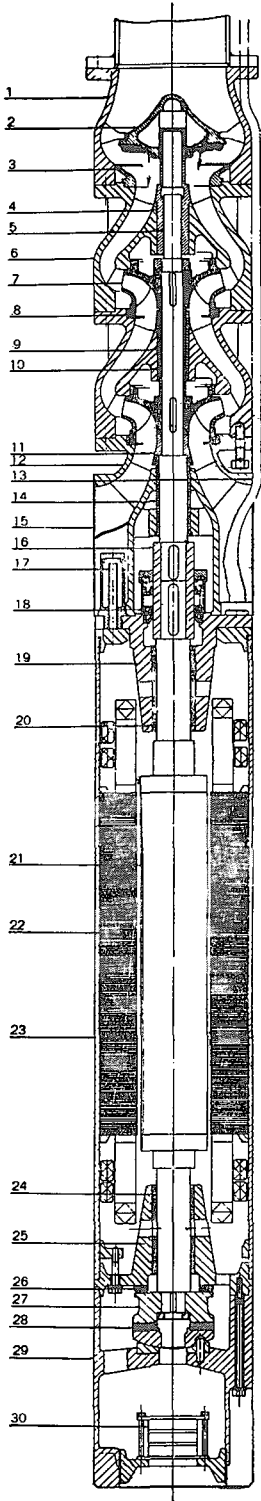
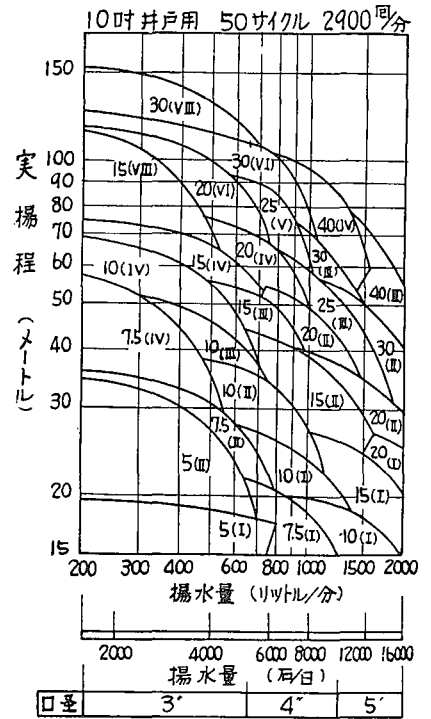


図2-4 水中モーターポンプ性能曲線

図2-5は水中モーターポンプ断面図、図2-6は水中モーターポンプ選定表、図2-7は地質と井戸およびポンプ、受水槽の配置を示す。



No.	品名	材質
1	上 胴 体	鑄 鉄
2	傘 型 チ エ ッ キ 弁	鑄 鉄、ゴ ム
3	チ エ ッ キ 弁 シ ー ト	青 銅
4	メ タ ル 兼 チ エ ッ キ 弁 ス リ ー プ	特 殊 青 銅
5	ポ ン プ 軸	不 銹 鋼
6	中 胴 体	鑄 鉄
7	羽 根 車	特 殊 青 銅
8	ラ イ ナ リ ン グ	青 銅
9	ブ ッ シ ュ メ タ ル	特 殊 青 銅
10	ス リ ー プ	黄 銅
11	サ ン ド カ ラ ー	青 銅
12	下 胴 体	鑄 鉄
13	ケ ー ブ ル	
14	下 胴 体 ブ ッ シ ュ メ タ ル	特 殊 青 銅
15	ス ト レ ー ナ	黄 銅
16	カ ッ プ リ ン グ	不 銹 鋼
17	上 部 フ ィ ル タ	
18	メ カ ニ カ ル シ ー ル	
19	軸 受 ケ ー ス	鑄 鉄
20	軸 受 メ タ ル	特 殊 青 銅
21	回 転 子	
22	固 定 子	
23	固 定 子 枠	鋼
24	軸 受 メ タ ル ス	特 殊 青 銅
25	軸 受 ケ ー ス	鑄 鉄
26	上 部 推 力 受	合 成 樹 脂
27	推 力 軸 カ ラ ー	不 銹 鋼
28	下 部 推 力 受	耐 熱 合 成 樹 脂
29	下 部 推 力 軸 受 ケ ー ス	鑄 鉄
30	下 部 フ ィ ル タ	



算用数字は馬力を示し、括弧内のローマ数字は段数を示す。
 図2-6 水中モータポンプ型式選定表

図2-5 エハラ水中モータポンプ断面図

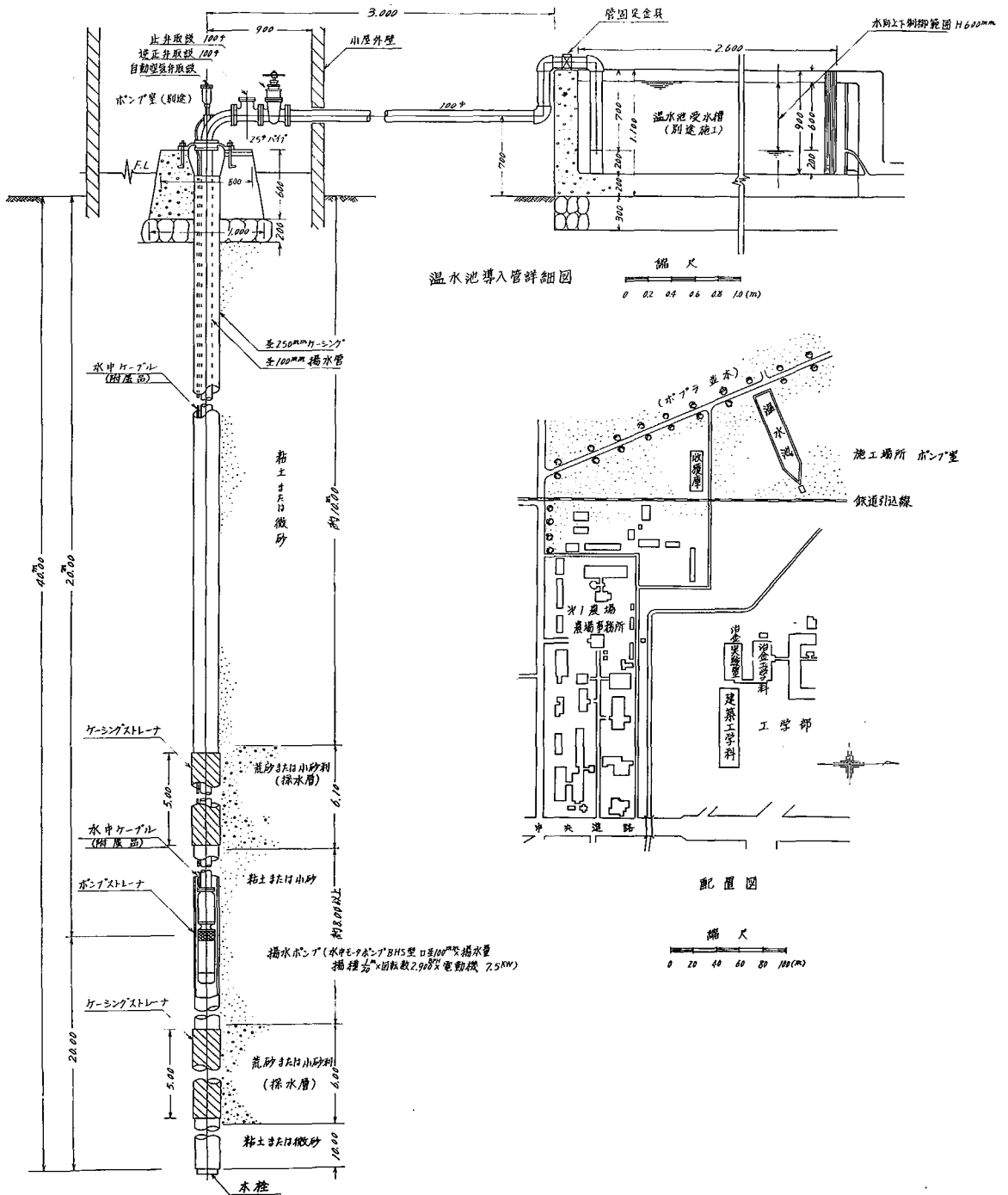


図2-7 揚水設備

前記の温水池に対する基本方針についてさらに検討し、用水量に応ずる水面積、水深、および水路幅を決定した。井戸から揚水したばかりの水温は常時 9.5~9.7°C 程度であって、これを 15~20°C まで上昇させなければならない。前記のごとく既設の温水池から判断して効率のあまりよくないものは一般に深すぎることと、流路の幅が広過ぎて水面積を有効に用いることができないものである。一方極端に浅過ぎてもよくない。最も効率のよいものとは後述するごとく、平こう温度にできるだけ近づくのに必要な水面積の最少なるものということができる。それには滞留するために必要な水面積と適当な水深と水路の幅を決めなければならない。これに対する一般的な決め手がいまのところ明確にされていない。我々のとぼしき実験、実測や既設の温水池に対する観測値の報告があるのみである。これらを基として熟慮判断し必要面積を水路連絡部（取付部）を除いて正味 10 アールとし、水路幅は 1 条 5.0 m として三列平行に $\frac{Q}{3}$ ずつを流すことにした。水深についても確固たる基準がなく各種各様であるが一応 20 cm とし、竣功後実際に水を流してみても、この深さが不適であれば容易に取換えるように木片の板をもってせき頂部とした。また必要によってはせき頂の高さを増減し、各プールの水深を変えて一連の実験を試みる予定にしていた。しかし使用をして分ったことであるが、木板によってせき頂を作るとは間違いであった。それは水を吸収するとひずみを生じ始め、はじめは水平であったものが凹凸を生じたり、反ったり、傾斜したりし始めるからである。これは近々鉄材に取り換える予定になっている。越流せき上の水深は計算上 7 mm 程度であるので極めて僅かのひずみでも整流という点からみれば大きく響くのである。しかし一方温水池基盤は盛土であるので転圧はしたものの長い間には圧密による不同沈下が無いでもない。いかにこの量が小さくても越流水深 7 mm に比較しては問題になるから、むしろ落ちついてから鉄材に取りかえる方が却ってよかったのかも知れない。

流れの方向に 5 m ずつに仕切り、越流部を設けたために 5.0 m × 5.0 m の小水域に仕切られる。各

水域は流れの方向に高さの差 2 cm ずつの段落をつけていわゆる階段工状とした。このように 5.0 m ごとに段落ちをつけたことは少しく長く流れると流水の性質上中央は流速大きく、隔壁側面部に接する部分は流速が小さくなるから小距離毎にこれを補正し、できるだけ流れの斉一性を図ろうとしたものである。かくして決定した寸法を表 2-6 に示す。

表 2-6 北大農場温水池寸法

最大流量 (m ³ /min)	水面積 (m ²)	幅員 (m)	水深 (m)	延長 (m)	流速 (m/sec)	流下時間 (hour)
1.0	(1106) 1000	3 @ 5m	0.20	(80) 70	5.6×10^{-3}	(4.0) 3.5

(注) 表中括弧の中の数字は連絡水路を含めたもの。

かくして最後に承水路に落とし、これより水路によって水田に導くようにした。

ポンプ揚水の受水槽は大きい程自動的に水位調節をするのに都合よいが費用の点から節約し、水面積は $A=4.5 \text{ m}^2$ 、深さ 0.90 m の容量を有するものに切りつめた。流出口として $R=0.025 \text{ m}$ の Poncelet 型円形オリフィスを 3 個設けた。

水位流量曲線 ($H-Q$ 曲線) は図 2-8 に示すごとくである。

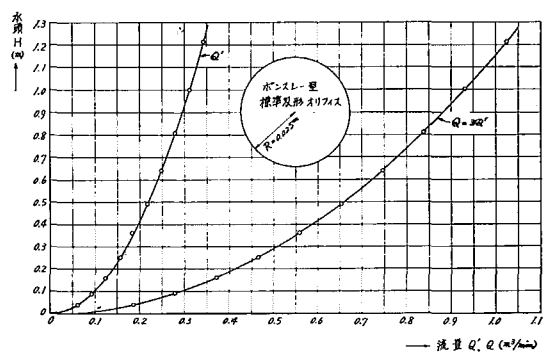


図 2-8 $R=0.025 \text{ m}$ のポンズレー・オリフィスに対する水頭と流量の関係

III. 水面制御調節器によるポンプ運転について

1. 水面制御調節器の利用

オリフィスよりの流出水量は水槽の水位によって異なる。すなわち水頭 H の $1/2$ 乗に比例する。

そこでオリフィスより一定水頭による一定流量を排出しないでこれより大なる水頭を与え、ポンプ揚水を中止すると時間の経過につれて水位は低下し、これに伴って流出量は減少し、ついに必要流量以下に下るのであろう。しかしこれらの変動流量の平均値が必要流量になればよいのであるから、その間はポンプ揚水を停止し、電力を節約することができるはずである。この水面を予定範囲に変動させてこの目的を達成させるためには液面自動制御継電電気がある。これにはフロート式とフロートを用いないで異なる長さの電極を用いる方法があるが後者を採用することとした。そのスケッチは図3-1に示すごとくである。受水槽の容積が大きいと電力節約に非常に役立つ。

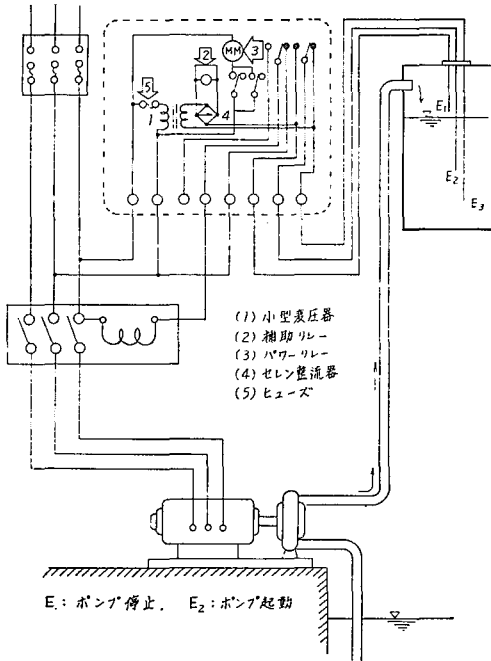


図3-1 水面制御継電電器とその配置

2. 理論式

(1) 運転休止のまま受水槽よりの給水しうる時間。3個のオリフィスから出る一分間流量は

$$Q = c\sqrt{2g} \cdot a\sqrt{z} \times 60 \times 3 = \mu\sqrt{z} \quad (3.1)$$

$$\text{ここに } \mu = 180 c\sqrt{2g} \cdot a \quad (3.2)$$

式中 c : 流量係数で平均 $c=0.595$
 a : オリフィス断面積 z : 水頭
 g : 重力加速度

いま A を受水面積とすれば連続の関係より

$$Q \cdot dt = -A \cdot dz$$

$$dt = -\frac{A}{Q} dz = -\frac{A}{\mu} z^{-\frac{1}{2}} dz$$

$$t_e = \frac{2A}{\mu} (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}) \quad (3.3)$$

(2) 運転開始、受水槽を満すに要する時間
 ポンプよりの揚水量を Q_i 、オリフィスよりの流出水量を Q_0 とすれば連続の式は

$$(Q_i - Q_0) dt = A \cdot dz$$

$$dt = A(Q_i - \mu\sqrt{z})^{-1} \cdot dz$$

ゆえにこれを H_1 から H_2 まで積分すればよい。さて一般に $\int \frac{dz}{a - b\sqrt{z}}$ の求め方は次のようにすればよい。

$$\sqrt{z} = \frac{a - X}{b} \text{ とおけば } dz = -\frac{2}{b^2} (a - X) dX$$

および $X = a - b\sqrt{z}$ となるから

$$\int \frac{dz}{a - b\sqrt{z}} = -\frac{2a}{b^2} \ln X + \frac{2}{b^2} X + c$$

$$= -\frac{2}{b^2} (a - b\sqrt{z}) - \frac{2a}{b^2} \ln (a - b\sqrt{z}) + c \quad (3.5)$$

となる。そこで $a = Q_i$ 、 $b = \mu$ を代入すれば

$$t_f = \frac{2A}{\mu} \left[2.3 \frac{Q_i}{\mu} \log \frac{Q_i - \mu\sqrt{H_2}}{Q_i - \mu\sqrt{H_1}} - (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}) \right] \quad (3.6)$$

(3) 平均流量

ポンプが運転を中止してから受水槽水位が H_1 から H_2 までになるのに要する時間を t_e とし、つぎにポンプ揚水を開始し漸次水槽を満し、水位が H_2 から H_1 に達する時間を t_f とする。

一方 t_f の間は一定の流量 Q_i がポンプによって水槽に流入する。 t_e の間に水槽有効容積 V をオリフィスより流出し、 t_f の間にはポンプより水槽への流入量は $Q_i \cdot t_f$ であるが、このうち V は水槽に貯えられるから、結局 $(t_e + t_f)$ 間にオリフィスより流出される水量は $V + (Q_i \cdot t_f - V) = Q_i \cdot t_f$ である。この水量を $(t_e + t_f)$ で流出するのであるから、平均

流量は次式で与えられる。

$$Q_m = \frac{Q_i \cdot t_f}{t_e + t_f} \quad (3.7)$$

(4) 数値計算

オリフィス半径 $r=0.025$ (m), $a=0.00194$ (m²)

受水槽水面積 $A=4.5$ (m²), $Q_i=0.8$ (m³/min)

最高水位 (オリフィス中心よりの高さ):

$$H_1 = 0.600 \text{ (m)}$$

最低水位 (オリフィス中心よりの高さ):

$$H_2 = 0.025 \text{ (m)}$$

(3.2) 式より

$$\mu = 180 \times 0.595 \times \sqrt{2 \times 9.8} \times 0.00194 = 0.931$$

ポンプ運転中止, 受水槽の貯水よりの給水, (3.3) 式によって

$$t_e = \frac{2 \times 4.5}{0.931} (\sqrt{0.60} - \sqrt{0.025}) = 5.96 \text{ (分)}$$

運転開始, 受水槽を H_1 まで満すに要する時間は図 2-8 を利用して

$$\mu\sqrt{H_1} = 0.72 \text{ (m}^3\text{/min)}, \mu\sqrt{H_2} = 0.15 \text{ (m}^3\text{/min)}$$

(3.6) 式によって

$$t_f = \frac{2 \times 4.5}{0.931} \left[\frac{2.3 \times 0.8}{0.931} \log \frac{0.8 - 0.15}{0.8 - 0.72} - (\sqrt{0.60} - \sqrt{0.025}) \right] = 11.44 \text{ (分)}$$

平均流量は (3.7) 式によつて

$$Q_m = \frac{0.8 \times 11.44}{5.96 + 11.44} = 0.526 \text{ (m}^3\text{/min)}$$

ポンプ揚水量を $Q_i=0.8$ (m³/min) に制水弁によつて制限すると平均流量の $Q_m=0.526$ (m³/min) が得られ, ポンプ休止時間は 5.96 (分), ポンプ運転時間は 11.44 (分), 計 17.40 (分) となり, この時間毎

にスイッチの開閉が一回行なわれることになる。これはモーター起動の動力損失の点を考えてみると, 時間間隔が狭く急がし過ぎるもののような小さな寸法のものとしたが, 将来予算が充分について改良する余裕ができたときには受水槽容量を大きく改良して, 水面自動制御装置を活用してポンプを断続運転し, 動力を節約することが望ましい。

(5) 流入量と流出量の変化

ポンプ休止したままオリフィスから流出させれば, 受水槽内の水位は降下する一方であり, $H_1=0.60$ m より $H_2=0.025$ m まで水位が降下するにつれての流出量は (3.2) 式で求められるが, その結果は表 3-1 に示すごとくになる。表中 t は流出に要した時間を意味する。

表 3-1 ポンプ休止時

水槽水頭 H (m)	流量 Q (m ³ /min)	排除時間 t (分)
0.60	0.72	0
0.50	0.66	0.65
0.40	0.59	1.37
0.30	0.51	2.19
0.20	0.42	3.17
0.10	0.29	4.43
0.025	0.15	5.96

つぎにポンプを運転し, 受水槽を満す場合は $Q_i=0.8$ (m³/min) として

$$\sqrt{H_2} = 0.1582, \mu\sqrt{H_2} = 0.1472$$

オリフィスよりの流量は $\mu\sqrt{H_1}$ により, H_1 にいたる時間は (3.6) 式によつて表 3-2 を得る。

表 3-2 ポンプ運転, 受水槽を満す場合

H_1 (m)	H_2 (m)	$Q = \mu\sqrt{H}$ (m ³ /min)	$\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}$ (m ^{1/2})	$\log \frac{Q_i - \mu\sqrt{H_2}}{Q_i - \mu\sqrt{H_1}}$	t (min)	$T = t_e + t$
0.10	0.025	0.2944	0.1580	0.1110	0.595	6.56
0.20	0.025	0.4164	0.2890	0.2309	1.623	7.58
0.30	0.025	0.5099	0.3895	0.3522	2.972	8.93
0.40	0.025	0.5888	0.4743	0.4901	4.789	10.75
0.50	0.025	0.6583	0.5489	0.6634	7.386	13.35
0.60	0.025	0.7212	0.6164	0.9183	11.44	17.40

これを図示したものが図 3-2 である。

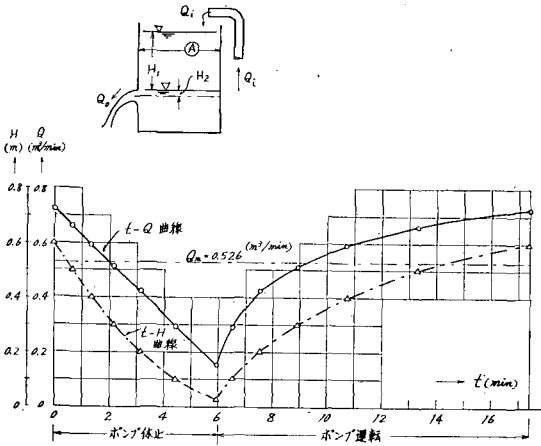


図 3-2 時間—水位および時間流出量曲線
($Q_0=0.8 \text{ m}^3/\text{min}$, $H_{\text{max}}=0.60 \text{ m}$)

IV. 温水池構造

前記の方針に従って受水槽に入った水は 3 個の直径 5 cm の標準ポンスレー型オリフィスより流出する。オリフィス中心を基準とした時の水頭と 3 個のオリフィスからの流量との関係は図 2-8 の $Q-H$ 曲線と与えられる。動力節約の点からみれば受水槽は大きいほどよいのであるが、予算の点から無筋コンクリート作りとした関係で大きさにおのずと制限があり、一応図 4-4 (a), (c) に示すようになったが、この大きさでは III で論じたようにポンプ運転休止の時間が短かすぎて、果して動力の節約になるのかどうか疑問であり、またモータやポンプの維持の点からみて好ましくないようである。つぎにこれより 3 個のオリフィスを通して流出した水は分岐水路によって漸次拡大され、それぞれ幅 5 m の温水池に連絡する。これを図 4-4 (b) に示す 3 条の温水池水路は延長 5 m ごとに高さ 2 cm ずつの階段によって一種の落差工を形作り、それぞれ 7 mm の越流水深をもって越流し各小水域の中を水深 20 cm で流れるが、この際できるだけ斉一になるように流れを整え、流れが偏向したり停滞したり、または循環しないように心懸けた。繰返していうが、このことは温水池の設計に非常に肝心なことで、いわゆる死水地域を作らないようにしなければならない。分岐水路は受

水槽出口では放射角の 3 等分線によって $17^\circ 43'$ ずつに仕切られるが、温水池への流入点ではそれぞれ幅員が 5 m にならなければならないから、導流隔壁間に挟まれる角度は等角にはならない。ポンスレー、オリフィスからのジェットの落口は洗掘のおそれもあり、また地下浸透水を遮断する意味で薄いコンクリートの水叩き装工を施行した。

越流ぜき断面は図 4-5 に示すごとくである。前記のごとく各水域水深は一応 20 cm と決めたがこれは一たん施行したのち、様子を見て水深をいろいろ変えて観測を行ない、最良の水深を選定するために高さを変更し易いように槽板材を用い、基部の溝にアスファルトを注入して木板をとめて越流ぜき預部を形作るようにした。しかし使用後の結果によればひずみや反りが甚だしく、このため温水池としての大切な要件である整流の効果を著しく害しているの、近く鉄材に取り換えることにしている。なお幅員 0.30 m は人が歩き得るだけの余裕を持たせるためである。基礎には割栗を施して、不同沈下や凍上の害をすこしでも少なくするように配慮した。図 4-1 は温水池平面図、図 4-2 はその縦断面図を示し、図 4-3 は横断面図である。

図 4-6 は 14 個階段の温水池を経て暖められた水の最後の受口である承水路断面を示すものである。底こう配を $i=1/2000$ として必要断面を計算した。図 4-6 に示した水深における計算資料を示せば表 4-1 のごとく $Q=1.32 \text{ (m}^3/\text{min)}$ の流量を流し得る。

図 4-7 は温水池横断面図で、導流隔壁と迂廻用水路の構造詳細である。

図 4-8 は承水路および用水路縦断面図である。

温水池の階段工コンクリート部には直径 50 mm の水抜き用の小孔を設け、使用中は鉄板の止水板を下しておく。初冬のころ、たとえば降雪が暖等に遇って解け、水溜りの状態になったとき急激に寒気がきて凍結などすれば、すべてが凍上するおそれがあるから、これを避けるため設けたものである。工費節約のため盛土幅も狭く階段工、導流壁などのコンクリート工の根入深さなども少ないために温水池の地表面が土砂のままでは漏水もあ

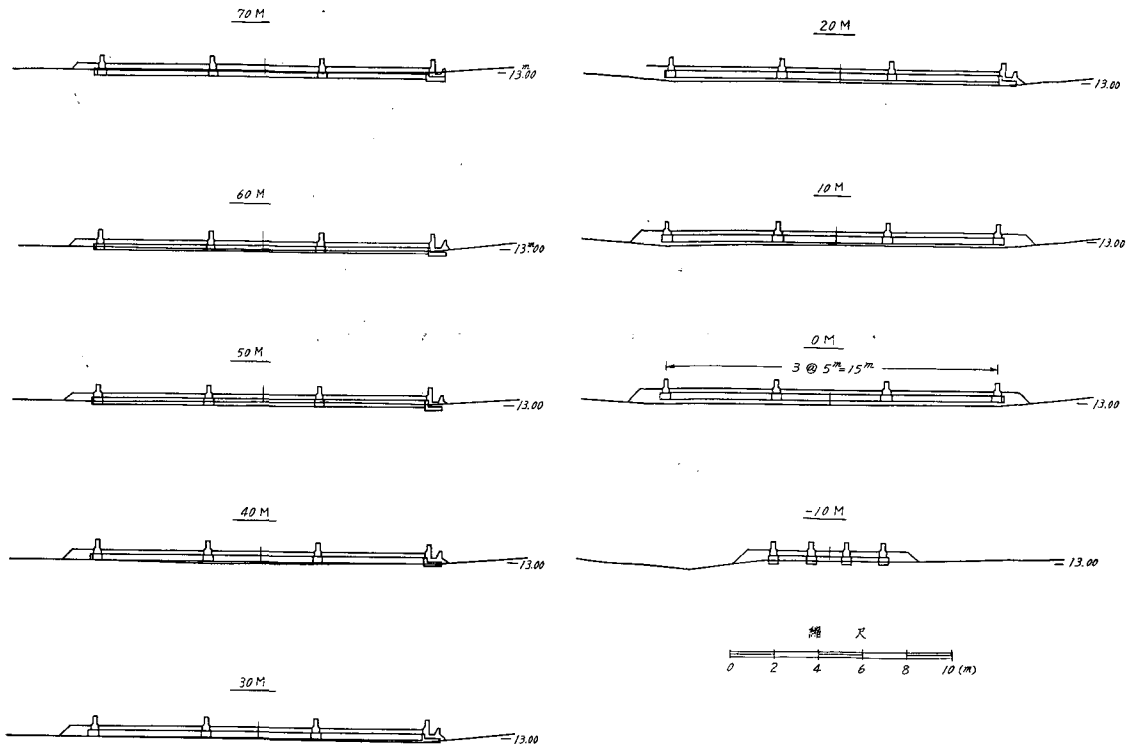


図4-3 温水池横断面図

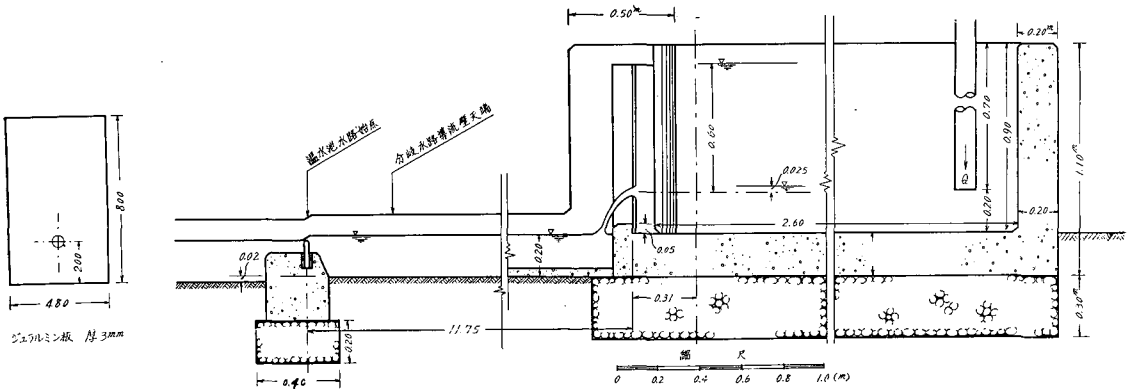


図4-4 (a) 受水槽および分岐水路縦断面図

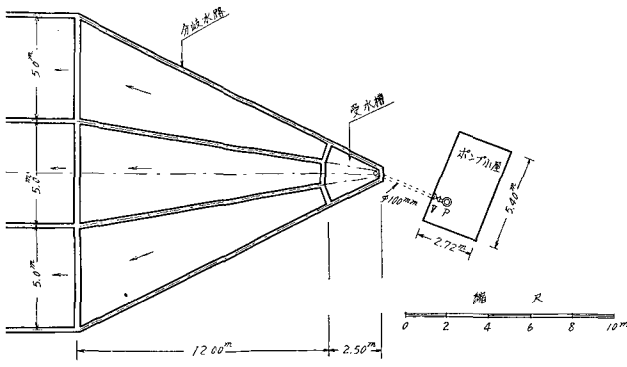


図4-4 (b) 受水槽および分岐水路平面図

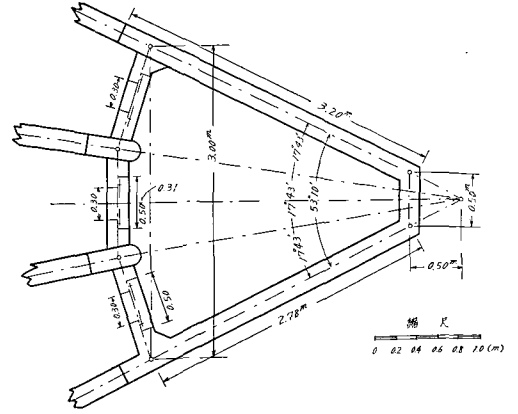


図4-4 (c) 受水槽平面図

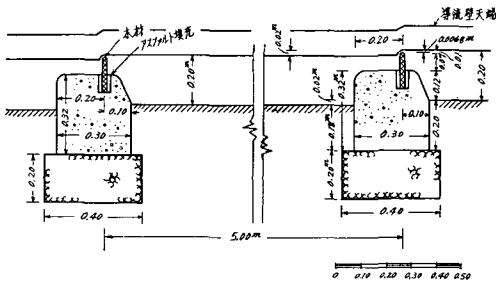


図4-5 越流ゼキ断面図

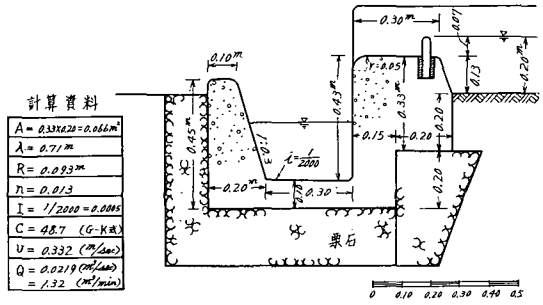


図4-6 承水路断面図

計算資料

$A = 0.33 \times 0.20 = 0.066 \text{ m}^2$
$\lambda = 0.71 \text{ m}$
$R = 0.093 \text{ m}$
$n = 0.013$
$i = 1/2000 = 0.0005$
$C = 48.7 \text{ (K-G式)}$
$v = 0.332 \text{ (m/sec)}$
$Q = 0.0219 \text{ (m}^3\text{/sec)}$
$= 1.32 \text{ (m}^3\text{/min)}$

表4-1 承水路計算資料

断面積 $A \text{ (m}^2\text{)}$	潤辺 $\lambda \text{ (m)}$	径 深 $R \text{ (m)}$	粗度係数 n	動水こう配 I	シエー係数 $c \text{ (m}^2\text{/sec)}$	平均流速 $v \text{ (m/sec)}$	流 量 $Q \text{ (m}^3\text{/min)}$
0.066	0.71	0.093	0.013	0.0005	(K-G式) 48.7	0.332	1.32

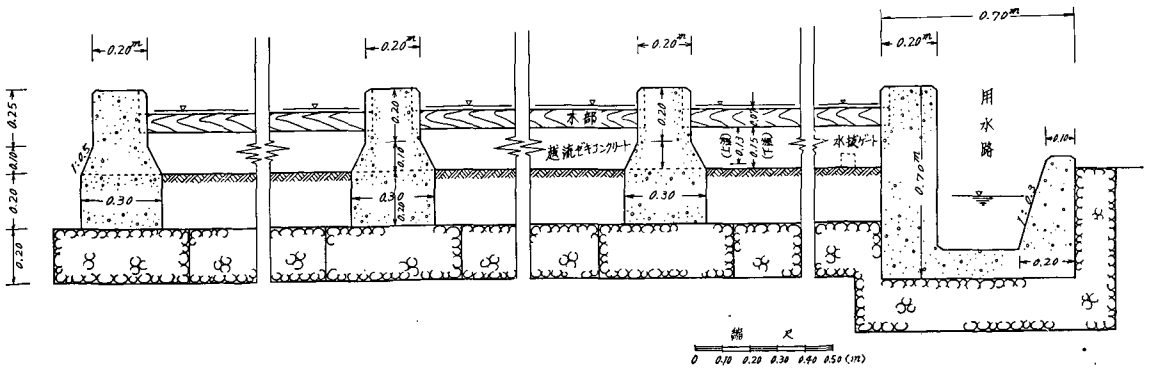


図4-7 導流隔壁と用水路断面図

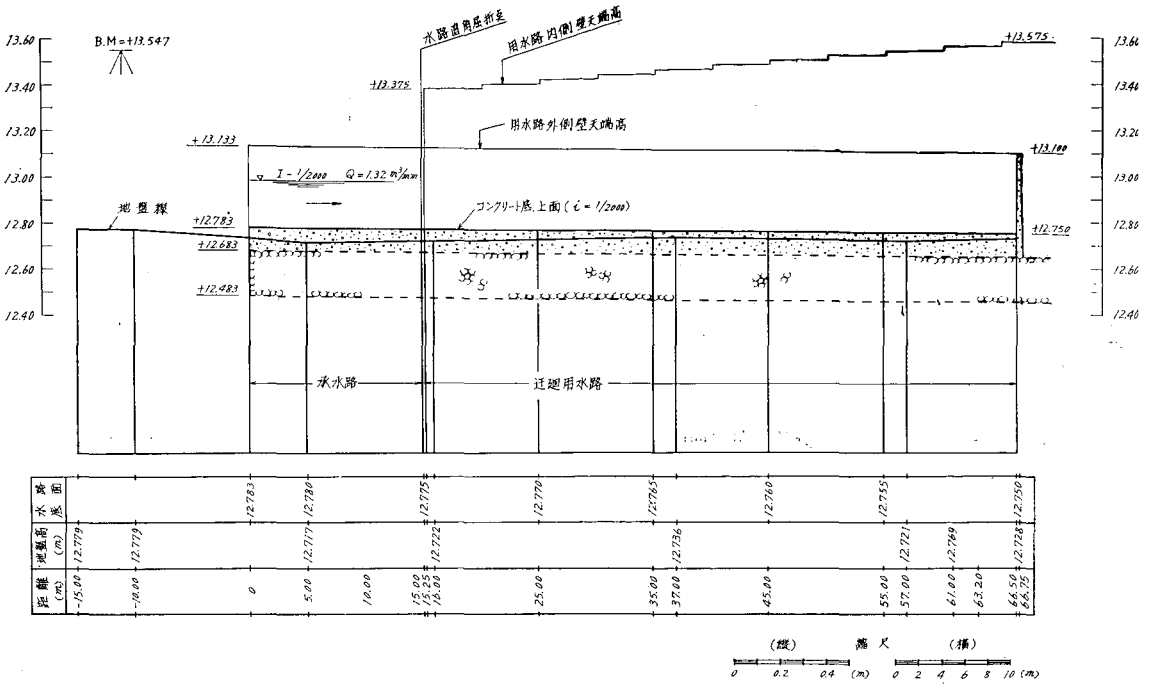


図4-8 承水路および用水路縦断面図

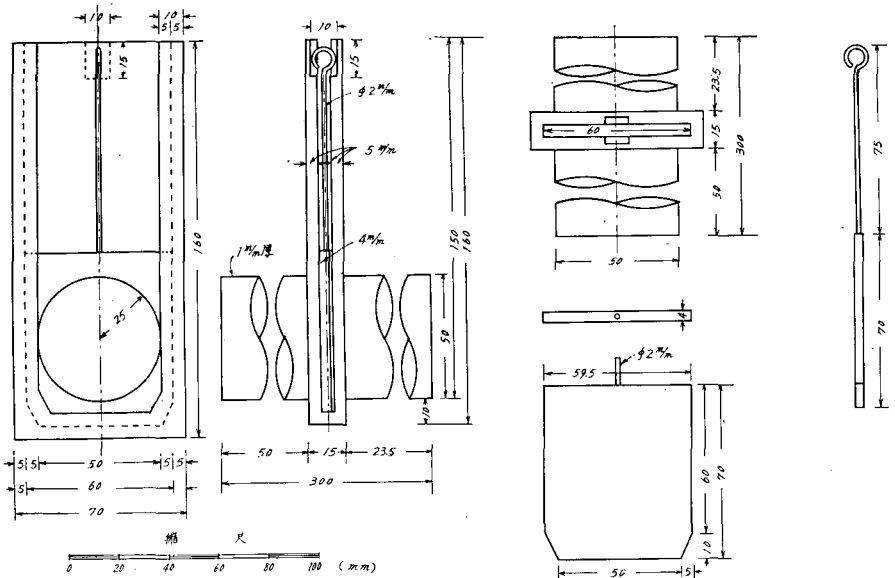


図4-9 水 抜 き 孔

るようであり、また水草など繁茂のおそれもありあわせて日射による熱量吸収の意味からみても温水池の底はアスファルト装工が望ましいので、近いうちに厚さ 3 cm 程度のアスファルト装工を施す予定になっている。装工前に除草剤を散布すれ

ばよし類のような強力な草による被害を防止できる。

図 4-10 は用水分岐と水田への導入のための直径 300 mm のヒューム管、制水門および水たたき部の詳細である。

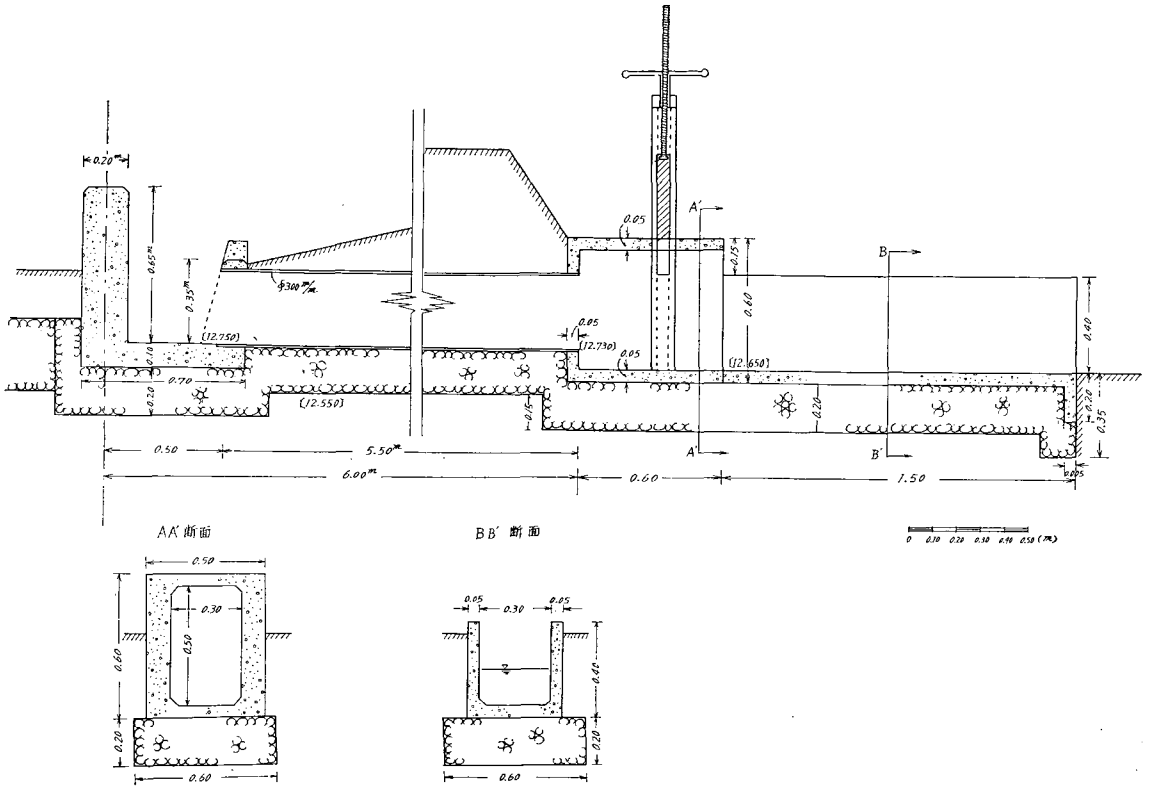


図 4-10 分岐水路用ヒューム管、水門および水たたき部

またポンスレー型オリフィスによって流量は求められるが、さらに正確を期するために迂廻用水路中に 3 インチ (7.6 cm) 型パーシャルフルーム (Parshall flume) を設置して用水量の正確な計量をする予定にしている。3 インチ型の流量は (4.2)

式またに近似的に (4.3) 式によって算定することができる。構造は図 4-11 に示すようなもので低落差に用いることができ精度も高く、土砂の堆積が起らない利点を有する。

表 4-2 7.6 (cm) 型パーシャルフルーム寸法 (cm)

B	A	C	D	E	F	G	K	L	N	Q (ℓ/sec)	
										max	min
7.6	46.7	45.7	17.8	25.9	40.6	15.2	30.5	2.5	5.71	3.12	0.6

小型パーシャル・フルームに対する一般式は
 $Q = 0.37162 B (6.4579)^p \cdot H^{1.570p}$ (m-sec) (4.1)
 ここに Q: 流量 (m³/sec)

H: 上流部 A 点の水深 (m)
 B: 咽喉部の幅 (m)
 $p = B^{0.026}$

7.6 cm 型では次式が用いられる

$$Q = 0.992 H^{1.547} \text{ (ft-sec)}$$

これを m-sec 単位に換算すれば

$$Q = 0.1765 H^{1.547} \text{ (m-sec)} \quad (4.2)$$

または農林省設計基準掲載の式によれば

$$Q = 0.180 H^{1.55} \text{ (m-sec)} \quad (4.3)$$

である。

表 4-3 (a) は温水池工事内容調書である。

表 4-3 (a)

名 称	単位	数 量	摘 要
盛 土	m ³	585.2	ブルドーザー施工
同 上 転 圧	m ²	1014.0	ブルドーザー, ランマー使用
堀 起 埋 戻 土	m ³	220.0	
コンクリート	m ³	72.2	別紙, 型枠, 足場損料, ミキサー据付, 撤去費を含む
越流ゼキ頂木材	石	5.2	橋材, 大工手間を含む
同 上 填 充	式	1	アスファルト, ヤーン類使用
撒 出 し 切 込 み 砂 利	m ³	101.4	撒出厚さ 10 cm, 転圧手間を含む
基 礎 栗 石	"	58.0	同上突固めを含む
同 目 潰 砂 利	"	20.0	同上
水 抜 口	箇所	48	図面参照
ヒューム管	本	6	φ 300 分岐用水路用 カラー共
据付, 目地接着	式	1	
分 水 ゲ ー ト	箇所	2	図面参照
ポンプ小屋	坪	4.5	木造硝子窓, 出入口戸
直接工事費		—	
諸 経 費		—	仮設費, 運搬費, 器具損料, 保険料を含む
合 計		—	

表 4-3 (b) コンクリート 1 m³ 当り配合表 (1:2.5:5)

セメント (kg)	AE 材 ポゾリス (kg)	砂 (m ³)	砂 利 (最大径 3mm) (m ³)	水 (w/c=0.53) (ℓ)
284	1.2	0.46	0.915	151

なおコンクリート施工に当っては 4 切ミキサー (1/9 m³) を使用した。AE 材としてはポゾリス No.

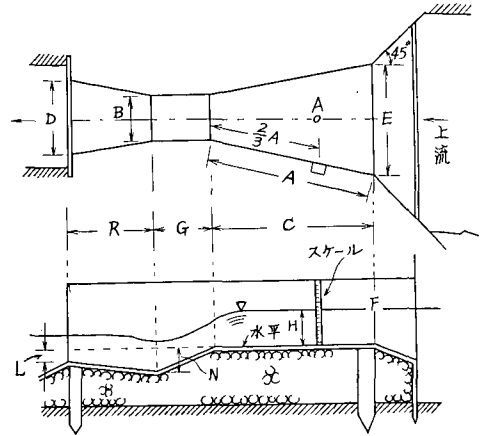


図 4-11 パーシャル・フルーム

5 を使用することとし, 10% 溶液としてミキサーに加える。10% 溶液はポゾリス 1 kg を 10 ℓ の水の割合で溶かす。4 切用ミキサー 1 バッチ分の材料は表 4-3 (c) のごとくなる。

表 4-3 (c) 4 切ミキサー 1 バッチ分材料表

セメント (kg)	ポゾリス No.5 10% 溶液 (ℓ)	砂 (m ³)	砂 利 (m ³)	水 (ℓ)
31.6 (0.63 袋)	1.5	0.051	0.102	14.1

(注) 水量はポゾリスの分を差引いたもの。

仕 様 書 (温水池工事)

1. 総 則

(1) 工事は設計書および仕様書にもとづきすべて係員の指示に従って施工しなければならない。

(2) 測量杭は大切にし, 作工物施工の前には測量杭と照し合わせることを。

(3) 遺方, 丁張を作った場合には基本測量杭と時々照合するようにする。

2. 切取, 盛土工事

(1) 切取, 盛土は丁張を設けて係員の検査を受けて施工のこと。

(2) 耕地の切取, 盛土は本工事においては心土を対象とする。耕作地における作土は一方に片寄せ, 荒蕪地の表土は草根, 種子が多いためあらかじめ取除きその下方の土を用いるものとする。

(3) 盛土中に混入した雑草, 根その他植物質のものは一切これを取除く。

(4) 温水池の地盤締固めにはブルドーザーおよびランマーを使用し均質になり、充分締固めが行なわれたと認められるまで転圧する。表面には切込砂利を撒き出し充分締固めるものとする。

(5) 盛土はあらかじめ排水して転圧作業を有効ならしめる。

(6) 土取場跡地は農耕に支障ないよう整地すること。

3. コンクリート工事

(1) コンクリートは配合容積比 1:2.5:5 を標準とする。

(2) 骨材は清浄、堅硬で粒度のよいものを用い有害不純物を含まぬものとする。

(3) 粗骨材の最大寸法は径 3 cm とする。

(4) セメントは重量で秤量し、骨材は容積で秤量する。

コンクリート 1 m³ に要する材料は次のようである。(略) 表 4-3(b) 参照

セメントは普通ポルトランド・セメントを用いることとし、湿気を吸収しないようにつとめ、骨材、とくに砂は過湿にならぬよう保管に注意し、使用に際しては水分による膨らみを補正する。使用水量は骨材水分によって補正する。

(5) ポズリスは 20~30°C の水をもって 10% 溶液としデイスベンサなどによって正確に計量混和する。

(6) 混合はミキサーをもって行ない、コンクリート材料が均等に混り合って、練上りの色が均一になるまで行なう。

(7) 練返しコンクリートは用いてはならない。

(8) コンクリートの打込は均等質なコンクリートを型枠内に堅実に詰めこみ、コンクリートの分離空隙の多いもの、または豆板状にならないように突棒でよく突固める。中央部を突固めたのち、型枠にそってスペーシングによってモルタルをせき板内面によくゆきわたらせる。モルタル分の浮上りが見えるまで突固めを続ける。コンクリート打込一層の厚さは 15 cm を標準とする。

(9) セキ板のコンクリートに接する面は入念に匏をかけ、打込みに際しては石鹼水またはこれに準ずるものを塗布する。組立は設計図に従って正

確に行ない、コンクリート打ちに際して型枠の膨らみや移動が起らないよう確実に取付けなければならない。

(10) 型枠取はずしは打設後 4 日を標準とする。ただし最低気温 5°C 以下になるときは係員の指示を仰ぐものとする。

(11) 養生は濡れ藁、またはこれに代る方法で最低 2 週間行なう。養生期間中はたえず撒水し、コンクリートが乾かないように注意する。

(12) 気温 4°C 以下のときのコンクリート打ちについては係員の指示によってコンクリートの温度保持の方法を別途に講じなければならない。

仕様書(さく井および揚水設備工事)

1. 工事内容

(1) サク井工事一式 井戸ケーシング口径 250 mm、深さ 40 m 以上、湧水量 2 m³/min 以上。

(2) 揚水ポンプ設備工事一式

(3) 付帯配管工事(付属弁などを含む)一式

(4) 水面制御用自動運転装置(電極式液面発信機、手動および自動電磁開閉装置、ならびに接続配線)一式

2. 別途工事

(1) ポンプ室建設工事一式

(2) 電力引込線配線工事

3. 機器材料仕事

(1) 井戸ケーシング JIS 規格亜鉛引鋼管(白) 径 250 mm ストレーナ付

(2) 揚水ポンプ 株式会社荏原製作所製水中モータポンプ、B.H.S 型口径 100 mm、揚水量 1 m³/min×揚程 20 m×回転数 2,900 rpm×7.5 KW 付属品一式付または株式会社神野製作所、株式会社電業社機械製作所製同級品(コンクリート基礎とも)

(3) 配管材料 JIS 規格亜鉛メッキ鋼管(白)、日本鋼管株式会社、住友金属工業株式会社、三機工業株式会社製品

接手、JIS 規格亜鉛メッキ接手(白) 日立金属工業株式会社、理研ピストンリング工業株式会社製同級品

(4) 止 弁 大和バルブ工業株式会社、三吉機械工業株式会社製または同級品、JIS 規格品

10 kg/m² 合格品, ゲート弁

(5) 水面制御用自動運転装置

- i 富士電気製造株式会社製, 電極式液面発信機リレー共, 型式 RF 460 型, 上下限発信用または同級品
- ii 壁掛型操作盤, 鋼板製電磁開閉器, 型式 RC 3931-4 型, 7.5 KW×200 V×50 サイクル用
- iii 押釦開閉器, 手動, 自動切替用, 型式 K 138 E-2 U 型
- iv 表示灯(運転, 停止, 高水, 低水位)
- v RC 50—3×2 個
- vi 電流計 1 個
- vii 電圧計 1 個
- viii 電源 AC, 200 V×50 サイクル

4. 注意事項

- (1) さく井ボーリング中は土層の土砂見本を採取提示すること。
- (2) ケーシング, ストレーナの寸法および取付位置については担当係員と協議の上決定する。
- (3) 揚水試験は新設ポンプの揚水量 (1 m³/min) 以上の能力を有する他のポンプを用い, 相当時間

連続運転し, 井水清澄の上試料を採取し, 当該機関の水質検査を受け, 検査証を本学に提示するものとする。

(4) 井戸および揚水ポンプなどの総合性能試験は工事完成後担当係員立合のもとに行なう。

(5) 竣功引渡後の補償期間は一箇年とし故障その他手直し, 調整などの責任を負うものとする。

以上は本工事の仕様概要であるが, 本仕様書ならびに付図に記載のない事項で, 本工事施工に当り必要と認められる事項についてはすべて係員と事前打合せの上完全に施工するものとする。

V. 水温の観測 (1961年6月~8月)

当教室では 1961 年 6 月より 8 月に亘り 10 時と 14 時との 2 回ずつ水温観測を行なった。観測箇所は 3 列の水路のうち左右の 2 列に対しては, 各ブロックごとに 1 点ずつとし, 中央水路に対しては左右 2 点ずつを取って都合 4 観測値の平均をもって各ブロックの水温とした。途中都合によって観測値を欠くときもあったが大体は続けて取った。これを表 5-1 に掲載する。

表 5-1 (a) 温水池水温観測値 (10時)

(1) 6 月上旬 (10時)

測点 \ 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
受水槽	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7
0	10.6	11.4	10.6	10.7	10.4	10.0	11.5	13.2	12.4	12.8	11.4
1	11.2	12.0	11.3	11.5	10.7	11.0	12.4	13.6	13.2	13.8	12.1
2	11.6	13.5	11.8	12.2	11.2	11.7	13.3	13.9	14.1	14.6	12.8
3	11.9	14.1	12.2	12.4	11.5	12.1	13.7	14.4	14.4	15.1	13.2
4	12.4	14.6	12.7	13.2	11.7	12.6	13.9	15.3	15.1	15.7	13.7
5	12.5	15.1	13.1	13.5	12.0	13.1	14.2	15.7	15.6	16.1	14.1
6	12.8	15.4	13.8	13.9	12.1	13.2	14.5	16.1	16.0	16.4	14.4
7	13.2	15.8	14.6	14.5	12.3	14.0	14.8	16.5	16.4	16.5	14.9
8	13.4	15.9	14.6	15.6	12.5	14.6	14.8	16.9	16.9	16.7	15.2
9	13.8	16.1	15.2	16.5	12.7	15.0	15.0	17.1	17.2	17.2	15.6
10	13.9	16.2	15.5	16.8	12.8	15.1	15.1	17.3	17.4	17.4	15.7
11	14.1	16.1	15.6	17.0	12.8	15.3	15.2	17.4	17.6	17.4	15.9
12	14.4	16.3	15.8	17.3	12.9	15.4	15.2	17.6	17.7	17.3	16.0
13	14.5	16.6	16.1	17.3	13.0	15.6	15.3	17.8	17.8	17.4	16.1
14	14.7	17.3	16.2	17.5	13.3	15.5	16.7	18.0	17.9	17.5	16.5

(2) 6月中旬(10時)

測点 \ 日	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	平均
受水槽	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	—	9.7	9.7
0	13.7	10.9	11.0	10.9	11.2	11.0	10.3	10.8	—	11.1	11.2
1	14.0	11.1	11.3	11.9	12.2	12.4	10.5	11.8	—	12.8	12.0
2	14.6	11.4	11.8	12.2	12.8	13.8	10.7	12.4	—	13.7	12.6
3	15.2	11.6	12.3	12.4	13.7	14.6	11.1	12.7	—	14.8	13.2
4	15.5	11.7	13.0	12.8	14.4	15.0	11.4	13.4	—	15.8	13.7
5	15.8	12.1	13.3	13.1	14.9	15.5	11.7	13.8	—	16.5	14.1
6	16.5	12.3	13.5	13.4	15.1	16.1	12.1	14.3	—	17.3	14.5
7	17.1	12.7	13.7	13.8	15.6	16.3	12.7	14.7	—	18.0	15.0
8	17.2	12.9	13.9	13.9	16.0	16.7	13.2	15.0	—	18.4	15.2
9	17.3	13.1	14.1	14.1	16.1	16.9	13.5	15.3	—	18.8	15.5
10	17.5	13.6	14.2	14.1	16.3	16.9	13.6	15.7	—	19.2	15.7
11	17.6	13.6	14.3	14.2	16.6	17.0	13.8	15.8	—	19.5	15.8
12	17.5	13.6	14.4	14.2	16.8	17.3	13.8	15.9	—	19.7	15.9
13	17.6	13.6	14.5	14.2	16.8	17.4	13.8	16.1	—	20.0	16.0
14	17.8	13.8	14.5	14.2	16.9	17.4	13.7	16.2	—	20.0	16.1

(3) 6月下旬(10時)

測点 \ 日	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	平均
受水槽	9.7	10.0	9.7	9.7	9.9	9.8	9.7	9.7	9.7	10.0	9.8
0	10.6	11.1	10.8	10.2	11.0	11.0	11.4	11.5	10.3	11.1	10.9
1	11.3	13.7	12.8	12.0	12.3	13.0	12.1	14.0	11.2	13.1	12.6
2	11.7	14.9	14.2	12.3	13.0	14.0	13.2	15.8	11.2	14.2	13.5
3	12.1	15.9	15.1	13.2	13.3	14.8	13.6	16.5	11.5	14.9	14.1
4	12.4	16.8	16.1	13.6	14.0	15.5	14.1	17.5	11.9	15.4	14.7
5	12.8	17.4	16.8	14.3	14.3	16.2	14.8	18.0	12.0	15.9	15.3
6	13.0	18.2	17.7	15.1	15.0	16.8	15.4	18.5	12.2	16.3	15.8
7	13.2	18.7	18.3	15.6	15.2	17.3	16.1	19.1	12.5	16.6	16.3
8	13.5	19.0	18.7	15.9	15.6	17.6	16.4	19.4	12.9	16.8	16.6
9	13.8	19.4	19.2	16.3	16.0	17.8	17.2	19.8	13.2	17.0	17.0
10	13.9	19.6	19.4	16.7	16.1	18.2	17.7	20.0	13.4	17.3	17.2
11	14.0	19.9	19.7	17.0	16.3	18.5	18.0	20.3	13.5	17.4	17.5
12	14.1	20.0	19.9	17.2	16.5	18.8	18.2	20.6	14.0	17.5	17.7
13	14.3	20.2	20.0	17.6	16.7	18.9	18.4	20.9	14.0	17.7	17.9
14	14.4	20.2	20.1	17.5	16.8	20.0	18.5	21.0	14.9	17.8	18.1

(4) 7月上旬(10時)

測点 \ 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
受水槽	9.7	9.8	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	—	9.7	9.7
0	11.4	11.4	12.2	11.2	10.9	10.3	10.3	12.1	—	10.8	11.2
1	12.6	13.1	13.0	14.0	12.8	10.7	11.0	13.4	—	12.2	12.5
2	14.1	14.2	13.5	14.5	13.5	11.0	11.6	15.0	—	13.4	13.4
3	14.6	15.1	14.6	15.6	14.9	11.3	12.4	16.4	—	14.7	14.4
4	15.7	16.0	14.8	16.8	15.7	11.7	12.9	17.2	—	15.3	15.1
5	16.2	16.8	15.0	17.8	16.2	12.3	13.4	18.0	—	16.0	15.8
6	16.8	18.0	15.3	18.2	16.8	12.8	13.7	18.8	—	16.8	16.4
7	16.9	18.3	15.6	19.0	17.2	13.1	13.8	19.5	—	16.9	16.7
8	17.2	18.7	15.7	19.6	17.9	13.3	14.0	19.8	—	17.1	17.0
9	17.5	19.0	15.9	19.6	18.1	13.6	14.5	20.4	—	17.2	17.3
10	17.7	19.4	16.0	20.0	18.4	13.6	14.9	20.6	—	17.4	17.5
11	18.0	19.8	16.5	20.0	18.6	13.7	15.0	21.2	—	17.5	17.8
12	18.1	19.9	16.6	20.6	18.6	13.8	15.3	21.2	—	17.9	18.0
13	18.3	20.1	16.9	21.2	19.1	13.9	15.4	21.2	—	18.1	18.2
14	18.4	20.2	17.1	21.2	19.4	14.0	15.7	21.1	—	18.1	18.4

(5) 7月中旬(10時)

観測値なし

(6) 7月下旬(10時)

測点 \ 日	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	平均
受水槽	—	—	—	10.0	—	9.9	9.9	9.9	9.8	10.1	9.8	9.9
0	—	—	—	12.2	—	10.2	10.3	10.2	10.8	10.9	10.3	10.7
1	—	—	—	13.8	—	11.9	12.0	11.2	12.2	12.2	12.5	12.3
2	—	—	—	14.1	—	12.2	12.0	11.5	11.9	12.5	13.0	12.5
3	—	—	—	14.8	—	12.8	12.2	11.9	12.5	13.2	13.2	12.9
4	—	—	—	15.9	—	13.8	12.7	12.2	13.2	13.5	13.9	13.6
5	—	—	—	17.0	—	14.3	13.1	13.0	14.2	14.2	14.8	14.4
6	—	—	—	17.9	—	14.9	13.7	13.2	14.8	14.8	15.6	15.0
7	—	—	—	18.8	—	15.2	14.2	13.9	15.2	15.8	16.2	15.6
8	—	—	—	19.2	—	16.0	14.6	14.0	16.0	16.0	16.5	16.0
9	—	—	—	19.9	—	16.5	15.0	14.9	16.5	16.2	17.0	16.6
10	—	—	—	20.3	—	16.9	15.3	15.0	17.1	16.5	17.9	17.0
11	—	—	—	20.5	—	17.0	15.7	15.2	17.5	16.9	18.0	17.3
12	—	—	—	21.0	—	17.9	15.9	15.9	17.8	17.0	18.2	17.7
13	—	—	—	21.3	—	17.9	16.2	16.2	18.2	17.2	18.5	18.0
14	—	—	—	21.5	—	17.9	16.2	16.2	18.2	17.2	18.7	18.0
承水路	—	—	—	21.5	—	17.9	16.3	16.0	18.2	18.5	19.0	18.2

(7) 8月上旬(10時)

測点 \ 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
受水槽	—	9.8	9.8	9.8	9.8	—	—	9.8	9.8	9.8	9.8
0	—	10.3	10.2	9.8	10.3	—	—	10.0	10.0	9.8	10.6
1	—	11.4	12.4	10.5	11.9	—	—	11.6	11.5	10.2	11.4
2	—	11.7	12.9	11.1	12.5	—	—	11.9	11.8	11.2	11.9
3	—	12.3	13.0	11.5	12.9	—	—	12.0	12.0	11.5	12.1
4	—	12.2	13.8	12.0	13.0	—	—	12.3	12.6	12.1	12.6
5	—	13.0	14.9	12.5	14.0	—	—	12.9	13.1	12.7	13.3
6	—	13.6	15.6	13.3	14.9	—	—	13.0	13.2	12.9	13.8
7	—	14.3	16.5	15.2	15.6	—	—	13.6	13.6	13.7	14.6
8	—	14.2	17.2	15.7	16.2	—	—	14.0	13.8	14.2	15.0
9	—	14.5	17.9	16.2	16.7	—	—	14.2	13.9	14.6	15.4
10	—	15.2	18.6	17.0	17.5	—	—	15.0	14.2	14.9	16.1
11	—	15.5	19.0	17.0	17.8	—	—	14.5	14.7	15.0	16.2
12	—	15.9	20.0	17.2	18.2	—	—	15.0	14.9	15.2	16.6
13	—	16.0	20.2	17.5	19.0	—	—	15.2	15.0	15.8	17.0
14	—	16.0	20.3	17.7	18.5	—	—	15.0	15.0	16.1	16.4
承水路	—	16.2	20.3	17.7	19.0	—	—	15.0	15.2	16.1	17.1

(8) 8月中旬(10時)

測点 \ 日	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	平均
受水槽	9.8	—	—	9.9	10.1	9.9	9.9	—	10.0	—	9.9
0	10.5	—	—	12.2	11.0	11.1	11.4	—	10.9	—	11.2
1	11.6	—	—	13.9	12.6	13.0	12.3	—	12.5	—	12.7
2	11.9	—	—	13.9	13.5	14.0	12.5	—	12.7	—	13.1
3	12.0	—	—	14.1	13.9	15.1	13.6	—	13.5	—	13.7
4	12.9	—	—	14.9	14.3	15.4	14.3	—	14.0	—	14.3
5	13.2	—	—	15.2	15.1	15.8	15.8	—	14.4	—	14.9
6	14.0	—	—	16.3	15.2	15.8	16.4	—	14.9	—	15.4
7	14.0	—	—	17.1	16.1	16.5	17.0	—	15.2	—	16.0
8	14.2	—	—	18.0	16.1	16.7	17.9	—	15.5	—	16.4
9	14.9	—	—	18.5	16.5	16.8	18.1	—	15.5	—	16.7
10	14.9	—	—	19.1	16.9	17.2	18.3	—	16.2	—	17.1
11	15.1	—	—	19.5	17.2	17.7	18.5	—	16.2	—	17.4
12	15.1	—	—	20.2	17.9	18.3	18.6	—	16.2	—	17.7
13	15.3	—	—	21.1	18.2	18.4	18.8	—	17.0	—	18.1
14	15.3	—	—	21.1	18.3	18.4	18.5	—	16.2	—	18.0
承水路	15.2	—	—	20.9	18.2	18.4	18.8	—	17.2	—	18.1

表5-1 (b) 温水池水温観測値 (14時)

(1) 6月上旬(14時)

測点 \ 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
受水槽	9.7	9.8	9.7	9.7	10.0	—	9.7	9.7	10.0	9.7	9.8
0	11.7	10.7	10.5	11.5	10.8	—	12.2	12.2	11.2	13.3	11.61
1	12.6	11.2	11.5	12.4	12.5	—	12.6	13.2	12.8	13.7	12.50
2	13.5	11.8	12.3	13.8	13.3	—	14.0	15.0	14.2	14.4	13.6
3	14.1	12.3	12.5	14.6	13.8	—	15.1	15.6	15.0	14.9	14.3
4	14.8	12.9	13.1	15.6	14.8	—	16.0	16.4	16.0	15.3	15.0
5	15.4	13.3	13.7	16.5	15.8	—	16.5	17.0	16.7	15.9	15.6
6	15.8	14.3	14.4	17.7	16.9	—	17.5	18.0	17.6	16.3	16.3
7	16.4	14.9	15.0	18.6	17.5	—	18.2	19.0	18.1	16.8	17.2
8	16.6	15.3	15.6	18.9	18.2	—	18.9	19.5	18.9	17.1	17.7
9	17.1	16.2	16.2	19.5	18.9	—	19.3	20.0	19.6	17.8	18.3
10	17.4	16.9	16.9	20.2	19.2	—	20.2	20.4	20.1	17.9	18.8
11	17.6	17.6	17.4	20.4	19.6	—	20.7	20.7	20.4	18.3	19.2
12	17.4	17.9	17.6	20.8	19.9	—	20.5	21.3	20.5	18.7	19.4
13	17.0	19.0	18.0	20.8	19.7	—	20.3	21.1	20.5	19.7	19.6
14	17.2	19.7	18.0	20.9	19.5	—	20.2	20.8	20.6	20.8	19.7

(2) 6月中旬(14時)

測点 \ 日	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	平均
受水槽	—	9.7	9.6	9.7	9.7	9.7	9.5	—	9.6	9.7	9.7
0	—	10.3	10.0	10.5	11.0	11.2	10.4	—	10.9	10.8	10.6
1	—	10.4	10.4	11.0	12.6	13.1	11.9	—	11.3	12.7	11.7
2	—	10.5	10.5	12.0	13.5	14.4	13.0	—	13.5	14.1	12.7
3	—	10.6	11.0	12.7	14.1	15.8	13.7	—	13.9	14.8	13.3
4	—	10.8	11.4	13.4	15.0	16.4	14.5	—	14.7	16.0	14.0
5	—	11.1	11.7	13.8	15.8	17.7	15.0	—	15.5	16.9	14.7
6	—	11.1	12.2	14.5	16.3	19.2	15.5	—	16.9	17.8	15.4
7	—	11.2	12.7	15.2	17.3	19.8	15.9	—	17.6	18.6	16.0
8	—	11.4	12.9	16.0	18.3	21.0	16.4	—	17.8	19.5	16.7
9	—	11.7	13.4	16.5	18.9	21.4	16.6	—	18.4	20.2	17.1
10	—	11.9	14.1	16.9	19.6	22.2	16.9	—	19.2	20.8	17.7
11	—	12.2	14.9	17.1	20.5	22.8	17.1	—	19.7	21.0	18.2
12	—	12.6	15.2	17.5	20.7	22.9	17.2	—	20.0	21.3	18.4
13	—	13.2	15.4	17.8	20.4	22.6	17.3	—	20.1	21.7	18.6
14	—	13.5	15.9	17.8	20.4	22.6	17.3	—	20.0	21.7	18.6

(3) 6月下旬(14時)

测点 \ 日	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	平均
受水槽	9.7	10.2	9.7	9.8	9.6	10.0	9.9	—	9.7	—	9.8
0	10.5	10.9	11.0	10.6	11.2	11.8	11.4	11.0	10.7	—	12.4
1	10.8	12.9	14.6	11.0	12.4	13.9	12.1	13.4	12.5	—	14.2
2	11.2	14.0	14.6	11.4	13.3	14.6	13.2	15.1	13.2	—	15.1
3	11.5	14.7	14.8	11.9	14.0	16.2	13.6	16.8	13.7	—	15.9
4	11.8	15.8	15.6	12.2	14.8	17.4	14.1	17.9	14.6	—	16.8
5	12.2	17.0	16.3	12.5	15.6	18.8	14.8	20.0	15.0	—	17.8
6	12.8	18.0	17.2	13.2	16.2	20.0	15.4	20.9	15.8	—	18.7
7	13.0	19.2	18.2	13.6	16.9	21.1	16.1	21.9	16.2	—	19.5
8	13.2	20.4	18.8	14.1	17.4	22.1	16.4	23.4	16.6	—	20.3
9	13.8	21.5	19.7	14.8	18.1	23.0	17.2	24.1	17.1	—	21.2
10	14.1	22.0	20.7	15.0	18.4	23.6	17.7	25.0	17.5	—	21.8
11	14.2	22.6	21.0	15.5	18.7	24.1	18.0	25.0	17.6	—	22.1
12	14.6	23.0	21.2	16.0	18.9	24.4	18.2	25.0	18.0	—	22.4
13	14.9	23.4	21.3	16.3	19.2	24.2	18.4	24.8	18.2	—	22.6
14	15.0	23.4	21.3	16.6	19.4	24.0	18.5	24.3	18.3	—	22.6

(4) 7月上旬(14時)

测点 \ 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
受水槽	10.2	—	10.3	—	9.7	9.7	9.7	9.7	—	9.7	9.8
0	12.0	—	13.9	—	10.5	10.6	11.5	11.9	—	10.7	11.6
1	13.7	—	14.9	—	11.6	12.3	12.1	13.8	—	11.1	12.8
2	15.0	—	17.0	—	13.1	12.8	13.0	15.8	—	11.8	14.1
3	15.2	—	18.3	—	14.5	13.3	13.3	17.2	—	12.4	14.9
4	17.0	—	19.9	—	15.7	14.6	13.7	18.5	—	13.2	16.1
5	17.3	—	20.5	—	17.1	14.8	14.8	19.5	—	13.6	16.8
6	18.2	—	21.6	—	18.0	15.4	15.2	20.8	—	14.5	17.7
7	19.0	—	21.6	—	20.0	15.8	15.4	22.2	—	15.3	18.5
8	19.8	—	21.9	—	20.4	16.5	16.0	23.3	—	15.7	19.0
9	20.5	—	22.1	—	21.7	16.7	16.3	24.5	—	16.1	19.7
10	21.1	—	22.8	—	22.6	17.3	16.8	25.0	—	16.5	20.3
11	21.4	—	22.5	—	23.1	17.5	17.0	25.4	—	18.8	20.8
12	21.3	—	22.0	—	23.5	17.9	17.0	25.1	—	20.2	21.00
13	21.1	—	21.3	—	23.6	18.1	17.3	26.1	—	23.0	21.5
14	21.1	—	20.9	—	23.6	18.1	17.8	25.8	—	24.3	21.7

(5) 7月中旬(14時)

測点 \ 日	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	平均
受水槽	—	—	—	—	9.9	9.9	9.9	—	9.8	—	9.9
0	—	11.2	—	—	11.0	11.0	11.3	11.0	11.3	11.2	11.1
1	—	14.0	—	—	13.6	13.3	13.7	14.2	14.5	14.7	14.0
2	—	14.2	—	—	14.3	14.0	14.7	15.2	14.4	14.9	14.5
3	—	14.8	—	—	15.8	15.5	15.3	15.9	15.4	15.2	15.4
4	—	15.8	—	—	17.0	16.7	16.8	17.0	16.9	16.1	16.6
5	—	16.6	—	—	18.2	18.1	18.5	18.5	18.5	17.7	18.0
6	—	17.2	—	—	19.9	20.0	21.1	20.0	19.9	19.0	19.6
7	—	18.4	—	—	21.2	21.8	21.1	21.6	20.7	19.8	20.7
8	—	19.0	—	—	22.1	22.8	23.0	23.0	21.5	20.8	21.7
9	—	19.8	—	—	22.9	23.8	24.2	23.2	22.3	21.9	22.5
10	—	20.2	—	—	23.1	24.3	25.0	23.9	23.0	22.0	23.1
11	—	20.2	—	—	23.3	24.3	25.1	24.0	23.0	22.9	23.3
12	—	20.9	—	—	23.6	25.0	25.1	23.8	22.9	22.8	23.4
13	—	21.1	—	—	23.4	25.0	25.0	23.8	22.8	22.8	23.4
14	—	21.1	—	—	23.4	24.5	24.9	23.8	22.8	22.7	23.3

(6) 7月下旬(14時)

測点 \ 日	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	平均
受水槽	9.0	9.9	—	10.0	9.9	10.2	9.9	10.0	9.9	9.9	9.9	9.9
0	12.6	11.9	11.0	10.8	10.2	10.8	11.5	10.3	10.2	10.8	10.5	11.0
1	13.5	13.5	12.7	13.5	11.9	12.8	13.2	13.0	10.2	11.9	10.9	12.0
2	13.7	14.8	14.0	14.0	12.2	13.2	14.2	13.9	13.5	12.5	11.2	13.4
3	14.6	15.2	14.8	14.2	13.0	14.0	14.9	14.2	15.5	12.8	11.5	14.1
4	15.9	15.5	16.0	15.2	13.9	15.2	15.8	15.8	14.2	13.0	12.0	14.8
5	17.0	16.2	17.1	17.0	15.0	16.8	16.7	16.7	15.5	13.2	13.1	15.8
6	18.0	17.0	18.0	18.5	15.5	17.2	17.8	17.2	16.9	14.2	14.2	16.8
7	19.0	17.6	19.0	20.0	16.0	18.2	18.9	18.0	17.2	15.0	15.0	17.6
8	19.8	18.1	19.2	21.0	17.0	18.9	19.2	18.1	18.9	15.5	16.2	18.4
9	20.4	18.9	20.7	22.8	17.2	19.8	20.2	19.2	19.2	16.2	16.9	19.2
10	21.2	19.2	21.0	24.1	17.8	20.2	20.9	19.2	20.2	17.9	17.8	20.0
11	21.8	19.2	20.8	24.8	18.0	20.2	21.0	19.9	20.8	17.9	18.0	20.2
12	22.0	19.5	21.0	25.2	18.2	21.0	21.1	20.2	21.2	18.9	18.8	20.6
13	22.2	19.9	21.1	25.2	18.5	21.5	21.2	20.0	21.9	19.2	19.5	20.9
14	22.8	19.9	21.1	25.2	19.8	21.2	21.2	20.0	22.0	19.2	19.9	21.1
承水路	—	20.0	—	25.2	18.8	21.2	21.5	20.0	22.0	20.2	20.2	21.0

(7) 8月上旬(14時)

測点 \ 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
受水槽	—	10.8	9.9	9.4	9.3	—	9.5	9.5	9.8	9.5	9.7
0	—	10.8	10.6	10.3	9.5	—	10.2	10.2	10.5	10.4	10.3
1	—	11.5	10.9	11.7	10.6	—	10.5	11.2	12.5	11.7	11.3
2	—	11.9	11.0	11.8	12.2	—	10.9	11.2	12.5	12.4	11.7
3	—	12.0	11.5	12.4	13.9	—	11.2	11.5	13.2	12.6	12.3
4	—	12.2	11.9	13.0	13.9	—	11.3	11.9	14.0	13.1	12.5
5	—	13.2	12.2	13.0	14.8	—	11.9	12.2	14.9	13.3	13.2
6	—	14.0	12.5	13.1	15.9	—	12.5	12.9	15.5	13.5	13.7
7	—	14.5	13.5	14.2	16.9	—	13.0	13.2	15.9	14.9	14.5
8	—	15.0	15.2	16.0	17.8	—	13.5	13.9	16.7	15.6	15.5
9	—	15.5	16.2	17.0	19.0	—	13.8	14.5	17.2	16.1	16.2
10	—	15.9	16.9	18.0	19.5	—	14.0	15.2	17.9	16.9	16.8
11	—	16.2	17.8	18.1	19.8	—	14.2	15.6	18.1	17.1	17.1
12	—	18.2	18.2	19.0	20.2	—	14.8	16.2	18.2	17.5	17.8
13	—	18.9	18.8	19.3	21.0	—	15.2	16.9	18.5	17.9	18.3
14	—	18.7	19.8	19.2	20.1	—	15.2	16.9	18.5	17.9	18.3
承水路	—	19.7	20.2	19.7	21.0	—	15.3	16.9	18.6	18.2	18.7

(8) 8月中旬(14時)

測点 \ 日	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	平均
受水槽	9.8	9.5	—	9.0	10.2	10.0	9.9	—	9.9	—	9.8
0	10.1	10.0	—	9.5	10.7	10.5	10.6	—	10.5	—	10.3
1	11.1	10.5	—	12.0	12.8	11.3	11.4	—	12.9	—	11.7
2	11.5	11.5	—	13.0	13.0	11.7	12.2	—	13.1	—	12.3
3	12.0	12.0	—	14.5	13.5	12.1	13.1	—	14.1	—	13.0
4	12.2	12.3	—	14.5	14.0	12.1	13.9	—	16.0	—	13.6
5	13.2	12.7	—	15.5	15.0	12.6	14.5	—	16.9	—	14.3
6	14.1	13.5	—	16.5	16.1	12.9	15.2	—	18.0	—	15.2
7	15.0	14.0	—	17.2	16.9	13.5	16.1	—	19.1	—	16.0
8	15.9	15.2	—	18.0	17.6	13.9	16.9	—	20.1	—	16.8
9	16.5	16.0	—	19.0	18.5	14.2	17.5	—	10.8	—	17.5
10	17.1	16.0	—	19.5	19.7	14.5	17.9	—	21.2	—	18.0
11	17.5	17.5	—	19.2	20.2	14.8	18.1	—	21.5	—	18.4
12	18.2	18.0	—	19.5	21.5	15.1	18.6	—	21.5	—	18.9
13	18.9	18.3	—	19.8	21.9	15.1	18.9	—	21.5	—	19.2
14	19.1	19.0	—	21.2	22.1	15.7	19.0	—	21.2	—	19.6
承水路	19.1	20.0	—	22.4	22.1	15.7	19.0	—	21.2	—	20.0

以上の結果の旬別平均値を一覧表に示せば、

表5-2(a)および(b)のごとくなる。

表5-2 (a) 観測水温旬別平均 (10時)

測点	期間	6月				7月				8月			
		上旬	中旬	下旬	平均	上旬	中旬	下旬	平均	上旬	中旬	下旬	平均
受水槽		9.7	9.7	9.8	9.7	9.7	—	9.8	9.8	9.8	9.9	—	9.9
0		11.4	11.2	10.9	11.2	11.2	—	10.7	11.0	10.6	11.2	—	10.9
1		12.1	12.0	12.6	12.2	12.5	—	12.3	12.4	11.4	12.7	—	12.1
2		12.8	12.6	13.5	13.0	13.4	—	12.5	13.0	11.9	13.1	—	12.5
3		13.2	13.2	14.1	13.5	14.4	—	12.9	13.7	12.2	13.7	—	13.0
4		13.7	13.7	14.7	14.0	15.1	—	13.6	14.4	12.6	14.3	—	13.5
5		14.1	14.1	15.3	14.5	15.8	—	14.4	15.1	13.3	14.9	—	14.1
6		14.4	14.5	15.8	14.9	16.4	—	15.0	15.7	13.8	15.4	—	14.6
7		14.9	15.0	16.3	15.4	16.7	—	15.6	16.2	14.6	16.0	—	15.3
8		15.2	15.2	16.6	15.7	17.0	—	16.0	16.5	15.0	16.4	—	15.7
9		15.6	15.5	17.0	16.0	17.3	—	16.6	17.0	15.4	16.7	—	16.1
10		15.7	15.7	17.2	16.2	17.5	—	16.7	17.1	16.1	17.1	—	16.6
11		15.9	15.8	17.5	16.4	17.8	—	17.3	17.6	16.2	17.4	—	16.8
12		16.0	15.9	17.7	16.5	18.0	—	17.7	17.9	16.6	17.7	—	17.2
13		16.1	16.0	17.9	16.7	18.2	—	18.0	18.1	17.0	18.1	—	17.6
14		16.5	16.1	18.1	16.9	18.4	—	18.0	18.2	16.9	18.0	—	17.5
承水路		—	—	—	—	—	—	18.2	18.2	17.8	18.0	—	17.5
水田	1	—	—	22.8	22.8	25.5	—	25.6	25.6	22.7	—	—	22.7
	2	—	—	23.3	23.3	26.4	—	26.1	26.3	23.5	—	—	23.5
	3	—	—	24.0	24.0	26.1	—	25.6	26.4	23.7	—	—	23.7
	4	—	—	23.7	23.7	25.5	—	25.4	25.5	24.0	—	—	24.0
	5	—	—	23.2	23.2	25.5	—	25.7	25.6	24.4	—	—	24.4

表5-2 (b) 観測水温旬別平均 (14時)

測点	期間	6月				7月				8月			
		上旬	中旬	下旬	平均	上旬	中旬	下旬	平均	上旬	中旬	下旬	平均
受水槽		9.7	9.8	9.8	9.7	9.8	9.9	9.9	9.9	9.7	9.8	—	9.8
0		11.6	10.6	12.4	11.5	11.6	11.1	11.0	11.2	10.3	10.3	—	10.3
1		12.5	11.7	14.2	12.5	12.8	14.0	12.0	12.9	11.3	11.7	—	11.5
2		13.6	12.7	15.1	13.8	14.1	14.5	13.4	14.0	11.7	12.3	—	12.0
3		14.3	13.3	15.9	14.5	14.9	15.4	14.1	14.8	12.3	13.0	—	12.6
4		15.0	14.0	16.8	15.3	16.1	16.6	14.8	15.8	12.5	13.6	—	13.1
5		15.6	14.7	17.8	16.0	16.8	18.0	15.8	16.9	13.2	14.3	—	13.8
7		16.3	15.4	18.7	16.7	17.7	19.6	16.8	18.0	13.7	15.2	—	14.5
7		17.2	16.0	19.5	17.6	18.5	20.7	17.6	18.9	14.5	16.0	—	15.3
8		17.7	16.7	20.3	18.2	19.0	21.7	18.4	19.7	15.5	16.8	—	16.2
0		18.3	17.1	21.2	18.9	19.7	22.5	19.2	20.5	16.2	17.5	—	16.9
10		18.8	17.7	21.8	19.4	20.3	23.1	20.0	21.1	16.8	18.0	—	17.4
11		19.2	18.2	22.1	19.8	20.8	23.3	20.2	21.4	17.1	18.4	—	17.8
12		19.4	18.4	22.4	20.1	21.0	23.4	20.6	21.7	17.8	18.9	—	18.4
13		19.6	18.6	22.6	20.2	21.5	23.4	20.9	21.9	18.3	19.2	—	18.8
14		19.7	18.6	22.6	20.3	21.7	23.3	21.1	22.0	18.3	19.6	—	19.0
承水路		—	—	—	—	—	—	21.0	—	18.7	20.0	—	19.4
水田	1	—	—	24.7	24.7	28.5	29.8	26.7	28.3	23.9	—	—	23.9
	2	—	—	25.9	25.9	27.3	30.8	29.1	29.1	24.8	—	—	24.8
	3	—	—	26.6	26.6	28.9	30.4	27.3	28.9	22.0	—	—	22.0
	4	—	—	26.2	26.2	28.6	31.6	27.1	29.1	21.8	—	—	21.8
	5	—	—	27.5	27.5	29.1	30.9	27.3	29.1	25.4	—	—	25.4

この表中月別の平均値を10時と14時に分けて
図示したものが図5-1(a)および(b)である。なお

水田における水温観測箇所は図5-2に示す通りで
ある。

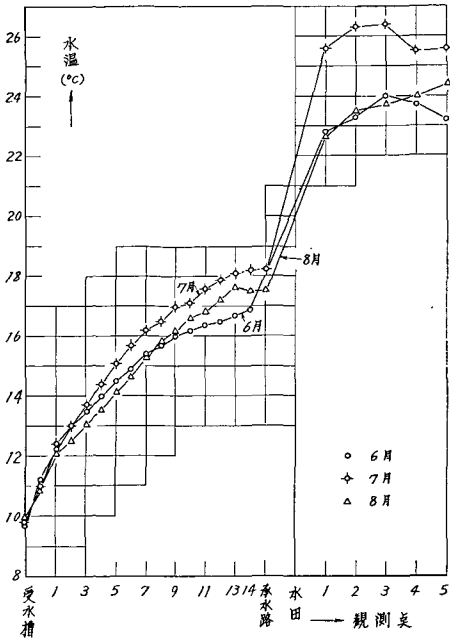


图 5-1 (a) 月别平均水温 (10 時現在)

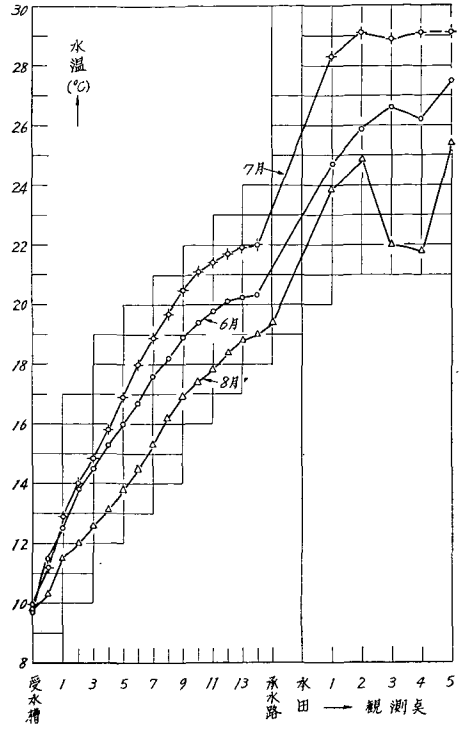


图 5-1 (b) 月别平均水温 (14 時現在)

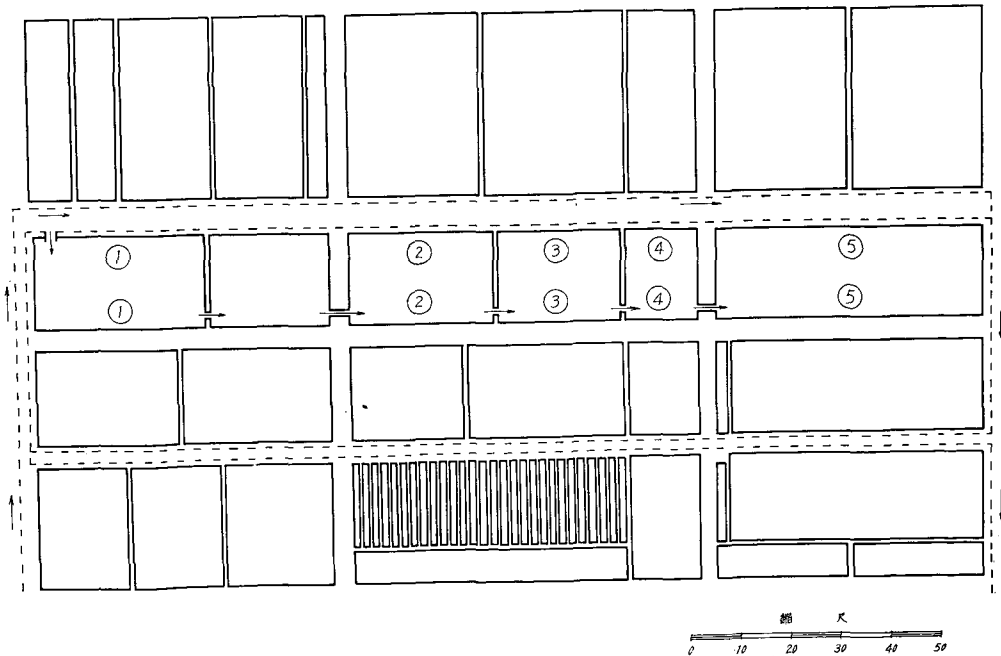


图 5-2 水田平面图

VI. 温水池の理論²⁾

ここで述べるものは三原，大沼の方法の概要である。深井戸から揚水された水は常時9.7°C乃至10°C程度のもので，これが温水池を流れる間に日射と大気にさらされて受熱される。

熱源として考えられるもののうち影響の大きいものは

- (1) 太陽，空および大気からの輻射熱
- (2) 水に接触する空気層からの受熱

前者は太陽直射光およびその散乱光からくる短波輻射と雲や大気からの長波輻射とに分けられ，後者は空気の持つ熱と空気中の水蒸気の水面上の凝結熱とに分けられる。

これに対して水から失われる熱としては空に向う長波，逆輻射，水温が気温より高ければ空気への熱伝達，露点以上になった場合の蒸発の気化熱地中温度が水温以下のときには池底からの熱の伝達が考えられる。

1. 輻射熱の収支

輻射熱 R_0 は水面よりの反射によって夏期は4乃至5%失われる。長波長逆輻射の量は反射率を2%とすれば $0.8\sigma T^4$ ，ここに σ は Boltzmann 定数で

$$\sigma = 1.36 \times 10^{-12} \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1} (\text{°K})^{-4}$$

であり T' は水の絶対温度である。一方大気から下向きの長波長輻射は Brunt により反射損失を2%とすれば

$$0.98 \sigma T^4 (0.52 + 0.065\sqrt{1.333e})$$

ここに T は空気の絶対温度であり， e は水蒸気張力 (mm Hg) である。いま $T' = T$ と仮定すれば水

表6-1 $R_0 \times 10^4$ の値 (cal/cm²·sec)

Temp. (°C)	e (mm Hg)				
	5	10	15	20	25
10	26.7	21.0	16.2	12.3	9.0
15	28.6	22.4	17.4	13.2	9.6
20	30.7	24.1	18.7	14.3	10.3
25	32.8	25.8	20.0	15.3	11.1
30	35.0	27.5	21.4	16.3	11.8

面から逆輻射強さは

$$R_0 = 0.98 \sigma T^4 \{0.48 - 0.065\sqrt{1.333e}\} \quad (6.1)$$

(6.1) 式による R_0 の値は表6-1 および図6-1 に示すごとくなる。

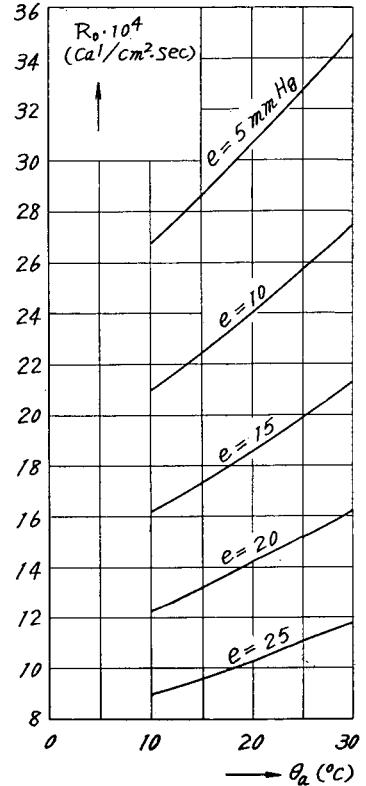


図6-1 快晴時の水図よりの放熱の強さ (損失2%)

雲がある場合にはこの水面からの放熱輻射は小さくなるが，その関係は Ångström に従えば

$$R_1 = R_0 (1 - K \cdot w) \quad (6.2)$$

ここに w は雲量で， K は雲形による係数である。

表6-2 係数Kの値

雲形	記号	K
密な下層雲	A_c, S_c, N_s, S_t	0.76
薄い高い雲	A_c, A_s, C_s	0.52
薄い巻雲	C_i	0.26

2. 空気層よりの受熱

(1) 凝結による受熱

水温が気温より低いときには水温はそのときの露点以下の場合が多く、水面では凝結が起って水蒸気の潜熱を水面に与える。三原、大沼はこれを蒸発の逆と考へて、山本の蒸発の公式を利用してゐる。

$$E = \left\{ 0.298 + 0.925 v \left(\frac{vl}{\nu} \right)^{-\frac{1}{2}} \right\} (\rho_{v,\max} - \rho_v) \quad (6.3)$$

$$E = \left\{ 0.298 + 0.036 v \left(\frac{vl}{\nu} \right)^{-\frac{1}{2}} \right\} (\rho_{v,\max} - \rho_v) \quad (6.4)$$

$$E = \left\{ 0.298 + 0.042 v \left(\frac{vl}{\nu} \right)^{-\frac{1}{2}} \right\} (\rho_{v,\max} - \rho_v) \quad (6.5)$$

式中 E は蒸発の速さで $[\text{gr}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}]$, v は風速で $[\text{cm}/\text{sec}]$, l は風に沿った池面の長さ, ν は空気動粘性係数で $[\text{cm}^2/\text{sec}]$, 従つて $\frac{vl}{\nu}$ は風が有するレイノルズ数である。 $\rho_{v,\max}$ および ρ_v はそれぞれ水温に対する最大水蒸気密度と空気中の密度で、ともに $[\text{gr}/\text{cm}^3]$ である。なお (6.3) 式は $\log \left(\frac{vl}{\nu} \right) < 4.75$ のとき, $\log \left(\frac{vl}{\nu} \right) > 4.75$ のときには (6.4) 式により、水面に波立つときは (6.5) 式による。たとえば気温 $t=20^\circ\text{C}$ のときには $\nu=0.150$ (cm^2/sec), いま $l=1500$ cm とすれば、Reynolds number の対数値が 4.75 となるためには風速は $v=5.62$ (cm/sec) である。実際の風速はこれよりはるかに大きいから普通の場合には (6.4) 式または (6.5) 式を用いればよいということになる。つぎに

$$E = k (p_w - p_a) \quad (6.6)$$

とおいたとき k を水蒸気輸送係数 (vapour transfer coefficient) と呼ぶ。ここに p_w および p_a はそれぞれ水面温度に対する水蒸気最大張力および空気中の水蒸気張力であり、ともに mm Hg で表わすならば k の dimension は $[\text{gr}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{mm Hg}]$ で与えられる。従つて蒸発によつて単位面積当り、単位時間当りの熱量の損失は

$$\frac{dQ}{dt} = L \cdot E = L \cdot k (p_w - p_a) \quad (6.7)$$

となる。ここに L は気化熱で $L=596$ $[\text{cal}/\text{gr}]$ である。

(2) 空気よりの熱伝達

空気から水面の単位面積に単位時間に入る熱量 H $[\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}]$ は

$$H = \frac{dQ}{dt} = h (\theta_a - \theta) \quad (6.8)$$

で与えられる。ここに θ_a は空気の温度, θ は水面の温度であり, h は熱輸送係数 (heat transfer coefficient) で $[\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C}]$ の dimension を有する。熱の輸送と蒸発または凝結の場合は Pohlhausen によれば完全に類似した形をとる。

$$E = 0.0285 v R_e^{-0.2} (\rho_{v,\max} - \rho_v) = k (p_w - p_a)$$

しかるに飽和水蒸気密度と水蒸気最大張力との間には、次表のように数字的にはよく類似した値を示す。

表 6-3 飽和水蒸気密度と水蒸気最大張力

温 度 ($^\circ\text{C}$)	飽和水蒸気密度 (gr/cm^3)	水蒸気最大張力 (mm Hg)
0	4.85×10^{-6}	4.57
10	9.40 "	9.14
20	17.29 "	17.36
30	30.37 "	31.51

従つて数字的には

$$\rho_v \approx p \times 10^{-6} \quad (6.9)$$

ゆゑに

$$E = 0.0285 v [\text{cm}/\text{sec}] \times R_e^{-0.2} \times 10^{-6} \left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3 \cdot \text{mm Hg}} \right] \times (p_w - p_a) [\text{mm Hg}]$$

これより

$$k = 0.0285 v R_e^{-0.2} \times 10^{-6} [\text{gr}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{mm Hg}] \quad (6.10)$$

一方空気よりの熱伝達については

$$q = 0.0285 \rho \cdot c_p \cdot v R_e^{-0.2} (t_0 - t_1) = h (t_0 - t_1)$$

ここに ρ は空気の密度で 15°C では

$$\rho = 1.226 \times 10^{-3} [\text{gr}/\text{cm}^3]$$

c_p は空気の定圧比熱で 16°C では

$$c_p = 23.99 \times 10^{-2} \text{ [cal/gr}\cdot^\circ\text{C]}$$

ゆえに 15°C のとき

$$h = 0.0285 \times 1.226 \times 10^{-3} \times 23.99 \times 10^{-2} \nu R_e^{-0.2} \quad (6.11)$$

(6.10) 式および (6.11) 式とより

$$\begin{aligned} h/k &= 1.226 \times 23.99 \times (10^{-5}/10^{-6}) \\ &= 294.1 \text{ [cal}\cdot\text{mmHg/gr}\cdot^\circ\text{C}] \\ &\doteq \frac{L \text{ [cal/gr]}}{2 \text{ [}^\circ\text{C/mmHg]}} \end{aligned} \quad (6.12)$$

(10.5) 式に (10.9) 式の間係を入れると

$$\begin{aligned} E &= \{0.298 + 0.042 \nu R_e^{-0.2}\} (p_w - p_a) \times 10^{-6} \\ &= k (p_w - p_a) = \frac{2h}{L} (p_w - p_a) \end{aligned}$$

これより

$$h = \frac{k \cdot L}{2} = \left\{ 0.298 + 0.042 \nu R_e^{-0.2} \right\} \times 10^{-6} \times \frac{L}{2} \quad (6.13)$$

水温 20°C に対しては $\nu = 0.150 \text{ [cm}^2/\text{sec]}$

$$h = \left(0.888 + 0.08654 \frac{\nu^{0.8}}{l^{0.2}} \right) \times 10^{-4} \text{ [cal/cm}^2\cdot\text{sec}\cdot^\circ\text{C}] \quad (6.14)$$

水温 15°C では $\nu = 0.146 \text{ [cm}^2/\text{sec]}$

$$h = \left(0.888 + 0.08518 \frac{\nu^{0.8}}{l^{0.2}} \right) \times 10^{-4} \text{ [cal/cm}^2\cdot\text{sec}\cdot^\circ\text{C}] \quad (6.15)$$

いま (6.15) 式に従って ν および l について h を求めれば表 6-4 のようになる。

表 6-4 ν および l についての $h \times 10^4$ の値 (15°C)

ν (cm/sec)	l (cm)						
	50	100	200	400	600	800	1000
100	1.663	2.238	3.239	4.981	6.549	8.013	9.406
500	1.450	1.866	2.592	3.854	4.991	6.052	7.062
1000	1.377	1.740	2.371	3.470	4.460	5.384	6.263
2000	1.314	1.630	2.179	3.136	3.997	4.802	5.567
5000	1.243	1.505	1.963	2.760	3.477	4.147	4.782
10000	1.197	1.425	1.824	2.517	3.142	3.725	4.279
30000	1.136	1.319	1.639	2.196	2.697	3.165	3.610

表中 h の単位は $[\text{cal/cm}^2\cdot\text{sec}\cdot^\circ\text{C}]$ である。さらにこれを図示したものは図 6-2 である。

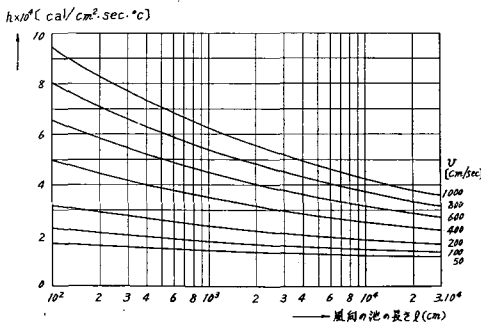


図 6-2 $t = 15^\circ\text{C}$ における $h \times 10^4$ [cal/cm²·sec·°C] の値

つぎに池底より地中への熱の収支があるが、こ

れは水温が地温より低いときには水は熱を受け、反対に水温が地温以上になれば地中に熱が伝達される。農場の温水池の場合、井戸から揚水されたばかりのときは地中および周縁から熱を受け水温が地温が地温以上になって、はじめて地中への熱伝達が行なわれるので、大局からみて差引あまり大きな額になるものとは思われないので計算から省略することとする。

(3) 水温の上昇度

温水池の深さを d (cm) とする。1 cm² の水面積の水柱について 1 秒当りの受熱を考えると次式が成立する。ただし地中への熱収支は無視する。

$$c \rho d \frac{d\theta}{dt} = R + H + L \cdot E \quad (6.16)$$

式中

c : 水の比熱 [cal/gr·°C]

ρ : 水の密度 [gr/cm³]

d : 水深 [cm]

θ : 時刻における水温 [°C]

$R=R_s-R_l$: 短波長輻射と長波長輻射との収支による輻射の強さ [cal/cm²·sec]

H : 空気からの受熱の強さ [cal/cm²·sec]

$L \cdot E$: 水蒸気の凝縮による受熱の強さ [cal/cm²·sec]

(6.7) 式は蒸発に対する場合であるから凝縮に対しては

$$L \cdot E = k(p_a - p_w) L = 2h(p_a - p_w) \quad (6.17)$$

(6.17) 式および (6.8) 式を (6.16) 式に代入すれば

$$c \cdot \rho \cdot d \cdot \frac{d\theta}{dt} = R + h(\theta_a - \theta) + 2h(p_a - p_w) \quad (6.18)$$

ここに θ_a : 気温, p_a : そのときの水蒸気張力で乾温球温度計の読みより求められる。 p_w は水面温度に対する最大水蒸気張力である。 h は図 6-2 より求められる。つぎに

$$p_w = a\theta + b \quad (6.19)$$

が成立するものと仮定する。 a , b は気温 θ_a と始めの水温 θ_0 に対する最大水蒸気張力の間において図式に決定する。(6.19) 式を (6.18) 式に入ると

$$\frac{d\theta}{dt} + A\theta = B \quad (6.20)$$

ここに

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{h}{c\rho d} (1+2a) \\ B &= \frac{1}{c\rho d} [R+h\{\theta_a+2(p_a-b)\}] \end{aligned} \right\} (6.21)$$

(6.20) 式の一般解に $t=0$ のときの水温を θ_0 とおけば

$$\theta = \frac{B}{A} + \left(\theta_0 - \frac{B}{A} \right) e^{-At} \quad (6.22)$$

を得る。 $\Delta\theta$ を水の上昇温度とすれば

$$\Delta\theta = (\theta - \theta_0) = \left(\frac{B}{A} - \theta_0 \right) (1 - e^{-At}) \quad (6.23)$$

$\frac{B}{A}$ はその状態が無限に続いたものと仮定したときの到達する最終温度であって平こう水温と呼び、仮りに θ_∞ で表わすこととする。

VII. 農場温水池実測例との比較

前記のごとく分岐水路を含めて受熱総面積は 1156 m², 純面積 1100 m² であり構造は全幅員 1.5 m のものが導流隔壁によってそれぞれ幅 5 m の並列した水路に分たれ、それらは越流ぜきによって 14 階段を作り 5 m × 5 m ずつの小水域の形成している。水深は $d=20$ cm である。いま表 7-1 の観測水温について理論的に求めた値が実測値とどの程度一致するかについて検討してみよう。表中 L は 3 条の水路の左側, R は右側であり $C \cdot L$ および $C \cdot R$ はそれぞれ中央水路中の左および右側の箇所水温の読みである。なお受水槽における水温は $\theta_0=9.7^\circ\text{C}$ であった。

表 7-1 昭和 36 年 6 月 4 日 14 時水温観測値 ($\theta_0=9.7^\circ\text{C}$)

No.	距離 (m)	時間 $t \cdot 10^{-4}$	R	C·R	C·L	L	合計	平均日 ($\theta^\circ\text{C}$)
0	5	0.150	11.5	11.8	11.5	11.2	46.0	11.5
1	12.5	0.375	12.5	12.7	12.3	12.2	49.7	12.4
2	17.5	0.525	13.9	13.5	13.9	13.9	55.2	13.8
3	22.5	0.675	14.5	14.5	14.6	14.6	58.2	14.6
4	27.5	0.825	15.5	15.7	15.6	15.5	62.3	15.6
5	32.5	0.975	16.0	16.2	16.9	16.7	65.8	16.5
6	37.5	1.125	17.6	17.5	17.8	17.7	70.6	17.7
7	42.5	1.275	18.9	18.7	18.5	18.1	74.2	18.6
8	47.5	1.425	18.7	18.9	19.0	19.0	75.6	18.9
9	52.5	1.575	19.2	19.6	19.5	19.7	78.0	19.5
10	57.5	1.725	20.5	20.2	20.0	20.0	80.7	20.2
11	62.5	1.875	20.6	20.5	20.1	20.2	81.4	20.4
12	67.5	2.025	21.0	20.8	20.5	20.8	83.1	20.8
13	72.5	2.175	21.0	20.8	20.6	20.8	83.2	20.8
14	77.5	2.325	20.9	20.8	20.8	20.9	83.4	20.9
15	80.0	2.400	—	—	—	—	—	(21.0)

水路延長はオリフィスより 82 m あるが、分岐水路は三角形状に幅員を増加している関係で流速

が正規の幅員の箇所のもそれより大であるから等値距離として長さ 10 m と仮定した。従って全延長は 80 m となる。この日のオリフィスからの流出量は $Q=0.46 \text{ (m}^3\text{/min)}$ であったが、オリフィス板の設置が仮取付けであったためその周辺からの噴射による漏水が認められたので $Q=0.60 \text{ (m}^3\text{/min)}$ $=0.01 \text{ (m}^3\text{/sec)}$ と仮定すると温水池内の滞留時間 t は温水池延長を L 、平均流速を v 、水路幅を B 、水深を d として

$$t = L/v = A \cdot L/Q = B \cdot d \cdot L/Q = 15 \times 0.2 \times 80/0.01 = 2.4 \times 10^4 \text{ (sec)}$$

すなわち約 6 時間 40 分程度である。

1. 三原, 大沼の方法による計算

当日の札幌管区気象台の記録より 12 時および 14 時の値は次の通りである。

表 7-2(a) 気象条件

時刻	12 時	14 時	平均
気温 (°C)	26.9	26.6	$\theta_a = 26.8$
風 (m/sec)	SSE 8.2	SSE 8.5	$v = 8.4$
雲 (巻層雲)	雲量 10 うす日	同左	
湿球 (°C)	15.4	14.7	
$t-t'$ (°C)	11.5	11.9	
e (mmHg)	6.67	6.08	$e = 6.4 \text{ (mmHg)}$

表 7-2(b) 日射

11 h~12 h	12 h~14 h	13 h~14 h
71	65	58

これより日射の平均値はつぎのようになる。

$$(71 + 65 + 58)/(3 \times 60 \times 60) = 180 \times 10^{-4} \text{ [cal/cm}^2 \cdot \text{sec]}$$

(1) 短波長日射量の平均値の 5% が反射によって失われるものと仮定すると

$$R_s = 180 \times 10^{-4} \times 0.95 = 171 \times 10^{-4} \text{ [cal/cm}^2 \cdot \text{sec]}$$

(2) 長波長水面輻射損失

水蒸気張力 $e=6.4 \text{ [mmHg]}$, $\theta_a=26.8 \text{ [}^\circ\text{C]}$

(6.1) 式, または図 6-1 より

$$R_0 = 0.98 \times 1.36 \times 10^{-12} \times (299.8)^4 \times (0.48 - 0.065 \sqrt{1.333 \times 6.4}) = 31.2 \times 10^{-4} \text{ [cal/cm}^2 \cdot \text{sec]}$$

雲形は C_s であるから表 6-2 より $K=0.52$, 雲量は 10 であるから (6.2) 式より

$$R_l = 31.2 \times 10^{-4} \times (1 - 0.52 \times 1) = 15 \times 10^{-4} \text{ [cal/cm}^2 \cdot \text{sec]}$$

$$R = R_s - R_l = (171 - 15) \times 10^{-4} = 156 \times 10^{-4} \text{ [cal/cm}^2 \cdot \text{sec]}$$

(3) 定数 a および b の決定

(6.19) 式の仮定に従って始めの水温 $\theta_0=97^\circ\text{C}$ と気温 $\theta_a=26.8^\circ\text{C}$ との間の最大水蒸気張力を考える。

$$\theta_0 = 9.7^\circ\text{C}, p_w = 8.96 \text{ [mmHg]}$$

$$\theta = 26.8^\circ\text{C}, p_w = 26.16 \text{ [mmHg]}$$

この間の直線と仮定して a, b を定めれば

$$a = 1.006 \text{ [mmHg/}^\circ\text{C]}, b = -0.80 \text{ [mmHg]}$$

(4) 熱輸送係数 h の決定

風速は $v=8.55 \text{ (m/sec)}$, 水路全幅員は 15 m であるが, 導流隔壁で仕切られているから 5 m と同一である。風向は南南東であるから

$$l = 5.0 \times \sec(22.5^\circ) = 5 \times 1.082 = 5.41 \text{ (m)}$$

これが池のこのときの代表長さ (characteristic length) となる。

(6.15) 式または図 6-2 より

$$h = \left\{ 0.888 + 0.08518 \times \frac{(855)^{0.8}}{(541)^{0.2}} \right\} \times 10^{-4} = 6.25 \times 10^{-4} \text{ [cal/cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C]}$$

(5) 上昇温度の計算

(6.21) 式より

$$A = \frac{h(1+2a)}{c\rho d} = \frac{6.25 \times 10^{-4}(1+2 \times 1.006)}{1 \times 1 \times 20} = 0.9412 \times 10^{-4} \text{ [sec}^{-1}\text{]}$$

$$B = \frac{1}{c\rho d} \left[R + h \left\{ \theta_a + 2(p_a - b) \right\} \right]$$

$$= \frac{1}{1 \times 1 \times 20} \left[156 + 6.25 \left\{ 26.8 + 2(6.4 + 0.80) \right\} \right] \times 10^{-4} = 20.68 \times 10^{-4} \text{ [sec} \cdot ^\circ\text{C]}$$

ただし乾湿球の読みから得られた水蒸気張力の平均値は $p_a = 6.4$ [mmHg] である。

平こう温度は

$$\theta_\infty = B/A = 20.68/0.9412 = 22.0 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$A \cdot t = 0.9412 \times 10^{-4} \times 2.4 \times 10^4 = 2.259$$

最終温度にいたる上昇温度は

$$\begin{aligned} \Delta\theta &= (22.0 - 9.7)(1 - e^{-2.259}) = 12.3 \times (1 - 0.10458) \\ &= 11.0 \text{ (}^\circ\text{C)} \end{aligned}$$

$$\theta_f = 9.7 + 11.0 = 20.7 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

これに対して実測値は 21°C であって、その差はわずか $0.3 \text{ (}^\circ\text{C)}$ に過ぎない。なお

$$\Delta\theta = 12.3 \times \{1 - \exp(-0.9412 \times 10^{-4} \cdot t)\}$$

なる式によって各 t に対して θ を求め、これを実測値と比較すると表 7-3 のようになる。

表 7-3 各点の水温

$t \cdot 10^{-4}$ (sec)	At	$1 - e^{-At}$	$\Delta\theta$	$\theta \text{ (}^\circ\text{C)}$		差
				計算値	実測値	
0	0	0	0	9.7	9.7	0
0.3	0.282	0.2457	3.04	12.7	12.1	+0.6
0.6	0.565	0.4316	5.34	15.0	14.4	+0.6
0.9	0.847	0.5713	7.07	16.7	16.0	+0.7
1.2	1.129	0.6766	8.38	18.0	18.1	-0.1
1.5	1.412	0.7564	9.36	19.0	19.2	-0.2
1.8	1.694	0.8162	10.1	19.7	20.3	-0.6
2.1	1.977	0.8614	10.7	20.3	20.8	-0.5
2.4	2.259	0.8954	11.1	20.7	21.0	-0.3

これを図示したものが図 7-2 の●印である。なお計算に必要な水蒸気張力の値や乾湿球温度による水蒸気張力の値などは各種のハンド・ブックなどに掲載されているからここには省略する。

2. 分割法

上昇温度の大なるとき (1) の方法において不合理な点として考えられることの一つとして水蒸気最大張力に対して (6.19) 式の

$$p_w = a\theta + b$$

なる仮定を初期水温 θ_0 と平均気温 θ_a との間において設けるといふ点である。水蒸気最大張力曲線

は図 7-1 に示すように複雑な指数曲線に近いものである。従って温度差が $2 \sim 3^\circ\text{C}$ 程度であれば近似的に直線化することも許されるであろうが、本例のごとく 10°C 以上も上昇する場合には直線と仮定することは粗雑に過ぎるきらいがある。しかもこれより決定した a, b なる係数は上昇温度の計算値に大きく影響するものである。

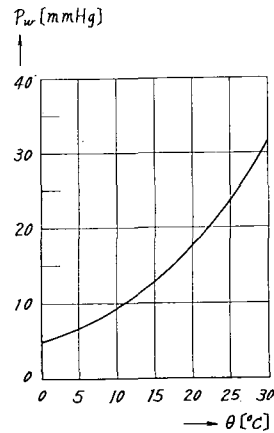


図 7-1 水蒸気最大張力

この意味で温度を分割し、この温度に該当する時間を求める方法を提案するものであって、分割法と仮称することとする。温度差 $\Delta\theta$ を 2°C 程度に分割し、その区間の a, b を定め A, B を求め $\theta_\infty = B/A$ を求めることは (A) と同一処理である。かくして (6.23) 式より

$$e^{-A \cdot \Delta t} = 1 - \frac{\Delta\theta}{\theta_\infty - \theta_0} \quad (7.1)$$

数表より $A \cdot \Delta t = x$ を求めると

$$\Delta t = x/A \quad (7.2)$$

によって $\theta = \theta_0 + \Delta\theta$ に相当する時間差 Δt が求まる。かくして始めからの時間は $t = \sum \Delta t$ によって $\theta^\circ\text{C}$ に相当する時間が決定する。もちろん θ_0 はその分割の最初の水温である。このようにして計算して求めた値は表 7-4 のようになった。表中 p_w はその温度に対する水蒸気最大張力 [mmHg] である。 a, b は (6.19) 式の各係数 A, B は (6.21) 式によって求めた値である。

表7-4 分割法による計算値

項 目 \ No.	1	2	3	4	5	6	7
θ_0 (°C)	9.7	12	14	16	18	20	21
θ (°C)	12	14	16	18	20	21	21.5
p_{ro} [mmHg]	8.96	10.43	11.88	13.51	15.33	17.36	18.47
"	10.43	11.88	13.51	15.33	17.36	18.47	19.04
a [mmHg/°C]	0.639	0.725	0.815	0.910	1.015	1.110	1.140
b [mmHg]	2.76	1.73	0.47	- 1.05	- 2.94	- 4.86	- 5.47
$A \times 10^4$ [sec ⁻¹]	0.712	0.766	0.822	0.881	0.947	1.006	1.025
$B \times 10^4$ [°C/sec]	18.55	19.20	19.98	20.93	22.12	23.32	23.70
θ_∞	26.06	25.07	24.31	23.75	23.36	23.17	23.12
$A \cdot \Delta t$	0.1515	0.1661	0.2157	0.2985	0.4670	0.3791	0.2690
Δt [sec]	2280	2168	2624	3387	4932	3767	2624
t [min]	38'00''	74'08''	117'52''	174'19''	239'51''	319'18''	363'02''

この計算値を図7-2に●印で示したが、期待に反して少し観測値より高温に出て本例ではあまり芳しくなかった。なお最終温度は観測値に比して0.8°C高く出た。

対して、上昇水温を予想するには役立つものである。

しかしながら、ある既設の温水池の調査において気温と水温程度の観測はできたが、準備などの都合でその他の気象状態を押えることができなかったという場合が多いと思う。このようなとき、それらの水温観測値から推定平均温度 θ_∞ を求めることができれば、その温水池の効率というものを見当をつけることができる。すなわちその温水池は面積が狭すぎるとか、深すぎるとか、あるいは一様な流れを示さないで、循環流あるいは死水部分があって水面積が有効に働いていないということとか、または施設の大きさ、深さ、隔壁、せきによる整流等の寸法、様式等の温水池熱効率を支配する要素は沢山あるから、その各要素に対する個々の判定は到底できないが、全体的な計画設計方針に対する有効度の判定や検討を下す手段とすることができるであろう。そこでそのような場合に対する一処理法としてこの試算法を提案するものである。

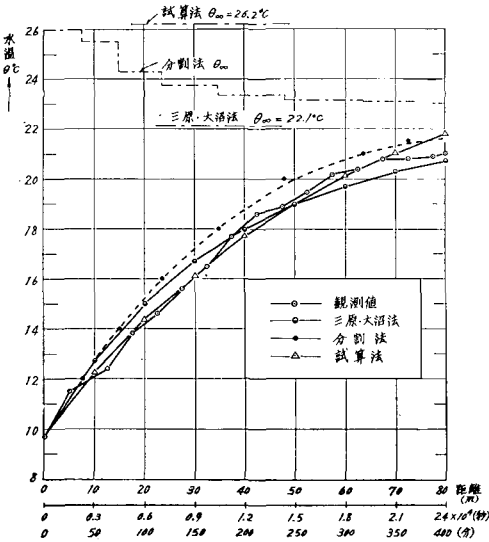


図7-2 水温の実測値と計算値 (昭和36年6月4日14時現在)

3. 著者の試算法

著者山本はつぎに記述する理由で試算法を試みてみた。三原、大沼の方法は日射、気温、風速、湿度、雲形、雲量等の気象要素より理論的に考究したもので、その温水池が与えられた気象条件に

観測値としてはある時刻において流入部から流出部にいたる各地点の平均水温を求めると、これらは流入部からの流下時間の関数と考えることができる。

水の上昇温度に関しては基本式(6.22)式が成立することを前提とする。

$$\theta = \theta_{\infty} - (\theta_{\infty} - \theta_0)e^{-At} \quad (7.3)$$

いま $t=0$ から t まで時間水温曲線が囲む面積を F とすれば

$$F = \int_0^t \theta dt = \theta_{\infty} t - \frac{\theta_{\infty} - \theta_0}{A} (1 - e^{-At}) \quad (a)$$

したがって

$$\begin{aligned} F_1 &= \theta_{\infty} t_1 - \frac{\theta_{\infty} - \theta_0}{A} (1 - e^{-At_1}) \\ &= \theta_{\infty} t_1 - \frac{(\theta_{\infty} - \theta_0) t_1}{At_1} (1 - e^{-At_1}) \end{aligned} \quad (b)$$

$$\begin{aligned} \frac{F_1}{t_1} &= \theta_{\infty} - (\theta_{\infty} - \theta_0) \frac{1 - e^{-At_1}}{At_1} \\ &= \theta_{\infty} - (\theta_{\infty} - \theta_0) \frac{(1 - e^{-x_1})}{x_1} \end{aligned} \quad (c)$$

ここに

$$x_1 = At_1 \quad (d)$$

さらに一般に

$$\theta = \frac{1}{x} (1 - e^{-x}) \quad (e)$$

とおけば

$$\frac{F_1}{t_1} - \theta_0 \phi_1 = \theta_{\infty} (1 - \phi_1) \quad (f)$$

同様に

$$\frac{F_2}{t_2} - \theta_0 \phi_2 = \theta_{\infty} (1 - \phi_2) \quad (g)$$

(f), (g) 両式より

表 7-5 $\theta = \frac{1}{x} (1 - e^{-x})$ の値

x	e^{-x}	$1 - e^{-x}$	θ
0.0	1.0000	0	1.000
0.2	0.8187	0.1813	0.907
0.4	0.6703	0.3297	0.824
0.6	0.5488	0.4512	0.752
0.8	0.4493	0.5507	0.688
1.0	0.3679	0.6321	0.632
1.2	0.3012	0.6988	0.582
1.6	0.2019	0.7981	0.499
2.0	0.1353	0.8647	0.432
2.4	0.0907	0.9093	0.379
3.0	0.0498	0.9502	0.317
3.5	0.0302	0.9698	0.277
4.0	0.0183	0.9817	0.245

$$\frac{F_2/t_2 - \theta_0 \phi_2}{F_1/t_1 - \theta_0 \phi_1} = \frac{1 - \phi_2}{1 - \phi_1} \quad (7.4)$$

または

$$\theta_{\infty} = \frac{F_2/t_2 - \theta_0 \phi_2}{1 - \phi_2} = \frac{F_1/t_1 - \theta_0 \phi_1}{1 - \phi_1} \quad (7.5)$$

さて $x = A \cdot t$ について θ の値を計算すれば表 7-5 のようになる。

x に対して θ の値を図示したものが図 7-3 である。

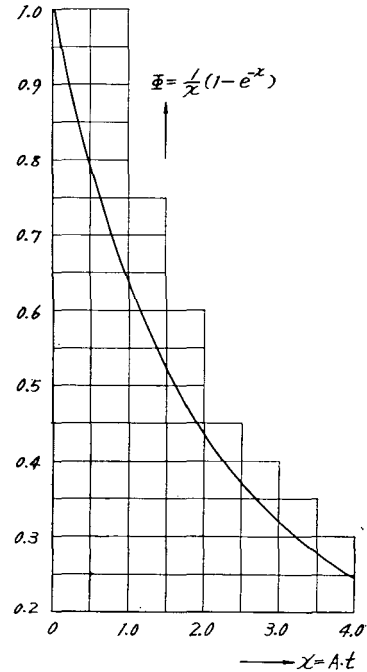


図 7-3 $\theta = \frac{1}{x} (1 - e^{-x})$ の値

また θ を A と t について求めれば表 7-6 のようになる。

表 7-6 $\theta = \frac{1}{At} (1 - e^{-At})$ の値

$t \cdot 10^{-4}$ \ $A \cdot 10^4$	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.5	0.884	0.864	0.844	0.824	0.806	0.788
1.0	0.787	0.752	0.719	0.688	0.659	0.632
1.2	0.752	0.713	0.677	0.642	0.612	0.583
1.5	0.703	0.659	0.619	0.583	0.549	0.518
2.0	0.632	0.583	0.538	0.499	0.464	0.433
2.4	0.582	0.530	0.484	0.445	0.410	0.379
3.0	0.518	0.464	0.418	0.379	0.345	0.317
4.0	0.432	0.379	0.336	0.300	0.270	0.246

表3-6を图示したものが図7-4である。

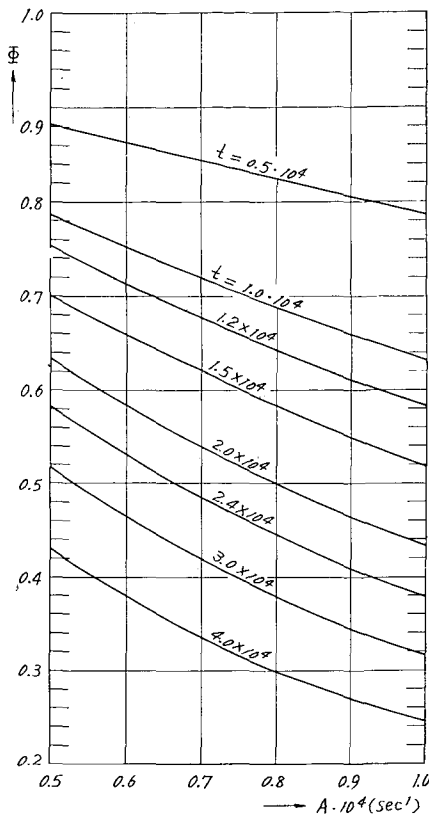


図7-4 $\phi = \frac{1}{At}(1 - e^{-At})$ の値

本例において $t_1 = 1.2 \times 10^4$ (sec), $t_2 = 2.4 \times 10^4$ (sec)をとれば F の値は表7-7のようになる。

表7-7 $F = \int \theta dt$

区間	θ (°C)	$\Delta t \cdot 10^{-4}$	$\theta \cdot \Delta t \cdot 10^{-4}$	累計
0-1	10.7	0.15	1.605	1.605×10^4
1-2	11.9	0.225	2.678	$4.283 \times "$
2-3	13.1	0.15	1.965	$6.248 \times "$
3-4	14.2	0.15	2.130	$8.378 \times "$
4-5	15.1	0.15	2.265	$10.643 \times "$
5-6	16.0	0.15	2.400	$13.043 \times "$
6-7	17.1	0.15	2.565	$15.608 \times "$
7-8	18.2	0.15	2.730	18.338×10^4
8-9	18.8	0.15	2.820	$21.158 \times "$
9-10	19.2	0.15	2.880	$24.038 \times "$
10-11	19.8	0.15	2.970	$27.008 \times "$
11-12	20.3	0.15	3.045	$30.053 \times "$
12-13	20.6	0.15	3.090	$33.143 \times "$
13-14	20.7	0.15	3.105	$36.248 \times "$
14-15	20.8	0.15	3.120	$39.368 \times "$
15-16	20.9	0.075	1.568	$40.936 \times "$

この表から

$$F_1 = 15.608 + 18.0 \times 0.075 = 16.96 \times 10^4 \text{ [}^\circ\text{C} \cdot \text{sec]}$$

$$F_2 = 40.94 \times 10^4 \text{ [}^\circ\text{C} \cdot \text{sec]}$$

$$F_1/t_1 = 16.96/1.2 = 14.13 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$F_2/t_2 = 40.94/2.4 = 17.06 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\theta_0 = 9.7 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

いま $A \times 10^4 = 0.5 \sim 0.6$ の範囲について θ_∞ を調べると表7-8のようになる。

表7-8 θ_∞ の 値

$t \cdot 10^{-4}$ \ $A \cdot 10^4$	0.5		0.6		0.56		0.547	
	ϕ	θ_∞	ϕ	θ_∞	ϕ	θ_∞	ϕ	θ_∞
1.2	0.752	27.58	0.7129	25.13	0.7281	25.99	0.7333	26.32
2.4	0.582	27.21	0.5299	25.36	0.5500	26.06	0.5567	26.30
θ_∞ の 差	—	+ 0.37	—	- 0.23	—	- 0.07	—	+ 0.02

これを図上にプロットすれば θ_∞ の食違いは図7-5のようになり、 θ_∞ の差 $\delta\theta$ が0となる位置より $A \cdot 10^4 = 0.55$ をうる。

$$x_2 = A \cdot t_2 = 0.55 \times 2.4 = 1.32, \quad e^{-x_2} = 0.267135$$

$$1 - e^{-x_2} = 0.73286, \quad \phi_2 = \frac{0.73286}{1.32} = 0.5552$$

$$\theta_0 \phi_2 = 5.39$$

(7.5) 式より

$$\theta_\infty = \frac{17.06 - 9.7 \times 0.5552}{1 - 0.5552}$$

$$= 11.67/0.4448 = 26.2 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\Delta\theta = (\theta_\infty - \theta_0)(1 - e^{-At}) = 16.5 \{1 - \exp(-0.55t)\}$$

によって上昇温度を求め、観測値と比較すれば表7-9のようになる。

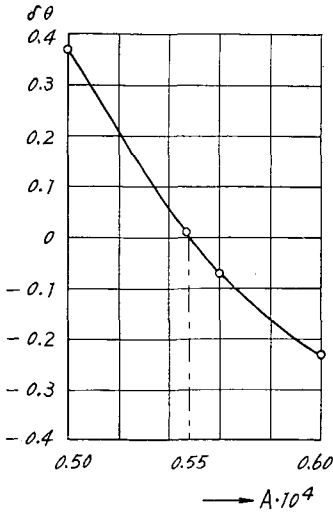


図7-5 Δθ の値

表7-9 計算値と観測値

No.	$t \cdot 10^{-4}$ (sec)	At	$1 - e^{-At}$	$\Delta\theta$	θ (°C)		差異
					計算	観測	
0	0	0	0	0	9.7	9.7	0
1	0.3	0.165	0.1521	2.51	12.2	12.1	+0.1
2	0.6	0.330	0.2811	4.64	14.3	14.2	+0.1
3	0.9	0.495	0.3904	6.44	16.1	16.1	0
4	1.2	0.660	0.4831	7.97	17.7	18.2	-0.5
5	1.5	0.825	0.5618	9.27	19.0	19.2	-0.2
6	1.8	0.990	0.6284	10.37	20.1	20.3	-0.2
7	2.1	1.155	0.6849	11.30	21.0	20.8	+0.2
8	2.4	1.320	0.7329	12.09	21.8	21.0	+0.8

これを図7-2において△印に示した。この計算値を実測値と比較すれば最後の値はやや大きいがその他は割合によく一致するようである。

VIII. 温水池の効率について

温水池がよく効果を上げるか否かの判定は簡単には決定し難いと思われるが、与えられるその土地の環境や気象条件によって左右されるのはもちろんのこと、そのほか池の水面積、流量にも関係する。しかし内面的に考えた場合、流れが均一で平面的、断面的にみて循環流を発生し、いわゆる死水となっている部分があつてはならない。このような部分が池の面積の大部分を占めると、極端な表現をすれば幅の狭い水路と同一であつて、

池の有効面積は極めて小さいものになっていることに気がつくであろう。東川第一遊水池にこの例をみる。また東神楽貯水池式温水池にもなれば貯水が主なる目的という外なく、もはや温水池の枠から外されるべきものであつて、水面積、水深ともに過大に失するし、またこのようなものは地下水の湧出も考えられる。流量と水面積が一定のとき水深を大きくすれば流下時間が大きくなり、一次逆比例の関係になるが、この際水温上昇は表面は大きい深いところには影響小さくなる。もし考える時間を一日にとれば地中への熱伝達は正、負相補つて、少なくとも形式的には影響が無いことになる。従つて温水池効率のよい悪いは水を奔りに流すか否かにかかわることが多いと思われる。しかしながら水稻成育に支障を与えない限度において一日の平均でなく、時間的にみて一日中において変化を大きく与えることとし、日射、気温、凝結熱を利用してできるだけ高温にし、その代り夜間はある程度低くなくても差支えないという考え方をするときは流下時間を10時間以内程度に限るべきであろう。そうすると流量と池の水面積を与えれば与えられた流下時間に従つて水深はおのずから決定することになる。経験によれば1メートル以上の水深は過大であつて、平面的のみならず鉛直方向にも不均一な流れを起し易い。そういう意味もあつて本温水池では小規模でもあるので水深を20cmとし、最大流量 $Q=1$ (m³/min)のとき流下時間は $t=3.5$ (時間)となり、 $Q=0.6$ (m³/min)のときには $t=6.7$ (時間)となるようにした。

温水池の効率を仮りに次式によつて定義することとする。

$$\text{温水池効率} = \left(\frac{\text{流出水温} - \text{流入水温}}{\text{平こう温度} - \text{流入水温}} \right) \times \frac{\text{流量}}{\text{池の水面積}} \quad (8.1)$$

上昇温度の大小のみで温水池効率を論ずるわけにはいかない。そのわけはまず平こう温度を与える(8.2)式の各項はすべて気象条件で与えられるものであつて次式で与えられる。

$$t_{\infty} = B/A = \frac{R + h \{Q_a + 2(p_a - b)\}}{h(1 + 2a)} \quad (8.2)$$

従って気温低く、日射の少ないときには θ_{∞} の値は小さいから(6.23)式によって $\Delta\theta$ は小さくなるからである。

いま北海道における数例および農場温水池につ

いて(8.1)式に従ってその効率を求めてみると表8-1のようになった。北大農場以外の資料は文献(5)によったことを断っておく。

表8-1 温 水 池 効 率

温水池名	型 式	かんがい 面 (ha)	水 深 (°C)	気 温 (°C)	平均日射量 (cal/cm ² ・hr)	流 量 (m ³ /sec)	水 面 積 (m ²)
勇 振	全面越流式	150	1.0	19.7	28.8	0.266	39,380
"	"	"	"	20.1	31.7	0.290	"
伏 古	迂回水路式	250	1.2	19.4	36.8	0.618	31,728
"	"	"	"	18.0	37.8	0.550	"
中 作 開	貯水池式	17	2~5	20.0	40.24	—	1,836
"	"	"	"	18.7	26.71	0.016	"
東 川 上	全面越流式	30	1.2	21.3	35.4	0.16	6,130
東 神 楽	貯水池式	1,500	0.5~6.5	18.5	35.8	0.003**	93,420
北 大 農 場	分割越流式	2.0	0.20	26.8	64.7	0.010	1,200

温水池名	流入水温 (°C)	流出水温 (°C)	平こう温度 (°C)	効 率 (m/sec)	調 査 期 日 (年月)	順 位
勇 振	10.9	17.9	25.1	3.33×10^{-6}	34.6~8	5
"	11.0	17.8	26.5	3.23×10^{-6}	35.6~8	6
伏 古	14.0	16.5	15.4*	3.48×10^{-5} *	34.6~8	—
"	13.4	15.8	20.0	6.30×10^{-6}	35.6~8	2
中 作 開	15.2	18.2	20.8	4.67×10^{-6}	33.6~8	3
"	16.5	17.6	18.9	3.99×10^{-6}	34.6~8	4
東 川 上	12.6	13.5	24.0	2.19×10^{-7}	35.6~8	7
東 神 楽	11.7	13.1	20.6	6.74×10^{-9}	33.7	8
北 大 農 場	9.7	21.0	22.0	7.61×10^{-6}	36.6.4	1

(注) 伏古の平こう温度15.4°Cが流出水温16.5°Cより低いのは疑問であるので順位より省く。
東神楽の流量0.003(m³/sec)もかんがい面積よりみて疑問である。

ただ一回の観測結果の比較で確実な判定はできないが、この表では北大農場温水池の効率が最も高く、他の施設に比してまさっているようである。著者の試算で求めた値によれば $\theta_{\infty}=26.2^{\circ}\text{C}$ で池の効率は 5.70×10^{-6} [m/sec]となり最高位の方に属する。

IX. 結 語

温水池を計画設計するのに当って考慮しなければならない要素は沢山あって、しかもそれらが相交錯して影響するため複雑であるが、著者らは既設の温水池をもととして理論的考察を加えて上記

のごときものを設計、建設したのであるが、その結果は一応満足すべきものと思っている。しかし予算面からの制限や設計および工期についての時間的な制約のために遺憾の点がないでもない。すでに記述したように不満足な点は近いうちに改良し、より満足的なものとする念願である。改良の暁にはより効率のよいものになりうるものと確信する。本工事施行に際しては農場長長尾正人教授を始め農場関係者、本学施設課の各位一同の理解ある御力添えに対し厚く感謝の意を表す。また測量をはじめ作工物の施工に絶えず協力して戴いた、当時農業土木教室4年目学生金沢鶴、工藤典

宏, 佐藤幸雄, 柴野直行, 鈴川敏, 橋場孝, 俵誠
および長尾新の諸君, 当時3年目学生諸君一同お
よび本工事の直接建設にたずさわった建設業者
に対し, あわせて謝意を表するものである。

参考にした文献中主なるものを掲げると次の
ようである。

参考文献

- 1) 権平昌司: かんがい水温に関する調査研究集録, 農
林省改良局研究部, 昭和31年3月.
- 2) 三原義秋・大沼一己: 温水池の熱効率に関する研究,
農業技術研究所報告 A 第4号, 昭和30年9月.
- 3) 前川忠夫・林弘宜: 温水路の研究, 農業土木研究,
第19巻第2号, 第4号, 第21巻第1号, 昭和26年
12月, 同27年5月, 同28年6月.
- 4) 川原琢磨: かんがい水温上昇に関する基礎研究 (I),
農業土木研究第21巻第4号, 昭和28年11月.
- 5) 野田明義・山下義行: 北海道の温水池, 土地改良第
11巻第5号, 昭和36年5月.

記号とディメンション

c : 水の比熱, 1	[cal/gr·°C]
ρ : 水の密度, 1	[gr/cm ³]
L : 気化熱, 596	[cal/gr]
σ : Boltzmann 定数, 1.36×10^{-12}	[cal/cm ² ·sec·(°K) ⁴]
T, T' : それぞれ空気および水の絶対温度	[°K]
$\rho_{v, \max}$: 水温に対する最大水蒸気量	[gr/cm ³]
ρ_v : 空気中の水蒸気量	[gr/cm ³]
h : 熱輸送係数 (Heat transfer coeff.)	[cal/cm ² ·sec·°C]
k : 水蒸気輸送係数 (Vapour transfer coeff.)	[cal/cm ² ·sec·mmHg]
E : 蒸発の速さ	[gr/cm ² ·sec]
v : 風速	[cm/sec]
ν : 空気の動粘性係数	[cm ² /sec]
l : 池の代表長さ (characteristic length)	[cm]
d : 池の水深	[cm]
θ : 時刻における水温	[°C]
θ_a : 気温	[°C]
p_a : そのときの水蒸気張力	[mmHg]
θ_0 : はじめの水温	[°C]
t : 時間	[sec]

Report on the Construction of the Pump plant for Irrigation Water
and Water-Warming Pond in the Experimental Field of
the Faculty of Agriculture, Hokkaido University.

S. GONDAIRA, S. YAMAMOTO and Y. UMEDA

Summary

The planted area of the rice field belonging to the Experimental Station of the Faculty of Agriculture was 24,000 square meters as of 1961. Up to 1960, irrigation water was obtained by pumping up from a small river, the Kōnai River. But with the rapid increase in city development and construction, water for private use had to be supplied from deep wells, and the development of the city sewage system lowered the ground water level to the point where the water source of the Kōnai River dried up. Moreover, because of pollution and lack of water, it became impossible to get water from the Kōnai River for the irrigation of rice field.

Under these circumstances, there was no way to obtain water for irrigation by pumping it up from a new deep well. Based on the fact that the constant water supply, which amounts for 1 m³/min., would be sufficient for the irrigation of this field, the authors made the plan mentioned below. First, a well with a capacity of 2 m³/min was dug, so that we could secure enough water even under the worst circumstances. It followed that the well would be 40 m × 250 mm. In connection with this, a waterproof motor pump with the following characteristics—diameter, 100 mm; discharge of 1.4 m³/min; water head of 20 meters; 2,900 r p m and 7.5 kw, was desirable. This was installed by the authors.

It might be supposed that the larger the area of the surface of water in a reservoir tank, the longer the off-phase of the pump in its operation. This intermittent operation was successfully carried out by the use of a special electric relay, which was automatically applied for controlling the surface of water in the tank. Thus it was possible to save a considerable amount of the electric power.

In order to estimate the off-phase of the pumping operation, the authors proposed several equations, which were related to the surface area of the tank, the shape and the size of its orifices, the upper and lower water level, the mean discharge and the discharge delivered by the pump.

The temperature of water just after it was pumped up from the well was always about 9.7°C. As this was too low as a temperature for water for rice plants, it was necessary to construct a water-warming pond in order to raise the water temperature. The entire surface of the pond must be used fully and effectively. In order to achieve this, water must flow uniformly in all the channels of the pond and must not flow on one side only and also must not make any circulation of flow, that is, there must be no field of dead water. To get a uniform flow artificially and forcibly, it was necessary that the width and depth of the channels be not too large. Moreover, fall equipment, shaped like a ladder was designed and placed at regular intervals to get uniformity of a stream by overflowing on weirs.

The pond which had the width of 15 meters as a whole was separated into three channels with two partitions. Each channel had width of 5 meters and formed the small water fields of 5 meters square by step works and the separation walls. Thereby, 14 falls were made in a total length of 70 meters. Besides this, between the reservoir tank and water-warming pond, three

connecting channels whose width were gradually changed and connected to the regular channels were constructed. The depth of water in the pond was 20 cm.

Specifications which include the following items were thoroughly prepared prior to the execution of the plan. They were the earth works, the concrete works, the well boring and the installation of its accessories.

From June to August of 1961, twice a day, the authors observed the water temperature at the various points of the pond. The time of the observation was 10 a. m. and 2 p. m. daily. Data are as shown in table-5 (a) and 5 (b). From these data it is apparent that, in the average, the temperature rise at 10 a. m. is approximately from 7°C to 8°C, while it reaches nearly 10°C at 2 p. m.

Mihara and Ōnuma had proposed a theory, which was useful for solving she problems, through the given meteorological conditions. By this solutions, the authors computed water temperatures at various points of the pond, under the meteorological data at 2 p. m. of June 4 th. Through the data on the computed and the observed temperature, they ascertained the validity of this theoretical method.

One of the authors, Yamamoto, proposed another analytical method. Based on this method and through the observed water temperature, we were able to estimate the so-called "equilibrium temperature" of the pond. This method was useful in evaluating the efficiency of the pond in getting warm water.

As shown in table-7.9 and fig.-7.2 the values of the computed temperature fitted fairly well to these of the observed temperature, it may be concluded that this method is highly reliable.

Futher, he proposed the following definition with regard to the efficiency of a pond in a point of warming up the water in it.

Efficiency of the temperature rise of a pond

$$= \frac{\text{water temp. at an outlet} - \text{water temp. at an inlet}}{\text{equil. temp.} - \text{water temp. at an inlet}} \times \frac{\text{discharge}}{\text{area of the pond}}$$

Applying this equation, he computed the efficiency on the actual ponds. They are the ponds already constructed in many places of Hokkaido, and the pond which recently has constructed at the Experimental Field of the Agriculture Faculty. The excellency of the later pond may be verified by table-8.1.

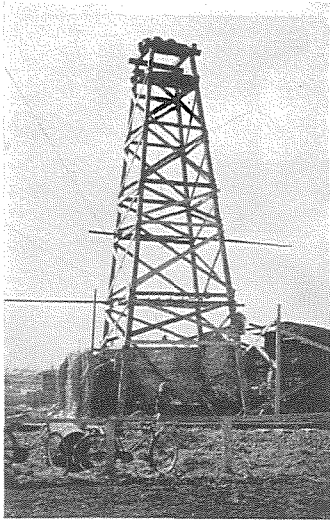


写真1. さく井工事

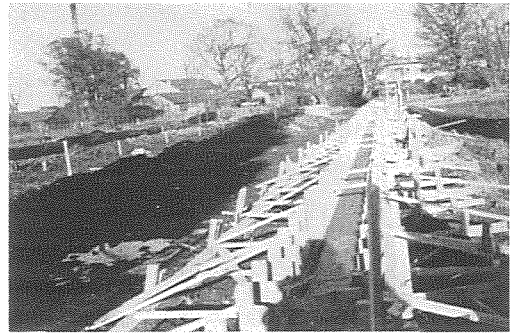


写真4. 導流堤コンクリート型枠



写真2. ブルドーザーによる盛土



写真5. 承水路コンクリート打ち



写真3. 導流堤栗石基礎

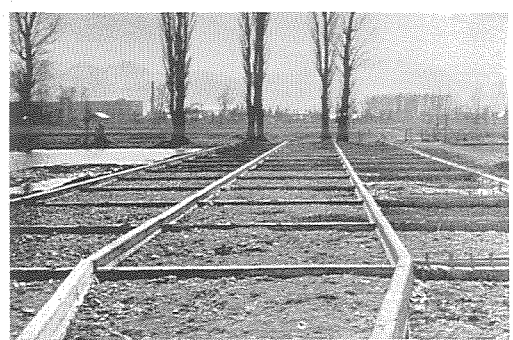


写真6. 導流壁と階段工

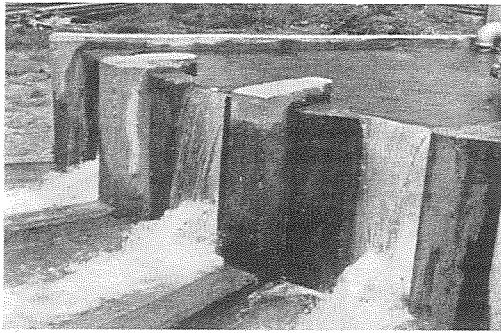


写真7. 受水槽よりの流出



写真8. 上流側よりみた温水池

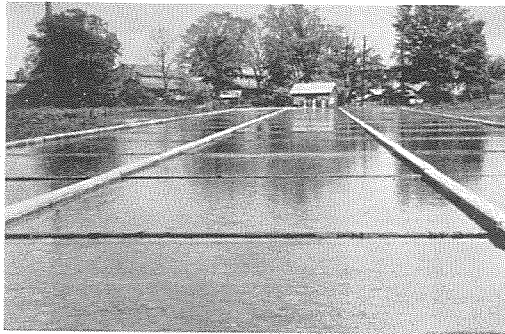


写真9. 下流側より見た温水池