

# 論 說 報 告

第 28 卷 第 2 號 昭和 17 年 2 月

## 玉石交り砂利層の河床に井筒を沈下して 築造せる取水堰止水壁工事

正會員 内 海 清 温\*

要 旨 河床が玉石交り砂利層なる河川に取水堰を築設する場合、高水時に洗掘せられる危険が多であり、又その築造に際しても滲透水が多くて施工困難である。本文は斯る地點に多数の井筒を沈下して基礎兼止水壁たらしめ、極めて良好なる成果を収めた一例を挙げて其の設計施工に就いて説明し、先に本誌第 27 卷第 11 號に報告した厭氣潜函工法と共に井筒工法も亦かゝる場合に適當であることを述べたものである。

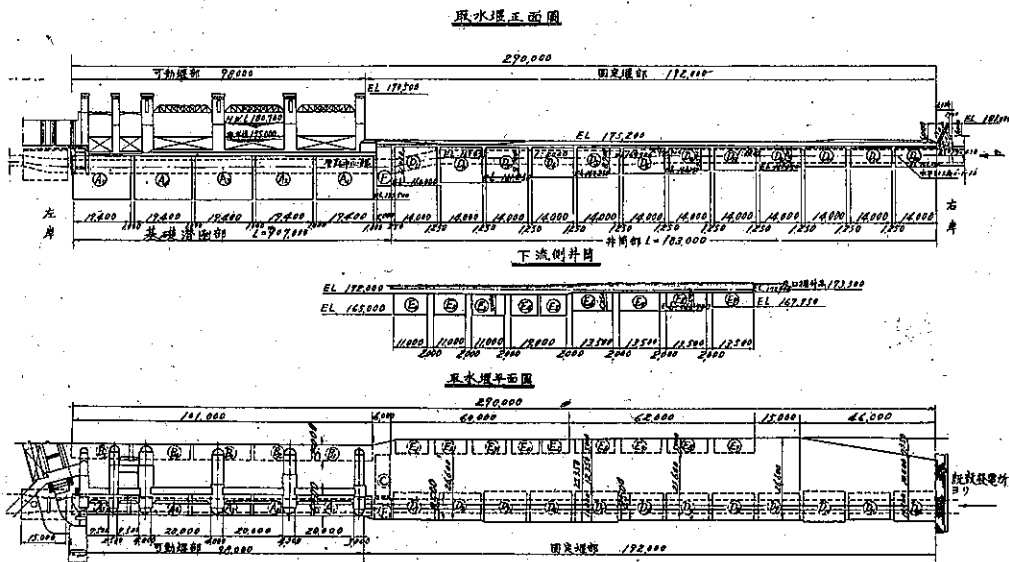
### 1. 取水堰の概要

本取水堰は圖-1 の如く全長は 290 m で、その中左岸寄 98 m は可動堰とし残り 192 m は固定堰とした。固定堰部は幅員 20.00 m~27.35 m を有し、堰頂標高は治水上の要求から在來の平水位と限定された極めて低い溢流堰であるが、河床が玉石交り砂利層である爲、基礎兼止水壁として上下流 2 列に合計 22 基の井筒を沈下した。可動堰部の構造並にその基礎止水壁潜函に就いては既に本誌第 27 卷第 11 號に記述したところである。

井筒を採用した理由を挙げれば次の如くである。

(1) 洪水により上下流が洗掘せられても上體が安全である爲には深い基礎を必要とするが、透著しい砂利層

圖-1. 取水堰一般圖



\* 日本發送電株式會社土木建設部長

である故に、素掘工法が殆んど不可能なるに對し、井筒を以てすれば十分な根入を有せしめることが出来る。

(2) 構造物完成後水の滲透距離を大にし、その滲透漏洩を防止することが出来る。

(3) 工事中、出水に遭遇しても或程度沈下して居れば被害が無い。

(4) 對岸の既設発電所の放水(最大 30 m<sup>3</sup>/sec)を取水する爲、上流側の上水壁体内に管路を設けることとしたのであるが、井筒を止水壁として利用すれば、井筒が所定の位置に沈下した後、底部に水中コンクリートを打ち水替をして dry work で確實に管路を築造することが出来る。

(5) 掘鑿に機械力を十分に利用することが出来、しかも同一箇所にて多數の井筒を施工するのであるから機械設備を能率よく運用することが出来る。

可動堰部には重要な上部構造物があるので基礎止水壁を十分に深くする必要があつた爲(深度 18 m)、壓氣潜函工法を採用したのであつたが、固定堰基礎止水壁の深さは最大が 14 m であるので井筒工法により施工したのである。

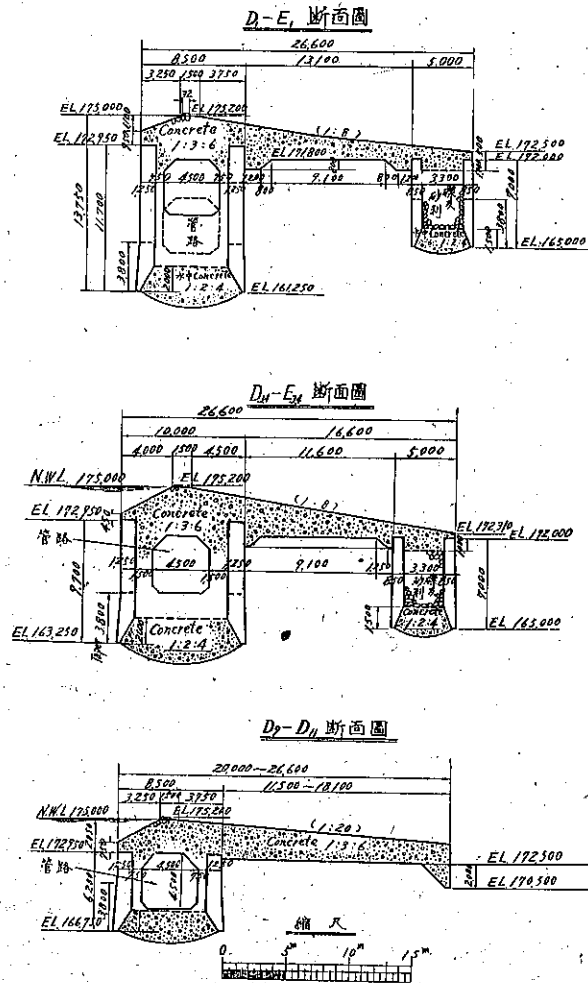
## 2. 井筒の設計

### 1. 形状と配置

井筒は基礎兼止水壁であると同時に又河底管路となる關係上その形状は何れも矩形とし、圖-1 及び圖-2 の如く配置した。上流側井筒を D 號, 下流側を E 號と呼ぶ。D 號井筒は長さ 14 m, 幅 10 m とし、井筒と井筒との間隔を 1.25 m とし、合計 12 基を並列することとした。然るに着工當初は、玉石交り砂利層に於ける井筒沈下の困難を豫想されたので出来るだけ自重を増して沈下を促進する目的で大なる寸法にしたのであつたが、先づ D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>, D<sub>10</sub> 及び D<sub>12</sub> を施工した結果、それ程の必要は無いといふ確信を得て残りのものは幅を 8.5 m に減じた。沈設の深さは洗掘の危険の程度を考へ、流心部に近い D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> の 2 基最も深く取水堰天端以下 13.95 m (在來河床以下 12.25 m)、右岸に近づくに従ひ次第に深さを減じて D<sub>13</sub> では 8.45 m とした。

E 號井筒は合計 9 基で始めに施工した E<sub>4</sub>, E<sub>5</sub> の大きさは 9 m × 5 m としたが基數を減じて工期の短縮を圖るため他のものは 11 m × 5 m 及び 13.5 m × 5 m とした。沈設の深さは最大 7.5 m, 最小 6.3 m である。又潜函と D<sub>1</sub> 號との間には丁度その間に當筋の大きさの井筒 F 號を沈下して連絡した。

圖-2. 固定堰断面圖



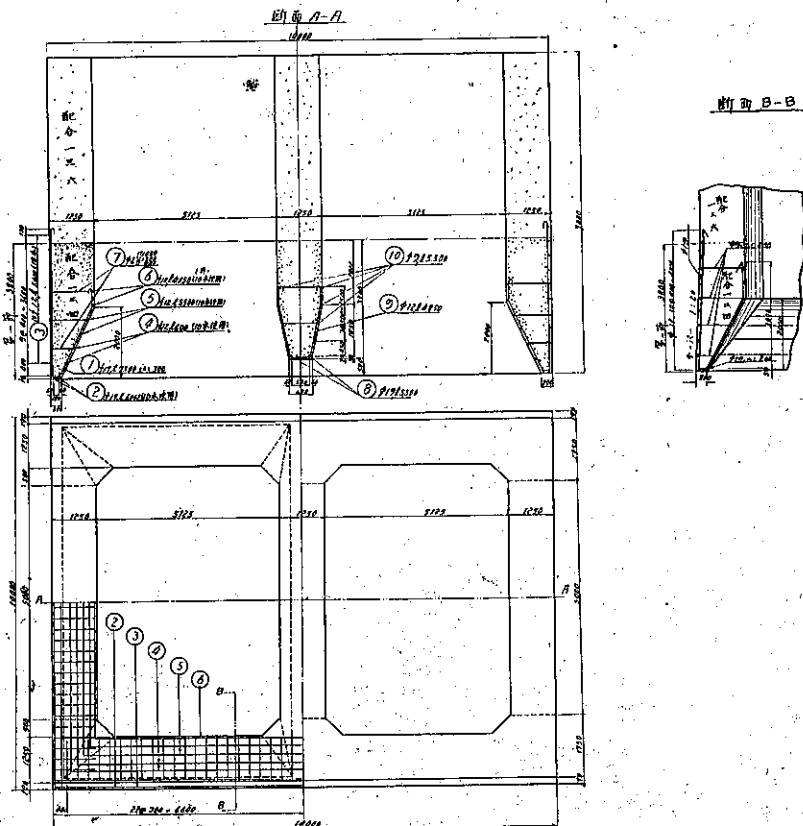
## 2. 井筒の外壁と双口 (圖-3 参照)

井筒は全高を 2 節乃至 4 節に分けて築造し、第 1 節には双口を附した。第 1 節は鉄筋コンクリート構造で、鉄筋型枠等の材料の都合から高さを 3.8 m とした。鉄筋は  $\phi 19$  mm,  $\phi 12$  mm を用ひその使用量は 1 基當り D 號は 5 t, E 號は 3.5 t

圖-3 a. D 號井筒標準設計圖

である。第 2 節以上は無筋とし配合 1:3:6 コンクリートを用ひた。壁厚は D 號は 1.25 m, E 號は 0.85 m とした。又各井筒の中央には外壁と同厚の中仕切壁を設け、その底は外壁の双口より 50 cm 高めて地盤に凹へない様にした。

双口金物は鉄節約の爲省略し、施工を慎重に行ふこととした。即ち双口掘付に當つては、地盤を均して厚さ 3.5 cm の杉の臺板を敷いて不同沈下に因る破損を防止し、又沈下中には絶えず潜水夫を入れて双口下を平均に浚はせ無理の無い様に努めた結果、双口金物が無くても支障なく所定の深



さ迄沈下せしめることが出来た。双口下幅は、潜水夫の双口浚ひ作業の爲には狭い方が便利であるが、餘り狭くては破損の恐れがあり配筋にも不便であるので 30 cm とした。双口の高さは D 號が 2.0 m, E 號が 1.50 m である。玉石交り砂利層では双の鋭さは沈下の能率に著しい影響は無く、専ら潜水夫の双口浚ひに便利である様に考へて設計したのである。Dp-12 の 4 基は沈設が浅く内部の管路との關係上餘儀なく双口の高さを 1.0 m にしたのであるが之は甚だ不便を感じた。1.3 m 以上は必要であらう。

## 3. 管路を設けた上流側井筒 (D 號) の構造

既述の如く對岸の既設發電所の放水を導く必要があるため、D 號各井筒を貫いて管路を設けた。その断面は高さ、幅共 4.5 m の八角形である (圖-4)、井筒が所定の位置迄沈下すれば水中コンクリートを打つて底部を造り水替じ、又井筒と井筒の間隔も後に述べる様に接續工事を施し、然る後各井筒を貫いて管路を築設したのであるが、此の際當然井筒の長手方向の外壁が障碍となるので、之には豫め便法を構じた。即ち井筒は連續 3 基又は 4 基を 1 組として沈下することとし、各組の両端にのみ特殊の假外壁を作り、中間に位する外壁及び中仕切壁は管路の敷上を省略して (實際は 30 cm 餘裕をとり)、恰も 1 基の如く取扱つたのである (圖-5)。しかし此の状態では沈



水の入り来るを防ぎ、各組毎に管路が完成すれば、取壊して全管路を貫通させねばならない。「D<sub>9</sub>D<sub>4</sub>D<sub>6</sub>」、「D<sub>10</sub>D<sub>11</sub>D<sub>12</sub>」、「D<sub>1</sub>D<sub>2</sub>」及び「D<sub>0</sub>D<sub>7</sub>D<sub>8</sub>D<sub>0</sub>」の4組に分ち施工したので、假外壁は D<sub>1</sub>、D<sub>9</sub>、D<sub>6</sub>、D<sub>10</sub> 及び D<sub>12</sub> の5基に設けた。その中 D<sub>1</sub> はコンクリート・ブロックを積み重ねて壁とし(圖-8) D<sub>9</sub> は鉄筋コンクリートの角落を使用した(圖-9)。コンクリート・ブロックの寸法は 1.5m×1.0m×0.6m、又角落のは 6.0m×0.5m×0.3m で何れも現場で製作し重量は1個2tonでクレーンにより設置竝に除去を行つた。各ブロック及び角落の間の水密性を保たしめるためにはモルタルを接觸面に塗布した。D<sub>9</sub>、D<sub>10</sub> 及び D<sub>12</sub> の3基に於ては厚さ0.3mの鉄筋コンクリート壁とし之に扶壁を附して補強し、後にコンクリート・ブレーカーを以て取壊した(圖-10)。此の方法によれば横方向の外壁と同時に造ることが出来、上述の例の如き煩はしい手数を省くことが出来て最もよい方法であつたと考へる。

圖-9. D<sub>9</sub> より D<sub>12</sub> の假外壁を見たところ  
(鉄筋コンクリート角落)

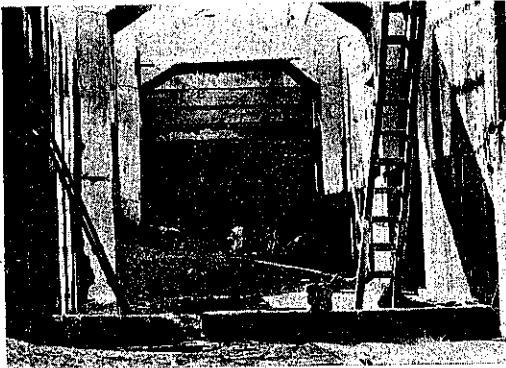
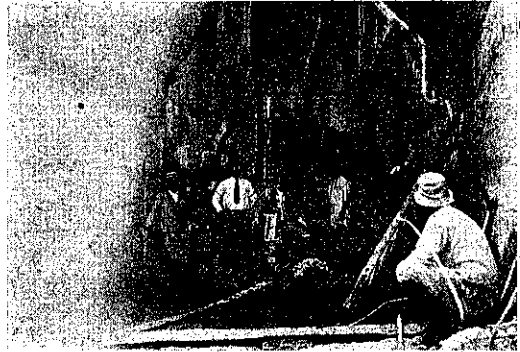


圖-8. コンクリート・ブロックを積み重ねて造つた D<sub>1</sub> 號の假外壁



圖-10. D<sub>10</sub> の假外壁(取壊中)



### 3. 施 工

#### 1. 施 工 設 備

井筒は全基を次の7組に分ち3期に互り施工した。

第1期 「D<sub>9</sub>、D<sub>4</sub>、D<sub>6</sub>」; 「D<sub>10</sub>、D<sub>11</sub>、D<sub>12</sub>」;

第2期 「D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>」; 「D<sub>0</sub>D<sub>7</sub>D<sub>8</sub>D<sub>0</sub>」;

第3期 「E<sub>1</sub>、E<sub>2</sub>、E<sub>3</sub>」; 「E<sub>4</sub>、E<sub>5</sub>」; 「E<sub>6</sub>、E<sub>7</sub>、E<sub>8</sub>、E<sub>9</sub>」

従つて機械設備は同一のものを繰返し3回使用することが出来た譯である。表-1にその機械設備を掲げた。

クレーンはその能率の良否がが沈下工程を左右するもので最も重要である。キャタピラー・クレーンは移動に解體、組立の手数を要せず、河川の出水に際しても速かに避難することが出来る。運轉回数も三脚デリックが1時間20回前後であるのに対し4、5回之より多く、極めて能率が良好である。クレーンの臺数はコンクリート打足し及び養生等のために掘鑿を休止する期間が存在するので、本工事の如く相隣接する井筒工事では井筒1基にクレーン1臺を配置する必要は無く、連続3基沈下に對しては2臺、連続2基に對しては1臺を設置し、キャタピ

ラー・グレン 2 臺を隨時適所に移動して沈下の増進を圖つた。ミキサー及びタワーはレール上を各井筒と平行に移動出来る様にし、コンクリート打を便宜ならしめた。

表-1. 井筒工事使用機械設備

機 械 名	性 能 容 量	員 数
三脚デリック・クレーン	50 HP 腕長 18 m	4 臺
キータビラー・クレーン	50 HP 腕長 12 m	2 臺
グラブ・バケット	容量 0.5 m <sup>3</sup> 及び 0.3 m <sup>3</sup>	6 個
水中コンクリート用底開きバケット	容量 1.0 m <sup>3</sup>	5 個
ミキサー	2l 切練	2 臺
同上 タワー	高 10 m, 20 HP ウィンチ附	2 基
同上 給水ポンプ	5 HP	2 臺
渦巻ポンプ	口 徑 10 吋	6 臺

## 2. 沈下作業

沈下掘鑿は最初 10 吋ポンプで水替をして地下水位以下約 1.8 m 迄空掘を行ひ、それ以下は水中掘とした。掘鑿方法はクレーンによりバケットを井筒の中央に落して自重で底の砂礫に喰込ませめて掘上げるのである。而して

圖-11 に示す様に双口から中央に向つて 1:1.5 位の勾配がつくと井筒自重による加壓の爲、双口下の砂礫小玉石

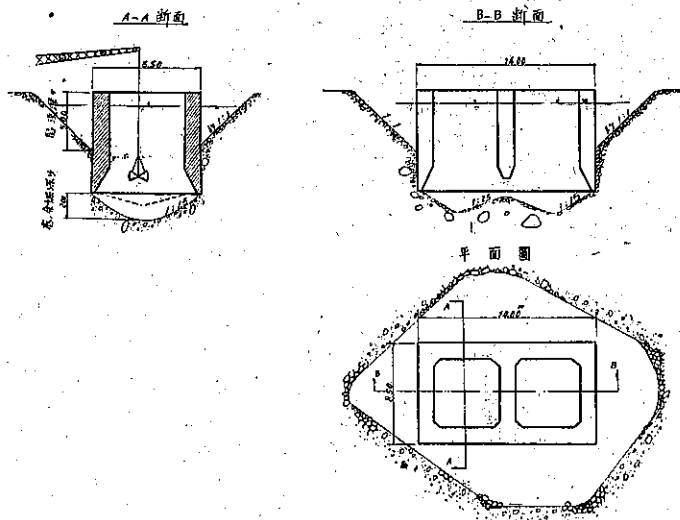
が崩れ落ちて井筒は沈下する。然るに最初は斯る状態となる事に對して多少不安があつたので、萬一双口下の砂が十分に掘鑿出来ずに沈下が困難となる場合の用意として、外壁内にパイプを装置し、水のジェットによつて地盤を弛める計畫をしたのであるが之は使用に至らずに済んだ。然し井筒の四隅は容易に崩れ込まず、従つて沈下を妨げる状態となることが多く、ために潜水夫を入れて此の部分の砂礫を中央に掻き出さしめた。

玉石に遭遇した場合は潜水夫を入れワイヤー・ロープで縛つて引出し

たり、或は鑽孔してダイナマイト山櫻印中及び小を、1~3 本装填し水中電氣發破を行つて破碎した。井筒内部の水は水中掘鑿のため攪拌せられ浮游泥土にて濁り甚しく、潜水夫作業は工事進捗上その沈澱を待つを得ないので全く暗闇作業となり極めて困難であり、その上機械掘鑿と緊密な連絡を必要とするので、其の熟練の度は機械設備の良否と共に沈下能率を支配する重要な要件である。

バケットはグラブ・バケット(圖-12)及びガットメル(圖-13)を使用した。砂利層には此の両者が適するものと考へる。容量 0.5 m<sup>3</sup> のバケットが掘上げる量が多い時で砂礫 0.2 m<sup>3</sup> 餘で、少い時は徑 20 cm 程度の玉石が僅

圖-11. 井筒掘鑿説明圖

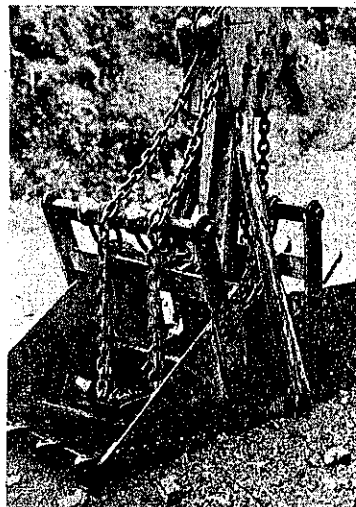


か1個の時もあり、平均して1回  $0.15 \text{ m}^3$  である。デリック1時間の運轉回数は20回前後であるから掘鑿量は毎時  $3 \text{ m}^3$  である。

圖-12. グラブ・バケット (容量  $0.5 \text{ m}^3$ )



圖-13. ガットメル (容量  $0.5 \text{ m}^3$ )

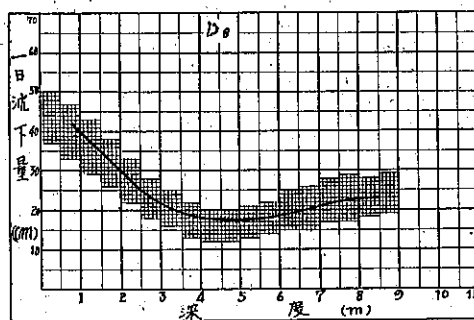
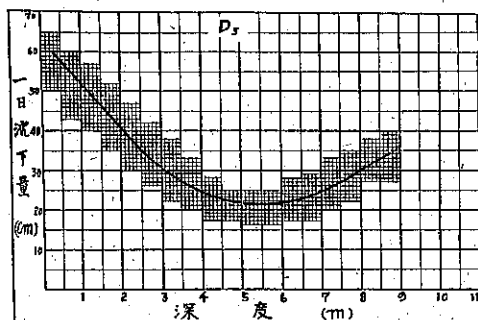


砂礫層に於ては、井筒外周の砂礫が双口下を潜つて崩れ込み周囲には漏斗状の陥没を生ずる (圖-11)。従つて掘鑿量は井筒の體積よりも遙かに多量に達するので掘鑿の割合に沈下が進まない。深度  $5 \text{ m}$  を越えると地層堅密となり、双口下を潜つても周囲が弛む様なことは無く、従つて餘分の掘鑿を爲す必要は無くなるので沈下量が増す筈であるが、主として次の理由で沈下は餘り良好とはならなかつた。

- (i) クレーンの操作に時間がかゝり運轉回数が減ずる。
- (ii) 側面摩擦が大となる。
- (iii) 潜水夫の出入、載荷作業其の他に手間取る。

圖-14 に井筒  $D_1, D_2$  を例として沈下量と深さとの關係を示した。深度  $5 \text{ m}$  附近迄次第に沈下量が減少して居

圖-14. 沈下量と深度との關係



るのは深さと共に餘餘の量が増加する爲である。又深度  $5 \text{ m}$  より沈下量が増加してゐるのを見ることが出来る。

各井筒共第一節の沈下の時は、玉石に遭遇せず粒の平均した砂礫であつて掘鑿が容易であつたので、荷重を全然必要としなかつたが、第二節からは堅密な砂礫層であるためにコンクリート・ブロック及びレールを載荷した。荷重は夫々次の如きものである。

コンクリート・ブロック 邊長  $1.0 \text{ m} \times 1.5 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}$  重量 2 噸

37 冠レール

長さ 10m

重量 0.37 吨

載荷は井筒に無理を與へ、破損を生ぜしめる危険があるので工程に急を要しないものには出来るだけ使用を避けた。D<sub>1</sub> 及び D<sub>2</sub> は沈設後の上を假排水路とする必要上沈設を急いだので、特に荷重ブロックを多く載せた。圖-15 は D<sub>2</sub> の載荷状態を示す。表-2 に於て D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub> 及 E<sub>3</sub> の平均沈下量が他に比して大であるのは載荷したのが大きな原因である。

表-2. 井筒の沈下量

井筒	沈下高 (m)	沈下開始	沈下終了	實際掘鑿日數	1日平均沈下量 (m)	備考
D <sub>1</sub>	12.20	昭.14.11. 6.	昭.15. 4.13.	41	0.30	載荷す
D <sub>2</sub>	12.50	" 10.13.	" 3.18.	46	0.27	"
D <sub>3</sub>	10.54	" 6. 5.	14. 9.27.	48	0.22	載荷せず
D <sub>4</sub>	10.31	" " 19.	" 9.14.	41	0.25	"
D <sub>5</sub>	9.27	" " 30.	" 10.11.	30	0.31	"
D <sub>6</sub>	9.35	" 10.13.	15. 3.15.	36	0.26	"
D <sub>7</sub>	8.18	" 10.19.	" 4.17.	39	0.21	"
D <sub>8</sub>	8.55	" 12. 2.	" 4.27.	39	0.22	"
D <sub>9</sub>	6.86	15. 1.28.	" 5.11.	26	0.26	"
D <sub>10</sub>	7.02	14. 6.27.	14. 9.19.	30	0.23	"
D <sub>11</sub>	7.13	" 7.20.	" " 19.	31	0.23	"
D <sub>12</sub>	7.08	" 6.15.	" " 20.	30	0.24	"
E <sub>1</sub>	8.41	16. 6.26.	16. 9.10.	37	0.23	"
E <sub>2</sub>	7.40	" 5.12.	" 9.23.	29	0.26	"
E <sub>3</sub>	8.98	" 8.30.	" 10.15.	23	0.39	載荷す
E <sub>4</sub>	7.23	" 8.28.	" 10.19.	33	0.22	載荷せず

表-3. 井筒沈下作業人員

井筒名	井筒の大きさ (m) (長×幅×高)	沈下高 (m)	沈下所要日數	機械工 (人)			潜水夫 (人)			土砂處理人夫 (人)		
				總數	沈下高 1m 當	1日當	總數	沈下高 1m 當	1日當	總數	沈下高 1m 當	1日當
D <sub>1</sub>	14.0×8.5×11.7	12.20	41	194	15.9	4.7	82	6.7	2.0	110	9.0	2.7
D <sub>2</sub>	" × " × "	12.50	46	286	22.8	6.2	120	9.6	2.6	98	7.9	2.1
D <sub>6</sub>	" × " × 8.7	9.35	36	150	16.0	4.2	62	6.6	1.7	142	15.2	3.9
D <sub>7</sub>	" × " × 7.5	8.18	39	174	21.2	4.5	75	9.2	1.9	83	10.1	2.1
D <sub>8</sub>	" × " × "	8.55	39	196	23.0	5.0	65	7.6	1.7	60	7.0	1.5
D <sub>9</sub>	" × " × 6.2	6.86	26	112	16.3	4.3	46	6.7	1.8	86	12.5	3.3
E <sub>1</sub>	11×5.0×7.0	8.41	37	107	12.7	2.9	2	0.2	0.1	106	12.6	2.9
E <sub>2</sub>	" × " × "	7.40	29	86	11.6	3.0	17	2.3	0.6	49	6.6	1.7
E <sub>3</sub>	" × " × "	8.98	23	72	8.0	3.1	8	0.9	0.4	60	6.7	2.6
E <sub>4</sub>	13.5×5.0×6.25	7.23	33	103	14.2	3.1	3	0.4	0.1	61	8.4	1.8



表-3 は沈下掘鑿に要せる人員と歩掛を示したものである。又圖-16 には井筒 D<sub>1</sub> の沈下状況圖を掲げた。

### 3. 継手接續工事

井筒と井筒の間隔も止水壁となす爲にコンクリートを以て填充し、特に上流側には管路を設けねばならない。此の部分の砂礫は井筒掘鑿の際に双口下を潜り一部掘鑿されて深さ 3m~4m は陥没してゐるが、更に井筒と同様の機械掘を行つた。上流側井筒の間隔はバケットの大きさ(幅 0.8m)に餘裕を見込んで 1.25m としたのであるが、井筒の偏倚のため多少不便を感じた箇所もあつたので、1.5m は

圖-15. 載荷して沈下作業中の D<sub>2</sub> 井筒

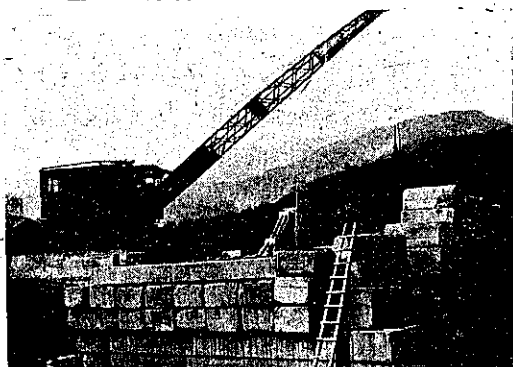
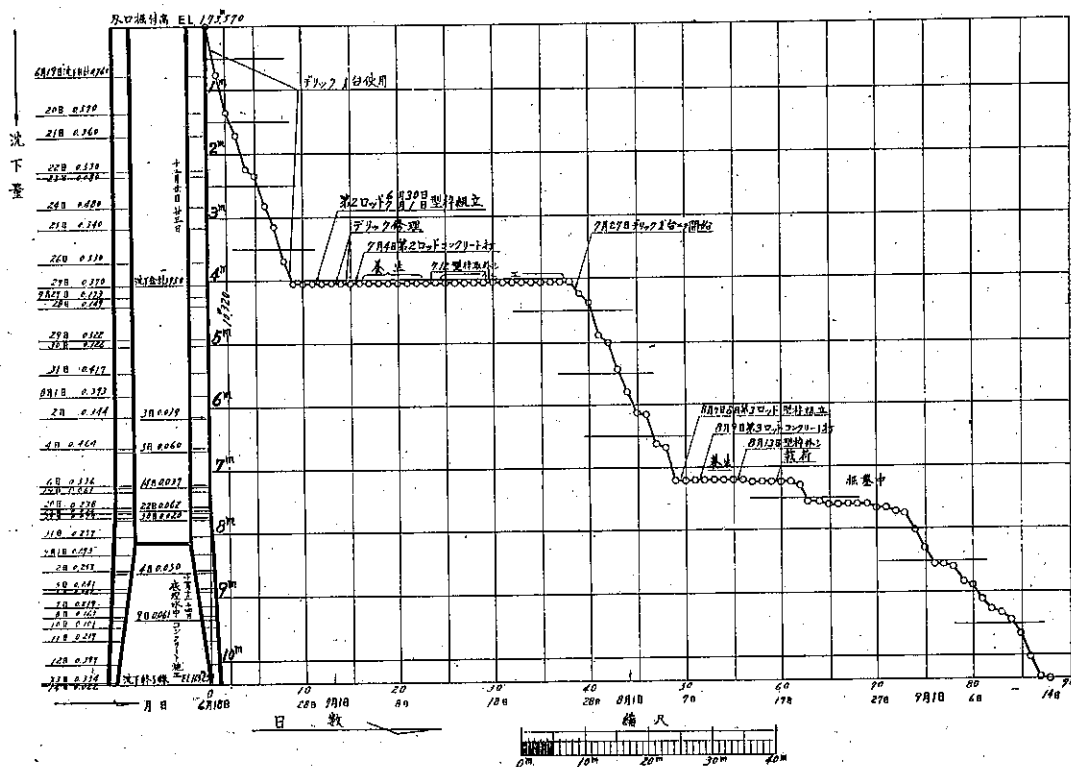


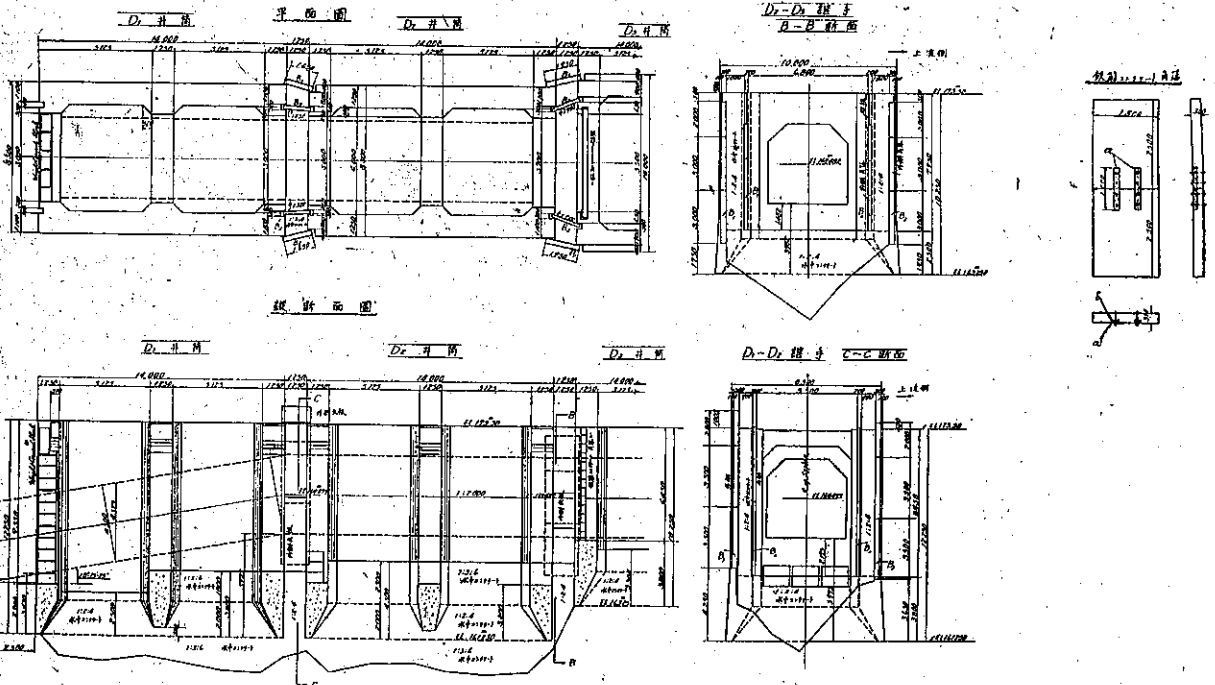
圖-16. D<sub>1</sub> 號井筒沈下状況圖



必要と思つた。

圖-17 は D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub> の接續工法を示したものである。即ち鉄筋コンクリート角落 B<sub>1</sub> を接續せんとする井筒の兩側壁に添はせて沈下せしめ、砂礫が崩れ込むのを防ぎつゝ掘下げた。角落の寸法は取扱の便宜を考慮して幅 1.8m 前後、厚さ 0.3m、長さ 2m~3.5m とした爲、沈下には自重が軽くて困難であつたので潜水夫を入れて角落下の砂礫を浚ひ、或は載荷、或は空發破を行つた。最下部の角落には双口を附し、上下の角落は圖の右上に示した如く、溝 b に木材 a を嵌め込み 2 箇所でボルト締めにした。掘鑿は三脚テラックを使用し、機械工 2 名潜水

圖-17.  $D_1, D_2, D_3$  井筒 接續圖



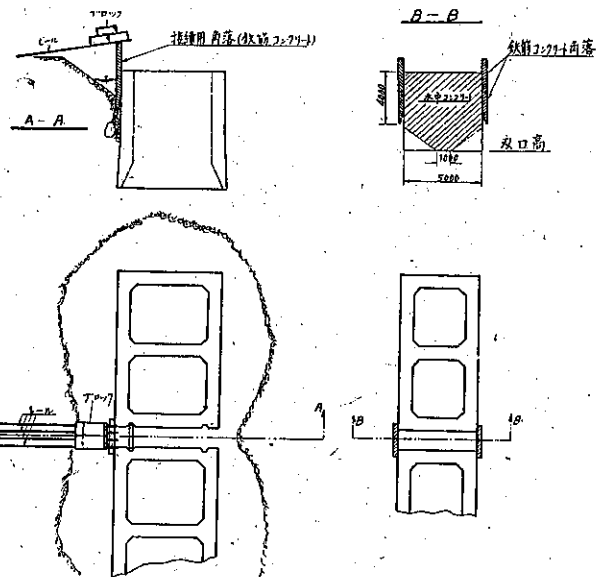
夫 1 名にて 1 箇所 2 晝夜にて完了した。沈下用荷重は角落の上にレールを掛け、之に井筒に用いたと同じ荷重用コンクリート・ブロックを載せた(圖-18a)。又玉石に遭遇した場合には發破を用いた。斯くて管路敷高よりも約 2 m 深く迄下ろし、更に中央部をバケットにて掘越した。掘鑿が完了すれば水中コンクリートを管路敷以下 1.5 m 迄施工し底部を形造り、次に豫め外壁に設けて置いた角落溝 (30 cm × 30 cm) に内側角落  $B_2$  を落し込み、 $B_1, B_2$  兩角落の間に水中コンクリートを天端迄打つて継手部の側壁を形造り、之によつて井筒  $D_1, D_2, D_3$  とその継手部を全部水替して管路を築造し、然る後上部構造コンクリートを打つたのである。

圖-18b は E 號井筒の継手接續工法を示したものである。

先づ鐵筋コンクリート角落を井筒に添はせて沈下し、内部を D 號と同様に掘鑿し、角落が深さ約 4.0 m に達すれば、以下餘掘を行ひ、井筒双口の深さに於て底幅 1.0 m となる様にし之に水中コンクリートを填充した。此の工法は非常に簡単でよく短期間に終了することが出来、しかも止水壁として十分な機能を發揮し好

圖-18a. D 號継手接續圖

圖-18b. E 號継手接續圖



成績であつた。

#### 4. 水中コンクリート

井筒が所定の深度に沈下完了すれば直ちに水中コンクリートで底部を填充した。その方法は容量  $1.0\text{ m}^3$  の鋼製底開き函を使い、掘鑿に使用したクレーンにより操作したのである。

水中コンクリートは配合 1:2:4、水・セメント比は始め 70% の軟練とし双口下へ良く行き渡る様にした。厚さが 1.5 m 前後に達してからは 60% に減じて施工した。養生期間を 10 日として D 號井筒は各組毎に水替して管路を形成し、然る後上部コンクリートを打つたこと上述の如くであるが、水替した時レイタンスが極めて多く厚さ 50 cm にも達するので鶴嘴で掻取りクレーンで外部に運んだ。又 E 號井筒は水替せずに砂利・礫を以て填充し上部に厚さ 1.0 m の蓋コンクリート（配合 1:3:6）を打つた。

以上にて井筒工事を終り、D 號、E 號井筒の間にコンクリートを填充して固定堰を完成したのである。

#### 4. 結 語

井筒工法は、本地點の如く玉石交り砂利層にて湧水甚しく、且つ屢々出水に遭遇する危険があり素掘工法にては工期並に工費の點に於て施工困難とする場合極めて適切なる工法であると信ずる。

始め斯くの如き地質では沈下困難ならずやと大いに危んだのであるが、適當な機械の用意と、熟練した潜水夫及び水中發破の使用によつて意外に良好な沈下成績を得ることが出來た。又工事中に襲來した數回の出水にも被害は殆ど無く、D 號井筒體内の管路も何等の不安なく築造することが出來た。