

## 第十一章 橋臺橋脚の基礎及び施工法

橋梁の桁及び橋臺橋脚の設計に就きては前章に述べた、本章に於て基礎と其の施工方法を述ぶる。

### 1 基礎の根入

基礎工の種類及び其の大きさを決定するに當りて、最初に考慮すべきは、「根入り」即ち地表又は河床より基礎の下端に至る深さを、如何にす可きかと云ふ事である。根入りは二つの事項により決定さるゝ。一つは洪水の際洗掘さるゝ深さ他は信頼し得る支持力を有する地層のある深さ、若くは其處迄で掘り下ぐる事により、支持力を充分にするを得ると考へらるゝ深さである。

砂、砂利又は之に玉石を混するが如き河床に於ては、支持力は充分ある故根入は洗掘の深さによりて定むる。橋脚の周圍が洪水の際如何なる程度に洗掘さるゝかは判断に苦しむのであつて、實例を觀測する方法を知らない。従つて未だ觀測されたと云ふ事實を聞かない。洪水の際洗掘された所も多くは又水の引き際に埋め戻さるゝ故である。只洪水の際橋脚が倒れた實例を參考として推定判断するに過ぎない。

勿論河床の地質、即ち、泥混り砂、細砂、粗砂、砂交り砂利、玉石交り等の如く常に動き易きものなるか、或は、砂利玉石が噛み合つて充分締つて居るか否かにより異なる。洪水時の水深、流速、河床の勾配、上流より山津浪式に土砂を持ち出すが如き山崩地の有無、簡単に云へば荒れ川であるや否やにより異なる。

又橋脚の大きさによりて異なる。大なる橋脚は水流の障碍となり、之を激せしむる事が多い故、洗掘の程度も深い。橋脚の根入りの深さを決定するには定まつた據り處がない。各人の經驗と觀察によるより外に方法がないが、大略次の範圍の内で決定すれば誤りが少からう。

橋脚の徑間	根入の最大深さ	普通の深さ
30 呎	12 呎	10 呎以下
40	15	12 呎乃至 9 呎
60	20	15 呎
70	25	20 呎乃至 15 呎

構桁の橋脚の根入は最小 20 呎とする。之は餘程締つた砂層か、流速大ならざる河床に限るのであつて、普通は深さ約 10 m 以上の沈井工とする。

以上は勿論、支持力充分の地質の河床にして洗掘に備ふる場合の大略根入の標準を示すものであつて、一般に、河床の地質、河川の性質を充分理解して適當に定む可きである。根入れ淺かりし爲め橋脚の倒れた實例は少くないが、必要以上に深くするも不經濟である。

普通岩盤と稱する程度のもは、洗掘の虞なきにより、之を掘り下げて基礎を置く必要なく、表面を均す程度に僅かに掘りて、其の上に直に基礎混凝土を置けば宜しい。

橋脚の根入り不充分なりし爲め、洪水の際、橋脚倒壊して、桁を落して不通となるのは目に立つ悲惨の事故であつて、技術者の過失を其の儘立證するが如く感ぜられ、且つ其の復舊にも相當時日を要し、其の間列車不通が續くのであるから、勿論根入れの決定には念を入れなければならぬが、然し萬全を期して必要以上に深くするのは無益である。

又洪水の際一時に洗掘されて倒壊する例は稀であつて、多くは夫以前流心又は流れの方向の變化により、多少洗掘されて居たものが、洪水の際一層洗掘されて遂に倒壊するに至つたのである。線路の保守に當つては、橋梁の竣功圖により其の根入れを充分記憶し、常に洗掘の度を調べ、危険と思はるゝ時は蛇籠、捨石、張石等の洗掘防禦工を橋脚の周圍に施す可きである。

地盤の支持力を主として、橋脚の根入れの深さを定むるが如き地質の河床は、河口に近きか、或は平坦地を蛇行して流るゝが如き河川のものであつて、荒川で

はない。多くは柔き沖積層である。時に所謂底無し地盤と稱する軟柔地層もある。

## 2 地盤の支持力

一般に岩盤以外の地層支持力に就きては未だ充分研究されて居ない。最近十年間に漸く其の研究が各國に於て開始された状態であつて、未だ總ての人に信頼されるゝが如き法則は發見されて居ない。従つて之によつて計算し得るが如き公式もない。若し有るとしても、特殊の場合にのみ應用し得るのであつて、無制限に何處にでも使用すれば飛んだ誤謬に陥る。

然しながら今迄研究され、多數の人が之を承認する範圍だけでも、從來充分の證明なしに使用されて居た。ランキンの受働土壓の公式、杭の支持力公式等は或る場合には信用し得ざる事を立證して居る。

新しき土質力學の進歩の程度では、未だ數字を以つて支持力を表はすまでには進んで居ないが、基礎の沈下は如何なる現象であるか、土の支持力とは何を意味するか等、總て現象を或る程度まで説明し得るに至つた。此の説明に付き多少の異論があるが、之に従つても大なる誤謬はないと考ふるので次に其の大略を述ぶる。

## 3 新しき土質力學

荷重を受けて地盤の沈下する現象、従つて其の支持力は土質によつて異なる。混凝土の如き固體と看做して差支へなき石、又は之より多少柔き第三紀層の土丹盤に至る間の、普通所謂盤と稱するものは、橋脚、橋臺に對しては支持力充分である故、茲に論ずる必要がない。

夫れ以外の土質には砂、砂利の混合して締つたものから、砂、小砂を経て、多量に水を含む柔軟なる粘土に至るまで種々の階段がある。締つた砂、砂利及び砂層は、橋脚、橋臺には充分の支持力を與ふる故之又論ずる必要がない。普通の砂層と水を多分に含む粘土とは、土質力學から見た土の兩極端を現はすものである。

砂は粒の集まつたもので 50 % 以下の空隙があり、此の空隙を普通水が満して

居るが、粒徑が比較的大きいので、水の毛細管壓力は働いて居ず、凝集力が殆んど働いて居ないので一定の形を與へ得ない。又水の滲透度が大きいので砂層に荷重を加ふれば、此の水は容易に他に逃げ出で空隙量は減じて砂は締る。砂の粒は相當硬いので壓力を加へても粒自身が破壊する事が少い。以上の諸性質よりして砂は之を搗き固め得る。即ち、荷重が加はれば直に最後の容積まで沈下する。然して砂粒が硬いので締つたもの全體の壓縮性が小さく支持力が大きい。

粘土は鱗片状の分子の集まつたもので、其の空隙は特に柔軟なるものは 95 % に達する事がある。斯く空隙は大きい、鱗片状の各分子間の間隙の幅が小さいので、之を満す水に毛細管壓力が働き、粘土の表面には水の表面張力が働いて居て、乾燥するに従つて此の爲めに收縮する。又分子間には元來の粘着力がある上、毛細管壓力により締めつけらるゝので、此の壓力に係數を乗じた摩擦力が働いて、分子と分子とが離れ難い。即ち砂には凝集性を缺くが、粘土の凝集性は大きい。

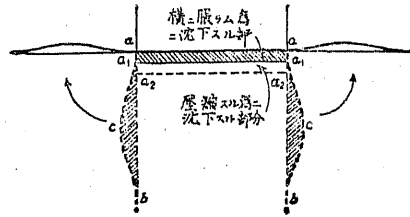
粘土の粒分子が鱗片状をなして居て、分子自身が碎け又は變形し易いので、空隙量を變化せしめないで、粘土に自由なる形を取らしむる事が出来る。即ち形を與へ得る度が大きい。又分子の集體として壓縮性が大きい。

粘土の分子間の間隙の幅は小さいので、水の滲透度が砂に比較して非常に小さい。従つて粘土に基礎により荷重を加ふれば、空隙から水の逃げ出すのが遅いから、基礎の沈下は極めて徐々であるが、中々落着かない、換言すれば粘土を搗き固むる事が出来ない。

以上の砂と粘土との相違を充分理解して、次に沈下現象、土の支持力、杭打金の支持力に就きての説明を讀まれ度い。勿論以上の性質を述べた砂と粘土は兩極端であつて、多くの土は砂の粒と粘土の鱗片状の分子と混合したものであつて、或るものは砂の性質により近く、他のものは粘土により近いと云ふ如きが多いのである。

基礎の沈下現象を調べると其の仕方に大體二通りある事が認められる。

(a) 土が上から荷重を受けた結果横に逃げるために沈下するもの、即ち全體の容積は少しも壓縮せられず、只變形する事によつてのみ沈下するもの。



第 1 圖 沈下の原因

(b) 土全體が壓縮され締め固まるが、一方又横にも逃ぐるもの。即ち土の容積が壓縮されると同時に又變形するもの。

構造物を建てる前に土の中に  $ab$  なる垂直線があつたとする。荷重のために土は横に擴がらうとして、垂直線  $ab$  は曲線  $acb$  となる。土が横に働いた爲めに沈下したとすれば、直線  $ab$  と曲線  $acb$  との間の面積は、明に沈下した面積  $aa_1a_1$  に等しい。若し土質の水の滲透率少く、壓力の爲めに水が逃げ出し土が壓縮する速度が非常に小さい時は、 $aa_1a_1$  の面積は事實上長年月間に沈下する全量を表はす。

然して其の沈下の速さは、専ら粘性半流動體の粘流の法則に従つて定まる。若し基礎の周圍に深く鐵矢板を打ち込むか、又は同様の手段を講じて横に逃ぐるを阻止するならば、沈下しなくなる。之が (a) の沈下現象である。

然し若し土の有する水の滲透性が相當大きく、同時に空隙中の水が他に逃れ出るならば、沈下は二つの異つた部分からなる。即ち  $aa_1a_1$  の部分の沈下は土が横に逃げる事により、 $a_1a_1a_2a_2$  の部分の沈下は土の壓縮により容積が減じた爲めに生ずる。

此の場合沈下の速さは、二つの異つた法則に従ふ。一つは前記の粘性物質中の粘流の法則、他は含有水の壓力の差と滲透の抵抗とに支配される、水の流出量の法則である。之が (b) の沈下現象である。

粘土が砂に近くなる程粘性を失ひ、且つ滲透度が大きくなる故 (a) による沈下が少くなり、(b) 特に其の第二項の法則による沈下が多くなり、沈下總量が減ずる。

以上に述べた沈下と云ふのは、徐々に連続的に生ずるものを云ふのであつて、土の内部の層に急激なる變化を惹き起すが如き土の破壊とは異なる。地震の際に龜裂を生じての沈下、陷没するが如き急激なる破壊作用ではない。

土の支持力と云ふのは、一般に此の沈下の量に或る制限を置いた時の荷重の強度である。沈下に制限を加へなければ、急激なる陷没破壊作用を起さない範圍の荷重の強度を云ふ。ラーメン連続桁其他静力學的に不定の應力を生ずる構造物では、之を支ふる橋脚其他の沈下が一定量を越せば、破壊する故、沈下量に制限を加へなければならぬ。斯の如く土の支持力は常に沈下と關聯するものである。

此の沈下量及び支持力に對して、未だ正確なる數字を以つて示し得る如き法則は發見されて居ない。唯だテルツアギーが主張する次記の事項は大體認められて居る。

(a) 基礎の單位面積に來る荷重の強度を同一にしても、土質によつては、沈下量は基礎の面積が大きくなる程増加する。其の増加する割合は主として土質の有する凝集力に依る。凝集力の大きい粘土では、單位荷重によつて生ずる沈下量は載荷面の直徑に正比例して増加する。然しながら凝集力のない砂質では面積の大きさに關係が殆んどない。

(b) 基礎の根入れが増加すると、同一荷重強度に對して沈下量は減少する。

一般に同じ單位荷重に對し根入れ零なる場合の沈下量を  $S_0$  とし。

根入れの深さ  $t$  なる場合の沈下量を  $S$  とし

載荷面の直徑を  $d$  とすれば、

$$\frac{S_0}{S} = f\left(\frac{t}{d}\right) \text{ であつて}$$

$t$  が増せば  $\frac{S_0}{S}$  は大きくなる。即ち  $S$  が小さくなる。

$d$ が増せば  $S$  が大きくなる。

5 呎平方の面積を有する基礎工があつて、其の根入れを 5 呎とした爲めに、沈下量は  $S_0$  の半分に減少したと假定する。

10呎平方の基礎工を根入れ 5 呎にしても、其の時の沈下量は根入れ零の時の沈下量の半分には減ぜず、其の差が少ない。半分にするには  $\frac{t}{d}$  の比を同一にするため 10 呎根入れしなければならぬ。

(c) 普通吾々は従来、基礎の下に一樣に荷重が分布するものと假定せるも、實際は然らず、ブウンネスクの弾性體としての理論的計算によつても、基礎下面の荷重の強度は其の中央に於て最大であつて、周邊では零である。分布の表はす荷重の強度曲線は大略パラボラとしても大差ないと云はれて居る。之は基礎のフーチングの設計に當り考慮しなければならぬ事柄である。

さて一般に支持力及び沈下量と、基礎の面積と、根入れの深さとの関係を、公式を以つて表はす程に研究が進んで居ない。其の數字は土質によつて異なるのは言を俟たない。土質と云つても土を分類する規準を何處に置くかが問題である。砂と粘土と云へば、誰も識別し得るが、其の中間のものを如何にして識別するかは、近年漸く研究し始められたのである。更に困難なるは地表より深き所にある土の其の儘の状態の試材標本を、簡易に抽出する方法である。

#### 4 土の分類法

現今行はれて居る土の分類の仕方に種々あるが、最も簡易であり、且つ相當に役立つものとして推奨し得るは、山口昇博士の創始された次の二つの方法である。

(1) 土を器械分析して、其の組成粒分子の徑の次の如き各種大さの百分率を求め、且つ其の空隙量即ち含水量の百分率を求む。

砂利 米式 8 mesh の篩に残るもの。徑大略 2.5 mm 以上。

砂 米式 8 mesh の篩を通過し 200 mesh の篩に残るもの、徑は大略 0.05 mm 以上。

沈泥 米式 200 mesh 篩を通過し、深さ 11 cm の水中に 8 分間静置し、底部より 3 cm 以下に沈澱せるもの。徑大略 0.05 ~ 0.005 mm

粘土 米式 200 mesh の篩を通過し、深さ 11 cm の水中に 8 分間静置し、表面より 8 cm、即ち底部より 3 cm 以上に浮遊せるもの、徑大略 0.005 mm 以下。

(2) 土に壓力を加へ其の剪斷抵抗を試験する。

土の剪斷抵抗は、壓力に摩擦係数を乗じたる摩擦力と、壓力(外から加へた)に無關係に含有水の毛細管壓力による摩擦力及び固有摩擦力の和である粘着力より成る。砂には此の粘着力は殆んどない。

(此叢書中の山口昇氏著土性力學第三章及第四章参照)

基礎の支持力沈下を取扱ふ範圍では、第一の方法により識別した方が適當に思はる。第二は地滑り關係の時に行ふ方が寧ろ適切であらう。基礎の施工に當りては、従來の成功又は失敗せる技術者の經驗は、分類と相伴つて始めて、將來他の場所に於て稍々正確に役立つのである。技術者は設計、施工の際問題となるものに對しては必ず、其の土を試験し識別して、土に關する技術發展の資料とする事を忘れてはならない。

#### 5 土質力學と根入

以上は最近の土質力學の大略を説いたが、橋脚橋臺の基礎の根入れを如何にすべきかの根本要求は、之によつて少しも解決されて居ない。

根入れを深くすれば、支持力を増す事は、昔から施工技術者の常識であつて、此の常識は新しい土質力學でも崩れない。唯だ夫れ以外に、基礎の幅員、面積が重要な函數として之に加はり、根入れを深くして増加する支持力の量は、土質によつて大いに異なる事が明にされた。

根入れを深くすれば、橋臺橋脚の容積が増し、基礎に加はる荷重が多くなる。従つて又基礎の面積を大きくしなければならぬ。基礎の面積を大きくすれば、逆に

土の単位面積の支持力が減ずる。斯くして土質によつては、根入を深くして得る所少き結果に終る事がある。柔軟なる粘土にては、荷重を減ずる爲め長き基礎杭を打つか、或は、砂杭、又は或る深き粘土を根掘りして、之に砂を搗き固めながら満たし、其の上に基礎を置く施工法が昔から知られて居る。之は基礎に來る荷重を増さずして、根入れを深くするを目的とするものである。柔軟なる粘土に於ては、根入れの問題は杭打と關聯する事となるので、次の項をも参照されたい。茲に注意したいのは、橋臺の餘り高からざるものが、水のない締つた粘土質の上にある場合、經驗の少き技術者は、夫れを盤でない事を理由として之を不安に思ひ、不用の杭打を行ふ事である。盤にあらざるも締つた粘土質は相當支持力を有する。

## 6 基礎杭

従來杭 1 本の支持力が  $a$  噸ならば 50 本の杭打基礎工の支持力は  $50a$  噸であると、何等實驗せず普通の常識として假定して居たが、其の後必ずしも斯の如くならざる實例が所々に起つたので、改めて杭の支持力が研究され始めた。是等の研究は未だ完成されて居ないが、既に知られて居る範圍で施工技術者の参考となり且つ八分の信用を置いて良いと考ふる事項を次に擧ぐる。基礎杭打工を三つの場合に分け得る。

- (1) 杭は構造物の重量を下の岩盤又は他の堅固なる地層に傳ふるものであつて、柱の役目をする。
  - (2) 杭は構造物の重量を沈下し易い上の層から、比較的壓縮し難い下の層に傳ふる。
- 之に二つの場合がある。
- (a) 上の層は軟いが壓縮し難いもの
  - (b) 上の層が軟かくて壓縮し易いもの
- (3) 杭が深い沈澱層中に或る深さまで打込まれ、其の層の含水量（空隙量）

が深い所でも變化しないもの。

(1) は疑問の餘地のないもので、堅固なる地層に届く長さの杭を打てば宜しい。群杭の支持力は、單杭の支持力に本數を乗じたものであつて、單杭の支持力は錘の落下の高さと打止めから計算することが出来ない。下の盤に達すれば、錘が杭の上で跳るのみである。之を無理に打ち過ぎれば反つて杭を折損する虞がある。

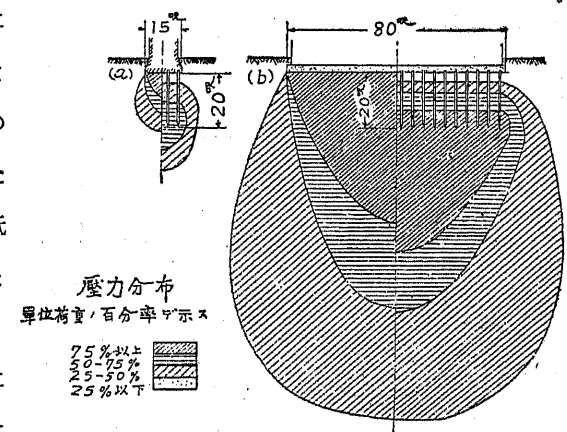
(2) の (a) の場合は上の層は杭打によつて締まらない。打ち込むと粘土の表面が持ち上つて其の組織が破壊される。杭の支持力は主として下層に打ち込まれるために生ずるのである。

(b) の場合は杭を打ち込むに従つて上層の土が締つて、搗固めと同じ作用を受ける事となり、土が締ると共に杭の表面と土との摩擦力（壓力と摩擦係數との積）が増し、杭の支持力も増す。杭を周圍より打ち始め、順次中央に行くと云ふ普通の杭打方法は、斯る地質にのみ有効である。

杭打により上層の土の支持力が増すため、充分建造物を支へ得る故、杭を上層の下端で止むの方が經濟である。又斯る地質では最初に 1 本の杭を打ちて、其の

試験荷重又は杭打公式により計算する支持力により、杭の本數を定むるのは誤である。土が締つたため最後の最も打込み抵抗の大なりし杭を標準とする方が眞に近い。

(3) の場合は杭打により直接地盤の支持力は増さない。杭の效能、杭



第 2 圖 基礎工の下の土に於ける應力分布状態

の作用に付き未知の領域があり、単杭としてより群杭として意味があり、杭の表面積即ち其の太さより長さが有効に働く。適當の長さの杭は建造物の重量を都合よく土に傳ふる働きをする。

一般に廣き弾性體の上に荷重を置いた時の、弾性體内部に傳はる壓力の強度に就き、ブウシネスクの計算したものがある。同氏は壓力分布の状態を推定して、基礎直下の單位面積の壓力を100とし、荷重が廣い面積に傳はるに従つて、壓力の強度の大略は第2圖の如く減じて行くと云ふ結果を得た。勿論圖の形は想像的に大略を示すもので、正しき形は基礎の形により異り、正確に計算せるものがある(土質調査委員會第一回報告書木村二郎氏報告参照)。

柔軟粘土は弾性體でないから、ブウシネスクの法則を其の儘應用し得ないであらうが、大略の傾向を此の形によつて示し得る。即ち、杭のあらざる場合は同圖の(a)及び(b)の左半分の如く、壓力が分布する。基礎杭があれば同圖の右半分の如く基礎直下の壓力強度を減じ、壓力強度の最大なる部分を杭の下端まで下げた事となり、當然沈下量を減ずる。

又圖面の壓力分布の形より想像し得る如く、杭の有効の度は基礎の幅員と杭長との關係により大いに差がある。同じく長さ20呎の杭を打ちながら、基礎の幅が15呎の時は、杭の無き時に比較して壓力強き部分を遙かに深く下ぐるも、(a圖参照)基礎の幅員が80呎ならば、杭のなき時と餘り差がない(b圖参照)。即ち杭の有効の度が遙かに減ずる。

勿論何れにしても杭1本の支持力は問題でなく、杭は唯だ基礎の根入れを深くしたと同じ效用があるに過ぎない。勿論長き杭程有効であるが、同時に基礎の幅員も考慮しなければならぬ。土の支持力と同じく $\frac{t}{d}$ が關係する。一般に基礎の幅員よりも短い杭は殆んど無効である。

要するに斯る柔軟なる粘土にては、相當長き杭(基礎の幅以上)を適當間隔に打てば宜しい。試験荷重により杭1本の支持力は知り得るも、之に本數を乗じた

るものは全體の支持力とはならない。換言すれば未だ支持力を數字的に算出し得ない。

## 7 杭の支持力

杭の支持力を示す公式は永く土木技術者の宿題であつた。各國に種々異なる公式がある。然しながら現在に於ては、杭1本の支持力は之を重大視する必要がない。不確と考ふれば、試験杭を打ち、之に試験荷重を載せて、其の沈下の状態を觀測して安全支持力を決定すれば宜しい。

此の頃は従つて杭の支持力公式を餘り問題にしないが、尙ほ習慣的に、杭の打止めの穿入、錘の重量、及び落下の高さより、打ち込みに対する抵抗力を計算し、此の抵抗力を其の儘杭1本の支持力と假定する從來の方法が行はれて居る。或る場合には之は杭の支持力に合致する事があるから、其の代表的のものを次に掲ぐ。

理論公式

$$R = \text{錘の重量} \quad G = \text{杭の重量}$$

$$L = \text{杭の長さ} \quad F = \text{杭の斷面積}$$

$$E = \text{杭の材質の彈性率} \quad h = \text{錘の落下の高さ}$$

$$S = \text{1回の打撃による穿入距離}$$

$$m = \text{撃衝係數} \quad \text{完全なる非彈性撃衝では} \quad m = 0$$

$$\text{完全なる彈性撃衝では} \quad m = 1$$

$$c = \text{杭の性質と穿入に對する抵抗力とに依る實驗常數}$$

$$= \frac{QdL}{2FE}$$

半彈性撃衝の理論から次の方程式を得る。

$$Qd = \frac{F}{L} E \left[ -S \pm \sqrt{S^2 + \frac{2Rh}{E} \cdot \frac{R+m^2G}{R+G} \cdot \frac{L}{F}} \right]$$

$m$ の値を半彈性撃衝に對し $\frac{1}{2}$ に取る。

$m = 0$ にすれば、Redtenbacherの公式になる。

完全なる弾性撃衝にて  $m = 1$  の場合には

$$Rh = QdS + \frac{1}{2} \frac{Qd}{F} \frac{L}{E} = Qd \left( S + \frac{1}{2} \frac{Qd}{F} \frac{L}{E} \right)$$

$$Qd = \frac{Rh}{S + \frac{1}{2} \frac{Qd}{F} \frac{L}{E}}$$

$\frac{1}{2} \frac{Qd}{F} \frac{L}{E}$  なる項は杭の性質と穿入に對する抵抗力とに依るが、是等に無關係なるものとして實驗常數  $c$  にて置き換へると、

$$Qd = \frac{Rh}{S+c} \quad \text{即ち Wellington の Engineering News の公式となる。}$$

$$\text{(Eng News 公式 } \frac{Rh}{S+0.0833} \text{)}$$

此の打込みに對する抵抗力は、直に杭の支持力に相當するや否やは疑問であつて、土質によつては合致しない。杭を打込んだ儘二三日放置し、其の後打つ時は穿入距離は以前と異なるを發見する。斯る場合は静止せる時の杭の支持力は、連続打撃中の抵抗力と異なるを意味する。

一般に杭の抵抗力及び支持力は二つの分子から成立つ、一つは杭の周圍の外皮摩擦力、他は杭の下端の抵抗力（土が杭に壓縮又は押し除けらるゝ爲の抵抗力）である。摩擦力は壓力と摩擦係数の積である。

此の二つの分子が杭が急激に連続打撃さるゝ時も、靜に押さるゝ時も變りなき如き土質ならば、杭の打込み抵抗力が支持力と合致するのであるから、杭打の支持力公式を使用して差支ない。或る種の土、特に砂又は滲透性のある土の盛土層の如きは之に屬する。只後に土が他の杭により締まるので、外皮に働く壓力が増加して、摩擦力が増す場合は別に考慮を要する事、前記の通りである。

水を含む粘土にして、滲透性の少き土質に杭を打込む時、錘の一打毎に、杭の尖端の下の土から幾何かの水を搾り出す、水は杭と地盤の間から地表に逃れ出でんとして杭の外皮を覆ひ、一種の滑劑の働きをなし、摩擦係数を非常に小にする。

従つて摩擦抵抗が殆んどなくなる。

之に反して先端の抵抗は、急に土を壓縮して水を搾り出すのであるから、靜に徐々に壓縮する場合に比して遙かに大きい。杭を放置すれば、外皮と地盤の間の水は再び周圍に吸収さるゝ故、摩擦力は打込みの時より増加するが、靜に荷重を掛ければ、先端抵抗は非常に小さくなる。

即ち杭の打込み抵抗力及び支持力の兩分子は双方の場合に相反して増減し、其の和は何れが大なるかは土質により異なるも、支持力と抵抗力とは相違する事だけは確實である。

杭打公式の與ふる値と、實際に杭を引抜いて摩擦力を試験し、又試験荷重により觀測せる支持力との差異に就きては、各國に於て行つた數多の實驗がある。杭打公式が支持力を與ふるのは特殊の場合のみである事は、以前から主張されて居た。

要するに公式を應用し得る土質は極めて限られて居る。現場技術者には Engineering News 公式位が簡便であつて、參考に使用して見ても宜しからう。只最後の穿入が  $\frac{1}{2}$  吋以下の時は實際の支持力の方が此の公式の與ふるものより遙かに大きいと一般に云はれて居る。

以上理論に亘つたが次に又實際問題に立返る。

## 8 許容沈下量

基礎の破壊的急激沈下は構造物全體の破滅を來す故、絶対に避けなければならぬ。普通の常識を以つて施工すれば、斯る事故を惹起すべき事は稀有である。之に反して柔軟土質の上に、絶対に沈下しない構造物を造る事は至難であつて、或る場合は不可能である。先づ構造物の許容沈下量を定むるを要する。

幸にして橋臺橋脚は建物と異り、ラーメン、連続桁、拱其の他特殊のものを支持する以外、沈下によつて大なる龜裂其の他の破損を生ずる虞が少ない。特に最も多數にある單桁を支ふる場合は、徐々の沈下は橋梁全體に殆ど損害を與へない。

沈下の虞ある地質には、其のために故障を生ずるが如き型の橋梁を避くるか、或はラーメン等の許容沈下量を計算し、之以下に沈下を止むるを得るとの確信が、試験荷重等の実験によりついた時にのみ、是等の型を採用すれば宜しい。

単桁には徐々の沈下は害が少ない。竣功後二、三年間に 2 尺以上も沈下せる實例が所々にある。東京の隅田川以東、江戸川以西の龜井戸を中心とする越中島線其他の改良工事によつて、過去十箇年間に建造された橋脚中に、沈下するものが多数ある。

柔軟なる沈積層に造る橋梁には、沈下を極力防禦する事に苦心して工費を投ずるよりは、寧ろ沈下を覺悟し、従つて沈下すれば、従つて桁を扛重機により上げて床石又は橋臺橋脚の頂部を高く繼ぎ足し得る如き構造にする方が得策である。桁の両端には扛重機を以つて受け得るやう、特殊のクロス・フレーム又はブラケットを取付け、橋臺橋脚の頂部には扛重機を据えるに足るだけの廣さと足場とを、豫め考へて特殊の形にすべきである。

沈下量の推定の際注意すべきは、單位荷重を同じくしても沈下は基礎の面積に比例して増す事である。之は只基礎のみでなく、橋臺の場合は背後の築堤盛土をも考慮に入れなければならぬ。橋臺の基礎の下と築堤の下とは單位面積に來る荷重の強度は異り、築堤の下の荷重は小さきにも係らず、橋臺單獨にては充分試験荷重にも耐え、沈下しなかつたものも、其の後背後の築堤の高さが増すに従つて、築堤と橋臺共に等しく沈下する實例が甚だ多い。

柔軟なる沈積層中に砂に小砂利交りの層が挟まつて居る場合がある。此の層の厚さ大なれば支持力充分にして信頼し得るが、薄き時は危ぶまる。普通 2m 以上ならば沈井工及び基礎杭を此の層に留めても、多くの場合安全である。1m 前後ならば大ならざる橋脚又は杭を留めしむるに過ぎない。

柔軟なる粘土中に基礎を置く橋臺橋脚は、垂直の方向の沈下を免かれざる外に、水平力に對して一層其の抵抗力が少ない。高き築堤を背後にする橋臺は屢

前に押し出され徑間が狭くなる事がある。此の外一見不思議にも小さき橋臺は反對に後に引かるゝ場合がある。築堤の下が一層多く沈下する事が原因するものと考へらる。

## 9 根掘り

橋臺橋脚の基礎が地表又は水面より相當深き時、其の根掘りは困難なる作業である。湧水時を選び順序よく手早く大膽に仕上ぐれば工費を節約し得るも、作業の方法と時期を誤り遷延すれば、非常なる困難に遭遇する。

近年我國に於て到る所に電力の供給あり、又内燃燒機關の如く持運び容易なる機械普及せるため、有力なるポンプにより排水し得る様になり、一方鐵矢板の如き土留装置も發達し、水中の根掘り作業は昔日より餘程容易となつたが、尙ほ施工技術者の巧智と果敢なる判斷を要するものが多い。以下普通行はるゝ方法を記す。

### (1) 素掘り

格別の土留装置を施さず掘鑿するものであつて、地下水の存在せざる粘土層、及び河床の如き玉石混り砂利層の締つたもの等に成功する。

土留装置を施す時間を節約する以外、土留の切梁等が掘鑿作業を妨げないので、短時日に床着し、基礎混凝土を打ち終る。従つて周圍の土が弛む機會が少なく、天候を選んで施工すれば手軽に成功する。

河床又は一般に砂利層は水の滲透が多いので、有效なる排水ポンプを必要とする。河床の締つたものは、水の湧出のために周圍が弛緩する虞が殆んどない。

河原に於て水流を他所に附替へ、根掘の周圍に土俵を二三段積み並べ、水流の直接根掘中に浸入するを 방지、湧水をポンプにより排水しつゝ掘鑿すれば、案外容易に成功する。

ポンプは普通徑 8 吋、6 吋、4 吋のものを根掘りの大さ及び深さに應じて備ふれば宜しい。徑間 70 呎の橋脚では徑 8 吋又は 6 吋のもの二臺以上、普通の大



いさの橋脚では 6 吋と 4 吋を 2 臺備ふれば充分である。1 臺に故障生じても作業を中止せざる様、常に豫備を 1 臺据付けて置けば作業早く進捗する。セントリヒューガル・ポンプのフトヴァルプに小石が挟まり故障生ぜざる様常に注意するを要する。ポンプに要する動力は大體次表の如き大さである。

ポン プ 径 時	1 分間 排水量 立方呎	消 費 馬 力														
		全揚 程 呎	消費 馬力	全揚 程 呎	消費 馬力	全揚 程 呎	消費 馬力	全揚 程 呎	消費 馬力	全揚 程 呎	消費 馬力	全揚 程 呎	消費 馬力			
3	17	146	7.7	49	2.4	34	1.7									
4	32	210	21	71	6.4	50	4.4									
5	53	276	42	92	14	64	9.2	42	5.8							
6	80	360	87	120	27	84	18	55	11							
7	115			142	44	100	30	65	19	44	13					
8	150			183	76	128	52	83	33	57	22					
9	190			210	110	146	75	95	47	65	31	52	25			
10	240			232	152	163	103	105	64	72	43	65	39			
12	350					214	200	138	128	95	84	76	66			

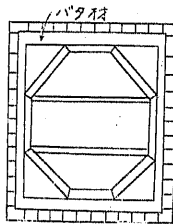
根掘り深くして、周囲が弛んで崩れると云ふよりは、一部肌落ちする處あるときは、矢板を以つて後押付の土留をする。即ち長さ 6~9 尺の矢板を、普通二段に横のバタ材を置いて押へ、之に切梁をかぶ。

餘り深からざる根掘りであつて、砂交り粘土等にして多少湧水するものは、俗稱達摩ポンプ（エドソンポンプ）により排水する。小さきガソリン機関にて動かす輕便のものもある。

矢板掘り

軟弱なる粘土又は砂質に於て、地下水面以下に根掘りするには素掘りにするを得ない。斯る地質を深く掘り下ぐるには、地下水面まで地表より約 5 尺以内 5 分乃至 1 割の法に切り開き、夫れ以下を矢板掘にする。

矢板は厚さ 1 寸 2 分以上 2 寸まで長さ 9 尺及び 12 尺が普通である。松材を使用する。

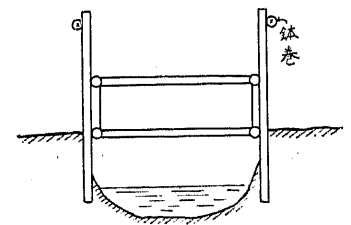


第 3 圖

相當深さ普通に根掘りした後、基礎の大きさに準じて地上に水平に最初バタ材を切り組む。バタ材は太鼓に削つた丸太である。バタ材に沿はして矢板を立て込み其の上端が外に開くのを防ぐため、上に外から俗に云ふ鉢巻を締めさせる。

矢板の立て込みが終れば其の一枚一枚を順次逆鉋にて打込み、矢板の双先きの土を鋤簾等にて除きながら下げて行く。之に伴ひバタ材をもヤツトコと鉋にて叩きながら下げ相當下がつた時に更に一段上のバタ材を切り組み、上下のバタ材を繫材を以つて繫ぐ。土壓が加はればバタ材に切梁を入れる。

即ち此の方法では、作業は掘鑿、矢板打ち下げ、バタ下げの三段になる。各作業は順次適當に引續いて行はなければならぬ矢板を打ち下げずして掘鑿しても、周圍の土を徒に弛めるのみで、下へは進まない。矢板打ち込み



第 4 圖

以下に矢板の部分は土壓のために内に撓屈して、其の後はバタ材下がらず、矢板の先が折れる處がある。

掘鑿には鋤簾ガツト・ミル等を使用し、必要に應じてポンプにて排水し、又潜水夫を入れて矢板の双先を掘らせる。矢板が土壓のために下がらぬ時は箱枠の如く軌條等の荷重を乗せる事がある。

普通長さ 9 尺矢板には、二段にバタ材を入れ、12 尺の矢板には三段入れる。切梁は掘鑿の作業に都合好きやう適當の形に入れる。

所定の深さまで掘り下がれば基礎杭を打ち、基礎混凝土を打つ。排水困難ならば矢板一面に水中混凝土として、其の硬化を待ち排水する。一度に 12 尺より長き矢板を使用しない。之より深くすれば、箱枠又は鐵矢板を使用するか或は二段にする。

此の方法により掘鑿し得る最大の深さは地表より 15~20 尺である。又最初よ

り矢板をバタ材に釘にて打ち付けて組み立て、次の箱枠の如く板の間を出来るだけ水密にし、箱枠の如く下ぐる事がある。之を普通縦枠と云ふ。

## 10 箱 枠

有力なるポンプが普及し、且つ鐵矢板工法も一般的に採用せらるゝに及び、箱枠の使用が近來減じたるも、以前は水中工事には欠く可からざるものであつた。基礎の大きさに準じたる云はば底のない木の箱である。

厚さ 2 寸以上 4 寸の板を水平に縦の柱に釘付けにし、板と板との境目には横膚を填め、船板の如く船釘及びボルトを以つて締め付け、水の洩りを防ぐ。縦の柱には三段に適當に横に繫材を入れ切梁をかひ、充分水壓に抗するやうにする。其の間隔は水の深さ及び板の厚さによつて定まり水壓土壓の爲めに板が彎曲して折れない様にする。深き箱枠では水壓の小さき上部の板を薄くする事がある。

水中の橋脚の位置に適當に杭を打ち足場とし、其の上にて箱枠を組み立てる。深さ即ち高さの大なる箱枠は、最初の下半部のみを組立てる。然る後支へを取り去り水中に落す、此の時水平に正しき位置に据える様豫め四隅に指導杭を打つて置く。

其の後に箱枠の上に軌條等の荷重を載せ、ガツトミル其の他の掘鑿器具により箱枠の中を掘り下げ潜水夫を入れ、板の端口の土を除かしめ、箱枠を自然に徐々下げる。深きものは上端が水面近くなつた時、荷重を取り去り、縦の柱を繼ぎ足して之に初めの如く板を張り、適當に横の繫ぎ及び切梁をかひ、又荷重を乗せて掘り下ぐる。

所定の深さに達すれば排水し、基礎杭を打ら、或は直接に基礎混凝土を施工する。排水困難なる時は履杭（やつとこ）を使用して水中に杭打し潜水夫を入れて杭頭を切揃へ基礎混凝土を底一面に水中施工する。

混凝土の硬化せる後（一週間若くは十日後）始めて排水する。

此時は箱枠全體の浮力を計算して、充分に打ち勝つに足る荷重を乗せなければ

ならぬ。又基礎混凝土も其の重量及び板との粘着力により、底の浮力に耐え得る厚さでなければならぬ。昔此の簡單なる計算をも行はずして、箱枠を浮き上がらして事故を起した實例は少くない。

箱枠の板の合せめより多少漏水する故、橋脚の軀體壘築中はポンプ排水を繼續するを要する。基礎混凝土の一隅にはポンプのフードヴァルブが入るだけの孔を開けて置く。

箱枠の切梁は軀體混凝土の型枠の妨げとならぬ様の位置に置くか、或は型枠を堅固にし、切梁を一時之に盛り換へ得る様豫め考慮して、箱枠の設計をなす。軀體混凝土が水面以上に高くなつた後箱枠を撤去する。多くの場合、地中に入りたる部分は撤去困難にして之を地中に捨て置く。

箱枠により根掘りする所は、基礎混凝土の大きさを施行後實際の地質に應じて變更するを得ない。夫故に着手以前に充分地質を調査し、設計變更の必要なき様にするを要する。

箱枠により根掘りし得る最大の深さは、水面以下約 7m までである。箱枠の端先きが大理石に出會する時は仕末に苦しむ。潜水夫を入れて取除ける。最近陸上より水中に使用し得る鑿岩機が出来たが、鑿岩機を使用し得る潜水夫を入れて、軽く爆破するも一つの手段である。

傾斜せる岩盤に基礎を置く場合は箱枠下げの最も苦しむものである。一方の岩盤を掘り下げて箱枠を下ぐるか、或は他方の先端を、掘りながら袋混凝土を詰めなどして、岩盤まで達せしむるより他に方法がない。斯る所には鐵矢板が最も適合する。

## 11 鐵 矢 板

近年水中の締切り又は土留に盛んに使用され偉功を奏するものに鐵矢板がある。深さ深く且つ基礎の面積大なるものゝ根掘りには最も適しハドソン河の大釣橋の橋脚の根掘りには之を使用し、水面以下 80 餘呎の所まで排水し掘り下げて基

礎を置いた。

単線の鐵道橋の橋脚は、鐵矢板を使用するには小に過る嫌があるので、少しく深き所に基礎を置くには、從來施工に馴れて居る沈井工を採用し、鐵矢板の締切りは未だ鐵道工事には普及して居ない様に考へられる。即ち矢板打込み機械の現場運搬、打込機を乗せる足場、或は船の装置に要する費用に比して、矢板の数が少な過ぎる感がある。

然しながら鐵矢板には其の長所あり、箱枠の及ばざる深さ、或は大きな基礎面積を要する所には、之を使用するのが經濟的である。

鐵矢板に関しては本叢書第五卷基礎工及施工法に詳細記述してある故それを参照されたい。

橋脚の根掘りに特に注意すべきは、打込みに際して之を左右に傾けない様に、立込みの整列及び打込みを加減する事である。矢板が傾けば最初のもとの最後のものとが結合しないので、已むを得ず之を重ねて置く事となる。斯る所は切梁をかふための押への横木（バタ材）の取着けに不都合なるのみならず、特別の装置をせざれば此の間より水を湧出し矢板の效能を害するのは云ふまでもない。小さき橋脚の締切り工事には斯る失敗は特に目立つ故、極力避けなければならぬ。

矢板を一回に 10～20 枚同時に建て込み、足場には特に整列用の水平布材を取付けて之を助ける。完全に建て込みたる後、其の兩端の矢板を最初其の打込み深度の  $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{3}{4}$  だけ叮嚀に打込み、其の後残りを數回に階段的に打ち込む。總て打込みには性急の無理は禁物である。常に方向を正し、其の歪みは無理に叩き込まない内に正さなければならぬ。

一般に橋脚の基礎は小さき故シートパイルの種類によつては、隅を圓形に廻る事が出来ない場合が多い。斯る時は特別に直角に曲げた矢板を用ふ。普通の矢板を中央にて切り之をアンプル鐵にて取付けても宜しい。

所定の深さまで打込みを了した後中を掘鑿する。掘鑿に従つて、水壓及び土壓

に抗するため水平の押へ木（バタ材）を入れ、之に適當に切梁をかふ。鐵矢板輸入の當初は、矢板自身にて是等の壓力に抗し得るものと誤解して、切梁を怠つたために失敗した實例がある。深く掘り進むに従つて數段に堅固なる切梁を入れなければならぬ。

水面より深く掘り下ぐる廣大なる基礎にては、矢板を二重に打ち、之を所々又シートパイルで繋ぎ、正方形又は矩形の連續として、最初に此の間を掘り混凝土又は粘土を詰め、然る後に中を掘ると云ふ方法を探るも、普通の單線橋梁の橋脚にては、30 呎以下の根掘りには一重の鐵矢板で充分締切るを得る。

徑 8 吋ポンプ 1 臺又は徑 6 吋 2 臺位のポンプ力にて充分排水し得る。

使用する鐵矢板の長さは、水面より基礎の下端に至る深さに地質に應じて 1～2 m の餘裕を加へたるものとす。長さに依り矢板の幅即ち重量が定まる。玉石混り等にて打込み遲き地質には、剛性の大なるもの即ち長さに比して重きものを使用する。

矢板の重量により打込みハンマーの重量即ち打込機械の大きさが定まる。

近年種々の形の鐵矢板輸入せられて、各々其の長所を主張し、又實際に使用して多少特徴がある様だが橋脚に使用する程度の數ならば、ランゼル、ラツカワナテルルーシユなど普通にあるものを手當り次第に使用して差支へないと考ふる。日本の製鐵所に於ても近く製作して賣り出す計畫ありと聞く、若し日本製のものが出来れば其の型に一定さるゝであらう。

## 12 杭打基礎工

基礎杭の作用に就きては既に前に述べた。杭打の確實に有效なるは、之によつて周圍の土が締り、地盤自身の支持力が増し、同時に杭の外皮に加はる壓力が増し、摩擦係數を増し、杭が信頼し得る支持力を有するが如き土質である。斯る土質に打たるゝ普通の橋脚及び橋臺の基礎杭は、次の寸法以外に出ない。

末口徑 (吋)	長さ (呎)				
	6	9	12	15	18
6	6	9	12		
7	9	12	15	18	
8	15	18	21	24	30

末口太くして比較的長さ短きものを選ぶか、或は長さを長くして末口細きものを使用するのが得策であるかは、地質によつて異り、地表より深くなる程締つた土質のある所は、長さを選ぶ。

杭の間隔は長さ 15 呎以上のものにては 3 呎以上とし、之以下にては 2 呎 6 吋以上とする。普通は杭の點が正方形をなす様に打つが、敷を増し度き時は正三角形をなす様俗に云ふ千鳥に打つ。然し杭の敷を増すために、杭の間隔を之以下に減すれば間の土の層を破碎して杭の本來の働きを失ふ虞がある。

柔き粘土層へ打つ杭は、前記以外の長さのものを用ふ。末口の徑も長さに比して細くする。

杭材は普通生松丸太に限る。打つ時に皮を剥ぎ、先を尖らし頭に鐵の輪を箝め打撃により裂けるを防ぐ。長さ 30 呎以上の杭には米松を使用する。勿論すべての木材の杭は地下に水分のある所に打つ。

一般に地下で水氣のなき所には杭打の必要がない。只近く盛土せるものにして、未だ締らない所のみが其の必要がある。斯る所にては杭は永久的でなき事を考慮して其の腐蝕せる時に採る方法を豫定するを要する。

普通の橋臺橋脚の如く、一箇所に杭敷の多からざる場合は、杭打に動力機械を使用せず、女人夫に綱を引かせる打方を行ふ。錘 (モンキー) の重量は杭の大小により異なる。杭の大きさに比して小さき錘を使用すれば、如何に高く上ぐるも錘は杭の上にて跳りて有効でない。15 呎以下の杭には、重 60~75 貫目までの錘を使用し、18 呎以上の杭には 80 貫目以上のものを用ふ。

關東にては眞矢打、關西にては二本子打とする。綱子 1 人の引く重量は平均 2.5~3.0 貫であつて 75~80 貫の錘には約 30 人の女人夫を要する。然して一

度引にて 4 尺、二度引にて 5,6 尺、三度引にて 7~10 尺上げる。

杭を打ち終れば、杭頭を切り揃へ、杭打によつて亂されたる地表の土を 1,2 尺取り除き、栗石を入れ目潰し砂利を満し、搗固めて基礎混凝土を打ち、杭頭は 5 寸以下混凝土の中に入れる。

### 13 混凝土杭

橋臺橋脚の基礎に混凝土杭を使用する機會は少ない。混凝土の杭には種類が多いが、橋脚の水中基礎に使用するものは、現場にて混凝土を孔に詰めて杭とする種類のものではなく、豫め他の所にて作り、相當日敷を経て充分凝固した、鐵筋混凝土杭を打つ。

只水氣のない盛土の上に橋臺を造るが如き場合に、徑 6 吋以上の鐵管を杭の如く打ち込み、其の中に混凝土を詰めて杭とする。然し斯る機會は稀有である。

鐵筋混凝土杭打基礎工を考ふる橋脚は、河床の表面が柔軟なる泥土にして、相當深き所に小砂利、砂泥り等の稍々締つた沖積層があり、是非此の層まで基礎を下ぐるを要するが如き箇所にある場合である。斯る所に於て比較考慮さるゝは、米松の長き杭と沈井工である。

杭の敷少なき時は米松の杭が有利であり、橋脚の敷多く、水深くして沈井工の井島を築くに苦しむが如き所では、杭頭を低水面に出すを要する場合は、混凝土の杭が有利である。又市街鐵道の高架線の如く、周圍に建物あり、根掘りを深くするを得ず、水氣なき柔き土を通して杭を打つ時には、混凝土杭を使用する。

鐵筋混凝土杭にも種々の形があるが、瘤や角を出して支持力を増加せんと試みたるものよりは、普通の正方形にして四隅の面を取つたものゝ方が製作及び打込みに便宜であつて杭の目的を達する。杭の寸法及び鐵筋の配置等に付きては本全集第五卷を参照され度い。混凝土杭の打込みには動力打込機を使用する。

船に杭打機械を設置すれば、足場等不用であつて、此の點で混凝土杭は沈井工に勝る。2 尺角長さ 90 呎の杭の両面にウォータージェットの管を置き、水射に

より土砂を掘り、杭の沈下を助けながら之を打込み、然も杭の建て込みを始め、之に要する機械設備を全部一艘の船の上に置き、之を繰りながら船の上にて全部の作業を巧妙に、且つ簡単に、遂行する實例を著者は米國に於て見學した。

#### 14 沈井工

明治初年鐵道敷設の爲めに我國に來た御傭外人（主として英國人）技術家の傳へた工事方法であつて、昔から印度に於て行はれ、東洋的であり、我國の井戸掘と相通する點があつたので、我國に擴まり、少し大きな橋梁の橋脚基礎は殆んど全部沈井工であると云つて宜しい位である。

沈井工の大きさ及び深さを決定する計算方法は未だ明かでない。其の支持力は地盤の支持力及び杭の支持力同様土質によつて異り、未だ判明しない部分がある。

一般に沈井工の支持力は二つの分子より成る。一つは周圍の地盤と沈井工の外皮との間の摩擦力であつて、周圍の土の壓力に摩擦係數を乗じたるものである。他の一つは沈井工の底部に於ける地盤の支持力である。

土の壓力並に支持力共に前に記するが如く未だ確實に計算し難い。摩擦抵抗は、沈下のために必要なる荷重及び試験荷重により或程度推定し得る。試験荷重は通常沈下を終り、未だ底部の混凝土を打たない以前に乗する。従つて、其の荷重は沈井工の摩擦抵抗と、周壁の先端に於ける地盤の支持力との和を示す。

沈井工全體の支持力は、底の混凝土を打つた後に荷重に乗するに非ざれば知る事が出来ない。底の混凝土を打ち終つて荷重を乗せて、若し試験の結果支持力不足せるを發見せる時も、之以上沈下して支持力を増す事が出来ない。

柔き地層へ深く沈井工を下ぐる時は、屢々底部の支持力を安全側に無視し、沈井工1本の重量及び其の上に来る荷重の和を、前記の試験荷重として乗せ、沈下せざるを確めたる所で沈井工を止むる。

然しながら多少でも締つた層があり、此の層の上に止めんとする時に、底部の支持力を無視するのは不經濟である。斯る場合は底部の支持力を推定し摩擦から

來る支持力のみを、試験荷重により、適當の安全率を考慮して測定する。

河床が砂利又は砂層の時は支持力は問題でない。深さは洪水の時の洗掘の深さによつて定まる。一般に沈井工は、橋脚軀體より流れの妨害となる幅員が大なる故、水流を激する度も強く、従つて深く洗掘さる。且つ沈井工の周壁が垂直にして重心も上にあり、坐り（安定）が悪い故、同じ深さの普通の橋脚より、洪水に對して不安全である。

一般に沈井工の深さは同じ橋脚の根入りより深くしなければならぬ。構桁の橋脚にあつては、沈井工の深さは30呎以下にしない方が良い。小形の沈井工でも25呎以下としては、山間部の少し流れの急なる河川にては不安全である。

沈井工を岩盤の上で止むる時には、岩盤の傾斜に注意しなければならぬ。岩盤が傾斜し沈井工の一部が其の上に乗し、他は未だ岩盤に達しないのに、其の儘にして置いた爲め、洪水の際洗掘せられ、危険に瀕したる實例は少くない。此の場合には岩盤を掘り下げ、全部岩盤に達せしめなければならぬ。

沈井工の井筒の大きさは、上に乗る橋脚の大きさによりて異なる。複線橋梁、又は特に幅の廣き構桁の橋脚に乗する沈井工は、圓形の井筒2本として、其の上を鐵筋混凝土のスラブの基礎にて連結する事がある。

普通の鐵道橋の井筒は、圖及び表に掲ぐる寸法の内何れかで間に合ふ。此の寸法以外の大さを適當とする場合は、之に準じて特別に設計すれば宜しい。尙ほ第6圖には佐賀線（佐賀一矢部川間）筑後川橋梁の徑間120呎鉸桁の橋脚の井筒を示す。

井筒の強度、即ち混凝土の厚さ及び鐵筋の數量を、應力計算により決定するは困難である。第一之に働く土壓を推定しなければならぬ。此の土壓は地質及び沈下の工事方法により異なる。同一地質にても徐々に掘り下げ眞直に沈下するのと、周圍の「山を呼び」急速に沈下せしめ、時に傾斜せしめて之を垂直に復するが如き下げ方をするのでは、井筒に働く土壓の強度大に異なる。

井筒に周囲より均一の土圧及び水圧が働くとし、此の壓力の強度を沈井工の深さより假定すれば、井筒断面の應力を計算する事が出来るも、斯くして得たる應力強度は、井筒の厚さ及び鐵筋の配置を設計する時の參考に止めて置く可きであつて、桁其の他の正確に計算し得る應力に置く如き信用度を、之に置く事が出来ない。

圖に示す鐵筋の配置は、計算と云ふよりは寧ろ、常識判斷により定めたものであつて、地質及び深さによりて井筒の厚さ及び鐵筋の配置を適當に加減して宜しい。

井筒の先端には沓鐵と稱する鐵鉞の双先を附する。其の双先きの角度は地質により異り、玉石を混する土質では角度を 45 度とし、砂粘土の如き地質では之より鈍角にする。又軟き地質には此の沓鐵を省く。

沓鐵は元來昔井筒を煉瓦石にて積みたる時、下端の双先の形を木塊にて型取つた爲めに、之を鐵鉞にて包む主意から、使用したものであつて、砂及び粘土の如き地質には不用である。

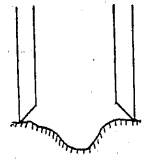
井筒は一回に 2~4.5 m の高さに混凝土を打ち、或る程度硬化するまで待つ。其の時日は季節により異なるも、普通一週間乃至二週間である。其の後内部の土砂を掘りながら沈下せしむ。沈下せる後又井筒の混凝土を継ぎ足す。一回に沈下する長さを俗にロットと云ふ。

一回毎に沈下の抵抗が増すので、井筒自身の重量では不足となり、沈下用の荷重を上に乗する。此の荷重には一般に軌條を借用する。其の量は井筒の大きさ深さ及び地質によつて異なる。普通第二若くは第三ロットより荷重を乗せ、段々増加する。一回の軌條数は 200~1,000 本を普通とする。

井筒沈下のための内部の土砂掘鑿方法は、地質により異なる。柔軟なる粘土層ならば、河床より滲透して湧出する水量少き故、排水して所謂「空掘」を行ふ。此の場合井筒の端先は常に粘土中に喰ひ込んで居る様努めねばならぬ。沈下の抵抗

は井筒周囲の摩擦力のみである。掘鑿が容易なる故沈下率も早い、容易なるに任せて掘り越して、徒に沈下を急げば、井筒が傾き易く、一旦傾斜せる井筒を真直に正しき位置に復せしむるは中々困難である。夫れ故に常に井筒の沈下に注意し、平均して掘鑿し徐々に沈下せしむる事を怠つてはならぬ。

砂又は砂利を含み滲透率の大なる地質では、空掘りする事が出来ない。ガツトミルやクラムシユルを捲揚機にて動かして掘鑿する。此の場合、第 5 圖の如く中央を常に掘り越して置けば、沈下容易なるも、時に不規則に下り、井筒が傾く事がある故、掘り越しを少くして時々潜水夫を入れて、井筒の双先の土砂を洗はしめ、平均に沈下する様に注意を要す。



第 5 圖

大なる沈井工にして竣功を急ぐものにあつては、井筒の周圍に約 2 尺の間隔に水射管を置き、射水により双先の土砂を洗ひ掘りて沈下を容易にし、他方砂上げポンプを使用し、此の土砂を水と共に、井筒より外に排水する方法を探る事がある、米國に於て盛んに行はれる。

壓力水管を井筒の周壁の中に設くる事もあれば、周壁の外側に凹所を置きそれに水管を通ずる事もある。水射の壓力は地質の硬軟により異なるも、普通は徑  $\frac{1}{2}$  吋乃至  $\frac{3}{4}$  吋のノツズルに對して每平方吋 65~200 封度であつて、要する水量は水射一箇に就き毎分 50~250 ガロンである。砂上げポンプの馬力は水中に 10~15 %の土砂を含むものとして計算する。

砂利層に大玉石を混するが如き地質に於ては、井筒の双先に出會ふ大玉石は破砕するを要する。其のために潜水夫に鑿岩せしめ、火藥により爆破する。普通ジャックハンマー、ハンドハンマーの如き鑿岩機を其の儘潜水夫に使用せしむるも、近年陸上にて動かし得る水中鑿岩機が発賣された。インガンソルランド社製サブマリンロックドリルタイプ×80 は錐鋼の徑  $1\frac{1}{4}$  吋にして、每平方吋 100 封度の壓搾空氣にて動かす。孔の掘進に従つて鑿岩機自身かガイドに沿ひて、水

中に侵入する。

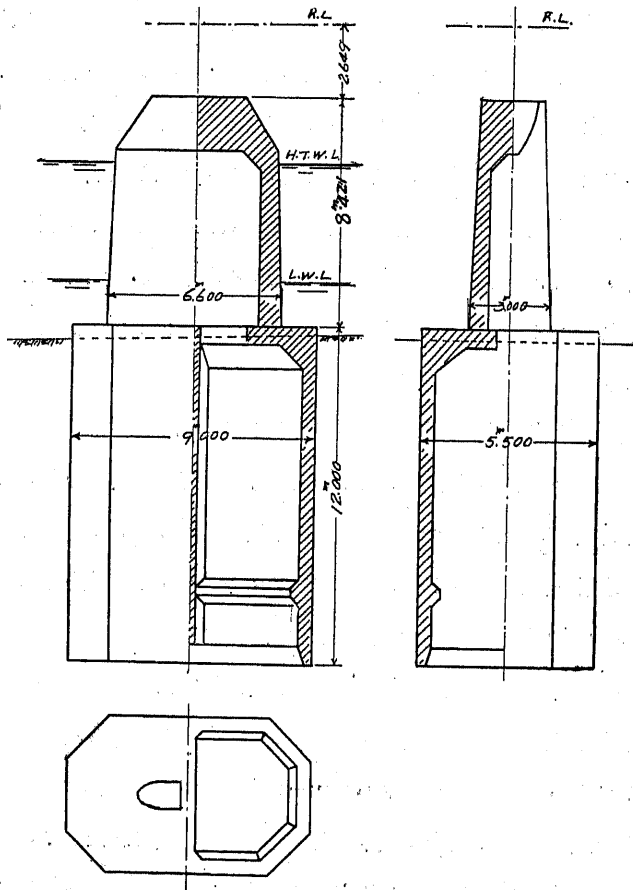
井筒が設計の深さに達したる時、試験荷重を載せ、其の沈下せざるを極めて、底に水中混泥土を満す。沈下するための荷重から、周囲の摩擦力と端先の支持力との和を推定し得る場合は特別に試験荷重として載せる必要がない。

沈井工の頂上を平均水位近くの或る高さに指定するのであるが、指定されたる高さに正確に井筒を止むるは中々困難である。一般に1尺以内の上り下りは許して居る。井筒の

沈下は一旦止つても、尙其の中の水を排出し、内外に水圧の差を生ぜしむれば、1尺以内沈下する。外から内に流れ入る水に洗はれ、端先の土が均らされ、周囲の土が落着くためだと云はれて居る。

沈下が終れば底を均して水中混泥土を打つ。

其の厚さは約6呎とする。其の



第 6 圖 佐賀線筑後川橋梁橋脚及基礎井筒

硬化を待ち、井筒の内を排水して中埋混泥土を填充する。中埋混泥土は 1:4:8 の如き貧弱の割合とする。或は混泥土の代りに砂利を或る厚さ填充し、其の上に又厚さ 6 呎程の混泥土を置くと云ふ様に、混泥土と砂利の互層にすることもある。

又地質柔軟にして、沈井工自身の重量を軽減せんとする時は、内空の井筒とし繋ぎとして所々に鉄筋混泥土の水平の隔壁を置く。此の隔壁の取着けの爲め、豫め井筒に凸所を造つて置く。内空としても結局中に水が透入して之を満す事となる。第 6 圖に佐賀線筑後川橋梁に施工の實例を示す。

### 15 沈井築島工

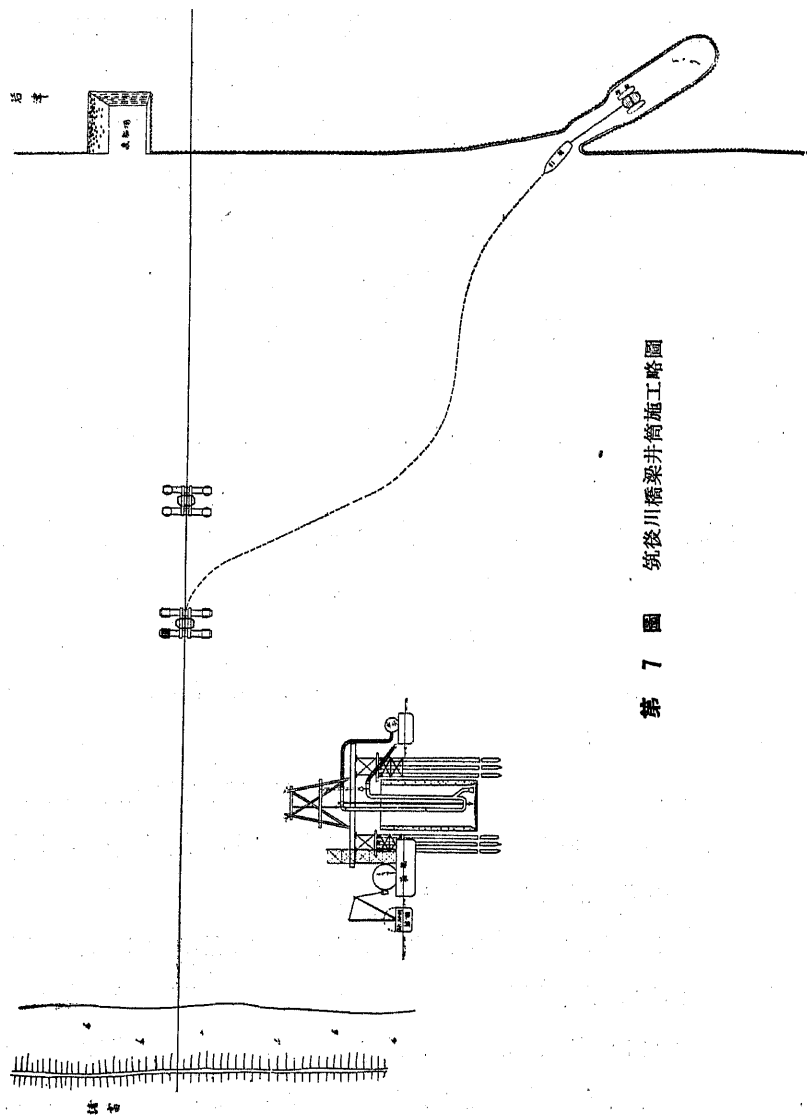
井筒の最初のロツトを据え付くるに當り、水のない河原は簡単であるが、相當水深のある所では、締切つて土を盛らなければならぬ。之を築島工と云ふ。

築島は川床へ普通 2 ロツト井筒が入るまで必要であつて、其の後は井筒自身が足場となる故、周囲の島は無くとも宜しい。従つて島の締切りは其の時間まで保てば充分であつて、左程強固なるを要しない。多くは周囲に杭を打ち、之によつて矢板を押へる横木を支へしめ、後矢板の中に土を盛る。島には上流に向つて三角形の剣先きを附する。

水深が一層深くなれば締切りに鐵矢板を用ふ。又強固なる杭を數箇所打ち、之に桁を渡して足場として、其の上に井筒を吊りながら築造し、後川底に下げて、掘鑿沈下する。然し之は小形の井筒に限る。

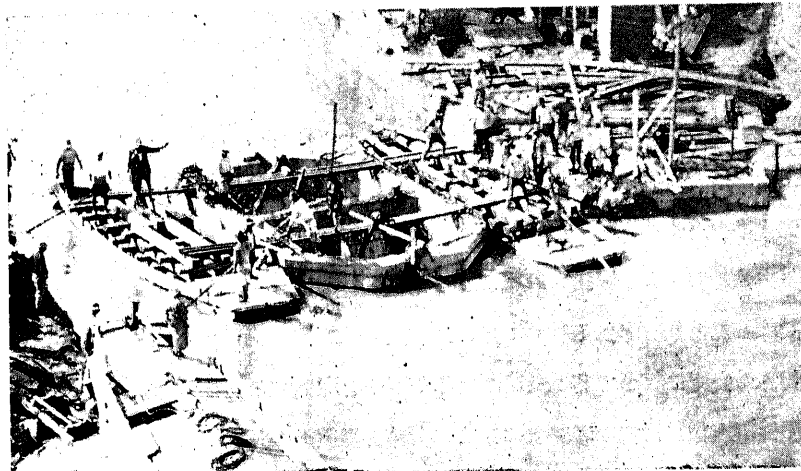
大形の井筒は陸上にて造り之を進水して二艘の船にて吊るか、或は假りの底を取り付け浮かして現場位置まで浮動して正しく据え付けて後沈下する。此の場合勿論最初のロツトの高さは川底に据え付けても尙上端は水の上に出る程にしなければならぬ。其の後に井筒を又継ぎ足して沈下して行く。第 7 圖は筑後川橋梁の足場及び井筒進水の状況を示す。

沈井工施工に當つて注意すべきは、未だ井筒が深く地中に入らざる以前に洪水に出會すれば、洗掘せられて横に倒るゝ危険のある事である。従來斯る事故が多

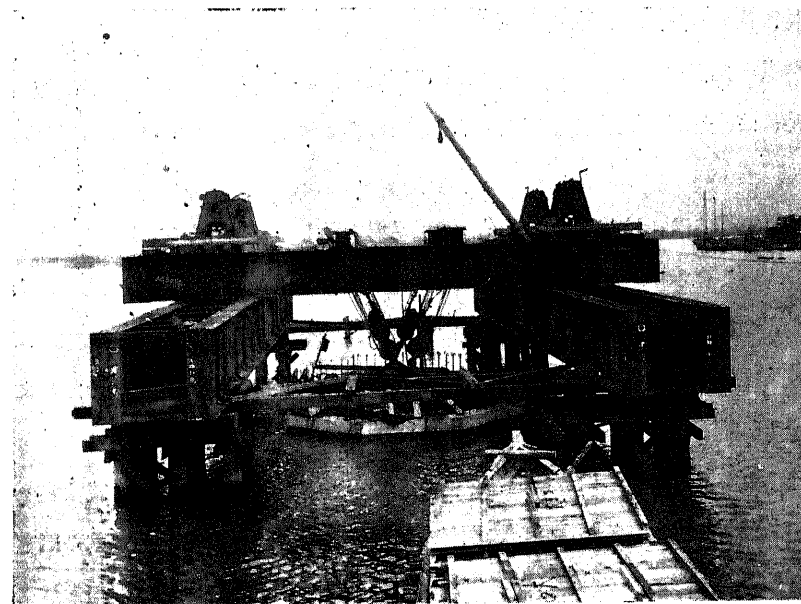


第 7 圖 筑後川橋梁井筒施工略圖

いのであつて、施工に當つては各橋脚の工事時期を考慮し、其の順序を豫め計畫して、安全なる状態に於て洪水に出會する様、心掛けなければならぬ。  
又沈下に際しては、平均に掘鑿して急激の沈下を避け、眞直に徐々に、確實に



第 8 圖 ドックより井筒引出し



第 9 圖 井筒据付

下げる様努めなければならぬ。一旦傾けば之が匡正は寧ろ不可能に近く、結局「く」の字形の井筒とするより外に仕方がなくなる。



16 橋臺、橋脚の軀體混凝土

昔は混凝土の型枠使用を避くる爲め、周圍を粗石積、下つて間知石、又は割石積、混凝土塊とせるも、現今では型枠を使用し、全部場所詰混凝土とする。

混凝土用砂、砂利は成る可く現場附近に得らるゝものを使用する。最近混凝土の研究も多少進歩し、特に試験塊を造り之を試験して、所要強度の混凝土を一樣に造る方法も普及したる故、以前よりは使用する砂、砂利の範圍が廣くなつた。夫れ故に一見粗悪と考ふる材料でも、之を試験し適當の配合率を定め、セメントと骨材との費用によつて其の經濟的なるや否やを考慮するを要する。

軀體混凝土施工に當り考慮すべきは、型枠と混凝土の運搬方法とである。高さの低き橋梁では特に問題とするに足らないが、高き橋脚が十數本ある大橋梁では、特に豫め設計計畫し、略圖を作り、最も經濟的の段取りを行ふ可きである。

箱枠其の他根掘の周圍の土壓を切梁りにて受けて居る中に、軀體混凝土を施工する時には、是等の切梁を型枠に如何にして盛替ふ可きかをも考へなければならぬ。

又高き橋脚には、以前は其の周圍に遣形足場と稱し、丸太を以つて足場を造り、橋脚の大きいさを示す遣形、型枠を組立て、混凝土を擔ぎ上ぐる通路等皆此の遣形足場によつたが、大なる橋脚の多い所では勞銀及び材料の高き現今では、型枠は捲上機又は之に類似せる簡單の設備で釣り上げて組み立て、混凝土運搬のためには輕便なる塔とシュートとを使用する等種々の考案がある。

型枠にしても、幕板の厚さを極端に薄くして、骨組を堅固にするか、或は板を厚くして他を簡單にするか、骨組に鐵材を使用するか、或は木材として其の継ぎ金具を如何なる形にするか等、勞働者の其の日の現場作業任せにせず、相當技術者が現場に適應するやう豫め、考案設計す可きものが多々ある。

混凝土井筒定規

長 徑	短 徑
31 呎	13 呎 9 吋
28 呎 6 吋	12 呎 6 吋
27 呎 6 吋	11 呎
16 呎 6 吋	10 呎 6 吋

直 徑 13 呎 6 吋

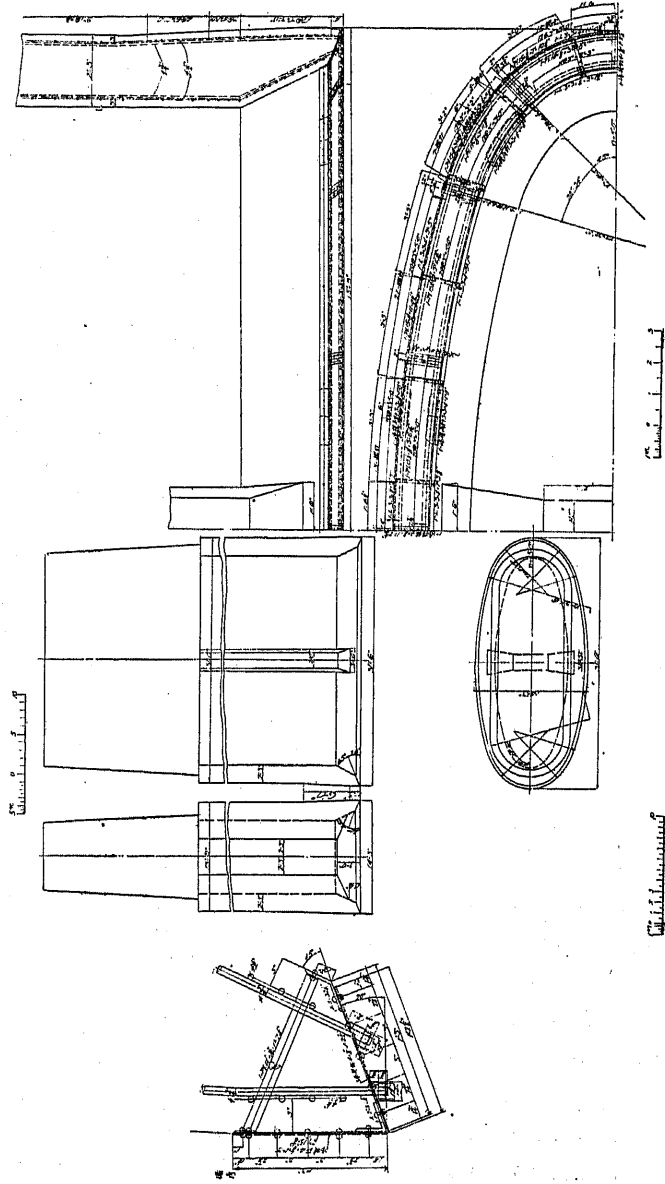
井筒の種類	非筒の大きさ		混凝土の體積		鐵材の重量		掘鑿體積	中埋の體積	
			下部 (杓及傾斜部)	上部 (垂直の部)	下部 (杓及傾斜部)	上部 (垂直の部)		下部 (杓及傾斜部)	上部 (垂直の部)
	長 徑	短 徑	立方呎	1 呎に付立方呎	封 度	1 呎に付封 度	立方呎	1 呎に付立方呎	
甲 型	31'-0"	13'-9"	1,098	171	4,580	201	366	1,502	176
	28'-6"	12'-6"	994	155	4,202	190	307	1,184	136
	27'-6"	11'-0"	930	144	4,070	184	267	956	107
	16'-6"	10'-6"	516	74	2,773	121	149	529	64
	13'-6"	13'-6"	468	65	2,680	121	154	616	79
乙 型	31'-0"	13'-9"	1,032	171	4,800	201	366	1,598	176
	28'-6"	12'-6"	978	155	4,454	190	307	1,224	136
	27'-6"	11'-0"	918	144	4,260	184	267	991	107
	16'-6"	10'-6"	500	74	2,898	121	149	558	64
	13'-6"	13'-6"	449	65	2,844	121	154	647	79

注 意

- 1 甲型は普通の場合に適用し地質粘土若くは砂層なるときは鐵板を省略することを得。乙型は地質玉石等を混じり沈下稍々困難なる場所に適用するものとす
- 2 地質特殊の箇所に在りては鐵筋の數量寸法及混凝土の厚さを増減するものとす
- 3 材料の都合に依り強度に差したる影響なき限りに於て鐵筋寸法及數量の増減又は鐵筋の配置を變更することを得
- 4 井筒は橋脚橋臺の大きさに應じ箇面中適當のものを用ふべし若し適當のものなき場合は本定規に準じ適宜設計するものとす
- 5 施工上の都合に依り井筒下部傾斜區間は適宜に伸縮することを得
- 6 縦横鐵筋接合の位置及方法等は施工に際し適宜に定め其の交叉點は適當の鐵線を以て緊結するものとす

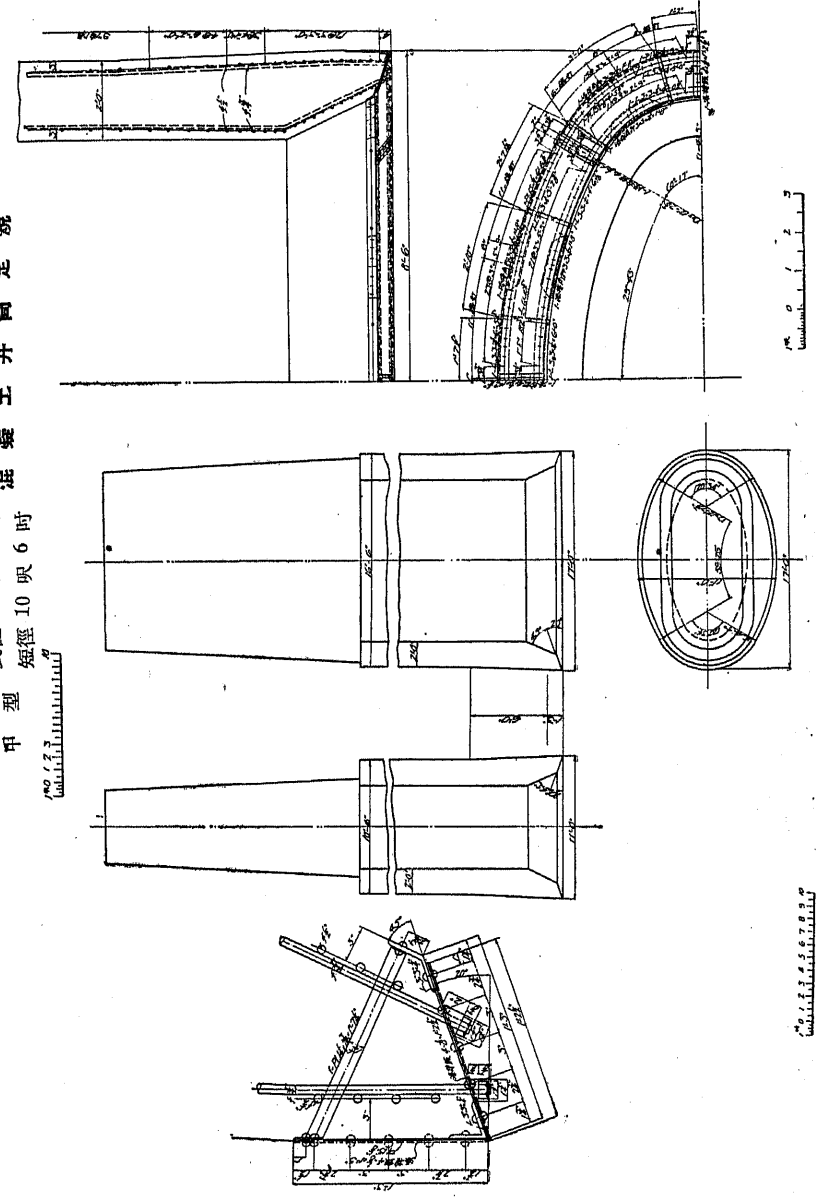
混 凝 土 井 筒 定 規

甲 型 長 徑 31 呎 短 徑 13 呎 9 吋



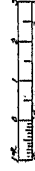
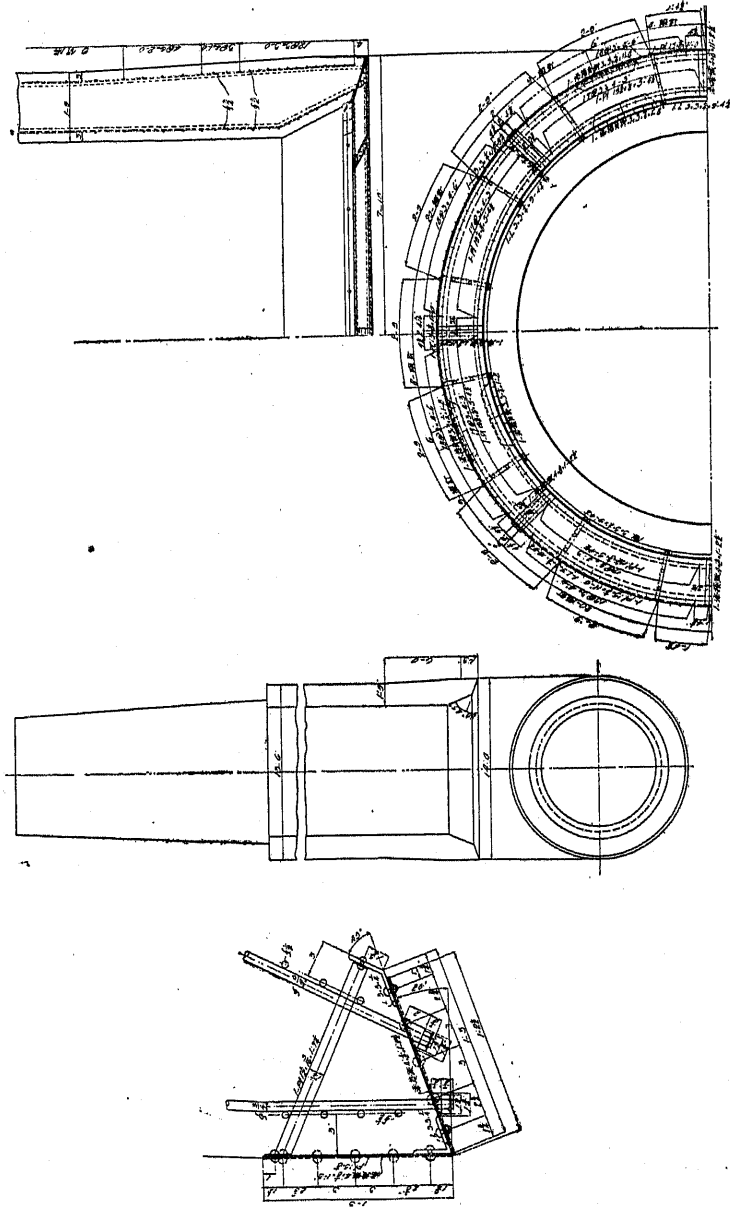
Continued

混 凝 土 井 筒 定 規  
甲 型 長 徑 16 呎 6 吋 短 徑 10 呎 6 吋



Continued

甲型 直徑 13 呎 6 吋 混 凝 土 井 筒 定 規



混 凝 土 井 筒 定 規

長 徑 16 呎 6 吋  
乙 型 短 徑 10 呎 6 吋

