

講 演

第 20 卷 第 12 號 昭和 9 年 12 月

我國に於ける壓搾空氣作業

(昭和 9 年 10 月 27 日土木學會創立 20 周年記念講演會に於て)

會員 B. S. 正 子 重 三*

The Development of the Pneumatic Caisson in Japan

By Jiuzo Masako, B. S., Member.

内 容 梗 概

我國に於ける壓搾空氣潛函法の歴史及び其の利用法の發展を記載し、併せて今後の應用及び其の方法の研究改良さるべき點を述べたるものなり。

我國に於ける壓搾空氣内作業は東京帝國大學教授中山秀三郎博士の設計にかゝる横濱港岸壁築造工事を明治 34 年に施工せられたるを以つて始めとし、橋梁基礎工事としては明治 42 年に朝鮮及び支那の國境たる鴨綠江橋梁基礎工事に應用せられ、當時としては英米其の他諸外國の新知識及び實例を研究し施工せられたるものなり。鴨綠江は架橋地點に於て、潮の干満の差 12 呎に及び、且非常に急流なるが故に、潜函作業も相當困難なりしにも拘らず其の工程を結氷期を除き 2 分して橋脚潜函 12 基を 2 年に互り施工せられ、豫想通りの効果を擧げて竣功せり。

然るに以上述べたる 2 工事の外は、漢江橋梁基礎に鴨綠江橋と同型のもを實施せられたるに止り、如何なる理由なりしや絶えてこの方法の利用なく、唯壓搾空氣潜函は歐米人によりてのみ施工せらるゝものと思ふに至れり。

適々大正 12 年の關東大震災後帝都復興に際し、當局は工事の迅速安全を期するため、橋梁基礎工事に壓搾空氣を利用する事に決し、米國より最新式の機械器具を購入すると共に、多年經驗を有する技術者を聘し施工したる結果、豫期以上の好結果を得、引續き橋梁建築等の基礎に本工法を利用せらるゝに至れり。

而して現在に於ては米國式の方法を日本の習慣に適する様々に改善を加へ、工費の點に於ても他の何れの方法と比較するも遜色なき迄に能率を擧げるを得、しかも施行の迅速安全なるが故に今後この方法は總ての方面に應用せらるゝものなるべし。

1. 關東大震災及び帝都復興事業

大正 12 年 9 月 1 日の關東大震災は實に歴史的大慘事にして、これが復舊は不可能事なるが如く懸念するものすら有りき。然るにこの國家的大不幸に際し、政府當局は帝都復興院を設け、東京及び横濱兩市の復舊をなさしめる事となれり。これに参加する官吏はこの非常時に善處するに足る勇氣あるものゝみを選び、各官吏も亦決死的覺悟を以つてこの事業に従事せり。この結果全世界を驚かすに足る能率を以つて前記兩市を復舊せしめたるに止らず、彼の大震災なかりせば百年後に於いても望み得ざる新市街を建設するに至れり。

この時に當り復興局土木部長たりし故太田圓三氏は復興事業の最も難事たる區劃整理をなすに、個々の利害問題等に拘泥して居る事の不利なるを見、先づ東京市を 2 分する隅田川に架すべき橋梁を區劃整理に關係なく理想

* 白石基礎工業會資會社勤務

的の位置に架設し、これを見通しとして區劃整理をなすときは、情實にとらはれる事なく合理的都市の建設をなし得る事を先見し、先づ隅田川 6 大橋を政策的に最も早く架設する事を決定せり。

これ等の橋梁の内永代、清洲兩橋基礎は壓搾空氣潜函法による事とし、直ちにニューヨーク・ファウンデーション會社と契約をなし、米國に於ける最新式機械の購入をなし、尙經驗ある技術者 3 名を招聘し、其の施工に萬全を期する事とせり。而して以上兩橋は豫想以上の好成績を以つて竣功し、尙引續き言問橋々脚井筒の最下部に壓搾空氣を送り基礎コンクリートを施し、又藏前橋の 1 橋臺を潜函法を用ひて施行し、何れも好結果を得たり。

以上述べたる復興局の施工にかゝる潜函工事の成功は關係員の努力による事は勿論なるも、米國より派遣せられたる技術者ヒューズ、クラフト、イングラント諸氏の指導宜しきを得たるによるものにして、僅か 2 箇年にして新工法を語學及び習慣の異なる他國に紹介し其の施行宜しきを得たるのみならず、この方法を我國技術者に完全に了解せしめたる點は特筆大書せざる可からざる處にして、前記 3 氏の名は我國土木史上永久に記録され感謝せざる可からざるものなるべし。

2. 我國に於ける潜函法の應用範圍

我國に於ける橋梁工事は 6 月より 8 月迄は降雨期に當るを以つて、9 月より翌年 5 月中に其の基礎工事を終了し洪水期間中に上部構造の準備をなし、9 月より再び上部構築に着手するを以つて最も有利なるものとす。然るに開函法又は井筒法によるときは概して其の基礎工事を 1 箇年にして終了する事を得ず、2 年又は 3 年を要すること常にして、潜函工法の紹介せられざりし以前は橋梁基礎工事をなすには 2, 3 年を要するものと考へられたりしも、一度潜函法が紹介せられ、其の施工の如何に迅速なるかを、且その如何に有利なるかを知るに及びこの方法の利用綴出するに至れり。

尙この方法の紹介せられて以來従前の開函法及び井筒法も工期を非常に短縮せらるゝに至れり。故に潜函法の紹介はこの方法によりてのみの利益の外にこれに刺戟されて他の方法に於ても工期及び工費の點に於て非常なる進歩をなすに至れり。一般に東京、大阪兩市は其の地盤軟弱にして従つて基礎工事は困難なるもの多く、概して 80 尺より 120 尺又は 150 尺位の軟弱粘土層下の砂利層の耐荷力と粘土層のスキフ・フリクションに依り構築物を支ふるを以つて常とす。故に橋のみに限らず大建築物の基礎、地下鐵、下水工事其の他に壓搾空氣の利用に俟つ所多し。

3. 日本人と潜函作業

壓搾空氣中の従業員に關する醫學的研究は潜函法を紹介せらるゝ以前より東京帝大醫學部に於てなされつゝありき。而して永代橋工事に於ては、帝大より眞鍋、守口、酒井、渡邊の諸博士を聘して専ら醫務を囑託し、以後引續き前記諸博士の指導のもとに工事施行をなせり。而して日本人は概して氣壓中の作業に強く、諸外國人に比し氣壓に對する抵抗力の強き事を發見せり。これは或は日本人の身體の小なるによるものなるべく、従つて氣壓中の作業時間に於ても種々研究したる結果諸外國人よりも能率を擧ぐる事を得たり。而して現在に於てはこの制限を嚴守する時は潜函病にかゝるものも、自己の不注意又は不衛生より生じたるものを除くときは極めて僅少なり。

尙第 1 表に於て今迄の潜函工事に於て發生したる潜函病罹病數の中 23 封度以上は其の交代數の一定せざりしたため確實なる記録は得難く、この問題に關する研究は尙今後の實例に俟つ所多し。

何れにしても日本人が他國人より氣壓に對する抵抗力強き事は實跡に徴して明かなる事實にして、日本人を使役して潜函作業をなすときは時間的に仕事の能率を擧げ得る事は勿論なり。

第 1 表 潜函病罹病數

函内氣壓 井/口'	1-15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	不明
橋 梁 名																												
永代橋 隅田川	4			4	4	5	5	5	5	15		3	28	6	27	11												
清洲橋 "	4	1		1	1	5	6				5	2	14	26	7	19	24	4	21									
吾妻橋 "								1	3		5		4	16	6	8			13									
十三橋 新湊川						2					5	1		6		5	8	19	32	5	17	9		6			2	
揖斐長良橋									1		11		1	1		12												
木曾川鐵道橋			1						1	7	1	7	2	5	1	2												
	3 替代									4 替代									6 替代						8 替代			

4. 潜函作業工事費實費の比較

元來壓搾空氣潜函法は其の施工迅速にして工事の確實を保證する事は一般に認められたれども、其の設備の大なるが故に特別なる橋梁基礎工事にのみ適用して有利なるものゝ如く考へられたり。これ等橋梁工事の實費精算を比較するに事實に於て最近永代橋工事當時より見れば物價の變動等なきものとするも、尙其の工費約半減せられたれば、矢板締切法、井筒沈下法或は開函沈下法の如き方法によるよりも寧ろ經濟的なる事を實證せられたり。これは其の計畫、設計諸設備或は其の施工法を漸次米國流より日本式に經濟化せられたる結果なりと思考す。

茲に 2, 3 の今迄施工せられし代表的工事の記録を比較するときは、如何なる點に於て何程の改良をなされたるや、又今後如何なる程度迄其の能率を増進し得るやと云ふ事を研究する參考ともなるべし。

永代橋・清洲橋及び關西線鐵道橋の工事は共に米國より顧問技師を聘して其の指導のもとに施工せられしものにして、計畫設備等總て米國式にて日本の諸制度には不合理なる事或は不便なる事ありて、工事全般に互る能率の増進等を考慮するより、寧ろ仕事を習得すると云ふ時代に有りたいば、從つて工費を多く費せり。其の他言問橋基礎の最下部及び藏前橋の 1 橋臺も潜函法により施工せられ好結果を得たれども、これ皆永代及び清洲橋工事等と大略同一の成績を擧げたるものなれば、この時代の代表工事として永代橋基礎工事の内容を調査すべし。

新潟縣施工の萬代橋基礎工事に於ては機械器具は永代橋工事に使用せしものを其の儘用ひ、現場諸設備も大體に於て前例に従ひたるものなれども、日本人は特に壓搾室氣中の作業に適せるを以つて作業時間を變更し、掘鑿作業の能率を増進するを得たり。殊にこの工事に於ては極輕微なる潜函病を 7 回出せるのみにて殆んど理想的の仕事なすを得たり。其の他我國固有の舊職の業を發揮せしむる爲、現場の段取を改良すると共に監督員及び従業員の組合せを變へて日本式の仕事なせり。この結果萬代橋工事は今迄施工せられし工事の内、第 1 に仕事の能率を擧げたる工事なり。

萬代橋工事以後のものは請負工事なりしかば、各請負會社の制度習慣等ありて、直轄工事の如く仕事は進捗せざりしも其の設計計畫等を非常に經濟的になす事に留意するに至れり。請負工事の初期のものとして、吾妻橋及び十三橋工事あり。吾妻橋工事は非常に順調に進捗せしも潜函沈下作業と同時に舊橋脚基礎の取崩しをなせし爲、其の成績を他の工事のものと比較するは困難なれば十三橋工事を以つて請負工事の初期のものとなせり。

三重縣及び愛知縣にて施行せし 3 大川國道橋基礎潜函はコンクリート潜函にして其の形も非常に經濟的なり。殊に潜函下部を擴大して其の支持面を増大し、或は急硬セメントを使用して沈下作業の能率を増進し、或は氣間

1 個を用ひて現場設備を半減し、これを補ふに人氣閘を工夫する等、其の施工法の改良に見る可きもの多々ありき。茲に揖斐川・長良川國道橋のものを調査すべし。

今永代橋、萬代橋、十三橋及び揖斐長良川國道橋の各潜函作業の内容を比較するに當り、物價及び人夫賃等を一定の單價に假定換算せしが、勿論其の結果は大略の概念を得る程度に過ぎず正確なるものと云ふ能はず。

1. 設計の比較

基礎容積 1m³ に対するコンクリート、鐵筋、鐵骨及び型枠等の材料費及び其の工賃を比較したるものにして、支持面積に潜函の深さを乗じたるものを基礎容積となせるを以つて潜函基礎面の擴大の程度又は潜函側壁の厚さ其の他作業室の構造等により其の單價に大なる影響を及ぼすものなり。

第 1 圖に於て各潜函共 (イ) 及び (ロ) の如く基礎容積を ABCD とし、綾目引の部分は鐵筋及び鐵骨コンクリートを示す。

單位基礎容積に要する工費の百分率
(掘鑿沈下費を除く)

永	代	橋	100.0
萬	代	橋	80.0
十	三	橋	57.4
揖斐長良川國道橋			38.2

以上の如く其の計畫に於ては揖斐長良川國道橋は永代橋基礎に比して其の工費を半額以下に減じたり。尙潜函側壁の構造も尙多少經濟的に變更する事を得べし。

例へば揖斐長良川及び木曾川國道橋基礎工事に於ては木枠を使用せず

最大 1.2m 其の基礎面を擴大するを得たり。これによりて見れば、土質によりては第 2 圖に示す如く基礎を計畫することも得べし。普通の粘土にて木枠を使用するときは 2m 位の擴大は容易なるべし。

これはシャフトを沈下して其の底部を擴大し繼ぎ合せてコンクリートを填充せるものなれども、シャフトの沈下には沈下荷重を必要とする場合多々あるべし。故にこれに換ふるに小き潜函を用ひれば有利なるべし。

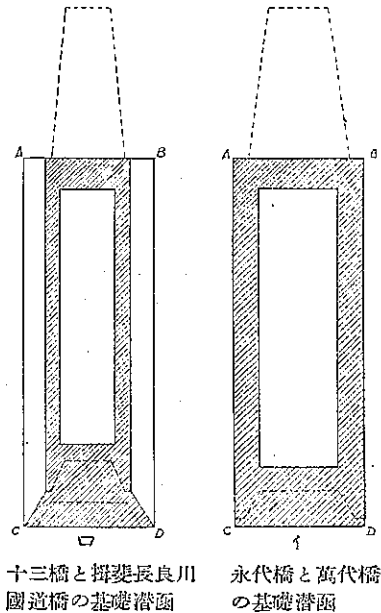
2. 掘鑿沈下作業の比較

潜函作業中共の掘鑿及び土砂整理は其の他の工法による同一作業と比較して特殊なるものにして壓搾空氣の調節又は醫療方法等の成績の如何によりて其の能率も大いに異なるものなり。今茲に機械器具費を除く土砂の掘鑿及び其の處理費を比較して各橋梁工事の空氣の調節及び醫務の成績をも合せて比較すれば次表の如し。

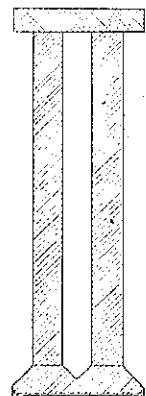
單位掘鑿土砂に要する工費の百分率

永	代	橋	100.0
萬	代	橋	48.0
十	三	橋	56.4
揖斐長良川國道橋			54.4

第 1 圖

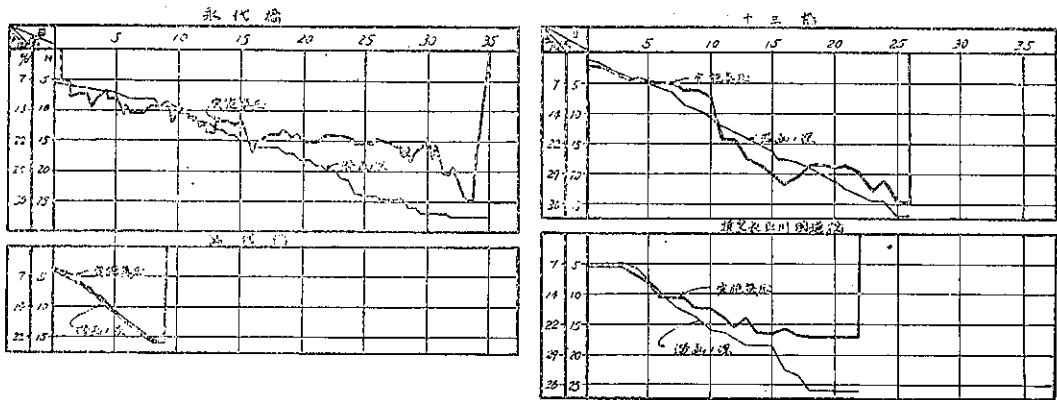


第 2 圖



従業員の熟練がこの作業の能率を増進する第 1 の條件なるは勿論なれども、これと同時に氣壓の調節又は醫務方法等も重大なる關係を有するものなり。潜函内の氣壓は出來得る限り低い方が作業も容易にして沈下も順調なり。然れども無理に低氣壓を得んがために、一度揚げたるものを再び夫れ以下に下げる等の事は地盤を悪くし従つて作業も困難となるのみならず、潜函病も多く發生するものなり。各工事の實施氣壓の曲線を一覽すれば如何に其の結果が工費に影響するかを示せり（第 3 圖参照）。

第 3 圖



萬代橋工事當時は今日より見れば従業員も尙不熟練なりしが、他の橋梁工事の成績に比し成績良好なるは第 2 表に示す如く空氣の調節又は醫務の宜しきを得たるによるものなるべし。

第 2 表 潜函病發生の比較

種 別	潜函夫總延人員	潜函病發生總數	百分率 (%)
永 代 橋	7 569	128	1.630
萬 代 橋	4 849	7	0.144
十 三 橋	7 308	117	1.600
揖斐長良川國道橋	6 907	48	0.690

3. 工事設備及び準備作業の比較

工事設備及び其の準備作業も潜函の計畫及び設計と同じく次第に簡單になれり。十三橋工事の如きは其の最も當を得たるものと云ふを得べし。揖斐長良川國道橋も便利に工夫せられたりと雖も工事用假橋費が本工事費に比して多額に過ぎたる如し。勿論これに使用せし假橋用鐵桁は他の橋梁に利用せらるゝものなれば、其の使用料は計算に含まず。基礎容積 1m³ に要するこの費用を算出すれば次の如し。

單位基礎容積に要せし工費設備及び準備作業費の百分率 (監督費共)

永 代 橋	100.0
萬 代 橋	57.1
十 三 橋	31.5
揖斐長良川國道橋	57.3

以上調べたる費用は單位基礎容積に要するものなれども、掘鑿沈下作業費のみは其の作業の能率を表はす爲に、單位掘鑿土砂容積となしたるが故に十三橋及び揖斐長良川國道橋には多少其の總工費に矛盾を來せりと雖も其の

差は極めて僅少なればこの儘單位基礎容積に對する總工費を比較するとせば次の如し。

單位基礎容積に要する總工費の百分率

永	代	橋	100.0
萬	代	橋	67.5
十	三	橋	44.8
揖斐長良川	國道橋		44.6

揖斐長良川國道橋の基礎工事は大體に於て永代橋工事に要したる工費の半額なれども、今假りに揖斐長良川國道橋基礎の計畫設計により十三橋工事の設備及び其の準備作業を以つてし萬代橋工事の如く掘鑿作業の能率を擧げたるものとすれば、單位基礎容積百分率は僅かに 35.0 を要するのみにして恐らく他の何れの工法によるより經濟的なるは明白なるべし。

今後我が國にて潛函作業を利用する爲に第 1 に考慮すべきは基礎工費 5 萬圓より 10 萬圓程度の小橋梁の基礎工事に應用することにあるべし。夫れには今迄の機械設備より容量の小なるものを使用せざるべからざるべし。例へば 10 萬圓程度の工事には今迄の掘鑿容量 18 切の諸機械を 9 切位のものとなせば充分其の能率を發揮するを得べし。而してこれに要する諸機械は 2,3 萬圓にて購入し得れば工事が小なるときは小規模の設備により施工するときは極めて有利なるものにして、而も其の施行迅速にして工事の確實なるは他に類なかるべし。

次に今迄使用せる諸機械は其の安全率を餘り多く考へられて居たり。例へば空氣壓搾機の如きも設計空氣量の約 1/5 程より使用せず。尙高壓々搾機を用ひ空氣を變壓して施工する事を得べし。又機械設備の内扛重機の如きも現在 50 IP のものを使用せるも、これは沈下作業開始のときの艤裝と 1 回又は 2 回の豎管繼足しと最後の艤裝解體のとき 7 ton 餘りの氣閘を吊揚げる爲にして、其の他の場合は約 1.5 ton の土砂バケットを運轉するのみなれば、氣閘分解を可能ならしめ最大 1.5 ton の重量とするときは、15 IP 位の扛重機にて同種の仕事に耐ふべし。

以上述べたる如く潛函作業には未だ其の改良を要する處多々あり。何れにせよ永代橋當時より使用せる設備の如き古き殼を脱して新設備を工夫し橋梁工事のみに限らず、總ての建造物基礎の利用に俟つ所極めて多し。