

土木学会第1回年次学術講演會講演

(施工法及隧道之部 No. 1)

總掘り工法に於ける深度と面積の比の限度  
並に之が對策としての潜函工法

會員 白石多士良\*

要 旨

地下水多量なる軟土質(砂, 砂利及粘土)中に高層建築の地下室及地下鉄道停車場等の如き面積の大なる基礎工事を施工するに當り, 總掘り工法は其の深度に對する面積の限度がある事並に之が對策としての潜函工法に就て述べた。

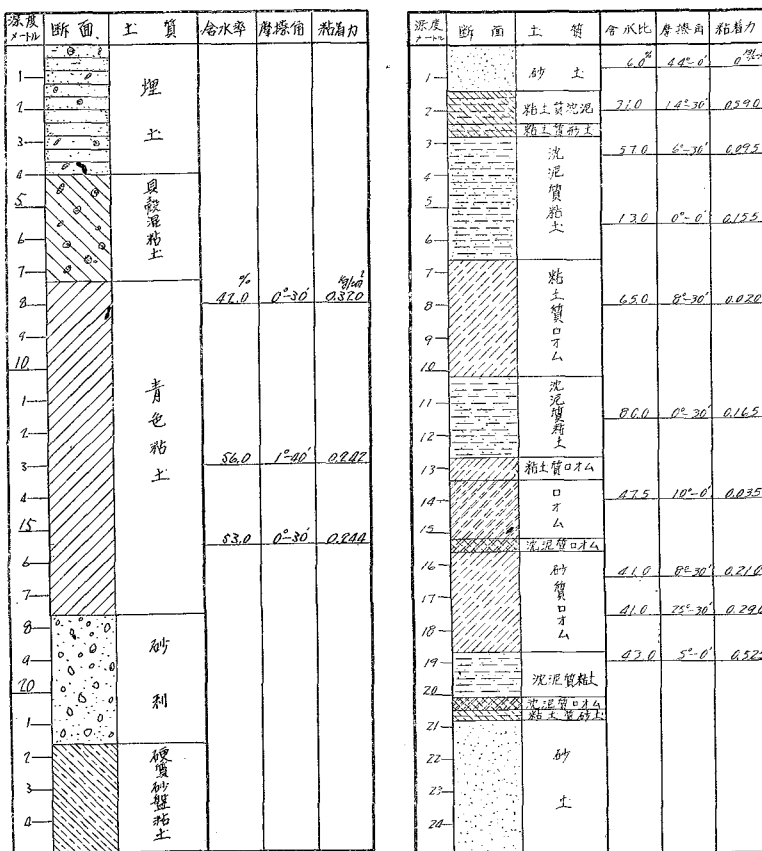
1. 序 論

總掘り工法に於ける深度と面積の比の限度と云ふ問題は建築の基礎, 地下室, 地下鉄道, 殊に地下鉄道停車場或は大乾船渠の如き廣面積に互る根掘をなす必要ある構築の施工に際し屢起る事であつて, 其の廣さと深さの比の限度を超えて總掘りを施工したる爲に重大なる慘害を招きたる實例は多い。

殊に本邦の大都市並に工場地帯の地質は不幸にして此の種の慘害を生じたる例を既に有する程の惡質なものである。

東京にては山手及日本橋の一部地帯を除いては, その主要地區一般の地盤は淺くして 20m, 深きものは 30m に及ぶ軟粘土及砂混り軟粘土の地層を上層に有するものである。又工場地帯である川崎, 鶴見に於てもこの状態は同様である。

図-1. 東京, 大阪兩地方に於ける地盤の一例としての  
柱狀断面圖とその土質試験成績表  
(東京丸ノ内) (大阪下淀川)



\* 白石基礎工業株式会社々長 工学士 (昭和 12 年 4 月 10 日講演)

大阪も亦東京と同様或は同様以上に悪土質で、軟粘土と砂との互層をなし、且つその層の模様が頗る不定である。京都にては又特殊な状態にある地盤の箇所が其の civic center をなしてゐる。即ち鴨川兩岸附近は所謂もとの鴨河原で、砂利玉石混りの砂層であるが、地下水が多量に流れて居る。即ち地下湧水の問題に深き注意を拂ふべき標本的な地質である。

斯くの如き地質に相當深く而も廣き面積の根掘りをなす必要がある場合には常にその深き深度に對し幾何の廣さまでの根掘りを一時になし得るかを考慮し、その可能性とその慘害に對する危険の程度に對して常に研究して置く必要があるものである。

斯くの如く総掘りが危険なる場合、これが救済策としては潜函工法が唯一のものであることを説明せむとするのが本題の論旨である。

## 2. 論題の範圍の限度

現在本邦に於て施工されてゐる総掘り工法として、法に切下げる切取工法、又簡単な木の矢板を打込むもの、或は東京地下鉄道構築で盛んに用ゐられた I ビームを打込み掘鑿に従つて木の横板を當てがつて行くジョイスト式並に鉄矢板式の諸工法が行はれて居るが、之等の中切取り式、並に木の矢板打の諸工法は比較的土質の良い場合のものであり、又 I ビーム、ジョイスト式に就てはこの工法は實際施工せる技師の云ふ處に依ると、地質に依りては相當悪土質の場合に却つて鉄矢板式よりも有効に應用し得るとのことであるが、未だにその應用施工が鉄矢板の如く一般的になつてゐないものであるからこの兩者は本問題からは除外する。

こゝに総掘り工法として論ずるのは特に湧水多き地質の悪い場合に就てであるから、鉄矢板工法に就てのみ取扱ふ。

## 3. 本邦に於ける鉄矢板式工法の紀元

私の調査した限りに於ては、本邦に於ける鉄矢板式総掘り工法の採用の始まりは 1924 年の關東大震災直後帝都復興局隅田川橋梁の橋脚橋臺基礎工事である。即ち復興局の土木部長故太田圓三氏の命に依り又其の當時の橋梁課長工学博士田中豐氏の設計に基いて、當時の隅田川事務所長釘宮磐氏が駒形橋、藏前橋並に相生橋等の橋梁橋脚基礎工事に際し使用したるを鉄矢板式総掘り工法の嚆矢とする。其の後引續いて東京横濱兩市内の湧水多き悪土質の箇所の復興橋梁基礎工事に全般的にこの工法は使用せられた。

鉄矢板式工法が建築方面に應用された始めは、工学士渡邊仁氏の建てられた東京日比谷公園内の市政會館地下室工事であると記憶して居る。

其の後には土木建築兩方面に一般に此の工法が使用される様になつた。

復興事業の隅田川橋梁工事の時に或る老技師が視察に來られて、この技師は既に 20 年前に鉄矢板を使用したことがあつたと云つた。其處で何故に其の後それを引續いて用ひないのかと反問したるに老技師の返事は、鉄矢板を使つて見たが、うまく水替へをすることが出来なかつたので其の後この使用をやめて了つたのだと云ふのである。

私は關東大震災前に支那を漫遊したが、その際上海に於ける埠頭工事で既に盛んに鉄矢板を使用せるを見て、何故に本邦に於て之を使用しないのか頗る疑問に思つたものであつた。

復興事業に際して土木部長故太田圓三氏が私に命じて、紐育ファウンデーション會社の熟練技師 3 名を招聘せし

め潜函工法を本邦に輸入したと同時に米國ベツレーム會社より鉄矢板を多量に購入し、總掘り工事に使用せしめられたが、これは今日から顧れば非常な英斷であつたと思ふ。

斯くの如く鉄矢板を多量に購入はしたが、その使用法に就ては全く text books や catalogues に頼るより外に途がなかつた。始めて駒形橋梁基礎工事に鉄矢板を使用するに當つて、田中豐氏は内法約 150' × 50' の面積を要するこの橋梁の基礎根掘りを一つの締切にすることを恐れて、2 部分に分割して鉄矢板で締切つた。而して丁度本邦で既に在來から木の矢板の場合に行つてみた coffer dam の如くに鉄矢板を 2 重に打ち、その間隙に粘土を填充してこの締切を行つた。

丁度その締切工事に於て、鉄矢板打も粘土心壁工も濟んで愈々水替へにかゝつた際に、前述の潜函工法のために招聘した 3 米人技師が來朝した。

私は 3 名の技師等が日本に著くと直ぐその日にモーターボートに乗せて隅田川の現場に案内した。この時技師長であつた Hughes 氏はこの駒形橋脚基礎の締切を一見して即座に私に注告した。“君は今此處で直ぐ田中君に電話をかけ、この締切内の水替へを中止する様命令を出させよ。鉄矢板は斯くの如く 2 重に打つて間に粘土心壁を填める様なことをするものではない。この儘で水替へを進めれば、中の粘土が水のために膨れて内外兩側の矢板は何れも孕み出して大きな慘害が起ると思ふ”と。

然し田中氏の水替へ中止命令が何かのために遅れたのでその晩に多少の損害があつたことを記憶してゐる。

そこで次の藏前橋の橋脚基礎工事に際しては、Hughes 氏の指導の下に約 150' × 50' の面積の締切並に根掘りの工事を一重の鉄矢板で施工した、此の時の Hughes 氏の提案は、斯くの如き水中工事に於ては場合に依り、締切内に組立つべき切梁工を現場外の所で豫め組立て、橋の所まで曳航して鉄矢板打締切をしたらよからうと云ふのであつた。

Hughes 氏のこの提案は全部受入れられなかつたが、兎もあれ、150' × 50' の締切が一重の鉄矢板打で完成した。此の工事の時前述の老技師が何故に鉄矢板の使用を中止して了つたのか諒解出来たのである。即ち Hughes 氏は鉄矢板を一重に打つて締切水替へをする場合には、締切内外の水位の差が相當に大きくなるまでは締切内に水が漏れるが、この水頭の差が大きくなるに従つて鉄矢板が外部から締めつけられ、始めて水が漏洩しなくなるものであると説明された。實際に全くその通りであつた。此の Hughes 氏は嘗つて岸壁締切工事に當り 74' にも及ぶ長大な鉄矢板を打込んだ経験があると云つてゐた。

斯くの如く日本に於ける鉄矢板式總掘り工法は即ち故太田圓三氏の英斷により、sheet piles の購入を見、潜函工法指導のため來朝した Hughes 氏により偶然の機會にその使用法を教はつたものである。

#### 4. 鉄矢板式總掘り工法の慘害の實例

斯くの如くして応用の端緒を開いた鉄矢板式總掘り工法は、其の後建築基礎根掘りに一般的に使用され、相當に面積の廣い場合もあつた。然し之等は何れも全部が地下室 2 階又はそれ以下になる程の深いものがなかつた。また假令地下室 2 階となつても、その箇所は一小部分に過ぎず大部分は地階 1 階即ち最大 7~8m の深度の根掘りで、廣い面積であつても其の深度が淺かつたから建築方面の鉄矢板式總掘り工では大した失敗を見ずに経過してゐる。

又橋梁基礎工事の締切の場合、それが極く悪い土質の箇所であれば潜函又は井筒の工法が使用されてゐるから、この方面でも本題で論ずべき程の廣面積の深い根掘りに鉄矢板式總掘り工法を応用した例なく、そのため大した慘害の報も耳にしない。

然るに此の鉄矢板式總掘り工法を地下鐵道構築に應用されるに至り、相當に面積廣く且つ深度の深い場合が生じて來た。

斯くの如く面積が廣く而も深度の深い鉄矢板式總掘り工法が施工されるに及んで、或は水圧或は地盤の上昇圧のために鉄矢板締切の破壊を來たした實例を見、又之が對策として潜函工法を使用するに至つた。

前者の例としては省線大阪驛構内鐵道局前の區間の工事の締切の破壊、又後者の例としては大江橋、淀屋橋に於ける堂島川、土佐堀川河底の區間に潜函を使用したる如きを擧げることが出来る。

此の二者共に河底及停車場箇所にて、即ち面積廣く深度の深い根掘り工事であつた。

大江橋、淀屋橋の工區の時には潜函工法を以つて之を解決した。大阪驛構内鐵道局前の箇所ではコンクリート床付けに際し、その掘鑿面積を數個に分割し即ち之を最小限の面積に狹めて掘鑿し難工事の後鉄矢板式工法で解決したのである。

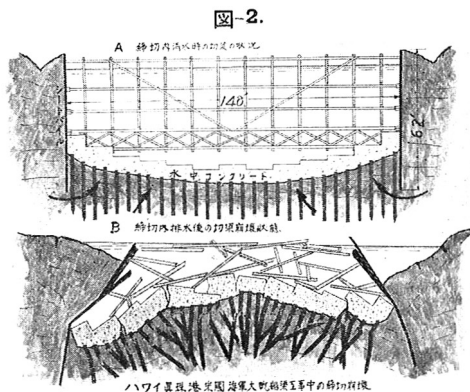
大阪驛北側工事の最後のコンクリート床付に際し上昇圧のために局部的事故を生じたる時之が對策として潜函工法の研究があつたが、既に  $50 \times 50$  m の鉄矢板式總掘り工法の爲、切梁工の複雑せる底部に於て潜函を据ゑ付けること頗る困難なりし爲遂に之を使用するに到らなかつた。即ち事故發生の後に其の對策として潜函工法を用ゐんとする事は殆ど不可能に屬する。

締切總掘り工法に於ける最も顯著な大慘害の實例はハワイ嶋眞珠軍港に於ける米國海軍大乾船渠工事である(圖-2)。眞珠港大乾船渠の矢板締切總掘り工に於ける大崩潰事件の原因は地盤の上昇圧に依るものである。其の慘害の後當事者が如何にその對策に苦心したかは米國土木學會の Transactions 1916 年號に詳細報告されてゐる。結局鉄矢板式にあらざる大規模な特殊工法を以つて漸く工事を完成してゐる。之が對策としての潜函工法に就ては、報告書卷末の討論集 (discussions) 中に僅かに Charles E. Fowler が潜函工法を用ゐたならば如何であつたらうと云てゐる程度の記録しかない。之を察するに潜函工法が英國から米國に輸入されたのは 1906 年即ち Hudson 河河底隧道工事に關聯してゐたから、此の船渠工事の當時にあつては未だ米國海軍當局に於ても斯くの如き大なる工事に潜函を使用し得るや否やに就て充分な知識がなかつた爲と考へられる。

我が邦に於ては嘗つて川崎造船所乾船渠工事で同種の難工事を經驗してゐる。その工法は鉄矢板式のものではなく、切取式總掘りではあるが、同様上昇圧並に水圧の爲に非常な困難な作業を行ひ、當時本邦唯一の難工事と稱せられたものである。而もその掘鑿面積は今日から見れば寧ろ比較的小型のものであつた。この工事に關する記録は 1903 年 9 月の Engineering News Vol L, No. 13 に山崎博士が詳細に書いて居られる。

又この川崎造船所乾船渠工事の當時三菱造船所に於ても乾船渠を築造せんとして相當に廣面積の試験掘りを行ひ、相當大なるポンプをかけて其の水替を試みたが湧水が餘りにも多く、水替に依つて地下水位を下げる事が出来ず乾船渠築造到底不可能なるを認め、遂に浮船渠を購入したと云ふこともあつた。

斯くの如く湧水の多い粘土、砂等の地盤に面積廣く深い總掘りを施工する場合には必らず致命的な崩潰の慘害を蒙る事は前記の諸例に徴しても明かな事實で、或限度の面積と深度の比以上に達する時は如何に堅固な支保工



を施して見ても、多大に水圧を含む上昇圧のために矢板締切工は必然的に覆へされるものと考へられる。

勿論基礎面が岩盤に到達する場合は全く別である。例へば、紐育ハドソン河のワシントン橋のニュージャージー側橋脚の基礎工事に於ける根掘りの如き、深さ 100' に及び而も面積が丸ビル程のものも鉄矢板式で總掘りを行つてゐる。即ち基礎面が岩盤に達してゐるものである。

之等總掘りに於ける慘害の結果に就ては土壤力学で理論的に説明することが出来るのである。

岩、砂利、粘土と云ふ如く單に概念的に大別し簡単に土質を片付けてゐた今迄の地盤の見方に對して土壤力学に於てはその實驗の結果から實際の地盤を、最も硬質の岩から、其の堅さ含水量等種々の條件が順次に変化し、最も軟質のものは液体に等しい性質に在るものと見る。

斯くの如き惡質地盤中の工事の慘害の實例に徴すれば、相當惡質の地盤であつても、これが長年月、例へば數萬年或はそれ以上と云ふ間深層にあつて壓縮されてゐる場合には平衡状態を維持し、可成りの地耐力を有してゐるが、一旦之等の地盤を根掘りや杭打や函下げ等の作業で動揺せしめて、多年壓縮されて居つた自然の状態に変化を與へる時にはその性質は一変し狂暴なものとなるものと考へられる。

斯くの如き惡土質の上昇圧に就ての經驗が嘗つて元内務省大阪土木出張所長阪本助太郎博士によつて傳へられてゐる。新淀川改修工事の當時十三橋附近に築堤を施工されたるに、其の地帯の土質が頗る惡かつたので堤を或る數幅に對し或る高さ以上積み上げる時は必ず築堤兩側の地盤が盛り上つて來たと云はれる。

之は即ち土の上昇圧に依る現象である。此の場合築堤の數幅とその高さとの比の限度に就ては此の地盤の性質を土壤力学の實驗方法に依つて明かにし、その資料から理論づけることが出来る。

此の阪本博士の實驗の結果と同様、地盤の上昇圧の現象は惡土質内の根掘りに對しても明かに論ぜらるべき問題である。

深い根掘りに際する横土圧は例へば鉄矢板を打つて締切支保工の切梁を鉄楔で充分堅固に締め、更に之に strain meter を付して周到な注意を拂つて本格的に施工すれば相當の深さまで安全に抑へられ掘鑿を遂行することが出来る。然るに土の上昇圧に對しては之等周到なる用意も、掘鑿面積がその深さとの或る比の限度を超える時には何等の役に立たず、而して此の時に生ずる土の上昇圧は大にして、之に對しては所詮施すべき手段がない。

## 5. 潜函工法に據る其の諸對策

廣面積の深い根掘りを必要とする建造物の築造に際して前記の如く土の上昇圧或は水圧に煩はされ、之等に對して施すべき手段を有さぬ鉄矢板式總掘り工法の不安と不備とを除き或は其の代用となるものに潜函工法がある。

而も近來の地價の騰貴による土地の利用或は空襲の脅威に對する防備の見地から、主要都市建築は廣面積の上に深層の地下室を設計させる。而して本邦の主要都市が不幸にして何れも惡土質の地盤に其の都心を有するのであるから、根掘りの工法は充分研究さるべき問題である。

茲に鉄矢板式總掘り工法の對策としての潜函工法應用の二三の例を擧げる。

(a) **地下室 2 乃至 3 階程度の建築に對する場合 (圖-3)** この場合は地下室の最低床版は尙粘土層の軟土質中にあるものと一般に考へることが出来る。即ちかゝる地盤中に總掘りの廣面積なる底面を豫定することは、土の上昇圧の障礙を默過することは出来ない。

この場合總掘りに先立つて、上部構造に對し適當に設計配置せる數多の基礎潜函を現在地上面から沈下し、深層堅盤の支持する基礎を豫め据ゑる。此の時各潜函のコンクリート躯体は堅地盤から地下室最下底床版豫定面迄の

図-3.

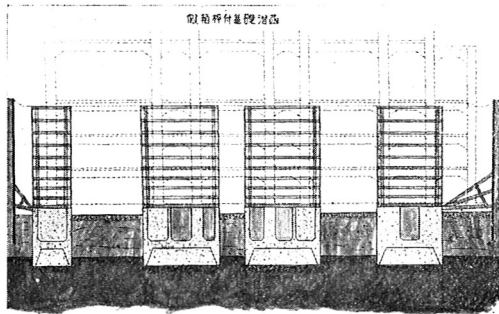
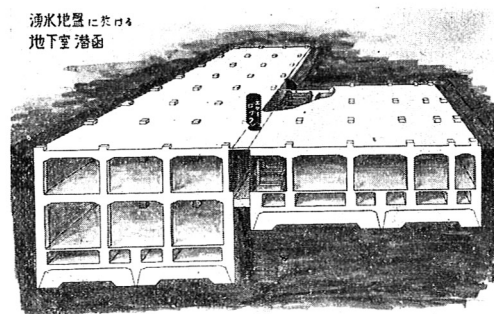


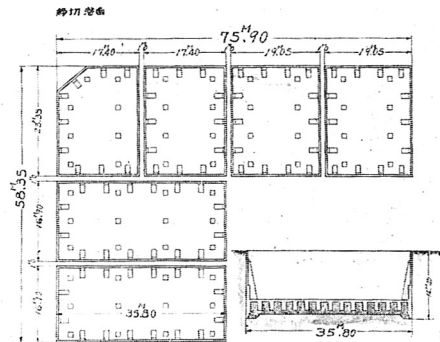
図-4.



高さのものとし地表下の地下室部分に當る潜函軀体は木製の假箱枠で継足して置く。

斯くの如くして全基礎潜函沈下完了後地下室部分の軟土質の掘鑿を行へば、根掘り底面の全面積は數多の基礎潜函のために、其の粘土質の部分が非常に狭められて居るから其處に恐るべき土の上昇圧を生ずる憂もなくなり、地下室 2~3 階に相當する深い且つ廣い面積の根掘りも、唯、木製假箱枠付潜函の間の軟土層を安心して取除くのであるから、鉄矢板式工法で安全に施工を了へることが出来る。

図-5.



(b) 湧水地盤に於ける場合 (図-4, 図-5) 例へば京都の鴨川舊河敷附近の地盤の如く、砂利、砂層で、其の地耐力は充分あるが、層中に水脈があり湧水の夥しいと云ふ特殊な地域に於ける場合、矢張りその横土圧は切梁で抑へ得るとしても、掘鑿面から噴上げる湧水は鉄矢板式工法では防止する方法がない。

此の場合には地下室全体を數基の潜函に分割し、各部分の地下室を潜函軀体内に作り込んで、隣接沈下して、之を連続して築造する。云ふ迄もなく潜函は水圧に對抗する工法であるから、湧水に惱まれる事なく其の場に最適の工法である。

## 6. 結 論

上記の如く一つには土中の湧水を征服し、一つには總掘り底面の悪土質面を狭小して土の上昇圧を防ぐが故に潜函工法は鉄矢板式總掘り工法の困難に對する對策として有利である。又假令へ鉄矢板式總掘り工法に依つて幸ひ非常な大惨害を免れ得たとしても局部的障碍の爲に或は工期が延長され、或は工費が嵩むのに比べて、潜函工法による場合には其の工期工費が始めから豫定し得られ其の狂ひがない。