

言

義

土木學會誌 第十三卷第五號 昭和二年十月

再び海中工事に於ける鐵筋混凝土に就て

(第十三卷第一號所載)

會員 工學士 松 本 虎 太

廣井博士は夙に海中工事に於ける鐵筋混凝土の保存に關し深く留意せられ諸種の實驗を行ひ時々其結果に多年の蓄積を加へ有益なる資料を與へらるゝは築港工事に従事する吾人の至幸とする所なり。海中工事に於ける鐵筋混凝土の命數如何は築港事業上の重大問題なり。日本の港灣事業は殆んど今後の施設に待つものゝ如きが故に本問題は特に本邦に於ては重要にして且つ實益頗る大なる研究事項なり。従て本問題に關する斷定は影響する所極めて重大なるが故にその斷定が廣汎にして且つ變化に富める多數の實驗を基礎とする場合に益々其價値大なり。歐米の技術者間にありても各自の經驗に基き所説を異にするもの少なからず。是れ混凝土は金屬材料の如く性質單純ならず使用材料の種類、工法、配合、用水量、混合、處理、使用場所の天然條件等千差萬別なるに因れり。

余が學會の勸めにより本稿を草せるは此等の一變化として卑見を述べ博士並に各位の高教を乞ふ所以なり。

著者の論文中試驗體の材料、製作、處理に關しては記せる所なく 1:2, 1:3, 1:4 の膠泥中に鐵筋を挿入したる試験塊を半ば海水中に浸したりしに 9 年後に毛細龜裂を見 12 年後に混凝土被覆離脱せるものあり各塊共に毛細龜裂を生じたる結果により推論せられたり。

本實驗の使用材料、用水量、第二號塊の膠泥被覆の厚さ及び浸水場所、狀況、氣温等是不詳なるも 12 年後に斯の如き結果を生じたるは膠泥被覆の薄かりしこと其の主因にして稍特異の例ならずやと思はる。

著者も其の試験塊は特例とせらるゝが如きもこの特例より斷じ混凝土の性不滲透ならざるが故に終局の破壊は免れ難く命數 30 年~50 年とせられたり。

勿論海中工事の鐵筋混凝土は材料の性質上終局の破壊は免れざらんも混凝土被覆の厚薄、粗密が命數に及ぼす影響は最も重要事項なり。

一般に實際構造物に於ては海面以下にある鐵筋混凝土は健全なる實例多し、米國南部のフロリダ州、キューバ島、カリフォルニア南部地方は鐵筋混凝土破壊の實例多き所なり。就中ロ

スアンゼルス港附近は最も破壊實例多き所なるも鐵筋混凝土棧橋杭に龜裂の生ずるは満潮位附近より以上にある部分なり。同港に於て 12 年を経たる鐵筋混凝土杭を抜き取り内部の鐵筋を精査せるに海面上にありし部分は著しく發錆せるものもありても海中にありし部分は製作當時の状態と變化なかりしと。本例は 12 年間海中に置かれたる鐵筋混凝土中の鐵筋の減減量は皆無なりとなすものにして其の命數の長きことを推定せしむる一例なり。又フロリダ州キーウエスの繫船棧橋も床及び杭の鐵筋甚しく發錆し、築造後 1 年にして龜裂を生ぜしに杭の海面下にある部分は 11 年後に尙ほ完全なり。基隆港に築造せる鐵筋混凝土棧橋の橋杭は上端干満潮位の中間にあるも築造 18 年後の今日鐵筋發錆の形跡を見ず、殊に此の棧橋は築造後少量の沈下を起したる爲めに満潮面下 2 尺の附近に龜裂を生じたるに拘らず鐵筋發錆は遅々として進まず。又防波堤に使用せし鐵筋混凝土函塊は沈置後 15 年を経たるも海面の上下共に外部に鐵錆を生じたる徴候を示さず。斯の如き實例は内外の築港工事に於て無數なるべしと信ず。1916 年當時米國ビューロー・オブ・スタンダードの技師たりシウイグ氏及ポートランド・セメント協會の技師 ファガソン氏は米國及び加奈陀沿岸にある多數の混凝土構造物に就きその健否を検せり。當時余は兩氏と會見せる時本問題に關し兩氏の所見を聽きしに兩氏は今回の調査及各國港灣當局に照會し調査したる所にては鐵筋混凝土の常に海中に浸さるゝ部分は鐵筋發錆したる例なし、從て優良なる混凝土を用ゐる工法を謬らざれば海中にある部分は安全なりと信ずと談れり。

著者は混凝土は性不滲透ならざるより考ふるときは終局の破壊は免れざるものとし鐵錆の發生は空氣を必要とするが故に其の量多き水面に於て最も甚だしく海中に於ける鐵筋混凝土工事は干満潮位を以て危險區域となすとせらる。

混凝土は其の質如何に緻密なるも不滲透性に非ずと雖も相當の壓力ある水を通過せしめず水密なることを得。混凝土は水に浸さるゝ場合にはカピラリー・アクションにより水分を吸收すれども空隙を充たしたる水の張力は水の流通を妨げ、濾過の原則により微細粒間の微細孔隙は水の流通に對して抵抗多きが故に水の流通、移動困難なり。即ち粘土は多量の水を滲透吸收するも水の通過を許さず水密なると同一現象なり。厚さ 15 厘の鐵筋混凝土沈函の浮游に際し 6 米内外の水壓を受くるも配合 1:2:4 の混凝土は組織内に海水滲潤するも流通することなく水密なるは常に經驗する所なり。即ち緻密なる混凝土は水を飽和すれば其の水は移動せざるか又は移動するも速力極めて緩なり。鐵の發錆原因に關しては化學作用説、電氣化學作用説、菌類説等諸説あるも發錆作用には (1) 酸類、(2) 酸素、(3) 水分の存在を必要とし水中に浸さるゝも酸素存在せざる場合には發錆作用起らず、從て海中にある鐵筋混凝土の鐵筋發錆作用には水の流通代謝により酸素を供給する必要あり。然るに混凝土の微細孔隙中は水の流通困難にして代謝行はれ難く混凝土は滲透性あるも水密性あるが故に鐵筋は當初接觸

せる水分中の酸素の作用を受くるも其後に於ける發錆は遲緩となるは想像し得べき事なり。然れども混凝土の表面の部分は干潮時に露出すれば水分を蒸散又は逸出し次の満潮時に新鮮なる海水と交代すべきが故に海水の代謝行はれ鐵の發錆作用旺なるべき條件を有す。此の關係は海中に於ける鉄筋混凝土の混凝土被覆の厚薄により鐵筋保存上著しき差異を生ずる原因ならん。一般に常に海中にある鉄筋混凝土の鐵筋發錆は輕微なるが如きも混凝土被覆薄き場合は異なりたる結果を生じ得べし。

著者は海面附近は空氣の含有量多きが故に危險なりとせらる。浮標の鐵鎖の如きものにありては發錆程度は海底に少なく海面に近づくに従ひて多し。然れども鉄筋混凝土にありては發錆は海面附近に於ても輕微なり。基隆港に3個の繫船浮棧橋用臺船を使用せるが其内2個は甲板、側壁、底板共に厚さ僅かに6.2 呎にして鐵筋は徑0.5 呎の鋼線を5 呎格子に挿入せり。此の臺船は1.5 米の吃水を有し海面附近の酸素含有量多き海水は壓力を以て滲透せんとし、内部は常に空氣に接觸するが故に酸素の供給量は多くして鐵筋保存には最も惡條件を具へたるに拘らず15 年間使用後の現狀は暴風時に石垣に衝突して龜裂を生じたる以外に鐵筋發錆の形跡なく何等補修を加へずして使用に供し居れり。此の臺船の混凝土は配合1:2:4 (セメント容量の1/4の火山灰を加へ、砂利は壁厚薄きが爲めに徑1.2 呎以下のものを使用せり)にして配合及び浸水條件は著者の試験塊に比し危險多し。此の種の混凝土臺船及び舢舨類を使用するものは其の數極めて多ければ其の實況を蒐集せば本研究の好資料たるべきを信ず。

又著者は海中工事に於ける鉄筋混凝土工事は干満潮位間を危險區域とせられたり。氣候寒冷にして結氷する地方にありては混凝土構造物の破壊は干満潮位間に激甚なり、即ち満潮時に混凝土に滲透せる海水は干潮時に結氷し又満潮時に融解して次の干潮時に結氷し、結氷融解交互に起り反復性の強大なる膨脹力により混凝土剝離し鐵筋を露出するに至る、寒冷地方の繫船壁は干潮面以上の部分に多く張石又は藥掛け煉瓦を使用するは周知の事なり。

但し此等地方にも特例あり、ボストン港は混凝土の結氷破壊顯著なる所にして港内にある混凝土構造物は概ね多少の破壊を免れざるに獨りニューヨーク、ニューヘブン、ハートフォード鐵道の橋脚に使用せる鉄筋混凝土杭は干満潮位間にも龜裂を見ず完全なる状態を示せり、著者の實見せしは築造後7 年を経過したる時にして経過未だ長からず其の後の状態を詳にせざるも混凝土保存上に水密性の最も重要な實證として記憶に存せり。

寒冷地方以外殊に暖地にありては干満潮位間よりも満潮位附近以上を寧ろ危險區域なりと信ず、多くの實例に於て鉄筋混凝土の最も損害多きは満潮面附近より以上なり。

基隆港内の諸構造物を見るに棧橋の場合には床、桁に鐵錆多く、杭及び桁の一部にして常に満潮に浸さるゝ部分には鐵錆を見ず、又海岸附近の陸上にある建築物に損害程度の甚だしきものあり。

混凝土は水分に逢ひて濕潤するは極めて速かにして日光、風等による乾燥は遅緩なり。余の試験せし一例は 1:2:4 の混凝土を 150°F の瓦斯爐内に於て乾燥し總重量の 3% の水分を除去するに 2 晝夜を要せしも浸水に依り 3% の水分を吸収せしむるには 4 時間にて足れり又 5% の水分を除去するに 5 晝夜を要したるに同量の水分を吸収せしむるには 24 時間の浸水にて足れり又同温度にて 1 晝夜間乾燥するも水分消失量は 1% に過ぎず、普通大氣の温度は此の試験に比し遙に低温なり、且つ湿度多き海濱に於て滲透せる水分の干潮時中に消失する量は極めて少なり、最低満潮位附近の如く 1 日 2 回浸水する部分の混凝土の内部は海水飽和状態にあるべく干潮時には外部より微量の水分發散するに止まり内部にありてはカピラリチーと重力との爲めに水分幾分垂下して上部は減少すべきも殆んど飽和状態を持続して混凝土被覆厚き時は鐵筋の附近は恰も常に水中にあると同状態にして空氣の流通する事なし、然れども満潮位附近に起りたる鐵筋膨脹の爲めに生ぜし龜裂が漸次下部に及ぶは免れ難き所にして上部に龜裂を生じ時日を経過すれば干満潮位間の如く干潮時に空氣に接する所は發錆を見るに至るべし。

海面以上の部分にありては鹽分を含める潮風に曝露し時に波の飛沫を蒙り乾燥すれば鹽分を混凝土内に遺留増積 (Accumurate) するが故に常に海中に浸さるゝ部分に比し鹽化曹達の含有量多きに至る、而して空氣はよく緻密なる混凝土を通透 (英國ナショナル、フィジカル、ラボラトリーの實驗) するが故に海面上の部分は多量のクロリン、酸素、水分に接し鐵筋發錆の最も危険状態に置かる、是れ海面以上の鐵筋に發錆多き理由なりと信ず。

余は未だ多くの年數を海中に經たる鐵筋混凝土の鐵筋を實査する機會を得ざるも上述の如く最も危険程度多しと信ずる海面近くの最も潮風に曝露し 20 年を経たる鐵筋混凝土貨車止めが重量品墜落の爲めに破壊せし時に鐵筋を精査せしに製造當時の状態と全く變化なきを確めたり。

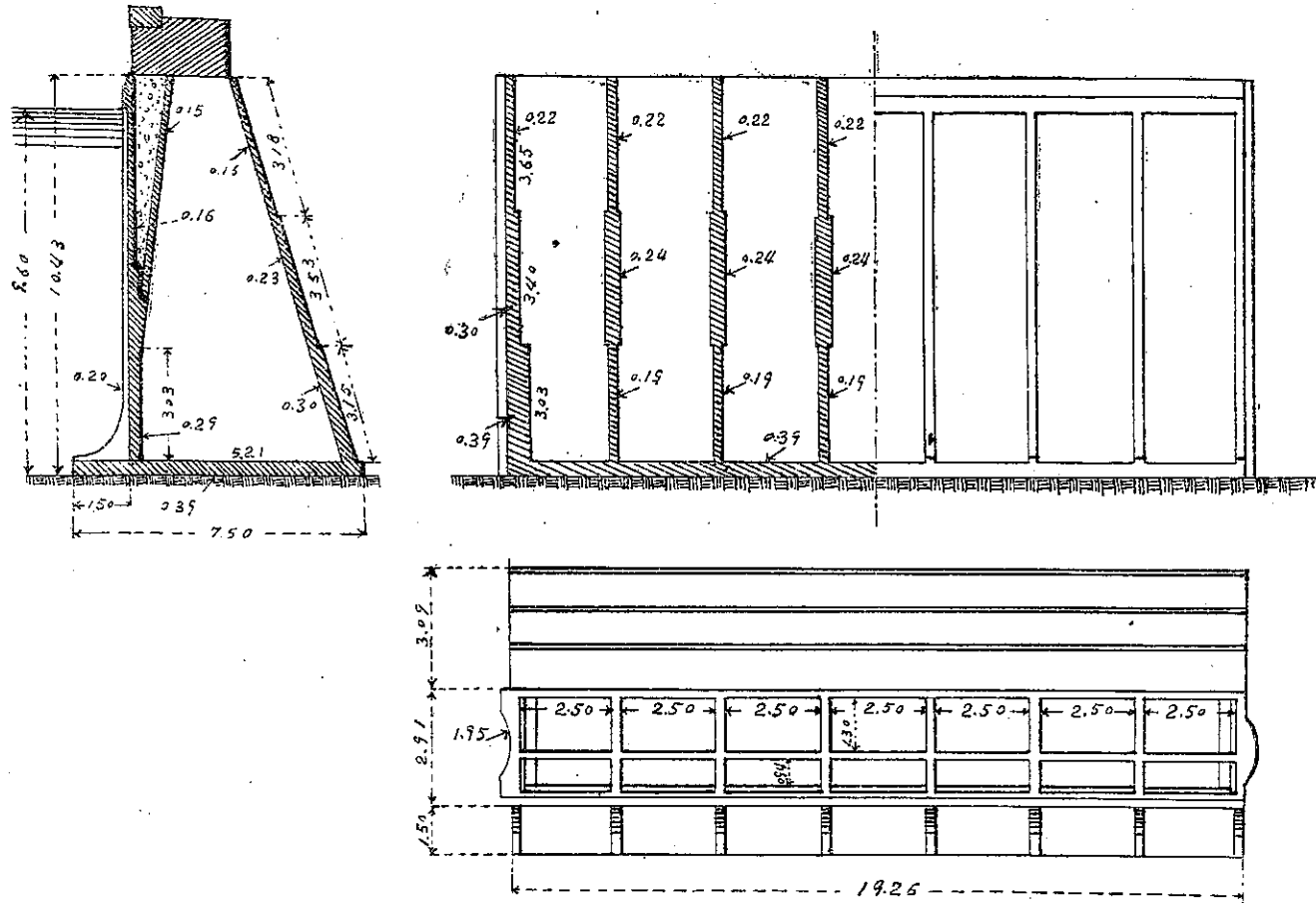
此等の點より混凝土が單に不透水性なるが故に海中工事に於ける鐵筋混凝土は短命なりと斷ずるは躊躇せらるゝ節あり。從來重力式繫船壁に偏倚せし英國に於ても盛に繫船壁に鐵筋混凝土圍墻又は杭を使用する傾向を生じ多くの港灣に於て鐵筋混凝土の使用を廢するものなきは假令海中に於ける鐵筋混凝土の命數を短命なりとするも其の使用を有利とするのみに非ずして其の命數に付きても經驗上相當確信を有するに依ると信ず、余の信ずる所に於ても鋼製シフト、パイルは特殊鋼を用うるも此れを海壁に用ひ其の命數を 50~70 年となすに比し 20 年間に何等減減量なき鐵筋の命數を 60 年となすは短かきに過ぐるの感あり。

繫船壁の鐵筋混凝土函塊に砂石を填充するは早く 1907 年 Nørre Sundby 港の繫船壁に始まりたるが如し、此の繫船壁は既に 20 年を経たれば其の現状は興味ある事項なるも詳ならず。最近同港にては前面に鐵筋混凝土柵杭を有する杭式繫船壁を築造し其の海水作用及び

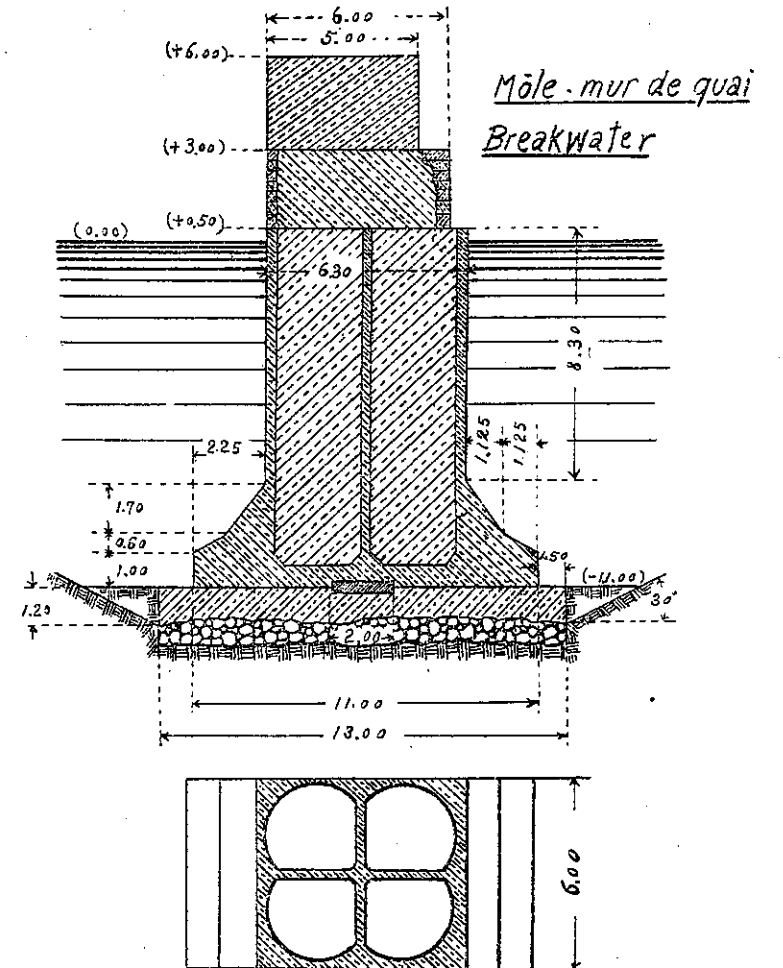
船舶衝突に對する安全程度は砂石を填充せる鐵筋混凝土函塊の繫船壁と大差なきより見れば既設のものは満足すべき状態なることを推知せらる、爾來和蘭及び其の屬領東印度港灣パタビヤ、スマラン、スラバヤ、マカツサ、ベラウエン港等に函塊に砂、石のみを填充せるものを作れり。函塊に砂石のみを填充して得らるゝ工費の節約は設計により異なるべきもゼノア港の同一埠頭に用ゐたるものは砂を填充せるものと、混凝土をせるものとの工費の差は 35% なり、一般に砂を填充すれば工費節約は大なりと雖も近來壁 15 種内外にして混凝土被覆の薄き函體の内部に砂のみを填充するは冒險に過ぐ、大量工事に於ては徹底的に完全を期し難き性質ある混凝土を使用するに際し過失より生ずる危険又は船舶衝突等により損傷を受けたる場合にその修繕殆んど不可能なる構造は稍無謀なるを免れず、最近バーセロナ港の技師の考案せる繫船壁(附圖参照)は前面を二重壁となし此の缺點を除けるは良案なり。鐵筋混凝土は純混凝土と異なり變化ある設計をなし得るが故に砂石のみを填充して不安なる矩形又は梯形の單純なる斷面は改良し得らるべき餘地あり將來益々優秀なる設計の出現を見るべし。又ゼノア港の繫船壁の混凝土函塊の如く函房を圓形となし浮游中に受くる水壓は函壁に伸張應力を起さしめず従て壁部には鐵筋を使用せざる如きも一種の良案なり(附圖参照)、臨海工事に於ける鐵筋混凝土は修繕困難なる海水中の部分は安全にして修繕比較的容易なる水面上の部分に破壊危険多きは築港用材料とし好都合なる材料なり。

余は學會の求めにより起稿せし翌日老父重患の報に接し直ちに旅裝を整へ歸國の途に上りたる爲め推敲の暇なく拙文意を盡さず爲めに博士に對し敬意を失することなきやを恐るゝも本問題は余に取り興味深きものあるが故に航海中を利用して卑見を綴りたり。

附圖第一 バアセロナ港の築船壁素 未だ實施せず



附圖第二 ゼノア港の新築船壁 内部に砂のみを填充せるも、
混凝土を填充せると同様の部分あり



カリフォルニア州某港の繫船棧橋杭

橋杭は上部の上部建築に着手する以前に既に甚しき龜裂を生ぜり。
龜裂は満潮位以上に多く干潮位附近に見ず。

寫眞第一



寫眞第二



寫眞第三

