

論的には同様の原則に依り取扱ふことが出来る。

(二) B 道路が C 道路に依つて横斷さるゝ場合——此の場合(一)の場合と同様の方法に依り取扱ふ。C 道路上に於ける此の二つの交通路の結合は將來益々重要となるだらう。尙又旋回運動(第三圖)を設けることは必要であるだらう。

(三) 二つの道路が互に交叉する場合(第四圖)此の場合理論的には(一)の如く取扱ふことが出来る。圓周を廻つて運行に對して時計の指針の方向を與ふことに依つて一般道路の交通路との容易な結合が得られる。而して圓周に接

した此の道路は二つの B 道路の一部なる側道を結合する。第五圖は二つの B 道路の Y 形分岐の場合を同様の原則に依つて取扱つたものである。

之等の設計を吟味すると其れ等が成功する爲めには自由な空地が或程度迄必要なのであるが白耳義では一般に之を獲得し得られないのは明白であるから平面交叉を採用せねばならぬ場合が多い。然し此の場合には其の持續は出来る限り障害の無い様にしなければならぬ。

## 海水工事に於けるセメント

内務技師 宮本武之輔

### 海水とセメント強度

水中工事に對して混凝土を使用する事は可なり古く、

くとも羅馬時代から發達した工法であつて、勿論その當時の膠結材は今日の所謂セメントではなくして、水硬石灰であつたものが、やがて天然セメントとなり更に人造セメン

トに進化して行つたのであるが、化學的にセメントを侵す材料としても酸、鹽基、有機質の油などを數へる事が出来るから、水中に此等の成分が含まれてゐるならば、早晩、混凝土が此のために分解せらる可きは容易に想像し得るであらう。

而してわれ／＼技術者が最も多くの場合に遭遇する工事として最大の注意を拂はなければならぬものは、實に混凝土の海水工事であつて、此の問題に關しては古來幾多の理論なり實驗なりが發表せられてゐるのではあるが、而も今日と雖、猶未だ此の問題が漸定的に解決してゐるとは言へない。

私は此の問題に就ては何れその内に纏つた研究を發表したいと思つてはゐるが、今はまだそれまでの準備が出来てゐない。従つて此の一篇は本誌の望みに應じて單に此の問題の要點だけを説明するに止めるのである事を御承知を願ふ。先年紐育市水道局のロビンソンと言ふ技師長を訪ねたら紐育は海に沿つた都會であるがために、混凝土に對する

海水の分解作用と言ふ問題に直面する事が多い。従つて海水工事に使用して最も結果のよいセメントを見出すと言ふ目的のために、『海水工事に於けるセメント』の實驗を行つてゐると言ふ事であつたが、その意味から言へば道路の方の技術者に對して『海水とセメント』とのお話をしたつて、決して無駄でもあるまいか。

海水中に於けるセメントの強度は、大氣中、に於けるものよりも一般に低いのは普く人の知る處であるが、試みに配合一、三の膠泥を取つて見ると、その抗張強度は次式で表はされる。即ち

x=材料(半)

y=抗張強度(平方糎に付)

とすれば

$$\text{大氣中 } y = \frac{74x}{x+1}$$

$$\text{淡水中 } y = \frac{42x}{x+1}$$

$$\text{海水中 } y = \frac{85x}{x+1}$$

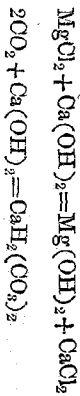
之は廣井博士が十六ヶ年に互る實驗の結果、誘導せられたものであるが、之によると大氣中、淡水中及び海水中に於ける膠泥抗張強度は略、一、〇、六、〇、五の比になつてゐるのである。抗壓強度に就ても略、同様の關係があつて海水中に於けるセメントの強度が、劣弱である事を交證してゐる。

### 海水の分解作用

何故に海水中に於てセメントの強度はかく弱いのか。他なし、海水がセメントに對して分解作用を有するが故である。更に適切に言へば、海水中に含有せらるゝ或材料がセメント中の或材料に對して化學作用を有するが故である、而して普通のポートランド、セメントは石灰(CaO)及び硅酸(SiO<sub>2</sub>)を主成分とし之に少量の礬土(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、酸化鐵(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)及び苦土(MgO)を含有する。又海水中に含まれる鹽類の主なものゝは鹽酸曹達(NaCl)、硫酸苦土(MgSO<sub>4</sub>)、鹽酸苦土(MgCl<sub>2</sub>)、硫酸石灰(CaSO<sub>4</sub>)、硫酸曹達(Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)などであるが、此等

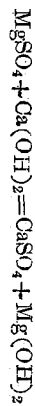
が如何なる形に於て化學作用を起すかに就ては古來幾分の學説が發表せられたが、セメントの化學的性質に關する研究の第一人者は、佛人ル・シャトリエを擧げなければならぬ。之に亞いでミハエリス・ヴェキカー・カンドローなどの研究が、今日では信頼す可きものとせられてゐる。それは海水のセメントに對する分解作用は此等の學者によつて如何に説明せられて來たか。

古い學説によればセメントの分解は海水中の苦土に依つて行はれると想像せられたのである。例へば海水中の鹽酸苦土と無水炭酸(CO<sub>2</sub>)とはセメント中の石灰化合物と作用して、鹽酸石灰及び炭酸石灰を生じ、此等の生成物は容易に水に溶解する所から、その結果粗鬆なる混凝土を残し斯くして更に海水の分解作用を促進すると言ふのである。



然しながらミハエリス及びブキカーのその後の研究に依れば鹽酸苦土の分解作用は決してそれ程有力なものではな

くして、有害なのは寧ろ硫酸苦土である。否、苦土そのものはどちらかと言へば附けたりであつて、眞に有害なのは海水中に含まれる可溶性硫酸鹽中の硫酸根(SO<sub>4</sub>)である事が確かめられた。即ち海水中の硫酸苦土はセメント中の石灰と化合して硫酸石灰を生じ、此の硫酸石灰は結晶に際して結晶水を含んで、その容積を膨脹するが故に、混凝土の崩壊を起すと言ふのである。



換言すれば海水中の硫酸根とセメント中の石灰とが混凝土分解作用の兩大關であつて、石灰と言つても化合状態にある石灰は、酸には侵されにくいけれども、セメント中に含まれる石灰は之に水を加へると一部分遊離状態となり、之が容易に硫酸と結び付く事になるのである。

### 礬土の影響

前述の如く海水の分解作用に對して最も危険なものは遊

離石灰であるけれど、その他の組成分は全々無關係かと言ふと、決してさうではなくして礬土の如きはその作用は勿論第二次的ではあるけれど極めて有害であるとせられてゐるのである。即ち硫酸と石灰との化合によつて生じたる前記の硫酸石灰は礬土石灰と化合して、礬土硫酸石灰と稱する結晶性の複鹽を生じ、此の複鹽の容積は初めの礬土に比すれば十二倍にも膨脹する所から、内部から混凝土を崩壊せしめる有力なる原因となると言ふのである。



### 耐海水工法

そこで海水工事に使用すべきセメントは施工上から言へば充分緻密な混凝土を作つて海水の浸入を極度に少くすると言ふ事が必要であつて、如何なる場合にも粗鬆なる混凝土は海水の分解作用を直接間接に誘因する事になるのであるが、化學成分の上から言へば、遊離石灰を少くする事礬土の含有を少くする事などが有効なる對策とせられてゐる

然しながら礮土は兎に角として石灰の方は無暗にその量を減ずると、混凝土の強度に影響して来るから、此の點に就ての工夫が必要になる。石灰が遊離状態にあればこそ硫酸に侵されるけれど、之と他の成分とを化合せしめて硫酸鹽の生成を阻止する事が出来れば、策の上乗なるものであつて、此のためには、特に海水工事に使用するセメントに火山灰、硅藻土の如き硫酸の含有量の多い材料を混和すれば此等のものが含む可溶性硫酸は容易にセメント中の遊離石灰と化合して硫酸石灰を作り、混凝土中の空隙を頗充して海水の侵入を防ぐ。古來、海水工事に使用するセメントに火山灰及び硅藻土を混和する事が、混凝土の分解を防ぐ上に於て卓効があるとせられてゐるのは此の理由による。

一九〇一年にル・シャトリエーの發表せる所によれば

一 海水中に於けるセメントの破壊は専ら礮土硫酸石灰の發生に基く。

一 セメントの含有する礮土は此の破壊の主因をなすも

のにして、その含有量四パーセントに達する時は危険なり

一、酸化鐵を以て礮土に置き代ふる時は、前者は後者の如く硫酸石灰と化合して膨脹せざるが故に成績良好なり。

一、礮土より生ずる危険は石灰の含有量を減少する事によりて之を輕減し得べきもの、石灰の含有を著しく減ずる時はセメントの凝結力を滅殺す。

一、礮土より生ずる危険はボゾーラナ（火山灰の一種）を混和する事によつて之を避け得べきが如し。

即ち、ル・シャトリエーは礮土を以て破壊の主因としたのであるが、硫酸石灰さへなければ、礮土は破壊力として作用しないのであるから、遊離石灰こそ元兎であつて、礮土は寧ろ從犯たるに止まる。

### 礮土セメント

上述の理由によつて海水工事に於けるセメントに礮土を含有する事は禁物であつて、ル・シャトリエーもその含有を

四パーセントに制限すべき事を暗示し、廣井博士も礬土の含有は八パーセントを超過すべからすと仕様して居られるがそれならば、近頃の發明にかゝる佛國のシマン・フォンデユ米國のアトラス・リュムナイト、獨逸のアルカ・ツエメントの如き急硬性礬土セメントは海水工事に對しては絶対に使用してはならないとは、直ちに何人も想像し得るであらう。

所が事實は豫想に反し礬土の含有の多いセメントは海水工事に對して最も高い強度を發揮し得る事が、近年に至つて實驗せられ、從來の學說に對する有力なる反證として擡頭する事となつたのである。即ちボストンのアバートウ混凝土工事會社が礬土含有量の異なる種々のセメントを以て混凝土部材を作り之を數年間海水に浸して置いた實驗の結果は、從來の學說に反して礬土の多いセメント程、海水に侵されにくい事を立證してゐる。此の實驗の結果の一部は既に米國の土木學會に發表せられて、當時甲論乙駁、可なり烈猛な討議を交はされたものであるが、ミハエリスや

ル・シャトリエーの學說は學說として、此の眼前の事實は如何にしても動かし難い。

更に前述の紐育市水道局の實驗によれば、佛國のシマン・フォンデユは海水に對して最も強く、米國のリユムナイト之に亞ぎ、普通のポートランド・セメントは最も成績不良だと言ふのである。

此の事實に對して從來の學說は如何に訂正せられるか。私はそこに絶大なる興味を感じ、自分の研究欲を刺戟せられると共に、問題の要點を讀者諸君にお傳へして汎く研究の行はれん事を希望するのである。

◇ × ————— × ◇