

1. はじめに

1969年1月号の土木学会誌上で、赤塚・善雨氏が海洋構造物用土木材料について詳細に述べておられる。この2年間にこの方面で顕著な飛躍がなされたようには見受けられないから、海洋方面の事情に明るい両氏の論説が現時点でもきわめて貴重と思われる。ご一読をおすすめる次第である。土木材料自身非常に広範にわたっておりテーマとして取り上げにくい面を持っているが、海洋構造物用に限ってもその広範とはを把握せねばならないと思われる。筆者自身の不勉強やこの方面の研究には今後に期待すべきものが多いことなどから原因となって本論説の内容が不満足なものになったことを最初にお詫言しておかなければならない。

2. 海洋構造物用土木材料についての問題点

「海洋開発は宇宙開発より困難と言った人がある。深海の高压を考慮せば当事者の発言としてうなずけることももあるし、宇宙開発が資源開発のように大量のマスを対象としていないことや経時変化のような耐久性を余り問題にしない段階にあることを考えあわせると、距離的には海洋開発が断然有利であるにもかかわらず前のような発言の出てくる背景を理解することはできる。考えてみると探險に類するような調査は海洋にないしても著々と進められていくが、22では2のようなものを対象外とし、沿岸をも含めた浅海地域を主として取り上げることをする。

これらの浅海地域はすでに相当利用されており、今後人類に空間的・資源的・観光的な面でいよいよ豊かな恵みを与えていくことが期待される。しかしながら、これらの地域は一種の境界領域にあるため、波浪・潮風・日光・乾湿などはげしい気象海象作用ならびに化学作用にとらわれるので、耐久性の上から特に配慮しなければならぬものが多い。海洋構造物は施工時にも特別に不利な影響を受けやすいことを考えると、以上のことは更に強調されるべきであらう。

海洋開発において活躍しており、しかも近い将来主として活躍すると期待される土木材料といえればやはりコンクリート・鋼に落着くと思われる。

2.1 コンクリート

コンクリートが他の材料に比べ海洋構造物用として最も耐久性にすぐれており多用されていることは周知のとおりである。

(1) Smeaton, Vicat といった近代セメントの創始時代に活躍した研究者もコンクリートの海水による害について検討しており、以来欧米各国では広範な研究が実施されたようであるが、コンクリートあるいは鉄筋コンクリートにたいする海水の影響についての意見は分裂しており時に相反していることに注意すべきである。これは実際の海洋構造物のマスは試験体のマスに比べてはるかに大きいこと、海水を満ちたコンクリート内にあけるコンクリート試験体の性状が実際の海の中にあいた試験体の性状と著しく異なる場合のあること、短期間の試験結果から早急な結論を下す人々いたこと等の

原因によるものである。

(2) クリンガーの成分から計算された種々の係数によって海水にたいする抵抗性を判断する試みはアルミネート係数を除き成功しなかったようである。 C_3S と C_2S の和が大きい、 C_3A と C_4AF の和が小さいセメントが海水の作用にたいして耐久的なことは認められており、この点では C_3A が 8% 以下と少ない中熱ポルトランドセメントは長期強度が大きいこと、収縮が少ないこと、硬化熱が少ないこと等の点と相まって適当なセメントといえる。

(3) 海水の化学作用によって主として侵食するのはコンクリート中の遊離石灰であるから、これを不溶化するフライアッシュやスラグはコンクリートの海水にたいする抵抗力を増大するのに有効である。もつともこれらの量はある限度以下にあてないと強度発現の遅れその他の不利な面も現われてくることに配慮する必要がある。

(4) 河川骨材の不足はいよいよ著しいので特に海洋構造物用コンクリートに海砂を用いる要望は高まってゆくと思われる。塩分が鋼材に有害なことは確かであるし、多量になくばコンクリートにも有害な影響を及ぼす可能性があるから何らかの制限事項が必要なことは明らかであるが、現在の我が国ではきびしすぎる制約が加えられているきらいもある。世界的に見ても海砂の使用は拡大されつつあるようであるから適当な規定の制定とゆるむことが望まれる。

(5) 練り混ぜ水として海水を用いることは、土木学会でも日本建築学会でも鉄筋コンクリートにたいして禁じている。確かにこれは安全側の規定であるが、諸外国ではドイツ (DIN, AMB)、英国 (BS)、米国 (PCA) と海水の使用を許容している例が多く、我が国の制約はやさめる方向で検討とゆるむべきであると思われる。なお米国でも ACI は海水の使用を禁じているが許容しているないし、ソ連では海水の作用を受ける構造物にたいしてだけ禁止しているといわれる。

(6) 海洋構造物が種々の点でその耐久性をあげていかなくてはならないことは確かであるから、コンクリートにおいても耐久性を向上するための手段は現場の事情にあわせてできるだけ採用すべきである。凍結融解作用を受ける場合は淡水中の時に比べて非常に有害なことが確かめられている。

(7) 鉄筋のさびが進行しない限度として定めらるコンクリートの許容さびの幅が、海洋構造物の場合きびしくなるのは当然であろう。従つてさびの分散その他により個々のさびの幅を小さくすることが重要となるが、更に進んで鉄筋自身をさびにくくするとも望まれる。後者については pH 値の小さい気候コンクリート製品にたいしてすでに実用されているし、諸外国では溶融亜鉛メッキによる鉄筋の保護が一般的に普及する大勢にあるようである。

(8) 陸上工事においても施工不良にもとづくコンクリートの欠かんはよく眼につくし、漏水などという直接的に痛い変状がほとんど全部これらの欠かんに由来していることは周知のとおりである。海洋工事においては施工条件そのものもきびしいことが多く、修理手直しも一般に困難であるから、できるだけ無理のない施工手段をとるとともに、特に入念な施工を行なうべきである。なお、プレキャストコンクリートは水中工事が陸上工事と同様にできるとされ、水中コンクリート工法としては最も適当なものであるとされているが、モルタルの流動性状は水中と空中で相当ちがうことが明らかにされてきている。

(9) コンクリートの打設条件をよくするためにはプレキャスト化するのが一番有利なことは明らか

であり、事実大型のケーソン、セルラーブロックを始めとして消波ブロックにいたるまで種々のものが実用化されてあり、設計施工上色々な問題を提起している。

2.2 鋼

鉄鋼は探險、調査、掘削などで重役を占めることは確かであり、高強度でじん性に富むすぐれた材料であるが「さびる」ということが最大の難点であり古来 iron cancer としてたびたび知られてきたことは同様のところである。海洋構造物用土木材料としてもコンクリートとともに当分鉄鋼は主流的立場を堅持してゆくと思われ、さび対策はいつも念頭においておく必要があるといえる。

(1) 海水の影響による鋼材の腐食については古来多くの測定例が報告されてきているが、もちろん環境および鋼種の差によって相違の差があることは当然である。スプラッシュゾーンなどの腐食のさげしいところでは 1 年に 0.2 mm 程度、海水中では 0.1 mm 程度などというデータを示した外国の例もあるし、海水中では 0.12 mm 程度というデータを示した例もある。

(2) 海水の影響下にある鋼材においては、材質不均一、異種金属の接合、河海混交水の温度差などによる電池構成によって起る局部腐食がさげしいといわれる。もっともわが国における入念な現地調査結果から、従来港湾鋼構造物に比べて腐食が最もさげしいとされてきた潮位間の腐食量が実は非常に小さかったと報告されているのはきわめて興味深いところである。異種環境を貫通した長尺鋼材においては、最もさびやすいところが天然の電気防食作用を受けるからだといわれる。

(3) 鋼材の腐食量調査に当たっては、鋼材厚の測定についても注意する必要があるといわれる。これはわが国で確かめられたところであるが、硫酸不飽和型厚み計で測定したところ、30 年以上経過した鋼矢板の腐食量が 1 年に 0.3 mm 以上と出たが、実際切り取った直接的な測定によると 1 年に 0.02 mm 以下とされたが違ったため、検討の結果超音波式厚み計に変更したという。

(4) 海洋鋼構造物の防食方法を示した外国の / 示方書によると、泥面下を電気防食、泥面と海面間を電気防食と低電位部塗装の併用、スプラッシュ部分は塗装、スプレー部分は塗装、空中部分は溶融亜鉛メッキまたは塗装としている。

(5) いわゆる耐食性鋼は普通鋼に比べてはるかに耐久的であることが認められているが、その原因は乾湿の繰り返し状態であるがその層が密化して耐食的になるといわれるので、絶えず湿っているとこの成績はかならずしも満足でないといわれる。従って高張力鋼をクロムや銅の含有量を加減して改善したり、更にクロムを多く含んだステンレス系の鋼材と熱処理により量産化するなどの研究を一層進め「さびない普通鋼」を生み出すよう努力が払われるべきであろう。

(6) 鋼自体の品質改良を待たずには居られないから表面処理や塗装についての研究も進めてゆく必要があると思われる。現状では溶融亜鉛メッキやエポキシ系塗料が有望といわれる。

2.3 その他

アスファルトを構造物として用いるのは適当でないが、水路のライニング、堤防の防護、浸透防止などには有利に応用できる。日光や外気の影響を受けないところでは老化の心配も余りないし、塩分に対する抵抗はきわめて大きい。施工法についての検討も種々行なわれているようである。

プラスチックは耐久性が良すぎて困っているくらいであり、完全な人工材料であって性能向上において革新的といえる進歩をとげつつあるから今後いよいよ用途が拡大されてゆくと思われる。Lingsma 著の Holland and the Delta Plan 中の新技術と題した章ではナイロンカマストレスあるいはサレドバッグとして活躍しているし、聯環式ダムとしてナイロン製の袋状ダムがオランダの干拓地に出現したというニュースも見られる。テムズ河口のほかぶコンクリート製飛行場においてセルラーコンクリートのかたをつくらると、発泡ポリスチレンブロックが型枠兼浮力保持用でん充物として用いられるなどというのは巧妙なプラスチックの利用方法というべきであろう。最近わが国でも実施されたコンクリートマット工法においてもナイロンがうまく用いられている。

3. おわりに

現在実施ないし調査の行なわれているわが国の海洋に關係した大きいプロジェクトとしては、本州と北海道、四国、九州を結ぶ連絡路をハイライトとする多くの海底トンネルや長大橋をあげるこゝかである。これらの工事に用いられる材料はすべて海洋構造物用土木材料の資格を有すると思われる。それらをていねいに拾ってみても余り意味がないと思われるのでやめたが、止水の目的で用いられる注入材料などは現段階でも相当のウエイトを占めているようである。4つの島の連絡密構化、近海資源の開発、更に進んでは海外の海洋開発とわが国の土木界が發展してゆくことは眼に見えているが、土木材料界もこれらの大プロジェクトを自信をもって安全かつ経済的に支えるべく不断的な努力を重ねることが期待されているといえる。大デルタプランで国土をきづきあげようと奮闘したオランダ人の言葉を^{最後に}紹介して拙稿を終る

A LIVING NATION BUILDS FOR ITS FUTURE