

港湾技術資料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 88 Sept. 1969

海水の作用を受けるコンクリートの中性化について

赤塚 雄三・関 博

浅岡 邦一・佐々木 克彦

運輸省港湾技術研究所





図-4.2 コンクリート表層からの中性化の状況(1)
(普通コンクリート, 八代港, 舗装ブロック)



図-4.3 コンクリート表層からの中性化の状況(2)
(プレパックド・コンクリート, 富山新港, 東防波堤)

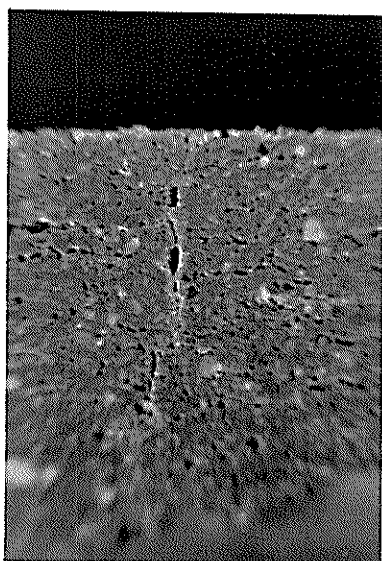


図-4.4 コンクリート表層の欠陥からの中性化の進行状況(1)

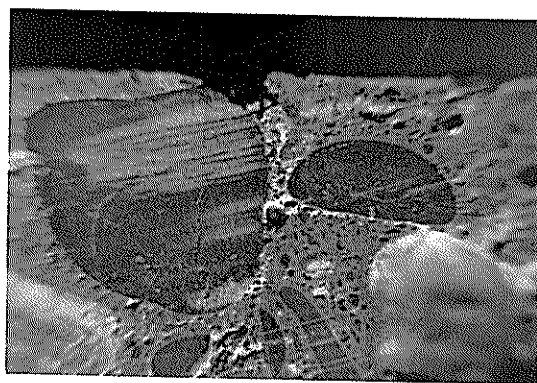


図-4.6 コンクリート表層の欠陥からの中性化の進行状況(2)

海水の作用を受けるコンクリートの中性化について

目 次

要 旨	
1. まえがき	3
2. 港湾コンクリート構造物の環境条件	4
2. 1 調査方法	4
2. 2 環境条件の調査結果	4
2. 3 調査したコンクリートの配合	4
3. 中性化試験の方法	23
3. 1 試料の採取	23
3. 2 中性化試験	23
3. 3 圧縮強度試験	24
4. 中性化試験結果	24
4. 1 試験結果	24
4. 2 中性化した表面の状態	24
5. 試験結果の考察	27
5. 1 中性化に影響を及ぼす要因について	27
5. 2 フライアッシュ混入の影響	28
5. 3 コンクリートの配合条件の影響	28
5. 4 経過年数と中性化深さ	29
5. 5 コンクリートの吸水率と中性化深さ	30
5. 6 コンクリートの中性化と鉄筋の発錆	31
6. 結 論	31
参考文献	32
付録1. 中性化試験結果	33
2. 圧縮強度試験結果	38

Neutralization of Concrete under Marine Environments

Yuzo AKATSUKA*
Hiroshi SEKI**
Kuniichi ASAOKA**
Katsuhiko SASAKI**

Synopsis

This paper discusses the neutralization of concrete of port structures under the severe weather and marine environments. Fourteen structures which were located at 8 ports and were from 4 years to 14 years old were examined. Specimens were taken by means of core boring at the top surface of structures and average depths of neutralization were measured by using phenolphthalein solution as reagent. From test results, average depth of neutralization for a long term was presumed. Then, following several factors which seemed to affect the neutralization of concrete were examined; the soaking condition of concrete in the sea water, usage of admixture (fly ash), weight of cement per unit volume of concrete and water cement ratio.

* Dr. Eng., Chief Engineer, Onahame Port Construction Office, Second District Port Construction Bureau

** Member, Materials Laboratory, Structures Division

海水の作用を受けるコンクリートの中性化について

赤塚雄三*
 関博**
 浅岡邦一**
 佐々木克彦**

要 旨

厳しい気象作用、海象作用を受ける港湾構造物のコンクリートの中性化試験を実施した。構造物は築造後4～14年の年月を経過した富山より八代に至る全国8港湾14構造物である。試料はコアボーリングなどにより採取し、フェノールフタレイン溶液による着色の程度より、最大中性化深さ、平均中性化深さなどを測定した。試験結果より、10～20年の長期間港湾環境中に暴露されたコンクリートの平均中性化深さを推定し、海水の浸漬条件、混和材（フライアッシュ）使用の有無、単位セメント混和材量、水セメント比などが中性化におよぼす影響を検討した。

1. まえがき

コンクリートは打設直後にはp. H. 13～14の強アルカリ性を示すが、年月の経過と共にコンクリート表層部よりアルカリ性が失われる。コンクリートの中性化は主として空気中の炭酸ガスとコンクリート中の有離水酸化石灰の反応による炭酸石灰の生成に起因するものであると言われている。このようなコンクリートのアルカリ性の低下は、コンクリート中に埋込まれた鉄筋の防錆機能の減退を招き、さらに鉄筋とコンクリートの付着を破壊することによって鉄筋コンクリートとしての一体性を損い、構造物の破壊を招来する可能性もある。港湾構造物は海水からの塩分の付着などにより、一層、鉄筋の発錆の生じやすい環境中にあり、コンクリートの中性化を十分に解明する必要がある。

コンクリートの中性化に関しては、すでに若干の研究結果が報告されている。たとえば左右田、山崎¹⁾は、1958年に、20年間屋内に放置された供試体に関する研究成果を述べ、岸谷²⁾は建築構造物関係のコンクリートの貴重な室内実験、既設建築構造物の試験結果を発表している。さらに、土木学会コンクリート委員会フライアッシュ小委員会では、材令20年を目標として1962～63年より、セメントの種類、混和材、混和剤、および自然条件などの要因を変化させたコンクリートの中性化に関する

長期実験を開始している³⁾。既往の研究結果によるとコンクリートの中性化は、経過年数、水セメント比、混和材置換率など多くの要因によって左右される。特に混和材（フライアッシュ、高炉セメント、シリカセメントなど）の混入はポゾラン反応により、コンクリート中の遊離水酸化石灰の固着化を促し、コンクリート中のアルカリ性の低下を促進させる可能性があり、混和材の適切な使用が望まれる。コンクリートの化学変化を対象とした耐久性の実験は長年月の研究期間を必要とし、現時点において港湾構造物のコンクリートの中性化の程度を適確に判断するためには、既設構造物より、直接試料を採取する方法が最も適切である。

本報告では既設港湾構造物のコンクリートの中性化の程度および各種要因が中性化に及ぼす影響に関し、種々検討を加えた。対象とした構造物は富山新港、伏木港、小倉港、八代港、清水港、四日市港、湘南港、久里浜港において現在供用中の14施設である。構造物の選定に当たっては、築造後採取可能な限り長期間を経過したものであること、混和材（フライアッシュ）を混入したコンクリートであることを前提とした。港湾構造物においてはフライアッシュが普通コンクリート材料として使用された時期が比較的新しく、このため混和材混入コンクリートとしては、圧倒的にプレパックドコンクリートが多くなった。普通コンクリートを使用した構造物は施行記録の保有されているものが少く、十分に施工条件、コンクリートの配合等の資料を収集することが出来なかった。コンクリートの試料採取に当たっては、当研究所の職員を

* 第二港湾建設局 小名浜港工事事務所長

** 構造部 材料施工研究室

現地に派遣して立合い、中性化試験の多くは試料を当研究所に送付して実施した。コアボーリングは昭和43年度10月～12月にかけて行なった。

これら既設コンクリート構造物の中性化試験結果をもとに、各種の条件がコンクリートの中性化に及ぼす影響に関し、おおよその傾向を把握することが出来た。本文では他の研究者の研究成果など考慮に入れて、これら試験結果を取り纏めたものである。

試料の採取に当っては、神奈川県 湘南海岸 整備事務所、東京電力株式会社横須賀火力建設所、第一港湾建設局伏木富山港工事事務所、第二港湾建設局横浜調査設計事務所、第四港湾建設局小倉港工事事務所、八代港工事事務所、第五港湾建設局清水港工事事務所、四日市港工事事務所および港湾技術研究所の関係各位の御協力を得た。特に、材料施工研究室小野寺幸夫技官には、調査ないし試験の一部を担当して頂いた。ここに謹んで厚く御礼申し上げる。

なお、本報告の一部は土木学会との共同研究により実施されたものであることを付記する。

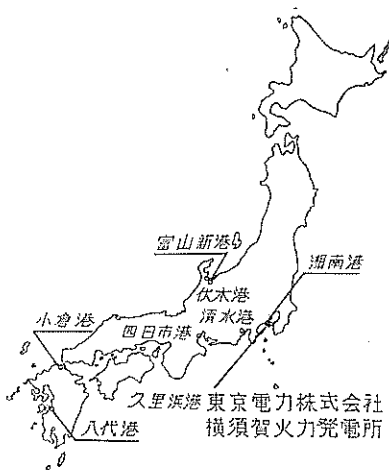
2. 港湾コンクリート構造物の環境条件

2.1 調査方法

既設港湾構造物のコンクリートの中性化を評価するために、次の事項を基準として港湾構造物を選定した。

(1) 同一港湾内において、ほぼ同一時期に普通ポルトランドセメント、混合セメント（フライアッシュセメント）の両者を使用したほぼ同一の自然条件に暴露された構造物が存在すること。

(2) 築造後、長年月を経過していること。



図一2.1 コンクリートコア採取港位置図

(3) 供用中の構造物であって、中性化の程度を判定するためにコンクリートが大きな破損を受けていないこと。また、試料の採取によって構造物の使用に有害な影響を与えないこと。

これらを考慮して、8港湾14構造物を選んだ。図一2.1では港湾名および港湾の位置図を示している。

コンクリート構造物の暴露されている自然条件、構造物に使用されたコンクリートの品質などの調査は、既刊刊行物、業務資料などによる資料調査と、当研究所調査員を現地に派遣して直接に資料を収集する現地調査の両方式によって行なった。

調査した項目は次の通りである。

一般事項

コンクリート構造物の名称および様式、施工期間、施工箇所

自然条件

日照条件、風向、風速、気温、地形条件、海水、潮風の影響

コンクリート構造物

コンクリートの種類、材料の品質、示方配合、圧縮強度、コンクリート表面の状況

2.2 環境条件の調査結果

表一2.1より表一2.8は自然条件の調査結果を表示したものである。日照条件、風向、風速、気温は、構造物築造後の経過年度と同年度の資料を得ることが不可能な場合もあった。数年の年度の相違が自然条件の評価に影響を及ぼすと考えられぬので、調査した年度の資料を本報告書に転載した。本表に記載した年平均降雨日数とは、日降雨量1.0mm以上の日数を意味している。構造物の位置図、断面図および風向図は、図一2.2～図一2.9に示す通りである。施工期間、コンクリートの種別、採取位置は、表一2.9に表示してあるが、これによると、港湾構造物にフライアッシュの使用された時期は比較的新しく、昭和30年頃である。当初は、プレバッドコンクリートの混和材料として多用されているが、昭和35年頃より八代港、清水港の例に見られるように、遂次一般構造物に使用されているようである。構造物としてはマシブな無筋コンクリートが多い。

2.3 調査したコンクリートの配合

各港の構造物に使用されたコンクリートの材料の性質、示方配合に関する調査結果は表一2.9に取纏めた。普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートに関しては、築造当時の施工記録が散逸したものが多く、十分に資料を収集することができなかった。

表-2.1 コンクリート構造物の環境条件(1)

1. 概要

港名	富山新港	構造物名	東防波堤	所在地	富山県新湊市
----	------	------	------	-----	--------

2. 環境条件

日照条件	昭和26年から昭和38年までの13年間の年平均降雨日数は約183日である。降雪日数は約55日で積雪期間は約60日である。また快晴日数は約30日と少ない。
風向	年間を通して北東方向と南西方向が卓越している。季節的には、冬季は、北よりの風は少なくなり、南から西方向が卓越し全風向の80%を占める。これは、富山湾の北西は能登半島にしゃへいされているうえ、冬季は寒冷前線が能登半島と佐渡を結ぶ線に停滞することが多く、シベリヤからの北西の季節風は、富山湾でははるか高層部に上昇してしまい、立山連峰にぶつかりこのために立山連峰から吹く南方向の風が卓越する。
風速	昭和36年から昭和38年までによると、5m/sec以下は全体の88%、5~10m/secは約10%、10~15m/secは約2%、15m/sec以上はほとんどない様である。従って、10m/sec以上の風は、全体の約3%にすぎず、ほとんど5m/sec以下の風である。
気温	昭和26年から昭和38年までの13年間の年平均気温は約14°C、平均最高気温は約18°C、平均最低気温は約9°Cである。また、平均湿度は約80%である。
採取地点の地形・海水・潮水の条件	富山県のほぼ中央に位置し、富山高岡両市中間の新湊市に存在し1.8km ² 放生津潟を利用した堀込港湾である。 東防波堤は、港の前面、右側にあり、日本海にほぼ直角に突き出した防波堤で周囲には、直接気象条件を制圧する半島（北西遠方に能登半島）、島等はなく、きびしい気象条件にさらされる。
採取構造物の表面状況	多少自動車の走行があるが表面は、ほとんど摩耗していないといってよい。コンクリート表面は、常時は乾燥状態にあるが、少々の荒天時でも波しぶきをかぶる。また、モルタルがはく離して粗骨材の露出している所が一部みられた。

表—2. 2 コンクリート構造物の環境条件(2)

1. 概 要

港 名	伏 木 港	構造物名	左 岸 1 号 岸 壁	所在地	富 山 県 高 岡 市
-----	-------	------	-------------	-----	-------------

2. 環境条件

日照条件	昭和32年から昭和38年までの7年間の年平均降雨日数は約190日で、降水量は約2550mm/mである。また快晴日数は約35日、降雪日数は約50日である。降雪による積雪日数は1月から3月にかけて約60日である。
風 向	昭和36年から昭和38年までの3年間の風向は北東、南、南南西、南西の風が卓越しており全体の50%を占めている。季節別にみると、春、夏、秋の3季は大体北ないし北東、南ないし西の風が多く、その中でも南ないし西の風が僅かに多い。冬は北ないし東の風が少なく南ないし西の風が比較的多い。
風 速	風速 5 m/sec 以下の風の回数頻度率は約80%、5 m/sec~10m/sec は約10%、10m/sec 以上は約2%であってほとんど 5 m/sec 以下の風である。季節別にみると晩春と秋の暴風期と更に晩秋から初冬にかけて大きな風速を有する風の頻度が多い。
気 温	昭和32年から昭和38年までの7年間の年平均気温は約14°C、平均最高気温は約18°C、平均最低気温は約11°Cである。また平均湿度は78%である。
採取地点の地形条件 海水・潮風	富山湾沿岸の富山、新湊、高岡の3市からなる伏木富山港の西端に近い小矢部川の河口左岸に位置し、前面湾域の北方面には能登半島があり後方1kmには二上山丘陵がある。日本海に面しているので夏期は比較的静穏な海面も晩秋より初春にかけては季節風の影響で大分荒れ岸壁は波しぶきを受けることがしばしばである。また本岸壁前面の海水は黒色を呈し水面には浮遊した油、汚物などが見られた。
採取表面 構造物 状況	本岸壁は主として石炭、砂利、マンガン鉱石、石油の荷揚げに利用されており、水平引込クレーン(2基)、ダンプカー、トラクタショベルなど各種の荷役機械が用いられている。エプロンにおける荷役用車輛の走行は、はん雑でコンクリート表面は、かなり摩耗している。エプロンには常に荷役されたバラ荷が山積みされており、風の影響は著しく運搬されると考えられる。表層は石炭、鉱石の微粉末と油などにより、黒く変色しており、ひびわれ、はく離箇所が数多く認められる。これは岸壁前面よりほぼ50cmの区間が著しく、プレパックド鉄筋コンクリートの内部鉄筋が露出し発錆の生じている箇所も見られた。

表-2.3 コンクリート構造物の環境条件(3)

1. 概要

港名	小倉港	構造物名	砂津防波堤 高浜-3m物揚場	所在地	福岡県北九州市
----	-----	------	-------------------	-----	---------

2. 環境条件

日照条件	昭和5年から昭和35年までの30年間の年平均降雨日数は約117日、降水量は、約1700mmである。また快晴日数は約40日、降雪日数は約20日である。
風向	昭和33年から昭和37年までの5年間の風向は、東西北西の風が卓越している。季節別にみると春季には、東方向が卓越し、次に西北西方向が、これに次いで多く、夏、秋の2季にかけては東方向、冬季には西北西方向がそれぞれ卓越している。
風速	風速10m/sec以下の風の出数頻度率は、約60%で約半分程度を占めている。特に風速5~10m/secの風が多い。
気温	昭和5年から昭和35年までの30年間の年平均気温は約15°C、平均最高気温は約19°C、平均最低気温は約13°Cである。
採地海 取形水 地条・潮 点件風 の風	九州東北端に位置し、東は周防灘、北は関門海峡を経て響灘に囲まれた地域で、背面は築紫山地を有し、東は企救山系の丘陵が迫った平地である。 砂津防波堤は砂津泊地の港口にあり、潮風の影響は大である。構造物の背面は、油槽タンクが乱立しており、波しぶきは、台風時以外は、かぶることはない。海水は青く澄んでいる。 高浜-3m物揚場は高浜船だまりの最奥に位置し、港内は、静穏で潮風の影響も少なく、台風時以外は波しぶきをかぶることなく、ほとんど海水の作用は受けぬものと考えられる。
採の表 取面 構造 物況	砂津防波堤は、自動車等の走行による摩耗はないが、コンクリート表面はモルタルがはく離して、粗骨材が露出している。表面は常時乾燥状態にある。コンクリートの色は淡褐色である。 高浜-3m物揚場は、石炭、砂利、ノロ等の荷役施設として利用されており、エプロンは、フォークリフト、ダンプカーなどの車が繁雑に走行する地域である。これらは野積みされ、ばら荷、あるいは背後の倉庫、事務所などの建物は、ある程度通風を阻害すると思われる。またノロ等が雨水によって流出し、構造物上面をおおい、コンクリート上面は褐色に変色している所が多い。コンクリート表面は乾燥状態にあるがひびわれが多く、はく離破損した箇所が多くみられた。

表-2.4 コンクリート構造物の環境条件(4)

1. 概要

港名	八代港	構造物名	防波堤, 舗装ブロック	所在地	熊本県八代市
----	-----	------	-------------	-----	--------

2. 環境条件

日照条件	昭和38年から昭和42年までの5年間の年平均降雨日数は約150日で降水量は約1900mm/mである。また快晴日数は約100日である。
風向	昭和37年から昭和42年までの6年間の風向は北, 北西の風が卓越しており全体の約45%を占めている。季節別にみると春は北, 北東の風, 夏は西, 南西の風, 秋, 冬の2季は北, 北西の風がそれぞれ多い。
風速	風速10m/sec以下の風の回数頻度率は約80%であってほとんど10m/sec以下の風である。季節別にみると台風のない年は冬に大きな風速を有する風の頻度が多く, 逆の場合は夏から初秋にかけて多い。
気温	昭和37年から昭和42年までの6年間の年平均気温は約17°C, 平均最高気温は約22°C, 平均最低気温は約12°Cである。
採地海 取形水 地条・ 点件潮 の風	熊本県のほぼ南北方向中央の九州西岸に位し, 球摩川の河口右岸に位置する。前面の八代湾の西端に天草諸島北端に宇土半島があり, 後方に八代平野が開け, その背後は九州山脈がある。八代湾はこれらに囲まれ, 台風時においても被害はほとんど見られない。防波堤は球摩川右岸の導流堤先端八代港口西端にあり天端高はH.W.Lより+0.9mに位置し周囲には潮風を阻止する構造物は皆無で防波堤上面は荒天時に海水により洗われる。舗装ブロックは防波堤と相対した-9.0m岸壁のエプロンに敷設されたものである。本埠頭は主として輸入木材の荷役に使用されている。
採取構 造物 の表面 状況	防波堤上面を摩耗破壊する外力は皆無であり荒天・雨天時以外は乾燥状態にあると考えられる。舗装ブロックは荷役作業時にフォークリフト等の荷役車輛の走行により表面が摩耗作用を受けるが試料の採取においてはそのような影響のない所を選んだ。

表—2. 5 コントリート構造物の環境条件(5)

1. 概 要

港 名	清 水 港	構造物名	興津防波堤 (上部工) 興津防波護岸 (上部工)	所在地	静岡県清水市
-----	-------	------	-----------------------------	-----	--------

2. 環境条件

日照条件	昭和39年から昭和43年までの5年間の年平均降雨日数は約110日でその降水量は約3000mmである。この値は平年の降水量約2300mmをはるかに上回るがこれは昭和40年に台風の影響により年降水量が6740mmとなったためである。快晴日数は約80日である。
風 向	昭和39年から昭和43年までの5年間の風向は東北東、北東、西、西南西、南西の風が卓越しており全体の約50%を占めている。季節別にみると春は東北東、北東、夏は東北東、南西、西南西、秋は東北東、北東、北、冬は東北東、北東、西、西南西がそれぞれ多い。
風 速	風速10m/sec以下の風回数頻度率は約80%であってほとんど10m/sec以下の風である。季節別にみると春と秋の暴風期と冬に大きな風速の有する風の頻度が多い。
気 温	昭和39年から昭和43年までの5年間の年平均気温は17°C、平均最高気温は約21°C、平均最低気温は約13°Cである。また平均湿度は約70%である。
採地海 取形水 地条・ 点件潮 の 風	駿河湾沿岸の西側に位置し、前面は三保半島が天然の防波堤として横たわり後方には丘陵が連なり、港内は静穏であり且つ充分の水深と面積を有し、類のない天然の良港となっている。 興津防波護岸は清水港の港口に位置し、清見崎海岸より三保半島の方向に700m突き出ておりそれに接続して防波堤が200m突き出ている。これらは大平洋の波浪に直接さらされるので防波護岸港外側には六脚ブロックを防波護岸天端付近まで設置してある。また防波護岸と防波堤との接地点の港内側にも六脚ブロックを設置してある。 海水は比較的澄んでいて汚物の浮遊はあまり見られなかった。
採取構 造物 の表面 状況	防波護岸表面は昭和41年9月頃までの約2年間荒天時にしぶきをかぶっていたが、昭和41年12月より翌年8月にかけて港外前面に消波ブロックが設置されてからは、その消波効果によりほとんどしぶきをかぶらなくなった。静穏時にはコンクリート表面は乾燥している。防波堤表面は荒天時においてしぶきをかぶるが静穏時は乾燥している。なお、自動車等の走行によって表面の摩耗した箇所が少々見られた。

表-2. 6 コンクリート構造物の環境条件(6)

1. 概 要

港 名	四 日 市 港	構造物名	第1埠頭BC(南側)岸壁 第1埠頭先端護岸	所在地	三重県四日市市
-----	---------	------	--------------------------	-----	---------

2. 環境条件

日照条件	昭和23年から昭和42年までの20年間の年平均降雨日数は、約110日で降水量は約1600mm/mである。また快晴日数は約90日、降雪日数は約20日である。
風 向	年間を通じて、北西からの風が卓越している。季節別にみると、春、秋、冬の3季には北西方向が多く、夏季には南西方向が多い。
風 速	風速 5 m/sec 以上の風の回数頻度率は約95%であってほとんど5～10m/secの風である。
気 温	昭和23年から昭和42年までの20年間の年平均気温は約15°C、平均最高気温は約19°C、平均最低気温は約10°Cである。
採取地点の 地形条件 海水・潮風	伊勢湾北西部に位置し、東に向かってひらけ対岸には、知多半島を望む。伊勢平野のほぼ中央に位置し背面は鈴鹿山脈に連なり、自然条件に恵まれた良港である。 第1埠頭は、四日市港のほぼ中央に位置し、背面には倉庫が並立しているが、潮風の影響を著しく受ける。海水面は、油やその他の汚物が浮遊している。
採取構造物 の表面状況	BC(南側)岸壁の採取地点は、感潮部にありコンクリート表面は海草などが5～10mm程度の厚さで付着している。コンクリートの色は淡褐色である。 先端護岸は、フォークリフト、ダンプトラック等が走行するため摩耗が著しいが試料の採取においては、表層に損耗の受けていない箇所を選んだ。コンクリート表面は、乾燥状態にあるが、荒天時には波しぶきをかぶり海水の作用を受けるものと思われる。

表-2.7 コンクリート構造物の環境条件(7)

1. 概 要

港 名	湘 南 港	構造物名	ヨ ッ ト 曳 揚 場	所在地	神 奈 川 県 藤 沢 市
-----	-------	------	-------------	-----	---------------

2. 環境条件

日照条件	昭和40年から昭和43年までの4年間の年平均降雨日数は、約61日で降水量は約950m/mである。又、晴日日数は約182日である。
風 向	昭和39年4月から昭和39年10月までの7ヶ月によると北および南方向が卓越していると思われる。
風 速	風速5m/sec以上、10m/sec以上共それぞれ、夏から秋にかけて多い様である。
気 温	昭和34年から昭和38年迄の5年間の年平均気温は17°Cであり、平均最高気温は20°C、平均最低気温は14°Cであるものと思われる。 ^{注)}
採取地点の 地形条件 海水・潮風	相模湾北東・三浦半島最奥に位置し、片瀬海岸より400m程度の海上にある、江ノ島の北東部を埋め立てて、築造された港である。背後地には、相模平野があり、前面は、相模灘の荒波をうける。ヨット曳揚場は、感潮部にあつて、下方のプレパッドコンクリートの部分は、大潮を除いては、常に海水中に浸漬された状態である。 斜面勾配は、1:6.5であり、波浪は、砕波となり、曳揚場コンクリートの表面を洗う。
採取構造物 の表面状況	曳揚場のコンクリートは、上面からは、海水、波浪、下方からは、揚圧水等で常時湿潤状態である。又ヨットの曳揚等により、コンクリート表面は、相当に破損し、摩耗している。又水深が深くなるにつれて、コンクリート表面は、海水中の浮遊物の堆積、海苔の繁殖などにより、深緑色に変色している。

注) 湘南港附近の気温観測結果の資料がないので、久里浜の当研究所で観測した結果を統計的にまとめたものを引用した値である。

表-2.8 コンクリート構造物の環境条件(8)

1. 概要

港名	東京電力横須賀内	構造物名	D型岸壁(上部工)・E型防波護岸(上部工)(ケーソン)	所在地	神奈川県横須賀市
----	----------	------	-----------------------------	-----	----------

2. 環境条件

日照条件	昭和23年から昭和28年までの6年間の年平均降雨日数は約150日である、また、晴日日数は、約160日、降雪日数は、約4日である。
風向	年間を通じて東方向が卓越しており、東北東ないし東の風が約30%、久里浜港への襲来波に最も影響を与えると思われる南ないし南西方向が約25%を占めている。季節的にみると初夏から秋にかけては南西風、秋から冬にかけては東風、冬から初春までは北風がそれぞれ卓越している。
風速	風速10m/sec以下の風回数頻度率は、約84%であってほとんど10m/sec以下の風である。特に5～10m/secの風が多い。
気温	昭和34年から昭和38年までの5年間の年平均気温は17°Cであり、平均最高気温は20°C、平均最低気温は14°Cである。
採地海地形・潮流の風	東京湾口西岸・三浦半島中東部浦賀水道に面し、東および南が海で北ないし西側は標高80m前後の丘陵が海岸線に迫っている。 東京電力横須賀火力発電所は千駄ヶ崎前面の海面に防波護岸岸壁を築造し、千駄ヶ崎背面の丘陵からの土砂、久里浜港港内の浚渫土砂によって埋め立を行ない、海に突き出した埋立地である。 潮風を妨げる条件は皆無であり多少の荒天時においても相模灘からの波浪に直接さらされ波しぶきは、10～15mの高さにおよび海水に洗われる。
採取構造物の表面状況	D型岸壁、E型防波護岸はいずれも現在防波護岸の役目を果しており、海面静穏時のコンクリート表面は乾燥している。自動車の走行もなく摩耗はほとんどみられず、モルタルがはく離している箇所もない。 コンクリートケーソン上面は、構内の埋立て土砂、残灰の運搬でダンプトラックが走行し、表面に多少摩耗した箇所が見られる。

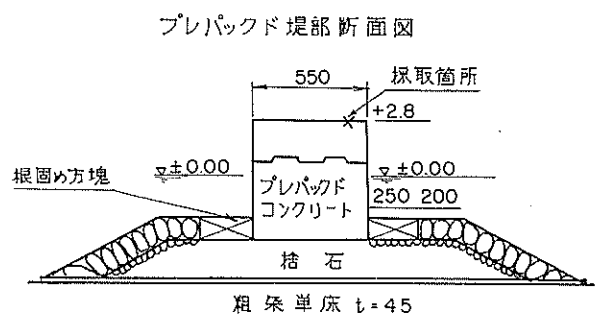
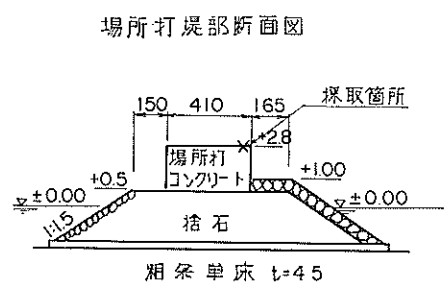
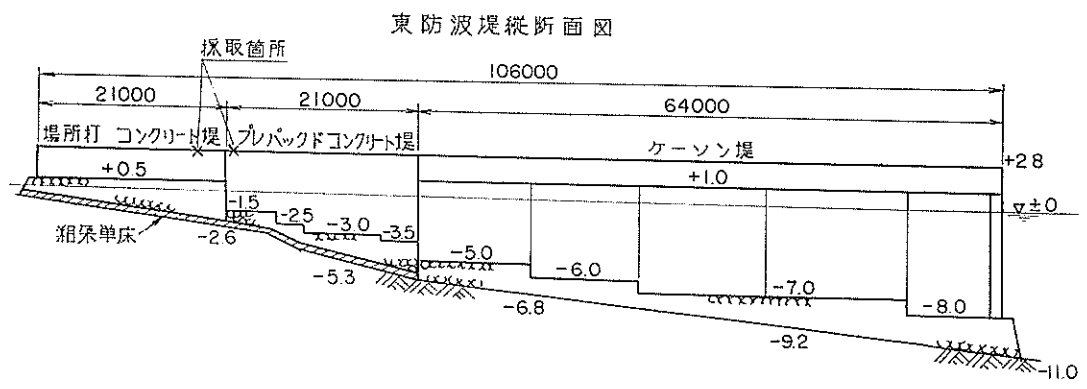
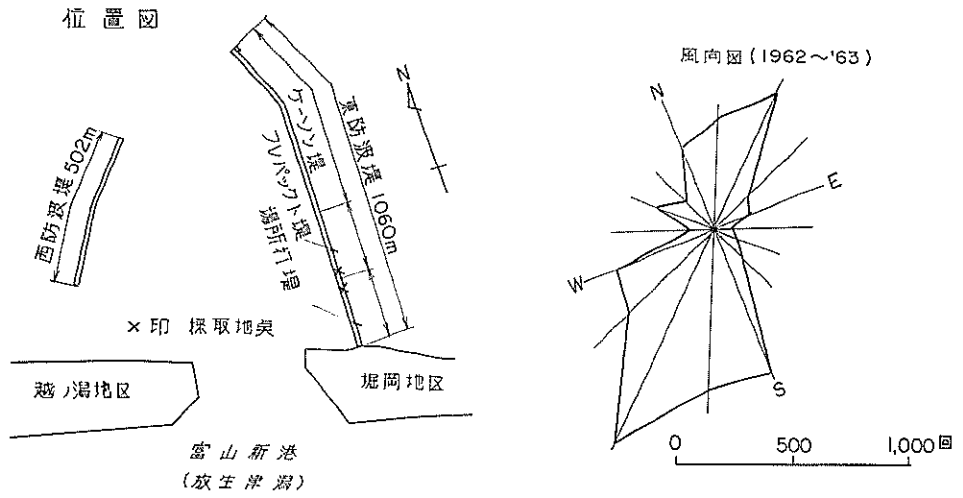
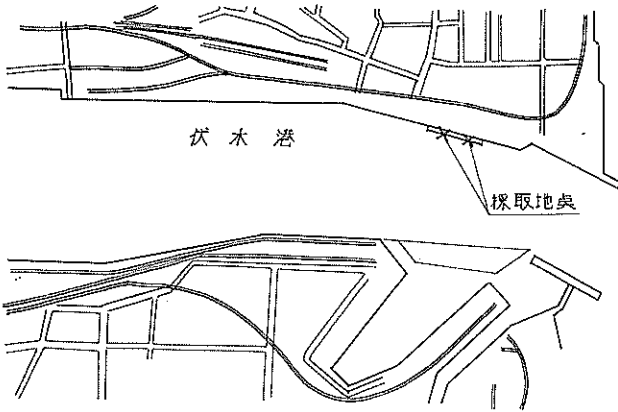
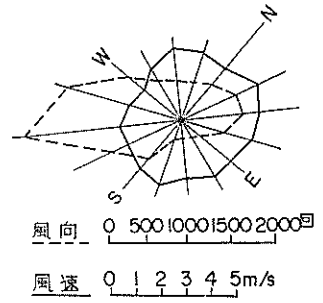


図-2. 2 富山新港 (東防波堤)

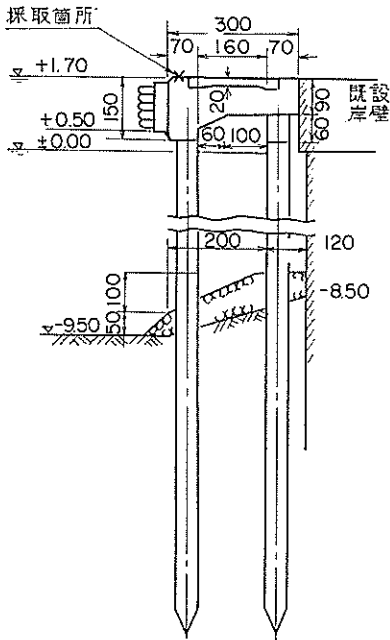
位置图



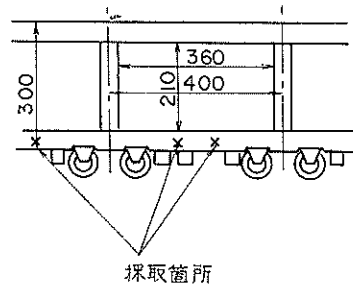
風向 風速圖



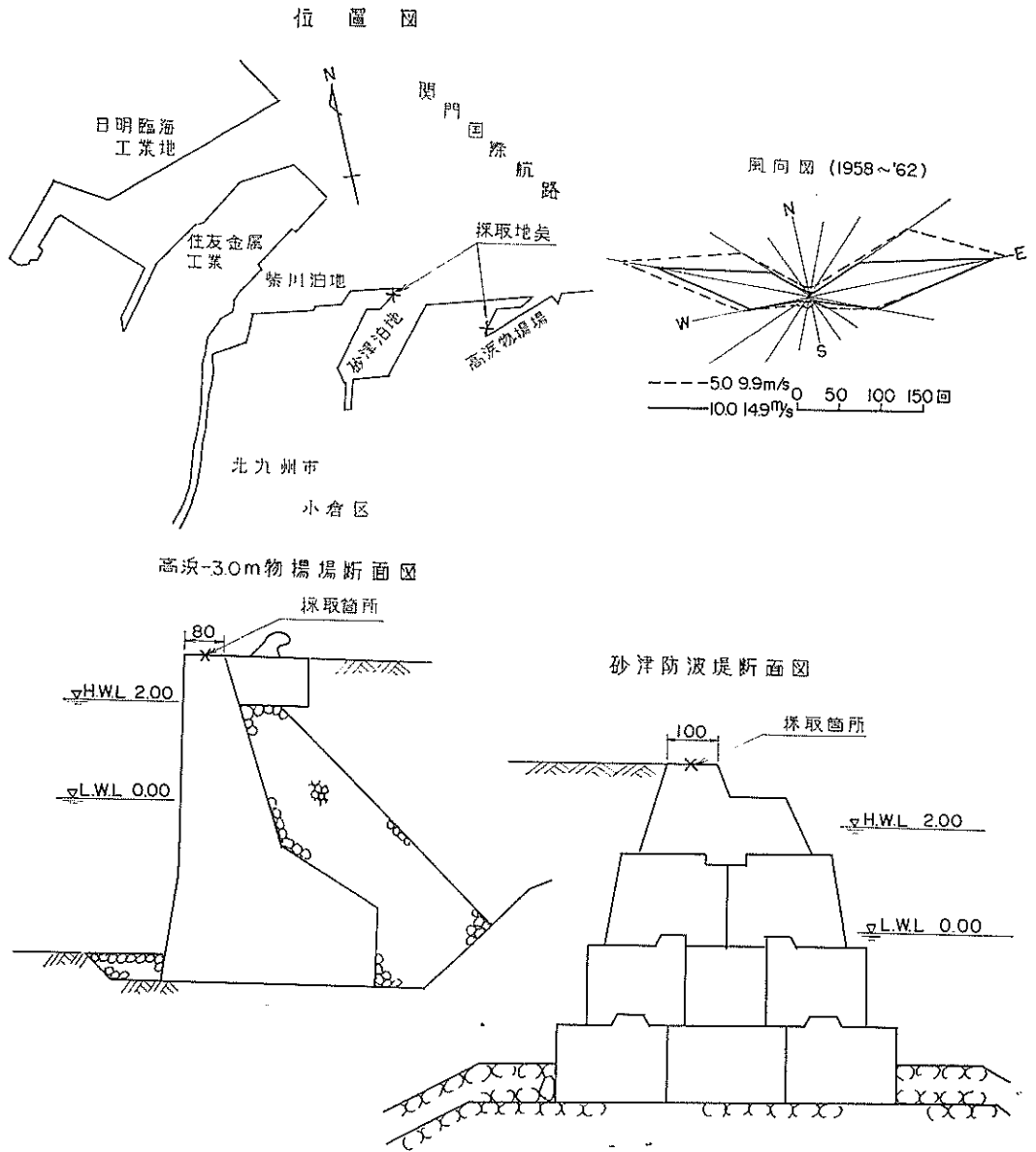
左岸 1 号岸壁断面图



平面图



图—2. 3 伏木港 (左岸 1 号岸壁)



図—2. 4 小倉港（砂津防波堤，高浜—3.0m物揚場）

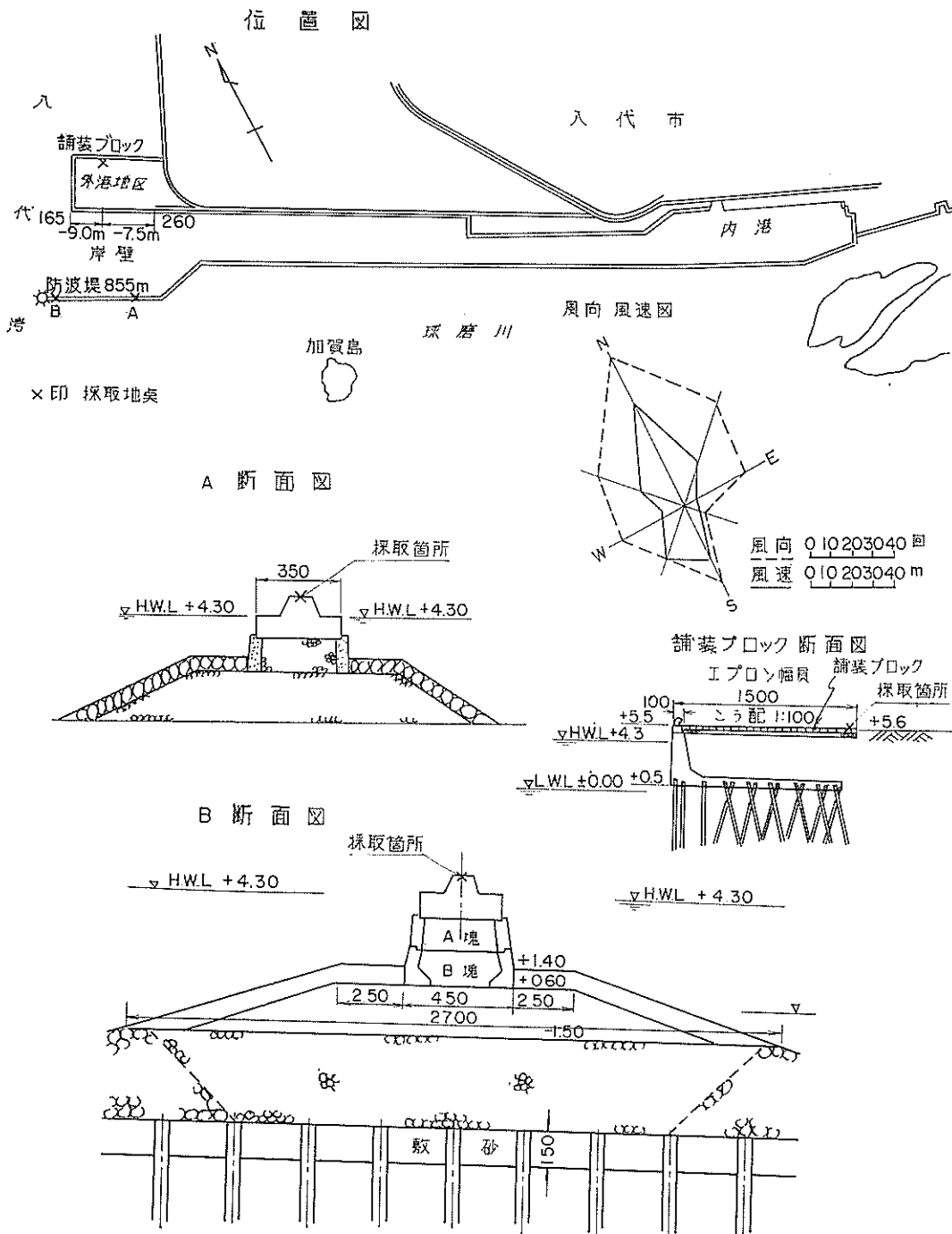
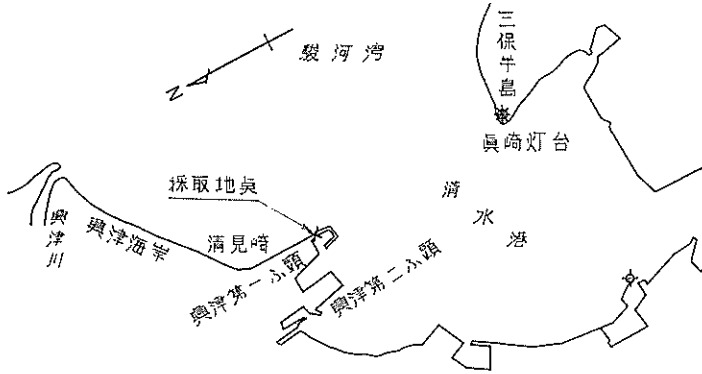
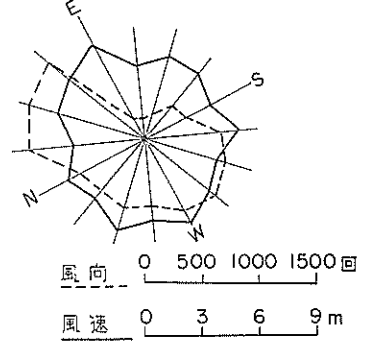


図-2.5 八代港（防波堤，舗装ブロック）

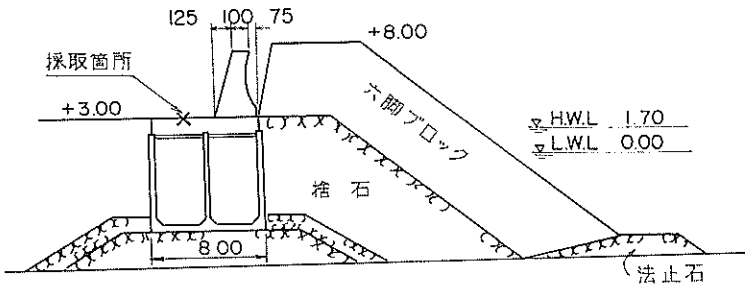
位置図



風向 風速図 (1961~'65)



興津防波護岸断面図



興津防波堤断面図

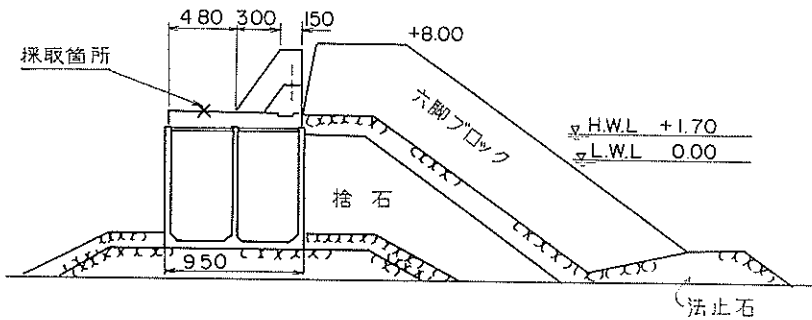
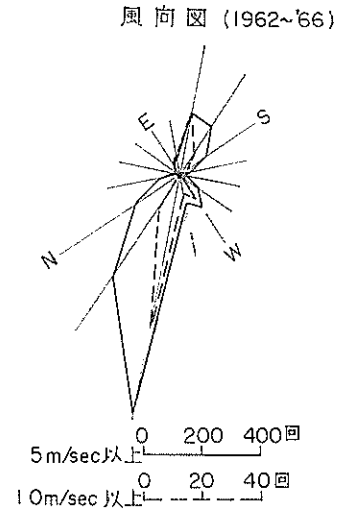
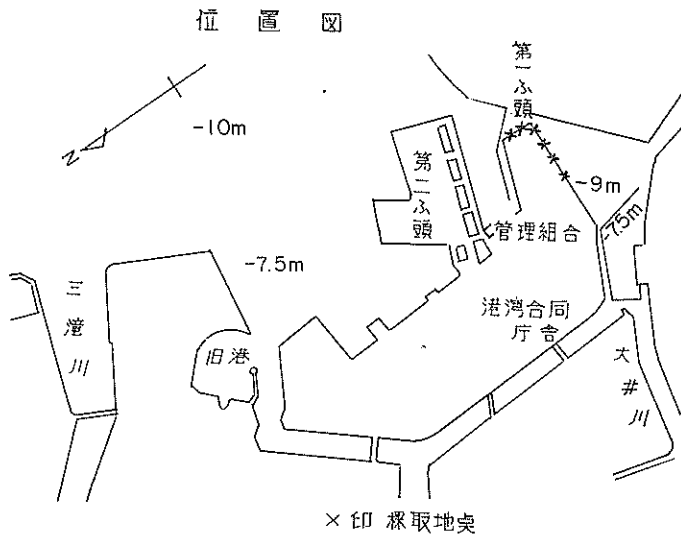
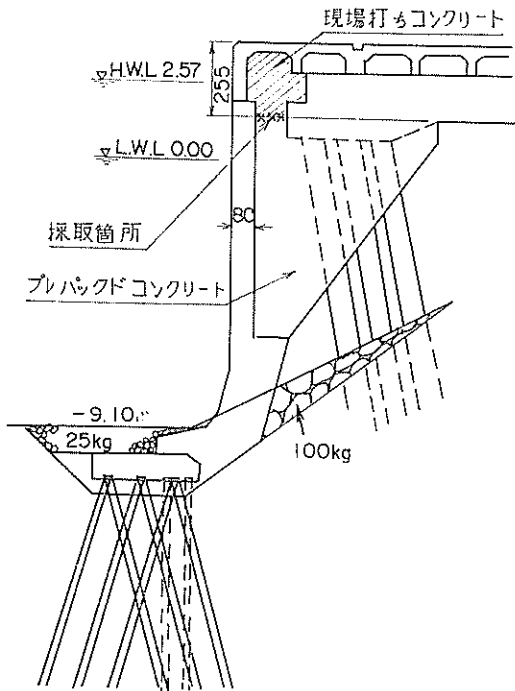


図-2.6 清水港 (興津防波護岸, 興津防波堤)



第一埠頭南側(BC)岸壁断面図



第一埠頭先端護岸断面図

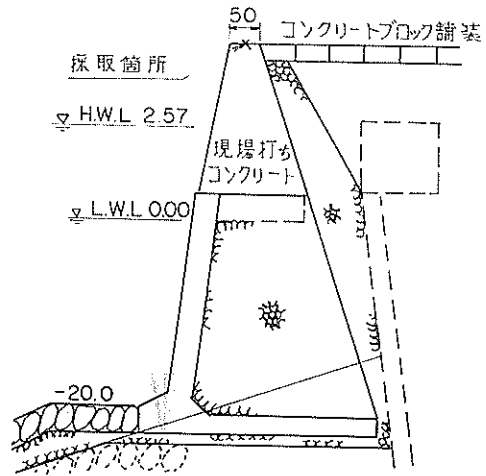
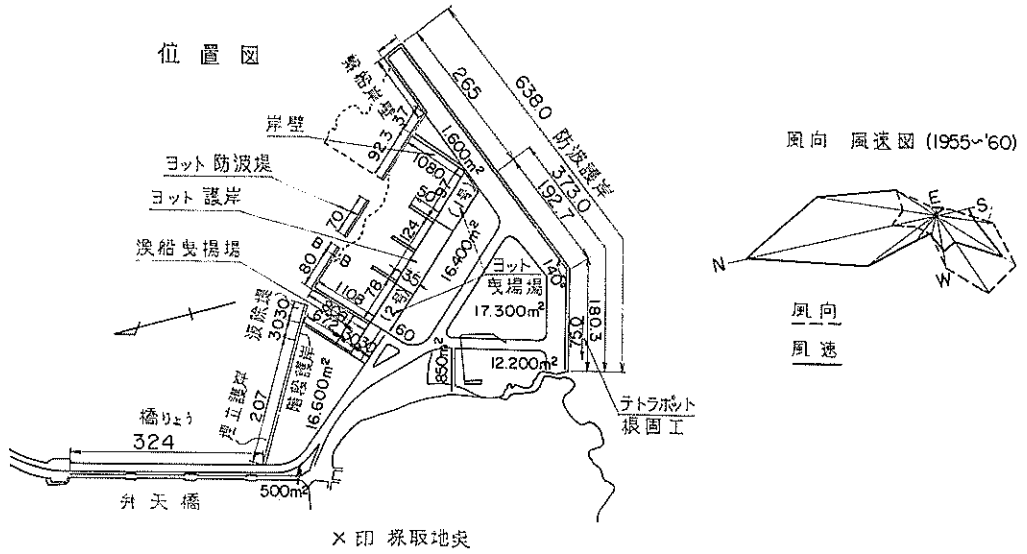


図-2.7 四日市港 (第1埠頭先端護岸, 第1埠頭BC岸壁)



ヨット曳揚場標準断面図

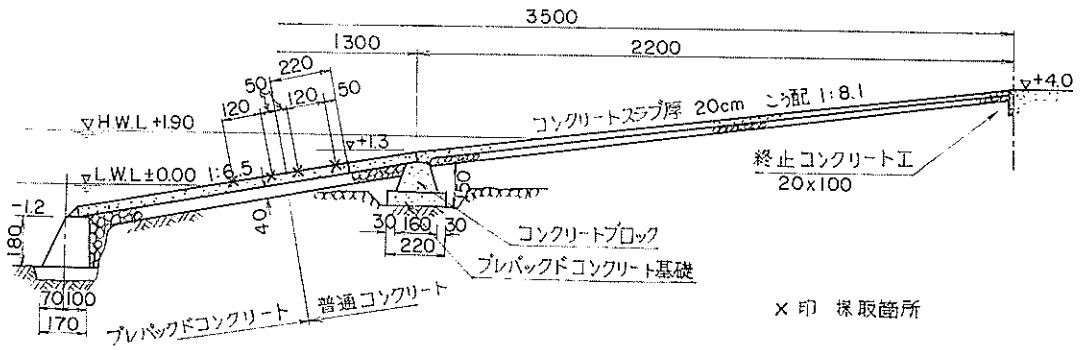
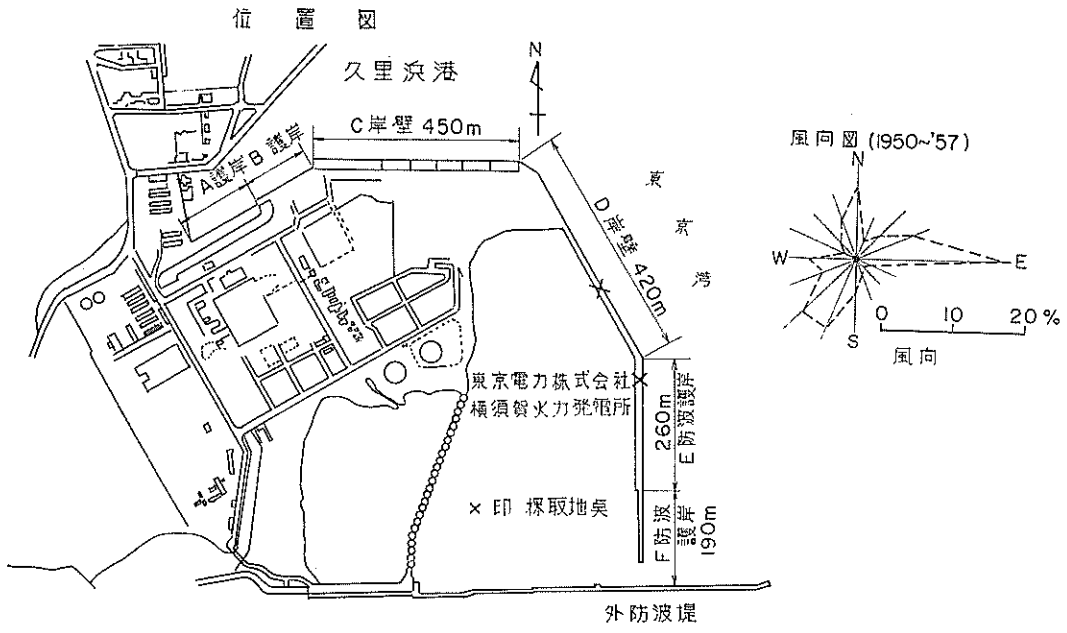
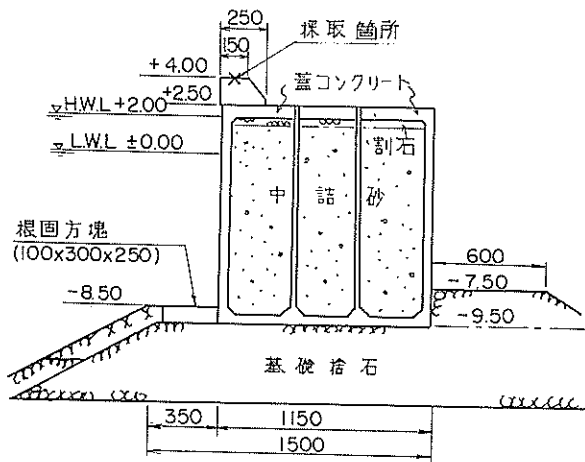


図-2.8 湘南港 (ヨット曳揚場)



D型岸壁断面図



E型防波護岸断面図

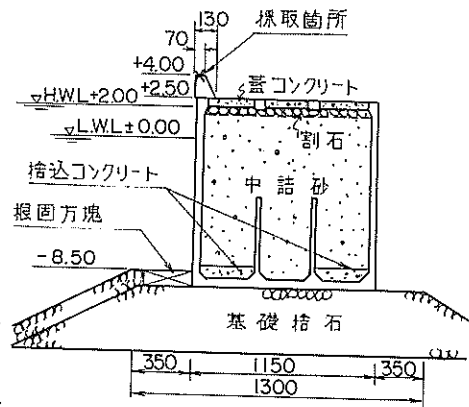


図-2.9 久里浜港 (東京電力株式会社, 横須賀火力発電所)

3. 中性化試験の方法

3.1 試料の採取

コンクリート構造物から採取した試料は、コンクリートコアおよびコンクリート片の2種類である。コンクリートコアは、コアボーリングによって採取されたものであり、コア寸法は、表-2.9に示したように直径15cm、長さ約30cm、あるいは直径10cm、長さ約20cmの2種である。採取本数は1箇所につき3~4本である。コンクリート片は、タガネを用いて採取されたものであり、その寸法は、ほぼ3~4cm平方、厚さ1~2cm程度である。採取位置は、1、2の例外を除いて水上部であり、採取地点は、いずれも構造物上面である。構造物上面はブリージング水による水みちにより、コンクリートの品質の最もぜい弱化する箇所であって、乾湿の作用を受け、中性化の進行度が最も著しいと考えられる。

無筋コンクリートについては、中性化試験、鉄筋コンクリートについては、中性化試験と鉄筋の発錆状況を観察した。ただし、コンクリート片の試料では、中性化試験のみを実施した。

3.2 中性化試験

コンクリートの中性化測定のための指示薬としては、フェノールフタレイン1%アルコール溶液を用いた。

コンクリートの中性化試験は、これらのコンクリートコアについて原則として2回実施した。即ち、1回目は

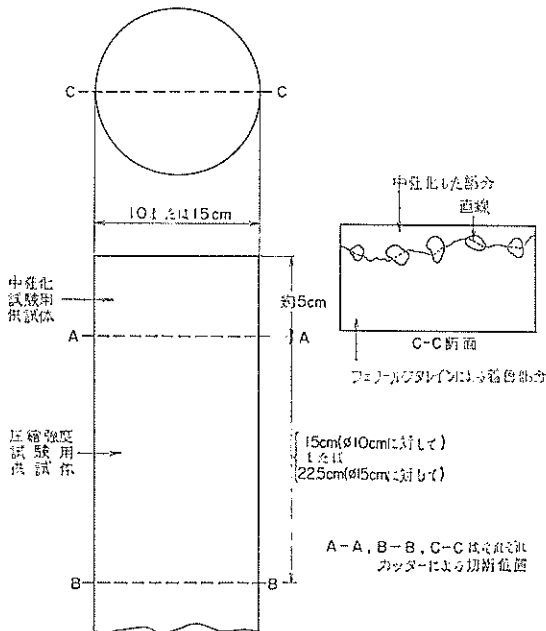


図-3.1 コンクリートコアの切断方法

コア採取後直ちにコア側面にフェノールフタレイン1%アルコール溶液を噴霧器によって吹きつけ、コンクリートの着色状態から最大中性化深さ、最小中性化深さ、平均中性化深さを求めた。2回目はコンクリートコアを当研究所に運搬後、再度実施した。即ち、コンクリートカッターで図-3.1の様に切断し、その後において中性化深さを測定した。試験の方法は1回目と同様である。コンクリート片は当研究所において切断後、同様の方法で中性化試験を実施した。

中性化試験の指示薬の吹き付け方法および中性化面積の測定方法は、次の様に行なった。

(1) コンクリートコア採取後直ちに、フェノールフタレイン1%溶液を噴霧器により吹き付ける。このときコア表面がぬれていると着色液が中性化部分まで流れ出すので、吹き付け面の水分は十分にふきとる。特にコンクリートコア表面に、海水が付着している箇所の海水の除去は念入りに行なう。コンクリートコア表面の乾湿によってフェノールフタレインの着色に差異の生ずることが予想されたので、フェノールフタレインの塗布はすべて試料採取あるいは試料切断後直ちに実施した。

(2) フェノールフタレイン1%アルコール溶液により着色後直ちに中性化部分をセロハン紙に写しとる。この時、セロハン紙を直接コンクリートコアの中性化部分にあてると湿気のためにセロハン紙が伸縮するおそれがあるので、ポリエチレンを防湿紙としてセロハン紙とコンクリート試料の間にはさみ込んだ。

(3) コンクリートコアの中性化部分とそうでない部分の境に骨材がある場合は、これも正確に写しとる。

(4) 中性化面積を測定する場合、中性化部分とそうでない部分の境に骨材がある場合は、直線とする。

(5) 中性化部分をセロハン紙に写し取ったならば、当研究所において、トレーシングペーパーに正確に写しとり、プランメーターを用いて、中性化面積を測定する。

(6) 平均中性化深さは、次の様に計算した。

コンクリートコアの場合

$$\text{平均中性化深さ} = \frac{A}{B}$$

ただし

A : 着色しない部分の面積 (cm²)

B : コンクリートコアの周長 (cm)

コンクリートコア切断面、コンクリート片の場合

$$\text{平均中性化深さ} = \frac{A}{R}$$

ただし

A : 着色しない部分の面積 (cm²)

R : コアの切断面の長さ (cm)

3.3 圧縮強度試験

図-3.1 に示したように、中性化試験用にコンクリート上部を切断した残りの試料は圧縮強度試験に供した。コンクリートコア下部は供試体の高さ (h) と直径 (d) の比がほぼ1.5となるようにカッターを用いて切断し、JIS A 1107「コンクリートから切りとったコアおよびその強度試験方法」に規定された補正係数を用いて、圧縮強度を $h/d=2.0$ の場合に換算した。供試体上・下面は、いずれも石膏キャッピングを施した。

4. 中性化試験結果

4.1 試験結果

最大中性化深さ、最小中性化深さ、平均中性化深さの試験結果は、表-4.1に記載した通りである。ここに表示した平均中性化深さはコンクリートコア、コンクリート片の試料より得られた中性化面積 (A) の累和を、表層の外気との接触長さ (BおよびR) の累和で除して求めた平均値である。表の最右欄に示してある単位中性化深さとは、中性化深さを築造後の経過年数で除した値である。

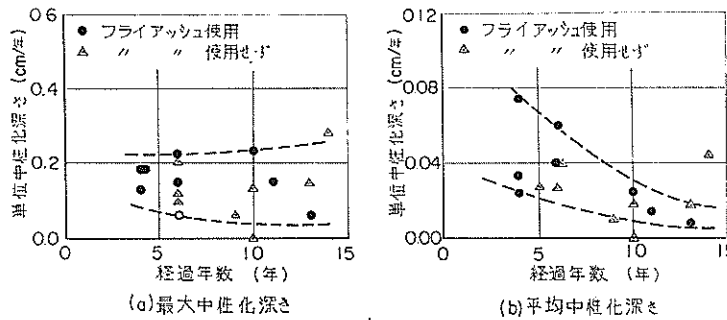


図-4.1 単位中性化深さと経過年数の関係

図-4.1 は、単位中性化の深さと経過年数の関係を図示したものである。これによると最大中性化深さは、測定値のバラツキが大きいため経過年数によらず、ほぼ0.10~0.20cm/年の中性化の進行速度を示している。一方平均中性化深さに関しては、長期間を経過したコンクリートほど単位中性化深さは減少する。築造当初において中性化の進行が著しいことは、当然予想される所である。本文においては、便宜的に単位中性化深さを用いているが、後述の考察においては、経過年数を要因として含む場合に、経過年数4~6年、経過年数9~14年の2種に分けて、検討することとする。

中性化深さの測定結果は、巻末の付録-1に記載した。表中に'の付された試料番号の試験片は、コンクリート

片を示している。

表-4.1 では、同様に圧縮強度の試験結果の平均値を示している。圧縮強度の試験結果は、付録-2に表示した通りである。

4.2 中性化した表面の状態

コンクリートコア切断後の試料断面の中性化の状態の1例は、図-4.2 および図-4.3 に示した通りである。



図-4.2 コンクリート表層からの中性化の状況(1)
(普通コンクリート, 八代港, 補装ブロック)

図-4.2 は普通コンクリートの切断面図であり、図-4.3 はプレバッドコンクリートの切断面図であり、コンクリートの打設方法の相違を顕著に観察することができる。即ち、普通コンクリートにおいては、粗骨材がコンクリート表層まで十分に充填されており、中性化はモルタル面と骨材の境界面から進行することが認められる。特に骨材下面は、ブリージング水の滞溜によって、ポーラスな状態であって、この部分に沿って、水平に中性化が進行する。一方プレバッドコンクリートにお



図-4.3 コンクリート表層からの中性化の状況(2)
(プレバッドコンクリート, 富山新港東防波堤)

表—4.1 中性化試験結果及び圧縮強度試験結果

港名	構造物名	コンクリートの種類	経過年数	採取位置	F/(C+F) (%)	圧縮強度 (kg/cm ²)	中性化深さ (cm)			単位中性化深さ (cm/年)	
							最大深さ	最小深さ	平均深さ	最大深さ	平均深さ
富山新港	東防波堤	普通コンクリート	6	水上部	0	257	0.6	0.0	0.16	0.10	0.027
	"	プレパックドコンクリート	6	"	33	211	1.3	0.0	0.36	0.22	0.060
伏木港	左岸1号岸壁	普通コンクリート	9	水上部	0	385	0.5	0.0	0.11	0.06	0.012
	"	プレパックドコンクリート	11	"	29	248	1.6	0.0	0.15	0.15	0.014
小倉港	砂津防波堤	普通コンクリート	13	水上部	0	180	1.9	0.0	0.25	0.15	0.019
	高浜—3m物揚場	プレパックドコンクリート	13	"	28	114	0.9	0.0	0.11	0.07	0.008
八代港	舗装ブロッタ	普通コンクリート	6	水上部	0	196	1.2	0.0	0.24	0.20	0.040
	防波堤(37年施工)	"	6	"	10~20	268	0.9	0.0	0.24	0.15	0.040
清水港	"	"	4	"	10~20	269	0.7	0.1	0.30	0.18	0.075
	興津防波護岸(上部工)	普通コンクリート	4	水上部	15	300	0.5	0.0	0.13	0.13	0.033
四日市港	興津防波堤(上部工)	"	4	"	15	282	0.7	0.0	0.10	0.18	0.025
	第1埠頭先端護岸	普通コンクリート	14	水上部	0	165	3.9	0.0	0.63	0.28	0.045
湘南港	第1埠頭BC岸壁	"	10	感潮部	0	226	0.0	0.0	0.00	0.00	0.000
	ヨット曳揚場	普通コンクリート	5	感潮部	0	302	0.6	0.0	0.14	0.12	0.028
東京電力株式会社	"	プレパックドコンクリート	5	"	29	169	0.3	0.0	0.14	0.06	0.028
	E型防波護岸(ケーン)	普通コンクリート	10	水上部	0	271	1.3	0.0	0.19	0.13	0.019
横須賀火力発電所	D型岸壁(上部工)	"	10	"	24	268	2.3	0.0	0.25	0.23	0.025
	E型防波護岸(上部工)										

いては、表層3～6 cmは、モルタルで覆われ、中性化の進行は表層モルタルよりコンクリート内部に一樣に進行していることがわかる。

次に、各港別にみたコンクリートの中性化の表面観察結果は以下の通りである。

富山新港東防波堤は、普通コンクリート部とプレパックドコンクリート部より試料を採取した。普通コンクリートの平均中性化深さは、試料全体を通して約1～2 mm程度であるが、コンクリート表面から内部に発達したひびわれに沿って深さ約10～20mmにも達しているものもあった。しかし粗骨材が中性化部分よりわずか下方に存在する場合には、骨材に沿って中性化が下方に進行する傾向は見られなかった。プレパックドコンクリートについては、表面から30～50mmの深さまでモルタ

ル層であった。平均中性化深さは約4～6 mmであって、一樣に進行している。ブリージング水によって空隙の生じた箇所、あるいは0.1mm程度の表面ひびわれ箇所において、これに沿って深さが約20mmまでも進行していた例も見られた。

伏木港左岸1号岸壁における採取箇所は、いずれも鉄筋コンクリートであり、普通コンクリートおよびプレパックドコンクリートが使用されている。普通コンクリートの平均中性化深さは、1～2 mm程度であって、表面から一樣に中性化が進行しているが、表層近辺に粗粒の粗骨材の存在する箇所では、中性化は骨材の周辺に沿って進行している。プレパックド鉄筋コンクリートは、中性化深さが1～2 mmで一樣に進行しているが図-4.4に示すようにひびわれに沿って相当深くまで中性化が進行している例も見られた。

小倉港については、普通コンクリートの試料は、砂津防波堤、プレパックドコンクリートの試料は高浜-3m物揚場からそれぞれ採取した。砂津防波堤に使用されている普通コンクリートは、表面からの平均中性化深さは1.5～5.0mmまでも達している様子を明瞭に観察することができた。高浜-3m物揚場のプレパックドコンクリートの平均中性化の深さは、1 mmを多少上廻る程度であるが、約0.1～0.2mmの表面ひびわれが多く、その部分を切断した箇所の中性化深さは、約20mmに達しているものが多かった。

八代港における試料の採取箇所は、-9 m岸壁のエプロン部の舗装ブロックおよび防波堤であって、いずれも普通コンクリートである。舗装ブロックの形状は、40×40×20cmの直方体である。平均中性化深さは2～3 mmであるが、粗粒の骨材が表面近くに多く散在し、骨材の周辺から中性化が進行していた。防波堤は普通コンクリートであるが、B種のフライアッシュセメントが使用されており、練り水は海水を用いている。中性化深さは約2～3 mmであったが、コンクリート表面付近の骨材周

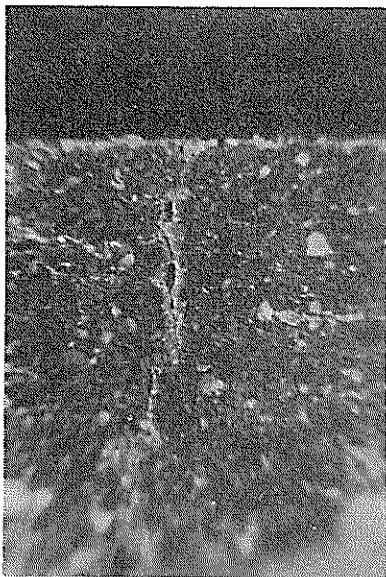
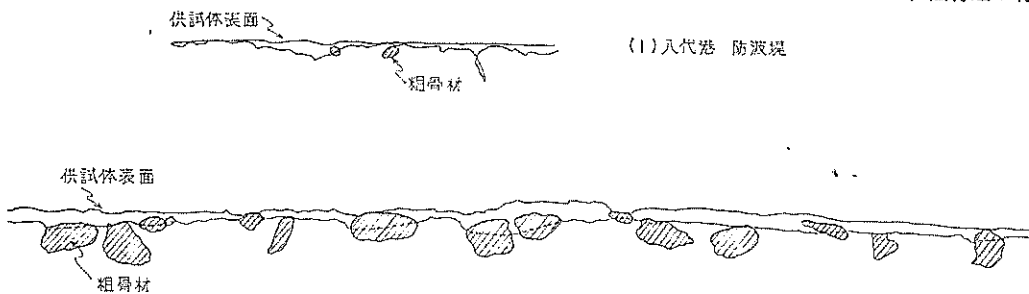


図-4.4 コンクリート表層の欠陥からの中性化の進行状況(1)



(1) 八代港 防波堤

(2) 東電横須賀火力発電所 E型防波護岸上部工

図-4.5 中性化測定結果の1例(普通コンクリート使用の場合)

辺の中性化が著しい。防波堤の中性化測定結果の1例は図-4.5(1)に示す通りである。

清水港は、普通ポルトランドセメントにフライアッシュを混入した普通コンクリートであって、興津防波護岸および興津防波堤から採取した。両構造物から採取したコンクリートの平均中性化深さは、約1~2mmであった。図-4.6では表層のブリージングにより生じた水みちの跡を伝わって、内部に進行した中性化の状況の1例を示している。

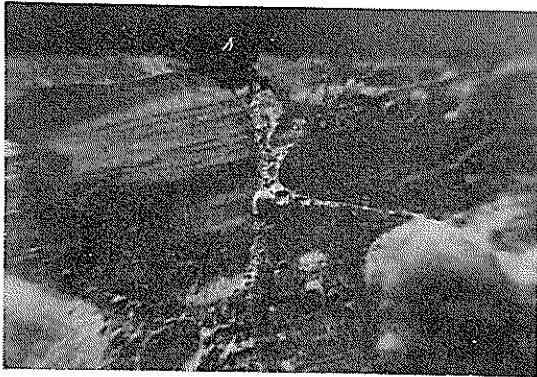


図-4.6 コンクリート表層の欠陥からの中性化の進行状況(2)

四日市港は、第1埠頭、BC岸壁と先端護岸から採取した。BC岸壁の採取地点は構造物側面であり、感潮部に位置している。コンクリート表面は海苔その他の汚物が5~10mm程度付着しており、12本の試料から得られた中性化深さは、0.1mm以下でごく表面のみが中性化されているに過ぎない。先端護岸のコンクリートの平均中性化深さは、6mmを越えており、最大中性化深さは、ほぼ40mmに達していた。

湘南港の採取構造物は、ヨット曳揚場であって普通コンクリートの箇所およびプレパックドコンクリートの箇所から試料を採取した。ヨット曳揚場は斜面であり、いずれも感潮部であるがプレパックドコンクリート部は大潮の時以外は水中に浸漬されている。普通コンクリートの中性化深さは約2~3mmと少ない。プレパックドコンクリート部の中性化深さも約2~3mmである。

久里浜港においては、東京電力株式会社横須賀火力発電所構内のケーソン上面のコンクリートおよびE型防波護岸・D型岸壁の上部工コンクリートより試料を採取した。ケーソンは鉄筋コンクリートであるが、E型防波護岸・D型岸壁の上部工は、普通ポルトランドセメントにフライアッシュを混入した普通コンクリートである。ケーソンの平均中性化深さは約2mmで、最大中性化深さ

は約13mmである。E型防波護岸とD型岸壁の上部工コンクリートの中性化深さは、コンクリート表面から2~3mmであるが、表面のひびわれなどの欠陥に沿って中性化が進行している箇所も見られた。またコンクリート表層付近にある粗骨材の周辺も中性化が進行している。中性化の測定結果の1例は図-4.5(2)に示す通りである。

以上各港湾別に中性化表面の観察状況を述べたが、これからコンクリート表層からのコンクリートの中性化は大体次の様に分類することができる。

(1) 普通コンクリートと、プレパックドコンクリートの如く上面から15~20mmの深さまでモルタル部分であるものは、中性化の進行状況が異なる。即ち、普通コンクリートにおける中性化はモルタル面、表層付近の粗骨材の付着面の両者より進行する。一方、プレパックドコンクリートでは、モルタル層における中性化の境が明確であり、中性化もほとんど上面から一様に進行する。

(2) 試料表面に肉眼で、かろうじて識別し得る約0.1~0.2mm程度の表面ひびわれが発生すると、その深さはコンクリート内部に20~30mmまでも達しており、コンクリートの中性化も同様にひびわれに沿って進行している。これは約0.1~0.2mm程度のひびわれであっても外気が十分に流通し、その箇所においては、中性化が進行するものと考えられる。このひびわれの原因は明確でないが、硬化収縮、乾燥収縮のいずれかに起因すると推定する。

(3) コンクリート打設時のブリージングにより、施工後水みちが生じた箇所では、乾燥後のコンクリート内部の自由水が蒸発し、外気が流入することにより中性化が進行する。

5. 試験結果の考察

5.1 中性化に影響を及ぼす要因について

今回採取されたコンクリート構造物は、北は富山新港より南は八代港にわたり、いずれも港湾区域に位置している。用途に若干の相違はあるものの、外気と直接、接触する構造物においては、日照条件、潮風、表面の乾湿条件などの自然条件に大きな差異があるとは思われない。従って、これらがコンクリート表層の炭酸化による中性化に重大な影響を及ぼさないであろう。気温の高い地方にある構造物ではコンクリート中の遊離水酸化石灰の炭酸化反応を促進するといわれているが、本構造物の位置する周囲の年平均気温は14~17°C付近である。年平均気温の比較的高い八代港、清水港、四日市港のコンクリートの中性化が若干大きな値を示しているが、後述

するように、他の影響が強く作用すると推定される場合が多く、この程度の年平均気温の相違が、中性化の進行の程度を大きく左右するとは言い難い。

次に、海上あるいは陸上に暴露され、潮風、波しぶきを受ける構造物と、感潮部に位置する構造物の中性化の進行状況を比較してみよう。後者に属する構造物は、四日市港第1埠頭B C岸壁および湘南港ヨット曳揚場である。四日市港B C岸壁のコンクリートの表面状況は前述したように海草などに覆われ、干潮時においても構造物表面は、海水により湿潤状態に保たれ、さらに外気との接触が阻害された状態にある。コアボーリングによって得られた試料について上面の付着物を除去し、中性化の程度を測定すると、表面がわずかに変色するが、中性化深さはほぼ0.0cmに近かった。B C岸壁の採取箇所は構造物側面であり、これも試料にほとんど中性化の現象の認められない一因と考えられる。湘南港ヨット曳揚場は海草などによってコンクリート上面は褐緑色を呈しており、単位中性化深さの平均値は0.028cm/年であった。これは、築造後4～6年を経過した海水に浸漬されないコンクリートの単位平均中性化深さの平均0.043cm/年を下廻っていた。

5.2 フライアッシュ混入の影響

今回の調査したコンクリートに使われているセメントは、2種類である。1つは普通ポルトランドセメント、他はフライアッシュセメント、あるいは普通ポルトランドセメントにフライアッシュを混入したセメントである。

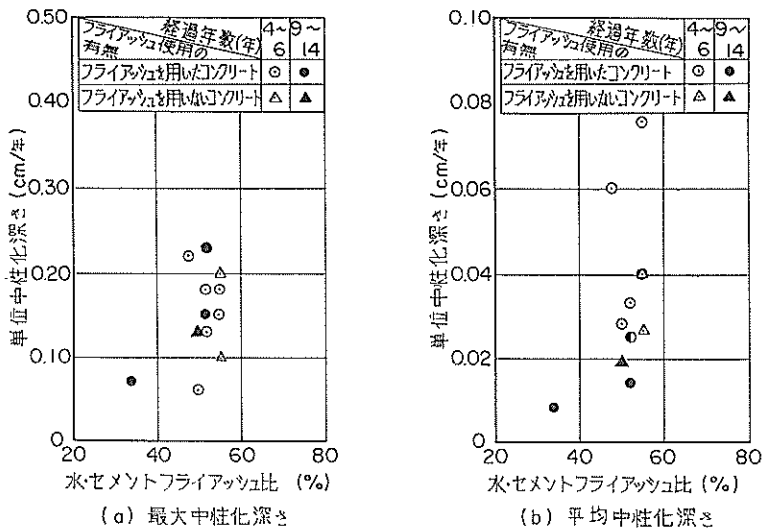
表一2.1によると、普通コンクリートでフライアッシュを用いてないコンクリートは8箇所、フライアッシュを用いたコンクリートは4箇所、プレパックドコンクリートは4箇所である。これらはセメントの品質、水セメント比、フライアッシュの品質、自然条件などが著しく相違し、条件が一定していないため比較的条件の整った試料により、セメントの種類による比較を試みることにする。同一港湾内の構造物で経過年数、水セメントフライアッシュ比(W/C+F)のほぼ同一な富山新港(東防波堤)、八代港(昭和137年施工防波堤、舗装ブロック)久里浜港東京電力横須賀火力発電所(ケーソン、上部工)の例を取り上げる。これによると、表一4.1で明らかなようにそれぞれの構造物におけるフライアッシュを使用せぬコンクリート、フライアッシュを使用したコンクリ

一の平均の単位中性化深さは、0.027cm/年、0.060cm/年；0.040cm/年、0.040cm/年；0.019cm/年、0.025cm/年である。富山新港のフライアッシュを使用したプレパックドコンクリートでは、フライアッシュを使用しない普通コンクリートのほぼ2倍の速度で中性化が進行している。プレパックドコンクリートでは、練り水として海水を使用しており、これも中性化を促進させた一因と考えられる。八代港、久里浜港東京電力横須賀火力発電所の中性化深さの測定値ではセメントの種類による著しい相違は見られない。多くの研究者によって、同一水セメント混合材比では普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートと比較し、ポゾラン反応を呈する混和材料を混入したコンクリートの中性化の進行速度が上廻る事実が指摘されているが¹⁾²⁾³⁾⁴⁾など、今回は、試験試料が少ないために明確な傾向を見出すに至らなかった。5.5で述べるようにセメントの種類の相違よりむしろ、ワーカブルでプラスチックなコンクリートを使用する範囲内では施工時の打設方法、養生方法、即ちコンクリートの密実度がコンクリートの中性化に大きな影響を及ぼすと考えられる。

5.3 コンクリートの配合条件の影響

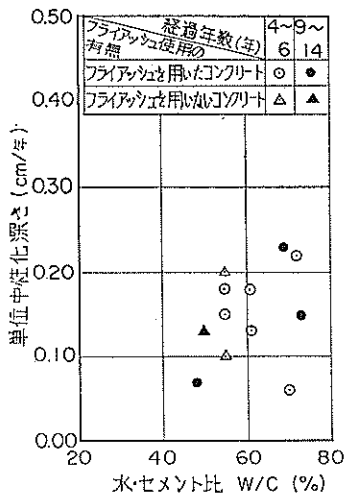
(1) 水セメント比による場合

図一5.1、図一5.2はコンクリートの水セメントフライアッシュ比と中性化深さ、水セメント比と中性化深さ

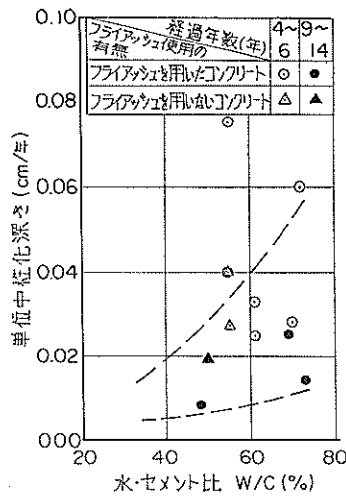


図一5.1 コンクリートの水セメントフライアッシュ比と単位中性化深さの関係

の関係を示したものである。水セメント比は、フライアッシュを用いたコンクリートにおいても、フライアッシュを除いたセメントと水の重量の比率をとり、また最大



(a) 最大中性化深さ



(b) 平均中性化深さ

図-5.2 コンクリートの水セメント比と単位中性化深さの関係

中性化深さと平均中性化深さは、それぞれコンクリートの経過年数で割った単位中性化深さで示した。

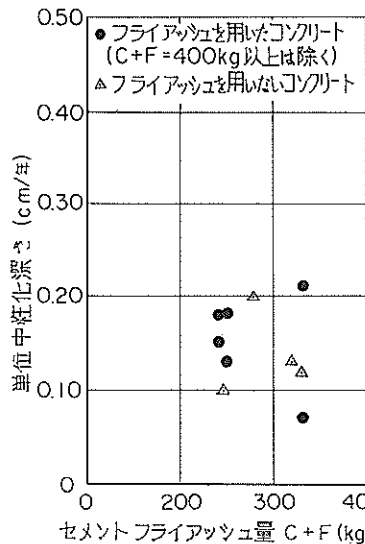
図-5.2によると、フライアッシュを用いた場合も、用いない場合も水セメント比の増加と共に平均中性化深さおよび最大中性化深さが増加する傾向が認められる。本試験は、実際に現場で用いたコンクリートに対して、中性化試験を試みたもので、気象条件、コンクリートの配合、コンクリート材料等が種々まちまちであるため、フライアッシュを用いたコンクリートの中性化深さが用いないコンクリートの中性化深さよりも小さい値もあり、値のバラツキが大きいが、おおよその傾向として水セメント比と中性化深さの間には、ある程度の関係は得られているといえることができるであろう。土木学会においては、材令2年におけるフライアッシュを用いたコンクリートと用いないコンクリートの水セメント比を中性化深さの関係を論じ³⁾、これらがかなり明確に直線関係を有することを示している。本試験結果から現場構造物においても、水セメント比はコンクリートの中性化を規定する一つの指標であると言えるであろう。

(2) 単位セメントフライアッシュ量による場合

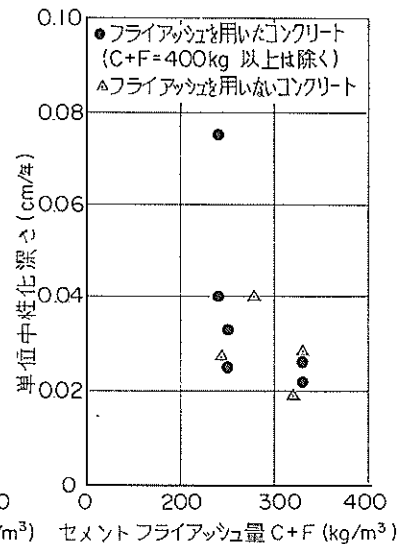
普通コンクリートのフライアッシュを用いているコンクリートと用いていないコンクリートについて、中性化深さと単位セメントフライアッシュ量の関係について図示したものが図-5.3である。試験数が少なく、諸条件が一定していないために明確な判断は困難であるが、セメントフライアッシュ量と中性化深さの間には、明瞭な関連性は認められない。これは単位セメントフライアッシュ量が、コンクリートの中性化に大きな影響を及ぼさないことを示すものと思われる。

5.4 経過年数と中性化深さ

図-5.4は、コンクリート打設後の構造物の経過年数を横軸に最大中性化深さおよび平均中性化深さを縦軸にとり、経過年数とコンクリートの中性化の関係を図示したものである。図では、さらに土木学会コンクリート委員会フライアッシュ小委員会が、昭和37~昭和38年より実施している「フライアッシュを混入したコンクリートの中性化と鉄筋の発生に関する長期試験」³⁾の材令2年

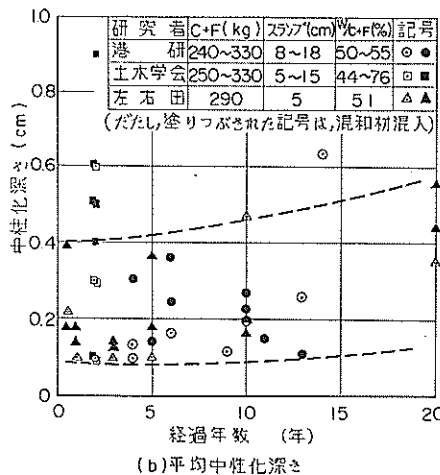
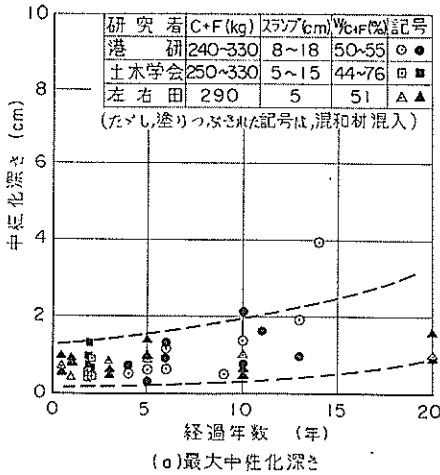


(a) 最大中性化深さ



(b) 平均中性化深さ

図-5.3 コンクリートのセメントフライアッシュ量と単位中性化深さの関係



図一5.4 経過年数と中性化深さの関係

における試験結果、左右田・山崎による20年試験の結果¹⁾の研究成果の一部を併せて記載した。塗りつぶされた記号は、混和材（フライアッシュ）、混合セメント（高炉セメント、シリカセメント）を使用したコンクリートの中性化深さを表わしている。

土木学会で実施された試験は、試験条件の範囲が多岐に亘り、特に平均中性化深さにおける値の範囲が大きい。左右田・山崎による5年、10年の試験結果は、本試験結果と同様の傾向を示している。

本図によると、平均中性化深さの進行は極めて緩慢である。経過年数10年、20年における平均中性化深さはおおよそ3mm、5mm程度であろう。最大中性化深さは4.2で述べたようにコンクリート表面の粗骨材の位置、表面ひびわれ、ブリージングによる水みちの状態などによって、大きく左右される。しかし長期年数の経過に伴い、中性化深さの増大する傾向は平均中性化におけると同様であって、経過年数10年程度では、コンクリート表面より内部約20mmの距離に到達していると言うことができるであろう。

5.5 コンクリートの吸水率と中性化深さ

コンクリートの施工時における打設条件が中性化深さに及ぼす影響を検討するためには、今回の様に試料数が少なくコンクリート打設当時の施工記録等もなく、これらに関係づけることは非常に困難である。そこで今回

は、中性化試験の完了したコンクリート試料を用いて、比較的試料数の多い普通コンクリート12件に関し、次の様にコンクリート吸水率を求め、これを中性化深さとの関連を考察した。ただし、採取位置が感潮部である試料は除去した。

コンクリート試料を105~110°Cの乾燥器で24時間乾燥させ、この時の重量を測定し、次いで水中に24時間浸

漬してこれの重量を測定した。なお水中からとり出したコンクリート試料は、表面に付着している水分を十分に布等でぬぐいとり、表面乾燥飽水状態として重量を測定し、次式により、コンクリートの吸水率を求めた。

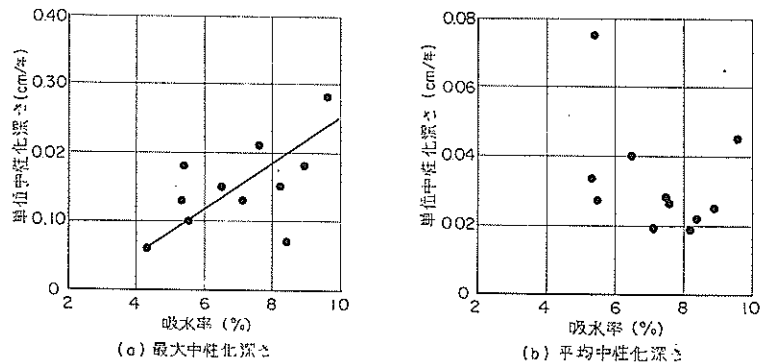
$$\text{吸水率} = \frac{B-A}{A} \times 100$$

ここに

A：乾燥後の試料重量

B：表面乾燥飽水状態の試料重量

図一5.5 はコンクリートの最大中性化深さおよび平均



図一5.6 コンクリートの中性化深さと吸水率の関係

中性化深さと吸水率の関係を示したものである。これによると最大中性化深さ、平均中性化深さいずれも吸水率が大きくなれば、中性化深さも増加する傾向を示している。最大中性化深さと吸水率の関係は、2,3の例外は認められるが、吸水率が4~10%程度の範囲内では、ほぼ直線関係が得られている。従ってコンクリート片の吸水率を測定することにより、中性化深さもある程度推定することができると思われる。たとえば吸水率4%、10%

における最大中性化深さをそれぞれ0.05cm/年, 0.30cm/年とすると

$$S = 0.042P - 0.11$$

ただし S : 最大中性化深さ (cm/年)

P : コンクリートの吸水率 (%)

今回は、普通コンクリートでフライアッシュを用いたコンクリート、用いないコンクリートも同一の図面上に記載したが、試料数が多く、これを別々に表わしたならば、さらに異なった傾向がつかめるものと思われる。硬化したコンクリートは、必然的に多少の透水性を生ずるものであり、コンクリート中の毛管空隙を通り、または加圧されてコンクリート中に浸透する。しかし、コンクリート打設時に十分な締め固めを行ない、十分な養生を実施し、又、配合においても水セメント比、単位水量の小さな水密性のよい、良質のコンクリートでは、中性化深さを減少させ得るであろう。

5.6 コンクリートの中性化と鉄筋の発錆

鉄筋を用いた構造物は、伏木港左岸1号岸壁および久里浜港東京電力株式会社横須賀火力発電所のE型防波護岸のケーソンの2ヶ所である。

伏木港左岸1号岸壁の採取箇所における鉄筋のかぶりは、ほぼ12cmであった。普通コンクリート、プレパックドコンクリートいずれにおいても、鉄筋の表面観察によると明らかに錆が認められる。一方、中性化試験結果によると、最大中性化深さは普通コンクリート、プレパックドコンクリートいずれを用いたコンクリートにおいても表層より2cmにも達していない。鉄筋は試験用として特に錆を除去して配筋された試料ではなく、発錆がコンクリートのp.H.低下に起因するものと断定することはできない。むしろ施工時に今回の調査で認められた程度の発錆はあったものと考えられる。

久里浜港東京電力株式会社横須賀火力発電所のケーソンより採取したコアは、いずれも鉄筋の配筋箇所付近で、供試体が折れ、鉄筋を直接に観察することはできなかった。ケーソンの最大中性化深さは表-3.1に示したように1.3cmであって、これは、ケーソンのかぶり10cmをはるかに下廻る値であった。

港湾工事においては、鉄筋のかぶりを7~10cm程度⁴⁾とすることが多く、過酷な気象条件に暴露される防波堤などにおいてもほぼ10年程度の経過年数では、コンクリートの中性化が鉄筋の発錆に重大な影響を及ぼさないとと思われる。

コンクリートの打設時におけるコンクリートのp.H.は13~14程度であるが、経年と共に徐々に低下し、材令28日におけるモルタルのp.H.は12~13に低下する。溶

液中における鉄筋の発錆を阻止し得る。p.H.の限界値の1例としては、R. Shalon はp.H. = 12.6であるといっており⁵⁾、フェノールフタレイン塗布による変色域以外においても、鉄筋に錆の生ずる可能性も考えらる。従って上述の試験結果が必ずしも、鉄筋のかぶりを減少させることを推奨し得るものではない。この目的のためには、長期間におけるコンクリート中の化学成分の変化、コンクリートのp.H.低下が、鉄筋の発錆に及ぼす影響をさらに検討する必要がある。

6. 結論

既設の港湾コンクリート構造物の中性化に関し、一連の調査と中性化試験を実施した。構造物は築造後すでに4~14年を経過しており、これらは富山新港から八代港に至る8港における14構造物である。これらは水上部および感潮部に位置しているが、常時過酷な自然条件にさらされた状態にある。本試験においては、各コンクリートの配合条件、使用材料の性質、自然条件等多くの要因が交互に作用し、極めて一般的な事実を把握するに止まったが、本試験範囲では、およそ次のことがいえると思われる。

(1) コンクリートの中性化は、次のような3種類の過程を経て内部へ進行すると思われる。プレパックドコンクリートのように、その表面はモルタル層である場合は中性化は表面から一様に進行する。この場合中性化している部分と中性化していない部分の境界は明確である。普通コンクリートで粗骨材が表面に位置する場合には、粗骨材とモルタルの付着面を伝わって中性化が進行する。乾燥収縮によるひびわれあるいは、ブリージングによる水みち等の欠陥の存在する箇所では、中性化はこのような弱点部分を伝わって、内部深く到達する。

(2) 港湾コンクリート構造物は、海水との浸漬条件の相違によって中性化深さも異なるようである。本試験結果においては、水上部のコンクリートの中性化深さが感潮部のコンクリートの中性化深さを上廻っている例が多かった。

(3) 既設の港湾コンクリート構造物においては、ポゾラン反応を呈する混和材料の混入が、コンクリートの中性化に大きな影響を及ぼさないとと思われる。

(4) コンクリートの中性化は、水セメント比が大になるほど、コンクリート内部への進行速度が促進されようである。

(5) コンクリートの経過年数と中性化深さの関係は、経過年数の増加と共に中性化深さも大きくなるといえる。平均中性化深さは、港湾構造物に使用されているコ

ンクリートでは、経過年数10年で3 mm, 20年で5 mm程度であらう。

(6) コンクリートの施工条件, すなわち, コンクリートの締め固め, 養生方法が中性化深さに大きな影響を及ぼすようである。すなわち吸水率の大なるもの程コンクリートの中性化深さも増加する傾向が認められる。

参考文献

- 1) 左右田孝男, 山崎寛司, “コンクリートの中性化と鉄筋のさびに関する20年試験”, セメントコンクリート, No. 138. p p. 2~10, 1958年8月
- 2) 岸谷孝一, “鉄筋コンクリートの耐久性”, 鹿島建設技術研究所出版部, 165 p p, 1963年2月

- 3) 土木学会 コンクリート委員会 フライアッシュ小委員会, “フライアッシュを混和したコンクリートの中性化と鉄筋の発錆に関する長期研究”, コンクリートライブラリー No. 20, 55 p p. 1968年10月
- 4) 赤塚雄三, 関博, “港湾構造物における高張力異形鉄筋の使用方法に関する調査研究(第1報)”, 港湾技術研究所報告, Vol. 5, No. 15, 80 p p., 1966年9月
- 5) Shalon, R., and Raphael, M., “Influence of Sea Water on Corrosion of Reinforcement”, Journal of the A. C. I., Vol. 55, p p. 1251~1268, June 1959

(1969. 7. 7受付)

付録一 1 中性化試験結果

港名	富山			新港			伏木			港					
	東防波堤 (プレバットドコンクリート)			東防波堤 (場所打コンクリート)			東防波堤 (場所打コンクリート)			左岸1号岸壁 (普通コンクリート)					
F/(C+F) (%)	0														
F/(C+F) (%)	33			0			0			0					
	試験番号	最大中性化深さ (cm)	最小中性化深さ (cm)	最大中性化深さ (cm)	最小中性化深さ (cm)	平均中性化深さ (cm)	試験番号	最大中性化深さ (cm)	最小中性化深さ (cm)	平均中性化深さ (cm)	試験番号	最大中性化深さ (cm)	最小中性化深さ (cm)	平均中性化深さ (cm)	
中性化試験結果	TOFP -11	0.7	0.1	0.43	0.8	0.0	TOFP -2'	0.8	0.0	0.22	TONN -11	0.5	0.1	0.19	
	-12	1.0	0.1	0.31	0.2	0.1	-3'	0.2	0.1	0.13	-12	0.4	0.1	0.14	
	-13	1.3	0.1	0.51	0.7	0.0	-4'	0.7	0.0	0.15	-13	0.6	0.0	0.26	
	-14	1.0	0.0	0.34	1.2	0.8	-5'	1.2	0.8	0.87	-21	0.3	0.1	0.18	
	-21	1.1	0.4	0.53	0.4	0.0	-6'	0.4	0.0	0.08	-22	0.3	0.0	0.18	
	-22	0.9	0.3	0.51	0.4	0.0	-7'	0.4	0.0	0.09	-23	0.3	0.0	0.08	
	-23	0.8	0.3	0.50	0.6	0.2	-8'	0.6	0.2	0.42	-24	0.3	0.0	0.09	
	-24	0.5	0.0	0.20	0.5	0.0	-9'	0.5	0.0	0.08	-25	0.4	0.0	0.10	
	-25	0.8	0.0	0.32	0.1	0.1	-10'	0.1	0.1	0.38	TONN -1'	0.2	0.0	0.13	
	-26	1.1	0.1	0.54	0.2	0.0	-11'	0.2	0.0	0.15	-2'	0.2	0.0	0.17	
	-27	0.8	0.0	0.21	0.2	0.0	-12'	0.2	0.0	0.08	-3'	0.2	0.0	0.13	
	-28	0.8	0.2	0.41	0.6	0.1	-13'	0.6	0.1	0.41	-4'	0.2	0.1	0.13	
	-29	0.7	0.2	0.37	0.7	0.0	-14'	0.7	0.0	0.11	-5'	0.5	0.0	0.19	
	-210	0.7	0.1	0.36	0.4	0.1	-15'	0.4	0.1	0.21	-6'	0.3	0.0	0.17	
	※-28	0.5	0.0	0.33	1.3	0.1	-16'	1.3	0.1	0.44	-7'	0.2	0.0	0.09	
	※-29	0.7	0.1	0.26	0.4	0.1	-17'	0.4	0.1	0.26	-8'	0.6	0.1	0.26	
	TOFP, -1	0.5	0.1	0.27	0.6	0.0	-18'	0.6	0.0	0.22					
					0.6	0.1	-19'	0.6	0.1	0.32					
	コア平均値	—	—	—	1.3	0.0	0.36	—	1.3	0.0	0.36	—	0.6	0.0	0.15
	コンクリート片平均値	—	—	—	1.3	0.0	0.22	—	1.3	0.0	0.22	—	0.6	0.0	0.16
	全平均	—	—	—	1.3	0.0	0.36	—	1.3	0.0	0.36	—	0.6	0.0	0.16

注) 試験番号に'の付された試験片は、コンクリート片を示している。他の試験片は、コアボーリングによって得られたコンクリートコア (φ 10×20m あるいは φ 15×30m) である。※印の付された試験片の測定値は、コアボーリング後、直ちに、中性化試験を実施したコンクリートコア一側面の値を示しており、無印の試験片の測定値は、コンクリートコアを切断後実施した、中性化試験の結果を示している。

港名	伏木港	小波防堤	倉場	港場	八代港														
構造物名	左岸1号岸壁 (プレバットドコンクリート)	砂津防波堤	高浜-3.0M物揚場	防波堤 (昭和36年度施工)															
F/(C+F)(%)	29	0	28	0															
中性 化 試 験 結 果	試料番号	最大中性 化深さ (cm)	最小中性 化深さ (cm)	平均中性 化深さ (cm)	最大中性 化深さ (cm)	最小中性 化深さ (cm)	平均中性 化深さ (cm)	最大中性 化深さ (cm)	最小中性 化深さ (cm)	平均中性 化深さ (cm)									
	FUFPR -11	0.2	0.1	0.08	0.6	0.1	0.17	KONN -11	0.6	0.1	0.17	KOPF -11	0.5	0.1	0.15	YANN -1'	0.9	0.1	0.43
	-12	1.7	0.0	0.06	1.1	0.2	0.42	-12	1.1	0.2	0.42	-12	0.6	0.1	0.13	-2'	0.9	0.1	0.24
	-13	0.2	0.0	0.09	0.5	0.1	0.12	-13	0.5	0.1	0.12	-13	0.5	0.1	0.10				
	-14	1.3	0.0	0.11	1.9	0.3	0.89	-1'	1.9	0.3	0.89	-21	0.8	0.1	0.11				
	-15	0.3	0.0	0.11	0.2	0.1	0.11	-2'	0.2	0.1	0.11	-22	0.1	0.0	0.01				
	-21	0.1	0.1	0.07	0.2	0.0	0.14	-3'	0.2	0.0	0.14	-23	0.5	0.1	0.12				
	-22	0.2	0.0	0.08	0.1	0.1	0.11	-4'	0.1	0.1	0.11	-1'	0.3	0.1	0.11				
	-23	0.1	0.1	0.08	0.6	0.0	0.16	-5'	0.6	0.0	0.16	-2'	0.2	0.0	0.06				
	-24	1.1	0.0	0.12	0.3	0.1	0.12	-6'	0.3	0.1	0.12	-3'	0.5	0.1	0.08				
	※-11	0.7	0.1	0.28	0.2	0.0	0.12	-7'	0.2	0.0	0.12	-5'	0.3	0.1	0.09				
	※-12	1.6	0.0	0.13	0.5	0.1	0.16	-8'	0.5	0.1	0.16	-6'	0.9	0.1	0.20				
	-1'	0.1	0.0	0.17	0.5	0.0	0.16	-9'	0.5	0.0	0.16	-7'	0.3	0.0	0.20				
	-2'	0.2	0.0	0.15	0.4	0.0	0.17	-10'	0.4	0.0	0.17	-8'	0.3	0.1	0.12				
	-3'	0.5	0.0	0.14	0.9	0.1	0.33	-11'	0.9	0.1	0.33	-9'	0.3	0.1	0.14				
-4'	0.1	0.0	0.18	0.4	0.2	0.28	-12'	0.4	0.2	0.28	-10'	0.2	0.1	0.11					
コア平均値	1.6	0.0	0.15	1.1	0.1	0.25	-	1.1	0.1	0.25	-	0.8	0.0	0.10	-	-	-	-	-
コンクリート 片平均値	0.5	0.0	0.15	1.9	0.0	0.25	-	1.9	0.0	0.25	-	0.9	0.0	1.20	-	0.9	0.1	0.33	
全平均	1.6	0.0	0.15	1.9	0.0	0.25	-	1.9	0.0	0.25	-	0.9	0.0	0.11	-	0.9	0.1	0.33	

港名	八代港															
	防波堤 (昭和37年度施工)				防波堤 (昭和38年度施工)				防波堤 (昭和39年度施工)				コンクリートブロック			
構造物名	10~20				10~20				10~20				0			
F/(C+F)(%)	最大中性化深さ (cm)	中性化深さ (cm)	最小中性化深さ (cm)	平均中性化深さ (cm)	最大中性化深さ (cm)	中性化深さ (cm)	最小中性化深さ (cm)	平均中性化深さ (cm)	最大中性化深さ (cm)	中性化深さ (cm)	最小中性化深さ (cm)	平均中性化深さ (cm)	最大中性化深さ (cm)	中性化深さ (cm)		
試料番号	YAFN	YAFN	YAFN	YAFN	YAFN	YAFN	YAFN	YAFN	YAFN	YAFN	YAFN	YAFN	YAFN	YABNN		
中性化試験結果	-11	0.6	0.1	0.14	-14	0.4	0.1	0.17	-21	0.5	0.2	0.32	-1	1.2	0.7	0.26
	-12	0.9	0.1	0.20	-15	0.3	0.1	0.22	-22	0.6	0.2	0.35	-2	1.0	0.0	0.27
	-13	0.9	0.2	0.48	-16	0.3	0.2	0.23	-23	0.7	0.1	0.32	-3	1.2	0.0	0.19
	-1	0.4	0.1	0.23	-17	0.4	0.3	0.33	-18	0.4	0.2	0.25				
	-2	0.4	0.0	0.20					-19	0.3	0.1	0.21				
	-3	0.2	0.1	0.12					-20	0.4	0.2	0.27				
	-4	0.5	0.1	0.21					-21	0.3	0.1	0.10				
	-5	0.4	0.1	0.27												
	-6	0.3	0.0	0.17												
	-7	0.4	0.2	0.25												
	-8	0.3	0.1	0.18												
	-9	0.3	0.1	0.20												
	-10	0.4	0.3	0.38												
-11	0.3	0.1	0.24													
-12	0.2	0.0	0.14													
-13	0.7	0.2	0.33													
コア平均値	-	0.9	0.1	0.26	-	-	-	-	-	0.7	0.1	0.34	-	1.2	0.0	0.24
コンクリート片平均値	-	0.7	0.0	0.21	-	0.4	0.1	0.23	-	0.4	0.1	0.21	-	-	-	-
全平均	-	0.9	0.0	0.24	-	0.4	0.1	0.23	-	0.7	0.1	0.30	-	1.2	0.0	0.24

港名	消波護岸(興津)			水防波堤(興津)			四日市港			湘南港		
	防波護岸(興津)	防波堤(興津)	15	防波堤(興津)	15	第1埠頭先端護岸	29	ヨット曳揚場	29	ヨット曳揚場	29	
F/(C+F)(%)	15			15			15			29		
構造物名	試料番号	最大中性化深さ (cm)	最小中性化深さ (cm)	平均中性化深さ (cm)	試料番号	最大中性化深さ (cm)	最小中性化深さ (cm)	平均中性化深さ (cm)	試料番号	最大中性化深さ (cm)	最小中性化深さ (cm)	平均中性化深さ (cm)
	中性化試験結果	SIFN-11	0.5	0.0	0.12	SIFN-21	0.7	0.0	0.13	YONN-51	0.8	0.0
-12		0.4	0.0	0.08	-22	0.6	0.0	0.11	※-52	1.8	0.0	0.59
-13		0.5	0.0	0.19	-23	0.3	0.0	0.07	※-53	1.9	0.0	0.32
									※-61	2.1	0.2	1.10
									※-62	3.9	0.1	0.75
									※-63	3.6	0.1	0.79
									-51	0.6	0.0	0.21
									-52	1.4	0.1	0.64
									-53	0.6	0.1	0.29
									-61	2.0	0.7	1.28
									-62	1.4	0.2	0.41
									-63	1.7	0.1	0.73
コア平均値		-	0.5	0.0	0.13	-	0.7	0.0	0.10	-	3.9	0.0
コンクリート片平均値	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0	0.0	0.60
全平均	-	0.5	0.0	0.13	-	0.7	0.0	0.10	-	3.9	0.0	0.63

港名		湘南		港		東京電力株式会社横須賀火力発電所									
構造物名		エット曳揚場		E型防波護岸(ケーソン)		E型防波護岸(上部工)		D型岸壁(上部工)							
F/(C+F) (%)		0		0		0		24							
試験番号	最大中性化深さ (cm)	最小中性化深さ (cm)	平均中性化深さ (cm)	試験番号	最大中性化深さ (cm)	最小中性化深さ (cm)	平均中性化深さ (cm)	試験番号	最大中性化深さ (cm)	最小中性化深さ (cm)	平均中性化深さ (cm)	試験番号	最大中性化深さ (cm)	最小中性化深さ (cm)	平均中性化深さ (cm)
SHNN-11	0.5	0.0	0.18	TODNR-11	0.4	0.1	0.19	TODFN-11	2.1	0.0	0.29	TODFN-1'	0.3	0.0	0.26
-12	0.4	0.0	0.18	-12	0.4	0.2	0.26	-12	1.2	0.0	0.13	-2'	0.3	0.1	0.26
-23	0.2	0.0	0.09	-13	0.3	0.0	0.11	-13	1.4	0.0	0.22	-3'	0.5	0.1	0.37
-1'	0.6	0.1	0.24	-14	0.3	0.1	0.20	-14	0.3	0.0	0.11	-4'	0.5	0.0	0.20
-2'	0.3	0.1	0.16	-15	0.3	0.1	0.14	-15	0.5	0.0	0.14	-5'	0.7	0.1	0.31
-3'	0.3	0.0	0.09	-16	0.4	0.1	0.19	-16	0.5	0.0	0.25	-6'	0.4	0.1	0.22
-4'	0.5	0.0	0.10	-17	0.7	0.0	0.21	-17	0.2	0.1	0.07	-8'	0.6	0.3	0.45
-5'	0.5	0.0	0.15	※-11	0.3	0.1	0.16	-18	1.1	0.1	0.13				
-6'	0.4	0.0	0.10	※-12	1.3	0.0	0.08	-19	0.4	0.0	0.12				
				※-13	1.0	0.2	0.36	-110	1.1	0.0	0.20				
								-21	2.3	0.1	0.58				
								-22	0.9	0.1	0.42				
								-23	1.6	0.2	0.70				
								-31	0.6	0.1	0.15				
								-32	0.4	0.0	0.12				
								-33	0.6	0.1	0.31				
								-34	0.6	0.0	0.25				
マ7平均値	0.5	0.0	0.16		1.3	0.0	0.19						2.3	0.0	0.25
コンクリート片平均値	0.6	0.0	0.13										0.7	0.0	0.29
全平均	0.6	0.0	0.14		1.3	0.0	0.19						2.3	0.0	0.25

中性化試験結果

付録—2 圧縮強度試験結果

港名	富 山 新 港					伏 木 港						
構造物名	東防波堤 (普通コンクリート)			東防波堤 (プレパックドコンクリート)		左岸1号岸壁 (普通コンクリート)			左岸1号岸壁 (プレパックドコンクリート)			
	試料番号	σ_c (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_c$ (kg/cm ²)	試料番号	σ_c (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_c$ (kg/cm ²)	試料番号	σ_c (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_c$ (kg/cm ²)	試料番号	σ_c (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_c$ (kg/cm ²)
圧縮強度	TONN			TOFP			FUNR			FUEPR		
	-11	253	235	-11	170	165	-11	273	361	-11	178	182
	-12	224		-12	166		-12	449		-13	178	
	-13	229		-13	160		-13	362		-14	196	
	-22	265	279	-21	264	256	-21	323	409	-15	177	314
	-23	280		-22	302		-22	455		-21	420	
	-24	293		-23	225		-23	450		-24	208	
	-25	278		-29	217							
		-210		273								
平均強度	—	—	257	—	—	211	—	—	385	—	—	248

注) キャッピングは両面石膏である。

港名	小 倉 港					八 代 港						
構造物名	砂津防波堤			高浜-3M物揚場		防波堤 (37年施工)			防波堤 (39年施工)			
	試料番号	σ_c (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_c$ (kg/cm ²)	試料番号	σ_c (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_c$ (kg/cm ²)	試料番号	σ_c (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_c$ (kg/cm ²)	試料番号	σ_c (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_c$ (kg/cm ²)
圧縮強度	KONN			KOFP			YAFN			YAFN		
	-11	189	180	-11	98	117	-21	292	269	-11	248	268
	-12	143		-12	100		-22	286		-12	283	
	-13	209		-13	106		-23	228		-13	274	
			180	-14	164	111			269			268
				-21	127							
				-22	109							
				-23	97							
平均強度	—	—	180	—	—	114	—	—	269	—	—	268

港名	八 代 港			清 水 港				四 日 市 港				
構造物名	コンクリートブロック			興津防波護岸 (上部工)		興津防波堤 (上部工)		第1埠頭先端護岸				
	試料番号	σ_c (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_c$ (kg/cm ²)	試料番号	σ_c (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_c$ (kg/cm ²)	試料番号	σ_c (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_c$ (kg/cm ²)	試料番号	σ_c (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_c$ (kg/cm ²)
圧縮強度	YABNN			SIFN			SIFN			YONN		
	-11	155	196	-11	262	300	-21	278	282	-51	234	222
	-12	192		-12	302		-22	262		-52	229	
	-13	241		-13	336		-23	306		-53	202	
	-21	221	196	-14	300					-61	139	107
	-22	170							-62	90		
									-63	91		
	平均強度	—	—	196	—	—	300	—	—	282	—	—

港名	四日市港			湘南港						東電横須賀火力発電所		
構造物名	第1埠頭BC岸壁			ヨット曳揚場 (普通コンクリート)			ヨット曳揚場(プレキャストドコンクリート)			D型岸壁(上部工) E型防波護岸(上部工)		
	試料番号	σ_c (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_c$ (kg/cm ²)	試料番号	σ_c (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_c$ (kg/cm ²)	試料番号	σ_c (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_c$ (kg/cm ²)	試料番号	σ_c (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_c$ (kg/cm ²)
圧縮強度	YONN			SHNN			SHFP			TODFN		
	-11	306	234	-11	253	237	-12	151	186	-11	256	276
	-12	247		-12	221		-21	202		-12	285	
	-13	150		-21	312		-22	135		-13	286	
	-21	262	306	-22	352	-23	221	-21		246		
	-22	337		-23	434	-22	251	-22		251		
	-23	319		-23		-23	256	-23		256		
	-31	119	138						-31	252	277	
	-32	105		-31	252							
	-33	189		-32	276							
	-41	214	225						-33	304		
	-42	234										
-43	226											
平均強度	—	—	226	—	—	302	—	—	169	—	—	268

港名	東電横須賀火力発電所		
構造物名	E型防波護岸(ケーソン)		
	試料番号	σ_c (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_c$ (kg/cm ²)
圧縮強度	TODNR		
	-11	255	271
	-12	252	
	-13	306	
平均強度	—	—	271

