

# 港 湾 技 研 資 料

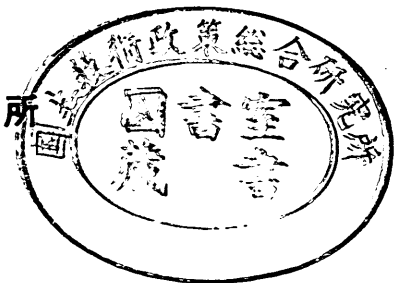
TECHNICAL NOTE OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 142    June.1972

長期間海岸環境中に暴露された無筋  
コンクリート構造物の劣化状況調査

関	博
小 野 寺	幸 夫
丸 山	浩

運輸省港湾技術研究所



# 長期間海岸環境中に暴露された無筋コンクリート構造物の劣化状況調査

## 目 次

1. ま え が き .....	3
2. 海岸港湾構造物の無筋コンクリートの劣化 .....	4
2.1 現地調査による劣化状況例 .....	4
2.2 酸性水域でのコンクリートの腐蝕例 .....	13
3. コンクリートの老朽度試験方法 .....	18
3.1 調査地点 .....	18
3.2 環境条件調査結果 .....	18
3.3 コア-試料の試験方法 .....	23
4. コンクリートの劣化の程度および考察 .....	24
4.1 コンクリートの品質の調査および試験結果 .....	24
4.2 無筋コンクリート構造物の劣化状況の検討 .....	26
4.3 単位容積重量, 吸水率および平均中性化深さ .....	28
4.4 コンクリート中の塩分量 .....	29
4.5 圧縮強度および配合推定結果 .....	31
5. コンクリートの劣化に対する評価 .....	32
6. あとがき .....	34
参 考 文 献 .....	35

# Deterioration of Plain Concrete for Coastal Structures Under Maritime Environments

Hiroshi SEKI\*  
Sachio ONODERA\*  
Hiroshi MARUYAMA\*

## Synopsis

This paper discusses about degree and rate of deterioration of plain concrete structures by way of field observation and experimental work. Structures investigated were sea walls and wharfs which have been exposed to sea water and sea breeze for approximately fifteen to forty-four years.

Field investigation were carried out with such methods as surface observation, Schmitt hammer and ultra sonic method. Core specimens were picked up from upper layer of various concrete structures. Items of laboratory tests for core specimens were as follows: unit volume weight, average depth of neutralization, salt content, compressive strength, and estimation of mix proportioning by way of chemical analysis of finely crashed concrete.

Based on the surface observation of plain structures, degree and rate of deterioration were evaluated. Main factor for visible deterioration of concrete might be concerned with quality control of concrete at the time of casting, vibrating and curing. Furthermore, one example of erosion of concrete attacked chemically under acid water ( p.H. 3 - 7 ) was introduced.

Average depth of neutralization of concrete resulted in 0.1 cm to 3.7 cm. There showed no evident relation between neutralization and passing year because of difference of mainly quality control of concrete. Concrete contained larger amount of salt than estimated. Test data showed salt content of 0.05 percents to 0.50 percents. It may be supposed that salt content in concrete is influential to corrosion of reinforcing bars embedded in reinforced concrete. Test results of compressive strength for structure exposed to maritime environments indicated approximately  $300 \text{ kg / cm}^2$ . On the contrary, it was estimated that some structures used for twenty years had compressive strength of less than  $150 \text{ kg / cm}^2$ . Water cement ratio calculated with chemical analysis of mix proportioning ranged from 50 percents to 150 percents. Based on the test results, deterioration of concrete was classified into three classes in each test item according to the standard of evaluation proposed.

---

\* Members of Materials Laboratory, Structures Division

# 長期間海岸環境中に暴露された無筋コンクリート構造物の劣化状況調査

関 博\*  
小野寺 幸夫\*  
丸山 浩\*

## 要 旨

既設構造物の現地調査、各種試験を実施してコンクリートの劣化の程度を検討した。今回対象とした構造物は、建設後15～44年を経過した防波護岸、岸壁などの無筋コンクリート体である。現地調査では構造物の表面観察を主体とし、いくつかの構造物に関しては強度特性（シュミットハンマー、超音波法）試験を実施した。これら強度特性を測定した構造物ではコーボーリングを行ない、得られたコア試料は単位容積重量、吸水率、平均中性化深さ、塩分濃度、圧縮強度、微粉砕したコンクリート試料の化学分析による配分推定などの試験に供した。

表面観察では特に劣化の顕著な構造物に関し劣化の分類およびその原因を検討し、また、一例として酸性水域におけるコンクリートの化学的腐蝕例を示した。

平均中性化深さは構造物によって大きく相違し、0.1～3.7cmの範囲にあり特に経過年数との関連性を見出すことは出来ない。潮風、波浪作用を受ける構造物のコンクリート中に含有される塩分量は一般に大きな値を示し0.05%～0.5%程度であって、鉄筋コンクリート体にこの程度の塩分量の含有を想定すると、鉄筋の腐食に大きな影響を及ぼすものと思われる。構造物はほぼ40年を経過して300%以内の圧縮強度を有する例もするが、一方、約20年を経て圧縮強度がその半分以下と推定される構造物もある。配合推定結果から求めた水セメント比は約50%から約150%とその範囲は大きく、個々の構造物によって著しく相違する。これらの試験結果から、評価基準を設定し無筋コンクリートの劣化の程度を類別化することを試みた。

## 1 ま え が き

コンクリートの耐久性は、材料の種類・品質、コンクリートの配合、施工方法、自然条件など多くの要因の影響を受け、物理的作用、化学的腐蝕などの作用を通じて、コンクリートのぜい弱化、強度低下を基礎として表面現象として顕在化する。特に、波浪、潮風、漂砂による摩耗など、環境条件の過酷な海岸線に建設された構造物においては、コンクリートの耐久性は重要な因子として考慮されねばならない。

コンクリートの耐久性に関しては、多くの試験例が報告されており各種の角度から検討されている。しかし、試験期間は一般に短く、しかも、既設構造物の現地調査に基いて耐久性を論じた文献は少ない。

著者の一人は、昭和43年に主としてフライアッシュを使用したコンクリートに関し、港湾構造物の中性化を現地調査、室内試験を通じて検討した<sup>1)</sup>。フライアッシュの使用時期が比較的新しいが、建設後4～14年を経過した構造物を対象としたものである。

本文では、海岸・港湾地域に建設された無筋コンクリート構造物を選定し、主として、コンクリートの材料の劣化

の状態に考察を加えた。富山湾沿岸、伊勢湾沿岸、瀬戸内海（安芸灘、周防灘）周辺、大分県沿岸を中心とした無筋コンクリート体を対象として、現地調査によりコンクリートの劣化程度を観察した。これら構造物より数種を選択し、試料を本研究所に移送した。研究所においてコンクリートの各種試験を実施し、劣化の程度を検討すると共に、劣化の原因を考察し、また、劣化を定性的に把握することを試みた。現地調査および室内試験は主として昭和45年度、46年度に実施したが、2、3の構造物については、昭和42、43年度に調査を行なった。

なお、本調査・試験は、<sup>2)</sup>コンクリートの耐久性に関する研究の一環として実施したものである。

酸性水域におけるp・Hおよび水温は、当研究所善主任研究官の試験結果に基づくものであり、同研究官より本報告への掲載を許可頂いた。当研究室青木室長には、調査の企画、試験方法をどのに關し有益な御教示を頂いた。ここに本調査・試験に御協力頂いた関係者各位に対し、厚く感謝申し上げる次第である。

\* 構造部 材料施工研究室

## 2 海岸港湾構造物の無筋コンクリートの劣化

### 2.1 現地調査による劣化状況例

著者等は各地の海岸・港湾施設に接する機会が多いが、コンクリート構造物に著しい劣化が観察されることに驚かされることがある。勿論、環境条件による特例もあるし

極めて限定された事例であることも多いが、これらを列記して参考に資したいと思う。なお、今回対象とした構造物周辺の地形、構造物の断面図、およびコンクリートの調査結果は、それぞれ、図-1、図-2、表-1に示した。

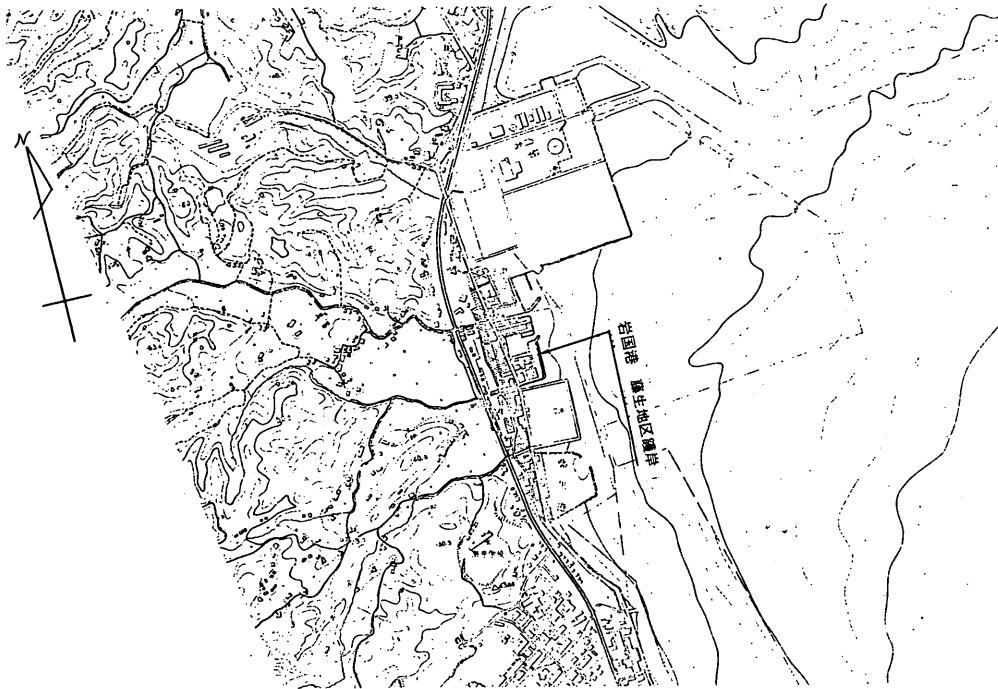


図-1 (1) 岩国港



図-1 (2) 柳井港 (山口)

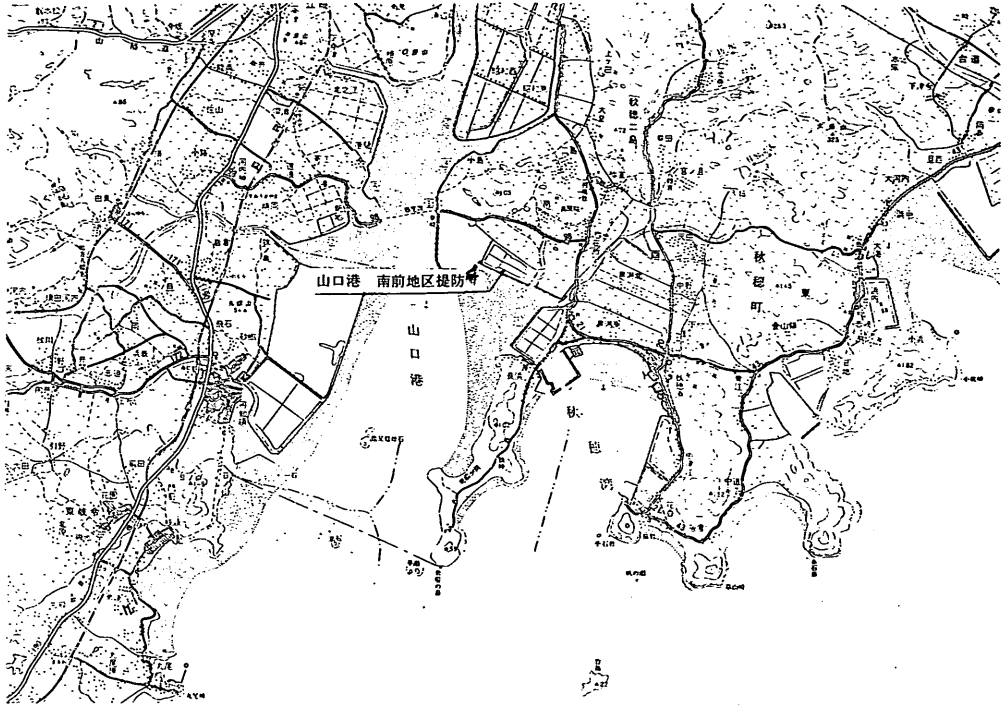


图-1 (3) 山口港

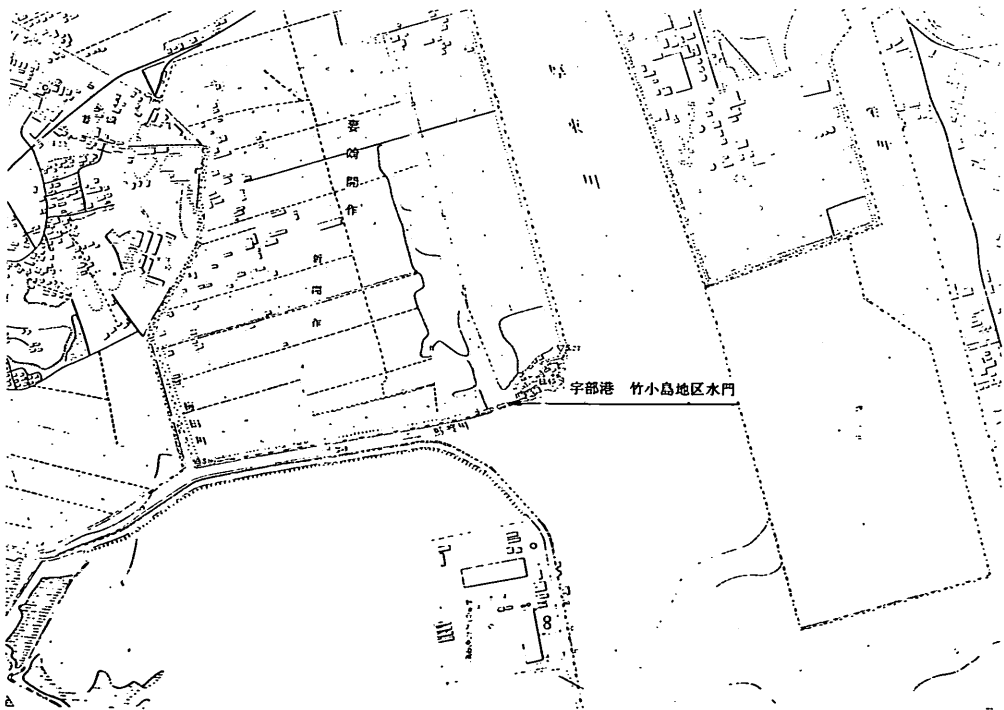


图-1 (4) 宇部港

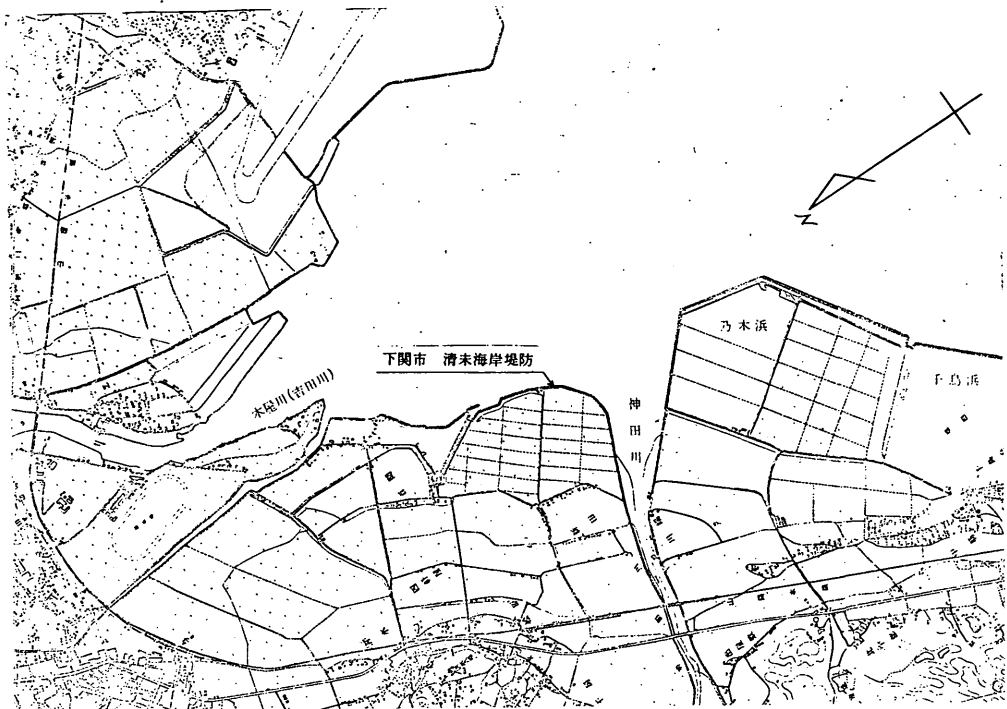


图-1 (5) 下関港

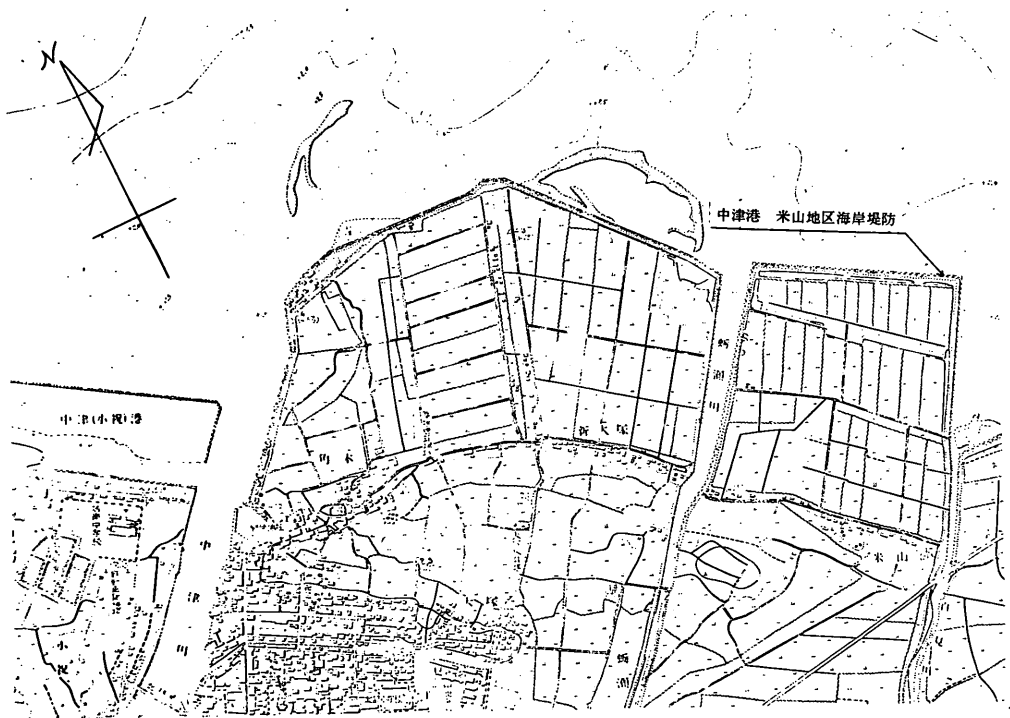


图-1 (6) 中津港

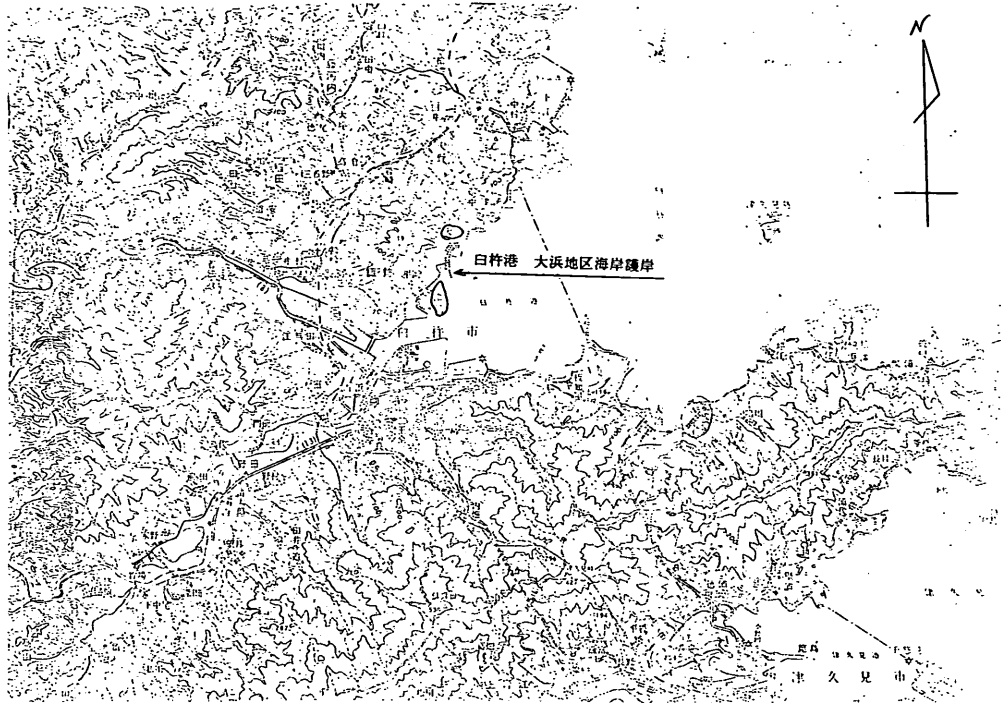


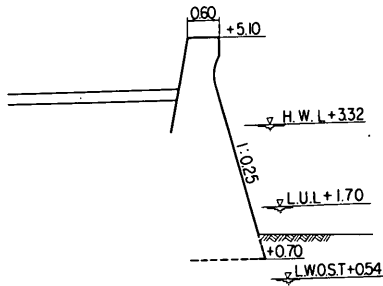
図-1(7) 白杵港(大分)

表-1 調査構造物のコンクリート

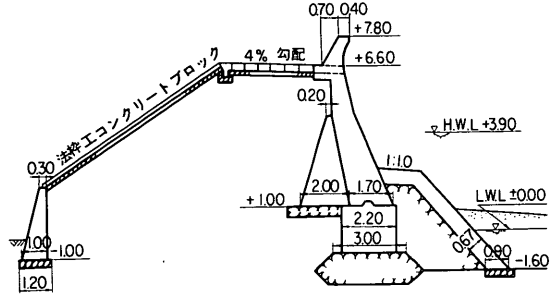
県名	地名あるいは地区名	構造物名	施工年度	セメント			練り混ぜ水	粗骨材			粗骨材			コンクリートの示方配合				
				種類	比重	粉末度		産地	比重	粗粒率	産地	比重	粗粒率	C(kg/cu)	W(kg/cu)	S(kg/cu)	G(kg/cu)	W/C 例
福岡	小名浜港高山地区	高山護岸	昭39.10~昭40.3	普通ポルトランドセメント	3.16	3100	淡水	福岡・夏井川	2.60	2.95	福岡・飯川	2.79	7.20	① 270	143	792	1318	53
山口	岩園港藤生地区	護岸	昭26	.			海水	山口・由宇川	2.57	2.3	山口・由川	2.7	6.7	236	167	767	1219	71
	柳井港宮本地区	護岸	昭28	.			.	1.6	3.2	山口・由川	2.4	7.0	228	170	780	1100	75	
	山口港南島地区	堤防	昭37	.			②	山口・柳野			山口・柳野			220	157	③ 0.47	④ 0.94	71
	宇部港竹小島地区	水門	昭18	.			海水	山口・厚狭川			山口・厚狭川							
	小野田港	護岸	昭4	.							.							
	下関港南末地区	海岸堤防	昭26~昭29	高炉セメント			海水	山口・木田川						225	170	③ 0.47	④ 0.94	75
高知	高知港三ツ口町	防波堤	昭28.10~昭31.3	普通ポルトランドセメント			海水	高知・桂浜	2.56	3.0	高知・桂浜	2.56	5.0	240		743	1485	
福岡	北九州港小倉地区	防波堤	昭31~昭32				淡水											
大分	中口港米山地区	海岸堤防	昭25~昭30	普通ポルトランドセメント	3.15		海水	大分・三石川	2.3	2.8	大分・山尾川	2.6		220	136	765	1390	62
	白杵港大浜地区	海岸護岸	昭26.9~昭27.3	.	3.1		.	大分・白杵川	2.5	2.75	大分・白杵川	2.4	7.8	200	180	686	1384	65

注) ① ポリスレド 10 使用  
 ② 砂出しの水  
 ③ 容積配合 (単位: cu)

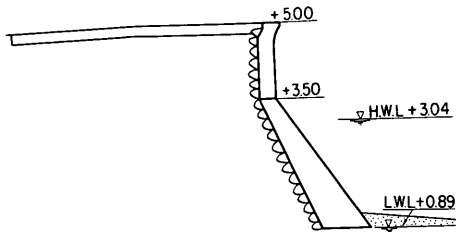




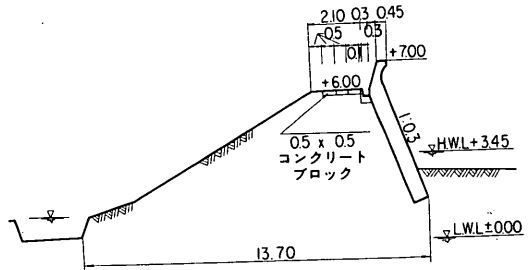
岩国港藤生地区護岸



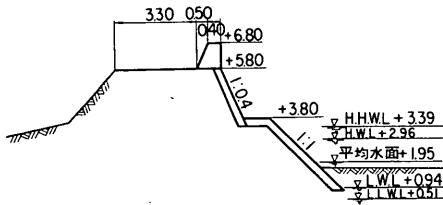
下関市清末海岸堤防



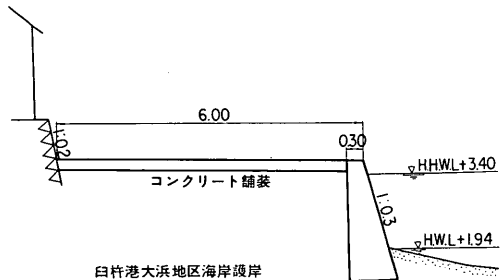
柳井港宮本地区海岸



中津港米山地区海岸堤防



山口港南前地区堤防



白杵港大浜地区海岸護岸

図-2 調査対象構造物の断面図

#### (1) 岩国港藤生地区護岸

感潮部に位置する防波護岸であり、自然条件は穏和である。護岸下方数カ所には、写真-1に見られるような大きな孔が観察された。写真-1の例では、コンクリートの欠落部分は直径20cm、深さ60~70cmに達している。これらの孔の位置する箇所はいずれもコールドジョイント部分であると考えられる。当時入手が困難であったためか低品質のセメントを使用した、貧配合のコンクリートによる打設、締め固めの不十分などの事情が異なり、波浪などの物理的作用により徐々にコンクリートが流出していったものと推定される。

#### (2) 柳井港宮本地区護岸

柳井港は前面に大小の島が連なり、これらが天然の防波機能を果し海象条件は極めて平穏である。(1)におけると同様に、感潮部に位置する防波護岸であり、写真-2に示すように、コールドジョイント部と思われる箇所に大きな孔が見られる。前面海域は平常であり特に汚染されていないが、コンクリートは暗褐色に近く、最大寸法の大きな粗骨材を使用したものと思われる。貧配合コンクリート、感潮部コンクリートの施工不良などが、観察された孔の主要原因であると考えられる。

#### (3) 山口港南前地区堤防

写真-3は、胸壁上面から堤防上面および前面(写真上方)の劣化状況を撮影したものである。高潮面上に位置するが、波浪、波しぶきは受ける。打継目を境界として、写真右側の堤防は表面モルタル層がはく落し骨材の露出した状況を観察することができる。左右堤防のコンクリートはほぼ同一年度に施工されたものであり、コンクリートに異なった示方配合を採用したとは考えられない。示方配合に順守したコンクリートが使用されず、施工管理が不十分であったことが、建設後ほぼ10年でこのような劣化を生じさせた原因であったと思われる。

#### (4) 宇部港竹小島地区水門

宇部港厚東川湾口に位置する、鉄筋コンクリート製の農業用水門である。現在は供用されていないが、写真-4および5に見られるように、構造物全域に劣化した状況が観察され、構造物隅角部は丸味を帯び至る箇所に骨材が露出し、内部鉄筋の露出した箇所もみられる。



写真-1 岩国港藤生地区護岸

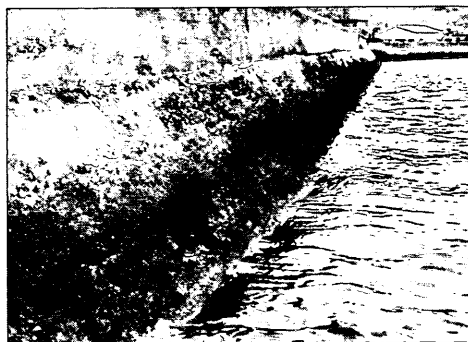


写真-2 柳井港宮本地区護岸





写真-4 宇部港竹小島地区水門 (1)

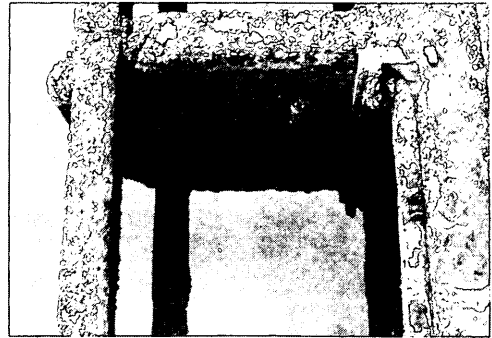


写真-5 宇部港竹小島地区水門 (2)

(5) 小野田港護岸

背面に火力発電所を控えた埋立地の護岸である(写真-6)。建設当初は波浪作用などを受けていたと思われるが、現在はさらに埋め立てが進みほとんど海象作用を受けないといってよい。建設後ほぼ42年を経過しているが、ほとんど劣化は認められない。現在取り壊し作業を実施中であり、コンクリート塊の一部を当研究所において $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$ の立方体試体に成型し圧縮強度試験を行なった結果では、 $25.3 \text{ kg/cm}^2$  (変動係数22%)であった。

(6) 下関市清末海岸堤防

写真-7に示すような防波護岸であって、胸壁部前面は洗掘防止のためコンクリート被覆工がなされている。胸壁の一部およびコンクリート被覆工は感潮部に位置するが、荒天時以外は厳しい波浪作用は受けない。しかし、コンクリート被覆工斜面のコンクリートは、写真-8に見られるように各所に一部が消失した状態が観察された。コンクリートが潮位の関係から、いかなる時点で打設されたものであるか不明であるが、不十分な初期養生、示方配合を下廻る貧配合コンクリートの使用などが、本構造物劣化の主要原因と推定することができるであろう。

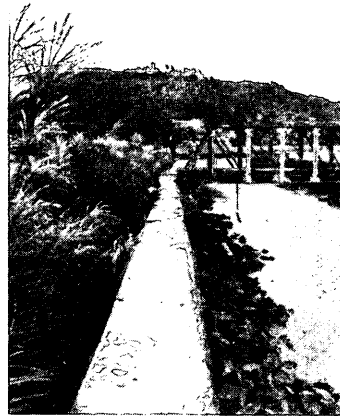


写真-6 小野田港護岸

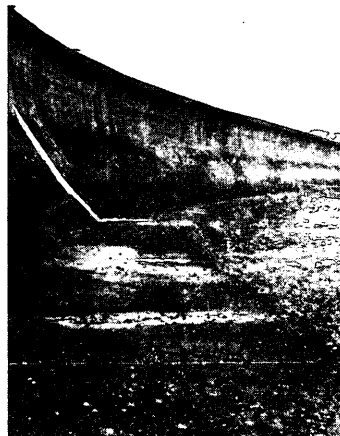


写真-7 下関市清末海岸堤防(1)

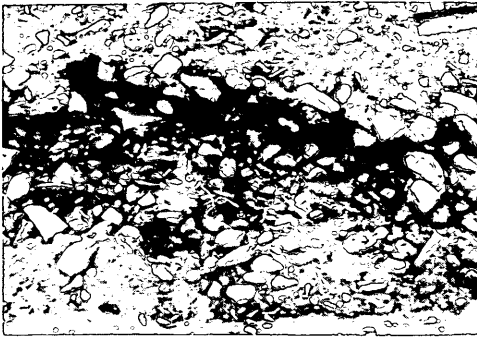


写真-8 下関市清末海岸堤防(2)



写真-9 高知港竜頭崎防波堤(1)

#### (7) 高知港竜頭崎防波堤上部工

セルラーブロック上に建設された防波堤の上部工(写真-9)であって、コンクリートは海砂の使用によるものか茶褐色を呈している。写真-10に示すように主として水平方向、若干の縦方向のモルタルはく離箇所が観察される。水平方向のひびわれはコールドジョイント部分であると推定することができる。セメントは注水後、硬化反応を開始するが、凝結終結以前は主として石屑と $C_3A$ によるカルシウムサルフォアルミネートの生成による硬ばりであると言われており、従って、終結以前にはコンクリートの再振動締め固めが許される。本構造物においては、下方コンクリート打設後、どの程度の時間経過後に新バッチのコンクリートが打ち込まれたものか不明であるが、コールドジョイント部分の新旧バッチコンクリートの均一性を計るよう配慮されなかったものと予想される。岸谷は、水平打継目における新旧コンクリートの中性化の試験結果を報告している<sup>2)</sup>。これによると、打継目部分に表面処理が施されぬコンクリートによると、下層コンクリート表層にレイタンス層が形成され、新旧コンクリートの付着が著るしく阻害される。断面 $15 \times 15 \text{ cm}$ の供試体では、旧コンクリート上面が全面的に中性化した試験結果例も提示している。この実験における新旧コンクリートの打設時間差は、ほぼ10時間であって、コールドジョイントにおける未硬化コンクリートの接合面とは必ずしも条件は一致しないが、著者の長柱における上層コンクリートの強度低下に関する試験結果<sup>3)</sup>からも予想されるように、コールドジョイントの下層コンクリート表層に形成されるレイタンス層は、コンクリートの劣化に与える影響は大きいと思われる。

#### (8) 北九州港小倉地区砂津防波堤

比較的静穏な湾内に面した防波堤で、構造物側面の一部はモルタル部分がはく離して粗骨材が露出した箇所が観察される。粗骨材は海岸砂利を使用し、最大寸法はほぼ20



写真-10 高知港竜頭崎防波堤(2)



写真-11 北九州港(小倉地区)砂津防波堤

である。コンクリートは淡褐色を呈しているが、使用料骨材の影響と思われる。写真-11に示すように、粗骨材の露出底面は傾斜しており、これらから、(1)重力式構造物であって貧配合コンクリートが使用されたこと、(2)コンクリートの締め固めが不十分で次バッチコンクリート打設時に材料の分離を生じたこと、などが想定されるが、(7)におけると同様に主原因は(2)であったと考えられる。

#### (9) 中津港米山地区海岸堤防

周防灘に面した護岸である。施工打継目を境界とした両コンクリート堤防は、ほぼ同一年度に建設されているが、写真-12に示すように明瞭な相違を示している。本構造物は波浪作用は受けないが、表面状況は(3)におけると類似した状態であり、(3)で記述したとほぼ同一の原因に基づくものと考えられる。

#### (10) 白杵港大浜地区海岸護岸

構造物下方は感潮部に位置している。写真-13に示すように、表層モルタルのはく落のみならず、内部深く劣化は進行しコンクリート自体が流出し、一部は空洞状態を形成している。特に注目すべき点は、コールドジョイントと想定される水平線下方コンクリートにこの損傷が著しいことで、しかも、下方コンクリートの上層部においてこの傾向は累加される。波浪は直接に本護岸を洗うが、周辺のコンクリートに激しい劣化状態が観察されず、また、前面海域にコンクリートを化学的に腐蝕する廃液などの報告されていない事項を考慮すると、コンクリートの品質管理、施工方法等の欠陥が、現在観察されるコンクリート劣化の原因であったと断定しえらる。

### 2.2 酸性水域でのコンクリートの腐蝕例

#### (1) 調査地点

調査港湾は小名浜港である。本港湾内には、日本工業株式会社小名浜工場の排水と小名浜製錬株式会社小名浜製錬所の排水とが合流して、同一排出溝より湾内に流出している地点がある。この排水溝流出口には、写真-14に示すように、昭和39年4月より護岸前面にテトラポッドが配置されている。調査時はこれよりほぼ4年経過している。なお、テトラポッドに使用されたコンクリートの調査結果は、表-1に併記した。

#### (2) 調査方法

調査は昭和42年2～3月に且り実施した。調査項目はコンクリートの外観観察、P. H.、水温の測定である。採水は2回に分け、図-3の①～⑨および⑩、⑪～⑭の地点で行なった。

P. H. の測定にはPH計(堀場製作所製、M-3型)を使用した。なお、標準液としてはフタル酸塩(P. H. = 4.00, 20°C)、中性リン酸塩(P. H. = 6.88, 20°C)



写真-12 中津港米山地区海岸堤防



写真-13 白杵港大浜地区海岸護岸



写真-14 排出溝流出口近辺のテトラポッドの配置状況(小名浜港)

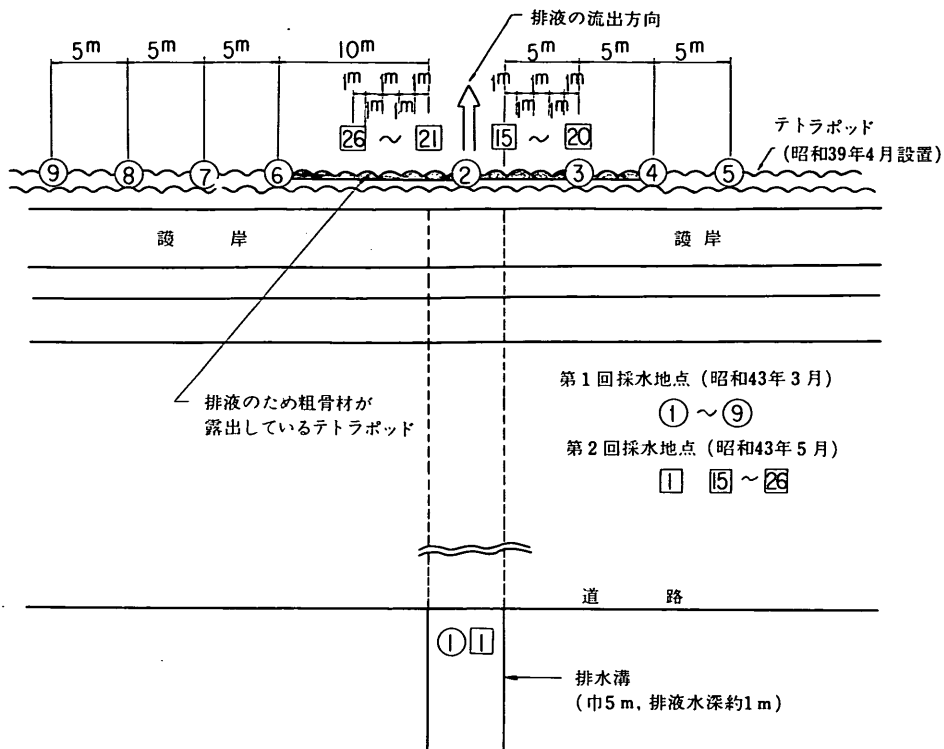


図-3 排水の採水地点 (小名浜港)

を用いた。

水温測定は、現地におけるP. H. 測定地点の排水または海面に温度計(0~50℃)の球部を没し、約1分後に温度計を引上げて直ちに水温を読み取った。

(3) P. H. の測定結果

第1回および第2回に採水したP. H. の測定結果は、図-4に示す通りである。図-4によれば、第1回に採水した排水(採水地点①)のP. H. は3前後である。同一の採水時には水深による差はほとんど見られないが、採水時間によって0.5位異なる。また、排水のP. H. は排水溝内と排水溝流出口(②)とでほとんど同一の値であった。これに対して、採水地点③~④では海水によって大部希釈されてP. H. は4~7となる。本図には示していないが、沖合約70~140mで採水したP. H. の測定結果は7前後であった。

第2回はいずれも海面から採水した。排水溝①のP. H. は採水時間によって異なり、もっとも低いP. H. を示した方ではほぼ3程度であった。採水地点⑮~⑳はいずれも昼間に採水しているが、P. H. は前回に比し高い。排水は海水に流入後ただちに希釈されるようであり、流出

口よりほぼ5m離れた採水地点⑳のP. H. は第1回の同一地点のP. H. と大差がない。なお、小名浜港沿岸における海水のP. H. は8前後である。

(4) 水温および検水の外観

水温の測定結果は、図-4にP. H. の結果と併せて図示した。同図によれば測定時の排水の温度は18℃以内である。図-4に示す結果から海水面における排水の希釈傾向がうかがわれる。すなわち、排水溝流出口(②)から左右5mの海水面の温度は排水の水温と大差ないが、左右10mでは5~8℃程度排水温度より低い。

排水溝を流れる排水の外観は暗褐色で懸濁物が多い感じであり、油膜が浮かんでいるときもある。また、採水地点②、③、⑥付近では採水者にかなりの刺激臭が感じられた。

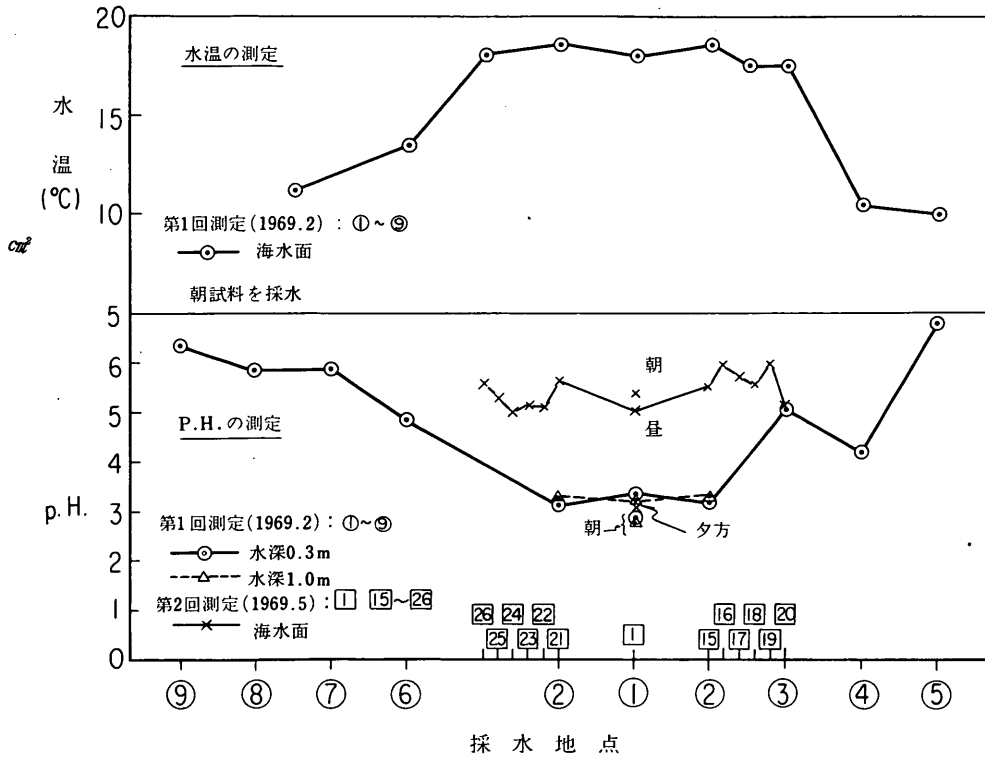


図-4 排水溝流出口近辺の P. H. および水温測定結果

(5) テイラボットの腐蝕状況および考察

写真-15 は排水溝流出口における排水溝側壁コンクリートの腐蝕状況、写真-16 は特に腐蝕の著しいテイラボットの一例を示したものである。腐蝕による表層はく離の程度は顕著であり、表面に骨材が露出した状態である。

酸性溶液中での腐蝕に関して論じた報告は少ないが、以下、文献を参考としながらテイラボットの化学的腐蝕に関し検討してみよう。

コンクリート工学ハンドブック<sup>4)</sup>には、酸類に対するコンクリートの性質として若干の記述が見られる。これによると、コンクリートは無機の弱酸および強酸に対して可溶性あるいは難溶性の石灰塩をつくり侵食を受ける。特に、塩酸、硝酸、硫酸などの強酸はコンクリートに対する侵食作用が激しく、それぞれ水溶性の  $\text{CaCl}_2$ 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 、難溶性の  $\text{CaSO}_4$  を形成すると共にケイ酸、アルミナのゲルを形成すると言われているが、侵食の程度については不明である。

岸谷<sup>5)</sup>によると、硫酸の害をうけたコンクリートは表面に灰白色又は淡黄色の石膏があるという。また、塩酸とより侵食をうけたコンクリートでは表面が砂岩のように砂・砂利だけで固まっているように見えると報告している。

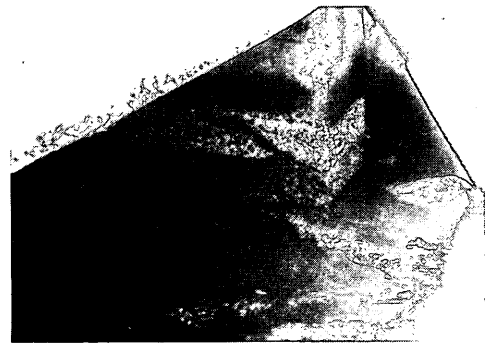


写真-15 工場排液排水溝流出口 (小名浜港)

宮沢<sup>6)</sup>はセメントの耐酸性に関し、若干の試験を行なっている。1×1×7cmのモルタル供試体を製作し、0.5%の硫酸溶液(P. H. = 1.3)に浸漬した結果では、圧縮強度が159kg/cm<sup>2</sup>(材令7日), 238kg/cm<sup>2</sup>(材令28日)230kg/cm<sup>2</sup>(材令91日)であって、材令28日以降は強度増進がほとんど見られないようである。

硫酸および塩酸によるコンクリートの侵食深さを測定した例に、波多野の報告<sup>7)</sup>がある。いずれも1規定溶液であって、P. H. はそれぞれ硫酸で0.0, 塩酸で0.0である。表-2によると、ほぼ2カ月の浸漬結果では塩酸が硫酸に比較し侵食性が大いことがうかがえる。

大浜の実験した強酸による報告<sup>8)</sup>は、試験材令が短く試験値のバラツキも大きい、酸のコンクリート強度に及ぼす影響に関しおおよその目安を知ることができる。浸漬溶液は、0.2%の硫酸水(P. H. = 1.7), 2%の酢酸水(P. H. = 2.6)であり、普通ポルトランドセメントを使用した試験によると表-3の結果である。

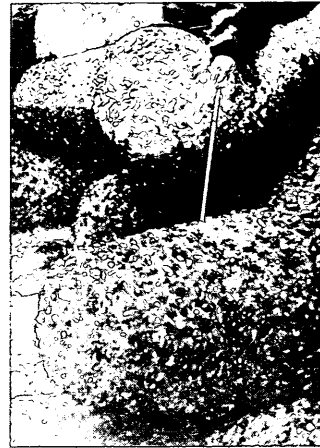


写真-16 テトラポットの腐蝕状況(小名浜港)

表-2 無機酸によるコンクリートの侵食深さ<sup>7)</sup>

液の種類	p. H.	上 面	側 面	下 面
硫 酸	0.0	1.5	1.4~2.0	1.0~1.5
塩 酸	0.0	4.5~5.0	4.5~7.5	3.0~5.0

- (注) 1) 浸漬材令は11週  
 2) 供試体はφ15×15cm  
 3) コンクリートの配合はW/C=65%, 容積比1:1.7:3.8である。  
 また、コンクリートのスランプは19.5cm

表-3 強酸溶液浸漬によるコンクリートの強度変化<sup>8)</sup>

浸 漬 液	P. H.	圧 縮 強 度		曲 げ 強 度	
		セメント量275kg/m <sup>3</sup>	セメント量300kg/m <sup>3</sup>	セメント量275kg/m <sup>3</sup>	セメント量300kg/m <sup>3</sup>
水中養生	約7	275	383	45	61
硫酸水 0.2%溶液	1.7	214 (78)	346 (90)	49 (109)	58 (95)
酢酸水 2%溶液	2.6	248 (90)	329 (86)	38 (84)	46 (75)

- 注) 1) 普通ポルトランドセメント  
 2) 浸漬は供試体成型後1週より5週まで  
 3) 配合は、セメント量275kg/m<sup>3</sup>のときW/C=58.5%, S/a=37.5%  
 セメント量300kg/m<sup>3</sup>のときW/C=53.7%, S/a=36.6%  
 スランプは5±1cm  
 4) ( ) は水中養生の強度に対する百分率



児玉<sup>9)</sup>は、 $\phi 5 \times 10\text{cm}$ のコンクリート供試体を製作し硫酸 ( $\text{p. H.} = 0.5$ ) および塩酸 ( $\text{p. H.} = 0.5$ ) 溶液に浸漬し、材令13週に至る圧縮強度の変化を報告している。これによると、表-4に示すように同一  $\text{p. H.}$  であっても塩酸溶液は硫酸溶液に比較し激しくコンクリートを侵食し、材令8週以降は圧縮強度は低下する傾向を示している。

以上、既往の研究者の試験結果から検討したように、コンクリートは強酸によって激しく侵食を受けるようである。しかし、同一  $\text{p. H.}$  であっても酸の種類によって腐蝕の程度は異なる。また、同一の酸であっても酸濃度によってコンクリートの腐蝕の程度は定量的に把握されておらず、試験材令も既設構造物に比較しはるかに短い。

小名浜港の腐蝕状況の観察によると、表面モルタル分がはく離し骨材の露出したテトラポッドは排出溝流出口近傍に限定されており、ここより約10m離れたテトラポッドの腐蝕は軽微であった。流出口付近の  $\text{p. H.}$  は3前後であるが、この付近では  $\text{p. H.}$  6~7程度に希釈されている。

従って、排出溝より流出した排液の成分の弱酸領域では、材令4年程度で著しくコンクリートを侵食しないと想定することができるであろう。この推定は、炭酸溶液を使用した Tremper<sup>10)</sup>のコンクリートの腐蝕試験結果と符号するものように思われる。

なお、ここに記載したテトラポッドの化学的腐蝕は特異な例であると思われる。工場排液中にコンクリートを侵食すると言われている硫酸塩、塩化物、フッ化物などの塩類が多量に溶解している場合を除いては、単に排液を稀釈放流することによって、容易に腐蝕の進行を軽減することができる。

一般の海水の  $\text{p. H.}$  は8前後であり、若干汚染の認められる海域においても  $\text{p. H.}$  は7~8程度<sup>11)</sup>である。従って、港湾環境中においてコンクリートが経年と共に化学的に侵食される程度は、2.1で述べた施工不良によるコンクリートの劣化の程度に比較し小さいと考えることができる。

表-4 強酸溶液中のコンクリートの材令による圧縮強度変化<sup>9)</sup>

セメントの種類	液の種類	p. H.	材 令				
			3 日	1 週	4 週	8 週	13 週
普通ポルトランドセメント	水中養生	約7	19	82	141	168	184
	硫酸水	0.5	16 (84)	70 (85)	130 (92)	156 (93)	122 (66)
	塩酸水	0.5	19 (100)	63 (77)	121 (86)	144 (86)	140 (76)
普通ポルトランドセメント+混和材	水中養生	約7	16	45	88	126	145
	硫酸水	0.5	12 (75)	44 (98)	85 (96)	115 (91)	101 (70)
	塩酸水	0.5	14 (88)	43 (95)	78 (89)	101 (80)	90 (62)
普通ポルトランドセメント+混和材	水中養生	約7	22	72	166	174	190
	硫酸水	0.5	21 (95)	70 (97)	154 (93)	161 (93)	167 (88)
	塩酸水	0.5	18 (86)	68 (94)	136 (82)	138 (79)	150 (79)

- 注) 1) 浸漬は供試体脱型(材令2日)時より開始  
 2) 配合は C : S : G : W = 1 : 2 : 4 : 0.7  
 混和材の添加量はセメント0.7、混和材0.3の割合  
 3) ( ) は水中養生の強度に対する百分率

### 3 コンクリートの老朽度試験方法

#### 3.1 調査地点

各地域のコンクリート構造物の現地観察により、コアボーリングを実施してコア試料の室内実験を実施した。コア試料の採取地点は表-5に示すように、7港湾、8

構造物である。これらは、気象、海象条件の比較的厳しい北陸沿岸（飯田港、七尾港、滝港、魚津港）、および温和な気候の三重県沿岸（津港、宇治山田港、浜島港）に大別される。なお、古い構造物においては施工時のコンクリート資料が十分に確保されぬ場合が多かった。

表-5 コア試料を採取した構造物のコンクリート

港名	地区名	構造物名	試験時 までの経 過年数	セメント			練り混 ぜ水	細骨材			粗骨材		
				種類	比重	粉末度		産地	比重	粗粒率	産地	比重	粗粒率
飯田	—	護岸	41	普通ポルトランド									
七尾	—	岸壁	18	"									
滝	—	護岸	44	"									
魚津	—	"	23	"									
津	江戸橋	防波護岸	11~17	"			水道水	楠田川			宮川		
津	米津	"	15	"			"	"			"		
宇治山田	神社	護岸	15	"	3.15	3120		"	2.6	2.87	"	2.64	7.38
浜島	浜島	防波護岸	17	"				宮川			"		

#### 3.2 環境条件調査結果

調査対象港湾の平面図および構造物の断面図を、図-5、6に示した。また、表-6では対象北陸港湾近辺におけ

る気象条件、三重県沿岸における気象状況を表示している。なお、この結果は理科年表1971年版より引用したものである。

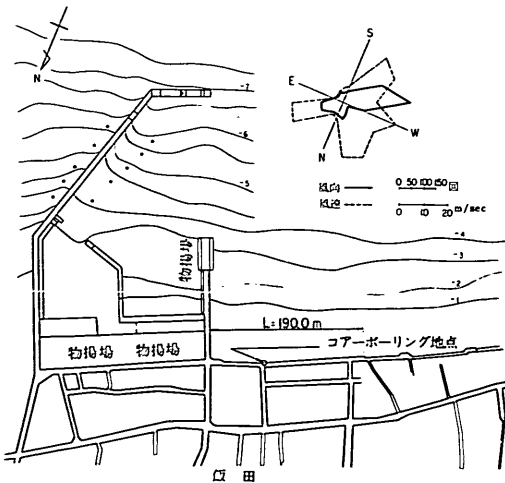


図-5 (1) 飯田港

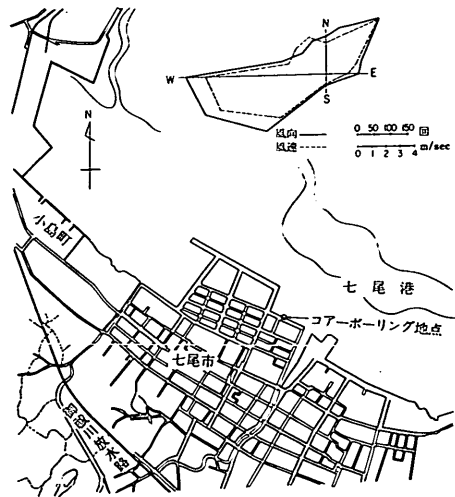


図-5 (2) 七尾港

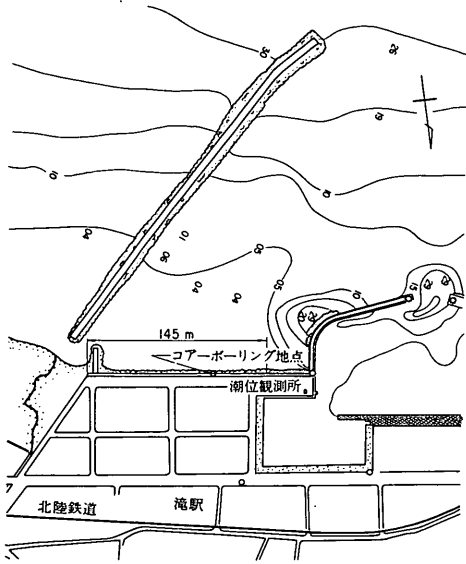


図-5 (3) 滝港

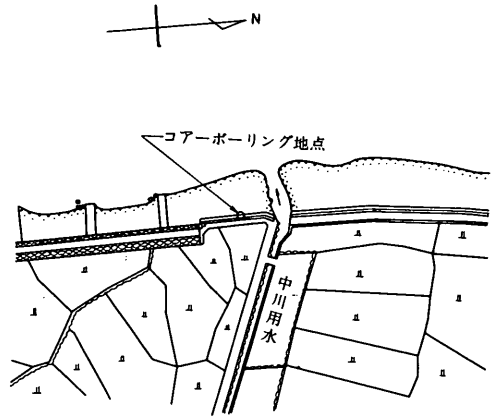


図-5 (4) 魚津港

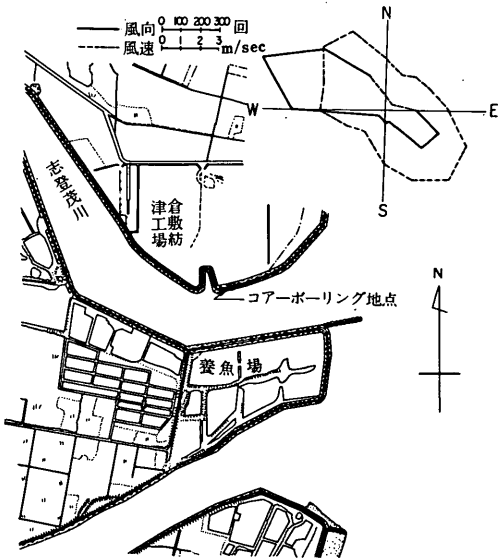


図-5 (5) 津港江戸橋地区

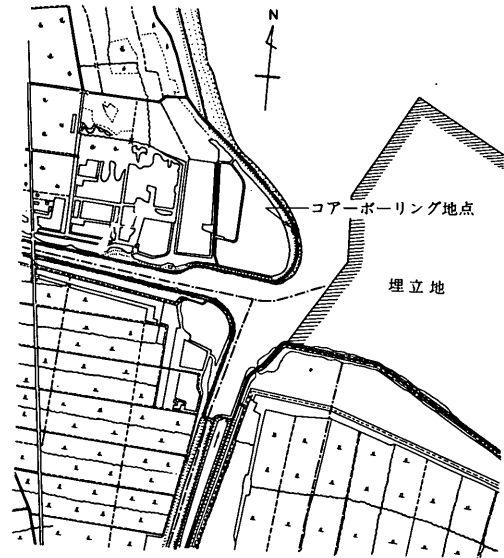


図-5 (6) 津港米津地区

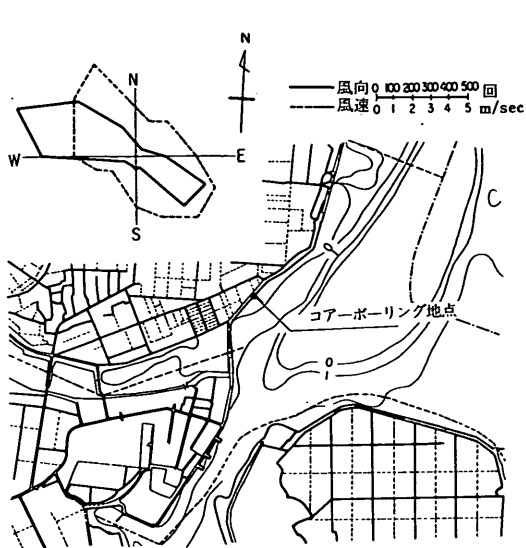


図-5 (7) 宇治山田港神社地区

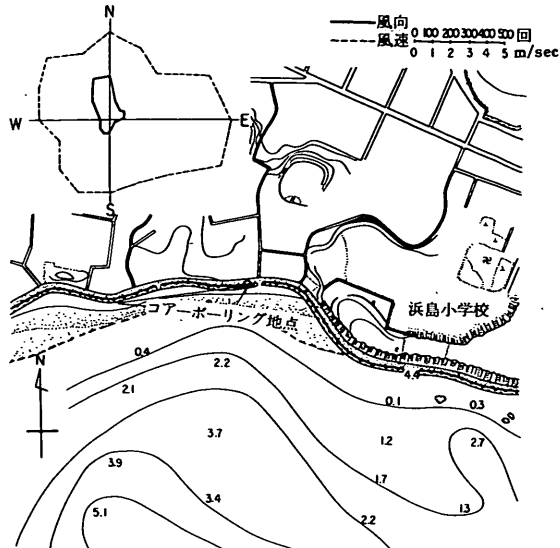


図-5 (8) 浜島港浜島地区

表-6 調査港湾近辺の気象状況 (1)

月平均気温(°C)(1931年から1960年までの平均)

地名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年
輪島	2.4	2.2	4.7	9.8	14.7	19.1	23.4	24.7	20.6	14.9	10.1	5.4	12.7
金沢	2.5	2.5	5.5	11.0	16.1	20.2	24.5	25.9	21.7	15.6	10.5	5.6	13.5
富山	2.0	2.1	5.8	10.9	15.9	20.3	24.5	25.7	21.4	15.4	10.2	5.1	13.2
津	4.2	4.3	7.2	12.2	17.2	21.4	25.7	26.5	22.8	16.8	11.6	6.8	14.7
尾鷲	5.6	5.9	8.8	13.2	17.1	20.9	24.7	25.6	22.7	17.3	12.5	7.8	15.2

月降水量(1931年から1960年までの平均)

地名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年
輪島	270	167	154	144	111	141	197	133	251	184	214	313	2278
金沢	309	191	173	164	135	167	223	154	248	217	225	353	2559
富山	286	180	157	134	137	162	227	168	255	182	180	303	2370
津	46	63	100	135	140	235	176	195	275	194	97	50	1704
尾鷲	105	132	232	330	340	515	444	584	633	527	226	119	4186

月平均湿度(%) (1931年から1960年までの平均)

地名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年
輪島	76	74	73	73	78	83	86	85	83	80	78	76	79
金沢	79	76	73	70	73	78	81	78	79	78	76	78	77
富山	83	80	77	72	76	82	83	82	82	81	79	82	80
津	67	68	69	73	76	80	82	81	81	78	74	69	75
尾鷲	64	66	70	75	81	86	86	86	84	80	76	68	77

表-6 調査港湾近辺の気象状況 (2)

月別天気日数 (1945年から1952年までの平均, 午後2時の記録)

日最大風速の階級別日数 (1931年から1960年までの平均)

地名	天気	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
輪島	快晴	1	1	3	7	7	3	6	8	4	5	4	1
	晴	2	3	6	6	6	5	7	10	6	7	5	4
	曇	14	12	15	12	14	16	14	11	15	14	15	13
	雨	5	4	4	5	5	6	4	2	5	6	6	7
	雪	9	10	3	-	-	-	-	-	-	-	1	6
	その他	-	-	-	-	-	0	-	0	-	-	0	0
金沢	快晴	2	1	4	7	6	3	4	7	3	5	5	2
	晴	2	4	4	4	4	4	6	8	5	7	5	5
	曇	15	15	16	13	16	18	16	15	16	13	13	13
	雨	5	3	6	6	5	5	5	2	6	6	7	9
	雪	7	6	2	-	-	-	-	-	-	-	0	2
	その他	-	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	1
富山	快晴	3	2	4	8	7	5	5	10	4	6	6	2
	晴	2	2	3	2	4	2	6	6	4	4	3	2
	曇	15	14	16	15	16	18	15	12	16	14	13	15
	雨	4	3	6	5	4	5	5	2	7	7	8	8
	雪	7	7	3	-	-	-	-	-	-	-	0	4
	その他	-	0	0	0	0	0	0	1	0	-	0	0
津	快晴	5	4	6	8	6	2	6	12	5	8	9	7
	晴	8	6	5	5	5	5	6	6	5	5	6	9
	曇	15	15	15	13	17	17	13	11	15	13	11	12
	雨	3	2	5	5	4	7	6	3	5	5	4	3
	雪	1	2	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0
	その他	-	0	-	0	-	-	0	-	-	-	-	-
尾鷲	快晴	12	8	9	9	4	2	5	6	4	8	11	13
	晴	4	5	4	3	4	3	6	7	3	4	4	4
	曇	11	11	11	12	16	16	14	11	15	12	11	10
	雨	3	4	5	6	7	9	6	6	7	8	4	4
	雪	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
	その他	0	-	0	0	-	0	0	-	-	-	-	-

地名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年
10m/s以上													
輪島	12	8	9	9	8	4	4	3	4	5	6	9	80
金沢	14	10	10	9	6	3	2	2	3	4	7	13	84
富山	8	7	8	10	8	4	2	2	4	5	4	6	69
津	13	10	11	8	6	4	3	4	4	4	5	9	80
尾鷲	5	4	3	1	1	1	1	2	2	1	1	3	23
15m/s以上													
輪島	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	4
金沢	4	2	2	2	1	0	0	0	1	0	1	3	15
富山	1	1	1	2	1	0	0	0	1	1	1	1	9
津	1	1	1	1	-	0	1	1	1	1	0	1	9
尾鷲	0	0	0	-	-	0	-	0	1	0	0	0	1

月別最多風向 (1951年から1960年までの平均)

地名	1月	4月	7月	10月
輪島	SW	SW	SW	SSW
金沢	ESE	ESE	E	ESE
富山	SSW	SW	NNE	SSW
津	W	WNW	ESE	W
尾鷲	W	W	E	W

### 3.3 コア一試料の試験方法

3.1で述べたコンクリート構造物の表面観察に加えて、現地に於てはコンクリート透過速度およびシユミットハンマーによる圧縮強度を測定した。採取したコア一(φ10cm)は当研究所に運搬し成型した後におのこの試験に供した。また、単位容積重量、吸水率、塩分濃度、コンクリート試料分析の一部は、セメント協会研究所に委託し実施されたものである。

#### (1) 供試体の成型

コア一ボーリング試料のほぼ半数は圧縮強度などの試験に供し、残りの半数は中性化試験などに使用した。いずれのコア一もほぼ20cmの長さにて切断した。中性化試験などに用いたコア一の切断方法、試料の採取位置は図-7に示す通りである。

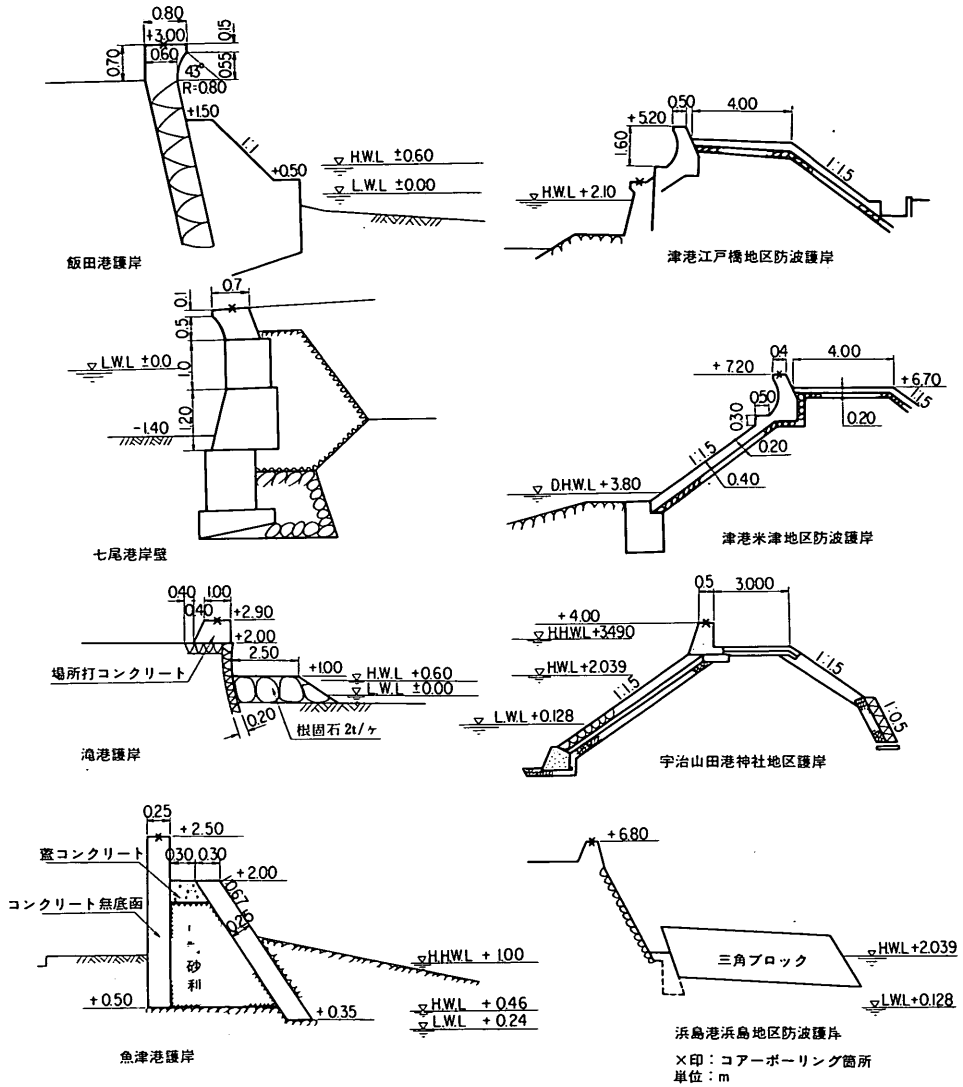


図-6 コアボーリングを実施した構造物の断面図

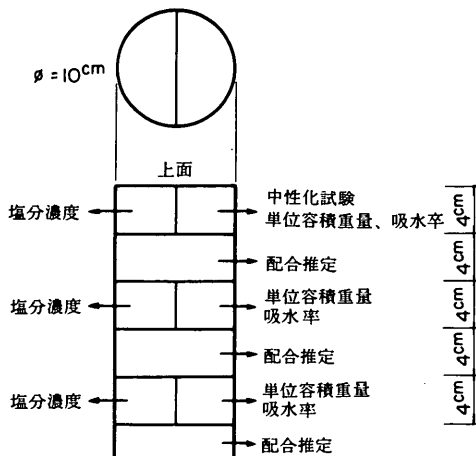


図-7 供試体の成型および各試験の試料採取区分

## (2) 中性化試験

フェノールフタレイン1%アルコール溶液を用い、平均中性化深さを算出した。試験方法の詳細に関しては、著者の報告<sup>1)</sup>を参照されたい。

## (3) 単位容積重量、吸水率

単位容積重量は三種の方法を用いた。すなわち、JIS A 1110-1951「粗骨材の比重および吸水量試験」に基いて表面乾燥飽水状態に近い状態とし単位容積重量を算出する方法、供試体を100-110℃で定重量となるまで乾燥しこの重量を基準として単位容積重量を算定する方法、供試体を24時間水中に浸漬した後にさらに30-60分程度負圧(0気圧)を加えてコンクリート中の空気の除去を計りこの重量をもととして単位容積重量を計算する方法の三種である。

吸水率の測定法は二種の方法を採用した。すなわち、JIS A 1110-1951に準じた方法、および、表面乾燥飽水状態に近いコンクリートにさらに負圧を加えてこれを空气中重量の基準とした方法である。

## (4) 塩分濃度

コンクリート試料を微粉碎し、粉末化した試料より2%程度を塩分濃度の試験に供した。この2%の試料に水道水を加え100ccとし約1時間煮沸した後に、ろ過紙を通し、このろ過液についてクロム酸カリウムを指示薬として硝酸銀溶液(1/10規定)で滴定して塩素イオンの含有量を求め、絶乾状態に対するモルタル試料の塩分量(NaCl)を計算した。

## (5) コンクリートの配合推定

コンクリート試料を105μ以下に微粉碎して分析試料とした。本試料の600℃における強熱減量を測定し、塩酸(約N/10)で処理したのち、不溶残分および酸化カルシウムを定量した。強熱減量、不溶残分、酸化カルシウム

の定量値および(3)に述べた吸水率、単位容積重量の測定値から骨材表乾状態における各材料の単位量を算定した。ただし、使用材料の成分は不明であるため、次のような仮定のもとに算定を進めた。骨材の不溶残分は、砂95.5%、砂利95.0%とし骨材の構成比を砂:砂利=1:2として95.17%とした。CaOは、砂0.3%、砂利0.5%とし、砂・砂利の構成比の仮定から骨材のCaOを0.43%とし、セメント中のCaOは6.45%と考えた。砂および砂利の強熱減量はそれぞれ1.1%、1.3%とし、骨材の強熱減量は1.23%と考え、セメントの強熱減量は0.60%と仮定した。また、吸水率に関しては、砂1.45%、砂利0.84%、従って骨材の吸水率として1.04%を用いた<sup>12), 13)</sup>。

## (6) 強度試験

コンクリートの透過速度は、超音波衝撃法によるコンクリート無破壊試験器(東京三和商工株式会社製、SS-C型-現像法式)を用いた。測点数は一構造物についてほぼ5~15点とし、構造物の型式によって対立法、並列法により透過速度を測定した。発振子、受信子間の距離はほぼ30~60cmである。

使用したシユミットハンマーはN型(Proceq S.A.製)である。一地点につきほぼ10~20点の反撥硬度を求め偏差の大きな値を除外し、傾斜角度に対し反撥硬度を補正しこれをRoとして、次式によって圧縮強度(F)を推定した<sup>4)</sup>。

$$F = -184 + 13 \times R_o \quad (\text{kg/cm}^2)$$

コアボーリングによって採取されたコアは、当研究所に於て所定の長さで切断し圧縮強度試験に供した。キャッシングは石膏を用いた。

## 4 コンクリートの劣化の程度および考察

### 4.1 コンクリートの品質の調査および試験結果

表-5では、使用コンクリート材料(セメント、水、細骨材、粗骨材)についての調査結果を示している。

試験結果は表-7に示した通りである。また、コンクリートの試料分析から計算した配合推定結果を表示したものが表-8である。

表-7 コア-試料の試験結果

港名	地区名	単位容積重量 (kg/m <sup>3</sup> )		吸水率 (%)		平均中性化深さ (cm)	埋分濃度 (%)			圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> ) コア-供試体	透過速度 (cm/sec)	
		絶対法	収乾法	絶対法	負圧法		0~4cm φ	8~12cm φ	18~20cm φ			
飯田	—	2345	2347	2488	2440	3.94	3.91	4.75	0.12	0.13	0.12	307 307 288
		2346	2347	2440	2480	3.88	3.87	4.75	0.12	0.14	0.10	
		2189	2388	2388	2350	6.85	7.81	—	0.36	0.37	—	
		2191	2178	2345	2350	7.02	7.18	—	0.52	0.63	0.48	
七尾	—	2156	2320	2350	2350	7.94	7.94	7.79	0.25	0.55	—	—
		2176	2382	2382	2350	7.15	7.92	0.92	0.47	0.85	—	
		2187	2275	2275	2340	6.44	8.00	0.92	0.42	0.06	—	
		2124	2260	2260	2320	6.40	8.37	1.58	0.38	0.08	—	
滝	—	2105	2129	2251	2269	6.98	6.58	7.96	1.45	0.23	0.07	179
		2197	2325	2325	2340	5.88	7.87	0.54	0.37	0.08	—	
		2084	2236	2236	2380	7.29	7.13	1.82	0.21	0.08	—	
		2252	2349	2349	2380	4.82	7.13	0.05	0.23	0.10	—	
魚津	—	2325	2414	2414	2440	8.86	5.28	0.07	0.18	0.08	—	822 838 845 391
		2286	2314	2379	2400	4.09	3.77	0.14	0.26	0.11	0.08	
		2406	2314	2472	2470	2.76	4.48	0.26	0.24	0.08	0.14	
		2275	2367	2367	2380	4.07	6.38	0.26	0.42	0.13	—	
津	江戸磯	2339	2422	2422	2420	3.54	4.68	0.14	0.16	0.08	—	286 288 202
		2159	2317	2317	2290	7.80	8.54	—	0.66	0.185	0.195	
		2136	2131	2280	2288	6.87	7.21	3.84	0.205	0.150	0.147	
		2097	2253	2253	2330	7.46	7.94	3.57	0.085	0.127	0.153	
津	米津	2190	2286	2286	2410	4.88	9.25	0.62	0.212	0.130	0.098	189 188 200
		2134	2157	2236	2255	4.79	4.54	0.98	0.130	0.114	0.122	
		2148	2244	2244	2280	4.46	7.73	1.01	0.137	0.121	0.091	
		2240	2359	2359	2350	5.32	7.04	1.14	0.156	0.095	0.130	
宇治山田	仲社	2300	2248	2405	2358	4.58	5.18	7.34	1.10	0.121	0.095	281 281 277
		2188	2311	2311	2120	5.59	7.52	0.66	0.130	0.140	0.117	
		2323	2413	2413	2410	3.86	5.96	0.17	0.267	0.046	—	
		2285	2315	2378	2403	3.99	3.82	4.59	0.222	0.052	0.048	
浜島	浜島	2387	2421	2421	2410	8.61	5.22	0.16	0.326	—	—	315 356 849 822
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

注) 1) 試料の採取箇所はいずれも常時空中に露出している構造物の上面である。  
 2) コア-試料は、φ 10cm、長さ約 20cm  
 3) 現地構造物の試験結果である。  
 4) 構造物表面からの深さを示している。



表-8 コンクリート配合推定結果

港名	地区名	試料数	方法 A				方法 B			
			セメント (kg/m <sup>3</sup> )	水 (kg/m <sup>3</sup> )	骨材 (kg/m <sup>3</sup> )	W/C (%)	セメント (kg/m <sup>3</sup> )	水 (kg/m <sup>3</sup> )	骨材 (kg/m <sup>3</sup> )	W/C (%)
飯田		2	161	125	2152	78	162	107	2170	66
七尾		4	195	221	1917	115	197	196	1940	101
滝		5	219	223	1827	102	223	184	1862	82
魚津		6	172	90	2140	54	172	84	2146	49
津	江戸橋	3	124	176	1984	143	125	163	1996	131
津	米津	3	171	132	1953	78	173	106	1976	62
宇治山田	神社	3	172	144	2043	84	173	125	2060	72
浜島	浜島	3	240	138	2026	59	244	105	2056	44

注) コンクリートの配合推定は骨材量は不溶残分, セメント量は酸化カルシウムの定量から求めた。  
 水量は方法Aでは、100 - (不溶残分 + 酸化カルシウム) から計算し、方法Bでは、強熱減量  
 (600°C) から求めた。

#### 4.2 無筋コンクリート構造物の劣化状況の検討

##### (1) 飯田港護岸

石積上に打設されたコンクリート体と石積前面の腹付けコンクリートより成り立っている。コーポリング箇所は施工後ほぼ40年を経過した石積上のコンクリート体である。外観上、隅角部にはく離箇所も認められたが、全般的には長年月を経過しているにもかかわらず著しい損傷は観察されなかった。腹付けコンクリートの建設後の経過年数は、ほぼ25年であるが、写真-17で認められるように、表面のモルタル層は完全に流失し隅角部も欠損し丸みを帯びている状態である。当港は能登半島北端、富山湾に面し、波浪・潮風作用に直接さらされる。腹付けコンクリートは感潮部に位置し、これら作用と共に漂砂の摩耗による侵食作用も重畳し劣化が著しく進行したと推定することができるであろう。各所に豆板の形跡も見られるところから、施工に十分な配慮がなされていなかったことも劣化の有力原因であったと思われる。

石積上コンクリート体は、コーポリングによる試験結果から推察すると、特に低品質のコンクリートを使用したものではないようである。ほぼ40年を経過して依然として所要の供用性を維持している事実が、この判断を是認していると考えられる。長年月を経て中性化がほぼ0.1cmと表層に限定されている結果には注目する必要がある。

##### (2) 七尾港岸壁

七尾港奥部の静穏な水域に位置する岸壁である。写真-18に見られるように、法線方向の岸壁の前後の乱れは顕

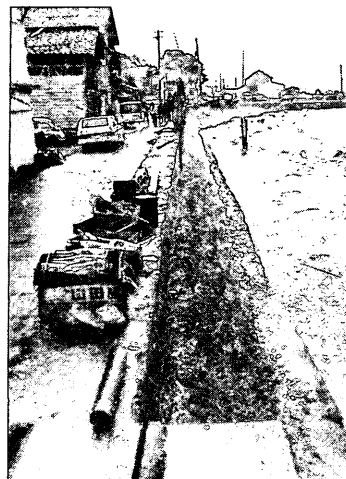


写真-17 飯田港護岸

著であるが、これは地盤沈下、背面土圧などの荷重条件の変化によるものであると考えられる。構造物上面のコンクリートは粗骨材の露出した箇所も観察されるが、設計時に算定した構造物の均衡条件の変化、これに起因する構造物自体の老朽化がコンクリート自体の劣化に卓越した要因であると思われる。

##### (3) 滝港護岸

写真-19に示すように、前面に根固め工を施した石積



写真-18 七尾港岸壁

護岸上に建設されたコンクリート体の防波護岸である。若狭湾の潮風・波浪の影響をうける構造物で、建設後ほぼ44年を経過している。上面はほぼ全域に亘ってモルタルがはく離し粗骨材が露出した状態であるが、背面は後にモルタルで補修したものかモルタル層の欠落箇所は観察されない。吸水率、平均中性化深さ共に大きな値を示し、空隙の多い低品質コンクリートであることが予想される。シュミットハンマーによる推定圧縮強度は $200\text{kg}/\text{cm}^2$ に達せず、水セメント比の推定もほぼ100%であって、この推測を裏付けるものと思われる。

#### (4) 魚津港護岸

海岸防波護岸として、粒径の大きな砂利海浜に設置されたプレキャスト部材である。構造物は写真-20に示すように富山湾に面して、常時潮風にさらされ波しぶきを受ける。吸水率、平均中性化深さ両者共に小さな値であるが、プレキャスト部材であることが一因と思われる。

#### (5) 津港江戸橋地区防波護岸

志登茂川河口に位置する静穏な自然条件下に構築された防波護岸であり、潮風は常時作用するが荒天時以外は波しぶきをかぶることは稀である。しかし、構造物側面は至る所豆板が観察され、上面も全面に亘りモルタル層がはく離し露出した骨材が見られる(写真-21)。単位容積重量は約 $2280\text{kg}/\text{m}^3$ であり、吸水率は7% (表乾法)を越える値を示しており、軟線りの低品質コンクリートを打込み十分に締め固めが実施されなかったものと推測される。平均中性化深さは施工条件に大きく影響されると考えられるが<sup>1)</sup>



写真-19 滝港護岸



写真-20 魚津港護岸

本構造物ではほぼ $4\text{cm}$ に達しておりこの推測を裏付けるものと解釈することができる。

#### (6) 津港米津地区防波護岸

比較的新しい構造物であり、穏やかな自然条件下の防波護岸である(写真-22)。建設時には波浪作用を受けていたと思われるが、対岸埋立地の造成後暫次堤防法尾付近が海砂で被覆され、現在コア採取地点はほぼ潮風のみを受ける。現地調査においては特にコンクリートの損傷は認められず、コア供試体の圧縮強度もほぼ $200\text{kg}/\text{cm}^2$ であった。

#### (7) 宇治山田港神社地区護岸

写真-23に示すように石積み護岸上に築造された胸壁



写真-21 津港江戸橋地区防波護岸



写真-22 津港米津地区防波護岸



写真-23 宇治山田港神社地区護岸



写真-24 浜島港浜島地区防波護岸

であり、前面は伊勢湾に面し海域は一般に静穏で、荒天時以外は波しぶきを受けない。外観状態も劣化のこん跡が認められず、コンクリートの試験結果は津港米津地区防波護岸におけると類似した結果であった。

#### (8) 浜島港浜島地区防波護岸

石積み護岸（下方はコンクリートブロック、上方は間知石）上に建設された胸壁である（写真-24）。前面は消波ブロックが設置され、石積み護岸は隅角部がはく落したコンクリートブロックが数多く見られる。前面海域は荒天時には波浪が高まり波浪・波しぶきを受けるが、常時はこれらの作用による影響は少ない。

胸壁側面は若干豆板なども観察されコンクリート打設時

の締め固めが不十分であったと思われるが、上面にはほとんど劣化の状態は認められない。吸水率、圧縮強度などの試験結果はほぼ良好な品質のコンクリートであることを裏付けているものと考えられる。

#### 4.3 単位容積重量、吸水率および平均中性化深さ

一般的傾向としてはコンクリートの劣化の著しい構造物ほど単位容積重量は小さい。4.2で述べたように、構造物表面のレイタンス層がはく離し骨材の露出した滝港、津港江戸橋地区の構造物の単位容積重量は表乾法でほぼ  $2270 \sim 2290 \text{ kg/m}^3$  であり、ほとんど劣化の認められない飯田港、魚津港、宇治山田港神社地区、浜島港浜島地区の構造物の単位容積重量  $2360 \sim 2440 \text{ kg/m}^3$  を下廻る。

しかし、津港米津地区に見られるように、表面的にあるいは強度的に所要の品質を保持していると考えられるコンクリート体であっても  $2300 \text{ kg/m}^3$  程度の単位容積重量を示す例もある。単位容積重量は、使用材料の比重、コンクリートの配合、施工方法（打ち込み、締め固め、養生）などの影響を受け、また、採取した試料に大きな空隙が含まれると見掛け上の値は低下すると思われる。

粗骨材の吸水量測定法に基いた吸水率と、これにさらに負圧を加えた試験法による吸水率を比較すると、津港米津地区の例を徐いてはほぼ  $1 \sim 2$  割の相違が生ずる。吸水率はコンクリート中の内部空隙を検討する一つの目安を与える数値と考えられポロシチーと一致しないことは当然である。従って、本測定値とポロシチーの関係は不明であるが、大胆な仮定のもとにその概略値を推定してみることにする。セメントペースト中の水セメント比の相違による内部空隙に関しては、W. Czernin<sup>14)</sup> に引用された H. Rüs ch の試験結果を参考とし、キャピラリー水、空隙がこれに相当するものとする。今、セメントの比重を  $3.15$  とし水とセメントの割合  $100\%$  におけるセメントペーストを考え、コンクリート中の骨材容積の割合に応じてこれを修正するものとする。表-8のコンクリートの配合推定結果からコンクリートのポロシチーを計算すると、飯田港で約  $7\%$ 、七尾港で約  $15\%$  となる。これらの数値は本試験結果における負圧法による吸水率のほぼ  $2$  倍に相当する。ただし、本計算においては長年月経過したコンクリート中のセメント粒子の水和度を前述したように  $100\%$  と仮定しており、また、経年による有難水酸化石灰の溶出あるいは施工条件によって生ずる空隙などの因子を考慮していない。これらの要因は当然ポロシチーに影響を及ぼすと考えられるが、一般的には、負圧法によって求められた吸水率はコンクリートのポロシチーの  $50\%$  以下の値を提示するものであると云うことができるであろう。

図-8はコア-試料によって得られたコンクリートの配

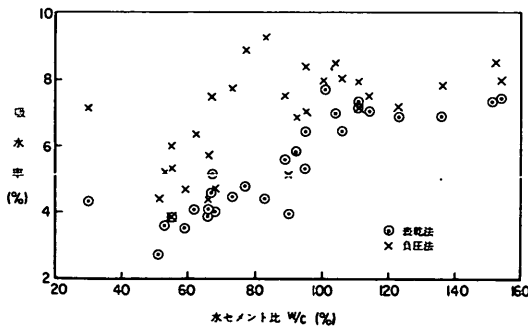


図-8 コア-試料の推定水セメント比と吸水率

合推定による水セメント比と、対応する吸水率を図示したものである。表乾法により求めた吸水率は水セメント比とほぼ直線的な関係を有し、水セメント比の小さなコンクリートほど密実なコンクリートであることを示しているものと思われる。これは表面観察ともある程度符号し、吸水率の大きいコンクリートほど表層の劣化の程度は顕著であった。

平均中性化深さは、極端に大きな値を示す例（津港江戸橋地区： $3.70 \text{ cm}$ ）、中性化がコンクリート表層に限定される例（飯田港： $0.12 \text{ cm}$ ，魚津港： $0.15 \text{ cm}$ ，浜島港浜島地区： $0.17 \text{ cm}$ ）などがあり、一般に測定値のバラツキが大きく、水セメント比と明確な関係を見出すことは困難である。著者が前回実施した比較的新しい構造物（建設後  $4 \sim 14$  年）の中性化試験結果<sup>1)</sup>では、平均中性化深さは  $0.3 \sim 0.4 \text{ cm}$  内外であったが、本試験結果においては建設後の経過年数に無関係に  $0.12 \sim 3.70 \text{ cm}$  の範囲にある。この事実は、前回の報告<sup>1)</sup>で述べた結論“コンクリートの施工条件が中性化深さに大きな影響を及ぼす”を裏付けているものと思われる。コンクリートの中性化は構造物表層部近辺に限定される現象であり、構造物表面より  $4 \text{ cm}$  までの試料の吸水率とそれに対応する平均中性化深さを図示したものが図-9である。本図から明確な傾向を見出すこ

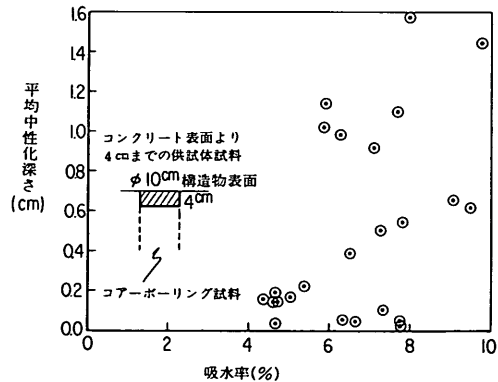


図-9 構造物表層部の吸水率（表乾法）と平均中性化深さ

とは困難であり、コンクリート表層のみずみち、ひびわれなどの欠陥箇所の影響も含まれると考えられる。

#### 4.4 コンクリート中の塩分量

コンクリート中の塩分量を試料の採取深さに類別して示したものが図-10である。本図から明らかなように、塩分量は必ずしも深さ方向に一様に減少しない場合が多く、コンクリート表面より  $1.8 \text{ cm}$  に至る箇所においても  $0.6\%$

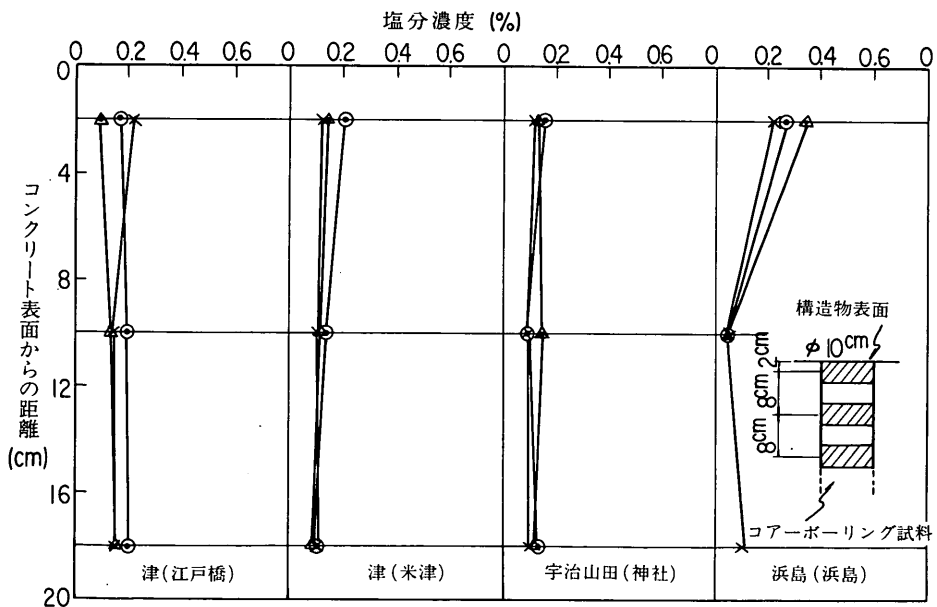
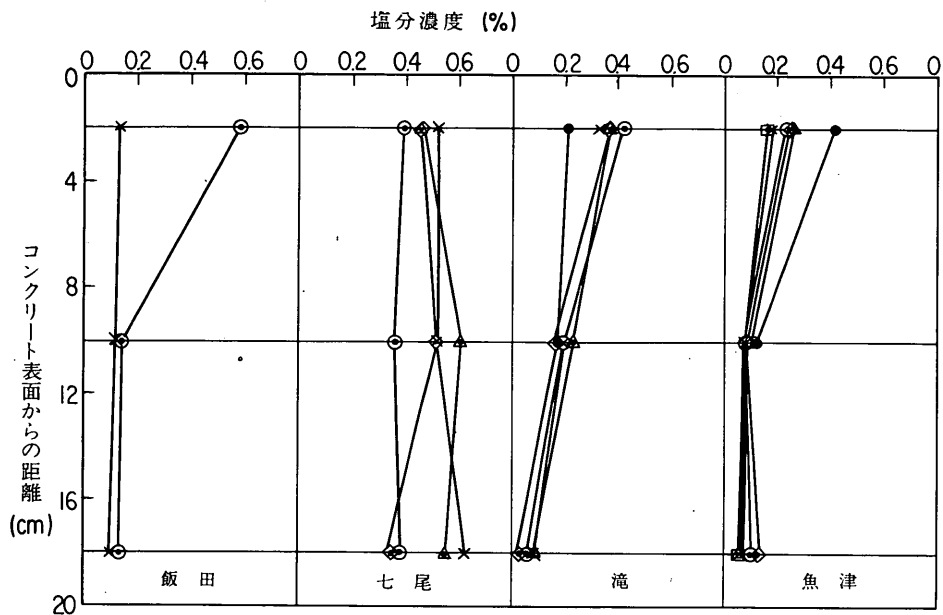


図-10 構造物表面からの深さによる塩分濃度の変化

程度の塩分の蓄積が見られる例もある。

北海道における架設後30～35年を経過した潮風にさらされた鉄筋コンクリートTげた橋の測定結果<sup>15)</sup>によると、たとえば、海側のはり下縁コンクリートの含有塩分量はほぼ0.5%であるが、はり側面から3～4cmでは約0.10～0.15%に減少するようである。しかし、常時潮風にさらされ波しぶきを受ける港湾・海岸構造物においては、これをさらに上廻る例が多く最大0.63%に達している。

海水を練りませ水として使用したと仮定すると、打設時のコンクリート中の塩分量はほぼ0.2%となる。さらに、海砂(塩分量約2.7%と想定)を細骨材として併用したと考えるとこの値は0.9%に高まる。従って、海岸線近辺の海砂を直接用いたとは考えられないが、七尾港の例では海水あるいは海岸線から離れた区域の海砂をコンクリート材料として使用したと予想することは必ずしも困難ではないであろう。

今回試験に供したコンクリート試料は構造物上面から採取されており、表面からの海水の浸透、コンクリート中の海水の滞留は容易である。乾燥・湿潤の繰り返し作用による水分の蒸発・海水の浸透が、コンクリート体深く高濃度の塩分の蓄積をもたらした原因と考えられる。

塩分量の測定値は、日本建築学会のコンクリート中の塩分量の限界値0.004%<sup>16)</sup>を大幅に上廻る結果を示している。塩分はコンクリートが乾燥湿潤作用を受けるとき軽く表面を分解するとも言われ<sup>4)</sup>、また、材令13週程度ではコンクリートの強度にほとんど影響を及ぼさないという試験結果も報告されている<sup>17)</sup>。ただし、塩分がコンクリート中に多大に蓄積している事実は、セメント硬化体を化学的に腐蝕すると言われている海水中の硫酸イオン、マグネシウムイオンが浸透していることを予想させる。しかし、現在に至るも海水の使用が原因でコンクリートが著るしく劣化したという報告はない。従って、塩分自体がコンクリートの全面的劣化ないし崩壊に有害な影響を及ぼす可能性は、他の要因(たとえば施工方法)が劣化に及ぼす影響に比較して少ないと考えることが妥当であろう。本試験結果においても、塩分量の多いコンクリートに顕著な強度の低下、材料の劣化を断定する根拠はないように思われる。

しかし、港湾・海岸環境中に建設される鉄筋コンクリート中の塩分量に関しては、無筋コンクリートの塩分量の影響に関する上述の考察を適用することは妥当ではない。日本建築学会の塩分量の限界値は鉄筋コンクリートを対象としたものであって、鉄筋コンクリート表面あるいはひびわれからの海水の侵入と塩分の蓄積は、コンクリートにおける内部鉄筋の防錆機能を低下させると考えられるからである。この点に関しては、今後さらに調査・実験を通して検

討する必要がある。

#### 4.5 圧縮強度および配合推定結果

表-7によると、コア-供試体の圧縮強度、シュミットハンマーによる推定圧縮強度は個々の構造物によって相違する。建設時の品質管理資料が散逸し当時のコンクリート強度と比較することはできないが、コア-供試体の圧縮強度で、200kg/cm<sup>2</sup>に達しない津港米津地区、宇治山田港神社地区の例もある。しかし、浜島港浜島地区のコンクリート強度は270kg/cm<sup>2</sup>であって、所要の水準を満足しているものと想定される。圧縮強度の低い構造物では、現地の表面観察においても表層の劣化が著るしく、極めて負配合のコンクリートを使用したと推定することができる。

昭和31年度に建設された津港米津地区、宇治山田港神社地区のコンクリートの示方配合調査結果によると、その配合割合は次の通りである。即ち、セメント220kg/m<sup>3</sup>、細骨材0.47m<sup>3</sup>、粗骨材0.94m<sup>3</sup>であり、表-1の各地域の海岸・港湾施設のコンクリートの示方配合調査結果と照応すると、単位水量として157kg/m<sup>3</sup>程度が使用されたものと推定することもできるであろう。骨材の単位容積重量は、粒形、粒度、最大寸法(粗骨材)、表面の乾湿状態、突き固め方法などによって相違するが、約1500kg/m<sup>3</sup>と想定して重量配合を推定し、表-8の結果と比較してみることとする。計算結果によると、単位骨材重量は約2120kg/m<sup>3</sup>であり、セメント、細粗骨材の比重をそれぞれ3.15、2.65と仮定して算定した容積は1.04m<sup>3</sup>であって、これらの数値をほぼ示方配合における各材料の単位重量と考えることができるであろう。計算された水セメント比およびセメント骨材重量比は、それぞれ71%、10.3%である。一方、配合推定結果による水セメント比およびセメント骨材重量比は、津港米津地区で78%および8.8%、宇治山田港神社地区で84%および8.5%であった。構造物コンクリート上層部は、施工条件が良好であっても材料分離によるぜい弱化は避け難く、下方コンクリートと比較し約10%強度が低下する<sup>3)</sup>。これは、水セメント比5%程度の増加に相当する。従って、津港米津地区のコンクリートは他の構造物と比較し、ほぼ良好な品質管理の基に施工が実施されたものと考えられるであろう。

図-11は、コンクリートの配合推定結果から得られたセメント水比(方法A)と、コア-試料の圧縮強度およびシュミットハンマーによる推定圧縮強度を図示したものである。図中には、土木学会<sup>18)</sup>およびセメント協会<sup>19)</sup>の提示するセメント水比と材令28日における圧縮強度の関係式を掲載した。土木学会の式は、材料の変動、計測誤差、締め固め、打ち込み、養生方法、標準供試体と構造物の相違など、圧縮強度に変動を与える因子を考慮してかなり安

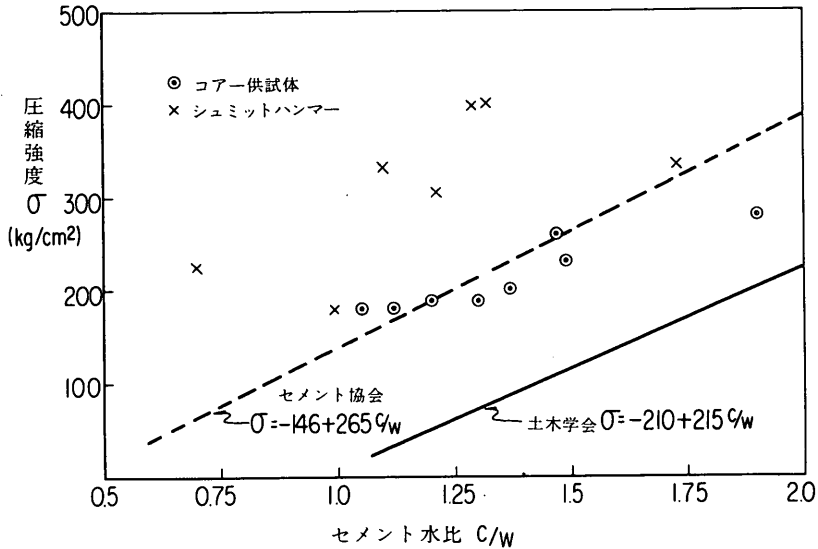


図-11 コア-試料の配合推定から得られたセメント水比と圧縮強度

全側に定められた式である。本図においても、土木学会の式は測定強度に比較し安全率の高い推定式であると考えられる。セメント協会が提示した式は、 $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ および $\phi 15 \times 30 \text{ cm}$ を用いた標準養生の試験条件下で導き出されたものである。材令、養生方法、試料の採取、水セメントなどの諸条件が相違するにもかかわらず、本式はコア-試料の圧縮強度試験結果と比較的によく一致する。コア-試料の圧縮強度試験を実施しなかった構造物に関し、セ

メント協会の式を適用し圧縮強度を推定すると、それぞれ、飯田港： $194 \text{ kg/cm}^2$ 、七尾港： $84 \text{ kg/cm}^2$ 、滝港： $114 \text{ kg/cm}^2$ 、魚津港： $345 \text{ kg/cm}^2$ 、津港江戸橋地区： $39 \text{ kg/cm}^2$ である。セメント協会式の試験条件から、セメント水比の小さなコンクリートに適用することは問題であるが、コンクリートの品質推定の一つの目安として考えることは妥当な方法と思われる。また、本計算結果は他の試験結果における評価と類似した傾向を示している。

### 5 コンクリートの劣化に対する評価

表-9 無筋コンクリートの劣化の種類

位置	表面状況	主要原因	誘起させる損傷	劣化の例
構造物上面	モルタルのはく離と骨材の露出	貧配合コンクリート、施工(打ち込み、締め固め、養生)不良 潮風、波しぶきによる外力作用	損傷箇所近辺コンクリートの波及的劣化	写真-3.12. 19.21.
構造物側面	モルタルのはく離	施工(締め固め)不良 潮風、波しぶきによる外力作用	損傷箇所近辺コンクリートの波及的劣化	写真-3.17.
	コールドジョイント部 および水平方向の コンクリートの消失	施工(打ち込み、締め固め)不良 貧配合コンクリート 潮風、波浪による外力作用	損傷箇所内部コンクリートの波及的劣化 外力作用による構造物の破壊	写真-10.11.
	コンクリート空洞	豆板(締め固め不良) 貧配合コンクリート 潮風、波浪による外力作用	損傷箇所近辺および内部 コンクリートの波及的劣化 背面土砂の吸い出し	写真-1.2. 8
	側面コンクリートの 全面的の流失	貧配合コンクリート、施工(打ち込み、締め固め、養生)不良 潮風、波浪による外力作用	構造部の自重低下による 崩壊(転倒、すべり出しなど) 背面土砂の吸い出し	写真-13
構造物全面	モルタルのはく離と骨材の露出	酸性液によるコンクリートの 化学的膨張、溶出	断面の減少による自重の低下 構造部の折損と機能の麻痺	写真-16

2.1および4.2で記述した無筋コンクリートの現地調査の結果から、コンクリートの箇所ごとに損傷の表面状況、主要原因などを取り纏めたものが表-9である。今回の調査では、感潮部あるいは陸上部を表面観察の対象としており、また調査地域も限定されており、これ以外の劣化状況例は含まれていない。個々の劣化程度は、コンクリートの品質、施工方法、外力作用、化学的腐蝕など複雑な要因の相乗作用によって変化するが、ここでは、主要原因と想定される事項のみを表示してある。

表-10では、コアボーリングにより試料を採取して各種のコンクリート試験を実施した8構造物に関し、劣化の程度の評価を試みた。判定基準は、コンクリートの諸特性から類推しておよその優劣度の範囲を想定し、さらに、それぞれの測定値が3段階に類別でき得ることを考慮して設定したものである。従って、この基準がただちにすべての既設構造物の劣化度の判定に、全面的に適用できる性質のものではない。なお、透過速度に関しては、ASTMに規定した基準を採用した。これらの項目は、極めて表面部の

表-10 コンクリート劣化の類別化に関する一手法

港名	現地調査による表面観察	単位容積重量	吸水率	平均中性化深さ	圧縮強度		透過速度
					コア供試体	シムットシマ	
飯田	○	○	○	○	(△)	△	
七尾	△	△	×	○	(×)		
滝	×	×	×	×	(×)	×	
魚津	○	○	○	○	(○)	○	
津(江戸橋)	×	×	×	×	(×)	△	×
津(米津)	○	×	△	△	△	△	△
宇治山田	○	△	△	△	△	○	○
浜島	○	○	○	○	○	○	○
判定基準	表面の骨材露出程度 ○なし △一部露出 ×全面露出	表乾法 ○ 2400kg/m <sup>3</sup> 以上 △ 2300~2400kg/m <sup>3</sup> × 2300kg/m <sup>3</sup> 以下	表乾法 ○ 4%以下 △ 4~6% × 6%以上	○ 0.5cm以下 △ 0.5~1cm × 1cm以上	○ 250 矚以上 △ 150~250 kg/cm <sup>2</sup> × 150 矚以下	○ 300 矚以上 △ 200~300 矚 × 200 矚以下	○ 3050~3660 △ 2130~3050 × 2130 以下

注) コア供試体における ( ) の記号は、コンクリートの配合推定結果から求めた W/C を用いた圧縮強度の計算結果から評価したものである。

コンクリートの品質に関連するもの(表面観察、平均中性化深さ)、および、表面よりある程度の深さの表層部までのコンクリートの品質を評価し得るもの(単位容積重量、吸水率、圧縮強度)などに類別される。

表-10によると、表面観察の評価は平均中性化深さの

評価とはほぼ類似した傾向を示しているが、これは上述した試料の採取深さの近似性に基づくものと考えられる。これらをさらに、単位容積重量などの評価と比較すると、良品質と推定されるコンクリートにおいてはほぼすべての項目が良好であり、劣化の顕著な構造物においてはその評価は



一様に劣る。しかし、中間領域のコンクリートにおいては個々に例外も認められ、数項目のみの評価から構造物の劣化の程度を判定することは困難である。

普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートの圧縮強度は、材令28日を100とすると、材令7日で72、材令91日で115、材令1年で131程度と言われている。材令28日におけるコンクリート中のセメントの水知度はほぼ50%であるから、経年と共に強度は増進すると予想されるが、コンクリートの接する環境条件によっては、有離石灰の溶出、水酸化石灰の炭酸化などの原因によりコンクリートがポーラスな状態となる。このような環境条件下においては、コンクリートの劣化が未水和セメント粒子の水和反応の継続による強度増加を上廻る事態も生ずる。しかし、良質材料の選択、妥当な配合設計、慎重な施工が順守されるならば、この強度逡減の程度も小さく、コンクリートの劣化は比較的構造物表層に限定されると考えられる。

海岸・港湾構造物の無筋コンクリート体は、転倒、滑動の二条件によって断面が決定される。コンクリートの劣化はそれに伴う、重量、強度の減少となって顕在化する。しかし、上述したように良品のコンクリートでは、これら品質の変化は構造物表層を対象とすることで十分であると思われる。無筋コンクリートが構造物として一体性を保持されている段階では、表層コンクリートの劣化が構造物の供用性を著しく低下させることはないと考えられる。

従って、コンクリートの強度は材料の所要の品質を保証する指標と考えることが妥当であり、この安全性を確保するためにコンクリートが一定以上の品質を有することは不可欠の要素である。年月の経過と共に構造物の供用性が低下し、あるいは機能を停止する例もあるが、荷重条件の変化に起因する状態が大部分である。これらは、設計時に考慮されなかった地盤沈下、あるいは背面土圧の変化などである。個々の構造物に関し建設地点の条件に応じてこれら不確定要因の比重は相違し、また、これらを定量的に推定することは極めて困難である。従って、無筋コンクリート構造物の維持・管理を適確に実施し、荷重条件の変化に対応して適宜補修工法を採用することが得策であろう。

## 6 あとがき

建設後15年～44年を経過した海岸・港湾構造物の現地調査、室内における各種試験を実施して、無筋コンクリート体の劣化の程度を検討した。本報告に取り上げた構造物は、特に劣化の顕著な無筋コンクリートを主対象としたものであって、この種の構造物が現在海岸・港湾構造物として全面的に供用されているわけではない。

本調査・試験の範囲内においては、現行の港湾構造物設計基準に規定するコンクリートの所要品質を選定し、慎重な品質管理が順守されたならば、現在の海岸・港湾環境条件下において、コンクリート自体の劣化に起因する構造物の供用性の低下ないし機能の停止に至る例は、極めて稀であると考えられる。荷重条件ないし安全係数を適確に規定すること、あるいは、補修を適宜実施する作業が、コンクリートの劣化による構造物の劣化の検討に対しより重要な事項であると思われる。

しかし、今後建設の必要性が高まると予想される厳しい環境条件下の構造物、凍結・融解作用を受ける過酷な自然条件下の構造物、砕波あるいは汀線地帯における厳しい物理作用を受け劣化する構造物などのコンクリートの劣化に関しては本文では検討していない。また、特殊な海域下における化学的腐蝕に関しても、一例を紹介したにすぎない。これらの状況については、今後さらに検討しコンクリートの劣化を明らかにする必要がある。

本調査・試験結果から今後に残された問題点のいくつかを指摘することができる。前述した、さらに過酷な環境条件下のコンクリートの劣化を検討することもその一つである。また、潮風、波浪の作用を受ける海岸地帯に建設された構造物においては、高濃度の塩分が蓄積されていることが明白となった。これは、鉄筋コンクリートの耐久性の適確な評価に、積極的な推進を提起するものと思われる。すなわち、鉄筋コンクリート体中の塩分の蓄積とこれが内部鉄筋の腐蝕に及ぼす影響である。鉄筋コンクリート体においては、局所的な損傷であっても構造物の耐力の減退を招来し、あるいは、破壊に至らしめる危険性は、無筋コンクリートに比較しさらに大きいと考えるからである。現在、当研究所においてはこの種の実験の一部を継続中であるが、今後、現地調査を含めて問題点の積極的な解明に取り組む体制が必要であると思われる。

## 参考文献

- 1) 関 博, “海水の作用を受けるコンクリートの中  
性化について”, 土木学会論文報告集, 第181号,  
pp. 91~99, 1970年9月
- 2) 岸谷孝一, “鉄筋コンクリート造における水平打継  
目の耐久性に関する研究(促進試験による検討)”,  
日本建築学会論文報告集, №60, pp. 101~104,  
1958年10月.
- 3) 関 博, 赤塚雄三, “コンクリート柱に水平に埋  
込んだ異形鉄筋の付着強度”, 土木学会論文報告集,  
第165号, pp. 45~51, 1969年5月,
- 4) 近藤泰夫, 坂 静雄編, “コンクリート工学ハンド  
ブック”, 朝倉書店, 1173 pp., 1965年10月
- 5) 岸谷孝一, “コンクリートの化学的腐蝕について  
(特に化学工場におけるコンクリートの腐蝕を中心と  
して)”, 建築雑誌, №804, pp. 9~11,  
1953年.
- 6) 宮沢 清, 松崎安宏, “モルタルの耐酸性について”  
セメント技術年報, №XIII, pp. 213~225,  
1959年.
- 7) 波多野一郎, “モルタルの化学的腐蝕について”,  
日本建築学会関東支部第15回研究会, pp. 1~3,  
1954年1月.
- 8) 大浜文彦, “2, 3の化学肥料, 酸および海水の作用  
をうけた高炉セメントコンクリートの強度と耐摩耗性  
の変化”, セメント・コンクリート, №198,  
pp. 24~27, 1963年8月.
- 9) 児玉武三, “モルタルおよびコンクリートの耐酸性  
について(第1報)”, セメント技術年報, №VI  
pp. 168~175, 1953年5月.
- 10) Bailey Tremper, “The Effect of Acid  
Waters on Concrete”, ACI Journal ,  
Vol. 28, №1, pp. 1~32, 1931年9月.
- 11) 堀口孝男, “東京湾の港湾区域における汚染”,  
第18回海岸工学講演会論文集, pp. 329~335,  
1971年10月.
- 12) セメント協会コンクリート専門委員会, “硬化コンク  
リートの配合推定に関する共同試験報告”, №F-18  
pp. 354~411, 1967年9月.
- 13) セメント協会コンクリート専門委員会, “硬化コン  
クリートの配合推定に関する共同試験報告”, №F-  
23, 29 pp., 1971年3月.
- 14) W. Czernin 徳根吉郎訳, “セメント・コンクリ  
ート化学”, 技報堂, 216 pp., 1969年12月.
- 15) 前川静雄, 藤井 卓, 太田利隆, “長年月を経た鉄  
筋コンクリート橋の調査”, セメント・コンクリート  
№299, pp. 15~21, 1971年4月.
- 16) 日本建築学会, “建築工事標準仕様書・同解説,  
JASS 5 鉄筋コンクリート工事”, 599 pp.,  
1969年5月.
- 17) 岸谷孝一, “海砂の鉄筋コンクリート工事への使用  
に関する研究, その12 炭酸ガスによるコンクリ  
ートの中性化の影響について”, 日本建築学会関東支部  
第19回研究発表会, pp. 25~28, 1956年2月.
- 18) 土木学会, “無筋コンクリート標準示方書”, 昭和  
42年度版.
- 19) セメント協会コンクリート専門委員会, “各種のセ  
メントを用いたコンクリートの圧縮強度に関する共同  
試験報告”, №F-14, 1969年6月.

港湾技研資料 No. 142

1972・6

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所  
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 株式会社 東京プリント

Published by the Port and Harbour Research Institute  
Nagase, Yokosuka, Japan.