

土 木 研 究 所 資 料

第 2 1 7 4 号

コンクリート構造物の塩害に関する文献調査抄訳集

昭和60年 3 月

建 設 省 土 木 研 究 所



「Copyright © (1 9 8 5) by P.W.R.I

All rights reserved. No part of book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。 」

I S S N 0386-5878
土木研究所資料 第2174号
マイクロフィルム 第 号

土 木 研 究 所 資 料

第 2 1 7 4 号

コンクリート構造物の塩害に関する文献調査抄訳集

山内幸裕 片脇清士
丹野 弘 平山伸司

要 旨

海岸線付近のコンクリート構造物の塩害に関する調査研究に資する目的で、海外の塩害に関する既往の文献を収集・整理したものである。

キーワード：塩害，防食，補修・補強，海岸構造物，文献調査，
コンクリート構造物

はじめ

本報告は、近年問題になっているコンクリート構造物の塩分の浸透による鉄筋の腐食に関して焦点をあて、諸外国の実態及び補修・補強事例について収集整理したものである。

対象文献は、特に最近報告されたものに限り、雑誌類、シンポジウム報告、各種基準類等約500編を選定した。〔資料〕

選定した文献のうち、重複した文献内容、著者については削除し、1.実態調査、2.腐食メカニズム、3.防食工法、4.研究計画、5.補修補強事例、6.その他 の6項目について約100編の文献について抄訳を完成させた。〔文献抄訳報告書〕

本報告は、上記資料をもとに、さらに情報の取捨選択を行ない、意見の集約化を図ったものである。

本報告書が今後の調査研究の一助となれば幸いである。

なお、この文献抄訳集をとりまとめるにあたり、PC建設業協会 長井健雄氏、八田吉弘氏の両氏には、抄訳のとりまとめに関して多大な御甚力をいただいたので、ここに深謝する次第である。

昭和60年3月

建設省	土木研究所	企画部	橋梁計画官 (現：阪神高速道路公団)	山内幸裕
		地質化学部	化学研究室	片勝清士
		〃	コンクリート研究室	丹野弘
		構造橋梁部	橋梁研究室 (現：北陸地方建設局)	平山伸司

目 次

始 め に

1. 被 害 調 査	1
2. 腐食メカニズム	11
3. 防 食 工 法	24
3-1 防食工法の種類と特徴	24
3-2 防食工法に関する試験	28
3-3 各防食工法に関する試験結果	29
4. 研 究 計 画	42
5. 補修, 補強及び防食の事例	49
5-1 海 洋 構 造 物	49
5-2 棧 橋	51
5-3 海洋環境下の橋梁	55
5-4 コンクリート床版	56
5-5 そ の 他	60
5-6 コンクリート橋の補修・補強	63
6. そ の 他	73
6-1 非 破 壊 試 験	73
6-2 各 種 基 準	79
7. 今 後 の 課 題	91
終 わ り に	93
文献出典一覧表	95

1 被 害 調 査

本章では、各国でのコンクリート構造物の塩害の被害調査と概要を発表年代順に報告する。個々の被害事例については、後章でふれることとする。

抄訳 №1 (R. D. Browne)

本論文は北海油田用海洋構造物の設計資料を得るために、多年にわたって文献調査等を行ってきたものをまとめたものである。

既存構造物の調査として燈台、海堡、防波堤、貯油タンク、浮遊構造物等について行なわれたものを収録している。英国諸島における燈台・海堡は55年以上経過した現在も損傷を受けていない。

また、戦時中に建設されたコンクリート船は現在も使用されており、建造後25年以上経過したもののほとんどが劣化の兆候がない。ソ連における鉄筋コンクリート製の浮ドックが40年間稼動し、バルチック海での凍結・融解の繰返し、黒海での乾燥、高気温にもかかわらず、広範な調査の結果、劣化のきざしもないことが分った。

以上のことから、著者は耐久性と防食上の助言として以下の通り記している。

- 1) セメントの C_3A を8%以下にすること。
- 2) 単位セメント量 $350\text{Kg}/\text{m}^3$ とすること。
- 3) 水セメント比を0.5以下とすること。
- 4) AEコンクリートとすること。
- 5) かぶり厚を50～70mmとし、締固めを十分すること。
- 6) 満潮線より上方にあるパイルや梁等の小さな断面部材に対しては防食手段を講ずることが望ましい。

抄訳 №2 (P. Kumar Mehta)

本論文は、海洋コンクリート構造物の耐久性について、総説しているものである。表1-1に各国での被害調査結果を記す。特に、デンマーク、ノルウェーでは沿岸構造物の広範囲な調査が行なわれた。デンマークでは、約40%が全体的な劣化を示し、ノルウェーでは飛沫帯にあるコンクリート柱のうち10%以上の断面欠損をしているものが34%、梁は約20%が鉄筋腐食のため補修工事を必要としていた。

表 - 1.1 各国での沿岸構造物の被害調査

構 造 物 の 履 歴	調 査 結 果
デンマーク 材令が20～50年達した、デンマークの沿岸構造物・1953～1955年に調査された431の構造物を含む。調査したものうち、劣化が激しい構造物はユトランドにあり、以下に示す。 (i) Oddesund 橋ピア-67 ケーソン部に温度応力による初期ひびわれの発生が認められた。これが、ケーソンの壁と中埋めのマスコンクリートへの水分の浸透を許した。供用開始後8年で全般的な補修が行なわれた。 (ii) 北ユトランドの高速道路橋 平均海面付近に、深刻なひびわれとコンクリートの剥落が生じ、ピアが典型的な砂時計型を成していた。この部分のコンクリートは劣化が激しかった。鉄筋の腐食が随所に見られ、主桁にも発生していると判断された。 (iii) Groin 71, Lim Fiord の北側堡 貧配合コンクリートブロック ($220\text{kg}/\text{m}^3$) が、種々の作用を受けている。即ち、強風にさらされる、乾湿の繰り返し、高塩分雰囲気、凍結融解、砂利、砂による衝撃、である。20年経過後、海水中にあったいくつかのブロックが消失した。 G.M. Idorn 「デンマークにおけるコンクリート 構造物の耐久性」デンマーク工科大学博士論文 1967年	沿岸構造物のうち、約40%が全体的な劣化を示していた。そして、約35%が、深刻な表面被害から、わずかな劣化に至るまでの被害を示していた。 Oddesund 橋から採取したコンクリート供試体について劣化に関する実験を行なったところ、干満帯より下方では、セメントの分解と Sulphate attack による強度の低下が認められ、干満帯より上方では、凍結融解作用と同様に、アルカリ骨材反応によるひびわれが認められた。セメント分解による生成物は、aragonite, ettringite, 石コウ, brucite 及びアルカリシリカゲルであった。 高速道路橋のピアコンクリートに関する実験から低品質のコンクリート (W/C が高い) の存在がわかった。全般的なコンクリート表面剥離の徴候と鉄筋の深刻な腐食は、初期の有害作用一例え、凍結融解作用やアルカリ骨材反応が重ね合ったためである。 Groin 71 の堡で激しく劣化したコンクリートブロックについて調査した結果、ブロックは、非常に弱くなっており、また骨材粒子の結合がゆるんでいた。 アルカリシリカゲルの他に、石コウと brucite の存在が認められた。
ノルウェー 1962～1964年に、ノルウェーの海岸線に沿って建設されている716のコンクリート構造物が調査された。構造物の60%は細い柱を有する鉄筋コンクリート埠頭であり、トレミ管を用いて海水中でコンクリート打設されている。埠頭は、梁と床版から成っているタイプが大部分を占めている。調査した時点では、構造物の約2/3が材令20～50年であった。 O.E. Gjorv 「ノルウェーの港湾にある鉄筋コンクリート埠頭の耐久性」The Norwegian Committee on Concrete in Sea Water 1968年	低潮位より下方と、高潮位より上方では、コンクリート柱は全般的に良好な状態にあった。飛沫帯では、調査したコンクリート柱のうち、約50%が良好な状態にあったが、30%以上の断面欠損を生じたものが14%、10～30%の断面欠損を生じたものが24%であった。デッキを形成しているスラブは、全般的に良好な状態にあるが、梁については、その20%が、鉄筋腐食による被害が大きく、補修工事を必要としている。干満帯にある柱の劣化は、品質の低いコンクリートに凍結作用が生じたのが主な原因である。
カナダ 1913年に建設された第2 棧橋は、直径60cmの鉄筋コンクリートパイプ1801本で支持されている。コンクリートは、C_3A含有量12%のポルトランドセメントを用い、配合比は1:1.5:3である。干満帯にあるコンクリートは木製ジャケットにより保護されている。 D.C. Tibbetts, 「海水中にあるコンクリートの性能 - Nova Scotia Halifax の例」 Proc. Thorvaldson Symp., 1968年	使用開始後17年経過した1930年に、主桁、橋梁、干満帯より上方の柱、さらにスラブ下面の表面積の50%で、あちこちにコンクリートの剥落と鉄筋が露出しているのがわかった。このため、全構造物で5100m^2の補修が必要となった。
アメリカ 1912年, Los Angeles 港に建設されたコンクリート埠頭 (全長760 m) の支柱に用いられたプレキャスト鉄筋コンクリートパイプ。 著者 C.M. Wakemanら 出典 J. of A.C.I., Vol. 54, 1958年	施工後12年経過したところ、数本のパイプに軸方向のひびわれが発生しはじめた。ひびわれは、干満帯の上方から発生し、上部へ向かって進行している。劣化は急速に進行し、最終的には、ぼろぼろにくずれたり、剥落していた。干満帯以下のコンクリートは健全であった。硫酸塩の作用により生じた亀裂を通して浸透する海水のため鉄筋が腐食し、これが、干満帯上方部のコンクリート剥落の主要な原因と考えられる。
アメリカ 1912年に建設された San Francisco フェリービルのコンクリート構造物。C_3Aを14～17%含んだタイプIのポルトランドセメントが使用され、単位セメント量 $395\text{kg}/\text{m}^3$、セメント・骨材の容積比は1:5である。 (a) プレキャストコンクリート円柱ジャケット (棧橋17) (b) 現場打コンクリート円柱 (棧橋30, 39) (c) 現場打コンクリート円柱及び橋梁 (棧橋26, 28) 著者 P.J. Fluss, S.S. Gorman 出典 J. of A.C.I., Vol. 54, 1958年	使用開始後46年後、(a)は非常に良好な状態にあることが確認された。また、(b)に用いられたパイプのうち、90%が良好な状態にあることがわかった。(c)では、全パイプ中、20～30%のものが干満帯上部に被害を受けており、桁高の高い橋梁の約35%が、梁下面と側面の一部分に表面ひびわれと鉄筋腐食によるコンクリートの剥落の被害を受けていた。荷重によるたわみのため、微少ひびわれが発生して、鉄筋が露出され海水による腐食作用を受けたものと考えられる。構造物全体にわたり、同一品質のコンクリートが使用されているにもかかわらずその挙動が異なるのは、施工不良が原因していると思われる。

以上の被害調査の結果から、著者は海洋コンクリート構造物の劣化について図 1-1 のように模式化している。またコンクリートの耐久性に及ぼす最も重要な要因は透水性であり、透水性を高くする不適当な配合、悪い施工、コンクリートのひびわれについて特に注意が必要であるとしている。

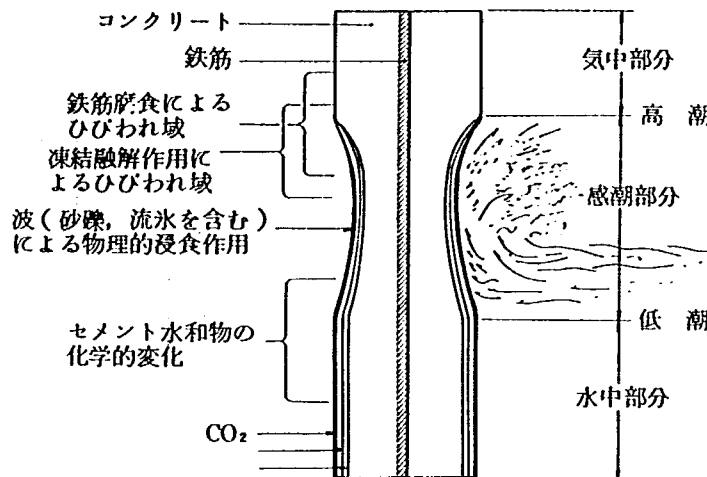


図 - 1.1 海洋コンクリート構造物の劣化図

抄訳 № 3 (J. G. Wiebenga)

本論文は、オランダ北海沿岸における 64 のコンクリート構造物（材令 3 ～ 63 年）についての実態調査結果を報告したものである。対象構造物は水門、棧橋、埠頭、荷上げ場等である。調査は目視、かぶり、中性化の測定、コア採取による材料試験等が行なわれ、結果は以下の通りである。

- 1) 全体の 88% (56ヶ所) は被害がなく、30 年以下のものには被害はなかった。
- 2) 鉄筋腐食は、セメント量に関係なく、かぶりが小さいもの (45mm 以下)、古い材令の構造物に発生した。原因はコンクリートへの海水の塩分浸透によるものである。
- 3) 塩分の最大浸透深さは、主に曝露期間やコンクリートの空隙比に関係する。ひびわれの近傍で塩分が深く浸透した。
- 4) 中性化深さは、飛沫帯では古い材令や多孔性のものであっても小さかった。

なお、オランダの海岸構造物は主に高炉スラグコンクリートを用いている。

抄訳 № 4 (F. J. Dyton)

本論文は、イギリスの海岸構造物（主に棧橋）の被害及び補修工法について記述したものである。補修工法については後述する。

被害事例は 7ヶ所である。いずれも RC 構造物であり、その被害のほとんどが、海水の塩分による鉄筋腐食が原因している。被害の特徴を列挙すると以下の通りとなる。

- 1) 海岸構造物の被害は主に電気化学的作用による鉄筋腐食によるものであり、特に飛沫帯に集中して生じている。

- 2) 床版支持梁の下面の被害が最もひどく、橋脚にも被害が生じている。
- 3) 補修は、建造後20～30年程度で行っている。

抄訳 №5 (J. R. Van Daver)

本論文は、アメリカ合衆国におけるコンクリート橋床版の被害の実態調査を基に、各種試験方法及び防食工法等をまとめたものである。

1960年代から除氷剤が広く用いられるようになったため、塩化物による鉄筋の腐食について問題となり現在、コンクリート橋床版の維持補修費は年間7000万ドルにものぼっている。

床版の調査は1970～1972年に43州473個の床板について行れた。またかぶりについても1971年に17州62橋の調査を行っている。結果は以下の通りである。

1) 電位差が -0.35 V 以下であれば腐食しているとしてよい。

2) 設計かぶりが大きくなると、実際には下回るケースが多くなる。 図 - 1.2 目視観察と電位の読みの比較

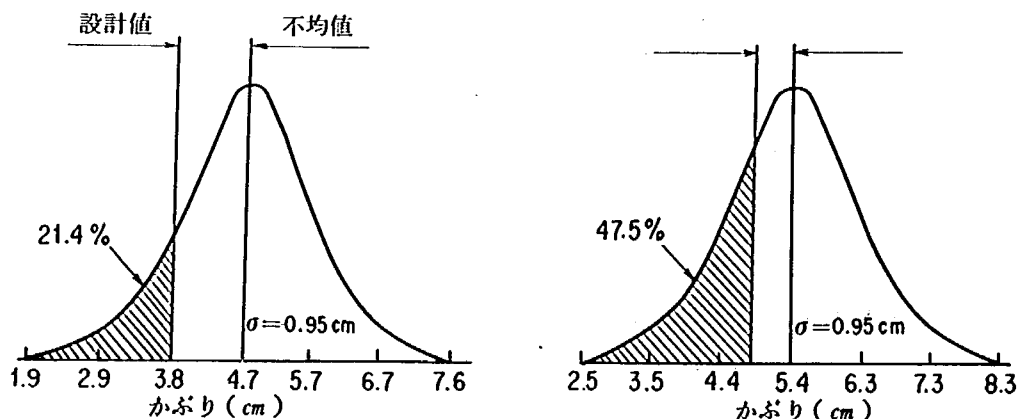
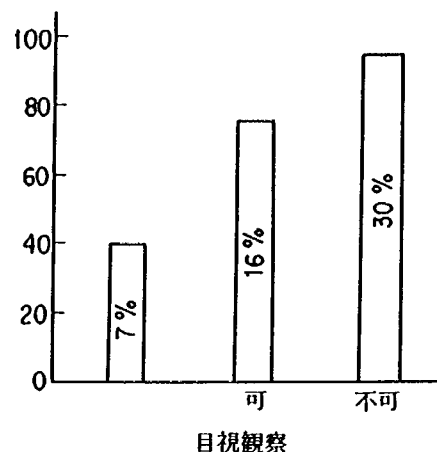


図 - 1.3 設計かぶりと実測値

抄訳 №6 (F. Leohardt)

本論文は、西ドイツにおけるコンクリート橋の損傷の現状についてまとめたものである。西ドイツでは過去35年間にPC橋を約30,000橋建設してきた。最近約500～600橋に損傷がみられ、特に40橋の被害が著しく補修費用は2000万DMにも達する。

損傷の種類と原因は以下の通りである。

- 1) 最も多い損傷は、寒冷地における除氷剤による鉄筋の腐食である。
- 2) PC桁の圧縮部に荷重以外のその他の作用によってひびわれが生じた。
- 3) コンクリートのかぶりが不十分で中性化によって鉄筋がさびた。
- 4) グラウトの不十分により、PC鋼材が腐食した。
- 5) 設計や配筋上のミス（特にPCテンドン部など）による局部的損傷。
- 6) 伸縮目地、支承の損傷。

抄訳 № 7 (D. Robe)

本論文は、西独ニーダーザクセン州の道路橋の維持管理機構と1978～1979年に実施されたRC・PC橋の調査結果について報告している。

RC橋(1066橋)、PC橋(133橋)の調査結果は以下の通りである。

- 1) 44.5% で床版及び塗装に損傷, うちひびわれがもっとも多い。
- 2) 25.5% で防水層の不備
- 3) 11.5% が施工不備とジャンカ
- 4) 18.0% が露出鉄筋(上部工)
- 5) 13.7% が高欄かさ木と地覆目地に損傷
- 6) コンクリート高欄の17.7%で凍結及び凍結防止剤による被害

抄訳 № 8 (H. J. Fromm)

カナダにおける橋梁床版の腐食問題について、被害の実態と研究の成果を報告したものである。被害は10年間の間に注目されてきており、寒冷・乾燥地域の被害よりも、あまり寒くない多湿地域(Ontario, Quebecおよびその他の沿岸各州)での被害が最も多い。

その外に最近では橋脚頭部と柱にも被害が見られる。

被害調査の結果、以下のことが明きらかになった。

- 1) 塩化物濃度は0.025%を超えれば腐食が始まる。
- 2) 塩分が混入するとpH値が、12.8から11.5まで下がり腐食する。
- 3) ほとんどの被害はかぶりが50mm以下の場所に生ずる。

特にかぶりが小さい個所においてその被害状況が激しい。

以上のことからオンタリオ州での橋梁床版に対する規定は、かぶり64mm±12mm, 表面より10cm以内はエポキシ塗装鉄筋を使用し、防水層を設けることとなっている。

抄訳 № 9 (Rasheeduzzafar, Fahd H. Dokhil)

本論文は、ペルシャ湾沿岸(サウジアラビア)にある住宅用コンクリート構造物の劣化に関する報告である。かぶりの実測、劣化状態を下图に示す。

劣化の特定形態

1. 破砕面と剝落

破砕面(Fracture Planes)は剝落のはじまりであり、金属鈍器で打撃を加えたときに発する音で検出される。(168ヶ所)

コンクリートの剝落が観察された箇所では、その広さ、深さ、さらにかぶり厚を計測した。(168ヶ所中76ヶ所)

全調査表面積(1115m²)中、190m²で、コンクリートの剝落が観察され、その深さは6mm～25mmに変化していた。

図1-4はコンクリート剝落部の鉄筋かぶり厚を分類したもので、うち68%がかぶり12.5mm

以下、53%が9.5mm以下、24%が6.4mm以下であり、何と9.2%のものがほとんどかぶり'0'であることを示している。

図1-5は部分的にコンクリートの剝落が生じているフロースラブのかぶり厚測定結果であるが、コンクリートの剝落が生じているのは、かぶり厚が不足している部分である。

これらのかぶり厚は当然仕様書を満足しておらず、施工管理と検査が充分でなかったためである。

かぶり厚が不足しているため、鉄筋が腐食し易く、鉄筋の腐食より、コンクリートが剝落している。

・ひびわれ状態

コンクリートが剝落した部分では、鉄筋腐食による鉄筋の容積膨張が原因となった膨張性のひびわれが発生している。調査した76ヶ所中、74ヶ所で、この種のひびわれが検出され、しかも、配置した鉄筋に沿っている。

一般に、これらのひびわれは非常に幅の狭いものから、幅の広いものに変化しており、普通は鉄筋に沿って発生している。

写真-6(右)は、コンクリートの剝落の始まりを示す。錆の発生を示している。

ひびわれには上に示した鉄筋腐食と直接関連するもの以外にコンクリート打設後数時間で発生するものがある。これらのひびわれは、塑性収縮に起因するもので、鉄筋による拘束、セメント硬化熱、乾燥収縮が原因である。

これらの初期ひびわれはコンクリートの材令とともに複雑なものとなり、古い構造物では、鉄筋腐食によるひびわれと区別することはむづかしい。よって施工後、1年以内の構造物について、初期ひびわれの調査を行なった。調査は52ヶ

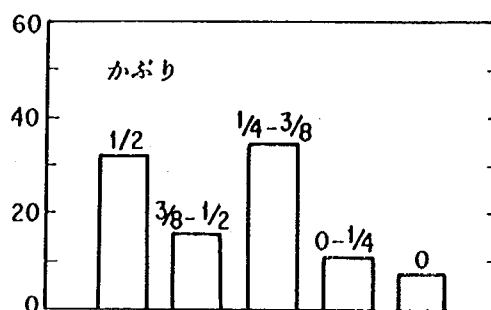


図-1.4 コンクリート剝落部の鉄筋かぶり分布

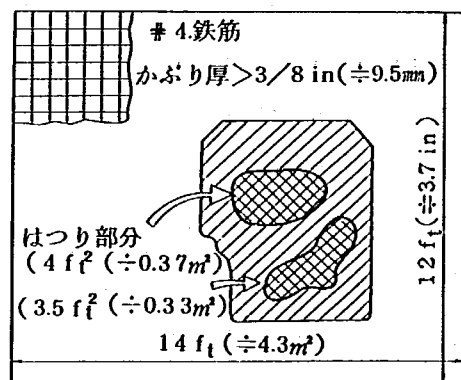


図-1.5 不適当なかぶりによるコンクリート剝落



図-1.6 腐食生成物の膨張圧によるひびわれに先立つ錆の発生。剝落とひびわれがいくつか見える。

所で行ない、調査面積は560 m²であり、うち12ヶ所は、打設後3日以内で調査した。

調査は、ひびわれ長さ、ひびわれ本数、ひびわれ巾の3種について行なっている。

調査対象表面積560 m²中1060本のひびわれが観測され、全長525 mであった。

図-1.6 (右) に、被害程度によりひびわれを分類している。

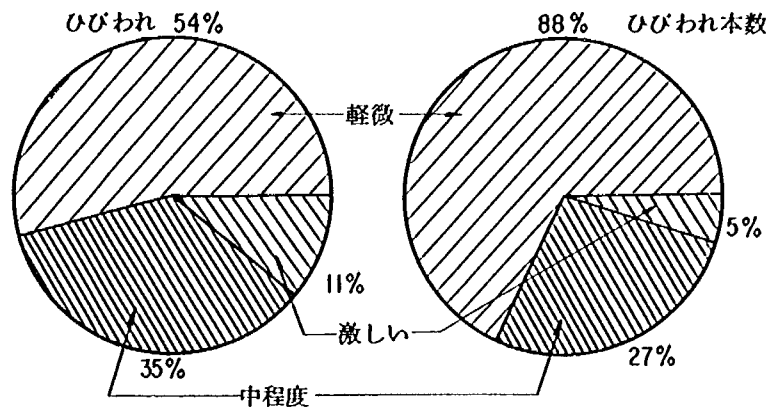


図- 1.7 被害程度によるひびわれの分類

被害調査の結果は以下の通りである。

調査概要

調査地域

Alkhobar	} ラーメン構造物 42棟
Dhahran	
Dammam	

調査構造物の完成年度による分類

1960 ~ 1964	58棟
(1965 ~ 1974	4棟

表- 1.2 劣化の分布状態 (全観測数 168ヶ所)

劣化のタイプ	考えられる原因	発 生		備 考
		発生数	比率(%)	
(i) 鋼材の腐食	品質不良のコンクリートにより促進された塩化物の作用	76	45	全観測値は(i)に含まれる。 観測値16ヶは、(i), (ii)に含まれる。
(ii) コンクリートの剝落	鋼材の腐食	68	40	
(iii) 表面モルタルの劣化	塩化物による風化作用 硫酸塩による化学作用 すりへり作用	72	43	
(iv) 縞状のひびわれ	骨材セメント反応	4	2.4	

被害調査及び室内試験から以下のことが明らかになった。

- 1) 調査構造物のうち48%が不健全であるが、同一年代に施工したもののでも、良好なものと悪い

ものが隣り合せにあり、設計・施工の良否にも関係ある。

2) 被害を受けた構造物は塩分が高い濃度を示した。

3) 鉄筋腐食の最大の原因はかぶり不足である。

抄訳 № 10 (F. D. Bresford, D. W. S. Ho)

本論文は、鉄筋腐食とコンクリートの被害についての関連について一般的に報告している。特にオーストラリアの被害について述べているものでない。

抄訳 № 11 (A. Hofspy, P. S. Hafskjold)

本論文はノルウェーでの材令 35 ~ 65 年の 4 艘のコンクリート船の被害調査の結果を報告したものである。

結論として、材料、構造型式、施工法さえ良ければ、薄肉構造 (RC) でも海洋環境下で十分な耐久性を有することが得られている。

なお上記コンクリート船のうち、コンクリート強度の小さい箇所、場所打ち部は腐食している。

抄訳 № 12 (Morris Schupack)

本論文はボンド、アンボンド方式の腐食事例を収録・整理したものである。

直接塩害とは関係ないが 1950 年 ~ 1977 年までに使用鋼材約 3000 万本に対し、腐食による被害例は 28 件あり、その比率は 0.0007% (200 本) である。28 件の被害例を表 1-3 に示す。うち 10 件が橋梁の被害事例である。

またカリフォルニア州の実橋のグラウト調査についても報告しているが、その結果は良好であった。

ま と め

主な被害調査をまとめると以下の通りとなる。

国 名	状 況	特 記 事 項
デンマーク	材令 20~50 年に達した沿岸構造物の調査	約 40% が劣化
ノルウェー	1962~1964 年 沿岸構造物の全国調査 (716 個) (2/3 が材令 20 ~ 50 年)	約 38% が劣化している。スラブより梁の鉄筋腐食がはなはだしい。
オランダ	北海沿岸の 64 のコンクリート構造物について調査 (材令 3 ~ 63 年)	全体の約 12% が劣化 被害は①材令 30 年以上 ②かぶり 45mm 以下に生じている。
イギリス	7ヶ所の栈橋を調査	被害は 1.飛沫帯に集中 2.床版下面支持梁 橋脚にも被害が生じている。
カナダ	除氷剤による床版の鉄筋腐食の被害調査	かぶり 50mm 以下で被害が生じている。

海からの波しぶき、潮風を発生源とするコンクリート構造物の塩害は世界各地で生じている。ほぼ共通的なことをまとめると次の通りとなる。

- 1) 被害は飛沫帯に集中しており、特に梁部に損傷を受ける場合が多い。さらに進むと橋脚に損傷を受け始める。
- 2) 材令 20 年前後から被害が顕著になる。
- 3) かぶりが 50 mm 以下の構造物に被害がある。
- 4) プレキャスト製品は比較的被害が少ない。

表- 1.3 応力除去, P C鋼材を用いたポストテンション方式テンドンの腐食による被害例

№	構造物種類	環 境	テンドンの構成	防 食 状 態	建設後の年数	かぶり	腐 食 状 況	備 考
A 1	浮 橋	海 上	40-φ6.4mm 鋼線	海中部分タール系塗装	4 年	コンクリート外部	鋼線破断 34 本 テンドン露出	定期的にグリースコーティングを行っている。
2	駐 車 場	亜熱帯	18.9mm 高張力鋼	軽量コンクリート部分 表面グリース塗布+ 巻きつけ	2 年	25.4mm (推定)	スラブでクラック	損傷域で, CaCl_2 : 4%以上
3	汚泥タンク (鉛直鋼材補強)	下水, 下水ガス	25.4mm 高張力鋼 (鋼製シース中)	グラウトなし	2 年	89 mm	シースの外へ突出	シースグラウトなし H_2S 存在下での応力腐食破壊
4	浮 橋	海 水	29 mm 高張力鋼	グラウトなし (仮設用テンドン)	2 ヶ月	な し	鋼棒のたるみ	苛酷な海洋環境下での応力腐食破壊
5	P C試験舗装	工場地帯 (スラブ有)	11mm 鋼より線	グラウト	8 年 (スラブひび われ後 2 年)	51mm (推定)	ひびわれ発生箇 所過載荷後 2 年 でテンドンを移 動	シース腐食, いくつかのより線で表面腐食。 ただし最終耐力の低下なし。
6	橋 脚	床版に雨水 と CaCl_2	6.4mm 鋼 線	外部テンドンにショッ トクリート	5 年	38mm (推定)	さびが発生 テンドンを交換	ショットクリートとコンクリート橋脚表面との間に 付着なく, テンドンへの水の通路下
7	煙 突		5mm 鋼 線	グラウト	不 明	不 明	不 明	ブレンキャストで曲っている。グラウト不十分
8	貯蔵タンク	乾湿の繰り返し	5mm 鋼 線	乾燥した大気を予想	2 年	な し (外部シース内)	(テンドン調査中)	移転中。ケーブル水中。化学的腐食ならびに応力 腐食
9	タ ン ク	水タンク	5mm 鋼 線	な し	7 ヶ月	38mm(シース までの推定)	建設後遅れて再 緊張	コンクリート打設前にシース連入。 緊張後 5 ヶ月でグラウト, 再緊張
10	橋 梁	海 上	32mm 鋼 棒	可ぎょう性シース中 グラウト	8 年	51mm(さんご 質骨材の C)	かぶりコンクリ ートの剥落	スターラップ 19mm かぶり, コンクリート剥落, シースむき出し。
11	橋 梁	海 上	29mm 鋼 棒	可ぎょう性シース中 グラウト	14 年	なし(はり下 面にシースが 見える)	コンクリートの 剥落	365 スパンの内, 橋台側のスパンだけに腐食が生 じた。主桁は, 床版厚の増加により最も損傷をう けた。
12	ビ ル	学校の屋根	6.4mm 鋼 線	グリース塗布後 紙巻付け	10 年	示方書以下	鋼材とテンドン 定着部	細部施工不良および(CaCl_2 を含む) Embecco によるパッチングにより, 腐食が生じた。
13	駐 車 場	多量の塩分 を含む砂	6.4mm 鋼 線	グリース塗布後 紙巻付け		なし(アンカ ーに直接土 が接触)	(仮移動時)	定着具と P C 鋼材に腐食
14	橋 梁	海 上	7mm 鋼 線	グラウト	グラウト後 数日	不 明	鋼線破断あり	炭酸ナトリウムを混入したグラウト注入後, アル ミ製ランベットと鋼製シースとの接合部に破壊
15	橋 梁	海洋気象	不 明	不 明	15 年	不 十 分	P C テンドンに沿 ってさびが生じた	ウェブが薄いこと, かぶり不足, コンクリート締 固め不足による腐食
16	橋 梁	半砂漠地帯	不 明	不 明	8 年	不 明	不 明	海水練りコンクリート

№	構造物種類	環 境	テンドンの構成	防 食 状 態	建設後の年数	かぶり	腐 食 状 況	備 考
A-17	ビ ル	海水含む 土中	15.2mm, 1.86× 10 ³ N/mm ² 鋼より線	グリース塗布後 紙巻付け	1～13ヶ月	25.4mm (推定)	テンドン破損	軽量骨材中にフリーの硫化物、電位差は海水浸透 度による。 テンドン2800中30(2.2%)が破断 12.7mm 鋼より線と置換
18	ビ ル	駐車場床版	15.9mm	グリース塗布後 巻付け	2 年	25.4mm	負のモーメント が生じた部分 スラグにクラック	コンクリート中のCaCl ₂ 高濃度
19	橋 梁	河 川 上	7 mm 鋼線	可とう性シーす, グラウト	20 年	51mm	ウェブにひびわれ	シーすが腐食したが、鋼線は腐食していない。迷 走電流、旧式フレシネ定着具から表面水浸入
20	ビ ル	都 市 内	32 mm 高張力鋼	成型孔にグラウト	1 年	不 明	鉄筋、定着部は み出し(端部)	施工継目から水、化学的浸食物質により汚染
21	橋 梁	跨 道 橋	7 mm 鋼線	成型孔にグラウト	7 年	不 明	下フランジに縦方 向ひびわれ発生	グラウト不足により鋼線、長期間露出 浮きさび発生、結氷によりひびわれ発生
22	ビ ル	入 江 上	15.2mm 鋼より線	グリース塗布後 紙巻付け	不 明	不 明	鋼より線がスラブ からはみ出し	迷走電流
23	ビ ル	駐 車 場	12.7mm 鋼より線	グリース塗布+ プラスチックシーす	不 明	高い部分で、 プラスチック シーすが見える	鋼より線が定着 部で置換	プラスチックが露出(スクリードを行なう) 低い部分 CaCl ₂ を含む水
24 ～ 28	ビ ル	駐 車 場 それぞれ位 置形状は違 う	12.7mm または 15.2mm 鋼より線	グリース塗布後 紙巻付け	不 明	12.7mm 以下	鋼より線が定着 部で置換	シーすの破損、かぶり不足、塩分浸入

2. 腐食メカニズム

塩害による腐食メカニズムの解明にあたっては、通常暴露試験、室内促進試験、電気化学的試験等の方法がとられる。

ここで収録された報告は総数12編である。

抄訳 №13 (R. Bertrand)

本論文は、1962年からCEBTP^{*}) によって実施されてきた海水作用をうけるRCおよびPC構造物の挙動に関する地中海及び大西洋沿岸における14年間の大規模な暴露試験の結果について報告している。

試験ばりは10種類の形状寸法で、プレストレス量とその偏心情況、かぶりの影響を加味し、また単位セメント量の骨材粒度によって4シリーズとしたものを用いている。

試験結果をまとめると、引張応力度をうけ、かつ、かぶり厚が不十分な試験ばりの上面においてかなり腐食が見られたが十分なかぶりがあれば鉄筋の腐食は認められなかったようである。

結論として次の項目が掲げられている。

- (1) 鉄筋のかぶりが4.1 cmあれば、腐食は14年経っても認められなかった。
- (2) コンクリートの配合については、単位セメント量の大きい方が腐食しにくく、骨材の粒度は連続的なものが良い。
- (3) はり上面において、コンクリートの締固めが不揃いになりやすく、耐腐食性が悪い。
- (4) 潮汐帯の部分は最も腐食が激しい。
- (5) プレストレスによる偏心が特に大きくて、引張部に微細ひびわれが生じている場合、腐食が非常に早く進行した。

^{*}) CEBTPはフランス土木建築研究所

抄訳 №14 (B. L. Brown, D. Harrop)

この研究は、コンクリートの品質、塩化物濃度、かぶり、ひびわれ、鉄筋の種別などの鉄筋腐食に対する影響を調べるため、角柱供試体と、予めひびわれを発生させた試験梁を工場及び海辺で2～3年間暴露させ腐食状態、重量の変化を測定している。と同時に、実験室での電気化学的試験との比較検討も行っている。

この結果をまとめると、以下のようになる。

- (1) オーステナイト鉄筋は5% CaCl_2 含有コンクリート中において3年間暴露しても腐食は生じなかった。
- (2) フェライト鉄筋は同じ条件でかなりの点食が生じた。
- (3) フェライト鉄筋の点食はセメント：骨材比1：6配合よりも、1：8配合コンクリートにおいてひどく生じた。また、かぶりが小さいほど重量ロスが大きい。
- (4) 等電位分極曲線によれば、点食の生じる最小塩化物濃度は5% CaCl_2 であったが、フェラ

イト鉄筋の暴露試験では 3 % CaCl_2 であった。

- (5) 指針作成用の基礎データと長期耐久性性能の評価を的確に得るためには、暴露試験と実験室での電気化学的試験の両方を行う必要がある。

抄訳 No.15 (Edward F. O'Neil)

この研究では、鉄筋種別、鉄筋応力度、空気連行性などの要因を変えた RC 梁の長期耐候性の情報を得る目的で、1950 年より環境の異なった 4 ケ所において供試体を暴露し、定期的な劣化の程度、最大ひびわれ幅の調査測定を行なっている。

試験に用いた RC 梁は、空気連行性・鉄筋種別・鉄筋応力度・かぶり・コンクリート打設方向の各要因を変化させている。その結果、

- (1) AE 剤の使用により、コンクリートの耐久性が改善される。
- (2) 鉄筋まわりのペーストはコンクリート打設時に鉄筋の下方にあるものより上方にあるものの品質が良い。
- (3) 全供試体ともコンクリートの剝離が見られたが、終局曲げ耐力は 1 本を除いてすべて設計耐力を上回った。
- (4) 暴露中の鉄筋応力レベルと破壊試験時の応力度とは何等関係はなかった。
- (5) コンクリートのかぶりが無くなった位置では、鉄筋の腐食が著しい。
- (6) 鉄筋応力度と腐食量には大きな差は認められなかったが、高レベルのものは、ひびわれ幅が大きく腐食しやすい傾向がある。

等がわかったとしている。

抄訳 No.16 (A. W. Beeby)

最近の研究において、コンクリートのひびわれ幅は耐久性の他の影響因子と比べて支配的因子とはならず、鉄筋のかぶりとコンクリートの品質が最も支配的であるとされている。この研究ではこの支配的と言われているかぶり・単位セメント量・水セメント比を変動要因とした暴露試験結果をもとにして、考察を加えている。

ここに調査した試験結果を表にとりまとめている。(表-2.1)

この結果をまとめて、

- (1) かぶりと単位セメント量を大きく、水セメント比を小さくすれば腐食は軽減する。
- (2) 腐食程度は、 $r \cdot \phi / C$, $\phi / C \cdot W_c$, $\phi / C \cdot f_{cu}$ の 3 つのパラメーターと直線関係にある。
(r : 水セメント比, ϕ : 鉄筋径, C : コンクリートかぶり, W_c : 単位セメント量, f_{cu} : コンクリート圧縮強度)
- (3) 強度が 600 kg/cm^2 以下のコンクリートでは、かぶりや強度 (W/C も同様) は腐食速度にあまり影響しない。

等の結論を出している。

また、この結果を既設の海洋構造物のかぶりと単位セメント量の関係(その腐食被害状況を含む)

表-2.1 腐食程度に及ぼすかぶり，水セメント比
および単位セメント量の影響

研究者	単位 セメント量 (kg/m^3)	水セメント比	かぶり (mm)	腐食程度
1. Baker, Money および Sanborn (1977)	296	0.66	12 37	25 5
		0.71	12 37	64 12
2. Bertrand (1978)	300 400	0.71 0.53		730 80
	300 400	0.71 0.53		580 250
3. Lea と Watins (1960)	593	0.37	50 25	0 25
	356	0.55	50 25	10 82
	214	0.96	50 25	75 100
4. Houston, Atimaty および Ferguson (1972) (非載荷スラブの2 年間暴露結果)	335	0.62	25 38 25 20	75 98 100 100
	446	0.55	25 20	60 88
	558	0.49	50 38 25 20	0 22 44 49

注) 1と4 腐食程度は腐食した表面積の百分率で表す
2 腐食程度はすべてのひびわれの(ひびわれ幅×長さ)の合計値で表す。
3 腐食程度は9年間暴露後のひびわれの生じた供試体数の百分率で表す。

からみれば，現行各国規準は安全すぎ，もっとかぶりを低減しても悪い影響はないと考えられるとして，図-2.1.にその限界曲線を提案している。

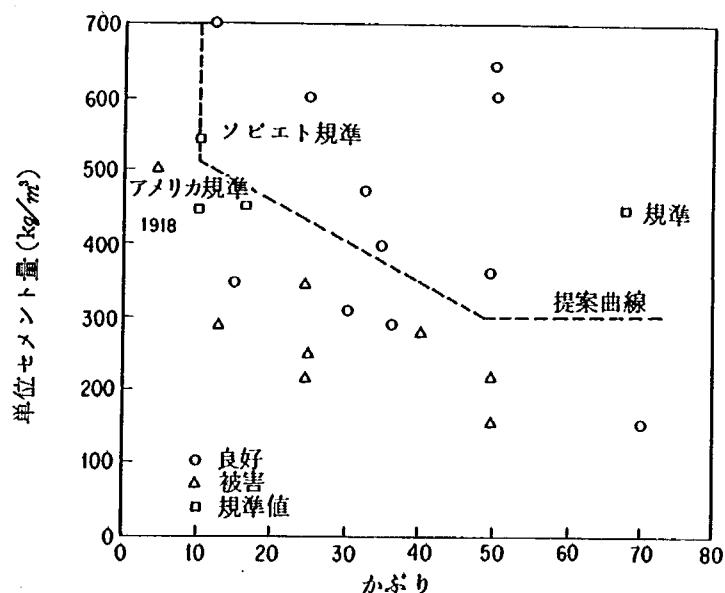


図-2.1 海洋構造物の実績

この論文は、海洋構造物の耐久性に影響を与える要因を検討し、さらにその点検、保守および補修の基本となるものの手法を示している。

ここでは、機能低下の基本的なメカニズムとして、コンクリートについては硫酸塩による侵食・ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の流出・凍結融解を、鉄筋については塩化物の浸透によつての腐食を、P C 鋼材については応力腐食問題を取り上げている。また、劣化に影響をおよぼす主な因子としては、コンクリートの透水性、鉄筋のかぶり、隅角部の影響、コンクリートの電気抵抗性等をあげている。(図- 2. 2, 図- 2. 3, 図- 2. 4 参照)

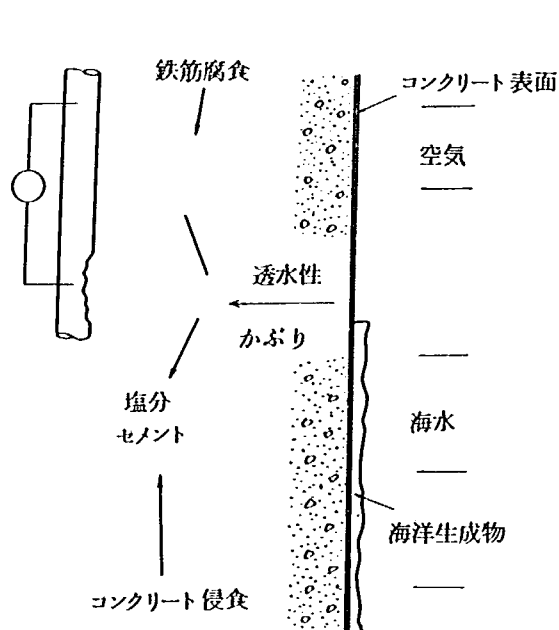


図- 2. 2 コンクリートの耐久性に影響を及ぼす因子

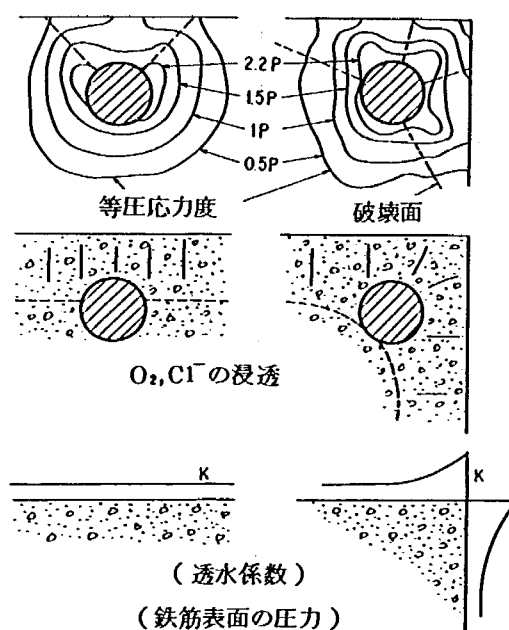


図- 2. 3 平面と隅角部との応力場，浸透性，透水性の比較

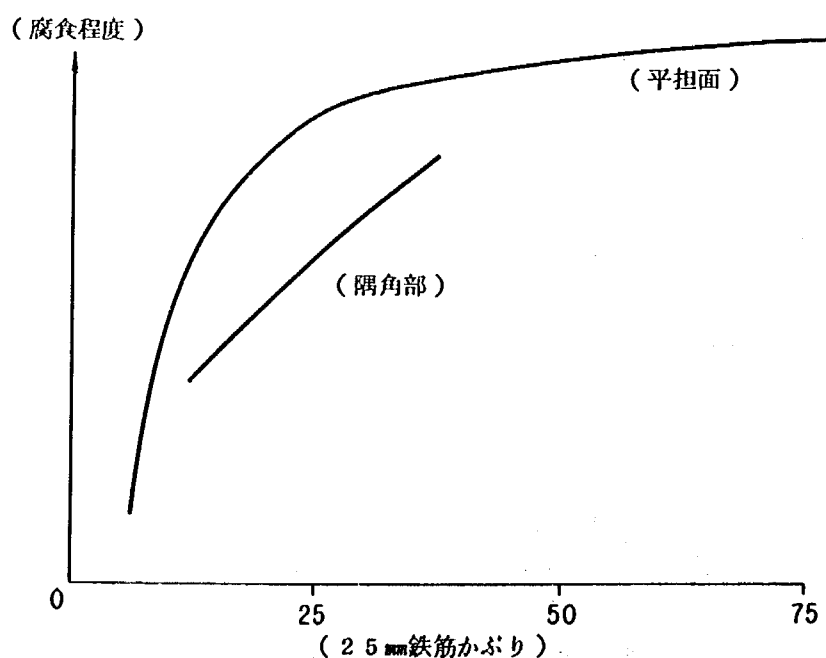


図- 2. 4 スポーリングするまでの腐食程度

また、腐食の発生は、飛沫帯でもっとも激しく、これは腐食電池の結合の問題と関係するとしている。

次に構造物の設計施工については、次のように述べている。DNUが初めて海洋構造物の設計施工規準の中に、コンクリートの透水性を規定また、設計上鋭角部を避け、損傷の受けやすい部分を厚くすること、及び施工直後に非破壊検査（例えば、かぶり厚測定器、超音波速度測定、gamma-ray bade scatter, シュミットハンマー）によってコンクリートの品質、かぶり等を確認することが大切である。

また、点検時には、コンクリートの検査（上記のもの使用）の外に、鉄筋腐食の検知も早期に行なうこととしている。

最後に補修については、劣化の原因を究明し、劣化の再発を防ぐような補修手段を講ずるべきであると言及している。

抄訳 No 18 （O. Vennesland）

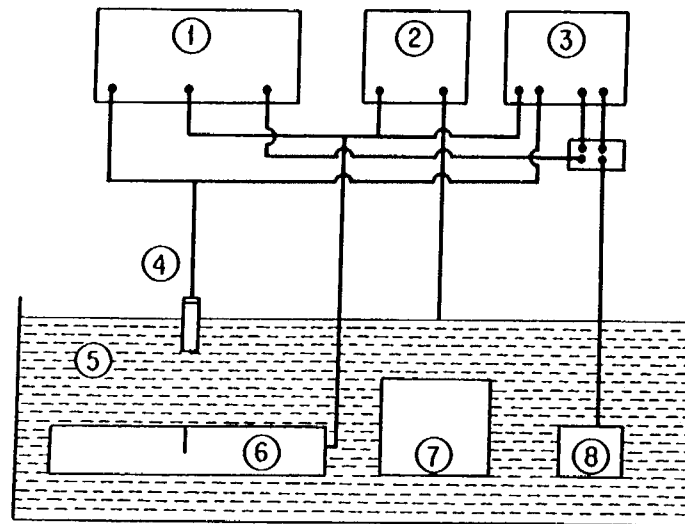
大型水中構造物の設計において鉄筋腐食を制限するために、ひびわれの予測や制御が大切であるが、これまで水中に関するデータは少ない。ところで水中の場合、クラック部分で海水と接している鉄筋と、それよりはるかに表面積の大きな埋めこまれている鉄筋との間の電池作用が大きな役割を演じると思われる。そこでこの研究では、コンクリート中の鉄筋の代りにステンレス板を陰極に用いるシュミレーションを考案し、その電池作用の影響を調べている。また、ひびわれがセメントペーストと海水との反応生成物によって徐々に埋ることについても確認を行っている。

試験には、D 10 mm 異形鉄筋を埋め込んだ $10 \times 10 \times 50$ cm 角柱供試体、養生後3点載荷によって $0.1 \sim 2.0$ mm の表面ひびわれを生じさせたものを用いている。

以下結論として述べてあることを記する。

- (1) 電池作用は鉄筋腐食に対して大きな要因であり、陰極と陽極の表面積比が $10^5:1$ であるこの試験では、最大 $10 \sim 25\%$ の断面欠損を生じた。実際の構造物ではその影響がもっとも大きいと思われる。
- (2) セメントペーストと海水の反応生成物は、有効にひびわれを塞ぎ、腐食を低下させる。
- (3) $0.4 \sim 0.5$ mm 以下のひびわれであれば電池作用の影響はない。
- (4) コンクリート表面におけるひびわれ幅よりも、ひびわれ幅とかぶりとの比が一つの因子として考えられる。特にひびわれの深さ方向の形状は $0.4 \sim 0.5$ mm ひびわれ幅における過渡期の腐食挙動を解明するための重要な因子であろう。ひびわれ形状の影響は、これからの新しい実験手法によって研究されつつある。

なお、実験装置を図-2.5に示す。



- | | |
|--------------|-------------|
| ① (電位計) | ⑤ (代用海水) |
| ② (電流記録計) | ⑥ (供試体) |
| ③ (X・Yレコーダー) | ⑦ (ステンレス鋼板) |
| ④ (参照電極) | ⑧ (カウンター電極) |

図-2.5 実験装置

抄訳 No 19 (O. E. Gjorv)

腐食機構に対する理解や腐食の可能性を評価するための基礎資料は数年前までほとんどなかったが、この論文では電解質としてのコンクリートを論じ、腐食を制御する電解質的因子を究明することを目的としている。またひびわれの影響、電池的結合および種々な防食作用をもたらす新材料に関する基礎資料を与え、腐食の追跡や補修に対する知見を述べている。以下にその内容をまとめる。

(1) 電解質としてのコンクリート

(a) pH値と塩化物濃度が腐食速度に影響する。(図-2.6)

(b) 中性化作用によってコンクリートのアルカリ性が低減され pH 値が約 8.5 まで低下させる。

(c) コンクリート中の全塩化物の内、遊離塩化物だけが腐食に関係する。限界塩化物濃度は 300~1200 p.p.m. である。塩化物の浸透はコンクリートの乾湿状態に依存する。

(d) 電気抵抗性はコンクリートの透水性(水セメント比, 水飽和度に依存する)と密接に関係する。(図-2.7, 図-2.8)

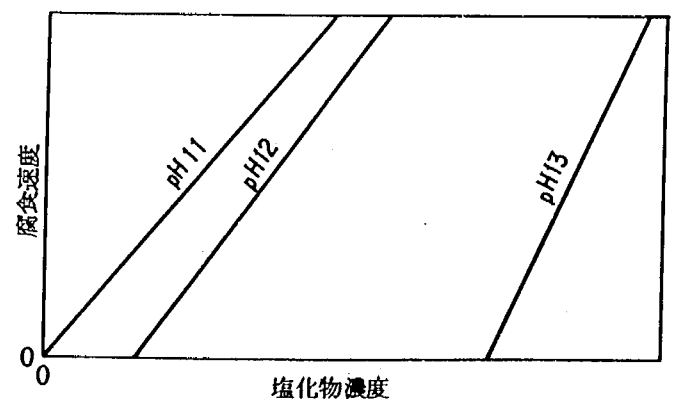
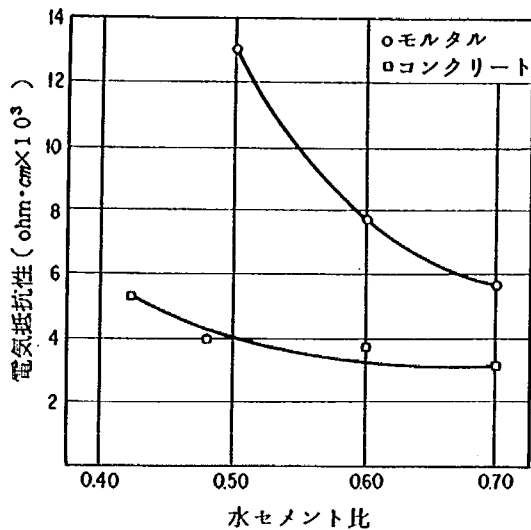
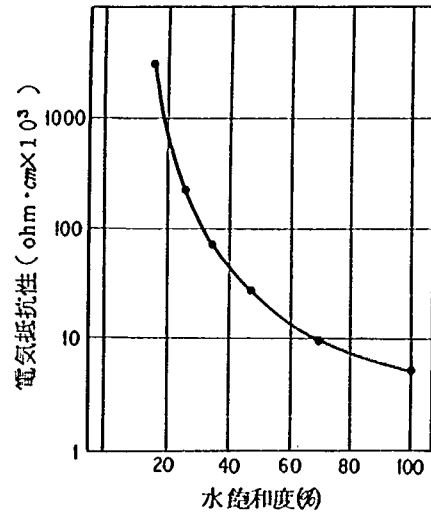


図-2.6 塩化物濃度, アルカリ性および腐食速度の関係



図－ 2. 7 電気抵抗性に及ぼす
水セメント比の影響



図－ 2. 8 電気抵抗性に及ぼす
水飽和度の影響

(e) 酸素の有効性は、コンクリートの環境条件（水中、大気中）、酸素の状態（気体のままか溶けた状態か）コンクリートの透水性、かぶりの厚さ、水の飽和度などに依存する。

(2) コンクリートのかぶりにおけるひびわれ

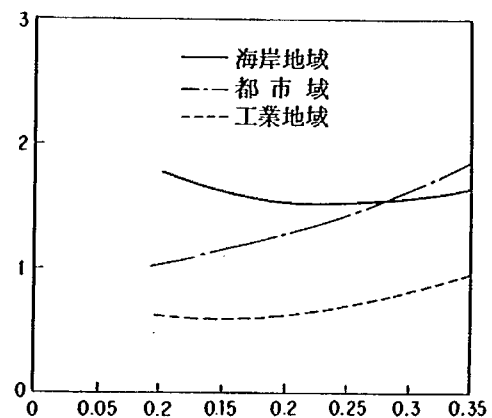
各示方書に規定されたようなひびわれ幅と腐食の直接的関係はなさそうである。電気化学的理論によれば、ひびわれ中の腐食機構はコンクリートの品質、ひびわれ形状、荷重および環境条件等によって変わる。ひびわれ幅は暴露の初期に腐食程度に大きな差を表わすが、長期暴露の場合にはあまり差はない。（図－ 2. 9）水中の場合、電池的結合効果も一緒に考慮するべきである。

(3) 外部露出鋼材と埋込み鋼材との電池的結合

腐食速度は陰極と陽極との表面積比や陰極効率に支配される。（表－ 2. 2）特に、大型海洋構造物に対して、この種の配慮が必要であり、電気防食の防食電流算定にも関係する。

(4) 腐食追跡と制御

目視検査、表面腐食電位測定、電気抵抗性測定などは水中コンクリートに適用できない。水中の場合には、電気抵抗測定針、分極抵抗、および電気化学的インピーダンス測定などが有効である。



図－ 2. 9 10年間暴露したひびわれのあるはりにおけるφ8鉄筋の腐食

表－ 2. 2 陰極／陽極比の腐食速度に及ぼす影響

K / A-ratio	Rate of corrosion (mm/year)
10	0.002
100	0.02
1,000	0.2
10,000	2.0
100,000	20.0

抄訳 № 20 (H. A. Berman)

この研究は、腐食探知装置による測定法の有効性を確かめるために、水酸化カルシウム溶液中における鉄筋腐食に対する塩化ナトリウムの効果を直接測定し、塩分の存在が水酸化ナトリウム溶液のpH値を低下させるかどうか、実験的観察を行なっている。

その結果をまとめると、以下のようになる。

- (1) 腐食電位測定を行なった結果、飽和水酸化カルシウム溶液中における鉄筋腐食に対する NaCl 限界濃度は空気中の場合 0.03 モル、窒素中の場合 1.0 モルであった。
- (2) 電位は活性な腐食の存在する指標であって、塩素イオンの存在する指標ではない。腐食の生じる状態の電位は、0.36~0.70 V であり、実地測定の指標としている 0.3~0.35 V を判定の指標とすることができる。
- (3) NaCl の添加による飽和水酸化カルシウム溶液の pH 値の変化測定を炭酸ガスのない状態で行なった結果、pH 値は NaCl 濃度の増大に従って小さくなり、0.008 モルの NaCl 濃度の溶液を少量添加しただけでも pH 値の低下が見られる。
- (4) pH 値の低下はコンクリート中における鉄筋の腐食に寄与する結果が出たが、断定はできない。
- (5) ある限界濃度以上の塩素イオンを含有する。あるいは接するコンクリートへのアルカリ性材料の添加に関する研究が要望される。

抄訳 № 21 (K. Tuutti)

腐食理論、実験結果および実地調査などによれば、鋼材は埋め込まれた直後には、すぐに腐食することではなく、腐食が発生するのは侵食性イオンの活性化や鋼材回りの環境条件の変化によるとされている。この論文では、腐食の発生までの期間とその後の生長期間を推定する方法を提案し、構造物の供用寿命を把握することを目的としている。

この研究の結果をまとめると、

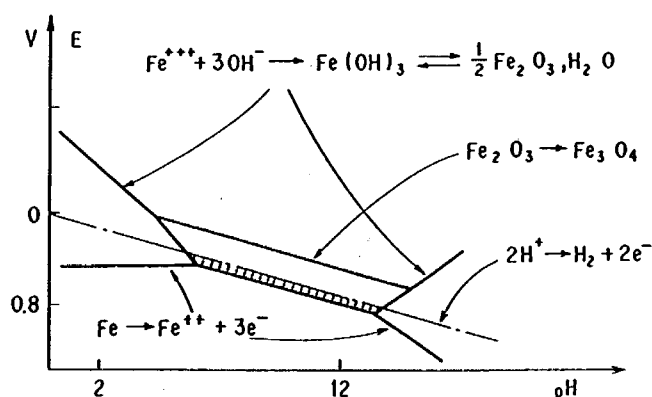
- (1) 腐食の発生までの期間は、かぶり中の塩素イオンの浸透速度と、限界濃度に依存する。限界濃度は pore 溶液中で 5000~10000 p. p. m とされているが含水量、 OH^- イオンの量、鋼材の電位に依存する。また、中性化も腐食発生因子であり、 CO_2 濃度、 CO_2 の反応量およびコンクリートの透水性によって、その速度が決められる。
- (2) 腐食速度は、酸素の流動、温度、コンクリートの電気抵抗性によって求められるが、コンクリートの含水量に大きく支配される。水で飽和したコンクリートで 0.1~10 $\mu\text{m}/\text{年}$ 、中性化したコンクリートで 50~100 $\mu\text{m}/\text{年}$ となる。
- (3) 腐食が生ずるとその生成物の容積膨張によってコンクリートのかぶりが剝離するが、許容しうる腐食程度はコンクリートのかぶりに目視できるひびわれ (0.1 mm ひびわれ幅) が発生することとする。

抄訳 No 22 (Andre' Raharinaivo)

PC鋼材の腐食の内、発錆を伴うものは、コンクリート中にある通常の鉄筋と同様な挙動を示すが、発錆を伴わないものも発生する。これは、応力腐食と呼ばれるもので、PC鋼材は断面積がほとんど変化しないまま、破断が起こる。この報告は、このPC鋼材の応力腐食について概説したものである。

以下にその内容をまとめると、PC鋼材の応力腐食（引張応力作用下におけるひびわれを伴う腐食）は、鋼材が多量の水に曝される場合に生じ、ひびわれの進行速度と危険性は、PC鋼材の質と導入応力レベルに左右される。ここで、このひびわれの発生を伴う腐食を防止するためには、鋼材のまわりにあるコンクリートの質を改善することが必要である。ポストテンション工法の場合には、シース内に充填するグラウトの質と密度が重要であるが、グリース油、樹脂等によってPC鋼材を被覆したり、電気化学的に保護する方法もある。

なおここに、応力腐食領域及び、ひびわれ状況を示す。（図－2.10、図－2.11）



図－2.10 水中における鉄の電位・
PH関係と化学反応

（斜線部がPC鋼材の応力腐食領域）



図－2.11 応力腐食によるひびわれ

（上図→ひびわれ近傍に発錆あるいは著しい腐食がないことを示している）

抄訳 No 23 (Odd E. Gjorv)

現在、海水中に暴露されるコンクリートが塩素イオンの拡散によって種々の問題を引起していることはよく知られており、コンクリート中への塩素イオンの浸透をあらゆる側面から検討することが重要であるとされている。

本報文では、水セメント比 W/C 及びセメント種別を種々変化させてモルタル供試体を作成し、

海水中に浸漬して、塩化物の拡散速度を研究している。

この報告の結論をまとめると、次のようになる。

- (1) 水セメント比 W/C の塩化物含有量に及ぼす影響は、表面層のみでしかも短期間に限って認められた。(図-2.12)
- (2) 長期間浸漬して浸入度が大きくなった場合には、水セメント比 W/C よりもセメント種別の影響が大きく認められた。
- (3) ポルトランドセメントを用いた場合には、混合セメントを用いた場合に比して2～5倍の塩化物浸入深さが認められた。 C_3A 含有量 8.6% のポルトランドセメントは C_3A を含まないセメントより塩化物の浸入が多い。(図-2.13)
- (4) コンクリート中への塩素イオンの拡散は、コンクリートの浸透性、塩化物との結合容量のみならず、イオン交換容量に依存することが明らかになった。

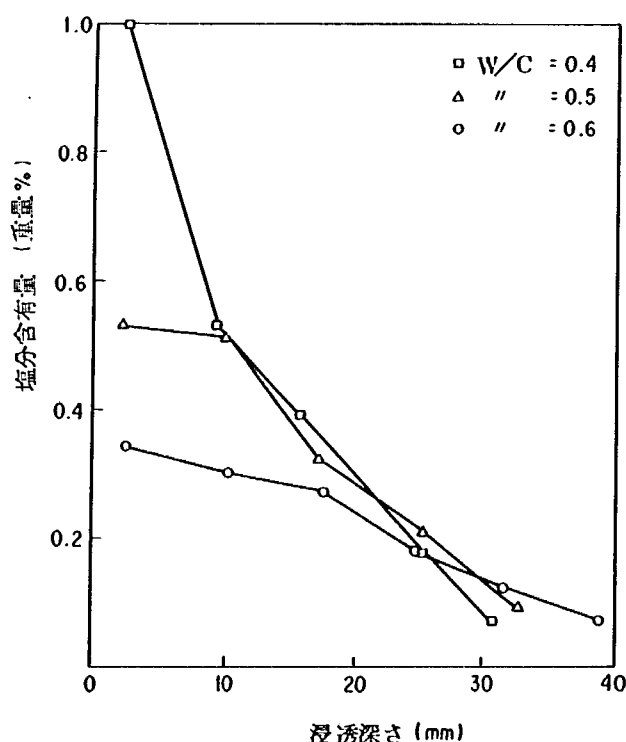


図-2.12 暴露2年後の塩素浸透深さと水セメント比 W/C の関係

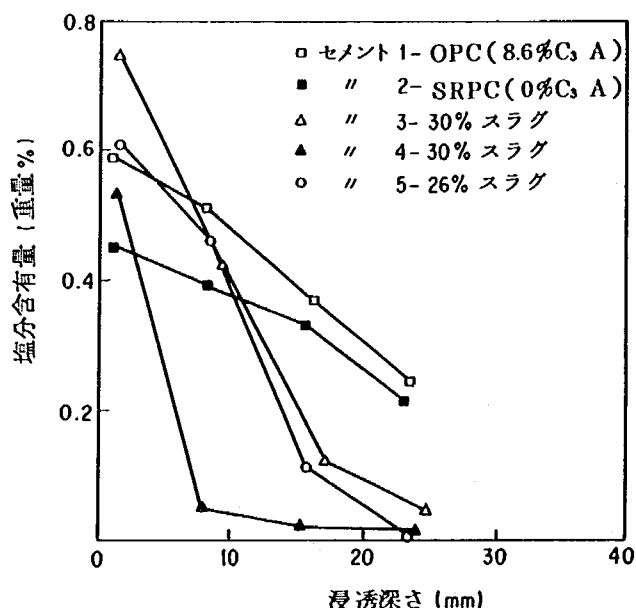


図-2.13 セメント種別の塩分浸透深さに及ぼす影響(暴露6ヶ月後)

抄訳 No 24 (Harvey H. Haynes)

海洋環境下で使用されるコンクリートには、'透水性'、'コンクリート強度'、'耐久性'の3者間に強い相関関係が認められ、A.C.I.の海洋コンクリート設計基準(A.C.I. Committee 357 Report)では、水セメント比 W/C を 0.40～0.45、単位セメント量を 356 kg/m^3 以上と規定している。コンクリートの耐久性に大きな影響を与える透水性について従来の研究の多くは、ダム構造物の如く貧配合で W/C が高く、さらに最大粒径の大きいものを対象としているが、ここでは、高品質でかつ海水中のコンクリートについて透水性能を調査している。

試験結果を、図-2.14及び図-2.15に示した。これによると海水中に浸漬したコンクリートの透水性は、淡水中に浸漬したものと異なった挙動を示すとしている。つまり、淡水中では透水率がほぼ時間に関係なく一定しているが、海水中では時間の経過とともに減少しているとしている。これは海水中にあるイオンがセメントペーストと反応して、結晶を生成し、これがコンクリート中の空隙を詰めたためと考えられるとしている。

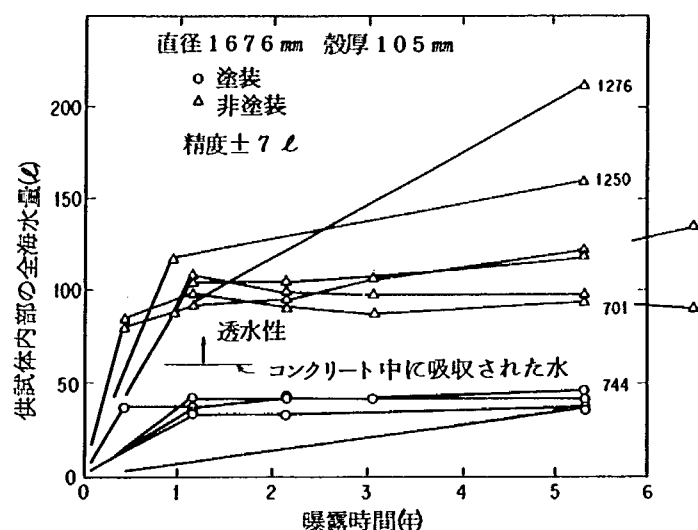


図-2.14 球殻供試体内部にある全海水量と暴露時間

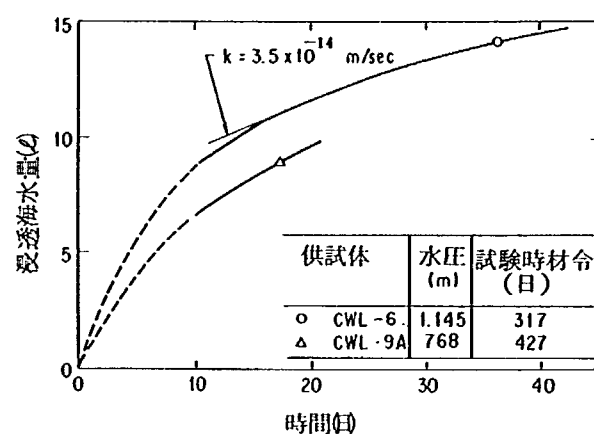


図-2.15 暴露初期における球殻供試体の海水に対する透水性

この他、前述の1章の中には、海水中に暴露されるコンクリートの耐久性に及ぼす最も重要な要因は透水性であり、セメント量を多く、W/Cを低くし、よく締固め、温度勾配化学作用などによるひびわれの発生を防ぎ、ボゾランや高炉スラグを混入した混合セメントを用いる事が望ましいとする文献や、C₃Aの多いセメントを用いたコンクリートは好ましくないとするものがあった。

また、後述する3章においては、固定式海洋構造物としてのショットクリートによるプレキャスト製パージでは、ショットクリートによるかぶりが13mmあれば、腐食はしない(温暖水域)という報文があった。

次に、4章において紹介する文献には、健全でかつ高品質のコンクリートに埋込まれた鉄筋は、海水中に1年半浸漬後には、強い負の勾配電位に達し、この負の勾配が酸素の欠乏によるもの(コンクリート表面の沈積物がひびわれ部を閉じる形で発生し、酸素の供給を妨げる)であるというものもあった。

それから、5章において紹介する文献の中には栈橋のコンクリートはり部において剝落は少なかったが、大部分にヘアークラックが生じており、さらにそのひびわれがかなり内部まで達していて、大きな被害が生じたという報告や、飛沫帯にある主桁下縁部において特にコンクリート剝落や、主筋・スターラップの鉄筋断面欠損が多かったとするものがあった。

付表－2.1に、各文献に記されている定量的な実験結果および推奨値をまとめた。しかし、各文献に共通していることは、定量的な規定値を提案している項目があまりなく、あいまいな表現が大半を占めているということでした。この中で、かぶりに関する規定については、各文献で試験条件がやや異なっているものの、単位セメント量、コンクリート圧縮強度等に関係なく、試験の結果の限界値が50mm前後に集中していた。この値は、モデレートな気象状況下の一般的な海洋及び海岸構造物の限界値としては妥当な値であると思われる。

また、単位セメント量については、規定値をあげているものは $350\text{Kg}/\text{cm}^2$ 以上というもの他1編しかなく、また他の要因とも密接に関係があるため、この文献集の中での標準的な値というものを提示することはできなかった。

その他、比較的多くの文献で腐食に関する限界塩化物濃度について記されていたが、それぞれの文献で条件が違い、値も大きく違っているためまとめることができなかった。

付表-2.1 各文献における推奨規定値

文献 項目	R. D. Brown (イギリス, 1973)	J. G. Wiebenga (オランダ, 1980)	H. J. Fromm (カナダ, 1979)	R. Bertrand (フランス, 1978)	A. W. Beeby (イギリス, 1980)	O. E. Gjorv (ノルウェー, 1982)	M. Schupack (アメリカ, 1982)	Bernard Heuze (フランス, 1978 & 80)	R. Szilard O. Wollevk (アメリカ, 1975)
対象構造物	北海油田用海洋 構造物 (推奨)	海岸及び海洋全 般 (実態)	橋梁(RC & PC)床版 (実態)	海洋構造物 (実験)	海洋構造物 (推奨)	橋梁及び海洋構 造物 (実験)	海洋構造物 RC・PC (推奨)	海洋構造物 (プラットフォーム) (推奨)	PC構造物 (実験)
コンクリート 材料	単位セメント量 350 kg/m ³ 以上 水セメント比 0.5以下 セメント成分 C ₃ A 8%以下 AE剤使用 望ましい			連続粒度骨材 が良い	単位セメント量 W _c 300 kg/m ³ (ただしかぶり 50 mm以下はそ れ以上必要)		AEコンクリ ート Cold joint に鉄筋配置 定着部の後埋 は膨張セメン ト		水セメント比 0.4~0.5
かぶり	50~70 mm	45 mm以下で鉄 筋腐食発生 材令30年以上	50 mm以下で被 害多い	41 mmで腐食な し	10 (mm) (W _c ≥ 500 kg/m ³) 110 - W _c / 5 (mm) (300 ≤ W _c < 500 kg/m ³)		51 cm	7 cm以上 10 cm以上 (PC鋼材)	3.8 cm以内で 十分
塩化物濃度			0.025%超えれ ば腐食始まる			・限界値 300~1200 p.p.m.			
そ の 他	・締固め十分に ・満潮線より上 方にある部材 には腐食手段 を講ずることが 望ましい。					・ひびわれ幅が 暴露初期の腐 食程度に大き く影響	・隅角部の少な い設計	・ひびわれ幅は 0.2~0.3 mm 基 準	・透水性を下げ ることが重要
備 考	・推奨値 ・多年にわたっ て文献調査・ 試験研究およ び既存構造物 の点検などを まとめたもの	・オランダ北海 沿岸における 64のコンク リート構造物 (材令3~63 年)実態調査 結果 ・高炉セメント の使用多かつ た。 ・セメント量 平均340 kg/m ³	・オンタリオ州 橋床版規定 ・かぶり64 mm ±12 mm ・防水層 ・表面から10 cm 以内 エポキシ樹脂 鉄筋使用	・暴露試験結果 (14年間)	・試験結果を調 査取りまとめ た限界値	・電解質として のコンクリ ートを論じ、腐 食を制御する 電解質的因子 を究明	Theat島での暴 露実験結果	・海上に設置さ れたコンクリ ート製プラッ トフォームと その上に配置 された設備の 防食計画	促進試験 (65日)
抄 訳 頁	1	3	8	13	16	19	35	46, 47	37

3. 防 食 工 法

3-1 防食工法の種類と特徴

鋼材の防食工法は、多くの種類が提案され既に一部では実用化されているものもある。ここでは各種防食工法の特徴を述べる。

抄訳 No 26 (Wolter P. Kilaeski)

抄訳 No 27 (Odd E. Giprv)

両論文とも、各種防食工法について評価したものであり、以下にまとめて記す。

電気化学的塩素除去法

アメリカ連邦政府高速道路局が実験的に行なっているもので、塩素イオンで汚染されたコンクリートから、電氣的に塩素イオンと除去する方法。オハイオ州の2つの橋梁床版で、野外実験が続けられている。電解質液に浸されたイオン交換樹脂を、橋梁床版上に散布する。同時に白金チタニウム陽極を設置する。この白金チタニウム陽極に直流電流を作用させると、コンクリート中の塩素イオンが、床版表面に設けた鉄筋マットへ電気移動する。これをイオン交換樹脂により捕えるものである。

他の多くの防食法と同様に、この電気化学的塩素除去法も未成熟段階であり、施工法が実用化され、実際の大規模構造物に適用できない限り、実験室の研究にすぎない。

防 錆 剤

適切な混和剤をフレッシュコンクリートに添加することにより、鉄筋表面に種々の保護被覆を形成することが可能であり、このタイプの混和剤がいろいろ研究されている。しかしながら、施工的な見地から見れば、混和剤のタイプが異なれば、その挙動も異なることに注意しなければならない。

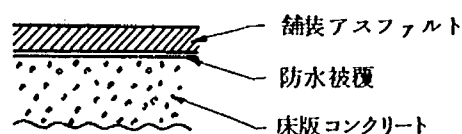
したがって、アノードタイプの被覆防錆剤は、充分に高濃度で存在する場合にのみ効果的であるが、さもなければ危険である。その理由は、防錆剤が低濃度で使用された場合には、鉄筋が局部的に激しく腐食し、被害が大きくなるだけである。コンクリートに防錆剤を使用して、良好な成果を得た例もあるが、この種の混和剤は、より基礎的な研究が完了するまで、充分な注意を払ってのみ使用するべきである。

防 水 被 覆

最も早く実施された橋梁床版防食システムのひとつ。施工法には2種類ある。ひとつは液状の被覆剤と用いるものであり、他のひとつは、防水シートを用いるものである。両者とも、直接床版コンクリートに塗布あるいは敷設する。防水層の上に舗装アスファルトを施工し、交通荷重より保護する。設置された防水被覆が完全であれば、塩素イオンは、床版コンクリ

ートに浸透しない。

本工法は成功例も多いが、失敗例も少ない。液状被覆剤では、床版コンクリートから発生するガスのため、気泡が生じ易い。また防水シートは施工中に破れ易い。この場合、



両者とも塩素イオンの浸透を阻止する機能は不十分となる。もうひとつの問題点はアスファルト舗装に関するものである。アスファルト舗装は6～8年で取換える必要があるが、その度に防水被覆を再施工する必要がある。

適切な表面被覆剤を用いて、コンクリート表面とシールする方法も、効果的に酸素の供給を減少させるものであろう。さらにこのシール方法は、天候の変化によって生じる水分の吸収と発散を減少させ、コンクリート中の水分量を定常化させるものと考えられる。しかしながら一方では、被覆剤の維持管理が必要ともなる。部分的にシールが破損することは、腐食電池を形成するだけである。

鉄筋の金属被覆

鉄筋の金属被覆については、様々な材料を用い、種々の結果が得られている。そのうち、もっとも広く用いられているのは、亜鉛メッキによる鉄筋の金属被覆である。亜鉛メッキは、実施可能であり、かつ実用的でもあるが、亜鉛メッキ鉄筋の評価に関するアメリカ連邦政府高速道路局のいくつかの研究プロジェクトでは、塩素イオンが浸透して劣化したコンクリートにおいて亜鉛メッキ鉄筋の耐久性は40～50年もないとしている（文献〔6〕参照）。

ステンレス鋼やニッケルのような、他の金属による被覆も試みられたが、フルスケールの現場施工に用いるには高価すぎる。

化学的転化による鉄筋被覆とは別に、金属は、それ自身の酸化物により保護されている。金属被覆と同様、非金属被覆が数多く提案されており、その一部は、鉄筋の保護被覆として実際に適用されている。非金属被覆については、鉄筋表面のごみをかき落とし、清掃する準備作業が必要であり、さらにコンクリートとの付着についても充分その安全性を確認する必要がある。しかしながら、鉄筋の取扱い中に被覆部が物理的に破壊された場合には、金属イオンおよび水酸イオンが、被覆破損部を通して自由に移動することができる。すなわち腐食電池が形成されることであり、最終的には局部腐食が生じる。

一方、金属性被覆を用いた場合には、より効果的な防食機能が得られ、さらに鉄筋の取扱いも容易となる。保護機能は以下に示す要因に左右されるであろう。

- 鉄筋と被覆金属の組合せの極性
- 被覆金属と鉄筋の分極性能
- 金属表面に沿って生じる環境の違いにより、被覆金属に形成される腐食電池

鉄筋の金属被覆として亜鉛が用いられる場合（亜鉛メッキ）がある（13）。この種の金属被覆の効果については、さまざまな意見がみられる。BirdとStrauss（14）は亜鉛以外の、錫、銅、カドミウム、ニッケル、鉛についても、それらを鉄筋の被覆材料として用いた場合の研究を行なった。これらの試験結果によれば、亜鉛とカドミウムのみが、何らかの保護機能を示すことができる。亜鉛メッキによる被覆は、鉄筋腐食の発生を遅らせることができるかのように思われるが、しかしながら、その試験では、亜鉛それ自体は、コンクリート中に塩分が浸透すれば、急速に腐食が進行することも示しており、長期間にわたって腐食の発生を遅らせることはないだろう。同じ試験で、カドミウムによる被覆についても行なっているが、カドミウムは、コンクリート中の塩分濃度が高くとも、不動態のままであった。そのため、カドミウムが防食被覆材料として適当であるかのように思われるが、価格が高いためと、有毒物質であるため、鉄筋の被覆材料としては、好ましくないという議論が生じるであろう。

電気防食

現在、使用中の橋梁床版に適用可能な唯一の防食工法と考えられている。本工法では、陽極を床版コンクリート中に埋込み、その上に電気伝導性のアスファルト舗装のオーバーレイを行なう。コンクリート中の陽極に、強制電流を流せば、床版中の鉄筋が陰極となり、鉄筋の腐食が阻止される。

いくつかの橋梁床版にこの電気防食法が採用されたが、本システムの完成に際しては、多大な作業量が必要である。また、電気伝導性のアスファルト舗装は、交通荷重により破壊された場合、取換えなければならないと考えられるが、この問題は現在もまだ解決されていない。

コンクリート中に高電解物質が存在するかぎり、鉄筋の電気防食は常に実施可能であるはずである。この種の防食法は一般に、鉄筋と電子発生源を接続し、鉄筋中に高密度の電子を流すことによって成される。実際に適用する場合には、次の2つの方法がある。ひとつは、外部電源により強制的に分極させるもの（外部電源法）であり、もうひとつは、異種金属間（例えば、亜鉛と鉄）の電池作用を利用するもの（犠牲陽極法）である。外部電源による電気防食法は、通常のRCとPC構造物に実際に適用された例がいくつかある（10, 11）。実際に適用する上で主として問題となるのは、鉄筋全体に作用させる電位差と電流密度を制御することである。コンクリートの電気抵抗性は、コンクリート中の水分と塩分含有量に大きく左右されるため、電解度の状態は、同一構造物の中で、部分部分により大きく変化することがあり、しかも、環境条件により、時間変化によっても左右される。さらに、作用させる電圧は高すぎてもいけない。これは、アルカリ度が高すぎると、鉄筋とコンクリート間の付着が弱まるためである。ここ数年の間に電気防食法を実際に適用するにあたっての目安がいくつか示されて来た。しかしながら、現在でも、実施経験は、かなり限られている。

ラテックスモルタルによるオーバーレイ

本工法は、先の防水被覆工法と同様、床版コンクリートへの塩素イオンの浸透を阻止するもの。コンクリートモルタル中にラテックスを添加し、コンクリート中の微細なひびわれや空隙をシールし、オーバーレイモルタルを不透水性化するもの。



床版コンクリートとの付着、あるいはオーバーレイモルタルが薄片に裂けやすいことが重要な問題となる。本工法のもうひとつの欠点は、高価につくことである。平均した工費の増分は約 $6250 \text{円}/\text{m}^2$ ($25 \text{ドル}/\text{m}^2$) である。

ワックスビーズ コンクリート

ワックスビーズ コンクリート を用いた実験が行なわれた。本工法は、コンクリート混練時にワックスビーズ（粒状樹脂）を混入し、さらにコンクリートマトックス中に一様に分散させるものであり、コンクリートの硬化、養生後、コンクリートを加熱して、ワックスビーズを溶かし、コンクリート中の空隙をシールする。これは、塩分溶液に対して、コンクリートを不透水性させるものである。

本工法のただひとつの欠点は、ワックスビーズを溶かすための加熱装置が高価につくことと、その施工が難しいことであろう。

ポリマー含浸コンクリート

現在実験段階であるが、最も興味深い防食法のひとつ。ワックスビーズコンクリートと同様に、コンクリート中の空隙を充填して、不透水性させるものであるが、充填材としてポリマーを用いる。施工方法は、まずコンクリートを十分な時間加熱（ 370°C ）し、床版コンクリート中の水分を蒸発させる。続いて液状のモノマーをコンクリート中の空隙に浸込むよう加圧する。その後、液状のモノマーは重合して、ポリマーとなり固体化する。コンクリート中の空隙がシールされ、強度が増大する。

現在まで、本工法は、実際の橋梁床版中のごく少面積について実験的に用いられているのみであり、小規模なものでも、橋梁床版全体に実施することはまだ不可能である。

エポキシ塗装鉄筋

先に述べた如く、塩分によって引き起こされる鉄筋の腐食に対しては、非常に多くの方法が提案され、実験が行なわれて来た。そのうち、現在もっとも有効でかつ実用的な方法は、鉄筋をエポキシ樹脂で被覆することである。この防食法は、粉末エポキシ樹脂を電氣的に鉄筋に固着させ、耐食被覆を作るものである。エポキシ樹脂は、不活性であるため、耐食被覆

は、通常橋梁の設計、耐用年数と云われている50年かそれ以上の耐久性を有している。

エポキシ塗装鉄筋が最初にペンシルベニア州で、実際の橋梁床版に用いられた1973年以降、全国で100橋以上の橋梁床版にエポキシ塗装鉄筋が用いられている。エポキシ塗装鉄筋は防食効果にすぐれており、ガフ、フルスケールの実際構造物にも適用可能であるため連邦政府の施工標準に採用されている。

3-2 防食工法に関する試験

抄訳 No 35 (M. Schupack)

本論文は、Treat 島でのPC、RC梁の耐久性試験の紹介、プレキャスト製の構造物の良い結果の紹介等から腐食防止の考え方を概括的に述べている。

(1) 暴露試験結果の紹介

○ Treat 島の潮汐帯に暴露試験^{*}をしたポストテンション方式試験ばりの挙動(設計上のキーポイント)①ポストテンション方式、AEコンクリート、②鉄筋とシースのかぶりは51mmが必要、隅角部にあるものはもっと厚くする。③定着部の後埋めは膨張セメントが良い、④コールドジョイント部に鉄筋を配置、⑤アルミナ粉を用いた膨張性グラウトの使用。

○ Treat 島と St. Augustine に暴露試験^{**}をしたプレテンション方式ばりの挙動

(2) 良い性能を示した施工事例

○ 遠心力式PCバイル — 比重が大きい、透水性が小さい均一な品質管理に寄与する(図-6)

○ 固定式海洋構造物としてのショットクリートによるプレキャスト製バージ^{***} ショットクリートによるかぶりが13mmあれば、腐食はしない(温暖水域)。

(3) 腐食防止に対する考え方

○ かぶりを厚くする ○ 隅角部のかぶりを大きくする ○ セメント量を大きくする ○ 鉄筋やPC鋼材は径の小さいものを使用 ○ ポストテンション方式では、被覆したプラスチック製シースの使用 ○ 外側の鉄筋は小径のものかワイヤーメッシュを使う ○ エポキシ塗装鉄筋の使用 ○ 鉄筋の密集配置をさける ○ 高性能減水剤の使用 ○ 定着部の後埋めは無収縮AEモルタル使用 ○ プレテンの鋼材端部の処理 ○ 厳密な検査と品質保証。

(4) ポストテンション方式PCテンドンの電気絶縁による防食法

* 1961年から20本の試験ばりを20年間暴露した。

** 1958、1959年から試験ばりを16年間暴露した。

*** バージの本体はプレキャスト部材を用いて組立て、φ6mm ワイヤメッシュを配置し、その上に乾式配合のショットクリートで全体を覆う。1960年頃から、400以上の実績があった。

3-3 各防食工法に関する試験結果

1) 防 錆 剤

抄訳 No. 29 (William H. Harit, Barbara A. Vcshardt)

本論文は $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ 添加による防食効果について、 Cl^- 濃度分布測定と電位移行時間測定結果と関連させて報告したものである。

試験方法と結果は以下の通りである。

海水環境におけるコンクリートへの $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ 添加による防食効果は著者らの前の研究によって明らかにされて来たが、本論文は、さらに、鉄筋腐食に寄与する塩分の役割の理解や $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ の防食過程に関する資料を得るために部分的に海水に浸漬している鉄筋コンクリート供試体中の Cl^- 濃度分布測定と電位移行時間測定を行った。

(1) 試験方法

減水剤の有無、 $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ の異なる供試体を海水中に半浸漬して定期的に電位測定を行う。電位が貴から卑に移した直後に供試体を割裂して塩分濃度分布を測る。

(2) 結果と考察

- 塩素イオン濃度の分布 — 海水面上 75 mm の所で最大濃度を示した。
- 供試体の Cl^- 濃度分析 — Cl^- 濃度と暴露期間との関係にはかなりばらつきがあった。
- 電位が貴から卑に移行時における Cl^- 濃度 — 移行時の電位は -0.27 V (V. SCE) と仮定してこの時点における Cl^- 濃度を推定したが、 $3.8 \sim 11.3 \text{ Kg/m}^3$ コンクリートの間にあった。
- $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ と減水剤の影響 — $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ 濃度 (2% まで) が増大につれて鉄筋の防食性が良くなる。減水剤も添加した場合、この傾向はもっと顕著となる。
- 電位移行時とその時点の推定 Cl^- 濃度はほぼ比例するが、その他影響因子がありそうと考えられる。
- ・ コンクリート中の局部的 Cl^- 濃度は Kessler らの手法* による 3 グラム粉末試料から正確に測定できる。
 - * [試料を 12:1 の水：硝酸溶液中に溶け、塩素選別電極を用いて滴定する方法]
- ・ 本試験の供試体寸法の場合、海水面上 75 mm の所で最大 Cl^- 濃度を示した。
- ・ 鉄筋の腐食個所は必ずしも最大 Cl^- 濃度部分に一致しない。活性腐食の発生に及ぼす影響因子は塩分以外にもあることは明らかである。
- ・ 活性腐食を引き起す限界 Cl^- 濃度は $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2 0\%$ で $3.8 \sim 11.3 \text{ Kg/m}^3$ コンクリートの範囲にあり、この値が他の文献の値と異なるのは、供試体の形状寸法相違によるものと推定される。
- ・ $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ 濃度が増すと限界 Cl^- 濃度も増す。

2) ポリマー含浸コンクリート

抄訳 No. 30 (Par Francis Dutruel, Jean - Pierre le Hair)

本論文はポリマー含浸コンクリートの各種試験結果について記述している。

製造工程は図－3.1の通りである。

含浸に用いた樹脂は表－3.1の通りである。

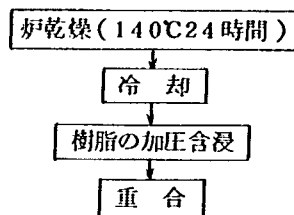
試験結果を表－3.2に示す。

全含浸, 部分含浸コンクリートでは物理性状が多少異なるが, 耐食性についてはいずれもすぐれた性状を有していると思われる。

表－3.1 含浸に用いる樹脂の性質

名 称	粘 度 (センチポアで) T=25℃	表面張力 (dyn - cm)	所要含浸時間
メタクリルメカレ	5.0	26.4	2
スチン	0.7	26.5	2
アセテートビニール	0.5	24.4	2
アクリロントリル + スチレン	0.5	25.6	2
ポリエステル+スチ レン (50 / 50)	7.0	54.2	17
ポリエステル+スチ レン (70 / 30)	28.0	54.2	17

樹脂含浸コンクリートの製造工程

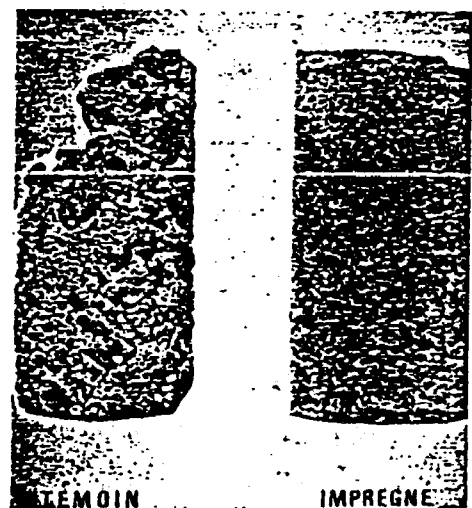


図－3.1

表－3.2 試験結果

	全体含浸	部分含浸
圧 縮 強 度	4倍以上	試験供試体の含 浸率(表面積/ 体積)によって 変化する。
曲げ引張強度	4倍以上	
弾 性 係 数	2 倍	
吸 水 率	0	1/3 以下
耐 磨 耗 性	質量の損失は1/160以下	
乾 燥 収 縮	ほとんど 0	少 々
クリープ変形	1/4 以上	含浸率によるが かなり小さい。
鋼材に対する 腐食抵抗性	良 好	良 好
硫酸塩に対する 腐食抵抗性	良 好	良 好

注) 欄内の比率は, 含浸させていない供試体に対する値。



含浸しないコンクリート(左)と
含浸させたコンクリート(右)の
凍結融解試験結果

3) 亜鉛めっき鉄筋

抄訳 No 34 (Gary T. Satterfield, Daryl E. Tonini)

本論文は、各機関で行なわれた亜鉛めっき鉄筋に関する研究及び使用実績について紹介したものであり、結果として亜鉛めっき鉄筋の耐食性についてかなりの評価を与えている。以下に各機関での研究の概要を記す。

実験室で行なわれた研究

ペンシルベニア州立大学 …… I L Z R O (International Lead Zinc Research Organization) の助成金を得て、Hoke, Pickering らが行なったものでコンクリート中の鉄筋腐食に起因する応力の発生と大きさに関して研究している。

応力度の測定は、コンクリートと鉄筋で作った棒状供試体をチタニウム製の管で囲み、この管に電気抵抗式ひずみゲージを貼付して行っている。

鉄筋の腐食によって生ずる応力と時間の経過に従って追跡し、同時に腐食電位差を測定している。電位差の測定は、腐食開始時期の決定と、腐食進行中の応力発生との関連を調べるためである。

変動要因は以下の4つと考えている。

1. 鉄筋のタイプ — 黒皮鉄筋と亜鉛メッキ鉄筋
2. 鉄筋かぶりの影響
3. コンクリート中の塩素イオン濃度の影響
4. 環境条件 — 完全浸漬と乾湿の繰り返し

黒皮鉄筋と亜鉛メッキ鉄筋のひずみゲージの読みを比較したところ、亜鉛メッキ鉄筋の腐食により発生した応力は、黒皮鉄筋程大きくないことを示した。鉄筋の腐食電池で測定された電流密度の順序は、発生応力度の順序と同じであった。同時に、得られたデータには、発生応力と電流密度の高さには相関関係があることが認められた。

カナダ交通通信省 …… オンタリオ州にある交通通信省は、ここ数年来、塩分雰囲気中に露出したコンクリート中にある亜鉛メッキ鉄筋の性能について研究して来た。1977年のはじめに、トロントにある同省の研究所で Hill, Spellman, Stratfull らの実験を繰り返すことにより始められた。1980年11月で、4%塩化ナトリウム溶液に浸漬された供試体は、43ヶ月になる。亜鉛メッキ供



ロリポップ 供試体

試体（かぶり，19mm，25～38mm，51mm）はすべて，暴露初期に高い電位差を示し，その後もそのまま継続している。しかしながら，ひびわれなど，目で見える劣化は認められない。38mmと51mmのかぶりを有する黒皮鉄筋の供試体も劣化していない。かぶり19mmの黒皮鉄筋供試体のみに，水面付近で鉄の錆によるシミが認められた。黒皮鉄筋を用いた供試体もすべて，ひびわれは観測されなかった。

かぶり厚19mm，重量1130kgで，鉄筋のタイプを亜鉛メッキ亜鉛メッキ＋クロム酸塩，黒皮の3種にとったロリポップ型供試体（左図）で得られた実験結果を以下に示す。

1. 全供試体で塩分溶液が，鉄筋表面にまで到達した。腐食生成物が鉄筋表面からコンクリート中を移動した徴候はほとんどなかった。亜鉛メッキ，亜鉛メッキ＋クロム酸塩，黒皮の各鉄筋ともコンクリートの剝落，ひびわれの発生を示す徴候はなかった。
2. 大気中に暴露された亜鉛メッキ鉄筋のメッキ厚は平均で0.15mmである。海中に浸漬された供試体のメッキ厚で明らかな減少は認められなかった。
3. 黒皮鉄筋の表皮が完全であるところでは，鉄筋を腐食から守っていることは明らかである。表皮で守られていない部分では，鉄筋表面に点食（pitting）状の腐食が認められた。全体にわたる腐食作用は，広範囲に広がるものではなかった。

ポルトランドセメント協会 …… ポルトランドセメント協会（P.C.A）による野外試験の結果は1975年に開催されたI L Z R O（International Lead Zinc Research Organization）で報告されている。イリノイ州のSkokieにあるP.C.A野外試験場に4ケのスラブ供試体が設置され，現在も暴露試験が続けられている。ただし塩化物の散布は1975年以後行われていない。

4ケのスラブ供試体のうち，2ケは黒皮鉄筋が用いられ1963年に実験が始められた。他の2ケの供試体は，亜鉛メッキ鉄筋が用いられており，1968年に実験が始められた。この実験ではかぶり厚を，13mmと25～38mmの2種にとっている。各スラブ供試体は，巾1220mm，長さ1520mmの大きさであり，上下2層に鉄筋マットが入っている。各供試体は冬毎に約15

回 1 m^2 当り 490 g の割合で、凍結防止用の塩化カルシウムを散布している。これらのスラブ供試体には、溝が掘ってあり、雪が積もったり、凍結防止塩の溶液が排水されるようになっていて、実際の橋梁床版と同様な条件で暴露されている。この時点（1980年）では、供試体からコアを採取したり、分析を行ってはいないが、亜鉛メッキ鉄筋を用いたスラブ供試体は、12年経過後も、目視検査であるが、満足しうる性能を示している。

現場での研究

ペンシルベニア州道路局 …… ペンシルベニア州道路局は、研究計画 73-6 のもとで、約 200 橋の亜鉛メッキ鉄筋を用いた橋梁床版について追跡調査を行っており、現在も継続している。これらの試験より亜鉛メッキ鉄筋およびエポキシ樹脂塗装鉄筋を用いた橋梁床版は両方ともすべて良好な性能を示していることがわかった。ペンシルベニア州において、亜鉛メッキ鉄筋を用いた構造物でもっとも古いものは、現在建設後 7 年経過している。

ミシガン州道路局 …… ミシガン州道路局は 10 年前から、亜鉛メッキ鉄筋を用いたスラブ供試体の現場暴露試験と実験橋の施工を行って来たが、10 年経過後も鉄筋が非常に良好な状態にあることを確認した。現場暴露試験用に、 $910 \times 1220 \times 190$ mm のスラブ供試体を 12 枚実験室で打設、製作している。コンクリートの配合は単位セメント量として $335, 418\text{ kg/m}^3$ の 2 種、水セメント比には 48, 56, 64% の 3 種をとっている。スラブ供試体の鉄筋かぶり厚は 13~51 mm に変化させている。各スラブ供試体には、横方向鉄筋として D19 を 6 本、軸方向鉄筋として、D13 を 2 本、スラブ上縁部に配筋している。なお、D19 は D13 の上に置いている。横方向鉄筋 D19, 6 本のうち、3 本は亜鉛メッキ鉄筋であり、残りの 3 本は無処理のものである。横方向鉄筋の棚筋となる D13 は、2 本とも亜鉛メッキ鉄筋である。またスラブ供試体下縁部には、D19 を 6 本、D16 を 4 本配筋しているが、これらはいずれも無処理のものである。

冬期（12月～3月）には、週に 1 度塩水を散布している。供試体は、冬期中、常に塩化ナトリウム溶液が、作用しうる様水をためる構造となっている。春になれば、供試体の表面から過

大な塩分を取除くため、水洗いを行っている。

亜鉛メッキ鉄筋と無処理鉄筋を同時に使用することは好ましくないが、鉄筋腐食が促進された徴候はみえなかった。最近の実験では、かぶり厚 13 mm 以上では亜鉛メッキ鉄筋部のコンクリートには、劣化の徴候は表われていない。これらの実験条件は、スラブ供試体の評価が行われた 1976 年の報告と同様であり、D19 と D13 の鉄筋交差部のコアを採取している。黒皮鉄筋部のコンクリートには、錆汁の発生が数多くみられ、また、かぶり厚 13 mm の黒皮鉄筋供試体の表面では、コンクリートが剝落していた。亜鉛メッキ鉄筋を用いたものでも、かぶり厚 13 mm のものは、いくぶんその発生が遅れてはいるが、ひびわれや軽度の剝落がみられた。

スラブ供試体の野外暴露に関する第 2 次試験は 1976 年に開始された。この実験計画では、上・下縁部とも亜鉛メッキ鉄筋を用いたものが 3 ケ、上縁部に亜鉛メッキ、下縁部に無処理鉄筋を用いたものが 3 ケの合計 6 ケのスラブ供試体が製作された。コンクリートはすべて単位セメント量 335 Kg/m^3 のものが使用され、鉄筋かぶりは 32 mm である。5 年経過した現在、どの供試体もすべて良好な状態にある。

デトロイト市メトロポリタン地区において亜鉛メッキ鉄筋を用いた実験橋が 10 年前に施工されている。亜鉛メッキ鉄筋は構造物の約 $\frac{1}{2}$ にわたり、橋梁床版の上筋として使用されているが、10 年経過後の現在も非常に良好な状態にある。これらの橋梁床版は定期点検を受けており、環境条件の調査、電位差の測定、検測器を用いた表面の点検を行っている。これらの実験橋（全 5 橋）については、現在までコアの採取を行っておらず、今後も、何らかの劣化が生じるまで、コア採取の計画はない。

さらに、橋梁床版の上、下筋に亜鉛メッキ鉄筋を使用した実験橋を、1974 年に Ann Arbor 地区に 3 橋施工している。1979 年の点検では、供用開始後 5 年で、すべて良好な状態にあることがわかった。

フロリダ州道路局 …… フロリダ州道路局が維持管理している橋梁では、冬期の凍結防止塩の作用を受けることはないが、海洋から塩水のしぶきを受

けるものが多い。

実験用橋梁2橋がBoca Chica Bay橋の南側にある。これらの実験用橋梁床版は1972年に施工され、同橋の南端より、第1及び第3径間である。第1径間には亜鉛メッキ鉄筋が、第3径間には、無処理の鉄筋が用いられている。両径間ともD13、D16が使用されており、横方向鉄筋はctc 250mm、軸方向鉄筋はctc 225mmで配筋されている。

この橋梁は、施工完了後、定期的に検査されている。橋梁床版の表面には明らかな欠陥はみられない。施工完了後、現在まで3度にわたって、鉄筋に至るまでのコアーが採取されている。1975年、1976年、1980年。最近の検査(1980年)で、電位差の測定値(参照電極は硫酸銅(CSE))がもっとも低い(マイナス側)部分から、コアーを採取している。これらの電位差の低い領域は、今後の腐食問題の「焦点」になると感じられる。

亜鉛メッキ鉄筋を用いた第1径間では電位差は-0.11~-0.31Vで平均値-0.21Vであった。無処理鉄筋を用いた第3径間では+0.05~-0.06Vで平均値-0.004Vであった。

第1径間では、電位差-0.25および-0.30Vの部分から、第3径間では、電位差-0.33Vの部分からそれぞれコアーを採取している。採取したコアーについて、塩分濃度の測定を行なったが、第1径間では $0.84 \sim 2.09 \text{ Kg/m}^3$ 、鉄筋位置では $0.95 \sim 1.15 \text{ Kg/m}^3$ であり、第3径間では、 $0.67 \sim 1.56 \text{ Kg/m}^3$ 鉄筋位置で 0.70 Kg/m^3 であった。

金属顕微鏡を用いた検査も行なわれており、第1径間から採取した2ヶの亜鉛メッキ鉄筋は両方とも表面にのみ塩化物の作用を受けているにすぎないことが観察された。鉄筋位置の塩分濃度が理論腐食限界濃度 0.71 Kg/m^3 を大巾に上回っているにもかかわらず、鉄筋に変状は認められなかった。亜鉛メッキ厚を測定したところ、ひとつは 0.11 mm 、他方は 0.17 mm であった。第3径間から採取した黒皮鉄筋では、塩化物の痕跡が認められ、黒皮の厚みは約 0.04 mm であった。黒皮がはがれた部分では、鉄筋表面に点食を受けたところがあった。顕微鏡解析では、点食部には鉄のみが観察された。

本橋梁の床版においては、腐食限界塩分濃度 0.71 Kg/m^3 を越え、かつ、自然電位差が -0.35 V に達しても、鉄筋腐食が生じないことが明らかになった。今後も定期検査が継続される予定であり、貴重なデータが得られると期待される。

カナダ交通通信省 …… オンタリオ州の交通通信省は、自ら亜鉛メッキ鉄筋を用いた橋梁床版を施工したことはないが、オンタリオ州にあるいくつかの市で施工された構造物に興味を示しており、これらの中には、亜鉛メッキ鉄筋を用いた橋梁床版も含まれている。オンタリオ州にある構造物で1シーズン、凍結防止塩を散布した後に、自然電位測定と採取したコアから金属顕微鏡による解析を行なったが、これらから、その期間にごく表面的な鉄筋腐食しか生じていないことがわかった。

分極及び亜鉛抵抗針が、トロントにある Bathurst Street 橋に埋設されており、亜鉛メッキ厚の消耗速度が計測されている。

抄訳 No 32 (G. A. Hill, D. L. Spellman, R. F. Stratfull)

本論文は、実験室段階で亜鉛めっき鉄筋の防食効果について論じたものである。著者らは塩水環境下での亜鉛めっき鉄筋の防食効果は期待できないとしている。

以下に実験手法、結果を記す。

(1) 実験手順

RC 供試体* を飽和食塩水と水道水に半浸漬して、一週間に3回の腐食電位測定を行う。

実験因子：コンクリート配合（単位セメント量3種類）、養生条件（湿潤、蒸気）、鉄筋種類

(2) 実験結果

- セメント量、養生条件と関係なく、黒皮鉄筋も亜鉛メッキ鉄筋もコンクリートの条件が同じならばほぼ同時に腐食が初まる。（腐食電位が急に变化する時期はほぼ同じ）。
- コンクリートのひびわれ発生時期は亜鉛メッキ鉄筋の方がずっと遅いが、単位セメント量が特に大きい場合には亜鉛メッキの方が早くひびわれを発生させる。
- 塩分の浸透量 — 塩水中に浸漬したものは 3.76 Kg/m^3 コンクリート、水道水中のは 3.3 Kg/m^3 である。しかし、コンクリートの吸水性にはほとんど差がない。
- 亜鉛メッキ量が大きいほどコンクリートに早くひびわれが生じる。これは 2.5 cm のかぶりに対して、亜鉛の腐食生成物がより高い内圧をあたえるためである。

〈結 論〉

- ・塩分含有コンクリート中では、亜鉛メッキ鉄筋は活性電位を持つことがある。

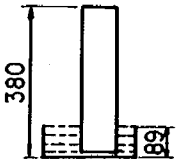
- ・湿潤養生したものよりも蒸気養生したものは塩分の浸透が早く、腐食も早く生じる。
- ・亜鉛メッキは塩水環境下では防食の効果を期待できない。
- ・腐食によるひびわれ発生までの期間を長くするには単位セメント量を大きくすることが重要である。

*) 供試体寸法：114×64×380(mm)

鉄筋径：φ12.7

かぶり：2.5cm以上

実験室条件：22℃，湿度：30～45%

供試体本数： 合計 90本		鉄筋種類	養生条件	セメント量 279 (kg/m ³)	335 (kg/m ³)	418 (kg/m ³)
 380	[335kg/m ³ のものは] 水道水中に浸漬	黒皮鉄筋	湿潤	10	—	10
			蒸気	10	—	10
		亜鉛メッキ	湿潤	10	5	10
			蒸気	10	5	10

4) 電気防食

抄訳 No 31 (John E. Slater)

本論文は、橋梁コンクリート床版の電気防食法適用にあたっての注意事項を記したものである。

コンクリート中の鉄筋は土中、海中の鋼材とは異なる状況にあり、電気防食にあたっては、以下の点に注意しなければならないとしている。

- コンクリートの高いPH。
- 一般に低い、種々変化するコンクリートの電気抵抗。
- コンクリートと鋼の界面における極端な分極率。
- 同一構造物でも時間と部位により条件が変化すること。
- 過度の陰極電流と水素発生による鋼とコンクリート界面の結合力の減少。

陰極電位の目安は、現在まだ流動的であるが -0.85V_{cse} が安全と考えられている。

(V_{cse} …… 参照電極として硫酸銅電極 CSE を用いた場合の電位差)

5) PCテンドン

抄訳 No 36 (M. Schpark)

本論文はポストテンション方式PCテンドンの腐食状況及び防食テンドンについての考え方を記したものである。著者は防食テンドンとしてプラスチックシースを提案している。

(1) ボンド方式とアンボンド方式の腐食後の挙動

ボンド方式の場合はPC鋼材の腐食によってひびわれやたわみに異状が生ずるが、ア

ンボンド方式の場合は腐食によって最悪の事故をもたらす。

(2) ボンド方式PCテンドン

図3-2のような欠陥を生じないようにする必要がある、またひびわれの制限、コンクリートの緻密性、十分なかぶりなどを考慮する。グラウト技術の向上が必要。著者の経験によれば、アルミナ粉の使用は水素分子を発生するもので望ましくない。

(3) アンボンド方式PCテンドン

図3-3のような欠陥に注意すること。厚手のプラスチック製シースの使用がよい。

(4) 電気絶縁を施したPCテンドン(図3-4)

この絶縁方式は、迷走電流、侵食性物質の浸透(Cl^- , H_2S)および腐食電池の形成などを防ぎ、PCテンドンの腐食防止手段となる。

(5) 異形プラスチック製シースの有効性

図3-5の付着試験結果より、異形プラスチック製シースが普通のスパイラル鉄板製シースより付着性がよく、定着域におけるひびわれ制御用鉄筋を低減することができる。

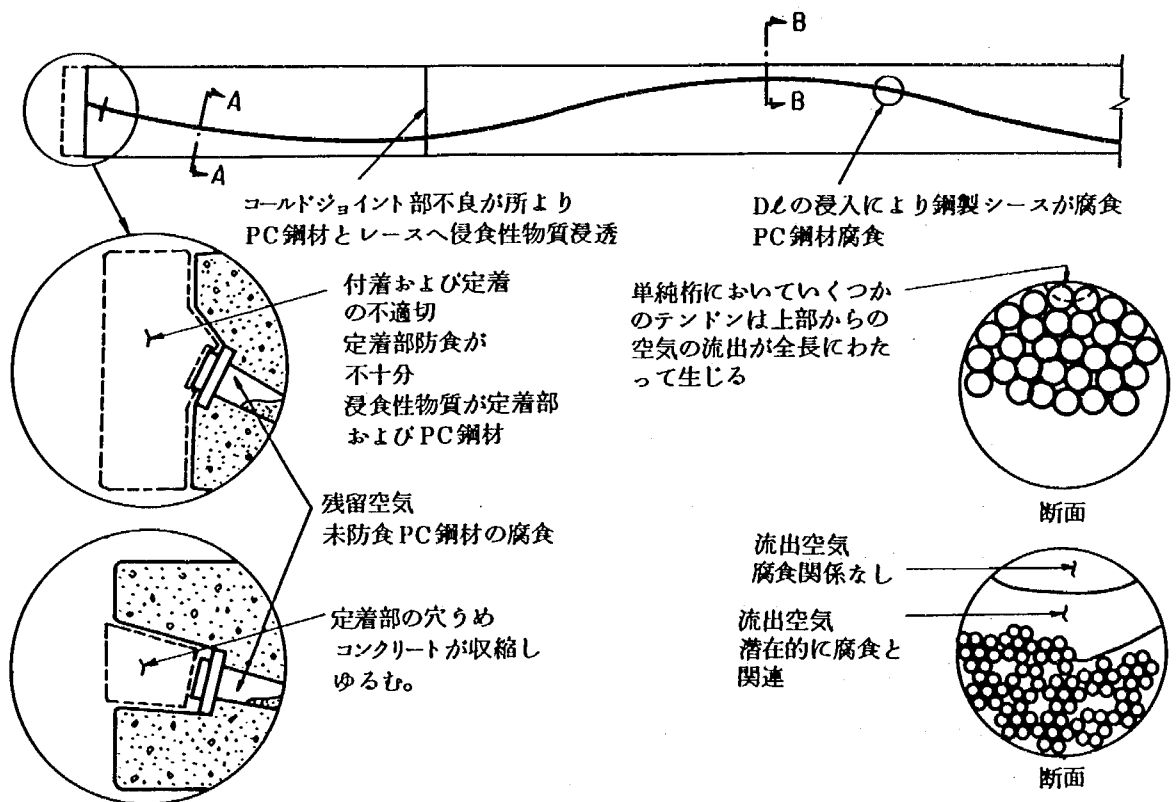


図3-2 付着を有するPCテンドンに関する施工上の欠陥

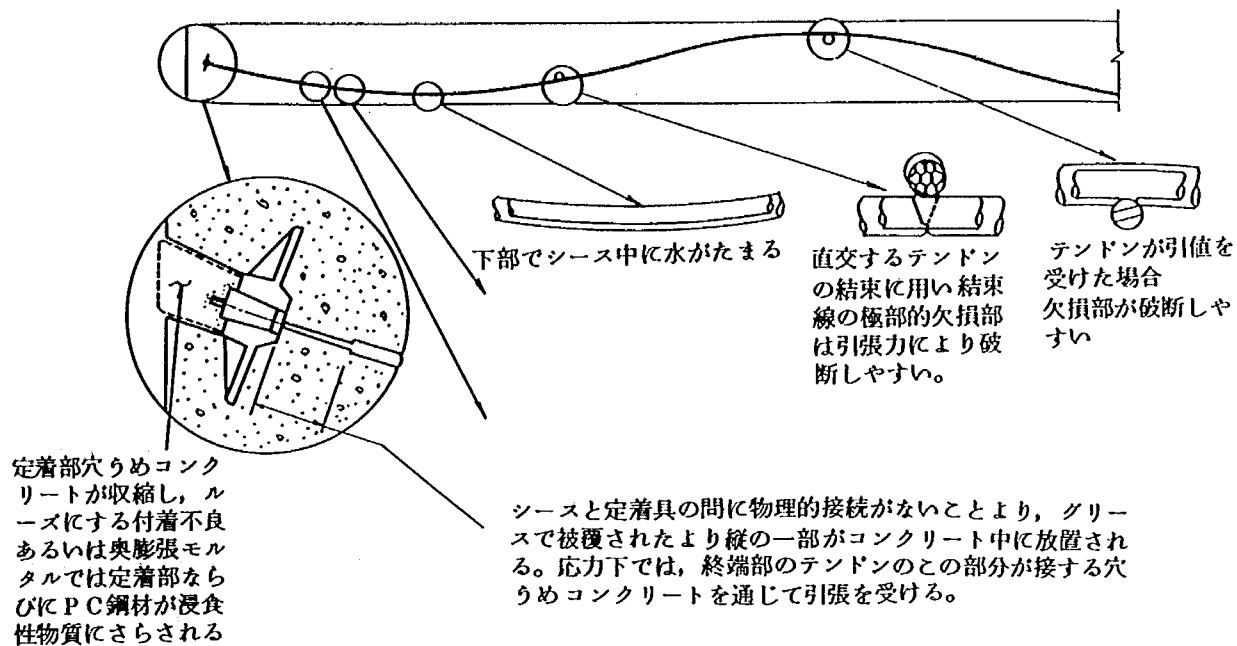


図 3-3 アンボンド PC テンドンに関する施工上の欠陥

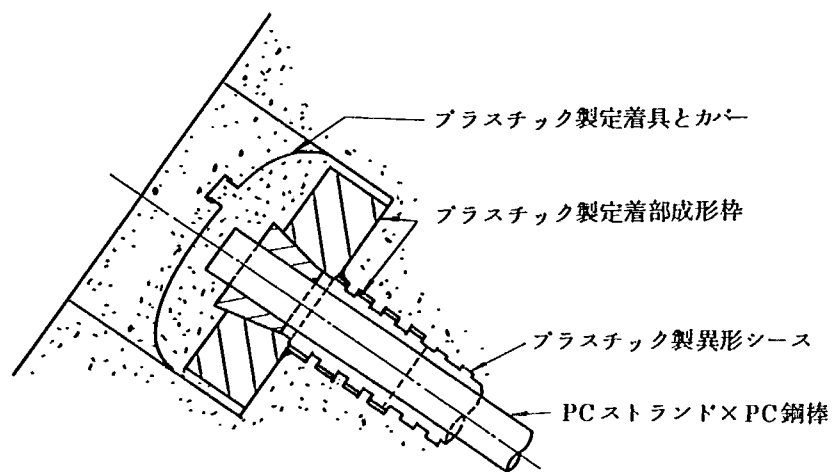


図 3-4 電気絶縁を施した PC テンドン

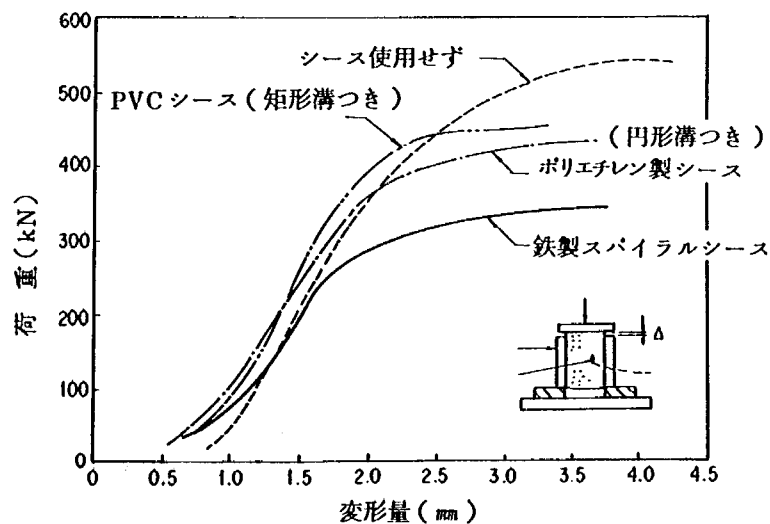


図 3-5 プラスチック製や鉄製シースの付着試験

ま と め

以上の結果を抄訳№25 (P. D. Cady) は表3-3のようにまとめている。

また参考に、新設構造物に適用する際に防食効果・耐久性が期待できるエポキシ塗装鉄筋の概況を付した。

各防食工法について評価を加えると以下の通りとなる。

- 1) 塩 分 除 去 : 当面実用化は期待できない。
- 2) 防 錆 剤 : 塩分浸透量が、予測出来ない場合、混和量が特定できず100%の防食効果が期待出来ない。
- 3) コンクリートのシール : コンクリート中にあらかじめ塩分が混入している場合、注意する必要がある。耐久性の評価は今後必要である。
- 4) 鉄 筋 被 覆 : エポキシ樹脂被覆は、施工上取扱いに注意する必要がある。亜鉛めっきの耐久性評価は現在固まっていな。いずれにしても補修には使えない。
- 5) 電 気 防 食 : 当面実用化は期待できない。

表-3.3 防 食 法 の 現 状

防 食 法	適 用		潜 在 需 要			
	施工時	施工後	将来有望	疑わしい	現場評価	研究,開発
1. 塩素の除去						
電気化学的方法+イオン交換 …		○	○			○
2. 防錆剤 (混和剤) ……………	○			○		○
3. コンクリートのシール						
(a) 表 面						
(i) 被 膜 ……………	○	○	○		○	
(ii) オーバーレイ						
低W/Cコンクリート ……	○	○	○			
ラテックスモルタル ……	○	○	○			
(b) 低W/Cコンクリート						
高性能減水剤 ……………	○		○			○
(c) 内部シールコンクリート ……	○		○		○	
(d) 含浸コンクリート						
(i) ポリマー ……………	○	○	○		○	
(ii) 硫 黄 ……………	○	○	○			○
4. 鉄筋の被覆						
(a) バリヤータイプ ……………	○		○		○	
(b) アノードタイプ ……………	○			○	○	
5. 電気防食						
強制電流 ……………	○	○	○		○	

バリヤータイプ …… 塗装鉄筋
アノードタイプ …… 亜鉛メッキ鉄筋

樹脂塗装鉄筋（参考）

文献調査から実例は紹介されなかった樹脂塗装鉄筋について以下に補足して説明する。

樹脂塗装鉄筋は、鉄筋そのものが錆ないという利点を有しており、また、塗装分野の技術の進歩からさらに性能を向上させうる余地を残しているといえる。ここでは、樹脂塗料の中でも性能のすぐれている、粉体型エポキシ樹脂を用いた塗装鉄筋について紹介する。

エポキシ樹脂粉体塗装鉄筋は、サンドブラスト処理等のブラストにより、表面の黒皮、赤さび、その他の付着物を除去すると同時に、適度の表面あらさを付与した鉄筋を予熱してから、エポキシ樹脂の粉体塗料を静電塗装し、直ちに、200℃前後の温度に一定時間保持して、連続塗膜を形成させたものである。

塗膜の性能は、塗料の品質と素地調整から塗装及び加熱重合に至るまでの処理条件によって異なる。すなわち、加熱温度や加熱時間の変動は、塗膜の物性に大きな影響を与え、塗装条件が変わって塗膜厚が過大になれば、防食性は向上するがコンクリートとの付着強度は逆に低下する。

塗装鉄筋には、次のような性能が要求される。

- ① 塗膜がコンクリート中ですぐれた耐久性を有すること。
- ② コンクリートにひびわれが生じても、鉄筋を保護する性能が低下しないこと。
- ③ コンクリートとの付着強度が十分であること。
- ④ 塗膜の機械的性能がすぐれ、運搬、積み下し、曲げ加工、配筋及びコンクリート打設作業に伴う損傷を受け難いこと。

エポキシ樹脂粉体塗料は、常温乾燥型のエポキシ樹脂塗料よりも耐アルカリ性や耐水性がよく、しかも、強靱な塗膜を形成することが知られている。しかし、エポキシ樹脂粉体塗料の鉄筋用塗料としての性能は、その品質によって差があると考えられる。

塗装鉄筋の利用に際しては、損傷部の補修方法と継手の選定が重要である。塗装鉄筋の接合に溶接法やガス圧接法を用いると、塗膜の除去や焼損部の補修塗りが必要となるので、これらの問題のない重ね継手によるのが望ましい。

また、エポキシ樹脂粉体塗装を施したスリーブを用いる樹脂接着継手により接合する方法もよいが、亜鉛めっき鉄筋の場合と同様に、継手部の接着強度に問題のないことを事前に確認しておく必要がある。

以上のように、エポキシ樹脂塗装鉄筋には、改良すべき点が残されているのが現在までの各種試験により、コンクリートにひびわれを生じた場合等、とりわけ厳しい条件下でも防食効果を期待できることが明らかにされていることと、技術的にほぼ確立されていて、高品質の製品の生産が可能であること等のために、今後大いに期待される材料であるといえよう。

4. 研 究 計 画

コンクリート構造物、特に海洋構造物に関連して欧米諸国において大規模な長期研究計画が継続されている現状にある。その成果を反映しながら、北海油田における大型コンクリートプラットフォームが盛んに建設されつつある。ここに、研究計画に関する5編の論文を取り上げ、諸外国の研究内容を理解すると共に、海洋環境下のコンクリート構造物に関する設計、施工上の問題点を把握する。

抄訳 No. 39 (J. P. Peyronnet, M. Seguin)

この論文は、フランスで行った海洋環境関連文献の調査研究、材料に関する実験内容、構造部材に関する実験内容および計測方法に関する調査などの概要を述べるものである。

〈調査内容〉

1. 記録及び情報の調査
2. 材料についての実験調査
 - 2.1 コンクリート中の鉄筋の挙動
 - 2.2 構造物の維持と補修
 - 2.3 コンクリート混練時の海水使用
 - 2.4 コンクリート中への海水の浸透
 - 2.5 含浸コンクリートの効果
3. 構造部材についての実験調査
 - 3.1 静的荷重でひびわれを与えた構造部材の干満帯における挙動
 - 3.2 干満帯で繰返し荷重を与えた構造部材の挙動
 - 3.3 静水圧を受けるシェルの座屈に関するマイクロコンクリートを用いた模型実験
4. 計測方法についての調査
 - 4.1 検索表からの抽出
 - 4.2 多目的中央検知器
 - 4.3 部分的に海中にあるタワーの動的挙動

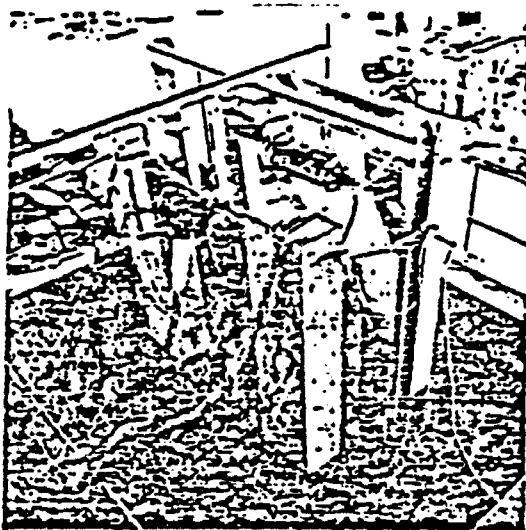


図-4.1 潮汐シュミレートタンクに
セットされたU型供試体
(動的載荷)

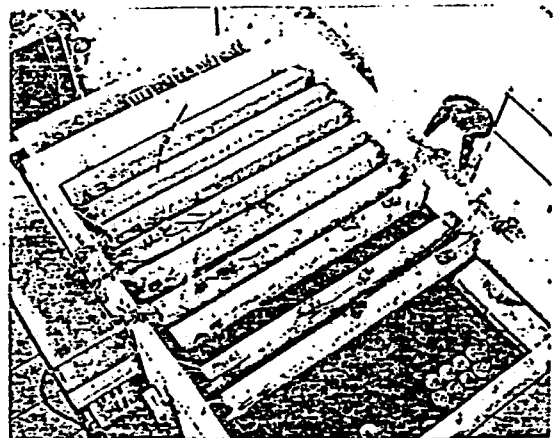


図-4.2 潮汐干満装置にセットされた
静的式荷を受ける供試体

抄訳 No. 40 (J. V. Sharp ; P. Pullar - Strecker)

抄訳 No. 41 (J. V. Sharp ; P. Pullar - Strecker)

上記2編の論文は、1976年に開始したイギリスの "Concrete in the Ocean" 研究計画の全体概要と、腐食に関連する研究課題の概要と結果を述べるものである。さらに Phase II の研究計画の提案についても紹介する。

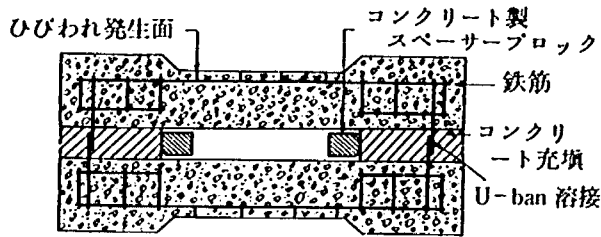
研究結果によれば、ひびわれ幅は鉄筋腐食の発生にのみ影響し、その後の腐食速度は他の要因に左右される。図-4.4に鉄筋腐食の発生とひびわれの関係を示している。常に海中に浸漬されるコンクリートでは、塩分浸透量は大きい、鉄筋の腐食は発生しないか、発生してもその程度は小さい(図-4.5, 4.6参照)。飛沫帯では、かぶり不足やひびわれの発生(特に鉄筋に沿ったひびわれ)により、鉄筋の腐食速度が増進される。

表-4.1 "Concrete in the Oceans" 研究計画の課題

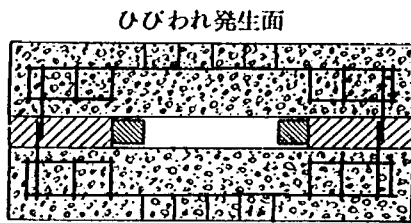
研究分野	課題番号	課 題 名	担 当 者	進行状況
(a) 腐 食	1	海水中に浸漬したコンクリート中の鋼材腐食のメカニズム	Harwell Corrosion Centre	完了
	2 a	海洋構造物の設計	Cement & Concrete Association	完了
	2 b	4ヶ所の異なる環境におけるコンクリート供試体の暴露試験	Wimpey Laboratories	継続中
	4	既存海洋鉄筋コンクリート構造物の調査	Taylor Woodrow Research Laboratories	完了
(b) 疲 労	6	海水中におけるRCの疲労強度	John Laing R&D	継続中
(c) 構造性能	3	貯油タンク壁面に及ぼす温度勾配の影響に関する実験的研究	Cement & Concrete Association	完了
	5	大型プレストレストコンクリート部材のせん断耐力	Polvtechnic of Central London	完了
	7	コンクリートプラットフォームの破壊モード	Ove Arup & Partners	完了

表-4.2 Phase II に含まれる課題

課題番号	課 題 名	推 定 費 用
1	ひびわれと腐食の基準	£ 1 8 0,0 0 0
2	破裂強度	£ 1 0 0,0 0 0
3	押抜きせん断と衝撃抵抗性	£ 1 0,0 0 0
4	温度勾配	£ 4 5,0 0 0
5	疲労と腐食疲労	£ 1 2 0,0 0 0
6	既存構造物の調査	£ 3 0,0 0 0
7	共同レポート作成	£ 2 0,0 0 0



(a) 鉄筋に対して直角方向のひびわれ



(b) 鉄筋に沿ったひびわれ
(主筋に対して短い鉄筋と直角に入れている)

図-4.3 暴露試験RC供試体

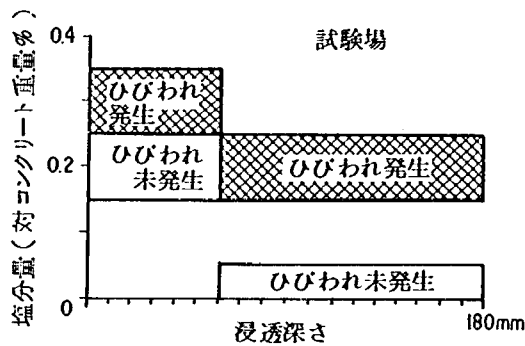


図-4.5 海中に浸漬したコンクリートの塩分浸透量

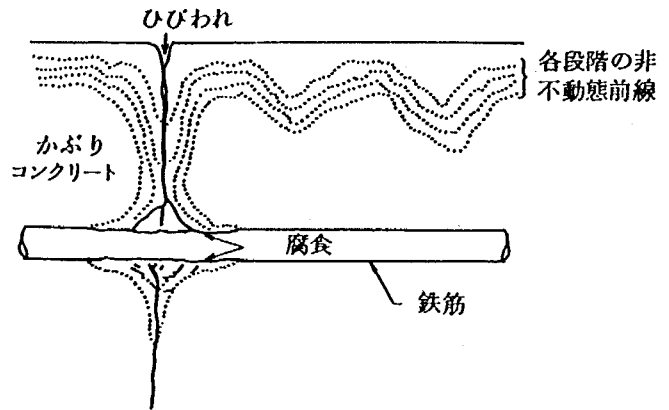


図-4.4 コンクリートひびわれ発生部の非不動態前線の浸透

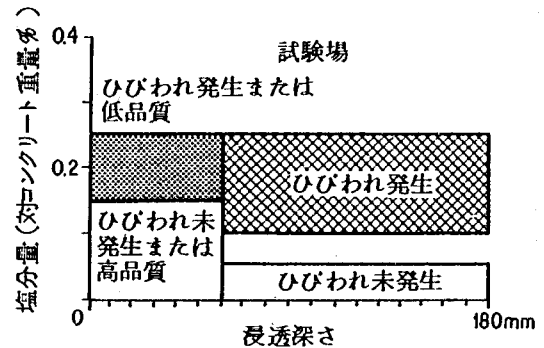


図-4.6 飛沫帯に放置したコンクリートの塩分浸透量

抄訳 No.42 (J. M. Scanlon, Jr.)

1

この論文は米国陸軍の Treat 島における研究計画を概説するものである。現在36ケの研究計画が遂行されているが、主なものは以下のものである。

- 1) RCおよびPC梁の耐久性 — RCおよびPC梁の暴露試験を1956年頃から継続している。栈橋等の港湾構造物を対象としている。
- 2) 繊維補強コンクリートの性能 — 強度、耐久性、耐磨耗性、耐食性などの調査を目的として1975年より計80本の梁を暴露している。
- 3) ポリマーコンクリートおよびポリマー含浸コンクリート — 1978年よりポリマーおよびポリマー含浸コンクリートの耐久性と性能を調査している。
- 4) Roller Compacted Concrete — 重力ダムを対象として1977年より6本の梁供試体を暴露している。
- 5) 硫黄含浸コンクリート(カナダ) — 1976年より54ケの硫黄含浸コンクリート供試体

が暴露されている。また、15本の大型供試体の暴露試験も行われており、データが得られている。

- 6) セメント置換えと高性能減水剤(カナダ) — 高性能減水剤を用いたコンクリートの凍結融解抵抗性に関する調査が行われている。また、高炉スラグ、フライアッシュを混入したコンクリートの耐久性調査を行っている。

抄訳 No 43 (P. Fidjestol ; N. Nilson)

この論文は1976年より実施されている DNVの“鉄筋の腐食に関する研究計画(ひびわれ幅とかぶり腐食メカニズムに及ぼす影響, 亜鉛メッキ鉄筋の防食効果, 浸漬深さの影響など)”から, 現在までに得られた結果をまとめたものである。計70本のRC供試体をノルウェー西岸の海中に放置し, 18ヶ月間の暴露後, 電気化学的測定を行った。いくつかの供試体は破壊試験を行ったが, 残りは再び暴露試験を継続している。

いままでの試験結果によれば, 健全で, かつ高品質のコンクリートに埋込まれた鉄筋は, 海水中に18ヶ月間浸漬後は, 強い負の腐食電位($e = -900\text{mV Ag/AgCl}$)に達する(図-4.7, 4.8)。この負の勾配は酸素の欠乏によるものであり, コンクリート表面の沈積物がひびわれ部を閉じる形で発生し, 酸素の供給を妨げるからである。

また, 鉄筋腐食速度が低い($<10\mu\text{m/年}$)ので, 鉄筋は準不動態挙動を示している。分極曲線は大きな勾配を有し, 不安定状態にあることを示している。なお, かぶり, ひびわれ幅, 鉄筋径などの影響は図-4.9~図-4.12に示されたように大差がないようである。

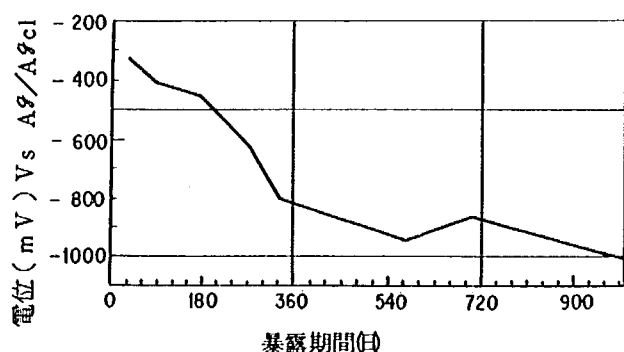


図-4.7 電位 - 暴露期間
(ひびわれなし)

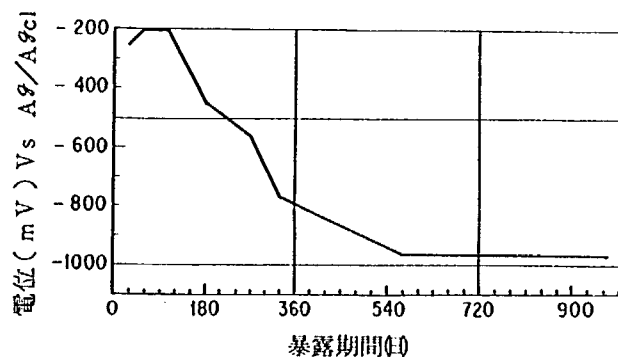


図-4.8 電位 - 暴露期間
(軸方向ひびわれ)

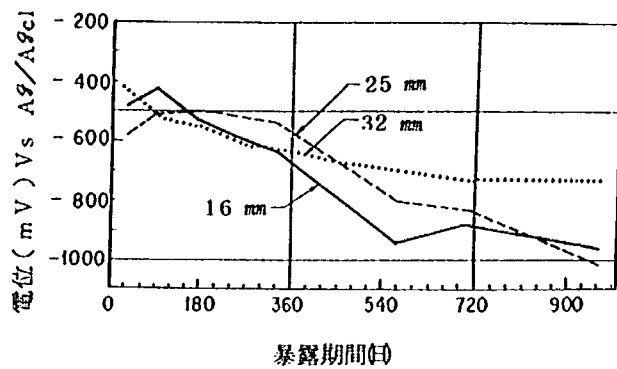


図-4.9 鉄筋径の影響(平均値)

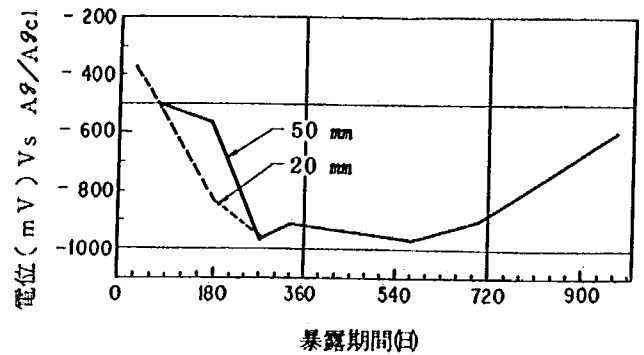


図-4.10 かぶりの影響(平均値)

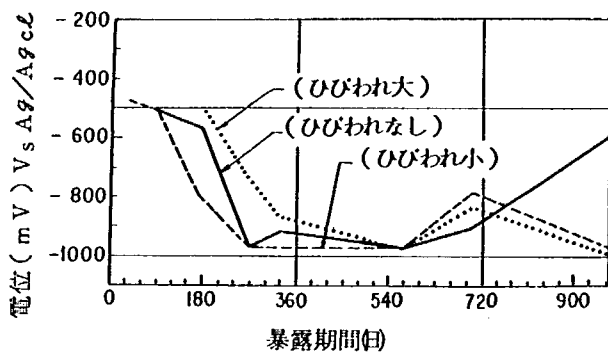


図-4.11 ひびわれの影響
(海面下1m)

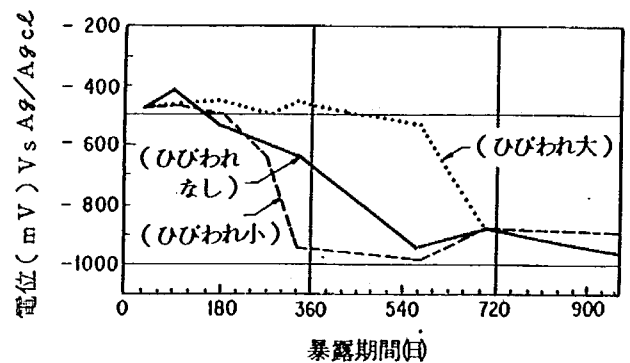


図-4.12 ひびわれの影響
(海面下10m)

抄訳 No.44 (W. F. Crojier)

この論文は、1980年4月のFIP海洋コンクリート構造物委員会において報告された各国の研究計画の概要をまとめたものである。イギリス、アメリカ、オランダ、フランスおよびノルウェー諸国の主な研究課題は表-4.3, 4.4に示したように長期的、大規模なものが多く、その成果が期待される。

表-4.3 各国研究計画 (その1)

国名	研究計画名	担当者	課題名	備考
イギリス	Concrete in the Oceans	Harwell Corrsion Centre	4a 1 海水中に浸漬したコンクリート中の鋼材腐食のメカニズム	完了
		C&CA	4a 2a 海洋構造物の設計	完了
		Wimpey Laboratory	4a 2b 4ヶ所の異なる環境におけるコンクリート供試体の暴露試験	継続中
		Taylor Woodrow Research Lab.	4a 4 既存海洋鉄筋コンクリート構造物の調査	完了
		John Laing R&D	4a 6 海水中におけるRCの疲労強度	継続中
		C&CA	4a 3 貯油タンク壁面に及ぼす温度勾配の影響に関する実験的研究	完了
		Polytechnic of Central London	4a 5 大型プレストレストコンクリート部材のせん断耐力 4a 7 コンクリートブラットフォームの破壊モード	完了
アメリカ			○ポリマー含浸コンクリートの橋床版への適用 ○飛沫帯に用いる樹脂塗装鉄筋の製造法 ○防錆剤(例えば亜硝酸ナトリウム)の試験 ○耐久性向上のためのボゾラン混和材の試験 ○地震地域の耐久性向上に関する試験 ○長大浮遊式構造物の動的挙動に関する研究 ○かぶりと鉄筋径、粗骨材寸法、セメント成分および透水性などとの関係に関する研究 ○OTEC研究計画 ○水中の土の安定化に関する試験	
オランダ			○コンクリートへの砂による浸食問題 ○水深100mのコンクリート供試体の長期挙動	
	Dutch Programme		○オランダ研究計画 ・海洋コンクリートに用いる新材料 ・海洋コンクリートの補修と防食 ・深海中のコンクリートに及ぼす海水の影響 ・海洋環境におけるPC鋼材の応力腐食 ・石油にさらされているコンクリートの研究 ・コンクリートの疲労問題に関する研究 ・海洋コンクリート構造物に及ぼす温度効果の影響	
			○5ヶ年研究計画 ・3mm以上のひびわれ幅の検出 ・腐食の検出と防止 ・破断したPCストランドやPC鋼棒の検出 ・高水圧を受ける軽量コンクリートの吸水性 ・高水圧を受けるコンクリート骨組の安定性 ・パリテリアによる侵食 ・新しいセメントモルタルの付着性と樹脂モルタルの使用	

表-4.4 各国研究計画

(その2)

国名	研究計画名	担当者	課題名	備考
フランス		CNEXO (国立海洋開発センター) CEBTP (建物調査研究センター)	○コンクリートに生じているひびわれに及ぼす静水圧の影響 ○鉄筋の腐食防止法 (電気防食を含) ○RCスラブにおける温度勾配 ○コンクリート構造物の衝撃抵抗性 ○高強度軽量コンクリート ○円筒シェールの構造的安定性	
ノルウェー		Norwegian Contractors	○大型部材における水和熱と拘束力に関する研究	
		DNV	○鉄筋の腐食に関する研究 (例えば、ひびわれ幅とかぶりが腐食メカニズムに及ぼす影響)	
		Norwegian Contractors	○海洋コンクリート構造物の電池腐食に関する研究	
			○COSMAR研究計画 ・海洋コンクリート構造物の静的強度 ・の疲労強度 ・温度効果に関連するLNGおよび油の貯蔵、運送用コンクリート構造物の開発 ・氷と極寒環境を受ける海洋コンクリート構造物	
		DNV	○解析手法の開発 (FEMプログラム)	
		DNV	○衝撃と衝突	
			○コンクリート プラット フォームの損傷と補修 ○実物大試験	
		Norsk Hydro	○深海 プラット フォーム プロジェクト コンクリート プラット フォームの試設計 Tripod 300, Conprod, Doris の3基分	
		Norwegian Contractors	○新しい海洋構造物の開発 ・Doughnut の開発 ・重力式プラット フォームの開発 ・パイプラインの保護システム	
			○海中浮遊方式管路橋の開発	

以上の5編の論文から、仏、英、米、カナダ、ノルウェーおよびオランダ諸国の最近の研究計画概要を把握することができる。研究課題の内容についてみると、腐食メカニズムの解明、海洋構造物における特有問題点の解決および設計法の確立、コンクリートの耐久性の改善、防食工法、新材料などの開発の外に、新しい海洋コンクリート構造物の開発、既存構造物の実態調査が取り上げられている。これらの研究の一部はすでに完了し、その成果が各分野において応用されているに違いない。コンクリート構造物の耐久性に関連する研究は、系統的な長期調査こそ、すばらしい実用的な結果が得られると思われる。

5. 補修，補強及び防食の事例

本章では，実際のコンクリート構造物に採用された防食工法（点検，保守を含む）や，損傷発生後の補修，補強工法の事例について概説する。対象とするコンクリート構造物は，以下のように6項目に分類し，それぞれについて説明を加えるものとする。なお，1）～5）については塩害が原因のものであり，6）は，塩害とは関係なく橋梁の補修，補強工法についてのものである。

- 1) 海洋構造物
- 2) 栈 橋
- 3) 海洋環境下の橋梁
- 4) コンクリート床版
- 5) その他
- 6) 橋梁の補修，補強

5-1 海洋構造物

北海において，建設，稼働中のコンクリート製石油掘削，貯蔵用プラットフォームに代表される外洋上の構造物。一般に水深100m，耐用年数30年程度で設計されているが，暴風雨時の波浪，船舶の衝突，塩分浸透等による鋼材腐食などにさらされているため，構造物の点検，保守，さらに防食について細い考慮がなされている。

抄訳 No. 45 (S. Field)

本論文は，北海のコンクリート製固定式海洋構造物に対し，その耐用期間（通常25～

30年）中に，安全と機能を保証するため，当局から要求されている定期点検プログラム，成績証明書の更新，推奨される点検法などを説明し，さらに損傷ヶ所の補修法についても述べている。特に操業中のコンクリート構造物の点検に関しては，非破壊検査など，大がかりな検査を行うまえに，日常的かつ実用的な点検を重視すべきだとしている。

実用的な点検手法としては，大気中では，ボート，ゴンドラなどの移動可能な作業足場を用いた目視検査や測定器具を用いた方法を，海水中では遠隔操作のTV設備，潜水夫や潜水装置を用いた目視検査をあげ，また，非破壊検査法としては，シュミットハンマーによるコンクリート表面のチェック，電位差及び電気抵抗の測定による鉄筋腐食の評価，さらに超音波装置を用いた，ひびわれ劣化域の判定及び補修部分の健全度評価をあげている。

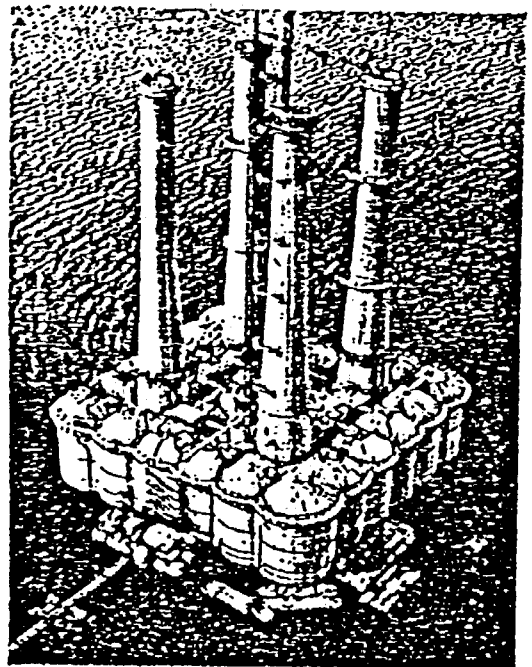


図-5.1 英国Sea Tank社の石油掘削・貯蔵用コンクリート製プラットフォーム。

抄訳 No 46 (B. Heuzé)

抄訳 No 47 (B. Heuzé)

上記の2論文は、同一著者が仏語及び英語で表わしたもので、北海のコンクリート製ブラットフォーム(図-5.1)について採用された防食法について概説している。

本論文では、コンクリート中の鉄筋の腐食は、コンクリートの品質とかぶりを制限すれば問題ないが、ブラットフォームの鋼製付属設備については、コンクリート内部の鉄筋と接触している場合、必ず防食工が必要だとしている。このブラットフォームでは、亜鉛及びアルミニウムを用いた犠牲陽極による。電気防食法と、鋼製付属設備については、 $400\mu\text{m}$ のタールエポキシが採用されている。

このブラットフォームは、水深100m、耐用年数30年として設計されており、鉄筋と埋込み金具はすべて連結され犠牲陽極と結合して等電位網を構成している。犠牲陽極は右図に示されているように、構造物全体にわたって分散配置され、使用量は、亜鉛が746ヶ所-383ton、アルミニウムが634ヶ所-105tonである。鉄筋の電流密度は、長期の分極作用によって低減することを考慮して、初期値を $2\text{mA}/\text{m}^2$ としている。また、照査電極を設置して、鉄筋腐食に対する追跡システムを備え、さらに、将来の強制電流による電気防食法についても考慮されている。

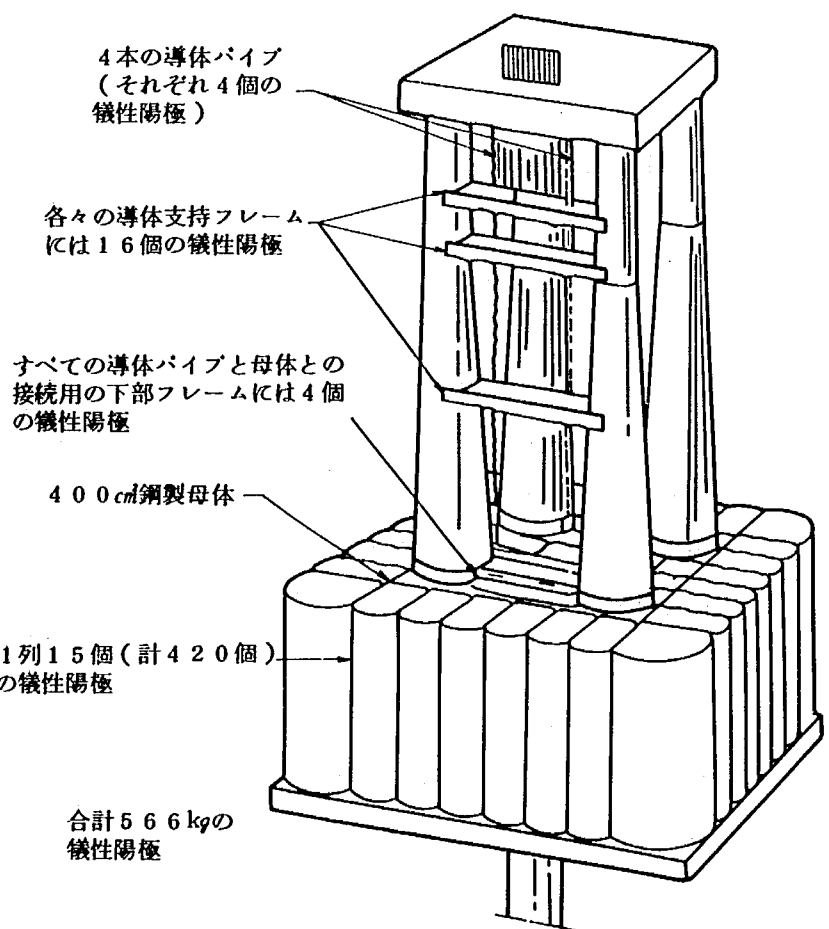


図-5.2 外部犠牲陽極の配置

また、設計に際しては、ひびわれ幅を $0.2 \sim 0.3\text{mm}$ とすることを基準とし、鉄筋のかぶりは安全を見込んで 7cm 以上、PC鋼材は 10cm 以上としている。

第6章でも紹介されているが、抄訳No73(J. P. Bournats)では、コンクリート製ブラットフォームの検査法として、電流密度測定によるひびわれの検出を提案し、さらに北海において実測も行なっている。

5-2 棧 橋

棧橋や埠頭などの港湾構造物は、波浪、船舶の衝突、海水中の塩分の影響、さらに大きな荷重が載荷されることなどから、種々の被害を受けている場合が多い。またその施工年代も古いものが多く、補修、補強方法には大きな関心が寄せられている。ここでは、棧橋や埠頭などの港湾構造物の補修や補強の事例について概説する。

抄訳 No 48 (W. E. Schwarz)

本論文は、New Hampshire州にある米海軍 Portsmouth 造船所の棧橋の補修について報告したものである。被害は全域にわたっているが、とくに、コンクリートはりとパイル頭部の被害が激しく、当初の予定より大規模な補修、補強作業が必要となった。これは、コンクリートはりの剝落部は少なかったが、大部分にヘアークラックが生じており、さらにそのひびわれは、かなり内部まで達していたためである。

補修材料には、ポリマー添加コンクリートが用いられた。補修手順は、まず、劣化したコンクリートを取除き、錆ついた鉄筋にサンドブラストを施し、続いて、はりのまわりに型枠を組立てコンクリートに固定する。その後、ポリマー添加コンクリートを注入するが、0.6～0.9 m 間隔に設けた観測孔で充填状態を確認している。補修のべ面積は $2,230\text{ m}^2$ でポリマー添加コンクリートを 198 m^3 使用している。

補修材料として、ポリマー添加コンクリートを用いた理由は、エポキシ添加剤により、旧コンクリートとの付着を良くすることと、この程度の補修規模であれば、エポキシモルタルよりも経済的なことにある。



図-5.3 型枠を組立てるまえのはりの状況
(劣化したコンクリートを取除き、錆びた鉄筋にはサンドブラストを施した。)

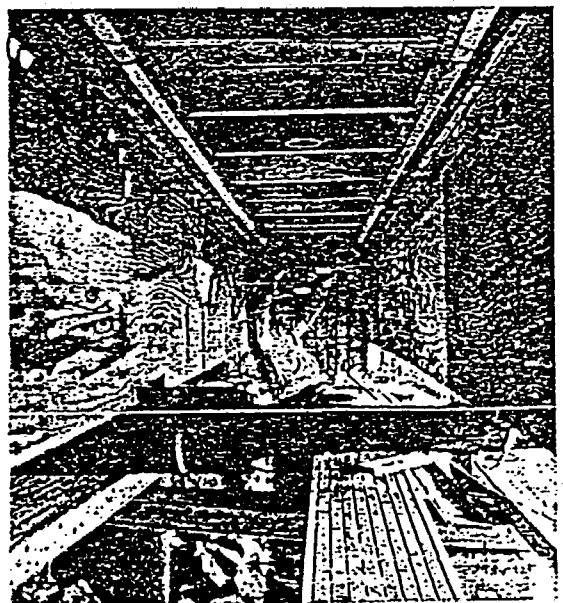


図-5.4 はりのまわりに型枠が組立てられた状態(はり型枠の間にポリマー添加コンクリートを片押しで注入する。)

抄訳 No. 49 (C. W. Scheffel)

本論文は、栈橋や橋脚などの、海水中にあるパイル橋脚の補修に用いる、防食材を兼ねた型枠について述べている。

一般に、既存構造物の補修は、劣化したコンクリートを取除き、そのあとに新コンクリートが打設されることが多いが、ここで報告されている型枠は、繊維補強されたプラスチックでできており、ポリマーモルタル打設用の型枠としての機能だけでなく、新コンクリート打設後もそのまま放置して、防食材としての機能を有している点に特色がある。

施工手順は、まず、劣化コンクリートを取除き、上記の型枠を建込む。その後、型枠とパイル間の空隙にエポキシモルタルを充填する。脱型は、不要である。本工法は埋殺し型枠を用いるため高価であるが、施工実績もあり、補修工法のひとつとして有望視されている。

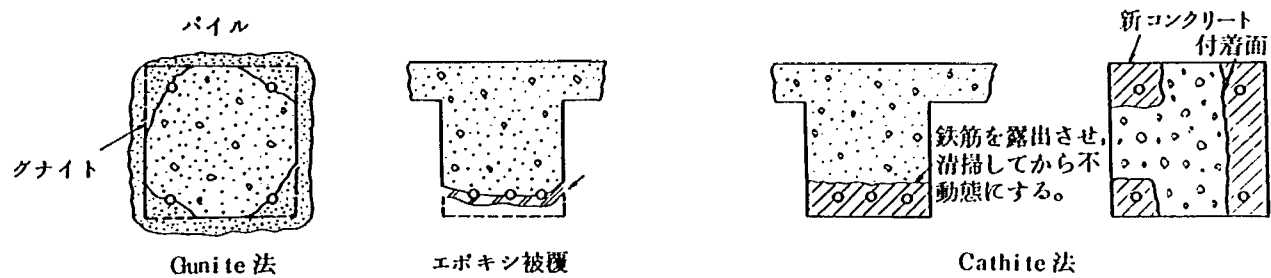


図- 5. 5
繊維補強ジャケット



図- 5. 6
繊維補強ジャケットを用いたパイル
橋脚の補修例

栈橋、埠頭の補修事例については、上記の2論文以外に、第1章で紹介されている抄訳No. 4 (P. J. Dyton) に述べられている。そこでは、7ヶ所の補修事例が挙げられており、次頁の表- 5. 1 にその概要がまとめられている。とくに、Parkestone 埠頭は、2度にわたる補修を行っているが、吹き付けコンクリート (Guniting 法) とエポキシ被覆は効果がなかったと述べている。



図－ 5. 7 Parkestone 埠頭で用いられた補修法

表- 5.1 栈橋，埠頭の補修事例

名 称	建造年代	被 害 状 況	補 修 法	備 考
Parkestone 埠頭	中央埠頭 1908 年頃 西側埠頭 1933年	○中央埠頭は1930年代のグナイト補修が効果を上げなかったで、かなりの被害をうけた。特に飛沫帯にある床版受けばりと、脚柱の上部には被害が大きい。 ○西側埠頭の低層部のパイル連結用筋交いや床版受けばりにはかなりの被害をうけたが、高層部には被害はパイルと筋交いに限られ、飛沫帯より上部にある床版部には被害はなかった。 ○平均低水位 (M. L. W.) 以下の部分の被害は軽微であった。泥に埋込れた部分は良好であった。 ○被害は電気-化学的侵食と、船やデブリ (積もった氷塊) の衝突によるものであった。	○1930年代の中頃に中央埠頭の一部分にグナイト方式吹きつけコンクリートによる補修を行ったが無効であった。 ○1963~1977年の間にエポキシ被覆法やCathite法による補修を行ったが、エポキシ被覆法は効果なかった。Cathite法は4年後の調査によれば良好であった。	
Southend 栈 橋		○脚柱とラーメンの上部はかなり損傷をうけた。主筋にはいくぶん腐食が生じていたが脚柱と梁のスターラップには破断寸前の状態であった。 ○M. L. W. より60cm 上の位置からM. H. W. の1.5m 上の位置までの範囲における電気化学的侵食による被害であった。 ○船の衝突や強風は被害を悪化する。	○1976年頃Cathite法による補修を行った。	
Tilbury Docks		○飛沫帯における腐食による被害。特にM. H. W. 以上の部分には最大の被害を受けた。 ○最近では、船の衝突や海水による浸食によって、ドックの水門に損傷を受けた。	○1956~1965年の間にCathite法による補修を行った。	
Shell Haven	1922~ 1927	○14橋の栈橋の内の2橋には電気化学的侵食による被害をうけた。被害は飛沫帯にある部分に集中した。 ○その内の1橋には、主筋が不純物を含有していたために、腐食が促進され、大きな孔食を生じた。 ○船の衝突によってはりにひびわれが発生した。	○1橋は1958~1963年の間に、他の1橋は1971年にCathite法による補修を行った。 ○一部のかぶりの薄い(25mm)パイルに対して、上部の3m範囲で65mm厚のコンクリート被覆を施した。 ○衝突によるひびわれはエポキシグラウト注入で補修した。	
Dover 栈 橋		○パイルのうける部分は、全面架け換えするほどコンクリートが劣化した。これはセメントの品質が悪い、セメント量不足か、あるいは配合設計のミスかによると推測される。	○栈橋のパイルは1968年頃一度補修を行った。 ○全面架け換えをした。	
Plymouth 埠頭	1910	○床版支持ばり、斜め筋交いおよびパイルのコンクリートはかなりもろくなった状態である。 ○一部の主筋やスターラップはかなり腐食した。 ○コンクリートの品質が悪いと推測される。	○1971年頃Cathite法で一度補修を行った。 ○活荷重をうける部分は全面改造した。その他の部分は補修を行った。	
Ryde 栈 橋	1923~ 1926	○被害は電気化学的侵食によるもので、飛沫帯に集中して発生した。 ○最も被害が激しい箇所は船の係留位置にある。長期間にわたる船の衝突は被害を悪化する要因と考えられる。	○1947~1960年の間にグナイト法で一度補修を行った。 ○1970年と1972年にCathite法で部分的に補修を行った。	

5-3 海洋環境下の橋梁

栈橋や埠頭と同様に、海洋環境下のコンクリート橋梁も、塩害による被害を受ける。しかしながら、橋梁に限れば、次節で述べる凍結防止塩による被害の報文は数多く見られるが、海洋環境下での塩害による被害やその補修事例に関する報文は非常に少ない。

ここでは、その数少ない論文にもとづいて、海洋環境下のコンクリート橋梁の補修事例について概説する。

抄訳 No 50 (M. W. Gewertz)

抄訳 No 51 (B. Tremper ら)

上記2編の論文は、米国カリフォルニア州にある全長10.8 kmのRC2主桁橋 San Mateo-Hayward 橋の被害、補修と補修後の調査について述べている。

この San Mateo-Hayward 橋は、サンフランシスコ湾の南岸を北東方向に横断するもので、下部工は海中及び干満帯に、上部工は飛沫帯にある。建設後約22年で鉄筋腐食が激しくなり、1951年頃から、補修作業が行われて来た。

被害は、構造物全体にかなりひびわれが生じており、特に主桁下縁部は、コンクリートが剝落し、主筋やスターラップに鉄筋の断面欠損が生じていた。パイル橋脚の頭部は、主桁と同程度の被害を受けていたが、床版下面の鉄筋腐食は比較的小さかった。

補修は、吹きつけコンクリートにより施工された、補修手順は次のとおりである。

- 1) 劣化したコンクリートを鉄筋背面50mmまで取除きサンドブラストを施す。
- 2) 追加補強鉄筋、スターラップを配置し、ワイヤーメッシュ、エキスパンドメタルをセットする。
- 3) 第1回目の吹きつけコンクリートにより、すべての鉄筋を被覆する。
- 4) 第2回目の吹きつけコンクリートにより、計画部材寸法まで仕上げる。

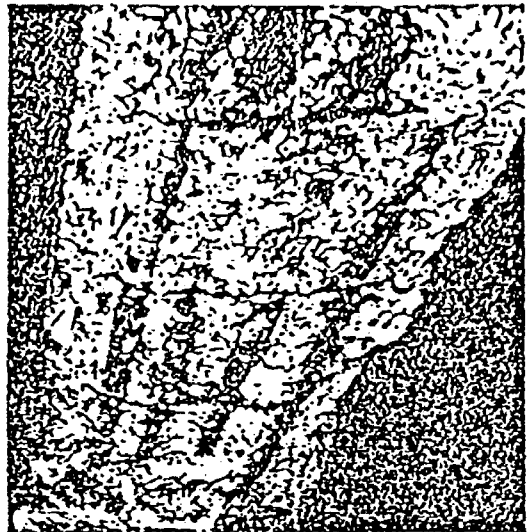


図-5.8 主桁下縁部の被害状況



図-5.9 劣化コンクリートを取除いた主桁
(サンドブラスト施工前)



図-5.10 吹きつけコンクリートの施工

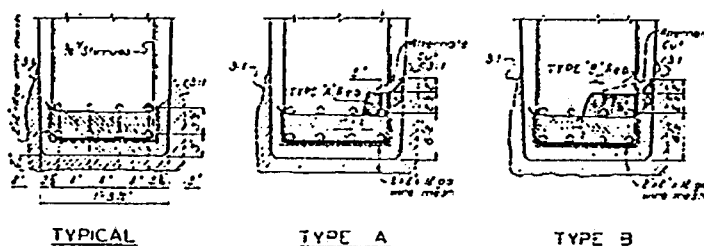


図-5.11 主桁の補修詳細図

補修に要した費用は、当初建設費の49%にも達していた。補修と平行して、行われた調査で次のことが明らかとなった。

- 1) 本橋に使用されたコンクリートは、一般の海洋環境に用いられるものより高い水セメント比であり、 $\delta_{28} = 200 \text{ Kg/cm}^2$ ， $\delta_{25 \text{ 年}} = 245 \text{ Kg/cm}^2$ と強度も低い。さらに吸水性、透気性の高いものであった。
- 2) 被害原因は明らかに鉄筋の腐食であるが、等電位線図より、腐食電池が形成されていたことは明らかである。
- 3) 吹きつけコンクリートによる補修は、補修部近傍に新たな被害が生じていたが、長期的に見れば経済的であろう。

5-4 コンクリート床版

寒冷地方では冬期に橋面上の凍結を防止するため、塩化カルシウム (CaCl_2) を散布することが多いが、周知のように、塩化カルシウムは、コンクリート中の鉄筋腐食の主要な原因のひとつであり、RC床版の劣化が問題となっている。この問題は、アメリカに集中的に発生しているが、その年間の補修費は2億ドルにも達していると云われており、各種の防食対策や補修法の検討が活発になされている。

抄訳 No 52 (G. Dallaire)

本論文は、凍結防止塩の散布を受けるコンクリート床版について、新らしい設計法と、既設床版の劣化を緩和する方策について述べている。

凍結防止塩によるコンクリート床版の劣化は、コンクリート中に浸透した塩素イオンが鉄筋の腐食を引き起こすことが原因であり、その対策として、橋梁床版上に防水層を設け、塩素イオンの浸透を防ぐこと、鉄筋を塩素イオンから守るため、鉄筋を被覆すること（樹脂塗装鉄筋、亜鉛メッキ鉄筋 etc.）さらにコンクリートのかぶり50mm以上をとることを推奨している。その他、ラテックスコンクリートによるオーバーレイなどもあげている。

ここで述べられた対策は、次のような施工実績がある。

- 1) 樹脂塗装鉄筋 - Blue Route 橋（フィラデルフィア）

2) 亜鉛メッキ鉄筋 — Upper University Avenue 橋 (フィラデルフィア) 他 10 数橋

3) ラテックスコンクリートのオーバーレイ — New Buchanan St. 橋 (デトロイト) 他

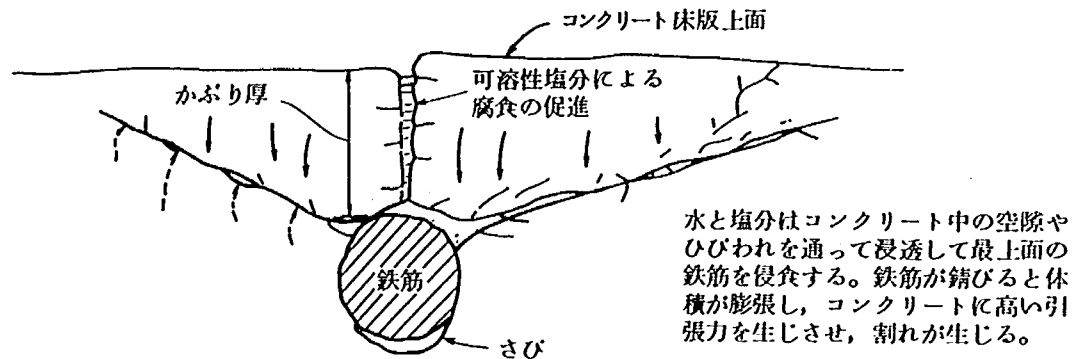


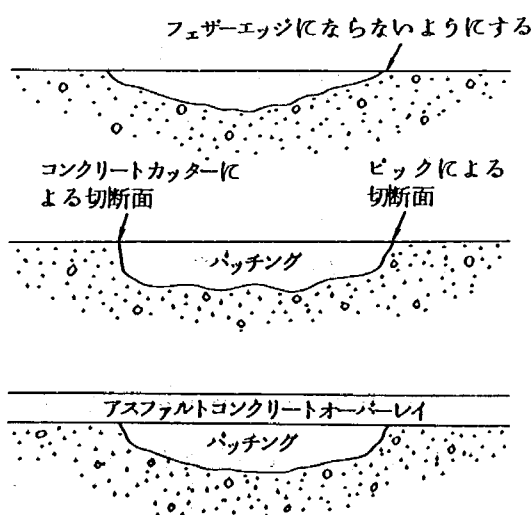
図- 5. 1 2 スポーツリングのメカニズム

抄訳 No 53 (C. F. Stewart)

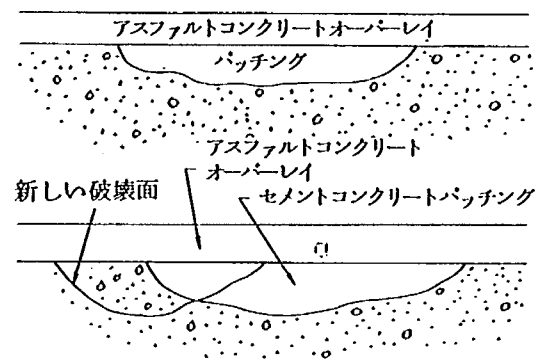
本論文は、凍結防止塩によるコンクリート床版の劣化の補修にあたって、補修法を決定する上での考慮事項について述べたものである。

床版劣化の原因は、コンクリート中の塩化物であり、 500 ppm (1.19 Kg/m^3) 以上の塩化物が存在すれば、コンクリートの電導性が良くなり、さらに、塩素イオン濃度の不均一な分布により腐食電池が形成され、鉄筋の腐食が進行すると述べている。

補修方法のひとつにパッチング (Patching) があるが、この場合、新旧コンクリート間をエポキシ樹脂などを用いて電氣的に絶縁しておけば、先に説明した腐食電池は形成されないとしている。また筆者は、部分的な補修にあたっては、①パッチングの端部処理、②アスファルトコンクリートによるオーバーレイ、③防水性シールの施工、④AEコンクリートの使用、が重要だとしている。



セメントコンクリートを用いたパッチングの端部処理



補修後に破壊が進む場合のアスファルトコンクリートオーバーレイによる破壊防止効果

図- 5. 1 3 部分補修時の注意事項

抄訳 No 54 (L. Champak, P. E. Narotam)

米国北部諸州と同様、アイオワ州においても、凍結防止塩によるコンクリート床版の被害は甚大である。本論文は過去5年の研究調査の結果から採用された、アイオワ州の防食システムについて述べている。

コンクリート床版の防食法には、防水膜ブレン、ポリマー含浸コンクリート、内部的にシールしたコンクリート、低スランブ高密度コンクリート、ラテックス改良コンクリート、エポキシ塗装鉄筋、亜鉛メッキ鉄筋、かぶり厚の増大、電気防食があるが、アイオワ州では、効果、価格、品質、施工性などを考慮して、2種類の防食法を採用した。ひとつは、常用のコンクリート床版上に低スランブ、高密度表層コンクリートを敷設するものであり、他のひとつは、2.5 inch (6.4 cm) のかぶりをとって、しかも、床版上端筋にエポキシ塗装鉄筋を用いるものである。前者は鉄筋に塩素イオンが到達するのを遅らせるものであり、後者は、鉄筋表面に塩素イオンが作用するのを防ぐもので、エポキシ塗装鉄筋の価格、品質、コンクリートとの付着に対して、深く検討されている。この方法はすでに3年以上の使用実績があり、1975, 76年に施工されたものについての目視検査では、何ら異常が認められていない。本工法は、経済性、長期使用性からみて有効な方策であると結論している。

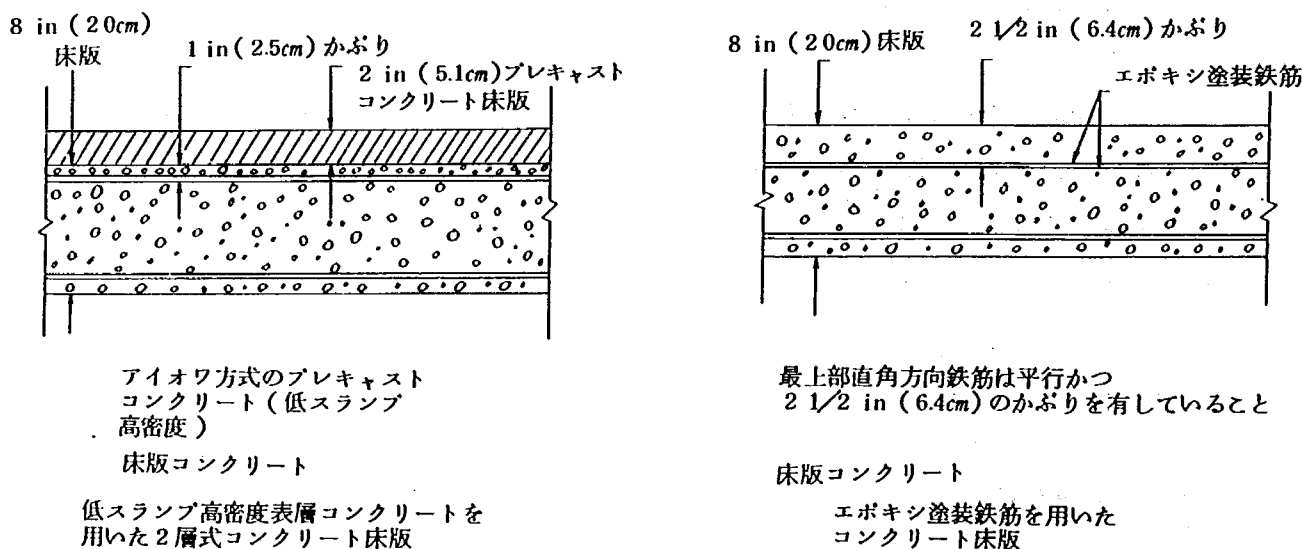


図- 5.1.4 アイオワ州で採用されたコンクリート床版の防食法

抄訳 No 55 (R. R. Anderson ら, ACI Committee 546)

本論文は、ACI Committee 546の報告であり、橋梁上部工の補修方法が述べられている。この報告書には、橋脚頭部、主桁、床版、地覆、歩道部、高欄が含まれている。このうち特に床版に重点が置かれており、被害の評価、補修方法の選定などがとりあげられている。まず第一に考慮される補修材料には、常用のポルトランドセメントモルタル及びコンクリート、それらにラテックスを添加したもの、エポキシ樹脂、メチルメタクリレートがある。すでに、実証され、広く適用された手法だけを取り上げている。苛酷な暴露条件に対して必要

と思われる考え方を手引きとして論じている。

本報告書の内容は次のとおりである。

目 次

第1章 緒 言	4.3 計量と練混ぜ
1.1 一 般	4.4 全深さ補修と型わくを用いた補修
1.2 範 囲	4.5 半深さ補修
第2章 被害の判定と補修法の選定	4.6 オーバーレイ
2.1 一 般	4.7 吹き付けコンクリート
2.2 層剝離 (Delaminations)	4.8 養 生
2.3 スポーリング	第5章 ラテックス添加モルタルとラテックス添加コンクリート
2.4 スケーリング	5.1 一 般
2.5 ひびわれの生じたコンクリート部材	5.2 材料と配合
2.6 車輪の跡 (Rutting)	5.3 計量と練混ぜ
2.7 補修材料の特性	5.4 パッチング
第3章 表面の下準備	5.5 オーバーレイ
3.1 範 囲	5.6 養 生
3.2 劣化したコンクリート除去	第6章 ポリマー コンクリート
3.3 鉄筋の処理	6.1 一 般
3.4 補修部分の清掃	6.2 エポキシ コンクリート
3.5 ひびわれの処理	6.3 メチル メタクリル酸塩コンクリート
第4章 ポルトランド セメント コンクリート	第7章 参考文献
4.1 一 般	第8章 適用する基準と規格
4.2 材料と配合	

抄訳 No.5 6 (D. Whiting, D. Stark, W. Schutt)

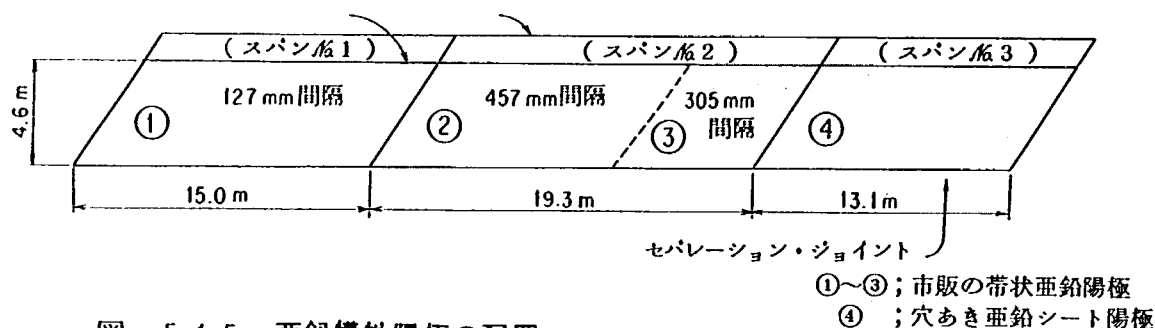
本論文は、亜鉛犠牲陽極を用いた電気防食法を鉄筋コンクリート床版に適用した例について論じたもので、亜鉛犠牲陽極には、市販の帯状亜鉛陽極と、特製の穴をあけた亜鉛シートを用いその両者を比較している。

電気防食は、下図に示すように、帯状亜鉛陽極を、127, 305, 457mm 間隔に配置した部分が3ヶ所、穴のあいた亜鉛シートを用いた部分が、1ヶ所の合計4ヶ所をひとつのコンクリート床版に用いている。1977年11月から、7項目の追跡調査を行なっている。

この追跡調査から得られた結果は次のとおりである。

- ・亜鉛犠牲陽極を用いた電気防食法をコンクリート床版に用いることは有効であり、穴あきの亜鉛シートは市販の帯状のものよりも施工し易く、防食電流も大きい。

- ・この防食システムは、環境条件に大きく左右され、暖く、湿度が高い場合に高い電流密度を示す。
- ・温暖、多湿時期の電位測定によれば、電位差は最も狭い間隔で配置した帯状陽極で400～600 mVcse、穴あき亜鉛シートで600～800 mVcse、であり、いずれも別途行われた分極試験（E log I 試験）結果から、得られた防食電流の目安である。460～490 mVcseの値に適合している。



5-5 その他

ここでは、特定の構造物を対象とした補修法ではなく、補修にあたっての考え方や一般的な補修方法などについて概説する。

抄訳 No. 57 (D. Campbell-Allen)

本論文は、コンクリート構造物の被害と劣化の原因、補修の対象、目的、方法について述べている。その中で、設計上の誤りが、劣化の原因の場合には、今後の劣化防止のため、設計方法を変える必要があることを論じ、さらに、適切な設計、施工を行なうことが、補修を不要にすることを強調している。

コンクリート構造物の被害原因には、鉄筋の腐食、コンクリートへの物理的、化学的作用があるが、それ以外にも、設計上の誤りによって、配筋量、温度収縮に対する配力筋の不足などによってもひびわれが生じる。

補修にあたっては、その劣化原因を究明し、設計上の誤りによるものか、施工上の誤りによるものか、あるいはその両者によるものかを明らかにすることが必要であり、さらに、補修の目的が、機能回復か、外観の修復かを明確にすることも必要であると述べている。また今後、開発が期待される補修方法として、コンクリートのアルカリ性を回復する注入液、塩素イオンと結合して、不溶解性の沈殿物を生じさせる液体をあげ、さらに補修を要しない新しいコンクリート構造物の必要を強調している。

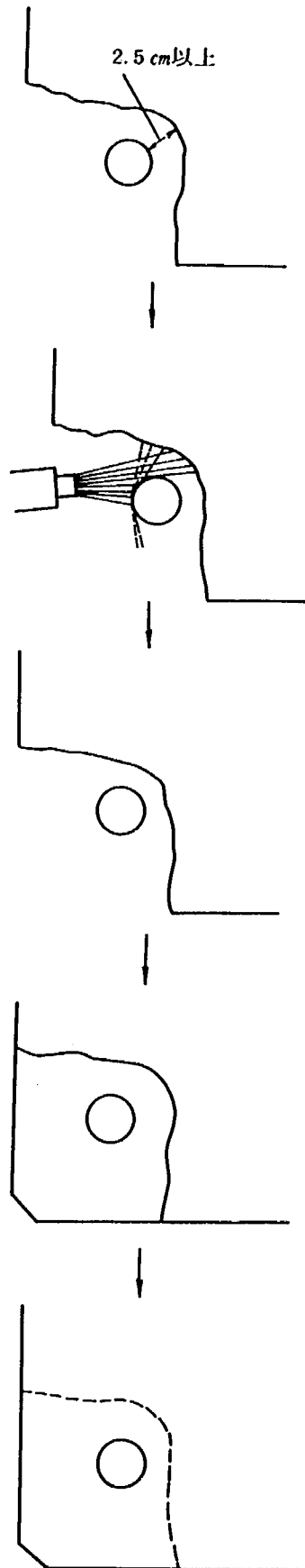
抄訳 № 58 (G. W. Geymayr)

本論文は、熱帯海洋環境下でのコンクリート構造物の被害とその補修法について述べている。

熱帯海洋環境下では、寒帯地方とは異なり、凍結融解作用を受けることはないが、下に示したような熱帯地方特有の問題を有しており、耐久性のあるコンクリート構造物を得ることが困難である。そのため、補修の機会も多いが、ここでは筆者の経験した補修例について述べられており、また右図に示すような補修方法を提案している。

熱帯地方特有の問題

1. 骨材の品質が悪い — 河川産骨材が欠乏しており、探掘した砂利は泥で汚れている。海砂の使用が普及しており、塩分が含まれている。さらに粗粒率 F.M. が 2.0 以下である。砂の洗浄とフルイ分けは不可能であるか、あるいは高価になりすぎる。
2. 気温が高い — 必要水量が増加する。スランブロスと凝結が促進され、与えられた W/C に応じたセメント量が増加する。収縮ひびわれの原因。



劣化したコンクリートをはつとり、鉄筋を露出させる。コンクリートは、完全かつ容易に清掃できるよう、鉄筋から 2.5 cm 以上はつとり。鉄筋は新コンクリートでアンカーする。

サンドブラストにより鉄筋コンクリートの錆、ごみを取り除く。サンドブラストにより錆を取り除いた後の鉄筋は直ちに防錆処理を行なう。

- ・ハイビルドエポキシ
- ・ポリマー添加セメント
- ・スラリー
- ・アルカリセメントスラリー

新コンクリートとの付着を良くするため、旧コンクリート及び鉄筋に接着剤を塗布する。接着剤には次のものを用いる。

- ・ポリマー添加セメントスラリー
- ・エポキシ樹脂

新コンクリートの打設

- ・常用のコンクリート
- ・乾式あるいは湿式のコンクリート
- ・ポリマー添加セメントモルタル
- ・エポキシモルタル

表面処理

- ・迅速かつ大幅な温度変化を受ける面にはすべて、空気流通型コーティング
- ・直接日光の照射を受けない面には、空気非流通型コーティング
- ・防水剤を何層にもわけて浸することは非常に有効である。

図- 5.16 コンクリートの補修法

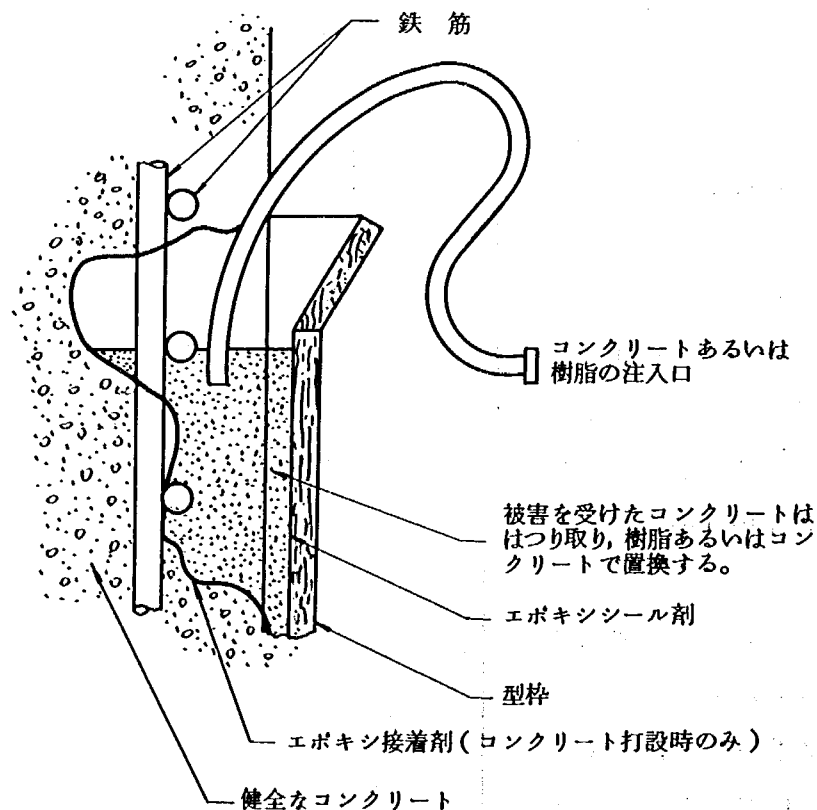
3. 湿度が高い — 貯蔵されたセメントの水和が早くなり、一部水和したセメントを用いると、強度が低くなる。鉄筋の腐食が促進される。
4. 未熟練労務者が多い — 高温、多湿のため、労務者が不十分である。不注意がつきまとう。作業現場が遠隔地にあるため熟練労務者にとって魅力が乏しい。

以上の2論文以外に、スウェーデンにおけるコンクリート製枕木の被害についての論文がある。（抄訳No 59 — L. Bernstein, S. Chandva）

これは、クレーン軌道用の高強度PC枕木であり、凍結防止塩（ CaCl_2 —スウェーデンでは岩塩が良く使用される）が原因である。ここで得られた結論は次のようであった。

- ・コンクリートの損傷は、塩化カルシウムとセメントペースト間の化学反応、荷重による力学的応力、凍結融解による物理的作用からなる絡み合った効果によるものである。
- ・塩化カルシウムの使用には特別な注意を払うべきである。
- ・コンクリートの深さにつれて、塩素イオン濃度は減少するが、 CaCl_2 とセメントペーストとの反応で結晶が生成される。
- ・塩化物による被害は、硫酸塩作用によるものとほぼ同様であった。

また第6章でも紹介されている抄訳No 74（R. D. Browne）では、被害を受けたコンクリート構造物に実際に採用した補修法として、下図のような方法を示している。



図－5.17 コンクリート補修法の例

5-6 コンクリート橋の補修・補強

この項では、塩害に関係なく損傷を受けたコンクリート橋の補修、補強事例の概略を述べる。

橋梁の補修・補強を行うにあたっては、その橋梁の損傷状態・構造形式、または、その橋梁の重要度から判断され、最善の方法が選ばれるものである。したがって、今回の文献調査による補修・補強事例が、現在問題となっている塩害を受けたコンクリート橋の補修・補強方法に直接適用できるとは限らないが、今後、塩害を受けたコンクリート橋の有用な補修・補強方法を見出す意味で、参考になると考えられる。

抄訳 No 60 (Arthur Franz)

本報告は、ベルリン環状線上に架設された Schmargendorf 立体交差橋の損傷調査結果と補修・補強工事について述べられたものである。

本橋は、1959～60年にかけて架けられたポストテンション方式のPC橋で、断面形状は図-5.18に示すように、かなりデザイン的である。

本橋は、設計ミスによってせん断補強筋が必要鉄筋量の $1/10$ 程度しか配置されていなかったこと、PC鋼材のグラウトが不完全であったこと等によって、架設後10年経過(1969年)した段階で、橋梁全体に有害なひびわれが多く発生したとしている。そこで、この年に、以下の補修・補強工事を行っている。

- (1) ひびわれを生じた箇所ならびに不足分のせん断補強筋は、コンクリートをボーリングし、 $\phi 26 \sim 32$ st 830/1030 (ゲビンデ鋼棒)を挿入し、プレストレスを与えて補強した。なお、ボーリングできなかった箇所はアウトケーブルとした。図-5.19、20は、補強鋼材の定着状態を示したものである。
- (2) 露出しているPC鋼材は、エポキシコーティング塗布を3回行った。
- (3) ひびわれ、切欠き部は、合成樹脂を注入する。

その後、補修2年後では、ひびわれの新展は見られなかったが、1977～78年にDIN 1076に従った載荷試験を行った結果、構造物全体のあらゆる箇所に、新たなひびわれが発生し、今後、補修・補強を再度施したとしても、予想以上の交通量の増加と、温度、環境荷重に対処できないと判断され、架替えを余儀なくされている。

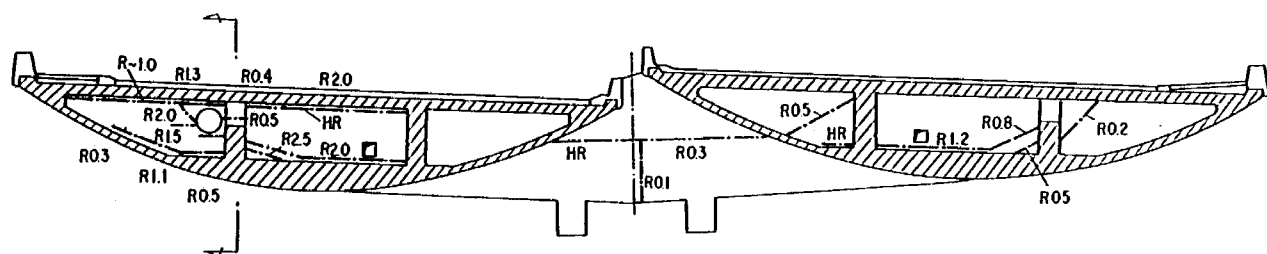


図-5.18 断面形状

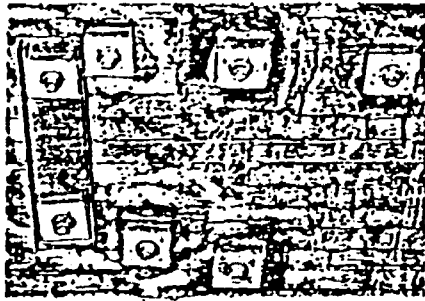


図- 5.19 鉛直鋼材のアンカー

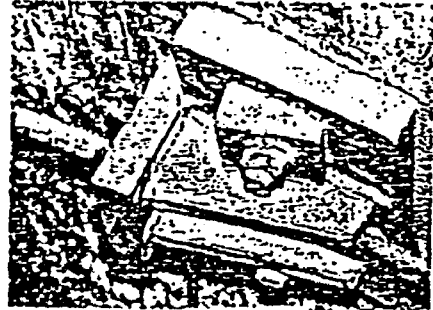


図- 5.20 下床版横方向補強鋼材のアンカー

抄訳 No 61 (J. M. Doikard 他)

本報告は、1960～63年頃にDW方式カンチレバー工法によって架設されたLahntal橋の、構造上の欠陥によって生じた損傷の状況と、その補強方法について述べたものである。

本橋は、一つおきの施工目地部に集中的にPC鋼材をカップリングしていたことから、1978年頃において、ほとんどの施工目地においてひびわれが生じた。特に、死荷重モーメントの反曲点付近においてひびわれが進行した。このため、DIN 4227, Part 1に従って応力解析を行った結果、反曲点付近におけるひびわれの幅が規定値を超え、さらに応力的余裕もないことから、補強が必要と判断された。

そこで、1981年の5～9月の間に、6ヶ所の反曲点付近と他に生じたひびわれを以下のように補修、補強した。

- (1) 特に耐久的補強が必要とされる所(反曲点付近のウェブならびに下床版)では、補強鉄筋を配置し、厚さ60～70mmの吹付けコンクリートを施工した。(図-5.21)
- (2) 一時的補強箇所については、厚さ8mmの鋼板を接着する。
- (3) 反曲点以外に生じているひびわれについては、その幅が0.2mm以上のものは、エポキシ樹脂を約4kg/cm²の圧力で注入する。0.1mm以下のものはエポキシで塗装する。

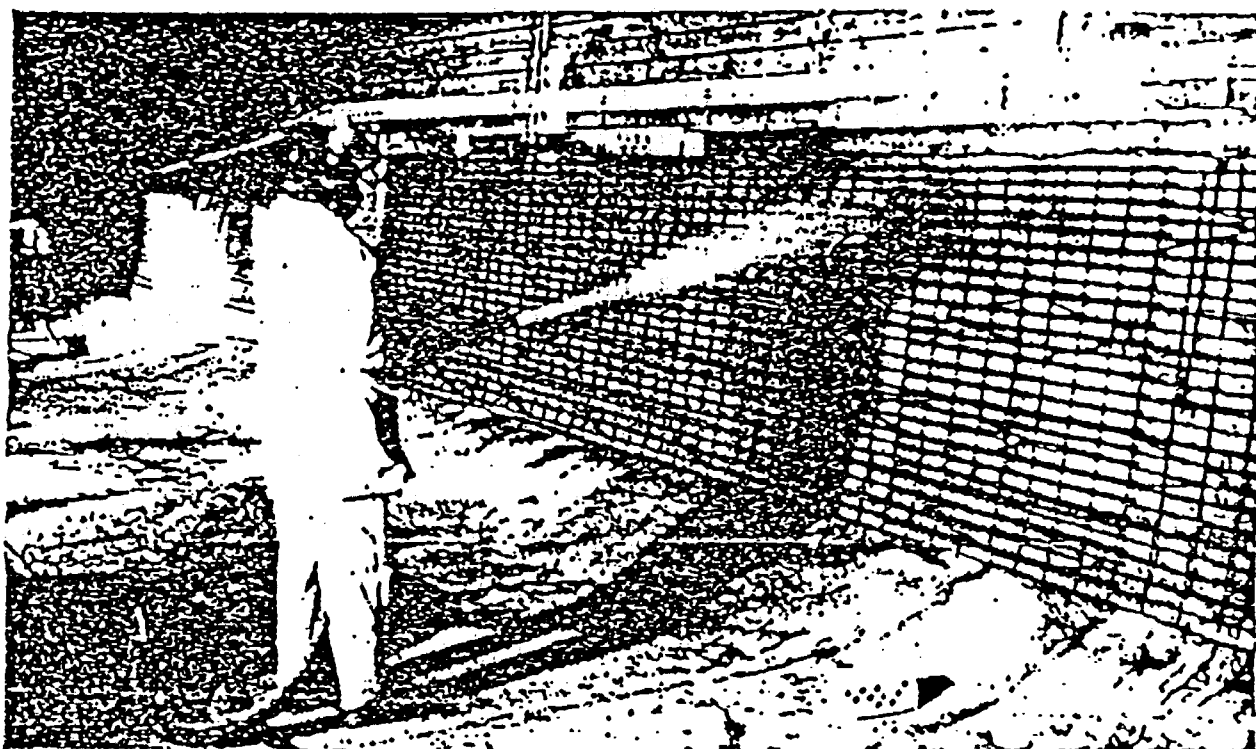


図- 5. 2 1 ウェブ部の吹付けコンクリート施工

抄訳 No. 62 (O. Hedstrom)

本報告は、1952年に架設されたストックホルム最初のPC高架橋(4室箱桁、フレシネ工法)の点検結果と、それによって判明した損傷箇所の補修手順が述べられている。

本橋は、1974年の点検において、箱桁下面2ヶ所でコンクリートの剝落が確認された。そこで、20ヶ所でPC鋼材をはつり出し検査した結果、グラウトの施工不良が判明した。このことから、グラウト不良部分へ水がながれ込み、PC鋼材が腐食(一部破断)したことによる損傷としている。

以上の検査結果と、さらに、たわみ測定を行なった結果から、プレストレスの減少量が約10~20%と推定され、ひびわれならびにグラウト不良部分の補修のみでよいという結論になった。

補修方法は、以下の通りである。

- (1) ボーリングしながらPCケーブルのグラウト不良部分を確認し、エポキシグラウト (Stabilopox TM 151) を注入。
- (2) 幅0.3m以上のひびわれは、エポキシ樹脂を注入。

補修工事は1975年6月~1976年9月(ただし、冬期は中断)にかけて行われた。

補修費用は120万フランを要した。なお、架替えに要する費用は、200万フランと推

定されるとしている。

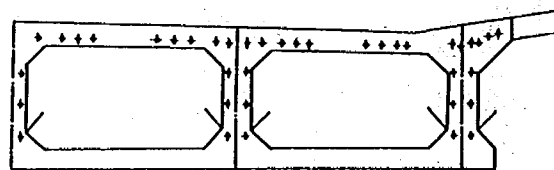
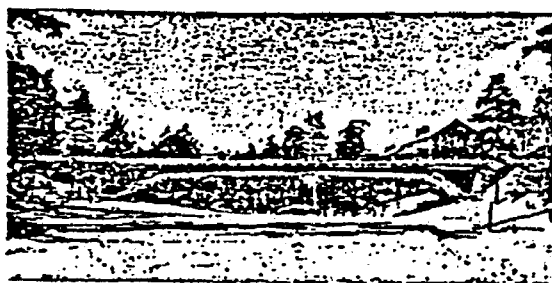


図-5.2.2 断面形状

抄訳 No. 63 (W. H. Dilger 他)

本報告は、カナダで架設された6径間連続PC橋の、PC鋼材緊張時に生じたひびわれの発生原因と、その補修・補強方法について述べられている。

本橋は、図5.2.3に示す第一施工段階部のPC鋼材の緊張によって外側ウェブ(図5.2.4)に重大なひびわれを生じた。これは、曲げ上げケーブルの鉛直分力による直応力の取扱いに問題があったためとしている。

ウェブの補強方法として、以下の方法を提案している。

(1) 外側ウェブについて

図-5.2.5に示すように、鉛直と斜めPC鋼棒を20cm間隔に配置し、さらに、ウェブ内側にコンクリートを打足した後、PC鋼棒にプレストレスを与える。なお、新旧コンクリートの一体性を確保するために、図-5.2.6のような構造とする。打足しコンクリートには、膨張材を使用するものとする。

(2) 内側ウェブについて

図-5.2.7に示すように、ウェブ両側にPC鋼棒($\phi 25$)を配置し、プレストレスを与える。なお、PC鋼棒には防食被覆を施し、さらに、アンカープレートとコンクリートの間にエポキシモルタルを充填する。

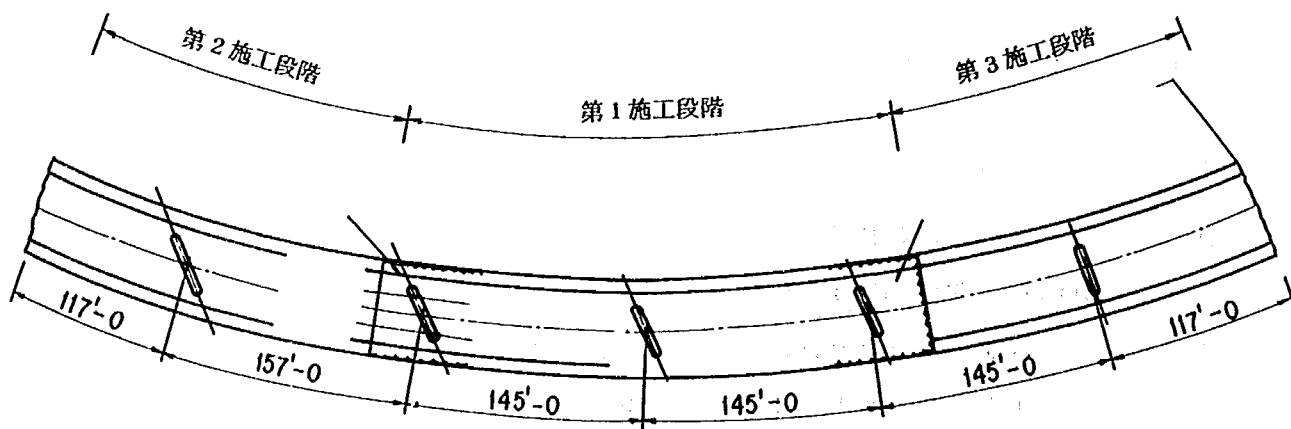


図-5.2.3 平面図

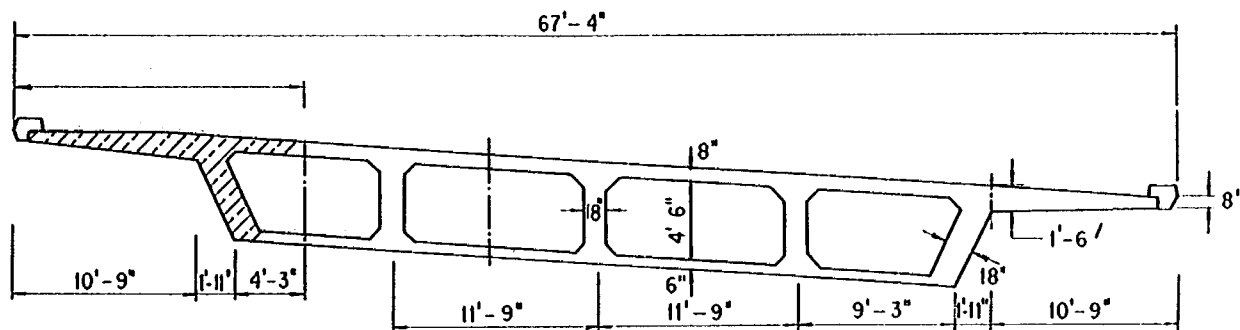


図-5.24 断面図

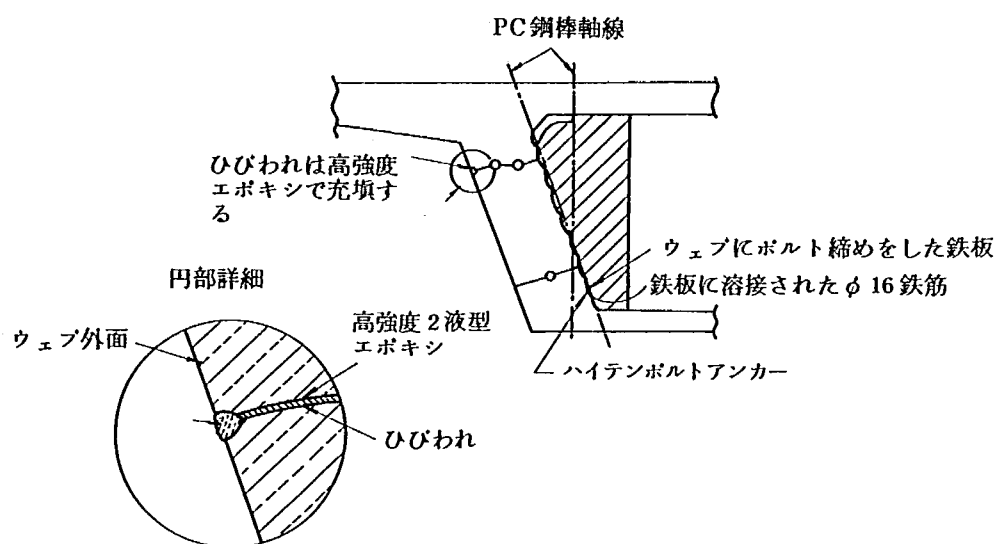


図-5.25 外側ウェブ補修・補強方法

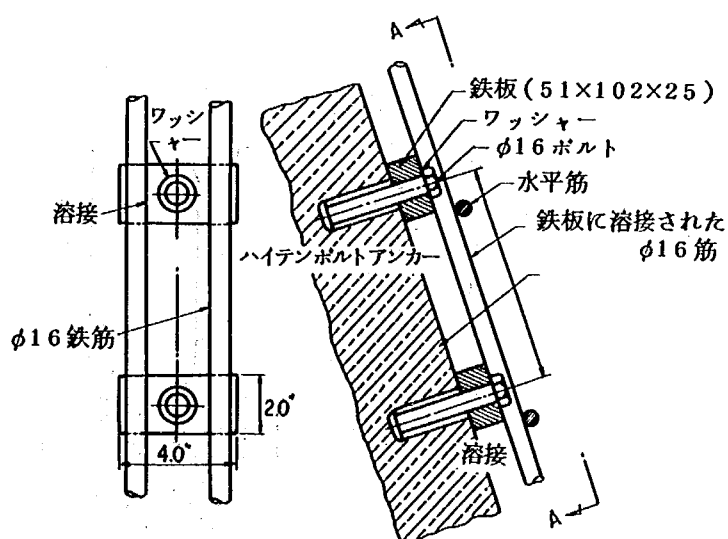


図-5.26 打足しコンクリートの
シェアコネクター詳細

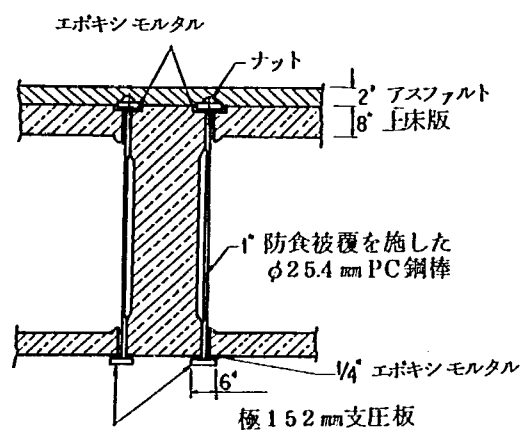


図-5.27 内側ウェブ補強方法

抄訳 No. 64 (H. G. Garfield)

本報告は、1950年に架設されたアメリカ最初のポストテンション方式PC橋 (The Walnut Lane Memorial Bridge) の、損傷原因と、その補修方法について述べられたものである。

本橋は、1957年に下フランジに多数のヘアクラックが生じたことから、PVAによってシールし、その上に防水ペイントを施したが、1968年に詳細調査を行った所、ひびわれの進行が認められ (新しいひびわれも発生)、補修工事を行うこととなった。

ひびわれ発生の原因は、最初のポストテンPC橋であったことから、グラウトを無圧力で注入したこと、また、グラウトに膨張剤を添加しなかった等、充填が不十分であったことから、グラウト不良部分に水がたまり、この水が凍結して膨張したことに起因すると推定している。

このようにして生じたひびわれを、以下に示す方法を用いて補修している。

- (1) ひびわれに、エポキシ樹脂を 12.6 Kg/cm^2 の圧力をかけて注入する。施工が冬期の場合は、桁をブロパンで 15°C まで温める。
- (2) エポキシ注入後、桁の表面は白色エポキシペイントでシールする。また桁下面のみ今後のひびわれ進展を確認する意味で左官用白色乳液ペイントを塗る。

以上の補修を行うのに、14万ドルを要した。その後、1970年の5月の点検では目で見えるひびわれは生じていなかった。

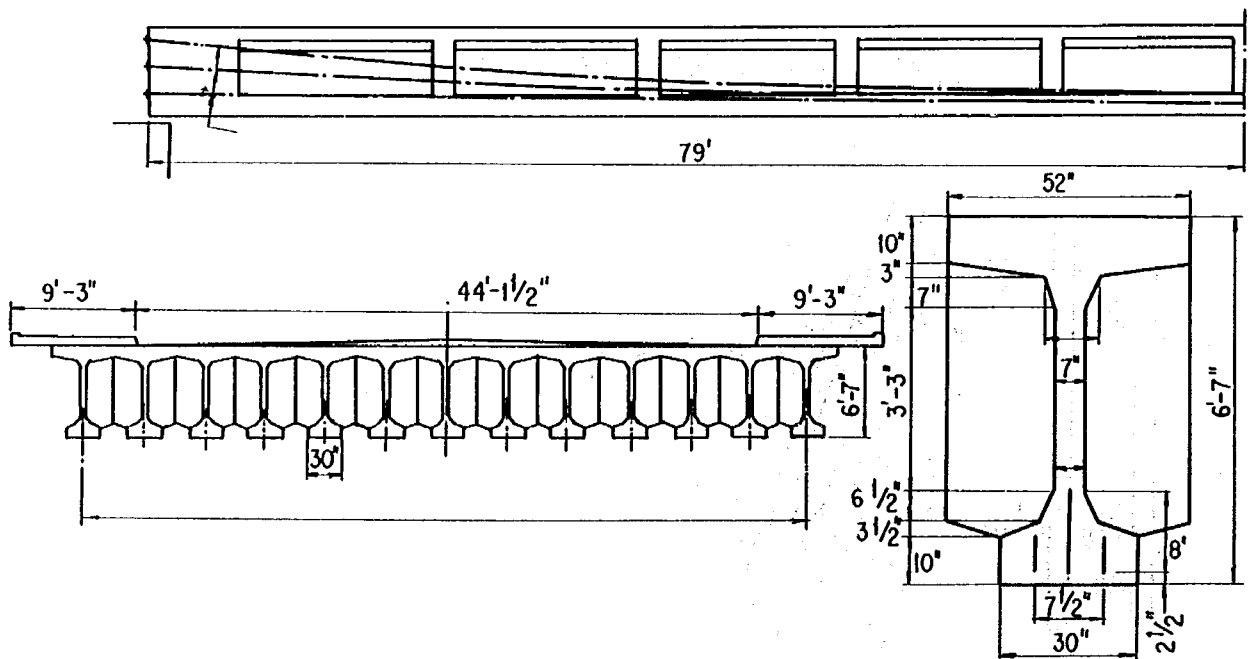


図-5.28 一般図と桁詳細図

抄訳 № 65 (H. P. Koretzky)

本報告は、初期の P C 橋梁の損傷状況と、その原因や補修方法について述べられている。さらに損傷事例から得られた教訓を示している。

その一例として、Walnut Lane 橋においては、外桁下フランジ部において、縦方向のひびわれおよび局部的なヘアラックを生じた。原因は、グラウト施工不良により、シーす内に水がたまって、これが、冬期に凍結膨張を起こしたためとしている。

そこで、セメント被覆を桁に施したが、その後 10 年経過した段階でひびわれの進展が認められたので、ひびわれにエポキシ注入を行った所、再び 10 年後に点検を行った結果ひびわれの進展は見られず、エポキシ注入による効果が認められたとしている。

1956 年に建設された箱桁橋では、かぶり不足による鉄筋の腐食被害が見られた。最低かぶりは 6 mm であったとしている。

損傷を起こした橋梁については、まず応力解析を行って耐荷力の有無を判断してから、補修工法の決定を行うこと。また、補修費用と架替え費用（耐用年数を考慮）の比較も行うこととしている。

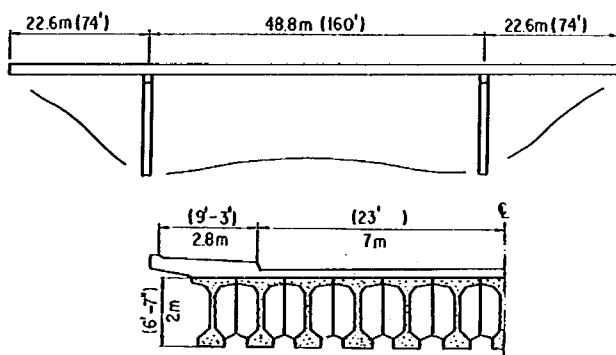


図- 5.29 Walnut Lane 橋一般図



図- 5.30 Walnut Lane 橋の
下フランジ上面における
ひびわれ

抄訳 № 66 (F. W. Stratton 他)

本報告は、スターラップ不足によってウェブせん断ひびわれの生じた、RC 連続桁橋の補修方法について述べている。

その補修方法は、以下の通りである。

- (1) ひびわれは、半透明の弾性的エポキシゲルでシールする。
- (2) 図- 5.31 に示すようにウェブコンクリート中に、45度方向に補修孔を穿孔し、その中に $\phi 13$ 鉄筋を挿入した後、特製注入ノズルでエポキシ樹脂を注入する。

以上の補修を行った後、ひびわれ部の水平、鉛直変位を、機械式変位検出器を用いて長期間測定したところ、補修後17ヶ月経った時点において、ひびわれ部の異状はなかったとしている。

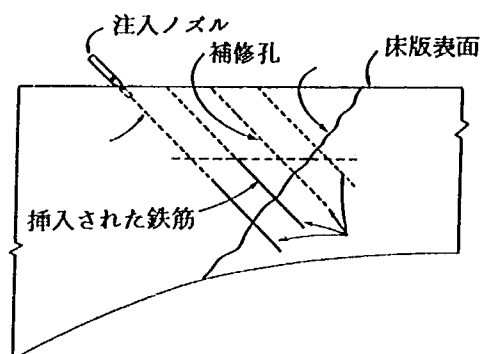


図- 5.3 1 ウェブ補修方法

抄訳 No 67 (I. Leon Glassgold)

本報告は、Baltimor 橋の修復工事を例にとり、乾式細骨材方式による吹付けコンクリート施工方法について述べたものである。

施工方法をとりとめると、以下の通りである。

- (1) まず、劣化したコンクリートを堅硬で健全なコンクリートが露出するまで、充分はつりとる。
- (2) はつりとった後の面を、チップングする。
- (3) 露出している鉄筋の錆を落とす。
- (4) 亜鉛メッキした溶接金網を、はつりとった部分に配置する。
- (5) 最後に、乾式細骨材方式による吹付けコンクリート施工を行う。

第二次世界大戦後の一時期までは、吹付けコンクリート施工に、湿式粗骨材方式が多く用いられていたが、粒度の調整が困難であること、はねかえりが多く、また、表面仕上げが難しいことから、最近では、これらの点で利点のある乾式細骨材方式が多く用いられているとのことである。

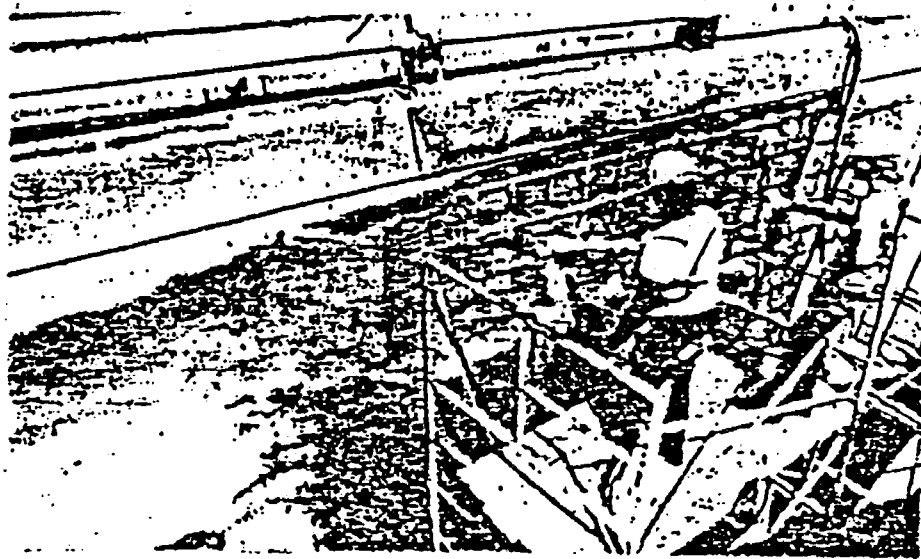


図- 5. 3 2 吹付けコンクリート施工状況

抄訳 No 68 (C. C. Guidi 他)

本報告は、1949年に架設された3径間RCゲルバー橋の損傷状況と、補強方法について述べられている。

本橋においては、コンクリートの劣化が認められ、また、伸縮目地や支承部にも損傷が生じていること、さらに、この橋を一級国道に昇格させるために、全般的な補強工事を行うこととなった。

補強工事の概要は、以下の通りである。

- (1) 図- 5. 3 3 に示すように、主げたウェブ両側に2本ずつPCケーブルを配置し、EMACO 混合剤を用いたコンクリートをその上に打設する。
- (2) ゲルバー部コンクリートを解体し、中実断面として作り直す。
- (3) 床版を、軽量コンクリートを用いて10cm打足した後、防水工を施す。

なお、この補強方法は、主げたウェブに配置されたPCケーブルによって、死荷重応力を打消し、活荷重に対する耐荷力の増強を期待したものである。

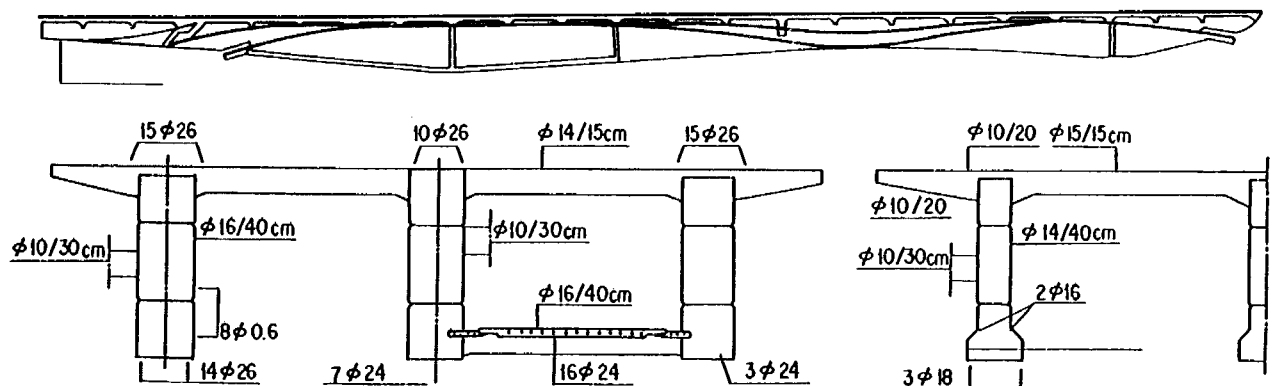


図- 5. 3 3 補強PC鋼材を追加鉄筋の配置図

以上、本章では 27 編の論文に基づいて、コンクリート構造物の補修、補強及び防食の事例について概説したが、ここで取上げられた補修、補強工法のうち主要なものを列挙すると次のようなものが考えられる。

- 吹きつけコンクリート
- エポキシ樹脂被覆あるいは注入
- 打ち替えコンクリート (Cathite 法)
- 打ち足しコンクリート
- 鋼板接着
- プレストレスの導入

吹きつけコンクリートは、日本での施工実績は少ないが、各国で多用されているのが注目される。しかしながらこの工法は、エポキシ樹脂被覆と同様に、腐食の進行を阻止するものとはならないとの報告 (抄訳 No. 4) もあり、一度、被害を受けたコンクリート構造物の補修を行なう場合には、たとえ腐食の進行を遅らせるという消極的な補修目的であっても、より積極的な補修法 (例えば Cathite 法の如く、被害コンクリートはもちろん、健全コンクリートの一部まで取除き、新コンクリートで打替える方法) を採用すべきであろう。

また、補強工法として挙げられている打ち足しコンクリートや鋼板接着は、補強度の荷重増分については抵抗しうるが、コンクリート構造物の設計荷重の大部分を占める死荷重に対しては有効に作用しないと考えられる。そのため、プレストレスの導入などにより、補強する必要がある。

コンクリート構造物の補修、補強にあたっては、その目的と被害原因を明確にすることが必要であり、その状況に応じて、機能、価格等を考慮して、工法決定することが当然である。さらにさかのぼって、補修、補強を必要としない構造物の設計、施工を行なうことが重要であり、また定期的な点検を行なうことにより、被害の発生を初期の段階で捕捉することもより重要である。

6. そ の 他

6-1 非破壊試験

エポキシ樹脂の評価法や鉄筋腐食、ひびわれの検出法を含む7編の論文をここにまとめる。腐食による被害状況を非破壊的手法で早期に探知することが重要である。また、補修用エポキシ樹脂の性能や注入状態を評価する手法も補修効果を完全にするためには欠かせないものである。

抄訳 No 69 (L. J. Tabor)

この論文は樹脂 - コンクリート結合部材の性能(一体性)を評価できる新しい試験法を提案するものである。ひびわれ発生をゴムの厚みと剛度を利用して再現したコンクリート試片に樹脂による補修を行って載荷試験用角柱供試体(150×55×55mm)を切り取る。圧縮試験機で供試体を載荷し、その破壊荷重と破壊モードを同一寸法の無補修によるものと比較して樹脂による補修の性能を判定する。

樹脂の圧縮、引張あるいは曲げ強度だけでは樹脂補修に対する性能評価とはならない。この新しい手法は補修効果をより明確に判定できるものである。

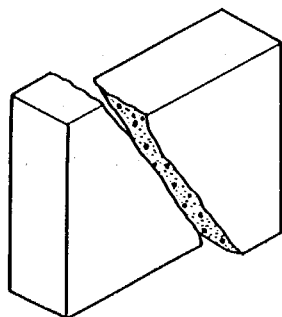


図-6.1 ひびわれを生じさせた
コンクリート試片

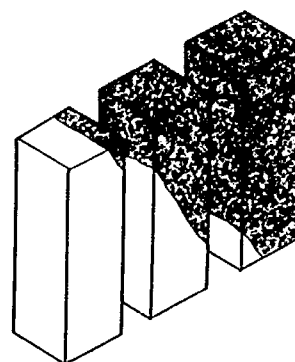


図-6.2 樹脂による補修を行ったコンクリート試片から切り取った角柱供試体(中央のもの)

抄訳 No 70 (J. A. Amon ; L. M. Snell)

コンクリートの欠陥は内部にかくれている場合が多く、コンクリート表面の目視検査のみでは不十分である。この論文は、コンクリートに超音波を通過させ、そのパルス速度と減衰特性を測定して、コンクリート内部の欠陥と、エポキシグラウトによる補修中および補修後の充填状態を判定する方法について述べるものである。

本方法に用いる装置はオシロスコープ1台と2ケのトランスデューサーである。コンクリートと空気では、音の伝播速度が異なるため、あらかじめ、健全コンクリートについて予備計測を行っておけば、ひびわれや空隙のようなコンクリートの欠陥をこの手法で判明することができる(ひびわれが発生した部分では、パルス速度、減衰特性とも健全部に較べれば非

常に低い値を示す)。また、エポキシグラウトの注入作業後はもちろん、注入中でもその充填状態を判別することが可能である。この手法は4ケースの適用例によってその有用性が確認されている。



図-6.3 補修完了直後の減衰とパルス速度の測定

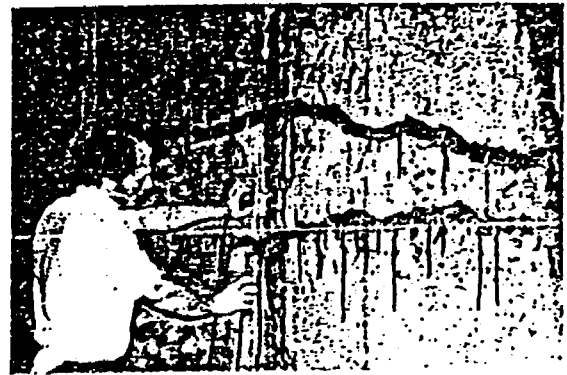


図-6.4 補修したひびわれの両側にトランスデューサー(変換器)を当てている。

抄訳 No 71 (E. Escalante ; S. Ito)

腐食による劣化がかなり悪化する前に、その進行具合を評価しうる方法の開発が必要である。この論文はコンクリート中の鉄筋腐食速度を測定できる新しい手法を示すものである。鉄筋を有するコンクリート供試体を空中放置、NaCl溶液6日間浸漬後空中放置、NaCl溶液による繰返し浸漬などの3つの条件で暴露試験を行い、IR補償付きの4つの分極法 (Stern - Geary法, Barnartt法, Schwerdtfeger法およびMansfeld法) を用いて鉄筋の腐食速度を測定した。

測定結果によれば、塩化物を含まないコンクリート中で鉄筋の腐食速度は $0.007 \text{ mg/dm}^2/\text{日}$ であったが、塩化物を含む場合は $0.33 \text{ mg/dm}^2/\text{日}$ であった。図-6.5, 6.6に示したようにNaCl溶液浸漬後腐食電流が急に増大し、空中放置後は徐々に低下した。コンクリートの電気抵抗も対応する変化を示した。

分極手法は4つとも鉄筋の重量減を重量測定法よりも過大に評価する傾向にあったが、コンクリート中の鉄筋の腐食有無を十分に区別できた。

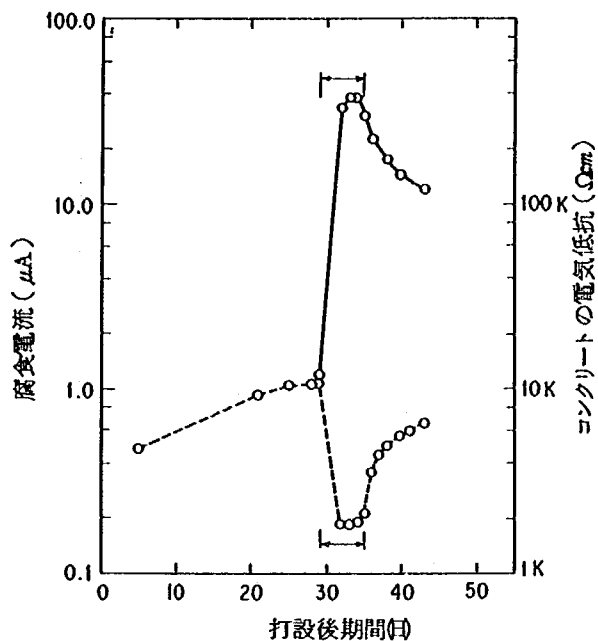


図- 6. 5 鉄筋の腐食電流とコンクリートの電気抵抗に及ぼす浸漬の影響

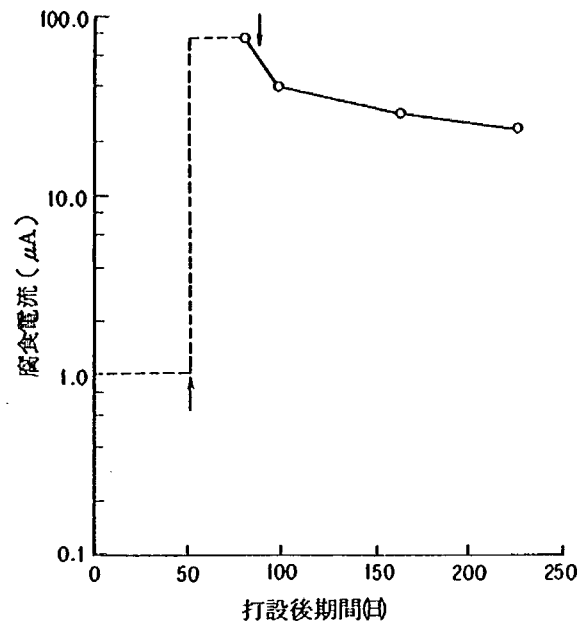


図- 6. 6 鉄筋の腐食電流に及ぼす繰返し浸漬の影響

抄訳 № 72 (M. S. Weng ; S. E. Dunn ; W. H. Hartt ; R. P. Brown)

この論文では、鉄筋コンクリート中の鉄筋腐食によって生じるコンクリートの損傷の検知と定性化にアコースティック エミッション (AE) 手法が使えるかどうかを検討するために、鉄筋の分極走査、RC 供試体の促進腐食試験および自然腐食の電位追跡の 3 つの場合について AE 手法を適用してみた。

実験結果によれば、AE 信号は酸素や水素を生成する範囲の電位 (0.95 V 以上や -1.10 V 以下の範囲) において得られた。AE 信号は突発的に発生した。暴露時間に対して強制電流と AE カウント数はほぼ同じ傾向を示した (図- 6. 7 と 6. 8 を比較)。また、図- 6. 9 に示したように、供試体における腐食分布と AE カウント数分布はほぼ一致する。自然腐食供試体でも AE 信号が得られたが、電位が活性になると、AE カウント数と電位や暴露時間との関係は明らかではない。しかしながら、腐食試験において AE 手法は十分適用できる。

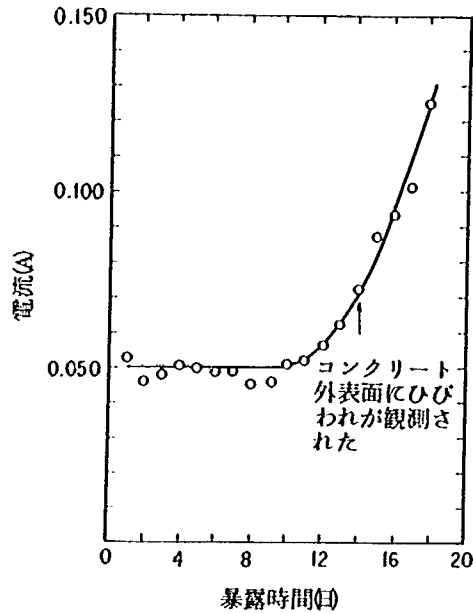


図- 6.7 強制電流と暴露時間との関係
(RC 供試体の促進腐食試験)

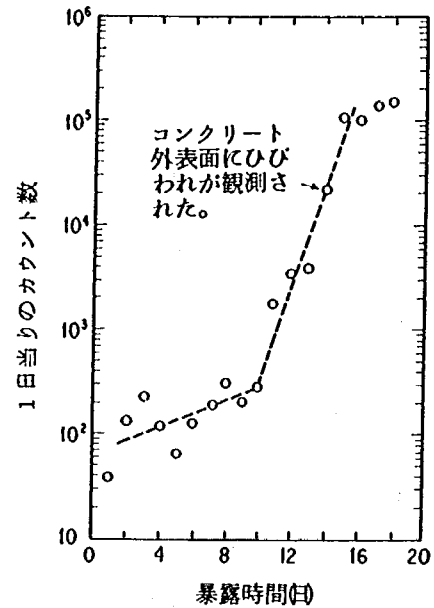


図- 6.8 AE カウント数と暴露時間との関係 (同促進腐食試験)

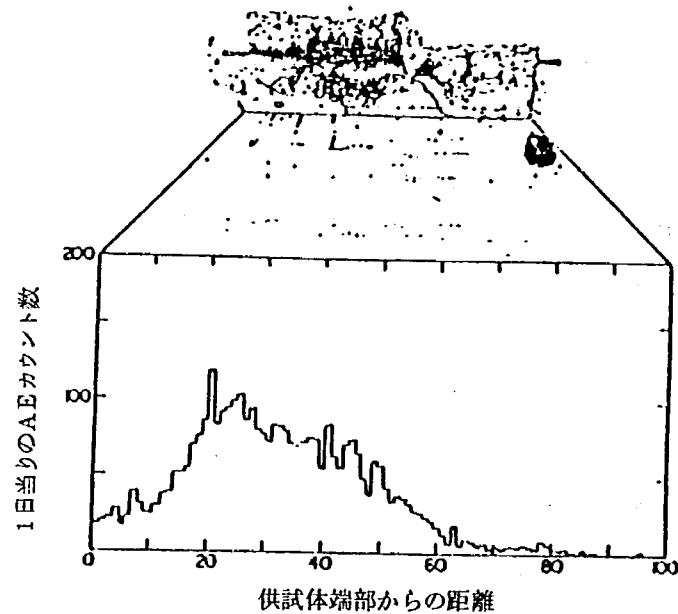


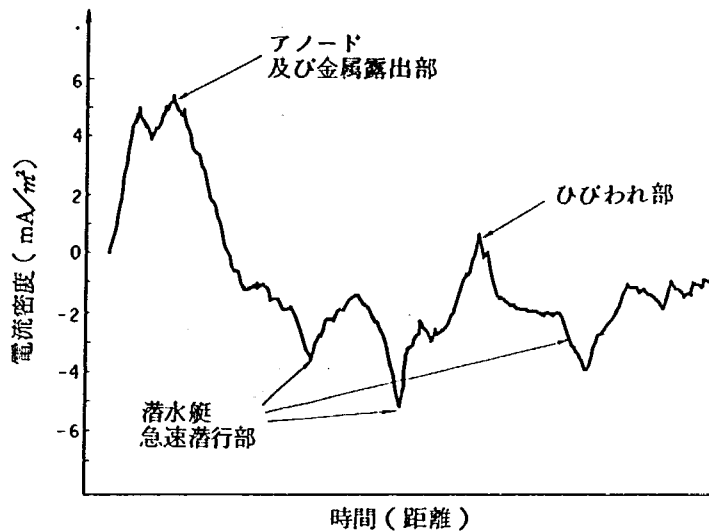
図- 6.9 強制電流試験を行ったRC 供試体の
割裂面写真およびAE カウント数と
測定個所との関係

抄訳 No. 73 (J - P, Bournat ; A. Stankoff ; M, Auboiroux)

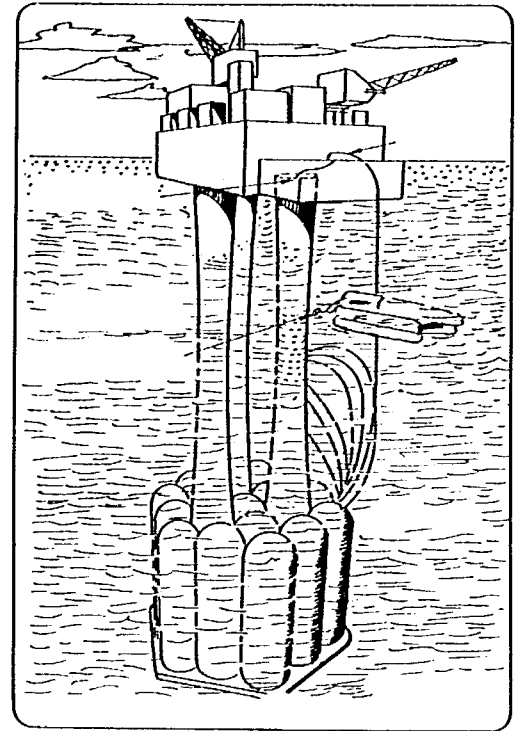
北海に建設されたコンクリート プラットフォームの壁部検査のために、新しいひびわれ検出手法(電流密度測定法)を試みた。この論文はこの手法に関する実験室での試験結果、関連装置、操作技術および北海での実測結果などを示すものである。

腐食過程における直流電流はひびわれ部に集中するので、この電流を電流密度センサーで

検出すれば、ひびわれの生じた個所を推測できる。深海における新しい潜水調査システムと併用して、プラットフォーム壁部における 5 mA/m^2 以上の電流密度に対応する腐食被害（目視できる程度のひびわれ）を明確に検出することができる。なお、海洋生成物があっても、そのまま測定できる。



図－6.10 電流密度実測データ

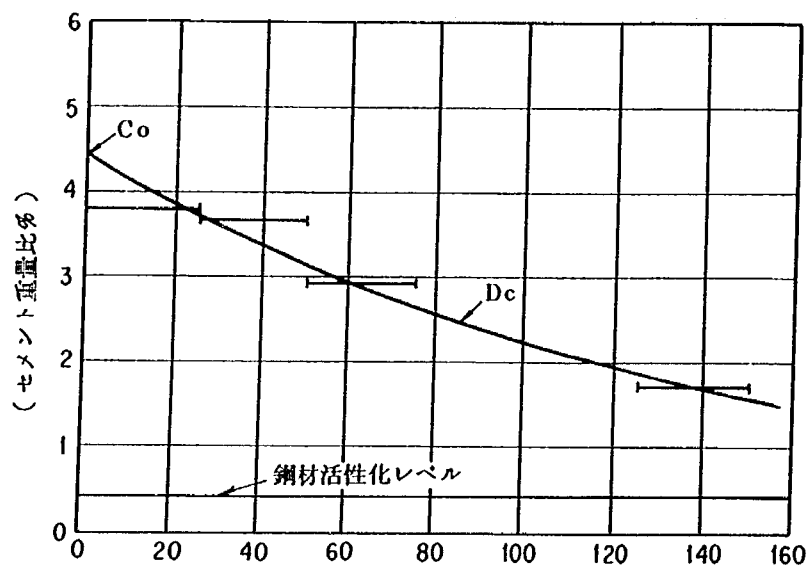


図－6.11 ひびわれ検出の操作方法

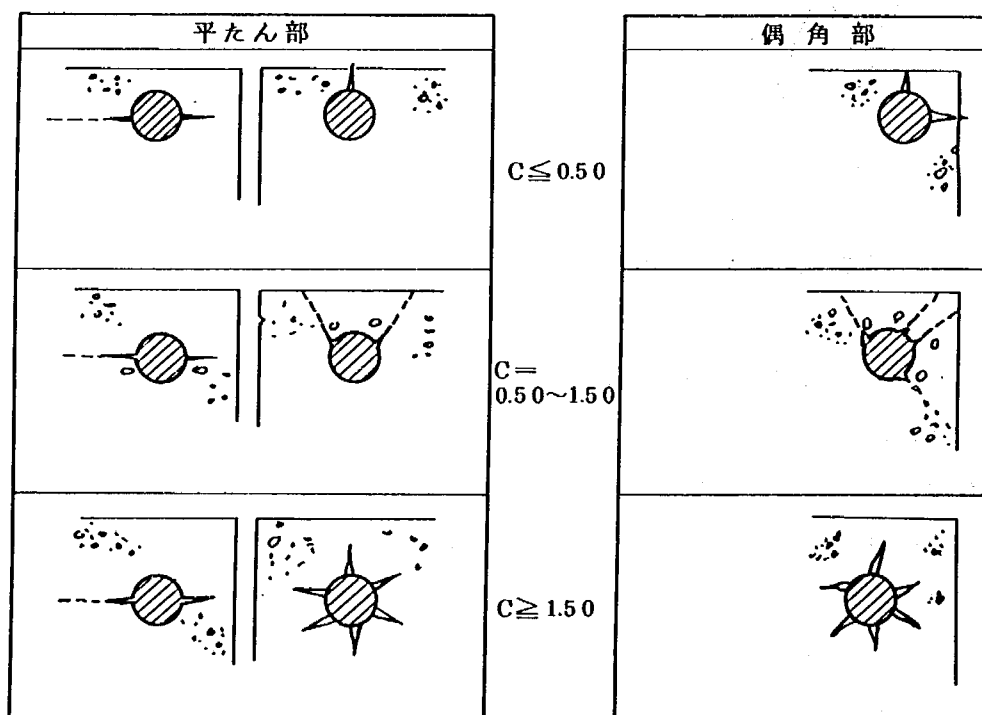
抄訳 No 74 (R. D. Browne)

この論文は、北海およびイギリス沿岸の海洋コンクリート構造物の実態調査と各研究所での試験結果に基づいて、鉄筋の腐食機構を総説するものである。海洋環境下のコンクリート中の鉄筋腐食は、鉄筋を活性化する塩化物の浸透速度、コンクリートの電気抵抗性およびかぶり中の酸素拡散性などに依存している。鉄筋の腐食はコンクリートの剝落を生じさせるが、かぶりの厚さ、部材形状およびコンクリート強度に左右される。耐久性のある構造物をつくるためには1) かぶりの厚さ、2) かぶり部のコンクリート品質とセメント種別、3) 表面層コンクリートの養生、4) 被害を受けやすい部位のコーティング、の4項目が重要である。

破損部の補修は破損の現状と原因に応じて考えなければならない。また、破損が生じていない部位では、全部のコンクリートを取り換える必要はない。剝落やひびわれが生じた部分の近傍では、塩化物、酸素の浸透を防ぐため、コンクリート表面をコーティングする方法もある。



図－ 6.1 2 30年材令栈橋の塩分測定



図－ 6.1 3 鉄筋腐食に及ぼす かぶり／鉄筋径 比の影響

抄訳 № 75 (S. Sczyslo)

この論文は、西ドイツにおける1978年に実施された鋼橋の防食システムに関する調査結果である。調査した橋梁数183橋、総延長47100m、総塗装面積5,105,294m²であった。これらの橋梁は完成後0～79年経過しており、大部分は油性およびフタル酸系のペーキで塗装されている。最近のものには、エポキシ樹脂が用いられており、また、熔融亜鉛メッキも使用されている。

これらについて、その構造、建設時期、塗装方法、塗装の厚さ、被膜の劣化状態等を分類、整理して示されている。

以上の文献に腐食機構や防食工法に関連する非破壊試験の数事例が示されたが、また数多くの他の検査法が適用できると思われる。新しい検査手法は実験室レベルだけではなく、実際の構造物本体への適用が要求され、また、その精度や操作方法が実用的に確められる必要がある。

腐食機構を解明し、構造物の防食工法を開発することが大切であると共に、既存構造物の腐食による被害の早期発見や補修効果の向上なども重要である。特に、腐食が大きな被害をもたらす前に、定期的点検によってその劣化の進行状況を把握し、最小限の維持補修を施し、構造物の機能を発揮させることが最も経済的手段と言えよう。また、補修方法、使用材料の適性や効果を検討すると共に、補修作業の確実性を期することが大切である。

6-2 各種基準

コンクリート構造物に関する規定、特に耐久性に関連しては構造物の種類、使用場所、施工状況、あるいは耐用年数などによってかなり異なると思われる。現行の各国基準類の中で、特にコンクリート橋に関するものと海洋構造物に関するものを項目別に調査した(表-6.1)。

コンクリート橋に関するものは下記の6基準を取り上げ、特に耐久性に関連する内容を表-6.2にまとめた。

○ASSHTO(1977) - Standard Specification for Highway Bridges.

○ACI 343R(1977) - Analysis and Design of Reinforced Concrete Bridges Structures

○CEB-FIP Model Code for Concrete Structures - 1978

○FRECH CODE (1973) - Conception et Calcul du B'eton Pr'econtrant

○BS 5400, part 4 (1978) - British Standard for Steel, Concrete and Composite Bridges. Part 4 Code of Practice for Design of Concrete Bridges

○DIN 4227 Part 1 (1979) - Prestressed Concrete, Structural Components made of Ordinary Concrete with Partial or Total Prestressing

各国基準によれば、侵食の激しい環境下ではPC橋梁は水セメント比45%程度が必要である。鋼材のかぶりはPC用コンクリートに対して50mm程度である。CEB-FIP、フランス、イギリスおよびドイツでは、橋梁構造物に対してPCⅢ種も適用されており、ひびわれの制御を行っている。しかしながら、各国の許容ひびわれ幅や鉄筋の許容引張応力度はそれぞれ異った学説に立脚しており、許容値そのものの数値上の比較はできない。なお、どの基

準も塩素イオン濃度を制限しており、混和剤への CaCl_2 の混入を禁止している。また、耐久性の観点からA Eコンクリートの使用を規定するものが多い。米、英ではPC用コンクリートの最小単位セメント量を $360\text{kg}/\text{m}^3$ 程度としている。

海洋コンクリート構造物に関する基準類は表-6.3と表-6.4に示した通りで、FIP, DNV, BS, ACIおよびBV(フランス)などの7種類のものを含む。コンクリート橋に関する基準と比べれば、水セメント比、最小単位セメント量、コンクリート設計強度などはすべて厳しくなっている。また、鉄筋のかぶりもPC橋の場合よりも大きな値を規定しており、特にPC鋼材に対しては最大 100mm までのかぶりを取っている。

しかしながら、これらの規定は、構造物の耐用年数、部材寸法、施工精度、または補修の可能性などを考慮に入れて定めるものと考えられ、構造物のそれぞれの特性から、異った規定を設けることが合理的であろう。

表-6.1 構造物別各国基準類

	構 造 物 一 般	道 路 橋	海 洋 構 造 物
日 本	無筋及び鉄筋コンクリート標準示 方書(土木学会 1974) プレストレスコンクリート標準示 方書(土木学会 1978)	道路橋示方書・同解説 Ⅲコンクリート橋編 (日本道路協会 1978)	海洋コンクリート構造物設計施工 指針(案)(土木学会 1977) 港湾施設の技術上の基準・同解説 (日本港湾協会 1979) プレストレスコンクリートパー ジ規準(日本海事協会 1975)
B-1 アメリカ	Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-77)	Analysis and Design of Reinforced Concrete Bridge Structures (ACI 343R-77) Standard Specification for Highway Bridges (AASHTO 1977)	Guide for Design and Construction of Fixed Offshore Structures (ACI 1978) Prestressed Concrete Ocean Structures and Ships (PCI 1975) Classification of Concrete Vessels (ABS 1976)
B-2	Code of Practice for the Structural Use of Concrete (CP-110 1972)	British Standard for Steel, Concrete and Composite Bridges (BS 5400 1978)	Fixed Offshore Structures (BSI DD55 1978)
B-3	Deutsches Normen Beton und Stahlbeton Bemessung und Ausführung (DIN 1045) Spannbeton-Bauteile aus Normalbeton mit beschränkter oder voller Vorspannung (DIN 4227 1979)	Richtlinien für die Bemessung und Ausführung massiver Brücken (DIN 1075の代用)	不 明
B-4 フランス	Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et construction en béton armé (BA) Conception et calcul du béton précontraint (PC-French Code 1973)	不 明	Classification and Survey of Pontoon Supports of Plants (BV 1976)
B-5 ノルウェー	不 明	不 明	Rules for the Design, Construction and Inspection of Offshore Structures (DNV 1977) Guidelines for the Design Construction and Classification of Floating Concrete Structures (DNV 1978)
B-6 CEB-FIP	CEB-FIP Model Code for Concrete Structures (CEB-FIP 1978)	不 明	Recommendations for Design and Construction of Concrete Sea Structures (1977)

表-6.2 コンクリート橋の耐久性に関する各国基準

項目	AASHTO (1977)	ACI 343R (1977)	CEB-FIP CODE (1978)	FRENCH CODE (1973)	BS 5400 Part 4 (1978)	DIN 4227Part 1 (1979)
セメントに対する規定	ポルトランドセメント、A Eポルトランドセメント、ポルトランド高炉セメント、A Eポルトランド高炉セメントを使用すること。	ポルトランドセメント、ポルトランド高炉セメント、ポルトランド・ボゾランセメントを使用すること。	特に規定はない。		ポルトランドセメント、ポルトランド高炉セメント、耐硫酸塩ポルトランドセメントを使用すること。	Z 45とZ 55の強度規格に適合するすべての種類のセメント、またZ 35Fの強度規格のポルトランドセメントや鉄・ポルトランドセメントを使用すること。
練混ぜ水	塩素イオン濃度は1000ppm以上を含まないこと。	清浄で、有害物質を限界量以上含まないこと。	鉄筋の腐食を助長するような物質を限界量以上含まないこと。		有害物質を含まないこと。公共用水以外のものを使用する場合、BS 3148による試験を行うこと。	塩素イオン濃度は600mg/litre以上を含まないこと。海水を使用してはならない。
混和剤に対する制限	・減水剤はCaCl ₂ を含まないこと ・A E剤を使用しない場合、減水剤を添加したコンクリートの空気量は3%以下とする(但し、橋床版を除く)。	橋床版には、A E剤を用いること。P C構造物や橋床版、橋脚部などにはCaCl ₂ を使用してはならない。使用してもよい場合でも遊離CaCl ₂ 量はセメント重量の1%以下	鉄筋の防食に害するような成分(特に塩化物)を含まないこと。		CaCl ₂ 、或はCaCl ₂ を含む混和剤を使用してはならない。除水剤使用のコンクリートはA E剤を用い、空気量の規定(最大粗骨材20mmの場合、5%で40mmの場合、4%である)を満足すること。	混和剤はP Cへの適用に関する試験的実証が認められているものを用いてよい。 混和材料は使用してならない。
耐久性から定まる水セメント比(%)	280kg/cm ² の場合: 49%以下 315kg/cm ² の場合: 44.5%以下	床版の場合: 45%以下 (ACI 345-74より)	凍結融解や除水剤使用環境下の場合、50%以下とし、また必ずA Eコンクリートを使用すること。		環境条件: 普通 55% 厳しい 55% 非常に厳しい 45%	・役食作用の弱い場合 60%、透水深度 50mm ・役食作用の強い場合(例えば海水) 50%、透水深度 30mm
最小単位セメント量(kg/m ³)	280kg/cm ² の場合: 363kg/m ³ 315kg/cm ² の場合: 363kg/m ³	床版の場合: 335kg/m ³ 以上 (ACI 345-74より)	RC: 240kg/m ³ 以上 PC: 270kg/m ³ 以上		[付表-3] 参照	Z 35強度規格以上のセメントを使用する場合、240kg/m ³ 以上
最小かぶり(mm)	(P C減造物の場合) P C鋼材と主筋 38mm 床版の上段筋 38mm (除水剤使用) 51mm 床版の下段筋 25mm スターラップ 25mm 但し、海水や海水しびきにさらされる場合には、かぶりをもっと厚くする必要がある。	・土や風雨にさらされる場合 主筋 51mm スターラップ 38mm ・コンクリート床版の場合 上段筋 51mm 下段筋 25mm 但し、海洋や腐食しやすい環境下では、かぶりを厚くする必要があり、コンクリートの緻密性、透水性を考慮したり、防食工を講じたりする必要がある。	・特に腐食に敏感な鋼材(熱処理したもの、常に高い応力をうけているもの)は[付表-1]の値とし、さらに鉄筋径以上、最大粗骨材寸法+5mm以上とする。 ・腐食に敏感ではない鋼材に対しては表-1の値より10mm小さくしてよい。	・鉄筋 役食環境 40mm 一般屋外 30mm ・P C鋼材 役食環境 50mm 一般 40mm 1/2 シース径	(RCの場合) [付表-4] 参照 (P Cの場合) ・プレテン用P C鋼材は[付表-4]を適用すること。 ・ポストテン用シースのかぶりは50mm以上とする。	腐食環境(例えば、除水剤使用、海水による役食)の鉄筋かぶり: ・場所打ちコンクリート 一般部材 35mm スラブ、壁状部材 30mm ・プレキャスト部材 30mm
ひびわれの制 制	(RCの場合) $f_s \leq \frac{4}{3} (d_c - A)^{1/4} (\leq 0.6 f_y)$ ここに、 f_s : 設計荷重時の鉄筋応力度 A: 引張鉄筋と重心が一致する部分のコンクリート断面積を鉄筋本数で割った値 d_c : 引張鉄筋から最も近接する鉄筋中心までの距離 Z: 3035kg/cm ² (中程度暴露) 23216kg/cm ² (厳しい暴露) 非常に厳しい外気条件の場合、さらにコンクリートの品質や防食工を考慮。 (P Cの場合) 許容引張応力度を満足すること。	(RCの場合) AASHTOと同じ (P Cの場合) ・ボンド方式 コンクリートの許容引張応力度を満足すること。 ・アンボンド方式 最小鉄筋量を満足すること。 $A_{sa} = 0.0025 A_g$ ($A_g < 1613 \text{ cm}^2$) 0.0020 A_g ($1613 \text{ cm}^2 < A_g < 5161 \text{ cm}^2$) 0.0015 A_g ($A_g > 5161 \text{ cm}^2$) 最小鉄筋量は引張域に配置すること	許容ひびわれ幅は[付表-2]の値とする。但し、設計かぶりCが[付表-1]の最小かぶり(Cmin)よりも大きな場合[付表-1]の値をC/Cmin ϕ 1.5によって割増してもよい。	(P C I 種、II 種) コンクリートの許容引張応力度を満足すること。 (P C II 種) 緊張材を囲む部分(被覆区間)のコンクリートは許容引張応力度を満足すること。 また、ひびわれ断面における鉄筋応力度は許容値を満足すること。	(P C I 種、II 種) コンクリートの許容引張応力度を満足すること。 (RC、P C II 種) 算定ひびわれ幅は下記の値を越えてはならない。 環境条件: 普通 0.25mm 厳しい 0.20mm 非常に厳しい 0.10mm	(P C I 種) ・設計荷重時 コンクリートの許容引張応力度を満足すること。 ・1.35(DL+LL)荷重状態 ①引張域における鉄筋がP C鋼材の応力度は許容値を越えない。 ②引張域における鉄筋径は次の限界直径を越えないこと。 $\phi_s = 4\tau \frac{\mu_s}{\sigma_s} \times 10^4$ ここに、 τ : 係数 μ_s : 引張域の鋼材比 (P C II 種) 規定事項中
コンクリートの強度	PC: 350~420kg/cm ² それ以上の強度のものに対して、材料の管理や施工手順について十分に考慮すること。		RC: 120kg/cm ² 以上 PC: 250kg/cm ² 以上	PC: 300kg/cm ² 以上 ($\phi 160 \times 320$ 円柱強度)	RC: 200kg/cm ² 以上 PC: 250kg/cm ² 以上 (15cm立方体強度)	プレテン: 350kg/cm ² 以上 ポストテン: 250kg/cm ² 以上 (20cm立方体強度)

(付表-1) 最小コンクリートかぶり (CEB-FIP CODE)

環境条件 部 材 別	コンクリート等級			
	250 ~ 350 kg/cm ²		400 ~ 500 kg/cm ²	
	一般部材	ス ラ ブ	一般部材	ス ラ ブ
軽微の侵食性	25 ^{mm}	25 ^{mm}	25 ^{mm}	25 ^{mm}
中程度の侵食性	35	30	30	25
苛酷の侵食性	45	40	40	35

(付表-2) 許容ひびわれ幅 (CEB-FIP CODE)

環境条件	荷重作用	許容ひびわれ幅 (mm)	
		鋼材の腐食敏感性が高い場合	鋼材の腐食敏感性が低い場合
軽 微	しばしば作用	0.2	0.4
	永 久 作用	0.1	—
中 程 度	しばしば作用	0.1	0.2
	永 久 作用	—	—
苛 酷	ま れ	0.1	0.2 或は 0.1
	しばしば作用	—	0.2 或は 0.1

(注) 軽 微 建物内部。高い湿度の期間が短い場合 (例えば 60% RH の期間は年に 3 ヶ月以下)。

中程度

- ・ 高い湿度や一時的に腐食性気体が存在する建物内部
- ・ 雨 水
- ・ 農村や侵食性ガスの少ない都市内大気環境下の悪天候
- ・ 一般の土

苛 酷

- ・ 少量の酸類、塩類を含む液体。或は高度に酸化された水
- ・ 腐食性ガス或は非常に腐食性のある土
- ・ 腐食性の工業地区や海岸地区の大気環境

(付表-3) 最小単位セメント量

(BS-5400)

(kg/m³)

環境条件	P C		R C	
	最大粗骨材寸法		最大粗骨材寸法	
	40mm	20mm	40mm	20mm
普通	300	300	260	290
厳しい	300	300	260	290
非常に厳しい	320	360	320	360

(付表-4) 最小コンクリートかぶり

(BS-5400)

環境条件		最小かぶり (mm)			
		コンクリート等級 (N/mm ²)			
		25	30	40	≥50
普通	激しい雨にさらされず、水で飽和されている場合には氷結しない表面の場合 — 例えば (1) 防水膜を施した表面 (2) 内側表面 (3) 土中か水中にある	40	30	25	20
厳しい	(1) 部材の下面 (2) 表面が激しい雨にさらされ、湿ったり乾いたりする場合 — 例えば、背面盛土に接しており、ぬれている場合には凍結するような場合	50	40	30	25
非常に厳しい	(1) 表面が除氷塩の作用や塩分しぶきをうける場合 — 例えば道路ぎわの構造物とか沿岸構造物	適用外	50※	40※	25
	(2) 表面が侵食を伴う海水作用やpH値4.5以下の土中水にさらされる場合	適用外	適用外	60	50

(注) ※ A Eコンクリートの場合だけ使用できる。

(参考)

フランス (Conception et Calcul du Béton Précontraint (Instruction provisoire 1973))

PC部材は3種類に分類されておりⅢ種PCはひびわれ許容PCとなっている。Ⅲ種PCの定義は鋼材被覆断面のいかなる点にあっても、ひびわれ幅限界状態に達しないものとなっている。

被覆断面とは緊張材またはシースをとりまくコンクリート全断面の一部区間であって、これら緊張材(またはシース)と部材コンクリート表面との許容最小距離に等しい部分のことである(図4.2)。

Ⅲ種は更にⅢa, Ⅲbの2つに分類されている。これら両者の相違は表4.6に示すように被覆断面におけるコンクリート引張応力度の制限値の差によるものである。

表-4.6 被覆断面での引張応力制限値^{*}

載荷状態	Ⅲa 種	Ⅲb 種
施工時.....	$1.3\sigma_j$	$1.6\sigma_j$
永久荷重作用のみ.....	0 ^{***}	0 ^{***}
長期作用する荷重作用のみ...	0 ^{***}	σ_j
長期荷重作用と使用時変動荷重のx倍との組合せ.....	0 ^{***}	対象外 ^{***}
その他の場合.....	$2\sigma_j$	$2.5\sigma_j$

σ_j = 材令1日のコンクリート引張強度: $0.6 + 0.06f_{ca}$ (N/mm²)

* Ⅲ種PCにあっては被覆断面以外の部分に対してはコンクリート引張応力度の制限なし

** 被覆断面内にコンクリート引張応力発生なきことを確めるには引張区間コンクリートを無視した計算による

*** 規定によりⅢb種ではこの種荷重作用組合せに対する検討は不要

鉄筋配置に関する規定は比較的詳細である。特にプレストレスを与える前のひびわれ防止のため表面鉄筋量が規定されている。

スパン方向表面鉄筋は部材断面積の0.1%以上で、部材直角断面コンクリート表面に沿っての長さ1m当り2~3cm²とする。スパン直角方向表面鉄筋はスパン方向コンクリート表面に沿って長さ1m当り1.5~2.0cm²とする。ひびわれ断面についての鉄筋応力度は表4.7のように制限される。

表-4.7 鉄筋引張応力制限値と鉄筋の種類

Ⅲa 種	異形鉄筋のみ許容	$\sigma \leq 200 \text{ N/mm}^2$ $\leq \frac{800}{\sqrt{\phi}} \text{ N/mm}^2$ $\phi = \text{鉄筋最大直径 (mm)}$ $\leq \frac{2}{3} f_{eg}$
Ⅲb 種	普通丸鋼..... 異形鉄筋.....	$\leq 160 \text{ N/mm}^2$ $\leq 280 \text{ N/mm}^2$

ひびわれ断面に関する応力計算にあたってヤング係数比nは10ととることにしてある。

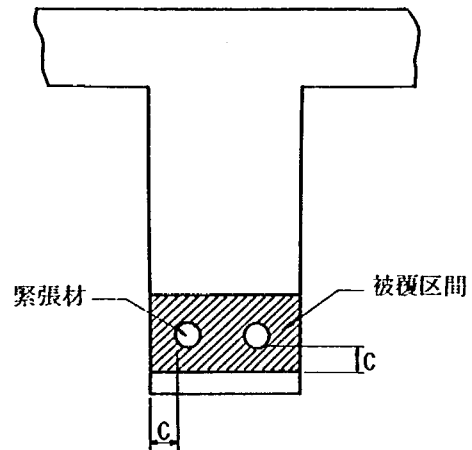


図-4.2 被覆区間定義

(参考)

フランスのPC種別

I 種：引張の起こらない限界状態

最大荷重作用に近い荷重作用が長期に作用するか、疲労による損傷の恐れがあることが特に懸念される構造物について考える。(例えば、貯水塔、鉄道橋の部材)

II 種：ひびわれの発生の限界状態は長期の作用で

も、PC鋼材防護範囲(以下防護範囲という)のいかなる点でも決して生じない。また引張の起こらない限界状態は長期の作用でも決して生じない(図-1)。

PC構造物の大部分に適用され、II a, II bに分ける(表-1)。

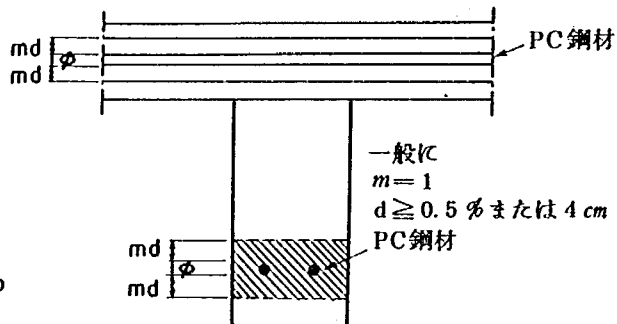


図-1 PC鋼材防護範囲

II a：引張応力は生じるがひびわれが発生しないもの。

II b：限られたひびわれの発生が防護範囲外では許容されるもの。

III 種：ひびわれ幅の限界状態が防護範囲内のいかなる点でも決して生じない。

建物の床のように腐食の機会が少ないものに適用し、III aとIII bに分ける(表-2)。

III a：長期及び変動する荷重でも制限されるもの

III b：永久荷重についてのみ制限されるもの

表-1 II種：引張応力度は表の値を越えてはならない 表-2 III種：引張応力度は表の値を越えてはならない

	PC 鋼材防護範囲			それ以外の範囲		
	施工時	長期荷重のみ	その他	施工時	長期荷重のみ	その他
II a	σ_f	0	σ_f	σ_j	σ_f	σ_f
II b	σ_j	0	σ_j	$1.8\sigma_j$	$1.3\sigma_j$	$1.5\sigma_j$

(注) σ_j ：コンクリートの材令 j 日における特性引張強度

荷 重 状 態	III a	III b
施工時	$1.3\sigma_j$	$1.6\sigma_f$
永久荷重のみ	0^*	0^*
長期荷重のみ	0^*	σ_j
長期荷重と積載荷重の x %	0^*	対象物なし
その他	$2\sigma_j$	$2.5\sigma_j$

(注) *：コンクリートの引張強度を無視
x 値：CPS で定める。 $0 \leq x \leq 1$

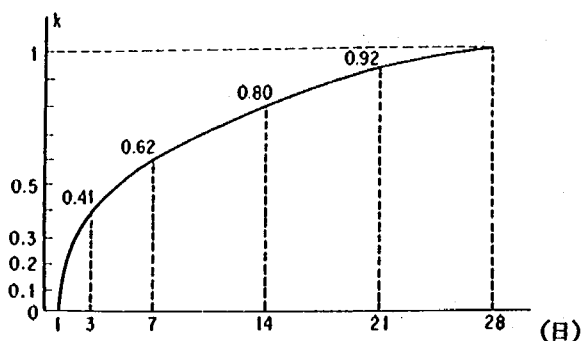


図-2 材令 23 日と材令 j 日の特性強度に関する係数 k

(参考)

西ドイツ (DIN 4227 Teil 1 1979)

現在の所、西ドイツでは使用状態で引張応力発生を許さない voller Vorspannung と、許容引張応力度以内のコンクリート引張応力を許容する beschränkter Vorspannung、との2種類が DIN 4227 Teil 1 に規定されているのみである。DIN 4227 Teil 2 にひびわれ許容の teilweise Vorspannung が規定される予定であるが、未だ発表されていない。

voller 及び beschränkter Vorspannung 部材にあってのひびわれ制御は前者は引張応力の生じないこと、後者は引張応力が許容値をこえないこと、でそれぞれ一般の場合検討される。しかしさらにひびわれ幅制限を次の荷重作用に対して検討することを要求している。

ひびわれ幅制御のため配置される鉄筋最大直径 ϕ_s は次式で定める。

$$\phi_s = 4r \cdot \frac{\mu_2}{\sigma_s^2} \times 10^4$$

ここに、 r = 付着性状を考慮した係数

μ_2 = コンクリート引張区間断面積 A に関する引張鋼材断面積 $A_p + A_s$ の比(%), A_s は鉄筋断面積, A_p は直接付着ある PC 鋼材断面積

A = 上記荷重作用組合せに対し鋼材引張応力計算状態での引張区間断面積, 部材寸法高さの高い場合には引張区間高は 80 cm までとする。

σ_s = 鉄筋引張応力または PC 鋼材引張応力度増単位は MN/m^2 , σ_s を計算するには全断面有効として計算したときのコンクリート全引張力を引張鋼材断面積で割る近似計算法によってもよい。

ひびわれ幅制御用鉄筋は異形鉄筋でなければならない。あとで付着をおこさせる PC 鋼材はこれをひびわれ幅制御用鉄筋と考えてよいが、この場合 PC 鋼材断面積を次のようにして鉄筋断面積に換算する。

1 本の緊張材断面図心と同じ図心を有する 1 辺 30 cm の正方形内にあって、鉄筋断面積を次の値だけ減少させることができる。

$$A_s = u_p \cdot \zeta \cdot \phi_s / 4$$

ここに、 u_p = シース内緊張材周長, 1 本の PC 鋼材ならば $u_p = \pi \phi_p$, 多数本の PC 鋼材束の場合

$$u_p = 1.6 \pi \sqrt{A_t}$$

ζ = 注入グラウト中の PC 鋼材付着強度と異形鉄筋付着強度の比

表面平滑な PC 鋼材 $\zeta = 0.2$

ストランド $\zeta = 0.4$

以上のように西ドイツ現行 DIN 4227 では使用状態にあってひびわれ発生のないような PC に対しても、荷重作用割増し状態でひびわれ幅制限の鉄筋配置の検討を要求している。

表-6.3 海洋構造物に関する設計指針

仕 方 書	暴 露 条 件	セメント種別	最大水セメント比 (重量比)	最小セメント量(kg/m³)		最小特性強度 (材令28日) (N/mm²)	空 気 量 %	透 水 性 (m/sec)	公称かぶり(mm)	
				40mm骨材	20mm骨材				鉄 筋	P C 鋼 材
F. I. P. (1977)	海 中	普通ボルト	0.45	320	360	40	—	—	60	75
	干満部およびその上方	普通ボルト (C ₃ A 5%)	(0.4が望ましい)			(すりへり作用を) 受ける場合は45	4~7		75	100
D. N. V. (1977)	海 中	制 限 な し	0.45	300		45	—	一般に10 ⁻¹² を越えては ならない。	50	100
	干満部およびその上方		(0.4が望ましい)	400			3~5		70	
CP 110 (1972)	海 洋	普通ボルト	0.45	290	330	—	—	—	60	60
B. S. I. DDSS (1978)	海洋環境下で直接暴露されない	普 通 ボ ル ト	0.4	320	360	30※	飛沫帯では 考慮すること。	—	60 ⁺	75 ⁺
	海洋環境下で直接に塩水及び塩 水飛沫に曝露される	早 強 ボ ル ト 高炉セメント		400		40			75 ⁺⁺	100 ⁺⁺
	厳しい磨耗作用を受ける	耐硫酸ボルト				50				

- 注) * プレストレストコンクリートに対しては、最小値 40 W/mm²
- + 海中にある場合
- ++ 飛沫帯の外側と大気中
- ① Fédération Internationale de la Précontrainte (国際プレストレストコンクリート協会)
- ② Dat Norske Veritas (ノルウェー船級協会)
- ③ British Standard Code at Practice 110 (イギリスコンクリート構造物に関する示方書)
- ④ British Standard Institution DD55 (イギリス基準)

[出典: 抄訳 674]

RC: 読解コンクラーテ

RC: 読解コンクラーテ

PC: プレストレストコンクリート

名 称		海洋コンクリート構造物設計施工 指針書(1977)	港湾施設の技術上の基準 同解説(1978)	プレストレストコンクリートバーの 基準(1975)	Guide for the Design and Construction of Fixed Offshore Concrete Structures (1978)	Recommendation for the Design and Construction of Concrete Sea Structures (1977)	Rules and Regulations for the Design, Construction and Classification of Off- shore Platforms (1975)	Rules for the Design, Construction and Inspe- ction of Offshore Structures (1977)	Guidelines for the Design, Construction and Classi- fication of Floating Con- crete Structures (1976)
制 定 機 関		土 木 学 会	日本港湾協会	日本海軍協会	ACI	FIP	BV	DNV	DNV
適 用 範 囲		海洋コンクリート構造物の設計及び施工に適用する。	港湾施設を建設し、改良し、維持する場合に適用する。	プレストレストコンクリートバーの船体材料の設計及び施工に適用する。	鉄骨コンクリート及びプレストレストコンクリートで構築された式(重力式) 海洋施設物の設計及び施工に適用する。	海洋コンクリート構造物の設計及び施工に適用する。	鋼管及びコンクリート製組立プラットフォームの施工及び船殻修訂に適用する。	鋼管及びコンクリート製浮体式構造物に適用する。	浮体式コンクリート製構造物の設計・施工及び船殻修訂に適用する。
敷 設 材	海上大気中	5cm 以上	50 mm 以上	船例及び船底外周部 70 mm 以上 上記以外の部分 40 mm 以上	1) 厚さ(注1) 50 cm 以上の部分 50 cm 以下の部分 50 mm 以上 2) 厚さ 50 cm 以上の部分 50 mm 以下の部分 50 mm 以上 注1の値を用いる。やむを得ない場合は注2の項目の最大値を用いる。	1) 厚さ 50 cm 以上の部分 50 cm 以下の部分 50 mm 以上 2) 厚さ 50 cm 以上の部分 50 mm 以下の部分 50 mm 以上 骨材最大寸法の1.5倍以上かつ最大粒径の1.5倍以下	50 mm 以上	40 mm 以上	25 mm 以上
	海中	7cm 以上	70 mm 以上				50 mm 以上	50 mm 以上	40 mm 以上
	P C 鋼材	5cm 以上(水中コンクリートは10 cm 以上)	50 mm 以上				50 mm 以上	50 mm 以上	25 mm 以上
	海中	責任技術者の判断による。	プレストレストコンクリート設計施工指針(土木学会)による。	船例及び船底外周部 100 mm 以上 上記以外の部分 45 mm 以上	75 mm 以上 90 mm 以上 75 mm 以上	100 mm 以上 100 mm 以上 75 mm 以上	ノースのかぶり 75 mm 以上	ノースのかぶり 80 mm 以上 100 mm 以上 100 mm 以上	ノースのかぶり 50 mm 以上 80 mm 以上 50 mm 以上
ひ び わ れ	海上大気中	有害なひびわれが発生しないこと。 海上大気中 0.15 mm 以下 海中 0.2 mm 以下とする。	許容ひびわれ幅 1) 海水に直接接する部分、海水で洗われる部分、及び強い潮流を受ける部分 0.15 mm 2) 上記以外の部分 0.20 mm $w=16 C_0 \phi / D_s$ を用いてもよい。 ここに C: ひびわれ幅(mm) w: コンクリート付着強度に対する引張強度の比 引張強度の表に対して上側の数値に対しては九割=1.2、異形断面=0.6 引張強度の表に対して下側の数値に対しては九割=0.8、異形断面=0.4 φ: ひびわれ発生断面に対する有効断面積(kg/cm ²) D: ひびわれに関する有効コンクリート配筋率の係数 D: 数値のヤング係数(kg/cm ²) $E_c=2.1 \times 10^4$ kg/cm ²	鉄骨コンクリート構造とする場合、ひびわれ幅を規制することにより、有害なひびわれが発生しないようにする。	コンクリート内で引張応力が生ずる所の最小数値 A_e 。 A _e は式で規定。 $A_e = \frac{f_{cr}}{f_p} \cdot b \cdot d$ ここに f _p : コンクリート平均引張強度 f _{cr} : 鉄筋降伏点 b: 断面幅 d: 1.5 C + 10 d _s C: コンクリートの圧縮強度 d _s : 鉄筋径 0.2 h ≤ d ≤ 0.5(h-x) h: 断面高 x: 圧縮層厚の深さ	RC 常時荷重時 変位ひびわれ幅 0.3 mm 以下で主筋のかぶりの4/1000倍以内 終局荷重時 鉄筋応力は 0.8 f _y 以下。 PC 常時荷重時 表面ひびわれ幅 0.2 mm 以下 ただし、ひびわれによる PC 鋼材の応力増加は 0.2 mm のひびわれ幅に相当する鉄筋応力の50%以下。 終局荷重時 表面ひびわれ幅 0.3 mm 以下 鉄筋応力は 0.8 f _y 以下。	国際プレストレスト協会発行の Recommendation for the Design and Construction of Concrete Sea Structures に準拠する。 ここに f _m : コンクリートの平均引張強度 f _{yk} : 鉄筋の比例限界 W: ひびわれ部の水深 b: 配筋幅 d _s : 有効引張域 =1.5 C + 10 φ C: コンクリートの圧縮強度 φ: 鉄筋直径 0.2 h < d ≤ 0.5(h-x) ここに、φ は全断面有効として計算した値。	$A_e \geq \frac{f_m W}{f_{yk}}$ ここに、 f _m : コンクリートの平均引張強度 W: ひびわれ部の水深 f _{yk} : 鉄筋の比例限界 (< f _{yk}) b: 配筋幅 d _s : 有効引張域 =1.5 C + 10 φ C: コンクリートの圧縮強度 φ: 鉄筋直径	
	海中	RCについては規定なし。 PCコンクリートについてはプレテンション方式 350 kg/cm ² 以上 ポストテンション方式 300 kg/cm ² 以上	無筋コンクリート 135~180 kg/cm ² 鉄筋コンクリート 240 kg/cm ² 以上 プレストレストコンクリート プレテンション 350 kg/cm ² 以上 ポストテンション 300 kg/cm ² 以上	プレテンション方式 400 kg/cm ² 以上 ポストテンション方式 350 kg/cm ² 以上	352 kg/cm ² 以上 浸漬によるよりへの恐れのある場合は 422 kg/cm ² 以上	408 kg/cm ² 428 kg/cm ² 306 kg/cm ²	408 kg/cm ² 428 kg/cm ² 306 kg/cm ²	306 kg/cm ² 以上	RILEMによって得た φ15 cm × 30 cm の試片から 28 日強度を用いること。 材料 28 日より前でも作り強度の伸びが考慮できる。 材料 28 日より前で重量を受けるときは実際の強度低下による。
セ メ ン ト	ポルトランドセメント(4種類) 高炉セメント、フライアッシュセメントは JIS R 5210, R 5211, R 5212, R 5213 に適合するもの。	JIS に適合するもの。	ポルトランドセメント(3種類) 高炉セメント、フライアッシュセメント、シリカセメント	ポルトランドセメント(AS TM Type I, II, III) 高炉セメント(C595) フライアッシュセメント(C596) シリカセメント(C597) 油質含有量は 4~10% 油質含有量が多すぎると C ₅₀ の減少を招く。	ポルトランドセメント(AS TM Type I, II, III) 高炉セメント(C595) フライアッシュセメント(C596) シリカセメント(C597) 油質含有量は 4~10% 油質含有量が多すぎると C ₅₀ の減少を招く。	ポルトランドセメント、高炉セメント、混合セメントで各国規格に適合し、C ₅₀ の含有量 12% 以下のものを採用する。	フランス規格に適合するもので、C ₅₀ の含有量 8% 以下のものを採用する。	普通、Modified、高炉、低炉、耐熱、高炉、ボルクンセメント(ASTM T, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI, XII, XIII, XIV, XV, XVI, XVII, XVIII, XIX, XX, XXI, XXII, XXIII, XXIV, XXV, XXVI, XXVII, XXVIII, XXIX, XXX, XXXI, XXXII, XXXIII, XXXIV, XXXV, XXXVI, XXXVII, XXXVIII, XXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVI, XLVII, XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, LIV, LV, LVI, LVII, LVIII, LVIX, LX, LXI, LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVIII, LXIX, LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI, LXXVII, LXXVIII, LXXIX, LXXX, LXXXI, LXXXII, LXXXIII, LXXXIV, LXXXV, LXXXVI, LXXXVII, LXXXVIII, LXXXIX	

名	場	海洋コンクリート構造物設計指針 第2版 (1977)	港湾施設技術上の基準 同解説 (1979)	プレストレストコンクリートパーブ 基準 (1975)	Guide for the Design and Construction of Prestressed Concrete Structures (1978)	Recommendations for the Design and Construction of Offshore Concrete Structures (1976)	Rules and Regulations for the Construction and Classification of Off-shore Platforms (1976)	Rules for the Design, Construction and Inspection of Offshore Structures (1977)	Guidelines for the Design, Construction and Classification of Floating Concrete Structures (1978)
コン ク リ ー ト 材 料	混 合 則	良質の海水用、AE 測を使用するが、 ポゾラン使用は責任技術者の判断による。	海水用、AE 測は土木学会規格に適合 するもの。	良質なものでも本協会の承認を受けたもの。	ポゾランは試験結果を見ても使用 し。	0.1% 以上の塩素イオンを 含む硫酸化セメント、硫酸 剤、顔料は使用してはな ない。	塩分を含んではならない。	本協会の承認が必要。	"Offshore Rules" に準拠。
	塩化物の規制 (離りまじり)	材料で規制する。	各々の材料で規制する。	各々の材料で規制する。	RC : Cl-セメント重量 ×0.10% 以下 PC : Cl-セメント重量 ×0.06% 以下	各々の材料で規制する。	各々の材料で規制する。	CaCl ₂ の使用禁止。	"Offshore Rules" に準拠。
配 合 に 関 し た 事 項	コ ン グ レ ー ト セ メ ン ト 比	海上大気中 環境モ ノ量 規 定 値 以上 (ただし、水中コンクリートは) 370 kg/m ³ 以上	記載なし。	400 kg/m ³ 以上 400 kg/m ³ 以上	356 kg/m ³ 以上 { 最も堅固またはマス コンクリートにおいて 415 kg/m ³ 以上を用いる場 合は、ひびわれを防止す る手段を講ずること。 }	記載なし。 40 kg/m ³ 以上 { C _{max} =40 mm の場合 320 kg/m ³ 以上; C _{max} =20 mm の場合 350 kg/m ³ 以上; }	350 kg/m ³ 以上; (400 kg/m ³ が望ましい)。	300 kg/m ³ 以上; 400 kg/m ³ 以下	"Offshore Rules" に準拠。 "Offshore Rules" に準拠。 記載なし。
	空 気 量 (空隙・組織の 対策を含む)	【付録一】	【付録二】	45% 以下 45% 以下 45% 以下	45% 以下 40% 以下 40% 以下	45% 以下 40%~45% 45% 以下	45% 以下 45% 以下 45% 以下	40% 以下が望ましい。 最大 45%	"Offshore Rules" に準拠。 "Offshore Rules" に準拠。 "Offshore Rules" に準拠。
	A/E 割・減水割の使用を指示。	A/E 割・減水割の使用を指示。	A/E コングリートを使用。 空気量は 40% を標準とする。	A/E 割・減水割の使用を指示。	流路・端部の対策が必要な 場合は ACI 201, 2 R-78 で 規定する。	10~40 mm の最大寸法の 骨材で 4~7% の割合で、 ただし、気泡径の分布、気 泡間隔については注意するこ と。	記載なし。	最大骨材寸法 40 mm のとき 3% 以下、 最大骨材寸法 20 mm のとき 5% 以下、 気泡の大きさは 0.25 mm 以下。	"Offshore Rules" に準拠。
	W/C=45% 以下 プレストレストコンクリート標準示方 書による。	W/C=35~45%	プレストレストコンクリート標準示方 書 (土木学会) による。	W/C=35~45%	ACI 318-77, 16~18 項に 適合すること。	全率保率 10% 以下。 海水の使用を禁止。	圧縮強度が 306 kg/cm ² 以上、 弾性係数 2,800 μm	圧縮強度 300 kg/cm ² 以上 Cl-濃度 0.05% 以下 全率保率 10% 以下	"Offshore Rules" に準拠。
施 工 に 関 する 事 項	打 設 時 間	材料も日までは海水に浸けられないよう 保護する。 海中及び海面の平均作用を受ける部分で の打設は遅らせる。 スプレーになるべく速く、つり金物を 用いるのがよい。	打設日に配慮する。	工事施工は、建造工事に関する施工 要領に従うこととするが、詳細につい てはプレストレストコンクリート標準 示方書 (土木学会) を参考にすることを 推奨する。	1) 打ち付けはその平均厚の 25% が覆われるように 処理する。 2) エボキレン樹脂接着剤を 塗布する。 3) 打設口付近のコンク リートはセメント量を多く する。	打設前、水和による温度上 昇、凍結、発生等について 調査を決定している。 ジョイントの施工や配慮 する (数量図の案を提示し ている)。	全量及びプラスティックス ペーパーの使用を禁止する。 ジョイントの施工や配慮 する (数量図の案を提示し ている)。	セメントの始発時に打設。 (確認)	数量図又は位置及び PC 断面 配置位置に関しては "Offshore Rules" に従ふ。
	特 別 検 査	コンクリート標準示方書に準ずる。	記載なし。	製造中最終検査 1) 材料試験 2) 材料配合 3) 水圧・水密試験 4) 養生試験 5) 海況試験 6) 活載設置の有効試験	5年ごとに実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) ひびわれ 5) 防食システム 6) 洗滌装置及び基礎	定期的の実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	毎年実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	5年以内で実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	2年ごとに実施 検査箇所： 1) ひびわれ 2) コンクリートの劣化 3) 鉄筋の腐食
耐 久 性 の 調 査	定 期 検 査	コンクリート標準示方書に準ずる。	記載なし。	製造中最終検査 1) 材料試験 2) 材料配合 3) 水圧・水密試験 4) 養生試験 5) 海況試験 6) 活載設置の有効試験	5年ごとに実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) ひびわれ 5) 防食システム 6) 洗滌装置及び基礎	定期的の実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	毎年実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	5年以内で実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	2年ごとに実施 検査箇所： 1) ひびわれ 2) コンクリートの劣化 3) 鉄筋の腐食
	特 別 検 査	コンクリート標準示方書に準ずる。	記載なし。	製造中最終検査 1) 材料試験 2) 材料配合 3) 水圧・水密試験 4) 養生試験 5) 海況試験 6) 活載設置の有効試験	5年ごとに実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) ひびわれ 5) 防食システム 6) 洗滌装置及び基礎	定期的の実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	毎年実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	5年以内で実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	2年ごとに実施 検査箇所： 1) ひびわれ 2) コンクリートの劣化 3) 鉄筋の腐食
耐 久 性 の 調 査	定 期 検 査	コンクリート標準示方書に準ずる。	記載なし。	製造中最終検査 1) 材料試験 2) 材料配合 3) 水圧・水密試験 4) 養生試験 5) 海況試験 6) 活載設置の有効試験	5年ごとに実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) ひびわれ 5) 防食システム 6) 洗滌装置及び基礎	定期的の実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	毎年実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	5年以内で実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	2年ごとに実施 検査箇所： 1) ひびわれ 2) コンクリートの劣化 3) 鉄筋の腐食
	特 別 検 査	コンクリート標準示方書に準ずる。	記載なし。	製造中最終検査 1) 材料試験 2) 材料配合 3) 水圧・水密試験 4) 養生試験 5) 海況試験 6) 活載設置の有効試験	5年ごとに実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) ひびわれ 5) 防食システム 6) 洗滌装置及び基礎	定期的の実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	毎年実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	5年以内で実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	2年ごとに実施 検査箇所： 1) ひびわれ 2) コンクリートの劣化 3) 鉄筋の腐食
耐 久 性 の 調 査	定 期 検 査	コンクリート標準示方書に準ずる。	記載なし。	製造中最終検査 1) 材料試験 2) 材料配合 3) 水圧・水密試験 4) 養生試験 5) 海況試験 6) 活載設置の有効試験	5年ごとに実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) ひびわれ 5) 防食システム 6) 洗滌装置及び基礎	定期的の実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	毎年実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	5年以内で実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	2年ごとに実施 検査箇所： 1) ひびわれ 2) コンクリートの劣化 3) 鉄筋の腐食
	特 別 検 査	コンクリート標準示方書に準ずる。	記載なし。	製造中最終検査 1) 材料試験 2) 材料配合 3) 水圧・水密試験 4) 養生試験 5) 海況試験 6) 活載設置の有効試験	5年ごとに実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) ひびわれ 5) 防食システム 6) 洗滌装置及び基礎	定期的の実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	毎年実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	5年以内で実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	2年ごとに実施 検査箇所： 1) ひびわれ 2) コンクリートの劣化 3) 鉄筋の腐食
耐 久 性 の 調 査	定 期 検 査	コンクリート標準示方書に準ずる。	記載なし。	製造中最終検査 1) 材料試験 2) 材料配合 3) 水圧・水密試験 4) 養生試験 5) 海況試験 6) 活載設置の有効試験	5年ごとに実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) ひびわれ 5) 防食システム 6) 洗滌装置及び基礎	定期的の実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	毎年実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	5年以内で実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	2年ごとに実施 検査箇所： 1) ひびわれ 2) コンクリートの劣化 3) 鉄筋の腐食
	特 別 検 査	コンクリート標準示方書に準ずる。	記載なし。	製造中最終検査 1) 材料試験 2) 材料配合 3) 水圧・水密試験 4) 養生試験 5) 海況試験 6) 活載設置の有効試験	5年ごとに実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) ひびわれ 5) 防食システム 6) 洗滌装置及び基礎	定期的の実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	毎年実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	5年以内で実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	2年ごとに実施 検査箇所： 1) ひびわれ 2) コンクリートの劣化 3) 鉄筋の腐食
耐 久 性 の 調 査	定 期 検 査	コンクリート標準示方書に準ずる。	記載なし。	製造中最終検査 1) 材料試験 2) 材料配合 3) 水圧・水密試験 4) 養生試験 5) 海況試験 6) 活載設置の有効試験	5年ごとに実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) ひびわれ 5) 防食システム 6) 洗滌装置及び基礎	定期的の実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	毎年実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	5年以内で実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	2年ごとに実施 検査箇所： 1) ひびわれ 2) コンクリートの劣化 3) 鉄筋の腐食
	特 別 検 査	コンクリート標準示方書に準ずる。	記載なし。	製造中最終検査 1) 材料試験 2) 材料配合 3) 水圧・水密試験 4) 養生試験 5) 海況試験 6) 活載設置の有効試験	5年ごとに実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) ひびわれ 5) 防食システム 6) 洗滌装置及び基礎	定期的の実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	毎年実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	5年以内で実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	2年ごとに実施 検査箇所： 1) ひびわれ 2) コンクリートの劣化 3) 鉄筋の腐食
耐 久 性 の 調 査	定 期 検 査	コンクリート標準示方書に準ずる。	記載なし。	製造中最終検査 1) 材料試験 2) 材料配合 3) 水圧・水密試験 4) 養生試験 5) 海況試験 6) 活載設置の有効試験	5年ごとに実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) ひびわれ 5) 防食システム 6) 洗滌装置及び基礎	定期的の実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	毎年実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	5年以内で実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	2年ごとに実施 検査箇所： 1) ひびわれ 2) コンクリートの劣化 3) 鉄筋の腐食
	特 別 検 査	コンクリート標準示方書に準ずる。	記載なし。	製造中最終検査 1) 材料試験 2) 材料配合 3) 水圧・水密試験 4) 養生試験 5) 海況試験 6) 活載設置の有効試験	5年ごとに実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) ひびわれ 5) 防食システム 6) 洗滌装置及び基礎	定期的の実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	毎年実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	5年以内で実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	2年ごとに実施 検査箇所： 1) ひびわれ 2) コンクリートの劣化 3) 鉄筋の腐食
耐 久 性 の 調 査	定 期 検 査	コンクリート標準示方書に準ずる。	記載なし。	製造中最終検査 1) 材料試験 2) 材料配合 3) 水圧・水密試験 4) 養生試験 5) 海況試験 6) 活載設置の有効試験	5年ごとに実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) ひびわれ 5) 防食システム 6) 洗滌装置及び基礎	定期的の実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	毎年実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	5年以内で実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	2年ごとに実施 検査箇所： 1) ひびわれ 2) コンクリートの劣化 3) 鉄筋の腐食
	特 別 検 査	コンクリート標準示方書に準ずる。	記載なし。	製造中最終検査 1) 材料試験 2) 材料配合 3) 水圧・水密試験 4) 養生試験 5) 海況試験 6) 活載設置の有効試験	5年ごとに実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) ひびわれ 5) 防食システム 6) 洗滌装置及び基礎	定期的の実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	毎年実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	5年以内で実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	2年ごとに実施 検査箇所： 1) ひびわれ 2) コンクリートの劣化 3) 鉄筋の腐食
耐 久 性 の 調 査	定 期 検 査	コンクリート標準示方書に準ずる。	記載なし。	製造中最終検査 1) 材料試験 2) 材料配合 3) 水圧・水密試験 4) 養生試験 5) 海況試験 6) 活載設置の有効試験	5年ごとに実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) ひびわれ 5) 防食システム 6) 洗滌装置及び基礎	定期的の実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	毎年実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	5年以内で実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	2年ごとに実施 検査箇所： 1) ひびわれ 2) コンクリートの劣化 3) 鉄筋の腐食
	特 別 検 査	コンクリート標準示方書に準ずる。	記載なし。	製造中最終検査 1) 材料試験 2) 材料配合 3) 水圧・水密試験 4) 養生試験 5) 海況試験 6) 活載設置の有効試験	5年ごとに実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) ひびわれ 5) 防食システム 6) 洗滌装置及び基礎	定期的の実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	毎年実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	5年以内で実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	2年ごとに実施 検査箇所： 1) ひびわれ 2) コンクリートの劣化 3) 鉄筋の腐食
耐 久 性 の 調 査	定 期 検 査	コンクリート標準示方書に準ずる。	記載なし。	製造中最終検査 1) 材料試験 2) 材料配合 3) 水圧・水密試験 4) 養生試験 5) 海況試験 6) 活載設置の有効試験	5年ごとに実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) ひびわれ 5) 防食システム 6) 洗滌装置及び基礎	定期的の実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	毎年実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	5年以内で実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	2年ごとに実施 検査箇所： 1) ひびわれ 2) コンクリートの劣化 3) 鉄筋の腐食
	特 別 検 査	コンクリート標準示方書に準ずる。	記載なし。	製造中最終検査 1) 材料試験 2) 材料配合 3) 水圧・水密試験 4) 養生試験 5) 海況試験 6) 活載設置の有効試験	5年ごとに実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) ひびわれ 5) 防食システム 6) 洗滌装置及び基礎	定期的の実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	毎年実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	5年以内で実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	2年ごとに実施 検査箇所： 1) ひびわれ 2) コンクリートの劣化 3) 鉄筋の腐食
耐 久 性 の 調 査	定 期 検 査	コンクリート標準示方書に準ずる。	記載なし。	製造中最終検査 1) 材料試験 2) 材料配合 3) 水圧・水密試験 4) 養生試験 5) 海況試験 6) 活載設置の有効試験	5年ごとに実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) ひびわれ 5) 防食システム 6) 洗滌装置及び基礎	定期的の実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	毎年実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	5年以内で実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	2年ごとに実施 検査箇所： 1) ひびわれ 2) コンクリートの劣化 3) 鉄筋の腐食
	特 別 検 査	コンクリート標準示方書に準ずる。	記載なし。	製造中最終検査 1) 材料試験 2) 材料配合 3) 水圧・水密試験 4) 養生試験 5) 海況試験 6) 活載設置の有効試験	5年ごとに実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) ひびわれ 5) 防食システム 6) 洗滌装置及び基礎	定期的の実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	毎年実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	5年以内で実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	2年ごとに実施 検査箇所： 1) ひびわれ 2) コンクリートの劣化 3) 鉄筋の腐食
耐 久 性 の 調 査	定 期 検 査	コンクリート標準示方書に準ずる。	記載なし。	製造中最終検査 1) 材料試験 2) 材料配合 3) 水圧・水密試験 4) 養生試験 5) 海況試験 6) 活載設置の有効試験	5年ごとに実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) ひびわれ 5) 防食システム 6) 洗滌装置及び基礎	定期的の実施。 検査箇所：見張部、管束部 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	毎年実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	5年以内で実施。 検査箇所： 1) 見張部 2) 管束部の指定箇所 検査項目： 1) 一般的目的 2) 材料劣化 3) 初期ひびわれ 4) 防食システム 5) 付着状態 6) 洗 砂	2年ごとに実施 検査箇所：<

構造部材	凍結融解を受ける地域	凍結融解を受けない地域
基礎、直柱、基礎、陶管	60	65
基礎岸上構工	60	65
ケーソン、ウェル、セメントウエー	55	55
門 壁	60	60

(註 3) "Offshore Rules" is Rules for the Design, Construction and Inspection of Offshore Structures (1977) 4 卷本。

7. 今 後 の 課 題

以上、6章にわたり、コンクリート構造物の腐食問題に関する文献調査結果をまとめたが、これからの研究開発の方向や防食、補修の手段などについての今後の検討課題を以下に示す。

- (1) 腐食メカニズムについては、従来考えられていたような単純なメカニズムではなく、塩分や酸素の供給量の他に、コンクリート材料等の様々な要因が影響するため、これらの腐食メカニズムを解明することが不可欠である。したがって腐食条件や形状の異なる供試体を用いた実海域や室内実験での試験調査が必要と思われる。
- (2) 防食効果の短期的評価方法を確立する必要がある。実海域での長期耐久性評価試験と併せて、短期間での結果が得られる促進試験を開発し、今後に予想される新しい防食方法の開発を容易ならしめる。
- (3) 防食材料や施工技術、品質管理の向上、ならびに施工機器等の開発が必要である。たとえば、
 - イ) エポキシ樹脂塗装鉄筋について
 - すぐれた防食性能を有する塗料樹脂と塗装方法の改良
 - エポキシ樹脂塗装鉄筋の工業標準化
 - ロ) 電気防食について
 - 大型模型および電算機によるシミュレーション実験によって、防食電位や電流分布の理論的解析手法を明らかにし、電気防食設計手順を確立する。
 - 高潮流下および汚染海域での設計条件を明らかにする。
 - ハ) コンクリートへのポリマー含浸工法について
 - 含浸用材料の改良と大規模施工用機械の開発
 - 大規模施工の可能な表面含浸工法の開発
 - 塩害だけでなく、凍結やすりへり（エロージョン）対策にも効果的なポリマー含浸工法の開発
 - ニ) コンクリート表面被覆工法について
 - 被覆材料の性能向上と高能率被覆処理施工機械の開発
 - 被覆処理後の検査方法の確立
 - ヘ) その他の材料について
 - 表面ひびわれの発生を低減できる繊維補強コンクリートやフェロセメント工法などの利用
 - 腐食の発生を抑制したり、腐食の影響を低下させたりするような高分子材料などの開発
- (4) コンクリート構造物の耐腐食性に関する研究計画は、実構造物との関連を考慮しながら、長期的に、系統的に取り組むことが望ましい。
- (5) 現在、日本で用いられているエポキシモルタルによる断面修復方法は高価で、かつ、強度的な期待があまりもてない。そこで、エポキシモルタルに変わる、安価で強度的効果の期待できる材

料ならびに施工方法の開発を行う必要がある。

- (6) 耐力低下が認められる橋梁の補強工法として、多く用いられるアウトケーブル等によるプレストレスの増加方法は、その補強効果もはっきりと確認されているわけではなく、今後、実験的検討を行って補強効果の確認を行う必要がある。
- (7) コンクリートの塩害問題で最も危険と考えられることは、コンクリート中の鋼材がすべて腐食して欠損してしまうことである。そこで、少なくとも鋼材が腐食して欠損した部分の終局強度の低下を極力抑えられるような補強方法の開発を検討する必要がある。
- (8) 新しい非破壊検査手法の開発は、実験室レベルだけではなく、実際の構造物への適用性も検討する必要がある。補修材料、補修方法などの適性や効果を確認すると共に、補修作業の確実性を期することが大切である。
- (9) コンクリート構造物の耐久性に関連する規定値（例えば、水セメント比、単位セメント量、あるいはかぶりなど）は、構造物それぞれの特殊性から、異った規定を設けることが合理的である。

終　　わ　　り　　に

文献調査は、その目的が多岐にわたる場合、的確な情報が得られず発散しがちである。また、相反する文献を前にして、それぞれ正当な評価をすることに困難な事態にしばしば直面する。

今回の調査にあたり、課せられた目的、コンクリート構造物の塩害に対する現状認識の混乱等から、上述の事態はある程度予想しえた。

従って新しい試みとして、文献調査が一通り終わった段階で、さらに、収録・抄訳された文献を再編成し、もう一度見直す作業を開始した。

この作業の中から生まれたのが本報告である。

文献調査の上に、さらに詳細に評価を加えまとめ直す作業は、極めて多くの時間を必要とした。作業に携った担当者の方々には深く謝意を申し上げる。

文 献 出 典 一 覧 表

A		雑 誌 類	(A-1~60)	211 編
B		規 準 類	(B-1~ 6)	19 編
C		論 文 集	(C-1~28)	186 編
D		そ の 他	(D-1~11)	48 編

合計 464 編

大英世界地圖

第一卷 (0001-1000) 經緯度

第二卷 (1001-2000) 經緯度

第三卷 (2001-3000) 經緯度

第四卷 (3001-4000) 經緯度

第五卷 (4001-5000) 經緯度

A. 雑 誌 類

- A - 1 A. C. I Journal (アメリカ)
- A - 2 Magazine of Concrete Research (イギリス)
- A - 3 Cement and Concrete Research (スウェーデン)
- A - 4 Proceeding of I. C. E. (イギリス)
- A - 5 Proceeding of A. S. C. E. (アメリカ)
- A - 6 Zement - Kalk - Gips (ドイツ)
- A - 7 Concrete (イギリス)
- A - 8 Journal of P. C. I. (アメリカ)
- A - 9 Material and Structures (RILEM)
- A-10 Corrosion (アメリカ)
- A-11 Materials Performance (アメリカ)
- A-12 Corrosion Science (アメリカ)
- A-13 Werkstoffe und Korrosion (ドイツ)
- A-14 Concrete International (アメリカ)
- A-15 The Structural Engineer
- A-16 F. I. P. Notes (F. I. P.)
- A-17 British Corrosion Journal (イギリス)
- A-18 Indian Concrete Journal (インド)
- A-19 Quality Control Concrete Structures (スウェーデン)
- A-20 Beton (ドイツ)
- A-21 Chemistry and Industry
- A-22 Precast Concrete
- A-23 Israel Journal of Technology (イスラエル)
- A-24 ANNALES de L'Institut Technique du Batiment et de Travaux Publics
(フランス)
- A-25 Betonwerk + Fertigteil - Technik (ドイツ)
- A-26 Public Roads
- A-27 Civil Engineering - A. S. C. E. (アメリカ)
- A-28 Chemical Age India (インド)
- A-29 Beton und Stahlbetonbau (ドイツ)
- A-30 Betonstein Zeitung (ドイツ)
- A-31 Concrete Constuction

- A-32 Materials Protection
- A-33 Travaux (フランス)
- A-34 Schweitz Bauzeitung (スイス)
- A-35 Engineering News Record (アメリカ)
- A-36 Civil Engineering and Public Works Review
- A-37 Civil Engineering
- A-38 Nordisk Betong (スウェーデン)
- A-39 Defazet (ドイツ)
- A-40 Bauingenieur (ドイツ)
- A-41 Housing
- A-42 Ocean Industry (アメリカ)
- A-43 Bauplanung - Bautechnik (ドイツ)
- A-44 Maschinenmarkt (ドイツ)
- A-45 Bautrichter (ドイツ)
- A-46 Canadian Journal of Civil Engineering (カナダ)
- A-47 Admixtures (イギリス)
- A-48 Corrosion Prevent Control (イギリス)
- A-49 Metallic Materials in Technology (イギリス)
- A-50 Building Technology Management (イギリス)
- A-51 Straßen Autobahn (ドイツ)
- A-52 Baugewerbe (ドイツ)
- A-53 Bautenschutz Bausanierung (ドイツ)
- A-54 Tiefbau (ドイツ)
- A-55 Tiefbau, Ingenieurbau, Straßenbau (ドイツ)
- A-56 Straßen Tiefbau (ドイツ)
- A-57 Elementar Fertigbau (ドイツ)
- A-58 Ciment Betons Plâtres Chaux (フランス)
- A-59 CBI Forsk (Cement Betong Institute) (スウェーデン)
- A-60 Ingegneria (イタリア)

B. 規 準 類

国別及び目的別規準類リスト

	構造物一般	道 路 橋	海洋構造物
日 本	無筋及び鉄筋コンクリート標準示方書 (土木学会 1974) プレストレストコンクリート標準示方書 (土木学会 1978)	道路橋示方書・同解説 Ⅲ コンクリート橋編 (日本道路協会 1978)	海洋コンクリート構造物設計施工指針(案) (土木学会 1977) 港湾施設の技術上の基準・同解説 (日本港湾協会 1979) プレストレストコンクリートバージ規準 (日本海事協会 1975)
B - 1 アメリカ	Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-77)	Analysis and Design of Reinforced Concrete Bridge Structures (ACI 343 R-77) Standard Specification for Highway Bridges (AASHTO 1977)	Guide for the Design and Construction of Fixed Offshore Concrete Structures (ACI 1978) Prestressed Concrete Ocean Structures and Ships (PCI 1975) Classification of Concrete Vessels (ABS 1976)
B - 2 イギリス	Code of Practice for the Structural Use of Concrete (CP-110 1972)	British Standard for Steel Concrete and Composit Bridges (BS 5400 1978)	Fixed Offshore Structures (BSI DD55 1978)
B - 3 ド イ ツ	Deutsch Normen - Beton und Stahlbeton - Bemessung und Ausführung (DIN 1045) Soanbeton - Bauteile aus Normalbeton mit beschränkter oder voller Vorspannung (DIN 4227 1979)	Richtlinien für die Bemessung und Ausführung massiver Brücken (DIN 1075の代用)	不 明
B - 4 フランス	Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et construction en béton armé (BA) Conception et calcul du béton précontraint (PC-French Code 1973)	不 明	Classification and Survey of Pontoon Supports of Plants (BV 1976)
B - 5 ノルウェー	不 明	不 明	Rules for the Design, Construction and Inspection of Offshore Structures (DNV 1977) Guidelines for the Design Construction and Classification of Floating Concrete Structures (DUV 1978)
B - 6 CEB-FIP	CEB-FIP Model Code for Concrete Structures (CEB-FIP 1978)	不 明	Recommendations for Design and Construction of Concrete Sea Structures (1977)

注) 参考のため日本の規準を含めた。

C. 論文 集

- C - 1 National Cooperative Highway Research Program Report
(Transportation Research Board - アメリカ)
- C - 2 Highway Research Record
(Transportation Research Record - アメリカ)
- C - 3 Highway Research Board Bulletin (アメリカ)
- C - 4 RILEM Symposium : Durability of Concrete (1969)
- C - 5 ASTM Special Technical Publication (アメリカ)
- C - 6 ACI Cpecial Publication (アメリカ)
 - 1 SP-47:Durability of Concrete (1975)
 - 2 SP-49:Corrosion of Metals in Concrete (1975)
 - 3 SP-65:Performance of Concrete in Marine Environment (1980)
- C - 7 International Conference in Behavior of Offshore Structure
(1979 - イギリス)
- C - 8 FIP Congress (FIP)
 - 1 5th Congress (1966 - Paris)
 - 2 8th Congrss (1978 -London)
 - 3 9th Congress (1982 -Stockholm)
- C - 9 FIP Symosium (FIP)
 - 1 on Steel for Prestressing (1968 -Madrid)
 - 2 on Stress Corrosion of Prestressing Wire (1973)
 - 3 on Concrete Sea Struture (1973)
- C-10 International Corrosion Forum(アメリカ)
 - 1 /78 (1978 - Texas)
 - 2 /79 (1979 - Georgia)
 - 3 /81 (1981 -
 - 4 /80 (1980 -
- C-11 Symposium : Resin and Concrete (1973)
- C-12 C & CA Joint offshore Conference (1976)
- C-13 Offshore Technology Conference
- C-14 Offshore Structures Conference, ICE (イギリス-1976)
- C-15 Concrete Ship & Floating Structures Convention (1979)
- C-16 International Association Collogium - Belgium (1975)

- C-17 The 1973 Annual Convention of ACI (アメリカ)
- C-18 PCA Bulletin (アメリカ)
- C-19 U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station (アメリカ)
- C-20 ILZRO Seminar on Galvanizing Steel Reinforcement for Concrete (1970)
- C-21 Bulletin of the Institute of Corrosion Science and Technology
- C-22 Proceeding of 4th International Congress on Mettalic Corrosion (1969)
- C-23 CEB Bulletin (CEB)
- C-24 Maintenance of Maritime Structures - ICE (イギリス)
- C-25 Building Research Establishment Current Paper
- C-26 Conference of the Concrete Institute in Australia (オーストラリア)
- C-27 F. C. B. Report (スウェーデン)
- C-28 "Concrete in the Oceans" Technical Report (イギリス)

D. そ の 他

- D - 1 States of Illinois Department of Transportation Bureau of Material and Physical Research (アメリカ)
- D - 2 V. D. I. Berichte (ドイツ)
- D - 3 Institute of Marine Engineering
- D - 4 Construction Engineering Research Laboratory
- D - 5 Progress Report , PB Report (アメリカ)
- D - 6 M. R. P.
- D - 7 Consturction Specifier
- D - 8 Bauplannung Bautechnik (ドイツ)
- D - 9 L'industria Italiana del Cemento (イタリア)
- D-10 Quallity Control of Concrete Structure (スウェーデン)
- D-11 出典不明

略 称

AASHTO	:	<u>A</u> merican <u>A</u> ssociation of <u>S</u> tate <u>H</u> ighway and <u>T</u> ransportation <u>O</u> fficials アメリカ道路交通協会
ACI	:	<u>A</u> merican <u>C</u> oncrete <u>I</u> nstitute アメリカコンクリート協会
ASCE	:	<u>A</u> merican <u>S</u> ociety of <u>C</u> ivil <u>E</u> ngineers アメリカ土木学会
ASTM	:	<u>A</u> merican <u>S</u> ociety for <u>T</u> esting and <u>M</u> aterials アメリカ試験材料学会
ABS	:	<u>A</u> merican <u>B</u> ureau of <u>S</u> hipping アメリカ船級協会
API	:	<u>A</u> merican <u>P</u> etroleum <u>I</u> nstitute アメリカ石油協会
BSI	:	<u>B</u> ritish <u>S</u> tandards <u>I</u> nstitution イギリス規格協会
BA	:	Régles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en <u>b</u> éton <u>a</u> rmé フランス鉄筋コンクリート技術基準
BV	:	<u>B</u> ureau <u>V</u> eritas フランス船級協会
BS	:	<u>B</u> ritish <u>S</u> tandard イギリス規格
CP	:	<u>C</u> ode of <u>P</u> ractice イギリスの実施基準
C&CA	:	<u>C</u> ement and <u>C</u> oncrete <u>A</u> ssociation イギリスセメントコンクリート協会
CEB	:	<u>C</u> omité <u>E</u> uro - <u>I</u> nternational du <u>B</u> éton ヨーロッパ・国際コンクリート委員会
CBI	:	<u>C</u> ement <u>B</u> etong <u>I</u> nstitute スウェーデンセメントコンクリート協会
DIN	:	<u>D</u> eutsch <u>I</u> ndustrie <u>N</u> orm ドイツ工業規格

DNV	:	<u>Det Norske Veritas</u> ノルウェー船級協会
FIP	:	<u>Fédération Internationale de la Précontraint</u> 国際プレストレストコンクリート協会
ICE	:	<u>Institution of Civil Engineers</u> イギリス土木学会
IOS	:	<u>International Organization for Standardization</u> 国際標準化機構
IABSE	:	<u>International Association for Bridge and Structural Engineering</u> 国際構造工学協会
ILZRO	:	<u>International Lead Zinc Research Organization</u> 国際、鉛・亜鉛研究機構
LR	:	<u>Lloyd Register of Shipping</u> ロイド船級協会（イギリス）
NF	:	<u>Norme Française</u> フランス規格
PCA	:	<u>Portland Cement Association</u> ポルトランドセメント協会（アメリカ）
PCI	:	<u>Prestressed Concrete Institute</u> プレストレストコンクリート協会（アメリカ）
PTI	:	<u>Post Tensioning Institute</u> ポストテンショニング協会（アメリカ）
RILEM	:	<u>Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Reseavches sur les Matériaux et les Construction</u> 国際材料試験連合

抄訳 Ⅷ 1

文 献 Ⅷ	D-3-1	分類記号	1-8, 9, 10
題 名	The Performance of Concrete Structures in the Marine Environment 海洋環境におけるコンクリート構造物の諸性能		
著 者	R. D. Browne	所属	Taylor Woodrow社の研究主任
		国別	イギリス
出 典	Inst Marine Engrs Vol. NO. 1973年 月 P. P. 80~87		

抄訳 Ⅷ 2

文 献 Ⅷ	C-6-3-1	分類記号	1-21
題 名	Durability of Concrete in Marine Environment - A Review 海洋コンクリートの耐久性 - 総説		
著 者	P. Kumar Mehta	所属	California工科大学教授
		国別	アメリカ
出 典	Performance of Concrete in Marine Environment (ACI SP-65) Vol. NO. 1980年 8月 P. P. 1~20		

抄訳 Ⅷ 3

文 献 Ⅷ	C-6-3-24	分類記号	1-5
題 名	Durability of Concrete Structures Along the North Sea Coast of the Netherlands オランダ、北海沿岸におけるコンクリート構造物の耐久性		
著 者	J. G. Wiebenga	所属	TNO大学、建設材料研究所所長
		国別	オランダ
出 典	Performance of Concrete in Marine Environment (ACI SP-65) Vol. NO. 1980年 8月 P. P. 437~452		

抄訳 Ⅷ 4

文 献 Ⅷ	C-24-2	分類記号	1-1, 4-21
題 名	Case History of Repairs of Maritime Structures 海岸構造物の補修事例		
著 者	F. J. Dyton	所属	Concrete Repairs group of companies
		国別	イギリス
出 典	Maintenance of Maritime Structures Institution of Civil Engineers Vol. NO. 1978年 月 P. P. 89~103		

抄訳 6 5

文 献 6	A-1-6	分類記号	1-2,5,2-8
題 名	Techniques for Evaluating Reinforced Concrete Bridge Decks 鉄筋コンクリート橋床版の診断法		
著 者	J.R. Van Daveer	所属	連邦道路庁(FHWA)床版調査プロジェクトマネジャー
		国別	アメリカ
出 典	ACI Journal Vol. 72 NO. 12 1975年12月 P. P. 697~704		

抄訳 6 6

文 献 6	C-8-3-4	分類記号	1-21
題 名	Prevention of Damages in Bridges 橋梁における損傷の防止		
著 者	F. Leohardt	所属	Leohardt und Andra 設計事務所社長
		国別	ドイツ
出 典	FIP 9th Congress Vol. NO. 1 1982年6月 P. P. 58~65		

抄訳 6 7

文 献 6	A-40-1	分類記号	1-17
題 名	Die Unterhaltung von Stahlbeton- und Spannbetonbrücken RC及びPC橋梁の維持		
著 者	D. Rabe	所属	ニーダーザクセン州 建設管理局
		国別	西ドイツ
出 典	Bauingenieur Vol. 56 NO. 11 1981年11月 P. P. 431~437		

抄訳 6 8

文 献 6	C-10-2-10	分類記号	1-7, 4-21
題 名	Bridge Rebar Corrosion-The Canadian Picture カナダにおける橋梁の鉄筋腐食		
著 者	H.J. Fromm	所属	交通運輸省
		国別	カナダ
出 典	International Corrosion Forum Vol. NO. 113 1979年3月 P. P. 1~5		

抄訳 Ⅷ 9

文 献 Ⅷ	A-41-1	分類記号	1-1, 3, 17
題 名	Field Studies on the Durability of Concrete Construction in a High Chloride-Sulphate Environment 塩化物, 硫酸塩の高濃度環境におけるコンクリート構造物の耐久性に関する現場研究		
著 者	Rasheeduzzafar	所属	Dhahran石油鉱物大学
	Fahd H. Dakhil	国別	サウジアラビア
出 典	Housing Vol. 1 NO. 1979年 月 P. P. 271~297		

抄訳 Ⅷ 10

文 献 Ⅷ	C-26-2	分類記号	1-17
題 名	The Repair of Concrete Structures - a Scientific Assessment コンクリート構造物の補修 - 科学的評価		
著 者	F.D. Bresford	所属	Building Research
	D.W.S. Ho	国別	オーストラリア
出 典	Conference of Concrete Institute in Australia (9th) Vol. NO. 1979年 月 P. P. 153~166		

抄訳 Ⅷ 11

文 献 Ⅷ	C-8-3-3	分類記号	1-3, 4, 6
題 名	A Survey of up to 60 Years Old Concrete Ships in Subarctic Environment 亜北極環境における60年までの材令のコンクリート船に関する調査		
著 者	A. Hofsoy	所属	
	P.S. Hafskjold	国別	ノルウェー
出 典	FIP 9th Congress Vol. NO. 1982年 6月 P. P. 1~24		

抄訳 Ⅷ 12

文 献 Ⅷ	A-1-3	分類記号	1-1, 5
題 名	A Survey of the Durability Performance of Post-Tensioning Tendons ポストテンション方式PC鋼材の耐久性能に関する調査		
著 者	Morris Schupack	所属	Schuoack Associates and Co., 社長
		国別	アメリカ
出 典	ACI Journal Vol. 75 NO. 10 1978年 10月 P. P. 501~510		

抄訳 Ⅷ 13

文 献 Ⅷ	A-24-4	分類記号	2-9, 10
題 名	Corrosion a la mer de structures en béton armé et précontraint 海水中のRCおよびPC構造物の腐食		
著 者	R. Bertrand	所属	Cemerex 社部長
		国別	フランス
出 典	Annales de l' I. T. B. T. P Vol. NO. 360 1978年 4 月 P. P. 62~75		

抄訳 Ⅷ 14

文 献 Ⅷ	C-25-1	分類記号	2-8, 10
題 名	Corrosion Testing of Steels for Reinforced Concrete 鉄筋コンクリート用鉄筋の腐食試験		
著 者	B. L. Brown, D. Harrop	所属	建物研究所
	K. W. J. Treadaway	国別	イギリス
出 典	Building Research Establishment Current Paper Vol. 78 NO. 45 1978年 3 月 P. P. 1~16		

抄訳 Ⅷ 15

文 献 Ⅷ	C-6-3-8	分類記号	2-3, 5, 8, 10
題 名	Study of Reinforced Concrete Beams Exposed to Marine Environment 海洋環境下に曝露された鉄筋コンクリート梁の研究		
著 者	Edward F. O'Neil	所属	米国陸軍, 水路実験所構造部研究員
		国別	アメリカ
出 典	Performance of Concrete in Marine Environment (ACI SP-65) Vol. NO. 1985年 8 月 P. P. 115~132		

抄訳 Ⅷ 16

文 献 Ⅷ	A-16-6	分類記号	2-8, 10
題 名	Coyer to Reinforcement and Corrosion Protection 鉄筋のかぶりと腐食防止		
著 者	A. W. Beeby	所属	C&CA
		国別	イギリス
出 典	FIP Notes Vol. NO. 89 1980年11,12月 P. P. 4~8		

抄訳 Ⅷ 17

文 献 Ⅷ	C-24-1	分類記号	2-21
題 名	Deterioration of Concrete Structures under marine Conditions and their Inspection and Repair 海洋環境におけるコンクリート構造物の劣化およびその点検, 補修		
著 者	R.D.Browne, P.L.Domone ; M.P.Geoghegan	所属	Taylor Woodrow建設会社 国別 イギリス
出 典	maintenance of maritime Structures(I.C.E.) Vol. NO. 1978年 月 P. P. 137~162		

抄訳 Ⅷ 18

文 献 Ⅷ	C-10-3-1	分類記号	2-9
題 名	Effect of Cracles on Steel Corrosion in Submerged Concrete Sea Structures 海水中コンクリート構造物の鉄筋腐食に及ぼすひびわれの影響		
著 者	O.Vennesland O.E.GjØrv	所属	Trondheim大学 国別 ノルウェー
出 典	International Corrosion Forum Vol. NO. 50 1981年 4月 P. P. 1~8		

抄訳 Ⅷ 19

文 献 Ⅷ	A-38-2	分類記名	2-9, 10
題 名	Steel Corrosion in Reinforced and Prestressed Concrete Structures RCおよびPC構造物における鉄筋腐食		
著 者	O.E.GjØrv	所属	Trondheim大学 国別 ノルウェー
出 典	Nordisk Betong Vol. NO. 2-4 1982年 月 P. P. 147~151		

抄訳 Ⅷ 20

文 献 Ⅷ	A-1-8	分類記名	2-2
題 名	Sodium Chloride, Corrosion of Reinforcing Steel, and the pH of Calcium Hydroxide Solution 塩化ナトリウム, 鉄筋の腐食および水酸化カルシウム溶液のpH値		
著 者	H.A.Berman	所属	連邦道路庁(FHWA) 化学研究員 国別 アメリカ
出 典	ACI Journal Vol. 72 NO. 4 1975年 4月 P. P. 150~157		

抄訳 Ⅷ 21

文 献 Ⅷ	A-19-1	分類記号	2-17
題 名	Service Life of Structures with regard to Corrosion of Embedded Steel 埋め込まれた鋼材の腐食による構造物の供用寿命		
著 者	K. Tuutti	所属	Swedish Cem. & Con Research Inst
		国別	スウェーデン
出 典	Quality Control Concrete Structures Vol. 1 NO. 1979 年 月 P. P. 293~301		

抄訳 Ⅷ 22

文 献 Ⅷ	A-24-6	分類記号	2-21
題 名	Conditions de Durabilite des Acmatures du Beton Precontraint プレストレストコンクリート中にある鋼材の耐久性の条件		
著 者	Andre' Raharinaivo	所属	Laboratoire Central des Ponts et chaussées
		国別	フランス
出 典	ANNALES de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics Vol. NO. 364 (Beton No 181) 1978 年 9 月 P. P. 48~53		

抄訳 Ⅷ 23

文 献 Ⅷ	C-27-1	分類記号	2-3
題 名	Diffusion of Chloride Ions from Seawater into Concrete コンクリート中への海水からの塩素イオンの拡散		
著 者	Odd E. GjØrv	所属	Trondheim 大学
	O. Vennesland	国別	ノルウェー
出 典	FCB Report (Cement and Concrete Research Institute) Vol. NO. 1979 年 1 月 P. P. 1~9		

抄訳 Ⅷ 24

文 献 Ⅷ	C-6-3-2	分類記号	2-21
題 名	Permeability of Concrete in Sea Water 海水におけるコンクリートの透水性		
著 者	Harvey H. Haynes	所属	Port Huenerme 土木研究所構造主任研究員
		国別	アメリカ (カリフォルニア)
出 典	Performance of Concrete in Marine Environment (ACI SP-65) Vol. NO. 1980 年 8 月 P. P. 21~38		

抄訳 Ⅷ 25

文 献 Ⅷ	C-5-7	分類記号	3-21
題 名	Significance of Tests and Properties of Concrete and Making -Materials Chapter 19 - Corrosion of Reinforcing Steel		
	コンクリート及びコンクリート使用材料の試験と性質 第19章 鉄筋の腐食		
著 者	P.D. Cady	所属	ペンシルベニア州立大学
		国別	アメリカ
出 典	ASTM Special Technical Publication 169B		
	Vol. NO.	1978年 月	P. P. 275~299

抄訳 Ⅷ 26

文 献 Ⅷ	C-10-2-6	分類記号	3-12,13,14,15,16
題 名	Carrosion Induced Detorioration of Reinforced Concrete - an Overview		
	腐食による鉄筋コンクリートの劣化 概説		
著 者	Walter P. Kilareski	所属	Pennsylvania State University
		国別	アメリカ
出 典	the International Corrosion Forum "Corrosion/79" Atlanta Georgia, U.S.A.		
	Vol. NO. 106	1979年 月	P. P. 1~6

抄訳 Ⅷ 27

文 献 Ⅷ	C-6-2-1	分類記号	3-12,13,14,15
題 名	Contnol of Steel Corrosion in Concrete Sea Structures		
	コンクリート製海洋構造物における鋼材腐食の制御		
著 者	Odd E. Gjørø	所属	Trond Reim大学
		国別	ノルウェー
出 典	Corrosion of Metals in Concrete (ACI SP49-1)		
	Vol. NO.	年 月	P. P. 1~9

抄訳 Ⅷ 28

文 献 Ⅷ	A-18-1	分類記号	3-13,15,21
題 名	Field Exposure Studies on Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete		
	コンクリート中の鉄筋腐食に関する現場暴露による研究		
著 者	K.S.Rajagopalan, S. Chandrasekaran	所属	Central Electrochemical Research Institute, Karaikudy
	N.S.Rengaswamy, T.M. Balasubramanian 他2名	国別	インド
出 典	Indian Concrete Journal		
	Vol. 52 NO. 9	1978年 9月	P. P. 231~240

抄訳 629

文献 629	C-10-3-2	分類記号	3-21
題 名	Influence of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ on Sea Water Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete - Part II コンクリート中の鉄筋の海水腐食に及ぼす $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ の影響 - 第2報		
著 者	William H. Harit	所属	Florida Atlantic University
	Barbara A. Voshardt	国別	アメリカ
出 典	the International Corrosion Forum "Corrosion/81" Tronto Canada Vol. NO. 52 1981年 4 月 P. P. 52/1~52/16		

抄訳 630

文献 630	A-24-13	分類記号	3-16
題 名	Nouvelles Techniques de Protection du Beton Manufacture par Impregnation ポリマー含浸による新しいコンクリート保護技術		
著 者	Par Francis Dutruel	所属	Service "Applications" ou CERIB
	Jean-Pierre le Hair	国別	フランス
出 典	ANNALES de L'institut Technique du Batiment et de Travaux Publics Vol. NO. 364 (BETON No181) 1978年 9 月 P. P. 91~103		

抄訳 631

文献 631	C-10-2-7	分類記号	3-14
題 名	Criteria for Adequate Cathodic Protection of Steel in Concrete コンクリート中にある鉄筋の適切な電気防食に対する目安		
著 者	John E. Slater	所属	Packer Engineering Associates, Inc
		国別	アメリカ
出 典	the International Corrosion Forum "Corrosion/79" Atlanta, Georgia U.S.A. Vol. NO. 132 1979年 3 月 P. P. 132/1~132/7		

抄訳 632

文献 632	C-2-2	分類記号	3-12
題 名	Laboratory Corrosion Tests of Galvanized Steel in Concrete コンクリート中の亜鉛メッキ鉄筋に関する実験室での腐食試験		
著 者	G. A. Hill, D. L. Spellman	所属	カリフォルニア州道路局
	R. F. Stratfull	国別	アメリカ
出 典	Transportation Research Record Vol. NO. 604 1976年 月 P. P. 25~37		

抄訳 Ⅲ 33

文 献 Ⅲ	A-24-12	分類記号	3-12
題 名	Protection par la Zinc des Armatures Pour Beton et Fils de Precontrainte 鉄筋とPC鋼材の亜鉛防錆		
著 者	Michel Puech	所属	Centre Technique du Zinc
		国別	フランス
出 典	ANNALES de L' Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics Vol. NO. 364(Beton No181) 1978年 9 月 P. P. 82~90		

抄訳 Ⅲ 34

文 献 Ⅲ	C-10-3-4	分類記号	3-12
題 名	The Status of Laboratory and Field Studies Involving Galvanised Reinforced Bar 亜鉛メッキ鉄筋についての実験室及び現場での研究の現状		
著 者	Gary T. Satterfield	所属	American Hot Dip Galvanizers Association
	Daryl E. Tonini	国別	アメリカ
出 典	the International Corrosion Forum "Corrosion/81" Toronto, Canada Vol. NO. 1981年 4 月 P. P. 53/1~53/8		

抄訳 Ⅲ 35

文 献 Ⅲ	A-14-12	分類記号	3-8, 10, 11
題 名	Design of Permanent Seawater Structures to Prevent Deterioration 永久海洋構造物の劣化防止に対する設計		
著 者	M. Schupack	所属	Schupack Suarez Engr. Inc 社長
		国別	アメリカ
出 典	Concrete International Vol. 4 NO. 2 1982 年 3 月 P. P. 19~27		

抄訳 Ⅲ 36

文 献 Ⅲ	C-8-3-2	分類記号	3-11, 12
題 名	Prevention of Failures Related to Corrosion of Post-tensioning Tendon System in Concrete Structures コンクリート構造物におけるポストテンション方式PCテンドンの腐食防止		
著 者	M. Schpack	所属	Schpack Suarez Engr. Inc
		国別	アメリカ
出 典	FIP 9th Congress Vol. 3 NO. 1982 年 6 月 P. P. 110~117		

抄訳 Ⅷ 37

文 献 Ⅷ	C-6-2-5	分類記号	3-8
題 名	Effectiveness of Concrete Cover in Corrosion Protection of Prestressing Steel PC鋼材の腐食に対する保護法としてのコンクリートかぶりの効果		
著 者	Rudolph Sgillard	所属	Hawaii 大学 Colorado 州道路局
	Oddmund Wallevik	国別	アメリカ
出 典	Corrosion of Metals in Concrete (ACI SP49)		
	Vol. NO. 5	1975年 月	P. P. 47~68

抄訳 Ⅷ 38

文 献 Ⅷ	A-11-9	分類記号	3-8, 10, 11
題 名	Influence of Concrete materials, mix, and Construction Practices on the Corrosion of Reinforcing Steel 鉄筋の腐食に及ぼすコンクリートの材料、配合および施工の影響		
著 者	D. Whiting	所属	ポルトランドセメント協会 (PCA)
		国別	アメリカ
出 典	Materials Performance		
	Vol. 17 NO. 12	1978年 12 月	P. P. 9~15

抄訳 Ⅷ 39

文 献 Ⅷ	A-33-2	分類記号	7-21
題 名	Travaux de recherches sur les ouvrages beton en haute mer 公海のコンクリート構造物に関する調査		
著 者	J. P. Peyronnet	所属	国立海洋開発 センター, 土木建築研究調査 実験センター
	M. Seguin	国別	フランス
出 典	Travaux		
	Vol. NO. 525	1978年 11 月	P. P. 53~58

抄訳 Ⅷ 40

文 献 Ⅷ	C-15-3	分類記号	7-21
題 名	A Description of the "Concrete-in-the-Oceans" Research Programme "Concrete in the Oceans" 研究計画の説明		
著 者	J. V. Sharp	所属	英国エネルギー庁
	P. P. Strecker	国別	イギリス
出 典	Concrete Ships and Floating Structures Convention		
	Vol. NO.	1979年 月	P. P. 1~9

抄訳 Ⅷ 41

文 献 Ⅷ	C-6-3-22	分類記号	7-21
題 名	The United Kingdom Concrete-in-the-Oceans Programs		
	英連邦における“海洋コンクリート”計画		
著 者	J.V.Sharp	所属	英国エネルギー庁
	P.Pullar-Strecker	国別	イギリス
出 典	Performance of Concrete in Marine Environment (ACI, SP-65)		
	Vol. NO.	1980年 8 月	P. P. 397~417

抄訳 Ⅷ 42

文 献 Ⅷ	C-6-3-6	分類記号	7-21
題 名	Current Program and Future Corps of Engineers Plans for the Treat Island Exposure Station		
	Treat島曝露試験場における現在及び将来の実験計画		
著 者	John M. Scanlon, Jr	所属	米国陸軍,水路実験所構造部コンクリート室長
		国別	アメリカ
出 典	Performance of Concrete in Marine Environment (ACI SP-65)		
	Vol. NO.	1980年 8 月	P. P. 95~100

抄訳 Ⅷ 43

文 献 Ⅷ	C-6-3-12	分類記号	7-8, 9, 12
題 名	Field Test of Reinforcement Corrosion in Concrete		
	コンクリート中の鉄筋腐食に関する野外試験		
著 者	P.Fidjestøl	所属	ノルウェー船級協会 材料工学研究所
	N.Nilsen	国別	ノルウェー
出 典	Performance of Concrete in Marine Environment (ACI SP-65)		
	Vol. NO.	1980年 8 月	P. P. 205~221

抄訳 Ⅷ 44

文 献 Ⅷ	A-16-5	分類記号	7-21
題 名	FIP Commission on Concrete Sea Structures		
	コンクリート海洋構造物に関するFIP委員会報告		
著 者	W.F.Crozier	所属	
		国別	
出 典	FIP Notes		
	Vol. NO. 87	1980年7,8月	P. P. 2~5

抄訳 Ⅷ 45

文 献 Ⅷ	C-24-3	分類記号	4-4
題 名	Inspection, Maintenance and Repair of North Sea Concrete Structures 北海コンクリート構造物の点検, 保守, 補修 (ノルウェー船級協会)		
著 者	S. Fiald	所属	Det norske Veritas
		国別	ノルウェー
出 典	Maintenance of Maritime Structures Institution of Civil Engineers Vol. NO. 1978年 月 P. P. 163~174		

抄訳 Ⅷ 46

文 献 Ⅷ	A-24-7	分類記号	5-14
題 名	Corrosion at Protection des Plates-Formes Petrolieres Offshore en Beton Arme コンクリート製海上採油施設の腐食とその防止		
著 者	Bernard Heuze	所属	Societe d'Etudes contre la Corrosion
		国別	フランス
出 典	ANNALES de L'institut Technique du Batiment at des Travaux Publics Vol. NO. 364 (Beton No181) 1978年 9 月 P. P. 54~63		

抄訳 Ⅷ 47

文 献 Ⅷ	A-11-8	分類記号	5-14
題 名	Cathadis Protection on Concrete Offshore Platforms コンクリート海洋プラットフォームにおける電気防食		
著 者	B. Heuze'	所属	Societe d'Etudes Contre la Corrsion
		国別	フランス
出 典	Materials Performance Vol. 19 NO. 5 1980年 5 月 P. P. 24~33		

抄訳 Ⅷ 48

文 献 Ⅷ	A-14-16	分類記号	4-16
題 名	Shipyards piers undergo major restoration 造船所の棧橋の補修		
著 者	W.E. Schwarz	所属	Sika Corporation
		国別	アメリカ
出 典	Concrete International Vol. NO. 1982年 3 月 P. P. 43~46		

抄訳 49

文献 49	A-14-15	分類記号	4-16
題 名	Repair of Piles Using Fiber-Reinforced Jackets 繊維補強ジャケットを用いたパイルの補修		
著 者	Carl W. Scheffel	所属	Fox Industries 副社長兼技術部長
		国別	アメリカ
出 典	Concrete International Vol. 4 NO. 3 1982 年 3 月 P. P. 39~42		

抄訳 50

文献 50	C-3-1	分類記号	4-21, 1-1
題 名	Cause and Repair of Deterioration to a California Bridge Due to Corrosion of Reinforcing Steel in a Marine Environment, Part I Method of Repair 海洋環境における鉄筋腐食によるカリフォルニア州の橋梁劣化の原因および補修 その1 補修方法		
著 者	M.W. Gewertz	所属	カリフォルニア州道路部
		国別	アメリカ
出 典	HRB Bulletin Vol. NO. 182 1958 年 月 P. P. 1~17		

抄訳 51

文献 51	C-3-3	分類記号	4-21
題 名	Cause and Repair of Deterioration to a California Bridge Due to Corrosion of Reinforcing Steel in a Marine Environment, Part II Fundamental Factors Causing Corrosion 海洋環境における鉄筋腐食によるカリフォルニア州の橋梁劣化の原因および補修 その2 腐食を引き起こす主な原因		
著 者	B. Tremper, J. L. Beaton	所属	カリフォルニア州道路部
	R. F. Stratfull	国別	アメリカ
出 典	HRB Bulletin Vol. NO. 182 1958 年 月 P. P. 18~41		

抄訳 52

文献 52	A-27-2	分類記号	5-12, 13, 15, 16
題 名	Designing Bridge Decks That Won't Deteriorate 劣化しない橋床板を設計せよ		
著 者	G. Dallaire	所属	アメリカ土木学会
		国別	アメリカ
出 典	Civil Engineering - ASCE Vol. 43 NO. 8 1973 年 8 月 P. P. 43~48		

抄訳 Ⅷ 53

文 献 Ⅷ	A-1-5	分類記号	4-15
題 名	Considerations for Repairing Salt Damaged Bridge Decks 塩害をうけたコンクリート橋床版の補修		
著 者	Carl F. Stewart	所属	カリフォルニア州道路部橋梁主任技師
		国別	アメリカ
出 典	ACI Journal Vol. 72 NO. 12 1975年12月 P. P. 685~690		

抄訳 Ⅷ 54

文 献 Ⅷ	C-10-2-9	分類記号	5-10, 13
題 名	How Iowa Insures Quality Epoxy Coated Rebars アイオワ州ではどのようにして良質のエポキシ塗装鉄筋を確保したか		
著 者	L. Champak	所属	アイオワ州道路局
	P. E. Narotom	国別	アメリカ
出 典	International Corrosion Forum ('79) Vol. NO. 109 1979年 3 月 P. P. 1~7		

抄訳 Ⅷ 55

文 献 Ⅷ	A-14-6	分類記号	4-21
題 名	Guide for Repair of Concrete Bridge Superstructures コンクリート橋梁上部工の補修手引き		
著 者	Robert R. Anderson 以下15名	所属	ACI Committee 546
		国別	アメリカ
出 典	Concrete International Vol. 2 NO. 9 1980年 9 月 P. P. 69~88		

抄訳 Ⅷ 56

文 献 Ⅷ	C-10-3-3	分類記号	-14
題 名	Galvanic Anode Cathodic Protection System for Bridge Decks - Updated Results 流電隔極を用いた橋梁床版の電気防具システム - 最近の結果		
著 者	D. Whiting, D. Stark	所属	Portland Cement Association
	W. Schutt	国別	アメリカ
出 典	the International Corrosion Forum "Corrosion/81" Tronto Canada Vol. NO. 41 1981年 4 月 P. P. 41/1~41/11		

抄訳 № 57

文 献 №	C-26-1	分類記号	4-21
題 名	Repairs for Concrete Structures コンクリート構造物の補修		
著 者	D. Campbell - Allen	所属	シドニー大学教授
		国別	オーストラリア
出 典	Conference of the Concrete Institute of Australia Vol. NO. 1979年 月 P. P. 205~212		

抄訳 № 58

文 献 №	C-6-3-29	分類記号	4-16
題 名	Repair of Concrete in Tropical Marine Environment 熱帯海洋環境下でのコンクリートの補修		
著 者	Guido W. Geymayr	所属	Sika 社
		国別	ベネズエラ
出 典	Performance of Concrete in Marine Environment (ACI SP-65) Vol. NO. 1980年 8 月 P. P. 527~556		

抄訳 № 59

文 献 №	A-3-7	分類記号	1-3
題 名	Damage of Concrete Sleepers by Calcium Chloride 塩化カルシウムによるコンクリート枕木の損傷		
著 者	L. Berntsson	所属	Chalmers 工科大, 建設材料部
	S. Chandra	国別	スウェーデン
出 典	Cement and Concrete Research Vol. 12 NO. 1 1982年 1 月 P. P. 87~92		

抄訳 № 60

文 献 №	A-29-4	分類記号	4-17
題 名	Die Schaden am Kreuzungsbauwerk Schmargendorf und ihre Bewertung Schmargendorf 交差構造物の破損とその評価		
著 者	Arthur Franz	所属	Bau-und Wohnungswesen
		国別	ドイツ
出 典	Beton und Stahlbetonbau Vol. 75 NO. 2 1980年 2 月 P. P. 45~51		

抄訳 61

文 献 名	C-8-3-5	分類記号	4-21
題 名	Instandsetzung der Lahntalbrücke Limburg		
	LimburgにおけるLahntal橋の補修		
著 者	J.M.Deihard, G.König	所属	ヘッセン州道路局
	H. Baumann	国別	ドイツ
出 典	FIP 9th Congress		
	Vol. NO.	1982年 6 月	P. P. 3~7

抄訳 62

文 献 名	C-8-2-4	分類記号	4-21
題 名	Repair of Prestressed Concrete Viaduct at Blackeberg, Stockholm		
	ストックホルムのBlackeberg PC高架橋の補修		
著 者	O. Hedström	所属	
		国別	スウェーデン
出 典	FIP 8th Congress		
	Vol. NO.	1978年 月	P. P. 13~15

抄訳 63

文 献 名	A-8-3	分類記号	4-21
題 名	Remedial measures For Cracked Webs of Prestressed Concrete Bridges		
	PC橋梁におけるひびわれの生じたウェブに対する補強		
著 者	W.H. Dilger	所属	Calgary大学, 土木工学科
	A. Ghali	国別	カナダ
出 典	PCI Journal		
	Vol. 19 NO. 4	1974年7,8月	P. P. 76~85

抄訳 64

文 献 名	A-27-3	分類記号	4-21
題 名	Epoxy Injections Repair Historic Prestressed Concrete Bridge		
	歴史的PC橋のエポキシ注入による補修		
著 者	H.G. Garfield	所属	Pennsylvania州道路局
		国別	アメリカ
出 典	Civil Engineering - ASCE		
	Vol. 41 NO. 3	1971年 3 月	P. P. 39~41

抄訳 65

文 献 号	C-2-10	分類記号	4-21
題 名	What Has Been Learned From the First Prestressed Concrete Bridges Repair of Such Bridges 初期のPC橋から得られた教訓とそれらの橋梁の補修		
著 者	H. P. Koretzky	所属	Pennsylvania州道路局
		国別	アメリカ
出 典	Transportation Research Record Vol. NO. 664 1978年 月 P. P. 37~46		

抄訳 66

文 献 号	C-2-12	分類記号	4-16
題 名	Repair of Cracked Structural Concrete by Epoxy Injection and Rebar Insertion エポキシ樹脂注入と挿入鉄筋によるコンクリート構造物のひびわれ補修		
著 者	F. W. Stratton, R. B. Alexander	所属	カンサス州道路局
	W. J. Nalting	国別	アメリカ
出 典	Transportation Research Record Vol. NO. 676 1978年 月 P. P. 34~36		

抄訳 67

文 献 号	A-14-15	分類記号	4-21
題 名	Shotcrete Repair Saves Baltimore Bridge 吹きつけコンクリートによるBaltimore橋の修復		
著 者	I. Leon Glassgold	所属	Masonry Resurfacing Construction社
		国別	
出 典	Concrete International Vol. 2 NO. 9 1980年 9月 P. P. 120~125		

抄訳 68

文 献 号	O-9-1	分類記号	4-21
題 名	Strengthening of the <<Ponte del Grillo>> for the Tibre River Crossing Between the Via Salaria and the Via Tiberina Near Rome Tibre河を渡るグリロー橋の補強		
著 者	C. C. Guidi, G. Croci	所属	
	E. F. Radogna	国別	イタリア
出 典	L'Industria Italiana del Cemento Vol. NO. 1982年 5月 P. P. 385~390		

抄訳 69

文 献 名	A-2-1	分類記号	4-21
題 名	The Evaluation of Resin Systems for Concrete Repair コンクリート補修用樹脂の評価		
著 者	L. J. Tabor	所属	Wimpey Laboratory Ltd
		国別	イギリス
出 典	Magazine of Concrete Research Vol. 30 NO. 105 1978 年 12 月 P. P. 221~225		

抄訳 70

文 献 名	A-14-2	分類記号	7-4
題 名	The Use of Pulse Velocity Techinques to Monitor and Evaluate Epoxy Grout Rapair to Concrate パルス速度計を用いたコンクリート補修用エポキシグラウトの調査と評価		
著 者	Joseph A. Amon	所属	Law Engineering Testing Company
	Luka M. Snall	国別	アメリカ
出 典	Concrete International Vol. 1 NO. 12 1979 年 12 月 P. P. 41~44 ,		

抄訳 71

文 献 名	C-10-3-5	分類記号	7-2, 4
題 名	Measuring the Rate of Corrosion of Steel in Concrete コンクリート中での鉄筋の腐食速度の測定		
著 者	E. Escalante	所属	National Bureau of Standards
	S. Ito	国別	アメリカ(日本)
出 典	the International Corrosion Forum "Corrosion/81" Tronto Canada Vol. NO. 1981 年 4 月 P. P. 44/1~44/10		

抄訳 72

文 献 名	A-10-8	分類記号	7-2, 4
題 名	Aplication of Acoustic Emission to Detection of Relaforcing Steel Corrosion in Concret コンクリート中の鉄筋腐食へのアコースティック エミッションの応用		
著 者	M. S. Weng , S. E. Dunn	所属	Florida Atlantic 大学
	W. H. Hartt , R. P. Brown	国別	アメリカ
出 典	Corrosion Vol. 38 NO. 1 1982 年 1 月 P. P. 9~14		

抄訳 673

文献 673	C-13-4	分類記号	7-2, 4
題 名	Inspection of Concrete Platforms : Crack Detection by Current Density Measurements コンクリートプラットフォームの検査—電流密度測定によるひびわれの検出		
著 者	J-P. Bournat, A. Stankoff, 所属 Intersub Developpement 社 M. Auboiroux 国別 フランス		
出 典	Offshore Technology Conference Vol. NO. OTC3765 1980 年 5 月 P. P. 247~254		

抄訳 674

文献 674	C-6-3-11	分類記号	7-21
題 名	Mechanisms of Corrocion of Steel in Concrete in Relation to Design , Inspection and Repair of Offshore and Coastal Structures 海洋, 海岸コンクリート構造物の設計, 試験, 補修に関連する鉄筋の腐食機構		
著 者	Roger D. Browne 所属 Taylor Woodrow建設, 研究開発部長 国別 イギリス		
出 典	Performance of Concrete in Marine Environment (ACI SP-65) Vol. NO. 1980 年 8 月 P. P. 169~204		

抄訳 675

文献 675	A-39-1	分類記号	7-21
題 名	Korrosionsschutzsysteme an stahlernen Brucken von Bundesfernstra ßen 西ドイツ国道の橋梁防食システム 国道建設局による調査解析		
著 者	Siegfriod Sczyslo 所属 Bundesanstalt Straßenwesen 国別 西ドイツ		
出 典	Defazet Vol. 33 NO. 8 1979 年 8 月 P. P. 260~271		

抄訳 676

文献 676		分類記号	
題 名			
著 者	所属 国別		
出 典	Vol. NO. 年 月 P. P.		

コンクリート構造物の塩害に
関する文献調査抄訳集

ISSN 0386-5878
土木研究所資料 第2174号
昭和60年3月 (1985)
山内幸裕 片脇清士
平山伸司 丹野 弘

要 旨

海岸線付近のコンクリート構造物の塩害に関する調査研究に資する目的で、海外の塩害に関する既往の文献を収集・整理したものである。

キーワード：塩害，防食，補修・補強，海岸構造物，文献調査，
コンクリート構造物

郵便はがき

305-□□

40円切手
をはって
下さい。

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

コンクリート研究室 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2174号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

⑩

