

港 湾 技 研 資 料

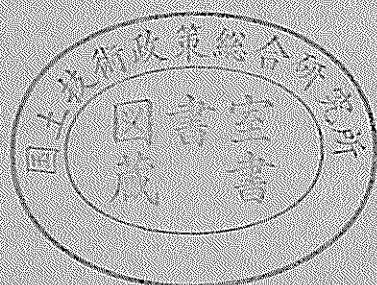
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 627 Sept. 1988

栈橋コンクリート上部工劣化実態詳細調査報告

大	即	信	明
原	茂	雅	光
浜	田	秀	則

運輸省港湾技術研究所



Detailed Survey on the Deterioration of Concrete Superstructures of Wharves in Japan

Nobuaki OTSUKI*
Masamitsu HARAMO**
Hidenori HAMADA**

Synopsis

Recently, the number of deteriorated concrete structures has been increased and well known to the public. Also, the reinforced concrete structures at ports and harbours have been damaged by salt induced attack, which causes the corrosion of the reinforcing steel bars. Especially, the damages of salt injury are severe at the superstructures of wharves.

In 1984, Bureau of Port and Harbour carried out an survey on the deterioration of the superstructures of 96 wharves. The survey '84 contained observations and literature surveys. The outline of the survey '84 was presented at the note of PHRI (No. 617). In the paper, the authors clarified the influences of factors on deterioration to some extent. However, the survey '84 did not contain the main factors such as cover depth, concrete strength, the potentials of embedded bars and chloride contents in concrete.

So, in 1987, Bureau of Port and Harbour carried out an detailed survey containing these factors on the 16 superstructures of wharves in 11 ports. The collected data are analysed by the authors to clarify the influences of these factors on the deterioration.

In this paper, the results of the survey and analysis are presented.

Key Words: Survey, Concrete Superstructures, Salt induced attack

* Chief of Materials Laboratory, Structures Division

** Member of Materials Laboratory, Structures Division

栈橋コンクリート上部工劣化実態詳細調査報告

大 即 信 明*
原 茂 雅 光**
浜 田 秀 則**

要 旨

近年コンクリート構造物の劣化が社会問題化している。港湾のコンクリート構造物も例外ではなく、特に栈橋上部工の塩害による劣化が相当数ある。

本文は、湾港局および各湾港建設局が、昭和60年および61年度に全国11港16施設において実施した「港湾コンクリート構造物劣化実態調査」を総合的にとりまとめ、さらに港研独自の調査も加え、解析、検討を行ったものである。

キーワード：劣化実態詳細調査、栈橋上部工、塩害

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の劣化が社会問題化している。港湾のコンクリート構造物も例外ではなく、特に栈橋上部工の塩害による劣化が相当数ある。

この塩害による劣化について、昭和59年度に全国96施設を対象とし、主として目視調査および関係資料の収集、解析を行い、昭和62年度に「栈橋コンクリート上部工劣化実態概略調査報告」として港研資料(No.617)に取りまとめた。この結果、多くの事項が判明した。しかし、塩害の主要な要因と考えられる、鉄筋のかぶり、コンクリートの強度、コンクリート中の塩化物含有量、鉄筋の自然電位分布等についての調査は破壊調査となるため行っていない。このため、港湾局および港湾建設局の協力を得て、上記項目を含む詳細調査を全国11港16施設について行った。

本文はこれらの詳細調査を総合的に取りまとめ、さらに港研独自の検討を加えたものである。

2. 概略調査の概要¹⁾²⁾

本章においては、本資料の前編ともいえる「栈橋コンクリート上部工劣化実態概略調査報告」(港研資料No.617)について簡単にその概略を説明する。概略調査は、昭和59年度に港湾局が全国規模で行った「港湾コンク

リート構造物劣化実態調査」に港研独自の検討を加えて取りまとめたものである。

全国96の栈橋施設を対象とし、

①劣化の実態の定量的把握

②劣化の実態と劣化の要因の関係の把握

を行った。調査において考慮した劣化の実態および劣化の要因に関する事項は以下のとおりである。

劣化の実態に関する事項、

①コンクリートのひびわれ

②コンクリートの剝離、剝落

③錆汁の溶出

④劣化度の総合評価

劣化の要因に関する事項、

⑤経過年数

⑥コンクリートの品質 (空気量、強度、水セメント比、スランプ)

⑦構造型式 (かぶり、天端高とH.W.Lの差)

⑧上載荷重 (総荷重、輪荷重)

⑨前面通過交通量

⑩風の影響 (海側全風出現頻度、全方向強風出現頻度)

⑪常時波浪の評価

調査より次のような結論が得られた。

① 港湾コンクリート構造物の劣化は栈橋上部工において顕著である。

* 構造部材料研究室長

** 構造部材料研究室

- ②劣化評価には判断する個人の主観がかなり効いてくる。
- ③劣化評価には経過年数、輪荷重が影響を及ぼしている。
- ④水セメント比が新しい構造物程高くなるという傾向があり、このため新しい構造物程劣化しやすいと考えられる。
- ⑤劣化の実態と劣化の要因間の相関は全体として低い。これは水セメント比が新しい構造物程高くなっていること、施工の良否が要因として入ってないこと等のためと考えられる。

本詳細調査の前に実施した概略調査により、以上のような知見が得られている。

3. 詳細調査対象港の概略

詳細調査は、昭和 60、61 年度に各建設局が行ったコ

ンクリート構造物の劣化調査に港研独自の調査および分析を加えたものである。この調査は、全国 11 港、16 施設の栈橋について行った。調査港の位置と施設数を図-1、調査対象栈橋の一例を図-2 に示す。なお、表-8 中に示す「S」、「BV」、「BH」という記号は、本図に示すように、「S」が床版、「BV」が法線直角方向の梁、「BH」が法線平行方向の梁を示している。

4. 詳細調査の概要

前にも述べたが、概略調査は施工記録の再整理、港湾統計を用いた取扱貨物量の算出等の机上調査および対象構造物の目視調査によるものであった。本詳細調査においては、それに加えてコンクリートの強度試験、塩化物含有量等の破壊試験および埋設鉄筋の電位測定等を加え

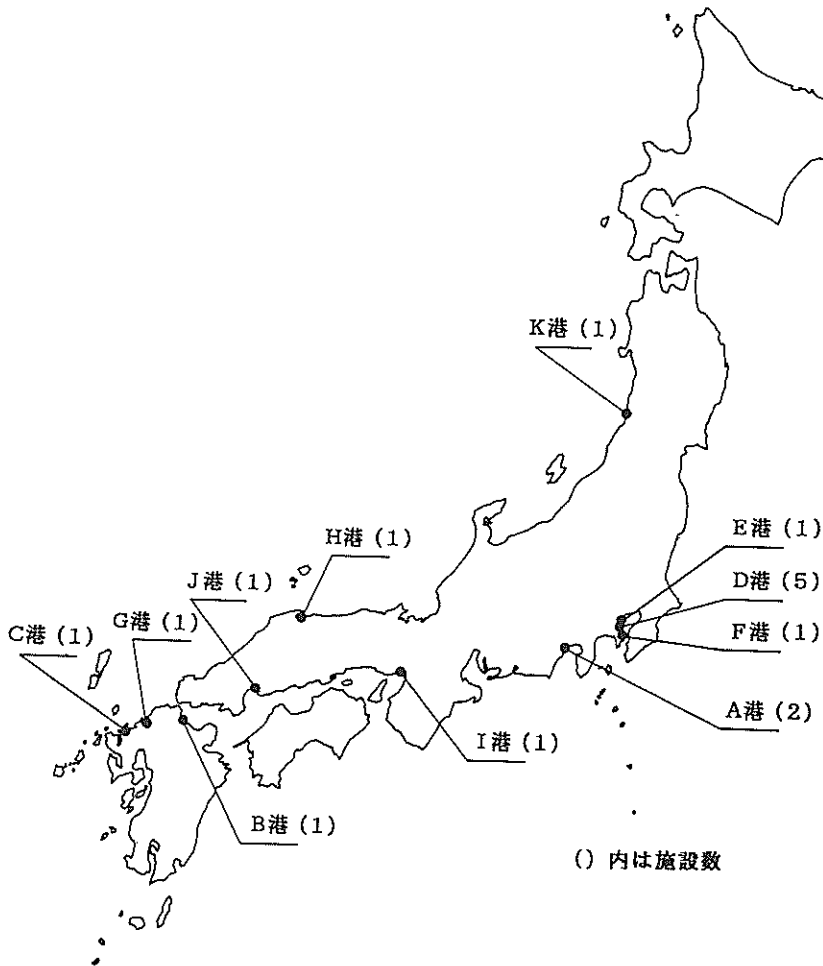
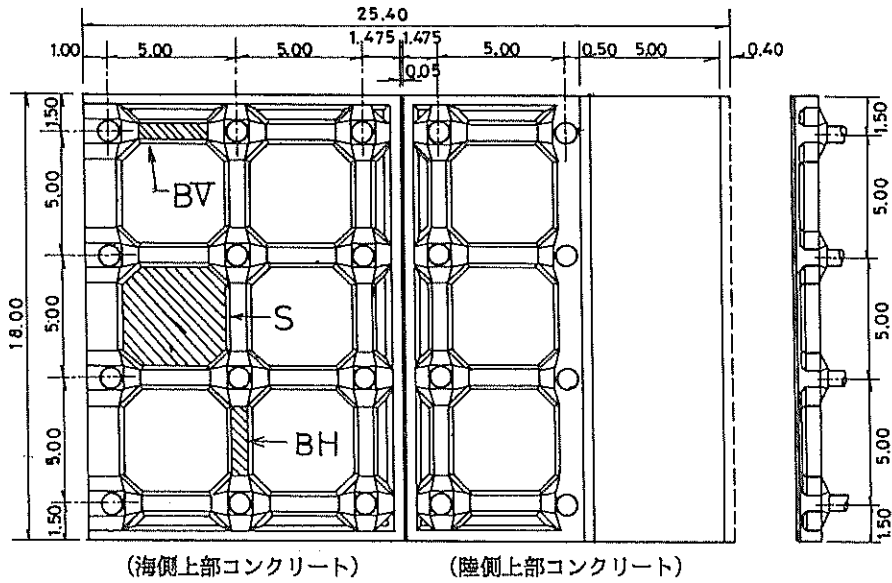


図-1 調査対象港



平面図

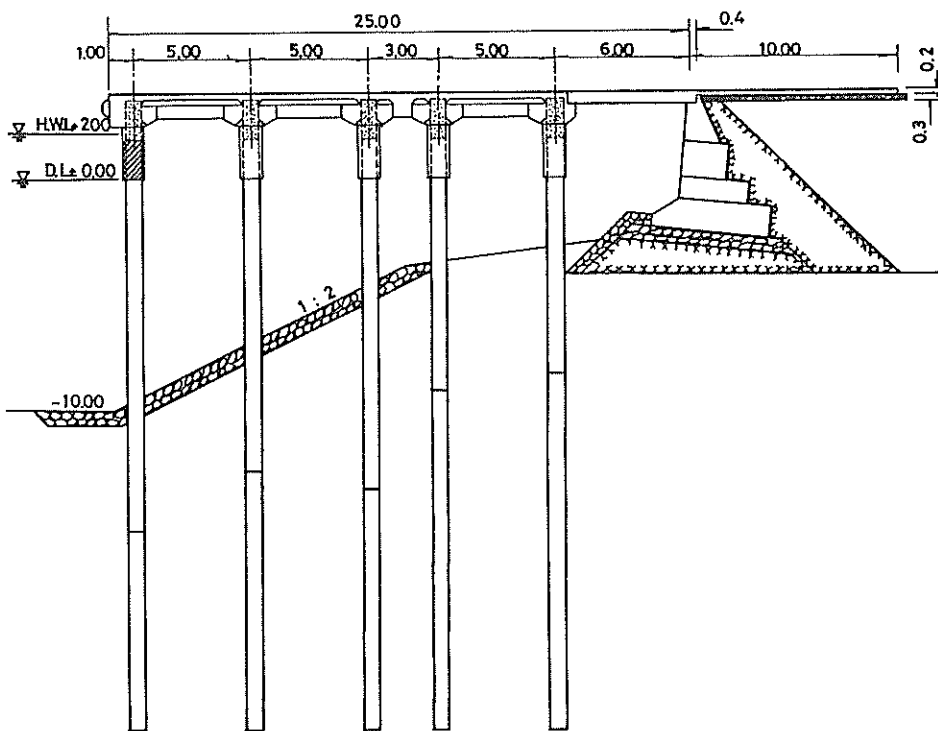


図-2 調査対象栈橋の一例

た。なお、環境要因に気温、降水量といった基本的気象条件も加えた。概略調査の際に収集したデータを使用できるものについてはそのまま用い、不足しているものについては新たにデータの収集を行った。以下、各項目ごとにその内容の説明を行う。

4.1 劣化の程度に関する事項

(1) コンクリートのひびわれ

まずはじめに、棧橋下部より目視観察を行い劣化状況の写真撮影を行うと同時に、劣化状況の観察図を作成した。この目視観察結果図より、ひびわれ幅について、

1. 0.3 mm未満, 2. 0.3 mm以上1.0 mm未満, 3. 1.0 mm以上2.0 mm未満, 4. 2.0 mm以上3.0 mm未満, 5. 3.0 mm以上, のようなランクに分けて集計を行った。データの集計は以上示したようなランク別に、各部材ごとにひびわれの本数と総延長をまとめた。なおここでいうところの「1部材」とは、図-2に示す「S」、「BH」、「BV」のいずれか1部材のことである。

(2) コンクリートの剝離、鉄筋の露出、錆汁

(1)と同様に目視観察結果図よりその集計を行った。いずれも幅と長さを測り取りその積を求め評価値とした。概略調査の場合はブロックごとに劣化個数を集計したが、

さほどよい結果は得られなかった。したがって、今回は劣化の程度も加味するために面積を劣化の評価値とした。

(3) はつり試験、コアの抜き取り

目視観察の際に、コンクリートの剝離が著しく、剝離寸前のものについては、ハンマー等でたたくことによりそのコンクリートをはつり取った。その後、露出した鉄筋の腐食状況の観察ならびにかぶり厚さの測定を行った。

コアの抜き取りは、調査の対象となった部材から1本ずつ(場合によっては2本)抜き取った。抜き取りは、ひびわれを避け、かつひびわれの近傍より行った。

(4) 鉄筋の腐食度

表-1 鉄筋腐食度の判定基準

段階の表示	腐食の目視による観察状況
0	施工時の状況を保ち、以後の腐食が認められない
1	部分的に腐食が認められるような軽微な腐食
2	表面の大部分が腐食している、もしくは部分的に断面が欠損している
3	鉄筋の全周にわたり断面の欠損がある
4	鉄筋の断面が当初の2/3~1/2位欠損している

表-2 部材劣化度の判定基準

劣化度		0	I	II	III	IV	V
部材項目							
ス ラ ブ	鉄筋の腐食	なし	コンクリート表面に点錆がみられる。	一部に錆汁がみられる。	錆汁多し。鉄筋腐食が広範囲に認められる。	浮き錆多し。鉄筋表面の大部分あるいは全周にわたる腐食が広範囲に認められる。	浮き錆著しい。鉄筋断面積の有意な減少が全域にわたっている。
	ひびわれ	なし	一部にひびわれ、あるいは帯状または線状のゲル状吐出物が2, 3箇所みられる。	ひびわれ、あるいは帯状または線状のゲル吐出物が箇所みられる。	ひびわれ多し。網目状あるいは錆汁をともなうひびわれを含む。	網目状のひびわれ等が全域にわたり多数みられる。	—
	剝離・剝落	なし	なし	一部に浮きがみられる。	一部に剝落がみられる。	浮き・剝落多し。(1区画面積の4割程度以下)	全域にわたる浮き・剝落(1区画面積の4割程度以上)
は り	鉄筋の腐食	なし	スラブと同じ	スラブと同じ	スラブと同じ	スラブと同じ	スラブと同じ
	ひびわれ	なし	小さなひびわれ(ひびわれ幅1mm以下程度)が2, 3箇所みられる。	ひびわれやや多し。軸方向に垂直なひびわれのみ。	ひびわれ多し。軸方向につながったひびわれ(ひびわれ幅3mm以上程度)を含む。	軸方向につながったひびわれが全域にわたり多数。	—
	剝離・剝落	なし	なし	一部に浮きがみられる。	浮き多し。	浮き多し。剝離・剝落が箇所みられる。(1区画面積の4割程度以下)	剝離・剝落多数。(1区画面積の4割程度以上)
ハ ン チ	鉄筋の腐食	なし	スラブと同じ	スラブと同じ	スラブと同じ	スラブと同じ	スラブと同じ
	ひびわれ	なし	一部にひびわれがみられる。	ひびわれ幅2mm程度以下のひびわれが箇所みられる。	ひびわれ幅2mm程度以下のひびわれが全体に広がっている。	ひびわれ幅2mm程度以上のくもの巣状あるいは鉛直方向のひびわれがみられる。	—
	剝離・剝落	なし	なし	部分的に浮きがみられる。	部分的に剝落がみられる。	剝離・剝落多し。(1区画面積の4割程度以下)	全域にわたり多数剝落(1区画面積の4割程度以上)

はつり試験およびコア抜き試験の際に埋設鉄筋の腐食状況の観察を行い、表-1に示すような判定基準に基づき鉄筋の腐食度の判定を行った。

(5) 部材の劣化度の総合評価

部材劣化度の総合評価は表-2³⁾に示すような判定基準に基づき、目視観察結果図より行った。なお、個人的主観による判定のばらつきを防ぐ意味において、評価は16施設すべて同一の判定者が行うものとした。

4.2 コンクリートおよび鉄筋の性状に関する事項

(1) 鉄筋の電位

図-3に示すような要領で鉄筋の電位の測定を行った。なお、参照電極としては、銀-塩化銀電極を使用した。各部材ごとに累加頻度図を作成し、50%の電位について「活性」(-350mV以下、腐食が生じている可能性が大きい)、「不明確」(-350~-250mV)、「不動態」(-250mV以上、腐食が生じている可能性が小さい)の判定を行った。⁴⁾ なお、累加頻度図の一例を図-4に示す。

(2) 鉄筋の表面の塩化物量

鉄筋の表面の塩化物量測定は、試験紙法により行った。試験紙法とは、3種類の試験紙の変色により塩化物量を測定する方法である。この試験法により、はつり出した鉄筋表面に予め霧吹きで純水を噴霧して、鉄筋を湿润状態(水が垂れない程度)にした上に試験紙を1分間密着させ、その後試験紙の色と比色表(5段階、400, 800, 3,000, 4,000 ppm)の色とを照合して塩化物の含有量を測定した。なお、試験紙としては「ソルトチェック」(東洋濾紙株式会社)を用いた。

(3) コンクリートの塩化物含有量

採取したコアを用いて塩化物含有量試験を行った。分析は「硬化コンクリート中の塩素の定量方法」(セメント協会化学専門委員会)に準拠して行った。なお、コアの周辺部はコア抜きの際に使用する多量の水により塩分が溶出していることが考えられたので、コアの中央部より試料を採取した。なお、各建設局が行った調査は、各々塩化物量を表わす単位が異なっていたが、データ整理

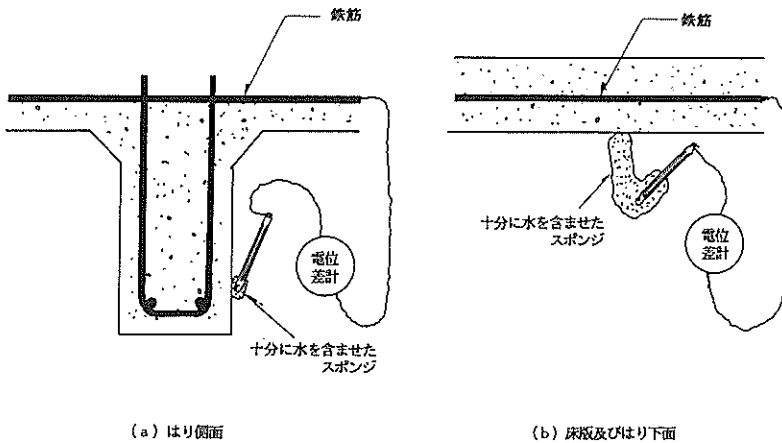


図-3 自然電位測定法

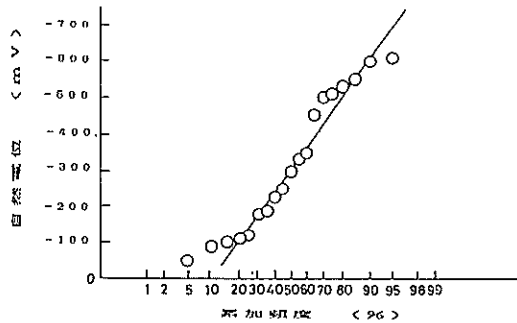


図-4 自然電位の累加頻度図の一例

に際しては kg/m^3 (Cl⁻ v.s コンクリート) に統一した。

4.3 環境条件に関する事項

(1) 気温

気温に関しては、年最高、年最低、年平均、0℃以下になる日数の4項目についてデータの収集を行った。なお、収集したデータは各港ともに最寄りの気象台の過去30年の気象観測データである。なお、0℃以下となる日数のデータは1971年～1980年の10年間のデータより求めたものである。

(2) 降水量

降水量に関しては、月間最高、月間最低、年平均の3項目についてデータの収集を行った。気温の場合と同様に最寄りの気象台の過去30年の気象データを収集した。

(3) 上載荷重

上載荷重に関する事項としては、データの入手できる範囲から以下に述べるように整理した。総荷重としては、固定式荷役機械、移動式荷役機械および軌条式荷役機械の総重量とした。輪荷重は、固定式荷役機械あるいは移動式荷役機械の輪荷重の最大のものとした。なお、上載荷重を対象施設間で相対的に評価するために総荷重および輪荷重の各々の評価値を表-3のように定め、その合計値を同様の5段階評価の表-4のように振り分けた。

表-3 上載荷重の評価基準(総荷重, 輪荷重)

評価①	総荷重(t)	評価②	輪荷重(t)
1	10未満	1	10未満
2	10～29	2	0～19
3	30～69	3	0～39
4	70～99	4	0～59
5	100以上	5	60以上

表-4 上載荷重評価

上載荷重評価	評価①+評価②
1	2
2	3
3	4 or 5
4	6 or 7
5	8以上

(4) 前面通過交通量

対象施設への航跡波の影響を検討するために、間接的に、前面通過交通量の検討を行った。これに関しては次の5項目を調査した。

① 対象施設より奥にあるバースの平均取扱貨物量

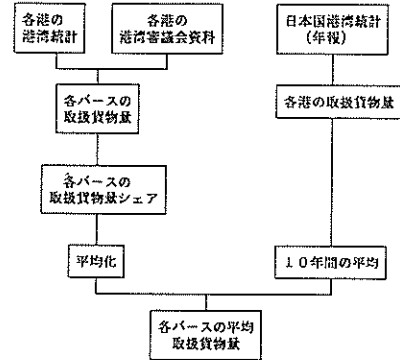


図-5 取扱貨物量算出フロー

対象施設の前面通過交通量は、図-5に示すような方法により、対象施設より奥にあるバースの平均取扱貨物量をもとに算出した。なお、貨物量から総トン数への換算については、各港の取扱貨物量と入港船舶の総トンとして換算を行った。

② 対象施設より奥のフェリーバースの利用隻数

対象施設より奥にフェリーバースがあり、対象施設に影響を及ぼす港湾については「日本国港湾統計(年報)」から、昭和50年から昭和59年までの10年間について、入港隻数および総トン数を取りまとめ、フェリーによる平均通過交通量を求めた。

③ 対象施設より奥の漁港の利用隻数

港湾区域内に漁港のある港湾については、その漁港の利用隻数および総トン数について、「漁港の港勢集」から、昭和50年から55年の6年間について取りまとめ、漁船による平均通過交通量を求めた。

④ 対象施設前面に大きな交通量のある施設・運河の有無

以上の5項目を総合評価することにより、対象施設の前面通過交通量を検討することとした。

前面通過交通量の評価は、対象施設の前面を通過したと考えられる船舶の総トン数の合計(総総トン数)を基にするものとし、その基準を表-5に示す。また、対象

表-5 前面通過交通量の評価基準

評価	総トン数(千総トン)
1	100以下
2	100～499
3	500～999
4	1,000～4,999
5	5,000～9,999
6	10,000以上

施設前面に大きな交通量のある施設や運河のある施設は評価を6と判断した。

(5) 海側強風出現頻度

ここで言う海側とは、対象施設の法線を基準とし、9方向(180°)のことである。また、出現頻度は上記9方向(180°)の合計とし、港湾審議会計画資料中のデータを使用した。なお、D港、c、d、e施設については栈橋が突堤型式のため、全方向を対象とした。なお、ここでは風速10 m/s以上を強風とした。

(6) 常時波浪

通常、港内泊地や岸壁は、対象船舶の係留限界波高(0.3~0.7 m)以下の波高の出現頻度が90~95%となるように整備されている。このため、常時波浪の影響を評価するためには、①5~10%の0.3~0.7 m以上の波高出現頻度、②90~95%の0.3~0.7 m以下の波高別出現頻度、に分けて整理して、各対象施設別に求めればよいことになる。本調査では、バースに対する限界波高をもたらず来襲波の波高の減衰係数を、個別の港に関係なく一意的に次の3ケース、減衰係数 Kd' =0.1, 0.2, 0.3に仮定し、バースの限界波高0.3, 0.5, 0.7 m対応する来襲波を、表-6のように想定することとした。この想定した来襲波以上の波高の出現頻度を、各港別に求め表-7のような重みを考えることにより評価することとした。

表-6 来襲波高の目安

減衰係数 Kd'	施設前面の波高 0.3 m	施設前面の波高 0.5 m	施設前面の波高 0.7 m
0.1	3.0	5.0	7.0
0.2	1.5	2.5	3.5
0.3	1.0	1.67	2.33

表-7 重み付出現頻度

来襲波高	出現率(%)	重み	重み付き出現頻度	合計
5.0m以上	0.1	7	0.7	182.6
4.5~5.0m	0.3	6	1.8	
3.5~4.5m	1.9	5	9.5	
2.5~3.5m	6.1	4	24.4	
1.5~2.5m	17.3	3	51.9	
1.0~1.5m	20.0	2	40.0	
1.0m未満	54.3	1	54.3	

4.4 構造に関する事項

(1) かぶり

コア抜き試験、はつり試験を行った際にメジャーにより実測したものについては、その値をそのまま使用した。また、鉄筋探査計により測定を行ったデータについては実測値と鉄筋探査計の測定値との相関式を求め、これより探査計による測定値を補正した値を用いてデータの整理を行った。

(2) 天端高とH.W.Lの差

各港の施設断面図より求めた。

4.5 コンクリートの品質に関する事項

(1) 配合推定試験(単位セメント量, 単位水量, 水セメント比)

採取したコアを試料として配合推定試験を行った。なお、試験は「硬化コンクリートの配合推定に関する共同試験報告(F-18)」(セメント協会)に準拠して行った。

(2) 圧縮強度試験

(1)と同様に、採取したコアを試料として圧縮強度試験を行った。なお、試験はJIS A 1107「コンクリートからのコアおよびはりの切り取り方法及び強度試験方法」に準拠して行った。また、圧縮強度試験を行う前にはルーペを用いてひびわれがないことを十分確認するとともに、気乾状態で試験を行った。

(3) 細孔径分布試験

コンクリートコアから採取した5~2.5 mmのモルタル塊を1週間真空乾燥させた後試験に供した。水銀圧入式自動ポロシメータにより0.5 Psiaより6,000 Psiaまで水銀圧入を行い、細孔半径0.0015 μ m~150 μ mまでの細孔量を測定した。

(4) X線回折分析

コンクリートコアから採取した5~2.5 mmのモルタル塊をメノウ乳鉢で軽く粉砕した後、44 μ mのふるいを通したものを試料とした。なお、使用した機器は全自動粉末X線回折装置(フィリップス社(米国)製)である。

5. 各調査項目の傾向

本章では、4章(4.1~4.5)で述べた各々の調査事項について、個々に調査結果の分布を調べ、特徴の概略を述べる。

5.1 劣化の程度に関する事項

(1) コンクリートのひびわれ

表-8に調査結果の一覧を、また表-9に梁および床版別に調査結果の一部を取りまとめたものを示す。梁、

表-8 調査対象施設

港番号	港	施設	パース	部材	部番号	材号	かぶり (mm)				鉄筋の電位				鉄筋の腐食				鉄筋の塩分量 (ppm)			1mm以下						
							Max	Min	Ave	σ	Max	Min	Ave	Ma-Mi	判定	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave	本	m					
											Max	Min	Ave	Ma-Mi	判定	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave							
51	A	a	16	S B H V	1	2	78.8	31.4	54.2	11.3	-140	-240	-171	100	0	0	0.0	0	0	0	0	0	7	2.7				
51					1	3	113.8	51.4	78.4	15.4	-160	-190	-178	30	0	0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0			
51					1	3	126.2	71.3	91.2	13.6	-160	-190	-176	30	0	0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
51					1	1	46.4	31.5	37.7	6.4	-310	-330	-325	10	x	1	1.0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.3		
51					2	2	66.4	50.8	59.7	3.0	-220	-480	-371	260	1	3	1.2	3	0	0	0	0	0	0	20	5.0		
41	B	a	A	S B H H	1	2	78	51	65.6	5.2																		
41					2	2	88	62	70.5	6.8																		
41					1	1	97	72	77.3	5.1																		
41					2	2	95	72	81.6	7.7																		
41					3	2	110	60	80.0	10.9																		
42	C	a		S B H H	2	1	59	53	55.3	1.9																		
42					2	2	65	50	59.2	4.1																		
42					3	1	80	72	76.0	2.2																		
42					3	2	104	85	93.2	5.9																		
42					3	2	104	85	93.2	5.9																		
21	D	a	B	S B H H S B H H	1	2	76.8	50.1	63.0	7.2	-210	-240	-223	30	x	2	2	2	2	400	400	400						
21					2	2	71.8	51.6	60.9	6.2	-219	-280	-248	61	x	4	2	3	3	400	400	400						
21					1	2	78.7	74.1	76.1	1.1	-124	-179	-140	55	0	3	1	1.8	1000	200	650							
21					2	2	78.7	74.9	76.8	1.4	-128	-193	-168	65	0	1	1	1.0	400	400	400							
21					3	2	80.3	71.8	76.3	2.2																		
22					b	H		S B H H S B H H	1	4	65.7	38.2	51.2	7.0	-160	-277	-229	117	x	1	1	1	1	200	200	200		
22									2	2	129.4	70.3	119.4	14.5	-207	-304	-238	97	x	1	1	1.0	200	200	200			
22									1	2	129.4	106.7	121.8	8.6	-260	-324	-296	64	x	1	1	1.0	200	200	200			
22									1	3	129.4	84.0	112.9	13.6	-180	-235	-198	55	x	1	1	1.0	200	200	200			
22									1	6	61	42	51.9	6.4														
23	1	1	64	41					50.5	7.7																		
23	2	2	86	38					60.3	14.9																		
23	2	2	94	38					59.8	14.4																		
23	6	6	55	30					41.1	7.4																		
23	2	2	192	47					122.3	60.0																		
23	7	7	68	30	46.4	12.7																						
23	16	B	84	40	64.0	16.3																						
23	17	C	76	40	61.0	15.7																						
24	D	d		S B H H S B H H	2	6	54	40	49.2	4.7	-71	-481	-179	410	0	1	1	1	1	400	400	400	35	13.2				
24					3	3	82	35	59.0	11.6																		
24					4	4	84	45	62.0	12.4																		
24					6	6	84	45	62.0	12.4																		
24					10	10	76	33	53.8	13.1	-489	-576	-515	87	1	2	1	1.1	4000	400	1367	20	15.4					
24					20	B	69	46	57.6	9.0																		
24					28	B	85	29	62.9	22.2																		
24					30	B	75	45	61.1	10.3																		
25					E	e		S B H H S B H H	2	2	96	76	85.0	5.3														
25									3	3	89	65	72.3	9.3														
25	2	2	90	80					84.6	3.4																		
25	1	1	89	82					84.9	2.0																		
25	2	2	45	23					31.4	4.7																		
25	11	11	44	10					25.4	9.6																		
25	20	20	53	28					37.4	7.2																		
25	18	18	127	72					103.1	15.8																		
25	13	13	114	63					95.8	19.0																		
25	9	9	160	70					105.0	37.8																		
25	4	4	124	11	67.1	34.9																						
25	7	7	132	39	100.0	34.4																						
25	13	13	133	32	112.3	17.8																						
26	E	a		S B H H S B H H	3	3	89	61	74.3	14.0																		
26					3	3	72	67	69.3	2.5																		
26					4	4	115	105	110.0	5.0																		
26					3	3	92	88	88.3	3.2																		
26					2	2	153	142	147.7	5.5																		
26					1	1	100	38	75.3	18.0																		
26					1	2	87.8	75.9	81.8	2.9	-207	-281	-234	54	x	2	1	1.8	3000	400	925	400	400					
26					3	3	87.9	63.9	78.5	5.1	-220	-250	-231	30	x	1	1	1.0	400	400	400	400	400					
26					2	2	90.2	80.7	87.8	2.2	-220	-265	-251	45	x	3	1	1.8	800	800	800	800	800					
26					3	3	97.4	63.9	81.1	15.0	-249	-266	-258	17	x	0	0	0.0	400	400	400	400	400					
26	4	4	107.2	92.8	96.4	4.6	-239	-255	-248	16	x	0	0	0.0	400	400	400	400	400									
27	F	a		S B H H S B H H	1	2	70.2	41.2	56.3	7.4	-134	-160	-146	26	0	0	0	0.0	400	400	400	400	4	8.2				
27					2	2	66.0	28.8	55.8	8.7																		
27					1	2	115.7	79.3	94.3	11.1	-124	-150	-133	26	0	0	0	0.0	400	400	400	400	400					
27					2	2	115.7	88.7	99.0	7.1																		
27					3	2	115.7	69.3	92.2	12.9																		
43	G	a		S B H H S B H H	1	2	84.3	65.6	73.7	4.3																		
43					2	2	78.1	67.7																				

表-9 測定値の整理(梁, 床版)

	データ数	梁						床版					
		最大	最小	平均	分散	標準偏差	データ数	最大	最小	平均	分散	標準偏差	
かぶり (mm)	最大値	58	160	48	101	738	27	36	104	31	67	301	17
	最小値	58	142	11	68	725	27	36	76	10	45	273	16
	平均値	58	148	40	85	560	24	36	89	24	57	267	16
	標準偏差	55	60	1	11	113	11	33	18	1	6	12	3
強度(kgf/cm ²)		40	593	227	415	8921	95	26	528	233	406	9044	95
塩分量 (可溶性) (kg/m ³)	5 cm	54	2095	0.00	456	237	486	31	283	0.00	1.07	0.61	0.78
	7 cm	52	1880	0.00	356	209	457	28	258	0.00	0.77	0.40	0.64
	かぶり位置	53	1871	0.00	332	230	480	31	271	0.00	0.86	0.68	0.82
劣化度(総合評価)		58	5	0	1.8	1.9	1.4	37	5	0	1.6	2.8	1.7
鉄筋の 電位 (mV)	max	14	-124	-489	-212	7725	88	10	-71	-310	-191	3964	63
	min	14	-150	-576	-281	13262	115	10	-160	-481	-284	6337	80
	Ave	14	-133	-515	-243	9483	97	10	-146	-325	-227	2527	50
	max-min	14	260	17	70	3765	61	10	410	10	92	12302	111
鉄筋の 腐食度	max	53	4.0	0.0	1.6	1.9	1.4	37	4.0	0.0	1.5	1.2	1.1
	min	53	3.0	0.0	0.8	0.4	0.7	37	2.0	0.0	0.8	0.3	0.6
	Ave	53	3.5	0.0	1.1	0.8	0.9	37	3.1	0.0	1.2	0.6	0.8
鉄筋の 塩分量 (ppm)	max	53	4000	0	1698	2780000	1669	34	4000	0	1147	1730000	1316
	min	53	2000	0	464	312000	559	34	2000	0	347	146609	383
	Ave	53	3667	0	1095	1350000	1164	34	3000	0	678	533136	730
ひびわれ 総延長 (m)	~1 mm	57	15.4	0	2.2	10.1	3.2	37	18.6	0	3.0	26.1	5.1
	1~3 mm	57	12.7	0	0.7	4.8	2.2	37	18.1	0	1.1	11.2	3.4
	3 mm~	57	7.5	0	0.3	1.4	1.2	37	2.3	0	0.1	0.1	0.3

床版ともに幅1mm以下のひびわれの総延長が最も多く、ついで1~3mmであり、3mm以上のものが最も少なかった。また1つの部材においてひびわれの総延長が10m以上というのが6部材(最大18.6m)であった。一方、ひびわれが全く生じていないものは34部材(全体の35.8%)であった。

(2) コンクリートの剝離, 鉄筋の露出および錆汁

コンクリートの剝離が生じている部材(ただし鉄筋露出を含む)は19部材(全体の20.0%)であり、そのうち剝離総面積が1m²を超えるものは3部材であった。

鉄筋露出の生じている部材は15部材(全体の15.8%)であり、そのうち鉄筋の露出面積(すなわち露出部を含む剝離面積)が1m²を超えるものは4部材であった。

錆汁が発生している部材は、21部材(ただしブレースにおけるデータは除外)であり(全体の22.1%), それらは全て1m²以下であった。

(3) 鉄筋の腐食度

表-9に梁, 床版に分けてデータを整理したものを示す。梁, 床版ともに平均は「1.1」(梁), 「1.2」(床版)程度である。なお, 全体的に見てその最大値が「4」(最も激しい腐食)となっているのは9部材(全体の11.3

%)であり, 最大値が「0」あるいは「1」(軽微な腐食)となっているのは49部材(全体の61.2%)であった。

(4) 部材の劣化度

梁および床版毎にデータを整理したものを表-9に示す。梁, 床版ともに平均は「1.8」(梁), 「1.6」(床版)程度である。なお, 全体的に見て, その最大値が「4」または「5」(かなり劣化が進んでいる)の部材は、18部材(全体の18.9%)であり, 逆に「0」または「1」(劣化が比較的軽微)の部材は49部材(全体の51.6%)であった。

5.2 コンクリートおよび鉄筋の性状に関する事項

(1) 鉄筋の電位

梁および床版毎に調査結果を整理したものを表-9に示す。平均値は梁では-243mV, 床版では-227mVであった。部材毎にその最小値(「卑」の方向)が-300mVより「卑」のものは8部材(全体の33.3%)であり, -100mVより「貴」のものは皆無であった。また累加頻度図の50%電位より判定した結果が「活性」と判定された部材は2部材, 「不明確」と判定された部材は14部材, 「不動態」と判定された部材は8部材であった。

(2) 鉄筋表面の塩化物量

梁および床版毎に調査結果を整理したものを表-9に示す。平均値は梁で1095ppm、床版で678ppmであった。全体的に見て、その最大値が4000ppm(測定可能範囲での最大値)に達しているものは19部材(全体の21.8%)であり、一方0ppm(ソルトチェックでは検出されず)のものは18部材(全体の20.7%)であった。

(3) コンクリートの塩化物含有量

可溶性塩分について、梁および床版毎に整理したものを表-9に示す。かぶり位置での塩化物含有量の平均値は梁では3.32kg/m³、床版では0.86kg/m³であった。一方、全塩分について、かぶり5cmでの塩化物含有量が0.6kg/m³(塩分総量規制値)を下回っていたのはわずかに6部材(全体の7.1%)であり、5kg/m³を超えるものは26部材(全体の30.6%)であった。

(4) コンクリートの表面塩分量および塩分拡散係数

かぶり5cmおよび7cmにおける可溶性塩化物含有量をもとに、表面塩分量(今回は表面近傍のコンクリート中の塩化物含有量と考える)とコンクリートの塩分拡散係数の算出を行った。

通常、コンクリート中の塩分拡散に関しては、Fickの第1法則により、

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_c \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \dots\dots\dots (1)$$

- ここに、C : 塩化物含有量
- t : 時間
- x : 表面からの距離
- D_c : 塩分拡散係数

(1)式のような微分方程式が成り立つといわれ⁵⁾、その解は

$$C = C_0 \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_c \cdot t}} \right) \right] \dots\dots\dots (2)$$

- ここに、C₀ : 表面塩分量
- erf : 誤差関数

(2)式のように表わされる。今回は、この誤差関数を

$$\operatorname{erf}(x) = 1 - (1 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + a_4 x^4)^{-4} \dots\dots\dots (3)$$

- ここに、a₁ = 0.278393
- a₂ = 0.230389
- a₃ = 0.000972
- a₄ = 0.078108

(3)式のような近似式で表わし⁶⁾、最小2乗法により

表-10 コンクリートの表面塩分量およびコンクリートの塩分拡散係数(結果一覧)

経過年数(年)	表面塩分量(kgf/m ²)	拡散係数(×10 ⁻⁸ cm ² /s)	水セメント比(%)	圧縮強度(kgf/cm ²)
20	2.62	3.3	39.1	537
	2.62	3.1	36.1	541
16	3.57	10.2	48.4	295
	1.38	10.6	43.5	314
	5.46	4.2		
17	5.39	3.3	59.6	427
	1.47	5.8	45.1	465
16	8.63	1.4	55.0	
53	10.78	0.5	44.0	395
	3.63	0.7	52.0	544
	11.42	2.4	42.1	436
	32.59	3.5	49.2	466
	0.65	5.4	41.4	497
	0.37	1.2	29.8	489
	11.18	3.2	47.4	593
	7.51	2.7	47.1	289
	39.73	0.8		
33	16.49	11.7	58.3	468
	2.85	1.6	50.6	522
	5.62	8.1	65.3	389
	1.96	0.5	73.6	468
	2.07	1.0	81.5	470
	4.71	3.5	58.9	492
	9.19	1.4	54.1	464
	4.15	7.1	77.3	447
	6.87	6.1	54.4	543
	11.30	1.8	62.7	474
	3.55	18.0	53.3	487
22	2.79	4.5	47.6	450
	18.18	0.7	76.9	316
	5.75	2.1	20.9	465
	6.57	1.6	66.0	367
	6.05	1.4	57.8	458
	6.50	1.2		494
	5.61	1.7	58.1	
	2.90	12.2	46.7	523
4.41	2.6	51.6		
	10.17	1.5		433
20	5.88	0.9	52.7	
	5.00	3.3	50.6	262
	26.93	3.7	50.1	363
	7.85	4.2	54.5	427
			284	
19	1.32	15.6		284
	9.29	1.4	51.1	
	21.74	10.0		335
	9.79	2.7	58.6	
	4.70	2.1		410
13	6.95	4.4		
	7.42	2.8		239
	2.60	15.3	74.4	246
16	6.04	15.2	52.4	
	10.74	7.5		278

拡散係数 D_s と表面塩分量 C_s を求めた。

表-10~12にその結果を示す。拡散係数は最大で、 $18.0 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ 、最小で $0.5 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ 、平均で $4.58 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ であった。また、水セメント比、圧縮強度との間の相関係数は表-12に示すように、各々「0.108」, 「-0.260」であった。表面塩分量は、最大で $39.73 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、最小で $0.37 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、平均で $8.17 \text{ kg}/\text{m}^3$ であった。また、経過年数との相関係数は表-12に示すように「0.252」であった。

表-11 表面塩分量およびコンクリートの拡散係数

	拡散係数 ($\times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$)	表面塩分量 (kgf/m^3)
平均	4.58×10^{-8}	8.17
標準偏差	4.42×10^{-8}	7.76

表-12 表面塩分量および拡散係数と他の要因との相関

	水セメント比	圧縮強度	経過年数
拡散係数	0.108	-0.260	-0.256
表面塩分量	0.071	0.018	0.252

5.3 環境条件に関する事項

環境条件についてまとめたものを表-13に示す。

(1) 気温

年平均気温はK港の 11.9°C を除くといずれも $14\sim 16^\circ\text{C}$ であった。最高気温は各港でさほど差がなく $34\sim 35^\circ\text{C}$ の値であるが、一方、最低気温は $-2\sim -8^\circ\text{C}$ と若干

開きがあるもののいずれの港も 0°C 以下であった。また、年間で 0°C 以下になる日数はB港の7.2日からK港の78.4日までかなり開きがあり、平均では29.8日であった。

(2) 降水量

月間最大降水量は、I港の292mmが最小であり、A港の438mmが最大であった。一方、年間降水量はI港の1323mmが最小であり、A港の2310mmが最大であった。11港を平均すると1415mmであった。

(3) 上乗荷重

総荷重について見ると、G港の236tが際立って大きいのが平均では51.3tであった。一方、輪荷重について見ると、C港の97tが最高となっており、平均では21.4tであった。これらを総合的に加味した評価値で見ると、C港の「5」が最大であり、平均では「3.2」であった。また評価「1」という港はなかった。

(4) 前面通過交通量

評価値についてみるとB港、H港、J港が最大で評価「5」となっている。一方、D港C施設、F港において最小で評価「1」となっている。平均では「3.0」である。

(5) 海側強風出現頻度

最も強風出現頻度が多いのが、A港の4.22%であり、一方、最も少ないのが、J港の0.44%であった。平均では1.97%であった。

(6) 常時波浪

常時波浪は評価値「1」から「4」の範囲であり、A港a施設、C港、F港、K港が評価「4」と最大であり、

表-13 各港の環境条件

港名	上乗荷重			前面交通量		常時波浪 評価	風 海側強風 出現頻度	天端高と HWL の差	気温			0°C 以下の 日数	降水量			
	総荷重	輪荷重	評価	貨物量 千トン	評価				最高	最小	平均		月最大 (mm)	月最小 (mm)	年間 (mm)	
A	a	41	23	4	300	2	4	4.22	1.30	35.7	-5.1	16.1	30.6	438	36	2310
	b		12	3	400	2	1	4.22	1.00							
B	a	20	8	2	6400	5	3	0.59	1.46	33.8	-3.1	15.7	7.2	409	34	1668
C	b	82	97	5	500	3	4	1.74	1.07	35.3	-2.8	16.1	18.2	401	34	1631
D	a	33	6	3	600	3	1	2.02	0.61	34.2	-3.6	15.1	28.0	310	23	1546
	b	51	10	3	1000	4	2	1.21	0.71							
	c	20	8	2	100	1	1	2.98	1.21							
	d	20	8	2	270	2	1	2.98	1.39							
	e	20	8	2	470	2	1	2.98	1.52							
E	a	37	44	4	700	4	2	1.21	0.61	35.3	-2.8	16.1	18.2	401	34	1631
F	a	20	8	2	50	1	4	0.44	1.00							
G	a	236	15	4	100	2	3	0.37	1.17	35.3	-2.8	16.1	18.2	401	34	1631
H		38	10	3	1400	5	1	3.88	1.50	35.0	-4.4	14.6	28.5	347	59	2004
I	a	47	27	4	3900	4	3	0.56	2.50	35.0	-3.7	15.5	22.8	292	21	1323
J	a	35	44	4	5000	5	1	0.04	0.95	34.4	-4.5	15.0	36.5	370	26	1553
K	a	70	14	4	850	3	4	2.07	1.57	34.0	-8.5	11.9	78.4	313	62	1899

A港b施設, D港a, c, d, e施設, H港, J港が評価「1」と最小であった。平均では「2.3」であった。

5.4 構造に関する事項

(1) かぶり

梁および床版に分けてデータを整理したものを表-9に示す。はりの平均は85mmであり, 床版の平均は57mmであった。各部材ごとの最大値をみると, その中の最大が160mmであり, 最小が31mmであった。一方, 各部材ごとの最小値をみると最大が142mmであり, 最小が10mmとかなり広範囲にばらついていた。

(2) 天端高とH.W.Lの差

16施設の中で最大のものはI港の2.50mであり, 一方最小のものはD港a施設とE港の0.61mであった。平均では1.22mであった。

5.5 コンクリートの品質に関する事項

(1) 圧縮強度

梁, 床版別にデータをまとめたものを表-9に示す。梁の平均値は415kg/cm²であり, 床版の平均値は406kg/cm²であった。最大はD港d施設の593kg/cm²であり, 一方, 最小はJ港の227kg/cm²であった。

(2) ホセメント比, 単位水量, 単位セメント量

(配合推定試験による)

ホセメント比についてみると, D港e施設の81.5%が最大であり, D港d施設の29.8%が最小であった。20~40%が9部材(13.0%), 40~60%が46部材(66.7%), 60%以上が14部材(20.3%)であった。

単位水量についてみると, O港の294kg/m³が最大であり一方, D港d施設の84kg/m³(実際には混練りは不可能, 測定誤差と思われる)が最小であった。100kg/m³以下が4部材, 100~150kg/m³が22部材(31.9%), 150~200kg/m³が25部材(36.2%), 200~250kg/m³が15部材(21.7%), 250kg/m³以上が3部材(4.3%)であった。

単位セメント量についてみると, B港の559kg/m³が最大であり, 一方, D港c施設の218kg/m³が最小であった。200~300kg/m³が30部材(全体の43.5%), 300~400kg/m³が26部材(37.7%), 400~500kg/m³が10部材(14.5%), 500kg/m³以上が3部材(4.3%)であった。

(3) 細孔径分布

表-14に細孔容積測定結果を示す。I港の0.1380cc/gが最大で, B港の0.023cc/gが最小であった。平均すると0.078cc/gであった。

(4) X線回折分析

表-15にX線回折分析試験の結果を示す。エトリン

表-14 細孔容積測定結果

試料		細孔容積(cc/g)
2建	D港a施設	0.0891
	D港b施設	0.0742
	F港	0.0622
3建	J港	0.0935
		0.1019
	H港	0.0715
		0.0722
I港	0.1313	
	0.1380	
4建	B港	0.0972
		0.1023
	C港	0.0583
0.0704		
5建	A港a施設	0.0412
		0.0514
	A港b施設	0.0717
		0.0723

表-15 X線回折分析測定結果

資	料	検出 鉱物 名			
		フリーデル氏塩	エトリン ガイト	ボルトラン ンダイト	カルサイト
2建	D港a施設	…	○	○○	○
3建	J港	○	○○	○○	○
	H港	…	○	○○	…
	I港	…	○○	○○	○
4建	B港	○○	○○	○○	○
	C港	○	○	○○	○○
5建	A港a施設	○	○	○○	…
	A港b施設	…	○	○○	…

○○ : 明確に認められる

○ : 認められる

… : 検出せず

ガイトとボルトランダイトは全ての試料から認められたが, フリーデル氏塩とカルサイトは一部の試料において検出された。

6. 構造物の実態

6.1 設計値と実測値の比較

本項においては, 鉄筋のかぶりおよび圧縮強度に着目し, 設計値と実測値を比較することにより, 構造物の実態を把握することを試みた。

表-16 設計かぶりと実測かぶりの比較

設計値 (mm)	実 測 値 (mm)		
	平 均 (m)	m - σ	m - 2 σ
50	53.8	60.4	55.2
	39.8	33.5	27.2
	57.6	48.6	39.6
	62.9	40.7	18.5
	61.1	50.8	40.5
	55.0	42.9	30.7
70	41.1	33.7	26.3
	122.3	62.3	2.3
	46.4	33.7	21.0
	64.5	47.7	31.4
	61.0	45.3	29.6
	85.0	79.7	74.4
	72.3	63.0	53.7
	84.9	82.9	80.9
	103.1	87.3	71.5
	95.6	76.6	57.6
	105.0	67.2	29.4
	67.1	32.2	-2.7
	100.0	65.6	31.2
	112.3	94.5	76.7
	84.6	81.2	77.8
	83.0	63.5	44.1
80	77.3	72.2	67.1
	81.6	73.9	66.2
	80.0	69.1	58.2
	79.6	71.7	63.8
89	90.2	87.2	84.2
	89.8	87.1	84.4
	90.0	87.2	84.3
90	122.6	119.5	116.4
	121.5	118.0	114.5
	129.8	126.4	123.0
	124.6	121.3	118.0
95	78.4	63.0	47.6
	91.2	77.6	64.0
	84.8	70.3	55.8
100	76.0	73.8	71.6
	93.2	87.3	81.4
	76.1	75.0	73.9
	76.8	75.4	74.0
	76.3	74.1	71.9
	110.0	105.0	100.0
	88.3	85.1	81.9
	147.7	142.2	136.7
	87.8	85.6	83.4
	81.1	66.1	51.1
	96.4	91.8	87.2
	102.0	100.7	99.4
	87.1	85.6	84.1
103.5	102.2	100.9	
93.0	89.3	85.5	
120	67.9	55.6	43.3
	80.6	67.6	54.6
	68.1	55.2	42.3
	72.2	59.5	46.7

設計値 (mm)	実 測 値 (mm)		
	平 均 (m)	m - σ	m - 2 σ
40	35.0	30.8	26.6
	42.1	37.3	32.5
	38.6	34.1	29.6
50	51.9	45.5	39.1
	50.5	42.8	35.1
	51.2	46.5	41.8
	41.9	36.4	30.9
	31.4	23.7	16.0
	24.4	19.7	15.0
	25.4	15.8	6.2
37.4	30.2	23.0	
39.3	32.6	25.9	
70	54.2	42.9	31.6
73	73.7	69.4	65.1
	72.7	70.0	67.3
	73.2	69.7	66.2
80	55.3	53.4	51.5
	59.2	55.1	51.0
	74.3	60.3	46.3
	69.3	66.8	64.3
	75.3	57.3	39.3
	81.8	78.9	76.0
	78.5	73.4	68.3
70.5	63.6	56.7	
90	65.6	60.4	55.2
	70.5	63.9	57.3
	61.6	60.6	59.6
	61.8	60.8	59.8
	86.7	79.9	73.1
	88.8	79.8	70.8
72.5	67.6	62.6	

σ : 標準偏差

表-16に、設計かぶりおよび実測かぶりを比較したものを示す。また、図-6に設計かぶりに対する測定値の標準偏差を示す。なお、ここで示されている標準偏差は各部材毎の測定値のばらつきを示すものである。これによると、標準偏差は、一部に極端なものもあるが、ほぼ20mm以下となっている。平均的には10mm程度である。また、設計値との相関性はない。梁と床版とを比較した場合、梁の方が全体的に標準偏差は大きめである。

また、図-7、図-8に梁および床版について、平均

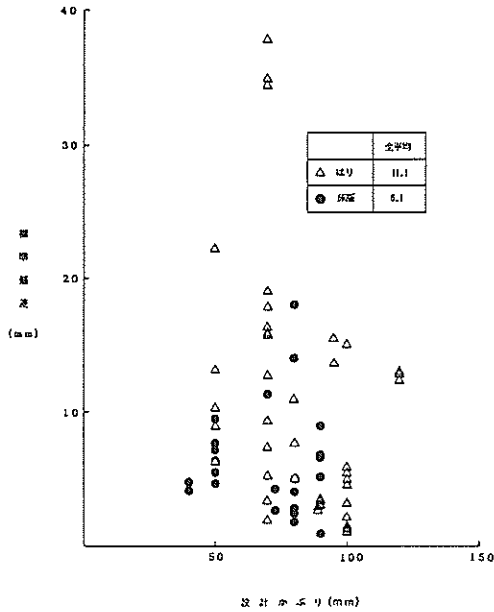


図-6 設計かぶりに対する測定値の標準偏差

一標準偏差 ($m-\sigma$) と、平均一標準偏差の2倍 ($m-2\sigma$) をプロットしたものを示す。また、図-9はこれらの値を設計かぶり毎に平均したものをプロットしたものである。これによると、床版に比べて、梁の方が設計かぶりに近い施工が行われているようである。梁について見ると、実測値の平均はほぼ設計値と等しいが、床版では平均値が設計値を下回っている。梁および床版ともに $m-\sigma$ 、 $m-2\sigma$ について見ると、大部分が設計値を下回っている。例えば、設計値100mmの梁について、かぶりの実際の値の分布が正規分布に近いものと仮定すれば、全体の15.9%は900mm以下であり、全体の2.3%は85mm以下であると解釈することもできる。

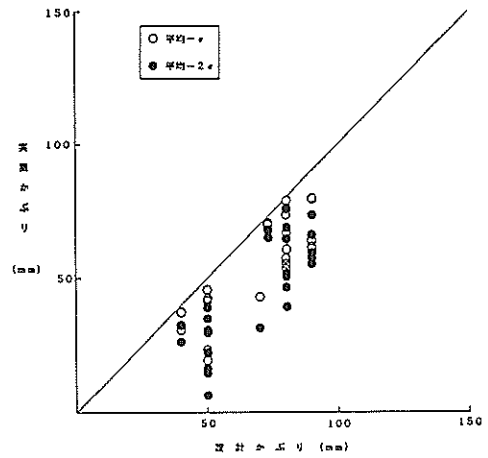


図-8 設計かぶりと実測かぶり (床版)

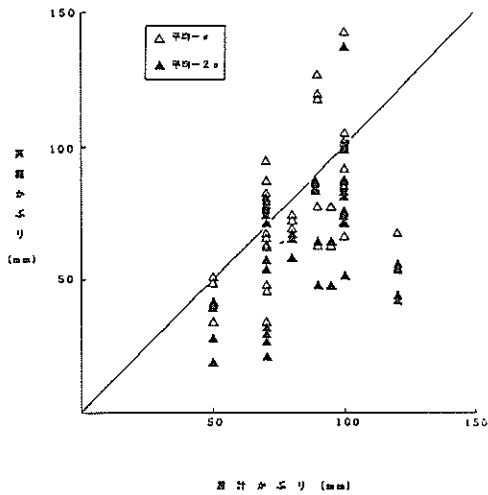


図-7 設計かぶりと実測かぶり (梁)

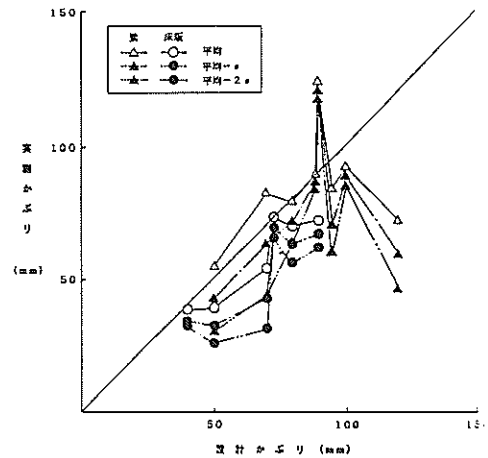


図-9 設計かぶりと実測かぶり (梁, 床版)

表-17 設計強度と実測強度

(梁)

設計強度 (kgf/cm ²)	実測強度 (kgf/cm ²)
210	537
	427
	465
	360
	360
	324
	465
	342
	367
	523
	433
	363
	427
	278
	227
240	239
270	314

(床版)

設計強度 (kgf/cm ²)	実測強度 (kgf/cm ²)
210	456
	369
	375
	323
	450
	316
	458
	494
	262
	236
240	233
270	528

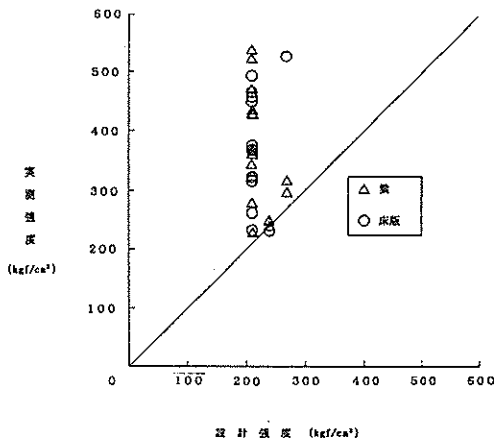


図-10 設計強度と実測強度

表-17 に設計強度および実測強度一覧を示す。また、図-10 に設計強度に対して実測強度をプロットしたものを示す。これによると、一港を除いてほぼ全ての場合で実測強度は設計強度を上回っていた。また、実測値は、230～530 kg/cm²の範囲であり極めてばらつきが大きかった。また、表-14 の細孔径分布試験結果よりもわかるとおり、この一港のコンクリートは他のものと比べてかなりポロシティ（細孔容積）が大きかった。

6.2 経過年数（製作した年代）とコンクリートの品質について

本項においては、単位セメント量、水セメント比および圧縮強度に着目し、製作した年代の推移に伴うそれらの値の変化を検討し、コンクリートの品質の変遷を把握することを試みた。

表-18 に経過年数（製作した年代）と単位セメント量、水セメント比および圧縮強度の関係を示す。また、図-11～14 に各々について経過年数との関係をプロットしたグラフを示す。これによると、古い構造物程単

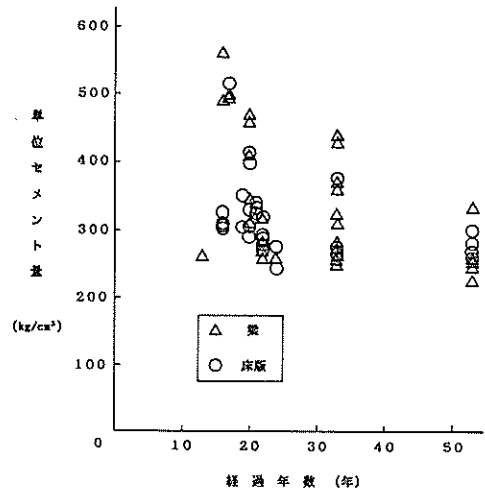


図-11 経過年数と単位セメント量

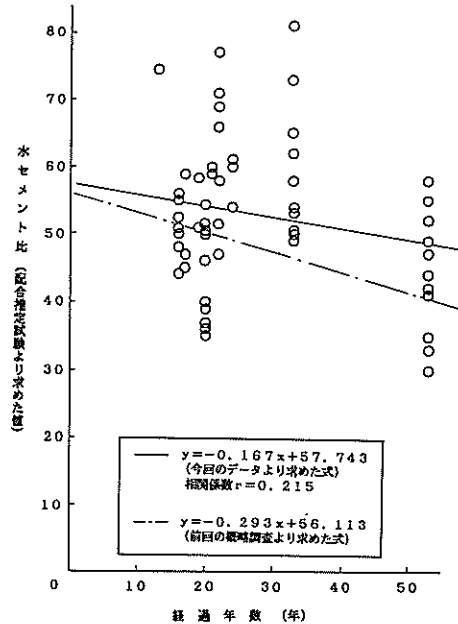


図-12 経過年数と水セメント比

表-18 経過年数と単位セメント量, 水セメント比, 圧縮強度

(梁)

経過年数 (年)	単位セメント量 (kg/m ³)	水セメント比 (%)	圧縮強度 (kgf/cm ²)
13	262	74.4	239 246
16	328	52.4	278 227
	488	48.4	295
	559	43.5	314
	309	55.0	
	304	56.2	
			324
17	493	59.6	427
	492	45.1	465
19			335
	353	58.6	
			410
20	345	39.1	537
	457	36.1	541
	311	37.0	515
			331
	282	52.7	
	306	46.7	
22	258	70.9	465
	259	69.1	342
	282	66.0	367
	317	46.7	523
	320	51.6	
			433
24			360
	245	60.8	
	257	53.5	360
33	437	50.6	522
	323	65.3	389
	428	54.2	407
	385	48.6	406
	308	58.3	492
	257	54.1	464
	264	77.3	447
	360	54.4	543
	287	62.7	474
	368	53.3	487
53	246	52.0	544
	368	42.1	436
	256	49.2	466
	251	47.4	593
	225	47.1	289
	246	58.3	468

(床版)

経過年数 (年)	単位セメント量 (kg/m ³)	水セメント比 (%)	圧縮強度 (kgf/cm ²)
16	526	49.8	528
	307	50.8	323
17	515	47.0	369
19	305	51.1	284
20	415	35.4	433
	399	36.1	456
	330	40.3	
			337
	409	50.6	252
	410	50.1	363
	466	54.5	427
21	342	59.1	373
	336	60.4	371
	328	60.4	372
22	271	47.6	450
	294	76.9	316
	289	57.8	458
			494
	279	58.1	
24			375
	278	59.8	
			360
33	265	73.6	468
	249	81.5	470
	376	49.7	477
	274	65.3	428
53	300	44.0	395
	269	34.6	404
	261	41.4	497
	282	29.8	489

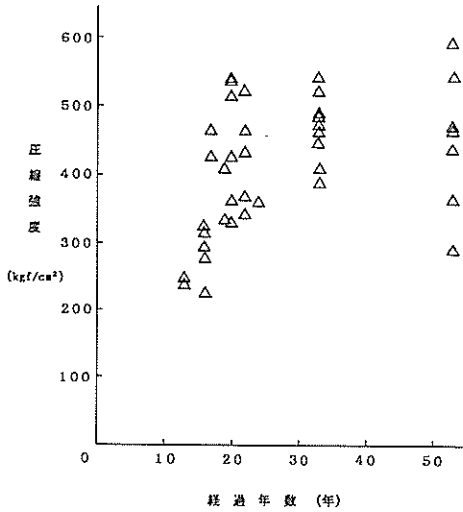


図-13 経過年数と圧縮強度(梁)

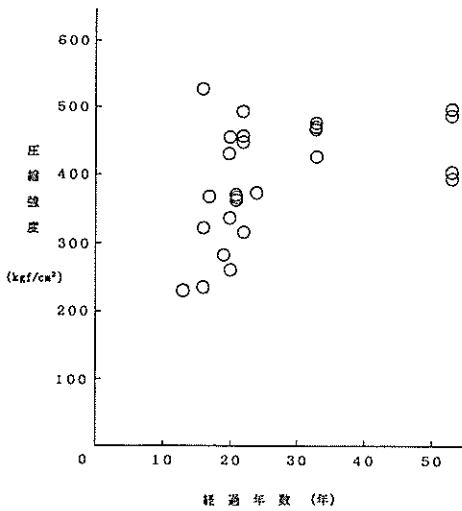


図-14 経過年数と圧縮強度(床版)

位セメント量は小さく、また新しい構造物においては一部に極めて単位セメント量の大きなものがある。これらはB港およびC港におけるデータである。骨材にシリカ分の多いものを使用していたために、配合推定的手法上セメント量を多く算出したという可能性も考えられる。

水セメント比については、概略調査の場合も言及したが、古い構造物の方が全体的に水セメント比は小さいという傾向がある。これより、新設構造物程、一般にコンクリートの品質が悪くなっていることが推察される。強度と経過年数の関係について見ると、梁と床版でほぼ同様の傾向を示しており、新しい構造物程強度のばらつき

が大きく、かつ、低強度のコンクリートが一部に認められる。このことよりも、新しいコンクリート程品質が悪くなっていることが推察される。

7. 各項目間の関係

劣化の程度に関する事項に対して劣化の要因がどの程度影響を与えるかを判断する目的で、各項目間で相関分析を行った。表-19にその結果の一覧を示す。

7.1 劣化評価

劣化内容(ひびわれ、剝離、錆汁、鉄筋露出)と劣化評価の相関性を見てみると、鉄筋露出「 $r = 0.410$ 」、剝離「 $r = 0.399$ 」となっており、若干相関性が認められる。より明確な傾向を得ることを目的に、これら劣化評価に関する項目のデータを(4)式のように標準化したデータを用いて、相関分析を行った。結果を表-20に示すが、生データのそれとほぼ同様の数値であった。

$$\bar{x} = \frac{x - m}{\sigma} \dots\dots\dots (4)$$

- ここに、 \bar{x} : 標準化データ
- x : 生データ
- m : 平均
- σ : 標準偏差

また、前回の概略調査では、劣化評価は経過年数の影響を受けていたが、今回はその影響は認められなかった。一方、鉄筋の腐食度との間に若干の相関「 $r = 0.345$ 、 $r = 0.305$ 」が見られる。

7.2 劣化内容

(1) ひびわれ

1 ~ 3 mmのひびわれについて見ると、最低気温「 $r = -0.495$ 」、0℃以下の日数「 $r = 0.417$ 」、年間降水量「 $r = 0.427$ 」について若干の相関性が見られる。すなわち気温が低く、降水量の多い程ひびわれは多いという結果である。また、波浪評価「 $r = 0.345$ 」との間にも若干の相関性が見られる。

1 mm以下のひびわれ幅について見ると、経過年数「 $r = 0.427$ 」との間に相関性が見られる。また、鉄筋の電位「 $r = -0.793$ (minの電位)、 $r = -0.343$ (Aveの電位)」との間の相関が認められる。なお、3 mm以上のひびわれについては、他の要因との相関性は認められない。

(2) 剝離

水セメント比「 $r = 0.445$ 」との間に相関性が認められるが、他の要因との相関性は認められない。

表-19 各種要因間の相関係数

劣化評価	劣化内容				鉄筋の電位			鉄筋の腐食度			鉄筋の塩分量			塩分含有量 (かぶり位置) 塩分量	
	ひびわれ 1mm以下	ひびわれ 1~3mm	剥離 3mm以上	鉄筋露出	鉄筋露出	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave	Max	Min		Ave
劣化評価	1.000														
劣化内容	ひびわれ 1mm以下	0.168													
	ひびわれ 1~3mm	0.135	1.000												
	ひびわれ 3mm以上	0.255	0.111	1.000											
	剥離	0.399	-0.052	-0.036	1.000										
	鉄筋露出	0.177	-0.050	0.054	0.138	1.000									
鉄筋の電位	Max	-0.052	-0.073	0.046	-	0.032	1.000								
	Min	-0.172	-0.793	-0.144	-	-0.077	1.000								
	Ave	-0.131	-0.343	0.072	-	0.018	0.081	0.918	0.812	1.000					
	Max-Min	0.146	-0.876	0.163	0.289	-	0.123	-0.131	0.252	-0.645	-0.104	1.000			
	Max	0.345	0.128	-0.038	0.173	0.234	0.251	0.097	-0.222	-0.321	-0.344	0.174	1.000		
鉄筋の腐食度	Min	0.137	0.065	-0.122	0.105	0.033	0.075	0.095	-0.217	-0.303	-0.301	0.155	0.906	1.000	
	Ave	0.335	0.064	-0.080	0.228	0.274	0.168	0.067	-0.172	-0.317	-0.315	0.215	0.961	0.906	
	Max	0.199	0.262	-0.088	-0.031	0.187	0.262	-0.010	-0.369	-0.649	-0.427	0.426	0.235	0.192	0.141
鉄筋の塩分量	Min	-0.014	0.141	-0.086	-0.090	-0.061	0.050	-0.026	0.052	-0.110	0.055	0.184	0.256	0.283	0.242
	Ave	0.143	0.195	-0.087	0.004	0.120	0.246	-0.084	-0.086	-0.162	-0.162	0.497	0.261	0.245	0.196
	Max	-0.012	0.065	-0.066	0.165	-0.046	0.246	-0.161	0.008	-0.049	-0.058	0.065	-0.046	-0.291	-0.121
塩分含有量 (かぶり位置)	可溶性塩分	-0.015	0.138	-0.050	-0.066	0.070	0.218	-0.132	-0.616	-0.494	-0.585	0.011	0.462	0.234	0.309
	最高	0.036	-0.060	0.162	0.179	-0.012	-0.040	-0.078	0.041	-0.054	-0.040	0.095	-0.193	-0.368	-0.239
	最低	0.060	0.128	-0.495	-0.044	0.071	0.103	0.030	0.041	-0.054	-0.040	0.095	-0.061	0.127	0.265
	平均	0.082	0.108	-0.290	0.110	0.039	0.304	0.030	0.041	-0.054	-0.040	0.095	-0.061	0.141	0.279
	0℃以下の日数	-0.008	-0.084	0.417	0.001	-0.045	-0.067	-0.042	0.041	-0.054	-0.040	0.095	0.182	-0.124	0.122
降水量	月最大	-0.046	-0.106	0.197	0.191	-0.074	-0.086	-0.103	0.041	-0.054	-0.040	0.095	-0.040	0.023	0.022
	月最小	-0.169	-0.220	0.312	-0.009	-0.089	-0.043	-0.120	0.041	-0.054	-0.040	0.095	-0.270	-0.246	-0.267
	年間	-0.044	-0.059	0.427	0.196	-0.095	-0.048	-0.100	0.041	-0.054	-0.040	0.095	-0.215	-0.212	-0.213
天端高とHWLの差	最大	-0.126	-0.007	0.085	-0.124	0.106	0.140	-0.245	-0.018	-0.356	-0.112	0.401	-0.192	-0.266	-0.266
	平均	0.065	0.443	-0.144	-0.092	-0.004	0.216	0.022	-0.263	-0.648	-0.352	0.523	0.182	0.219	0.121
	最大	-0.115	-0.156	-0.111	-0.019	-0.119	0.205	0.046	-0.037	0.059	0.379	0.218	-0.386	0.046	0.068
	最小	0.061	-0.154	-0.170	0.114	-0.097	-0.205	-0.016	0.118	0.373	0.323	0.225	-0.325	0.041	0.026
	Ave	-0.025	-0.156	-0.156	0.041	-0.174	-0.077	0.015	0.319	0.197	0.197	-0.297	0.059	0.058	0.089
かぶり	最大	0.193	0.295	0.119	0.077	0.094	0.171	0.207	-0.336	-0.539	-0.469	0.301	0.059	0.117	0.037
	平均	0.186	-0.301	-0.212	-0.049	0.445	0.176	0.078	0.022	0.358	0.170	-0.373	0.367	0.072	0.336
	最小	0.175	-0.129	0.157	0.035	0.022	-0.021	0.024	-0.012	0.157	-0.038	-0.201	0.172	-0.053	0.132
上載荷重	最大	-0.071	-0.137	-0.027	-0.040	-0.035	-0.187	0.109	-0.110	0.165	-0.000	-0.295	-0.042	-0.003	0.017
	平均	0.020	-0.276	-0.040	-0.054	-0.054	-0.255	0.105	0.025	0.345	0.128	-0.382	-0.063	-0.147	-0.032
	最小	-0.148	-0.335	-0.044	-0.021	-0.052	-0.201	0.028	-0.165	0.042	-0.115	-0.196	-0.102	0.022	-0.012
常時波浪評価	最大	0.042	0.260	0.126	0.090	0.023	0.226	-0.094	-0.072	-0.326	0.197	0.311	-0.037	-0.065	
	平均	-0.201	-0.275	0.345	-0.117	-0.067	-0.237	-0.060	0.346	0.558	0.473	-0.336	-0.422	-0.286	
	最小	-0.201	-0.275	0.345	-0.117	-0.067	-0.237	-0.060	0.346	0.558	0.473	-0.336	-0.422	-0.286	

表-20 標準化データの相関係数

			劣化評価
ひびわれ	1 mm 以下	本 数	0.169
		総延長	0.127
	1 ~ 3 mm	本 数	0.043
		総延長	0.089
	3 mm 以上	本 数	0.248
		総延長	0.218
錆 汁			0.205
剝 離			0.398
鉄筋露出			0.405

(3) 錆汁および鉄筋露出

他の要因との相関性は認められない。

7.3 鉄筋の腐食度

鉄筋の腐食度と他の要因との相関はすべて $r = 0.4$ 未満であり、全体として相関係数は低い値である。しかし、水セメント比「 $r = 0.367$ (maxの腐食度)」、 $r = 0.336$ (Aveの腐食度)」、鉄筋の電位「 $r = -0.344$ 」との間に幾分かの相関性が認められる。また7.1でも述べたが劣化評価「 $r = 0.345$ (maxの腐食度)」、 $r = 0.335$ (Aveの腐食度)」との間にも若干の相関が認められる。

7.4 鉄筋の表面塩分量およびコンクリート中の塩化物含有量

両者ともに経過年数「 $r = 0.549$ (コンクリート中の塩化物含有量)」、 $r = 0.526$ (鉄筋表面の塩化物量)」との相関が最もよい。すなわち、経年的にコンクリートに塩分が侵入蓄積されていることがわかる。また、コンクリートの塩分含有量と強風出現頻度に関して、全塩分の場合 $r = 0.502$ と相関性が認められる。また、7.3でも述べたが、鉄筋の電位と相関性が認められる。

8. まとめおよび問題点の整理

本章では今回実施した詳細調査により得られた結論および若干の問題点をまとめる。

- (1) 梁および床版でその劣化の程度はほぼ同程度であった。塩化物含有量は梁の方が床版よりも多かったもの、かぶりは全体的に床版の方が小さくひびわれも床版の方に多かった。
- (2) かぶりのばらつきは床版に比べて梁の方が大きかった。全体的に見て、かぶりは梁も床版も設計値に比べて実測値の方が小さく、設計どおりのかぶり確保されていないケースが多かった。
- (3) 一港を除いて、圧縮強度は実測値が設計値を上回っ

ていた。また、実測強度は 200 kg/cm^2 から 530 kg/cm^2 まで極めてばらつきの大きいものであった。

(4) 水セメント比、圧縮強度等の製作年代に対する変遷より、建設年次が新しいもの程コンクリートの品質は逆に悪くなっていた。

(5) 鉄筋の電位は比較的他の要因との相関が高かった。特に部材中の最も「卑(min)」な電位および「電位の差(max-min)」にその傾向がよくでていた。

(6) 今回の劣化評価は部材中のコンクリートの剝離およびそれに伴う鉄筋の露出がその決定要因となっていた。

(7) 経過年数と塩分含有量との間に相関性があることより、コンクリート中の塩分はやはり経年的に蓄積されていることが確認された。

(8) 前回の概略調査の場合もそうであったが、各種要因間の相関係数は全体的に低いものとなった。これは、構造物の劣化がただ一つの要因に支配されるのではなく、数種の要因が重なりあって劣化が進行するためと考えられる。また、構造物の経年劣化は時間の経過とともに直線的に進行するものではないため相関係数はさほどよい値とはならないものと考えられる。

9. おわりに

以上のように、全国的規模での栈橋上部工の劣化実態調査を報告したが、概略調査と同様に種々の理由でばらつきが多く、明確な相関関係が認めにくかったことは非常に残念であった。

今回の詳細調査と以前行った概略調査より、最も印象に残ったのは、古い構造物の方がより良い耐久性を示していることであった。これには種々の原因があろうが、我々はこの事実を謙虚に受け止めて今後のコンクリート構造物の耐久性向上に努める必要があると思われる。

本調査の実施にあたっては、本省港湾局技術課、建設課および第一～第五港湾建設局の関係各位の御協力を頂いた。ここに深く感謝の意を表します。

(1988年6月27日受付)

参 考 文 献

- 1) 大即信明・原茂雅光・浜田秀則：栈橋コンクリート上部工劣化実態概略調査報告，港湾技研資料，No.617
- 2) 浜田秀則・原茂雅光・大即信明：栈橋コンクリート上部工劣化実態概略調査報告，第43回土木学会年次学術講演会講演概要集
- 3) 港湾コンクリート構造物の劣化防止，補修に関する技術調査報告書，劣化防止・補修マニュアル(案)一，(財)沿岸開発技術研究センター
- 4) 宮川豊章・片脇清：コンクリート中鋼材の塩化物腐

- 食調査及び試験方法, コンクリート工学, Vol.19,
No.3, March, 1981
- 5) Roger D Browne : Mechanisms of Corrosion of
Steel in Concrete in Relation to Design, Ins-
pection and Repair of Offshore and Coastal
Structures, ACI SP65-11, pp.169~204
- 6) 永野宏雄 : 塩分汚染コンクリートの診断方法, 大
成建設技術研究所報, 第19号, pp41~48

港湾技研資料 No. 627

1988・9

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 株式会社 東京プリント

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