

港 湾 技 研 資 料

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

No. 617 June 1988

栈橋コンクリート上部工劣化実態概略調査報告

大 即 信 明
原 茂 雅 光
浜 田 秀 則

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. はじめに	3
2. 港湾コンクリート構造物の劣化の実態	3
3. 栈橋の劣化に関するデータ整理	5
4. 劣化に関する各項目での概略の傾向	8
5. 要因の分析	25
6. まとめおよび問題点の整理	29
7. おわりに	29

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 wharves. The collected data are analysed by the authors to clarify the influences of factors on the deterioration.

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

Key Words: Survey, Concrete Superstructures, Salt Induced Attack

* Chief of the Materials Laboratory, Structures Division

** Member of the Materials Laboratory, Structures Division

栈橋コンクリート上部工劣化実態概略調査報告

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、運輸省港湾局が昭和59年度に実施した「海洋環境下における耐久的コンクリートの開発に関する調査」の調査票より、港湾コンクリート構造物の全体的な劣化の実態を取りまとめ、さらに港研独自の調査を加えて、種々の要因が劣化に及ぼす影響を検討したものである。

キーワード： 概略調査、コンクリート上部工、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。

本文は、この劣化の実態および劣化に及ぼす要因を、全国96の栈橋の劣化実態調査結果よりまとめるものである。

この劣化実態調査は、運輸省港湾局が昭和59年度の実施したもので、さらに、港研独自の調査を加えたものである。なお、港湾局の調査においては、栈橋以外の施設についても調査を行っており、それらの結果の概略についても述べる。

2. 港湾コンクリート構造物の劣化の実態

本章では、現在までに報告されている港湾のコンクリート構造物の劣化は主として栈橋上部工に集中していることを述べる。

港湾の主な施設は、防波堤と係船岸であるが、防波堤については問題となるようなコンクリートの劣化の報告がないのに対し、係船岸については相当数の報告がみられる。港湾局59年度調査では、全国の直轄施工の約500の係船岸を対象として、目視調査を行った。

全国の港湾の係船岸の規模であるが、その全延長を構造形式別に整理すると図-1のとおりとなる。図から分

かるように、係船岸の主要な構造形式は、重力式、矢板式、栈橋式の3種類で、この3種で全体の8割を占める。各形式で使用されているコンクリート部材は以下のものである。重力式は、コンクリートケーソン、L型ブロック、セルラーブロック等を壁体とするものである。矢板式は主に鋼製矢板で壁体を構成し、コンクリートは主に矢板の上部工として矢板の一体化を図るために打設される。栈橋式は主に鋼管杭を支柱とし、この上にコンクリートの桁をわたし、床版をはる構造である。

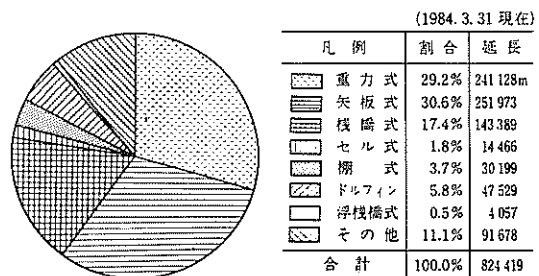


図-1 全国の構造形式別係船岸延長

調査した約500の係船岸の内訳は、矢板式が309施設、栈橋式が96施設、その他（セル式係船岸等）89施設である。対象から重力式が除かれているが、重力式に使用されているコンクリートは主に海中部に位置し塩害による

* 構造部材料施工研究室長

** 構造部材料施工研究室

劣化は生じにくいと考えられ、また、劣化の事例も従来みられないことを考慮して、対象としていない。調査では、コンクリートのひびわれの発生状況、錆汁の溶出状況、剥離状況等を観察し、それらの結果はひびわれの発生状況を3段階、錆汁の溶出状況を3段階、ひびわれ、錆汁および剥離の状況を総合的に判断した劣化度を6段階に分類して整理している。

調査結果をみると栈橋式とそれ以外の施設（以下、その他施設という）では大きくコンクリートの劣化状況が異なる。そこで、2つに区分して劣化状況を述べることにする。

まず、その他施設については、使用されているコンクリートの大部分が、矢板やセルの上部工であり、ひびわれが発生している施設がかなりみられる（図-2）。しかし、その方向は法線（部材）直角方向のものが大部分を占め、幅の大きなものは少ない。これらのひびわれの発生原因としては、乾燥収縮、岸壁の不等沈下による外力や漂流物等の衝突といった力学的な要因によるものが大部分を占めると考えられ、錆汁の溶出状況をもみてもほとんど溶出していない施設が多い（図-3）。これらの上部工のコンクリートには、矢板等との一体化を図るために鉄筋が入っているが、その量は比較的少なく、また、作用しているモーメントもあまり大きくないため、調査結果のように塩害を受けた施設が少ないものと考えられる。

■ ランク1：ひびわれがない施設
 ▨ ランク2：ひびわれが少ない（10mに1か所未満）施設
 ▩ ランク3：ひびわれが多い（10mに1か所以上）施設

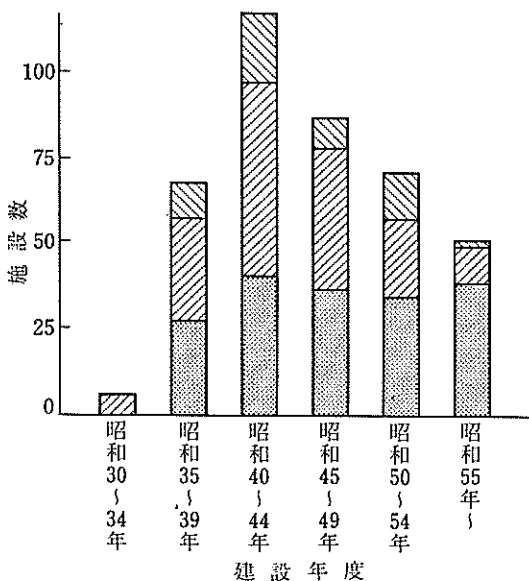


図-2 その他施設のひびわれ発生状況

一方、栈橋式については、ひびわれはその他施設以上に生じており、ランク3の施設が多い（図-4）。ここで、注意を要するのは、栈橋式の場合には、コンクリートの表面積がその他施設に比較して桁違いに大きいため、ひびわれの評価をかえていることである。すなわち、栈橋では、1ブロックに数ヶ所以上ひびわれがあるのをランク3とした。このランク3でも、ひびわれが多いとは必ずしもいえないが、多くのものでは錆汁が認められ、塩害が生じている。

データを部材別にみると、栈橋の主要なコンクリート部材は桁と床版であるが、部材ごとに劣化状況は若干異なっている。

桁は、平均海面上1m程度に位置し、絶えず波しぶきにさらされている。また、応力的にも自重および貨物等の上載荷重によって、常時曲げモーメントを受けている。このため、他の部材に比較して塩害を受けやすいと考えられる。調査結果でも、桁が最も塩害を受けており、約3割の施設で桁になんらかの塩害が認められる（表-1）。桁のひびわれは、主鉄筋方向となっているものも多く、主鉄筋にも腐食が発生しているものも多い。

一方、床版は桁よりも、1m程度上方に位置し、桁よりは塩害を受けにくい環境にある。調査結果でもその傾向が認められる。

これまで述べたことから、港湾のコンクリート構造物の劣化は、栈橋上部工において著しいことが認められた。

■ ランク1：錆汁が出ていない施設
 ▨ ランク2：錆汁が少ない（10mに1か所未満）施設
 ▩ ランク3：錆汁が多い（10mに1か所以上）施設

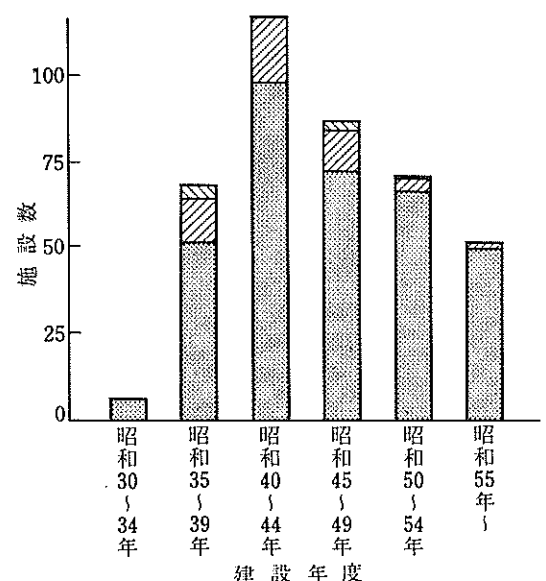


図-3 その他施設の錆汁溶出状況

- ランク1：ひびわれがない施設
- ▨ ランク2：ひびわれが少ない(1ブロックに数が所未満)施設
- ▩ ランク3：ひびわれが多い(1ブロックに数が所以上)施設

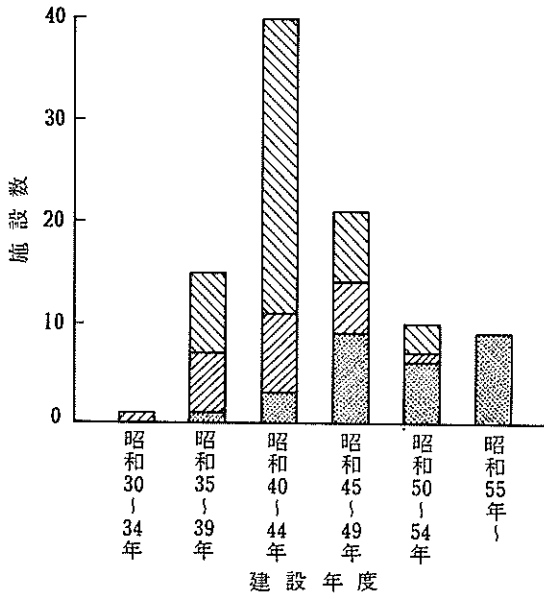


図-4 栈橋のひびわれ発生状況

表-1 栈橋の部材別劣化状況
(単位：施設数)

部材名	劣化状況 無劣化施設	劣化施設			
		鉄筋の腐食		コンクリート自体の劣化	外力による損傷
		塩害	明らかに かぶり不足		
桁	22	27	8	41	31
床版	45	6	16	32	4

注) 施設数は全体で95施設である。

劣化施設については、その原因が複数個ある場合には各々に計上されており、累計は95にならない。

以後、栈橋上部工についてデータの整理および劣化の要因の検討結果を述べる。

3. 栈橋の劣化に関するデータ整理

データの整理は、劣化の程度に関する事項および劣化の程度に影響を与える可能性が考えられた事項(以後、劣化の要因という)とし、各事項で数種の項目について整理した。以下、(1)においては、劣化の程度に関する事項について述べ(2)~(7)においては劣化の要因について述べる。

(1) 劣化の程度に関する事項

栈橋上部工の全般的な目視調査より、表-2に示す判定基準にしたがい劣化評価を行った。劣化内容(コンクリートのひびわれ、コンクリートの剥離、および錆汁)について、定量的に整理した。すなわち、劣化内容に従い、それぞれの個数を調べた。また、劣化内容での個数の合計をバース延長で割り、単位延長当りの劣化個数として求めた。なお、後述する5章の要因の分析においては劣化内容それぞれについて単位延長当りとして用いている。

表-2 劣化評価の判定基準

劣化評価	評価基準
0	劣化の認められない施設。
1	船舶の衝突等外力によるひびわれのみを有する施設。 かぶり不足による鉄筋露出を施設全体で数箇所程度有する施設。
2	ひびわれが少ない施設。 (1スパンに数箇所以下) 錆汁、溶出物が少ない施設。 (1スパンに数箇所以下)
3	ひびわれが多い施設。 (1スパンに数箇所以上) 錆汁、溶出物が多い施設。 (1スパンに数箇所以上)
4	梁には軸方向のひびわれ、床版およびハンチにはくもの巣状のひびわれを有する施設。 鉄筋腐食が認められる。
5	広範囲にわたるかぶりコンクリートの剥落が認められる施設。

(2) 栈橋の構造に関する事項

対象栈橋について、その設置水深、バース延長(調査対象区間の)、天端高とH. W. L. との差、および調査時点での経過年数を整理した。

(3) コンクリートの品質に関する事項

コンクリートに関して次の項目を整理した。

①打設分類：次の分類によって整理した。

1. 場所打ち(水中を除く)
2. 水中場所打ち
3. プレキャスト部材

②コンクリート分類：次の分類によって整理した。

1. 無筋コンクリート
2. 鉄筋コンクリート
3. プレストレストコンクリート

- ③ かぶり：かぶりについては設計値を整理した（実際のかぶりとは必ずしも一致しない）。
- ④ 空気量：配合計算書の値を整理した。
- ⑤ コンクリートの強度：設計基準強度を整理した。
- ⑥ 水セメント比：配合計算書の値を整理した。
- ⑦ スランプ：配合計算書の値を整理した。
- ⑧ セメントの種類：次の分類によって整理した。
 1. 普通ポルトランドセメント
 2. 早強ポルトランドセメント
 3. 高炉セメントA種
 4. 高炉セメントB種
 5. その他

(4) 上載荷重に関する事項

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項目について整理した。

① 総荷重、輪荷重および評価

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(t)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(t)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 a)のように定め、その合計値を同様の5段階評価の表-3 b)のように振り分けた。

② 対象バース取扱貨物量

調査対象施設の利用実態を表すデータとしては、船舶別の利用隻数およびそれら船舶の係船時間が望ましい。しかし、このようなデータは通常入手が困難なことが多く、特に、バース別のデータになると限られた統計資料しかえられない。

本調査では、各港の港湾統計年報や港湾審議会計画部の係留施設利用状況などの統計資料から、図-5に示すフローチャートに従って、対象バース取扱貨物量を求めた。なお、対象期間は、昭和50年から昭和59年までの10年間とした。

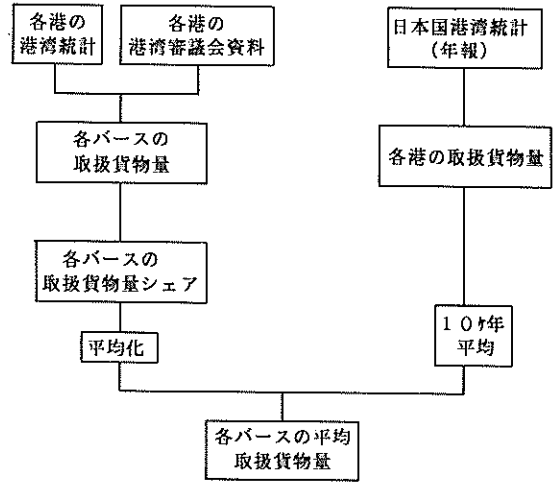


図-5 取扱貨物量算出フロー

(5) 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。

このために、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
対象施設の前面通過貨物量は、前述の方法(図-5)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(外航商船、内航商船および自航の計)の総トン数から、貨物1トン当り入港船舶1総トンとして換算を行った。

- ② 対象施設より奥にフェリーバースがある場合にはその利用隻数

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は5港である。これらの港湾については「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

表-3 上載荷重の評価基準

a) 総荷重、輪荷重の評価

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

b) 上載荷重評価

上載荷重評価	評価①+②
1	2
2	3
3	4.5
4	6.7
5	8 以上

とりまとめ、フェリーによる平均通過交通量を求めた。

③ 作業船等の船溜まりの有無、船溜まりがある場合には、その規模

④ 対象施設より奥に漁港がある場合には、その利用隻数

漁港区域内に漁港のある港湾は6港ある。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年から昭和55年の6年間についてとりまとめ漁船による平均通過交通量を求めた。

⑤ 対象施設前面に大きな交通量のある施設・運河の有無

これらの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）を基とするものとし、その基準を表-4に示す。なお、船溜りの有無については今回の調査ではその規模および利用船舶の実態が把握できぬため考慮しないこととした。また、対象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。

表-4 前面通過交通量の評価基準

評 価	総総トン数 (千総トン)
1	100以下
2	100～499
3	500～999
4	1000～4999
5	5000～9999
6	10000以上

(6) 風の影響

風の影響については、

- ① 海側全風出現頻度(%)
- ② 全方向強風(10m/s以上)出現頻度(%)
- ③ 海側強風出現頻度(%)

を求めることとした。なお、海側は対象施設法線を基準として定め、出現頻度は9方向(180°)の合計とした。利用したデータは港湾審議会計画資料である。

(7) 常時波浪の影響

通常、港内泊地や岸壁は、対象船舶の係留限界波高(0.3～0.7m)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0.3～0.7m以上の波

高別出現頻度、と②90～95%の0.3～0.7m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。しかしながら、対象29港96施設についてこれを求めることは、非常に膨大な作業量をとまなう。

このため、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(全ての港は、「港内泊地や岸壁は、対象船舶の係留限界波高(0.3～0.7m)の出現頻度が90～95%になるように整備されている。」ことになっているため、個別の港の差異は、無視できるとした。)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, 0.7mに対応する来襲波を、表-5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-6のような重みを考えることにより評価することとした。

上記の方法で、各港の重みつき頻度を求め、大きい順に並べたのが表-7である。さらに、この表をグループングして、1から6までの評価とした。この評価をもとに、各対象施設の、港湾内の位置も考慮して、対象施設の波浪の影響を数値化した。なお、表-7の重みつき頻度の数値は、計算値より100を差し引いたものである。

以上(1)～(7)の事項について資料収集した結果を表-8にまとめる。

表-5 来襲波の波高の目安

減衰係数 Kd'	施設前面 の波高 0.3m	施設前面 の波高 0.5m	施設前面 の波高 0.7m
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-6 重み付出現頻度

来襲波高	出現率(%)	重み	重みつき 出現頻度	
5.0m以上	0.1	7	0.7	合 計
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	

表一七 波浪の影響評価

整理番号	重みつき頻度	評価
4080	82.6	6
3110	44.5	6
6040	28.3	6
6010	14.4	6
4010	8.9	5
2070	8.0	5
6020	7.6	5
1050	5.8	5
2041	3.6	4
5050	3.2	4
4110	3.2	4
5030	2.6	4
5020	2.5	4
4120	1.7	3
2010	1.6	3
4040	1.6	3
2081	1.6	3
5040	1.5	3
3020	1.3	3
4030	1.2	3
2020	0.8	2
2030	0.5	2
3010	0.5	2
4140	0.2	1
3090	0.1	1
5010	0.1	1
3030	0.0	1
4130	0.0	1
4050	0.0	1

4. 劣化に関する各項目での概略の傾向

3章で述べた(1)～(7)の事項について、個々に調査結果の分布を調べ、特徴の概略を述べる。

(1) 劣化の程度に関する事項

各項目での調査結果の分布を図一6～10に示す。

a) 劣化評価

劣化評価を行った96施設のうち、最も多い評価は3で28.1% (27件/96件)、最も少ない評価は5で7.2% (7件/96件)であった。劣化評価の平均は、2.3である。

b) 劣化内容(ひびわれ、剥離、錆汁の個数)

劣化内容は、バース延長の差異を考え単位延長当りの劣化個数として傾向を求めた。それぞれの平均は、ひびわれ0.107個、剥離0.044個、錆汁0.052個である。

ひびわれ、剥離、錆汁それぞれ単位延長当り1.0個未満が大半を占めている。また、単位延長当り0が多いようである。

c) 単位延長当り劣化個数

単位延長当り劣化個数の平均は0.199個、最頻値は0.01～0.09個で33.3% (32件/96件)、次に0.1～0.19個で(26件/96件)、劣化のない栈橋は17.7% (17件/96件)であった。

(2) 栈橋の構造に関する事項

各項目での調査結果の分布を図一11～14に示す。

a) 設置水深

設置水深は平均9.4mで、分布は9～10.9mの範囲が57.2% (55件/96件)と全体の半数を占めている。この中でも特に10mが49件(51%)と全体の半数である。

b) バース延長

バース延長は平均194mで、分布は100～199mが36.4% (35件/96件)、200～299mが37.5% (36件/96件)と200m前後の延長の栈橋が多い。調査した栈橋で最長は527m、最短は18.6mである。

c) 天端高とH. W. L. の差

天端高とH. W. L. の差は平均1.168mで、分布は全体の半数が、0.5～0.99mで51% (48件/94件)と多く、次に1.0～1.49mで19.1% (48件/94件)である。

d) 経過年数

経過年数は平均16.1年、分布は16～20年の栈橋が最も多く37.8% (36件/95件)、次に11～15年の栈橋が27.3% (26件/95件)となっている。最も古い栈橋は経過年数が50年(6件)である。

(3) コンクリートの品質に関する事項

各項目での調査結果の分布を図一15～22に示す。

a) 打設分類

コンクリートの打設は、場所打ちがほとんどで95.4% (83件/87件)、他はプレキャストで行なっている。水中場所打ちは行っていない。

b) コンクリート分類

鉄筋コンクリートが98.8% (86件/87件)で、残り1件は、無筋コンクリートである。プレストレストコンクリートは用いられていない。

c) かぶり

かぶりは平均7.5cm、分布は5cm～10cmの範囲で、特に8cm(33.7% (28件/83件))と7cm(24.0% (20件/83件))が比較的多く用いられている。

d) 空気量

空気量は平均4.04%で、分布は3～5%の範囲内にあ

り、最も多いのは5.0%で42.4% (28件/66件)、少ないのは4.0%で6.0% (4件/66件) となっている。

e) 強度

設計基準強度は平均235 kgf/cm²で、分布は210 kgf/cm²と240 kgf/cm²が多く用いられ、ともに42.6% (35件/82件) である。

f) 水セメント比

水セメント比は平均52%で、分布は50~54%が73.6% (42件/57件) と最も多く用いられている。ただし、水セメント比は、値のわからない栈橋が39件と特に多く、57件のみの分布である。

g) スランプ

スランプは平均14cmで、分布は17cmが31.3% (21件/67件) で比較的大きな値が用いられているようである。それ以外は、15cmと12cmが、それぞれ28.3% (19件/67件)、19.4% (13件/67件) 用いられている。

h) セメント種類

セメントは、普通ポルトランドセメントが77.2% (61件/79件) と最も多く用いられている。高炉セメントは、B種のみ用いられA種は用いられていない。

(4) 上載荷重に関する事項

各項目での調査結果の分布を図-23~27に示す。

a) 総荷重

総荷重は平均53.4トンで、分布は10~29トンと30~69トンが共に30% (27件/90件) で、2つで半数以上を占め、次に多いのは70~99トンで22.2% (20件/90件) である。100トンを超えるものは6.6% (6件/90件) と少ない。

b) 輪荷重

輪荷重は平均16トンで、分布は10トン未満が41.1% (37件/90件) と最も多い。荷重の小さなものが最も件数が多く、荷重が大きくなるにつれ件数は少なくなっている。

c) 上載荷重評価

評価の平均は3で、最も多い評価は4で38.8% (35件/90件)、次に2で25.5% (23件/90件)、評価が5というのは少なく6件 (6.6%) だけである。

d) 平均取扱貨物量

平均取扱貨物量は平均372.5千トン、分布は100~299千トンが37.5% (33件/88件) で最も多く、500千トン未満が大半である。

e) 単位延長貨物量

平均取扱貨物量をバース延長で割った値である。

平均は1.621千トン、分布は1.0千トン未満が34.0% (30件/88件) と最も多く、次に1.0~1.9千トンで32.9% (29件/88件) が多い。3.0千トン未満が大半である。

(5) 前面通過交通量

前面通過交通量は、調査した4つの項目 (前面通過貨物量、フェリー通過隻数、漁船利用隻数、船溜り) の総合評価 (前面通過交通評価) より分布を求めた。結果を図-28に示す。

評価4と2が27.3% (26件/95件)、21.0% (20件/95件) と共に20%台、それ以外は10%台である。飛びぬけて大きいものはない。

(6) 風の影響

各項目での調査結果の分布を図-29~31に示す。

a) 海側全風出現頻度

海側全風出現頻度の平均は52.15%、分布は出現頻度40~49%が36.4% (35件/96件) と最も多く、次に出現頻度60~69%が26.0% (25件/96件) と多い。30~69%の範囲内がほとんどである。

b) 全方向強風出現頻度

全方向強風出現頻度の平均は3.743%、分布は出現頻度2~2.99%が37.5% (36件/96件) と最も多く、次に出現頻度1%未満が22.9% (22件/96件)、出現頻度3~3.99%が14.5% (14件/96件) と多い。主に4.0%未満での出現頻度が多いようである。

c) 海側強風出現頻度

海側強風出現頻度の平均は1.814%、分布は出現頻度1~1.99%が33.3% (32件/96件) と最も多く、次に2~2.99%が18.7% (18件/96件) と多い。主に3.0%未満での出現頻度が多いようである。

(7) 常時波浪の影響

波浪の影響の分布を図-32に示す。波浪の影響の平均は2.4、分布は1~6の評価のうちで最も多いのが1で37.2% (35件/94件)、次に3で28.7% (27件/94件)、その次に2で15.9% (15件/94件) というように3以下に集中している。

表-8 調査結果一覧

整理番号	設置水深	バリエーション	天端高差の差	経過年数	打設分類	コンクリート強度	かぶり	空気量	強度	弾性係数	水セメント比	セメント種類	上載高	最大取付高	平均取付高	単位重量	前通風物質量	アース通過物質量	船舶変数	船着り	前面通過	海面強風	全方向強風	波の襲撃	劣化内容	単位長さ当り割戻し割合						
201003	10.0	212	1.20	19	1	2	4.0	7.4	240	46	10	1	20	8	2	300	1.4	1500	0	0	4	58.2	0.59	0.28	5	2	12	8	0	0.09		
201005	10.0	185	1.30	14	1	2	6	8.5	210	12	1	20	8	2	200	1.1	500	0	0	0	3	48.7	0.49	0.16	2	4	15	2	4	0.09		
201019	11.0	200	0.71	14	1	2	8.45	21.0	210	50	17	1	15	10	3	300	1.5	200	0	0	1	2	60.8	2.98	1.21	2	1	4	2	2	0.04	
201020	11.0	200	0.71	14	1	2	8.45	21.0	210	50	17	1	51	10	3	200	1.0	800	0	0	1	3	60.8	2.98	1.21	2	1	4	2	4	8.007	
201021	11.0	200	0.71	14	1	2	8.45	21.0	210	50	17	1	51	10	3	0	0.0	1000	0	0	0	1	4	60.8	2.98	1.21	2	3	12	4	22	0.19
201022	10.0	200	0.71	16	1	2	8.30	21.0	210	50	17	1	72	10	4	400	2.0	100	0	0	0	1	2	60.8	2.98	1.21	3	3	16	14	14	0.22
201023	10.0	200	0.71	16	1	2	8.30	21.0	210	50	17	1	72	10	4	400	2.0	900	0	0	0	1	4	60.8	2.98	1.21	3	1	18	11	1	0.15
201024	10.0	200	0.71	16	1	2	8.30	21.0	210	50	17	1	72	10	4	400	2.0	1300	0	0	0	1	4	47.6	2.98	2.02	2	1	12	11	2	0.13
201028	10.0	200	0.71	16	1	2	8.45	21.0	210	50	17	1	72	10	4	400	2.0	1500	0	0	0	1	4	47.6	2.98	2.02	2	1	14	4	5	0.12
201029	10.0	200	0.71	16	1	2	8.45	21.0	210	50	17	1	72	10	4	400	2.0	1000	0	0	0	1	2	47.6	2.98	2.02	3	1	12	10	2	0.12
201030	10.0	200	0.71	16	1	2	8.45	21.0	210	50	17	1	72	10	4	400	2.0	300	0	0	0	1	2	47.6	2.98	2.02	3	1	12	10	2	0.12
201032	10.0	200	0.71	16	1	2	8.45	21.0	210	50	17	1	72	10	4	400	2.0	1100	0	0	0	1	4	60.8	2.98	1.21	3	3	22	3	1	0.13
201033	10.0	217	0.71	16	1	2	8.45	21.0	210	50	17	1	72	10	4	400	1.8	1800	0	0	0	1	4	60.8	2.98	1.21	3	3	22	3	4	0.11
201034	10.0	183	0.71	16	1	2	8.45	21.0	210	50	17	1	72	10	4	400	2.0	1100	0	0	0	1	4	60.8	2.98	1.21	3	3	22	3	1	0.13
201035	10.0	183	0.71	16	1	2	8.45	21.0	210	50	17	1	72	10	4	400	1.6	2500	0	0	0	1	4	60.8	2.98	1.21	3	3	16	4	4	0.13
201036	10.0	200	0.71	16	1	2	8.45	21.0	210	50	17	1	72	10	4	400	2.0	1900	0	0	0	1	4	47.6	2.98	2.02	1	2	38	7	3	0.24
201037	10.0	200	0.71	16	1	2	8.45	21.0	210	50	17	1	72	10	4	400	2.0	3600	0	0	0	1	4	47.6	2.98	2.02	1	2	13	7	3	0.12
201038	10.0	200	0.71	16	1	2	8.45	21.0	210	50	17	1	72	10	4	400	2.0	1900	0	0	0	1	4	47.6	2.98	2.02	1	3	12	24	15	0.26
201039	10.0	200	0.71	16	1	2	8.45	21.0	210	50	17	1	72	10	4	400	1.5	1100	0	0	0	1	4	47.6	2.98	2.02	1	2	22	37	11	0.35
201041	10.0	200	0.71	17	1	2	8.45	21.0	210	50	17	1	72	10	4	1100	5.5	3400	0	0	0	1	4	60.8	2.98	1.21	1	3	19	9	14	0.21
201042	10.0	200	0.71	17	1	2	8.45	21.0	210	50	17	1	72	10	4	600	3.0	1900	0	0	0	1	4	60.8	2.98	1.21	1	2	12	4	7	0.12
201043	10.0	200	0.71	17	1	2	8.45	21.0	210	50	17	1	72	10	4	1200	6.0	2900	0	0	0	1	4	60.8	2.98	1.21	1	3	0	0	1	0.01
201047	12.0	200	0.59	26	3	2	6.30	21.0	210	50	18	1	33	6	3	200	1.0	200	0	0	0	0	2	60.8	2.98	1.21	1	3	0	0	0	0.18
201048	12.0	220	0.61	21	1	2	7.30	21.0	210	50	15	1	33	6	3	200	0.9	500	0	0	0	0	2	60.8	2.98	1.21	2	3	0	0	24	0.13
201052	10.0	180	0.61	22	1	2	7.30	21.0	210	50	15	1	33	6	3	200	1.1	200	0	0	0	1	2	60.8	2.98	1.21	1	5	9	0	17	0.16
201055	10.0	180	0.61	22	1	2	7.30	21.0	210	50	15	1	33	6	3	200	1.1	600	0	0	0	1	3	47.6	2.98	2.02	1	3	1	0	20	0.11
201102	12.0	65	0.71	9	1	2	7.40	240	15	1	5	3	1	5	3	1	700	2.3	0	0	0	0	6	38.2	2.98	2.02	1	1	3	1	0	0.06
201132	8.5	161	0.51	50	1	2	7	4.0	300	8	2	7	3	1	100	0.6	40	0	0	0	0	1	47.6	2.98	2.02	1	5	10	0	14	0.15	
201133	12.0	161	0.51	50	1	2	7.40	300	43	8	2	7	3	1	20	0.1	100	0	0	0	1	2	47.6	2.98	2.02	1	2	0	0	1	0.01	
203086	10.0	200	1.82	14	1	2	10.40	240	15	1	18	7	2	2	100	0.5	500	0	0	0	0	3	48.4	3.42	3.24	2	4	155	63	0	1.09	
203087	10.0	200	1.82	13	1	2	10.40	240	15	1	18	7	2	2	100	0.5	700	0	0	0	0	3	48.4	3.42	3.24	2	4	107	77	0	0.92	
203088	10.0	200	1.82	12	1	2	10.40	240	15	1	20	26	3	200	1.0	20000	0	0	0	0	1	6	38.5	3.42	3.35	2	3	0	5	0	0.03	
203089	10.0	200	2.00	11	1	2	5.40	240	15	1	4	5	1	100	0.5	20000	0	0	0	0	1	6	38.5	3.42	3.35	2	3	0	9	0	0.05	
204109	5.5	161	1.00	12	1	2	7	240	15	1	20	8	2	0	0.0	50	0	0	0	0	0	1	57.3	3.05	0.44	4	1	0	2	1	0.02	
204108	7.5	107	1.00	11	1	2	7	240	20	8	2	8	2	10	0.1	50	0	0	0	0	0	1	57.3	3.05	0.44	4	0	0	0	0	0.00	
204060	10.0	193	1.80	18	1	2	7	240	20	8	2	8	2	200	1.0	300	0	0	0	0	0	2	44.6	3.05	2.17	2	0	0	0	0	0.00	
202057	10.0	180	0.61	20	1	2	7.30	210	50	15	1	37	44	4	700	3.9	0	0	0	0	6	40.1	1.45	1.21	2	4	69	9	0	0.43		
202058	10.0	180	0.61	18	1	2	7.30	210	50	15	1	37	44	4	900	5.0	0	0	0	0	6	40.1	1.45	1.21	2	3	24	0	0	0.13		
207068	5.0	436	0.80	1	1	2	5.45	240	49	15	1	20	8	2	200	0.5	0	0	0	0	0	1	37.8	0.07	0.03	5	2	0	4	0	0.01	
208113	7.5	260	2.00	0	1	2	10.45	240	60	15	1	47	27	4	0.0	0	0	0	0	0	0	1	38.2	10.87	3.32	3	0	0	0	0	0.00	
301002	10.0	165	2.27	19	1	2	9.40	240	50	15	1	50	10	3	200	1.2	200	0	0	0	0	2	44.1	3.13	1.09	1	4	1	4	0	0.00	
301044	10.0	175	2.30	1	1	2	9.40	240	65	12	4	91	43	5	100	0.6	0	0	0	0	1	37.9	3.13	2.07	1	0	0	0	0	0.00		
301043	7.5	155	1.00	2	1	2	8.40	240	60	12	4	8	3	1	0.0	0	0	0	0	0	1	180.3	3.13	3.13	1	0	0	0	0	0.00		

302024	10.0	150	2.50	12	1	2	5	4.0	240	15	1	47	27	4	200	1.3	3,700	0	0	1	4	75.6	0.62	0.56	3	2	3	1	0	0.03				
302025	10.0	185	2.50	11	1	2	5	4.0	240	15	1	47	27	4	200	1.1	3,900	0	0	1	4	75.6	0.62	0.56	3	2	2	2	0	0.02				
303022	10.0	170	0.92	21	2							35	44	4	1,100	6.5	5,000	0	0	0	5	34.4	0.14	0.04	1	4	4	1	1	0.11				
303034	10.0	170	0.80	14	2	7			210			35	44	4	1,100	6.5	5,000	0	0	0	5	34.4	0.14	0.04	1	3	4	1	4	0.05				
303035	10.0	200	0.95	14					210			35	44	4	1,100	5.5	5,000	0	0	0	5	34.4	0.14	0.04	1	4	9	6	4	0.10				
309037	7.5	260	1.50	17	1	2	7		240			38	10	3	300	12	1,400	340	4,200	0	5	66.6	4.04	3.88	1	3	45	9	46	0.38				
311041	10.0	20	1.70	11	1	2	7		240			32	13	3	500	2.7		0	0	0	3	40.8	21.60	9.97	4	3	2	4	0.45					
311042	10.0	186	2.20	10	1	2	7		240			40	23	4	10	0.1		0	0	0	3	45.9	21.60	10.16	2	2	0	1	1	0.11				
401042	5.5	19	0.72	20	1							15	24	3	10	0.5	70	1,100	0	0	4	40.6	10.16	4.28	3	3	10	0	6	0.84				
401142	5.5	40	0.72	20	1							15	24	3	20	0.5	70	1,100	0	0	4	40.6	10.16	4.28	3	3	5	0	1	0.15				
401242	5.5	28	0.72	20	1							15	24	3	10	0.5	70	1,100	0	0	4	40.6	10.16	4.28	3	3	6	0	3	0.32				
403001	3.0	993	1.20	0	1	2	8	4.0	240	50	12	2			0	0	0	0	0	1	39.7	0.32	0.19	3	0	0	0	0	0.00					
404021	10.0	35.4	1.46	13	1	2	8	4.0	270	52	12	1	20	8	2	200	5.6	6,400	0	0	5	58.6	0.65	0.59	3	0	0	0	0	0.00				
404022	10.0	385	1.46	13	1	2	8	4.0	270	52	12	1	20	8	2	2,200	6.6	6,400	0	0	5	58.6	0.65	0.59	3	0	0	0	0	0.00				
404065	7.5	130	1.46	7	1	2	10	4.0	240	55	12	1	20	8	2	200	1.5	6,200	0	0	5	58.6	0.65	0.59	3	0	0	0	0	0.00				
405066	10.0	370	2.20	7	1	1						8	5	1	300	0.8	400	2,600	0	0	4	38.3	0.20	0.10	1	2	1	4	0	0.01				
408048	9.0	185	1.50	3	3	2	10	4.0	240	55	8	1	39	44	4	0	0	200	0	0	2	160.8	0.94	0.93	6	3	43	0	0	0.23				
411044	7.5	52.2	1.07	22	1	2	10					1			200	3.8	300	0	0	1	2	49.9	10.56	1.74	4	5	48	22	47	2.24				
411045	7.5	109	1.07	17	1	2	10		210			82	97	5	100	0.9	500	0	0	1	3	49.9	10.56	1.74	4	3	134	14	55	1.86				
411046	9.0	142	1.07	15	1	2	4		210			82	97	5	30	0.2	600	2,000	0	1	4	49.9	10.56	1.74	4	3	120	28	57	1.45				
412068	10.0	206	0.94	8	1	2	7	4.0	240	60		5	36	17	3	200	1.9	1,000		0	1	4	54.7	0.51	0.21	3	4	1	0	3	0.02			
412069	9.0	165	0.94	9	1	2	5	4.0	240	60		5	36	17	3	200	1.2	900	0	0	1	3	54.7	0.51	0.21	3	4	1	0	1	0.01			
412070	11.0	180	1.17	20	1	2	5	4.0	210	60		5	236	15	4	600	3.3	100	0	0	2	66.4	0.51	0.37	3	4	1	2	3	0.03				
412071	11.0	375	1.17	16	1	2	5	4.0	210	60		5	236	15	4	1,200	3.2	100	0	0	2	66.4	0.51	0.37	3	4	0	5	5	0.03				
412072	7.5	130	1.17	17	1	2	5	4.0	210	60		5	236	15	4	100	0.8	0	0	0	1	66.4	0.51	0.37	3	5	2	4	0	0.05				
412073	12.5	248	0.99	5	1	2			240			5	277	21	5	600	2.4	1,900	0	1	4	56.2	0.51	0.20	3	0	2	0	0	0.00				
413040	11.0	527		18	1	2	5	4.0		47	10	1	37	53	4	400	0.8		14,300	0	0	6	56.3	0.97	0.93	1	2	5	4	0	0.02			
414014	10.0	370	0.74	9	1	2	10	4.0	270	52	12	1	13	7	2	30	0.1	0	0	0	6	56.3	3.09	1.55	1	1	0	1	0	0.00				
414015	9.0	32	0.54	19	1	2	8	4.0	330	47	10	1			0	0		0	0	1	66.5	3.09	1.52	1	3	0	1	2	0.09					
414019	10.0	370	0.54	13	3	2	10	4.0	270	55	12	1	17	9	2	100	0.3	500	5,500	0	0	5	44.3	3.09	1.82	1	2	0	0	0	0.00			
414020	7.5	260	0.54	14	3	2	6	4.0	320	51	10	1	17	9	2	500	1.9	0	5,500	0	0	5	44.3	3.09	1.82	1	1	0	4	0	0.02			
501009	10.0	250	2.20	19	1	2	10		240			1	20	8	2	500	2.0	200	0	0	2	73.3	2.96	3.60	1	4	45	23	0	0.27				
501047	12.0	527	2.20	11	1	2	10	4.0	240	15	1	20	8	2	2,400	4.6		0	0	1	6	32.3	2.96	0.52	1	3	73	20	0	0.18				
501049	10.0	400	2.20	2	1	2	10	4.0	240	55	12	1	20	8	2		0.0		0	0	1	6	32.3	2.96	0.52	1	0	0	0	0	0.00			
502018	12.0	240	2.44	8	1	2	8	4.0	240	54	15	1	350	25	5	1,300	5.4	700	0	0	0	3	71.6	1.33	0.87	4	3	9	0	4	0.05			
502039	12.0	240	2.44	1	2	9	4.0	240	240	12		350	25	5	400	1.7	600	0	0	0	3	71.6	1.33	0.87	4	0	0	0	0	0.00				
503045	12.0	240	1.60	6	1	2	5	4.0	240	54	15	1	35	20	4		0.0	50	0	0	1	57.0	0.37	0.07	3	0	0	0	0	0.00				
504040	10.0	28	1.28	5	1	2	8	4.0	240	15	1						0.0		0	0	1	16.4	2.64	0.78	3	0	0	0	0	0.00				
505004	9.0	329	1.00	22								20	8	2	200	0.6	1,200	0	0	0	4	53.8	6.91	3.44	2	3	6	4	5	0.05				
505005	10.0	413	1.30	18	1	2	5		210			41	23	4	200	0.5	300	0	0	0	2	46.3	6.91	4.22	4	3	19	0	0	0.05				
505006	10.0	389	1.80	16	1	2	5		240			41	23	4	500	1.3	400	0	1	1	2	50.3	6.91	2.96	4	2	1	6	0	0.02				
505007	12.0	89	1.80	15	1	2	8		240			41	23	4	500	1.1	1,400	0	0	1	4	50.3	6.91	2.96	3	0	0	0	0	0.00				
601020	9.0	142										20	8	2	100	0.7	200	0	0	0	2	47.9	30.40	9.78	3	1	4	8	0	0.08				
602076	5.0	120	0.95	10	2	10	5.0		276	48	8	4			0	0	0	0	1	1	52.9	6.54	4.87	5	2	18	1	0	0.16					
604042	7.5	160	2.00	14		8						20	8	2	400	2.5	200	0	0	0	2	48.5	1.70	1.57	5	3	59	23	54	0.85				
604043	7.5	130	2.00	13	1	2	8		302	55	8	4	20	8	2	200	1.5	0	0	0	1	48.5	1.70	1.57	5	2	34	11	10	0.42				
604044	5.5	90	2.00	12	1	2	7	4.5	240	50	12	5	20	8	2	100	1.1	0	0	0	1	48.5	1.70	1.57	5	0	15	2	5	0.24				
604045	5.5	103	2.00	12	1	2	7	4.5	240	50	12	5	20	8	2	100	1.0	600	0	0	0	3	48.5	1.70	1.57	5	0	12	2	1	0.14			
データ数	96	96	94	95	87	87	83	67	82	57	67	79	90	90	90	88	96	83	96	96	94	95	96	96	94	96	96	96	96	96	96	96	96	96
平均	9.4	194	1.68	16.1				7.5	4.04	235	52	14	53.4	16	3	372.5	1.621	1,678	349	44	3.3	52.15	3.743	1.814	2.4	2.3	17	8	7	0.199				
標準偏差	1.9	99.8	0.608	10.4				1.6	0.48	28.8	4.4	3.2	66.6	17	1	426.3	1.668	3.356	1,670	426	1.6	11.3	4.6	1.85	1.3	1.5	31	23	14	0.366				

劣化評価

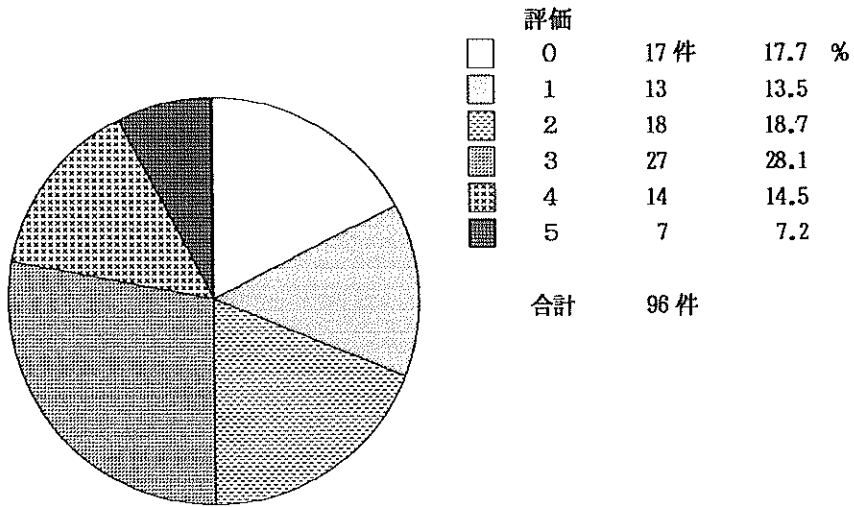


図-6 劣化評価の分布

単位延長当り ひびわれ

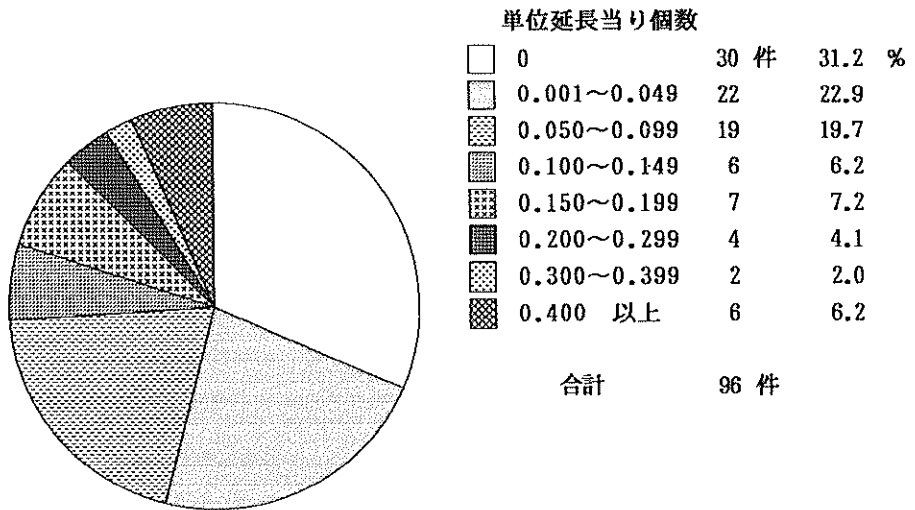


図-7 単位延長当りひびわれの分布

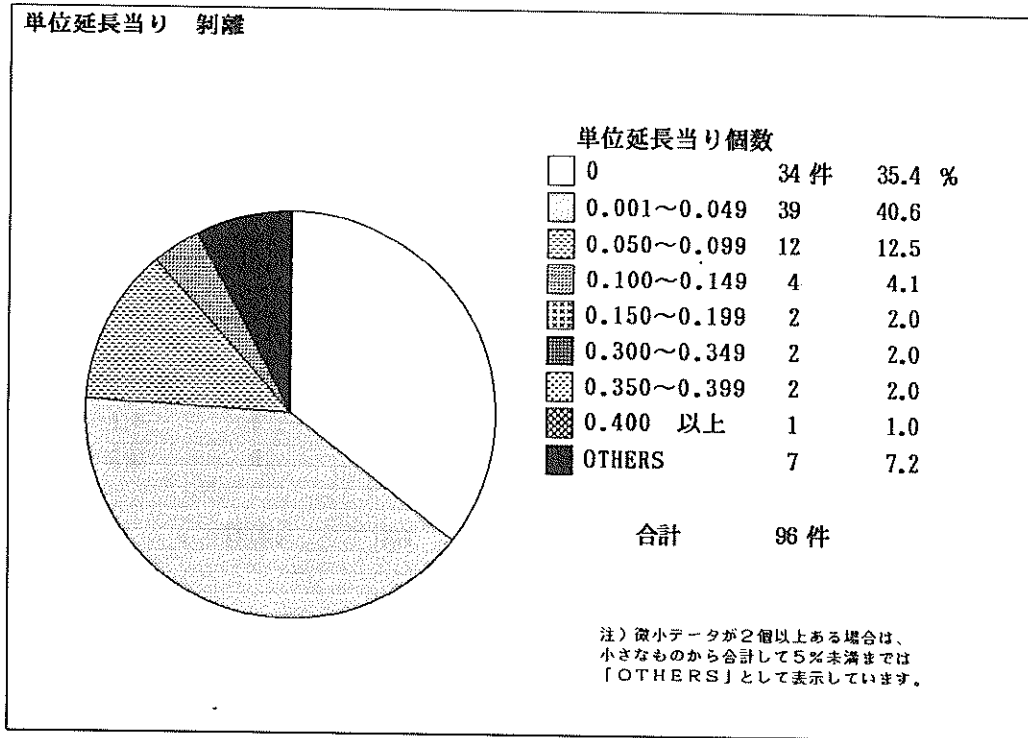


図-8 単位延長当り剥離の分布

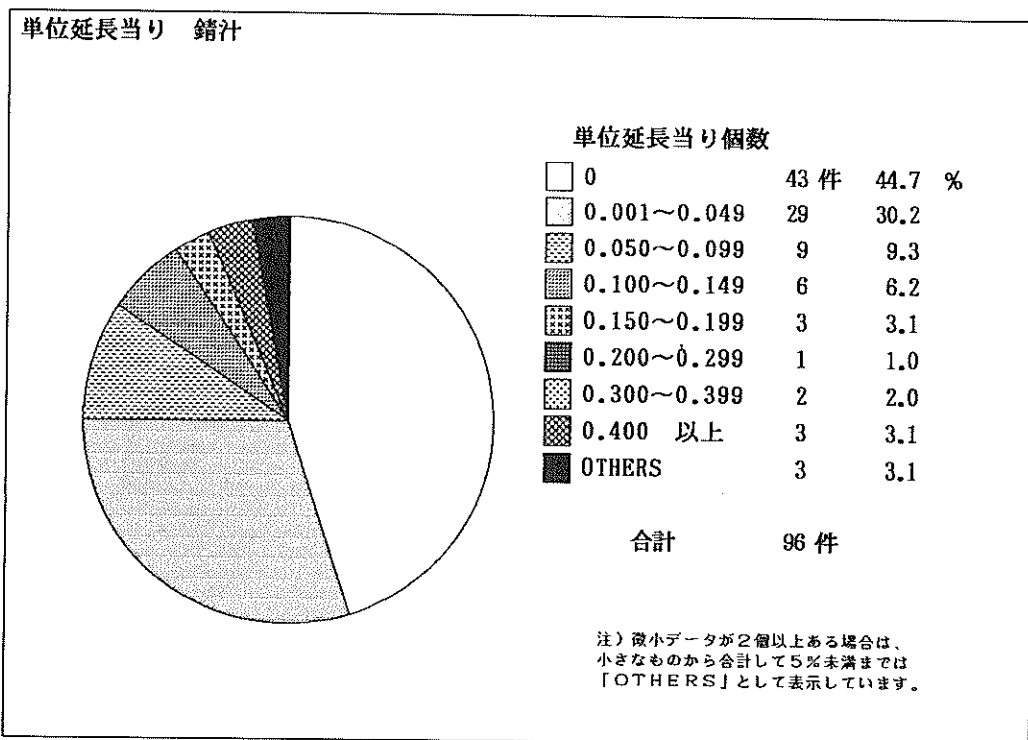
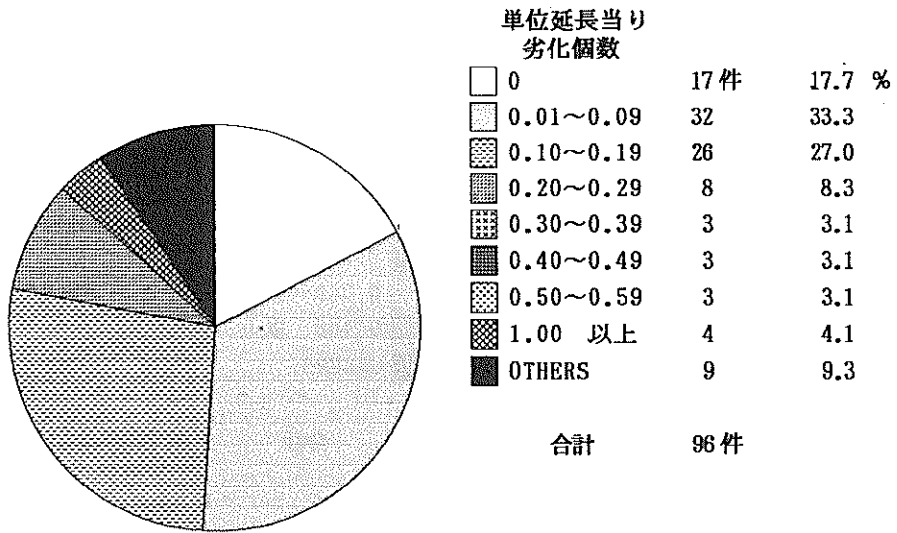


図-9 単位延長当り錆汁の分布

単位延長当り劣化個数



注) 微小データが2個以上ある場合は、小さなものから合計して5%未満までは「OTHERS」として表示しています。

図-10 単位延長当り劣化個数の分布

設置水深

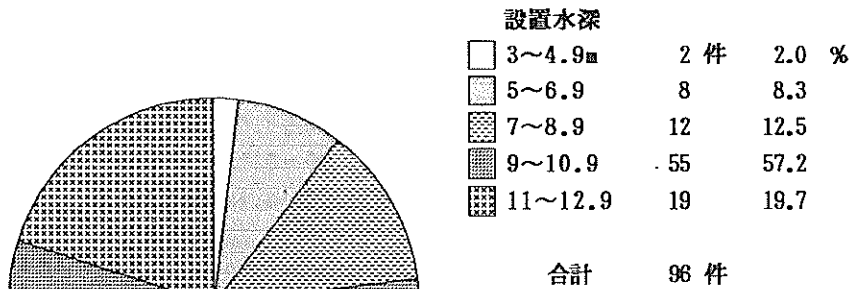


図-11 設置水深の分布

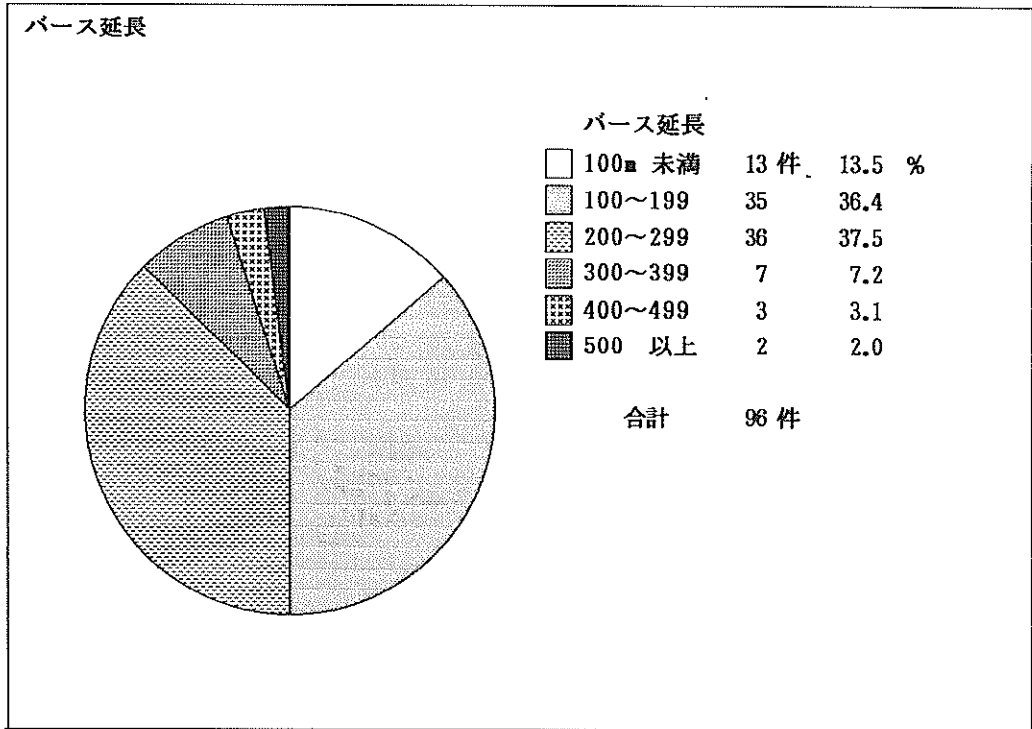


図-12 バース延長の分布

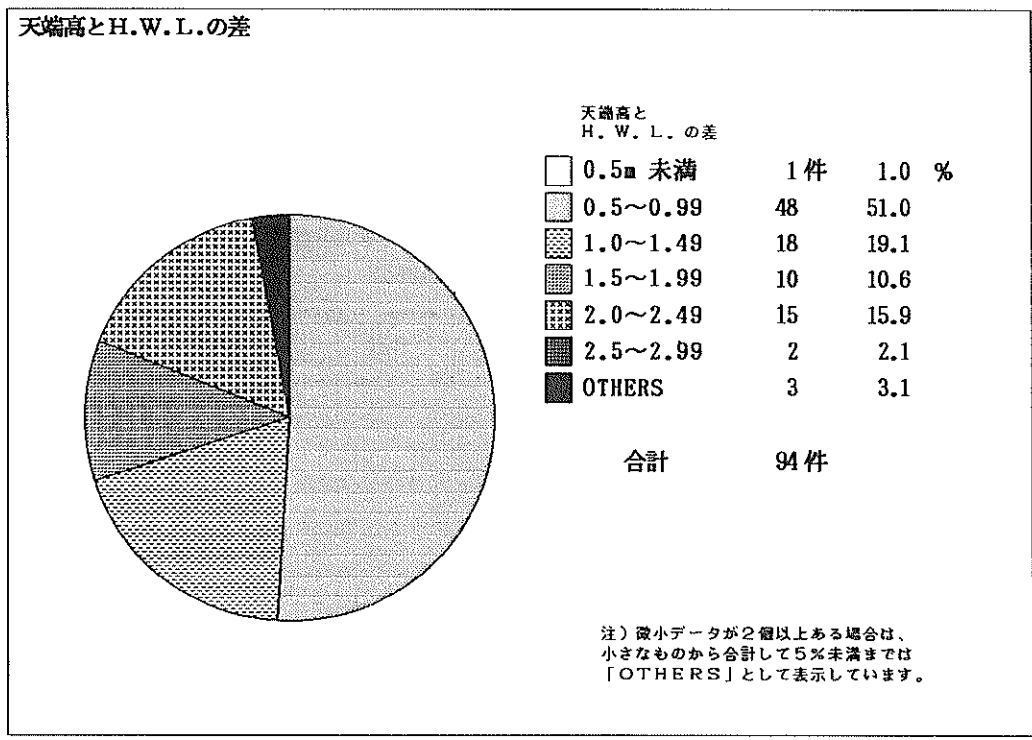


図-13 天端高とH. W. Lの差の分布

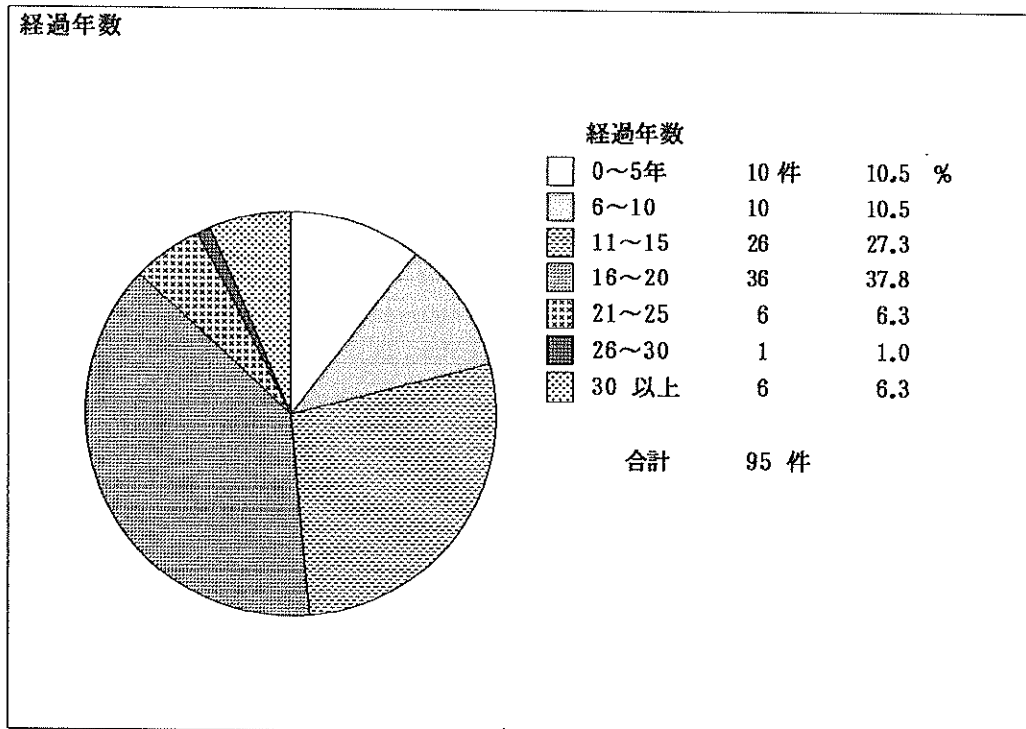


図-14 経過年数の分布

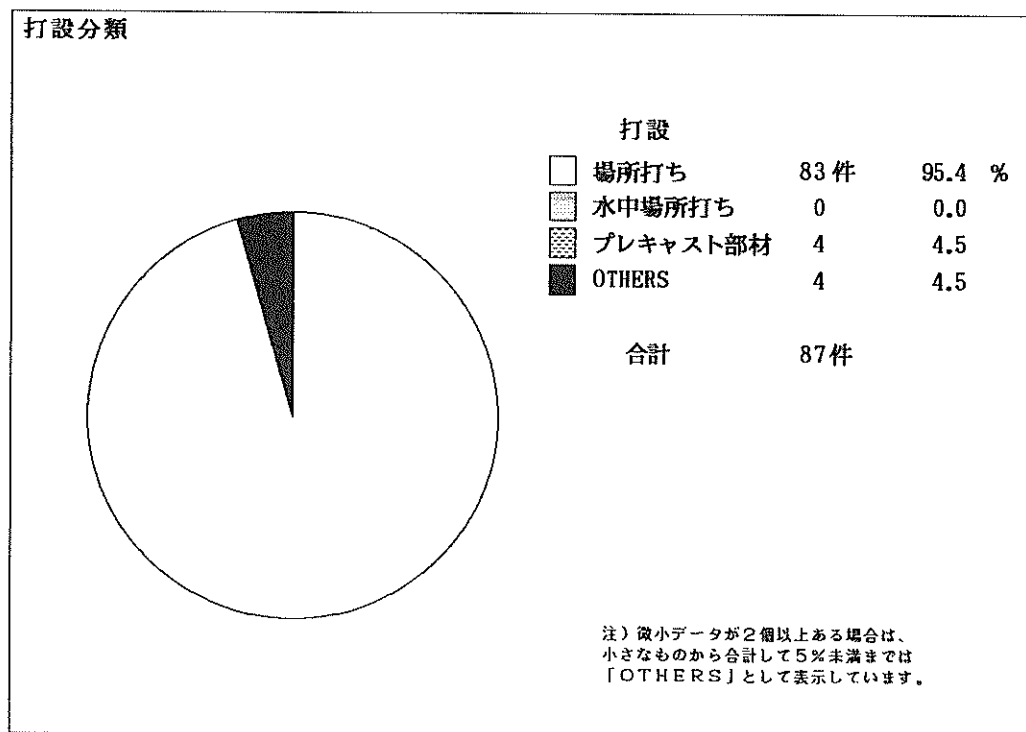


図-15 打設分類の分布

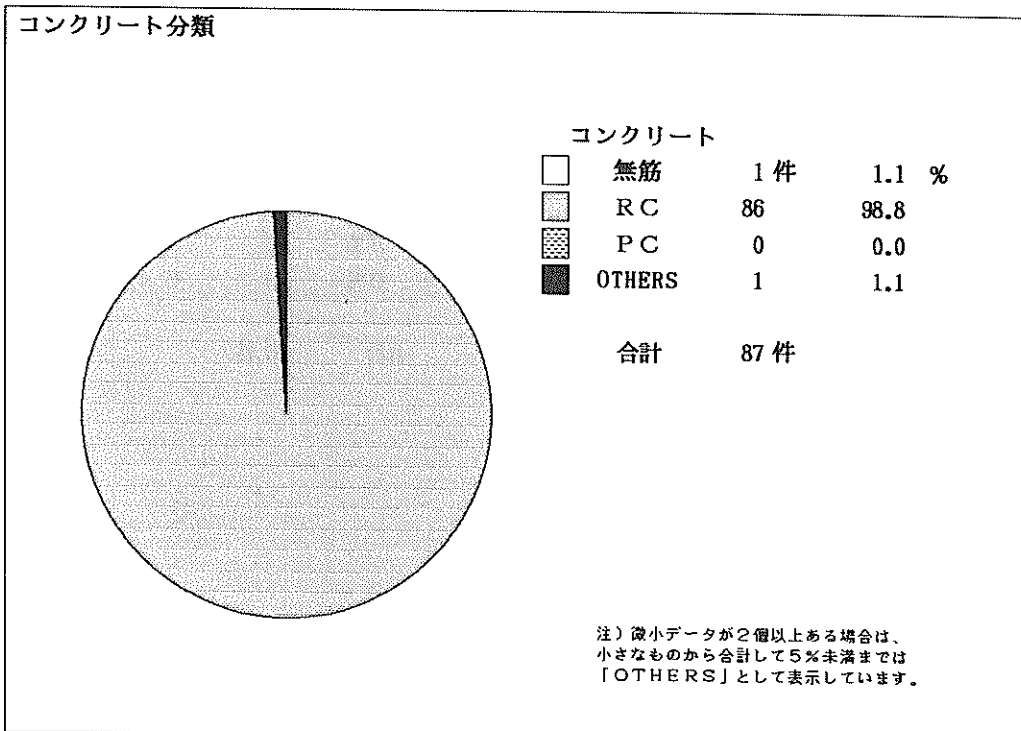


図-16 コンクリート分類の分布

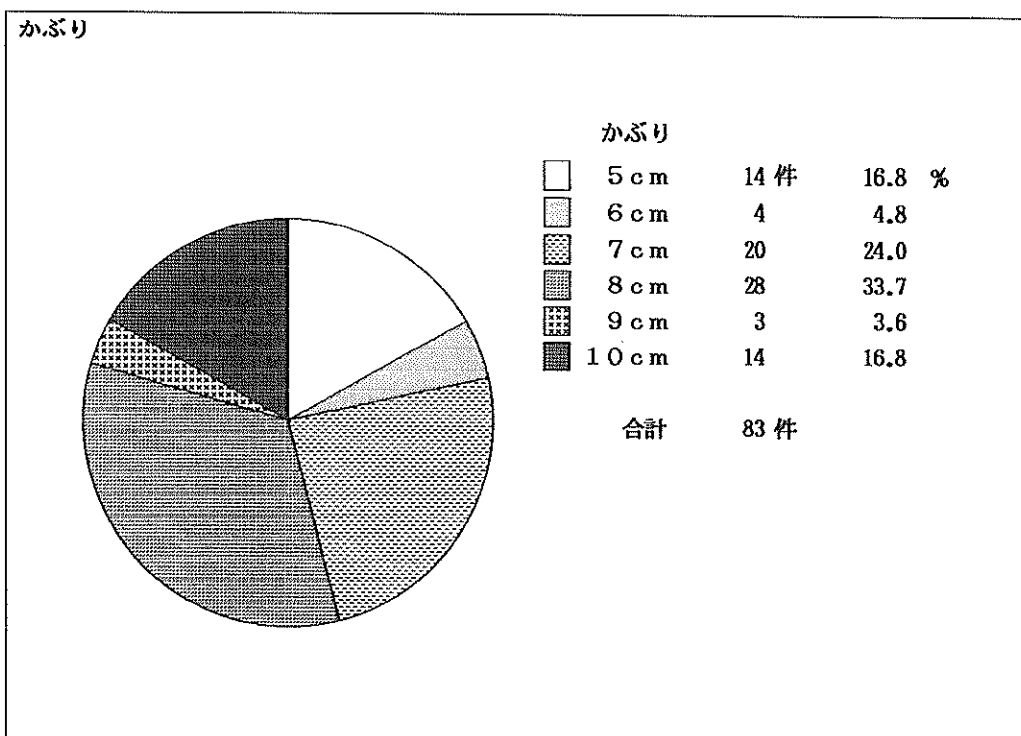


図-17 かぶりの分布

空気量

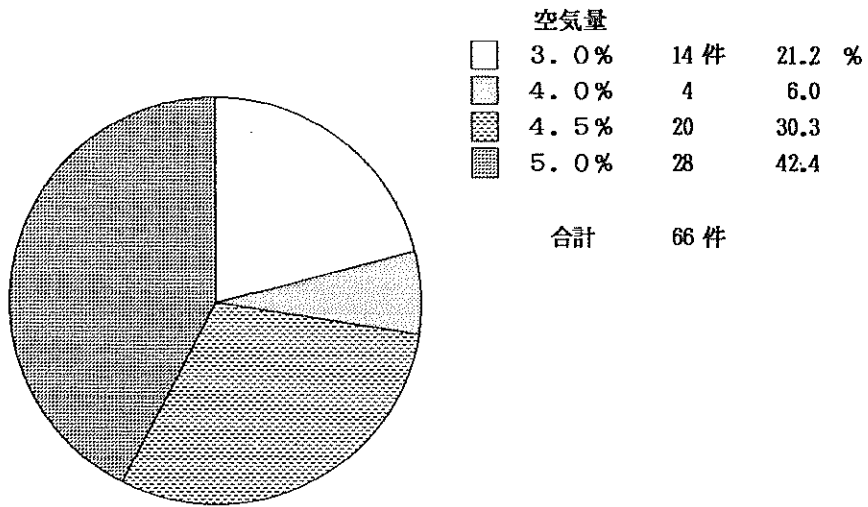
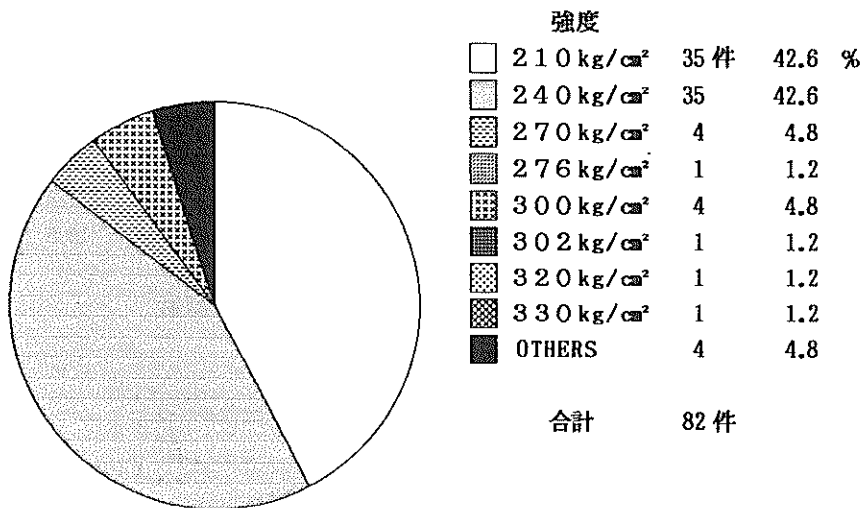


図-18 空気量の分布

コンクリートの強度



注) 微小データが2個以上ある場合は、
小さなものから合計して5%未満までは
「OTHERS」として表示しています。

図-19 強度の分布

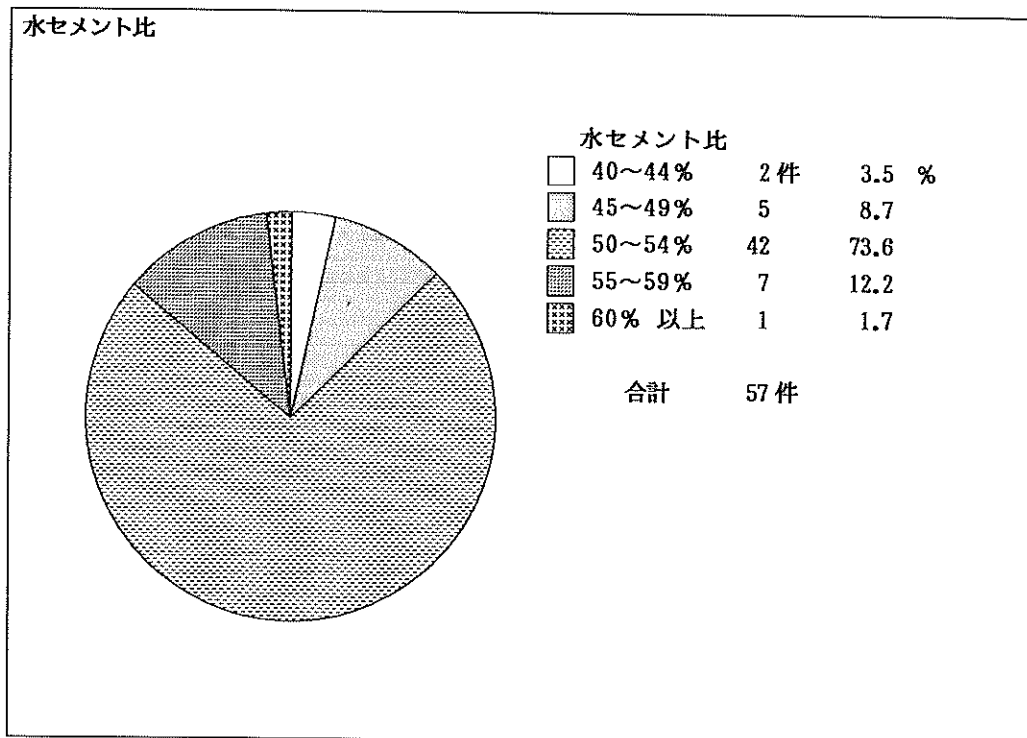


図-20 水セメント比の分布

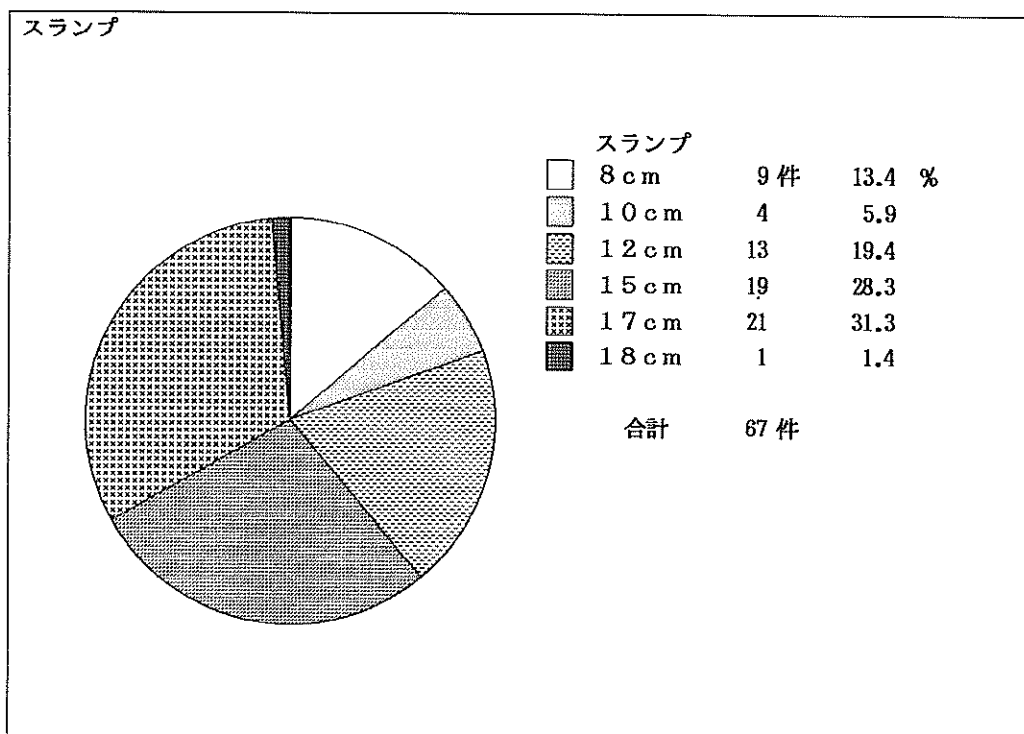


図-21 スランプの分布

セメント種類

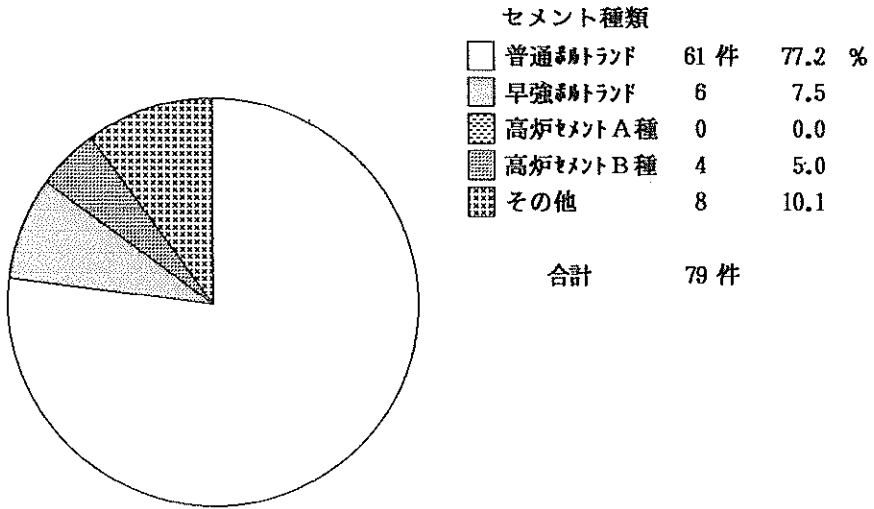


図-22 セメント種類の分布

総荷重

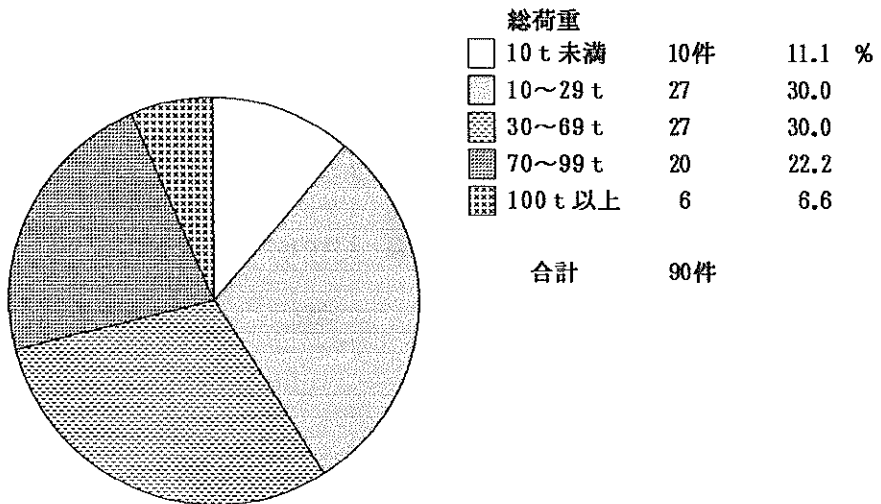


図-23 総荷重の分布

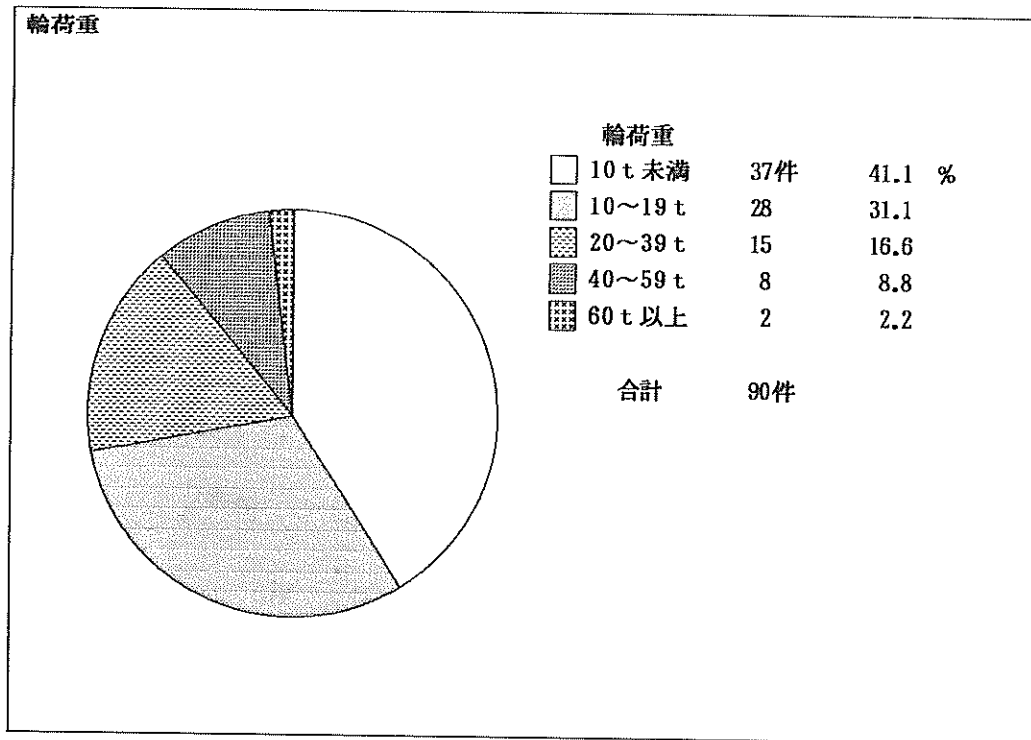


図-24 輪荷重の分布

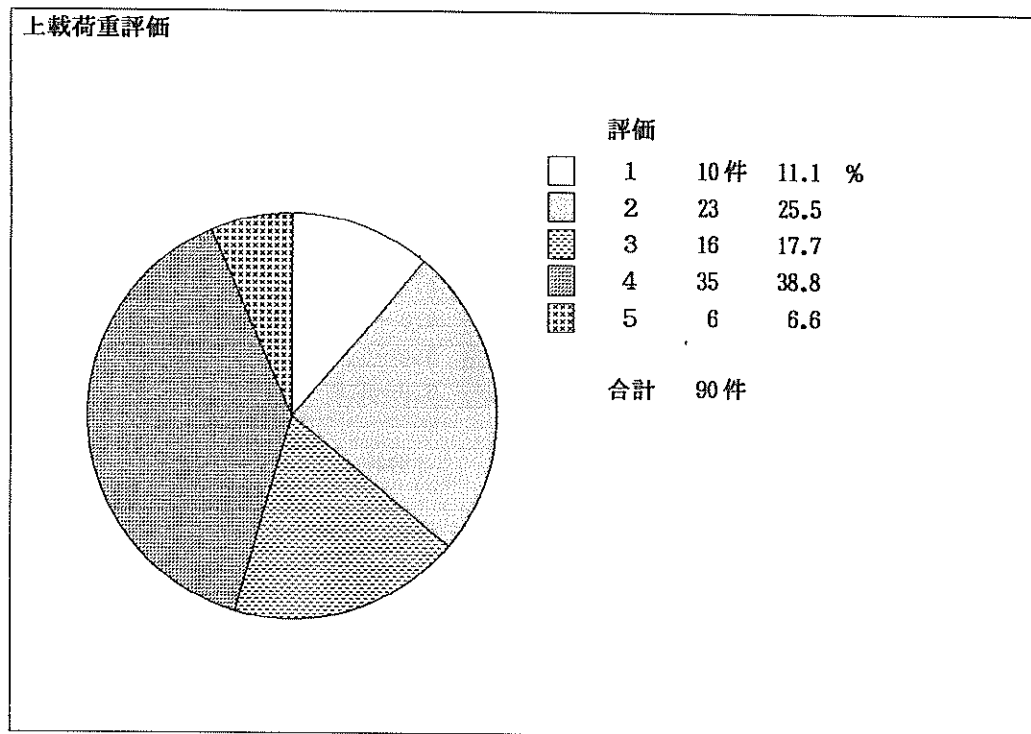
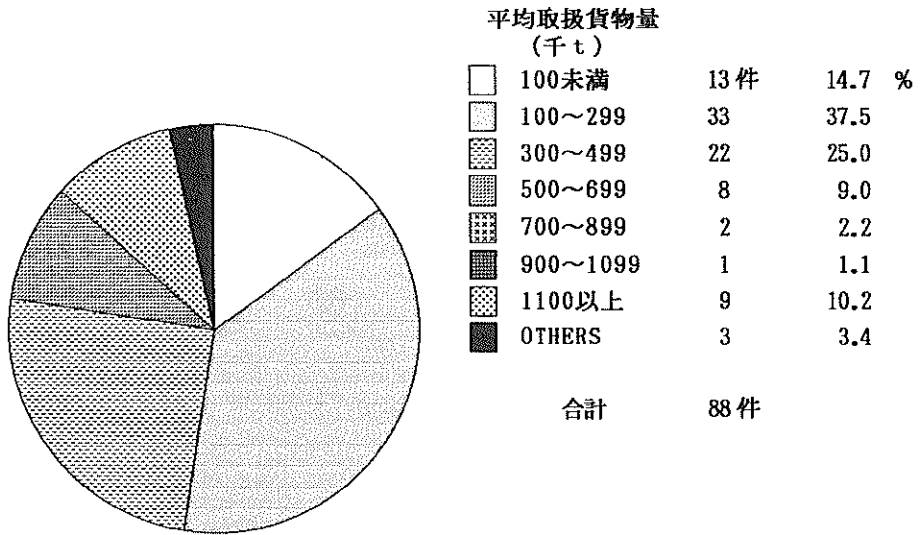


図-25 上載荷重評価の分布

平均取扱貨物量



注) 微小データが2個以上ある場合は、
小さなものから合計して5%未満までは
「OTHERS」として表示しています。

図-26 平均取扱貨物量の分布

単位延長貨物量

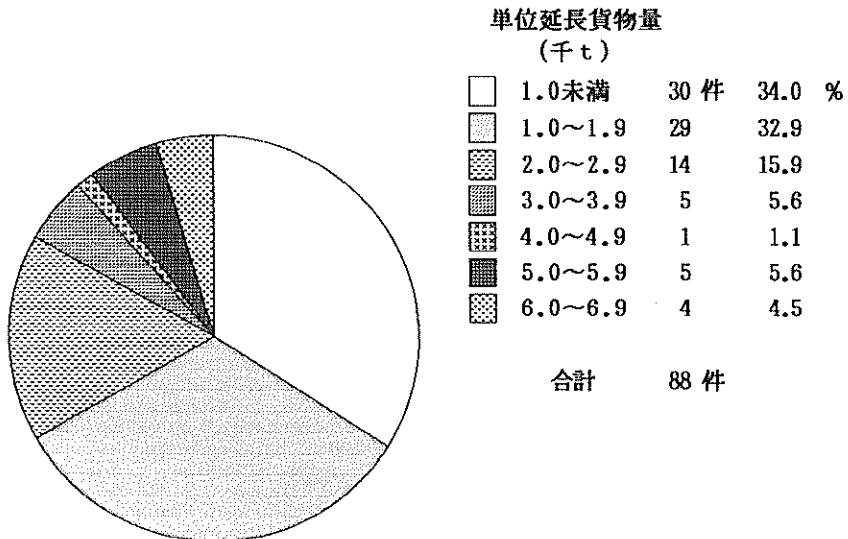


図-27 単位延長貨物量の分布

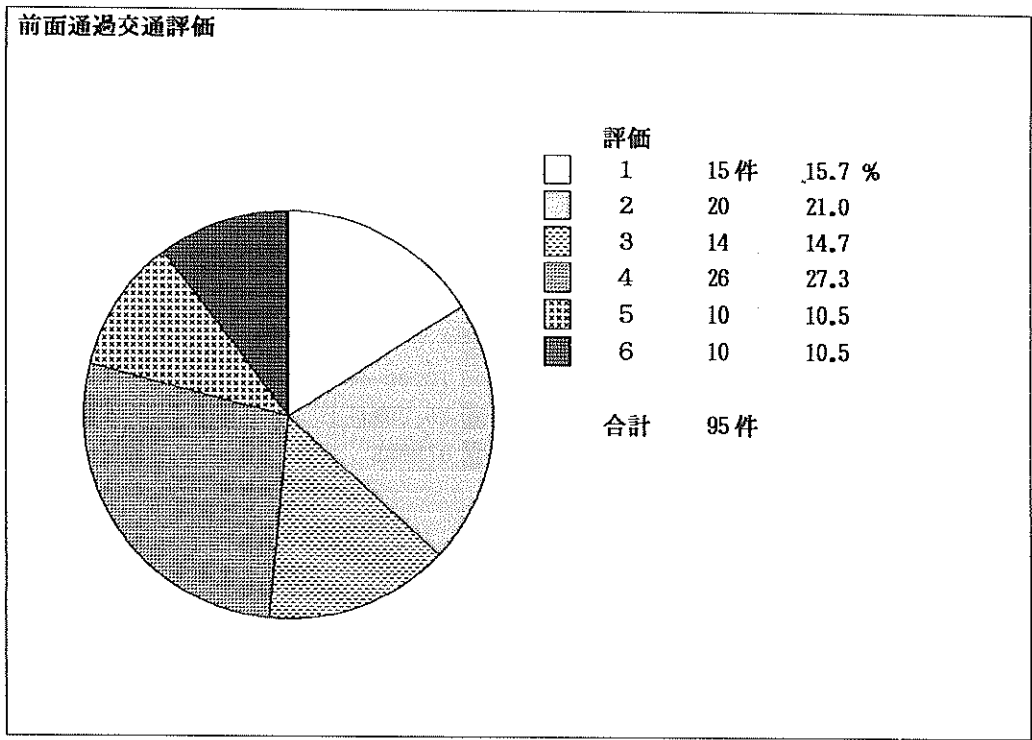


図-28 前面通過交通評価の分布

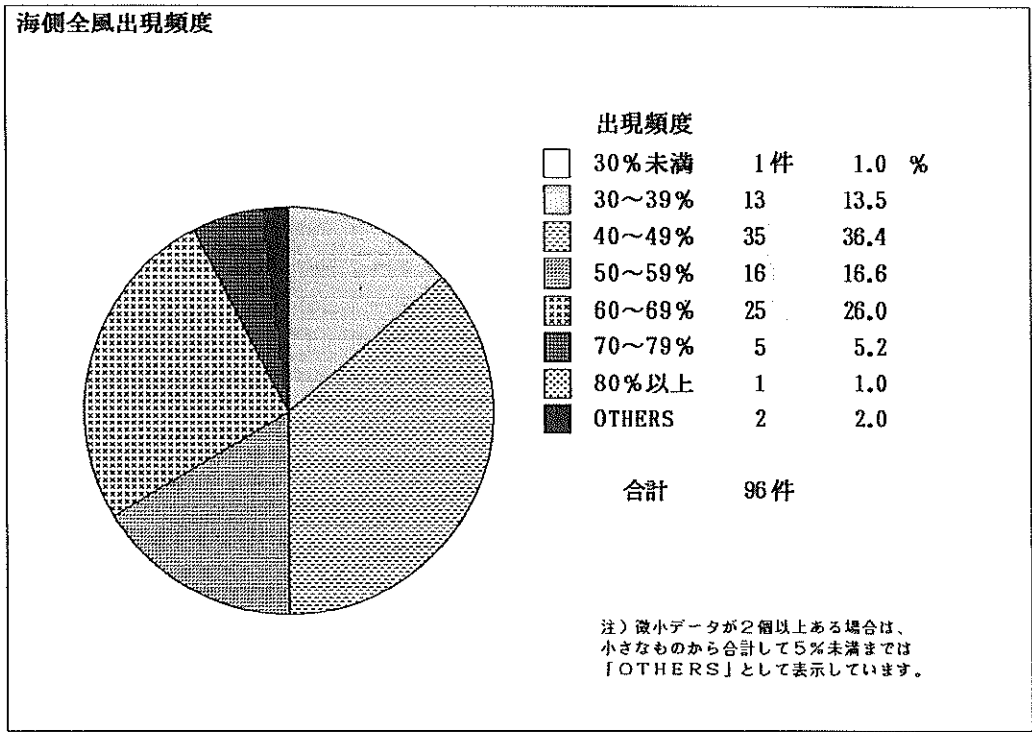


図-29 海側全風出現頻度の分布

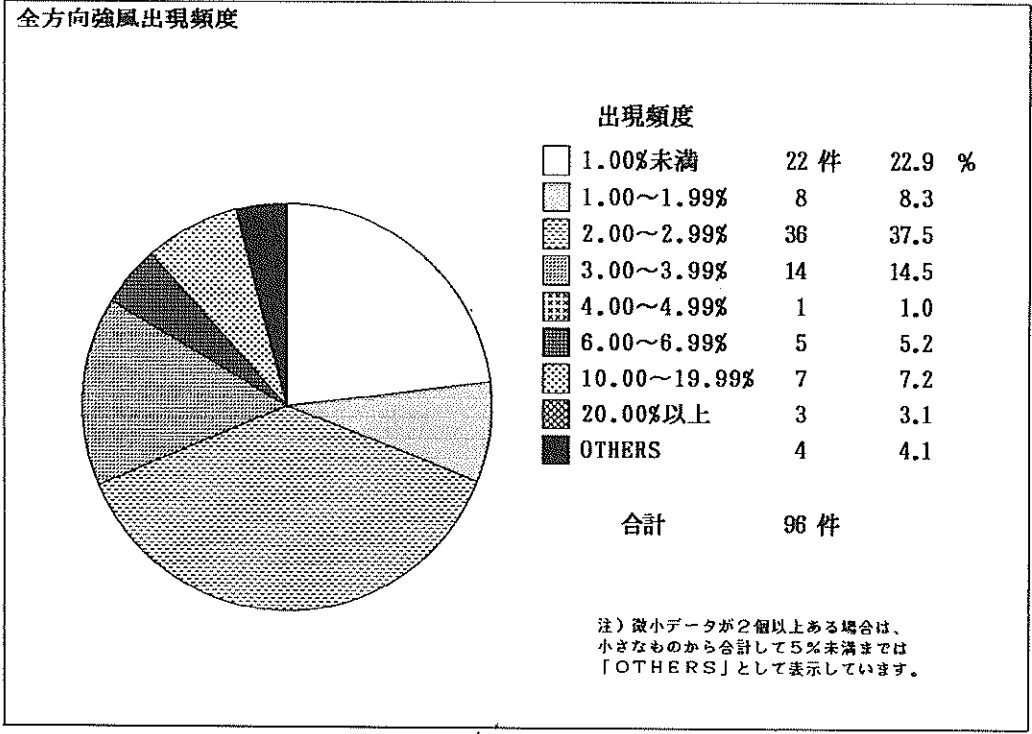


図-30 全方向強風出現頻度の分布

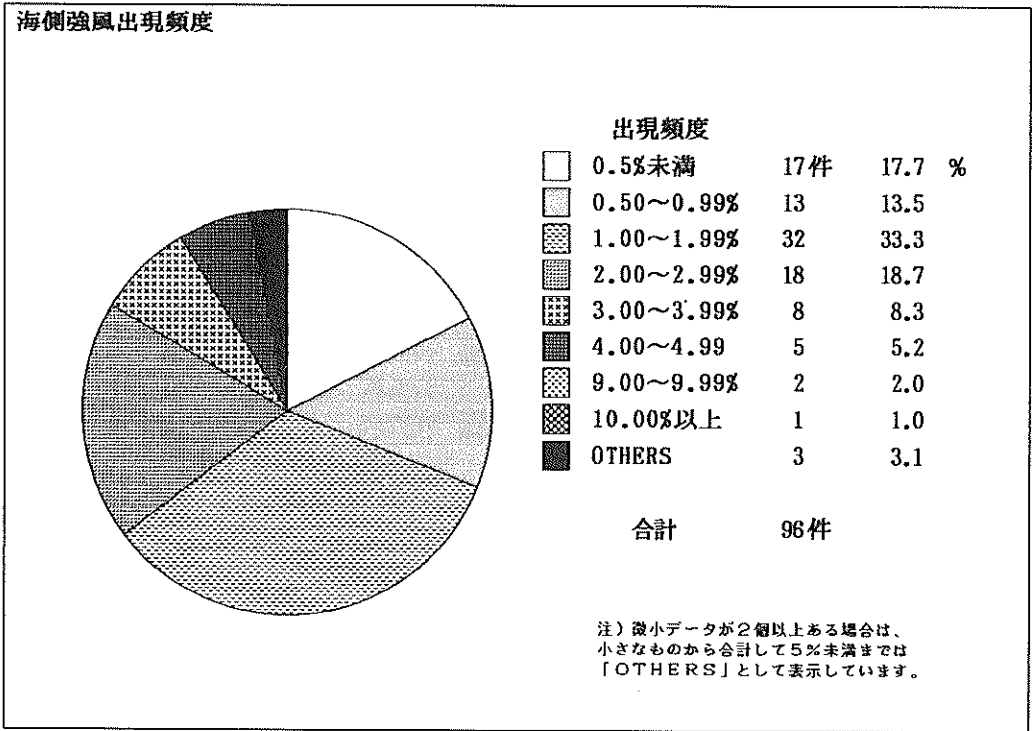


図-31 海側強風出現頻度の分布

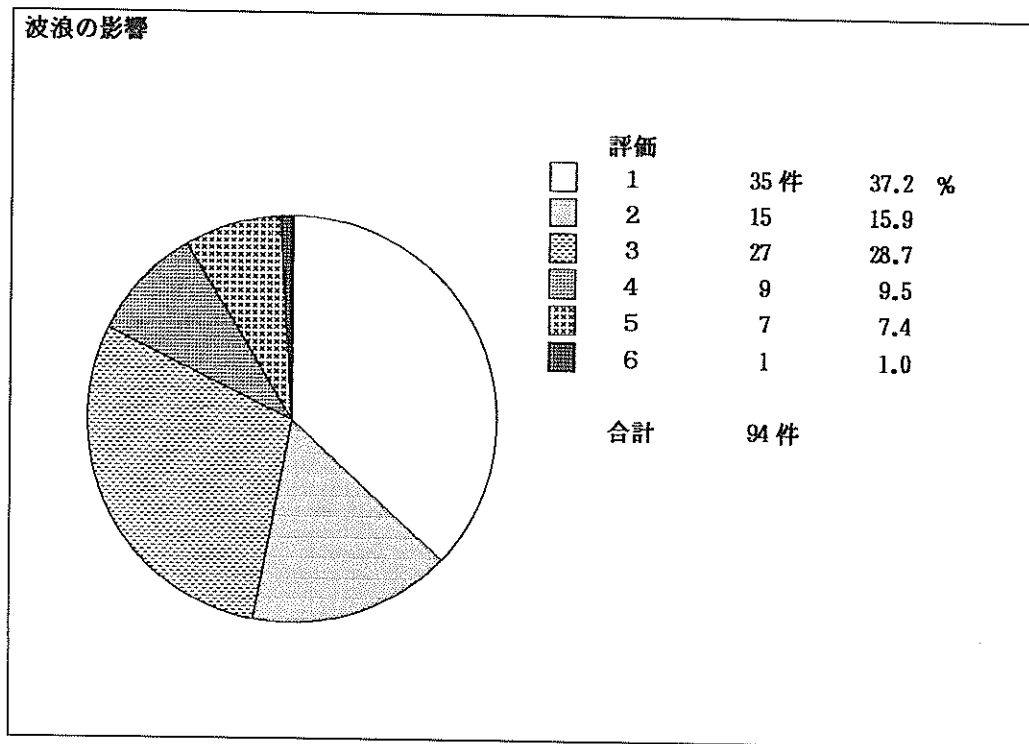


図-32 波浪の影響の分布

5. 要因の分析

劣化の程度に関する事項（劣化評価、ひびわれ、剥離、錆汁、単位延長当りひびわれ、単位延長当り剥離、単位延長当り錆汁および単位延長当り劣化個数）に対して、劣化の要因がどの程度の影響を与えるかを判断する目的で、相関分析および重回帰分析を行った。

相関分析としては、①劣化の程度に関する事項間での相関係数、②劣化の程度に関する事項と劣化の要因との相関係数、③劣化の要因間の相関係数を求めた。

重回帰分析は、劣化の程度に関する事項と相関の良かった劣化の要因および特に特徴のある劣化の要因を数個選び、劣化の程度に関する事項にどの程度寄与しているかを判断するために行った。

結果は以下に述べるとおりである。

(1) 劣化の程度に関する事項間での相関係数

表-9に劣化の程度に関する事項間の相関係数を示す。表より判断すると、劣化評価と他の劣化の程度に関する事項との相関はすべて0.3前後で良い相関が得られてはいない。

表-9 劣化の程度に関する事項間での相関係数

	劣化評価	単位延長当り			単位延長当り劣化個数	
		ひびわれ	剥離	錆汁		
劣単位延長当り	化 評 価	—	0.318	0.387	0.335	0.360
	ひ び わ れ	0.318	—	0.657	0.725	0.956
	剥 離	0.387	0.657	—	0.481	0.727
	錆 汁	0.335	0.725	0.481	—	0.860
単位延長当り劣化個数		0.360	0.956	0.727	0.860	—

表-10 劣化の程度に関する事項と劣化の要因との相関係数

劣化の要因	劣化の程度に関する事項					
	劣化評価	単位延長当り			単位延長当り劣化個数	
		ひびわれ	剥離	錆汁		
設置水深	0.152	-0.213	-0.046	-0.168	-0.175	
バース延長	0.040	-0.182	0.016	-0.248	-0.173	
天端高とH. W. L.の差	-0.209	0.033	0.095	-0.086	0.009	
経過年数	0.541	0.031	0.003	0.178	0.077	
打設分類	-0.009	-0.054	-0.104	-0.090	-0.081	
コンクリート分類	0.000	-0.001	-0.011	0.000	-0.002	
かぶり	-0.222	0.341	0.131	0.156	0.297	
空気量	-0.211	-0.011	0.021	-0.146	-0.032	
強度	-0.016	-0.144	-0.160	-0.085	-0.142	
水セメント比	-0.087	-0.163	-0.066	-0.351	-0.349	
スランプ	-0.179	0.014	0.106	-0.146	0.022	
セメント種類	-0.009	-0.108	-0.054	-0.106	-0.149	
上載荷重	総荷重	-0.028	-0.032	0.055	-0.056	-0.064
	輪荷重	0.131	0.584	0.224	0.472	0.561
	評価	-0.054	0.169	0.113	0.111	0.156
平均取扱貨物量	0.017	-0.118	-0.078	-0.148	-0.126	
単位延長貨物量	0.125	0.002	0.025	0.03s	0.023	
前面通過貨物量	-0.020	-0.140	-0.056	-0.135	-0.129	
フェリー通過隻数	0.136	0.097	0.331	0.077	0.160	
漁船利用隻数	0.047	0.033	-0.011	0.104	0.051	
船溜り	0.054	0.050	-0.029	0.110	0.072	
前面通過交通評価	-0.018	0.008	0.011	-0.086	-0.004	
海側全風出現頻度	0.050	-0.092	-0.006	-0.039	-0.081	
全方向強風出現頻度	0.016	0.243	0.131	0.311	0.281	
海側強風出現頻度	0.030	0.111	0.101	0.118	0.135	
波浪の影響	-0.213	0.252	0.035	0.164	0.198	

このことにより、劣化評価は簡易方法としての利点はあるが、定量的にひびわれ、剥離、錆汁などを表わす指標としては、検討の要があると言える。

(2) 劣化の程度に関する事項と劣化の要因との相関係

数
劣化の程度に関する事項（劣化評価、単位延長当りひびわれ、剥離、錆汁、単位延長当り劣化個数）と劣化の要因との相関係数を表-10に示す。表より、全体として

は非常にばらつきが多く相関係数も低い値となっている。

上記のような問題はありますが、劣化の程度に関する事項に対し特に影響を及ぼしている劣化の要因があるか各事項について検討する。

a) 栈橋の構造に関する事項

栈橋の構造に関する事項で劣化の程度に関する事項に比較的良い相関があるものは、経過年数であり、劣化評価との相関係数は0.541である。

経過年数は、劣化評価に対しては相関が良く影響を及ぼしていると思われるが他の項目に対しては相関係数が低く影響はみられない。これは、前述した劣化評価と他の劣化の程度に関する事項との相関関係による影響と思われる。

b) コンクリートの品質に関する事項

劣化の程度に関する事項とコンクリートの品質に関する事項との相関は概して良くない。

かぶりと水セメント比が特異な傾向を示している。かぶりに関連する相関係数の内で劣化評価およびひびわれとの相関係数を見ると前者が-0.222、後者が0.341という全く逆の傾向を示している。また、水セメント比に関する相関係数はすべて負の値を示しているのであるが、この意味するところは水セメント比が大となると劣化個数が減少するというところであり、常識とは異なる。

この原因は、かぶりについては、データは設計値であるため実際の値との相異による影響、水セメント比についても、設計値と実際の値との相異、さらに後述する経過年数との関連による影響、と思われる。

c) 上載荷重に関する事項

上載荷重に関する事項の中で比較的良い相関が得られたのは輪荷重で、相関係数は劣化評価については低いもののひびわれが0.584、剥離が0.224、錆汁が0.472、単位延長当り劣化個数が0.561であった。

d) 前面通過交通量

航跡波の影響を前面通過交通量を総合評価することによって検討することを目的としたが、前面通過交通評価に関する相関は低い。個々の項目での相関をみると、その中では、フェリー通過隻数と剥離の相関係数が0.331と比較的良好相関がみられる。フェリー通過隻数は、表-8の調査結果を見れば分かるとおり0がほとんどであり一部の栈橋について大きな通過隻数となっているため相関が比較的良くなっていると思われる。ただし、フェリー通過隻数の一番多い栈橋においては、劣化評価5であり、劣化内容はそれぞれ大きな値であるため、フェリーの通過に伴う航跡波の影響を受けた可能性がある。

e) 風の影響

全方向強風出現頻度に関する相関係数が他の風に関する事項より比較的高く錆汁に対して0.311、単位延長当

り劣化個数に対して0.281である。このことより、劣化に及ぼす風の影響は、一定の方向からの全風および強風が吹くことよりも、全方向の強風の影響が大きいのと思われる。

f) 常時波浪の影響

波浪の影響は、単位延長当りの劣化個数との相関係数0.198、また、ひびわれと錆汁に対する相関係数が0.252、0.164とやや相関が認められる。なお、劣化評価についても相関係数-0.213という値がでているが、負の相関があるため波浪の影響が大きいのほど劣化評価は低くなるという逆の関係である。

a)～f)より劣化の要因として最も有力だと思われる項目を判断すると、劣化評価のような目視によるものは経過年数であり、ひびわれ、剥離、錆汁等の定量的な劣化個数のような項目では栈橋に作用する輪荷重が有力だと判断できる。それ以外には、フェリーによる航跡波、全方向での強風などの影響も関連していると思われる。

(3) 劣化の要因間の相関係数

劣化の要因間の相関関係を検討した結果、特に重要だと思われるものは、水セメント比と経過年数の相関関係である。その相関関係を図-33に示す。

水セメント比と経過年数の関係は相関係数-0.601で水セメント比が経過年数の小さな、すなわち、新しい構造物ほど高くなっている。

水セメント比が高い構造物ほど劣化が速いと考えられるため、調査結果からは新しい構造物ほど劣化しやすい傾向を示すことになる。このことより、前述した相関係数は、全体としては非常にばらつきが多く相関も低くなっていると思われる。

(4) 重回帰分析

重回帰分析は、目的変数 Y を劣化に関する事項(劣化評価、単位延長当りひびわれ、単位延長当り剥離、単位延長当り錆汁および単位延長当り劣化個数)とし、説明変数 X は、劣化の要因として有力だと思われる経過年数、輪荷重、全方向強風出現頻度および波浪の影響の4つとして行った。重回帰分析より求めた重回帰式および寄与率は表-11に示す。

これより理解されるように、寄与率はすべて0.5以下であり、概して低い値である。このため、重回帰分析結果より断定的には無理があるが、一応の傾向としては以下の事が言えよう。

標準化した各重回帰式について説明変数を個々に判断すると、劣化評価の重回帰式については、経過年数の寄与が大きく、他の重回帰式については、輪荷重の寄与が大きいようである。また、ひびわれ、剥離、錆汁の重回帰式を比較すると、錆汁の重回帰式では経過年数の寄与が他に比べ大きいことがわかる。

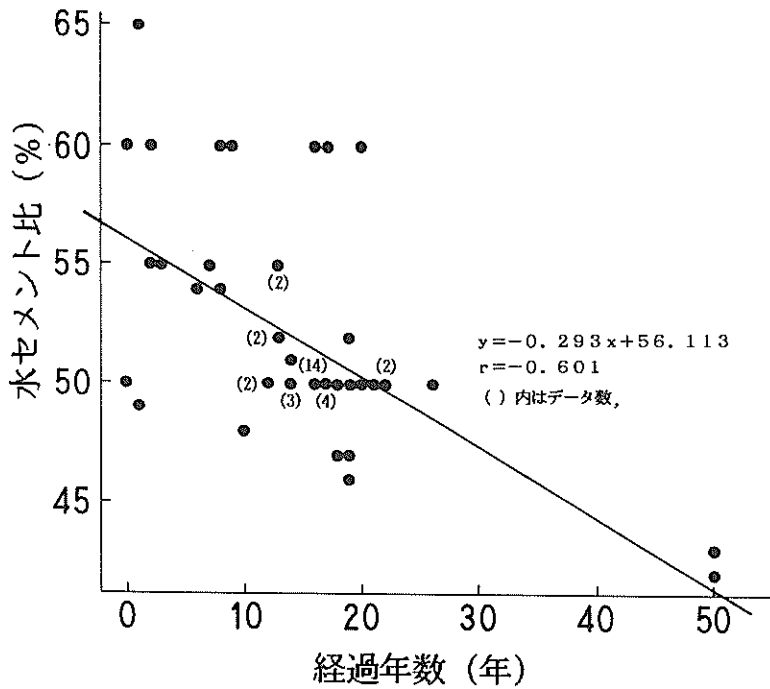


図-33 水セメント比と経過年数の関係

表-11 重回帰分析の結果

説明変数 x_1 : 経過年数 x_2 : 輪荷重 x_3 : 全方向強風出現頻度 x_4 : 波浪の影響		下段は標準化したデータでの式
目的変数	重回帰式	寄与率 (R^2)
① 劣化評価	$y = 0.082x_1 + 0.028x_2 - 0.103x_3 - 0.102x_4 + 1.067$	0.376
	$y = 0.581x_1 + 0.317x_2 - 0.173x_3 - 0.090x_4$	
② 単位延長当り ひびわれ	$y = 0.002x_1 + 0.006x_2 + 0.021x_3 + 0.021x_4 - 0.140$	0.437
	$y = 0.113x_1 + 0.494x_2 + 0.264x_3 + 0.139x_4$	
③ 単位延長当り 剥離	$y = 0.0001x_1 + 0.001x_2 - 0.001x_3 - 0.004x_4 - 0.039$	0.060
	$y = -0.012x_1 + 0.261x_2 - 0.048x_3 - 0.072x_4$	
④ 単位延長当り 錆汁	$y = 0.002x_1 + 0.002x_2 + 0.011x_3 + 0.008x_4 - 0.074$	0.412
	$y = 0.283x_1 + 0.418x_2 + 0.299x_3 + 0.122x_4$	
⑤ 単位延長当り 劣化個数	$y = 0.004x_1 + 0.009x_2 + 0.032x_3 + 0.022x_4 - 0.176$	0.411
	$y = 0.142x_1 + 0.494x_2 + 0.260x_3 + 0.091x_4$	

6. まとめおよび問題点の整理

(1) 港湾コンクリート構造物の劣化は係船岸において認められる。係船岸について調査を行った結果、棧橋の劣化、特に上部工について著しいことが認められる。

(2) 棧橋の調査結果より劣化の程度に関する事項と劣化の要因との相関分析を行ったが、それらの相関は全体として低い。この原因としては、水セメント比が、新しい構造物ほど高くなっていること、かぶりの設計値と実際の値が相違していること、さらには施工の良否が要因として入っていないこと、等が考えられる。

(3) 目視により劣化の程度を総合的に評価した主観的な劣化評価と劣化を定量的に表わしたひびわれ、剥離、錆汁の数値との相関は予想外に低い。(原因としては、劣化評価は、古いと劣化して感じる、または、最も劣化している箇所的印象に左右される等が考えられること、および、剥離等は面積によらず個数のみで評価していること、等の問題があるので劣化評価の方法は再検討が必要と思われる。)

(4) 劣化評価に及ぼす劣化の要因は、主として経過年数で他に輪荷重の影響も認められる。劣化を定量的に表わしたひびわれ、剥離、錆汁の数値に及ぼす劣化の要因については、主として輪荷重で、予想外に経過年数の影響は少ない。また、フェリーの通過隻数の影響も一部の棧橋について認められる。さらに、輪荷重や経過年数以外では相関は低いながら全方向強風出現頻度、波浪の影響が見られる。

(5) 水セメント比が、新しい構造物ほど高くなっている。これは、新しい構造物ほど劣化しやすいことであり、このため、各項目間、特に経過年数の相関が悪くなっていると思われる。

7. おわりに

以上のように、全国棧橋上部工の劣化実態概略調査を報告したが、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。

水セメント比と経過年数の関係より類推すると、今後当分の間は棧橋上部工の劣化の傾向が鈍るとは考えにくく、やはり劣化問題は継続するものと思われる。また、このことより、さらに調査を行うことの必要性が認められ、昭和60、61年度を中心に詳細な調査が全国的に行われた。この結果は、港研資料としてとりまとめる予定である。

本調査の実施に当っては、本省港湾局技術課、建設課、第一～第五港湾建設局および北海道開発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3月31日受付)

港 湾 技 研 資 料 No.617

1 9 8 8 ・ 6

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発 行 所 運輸省港湾技術研究所

横須賀市長瀬3丁目1番1号

印 刷 所 株式会社 つばさ印刷技研

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