

土木研究所資料

コンクリート橋の塩害に関する 実橋詳細調査

昭和63年12月

建設省土木研究所
構造橋梁部橋梁研究室

「Copyright © (1989) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this 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、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

コンクリート橋の塩害に関する 実橋詳細調査

橋梁研究室	室長	藤原 稔
	研究員	箕作 光一
		井川 敏正 ^{*)}
		杉山 純
	部外研究員	湯浅 晃行 ^{**)}
	部外研究員	家室 育夫 ^{***)}
	部外研究員	大塚 慎一

^{*)} 現在、四国地方建設局徳島工事事務所

^{**)} 現在、小野田ケミコ(株)

^{***)} 現在、(株)小野田

要 旨

北海道、東北、北陸地方の日本海沿岸や沖縄県を中心に、海から飛来する塩分の影響によるコンクリート橋の早期劣化が顕在化している。建設省土木研究所では、こうした塩害による劣化損傷と各種劣化要因の関係を定量的に把握するために昭和60年度から昭和62年度の3ヶ年にわたって実施された建設省総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」の一環として、北陸地方の日本海沿岸に位置する2つのコンクリート橋を対象に、コンクリート中の塩分量や鋼材の腐食等について詳細な調査を実施した。本報告書は、これらの調査の結果をとりまとめたものである。

調査によって、これらの橋の劣化損傷が、コンクリート中の鋼材の腐食に起因していることが確認され、その腐食の程度には、コンクリート中の塩分量およびかぶり厚さが深く関係していることが定量的に明らかとなった。

キーワード：塩害、劣化損傷状況、劣化損傷要因、腐食度、塩分量、かぶり厚さ

ま え が き

北海道、東北、北陸地方の日本海沿岸地域や沖縄県を中心に、海から飛来する塩分の影響によるコンクリート橋の早期劣化が顕在化している。

劣化損傷の形態は、鉄筋に沿ったコンクリートのひびわれや鉄筋のかぶり部でのコンクリートのはくり、はく落等であり、これらは鉄筋の腐食に伴って生じることが理解されている。このような変状が生じた場合には塩分の影響を益々受け易くなり、構造物の安全性をも損ないかねない。このため、沿岸地域に存するコンクリート構造物を適切に維持管理する上で、このような劣化損傷の発生状況と各種劣化損傷要因を定量的に把握し、相互の関係を明らかにすることが必要となっている。

そこで建設省土木研究所では、塩害地域に存するコンクリート構造物を対象とした劣化診断技術を確立するために、昭和60年度から昭和62年度の3ケ年にわたって実施された建設省総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」の一環として、北陸地方の日本海沿岸に位置する2つのコンクリート橋を対象にコンクリート中の塩分量や鋼材の腐食度等の調査を実施した。本報告書は、これらの調査結果をとりまとめたものである。

なお、本調査の実施にあたり北陸地方建設局及び新潟県の関係各位にご協力を頂いた。ここに感謝する次第である。

目 次

まえがき

1. 本調査の目的	1
2. 調査対象橋梁の概要	1
2.1 旧板貝橋	2
2.2 旧洞川橋	2
3. 調査項目とその方法	4
3.1 劣化損傷状況の調査	4
3.1.1 コンクリート表面	4
3.1.2 鉄 筋	4
(1) 自然電位差測定による調査	4
(2) はつりによる調査	4
3.2 劣化損傷要因の調査	4
3.2.1 かぶり厚さ	4
(1) 鉄筋探査器による調査	4
(2) はつりによる調査	4
3.2.2 塩分量	4
(1) 表面付着塩分量	4
(2) 内部含有塩分量	5
3.2.3 材料の品質	5
(1) コンクリート	5
(2) 鉄 筋	6
4. 調査結果	7
4.1 劣化損傷状況の調査	7
4.1.1 コンクリート表面	7
4.1.2 鉄 筋	7
(1) 自然電位差測定による調査	9
(2) はつりによる調査	10
4.2 劣化損傷要因の調査	12
4.2.1 かぶり厚さ	12
(1) 鉄筋探査器による調査	12
(2) はつりによる調査	13
4.2.2 塩分量	16
(1) 表面付着塩分量	16

(2) 内部含有塩分量	17
4.2.3 材料の品質	24
(1) コンクリート	24
(2) 鉄筋	28
5. 考 察	29
5.1 コンクリート表面の劣化損傷と各種劣化損傷要因の関係	29
5.1.1 コンクリート表面の劣化損傷とその発生位置の関係	29
5.1.2 コンクリート表面の劣化損傷とかぶり厚さの関係	30
5.1.3 コンクリート表面の劣化損傷と表面付着塩分量の関係	31
5.1.4 コンクリート表面の劣化損傷と内部含有塩分量の関係	32
5.2 鉄筋の腐食度と各種劣化損傷要因の関係	33
5.2.1 鉄筋の腐食度とかぶり厚さの関係	33
5.2.2 鉄筋の腐食度と内部含有塩分量の関係	34
5.2.3 鉄筋の腐食度とコンクリートの中酸化深さの関係	39
5.2.4 鉄筋の腐食度と自然電位差分布の関係	39
6. ま と め	40
付録ー1 詳細データ	41
付録ー2 調査項目とその方法	61
付録ー3 使用機器	71

1. 本調査の目的

コンクリート中の鉄筋は不働態被膜でその表面が保護されているため腐食を生じにくい。しかし、一定量以上の塩化物イオンが存在する場合や鉄筋周囲のコンクリートが中性化した場合には、その不働態被膜が損なわれ腐食が生じやすくなる。塩害による劣化損傷は、海から飛来し、コンクリート構造物に付着、浸透した塩分によってコンクリート中の鉄筋が腐食するために生じるもので、特に海からの飛来塩分が多い北海道、東北、北陸地方の日本海側及び沖縄県に多数発生している。

コンクリート中の鉄筋の腐食に影響する要因としては、塩化物イオン、酸素、水等の浸透量及びコンクリートのpHが代表的であるが、これらはまたコンクリートのかぶり厚さ、ひびわれ、密実性、品質(W/C、セメント量、セメントの種類等)、気象、海象条件、構造物の種類、形状等の要因の影響を受ける。

一方、その劣化損傷の形態としては、コンクリート表面には現れていないがコンクリート中において進行している鉄筋の腐食や、コンクリート表面に現れているひびわれ、はくり、はく落、鉄筋の露出、錆汁等がある。

本調査では、コンクリート表面の劣化損傷及び鉄筋の腐食、ならびにかぶり厚さや塩分量等の各種劣化損傷要因を定量的に把握し、相互の関係を明らかにするために、塩害による劣化損傷が顕在化していた北陸地方の2つのコンクリート橋を対象に種々の調査手法を用いてこれらの調査を行った。

2. 調査対象橋梁の概要

塩害による劣化損傷は、北海道、東北及び北陸の日本海沿岸に存するコンクリート構造物に比較的多く発生している¹⁾。そこで、今回の調査では、北陸の日本海沿岸地域に位置し、それぞれ架設後約20年及び50年を経た旧板貝橋及び旧洞川橋の2橋を調査対象橋梁に選定した。

この2橋の架設位置を図-2.1.1に示す。

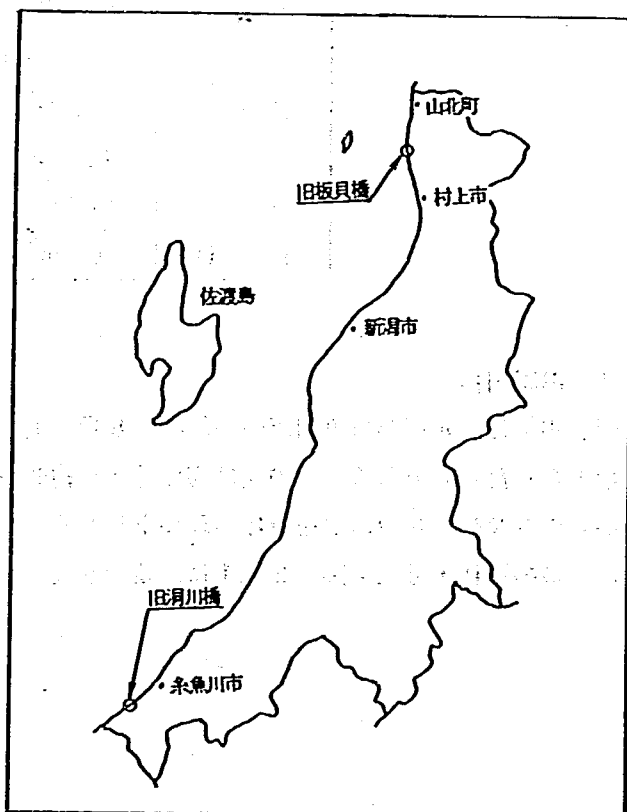
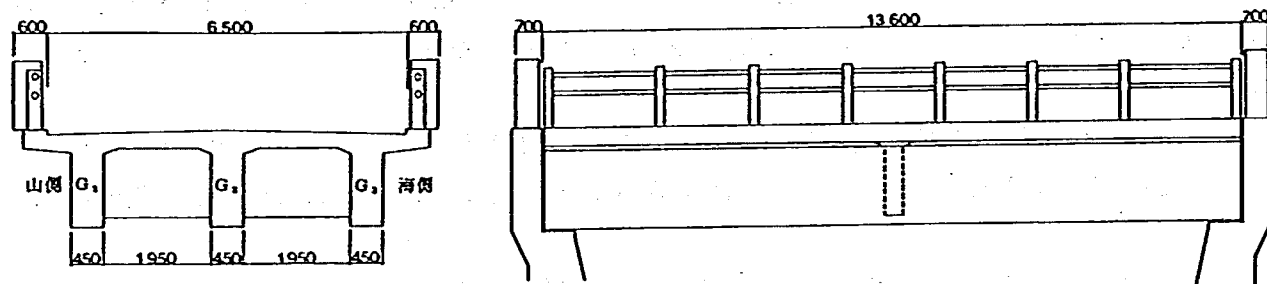


図-2.1.1 旧板貝橋及び旧洞川橋の架設位置

2.1 旧板貝橋

旧板貝橋は、新潟県岩船郡山北町の一般国道345号線上にあり、昭和59年12月に同路線のバイパス整備に伴い廃橋となったものである。この橋は、海岸線から約10～20m、海拔約5mのところに位置しており、冬期に海からの北、北西及び西の風を受け、海が荒れた場合には直接波しぶきを受ける環境下にある。

この橋の形状・寸法を図－2.1.2に、諸元を表－2.1.1に示す。



単位：mm

図－2.1.2 旧板貝橋の形状・寸法

表－2.1.1 旧板貝橋の諸元

所在地	新潟県岩船郡山北町字板貝 (一般国道345号線)
竣工年	昭和43年2月
型式	鉄筋コンクリートT桁橋(主桁本数3本)
橋長	13.6 m
幅員	6.5 m

2.2 旧洞川橋

旧洞川橋は、新潟県糸魚川市の一般国道8号線上にあり、昭和42年に同路線のバイパスの整備に伴い廃橋となったものである。この橋は海岸線から約40～50m、海拔20mのところに位置しており、冬期に海からの北及び北北西の風を受ける環境下にある。

この橋の形状・寸法を図－2.2.1に、諸元を表－2.2.1に示す。

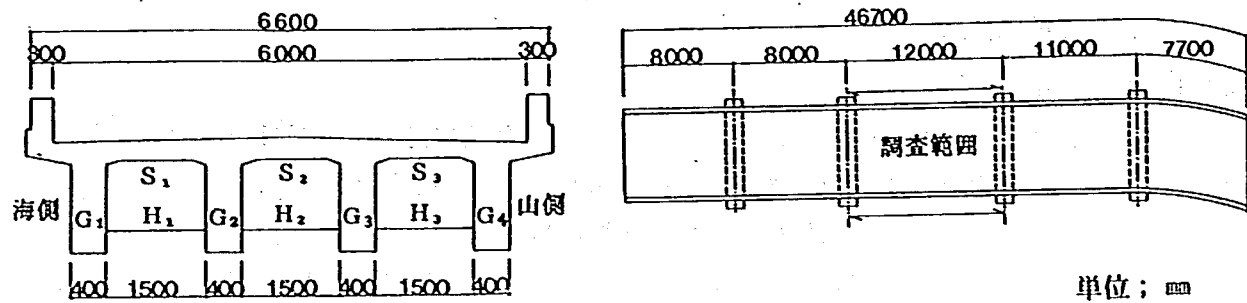


図-2.2.1 旧洞川橋の形状・寸法

表-2.2.1 旧洞川橋の諸元

所在地	新潟県西頸城郡青海町 (一般国道8号線)
竣工年	昭和10年
型式	鉄筋コンクリートT桁橋(主桁本数4本)
橋長	46.66m
幅員	6.21m

3. 調査項目とその方法

3.1 劣化損傷状況の調査

3.1.1 コンクリート表面

旧板貝橋と旧洞川橋の両橋を対象に、コンクリート表面の劣化損傷について目視を主体とした調査を行った。加えて、旧洞川橋では、コンクリート表層部の含水率を測定した。

劣化損傷状況の調査では、主桁と横桁の側面及び底面ならびに床版の下面を対象として、ひびわれ、はくり、はく落、鉄筋露出、錆汁、ジャンカ、遊離石灰、漏水等の有無や程度を調査し、展開図にその劣化損傷の発生位置及び形状を記録するとともに写真撮影を行った。また、コンクリート表面をテストハンマーで打突し、打突音の変化によりはくり等の発生範囲を探った。

コンクリート表層部の含水率の測定は、旧洞川橋の主桁と横桁の側面及び底面ならびに床版の下面を対象に行った。使用した測定器は、誘電率（高周波容量）の変化を検出して水分量を測定する水分計である。

3.1.2 鉄筋

(1) 自然電位差測定による調査

旧板貝橋と旧洞川橋の主桁、横桁及び床版を対象に、コンクリート中の鉄筋の腐食発生位置を非破壊により推定するため、飽和甘とう電極を用いて主鉄筋の電位を測定した。

(2) はつりによる調査

旧板貝橋と旧洞川橋の主桁及び横桁の下フランジ部ならびに床版を対象に、主鉄筋が露出するまでコンクリートをはつり落し、鉄筋の腐食の程度を調査した。

3.2 劣化損傷要因の調査

3.2.1 かぶり厚さ

(1) 鉄筋探査器による調査

旧板貝橋と旧洞川橋の主桁、横桁及び床版の主鉄筋を対象に、かぶり厚さ及び鉄筋位置を非破壊により推定するため鉄筋探査器を用いて調査した。

(2) はつりによる調査

旧板貝橋と旧洞川橋の主桁及び横桁の下フランジ部ならびに床版を対象に、主鉄筋が露出するまでコンクリートをはつり落し、鉄筋のかぶり厚さ及び配筋状況をノギス等を用いて測定した。

3.2.2 塩分量

(1) 表面付着塩分量

旧板貝橋と旧洞川橋の主桁と横桁の側面及び底面、床版の下面、橋脚、高欄の側面を対象として、JIS Z 2381に従い、コンクリート表面に付着した塩化物をガーゼにより拭き取り、自動滴定装置にてその量の測定を行った。

(2) 内部含有塩分量

旧板貝橋と旧洞川橋の主桁、横桁、床版及び橋脚を対象として、コンクリート内部に蓄積した塩分量を表一 3.2.1 に示す方法で測定を行った。

ドリル及び削り取りによる試料の採取は、これらの方法がコア試料の採取方法に比較して容易で、構造物を傷める範囲が小さいという長所があるので、その実用性を評価するために行った。また、旧洞川橋の調査では、ドリルを用いた試料の採取と測定紙による塩分量の測定を組合わせた簡易な方法についても検討した。

表一 3.2.1 試料採取方法及び塩分量測定方法

試料採取方法	塩 分 量 測 定 方 法	試 料 調 整 方 法
コンクリートコア φ20mm (コア法)	土木研究所標準試験 (案) 「コンクリート中塩分の分析方法」	電動ボーリングマシンを用いて直径50mmのコアを採取し、表面から20mmごとに切断。各試料を微粉碎し、可溶性塩分量、全塩分量を測定。
ドリル粉末 (ドリル法)	土木研究所標準試験 (案) 「コンクリート中塩分の分析方法」	直径22mmのドリルを取り付けた電動ドリルを用いて、表面から20mmごとにドリル粉末を採取。各試料を微粉碎し、可溶性塩分量、全塩分量を測定。
	簡易試験方法 (簡易試験法)	電動ドリルを用いて、表面から20mmごとにドリル粉末を採取。現場にて無水粉末酸及び蒸留水を加えて塩化物を抽出し、全塩分量を測定。 (旧洞川橋でのみ実施)
表面削り取り粉末 (削り取り法)	土木研究所標準試験 (案) 「コンクリート中塩分の分析方法」	ワイヤーブラシ及びコンクリートカンナを用いて、コンクリート表面を削り取り、コンクリート粉末を採取微粉碎後、可溶性塩分量を測定。

3.2.3 材料の品質

(1) コンクリート

旧板貝橋と旧洞川橋のコンクリートの劣化損傷状況を非破壊により推定するため主桁側面及び横桁側面を対象に、10MHz 水晶発振子を用いて対称測定法により超音波(縦波)の伝播速度の測定を行った。また両橋の主桁及び横桁の側面上部を対象に、シュミットハンマーNR型を用いて反発硬度を測定した。さらに、両橋の主桁、横桁、床版及び橋脚を対象に、電動ボーリングマシンを用いて直径100mmのコンクリートコアを採取し、表一 3.2.2 に示す項目について測定、分析を行った。

表一 3.2.2 コンクリートの品質調査

試験項目	測定及び分析方法
圧縮強度 弾性係数※	JIS A 1107「コンクリートからのコア及びはりの切り取り方法及び強度試験方法」
配合推定	(社)セメント協会コンクリート専門委員会「硬化コンクリートの配合推定 F-18」
空隙率	水銀圧入ポロシメータを用いて、細孔径 $0.003\mu\text{m} \sim 300\mu\text{m}$ の範囲について測定。
中性化深さ	コア試料を採取した孔を用いて、フェノールフタレイン法〔試薬はフェノールフタレイン1%溶液 (JIS K 8006)〕により中性化深さを測定。
単位容積重量 含水率 吸水率	圧縮強度用コア試料を用いて、絶乾、気乾及び表乾状態時の単位容積重量を測定。また、その結果を用いて、計算により含水率及び吸水率を求めた。

※弾性係数の測定は旧洞川橋でのみ実施。

(2) 鉄 筋

旧洞川橋は昭和10年に建設されていることから、使用されていた鉄筋の品質が、現在一般に使用されている鉄筋の品質とかなり異なることが予想された。そこで、横桁より直径25mmの丸鋼を採取し、表一 3.2.3 に示す引張強度試験及び各成分分析を行った。

表一 3.2.3 鉄筋の品質調査

測定項目	測定方法
引張強度	JIS Z 2241「金属材料引張試験方法」
成分分析	炭素 JIS G 1211「鉄及び鋼中の炭素定量方法」
	マンガン JIS G 1213「鉄及び鋼中のマンガン定量方法」
	りん JIS G 1214「鉄及び鋼中のりん定量方法」
	硫黄 JIS G 1215「鉄及び鋼中の硫黄定量方法」

4. 調査結果

4.1 劣化損傷状況の調査

4.1.1 コンクリート表面

旧板貝橋のコンクリート表面の劣化損傷状況を図-4.1.1に示す。

すべての主桁の下フランジ部において、ひびわれ、錆汁、はくりが多く認められ、また、主桁 $G_2 \sim G_3$ 間の床版には錆汁が多数認められた。このうち、錆汁の多くはコンクリート表面付近の釘、番線の腐食によるものであった。

主桁下フランジ底面部のひびわれ幅は平均2.3 mm、最大13.0 mmであり、格子密度法による平均ひびわれ密度は7.87m/m²であった。また、いずれの主桁の側面部にも底面から約8 cm上の位置に橋軸方向のひびわれが発生していた。

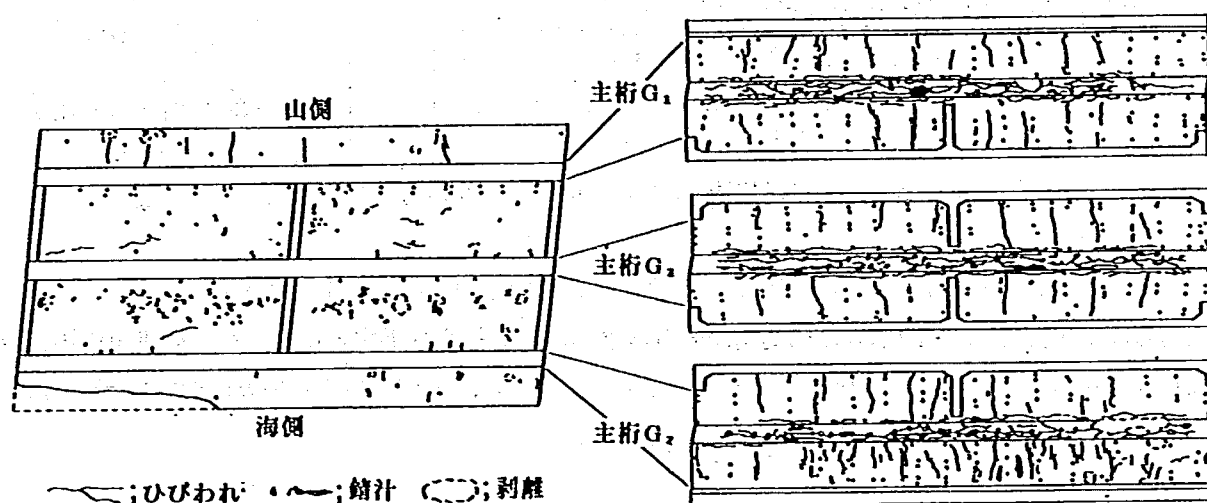
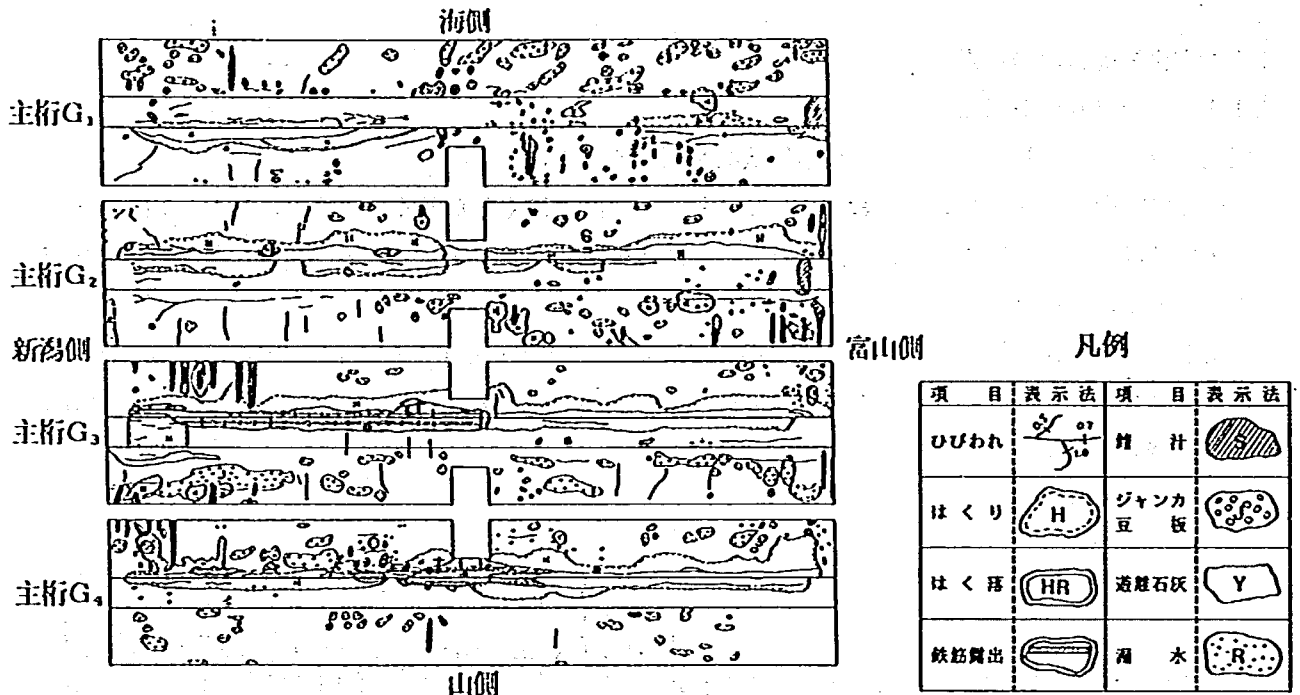


図-4.1.1 旧板貝橋のコンクリート表面の劣化損傷状況

旧洞川橋のコンクリート表面の劣化損傷状況を図-4.1.2に示す。

コンクリートのはくり、はく落及び鉄筋（主筋、スターラップ）の露出等の劣化損傷は、主桁 G_1 に比べて主桁 G_2 、 G_3 、 G_4 に多く認められた。また、主桁 G_1 の劣化損傷が海側側面部より山側側面部において比較的多く生じていたのに対して、主桁 G_2 、 G_3 、 G_4 の変状は山側側面部より海側側面部において顕著であった。

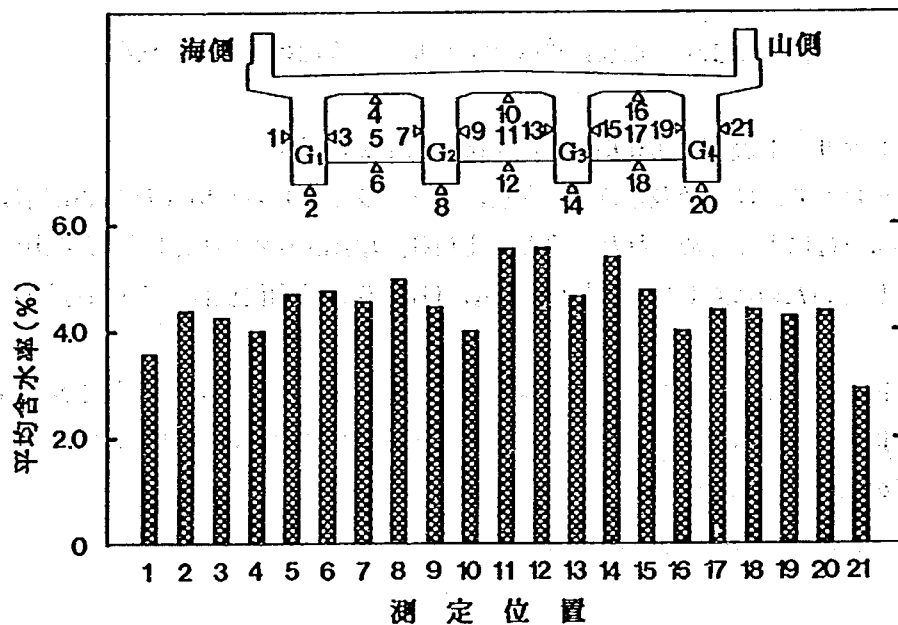
横桁の側面部にもコンクリートのはくり、はく落、鉄筋（スターラップ）の露出が見られたが、主桁に比べると劣化損傷の程度は軽微であった。また、床版には山側より集中してコンクリートのはくり、はく落及び鉄筋の露出が認められた。



図－4.1.2 旧洞川橋のコンクリート表面の劣化損傷状況

旧洞川橋のコンクリート表層部を対象とした含水率の測定結果を図－4.1.3 に示す。

主桁G₁の海側側面部と主桁G₄の山側側面部の含水率は、それぞれ平均3.6%、2.9%と他の部位での平均が4.0%以上であったのに比較して低い値であった。また、両側主桁より中央に進むほど側面部及び底面部での含水率は、徐々に高くなる傾向が見られた。



図－4.1.3 旧洞川橋のコンクリート表層部の含水率

4.1.2 鉄 筋

(1) 自然電位差測定による調査

旧板貝橋で行った自然電位差測定の結果を図-4.1.4に示す。

主桁G₁の山側側面部と主桁G₂の海側側面部での値は、両者とも平均200(-mV)と他の部位での値が280~480(-mV)であったのに比較して高い(貴の)電位であった。また、各主桁の側面部と下面部の値を比較すると、側面部で平均200~320(-mV)、下面部で平均370~480(-mV)といずれの桁も下面部の方が低い(卑の)電位を示した。

横桁下フランジ部の劣化損傷と自然電位差測定の結果を図-4.1.5に示す。

はくりや錆汁の発生位置での電位は、平均300~400(-mV)と低い(卑の)電位であり、その位置での鉄筋は著しい断面欠損をとまなう腐食を生じていた。

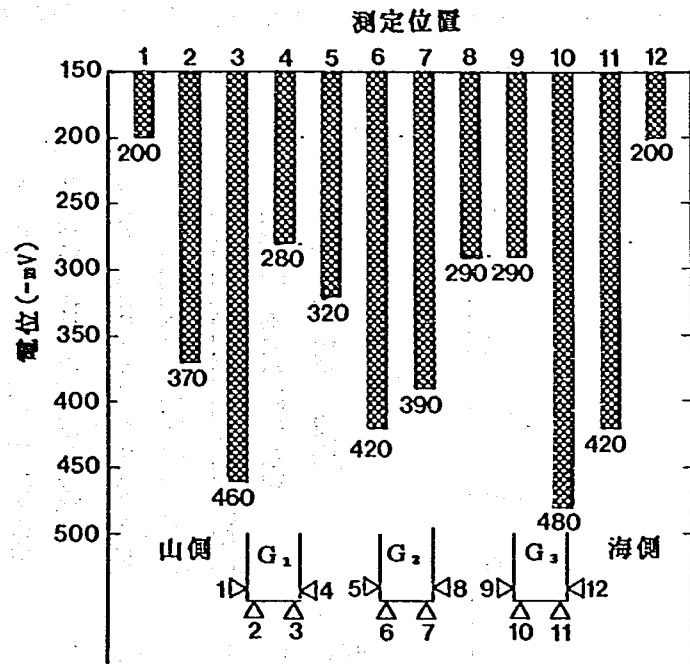


図-4.1.4 旧板貝橋の自然電位差

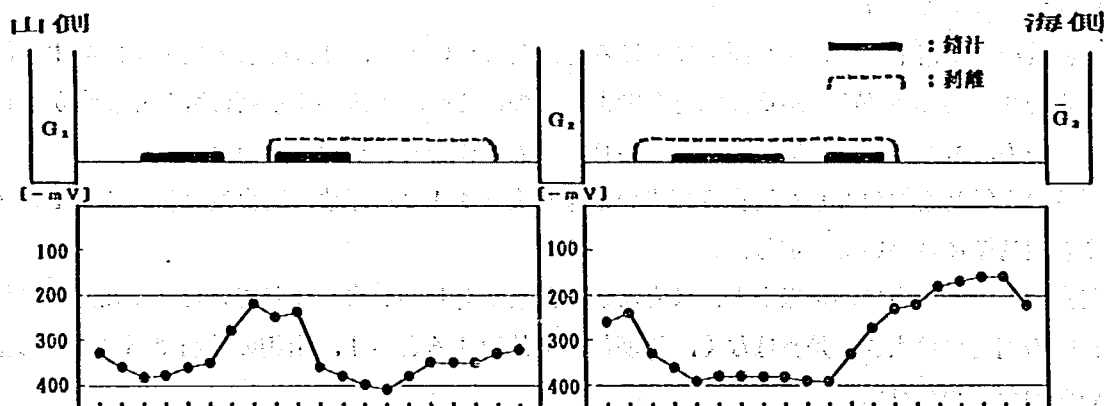


図-4.1.5 旧板貝橋横桁部の自然電位差

旧洞川橋の主桁を対象とした自然電位差測定の結果を図-4.1.6に示す。

主桁G₁では、海側側面部が平均216(-mV)、山側側面部が平均346(-mV)と海側側面部の方が高い(貴の)電位であったのに対し、他の主桁G₂、G₃、G₄では海側側面部で平均380~417(-mV)、山側側面部で230~362(-mV)と山側側面部の方が高い(貴の)電位であった。

また、旧板貝橋での調査結果と同様に、外桁の外側側面部(主桁G₁の海側側面部と主桁G₄の山側側面部)での値が216、230(-mV)と、他の部位での値が257~417(-mV)であったのに比較して高い(貴の)電位であった。

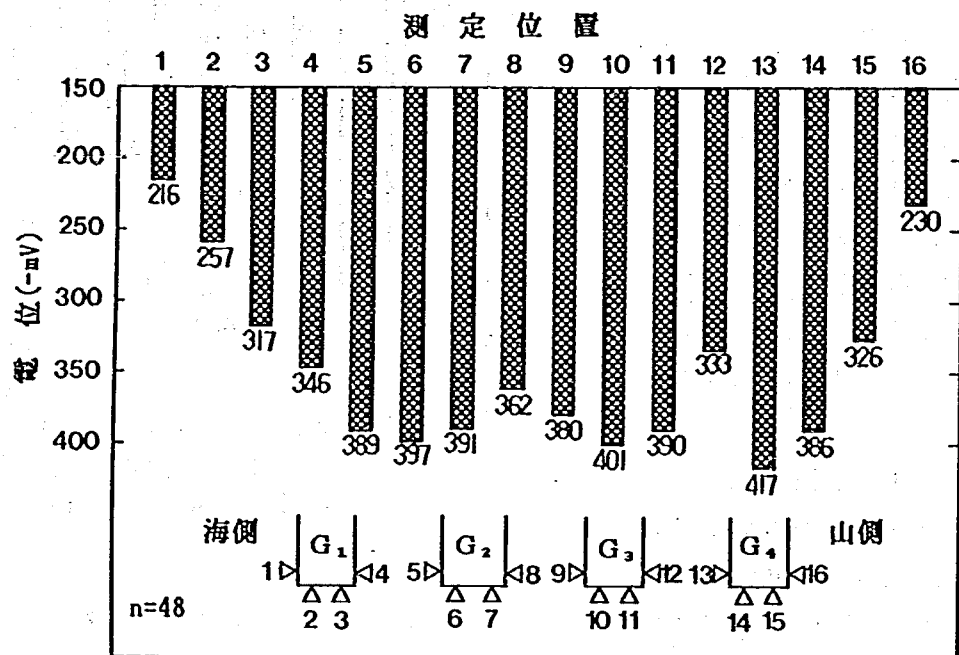


図-4.1.6 旧洞川橋の自然電位差

(2) はつりによる調査

旧板貝橋の主桁下フランジ底面部における主鉄筋については、2段配筋の内の上段の主鉄筋(底面から約9~10cmの位置)が比較的健全であったのに比べ、下段の主鉄筋は著しく腐食が進行していた。一方、スターラップについては、腐食が全断面にわたり進行していた。

下段の主鉄筋を対象とした腐食度調査の結果を表-4.1.2に示す。腐食度は表-4.1.1に示す腐食度判定基準に基づいて判定した。

腐食度Dが各主桁で90%以上と、ほとんどの鉄筋が著しい腐食を生じていた。また、各主桁の各腐食度の割合には大きな差異はなく、鉄筋位置で比較すると若干、山側の鉄筋で腐食度Dの割合が低い傾向が認められた。

表- 4.1.1 腐食度判定基準

腐食度	判 定 基 準
A	腐食認めず
B	ごく表面的な腐食
C	浅い孔食など断面欠損の軽微な腐食
D	断面欠損が明らかに著しい腐食

表- 4.1.2 旧板貝橋の鉄筋腐食状況

	腐 食 度			
	A (%)	B (%)	C (%)	D (%)
主桁 G ₁	0.0	4.3	3.8	91.9
主桁 G ₂	0.0	1.6	3.5	94.9
主桁 G ₃	0.0	2.1	5.5	92.9
山側鉄筋	0.0	6.9	11.9	81.2
中央鉄筋	0.0	1.4	2.9	95.7
海側鉄筋	0.0	2.1	0.8	97.1

旧洞川橋の鉄筋についての腐食度の調査結果を図- 4.1.7 に示す。

腐食が認められなかった部分(腐食度A)は全体の21%であり、各主桁を比較すると主桁G₁とG₃ではそれぞれ27%と29%ではほぼ等しく、主桁G₂では18%、主桁G₄では9%であった。一方、断面欠損が明らかに著しい腐食のある部分(腐食度D)は全体の37%を占めており、主桁G₁、G₂でそれぞれ53%、48%と高い割合であった。

なお、腐食度Aは主桁G₁では山側側面部及び底面部に、主桁G₂、G₃、G₄では山側側面部に集中していた。

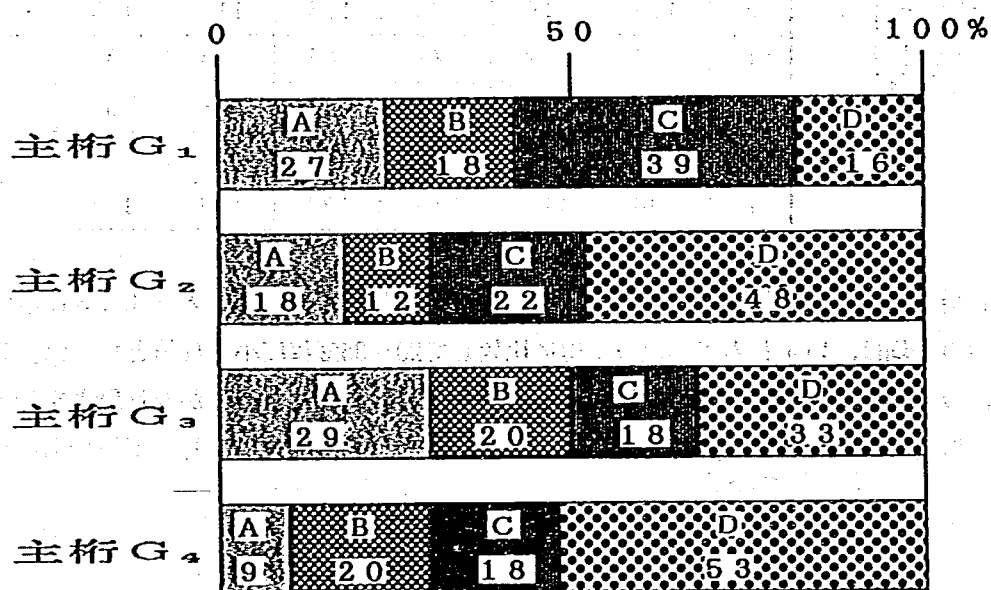


図- 4.1.7 旧洞川橋の鉄筋腐食状況

4.2 劣化損傷要因の調査

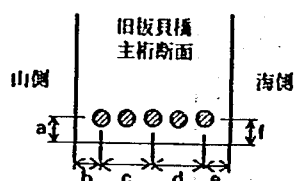
4.2.1 かぶり厚さ

(1) 鉄筋探査器による調査

旧板貝橋及び旧洞川橋を対象に、鉄筋探査器を用いて主鉄筋の位置を推定した。その結果をそれぞれ表－4.2.1、表－4.2.2に示す。

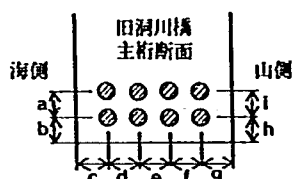
各推定値の平均と実測値の平均の比は、旧板貝橋で0.93～1.03、旧洞川橋で0.95～1.29であり、推定値は実測値に近い値であった。なお、旧板貝橋では主桁下面に5本の鉄筋が配置されていたが、識別できた鉄筋は両外側と中央の3本の鉄筋のみであった。

表－4.2.1 旧板貝橋の主鉄筋位置の推定結果



位置	主桁G ₁	主桁G ₂	主桁G ₃	平均	実測値	推定値/実測値
a	75	75	75	75	81	0.93
b	106	107	106	106	106	1.00
c	124	134	127	128	125	1.02
d	126	120	123	123	130	0.95
e	104	109	109	107	104	1.03
f	70	74	75	73	82	0.89

表－4.2.2 旧洞川橋の主鉄筋位置の推定結果

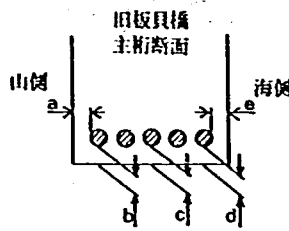


位置	主桁G ₁	主桁G ₂	主桁G ₃	主桁G ₄	平均	実測値	推定値/実測値
a	82	112	105	108	102	106	0.96
b	95	127	112	108	111	86	1.29
c	60	67	55	53	59	62	0.95
d	81	82	87	103	88	81	1.09
e	108	110	125	108	113	116	0.97
f	93	82	78	82	84	82	1.02
g	54	60	57	53	56	56	1.00
h	97	95	82	86	90	87	1.03
i	88	113	110	102	103	107	0.96

旧板貝橋を対象に、鉄筋探査器を用いて推定したかぶり厚さの結果を表－4.2.3に示す。

推定値の平均は、いずれも実測値の平均に比較して20～35%程度小さな値となった。これは、鉄筋探査器の鉄筋径レンジを実際の鉄筋径より小さな値で計測したため、かぶり厚さを過小に評価したものと考えられる。なお、実際の鉄筋径にレンジを合わせた場合には計測不能であった。

表-4.2.3 旧板貝橋のかぶり厚さの推定結果



位置	主桁G ₁	主桁G ₂	主桁G ₃	平均	実測値	推定値/実測値
a	6.9	6.3	5.5	6.2	9.5	0.65
b	4.7	4.8	4.4	4.6	6.3	0.73
c	4.7	4.6	4.8	4.7	6.3	0.75
d	4.7	5.0	4.9	4.9	6.1	0.80
e	5.4	6.1	6.3	5.9	9.0	0.66

旧洞川橋を対象に、鉄筋探査器を用いて推定したかぶり厚さの推定値の分布を図-4.2.1に示す。今回の測定では、使用した計測器の性能上、かぶり厚さの推定値が60mm以上となるものは計測不能であった。

かぶり厚さの推定値は、主桁の山側側面部及び横桁の側面部で40~60mm、床版の底面部で20~50mmであり、これらの値は他の部位での値がほとんど50mm以上であるのに比較して小さかった。

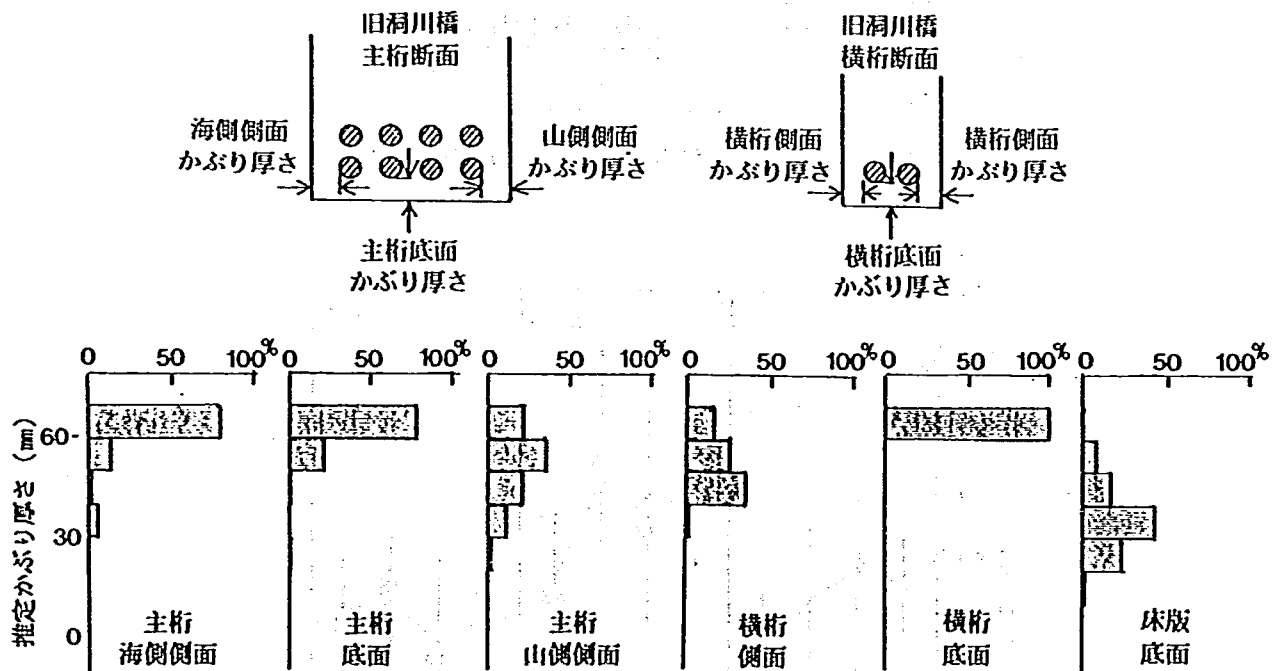


図-4.2.1 旧洞川橋のかぶり厚さの推定結果

(2) はつりによる調査

① かぶり厚さ

旧板貝橋及び旧洞川橋の主桁における主鉄筋のかぶり厚さの測定結果をそれぞれ図-4.2.2、図-4.2.3に示す。

旧板貝橋では主桁の側面部で平均86~103mm、最小値60mmであり、底面部では平均55~67mm、最小値40mmであった。一方、スターラップのかぶり厚さは主桁の側面部では平均69~90mm、最小値22mm、底面部では平均45~57mm、最小値22mmであった。

旧洞川橋では主桁の底面部で平均53～83mm、海側側面部で平均32～57mm 及び山側側面部で平均35～46mm であり、側面部のかぶり厚さは底面部に比べて小さい値であった。また、山側側面部のかぶり厚さが海側側面部に比べ小さい傾向にあった。これは、先に示した鉄筋探査器によるかぶり厚さの推定結果と同様の傾向であった。

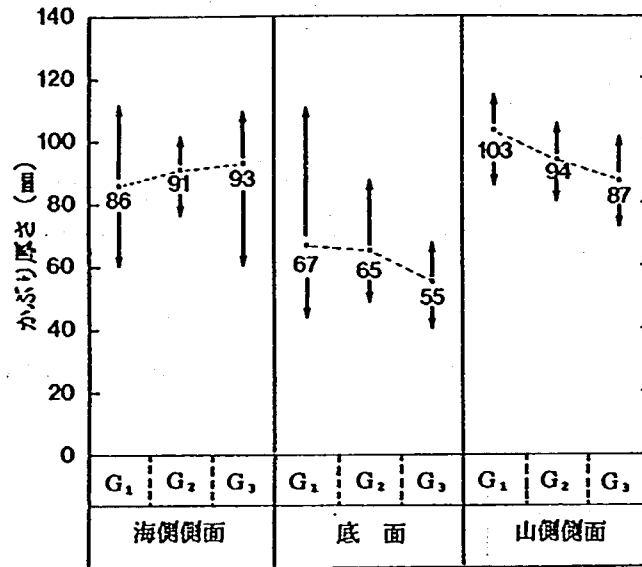


図- 4.2.2 旧板貝橋の主桁の主鉄筋のかぶり厚さ

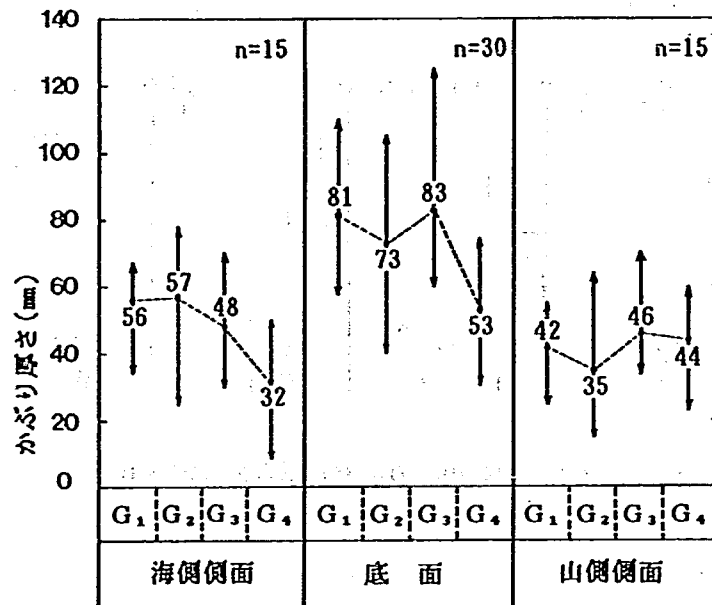


図-4.2.3 旧洞川橋の主桁の主鉄筋のかぶり厚さ

②配筋状況

旧板貝橋の主桁における主鉄筋の配筋状況を図-4.2.4に示す。

主鉄筋は5本ずつ2段に配置されており、脆弱な錆層を落して求めた主鉄筋の径は平均27.1～28.5mm、最小値は25.7mmであった。スターラップについては $\phi 9$ mmが約30cm間隔に配置されていた。

なお、主桁下フランジ底面部的かぶりコンクリート部には砂利がほとんど見当らず、ポーラスなモルタル層となっていた。これは、密な主鉄筋の配置により打設されたコンクリートが材料分離を生じたためと考えられる。

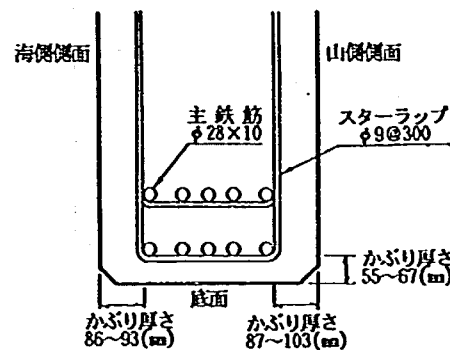


図-4.2.4 旧板貝橋の主桁の主鉄筋の配筋状況

旧洞川橋の主桁における主鉄筋の配筋状況を図-4.2.5に示す。

主鉄筋については $\phi 28$ mmの鉄筋が2段にわたって各4本配置され、スパン中央部では重ね継手が集集中しており、鉄筋相互の間隔が確保されていない状態であった。なお、スターラップは $\phi 9$ mmが20cm間隔に配置されていた。

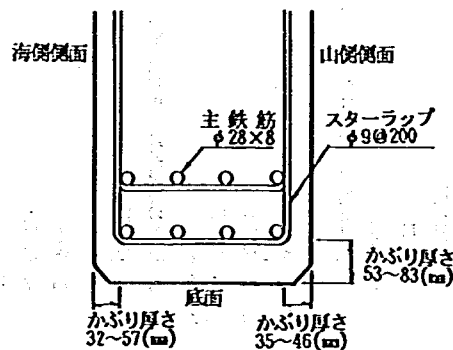


図-4.2.5 旧洞川橋の主桁の主鉄筋の配筋状況

4.2.2 塩分量

(1) 表面付着塩分量

旧板貝橋及び旧洞川橋を対象としたガーゼ法による付着塩分量の測定結果をそれぞれ図-4.2.6、図-4.2.7に示す。

両橋とも主桁下フランジ底面部での測定値が平均100~200(mg/m², NaCl)の間にあり、他の部位の平均値が100(mg/m², NaCl)以下であるのに比較して高かった。また、表面付着塩分量は外桁の外側側面で低く、桁内側へ行くに従い高くなる傾向が見られた。

この理由の1つに、外桁の外側側面では雨等がコンクリート表面に直接かかり、付着した塩分が洗い流されることが考えられる。

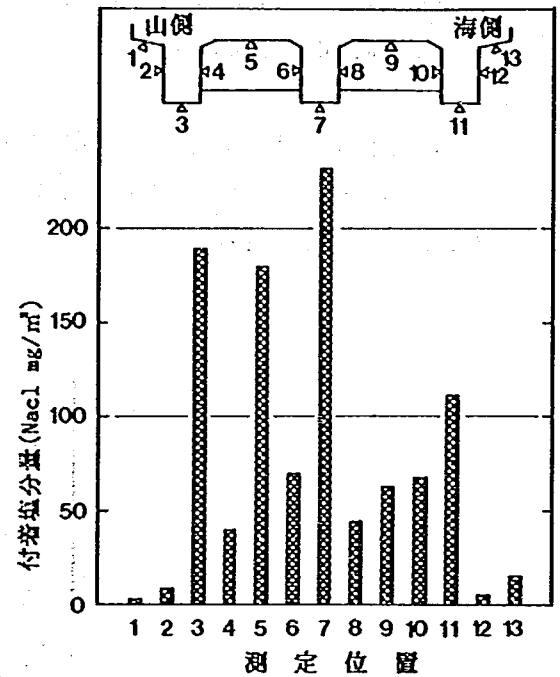


図-4.2.6 旧板貝橋の表面付着塩分量

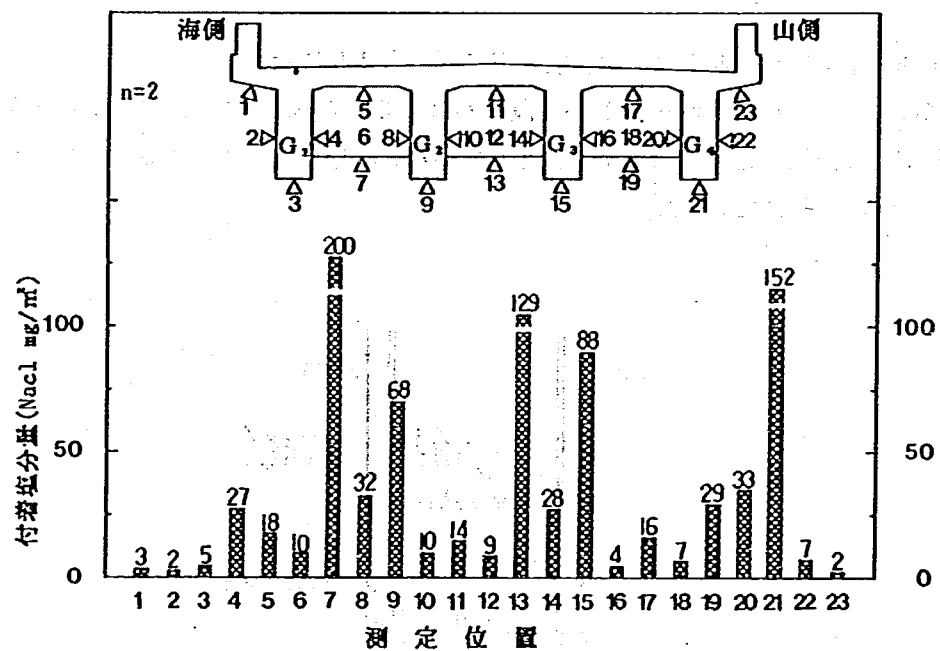


図-4.2.7 旧洞川橋の表面付着塩分量

(2) 内部含有塩分量

① コア試料による内部含有塩分量

旧板貝橋の主桁側面部より採取したコンクリートコアを対象に測定した内部含有塩分量（全塩分量）の結果を図-4.2.8に示す。

主桁の中心部における含有塩分量の平均値は $0.1 \sim 0.2 \text{ (kg/m}^3, \text{Cl}^-)$ であった。これはセメント、練り混ぜ水、混和剤によって混入される塩分量に相当し、また貝殻などの混入が認められないことより、使用されたコンクリートには塩分がほとんど含まれていなかったと考えられる。

なお、主鉄筋位置での塩分量はいずれの主桁においても $1.0 \text{ (kg/m}^3, \text{Cl}^-)$ 以下であった。

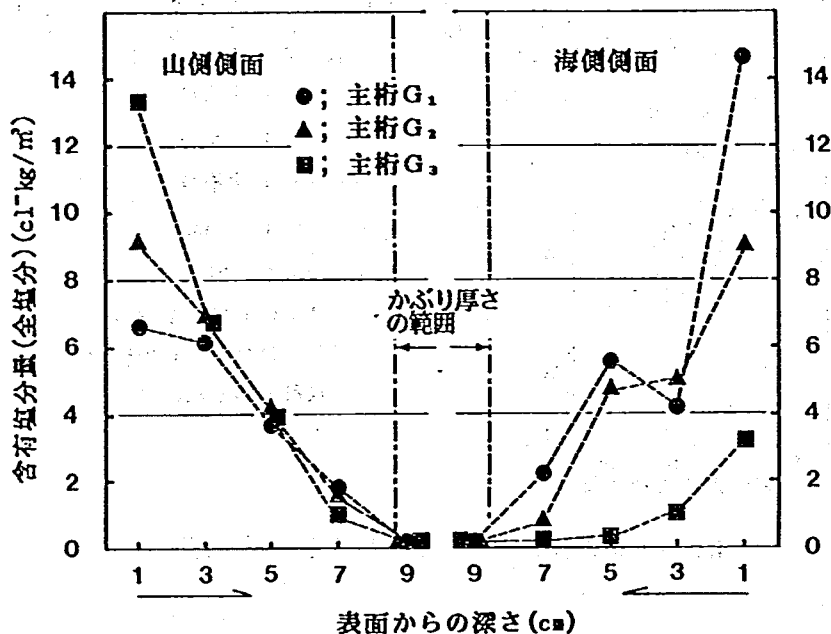


図-4.2.8 旧板貝橋のコア試料による内部含有塩分量

旧洞川橋の主桁の側面部及び底面部より採取したコンクリートコアを対象に測定した内部含有塩分量（全塩分量）の結果を図-4.2.9に示す。

海側側面部の含有塩分量は山側側面部での値に比較して約2倍程度の高い値であった。また、雨等に洗われ易い主桁G₁の海側側面部及び主桁G₂の山側側面部の表層部での含有塩分量は、他の部位と比較して低い値を示した。主桁G₃の底面部より採取したコンクリートコアはジャンカ及びひびわれが多く、表面から離れた位置での含有塩分量が表層部と同程度の値であった。

主桁の主鉄筋位置での塩分量は海側側面部で $5 \sim 15 \text{ (kg/m}^3, \text{Cl}^-)$ 、主桁底面部で $1 \sim 10 \text{ (kg/m}^3, \text{Cl}^-)$ 、山側側面部で $1 \sim 8 \text{ (kg/m}^3, \text{Cl}^-)$ であり、旧板貝橋の主桁の主鉄筋位置での塩分量が $1.0 \text{ (kg/m}^3, \text{Cl}^-)$ 以下であったのに比較してかなり高い値であった。

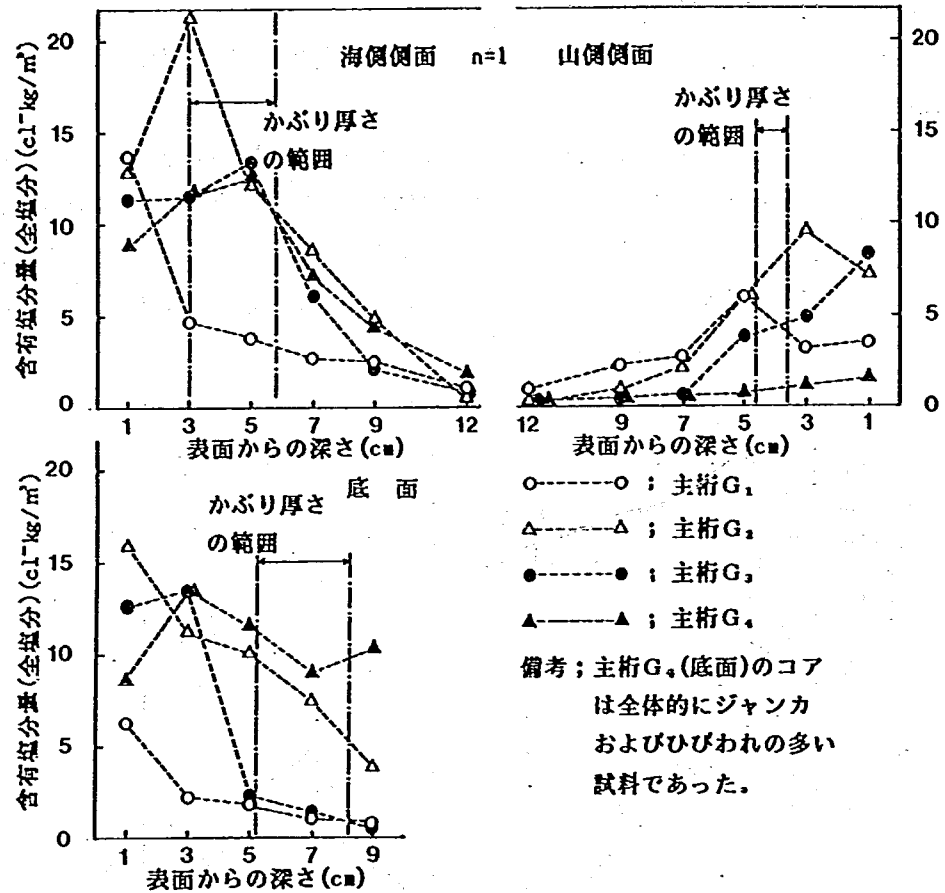


図-4.2.9 旧洞川橋のコア試料による内部含有塩分量

②ドリル試料による内部含有塩分量

旧板貝橋の主桁底部より採取したドリル試料を用いた場合の内部含有塩分量(可溶性塩分量)の測定結果を図-4.2.10に示す。比較のためコア試料による測定値を付記した。

いずれの桁においてもドリル試料を用いた場合の測定値の方が、コア試料を用いた場合より高い値を示した。

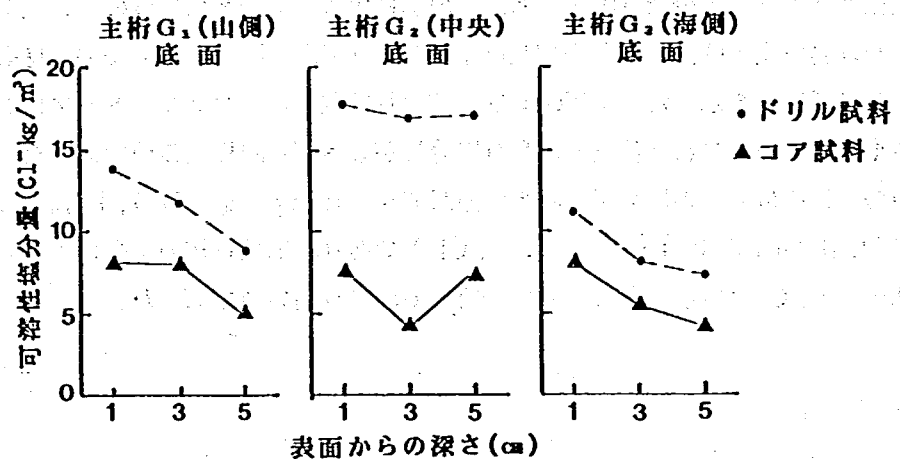


図-4.2.10 旧板貝橋のドリル試料による内部含有塩分量

旧洞川橋でのドリル試料を用いた場合の内部含有塩分量の測定結果を図-4.2.11, 図-4.2.12に示す。

図-4.2.11は試料を微粉碎後, 土木研究所標準試験(案)「コンクリート中塩分の分析方法」(以下, 土研法)により可溶性塩分量を測定したものである。

主桁の海側側面部では, 主桁 G_4 が表面より0~4(cm)の位置で約20 (kg/m^2 , Cl^-) と高い塩分量であり, 底面部では, 主桁 G_2 , G_3 が表面より0~8(cm)の位置で10~20(kg/m^2 , Cl^-)と高い塩分量であった。また各床版の下面部での測定値には特に差は認められなかった。

なお, 図-4.2.12は試料調整を行わずに簡易塩分測定紙を用いて全塩分量を測定した結果を示したものである²⁾。

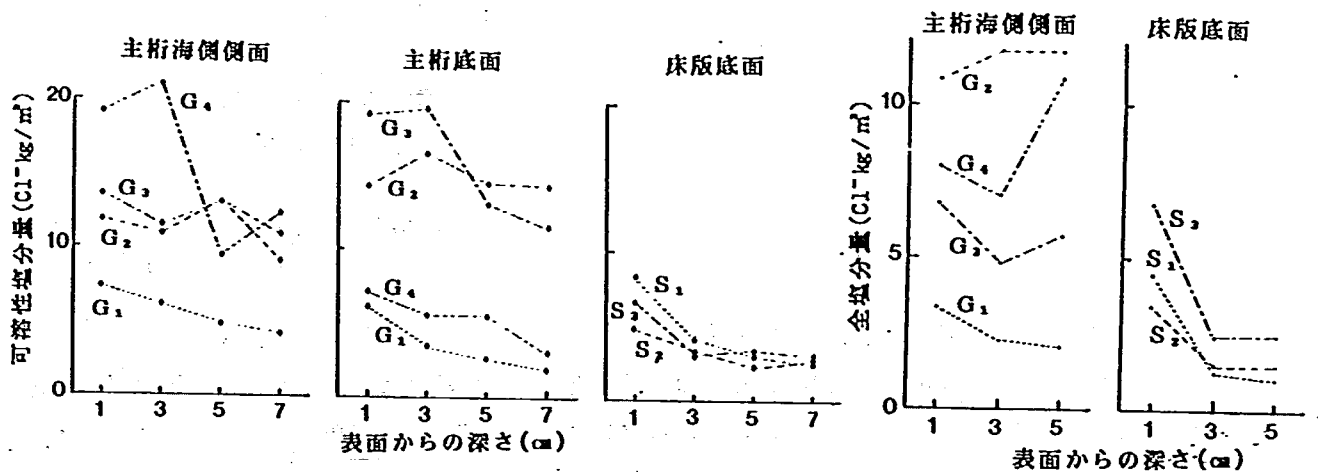


図-4.2.11 ドリル試料による内部含有塩分量(土研法)

図-4.2.12 ドリル試料による内部含有塩分量(簡易試験法)

③削り取り試料による内部含有塩分量(表層部)

旧板貝橋の橋台部を対象とした, 削り取り深さが1 mm, 5 mm の2種類の試料の内部含有塩分量(可溶性塩分量)の測定結果を図-4.2.13に示す。

削り取り深さが1 mm と5 mm との塩分量の差は0.9 (kg/m^2 , Cl^-)であり, コア試料を用いた場合の測定値の1/2程度の値であった。

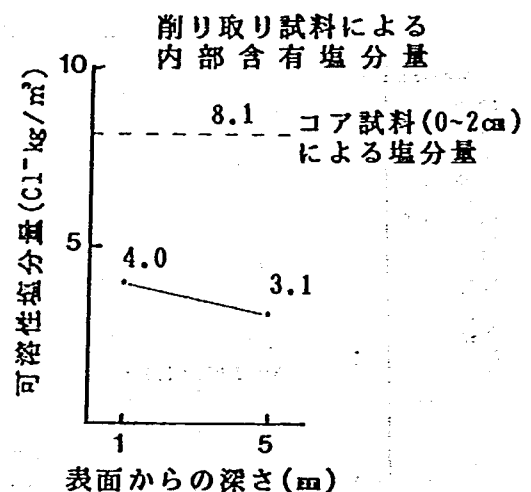


図-4.2.13 旧板貝橋での削り取り試料による内部含有塩分量

旧洞川橋の主桁の海側側面部から削り取りによる方法で採取した試料の内部含有塩分量（可溶性塩分量）の測定結果を図-4.2.14に示す。また、同図には試料採取位置付近のドリル試料及びコア試料を用いた場合の測定値を示す。

各試料採取方法の違いが測定値に及ぼす影響については明確な点は認められなかった。

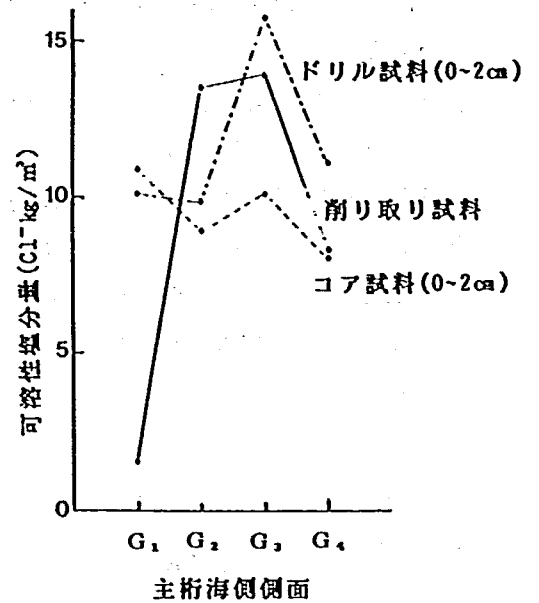


図-4.2.14 旧洞川橋での削り取り試料による内部含有塩分量

④ガーゼ法による表面付着塩分量とコア法及び削り取り法による表層部含有塩分量

コア表層部（0～2 cm）を微粉碎したものを試料とし、土研法により測定した含有塩分量（全塩分量）と、ガーゼ法によって測定した表面付着塩分量との比較を旧板貝橋について図-4.2.15に、旧洞川橋について図-4.2.16に示す。また、旧洞川橋におけるガーゼ法による表面付着塩分量と削り取り法による表面部の含有塩分量との比較を図-4.2.17に示す。

旧板貝橋（図-4.2.15）と旧洞川橋（図-4.2.16）を比較すると、旧洞川橋ではガーゼ法による表面付着塩分量に対するコア表層部含有塩分量の割合が高かった。

ガーゼ法と削り取り法との比較では、バラツキが大きく相関は認められなかった。

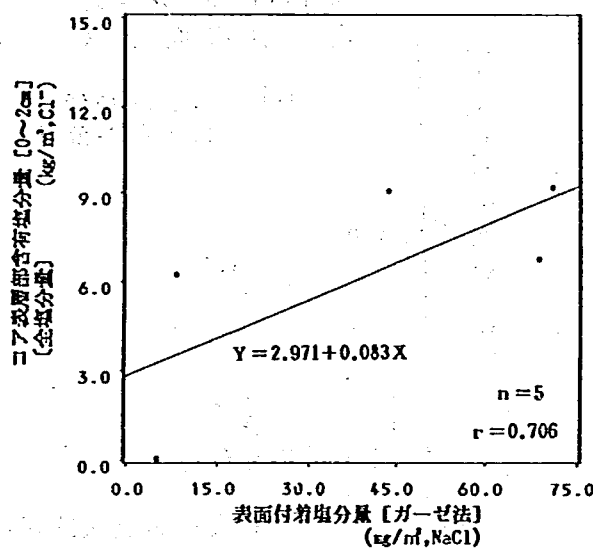


図-4.2.15 旧板貝橋のガーゼ法による表面付着塩分量とコア法によるコア表層部含有塩分量

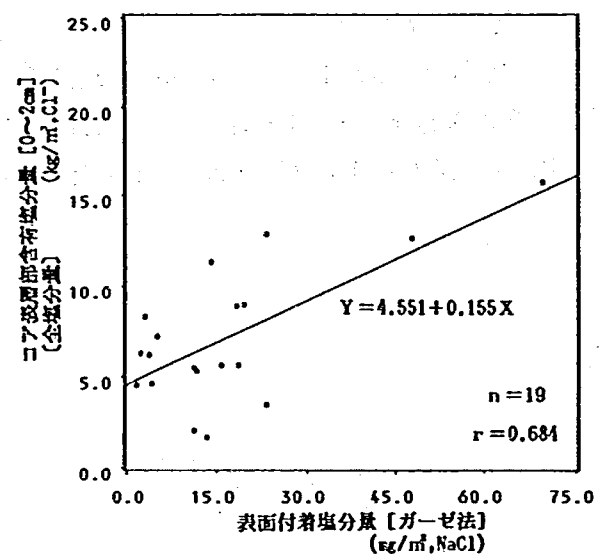


図-4.2.16 旧洞川橋のガーゼ法による表面付着塩分量とコア法によるコア表層部含有塩分量

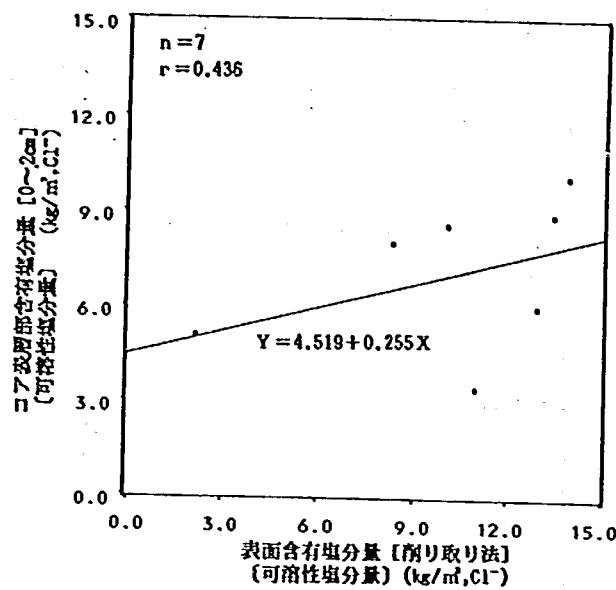


図-4.2.17 旧洞川橋の削り取り法による表面含有塩分量とガーゼ法による表面付着塩分量

⑥削り取り法による表面含有塩分量とコア法及びドリル法による表層部含有塩分量

旧洞川橋での削り取り法による表面含有塩分量と、コア法によるコア表層部 (0~2 cm) 含有塩分量との比較を図-4.2.18に示す。なお、塩分量は両者とも土研法により可溶性塩分量を測定したものである。

旧洞川橋での削り取り法による表面含有塩分量と、ドリル法による表層部 (0~2 cm) 含有塩分量との比較を図-4.2.19に示す。

削り取り法による測定値とコア法及びドリル法での測定値はほとんど一致せず、相関は認められなかった。

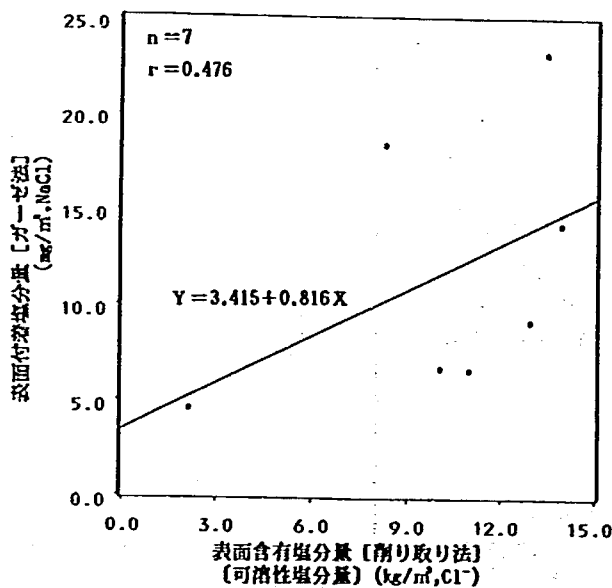


図-4.2.18 削り取り法による表面含有塩分量とコア法によるコア表層部含有塩分量

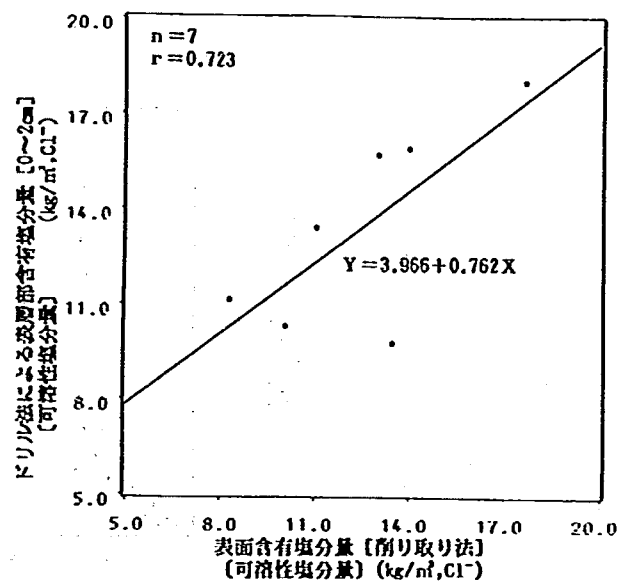


図-4.2.19 削り取り法による表面含有塩分量とドリル法による表層部含有塩分量

⑥ドリル法による内部含有塩分量とコア法による内部含有塩分量

旧板貝橋及び旧洞川橋でのドリル法による内部含有塩分量とコア法による内部含有塩分量との比較を図-4.2.20に示す。塩分量は両者とも試料を微粉碎した後、土研法により可溶性塩分量を測定したものである。

両方法による測定値はほとんど一致せず、バラツキが大きかった。また、概してドリル法の塩分量の方が高い値を示す傾向が見られた。

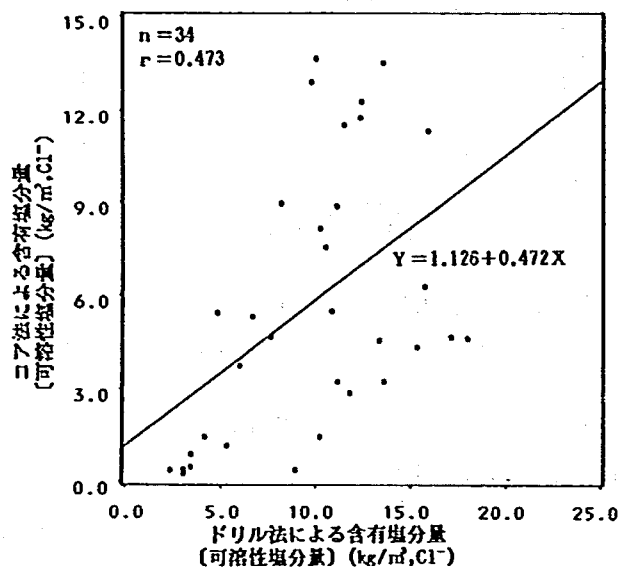


図-4.2.20 ドリル法による表層部含有塩分量とコア法によるコア表層部含有塩分量

⑦簡易塩分量測定方法と土研法

旧洞川橋での簡易塩分測定紙を用いて測定した含有塩分量（全塩分量）と、土研法で測定した含有塩分量（全塩分量）との比較を図-4.2.21に示す。土研法ではではコア試料を室内で微粉したも

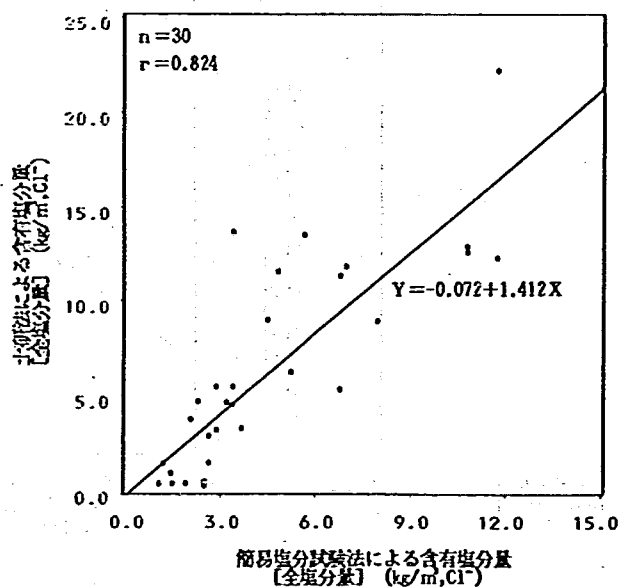


図-4.2.21 旧洞川橋での簡易塩分量測定方法と土研法

のを試料とし、簡易塩分量測定方法ではドリル粉末を微粉碎せずにそのまま試料として測定を行った。

ドリル粉末をそのまま試料としたためか、簡易塩分量測定方法での測定値はコア法の値に対して約70%程度であった。

⑧全塩分量と可溶性塩分量

旧板貝橋及び旧洞川橋での全塩分量と可溶性塩分量との比較を図-4.222、図-4.223に示す。測定値は旧板貝橋及び旧洞川橋から採取したコア試料を用いたものである。

同一試料を用いているため、その相関係数はそれぞれ $r = 0.956$ 、 $r = 0.878$ と高い値であったが、全塩分量に対する可溶性塩分量の比は旧板貝橋で約65%、旧洞川橋で約84%と違いが認められた。これは、コンクリートの品質（セメント量、W/C、コンクリート組織の密実さの程度等）に起因していると推測される。

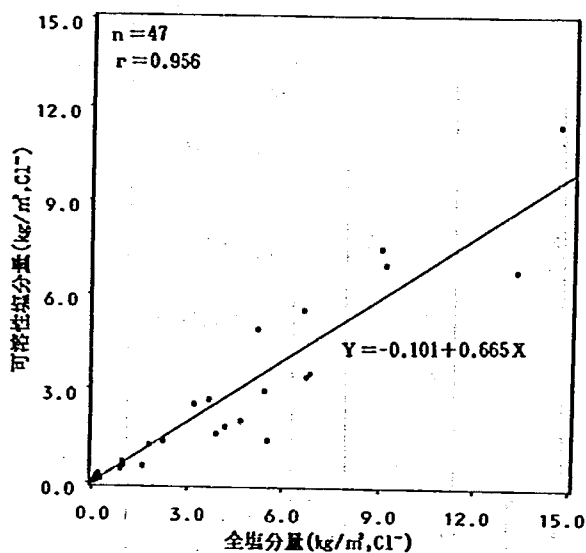


図-4.222 旧板貝橋の全塩分量と可溶性塩分量

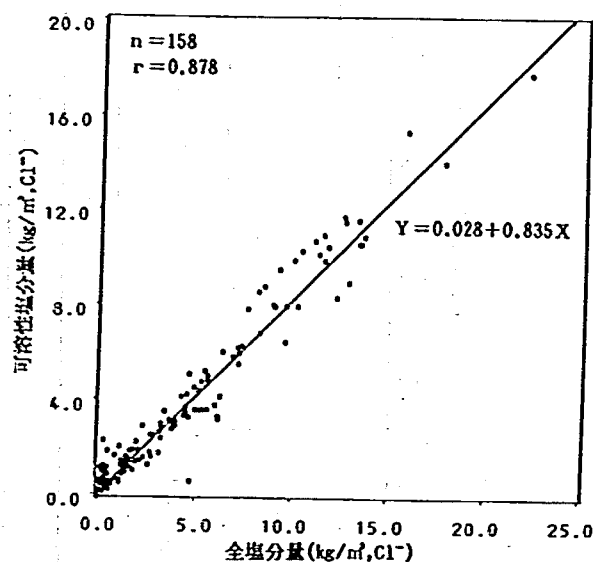


図-4.223 旧洞川橋の全塩分量と可溶性塩分量

4.2.3 材料の品質

(1) コンクリート

①超音波伝播速度調査

旧板貝橋及び旧洞川橋の主桁下フランジ部を対象に、対称測定法による超音波伝播速度の測定結果を図-4.2.24に示す。測定位置はそれぞれ旧板貝橋では底面より10cm、旧洞川橋では底面より70cmの位置である。同図にはASTM C597による品質判定基準を併記した。

ASTMの品質判定基準によると、旧板貝橋の主桁 G_1 はGood、主桁 G_2 、 G_3 はFair、旧洞川橋の主桁はいずれもPoorあるいはVery Poorとなった。しかしながら、同一の桁においての個々の測定値のバラツキがかなり大きく、特に旧洞川橋の主桁では最大値と最小値の差が約4 (km/s)もあった。これは旧洞川橋の場合、コンクリートの品質や密実さの程度が同一の桁においても均一でなく、ポーラスな部分が多くあったためと考えられる。

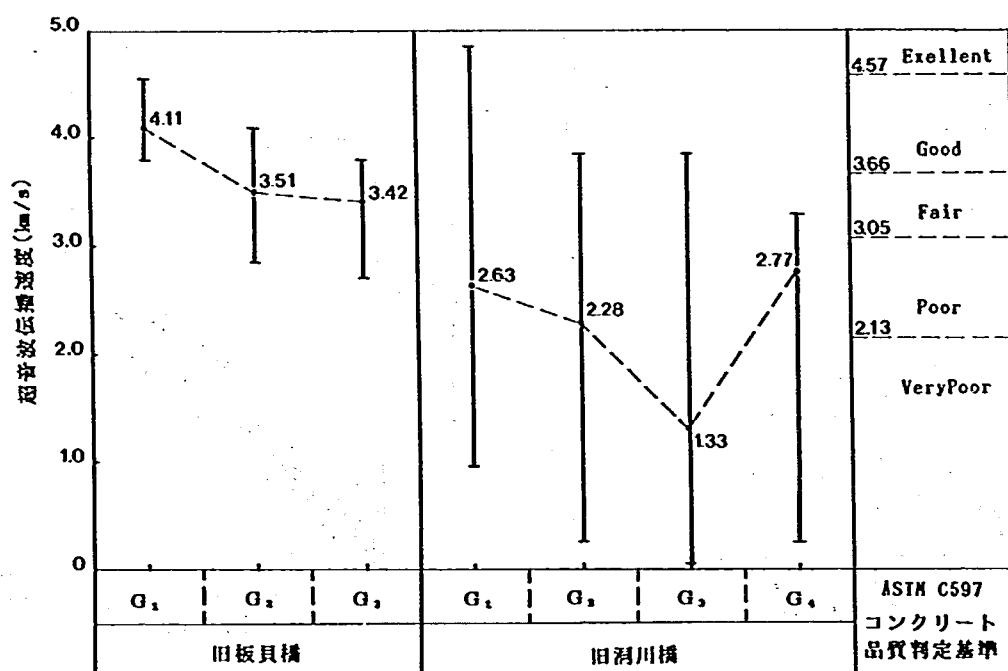


図-4.2.24 超音波伝播速度の測定結果

②反発硬度調査

旧板貝橋の主桁下フランジ底面部で測定した反発硬度の分布を図-4.2.25に示す。図中の健全部と不良部とは、たたき調査時の調査員の主観（経験）によって区分したものである。また同図には日本材料学会の圧縮強度推定式による換算値を図の下に示す。

反発硬度の測定値にはかなりのバラツキがあり、特に不良部での反発硬度が $R = 4 \sim 60$ と広い範囲に分布していた。

健全部及び不良部の反発硬度の平均値はそれぞれ $R=49.4$, 37.3 であり, これらの値を用いて日本材料学会の圧縮強度推定式により圧縮強度を換算するとそれぞれ 288 , $189(\text{kg}/\text{cm}^2)$ であった。

旧洞川橋での反発硬度の測定結果を図-4.2.26に示す。図に示す圧縮強度は反発硬度の測定値を用いて日本材料学会の圧縮強度推定式より換算したものである。

各主桁での推定圧縮強度の平均値は $173 \sim 226(\text{kg}/\text{cm}^2)$ であり, 主桁間には大きな差は認められなかった。また, 主桁 G_3 の推定圧縮強度が他の主桁での値に比較して, $201 \sim 261(\text{kg}/\text{cm}^2)$ とバラツキが最も小さかった。床版部については, 推定圧縮強度の平均値が $295(\text{kg}/\text{cm}^2)$ と, 主桁, 横桁及び橋脚での値に比較して最も高い値を示した。

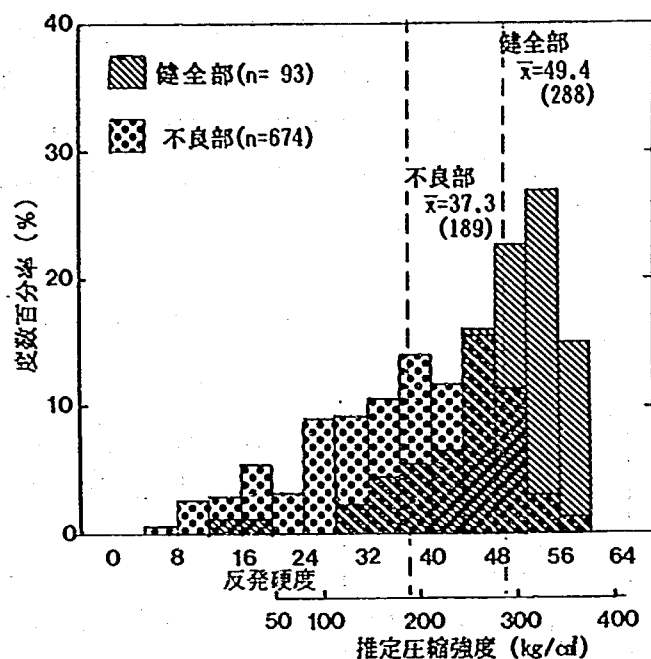


図-4.2.25 旧板貝橋の反発硬度調査

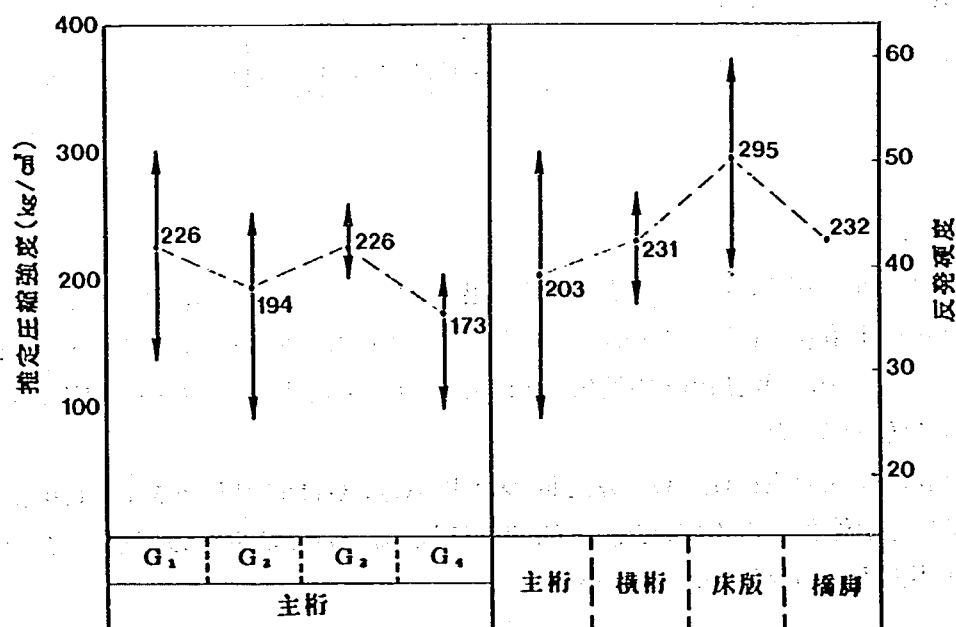


図-4.2.26 旧洞川橋の反発硬度調査

③コンクリートの品質調査

コンクリートの品質の調査結果を表-4.2.4に示す。

旧板貝橋では、各主桁のコンクリートの品質に違いが認められ、主桁G₁が他の桁に比べ推定W/Cが32.9%と低く、圧縮強度が474(kg/cm²)と高い値であった。

旧洞川橋の圧縮強度については、床版部が369(kg/cm²)と最も高く、横桁部が170(kg/cm²)と低い値であった。弾性係数については、通常のコンクリートの1/2程度の値であった。配合推定の結果については、単位セメント量、単位水量が床版部において最も高い値を示し、それぞれC=428, W=222(kg/m³)であった。

表-4.2.4 コンクリートの品質調査の結果

橋梁名部	位置	圧縮強度 (kg/cm ²)	弾性係数 (×10 ⁴ kg/cm ²)	含水率 (%)	吸水率 (%)	空隙率 (%)	単位容積重量 (kg/m ³)			配 合 推 定				骨材比重
							気乾表	気乾裏	気乾底	W/C	セメント	水	骨材	
旧板貝橋	主桁G ₁ (n=3)	474	---	3.9	4.6	0.092	2414	2431	2347	32.4	343	111	1868	2.68
	主桁G ₂ (n=3)	424	---	3.0	3.7	0.083	2407	2423	2334	44.6	399	178	1804	2.77
	主桁G ₃ (n=3)	400	---	3.2	4.7	0.098	2339	2371	2264	56.7	323	183	1843	2.75
	総平均(n=9)	420	---	3.4	4.3	0.091	2386	2397	2315	44.6	355	157	1872	2.74
旧洞川橋	主 桁(n=4)	205	1.04	4.9	5.7	0.086	2402	2421	2290	72	276	188	1928	2.77
	横 桁(n=3)	170	1.10	3.4	4.6	0.060	2405	2434	2325	57	264	150	2033	2.68
	床 版(n=2)	369	1.59	3.2	3.4	0.055	2490	2495	2413	52	428	222	1827	2.93
	橋 脚(n=2)	274	1.07	4.6	4.8	0.053	2398	2402	2292	71	221	156	2005	2.89
	総平均(n=11)	238	1.16	4.1	4.8	0.067	2418	2434	2322	63	280	173	1948	2.82

④中性化深さ

旧板貝橋及び旧洞川橋の中性化深さの測定結果をそれぞれ図-4.2.27, 図-4.2.28に示す。

旧板貝橋の中性化深さは竣工後約20年を経過しているにもかかわらず、2.0～6.0mm程度の低い値であった。一方、旧洞川橋の中性化深さは1.0～45.0mmと旧板貝橋の測定値に比べて7～10倍程度大きい値であった。

旧板貝橋については主桁G₂, G₃の底面部及び主桁G₂, G₃間の床版で5.1～6.0mmと他の部位に比較して中性化が進んでいた。一方、旧洞川橋については主桁の側面部で30～45mmと他の部位に比較して中性化が進行していた。

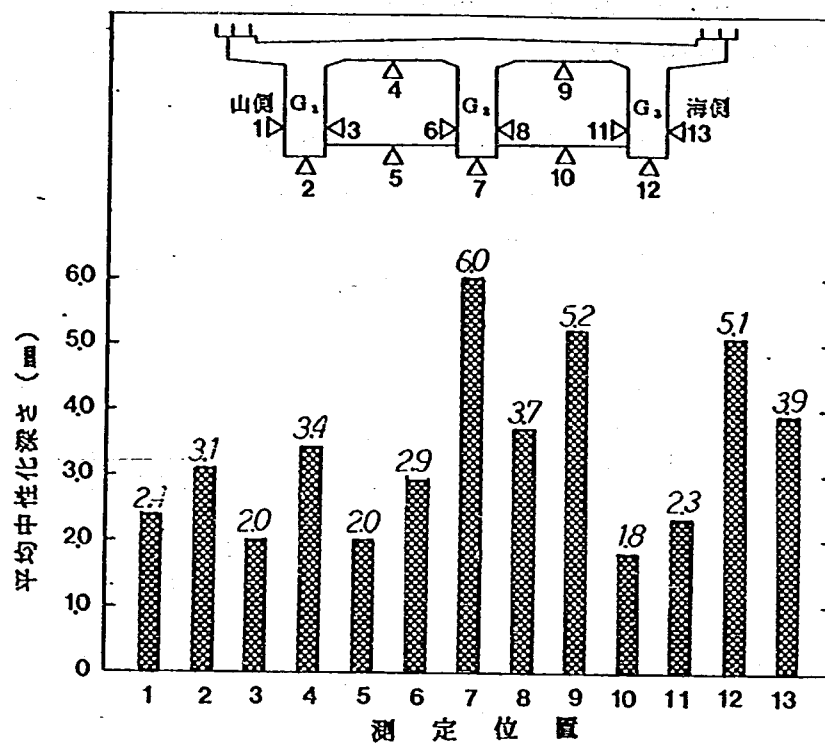


図-4.2.27 旧板貝橋の中性化深さ

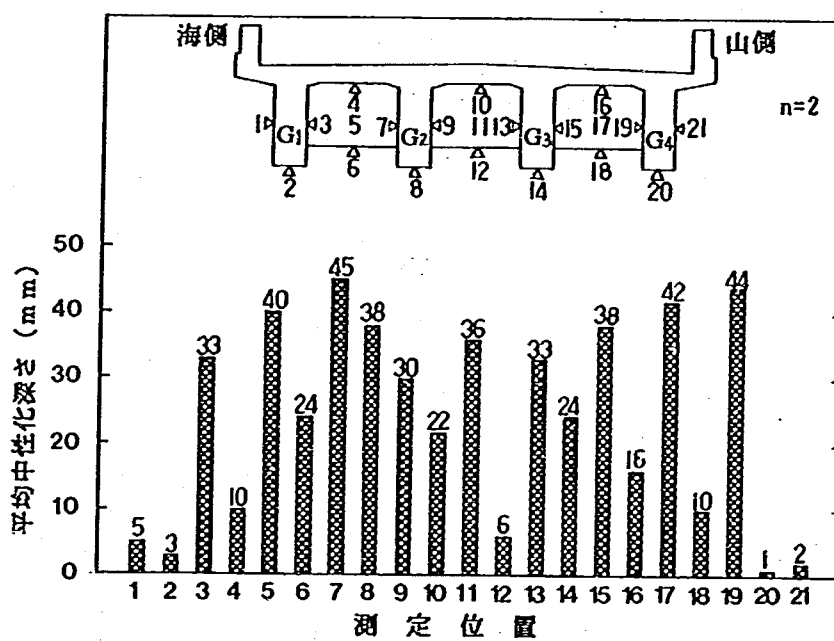


図-4.2.28 旧洞川橋の中性化深さ

(2) 鉄 筋

旧洞川橋の横桁部より採取した鉄筋の品質の調査結果を表－4.2.5に示す。使用されていた鉄筋は、現在のSR24の引張強度及び成分に相当する。

表－4.2.5 旧洞川橋の鉄筋の品質

試 料 及 び 基 準 値	引張強度 (kg/㎡)		成 分 (%)			
	降 伏 点	強 さ	炭 素	マンガン	り ん	硫 黄
採 取 試 料 (n = 3)	29.3	45.5	0.205	0.38	0.02	0.03
S R 2 4 基 準 値	24 以上	39 ～ 53	—	—	0.05 以下	0.05 以下

5. 考 察

5.1 コンクリート表面の劣化損傷と各種劣化要因の関係

5.1.1 コンクリート表面の劣化損傷とその発生位置の関係

図-5.1.1に主桁を海側側面部、底面部及び山側側面部に分け、コンクリート表面の劣化損傷状況の調査で認められたひびわれ、はくり及び鉄筋露出を単位面積当たりの劣化損傷として示す。

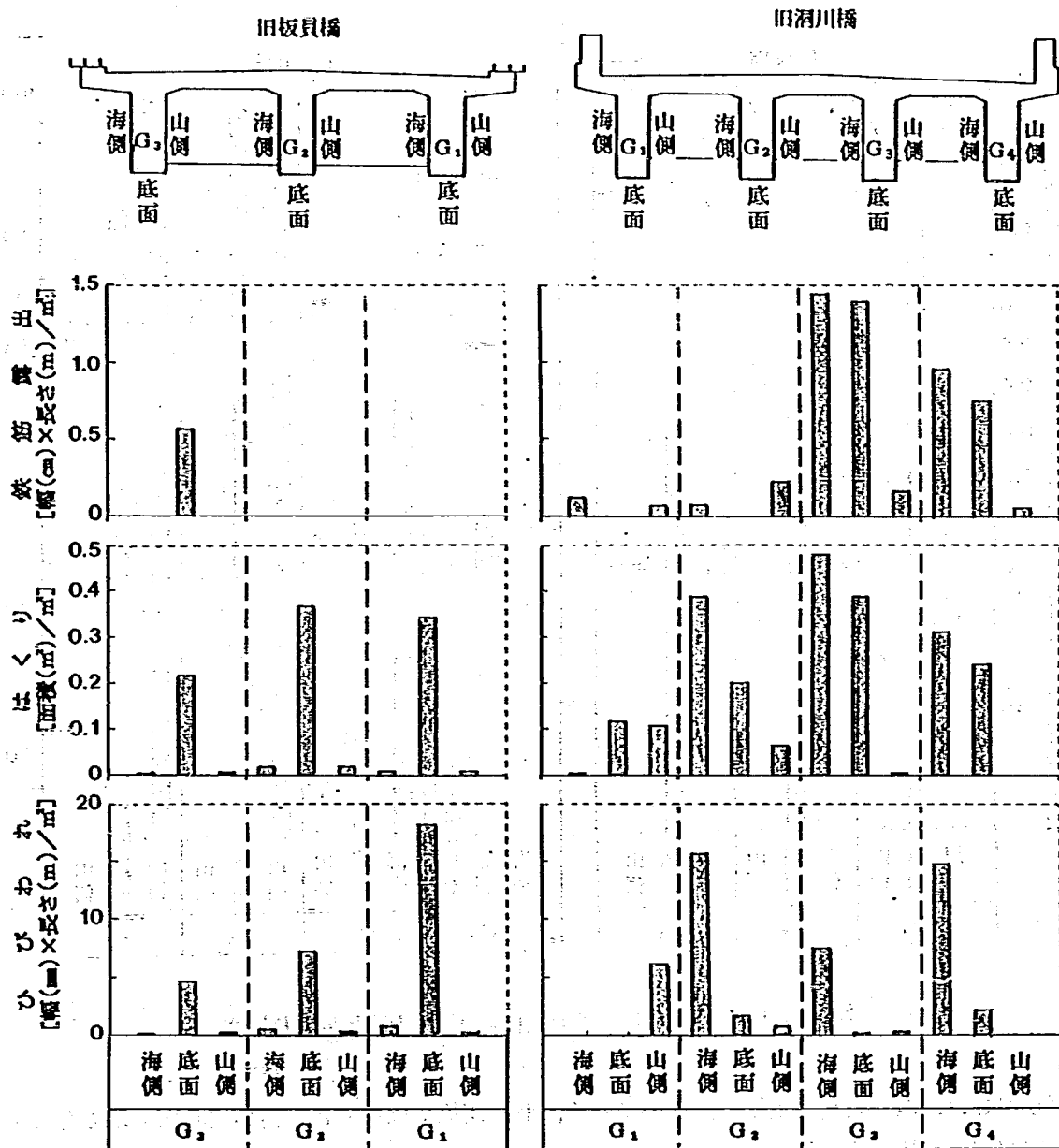


図-5.1.1 コンクリート表面の劣化損傷とその発生位置

旧板貝橋と旧洞川橋との劣化損傷の程度を比較すると、はくり及び鉄筋露出が旧洞川橋で顕著に発生していた。また、旧板貝橋の劣化損傷は主桁の底面部に集中していたが、旧洞川橋では主桁の底面部に加えて海側側面部でも多く認められた。

旧板貝橋では、ひびわれが主桁G₁の底面部で多く、はくりが主桁G₁、G₂の底面部で多かった。また、

鉄筋露出は主桁G₃底面部でのみ認められた。

旧洞川橋では、各主桁とも山側側面部が海側側面部に比べ劣化損傷が少ないが、主桁G₁ではひびわれが山側側面部でのみ発生していた。しかし、その程度は他の主桁の海側側面部に比べて軽微であり、概して、主桁G₁は比較的健全な状態にあった。

5.1.2 コンクリート表面の劣化損傷とかぶり厚さの関係

コンクリート表面の劣化損傷状況とかぶり厚さとの関係を図-5.1.2に示す。

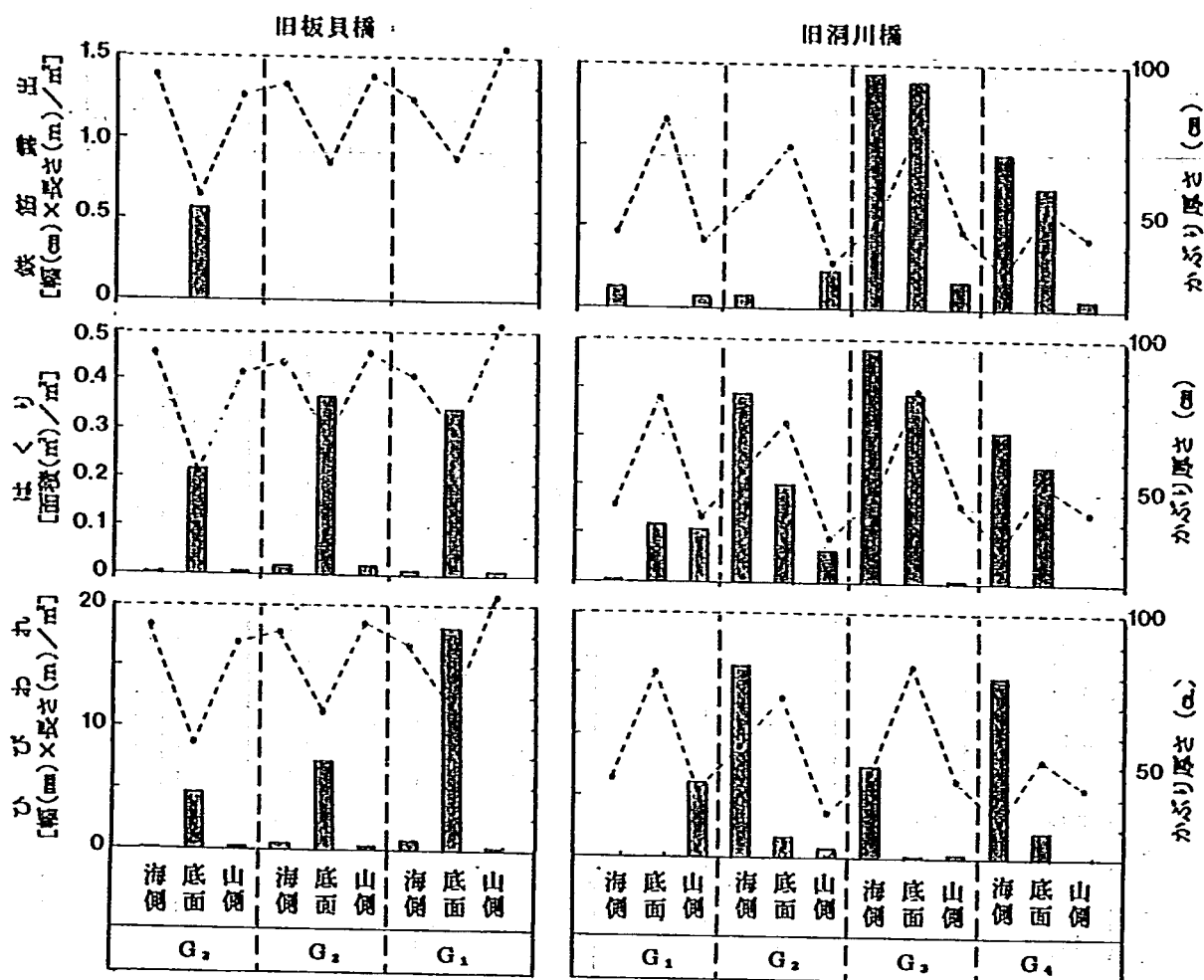


図-5.1.2 コンクリート表面の劣化損傷とかぶり厚さ

かぶり厚さは、旧板貝橋の主桁の底面部で薄く、旧洞川橋では反対に主桁の側面部で薄くなっていた。また、旧洞川橋に比べ全般的に旧板貝橋の方がかぶりが厚い傾向にあった。

劣化損傷の程度とかぶり厚さを比較すると、旧板貝橋ではかぶり厚さの薄い主桁の底面部に劣化損傷が集中していた。しかし、旧洞川橋ではかぶりが厚い主桁の底面部においてもはくり及び鉄筋露出が多数認められる箇所があった。

5.1.3 コンクリート表面の劣化損傷と表面付着塩分量の関係

コンクリート表面の劣化損傷状況と表面付着塩分量との関係を図-5.1.3に示す。

表面付着塩分量は旧板貝橋及び旧洞川橋に共通して主桁の底面部で高い値であり、海側の主桁が他の桁より比較的低い値であった。また、旧板貝橋の方が旧洞川橋に比べ全体的に高い値であった。

劣化損傷の程度と表面付着塩分量とを比較すると、旧板貝橋では主桁の底面部で表面付着塩分量が多く、劣化損傷も顕著に認められた。一方、旧洞川橋では表面付着塩分量と劣化損傷の程度は必ずしも一致していなかった。

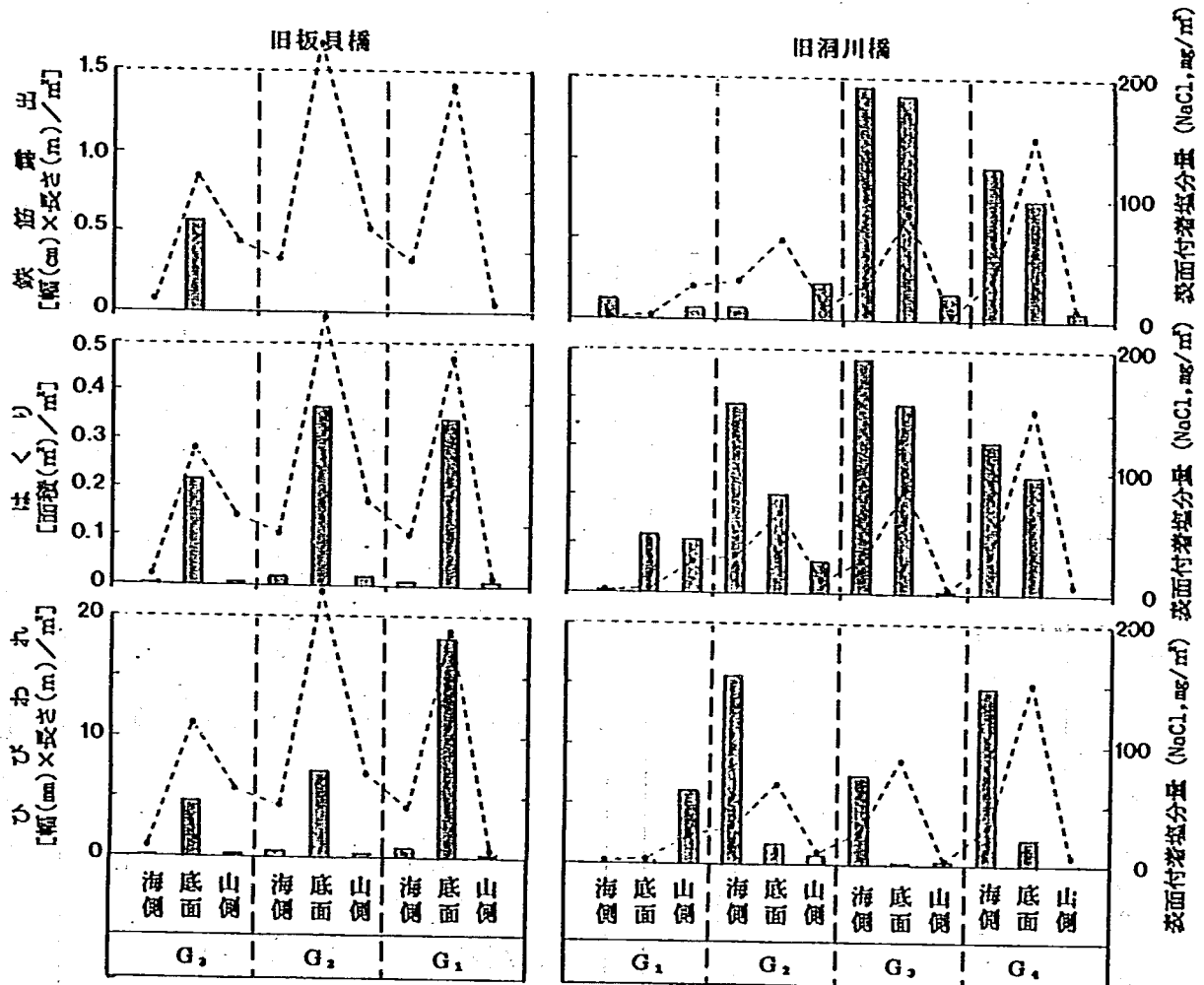


図-5.1.3 コンクリート表面の劣化損傷と表面付着塩分量

5.1.4 コンクリート表面の劣化損傷と内部含有塩分量の関係

コンクリート表面の劣化損傷状況と内部含有塩分量との関係を図-5.1.4に示す。内部含有塩分量は鉄筋位置での測定値である。なお、旧板貝橋については可溶性塩分量の値のみ記している。

旧板貝橋では、主桁の底面部での含有塩分量（可溶性塩分量）が他の部位に比較して高い値であり、ほぼ劣化損傷の程度と同様な傾向を示した。

旧洞川橋の含有塩分量は、旧板貝橋に比較してかなり高い値であり、先に示した表面付着塩分量では旧板貝橋の方が高い値であったのに対して反対の傾向にあった。劣化損傷の程度と含有塩分量との関係は、各劣化損傷が他の桁に比べて顕著な主桁G₃の底面部を除いて、含有塩分量の高い部位では劣化損傷の程度も高くなっており、ほぼ一致した傾向を示した。

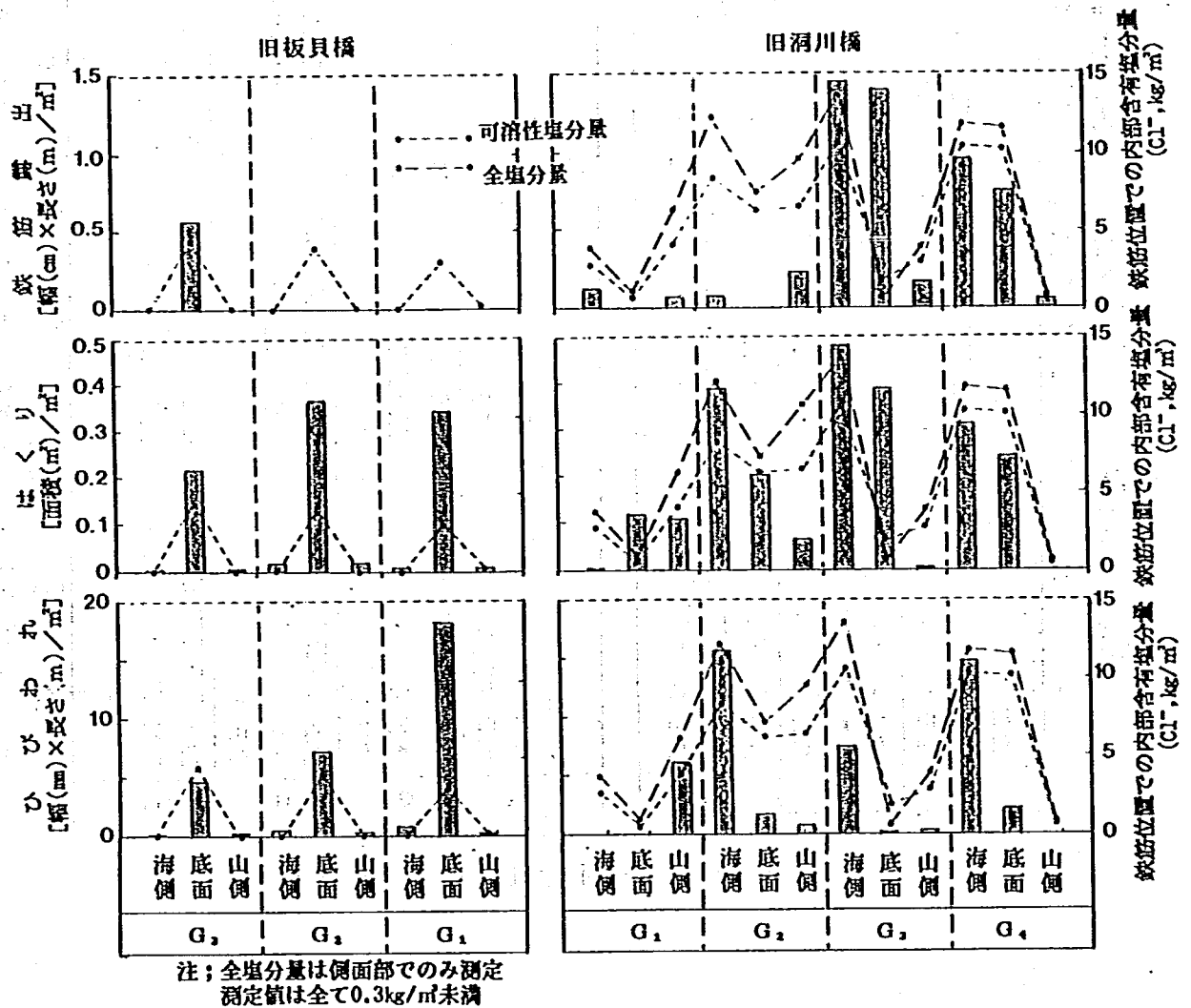


図-5.1.4 コンクリート表面の劣化損傷と内部含有塩分量

5.2 鉄筋の腐食度と各種劣化損傷要因の関係

5.2.1 鉄筋の腐食度とかぶり厚さの関係

旧洞川橋でのかぶり厚さの分布を鉄筋の腐食度別に図-5.2.1に示す。鉄筋の腐食度は表-5.2.1に基づいて判定したものである。

各腐食度の間にかぶり厚さの違いは特に認められなかった。これは調査橋のかぶり厚さが50mm前後に集中していたこと、同じかぶり厚さであっても部位あるいはコンクリートの品質等の違いにより、鉄筋に供給された塩分、水及び酸素の量が異なっていたことなどが考えられる。

表-5.2.1 腐食度判定基準

腐食度	判定基準
A	腐食認めず
B	ごく表面的な腐食
C	浅い孔食など断面欠損の軽微な腐食
D	断面欠損が明らかに著しい腐食

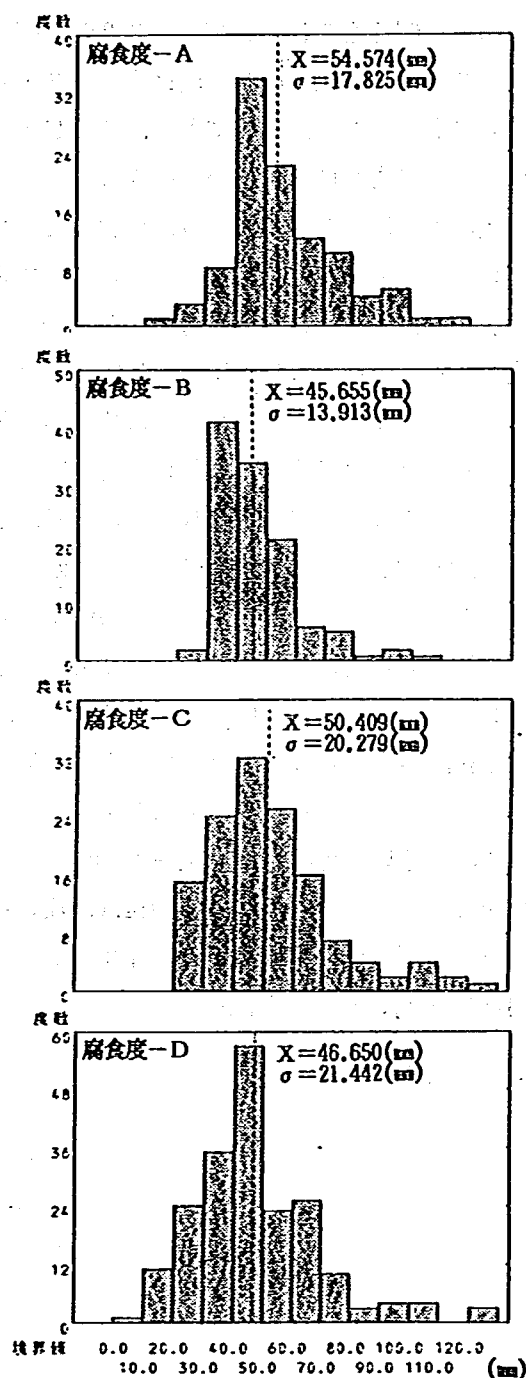


図-5.2.1 旧洞川橋での鉄筋の腐食度とかぶり厚さ

5.2.2 鉄筋の腐食度と内部含有塩分量の関係

①鉄筋の腐食度と鉄筋位置での含有塩分量

旧板貝橋及び旧洞川橋を対象とした鉄筋の腐食度の調査結果と、全塩分量及び可溶性塩分量との関係をそれぞれ図-5.2.2及び図-5.2.3に示す。鉄筋の腐食度は表-5.2.1の腐食度判定基準に基づいており、塩分量の分析は土木研究所標準試験(案)に従った。

両図とも同様な傾向にあり、腐食度AとBでの塩分量の分布範囲には大きな差は認められず、腐食度C、Dでは塩分量の分布範囲が広がっていた。これは腐食度Bで示される腐食、つまりごく表面的な腐食は施工当初から生じていた可能性があるため、腐食度AとBには明確な差が認められなかったと考える。

腐食度Cでの全塩分量の平均値は 3.4 kg/m^2 (標準偏差 1.4 kg/m^2)、可溶性塩分量の平均値は 3.6 kg/m^2 (標準偏差 2.0 kg/m^2) であった。仮に腐食度Cで示される腐食が、建設後、外部から浸透した塩分によって進行したものと考えれば、全塩分量が 2.0 kg/m^2 以上、あるいは可溶性塩分量が 1.5 kg/m^2 以上のコンクリート中にある鋼材は、浅い孔食など断面欠損の軽微な腐食が発生している可能性が高いと考えられる。

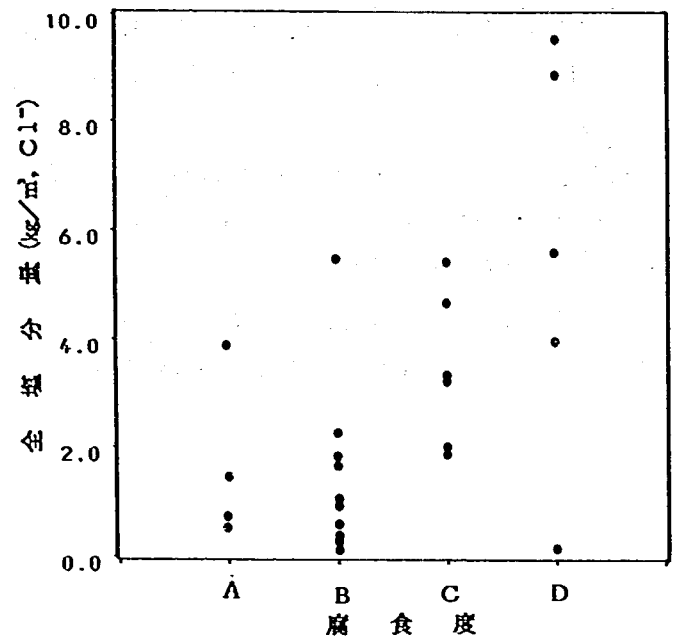


図-5.2.2 旧板貝橋及び旧洞川橋での鉄筋腐食度と全塩分量

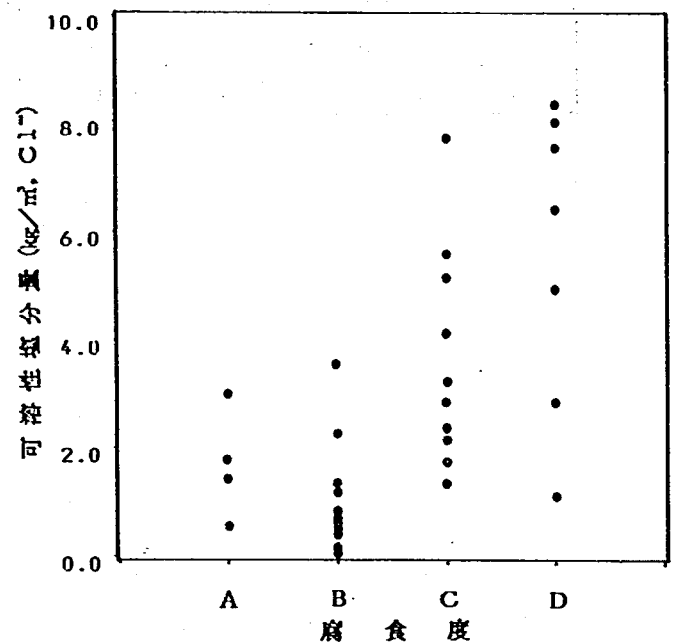


図-5.2.3 旧板貝橋及び旧洞川橋での鉄筋腐食度と可溶性塩分量

②鉄筋の腐食度と内部含有塩分量及びかぶり厚さ

鉄筋の腐食に及ぼす内部含有塩分量（全塩分量）及びかぶり厚さの関係を図-5.2.5に示す。鉄筋の腐食度の判定は表-5.2.1に基づいている。

腐食度がC及びDと判定された鉄筋は、内部含有塩分量が約2.0 (kg/m², Cl⁻) 以上、かぶり厚さが約5 cm以下の区域に分布しているものがほとんどであった。

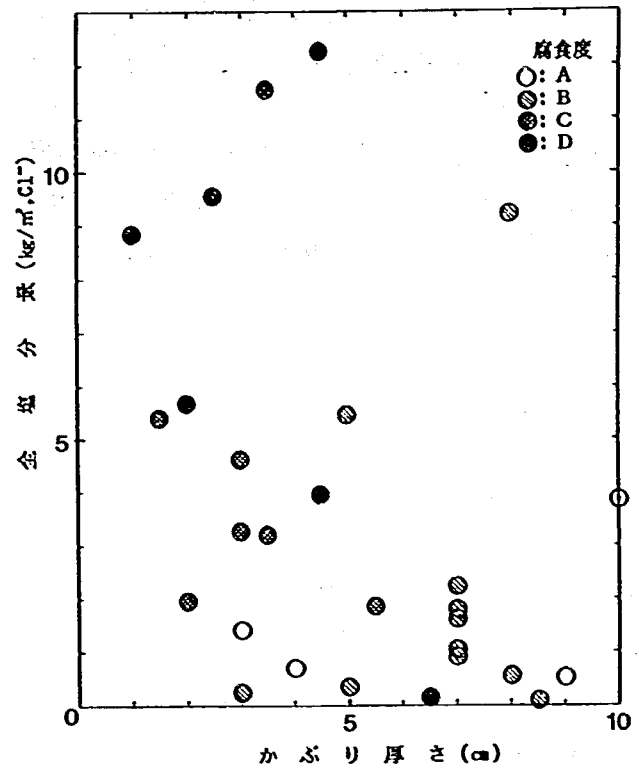


図-5.2.5 鉄筋の腐食度と内部含有塩分量及びかぶり厚さ

③拡散係数の推定

コンクリート中の塩分浸透量はコンクリートの品質、セメントの種類、波しぶきや気象条件等によって異なる。また、同一の構造物においても雨や風等の影響により部位によって異なる。ここでは、旧板貝橋及び旧洞川橋の含有塩分量について、コンクリート表面からの深さ方向に対する分布の状況をFickの拡散方程式（式-5.2.1）にあてはめ、同方程式における見掛けの塩分拡散係数を求めた。

$$C(x, T) = C_0 \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_c T}} \right) \right] \dots\dots\dots \text{式-5.2.1}$$

ここに

- C_0 : コンクリート表面の塩分量
- $C(x, T)$: コンクリート表面から距離 x の位置の
時間 T における含有塩分量
- D_c : 塩素イオンの見掛けの拡散係数
- erf : 誤差関数

主桁から採取したコンクリートコアを試料とした含有塩分量（全塩分量）の測定結果を用いて塩分拡散係数 D_c を推定すると、旧板貝橋では平均で $D_c = 0.503$ (kg/year)、旧洞川橋では平均で $D_c = 0.667$ (kg/year) であった。

推定された D_c 及び C_0 による塩分量の分布曲線と実測値を比較すると（図-5.2.6 参照）、旧板貝橋では比較的一致していたが、旧洞川橋では必ずしも実際の分布を表していなかった。この理由として、旧洞川橋から採取したコアはポーラスな部分があり均一な品質でなかったため、表面から離れた位置にお

いても塩分量測定値が高く、拡散方程式によって示される浸透機構とは大きく異なっていたことが考えられる。

また、同時に推定されたコンクリート表面の塩分量 C_s は、旧板貝橋で $C_s=4.7\sim16.9(\text{kg}/\text{m}^2, \text{Cl}^-)$ 、旧洞川橋で $C_s=4.7\sim20.3(\text{kg}/\text{m}^2, \text{Cl}^-)$ の範囲にあった。

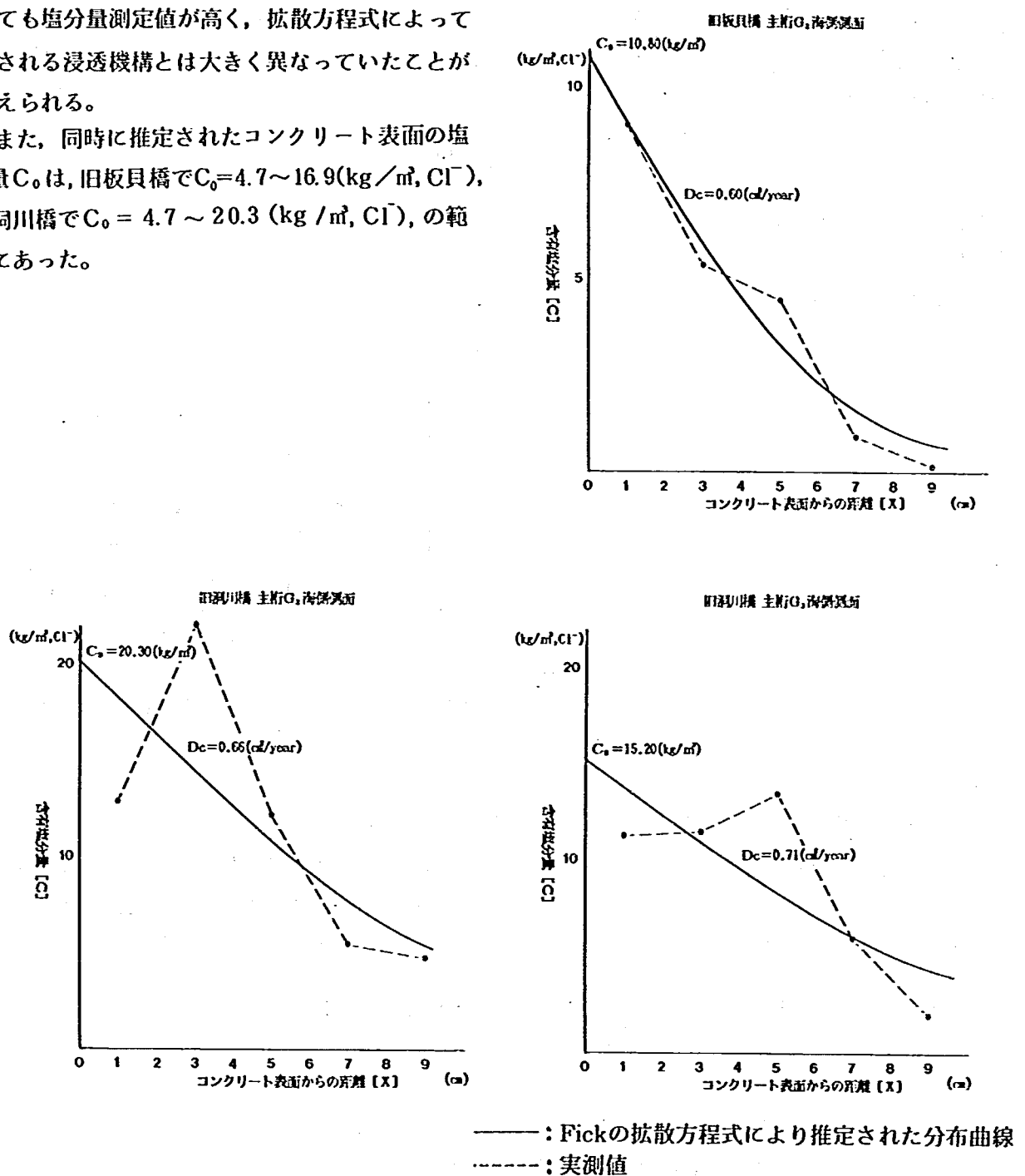


図-5.2.6 旧板貝橋及び旧洞川橋の塩分量分布推定曲線と実測塩分量

⑤腐食限界塩分量及び経過年数と塩分浸透量

コンクリート中の鉄筋の腐食には、塩分量以外に多くの要因が複雑に関与している。ここでは、外部から浸透する塩化物の量が、沿岸地域に位置するコンクリート構造物の鉄筋の腐食に及ぼす影響が最も大きいと考え、Fickの拡散方程式を用いて経過年数と塩分浸透量について考察を行った。

まず、①鉄筋の腐食度と鉄筋位置での含有塩分量で示した結果より、土木研究所標準試験(案)によって測定した含有塩分量(全塩分量)が $2.0(\text{kg}/\text{m}^3)$ 以上の場合、浅い孔食などの軽微な腐食が生じている可能性が高いと推定されたので、腐食限界塩分量を $2.0(\text{kg}/\text{m}^3)$ と仮定した。

Fickの拡散方程式において、コンクリート表面の塩分量を $C_0 = 5, 15(\text{kg}/\text{m}^3)$ の2つを、また経過年数を10, 30, 50年の3つを設定した場合の塩分の浸透曲線をそれぞれ図-5.2.7に示す。ここでは③で推定した C_0 が $4.7 \sim 20.3(\text{kg}/\text{m}^3)$ の範囲であったことより、 $C_0 = 5(\text{kg}/\text{m}^3)$ を塩害環境が穏やかな場合、 $C_0 = 15(\text{kg}/\text{m}^3)$ を塩害環境が厳しい場合と想定している。

$C_0 = 5(\text{kg}/\text{m}^3)$ で経過年数が10年の場合、ある程度かぶりが確保されていれば鉄筋位置の塩分量は $2.0(\text{kg}/\text{m}^3)$ 以下となる。しかし、経過年数が50年になると、かぶりの厚さに加えて見掛けの拡散係数が低くなければ鉄筋位置の塩分量は $2.0(\text{kg}/\text{m}^3)$ 以下にならないことが理解された。

一方、 $C_0 = 15(\text{kg}/\text{m}^3)$ で経過年数10年の場合、かぶり厚さを確保し、見掛けの拡散係数が低くなければ、鉄筋位置の塩分量は $2.0(\text{kg}/\text{m}^3)$ 以下にならないことが、更に30年以上経過した場合には、かぶりが厚く見掛けの拡散係数が低いものであっても鉄筋位置の塩分量は $2.0(\text{kg}/\text{m}^3)$ 以下にならないことが理解された。

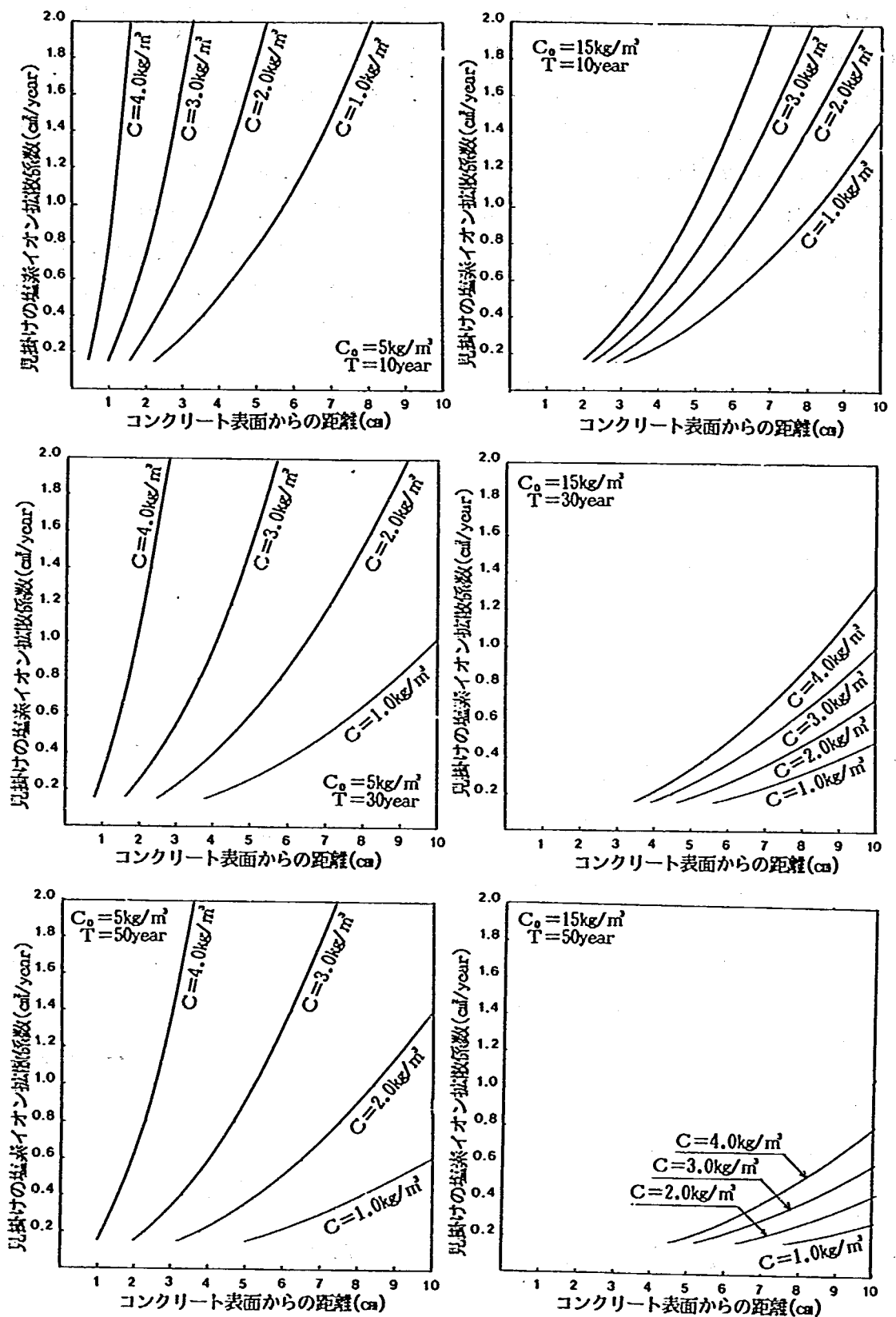


図-5.2.7 コンクリートの見掛けの塩分拡散係数と塩分浸透量

5.2.3 鉄筋の腐食度とコンクリートの中性化深さの関係

旧洞川橋におけるコンクリートの中性化深さとその測定位置にある鉄筋のかぶり厚さ及び鉄筋の腐食度を図-5.2.8に示す。

腐食度がC及びDと判定された鉄筋は、コンクリートの中性化深さが鉄筋の位置を超えているものあるいはその付近まで及んでいるものがほとんどであった。

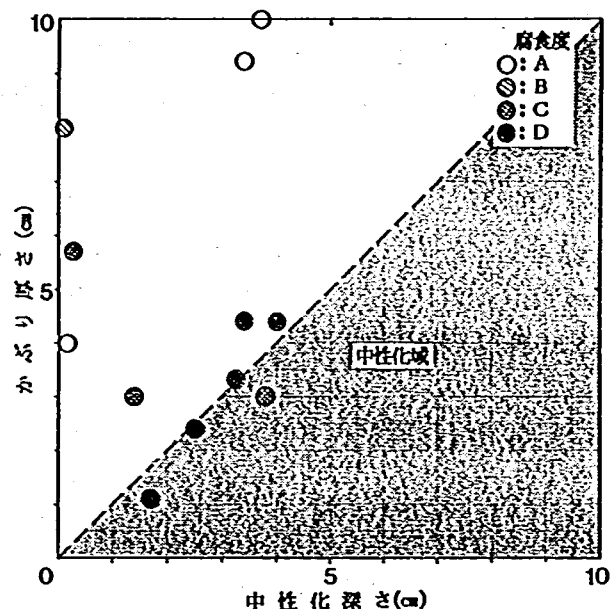
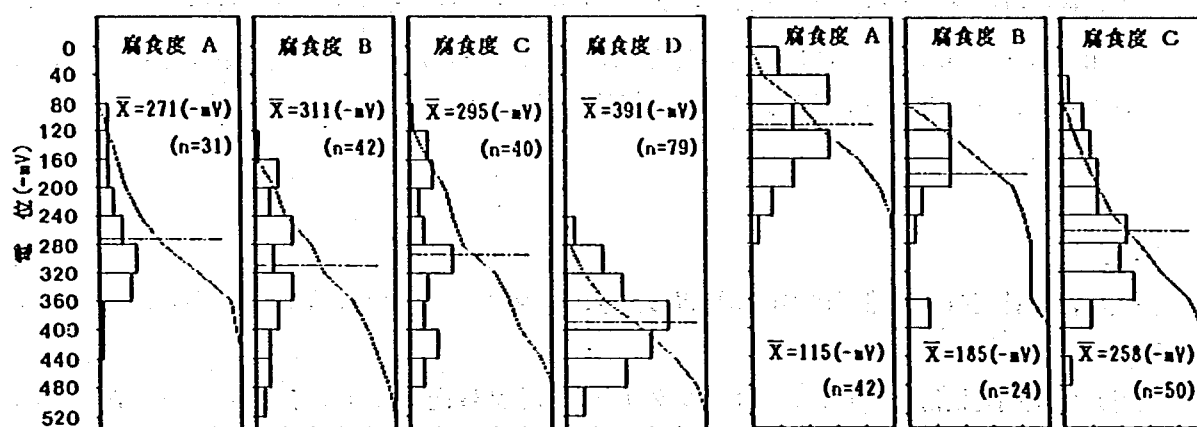


図-5.2.8 鉄筋の腐食度とコンクリートの中性化深さ

5.2.4 鉄筋の腐食度と自然電位差の関係

旧洞川橋の主桁及び床版の自然電位を腐食度別にして図-5.2.9に示す。鉄筋腐食度の判定は表-5.2.1に基づいている。

腐食が進行したものほど低い(卑の)電位を示す傾向にあったが、各腐食度ごとの電位は非常にバラツキの多い値であった。主桁と床版での腐食度が同ランクのものについて電位を比較すると、主桁の電位は全体的に120～150(-mV)程度低い(卑の)電位であった。これは主鉄筋が密な配筋となっており、隣接する鉄筋も腐食が進んだものが多く、またかぶりが厚いこと等が影響していると考えられる。



(1) 主桁の鉄筋の腐食度別電位

(2) 床版の鉄筋の腐食度別電位

図-5.2.9 旧洞川橋での鉄筋の腐食度と自然電位差

6. ま と め

今回の調査では塩害によるコンクリート表面の劣化損傷の状況、コンクリート中の鉄筋の腐食度及び各種劣化損傷要因についての把握ならびに相互の関係について検討を行った。以下に得られた結果をまとめる。

(1) コンクリート表面の劣化損傷と各種劣化損傷要因の関係

- ① ひびわれ、はくり、鉄筋露出等の劣化損傷が多く認められた部位は主桁下フランジ部であり、特に隅角部で顕著であった。
- ② コンクリートに浸透、蓄積した塩分がコンクリート中の鉄筋の不働態被膜を破壊し、水、溶存酸素の存在によって腐食を発生させることが既往の研究³⁾によって明らかとなっている。今回の調査においても、特に鉄筋位置での含有塩分量が劣化損傷の程度と密接な関係にあることが確認された。
- ③ コンクリートの内部含有塩分量は同一構造物においても部位によりかなりの差があり、また今回調査した2つの橋梁の間にも差が認められた。これは風、雨、温度、乾湿、波しぶき、飛来塩分、周囲の地形、橋梁型式等諸条件の影響により、付着及び浸透塩分量（拡散係数）に差があるためと考えられる。また、表面からの距離と含有塩分量の分布においても部位により差が認められた。これは前述の要因に加え、コンクリートの品質（ポアラス・デンス）が影響していると考えられる。

(2) 鉄筋の腐食度と各種劣化損傷要因の関係

- ① 孔食などの断面欠損が認められた鉄筋は、内部含有塩分量が約 2.0kg/m^3 (Cl^- , 全塩分量) 以上、かぶり厚さが約5cm以下の区域にそれらのほとんどが分布していた。また、コンクリートの中酸化深さも鉄筋の腐食に影響を及ぼしていることが理解された。
- ② 塩分の浸透をFickの拡散方程式を用いて考察すると、塩害環境の厳しい地域では単にかぶり厚さを増すだけでは塩分の浸透を抑制することは難しく、密実で拡散係数の低いコンクリートを使用する必要がある、特に長期の耐久性を期待する場合には更なる腐食対策（例えば、塗装鉄筋の使用、コンクリート塗装あるいは電気防食等）が必要であることが理解された。

参考文献

- 1) 例えば、小林茂敏：道路橋における被害の実態，コンクリート工学，Vol. 25, No. 11, pp. 53～56, 1987-11
- 2) (財) 国土開発技術研究センター：コンクリートの耐久性向上技術の開発に関する調査報告書，第3章，1，1. 2 廃橋詳細調査，昭和63年3月，pp. 51～60
- 3) 例えば、片脇清士・蒔田実：コンクリート中の鉄筋の腐食機構に関する基礎的研究，第4回コンクリート工学年次講演会講演論文集，1982, pp. 61～64

付録－1 詳細データ

1. 調査区画

1.1 旧板貝橋

1.2 旧洞川橋

2. 旧板貝橋

2.1 自然電位差測定結果

2.2 反発硬度測定結果

2.3 超音波伝播速度測定結果

2.4 塩分量測定結果

2.5 コンクリートの品質調査結果

3. 旧洞川橋

3.1 自然電位差測定結果

3.2 反発硬度測定結果

3.3 超音波伝播速度測定結果

3.4 塩分量測定結果

3.5 コンクリートの品質調査結果

3.6 鉄筋の品質調査結果

1. 調査区画

1.1 旧板貝橋

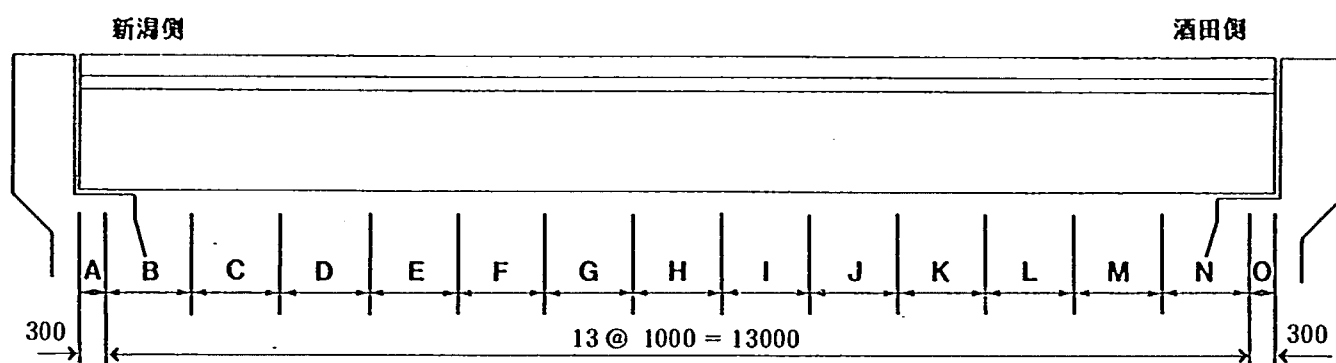


図-付 1.1 旧板貝橋 調査区画 (側面図)

単位: mm

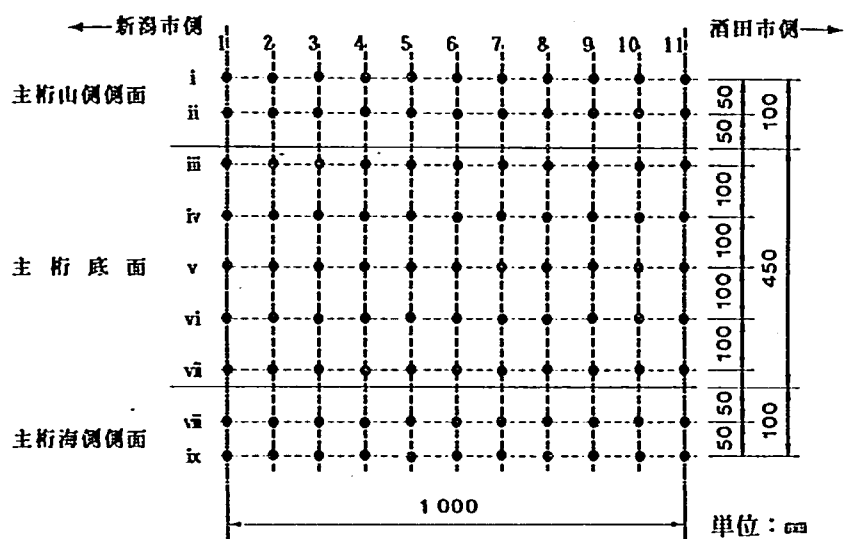


図-付 1.2 旧板貝橋 自然電位差及び
反発硬度測定点 (主桁展開図)

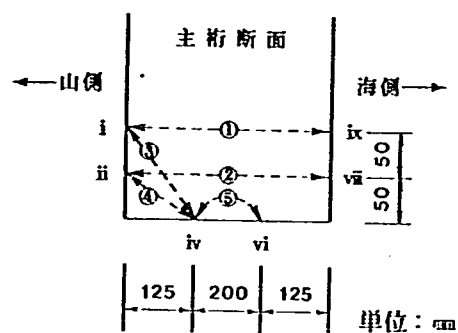


図-付 1.3 旧板貝橋
超音波伝播速度測定点
(主桁断面図)

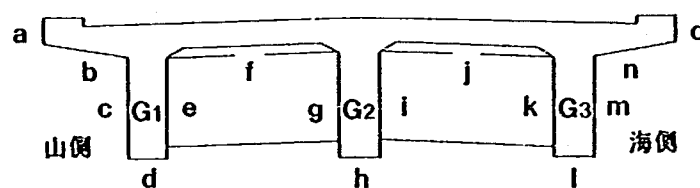


図-付 1.4 旧板貝橋 塩分量測定区画 (断面図)

1.2 旧洞川橋

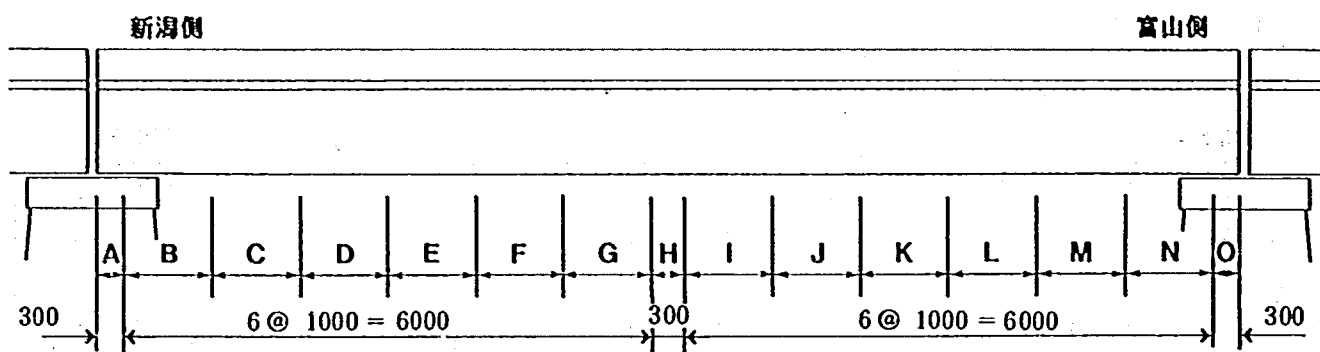
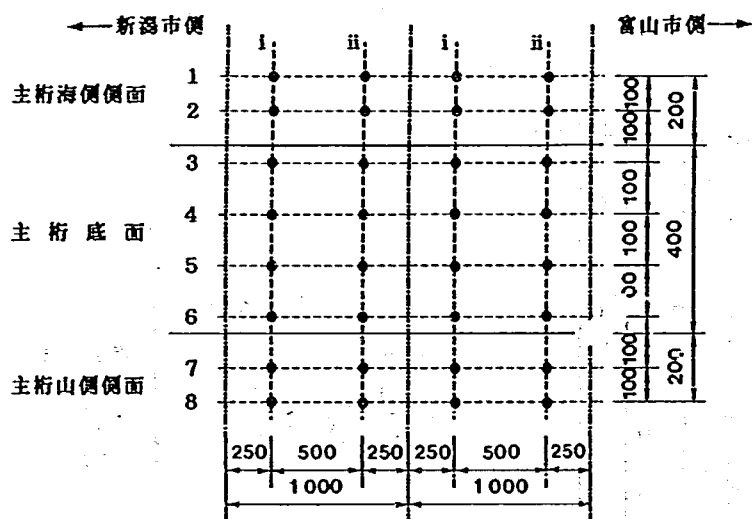
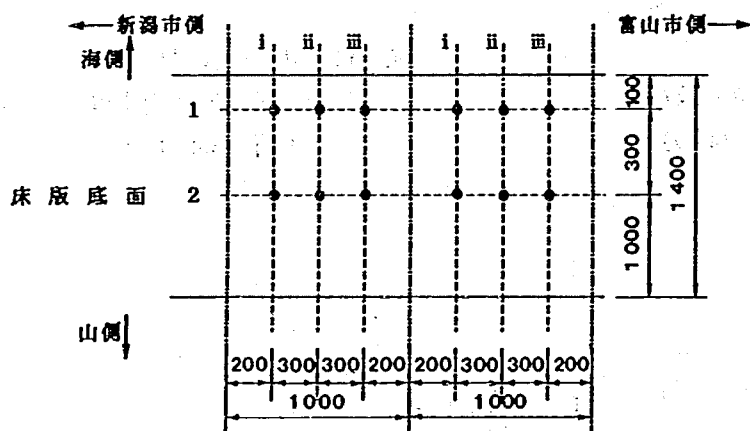


図-付 1.5 旧洞川橋 調査区画 (側面図)

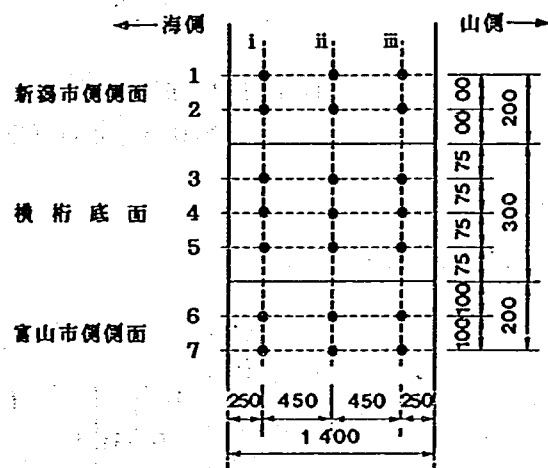
単位: mm



(1) 主桁展開図



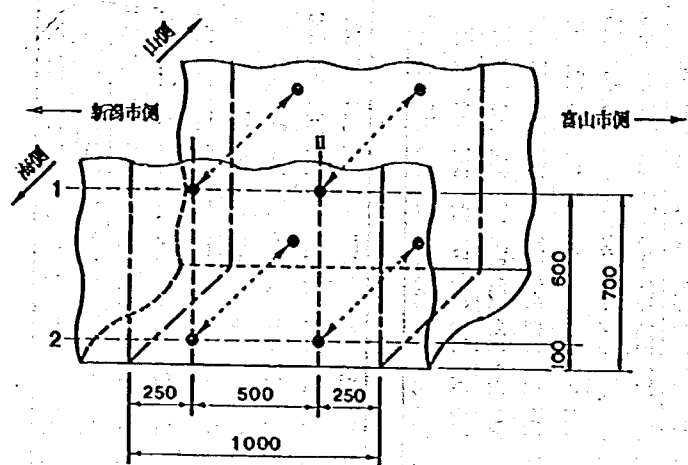
(2) 床版展開図



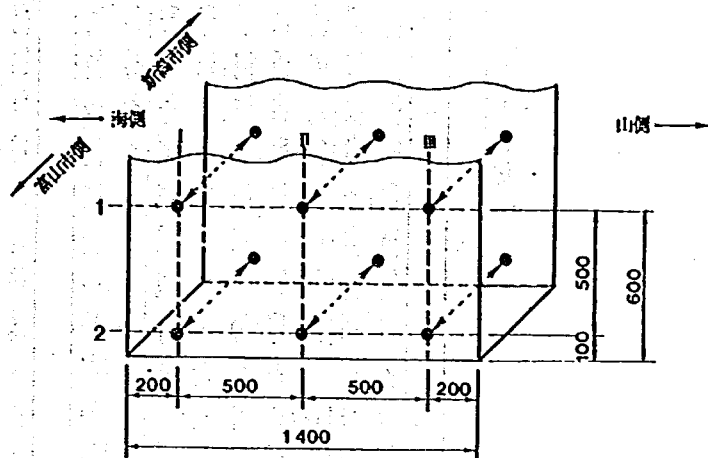
(3) 横桁展開図

図-付 1.6 旧洞川橋 自然電位差測定点

単位: mm



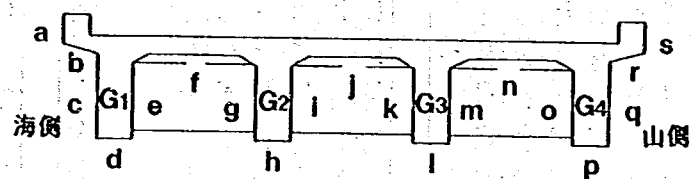
(1) 主桁透視図



(2) 横桁透視図

単位：mm

図-付 1.7 旧洞川橋 超音波伝播速度測定点



断面図

図-付 1.8 旧洞川橋 塩分量測定区画 (断面図)

2. 旧板貝橋

2.1 自然電位差測定結果

[単位: -mV]

調査区画			C											E											G										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
主桁 G ₁	山側側面	i	450	460	410	420	430	430	420	400	400	410	390	370	350	350	370	400	380	420	390	370	350	320	420	390	360	350	340	330	310	320	350	380	370
		ii	500	490	480	460	450	460	440	440	440	430	420	380	370	360	380	410	420	420	410	380	380	340	410	420	410	410	390	390	400	350	380	370	400
	底 面	iii	500	500	480	470	450	450	470	470	450	440	420	500	500	480	470	450	450	470	470	450	440	420	380	380	370	390	400	420	420	400	380	350	350
		iv	500	520	520	510	500	480	490	510	470	460	450	370	400	390	400	410	420	420	410	400	400	400	490	480	480	460	460	440	440	420	460	460	470
		v	490	510	520	510	500	510	490	480	470	470	450	450	440	430	440	440	430	420	420	430	410	470	480	470	460	410	410	430	420	470	500	500	
		vi	500	510	490	500	500	500	500	510	480	470	470	460	470	460	460	430	440	440	430	420	430	400	510	510	510	450	420	410	420	410	430	460	460
		vii	490	490	490	480	470	490	470	500	470	490	470	440	460	480	490	480	450	440	410	390	410	400	480	480	420	420	390	380	370	390	410	430	420
	海側側面	viii	500	490	500	480	490	490	490	490	470	460	450	470	480	490	480	460	430	390	380	390	390	450	460	460	410	360	370	480	400	420	430	430	
		ix	470	480	480	460	470	460	460	460	460	440	440	480	460	490	470	490	450	420	360	350	360	360	420	430	430	400	350	340	330	340	350	390	360
主桁 G ₂	山側側面	i	370	430	400	420	390	460	400	410	420	430	410	360	380	390	390	410	420	440	440	400	380	350	350	370	380	370	370	390	420	410	430	410	380
		ii	430	440	460	460	460	470	460	470	470	460	420	410	420	420	430	430	450	450	460	450	430	390	390	390	380	380	410	430	430	420	410	400	370
	底 面	iii	440	450	470	470	460	460	480	490	500	470	450	420	420	420	430	450	450	470	470	450	440	440	400	390	390	390	420	440	470	440	430	390	400
		iv	430	450	470	470	440	460	470	480	490	470	440	420	420	420	430	440	440	450	440	460	430	440	400	430	420	410	430	450	460	440	460	430	420
		v	410	420	420	430	430	420	450	460	480	460	450	420	410	410	430	430	430	420	450	450	430	420	400	400	400	380	400	420	440	410	420	390	380
		vi	390	410	410	430	420	410	440	450	430	440	420	390	400	410	420	430	430	420	410	410	420	410	440	400	390	370	380	390	380	370	390	400	380
		vii	390	370	380	370	390	400	410	410	430	420	410	420	380	370	380	370	390	400	410	410	420	410	420	380	350	350	350	350	350	360	360	380	370
	海側側面	viii	380	380	390	390	400	420	430	440	440	420	400	340	290	280	290	320	330	340	350	430	430	430	350	300	300	310	330	330	310	330	380	310	330
		ix	370	350	370	370	390	410	430	430	430	400	390	340	290	280	290	320	330	340	350	430	430	430	350	300	300	310	330	330	310	330	380	310	330
主桁 G ₃	山側側面	i	360	370	390	430	400	380	380	380	380	380	390	430	440	420	430	420	400	420	390	370	390	390	370	360	380	390	410	370	340	310	330	340	320
		ii	370	380	410	420	410	400	390	420	400	420	440	460	440	440	430	480	460	410	410	380	400	420	420	400	390	420	420	400	390	360	360	360	390
	底 面	iii	390	400	420	430	430	420	410	420	410	420	460	480	440	450	470	490	480	460	400	390	400	420	440	410	410	450	460	400	370	340	350	380	400
		iv	420	410	420	460	440	370	390	410	410	390	430	480	460	490	470	490	460	460	440	460	440	450	440	400	440	480	500	440	400	380	360	420	410
		v	480	440	450	460	420	380	370	430	440	410	410	460	480	350	340	460	460	440	450	450	450	440	390	390	390	450	440	430	450	400	370	350	330
		vi	520	450	510	480	470	400	370	420	450	370	370	420	350	400	400	370	370	380	440	370	340	360	390	370	330	420	400	390	390	370	390	350	340
		vii	510	520	430	420	400	390	380	380	390	340	340	290	300	280	380	350	290	310	350	350	290	330	350	330	300	300	320	350	340	320	310	310	270
	海側側面	viii	470	480	450	380	350	360	380	400	410	350	350	340	310	280	260	320	320	310	350	330	300	300	300	320	340	300	310	320	310	330	320	320	210
		ix	410	430	470	340	370	300	390	350	320	350	300	310	330	300	250	290	310	200	300	290	300	240	300	240	260	280	270	270	300	300	300	250	260

[单位: -mV]

调查区画			I											K											M										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
主街 G ₁	山侧侧面	i	360	350	350	340	340	360	370	370	420	420	420	370	360	350	350	350	340	330	320	310	310	330	370	410	420	430	430	440	420	400	380	390	420
		ii	360	350	360	350	360	380	390	400	420	420	420	420	410	400	390	380	330	310	310	310	310	350	370	410	430	430	430	430	430	410	420	450	
	底面	iii	390	380	380	360	380	400	400	430	440	410	410	420	450	420	410	400	410	430	440	400	320	350	360	410	410	420	450	450	440	430	430	420	460
		iv	460	450	450	430	430	430	420	450	450	440	440	490	540	470	450	440	440	450	420	430	410	420	410	450	460	450	450	470	450	440	470	480	480
		v	460	470	450	440	440	440	430	450	480	470	470	510	530	480	450	430	410	440	420	420	420	410	460	450	510	450	470	490	480	480	490	490	
		vi	460	450	460	460	480	490	490	490	500	470	460	490	480	500	460	440	420	410	420	400	400	410	430	500	520	480	490	470	480	500	510	510	450
		vii	430	420	430	460	460	460	460	490	490	480	450	440	470	460	450	420	420	410	400	380	390	400	400	440	490	490	470	460	460	470	480	480	460
	海侧侧面	viii	410	410	440	460	450	460	450	470	480	470	430	450	450	420	420	410	410	400	360	380	400	420	390	430	460	450	440	410	430	460	450	450	430
		ix	400	400	390	430	440	450	450	480	460	450	420	410	420	430	420	410	400	370	360	350	380	400	390	350	440	450	430	410	420	420	440	450	440
主街 G ₂	山侧侧面	i	360	370	380	350	360	370	390	400	390	400	400	420	340	370	380	380	360	410	410	360	350	350	310	340	370	380	360	360	410	410	360	350	350
		ii	400	390	380	380	370	380	400	410	410	410	400	380	390	410	420	420	440	430	410	400	380	370	380	390	410	420	420	440	430	410	400	380	370
	底面	iii	420	410	390	390	390	400	430	420	410	410	400	400	410	420	410	430	440	410	420	390	380	390	400	410	420	410	430	440	410	420	390	380	390
		iv	440	430	420	440	420	420	420	410	400	420	400	380	390	440	430	450	460	450	430	400	390	400	380	390	440	430	450	460	450	430	400	390	400
		v	400	420	420	420	410	420	420	410	420	420	390	390	440	430	420	440	420	420	430	410	380	390	390	440	490	420	440	420	420	430	410	380	390
		vi	420	430	430	420	440	410	420	420	430	430	410	360	370	380	390	400	410	410	440	430	410	420	360	370	380	390	400	410	410	440	430	410	420
		vii	400	410	410	410	430	400	420	410	390	380	370	360	370	390	390	410	400	410	410	390	410	410	360	370	390	390	410	400	410	410	390	410	410
	海侧侧面	viii	420	440	430	430	430	420	420	410	410	400	400	360	380	400	370	410	390	420	420	420	420	430	360	380	400	370	410	390	420	420	420	420	430
		ix	410	420	410	410	420	400	390	380	390	390	400	320	330	340	350	340	350	340	350	360	400	400	320	330	340	350	340	350	340	350	360	400	400
主街 G ₃	山侧侧面	i	380	420	430	440	440	430	350	360	350	370	410	350	390	420	330	430	400	380	380	370	380	420	380	390	380	390	370	390	400	390	320	310	310
		ii	430	450	440	430	440	440	440	440	410	370	390	360	380	430	440	440	420	390	380	390	420	430	370	360	380	400	400	390	390				
	底面	iii	430	440	440	420	460	450	450	430	400	370	340	360	380	430	470	480	460	400	410	390	420	420	380	380	400	410	400	410	390	370	330	310	300
		iv	430	410	430	440	440	450	450	440	390	390	350	360	380	400	450	470	470	400	420	390	400	410	290	320	330	320	320	320	320	340	320	360	320
		v	410	420	420	430	440	430	410	410	390	310	300	250	290	310	330	320	320	300	320	310	310	290		300	330	310	320	290	290	340	280	320	300
		vi	270	330	290	300	330	310	310	310	310	300	280	280	300	350	310	350	340	300	330	320	320	320	270	290	350	300	300	260	300	280	280	310	350
		vii	200	250	300	250	250	270	270	360	260	240	250	240	270	220	400	230	220	240	240	250	210	210	250	240	240	250	240	220	220	240	260	270	250
	海侧侧面	viii	240	290	220	230	250	230	240	250	230	220	230	240	240	190	170	200	210	230	230	240	220	210	230	200	190	200	220	210	210	230	230	240	240
		ix	220	190	190	210	200	200	220	230	220	190	210	190	220	180	170	180	190	170	190	210	200	190	220	210	200	200	200	200	190	210	200	240	250

2.2 反発硬度測定結果

調査区画			C											E											G														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	平均	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	平均	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	平均	
主桁 G ₁	山側側面	i	37	37	36	43	55	57	54	55	54	52	49	53.7	25	42	52	48	43	27	40	19	18	40		35.4	38	34	20	30	44	20	23	54	54	51	50	38.0	
		ii	48	26	37	38	40	34	31	30	46	47	46	38.5			22	30	21	36	42	36	34	28	36	31.7	36	39	39	44	44	45	48	25	50	47	45	42.0	
	底面	iii	32	34	38	36	34	39	38	42	46	41	32	37.5			24	39	28	32	43	42	39	48	48	38.1	52	48	40	47	50	46	48	36	38	46	54	45.9	
		iv	32	49	41	38	52	26	46	33	32	32	36	37.9			17	20	24	35	35	32	22	27	26	26.4	45	34	19	48	37	36	44	44	48	46	47	40.7	
		v	28	34	20	36	32	34	22	12	16	8	8	22.7			45	37	12	28	30	50	41	50	48	37.8	54	43	50	40	37	30	46	26	52	18	53	40.8	
		vi	43	40	28	50	44	27	36	32	27	20	37	34.9			48	52	48	11	30	34	50	39	42	39.3	58	48	54	39	36	38	48	27	60	18	40	42.4	
		vii	19	44	54	55	49	46	54	51	48	47	38	45.9			36	38	43	44	46	36	43	50	54	43.3	51	50	46	50	48	46	42	46	46	35	39	45.4	
	海側側面	viii	48	51	44	54	46	54	52	48	46	50	46	49.0	30	48	46	44	46	44	46	39	42	42	48	43.1	50	48	30	38	45	51	52	46	49	44	49	45.6	
		ix	53	40	27	42	50	40	28	48	47	52	50	42.7	15	28	36	41	42	40	48	44	40	40	42	37.8	40	26	52	39	28	24	47	42	22	50	48	38.0	
主桁 G ₂	山側側面	i	32	32	40	26	28	32	32	34	38	45	40	34.5	33	50	58	36	33	52	56	47	52	34	41	44.7	52	59	42	60	46	54	54	40	52	43	40	49.3	
		ii	40	42	44	50	38	54	44	45	42	36	32	42.5	8	28	27	32	38	42	42	28	48	44	42	34.5	46	46	16	23	8	32	15	46	54	48	46	34.5	
	底面	iii	46	46	48	50	44	52	51	50	48	48	38	47.4	12	39	17	38	44	44	47	50	48	51	51	40.1	50	46	40	34	38	32	36	40	42	34	53	40.5	
		iv	28	46	36	47	42	36	56	46	42	52	36	42.5	22	38	38	44	30	37	30	48	27	16	44	34.0	55	47	47	44	34	37	32	49	35	56	48	44.0	
		v	24	30	26	42	36	36	48	48	46	45	53	39.5	38	25	28	43	36	30	38	20	54	50	8	33.6	10	28	20	20	37	40	54	59	10	42	18	30.7	
		vi	20	35	46	45	36	51	56	51	42	51	48	43.7	36	38	46	42	41	26	36	14	54	50	30	37.5	54	56	44	35	47	50	50	15	30	46	38	42.3	
		vii	38	28	38	44	43	34	46	48	39	10	46	37.6													56	56	51	36	9	22	30	43	20	19	46	35.3	
	海側側面	viii	37	30	38	36	38	48	52	50	47	40	37	41.2													52	56	31	26	20	14	24	38	44	48	34	35.2	
		ix	32	24	28	8	30	41	48	51	40	36	26	33.1	30	39	34	42	47	51	50	47	32	40	15	38.8	48	52	52	48	48	54	48	54	50	54	48	50.5	
主桁 G ₃	山側側面	i	44	44	50	52	23	42	52	42	44	51	38	43.8	36	48	44	38	37	52	48	46	52	40	39	43.6	30	36	35	45	50	28	50	53	53	35	48	42.1	
		ii	42	52	48	48	44	18	56	58	36	20	48	42.7	44	32	24	30	35	43	50	40	52	50	47	40.6	46	32	36	40	55	43	47	55	50	54	48	46.0	
	底面	iii	55	60	41	44	41	28	27	38	38	42	45	41.7	46	26	47	40	44	52	54	59	50	58	40	46.9	54	45	54	59	59	60	56	49	50	58	48	53.8	
		iv	56	54	48	42	52	32	48	46	40	36	52	46.0	42	16	30	42	40	55	47	47	52	26	14	37.4	60	50	48	48	58	60	50	55	37	56	43	51.4	
		v	52	52	32	42	48	38	47	12	30	32	32	37.9	41	25	36	42	16	38	52	51	50	52	48	41.0	58	54	48	56	38	54	54	57	14	38	54	47.7	
		vi	48	42	50	18	46	38	36	28	34	38	34	37.5	25	50	57	53	50	58	54	52	58	46	28	48.3	54	38	47	58	36	40	44	28	16	40	38	39.9	
		vii	58	46	56	38	42	38	48	28	34	38	34	41.8	46	18	40	58	50	56	54	52	51	52	60	48.8	52	48	45	52	42	51	48	40	51	52	54	48.6	
	海側側面	viii	38	46	32	50	46	48	24	52	52	48	46	43.8	49	49	52	54	54	55	46	52	44	50	46	50.1	50	42	45	34	47	48	44	42	45	50	50	45.2	
		ix	48	48	50	36	38	51	42	30	25	34	44	40.5	44	48	52	50	48	38	50	54	50	58	55	49.7	52	52	38	43	54	48	52	50	51	52	48	49.1	

调查区面			I												K												M											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	平均	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	平均	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	平均
主桁 G ₁	山侧侧面	i	45	38	39	34	56	46	38	44	44	26	33	40.3	46	47	50	44	44	52	36	46	46	40	38	44.5	29	36	42	45	34	42	40	14	32	43		35.7
		ii	52	46	48	44	37	48	40	50	50	38	52	45.9	40	50	44	50	52	41	51	44	52	44	46	46.7	54	52	50	43	42	44	50	16	40	40	48	43.5
	底面	iii	44	36	10	38	39	47	27	44	44	46	45	38.2	52	54	50	48	39	27	20	16	13	30	36	35.0	44	49	50	52	48	52	49	49	40	50	48	48.3
		iv	37	39	42	42	44	57	56	52	52	29	16	42.4	52	54	50	44	36	34	32	21	19	16	9	33.4	10	48	46	44	47	46	50	54	56	54	52	46.1
		v	44	36	49	55	58	48	44	40	28	10	34	40.5	36	48	56	20	20	40	54	24	38	27	28	35.5	40	39	54	18	18	26	34	51	32	54	56	38.4
		vi	43	48	46	52	56	62	42	41	36	25		45.1	49	29	52	38	42	38	32	22	10	39	46	36.1	48	48	46	58	34	36	50	50	56	49	58	48.5
		vii	10	12	24	45	34	42	48	54	52	52	48	38.3	30	51	25	29	32	40	34	17	41	26	36	32.8	52	56	54	36	28	28	41	48	45	50	50	44.4
	海侧侧面	viii	50	48	30	38	45	51	53	46	49	44	49	45.7	44	50	27	10	8	28	8	36	50	44	50	32.3	45	53	46	51	52	30	9	53	58	46	48	44.6
		ix	22	47	18	32	36	52	50	48	40	50	44	39.9	41	53	50	46	32	24	24	31	8	13		32.2	50	46	50	46	52	44	50	51	50	52	51	49.3
主桁 G ₂	山侧侧面	i	42	44	42	38	38	20	32	38	28	22		34.4	35	40	46	41	36	27	50	24	19	46	18	34.7	40	38	30	28	28	24	26	32	28	40	36	31.8
		ii	32	40	49	48	44	30	45	48	30	40	42	40.7	46	47	44	49	47	52	37	42	39	40	42	44.1	20	14	48	40	32	42	40	48	48	48	42	38.4
	底面	iii	43	54	54	46	53	50	50	50	44	46	48	48.9	57	53	54	54	56	48	47	46	47	37	31	48.2	38	28	22	26	31	42	48	45	49	54	56	39.9
		iv	38	38	44	26	31	30	29	40	46	44	41	37.0	44	46	52	34	36	31	30	16	16	8	12	29.5	16	20	56	56	50	58	56	49	52	45	41	45.4
		v	36	34	30	26	30	30	46	44	52	46	30	36.7	29	32	24	46	42	46	38	32	20	36		34.5	55	58	43	20	10	30	28	34	34	58	42	37.5
		vi	57	56	51	40	46	24	31	52	52	55	37	45.5	30	50	52	40	48	48	44	44	40	15	50	41.9	33	11	16	52	27	43	46	50	57	48	50	39.4
		vii	50	52	54	48	48	40	46	40	45	44	36	45.7	44	24	41	37	54	50	54	57	55	51	54	47.4	39	44	45	36	48	48	48	47	54	50	47	46.0
	海侧侧面	viii	58	48	55	51	55	52	45	42	42	50	44	49.3	48	52	50	52	53	46	29	53	48	54	56	49.2	53	46	38	20	42	46	52	55	58	58	55	47.5
		ix	48	20	16	8	50	42	8	24	8	12	46	25.6	48	8	43	45	45	31	48	32	52	28	24	36.7	26	8	36	52	47	50	52	26	40	54	36	38.8
主桁 G ₃	山侧侧面	i	36	24	18	22	42	34	40	32	39	24	39	31.8	24	32	27	23	36	12	42	52	38	50	46	34.7	22	22	30	38	35	32	42	26				30.9
		ii	52	49	36	50	42	44	51	44	40	26	41	43.2	36	34	30	28	34	28	24	36	38	47	37	33.8												
	底面	iii	31	50	43	46	48	49	50	52	52	39	13	43.0	14	27	37	46	50	50	45	46	46	48	52	41.9												
		iv	29	48	46	52	48	46	48	52	50	54	30	45.7	26	32	22	40	38	38	28	37	36	43	39	34.5		18	22	24	22	20	30	36	28		25.0	
		v	32	41	38	38	41	40	46	38	46	26	28	37.6	26	32	22	40	38	38	28	37	36	43	40	34.5		36	36	40	34	32	32	30	24	24	18	30.6
		vi	34	35	28	34	39	46	49	38	42	35	26	36.9	14	18	18	30	28	20	20	18	20	30	36	22.9	40	40	28	27	50	34	36	38	40	46	50	39.0
		vii	41	37	52	47	52	54	48	54	52	44	38	47.2	44	48	48	52	45	44	47	50	51	56	54	49.0	36	50	53	50	32	18	19	25	25	25	30	33.0
	海侧侧面	viii	42	38	52	48	47	50	46	42	44	46	37	44.7	23	44	40	54	44	42	38	40	37	30	54	40.5	54	30	40	34	32	38	26	17	30	54	50	36.8
		ix	54	50	50	52	42	52	45	34	26	47	50	45.6	48	53	48	48	48	54	41	54	52	41	51	48.9	38	52	42	34	50	36	36	50	45	43	26	41.1

2.3 超音波伝播速度測定結果

[単位: km/s]

調査区画		C										E										G														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
主桁 G ₁	① i-ix	4.23		4.23		3.50		3.74		3.97		4.94		3.72		3.90		4.55		4.15		4.31		3.33		3.40		4.59		3.48		4.04		4.40		4.42
	② ii-viii																																			
	③ i-iv	1.64				1.41		3.55		0.98						2.29				2.23		1.50		3.24		5.04		3.98				4.42		3.83		
	④ ii-iv	1.46						1.23		3.09						1.77				2.61		1.66		3.49		3.16		3.32								
	⑤ iv-vi																																			
主桁 G ₂	① i-ix	1.71		2.31		5.88		3.35		2.31		1.68		2.68		4.60		2.61		1.89		2.78		3.43		2.85		3.29		4.19		3.12		4.78		3.64
	② ii-viii																																			
	③ i-iv			3.20				3.21		2.97																2.55		1.64								
	④ ii-iv	3.08		7.20		2.97		2.91		2.96																2.14		1.52			4.88					
	⑤ iv-vi													1.79												0.53										
主桁 G ₃	① i-ix	3.26		3.54		4.18		2.43		1.98		2.75		3.67		4.11		3.58		4.39		2.76		4.34		3.85		2.07		3.52		4.40		4.21		3.70
	② ii-viii	2.56		1.73																																
	③ i-iv	6.17		2.17				1.08		1.29		1.81		3.05		5.66		3.48		2.54		5.90		3.93		3.20		1.45		2.51		2.74		7.29		3.78
	④ ii-iv	2.18		2.14		1.09		1.02		1.61		7.93		5.74		5.64		4.14		3.80		2.71		2.31		1.05		2.05		1.79		3.95		7.90		1.72
	⑤ iv-vi	1.52		0.74																																

調査区画		I										K										M										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9
主桁 G ₁	① i-ix	4.39	5.31		3.87		4.75		4.75		4.16		4.39	4.23	4.13		4.15		4.48		3.68		2.62	4.44		2.65		4.54		4.35		4.28
	② ii-viii																						4.02	1.69								
	③ i-iv	1.13	1.71		2.43		1.62		4.23				1.03	4.03	2.50								2.61	4.88							3.25	
	④ ii-iv	1.02	1.37		1.78		1.71		3.29				1.00	0.98	2.14								2.12	3.62		1.34		5.33		4.77		2.33
	⑤ iv-vi																															
主桁 G ₂	① i-ix	2.69	1.90		4.08		3.80		4.36		3.62		4.31	4.20	2.65		4.18		4.95		4.23		4.26	4.46		3.54		4.34		4.81		2.92
	② ii-viii																															
	③ i-iv				0.84		1.27				2.05		2.00	4.19	0.96		4.86		2.21				0.80			0.95				1.57		2.33
	④ ii-iv	3.76	1.00		0.87		3.55		2.00		1.97		2.93	3.19	3.17		2.65		1.98		3.83		3.20	5.15		1.97		1.66		2.72		1.75
	⑤ iv-vi																															
主桁 G ₃	① i-ix	4.50	2.70		3.55		4.03		2.87		4.94		1.91	3.56	2.75		3.23		3.00		1.86		3.11	3.57		2.92		4.10		4.36		3.38
	② ii-viii																															
	③ i-iv	1.78	2.01		2.45		3.20		1.94		2.76		1.71	2.50	2.33		2.72		2.92		1.96		2.79	1.19		3.02		2.67		5.14		2.77
	④ ii-iv	3.33	2.71		2.98		3.77		2.95		6.14		1.54	4.61	2.56		3.17		3.49		4.87		4.21	5.02		1.92		1.88		2.50		5.19
	⑤ iv-vi																															

2.4 塩分量測定結果

部位 No.	調査区画	付着塩分		含有塩分量									
		区画 No.	採取試料 No.	表面 C ₀ 換算 (mg/m ²)	採取試料 No.	含有塩分量 C ₀ 換算 (kg/m ²)							
						0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-14	14-18	18-22.5
S ₁	山側 強出し床版	E-b	F-19	0.291									
G ₁	山側 主桁 側面	E-c	F-20	5.041	C-7 全塩分	6.619	6.184	3.675	1.785	0.220	0.178	0.221	0.162
					C-7 可溶性	5.497	4.916	2.638	1.184	0.259	0.215	0.107	0.097
		C-d	F-1	119.569	D-1 可溶性	17.724	19.200	15.601					
		E-d	F-2	115.092	D-2 可溶性	15.693	13.554	6.874					
		G-d	F-3	98.836	D-3 可溶性	11.791	9.199	6.086					
		H-d			C-1 可溶性	8.854	8.865	5.583	3.065	1.086	0.135		
		I-d	F-4	116.493	D-4 可溶性	11.888	7.300	5.604					
		K-d	F-5	137.511	D-5 可溶性	13.872	11.500	10.784					
		M-d	F-6	101.444	D-6 可溶性	11.321	9.268	7.498					
	海側 主桁 側面	E-e	F-21	24.948	C-4 可溶性	7.314	7.081	4.101	1.825	0.407	0.056		
S ₂	床版 裏面 路面	E-f	F-22	109.178	C-7 全塩分	14.646	4.059	5.556	2.246	0.202	0.225	0.213	0.177
A ₁	村上側 横桁 側面 横桁 底面	F-31	21.879		C-7 可溶性	11.425	7.606	1.401	1.319	0.105	0.110	0.108	0.120
G ₂	山側 主桁 側面	E-g	F-23	43.127	C-10 可溶性	4.975	3.100	1.480	0.274	0.073			
					C-10 可溶性	8.706	2.606	0.975	0.504	0.044			
					D-19 可溶性	9.837	6.181	4.522					
					C-18 可溶性	7.320	2.110	1.978	0.545	0.073	0.231		
					C-8 全塩分	9.157	6.884	4.202	1.609	0.087	0.105	0.096	0.092
					C-8 可溶性	6.977	3.471	1.800	0.554	0.039	0.038	0.016	0.035
		C-h	F-7	61.276	D-7 可溶性	20.112	23.574	23.530					
		E-h	F-8	107.570	D-8 可溶性	19.666	23.133	23.105					
		G-h	F-9	166.500	D-9 可溶性	19.366	12.847	18.819					
	主桁 底面	I-h	F-10	188.397	D-10 可溶性	21.580	20.366	16.718					
G ₃	山側 主桁 側面	K-h	F-11	154.119	D-11 可溶性	12.050	7.807	7.283					
		M-h	F-12	117.251	D-12 可溶性	13.964	13.660	14.535					
		N-h			C-5 可溶性	7.772	4.117	7.676	3.839	1.303	0.210		
					C-8 全塩分	9.917	5.405	4.646	0.902	0.171	0.103	0.092	0.128
					C-8 可溶性	7.459	2.948	2.012	0.461	0.039	0.033	0.037	0.037
	海側 主桁 側面	E-i	F-24	26.452	C-11 可溶性	6.328	4.771	1.733	0.837	0.279			
S ₃	床版 裏面 路面	E-j	F-25	38.202	C-11 可溶性	13.979	3.207	1.773	0.073	0.051			
A ₂	村上側 横桁 側面 横桁 底面	H-j	F-32	26.986	D-20 可溶性	10.331	6.478	2.821					
G ₄	山側 主桁 側面	E-k	F-26	41.756	C-19 可溶性	6.999	3.864	2.044	0.368	0.183	0.011		
		K-k	F-29	28.527	C-9 全塩分	13.336	6.726	3.903	1.022	0.082	0.098	0.095	0.092
		B-l			C-9 可溶性	6.768	3.385	1.575	0.534	0.032	0.042	0.033	0.032
					C-2 可溶性	7.116	2.078	2.355	0.898	0.407	0.056		
		C-l	F-13	75.385	D-13 可溶性	6.285	5.238	3.382					
		E-l	F-14	57.321	C-3 可溶性	9.161	6.876	3.424	1.710	0.653	0.106		
		G-l	F-15	161.168	D-14 可溶性	15.718	18.568	17.903					
		I-l	F-16	57.346	D-15 可溶性	16.175	11.874	5.709					
		K-l	F-17	27.799	C-6 可溶性	8.186	8.572	7.509	4.314	0.754	0.117		
	主桁 底面	M-l	F-18	28.727	D-16 可溶性	8.100	5.426	2.907					
G ₅	山側 主桁 側面				D-17 可溶性	9.516	7.730	5.015					
					D-18 可溶性	10.851	12.335	9.282					
		E-m	F-27	3.129	C-9 全塩分	3.223	0.995	0.275	0.169	0.085	0.097	0.089	0.101
		K-m	F-30	8.000	C-9 可溶性	2.526	0.642	0.135	0.118	0.030	0.020	0.030	0.029
	海側 主桁 側面	E-n	F-28	9.383									
S ₄	海側 強出し床版												
R	山北側 橋台 法面	RD ₁	F-33	1.625	FX-37 1mm	2.226							
					FX-41 5mm	2.430							
		RD ₂	F-34	10.348	C-12 可溶性	8.177	6.926	3.626	1.772	0.746	0.116		
					FX-38 1mm	4.876							
					FX-42 5mm	5.486							
		RD ₃	F-35	8.079	C-13 可溶性	8.089	8.503	4.301	1.851	0.748	0.074		
新 橋					FX-39 1mm	4.488							
					FX-43 5mm	1.904							
					FX-40 1mm	4.365							
					FX-44 5mm	2.702							
		FN-1		1.504									
		FN-2		1.358									
新 橋		FN-3		1.006									
		FN-4		1.225									
		FN-5		0.873									
		FN-6		0.812									

【採取試料 No. 記号説明】

- F : 表面付着塩分 (ガーゼ法)
- FX : 表面付着塩分 (コンクリートカンナ削り取り法)
- C : φ50mm コア
- D : コンクリートドリル

2.5 コンクリート品質調査結果

主 桁 No.	採取コア No.	含水率・吸水率					コア圧縮強度		コンクリート配合推定					中性化		
		含水率 (%)	吸水率 (%)	単位容積重量 (kg/m³)			気乾単位容積 重量 (kg/m³)	圧縮強度 (kgf/cm²)	単位量 (kg/m³)			W/C (%)	骨材比重	(mm)		
				気乾	表乾	全乾			セメント	水	骨材			平均	max.	min.
G ₁	C-20	3.2	4.0	2373	2391	2298	2426	473	340	100	1966	29.4	2.63	2.3	6.0	0.0
	21	2.7	3.3	2425	2439	2359	2445	274 ^{*1}	345	111	1969	32.8	2.68	2.0	5.0	0.0
	22	5.8	6.6	2444	2464	2384	2459	475	345	122	1969	35.4	2.74	2.0	5.0	0.0
	平均値	3.9	4.6	2414	2431	2347	2443	474 ^{*1}	343	111	1968	32.4	2.68	2.1		
G ₂	23	3.0	3.4	2399	2408	2321	2401	515 ^{*1}	393	148	1841	37.7	2.70	2.5	5.0	0.0
	24	3.2	4.0	2398	2418	2325	2391	418	411	193	1769	47.0	2.80	2.5	6.0	0.0
	25	2.7	3.6	2423	2444	2357	2406	429	393	193	1801	49.1	2.82	2.5	4.0	0.0
	平均値	3.0	3.7	2407	2423	2334	2399	424 ^{*1}	399	178	1804	44.6	2.77	2.5		
G ₃	26	3.5	5.4	2300	2342	2222	2393	404	302	156	1915	51.7	2.72	1.0	2.0	0.0
	27	3.3	4.5	2339	2366	2265	2360	379	335	196	1795	58.5	2.75	1.0	2.0	0.0
	28	2.9	4.1	2377	2404	2306	2369	416	333	198	1819	59.5	2.79	1.0	2.0	0.0
	平均値	3.2	4.7	2339	2371	2264	2374	400	323	183	1843	56.7	2.75	1.0		
総平均値		3.4	4.3	2386	2397	2315	2406	420 ^{*2}	355	157	1872	44.6	2.74	1.8		
標準偏差		0.9	1.1	43	41	47	31	65	34	37	78	10.5	0.06	1.6		
最大値		5.8	6.6	2444	2464	2384	2459	515	411	198	1969	59.5	2.82		6.0	
最小値		2.7	3.3	2300	2342	2222	2391	274	302	100	1769	29.4	2.63			0.0
最大 - 最小		3.1	3.3	144	122	162	68	241	109	98	200	30.1	0.19			6.0

*1: 異常値と異常値を除いた平均値

*2: 9個の平均値

3. 旧洞川橋

3.1 自然電位差測定結果

調査区画		B		C		D		E		F		G		H		I		J		K		L		M		N		単位: -mV									
主桁 G ₁	海側側面	1	220	126	184	225	192	103	162	120	184	188	146	189	238	251	220	204	189	254	255	298	228	232	233	308											
	底面	2	183	152	165	171	150	175	128	163	155	140	260	283	293	285	206	275	338	253	238	229	164	251	193	269											
		3	211	245	212	220	175	122	112	166	197	281	327	395	299	296	206	192	178	336	171	237	307	235	165	253											
		4	233	305	163	225	183	120	113	81	267	335	356	411	361	373	351	331	327	313	297	300	361	276	350	382											
		5	257	317	190	286	138	139	81	192	270	319	384	385	400	384	387	343	352	314	340	311	408	407	382	432											
		6	250	310	225	301	204	186	234	230	210	310	352	334	365	400	405	432	369	340	332	368	422	398	418	415											
	7	287	298	292	268	232	232	242	311	270	250	296	312	418	332	360	395	311	326	348	405	447	434	387	374												
	8	326	310	314	303	244	253	281	336	293	278	319	341	403	438	336	364	316	374	361	423	459	448	409	400												
床版 S ₁	1	180	172	192	155	134	132	194	187	154	151	125	131	234	223	149	204	168	193	264	203	202	240	345	349	317	324	342	350	356	391	344	333	329	279	339	335
	2	207	188	237	55	115	119	113	90	168	105	33	42	163	281	125	85	132	180	156	148	146	151	143	129	270	338	278	255	323	428	380	282	380	390	368	346
主桁 G ₂	海側側面	1	357	386	365	344	378	372	354	376	359	360	383	413	392	367	384	380	392	416	411	403	399	400	402	396											
	底面	2	355	359	360	365	379	373	348	373	360	360	380	410	415	383	398	418	427	459	456	441	425	398	396	396											
		3	314	352	366	425	376	371	353	330	360	358	386	426	435	395	402	416	435	467	472	448	421	423	406	323											
		4	313	353	399	401	380	372	353	324	360	360	405	435	440	382	422	430	448	480	505	463	425	419	392	340											
		5	301	353	401	410	384	380	347	319	355	340	368	425	405	364	427	443	455	460	464	455	423	423	398	319											
		6	295	352	415	413	387	380	344	319	338	335	361	411	360	354	426	428	453	459	461	450	427	422	412	348											
	7	226	271	412	406	361	345	342	318	317	312	299	345	320	333	421	412	435	455	446	453	419	406	403	382												
	8	253	306	374	366	343	325	321	318	264	224	251	324	313	324	339	365	387	432	399	392	382	426	407	417												
床版 S ₂	1	235	283	206	186	178	129	107	119	130	96	153	144	149	173	146	173	134	118	204	219	25	274	191	133	166	187	272	246	232	284	327	246	278	308	294	288
	2	203	193	214	234	146	95	175	105	127	82	37	69	249	362	202	257	263	183	338	282	444	373	312	153	138	385	379	253	233	401	374	227	258	354	356	363
主桁 G ₃	海側側面	1	362	339	295	328	391	383	334	315	347	361	393	350	342	387	361	364	381	437	477	469	452	459	433	432											
	底面	2	351	354	281	335	387	381	342	316	349	368	400	349	398	397	392	399	414	461	512	493	494	471	436	427											
		3	329	353	365	348	383	373	320	316	373	384	388	399	414	400	394	406	423	472	505	509	492	483	455	370											
		4	337	350	363	342	362	376	320	315	362	384	386	397	446	378	436	419	434	477	494	497	491	478	444	314											
		5	181	343	391	343	370	364	314	307	343	381	382	381	418	386	440	447	447	481	496	495	490	489	436	268											
		6	233	329	400	351	361	359	303	289	314	378	380	375	402	400	409	402	445	486	503	498	480	490	411	335											
	7	223	333	368	334	315	336	280	111	223	329	355	351	359	405	324	377	389	440	500	454	456	483	401	381												
	8	273	293	330	312	280	288	180	105	198	275	310	211	204	376	193	335	364	370	442	401	434	497	471	425												
床版 S ₃	1	173	161	137	182	128	175	110	105	92	65	81	51	54	71	59	37	52	41	78	95	100	126	158	145	149	167	175	228	254	268	305	321	328	351	317	293
	2	144	226	226	226	191	234	191	-1	124	232	78	-16	80	233	279	50	30	40	131	163	377	373	180	177	266	316	311	221	235	334	288	302	366	325	288	279
主桁 G ₄	海側側面	1	399	432	433	425	480	421	481	380	340	420	326	387	444	422	452	443	471	473	490	506	461	344	421	433											
	底面	2	385	430	454	493	482	444	462	263	304	366	298	409	389	407	455	452	475	473	491	506	488	349	408	420											
		3	384	445	452	464	433	366	397	407	307	396	418	420	423	413	324	368	334	416	447	490	462	366	344	347											
		4	377	429	460	458	419	307	358	385	282	434	396	418	400	401	208	229	281	413	423	430	449	342	317	332											
		5	349	375	466	471	376	321	373	358	329	421	372	402	336	329	97	238	228	382	422	387	438	317	315	328											
		6	286	426	426	449	311	278	357	350	327	365	379	336	296	181	78	54	123	280	166	366	403	330	331	326											
	7	224	249	249	288	202	145	192	210	266	275	176	128	268	243	109	28	122	113	151	221	362	263	265	288												
	8	192	358	155	276	208	112	228	294	218	244	135	183	241	274	211	103	262	308	286	269	300	252	309	355												
海側横桁	新潟市側	1	408	404	438																																
	底面	2	388	408	449																																
		3	418	429	447																																
		4	440	436	454																																
		5	452	434	457																																
		6	450	432	457																																
	7	451	418	445																																	
中央横桁	新潟市側	1																																			
	底面	2																																			
		3																																			
		4																																			
		5																																			
		6																																			
	7																																				
山側横桁	新潟市側	1																																			
	底面	2																																			
		3																																			
		4																																			
		5																																			
		6																																			
	7																																				
富山市側	1																																				

3.2 反発硬度測定結果

調査区画	C			E			G			I			K			M								
	1	2	平均	1	2	平均	1	2	平均	1	2	平均	1	2	平均	1	2	平均						
主桁 G ₁	47.6	48.5	48.1	35.1	40.3	37.7	43.0	38.6	40.8	38.9	30.9	34.9	36.0	42.4	39.2	49.0	51.0	50.0						
主桁 G ₂	43.9	35.9	39.9	29.9	25.3	27.6	41.3	41.1	41.2	38.4	37.1	37.8	33.3	40.8	37.1	45.3	41.6	43.5						
主桁 G ₃	43.1	40.1	41.6	41.9	38.9	40.4	38.6	40.8	39.7	39.9	40.9	40.4	43.8	42.7	43.3	46.1	44.6	45.4						
主桁 G ₄	38.5	36.4	37.5	37.9	39.3	38.6	35.2	26.2	30.7	34.1	39.3	36.7	34.0	33.4	33.7	34.2	34.9	34.6						
	1	2	3	4	平均		1	2	3	4	平均		1	2	3	4	平均							
	41.1	41.0	43.4	43.6	42.3	中央横桁	41.3	44.2	41.2	43.6	42.6	山側横桁	47.1	36.1	41.4	44.1	42.2							
	C				E				G				I				K				M			
	1	2	3	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均				
床版 S ₁	44.5	51.1	42.3	46.0	54.1	54.8	56.4	55.1	50.3	50.3	51.1	50.6	49.3	51.1	50.1	50.2	52.5	47.1	53.1	50.9	51.7	48.4	50.6	50.2
床版 S ₂	49.9	49.9	47.1	49.0	53.5	53.1	49.5	52.0	44.0	53.1	52.1	49.7	39.3	45.5	51.0	45.3	48.1	47.9	50.3	48.8	45.5	51.4	50.1	49.0
床版 S ₃	54.1	46.8	53.2	51.4	48.2	41.3	43.0	44.2	51.7	49.3	59.7	53.6	52.5	54.7	42.3	49.8	53.9	52.8	55.5	54.1	55.2	55.4	51.4	54.0
新潟市側橋脚		42.9		富山市側橋脚		42.0																		

3.3 超音波伝播速度測定結果 (対称測定法)

[単位: m/s]

調査区画		B		C		D		E		F		G	
		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
主桁 G ₁	1	4167	104	234	1695	214	2500	5882	1299	3774	228	1724	192
	2	746	136	194	2454	70	294	74	46	101	1569	1600	4210
主桁 G ₂	1	4040	3670	3252	3738	3571	3571	966	3704	3419	3738	1330	1266
	2	881	352	124	199	469	168	68	1176	63	64	676	832
主桁 G ₃	1	79	168	72	326	72	146	3636	3810	3774	261	1404	329
	2	328	115	934	172	173	1487	684	1026	286	221	1428	733
主桁 G ₄	1	78	3419	4348	3478	1914	3774	4348	4210	415	89	2470	559
	2		1278	150	151	1449	868	4167	4210	57	473	189	178

調査区画		I		J		K		L		M		N	
		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
主桁 G ₁	1	3960	871	4210	4167	2759	1594	5333	4348	1802	4255	4301	3448
	2	1575	5882	4396	4396	2614	1504	939	722	1626	1136	1117	5063
主桁 G ₂	1	2516	1047	849	3226	821	2116	3448	1887	1527	483	52	491
	2	215	115	1099	261	65	309	42	68	77	897	78	394
主桁 G ₃	1	3361	1626	320	541	3883	3846	1105	258	40	64	1274	1439
	2	276	215	502	1190	49	274	325	45	64	524	893	1324
主桁 G ₄	1	2051	3279	4350	3226	2778	4167	4210	2920	4396	2072	1498	2469
	2	180	1674	114	943	72	871	66	81	50	722	2162	

調査 区画	海側横桁			中央横桁			山側横桁		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	2459	3226	1327	2128	1415	1370	5172	3750	2027
2	40	50	257	124	1538	2143	3846	3614	714

3.4 塩分量測定結果

調査部位	調査区画	付着塩分量 (Cg/kg/m ²)		含有塩分量 (Cg/kg/m ²)		深さ方向 (cm)										中性化深さ (mm)			
		ガーゼ拭き取り法		表面削り取り法		試料番号	採取方法	分析方法											
		試料番号	塩分量	試料番号	塩分量				0~2	2~4	4~6	6~8	8~10	10~15	15~19				
汲出し床	E-b	F-12	1.08																
主桁G ₁	E-c	F-22	0.47	FK-1	1.45	C-1	コ	ア	全塩分	13.61	4.63	3.75	2.69	2.62	1.16	0.48		14.2	
									可溶性	10.86	3.21	2.70	1.69	1.25	0.46	0.21			
						D-15	ドリル	可溶性	10.07	7.61	6.00	4.72							
						Q-1	カンタブ	全塩分	3.42	2.31	2.09							0.0	
	E-d	F-1	3.94			C-8	コ	ア	全塩分	6.17	2.24	1.87	1.01	0.97				2.5	
									可溶性	3.17	1.42	1.34	0.60	0.59					
						D-1	ドリル	可溶性	6.42	3.70	2.90	1.94							
	E-e	F-30	23.22			C-1	コ	ア	全塩分	3.41	3.28	6.20	2.76	2.37	1.13	0.48		37.8	
									可溶性	3.45	2.83	4.07	1.60	1.52	0.51	0.21			
床版S ₁	E-f	F-16	19.63			C-15	コ	ア	全塩分	8.92	1.42	0.34	0.46	0.46				1.8	
									可溶性	7.92	1.41	0.68	0.34	0.35					
						D-12	ドリル	可溶性	8.20	4.20	3.07	2.49							
						Q-8	カンタブ	全塩分	4.47	1.26	1.12							0.0	
主桁G ₂	E-g	F-24	23.22	FK-2	13.48	C-2	コ	ア	全塩分	12.87	22.14	12.25	5.52	4.79	0.52	0.52		33.8	
									可溶性	8.89	17.69	8.30	3.52	0.55	0.20	0.17			
						D-17	ドリル	可溶性	9.78	12.72	12.45	10.04							
						Q-2	カンタブ	全塩分	10.82	11.72	11.72							10.0	
	E-h	F-3	69.76			C-9	コ	ア	全塩分	15.78	11.03	9.97	7.34	3.86				37.5	
									可溶性	15.31	10.63	9.82	6.20	2.97					
						D-3	ドリル	可溶性	10.62	15.79	13.64	8.07							
	E-i	F-32	5.18			C-2	コ	ア	全塩分	7.13	9.56	6.10	2.27	0.73	0.58	0.52		26.2	
									可溶性	5.46	6.39	3.24	2.87	0.38	0.17	0.17			
床版S ₂	E-j	F-18	11.35			C-16	コ	ア	全塩分	5.41	0.87	0.34	0.22	0.31				22.5	
									可溶性	5.13	1.59	0.90	0.94	0.38					
						D-13	ドリル	可溶性	4.83	3.46	2.37	2.73							
						Q-9	カンタブ	全塩分	3.42	1.47	1.54								
主桁G ₃	E-k	F-26	14.27	FK-3	13.94	C-3	コ	ア	全塩分	11.32	11.52	13.48	6.01	1.94	0.42	0.35		32.5	
									可溶性	10.08	10.89	10.54	3.75	1.32	0.14	0.13			
						D-19	ドリル	可溶性	15.92	11.54	13.54	11.27							
						Q-3	カンタブ	全塩分	6.77	4.82	5.66							30.0	
	E-l	F-5	47.85			C-10	コ	ア	全塩分	12.61	13.35	2.13	1.39	0.52				23.8	
									可溶性	11.49	11.55	1.42	1.42	1.76					
						D-5	ドリル	可溶性	18.54	22.66	15.68	19.20							
	E-m	F-34	3.10			C-3	コ	ア	全塩分	8.25	4.90	3.94	0.54	0.51	0.48	0.35		40.0	
									可溶性	6.79	4.49	2.84	1.10	0.39	0.14	0.13			
床版S ₃	E-n	F-20	11.72			C-17	コ	ア	全塩分	5.27	0.25	0.44	0.30	0.46				40.0	
									可溶性	4.73	2.24	1.10	1.14	0.48					
						D-14	ドリル	可溶性	6.69	3.08	3.51	3.14							
						Q-10	カンタブ	全塩分	6.77	2.51	2.51							10.0	
主桁G ₄	E-o	F-28	18.40	FK-4	8.31	C-4	コ	ア	全塩分	8.83	11.73	12.56	7.08	4.41	1.84	0.51		17.5	
									可溶性	8.00	10.40	11.65	6.17	3.30	0.94	0.15			
						D-21	ドリル	可溶性	11.10	12.37	0.59	12.23							
						Q-4	カンタブ	全塩分	7.96	6.98	10.82							0.0	
	E-p	F-7	185.62			C-11	コ	ア	全塩分	8.42	13.37	11.61	9.20	10.37				0.5	
									可溶性	8.69	10.51	9.86	9.49	10.23					
						D-7	ドリル	可溶性	4.90	3.32	4.49	3.28							
	E-q	F-36	13.58			C-4	コ	ア	全塩分	1.63	1.27	0.70	0.54	0.45	0.45	0.51		1.8	
									可溶性	1.07	0.83	0.54	0.49	0.22	0.24	0.15			
汲出し床	E-r	F-14	2.38																

調査部位	調査区画	付着塩分量 (Cg/kg/m ²)		含有塩分量 (Cg/kg/m ²)		深さ方向 (cm)										中性化 深さ (mm)	
		ガーゼ拭き取り法	表面削り取り法	試料番号	採取方法	分析結果											
		試料番号	塩分量	試料番号	塩分量	0~2 2~4 4~6 6~8 8~10 10~15 15~19											
湧出し床	K-b	F-13	5.12														
主桁G ₁	K-o	F-23	4.37			D-16	ドリル	可溶性	4.45	4.38	3.63	3.49					
	K-d	F-2	7.20			D-2	ドリル	可溶性	5.66	3.03	2.24	1.62					
	K-e	F-31	30.05														
床版S ₁	K-f	F-17	15.40														
主桁G ₂	K-g	F-25	41.17			D-18	ドリル	可溶性	19.93	8.76	13.75	8.16					
	K-h	F-4	67.12			D-4	ドリル	可溶性	18.99	17.09	15.14	20.30					
	K-i	F-33	14.86														
床版S ₂	K-j	F-19	14.98														
主桁G ₃	K-k	F-27	41.77			D-20	ドリル	可溶性	11.24	11.20	12.68	10.41					
	K-l	F-6	128.16			D-6	ドリル	可溶性	19.72	16.38	10.54	3.75					
	K-m	F-35	5.41														
床版S ₃	L-n	F-21	20.84														
主桁G ₄	K-o	F-29	48.88			D-22	ドリル	可溶性	27.18	29.68	18.13	12.41					
	K-p	F-8	18.08			D-8	ドリル	可溶性	9.18	7.76	6.58	2.55					
	K-q	F-37	0.84														
湧出し床	K-r	F-15	1.43														
海側横桁	H-f	F-9	280.58			C-12	コ	全塩分	7.16	4.97	3.62	1.49	0.07			23.8	
						可溶性	5.89	3.52	3.08	1.54	0.56						
				D-9	ドリル	可溶性	6.65	5.56	6.61	3.20							
中央横桁	H-j	F-10	128.72			C-13	コ	全塩分	9.58	2.80	1.41	1.18	0.27			5.5	
						可溶性	7.89	2.49	1.46	1.20	0.39						
				D-10	ドリル	可溶性	6.70	5.18	3.82	1.75							
山側横桁	H-n	F-11	29.31			C-14	コ	全塩分	17.69	3.94	1.73	0.54	0.15			10.0	
						可溶性	13.94	3.06	1.49	0.84	0.31						
				D-11	ドリル	可溶性	11.06	5.18	3.82	2.48							
						深さ方向 (cm)											
海側横桁	Q-u	F-38	18.58			C-5	コ	全塩分	5.58	5.18	3.17	1.28	0.38	0.38	0.20	30.0	
						可溶性	4.96	3.51	2.60	1.13	0.25	0.70	0.08				
	Q-v	F-39	4.30	FK-5	17.61	C-5	コ	全塩分	4.56	3.20	2.82	1.94	0.45	0.14	0.20	48.8	
								可溶性	4.14	1.73	2.46	1.86	0.27	0.11	0.08		
						D-23	ドリル	可溶性	18.03	11.20	11.80	9.34					
						Q-5	カンタブ	全塩分	3.21	2.86	2.65					39.0	
中央横桁	R-u	F-40	15.87			C-6	コ	全塩分	5.61	4.46	3.28	0.13	0.45	0.39	0.39	30.0	
						可溶性	4.78	3.60	2.34	1.10	0.31	0.18	0.17				
	R-v	F-41	2.36	FK-6	12.96	C-6	コ	全塩分	6.25	3.22	5.44	1.73	0.44	0.46	0.39	35.0	
								可溶性	6.00	2.90	3.55	1.76	0.38	0.15	0.17		
						D-24	ドリル	可溶性	15.73	13.64	10.89	10.38					
						Q-6	カンタブ	全塩分	5.24	3.70	2.86					34.0	
山側横桁	T-u	F-42	11.35			C-7	コ	全塩分	1.97	1.18	2.08	1.41	0.60	0.35	0.30	55.0	
						可溶性	2.14	1.37	1.83	1.30	0.48	0.24	0.11				
	T-v	F-43	1.77	FK-7	10.99	C-7	コ	全塩分	4.51	1.41	0.34	0.08	0.14	0.25	0.30	47.5	
								可溶性	3.38	1.45	0.68	0.62	0.11	0.27	0.11		
						D-25	ドリル	可溶性	13.42	10.30	8.92	7.61					
						Q-7	カンタブ	全塩分	3.42	2.65	1.95					42.0	
橋脚	新潟市側	F-44	9.47			C-18	コ	全塩分	4.62	4.24	1.13	1.68	1.44			1.0	
		F-45	6.25					可溶性	5.04	4.07	1.97	1.76	0.93				
		F-48	1.52	FK-8	2.20	D-26	ドリル	可溶性	15.89	14.20	10.58	10.28					
		F-49	0.62			D-27	ドリル	可溶性	17.18	15.35	5.39	4.01					
	富山市側	F-46	9.29			Q-11	カンタブ	全塩分	4.05	3.42	3.42					0.0	
		F-47	12.12			C-19	コ	全塩分	8.11	7.54	10.18	6.84	5.14			1.2	
橋脚	富山市側	F-50	2.47	FK-9	10.06			可溶性	8.56	7.78	7.92	5.79	4.35				
		F-51	3.39			D-28	ドリル	可溶性	7.42	8.30	7.30	6.30					
						D-29	ドリル	可溶性	10.30	10.59	8.99	7.44					
						Q-12	カンタブ	全塩分	6.00	5.24	4.41					0.0	

3.5 コンクリートの品質調査結果

試料番号	水中重量 (kg)	表乾重量 (kg)	絶乾重量 (kg)	単位容積 重 量 (乾ベース) (kg/m ³)	単位容積 重 量 (表乾ベース) (kg/m ³)	コンクリート 中の CaO (%)	コンクリート 中の不溶分 (%)	セメント 中の CaO (%)	骨材中 の CaO (%)	骨材中の 不溶分 (insol) (%)	骨材量 (%)	セメン ト 量 (%)	単 位 骨 材 量 (乾ベース) (kg/m ³)	骨材平均 吸 水 量 (kg/m ³)	単位セメ ン ト 量 (kg/m ³)	セメン ト 比 (%)	粗細骨 材平均 比 重 (%)	空気量 (%)	単位水量 (kg/m ³)
C-20 主桁 G ₁	2.0883	3.6138	3.3370	2,209	2,369	5.69	83.69	65.4	0.3	95.4	87.7	8.3	1,937	19	183	3.15	2.79	1.0	230
C-21 主桁 G ₂	1.4758	2.5138	2.3936	2,306	2,422	8.30	79.88	65.4	0.3	95.4	83.7	12.3	1,930	19	284	3.15	2.74	1.0	189
C-22 主桁 G ₃	2.2295	3.7751	3.5936	2,325	2,442	6.80	83.05	65.4	0.3	95.4	87.0	10.0	2,022	20	233	3.15	2.73	1.0	167
C-23 主桁 G ₄	2.2546	3.8082	3.6043	2,320	2,451	11.25	74.89	65.4	0.3	95.4	78.5	16.8	1,821	18	390	3.15	2.85	1.0	222
C-24 床版 S ₁	1.9368	3.2176	3.1148	2,432	2,512	9.80	73.56	65.4	0.3	95.4	77.1	14.6	1,875	19	355	3.15	3.08	1.0	263
C-25 床版 S ₂	2.1104	3.5391	3.4188	2,393	2,477	13.62	70.90	65.4	0.3	95.4	74.3	20.5	1,778	18	490	3.15	2.48	1.0	191
C-26 海側横桁	2.1824	3.7087	3.5379	2,318	2,430	8.09	81.17	65.4	0.3	95.4	85.1	12.0	1,973	20	278	3.15	2.68	1.0	159
C-27 中央横桁	2.2673	3.8322	3.6650	2,342	2,449	7.61	82.17	65.4	0.3	95.4	86.1	11.2	2,094	21	262	3.15	2.53	1.0	72
C-28 山側横桁	2.1627	3.6820	3.5171	2,315	2,423	7.09	83.76	65.4	0.3	95.4	87.8	10.4	2,032	20	241	3.15	2.62	1.0	130
C-29 橋脚新設	2.1661	3.7058	3.5337	2,295	2,407	6.41	83.44	65.4	0.3	95.4	87.5	9.4	2,008	20	216	3.15	2.67	1.0	163
C-30 橋脚富山	1.4019	2.4062	2.2978	2,288	2,396	6.64	83.44	65.4	0.3	95.4	87.5	9.8	2,002	20	224	3.15	2.86	1.0	150

試料番号	直径 d (cm)	高さ* h (cm)	総乾重量 (g)	断面積 (cm ²)	総乾単位 容積重量 (kg/m ³)	h/d	補正係数 A	圧縮荷重 (ton)	見掛け 圧縮強度 B (kg/cm ²)	圧縮強度 (A×B) (kg/cm ²)	弾性係数 ×10 ⁵ (kg/cm ²)
C-20 主桁G ₁	9.99	19.46 19.94	3369.8	78.38	2,209	1.996	1.00	12.60	161	161	0.71
C-21 主桁G ₂	10.00	13.22 14.21	2393.8	78.54	2,306	1.421	0.96	22.50	286	274	1.69
C-22 主桁G ₃	9.99	19.72 20.45	3594.3	78.38	2,325	2.047	1.00	15.20	194	194	1.06
C-23 主桁G ₄	9.98	19.88 20.52	3607.4	78.22	2,320	2.056	1.00	14.90	190	190	0.71
C-24 床版S ₁	10.01	16.28 16.93	3115.6	78.70	2,432	1.691	0.97	21.80	277	269	1.19
C-25 床版S ₂	10.02	18.12 18.76	3419.6	78.85	2,393	1.872	0.99	37.40	474	469	1.99
C-26 海側横桁	10.00	19.45 20.05	3540.9	78.54	2,318	2.005	1.00	15.95	203	203	1.49
C-27 中央横桁	10.01	19.90 20.43	3667.2	78.70	2,342	2.041	1.00	16.00	203	203	1.18
C-28 山側横桁	10.01	19.31 19.96	3517.8	78.70	2,315	1.994	1.00	8.10	103	103	0.63
C-29 橋脚新湯	10.02	19.53 20.19	3535.1	78.85	2,295	2.015	1.00	18.60	236	236	1.06
C-30 橋脚富山	10.02	12.74 13.24	2298.7	78.85	2,288	1.321	0.95	25.80	327	311	1.07

※上段はキャッピング前の高さ、下段はキャッピング後の高さ

試料番号	気乾重量 W ₁ (g)	総乾重量 W ₂ (g)	水中重量 W ₃ (g)	表乾重量 W ₄ (g)	総乾重量 W ₅ (g)	含水率 (%)	吸水率 (%)	気乾単位容積 重量 (kg/m ³)	表乾単位容積 重量 (kg/m ³)	総乾単位容積 重量 (kg/m ³)
C-20 主桁G ₁	3585.2	3369.8	2088.3	3613.8	3369.9	6.4	7.2	2,350	2,369	2,209
C-21 主桁G ₂	2490.0	2393.8	1475.8	2513.8	2393.6	4.0	5.0	2,400	2,422	2,306
C-22 主桁G ₃	3736.1	3594.3	2229.5	3775.1	3593.6	3.9	5.0	2,417	2,442	2,325
C-23 主桁G ₄	3792.2	3607.4	2254.6	3808.2	3604.3	5.1	5.6	2,441	2,451	2,320
C-24 床版S ₁	3210.4	3115.6	1936.8	3217.6	3114.8	3.0	3.3	2,506	2,512	2,432
C-25 床版S ₂	3534.4	3419.6	2110.4	3539.1	3418.8	3.4	3.5	2,474	2,477	2,393
C-26 海側横桁	3672.2	3540.9	2182.4	3708.7	3537.9	3.7	4.7	2,406	2,430	2,318
C-27 中央横桁	3794.7	3667.2	2267.3	3832.2	3665.0	3.5	4.5	2,425	2,449	2,342
C-28 山側横桁	3623.7	3517.8	2162.7	3682.0	3517.1	3.0	4.7	2,385	2,423	2,315
C-29 橋脚新湯	3704.9	3535.1	2166.1	3705.8	3533.7	4.8	4.8	2,406	2,407	2,295
C-30 橋脚富山	2400.3	2298.7	1401.9	2406.2	2297.8	4.4	4.7	2,390	2,396	2,288

3.6 鉄筋の品質調査結果

試料 採取位置	試 験 片 寸 法			降 伏 点 ・ 耐 力		引 張 試 験				成 分 分 析				
	標点距離 (mm)	径 (mm)	断面積 (mm ²)	荷 重 (Ton)	kgf/mm ²	最大荷重 (Ton)	kgf/mm ²	伸 び (%)	絞 り (%)	切断 位置	C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)
海側横桁	120.0	25.3	502.7	15.60	31.0	23.35	46.4	27.1	49.4	B	0.201	0.370	0.0130	0.033
中央横桁	120.0	24.9	487.0	14.00	28.7	22.30	45.8	—	44.2	C	0.191	0.380	0.0150	0.032
山側横桁	120.0	25.4	506.7	14.25	28.1	22.45	44.3	34.4	59.1	B	0.224	0.380	0.0330	0.033

付録－2 調査項目とその方法

1. 劣化損傷状況の調査

1.1 コンクリート表面

1.2 鉄筋

(1) 自然電位差測定による調査

(2) はつりによる調査

2. 劣化損傷要因の調査

2.1 かぶり厚さ

(1) 鉄筋探査器による調査

(2) はつりによる調査

2.2 塩分量

(1) 表面付着塩分量

(2) 内部含有塩分量

2.3 材料の品質

(1) コンクリート

(2) 鉄筋

1. 劣化損傷状況の調査

1.1 コンクリート表面

(1) 目視調査

①調査範囲

旧板貝橋：上部構造裏側全面と両岸下部構造の吊り足場より上部

旧洞川橋：P 2～P 3 間の上部構造裏側全面と P 2, P 3 の橋脚の吊り足場より上部

②調査項目

旧板貝橋：a. 錆 汁：位置と大きさ

b. ひびわれ：位置と形状、最大ひびわれ幅、ひびわれ位置での錆汁の有無

c. はくり：位置と形状、鉄筋露出の有無

d. 鉄筋露出：位置と腐食状況、鉄筋の種類、露出原因（施工不良、はくり）

e. 施工不良：ジャンカ、豆板、屑鉄等の位置

f. 表面状況：塩分の析出、よごれ、表面の濡れ、波飛沫

g. その他：凍結融解作用によるポップアウト、スケーリング等

旧洞川橋：a. ひびわれ：位置と形状、最大ひびわれ幅、ひびわれ位置での錆汁の有無

b. はくり：位置と形状、鉄筋露出の有無

c. はく落：位置と形状、鉄筋露出の有無

d. 鉄筋露出：位置と形状

e. 錆 汁：位置と形状

f. ジャンカ：位置と形状

g. 遊離石灰：位置と形状

h. 漏水：位置と形状

③調査要領：クラックスケール、メジャー、打診ハンマー等を用い上記の各変状の位置、範囲をチョーク等を用いマーキングを行った。詳細部と全体部の展開図及び損傷状況記録票に記録を行った。

④その他：調査日の天候、気温を記録を行った。

(2) たたき調査（旧板貝橋）

①調査数量：20区画

②調査要領：打診用ハンマーを用いてはくり状況について実施。

はくり状況を「健全」、「ややはくり」、「はくり」の3通りに区分。

(3) コンクリート表層部の含水率（旧洞川橋）

①調査数量：588測点

②測定要領：(株)ケット科学研究所製の水分計（CH—2型とHI—500型の2機種（付録-3参照））を用いて実施。

1.2 鉄 筋

(1) 自然電位差測定による調査

①調査数量

旧板貝橋：28区画

旧洞川橋：87区画，1,047測点

②調査要領

旧板貝橋：日本防蝕工業（株）製の直流電圧計及び飽和甘こう電極（付録－3参照）を用いて測定。

旧洞川橋：日本防蝕工業（株）製の高入力抵抗電圧計と鉛照合電極P6M－2型及びタケダ理研工業（株）製のデジタルマルチメータTR－6320と中川防蝕工業（株）製インピーダンス変換器，飽和カロメル電極（付録－3参照）を用いて実施した。

(2) はつりによる調査

①調査数量

旧板貝橋：18区画

旧洞川橋：鉄筋腐食度－72区画，鉄筋径－48区画

②調査要領

鉄筋腐食度：目視観察により表－付2.1に示す鉄筋腐食度判定基準により4段階に分類。

鉄筋径：ノギスを用いて測定。

表－付2.1 鉄筋腐食度判定基準

腐食度	判定基準
A	腐食認めず
B	ごく表面的な腐食
C	浅い孔食など断面欠損の軽微な腐食
D	断面欠損が明らかに著しい腐食

2. 劣化損傷要因の調査

2.1 かぶり厚さ

(1) 鉄筋探査器による調査

①調査数量

旧板貝橋：32区画

旧洞川橋：72区画

②調査要領

旧板貝橋：鉄筋探査器（パコメータ）を用いて実施（付録－3参照）

旧洞川橋：スイス・プロセク社製のパコメータ（PH－120）と創電社製のシュアサーチ（SS－30）を用いて実施。（付録－3参照）

(2) はつりによる調査

①調査数量

旧板貝橋：18区画

旧洞川橋：72区画

②調査要領

かぶり厚さ：コンクリート表面に水系と鉄筋表面との距離を測定。

鉄筋位置：鉄筋間隔及びコンクリート表面より距離。

③測定器具：鋼尺、メジャー、水系

2.2 塩分量

(1) 表面付着塩分量

(a) ガーゼ拭き取り法

①試料採取位置及び採取数量

旧板貝橋：上部構—32箇所、下部構—4箇所、新設橋—6箇所

旧洞川橋：上部構—63箇所、下部構—8箇所

②試料採取手順

1)採取箇所をメジャーで50×50cmに計りマスキングテープで仕切る。

2)蒸留水約60ccをビーカー内に分取する。

3)ビニール手袋をしてビーカー内の蒸留水をガーゼに含ませる。

4)このガーゼで採取面を直角に交差させる方向に丁寧に拭き、ガーゼを広口ビンに移す。

5)上記の操作を3回繰り返す。

6)最後に蒸留水20ccで手袋を洗い、洗液は広口ビンに加える。

7)広口ビンに試料採取位置を記す。

注) 拭き取り時に採取面から出たり、水をたらしたりしないよう注意

③試料採取器具：メジャー、マスキングテープ、ビニール手袋、ポリビーカー、広口ポリビン、メスシリンダー、プラスチックスポイト、ガーゼ、蒸留水

④塩分量測定手順

1)試料ビンよりガーゼをビーカー(1ℓ)に移す。更に、試料ビンを200ccの蒸留水で洗浄しながらビーカーに洗液を移す。

2)ビーカー内でガーゼを1分間もみ洗いする。

3)ガーゼをビーカー内で絞り、ろ過(ろ紙—No.6)する。

4)ろ液を計量し、20cc分取する。

5)2N-HNO₃を添加し中性にする。

6)電位差滴定する。

7)塩化物濃度を計算する。なお、単位はNaCl換算mg/m²とする。

⑤分析器具：電位差滴定装置(付録—3参照)、ビーカー(1ℓ)、漏斗、ろ紙(No.6)、ビニール手袋、ハカリ(1/100g)

(b) 表面削り取り法

①試料採取位置及び採取数量

旧板貝橋：表面削り取り1mm—7箇所(下部構)、表面削り取り5mm—1箇所(下部構)

旧洞川橋：上部構—7箇所、下部構—2箇所

②試料採取手順

旧板貝橋：1)採取箇所をメジャーで50×50cmに計りマーキングする。

2)コンクリート表面調整用電動コンクリートカンナを用い、予定深さを削り取る。

3)コンクリート微粉末の回収は、同カンナの排気ホースに集塵器を取付けて行い、回収試料は広口ポリビンに移す。

4)広口ポリビンに試料採取位置を記す。

注) 集塵器の回収フィルターは充分に掃除した後、次の試料採取を行う。

旧洞川橋：1)ワイヤーブラシを用い、コンクリート表面を削り取る。

2)コンクリート表面を削り取り、削り粉はチリトリで回収する。

3)回収試料は広口ポリビンに移す。

4)広口ポリビンに試料採取位置を記す。

③ 試料採取器具

旧板貝橋：メジャー、広口ポリビン、集塵器、コンクリートカンナ（付録－3 参照）

旧洞川橋：広口ポリビン、チリトリ、ワイヤーブラシ、ケレン棒

④ 塩分量測定要領

土木研究所標準試験(案)「コンクリート中塩分の分析方法」の内、「可溶性塩分分析法」に基づき実施。但し、土木研究所標準試験(案)では、粉末試料40gとしているが今回20gで行った。

(2) 内部含有塩分量

(a) コア試料による内部含有塩分量

① 試料採取位置及び採取数量

旧板貝橋：主桁－9本、床版－2本、横桁－2本、橋台－2本（φ 50mm）

旧洞川橋：主桁－8本、床版－3本、横桁－6本、橋脚－2本（φ 45mm）

② 試料採取手順

(1)鉄筋位置探査を行い、コア採取位置にマーキングを行う。

(2)採取コアは、直ちに寸法、重量を計る。

(3)採取コアに試料番号を記入し、ビニール袋等に包み保管する。

③ 試料採取器具：電動ボーリングマシン（付録－3 参照）、発電機、ドラムコード、水中ポンプ、ポリタンク、ビニールシート、テープ、メジャー、ハカリ

④ 塩分量測定要領

土木研究所標準試験(案)「コンクリート中塩分の分析方法」に基づき、旧板貝橋では可溶性塩分量126試料及び全塩分量42試料の合計168試料の測定を行い、旧洞川橋では可溶性塩分量151試料及び全塩分量151試料の合計302試料の測定を行った。

但し、土木研究所標準試験(案)では、粉末試料を40gとしているが今回20gで行った。

⑤ 分析器具

土木研究所標準試験(案)「コンクリート中塩分の分析方法」参照

(b) ドリル試料による内部含有塩分量

① 試料採取位置及び採取数量

旧板貝橋：主桁底面－18箇所、横桁底面－2箇所、20mmごとに3層に分け実施。

旧洞川橋：主桁—16箇所、床版—3箇所、横桁—6箇所、橋脚—4箇所、20mmごとに分け実施。

②試料採取手順

1)電動ドリル(φ22)を用い、ストッパーを20mm深さごとに設定し、試料を採取する。

2)各深さごとに50g以上の試料採取を行う。

3)採取試料を試料ビンに詰め番号と日付を記入する。

③試料採取器具：電動ドリル(付録—3参照)、ダストカップ、発電機、ドラムコード、メジャー、ハカリ、試料ビン

④塩分量測定要領

土木研究所標準試験(案)「コンクリート中塩分の分析方法」に基づき、旧板貝橋では可溶性塩分量54試料の測定を行い、旧洞川橋では可溶性塩分量116試料の測定を行った。

(c) 簡易な方法による内部含有塩分量(旧洞川橋)

①試料採取位置及び採取数量

主桁—4箇所、床版—3箇所、横桁—3箇所、橋脚—2箇所、20mmごとに3層に分け実施。

②試料採取手順

(b)の②と同じ

③試料採取器具

(b)の③と同じ

④塩分量測定要領

(財)国土開発技術研究センターに評定された(株)小野田製のカンタブ(コ塩測第860201)を用い、現場で実施した。(付録—3参照)

⑤分析器具

上皿天秤、プラスチック容器、無水粉末酸、ガラス棒、無水炭酸ナトリウム、ストップウォッチ、口紙、カンタブ、シリンダー、蒸留水

2.3 材料の品質

(1) コンクリート

(a) 超音波伝播速度

①調査数量

旧板貝橋：20区画

旧洞川橋：51区画

②調査要領

旧板貝橋：超音波によるデジタル式コンクリート非破壊試験器(付録—3参照)を用いて実施。

旧洞川橋：C.N.S.エレクトロニクス製のパンジット(付録—3参照)を用いて実施。

(b) 反発硬度

①調査数量

旧板貝橋：20区画

旧洞川橋：47区画

②調査要領：スイス・プロセク社製のシュミットハンマーNR型(付録—3参照)を用いて実施。

圧縮強度の推定は日本材料学会式を用いた。

(c) コンクリートの圧縮強度

①試料数

旧板貝橋：9 試料

旧洞川橋：11試料

②試料採取方法及び強度試験方法

J I S A 1107「コンクリートからコア及びはりの切り取り方法及び強度試験法」に基づいて実施。

③使用器具：コンクリートカッター，アムスラー試験機，キャッピング道具

(d) コンクリートの弾性係数（旧洞川橋）

①試料数：11試料（圧縮強度試験と同時に実施）

②試料採取方法

圧縮強度試験と同じ。

③試験方法

（株）東京測器研究所製のデジタルひずみ測定器T D S－301とひずみゲージP L－60を用いて実施。

(e) 単位容積量

①試料数

旧板貝橋：圧縮強度用コア9 試料

旧洞川橋：圧縮強度用コア11試料

②試験手順

1)気乾状態のコア切片空気中重量 (W_1) の測定。

2) 110℃で48時間乾燥させた絶乾状態のコア切片空気中重量 (W_2) の測定。

3)48時間水中養生し，吸水後のコア切片水中重量 (W_3) の測定。

4)表乾状態のコア切片空気中重量 (W_4) の測定。

5) 110℃で48時間乾燥させ，絶乾状態におけるコア切片空気中重量 (W_5) の測定。

$$\text{絶乾単位容積重量 (kg/m}^3\text{)} = \frac{W_5}{W_4 - W_3} \times 1,000$$

$$\text{気乾単位容積重量 (kg/m}^3\text{)} = \frac{W_1}{W_4 - W_3} \times 1,000$$

$$\text{表乾単位容積重量 (kg/m}^3\text{)} = \frac{W_4}{W_4 - W_3} \times 1,000$$

(f) 含水率及び吸水率

含水率及び吸水率は（e）単位容積重量で測定された値を用いて下式で求める。

$$\text{含水率 (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100$$

$$\text{吸水率 (\%)} = \frac{W_4 - W_2}{W_2} \times 1,000$$

(g) コンクリートの配合推定

①試料数

旧板貝橋：圧縮強度試験後の試料から分取した9 試料

旧洞川橋：圧縮強度試験後の試料から分取した11試料

②推定方法

(社)セメント協会コンクリート専門委員会「硬化コンクリートの配合推定F-18」に基づいて実施。

(h) 空隙率測定

①試料数

旧板貝橋：圧縮強度試験後の試料から表層部、中央部から各9試料、合計18試料を分取

旧洞川橋：圧縮強度試験後の試料から分取した11試料

②測定方法

旧板貝橋：1)試料をハンマーで砕き、2.5～5 m/mの粒度に調整し、試料はアセトンで洗浄し乾燥させる。

2)採取試料はモルタル部分のみを用い、細孔径測定用と溶解率測定用に分ける。

3)溶解率測定：充分な量の10% HCL 溶液中に試料を入れ、マルチマグネスターで2時間かくはんし、ろ紙でろ過して不溶残分を求める。

溶解率は試料の全重量に対する溶解分の重量で表わす。

4)細孔径率測定：水銀圧入ポロシメーター（最大圧入2,000kg/cm²）を用い、以下の諸指標でまとめる。

・総細孔量 (T.P.V) : $\times 0.01\text{cc/g}$

加圧過程で測定された最小径37.5 μ までの細孔総量

・有効細孔量 (E.T.P.V) : $\times 0.01\text{cc/g}$

総細孔量を溶解率で除した値（骨材に細孔が含まれない過程の硬化セメントペースト中の細孔量）

・細孔径細率 (F.M.P)

指示圧100kg/cm² までの累加細孔量の和の総細孔量に対する比（細孔径分布の細かさの指標）

旧洞川橋：1)試料をハンマーで砕き、2.5～5 m/mの粒度に調整し、試料はアセトンで洗浄し乾燥させる。

2)採取試料はモルタル部分のみを用いる。

3)ポロシメーター（付録-3 参照）を用いて空隙率を測定する。

③使用器具

旧板貝橋：HCL, マルチマグネスター, ビーカー, ルツボ, 電気炉, ろ紙, ハカリ, ポロシメーター, バキューム

旧洞川橋：ポロシメーター

(i) 表面粗度（旧板貝橋）

①試料数：各コア試料において表面から1cmを切り出し測定用試料とした。

②測定方法：(1)触針式表面粗さ測定器（JIS B 0651 規定）を用い表面の凹凸を測定する。

(2)粗さの指標としてはJIS B 0601「表面粗さの定義と表示」に規定されている中心線平均粗さ（Ra）と、最高高さ（Rmax）でまとめる。

③使用器具：触針式表面粗さ測定器

(j) 中性化試験

①試験位置：コア採取穴を用いて実施。

②試験方法：フェノールフタレイン法（試薬はフェノールフタレイン1%エタノール溶液（JIS K 8006））にて実施。

・フェノールフタレイン法の原理

フェノールフタレインはpH指示薬の一種で1%エタノール溶液として吹き付けて使用し、pH 8.2～10.0以上のアルカリ側で紅色に発色し、中性側では無色である。

・仕様

エタノール（試薬一級）溶液入500mlビンに5gのフェノールフタレイン粉末を入れ、更にビンの肩まで水を入れる。

・測定法

コア穴をタガネではつり、その面に試薬を噴霧する。

中性化深さはコンクリート表面から発色点までの深さとする。

(2) 鉄筋（旧洞川橋）

(a) 引張強度

φ25mmの丸鋼3本を万能試験機（付録－3参照）を用いてJIS Z 2241「金属材料引張試験方法」に基づいて実施。

(b) 成分分析

成分分析は炭素、マンガン、りん及び硫黄について行った。

(1)炭素

高周波炉（付録－3参照）を用いてJIS G 1211「鉄及び鋼中の炭素定量方法」に基づいて実施。

(2)マンガン

分光光度計（付録－3参照）を用いてJIS G 1213「鉄及び鋼中のマンガン定量方法」に基づいて実施。

(3)りん

分光光度計（付録－3参照）を用いてJIS G 1214「鉄及び鋼中のりん定量方法」に基づいて実施。

(4)硫黄

高周波炉（付録－3参照）を用いてJIS G 1215「鉄及び鋼中の硫黄定量方法」に基づいて実施。

付録－3 使用機器

1. 水分計
2. 自然電位差
3. 超音波伝播速度
4. 反発硬度
5. 鉄筋位置探査
6. 自動滴定装置
7. コンクリートカンナ
8. 電動ボーリングマシン
9. 電動ドリル
10. 圧縮試験機
11. デジタルひずみ測定器
12. ポロシメーター
13. 万能試験機
14. 高周波炉
15. 分光光度計
16. 塩分測定器

1. 水分計

(a) CH-2型 (株) ケット科学研究所製

本体：13×11×19cm

ピックアップ：65×60×11.5cm

内蔵電池：22.5V 積層乾電池・・・1ヶ

性能：探知可能深度 約30 m/m

水分範囲0～10% (50等分目盛) 試料の水分とメーター指示目盛の校正を予め行う。

電氣的精度：最大目盛で±1目盛

(b) HI-500型 (株) ケット科学研究所製

測定原理：高周波容量式 (20MHz)

測定対象：コンクリート・モルタル・ALC

測定範囲：コンクリート (0～12%)

モルタル (0～15%)

ALC (0～100%)

補正機能：厚さ10～40mm

温度 ①自動 (0～40℃) ②手動 (0～70℃)

表示：LCDによるデジタル表示

アラーム機能：設定値以上の水分値のときブザーによるアラーム

電源：乾電池9V (006P) 1ヶ

寸法：110 (高さ) × 56 (幅) × 130 (奥行) mm

重量：約540g

2. 自然電位差

(a) 高入力抵抗電圧計 (直流電圧計) 日本防蝕工業(株)製

入力抵抗：10⁴MΩ以上

測定範囲：±2.0V以内

精度：±1mV

(b) 鉛照合電極 PbM-2型 (基準電極) 日本防蝕工業(株)製

電位：-725mV

(c) デジタルマルチメータ TR-6320 (直流電圧計) タケダ理研工業(株)製

レンジ	分解能	測 定 確 度	入力抵抗	最大許容印加電圧
200 mV	10 μV	± 0.06%0 f rdg. ± 2 digits	約 1MΩ	100 V
2 V	100 μV	± 0.04%0 f rdg. ± 2 digits	約10MΩ	1000 V
20 V	1 mV	± 0.06%0 f rdg. ± 2 digits		
200 V	10 mV			
1000 V	100 mV			

電 源：マンガン乾電池006P×1ヶ

入力ケーブル：A 01001

(d) インピーダンス変換器 中川防触工業製

入 力 抵 抗： $10^4 M\Omega$

(e) 飽和カロメル電極（SCE） 中川防触工業製

電 位： $-245 mV$

3. 超音波伝播速度

(a) 超音波によるデジタル式コンクリート非破壊試験器 東京三和商工(株)製

透 過 能 力：コンクリート（材質によって異なる）

振動子の周波数：50KHz（チタン酸バリウム）2個

時間測定範囲： $0.1 \sim 10,000 \mu s$ 縦波

時間測定精度：1%以内最読取り $\pm 0.1 \mu s$ 自動・手動計測可能

寸 法 ・ 重 量：巾33×高さ23×奥行40cm ， 12kg

(b) バンジット C.N.S. エレクトロニクス製

時 間 測 定：伝播速度は4インライン数字表示方式

時間測定基準：10 MHz 水晶発振によりタイミングパルス発信

最小読み取り時間： $\pm 0.1 \mu s$

時間測定範囲： $0.1 \sim 10,000 \mu s$

回 路：シリコン半導体の完全ソリッドステート化

デケートとインジケーターにはT.T.L.集積回路を採用

伝 播 能 力： $0 \sim 15 m$ （対面法）， $0 \sim 1.5 m$ （表面法）但し，材質による

インプット感度：20KHz $\sim$ 500KHz（使用振動子の周波数），シグナルは $250 \mu V$ ，

インピーダンス $1 M$ （400mV）

トランスミッター：励起パルス= $1 K V$ ， $500 V$ ， $1.5 \mu s$

パルス反復周波数=毎秒10パルス

トランスジューサー：ジルコン酸チタン酸鉛セラミック（50KHz），

直径50mm×長さ42mm（ステンレス鋼製）

電 源：充電式ニッケルカドニウム電池，消費電力4 W，100 V，AC

寸 法 ・ 重 量： $180 \times 110 \times 160 mm$ ，3.5 kg

周囲温度範囲： $0^{\circ}C \sim 40^{\circ}C$

4. 反発硬度

シュミットハンマーNR型 スイス・プロセク社製

適用コンクリート：普通コンクリート

衝撃エネルギー： $0.225 kg f / cm^2$

強度測定範囲： $150 \sim 600 kg f / cm^2$

記 録：反発度自記記録式
総 重 量：2.7 kg

5. 鉄筋位置探査

(a) バコメーター PQ-120 スイス・プロセク社製

かぶり厚さ測定能力：0～120 m/m (最大)

直 読 鉄 筋 径：φ 8, φ 9, φ 13, φ 14, φ 16, φ 18, φ 20, φ 21, φ 30,
(選択ダイヤル) φ 34,

ス ケ ー ル：0～100 目盛

プローブ・ケーブル長さ：2 m

電 源：1.5 V バッテリー 8 ケ

寸 法 ・ 重 量：245×165×120 mm, 3.7 kg

(b) シュアサーチ SS-30 創電社製

適 用：建設・設備関係工事用

測 定 範 囲：例) 16 m/m φ 鉄筋を 100 m/m で感知

メーター表示目盛：0～100

検 出 信 号：メーターの指針の振れ

寸法・重量・材質：約 120 (H) × 60 (W) × 210 (L) m/m, 830 g, ABS 樹脂

電 源：006 P 型 電池 9 V 1 ケ

6. 自動滴定装置

HSS/HTS-10A 型 東亜電波工業(株)製

pH (mV) 設定範囲：1.5～12.5 pH, -550～+550 mV

設 定 精 度：0.02 pH (または 2 mV)

注 入 速 度：AUTO (ユニットにより制御), MANU (約 2～20 分連続可変)

試料最小必要量：約 50 ml (別途の完全 1 本形電極で 8 ml)

タイマ設定時間：10, 20, 50, 100, OFF (sec)

スピード切換設定範囲：2～12 pH, -500～+500 mV

出 力：pH 値出力, 微分 (dpH/dt) 出力

電 源：AC 100 V, 50, 60 Hz (指定要) 約 45 VA

寸 法 ・ 重 量：290 (幅) × 230 (高) × 220 (奥) mm, 約 7 kg

付 属 使 用 器 具：○ピーカー (1 個) ○漏斗 ○No. 6 のろ紙 ○ビニール手袋
○ハカリ (1/100 g)

7. コンクリートカンナ

S F-75N 渋谷商事(株)

電 源: 単相 100V

電 流: 5.3 A

消費電力: 510 W

回 転 数: 15,000rpm

カッター幅: 75mm

重 量: 3.5 kg

排気ホース: 1 m

8. 電動ボーリングマシン

150Ⅱ (株) 鳥羽洋行製

モーター: 120 V/15A

回 転 数: 350/900rpm

取付方法: アンカーボルト打込式

ベース寸法: 200 × 250 mm/m

支柱長さ: 850 mm/m

重 量: 32kg

9. 電動ドリル

22V1 日立工機(株)

電 源: 100 V

電 流: 5.3 A

消費電力: 500 W

回 転 数: 0 ~ 800rpm

全負荷打撃数: 3,150 分

重 量: 4.3 kg

10. 圧縮試験機

MAC100型

最 大 能 力: 100t

最 小 目 盛: 200kg

変換できる能力: 50, 25, 10 t

変換できる最小目盛: 100, 50, 20kg

ラムストローク: 100mm

ラ ム 速 度: 28mm/min

クロスヘッド昇降速度: 200 mm/min

支柱内側間隔: 390 mm

圧 縮 盤 間 隔: 450 mm

上下圧縮盤寸法: 直径 160mm

油圧ポンプ用モーター: 3相 0.75 KV

クロスヘッド昇降用モーター: 3相 0.4 KV

11. デジタルひずみ測定器

測 定 範 囲 ひ ず み 直 流 電 圧	()内はオートレンジングにて $\pm 40000 \times 10^{-4}$ ($\pm 400000 \times 10^{-4}$) アッテネータ 1. 1/100 (各点任意設定可能)
温度(熱電対)	T - 200 ~ + 350°C K - 200 ~ + 1200°C E - 200 ~ + 800°C B + 600 ~ + 1600°C R.S 0 ~ + 1600°C J 0 ~ + 750°C
初期不平衡記憶範囲	$\pm 16000 \times 10$
測 定 点 数	500 点
切 換 速 度	0.08 秒/点 (温度測定では 0.12 秒/点)
ひずみ測定ブリッジ電源	DC 2 V, 20nsec
精 度	(表示値の 0.05 倍 + 1 Digit) (0 ~ 50 °C) ひずみ, 電圧, 熱電対
零 点 移 動	0.1 $\times 10$ / C (ひずみ) 0.1 V / C (電圧, 熱電対)
切 換 方 法	オートスキャン: FIRST CH から LAST CH. まで 自動切換測定 (ジャンプ可) モ ニ タ: MONI CH. (1 点) のくり返し測定
測 定 ス タ ー ト	押しボタン, 外部スタート プログラムタイマ, モニタデータコンパレータ (併用可)
表 示	16桁 5 $\times$ 7 ドット蛍光表示
設 定 入 力 係 数 設 定 単 位 設 定 小 数 点 設 定	ソフトクラッキー (ロック機能付) 0.001 ~ 9.999 μ , mV, kgf, °C など 30 種類 任意桁に設定可能
自 己 診 断 機 能	1. ROMチェック 2. RAMチェック 3. I/Oチェック 4. プリントテストパターン 5. ディスプレイテストパターン 6. 電源チェック 7. バッテリチェック 8. GP. IBチェック 9. ほらつきチェック 10. 絶縁チェック 11. 入力状態チェック 12. スイッチボックス感度チェック
リ ザ ー ブ 機 能 設 定 内 容 設 定 ナ ン バ	チャンネルナンバ インターバルタイマ (30ステップ) データコンパレート (30ステップ) 1 ~ 8 (8系統)
シ ン プ ル メ ュ ー	係数 1.000 (ゲージ率 200), 単位, 小数点なしに固定
タ イ マ 時 刻 イ ン タ ー バ ル プ ロ グ ラ ム	年・月・日・時・分・秒 時・分・秒 (99時59分59秒まで) 1ステップ (同一インターバル) 最大99回測定 30ステップまで 同一インターバルでの無限回測定可

12. ポロシメーター

(a) 76-P01 (株) アムコ

最大圧: 2,000kg/cm²

最大細孔径: 37.5 Å

(b) オートポア 9200型 島津製作所製

本体

最大圧力: 59,700psia (4,197kg/cm²)

最小細孔径: 0.003μm

出力装置

C P U: インターシール IM 6100

メモリ容量 ROM: 9 KW

“ RAM: 7 KW

13. 万能材料試験機

RU-100型万能試験機 東京衝機製造所製

変更容量: 100, 50, 20, 10, 5t

最小目盛: 100, 100, 20, 10, 10kg

最大機高: 約 2,785mm

テーブル巾: 1,200mm

テーブル奥行: 750mm

テーブル高さ(最小): 約 835mm

主柱内側間隔: 750mm

主柱中心間隔: 880mm

主柱・ねじ棒間隔: 180mm

据付巾: 約 1,120mm

据付奥行: 約 670mm

14. 高周波炉

FRA高周波炉 富士電波工業製

電源及び最大入力: 1φ, 100V, 50/60Hz, 2.2KVA

使用真空管: 5T30×1

発振周波数: 18~15MHz

発振方法: 陽極同調自励発振方法

整流方法: 単相全波整流方式

電源電圧調節: 4段, 90~120

酸素流量計: ローターメーター, 0~2000cc/min

タイムスイッチ：ゼンマイ式、0～6分

保護装置：強制冷却送風器、陽極過電流継電器、操作回路及び主路用ヒューズ

電圧電流計：AC—150V，DC—750mA，DC—100mA

寸法・重量：巾470×高さ750×奥行480mm，約75kg

15. 分光光度計

島津デジタルダブルビーム分光光度計UV-150-02 島津製作所製

タイプ：デジタル表示（紫外可視用）

測定波長範囲：200～1000nm

波長表示：3桁カウンタによるデジタル表示，最小目盛0.2nm

分光器：ツェルニターナ形分光器

バンド幅：5nm

波長精度：±1nm

検出器：シリコンホトセル

測光レンズ：吸光度リニアスケール，0～1.999Abs，0～0.01999Abs，濃度表示

マイクロセルによる測定：対照側，試料側の光束を同時に幅2.5×高さ4mmにできる絞りを内蔵

記録計用出力：100mV/Abs

プリンタ用出力：BCD1248

電源・大きさ・重量：AC100/117/220/240，130VA，50,60Hz共用，

幅640×奥行370×高さ330，30kg

16. 塩分量測定器

カンタブ（株）小野田製

原理：モール法の応用

測定範囲：低濃度品0.003～0.05%（水溶液濃度，Cl換算）

標準品0.05～0.5%

測定時間：夏期10分，冬期20分

コンクリート橋の塩害に関する
実橋詳細調査

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2707号
昭和63年12月(1988)
建設省土木研究所橋梁研究室
藤原稔, 箕作光一
井川敏正, 杉山純夫
湯浅晃行, 家室育一

要 旨 沿岸地域に位置するコンクリート橋の中には、飛来塩の影響で鋼材の腐食が生じているものがある。そこで、総プロ「コンクリートの耐久性向上技術の開発」の一環として、北陸地方の日本海沿岸に存する2つのコンクリート橋を対象に、塩分量と鋼材の腐食度の関係等を把握するために各種劣化診断技術を用いて詳細な調査を行った。本報告書は、その結果をとりまとめたものである。

キーワード：塩害、劣化損傷状況、劣化損傷要因、腐食度、塩分量、かぶり厚さ

郵便はがき

切手をは
いて下さ

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所
構造橋梁部橋梁研究室 御中

No. 017

土研資料第2707号

No. 017

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2707号

コンクリート橋の塩害に関する実橋詳細調査

部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏名



土木研究所資料第2707号