



土 木 研 究 所 資 料

コンクリート橋の塩害対策に関する研究

— プレストレストコンクリート橋梁の損傷調査 —

昭和 58 年 1 月

建 設 省 土 木 研 究 所

地質化学部・化学研究室

Copyright © 57年度 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 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、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

永久保存



ISSN 0386-5878

土木研究所資料 第1985号

土木研究所資料

コンクリート橋の塩害対策に関する研究

— プレストレストコンクリート橋梁の損傷調査 —

昭和58年1月

建設省土木研究所

地質化学部・化学研究室

Copyright © 57年度 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 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、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

ま え が き

本資料は近年問題となっている、海岸付近にあるプレストレストコンクリート製橋梁の腐食による損傷（いわゆる塩害）について、初期の調査結果をまとめたものである。

当時は調査手段も確立していず、また各々の調査期間も短かったために、現在から見れば調査内容や考察に不満足な点も多々あるが、この種の事例のうち特に初期の調査例が他には見当たらないこともあって、資料としてとりまとめたものである。

調査にあたっては、東北地方建設局 秋田工事事務所、酒田工事事務所および北陸地方建設局 新潟国道工事事務所、高田工事事務所の関係各位の御協力を得た。

塩分分析については深田幾夫氏（化学研究室）、X P M A分析については守屋進氏（化学研究室）の助力を得た。また、本資料をまとめるにあたっては橋梁計画官山内幸裕氏の貴重な助言を得た。

なお、本資料は著者の主観を交えて結論を得ている部分があり、それらについては今後議論の余地があることを、あらかじめおことわりしておく次第である。

目 次

ま え が き

1. 昭和55年11月の調査内容と調査結果	1
2. 昭和56年11月の調査内容と調査結果	13
3. 昭和57年3月の調査内容と調査結果	20
4. 今後の課題	26
あ と が き	31

1. 昭和55年11月の調査

まえがき

1. 調査概要

1.1 調査日および調査橋

1.2 環 境

2. 調査方法

3. 調査結果

3.1 劣化状況の観察結果

3.2 中性化

3.3 含有塩分量の測定結果

3.4 鋼材の腐食状況

4. 考 察

5. 要 約

まえがき

東北地方建設局秋田工事事務所および酒田工事事務所においては、その管内のプレストレストコンクリート橋の内部鋼材の腐食によりひびわれやコンクリートのはく落などが生じたことから、土木研究所に調査立合いが依頼なされた。

土木研究所においても、かねてより鉄筋コンクリートの耐久性について深い関心をもち、また実際に東京湾内の海上暴露台等を用いて、鉄筋コンクリートの腐食防食試験を行っている。

今回のような腐食事例は初めてのことであり、調査結果をとりまとめ今後の参考にすることにした。

1 調査概要

現地の調査では、周辺の状況、橋の外観、コンクリートの劣化状況を実際に見ることと、これまでの経過のききとりなどを行ない、現地の把握に努めた。現地で採取したコンクリートサンプルなどは室内に持ち帰り、化学分析も行ない、現地で撮影した写真などともあわせて劣化原因を考察している。

1.1 調査日および調査橋

昭和55年11月5日

秋田工事事務所管内

A 1 橋

1 1 月 6 日 酒田工事事務所管内

A 2 橋

A 3 橋

B 1 橋

B 2 橋

B 3 橋

B 4 橋

B 5 橋

B 6 橋

B 7 橋

(参考)

C 1 橋

このうち、A 2 橋は既に補強工事を始めており、B 6 橋は補修工事が始まる直前であって、足場が準備されている。

1.2 環境

秋田も酒田の現地はいずれも共通した気象であるとのことであり、年間の気象はおよそ次の通りであることである。

1 2 月 - 3 月 海水水温は6-7℃

コンクリート表面は-3~-8℃に達し、海が荒れるためにたえず海水飛沫がかかる。

4 月 - 6 月

3日荒れる日が続く、その後4日~6日なぎが続く日には、海水ミストが飛ぶ。

コンクリート表面には結露現象がみられる。

7 月 - 8 月

べたなぎの日が続く。

海水水温は22-23℃

昼間の気温は25-30℃。夜には15℃に低下する。

9 月 - 11 月

荒れが7日続き、その後なぎが4~6日続く。コンクリート表面には結露現象がみられる。

海が荒れる冬から夏にかけては、海水のしぶきがミスト状となってふりそそぐとのことであり、実際に霧雨のように降ることを確かめた。春と夏には橋桁面は、じつとりと濡れている。

海岸沿いに国道7号線が続いており、今回の調査を行なった橋は、海岸のすぐ近くか、海岸にある。

A 2 橋などでは橋そのものが海へ迫り出しており、橋の下は漁船のたまり場となっている場合もある。

2. 調査方法

補強工事のため既に補強用足場の設置されている橋については、その足場を利用しての調査を行ない、足場のない橋の場合には、可能な限り近づいて双眼鏡等を用いて劣化状況を観察した。

(1) 劣化状況の観察

コンクリートに生じたひびわれ状況や、錆汁の流出状態を観察した。

劣化程度は錆汁だけが点々とみられるもの、ひびわれがたて方向に走っているもの、コンクリートがはく落しているもの、プレストレスト鋼材が露出し腐食しているものとさまざまであり、橋によっても、また同じ橋であっても、橋桁によっても異なっている。

そこで、劣化度合を分類する際の目安として、劣化度を4段階に大別して考えることにした。

劣化度	0	外観は異常がない。
劣化度	1	コンクリート表面にひびわれはないが、赤茶色錆汁がコンクリート表面に観察される。
劣化度	2	錆汁が観察されるだけでなく、局部的に小さなひびわれがある。
劣化度	3	コンクリート橋桁のたて方向にひびわれが走っている。また、コンクリートのはく落も始まっている。
劣化度	4	外観からまたはつりによってシーすやプレストレスト鋼棒が腐食しているのが観察される。

(2) 中性化テスト

フェノールフタレイン液をスプレー状にコンクリート表面にふきつけ、その変色の度合でコンクリートの中性化の度合を判定する。

(3) 含有塩分量の分析

コンクリート中の含有塩分量を知るために、桁の各部分よりコンクリート小片をはつりサンプル袋に入れて持ち帰った。

含有塩分量の分析方法は、まだ定まったものが無いが、土木研究所化学研究室が提案している“電位差滴定による全塩分量分析方法”にもとづいて、今回の分析を行なった。

3. 調査結果

3.1 劣化状況の観察結果

下部工（橋脚）には、腐食などの異常がみられず、上部工（T型梁や床版）に劣化が顕著である。詳細な観察によれば、T型梁の下面、側面、上部とでは劣化状況も異なっている。

各々の特徴を図－1.1に示す。

梁の下面では、長いたてひびわれが入る場合が多い。（ひびわれ巾は比較的大きい）また、このひびわれに沿って、コンクリート片がはく落する場合もある。

ひびわれ部分に錆汁が見えなかったために、当初、このひびわれの原因が確認できなかったが、ひびわれ部とその周囲を丁寧にはつり出した結果、錆汁の流出がなくとも、例外なく鋼材が赤茶色

に腐食していた。

補助鉄筋だけでなく、シーースやプレストレスト鋼棒に厚く赤錆が固着し、鋼棒が破損している場合も見られた。

梁の側面や上部では、コンクリート表面に黒茶色の錆汁がしみのように見られるが、コンクリートそのものにはひびわれは見あたらなかった。

ひびわれがなかったために、あえてはつることはしなかったが、側面に補助鉄筋が露出している場合があり、全般に補助鉄筋のかぶりが小さい（1 cm以内）傾向があるようである。

施工しあがりについていえば、一連の橋の工期が数年にわたったために初期の橋には施工がやや丁寧でないものもあったとのことであるが、順次鋼製型わく等も整備され、施工管理も適切になされたとのことである。

既に述べたように、同一の橋であっても、橋桁によって劣化状況が異なるので、一概に表にまとめることは易しくないが、その橋でもっとも目につく性状を表に記すことにして、今回、調査した10橋の劣化状況を表-1.1に記した。

径間には5ないし6本のコンクリート桁があるが、必ずしも海側の桁がより劣化しているというわけでもなく、山側の橋桁がより損傷している例もあった。

上面が濡れている桁では、錆色がみられたが、横桁や補強桁など乾いたようにみえる位置では、コンクリート表面に錆色は見られなかった。

3.2 中性化結果

中性化テストを行なった数橋のいずれの場合も最大中性化深さは、2～5 mmであり、10年余を経ても、わずかに表面のみが中性化しているにすぎない。

3.3 含有塩分量の測定結果

乾いた梁でも濡れている梁でもなめると煙辛い味がした。

A 2橋（桁3番、桁4番）、B 6橋（桁3番）での含有塩分量の分析結果を表-1.2、図-1.2および図-1.3に示した。

（図中、含有塩分量は、1 m³のコンクリートあたりの塩分重量（単位 kg/m³）で表示する。）

但し、はつり可能個所が、既にひびわれが生じている個所や、コンクリート表面が変色している

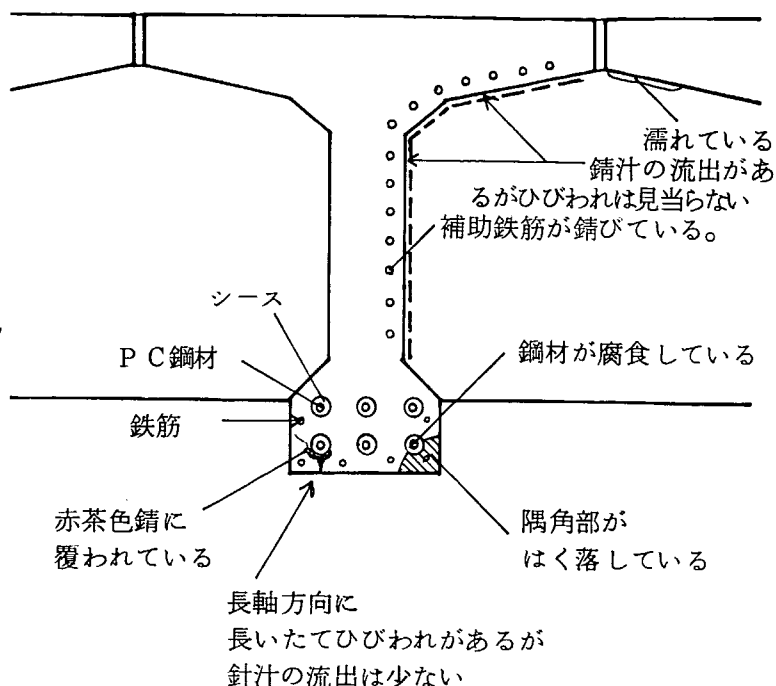


図 1.1 鉄筋の腐食状況

表 - 1. 1 劣 化 状 況 の 観 察 結 果 (昭 和 5 5 年 1 1 月)

工 事 事 務 所	橋 名	桁の構造 (桁の本数)	橋 長 (m)	架橋年 (昭和)	環 境	外 観	橋桁の損傷特徴	劣 化 度
秋 田 工 事 事 務 所	A 1 橋	R C , プレテン P C 単純桁 (3 本)	20.0	9 年 4 3 年 (拡幅部)	河口海岸よ り 150 m	橋下面は一 様に濡れて いる。	橋桁は鋼板により補修 されてはいるが、一部の 鋼板に鉄錆がみられる。	
	A 2 橋	プレストレスト コンクリート 単純桁 (5 本)	35.0	4 1 年	河口海岸よ り 60 m	橋下面は一 様に濡れて いる。	著しい劣化がみられ、 既に補強工事中である。	4
	A 3 橋	プレストレスト コンクリート 単純桁 (2 本)	20.0	3 9 年	河川上 海岸より 60 m	橋下面は一 様に濡れて いる。	一部のコンクリート桁 に、長いはく落がある。 鉄筋などの腐食もめだ つ。	3
酒 田 工 事 事 務 所	B 1 橋	プレストレスト コンクリート 単純桁 (5 本)	70.6	3 9 年	波うちぎわ	橋下面は一 様に濡れて いる。	一部のコンクリート桁 に、たてひびわれと長 いはく落がある。鉄筋 等の腐食もめだつ。	3
	B 2 橋	プレストレスト コンクリート 単純桁 (5 本)	86.9	3 9 年	波うちぎわ	橋下面は一 様に濡れて いる。歩道 橋部の桁は 濡れ少なし。	一部のコンクリート桁 にひびわれがみられる。	2
	B 3 橋	プレストレスト コンクリート 単純桁 (5 本)	144.0	4 0 年	波うちぎわ 一部海上	橋下面は一 様に濡れて いる。	一部のコンクリート桁 にひびわれがみられる。	2
	B 4 橋	プレストレスト コンクリート 単純桁 (6 本)	157.7	4 6 年	波うちぎわ 一部海上	橋下面は一 様に濡れて いる。	外観上、一部のコンク リート桁に補強鉄筋の 腐食とみられる錆汁が ある。	1
	B 5 橋	プレストレスト コンクリート 単純桁 (5 本)	336.9	4 0 年	波うちぎわ 一部海上	橋下面は一 様に濡れて いる。	外観上、一部のコンク リート桁に補強鉄筋の 腐食とみられる錆汁が ある。	1
	B 6 橋	プレストレスト コンクリート 単純桁 (6 本)	235.9	4 0 年	波うちぎわ	橋下面は一 様に濡れて いる。	一部のコンクリート桁 にひびわれがみられる。	2
	B 7 橋	プレストレスト コンクリート 箱桁	98.2	3 7 年	波うちぎわ	橋下面は一 様に濡れて いる。	外観上、コンクリート 桁の劣化はみあたらない。	0
新 潟	C 1 橋	鉄筋コンクリ ート 単純桁 (3 本)			河川上 海岸より 200 m	橋下面は比 較的乾いて いる。	橋桁は樹脂 (F R P) 等によって補修済みで ある。	参 考

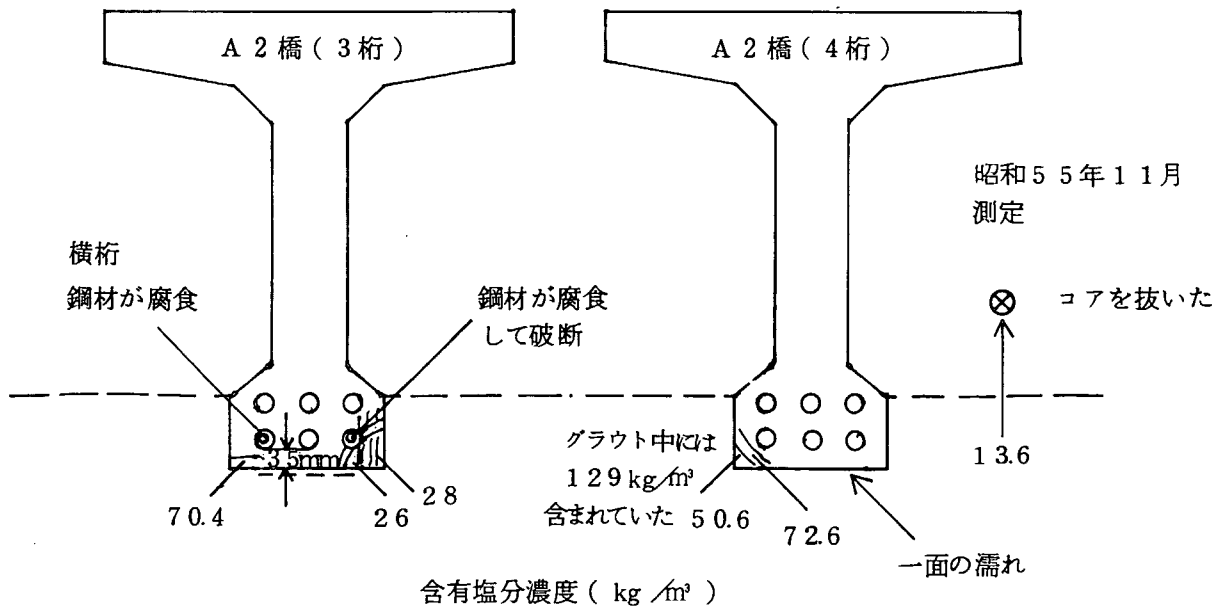
個所に限られたために、今回得られた分析値が、健全な個所を含めた全体を代表しているわけではない。

図によれば、芦川橋での桁の塩分含有量は $26 \sim 73 \text{ kg/m}^3$ となる。
(芦川橋では、シースのなかのグラウト中には 129 kg/m^3 の塩分が含まれているが、これは周囲のコンクリートがはく落した後で、潮風に直接さらされたものと考えられる。)

測定個所によって分析値に差異があるのは、分析誤差ではなく、各個所の実際の含有値が異なるためであることは確かめている。

表－1.2 含有塩分量の測定結果

	コンクリート桁		含有塩分量 kg/m^3	平 均	
秋 田 A 2 橋	No. 3	表 側 0～3cm	28.6	41.8	補 修 工 事 中
		内 側 3～5cm	26.4		
			70.4		
	No. 4		13.6 50.6 72.6 129.8	66.6	
酒 田 B 6 橋	No. 4		14.8	23.0	
			17.8		
			18.7		
			28.6		
			35.2		
参 考	東京湾海上暴露台 に暴露した(1000日) 鉄筋コンクリート	海 上	表側～2.5cm	11.5～8.0	
			内側～5.0cm	11.8～5.0	
		海 水 中	表側～2.5cm	17.5～	
			内側～5.0cm	8.9～	



図－1.2 A 2 橋での含有塩分濃度

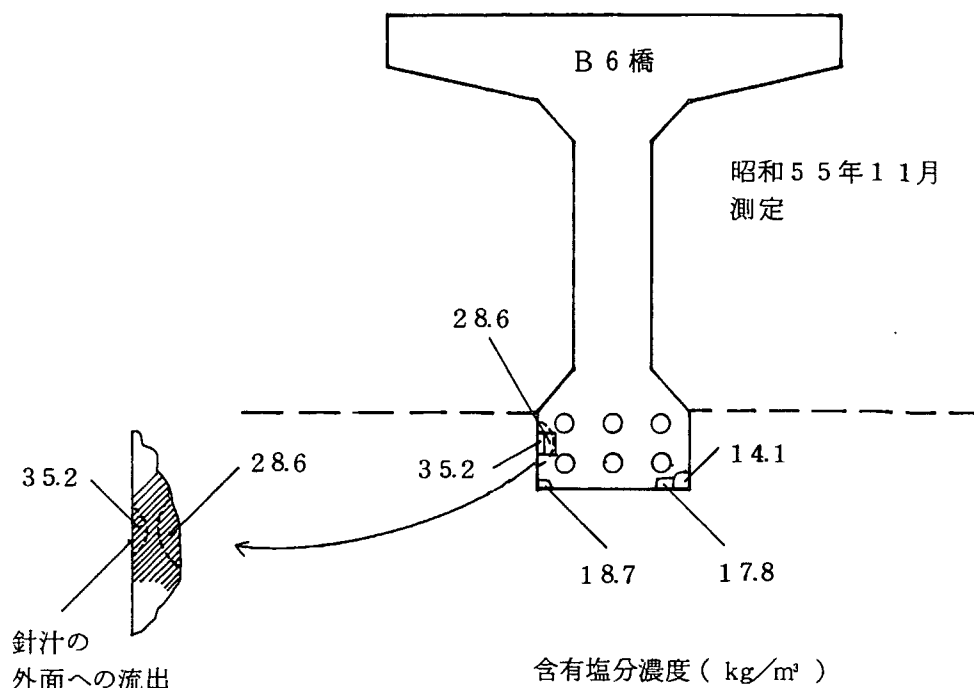


図 - 1.3 B 6 橋 での 含有 塩 分 濃 度

土木研究所が東京湾海上暴露台船を用いて、暴露した1000日間のコンクリート供試体に含まれる塩分量を参考値として示した。

この暴露方法は、30cm角、長さ150cmの鉄筋コンクリート供試体を、下部を海水に没するように設置したものであり、海水中部分とスプラッシュ部分とにある。

暴露期間の大部分は、海水や海水飛沫が直接供試体を洗ったものと考えられるが、供試体に含まれる最大塩分量11kg/m³と較べても、今回のコンクリート桁の分析値は数倍と大きい。

ところで、土木学会の定めている“鉄筋を発錆させないための海砂中の塩分規制値は、0.1% (砂換算重量濃度)”であり、これはコンクリート中の塩分量0.75kg/m³に相当する。

経験的にはコンクリート中の塩分量が2～3kg/m³になると、必ず鉄筋は腐食するようであり、さらに、10数kg/m³以上をコンクリート中に含む場合には、水分を吸収するようになり、コンクリート表面がたえず濡れた状態となり、塩化物と水の相乗作用によって、鉄筋の腐食が促進されることになると思われる。

A2橋、B6橋のいずれの場合も、橋桁は海面より上に設置されているが、予想された以上に塩分が到達し、塩分のコンクリート中への浸透が激しく、多量の塩分を含むことによって、鉄筋を錆びさせてしまったものと考えてよいであろう。

3.4 鋼材の腐食性状

(1) 現地での観察結果

コンクリート中鋼材の腐食例を写真に示す。

写真はプレストレスト鋼材が腐食し、一部には鋼線が切れているのを示している。鋼線表面の一部（白色部分）はモルタルが付着しているが、下部分は赤茶色（酸化鉄）でおおわれている。

この鋼線は、当初深さ 3.5 cm 以上のコンクリートかぶりとシースに保護されていたものである。

写真－1.1 は、補助鉄筋の腐食を示している。補助鉄筋の腐食は、桁のよこ方向に広がっていることがコンクリート表面模様からわかる。

写真 A の場合は、まだコンクリートをはく落させるには到っていないが、写真 B の場合は、鉄筋の膨張力によってかぶり方向のコンクリートを、はく落させてしまっている。（明るい色の部分は、さらにつけ加えてはつった部分である。）

(2) P C 鋼棒の腐食

A 2 橋で採取した P C 鋼材（鋼線）の腐食性状を写真に示している。この鋼材は、直径 9 mm であり赤茶色と黒色のまだらの錆が付着している。除錆後の鉄筋には深さ数 mm 以上の孔食と、これらが寄り集まった断面欠損が見られた。

この錆の性状を明らかにするために、さびのついたままこの鉄筋の断面を、電子顕微鏡を用いて観察した。

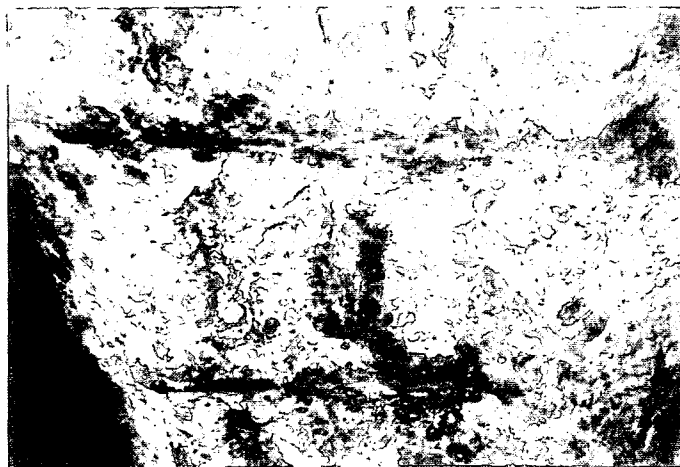
腐食鉄筋の S E M 写真（低倍率）と、この写真から推察された映像を図に示す。

鉄筋の錆は、介在物の多い錆（内側、鉄錆 a）と、稠密ではあるがぼろぼろとはがれ易い錆（外

写真 A



写真 B



写真－1.1 鋼材の腐食性状

側，鉄錆b)の2種類から構成されている。鉄錆aは鉄筋地肌の孔食部分に接し，地肌にしっかりと喰い込んでいる。鉄錆bは，錆そのものはきめこまかいが，微小なひびわれが見られ，このひびわれのために，はがれ易くなっているものと考えられる。

次に，鉄錆aと鉄錆bの，このような差異の原因を知るために，XPMA組成分析を行なった。
(鉄錆aと鉄錆bとの境界部分を更に拡大し，塩素(Cl)濃度分布を測定した。)

錆aには，Clが多く含まれるが，外側にあり塩分浸透の影響をより受け易いと予想された。錆bには，かえって，Clの含有量が小さいことが明きらかとなった。

4. 考察

(1) コンクリートに多量の塩分が含まれている原因の推察

コンクリートに塩分が含まれている場合には，2通りの原因が考えられている。

① 初期より，何らかの形で塩分が含まれていた場合。

② 外部から次第に浸透する場合。

冬の気象条件(季節風により絶え間なく海水飛沫がコンクリート桁にあたる)およびコンクリート桁中の大量の塩分量を考慮すると，主な原因は，コンクリート桁に塩分が付着し，コンクリート表面より塩分が次第に浸透したためと考えられる。

コンクリートの塩分吸着作用機構は，まだよくわかっていないが，“濡れ”を伴う場合には，吸着作用が増大するようである。また，“乾燥”(春より秋期への期間)を伴うことによって，塩分の濃縮が生ずることも考えられる。

ともあれ，コンクリートには，すくなくとも1m³あたり数十kgの塩分を保持する能力があることは，今回の分析によって確められた。

さて，コンクリート中の塩化カルシウム量の同定と定量は，実験的に難しい点があつて，今回の分析では塩化ナトリウムと塩化カルシウムとを分けずに，全塩分量として定量した。

このため，早強性混和剤(主として塩化カルシウム)の打設時の利用の有無については，結論はでなかった。

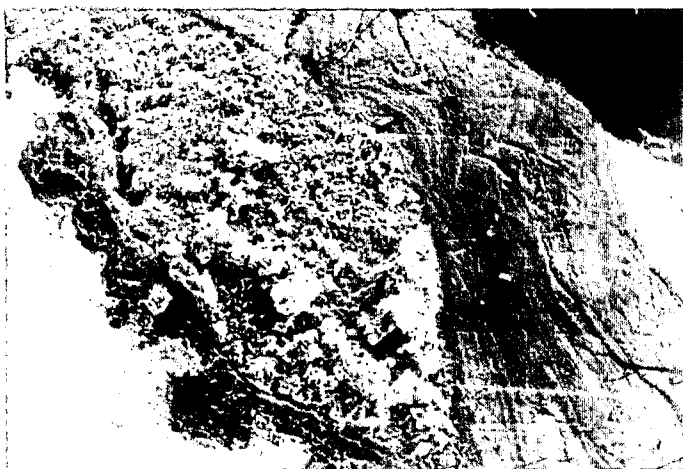
(なおその後，表面からの深さ方向の塩分分析によって打設時点の初期塩分量を判定できる手段を得ている。)

(2) 鉄筋の腐食と鉄筋コンクリートの劣化

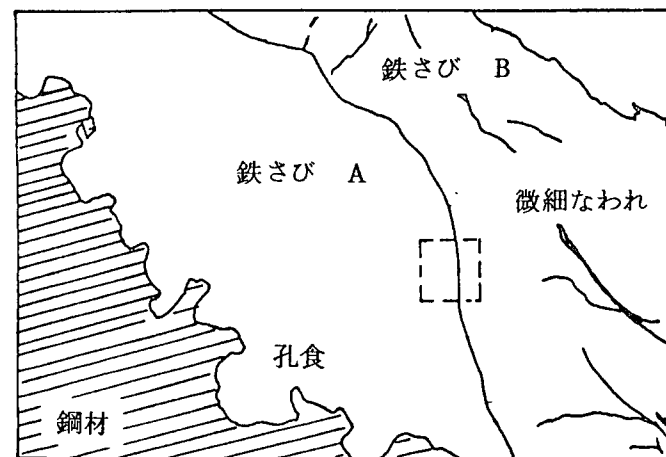
今回採取したプレストレスト鋼材の腐食性状は，赤茶色の疎な構造組成な錆(結晶性の悪い錆)をもつ，不均一な錆を形成し表面に局部腐食が多く，塩分環境下に特有の鋼材の腐食性状によく似ている。

また，コンクリート中に多量の塩分が含まれることから，コンクリートの中性化が進んでいないこともあつて，鋼材の腐食の主要因は，塩分と断定してよいであろう。

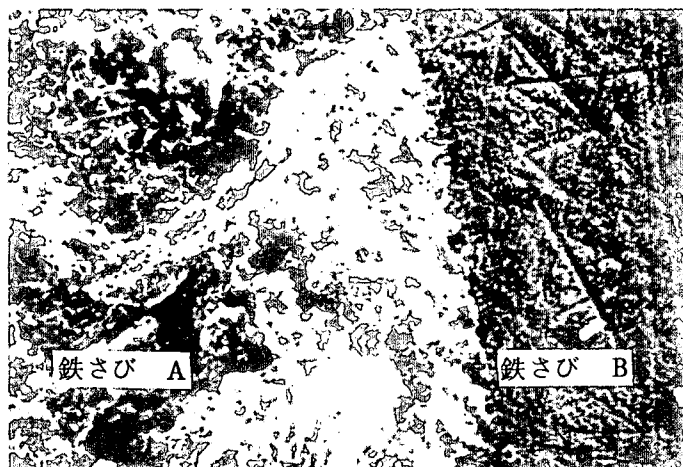
今回の調査では，補助鉄筋が腐食し，コンクリートにスポーリング(はくり)を生じている例が



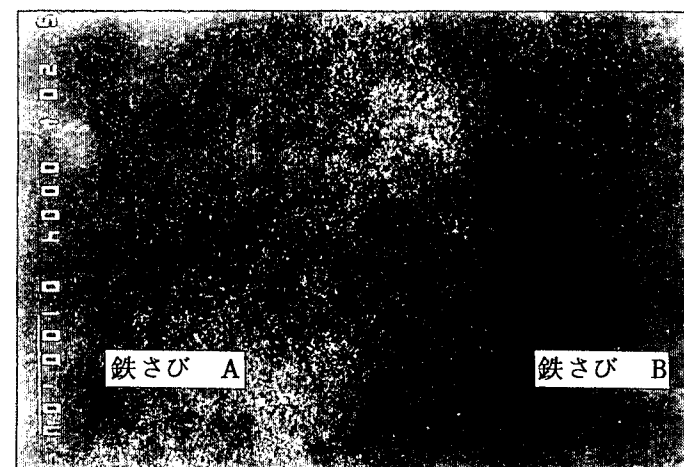
腐食鉄筋のSEM写真 (×40)



腐食鉄筋のSEM像 (×40)
(左の写真と同位置)



腐食鉄筋のSEM写真 (×200)



腐食部のC δ 分布 (×200)
(左の写真と同位置)

多く、桁の劣化の始まりは、補助鉄筋にあるとの疑いを強くもった。

補助鉄筋の腐食が進むに従い、コンクリートのかぶり厚や周囲の濡れの条件によって、図-1.4に示すように2通りの劣化状況に分類できるように思われる。

今後、これらの桁の劣化がどのように進行するかについては、今回のわずかな時間の調査だけでは明言できないが、塩分介在下の厳しい環境で劣化が始まった場合には、急速に腐食が進行し、短期間でコンクリートのはく落などの著しい損傷をうけることが十分に予想される。

土木研究所の暴露試験で得られた結果を概念的に示すと、鉄筋コンクリートの劣化度は、腐食導入時期はゆるやかであるが、導入期を過ぎ離陸期間（テイクオフ期）に入ると急速に増大する（図-1.5）。

すなわち、外から腐食が観察できる時点では、既にコンクリート下の鉄筋は腐食しており、何らかの防食対策を早急に必要としている。

この地域の気温からいっても、塩害に加えて凍害（冬期の凍結作用）が加わることも当然考えられるであろう。

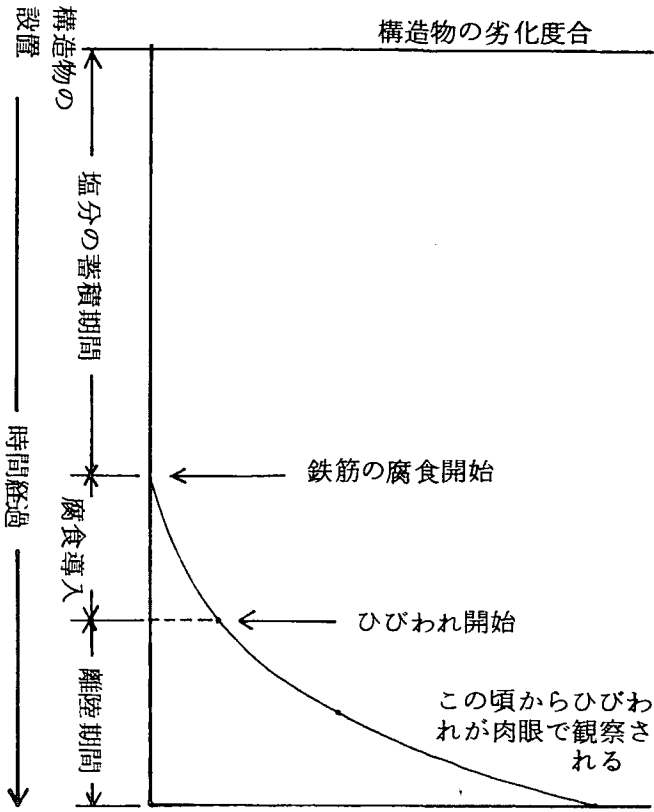


図-1.5 塩害による構造物の劣化の進行

原因	スターラップなどの鉄筋のかぶりが小さい 鉄筋が腐食する 塩分が多量に供給される
環境	たえず湿潤である 乾燥と湿潤作用が繰り返される
腐食の進行	錆汁がコンクリート表面に流れ出す 乾燥時の鉄筋の鉄錆膨張に伴ないコンクリートにひびわれを生じる ひびわれがプレストレスト鋼棒に達する（かぶり5cm程度であっても鋼棒に達する場合がある） ひびわれに沿って塩分が急速に浸透してプレストレスト鋼棒の腐食を促進する 錆汁はコンクリート表面には流出しないがプレストレスト鋼棒は腐食している。

図-1.4 錆汁とひびわれとの関係（昭和55年11月の観察時点）

5. 要約

- (1) 今回調査した橋は、いずれも、潮風や海水飛沫をうける条件にあり、また凍害が加わることもあつてきわめて厳しい腐食環境にある。
- (2) 今回調査した一連のプレストレストコンクリート橋の劣化の主要因は塩害であり、鉄筋の腐食によってコンクリートの損傷がひきおこされたものである。
- (3) コンクリート桁の一部には、発錆許容濃度の数十倍の塩分を含む場合がある。
- (4) 今回の調査によって、プレストレストコンクリート橋の塩分特有の腐食性状と劣化の機構を明らかにすることができた。
- (5) しかし、劣化調査方法や防食方法、補修方法のいずれにおいても、十分確立したものが無く、それらについても積極的な研究が必要である

2. 昭和56年11月の調査

まえがき

1. 調査概要

1.1 調査日および調査橋

1.2 環 境

2. 調査方法

3. 調査結果

3.1 劣化状況の観察結果

4. 考 察

4.1 鉄錆の膨張力と破壊形態

4.2 塩分分析結果

5. 対 策

まえがき

ほぼ一年を経過した昭和56年11月に再度、酒田工事事務所により調査依頼があった。既に季節は冬を迎えようとしておりみぞれまじりではあったが、同事務所管内の主要な橋15橋をみてまわることにした。一部の橋では、既に補修工事が進んでおり足場も架設されていたので、それを利用して可能な限り詳細な調査を行なっている。

1年前に較べて、損傷度合がさらに進行しているとの感じで、早急な対策を検討しなければならないとの印象を強く得た。

1. 調査概要

1.1 調査日および調査橋

昭和56年11月4日

天 候 曇りときどき雨（みぞれ） 寒い

調査橋 B1橋, B2橋, B3橋, B4橋, B5橋, B6橋, B7橋, B8橋, B9橋,
B10橋

昭和56年11月5日

天 候 雨ときどき曇り, 寒い

調査橋 C2橋

1.2 環境

橋の大半は波うちぎわにあるが、B8橋、C1橋、B11橋（この橋のみ鉄筋コンクリート橋）は、波うちぎわより遠く離れたところに設置されている。とくに、B8橋は波うちぎわより300mも離れており、しかも川が屈曲しているので、海は直接には見えない。（図-2.1）

現地調査では、劣化性状の観察と塩分分析用にコンクリートコアの採取を行なった。

表 - 2. 1 損傷形態の分類

劣化度	外 観 特 徴	鋼材の腐食
4	3の進行した状態 (全面にたてひびわれあり) (コンクリートが はく落し鉄筋が 露出)	シース、PC鋼線までも 腐食した
3	たてひびわれあり (錆汁は見えない 場合が多い)	
2	うろこ状はくりあり (錆汁は見えない 場合がある)	スターラップ等鉄筋の腐 食
1	錆汁による汚れあり	
0	異常なし	内部鋼材の腐食なし

3. 調査結果

3.1 劣化状況の調査結果

1) 劣化度による分類

劣化度の測定は、前年度に用いた標準写真および評価基準にもとづいて行なった（表-2.1）。

今回の調査対象橋梁について、劣化度の分類を行なった調査結果を表-2.2に示した。

劣化性状には特徴があり発生部位と考えあわせると図-2.3のような分類が可能である。

また、スターラップ（鉄筋）とシースとの関係は図-2.2のようである。

その大多数は、スターラップが腐食して、シースも腐食している。

ただし、スターラップが腐食しないのに、シースが腐食している例も少数ある。

4. 考察

4.1 鉄錆の膨張力と破壊形態

調査によれば、鋼材の腐食は、直ぐには桁の損傷にはつながらない。腐食することとコンクリートにひびわれが生ずることやはく落を生ずることは直接には結びつかないようである。

配筋やかぶりによって、損傷の度合が異なっている。

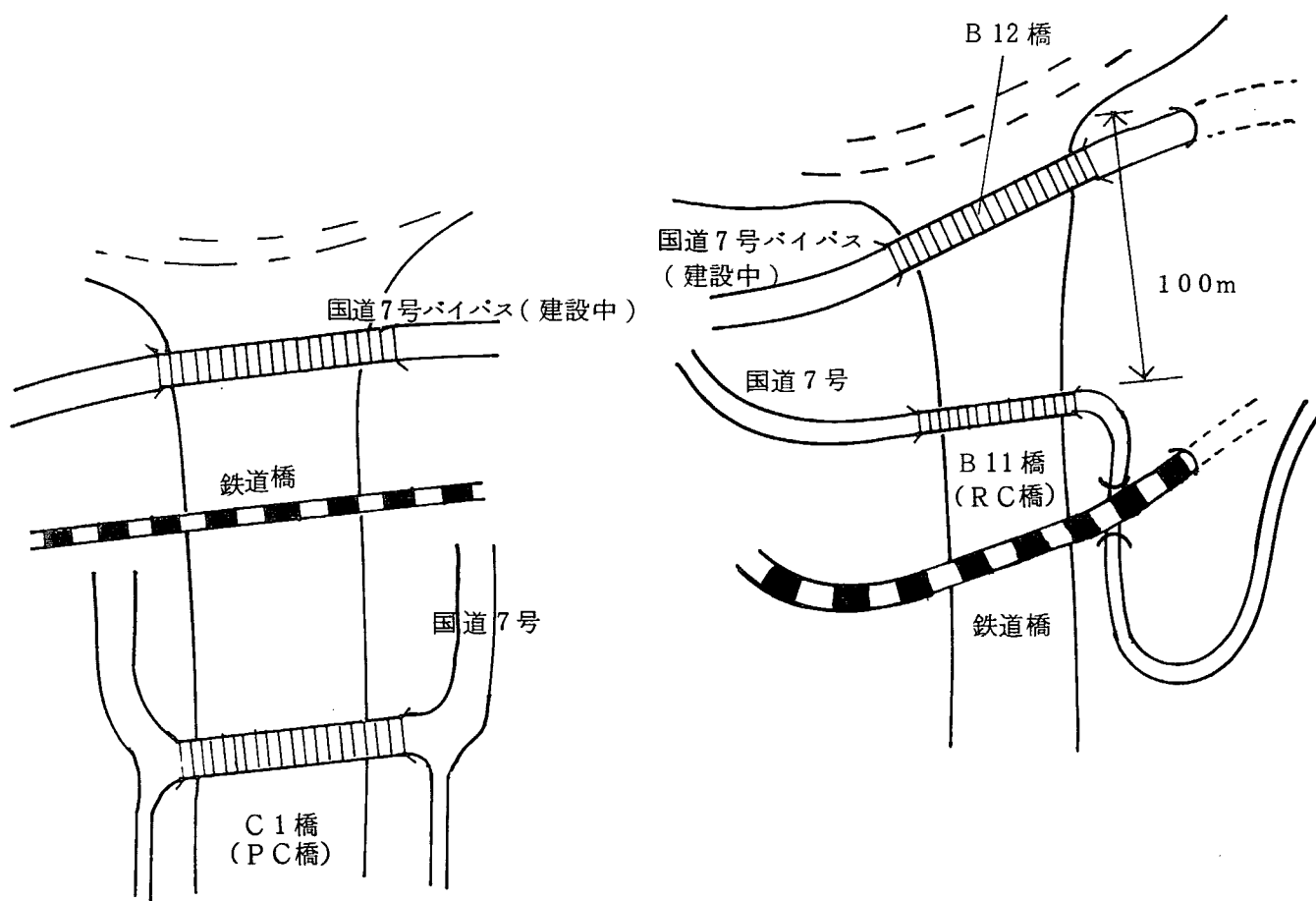
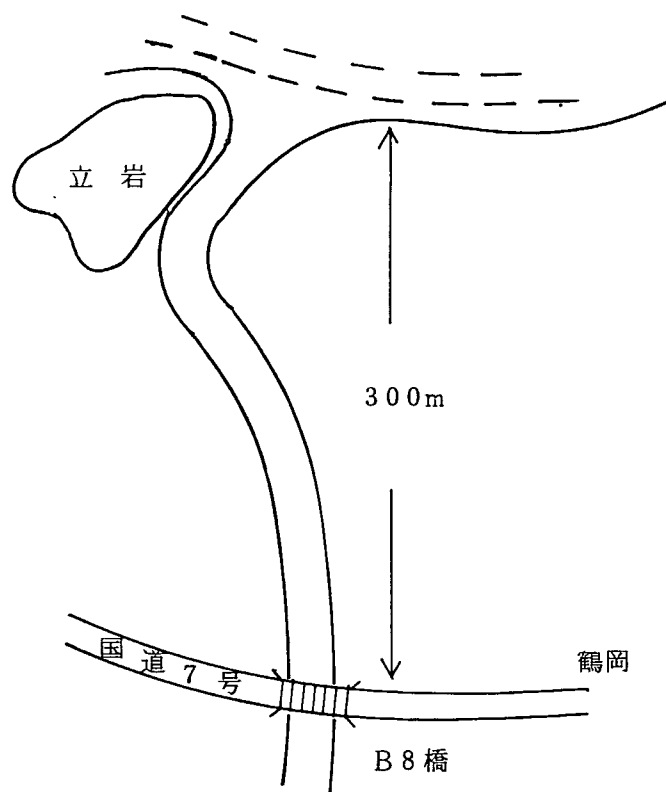
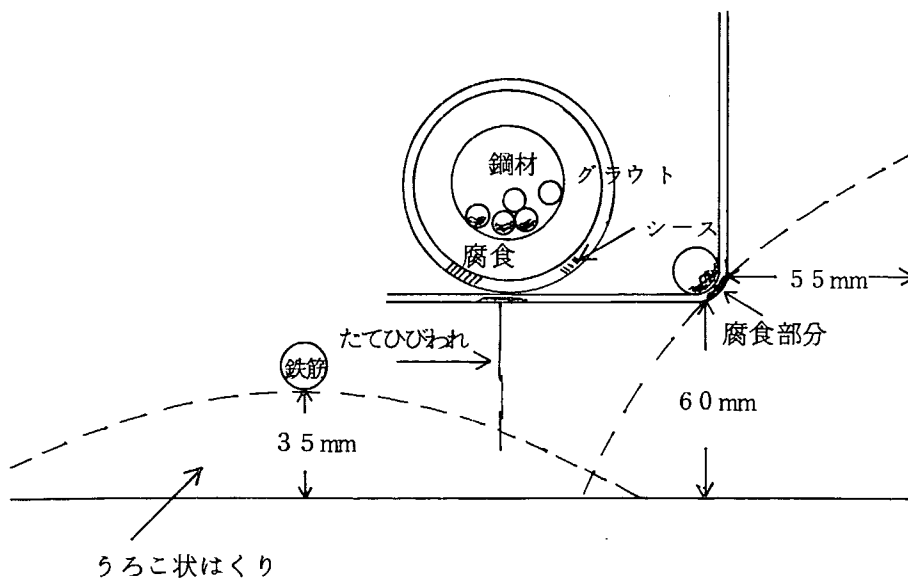


図 - 2.1 B 8 橋, C 1 橋, B 11 橋



桁	腐食図	腐食原因
大多数の桁		外部よりの塩分浸透と考えられる
少数の桁		原因は不明 グラウト(セメントミルク)には多量の塩分が含まれている

図 2.2 スターラップの腐食とシーすの腐食との関係

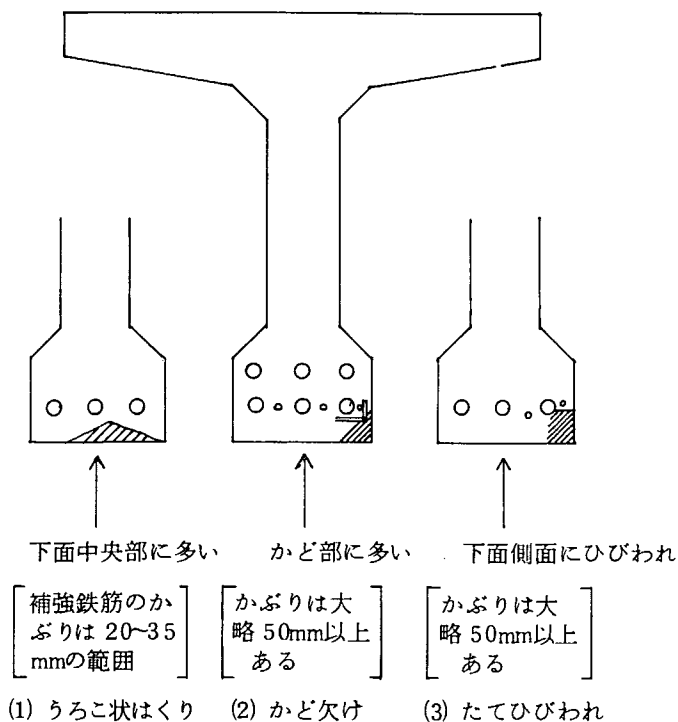


図 - 2.3 代表的な劣化状況

表 - 2. 2 劣化状況の観察結果 (昭和56年11月)

						今 回 の 観 察					
工 事 事 務 所	橋 名	いざさつ	環 境	橋 桁 構 造	補 修	さ び 汁	う ろ こ 状 は く り	た て ひ び わ れ	劣 化 度	備 考	昨 年 の 劣 化 度
酒 田 工 事 事 務 所	B 1 橋	前回も調査済	波うちぎわ	ポストテン	補修工事にとりかかる	あり	あり	あり	4	急速に劣化が進行した	3
	B 2 橋	〃	波うちぎわ	ポストテン	〃	あり	あり	あり	4	〃	2
	B 3 橋	〃	海 上	ポストテン	〃	あり	あり	あり	4	〃	2
	B 4 橋	〃	海 上	ポストテン		あり	あり	あり	3	長いたてひびわれ	1
	B 5 橋	〃	海 上	ポストテン		あり	あり	あり	3	長いたてひびわれ2.3.4径間の劣化が著しい	1
	B 6 橋	〃	海 上	ポストテン	補修 ずみ (昭和55年)	(未補修部分) あり	あり	—	2	未補修部分の劣化が進行している	未補修部分 0
	B 7 橋	〃	波うちぎわ	プレテン		なし	なし	なし (※)		(※)たてひびわれが1本,コールドジョイントが原因か	
	B 8 橋	今回新しく調査に加えた	海岸より 300m 内陸	ポストテン		あり	—	あり	3		
	B 9 橋	〃	波うちぎわ	ポストテン		あり	—	—	1		
	B 10 橋		波うちぎわ	プレテン		なし	なし	なし	0		
	B 11 橋	〃	海岸より 100m 河口下	鉄 筋 コンクリート	鋼板接着 (昭和30年) 鋼板塗装 (昭和55年)						
新 潟	C 2 橋	〃	海岸より50m 鉄道上 道路上	ポストテン (鉄道上) プレテン (道路上)		あり	あり	あり	3	地表より10m 余高いため桁表面は乾燥しているように見える	

かぶり厚さとコンクリートはく落面積との関係を図-2.4に示す。

この損傷の度合は、鉄筋の膨張力と関連づけて考えることが出来る。

4.2 塩分分析結果

B1橋の桁（ポストテンションT桁）での塩分分析用コアの採取方向と塩分分析結果を図-2.5に示す。

コンクリート中の単位重量に換算して、数kg～20kgの塩分が含まれている。

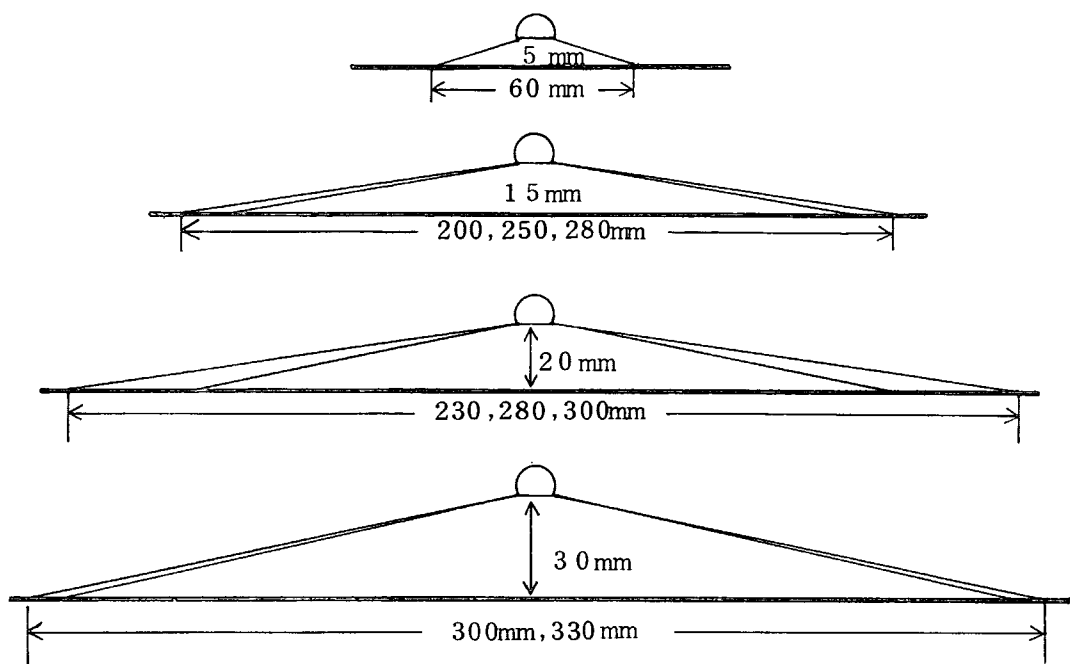


図2.4 うろこ状はくり の場合の はくらく長さとかぶり厚さとの関係

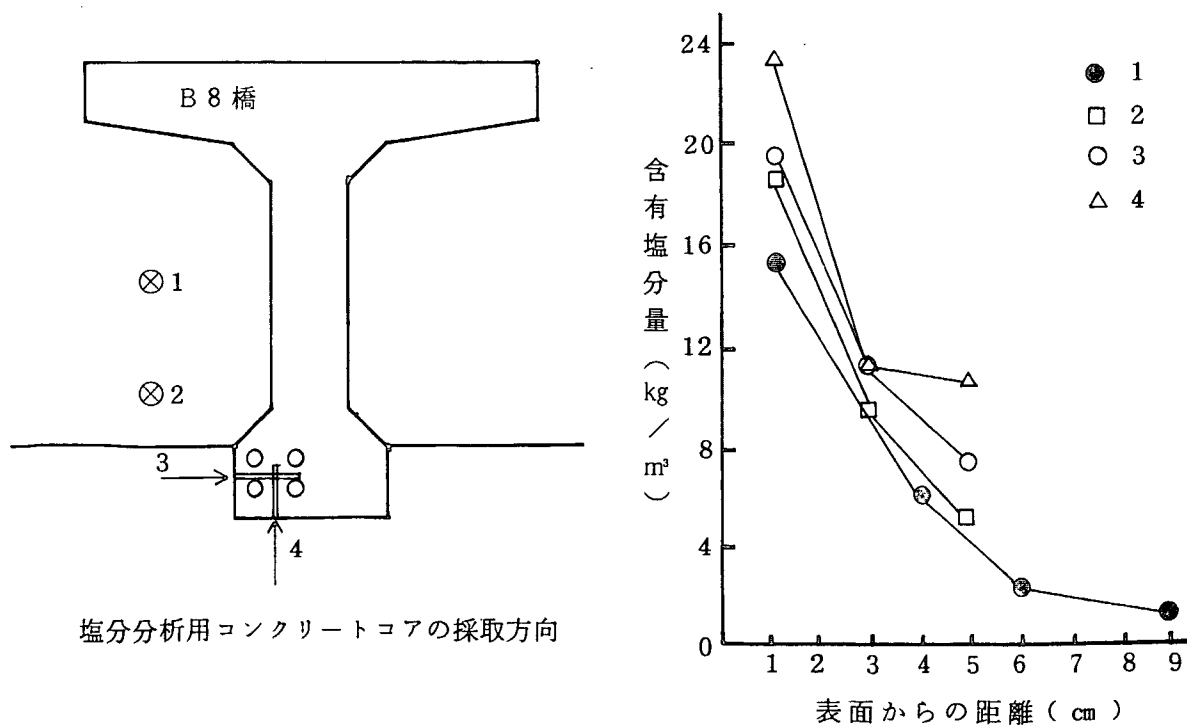


図-2.5 B8橋採取コアー

5. 対策

5.1 現行の対策

当面の対策として、現地で進められている補修内容は図－2.6の通りである。

補修には高価な樹脂を用いることもあって次のようなコスト計算がなされている。

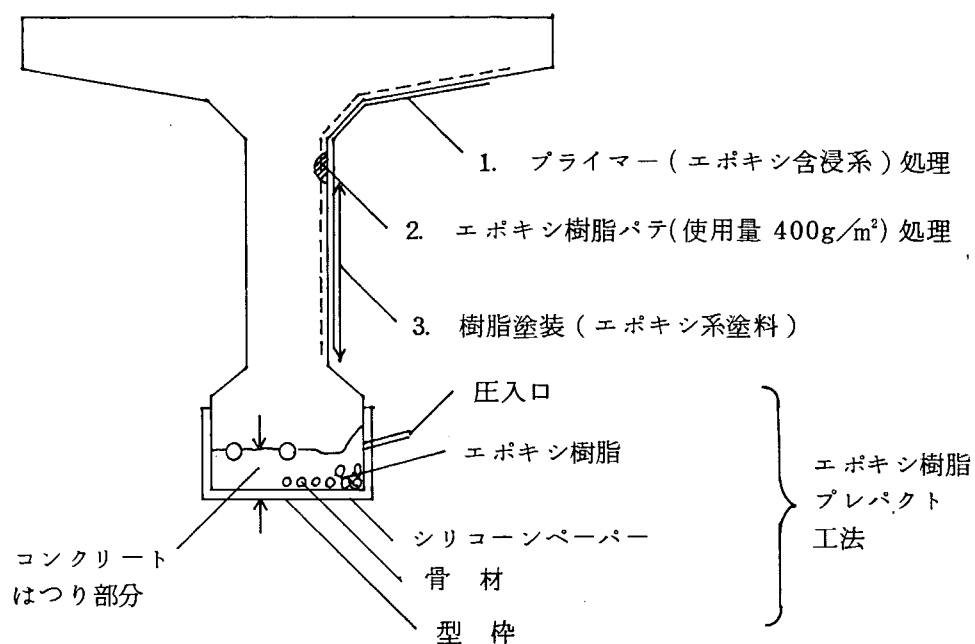
樹脂 1 m³あたり 240～250 万円（桁 1 本で 1 m³～3 m³を必要とする）

桁面積 1 m²あたりのおよそのコスト 6 千円^{*}

桁長さ 35 m あたり平均費用 500 万円

脚 注

＊参考にいえば鋼橋塗装費用は 1 m²あたり 4 千円～7 千円とされる。



図－2.6 昭和56年11月現在の補修方法（B2橋）

3. 昭和57年3月の調査

まえがき

1. 調査概要

1.1 調査日および調査橋

1.2 環 境

1.3 地 形

2. 調査方法

3. 調査結果

まえがき

北陸地方建設局新潟国道事務所および高田工事事務所管内の、プレストレストコンクリート構造物の塩害による損傷事例が目立ちはじめ土木研究所に調査を依頼された。

本資料は、昭和57年3月に現地に出かけた際の調査結果をとりまとめたものである。

1. 調査概要

1.1 調査日および調査橋

昭和57年3月10日

酒田工事事務所 B12橋（バイパス）

B6橋

新潟国道工事事務所 C2橋

D1橋（ポステン）

国道345号線 E1橋

E2橋

E3橋

昭和57年3月11日

高田工事事務所 F1橋

F2自転車道橋

F3橋

F4橋

F5橋

F6橋

B12橋は、B11橋（RC橋）の下流側に、昭和56年に架設されたばかりで供用前であり、

すぐわきにトンネル工事中である。

B 6 橋は、うち 1 径間を昭和 5 5 年に試験補修している。

C 2 橋は、ボستن部分とブレテン部分があり、ブレテン部分が現在補修工事中である。

新潟への帰途海岸沿に国道 3 4 5 号線を経ることにし、E 1 橋、E 2 橋および E 3 橋を見た。これらは、いずれも昭和 4 8 年頃に建設されたものである。なお、3 4 5 号は改築が進んでおり、改築部分での新設中のコンクリート橋も 2 橋見られた。

高田工事事務所管内の、F 1 橋と F 4 橋は河口近くの河川上にあり同じような条件にある。いずれも波うちぎわから、プレストレストコンクリート橋、旧橋（鉄筋コンクリート橋）、自転車道橋（P C 橋で昨年建設された）と並んでいる。

F 3 橋は海上波うちぎわにある。舗装面上には、白くなる程融水剤（塩化カルシウム）がたまっていた。

F 5 橋は昭和 5 0 年に建造された橋であるが、当時の施工記録によると、鋼材の腐食対策を考慮して設計施工した橋である。

1.2 環境

新潟県境は、酒田と同じような地形にあるが、風はやや弱いようである。

高田の海岸での気象はおよそ次の通りである。

1 2 月から 3 月まで

海水水温は 1 3 ℃ 前後で暖かい。

強い季節風をうけて、コンクリート橋舗装面は凍結する場合があるが、桁にはたえず海水がかかり濡れている（凍結しない）。

なお、この地帯は雨は少ない。

3 月中旬から梅雨ごろまで

コンクリート表面は乾いている場合もあるが、桁内部のコンクリートは濡れている。

夏から秋にかけて

結露によりコンクリート表面は濡れている。

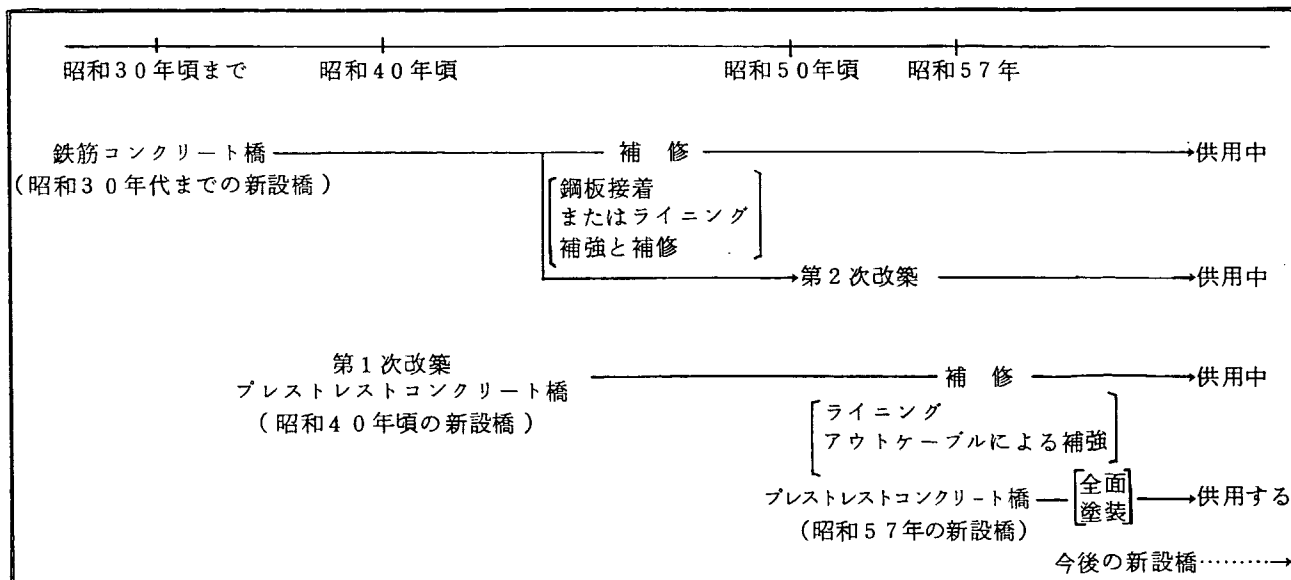


図 - 3.1 架 設 年 代

1.3 架設年代

この地方の、橋梁の架設時期と経過を図－3.1に示した。

2. 調査方法

補修工事用足場が設けられているC2橋については、足場を利用して調査を行ない、その他の橋についてはできるだけ近づき、双眼鏡を用いるなどして観察した。

(1) 外観観察

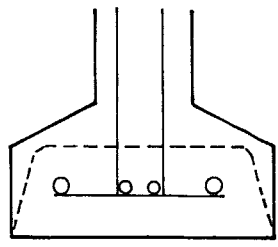
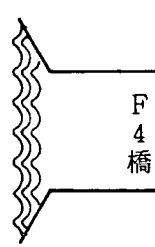
前述の劣化度の分類方法にもとづき分類した。

(2) 含有塩分量の分析

C2橋および弁天大橋より、桁の一部をはつるなどしてコンクリート片を採取してもち帰り、含有塩分量を分析した。

表－3.1 劣化状況の観察結果（昭和57年3月調査）

							今回の観察					
工事 所名	橋名		架 設 年	環 境	形 式	さ び 汁	う ろ こ 状 はくり	た て ひ び われ	劣 化 度	備 考	前 回 調 査	昨 年 の 劣 化 度
酒田工 事事務 所	B12橋	新設橋	昭 55	波うちぎわ 河川に	ポステン	あり	なし	なし	1	スーパースの発錆		
	B6橋	1径間 補修済	前回調査	"	ポステン	あり 一部に あり	あり なし	あり なし	3	←非補修部 ←補修部	2	
新潟工 事事務 所	C2橋	補修 作業中	前回調査	海岸より50m離 れ、道路の跨道橋	プレテン	あり	あり	あり	4	塩分分析用コン クリートコア採取		3
	C2橋	補修 検討中		海岸より50m離 れ、鉄道の跨線橋	ポステン	あり	あり	あり	3			2
国道3 45号	E1橋		昭 48	波うちぎわ 河川上	スラブ桁	あり	あり	なし				
	E2橋		昭 48 頃	" 河川上	箱 桁	あり	あり	あり	3	たてクラックが 長い、高欄（コン クリート製）の いたみが大		
	E3橋		昭 48 頃	" 河川上	I 桁	あり	あり	あり	2			
高田工 事事務 所	F1橋	補修 あり	昭 37	波うちぎわ 河川上	ポステン	あり	あり	あり	4			
	自転車 F2橋		昭 51	波うちぎわより 200mの河川上	ポステン	あり	なし	なし				
	F3橋		昭 47	波うちぎわ	ベント アップ プレテン	あり	あり	なし	3			
	F4橋		昭 41	波うちぎわ 河川上	ポステン	あり	あり	なし	2	塩分分析用 コンクリートの 採取		
	F5橋		昭 50	波うちぎわ	ポステン	一部に あり	なし	なし	1	ていねいな施工 をおこなったと の記録あり		
	F6橋	鋼橋 耐候性 鋼を用 いた	昭 51	波うちぎわ 河川上	鋼 橋					調査 対象外		
国鉄 (参考)	塩害実験 場のD1 近くの橋			波うちぎわ 河川上	ポステン					補修処理が繰り 返された履歴が あった		

橋 名	桁の外観	橋の状況	設置状況
F 1 橋	調査時には桁は乾いていた 3月中ば → 梅雨入 乾燥 梅 雨 → 秋 結露 表面がたえず漏れている 冬 → 3月潮風により漏れる 冬でも海水水温は13℃なので 凍結はしないとのこと（聞きとり）	波うちぎわ F 1 橋	国道8号 旧国道 自転車道 6本 3径間 R C 5径間 P Cポステン 2径間 モルタル吹付けによる補修
F 3 橋	調査時には一見乾いているようだが、 はつると湿っていた。 橋上舗装面には、融水剤（塩化カルシウム） が多量に多量にたまっていた。 （多量に散布するとのこと）		1 6径間 1 1本桁 ベントアップ形式
F 4 橋	桁下面が漏れていた		国道8号 旧国道 自転車道 5本 桁 R C P Cポステン

図－ 3. 2 高田工事事務所管内のコンクリート橋例

3. 調査結果

3.1 外観調査結果

外観調査結果は表－ 3. 1 の通りである。

あわせて、F 1 橋、F 3 橋、F 4 橋について外観等を図－ 3. 2 に示した。

3.2 C 2 橋での作業

はつり作業を含めて補修が進行中であった。補修内容は次の通り。

- イ) 下地処理
- ロ) 不陸修整

ハ) プレパックドコンクリート工

ニ) 塗装工

(A) 厚膜型エポキシ塗装

(B) ウレタン塗装

(C) 特殊合成ゴム塗装

G 1, G 5 の桁を除いては、既に上記作業にとりかかっていた。

G 1, および G 5 の桁については、仮設足場があって腐食調査が可能な状態であったので、外観およびはつり調査を行なった。

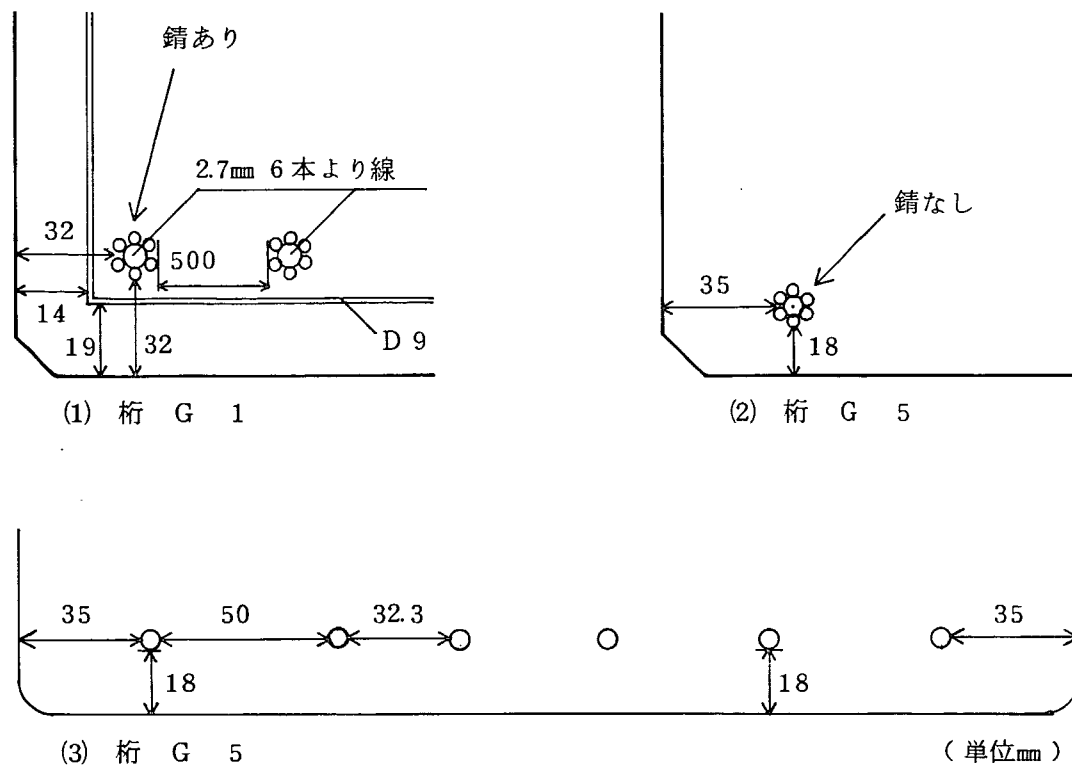


図 - 3.3 C 2 橋ブレン桁のかぶり実測値

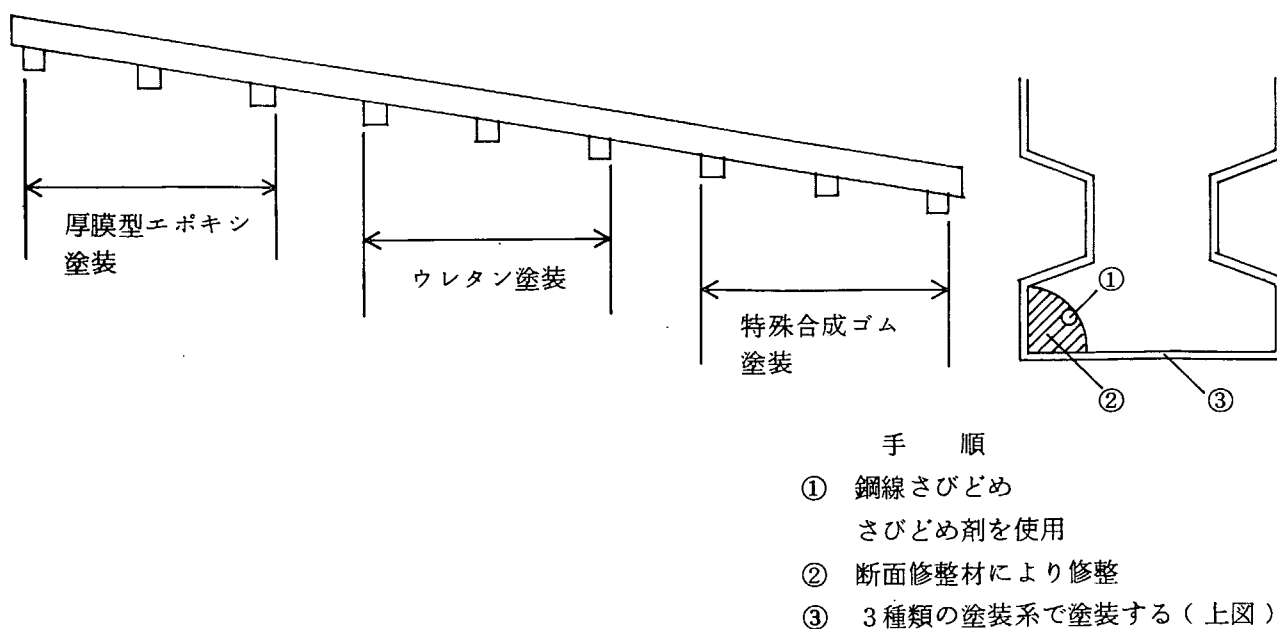


図 3.4 C 2 橋ブレン桁の補修仕様

(1) 外観調査結果

G 1 および G 2 の桁は、長いたて方向のひびわれがあり、その巾も 0.2 mm 以上と広く、一部はコンクリートのはくりが生じていた。

(2) 鋼材のかぶり

余分にはつり、かぶりを実測してみた。結果を図－3.3 に示すが、鉄筋までのかぶりは最小 5 mm であり、20 mm までの範囲であった。

桁 G 1 において、錆あり部分で 19 mm、錆なし部分で 18 mm というように、この程度でのかぶり厚さでは十分な保護作用を失なっている。

(3) 補修内容

補修仕様は図－3.4 に示す通りであった。

1) サンプル採取

塩分分析用コンクリートの採取位置を図－3.5 に示した。

2) サンプルの分析結果

分析結果を表－3.1 および図－3.6 に示した。

C 2 橋での、コンクリート含有塩分量は表面から内部 3 cm 程度までは、急激に減少することはない、14～50 kg/m³ の範囲にあった。(内部 2～3 cm では 14～22 kg/m³)

F 3 橋では、内部 4 cm までで 19～27 kg/m³ であったが、この部分のコンクリートは一部はくりしている状態だったので、内部まで塩分が浸透し、含有塩分量が高くなったものであろう。

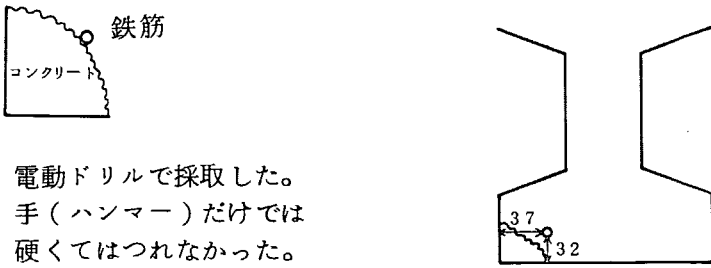
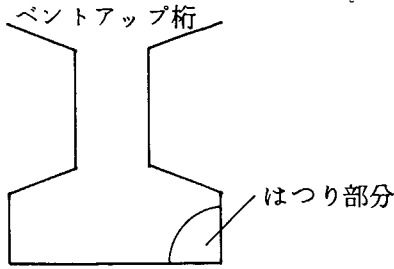
試料番号	採 取 位 置	
①	C 2 橋 (プレテン) G 1	
②	G 1	腐食鉄筋の周囲のコンクリート (はつりによる)
③	G 1	" (落下部分を採取)
④	C 2 橋 (ポステン) G 3	" (はつりによる)
⑤	F 3 橋 ・ G 3	

図 3.5 塩分分析用コンクリート試料採取位置

表 - 3. 1 含有塩分分析結果

橋 名	桁の種類	採取の方法	錆の有無	表面からの位置 (cm)	塩 分 濃 度		試料 番号
					(コンクリート換算%)	塩分重量kg/m ³	
C 2 橋	プレテン	はつり	無	0~1.7	0.97	21	①
				1.9~3.5	0.62	14	
				0~1.5	0.88	19	
				1.7~3.5	0.65	14	
	落下物	有	有	0~2.0	1.15	25	②
				0~1.5	0.66	15	③
F 3 橋	プレテン	はつり	有	1.7~3.0	1.00	22	④
				0~1.0	7.28	50	⑤
				0~2.0	0.88	19	⑤
				2.2~4.0	1.23	27	

※コンクリート 1 m³当り 2200kg として換算した。

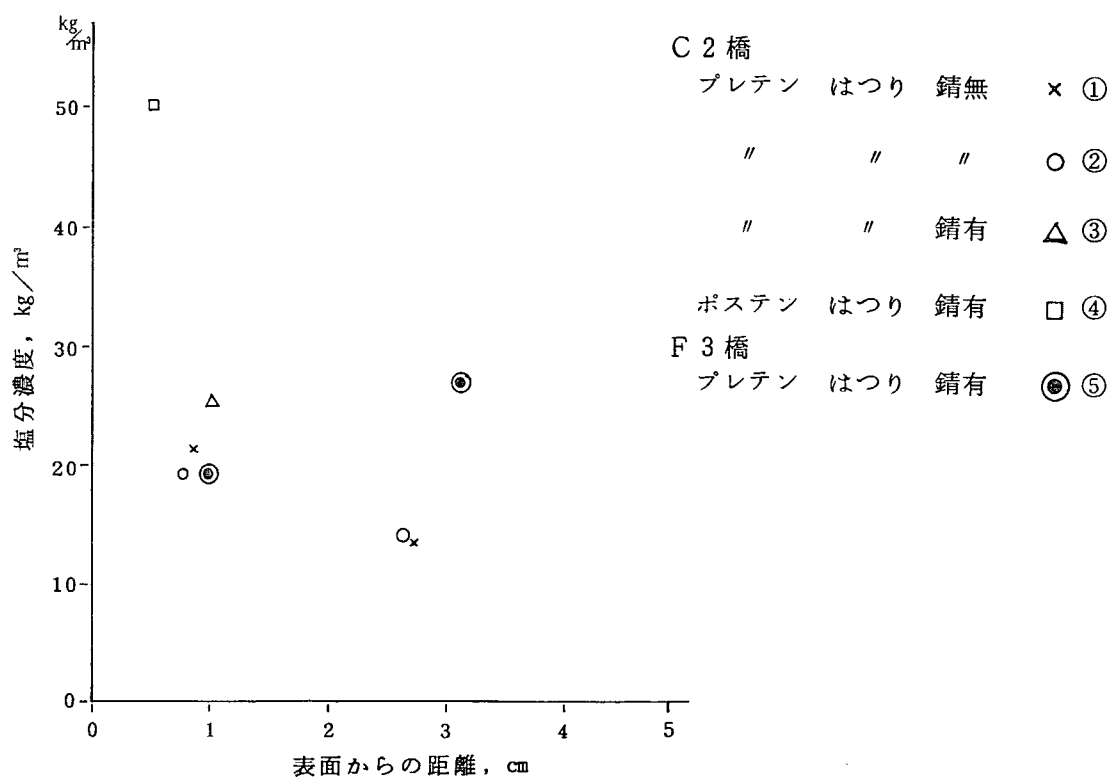


図 - 3. 6 桁中含有塩分分析結果

4. 今後の課題

4. 1 昭和 5 5 年の調査時点での早急に解決すべき課題

今回の調査によって、現象や機構を明らかに出来た点もあったが、いままでの知識でも説明できない点や未解明の点も多く生じた。

以下に課題を列举し、今後積極的な調査と研究を進めるつもりである。

(1) 調査手法

劣化した(と考えられる)橋の劣化程度についての調査手法を確立すること。

1) 非破壊調査による早期劣化判定を可能とする。

2) 合理的な調査手順と調査機器とを開発する。

(2) 補修方法

- 1) 部分的に鉄筋が腐食しているコンクリート桁に、部分的に補修を施した場合、周囲の鉄筋の腐食がかえって進むことにならないか。
- 2) 既に塩化物が多量に含まれている場合に、FRPや塗装のみのように、水分や通気性を低下させるような対策のみで、今後の腐食の進行を停止できるか。
- 3) このように、腐食環境としても施工条件としても厳しい海岸地帯での、補修にあたって適切な材料と工法を選ぶ手法を確立する。

(3) 新設橋に対して

厳しい環境でのプレストレストコンクリート橋の耐久性を設計面から再検討する。

また、積極的な防食法を開発し、長期にわたって良好な耐久性能を維持するものとする。

4.2 昭和56年の調査時点での早急に解決すべき問題

1. 橋桁の劣化判定法の作成と、当面の処置を判断するための技術資料の収集。
2. 補修材料の検討と選択
 - (1) 短期（促進条件下）および長期の性能試験の開始。
 - (2) 性能を下げずに、より安価に利用できる材料の調査。
3. 補修ずみの桁での腐食追跡調査（経年調査）。
4. 今後の新設橋梁での設計面への防食対策への反映（基準等の見直し）。
 - (1) かぶり、品質、コンクリート構造の見直し。
 - (2) 耐食鉄筋や鋼材の積極的利用。
 - (3) コンクリート面塗装等の新設時施工。
5. 今回の腐食原因と劣化機構の究明。

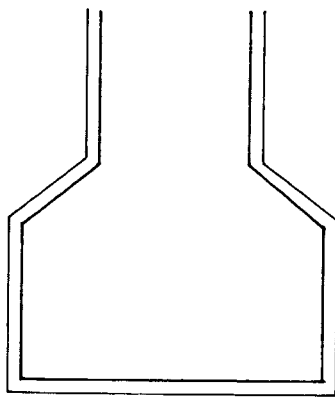
4.3 コンクリート製桁の防食対策

コンクリートのかぶりをさらに厚くする（7.5 cm以上）、きわめて稠密なコンクリートを用いるなどのコンクリート自身による防錆対策もあるが、現行の設計を今後とも適用するとすれば、外部よりの塩分浸透を防ぐための塗装や、耐食 tendon を用いるなどの積極的な防食対策の付与が必要となる。

考えうる防食対策を表-3.2にまとめた。

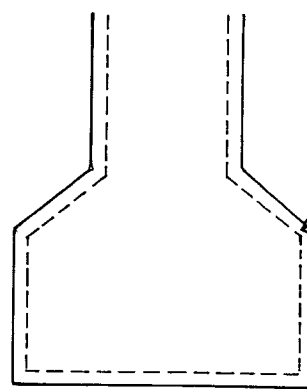
腐食機構が十分に明きらかにされていない現状では、各種防食対策を組合せて長期の耐久性能を得るようにしなければならない。

これらを組み合わせて考えうる防食例を図-3.7に示す。



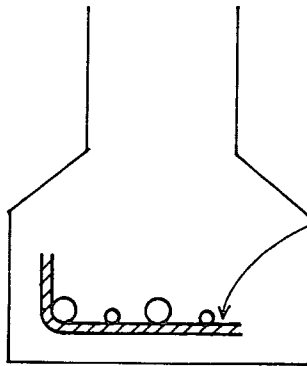
塗膜による
防水

① 塗装



コンクリート内部に
防水層を形成

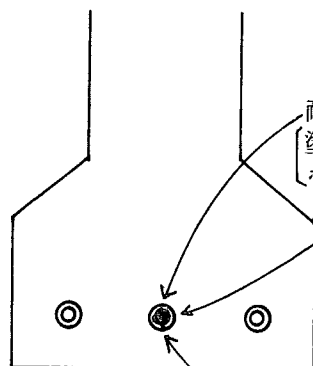
② ポリマー含浸工法（含浸型塗装も含める）



耐食鉄筋

〔エポキシ塗装
鉄筋や亜鉛め
つき鉄筋〕

③ 組立筋や補強筋に耐食鉄筋を用いる



耐食シース

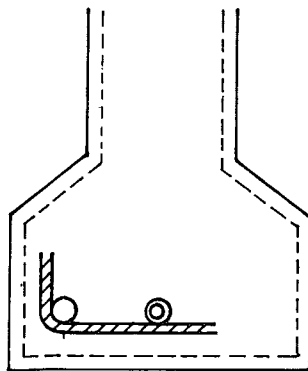
〔塗装シース、めっきシース、
ポリエチレンシースなど〕

耐食 P C 鋼材

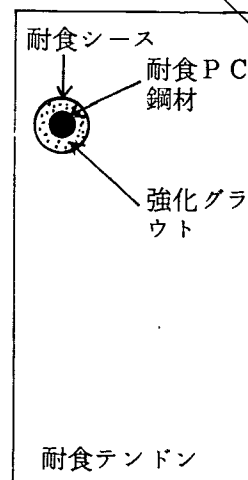
〔塗装ケーブル、めっき
ケーブル、カーボンファイバー製
ケーブルなど〕

④ 耐食テンドンを用いる

強化グラウト



⑤ ②③④ の組合せによる



耐食シース

耐食 P C

鋼材

強化グラ
ウト

耐食テンドン

〔ポリマーモルタルや
防錆剤入りモルタルの
利用〕

図 - 3. 7 プレストレストコンクリートけたの防食方法

表-3.2 プレストレストコンクリートけたの防食技術(新設橋梁の場合)

○ 現在適用している。

△ 外国では適用例あり。

	工 法	実 構 造 物	へ 利 用	試 験 施 工	実 段 験 室 階	ア イ デ ア の 段 階
(1) 外部よりの塩分浸透を防ぐ	1)コンクリート面塗装	エポキシ系の塗料	多層エポキシ FRP入りエポキシ エポキシ タールエポキシ エポキシ—ガラスフレーク入り	○		
		エポキシ系以外の塗料	ポリエステル—ガラスフレーク入り ビニル ゴム { ブタジエン ポリウレタン アクリルエマルジョン	○		
		浸透性塗料	ウレタン系浸透材	○		
	2)ポリマー含浸(PIC)		常圧含浸工法および加圧含浸工法	△	○	
(2) 工法の改良	1)スパーサー, セパレーターの防錆(FRP製樹脂製スパーサーなどの利用)			○		
	2)組立筋, 補強筋の防錆(エポキシ樹脂塗装鉄筋や亜鉛めっき鉄筋の利用)			○		
	3)鉄筋かぶりを大きくする(10cm以上)					
	4)施工時の塩分総量規制(CaCl_2 , 混和剤)					
	5)骨材の品質管理(ポップアウト防止, アルカリ骨材反応の抑制)					
(3) 耐食テンションの採用	1)PC鋼材の防食	防錆鋼材	粉体塗装鋼材 めっき鋼材		○ △	
		PC鋼材の変更	ステンレス製耐食鋼材の開発 カーボンファイバー製PS材の開発			○ ○
	2)シースの防食	防錆シース	粉体塗装シース めっきシース		○ ○	
		アンボンド設計の採用	ポリエチレン製シース	△		
	3)グラウト材の改良		プラスチックセメントの採用 (ポリマーセメント) 高濃度防錆剤の混入		○ ○	
(4) 定着部の改良	定着部の防食	定着材	粉体塗装またはめっき防錆処理定着材 ステンレス製定着材の採用		○ ○	
		定着部グラウトの改良, 形状の改良				

1983年1月現在 建設省土木研究所

表-3.2 (つづき) プレストレストコンクリートけたの防食技術 (既設橋梁の場合)

○ 現在適用している。

△ 外国では適用例あり。

	工 法	実へ 構利 造用	試 験 施 工	実段 験 室階	アの イ段 デ ア階
(1) 外部 よりの 塩分浸透を 防ぐ	1) コンクリート面 塗装	{ エポキシ系 FRP入りエポキシ エポキシ タールエポキシ エポキシ—ガラスフレーク入り	○		
		{ エポキシ以外 ポリエステル—ガラスフレーク入り ビニル ゴ ム { ブタジエン ポリウレタン アクリルエマルジョン		○	
	2) ポリマー含浸 (PIC)	浸透性塗料 ウレタン系浸透材		○	
		常圧含浸工法および加圧含浸工法		△	○
(2) 鉄筋の 腐食進行を 制御	1) 鉄筋のさび止め塗料	{ エポキシ系さび面塗料 キレート系さび面塗料 ポリマーセメント系さび面塗料			
	2) 鉄筋や鋼材の電気防食	{ 外部電源方式 犠牲陽極方式	△	△	○ ○
(3) 除 塩	強制除塩	{ 水 洗 イオン交換方式 (強制通電) 薬剤利用による中和			○ ○

1983年1月現在 建設省土木研究所

あ と が き

昭和58年1月現在、コンクリート橋の塩害対策に関する試験調査は、東北地方建設局、北陸地方建設局及び土木研究所等で行なっている。

- ① コンクリート供試体の実際環境での腐食防食に関する
長期暴露調査 (東北、北陸地方建設局)
- ② 実橋の損傷調査 (東北、北陸地方建設局)
- ③ 海岸附近のコンクリート橋の全国損傷調査 (道路局、土木研究所、各地方建設局、北海道・沖縄開発庁・各府県)
- ④ 補修材料の材料試験および促進劣化試験による性能試験(土木研究所) など。

これらの試験結果の成果をふまえて、海岸附近でのコンクリート橋の塩害対策が早急に確立されることを期待したい。