

# 海岸に建設された鉄筋コンクリート橋の塩害について

松尾 徹郎\* 太田 利隆\*\*  
前川 静男\*\*\* 藤井 卓\*\*\*\*

## 1 まえがき

筆者らは昭和43年以来、既設鉄筋コンクリート橋の耐荷力算定の基礎資料を得るため、北海道内で廃橋となった鉄筋コンクリート橋を解体し、けたコンクリートのひびわれ、鉄筋腐食、コアコンクリートの品質、鉄筋材質などを調査してきた。本文はこれら調査橋のうち、海岸に建設された鉄筋コンクリート橋9橋に関し、主としてけたコンクリートに含まれる塩分量、鉄筋腐食などに

ついて検討を加えたものである。

## 2 調査橋の概要

調査橋の諸元は表-1のとおりである。大正15年細則により設計され、架設後31~45年経過したもの7橋、昭和14年内示により設計され、架設後18~20年経過したもの2橋である。架設地点の気象の特徴は季節風が強いことで(表-2参照)、電線などの塩害多発地帯として

表-1 調査橋の概要

	1 鬼泊橋	2 珊内橋	3 磯谷橋	4 摩瀬橋	5 渚橋
竣工年月	1926年11月	1930年10月	1934年10月	1935年11月	1936年11月
調査年月	1971年10月	1970年11月	1970年12月	1969年5月	1969年5月
架設位置	一般国道232号 小平町花岡	一般国道238号 稚内市珊内	一般国道229号 蘭越町港町	一般国道231号 留萌市礼受	一般国道231号 留萌市礼受
汀線からの距離(m)	100	30	200	50	50
最寄測候所	羽幌	稚内	寿都	羽幌	羽幌
形式	ラーメンTげた	ラーメンTげた	単純Tげた	単純Tげた	単純Tげた
設計荷重*	大正15年細則 第2種	大正15年細則 第1種	大正15年細則 第2種	大正15年細則 第2種	大正15年細則 第3種
支間(m)	12.60	9.14	14.50	11.20	5.30
有効幅員(m)	6.50	5.42	5.00	5.50	5.50
	6 丹登字朱内橋	7 薊橋	8 御種子橋	9 蛇の目橋	
竣工年月	1936年12月	1937年3月	1951年11月	1953年9月	
調査年月	1970年5月	1968年7月	1971年9月	1971年6月	
架設位置	一般国道231号 増毛町萱泊	一般国道235号 静内郡静内町	一般国道232号 小平町元浜	一般国道232号 小平町秀浦	
汀線からの距離(m)	30	200	50	50	
最寄測候所	羽幌	浦河	羽幌	羽幌	
形式	単純Tげた	2径間連続Tげた	単純Tげた	単純Tげた	
設計荷重*	大正15年細則 第2種	大正15年細則 第3種	昭和14年内示 1等橋	昭和14年内示 1等橋	
支間(m)	9.00	2@7.27=14.54	9.90	8.00	
有効幅員(m)	5.56	5.50	5.50	6.00	

※ 大正15年細則：内務省土木局「道路構造に関する細則(案)」, 昭和14年内示：内務省土木局「鋼道路橋設計示方書(案)」

\*コンクリート研究室長 \*\*同副室長 \*\*\*前コンクリート研究室長 現室蘭開発建設部室蘭道路事務所長 \*\*\*\*前コンクリート研究室副室長  
現函館工業高等専門学校助教

表-2 調査橋架設地の気象資料

測 候 所		羽幌	稚内	寿都	浦河
平 均 温	年	7.0	6.2	8.2	7.5
	月 最 高	20.2	19.6	21.3	20.1
平 均 温	月 最 低	-5.9	-5.9	-3.2	-3.4
	年	80	76	77	78
平 均 度	月 最 高	88	87	87	92
	月 最 低	75	67	72	67
降 水 量	年	1361	1161	1284	1111
	月 最 大	162	152	165	147
降 水 量	月 最 小	67	62	63	34
	風速 10m/sec 以上日数(日)	121	132	266	174
風	15m/sec 以上日数(日)	19	21	102	64
	最大風速 (m/sec)	26.3	27.0	49.8	39.6
	瞬間最大風速 (m/sec)	35.4	32.5	53.2	48.5

有名である(図-1参照)。架設位置は汀線から30~200m離れているが、橋はいずれも直接潮風にさらされている。

### 3 使用材料の品質

コアコンクリートの品質；調査橋から採取したコアを各試験用に成形し、試験を行った結果を表-3に示す。圧縮強度試験はJISA 1107コンクリートから切りとったコアおよびはりの強度試験方法に従い、48時間水中養生した後試験を行った。細則、内示によれば、橋梁に用いるコンクリートの配合について、1) 配合は容積により行い1:2:4とすること、2) セメントの単位容積重量

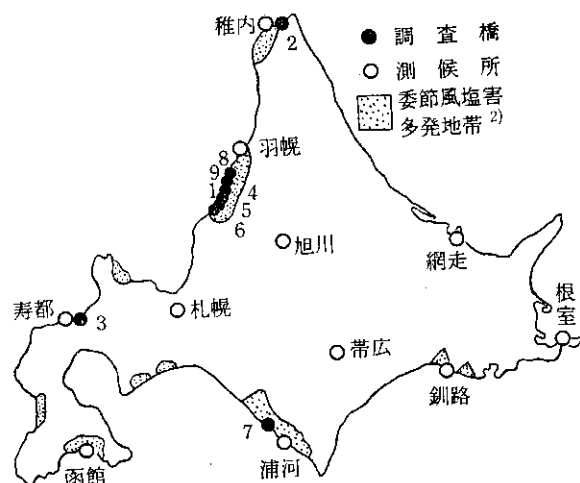


図-1 調査橋位置

を1,500 kg/m<sup>3</sup>とすること(骨材の空隙にもよるが単位セメント量300~320 kg/m<sup>3</sup>)と定め、設計基準強度を140 kg/cm<sup>2</sup>としている。表-3によれば、各橋とも強度のバラツキは大きい、設計基準強度を大きく上まわるものが多かった。これは潮風のため、ある程度の湿潤状態が保たれ、強度の増進があったものと考えられる。また吸水量も比較的少なく、良好なコンクリートと思われる。

鉄筋の品質；JES規格構造用圧延鋼材では、鉄筋コンクリート用棒綱について、P<0.06%、S<0.06%とし、引張強度39~52 kg/mm<sup>2</sup>としている。規格を満足できないものも散見される。また1950年代に架設された2橋について、バラツキの大きさが注目される。

表-3 使用材料の品質

		1 鬼泊橋	2 珊内橋	3 磯谷橋	4 摩瀬橋	5 渚橋
鉄筋	引張強度(kg/mm <sup>2</sup> )	38.9	43.3	47.5	48.2	41.7
	標準偏差(kg/mm <sup>2</sup> )	2.7	1.8	1.9	2.0	1.4
コクリ	圧縮強度(kg/cm <sup>2</sup> )	312	207	282	403	378
	標準偏差(kg/cm <sup>2</sup> )	54	47	38	100	88
ント	吸水量(%)	6.0	5.5	5.8	3.8	5.1
	透水係数(cm/sec)	(0.16~63) × 10 <sup>-5</sup>	(0.16~3.9) × 10 <sup>-5</sup>	(1.3~4.4) × 10 <sup>-5</sup>	(0~4.9) × 10 <sup>-7</sup>	(2~2600) × 10 <sup>-7</sup>
		6 丹登宇朱内橋	7 薊橋	8 御種子橋	9 蛇の目橋	
鉄筋	引張強度(kg/mm <sup>2</sup> )	38.0	49.4	45.3	52.4	
	標準偏差(kg/mm <sup>2</sup> )	2.3	1.8	5.1	12.8	
コクリ	圧縮強度(kg/cm <sup>2</sup> )	409	188	452	393	
	標準偏差(kg/cm <sup>2</sup> )	90	30	60	36	
ント	吸水量(%)	4.4	5.4	4.6	4.0	
	透水係数(cm/sec)	(0.6~1.6) × 10 <sup>-6</sup>	(4~56) × 10 <sup>-9</sup>	(2.4~9.6) × 10 <sup>-5</sup>	(0.13~9.7) × 10 <sup>-5</sup>	

#### 4 けたコンクリートの含有塩分量

図-2は各橋のけたコンクリートに含まれていた塩分量(NaClに換算)の分布を示している。塩分量の測定はφ10 cmのコアコンクリートを所要寸法に切断後、105°Cで一定重量となるまで乾燥させ、0.15 mmフルイを通過するよう微粉碎のち、試料50 gに対し蒸留水200 ccを加えてかきまぜながら約80°Cに温度を上げ、常温で2時間放置し、その上澄液50 ccをとってクロム酸カリを指示薬として硝酸銀により塩分量を滴定したもので、結果はコンクリートの乾燥重量に対する百分率で示した。図-3は磯谷橋(図-4参照)の耳げた、中げたにおける塩分量分布の例である。コンクリート中に含まれる塩分量は1けたが多く、3けた2けたと少なくなっている。土木学会コンクリート標準示方書によれば、海砂に許容される塩分量は、鉄筋の腐食を考慮して、砂の絶乾重量に対し0.1%としている。これをコンクリートに換算すればコンクリート重量に対しおよそ0.04%程度となる。この値を図-2に適用すれば、鉄筋の防錆上必要なかぶり厚は、海側コンクリート面8~10 cm、陸側コンクリート面5 cm程度と思われる。

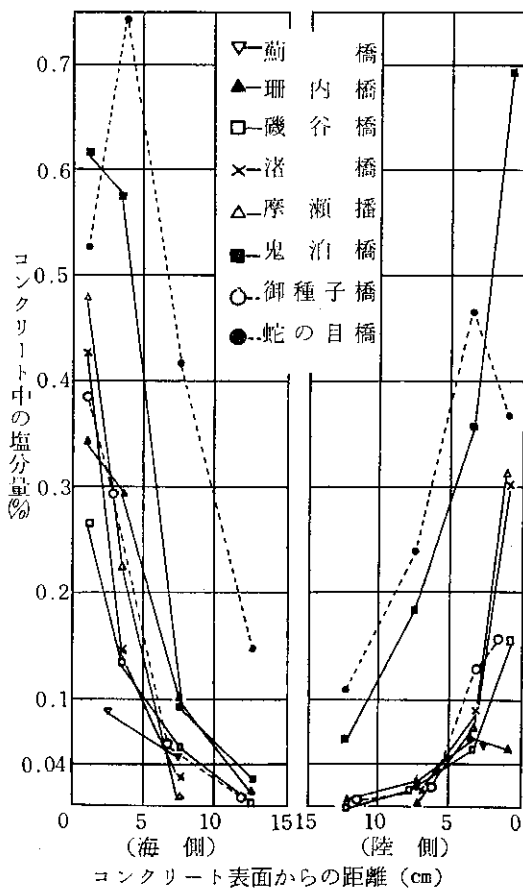


図-2 けたコンクリートの塩分量分布 (各けたの平均値)

#### 5 けたコンクリートのひびわれ

調査橋の死荷重による曲げひびわれ幅は0.03~0.1 mmと推定され、現在提案されている種々の許容ひびわれ幅をほぼ満足するものであった。しかし調査橋には、鉄筋の腐食膨張による縦ひびわれが多数発生し、最大ひびわれ幅が15 mmに達しているものもあり、かぶりコンクリートが完全に剝離した例も多かった。海岸地方に建設される鉄筋コンクリート構造物の場合、死荷重によるひびわれ発生を禁止し、塩分の侵入を少なくすることが望ましい。

#### 6 鉄筋の腐食

鉄筋腐食の程度は肉眼で判別し、A: 腐食のない鉄筋, B: 浮きさび程度の鉄筋, C: 浅い腐食の認められる鉄筋, D: 深い腐食の認められる鉄筋, E: 全周にわたり深い腐食の認められる鉄筋の5段階とした。鉄筋引張試験結果によれば、AとBの破断力を1.0とした場合C: 1.0~0.89, D: 0.93~0.72, E: 0.87~0.41であった。各けた断面における鉄筋断面損失率 $R_c$ は次式より算出

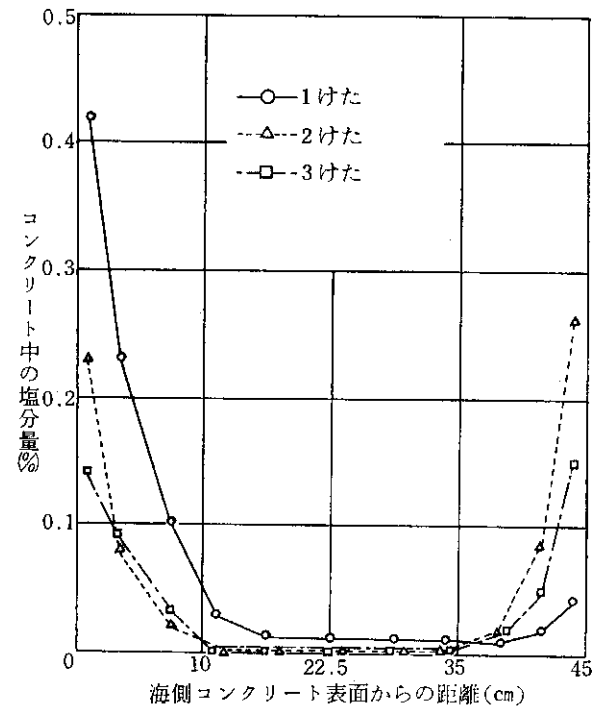


図-3 各けたにおける塩分量分布(磯谷橋)

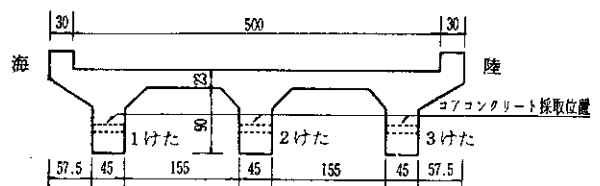


図-4 磯谷橋断面図

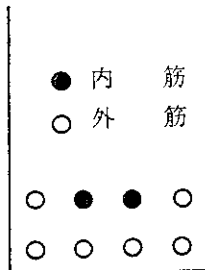


図-5 鉄筋の区分

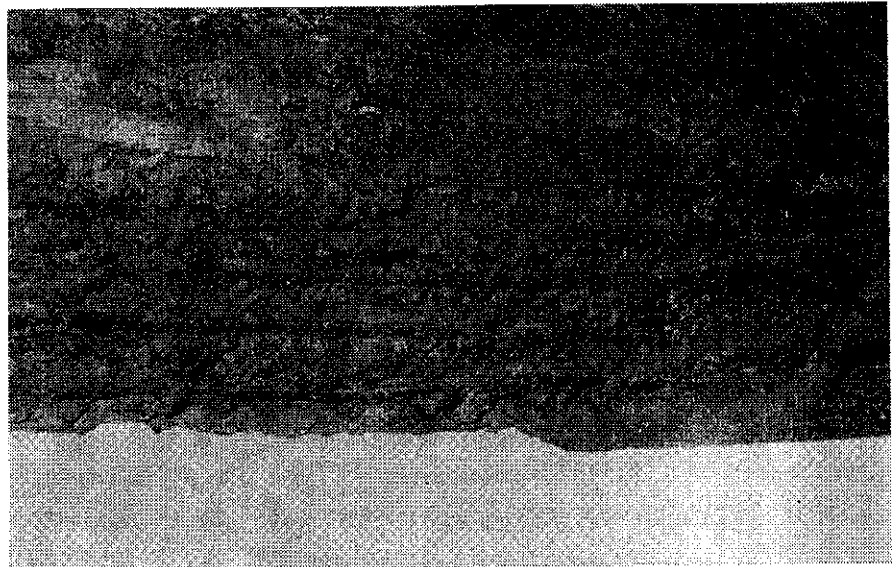


写真-1 かぶりコンクリートの剥離

した。

$$R_c = \{1 - (1/\text{配筋本数}) \cdot \sum (\text{各腐食段階に属する本数}) \cdot (\text{各腐食段階における破断荷重率})\}$$

調査橋の外筋（仮称；コンクリート表面近くに配置された鉄筋，図-4 参照）のかぶり厚は，ほとんど4~6 cmであった。この部分の塩分含有量は0.06~0.3%であり，鉄筋腐食がもっとも進行しやすい状態となっている。これに反し内筋（仮称；外筋に属さない鉄筋，図-5 参照）はかぶりも大きく，酸素水分の供給も少ないので健全なものが多かった。かぶりコンクリートが広い範囲にわたってはくりした丹登宇朱内橋（写真-1 参照）の場合でも，外筋の平均断面損失率9.2%に対し，内筋のそれはわずかに0.2%にすぎなかった。鉄筋腐食による断面損

失は大部分，外筋によりもたらされる。図-6は断面に配置された全鉄筋に対する鉄筋断面損失率，図-7は外筋の断面損失率の度数分布図である。かぶりコンクリートが剥離していない場合には指数分布，かぶりコンクリートが剥離した場合には，サンプル数が少ないので明確ではないが，ワイブル分布などで近似できるものと思われる。鉄筋断面損失率の平均値は，かぶりコンクリートが剥離していない場合，外筋7.0%，全鉄筋5.1%，かぶりコンクリートが剥離した場合，外筋11.8%，全鉄筋8.7%であった。

## 7 あとがき

調査の結果，次のことが判明した。

1) 潮風により多量の塩分がコンクリート中に侵入する。かぶりコンクリートにより鉄筋腐食を防止する場合，少なくとも8~10 cm程度のかぶり厚が必要である。

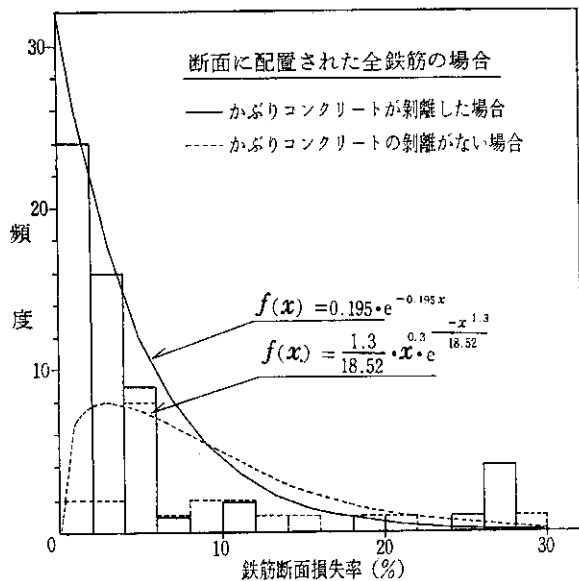


図-6 鉄筋断面損失率度数分布図

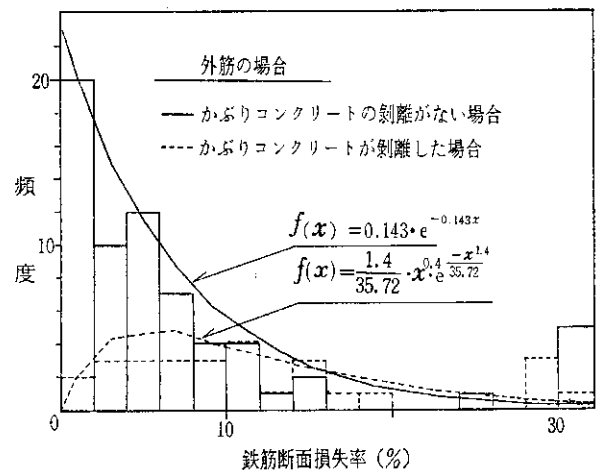


図-7 鉄筋断面損失率度数分布図

2) 鉄筋腐食は主として、外筋に生じ、内筋にまでいたるものはきわめて少ない。このため、かぶりコンクリートが全面にわたり剝離した場合でも最大鉄筋断面損失率は30%程度である。

3) 海岸近くに建設される鉄筋コンクリート構造物に対し、死荷重によるひびわれの発生は欠点となりやすいので好ましくない。北海道土木技術会では、海岸構造物で鉄筋腐食のおそれがある場合、死荷重によるひびわれの発生を禁じ、次式で検討することを義務づけている。

死荷重に対し;  $f_1 = M_{cr}/M_D \geq 1.2$

活荷重に対し;  $f_2 = (M_{0.2} - M_D)/M_L \geq 1.4$

$M_{cr}$ : ひびわれ発生モーメント

$M_D$ : 死荷重による曲げモーメント

$M_L$ : 活荷重による曲げモーメント

$M_{0.2}$ : 最大ひびわれ幅 0.2 mm となる  
曲げモーメント

かぶりを厚くすることは耐久性上望ましいが、死荷重

をふやし不経済となる。留萌海岸の暴露試験によれば、エポキシ樹脂をコンクリート表面に塗布することによりコンクリート中への塩分侵入は完全に防がれており、<sup>5)</sup> 今後は防錆剤、防水剤の利用、かぶり厚とひびわれ幅、耐久性の関係などについて、さらに調査研究を進めたいと考えている。

#### 参 考 文 献

- 1) 藤井ほか; シミュレーションによる既設鉄筋コンクリート橋の耐荷力の評価, 土木学会論文報告集第226号 1974年6月
- 2) 荒川ほか; 「工業気象」地人書館
- 3) 岸 谷; 海砂中の塩分が鉄筋に及ぼす影響と防錆対策, コンクリートジャーナル, 1974年10月
- 4) 山 内; 「統計数値表」日本規格協会
- 5) コンクリート研究室; 寒冷地におけるコンクリート構造物に関する調査報告書, 第17号, 1972年

\*

\*

\*