

[212] 外観調査結果から見た構造物の損傷形態の特徴

多田浩彦（建設省土木研究所）

正会員 小林茂敏（建設省土木研究所）

正会員 ○丹野 弘（建設省土木研究所）

正会員 高橋弘人（建設省土木研究所）

1. まえがき

近年、塩害によるコンクリート構造物の損傷が東北日本海沿岸で多く見られるようになったため、昭和57年度に、海岸部* に建設された橋長 15m以上のコンクリート橋に対して塩害による損傷状況の調査を行った。その結果、①塩害の発生が東北・北陸地方沿岸部のような海からの強い風を受ける地域や沖縄で顕著であること、②塩害の発生は、同一地域では海岸線からの距離との相関が大きく、波しぶきなどによって構造物に飛来する塩化物の量と関係が深いこと、等が判明した。^{1),2)}

また、これと平行して行われた損傷部分の補修を行っている構造物に対する詳細調査の結果からは、①塩害構造物に含まれる塩化物の量はコンクリートの各材料から混入すると考えられる塩化物（例えば、海砂中の塩化物）の量と比べてかなり多量に存在すること、②構造物内部における塩化物の濃度は、表面部ほど高く内部では減少していること、等が明らかになった。^{3),4)}

これらの調査結果から、現在発生している塩害による損傷は、主に波しぶきや海洋性大気中の含まれる海塩粒子等が外部から浸透し、その結果塩化物が蓄積されたことによると考えられた。しかし、この調査も海岸線から500m以内にある道路橋の調査に限られていたため、海岸線から500m以上離れた内陸部の構造物や橋以外の構造物も含めて、材料中の塩化物や塩害等の損傷の関係についての調査をさらに追加して行った。以下はその結果について述べるものである。

* 海洋性気象の影響範囲は、最大でも500m以内であると推定し、対象を海岸線から500m以内とした。

2. アンケート調査

表一 調査の対象

2.1 調査方法

昭和35年から50年の間に供用が開始された道路橋・水門・護岸のうち表一に示す条件を満たすものについて、アンケート調査用紙に記入してもらおう方法で行った。またこの結果は、記入の個人差をなくするため、数人の専門家により付随の写真等を見て再チェックを行った。

橋 梁 (上部・下部)	橋長30m以上
水 門	主要な水門、河口堰
護 岸	自立式護岸、海岸堤防、高潮堤防（ひ門ひ管の取り付け擁壁を含む）原則として同一海岸、河川の同一断面、同一施工時期の区間を一箇所とする

2.2 調査結果

調査の結果、回答が寄せられた構造物の数は、橋梁・水門・護岸合計5603部位であった。

このうち、各構造物の原因別損傷割合について集計した結果を表二～四に示す。

これらの表より、次に述べる結果を得た。

表二 橋梁の原因別損傷割合

① 橋梁の上部構造には塩害を生じているものがかかなりあるが、その発生は海岸付近に限られている。

② 下部構造でも、海岸近くで塩害が多少発生しているが、構造物の構造上の特徴からくるコンクリートの収縮劣化（主として温度応力によるひびわれ）による損傷が最も多く、この発生割合は海からの距離には関係ない。

③ 海岸線から500m以上離れた内陸部では上下部構造とも塩害の発生はなく、現在のところ海から離れた地点では調査された橋梁には外見上からそれとわかる塩害は発生していない。

部分	損傷原因 海からの距離	塩 害	かぶり不足等	コンクリートの 収縮劣化	荷重・基礎 条件
上部 構造	500m以内	24.0% (62/258)	7.8% (20/258)	1.9% (5/258)	1.6% (4/258)
	500mを 越えるもの	0 (0/1045)	2.8 (29/1045)	1.1 (12/1045)	4.6 (48/1045)
下部 構造	500m以内	3.7 (16/427)	2.6 (11/427)	8.4 (36/427)	1.2 (5/427)
	500mを 越えるもの	0 (0/2743)	3.8 (105/2743)	8.7 (239/2743)	1.7 (46/2743)

④ 水門ではコンクリートの収縮劣化及びかぶり不足等が、最も多いがその割合は小さい。また外見からそれとわかる塩害は発生していない。

⑤ 護岸には、かぶり不足等からくる部分的な鉄筋の腐食や、コンクリートの収縮劣化によるひびわれ、不等沈下によるひびわれなどが、かなり高い率で発生している。しかしながら、計画通りのかぶりがあったとしても構造物の鉄筋が腐食をするいわゆる塩害は今回の調査範囲では発生していない。

3. コア抜き取り調査

3.1 調査概要

前章に述べた外観アンケート調査の結果、塩害による損傷は海岸付近にのみ発生していることが明らかになったが、海砂の使用及びコンクリート中の塩化物が構造物の劣化に及ぼす影響については、海砂を用いたかどうかの記録がほとんど残っていないため明確にすることができなかった。そこで、構造物からコアを抜き取り調査を行った。

なお、護岸については、海岸線付近にあるため、海水等の外部からの塩化物の影響が大きいので、コア抜き調査の対象から除外した。

また、対象とする地域は、海砂が多く使用されている、近畿・中国・四国・九州に絞るとともに、外来塩化物の多い海岸部（海岸線から500m以内）については、対象から除外するものとした。コアを抜き取る構造物は条件に合うものの中からランダムサンプリングにより定めた。

コアについて調査した項目及び試験方法は次のとおりである。

- ① コア表面観察――コア表面における貝殻の破片の有無を目視により調査（海砂使用の判定）
 - ② 含有塩化物量――表面部（表面から約2cmの間）、内部（コア最深部約2cmの間）の塩化物量について測定。硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法（案）J（J C I 規準案）全塩分定量法 8.
 - 2 塩素イオン選択性電極を用いた電位差滴定法に準拠。
 - ③ 鉄筋腐食状況――鉄筋のかぶりと腐食度を調査（コア中に存在したもののみ）
 - ④ 割裂引張強度――J I S A 1113 に準拠
 - ⑤ 比重および吸水率――コアを四分分割したもので測定
 - ⑥ 中性化深さ――フェノールフタレン法
- 調査を行った構造部位数を表-5に示す。

3.2 海砂の使用

海砂を使用したと判定された割合（すなわち海砂の使用割合）は、損傷の有るもの無いものそれぞれ、横桁で約2割、橋台で約3割となっておりほぼ同じである。表-5 調査部位数（地方別）

ることがわかった（図-1）。また、海砂の使用割合を年度ごとに集計すると図-2に示すようになります。昭

部位	地方				合計
	近畿	中国	四国	九州	
横 桁	5	5	3	7	20
橋 台	19	5	3	16	43
水 門	7	1	1	4	13
計	31	11	7	27	76

表-3 水門の原因別損傷割合

損傷原因 部材名	塩害	かぶり不足等	コンクリートの収縮劣化	荷 重 基礎条件
門 柱	0% (0/236)	2.5% (6/236)	2.5% (6/236)	0.4% (1/236)
翼 壁 胸 壁	0 (0/440)	0.5 (2/440)	1.6 (7/440)	0.7 (3/440)

表-4 護岸の原因別損傷割合

損傷原因 部材名	塩 害	かぶり不足等	コンクリートの収縮	荷 重 基礎条件	すりへり 劣 化
表のり工	0% (0/229)	15.2% (35/229)	10.5% (24/229)	10.9% (25/229)	11.8% (27/229)
波がえし工	0 (0/225)	29.8 (67/225)	27.6 (62/225)	6.2 (14/225)	6.2 (14/225)

備考1) この区分中のコンクリートの収縮には、表2-1の区分の内、すりへり等の風化・老朽化・凍結融解による損傷は含まれない。
2) すりへり等の風化・老朽化・凍結融解による損傷は、すりへり劣化としてまとめた。

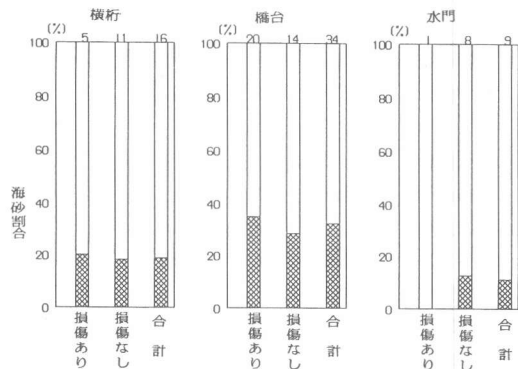


図-1 構造部位別の海砂使用割合

和40年代後半から使用が多くなることがわかる。

3.2 塩化物含有量

測定には、コア表面部約2cmの区間及びコア最深部約2cmの区間

のコンクリートを用いた（以下、それぞれを表面部及び内部という）。なお、内部塩化物含有量測定深さは平均で約8cmであった。

表面部と内部の塩化物量の関係を図-2に、供用年数と内部塩化物量との関係を図-3に示す。

図-2より三つのデータを除いて表面部と内部の塩化物量にはあまり差がなく、これらの塩化物が硬化後外部より浸入したものでなく、最初から材料中に含まれていたものであることがうかがえる。また、土木構造物に対して考えられている塩化物量の許容量（ Cl^- で $0.6kg/m^3$ ）と比べて2～3倍の量の塩化物量が含まれているものも少なくなかった。一方、図-3より内部塩化物量は土木学会において規制が設けられた昭和49年以後でも高いものが多いことがわかる。しかし、海岸構造物のように供用年数が長くなるほど含有量が多くなる、すなわち外部から塩化物が供給されるという傾向は見られない。また、海砂を使用したと判定された構造物においては、塩化物量が総じて高いこと及び海砂でないとして判定された構造物においてもNaCl換算で 0.1% （/コンクリート重量）以上の塩化物量を含むものがあつた。

3.3 鉄筋腐食度

採取したコアの内、何本かは中に鉄筋を含んでいた。これらの鉄筋の腐食度と塩化物含有量の関係を図-4に示す。これから、塩化物量がNaCl換算で 0.1% （/コンクリート重量、 Cl^- は $1.5kg/m^3$ ）以上含むコア中に鉄筋が2本あつたが、これらはいずれも鉄筋全面が薄く錆びていた。ただし、断面欠損等は生じていなかった。また、点錆程度の腐食は塩化物がほとんどない場合でも発生していた。なお、これらの鉄筋のかぶり厚は最小でも3.2cmは確保されており、鉄筋位置まで中性化しているものはなかった。

3.4 割裂引張強度

試料採取時のコアの割裂引張強度試験の結果は最小のものでも、横桁 $16.5kgf/cm^2$ 、橋台 $16.4kgf/cm^2$ 、水門 $17.9kgf/cm^2$ であった。この結果から、それぞれのコアは圧縮強度が最小でも $180kgf/cm^2$ 程度の健全なコンクリートであったと推定できる。

3.5 中性化

昭和50年以前に竣工した各構造物の中性化深さと供用年数の関係を図-5に示す。同図から、中性化深さは供用年数とあまり相関をなしていないことがわかった。これは、中性化深さは経年により増加する以上にコンクリートの品質等の他の要因による影響を受けていることを示していると思われる。また同図から

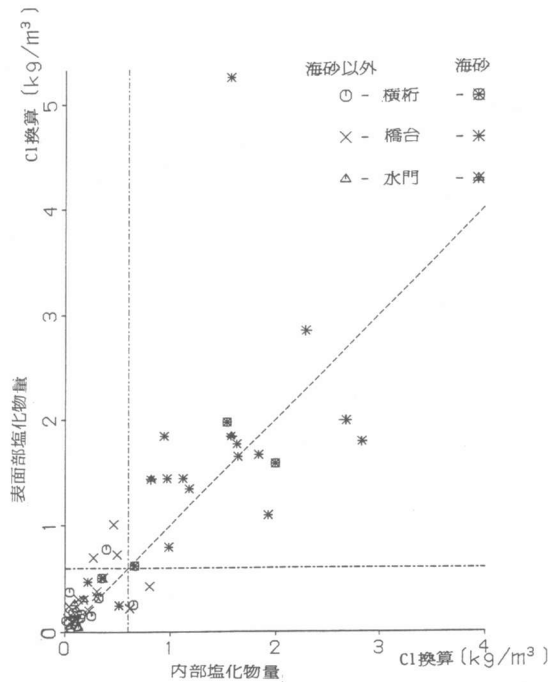


図-2 表面部塩化物量と内部塩化物量の関係

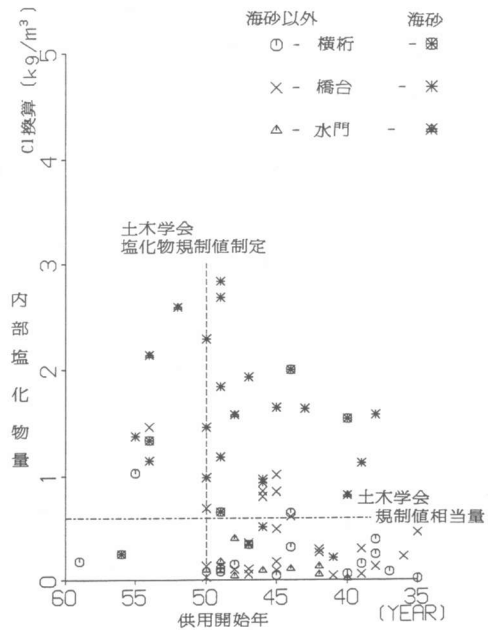


図-3 内部塩化物量と供用年数

ら海砂を使用したかどうかということは中性化深さの進行に特に大きな影響を与えないことがわかる。

4. まとめ

以上の調査結果をまとめると次のようになる。

① 橋梁についての外観調査の結果、塩害と思われる損傷は、海岸線から500m以内に限られて発生していた。また部位ごとにみれば、上部構造では発生割合はかなり高いが下部構造ではその割合は小さい。

② 橋梁下部構造では、コンクリート体積が大きいのでコンクリートの収縮（主として温度応力によるひびわれ）に起因する損傷が最も多く、この発生割合は、海からの距離には関係がなかった。

③ 水門には外見からそれとわかる塩害は発生しておらず、また、他の原因による損傷も非常に少なかった。

④ 護岸には、かぶり不足等に起因する比較的規模の小さい鉄筋の腐食や、コンクリートの収縮劣化によるひびわれ、不等沈下によるひびわれなどが、かなりの割合で発生しているが、塩害は発生していなかった。

⑤ 外観調査の結果損傷のあるものと無いものに分けて海砂の使用割合を調査した結果、両者には差がなく、横桁で約2割、橋台で約3割であった。

⑥ コンクリート構造物中の塩化物量は全塩化物量でCl⁻換算 0.6(kg/m³)を上回るものがあり、特に海砂使用のものは、ほとんどがこの値を上回っていた。

⑦ コアの中にあつた鉄筋の腐食度を調査した範囲では、塩化物がほとんどなくとも鉄筋には点錆が発生していた。また、塩化物量が非常に多い(Cl⁻換算 1.5(kg/m³)以上)ものは、鉄筋のかぶりが大ききとも錆(断面欠損はないが全面に広がる)が生じていた。

⑧ 海砂の使用と、コンクリートの中性化の進行速度とは特に相関はないようである。

最後に、本調査を実施するにあたり御協力いただいた建設省内関係地方建設局及び各工事事務所の方々に、深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 池田 道政：塩害によるコンクリート橋の損傷状況調査結果，道路，1984年 2月。
- 2) 蒔田 実：沿岸コンクリート構造物の早期劣化と問題点，土木学会第38回年次講演会，研究討論会資料，1983年 9月。
- 3) 小林 茂敏・山内 幸裕：塩害の現状と対策，橋梁と基礎，1983年 8月。
- 4) 片脇 清士・山内 幸裕：コンクリート構造物の塩害，土木技術資料，Vol.25, No. 7, 1983年 7月。

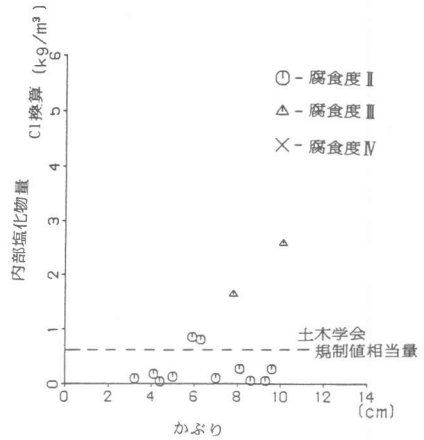


図-4 鉄筋腐食度と塩化物量

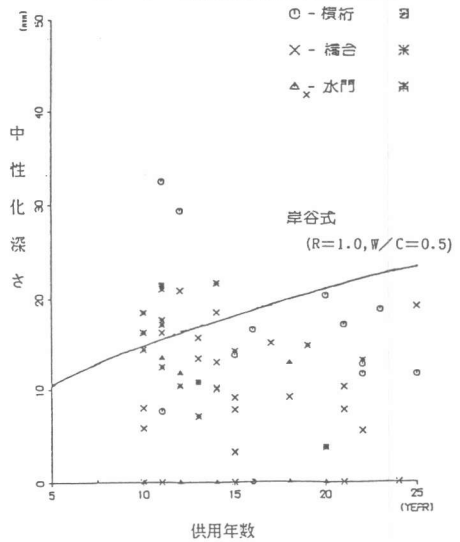


図-5 中性化深さと供用年数