

青森県日本海沿岸のRC橋梁において塩分浸透が ひび割れと鉄筋腐食に及ぼす影響についての調査

Survey on the effect of chloride ion penetration on cracks and corrosion of RC bridges near the Sea of Japan in Aomori prefecture

藤田 弘昭*, 津村 浩三**, 山本 昇***
Hiroaki Fujita, Kozo Tsumura, Noboru Yamamoto

*弘前大学大学院 理工学研究科博士後期課程 安全システム工学専攻
(株)キタコン在職 (〒036-8561 弘前市文京町3)

** 工博 弘前大学助教授 理工学部地球環境学科 (〒036-8561 弘前市文京町3)

*** 青森県 県土整備部道路課 (〒030-8570 青森市長島1丁目1番1号)

In order to consider the applicability of visual inspection to bridges maintenance, we surveyed cracks and steel bar corrosion of RC bridges near Sea of Japan in Aomori prefecture. The surveyed results were compared with the chloride ion densities near the steel bars. Through the survey, the following points have been revealed: 1) There was a case that steel bar corroded surrounding by high density chloride ion, while there was no crack on the surface of the concrete. Therefore, visual inspection did not give sufficient information about steel bars in RC bridges. 2) But in case few cracks were found on the surface of the concrete, checking increase of cracks might effective to make planning maintenance, because average intervals of cracks calculated by grid method, correlated well with chloride ion density near the steel bars. 3) Damage grades calculated from cracks conditions correlated with degree of steel bar corrosion ranked by the standard specification for concrete structures.

Key Words: chloride ion penetration, RC bridge, crack, steel bar corrosion

キーワード: 塩分浸透, RC 橋梁, ひび割れ, 鉄筋腐食

1. はじめに

近年、橋梁の合理的な維持管理計画を行うために、橋梁点検要領(案)¹⁾(以下、点検要領と言う)に基づいた定期点検活動が積極的に行われている。この点検要領では、大量の構造物を少ない人員で、低コストで点検することを目的としているため大雑把にコンクリート表面における損傷程度が区分されている。例えば、RC 構造物のひび割れについては、最大ひび割れ幅と最小ひび割れ間隔に着目し5段階にのみ振り分けて評価を行うこととなっており、細かく評価することは行っていない。

一方、RC 構造物から多数コア採取し、塩分浸透状況を分析すればかなり正確に現状を把握することができ、また将来の劣化も相当程度予測可能となる。しかし、現実問題として調査には足場の設置や塩分分析など多大な費用が必要となってしまうため、詳細調査や補修の要否を検討する時点で終わっていることが殆どである。

このような状況を踏まえ、筆者らは、目視点検から得られたひび割れ情報から、ある程度の塩分浸透状況さら

には鉄筋腐食状況を判断することが可能となれば、調査費を低減できる可能性があると考えた。本研究は、その可能性について検討することとデータの蓄積を目的として行ったもので、多数の箇所で行ったコア抜き取りによる塩分浸透状況調査結果とその近傍における点検要領等によるひび割れの発生状況評価結果を比較することにより両者の関連性を調べたものである。さらに部分的にはあるが、それらのデータと鉄筋の腐食状況調査結果を照らし合わせ検討を補足した。

ひび割れの評価方法は、先に述べた点検要領¹⁾によるもの(評価結果は損傷程度と呼ぶ)と、格子密度法²⁾により平均ひび割れ間隔を算定したものと2種類用いた。調査対象地域は、青森県で特に環境の厳しい日本海沿岸線から1.0km以内のRC橋梁とした。これは、厳しい塩害環境下で特にこのような情報が必要とされているからであるが、実際のところ、筆者らは既にこの地域で実構造物からコアを採取し87本分のデータを用いて表面塩化物イオン濃度、見かけの拡散係数などについて研究報告³⁾を行っているため、そこで得た塩分浸透状況(劣化

進行状況)にひび割れ調査を追加することで、両者の関係を明らかにできると考えた。

なお、関連する既往の研究報告としては、堤ら⁴⁾が行ったもので、過去多数の東京湾内鉄筋コンクリート構造物において20年以上継続的に行われた鉄筋腐食状況調査、塩分浸透状況調査などの結果を取りまとめた整理分析し、塩害劣化の要因や評価方法について定量的な検討を加えているものがある。その他、鋼材の腐食に関する報告では、河野ら⁵⁾が塩害により撤去されることになったPC橋からPC鋼材を採取して、腐食形状や腐食の程度が機械的性質に及ぼす影響について検討を行ったものがある。また、横田ら⁶⁾は屋外暴露実験から腐食発生限界塩化物イオン濃度、ひび割れ発生腐食量、ならびにひび割れ発生前後での鉄筋腐食速度等について報告している。しかし、多数の実橋梁において、コアの採取位置とひび割れ調査位置を一致させて、両者の関係を調査した研究報告は見あたらない。

2. 調査の概要

2.1 調査の対象とした地域と橋梁

調査対象地域は前章で述べたように、青森県日本海沿岸である。実橋梁におけるコンクリート表面におけるひび割れ調査対象構造物は、既報³⁾で対象とした橋梁のうち、橋梁点検車や足場を設けずにひび割れ調査を実施できる橋台、橋脚とした。塩化物イオン濃度を測定したデータ55個(コアの本数に対応する)のうち、2004年より前に調査を実施しているものは、橋梁の補修工事を目的としていたため既に18個のデータは補修済みとなっていたので除外した。また、塩分以外の複合的な劣化要因と思われるひび割れや無筋コンクリートの構造物は、ひび割れ原因を特定できないため、その他の劣化要因として調査データから除外した。以上から、使用する塩化物イオン濃度の測定データ数は、コアの数にして橋台20個、橋脚12個の合計32個とし、このデータの採取位置近くにおいてひび割れ調査を実施することにした。

2.2 調査データの概観

調査対象橋梁の施工年代の分布を明らかにするため、図-1に調査対象橋梁の竣工年ごとの採用データ個数の分布を、図-2に同橋梁の経年数分布を示した。本研究における経年数とは、橋梁調査年から竣工年を差し引いたものである。これらの図より、高度経済成長期に建設された経年数が30年~50年の橋梁が約1/2を占めていることがわかる。なお、本調査では、最も古いもので経年数が47年、平均の経年数は27年である。

図-3に道路橋示方書⁷⁾による塩害区分ごとのコア抜き取り本数の分布を示した。図-3より本調査における

コア抜き取り箇所は、海岸線からの距離が300m以内(S区分、I区分)が9割程度を占めている。

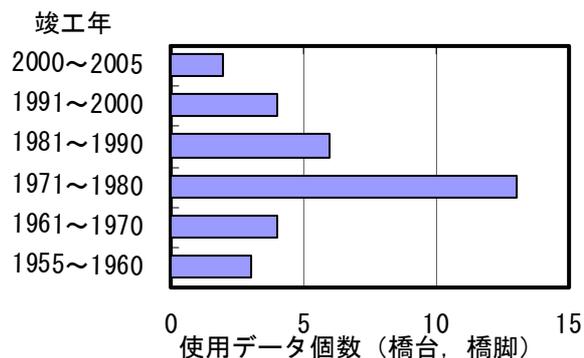


図-1 竣工年ごとの採用データ個数全32個の分布

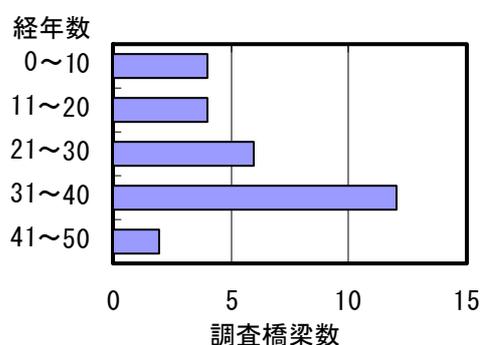


図-2 調査橋梁全28橋の経年数

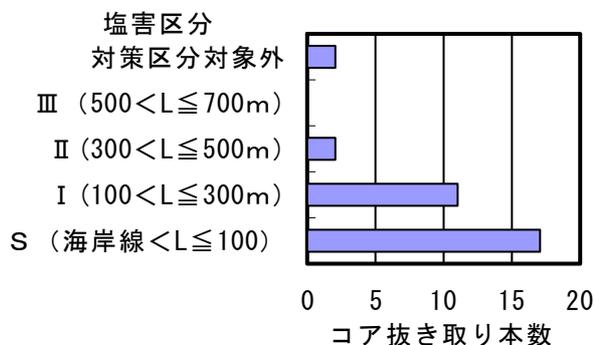


図-3 道路橋示方書による塩害区分ごとの採用データ個数

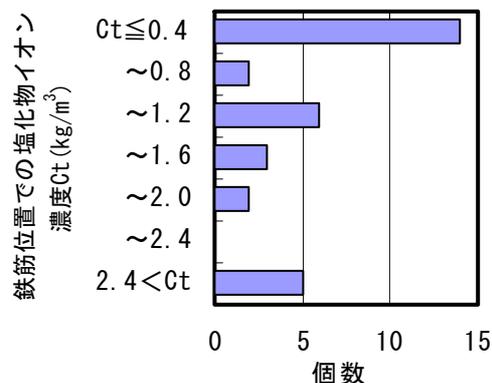


図-4 鉄筋位置での塩化物イオン濃度分布図 (32個)

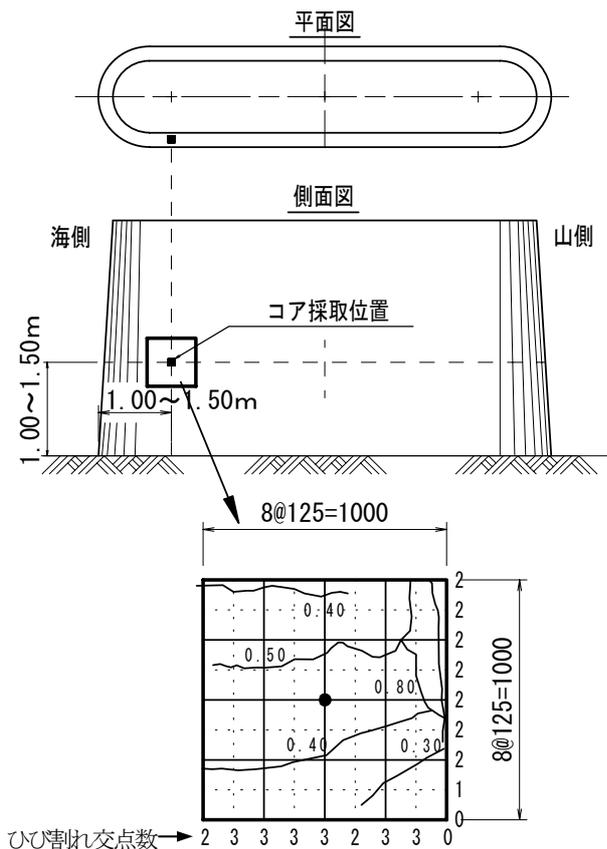


図-5 下部工におけるひび割れ計測の一例

表-1 点検要領における損傷度の区分¹⁾

区分	最大ひび割れ幅に着目した程度 (表-2より)	最小ひび割れ間隔に着目した程度 (表-3より)
a	損傷なし	
b	小	小
c	小	大
	中	小
d	中	大
	大	小
e	大	大

表-2 最大ひび割れ幅に着目した程度¹⁾

程度	一般的状況	ひび割れ幅
大	ひび割れ幅が大きい	0.3mm以上
中	ひび割れ幅が中位	0.2mm以上0.3mm未満
小	ひび割れ幅が小さい	0.2mm未満

表-3 最小ひび割れ間隔に着目した程度¹⁾

程度	一般的状況	最小ひび割れ間隔
大	ひび割れ間隔が小さい	0.5m未満
小	ひび割れ間隔が大きい	0.5m以上

2.3 鉄筋位置での塩化物イオン濃度分布

図-4には、採用したコアから求められる、鉄筋位置での塩化物イオン濃度の分布図を示した。図中から、32個のうち10個が鉄筋腐食発生限界濃度の指標である 1.2kg/m^3 を超えており、約3割近くの実構造物で腐食が進行している可能性のあることが判る。

本論文において塩分浸透状況の指標は、コンクリート表面に最も近い鉄筋位置(以下、鉄筋位置と略す)での塩化物イオン濃度 C_t (kg/m^3)とした。これは、コア深さ方向のうち鉄筋位置に近いデータから内挿したもので、拡散方程式の解に回帰したものとほぼ等しいことを確認している。この指標である鉄筋位置での塩化物イオン濃度 C_t について述べておく。グラフ等は省略するがこの C_t と経年数、また C_t と塩化物イオン累積被曝量(鉄筋が塩化物イオンにさらされた期間とその濃度の積を総和したもの)との間には高い相関があることを確認している。つまり C_t は経年の効果や塩化物イオンの累積の効果を含んだ変数であると考えられることができる。また、拡散方程式を用いる際の境界条件等の仮定を要しない、直接的に測定されたデータと考えて良い。もちろんフィックの拡散理論に基づき、回帰した表面塩化物イオン濃度と拡散係数を使えば将来の状況のある程度予想することができるので有用であるが、ひび割れ発生が拡散係数に与える影響を考慮しなくても良いのかなど難しい問題もある。ここでは、回帰に必要な仮定をほぼ用いずに直接的にデータを比較して議論しているものであり、仮定の妥当性を議論する必要がない。

2.4 ひび割れ調査方法

(1) 格子密度法²⁾による調査

格子密度法²⁾は、ひび割れ線と縦方向・横方向の格子線との交点数を求め、格子線の総延長で除してひび割れ平均間隔を測定する方法である。今回の調査位置は、前述したように既報³⁾でコア採取した鉄筋位置での塩化物イオン濃度との関係を明らかにするため、原則コア採取位置を中心とした。図-5に、下部工におけるひび割れ計測の一例を示した。また、ひび割れ計測のための格子の大きさは、点検員二人が短時間にひび割れを計測できる大きさとして縦方向1.0m、横方向1.0mで格子間隔125mm(8等分)とした。なお、記録したひび割れは点検要領¹⁾の対象ひび割れ幅に合わせて0.2mm以上とした。

(2) 点検要領¹⁾による調査

表-1の点検要領における損傷程度の区分¹⁾「コンクリート部材の損傷(⑥ひび割れ)」に準じて損傷程度のランク付けを行った。損傷程度は、損傷無しはa、ひび割れ間隔、ひび割れ幅に応じてb, c, d, eの5段階評価となっており、eに近いほどひび割れ程度は大きい指標となっている。尚、コンクリートに剥離がみとめられた場合にはeとして評価した。

3. ひび割れ調査結果とその考察

付表-1に塩化物イオン濃度とひび割れ調査の結果一覧を示した。本調査データに基づいて、以下に鉄筋位置での塩化物イオン濃度と損傷程度、平均ひび割れ間隔等の関係についての考察を試みる。なお、相関係数を算定する場合には、a~eを1~5に置き換えて計算を行った。

3.1 経年数と損傷程度との関係

図-6には、経年数と損傷程度との関係を示した。また、図中には損傷程度毎の経年数の平均値を実線で示した。当然のことではあるが損傷程度は、経年数とともに大きくなる傾向を示し、両者の相関係数は+0.53であった。

なお、今回は既に補修済みとなっているデータは、ひび割れ調査を実施することができないため分析対象から除外している。これらのデータは、特に環境条件が厳しい箇所が存在しているものが殆どで、早期にひび割れが発生し損傷程度をeと評価され補修を実施している。これらのデータを含めると、データのバラツキはさらに大きくなる可能性がある。

図中から、コンクリート表面に損傷が無いaは経年数に限らず幅広く分布している。また、経年数が30年を超えると損傷程度がd、eと評価されるものが多くなるようである。また、調査データの中には経年数が47年経過しても損傷程度がbの評価のもの（海岸線からの距離210m）もあった。

3.2 鉄筋位置での塩化物イオン濃度と鉄筋のかぶりとの関係

鉄筋のかぶりについては、かぶりの範囲37~109mm、かぶりの平均値81mm、標準偏差17mmであった。また、鉄筋位置での塩化物イオン濃度は、範囲0.04~6.54kg/m³、平均値1.24kg/m³、標準偏差1.61kg/m³であった。

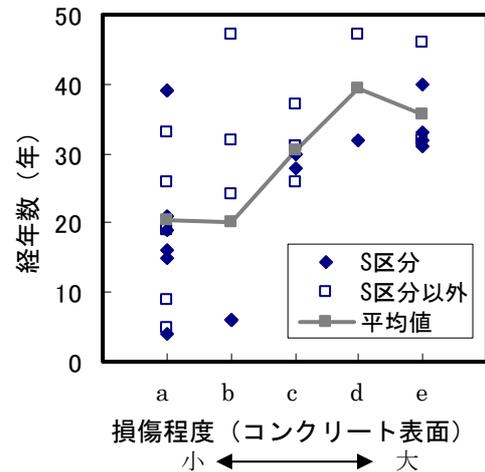
図-7には、鉄筋位置での塩化物イオン濃度と鉄筋のかぶりとの関係を示した。当然のことではあるが鉄筋位置での塩化物イオン濃度は、鉄筋のかぶりが大きくなるに従って減少する傾向を示し、相関係数は-0.66であった。

図中のプロットしたシンボル横に示した16]などの数字は、付表-1に示したコアNo.を指す。便宜的にこの数字をその位置やそこで採取されたデータを指すものとして用いる。このコアNo.をたどればわかるが16]、32]のかぶりは37mm、45mmと小さく、コンクリート表面には、ひび割れと剥離を伴う損傷が確認された。また、16]は海岸線からの距離が720mあるにも関わらず鉄筋位置での塩化物イオン濃度が4.9kg/m³と非常に大きな値となっている。このことは、塩害地域でのかぶりの重要性を

示唆するものと考えている。

29]、31]のデータはいずれもS区分に該当し、海岸線からの距離は85mと40mに位置する。損傷程度はひび割れも多くeの評価となっている。しかし、鉄筋のかりが64mm確保されているためか16]、32]のようにコンクリート表面に剥離は見受けられずひび割れのみ発生していた。

18]、19]は近接する橋梁で採取されたもので、鉄筋径D13mm、かぶり94mm、海岸線からの距離は順に45m、50m、経年数は順に21年、33年になっている。経年数に12年の差がある以外はほぼ同一条件のデータとなっている。18]のコンクリート表面は、塩化物イオン濃度が高いにも関わらずひび割れが発生していない。これに対し、19]は既にひび割れが多く発生し、損傷程度はeの評価となっている。データ数も少ないため断定することはできないが、厳しい塩害環境下にあるので、今後、18]の構造物がひび割れの発生とともに19]の構造物のように急激に劣化が進行する可能性が高いと予想される。



注) a : 損傷無し
図-6 経年数と損傷程度との関係

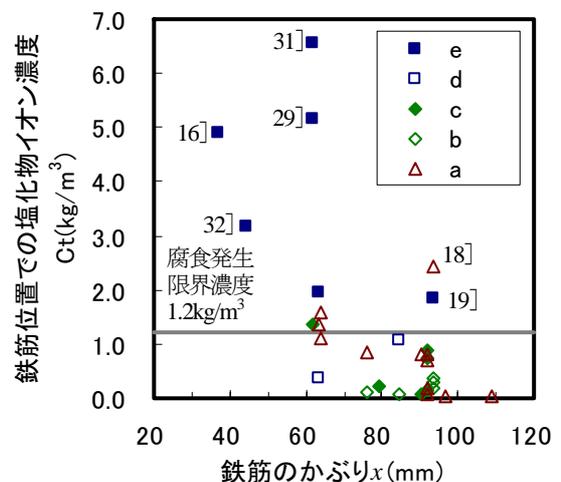


図-7 鉄筋位置での塩化物イオン濃度Ctと鉄筋のかぶりとの関係

3.3 鉄筋位置での塩化物イオン濃度と損傷程度との関係

図-8には、鉄筋位置での塩化物イオン濃度と損傷程度との関係を示した。残念ながら、本データは調査期間の都合上、同一箇所の経時変化をとらえたものではないため、時間を追ってどのような変化が起こったのか正確には分からないが、前にも述べたように鉄筋位置での塩化物イオン濃度と経年数は相関が高いこと、損傷程度も時間の経過と共に減ることはあり得ず増える傾向があると思われるので、大局的にはグラフの左下から右上に向かって時間が経過していると考えても良いであろう。この図によるとひび割れが発生した以降について右肩上がりの傾向が見られる。参考までに同図中に、指数関数で回帰した曲線を示した。特に損傷程度が最も大きいeは明らかに塩化物イオン濃度が非常に高い集団となっている。これを時系列的に解釈すると、鉄筋位置での塩化物イオン濃度が1.2~2.0kg/m³程度を超えると鉄筋の腐食によるひび割れとそれを介した塩化物イオンの流入、さらにそれが鉄筋腐食という循環のプロセスが急激に進展した(加速期)という事であろう。この図をひび割れの目視による内部状態の推定という観点から見ると、損傷程度がeのものは鉄筋位置での塩化物イオン濃度が1.2 kg/m³を大きく超えている可能性が高いと言える。

予防保全によるひび割れ目視の有効性という観点で同図を見ると、eの状態からの判断では手遅れとなる可能性が高い。それでは、b, c, dの関係はどうであろうか。この図の損傷程度とaとeのデータを除く鉄筋位置での塩化物イオン濃度との関係を見ると、相関係数は+0.51であり、一応ゼロではないので、ひび割れが少し発生しているものであれば継続的に目視点検することによりひび割れが爆発的に増加する前に予防的処置をとる判断ができる可能性を示している。しかし、これだけではデータ数が少ないのでその有効性は確かではない。さらに難しいのは損傷程度aのもので、ひび割れの無いものの中に鉄筋位置での塩化物イオン濃度が1.2kg/m³を超えるものが見られることである。1.2kg/m³を超えているものは3個(1.38~2.44 kg/m³)でひび割れの発生していないデータ12個のうち25%を占める。従ってひび割れがないからと言って塩化物イオン濃度が低い(1.2kg/m³以下)と判断するのは危険であることが判る。目視点検の限界である。特に18]については前節参照のこと。

3.4 鉄筋位置での塩化物イオン濃度と平均ひび割れ間隔との関係

図-9には、鉄筋位置での塩化物イオン濃度と平均ひび割れ間隔(計算方法は、2.4(1)参照)の関係を示した。鉄筋位置での塩化物イオン濃度が高くなると平均ひび割れ間隔も小さくなる傾向を示し、両者の相関係数は-0.69(グラフ上で右にいくほど値が小さくなるような軸

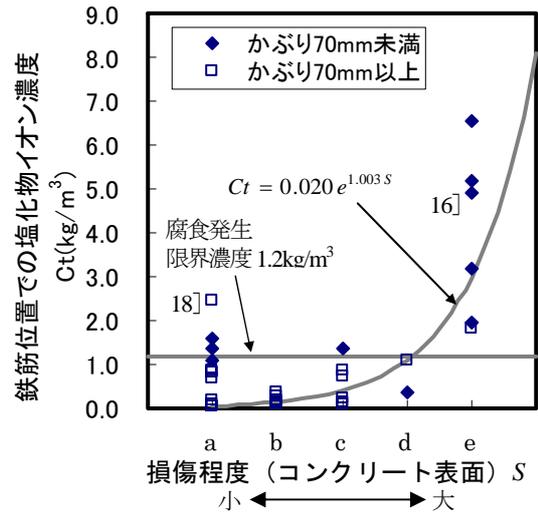


図-8 鉄筋位置での塩化物イオン濃度と損傷程度との関係

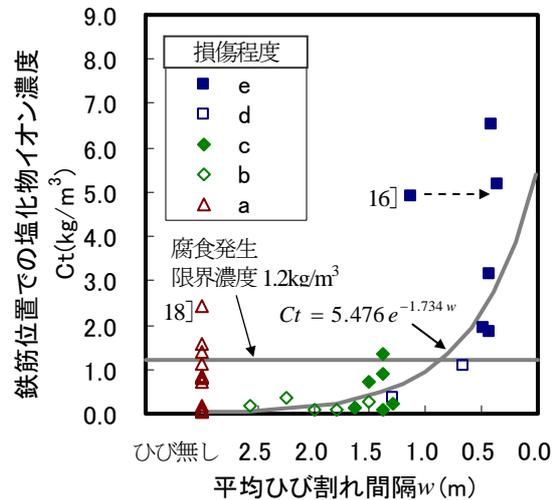


図-9 鉄筋位置での塩化物イオン濃度と平均ひび割れ間隔との関係

の設定にしているのので右肩上がりの時にマイナスが付く)であった。参考までに同図中に、指数関数で回帰した曲線を示した。

図-9は図-8と似た傾向を示している。同図は、平均ひび割れ間隔が1.0mとなったあたりを境にして鉄筋位置での塩化物イオン濃度が1.2 kg/m³を超えて急激に大きくなることを示している。また、ひび割れの無い(図中の「ひび無し」)データと平均ひび割れ間隔が1.0mより小さいデータを除いたデータでみると平均ひび割れ間隔が狭まるにつれて鉄筋位置での塩化物イオン濃度が増加する傾向が見られる。両者の相関係数は-0.51である。図中の16]は、他のデータの傾向と外れた所にプロットされている(塩化物イオン濃度が4.9kg/m³と大きいにも関わらず平均ひび割れ間隔が1.0mより大きい)ように

見えるが、その測定箇所ではコンクリート表面に剥離が生じていた。後で論じることになっているが、ここにおける鉄筋腐食グレードはIVであり、深刻な状況にあると言える。これらについては平均ひび割れ間隔による評価方法に問題があると思われる。例えば図-9において剥離が見られるデータを平均ひび割れ間隔 0.5m というものにしてしまえば（図中の点線矢印）、ひび割れはあるものの剥離が見られない他のデータからさほど外れないところにプロットされる。平均ひび割れ間隔により劣化の程度を評価する場合には、このように扱うのも1案である。また、移動した場合の相関係数係数は-0.75であった。

4. 鉄筋腐食状況調査とその考察

鋼材の腐食は、構造物の性能に直結するため、腐食の程度を直接確認することは重要である。そこで、ここでは前章までの調査において対象とした実構造物のうち幾つかを選び、鉄筋の腐食状況を直接目視で確認することとした。それらについて、コンクリート標準示方書⁸⁾による鉄筋の腐食グレードで評価を行い、目視点検時のひび割れとの関係について考察を試みた。

4.1 鉄筋腐食グレードの調査概要

調査方法は、鉄筋探査機により位置と深さを確認し、その後コアドリルを用いて鉄筋付近まで削孔したあと、鉄筋に損傷を与えないようにハンマドリルにより慎重にモルタルを除去し、直接鉄筋の腐食状況を確認した。

鉄筋腐食調査箇所については、表面塩化物イオン濃度（既報³⁾ 調査結果による）が高く経年数が短いところを3箇所、鉄筋位置で塩化物イオン濃度が高くコンクリート表面にひび割れを生じていないところを1箇所、また、ひび割れと剥離の両方の損傷が見受けられるところを4箇所として合計8箇所とした。調査の結果得られた鉄筋腐食グレードを、近くで抜かれた塩分濃度測定図コアNo.と対応させて付表-1に示した。以後、鉄筋腐食グレード測定箇所は、近くのコアNo.に代表させて6]、7]等の記号で示した。鉄筋の腐食グレードの評価は、コンクリート標準示方書⁸⁾の中性化による鋼材の腐食状態の評価に従いI～IVの4段階に区分した。

6]、7]、8]は、海岸線から10m程度に位置し表面塩化物イオン濃度（既報³⁾）も10.5～15.0kg/m³と高く厳しい塩害環境下にある橋梁での測定値である。経年数は6年と短いにも関わらずコンクリート表面にはひび割れが見受けられた。ただ、平均ひび割れ間隔は1.50～2.25mと比較的大きく、鉄筋位置での塩化物イオン濃度は平均0.3kg/m³と小さい値となっている。ハツリ調査は、同じ橋脚内の海側側面、橋脚中心など離れた箇所でも3箇所実

施したコア抜き近くで行ったものである。3箇所の鉄筋はすべて黒皮の状態であり鉄筋腐食グレードをIとした。この構造物で生じていたひび割れは鉄筋腐食が原因によるものではないことが判った。

18]は、コンクリート表面にひび割れが見受けられないが、鉄筋位置での塩化物イオン濃度が2.44kg/m³と高い値を示していたものである。19]との関連（3.2節参照）を明確にするためハツリ調査を実施した。写真-11に18]調査結果の鉄筋腐食状況を示した。写真の鉄筋径は13mmでかぶりが94mmである。鉄筋の節から錆が広がりはじめていることがうかがえる。また、調査したコンクリート片にも錆が付着しているのを確認した。これらの状況と部分的に浮き錆びがあることから鉄筋の腐食グレードをIIとした。コンクリート表面にはひび割れが発生していないが、塩害による鉄筋の腐食は確実に進行しており、加速期に近い状況とみなせる。

16]、32]ともに鉄筋の被りが小さくコンクリート表面には、剥離とひび割れが確認されたものである。16]付近では3箇所、32]では1箇所ハツリ調査を実施した。16]、32]の鉄筋位置での塩化物イオン濃度は順に4.90kg/m³、3.17kg/m³と高い値を示している。また、平均ひび割れ間隔は順に、1.13m、0.44mと小さい値となっていた。

ハツリ調査の結果、鉄筋の腐食は全周に断面欠損を生じていた。これらの状況から、鉄筋の腐食グレードをIII～IVとした。

4.2 鉄筋位置での塩化物イオン濃度と鉄筋腐食グレードとの関係

図-10には、鉄筋位置での塩化物イオン濃度と鉄筋腐食グレードとの関係を示した。鉄筋位置での塩化物イオン濃度が高くなると鉄筋腐食グレードも高くなる傾向を示し、両者には強い相関が認められる。相関係数は+0.91である。

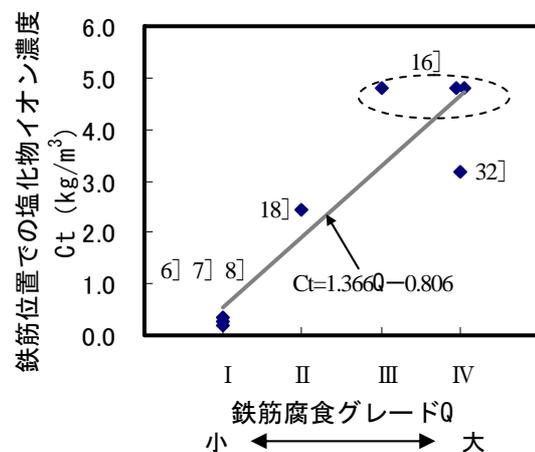


図-10 鉄筋位置での塩化物イオン濃度と鉄筋腐食グレードとの関係



写真一 鉄筋腐食状況写真例(コアNo.18近傍)

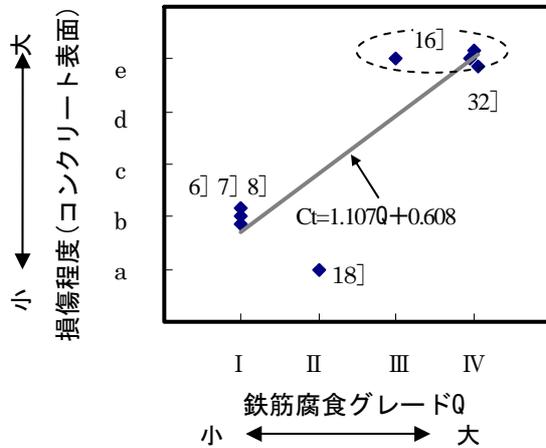


図-11 損傷程度と鉄筋腐食グレードとの関係

4.3 損傷程度と鉄筋腐食グレードとの関係

図-11 には、損傷程度と鉄筋腐食グレードとの関係を示した。大局的には損傷程度が大きくなると鉄筋腐食グレードも大きくなる傾向を示している。相関係数は+0.88である。

4.4 考察

18] のようにコンクリート表面に全くひび割れがなく損傷程度 a のものでも、実際のハツリ調査で鉄筋の腐食が進行している場合がある。このような場合には、コンクリート表面を目視観察するだけでは、鉄筋の腐食の進行を見逃し、ひび割れを発見した時には手遅れとなる場合も考えられる。

5. まとめ

厳しい塩化環境下にあるRC橋梁の維持管理における、目視点検の有効性について検討するため、青森県日本海

沿岸の橋台、橋脚を対象としてコンクリート表面のひび割れの発生状況調査を行った。さらに、一部の橋梁においてはコンクリート表面に近い鉄筋の腐食状況を目視により4段階にグレード(コンクリート標準示方書⁸⁾の評価方法)分けした。

ひび割れの発生状況については、橋梁点検要領(案)に基づく「損傷程度」による5段階評価と橋梁床版維持修繕要領(案)²⁾の格子密度法を使った「平均ひび割れ間隔」の2つの評価値を用いた。これらの調査結果と、既に調査していた(既報³⁾)コンクリート表面に近い鉄筋位置における塩化物イオン濃度を比較検討した。検討結果をまとめると次のようになる。

- (1) 表面にひび割れが見あたらなくても、鉄筋位置での塩化物イオン濃度が高く(2.44kg/m³)、鉄筋が腐食(腐食グレードII)しているものがあつた。これは目視点検の限界を示すものである。
- (2) しかし、ひび割れが広い間隔(平均ひび割れ間隔が1.0m以上)で発生しているものであれば、継続的に目視点検を行って、その増加の状況をチェックし続けられれば、予防保全に利用できる可能性がある(3)参照)。例えば、平均ひび割れ間隔が1.0mになったところで詳細点検を行い、保全処置の検討を行うなどの方法があり得る。
- (3) 「損傷程度」による5段階評価と「平均ひび割れ間隔」による評価の有用性を比較してみると、まず、(1)に述べたように、ひび割れが発生していないものはすべて最も健全なグループに評価されてしまうので、両者とも隠れた劣化の進行(塩分の浸透)に対する検知能力は無い。劣化の進展状況の評価能力という点では、劣悪な状況になる前における塩化物イオン濃度との相関係数は両者とも0.51と同じことからさして変わらない。ただ後者のほうが無段階評価なので頻繁な調査に対しては評価し易いかも示れない。なお、剥離したものについては損傷程度e、平均ひび割れ間隔0.5mとみなす等の修正が必要である。
- (4) コンクリート標準仕方書に基づく鉄筋腐食グレードと、その鉄筋と同じ深さにおける塩化物イオン濃度との間には相関(相関係数+0.91)があつた。
- (5) 「損傷程度」と「鉄筋腐食グレード」との間には相関があつた(相関係数+0.88)。つまり、大局的にはコンクリート表面の損傷が激しいほど、鉄筋の腐食も進んでいた。

付表-1 本調査におけるひび割れ調査結果と鉄筋位置での塩化物イオン濃度一覧表

コア No.	経年数 (年)	海岸線からの距離 (m)	塩害区分	平均ひび割れ間隔 (cm)	最大ひび割れに着目した程度	最小ひび割れに着目した程度	損傷程度の区分	鉄筋径 (mm)	最小鉄筋のかぶり (mm)	鉄筋位置での塩化物イオン濃度 (kg/m ³)	鉄筋腐食グレード
1	37	240	I	1.50	小	大	c	16	92	0.74	測定せず
2	19	240	I	ひび無し	損傷無し	損傷無し	a	16	92	0.70	測定せず
3	5	250	I	ひび無し	損傷無し	損傷無し	a	19	97	0.05	測定せず
4	4	50	S	ひび無し	損傷無し	損傷無し	a	22	109	0.04	測定せず
5	28	10	S	1.39	中	小	c	16	92	0.89	測定せず
6	6	15	S	2.25	小	小	b	13	94	0.36	I
7	6	15	S	1.50	小	小	b	13	94	0.19	I
8	6	10	S	2.57	小	小	b	13	94	0.29	I
9	47	210	I	0.67	小	小	b	9	85	0.09	測定せず
10	47	200	I	2.00	中	大	d	9	85	1.08	測定せず
11	32	100	S	1.29	中	大	d	13	64	0.36	測定せず
12	32	320	II	1.64	小	小	b	16	92	0.14	測定せず
13	30	40	S	1.39	中	小	c	19	91	0.08	測定せず
14	39	30	S	ひび無し	損傷無し	損傷無し	a	13	64	0.51	測定せず
15	39	30	S	ひび無し	損傷無し	損傷無し	a	13	64	0.93	測定せず
16	46	720	—	1.13→0.50	大	小	d→e	13	37	4.90	IV
16	46	720	—	1.13→0.50	大	小	d→e	13	37	4.90	III
16	46	720	—	1.13→0.50	大	小	d→e	13	37	4.90	IV
17	24	725	—	1.80	小	小	b	16	76	0.09	測定せず
18	21	45	S	3.00	損傷無し	損傷無し	a	13	94	2.44	II
19	33	50	S	0.43	大	大	e	13	94	1.84	測定せず
20	15	45	S	ひび無し	損傷無し	損傷無し	a	16	92	0.82	測定せず
21	26	110	I	ひび無し	損傷無し	損傷無し	a	16	76	0.86	測定せず
22	40	70	S	0.49	大	大	e	13	64	1.94	測定せず
23	26	280	I	1.29	中	小	c	13	79	0.22	測定せず
24	9	330	II	ひび無し	損傷無し	損傷無し	a	16	92	0.07	測定せず
25	33	200	I	ひび無し	損傷無し	損傷無し	a	13	64	1.38	測定せず
26	31	270	I	1.63	中	小	c	13	92	0.13	測定せず
27	19	90	S	ひび無し	損傷無し	損傷無し	a	19	91	0.82	測定せず
28	16	40	S	ひび無し	損傷無し	損傷無し	a	16	92	0.17	測定せず
29	31	85	S	0.35	大	大	e	16	62	5.17	測定せず
30	31	200	I	1.39	小	大	c	16	62	1.35	測定せず
31	32	40	S	0.41	大	大	e	16	62	6.54	測定せず
32	32	140	I	0.44	大	大	e	16	45	3.17	IV

注：図中の矢印の左側は剥離を無視した場合の値、右側は剥離を考慮した場合。

参考文献

- 国土交通省 国道・防災課、橋梁定期点検要領(案) 2004.
- 建設省 東北地方建設局：橋梁床版維持修繕要領(案) 1983.
- 藤田弘昭, 上原子晶久, 津村浩三, 石澤徹：青森県日本沿岸におけるRC橋梁の塩害に関する調査土：木学会論文集 E, Vol.62, No.2, 330-340, 2006.5.
- 堤 知明, 白井伸一, 安田 登, 松島 学：塩害劣化に関する影響要因の実データに基づく定量評価, 土木学会論文集, No.544/V-32, pp.33-41, 1996.8
- 河野宏隆, 田中良樹, 木村哲士：塩害を受けたPC橋の耐荷力評価に関する研究 (III), 土木研究所資料, 第3810号, 2001.3.
- 横田 優, 佐々木孝彦, 飯島 亨, 松島 学：塩害により鉄筋が腐食したコンクリートの劣化予測, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.26, No.1, pp.1041-1046, 2004.
- 日本道路協会：道路橋示方書・同解説IV, 下部構造編, 2002.
- 土木学会：コンクリート標準示方書[維持管理編]2001年制定, 2001.

(2007年1月15日受付)