

塩害を受けた撤去桁の詳細調査

新潟大学院 学生会員 平野康也
新潟大学 正会員 佐伯竜彦
新潟大学 正会員 斎藤豪

1. はじめに

現在、高度経済成長期に建設されたインフラの老朽化が急速に進んでおり、特に日本海側沿岸の橋梁は、冬期の季節風に伴う飛来塩分の影響により、塩害による劣化が深刻化している。今後、限られた予算、人員で膨大な量の橋梁の維持管理する必要があり、効果的、効率的な維持管理が求められている。そのためには、これまで以上に詳細な劣化状況の把握、劣化進行予測が重要である。

しかしながら、劣化進行予測についての既往の研究の多くは、室内実験によるものであり、作製した供試体を劣化促進させることによって得られたデータがその大半である。実構造物は、施工等の影響で構造物全体が均一とは限らず、また、局所的環境も均一でないことから、劣化状況は部位によって異なる。このため、小型の供試体を使用した実験だけでは、実構造物の劣化進行を評価することは難しい。

また、塩害劣化した実橋梁を調査・研究対象とした例は多いものの、供用中の橋梁では、破壊試験が行えない等、調査手法が限定される。また、撤去後の部材を詳細に調査した事例はあるもののその数は少ない。

そこで本研究は、実構造物における劣化状況の詳細な知見を得ることを目的として、新潟県沿岸で40年以上使用され、撤去された歌高架橋（新潟県糸魚川市）のPC桁を研究対象とし、外観調査、非破壊試験、破壊試験を行った。また、各種試験結果の相関、桁の部位による劣化の程度の違いやその原因について考察した。

2. 調査対象

(1) 調査対象

歌高架橋は、1975年架橋の全32径間6主桁のPCT桁橋である。塩害環境の厳しい日本海沿岸に位置しており、2017年～2019年で撤去が行われている。

(2) 調査範囲

2017年度までに撤去が終了した桁のうち、径間P4-5（図-1参照）の一部を調査対象とした。具体的には、山側下フランジ側面に多くの損傷が見られたG4桁の海側、山側の塗膜を除去した2.7m×1.5mを調査対象とした。（図-2参照）。

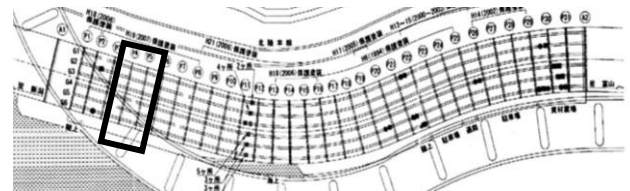
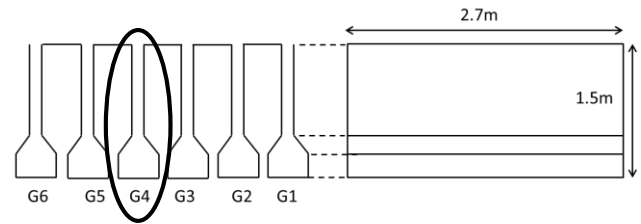


図-1 歌高架橋全径間図



←海側

図-2 調査範囲

3. 調査概要

(1) 外観調査・打音調査

外観調査は、表面塗膜を剥がした後、近接目視により行った。

測定間隔を15cmとし、ハンマーによる打音を聴音することによってコンクリート表面の健全性を評価した。

(2) 自然電位

自然電位計測は、JSCE-E601-2012 コンクリート構造物における自然電位測定法に準拠し、銀塩化銀電極を照合電極として用いて行った。鉄筋位置上の30cm間隔、海側、山側それぞれ32点で測定を行い、測定値は式(1)により銅硫酸銅電極(CSE)の値に計算し、分布図を作成した。腐食評価は、ASTM C 876腐食の評価基準に従った¹⁾²⁾。

$$CSE = SSE - 120.1 - 2.00 \cdot (t - 25) \quad (1)$$

ここに、

CSE：銅硫酸銅電極換算の電位(mV)

SSE：塩化銀電極測定値の電位(mV)

t：温度(°C)

(3) 分極抵抗

分極抵抗測定は、Giatec社製、非破壊型腐食探査機iCORを用いて行った。鉄筋位置上の30cm間隔、海側、山側それぞれ32点で測定を行い、腐食速度の分布図を作成した。

(4) 塩分浸透量

試料の採取は、JIS A 1154 附属書 A 硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオン分析用試料の採取方

法に準拠し行った。コンクリートコアの直径は65mmで表面から5mmごとに分析試料とした。全塩分量の測定は、硝酸銀溶液の電位差滴定により行った。

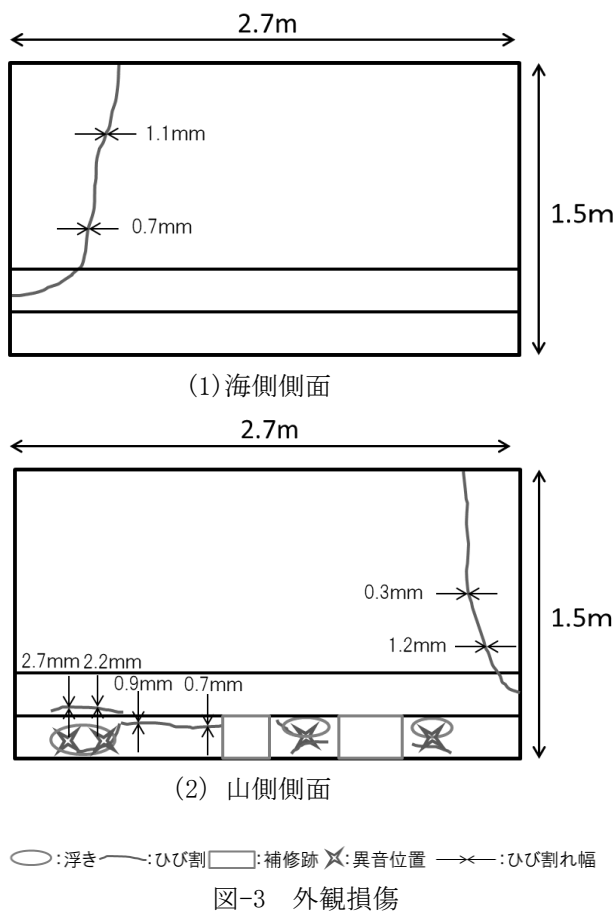
(5) 圧縮強度試験

圧縮強度試験は、JIS A 1107 コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法に準拠し行った。ただし、鉄筋を避けてコアを採取するためコア直径は65mmとした。

4. 調査結果と考察

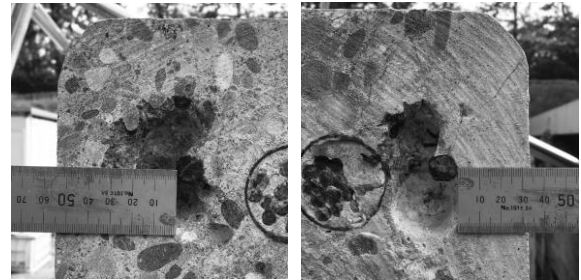
(1) 外観調査・打音調査結果

外観損傷図を図-3に示す。山側下フランジ側面に損傷が集中しており、打音調査の異音位置は、浮きの位置と一致する結果となった。



海側・山側下フランジ側面においてかぶりを測定したところ、海側が55mm、山側が35mmであった。道路橋示方書の塩害対策によると、塩害対策区分がSの地域の鉄筋かぶりは70mm以上とされており、海側・山側ともにかぶりを満たしておらず、特に山側側面のかぶりは大幅に基準を下回っている。そのため、下フランジ山側側面において多くの劣化が発生したと考えられる。しかし、架橋時の1975年時の道路橋示方書では、「塩分等の作用を受ける桁の最小かぶりは35mm」とされており当時の基準で

は、塩害に対して耐久性を確保できないことが確認された³⁾。

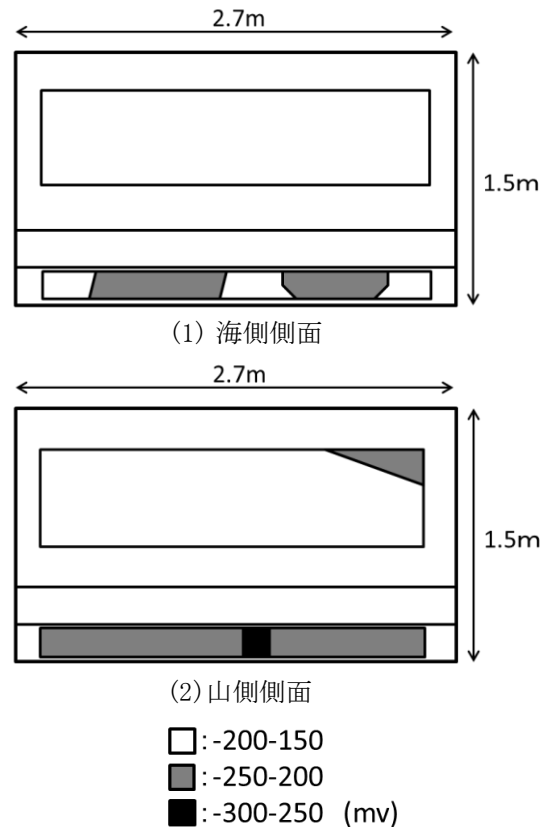


(1)海側 (2)山側
写真1 下フランジ部かぶり

(2) 自然電位の分布

自然電位の分布を図-4に示す。海側側面は、ウェブ部分は90%以上の確率で腐食可能性なしという結果となった。下フランジ側面については一部、腐食可能性が不確定という結果となった。

山側側面は、ウェブ部分は90%以上の確率で腐食可能性なしという結果となった。下フランジは、全面が腐食可能性が不確定という結果となり、他の部位と比べて電位が卑となっており、外観調査の劣化位置と定性的には一致した。



(3) 腐食速度の分布

分極抵抗から計算した腐食速度の分布を図-5に示す。海側側面は、ウェブの一部分で腐食速度が中程度を示した。山側側面では、損傷があった下フランジ側面が腐食速度が中程度を示した。

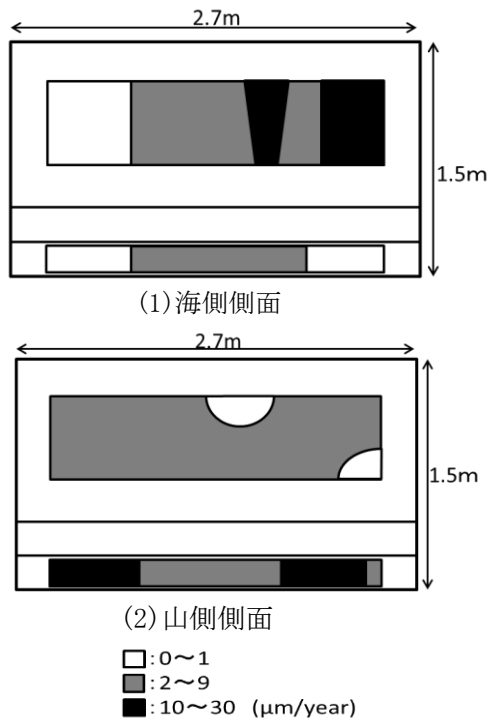


図-5 腐食速度の分布

(4) 塩分浸透量

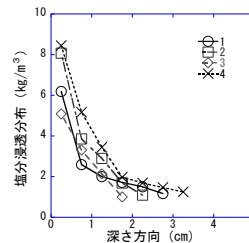
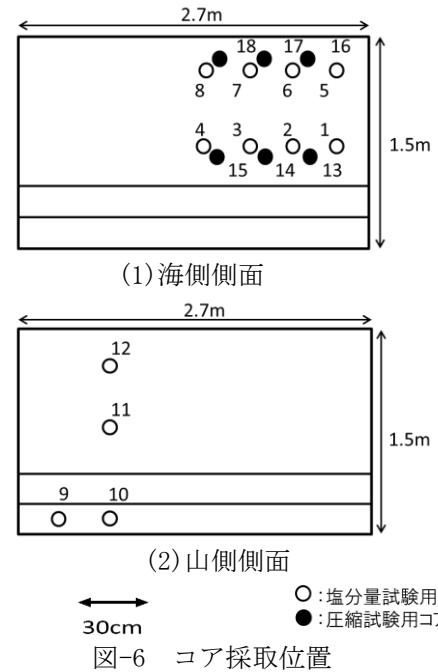
塩分浸透量調査は、先行して行った外観調査、打音調査、自然電位計測、分極抵抗計測から採取位置を決めた。海側側面は、ウェブの一部において分極抵抗計測による腐食速度の違いが見られたためその範囲での塩分浸透量の差を検討するため、30cmおきに採取位置を決めた。山側側面は、下フランジ側面において劣化が生じており、劣化が見られないウェブ部分との比較をするため採取位置を定めた。

コア採取位置とコア番号を図-6 に示す。また、各位置の塩化物イオン濃度分布を図-7 に示す。

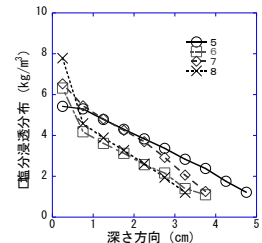
同一部材中でも部位によって塩分浸透分布に大きな差が生じている。山側下フランジ側面では、中性化の影響と考えられる塩分の濃縮がみられ、ウェブ部分よりも塩分が多く浸透していた。また、海側ウェブにおいて、下側の1~4と上側の5~8を比較すると上側の方が内部まで塩分が浸透しており、拡散係数が大きい塩分浸透の分布形状となっている。

海側ウェブの塩分浸透分布を回帰した結果を積分して、塩分浸透量を算出した。図-8 に結果を示す。上側の5~8の塩分浸透量が多い結果となった。塩分浸透量と自然電位との関係を図-9 に示す。ばらつきはあるが、塩分浸透量が多いほど電位が卑になる傾向があることが確認できた。さらに、塩分浸透量と分極抵抗から求めた腐食速度の関係を図-10 に示す。塩分浸透量の多いウェブ上部は腐食速度が大きい、ウェブ下部は明確な相関は見られなかった。

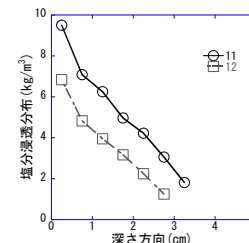
今後、かぶりコンクリートをはつり、鉄筋を露出させて、腐食状態を直接確認する予定である。



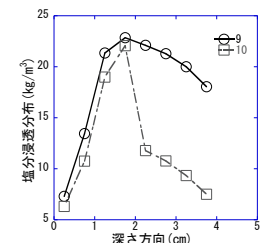
(1) 海側ウェブ 1~4



(2) 海側ウェブ 5~8



(3) 山側ウェブ



(4) 山側下フランジ側面

図-7 塩化物イオン濃度分布

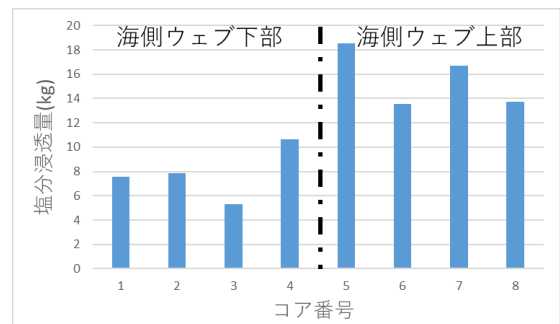


図-8 海側ウェブの塩分浸透量

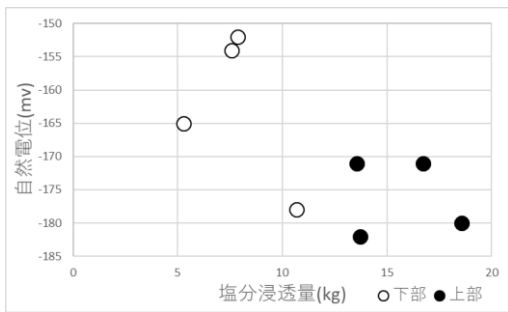


図-9 海側ウェブにおける塩分浸透量と自然電位の関係

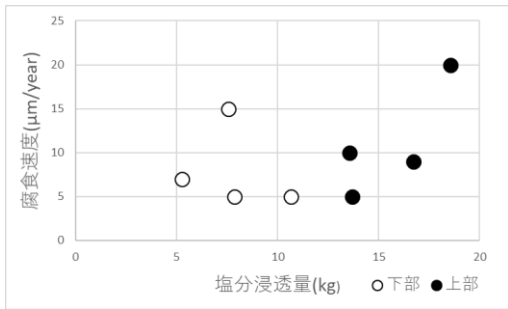


図-10 海側ウェブにおける塩分浸透量と腐食速度の関係

海側ウェブ部分の上側と下側の塩分浸透量の違いの原因の検討をするためコアを上側、下側からそれぞれ採取し、圧縮強度試験を行った。圧縮強度試験の結果を図-11に示す。なお、コア採取位置は図-6に示す通りである。塩分浸透量が少なかったコア番号13~15の下側の圧縮強度が高く、塩分浸透量の多かったコア番号16~18の上側の圧縮強度が低いことが確認できる。

部材による塩分浸透量の違いは、塩分付着量の違いとコンクリートの塩分拡散係数の違いが原因として考えられるが、海側ウェブについては、コンクリートの品質の違いが一つの原因であると考えられる。また上部のコンクリート強度が低いのは、ブリーディングの影響と考えられる。

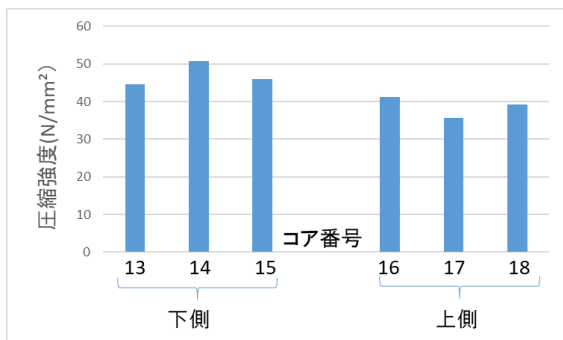


図-11 海側ウェブの圧縮強度

5. まとめ

本研究では、塩害を受けて劣化し撤去された桁の詳細調査を行った。

今回の詳細調査の範囲(P4-5 径間の G4 桁)においては、山側下フランジ側面で、外観損傷が多くみら

れ、打音調査でも異音が確認された。これは、かぶり比其他の部位よりも薄いことが原因と考えられた。さらに、この部位では、塩化物イオンが他の部位よりも多く浸透していることも確認された。

また、海側ウェブの上部と下部の塩分浸透量と塩分浸透分布の形状が大きく異なっていた、この部位について圧縮強度を確認したところ、下部に比べて上部の強度が低くなっており、ブリーディングによる空隙構造の緻密さの違いが影響したものと考えられる。

また、外観調査と打音調査の結果は良く一致しており、ひび割れや浮きなど、加速期以降の変状・損傷の確認・評価にはこれらの調査手法が有効であることが確認できる。

一方で、進展期以前の評価に有効と考えられる塩分浸透量と自然電位計測と分極抵抗計測との関係については、一部に相関は見られるものの、全体としての相関は高くなかった。電気化学的計測は、気温や対象構造物の乾湿に大きく左右されるため、これらの影響を考慮した評価が必要であると考えられる。

今後、はつり調査を行い、鋼材腐食の有無の確認を行う予定であり、電気化学的測定値との関連性については今後の課題としたい。

今回の調査では、同一部材内でも部位によって塩分浸透量が異なることが確認された。このことから、調査において選定した部位がその構造物の部材を代表しているか慎重に検討する必要があることがわかった。今後、他の構造物についても調査を行い、データの蓄積を行うことで適切な調査部位の選定方法などについて検討する予定である。

謝辞

本研究は、新潟県建設技術センターの研究助成を受けて行ったものであり、調査にあたっては、国土交通省北陸地方整備局高田河川国道事務所のご協力いただきました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 篠田 吉央, 望月 紀保: 鉄筋自然電位の測定温度に伴う照合電極間の電位換算について, 土木学会第66回年次学術講演会, 2011
- 2) 土木学会: 2012年制定コンクリート標準示方書[規準編], 2012
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説IIIコンクリート橋編およびIV下部工編, 2017
- 4) 橋梁塩害対策検討委員会: 塩害橋梁維持管理マニュアル(案), 2008
- 5) 土木学会: 2012年制定コンクリート標準示方書[維持管理編], 2012
- 6) 中村英祐, 渡辺博志, 古賀裕久, 中村雅之, 井川一弘: 塩害環境下にあるコンクリート構造物への自然電位法の適用に関する研究, 土木学会論文集 Vol. 64, No. 1, 263-275, 2008