

塩害を受けたプレストレストコンクリート桁の鋼材腐食量調査

長岡工業高等専門学校 阿部美里
長岡工業高等専門学校専攻科 学生会員 高野莉杏
長岡工業高等専門学校 正会員 井林 康

1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート構造物の劣化の進行が数多く確認されるようになり、高度経済成長期に整備された構造物に関しては供用から 50 年を超えるものも多い。このような構造物は今後さらに増大することが見込まれ、維持管理手法の確立が急務である。特に新潟県の日本海沿岸など、沿岸部に設置された多数の鉄筋コンクリート構造物においては、塩害による劣化が深刻化している。

塩害を受けたプレストレストコンクリート(PC)橋は、コンクリート面にひび割れや錆汁、剥離などの損傷が現れるが、これらの損傷と内部鋼材の腐食状況との関係について、これまで研究された事例は少ない。そのため、定期点検などで損傷が発見された場合、詳細調査の段階で浸透塩分量調査やはつり調査が実施され、損傷の進行度と補修・補強の要否などが診断されることになるが、外観と内部鋼材の腐食欠損量の関係が分かれば、耐荷力低下の推定が容易になり、今後の管理に役立てられるものと考えられる。

本研究は、塩害を受けて撤去されたポストテンション式 PCT 桁を活用して、損傷を受けた外観と内部鋼材の腐食状況を把握し、関係性についての考察を行った。

2. 対象橋梁の概要

対象橋梁は、新潟県糸魚川市に位置し道路橋として供用されていたもので、橋長 110.0m、支間長 26.75m、幅員 9.0m の 4 径間単純ポストテンション方式 PCT 桁橋で構成される橋梁である。1970 年(昭和 45 年)に竣工し供用されてきたが、2017 年(平成 29 年)に行った定期点検の結果などから、塩害による外観の損傷状況を踏まえ 2021 年(令和 3 年)に撤去を行った。対象橋梁の概要を Figure.1 に示す。対象橋梁は目前に海岸がある場所に位置していたことや、冬季季節風により海から多くの塩分が飛来するなど過酷な塩害環境で供用されていた。そのため、今回撤去に至った主な損傷原因として、海からの飛来塩分による塩害が挙げられる。

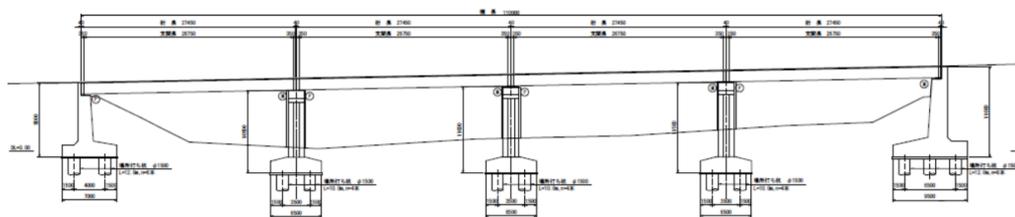


Figure.1 Overview of the target bridge

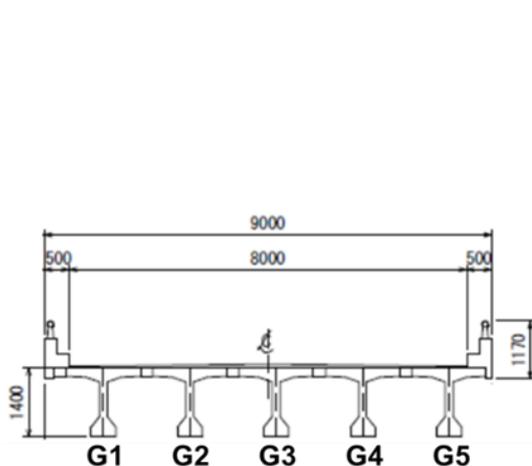


Figure.2 Cross-section of the bridge

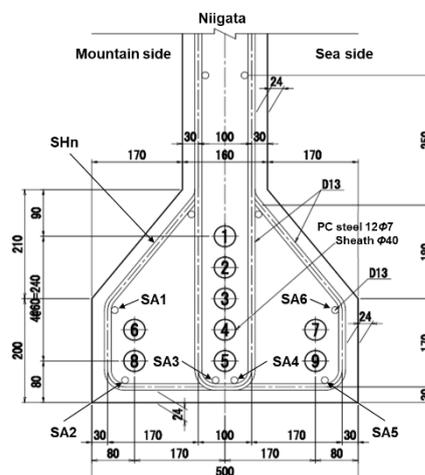


Figure.3 Cross-section of the girder

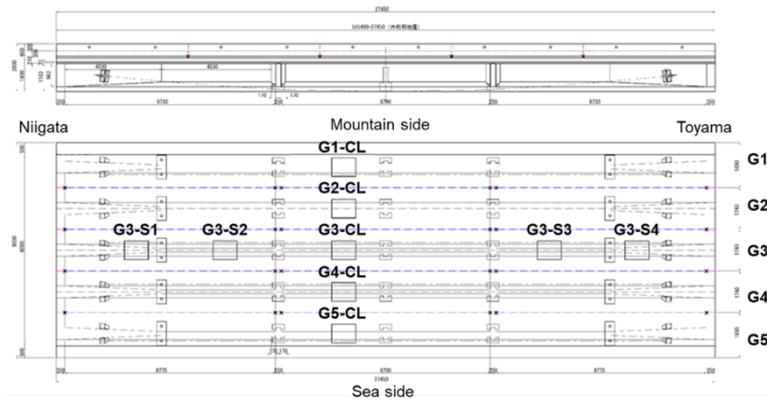


Figure.4 Sampling point of girder

3. 試験体概要

対象橋梁は現地で切断し、約 1m の長さ合計 9 箇所桁を切り出した。その後長岡技術科学大学へ運搬し、桁の下フランジ内の鉄筋・PC 鋼材をはつり出した。本研究では、対象橋梁の第 3 径間の鉄筋・PC 鋼材を主な研究対象として調査を行った。PC 鋼材は、1 シースあたり 12 本入っており、そこに PC 鋼材の付着、防食のためグラウトが充填されていた。腐食量調査を行う上で錆除去試験を実施した試験体は、目視で腐食を確認できたもの、広範囲にわたって変色していたものに限る。詳細な試験体概要を Figure.2, Figure.3, Figure.4 に示す。

4. 実験方法

はつり作業で取り出した鉄筋・PC 鋼材を 10% クエン酸アンモニウム溶液に 24 時間浸透させ、錆を除去した後、質量、長さの測定を行った。鉄筋・PC 鋼材の規格値を健全状態として錆除去後の試験体と比較することで腐食率を算出した。なお、質量減少量は以下の式より算出した。求めた腐食率と桁の外観損傷を比較することで関係性の調査を行った。

$$C = \frac{\Delta W}{W} \times 100\%$$

C : 質量減少率 W : 腐食前の質量 (規格値)
 ΔW : 腐食後の質量

5. 実験結果

5.1 鉄筋の腐食について

採取した各桁の軸方向鉄筋(SA1~6)、スターラップ (SH1~4)について腐食量調査から得られた結果を Table.1 に示す。

Table1 で多くみられる軸方向鉄筋 SA5 および SA6 は、Figure.3 で示した桁断面図を見てわかる通り海側に配筋されていたものである。桁の海側は山側に

比べ、海からの飛来塩分がコンクリート表面に付着しやすいため、ひび割れなどから塩分が侵入することが予想される。そのため、海側の軸方向鉄筋であ

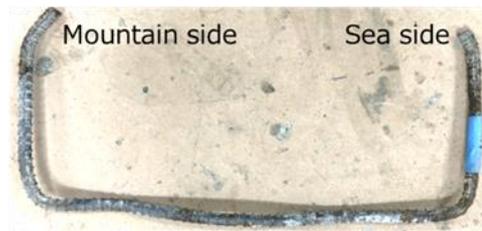


Figure.5 G3-S3 stirrup SH3

る SA5 および SA6 が腐食している傾向にあると考えられる。海側であっても G5-CL のように外側の桁の場合、雨水によって飛来塩分が洗い流され、鉄筋の腐食は起こりにくくなると考えられる。

Table.1 で多くみられるスターラップは、軸方向鉄筋に巻き付けるように配筋されたものである。腐食量調査の結果、スターラップについても軸方向鉄筋と同様、海側の部分が腐食している傾向にあることが判明した。Figure.5 に採取箇所 G3-S3 のスターラップ SH3 を示す。

5.2 PC 鋼材の腐食について

Table.2 は、採取した各桁の PC 鋼材について腐食量調査から得られた結果を示したものであるが、Table.2 に示した試験体はグラウト充填率が低く鋼材が腐食していた試験体、グラウトは充填されているがシースが腐食していたためにはつり作業中にグラウトが砕けてしまった試験体がほとんどであった。また、Table.2 の Max は 1 シースあたり 12 本入っている PC 鋼材のうち、最も腐食率が高かった試験体の数値である。Table.2 を見ると、PC 鋼材に関してはほとんど腐食しておらず、最大でも G3-S2 地点の PC2 試験体で約 20% 程度の腐食であった。

PC 鋼材の腐食はほとんど進行していなかったが、シースの腐食は多く確認された。シースの腐食を配置ごとにまとめたグラフを Figure.6 に示す。腐食の段階は大, 中, 小の 3 段階に分けた。Figure.6 を見ると、海側に配置されている PC7, PC9 でシースが腐食している傾向にあるのが分かる。シースの腐食も鉄筋同様、桁の海側は山側に比べ、海からの飛来塩分がコンクリート表面に付着しやすいため、微細なひび割れなどから塩分が侵入し腐食につながったことが要因として挙げられる。また、軸方向鉄筋、スターラップはシースより外側に配筋されていることから、軸方向鉄筋、スターラップが先に腐食し、そこからシースの腐食へつながったことも要因として考えられる。

PC2 試験体はグラウトの充填率が著しく低く、PC2 のシースの腐食が確認された場所は G3-S1, G3-S2, G3-S3 であり、いずれも G3 桁であった。こ

Table.1 Results of rebar corrosion survey

Sampling point	Specimens name	Length (m)	Quantity	Weight (kg)	Corrosion rate (%)
—	Standard	1.000	1	0.995	—
G1-CL	SA5	1.020	1	0.977	3.7
	SA6	1.019	1	1.009	0.5
	SH1	0.702	1	0.638	8.7
	SH2	0.842	1	0.835	0.3
	SH3	0.869	1	0.817	5.5
G2-CL	SH4	0.761	1	0.726	4.1
	SH3	0.743	1	0.712	3.7
	SA5	1.020	1	0.704	30.6
	SA6	1.019	1	0.808	20.3
G3-CL	SH1	0.917	1	0.866	5.1
	SH2	0.823	1	0.729	11.0
	SH3	0.845	1	0.781	7.1
	SH4	0.949	1	0.872	7.7
G4-CL	SH3	0.768	1	0.751	1.7
	SH1	0.826	1	0.813	1.0
G5-CL	SH2	0.900	1	0.878	2.0
	SH3	0.770	1	0.750	2.1
G3-S1	SA5	1.135	1	1.010	10.6
	SA6	1.135	1	1.108	1.9
	SH1	0.805	1	0.780	2.6
	SH2	0.785	1	0.729	6.7
	SH3	0.773	1	0.709	7.8
G3-S2	SH4	0.792	1	0.731	7.2
	SH2	0.799	1	0.797	0.3
	SH3	0.811	1	0.776	3.8
	SA1	1.165	1	1.154	0.6
G3-S3	SA5	1.190	1	0.970	18.1
	SA6	1.120	1	1.104	1.0
	SH1	0.845	1	0.813	3.3
	SH2	0.820	1	0.782	4.2
	SH3	0.820	1	0.716	12.3
G3-S4	SH1	0.825	1	0.786	4.3

Table.2 Results of PC steel corrosion survey

Sampling point	Specimens name	Length (m)	Quantity	Weight (kg)	Corrosion rate (%)
—	Standard	1.000	1	0.302	—
G3-CL	PC7	0.940	12	3.323	2.5
	PC7-Max	0.940	1	0.274	3.5
	PC9	0.935	12	3.271	3.5
	PC9-Max	0.935	1	0.263	6.9
G3-S1	PC2	1.200	12	4.187	3.7
	PC2-Max	1.200	1	0.334	7.8
G3-S2	PC2	1.045	12	3.393	10.4
	PC2-Max	1.045	1	0.253	19.8
	PC5	0.942	12	3.300	3.3
	PC5-Max	0.942	1	0.265	6.8
G3-S3	PC2	1.050	12	3.645	4.6
	PC2-Max	1.050	1	0.295	7.1

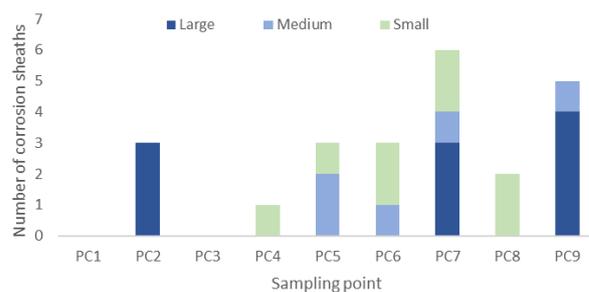


Figure.6 Corrosion condition of sheath

の原因として、PC2 の上縁定着部がグラウト未充填の傾向にあったということが考えられる。上縁定着部はグラウトが未充填になる傾向にある²⁾ため、この G3 桁でも同じ傾向がみられ、未充填箇所には水分が侵入し PC 鋼材およびシースの腐食へつながったと考えられる。

5.3 外観の損傷と内部鉄筋・鋼材の比較

桁採取箇所の中でも、特に外観の損傷が激しかった G3-S3 桁と上縁定着部である G3-S2 桁について外観と内部鉄筋・鋼材の関係性を考察する。

Figure.7 に G3-S3 桁の海側の外観損傷写真を示す。G3-S3 桁は軸方向鉄筋 SA5 で腐食率 18.3%，スターラップ SH3 で 12.3%(Figure.5)と、ある程度の腐食が確認されており、軸方向鉄筋 SA5 は、桁の外観損傷がみられる海側に配筋され、スターラップ SH3 も海側が腐食していた。よって外観の損傷と内部の腐食には相互関係があることが示唆される。

続いて G3-S2 桁について考察する。G3-S2 桁は鉄筋の腐食はほとんど確認されなかったのにも関わらず、PC 鋼材の腐食が PC2 試験体で 19.8%と最も高い値となった。これは先述した通り、上縁定着部であることによるグラウト充填不足の影響で生じた腐食だと考えられる。

Figure.8 に採取箇所ごとのシースと鉄筋腐食率についてのグラフを、Figure.9 に採取箇所ごとのシースと PC 鋼材腐食率についてのグラフを示す。これ

らのグラフの G3-CL 桁に注目すると鉄筋の腐食率は高い値を示しているのに対し、PC 鋼材の腐食率は低い値を示している。対して、G3-S2 桁に注目すると鉄筋の腐食率は低い値を示しているのに対し、PC 鋼材の腐食率は高い値を示している。この状況と外観損傷を考慮すると、G3-S3 桁のように飛来塩分により海側に配筋されている鉄筋が腐食し、内部・外部が腐食する場合と G3-S2 桁のようにグラウト充填不足により内部が腐食する場合の 2 種類の損傷プロセスがあることが示唆された。

6. まとめ

本研究では、塩害を受けて撤去されたポストテンション式 PCT 桁の第 3 径間を対象として腐食量調査を行った。調査の結果、落橋につながるような内部鋼材の腐食は確認されなかったが、飛来塩分により海側に配筋されている鉄筋が腐食し、内部・外部が腐食する場合と上縁定着部のグラウト充填不足により内部が腐食する場合の 2 種類の損傷プロセスがあることが推測された。

本研究では対象橋梁の第 3 径間について調査したが、今後第 3 径間以外の調査結果を蓄積させることによって、より確かな傾向をつかむことができると期待される。



Figure.7 G3-S3 sea side

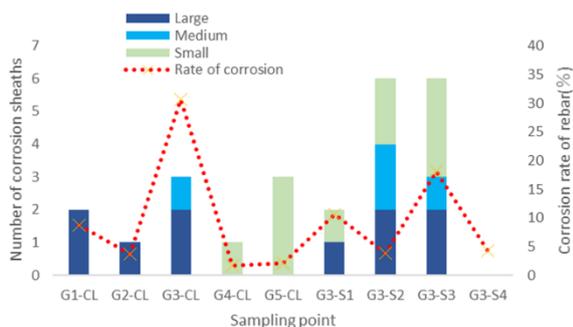


Figure.8 Relationship of rebar corrosion rate

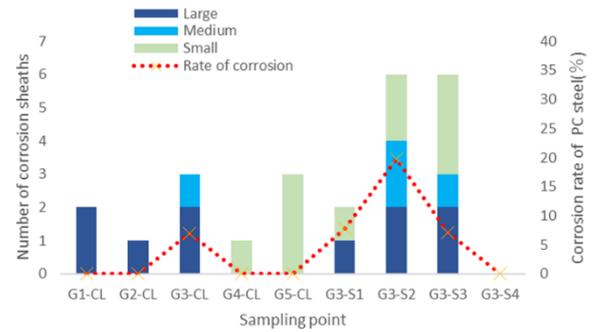


Figure.9 Relationship of PC steel corrosion rate

参考文献

- 1) 村上祐貴, 他, “塩害により損傷を受けた実橋プレテンション PC 桁の耐荷性状”, 日本コンクリート工学会, 33 巻, 1 号, pp.844(2011).
- 2) 石田雅博, 他, “撤去橋梁を用いた既設 PC 橋の診断技術高度化に関する共同研究報告書—既設 PC 橋のグラウト充填に着目した解体調査”, 土木研究所構造物メンテナンス研究センター, プレストレスト・コンクリート建設業協会, 共同研究報告書第 488 号(2016).