

凍結防止剤使用環境の既設 PC 道路橋における PC 鋼線の腐食性状

Corrosion of PC Cables of Existing PC Road Bridges due to Anti-freezing Agent

森 川 英 典

Hidenori Morikawa

白 川 祐 太

Yuta Shirakawa

1. はじめに

凍結防止剤使用環境下における PC 橋は現在多数供用されている。特に、ポストテンション方式の PC 橋において、ブリーディングや先流れ等によりグラウト充填不良部が発生している事例が多数存在する¹⁾。また、床版防水が施工されていない橋梁において、凍結防止剤が定着部からシース内に侵入することが懸念される。そのような厳しい塩害環境における実橋梁の PC 鋼線の劣化性状を詳細に把握できていないのが現状である。本論文では、凍結防止剤使用環境下における実橋梁の PC 鋼線の劣化性状を確認することを目的に詳細調査、削孔調査を実施し、その調査結果から PC 鋼線の劣化状況を確認した。そこで、本論文ではその 2 橋の削孔調査を基に PC 鋼線の劣化状況について整理した内容を用いて劣化性状の検討を行う。

2. PC 鋼線劣化調査対象橋梁の概要

詳細調査を行った対象橋梁は兵庫県内の県道として兵庫県中部地域で現在も供用されている PC 単純ポストテンション T 桁橋の M 橋および B 橋である。以下に各橋梁の概要について示す。

2.1 M 橋の概要

M 橋の橋梁諸元を表-1 に、概観を写真-1 に、概略図を図-1 にそれぞれ示す。本橋梁は昭和 37 年に兵庫県の中部地域で供用され、鳥取と佐用町間の橋梁であり、現在も供用中である。桁の名称は、鳥取行き車線側の桁を G1,G2,G3 とし、佐用町行き車線側の桁を G4,G5,G6 とする。本橋梁は、冬季期間において凍結防止剤を散布しており、厳しい塩害環境である。また、全ての桁においてひびわれや白色析出物が確認できる。特に G6 桁では主桁下面やケーブル沿いにひびわれや白色析出物が発生しており、外観変状の劣化が厳しい。そのため、PC 鋼線劣化詳細調査は、主に G6 桁を対象として実施し、他主桁の劣化状況確認として G1 桁に対しても実施している。

2.2 B 橋の概要

B 橋の概略図を図-2 に、橋梁諸元を表-2 に、概観を写真-2 にそれぞれ示す。本橋梁は昭和 37 年に兵庫県の中部地域で供用され、M 橋と隣接し鳥取と佐用町間の橋梁であり、現在も供用中である。桁の名

表-1 M 橋諸元

橋梁名称	M 橋
橋梁形式	PC 単純ポストテンション T 桁橋
位置	兵庫県中部地域
竣工年月	昭和 37 年 4 月
調査時橋齢	48 年
主桁本数	6 主桁
支間長	23.25m
設計荷重	T-20
引張側鋼材	12φ7mm 6 本

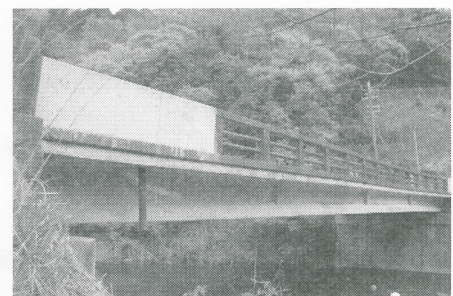


写真-1 M 橋外観

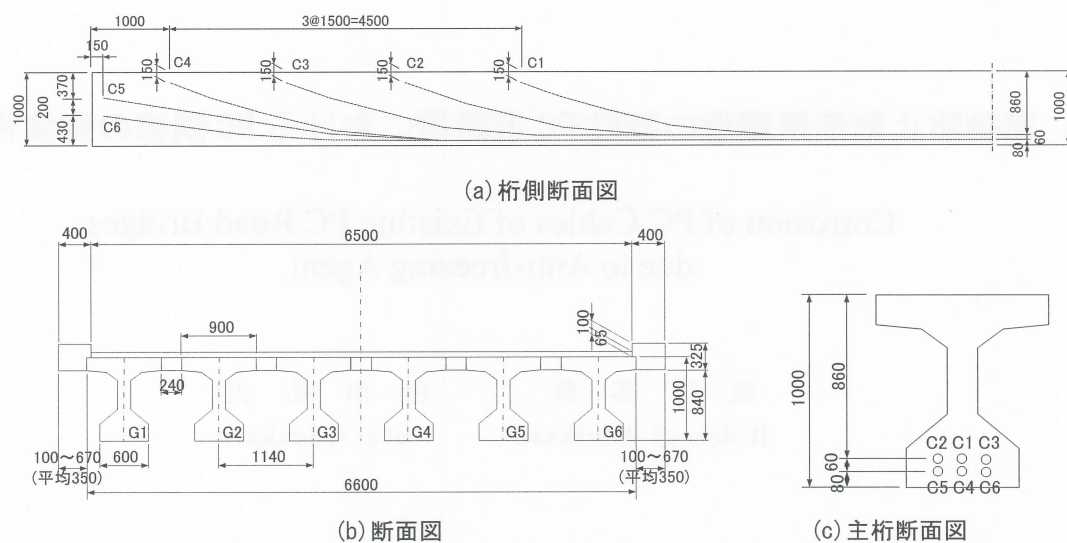


図-1 M 橋の概略図

称は、鳥取行き車線側の桁を G1,G2,G3 とし、佐用町行き車線側の桁を G4,G5 とする。本橋梁は、M 橋と同様に、冬季期間において凍結防止剤を散布しており、厳しい塩害環境である。また、M 橋と異なり、G5 のみが桁下面においてひび割れや白色析出物の発生が確認され、その他の桁には劣化がほとんど見られなかった。そのため、PC 鋼線劣化詳細調査は、G5 桁を対象として実施した。

3. PC 鋼線劣化詳細調査内容および方法

PC 鋼線劣化は、図-3 のフローの方法で削孔調査により確認を行った。まず、予備削孔は、図-4 (M 橋) と図-5 (B 橋) のように A1 側、A2 側のウェブのケーブル位置の上側および下側に対して実施した。予備削孔により、シース内の温度と湿度の測定、シース内滞水の水溶液の塩化物イオン濃度の測定を実施する。コア削孔により、グラウト充填状況の

表-2 B 橋諸元

橋梁名称	B 橋
橋梁形式	PC 単純ポストテンション T 桁橋
位置	兵庫県中部地域
竣工年月	昭和37年4月
調査時橋齢	48年
主桁本数	5主桁
支間長	19m
設計荷重	T-20
引張側鋼材	12 ϕ 5mm 9本



写真-2 B 橋外観

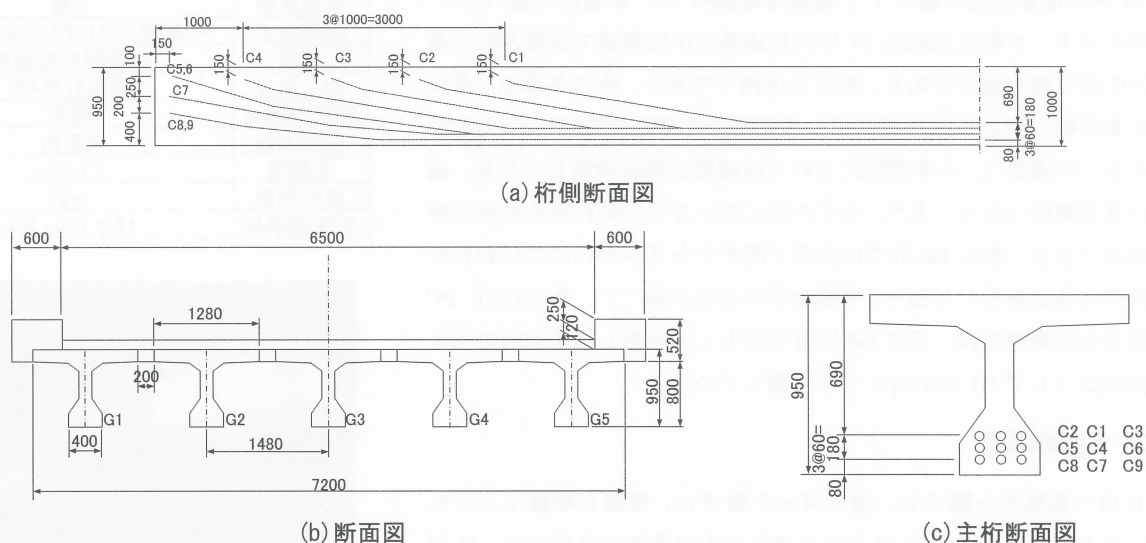


図-2 B 橋の概略図

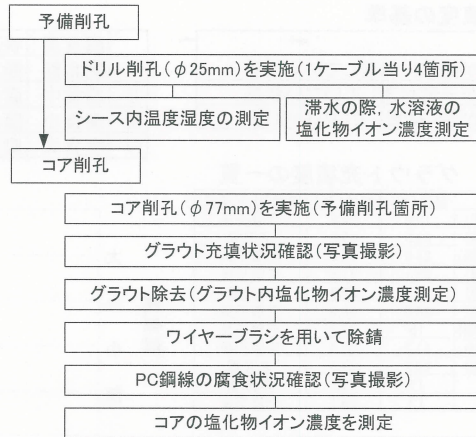


図-3 PC鋼線劣化調査フロー

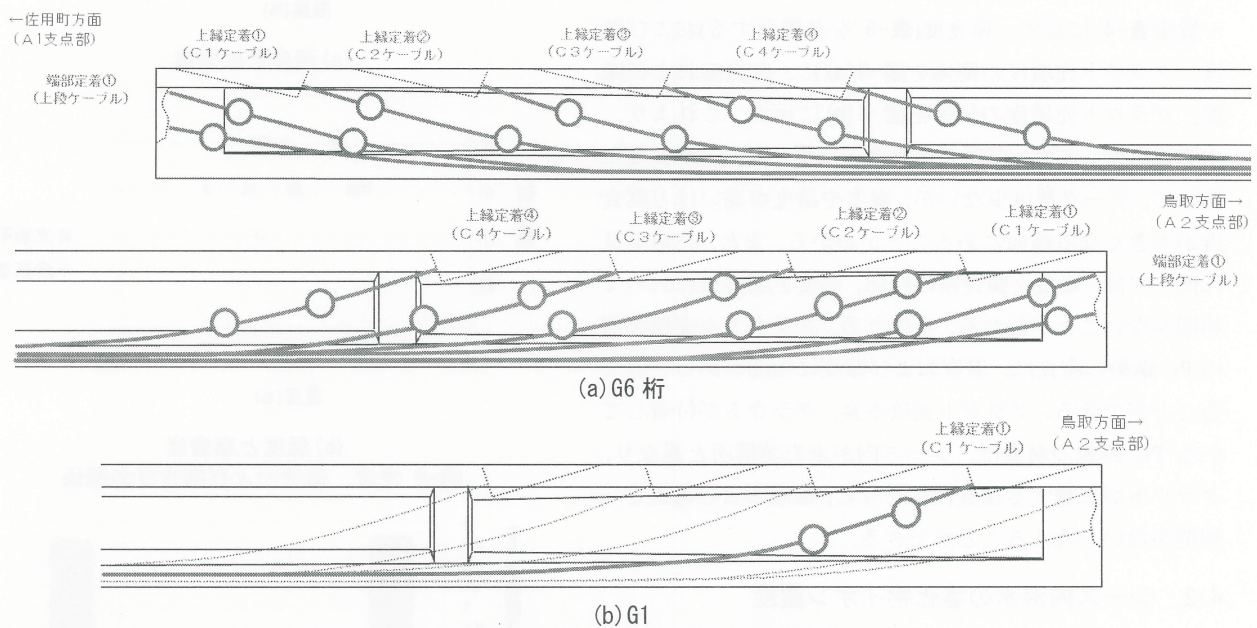


図-4 M橋の予備削孔およびコア削孔位置

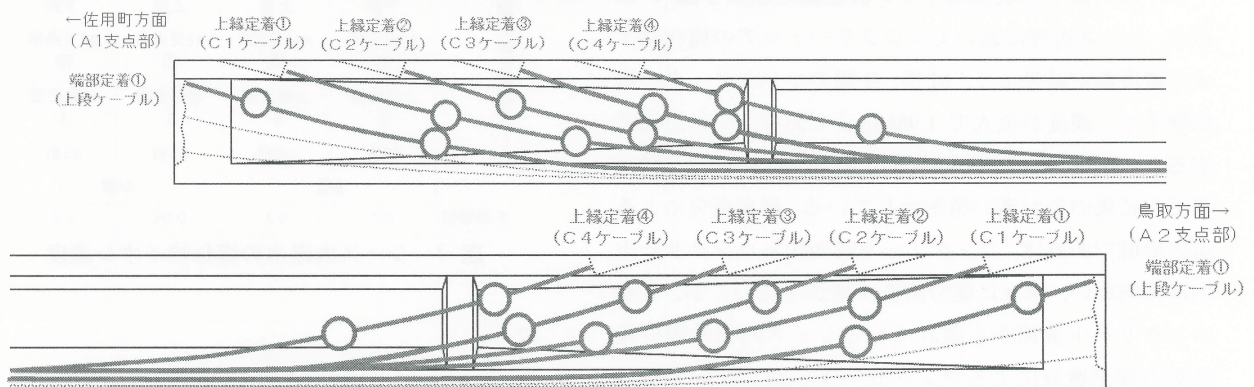


図-5 B橋 (G5 桁) の予備削孔およびコア削孔位置

確認、グラウト塩化物イオン濃度の測定、PC鋼線の腐食状況を確認する。

4. PC鋼線劣化調査結果

4.1 シース内温度および湿度

ここでは表-3のグラウト充填度を基準とする。ただし、グラウト未充填は、以下4.4節で述べるグラウトパターン7,8

表-3 グラウト充填度の基準

充填度	状態
I グラウト充填	PC鋼線にグラウトが完全に付着している状態
II グラウト充填不良	PC鋼線にグラウトが一部付着していない状態
III グラウト未充填	PC鋼線にグラウトが全く付着していない状態

表-4 シース内温度および湿度、グラウト充填度の一覧

橋梁名	対象ケーブル	測定箇所	温度(℃)	湿度(%)	グラウト充填度
M橋 G6桁	上縁定着①	A1支点部側 上側(定着部側)	19.5	82.9	充填不良
		上側(定着部側)	23.3	65.6	未充填
		下側(径間中央側)	24.6	64.6	充填不良
	上縁定着②	A2支点部側 上側(定着部側)	23.1	71.8	充填不良
		上側(定着部側)	20.7	82.3	未充填
		下側(径間中央側)	23.8	58.6	充填不良
	上縁定着③	A1支点部側 上側(定着部側)	15	82.9	充填不良
		上側(定着部側)	11.7	82.4	未充填
		下側(径間中央側)	29.2	87.3	未充填
	上縁定着④	A2支点部側 上側(定着部側)	11	72.6	未充填
		上側(定着部側)	13	68.1	充填不良
		下側(径間中央側)	-	-	-

に対応する。シース内温度および湿度、グラウト充填度の一覧を表-4に示す。腐食度(表-5を基準とする)および湿度、グラウト充填度の関係を図-6(a)に、腐食度および湿度、グラウト充填度の関係を図-6(b)に示す。これより、未充填に関しては、湿度と腐食度の関係、温度と腐食度において、データ数は少ないが、湿度や温度が高いほど腐食度が大きくなる傾向にあることがわかる。また、充填不良に関しては、湿度と腐食度の関係、温度と腐食度において相関がないことがわかる。そのため、グラウト未充填箇所のPC鋼線の腐食は、温度および湿度に相関があると考えることができる。グラウト充填不良、グラウトが付着しているPC鋼線の腐食は、シース内が未充填箇所と異なり、グラウトが影響する腐食性状を有し、湿度および温度と相関がないと考えることができる。

4.2 シース内滞水の塩化物イオン濃度

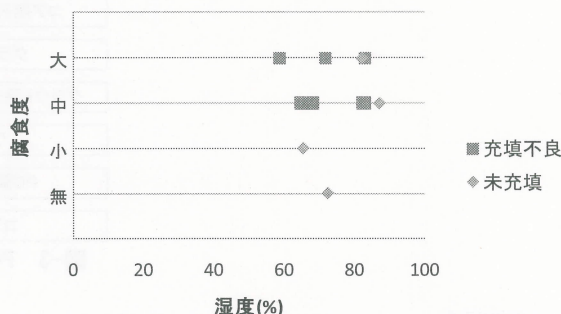
シース内滞水の塩化物イオン濃度測定結果を図-7に示す。シース近傍においてコンクリートコアの塩化物イオン濃度測定結果より、M橋、B橋のコンクリートの塩化物イオン濃度が最大で 1.98kg/m^3 である。それと比較すると、B橋G5桁の上縁定着④やM橋G1桁の上縁定着①の結果の方が高い値を示している。飛来塩分による塩害環境であれば、コンクリート表面からコンクリート内部に向かい、徐々に塩分濃度が増加していくが、今回コンクリート表面から離れているシース内部の塩分量はその飛来塩分によるコンクリートの増加傾向から外れて、大きな値を示している。そのため、定着部から凍結防止剤が侵入することにより、シース内に多量の塩分濃度を含んだ水溶液が滞在していることがわかる。

4.3 グラウト、コンクリートの塩化物イオン濃度

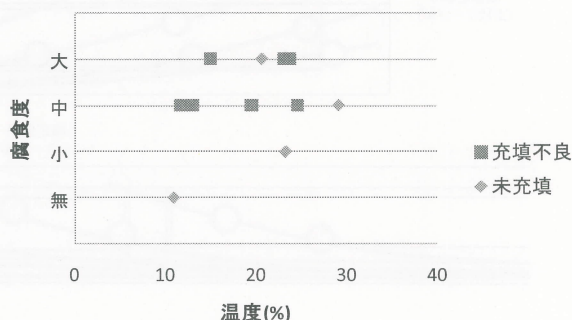
グラウト塩分濃度およびグラウト塩分濃度を測定した箇所のコンクリートコアの塩化物イオン濃度を図-8

表-5 腐食度の基準

腐食度	状態
I 腐食無	断面欠損あり
II 腐食中	腐食があるが点錆程度、断面欠損なし
III 腐食小	腐食があり、断面欠損なし
IV 腐食大	腐食がなく健全状態



(a) 湿度と腐食度



(b) 温度と腐食度

図-6 湿度、温度および腐食度の関係

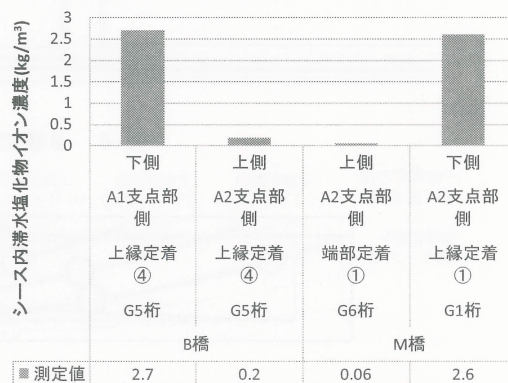


図-7 シース内滞水の塩化物イオン濃度

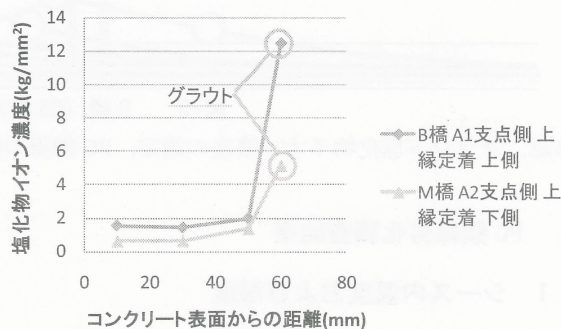


図-8 グラウト、コンクリートの塩化物イオン濃度

に示す。コンクリート内塩分濃度は、コンクリートの表面から離れるとともに徐々に増加している。しかし、グラウトの塩分濃度は、コンクリート内塩分量の増加傾向に一致しない結果となった。また、4.2 節と同様に飛来塩分によるグラウト塩分増加でなく、定着部から凍結防止剤侵入によるグラウト塩分濃度が増加したことがわかる。また、 12.48kg/m^3 と大きな値を示しており、グラウト内 PC 鋼線腐食発生限界濃度²⁾である 3.9kg/m^3 を超える値であることがわかる。そのため、凍結防止剤が多量に定着部からシース内に侵入、グラウト内に浸透したことがわかる。

4.4 グラウトの充填状況および PC 鋼線の劣化状況

各削孔位置における削孔直後および削孔内のグラウト除去、除錆後の写真を整理した M 橋の G6 桁の図を図-9 に、G1 桁の図を図-10 に、B 橋の G5 桁の図を図-11 に示す。

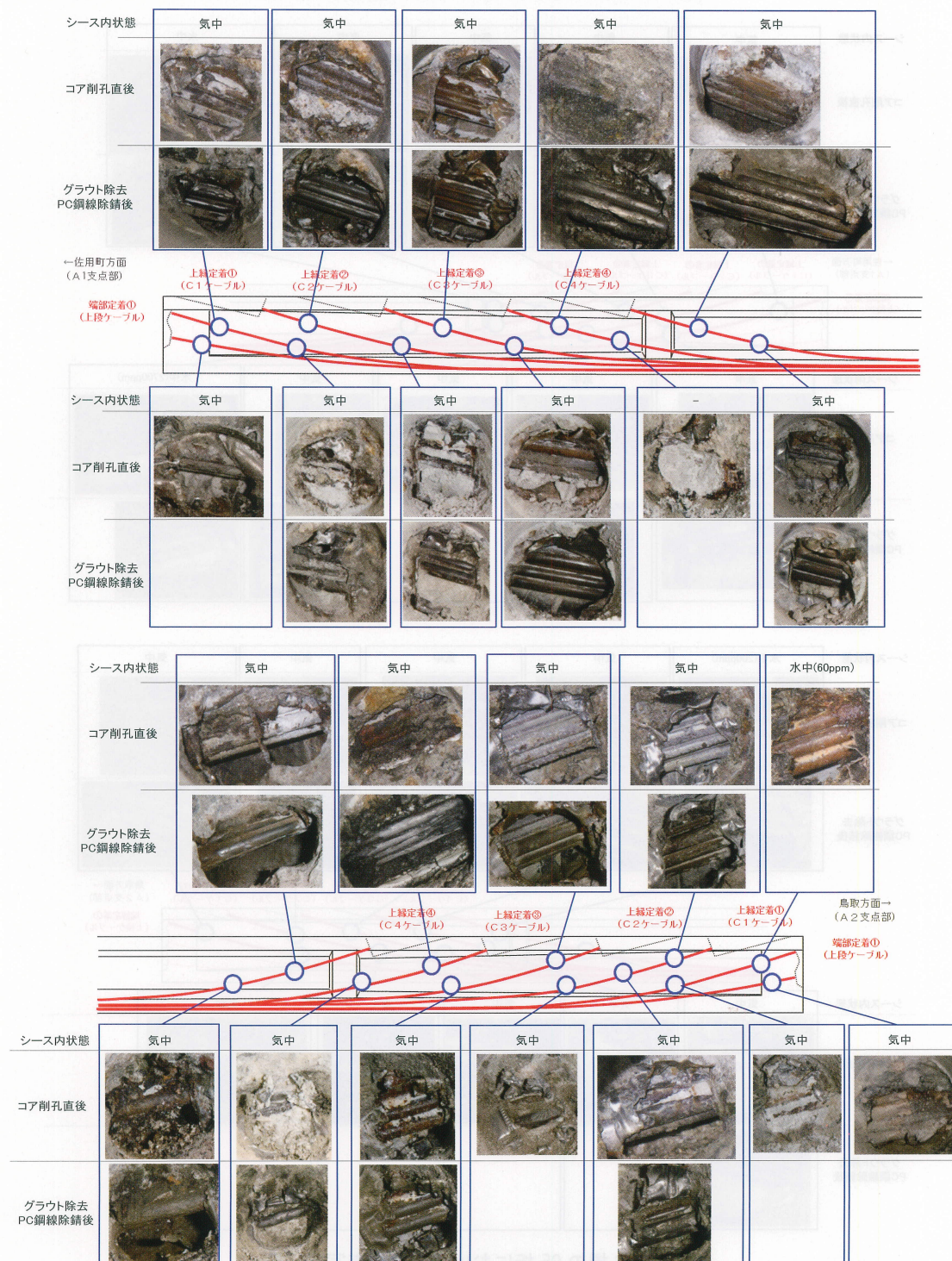


図-9 M 橋の G6 桁における削孔調査写真一覧

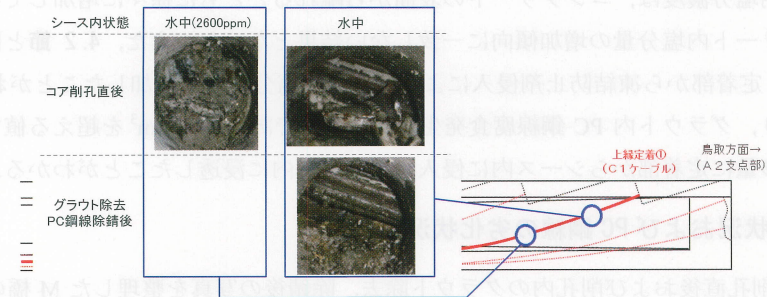


図-10 M橋のG1桁における削孔調査写真一覧

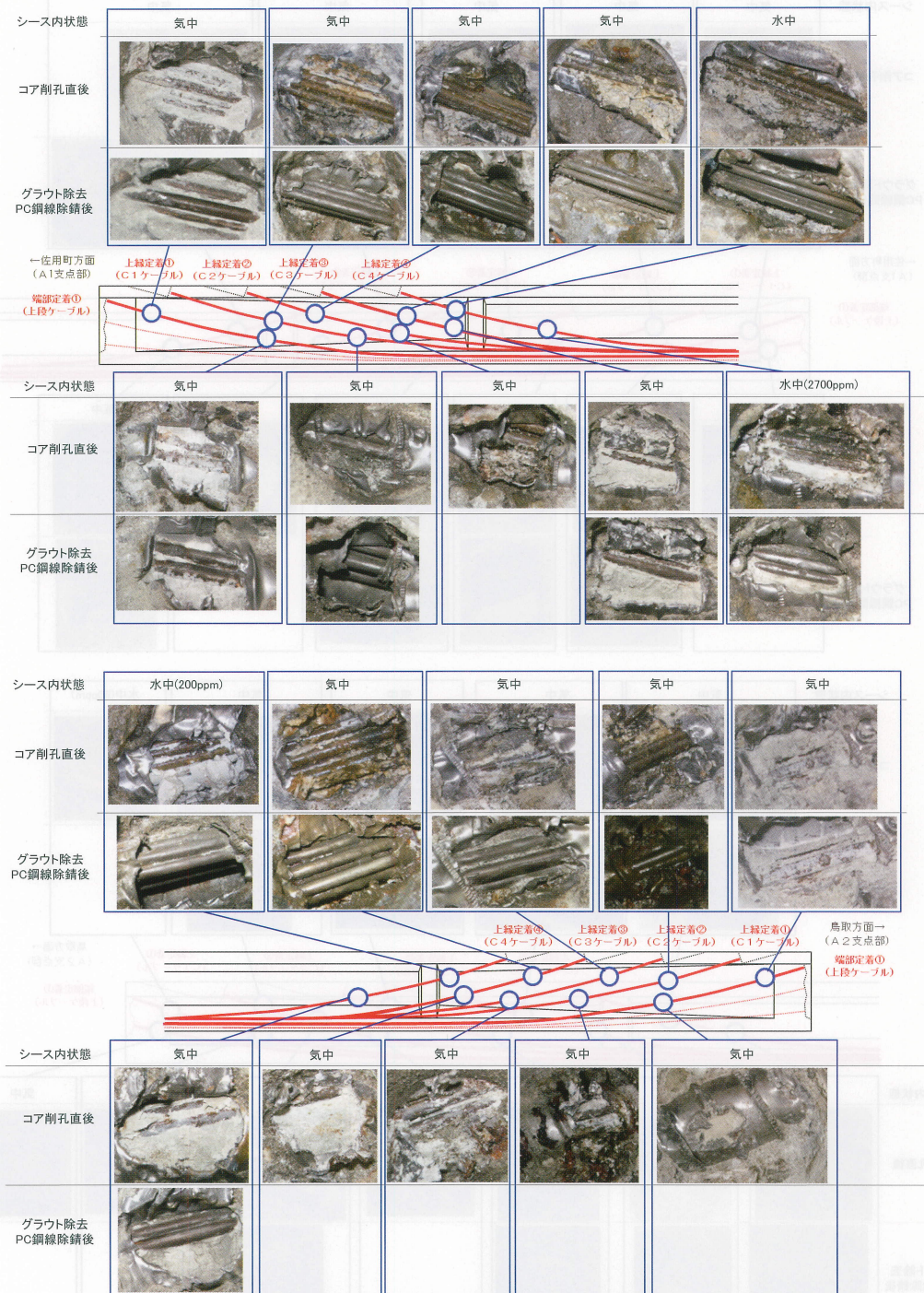
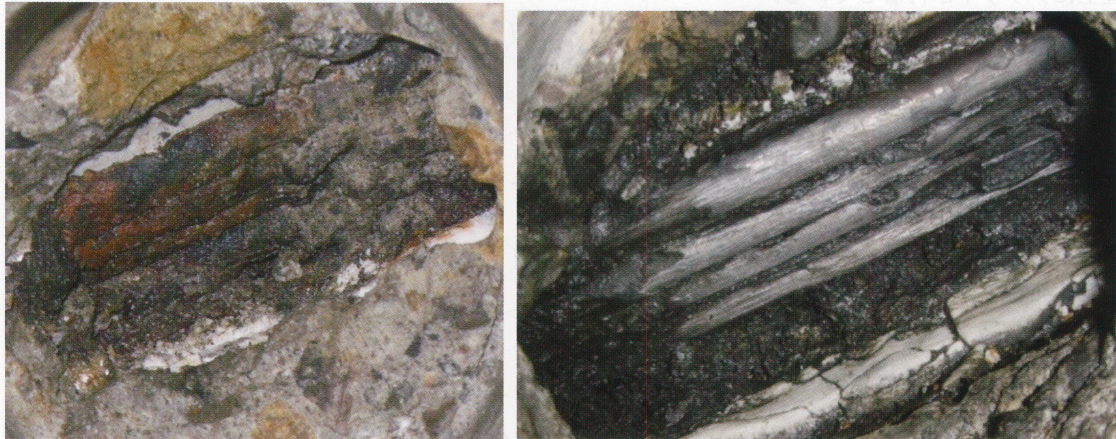


図-11 B橋のG5桁における削孔調査写真一覧



(a) M 橋 A1 側の上縁定着③の上側削孔位置



(b) M 橋 A2 側の上縁定着③の上側削孔位置



(c) B 橋 A1 側の上縁定着④の上側削孔位置

写真-3 M 橋および B 橋の削孔写真 (左: 削孔直後, 右: グラウト除去, 除錆後)

M 橋の除錆後の写真 (A1 側, A2 側の上縁定着③の上側削孔位置) である写真-3(a)および(b)を見ると, 断面欠損を伴う局部腐食箇所がみられる. B 橋の除錆後の写真である写真-3(c)を見ると, 局部腐食が発生しておらず, 腐食が軽微である. そのため, M 橋の断面欠損を伴う局部腐食箇所に着目してみると, 写真-3(a)はシースを残した状態で撮影しているためコンクリートが若干 PC 鋼線に付着しているが, PC 鋼線の黒錆が溶出されたグラウトの箇所, 写真-3(b)もグラウトが付着していた箇所において局部腐食が発生していたことがわかる. また, 4.1 節よりグラウトの未充填箇所と異なり, グラウト充填不良箇所の PC 鋼線の腐食度は, グラウトの影響により, 異なることがわかる. そのため, グラウトの付着の仕方やグラウトの状態によって, PC 鋼線の腐食度が異なることができる.

そこで, グラウトの付着状態を M 橋, B 橋で分類することとし, その分類したパターンを図-12 に示す. これは, シースと PC 鋼線の断面図に対して, 図の右側から削孔したことを想定し, 削孔箇所から見える範囲内で, グラウトの付着状況を示している. パターン 1 では, 目視で見える範囲において, グラウトが PC 鋼線とシースの隙間に完全に充填

されている。パターン2では、PC鋼線とシースの隙間にグラウトが充填されているが、PC鋼線とシースが接触していることによりグラウトが充填されていない。パターン3では、上側のPC鋼線とシース間にグラウトが充填されておらず、下側の隙間にグラウトが充填されている。パターン4では、グラウトがPC鋼線上に付着しているが、全体的にグラウトが充填されていない。パターン5では、PC鋼線間の接触している直上にグラウトが付着している。パターン6では、パターン3のようにグラウトが充填されており、シースとPC鋼線間におけるPC鋼線上にグラウトが点状に付着している。パターン7では、グラウト充填度が低く、PC鋼線の表面に薄く、グラウトが付着している。パターン8では、グラウトが全く充填されていない。

各グラウト付着パターンにおける腐食状況の詳細の一覧についてM橋を表-6、B橋を表-7に示す。この一覧には、

局部腐食が発生していた場合、局部腐食箇所のグラウト付着状況のパターン、その他の削孔箇所におけるグラウト付着パターンおよび局部腐食が発生していた箇所のグラウト湿潤の有無、局部腐食の状況について整理を行ったものを示している。局部腐食が発生していない場合、削孔箇所のシース内のグラウト付着状況、グラウト湿潤の有無のパターンを示している。局部腐食の状況において、「なし」は各グラウト付着パターン、そのグラウトの湿潤状態においてグラウト付着は確認できたが局部腐食が発生していないことを示し、「-」は各グラウト付着パターンおよびそのグラウトの湿潤状態を確認できなかったことを示している。また、削孔箇所ごとにグラウト付着パターン番号および局部腐食発生の有無について

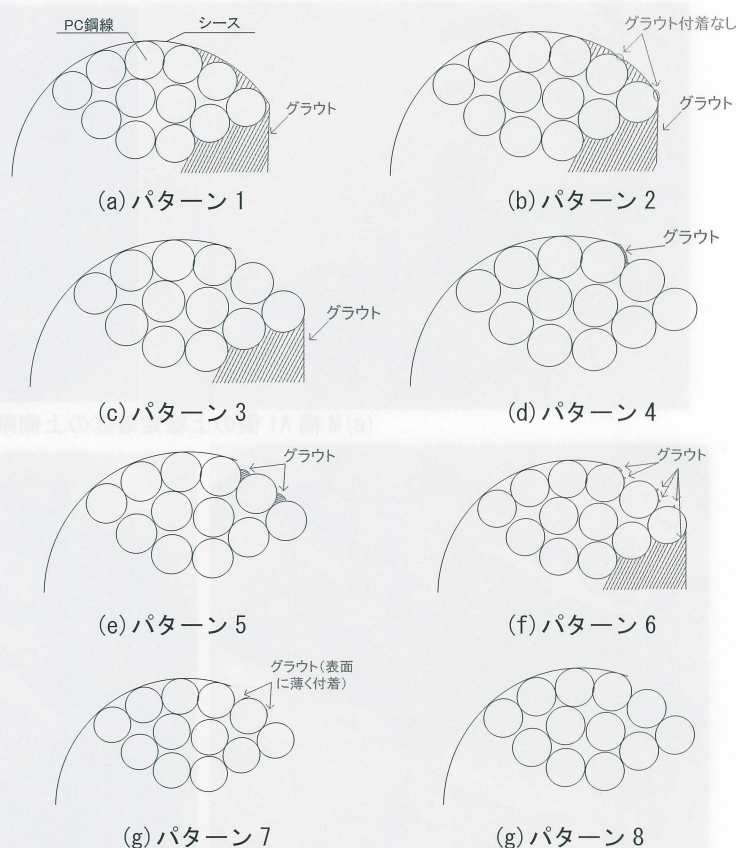


図-12 グラウトの付着状況の分類（断面図）

表-6 M橋の各グラウト付着パターンにおける腐食状況

腐食箇所(*)	削孔箇所におけるその他の箇所	グラウトの湿潤	局部腐食の状況
パターン1	パターン8	有	グラウト付着箇所では激しい凹凸が見られる
	-	無	なし
パターン2	-	有	なし
	-	無	なし
パターン3	-	有	グラウト付着箇所では激しい凹凸が見られる
	-	無	グラウトのラインに沿って、亀裂のような腐食を確認
パターン4	パターン7	有	-
	-	無	グラウト付着箇所では孔食を確認
パターン5	-	有	なし
	-	無	なし
パターン6	-	有	なし
	-	無	-
パターン7	-	-	なし
パターン8	パターン7	-	シース素線間に溝型腐食が見られる

(*)局部腐食が発生していない場合削孔箇所のシース内状況

表-7 B橋の各グラウト付着パターンにおける腐食状況

腐食箇所(*)	削孔箇所におけるその他の箇所	グラウトの湿潤	局部腐食の状況
パターン1	-	有	-
	-	無	-
パターン2	-	有	なし
	-	無	なし
パターン3	-	有	なし
	-	無	なし
パターン4	-	有	なし
	-	無	-
パターン5	-	有	-
	-	無	-
パターン6	-	有	-
	-	無	-
パターン7	-	-	なし
パターン8	-	-	なし

(*)局部腐食が発生していない場合削孔箇所のシース内状況

図-13に示す。表-6および表-7の整理した結果を基に各グラウト付着パターン、局部腐食性状に関して、以下考察を示す。

まず、表-6のグラウト付着パターン1（グラウト湿潤有）は、M橋 A2 側の上縁定着③のケーブルの上側削孔箇所で、確認できるグラウト付着パターン、局部腐食状況である。図-10を見ると、局部腐食が発生している箇所にグラウトが付着しており、その近傍にはグラウトが付着していないパターン8が存在し、グラウトが付着していた箇所より腐食が軽微であることがわかる。これらより、図-14に示すように、グラウトがパターン1で付着している箇所（局部腐食が発生していた箇所）がアノード、グラウトが付着していないパターン8の箇所（腐食が軽微であった箇所）がカソードとなるマクロセル腐食が発生している可能性があると考えることができる。グラウトは、劣化していることと湿潤状態であったことから考えると、定着部から侵入した凍結防止剤がグラウト内に侵入することにより、グラウト内の塩分濃度が高くなり、塩分濃淡電池形成によるマクロセル腐食が発生したと考えることができる。次に、グラウト付着パターン3（グラウト湿潤有）は、M橋 A1 側の上縁定着③のケーブルの上側削孔箇所で、確認できるグラウト付着パターン、局部腐食状況である。写真-3.3(a)を見ると、シースを残した状態で撮影しているためコンクリートが若干PC鋼線に付着しているが、PC鋼線の黒錆が溶出されたグラウトがグラウト付着パターン3で付着していることが確認でき、削孔箇所

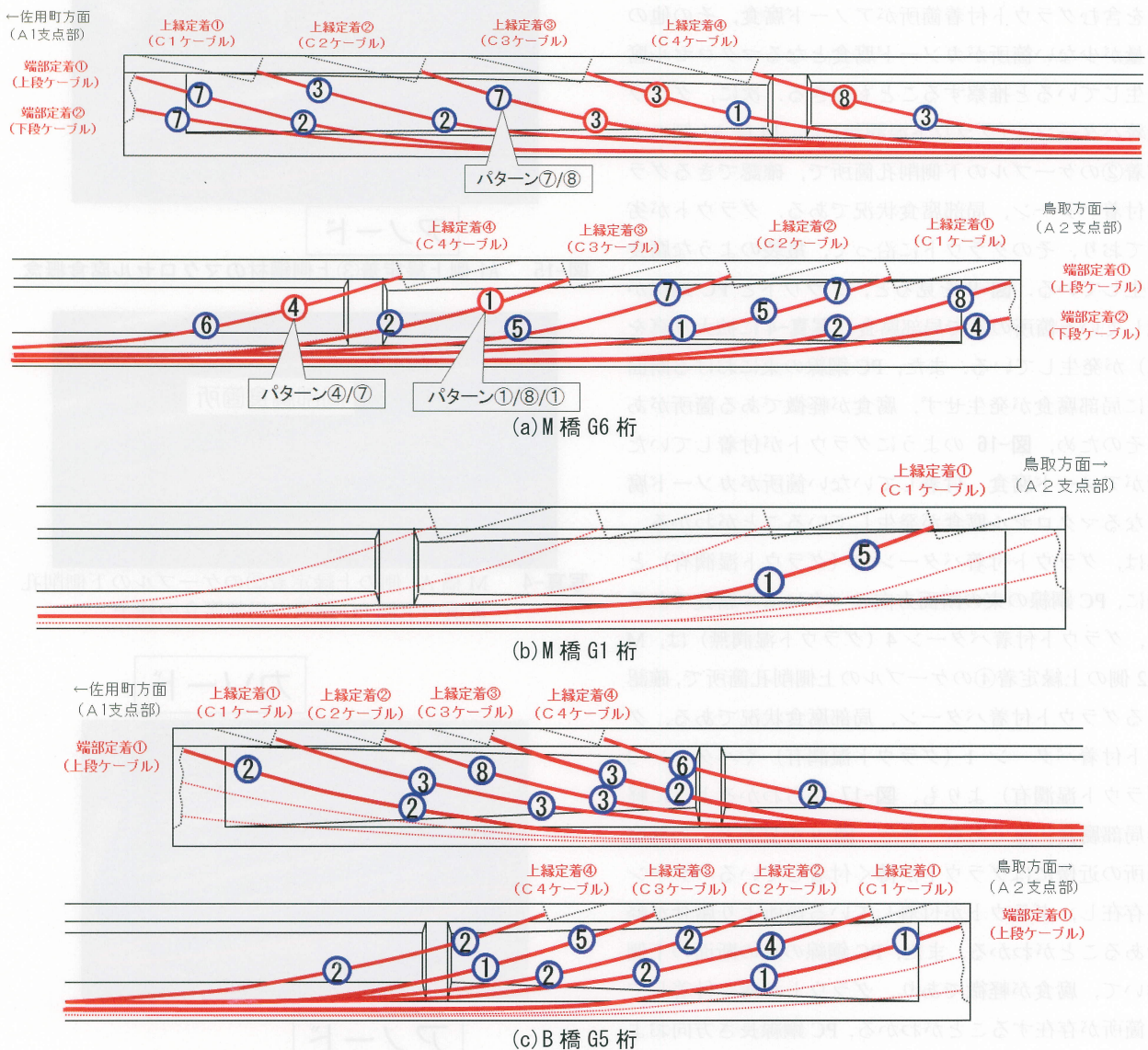


図-13 各削孔箇所におけるグラウトパターンおよび局部腐食発生の有無

所内全ての位置でグラウト付着パターン 3 であることが確認できる。ただし、グラウト付着パターン 3 では PC 鋼線の束における断面方向にグラウトが付着している箇所、付着していない箇所がある。付着していない箇所は、局部腐食が発生しておらず、腐食が軽微である。そのため、図-15 のように、グラウトが付着している箇所がアノード、付着していない箇所がカソード腐食となるマクロセル腐食が発生していることがわかる。これは、グラウト付着パターン 1 と異なり、PC 鋼線の束における断面方向にマクロセル腐食が発生している。図-13(a)を見ると、以上で考察した局部腐食は、同一のシース内で生じていることがわかる。そのため、顕著な局部腐食発生の原因は、削孔箇所のみでマクロセル腐食が発生しているとともに、上縁定着③ケーブルの全長において、多量の塩分を含むグラウト付着箇所がアノード腐食、その他の塩分量が少ない箇所がカソード腐食となるマクロセル腐食も生じていると推察することもできる。次に、グラウト付着パターン 3 (グラウト湿潤無) は、M 橋 A1 側の上縁定着②のケーブルの下側削孔箇所、確認できるグラウト付着パターン、局部腐食状況である。グラウトが劣化しており、そのグラウトに沿って、亀裂のような腐食が発生している。図-9 を見ると、グラウトと PC 鋼線が接触している箇所のみで局部腐食(写真-4 に拡大写真を掲載)が発生している。また、PC 鋼線の束における断面方向に局部腐食が発生せず、腐食が軽微である箇所がある。そのため、図-16 のようにグラウトが付着していた箇所がアノード腐食、付着していない箇所がカソード腐食となるマクロセル腐食が発生していることがわかる。これは、グラウト付着パターン 3 (グラウト湿潤有) と同様に、PC 鋼線の束の断面方向のマクロセル腐食である。次に、グラウト付着パターン 4 (グラウト湿潤無) は、M 橋 A2 側の上縁定着④のケーブルの上側削孔箇所、確認できるグラウト付着パターン、局部腐食状況である。グラウト付着パターン 1 (グラウト湿潤有) やパターン 3 (グラウト湿潤有) よりも、図-17 からわかるように軽微な局部腐食状態である。また、図-9 を見ると、局部腐食箇所の近傍にはグラウトが薄く付着しているパターン 7 が存在し、グラウトが付着している箇所より腐食が軽微であることがわかる。また、PC 鋼線の束の断面の下側において、腐食が軽微であり、グラウトが薄く付着している箇所が存在することがわかる。PC 鋼線長さ方向および PC 鋼線束方向においてグラウト付着パターン 4 の箇所がアノード腐食、それ以外の箇所がカソード腐食となるマクロセル腐食が発生していると考えることができる。

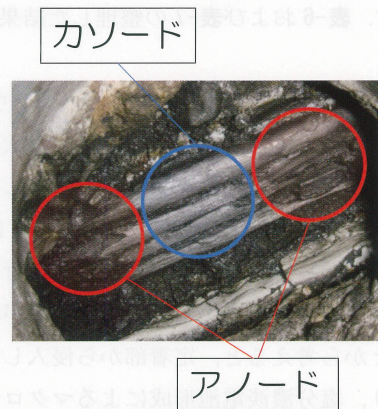


図-14 A2 側上縁定着③上側鋼材のマクロセル腐食概念

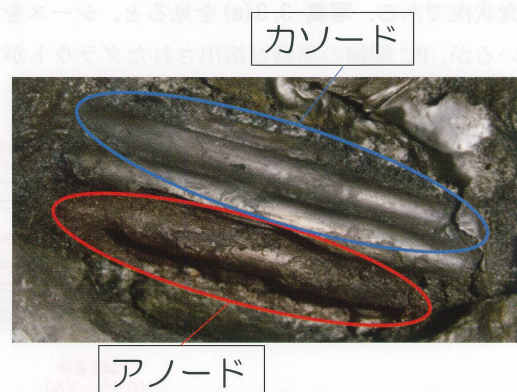


図-15 A1 側上縁定着③上側鋼材のマクロセル腐食概念



写真-4 M 橋 A1 側の上縁定着②のケーブルの下側削孔箇所の下側 PC 鋼線の局部腐食の様子

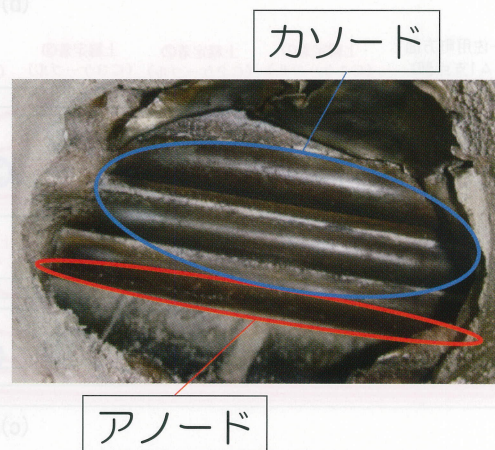


図-16 A1 側上縁定着②下側鋼材のマクロセル腐食概念

次に、グラウト付着パターン8は、M橋A1側の上縁定着④のケーブルの上側削孔箇所、確認できるグラウト付着パターン、局部腐食状況である。図-18より、グラウトと付着しておらず、グラウトと無関係に局部腐食が進展していることが伺える。これは、局部腐食が発生した箇所は、シーすとPC鋼線の隙間である。そのため、隙間に凍結防止剤が侵入し、滞在することにより、局部腐食が発生したと考える。その箇所以外のPC鋼線は、腐食が軽微であることが伺える。そのため、局部腐食箇所がアノード腐食、その箇所以外がカソード腐食となるマクロセル腐食が発生すると推定することもできる。これは、隙間において、グラウトが充填されておらず、水道が生じていると、そこに凍結防止剤が侵入し滞ることによる塩分増加が発生し、塩分濃淡電池形成によるマクロセル腐食が発生している可能性があると考えられる。次に、表-7におけるB橋の局部腐食状況を見ると、局部腐食が全く発生していないことがわかる。図-13(c)より、グラウト付着パターン2が多く、M橋よりもグラウト充填度が高く、グラウトも劣化している箇所が少ないことから局部腐食が発生しなかったと考えられる。M橋はグラウトの劣化が腐食に影響を及ぼす要因が大きいと考えられる。

以上を整理した表を表-8に示す。また、本節において、グラウトが付着している影響により、局部腐食が発生するグラウト付着腐食パターン、およびグラウトと無関係に局部腐食が発生するグラウト未充填腐食パターンに分類することができたことがわかった。また、各々の腐食パターンによりマクロセル腐食が発生しており、PC鋼線が束になっていること、PC鋼線の長さ方向にグラウトの付着が一定でないことからマクロセル腐食が発生している。特に、顕著な局部腐食を示したM橋のA1,A2側上縁定着④上側削孔箇所では、グラウトが湿潤しており、塩分侵入が大きかったと考えられ、その影響により腐食速度が大きくなったと考えられる。しかし、本節で整理を行った内容は、削孔調査により見える箇所のみで検討を行ったため、PC鋼線間等の内側部分の腐食状態は未確認である。しかし、本節で整理を行った内容は、削孔調査により見える箇所のみで検討を行ったため、PC鋼線間等の内側部分の腐食状態は未確認である。PC鋼線間等で腐食が進展しやすい場合は、凍結防止剤が定着部から侵入した場合であると考えられる。

4.5 まとめ

本論文では、実橋梁におけるPC鋼線の腐食性状を把握することを目的に、実橋梁において詳細調査を実施した。その調査結果を基に、局部腐食状況について検討を行い、得られた知見を以下に示す。

- (1) グラウト充填不良（シーす内においてグラウトが部分的に欠損している状態）が発生している箇所では、温度や湿度に対して、腐食度と相関がみられなかった。しかし、グラウト未充填が発生している箇所では、温度や湿度が高いほど、腐食度が上がる傾向にあった。
- (2) コンクリート内在塩分濃度より同じ断面位置におけるシーす内滞水水溶液やグラウトの塩分濃度の方が高いことより、シーす内に路面上に散布された凍結防止剤が侵入していることがわかり、シーす内において厳しい塩害環境であることがわかった。
- (3) 削孔調査結果より、全削孔位置において、グラウトの付着の仕方に対して、腐食性状が異なることがわかったため、

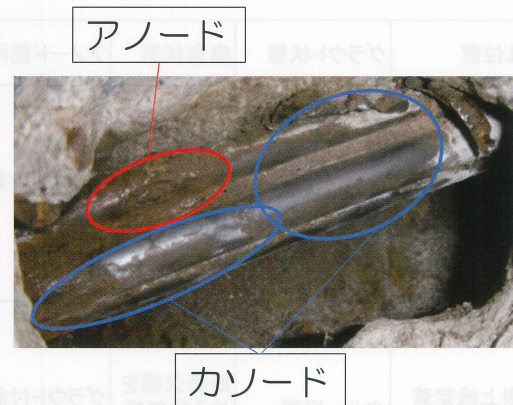
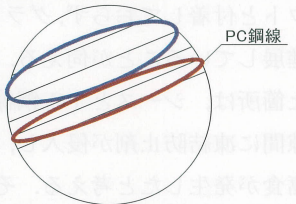
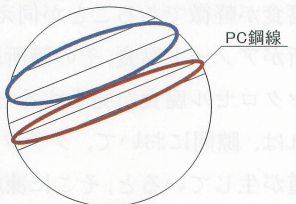
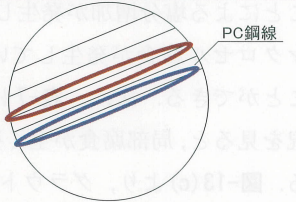
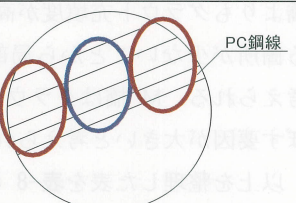
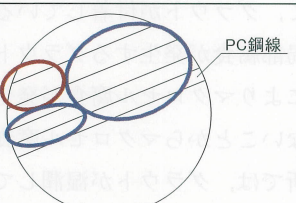


図-17 A2側上縁定着④上側鋼材のマクロセル腐食概念



図-18 A1側上縁定着④上側鋼材腐食状況

表-8 M 橋のマクロセル腐食性状および B 橋の腐食状況の一覧

橋名	削孔位置	グラウト状態	腐食状態	アノード箇所	カソード箇所	アノードとカソードの位置関係(削孔箇所内)
M橋	A1側上縁定着 ②上側	劣化	亀裂のよう な腐食(腐 食軽微)	グラウト付着パターン3 下側	グラウト付着パターン3 上側	
	A1側上縁定着 ③上側	劣化, 湿潤	断面欠損を 伴う局部腐 食(腐食大)	グラウト付着パターン3 下側	グラウト付着パターン3 上側	
	A1側上縁定着 ④上側	-	溝型腐食	グラウト付着パターン8 (シーすと素線間にお ける塩分の滞在箇所)	グラウト付着パターン8 (塩分が滞在しない箇 所: 例えば右図の隙間 にならない箇所)	
	A2側上縁定着 ③上側	劣化, 湿潤	断面欠損を 伴う局部腐 食(腐食大)	グラウト付着パターン1	グラウト付着パターン8	
	A2側上縁定着 ④上側	劣化	軽微な局部 腐食	グラウト付着パターン4 上側	グラウト付着パターン 8, グラウト付着パター ン4下側	
B橋	-	良好箇所多数, 充填度高い	腐食小, も しくは, なし	-	-	-

○ : アノード, ○ : カソード

グラウトの付着パターンを検討し, 8 パターンに分類できることがわかった。

- (4) 劣化が生じているグラウトの付着箇所において顕著な局部腐食が生じていることがわかった。また, 未充填箇所においてシーすと PC 鋼線の隙間の箇所で局部腐食が確認できた。各々で塩分濃度差におけるマクロセル腐食が発生していると考えられる。
- (5) PC 鋼線の腐食性状は, グラウトが付着している腐食パターン, 未充填の腐食パターンに分類することができた。しかし, 本論文では PC 鋼線間等の内部の腐食性状が確認できていない。

参 考 文 献

- 1) 土木学会 : PC 構造物の現状の問題点とその対策, 2003.
- 2) 二井谷教治, 徳光卓, 山田一夫, 野島昭二, 宮川豊章 : PC グラウトの塩分濃度が鋼材腐食に及ぼす影響, プレストレスト・コンクリート 52(1), pp.76-84, 2010.

著 者

森川 英典 所員，博士（工学），コンクリート工学，材料工学
白川 祐太 八千代エンジニアリング（株）（元神戸大学大学院生），修士（工学）

