

塩害劣化で撤去された架設年の異なるポストテンションT桁橋の解体調査

(一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員 ○國富 康志
 (一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会 谷口 正輝
 (国研) 土木研究所先端材料資源研究センター 正会員 栗原 勇樹
 (国研) 土木研究所構造物メンテナンス研究センター 石田 雅博

1. はじめに

本橋は2径間単純のポストテンT桁橋である。供用後の拡幅に伴い施工年度の異なる主桁が同一環境下に併設されている。各桁の竣工時期は1965年と1988年である(以下、前者を既設桁、後者を拡幅桁という)。供用後の塩害劣化進行を受け、1998年に詳細点検が実施され、翌1999年には補修・補強(脱塩、電気防食、塗装、外ケーブル補強など)が行われた。しかし、上部工に再劣化が発生したため、2014年に架替えが行われた橋である。

実構造物における同一環境下で施工年度が異なる構造部材に対し、その劣化状況の検討を比較した事例は多くはなく、さらにプレストレストコンクリート(PC)橋を対象とした部材を調査検討できる事例は希少である。そこで、本橋の架替え時に撤去される桁を利用し、各種解体調査を実施した。ここで、道路橋の塩害対策は昭和59年(1984年)に『道路橋の塩害対策指針(案)』が暫定指針として初めて示されており、塩害対策区分ごとにかぶりが規定されている。本橋の既設桁と拡幅桁は、この塩害対策指針が示される前後に施工が行われ、塩害対策の配慮が異なる。

本稿では、架設年度が異なり、塩害対策への配慮有無による影響に着目し、シースのかぶりと桁の各部位で塩化物イオン含有量の測定を実施しており、その調査結果を報告するものである。

なお、本検討は、筆者らが所属する両機関の共同研究「撤去橋梁を用いた既設PC橋の診断技術高度化に関する研究」の一環として行ったものである。

2. 対象橋梁の概要

対象橋梁は、2径間単純ポストテンション方式PCT桁橋であり、橋梁諸元を表-1、橋梁構造図を図-1に示す。

本橋の架橋条件は、沿岸から250m程度の場所に位置しており、現状の道路橋における塩害対策区分IまたはIIに相当

表-1 対象橋梁の諸元

構造形式	2径間単純ポストテンT桁橋	
橋長	【既設桁】 45.000m (2@22.440m)	【拡幅桁】 45.820m (2@22.840m)
斜角	58° 00' 00"	
設計基準強度	40 N/mm ²	
PC鋼材	【既設桁】 12φ5mm	【拡幅桁】 12φ7mm
シース径	【既設桁】 φ35mm	【拡幅桁】 φ45mm
純かぶり	鉄筋	【既設桁】 33.5mm(当時の規準25mm) 【拡幅桁】 70.0mm(塩害対策区分I 70mm)
	シース	【既設桁】 47.5mm(当時の規準40mm) 【拡幅桁】 87.5mm(塩害対策区分I 70mm)
竣工年月	【既設桁】 昭和40年(1965年)	【拡幅桁】 昭和63年(1988年)

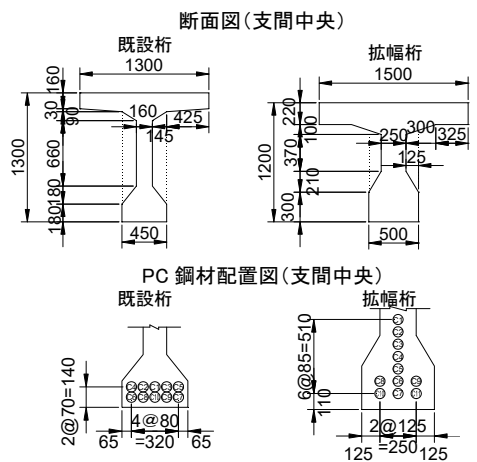
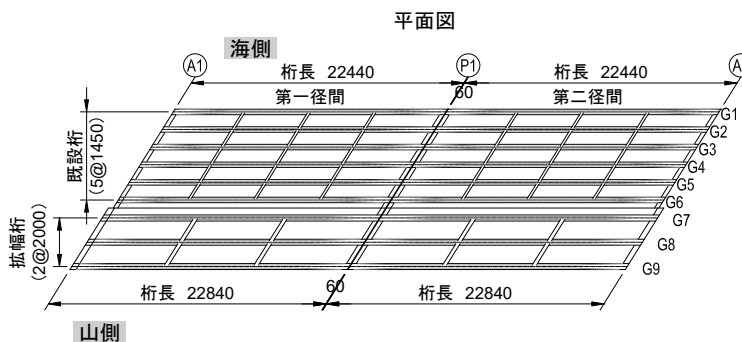


図-1 橋梁構造図

表-2 各桁の撤去前状況

径間	桁	外ケーブル補強 /断面修復 の有無	1998年調査 時主ケーブル破 断	損傷状況 (損傷箇所数)				
				1998年調査時		撤去前調査時		
				ひび割れ (最大幅)	浮き 剥離	ひび割れ (最大幅)	浮き 剥離	備考
第1径間	G1	-/○	0本	1(0.5mm)	1	----	2	橋軸方向ひび割れ
	G2	○/○	0本	2(0.5mm)	----	----	1	健全
	G3	-/-	0本	2(0.5mm)	1	3(0.5mm)	----	橋軸方向ひび割れ
	G4	○/○	1本	1(3.0mm)	3	1(不明)	1	橋軸方向ひび割れ
	G5	-/-	0本	----	----	----	1	健全
	G6	○/○	0本	0本	1(0.1mm)	2	----	----
第2径間	G1	○/○	0本	3(5.0mm)	4	3(不明)	2	橋軸方向ひび割れ
	G2	-/○	1.5本*	4(3.5mm)	4	1(不明)	3	橋軸方向ひび割れ
	G3	○/-	0本	----	----	----	----	健全(1998年調査時に低強度と判定)
	G4	-/○	0本	----	2	1(不明)	1	橋軸方向ひび割れ
	G5	○/○	3.5本	2(3.0mm)	1	1(不明)	1	損傷大, 断面修復材の損傷
	G6	○/○	3本*	3(1.5mm)	5	3(不明)	----	損傷大, 断面修復材の損傷

※素線 12本中 6本破断を 0.5本として記載

する環境である。沿岸側に既設桁，山側に拡幅桁が架設されており，海側は構造物が無く海風を直接受ける環境，山側の拡幅桁は第2径間付近に土堤が構築されている環境である。

3. 部材の選定

1998年に実施された詳細点検内容と撤去前の外観目視点検状況を表-2に示す。ただし，拡幅桁は概ね健全であったため割愛する。1998年の詳細点検時には，既設桁4本で主ケーブル破断が確認された。この結果に加え，その他の損傷状況も踏まえて外ケーブル補強や断面修復が実施されている。また，第2径間G3桁のコンクリート強度が低い（設計基準強度40N/mm²に対し36.7N/mm²）ことも詳細点検時に判明しており，G3桁は中性化深さや塩化物イオン含有量が他の桁よりも大きい結果となっていた。

各桁の損傷状況として，撤去前点検時では既設桁の第2径間の方がより損傷が激しく，塩害に伴う再劣化によって，下フランジ下面にひび割れや剥離が発生しており，剥離部では鉄筋が露出している状態であった。さらに，第2径間のG5，G6桁では断面修復部のひび割れも発生しており，G5桁では剥離部の鉄筋露出も確認された。そこで，調査対象となる桁の選定は第2径間を対象とし，主ケーブルの破断も考慮して損傷の激しいG5桁を抽出した。また，同一条件で健全な状態であるG3桁を選定した。さらに，架設年度の異なる桁の違いを把握することが目的であるため，既設桁で選定した部材と同じ径間から拡幅桁を抽出することとし，任意にG8桁を選定した。撤去される桁は運搬重量を考慮して，既設桁は4分割，拡幅桁は6分割して運搬した（拡幅桁は6ブロックのうちA2側の4ブロックのみを運搬）。

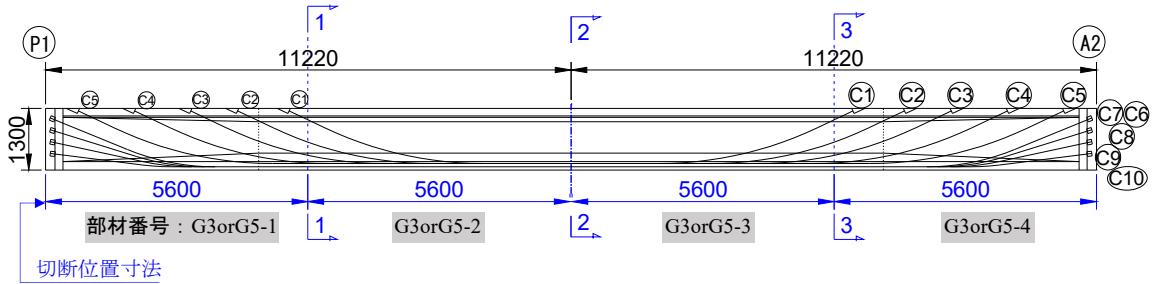
4. 撤去桁解体調査

4.1 調査概要

本橋は前述した通り，昭和59年（1984年）に暫定指針として示された『道路橋の塩害対策指針（案）』の後に，追加の拡幅桁が架設されており，塩害対策の配慮が異なる桁が同一環境下で供用されていた。塩害対策指針（案）では，かぶりを確保することで塩化物イオンの浸透に抵抗するものであるが，その実態確認のためのデータ蓄積として，既設桁と拡幅桁のシースカぶりを確認した。本橋の設計図書から確認した鉄筋のかぶりは，既設桁が33.5mm，拡幅桁が70.0mmであり，拡幅桁は塩害対策指針（案）の塩害対策区分Ⅰに相当する（本来は対策区分Ⅱ～Ⅲの地域）¹⁾。かぶり調査を行った桁の切断面位置と部材番号を図-2に示す。

塩害に対するかぶりの影響を確認するため，塩化物イオン含有量の計測を実施した。計測位置は，飛来塩分に着目した桁ウェブと，凍結防止剤に着目した上床板である。また，切断面調査時に一部グラウト不足が確認されたため，対象シースの界面コンクリートとグラウトの塩化物イオン含有量の計

【既設桁 (G3 桁, G5 桁)】



【拡幅桁 (G8 桁)】

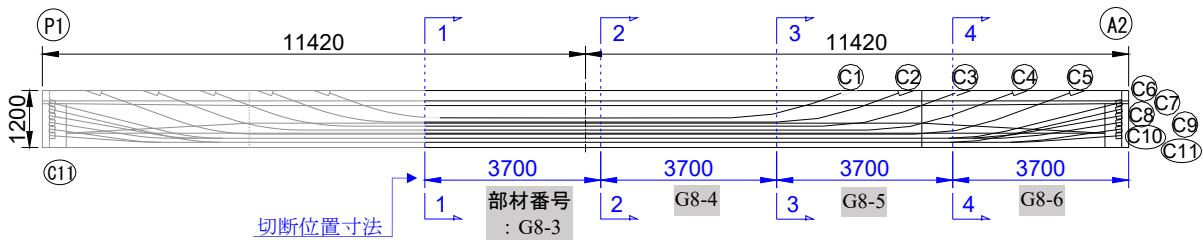


図-2 撤去部材の概要図

測も実施した。

4.2 調査結果

1) シースのかぶり (切断面の調査)

各切断面に対し、飛来塩分の影響が高いと思われる下フランジ下段に配置されたシースを対象に、計測した結果を図-3に示す。

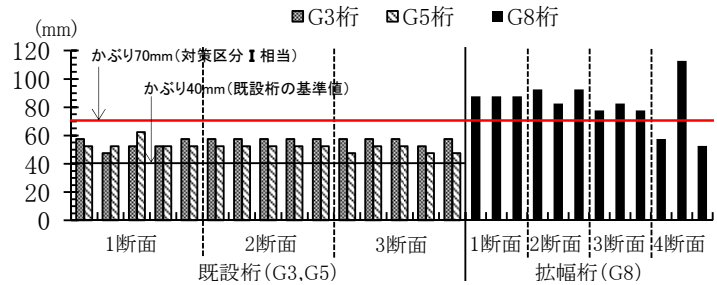


図-3 下段シースかぶり

測定の結果、既設桁では建設当時の規準かぶり40mmを満足していたが、拡幅桁では対策区分Ⅰのかぶり70mmを一部満足していない結果であった。ただし、拡幅桁は既設桁よりかぶりの基準値が大きく、概ね拡幅桁のかぶりは既設桁のかぶりより大きい結果であった。また、既設桁でかぶり70mmを満足していないPC鋼材は、調査した切断面において軸筋よりも低い位置であった。このことから、打設時にシースが下がった可能性があり、スターラップ位置ではかぶりが確保されているものの、スターラップ間で垂れ下がったと考えられる。

2) ウェブの塩化物イオン含有量

試料は支間中央付近のウェブ中段からコアを採取しており、20mm でコアをスライスして塩化物イオン含有量を計測した。計測結果を図-4に示す。計測の結果、既設桁である G3 桁と G5 桁は海側の塩化物イオン濃度が高いのに対し、G8 桁は山側の塩化物イオン濃度が高い結果となった。G8 桁は山側から 2 本目の桁であり、特に計測を行った第 2 径間側には土堤が近接しており、その土堤部から跳ね返った飛来塩分の影響を受けたものと推測される。また、2007 年制定のコンクリート標準示方書に示される鋼材腐食限界濃度

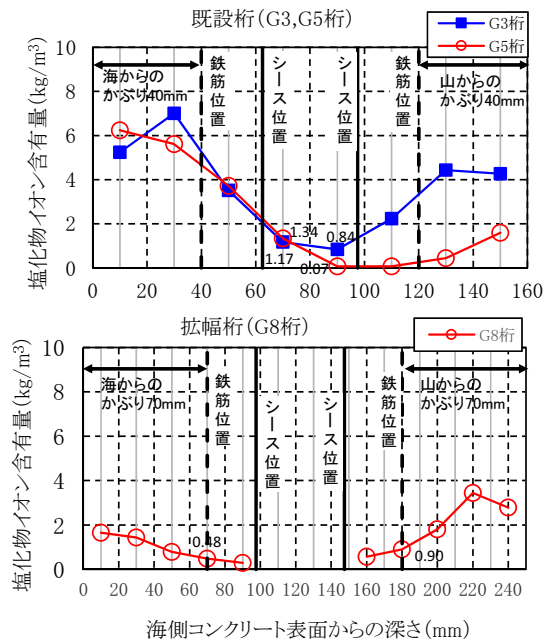


図-4 塩化物イオン含有量 (ウェブ)

1.2kg/m³ を超えるのは、シース位置に着目した場合、既設桁は概ね超える結果であるが、かぶり 70mm

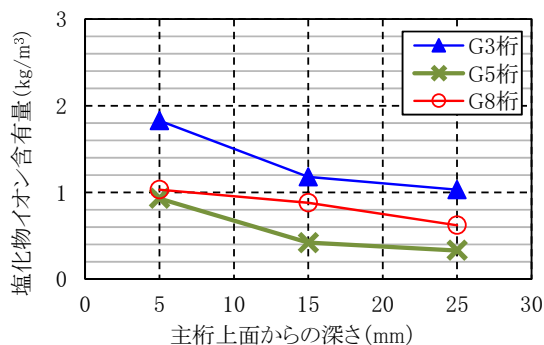


図-5 塩化物イオン含有量 (上床版)

表-3 塩化物イオン含有量 (グラウト不足部)

種別	桁	ケーブル No	試料位置	塩化物イオン含有量	
				(mass%)	(kg/m³)
既設桁	G3 桁	C1	シース界面	0.011	0.25
			グラウト内	0.007	---*
既設桁	G5 桁	C1	シース界面	0.008	0.18
			グラウト内	0.005	---*
拡幅桁	G8 桁 (充填部)	C1	シース界面	0.014	0.30
			グラウト内	0.007	---*
拡幅桁	G8 桁 (未充填部)	C10	シース界面	0.010	0.22

*グラウトは単位容積質量計測が困難であったため、塩化物イオン含有量は mass%のみとなっている。

位置に着目すると既設桁 G5 の海側のみ 1.34kg/m³ と超えているが、その他は全て 1.2kg/m³ 未満であり、既設桁においてもかぶり確保が確保されていれば、塩害劣化を抑制された可能性があると考えられる。

3) 上床版の塩化物イオン含有量

試料は、縦断勾配で橋面高が最も低くなるA2側付近を対象とし、各桁の海側に近い上床版から採取しており、10mmでコアをスライスして塩化物イオン含有量を計測した。計測結果を図-5に示す。計測の結果、既設桁であるG5桁より供用年数の短い、拡幅桁G8の塩化物イオン含有量が高い結果となった。これは、既設桁には桁上面に調整コンクリートが施工されていたのに対し、拡幅桁には調整コンクリートが無かったことが影響したと考えられる。また、既設桁のG3桁とG5桁ではG3桁の方が大きな値となっており、これはウェブでの測定結果でも同様の傾向が見られたことから、前述したコンクリート強度がG3桁のみ別の桁よりも低かったことが影響したと考えられる。

4) グラウト不足部の塩化物イオン含有量

切断面調査において、図-2に示す既設桁であるG3桁とG5桁の1, 3断面で、C1ケーブル (上縁定着付近) のグラウト不足が確認された。また、拡幅桁のG8桁では全ての断面でC10ケーブル (端部定着) のグラウト未充填が確認されたため、既設桁はグラウト不足付近の、グラウトが充填されている位置からコアを採取し、拡幅桁からは既設桁でコア採取した同様の径間位置から、C10ケーブルと比較対象用にグラウトが充填されているケーブルからコアを採取した。塩化物イオン含有量の計測は、シース界面の主桁コンクリートとグラウトを対象とした。計測結果を表-3に示す。計測の結果、全てのケーブルにおいてシース界面の塩化物イオン含有量は低い結果であり、グラウト内は更に低い結果であることから、シース内への塩化物イオン浸透はなかったと推察される。また、グラウト不良が確認された位置のケーブルに対し、別途引張試験を行っており、PC鋼材は僅かに表面が腐食しているものの、引張強度が設計値を満足している結果であった。

6. まとめ

同一環境下で施工年度が異なり、塩害に対する配慮が異なることに着目した検討結果を以下に記す。

- ①1965年に建設された既設桁の純かぶりは、当時の規準40mmを満足していたものの塩害劣化が顕著化し、供用34年で外ケーブル補強などが実施された。一方、1988年に建設された拡幅桁の純かぶりは、1984年の塩害対策指針 (案) に規定されている対策区分 I である70mmを概ね満足しており、供用26年で撤去されるまで、比較的健全な状態であった。
- ②既設桁の塩化物イオン含有量は、シース位置で1.2 kg/m³を超えていた。しかし、かぶり70mm付近では、既設桁と拡幅桁ともに塩化物イオン含有量はG5桁の1箇所を除き1.2 kg/m³未満と小さく、既設桁においてもかぶり確保が確保されていれば塩害劣化が抑制された可能性があった。
- ③既設桁と拡幅桁ともにグラウト充填不足が確認されたが、シース界面およびグラウト内の塩化物イオン含有量は0.3kg/m³程度以下であり、PC鋼材は比較的健全であった。

【参考文献】

1) 社団法人日本道路協会：道路橋の塩害対策指針 (案) ・同解説, 昭和59年2月