

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桁橋のグラウト調査

(一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会 ○谷口 正輝
 (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
 (国研) 土木研究所構造物メンテナンス研究センター 宇佐美 惣
 (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1965年に建設され、その後の1988年に拡幅されたポストテンションT桁橋である(以下、1965年竣工の桁を既設桁、1988年竣工の桁を拡幅桁という)。既設桁の塩害劣化が進行し、主ケーブルの破断が確認されたため、1999年に補修・補強工事が実施された。しかし、その後の再劣化に伴い2014年に架け替えが行われた。なお、既設桁架設後から拡幅桁が架設されるまでの期間は、グラウト材料の転換期ともいえる。1960年代にはセメント分散剤とアルミニウム粉末が使用されていたのに対し、1970年代に入ると減水剤とアルミニウム粉末を混合した混和剤が使用されるようになり、その後の1979年には専用混和剤が登場した。さらに、1982年にはノンブリーディングタイプおよび高粘性タイプ混和剤が登場した。このように、本橋はグラウト材料の改良が進められている最中に架設された橋梁である。そこで本検討では、主ケーブルの破断が確認された既設桁に加え、架設年度の異なる拡幅桁のグラウト材料の違いに着目し、解体調査を実施した。本稿は、解体調査によって得られたグラウト充填状況およびグラウト材料に関する検討結果について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。

表-1 対象橋梁の諸元

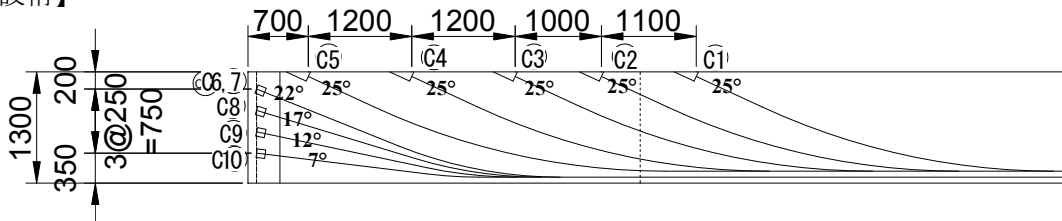
構造形式	2径間単純ポストテンT桁橋
橋長	【既設桁】45.000m (2@22.440m) 【拡幅桁】45.820m (2@22.840m)
斜角	58° 00' 00"
コンクリート強度	40 N/mm ²
PC鋼材	【既設桁】12φ5mm 【拡幅桁】12φ7mm
シーす径	【既設桁】φ35mm 【拡幅桁】φ45mm
竣工年月	【既設桁】昭和40年(1965年) 【拡幅桁】昭和63年(1988年)

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、既設桁が6本、拡幅桁が3本の合計9主桁の橋梁である。橋梁諸元を表-1に示す。

主ケーブルには既設桁で12φ5mmのPC鋼線が10本、拡幅桁で12φ7mmのPC鋼線が11本配置されており、上縁定着ケーブル(C1~C5)の曲上げ角度は、既設桁

【既設桁】



【拡幅桁】

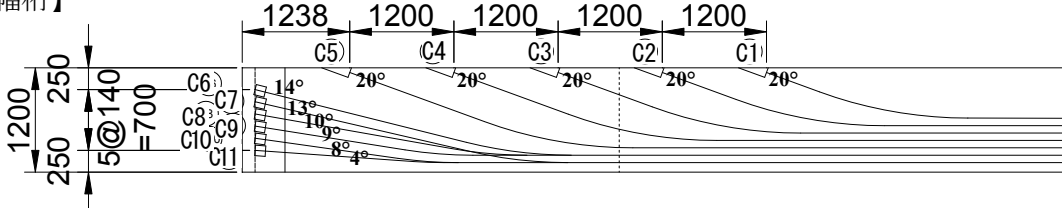


図-1 ケーブル配置図

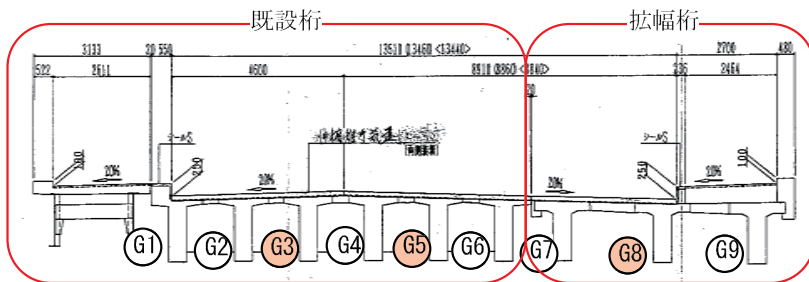


図-2 橋梁断面図

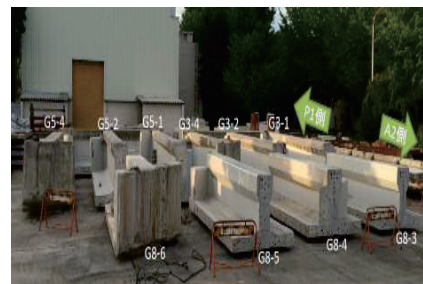


写真-1 撤去部材

で25°，拡幅桁で20°である。また，端部定着ケーブル（既設桁のC6～C10，拡幅桁のC6～C11）の曲上げ角度は，既設桁で7～22° 拡幅桁で4～14°である（図-1）。

3. 調査概要

対象橋梁の断面図を図-2に，撤去前の各主桁状況を表-2に示す。各桁の調査は，解体後の桁運搬などの制約から，第2径間のG3，G5，G8桁を対象として実施した。選定の根拠は，まず初めに損傷のもっとも大きい桁（第2径間のG5桁）を選定し，架設条件が同様である健全桁との比較を行うため，第2径間のG3桁を選定した。また，グラウト材料による違い

表-2 各桁の撤去前状況

種別	径間	桁	外ケーブル補強の有無	劣化状況
既設桁	第1径間	G1	—	橋軸方向ひび割れ
		G2	○	健全
		G3	—	健全
		G4	○	主ケーブル1本破断
		G5	—	健全
		G6	○	健全
既設桁	第2径間	G1	○	健全
		G2	—	主ケーブル1.5本破断
		G3	○	健全・低強度
		G4	—	橋軸方向ひび割れ
		G5	○	主ケーブル3.5本破断，損傷大
		G6	○	主ケーブル3本破断，損傷大
拡幅桁	第1径間	G7	—	健全
		G8	—	健全
		G9	—	健全
	第2径間	G7	—	健全
		G8	—	健全
		G9	—	健全

を確認するため，架設年度の異なる拡幅桁から選定した。拡幅桁はすべて健全で損傷状況に違いはみられなかったため，任意選定により第2径間のG8桁を選定した。撤去する桁は運搬重量を考慮して，既設桁で4分割，拡幅桁で6分割にして運搬した（拡幅桁はA2側の4ブロックのみを運搬）。撤去された桁の保管状況を写真-1に示す。

調査は，①グラウト充填状況確認②グラウトの強度確認を実施した。また，一部でグラウトの充填不足などが確認されたため，充填不足が確認された主ケーブルの強度確認を実施した。

4. グラウト調査

4.1 調査目的

グラウト充填状況に関して，古い橋梁ではブリーディングや先流れに起因した充填不足が確認される事例があり，とくに1993年以前の上縁定着ケーブルを有する橋梁にて顕著である。本橋で使用されたグラウト材料は，既設桁がポゾリスNo.8とアルミ粉をセメントに混和した初期の材料（いわば第1世代のグラウト混和剤）であり，拡幅桁はポゾリスGF630（ポゾリスNo.8とアルミ粉のプレミックス）をセメントに混和した第2世代の材料である。ただし，既設桁はグラウトに関連する設計図書が不明であったため，1960年代～1980年代以前に一般的に使用されていた材料¹⁾を記載している。グラウト材料は，既設桁および拡幅桁ともに，ブリーディングを許容してアルミ粉でグラウトを膨張させる点では同様であるが，材料の性能は既設桁に比べて拡幅桁の方が改善されていると思われる。

そこで，グラウト材料の違いによるグラウト充填状況の確認と，グラウト材料自体の性能差による

グラウト強度の確認を行った。グラウトの充填状況の確認は、撤去した各桁の切断面の目視確認に加え、ブリーディグ水が溜まりやすい定着具付近（上縁定着と端部定着）を対象に実施した。ここで、各定着具付近のグラウト充填状況は、主ケーブルを切断する方向にコアを採取することで、直接目視により確認した。

グラウトの充填状況の判定は、表-3に示すように、サンプル写真と対比して行うものとした。また、強度確認は、引っかき試験器を用いて試料表面に傷をつけ、その傷の幅によって試料表面の強度を推定する方法²⁾を用いて確認した。

4.2 調査結果

グラウト充填状況と外観変状の関連性を把握

するため、ここに桁解体前の外観変状を示す。表-2に記載する通り、対象部材のうち外観変状が確認されたのはG5桁のみである。変状は、ひび割れと剥離であり、ひび割れは、支間中央付近下フランジ側面の橋軸方向のものと、端支点付近下フランジ下面の橋軸および橋軸直角方向のものである。ここで、下フランジ側面のひび割れはシーズに沿ったひび割れであり、グラウト充填状況との関連性が懸念された。

(1) グラウト充填状況

グラウト充填状況の調査結果を図-3に示す。図-3には、グラウト充填不足を意味するグラウト充填度2~4の部位のみを示している。図に記載する桁切断位置が目視調査を実施した切断面であり、その他の部位に記載している記号は、コア採取により調査した結果である。また、G3桁とG5桁は同様の結果であったため、一つの図で示している（既設桁のコア採取による調査はG5桁のみ）。

調査の結果、既設桁の上縁定着ケーブルの定着具近傍は充填度4であった。また、端部定着のケーブルも定着具近傍では上3段はグラウト充填度3であり、最下段のケーブルのみが充填度1であった。ただし、グラウト充填度4や3が確認されたケーブルすべてに対して、定着位置から離れた切断面ではグラウトが充填されており、定着具近傍以外はPC鋼材の防食が確保されている状況であった。したがって、G5桁下フランジ側面のひび割れは、グラウト充填不足やPC鋼材腐食とは関係のないものである。

拡幅桁では、端部定着の下から2段目に配置されているC10ケーブルのみがすべての切断面でグラウト充填度4であり、これは注入忘れによる可能性が高い。また、上縁定着のC5ケーブルではグラウト充填度3であった。同ケーブルはφ100mmのコア採取により調査を実施しており、定着側と支間中央側の2断面でグラウト充填状況が確認できる。充填度3が確認された位置から100mm程度、支間中央側へ離れた位置では、グラウト充填度1であり完全に充填されている状況であった。端部定着の最上段と最下段のケーブルにおいてもC5ケーブルと同様の傾向がみられ、定着側はグラウト充填度2であるが、支間中央側はグラウト充填度1であった。これらの結果より、C10ケーブル以外のPC鋼材は概ね防食が確保されている状況であった。

表-3 グラウト充填状況の分類

分類	グラウト充填状況	補足
充填度1	グラウトが完全に充填されている。	PC 鋼材の付着と防食は確保されている。
充填度2	若干の空隙があるが、PC 鋼材はほぼグラウトに覆われている。	
充填度3	グラウトの充填が不十分であり、PC 鋼材が露出している。	PC 鋼材の付着と防食は確保されていない。
充填度4	グラウトが充填されていない。	

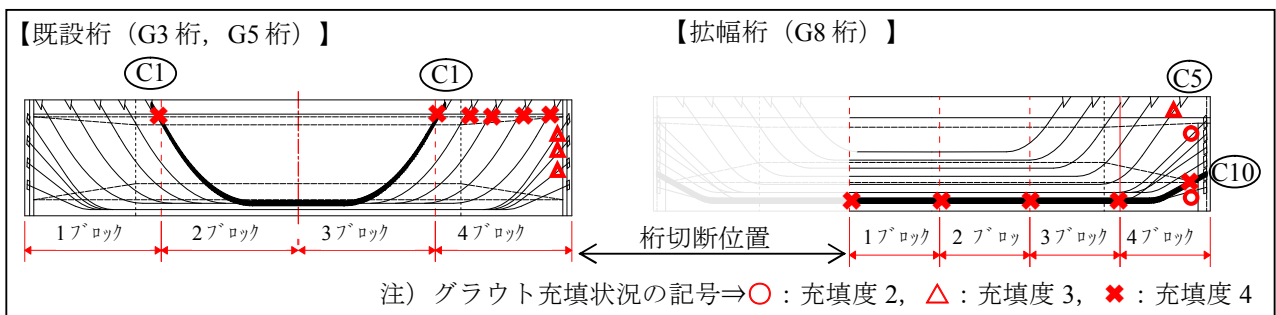


図-3 グラウト充填度調査結果

(2) グラウト強度

試料は、グラウト充填状況の確認のために採取したコアの中から、既設桁と拡幅桁でグラウト充填度1であった場所と、充填度4が確認された既設桁C1ケーブルの未充填部付近より選定し、それぞれの強度を比較した。引っかけ試験の結果、引っかけ傷幅は0.10~0.25mmの範囲となったが、強度推定が行える範囲(傷幅0.20mm以上)を外れていたため、測定した引っかけ傷幅を示す(表-4)。

既設桁でのグラウト未充填付近と充填部の比較では、いずれの桁も充填部の方が小さい傷幅であり、グラウト未充填付近で強度が低下している結果であった。ただし、未充填付近の最大引っかけ傷幅である0.25mmでも、推定強度は50N/mm²程度であり、現状のグラウト強度の規準である30N/mm²を十分満足している結果である。

拡幅桁のグラウト充填部の傷幅は既設桁より小さく、既設桁のグラウトよりも緻密になっていると推測される。

5. グラウト未充填部(充填度4)のPC鋼材強度

5.1 調査目的

既設桁C1ケーブルおよび拡幅桁C10ケーブルにおいて、グラウト充填不足が鋼材の性能に及ぼす影響を確認するため、PC鋼材の引張試験を実施した。

5.2 調査結果

試験結果を表-5に示す。ここで、施工当時のPC鋼材引張強度の材料メーカーの値は、既設桁で1720N/mm²、拡幅桁で1750N/mm²である。引張強度の試験値は、既設桁でメーカー値を満足し、拡幅桁でわずかに下回った。ただし、拡幅桁を施工した当時のPC鋼材設計強度は1550N/mm²であり、設計値は十分に満足する結果であった。また、試験を実施したPC鋼材は、既設桁ではグラウト充填不足の区間が20cm程度であったのに対し、拡幅桁は全長にわたってグラウト未充填であったことも既設桁と拡幅桁の試験結果の差に影響を与えたと考えられる。

6. まとめ

同一環境下で施工年度が異なる既設桁と拡幅桁のグラウト充填状況およびグラウト材料の性能に着目して検討した結果を以下に記す。

- ・本橋のグラウトは、注入忘れを除き概ね充填されていた。定着具近傍のグラウト充填状況は、既設桁よりも拡幅桁で改善されており、グラウト材料やグラウトポンプなどが改良されたことによる効果であると考えられる。
- ・本橋では、グラウト充填不足が確認された場合においても、シーズに沿ったひび割れ(外観変状)は確認されなかった。また、塩分の浸透もなく、グラウト充填不足箇所から取り出したPC鋼材の腐食はほとんど確認されておらず、強度低下も小さかった。

参考文献

- 1) 社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC技術の変遷，2003.11
- 2) 湯浅昇・笠井芳夫・松井勇：引っかけ傷によるコンクリートの表面強度測定方法，日本建築学会学術講演梗概集，A-1，pp677-678，1999.9

表-4 引っかけ傷幅の測定結果

種別	桁	計測 No.	未充填付近傷幅(mm)	充填部傷幅(mm)
既設桁	G3	No. 1	0.20	0.15
		No. 2	0.20	0.20
		No. 3	0.25	0.20
		平均	0.22	0.18
	G5	No. 1	0.25	0.15
		No. 2	0.25	0.15
		No. 3	0.20	0.15
平均	0.23	0.15		
拡幅桁	G8	No. 1	-----	0.15
		No. 2	-----	0.10
		No. 3	-----	0.10
		平均	-----	0.12

表-5 PC鋼材引張試験結果

種別	計測 No.	最大荷重(kN)	引張強さ(N/mm ²)	破断伸び(%)
G5 桁 12φ5mm	No. 1	36.0	1830	--
	No. 2	35.7	1820	5.5
	No. 3	35.3	1800	4.5
	No. 4	36.2	1840	6.0
	No. 5	36.4	1850	6.0
G8 桁 12φ7mm	No. 1	67.1	1744	8.0
	No. 2	64.3	1745	7.0
	No. 3	64.3	1745	6.0
	No. 4	64.1	1739	8.5
	No. 5	64.2	1742	6.0
	No. 6	64.4	1747	6.0
	No. 7	64.3	1745	8.0