

PCT桁橋の桁腹部に発生したシース沿いひび割れ原因に関する解析的検討

(一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員 ○小林 崇
 (一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会 中西 昌洋
 (一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員 北野 勇一
 (独) 土木研究所構造物メンテナンス研究センター 本間 英貴

1. はじめに

プレストレストコンクリート（以下、PCという）構造物は、コンクリートにプレストレスを導入することで有害なひび割れの発生を制御した構造であり、適切な設計・施工がなされることにより長期的な耐久性が確保される。一方で、実橋の定期点検結果に基づく既往の分析¹⁾によると、ポストテンション方式PCT桁橋では桁下面の縦方向ひび割れが最も多く発生し、これについて桁腹部の斜め方向ひび割れの発生頻度も高いと報告している。後者のひび割れの多くは上縁定着ケーブルのシースに沿って生じていると考えられ（以下、桁腹部シース沿いひび割れという）、その原因はグラウトが十分に充填されずにシース内に残留した空隙部に浸入した水が凍結するためと言われている。

しかし、実際に供用されていたPCT桁橋から採取した撤去PC桁について解剖調査を行った所、上縁定着ケーブルのグラウトが十分に充填されていない箇所ではひび割れがほとんど生じてなく、一方、グラウトの充填が良好である箇所の多くでエフロレッセンスを伴う桁腹部シース沿いひび割れが発生していることが確認された（写真－1）²⁾。本稿では、このPC橋で確認された桁腹部シース沿いひび割れの発生原因の解明を目的として行った解析的検討について報告する。

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。

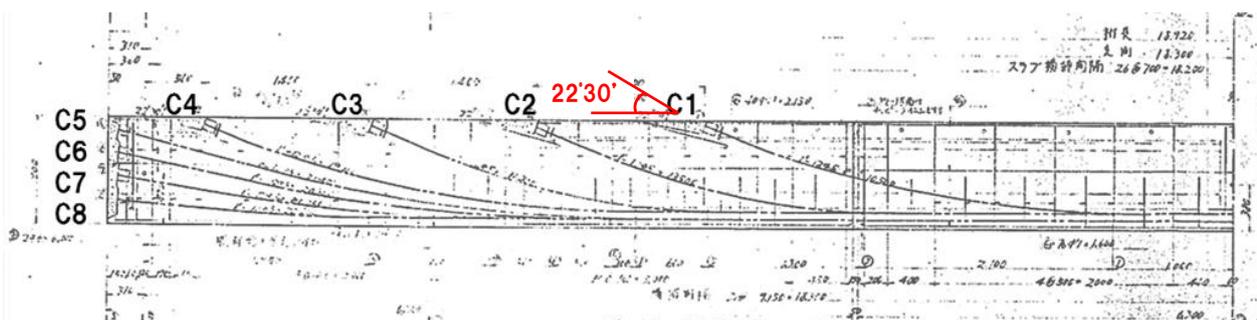
2. 対象橋梁の概要

対象橋梁は、1961年に架設、供用48年を経て架替えのため撤去された2径間単純ポストテンション方式PCT桁であり、前述の解剖調査と同一橋梁である。PCケーブルは12φ5mmが8本配置されており、C1～C4は曲上げ角度22°30'の上縁定着ケーブル、C5～C8は曲上げ角度5～14°の端部定着ケーブルである（図－1）。

撤去前に行われたX線透過法と撤去後の解剖調査の結果を表－1に示す。G5桁A1側のC3ケーブルでグラウト充填不足が確認されたものの、この付近の桁腹部にひび割れは生じていない。一方で、桁腹部にひび割れを生じた付



写真－1 桁腹部シース沿いひび割れ



図－1 ケーブル配置

近のグラウト充填状況は、G2桁A1側のC3ケーブルを除き概ね良好であった。また、解剖調査の結果、桁腹部シース沿いひび割れ付近で空隙が確認された箇所ではグラウトと空隙の界面付近で滞水・乾湿を疑わせる若干の腐食が確認されたものの、全体的にはPCケーブルおよびシースとも腐食等がなく健全な状態であった。

3. 桁腹部シース沿いひび割れ発生要因の検討

桁腹部シース沿いひび割れの発生原因として、前述した凍結作用のほか、①プレストレス、②過大なグラウト注入圧、③グラウトに混和するアルミ粉末の膨張、④コンクリートとグラウトの熱膨張係数の差により生じる表面応力が考えられる。ここでは、これらの原因により生じる表面応力について検討を行う。

3.1 プレストレスによる表面応力の発生

プレストレス (PC鋼材の緊張) により生じる表面応力について、曲上げ角度をパラメータとして解析的な検討を行った。解析には、市販の3次元有限要素解析ソフトを使用し、幅180mm、高さ300mmの断面にシースを模擬する孔径40mmの空洞をかぶり70mmで設けたモデルにより弾性解析を行っている (図-2)。プレストレスは断面に一樣な圧縮力として導入しており、曲上げによる偏向力は考慮していない (図-3)。また、空洞は直線区間200mmより曲上げ区間に入り、曲上げ完了後に335mmの直線区間を有しており、曲上げ角度や区間により長さ寸法が異なるものとなっている (表-2)。コンクリートの材料定数は、設計基準強度50N/mm²における設計値を用いている。また、プレストレスの導入力は、施工時における基準³⁾で使用されていた許容曲げ圧縮応力度より15N/mm²とした。

表-3にプレストレスによる応力の発生状況 (コンター図) を、表-4に曲上げ角度をパラメータとした場合の側面の最大主応力をそれぞれ示す。

本解析により、プレストレスの導入により側面には引張応力が発生し、その応力は曲上げ角度が大きいほど、コンクリート表面応力が增大することが確認された。これは、圧縮力を受ける断面内には

表-1 グラウト充填状況とひび割れ発生の有無

対象部材		グラウト充填状況		ひび割れ発生の有無
		X線透過	解剖調査	
G2桁	A1側	全て充填	充填不足有 (C3)	有 (C3, C4)
	P1側	(未実施)	(未実施)	有 (C4)
G5桁	A1側	充填不足有 (C3)	充填不足有 (C3)	無
	P1側	(未実施)	全て充填	有 (C2, C3, C4)

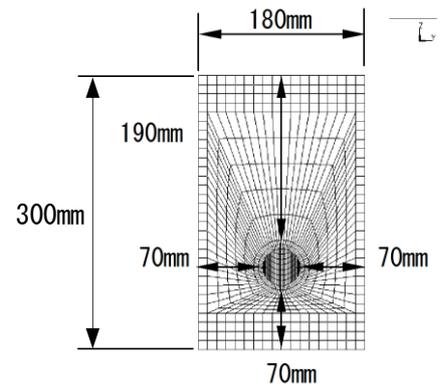


図-2 解析モデル断面

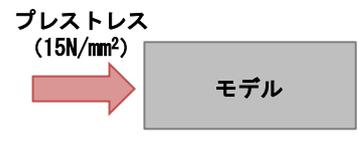
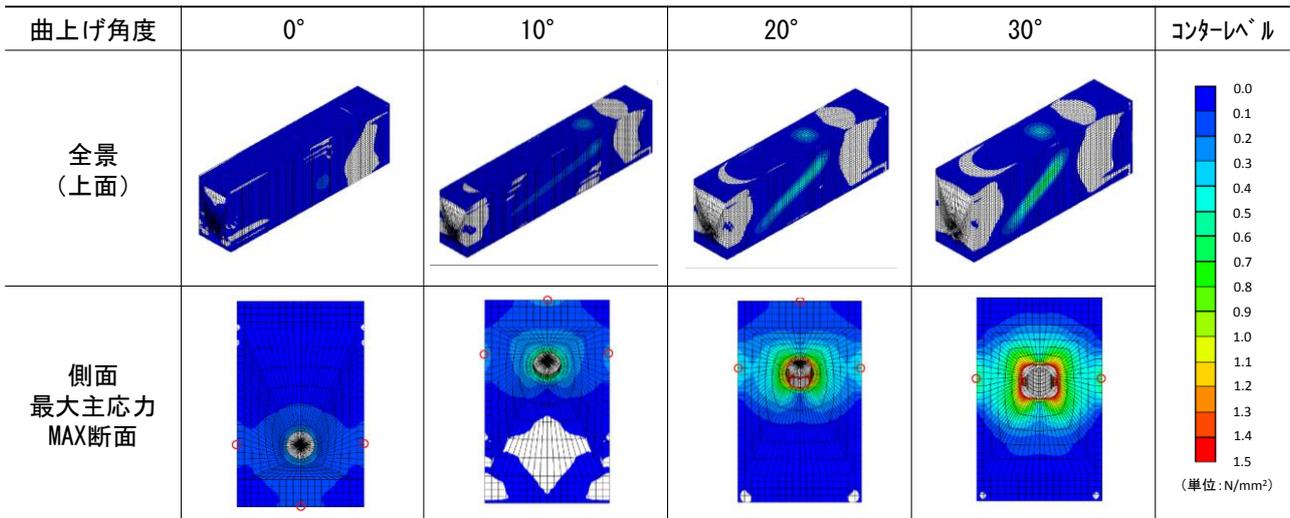


図-3 荷荷方法

表-2 各解析モデルのシース配置

曲上げ角度	0°	10°	20°	30°
モデル —: ケーブル配置イメージ				
曲上げ区間	0mm	680mm	330mm	210mm

表-3 プレストレスによる応力の発生状況



シースを模した空洞があり、桁腹部の幅が小さいことによる表面側へのはらみ出しにより引張応力が発生したためと考えられる。本橋の上縁定着ケーブルは、曲上げ角度が22° 30' となっており、相応の表面応力が発生していたものと推察される。また、プレストレスにより発生する応力はシース近傍およびコンクリート表面で大きく、その間の応力が小さくなる傾向にある。解剖調査において行った桁腹部シース沿いひび割れからシースに向かって行ったコア削孔により、表面のひび割れがシースに達していないことが確認されており、本解析の妥当性が示された (写真-2)。

3.2 グラウト注入圧による表面応力の発生

グラウトの注入圧により生じる表面応力は、既往の研究⁴⁾より内圧を0.5N/mm²として式(1)により算出した。その結果、グラウトの注入により生じる表面応力は、0.09N/mm²と算出された。

$$\sigma = E \cdot p (3.15 - 1.5 i / d) \times 10^{-6} \quad (1)$$

ここで、E：弾性係数 (=3.30 × 10⁴N/mm²)，p：内圧 (=0.5N/mm²)，i：シースかぶり (=70mm)，d：シース径 (=40mm) である。

3.3 グラウトに混和するアルミ粉末の膨張による表面応力の発生

既往の文献⁴⁾より、膨張率1%で内圧が約0.1N/mm²発生するとされている。本検討では膨張率5%と仮定するものとし、これにより発生する内圧は0.5N/mm²に相当し、表面応力はグラウト注入圧と同様に0.09N/mm²ほど発生していたものと推定される。

3.4 コンクリートとグラウトの熱膨張係数の差による表面応力の発生

PC橋において、シースに沿って表面応力が発生する要因として、コンクリートとグラウトの熱膨張係数の差が考えられる。別途実施したシースのかぶりと内圧により生じる表面応力に関する解析検討 (「PCT桁橋の桁下面

表-4 側面最大主応力

曲上げ角度	最大主応力 (N/mm ²)
0°	0.17
10°	0.25
20°	0.45
30°	0.64



写真-2 桁腹部シース沿いひび割れ発生状況

表-5 解析における材料特性値

項目	単位	コンクリート	グラウト	PC鋼材
静弾性係数	N/mm ²	33,000	20,000	200,000
熱膨張係数	μ/°C	10	20	12
ポアソン比	-	0.2	0.2	0.3

に発生した縦ひび割れ原因に関する解析的検討」として同シンポジウムで発表、表-5に示す材料特性値を用い、温度変化は+20℃として解析した条件による)より、内圧により発生する表面応力とシースかぶりの関係および熱膨張係数の差により発生する表面応力とシースかぶりの関係を図-4に示す。これより、本検討において熱膨張係数の差により発生する表面応力は式(2)に外挿し算出するものとした。

$$y = 134.62 x^{-1.258} \quad (2)$$

ここで、 y : 発生応力 (N/mm²) , x : シースかぶり (=70mm) である。

本式による計算により、コンクリートとグラウトの熱膨張係数の差により生じる表面応力は、0.64N/mm²であった。

3.5 桁腹部コンクリート表面に生じる応力の合計

3.1から3.4の検討による表面の発生応力およびその合計を表-6に示す。ここで、グラウトの注入により生じる表面応力は、施工時に一時的に生じるものとして合計からは除外している。

検討を行った各要因について、発生する表面応力は、最大で0.64N/mm²程度であり、ひび割れが発生するほどの応力は確認されていない。しかし、これらの要因が複合的に生じることにより、発生応力は1.0N/mm²を超え、曲上げ角度の大きい鋼材ほどひび割れが発生する可能性が高いことが確認された。

5. 検討を行った各要因について、発生する表面応力は、最大で0.64N/mm²程度であり、ひび割れが発生するほどの応力は確認されていない。しかし、これらの要因が複合的に生じることにより、発生応力は1.0N/mm²を超え、曲上げ角度の大きい鋼材ほどひび割れが発生する可能性が高いことが確認された。

4. まとめ

桁腹部シース沿いひび割れの発生原因の解明を目的として行った本検討の結果を以下に記す。

- ・プレストレス (PC鋼材の緊張) により桁腹部に表面応力が発生し、その応力は曲上げ角度が大きいほど、曲上げ区間が長いほど大きいものとなる。
- ・コンクリートとグラウトの熱膨張係数の差により桁腹部に表面応力が発生する可能性がある。

本検討により桁腹部シース沿いひび割れは、曲上げ角度の大きい上縁定着ケーブルが存在する場合の発生リスクが高く、また、グラウトの充填が良好な場合において生じる可能性が示された。なお、ひび割れ付近に配置されたPC鋼材は、空隙部に配置されたもの、グラウトに覆われたものとも健全であり、ひび割れがPC構造に有害なものではないことも確認された。

本解析的検討は、一般にシース内の空隙に滞水した水の凍結膨張により生じるとされる桁腹部シース沿いひび割れが、対象橋梁においてグラウト充填状況が良好なシース付近で確認されたため、発生原因のひとつの要因として検討したものである。

【参考文献】

- 1) 玉越ほか：道路構造物群のマネジメント (管理) における点検データの活用～定期点検結果の分析から見た損傷発生・進行の特徴及び現有性能の指標化～, 土木技術資料53-12, pp18-21, 2011
- 2) 小林ほか：グラウト充填状況が既設PC橋の外観変状に及ぼす影響, PCシンポジウム論文集, pp265-268, 2013. 10
- 3) 土木学会：プレストレストコンクリート設計施工指針, 1955. 4
- 4) 北海道開発土木研究所 (現寒地土木研究所) : プレストレストコンクリート用グラウトに関する実験的研究, 土木試験所報告第29号, 1962. 3

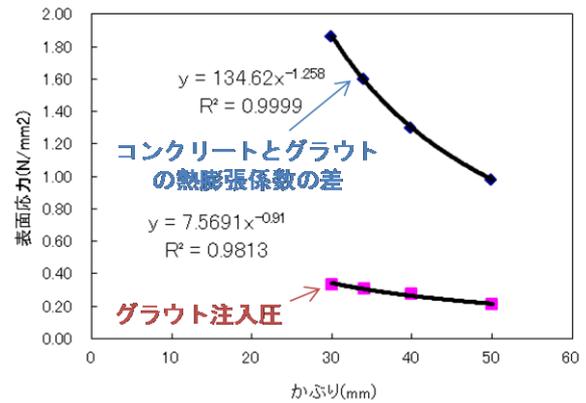


図-4 シースかぶりと発生応力の関係

表-6 各要因による発生応力 (N/mm²)

発生要因	曲上げ角度			
	0°	10°	20°	30°
プレストレス	0.17	0.25	0.45	0.64
グラウト注入	0.00 (0.09)			
グラウト膨張	0.09			
熱膨張係数差	0.64			
合計	0.90	0.98	1.18	1.37