

論文

[2118] PC連続合成桁橋における1次床版定着部の温度ひびわれ防止に関する研究

正会員 川上 洵 (秋田大学環境土木工学科)
 正会員 徳田 弘 (秋田大学環境土木工学科)
 正会員 ○田中 純 (秋田大学大学院)
 正会員 長江 進 (日本道路公団)

1. はじめに

PC連続合成桁橋は、中間支点上に大きな負の曲げモーメントが発生するため、まず中間支点上の主桁に1次床版を打設して、これにプレストレスを導入する[1]。1次床版は、薄い断面内にPC鋼を配置することから非常に密な配筋となり、また富配合で高強度のコンクリートを打設している。しかし、富配合コンクリートの使用による高い水和熱による影響及びPC鋼定着突起部の内部温度の不均一さが、1次床版にひびわれを発生させる場合が多々ある。

本研究は、東北自動車道八戸線「吉田橋」の1次床版に用いた3種類のコンクリートのひびわれ調査結果をもとに、1次床版の水和熱に起因する温度応力及びプレストレス導入によるひびわれを解析により明らかにし、また、温度応力によるひびわれ防止対策を検討したものである。

2. ひびわれ調査及びひびわれ発生原因

図-1に示すように中間支点上の1次床版に早強コンクリート、普通コンクリート、発熱制御型膨張コンクリートの3種類のコンクリートを使用したとき、PC鋼定着突起部におけるひびわれ調査を行うとともに、ひびわれの発生原因を検討した。

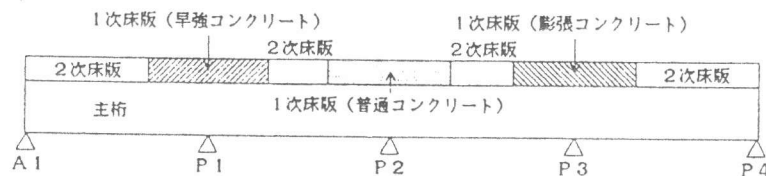


図-1 1次床版コンクリート種別

2.1 ひびわれ調査

図-2に施工及びひびわれ調査の手順及び図-3に1次床版の形状と床版内部の応力状態を調査する目的で設置された、温度計、鉄筋応力計の位置を示す。

また、図-3に目視によるひびわれの位置及びひびわれ幅の調査結果を示す。

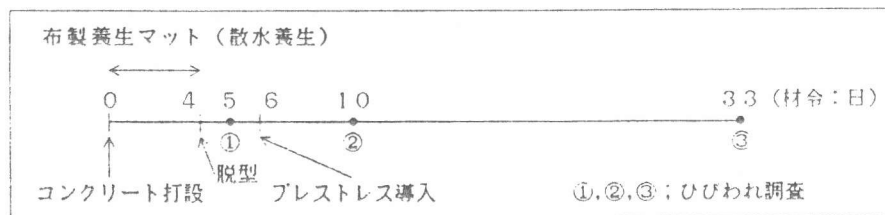
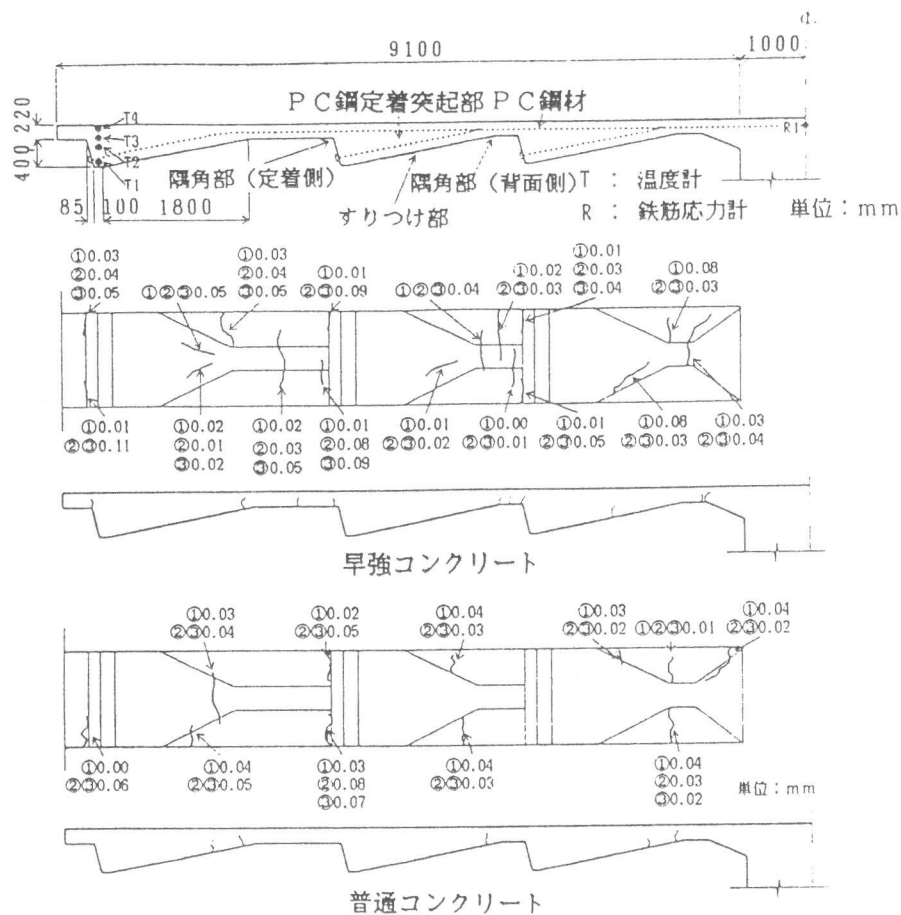


図-2 1次床版及びPC鋼定着突起部のひびわれ調査の手順



①：第1回調査（材令5日）：脱型後 ③：第3回調査（材令33日）
②：第2回調査（材令10日）：プレストレス導入後調査は、クラックスケールを用いた

図-3 1次床版の形状・寸法及び温度計、鉄筋応力計配置、ひびわれ調査結果

この結果より、早強コンクリート使用の特長を列記すると、

- 1) 脱型はコンクリート打設4日後に行ったが、ひびわれは、型わくの脱型時にすでに発生していた。従って、ひびわれの発生は材令4日までの若材令時である。
- 2) ひびわれは、PC鋼定着突起部の隅角部、すりつけ部及び横桁ハンチ部に規則的に発生し、その方向は隅角部、横桁ハンチ部が幅員方向、すりつけ部はハンチに沿っている。
- 3) 脱型直後の第1回調査でのひびわれ幅は、隅角部の定着側で0.01mm、背面側で0.03～0.08mm、すりつけ部で0.01～0.02mm、そして横桁ハンチ部で0.08mmであった。
- 4) プレストレス導入直後の第2回調査でのひびわれ幅は、各突起部の隅角部の定着側が第1回調査で0.01mmであったものが0.03～0.11mmと拡大し、背面側は横桁に最も近い突起部で0.08mmであったものが0.03mmと減少し、その他は変化がなかった。
- 5) プレストレス導入から3週間後の第3回調査結果は、第2回調査結果とほとんど変わらない。

同様に、普通コンクリート使用のひびわれ調査結果は次のとおりである。

- 1) PC鋼定着突起部の隅各部に規則的に0.01～0.07mmのひびわれが生じた。
 - 2) 早強コンクリートに比べひびわれ本数は3割ほど少なく、ひびわれ幅も小さかった。
- 一方、膨張コンクリート使用では、ひびわれは確認されなかった。

2. 2 ひびわれの発生原因

図-4に鉄筋応力計R1と温度計T2の測定結果を示す。温度の下降により鉄筋応力が上昇する傾向があるが、コンクリート打設後17～39時間の間にコンクリートの温度が急激に降下している。また、この間の温度計T1～T4の温度変化は、断面の深さ方向に異なる。つまり、水和熱によりコンクリート内部に高い温度が生じるが、材令17～39時間に急激に下降し断面全体に収縮が生じ、これを拘束することで橋軸方向に高い引張応力が生ずる。また断面の深さ方向の不均一な温度分布によって生じる内部応力を拘束するため、ひびわれが発生すると考えられる。

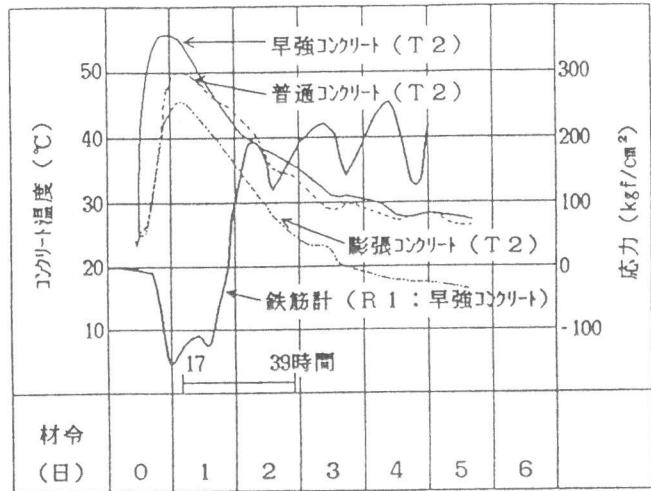


図-4 温度計、鉄筋応力計測定結果

一方、プレストレス導入により新たなひびわれは生じないが、PC鋼定着突起

部の定着側の隅角部では、プレストレスにより引張応力が生じることとなり、ひびわれが0.03～0.11mmに拡大される。最も支点に近いPC鋼定着突起部の背面側の隅角部では、圧縮力を支点が拘束するため圧縮応力が作用し、ひびわれ幅が0.03mmに減少する。

3. PC鋼定着突起部のひびわれ解析

1次床版のPC鋼定着突起部のひびわれ調査結果をもとに、初期材令時の温度応力及びプレストレス導入によるひびわれに着目して解析を行った。

3. 1 解析方法

初期材令におけるコンクリートの温度変化に伴う応力の解析においては、温度降下の著しい材令17～39時間を17～24、24～31、31～39時間の3段階の時間に分けて、温度応力を有限要素法により求めた。本橋においては、床版及び突起部下面側に12mmの合板型枠を使用し、床版上面には布製の養生マットを用いて、散水養生を行った。従って、脱型以前において放熱は主として、床版上面からであり、温度下降は、床版上面から下面へ深さが増すとともに小さくなり、解析では、T1～T4の温度を基に図-5の様な温度及び床版下面両端部を拘束する条件を与えた。なお、計算に用いた弾性係数は、材令とともに変化するが、材令31時間において早強、普通、膨張の各コンクリートでそれぞれ、 $2.40 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $1.22 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $1.39 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ であった。

有限要素法より得られた温度応力から、温度ひびわれ指数を用いてひびわれを検討する[2]。

また、プレストレス導入後の材令10日のひびわれ解析は、温度解析と同様に有限要素法を用い、プレストレスによる外力をPC鋼定着部に作用させて応力解析を行い検討した。

3. 2 解析結果

ひびわれの可能性が高くなった材令31～39時間の温度変化による主応力を図-5に、PC鋼定着突起部の中で隅角部の4箇所(NO.1～NO.4)の解析結果を表-1に示した。

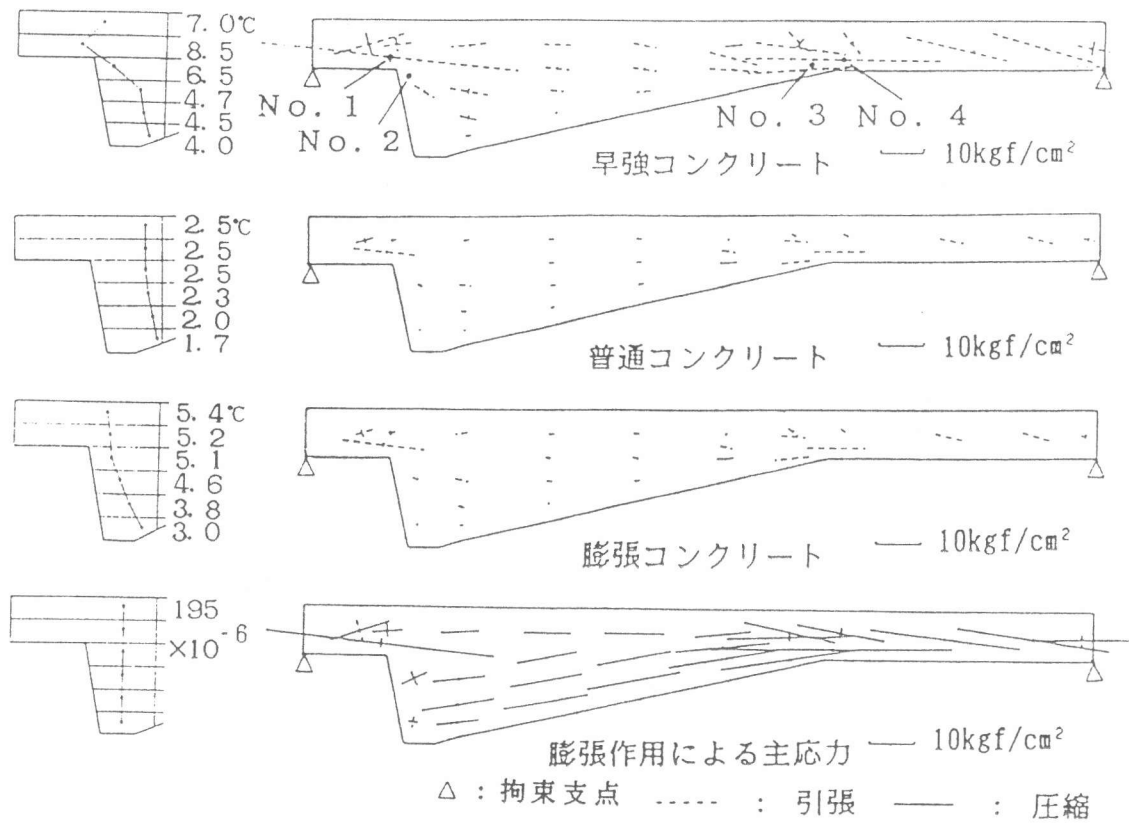


図-5 温度変化による主応力

表-1 PC鋼定着部のひびわれ解析

測点	早強コンクリート		普通コンクリート		膨張コンクリート		
	温度応力 kgf/cm ²	温度ひび われ指数	温度応力 kgf/cm ²	温度ひび われ指数	膨張効果 kgf/cm ²	温度応力 kgf/cm ²	温度ひび われ指数
No. 1	57.4	0.4	14.3	0.5	-50.9	18.0	2.3
No. 2	18.3	1.3	4.9	1.6	-17.8	6.2	1.2
No. 3	39.1	0.6	10.1	0.8	-48.5	11.3	3.4
No. 4	44.0	0.6	11.3	0.7	-54.0	12.8	3.4

(1) 温度ひびわれ解析

早強コンクリートを使用した場合は、ひびわれ調査においてPC鋼定着突起部の隅角部やすりつけ部に0.01~0.08mmの幅のひびわれが発生しているが、解析結果も同様な傾向を示し、特にPC鋼定着突起部No.1で57.4kgf/cm²の大きな引張応力が生じ、引張強度24.2kgf/cm²であるので、ひびわれ指数が小さくなっている。早強コンクリートは水和熱による温度ピークが高く、そのため温度下降が大きな温度差となって生じ、一般的に大きな引張応力が生じる。また、内部温度差による応力も材令24~31時間では急激に大きくなり、温度応力の総計は大きな値となって、ひびわれ発生の原因となっている。特にPC鋼定着突起部の両端隅角部付近のNo.1, No.3, 及びNo.4では部材厚が変化するために大きな引張応力が集中し、ひびわれの可能性が高くなる。

一方、普通コンクリートを使用した場合は、強度発現が遅く、引張強度も材令17~24時間で

5.8kgf/cm²、24~31時間で6.4kgf/cm²、31~39時間で7.6kgf/cm²と小さいものの、水和熱による温度上昇が早強コンクリートに比べ小さいため温度下降の勾配も小さくなるので、温度変化による全般的な引張応力は小さくなる。また、内部温度の不均一による内部応力も全般に小さくなり、早強コンクリートよりも温度応力を低く抑えることができる。ひびわれ発生箇所もP C鋼定着突起部両端の隅角部だけとなり、隅角部でのひびわれ指数も早強コンクリートに比べ大きい。ひびわれの発生原因としては、コンクリート打設後の外気温が10~15℃と他のコンクリートより大きく変動したため、材令17~24及び31~39時間の内部温度の不均一さが助長され温度応力の総計が大きくなることや、初期材令での引張強度が小さいためと考えられる。よって、養生中の外気温の変化による内部温度の不均一さを防ぐことができれば、ひびわれ防止に効果があると思われる。

また、膨張コンクリートを使用した場合は、水和熱による最高温度は最も低く抑えられており、温度下降の勾配も小さく、全般的な引張応力も普通コンクリートに次いで小さい。従って、内部温度の不均一さは他のコンクリートに比べ最も小さく、温度応力の制御に対しては有効である。

なお、膨張コンクリートに関しては膨張作用を拘束することにより、図-6のように全体的に圧縮応力が生じる。膨張効果は、断面形状の変化する隅角部では、応力集中によって大きな圧縮応力となり、表-1のようにひびわれ指数は大きくなりひびわれ防止効果が大きいと考えられる。

(2) プレストレスによるひびわれ解析

温度に依存しない、プレストレス導入による力学的な応力のみを解析し、検討する。

なお、図-6のように変位を拘束し、温度応力解析と同様にP C鋼定着突起部の4箇所を解析結果を表-2に、また、プレストレス導入による主応力を図-6に示す。

表-2 プレストレスコンクリートのひびわれ解析

測点	引張強度 (kgf/cm ²)	引張応力 (kgf/cm ²)	測点	引張強度 (kgf/cm ²)	圧縮応力 (kgf/cm ²)
No. 1	33.1	70.2	No. 3	33.1	81.9
No. 2	33.1	22.5	No. 4	33.1	80.9

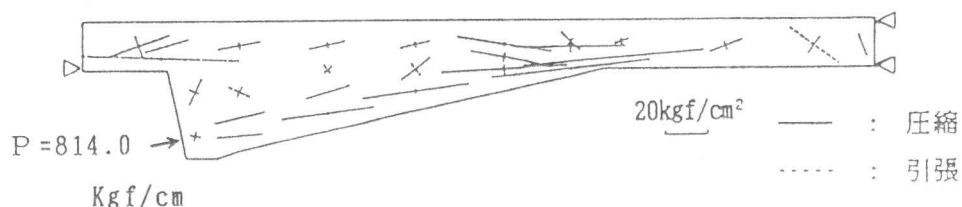


図-6 プレストレス導入による主応力図

プレストレス導入後のひびわれ調査では、P C鋼定着突起部の定着側の隅角部に、最大0.11mmの大きなひびわれが生じており、背面側のひびわれは減少した。解析では、突起部の定着側の隅角部にプレストレスによって最大70.2kgf/cm²の、引張強度より大きな引張応力が発生している。これにより、温度応力によって発生したひびわれ幅が拡大すると考えられる。一方、背面側の隅角部には、プレストレスにより最大81.9kgf/cm²の圧縮応力が作用し、温度応力により発生したひびわれ幅を減少させる効果があったと考えられる。

4. ひびわれ防止対策

ひびわれ調査結果を見ると、一次床版に生ずるひびわれは、P C鋼定着突起部から部材厚が急変する箇所に幅員方向に規則的に生じている。これらの結果はひびわれ解析で示したような橋軸方向の引張応力によるものである。引張応力は、水和熱に起因する温度応力であり、温度下降勾配、定着突起部の内部分布の不均一及び隅角部における応力集中によるものと考察される。本橋で用いた3種類のコンクリートの場合、打設温度がほぼ25°Cであり、最高温度及び材令17~39時間の温度下降勾配は、早強コンクリートで56.5°C及び0.60°C/hr、普通コンクリートで50.0°C及び0.38°C/hrそして膨張コンクリートで45°C及び0.50°C/hrであった。従って、早強コンクリートに最も多くひびわれが生じた。一方、膨張コンクリートは、水和熱の抑制効果とともに、膨張材の混和によりひずみが膨張から収縮に転ずるのは、打設後2週間であり、初期材令時の温度応力による収縮に対し、膨張効果が見られ、ひびわれ防止に有効であった。

以上より、1次床版のP C鋼定着突起部のひびわれ防止の対策としては、水和熱の上昇を抑え、急激な温度下降を避け引張応力を抑えるとともに、養生中の外気温の大きな変化を避けることにより、内部温度の均一さを保ち内部応力による引張応力を抑えることが重要である。なお、普通コンクリート及び膨張コンクリート使用では、プレストレス導入に必要な強度に達するまでの時間が早強コンクリートに比べ遅れるので、プレストレスを導入する時期に留意しなければならない。

また、P C鋼定着突起部を持った構造では、プレストレス導入による引張応力を避けることはできないので、大きく断面形状が変化するような部分を改善するなり、特にP C鋼定着突起部の定着側に適切な補強筋を設けるなどの対策が必要である。

5. まとめ

P C鋼定着部を含む1次床版のひびわれ解析及びひびわれ防止対策についてまとめると、以下のようになる。

1) 不規則な形状を有するP C鋼定着突起部では、水和熱により不均一な内部温度分布となり発生する温度応力も隅角部において応力集中がおこり、ひびわれが生じる。従って、材料施工面から水和熱の抑制や内部温度の平均化を計るとともに、構造面から定着突起部の形状等の吟味が必要である。

2) 本橋で使用した早強コンクリートは、早期強度発現が期待できるものの高い水和熱、大きな温度下降勾配及び内部温度差により最も多くのひびわれが生じた。一方、発熱制御型膨張コンクリートは水和熱の抑制と初期の膨張効果によりひびわれが観測されず、将来もその使用が期待できる。

3) プレストレス導入によるひびわれは、P C鋼定着部の定着側隅角部に集中するので、鉄筋補強を十分にするか、大きく断面が変化しないような構造にすることが重要である。

参考文献

- 1) Kawakami, M., et al. : Stress of Slab over Intermediate Supports in Prestressed Concrete Continuous Composite Girer, Transaction of the Japan Concrete Institute, vol.12, pp.461-468, 1990
- 2) 土木学会 : コンクリート標準示方書 施工編, (社)土木学会, pp.119-136, 1986.10