

[116] 乾燥収縮ひびわれ、曲げひびわれに対する モデレート・プレストレッシングの効果

正会員 ○ 後藤祐司 (日本道路公団試験所)
猪熊康夫 (日本道路公団試験所)

1. まえがき

P C構造とR C構造の中間に位置するP R C構造については、両者の長所を合わせ持つ構造として、すでに一部試験的に実構造物に適用されている。^{1),2)} このP R C構造の一様として、コンクリート構造物に生じる乾燥収縮ひびわれ、曲げひびわれなどを制御することを目的に、10 kg/cm²程度の僅かなプレストレス（モデレート・プレストレッシング）を導入する方法が提案されているが、試験例も少なく未解明の部分も多い。

本研究は、通常の鋼橋床版をモデルとしたR C梁（3支点を持つ不静定梁）とこれにモデレート・プレストレッシングを導入した梁を対象とし、乾燥収縮などによる施工ひびわれと荷重による曲げひびわれの一連の変化を連続して測定することによって、モデレート・プレストレッシングのひびわれ制御効果の把握を行ったものである。

2. 実験概要

2.1 供試体の作成

供試体の種別を表-1に、また供試体M P - 1の配筋を図-1に示す。供試体M P - 1は、SWPR7A15.2 mm 7本よりのストラント2本（アンボンド・ケーブル）を使用している。また、供試体M P - 2は、供試体M P - 1の上側の主筋のかぶり（中心かぶり）を7.5 cmとしたものであり、供試体R C - 1、R C - 2は、それぞれ供試体M P - 1、M P - 2のP C鋼材を取り去ったものである。鉄筋はSD35で、軸方向はD19、横方向はD16である。使用したコンクリートの配合は表-2に示すとおりである。

表-1 供試体種別

供試体番号	分類	プレストレス量 (kg/cm ²)	上筋かぶり (cm) (中心かぶり)
M P - 1	モデレート・プレストレス	10	4.0
M P - 2	モデレート・プレストレス	10	7.5
R C - 1	鉄筋コンクリート	0	4.0
R C - 2	鉄筋コンクリート	0	7.5

表-2 コンクリートの配合

設計基準強度 (kg/cm ²)	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量の範囲 (%)	単位水混 (kg)	単位セメント量 (kg)	水セメント比 w/c (%)	砂率 S/a (%)	単位細骨材量 (kg)	単位粗骨材量 (kg)	単位混和剤量 (kg)
410	25	8±2	4±1	158	410	38.5	42.0	741	1070	4.10

供試体M P - 1、M P - 2は、コンクリートの材令5日（圧縮強度 346 kg/cm²）において、スパン中央断面の有効プレストレスが10 kg/cm²となるようにプレストレスを与えた。

作成した供試体は、コンクリート打設後約9ヶ月屋外に放置した後、以下に述べる載荷試験を行った。

2.2 試験方法

載荷は表-3のとおりの順序で行った。試験I-1～I-3は、スパン中央への2点載荷で、初期のひびわれ性状の変化をみるためにものである。試験I-4～I-6は、スパン1/4点（中间支点より1

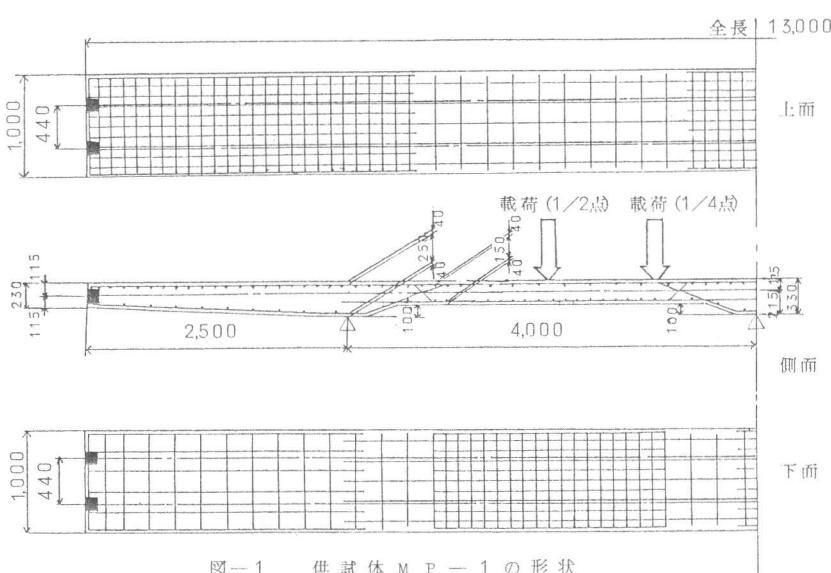


図-1 供試体M P - 1の形状

mの点)への2点載荷で、載荷位置を変えた場合のひびわれ性状の変化をみるためのものである。試験Ⅱ-1～Ⅱ-6は、繰り返し載荷時におけるひびわれ性状の変化をみるためにもので、スパン1/2点と1/4点を交互に25万回ずつの載荷を行った。以上の繰り返し載荷は、4～23t(載荷点合計)の荷重で行った。上限荷重の23tは、RC-1のスパン1/2点載荷時において、下側の主鉄筋の死荷重を含む応力度が約1400kg/cm²となるように定めた。このときのMP-1の主鉄筋の応力度は約1000kg/cm²である。以上の載荷に先立ち、各供試体のひびわれ状況の調査を行った。調査は、幅0.03mm以上のすべてのひびわれの位置及び主要なひびわれの幅について行った。さらに各繰り返し載荷試験ののちには、23tまでの静的載荷試験を行い、荷重載荷時及び除荷時のひびわれ調査を上記同様に行った。

試験Ⅲ-1は、荷重載荷時に生じているひびわれの内部性状を調べるために端スパンに載荷し、端支点上面付近に生じたひびわれに表面からエボキシ樹脂を注入して2日間そのまま保持したものである。鉄筋位置に沿って供試体を試験終了後切断し、ひびわれの内部状況を調査した。端スパンの載荷荷重は、RC-1については、上側鉄筋の載荷荷重による鉄筋の応力度が1800kg/cm²となるよう設定し、MP-1、MP-2、RC-2についてはRC-1の載荷荷重による断面の最大曲率(元型ゲージで測定)に等しくなるように荷重を設定した。

3. 実験結果

3.1 ひびわれの変化

1) 載荷前のひびわれ状況

載荷前に、供試体には乾燥収縮などによるひびわれが生じていた。このひびわれの本数は、全般的に供試体の下面で多く、上面で少なかった。MP-1、RC-1の下面(ハンチを除くスパン中央部分)の初期ひびわれ状況を図-2に示す。観測された最大ひびわれ幅は、MP-1では0.05mm、MP-2では0.03mm未満、RC-1では0.10mm、RC-2では0.12mmとなっていた。これらのことよりモーデレート・プレストレスを導入することによって、乾燥収縮ひびわれを質、量ともに低減することが判明した。

2) 繰り返し載荷に伴うひびわれの変化

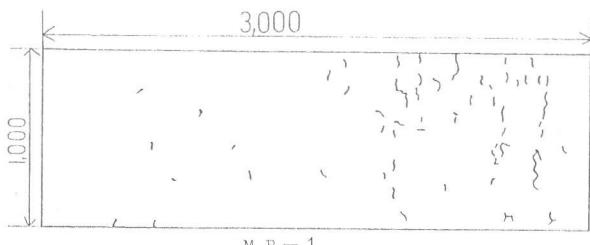
繰り返し載荷試験において、中間支点上面付近及びスパン中央下面に生じた主なひびわれの幅及びひびわれ密度の変化を測定した。ひびわれ密度は、中間支点上面については中間支点をはさんで前後1mの範囲、下面については下面のハンチ部を除く長さ3mの範囲を対象にして算定している。

上面の最大ひびわれは、ハンチ部つけ根付近に生じた。これは、ハンチ部が剛性が異なるために梁に荷重が載荷されても変形がおきず、ハンチのつけ根付近に応力が集中するためと思われる。下面の最大ひびわれは、モーメント最大のスパン中央に生じた。

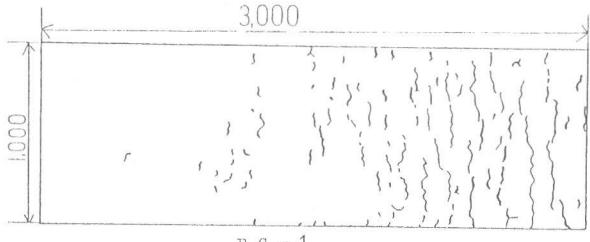
図-3、4に、供試体MP-1、RC-1の代表的なひびわれの上面、下面のひびわれ幅の変化

表-3 載荷サイクル図

試験番号	載荷位置	繰返し回数	摘要
I-1	1/2点	1	
I-2	1/2点	1×10 ³	
I-3	1/2点	1×10 ⁴	
I-4	1/4点	1	
I-5	1/4点	1×10 ³	
I-6	1/4点	1×10 ⁴	
II-1	1/2点	25×10 ⁴	
II-2	1/4点	25×10 ⁴	
II-3	1/2点	25×10 ⁴	
II-4	1/4点	25×10 ⁴	
II-5	1/2点	25×10 ⁴	
II-6	1/4点	25×10 ⁴	
III-1	端支点より0.8m (端スパン)	25×10 ⁴	ひびわれに樹脂注入



MP-1



RC-1

図-2 乾燥収縮ひびわれ(スパン中央下面)

(1/2 点載荷時) の一例を示す。

図-3より、上面のひびわれは、MP-1について、載荷試験を繰り返しても載荷時と除荷時のひびわれ幅の変化が安定しているが、RC-1については、載荷試験の後半において、載荷時、除荷時ともひびわれ幅が増加し、また、ひびわれ幅の変化も大きくなっていることがわかる。同様な傾向は、MP-1、RC-1の他のひびわれおよびかぶりの厚いMP-2とRC-2を比較した場合にも認められた。

また、図-4より、下面のひびわれは、MP-1について、繰り返し載荷試験を通じて載荷時と除荷時のひびわれ幅の変化が安定しているが、RC-1については、載荷試験の前半においては、載荷時、除荷時のひびわれ幅の変化が小さいことがわかる。同様な傾向は、他のひびわれについても認められたが、乾燥収縮ひびわれ幅が広いRC-2は、曲げモーメントをうけることにより、乾燥収縮ひびわれから曲げひびわれが発達するが、その増加分はわずかであり、ひびわれのないMP供試体と相違を示している。

これらのことにより、モデレート・プレストレスを導入すると、載荷時と除荷時のひびわれ幅の変化が安定すること、及び荷重載荷時のひびわれ幅が低減できること、が判明した。図-4

また、図-5より、RC-1のひびわれ密度は、載荷試験の過程で、上面、下面とも増加するが、MP-1のひびわれ密度は安定していることがわかる。一方、かぶりが厚いRC-2、MP-2の上面のひびわれ密度は、いずれも安定している。(図-6)

3.2 モデレート・プレストレスの効果

1) 樹脂注入試験結果

供試体RC-1の上側鉄筋の載荷荷重による鉄筋の応力度を1800 kg/cm²とし、MP-1、MP-2、RC-2についてはRC-1の載荷荷重による最大断面曲率にはほぼ等しくなるような荷重を作用させ、樹脂注入した。

このときの供試体表面における最大ひびわれ幅は、供試体MP-1、2では0.05 mm、0.15 mm、RC-1、2では0.25 mm、0.27 mmであった。また、このとき最も深く入っていたひびわれ及びそれに隣接するひびわれの断面図を図-7に示す。図-7の鉄筋(主鉄筋)の位置は、実際の配置状況を測定したものであるが、施工誤差のため図-1の配筋とやや異なってきている。供試体MP-1、MP-2、RC-2の最大ひびわれ深さは、それぞれ4.0 cm、8.0 cm、12.5 cm、12.8 cmであり、載荷荷重による変形を同一にした時の乾燥収縮と荷重によるひびわれを合計したひびわれ幅はモ

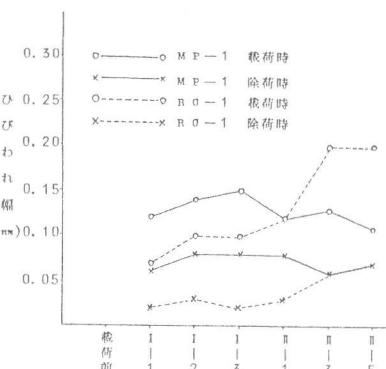


図-3 ひびわれ幅の変化 (c=4cm, 上面, 1/2点載荷時)

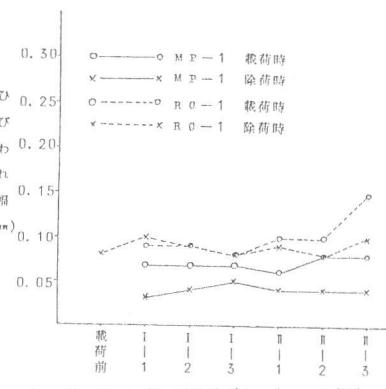


図-4 ひびわれ幅の変化 (c=4cm, 下面, 1/2点載荷時)

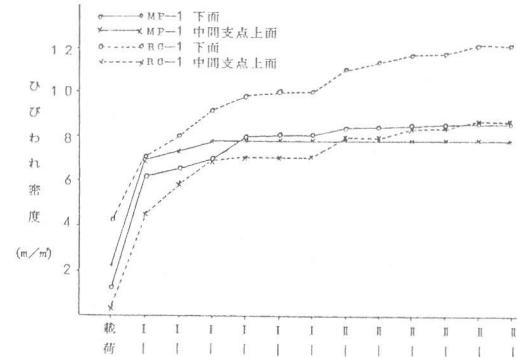


図-5 ひびわれ密度 (c=4cm)

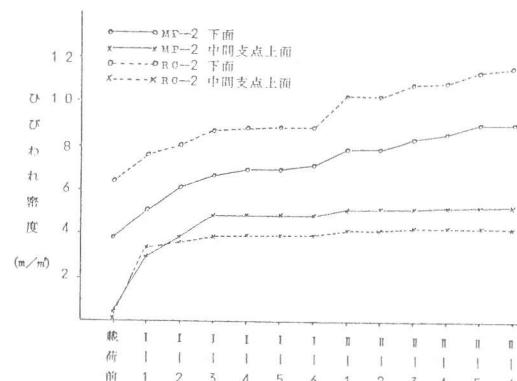


図-6 ひびわれ密度 (c=7.5cm)

レート・プレストレス導入によって、きわめて低減せしめられることが認められた。

2) 最大ひびわれ幅の比較

表-4に、各供試体のスパン中央載荷試験を通して観測された最大ひびわれ幅を示す。

載荷時、除荷時ともひびわれ幅は、いずれもM.P供試体の方がR.C供試体よりも小さく、モデレート・プレストレスの効果がここでも認められる。

更に、コンクリート構造の限界状態設計法指針(案)(土木学会58年11月)に示されたひびわれ幅の算定式を用いて、スパン1/2点載荷時のひびわれ幅を算定した結果についても表-4中に示している。載荷時のひびわれ幅は、供試体の自重と載荷荷重によって生じる鉄筋応力を用いて算定したひびわれ幅であり、除荷時のひびわれ幅は、供試体の自重によって生じる鉄筋応力を用いて算定したひびわれ幅である。R.C-1、R.C-2上面の載荷時の計算ひびわれ幅は、0.10mm、0.19mmであるのに対して、実際のひびわれ幅(表-4)が、0.20mm、0.35mmとなっているのは、ハンチ部の応力集中の影響と思われる。

また、R.C-1、R.C-2下面の載荷時の計算ひびわれ幅はいずれも0.15mmであるのに対して、実際のひびわれ幅は0.15mm、0.10mmとなっている。一方、除荷時のひびわれ幅は、計算のひびわれ幅に比べていずれもかなり大きくなっている。乾燥収縮によるひびわれ幅が除荷時に残っていることがわかる。

コンクリート構造物の耐久性を考える上で、ひびわれ幅の大きさは重要な要素であるが、ここに示されたように乾燥収縮ひびわれの影響は無視出来ないものがあると考えられる。

4.まとめ

- 1) 鉄筋コンクリート中に導入した10t/cm²程度のプレストレスは、乾燥収縮ひびわれの発生を低減せしめ、載荷荷重によるひびわれの進展防止および安定に効果があることが明らかとなった。
- 2) 大気中に9ヶ月間放置したR.C梁の下面には、荷重載荷以前に乾燥収縮により、既にある程度の幅のひびわれが入っている。このひびわれは載荷によってあまり増加せず、通常の試験結果とは異った傾向にある。このことより、耐久性に影響するひびわれの評価は、環境によるものと荷重によるものの両者を合わせて考えてゆく必要があることが認められた。

〈参考文献〉

- 1) 横道英雄、外崎忍：上姫川橋(P.R.C工法)の設計及び施工について、プレストコンクリート Vol. 7, No. 5, Oct. 1965
- 2) 小須田紀元他：Ⅲ種P.C鉄道橋実施設計例——桜井線ボケラB——同 Vol. 25, No. 1, Jan. 1983
- 3) 成井信、上阪康雄：モデレート・プレストレッシングによるマスコンクリートのひびわれ制御
コンクリート工学, Vol. 21, No. 1, Jan. 1983

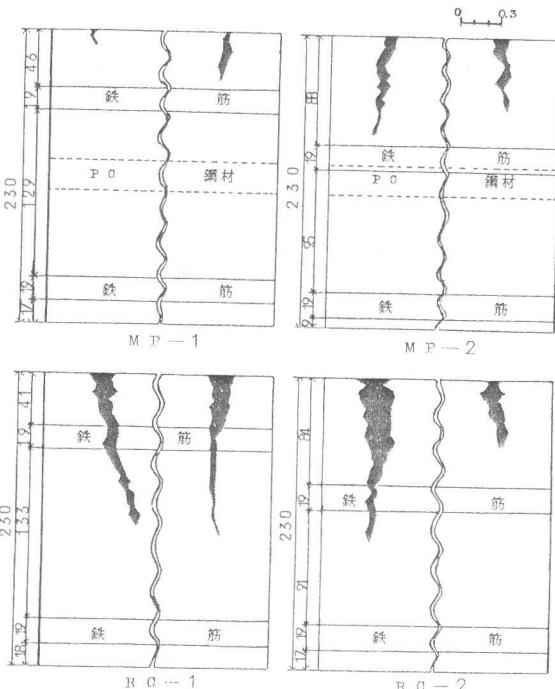


図-7 ひびわれの形状

表-4 最も大きいひびわれ幅

()は計算値
単位:mm

供試体 番号	中間支点ハンチ部上面		スパン中央下面	
	載荷時	除荷時	載荷時	除荷時
M.P-1	0.15	0.09	0.09	0.06
R.C-1	0.20 (0.10)	0.08 (0.003)	0.15 (0.15)	0.11 (0.001)
M.P-2	0.30	0.12	0.09	0.05
R.C-2	0.35 (0.19)	0.15 (0.006)	0.10 (0.15)	0.10 (0.001)