

PRC 桁の曲げ特性に関する実験

角 田 与 史 雄*

1. 緒 言

コンクリートは引張強度が小さく、じん性に欠けるために構造材料として使用するときには鉄筋コンクリート (RC) またはプレストレストコンクリート (PC) とするのが普通である。RC および PC はともに鋼とコンクリートとを素材とする複合材料であって、その耐荷性状には根本的な相違はない。しかし使用荷重下の性状では最近のように高強度の異形棒鋼を用いる RC ではひびわれが生じているのが普通であるのに対して、PC ではひびわれ発生を許さないの点に大きな差異がある。

コンクリートのひびわれは一般に鋼材の腐食の危険性からその大きさに制限を受けるが、通常環境のもとでは 0.2~0.3 mm 幅以下では害がないことが経験的に知られている¹⁾。したがって PC の場合にもこの程度のひびわれは生じたに危険になるとはいえず、実際にも縦ひびわれの生じた桁が耐久性に影響なく実用に供されている例も少なくない²⁾。Abeles は古くから PC においてもひびわれ発生を許すことを提案してきたが³⁾、通常、PC はひびわれ分散性が悪いので、実用上一般化するには至らなかった。一方、RC においては近年著しく普及した異形棒鋼の使用により普通丸鋼に比べてひびわれ分散効果が高まり、使用応力度が約 1.5 倍に高められた。しかし非緊張材ではそれ以上の高応力の使用はやはり大きな制約を受けている。それに対して RC および PC の中間領域のプレストレスト鉄筋コンクリート (PRC) は、終局耐力に対しては鉄筋と PC 鋼の両者によって抵抗させるとともに、使用荷重下では鉄筋の効率的配置によって安定したひびわれ性状をもたらす、かつプレストレッシングによってひびわれ発生荷重の増加またはひびわれ幅の低減をはかり、その結果高強度鋼の有効な使用が可能となる。

PRC は 1964 年に横道英雄博士によって提唱され、RC 桁の設計条件に基づくときの断面設計方法が提案さ

れた^{4),5)}。同様の研究はさらに同じころ、小寺氏ら^{6),7)}によっても行なわれている。著者は上記の横道氏の提案の直後にその研究グループに加わって PRC 桁の研究を進め、IV 種設計条件⁸⁾に基づく断面設計法^{9)~11)}、クリープおよび収縮の影響¹²⁾、くり返し荷重下の性状¹³⁾などを明らかにしてきた。一方、海外では約 10 年前にヨーロッパコンクリート委員会⁶⁾が PC の設計条件として、従来のフルプレストレッシング (I 種) およびパーシャルプレストレッシング (II 種) とならんで変動荷重下におけるひびわれ発生を許す III 種設計条件を加えたことから RC と PC の中間領域が注目を浴びるようになり、この数年間に相次いで研究成果が発表されるようになった (例えば^{13)~20)}。

このように PRC の研究は最近ようやく活発になってきたが、その歴史は非常に浅く、その有利な使用、幅広い用途の開発およびそれに応じた設計条件の確立のためには今後より多くの研究が必要であろう。本文はこのような観点から PRC 桁の曲げ特性を明確にするために行なった静的およびくり返し載荷実験の結果についてまとめたものである。

2. 供試体および実験方法

実験に用いた供試体は幅 20 cm、高さ 30 cm、スパン 3 m の長方形断面 PRC 桁 12 本からなる。その詳細は図—1 および表—1 に示すとおりである。

用いたコンクリートは単位セメント量 316 kg/m³、水セメント比 50%、単位細骨材量 923 kg/m³、単位粗骨材量 1 108 kg/m³ で、スランプ値は 6.5±1.5 cm である。セメントは早強ポルトランドセメント (アサノ、比重 3.15、比表面積 4 450 cm²/g)、細骨材は錦岡海岸砂 (比重 2.71、吸水率 0.87%、粗粒率 3.01) および粗骨材は静内川砂利 (最大寸法 25 mm、比重 2.76、吸水率 1.02%、粗粒率 6.99) を用いた。

主鉄筋としては、桁 No. 201~205 および 26、27 に対して横ふし型異形棒鋼 SD 35 の D 10 ($\sigma_y=3 770$ kg/cm², $\sigma_B=6 090$ kg/cm²), D 16 ($\sigma_y=3 730$ kg/cm², $\sigma_B=$

* 工博 北海道大学助教授 工学部土木工学科

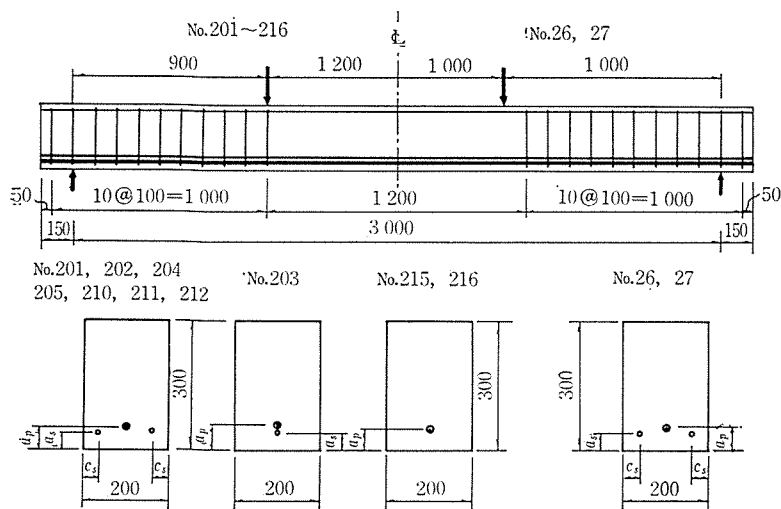


図-1 試験桁の形状寸法

表-1 試験桁の詳細

桁 No.	鉄筋	a_s (mm)	a_p (mm)	c_s (mm)	有効プレ ストレッ シング力 P_p (kg)	$\zeta^{*)}$	実験の 種別
201	2 D16	40	50	33	6 880	0.35	静的載荷
202	2 D16	40	50	33	6 840	0.35	"
203	1 D16	40	75	100	7 540	0.48	"
204	2 D10	37	47	30	6 950	0.53	"
205	2 D22	43	53	36	6 940	0.22	"
210	2 ϕ 9	31	50	30	3 970	0.57	"
211	2 ϕ 9	31	50	30	4 960	0.57	"
212	2 ϕ 9	31	50	30	6 250	0.58	"
215	—	—	50	—	5 180	0.81	"
216	—	—	50	—	6 920	0.78	"
26	2 D16	40	50	40	6 150	0.39	くり返し 載荷
27	2 D16	40	50	40	6 150	0.39	"

$\zeta = A_p \sigma_{py} / (A_s \sigma_{sy} + A_R \sigma_{ky} + A_p \sigma_{py})$, k : シース

5 430 kg/cm²) または D 22 ($\sigma_y = 3 670$ kg/cm², $\sigma_B = 5 690$ kg/cm²) を、桁 No. 210~212 に対して普通丸鋼 $\phi 9$ ($\sigma_y = 4 270$ kg/cm², $\sigma_B = 5 900$ kg/cm²) を用いた。なお、桁 No. 215 および 216 は鉄筋をもたず、非緊張鋼はシースのみである。P C鋼には呼び径 10 mm, 0.2% 耐力 (σ_{py}) 136 kg/mm², 破断強度 150 kg/mm² の異形 P C鋼を用いた。

くり返し載荷試験桁 No. 26 および 27 は P C鋼の付着の完全を期するためにプレテンション方式を採用したが、静的試験桁はすべてポストテンションングとした。後者ではシースとして外径 16 mm, 内径 13 mm, 肉厚 1.5 mm, 降伏応力度 3 260 kg/cm², 破断強度 3 690 kg/cm² の電線被管を使用した。

各試験桁は鋼製型わくを用いてコンクリートを打設し、材令 2 日に脱型したのち試験前日まで湿布養生をした。その間、材令 6 日以後にプレストレスを導入した。P C鋼の定着はプレテンション桁では摩擦により、ポ

ストテンション桁ではナット締めによった。後者は水セメント比 45% のセメントペースト (早強セメント使用) のグラウト注入を行なった。

各桁に導入したプレストレス力の大きさは P C鋼のひずみによって制御したが、さらに桁スパン中央位置の上・下縁ひずみの測定によって確認するとともに、試験時までのひずみの経時変化の測定によって有効プレストレス力を求めた。その大きさは表-1 に示すとおりである。

各試験桁はプレストレス導入の 6 日以降、材令 14~24 日に実験を行なった。静的試験桁では、まず破壊荷重の約 60% まで

で載荷したのち計算上下縁に引張応力が生じない荷重段階まで除荷し、再び載荷して破壊させた。くり返し載荷試験桁では、No. 26 は 7 t (破壊荷重の 60%), No. 27 では 5 t (破壊荷重の 43%) までまず静的に載荷し、いったん除荷して再び同じ荷重まで載荷したのちその荷重を上限荷重として 20 万回までのくり返し載荷を行なった。くり返し下限荷重はそれぞれ 3.5 t および 1.5 t で、くり返し速度は毎分 250 回とした。

測定は、静的試験においては 0.5 または 1 t ごとの各荷重段階において、くり返し載荷試験においてはくり返し回数 1 万, 2 万, 5 万, 10 万 および 20 万回においてくり返し上限荷重までの静的載荷を行なって、両載荷点および支間中央点のたわみを 1/100 mm ダイヤルゲージにより、両載荷点間の鉄筋の伸びおよび鉄筋位置におけるひびわれ幅をウェブ両側面に 40 mm 間隔に貼った標点を用いてコンタクト型ひずみ計 (最小目盛 1/1 000 mm) により、および支間中央点の主鉄筋 (桁 No. 201~205 のみ) およびコンクリート上縁のひずみをワイヤストレングージにより測定した。

プレストレス導入時および実験材令におけるコンクリートの圧縮強度および弾性係数の値は、 $\phi 10 \times 20$ cm のシリンダー供試体により求めた。

3. 静的試験結果および考察

各試験桁のひびわれ発生曲げモーメント M_{cr} , 破壊曲げモーメント M_B および試験日のコンクリートの圧縮強度 σ_{cB} の値を表-2 に示す。なお、桁 No. 26 および 27 に対する M_{cr} の値は 1 回目の載荷時および M_B の値は 20 万回くり返し載荷後の静的載荷時に得られたものである。

R C桁および P C桁の破壊曲げモーメントは、平面保持が成立つ、コンクリートの引張抵抗を無視する、およ

表-2 ひびわれおよび破壊曲げモーメント

桁 No.	σ_{cB} (kg/cm ²)	M_{cr} (tm)	M_B (tm)	$M_{B,cal}$ (tm)	$M_B/M_{B,cal}$
201	350	2.03	6.03	5.98	1.01
202	397	2.48	6.30	6.14	1.03
203	346	1.80	4.05	4.22	0.96
204	295	1.80	—*	4.10	—
205	324	2.25	8.95	8.69	1.03
210	325	1.80	3.73	3.78	0.99
211	355	1.80	4.00	3.89	1.03
212	298	1.80	3.60	3.79	0.95
215	282	1.80	2.61	2.69	0.97
216	291	1.80	2.65	2.86	0.93
26	412	1.75	5.88	5.53	1.06
27	377	1.75	5.80	5.53	1.05

* 記録忘れ

び圧縮縁のコンクリートひずみがある極限值 ϵ_{cB} に達したときに破壊が生ずる、の仮定に基づいて計算するとき実験結果とよく一致することが知られている²¹⁾。これらの仮定に基づいて、藤田²²⁾による圧縮部コンクリートの応力分布曲線および ϵ_{cB} の値を用いて各試験桁に対する破壊曲げモーメントを計算すれば表-2 に示すとおりで、実験値との比は 0.93~1.06、平均 1.00 で両者は非常によい一致を示している。同様の結果は他の研究者の実験^{13)~20)} においても得られており、これらの結果より一般に付着性状の異なる 2 種類の鋼材を有する PRC 桁の破壊荷重の計算に対しても平面保持の仮定を適用することができるがわかる。

図-2~4 は、鉄筋として異形棒鋼を用いた PRC 桁、同じく普通丸鋼を用いた PRC 桁、および鉄筋をもたない桁のコンクリート圧縮縁のひずみ曲線の各一例を示したものである。鉄筋のひずみは異形棒鋼を有する桁においてのみ測定したが、その一例を図-5 に示す。また、

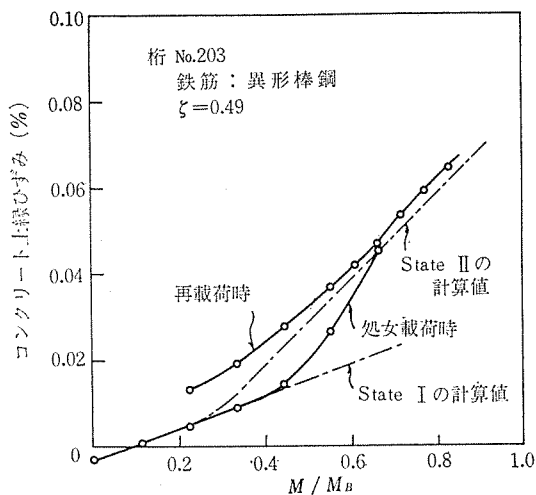


図-2 コンクリート上縁ひずみ (1)

図-6~8 は各種の桁のたわみ曲線を描いたものである。なお、ここに示さなかった他の桁のひずみおよびたわみ曲線は、いずれもこれらの図とまったく同じ性状を示し

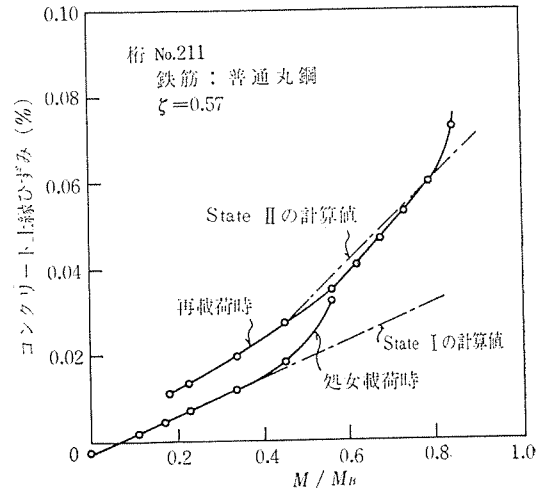


図-3 コンクリート上縁ひずみ (2)

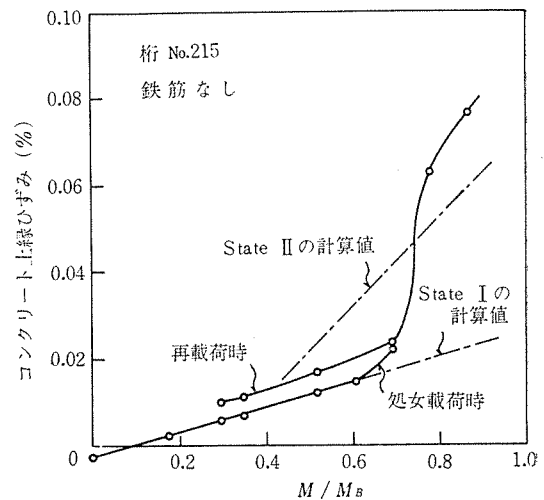


図-4 コンクリート上縁ひずみ (3)

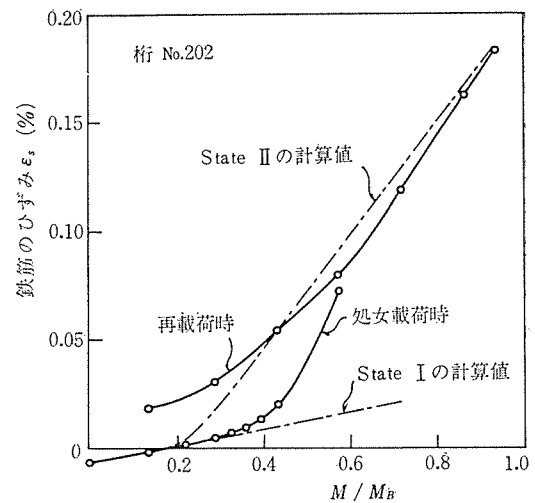


図-5 鉄筋のひずみ

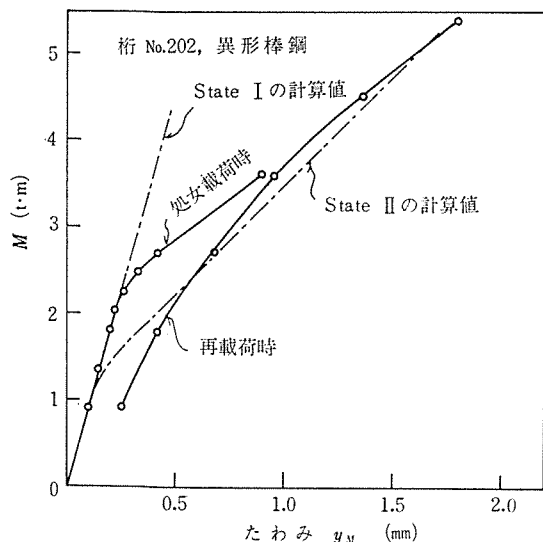


図-6 たわみ曲線(1)

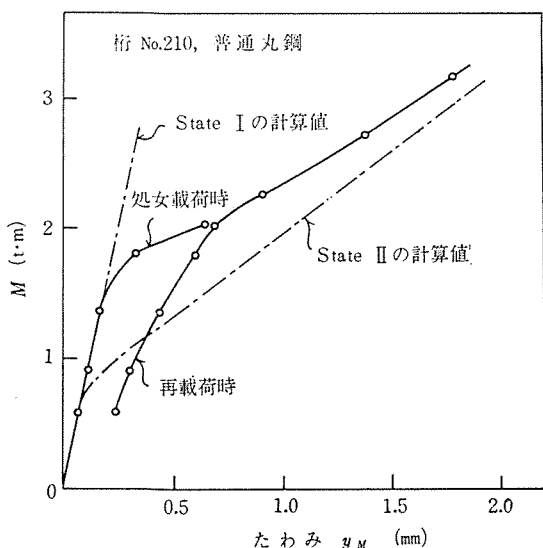


図-7 たわみ曲線(2)

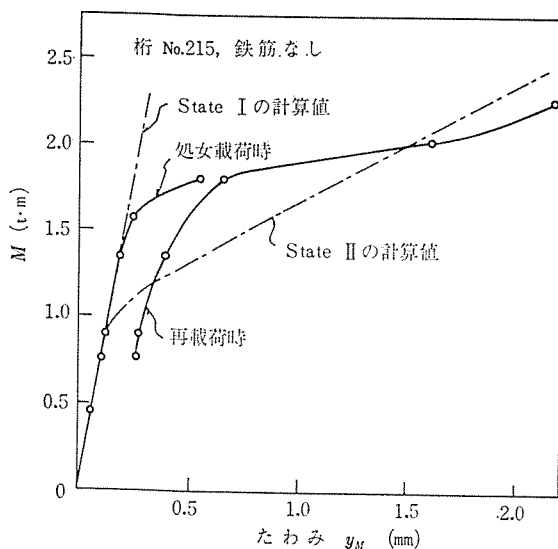


図-8 たわみ曲線(3)

た。図には測定値とともに状態Ⅰおよび状態Ⅱ（弾性係数はすべて実測値を使用）の弾性理論による計算値を比較のために描いてある。なお、プレストレスによる変形は、ひずみに対しては測定値の、たわみに対しては状態Ⅱの計算値の各初期値を補正することにより考慮してある。以上の図より明らかなように、鉄筋をもたない桁では、ひびわれの発生後その急激な成長が起こってP C鋼に多少のすべりが起こったと見られる傾向が現われているが、鉄筋を有する桁ではその種類に関係なくほぼ同じような性状を示し、最初は状態Ⅰの計算値に一致するが、ひびわれ発生後はその進行に伴って徐々に状態Ⅱの曲線に近づき、ひびわれが定常的な状態にまで達したのちはほぼ安定した挙動を示している。このような性状はRC桁において通常見られるものと同様であり、PRC桁はプレストレスによってひびわれ発生荷重が高くなることがRC桁と異なるだけであって、RC桁と同様に使用荷重下のひびわれ発生を許そうとするPRC桁にとって非常に有利な性質である。

図-9 は2本の異形棒鋼を鉄筋とするPRC桁4本のたわみ曲線を比較したものである。これらの桁は鉄筋径が異なるほかはほぼ同じ諸元を有するもので、P C鋼/鉄筋の断面積比の影響が明確に現われている。また、普通丸鋼を有する桁 No. 210~212 は、P C鋼の緊張応力度が異なるほかはほぼ同じ諸元をもつものであり、図-10 に示すようにその影響が明らかに見られる。

図-11 は、異形棒鋼を用いたPRC桁の最大ひびわれ幅を比較したものであり、P C鋼/鉄筋比の影響が明確に見られる。また、鉄筋1本だけの桁 No. 203 は他の桁に比べて非常に大きなひびわれ幅増加率を示し、PRC桁のひびわれ分散性を得るには、RC桁の場合と同様に鉄筋の適切な分散配置が必要であることがわかる。

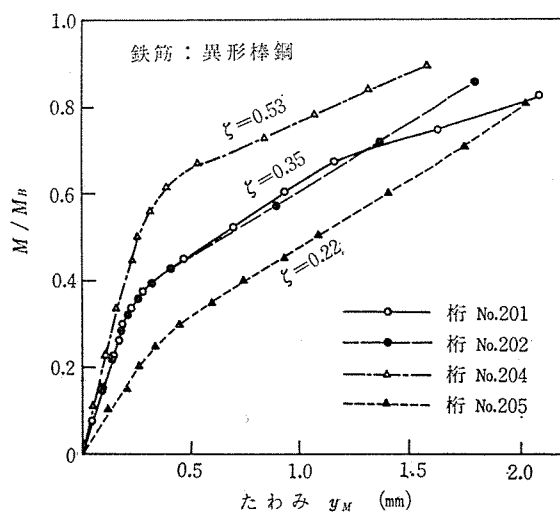


図-9 たわみ曲線の比較(1)

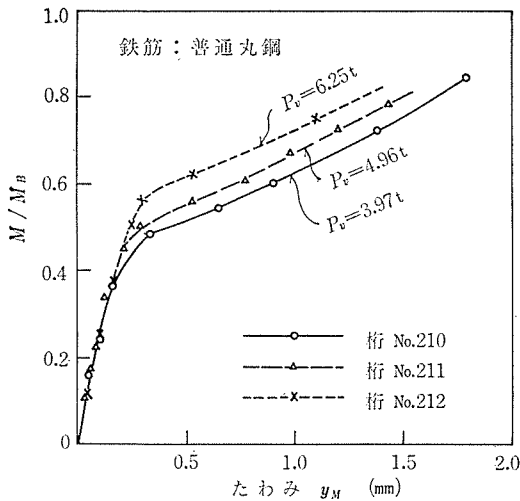


図-10 たわみ曲線の比較 (2)

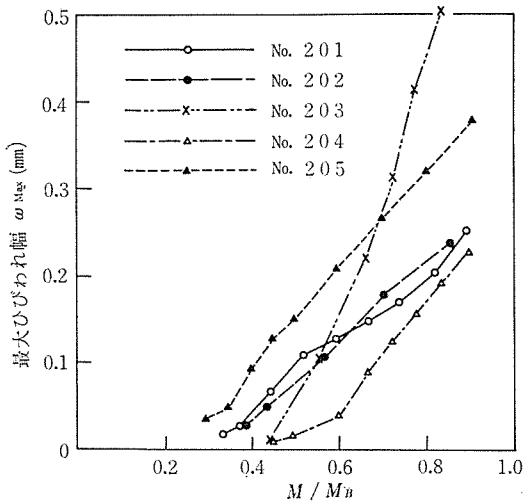


図-11 最大ひびわれ幅

異形棒鋼を用いた鉄筋コンクリート桁の曲げひびわれに関する著者の研究²³⁾によれば、ひびわれ間隔が定常状態に達した後の最大ひびわれ幅が次式によって与えられることが見出された

$$w_{max} = (\bar{\epsilon}_s - \bar{\epsilon}_c) l_{max} \dots\dots\dots (1)$$

ここに $\bar{\epsilon}_s$ は鉄筋の平均ひずみを表わし、ひびわれ位置の鉄筋応力度 (状態IIの計算応力度) σ_s 、鉄筋の弾性係数 E_s 、コンクリートの引張強度 σ_{ct} 、ひびわれ間の鉄筋の付着作用に直接関与するコンクリート断面 (鉄筋とその重心が一致する断面をとる) に対する鉄筋比 (有効鉄筋比) p_e を用いて次のように表わすことができる;

$$\bar{\epsilon}_s = (\sigma_s - \alpha \sigma_{ct} / p_e) / E_s \dots\dots\dots (2)$$

ここに α はひびわれ発展の程度によって値が異なるが、通常の鉄筋使用度に対しては一時的荷重に対して 0.4、長期荷重に対して 0、変動荷重を受けるときにはその除荷状態に対して -0.2 の値をとることができる。

$\bar{\epsilon}_c$ はコンクリート表面の平均ひずみを表わし、外力に

よる影響は無視することができるが、コンクリートのクリープ、収縮や鉄筋自体のプレストレスがある場合にはそれらによる弾性ひずみ差を $\bar{\epsilon}_c$ として考慮しなければならない。

l_{max} は最大ひびわれ間隔を表わし、次式により与えられる。

$$l_{max} = 5.4t \text{ または } 3.72t(1 + 0.18e/t) \dots\dots (3)$$

ここに t はコンクリートかぶり厚、 e は鉄筋水平間隔を表わす。

表-3 は、2本の異形棒鋼を有する PRC 桁の、破壊荷重の約 60% における最大ひびわれ幅の測定値を上記

表-3 0.6 M_B 時の最大ひびわれ幅

桁 No.	測定値 (mm)	計算値 (mm)	測/計
201	0.147	0.128	0.87
202	0.132	0.136	1.03
204	0.044	0.048	1.09
205	0.174	0.209	1.20

の計算値と比較したものであり、両者の比較的良好一致が見られる。これより、適切に配筋された PRC 桁のひびわれ幅の推定は RC 桁と同じように取扱うことができることがわかる。そのときプレストレスの影響は、式 (2) 中の σ_s の低減として作用することになる。

PRC 桁のひびわれ限界状態として、ひびわれ発生限界およびひびわれ幅限界のほかに、ヨーロッパコンクリート委員会⁶⁾の第III種設計条件にも見られるコンクリートに引張応力の生じない限界 (ここでは簡単のために非引張限界と呼ぶ) がある。表-4 は、各試験桁に破壊荷

表-4 非引張限界時の残留ひびわれ幅

桁 No.	非引張限界曲げモーメント M_D (tm)	M_D / M_B	M_D 時の最大残留ひびわれ幅 (mm)	除荷前の最大ひびわれ幅 (mm)
201	1.031	0.171	0.033	0.127
202	1.024	0.163	0.038	0.114
203	0.979	0.242	0.057	0.220
204	1.064	0.260	0.025	0.062
205	1.005	0.112	0.043	0.206
210	0.579	0.155	0.048	0.131
211	0.751	0.188	0.036	0.104
212	0.946	0.263	0.021	0.043
215	0.759	0.291	0.104	0.286
216	1.050	0.396	0.020	0.030

重の約 60% の荷重まで載荷したのち計算上の非引張限界 (状態Iの弾性理論により計算) まで除荷したときに観測された残留ひびわれ幅の最大値を示す。これより、桁 No. 215 では最初の載荷時に急激なひびわれ発展があって PC 鋼のすべりがあったと思われるので残留ひび

われ幅の値も異常に大きいですが、鉄筋を有する桁はいずれも約 0.05 mm 以下の残留幅であって、事実上ひびわれが閉合したとみなすことができる。

非引張限界はフルプレストレスングの PC において設計条件として使用されているが、それは使用荷重下におけるものであって、事実上ひびわれが生じない場合を対象としている。それに対して PRC 桁の設計条件として非引張限界を用いるときは、そのひびわれ閉合性に期待するものであり、さらにくり返し荷重下における性状も明らかにしなければならない。この点については次節において調べる。

4. くり返し載荷試験結果および考察

くり返し載荷試験は、異形棒鋼を鉄筋とする 2 本の同じ諸元の桁について行なったが、前に述べたようくり返し荷重の大きさが異なり、桁 No. 26 が上・下限荷重とも計算上の非引張限界を上まわり、状態Ⅱの鉄筋変動応力が与えられたのに対して、桁 No. 27 では下限荷重が非引張限界を下まわり、状態Ⅰと状態Ⅱをまたぐ変動応力が与えられた。

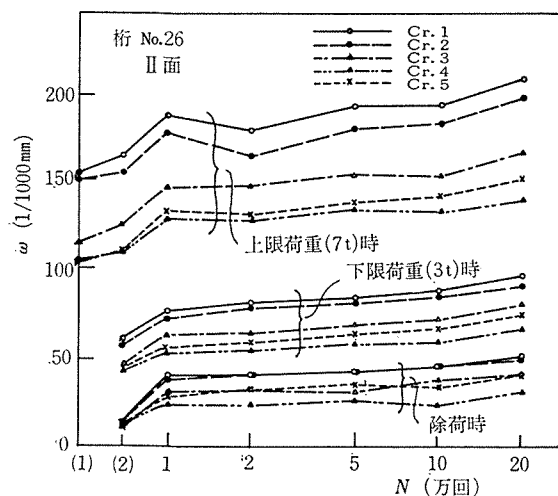


図-12 荷重くり返しに伴うひびわれ幅の増加 (1)

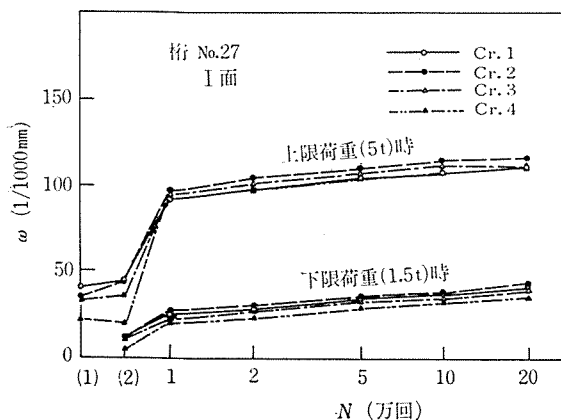


図-13 荷重くり返しに伴うひびわれ幅の増加 (2)

図-12 および 図-13 は、所定の回数の荷重くり返しを与えたときにくり返し上限荷重までの静的載荷を行なったときに観測されたおもなひびわれの幅を示す。なお、測定は上・下限荷重および除荷時に対して行なったが、桁 No. 27 は、下限荷重が非引張限界を下まわるため、除荷時とほとんど差がなかったため、そのときのひびわれ幅は省略した。ひびわれ幅は両桁とも荷重くり返しによって増加しているが、その大部分は 1 万回までのくり返しの際に起っており、その後の増加は、圧縮部コンクリートのクリープによる影響と思われるわずかの量しか生じず安定した値を示している。なお、桁 No. 27 の荷重くり返し直後のひびわれ幅の増加が桁 No. 26 に比べてかなり大きいのは、後者ではくり返し上限荷重が

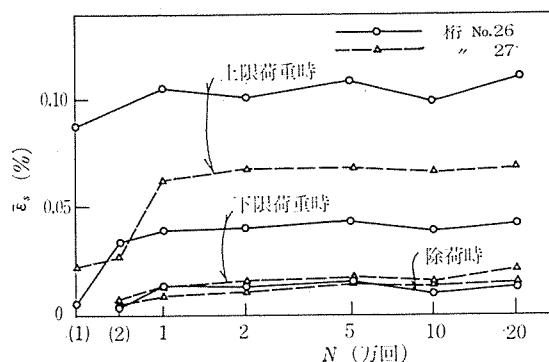


図-14 荷重くり返しに伴う鉄筋平均ひずみの増加

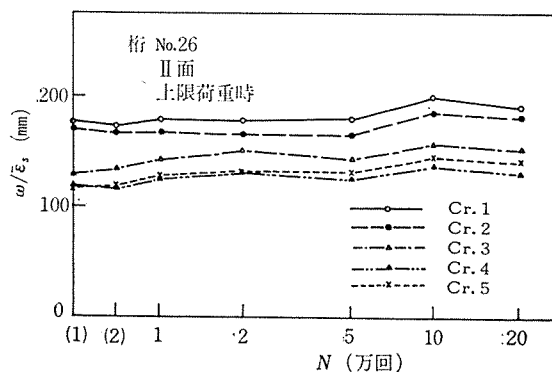


図-15 荷重くり返しに伴う ω/ε_s の変化 (1)

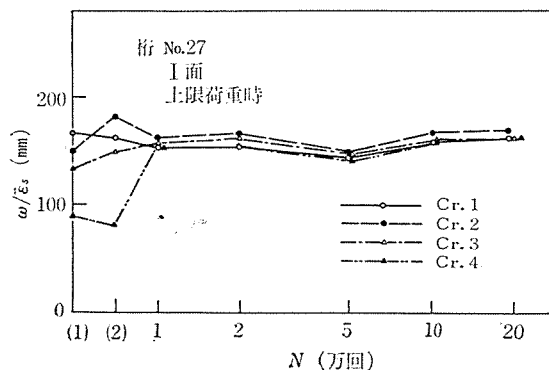
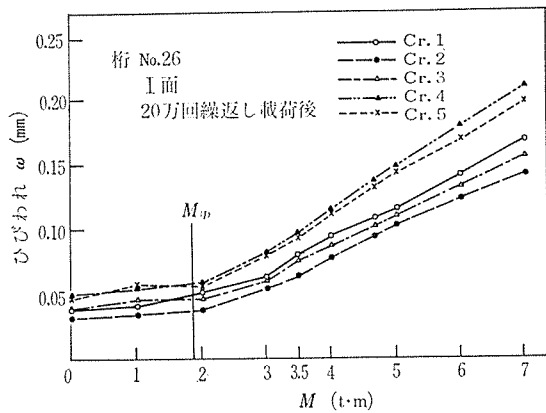


図-16 荷重くり返しに伴う ω/ε_s の変化 (2)

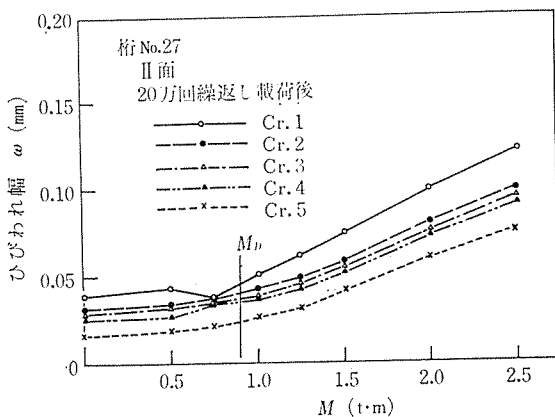
ひびわれ発生荷重の2倍であり、1回目の載荷時にすでにひびわれが定常状態にまで達したのに対して、桁 No. 27 では中立軸まで成長せず、荷重くり返しによって初めて定常状態にまで発展したからである。そのことは、図—14 に示す鉄筋の平均ひずみの変化からも明確に知ることができる。

図—15 および 図—16 は、ひびわれの成長長さの相違および荷重くり返しに伴うひびわれ間の鉄筋の付着応力、すなわち式 (2) の第2項の値の変化の影響を除くためにひびわれ幅を鉄筋平均ひずみで除した値、 $w/\bar{\epsilon}_s$ 、を示したものである。これより $w/\bar{\epsilon}_s$ の値は荷重のくり返し回数に関係なく、ほぼ一定の値となっており、ひびわれ分散性が安定していることがわかる。さらに、 $w/\bar{\epsilon}_s$ は式 (1) から明らかなように、実質的なひびわれ間隔に相当し、その最大値が式 (3) による計算値 $l_{max}=18.9$ cm とほぼ等しく、したがって、くり返し荷重を受ける PRC 桁のひびわれ幅の制御に対しても式 (1)~(3) が適用しうることがわかる。

図—17 および 図—18 は 20 万回の荷重くり返しを与えたのちに静的載荷を行なったときに測定された曲げモーメント—ひびわれ幅の関係を示したものである。これらの図より、曲線は計算上の非引張限界 M_D の付近に



図—17 20 万回くり返し載荷後のひびわれ幅 (1)



図—18 20 万回くり返し載荷後のひびわれ幅 (2)

において明確な屈折点を有し、それ以下の荷重におけるひびわれ幅の最大値は約 0.05 mm であって、20 万回の荷重くり返しを受けたにもかかわらず、非引張限界は、なおひびわれ閉合限界として有効に働いていることがわかる。本実験では、P C 鋼の付着を完全にするためにプレテンション方式を採用しているが、静的試験における桁 No. 215 に見られたように、付着が悪いときにはひびわれ閉口性が悪くなるので、実用上はなお慎重でなければならないが、P C 鋼の付着性能がよければ、ひびわれ閉合限界としての PRC 桁の設計条件として、非引張限界をその基礎に用いることができることがわかる。

5. 結 論

以上に述べた PRC 桁の静的およびくり返し載荷試験により得られたおもな結果をまとめれば、次のとおりである。

- 1) PRC 桁の応力および変形は、プレストレスの影響も考慮に入れたときの状態 I および状態 II の弾性理論に基づいて計算することができる。
- 2) 異形棒鋼を鉄筋として用いた PRC 桁のひびわれ性状は、静的荷重はもちろん、くり返し荷重を受ける場合にも R C 桁と同等と考えることができる。最大ひびわれ幅の推定には式 (1)~(3) を用いることができる。このときプレストレスのひびわれ幅に対する影響は、それによる鉄筋応力度の減少として現われる。
- 3) P C 鋼の付着性がよい場合には、PRC 桁の非引張限界は、静的荷重を受ける場合だけでなく、くり返し荷重を受ける場合にもひびわれ閉合限界として有効に作用する。
- 4) PRC 桁の終局曲げモーメントの大きさは、R C 桁および P C 桁におけると同様の仮定に基づいて計算することができる。

謝 辞

本研究は北海道大学工学部コンクリート研究室において、横道英雄教授の指導のもとに、高田宣之および北村邦雄の両氏の協力を得て行なわれたものである。また、本研究の一部は、昭和 46 年度文部省科学研究費（一般 D, No. 85551）によって行なわれた。ここに合わせて関係各位に謝意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 例えば、角田与史雄：鉄筋コンクリート部材の諸性状—ひびわれ、土木学会コンクリートライブラリー第 34 号、昭 47.8
- 2) 例えば、林 正道：P C げたの縦ひびわれとその防止、北海道開発局土木試験所月報第 209 号、昭 45.10
- 3) Abeles, P.W.: Fully and Partly Prestressed Reinforce-

- rced Concrete, Journal of A.C.I., Vol. 16, No. 3, Jan. 1945
- 4) 横道英雄：鉄筋コンクリートの新発展と PRC 工法，土木学会北海道支部，昭 39.2
 - 5) 横道英雄，林 正道：PRC工法について，土木学会第 19 回年次学術講演会講演概要，昭 39.5
 - 6) 小寺重郎，岩城 良，太田陽一：PRC について，コンクリートジャーナル，Vol. 3, No. 5, Sept. 1965
 - 7) 小寺重郎，岩城 良：PRC 桁に関する実験について，プレストレストコンクリート，Vol. 7, No. 6, Dec. 1965
 - 8) C.E.B. : Recommendations for an International Code of Practice for Reinforced Concrete, ACI-CCA, 1964
 - 9) 横道英雄，角田与史雄：PRC 桁の設計について，土木学会第 23 回年次学術講演会講演概要，昭 43.10
 - 10) Yokomichi, H. : Prestressed Reinforced Concrete System, Final Report of 8th Congress of IABSE, Sept. 1968
 - 11) 角田与史雄：鉄筋コンクリート桁の曲げひびわれおよび変形に関する基礎的研究，北大工学部研究報告第 54 号，昭 44.10
 - 12) 横道英雄，角田与史雄：PRC はりのひずみにおよぼすクリープおよび収縮の影響について，セメント技術年報XX, 1966
 - 13) Abeles, P.W., Czuprynski, L. : Partial Prestressing, Annales des Travaux Publics de Belgique, No. 2, 1966
 - 14) Hutton, S.C., Loov, R.E. : Flexural Behavior of Prestressed, Partially Prestressed and Reinforced Concrete Beams, Journal of A.C.I., Vol. 63, No. 12, Dec. 1966
 - 15) Abeles, P.W., Brown, E.I., Morrow, J.W. : Development and Distribution of Cracks in Rectangular Prestressed Beams during Static and Fatigue Loading, Journal of P. C.I., Vol. 13, No. 5, Oct. 1968
 - 16) Stevens, R.F. : Tests on Prestressed Reinforced Concrete Beams, Concrete, Nov. 1969
 - 17) Bennett, E.W., Dave, N.J. : Test Performances and Design of Concrete Structures with Limited Prestress, The Structural Engineer, Vol. 47, No. 12, Dec. 1969
 - 18) 中川英憲，森島 務：プレストレスト鉄筋コンクリートはりに関する基礎研究，土木学会第 25 回年次学術講演会講演集，昭 45.11
 - 19) Cafilisch, R. : Teilweise Vorgespannter Beton, Schw. Bauz., 89 Jrg., Heft 23, Juli 1971
 - 20) Bennett, E.W., Veerasubramanian, N. : Behavior of Nonrectangular Beams with Limited Prestress after Flexural Cracking, Journal of A.C.I., Sept. 1972
 - 21) 例えば，角田与史雄：鉄筋コンクリート部材の諸性状—曲げおよび曲げ圧縮，土木学会 コンクリートライブラリー第 34 号，昭 47.8
 - 22) 藤田嘉夫：単純曲げをうける鉄筋コンクリート桁およびプレストレストコンクリート桁の極限強さ設計法に関する研究，北大工学部研究報告第 32 号，昭 38.10
 - 23) 角田与史雄：鉄筋コンクリートの最大ひびわれ幅，コンクリートジャーナル，Vol. 8, No. 9, Sept. 1970

1973.4.23・受付



阪神高速道路 / 守口高架橋

プレストレストコンクリート

構造物の設計・施工

(BBRV・フレシネー・SEEE工法)

製品の製造・販売

(けた、はり、パイル、マクラギ、版類)

ASCC 北海道ピー・エス・コンクリート株式会社

本 社
(東京営業社)
札幌営業所
大阪営業所
福岡営業所
仙台事務所
名古屋事務所
広島事務所
美唄工場
幌別工場
掛川工場
京都工場

東京都豊島区北大塚 1 丁目 16 番 6 号 (大塚ビル)

札幌市北三条西 4 丁目 (第一生命ビル)
大阪市北区方町 43 番地 (浪速ビル西館)
福岡市大名 1 丁目 1 番 3 号 (石井ビル)
仙台市本町 1 丁目 1 番 8 号 (日本オフィスビル)
名古屋市中区錦 3 丁目 23 番 31 号 (栄町ビル)
広島市立町 1 番 20 号 (広島長銀ビル)
美唄市字美唄 1453 の 65
北海道登別市千歳町 130 番地
静岡県掛川市富部
京都市南区久世東土川町 6

☎ (03)918-6171

☎ (011)241-5121

☎ (06)361-0995

☎ (092)75-3646

☎ (0222)25-4756

☎ (052)961-8780

☎ (0822)48-3185

☎ (01266)3-4305

☎ (01438)5-2221

☎ (05372)2-7171

☎ (075)922-1181