

論文

[2149] 先行荷重の荷重レベルの影響を考慮した RC 合成梁の挙動に関する実験的研究

河野 一徳^{*1}・篠田 佳男^{*2}・田中 伯明^{*3}

1. はじめに

施工の合理化や既設構造物の有効利用を目的として、既設の RC 構造物に後打ちコンクリートを打ち継いで一体化させる工法により構造物を構築する場合が増えている。この場合、既設 RC 構造物と後打ちコンクリートの一体化は、既設部に種々の荷重（ここでは先行荷重と定義）による応力が作用した状態のもとで行われることとなる。したがって、このような構造物の設計を行う上では、既設部に作用している先行荷重による応力（先行応力）が、一体化した構造物の耐力および変形性状に及ぼす影響を把握しておくことが重要となる。このような観点から、著者らは、先行荷重を載荷した梁（先行梁試験体）に後打ち梁を打ち継いで作製した RC 合成梁試験体に対する載荷試験[1]を実施した。その結果、先行荷重により生ずる鉄筋応力が許容応力程度の場合には先行荷重は合成梁の終局耐力に影響を与えないという結論が得られた。しかしながら、実設計を行う場合には、考慮すべき先行荷重のレベルが構造物や施工条件によって変化すると考えられる。そこで、本研究においては、新たに先行梁試験体に導入する先行荷重のレベルをパラメータとした試験を実施し、先行荷重のレベルが RC 合成梁の挙動に及ぼす影響を調べた。なお、導入する先行荷重のレベルは、先行梁の引張鉄筋の応力が降伏応力の 15~70% となる範囲に設定した。

2. 試験概要

2. 1 試験体

(1) 試験体の形状寸法および配筋

図-1 に試験体の形状寸法および配筋を示す。先行梁および後打ち梁は著者らの実験[2]で用いた幅 50cm, 高さ 80cm, 長さ 4.5m の一体構造試験体を接合位置に相当する桁の中央で縦断面方向に 2 分割した構造とした。ただし、先行梁試験体は端部に先行加力用の鋼材を取り付けるため、後打ち梁試験体より両端を 35cm ずつ長くした。先行梁と後打ち梁の一体化は、著者らの研究成果[2]をもとに、接合面全面をウォータージェット（吐出水圧 2500kgf/cm²）により洗浄処理する方法で行った。合成梁試験体の配筋は先行梁および後打ち梁が 2 段配筋のため 4

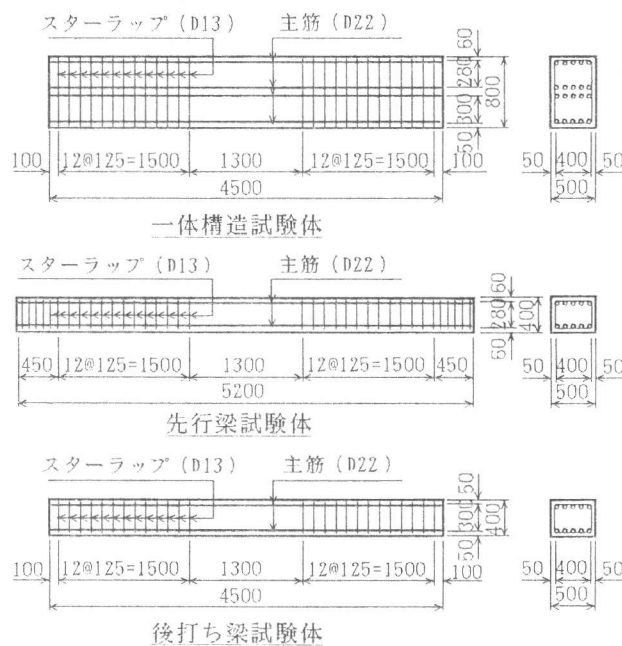


図-1 試験体の形状寸法及び配筋

* 1 前田建設工業（株）技術本部技術研究所土木構造研究室主任研究員、工修（正会員）
 * 2 前田建設工業（株）技術本部技術研究所土木構造研究室副室長、（正会員）
 * 3 前田建設工業（株）土木設計本部土木設計第 1 部、（正会員）

段配筋とした。以下の説明では、各段の鉄筋を載荷側から順番に1, 2, 3, 4段鉄筋として取り扱う。主筋はD22を各段に5本ずつ配置した。また、梁のせん断スパンの部分はD13のスターラップを12.5cmの間隔に配置してせん断補強した。なお、接合面への接合鉄筋の配置は行わなかった。

(2) 使用材料

表-1に試験体に用いた生コンクリートの配合表を示す。セメントは早強セメントを用い、コンクリートの呼び強度は240kgf/cm²とした。また、鉄筋はSD345を用いた。引張試験により得られた主筋の降伏強度およびヤング係数は、それぞれ3951kgf/cm²、 1.9×10^6 kgf/cm²であった。

表-1 コンクリートの配合表 (全試験体共通)

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ の 範 囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメ ント比 (%)	細 骨 材 率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 (AE剤)
20	18±2.5	4±1.0	57.5	48.7	185	322	857	918	3.61

2. 2 載荷方法

先行梁の載荷、合成梁の作製および合成梁の載荷は著者らの研究[1]と同一の方法で行った。図-2に合成梁の載荷方法を示す。先行荷重の載荷は先行梁試験体の両端部に取り付けた先行加力ビームの端部をPC鋼棒で緊張することにより、先行梁試験体に等曲げモーメントを作用させる方法で行った。先行載荷の終了後、後打ち梁部分の鉄筋および型枠を組み立ててコンクリートを打設し、合成梁試験体を作製した。合成梁の載荷パターンは、正曲げ試験 (No.1試験[1]) と負曲げ試験 (No.2試験[1]) の2種類とした。正曲げ試験は先行梁試験体の引張側部分に後打ち梁を打ち継いだ合成梁試験体に対する載荷試験であるのに対し、負曲げ試験は先行梁試験体の圧縮側部分に後打ち梁を打ち継いだ合成梁試験体に対する載荷試験である。合成梁試験体の載荷位置はせん断スパンおよび等モーメント区間がそれぞれ1.2mとなるような支点間距離 (3.6m) の3等分点

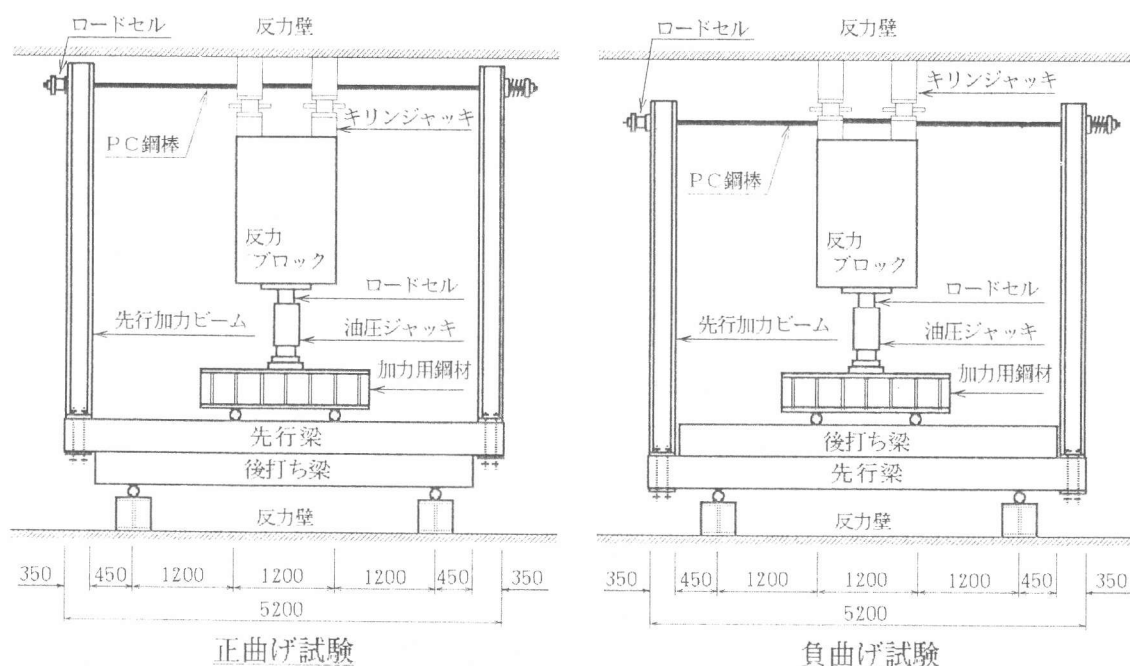


図-2 合成梁試験体の載荷方法

とした。なお、先行載荷時に導入した先行荷重は合成梁の載荷試験の開始時まで保持した。ただし、この先行荷重は、合成梁の載荷時には試験体の変形とともに次第に減少していき、終局時にはほぼゼロとなった。

2. 3 計測内容

先行載荷試験においては、先行荷重の導入量（P C鋼棒の緊張力）、試験体のたわみ、圧縮縁のコンクリートひずみ、および、鉄筋ひずみの計測を行った。また、合成梁の載荷試験においては、載荷荷重、導入した先行荷重の残留量（P C鋼棒の緊張力）、試験体のたわみ、圧縮縁のコンクリートひずみ、および鉄筋ひずみの計測を行った。図-3に鉄筋ひずみおよびコンクリートひずみの測定位置を示す。鉄筋ひずみゲージおよびコンクリートひずみゲージは、等モーメント区間に20cm間隔で貼付した。

2. 3 試験条件

合成梁の載荷試験は、載荷パターンと先行梁に導入する先行応力のレベルの2つをパラメータとして実施した。表-2に試験条件の一覧表を示す。載荷パターンは正曲げと負曲げの2種類とした。また、先行応力のレベルは、先行梁の主筋応力が降伏応力の50%程度（2000kgf/cm²）の場合の「P-2000」試験および「N-2000」試験を基本とし、正曲げについては主筋応力が1200、2800kgf/cm²の2ケース、負曲げについては主筋応力が600、1200、2400、2800kgf/cm²の4ケースとした。

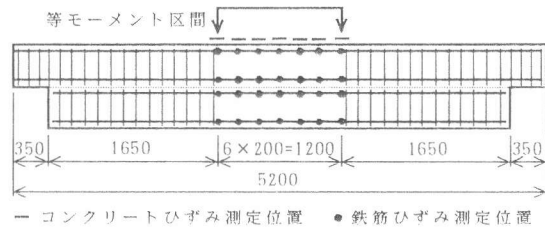


図-3 鉄筋、コンクリートひずみ測定位置

表-2 試験条件

No	試験体名称	載荷パターン	先行応力 (kgf/cm ²)
1*	一体	—	0
2	P-1200	正曲げ	1200
3*	P-2000	〃	2000
4	P-2800	〃	2800
5	N-600	負曲げ	600
6	N-1200	〃	1200
7*	N-2000	〃	2000
8	N-2400	〃	2400
9	N-2800	〃	2800

*著者らの研究[1][2]で実施済

3. 試験結果および検討

3. 1 試験結果の概要

表-3に試験結果の主なものを示す。正曲げ試験の場合は、曲げひびわれは24~36tf載荷時に、また、接合面を貫通する斜めひびわれは、120tf載荷時前後で発生した。一方、負曲げ試験の場合は、曲げひびわれは載荷開始時に既に発生しており、斜めひびわれは正曲げの場合と同じ120tf載荷時前後で発生した。ただし、「N-2800」試験体の場合は118tf載荷時に接合面に肌別れが生じ、重ね梁の状態となった。降伏荷重は4段鉄筋降伏時の荷重で、正曲げ試験の場合は全試験体がほぼ同じ値となったのに対し、負曲げ試験の場合は先行応力のレベルが高くなるにしたがって小さくなった。終局時の

表-3 試験結果一覧表

No.	試験体名称	コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm ²)		ひびわれ発生荷重 (tf)		降伏荷重 (tf)	終局荷重 (tf)
		先行	後打	曲げ	斜め		
1	一体	—	232	36	152	118	179
2	P-1200	331	270	24	120	120	177
3	P-2000	313	285	36	118	128	185
4	P-2800	326	294	24	114	122	176
5	N-600	306	252	—	124	114	180
6	N-1200	322	302	—	118	100	181
7	N-2000	310	266	—	115	80	184
8	N-2400	317	244	—	120	72	168
9	N-2800	345	242	—	—	52	118*

*接合面に肌別れが生じ、重ね梁となった荷重

荷重は、肌別れが生じた「N-2800」試験体の場合を除き170～180tf前後の値となった。「N-2800」試験体以外の試験体はすべて圧縮縁のコンクリートが圧壊することにより破壊した。ただし、圧壊の生じた位置は、正曲げ試験の場合が等モーメント区間内であったのに対し、負曲げ試験の場合は等モーメント区間の外側の載荷点付近であった。このことは、正曲げの場合の破壊パターンが曲げ型であるのに対し、負曲げの場合の破壊パターンはせん断型となることを示している。なお、試験体の接合面は、肌別れを生じた「N-2800」の場合を除き、終局時まで一体性を保持していた。

3. 2 荷重変位関係

図-4に荷重と変位の関係を示す。ここで、変位はスパン中央のたわみ量を示す。図-4の荷重と変位の関係より試験体の挙動を比較すると、正曲げ試験の場合は先行荷重の導入レベルにかかわらず試験体の挙動はほぼ同じであるのに対し、負曲げ試験の場合は先行荷重の導入レベルにより試験体の挙動が異なることがわかる。この原因としては、表-3にも示したように、正曲げ試験の場合は4段鉄筋の降伏荷重が先行荷重の導入レベルによらず120tf前後とほぼ同じであるのに対し、負曲げ試験の場合は4段鉄筋の降伏荷重が先行応力の導入レベルが大きくなるにしたがって、「N-600」試験体の114tfから「N-2800」試験体の52tfまで小さくなっていくことが挙げられる。

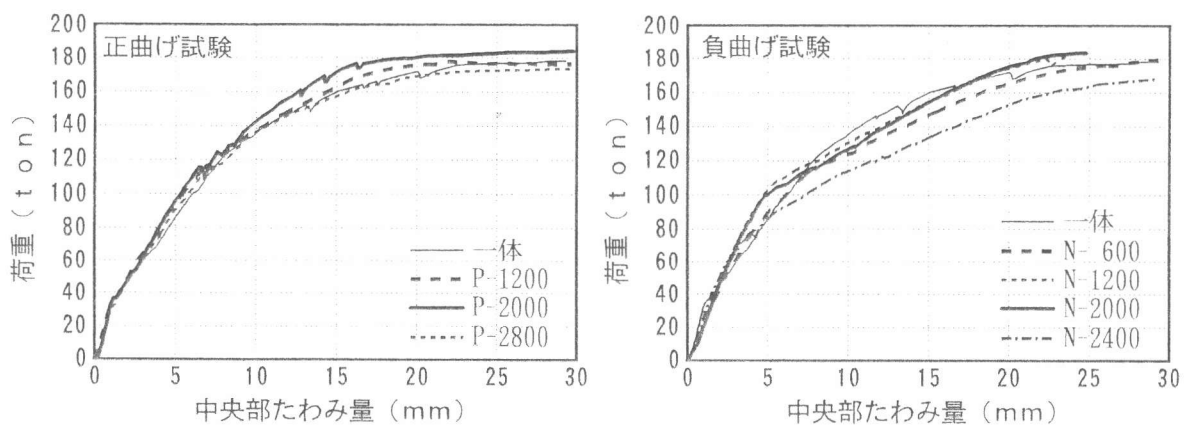


図-4 載荷荷重とスパン中央部のたわみ量の関係

3. 3 ひびわれ発生状況

図-5に試験体のひびわれ発生状況の代表例として「一体」、「P-2800」（正曲げ）、および、「N-2400」（負曲げ）の各試験体のひびわれ図を示す。同図において点線は先行載荷時に発生したひびわれ（先行曲げひびわれと定義）を、実線は合成梁の載荷時に新たに発生したひびわれをそれぞれ示す。「P-2800」試験体の場合は曲げひびわれの発生状況は「一体」試験体とほぼ同じであるが、「一体」試験体に比べて先行曲げひびわれの影響と見られる細かい斜めひびわれが多く発生していることがわかる。

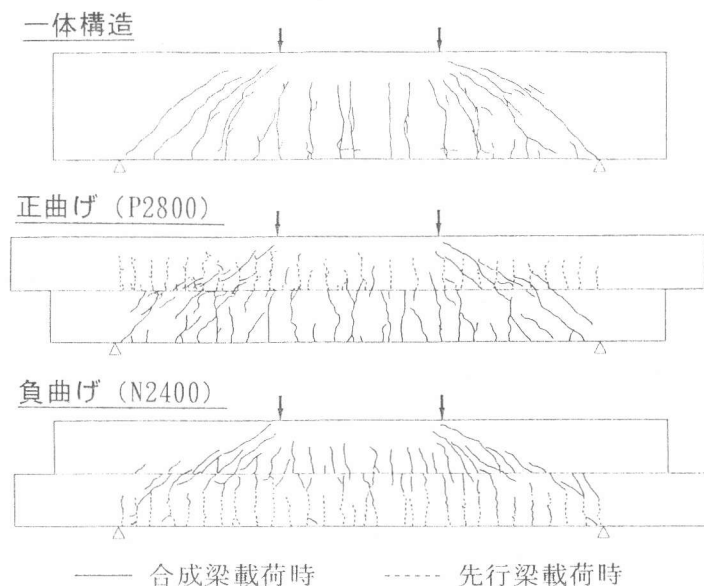


図-5 ひびわれの発生状況

一方、「N-2400」試験体の場合は、先行曲げひびわれが伸展したひびわれの他に後打ち梁の接合面から発生したひびわれも認められる。このようなひびわれが発生するのは、負曲げの場合は先行梁の圧縮ゾーンが引張領域となる前に後打ち梁の接合面側が引張領域となるためと考えられる。

3. 4 ひずみ分布

図-6に合成梁の等モーメント区間における4段鉄筋降伏時の平均ひずみの分布を示す。ここで、平均ひずみは図-3に示した計測点におけるひずみ値を平均することにより算定した。図-6の黒丸は実測値で、この黒丸を実線で結んだ実ひずみの分布を示す直線は先行梁と後打ち梁の接合面で不連続となる。しかしながら、先行梁部分のひずみを図-6の白丸のように実測ひずみから荷重開始時のひずみを差し引いたひずみ（増分ひずみと定義）で表した場合は、白丸を結んだ増分ひずみの分布を示す直線（破線）と後打ち梁のひずみ分布を示す直線（実線）は接合面で連続となり、しかも両直線を結んだ線はほぼ一直線とみなすことができる。また、図-7に引張側の全鉄筋（2～4段鉄筋）が降伏した段階における増分ひずみの分布を示す。図-7より、終局に近い段階においても増分ひずみの分布はほぼ直線状となることがわかる。以上より、先行応力が作用している場合でも、増分ひずみについては平面保持の仮定が成立することが認められる。

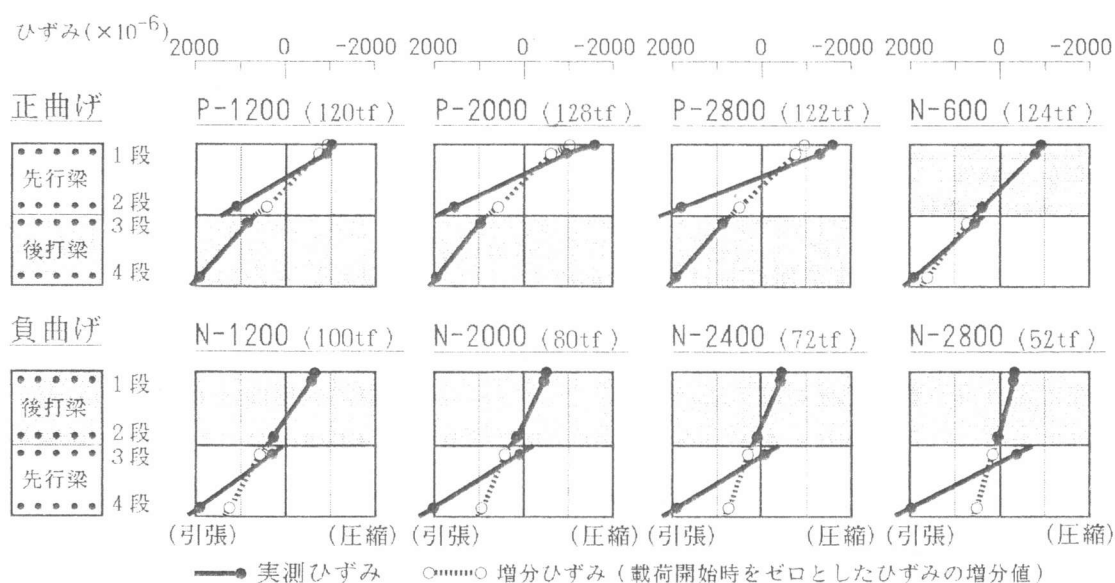


図-6 合成梁の等モーメント区間における平均ひずみの分布

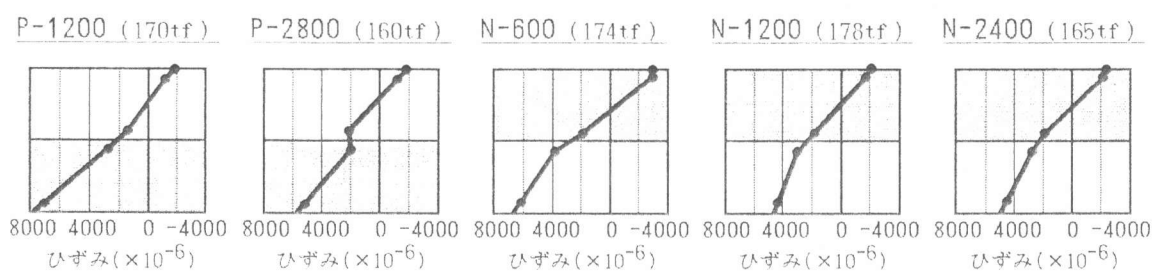


図-7 引張側の全鉄筋が降伏した段階における増分ひずみの分布

3. 5 終局曲げモーメントの検討

図-8に、「P-2800」試験体および「N-2400」試験体の場合の、支配断面における作用曲げモーメントと鉄筋ひずみの関係を示す。ここで、作用曲げモーメントは、荷重荷重によるモーメントと

先行荷重の残留量に先行加力ビームのアーム長を乗じて算定したモーメントとを加え合わせた値を用いた。「P-2800」試験体、「N-2400」試験体のいずれの場合も、引張側の2～4段鉄筋が降伏した後、圧縮側の1段鉄筋が降伏し、最終的に圧縮縁のコンクリートが圧壊することにより終局に至った。以上のような試験体が終局に至るまでの過程は、肌別れの生じた「N-2800」試験体を除く他のすべての試験体についても同様であった。そこで、土木学会標準示方書に示された方法[3]で合成梁の終局曲げモーメント M_u を計算した。ここで、鉄筋応力は降伏強度(3951kgf/cm²)を用いた。表-4に終局モーメントの実験値と計算値の比較を示す。同表より、 M_u の実験値と計算値はよく一致していることがわかる。このことより、先行応力が作用しているRC合成梁においても、通常の曲げ部材の場合と同じ方法で終局耐力の評価を行うことが可能となることが明らかとなった。

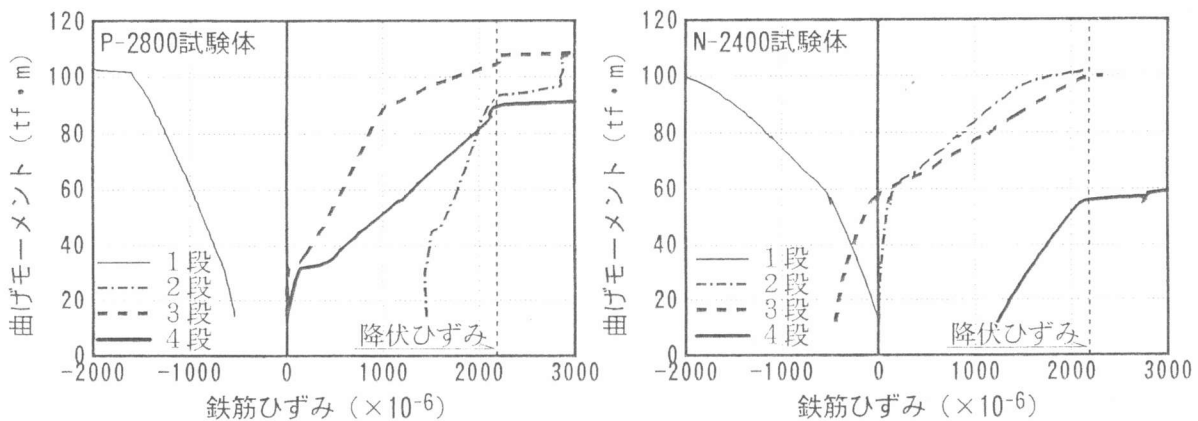


図-8 支配断面における作用曲げモーメントと鉄筋ひずみの関係

4. まとめ

本研究により得られた成果を以下に示す。

- (1) 先行応力のレベルにかかわらず、合成梁の断面内の増分ひずみの分布については平面保持の仮定が成立する。このことは、増分ひずみを用いることにより、先行荷重の影響を考慮した断面応力の検討が可能となることを示している。
- (2) 先行応力のレベルや合成梁の载荷パターンにかかわらず、先行応力が作用している場合についても、通常の曲げ部材の終局曲げモーメントを算定する場合と同じ方法でRC合成梁の終局曲げモーメントを評価することができる。

表-4 終局曲げモーメント

No.	試験体名称	終局曲げモーメント M_u		
		実験値 (tf·m)	計算値 (tf·m)	実験値 計算値
1	一体	107.1	101.3	1.06
2	P-1200	106.3	104.9	1.01
3	P-2000	110.9	104.4	1.06
4	P-2800	106.5	104.7	1.02
5	N-600	108.0	103.8	1.04
6	N-1200	108.4	105.6	1.03
7	N-2000	110.2	104.4	1.06
8	N-2400	101.8	103.4	0.98

参考文献

- 1) 河野一徳・田中伯明・篠田佳男：先行荷重の影響を考慮したRC合成梁の挙動に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 15、No. 2、pp. 1079-1084、1993. 6
- 2) 篠田佳男・田中伯明・河野一徳・横沢和夫：合成RC梁の変形性状に関する一考察、土木学会第47回年次学術講演会講演概要集、第5部、pp. 754-755、1992. 9
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書(平成3年版)設計編、pp. 52-53、1991. 7