

# 先行荷重の影響を考慮したRC合成梁 の耐荷機構に関する研究

篠田佳男<sup>1</sup>・河野一徳<sup>2</sup>・原夏生<sup>2</sup>・小原孝之<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 前田建設工業株式会社 新規事業部 (〒102-8151 東京都千代田区富士見 2-10-26)

<sup>2</sup>工修 正会員 前田建設工業株式会社 技術研究所 (〒179-0071 東京都練馬区旭町 1-39-16)

本研究は梁断面内に水平打継目を有する合成梁の性能として、先行荷重の影響を考慮したRC合成梁の耐荷機構に関して検討を行ったものである。実験は、先行荷重により鉄筋に所定の応力を作用させた状態で後打ち梁を打ち継いだRC合成梁を作製し、この状態から断面力を作用させる手法で行った。その結果、曲げひび割れ幅は、先行荷重の影響を考慮した鉄筋応力に着目することで精度良く推定できることが明らかとなった。また、終局時の抵抗モーメントは、先行荷重の方向および大きさに影響を受けないことが確認された。

**Key Words :** reinforced concrete, construction joint, composite beam, pre-loading, diaphragm wall

## 1. はじめに

地中連続壁は、地中工事における優れた基礎工法のひとつとして数多く利用されてきた。しかし、地中において鉄筋が配置され、また泥水中でのコンクリートの打込み等の不確定要因もあり、山留め壁として仮設構造物として利用されてきた。この利用実績、適用範囲の拡大から技術開発が進み、地中における壁体部掘削精度の向上、泥水中に打設されたコンクリートの品質管理等施工技術の信頼性向上から、壁体として十分な構造性能を有することが明らかとされている。

このような施工技術の向上、さらに構造的な検討が進み、地中連続壁を本体構造物の一部として利用する場合が増えてきた。その一例として、掘削時に山留め壁として利用した地中連続壁に後打ち壁を打ち継いで一体構造とする合成壁が挙げられる。この場合、連続壁は掘削時から後打ち壁が打ち継がれるまでの間、土・水圧などの荷重（以下先行荷重と称す）を受けた状態となる。したがって、このような合成壁の利用を進めるには、既設側と新設側との一体化を図る接合技術や、先行荷重が合成壁の耐力および変形状に及ぼす影響を把握することが重要である。

既設側と新設側との接合は、既設側の打継目となる表面を凹凸加工面とする方法が取られている。通常、打継目の処理は、 $1000\text{kgf/cm}^2$ を超える高圧水で脆弱部分を除去し、表面加工を施す方法が検討さ

れ<sup>1)・2)・3)</sup>、適用が図られている。しかし、先行荷重の取り扱いについては、現行の設計示方書<sup>4)・5)</sup>において明確な記述がみられず、また既往に検討はなされているものの<sup>6)・7)</sup>、情報の蓄積が十分とれない状況にある。

著者らは、このような状況をふまえ、先行荷重がRC合成梁の耐力および変形状に及ぼす影響を把握するために、実験的検討を加えてきた<sup>8)・9)</sup>。本論文は、構造物の使用状態を検討する上で必要となる鉄筋応力度や曲げひび割れ幅の評価、さらに材料の非線形を考慮した数値解析<sup>10)</sup>による数値実験を行い、先行荷重を受けるRC合成梁の挙動把握を行った。本研究は、このような合成梁での成果を蓄積することで、地中連続壁の有効利用との観点から、地中連続壁と後打ち壁からなる合成壁の設計の合理化を目的に行ったものである。

## 2. 実験概要

### (1) 概要

実験は、先行荷重によって先行梁にひび割れを発生させ、鉄筋に所要の応力を作用させた状態で、後打ち梁を打ち継いだRC合成梁の挙動を把握するために行ったものである。

図-1は、地下連続壁に後打ち壁体を打ち継いだ閉合型の合成壁の断面図である。地下連続壁は、掘削時に土・水圧により先行荷重を受け、この状態で曲げモーメントの大きい部材中央や隅角部付近に曲

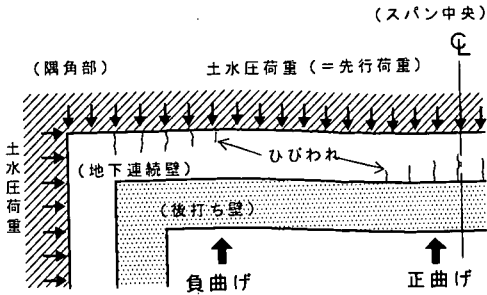
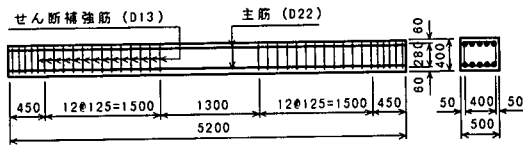
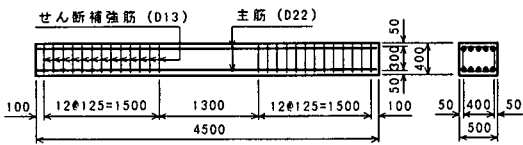


図-1 先行荷重を受ける構成構造の概要



(a) 先行梁試験体



(b) 後打ち梁試験体

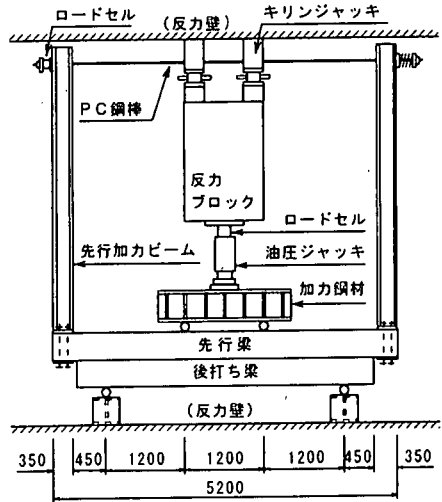
図-2 試験体の形状寸法および配筋図

げひび割れの発生が考えられる。そのため、部材中央部や隅角部には、このような状態を考慮して設計することが肝要となる。本実験では、このような状態を実験上で再現し、先行荷重として正曲げや負曲げを受ける部材それぞれの RC 合成梁について検討を行った。先行梁と後打ち梁の一体化は、先行梁の接合面となる面を高圧水（吐出水圧  $2500\text{kgf/cm}^2$ ）によりモルタル部分を除去することで表面に数mmの凹凸加工を施し、その面に後打ち部のコンクリートを直接打設する方法で行った。

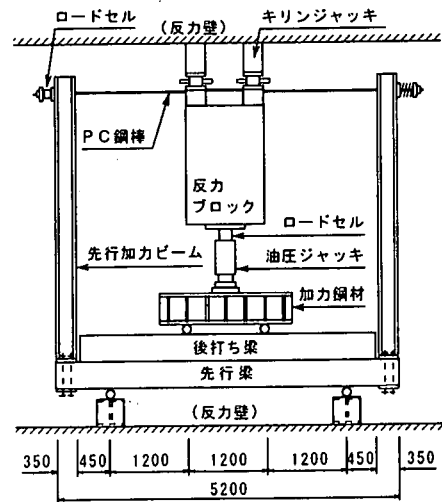
## (2) 試験体および載荷方法

試験体の形状寸法および配筋状態を図-2に示す。先行梁と後打ち梁との打継面は、せん断応力が最大となる断面中央を接合面としており、断面の形状を  $50 \times 40\text{cm}$  と同一とした。ここで、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、スパンを  $5.2\text{m}$  と後打ち試験体より両端を  $35\text{cm}$  ずつ長くした。

試験体は、①先行梁試験体作製、②接合面の高水



(a) 正曲げ試験体



(b) 負曲げ試験体

図-3 RC合成梁試験体への載荷方法図

圧洗浄処理、③先行荷重の載荷、④後打ち梁との合成の手順で作製した。鉄筋は、主筋にD22を各段に5本ずつ、せん断補強筋にD13を12.5cmピッチに配置した。

図-3に合成梁の載荷方法を示す。先行荷重の載荷は、試験体の両端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、先行梁試験体に等モーメントを作用させる方法で行った。先行荷重載荷後、先行荷重をそのままに保持した状態で、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、RC合成梁試験体を製作した。

表-1 試験体諸元および実験結果

試験体		試験体諸元		コンクリートの圧縮強度(kgf/cm <sup>2</sup> )		実験値(tf・m)		
		載荷方向	先行応力	先行	後行	せん断ひび割れ時	4段目鉄筋降伏時	終局時
NO	名称							
1	NJB	一体打設試験体		232		66.0	70.8	107.1
2	JB-P-1200	正曲げ載荷	1200	331	270	72.1	72.1	106.3
3	JB-P-2000	"	2000	313	285	70.9	76.8	110.9
4	JB-P-2800	"	2800	326	294	68.5	73.3	105.7
5	JB-N-600	負曲げ載荷	600	306	252	74.5	68.5	108.4
6	JB-N-1200	"	1200	322	302	70.8	60.1	108.4
7	JB-N-2000	"	2000	310	266	69.1	48.2	110.2
8	JB-N-2400	"	2400	317	244	68.5	43.2	100.6
9	JB-N-2800*	"	2800	345	242	70.1	31.3	80.7

\*: せん断ひび割れ時に接合面で肌分かれ発生

合成梁の載荷パターンは、正曲げ載荷試験と負曲げ載荷試験の2種類とした。正曲げ載荷試験は、先行梁試験体の引張部分に後打ち梁を打ち継いだRC合成梁試験体であるのに対し、負曲げ試験体は先行梁の圧縮側部分に後打ち梁を打ち継いだRC合成梁試験体である。

このRC合成梁試験体は4段配筋で、各段の鉄筋を載荷上面から順番に1, 2, 3, 4段目とする。そのため、正曲げ載荷では、先行梁の上側鉄筋から順番に、1段目, 2段目, 3段目, 4段目とする。これに対して、負曲げ載荷試験では、後打ち梁の上側鉄筋が1段目鉄筋とする。試験体への載荷位置は、支点間距離3.6mに対し、せん断スパン1.2m, 等モーメント区間1.2mの3等分点とした。載荷工程は、以下の4つの段階を基準とする単一方向繰り返し載荷とした。

- ① 曲げひび割れの発生
- ② 4段目鉄筋の許容応力度に到達
- ③ 斜めひび割れの発生
- ④ 4段目の鉄筋が降伏

その後、試験体が破壊を生じるまで載荷を行った。本実験は、先行荷重の影響を実験的に把握することを目的に計画したもので、試験体の諸元および主な実験結果を表-1に示す。主な実験パラメータは、先行荷重によって作用する鉄筋応力度で、正曲げ載荷は2段目鉄筋の応力度を1200~2800kgf/cm<sup>2</sup>の間で3水準とした。これに対し、負曲げ載荷は、4段目鉄筋の応力度を600~2800kgf/cm<sup>2</sup>の間でさらに詳細に検討するため5水準とした。

また、使用状態として問題とされる曲げひび割れについても、先行荷重と合わせて検討を行った。ひび割れの測定は、RC合成梁の最下沿である4段目鉄筋位置の側面において、1.2mの等モーメント区

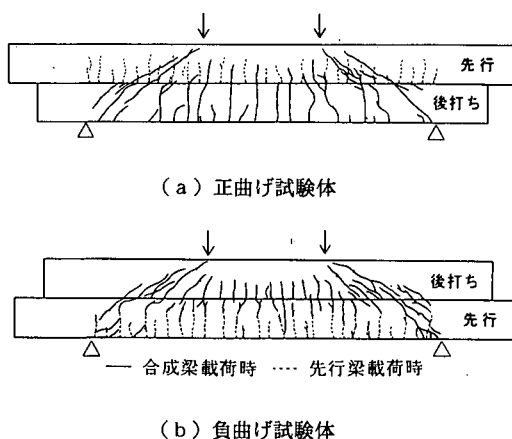


図-4 試験体のひび割れ発生状況

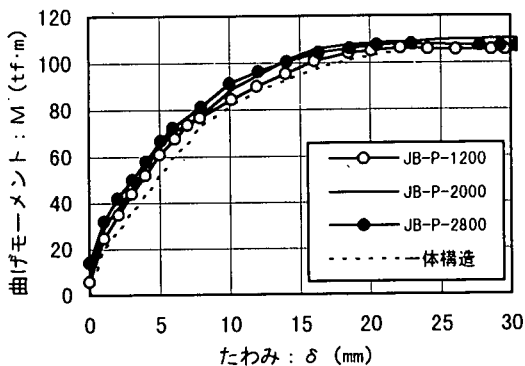
間を10cm間隔に、精度1/1000mmのコンタクトメータを使用して行った。

コンクリートは、粗骨材の最大寸法が20mmで、配合強度が270kgf/cm<sup>2</sup>のものを使用した。また、鉄筋は主筋にD 22, せん断補強筋にD 13の異形棒鋼SD345を使用した。機械的性質として、D 22は降伏強度が3951kgf/cm<sup>2</sup>, 弾性係数が1.90 × 10<sup>6</sup> kgf/cm<sup>2</sup>で、D 13は降伏強度が3749kgf/cm<sup>2</sup>, 弾性係数が1.83 × 10<sup>6</sup> kgf/cm<sup>2</sup>を有する。

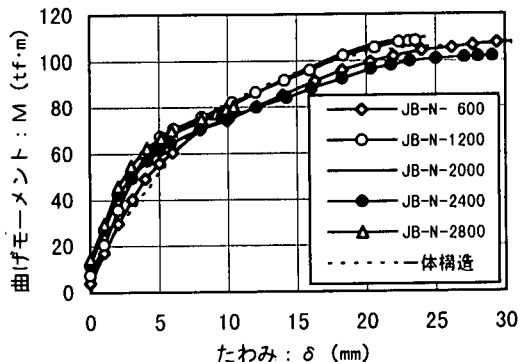
### 3. 実験的検討

#### (1) ひび割れおよび破壊経過

先行荷重により主筋の引張応力度が長期許容応力度<sup>1)</sup> 2000kgf/cm<sup>2</sup>に相当する試験体のひび割れ発生状況を図-4に示す。ここで、点線は先行荷重時に発生したひび割れを、実線はRC合成梁の載荷時



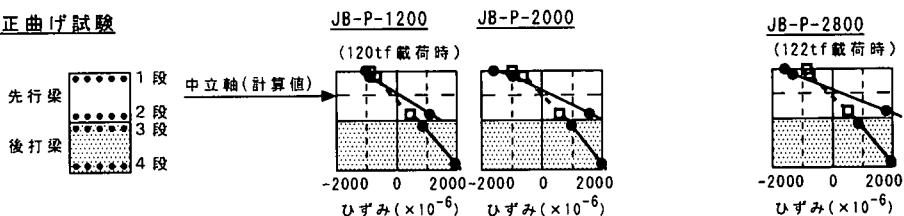
(a) 正曲げ試験体



(b) 負曲げ試験体

図-5 曲げモーメントとたわみの関係

正曲げ試験



負曲げ試験

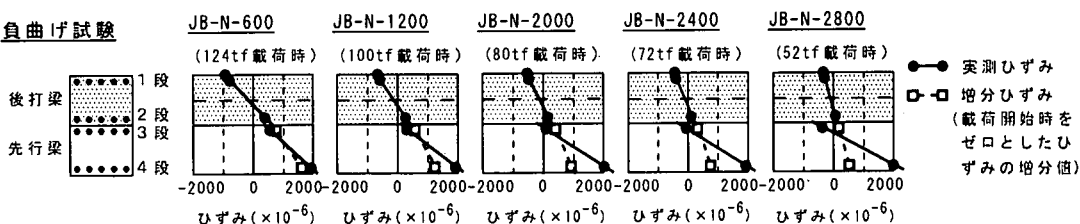


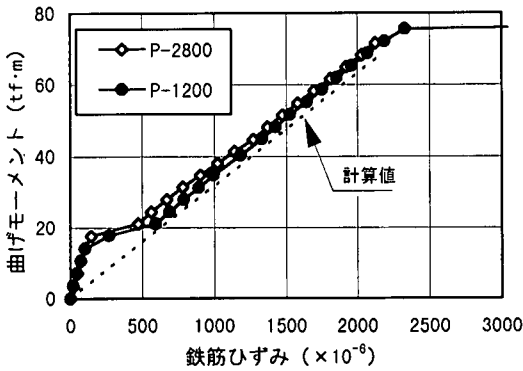
図-6 断面内のひずみ分布

に新たに発生したひび割れをそれぞれ示す。先行梁を上側に、後打ち梁を引張側に配置した正曲げ載荷試験体では、RC合成梁の引張縁から先行梁にあらかじめ発生していた曲げひび割れへと連続的につながっているものが多くみられる。また、斜めひび割れは、先行梁で最初に発生し、それがRC合成梁へと成長するようになる。この斜めひび割れの形成時には、先行梁に発生している曲げひび割れの影響は受けられないように見受けられる。

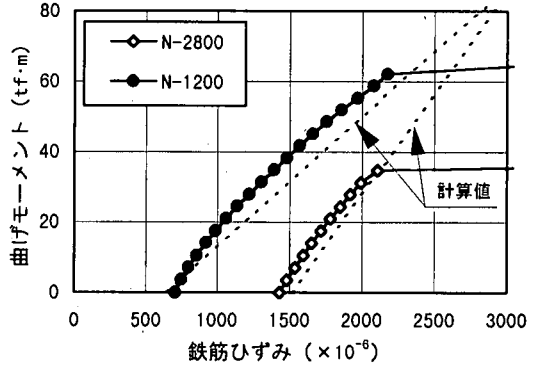
一方、先行梁をそのまま引張側に配置した負曲げ載荷試験体は、先行梁の曲げひび割れがそのまま成長し後打ち梁へと伸びるのではなく、後打ち梁に独立して発生するものが多くみられる。この傾向は、先行荷重が大きくなるに従い、多数みられるようになる。これは先行梁において、先行荷重載荷時に蓄積される接合面下の圧縮力の存在によるものと思わ

れる。

また、曲げモーメントとスパン中央部でのたわみ量の関係を図-5に示す。正曲げ試験体は、先行荷重の大きさにかかわらずに、鉄筋の降伏荷重や試験体の挙動をほぼ同一としている。これに対して、負曲げ試験体は、先行荷重が大きくなると、鉄筋の降伏荷重を小さくする。しかし、鉄筋の降伏荷重とともに剛性を小さくするのではなく、他の引張鉄筋の寄与により剛性を保持しながら曲げモーメントの値を増加させた後、剛性を低下させ一体打設試験体の挙動に近づく傾向を示す。ここで、先行荷重による鉄筋応力度が2800kgf/cm<sup>2</sup>と大きいJB-N-2800は、他の試験体に比べ終局時の荷重およびたわみ量を小さくしている。これは、斜めひび割れの形成時に接合面で肌分かれを生じ、その後重ね梁としての挙動を呈したことによる。なお、このJB-N-2800試験体



(a) 正曲げ試験体



(b) 負曲げ試験体

図-7 曲げモーメントと鉄筋ひずみの関係

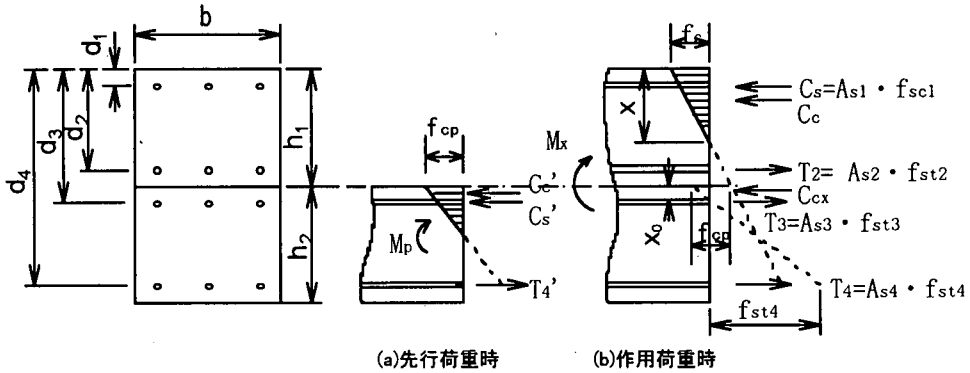


図-8 断面内応力および釣合状態

を除くと、載荷方向にかかわらず、終局時には RC 合成梁の 2 段目、3 段目、4 段目の引張側の鉄筋が降伏ひずみを超え、さらに先行梁と後打ち梁間の接合面の一体化が確認された。

## (2) 断面内応力および表面ひび割れ幅

合成梁の等モーメント区間における 4 段目鉄筋降伏時の平均ひずみ分布を図-6 に示す。ここで、平均ひずみは、等モーメント区間で計測したひずみ値を平均することにより算定した。作用荷重  $M_x$  のみで発生したひずみを増分ひずみで、また実測ひずみは先行荷重時のひずみを加えあわせたものである。増分ひずみで考えると、先行荷重の作用方向にかかわらず、圧縮縁から 4 段目鉄筋まで直線的で、断面内の平面保持が認められる。そのため、RC 合成梁の鉄筋応力は、先行荷重時に作用している応力に、RC 合成梁構築後の荷重作用により生じる応力度を加え合わせることで算定できることとなる。

一方、実測ひずみでみると、部材の接合面で不連

続となっている。特に、負曲げ載荷では、先行荷重が大きくなると、接合面を境に上側が引張、これに対して下側に圧縮領域が存在していることとなる。先行荷重時に鉄筋応力度が  $2800\text{kg/cm}^2$  と大きい負曲げ試験体 JB-N-2800 において、せん断ひび割れ発生時に接合面で肌分かれを生じたのは、この接合面下の圧縮領域の存在によるものと思われる。

図-7 は、最下縁である 4 段目鉄筋の曲げモーメントと鉄筋ひずみの関係を示したものである。ここで、(a) の正曲げをみると、先行荷重の大きさに関わらず、ほぼ同様な関係を示している。また、計算値は、先行荷重の影響を無視した弾性計算で求めたものである。このように、正曲げでは、先行荷重の影響が小さく、打継目のない一体打設と同様に算定できることが認められる。

これに対して、(b) の負曲げでは、先行荷重の大きさにより、初期値および降伏モーメントを異にしている。そのため、計算値は、この先行荷重の影響を考慮したもので、実験値を良い精度で推定して

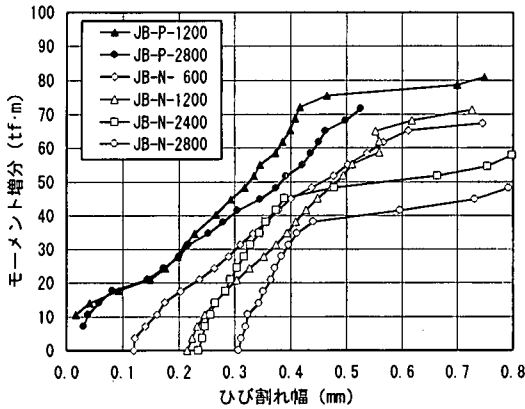


図-9 曲げモーメント増分と最大ひび割れ幅の関係

いる。ここで使用した方法は、断面内ひずみ分布で明らかとなったように、実ひずみに着目したもので、材料を弾性体と仮定すると、断面内での応力状態は図-8となる。このように、4段目鉄筋は先行荷重の影響を直接受けることとなる。そのため、先行荷重が大きくなるとともに、降伏時の荷重が小さくなり、また先行荷重時に蓄積された圧縮力が接合面下で残留することとなる。

なお、作用荷重時の釣合式は式(1)で表される。

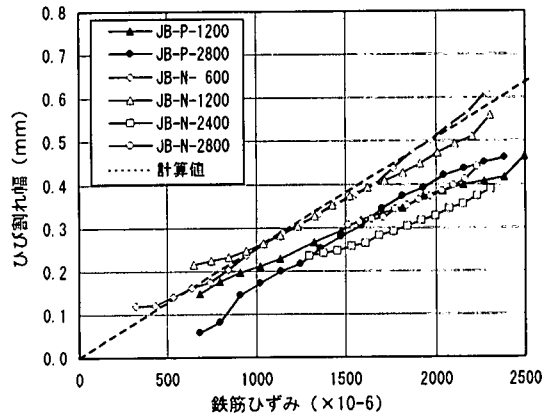
$$C_c + C_s + C_{cx} + T_2 + T_3 + T_4 = 0 \quad (1)$$

また、作用荷重時における曲げモーメント $M_x$ は式(2)で表される。

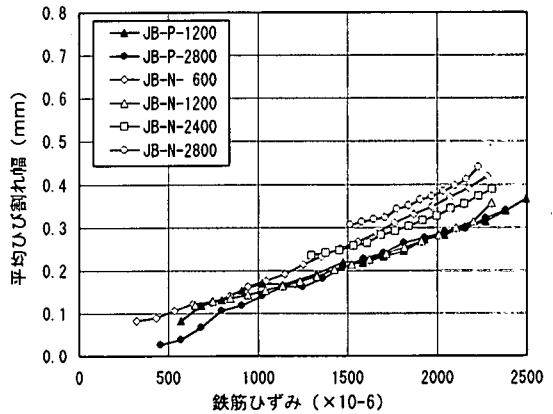
$$M_x = C_c(d_4 - x/3) + C_s(d_4 - d_1) + C_{cx}(d_4 - h_1 - x_0/3) \quad (2)$$

図-9は、曲げモーメント増分と最大ひび割れ幅の関係を示したものである。JB-Nシリーズは、先行荷重時にひび割れを生じている位置がさらに曲げモーメント増分により引張力が作用するため、残留している初期ひび割れの影響を受ける。また、曲げモーメントの増分により鉄筋の降伏が早期に起こるため、先行荷重のレベルにより増分量が小さくなる。これに対して、JB-Pシリーズは、後打ち部分が新規に引張力を受けるため、初期のひび割れがなく、曲げモーメント増分との線形関係が認められる。

図-10は、鉄筋ひずみと曲げひび割れ幅との関係を最大ひび割れ幅と、平均ひび割れ幅に分けて示したものである。最大ひび割れ幅をみると、ひび割れ幅と鉄筋ひずみの間には線形的な関係が認められ、先行荷重の大きさおよび方向による相違は認められ



(a) 最大ひび割れ幅



(b) 平均ひび割れ幅

図-10 鉄筋ひずみと曲げひび割れ幅の関係

ない。ここで、計算値は、コンクリート標準示方書<sup>12)</sup>により算定したものである。計算値は、鉄筋のひずみに対してほぼ上限のひび割れ幅を推定している。なお、通常の設計は、作用荷重から鉄筋応力を算定し、鉄筋応力、ひび割れ幅、変形等使用状態の検討がなされる。このような流れを考えると、ひび割れ幅の評価はコンクリート標準示方書に基づいて行うことで、実用上十分な評価といえる。

次に、等モーメント区間内の平均ひび割れ幅をみると、最大ひび割れ幅と同様に、ひび割れ幅と鉄筋ひずみの間には、強い線形関係が認められる。また、ひび割れ幅の試験体間によるバラツキが、最大ひび割れ幅に比べて小さい領域となっている。

ひび割れ幅と鉄筋ひずみの間には、このように、先行荷重の方向および大きさに影響を受けず、線形的な関係が確認された。また、最大ひび割れ幅は、

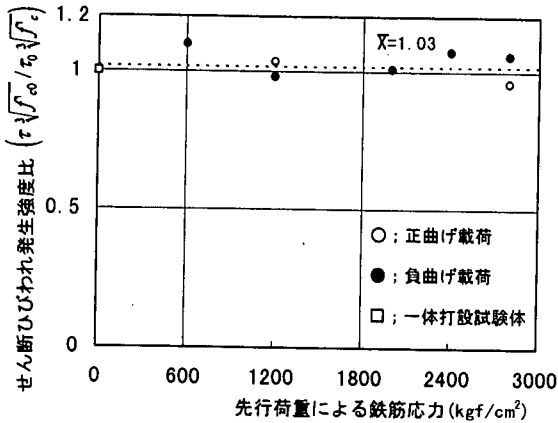


図-11  $\tau/\tau_0$ ～鉄筋応力関係

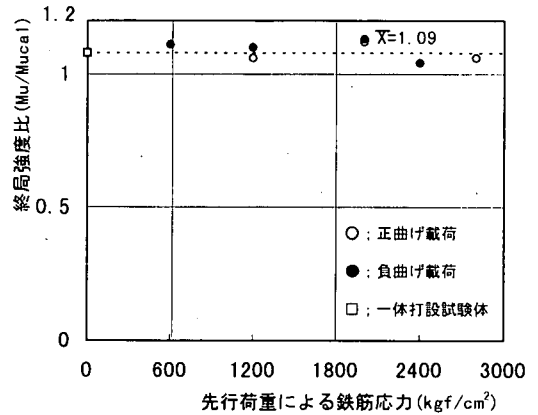


図-12 終局強度比と鉄筋応力関係

コンクリート標準示方書に基づくと、実用上十分な精度で推定できることがあわせて確認された。

### (3) 耐力

せん断ひび割れ発生耐力は、コンクリートの圧縮強度、 $a/d$ 、鉄筋比等に影響を受ける。この代表的な算定法として、楢貝・岡村式<sup>13)</sup>がある。本実験においては、 $a/d$ 、鉄筋比、有効高さが同一で、コンクリートの圧縮強度が異なっている。せん断強度は、コンクリートの圧縮強度の変動に対して、3乗根で基準化される。

図-11は、せん断ひび割れ発生強度比と先行荷重による鉄筋応力の関係を示したものである。ここで、縦軸は、コンクリートの圧縮強度の変動を3乗根で基準化し、かつ一体打設試験体のせん断ひび割れ発生強度 $\tau_0$ で除したものである。実験値でみると、平均値が1.03で、変動係数が4.6%と小さな値となっている。また、正曲げ載荷、負曲げ載荷の載荷方向による影響を受けないことが認められる。

せん断ひび割れ発生荷重は、このように、載荷方向および先行荷重による鉄筋の作用応力度の影響を受けず、一体打設のものと同様に扱えることが確認された。

図-12は、終局強度比と先行荷重による鉄筋応力関係を示したものである。ここで、縦軸の終局強度比は、先行応力を無視した計算値 $M_{u,c}$ で実験値と比較したものである。一体打設試験体 $M_u$ は、この比が1.08であった。これに対して、先行荷重を受けた試験体は、平均値が1.09で、変動係数が3.1%となった。このように、強度比が一体打設試験体とほぼ同一で、また変動係数の値でみられるように、そのバラツキが小さいものである。

先行荷重を受けても、終局強度は一体打設試験体

と同様に算定できることが確認された。これは今回の実験の範囲において、終局時に引張力を負担している鉄筋が降伏し、断面内で一体打設試験体と同一の釣合条件となることによると思われる。通常、既設構造物が常時荷重、あるいは仮設構造物として使用されている場合、鋼材やコンクリートは弾性範囲内とみなせる領域で使用されている。これにコンクリートを打ち増し合成RC構造物が構築された場合、曲げモーメントの作用で部材が曲げ破壊を生じるような終局時に至ると、断面内での曲率が大きくなり、断面内での釣合状態が先行荷重を受けても一体打設試験体と近似するようになる。このようなことから先行荷重を受けても、RC合成梁の終局強度は一体打設構造と同一に算定できることとなる。

## 4. 数値解析的検討

### (1) 解析目的

著者らは、使用材料であるコンクリートと鉄筋の非線形、また先行梁と後打ち梁の接合面に接合要素を配置した解析システムを開発した<sup>10)</sup>。数値的検討において、本システムの妥当性を本実験結果と検証を行い、RC合成梁のひび割れ性状について検討を加えた。さらに、本システムを使用した数値実験により、先行梁と後打ち梁の高さの要因がRC合成梁へ与える影響について検討を加えた。

### (2) 解析モデル

数値解析に使用したモデルを表-2に、また図-13に解析メッシュを示す。解析は、先行梁のメッシュ作成、先行荷重の加力、後打ち梁と接合要素のメッシュ作成、増分荷重の載荷の順に行った。はじめに先行梁の要素を作成した。コンクリートは4接点

表-2 使用モデル一覧<sup>1)0)</sup>

構成材料・部位		使用構成則		
		塑性・破壊前	塑性・破壊基準	塑性・破壊後
コンクリート	引張	kupfer則 <sup>14)</sup>	一軸引張破壊基準	ひずみ依存型応力解放
	圧縮	kupfer則	大沼式 <sup>15)</sup>	ハードニング(1%)
鉄筋		弾性	Von-Mises <sup>16)</sup>	ハードニング(1%)
接合面	鉛直方向	弾性	*1一軸引張破壊基準	完全弾塑性
	せん断方向	弾性	*2Mohr-Coulomb	完全弾塑性

\*1;  $0.8 \cdot f_c$  に低減 \*2;  $1.14\sqrt{f_c} + 1.0\sigma_n$  ( $\sigma_n$ : 鉛直応力)

表-3 実験値と解析値の比較一覧

試験体	降伏モーメント(tf・m)			終局モーメント(tf・m)		
	My	Mycal	My/Mycal	Mu	Mucal	Mu/Mucal
NJB	70.79	81.59	0.87	107.11	113.53	0.94
JB-P-2000	80.99	86.38	0.94	110.92	116.77	0.95
JB-P-2800	82.83	90.97	0.91	106.55	118.14	0.90
JB-N-2000	55.25	69.33	0.80	110.21	117.37	0.94
JB-N-2800	45.23	51.47	0.88	80.72	116.83	0.69

の非線形要素でモデル化し、鉄筋は弾塑性トラス要素でモデル化した。また、実験において先行加力用鋼材により先行モーメントを加力した部材端部のコンクリート部には、弾性要素を用いた。先行荷重は、剛体要素の端部に先行モーメントと等価な軸力作用させることで行った。

次に、後打ち梁を所定の位置に配置した。この時のコンクリートおよび鉄筋のモデルは先打ち梁と同一とした。また、先打ち梁と後打ち梁の界面には、接合面をモデル化した接合要素を配置した。

載荷は、載荷板の中央に強制変位を与えることで行った。載荷板には、鋼材の物性値を与えた弾性要素を用いた。

### (3) 耐荷性状

解析結果と実験結果の比較として、主筋(4段目鉄筋)の降伏モーメントと終局モーメントについてのまとめを表-3に示す。JB-N-2800の終局モーメントを除くと、実験値と計算値との間に良い一致が認められる。本解析は、接合面を完全弾塑性として、接合面の一体化に基づいたもので、分散ひび割れモデルを使用し、RC合成梁の荷重増分によるひび割れ、変形問題を主な解析目的としている。これに対して、JB-N-2800は、斜めひび割れの形成時に局所的な応力集中が原因とした接合面での肌分かれにより、重ね梁としての挙動を呈したため、破壊モードが異なり解析値と実験値の間に差が生じた。

部材の性状として曲げモーメントと梁中央部のた

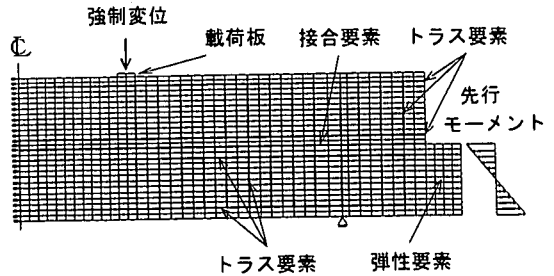


図-13 解析メッシュ図

わみの関係を、図-14、15に先行荷重の載荷方向に分けて解析結果と実験結果との比較を示す。両者の間には、載荷方向にかかわらず良い一致が認められる。また、鉄筋の降伏後変形量が大きくなると、先行荷重の大きさ、有無にかかわらずほぼ同一の値に収束している。

終局耐力は、このように、先行荷重に敏感でないことが実験および数値解析から明らかとなった。また、実験で実施していないモデルについては、本解析により数値実験が可能であることが確認されたと、いえる。

### (4) ひび割れ状況

最下縁に配置した4段目鉄筋の降伏時におけるひび割れ状況を一体打設試験体と比較して図-16、17に示す。JB-Pシリーズは、上部の圧縮側に配置した



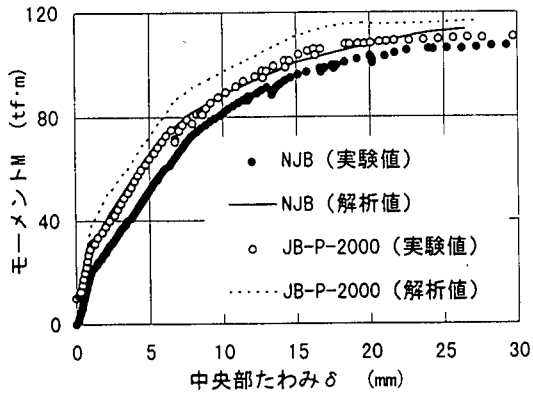


図-14 M~δ関係 (JB-P シリーズ)

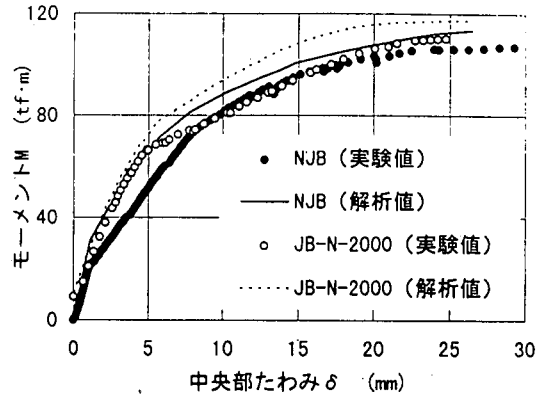
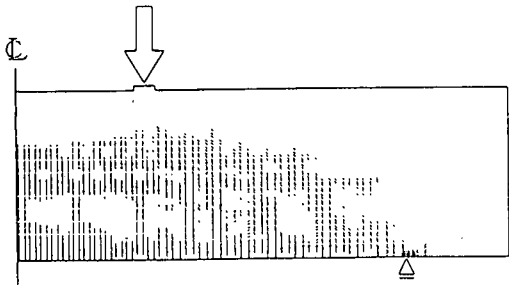
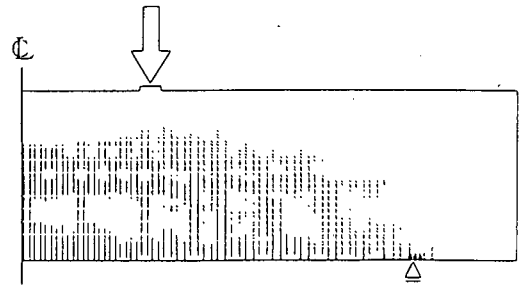


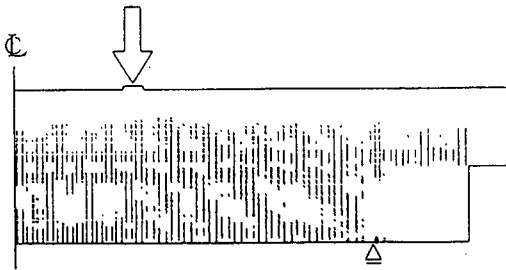
図-15 M~δ関係 (JB-N シリーズ)



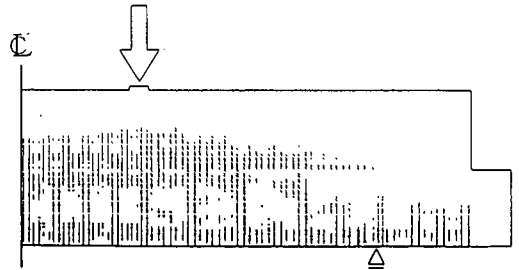
(a) NJB



(a) NJB



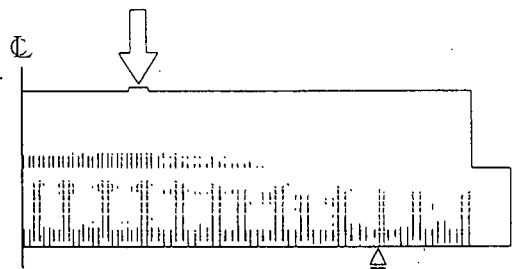
(b) JB-P-2000



(b) JB-N-2000



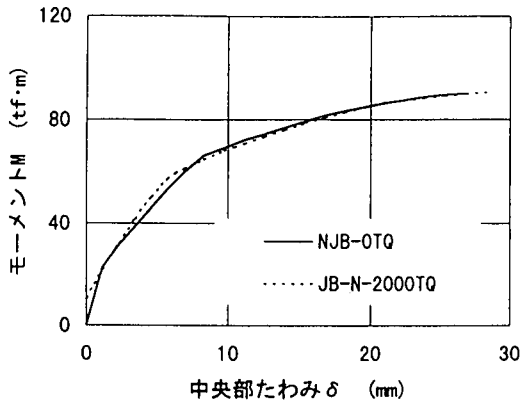
(c) JB-P-2800



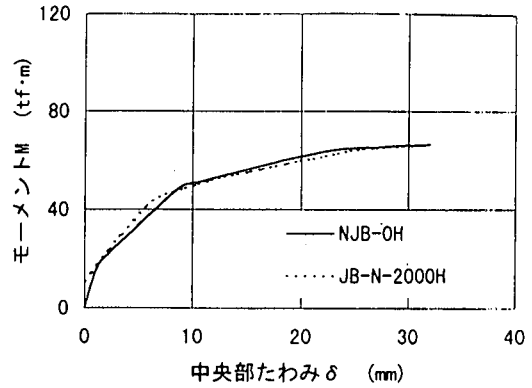
(c) JB-N-2800

図-16 ひび割れ図 (JB-P シリーズ)

図-17 ひび割れ図 (JB-N シリーズ)



(a) 後打ち梁高さ  $h_s = 0.75 h_o$



(b) 後打ち梁高さ  $h_s = 0.5 h_o$

図-18 後打ち高さの検討

梁が先行荷重を受けたものである。先行荷重の影響により、上部の梁全体に曲げひび割れの発生が、また先行荷重のレベルが大きい試験体はひび割れが上部に進展し、圧縮領域が見かけ上小さくなっている。これを除くと、RC合成梁は、下から上へ向かう曲げひび割れ、せん断スパンでの斜めひび割れの形成と、先行荷重の有無にかかわらず、同様に発生している。

これらに対して、JB-Nシリーズは、下部の引張側に配置した梁が先行荷重を受けたものである。先行荷重により、下側の梁には曲げひび割れが均等に発生している。また、先行荷重の大きいJB-N-2800では、接合面の下側にひび割れ領域が認められない。これは先行荷重によりこの部分が圧縮領域となり、荷重の作用を受けてもこの圧縮領域を貫通するまでひび割れが成長しないことを意味する。そのため、上部の梁と分離した形でひび割れが形成される。このような応力状態で、斜めひび割れが形成するような状態になると、圧縮領域を貫通するより、むしろ接合面をはだ分かれを生じるようにひび割れが成長することが推定される。

先行荷重の大きいJB-N-2800が斜めひび割れの形成時に、接合面ではだ分かれが生じたのはこの圧縮領域に起因するものと思われる。しかし、合成壁を実構造物へ適用する場合、地中連続壁から後打ち壁を包含するせん断補強筋の配置が困難なため、設計上せん断ひび割れの発生を許容しない。数値実験上は、接合面のはだ分かれが発生しないとして検討を進めても問題ないと思われる。

#### (5) 後打ち梁の高さに関する検討

後打ち梁の高さに関する検討を数値実験を通して行った。解析モデルは、打ち増し高さ  $h_s$  を2水準（先行梁高さ  $h_o$  の  $0.75 h_o$ 、 $0.5 h_o$ ）で、先行荷重により主筋に作用する応力度を  $2000 \text{ kgf/cm}^2$ 、また先行梁の荷重状態が厳しくなるJB-Nシリーズの負荷荷重を対象とした。

解析結果を図-18に先行荷重を受けない梁と比較して示す。後打ち梁の高さにかかわらず、両者の間に良い一致が認められる。後打ち梁の高さが小さくなると、梁の有効高さが小さくなるため剛性および終局耐力が低下し、後打ち梁がRC合成梁の耐荷性能に与える影響が小さくなる。このように、RC梁の挙動は、後打ち高さが小さくなると、先行荷重の影響を受けにくくなると思われる。

通常、地下連続壁の合成壁、あるいは既設構造物の耐荷力向上のための打ち増しの場合、後打ち部分の厚さは既設部分に比べて薄くなる。また、既設部分を本体に使用することから、常時荷重レベルで鉄筋の降伏強度に近い状態とか、それを超えるような状態は考えられない。このような実際の状況等を考えあわせると、RC合成壁の剛性および耐力等の耐荷機構に与える先行荷重の影響は比較的小さくなると推定される。

#### 5. 結論

既設コンクリート部材と後打ちコンクリート部材の合成問題として、既設コンクリート部材の先行荷重について実験的検討および数値解析を行った。実験は、既設のRC梁に曲げモーメントを作用させた

状態で後打ち梁を打ち増して作製した試験体を使用し、先行荷重のレベルおよび方向を対象に行った。これらの実験および数値解析的検討で得られた結果のまとめを以下に示す。

(1) 鉄筋のひずみは、荷重による増分ひずみ量でみると、先行荷重の大きさおよび方向にかかわらず、断面内での平面保持が成り立つ。なお、先行荷重を受けた部材を引張側に配置したJB-Nシリーズは、先行荷重による曲げモーメントの大きさとともに最外縁に配置した鉄筋の降伏耐力を小さくしており、先行荷重の影響を受けることが認められた。また、このシリーズの鉄筋ひずみおよび降伏耐力は、先行荷重時に作用しているひずみを考慮した実ひずみに着目することで、精度良く推定された。

(2) 先行荷重を受けた部材を圧縮側に配置したJB-Pシリーズは、最外縁に配置した鉄筋の降伏耐力、および曲げに対する終局耐力を一体打設試験体と同様に評価することができ、先行荷重の影響が小さいことが認められた。また、JB-Nシリーズにおいても、曲げに対する終局耐力は、一体打設と同様に評価できることが確認された。

(3) JB-Nシリーズは、先行荷重により曲げひび割れが発生し、ひび割れが開口している状態から荷重作用を受ける。これに対して、JB-Pシリーズは、荷重作用により新たにひび割れが発生する。これらの表面ひび割れ幅と作用モーメントによる最外縁の鉄筋ひずみの間には、極めて強い線形関係が認められた。また、このひび割れ幅の評価は、先行荷重のレベルおよび方向にかかわらず、コンクリート標準示方書式で実用上十分な精度で推定できることが確認された。

(4) せん断ひび割れの発生耐力は、JB-PシリーズおよびJB-Nシリーズともに、先行荷重の影響が小さいことが認められた。なお、JB-Nシリーズは、先行荷重が大きくなると、荷重作用を受けても接合面近傍で圧縮領域が存在し、この影響でせん断ひび割れの形成時に肌分かれが生じやすい状態となることが推定された。

(5) コンクリートの非線形性および鉄筋の弾塑性を考慮した数値解析により、先行荷重を受けるRC梁の挙動を精度良く推定できることが認められた。また、後打ち梁の高さの小さいRC合成梁は、数値実験により検討を行い、後打ち部分の高さが小さく

なると、RC合成梁に与える影響が小さくなり、一体打設試験体の剛性および耐力と近似するようになると推定された。

## 参考文献

- 1) 秦雅史, 安倍勇, 河口俊郎, 石井敏之, 宮沢裕和, 戸田哲雄: 連続地中壁の新構造機能に関する実験的研究(その2. 接合筋継手のせん断耐力), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1387 ~ 1388, 1992年8月.
- 2) 菊地利武, 酒井吉郎, 有島浩蔵, 山内一秀, 熊谷俊雄, 小島克朗, 古屋則之, 津田和明: 地中壁と後打ち壁との合成壁の構造性能に関する研究(その6) 合成壁接合部の直接せん断試験, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.553 ~ 554, 1989年10月.
- 3) 神野靖夫, 坂口昇, 岡田武二, 宇野孝郎: SSS工法に関する実験的研究(その8) - 地中壁と打増し壁からなる合成壁の打継面せん断強度に関する実験 -, 清水建設研究所報告第54号, pp.45 ~ 52, 1991年10月.
- 4) 土木学会: コンクリート標準示方書設計編【平成3年度版】施工編, 1991年7月.
- 5) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説, 1988年7月.
- 6) 古屋則之, 津田和明, 菊地利武, 小島克朗, 武田寿一: 地中壁と後打ち壁からなる合成壁の設計法に関する研究(その3) - 設計条件を考慮した合成壁の面外曲げせん断実験 -, 大林組技術研究所報, No.36, pp.51 ~ 56, 1988年.
- 7) 和泉四郎, 小谷勝昭, 青景平昌, 山県達弥, 坂元建一郎, 神田亨: 地中連続壁の躯体利用技術の拡大に関する研究 - 先行応力を受ける先打ち壁と後打ち壁との合成壁に関する性能評価 -, フジタ工業技術研究所報第19号, pp.29 ~ 38, 1983年6月.
- 8) 河野一徳, 篠田佳男, 田中伯明: 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年6月.
- 9) 河野一徳, 篠田佳男, 田中伯明: 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, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.16, No.2, pp.895 ~ 900, 1994年6月.
- 10) 原夏生, 篠田佳男, 三島徹也, 小原孝之: 鉄筋コンクリート用非線形解析システムの解析, 前田建設技術研究所報, VOL.38, pp.17 ~ 24, 1997年10月.
- 11) 端建設技術センター: 大深度土留め設計・施工指針(案), 1994年10月.
- 12) 土木学会: コンクリート標準示方書設計編【平成3年度版】設計編, 1991年7月.

- 13) Okamura, H. and Higai, T. : Proposed Design Equation for Shear Strength of Reinforced Concrete Beams without Web Reinforcement, Proc. of JSCE, No.300 (1980.8), Concrete Library International No.1, (JSCE), 1983.
- 14) Kupfer, H. : Das nicht-lineare Verhalten des Betons bei Zweiachsiger Beanspruchung, Beton und Stahlbetonbau, 1973-11.
- 15) 大沼博志, 青柳征夫 : 2軸応力下のコンクリートの強度・変形性状に関する実験的研究, 電力中央研究報告, No.375016, 1976.
- 16) R. Von Mises, Gottinger Nachrichten .math.-phys.Klasse, pp.582, 1913.

(1997.5.2 受付)

## A STUDY ON THE STRUCTURAL MECHANISM OF RC COMPOSITE BEAM CONSIDERING PRE-LOADING EFFECT

Yoshio SHINODA, Kazunori KOHNO, Natsuo HARA and Takayuki OBARA

In this paper, the effect of pre-loading to structural mechanism of RC composite beam is discussed. We carried out flexural tests on RC composite beam which was built by adding reinforcement and concrete to the pre-loaded beam. The results show that the crack width of RC composite beam can be estimated adequately using the amount of stress of reinforcing bar subjected to pre-loading. It is also found that the effect of the direction and the amount of pre-loading to the ultimate moment of RC composite beam is negligible.