

論文

[2182] 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

河野 一徳*¹・田中 伯明*²・篠田 佳男*³

1. はじめに

連続地中壁は、従来、山留壁などの仮設構造物として施工される場合が多かった。しかしながら、施工の合理化に対するニーズの高まりとともに、連続地中壁を本体構造物の一部として利用する場合が増えてきている。その一例として、掘削時に山留め壁として利用した地下連続壁に後打ち壁を打ち継いで一体構造物とする場合が挙げられる。この場合、連壁部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（ここでは、先行荷重と定義）を受けた状態となる。したがって、このような構造物の設計を行う上では、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しておくことが重要となる。しかしながら、現行の設計示方書^{[1]・[2]}においては、この先行荷重の取扱いについての明確な記述は見られない。そこで、本研究においては、このような先行荷重が RC 合成梁の耐力および変形状に及ぼす影響について実験による検討を行った。具体的には、先行荷重を載荷した梁に後打ち梁を打ち継いで作製した RC 合成梁試験体に対して載荷試験を実施し、その結果と著者らが実施した同じ配筋の一体構造試験体に対する試験結果^[3]との比較検討を行った。

2. 試験方法

2. 1 概要

試験は、まず、連続地中壁部を模擬した梁（先行梁）に先行載荷を行った後、この先行梁に後打ち壁を模擬した梁（後打ち梁）を打ち継いで合成梁試験体を作製し、さらに、この試験体に先行荷重を載荷させたままの状態断面力を作用させて合成梁部材としての構造性能を把握する手順で実施した。ここで、先行載荷は先行梁の材端に曲げモーメントを載荷する方法で行った。合成梁の載荷パターンは、図-1に示すようなNo.1試験およびNo.2試験の2パターンとした。先行梁と後打ち梁の一体化は、先行梁の後打ち壁との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。この方法で、合成梁を面外方向の荷重に対して一体化できることは、筆者らの実験^[3]ですでに確認済みである。

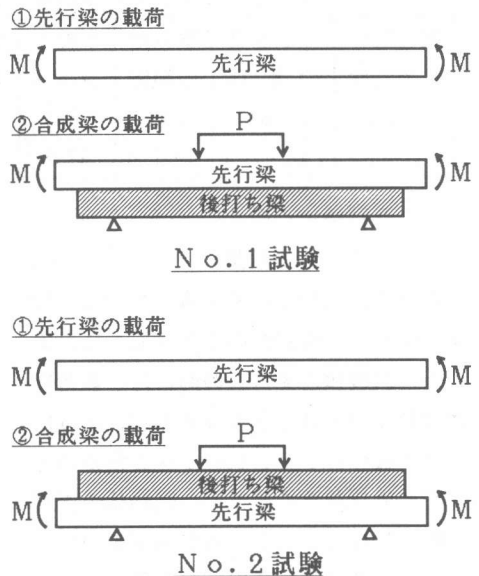


図-1 試験方法の概要

* 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）土木設計本部土木設計第1部，（正会員）
 * 3 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）

2. 2 試験体の仕様

(1) 試験体の形状寸法および配筋

図-2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一体構造試験体^[3]を接合位置に相当する桁の中央で縦断方向に2分割した構造とした。ここで、先行梁の打継ぎ予定面の型枠は木製とした。なお、先行梁には先行加力用の鋼材を取り付けるための張り出し部を設けた。主筋はD22とし各段に5本ずつ配置した。梁のせん断スパンの部分はD13のスターラップを用いてせん断補強した。合成梁試験体は4段配筋となるが、以下では、各段の鉄筋を載荷側から順番に1, 2, 3, 4段目として説明を行う。

(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4076kgf/cm²、 1.85×10^6 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)	スランブ 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	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
					W	C	S	G	(AE剤)
20	18±2.5	4±1.0	57.5	48.7	185	322	857	918	3.61

2. 3 試験の手順

(1) 先行梁の載荷

図-3に先行梁の載荷方法を示す。試験体は水平な支持台の上に横置きに設置した。試験体と支持台の間には、載荷時に試験体の曲げ変形を拘束しないように厚さ1mmのテフロンシートを2枚挟み込んだ。先行荷重の載荷は、試験体の両端に取り付けた加力ビームの端部を油圧ジャッキとPC鋼棒を用いて矢印の方向へ引っ張ることにより行った。先行荷重の導入量は、主筋の引張応力度が長期許容応力度^[2]に相当する2200kgf/cm²程度となる荷重とした。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、

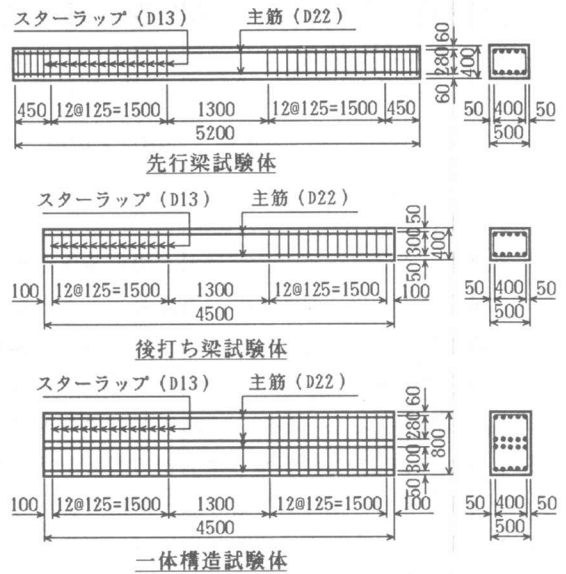


図-2 試験体の配筋図

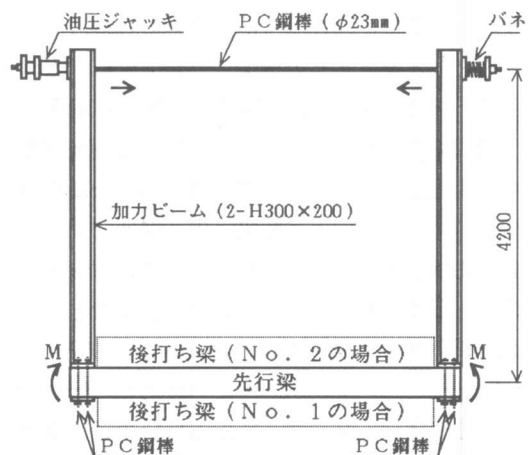


図-3 先行梁の載荷方法

コンクリートを打設して合成梁試験体を作製した。なお、ここで導入した先行荷重は合成梁の載荷試験の実施時まで保持した。合成梁の載荷試験開始時の先行荷重（曲げモーメント）はNo.1が10.1tf・m、No.2が9.0tf・mであった。

(2) 合成梁の載荷試験

図-4に合成梁の載荷試験の方法を示す。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となるようなスパン(3.6m)の3等分点とした。載荷行程は以下の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 曲げひびわれの発生
- ② 4段目の鉄筋が許容応力度に到達
- ③ 斜めひびわれの発生
- ④ 4段目の鉄筋が降伏

ただし、No.2の場合は、すでに曲げひびわれが発生し、鉄筋応力が長期許容応力度に達した状態から試験を開始するため、①を省略するとともに②の許容応力度として短期許容応力度(3500kgf/cm²)^[2]を適用した。なお、ステップ④の除荷終了後は試験体が破壊するまで載荷を行った。

2. 4 計測内容

(1) 先行載荷試験

先行載荷試験においては、載荷荷重、試験体のたわみ、コンクリートひずみ、鉄筋ひずみの計測、試験体の変状記録、および、ひびわれの観察を行った。載荷荷重の測定は、加力ビームを繋ぐPC鋼棒の緊張力をロードセルにより測定する方法で行った。この場合、梁に載荷される曲げモーメントの値は、載荷荷重に加力ビームのアーム長(4.2m)を乗じた値となる。これらの計測は、先行荷重の載荷開始時より合成梁の載荷試験が終了するまで継続して行った。

(2) 合成梁の載荷試験

合成梁の載荷試験においては、載荷荷重、残留荷重(先行荷重)、試験体のたわみ、コンクリートひずみ、鉄筋ひずみの計測、試験体の変状記録、および、ひびわれの観察を行った。図-5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。

3. 試験結果および検討

3.1 試験経過

図-6に荷重と変位(スパン中央のたわみ量)の関係を示す。同図の点線は一体構造試験体^[8]に対する試験結果を示す。同図より、全体的にみた場合、No.1と一体構造試験体との間には大き

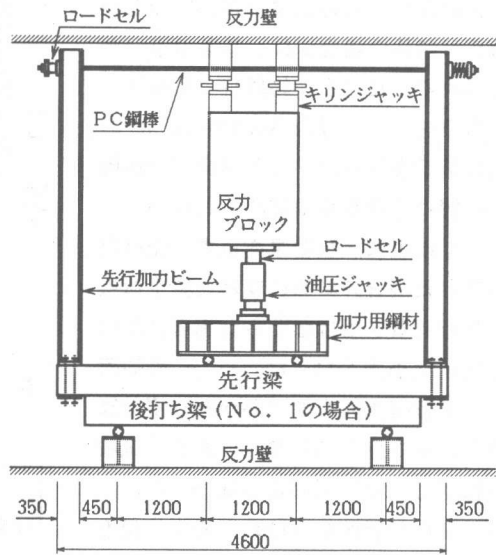


図-4 合成梁の載荷方法(平面図)

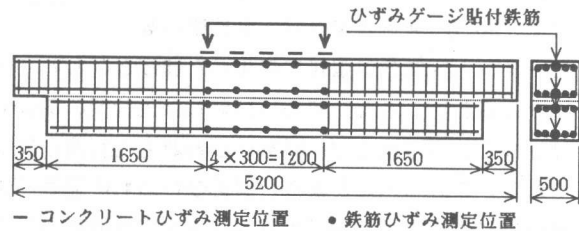


図-5 鉄筋ひずみの測定位置

な挙動の違いは見られないが、No. 2と一体構造試験体の場合には、挙動の違いが認められる。ただし、終局時の荷重は、先行荷重を受けた場合(No. 1およびNo. 2)と先行荷重を受けなかった場合(一体構造)の間に大きな差は認められない。

表-2に主な試験結果を示す。先行荷重を受けた場合の斜めひびわれ発生荷重は、先行荷重を受けなかった場合に比べて2割程度小さくなった。一方、終局荷重は、先行荷重の有無にかかわらず計算値の1.05倍程度の値となっており、試験体間に有意な差は認められなかった。

図-7に試験体のひびわれ発生状況を示す。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。まず、No. 1試験体の場合は、合成梁の等

モーメント区間の引張縁に発生した曲げひびわれが先行曲げひびわれの部分へ貫通しているようすがみられる。また、斜めひびわれは先行梁の部分で最初に発生した。一方、No. 2の場合は、曲げひびわれのみならず、斜めひびわれも先行曲げひびわれの端部から発生しているものが多くみられる。これらのことより、斜めひびわれの発生パターンに先行載荷の影響が認められる。なお、終局時においては、No. 1は等モーメント区間における圧縮縁コンクリートが圧壊したのに対し、

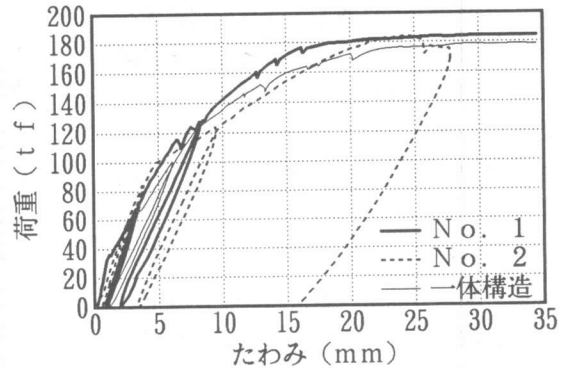


図-6 荷重とスパン中央のたわみ量の関係

表-2 試験結果一覧表

試験体	コンクリート圧縮強度 (kgf/cm ²)		ひびわれ発生荷重 (tf)		終局荷重 (tf)	
	先行梁	後打梁	曲げ	斜め	試験	計算
No. 1	313	285	36	118	185	179
No. 2	310	266	-	116	184	179
一体	232		36	152	178	167

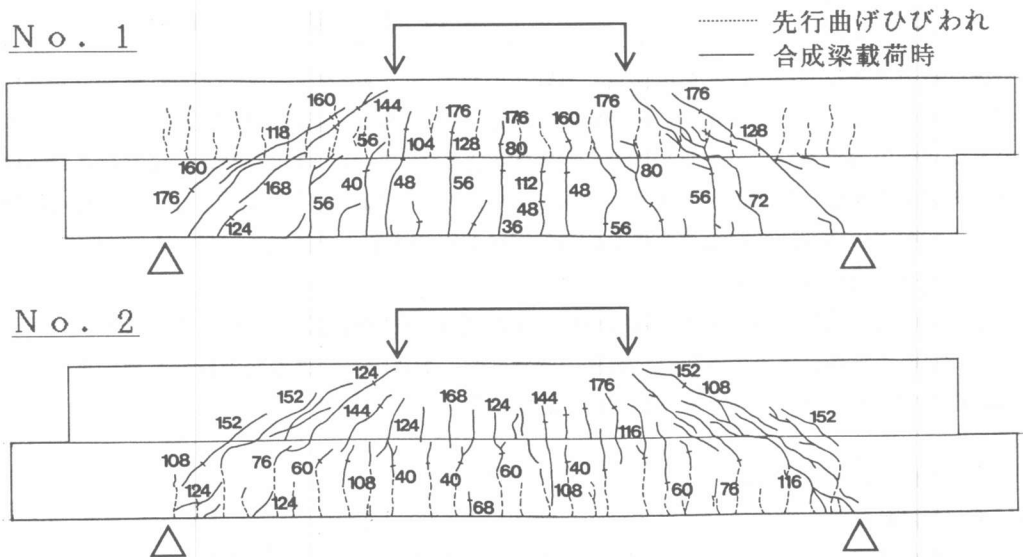


図-7 ひびわれの発生状況

No. 2は斜めひびわれ近傍に形成されたコンクリートストラットの部分が圧壊した。No. 1とNo. 2の終局時におけるたわみ量の差は、このような破壊パターンの違いに起因すると考えられる。

3. 2 ひずみ分布

図-8に合成梁の等モーメント区間における平均ひずみの分布の推移を示す。図中の黒丸は、圧縮縁におけるコンクリートおよび1~4段目の鉄筋の平均ひずみを示す。ここで、それぞれの値は各5点における測定値を平均することにより得られたものである。また、白丸は、先行梁の部分における平均ひずみの増分（実測の平均ひずみから荷重開始時における平均ひずみを差し引いた値）を示す。したがって、実線は平均ひずみの分布、点線は平均ひずみの増分の分布をそれぞれ示すこととなる。なお、荷重開始時の後打ち梁のひずみはゼロのため、後打ち梁部では白丸と黒丸は一致する。図-8より、No. 1, No. 2いずれの場合においても先行梁部分の点線と後打ち梁部分の実線はほぼ一直線の関係にあることがわかる。このことから、平均ひずみの増分で考えた場合は、先行荷重を受けている場合においても平面保持の仮定が成立することが認められる。

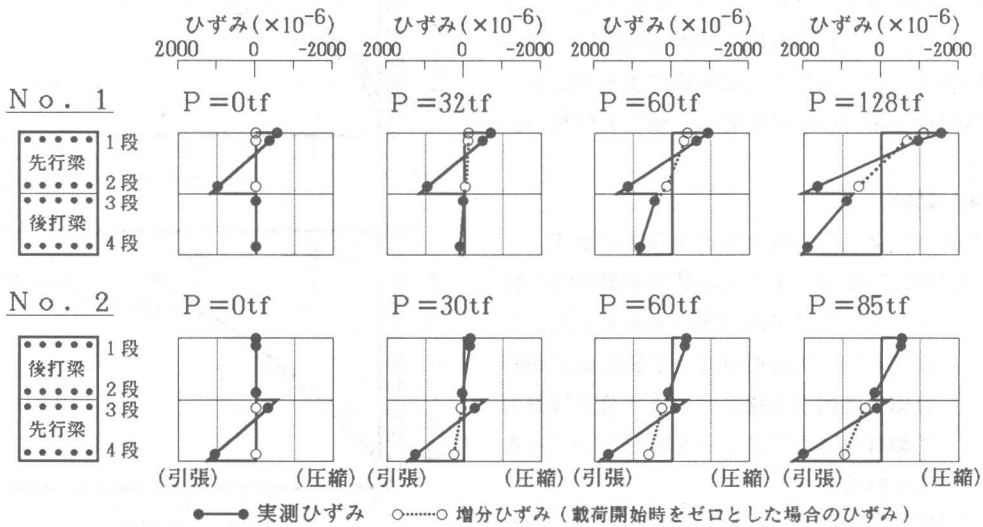


図-8 等モーメント区間における平均ひずみの分布の推移

3. 3 曲げモーメントと曲率の関係

図-9に、曲げモーメントと曲率の関係（M- ϕ 曲線）を示す。図-9の白丸および実線は、それぞれ、実測値をもとに算定した曲率（ ϕ_{real} ），標準示方書^[1]に示された方法を用いて算定した曲率の解析値（ ϕ_{anal} ）を示す。ここで、Mの値は、荷重による曲げモーメントに先行曲げモーメントを加えた値とした。 ϕ_{real} は式(1)により算定した。

$$\phi_{real} = (\epsilon_c - \epsilon_{s4}) / d_4 \quad \text{式(1)}$$

ここに、 ϵ_c は等モーメント区間における圧縮端のコンクリートの平均ひずみ、 ϵ_{s4} は4段目の鉄筋の平均ひずみ、 d_4 は圧縮縁から4段目の鉄筋の中心までの距離をそれぞれ示す。ここで ϵ_c 、 ϵ_{s4} の値は合成梁の荷重開始時を基準（ゼロ）とした増分値を用いた。また、 ϕ_{anal} は式(2)により算定した。

$$\phi_{anal} = M / E_c I_e \quad \text{式(2)}$$

ここに、 I_e は換算断面2次モーメントで、全断面有効とした場合の断面2次モーメント I_g と引

張応力を受けるコンクリートを除いた断面2次モーメント I_{cr} より求まる。No. 1については、ひびわれ発生前を全断面有効と考えて I_e を定めた。一方、No. 2はすでにひびわれが発生しているため、引張応力を受けるコンクリートを除いた断面2次モーメント I_{cr} を I_e と考えた。厳密には、引張応力を受けるコンクリートの領域は逐次変化していくため、それに応じて I_{cr} を変化させていく必要があるが、ここでは、 ϕ_{real} の勾配に変化が認められる45.8tf・mを超えた段階で I_{cr} の値を変更した。図-9より、一体構造およびNo. 2の場合については、 ϕ_{real} と ϕ_{anal} は比較的良好に一致しているといえる。しかしながら、No. 1の場合は全体的な傾向は一致しているものの、ひびわれ発生後にずれが生じ、一体構造の場合ほどは両者は一致していない。

4. 結論

本研究により得られた結論を以下に示す。

- (1) 検討したすべての試験体の終局時の抵抗モーメントはほぼ同等の値を示した。このことは、先行荷重による鉄筋応力が許容応力度程度の場合には、先行荷重は耐力に影響を与えないことを示していると考えられる。
- (2) 先行荷重により部材が応力を受けている場合でも、断面内のひずみ分布は、載荷開始時を初期値と考えれば平面保持の仮定が成立していることが確認された。このことから、曲げモーメントから曲率を評価することが可能となると考えられる。ただし、そのためにはさらに詳細な検討が必要である。
- (3) 先行荷重によって発生した曲げひびわれが、合成梁の斜めひびわれの発生時期および発生パターンに影響を与える可能性があることが明らかとなった。

今後、先行荷重の導入レベルや合成梁のせん断スパン比を変えた試験を実施し、先行荷重がRC合成梁の挙動に及ぼす影響について、詳細な検討を行っていく予定である。

【参考文献】

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書（平成3年版）設計編，1991.7
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説，1988.7
- 3) 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

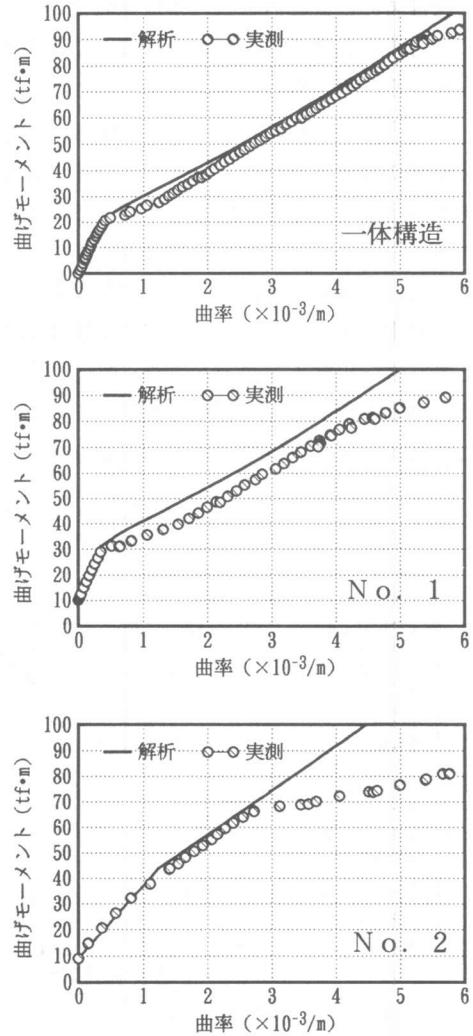


図-9 曲げモーメントと曲率の関係