

# 論文

## [2042] PC ホロー桁の連結構造に関する実験的検討

坂本 眞徳\*1・藤井 学\*2・幸左 賢二\*3・田村 章\*4

### 1. まえがき

道路橋における連結構造は、プレキャスト桁を単純系で架設し、中間橋脚上は鉄筋の重ね継手を用いたRC構造によって橋体の連続化を図る構造が一般的である。現在、T型桁を用いた連結構造については設計手法の標準化がなされており、1970年代から実橋レベルにおいて使用が図られている。しかしながら、昨今の社会情勢から現場作業の省力化、工期の短縮が要望されており、T型桁に比べて現場足場、型枠、現場打設コンクリート量の少ないプレキャスト中空ホロー桁の採用が増加する傾向にある。ホロー桁を対象にした連結構造の実績はあるものの、その設計手法については現在まで明確にされたものは少なく、今後実用化に向けて検討を加える必要がある。

一般にプレキャスト桁を用いた連結部の構造は図-1に示す通りT型桁は剛な横桁を介する構造であるのに対して、ホロー桁は主桁断面内の連結となる。このため連結部の構造について従来の設計基準をそのまま適用することは困難であると考えられる。また主桁としてJISA5313(スラブ橋用プレストレストコンクリート桁)の仕様を適用すると、次のような制約条件が挙げられる。

- 1) ホロー桁はT型桁に比べ桁高が低く、有効高不足から鋼材配置が困難となることが多い。
- 2) 桁突き合せ部ではプレキャスト部材断面の占める割合が大きく連結方法の十分な検討が必要。
- 3) JISA5313を用いた橋梁での桁間コンクリートは $\sigma_{ck}=240\text{kgf/cm}^2$ を使用することになっており、コンクリートと鋼材の十分な付着を確保するための検討が必要である。

以上の制約条件の基で実施した試験のフロー図を図-2に示す。まず予備実験として4種類の連結方法について曲げ試験を行い、効果が認められた2種類について予備実験結果に基づいて改良を加えたのち、詳細(曲げおよび疲労)実験により総合評価を実施した。本報告は一連の実験のうち、現在までに実験を完了した曲げ試験概要について述べるものである。

### 2. 予備実験概要

連結構造は現場施工性・経済性等を考慮して図-3の連結構造図に示すように、以下の4種類を選び、設計および構造上の問題点を明確にするための予備実験を行った。

- 1) 従来鉄筋方式 (T桁連結部設計手法に準じ、D22鉄筋を使用する)
- 2) 太径鉄筋方式 (D35太径鉄筋をプレキャスト桁上面に設置・埋設する)
- 3) H鋼埋め込み方式(プレキャスト部U型断面内にH鋼材を埋設する)
- 4) PC構造方式 (PC鋼線を導入することによって突き合わせ部のひびわれを制御する)

従来の連結構造に関する実験では、連結部を部分的に取り出した供試体によって、ひびわれの分布状況、曲げ剛性の変化、破壊時の挙動および耐力の確認を行い、連結部の設計手法を検討して

\*1 中央復建コンサルタンツ(株) 第三設計部第三課、(正会員)

\*2 京都大学教授 工学部土木工学科、工博 (正会員)

\*3 阪神高速道路公団 工務部設計課、Ph. D. (正会員)

\*4 (社)プレストレストコンクリート建設業協会 関西支部

いる。本実験においてもT型桁の設計基準に準じて設計した連結部を取り出した部分モデルによる供試体（従来鉄筋方式）と、H型鋼材等の新たな手法を用いて製作した供試体とを比較することによって、連結方法の妥当性を確認した。

載荷方法は供試体を反転し油圧ジャッキを用い荷重の確認はロードセルによって行った。載荷工程はSTEP 1（ひびわれ発生荷重），STEP 2（鋼材の許容応力度発生相当荷重），STEP 3（鋼材の降伏応力度発生相当荷重），STEP 4（終局荷重）までの4ステップとし、各荷重ステップ到達ごとに一旦荷重を除荷し再載荷する方式とした。また、計測はコンクリートおよび鋼材のひずみをひずみゲージ、供試体のたわみを電気式変位計、ひびわれ状況を目視により評価した。

ひびわれ状況図を図-4、各供試体の破壊荷重等を表-1に示す。従来方式に比べて破壊荷重はPC構造方式は1割程度低めに、太径鉄筋およびH鋼埋め込み方式は1割程度高めの値となった。荷重-ひびわれ幅の関係においては明確な有意差は認められなかったものの、荷重16t付近では従来方式に比べて太径鉄筋、H鋼埋め込み方式においては、ひびわれ幅およびたわみの増加が認められた。従来方式は非常にひびわれ分散性が良いのに対して、PC構造方式はひびわれ発生荷重は高いものの分散性が良くなく急激な破壊に至ることが分かる。これに対してH鋼埋め込み方式においては分散性は悪くないものの、破壊が埋め込み鋼材端部において生じた。これは鋼材埋め込み長が十分でなかったためと考えられ、破壊耐力的には十分であるが破壊形式の改善が必要である。

以上の予備試験結果を総括すると、表-2の評価表のとおり従来方式がもっとも信頼性が高い

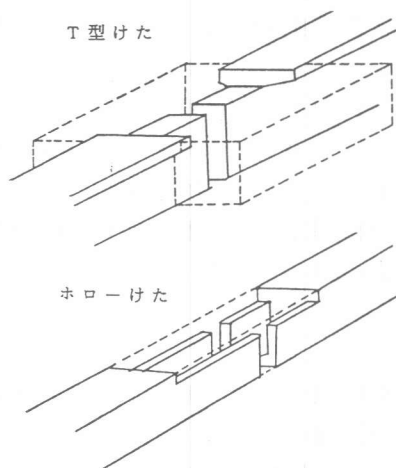


図-1 連結部の構造

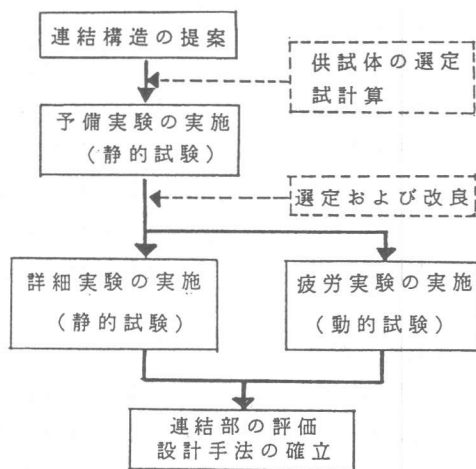


図-2 検討フロー図

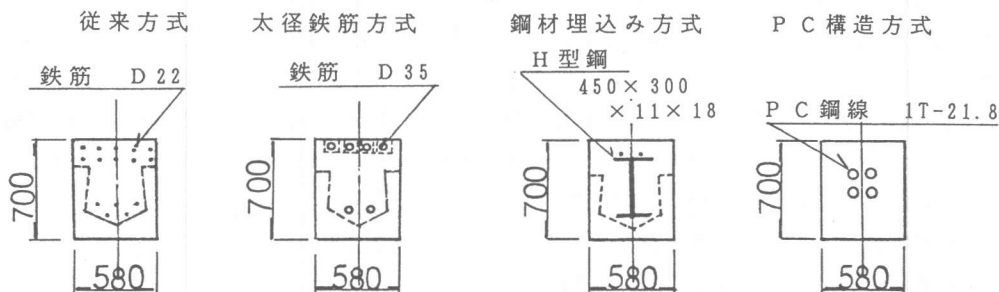


図-3 予備実験供試体断面形状

と考えられるが、H鋼埋め込み方式は施工が容易であるうえ埋め込み長等の改良によっては連結効果の向上が期待できることから、従来およびH鋼埋め込み方式の2案について改良方法を含めた検討を行うものとした。

### 3. 詳細実験概要

実験方法及び供試体形状等は連結部の補強方法を後述する設計手法により改善した以外は予備実験と同様の手法を用いて評価することにした。

#### 3.1 連結部算定方法

従来方式についてはT桁連結方式に準じて通常のRC部材として鉄筋量を算定した。また、重ね継手長はコンクリート標準示方書に基づき30d確保するものとした。

一方、H鋼埋め込み方式においては、鋼材の断面検討位置が鋼材端部と連結部（モーメント最大位置）の2ヶ所となる。このため、鋼材端部は鉄筋のみで抵抗できる構造とし、連結部は鋼材端部に必要な鉄筋量を延長したものと埋め込み鋼材の両者で抵抗させるものとしてH鋼材量を算定した。なお、鋼材端部は応力伝達をスムーズにするために、フランジ突出幅の5倍の鋼材すりつけ区間を設けた。その結果決定された鋼材配置の要領を図-5に示す。鉄筋・鋼材の合成算定方法としてはRC換算、合成および累加方式が考えられるが、試算の結果耐力に差異が小さく、またほぼ中立軸位置に鋼材が配置できることから累加方式によって必要鋼材量を算定した。

#### 3.2 H鋼埋め込み方式の改良点

H鋼埋め込み方式の供試体予備試験結果によると曲げ剛性の低下が比較的大きいことから、鋼材とコンクリートの付着を以下の手法によって改良するものとした。

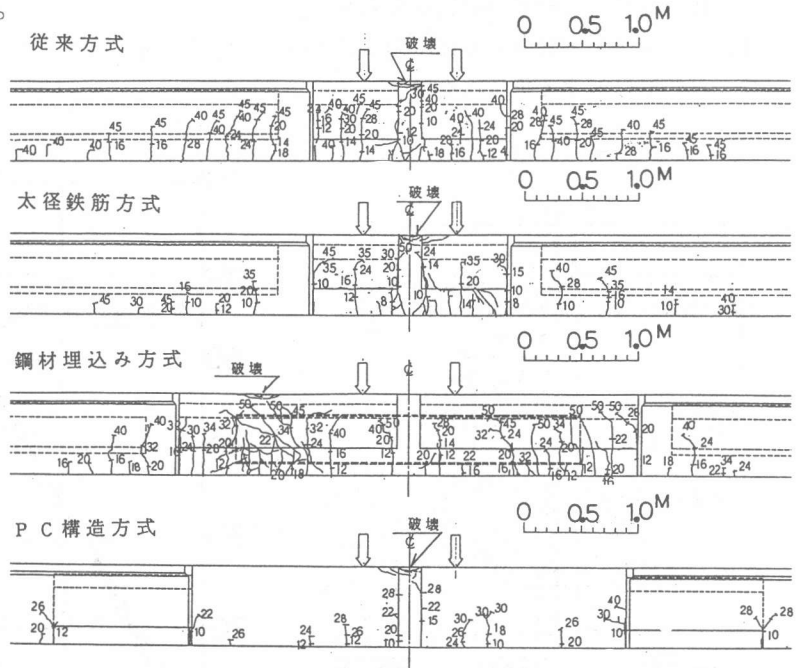


図-4 ひびわれ状況図

表-1 予備実験結果の一覧

	ひびわれ荷重 ( $w=0.1\text{mm}$ )	ひびわれ幅とたわみ ( $P=1.6\text{t}$ )		破壊荷重 ( $t$ )		
	P(t)	w(mm)	$\delta$ (mm)	計算値1	計算値2	実験値
従来方式	12.0	0.15	3.62	35.4	42.5	45.0
太径鉄筋方式	10.0	0.20	4.69	36.4	38.8	50.0
H鋼埋め込み方式	13.0	0.20	4.74	38.6	52.3	51.0
PC構造方式	20.0	0.05	3.11	35.1	37.1	40.0

ここに 計算値1：材料強度に規格値を使用  
計算値2：材料強度に試験値を使用

表-2 各方式別比較表

	構 造 性		施 工 性	経 済 性	総 合 評 価
	ひびわれ	耐 荷 力 $P^*$			
従来方式	分散性は良い 幅は小 ◎	1.06 ○	鉄筋量が多く 煩雑 △	最も安価 ◎	◎
太径鉄筋方式	分散性は劣る ○	1.29 ○	溝部の跡埋め が煩雑 △	防埋め材が 高価 △	△
H鋼埋め込み方式	H鋼端部に集中 (△)	0.98 H鋼端部で破壊 (△)	最も容易 ◎	H鋼が高価 ○	○
PC構造方式	幅は最も小 連結部に集中 ○	1.08 急激に破壊 ○	工種が多く 最も劣る △	最も高価 △	△

$P^*$ ：実験値/計算値

- 1) 連結部におけるコンクリート強度を240から350kgf/cm<sup>2</sup>に改善する。
- 2) 横締めプレストレス力は実橋でも桁一体化のために用いられることから、充腹部分を横桁幅と仮定して5kgf/cm<sup>2</sup>程度導入する。
- 3) プレキャスト部材U型部内側に逆テーパ凹凸を設け、ひびわれ発生後の後打ち部材の抜け出しに対する抵抗性を増す。

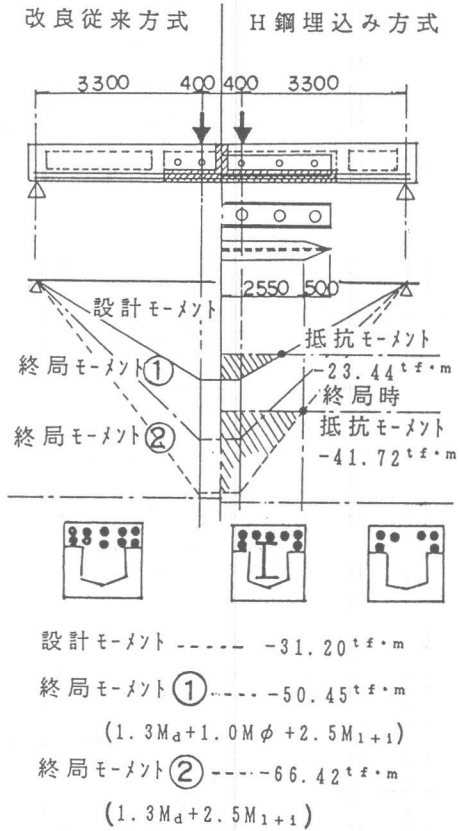


図-5 鋼材配置要領図

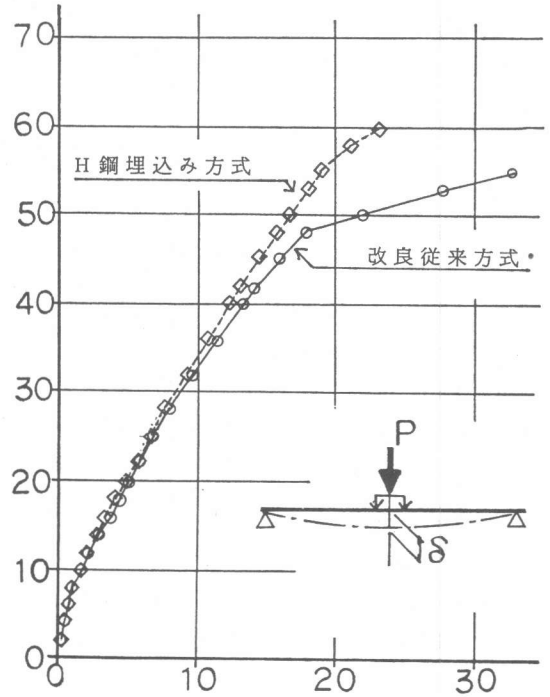


図-6 荷重-たわみ曲線図

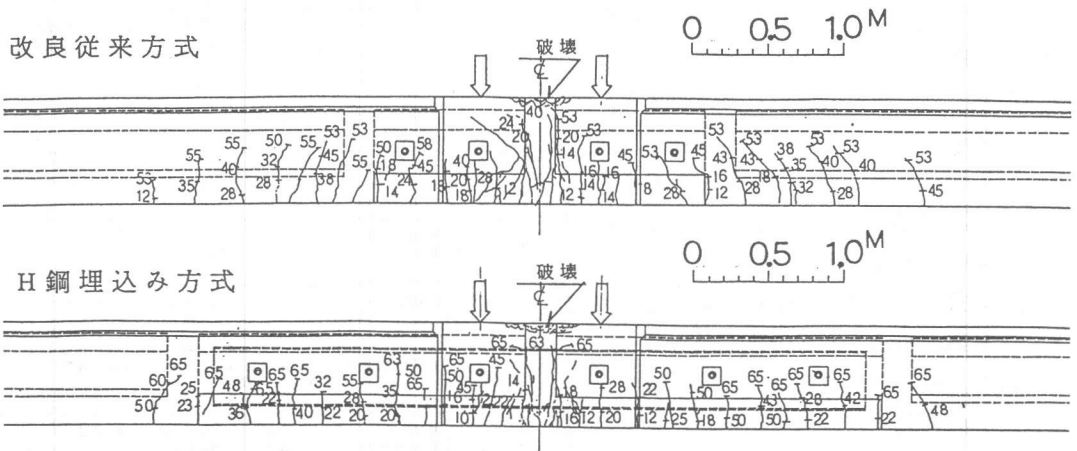


図-7 ひびわれ状況図

#### 4. 詳細実験結果

##### 4.1 ひびわれ性状

図-6に荷重-たわみ曲線例, 図-7にひびわれ分布図を示す。初期ひびわれは目視観察によると各供試体とも  $P=10\text{ t}$  程度の荷重で発生している。荷重-たわみ勾配も  $8\sim 10\text{ t}$  程度で急激に変化していることから, この付近でひびわれが発生したものと考えられる。また, H鋼埋め込み方式に関しては, ひびわれは連結区間に広く分散しており, 予備供試体に比べ改善されていることが分かる。ひびわれの進行方向は従来方式が荷重の増加に伴い載荷点に向かって傾斜しているのに対し, H鋼埋め込み方式は桁高方向に直立している。これはH鋼の埋め込み効果によるものと考えられる。また, 破壊形式については, 従来方式がプレキャスト部材と場所打ち部の接合面でのひびわれの開口に伴うコンクリートの圧壊であるのに対して, 鋼材埋め込み方式においては圧縮縁鋼材フランジ位置での水平ひびわれの進行に伴うコンクリートの圧壊であった。

##### 4.2 破壊荷重

破壊荷重を表-3に示す。予備試験に比べてコンクリート強度等の改善により2~3割程度破壊荷重の増加が認められた。また, 供試体に用いたコンクリート・H鋼および鉄筋の材料試験強度により算定した破壊荷重と比べてもさらに2~3割程度高い破壊荷重となっており, PC鋼線の横締め効果, 鋼材の材料非線形性などに起因することが考えられる。

##### 4.3 荷重-たわみ・曲げ剛性関係

荷重-たわみ関係(図-6)はいずれもトリリニヤ型に変化しており, 荷重変化点はそれぞれひびわれ発生荷重, 鉄筋降伏荷重に対応していると考えられる。

また, 図-8に曲げ剛性-荷重関係を示す。設計荷重モーメントでは全断面有効時の60%程度に曲げ剛性が低下していることが分かる。予備試験供試体と比較するとひびわれ発生荷重までは各供試体とも曲げ剛性が大幅に改善されている。これに対してひびわれ発生後においては, 鋼材埋め込み方式では大幅に改善が認められるが, 従来鉄筋方式ではあまり改良の効果が認められず, ほぼH鋼埋め込み方式と同様の曲げ剛性の変化曲線となっている。

H鋼埋め込み断面におけるひずみ分布を図-9に示す。コンクリートと鋼材のひずみ分布は, ほぼ直線的に変化しており, コンクリートと鋼材との付着は期待できることがうか

表-3 詳細実験破壊荷重

	設計終局荷重 (t)	破壊荷重		
		計算値1 (t)	計算値2 (t)	実験値 (t)
従来方式	36.0	36.2	45.9	56.5
H鋼埋め込み方式	35.5	41.7	54.3	66.0

ここに 計算値1: 材料強度に規格値を使用  
計算値2: 材料強度に試験値を使用

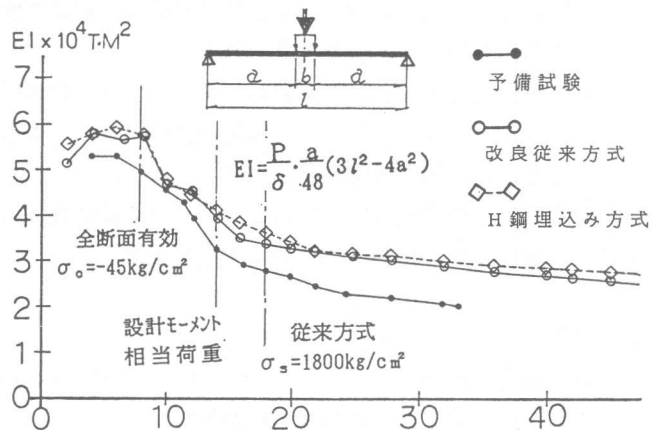


図-8 曲げ剛性-荷重関係図

がえる。これは鋼材位置が中立軸付近であり、ひずみ分布が比較的小さいためと考えられる。

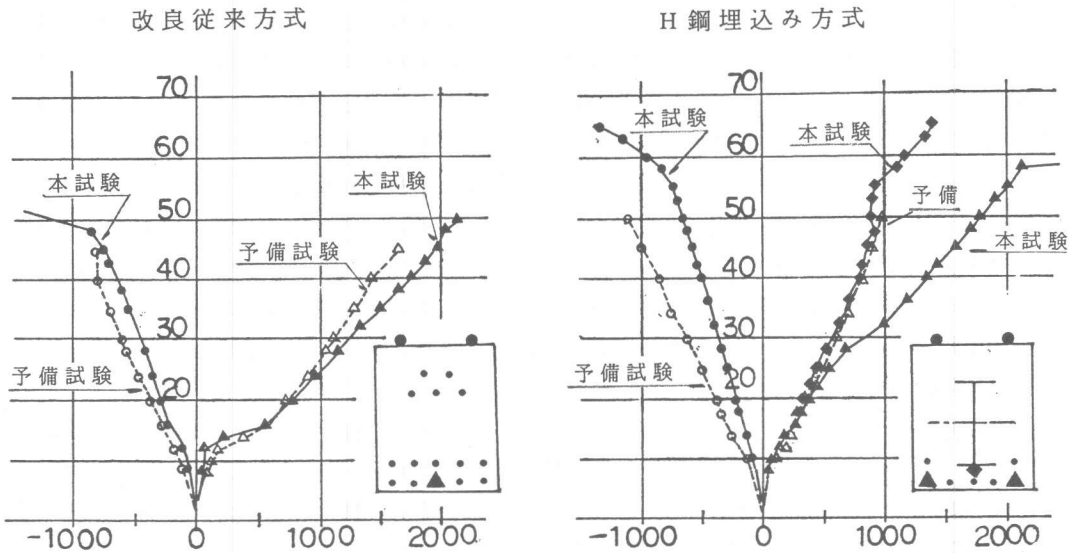


図-9 ひずみ分布図

### 5. まとめ

以上のように詳細曲げ試験においては、H鋼埋め込みおよび従来方式とも破壊荷重・曲げ剛性等は予備試験に比べると大幅な改善が認められる結果となった。PCホロー桁に関する曲げ試験結果をまとめると以下ようになる。

- 1) PCホロー桁の連結構造効果を比較するために実施した4種類の連結構造に対する曲げ試験(予備実験)においては、従来方式(RC鉄筋継手)がひびわれ性状、耐荷力ともに最も優れた結果を得た。一方、H鋼埋め込み方式は耐荷力的には十分であったが、埋め込み長さが十分でないためと推定される鋼材端部破壊を生じた。
- 2) コンクリート強度等の改良を行った従来およびH鋼埋め込み方式を対象とした詳細曲げ試験においては、両方式ともひびわれ分散性および耐荷力の改善が認められ、実橋レベルでの適用が可能であると考えられる。
- 3) 実験破壊荷重は、材料試験結果を用いた計算破壊荷重に比べても2~3割程度高い値となった。これについてはPC鋼線の横締め効果、鋼材の材料非線形性などが考えられるが、さらに定量的な評価が必要である。

本報告は、阪神高速道路公団における“PC構造物検討委員会”での研究成果を取りまとめたもので、委員の方々に深く感謝の意を表します。

### 参考文献:

- 1) 建設省土木研究所・(社)プレストレストコンクリート建設業協会：プレキャスト連結げたの設計法に関する共同研究書，1992年2月
- 2) (財)高速道路調査会：PCポストテンション合成桁橋の連結構造に関する調査研究報告書，1973年2月