

(46) プレキャストホローけたを用いた連結構造について

阪神高速道路公団工務部

前川 義男

同上

正会員 幸左 賢二

京都大学工学部土木工学科

正会員 藤井 学

(社)PC建設業協会関西支部

正会員 ○松崎 正明

1. はじめに

コンクリート道路橋における連結構造は、プレキャストけたを単純けたとして架設し、中間橋脚上は鉄筋の重ね継ぎ手を用いた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けたを用いた連結構造については設計方法の標準化がなされており、伸縮継ぎ手の数を減らすことができるため走行性、維持管理の面から優位性が認められ1970年代から実橋において使用されている。

一方、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けたに比べて現場足場、型枠、現場打設コンクリート量の少ないプレキャストホローけたの採用が増大する傾向にある。連結構造においても、現場作業の省力化、工期の短縮を考えると従来のTけたに比べてホローけたの採用がより有利となる。ホローけたを使用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、またTけたを対象とした従来の”設計基準”をそのままホローけたに準用するには次のような問題点が挙げられる。

- 1) 連結部の構造は図-1のようになり、Tけたは剛な横桁を介しての連結であるのに対してホローけたは主けた断面内の連結となる。
- 2) 1)よりプレキャストと場所打部、および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。
- 3) ホローけたはTけたに比べ、けた高が低くRC部材としての有効高さが不足し、鉄筋配置が困難となることが予想される。

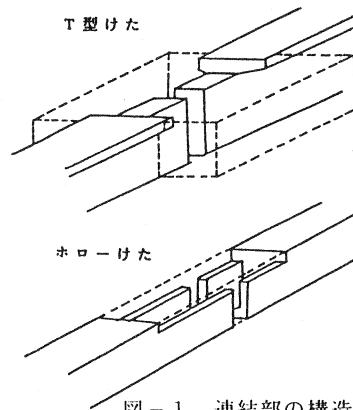


図-1 連結部の構造

阪神高速道路公団PC構造物検討委員会では、過去4年間にわたりこれらの諸問題を解消する連結部の新しい考え方について検討、実験を行ってきたが、このたびそれらの成果のまとめとして「プレテンションホローけたを用いた連結構造設計基準(案)」を作成した。本報告では、これらについてその概要を述べることにする。

2. 予備実験概要

現場施工性、経済性等を考慮して以下の4種類の連結構造を選び、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けた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けた上面に設置・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鋼を埋設する)
- 4) PC構造方式 (連結部にプレストレスを導入しPC構造とする)

実験に用いた供試体の断面形状は支間長20mの連結けたを想定した実物大寸法で、長さは連結部付近8mを取り出した部分モデルとした。

載荷は供試体を反転しスパン7.4mで中央2点載荷とし、油圧ジャッキを用いて行った。載荷工程はひびわれ発生荷重、鋼材許容応力度発生相当荷重、鋼材の降伏応力度発生相当荷重、破壊までの4ステップとした。また、計測項目はコンクリート、鋼材のひずみ、たわみおよび目視によるひびわれ状況とした。

各供試体のひび割れ状況を図-2、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差は認められなかったものの、荷重16tf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。従来方式はひびわれ分散性が非常に良いのに対して、

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った。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。

以上の予備実験結果から、従来方式が最も信頼性が高いと考えられるが、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

実験方法および供試体形状等は連結部の補強方法を後述する手法により改善した外は予備実験と同様とした。またH鋼埋め込み方式においては、必要定着長を評価するために定着長を500mm、900mmの2種類の供試体を作製した。

3. 1 連結部算定方法

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(曲げ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倍の鋼材定着区間を設けた。鋼材配置の要領を図-2に示す。

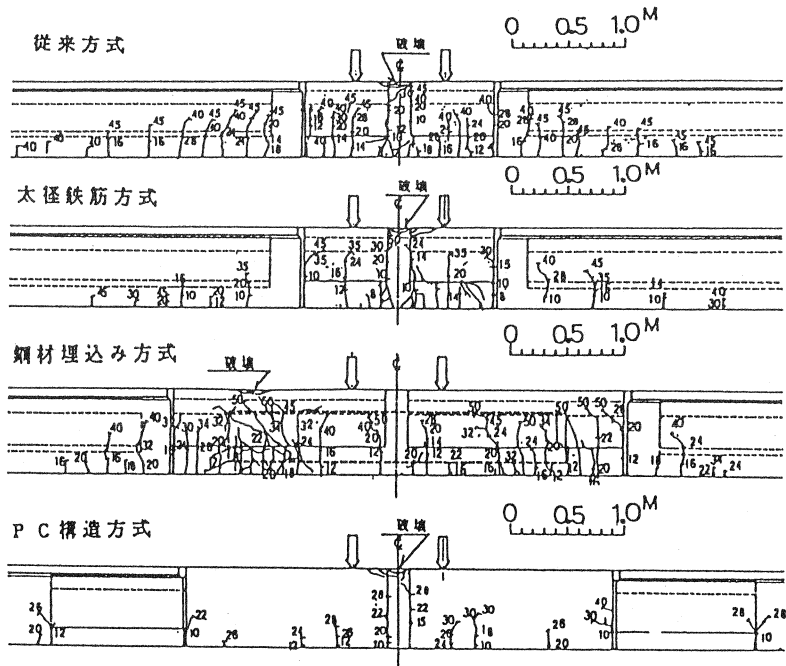


図-2 ひびわれ状況(予備実験)

表-1 予備実験結果一覧

	ひびわれ荷重 ($w=0.1mm$)	ひびわれ幅とたわみ ($P=16tf$)		破壊荷重 (tf)		
	P(tf)	$\nabla(mm)$	$\delta(mm)$	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 設計値1:材料強度に規格値を使用
設計値2:材料強度に試験値を使用

鉄筋・鋼材の合成算定方法としてはRC換算等種々の方法が考えられるが、試計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することとした。

3. 2 連結部の改良点

H鋼埋め込み方式の予備実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附着を以下の方法によって改良することとした。

- 1) 連結部におけるコンクリート強度を240kgf/cm²から350kgf/cm²に改善する。
- 2) 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の抜け出しに対する抵抗性を増す。
- 3) 横締めプレストレス力は実橋でも一体化のために導入されることから、充腹部分を横桁と仮定して5kgf/cm²程度導入する。

3. 3 実験結果

(1) ひびわれ性状

図-4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=10tf程度で発生している。荷重-たわみ曲線の勾配も8~10tf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のと考えられる。H鋼埋め込み方式においては、ひびわれは連結区間に広く分散しており、予備試験の供試体に比べ改善されていることがわかる。ひびわれの進行方向は従来方式が荷重の増加に伴い荷重点に向かって傾斜しているのに対し、H鋼埋め込み方式では桁高方向に直立している。

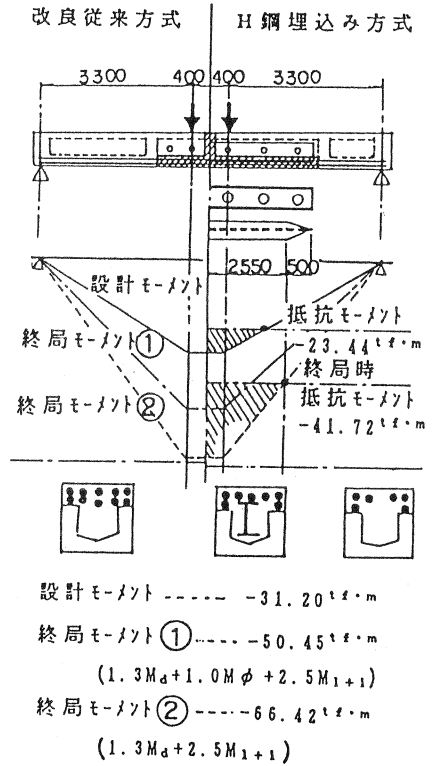


図-3 鋼材配置要領

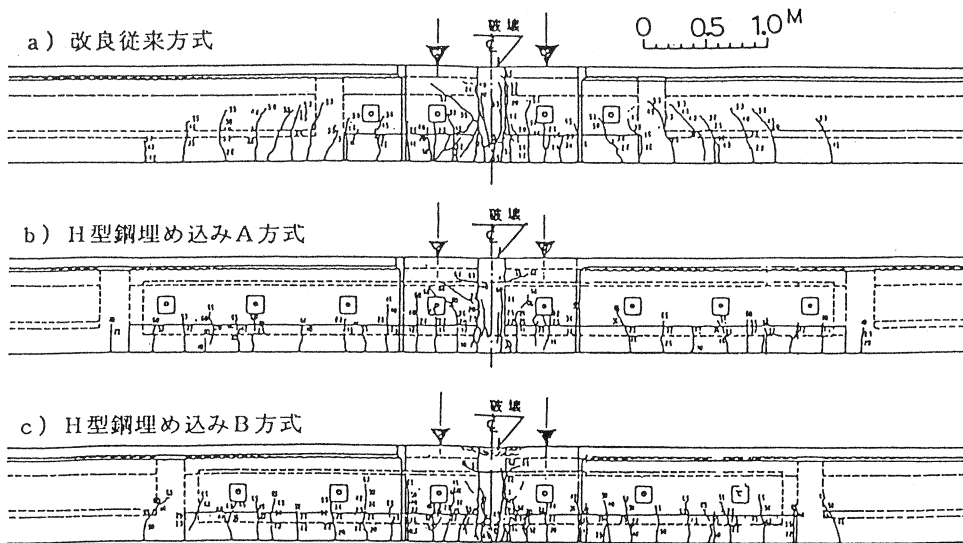


図-4 ひびわれ状況図(詳細実験)

(2) 荷重-たわみ関係等

図-5に荷重-たわみ関係を示すが、H鋼埋め込み方式の終局たわみ付近で実験値が若干大きくなるもの
の実験値と計算値は比較的よく一致している。

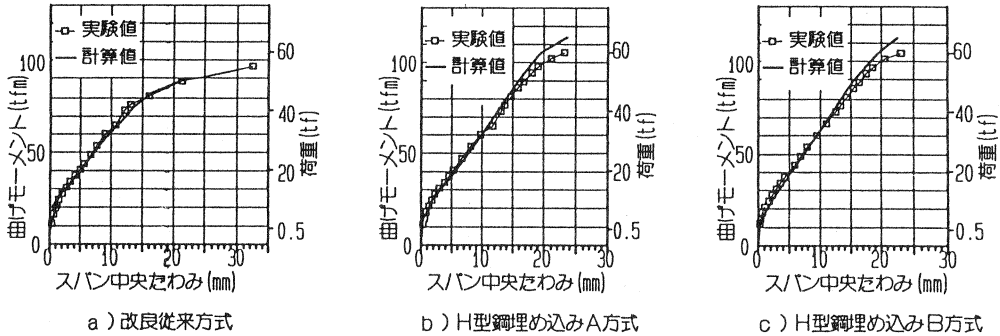


図-5 荷重-たわみ図

図-6、7はM- ϕ 関係を示している。従来方式では、ひびわれ発生荷重から引張鉄筋が降伏する $M_{sy}=74\text{tfm}$ 付近まではほぼ一致し、平面保持の仮定が成立していると考えられる。一方H鋼埋め込み方式では、引張鉄筋の降伏する $M_{sy}=110\text{tfm}$ 付近までは鉄筋換算方式にほぼ一致し、 M_{sy} 以降は急激に曲率が増加し、累加強度方式によるM- ϕ 曲線に似た挙動を示している。すなわち、鉄筋の降伏まではH鋼も鉄筋と同様に付着が有効に作用して平面保持が成立しているが、鉄筋の降伏以降はH鋼の付着力が増加しないと推定される。このことは、図-8に示す曲げモーメント-ひずみ関係からもうかがえる。そこで、鉄筋降伏後にH鋼の付着切れが生じH鋼のひずみが増加しないものとして解析を行ったが、図に示すようによく実験結果を再現していることがわかる(図-7、提案方式)。

(3) 破壊荷重

破壊荷重を表-2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、コンクリート、H鋼および鉄筋の材料試験強度を用いた道

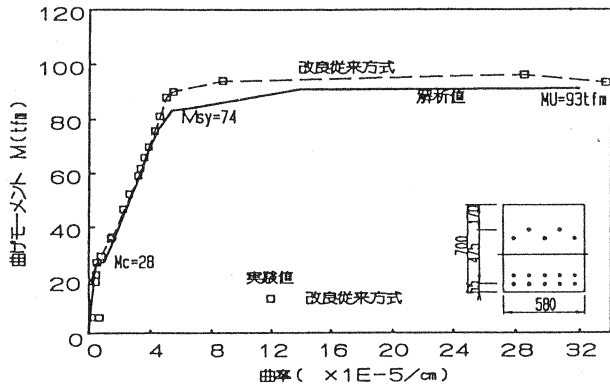


図-6 M- ϕ 関係 (従来方式)

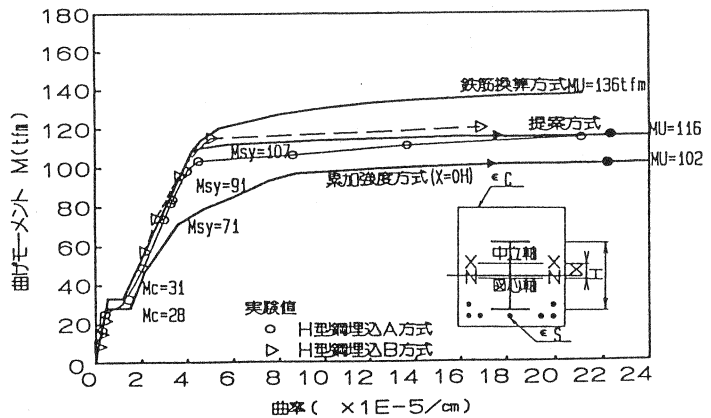


図-7 M- ϕ 関係 (H鋼埋め込み方式)

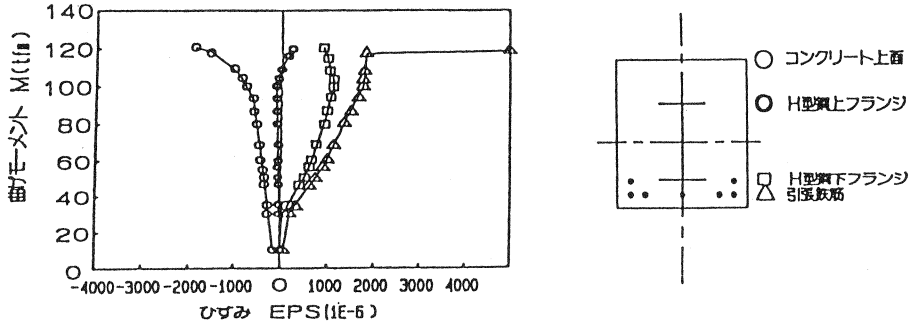


図-8 曲げモーメント-ひずみ関係 (H鋼埋め込み方式、スパン中央)

路橋示方書の終局抵抗照査に基づく値に対しても2~3割程度高い値となっている。破壊形式は、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、H鋼埋め込み方式で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。

表-2 破壊荷重 (詳細実験)

	設計終局荷重 (tf)	破壊荷重		
		計算値1 (tf)	計算値2 (tf)	実験値 (tf)
従来方式	36.0	36.2	45.9	56.5
H鋼埋め込み方式	35.9	41.7	54.3	66.0

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

4. 疲労実験概要

静的載荷実験と同じ供試体を2体 (従来方式およびH鋼埋め込みB方式) 製作し疲労実験を行った。載荷繰り返し回数は200万回とし、下限荷重を3tf、上限荷重を100万回までは16tf (設計荷重相当)、200万回までは19.2tfとした。2体の供試体はいずれも200万回の疲労荷重に耐え、連結部に若干のひびわれはあるものの問題となるような損傷はみとめられなかった。1例として図-9、10に繰り返し載荷中の鉄筋のひずみ変化図を示すが、若干の残留ひずみが生じているものの、載荷回数が多くなっても弾性ひずみの大きさに変化は認められなかった。また、200万回載荷後に行った静的破壊試験では破壊荷重は従来方式で48.5tf、H鋼埋め込み方式で57.0tfで詳細実験に比べ約14%程度の強度低下率であった。

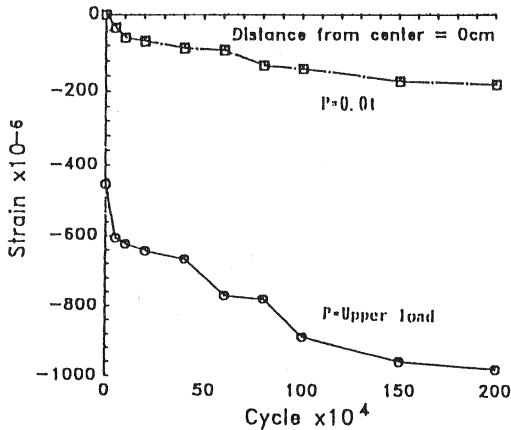


図-9 鉄筋ひずみ変化 (従来方式)

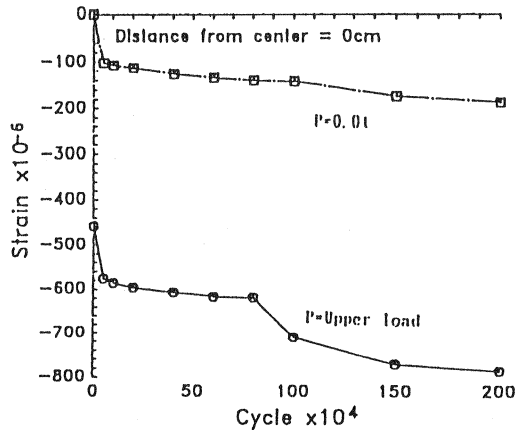
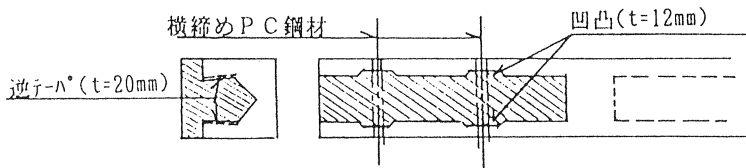


図-10 鉄筋ひずみ変化 (H鋼埋め込み方式)

5. 設計基準(案)

これまで述べてきた実験、検討結果の成果として「プレテンションホロー桁を用いた連結構造 設計基準(案)」を作成した。ここでは紙数の関係で全文について紹介できないが、その主要な点について述べる。

- 1) 連結部の構造は、「従来方式」、「H鋼埋め込み方式」の2種類について記述している。
- 2) 連結部に使用する鉄筋はSD345を原則とした。これは連結部の曲げモーメントは、活荷重によるものが卓越するため必要鋼材量は終局荷重時で決定される場合が多いので引張強度の高い材質が望ましいためである。
- 3) 連結部の場所打ちコンクリートの設計基準強度は、実験で確認された材質として $\sigma_{ck}=350\text{kgf/cm}^2$ とした。このため、施工性を考慮して径間部のけた間コンクリートも同様とする。
- 4) 構造系の変化による二次断面力は断面に不利に作用する場合のみ考慮することとした。これは、Tげたを用いた連結構造の基準と異なるが、コンクリートのひびわれ発生と同時に連結部の曲げ剛性低下が始まっている。このため、部材の連続性について明確な評価ができない部分があり、このようにした。
- 5) 連結部横げたには、横締め鋼材により 5kgf/cm^2 程度の圧縮応力度を導入する。また、連結部U型断面内には下図のような処理を行うこととした。実験では、これらにより十分な安全性を確認できたためである。



- 6) H鋼埋め込み方式では、鋼材量の算定は累加強度方式で行い、その配置要領は図-3に示したとおりである。また、H鋼フランジのすり付けも同様である。
- 7) 連結げたに使用する支承は、設計における所定のバネ定数を有するものとした。したがって、通常の簡易支承(帯状のゴム沓)の使用は困難であり、別途ゴム支承の形状を決定する必要がある。
- 8) 連結部付近の床版上には防水層を設けるのが望ましいとした。これは、負の曲げモーメント領域でひびわれの発生があること、またコンクリートの打ち継ぎ目となることからである。

6. おわりに

以上のように、詳細実験ではH鋼埋め込みおよび従来方式とも予備実験結果に比べひびわれの分散性、耐荷力の改善が認められ、また、疲労試験においても両方式とも弾性的な挙動を示し問題となるような損傷は認められなかった。これらのことから、両方式とも実橋への適用が十分可能であると考えられ、今後、これらの成果を生かして連結げたでのホローげたの使用が一般化されることが望まれる。

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”での研究成果をとりまとめたものであり、藤井委員長ほか委員の方々、疲労試験を行っていただき、ご指導をいただいた岡山大学阪田教授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・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) 坂本真徳、藤井学他：PCホロー桁の連結構造に関する実験的検討、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 15、No2、1993年