

[146] 鋼・コンクリート混合構造部材の継手に関する実験的研究

正会員 ○ 日 野 伸 一 (山口大学工学部)
 正会員 太 田 俊 昭 (九州大学工学部)
 正会員 浜 田 純 夫 (山口大学工学部)
 正会員 兼 行 啓 治 (山口大学工学部)

1. まえがき

近年、鋼構造とコンクリート構造の材料的、構造的特性を合理的に組合せた鋼・コンクリート混合構造形式の合成構造物が広く注目されるようになった。すでに欧米諸国では、西ドイツの Mosel 橋や Düsseldorf-Flehe 橋をはじめとして混合構造形式の橋梁が多数架設されており、多大の経済的、構造的効果をあげている。しかし、この種の構造では、異種材料である鋼部材とコンクリート部材との継手部が構造上の最大の問題とされ、現在のところ、わが国においては混合構造橋梁の実施例はもちろんのこと、これらの継手部に関する基礎的、応用的研究は、少ないように思われる^{1),2)}

本研究は、鋼・コンクリート混合構造における合理的な継手方法の開発に有用となる基礎資料を得ることを目的に行ったものである。本論文では、3種類の継手構造³⁾を適用した鋼・プレストレストコンクリート(PC)および鋼・鉄筋コンクリート(RC)の連結はり供試体の載荷実験を行い、各継手の耐荷性状について比較検討した結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 継手構造と供試体

本研究で対象とする継手部の概略を図-1に示す。鋼・コンクリート接合面におけるずれや肌離れを、PC鋼材によるプレストレスまたは引張鉄筋の定着による圧着力に加えて、コンクリート中に配した各種の継手補強材を用いて抑制することを意図したものである。本実験に用いた継手構造は、図-2に示すように、鋼・コンクリート接合面での一体性に主眼を置いたため、図-1の添接部を省き、溝形継手金具にH形鋼はりを直接溶接したものを使用した。R型継手は溝形継手金具にアンカー鉄筋として異形鉄筋D13(SD30)を3本溶接した。S型継手はスタッドジベルを応用したもので、継手金具の水平接合面に異形鉄筋(SD30, D13, H=75mm)を上下各3本溶接した。また、B型継手はボルト接合を応用したもので⁴⁾、高力ボルト(F10T, M10)2本をおよそ3tのボルト軸力で締めつけた。

はり供試体は、鋼部材としてH形鋼(200x200x8x12, SS41)を、また、コンクリート部材としてPCポストテンション部材(使用PC鋼棒は SBPR 110/125, φ13, 有効引張力22t)またはRC部材(使用鉄筋はネジフシ異形鉄筋SD30, D19)をそれぞれ用い、はり中央で上記の各継手を介して連結した。PC, RC部材の配筋および諸元を図-3に示す。各断面の破壊抵抗(降伏)曲げモーメントならびに弾性曲げ剛性は、それぞれH形鋼: 11.8tm, $9.91 \times 10^2 \text{ tm}^2$, PC: 5.34tm, $4.94 \times 10^2 \text{ tm}^2$, RC: 5.29tm, $2.20 \times 10^2 \text{ tm}^2$ である。

2.2 載荷試験

載荷試験は、図-4に示すように支間2.0mの単純支持として、3種類の継手構造に対して鋼・PCはりおよび鋼・RCはりの各1体を二点載荷し、継手部に純曲げモーメントを作用させた(載荷I)。さらに各継手を有する鋼・PCはりに対しては、最も苛酷な荷重条件として、接合面真上に中

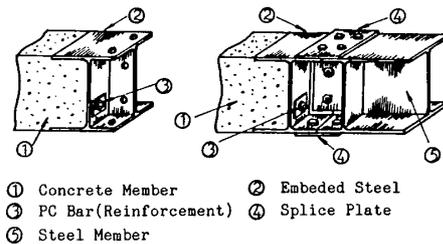


図-1 継手部の概略

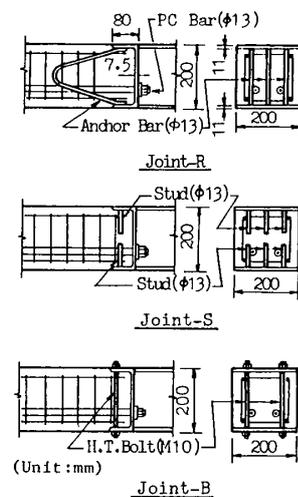


図-2 継手構造の種類

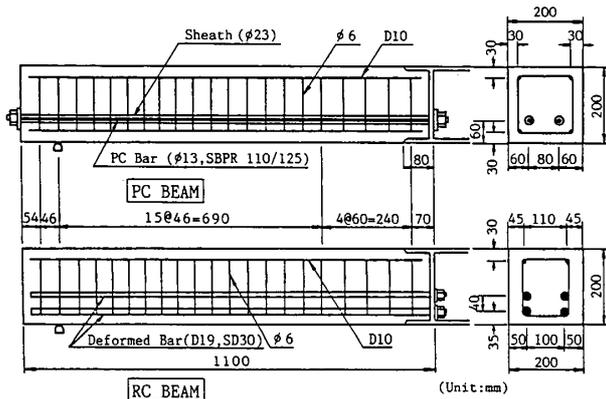


図-3 PC, RC部材の配筋および諸元

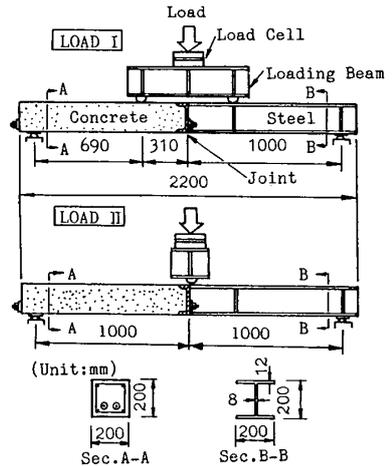


図-4 荷重方法

中央一点荷重を行った（荷重Ⅱ）。

荷重は、はりが破壊に至るまで0.5t刻みで漸増させ、各荷重段階においてははりのたわみ、ひびわれ、ひずみおよび接合面のずれなどを測定した。はり供試体の呼称、説明および使用したコンクリート強度を表-1に示す。

3. 実験結果および考察

3.1 はりのたわみ性状

鋼・PCはりの継手金具下面における接合面の相対的ずれの測定結果を図-5に示す。また、図-6,7にそれぞれ荷重Ⅰ,Ⅱにおける鋼・PCはりの支間中央点の荷重-たわみ曲線について実験値と計算値の比較を示す。これより、継手部が純曲げを受ける荷重Ⅰの場合、接合面のプレストレスが消失する、いわゆるディコンプレッション・モーメントにはほぼ等しい1.3tmまでは、継手形式によらず接合面のずれはほとんど認められないが、鉛直接合面上に荷重した荷重Ⅱの場合には、それよりも早期に接合面にずれが生じ、荷重Ⅰのずれ量よりも大きくなっていることがわかる。また、その後の荷重の増加と共に接合面のずれ（継手内部のひびわれ幅）も増加するが、継手形式別では、R型継手の方がS型、B型継手に比べて継手部の一体性が上回っている。

この継手部の相対変位量が連結ばりの曲げ剛性に顕著な影響を及ぼしている。すなわち、ディコンプレッション・モーメント以下の荷重に対しては継手形式によらず各連結ばりは一体構造と遜色のない曲げ剛性を保有しているが、それ以上の荷重に対しては、S型、B型継手を有するはりの曲げ剛性は徐々に低下している。R型継手を有するはりは、終局時まで高い曲げ剛性を維持しており、たわみの実験値は接合面の剛結性を仮定した弾塑性はり理論⁵⁾による計算

表-1 はり供試体の種類

Specimen	Joint	Test Beam	Load Condition	Concrete Strength	
				f'_c (kg/cm ²)	f_t (kg/cm ²)
RP1	Joint-R	Steel-PC	I	674	36
RP2			II	688	41
RR1	Joint-S	Steel-RC	I	692	37
SP1			II	613	39
SP2	Joint-B	Steel-PC	I	601	40
SR1			II	668	34
BP1	Joint-R	Steel-RC	I	668	34
BP2			II	627	38
BR1	Joint-S	Steel-PC	I	662	34
BR1			II	655	39
BR1	Joint-B	Steel-RC	I	662	34
BR1			II	662	34

ここに
 Steel-PC : H形鋼-プレストレストコンクリート連結ばり
 Steel-RC : H形鋼-鉄筋コンクリート連結ばり
 I : 二点荷重
 II : 中央一点荷重
 f'_c : コンクリートの圧縮強度
 f_t : コンクリートの引張強度

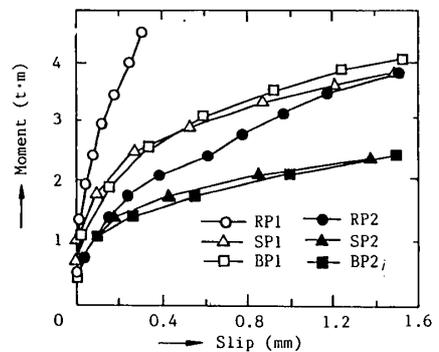


図-5 接合面の荷重-ずれ曲線

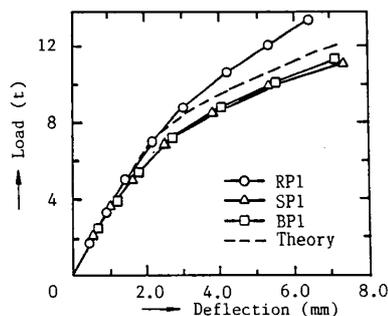


図-6 荷重-たわみ曲線（荷重Ⅰ）

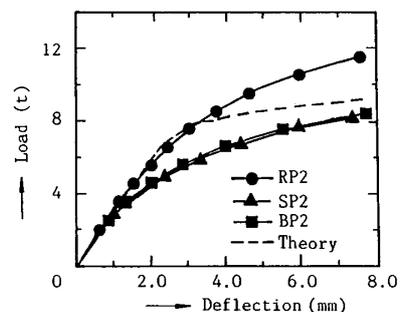


図-7 荷重-たわみ曲線（荷重Ⅱ）

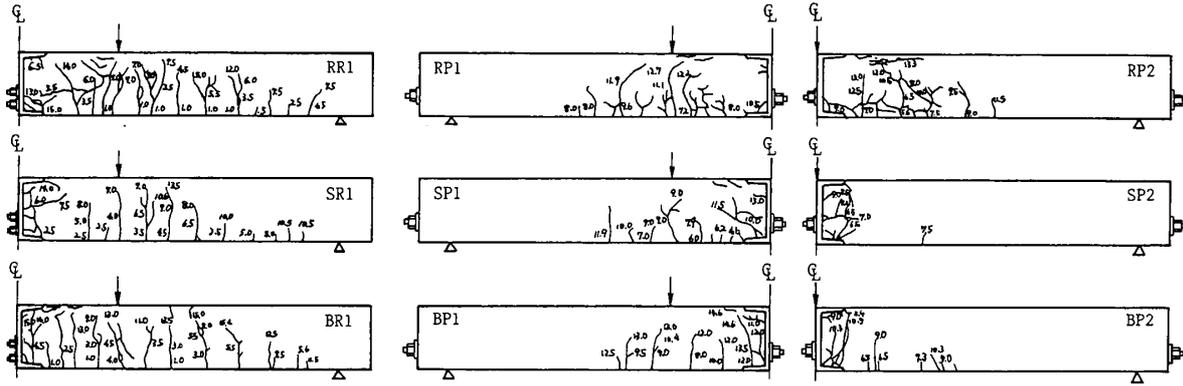


図-8 供試体コンクリート部のひびわれ分布

表-2 耐力の比較

値と比較的良好一致している。

3.2 ひびわれ状況

図-8に各供試体のコンクリート部に生じた破壊後のひびわれ分布状況を示す。初期ひびわれの発生は、S型、B型継手では下縁の継手金具とコンクリート母材の境界に、またR型継手ではアンカー鉄筋の折曲げ付近にそれぞれ認められた。いずれの継手でも、荷重の増加につれて継手内部に斜めひびわれや付着ひびわれの発生する傾向がみられた。また、載荷Ⅰに比べて載荷Ⅱの方が、継手形式によるひびわれ分散性の差が顕著に現われた。すなわち、R型継手では継手内部のひびわれはあまり成長せず、高荷重域においてアンカー鉄筋端部付近に斜めひびわれが進展し、最後は圧縮部コンクリートが圧壊したが、S型、B型継手では継手内部にひびわれが集中して破壊し、母材へのひびわれ分散はほとんどみられなかった。これより、R型継手の継手部の一体性はきわめて良好なのに対し、S型、B型継手は継手材の量的不十分のため、結果的には継手部がセミヒンジ的挙動を示したものと考えられる。

Specimen	Cracking Moment (tf·m)		Ultimate Moment (tf·m)			Load Condition	
	Test M _{cr}	Theory M _{cr}	Test M _u	Theory M _u	M _u /M _{cr}		
RP1	2.10	2.05	1.02	5.59	5.12	1.09	I
SP1	1.59	2.09	0.76	4.80	5.03	0.95	
BP1	2.10	2.08	1.01	5.04	5.05	1.00	
RP2	2.75	2.11	1.30	6.68	5.14	1.30	II
SP2	3.00	2.10	1.43	5.01	5.01	1.00	
BP2	3.25	2.08	1.56	5.70	5.09	1.12	
RR1				5.78	5.29	1.09	I
SR1				5.01	5.26	0.95	
BR1				5.52	5.26	1.05	

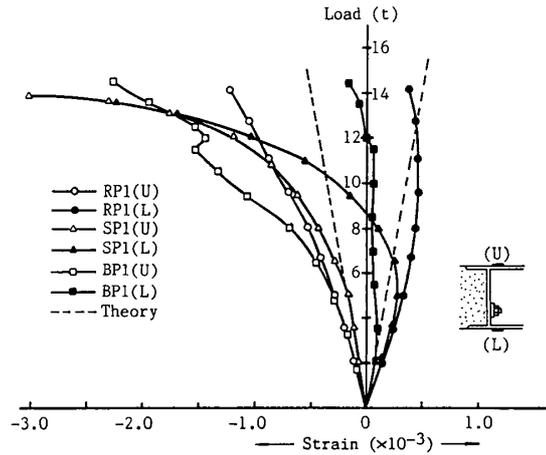


図-9 継手部H形鋼の荷重-ひずみ曲線(載荷Ⅰ)

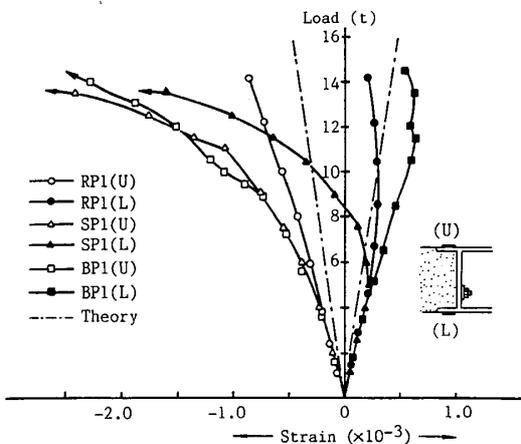


図-10 継手部I形鋼の荷重-ひずみ曲線(載荷Ⅰ)

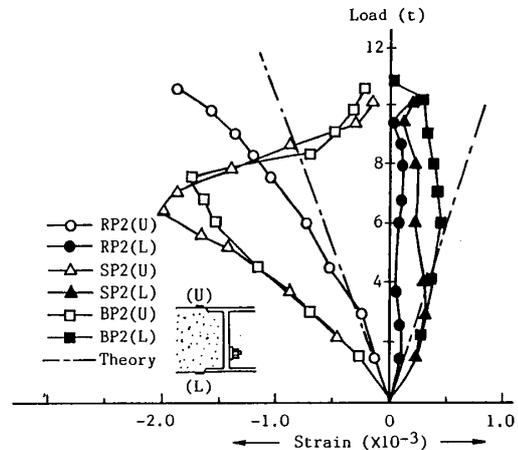


図-11 継手付近コンクリートのひずみ曲線(載荷Ⅱ)

3.3 耐力

曲げひびわれおよび終局耐力の比較を表-2に示す。ここで、実験値 M_{cr} は目視によるものであり、計算値 \bar{M}_{cr} および \bar{M}_u はいずれも道路橋示方書⁶⁾に基づき算定した結果である。これより、各供試体の曲げ耐力の実験値は、S型継手がわずかに低下している以外は、R型、B型継手ともに計算値に比べ同等以上の結果を有することがわかる。

3.4 継手部の鋼・コンクリートのひずみ性状

図-9,10 に鋼・PCはり（荷重Ⅰ）における継手部の水平プレートおよび鋼部材のひずみ状況を示す。また、図-11 は荷重Ⅱにおける継手部付近のコンクリートひずみを示す。図中、破線および一点鎖線は各断面諸元による弾性計算値である。これより、継手部のひずみに対して、通常の弾性理論に基づく計算値は実験値を過小評価する傾向が認められる。また、高荷重域では、継手が不完全剛結性に伴う局部的な曲げ変形を受けており、その現象はS型継手に顕著に現われている。

また、継手部とコンクリート母材の圧縮側境界付近のコンクリートに、S型、B型継手ではかなりの応力集中がみられるが、R型継手では、アンカー鉄筋が継手部の一体性を確保すると共に曲げ剛性の極端な不連続を緩和してスムーズな応力伝達を図る上で効果的であることが示された。

3.5 継手補強材のひずみ性状

図-12~14に各継手構造の補強材であるアンカー鉄筋、スタッドジベルおよび高力ボルトの荷重-ひずみ曲線を、鋼・PCはりの荷重Ⅰについて示す。以下に述べる性状は、他の供試体の場合についても定性的に同様である。すなわち、接合面にプレストレスが存在する間は各継手材の応力負担は明らかでないが、その後、荷重が増加し継手部の変形が進むにつれて、各補強材の応力負担は顕著になってくる。R型、B型継手は、継手の溝形鋼とアンカー鉄筋あるいはボルトから構成される骨組構造を呈しており、スタッドのS型継手とは耐荷メカニズムは異なるが、いずれも曲げに対して一応の有効性は示唆されたものと考えられる。

4. むすび

鋼・コンクリート混合構造部材の合理的な継手方法に対する基礎資料を得る目的で、3種類の継手構造に対して静的荷重実験を行った。その結果、継手部の一体性の確保に必要な継手補強材の評価方法について問題が残るが、一応、接合面へのプレストレスまたは引張鉄筋の定着と継手補強材を併用することにより、単体構造とそれほど遜色のない耐力および変形性能を有する混合構造の実現の可能性が示唆されたものと思われる。今後、これらの継手補強材の定量的評価ならびに継手部、特に溶接部の疲労安全性に対する検討を進めていく予定である。なお、本研究は、昭和58年度文部省科学研究費補助金（奨励研究(A)）を受けて行われたものであることを付記するとともに、実験の遂行に御協力をいただいた山口大学大学院生、中野浩明君、中村秀明君をはじめ卒研究生諸氏に謝意を表します。

— 参考文献 —

- 1) 田島・町田・睦好, 第4回JCI 年次講演会講演論文集, 1982.
- 2) 若下, 橋梁と基礎, 1983.7.
- 3) S.Hino, T.Ohta, S.Hamada and F.Imai, IABSE Final Report 12, 1984.
- 4) 太田・日野, 土木学会論文報告集, 303, 1980.
- 5) 太田・中沢, 土木学会論文報告集, 276, 1978.
- 6) 日本道路協会, 道路橋示方書・同解説Ⅲ, 1978.

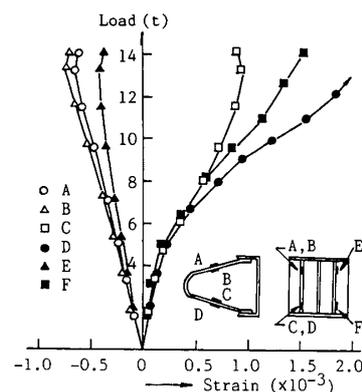


図-12 アンカー鉄筋の荷重-ひずみ曲線（荷重Ⅰ）

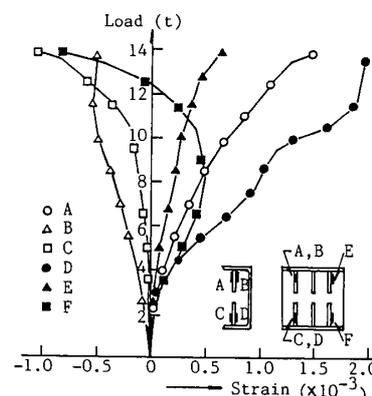


図-13 スタッドジベルの荷重-ひずみ曲線（荷重Ⅰ）

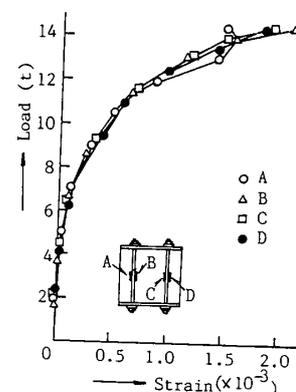


図-14 ボルトの荷重-ひずみ曲線（荷重Ⅰ）