

鋼・コンクリート結合はりの曲げ強度実験

EXPERIMENTAL STUDY ON BENDING STRENGTH OF STEEL-CONCRETE JOINTED BEAMS

崎元達郎* 須崎浩二** 梶川靖治*** 平井一男*

By Tatsuro SAKIMOTO, Koji SUZAKI, Yasuharu KAJIKAWA and Itio HIRAI

Bending strength tests for steel-concrete jointed beams are carried out to clarify the ultimate strength of joint and to explore the possibility of developing the utilization of steel-concrete mixed structures. A steel plate welded to the end of steel H-beam is jointed to a reinforced concrete beam of rectangular cross-section by prestressed steel bars. Attention are focused on evaluating the effects of steel plate thickness and of connecting steel bars which is welded to the end plate surface of concrete side and joins steel and concrete beams. It is shown qualitatively and quantitatively that increase in end plate thickness and installation of connecting steel bars contribute to increase the ultimate bending strength of jointed beams.

1. まえがき

鋼とコンクリート部材を、それぞれの特質を適材適所にうまく生かして長手方向に連結した混合構造物は、合理的な構造形式である。これは、中央径間を鋼桁、側径間をコンクリート桁とした連続桁あるいは斜張橋として応用されつつある¹⁾。また、小規模な構造物ではプレファブ部材としての可能性も存在する。しかし、その連結部は多くの問題を含んでおり、実用に向け明らかにすべき点も多い。

連結部は一般に、鋼側の曲げと軸方向力による直応力度、及び、ねじり力やせん断力によるせん断応力度を、コンクリート側に確実に伝達しなければならず、連結方法についても埋め込み形式、露出形式等、種々検討されてきている²⁾³⁾。本論文では、手始めとしてH形鋼はりで長方形断面コンクリートはりの連結部が純曲げを受ける場合について検討することとし、種々考えられる連結方法についても、最も単純なH形鋼に端板を溶接しコンクリートはりとP C鋼棒で緊結し一体化すると同時にコンクリートの引張側にプレストレスを導入する構造とする(図-1)。このような構造に限定して考えれば、図-1-(a)のように分布する鋼はりの直応力度を図-1-(b)のように分布するコンクリートはりの直応力度に円滑に変化させる機能が重要となる。今、鋼はりのフランジ応力の最大値を2500kg/cm²程度と考えると、これを、

* 工博 熊本大学教授 工学部土木環境工学科 (〒860 熊本市黒髪2-39-1)

** 熊本大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (〒860 熊本市黒髪2-39-1)

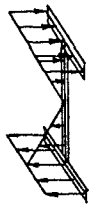
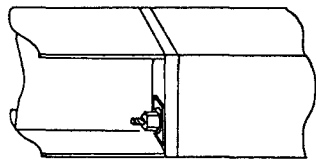
*** 工博 川田建設(株) 工事本部開発室長 (〒550 大阪市西区北堀江1-22-19)

500kg/cm² 程度の強度のコンクリートで直接受け止めれば応力集中により 1/5 の強度しか発揮できなくなる。よって、5 倍以上のコンクリート断面に分散して受け止める必要がある。ところで、応力の分散には受圧面積の拡大と伝達域長さの拡大の二方法が考えられるが、受圧面積を拡大し応力の分散をはかるためには、端板厚を大きくするか (図-2-(a))、曲げ剛性の大きな端部構造にするか (図-2-(b)) が必要となる。(a) の場合 45° 方向に応力が広がると考えても鋼フランジ厚の数倍の端板厚が必要になり、大規模で大きな力を受ける構造に対しては不経済となる可能性がある。(b) の場合狭い空間での溶接ができないので铸铁を使用する必要がある等、端部構造の製作が困難となる。そこではりの長手方向に応力を分散して伝達する方法の模索がなされてきたと考えられる。しかし、既往の研究においては継手構造が複雑なこともあって、どのような性能が発揮されればよいか、及び、その性能を算出するにはどうすればよいかについての検討が少ない。

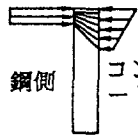
そこで、本研究では、抵抗形態と強度計算ができるだけ簡単になるように、端板のみを介してプレストレッシングしたもっとも単純な結合形式 (端板直接結合形式) について純曲げ試験を行った。そして、特に応力集中の分布、程度を明らかにし、継手部の満たすべき機能および曲げ強度の算定に関する基礎資料を得ることを目的とした。このとき、終局強度に影響すると考えられる要素のうち、端板厚の大きさと補強筋 (連結筋) の有無の二つの要素のみを変化させその影響を考察した。

2. 実験方法および供試体

実験は、図-3 のように継手部が支間中央となり、また、純曲げを受ける 3 等分点曲げ载荷とした。供試体は、H 形鋼 (294x200x8x12、SS41) に端板 (300x250) を溶接した鋼はり と コンクリートはり (300x250) を P C 鋼棒で緊結し一体化すると同時にコンクリート引張側にプレストレスを導入する。コンクリートの配合を表-1 に示す。また、鋼材としては P C 鋼棒 (SBPR 95/110、φ21)、鉄筋 (SD30、D10、D13 および D19) を使用した。



(a) 鋼はり (b) コンクリートはり
図-1 曲げ応力の伝達



(a) 厚い端板 (b) 剛性大の端部
図-2 連結部の応力の伝達

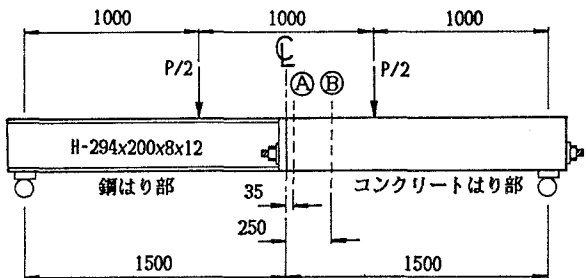


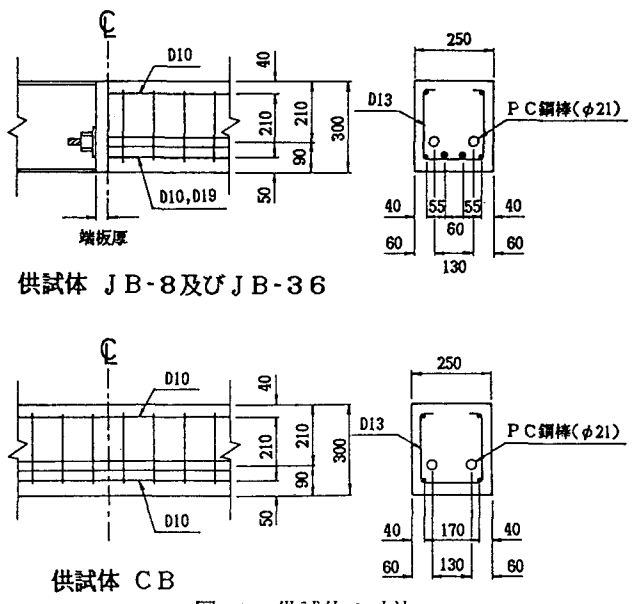
図-3 载荷方法と計測断面 (A), (B)

表-1 コンクリート配合

粗骨材 最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤
20	10	2.0	35.0	40.2	143	409	727	1239	4.908

結合形式は、図-4に示す端板のみの端板直接結合形式とし、端板厚を8mm、36mmと変化させる(JB-8型、JB-36型)。端板厚 8mmは、道路橋示方書⁴⁾で定められた最小板厚で極端に薄い場合としての意味を持ち、端板厚36mmは、プレストレス力に対して端板を上下フランジで固定支持されたはりとして曲げ応力が降伏応力度になる厚さとして定めた。なお、8mmの端板では 必要剛度の5%しか満足していない。また、この端板厚で図-5に示すようなφ16mmの連結筋によって継手強度を増した結合形式も用いた(JB-8-16型、JB-36-16型)。継手強度は、そもそも母材強度と等しいか上回ればよいという観点に立って、最小限の改良によりできるだけ簡単な結合形式を見つけ出す事が目的の一つである。

そこで、継手部以外での部分の破壊の影響が入らずに継手部で破壊するように、継手部以外の部分にはφ19mmの引張鉄筋を2本配し継手部より強くなるよう設計⁵⁾している。また、比較のために継手部コンクリートと同じ断面を有するコンクリートのみの(CB型)の純曲げ試験も行った。



供試体 JB-8及びJB-36

供試体 CB

図-4 供試体の寸法

各供試体とも、支間10等分点11点と接合部底面に変位計を設置し、P C鋼、鉄筋と継手部のコンクリート及びH形鋼表面にひずみゲージをはった。そして、終局モーメントまで荷重を漸増させ、各荷重ごとに変位、ひずみの測定を行った。

3. 実験結果と考察

(1) 曲げ耐力

表-2に、ひびわれモーメント M_{cr} と、終局モーメント M_u の実験値および計算値

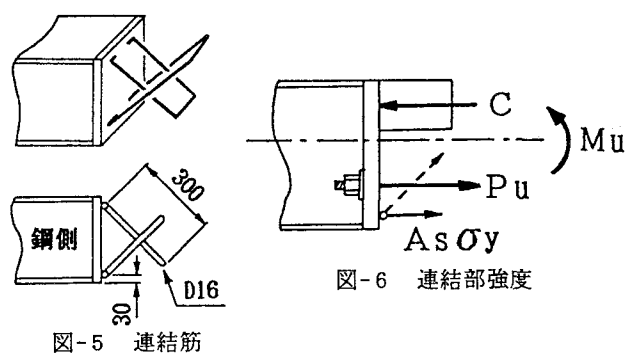


図-5 連結筋

図-6 連結部強度

表-2 ひび割れモーメント 及び 終局モーメント

供試体名	σ_{ck} (kgf/cm^2)	ひび割れモーメント		終局モーメント			破壊形式
		実験値 M_{cre}	計算値 M_{crt}	実験値 M_{ue}	計算値 M_{ut}	M_{ue}/M_{ut}	
JB-8	563	8.25	7.70	9.26	15.55	0.60	継手部上側 コンクリート 圧壊
JB-8-16	560	7.25	8.23	11.00	17.78	0.62	
JB-36	495	7.25	8.01	14.00	15.08	0.93	
JB-36-16	518	7.25	8.41	16.50	17.42	0.95	
CB	532	8.24	8.86	16.44	15.48	1.06	

(tf・m)

を示す。また、表-3では各供試体の終局モーメントを検討するための各断面における終局強度の計算値を示しており各供試体とも継手強度のはりの終局強度を支配する設計となっている。なお、継手部強度の計算値は、図-6のように単純に継手部境界面のつりあいから求めているので、端板厚の違いは計算に入らない。

Mc_rが目視によるものでありJB-8が実験初期の供試体であることを考慮すると、Mc_{re}とMc_{rt}は良く一致している。Mueをみると、端板厚が8mmの供試体では計算値の6割しか強度が出ていない。しかし、端板厚が36mmの供試体ではほぼ計算通りの強度が出ている。また、端板厚が等しくても連結筋を付けることによって強度が約1割増している。そして、端板厚が36mmで連結筋のあるJB-36-16型供試体では、継手強度が母材強度(CB型)を満足することになる。

(2) たわみ性状および接合面開口変位

図-7に、支間中央の荷重-たわみ曲線を、図-8に接合面の開口変位を荷重に対して示している。両図からわかるように図-7のたわみは、はり本来のたわみと端板下部のめくれによる連結部の局所的な剛性の低下によって生ずるものと考えられる。端板厚が8mmの供試体で、剛性が低く初期から大きくたわんでいるのは、図-8に表れているように端板下部のめくれによるものである。端板厚36mmの供試体では、少なくともディコンプレッションモーメントまでは開口変位がほとんど生じておらずはり本来のたわみ量となっている。荷重が大きくなると開口変位も大きくなりそれに従ってたわみも増大する傾向はすべての供試体に共通であるが、連結筋がある場合とない場合をそれぞれ比較すると、前者の開口変位、たわみが後者に比べて小さいことがわかる。これは引張連結筋の引き抜き抵抗により一体化が保たれていることによる。

これから、端板厚が8mmだと十分な剛性、一体性が得られないことがわかる。さらに、コンクリート引張側のプレストレスが抜けるディコンプレッションモーメントM_a以降継手部としての機能の向上が連結筋により果たされていることがわかる。これはおもに引張連結筋が曲げ引張力を受け持ったためと考えられる。

(3) 応力集中

図-9に、JB-8とJB-36のコンクリート①、

表-3 継手強度

供試体名	コンクリート母材	継手部	鋼部
JB-8	18.40	15.55	26.92
JB-8-16	18.35	17.78	26.92
JB-36	17.61	15.08	26.92
JB-36-16	17.92	17.42	26.92
CB	15.48	—	—

(tf・m)

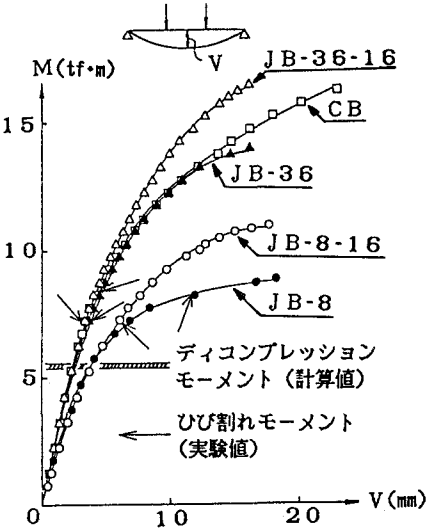


図-7 荷重-たわみ曲線

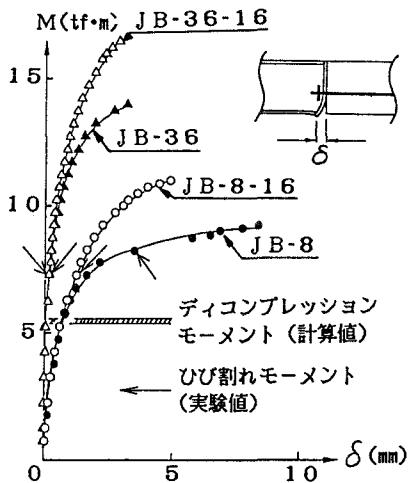


図-8 荷重-開口変位曲線

⑧断面(図-3参照)の高さ方向ひずみ分布を示す。JB-8の①断面では鋼はり上フランジからの圧縮応力をコンクリート上面の極うすい層のみでうけもち、平面保持がなされていない様子がよくわかる。一方、JB-36の①断面では十分とはいかないまでもほぼ全断面で曲げに抵抗しようとしていると考えられる。そして、⑧断面まではなれると応力集中の影響はなく、どちらも平面保持している。つまり、端板厚を大きくすることは応力集中の緩和に大きく働いていることがわかる。

等曲げ区間で、あるモーメント M に対し、コンクリート部ではP C鋼、鉄筋、コンクリート強度で曲げに抵抗する。一方、継手境界面ではP C鋼とコンクリートで抵抗することになる。そのため、P C鋼、コンクリートの抵抗力分担量はコンクリート部より大きくなる。しかし、連結筋をつけると継手境界面でのそれぞれの分担量は減ることになる。このことを、荷重-ひずみ曲線で確認すべく示したのが図-10である。

図-10に、JB-36とJB-36-16のコンクリート①、⑧断面上面における幅方向中心のひずみゲージから得られた荷重-ひずみ曲線を示す。図中破線は、全断面有効、平面保持の仮定が成り立つとしたときの荷重とひずみの関係である。⑧断面ではどちらもディコンプレッションモーメント $M_a(5.92 \text{ tf}\cdot\text{m})$ までは理論値とほぼ一致しており、また、各荷重段階におけるひずみの大きさもそれぞれ等しい。一方、①断面では応力集中のためどちらも理論値より大きなひずみが生じているが、連結筋を有するJB-36-16の方がひずみが小さく応力集中が緩和されている。

(4) 連結筋

図-11に、引張連結筋の荷重-ひずみ曲線を示す。先に述べたように、引張連結筋は端板のめくれ(開口)による引き抜き力に対して軸方向に抵抗し曲げ性能を高める作用がある。JB-8-16では、連結筋が曲げに対して抵抗し始める荷重が低い、JB-36-16ではディコンプレッションモーメント M_a 以降連結筋が曲げモーメントを受け持っている。これは、(2)で述べたように端板厚が8mmの供試体では低い荷重段階から接合面が開き始めているためと考えられる。ま

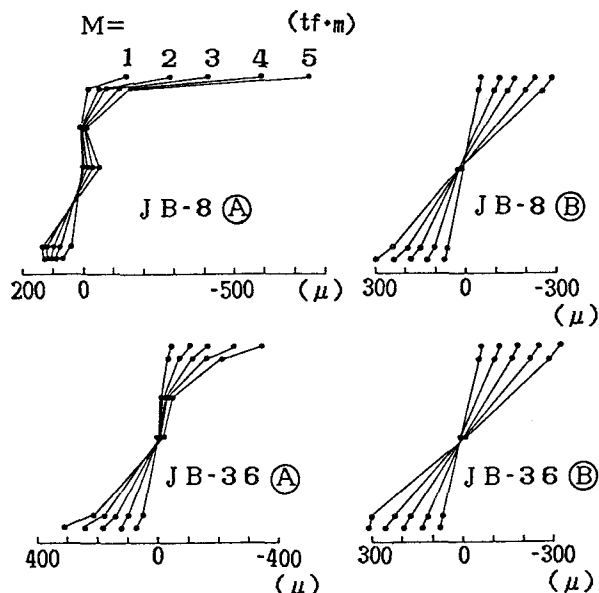


図-9 コンクリート断面の高さ方向ひずみ分布

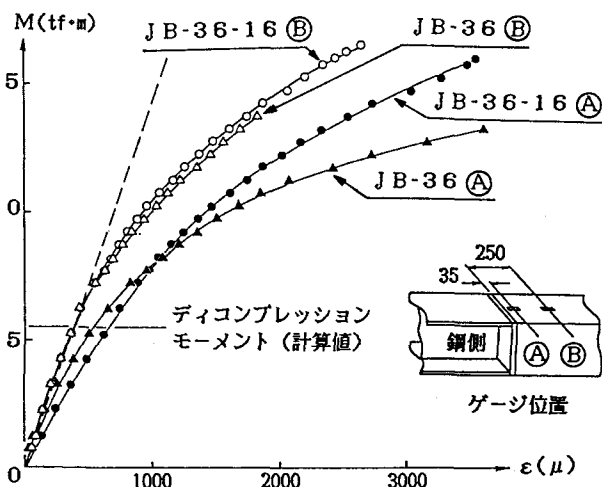


図-10 荷重-ひずみ曲線(コンクリート表面)

た、JB-8-16の終局強度におけるひずみがJB-36-16に比べると小さい。これは、継手部の強度がコンクリート圧壊という形でコンクリート強度に支配されているため、連結筋がその機能を完全に果たしていないことを示している。つまり、十分な厚さの端板厚というものがあるのはじめて連結筋も有効に働くことになる。

4. 結論

端板直接結合形式による鋼・コンクリート結合はりの純曲げ試験を行った結果、供試体は各ケース1体と少ないが以下のようなことが言えると考えられる。

- (1) 端板直接結合形式では容易に継手耐力が計算でき、また、連結筋の有無、径を変えることによって自由に曲げ耐力が設定できる。
- (2) 端板厚を大きくすることにより継手部の応力集中を緩和することができ、さらに検討が必要ではあるが簡易な計算によって定めた厚さの端板を用いることにより所要の曲げ耐力を発揮させることができる。
- (3) 連結筋をつけると、ディコンプレッションモーメント M_a 以降曲げ引っ張り力が分担されはりの一体性が保たれ、さらに、継手部の応力集中も緩和される。そして、連結筋の継手部強度に及ぼす影響は定量的に評価できる。

今回の供試体寸法では必要厚の端板を使用することができたが、使用端板厚はいろいろな条件から制限される。この場合、応力を厚さ方向にではなく溝形鋼等を用いて長さ方向に分散する方法を取らねばならなくなるなどが考えられるが、挙動はより複雑になる。

なお、本研究は昭和62年度科研費一般研究Cの補助を受けた。また、高周波熱練株式会社（SE部 倉重正義氏）からPC鋼棒、付属品の提供を受けた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 若下藤紀・野田行衛：橋梁における合成構造の一例，橋梁と基礎(1982.2)
- 2) 田島二郎・町田篤彦・睦好宏史：鋼部材とコンクリート部材の接合法に関する実験的研究，第4回コンクリート工学年次講演論文集(1982)
- 3) 日野伸一・浜田純夫・中野浩明・太田俊昭：鋼・コンクリート混合構造における継手部の静的曲げ挙動，合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集(1986.9)
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書、昭和56年2月
- 5) 土木学会：コンクリート標準示方書〔設計編〕、昭和61年10月

(1988年10月12日受付)

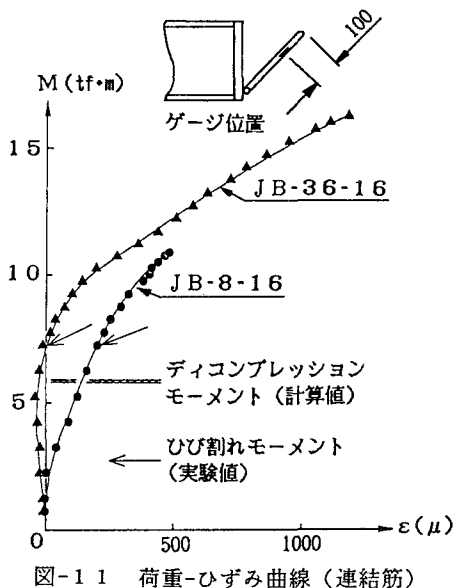


図-11 荷重-ひずみ曲線（連結筋）