Japan Concrete Institute

論文　付着を期待した合成ばりの疲労強度に関する研究

松尾栄治*1・光川直宏*2・浜田純夫*3

要旨：本研究では，省力化を目指した新しい合成構造用鋼材の開発を目的として従来使用されてきたずれ止めであるスタッドジベルに換わるものとしてH形鋼あるいは突起付きH形鋼を鋼桁ウェブの上に溶接し，床版中にH形鋼のフランジを埋め込んだ付着型のずれ止めを考案した。この付着型のずれ止めを持つ合成ばりに曲げ試験を行い，疲労強度に関する検討を行った。その結果，コンクリート床版と鋼桁のずれ量も小さく，十分な疲労強度を得た。

キーワード：合成桁，付着，ずれ，疲労強度

1．はじめに

橋梁の鉄筋コンクリート床版の多くは，現場での型枠・支保工及び鉄筋組立工という非能率的な作業によって行われ，省力化が望まれるところである。そこで種々のジベルが考案されているが[1][2]，一般に溶接に特殊技術を要したり手間がかかること等の問題が残っている。本研究で対象とする合成構造用鋼材の特徴としては，溶接の省力化，コンクリート床版の型枠架設時の安全性の向上，さらに通常のＲＣ床版と比較して大きな鋼断面比を有するので曲げ耐力が大きくなること等が挙げられる。この付着型のずれ止めを持つ合成桁において，曲げモーメントによるコンクリート床版と鋼桁のずれ量，疲労破壊機構，ずれ止めの設計方法等を考察した。また，連続合成桁の中間支点付近には，合成桁に不利と考えられる負の曲げモーメントを受ける場合も生じることより，通常行われる正の曲げ試験に加えて負の曲げ試験についても検討を行った。

2．実験概要

本研究で用いた合成構造用鋼材は，図-1に示すように鋼桁ウェブの上にH形鋼を溶接したものを想定し，実験ではH形鋼の上にT形鋼を溶接したものを使用した。供試体の断面寸法は正およ

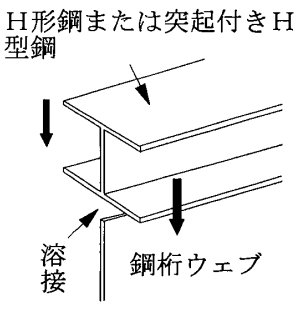


図-1　本研究で用いた鋼材

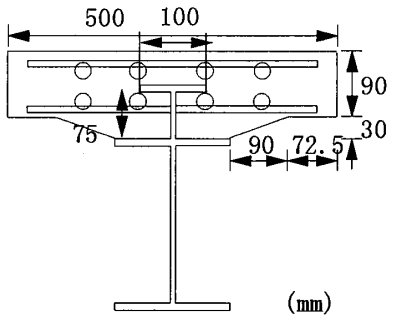


図-2　供試体断面図

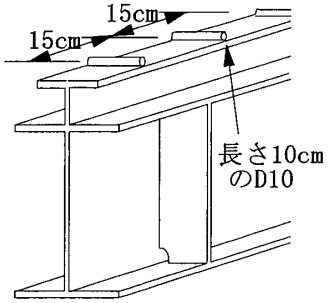


図-3　突起付き鋼材

*1　山口大学工学部社会建設工学科助手，工博（正会員）
*2　㈱建設技術研究所，工修
*3　山口大学工学部社会建設工学科教授，Ph.D（正会員）

NII-Electronic Library Service

Japan Concrete Institute

び負の曲げを受ける供試体共通で図-2に示す。鋼桁部のH形鋼は呼称寸法250×175のもの，T形鋼部には呼称寸法150×100のH形鋼を半分にしたものを使用した。部材軸直角方向の鉄筋は，T形鋼のウェブに設けた穴を通して配置した。

スパン長は，許容応力度設計法に基づき2.4mとした[3]。配筋量は正の曲げモーメントを受けるものにはD10を8本，負の曲げモーメントを受けるものにはD19を6本とした。供試体名称はPは正の，Nは負の曲げモーメントを受けるものを示し，数字はスパン長(×10cm単位)を，Sは図-3に示すように，付着が切れた後もせん断抵抗を有するように，突起付き鋼材を想定してT形鋼フランジ上面にD10を15cm間隔で溶接[4]したものである。表-1に供試体の名称および諸元を，また表-2に材料試験の結果を示す。

表-1　供試体の種類

供試体名称	数量	全長(cm)	スパン長(cm)	鉄筋量	突起付き鋼材使用	載荷方法
P24	2	280	240	8-D10	×	正
P24S	2	280	240	8-D10	○	正
N24	2	280	240	6-D19	×	負
N24S	2	280	240	6-D19	○	負

表-2　材料試験の結果

	コンクリート		鋼材	鉄筋
圧縮強度	40.5MPa	降伏点	339.3MPa	333.9MPa
引張強度	3.2MPa	引張強度	454.8MPa	504.9MPa
曲げ強度	5.9MPa	ヤング係数	2.1×10^5MPa	1.7×10^5MPa
ヤング係数	4.2×10^4MPa	伸び	3.62%	2.52%

表-3　上限および下限荷重

供試体名称	上限荷重(kN) 設計荷重	× 1.25	× 1.50	× 1.75	× 2.00	下限荷重(kN)
P24-1	245	---	370	---	---	125
P24-2	---	---	---	430	490	125
P24S-1	245	305	370	---	---	125
P24S-2	---	---	---	430	490	125
N24-1	205	---	310	---	---	105
N24-2	---	---	---	360	410	105
N24S-1	205	---	310	---	---	105
N24S-2	---	---	---	360	410	105

載荷方法は2点集中載荷で繰返し載荷を行い，上限荷重は鋼桁下フランジが許容応力度に達する荷重(設計荷重)とし，下限荷重は設計荷重の1/2の荷重とした。この条件で100万回載荷し，破壊に至らなければ下限荷重を一定とし上限荷重を25%ずつ増加させた。また，各タイプ2体ずつ供試体を作製し，1体には上限荷重が設計荷重からその1.5倍の荷重における繰返し載荷試験を行い，もう一体には上限荷重が設計荷重の1.75倍の荷重から2倍の荷重における繰返し載荷試験を行った。その詳細を表-3に示す。また，負の曲げモーメントを受けるものは供試体を上下逆にして行った。

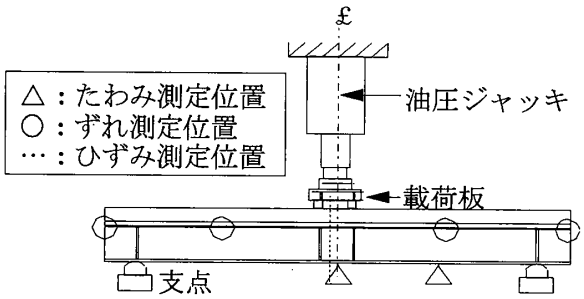


図-4　測定位置

材料試験の結果測定は図-4に示すようにコンクリートと鋼のひずみは供試体中央断面付近で，たわみはスパン中央とスパン1/4の点で，コンクリートと鋼のずれは供試体両端と供試体1/4の点で行った。

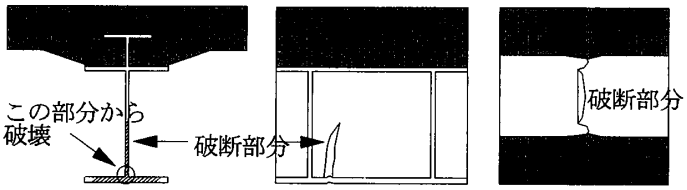
3．実験結果および考察

3.1　破壊状況

静的載荷試験においては正の曲げモーメントを受ける供試体はコンクリート床版の圧壊，負の

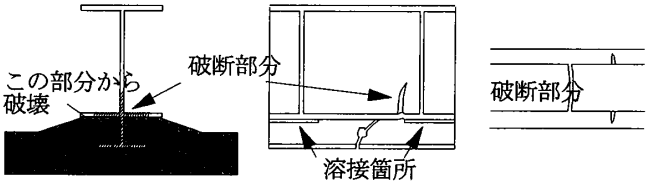
NII-Electronic Library Service

曲げモーメントを受ける供試体は鋼桁の座屈による破壊であった。繰返し載荷試験においては正の曲げモーメントを受ける供試体では鋼桁下フランジ付近の疲労破断による破壊を示し，図-5に示すような疲労破断面が観察された。鋼桁下フランジの疲労破断面が伸びていることから，鋼桁ウェブと鋼桁下フランジの接合部分から鋼材が疲労し，その後に鋼桁下フランジに亀裂が生じたものと考えられる。これは，鋼材の製作時に発生する残留応力の影響と考えられる。負の曲げモーメントを受ける供試体は圧縮側の鋼桁フランジの許容圧縮応力度で設計されているが，実験ではT形鋼フランジからH形鋼ウェブにかけての疲労破断であった。破断面を図-6に示すが，最初にT形鋼フランジとT形鋼ウェブの接合部分から疲労破断し，そこからT形鋼ウェブを通過してH形鋼フランジ，H形鋼ウェブと亀裂が生じている。また，本実験で用いた鋼材はH形鋼にT形鋼をすみ肉溶接で等間隔に接合したものであるが，鋼材の亀裂が進展する過程でH形鋼から先の亀裂は溶接箇所にずれて生じているのが特徴である。負の曲げモーメントを受ける供試体(N24, N24S)では，破断したT形鋼のフランジよりも主鉄筋(D19)のほうがより引張領域にある。T形鋼フランジより大きい応力を受ける主鉄筋の破断を予想していたが，前述した鋼材の接合部分の弱点と鋼材より鉄筋の引張強度が大きいためにT形鋼のフランジが破断した。



(a)破壊断面図　(b)破壊側面図　(c)破壊下面図

図-5　正の曲げモーメントを受ける供試体の疲労断面図



(a)破壊断面図　(b)破壊側面図　(c)破壊下面図

図-6　負の曲げモーメントを受ける供試体の疲労断面図

3.2　疲労破壊荷重

各供試体の繰返し載荷によって破壊した上限荷重，その上限荷重での繰返し載荷回数，疲労破壊前の測定における鋼材(正の曲げモーメントを受ける(P24, P24S)では鋼桁下フランジ，負の曲げモーメントを受ける供試体(N24, N24S)ではT形鋼フランジ)の応力比，およびこの疲労破壊荷重の静的破壊荷重(実験値および計算値)に対する比率を表-4に示す。疲労破壊荷重においては，正の曲げモーメントを受け，付着のみで合成している供試体(P24)だけが設計荷重の1.75倍の荷重で破壊しており，それ以外の供試体(P24S, N24, N24S)は設計荷重の2倍の荷重で破壊している。このように破壊が生じるのは，前述したように鋼材の破断箇所に生じる応力が異なるからである。各供試体の疲労破壊回数と疲労破壊直前の測定における鋼材の応力を，図-7に示す。一般構造用

表-4　破壊荷重および破壊回数

供試体名称	疲労破壊荷重 (kN)	破壊回数 (回)	鋼桁の応力(MPa)			疲労破壊荷重/静的破壊荷重 (実験値)	疲労破壊荷重/静的破壊荷重 (計算値)
			最大	最小	最大-最小		
P24	430(×1.75)	585979	389.3	190.0	199.3	0.766	0.666
P24S	490(×2)	462668	287.3	80.2	207.1	0.751	0.760
N24	410(×2)	43839	313.6	165.2	148.4	0.713	0.811
N24S	410(×2)	1000000	168.0	0.0	168.0	0.721	0.811

NII-Electronic Library Service

鋼材のS-N曲線[5]と比較すると，曲線よりも下側に位置する。これは，応力比が同じであっても本実験の下限応力が大きいからである。したがって，正の曲げモーメントを受け，付着のみで合成している供試体(P24)は破壊前にコンクリート床版と鋼桁にずれが生じ，突起付き鋼材を用いた供試体(P24S)よりも低い荷重で鋼材が破断応力まで達し破壊に至ったものと思われる。一方，それ以外の供試体(P24S, N24, N24S)においては，コンクリート床版と鋼桁が合成状態のまま鋼材が破断したものと思われる。耐力的には，全ての供試体において設計強度の1.75～2倍の耐力を有しており，この合成桁が十分な強度を持っていることがわかる。

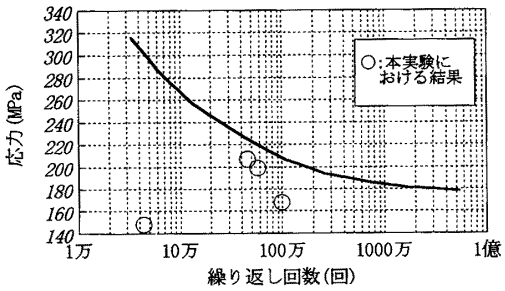


図-7　一般構造用鋼材のS-N曲線

3.3　鋼桁の応力－繰返し回数関係

破断箇所の応力の変化を検討するために，ひずみの測定値をもとに算出した応力と繰返し回数の関係を図-8(a)～(d)に示す。正の曲げモーメントを受ける供試体(P24, P24S)では鋼桁下フランジの，負の曲げモーメントを受ける供試体(N24, N24S)ではT形鋼フランジの応力であり，残留応力を差し引いたものである。また，理論値は引張側のコンクリートを無視して算出した曲げ応力（$\sigma = (M/I)y$）である。正の曲げモーメントを受ける供試体（P24, P24S）においては，どの荷重段階においても理論値が実験値を上回り，付着のみで合成している供試体(P24)では疲労破壊前で実験値が理論値を上回っており，コンクリートと鋼桁にずれが生じることで剛性が低下し，応力が急増して破壊に至ったと思われる。一方，突起付き鋼材を用いた供試体(P24S)では実験値が理論値を上回ることなく破壊したことから，コンクリートと鋼桁が一体化のままで破壊したと思

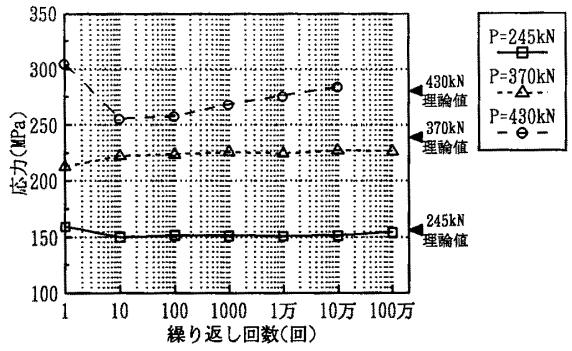


図-8(a)　応力-繰返し回数関係(P24)

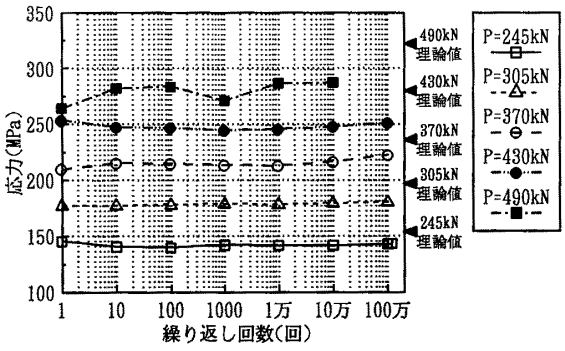


図-8(b)　応力-繰返し回数関係(P24S)

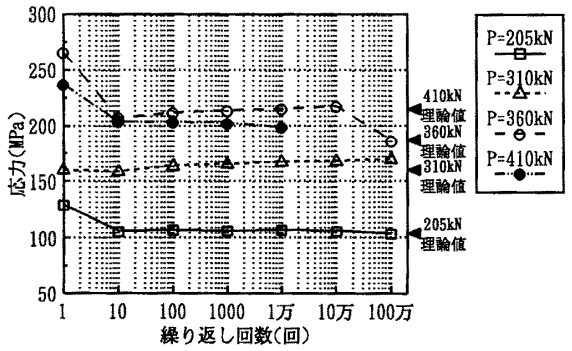


図-8(c)　応力-繰返し回数関係(N24)

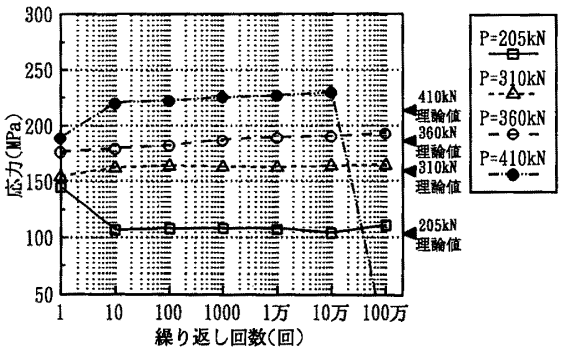


図-8(d)　応力-繰返し回数関係(N24S)

NII-Electronic Library Service

われる。負の曲げモーメントを受ける供試体(N24, N24S)においては理論値にかなり近い値を示している。

さらに，破壊直前の計測時における応力に着目すると，各供試体で上限荷重や繰返し回数は異なるものの，正の曲げモーメントを受ける供試体(P24, P24S)では270～280MPaと一致する。負の曲げモーメントを受ける供試体(N24,N24S)においては応力が減少するのは破壊が生じ始めていると仮定し減少する前の応力を破壊前の計測時における応力とするならば230～250MPaで一致する。つまり，前述の応力が生じると破壊に至ることを示している。

3.4　ずれ性状

各供試体のずれを発生するときの付着応力，設計荷重での付着応力および両者の比率を表-5に示す。ここでの結果は最もずれの大きい測点のものである。この付着応力τは式(1)で表される。

表-5　付着応力の比較

供試体名称	ずれが発生する		設計荷重時に必要な付着応力② (MPa)	①/②
	荷重 (kN)	付着応力① (MPa)		
P24	370	1.6	1.1	1.42
P24S	305	1.3	1.1	1.17
N24	310	2.2	1.5	1.50
N24S	310	2.2	1.5	1.50

$$\tau = \frac{G_H \cdot S_d}{I_V \cdot u} \quad (\mathrm{MPa}) \qquad (1)$$

ここで

G_H：実験供試体のH形鋼の断面一次ﾓｰﾒﾝﾄ(cm^3)
I_V　：実験供試体の断面二次ﾓｰﾒﾝﾄ(cm^4)
S_d　：着目断面の垂直せん断力(N)
u　　：T形鋼の周長(cm)

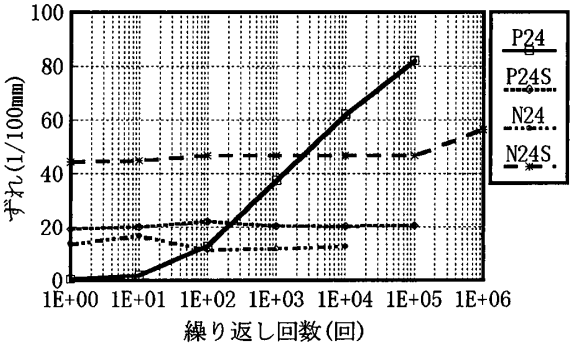


図-9　ずれ-繰返し回数関係

各供試体においてずれが発生する荷重は設計荷重の1.25～1.5倍の荷重で，その時の付着応力は設計荷重時に必要な付着応力の1.2～1.5倍を示している。すなわち，設計荷重ではずれが発生しないことがわかる。

次に，各供試体のずれ－繰返し回数関係を図-9に示す。このずれ量が供試体の疲労破壊に及ぼす影響を調べるために，ずれの最大値と破壊した上限荷重における繰返し回数1回から破壊前の計測回数までのずれの増加量を表-6に示す。正の曲げモーメントを受け，付着のみで合成している供試体(P24)のずれの増加量が大きな値を示しており，コンクリートと鋼桁のずれが増加したことによる耐力の低下が裏付けられる。また，負の曲げモーメントを受ける供試体(N24, N24S)では，当初の予想に反し，突起付き鋼材を用いた供試体(N24S)のほうが，付着のみで合成している供試体(N24)よりずれが大きい。これは，コンクリートと鋼桁のずれにはひび割れが大きく影響するため，実際にコンクリートと鋼桁にずれが生じていても，測点ではずれが生じないという現象が起きたと思われる。

表-6　ずれの増加量

供試体名称	最大ずれ量 (1/100mm)	ずれ増加量 (1/100mm)
P24	82.2	81.6
P24S	22.4	1.2
N24	16.7	-0.9
N24S	56.6	12.0

また，図-10(a)(b)にコンクリート床版内の主鉄筋における応力－繰返し回数関係を示す。これより，突起付き鋼材を用いた供試体(N24S)は破壊に至るまで主鉄筋に応力が伝達されているのに対して，付着のみで合成している供試体(N24)は破壊に近づくにつれて主鉄筋の応力が減少し，

NII-Electronic Library Service

Japan Concrete Institute

応力が伝達されておらず，この時点ではコンクリートと鋼桁が一体化でないことを示す。

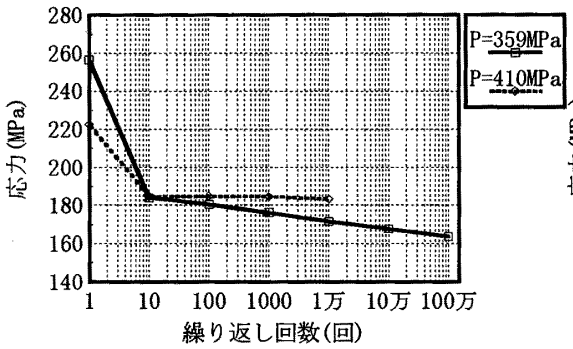


図-10(a)　応力-繰返し回数関係(N24)

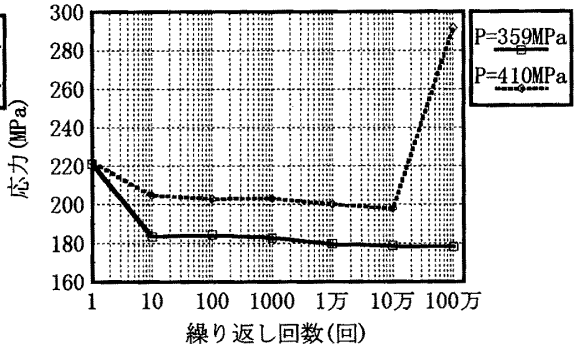


図-10(b)　応力-繰返し回数関係(N24S)

4．結論

本研究から得られた結果を以下に示す。

(1)本研究で用いたずれ止めを用いた場合，正および負の曲げモーメントに対して十分な耐力を示し，鋼材に突起を設けることによりさらに付着性状が向上する。

(2)正の曲げモーメントを受ける場合は鋼桁下フランジ付近から疲労破断し，負の曲げモーメントを受ける場合は，最も引張領域にある主鉄筋が疲労破断するのではなくT形鋼フランジ付近が破断する。

(3)各供試体とも疲労破壊荷重は設計荷重の1.75～２倍であり，十分な耐力を示した。

(4)突起付き鋼材を用いるとコンクリート床版と鋼桁のずれを抑制し，破壊に至るまで両者の応力伝達が行われ耐力が増加する。

(5)ずれの発生する付着応力は設計荷重時に必要な付着応力の1.2～1.5倍で，設計荷重ではずれは生じない。

参考文献

[1]田中祐人，佐藤政勝：突起付きT形鋼を用いた斜合成床版橋の構造特性と設計法，合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集，pp.63-68，1986.9

[2]清宮　理，横田　弘：形鋼によるずれ止めの耐力評価，合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集，pp.113-118，1986.9

[3]平成８年度版コンクリート標準示方書設計編，土木学会，pp.214-216

[4]土木学会構造工学委員会ほか：合成構造用鋼材の利用に関する調査研究報告書，pp.6，1993.3

[5]樋口芳郎：建設材料学，技報堂出版，p.7，1976.9

NII-Electronic Library Service