

(40) 連続化合成桁の継手部に用いた鋼・コンクリート
混合型接合部の端横桁としての荷重分配性能

LOAD DISTRIBUTION ABILITY OF A STEEL-CONCRETE MIXED TYPE CONNECTION
AS AN END LATERAL BEAM IN CONTINUOUS SYSTEM OF COMPOSITE GIRDERS

大谷恭弘*

一色和也**

福本晴士***

松井繁之***

By Yasuhiro OHTANI, Kazuya ISSHIKI, Yuhshi FUKUMOTO, and Shigeyuki MATSUI

Experimental studies have been carried out on multi-girder specimens where a steel-concrete mixed type connection is used. The connection is assumed to be used at the joint in a continuous system of simple composite girders. Since the connection may behave as an end lateral beam in the system, it must be of great interest to clarify the performance and/or ability of the connection. Herein, load distribution ability as well as carrying capacity of the connection are examined through the experiments on two types of specimens, a composite girder specimen and a steel girder specimen. From the results obtained, the load distribution ability, the effective width for stress transmission or strength calculation are studied.

1. まえがき

現場における鋼桁と鋼桁の接合には、現在、高力ボルトによる継手が多く採用されてきている。しかし、ボルト接合の際の許容誤差は、構造物の大きさにかかわらず変わらないため、結果として、大型構造物の現場組立が困難になる場合がある。このような問題を解決する一工法として、現場施工の容易なコンクリートを鋼桁どうしの継手部に用いる、鋼・コンクリート複合構造の概念を取り入れた混合型継手の採用が考えられる。混合型継手は、力のスムーズな伝達と要求された強度を確保するだけでなく、鋼とコンクリートの相互作用を効果的に利用することで、十分な靱性と変形能を期待することができる。

そこで、合成桁あるいは鋼桁の連続化に対し、桁どうしの継手に鋼端板とRC部を介して接合させる混合型接合形式を考えた。既に単桁どうしの継手に対するこのような接合形式の機能性については実験的・解析的検討を行ってきている¹⁾。しかし、現実的な複数並列桁に適用する場合、接合部の強度設計を行う上での有効幅、あるいは支点上でRC接合部を桁軸直角方向に連続することで端横桁を形成した場合の荷重分配性能について検討しておくことが重要であると思われる²⁾。

そこで本研究では、本接合形式が実構造に適用される場合を想定し、複数並列合成桁どうしを混合型接合形式により支点上で連続化した合成桁供試体、およびRC床版を有さない、あるいは非合成桁を意識した複数並列鋼桁どうしを同様に連続化した鋼桁供試体を製作し、混合型接合部の荷重分配性能や有効幅に着目した弾性載荷実験および破壊実験を行い、本形式による継手部の機能性について検討した。

* Ph.D 神戸大学助教授 工学部建設学科

** 工修 新日本製鐵(株) 鉄構海洋事業部

*** 工博 大阪大学教授 工学部土木工学科

2. 複数並列桁の載荷実験

2. 1 供試体

荷重分配性能や有効幅を検討するための複数並列桁供試体として、鋼端板とRC部を介して3本主桁からなる合成桁どうしを連続化した供試体(以下、合成桁供試体)と、同様に3本主桁からなる鋼桁どうしを連続化した供試体(以下、鋼桁供試体)の2体を用意した。いずれも支点上でRC接合部により継いで連続化する構造形式を想定しており、供試体はそのような構造のRC接合部を含んだ部分モデルである。なお、基本性状を知るため、単桁の合成桁あるいは鋼桁をRC接合部で継いだ供試体の実験も行ったが、ここでは結果を参照するに留める。

図1に合成桁供試体、図2に鋼桁供試体の全体概要図を示す。いずれの供試体も鋼桁にはSS400材圧延H形鋼(H300×150, $t_w=6.5$, $t_f=9$)を使用した。鋼桁の接合部側の端には桁部から接合部へ円滑な応力伝達を期待して鋼桁フランジに長さ30cmの範囲で拡幅部を中桁には両側に耳桁には内側片側のみに設けた(中桁:15cmから45cm、耳桁:15cmから30cmへと拡幅)。また、桁端に溶接した鋼端板(中桁H380×B470× t_{16} , 耳桁H380×B320× t_{16})には、RC部との接合材として頭付きスタッド($\phi 13$, $L=80$)を溶接した。

桁どうしを継ぐRC接合部は、端板厚を含め長さを30cmとし、その強度設計では中桁を基本主桁としてその単桁に対する接合部の強度設計を基本とした。なお接合部有効幅としてフランジ幅の3倍の45cmを仮定した。合成桁供試体の場合、実構造への適用性を考慮してRC接合部がその有効幅で合成桁部と同程度の曲げ耐力を確保するように桁1本当たりの鉄筋量、鋼棒量を決定した。支点上となるRC接合部への負曲げ作用に対して、床版鉄筋が引張力を、接合部コンクリートが圧縮力を伝達する。一方、鋼桁供試体の場合、床版効果を除いた接合部の荷重分配性能およびRC接合部の破壊性状の把握を目的として強度設計を行った。そして、RC接合部への負曲げ作用に対して接合部上部に配置した鋼棒が引張力を、接合部コンクリートが圧縮力を受け持つことを想定した。中桁に対する鋼棒配置を図3に示す。ただし、鋼桁供試体では上下が逆になっている。

供試体は基本主桁を60cm間隔で3本並列させた構造である。ただし、耳桁と中桁の端板間には塞ぎ板を設けて連結させ、コンクリートを充填することで接合部が橋軸直角方向にRC梁となり、端横桁を形成するようにした。ここで、耳桁接合部は中桁側(内側)へは拡幅し連続させたが、外側へは拡幅を行わない形式とした。なお、RC部には鋼棒、スタッド以外にスターラップおよびループ筋を配している。

橋脚上に端横桁としてRC接合部が置かれた場合、接合部下部から圧縮力が導入される。供試体では支点からの反力を接合部で受け、RC部に圧縮力を導入するため、接合部コンクリートを下方に約45mm張り出し、その下部に22mm厚の鉄板を頭付きスタッドを用いて接合した。

供試体の両端には荷重分配のための鋼製の横梁を取り付けられる構造とした。反力側では横梁を常時取り付けておき、載荷側では載荷ケースによって横梁の設置の有無を変えることとした。

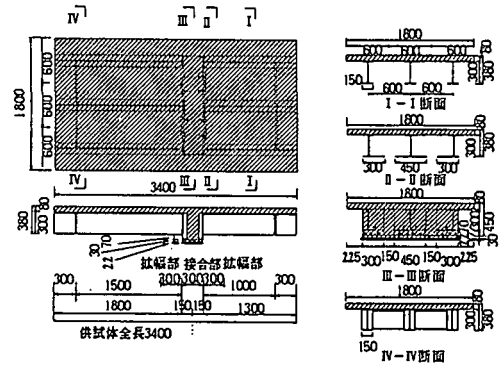


図1 合成桁供試体概要図

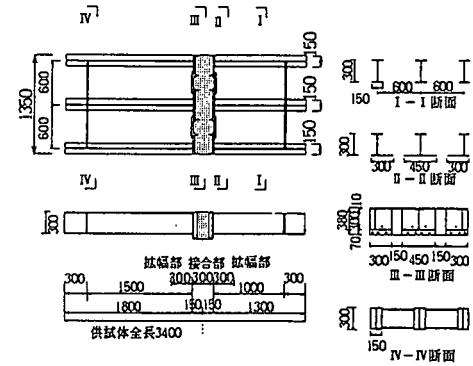


図2 鋼桁供試体概要図

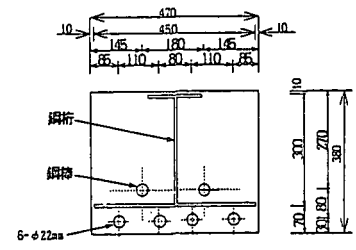


図3 鋼棒配置

コンクリート打設は供試体ごとに行った。各供試体に用いたコンクリートの材料試験結果を表1に、また、鋼桁、鋼棒、および鉄筋の引張試験からの降伏強度を表2に示す。

2.2 実験方法

載荷実験ではそれぞれの供試体に対して弾性載荷試験と破壊実験を行った。弾性載荷試験では、混合型接合部の端横桁としての荷重分配性能や接合部内での荷重伝達機構について検討するため、種々の載荷形式に対する供試体各部の変形量やひずみを計測した。一方、破壊実験は破壊性状や接合部の強度、あるいは強度設計を行うに当たっての有効幅等について検討することを目的として行った。特に、合成桁供試体の場合は接合部が合成桁応力を伝達するために十分な強度を保有していることを確認するものであり、鋼桁供試体の場合はRC接合部の破壊性状に着目するものである。

(A) 弾性載荷実験

合成桁供試体、鋼桁供試体ともに、張り出し梁となるように接合部および桁端の一つで支えるように設置する。そして、張り出し部となるもう一方の桁端に荷重を与え接合部に負曲げとせん断が作用するようにした。合成桁供試体に対しては、図4に示す載荷方法で行った。また、鋼桁供試体に対しては、合成桁供試体に対する場合と同様の載荷方法で行った。なお、合成桁供試体に対しては、上記以外に、接合部に正曲げとせん断が作用する弾性載荷試験も行ったが、ここでは記述を省略する。

負曲げ載荷ケースは、種々の組み合わせが考えられるが、ここでは、合成桁供試体および鋼桁供試体に対する負曲げ載荷として表3に示す載荷ケースを採用した。なお、以下では載荷耳桁をG1、中桁をG2、非載荷耳桁をG3と呼ぶことにする。表中における1点載荷とは中桁や耳桁、あるいは床版上に設置した鋼プレート(PL200×20×200)に一点で荷重を与える方法である。分布載荷とは床版面に細長いプレート(PL100×16×1400)を桁軸直角方向に設置し、その上に据え付けた載荷梁に荷重を与える方法である。反力点側では、床版面上にプレート(PL100×16×1400)を重ねて硬質ゴムを敷き、その上に載荷梁を桁軸直角方向にわたし、支持した。載荷には加圧用と反力用の2基の油圧ジャッキを用いて行った。いずれの載荷の場合も加圧側油圧ジャッキに油圧を与え、ロードセルで荷重を検出しながら載荷の制御を行い、同時に反力側油圧ジャッキに設置したロードセルから反力の検出を行った。弾性内のある荷重幅で載荷・除荷を3回繰り返し、各載荷荷重に対する各部の変位およびひずみの測定を行った。

(B) 破壊実験

破壊実験は合成桁供試体、鋼桁供試体いずれの場合にも載荷断面に横梁を付けた状態で中桁G2への1点載荷による負曲げ載荷形式NICBで行った。弾性載荷実験と同様に載荷には加圧用と反力用の2基の油圧ジャッキを

表1 コンクリートの材料試験結果

	合成桁供試体	鋼桁供試体
圧縮強度 (kgf/cm ²)	383	479
割裂強度 (kgf/cm ²)	25.2	26.8
ヤング係数 (kgf/cm ²)	2.7×10^4	3.0×10^4
Δ7/70比	0.204	0.199

表2 鋼要素の降伏強度

	合成桁供試体 (kgf/cm ²)	鋼桁供試体 (kgf/cm ²)
75mm (t9)	3200	3200
427 (t6.5)	3690	3950
端板 (t16)	2910	2560
鋼棒 (φ16)	4344	3250
鉄筋 (D10)	3388	3388

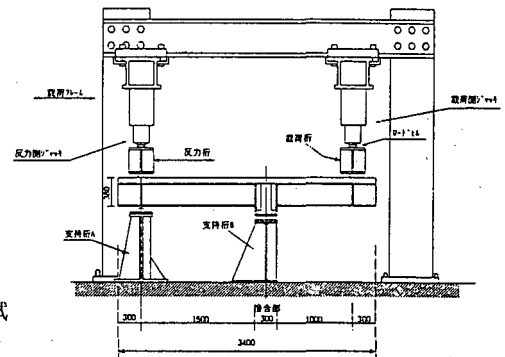


図4 載荷装置

表3 載荷ケース

		載荷名称	載荷方向	載荷位置	横桁の有無	
合成桁	①	NEC	下	外桁(G1)	1点載荷	なし
	②	NIC	下	中桁(G2)	1点載荷	なし
	③	NICB	下	中桁(G2)	1点載荷	あり
	④	NICB	下	中桁(G2)	分布載荷	あり
鋼桁	⑤	NEC	下	外桁(G1)	1点載荷	なし
	⑥	NECB	下	外桁(G1)	1点載荷	あり
	⑦	NIC	下	中桁(G2)	1点載荷	なし
	⑧	NICB	下	中桁(G2)	1点載荷	あり

川いて行った。各荷重段階での各部の変位やひずみを計測するとともに、床版や接合部のコンクリートのひび割れの発生や進展状況を観察し、RC接合部あるいはその周辺が終局状態に至る挙動を観察した。

3. 接合部の荷重分配性能

弾性載荷実験ではそれぞれの供試体に種々の載荷ケースで荷重を与え、各荷重段階での各部のひずみを計測した。各載荷ケースとも弾性内のある荷重幅で載荷、除荷を繰り返し行っているが、その荷重幅で得られたひずみ幅の平均値を接合部中央断面に単位曲げモーメントが作用したときのひずみ量に換算し整理した。それらのデータを基に、各載荷ケースに対して各断面での各桁におけるひずみ分布を求めた。さらに、各桁断面でのひずみ分布の勾配より各桁の曲げモーメント分担比を推定し表にしたものを、表5に示す。表中の断面位置については、図5に示すように40断面は接合部中央から張り出し部載荷点側へ20cmの位置のC断面、60断面は接合部中央から反力点側へ20cmの位置のE断面である。表より、接合部から反力点側では荷重が各桁に分配されていることが分かる。また、鋼桁供試体に対しての荷重分担比の値からも、荷重分配に大きく寄与する床版あるいは横梁が無くてもRC接合部には十分な荷重分配機能が期待できることが分かる。

表4 各桁の荷重分担比

載荷形式		接合部縁から載荷側へ 5cmの断面 (C断面)			接合部縁から反力側へ 5cmの断面 (E断面)		
		G1	G2	G3	G1	G2	G3
合成桁	NEC	0.315	0.177	0.007	0.353	0.283	0.362
	NIC	0.262	0.507	0.231	0.339	0.326	0.335
	NIDB	0.312	0.329	0.329	0.334	0.314	0.352
	NICB	0.288	0.435	0.277	0.331	0.300	0.389
鋼桁	NEC	1.011	-0.009	-0.002	0.358	0.315	0.317
	NECB	0.818	0.294	-0.112	0.326	0.339	0.335
	NIC	-0.005	1.007	-0.002	0.291	0.369	0.310
	NICB	0.198	0.645	0.157	0.318	0.358	0.324

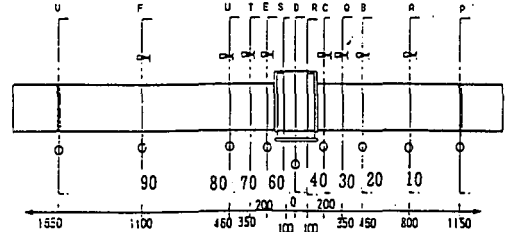


図5 ひずみゲージ位置

4. RC接合部内の応力伝達

RC接合部が弾性域内で負曲げ作用を受けた場合の接合部内の応力伝達を、引張材となる鉄筋、鋼棒、およびスタッドのひずみ分布より考察する。図6に、合成桁供試体のNECB載荷におけるRC接合部上の床版鉄筋のひずみ分布を、また、図7に鋼桁供試体のNECB載荷における鋼棒のひずみ分布を示す。この同一載荷ケースに対する合成桁供試体の床版鉄筋のひずみ分布と鋼桁供試体の鋼棒のひずみ分布を比較すると、合成桁供試体の方が鋼桁供試体よりも分散性が明らかに高く、RC床版の応力分散への寄与が明瞭である。鋼桁供試体における接合部での応力の集中性は、引張側スタッドにおける軸ひずみ分布からも分かる。図8は弾性域での荷重載荷により生ずるスタッド軸ひずみを接合部中央断面に単位曲げモーメントが作用した場合に換算した値の分布を示す。この図からも載

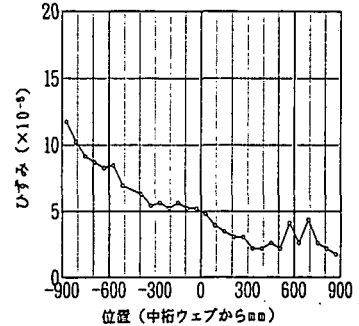


図6 合成桁供試体床版鉄筋ひずみ分布 (NECB)

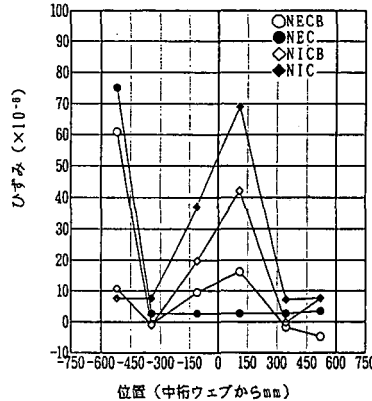


図8 鋼桁供試体スタッドひずみ分布

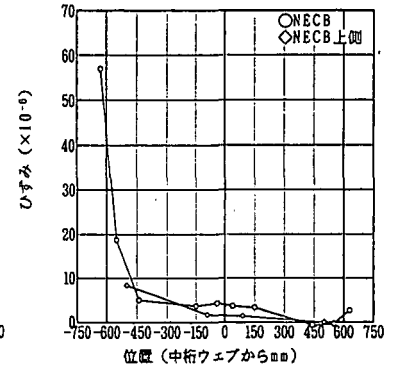


図7 鋼桁供試体鋼棒ひずみ分布 (NECB)

荷桁に近いスタッドが他に比べて大きな力を受けていることがわかる。以上の結果から、接合部での応力伝達について、合成桁供試体においては全幅有効に機能する傾向をもちうるが、RC床版を持たない鋼桁供試体においては有効幅を考慮する必要があると考えられる。

5. 破壊実験結果

5.1 合成桁供試体の破壊性状

荷重と載荷点の鉛直変位との関係を図9に示す。図10に35tf載荷時のA断面とE断面における各桁のひずみ分布を示す。この図からもわかるようにピーク荷重の約75%の荷重でも、RC接合部をはさんで反力点側の部分では各桁の荷重分担はほぼ等しいことがわかる。この荷重レベルでは既に床版にかなりのひびわれが認められているが、この状態でもRC接合部は荷重分配機能を十分保持していたと考えられる。

破壊に至る供試体の状況は以下の通りであった。30tonf時では接合部付近で軸直角方向にひびわれが多数観察されたが、その位置は接合部上面よりむしろ接合部直前の合成桁床版部で卓越するものであった。しかし、これは終局荷重を支配するものではなく荷重は上昇し続け、その後、G2桁の合成桁拡幅直前の断面で下フランジの局部座屈が生じた(約40tonf)。座屈発生後も荷重は上がり、座屈領域が下フランジからウェブへと広がるなかピーク荷重(46.9tonf)に達した。その後、変位が流れた後、載荷点での床版陥没によって荷重は下がり始めた。なお、接合部コンクリート側面にはせん断による斜めひびわれが片側は38.5tonf時に、もう片側はピーク時に観察されている。

5.2 鋼桁供試体の破壊性状

図11に載荷点のたわみと接合部に作用する曲げモーメントの関係を示す。この図は載荷された中桁G2のたわみが相対的に大きくなり、ある時点で流れ出す様子を示しているものである。また、図12に桁G1、G2、及びG3の各桁位置に配置した鋼棒のひずみと、接合部に作用する曲げモーメントとの関係を示すが、これからも中桁位置の鋼棒の降伏とともに中桁のたわみが大きくなったことが明らかである。さらに、図13にRC接合部上面の端板間の開きを示すが、これより、中桁に配置された鋼棒が降伏して端板間の開きが著しく進み、たわみも増大したことが分かる。また、図14にはスタッドの軸ひずみ分布を示す。図からも破壊直前では端板に溶接したスタッドがある範囲のみにおいてしかアンカー材として十分に機能していないことがわかる。

破壊に至る状況は以下の通りである。6tfでRC接合部上面の中ほどでひびわれを確認した。13tfでRC接合部側面にもひびわれを確認した。その後、載荷により接合部上面に載荷側中桁ウェブの位置を中心とした扇形のひびわれが進展した。中桁位置の鋼棒の降伏と同時に中桁の鉛直変位が増大した。これは、端板間の相対変位が大きくなったために不連続角が大きくなり、結果として、桁の鉛直変位が大きくなったと思われる。

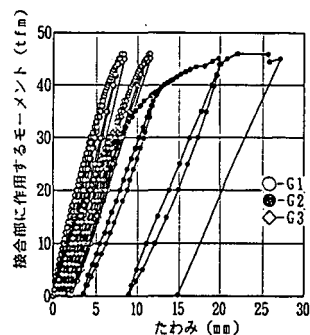


図9 合成桁供試体荷重-たわみ

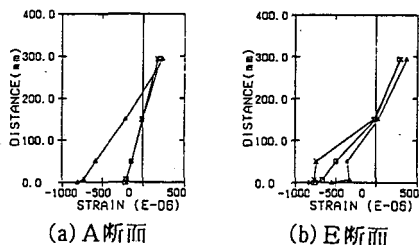


図10 合成桁供試体ひずみ分布(35tf時)

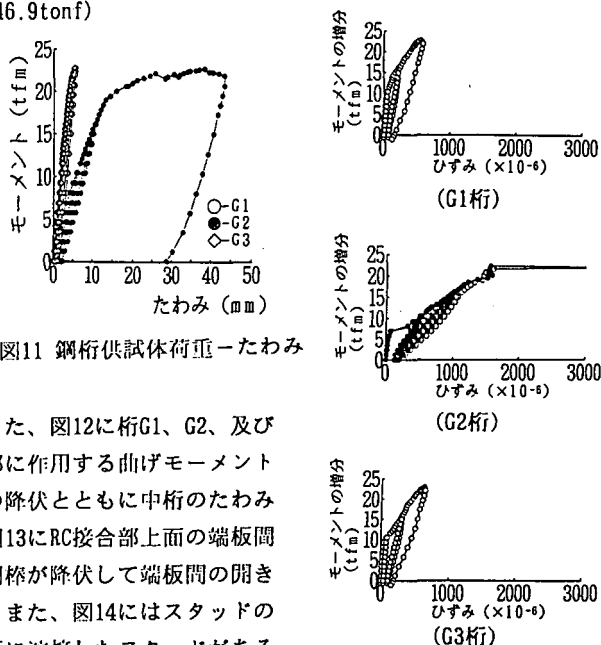


図12 荷重-鋼棒ひずみ関係

6. 接合部の強度と有効幅

合成桁供試体ではRC接合部が桁の強度に比べて十分な強度を有するよう設計で意図しており、結果として想定通りの機能性を接合部で確保することが確認でき、接合部での顕著な破壊を生じることにはなかった。しかし、接合部の破壊性状について検討するための十分なデータを得ることはできなかった。

一方、鋼桁供試体ではRC接合部の耐力や破壊性状の検討が目的であり、実験では想定通り接合部破壊が耐力を支配した。そこで、鋼桁供試体の結果を基にRC接合部の強度評価やそのための有効幅について検討する。

鋼桁供試体に対する破壊実験と同じ载荷形式での弾性実験の結果から、弾性域内での各桁への荷重分配は、载荷点位置からRC接合部までは横梁の効果で約 $G1:G2:G3=1:3:1$ であった。一方、RC接合部から反力点までの間では、RC接合部の端横桁としての荷重分配効果で各桁の荷重分担はほとんど均一であった。仮に载荷点位置からRC接合部までの荷重分配が破壊時まで変わらないとすると、鋼桁供試体のRC接合部が破壊した時の荷重に対する曲げモーメント 23.9tfm中、中桁が分担している荷重は、全荷重の約6割で14.3tfmとなる。これは、同様のRC接合部構造を有し、接合部幅を鋼桁フランジ幅の3倍である45cmとした1本桁供試体に曲げを作用させた場合の破壊モーメントの 15tfmとほぼ等しい。すなわち、RC接合部の破壊荷重は、接合部有効幅をフランジ幅の約3倍とした単桁の接合部強度にほぼ等しい値を示した。このことは、鋼桁供試体の最終破壊状況に対応したものと考えることができる。

7. まとめ

複数主桁供試体を用いた混合型接合部の実験の結果、以下のことが明らかとなった。

- ・混合型接合部を鋼桁連続化の継手部に用いた場合、RC床版の存在の如何に関わらず端横桁として十分な荷重分配性能が期待でき、鋼桁と合成されるRC床版が存在する場合にはさらにそれを助長するものとなる。
- ・弾性範囲での鋼桁応力の伝達については、鋼桁と合成されるRC床版の存在により接合部全幅が有効に伝達に寄与すると考えられるが、床版が無い場合は有効幅を考慮する必要がある。また、床版が無い場合の接合部の終局強度を支配する破壊は局部的に生じ、そのときの強度は有効幅を考慮することで妥当に評価することが可能である。

なお、本研究の一部は平成5年度科学研究費（試験研究(2)代表：福本 晴士）によったものであることを付記する。また、実験に協力していただいた大阪大学卒論生木村文憲君に感謝の意を表すとともに、実験供試体を製作するにあたって、川崎重工業(株)の迫田治行氏に大変お世話になりました。ここに謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 佐藤徹：単純合成桁の連続化における接合部に関する研究 平成4年度大阪大学修士論文
- 2) Ohtani Y., Satoh T., Fukumoto Y., Matsui S., Nanjo A.:"Performance of connection in continuous system of simple composite girders," Proc. of the 4th ASCCS International Conference, Bratislava, Slovakia, pp. 438-441, 1994.
- 3) 一色和也：RC接合部を有する端板式鋼桁継手部の機能性に関する研究 平成6年度大阪大学修士論文

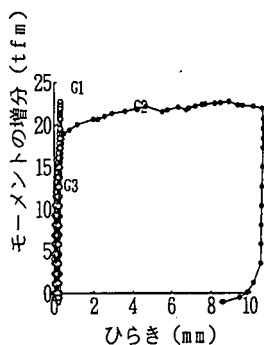


図13 接合部作用モノター開き関係

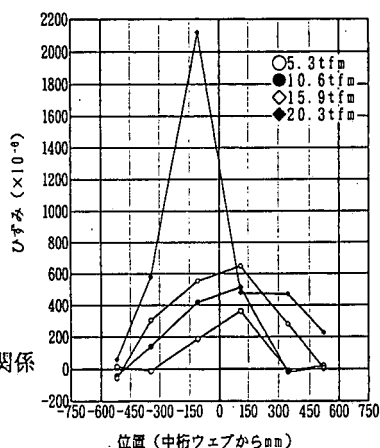


図14 スタッドの軸ひずみ分布