報告　鋳鉄製接合具で接合したプレキャストRCはりの曲げ・せん断性状

森田　俊哉[*1]・萩原　淳弘[*2]・飯塚　豊[*3]・辻　幸和[*4]

要旨：大型のボックスカルバートやL形擁壁などの工場製品に実用されている鋳鉄製カップラー継手よりもさらに施工の簡略化とコストの低減を図ることを主目的に開発した鋳鉄製接合具を用いて，接合したRCはりの曲げ性状およびせん断性状を実験的に比較検討した。その結果，一体型のはりと比較した場合における，分割型のプレキャストRC部材を鋳鉄製接合具で接合したはりは，接合面に最初のひび割れが一体型の70～80%の荷重で生じ，その接合面の開きも2～4倍と大きくなるものの，曲げ引張破壊荷重は同等であること，後期荷重段階の曲げ剛性は大きいこと，せん断スパンに接合面を設けても，せん断ピンの効果により，せん断ずれは土木学会式によるせん断耐力の2/3の荷重が作用しても生じないことが認められた。

キーワード：接合具，接合，プレキャスト部材，RCはり，曲げ性状，せん断性状

1. はじめに

プレキャストRC部材の接合具として，これまで鋳鉄製カップラー継手が考案され，大型のボックスカルバートやL形擁壁などの工場製品に実用されている。しかしながら，現場打ちのこの種の大型コンクリート構造物と同様に採用されるためには，更なる施工の簡略化とコストの低減化が求められている。

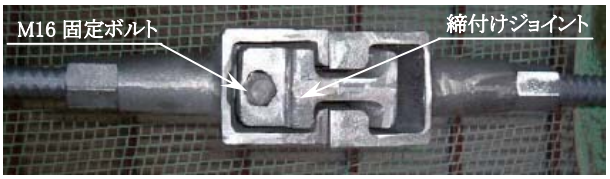
本研究では，接合作業の容易性とコストの低減を主目的に開発した鋳鉄製接合具を用いて接合したRCはり供試体を作製し，その曲げ載荷実験を行った結果を報告する。そして，一体型のRCはり供試体と比較した場合の，分割型のRCはり供試体の曲げひび割れ性状，曲げ耐力およびせん断性状の特徴を述べる。

2. 実験概要

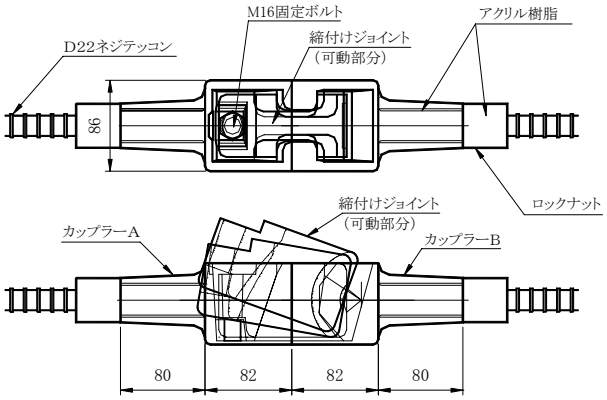
2.1 接合具の概要と形状寸法

接合具の概要と形状寸法を，**写真－1**および**図－1**に示す。従来のねじ式の鋳鉄製カップラー継手の接合具[1)]に対して，締付けジョイントの可動部分を押し込み，固定ボルトで固定する簡易な操作で接合できる。カップラーと可動部分との間隙は，接合部の切欠き部をセメント系の充填材で充填する際，同時に充填される。アンカー鉄筋としては呼び名がD22の異形鉄筋を用い，ねじを設けて，カップラーのロックナット部とアクリル樹脂接着剤により結合した。このように，施工の簡略化と低コスト化を図った鋳鉄製の接合具を開発した。

本研究で用いた接合具は，1組でD13の軸方向鉄筋の3本分を分担するもので，引張耐力がD22の異形鉄筋と同じ性能を有するものである。なお，D22のアンカー鉄筋の長さは770mmである。



写真－1　接合具の概要



図－1　接合具の形状寸法(mm)

表－1　供試体の種類

供試体	接合面位置	ひび割れ誘発目地	アンカー鉄筋比(%)
No.1	純曲げ区間	無し	0.57
No.2	曲げせん断区間		
No.3	純曲げ区間	有り	
No.4	曲げせん断区間		
No.5	一体型	-	(0.51)

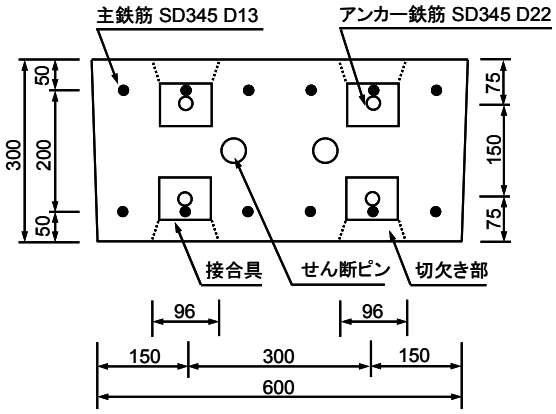
2.2 供試体の形状寸法および実験内容

はり供試体の一覧を**表－1**に示す。接合面を純曲げ区間と曲げせん断区間に配置した供試体を，それぞれ2体

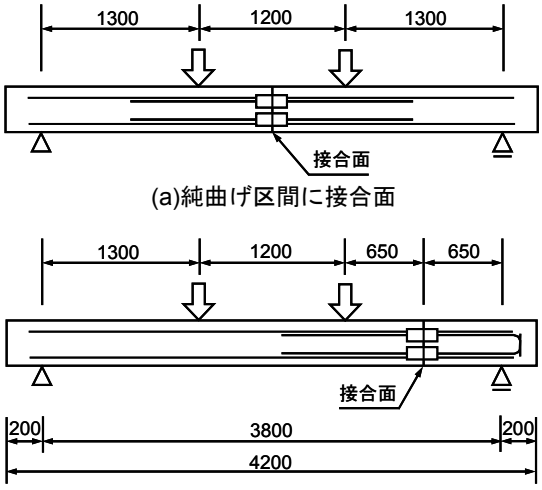
*1 カイエー共和コンクリート（株）　営業部長　(正会員)
*2 群馬大学大学院　工学研究科建設工学専攻　(正会員)
*3 カイエー共和コンクリート（株）　技術部次長　(正会員)
*4 群馬大学大学院　工学研究科社会環境デザイン工学専攻教授　工学博士　(正会員)

ずつ作製した。そして，ひび割れの分散を目的とした誘発目地を要因に採った。また比較のため，接合面の無い一体型も 1 体作製し，合計 5 体を実験に用いた。なお，コンクリートの設計基準強度は，工場製品で一般的な 30N/mm^2 とした。

供試体断面は，**図－2** に示すように，幅が 60cm(脱型を容易にするため，下面を 60cm，上面を 62cm とした)，高さが 30cm とした。接合具は，引張側と圧縮側に，2 組ずつ同じものを 30cm の間隔をあけて，上面と下面よりアンカー鉄筋までが 7.5cm の位置になるように配置した。主鉄筋は引張側，圧縮側とも D13 を 6 本，上面と下面から 5.0cm の位置に配置した。接合面は，直径が 4cm で高さが 5cm の鋳鉄製のせん断ピンを 2 箇所埋め込み，接合する際には 1 液性エポキシ樹脂接着剤を全断面に塗布して接着した。



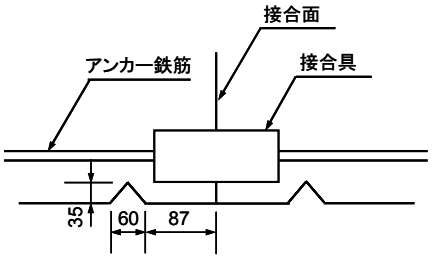
図－2　供試体の断面寸法(mm)



(a)純曲げ区間に接合面

(b)曲げせん断区間に接合面

図－3　供試体の形状寸法および載荷方法(mm)



図－4　ひび割れ誘発目地の形状寸法(mm)

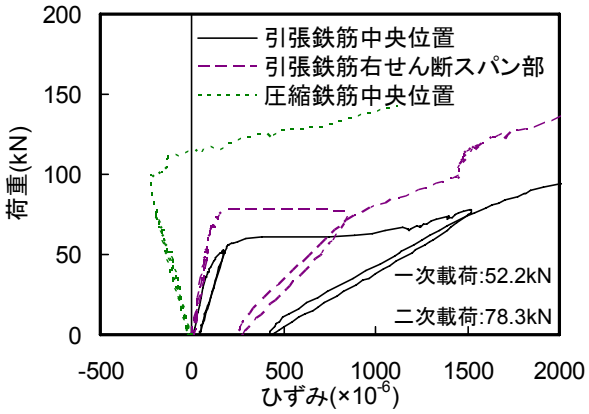
図－3 に示すように，接合したはり供試体の長さは 4.2m で，接合面を曲げモーメント一定区間のはり中央位置あるいはせん断スパンの中央位置に設けた。**図－4** には，ひび割れ誘発目地の形状寸法を示す。

載荷試験は，スパンが 3.8m で，曲げモーメント一定区間が 1.2m で，せん断スパンが 1.3m である 2 点集中載荷とした。コンクリートの引張力を無視した完全弾性計算値で引張鉄筋の応力度が 200N/mm^2 となるまで一次載荷を行い，除荷した。その後，引張鉄筋の応力度が 300N/mm^2 となるまで二次載荷を行い，除荷した後に，はり供試体が破壊に至るまで載荷した。なお，一次載荷重および二次載荷重は，それぞれ 52.2kN および 78.3kN であった。

引張鉄筋位置のはり側面に，ゲージ長が 10cm の π 型変位計を設置し，接合面の開きと曲げひび割れ幅を測定した。また，ゲージ長が 6mm のワイヤストレインゲージにより鉄筋のひずみを，精度が 1/100mm の変位計によりはり中央部のたわみおよび接合面でのせん断ずれを測定した。そして，曲げひび割れの発達状況も，目視で観察した。

3. 引張鉄筋とアンカー鉄筋のひずみ

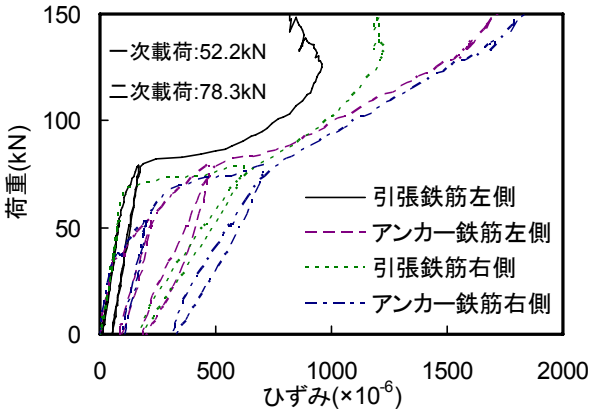
一体型の No.5 供試体の中央位置および右せん断スパン部(中央から右方向に 932mm の位置)における主鉄筋のひずみと荷重の関係を**図－5** に示す。一次載荷時においては，曲げひび割れが鉄筋に貼付したワイヤストレインゲージに達しておらず，全断面が有効と仮定した引張ひずみの性状を示す。除荷後に再載荷をして，一次載荷荷重を少し過ぎるとひび割れがワイヤストレインゲージに達したため，引張ひずみの増加が顕著となった。そして，二次載荷時においては，コンクリートの引張力を無視した計算値の 1500×10^{-6} にほぼ達した。その後除荷を



図－5　主鉄筋のひずみと荷重の関係(No.5 一体型)

して，荷重を 0 に戻した時点の残留ひずみは 400×10^{-6} 程度生じている。再々載荷を行って，100kN の荷重で引張鉄筋は降伏した。その後，中立軸がはり上縁側に急激に移行し，これまで圧縮力を負担していたはり上縁側の鉄筋も引張力を分担して，曲げ引張破壊時には，約 1000×10^{-6} の引張ひずみに達した。

接合面をはり中央位置に配置し，ひび割れ誘発目地の無い No.1 供試体の，接合面から左右に 272mm の位置における引張鉄筋およびアンカー鉄筋のひずみと荷重の関係を，**図－6** に示す。引張鉄筋とアンカー鉄筋は荷重の増加とともに，引張ひずみが増加するものの，引張鉄筋は接合面において切断しているため，値そのものがアンカー鉄筋に比べて小さい。そして，**図－5** に示した一体型のはりの引張鉄筋が降伏した荷重を超える荷重段階においては，引張ひずみは減少する傾向を示した。このような引張鉄筋とアンカー鉄筋の引張力の分担を，接合面からの距離を横軸にとって示したものが，**図－7** である。接合面から離れると，アンカー鉄筋の分担力は小さくなり，その傾向は二次載荷時に顕著である。引張鉄筋は，一次載荷時には接合面からの距離にかかわらずほぼ一定の分担力になり，二次載荷荷重まで荷重が増加すると，引張分担力が大きくなる位置が接合面から離れたところに移行することが認められる。



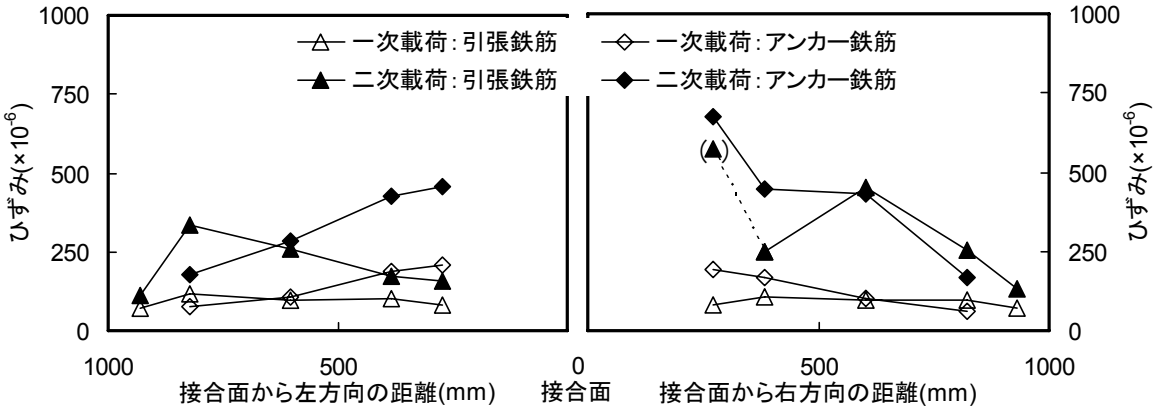
図－6　鉄筋のひずみと荷重の関係
(No.1 中央位置に接合面を配置，誘発目地無し)

4. 曲げひび割れの発生

表－2 には，ひび割れ発生時の荷重と位置，π 型変位計で測定した一次載荷時と二次載荷時における最大ひび割れ幅および破壊(最大)荷重を示す。そして，これらの指標を一体型はりの No.5 供試体の値で除して，比で示したものが，**図－8** である。

中央位置に接合面を配置したはりの曲げひび割れ発生は，ひび割れ誘発目地の有無に関わらず，まず接合面が開くことにより生じ，その荷重は一体型のはりの 70～80%であった。せん断スパン中央位置に接合面を配置したはりの最初のひび割れは，一体型と同様に，曲げモーメント一定区間あるいはその近傍の載荷点下において生じた。そして，その荷重は一体型のはりの 90%あるいは 110%となったが，これらの比率はひび割れ発生の判定におけるばらつきと考えられるものである。

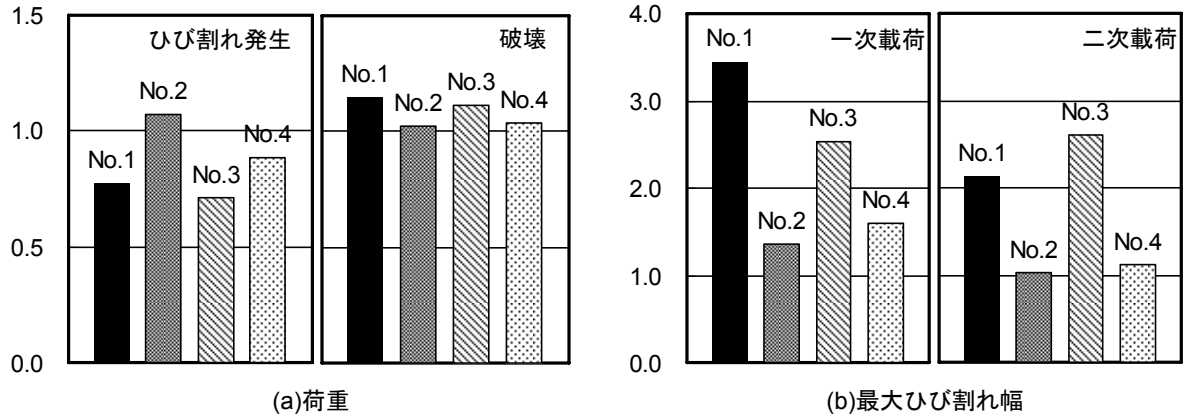
はり中央位置に接合面を有し，**図－4** に示した形状寸法のひび割れ誘発目地を設けた No.3 供試体でも，一次載



図－7　引張鉄筋とアンカー鉄筋の引張力の分担(No.1 中央位置に接合面を配置，誘発目地無し)

表－2　曲げひび割れ発生荷重と位置，ひび割れ幅および破壊(最大)荷重

供試体	接合面位置	ひび割れ誘発目地	最初のひび割れ発生位置	荷重(kN)		最大ひび割れ幅(mm)	
				ひび割れ発生	破壊	一次載荷	二次載荷
No.1	純曲げ区間	無し	接合面	35.5	163.7	0.284	0.579
No.2	曲げせん断区間		載荷点下	49.0	145.5	0.112	0.281
No.3	純曲げ区間	有り	接合面	32.7	158.6	0.208	0.709
No.4	曲げせん断区間		等曲げ区間	40.6	147.4	0.132	0.303
No.5	一体型	-	等曲げ区間	45.7	142.3	0.082	0.272



(a)荷重　　(b)最大ひび割れ幅

図－8　曲げひび割れ発生，破壊(最大)荷重および一次，二次載荷時の最大曲げひび割れ幅の一体型に対する比

(a) No.1 曲げモーメント一定区間近傍

(b) No.2 せん断スパン

(c) No.3 曲げモーメント一定区間近傍

(d) No.4 せん断スパン

写真－2　接合面を設けたはりの接合面近傍の曲げひび割れの状況

荷時において最初の曲げひび割れは接合面に発生した。**写真－2** で鉛直方向に濃くなっている箇所が，接合面である。その後，一次載荷の最大荷重より少し小さい荷重で，**写真－2(c)**に示すように，接合面近傍のひび割れ誘発目地の鋭角部からひび割れが発生した。

5. 曲げひび割れ幅および接合面の開き

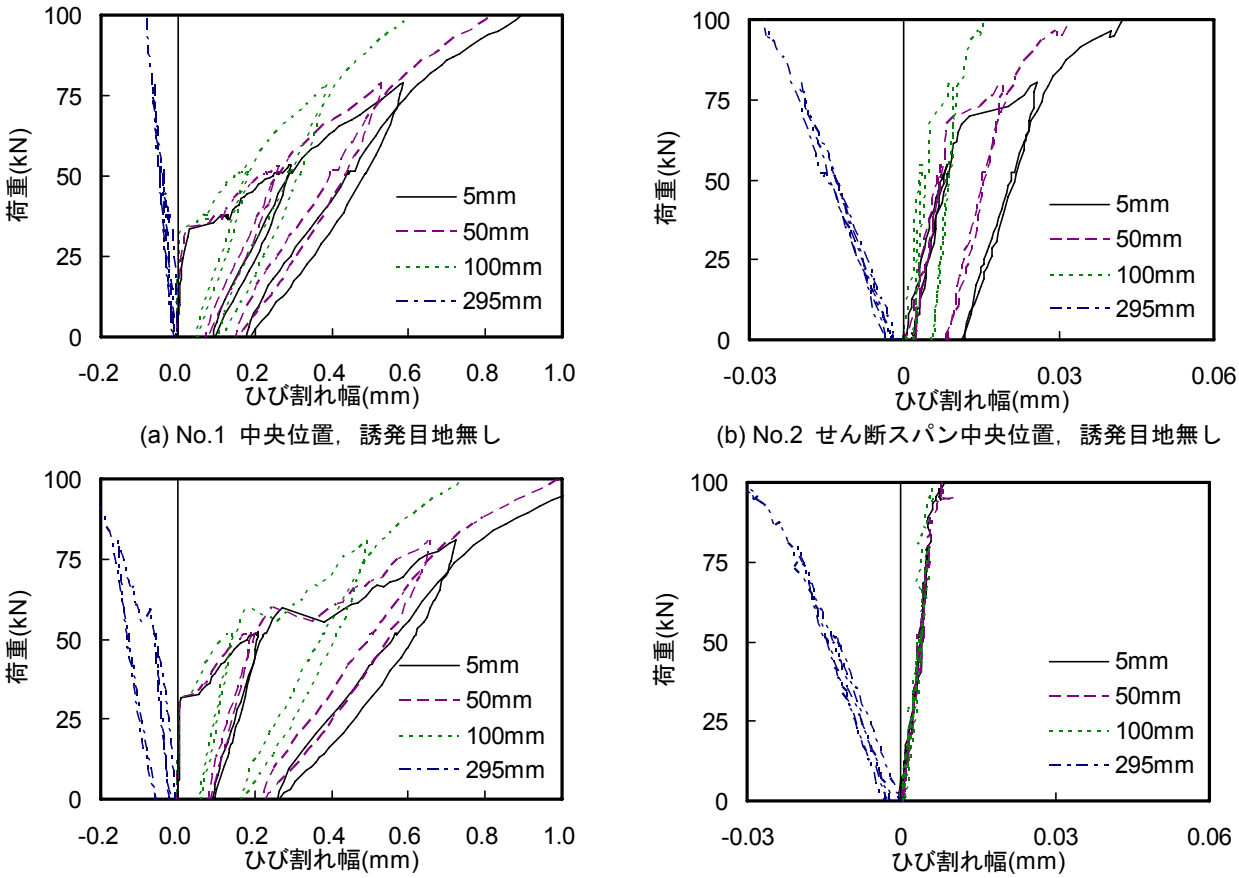
一次載荷時と二次載荷時における最大曲げひび割れ幅についても，**表－2** に示している。はり中央位置に接合面を配置した No.1 と No.3 供試体では，接合面の開きが顕著であった。また，せん断スパンの中央位置に接合面を配置した No.2 と No.4 供試体においては，一体型のはりと同様に，曲げモーメント一定区間および載荷点下における曲げひび割れが最大の幅を示している。

一次載荷の最大荷重時においては，No.1 と No.3 供試体では，接合面の開きを曲げひび割れ幅とみなした値が 0.21mm と 0.28mm である。その一方で一体型では，ひび割れ幅は 0.08mm で，せん断スパン中央位置に接合面を配置した No.2，No. 4 供試体のそれぞれは 0.11mm，0.13mm に収まっており，これらのはりに比べて中央位置に接合面がある供試体は 2～4 倍の大きな開きを示している。二次載荷の最大荷重時においても，はり中央位置に接合面を有するはりの接合面の開きは，0.58mm，0.71mm へと増加している。しかしながら，一体型のはりの曲げひび割れ幅も 0.27mm まで増加しており，両者の比は 2～3 倍に減少している。

はりの下面から 5，50，100，295mm の高さ方向に配置した π 型変位計による接合面の開きをひび割れ幅と称して，ひび割れ幅と荷重との関係を**図－9** に示す。**図－9** 中には，原点より左側をひび割れ幅の負値で示しているが，π 型変位計の負値をひび割れ幅との対比を明瞭にするため，そのまま表示している。この値を π 型変位計の 10cm のゲージ長で除した値は，この点の圧縮ひずみを表すものである。

ひび割れ幅も，荷重との対応は引張鉄筋あるいはアンカー鉄筋のひずみと同様の傾向を示している。そして，はり下面から離れるほどひび割れ幅は小さくなり，295mm の位置では負値の圧縮ひずみを生じている。

中央位置に接合面を配置した No.1 と No.3 供試体を比較すると，一次載荷時において，若干ではあるがひび割



(a) No.1 中央位置，誘発目地無し

(b) No.2 せん断スパン中央位置，誘発目地無し

(c) No.3 中央位置，誘発目地有り

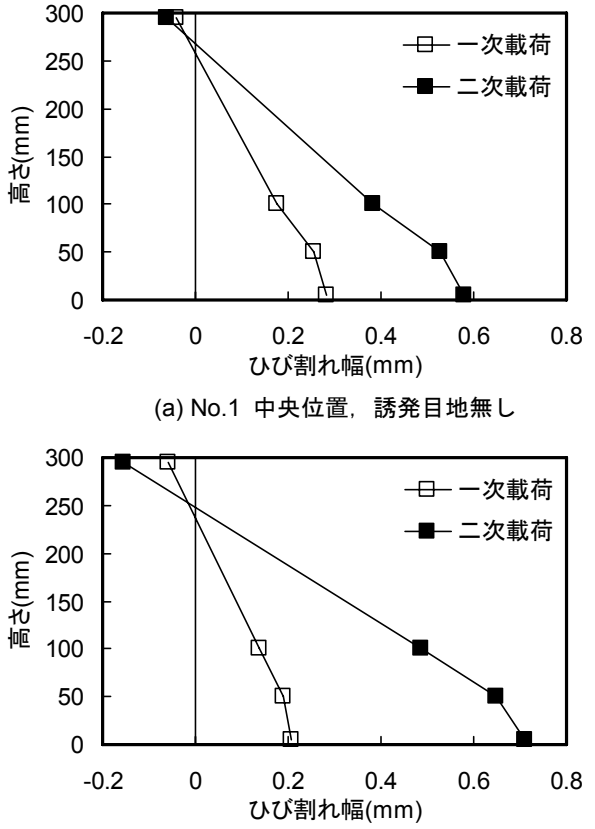
(d) No.4 せん断スパン中央位置，誘発目地有り

図－9　接合面のひび割れ幅と荷重の関係

れ誘発目地を設けたことによる接合面の開き幅の低減が認められる。しかしながら，その後の誘発目地のひび割れの発達は遅く，むしろ接合面の開きの方が顕著であった。せん断スパンの中央位置に接合面を配置した No.2 と No.4 供試体を比較すると，図－9(b)，図－9(d)に示したように，接合面の開きはいずれも目視では確認することができない程度の小さいオーダーではあるが，誘発目地を設けた No.4 供試体の方が小さく，その効果が現れていると推測できる。このひび割れ幅が高さ方向にどのように分布するかを示したものが，図－10 である。中央位置に接合面を設けた No.1，No.3 供試体では，いずれもほぼ直線的な分布を示している。しかしながら，ひび割れ誘発目地を設けた No.3 供試体では，一次載荷において，目地の効果により，接合面の開きがはり下面近傍において No.1 供試体より小さいことがわかる。

6. たわみおよびせん断ずれ

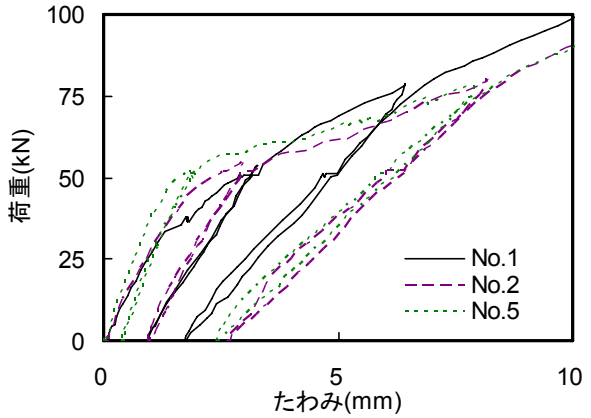
はり供試体の中央部のたわみと荷重の関係を図－11 に示す。初期荷重段階においては，一体型の No.5 供試体が最も剛性が大きく，はり中央位置に接合面を配置した No.1 供試体の剛性は少し小さいことが確認できる。これは，曲げひび割れの挙動と同様に，接合部に応力が集中したことで変形が大きくなったことを示す。



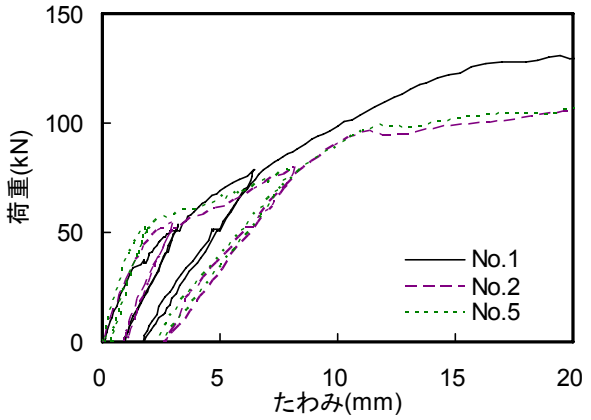
(a) No.1 中央位置，誘発目地無し

(b) No.3 中央位置，誘発目地有り

図－10　接合面のひび割れ幅の高さ方向への分布



(a)初期荷重段階におけるたわみ



(b)後期荷重段階におけるたわみ

図－11　はり中央部のたわみと荷重の関係

荷重段階が大きくなると，せん断スパン中央位置に接合面を設けた No.2 供試体と比較して，No.1 供試体のたわみは小さくなった。これは，接合具のアンカー鉄筋により，曲げモーメント一定区間内の鉄筋量が大きくなったことの影響が強く出てきたことが原因であると考えられる。引張鉄筋は切断されてはいるが，アンカー鉄筋が引張鉄筋と重なるように配置されているためである。また，No.2 供試体と一体型の No.5 供試体は，曲げモーメント一定区間の配筋が同じであるため，両者はほぼ同様の挙動を示した。

なお，No.2 と No.4 供試体の接合部におけるせん断ずれは，破壊時に至るまで認められなかった。これは接合具とせん断ピンの複合的な効果によると考えられる。本研究で用いたはりのせん断耐力は，土木学会式 [2]によれば 105.1kN と算定される。最終的にその 2/3 程度のせん断力が作用するまで載荷したが，せん断スパンに接合面を設けても，せん断ピンなどを配置することによりずれが生じず，十分な接合耐力を発揮した。

7. 破壊性状

一体型のはりは，前述したように，引張鉄筋が降伏した後に中立軸が上昇して，最終的にはコンクリートの圧縮縁が圧壊する曲げ引張破壊を生じた。はり中央位置に接合面を有するはりも，アンカー鉄筋が降伏点に達した後に接合面の圧縮縁が圧壊する曲げ引張破壊に分類される。ただし，接合面の開きが大きいため，**写真－2(a)**，**写真－2(c)**に示したように，圧縮鉄筋の位置にアンカー鉄筋の降伏時において接合面から水平に生じるひび割れが顕著であった。

はり中央位置に接合面を配置した No.1, No.3 供試体では，破壊荷重は，一体型のはりよりも 10%高い値を示した。一体型の No.5 供試体と比較してたわみが小さくなったことからも，アンカー鉄筋量が主鉄筋量より鉄筋比で 0.06%大きくなっている影響によるものと考えられる。

せん断スパン中央位置に接合面を配置したはりでは，接合面の開きは微小であり，曲げモーメント一定区間のひび割れが卓越し，引張鉄筋がまず降伏した。そのときの荷重は，**表－2** に示したように，一体型のはりとほぼ等しい値であった。

8. まとめ

接合作業が容易でコストの低減が図れる鋳鉄製の接合具を用いて接合した RC はりの曲げひび割れ，曲げ耐力およびせん断耐力を実験的に検討した結果を報告した。本研究の範囲内で，接合した RC はりの曲げ・せん断性状の特徴として次のことが言える。

(1)曲げモーメントが卓越する部分に接合面を設けると，ひび割れは接合面に最初に発生し，その荷重は一体型のはりの 70～80%と小さかった。

(2)曲げモーメントが卓越する部分では，曲げひび割れの発達は接合面の開きとして生じ，その開き幅は一体型の曲げひび割れ幅に比べて大きく，引張鉄筋応力度の計算値が 200N/mm^2 の荷重段階で 2～4 倍であった。応力度が増加して 300N/mm^2 の荷重段階では 2～3 倍と少し小さくなった。

(3)接合具による荷重の分担移動は，主引張鉄筋と接合具のアンカー鉄筋のひずみの測定結果より，スムーズに行われることが推測された。

(4)初期荷重段階においては剛性が小さいが，荷重段階が大きくなると，一体型と比較してたわみは小さくなる。

(5)曲げ引張破壊時における荷重は，一体型のはりと同等以上であった。

参考文献

1) 栖原健太郎ほか：鋳鉄製カップラーで接合した RC はりの力学的性状，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20，No.3，pp.637-642，1998

2) 土木学会：コンクリート標準示方書［構造性能照査編］，2002