

論文 鋳鉄製カップラー接合具とエポキシ樹脂接着剤で接合した RC はりの力学的性状

栖原健太郎*1・森田俊哉*2・辻幸和*3

要旨: 鋳鉄製カップラー接合具により接合した RC はりは、接合面の開きを抑えることで、一体化の向上を図ることができる。接合面の開きに対処するため、エポキシ樹脂接着剤を接合面に塗布し、その接合効果を静的載荷試験および低サイクルによる繰返し載荷試験を行って実験的に検討した。

鋳鉄製カップラー接合具を用いて接合した RC はりは、接合面の開きを防止して曲げひび割れ幅として RC はりの他の部分に分散させることで、接合部を持たない一体型の RC はりと同等の力学的性状を有することが明らかとなった。

キーワード: 鋳鉄製カップラー接合具, 接合部, 接合面の開き, アンカー筋の端部, 靱性

1. はじめに

鋳鉄製カップラー接合具（以後、接合具と称す）は、カップラーとアンカー筋とを組み合わせ、2体のプレキャスト RC 部材の一体化を可能とする接合具である。接合の模式図を図-1に示す。鋳鉄製カップラーの雄ネジ部および雌ネジ部を、接合する RC 部材に予め埋め込んだアンカー筋に通し、ズレ止め用のナットで固定する。その後、両カップラーを締め付けることで、2体のプレキャスト RC 部材の接合を行うものである。

既往の実験結果¹⁾²⁾より、接合具のアンカー筋の端部に大きな曲げひび割れが生じること、水密性や美観等の観点から接合面の開きに対処する工夫が必要であることなどが指摘された。

本文では、接合面の開きに対処するためエポキシ樹脂接着剤を接合面に塗布した後に、接合具により接合した RC はりに対して、静的載荷試験および疲労載荷試験を行った。その接合効果について実験的に検討した結果を報告する。

静的載荷試験は、接合具のアンカー筋の端部に生じる曲げひび割れの及ぼす影響を検討する

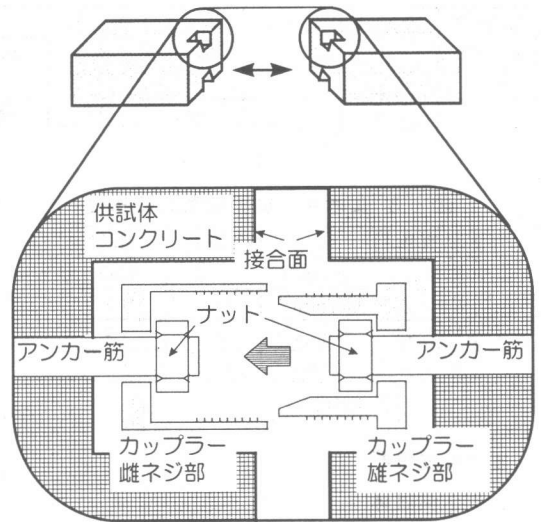


図-1 接合模式図

ため、等曲げモーメント区間を3種類に変化させた。また、疲労載荷試験は、地震等の災害に対する疲労性状について検討するため、低サイクルによる繰返し載荷試験を採用した。

*1 電気化学工業(株) 青海工場 (正会員)

*2 (株)カイエテクノ開発部 (正会員)

*3 群馬大学教授 工学部建設工学科, 工博 (正会員)

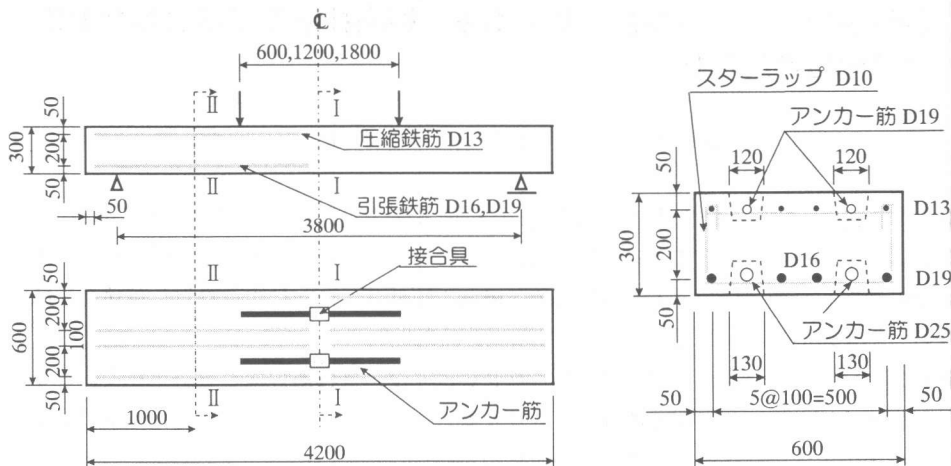


図-2 供試体の形状寸法および載荷方法

表-1 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)						材齢 28 日 圧縮強度 (N/mm ²)
					水	セメント	細骨材	粗骨材	減水剤	AE 助剤	
20	15.0	4.5	48	44	168	350	775	1023	2.45	3.9	36.3

表-3 エポキシ樹脂接着剤の物性

品質項目	1液性	2液性
密度 (g/cm ³)	1.33	1.63
引張強さ (N/mm ²)	16.4	0.7
接着強さ (N/mm ²)	9.2	3.9
圧縮強さ (N/mm ²)	112	—

2. 実験概要

2.1 供試体

載荷試験に用いたRCはり供試体の形状寸法は、断面が600×300mmの矩形断面で、接合後には、長さが4200mmのほりになるようにした。圧縮鉄筋にはD13を4本、引張鉄筋には供試体の側面側にD19を1本ずつの合計2本、内側にD16を2本とした。供試体の形状寸法を図-2に示す。また、コンクリートの配合および鉄筋等の力学的性質をそれぞれ表-1および表-2に示す。

供試体は、接合部を持たない一体型、等曲げモーメント区間の中央であるI断面に接合部を持つ分割型I、せん断スパン内のII断面に接合

表-2 鉄筋の力学的性質

	呼び名	降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
引張鉄筋	D19	362	518
	D16	372	535
圧縮鉄筋	D13	354	500
	配力鉄筋	D10	363
スターラップ	D13	353	500
	D10	363	505
アンカー筋	D25	361	518
	D19	363	523

部を持つ分割型IIの3種類とした。

接合面には、接合面の開きの抑制を目的として表-3に示すエポキシ樹脂接着剤を塗布した。接着剤には、施工の省力化が期待できる1液性のエポキシ樹脂接着剤³⁾と、比較のため伸び能力の大きい従来の2液混合型のエポキシ樹脂接着剤の2種類を使用した。また、接合面に作用するせん断力を分担させることを目的として、幅が10mm、高さが40mmのせん断キーを設置した。

接合具のカップラーは、主鉄筋2本分に作用

する断面力を1つのカップラーで担うものとして、圧縮側には保証引張耐力が167kN級のものを、引張側には265kN級のものをそれぞれ2ヶ所づつ配置した。いずれのカップラーも、アンカー筋の引張耐力以上の耐力を有している。

接合具のアンカー筋は、引張鉄筋の断面積と同等以上となるようにし、引張側にはD25を、圧縮側にはD19を使用し、定着長はアンカー筋の公称直径の3.5倍とした。

接合後、圧縮側および引張側のカップラーをそれぞれ147, 196N・mのトルクで締め付けた。また、カップラー内の空隙および接合具と供試体との間の切欠き部には、無収縮性のグラウトを充填した。載荷試験時のグラウトの圧縮強度は50~52 N/mm²であった⁴⁾。

2.2 静的載荷試験

静的載荷試験は、等曲げモーメント区間を持つ2点載荷とした。供試体の種別を表-4に示す。

等曲げモーメント区間は、接合具のアンカー筋を覆うようなLサイズ、アンカー筋の端部を等曲げモーメント区間の外に出すようなSサイズ、その中間のMサイズの3種類とした。

載荷は、一次載荷と二次載荷の2段階に分けて行った。一次載荷は、供試体の引張鉄筋に作用する引張応力度が200N/mm²に達するまでとした。除荷後、供試体を破壊まで導く二次載荷を行った。なお、接合部を有する分割型Iおよび分割型IIの各供試体の一次載荷は、一体型J0の一次載荷の荷重上限値までとした。

2.3 低サイクルによる繰返し載荷試験

低サイクルによる繰返し載荷試験は、等曲げモーメント区間を1200mm、せん断スパンを1300mmの2点載荷とし、J0, J1-1-M, J1-2-Mの3体の供試体を対象とした。

繰返し荷重は、接合部を持たない一体型のRCはりの引張鉄筋降伏時の供試体中央部のたわみを基準とし、変位制御で与えた。その時のたわみを降伏変位 1δ とした。各供試体の供試体中央部のたわみが 1δ となるまで荷重を与え、

表-4 供試体の種別

供試体名称	接合部	接着剤	等曲げモーメント区間
J0	一体型	—	1200mm
J1-1-L	I 断面 (分割型 I)	1 液性	1800mm
J1-2-L		2 液性	
J1-1-M		1 液性	1200mm
J1-2-M		2 液性	
J1-1-S		1 液性	600mm
J1-2-S		2 液性	
J2-1-L	II 断面 (分割型 II)	1 液性	1800mm
J2-2-L		2 液性	
J2-1-M		1 液性	1200mm
J2-2-M		2 液性	
J2-1-S		1 液性	600mm
J2-2-S		2 液性	

破壊モーメント (kN・m)

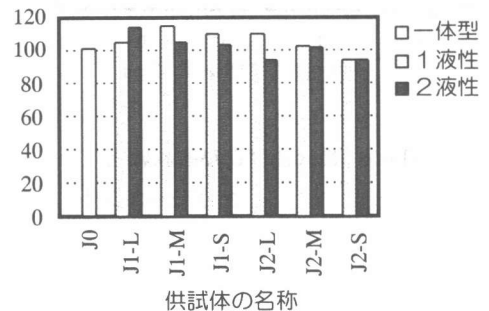


図-3 破壊時の曲げモーメント

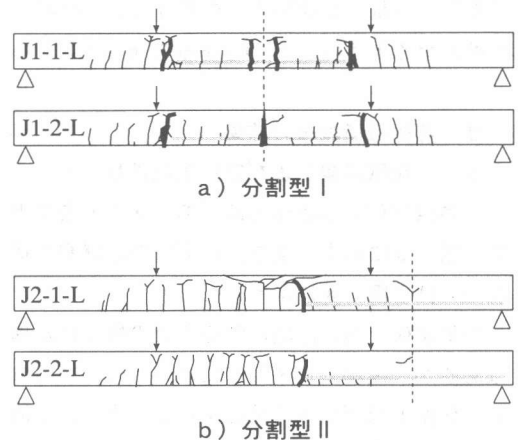


図-4 静的載荷におけるひび割れ状況

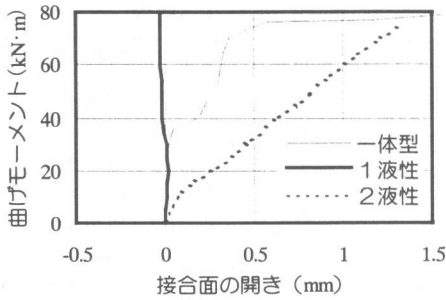


図-5 接合面の開きと曲げモーメント

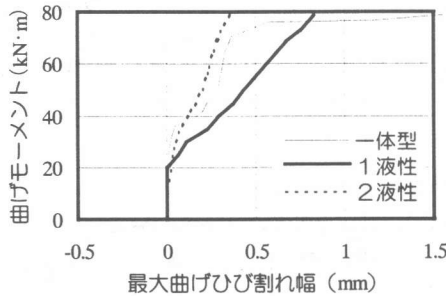
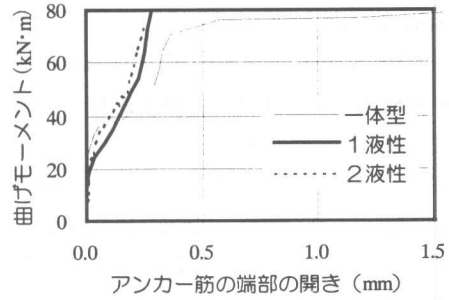
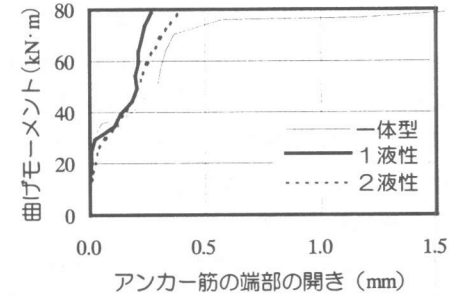


図-6 最大曲げひび割れ幅と曲げモーメント



a) 分割型 I



b) 分割型 II

図-7 アンカー筋の端部の開きと曲げモーメント

その後、一旦除荷する。この操作を3度繰り返して1サイクルとした。2サイクル目は、供試体中央部のたわみを 2δ として同様の操作を繰り返す、供試体が破壊するまで行った。なお、基準となる 1δ は、約14.22mmであった。

3. 静的載荷試験の結果

3.1 試験結果およびひび割れ性状

各供試体の破壊時の曲げモーメントをまとめて図-3に示す。また、破壊時のひび割れ状況の一例を図-4に示す。

各供試体ともに破壊に至るまでの性状に差異はあるが、破壊モーメントについては、いづれも一体型とほぼ同等の値を示した。また、1液性の接着剤を塗布した供試体の破壊モーメントは、2液性のものより、若干大きな値を示す傾向にあった。

等曲げモーメント区間の中央に接合部を持つ分割型Iにおいて、1液性の接着剤を接合面に塗布した供試体は、接合面を挟んで両側と、接合具のアンカー筋の端部に大きな曲げひび割れが認められた。一方、2液性の接着剤を塗布した供試体は、接合具のアンカー筋の端部の開きは大きなものとなったが、接合面が大きく開いたため、等曲げモーメント区間内には大きな曲げひび割れが発生しなかった。接合面が開いたことによる曲率の接合面への集中が主原因と思われる。

せん断スパン内に接合部を持つ分割型IIは、アンカー筋の端部から外れたところでは、ほぼ等間隔に曲げひび割れが生じた。特に引張応力の集中するアンカー筋の端部には、大きな曲げひび割れが生じた。一方、アンカー筋の存在するところでは、供試体の上面まで曲げひび割れ

表-5 低サイクル疲労載荷試験の結果

供試体名称	曲げひび割れ発生荷重 (kN)	1 δ 時の荷重 (kN)	最大荷重 (kN)	破壊荷重 (kN)
J0	48.5 (1 δ)	112.9	163.7 (7 δ 以上)	163.7 (7 δ 以上)
J1-1-M	68.6 (1 δ)	127.8	187.5 (5 δ)	177.3 (7 δ 以上)
J1-2-M	56.8 (1 δ)	130.2	179.1 (5 δ)	173.5 (7 δ 以上)

は進展しておらず、細かい曲げひび割れが目立った。

3.2 接合面の開き

等曲げモーメント区間の中央に接合部を持つ分割型 I の接合面の開きと曲げモーメントとの関係を図-5 に示す。

図-5 より、2 液性の接着剤を塗布した供試体の接合面の開きは、一体型の RC はりに生じた最大曲げひび割れ幅よりも大きな開きを示した。一方、1 液性の接着剤を塗布した供試体では、接合面がほとんど開いていない。

図-6 には、RC はりに生じた最大曲げひび割れ幅と曲げモーメントとの関係を示す。最大曲げひび割れ幅は、接合面の開きとは逆に、2 液性の供試体は小さな値を示したのに対し、1 液性では一体型のものに近い値を示した。

図-5 および図-6 より、接合面の開きを防止して、これを RC はりの曲げひび割れとして分散させることで、接合面の開きを含めた曲げひび割れ幅を抑制することが可能である。

3.3 アンカー筋の端部の開き

鋳鉄製カップラー接合具により接合した RC はりは、接合具のアンカー筋の端部に引張応力が集中し、大きな曲げひび割れを生じさせる。アンカー筋の端部に生じた曲げひび割れ幅と曲げモーメントとの関係を図-7 に示す。

分割型 I および分割型 II のアンカー筋の端部の開きは、接着剤の種類によらず、いずれも一体型の最大曲げひび割れ幅よりも小さな値を示した。このことより、アンカー筋の端部の存在は、曲げひび割れ幅としての欠点にはならないと思われる。

4. 疲労性状

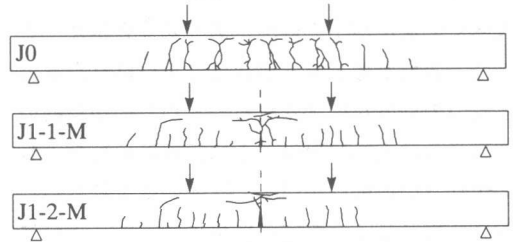


図-8 繰返し載荷におけるひび割れ状況

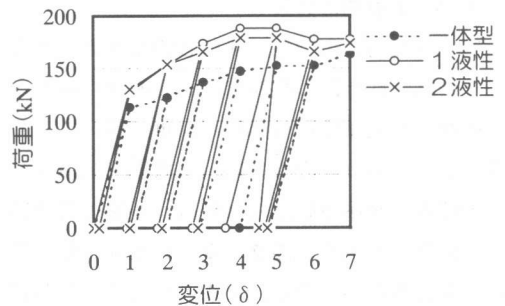


図-9 変位・荷重曲線

4.1 破壊に至るまでの曲げ性状

各供試体の曲げひび割れ発生荷重、破壊荷重等をまとめて表-5 に示す。曲げひび割れ発生荷重は、接合面の開きではなく、RC はりに生じた最初の曲げひび割れの発生荷重である。なお、各ひび割れ発生荷重は、目視によりひび割れを確認したときの荷重である。また、ひび割れ状況を図-8 に、変位・荷重曲線を図-9 に示す。

接合部を持つ供試体は、接着剤の種類によらず、同一変位時における一体型 J0 に作用した荷重より大きな荷重を示した。すなわち、接合具で接合した RC はりは、一体型の RC はりに作用する外力より、さらに大きな外力を加えなけ

れば大きな変形はしない。しかし、 $4 \sim 5 \delta$ 以上の変位を与えた場合、接合部を持つ供試体は、変位の増加に応じてわずかな荷重の低下が見られる。

接合具により接合したRCはりには、接合部を持たない一体型のRCはりに比べ、曲げ剛性が大きくて変位が小さいが、ある変位を超えてさらに大きな変形をする場合にはRCはり自身の支持力の低下が懸念される。しかし、構造物の地震時の最大応答変位 4δ は、被災の程度としてかなりの損傷に相当し、接合具により接合したRCはりは 4δ の応答変位に対して、十分に曲げ耐力を保持しており、接合具の接合効果は低サイクル疲労作用に対しても十分に期待できる。

4.2 接着剤の効果

同一変位時において、1液性の接着剤を塗布した供試体に作用した荷重は、2液性の接着剤を塗布した供試体に作用した荷重より大きな値を示した。伸び能力の大きい2液性のエポキシ樹脂接着剤を塗布した供試体は、初期の荷重段階で接合面が大きく開き、変位の増加に伴って接合面に曲率が集中し、結果としてRCはり自身の支持力の低下を招いたものと思われる。

使用状態の範囲内において、曲げひび割れがRCはり部分に分散した場合には、接合面の開きが抑えられるため、繰返し荷重を受けた場合においても耐力にある程度の余裕がでるが、曲げひび割れがRCはりではなく接合面の開きとして応力集中を生じさせた場合には、疲労の進展に応じてさらに大きな応力が接合面に集中し、結果として耐力の低下が予想される。2液性のエポキシ樹脂接着剤は、伸び能力が大きく、接合面の開きに対する追従性に優れ、水密性の確保は期待できるが、曲げによる靱性の確保を期待することはできない。

繰返し荷重に対する靱性の確保には、初期の荷重段階において曲げひび割れを制御し、接合面の開きを防止してRCはりに曲げひび割れを

分散あるいは誘発させることが鍵と思われる。

5. まとめ

鑄鉄製カップラー接合具とエポキシ樹脂接着剤とを併用して、等曲げモーメント区間の中央あるいはせん断スパンの中央の何れかで接合したRCはりの静的荷重試験および低サイクルによる繰返し荷重試験を行った。荷重試験の結果から、次の知見が得られた。

- 1) 接合具により接合したRCはりは、接合具を持たない一体型のRCはりと同様あるいはそれ以上の曲げ耐力を有する。
- 2) 接合具のアンカー筋の端部には、大きな曲げひび割れが発生するが、その大きさは一体型のRCはりに生じる最大曲げひび割れ幅よりも小さく、アンカー筋の端部の存在は、曲げひび割れ幅としての欠点にはならない。
- 3) 繰返し荷重に対する曲げ靱性の確保には、初期の荷重段階において、エポキシ樹脂接着剤などで接合面を開かせず、曲げひび割れとしてRCはりに分散させる必要がある。

参考文献

- 1) 栖原健太郎, 片平千朋, 森田俊哉, 辻幸和 : 鑄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) 栖原健太郎, 田口健二, 森田俊哉, 辻幸和 : 鑄鉄製カップラー接合具と接着剤により接合したRCはりの曲げ・せん断性状, 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集 第5部, pp.980-981, 1998
- 3) 池田正志, 武田敏充, 小谷洋, 辻幸和 : 1液エポキシ樹脂接着剤を用いたコンクリートの接着強度, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.3, pp.1267-1272, 1998
- 4) 土木学会 : 鉄筋継手指針, コンクリート・ライブラリー 第49号, pp.13-22, 1982