

[2042] 添筋継手の性能に関する実験

中川 修^{*1}・佐野幸洋^{*2}・鈴木健一^{*3}・大友 健^{*4}

1. はじめに

東京湾横断道路川崎人工島の底版、隔壁、補強壁などの施工においては、工期の短縮を図るために、鉄筋と架台を一体化した鉄筋ブロックを陸上で製作し、大型クレーン船により一括に据付ける方法が取られる。この施工法では、効率が良く、施工性に優れた鉄筋継手方法が必要となる。

本実験は、突き合せた主筋に作用する応力をこれに添わせた鉄筋により伝達する添筋継手が、通常の重ね継手と同等の静的耐力、変形性能を有することを確認するために実施したものである。継手方式、添筋継手の長さ、添筋と主筋の離れの異なる4種類の継手構造を有する梁試験体の静的曲げ載荷を行ない、梁としての耐力、変形性能および継手筋の応力伝達機構などを、通常の重ね継手との比較において検討した。

2. 試験体

配筋の仕様と実験ケースを表-1および表-2に、試験体の形状寸法・配筋を図-1に示す。実際の構造物では主筋および横方向筋としてD51が使用され、主筋は200mmピッチに配置されるが、本実験ではD51をD22とした縮小モデル（縮小率43.7%）を使用した。

継手形式は、通常の重ね継手と添筋継手の2種類とし、継手の重合せ長さは35φを基本とした。ここで重合せ長さ35φは、鉄筋継手指針[1]に示される重合せ長さ算出式で、鉄筋の許容応力度を2000kgf/cm²、コンクリートの許容付着応力度を16kgf/cm²とした場合の重合せ長さ31.3φ ($\ell = \sigma_{sa}/\tau_{oa} \times \phi$) をまるめたものである。添筋継手においては、重合せ長さを45φにした場合についても検討した。また、施工時の配筋精度を考慮し、添筋と主筋との間に離れが生じた場合も評価した。主筋間の中央の位置に添筋が配置される場合を考えると主筋と添筋の離れはおよそ1φである。

試験は2点載荷の曲げ加力とし、継手が等モーメント区間に配置されるようにした。この試験体は面積の大きいスラブ状部材の一部を梁状に取り出したものであるため、主筋と直交する方向にも主筋と同径の横方向筋が配置されている。せん断スパン内には、せん断破壊を防止するためにスターラップを配置した。

鉄筋およびコンクリートの力学特性を表-3に示す。

コンクリート打ち込み時に継手部の周囲に発生するブリーディングによる欠陥部を正しく評価するため、通常の製作方法とは逆に、引張鉄筋を試験体の上面に配筋しコンクリートを打設した。コンクリートには石粉を混入し、ブリーディング率を3%程度に制御した。

表-1 配筋の仕様

	実構造物	実験モデル
主筋	D51	D22
主筋間隔	200 mm	87 mm
横方向筋	D51	D22
横方向筋間隔	250 mm	109 mm

表-2 実験ケース

ケース	継手形式	重ね合せ長さ	添筋の離れ
1	重ね継手	35φ	0φ
2	添筋継手	35φ	0φ
3	添筋継手	45φ	0φ
4	添筋継手	35φ	1φ

*1 東京湾横断道路川崎人工島東工事共同企業体 設計課長（正会員）

*2 東京湾横断道路川崎工事事務所 工事課長（現在、本州四国連絡橋公团）

*3 東京湾横断道路川崎人工島西工事共同企業体 設計課長（正会員）

*4 大成建設技術研究所 土木構造・水理研究グループ 副主任研究員（正会員）

3. 評価項目

鉄筋継手評価指針の継手実験資料に示される、鉄筋継手を設けたはりの曲げ試験に準拠し、静的耐力性能として、終局耐力、曲げ剛性、残留たわみ変形量などを評価した。また、主筋と継手筋との応力の伝達状況を検討するため、図-1に示す各点で主筋と継手筋のひずみを測定した。

載荷は静的繰り返し加力（載荷速度：50kgf/sec程度）により、繰り返し荷重レベルは、以下に示す継手部応力に相当する曲げモーメントを与える各荷重とした。

- ①母材の規格降伏点の50%に相当する荷重($0.5\sigma_{sy}$)、
 - ②同70%荷重($0.7\sigma_{sy}$)、
 - ③同95%荷重($0.95\sigma_{sy}$)、
 - ④母材実降伏時荷重 (δ_y)
- 但し、除荷時の下限荷重を0.5tfとした。

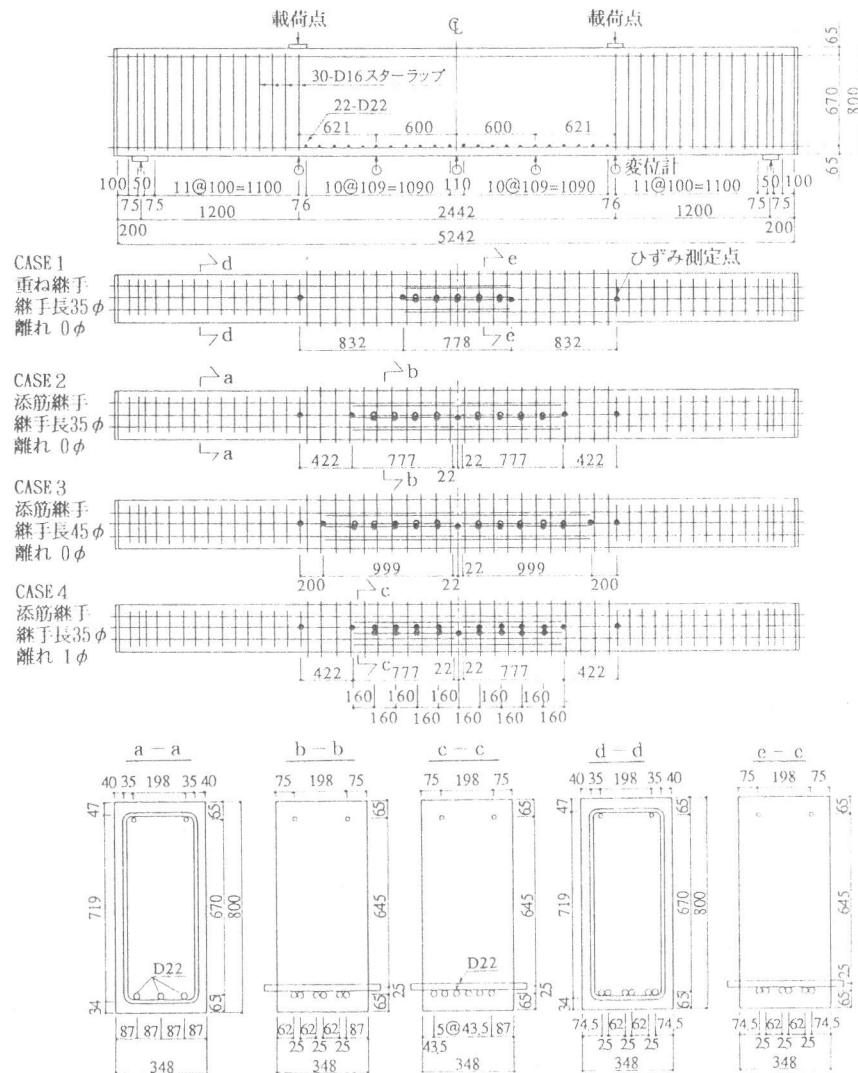


図-1 試験体の形状寸法および変位・ひずみ測定位置

4. 実験結果および考察

4. 1 破壊過程

表-4には、実験結果の一覧を示した。ここで、繰り返し載荷時変位増分は、荷重を一旦除荷し次の荷重サイクルで同じ荷重まで再載荷した場合のたわみ変形量の増分を示す。表には増分量と、その増分量のたわみ変形量に対する比率を示した。

破壊にいたるまでの荷重と試験体スパン中央のたわみ変形量の関係を図-2に示す。またひび割れの発生状況を図-3に示す。

破壊にいたるまでの変形は、CASE 1～CASE 4においてほぼ同様な傾向を示す。荷重12～16 t程度で等モーメント区間に内に曲げひび割れが発生する。その後、継手応力レベルが $0.5\sigma_{sy}$ 程度になるまで、等モーメント区間に内に曲げひび割れが発生し剛性が徐々に低下するが、継手応力レベルが $0.5\sigma_{sy}$ ～ $0.95\sigma_{sy}$ の範囲では、荷重の増加に対するたわみの発生量が一定となり、荷重-たわみ変形曲線上での傾きは一様である。 $0.95\sigma_{sy}$ を越えると、荷重-たわみ変形曲線の傾きが大きくなり、荷重が46 t～52 tにおいて破壊に至った。

表-3 使用材料の特性

鉄筋	降伏点強度 (kgf/cm ²) 3 7 4 0	ヤング率 (kgf/cm ²) 1.9×10^6	降伏点ひずみ ($\times 10^{-3}$) 1 9 6 8
コンクリート	圧縮強度 (kgf/cm ²) 2 6 5	引張強度 (kgf/cm ²) 2 4.0	ヤング率 (kgf/cm ²) 2.48×10^6
スランプ	空気量 1 6 cm	ブリージング率 2.0%	ブリージング率 2.57%

破壊は、継手の形式にかかわらず継手部の付着割裂破壊によった。すなわち、終局時に、主筋、添筋と横方向筋の間に水平のひび割れが発生し、継手端部間で連続して、継手の被り部分が剥離する形で破壊した。主筋、添筋と横方向筋の間に、ひび割れを拘束する鉄筋はないため、破壊は急激に生じ、耐荷力が失われた。

CASE1, 4 では、かぶり部コンクリートに斜め方向のひび割れが認められた。これは主筋相互あるいは主筋と継手筋の偏心にともない、付着割裂破壊と同時に発生したもので、部材の破壊に対しては支配的ではないと考えられる。

継手長さが 35ϕ (CASE1, 2, 4) の場合には、重ね継手、添筋継手にかかわらず、梁が降伏した時点から降伏変位を越えてさらに変形しようとした場合に破壊が生じている。これに対して、継手長さが 45ϕ の添筋継手 (CASE3)においては梁の降伏の後、 $1.5\delta_y$ 程度まで変形してから破壊した。この場合は終局時の耐力も継手長さ 35ϕ (CASE1, 2, 4)の場合と比べて大きくなつた。

図-4には、スパン中央（添筋継手の場合は主筋の突合せ端部）、継手端部および載荷点下での鉄筋ひずみの挙動を、表-3には、終局時の鉄筋のひずみ状態を示した。

いづれの試験体においても、鉄筋が降伏に至るまでは、継手端部のひずみも載荷点下のひずみも同様な履歴を示している。CASE1, 2, 4 の試験体（継手長 35ϕ ）では、継手端の鉄筋

表-4 実験結果一覧

試験体諸元	継手種類 継手長さ 継手離れ	重ね継手		添筋継手		添筋継手	
		35ϕ	0ϕ	35ϕ	0ϕ	45ϕ	0ϕ
(梁全体挙動 から推定)	ひびわれ時 ひびわれ荷重(t) ひびわれ時変位(mm) たわみ剛性(kgf/cm)	14.7 1.08 13,800	14.5 0.85 14,790	14.7 0.90 18,280	13.5 0.73 20,000		
	荷重(t) 変位(mm)	22.5 3.28	22.7 3.03	22.8 2.61	22.8 3.08		
	除荷時残留変位(mm)	1.17	1.10	0.87	1.12		
	繰返載荷増分(mm) 時変位増分比率	0.16 0.049	0.25 0.083	0.19 0.073	0.32 0.104		
規格降伏点 50%時	たわみ剛性(kgf/cm)	9,910	10,410	11,810	10,000		
	荷重(t) 変位(mm)	31.6 5.52	31.8 4.99	31.5 4.74	31.7 5.26		
	除荷時残留変位(mm)	1.63	1.49	1.40	1.61		
	繰返載荷増分(mm) 時変位増分比率	0.18 0.033	0.26 0.052	0.21 0.044	0.32 0.061		
規格降伏点 70%時	たわみ剛性(kgf/cm)	7,760	8,460	8,870	7,980		
	荷重(t) 変位(mm)	43.3 8.11	43.3 7.89	43.3 7.51	43.0 8.17		
	除荷時残留変位(mm)	2.07	2.13	1.97	2.16		
	繰返載荷増分(mm) 時変位増分比率	0.39 0.048	0.37 0.047	0.41 0.055	0.32 0.039		
規格降伏点 95%時	たわみ剛性(kgf/cm)	6,730	7,060	8,140	6,790		
	荷重(t) 変位(mm)	48.5 10.66	45.8 8.86	49.8 9.47	44.5 9.16		
	除荷時残留変位(mm)	3.16	—	2.50	2.52		
	繰返載荷増分(mm) 時変位増分比率	0.59 0.055	—	0.56 0.059	0.48 0.048		
実降伏時	たわみ剛性(kgf/cm)	5,995	—	6,610	6,290		
	荷重(t) 変位(mm)	48.5 10.66	45.8 8.86	52.5 14.29	45.6 ($1.5\delta_y$)		
	破壊モード	鉄筋付着	鉄筋付着	鉄筋付着	鉄筋付着		

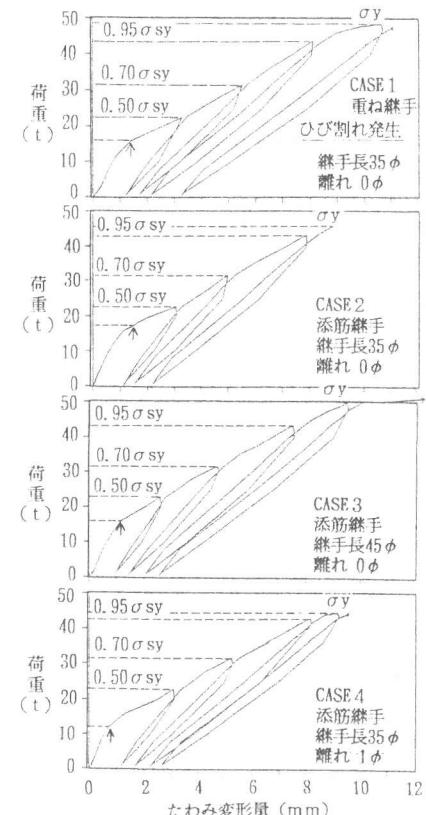


図-2 荷重とたわみ変形量の関係
(スパン中央位置)

表-5 破壊時期とその時の鉄筋の状態

試験体	要因	破壊時期およびその時の鉄筋の状態
CASE 1	重ね継手 (継手長 35ϕ) (離れ 0ϕ)	継手端部鉄筋降伏・除荷後、再載荷の途中で降伏変位を越えたときに破壊。載荷点下は未降伏
CASE 2	添筋継手 (継手長 35ϕ) (離れ 0ϕ)	継手端部鉄筋降伏(中央部のみ)後破壊。載荷点に近い位置の継手端および載荷点下は未降伏
CASE 3	添筋継手 (継手長 45ϕ) (離れ 0ϕ)	継手端部鉄筋降伏後、除荷・再載荷を経て、等モーメント区間の引張鉄筋が降伏したのち、 $1.5\delta_y$ の変位で破壊
CASE 4	添筋継手 (継手長 35ϕ) (離れ 1ϕ)	継手端部降伏(中央部のみ)後、除荷・再載荷を経て降伏荷重、降伏変位を若干越えた時破壊。載荷点に近い位置の継手端および載荷点下は未降伏

が σ_y に相当する荷重で降伏後すぐに破壊にいたるのに対して、CASE3（継手長45φ）では、載荷点下の鉄筋も、破壊時には降伏に至っている。すなわち、等モーメント区間で継手端、載荷点下とともに降伏し、梁の降伏変位の1.5倍まで変形することを可能としている。

継手長さの相違が変形の程度に大きな影響を及ぼすことからみても、本破壊形式は典型的な付着割裂破壊であったことが推察される。CASE3（継手長45φ）の試験体を除いては、梁の降伏後急激に生じ、鉄筋降伏以後の変形能が小さい。鉄筋継手指針（案）の継手実験資料[1]において、継手を一断面に集中させ横方向補強を行なわなかった場合には強度低下が認められるとの報告もあることから、本試験体においても継手を一断面に集中したこと、および主筋、添筋に対する横方向の補強を行なわなかったことがこの様な破壊形態をもたらしたものと考えられる。

ただし、継手長を45φとした試験体においては、梁の降伏後も降伏変位の1.5倍まで変形した後破壊したことから、継手長を延長することが、梁としての変形能の確保に極めて有効な手段であるものと推察される。

重ね継手(CASE1)と添筋継手(CASE2)または主筋と添筋に離れを設けた場合(CASE4)では、その耐力、変形ともほとんど相違が認められなかった。

4. 2 継手部の応力伝達状態

図-5には、主筋および継ぎ手筋に添付したひずみゲージの計測値を各荷重レベル毎に継手区間内のひずみ分布として示した。

重ね継手であるCASE1では、継手区間では、主筋の重ね合わせ部が長くなるほど主筋のひずみが小さくなる、一方相対する主筋は重ね合わせ部が長くなるほどひずみが大きくなっている。これは、継手区間内で一方の主筋からもう一方の主筋へ応力が伝達されていることを示すものである。

CASE2, 3, 4 の添筋継手の場合、一方の主筋-添筋-他方の主筋の間での応力の伝達がなされる。この系における一方の主筋-添筋の間での鉄筋ひずみの変化状況は、重ね継手における継手区間の主筋どうしのひずみの変化状況とまったく同様であり、添筋継手は、重ね継手2か所の連続した状態であるものと考えて良い。

CASE4は、主筋-継手間に離れ1φがある場合であるが、同条件で離れがないCASE2と全く同様なひずみの分布状況を示しており、1φ程度の離れであれば、継手主筋間の応力の伝達には何

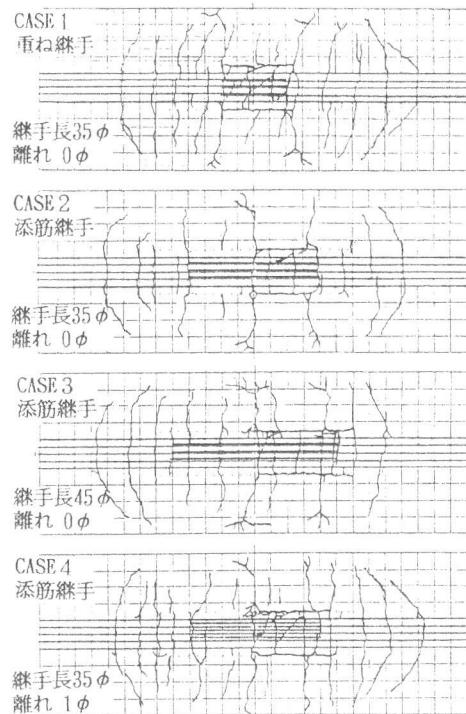


図-3 ひびわれの発生状況（終局状態）

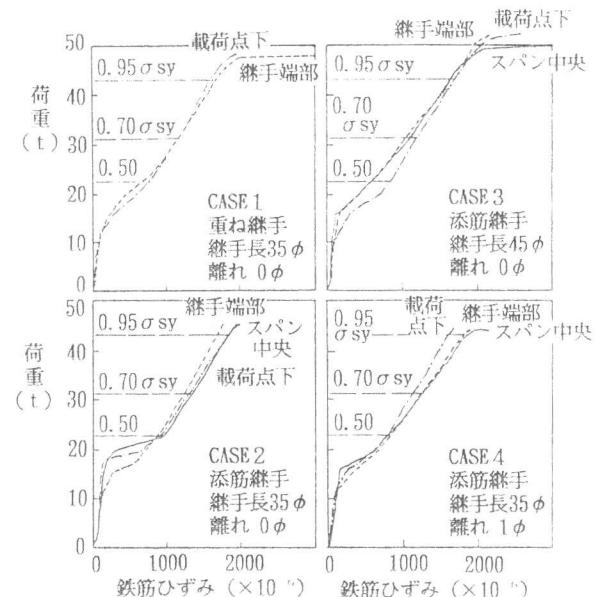


図-4 荷重と主筋・継手筋ひずみの関係

等支障は生じないと考えて良い。

45φの重ね合わせ長さを有するCASE3では、 $0.5\sigma_{sy}$ の荷重レベルにおいては、継手区間の大部分で継手と主筋のひずみが同等になっている。これに対して、 $0.7\sigma_{sy}$ の荷重レベルであれば、継手の中央部ではひずみが同等になっている部分が継手長の1/2程度である。これ以上の荷重レベルでは、重ね合わせ部のひずみは直線状態で分布している。すなわち、鉄筋が降伏するような荷重レベルでは、継手長を長くした場合でも、応力の伝達に対して継手の余長がでることはなくむしろ、継手が長くなることで作用応力の平均値が小さくなる。

すなわち継手長の全長が応力の伝達に有効に作用する傾向にあることを示すものと考えられる。

4. 3 継手性能の比較

図-6には、各々の試験体について、荷重とたわみ剛性、除荷時残留変位、繰り返し増分変位および繰返載荷時変位増分比率との関係を示した。

たわみ剛性、除荷時残留変位については、いずれの試験体も同様の傾向を示す。すなわち、載荷荷重の増大に伴い、梁のたわみ剛性は低下し、残留変位は増大する傾向にある。ただし、継手長が45φであるCASE3ではたわみ剛性が継手長が35φの試験体に比べて大きく、また、重ね継手に比較して添筋継手の方が若干ではあるがたわみ剛性が大きい傾向にある。これらの現象には、等モーメント区間内の実質の鉄筋量が影響しているものと考えられる。すなわち、添筋継手は、同じ継手長の重ね継手に対して2倍の鉄筋が配置されていることから、梁としての剛性が大きく、同じ荷重に対するたわみ変形量が小さくなるものと考えられる。

継手間に離れがあるCASE4は、同じ条件で離れのないCASE2とほぼ同様な変位および剛性を示すことから、この程度の離れは、梁全体の挙動に大きな影響を及ぼさないものと考えられる。

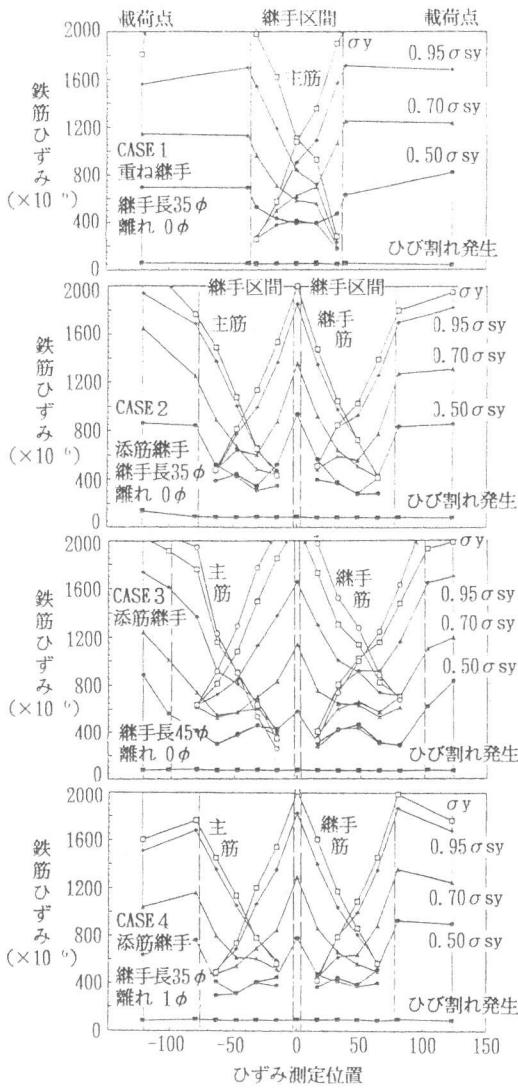


図-5 主筋および継手筋のひずみ分布

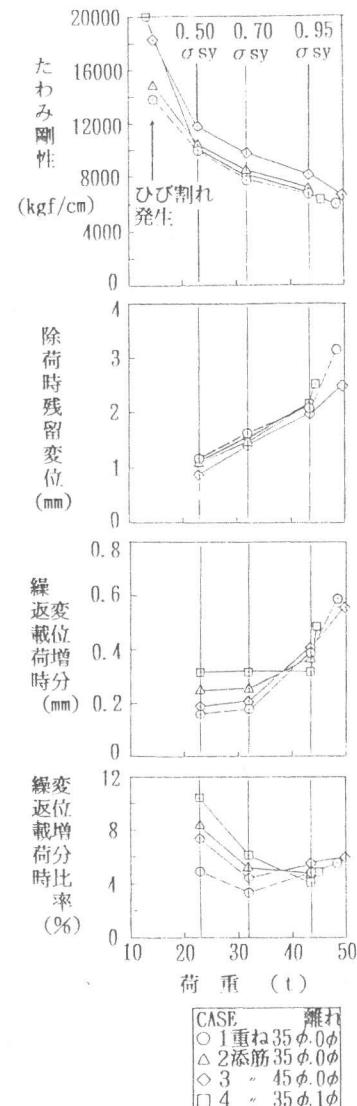


図-6 荷重の増大に伴う
変形特性の変化

繰り返し増分変位および繰返載荷時変位増分比率は継手形式によりやや異なる傾向を示すが、特定の荷重レベルにおいて、急激に増大する傾向は認められない。荷重が大きい場合でも、繰り返し載荷時の変位増分の比率は変化しない傾向にあり、いずれの継手形式も使用状態における梁全体の挙動としては、安定したものであると考えて良い。

4. 4 ひび割れ幅

$0.5\sigma_{sy}$ ～ $0.95\sigma_{sy}$ の載荷レベルにおけるひび割れ幅の測定値を図-7に示す。等モーメント区間に発生した平均のひび割れ幅と継手端部の平均ひび割れ幅および最大ひび割れ幅を示した。最大ひび割れ幅はスパン中央の継手端部で生じている。

CASE4の $0.95\sigma_{sy}$ 時の最大ひび割れ幅がやや大きいことを除いては、重ね継手、添筋継手ともほぼ同等の最大ひび割れ幅を示している。また、平均ひび割れ幅、継手端部の平均ひび割れ幅の比較では、添筋継手は重ね継手と同等かやや小さなひび割れ幅を示す傾向にある。重ね継手では端部2か所にひび割れが集中するのに対して、添筋継手の場合は、端部が3か所となること、継手区間が長くなることでひびわれの分散がはかられることが影響していると考えられる。

ひび割れの幅は、終局の破壊に影響を及ぼす程度は小さいが、使用状態では耐久性の他、種々の特性に影響を及ぼすものである。このような使用状態に対する特性においても、添筋継手と重ね継手とはほぼ同様な特性を得るものと考えてよい。

5. 結論

継手形式（重ね継手と添筋継手）と継手長および継手筋の離れの程度が異なる、4種類の継手形式について、梁の曲げ試験体によって継手性能を確認したところ、以下の結論を得た。

- (1) 継手を一断面に集中させ、主筋、添筋に対する横方向の補強を行なわない継手部においては、継手の形式にかかわらず継手部の付着割裂破壊を生じた。継手長を延長することは、継手部降伏後の変形能の確保に有効な手段であると推察される。
- (2) 添筋継手の場合の主筋-添筋での応力の伝達状況は、重ね継手の主筋どうしの応力伝達状況と同様であり、添筋継手は、重ね継手2か所の連続した状態であるものと考えて良い。継手長を長くした場合でも、応力の伝達に対して余長ができるではなくむしろ、継手が長くなることで作用応力の平均値が小さくなる、すなわち継手長の全長が応力の伝達に有効に作用する。
- (3) 同じ継手長の添筋継手と重ね継手は、静的耐力および変形性能に関して、ほぼ同等な性能、特性を有する。添筋と主筋の離れは、これらの性能に影響を及ぼさない。
- (4) ひび割れ幅は、重ね継手と添筋継手では、ほぼ同等の値を示す。使用状態においても、重ね継手と添筋継手はほぼ同様な特性を得るものと考えてよい。

謝辞：本実験の実施に当たり、横浜国立大学工学部 池田尚治教授には、貴重な御助言をいただきました。ここに記して深甚なる謝意を表します。

参考文献：土木学会；鉄筋継手指針（案），1982.2

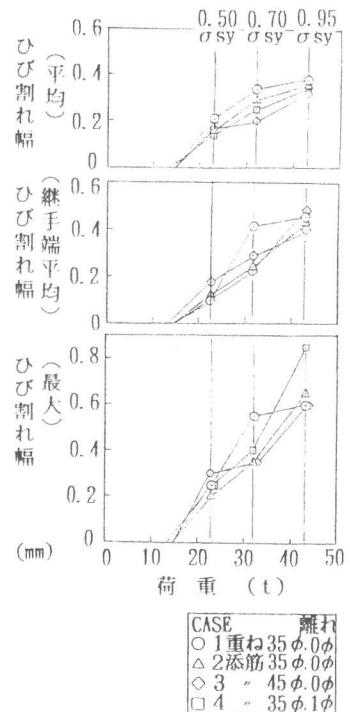


図-7 ひびわれ幅の変化状態