

論文

# 鉄筋先端に孔あき鋼板を有するプレキャスト PC 床版の 継手構造に関する実験的研究

北村耕一\*, 松井繁之\*\*

\*工修, 株式会社 IHI インフラシステム, 開発部 (〒108-0023 東京都港区芝浦 3-17-12)

\*\* 工博, 大阪大学名誉教授・大阪工業大学客員教授 (〒565-0824 吹田市山田西 4-6-4)

床版取替工事では、交通規制による経済損失を軽減するため、夜間施工となる場合が多い。夜間の限られた施工時間内でより多くの床版パネルを設置するためには、施工性の向上が課題である。本研究では、パネル継手部の施工性向上を目的として、配力筋の端部に孔あき鋼板を配置した継手構造を提案し、継手構造を有するはり部材の静的載荷試験を実施し、短い継手長で高い耐荷性能を有することを確認した。

キーワード: プレキャスト PC 床版, 床版継手, 孔あき鋼板ジベル, 静的載荷試験

## 1. はじめに

床版取替工事では、工事完了までに長期間の交通規制を伴う場合が多く、それによる経済損失の低減が求められる。その対応策のひとつとして、夜間施工が実施される場合が多く、夜間の限られた時間でより多くの床版パネルを架設するためには、現場の施工性向上による作業時間の短縮が課題である。現在標準的に用いられているループ継手と比較して、床版厚や継手長を小さくして現場コンクリートの打設量を少なくすることや、施工を簡素化することで作業時間の短縮が可能な継手構造が提案されている。<sup>12)</sup>

本研究では、図-1 に示すように上下段の配力筋先端を孔あき鋼板で連結し、配力筋に作用する断面力を、鉄筋の付着、ジベル孔のせん断抵抗、鋼板板厚面の支圧により、より短い継手長で荷重が伝達可能な構造を提案する。ここでは、はり部材の静的載荷試験を実施し、継手長の影響、孔あき鋼板の効果について考察した。

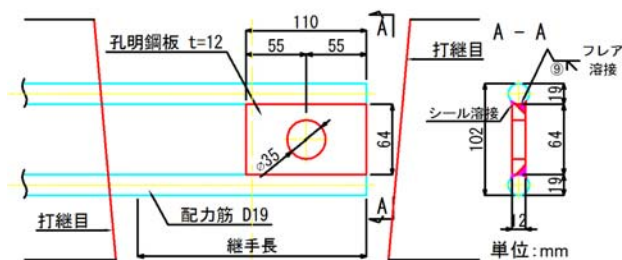


図-1 継手構造概要図

## 2. 継手長に関する検討

ここでは、本継手構造を用いたはり部材の曲げ試験を実施し、継手長を変えた場合、および継手部のコンクリートを同時打ちにして打継目をなしにした場合の耐力比較を行った。

### 2.1 試験条件

試験ケースは、表-1 に示すとおり、継手長を鉄筋径の9倍、11倍、13倍とし、それぞれに打継目あり、なしの6ケースと、継手を有しないケースの計7ケースとした。供試体は図-2 に示す、幅800mm、長さ3000mm、厚さ220mmの鉄筋コンクリートはりとし、供試体中央に継手を設けた。打継目は鉛直とした。配力筋および間詰部の主鉄筋のみ、エポキシ樹脂塗装による防錆処理を施した。供試体は支間長2600mmで単純支持し、供試体中央から左右に300mmの位置で幅50mmの載荷板を介して鉛直荷重を載荷し、継手部に作用する曲げモーメントが一定となる条件とした。打継目を有する供試体は、一般部に普通コンクリート（呼び強度50N/mm<sup>2</sup>）、間詰

表-1 試験ケース

供試体名	継手長(mm)	打継目
A9-1	171	有
A9-2	(9D)	無
A11-1	209	有
A11-2	(11D)	無
A13-1	247	有
A13-2	(13D)	無
A0	継手なし	—

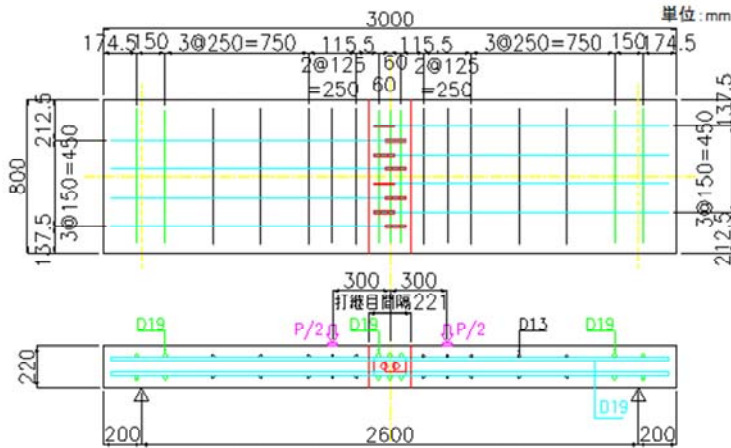


図-2 供試体概要図 (A9-1)

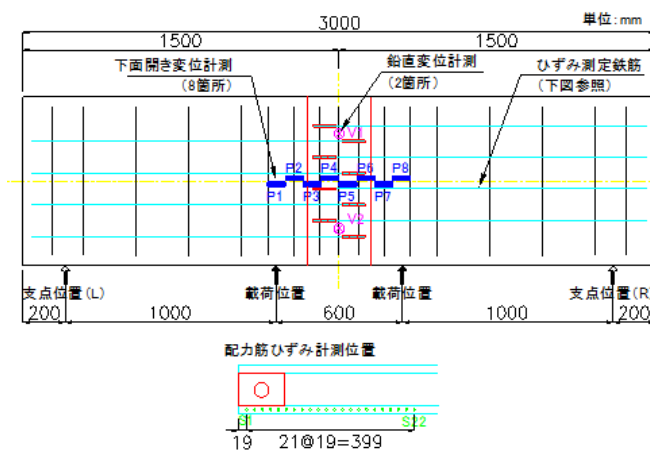


図-3 計測位置図

部に早強コンクリート（呼び強度  $45\text{N/mm}^2$ ）を打設した。打継目にはひび割れ抑制のため、遅延剤塗布+洗い出し処理を施した。打継目を有しない供試体は、すべて上述の間詰部に用いた早強コンクリートで打設した。コンクリートおよび鉄筋の物性を表-2、表-3に示す。供試体下面中央の鉛直変位2箇所、供試体下面の支間方向の開き変位8箇所、供試体中央の下段配力筋の軸方向ひずみを19mm間隔で鉄筋の左右両側の各22箇所計測した。各計測項目の詳細を図-3に示す。

## 2.2 試験結果

### (1) 荷重-変位関係

図-4に各試験ケースの荷重-変位関係を示す。変位は図-3に示す2箇所計測した平均値を示す。図中には、設計荷重（道路橋示方書<sup>3)</sup>の設計曲げモーメント相当荷重、48kN）と、A0と同条件の継手を有しない鉄筋コンクリートはりの断面計算における鉄筋降伏時および終局時の荷重を併記する。

継手を有するすべてのケースで最大荷重は約170kNで、A0の最大荷重175.7kNとほぼ同等であり、継手長および打継目の有無が、最大荷重にほとんど影響しないことが確認できた。表-4に各ケースのひび割れ発生時、鉄筋

表-2 コンクリートの物性

項目	単位	普通コン	早強コン
材齢	(日)	28	14
圧縮強度	( $\text{N/mm}^2$ )	59.9	63.4
静弾性係数	( $\text{kN/mm}^2$ )	35.2	39.6
割裂引張強度	( $\text{N/mm}^2$ )	2.77	3.43

表-3 鉄筋の物性

項目	単位	D19	D13
材質		SD345	SD345
降伏点	( $\text{N/mm}^2$ )	388	396
引張強さ	( $\text{N/mm}^2$ )	563	548

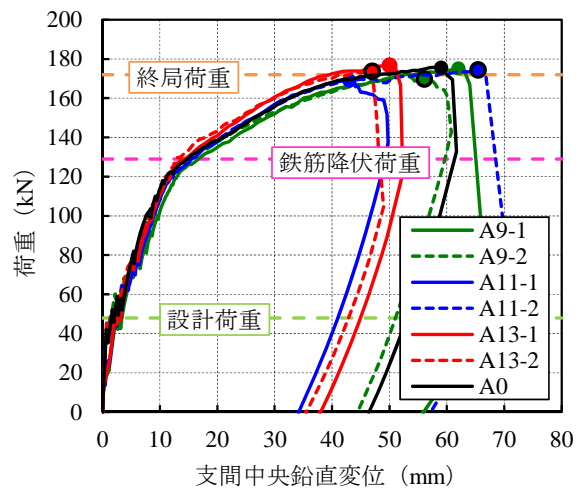


図-4 荷重-変位関係

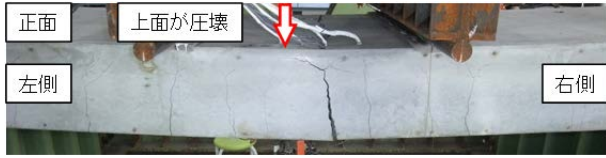
表-4 試験結果と計算結果の比較

		ひび割れ (kN)	鉄筋降伏 (kN)	終局 (kN)	
打継目あり	A9-1	17.9	129.8	175.2	
	A11-1	14.1	129.1	168.9	
	A13-1	16.3	129.4	176.8	
	計算値	31.4	128.8	171.7	
打継目なし	A0	42.0	126.5	175.7	
	A9-2	45.9	126.9	171.8	
	A11-2	45.2	125.1	174.4	
	A13-2	46.6	129.6	173.8	
		計算値	39.8	129.5	172.9

降伏時、終局時の載荷荷重の試験結果と、継手を有しない鉄筋コンクリートはりのひび割れ荷重（供試体下縁で引張強度相当応力発生時の荷重）、鉄筋降伏荷重、終局荷重の計算結果を示す。打継目を有する供試体は、ひび割れ発生荷重の半分程度で打継目にひび割れが発生しており、打継目で十分な接着強度が得られなかった。しかし、鉄筋降伏時、終局時の荷重は計算値と試験結果が概ね合致した。



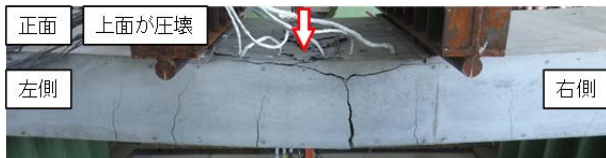
(1)A9-1



(2)A9-2



(3)A11-1



(4)A11-2



(5)A13-1



(6)A13-2

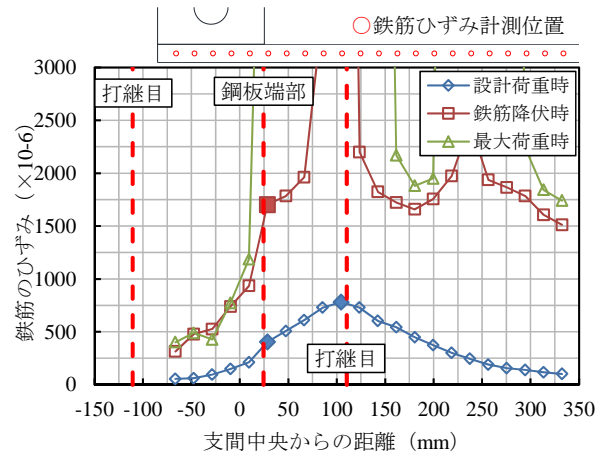


(7)A0

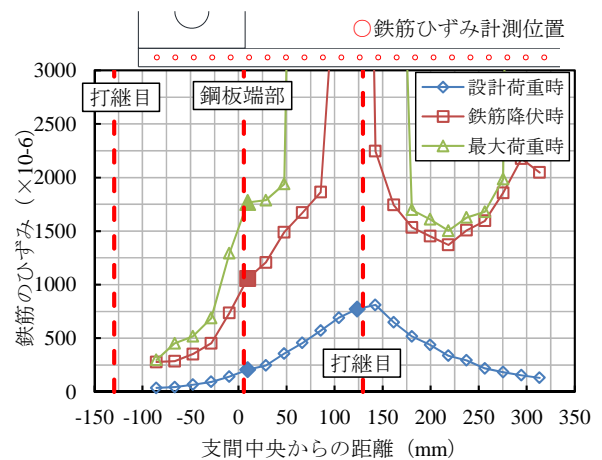
図-5 供試体側面の破壊状態

## (2) 破壊状態

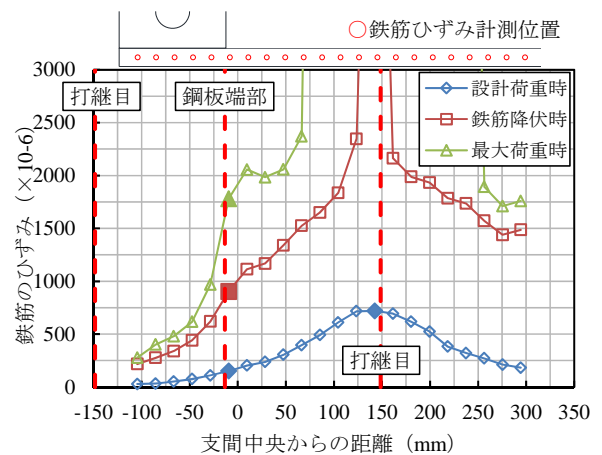
図-5 に各供試体側面の破壊状態を示す。いずれのケースも供試体上面のコンクリートが圧壊して試験を終了しており、継手部が弱点とならないことが確認できた。打継目を有する供試体では、初期の曲げひび割れは打継目に発生し、荷重の増加に伴い、供試体中央から支点側



(1)A9-1



(2)A11-1



(3)A13-1

図-6 下段配力筋の軸方向ひずみ分布

に曲げひび割れが順次発生した。打継目を有しない供試体では、初期の曲げひび割れは継手がラップする端部に発生しており、特に A9-2, A11-2 では、片側の初期ひび割れが大きく開く結果となった。

全ての供試体で曲げひび割れは 100mm~200mm 間隔で発生しており、ひび割れの分散性は良好であった。

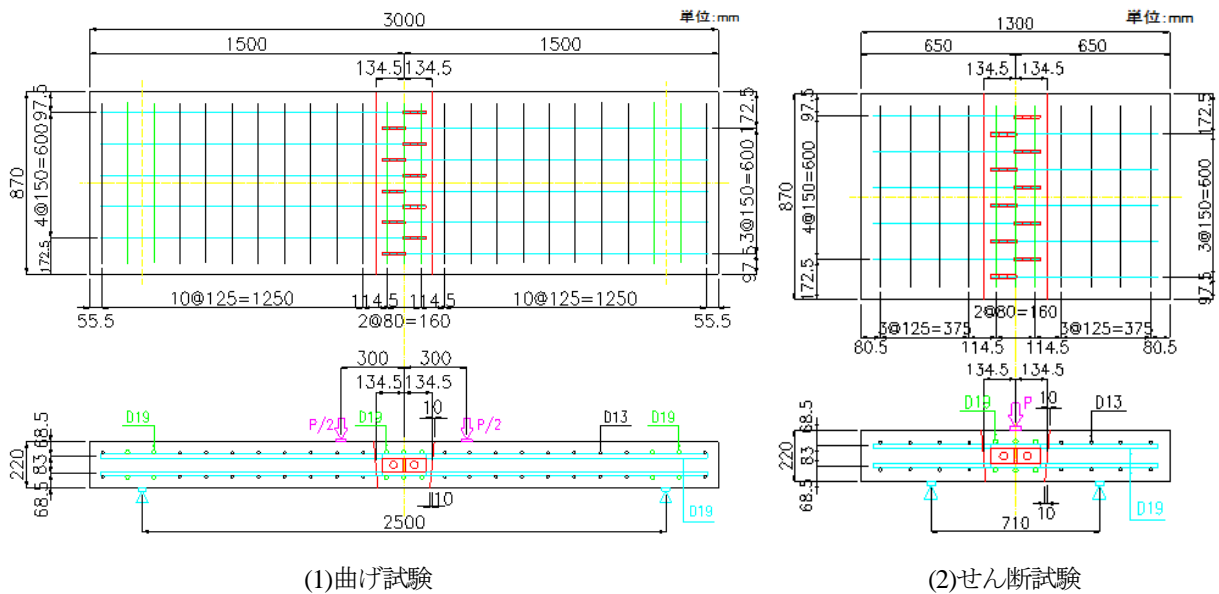


図-7 継手長 11D の静的荷重試験供試体

### (3) 鉄筋のひずみ

図-6 に打継目を有する 3 ケースの設計荷重時 (48kN)、鉄筋降伏時 (129kN)、最大荷重時の下段配力筋の軸方向ひずみ分布を示す。この値は、鉄筋の左右両側で計測した平均値を示す。

設計荷重時では、すでにひび割れが発生している打継目付近でひずみが最大となっており、配力筋先端 (図中左側) に向かってほぼ一定勾配でひずみが減少している。これは、鉄筋の付着により、鉄筋に作用する引張力がコンクリートに伝達されているものと考えられる。

鉄筋降伏時は打継目近傍のひずみが降伏ひずみ (1940 $\mu$ ) を超過しており、鉄筋が降伏していることが確認できる。

最大荷重時では、いずれの供試体も鋼板端部まで降伏域が拡大している。特に A9-1 では鋼板端部のひずみが降伏ひずみを大きく超過している。一方、鋼板端部から左側のひずみは降伏ひずみより小さくなっており、孔あき鋼板のジベル孔のせん断抵抗および鋼板板厚面の支圧により荷重に抵抗していることが確認できる。つまり、引張鉄筋が降伏し、コンクリートとの付着が切れた状態においても、孔あき鋼板によって鉄筋が定着されるため、引張鉄筋が荷重を分担し、はりとしての耐力が低下しない。そのため、図-4 に示すとおり、継手長および打継目の有無によらず、A0 と同等の耐力を有することができると考えられる。

ただし、継手長 9D においては、最大荷重時に鋼板端部、すなわち鋼板と鉄筋の溶接部まで鉄筋が降伏するため、溶接部の破壊を引き起こすことが懸念される。

## 3. 継手長 11D 供試体の静的荷重試験

ここでは継手長の検討において、最大荷重時でも継手

表-5 試験ケース

供試体名	荷重条件	継手	孔あき鋼板
B11-1	曲げ試験	有	有
B11-2		有	無
B0		無	無
C11-1	せん断試験	有	有
C11-2		有	無
C0		無	無

部分がある程度健全な状態を維持した継手長 11D を対象として、床版の代表的な荷重状態である曲げ状態と、曲げせん断状態の荷重試験を実施し、耐力と破壊状態を確認した。

### 3.1 試験条件

曲げ試験、せん断試験の供試体寸法は図-7 のとおりとした。継手部の構造は 2 章の試験と同様としたが、打継目形状は床版厚中心に対して上側で片側+10mm、下側で片側-10mm の勾配を設けた。また、打継目の接着強度向上のため、間詰部のコンクリート打設時に、打継目に接着剤を塗布した。

曲げ試験、せん断試験とも、継手長 11D の打継目を有する供試体、孔あき鋼板の効果を確認する目的で孔あき鋼板を有しない継手長 11D の重ね継手供試体と継手を有しない供試体の各 3 ケースを実施した。試験ケースを表-5 に示す。

曲げ試験の支間長は、曲げ破壊となるようせん断スパン比 6 以上となるように決定し、供試体中央から左右に 300mm の位置で荷重を載荷し、間詰部を純曲げ状態とした。

せん断試験は、供試体中央で荷重を載荷し、曲げせん断状態とした。支間長は、支間長 3m、横桁間隔 6m の打継目を有する床版において、打継目に作用するせん断力が最も大きくなる条件を再現するよう決定した。コン

表一六 コンクリートの物性

(1)曲げ試験

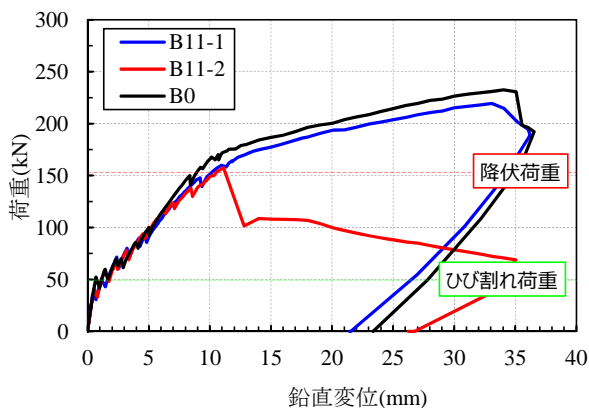
項目	単位	一般部	間詰部
材齢	(日)	27	13
圧縮強度	(N/mm <sup>2</sup> )	54.7	59.5
静弾性係数	(kN/mm <sup>2</sup> )	34.7	36.2
割裂引張強度	(N/mm <sup>2</sup> )	2.8	3.2

(2)せん断試験

項目	単位	一般部	間詰部
材齢	(日)	30	15
圧縮強度	(N/mm <sup>2</sup> )	61.3	57.5
静弾性係数	(kN/mm <sup>2</sup> )	33.2	35.0
割裂引張強度	(N/mm <sup>2</sup> )	3.1	3.2

表一七 鉄筋の物性

項目	単位	D19	D13
材質		SD345	SD345
降伏点	(N/mm <sup>2</sup> )	379	368
引張強さ	(N/mm <sup>2</sup> )	537	574



図一八 荷重一変位関係 (11D 曲げ試験)

クリートおよび鉄筋の物性を表一六、表一七に示す。

### 3.2 曲げ試験結果

#### (1) 荷重 - 変位関係

図一八に各供試体の荷重一変位関係を示す。また、図中にB0と同条件におけるひび割れ発生荷重、鉄筋降伏荷重の計算値を示す。

B11-1, B0 は鉄筋降伏まではほぼ同様の推移を示し、鉄筋降伏後はB11-1の方が、荷重の増加は少なくなった。B11-1の最大荷重はB0の94.3%であり、ほぼ同等であった。B11-2は降伏荷重到達直後に耐力を失い、破壊に至った。B11-1の初期ひび割れは、ひび割れ発生荷重(49.3kN)より小さい35kNで発生した。接着剤塗布により打継目の接着強度が向上し、2章の試験よりもひび割れ発生荷重が大きくなった。

#### (2) 破壊状態

図一九に各供試体の試験終了後の側面のひび割れ状況



(1)B11-1



(2)B11-2



(3)B0

図一九 供試体側面の破壊状態 (11D 曲げ試験)

を示す。B11-1は最初に打継目に沿ってひび割れが発生、進展し、破壊荷重到達時に供試体上面までひび割れが進展し、圧壊に至った。曲げひび割れは100mm~200mm間隔で発生しており、分散性は良好であった。打継目の開きは最大5.5mm、鉛直方向のずれは最大1.8mmで、破壊時の供試体上面に大きな段差は発生せず、供試体下面のコンクリートの剥落もなかった。

B11-2は降伏荷重付近まではB11-1と同様の挙動を示したが、降伏荷重到達直後に打継目のひび割れが上面まで進展し曲げ破壊に至った。同時に打継目のひび割れが大きく開いており、鉄筋の引抜により曲げ破壊に至ったと推定できる。B11-1は鉄筋降伏により付着が切れても、鋼板部の抵抗により鉄筋の引抜が抑制されるため、高い耐力を有すると考えられる。

### 3.3 せん断試験

#### (1) 荷重 - 変位関係

図一十に各供試体の荷重一変位関係を示す。また、図中にC0と同条件におけるひび割れ発生荷重、鉄筋降伏荷重の計算値を示す。

C11-1, C0 は鉄筋降伏まではほぼ同様の推移を示し、鉄筋降伏後はC0の方が、荷重の増加は少なくなった。最大荷重は継手なしの97.6%であり、ほぼ同等の耐力を有することが確認できた。C11-2は鉄筋降伏荷重に至る前に荷重が低下し、破壊に至った。

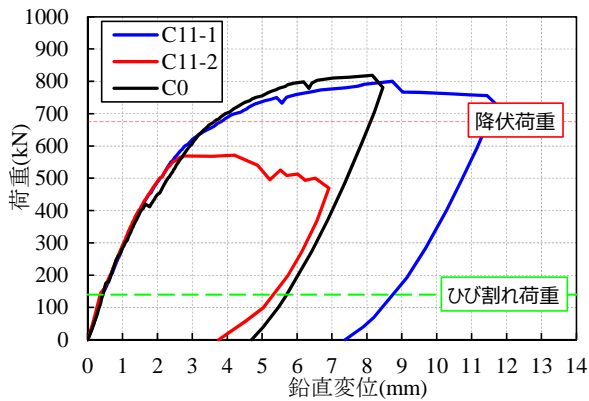
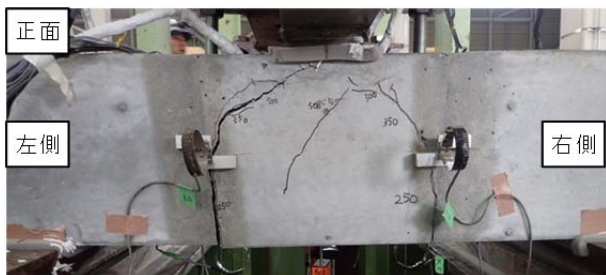
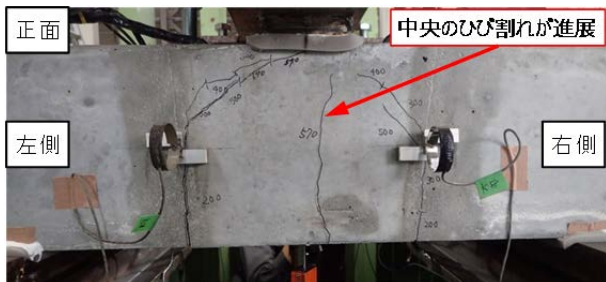


図-10 荷重-変位関係 (11D せん断試験)



(1)C11-1



(2)C11-2



(3)C0

図-11 供試体側面の破壊状態 (11D せん断試験)

## (2) 破壊状態

図-11 に各供試体の試験終了後の側面のひび割れ状況を示す。C11-1 側面は打継目からひび割れが発生し、載荷荷重 250kN では床版厚の半分まで打継目に沿ってひび割れが進展し、その後、載荷荷重 500kN まで供試体中央に向かってひび割れが進展したのち、徐々にひび

割れの開きが大きくなり 800kN で破壊に至った。左側打継目の開きが大きく、最大荷重時の開きは 6.3mm、鉛直方向のずれは 4.2mm であった。破壊時の供試体上面に大きな段差は発生せず、供試体下面のコンクリートの剥落もなかった。

C11-2 は 500kN 付近までは C11-1 と同様の挙動を示したが、570kN で供試体中央に曲げひび割れが発生、急速に上面まで進展し、降伏荷重に至る前に破壊に至った。

上記試験の結果から、孔あき鋼板を有する継手長 11D の継手構造は、曲げ荷重載荷時、せん断荷重載荷時において、継手を有しない供試体と同程度の最大荷重を示し、十分な耐力を有することが確認できた。破壊状態においても上面の段差、コンクリートの剥落を伴わなかった。

## 4. まとめ

本研究では、孔あき鋼板を鉄筋先端に配置した継手構造について、静的載荷試験による検討を行い、以下の知見を得た。

- ・継手長 9D~13D とした本継手構造の静的曲げ載荷試験を実施し、継手長が耐力に与える影響がほとんどないことが確認できた。これは引張鉄筋が降伏し、付着が切れた後でも、孔あき鋼板によって鉄筋が定着され、引張鉄筋が荷重を分担できるためと考えられる。
- ・継手長 11D の継手に対して、曲げ載荷試験、せん断試験を実施した結果、いずれも継手なしの場合と同等の耐力を有し、継手部が弱点とならないこと、破壊時に大きな段差、コンクリートの剥落等が発生しないことを確認した。
- ・孔あき鋼板の有無による静的載荷試験の結果から、ジベル孔のせん断と鋼板の支圧により高い耐力を有する孔あき鋼板と鉄筋が連結されることによって、鉄筋降伏後の引き抜けを防ぐことで、強固な継手構造となることが確認できた。

## 参考文献

- 1) 阿部浩幸, 原健吾, 澤田浩昭, 中村雅之: プレキャスト PC 床版の新しい RC 接合構造に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.3, pp.493-498, 2007.
- 2) 広瀬剛, 長尾千瑛, 中島章典, NGUYEN MINH HAI: 孔あき鋼板ジベルを用いたプレキャスト PC 床版の接合構造に関する実験的研究, 第 12 回復合・合成構造の活用に関するシンポジウム講演集, No.13, pp.1-8, 2017.11.
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書 (III コンクリート橋・コンクリート部材編)・同解説, pp.221-234, 2017.11.  
(2020 年 7 月 17 日 受付)