

(78) プレキャスト床版の新しい継手構造に関する実験的研究

広島大学 工学部第4類 藤井 堅
 極東工業(株) 技術本部技術部 戸川 邦彦
 同上 正会員 ○平田 雅也

1. はじめに

プレキャスト床版の継手構造としては、現在までに様々な研究が行われており、ループ継手のように最近採用例が多くなってきたものもある。しかし、ループ継手にはプレキャスト床版製作時の型枠施工の煩雑さや、現場でループ内に貫通鉄筋を配置する作業があり、施工性に劣るというデメリットがある。

本研究では、このような観点から、プレキャスト床版の継手強度を損なうことなく省力化できる継手構造を開発することを目的とし、ループ、曲げ上げ、重ねの3種類の継手構造を有するプレキャストRC床版の静的曲げ載荷試験を行い、各継手の終局耐力、破壊性状を把握し、継手としての性能について比較検討した。また、鉄筋のひずみ挙動から各継手構造のコンクリートと鉄筋の付着状態を明らかにし、鉄筋定着長を低減できる可能性を示した。

2. 実験概要

2.1 実験供試体および載荷概要

実験供試体は、中央に継手を有する供試体5体、および継手のない供試体1体の計6体である。図-1に供試体略図を示す。また、各供試体タイプの継手部諸元を表-1に示す。供試体寸法は全て2200×1100×200(mm)であり、継手のないType E以外は中央に継手を設けている。継手全長はType A, B, C, C'については300mm、Type Dについては400mmである。Type C'はType Cと同じ形状の供試体を上下反転したもので、Type Cの負曲げに対する性能を確認することを目的とした。なお表-1中Type C'の重ね長さ()の値は引張側鉄筋の重ね長を示すが、Type C'については、重ね長が100mmの重ね継手といえる。

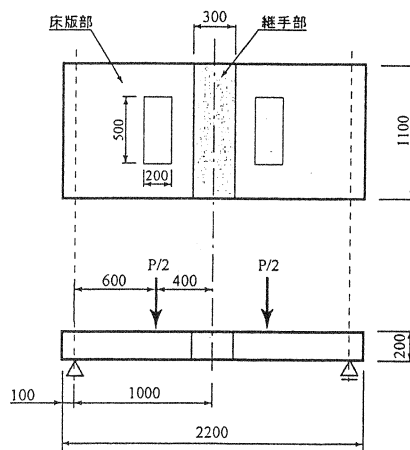


図-1 供試体略図

表-1 供試体タイプ

供試体名	継手タイプ	重ね長(mm)	継手全長(mm)	載荷 M
Type A	ループ	200	300	正
Type B	曲げ上げ	200	300	正
Type C	重ね	200	300	正
Type C'	重ね	200 (100)	300	負
Type D	重ね	300	400	正
Type E	継手なし	-----	-----	正

供試体製作に用いたコンクリートは、床版部には、設計基準強度 $\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$ の早強コンクリートを用いた。一方、継手部の間詰めコンクリートには床版部と同強度のコンクリートとしたが、収縮補償用に膨張剤を添加(30kg/m^3)した。

また、床版部と継手部との打継目での付着をできるだけ確保する目的で、プレキャスト部のコンクリート打設の際、予め型枠に凝結遅延剤を塗り、脱枠後、高圧洗浄水によりレイタンス処理を行っている。鉄筋はSD345(D19, D16)を使用した。各材料特性を表-2 および表-3 に示す。

載荷方法は、図-1のように支間2000mm、載荷間距離800mmで2辺支持2点載荷での静的曲げ載

荷試験である。載荷点には輪荷重(200mm×500mm)に相当する領域に等分布荷重を作用させた。載荷点には500kNの油圧式アクチュエーターを用いた。

表 - 2 コンクリートの材料特性

	供試体数	圧縮強度(N/mm ²)	弾性係数(kN/mm ²)	ポアソン比
床版部	6	36.2	29.0	0.23
間詰部	6	38.4	29.3	0.18

2.2 継手タイプ

各供試体における継手構造の詳細を図-2に示す。

表 - 3 鉄筋の材料特性

Type A: ループ継手

鉄筋をループ状に加工し、継手として使用したもので、引張鉄筋と圧縮鉄筋が一本化しているのがコンクリートとの支圧力による拘束効果が期待できる。施工上は、鉄筋を加工する作業が必要となるが、現場への運搬、設置が容易であるといえる。しかし、ループ内側に補強鉄筋を配置する際、構造上、床版端部から補強鉄筋を挿入せざるをえないため、作業性が悪い。

	降伏点 N/mm ²	引張強度 N/mm ²	伸び [%]	弾性係数 kN/mm ²	ポアソン比	
D16	1	422	589	31.2	204	0.28
	2	410	569	28.4	200	0.27
	3	415	572	30.1	216	0.28
	平均	416	577	29.9	210	0.28
D19	1	401	555	27.8	208	0.31
	2	418	572	31.0	216	0.32
	3	413	572	29.6	212	0.29
	平均	411	566	29.5	212	0.31

Type B: 曲げ上げ継手

引張鉄筋を曲げ上げ、鉄筋端部を圧縮鉄筋位置まで配置したものの。ループ継手と同様に鉄筋の加工が必要となるが、設置後に補強鉄筋を床版上面から配置できるので、施工はループ継手よりも容易である。また、圧縮側まで曲げ上げ、補強鉄筋を配置したことにより、ループ継手のような拘束効果がいくらか期待できると思われる。

Type C, C', D: 重ね継手

単純な直鉄筋重ね継手で、施工が最も容易である。この継手構造は、ループ継手や曲げ上げ継手のような拘束効果は期待しておらず、鉄筋とコンクリートとの付着力によって曲げに抵抗する構造である。鉄筋重ね長の影響を見るため、Type Cの重ね長は200mm、Type Dは300mmとした。また、Type C'では100mmに相当する。今回はループ継手との配筋を可能な限り同じにするため、これらの供試体にも対応する位置に補強鉄筋を配置したが、この継手構造における補強鉄筋の強度上昇効果はないと考えられる。

Type E 継手なし

継手を持たない床版であり、他の供試体と比較する場合の基本として製作した。

3. 実験結果と考察

3.1 曲げ耐力

表-4に、梁理論を用いて継手のない供試体(Type Eに相当)の種々の状態に対応する作用荷重、およびその時の曲げモーメントの計算結果を示す。曲げ載荷試験から得られた各供試体の最大曲げモーメントMを表-5に示す。これらの値は、表-2および表-3に示す材料試験結果を用いた。

表-5から、Type C'を除いた供試体は、若干の差異はあるもののほぼ同程度の強度が得られており、今回

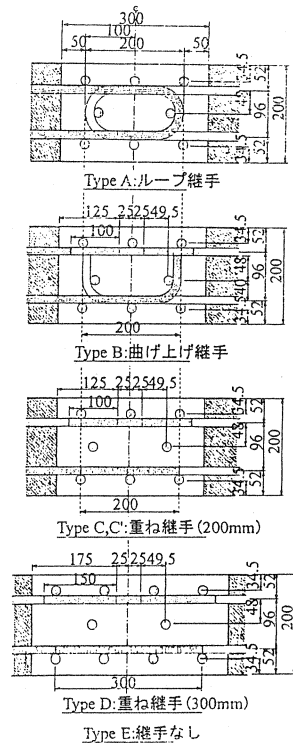


図 - 2 継手詳細図

採用した継手は Type C' 以外は十分な継手耐力を有していると判断できる。

継手のない Type E と比較すると、ループ継手 (Type A) および曲げ上げ継ぎ手 (Type B) は、両者とも同程度の耐力力であるが、約 10% 程度低い。ところが、単純重ね継ぎ手 Type C では Type E よりも 5% 低いものの鉄筋継ぎ手部趾端を曲げ上げている Type A や Type B よりも高い曲げ耐力力が得られている。これは、後でも述べるが、ひび割れが曲げ上げられた鉄筋に沿って、Type C よりも低い荷重で進展したためと推察される。

したがって、プレキャスト RC 床版継手における鉄筋の曲げ上げは、コンクリートのひび割れを誘引する可能性があるため、継手強度を必ずしも向上させるものではないと考えられる。すなわち、従来の鉄筋は、十分な

付着力を確保する目的で端部を曲げ上げている。これは、RC 梁の支点付近などのように曲げモーメントが小さい位置においては有効である。また、継手は断面力の小さい位置に設けるのが普通である。しかし、プレキャスト床版の継ぎ手部のように、設計曲げ

モーメントの小さい箇所に継手を設置するのが難しい場合の重ね継手については、鉄筋の曲げ上げが逆に強度を低下させる要因になることも予想され、今後なお十分な検討が必要と考えられる。

また表-5 で、鉄筋重ね長の長い Type D の曲げ強度は Type C のそれより大きく、さらに継手のない Type E よりも大きいことがわかる。Type C では D16 鉄筋に対して重ね長は 200mm であり、コンクリート標準示方書に定められる鉄筋重ね長 (基本定着長=320mm 以上) よりも短い。Type C の曲げ耐力力は継手のない Type E よりも幾分低いものの、コンクリート標準示方書に示される定着長ほど長くしなくても十分な継手耐力力が得られることが表-5 からわかる。また、Type C' の重ね長 (=100mm) では、明らかに不足することがわかる。なお、Type D の曲げ強度が Type E よりも大きいのは、供試体長に比べて重ね部の長さが大きくなり、床版全体の剛性が部分的に大きくなったことによると考えられる。これは、床版のたわみ分布を示した図-5 でも確認できる。

本研究では、重ね継手の曲げだけの実験であり、せん断力やねじりの影響は考慮していないが、曲げ耐力力だけの観点からは Type C のような単純重ね継ぎ手で十分な継ぎ手強度が期待できるといえよう。この場合ループ継手におけるループ内貫通鉄筋の配置のような煩雑な施工を省略できるという利点が期待できる。

3.2 曲げモーメント-たわみ曲線

供試体中央の曲げモーメントとたわみの関係を図-3 に示す。全供試体とも $M/M_u=0.20$ 付近でたわみの増加率が大きくなる。これはコンクリートにひび割れが発生したことによる。なお、コンクリートの引張強度を仮定して得られるひび割れ発生荷重は $M_{cr}/M_u=0.16$ である。コンクリートの初期ひび割れは、全供試体ともコンクリート打継目部に発生した。初期ひび割れ発生前のたわみ挙動およびひび割れ発生荷重は継手タイプによる差はない。

表 - 4 理論値

	荷重 kN(tf)	モーメント kN・m (tf・m)
ひび割れ発生	48(4.9)	14.4(1.46)= M_{cr}
降伏	277(28.3)	83.2(8.48)= M_y
終局	306(31.2)	91.7(9.35)= M_u

表 - 5 耐力力

	TypeA	TypeB	TypeC	TypeC'	TypeD	TypeE
最大荷重 kN (tf)	321 (32.77)	320 (32.67)	334 (34.10)	217 (22.09)	367 (37.46)	353 (36.02)
M kN・m (tf・m)	96.3 (9.83)	96.0 (9.80)	100.2 (10.23)	65.1 (6.63)	110.1 (11.24)	105.9 (10.81)
M/ M_y	1.16	1.14	1.20	0.78	1.32	1.27
M/ M_u	1.05	1.05	1.09	0.71	1.20	1.16

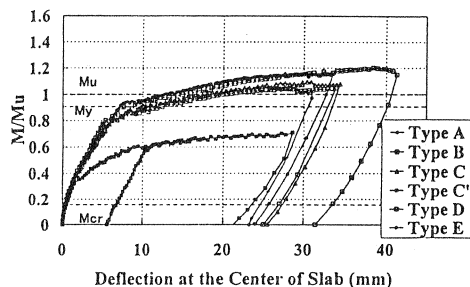


図 - 3 曲げモーメント - たわみ関係

また、Type C' 以外は、ひび割れ発生後から終局状態に至るまでほとんど差がない。Type C' では、明らかに重ね長が不足しており、また引張鉄筋量が少ないこともあって、他に比べて早期に剛性が低下し、終局耐力も小さい。

今回の載荷実験では、引張鉄筋降伏後最大荷重が現れた少し後で除荷した。この間、全供試体ともに急激な耐力低下もなく、極めてゆっくりとした安定なたわみ増加が得られた。このことから、今回の継手構造は、十分な変形能も有しており、RC で要求されている鉄筋の降伏先行型の崩壊を呈していると考えられる。

3.3 たわみ分布

ひび割れ発生前とひび割れ発生後における供試体のたわみ分布を、それぞれ図-4および図-5に示す。ひび割れ発生前 ($M/M_u=0.10$) たわみ分布 (図-4) には、床版を梁とみなし全断面有効として計算した梁理論値もあわせて示した。一方、ひび割れ発生後のたわみ分布を示す図-5では、コンクリートの引張側を無視した有効剛性を用いて算出された梁理論値もあわせて示した。

ひび割れ発生前では、図-4から、Type C' も含めてどの供試体もほぼ梁理論に近いたわみ分布である。また、図で、右側のたわみが大きいのは供試体の鉄筋量が左右で異なるため、鉄筋量が少ない右側のたわみが大きく現れている。

ひび割れ発生後 ($M/M_u=0.42$) 図-5では、Type C' のたわみが飛び抜けて大きいものの、それ以外のタイプはほぼ同程度のたわみ量で、梁理論値ともよく一致しているのがわかる。図-5で特徴的なのは、この時点ではすでに打継目部にひび割れが発生していることと、継手部の鉄筋量が多いため剛性が局部的に高いために、Type E 以外は打継目でヒンジを持つようなたわみ分布、すなわち継手部区間が直線的なたわみ分布となっていることである。

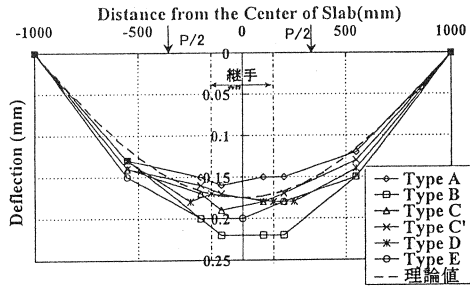


図-4 供試体スパン方向のたわみ分布 ($M/M_u=0.10$)

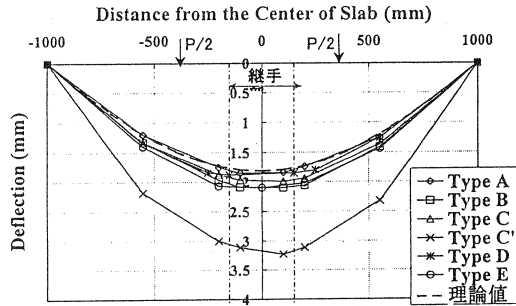
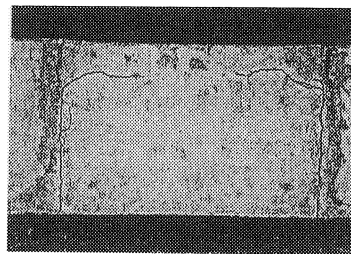


図-5 供試体スパン方向のたわみ分布 ($M/M_u=0.42$)

3.4 コンクリートのひび割れ

Type A、Type C および Type E の供試体側面のひび割れを写真-1に示す。継ぎ手のない Type E 以外は、 $M/M_u=0.16$ 付近で、継ぎ手部の問詰めコンクリートと床版コンクリート打継目の引張側からひび割れが発生し、荷重増加とともに打継目に沿って進展するのが特徴的である。すなわち、コンクリート打継目がプレキャスト床版では弱点となることが確認できる。

図-6に、床版コンクリートと問詰めコンクリートとの境界のひび割れ幅と曲げモーメントとの関係を示す。図から、



(Type A)

写真 1-(a) 継手部のひび割れ発生状況

打継目のひび割れ幅は、ひび割れ発生 ($M/M_u=0.16$) 後、荷重の増加とともに徐々に増え、曲げモーメント $M=0.8M_u$ 位から急増する。このことは Type C' と Type E を除く全タイプに共通する。このひび割れだけが集中して増加するのは、たとえ十分な曲げ耐力を有していても鉄筋の腐食・耐久性の面で好ましくない。したがって、プレキャスト床版の設計においては、コンクリート境界面に鉄筋量を増やすなどしてひび割れ幅を低減させる工夫が必要であると考えられる。

また、図 - 6 から、ひび割れ幅が急増する荷重 ($M=0.8M_u$) は Type A, B, C, D ともにあまり差がないのがわかる。ひび割れの急増は、後述する鉄筋のひずみでも確認できるが、ひび割れ位置付近で鉄筋が局部降伏したためである。継手部鉄筋の重ね長について、この観点からみると、これらの供試体は十分な重ね長を有していると判断できる。そして、鉄筋を重ねた範囲にはひび割れが発生していないことを考慮すれば、今回の結果からは重ね長を 20cm としても鉄筋が降伏するときの曲げ強度は保証できるといえる。

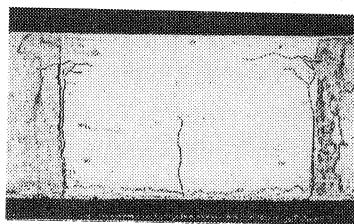
なお、Type C および Type D では、最大荷重付近で間詰めコンクリート部(スパン中央付近)にもひび割れが確認された。(写真 1-(b) 参照)

Type E の継手のない場合には、コンクリート下面(引張側)に多数のひび割れが発生しており、ひび割れ幅も小さく望ましいひび割れ状態といえる。また、この供試体は代表的な曲げ破壊形式である。継手を有する供試体でも Type C' を除けば全て曲げ破壊形式と判断できる。

一方、Type C' では、間詰めコンクリートの間に、重ね長 10cm の重ね継ぎ手を 2 カ所設置した継ぎ手構造を持つが、荷重点直下において特に大きなひび割れが発生した。この供試体は Type C を上下反転させたものであり、引張り鉄筋の 1/2 が荷重点付近で途切れた配置となっている。したがって、上記ひび割れは途切れた鉄筋趾端部から発生し、引張り鉄筋量そのものが少ないためにひび割れ幅が大きくなったと推測される。

3.5 鉄筋のひずみ

Type A, Type C および Type D の鉄筋のひずみ分布を図 - 7 に示す。図中、横軸は鉄筋に沿った距離を表しており、横軸の値そのものはあまり意味を持たない。間詰めコンクリートと床版コンクリートの境界を破線で示した。また、図 - 7(a) の Type A については、ループ鉄筋が引張り側まで曲げ上げられており、図の横軸はこの鉄筋に沿った距離を示している。したがって、図の右側から床版コンクリート引張側、コンクリート境界、継手部内で曲げ上げられて、先と同じ断面のコンクリート境界、そして床版コンクリート圧縮側(先の引張側の真上)という位置となる。なお、図 - 7 (b), (c) については、単純重ね継手であるから、横軸全体



(Type C)

写真 1-(b) 継手部のひび割れ発生状況



(Type E)

写真 1-(c) 継手部のひび割れ発生状況

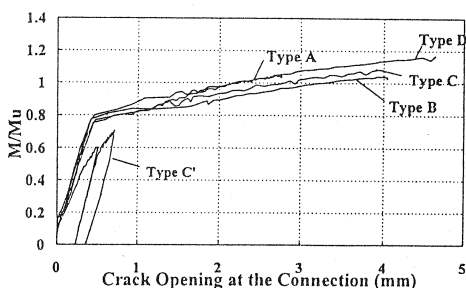
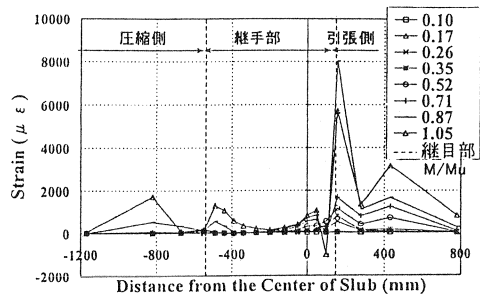
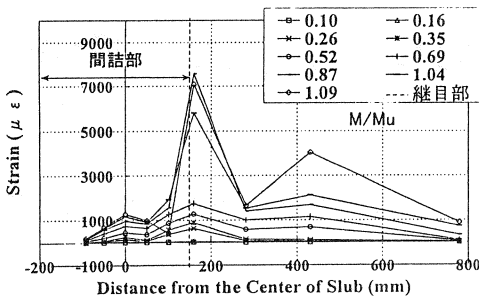


図 - 6 曲げモーメントと継目部のひび割れ幅の関係

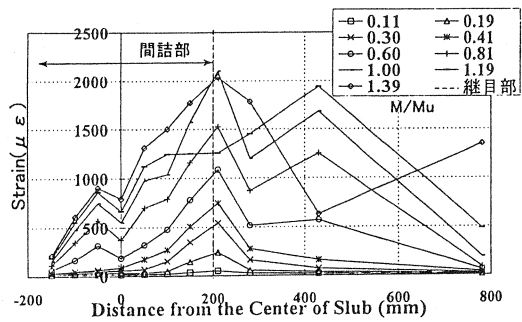
が引張側である。これらの図から、継目部のひび割れに対応して鉄筋のひずみが急増するのがわかる。しかし、鉄筋のひずみが大きい範囲は、継目部を挟んで20cm程度でしかない。したがって、鉄筋の断面積やコンクリート強度、また、拘束筋(鉄筋を囲む帯鉄筋)の状態などが影響するのは明らかであるが、実験結果からは鉄筋とコンクリートの定着長は20cm以上であれば十分であると考えられる。



(a) Type A



(b) Type C



(c) Type D

図 - 7 鉄筋のひずみ分布履歴

4. 結論

本研究では、プレキャスト床版の省略化・省力化のための新しい継ぎ手構造を開発した。今回の実験では、継手部に曲げモーメントが作用する場合に限定して、継ぎ手の挙動特性をループ継手および継手のない場合と比較した。得られた知見をまとめれば以下になる。

- ① 今回提案した曲げ上げ継手、単純重ね継手構造は、ループ継手と同程度の強度を有しており、プレキャスト床版の継手構造として十分に使用できる。とくに単純継手では、ループ継手のループ内の鉄筋配置作業を必用としないので施工が大幅に改善できる。
- ② 鉄筋の重ね長 200mm 程度で、引張鉄筋が降伏するまでの継手強度が保証できた。なお、これは鉄筋の直径、コンクリート強度、鉄筋表面形状や拘束筋などによって必要重ね長が変化するのは明らかである。しかし、コンクリート標準示方書で定められている必要定着長より短くても良さそうである。
- ③ ひび割れは、床版コンクリートと間詰めコンクリートの境界で発生した。これがプレキャスト床版の継手で最も大きな弱点といえる。ひび割れ幅が大きいと耐久性の面で好ましくないため、このひび割れ幅を小さく抑える工夫が必要である。

今回の実験は静的曲げだけに限定した。したがって、せん断強度や移動荷重による疲労強度の解明が今後の課題といえる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書 同解説，1996
- 2) 浜田・阿部・石川：種々のプレキャスト床版継手の静的挙動およびその実用性に関する研究，土木学会論文集 No.553, pp.103-116, 1996
- 3) 建設省土木研究所橋梁研究室 (社) 日本橋梁建設協会床版開発研究会：RCループ継手を用いたプレキャストプレストレスト床版の移動輪荷重載荷実験