

論文 床版継手部の押抜き強度に関する一実験

山本孝*1・浜田純夫*2・野村貞広*3・松尾栄治*4

要旨：本論文は、コンクリート床版継手部分の構造形態として、ラップ継手及びループ継手を対象に、静的押抜き強度試験を行い、荷重とたわみの関係及び荷重と各ひずみの関係等から、その力学特性について考察を行うものである。すなわち、ラップ継手構造と比較して、ループ継手構造は剛性的に有利であり、耐力も大きくなること、既往のせん断耐力、押抜きせん断耐力の評価式に対する適合性が良いこと等を明らかにした。

キーワード：ループ継手、押抜きせん断耐力、たわみ、鉄筋間隔

1. はじめに

日本における橋梁床版の接合方法は、P C鋼材あるいは鉄筋による接合であり、目下研究開発の途上にある。これら両者にはそれぞれ利点、欠点があり、一概に良否は決定できない。P C鋼材による接合法は、大きな接合力を得ることができるものの、部分的な床版の取り替えは困難である。鉄筋による接合法は、あらかじめ接合部分に鉄筋を張り出して、コンクリートを打設し、床版相互の接合を行うことができる。さらに片方のプレキャスト板が傷んだ時には取り替えが可能である。しかし、この接合方法は、継手部分が強度的な弱点となる恐れがある。この弱点は曲げに対する弱点と押抜きせん断に対する弱点があり、曲げに対してはすでに多くの文献において研究が発表されている。従って、現状においてはこのような継手構造の支配要因である押抜きせん断強度の検討が重要視されている。床版の損傷の多くは、曲げひび割れが生じた後押抜きせん断破壊を呈している。継目を有する床版においては、継目は貫通した曲げひび割れともみなされ、普通の床版に曲げひび割れが生じた時より厳しい状態と考えることができる。また、多くの場合床版は終局的には押抜きで破壊すると考えられている。

鉄筋による接合位置の具体的な位置としては、図-1

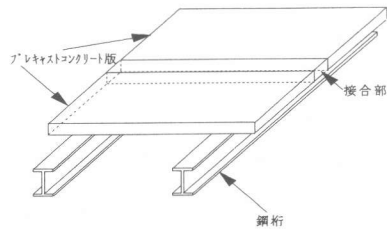


図-1 継手を有する床版の例

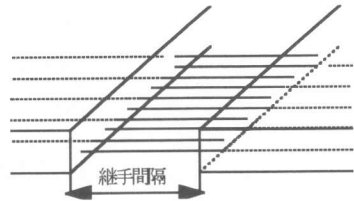


図-2 ラップ継手構造

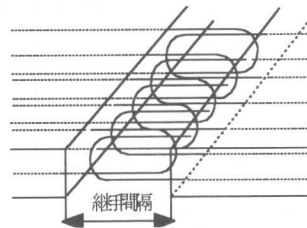


図-3 ループ継手構造

*1 山口大学大学院 工学研究科社会建設工学専攻（正会員）

*2 山口大学教授 工学部社会建設工学科, Ph. D.（正会員）

*3 （株）ピー・エス 技術開発部（正会員）

*4 山口大学助手 工学部社会建設工学科, 工博（正会員）

の様なシステムが用いられており、継手部においてはラップ継手、ループ継手が採用されている。ラップ継手とは図－2に示すように、直鉄筋をそのまま用いる方法であり、最も簡便で基本的なものである。一方、ループ継手は図－3に示すように、鉄筋をあらかじめループ状に折り曲げておき、そこに現場打ちコンクリートを打設する方法である。このループ継手には、ループ内部に支圧力が働き、直鉄筋のラップ継手よりも継手区間長を短くできるというメリットがある。しかし、このループ効果に関する規定は、我が国では勿論のこと DIN1045 等でも明確にされていない。鉄筋を用いる設計において我が国では、研究不十分ではあるが、ループ継手構造が採用されつつある。

そこで本研究では、前述の2種類の継手構造が押抜き耐力に及ぼす影響を調べることを主目的に、継手部に作用する荷重下での種々の挙動を明らかにした。さらに既往のせん断耐力の評価式により、各供試体の破壊荷重を比較した。

2. 実験方法

2. 1 供試体の作製

実験供試体は、プレテンションのプレストレスとし、継手部は後打ちコンクリートを打設して床版相互を一体化した。使用材料の機械的性質を表－1に、供試体の名称及び諸元を表－2に示す。記号で LJ はラップ継手を、VL はループ継手を表し、前の数字は継手区間長(cm)を、後の数字はプレキャスト床版部の鉄筋のピッチを表す。例えば LJ40－15 は、ラップ継手、継手間隔が40cm、鉄筋が15cm ピッチで配置されていることを示している。

表－1 使用材料の機械的性質

コンクリート（プレキャスト部）	圧縮強度	56.9MPa
コンクリート（後打ち部）	圧縮強度	58.3MPa
鉄筋	引張強度	490MPa
PC より線（ ϕ 2.9mm, 3本より）	引張荷重	35.4GPa 以上

表－2 供試体の名称及び諸元

供試体名称	継手構造	継手間隔 (cm)	長辺長 (cm)	短辺長 (cm)	床版厚 (cm)	載荷板長辺長 (cm)	載荷板短辺長 (cm)	継手部鉄筋 (D19) 本数
LJ40－15	ラップ継手	40	230	140	11.5	27	9	4
LJ40－20	ラップ継手	40	230	140	11.5	27	9	4
LJ30－15	ラップ継手	30	220	140	11.5	18	9	3
LJ30－20	ラップ継手	30	220	140	11.5	18	9	3
LJ20－15	ラップ継手	20	210	140	11.5	9	9	2
LJ20－20	ラップ継手	20	210	140	11.5	9	9	2
VL30－15	ループ継手	30	220	140	11.5	18	9	3
VL30－20	ループ継手	30	220	140	11.5	18	9	3
VL20－15	ループ継手	20	210	140	11.5	9	9	2
VL20－20	ループ継手	20	210	140	11.5	9	9	2

2. 2 供試体の概要

図－4 に供試体の概要を示す。プレキャスト床版部継手直角方向に PC より線（ $\phi 2.9\text{mm}$, 3 本より）を、継手方向に異形鉄筋（D10）を 15cm ピッチで 9 本、あるいは 20cm ピッチで 7 本配置した。また、継手部の継手直角方向には、異形鉄筋（D19）を配置した。また、ループ継手の詳細図を図－5 に示す。ここではループ継手の折り曲げ半径を 35mm とした。

2. 3 荷重方法

供試体材齢は、28 日以上とした。供試体の支持条件は、浮き上がり防止を設けない 4 辺単純支持とした。支点は長さ 80cm、直径 5cm の丸鋼棒を用い、供試体の各辺中央部に設置した。

荷荷板は、供試体の長辺方向に荷荷板の長辺となるように、配置した。供試体の長辺長、荷荷板の長辺長は表－1 に示す通りである。荷荷位置は、供試体の中央部すなわち構造的に最も弱い部分である継手部の中央である。図－6 に荷荷の概要を示す。

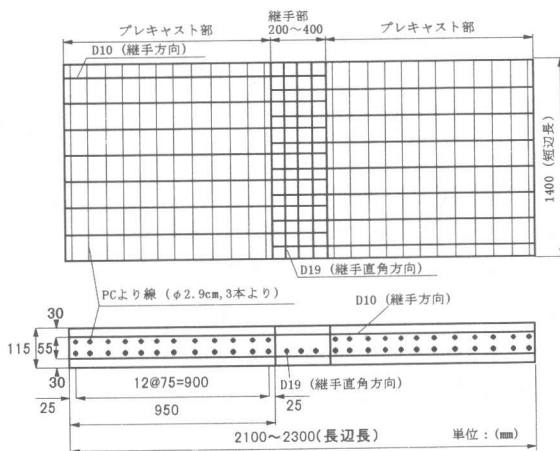
3. 結果及び考察

3. 1 継手構造と押抜きせん断耐力の比較

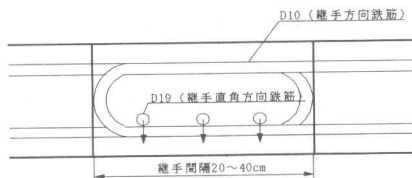
表－3 継手構造と押抜きせん断耐力の比較

継手間隔 (cm)	継手方向鉄筋 量(cm^2)	ラップ継手破壊荷重 (kN)	ループ継手破壊荷重 (kN)	破壊荷重比 (ループ/ラップ)
30	12.8	169	228	1.35
30	9.99	178	216	1.21
20	12.8	168	195	1.16
20	9.99	125	186	1.49

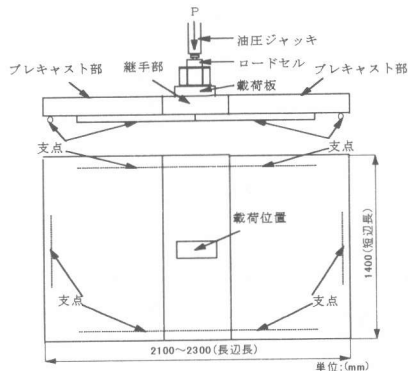
表－3 に継手構造の違いによる押抜きせん断耐力の比較を示す。この表によると、ループ継手供試体の方が大きい荷重で破壊した。これは、ループ継手供試体の圧縮側鉄筋がせん断に対して有効に作用したことが考えられる。また、ループ鉄筋によりループ内のコンクリートが一種の拘束状態をもたらしたことが理由となっているように考えられる。



図－4 供試体の概要



図－5 ループ継手の詳細図



図－6 荷荷の概要

3. 2 荷重－鉄筋ひずみ関係

図－7にLJ40－15の荷重と継手直角方向鉄筋ひずみの関係を示す。ひずみのゲージ位置は図－8に示す通りである。すなわち、ゲージを継手直角方向鉄筋(D19)の載荷部に近い内側の鉄筋に、20cm 間隔で貼付け、また、継手方向鉄筋(D10)の接合面付近に貼付した。図－9にLJ40－15の荷重と継手方向鉄筋ひずみの関係を示す。図－7において、継手直角方向鉄筋はA～Cのどの測点においても降伏することなく、破壊に至っている。しかし図－9に示すように、継手方向の鉄筋は、破壊の直前で、降伏しているのがわかる。

したがって、破壊直前に継手方向の鉄筋が降伏し破壊に至ったことになる。また、圧縮面が陥没しコンクリートが押抜かれており、この供試体の破壊形式は面の押抜きせん断破壊であった。

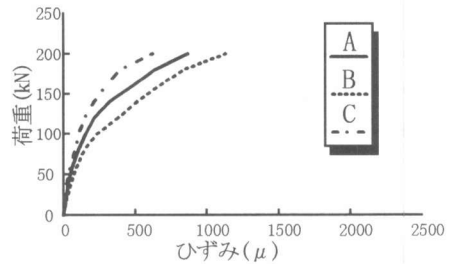
3. 3 荷重－圧縮側コンクリートひずみ関係

図－10に、LJ40－15の荷重－圧縮側コンクリートひずみ関係を示し、そのときのゲージ位置を、図－11に示す。継手部では、C1のひずみが大きく、プレキャスト部では、C3のひずみが大きい。

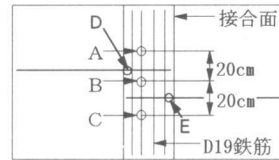
従って、短スパン方向の支点は、ひずみに大きく影響を与えているが、長スパン方向の支点はあまり有効ではないことがわかる。

3. 4 ひび割れ性状

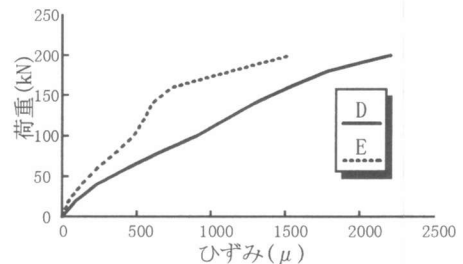
図－12にLJ20－15の引張側平面のひび割れ図を、図－13にVL20－15の引張側平面のひび割れ図を示す。図－5ループ継手の詳細図に示すように、継手直角方向鉄筋は、継手方向鉄筋より上側に配置したために、継手部では継手方向にひび割れが発生し、それが発達して亀甲状のひび割れがみられた。この傾向はラップ継手供試体同様、ループ継手供試体でもみられた。プレキャスト床版部では、接合面付近のコンクリートが剥離した。したがって、継手直角方向鉄筋は、ひび割れへの影響を考慮し、継手方向鉄筋の下側に配置した方がよい。



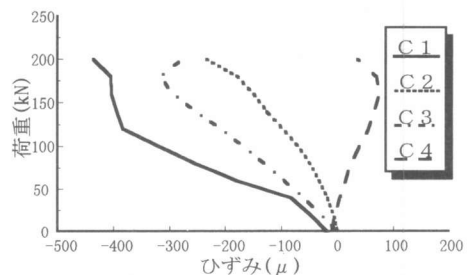
図－7 継手直角方向鉄筋の荷重－ひずみ曲線



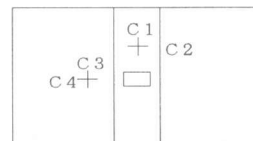
図－8 ひずみゲージの貼付位置



図－9 継手方向鉄筋の荷重－ひずみ曲線



図－10 荷重－圧縮側コンクリートひずみ関係



図－11 ひずみゲージ貼付位置

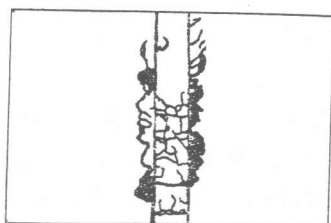


図-12 ひび割れ図(LJ20-15)

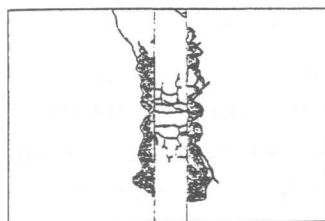


図-13 ひび割れ図(VL20-15)

4. 既往の算定式によるせん断耐力の評価

表-4 破壊荷重及び既往の算定式を用いたせん断耐力 (* a は破壊荷重/計算値)

供試体 名称	継手 間隔 (cm)	継手直角 方向鉄筋 量(cm ²)	破壊 荷重 (kN)	示方書 (はり) [1] (kN)	示方書 (面) [1] (kN)	松井式 (はり) [2] (kN)	松井式 (面) [3] (kN)	角田式 (面) [4] (kN)
LJ40-15	40	11.46	212	46.7	152	256	314	331
			a*	4.54	1.39	0.83	0.68	0.64
LJ40-20	40	11.46	208	46.7	150	261	310	325
			a	4.45	1.39	0.80	0.67	0.64
LJ30-15	30	8.595	169	35.0	133	198	249	285
			a	4.83	1.27	0.85	0.68	0.59
LJ30-20	30	8.595	178	35.0	132	196	244	284
			a	5.09	1.35	0.91	0.73	0.63
LJ20-15	20	5.730	168	23.4	115	129	182	236
			a	7.18	1.46	1.30	0.92	0.71
LJ20-20	20	5.730	125	23.4	114	129	180	239
			a	5.34	1.10	0.97	0.69	0.52
VL30-15	30	8.595	228	35.0	133	198	249	285
			a	6.51	1.71	1.15	0.92	0.80
VL30-20	30	8.595	216	35.0	132	194	245	283
			a	6.17	1.64	1.11	0.88	0.76
VL20-15	20	5.730	195	23.4	115	127	182	236
			a	8.33	1.70	1.54	1.07	0.83
VL20-20	20	5.730	186	23.4	114	128	180	241
			a	7.95	1.63	1.45	1.03	0.77

既往の床版押抜きせん断耐力評価式との適合性の検討を行う。すなわち、示方書による棒部材設計せん断耐力[1]、面部材の設計押抜きせん断耐力[1]、松井によるはりのせん断耐力[2]、松井らによる鉄筋コンクリート床版の押抜きせん断耐力の評価式[3]、角田らによる鉄筋コンクリート床版の押抜きせん断耐力の算定式[4]を用いて理論値を算出した。その計算結果と各供試体の

破壊荷重を表－4に示す。これらの算定式は継目を有さない普通床版を対象としたものであるため、本実験で用いた継手構造の影響は理論値には現れていない。なお、角田式は4辺単純支持を対象としたもので、松井式は、2辺、4辺単純支持のいずれにも対応したものである。

表－4において、各破壊荷重を比較すると、継手間隔が長い供試体は継手区間長が短い供試体と比べて、大きい荷重で破壊した。これは継手の定着長が確保されたと解釈できる。さらに、同じ継手構造の継手間隔を持つ供試体でプレキャスト床版部の鉄筋間隔による破壊荷重を比較した場合、鉄筋間隔の狭い（15cm ピッチ）供試体の方が、ほとんどの場合、鉄筋間隔の長い供試体よりも大きい荷重で破壊している。また、各供試体の破壊荷重と計算値を比較すると、示方書の棒部材の設計せん断耐力は、せん断補強用鋼材を用いないものとして計算したので、実際の破壊荷重は、棒部材の設計せん断耐力を大幅に上回った。また、ラップ継手の供試体よりも、ループ継手の供試体が、各式において破壊荷重への適応性が高かったことから、継手部分と床版部分の一体化が良好であると考えられる。

5. まとめ

本研究で得られた主な結論を以下に示す。

- (1) ループ継手は、ラップ継手よりも剛性及び終局押抜きせん断耐力の向上に効果的である。
- (2) 各供試体の破壊荷重と計算値を比較した場合、ラップ継手の供試体よりもループ継手の供試体の方が、示方書の面部材の設計押抜きせん断耐力、松井および角田らの提案する式への適応性が比較的よい。しかし、今後押抜き強度の算定式の検討を行う必要がある。
- (3) 継手直角方向鉄筋はひび割れへの影響を考慮し、継手方向鉄筋の下側に配置した方がよい。

参考文献

- [1] コンクリート標準示方書（平成8年制定）設計編，土木学会，pp.60－67，1996
- [2] 松井繁之：移動荷重を受ける道路橋RC床版の疲労強度と水の影響について，コンクリート工学年次論文報告集，9－2，pp.627－632，1987
- [3] 前田幸雄，松井繁之：鉄筋コンクリート床版の押抜きせん断耐力の評価式，土木学会論文集，第348号/V－1，pp.133－141，1984.8
- [4] 角田与史雄，井藤昭夫，藤田嘉夫：鉄筋コンクリートスラブの押抜きせん断耐力に関する実験的研究，土木学会論文報告集，第229号，pp.105－115，1974.9