論文 鉄筋トラス付き捨型枠工法の RC 床版の曲げ性能に関する実験的研 究

岡田 賢*1·近藤 弘*2·立花 正彦*3

要旨:本研究では,鉄筋トラス付き捨型枠工法に用いる梁上端に設置する上端連結筋に金網状に構成した鉄筋(メッシュ筋),さらに長辺方向は特殊接合部を用いてすだれ状にした配力筋(スダレ筋)を用いた RC 床工 法を提案し,また在来工法との比較検討を目的とした構造実験を行った。この結果を通して,本工法の構造 設計への実用化に向けた基礎資料を得ることができた。

キーワード: RC スラブ,鉄筋トラス付き捨型枠工法,上端連結筋,曲げ実験

1. 研究目的

鉄筋トラス付き捨型枠工法を用いた床版は,種々開発 され実用化されている¹⁾²⁾³⁾。本研究は,鉄筋トラス付き 捨て型枠工法に用いる梁上端に設置する上端連結筋にこ れらを一定間隔とするツナギ筋をスポット溶接すること により金網状に構成した鉄筋(以後,メッシュ筋と称す)、 さらに長辺方向の配力筋はすだれ状(以後、スダレ筋と 称す)にする。これらを使用した時のその床版の長期荷 重による曲げ性能等を実験的に明らかにし、メッシュ筋 とスダレ筋を用いて、上端連結筋及び配力筋を精度よく 配筋でき力学的性能を実験的に確認し、さらに在来工法 との比較検討を行い、この工法の設計指針のための基礎 資料を得ることである。

2. 本工法の概要

本工法の概要を図-1に示す。梁巾の両端に鉄筋トラ ス付捨型枠を設置し,梁上の床の上に工場加工にて生産 したメッシュ筋(図-1a)を置き,梁の上端連結筋とす る。さらにすだれ状の配力筋を設置する。なお、メッシ ュ筋は上端連結筋とツナギ筋とのスポット溶接にて組み 立てる。また、スダレ筋は図-1bに示す特殊接合部(材 質:ポリアセタール)を用いて連結ロープと配力筋を一体 化してすだれ状にする。

この工法の特徴は、①工場生産による現場配筋の省力 化、②熟練工及び職人不足でも精度の高品位な配筋が可 能であること、③上端連結筋とツナギ筋との溶接で上端 連結筋の付着性能を向上させること、④配力筋をすだれ 状にまとめることでの運搬の効率化などである。

3. 実験計画と試験体の設計

3.1 実験計画

実験計画を表-1に示す。実験変数は、上端連結筋の

*1 東京電機大学未来科学研究科建築学専攻 大学院生 (学生会員)

*2 株式会社 富士昭技研 技術部長

*3 東京電機大学未来科学部建築学科 教授・工博 (正会員)



表-1 実験計画

			D13 @150 定着長さ(mm)			
つなぎ筋			520(40d)	325(25d)	325(25d)	
			フック無	フック付	フック無	
φ6 @100	本数	0	No.101*	No.102 *	No.103 *	
		1	-	-	No.104 *	
		2	-	-	No.105 *	
		3	-	-	No.106 *	

*:記号は試験体名を示す

表-2 使用材料の機械的性質



定着長さ(2水準),フックの有無及びメッシュ状にする ツナギ筋の本数(4水準)とする。

試験体数は、重ね継手の在来工法の試験体(試験体名 No.101),フック付き継手の試験体(No.102),ツナギ 筋の本数が無し,1、2及び3本の試験体(No.103、No.104、 No.105及びNo.106)で,No.101~No.104が各1体,No.105 及びNo.106が各3体とし,試験体は合計10体とする。

3.2 試験体の形状及び寸法

試験体は実大寸法とし、その形状及び寸法を図-2に 示す。試験体の中央に RC 梁断面 b×D=400×550、主筋 4-D13(pt=0.24%),帯筋 D10@150(pw=0.19%)を配置し、 この梁の両側に捨て型枠床版(上端筋 D13@200, 下端筋 D10@200, トラス筋 6 でトラスせい h=70mm)を配置す る。床版の長さは1=1050mmとして試験体全長L= 2500mm とする。また床巾は B=850mm とする。上端連 結筋の形状と寸法は図-2(a)に示すとおりで, No.101 では 在来工法で重ね継手長さ 520 (40d) mm とし, No.102 で は180 度フック付き継手で並行部が325(25d) mm とす る。No.103~No.106 では No.102 同様重ね継手を長さ 325 (25D) mm をとし、ツナギ筋を無し、1,2,3 とする。ツ ナギ筋は60とし、1本目は端部から50mmとし、2本目 以後は@100と、メッシュ状で配筋する。また、上端連 結筋とツナギ筋 6φをスポット溶接(溶接条件:加圧力 0.35mPa, 電流 85%8500A サイクル 20) とする。上端連 筋の位置は、重ね継手の最も不利な場合を想定してトラ ス上端筋のピッチの中間部とする。配力筋はすべて試験 体で同じであり、D10@200 で配筋する。

これらを使用した材料の機械的性質を表-2に示す。 また、メッシュ筋の連結筋とツナギ筋との溶接点せん断 実験結果を図-3に示す。この図の縦軸は引張荷重 Pt(kN) を、横軸は試験機の変形量 δ(mm)を示す。また、実験は







(b)メッシュ筋の形状と寸法

図-2 試験体の形状及び寸法



図-3 メッシュ筋スポット溶接部挙動



JIS35515⁴⁾を準用してせん断実験を行い、ツナギ筋と冶 具との間には薄い鋼材を挿入して、クリアランスは無い ものとし、コンクリート中に連結筋とツナギ筋がある状 態を想定した。

4. 実験方法と測定項目

4.1 実験方法

実験方法は、図-4に示す様に圧縮試験機中央部に梁 断面中央部を設置し、加力ビームによりスラブ両端部に せん断力(Qs=P/2, P:試験機の集中荷重)を作用させ、床 版の RC 梁への固定端に長期荷重時の曲げモーメントが 作用するように加力した。また、載荷条件は単調載荷と する。実験風景を図-5に示す。

4.2 測定方法

測定方法は図-4に示す様に試験体中央部の梁部分を 不動点とし、床版左右の垂直変形δ(mm)を測定する。 また、上端連結筋に W.S.G を添付し歪値を測定する。

5. 実験結果と考察

5.1 ひび割れ及び破壊状況

主なひび割れパターンを図-6 に、実験終了時のひび 割れ及び破壊状況の代表例を図-7 にそれぞれ示す。な お,図-6,7 中の太破線は上端連結筋又はメッシュ筋の配 筋状況を示す。

ひび割れおよび破壊状況を概観すると、各試験体とも 梁部材とスラブとの境界面に発生する曲げひび割れ(a) (図-6参照)がQs=6~8kNで発生し、10kN程度になると スラブ上面を横断する。その後、荷重が増大すると境界 面からスラブ側に10~20cm離れた箇所に曲げひび割れ (b)が1~2本発生し、そのひび割れもスラブ上面を横断 する。ひび割れ(a)はQs=20kN、梁端垂直変位量 δ =9mm 程度よりひび割れ幅が増大し、その後耐力の低下もなく δ =40mm程度まで達する。また、 δ =20~30mm程度にな るとひび割れ(c)が発生する。また連結筋とツナギ筋がス ポット溶接している場所に生じているひび割れ幅が増大 するような現象は見受けられず、連結筋とツナギ筋との スポット溶接も実験終了時まで破断するような現象は認 められない。



図-5 実験風景



図-6 主なひび割れパターン



図-7 実験終了時のひび割れ状況の代表例

以上より,ひび割れ及び破壊状況は,メッシュ筋及び スダレ筋を用いても在来工法と同程度であり,実験変数 による影響はほとんど認められない。

5.2 荷重変形関係

各試験体の荷重-変形関係を実験変数別に図-8(a) ~ (d) それぞれ示す。同図中の縦軸はスラブに作用するせ ん断力 Qs(=P/2)(kN)を, 横軸は床端における垂直変形 δ (mm)及び部材角 R(%) (R= δ /900) をそれぞれ示す。 これらの図より以下のことが明らかとなった。

① 左右のスラブ端部の変形量は、図-8(a)の代表例に示すように同様の変形性状を示す。本実験において、変形状況のバラツキはほとんど認められず、本論では、荷重変形性状は左右の変形性状の平均とする。

② 定着長さ及びフック付有無による影響は、図-8(b) に示すように上端連結筋の定着長さ40dのNo.101と定着 長さ25d No.102とはほぼ同じ性状を示し、曲げひび割れ 発生後の剛性もほぼ同様である。

しかし,定着長さ25dフック無しのNo.103の試験体は、 曲げひび割れ発生まではNo.101、No.102 とほぼ同様の状 態を示すが,曲げひび割れ発生後の剛性はNo101、No.102 に比べて約6割程度低下する。さらに,この剛性低下の より変形が増大する降伏点はNo.101、No.102 では約 δ =10mm, R=1.1%, Qs=20kN 程度で, No.103 では δ =12mm、 R=1.3%, Qs=20kN 程度でそれぞれ生じている。降伏以 後の剛性は, No.102 が No.101 と No.103 と比べて若干正 の剛性を示し高くなっている。これは,上端連結筋の端 部のフック形状の引掛りによるものと考えられる。

以上より,定着長さとフック有無による変形性状は, 曲げひび割れ後の剛性と降伏変形量および曲げ降伏後の 剛性に影響が認められる。

③ ツナギ筋の有無による変形性状は、図-8(c)に示す ように No.103 においては、ツナギ筋が無いためひび割れ 後の剛性が 6 割程度低下する。ツナギ筋のある No.104, No.105,No.106 は、変形の増大する降伏時まではほぼ同じ 状況を示し、No,101 と同様の剛性を示す。これはツナギ 筋による定着効果が認められたものと考えられる。また、 ツナギ筋の本数が多くなると降伏後の剛性が、高くなる 傾向を示し、No.104,105,106 では No.101 試験体より同程 度又はそれ以上の剛性を示す。ツナギ筋 3 本の場合 No.106 では 180°フック付 No.102 試験体と同様の剛性を 示す。

④ No.105,No.106の試験体は、図-8(d)に示す様に3体 づつ実施したが、ほぼ同じ変形状況を示し、大きなバラ ツキは認められなかった。

5.3 各部歪性状

危険断面位置 A および危険断面から 225mm離れた位置 B 断面の連結筋の歪性状を実験変数別に図-9(a)(b)



に示す。同図中の縦軸は測定位置における曲げモーメン ト Ms(kN・m)を、横軸は各部に貼付した W.S.G で 測定 した歪量 ε を示す。これらの図より以下のことが明らか となった。

定着長さ(No.101, No102, No.103, No.104)による歪性状は、図-9(a)に示すように、各試験体ともA断面位置では図7の曲げひび割れ(a)が発生すると急激に歪が増大し、その後徐々に荷重の増大とともに歪が増大し、Ms=18(kN·m)までは上端連結筋の定着性状による影響はほとんど見られない。

その後以後の歪性状は、定着性状により荷重に若干の 相違が認められ、定着長さが短い No.103 で歪量が若干少 なめであるが、実験変数にかかわらずはぼ同じ剛性で増 大し、降伏歪に達したものと考えられる。

② B断面では No.101、No.102 および No.104 では,ほぼ同じ性状を示すが、No.103 では極端に歪値が小さい値を示す。これは、定着長さが短いためと考えられる。しかし、同一定着長さでツナギ筋のある No.104 は、No.101と同様であることから、ツナギ筋が存在することにより 在来工法 N0.101 と同様の付着性能が発揮しているものと考えられる。

③ ツナギ筋の実験変数による (No.104, 105, 106)の A および B 断面の歪性状は、図-9(b)に示すように、両 断面共に定着長さ (No.101)が規定の値より短くてもツ ナギ筋が存在することにより在来工法 N0.101の危険断 面 A 断面および B 断面の歪性状とほぼ同じ挙動を示すと 考えられる。

5.4 各種耐力

各試験体の曲げひび割れ発生荷重及び降伏時の荷重の 実験値及びこれらの計算値を表-3に示す。なお,表-3 中の eQcr および eQy はひび割れ発生耐力及び降伏耐力 の実験値を、cQcr および cQy はひび割れ耐力及び降伏耐 力の計算値を示す。また,これらの実験値は目視及び荷 重変形関係より算出し,また,計算値は日本建築学会鉄 筋コンクリート構造計算規準・同解説⁵⁾(以下、RC 基準 と称す)に従った。

曲げひび割れ耐力の実験値と計算値の比は 表-3に示すように0.75~1.02の範囲であ り比較的良く一致している。また,降伏耐力 のその比は0.99~1.11の範囲にあり比較的良 く一致していると考えられる。

次に上端筋の付着応力について検討する。 本実験では上端筋の付着割裂破壊は生じてい ないので,危険断面位置における引張付着力 (Na)は鉄筋のコンクリートに対する付着応力 度(fa)を RC 基準の6条及び16条に準じてを 算出した。また,ツナギ筋による付着による



表-3 実験結果

計除仕々	Fc	eQcr	cQcr	eQcr	eQy	cQy	eQy
武熙14-石	(N/mm))	(kN)	(kN)	cQcr	(kN)	(kN)	cQy
No.101	28	8.5	9.9	0.86	20.4		1.08
No.102	28	7.3	9.7	0.75	20.3		1.08
No.103	27	8.3	10.0	0.83	19.7		1.05
No.104	29	8.0	10.4	0.77	19.6		1.04
No.105-1	32	8.1	10.5	0.77	18.7	10.0	0.99
No.105-2	29	10.4	10.2	1.02	19.7	10.0	1.05
No.105-3	28	9.4	9.8	0.97	19.8		1.05
No.106-1	28	8.2	10.5	0.78	20.5		1.09
No.106-2	29	9.5	10.0	0.95	20.1		1.06
No.106-3	32	8.2	10.7	0.77	20.9		1.11

表-4 上端連結筋の付着耐力と降伏耐力との比較

試験体名	定着長さ ld (mm)	ツナギ筋 本数	fa (N/mm)	Na (kN)	Nw (kN)	Nty (kN)	cN (kN)	cN/Ny
No.101	520	0	3.71	77.1	I		77.1	1.65
No.102	325	0	3.71	68.9	I		68.9	1.48
No.103	325	0	3.65	47.4	I		47.4	1.01
No.104	325	1	3.77	48.9	10.4	18.0	66.9	1.43
No.105-1	325	2	3.95	51.3	20.8	36.0	87.3	1.87
No.105-2	325	2	3.77	48.9	20.8	36.0	84.9	1.82
No.105-3	325	2	3.71	48.2	20.8	36.0	84.2	1.80
No.106-1	325	3	3.71	48.2	31.2	54.0	102.2	2.19
No.106-2	325	3	3.77	48.9	31.2	54.0	102.9	2.20
No.106-3	325	3	3.95	51.3	31.2	54.0	105.3	2.25

引張応力伝達は、ツナギ筋のスポット溶接 のせん断耐力(Nw)とツナギ筋の直接せん断降伏耐力 (Nty)による値が考えられ,これらの計算値を表-4に 示す。これらの累加で上端筋の危険端面における短期付 着応力 cNを算出する。これらの計算結果を表-4に示す。 この表の鉄筋コンクリートに対する付着応力度は RC 基 準の6条及び16条に準じて算出する。また、ツナギ筋に よる付着の応力伝達は図-3によるせん断実験による。

本実験では、この接合部での破壊が観察されなかった ため、危険断面位置における付着による引張力は、cN= Na+Ntyで表せるとして算出し、これらの計算結果を表 -4に示す。cNと連結筋の素材試験結果より得られた降 伏耐力 Ny との比(cN/Ny)は、実験変数にかかわらず 1.01~2.25の間にあり、連結筋の主筋が降伏し表-4に示 すように床部材の降伏曲げ耐力に達したものと考えられ る。

6. まとめ

鉄筋トラス付き捨型枠工法に用いる梁上端に設置す る上端連結筋にメッシュ筋,さらに配力筋としてスダレ 筋を用いた RC 床工法について,実大試験体を用いてス ラブの曲げ性能実験を実施した結果,下記の結論を得た。 1) ひび割れ及び破壊性状は、連結筋の定着長さが 25d であると在来工法(連結筋の定着長さ 40d)と比べて曲 げひび割れ発生後約6割程度剛性が低下する。その関係 で曲げ降伏時点も3割程度変形が大きくなっていること。 2) メッシュ筋を用いた(連結筋の定着長さ 25d)試験体 の荷重変形関係は,ツナギ筋の存在により在来工法のそ れとほぼ同程度又はそれ以上の性能を示すこと。

3) すだれ状にした配力筋を用いても力学的性状に及 ぼす影響は認められないこと。 4) 上端連結筋の付着耐力は、鉄筋表面の付着応力度と ツナギ筋の定着強さの累加で表現でき、連結筋の降伏耐 力を上回れば連結筋の降伏が先行すること。

参考文献

岡田 賢,近藤 弘,立花 正彦:鉄筋トラス付き捨
型枠工法の床版の曲げ性能に関する実験的研究,日本建
築学会大会学術講演梗概集 2014

2) 深澤協三,近藤弘,立花正彦:鉄筋トラス付きスラ ブ型仮設時の力学性状に関する実験的研究,日本建築学 会大会学術講演梗概集 2006

3) 磯野 重浩, 京牟禮実:鉄筋コンクリート造の施工 時の挙動計測 その3 コンクリート合成スラブと鉄筋ト ラス捨て型枠工法をスラブに用いた挙動の計測, 日本建 築学会研究報告.九州支部 2003.3

4) 日本工業規格: JIS3551:2005 溶接金網及び鉄筋格子
5) 日本建築学会:鉄筋コンクリート構造設計規準・同
解説 2010

謝辞

本研究は東京電機大学と株式会社富士昭技研との共 同研究であり,実験は東京電機大学、建設技術共同教育・ 研究施設にて実施した。

また研究を実施するにあたり,塩田丈二(株式会社 富 士昭技研 技術部),また実験を実施するにあたり,末吉 隆広(東京電機大学情報環境学研究科情報環境学専攻大 学院生),野沢麻実,増山和憲(以上東京電機大学未来科 学研究科建築学専攻大学院生),清水敬之,小林史哉,尾 澤賢仙(以上東京電機大学未来科学科建築学部生)にご協 力を得ました。ここに記し謝意を表します。