

[2040] 高強度繊維を用いた鉄筋の接合方法について

正会員 ○辻 正哲(東京理科大学理工学部)
 辻 克己(東京理科大学理工学部土木工学科)
 平田 隆祥(東京理科大学理工学部土木工学科)

1. はじめに

コンクリート構造物のプレキャスト化を進めるに当たり、プレキャスト部材の接合部における信頼性を高める事は重要である。プレキャスト部材間の主鉄筋の接合では、重ね継手、熔接継手等が従来より用いられているが、接合部が一箇所に集中する事からコンクリートが行き渡りにくくなることや、ひび割れが接合面に集中しやすくなること等の問題点が指摘されている。

一方、柔軟でかつ高強度である高分子繊維が近年開発され実用化に至っている。もし、こうした繊維を用いて主鉄筋を結び付けること(網結)ができれば、継手部の信頼性を高めることができる可能性がある。また、プレキャスト部材より網結のために出しておく主鉄筋の折り返し部分の長さを変化させる事により、接合部内に発生するひびわれを分散できる可能性があり、さらに網結作業は繰り返し行なえるため、プレキャスト部材の再利用が可能となると考えられる。

本研究は、プレキャスト部材よりあらかじめ出しておいた主鉄筋の折り返し部を、高強度繊維の中でも特に柔軟であるアラミド繊維を編み上げて作製した網を用いて、結び付ける事により、主鉄筋をつなぎ合わせる方法について、モデル供試体の曲げ、斜め引張および純せん断に関する静的載荷試験を行ない、検討した結果を報告するものである。

2. 実験の概要

実験に用いた供試体の形状は図-1に示す通りであり、その配筋図は図-2に示す通りである。

プレキャスト部材の接合条件は表-1に示すとおりである。プレキャスト部材よりあらかじめ出しておく主鉄筋の長さは、22mmとした場合(AFa)の他に、62mmと長くした場合(AFb)の2種類である。網で網結した部分に、主鉄筋と同じD10の添え筋を配置した場合についても実験を行なった。また、図-3に示すように、主鉄筋のフック部が変形し立ち上がるのを防止する目的で、エポキシ系樹脂をフック部に充填した場合についても実験を行なった。充填材としては、主にエポキシ系樹脂としたが、水セメント比35%のセメントペーストについても一部実験を行なった。一方、打継面にクラックが発生した場合にフック部の鉄筋に発錆が生じるのを防止する目的で、フック部にエポキシ系樹脂を塗布したものを、図-4に示すように、せん断補強を目的とした網を配置したものについても実験を行なった。プレキ

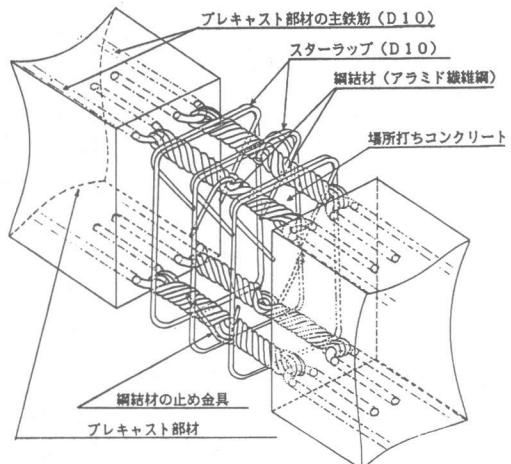


図-1 プレキャスト部材の主鉄筋の網結方法(概略図)

キャスト部材の打継面の処理方法は、ワイヤブラシを用いてレイトンスを除去する方法を基本としたが、一部については、場所打ちコンクリート打ち込み直前に、レイトンス除去後、水セメント比35%のセメントペーストをプレキャスト部材の接合面に塗布する方法についても実験を行なった。セメントペーストを塗布する方法は、打ち継ぎ面の付着強度を改善する上で効果的であると報告されており¹⁾²⁾、また、予備実験の結果でも確認された。

網による網結方法は、図-5に示す通りである。フック間に網を配置し、網が引張力を受けると固く結ばれていくような方法で繋ぎ、その後フック間の網を金具でねじ

って引張力を与える方法である。なお、網に引張力が発生することから、プレキャスト部材が移動しないようにあらかじめ固定しておいた。

網結に用いる網の量は、図-6に示す予備実験の結果をもとに、主鉄筋の耐力と同等の耐力および約130%の耐力となるように定めた。

一方、比較の為に作成した一体打ち供試体の引張側主鉄筋の配筋図は図-2に示す通りであり、引張側主鉄筋を2本とした場合(L2)およびプレキャスト部材のフック定着部と同様の範囲にもさらに鉄筋を配置した場合(L4)の2種類である。

使用したコンクリートの配合は、表-2に示す通りである。場所打ちコンクリートの水セメント比を小さくしたのは、図-7に示すように、載荷時の材令が異なるためである。なお、載荷時

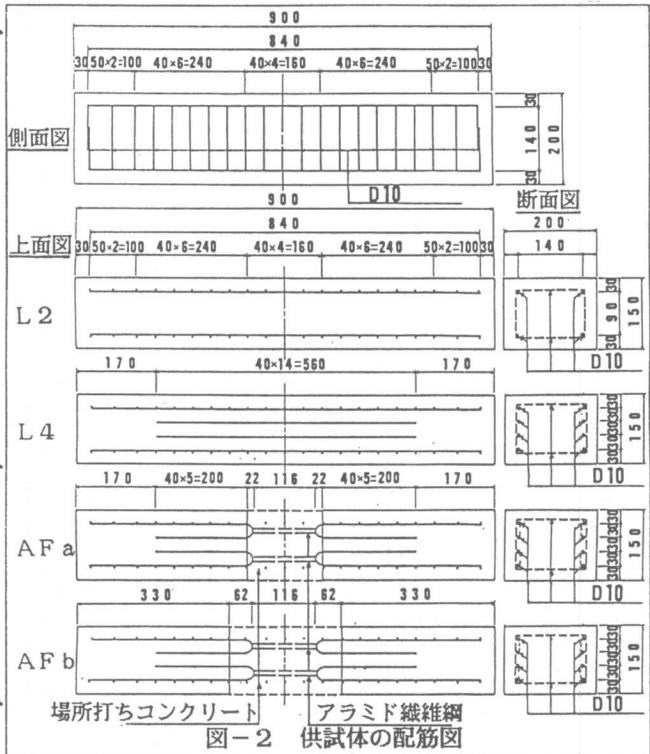


表-1 プレキャスト部材の接合条件

名称	網の量				接合部の条件				備考	
	引張側 Kgf/mm ² R(%)	圧縮側 Kgf/mm ² R(%)	フック長 (mm)†	フック長さ (mm)†	フック長さ (mm)†	フック長さ (mm)†	フック長さ (mm)†	長さ(mm)		
AFa-M1	10200	97.5	7000	66.9	22	無	無	有	160	接合部セメント比※4
AFa-M2	10900	104.2	12000	114.7	22	有	無	有	160	接合部セメント比※4
AFa-M3	10900	104.2	12000	114.7	22	無	無	有	160	接合部セメント比※4
AFa-M4	12400	118.6	6800	65.0	22	無	無	有	160	接合部セメント比※4、フック部セメント比※5
AFa-M5	13500	129.1	12400	118.6	22	無	無	有	160	
AFb-M1	13500	129.1	12400	118.6	62	有	無	有	240	フック部エポキシ系モルタル充填※6
AFa-S1	10200	97.5	7000	66.9	22	無	無	有	160	接合部セメント比※4
AFa-S2	11500	110.0	10200	97.5	22	無	無	有	160	アラミド繊維網※7
AFa-S3	11500	110.0	10200	97.5	22	無	無	有	160	
AFa-S4	13500	129.1	13500	129.1	22	有	無	有	160	
AFa-S5	13500	129.1	13500	129.1	22	有	有	有	160	
AFa-V1	10200	97.5	7000	66.9	22	無	無	有	160	接合部セメント比※4
AFa-V2	12400	118.6	11300	108.1	22	無	無	有	160	
AFa-V3	12400	118.6	11300	108.1	22	無	無	有	160	
AFa-V4	13500	129.1	12400	118.6	22	有	無	有	160	
AFa-V5	13500	129.1	12400	118.6	22	有	有	有	160	
AFb-V1	13500	129.1	12400	118.6	62	有	有	有	240	

記号 AFa:プレキャスト部材より出しておく主鉄筋の長さを22mmとしたもの
 AFb:プレキャスト部材より出しておく主鉄筋の長さを62mmとしたもの
 -M:曲げモーメント試験に供したのもの
 -S:ルーマニ式純せん断試験に供したのもの
 -V:斜め引張せん断試験に供したのもの
 R:(網の引張耐力)/(主鉄筋1本の引張強度)×100(%)
 ※1:プレキャスト部材よりあらかじめ出しておく主鉄筋の長さ
 ※2:図-3に示すフック部にエポキシ系樹脂を充填することの有無
 ※3:プレキャスト部材よりあらかじめ出しておく主鉄筋に防錆の為エポキシ系樹脂を塗布することの有無
 ※4:場所打ちコンクリートの打ち込み直前に水セメント比35%のセメントペーストを接合面に塗布した供試体
 ※5:図-3に示すフック部の充填材として水セメント比35%のセメントペーストを用いた供試体
 ※6:図-3に示すフック部の充填材としてエポキシ系モルタルを用いた供試体
 ※7:図-4に示すように、網を斜め方向にも配置した供試体

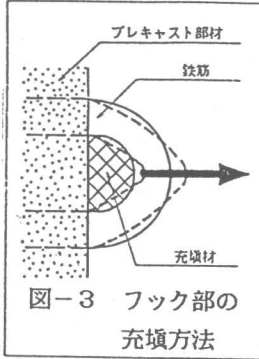


図-3 フック部の充填方法

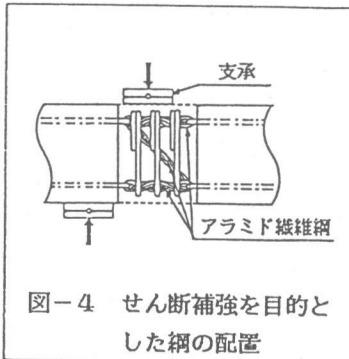


図-4 せん断補強を目的とした網の配置

表-2 コンクリートの示方配合

	Gmax (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位数 (kg/m³)			
						W	C	S	G
一体打ちおよびプレキャスト部材	20	8±2.0	2±0.3	55	48	200	364	878	863
場所打ちコンクリート	20	8±2.0	2±0.3	45	45	195	433	772	927

表-3 コンクリートの平均圧縮強度

供試体の名称	部材 (Kgf/cm²)	場所打ちコンクリート (Kgf/cm²)	
AFa	M1, S1, V1	407	295
	M2, M3	326	335
	M4, S2, S3, V2, V3	297	306
	S4, S5, V4	435	331
	V5	441	319
AFb	M5	407	319
	M1	435	331
L2	V1	425	282
	S1	288	
L3	M1, S2, V1	281	
	M2, V2	225	
	M3, S3, V3	264	
L4	M1, S1, V1	313	
	M2, S2, V2	364	
	M3, S3, V3	416	

の管理用供試体によるコンクリートの圧縮強度は、表-3に示すとおりであり、場所打ちコンクリートの圧縮強度は、プレキャスト部材の強度に比べ、平均で約15%小さくなっていった。

実験に使用した網は、表-4に示す特性を有するアラミド繊維を直径7.0mmの網状に編み上げたものである。

曲げモーメント試験、斜め引張せん断試験およびルーミア式純せん断試験の載荷方法は、図-8に示す通りである。

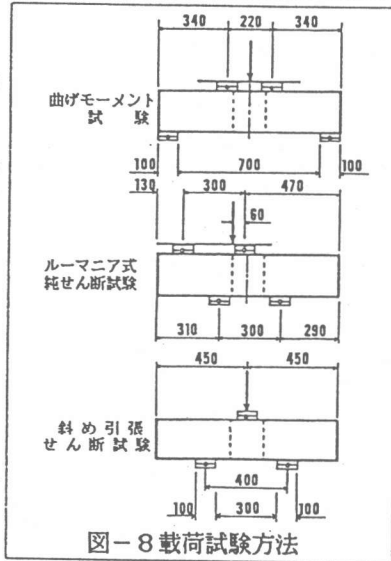


図-8 載荷試験方法

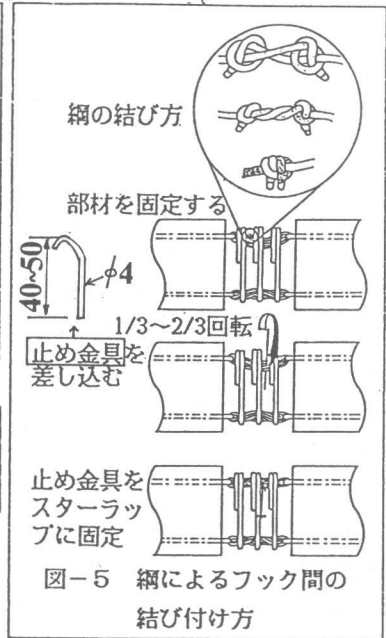


図-5 網によるフック間の結び付け方

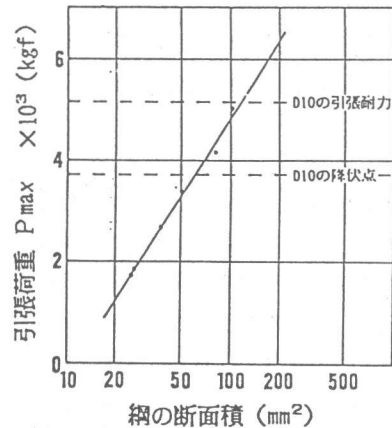


図-6 網の断面積と引張荷重の関係

一体打ち供試体 (W/C 55%) 打込	16日	静的載荷試験
プレキャスト部材 (W/C 55%) 打込	9日 一体化	静的載荷試験
	7日 接合部打込 (W/C 45%)	

図-7 コンクリートの打ち込み手順

表-4 アラミド繊維の特性³⁾

引張り強度	28000 (Kgf/cm²)
ヤング率	1.3 × 10⁵ (Kgf/cm²)
伸び	2.4 (%)
比重	1.45
直径	11.9 (μm)
熱分解温度	600 (°C)

3. 実験結果および考察

表-5、図-9および図-10は、それぞれ曲げモーメント載荷時の各耐力、荷重-たわみ曲線およびひび割れパターンを示したものである。プレキャスト部材を打ち継いで作成した供試体（接合供試体）の最大抵抗モーメントは、引張側主鉄筋を2本とした一体打ち供試体(L2)のものに比べ約160%~180%の値となり、引張側主鉄筋を4本配置した場合(L4)と同等の値となっていた。これはプレキャスト部材より取り出しておいた主鉄筋のフック部の静的強度は、主鉄筋2本分とほぼ同等の耐力を有し、またフックの定着部の鉄筋も引張鉄筋として作用したことによると考えられる。また、そのため、破壊が最終的には曲げせん断破壊に移行したものと考えられる。一方、フック部に充填したことによる効果は、あまり得られなかった。しかし、プレキャスト部材より取り出しておく主鉄筋の長さを長くした場合(AFb)では、接合面に発生したひび割れ幅もさほど大きくなりず引張側主鉄筋を4本とした一体打ち供試体(L4)の場合と同様のひび割れパターンとなっていた。これは、接合面でクラックが発生するものの、この付近の引張側主鉄筋量が2倍となっていること、添え筋端部にもひび割れが発生することなどから、接合面付近のクラックは、大きく開口していかないことによるとと思われる。

表-6および図-11は、それぞれ斜め引張せん断載荷時の耐力、およびひび割れパターンを示したものである。接合供試体の最大耐力は、引張側主鉄筋を2本とした一体打ち供

表-5 曲げモーメント載荷時の耐力

名称	ひび割れ発生モーメント (Kgf・cm)		最大抵抗モーメント (Kgf・cm)		破壊形状の分類		
		平均値		平均値	A*	B*	C*
L2	M1	100050		127117	○		
	M2						
	M3						
L4	M1	119867		206625	○		
	M2						
	M3						
AFa	M1	24650	26100	200390	204740	○	
	M2	24650		212280			
	M3	29000	201550		○		
	M4	46400	221125		○		
	M5	29000	37700	240990	231058	○	
AFb	M1		65250		229100	○	

* A...鋼が切断した供試体
 B...部材の主鉄筋が切断した供試体
 C...プレキャスト部材のフック部が切断した供試体

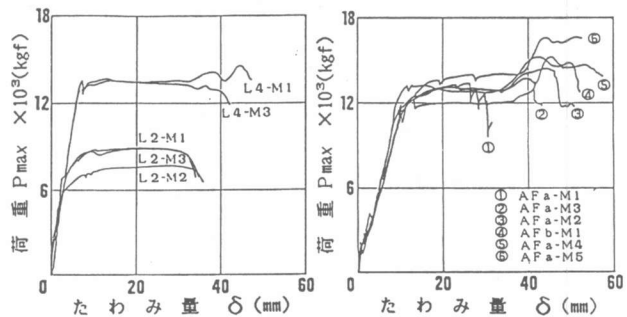


図-9 曲げモーメント試験
荷重-たわみ量曲線

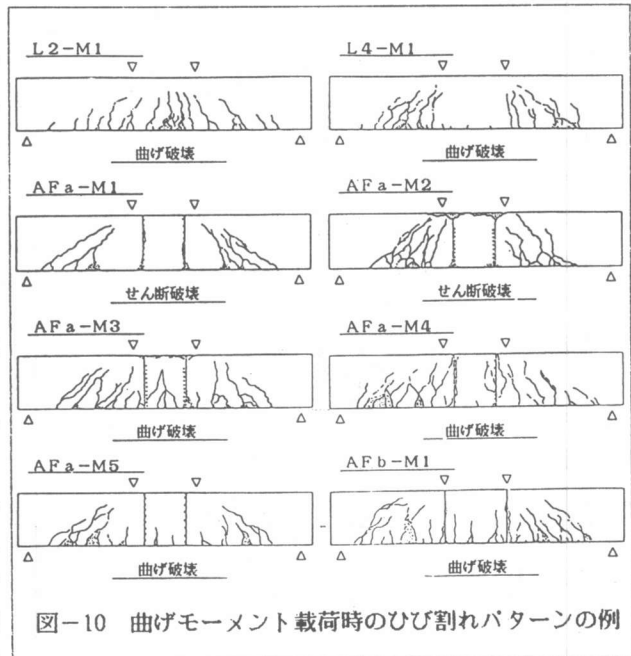


図-10 曲げモーメント載荷時のひび割れパターンの例

試体(L2)に比べ、約160~180%とかなり大きくなっているが、引張側主鉄筋を4本とした供試体(L4)に比べ、若干小さくなっている。これは、接合供試体のフック部の鉄筋が破断していることを考えあわせると、せん断力を受ける場合には、曲げモーメントの場合と異なり、フック部の鉄筋がダウエルアクションのような作用を受け持たねばならないため、フック部の強度としては、1本の鉄筋

よりもかなり強いが、2本の鉄筋よりは若干小さくなることによると考えられる。ひび割れパターンについてみると、接合時にセメントペーストを接合面に塗布した供試体(V1)の方が、塗布しなかった供試体(V3)に比べ、また、フック部にエポキシ樹脂を充填したもの(V4)の方が、充填しないもの(V3)に比べ接合面でのひび割れ幅は小さくなった。網による網結部における添え筋の有無(V2, V3)による差およびフック部に防錆用のエポキシ樹脂を塗布することによる差(V4, V5)は今回の実験では、あまり見受けられなかった。一方、プレキャスト部材より取り出しておく主鉄筋の長さを長くした場合(AFb)は、曲げモーメント試験の場合と同様に、引張側の主鉄筋を4本とした場合(L4)と大差なかった。

表-7および図-12は、それぞれ純せん断試験における耐力およびひび割れパターンを示したものである。接合供試体の最大耐力は、斜め引張せん断試験の場合と同様に、引張側主鉄筋が2本の一体打ち供試体に比べ、かなり強くなっているが、引張側主鉄筋が4本の一体打ち供試体に比べ若干小さくなっている。網を図

表-6 斜め引張せん断載荷時の耐力

名称	ひび割れ発生荷重 (Kgf)		最大耐力 (Kgf)		破壊形状の分類		
		平均値		平均値	A*	B*	C*
L2	V1	5500	9608	9608	○	○	
	V2						
	V3						
L4	V1	6500	17850	17850	○	○	
	V2						
	V3						
AFa	V1	2400	2983	14500	15433	○	
	V2	2750		15700			
	V3	3800		16100		○	
	V4	3500		17400			○
	V5	4000		3750		16400	
AFb	V1		4750		17100	○	

* A…網が切断した供試体
 B…部材の主鉄筋が切断した供試体
 C…プレキャスト部材のフック部が切断した供試体

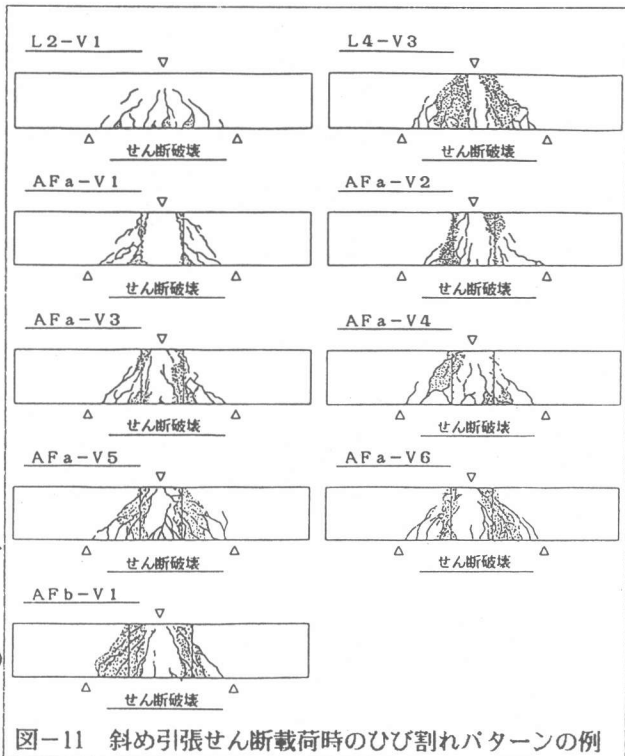


図-11 斜め引張せん断載荷時のひび割れパターンの例

表-7 純せん断載荷時の耐力

名称	ひび割れ発生荷重 (Kgf)		最大耐力 (Kgf)		破壊形状の分類		
		平均値		平均値	A*	B*	C*
L2	S1	37276	39600	39600	○	○	
	S2						
	S3						
L4	S1	30333	57800	57800	○	○	
	S2						
	S3						
AFa	S1	13500	14767	47500	50267	○	
	S2	15600		49600			
	S3	15200		53700		○	
	S4	23000		55000			○
	S5	18000		19000		55500	

* A…網が切断した供試体
 B…部材の主鉄筋が切断した供試体
 C…プレキャスト部材のフック部が切断した供試体

ー4に示すように、斜めに配置してもフック部が破断するため、ほとんど影響はなかった。ひび割れパターンは、純せん断試験の場合、顕著な差は見受けられなかった。

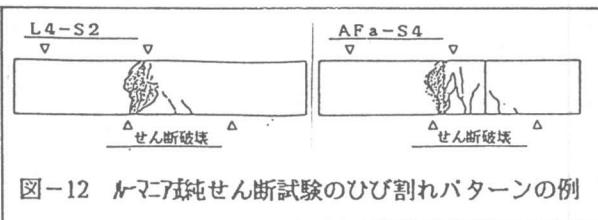


図-12 ルーミア純せん断試験のひび割れパターンの例

最後に、最大耐力の約 1/2までの

範囲で1回の静的载荷を行い、その後場所打ちコンクリート部分を解体し、プレキャスト部材を再利用した実験を行ったが、曲げモーメント (AFa-M2に相当) 载荷の場合、最大耐力、ひび割れパターン、破壊性状、荷重-たわみ関係供に、初めて使用したプレキャスト部材の場合と、変わりなかった。また、せん断試験および純せん断試験の場合も、同様の結果となっていた。これは、当然のことながら、今回のような载荷方法によると、最大耐力の 1/2程度では、プレキャスト部分はほとんど損傷を受けなかったことによると思われる。しかし、プレキャスト部材の再利用に当たっては、载荷履歴や耐久性の面から、その損傷の程度を的確に把握しておく必要があると考えられる。一方、網結に用いる網の量については、今回の実験のように、網の単体における引張耐力が主鉄筋1本分に相当する場合でも、主鉄筋2本分以上の耐力を有しているようである。これには、網の中にセメントペーストが浸透することにより、繊維が一体化したことが関係していると考えられる。よって、最適な網の量を求めるに当たっては、網の種類、場所打ちコンクリートの配合および施工等に配慮する必要があると思われる。さらに、添え筋を用いる場合には、場所打ちコンクリート部におけるかぶり厚の確保、コンクリートの行き渡り等にも配慮が必要となると考えられる。

4. 結論

高強度繊維の網を用いて主鉄筋を結び付けるといふ、今回考案したプレキャスト部材の接合方法について、静的载荷試験によるモデル実験を行った結果、以下のことが推定された。

1. 網結した部分の強度は、網結される鉄筋の強度よりも大きく、曲げモーメント、斜め引張せん断および純せん断に対する耐荷力は、一体打ちの場合よりもかなり大きく、フック定着部の鉄筋も引張側主鉄筋として作用すると考えた場合の耐荷力に近い。また、接合部の破壊性状は、ダクタイルである。

2. 接合面にひび割れが発生する荷重は、一体打ちに比べて低下するが、接合面における鉄筋の量が2倍となる為、荷重が大きくなってもひび割れ幅はさほど大きくならない。

3. プレキャスト部材よりあらかじめ出しておく主鉄筋の長さを、6φ程度と長くすると、破壊時のひび割れパターンは、一体打ちの場合と同様となる。

4. プレキャスト部材よりあらかじめ出しておく鉄筋に防錆用のエポキシ樹脂を塗布しておいても、接合部の性状は、あまり変化しない。

5. 主鉄筋を物理的に結び付けるといふ方法であり、場所打ちコンクリートの行き渡りあまり影響されないと考えられる。

本研究の一部は、文部省科学研究補助金一般研究 (C) (課題番号62550351田村浩一代表) の一環として行われたものであり、ここに感謝の意を表す次第である。また、アラミド繊維網を提供して頂いた三井建設(株)田村富夫様に感謝の意を表す次第である。

【参考文献】1) 園分 正雄：新旧コンクリートのうち継ぎ目に関する研究；土木学会論文報告集，第8号，1950年11月，p. p. 1~24

2) 辻 正哲：フリージング水の発生機構とその処理方法に関する研究；セメント・コンクリート，No. 457，1985年3月，p. p. 25~30

3) 三井建設技術資料：繊維補強コンクリート