

論文 段差部を鉄筋で補強した PC 合成スラブの実験的研究

岩原 昭次^{*1}・山下 正吾^{*2}・岡本 和義^{*3}

要旨: 2 枚の埋設型枠を段差状に敷き、配筋を施し、またその段差部を含めて場所打ちコンクリートを打設して一体化する PC 合成スラブについて、配筋の違いによる耐力・破壊性状を明らかにした。試験体は全部で 4 体である。3 体は段差部の埋設型枠の形状と配筋方法をパラメータとしたプレレスト合成スラブであり、1 体は段差を有する場所打ちコンクリート一体式スラブである。段差部を場所打ちコンクリートで打設した場合の段差付き合成スラブの耐力は、場所打ちコンクリート一体式スラブの場合と同程度以上となったなどの知見が得られた。

キーワード: 合成スラブ, 段差, 配筋, 実験, 耐力

1. はじめに

近年、水周りなどを効果的に納めるために、スラブに段差部を設けることが多くなっている。すでに、PC 合成スラブにおいては、段差部で上下に互い違いにつなげた埋設型枠をプレキャストコンクリートで一体化させた板の上に場所打ちコンクリートを打設する構造形式のものが実用化されている^{1,2)}。ここでは、このような段差部を有するプレキャストコンクリート板を用いるのではなく、2 枚の埋設型枠を段差状に敷き、配筋を施し、またその段差部を含めて場所打ちコンクリートを打設して一体化する PC 合成スラブについて、配筋の違いによる耐力・変形性状を明らかにすることを目的とする。

2. 実験概要

2.1 試験体

2.1.1 試験体の種類

試験体は全部で 4 体である。4 体の試験体とも外観寸法は同一である。このうち 3 体は段差部の埋設型枠の形状と配筋方法をパラメータとしたプレレスト合成スラブであり、1 体は段差を有する場所打ちコンクリート一体式スラブである。

試験体の種類を、表-1 に示す。また、試験体の寸法を図-1 に示す。

試験体に埋め込まれている埋設型枠の構成と形状寸法を図-2 に示す。

埋設型枠にはプレテンション方式でプレストレスが導入されている。緊張力の大きさは応力レベルで PC 鋼より線の降伏点応力度の 8 割とした。即ち、使用する PC 鋼より線の品質は SWPR7AN、降伏点応力度規格値は 1471MPa(15000kgf/cm²)であるので、目標とする緊張力の大きさは応力レベル

表-1 試験体の種類

試験体名	断面の種類	スラブ厚 (cm)	埋設型枠の最高高さ (cm)	中央段差部高さ×幅 (cm)	支持条件	内法スパンあるいは支持点間距離 (cm)	備考
FS1	合成	20	13	20×50	両端固定	450	中央部に段差
FS2							
FS3							
FSN	場所打ち一体式						

*1 崇城大学助教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

*2 (株)富士ピー・エス 建築部 部長 (正会員)

*3 (株)富士ピー・エス 建築技術部 副部長

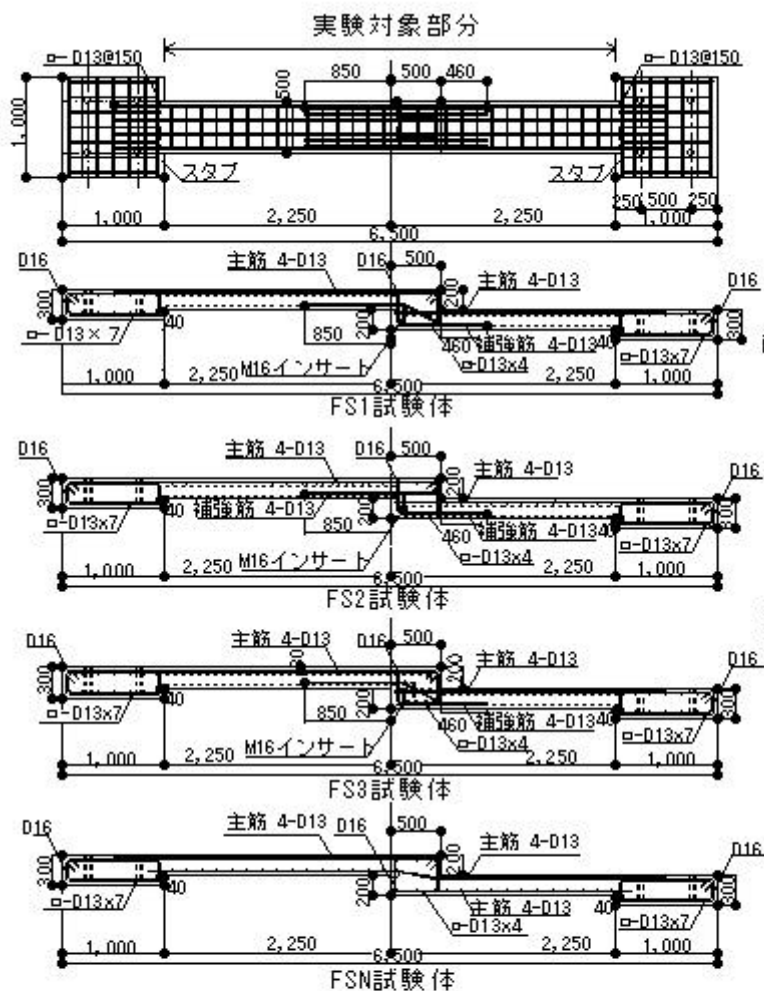
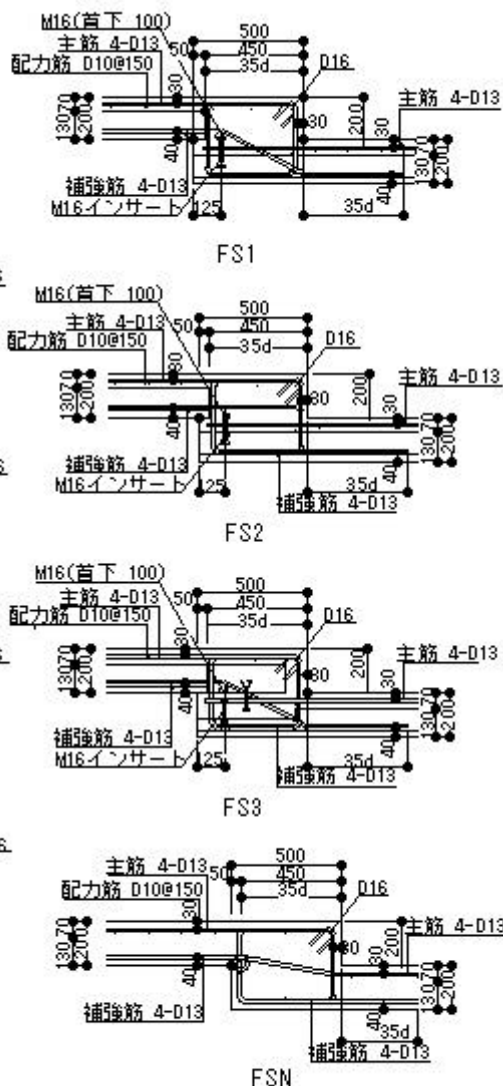


図-1 試験体の形状寸法



段差部配筋詳細図

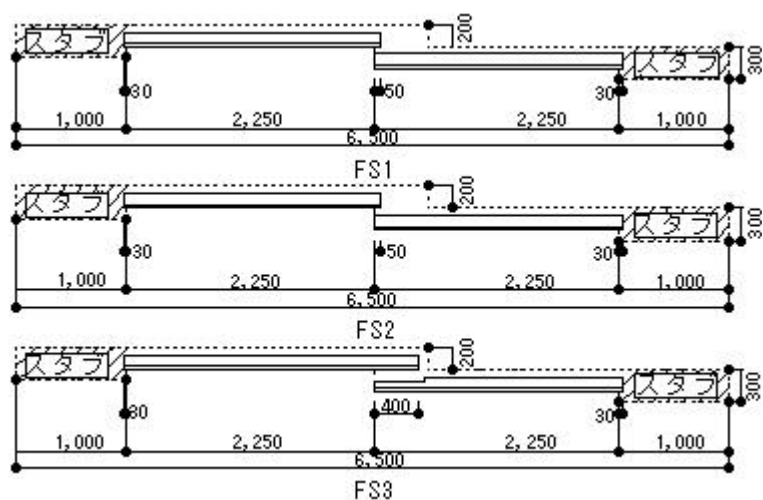


図-2 埋設型枠の構成と形状タイプ

で次のような値とした。

目標とする応力レベル = $0.8 \times 1471 = 1177 \text{ MPa}$

実際には、圧力計の読み値で $1224.2 \text{ MPa}/1$ 本当たりとなった。

(1) 各試験体の埋設型枠構成

FS1 と FS2 の 2 試験体は同じ形の埋設型枠を上下方向に 70mm のあきを設け、長さ方向に 50mm 重ねている。FS3 では段差部で長さ方向に 400mm 重ねている。上段部における埋設型枠は段差部側の左右のフランジ部分を長さ 350mm にわたって、下段部における埋設型枠は、段差部側の埋設型枠のリブ部分を長さ 450mm

にわたって 50mm を削ってある(すなわち、埋設型枠の高さは 80mm)。FS1、FS 2 および FS 3 とともに段差部における場所打ちコンクリートと埋設型枠との剥離を防ぐために、上段部と下段部の両埋設型枠に M16 のインサートを埋め込んでいる。

表-2 コンクリートの機械的性質

プレキャストコンクリート					場所打ちコンクリート				
材令 (日)	養生 種別	圧縮強度 (上段) ヤング係数(中段) 最大歪(下段)	割裂引 張強度	スラ ンプ (cm)	材令 (日)	養生 種別	圧縮強度 (上段) ヤング係数(中段) 最大歪(下段)	割裂引 張強度	スラ ンプ (cm)
100	蒸気	62.69	4.9	5	72	気中	30.8	2.7	17
		36.5					24.9		
		0.244					0.224		

(注1) 単位 圧縮・割裂引張強度：MPa ヤング係数：GPa 最大歪：%

(注2) 材令はは載荷実験時材令

表-3 鋼材の機械的性質

種別	PC 鋼 7 本より線		鉄筋	
	品質	SWPR-7AN 9.3mm	D13-SD295A	D10-SD295A
標準直径 (mm)		9.3	D13	D10
公称断面積 (cm ²)		0.5161	1.27	0.71
降伏点応力 MPa		1717	350.8	348.6
ヤング係数 GPa		193	177	187
最大引張強度 MPa		1821	506.0	488.1
降伏点歪 (%)		1.11(残留歪 0.2%の場合)	0.220	0.205

(注1) PC 鋼より線はミルシートによる。

配筋は段差があるスラブに対する通常のベンド筋を用いた場合のものである。なお、FS1 と FS3 の違いは埋設型枠の段差側の形状にある。

2.3 載荷方法

載荷は図-3 に示すように、中央部 1 点集中荷重とし、支持条件は両端固定とした。

載荷は一方向 2 サイクルとした。1 回目のサイクルでは、ひび割れ発生後約 20kN まで載荷して除荷した後、2 サイクル目で最大荷重まで載荷した。

2.4 使用材料の機械的性質

埋設型枠用の早強コンクリートと、場所打ちコンクリート部分用の普通コンクリートの機械的性質を表-2 に、PC 鋼より線 (7 本より) と鉄筋の機械的性質を表-3 に示す。

3. 実験結果

3.1 荷重 たわみ関係

各試験体の荷重-たわみ関係を図-4 に示す。また主な荷重点とたわみ値を表-4 に示す。ただし、たわみは支柱撤去時のたわみを基準に表してある。

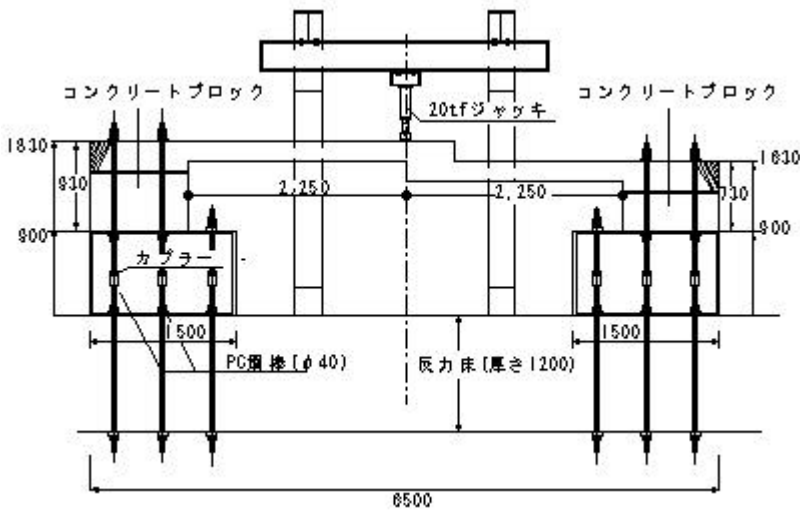


図-3 試験体加力図

(2) 各試験体の配筋

FS1 と FS3 は配筋方法が同じで、段差部の場所打ちコンクリート部分に上段部と下段部の鉄筋を定着させる他に、ベンド筋を併用して上段部と下段部の場所打ちコンクリート部分をつないでいる。FS2 はベンド筋の代わりに、段差部近辺に設けた上段部と下段部の下端筋を段差部の場所打ちコンクリート部分に定着させる配筋である。場所打ちコンクリート一体式スラブである FSN の

表-4 主な荷重とたわみ

試験体名		端部ひび割れ発生時	端部鉄筋降伏時	中央部鉄筋降伏時など	最大荷重時
FS1	荷重(kN)	8.82	55.96	61.94	68.11
	たわみ(mm)	0.95	23.34	43.17	95.83
FS2	荷重(kN)	9.80	59.10		64.29
	たわみ(mm)	0.72	29.73		57.52
FS3	荷重(kN)	9.31	67.03	71.83	81.34
	たわみ(mm)	0.98	14.50	23.31	93.72
FSN	荷重(kN)	8.43	56.07	54.10	69.29
	たわみ(mm)	0.90	17.67	16.63	72.28

: 鉄筋は降伏せず

表-5 実験値と計算値の比較(実験値と計算値の単位は kN)

試験体名	計算値		実験値			実験値 / 計算値		
	端部ひび割れ発生荷重(A1)	降伏荷重(A2)	端部ひび割れ発生荷重(B1)	降伏荷重(B2)	最大荷重(B3)	端部ひび割れ発生荷重(B1/A1)	降伏荷重(B2/A2)	最大荷重(B3/A2)
FS1	8.14	45.24	8.82	61.94	68.11	1.08	1.37	1.51
FS2			9.80		64.29	1.20		1.42
FS3			9.31	71.83	81.34	1.14	1.59	1.80
FSN	8.14	46.67	8.43	54.10	69.29	1.04	1.16	1.48

(注1) ひび割れ荷重算定にあたって、曲げ強度は次式によった： $\sigma_t = 0.56 \times (1.6/1.8) \sqrt{F_c}$

(注2) 端部と中央部の降伏曲げモーメントは次式によった： $M_y = 0.9a_t s_y d$

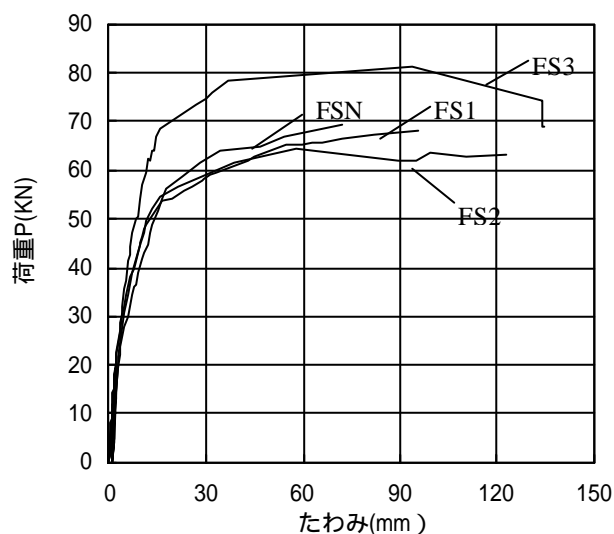


図-4 荷重 たわみ関係(支柱撤去後基準)

また、表-5 に計算値と実験値の比較を示す。端部ひび割れ荷重の計算にあたっては自重の影響を除き、また、断面2次モーメントは場所打ちコンクリート一体式断面での値を用いた。端部ひび割れ荷重の実験値は計算値に対して1.04~1.20倍であり、実験値は計算値に近似しているといえる。降伏曲げモーメントの計算にあたっては、端部では場所打ちコンクリート一体式梁の終局曲げモーメント計算式を用いて求めた。また、中央部で

は危険断面が上段部のスラブと段差部の界面である加力点位置にあって、また段差部が場所打ちコンクリートであることより、端部と同様に場所打ちコンクリート一体式梁の終局曲げモーメント計算式を用いて求めた³⁾。この端部と中央部の降伏曲げモーメントを用いた計算した降伏荷重は、表-4中の中央部鉄筋降伏時(この時、既に端部鉄筋は降伏している)の荷重と比較できる。FSN試験体の場合で、降伏荷重の実験値は計算値の1.16倍で実験値は計算値に近似した。FS1とFS3の場合、降伏荷重の実験値はそれぞれ計算値の1.37と1.59倍となり、また合成スラブであるFS1、FS2およびFS3の最大荷重も降伏荷重計算値の1.42~1.80倍を示した。特に、FS3試験体は段差部で埋設型枠を積層状に重ねており、この効果が降伏荷重と最大荷重の実験値に現われている。FS2試験体は中央部鉄筋降伏時の荷重を測定できなかったが、端部鉄筋降伏時の荷重はFSN試験体の場合の約5%高くなっているため中央部の降伏荷重はFSN

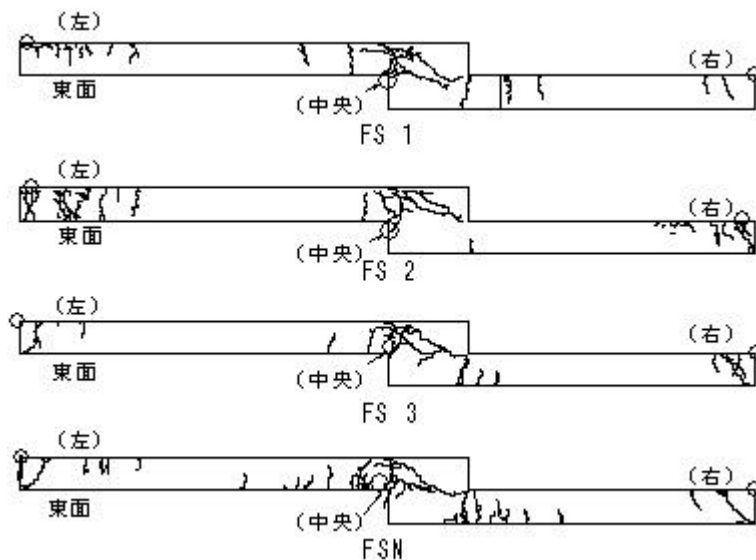


図-5 最終ひび割れ図

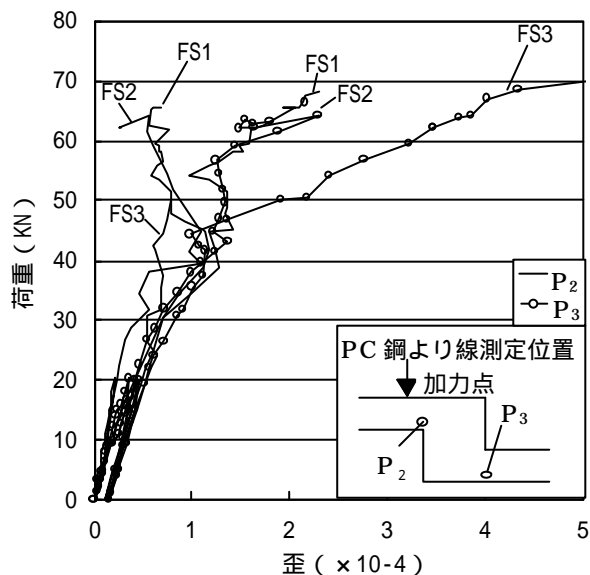


図-6 PC 鋼より線歪(支柱撤去時基準)

と同程度と推測できる。最大荷重はベンド筋が用いられている FS1 試験体と 90 度折れ曲げ筋で段差部に定着した FS2 試験体は同程度であった。以上のことから、段差部を場所打ちコンクリートで打設した場合の段差付き合成スラブの耐力は場所打ちコンクリート一体式スラブの場合と同程度以上あるといえる。

3.2 ひび割れ

最終ひび割れ状況を図-5 に示す。

各試験体の最終破壊状況は次の通りである。

(1)FS1: 荷重点下の入り隅部から上方に向かうひ

び割れのひび割れ幅が拡大するとともに荷重点付近から、段差部下方に向かう斜めひび割れが発生するとともに荷重点付近のコンクリートが圧壊することにより、最終状態に至った。

(2)FS2: 固定端部の鉄筋が降伏後、荷重点下の入り隅部から上方に向かうひび割れのひび割れ幅が拡大するとともに荷重点付近から、段差部下方に向かう斜めひび割れが発生し、荷重点付近のコンクリートが圧壊することにより、最終状態に至った。

(3)FS3: 中央部下面の入り隅部上面のプレキャストリブの突端付近にひび割れが発生し、その後上面入り隅部から発生したひび割れがそのリブに平行に生じていたひび割れと繋がり、最終耐力時にはそのリブ上面におけるコンクリートの圧壊となった。

(4)FSN: 最終耐力は、上面入り隅部の真下に発生していたひび割れが、進展し上面入り隅部でコンクリートが圧壊することにより決まった。

FS2 と FS3 の合成スラブの最終破壊は、下面入り隅部の上部コンクリート部分の圧壊であったが、場所打ちコンクリートスラブ FSN は、上面入り隅部のコンクリートの圧壊であった。

3.3 段差部付近の PC 鋼より線歪

図-6 に加力点直下と、段差部と下段部スラブの界面にある FS1、FS2 および FS3 試験体の PC 鋼より線の歪を示す。

図中実線で示す、加力点直下に位置する PC 鋼より線の歪(P_2)は、荷重約 40KN あたりまで約 80 ~ 150 μ となっており、FS1、FS2 および FS3 の 3 試験体とも大きな相違は見られない。これは上段部のスラブの埋設型枠が段差部で架かり代が 30mm ならずであること、あるいは積層状になっているとしても、PC 鋼より線に耐力を負担させることができないことを示している。

3.4 鉄筋歪

図-7 と図-8 に端部上端筋と中央部加力点直下の下端筋の歪を示す。

端部と中央部の鉄筋歪とも降伏点歪に達した後、急激に増大している。これは、端部および中

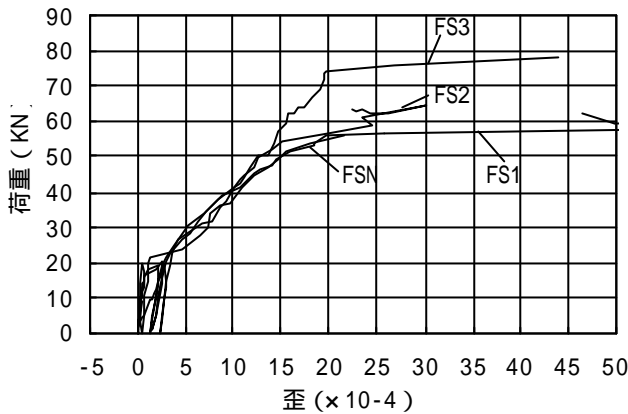


図-7 端部の鉄筋歪(支柱撤去時基準)

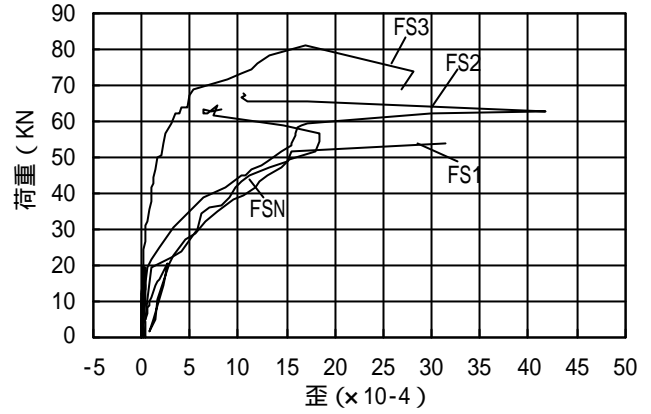
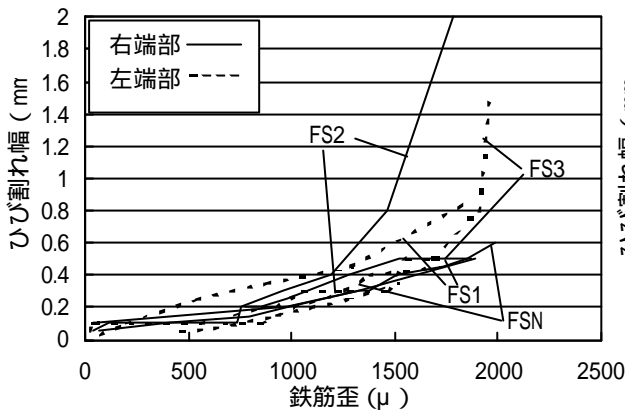
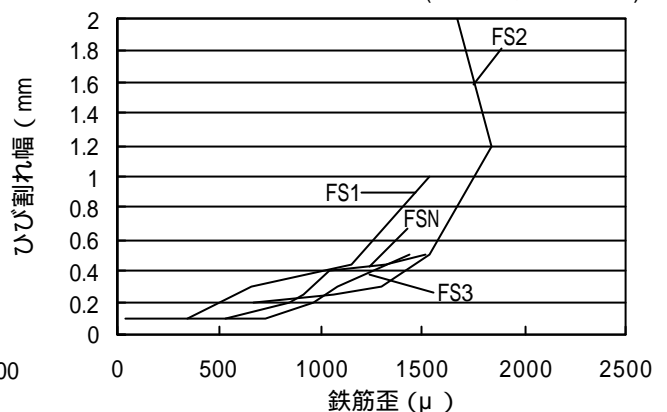


図-8 中央部の鉄筋歪(支柱撤去時基準)



(a) 端部



(b) 中央部

図-9 鉄筋歪とひび割れ幅の関係

中央部ともに歪が降伏点に達した後は曲げモーメントの増加は期待できないことを示している。また、中央部の鉄筋歪は、特に FS1 と FS2 試験体について最大荷重に達する直前で引張り鉄筋である下端筋の歪が反転しているが、これは埋設型枠の架かり代が 30mm と小さいことと、埋設型枠と場所打ちコンクリート部分とのずれが原因と考えられる。

3.4 鉄筋歪とひび割れ幅

図-5 に示す端部と中央部の測定位置(図中の印)における鉄筋歪とひび割れ幅の関係を図-9 に示す。端部と中央部ともに鉄筋歪が約 1200 μ 程度(応力レベルで 250MPa)でせいぜい 0.2 ~ 0.4mm 程度となっている。また、鉄筋歪が 1500 μ を超えると急激にひび割れ幅を増大している。このことから、従来から指摘されているように、段差がない場所打ちコンクリート一体式スラブの場合と同じ傾向にあり、長期許容応力度レベルでひび割れ幅が 0.3mm 程度という結果になっている。

4. まとめ

段差部の場所打ちコンクリート部分で鉄筋補強した、段差を有する合成スラブの耐力などについて以下の知見が得られた。段差部を場所打ちコンクリートで打設した場合の段差付き合成スラブの耐力は、場所打ちコンクリート一体式スラブの場合と同程度以上あった。特に、段差部で埋設型枠を積層状に重ねる場合には、降伏荷重と最大荷重はともに場所打ちコンクリート一体式スラブに比べて 1.2 ~ 1.3 倍大きくなった。鉄筋応力レベルで 250MPa で端部と中央部のひび割れ幅はこの種の合成スラブにおいてもせいぜい 0.2 ~ 0.4mm 程度であり、段差がない場所打ちコンクリート一体式スラブの場合と同じ傾向を示した。

[参考文献]

- 1) 山田宏至・小森清司ほか：段差付逆T形PC型枠を用いた合成床スラブの耐力と破壊性状に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18, No.2，PP.1119-1124, 1997
- 2) 竹下 修・小森清司ほか：段差付合成床スラブに関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19, No.2，PP.1079-1084, 1996
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説，丸善，PP.615-616，1998.2