

論文 ユニット化したコッターを設けたプレキャスト合成床板の構造性能に関する実験

新井 勇作*1・筏井 文隆*2・松本 芳紀*3・小林 克巳*3

要旨：コッターの製作を容易にするために、ユニット化したコッター型枠を使用することを特徴とするプレキャスト合成床板の構造性能について実験を行った。コッターユニットの許容せん断力を求め、通常の方法で設計すれば本合成スラブに要求される構造性能を満足することがわかった。

キーワード：プレキャストコンクリート，合成床板，コッター，構造性能

1. はじめに

固定工場あるいは現場サイトで製造されるプレキャスト部材(以下 PC 板)と場所打ちコンクリート(以下 RC 部)との打継ぎ面に界面処理を施し一体化を図る種々のプレキャスト合成床板工法が開発されている^{1), 2)}。界面のせん断力伝達のためにトラス筋、凹凸コッターあるいは突起物シャー筋などが用いられている。

本プレキャスト合成床板工法は、図-1に示すユニット化したコッターをプレキャスト板全面に配置し、打継ぎ面のせん断力伝達を行うことに主な特徴がある。また、PC 板と RC 部のはがれ防止としてファスナー筋を 2.5m² 程度を目安に 1ヶ所配置している。

本工法の特徴を整理すると以下ようになる。

1) 打継ぎ面はせん断力伝達の点で粗面となることが望ましく、PC 板の型枠底面側を打継ぎ面に使うことは不利になる。しかし、PC 板全面にユニット化したコッターを配置することにより、型枠底面を打継ぎ面とすることを可能とする。ユニット化したコッターをゴム型枠等にて一体成型し、これを型枠底面に敷き詰めることによりコッター製造方法を簡易化する。ゴム型枠が劣化すれば、廃棄するのではなく再成型して利用することができる。

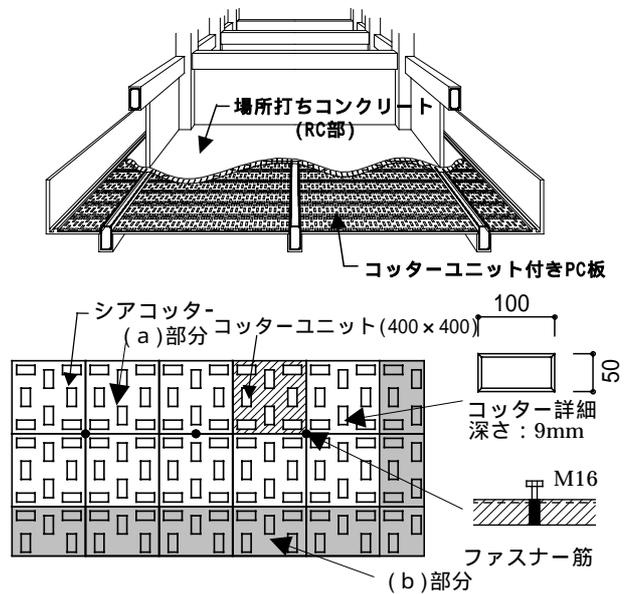


図-1 工法概要と PC 板の詳細(単位：mm)

2) コッターをユニット化することにより様々な形状をした PC 板に対応し易く、コッターの生産管理が容易となる。一枚の PC 板に、ユニット化したコッターの配置を行う場合、(a)部分に配置するコッターユニットは一度製作すれば、様々な形状をした PC 板に使用することができ、(b)部分に配置する一辺が 400mm 未満のコッターユニットは役物として位置づけることにより (a)部分と同様に様々な形状をした PC 板に使用することができる。

*1 木内建設(株) 設計本部開発課課長 (正会員)

*2 木内建設(株) 設計本部開発課嘱託研究員 博士(工学) (正会員)

*3 福井大学工学部建築建設工学科 工博 (正会員)

3)コッター型枠の材質としてゴム・鋼・木等使用状況により選択することができる。

4)PC板幅よりコッターユニット寸法を400×400mmとし2方向スラブとして対応できるシアコッターを配置してある。

本論は、このような特徴を有するプレキャスト合成床板の構造性能を実験によって確認したものである。

2. プレキャスト合成床板の設計

本プレキャスト合成床板の設計はRC規準³⁾に則ってRC一体打ちスラブと同様に設計を行う。そのためには、打継ぎ部での面内せん断力が完全に伝達され、一体打ちスラブに要求される性能と同じ性能を有していることが必要となる。そこで本論では、コッターユニットの許容せん断力を適切に定め、それに基づいて設計すれば、一体打ちスラブと同様の性能が得られることを実験によって確認した。

3. コッターユニットの許容せん断力

コッターユニットの許容せん断力を決めるために押し抜きせん断実験を行った。

表-1に試験体一覧、図-2に試験体形状、使用材料の特性を表-2に示す。コンクリートの設計基準強度はRC部で24N/mm²、PC部で30N/mm²である。試験体は合成床板の打込み型枠を兼用するPC板を製作し、この表面にユニット化したコッターを設け、両側に型枠を組み、後打ちコンクリートを場所打ち(RC板)とし、同一種類の試験体を3体製作した。

200kNの耐圧試験機により押し抜き型の単調載荷加力を行った。この時のPC板とRC板との相対せん断ずれ量を4個の高感度変位計にて測定した。PC板相互の間隔を保持するためのボルトに歪みゲージを取付け拘束力の計測を行ったが、コッターユニットの許容せん断力を検討する範囲では、ボルトに引張力は生じなかった。

各試験体のせん断力一覧を表-3に、せん断力(Q)・相対せん断ずれ()関係を図-3, 4, 5に

表-1 試験体一覧

試験体名	コッターユニット		ファスナー筋	剥離剤の有・無
	有・無	仕上げ		
PS-1	有	-	-	無
PS-2	有	-	2-M16	無
PS-3	無	金鍍	2-M16	有
PS-4	無	金鍍	2-M16	有

表-2 使用材料の特性(N/mm²)

コンクリート	圧縮強度	引張強度	ヤング係数
PS試験体 RC部	34.4	2.49	2.25 × 10 ⁴
	31.4	2.22	
PS試験体 PC部	38.5	2.91	2.93 × 10 ⁴
	38.7	2.75	
鉄筋	降伏応力	引張応力	ヤング係数
D10 (SD295A)	363.3	500.5	2.93 × 10 ⁵

表-3 各試験体のせん断耐力(kN, N/mm²)

試験体	最大荷重		平均値	
	最大荷重	平均値	最大荷重	平均値
PS-1	603.7	588.8 (3.68)	152.1	175.5 (1.10)
	643.3			
	519.4			
PS-2	620.4	589.3 (3.68)	259.0	240.7 (1.50)
	582.4			
	565.1			
PS-3	152.1	175.5 (1.10)	204.0	240.7 (1.50)
	204.0			
	170.4			
PS-4	259.0	240.7 (1.50)	185.3	240.7 (1.50)
	185.3			
	277.7			

注)表示は、コッターユニット2個分のせん断耐力を示す。また、()内に平均せん断耐力値を示す。

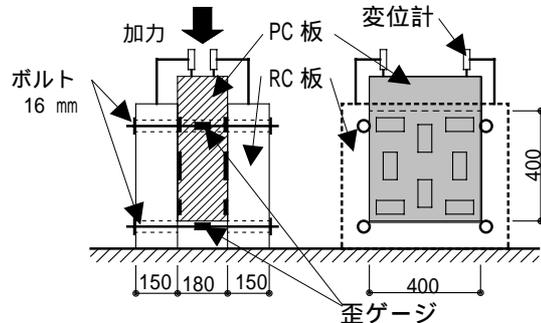


図-2 試験体形状(単位: mm)

示す。PS-1, 2試験体で、相対せん断ずれがわずかに生じて剛性低下が始まる点を、コッターユニット内のシアコッターの損傷開始点と考え、この値よりコッターユニット損傷限界耐力、或いは材料強度を以下のように設定する。

表-4より、6試験体の初期剛性低下点の平均値(m)は、70.1kN。標準偏差()は、7.01kNである。これより損傷限界耐力(材料強度)は、(m-3.1)=48.4kNとなる。損傷限界耐力(材料強度)はコンクリート強度に依存していることからコッターユニットの長期および短期許容せ

せん断力は、コンクリート許容応力度に倣い、長期許容せん断力【16.0kN】，短期許容せん断力【32.0kN】と設定した。文献3)のシアコッターの許容応力度を用いて、コッターユニットの許容せん断耐力を $F_c=24\text{N/mm}^2$ として算出すると、72.5kN となる。設定したコッターユニットの短期許容せん断力はこの 1/2 以下であるが、長期の持続荷重を受けることを考慮して、十分に安全側の値とした。実験はコンクリート強度 31.4N/mm^2 で行われており、コンクリート強度の範囲は限定できない。しかし、余裕のある値として設定したことから多少コンクリート強度が小さい場合に一定値としておいても本実験が確認しているようなスラブの性能は得られると思われる。

4. ファスナー筋の効果

試験体 PS-1 2 の最大せん断力を比較すると、ファスナー筋の有無による違いは殆んど見あたらない。また、図-5 の PS-1 における損傷開始点の平均せん断力は 151.4kN であり、この時の相対せん断ずれ変位は $=0.073\text{mm}$ である。同変位時の PS-3 A の平均せん断力はそれぞれ 9.3kN 、 11.9kN で、コッターユニットのせん断力に比べれば7%程度しかなく、またコッターユニット毎にファスナー筋が取付くわけではないので、ファスナー筋のせん断力負担は無視して差し支えないと思われる。

5. 短期載荷による構造性能の確認実験

単純梁形式(SA シリーズ)と固定梁形式(SB シリーズ)の 2 シリーズにて以下の項目を確認するための実験を行った。

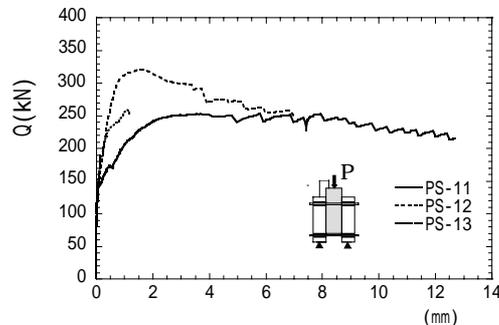
SA シリーズ：曲げ性状が RC 一体打ちスラブと同じであり、一体打ちと同様の曲げ設計法が適用できること。

SB シリーズ：実際のスラブ状態(境界条件)に近い形で、RC 一体打ちスラブと同様の構造性能を有していること。

表-4 初期剛性低下点(単位：kN, N/mm^2)

試験体名	一面せん断耐力	試験体名	一面せん断耐力
PS-1	64.2(0.40)	PS-2	71.2(0.45)
	75.0(0.47)		58.7(0.37)
	71.2(0.45)		80.3(0.50)

注) ()内はせん断応力値を示す。



注) PS-13 は、コッターの破壊モードを確認するために、最大荷重後、実験を終了した。

図-3 PS-1 試験体 Q-包絡線

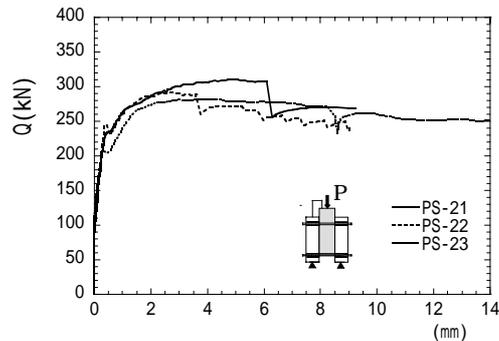


図-4 PS-2 試験体 Q-包絡線

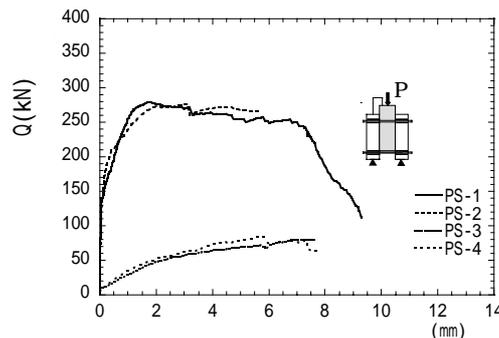


図-5 各試験体の平均 Q-包絡線

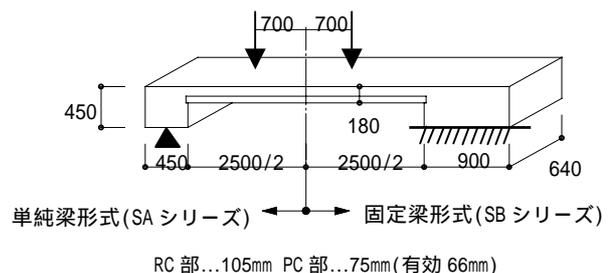


図-6 試験体概要図 (単位：mm)

5.1 実験概要

図-6 に示す試験体設計にあたって、設計荷重を住宅・事務所等の用途を包含する積載荷重 (L.L 3.0kN/m²) とし、仕上げ荷重等を考慮した。床スラブにおいて最大応力が発生する部位を取出し、一方向帯スラブとして、RC 規準に則って一体打ちスラブに準じて試験体設計を行った。また、構造性能をより明確にするために有効スパン 2.5m としせん断力が大きく加わるようにした。主筋は 5-D10 とし、配筋筋は D10@200 で配筋した。試験体一覧およびコンクリートの材料特性を表-5, 6 に示す。鉄筋の材料特性は表-2 に準ずる。試験体 SB-4, 5 は製造管理を主目的として製作した。

両シリーズとも 2 点集中荷重による一方向漸増繰り返し載荷とした。荷重は油圧センサーで測定し、変位は等曲げ区間内 5 ヶ所を高感度変位計で測定した。PC 板と RC 部との開き、ずれをコンタクトゲージと PI 型変位計で測定し、鉄筋の歪みは歪みゲージを用いて測定した。

5.2 実験結果

(1) SA シリーズ (単純梁形式)

1) 破壊状況

SA-2, 3 では、打継ぎ面でのずれや開きは殆んど見られず、PC 板にコッターユニットを設けることにより RC 一体打ち試験体 SA-1 と同様の曲げ破壊性状を示した。SA-2, 3 に発生した曲げひび割れは打継ぎ面ですれずに、SA-1 とほぼ一致した。また、ファスナー筋の有無による破壊性状の違いはみられなかった。

2) 曲げ解析

M- 曲線を図-7 に、諸耐力を表-7 に、曲げモーメントと断面内の歪みの関係を図-8 に示す。計算値は RC 一体打ちスラブとして算出した。実験値の圧縮歪みは等曲げ区間で、圧縮縁から 10mm 下の位置で測定した値であり、引張歪みは主筋歪みである。諸耐力実験値と比較すると、SA-2, 3 は SA-1 とほぼ一致し、計算値とも対応

表-5 試験体一覧

試験体名	施工方法	ファスナー筋の有無	コッターの配置
SA-1	一体打ち		規準試験体
SA-2	合成床板	無	全面
SA-3	合成床板	3-M16	全面
SB-1	一体打ち		規準試験体
SB-2	合成床板	無	全面
SB-3	合成床板	3-M16	全面
SB-4	合成床板	3-M16	等曲げ区間内コッター無
SB-5	合成床板	3-M16	コッター30%損傷

表-6 コンクリートの材料特性(単位: N/mm²)

		圧縮強度	引張強度	ヤング係数
SA, DJ シリーズ	RC 部	31.5	2.21	2.29 × 10 ⁴
		31.7	2.48	2.30 × 10 ⁴
	PC 部	37.9	3.02	2.99 × 10 ⁴
		39.0	2.85	
SB シリーズ	RC 部	26.7	1.87	2.07 × 10 ⁴
		29.6	2.12	2.30 × 10 ⁴
	PC 部	37.9	2.56	2.92 × 10 ⁴
		40.0	3.05	2.99 × 10 ⁴

表-7 諸耐力(単位: kN・cm)

試験体名	ひび割れモーメント		降伏モーメント		終局モーメント	
	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値
SA-1	964.6	1066	2083	1806	2209	1886
SA-2	1056		2008		2163	
SA-3	868		1942		2018	

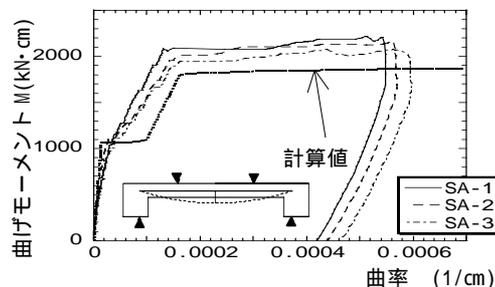


図-7 SA シリーズ M-

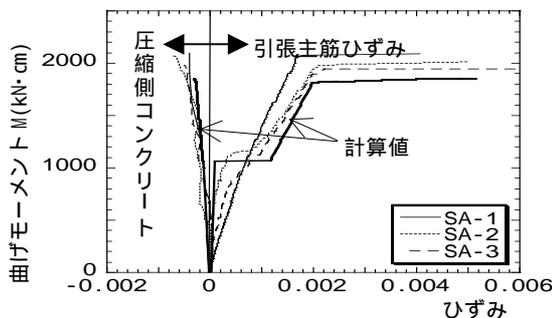


図-8 SA シリーズ M-

している。また、各試験体の曲げモーメントと断面内の歪みの関係は計算値と対応しており、RC 一体打ちスラブを対象とした曲げ解析法を適用できることがわかった。

(2) SBシリーズ(固定梁形式)

1) 破壊状況

SB-1は、端部上端にひび割れが発生し、次に中央部から試験体に等間隔にひび割れが入る曲げ破壊性状を示した。SB-2~5は、ファスナー筋の有無、コッターユニットの配置、損傷の有無にかかわらず各試験体とも曲げひび割れが打継ぎ面ですれることなくSB-1と同様の破壊性状を示した。

2) 曲げ剛性の評価

長期荷重時の測定値を表-8に、各試験体のQ-包絡線を図-9に示す。各試験体共にひび割れ発生により剛性低下し、鉄筋降伏後、耐力を維持したまま変形が進み大変形に至るといった典型的な曲げ破壊の挙動を示した。各合成床板共にSB-1と比べ弾性剛性の差はみられずほぼ同じであった。また、長期荷重時におけるSB-2~5のたわみはSB-1と殆んどかわらず、目標とするLx/4000以下になっている。

M-曲線とe関数法による計算値との比較を図-10に示す。弾性剛性の実験結果は、打継ぎ面を無視して算出した計算値にほぼ一致することから、一体打ちスラブと同様の構造性能を有していることが確認できた。両端完全固定と仮定して求めた端部曲げモーメントの実験値を表-9に示す。ひび割れモーメント、降伏モーメントは実験結果が計算値に比べて大きい値を示しているが、両端固定スラブとしたため、水平方向における変形が拘束されているため軸力(e関数法による計算の結果、386.4kN程度)が生じた結果と考えられる。しかし、スラブのせん断破壊が生じるほどの大きさではなかった。

3) 打継ぎ面でのずれ、開き

各試験体共中央部のたわみが30mmの時に最大で0.01mmほどであり、殆んど無視できる値であった。各合成床板共コッターユニットによりPC板とRC板は終局時まで一体性が失われておらずRC一体スラブと同様な構造性能を有していると判断できる。

4) ひび割れ幅

表-8 長期荷重時の性能

	剛性 (kN/mm)	たわみ (mm)	打継ぎ面の最大 ずれ(mm)	打継ぎ面の最大 開き(mm)
SB-1	33.56	0.573	0.005	0.005
SB-2	34.91	0.532	0.004	0.010
SB-3	41.12	0.439	0.003	0.007
SB-4	38.65	0.480	0.003	0.001
SB-5	33.73	0.549	0.006	0.002

表-9 端部曲げモーメントの実験値

試験体	曲げひび割れモーメント		降伏モーメント		終局モーメント	
	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値
SB-1	1754	1095	1.61	3969	2.18	4375
SB-2	1715	1095	1.57	3433	1.89	4005
SB-3	1651	1095	1.51	3350	1.84	3834
SB-4	1694	1095	1.55	3457	1.9	3976
SB-5	1490	1095	1.36	3480	1.92	4109

単位 kN・cm

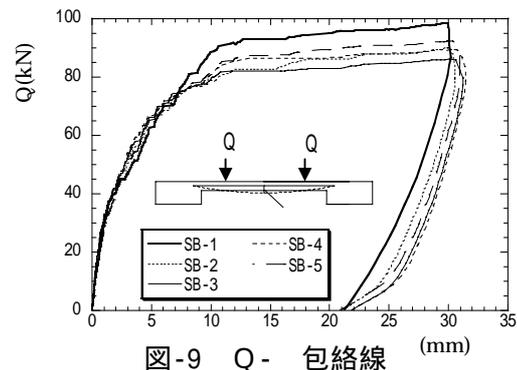


図-9 Q-包絡線 (mm)

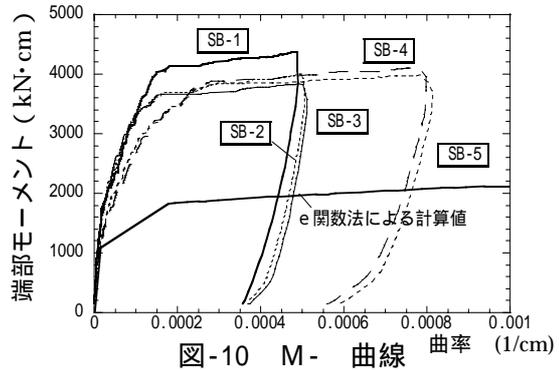


図-10 M-曲線 曲率 (1/cm)

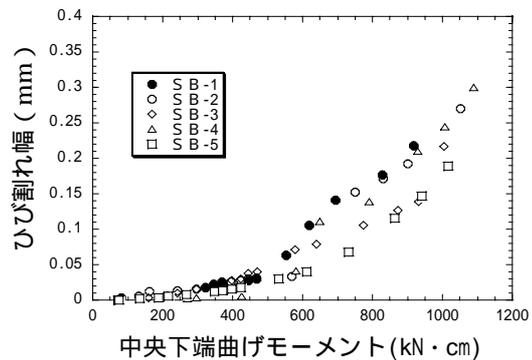


図-11 ひび割れ幅 - 曲げモーメント曲線

各試験体の中央下端で測定したひび割れ幅と中央部端部曲げモーメントの関係を図-11に示す。合成床板は一体打ちスラブと殆んど変わらないひび割れ幅となっていることがわかった。

6. PC板短辺方向の曲げ応力の伝達

運搬上部材幅が制限されるPC板において、PC板長辺方向では合成床板の全断面で応力を伝達できるが、直角方向にあるPC板短辺方向では、PC板内の配力筋が連続しないため、RC部内に下端筋を配筋しPC板内の配力筋との重ね継ぎ手を設け応力の伝達を行う。その時の必要重ね継ぎ手長さとなわみ計算を行うための方法を検討する。

1) 実験概要

試験体配筋状況を図-12に、使用材料特性を表-6に示す。試験体は重ね継ぎ手長さが40dのDJ-1と、60dのDJ-2の2体とした。床板の断面は、640×180mmである。なお、PC板打継ぎ面は平滑とした。鉄筋材料は表-2による。加力は両端単純支持、2点集中載荷による一方向漸増繰り返し載荷とした。

2) 実験結果

重ね長さの評価：スラブ厚さをRCのみとしてe関数法により算出した諸耐力を表-10に示す。諸耐力の実験値と計算値を比較すると重ね長さを60dとした時、実験値が計算値を上回った耐力を示し、大変形時においても耐力低下しないことがわかった。

断面剛性の評価：M-曲線を図-13に示す。計算値は、スラブの断面を図-14の斜線部のように考え、各断面の曲げ剛性をe関数法により求め、たわみを求めた。スラブ厚をRC部のみとする区間を20d(d：鉄筋径)とした時、重ね長さ60dのものは、実験値と理論値がよく対応することがわかった。なお、配力筋として殆どD10を使用することが多いので本実験ではD10を用いているが、それ以外の鉄筋を使用する場合には必要定着長さが大きくなる可能性があるため別途検討を要する。

7. まとめ

実験より得られたコッターユニットの許容せん断力にてRC規準に則って設計を行えば合成スラブの面内せん断力の伝達は十分であり、RC

表-10 諸耐力(kN・cm)

試験体名	ひび割れモーメント		降伏モーメント		終局モーメント	
	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値
DJ-1	345.6	384.3	943	978.6	1120	1279
DJ-2	441.6		994		1446	

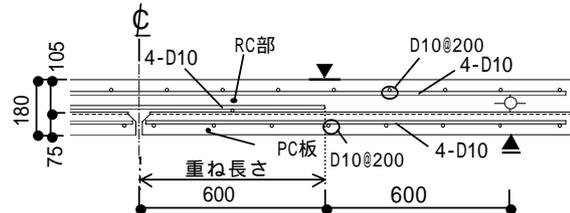


図-12 試験体配筋図(単位:mm)

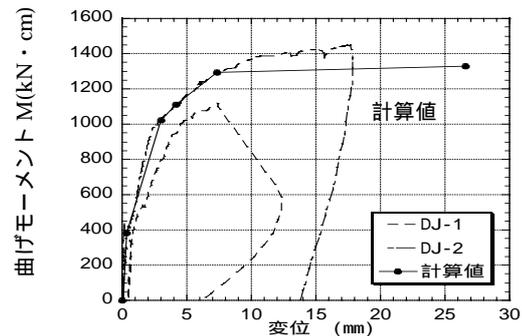


図-13 M-曲線

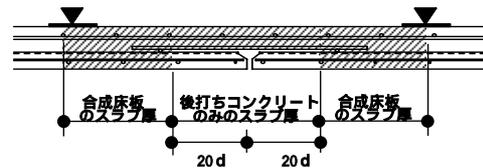


図-14 合成床板の範囲

一体打ちスラブと同様な構造性能を有することが確認できた。また、短辺方向のPC板同士のジョイント部は重ね継ぎ手60dを確保すれば二方向スラブとしての設計も可能であることがわかった。長期持続荷重が作用した時の構造性能についても、長期載荷実験より確認されている。

参考文献

- 1) 黒田清治, 松崎育弘, 高田博尾ほか: 合成床板(PICOS)の構造性能に関する実験的研究その1-4, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1983年9月
- 2) 太田博章, 中山康志, 広松猛, 石井修: ハーフプレキャスト合成床板に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1989年10月
- 3) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準同解説, 1999年
- 4) 日本建築学会: 壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造設計規準・同解説, 1982年