報告　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長期載荷実験

佐藤　克弥[*1]・筏井　文隆[*2]・松本　芳紀[*3]・小林　克巳[*3]

要旨：プレキャスト合成床板は，建築産業の工業化を推し進める上で，その効果を得やすい工法である。本論では，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持続荷重に対する性能を確認する目的で，実大スケール帯スラブの長期載荷実験を行った。一年間の長期載荷による測定の結果，ほぼ変形の進行が収束し，たわみ，ひび割れ等の大きさが目標値以内に収まった。また，プレキャスト鉄筋コンクリート造床スラブと場所打ちコンクリートの一体性を確認し，スラブとしての性能を満足していることを報告する。

キーワード：プレキャスト合成床板，長期載荷，コッター，たわみ

1.　はじめに

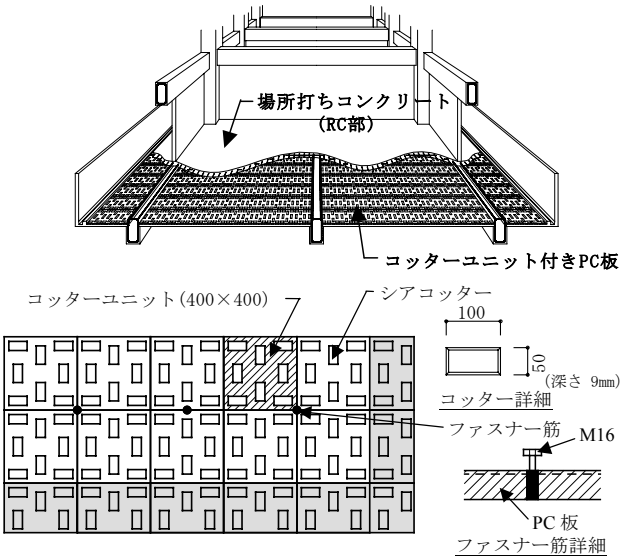
熟練工の不足，構造物の品質確保，合板型枠の不使用による環境保護などの為に，RC 構造物の PC 化が挙げられる。特に施工面積が大きく，施工に多くの時間を費やしている床スラブの PC 化は，その効果を得やすい工法である。現在普及しているプレキャスト合成床板の工法としては，打継ぎ面のせん断力伝達の為にトラス筋や凹凸コッター，突起物シャー筋（ダウエル筋）などを用いた工法等がある。

図－１に本工法の概要と PC 板の詳細を示す。建築物の床，屋根に下端筋を含むプレキャスト鉄筋コンクリート造床スラブ（以下 PC 板）を架設し，その上面に必要な上端筋を配置し，場所打ちコンクリート（以下 RC 部）を打設して一体化する合成スラブ工法である。

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である。しかし，**図－１**に示すような長方形のシアコッターを組合わせて 1 ユニットとした独自の形状寸法をもつコッターユニットを PC 板全面に配置することで，PC 板と RC 部の打継ぎ面に働く面内せん断力を伝達し，型枠底面を打継ぎ面とすることを可能とする。

このユニット化したコッターは，二方向に対応するシアコッターの配置とし，本合成スラブ工法は積載荷重に対して二方向スラブとした。また，PC 板と RC 部のはがれ防止として，ファスナー筋を設けることとした。

本実験に先立って短期載荷実験[1)]を実施したが，一体打ちスラブと同様の方法で曲げ設計し，接合面のコッターに加わるせん断応力を一定の値以下に収めておけば，RC 規準[2)]で一体打ちスラブに期待している性能を確保できることが分かっている。



図－１　本工法の概要と PC 板の詳細（単位：mm）

*1 木内建設㈱　設計本部開発課　（正会員）
*2 木内建設㈱　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）

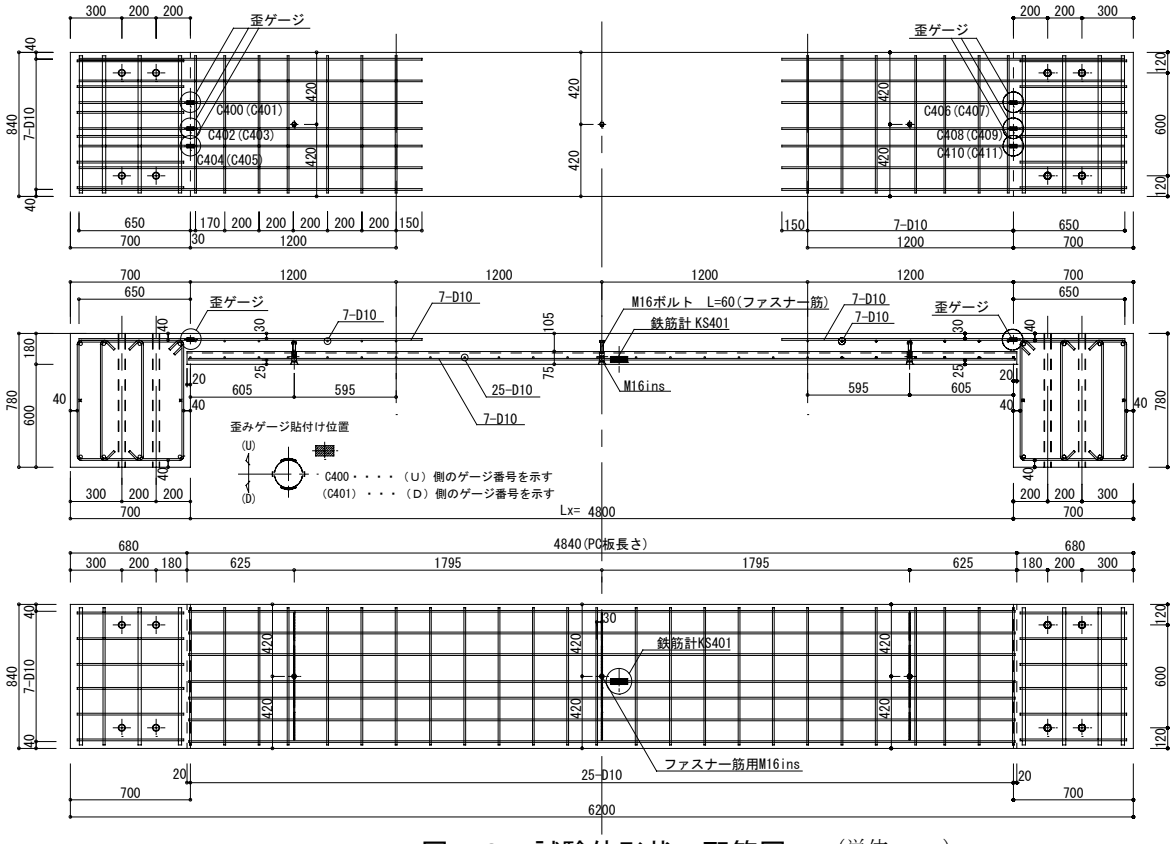
本論では，シアコッター等が PC 合成床板の長期耐力，剛性に与える効果を把握し，構造上支障のないことを確認する必要があることから，PC 合成床板に持続荷重を作用させる長期載荷実験を行い，長期たわみ，ひび割れ等について実験により得られた性状を報告する。

2. 実験概要

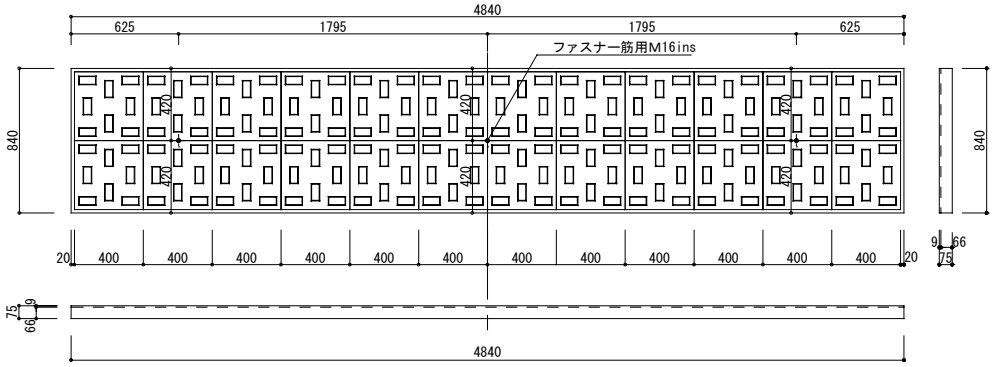
2.1 試験体

試験体形状は，スラブ内法スパン Lx＝4,800mm，スラブ厚 180mm［PC 板厚 75mm（有効厚さ 66mm），RC 板厚 105mm］，試験体幅をユニット化したコッターの有効幅から 840mm の帯スラブとした。ユニット化したコッターは，PC 板全面に配置した。また試験体は，用途を事務所等（積載荷重：3.00 kN/m^2）とし，両端固定の一方向スラブとして主筋量を算定した。試験体形状及び試験体配筋図を**図－２**に，ユニット化したコッターの配置図を**図－３**に示す。

試験体は，スラブに比べて十分剛性が大きい反力梁の上で実施工と同様に製作した。実験パラメータは載荷荷重とし，設計荷重（LC－1）と鉄筋に短期許容応力度が発生する荷重を載荷荷重（LC－2）とする試験体の 2 体とした。また，



図－２　試験体形状・配筋図　（単位：mm）



図－３　ユニット化したコッターの配置図　（単位：mm）

表－１　コンクリートの調合表

※細骨材：川砂　　粗骨材：川砂利

	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	水セメント比 (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m³)				
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 A
PC 板	25	8	50.1	3	42.2	153	305	799	1102	0.763
RC 部	25	18	54.4	3	43.7	166	305	795	1034	0.610

LC－2 は，LC－1（設計荷重時）の過積載に対する安全性を確認する為の実験とする。

コンクリートの設計基準強度は，PC 板で Fc =30 N/mm^2，RC 部で Fc = 24 N/mm^2 とし，主筋は SD295A を使用した。コンクリートの調合表を**表－１**に，コンクリート及び鉄筋の材料特性を**表－２**，**表－３**に示す。

2.2　載荷方法

載荷はコンクリートブロック(JIS A 5406　C種 390×190×100mm　100N/個）及び調整荷重としてコンクリート供試体（100φ×200mm）を組合わせ，これらを床板上に敷き並べ，積み重ねることにより行った。載荷状況を**図－４**に示す。

以下に各試験体の載荷荷重の概要を述べる。

LC－1：端部上端主筋に長期許容引張応力が発生する荷重とする。合成床板の長期許容モーメント $_L$Ma は，端部上端筋 7－D10（SD295A）より 13.10 kNcm であるから，この $_L$Ma を与える積載荷重を

$$w_L = \left({}_L M_a \times \frac{12}{\ell^2} - \text{床板の自重} \right) \Big/ \text{床板の幅}$$

$$= 3.79\ \text{kN/m}^2 \text{ とした。}$$

これは設計用積載荷重（事務所：3.00 kN/m^2）を包含した積載荷重である。

LC－2：端部上端主筋に短期許容引張応力が発生する荷重とする。合成床板の短期許容モーメント $_S$Ma は，端部上端筋 7－D10（SD295A）より 19.65 kNcm であるから，この $_S$Ma を与える積載荷重 w_S を 7.82 kN/m^2 とした。

なお，試験体の設置場所は外壁を万能板とした仮設の建屋内としたが，温度湿度のコントロールは行っていない。

2.3　測定方法

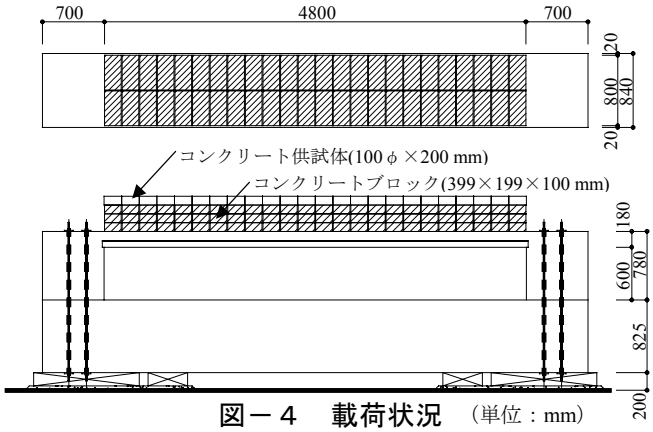
たわみ及びスタブの回転角については，**図－５**のようにダイヤル型変位計と高感度変位計を用いて測定した。たわみについては試験体幅の中央で測定したが，中央のたわみのみダイヤル型変位計と高感度変位計で 2 箇所測定した。PC 板と RC 部打継ぎ面のズレ，開き及び，ひび割れ幅については，**図－６**に示すようにコンタクトゲージで測定した。鉄筋ひずみは中央下端鉄筋を鉄筋計にて，端部上端鉄筋を歪みゲージによって（**図－２**参照）測定を行った。また試験体

表－２　コンクリート材料特性

	材令 (日)	圧縮強度 σ_B (N/mm^2)	割線ヤング係数 E (N/mm^2)	引張強度 σ_t(N/mm^2)
PC 板	7	26.7	2.35×10^4	—
	28	31.5	2.48×10^4	—
	56	40.0	2.69×10^4	—
	84	43.4	2.76×10^4	—
	168	44.9	2.94×10^4	—
	336	44.1	2.78×10^4	—
	材令 (日)	圧縮強度 σ_B (N/mm^2)	割線ヤング係数 E (N/mm^2)	引張強度 σ_t(N/mm^2)
RC 部	7	22.3	2.21×10^4	—
	28	26.5	2.34×10^4	—
	56	29.4	2.30×10^4	2.60
	84	29.6	2.43×10^4	—
	168	30.1	2.44×10^4	—
	336	31.4	2.48×10^4	—

表－３　鉄筋材料特性

鉄筋径	降伏応力 σ_y (N/mm^2)	引張応力 σ_t (N/mm^2)	ヤング係数 E (N/mm^2)
D10 (SD295A)	363.3	500.5	1.83×10^5



図－４　載荷状況　（単位：mm）

の温度変化による影響を確認する為，ダミーゲージを用意し無応力状態で測定を行った。

試験体を設置した建屋内の環境条件を明らかにする為に，建屋内の温度，湿度と建屋敷地内の外気温についても測定を行った。**図－７**に建屋内温度及び湿度変化を，**図－８**に屋外気温変化を示す。

3. 実験結果

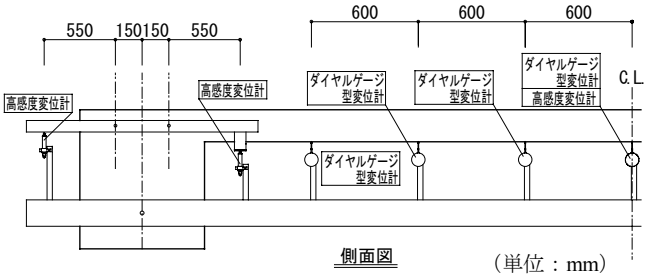
3.1 たわみとひび割れ幅

載荷直後の中央たわみは, LC－1 で Lx／4600, LC－2 で Lx／1700 である。

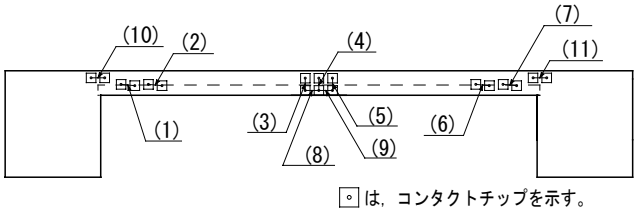
図－９に中央たわみの経日変化を，**図－１０**に端部上端ひび割れ幅増分，**図－１１**に端部上端主筋ひずみを示す。LC－1 の中央たわみは，日数が経過するにつれ徐々に増加していったが，載荷 28 日ごろから急激なたわみ進行がみられる。これは同時期に端部上端のひび割れ幅が開き，鉄筋ひずみの増分が大きくなったことにより端部の剛性が低下したことで，中央たわみが急激に増加したと思われる。以後たわみと端部ひび割れ幅，端部上端鉄筋のひずみとが連動し，たわみ増分を変化させながら増加していくが，載荷 182 日ごろからの動きは緩慢となり, 載荷 266 日以降はたわみ，ひび割れ幅ともほぼ一定の値を示しており，収束した状態にあると思われる。

図－９にみられるように，LC－2 の中央たわみについても，LC－1 のそれとほぼ同じ挙動を示している。LC－2 の中央たわみは LC－1 に比べて，載荷 28 日までは端部上端のひび割れ発生状態の違いから，約 2.2 倍程度となるが，そこから徐々に減少し載荷 140 日までには約 1.5 倍となっている。それ以降は，約 1.47 倍～1.45 倍の差を保ちながら，載荷 364 日に至っている。LC－2 の載荷荷重が LC－1 の 1.5 倍であることから考えると，本合成スラブの中央たわみは載荷荷重とほぼ比例関係にあると考えられる。

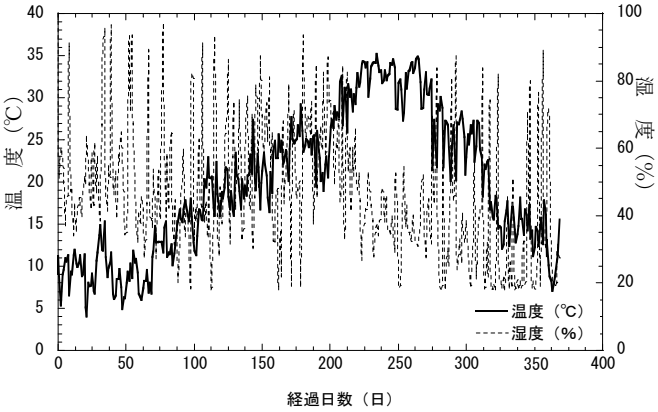
LC－1 に要求される長期たわみに関する性能は，長期たわみ Lx／250（19.2 mm）以下に抑えることであるが [2)]，載荷 350 日における中央たわみは 7.7 mm 程度（Lx／623）で，目標とする長期たわみ 19.2 mm の約 40%程度の値となっている。さらに中央たわみは，載荷 266 日以降は 7.5mm～7.7mm 程度の間でほぼ一定の値を示し，殆んど収束していることから，今後長期載荷を続けても 19.2mm には達しないと考えられる。な



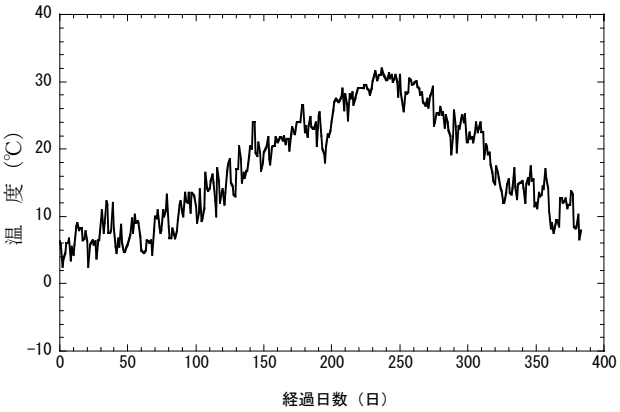
図－５　変位計・ゲージホルダー取付図



図－６　コンタクトチップ取付図



図－７　建屋内温度及び湿度変化



図－８　屋外気温変化

お，LC－2 についても載荷 350 日における中央たわみは 11.4 mm 程度（Lx／421）で，ほぼ一定の値を示し殆んど収束しており，LC－1 で目標とする長期たわみ 19.2 mm を下回っていることから，万一，本合成スラブに想定した設計荷重の 1.5 倍の載荷荷重がかかったとしても，急激なたわみは起こらないと考えられる。

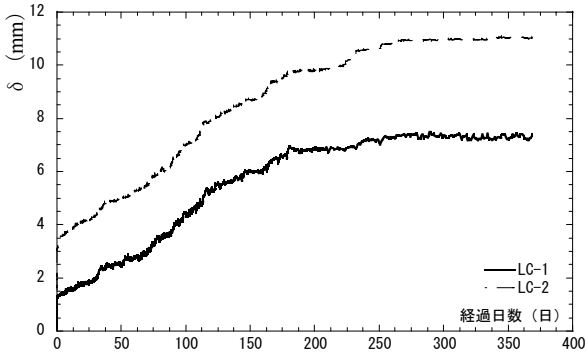
図－１１をみると，LC－1 の端部上端主筋のひずみは中央たわみと連動しながら増加していき，載荷 260 日時点でピークをむかえ 1400μ程の値を示している。端部上端主筋の長期許容応力度時のひずみは約 1000μであるから，端部上端主筋のひずみは長期許容応力度時のひずみを上回っている。また載荷 260 日以降は，端部上端主筋のひずみが減少していく。この減少傾向は建屋内温度（**図－７**参照）の傾向と殆んど一致していることから，端部上端主筋のひずみ測定値は温度変化の影響を受けていると思われ，次のような現象が起こったと考えられる。

1）**図－１２**に示したダミーゲージ（応力を受けていない鉄筋のひずみ）の経日変化が建屋内温度（**図－７**参照）とほぼ同一の傾向を示すことから，端部上端主筋ひずみが温度変化の影響による伸び分を含んだ値として測定されている。

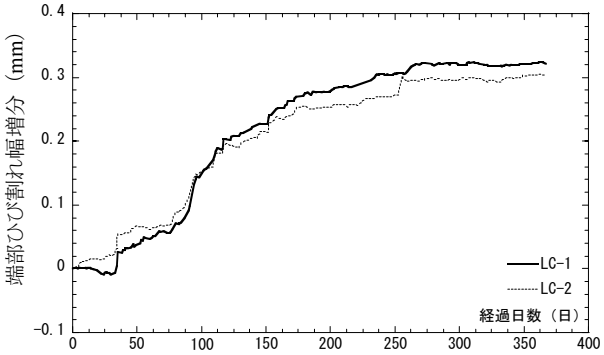
2）温度変化の影響によってスラブが膨張するが，両スタブの下部が拘束されているのでスラブ端部に付加曲げモーメントがかかった。

したがって，以上のような現象により，端部上端主筋のひずみ測定値は，長期許容応力度時のひずみを上回ったといえる。温度変化の影響を受けた要因としては，試験体設置場所の建屋内の温度変化が，屋外温度変化とほぼ同じであり，建屋内は一般の建物内部に比べて寒暖の差が激しく，厳しい環境にあった為と思われる。

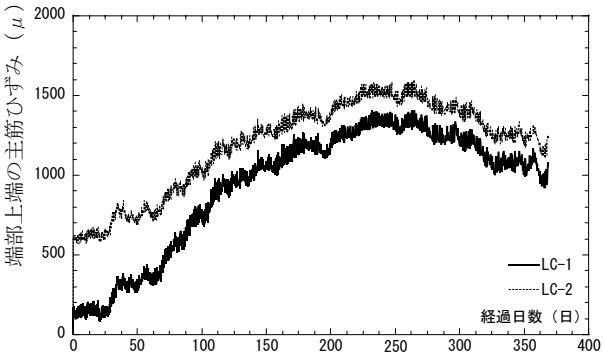
端部上端のひび割れ幅（**図－１０**参照）は，スラブ端部の小口をコンタクトゲージによって測定したもので，LC－1 の端部上端主筋のひずみが 1000μを超える載荷 130 日辺りから，温度変化の影響が大きくなったと考えれば，その時のひび割れ幅は 0.21mm 程度で，それ以上は温度変化の影響が大きく含まれることになる。また載荷 449 日において，端部上端面のひび割れ幅をクラックルーペにより測定した結果，LC－1 で 0.20mm 程度，LC－2 で 0.44mm 程度であった。



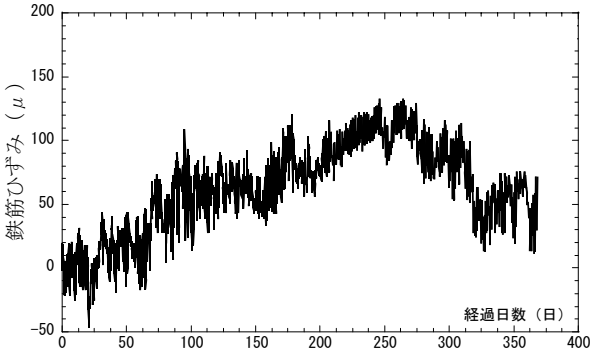
図－９　中央たわみ経日変化



図－１０　端部上端ひび割れ幅増分



図－１１　端部上端主筋のひずみ



図－１２　ダミーゲージの経日変化

表－４　中央点たわみ測定値経時変化

試験体	弾性計算値たわみ	測定値							（単位：mm）
		載荷直後	14 日	28 日	56 日	84 日	112 日	140 日	168 日
LC－1	1.0164	1.048	1.778 (1.75)	2.002 (1.97)	2.748 (2.70)	3.658 (3.60)	5.006 (4.93)	5.682 (5.59)	6.412 (6.31)
		182 日	210 日	238 日	266 日	294 日	322 日	350 日	364 日
		6.722 (6.61)	6.814 (6.70)	7.262 (7.14)	7.530 (7.41)	7.598 (7.48)	7.672 (7.55)	7.726 (7.60)	7.722 (7.60)
LC－2	1.6444	載荷直後	14 日	28 日	56 日	84 日	112 日	140 日	168 日
		2.884	4.024 (2.45)	4.338 (2.64)	5.116 (3.11)	6.154 (3.74)	7.626 (4.64)	8.440 (5.13)	9.410 (5.72)
		182 日	210 日	238 日	266 日	294 日	322 日	350 日	364 日
		9.698 (5.90)	9.852 (5.99)	10.610 (6.45)	11.054 (6.72)	11.102 (6.75)	11.250 (6.84)	11.392 (6.93)	11.382 (6.92)

※（　）は測定値／計算値

一方，中央下端のひび割れは，LC－2 に 0.049mm 程度の幅のものが数箇所みられるが，LC－1 には発生していない。なお，両試験体とも端部上端，中央下端にひび割れの集中はみられない。

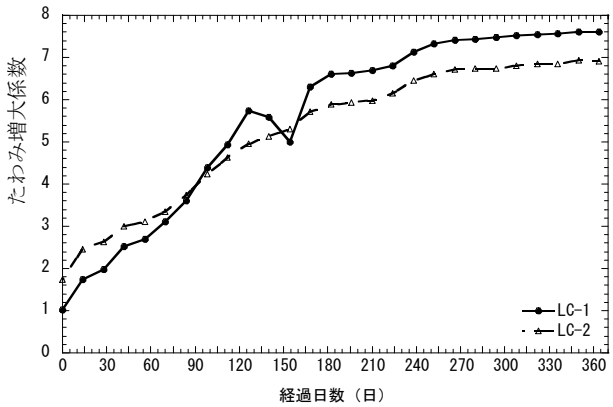
3.2　たわみ増大係数

図－１３に中央たわみ増大係数の経日変化を示す。また**表－４**に中央点たわみ測定値経時変化を示す。弾性計算値たわみは両端固定の一方向梁として求めた。LC－1 と LC－2 を比較すると，載荷 168 日までは端部の剛性低下の割合の違いから，たわみ増大係数の増加率にばらつきがあるものの，それ以降はほぼ一定の間隔を保ちながら徐々に増加し，両試験体とも 7.0～8.0 倍の間で収束しており，ほぼ同一の傾向を示している。今後載荷を継続しても，収束したたわみ増大係数程度に収まると考えられる。

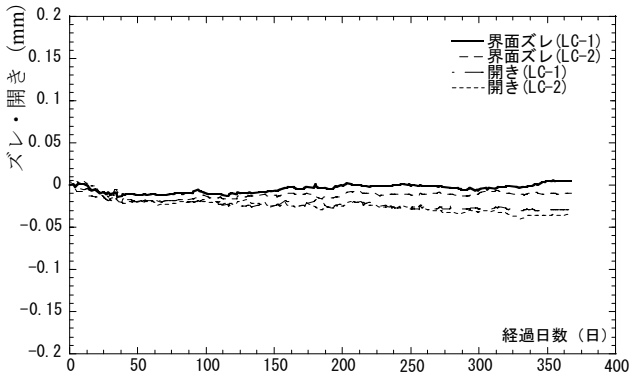
3.3　ズレ，開き

打継ぎ面のズレ，開きの経日変化を**図－１４**に示す。ズレ，開きともに，LC－1，LC－2 両試験体に大きな差はなく，またごく小さな値で殆んど変化がみられなかった。

したがって，本合成スラブの一体性は，端部上端鉄筋の短期許容応力度に相当する載荷を負担する時においても確保できると考えられる。



図－１３　中央たわみ増大係数経日変化



図－１４　打継ぎ面のズレ，開きの経日変化

4.　まとめ

載荷 364 日経過時点で，本合成スラブはたわみ，ひび割れ幅，打継ぎ面のズレ，開き等のデータは殆んど収束しており，ほぼ最大値に達しているものと思われる。これらの値は，本合成スラブの目標性能に対して満足し，また打ち継ぎ面の一体性も確保されていると考えられる。したがって本合成スラブは RC 一体打ちスラブと同等の性能を有し，ＲＣ規準[2] に則って設計して問題ないと考えることができる。

参考文献

1) 新井勇作，筏井文隆，松本芳紀，小林克巳：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，コンクリート工学年次論文報告集，2003　（投稿中）

2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，　1999