

# 報告 スパイラルトラス筋付きプレキャスト大型合成床板の長期載荷実験

筏井 文隆\*1・新井 勇作\*2・小林 克巳\*3

**要旨:** スパイラルトラス筋付きプレキャスト大型合成床板の持続荷重下に対する性能を確認する目的で、内法スパンが 8500mm の実大スケール床スラブ 2 体(通常のボイドスラブ断面のものと段差部を有するもの)の長期載荷実験を行った。約 2 年間の長期載荷実験による測定の結果、ほぼ変形の進行が一定の割合に収束し、たわみ、ひび割れの大きさが目標値以内に収まっており、スラブとしての長期性能を満足していることが確認できた。また、大スパン化にともないたわみ進行の収束時期が遅延すること、および、たわみ倍率が小さくなる傾向が確認できた。

**キーワード:** プレキャスト合成床板, ボイドスラブ, 長期載荷, たわみ

## 1. はじめに

床スラブをプレキャスト大型合成床板工法で施工することにより、工期短縮、施工の合理化、高品質化が期待できる。また、型枠が不要となるので環境問題への対応にも貢献できる。さらに、ボイドスラブを実現できる大型合成床板工法とすれば、小梁を無くした大スパンにおいて自由な間取りが設定でき、遮音性能にも優れていることから、集合住宅等の床スラブとして適用範囲が広がると予想される。なお最近の集合住宅の設計では、大スパン化とともにバリアフリー住宅への対応として水周り部分を一部下げた変断面スラブとする傾向が大きくなってきている。

本報告で対象とする大型合成床板は、PC 板上にボイド型枠を設置し、スパイラルトラス筋を打継ぎ面のせん断抵抗要素としているところに特徴がある。図-1 に本工法の概要とスパイラルトラス筋の詳細を示す。スパイラルトラス筋は主筋となるトップ筋に D13、ボトム筋に 2-D10 を使用し、ラチス筋となる D6 鉄筋は主筋の外側から一筆書きの螺旋状に配筋されている。主筋とラチス筋が交差するところでは結束線によっ

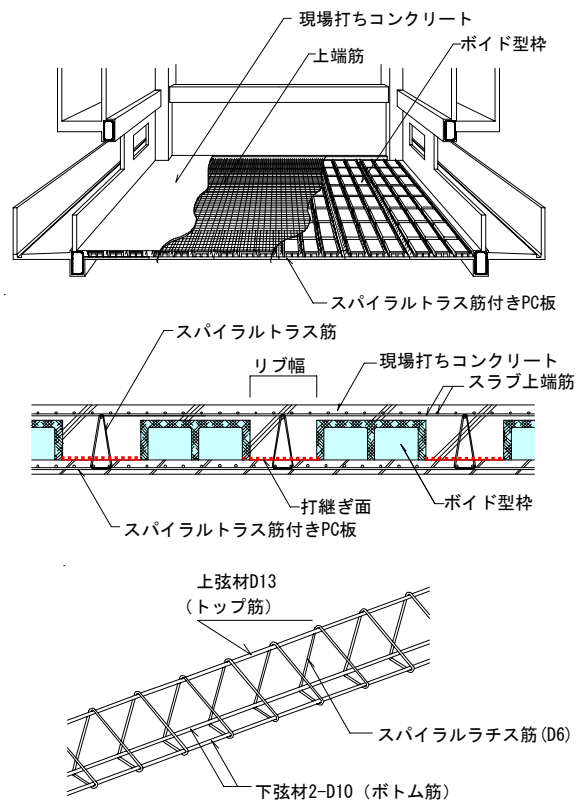


図-1 本工法の概要とスパイラルトラス筋

て拘束されている。スパイラルトラス筋の特長として、①トラス筋を構成する鉄筋は通常流通しているものを使用できる。②異形鉄筋を使用するため、コンクリートとの付着が大きくなる。

\*1 木内建設 (株) 設計本部開発課主任 博士(工学) (正会員)

\*2 木内建設 (株) 設計本部開発課副部長 (正会員)

\*3 福井大学工学部建築建設工学科 工博 (正会員)

③スパイラルトラス筋は閉断面であるため、リブ補強としての拘束効果が大きい。④ラチス筋の螺旋加工が複雑であるが、自動加工機を開発することにより、加工精度を上げることができる。⑤鉄筋溶接等の特別な技術が不要であり、組み立て生産が容易である。などが挙げられる。

本工法の大型合成床板スラブの目標とする長期性能は、長期たわみが内法スパンの1/250であること、また、ひび割れ幅が0.3mm以内であることとした。

本報告は、スパイラルトラス筋付き大型合成床板の長期性能を確認するために、内法スパンが8500mmの実大スケール帯スラブを2体製作し、約2年間の長期載荷物実験を行なった結果について報告するものである。

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体

試験体は、通常のボイドスラブ断面のもの(VL-1)と段差スラブに対応した変断面のもの(VL-2)の2体である。試験体一覧および概要を表-1および図-2に、材料強度を表-2に示す。コンクリートの設計基準強度は、PC板が $F_c=30\text{N/mm}^2$ 、後打ちコンクリートが $F_c=21\text{N/mm}^2$ である。スラブの内法長さは8500mmとし、変断面スラブVL-2については、2350mmの段差部(スラブ厚250mm)を設けている。ボイド型枠の標準形状は、幅400mm、長さ1200mm、高さ190mmである。試験体は、断面両端に役物のボイド型枠を配置してI形断面のリブが二つ並んだ幅1100mmの帯スラブとしてモデル化し

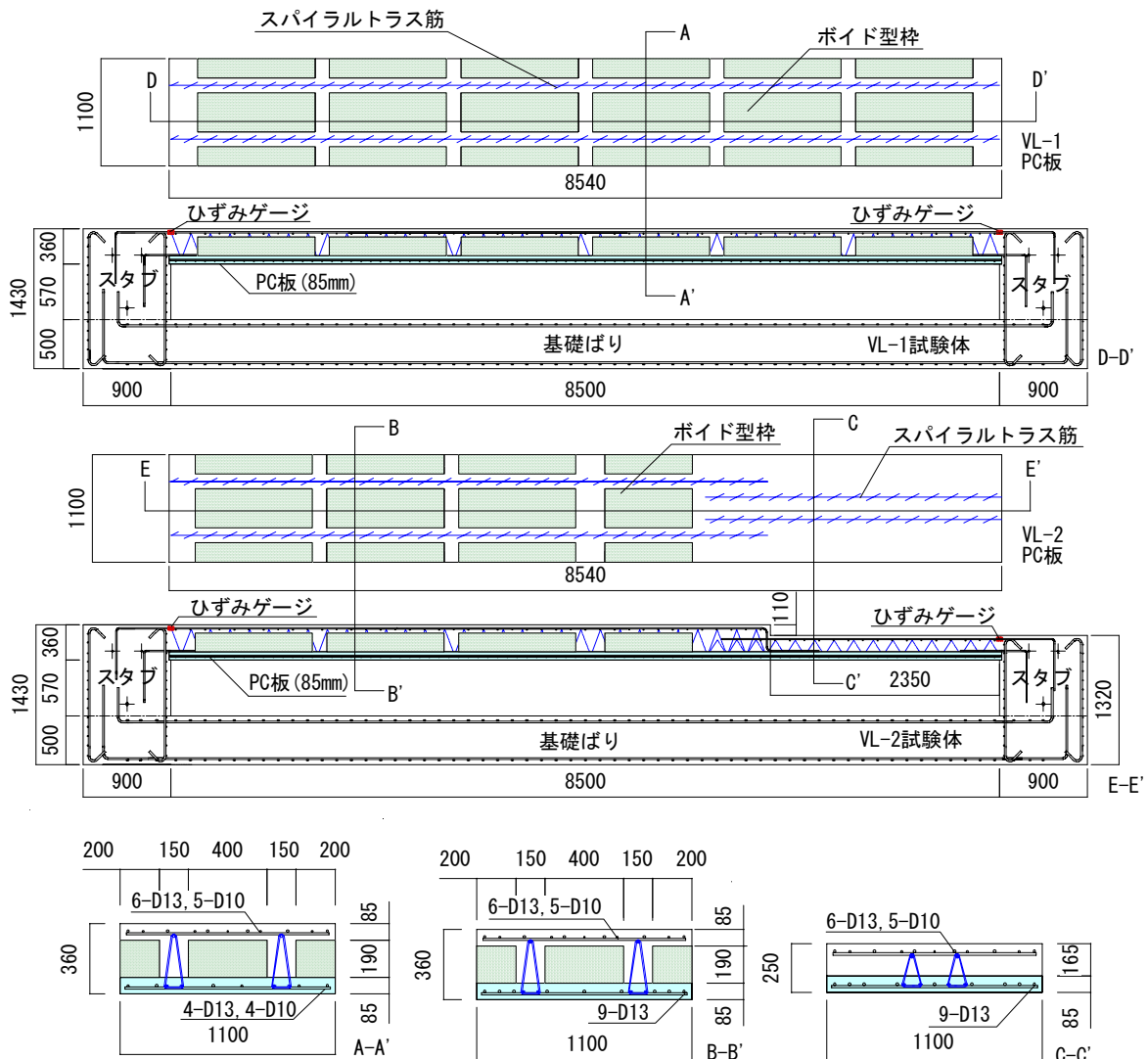


図-2 試験体概要

た。主筋量は、一住戸の大型合成スラブを2方向置換梁解析により算出されたものである。上端主筋はVL-1, VL-2 試験体とも6-D13, 5-D10の共通とし、下端主筋量については、VL-1が4-D13, 4-D10, VL-2が9-D13となっている。端部固定条件を満足させるために、口の字形の試験体としスタブおよび基礎梁は、スラブ剛性にくらべて十分大きな値とした。なお、PC板のスラブ厚は85mmである。

試験体の製作は実施工と同様に行った。まず、PC工場定盤上にてPC板の打設および製作を行なった。スパイラルトラス筋はPC板中の下端主筋と同時に打設されており、ボイド型枠はコンクリート打設直後にPC板上に傘釘で固定されている。所定の脱型強度を確認後に、事前に打設された基礎ばり上にサポートを設置し、その上にPC板を乗せて上端筋を配筋した後、スタブおよびトップコンクリートを一度に打設して一体化した。

試験体の設置場所は風雨の影響がないPC工場建屋内に設置したが、温度湿度のコントロールは行っていない。

## 2.2 載荷方法

載荷状況を写真-1に示す。土嚢袋に200Nの25mm砕石骨材を入れたものを、等分布荷重状態となるように均等にスラブ天端上に敷き詰めた。載荷荷重は、設計時に用いた載荷荷重ではなく、実際に配筋されたスラブ両端部主筋が、計算上長期許容応力度となるように、より厳しい載荷状態を設定した。載荷重量はVL-1で4.05kN/m<sup>2</sup>、VL-2のボイド部で2.94kN/m<sup>2</sup>、段差部で2.17kN/m<sup>2</sup>である。

## 2.3 測定方法

スラブのたわみを高感度変位計により測定した。たわみは、それぞれピン、ローラー支承を介してスタブの両端に固定されたゲージホルダー上からの相対変位として測定した。VL-1で3、VL-2で5点測定した。スラブ両端部での固定状況を確認するために、スラブ端部断面のスタブに対する回転角も測定している。スラブ端部

表-1 試験体一覧

試験体名	段差	スラブ厚(mm)		配筋			載荷重量
				位置	主筋	直交筋	
VL-1	無	ボイド部	360	上端(後打ち)	6-D13.5-D10	D10.13@150	37.9kN (4.05kN/m <sup>2</sup> )
		PC板	85	下端(PC板)	4-D13.4-D10	D10@100	-
VL-2	有	ボイド部	360	上端(後打ち)	6-D13.5-D10	D10.13@150	19.9kN (2.94kN/m <sup>2</sup> )
		段差部	250				5.6kN (2.17kN/m <sup>2</sup> )
		PC板	85	下端(PC板)	9-D13	D10@100	-
共通	内法スパン8500mm 帯スラブ幅=1100mm						

表-2 材料強度一覧

コンクリート				
打設部位	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (×10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup> )	
後打ち(F <sub>c</sub> =21)	22.9	2.55	2.25	
PC板(F <sub>c</sub> =30)	32.5	-	-	
鉄筋				
種類	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (×10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup> )	伸び率 (%)
D13	369	532	1.80	27.2
D10	333	512	1.85	27.9
D6	347	520	1.94	30.2



写真-1 試験体載荷状況

上端および中央下端のひび割れ幅は、側面主筋位置でコンタクトゲージにより測定した。主筋のひずみは端部上端筋にひずみゲージを貼付して測定した。なお、実験環境を把握するために、

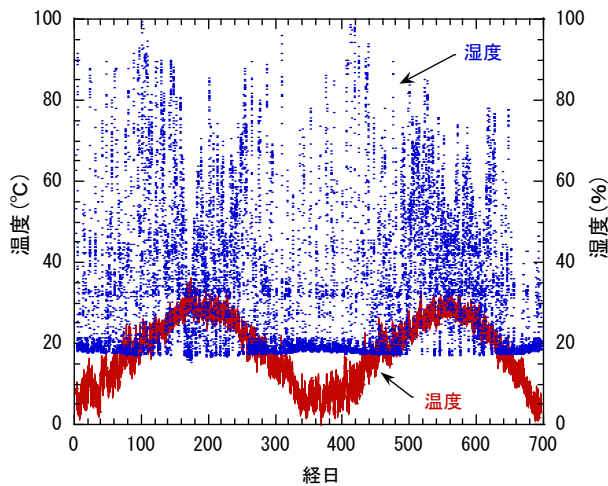


図-2 温度湿度履歴

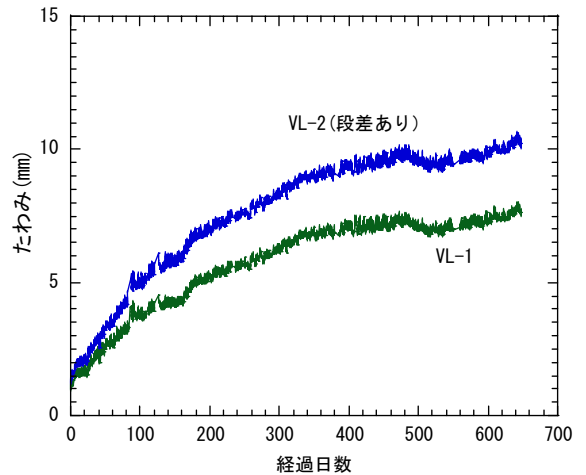


図-3 中央たわみ経日変化

試験体設置場所の気温および湿度を測定した。温度湿度の経日変化を図-2に示す。

### 3. 実験結果

#### 3.1 たわみ

載荷 650 日までの中央たわみ経日変化を図-3に示す。載荷直後のたわみは VL-1 でスラブスパンの 1/7600, VL-2 で 1/6500 であった。VL-1 と VL-2 を比較すると、載荷当初のたわみの差は経過日数が増えるにつれて増大する傾向がみられたが、一年を経過するとほぼ両者のたわみの差は一定となって進行している。両試験体のたわみ分布を図-4, 5に示す。両試験体ともほぼ偏りのない分布をしており、設定通り等分布荷重状態を実現できていると思われる。また、載荷 650 日を経過してもたわみが微増していく傾向がみられるものの、載荷後一年を過ぎるとたわみ分布の間隔は狭くなっており、両試験体とも今後急激にたわみが増加することなく収束していくものと考えられる。載荷 650 日でのたわみは VL-1 が 8mm, VL-2 が 10mm 程度であり、スラブスパンの 1/800 程度である。

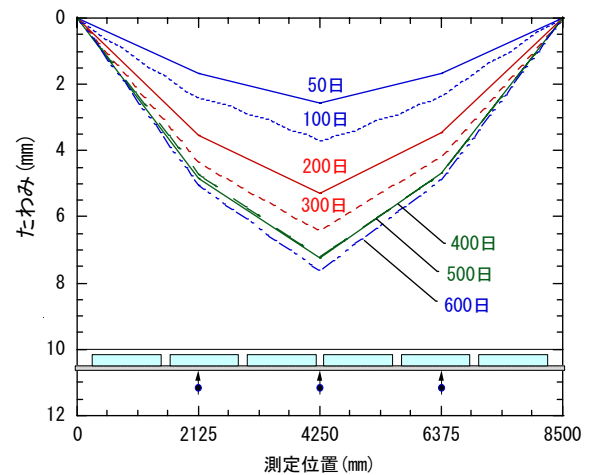


図-4 たわみ分布 (VL-1)

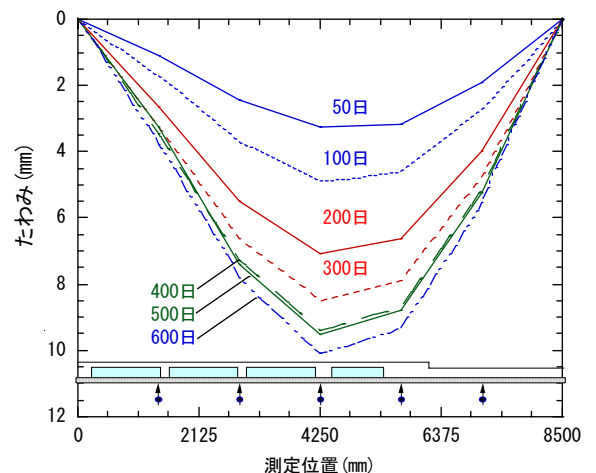


図-5 たわみ分布 (VL-2)

#### 3.2 主筋ひずみ

スラブ端部上端主筋のひずみ測定結果を図-6, 7に示す。両試験体とも載荷 650 日ではひずみの進行はほぼ収束しつつある。VL-1 試験体の主筋ひずみは年間を通してひずみの進行はすくない。VL-2 試験体では、段差部端部上端主

筋のひずみが載荷当初より大きい。載荷日数が経るにつれて両端部上端主筋のひずみが一致していく傾向が見られた。

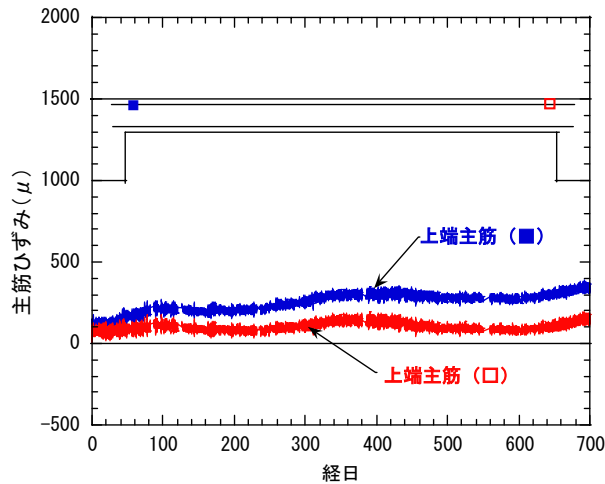


図-6 主筋ひずみ分布 (VL-1)

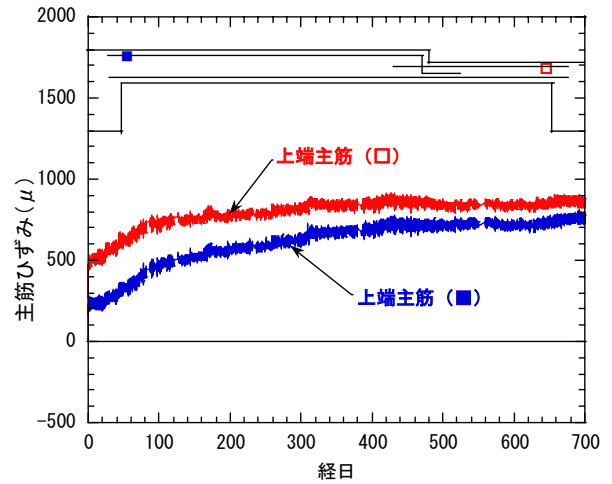


図-7 主筋ひずみ分布 (VL-2)

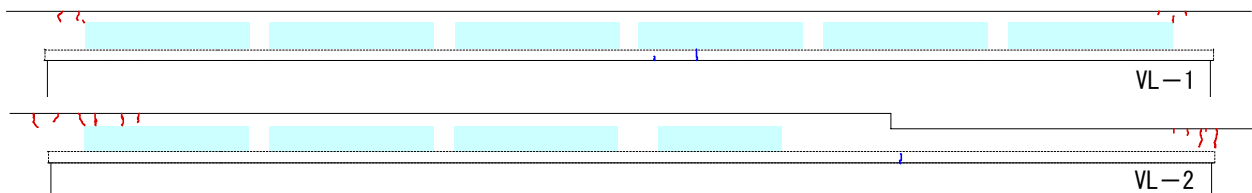


図-8 ひび割れ発生状況

### 3.3 ひび割れ幅

ひび割れ発生状況を図-8に示す。ひび割れは  
 載荷直後に両端部上端に発生し、載荷後一ヶ月  
 を過ぎてから中央下端にひび割れの発生が認め  
 られた。段差部を有する VL-2 のほうがひび割  
 れの発生本数が多くなっており特にスラブ厚が  
 薄くなっている段差端部にひび割れの開口が集  
 中した。スラブ中央下端にひび割れが発生した  
 後は、新たにひび割れが発生することはなかつ  
 た。載荷 650 日の段階では、ひび割れの発生お  
 よびひび割れの進展はみられない。コンタクト  
 ゲージにより測定したひび割れ幅の一覧を表-  
 3に示す。VL-1 の端部上端主筋位置でのひび割  
 れ幅の最大値は 0.074mm であり極小さい値であ  
 った。VL-2 の場合には、通常断面端部上端主  
 筋位置で 0.136mm、段差部端部上端主筋位置が  
 0.260mm と変断面スラブの場合にはひび割れ幅  
 に対して不利な結果となった。特に段差部では  
 ひび割れ幅が大きくなるためひび割れ設計にお  
 いては考慮が必要である。下端中央のひび割れ  
 に関しては、両試験体とも 0.01mm 程度であり、  
 問題となる値ではなかった。PC 板のコンクリー  
 ト強度が大きいこと、スパイラルトラス筋のボ

表-3 最大ひび割れ幅

試験体名	端部上端 (mm)	端部段差上端 (mm)	中央下端 (mm)
VL-1	0.074	-	0.009
VL-2	0.136	0.260	0.012

表-4 接合面のズレと開き

試験体名	ズレ (mm)	開き (mm)
VL-1	0.036	0.000
VL-2	0.027	0.000

トム筋がスラブ下端主筋として働くため、ひび  
 割れ幅の拡大に対して有利に働いたと思われる。

### 3.4 接合面のズレと開き

載荷 650 日後のコンタクトゲージ測定による  
 接合面のズレと開きについて表-4に示す。接合  
 面のズレの最大値は VL-1 が 0.04mm 程度、VL  
 -2 が 0.03mm 程度であり、問題となる値ではな  
 かった。接合面の開きに関しては、両試験体と  
 も開きは生じていない。

### 3.5 長期たわみ倍率

載荷 650 日までの長期たわみ倍率について図  
 -9に示す。たわみ倍率は実際の載荷荷重下にお  
 ける弾性たわみ計算値(VL-1, VL-2 それぞれ



1.763mm, 2.060mm)で除したものであり、載荷650日におけるたわみ倍率はVL-1が4.5倍、VL-2が5倍程度である。長期たわみ倍率はスラブ設計時における重要なクライテリアの一つであるが、RC計算規準<sup>1)</sup>においては長期たわみ倍率を16倍として規定しており、本実験結果と3倍近い開きがあることになる。今後の長期たわみ倍率を予測するために、最小2乗法によるたわみ予測式を作成し、同図に合わせて表示した。予測式はボイドスラブにおいて長期載荷実験を行なった参考文献2)のものと同様の式を用いた。予測式を式(1)、最小2乗法により求められた係数の一覧を表-5に示す。さらに比較のために、参考文献2)における一様断面ボイドスラブ、内法スパン6500mm(DSL-4)のも合わせて表示した。50年後におけるたわみ倍率の予測値は、VL-1で5.6倍、VL-2で6.4倍である。一方、内法スパン6500mmのDSL-4の場合、50年後におけるたわみ倍率予測値は9.6倍に達している。このことから、内法スパンに関わらず、同様の長期たわみ倍率を用いて設計することは合理的でないことがわかる。また、DSL-4試験体が一年余りではほぼたわみが収束しているにもかかわらず、内法スパン8500mmの本実験試験体では、2年程度経たないと収束する傾向が見られなかった。大スパンになればたわみの絶対値そのものが大きくなるため、たわみが遅延して現われてくることは設計上の考慮が必要になる場合も考えられる。以上の結果より、内法スパン6500mmを超える大型スラブの場合、一定の長期たわみ倍率を用いて設計することは不合理である。知見の少ない現状では、内法スパンと長期たわみ倍率のみに何らかの相関関係を導くことは時期尚早であるが、今後の課題としたい。

#### 4. まとめ

ボイドスラブに対応し、せん断抵抗要素としてスパイラルトラス筋を用いた大型合成床板スラブの長期持続荷重下における性能を確認する目的で、内法スパン8500mmの実大試験体を製

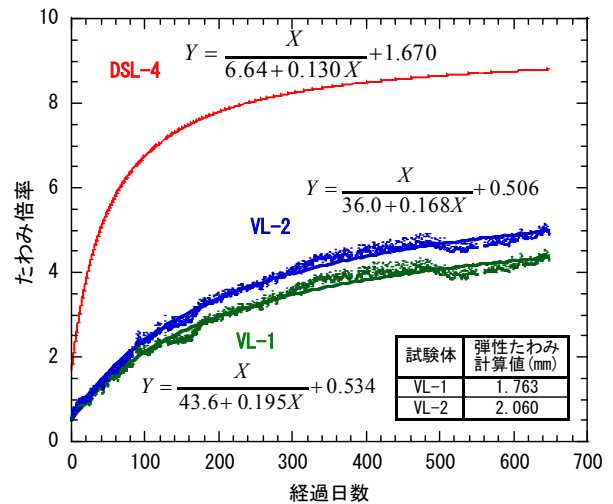


図-9 長期たわみ倍率

表-5 たわみ倍率推定値

試験体名	式(1)の係数			たわみ予測倍率		
	係数A	係数B	係数C	10年	50年	100年
VL-1	43.6	0.195	0.534	5.37	5.61	5.64
VL-2	36.0	0.168	0.506	6.13	6.39	6.42
DSL-4 <sup>2)</sup>	6.64	0.130	1.670	9.39	9.57	9.59

$$Y = \frac{X}{A + BX} + C \quad (1)$$

ここに、X：経過日数(日)

Y：たわみ倍率

作し、約2年間の長期載荷実験を行なった。その結果以下の知見を得た。ほぼ変形の進行が一定の割合に収束し、たわみ、ひび割れの大きさが目標値以内に収まっており、スラブとしての長期性能を満足していることが確認できた。また、大スパン化にともないたわみ進行の収束時期が遅延すること、および、たわみ倍率が小さくなる傾向が確認できた。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，1999
- 2) 渡部雄二，法量良二，佐藤眞一郎，小山正豪：バリアフリー対応型二方向ボイドスラブ，コンクリート工学，Vol.38，No.5，pp.22-32，2000.8