

## アラミド繊維を緊張材に用いた薄型PC板の基礎的研究

三井住友建設(株)		工修	○竹山 忠臣
三井住友建設(株)	正会員		有川 直貴
三井住友建設(株)	正会員	工修	三加 崇
三井住友建設(株)	正会員	博(工)	浅井 洋

Abstract : This paper describes about the super thin PC-board for concrete forms. The thickness of the board is about 5mm and aramid fiber string is used for PC tendon. In the tensile test using the special tensile equipment, the experimental tensile strength is about 60% of the standard aramid fiber tensile strength. The mortar strength is needed more than  $45\text{N/mm}^2$  without the bond cracks. As the result of the bending test, the PC-board had enough strength and finally mortar was broken, but aramid fiber string was not broken.

Key words : Aramid fiber , PC-board , Form , PC tendon

## 1. はじめに

近年、プレストレストコンクリート橋の施工<sup>1)</sup>では、PC板を床版下面に構造部材と埋設型枠の両機能を合わせ持った部材として使用されている。場所打ちコンクリート施工にともなう側圧や作業荷重が小さい場合には、PC板をさらに薄型にすることが考えられるが、PC鋼材のかぶりを確保するためには部材厚に限界がある。既往の研究<sup>2)</sup>では、連続繊維を補強材とした厚さ10mmの埋設型枠の研究が行われているが、連続繊維にプレストレスを与えることでさらに部材厚を薄くすることが考えられる。本研究では、アラミド連続繊維糸を緊張材に用い試験体厚さ5mmのPC板の製作および曲げ耐力について検討した。

## 2. 実験概要

## 2.1 試験体

図-1に、試験体形状を示す。試験体寸法は幅100mm、長さ300mm、厚さ5mmのモルタル製であり、緊張材にはアラミド繊維を束ねて撚りを与えた糸（以下、アラミド緊張材）を用いた。アラミド緊張材の配置は試験体断面の厚さ方向の中央（純かぶり1.65mm）とし、試験体の幅方向には10mm間隔で計9本配置した。

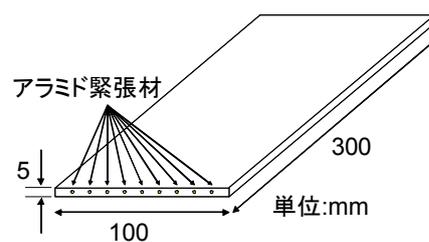


図-1 試験体

## 2.2 使用材料および使用繊維

写真-1にアラミド緊張材を示す。糸径1.7mm、断面積 $1.201\text{mm}^2$ であり、製造会社の示す引張耐力は2.7kN/本（引張強度 $2248\text{N/mm}^2$ ）、破断伸度は6.75%である。

モルタルには市販の無収縮モルタル（プレミックス粉体）を用い、かぶりが薄いことからモルタルの充填性を考慮して細骨材の最大粒径を1.2mmとした。

## 2.3 アラミド緊張材の張力導入方法

PC板製作に用いたアラミド緊張材の緊張装置を図-2および写真-2に示す。反力床にフレームを固定して反力フレームと

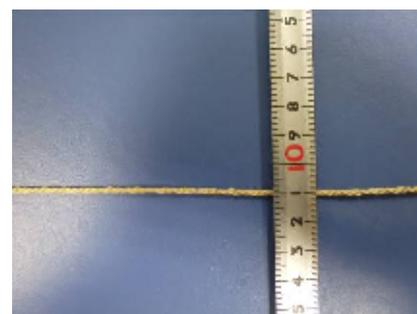


写真-1 アラミド緊張材

し、片端にはM16高張力全ねじ緊張ボルトを介して鋼製緊張プレートを固定した。他端は鋼製緊張プレートを設置した全ねじボルトに緊張用センターホールジャッキ（容量400kN）と荷重計（200kN）を設置してナット定着した。アラミド緊張材は固定側および緊張側の鋼製緊張プレートに設置したφ10mm丸鋼に1本のアラミド緊張材を互い違いに掛けて固定した。緊張の際には、全ねじボルトナットを締め込み、アラミド緊張材のたるみをとって2台のロードセルに均等に荷重がかかるように緊張した。

2.4 試験体製作

アラミド緊張材を緊張後、型枠を設置し、モルタルを打設した。底版枠の型枠は表面塗装合板とし、厚さ5mmの合板を側枠として設置して試験体の厚さを調整した。型枠と繊維の隙間はセメントペーストが流出しないように粘土で埋めた。試験体表面はヘラで平滑に均した後、ポリエチレン製フィルムを空気泡を巻き込まないように被せて試験体厚が均一になるように仕上げた。

3. 実験方法

3.1 緊張装置を用いたアラミド緊張材の引張試験

1本のアラミド緊張材を鋼製緊張プレートの丸鋼に交互に掛けて緊張する緊張装置を用い、アラミド緊張材の引張耐力について検討した。引張試験に使用した試験装置を図-3に示す。試験区間を640mm~660mm、試験区間のアラミド緊張材の本数が5本になるように折り返して配置した。試験は3回行った。緊張方法は鋼製緊張プレート間に油圧ジャッキを挟み込み、押し広げて緊張した。荷重方法は、平均荷重速度6.0kN/minでアラミド緊張材が破断するまで単調荷重とした。測定項目は、緊張荷重を2台のロードセル（20kN）で測定し、繊維の伸び量を緊張装置の中央に取り付けた一般用変位計（容量200mm）1台で測定した。

3.2 プレストレス力導入試験

試験体製作に先立ち、アラミド緊張材の応力緩和について試験を行った。荷重持続方法は図-2に示す緊張装置を用い、ラムチェア内の全ねじボルトに設置したナットを締めこみ荷重を保持し、時間の経過にともなう緊張力の変化を測定した。PC板試験体の一覧を表-1に示す。プレストレス

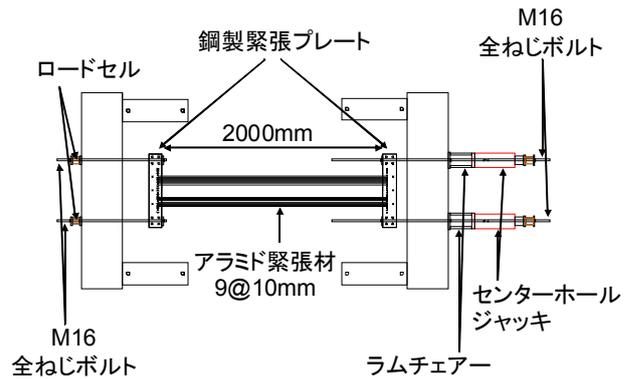


図-2 緊張装置



写真-2 緊張状況

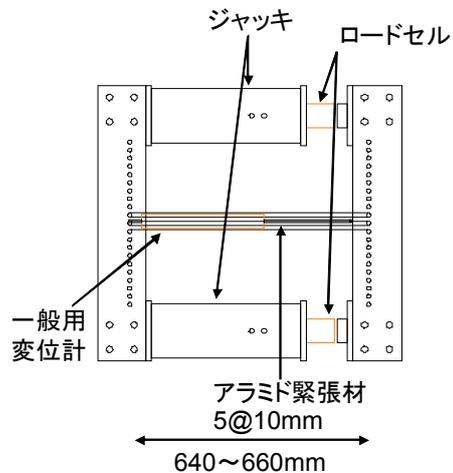


図-3 引張試験

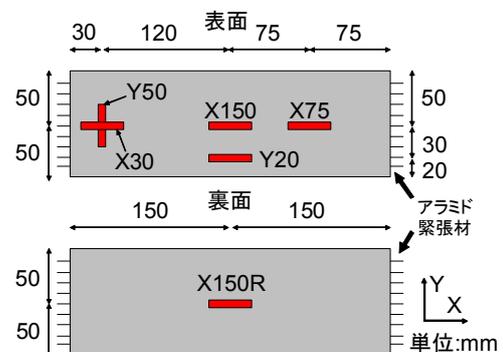


図-4 ひずみゲージ設置位置 (詳細図)

表-1 試験体一覧

試験体種類	導入時		載荷時		試験体厚さ (mm)	緊張材配置位置 (mm)	偏心量 (mm)	反り量 (mm)	導入材齢 (日)
	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )					
M59A	19.5	59.2	20.1	67.4	5.97	3.57	0.59	1.96	7
M59B					5.97	3.19	0.21	1.57	
M45A	16.6	44.9	18.9	57.0	5.87	3.46	0.53	2.20	3
M45B					5.74	3.48	0.61	5.21	
M35A	16.9	35.2	-	-	5.81	-	-	-	2
M35B					5.75	-	-	-	

導入時のモルタルの強度を59, 45, 35N/mm<sup>2</sup> (材齢7, 3, 2日) とし, 試験体数n=2とした。モルタルの配合は全ての試験体で同じである。PC板表面には図-4に示す位置にひずみゲージを設置して, プレストレス導入時のモルタルひずみを測定した。試験体軸方向の中央 (X150), 端部から75mm (X75mm), 端部から30mm (X30) の位置のひずみは導入時の軸方向のプレストレス量を推定することを目的としている。裏面のX150Rはアラミド緊張材の厚さ方向の配置誤差が偏心量となるため, その影響を測定することを目的としている。Y20はプレストレス導入方向と直交する応力の誤差を確認することを目的としている。試験体は, 2列 (図中A, B) に分けて作成しており, 2つの列の間で導入ひずみが異なることが予想されたため, ひずみゲージを図-5のような千鳥配置とした。

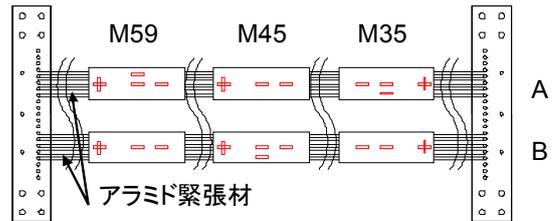


図-5 ひずみゲージ設置位置 (全体図)

3.3 曲げ試験

載荷方法を図-6に示す。打設面を上面 (載荷面) とし, 等曲げ区間を70mmとした4点曲げ試験とした。支点は, ローラー支点とし, 試験体に均等に荷重をかけるため, 載荷梁上に球座を配置した。

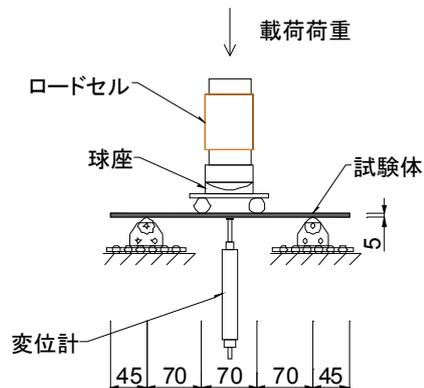


図-6 曲げ試験

載荷時の計測項目を図-7に示す。試験体の中央でたわみを1点, 試験体の上面中央, 下面中央でコンクリートひずみを1点ずつ測定した。なお, 試験体の下面は, たわみを測定するため, 軸直角方向に10mmずらした箇所にひずみゲージを設置した。

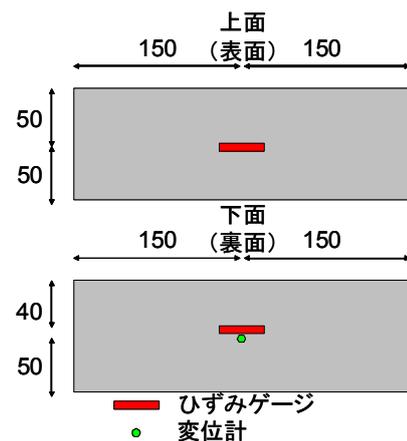


図-7 計測項目 (載荷時)

4. 実験結果

4.1 アラミド緊張材の緊張

アラミド緊張材の引張試験の結果を図-8, 表-2に示す。図の中のひずみは, 緊張時の伸びを緊張前の全長で除した値である。No. 1の応力とひずみの関係は初期のひずみ増加が若干大きく下に凸の形状を示している。No. 2は, ひずみが5%程度になるまで引張応力が増加せず, その後概ねひずみ増加に比例して引張応力が増加している。これは, アラミド緊張材端部の固定部分にすべりが生じ, 荷重が増加しなくなったのが原因である。No. 3はNo. 1と同様に引張荷重が増加したが, 試験途中で端部定着に滑りが生じて引張荷重を損失している。さらに緊張を継続すると荷重が増加し破断に至っている。

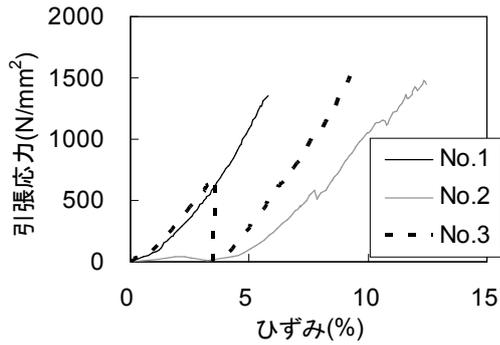


図-8 引張試験結果

表-2 引張試験結果

No.	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	アラミド緊張材一本当たりの耐力(kN)	製造会社規格耐力に対する割合
1	1366	1.64	0.61
2	1482	1.78	0.66
3	1515	1.82	0.67

アラミド緊張材破断箇所は鋼製緊張プレートの丸鋼に掛けた位置で、アラミド緊張材が曲げ半径5mmで180°に折り返した部分である。アラミド緊張材の平均引張強度は、規格引張強度の64%であった。

引張試験の結果から、A列とB列のアラミド緊張材に合計21kN（製造会社規格耐力の43%）の張力を与え、緊張側全ねじボルトをナットで固定して持続荷重の変化を測定した結果を図-9に示す。応力緩和曲線は片対数座標においてほぼ直線で示され、400時間経過時のリラクセーション値は19.8%であった。なお、試験は室内温度環境で行われ、気温は0.9~9.1℃（平均6.5℃）であった。

#### 4.2 プレストレス力導入

プレストレス導入直前のアラミド緊張材の緊張力は、A列とB列の合計で17.5kNであった。図-10からX30, X75, X150を比較すると試験体の中央に近づくにつれてバラつきはあるものの導入応力は大きくなっていることが分かる。また、X75とX150では、同程度の応力が導入されており、アラミド緊張材の定着長は30~75mmの間と考えられる。なお、図中の計算値は試験体幅を100mm、厚さ5mmとし、アラミド緊張材を厚さ方向の中心に配置し、プレストレスを導入した場合の値である。図-11にプレストレス方向と直交する方向の応力分布を示す。X150とY20を比較すると、試験体の中央部よりも端部から20mmの位置の方が若干、導入応力は小さくなっているが、同程度のプレストレスが導入されていることが分かる。また、プレストレス導入後の試験体を観察すると反りが認められ、図-12に示すように試験体表と裏の導入応力に違いが認められる。表-1に示すように試験体厚が0.74~0.97mm厚く製作され、アラミド緊張材が下

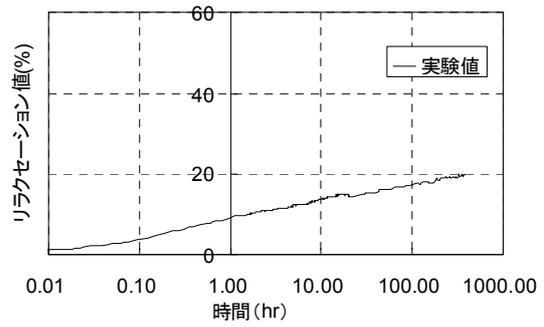


図-9 リラクセーション値

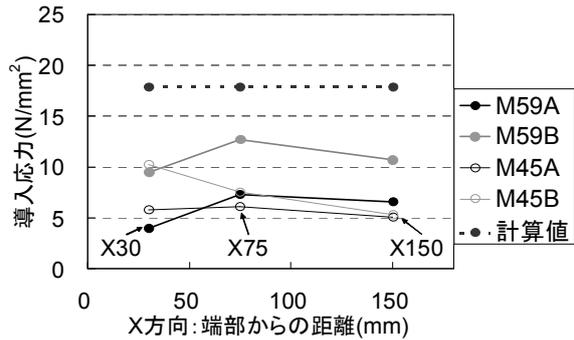


図-10 導入応力 (X方向の位置の違い)

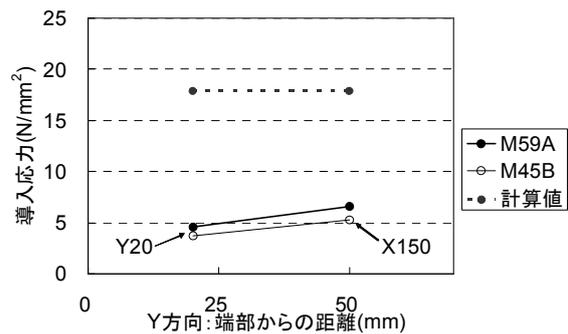


図-11 導入応力 (Y方向の位置の違い)

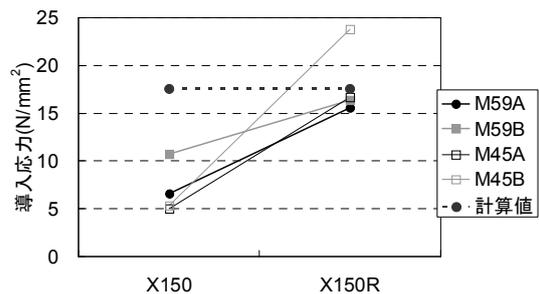


図-12 導入応力 (表裏での違い)

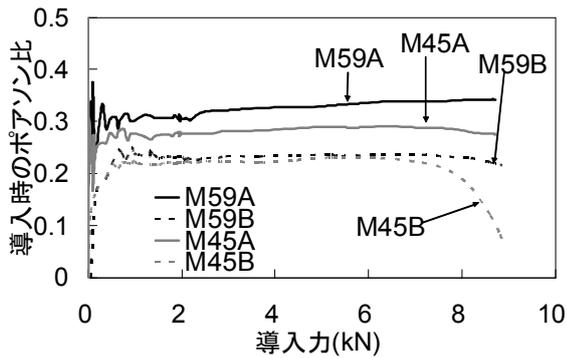


図-1 3 プレストレス導入時のポアソン比 (X30 に対する Y50)

方向に偏心したことが考えられた。表裏の導入された応力から、緊張材の偏心量を算出した結果を表-1に示す。試験体厚さは実測した値を平均した値である。薄型PC板の場合、わずかに偏心するだけで部材の表裏に作用する応力度が大きく変わることが分かる。なお、M35A、M35Bはプレストレス導入前にひび割れが発生したため結果を示していない。

図-1 3にプレストレス導入の際の軸方向ひずみ (X30) に対する軸直角方向ひずみ (Y50) の比率を示す。アラミド緊張材定着部に付着ひび割れが生じれば比率が大きく変化すると考えられる。図より、M59A、M59BおよびM45Aは0.2~0.3で比較的安定しており、付着ひび割れなどは生じていないことが分かる。M45Bは7kN程度よりポアソン比が低下したが、部材端には付着ひび割れは観察できず、反りが大きいことが原因と考えられる。これより、本実験の試験体の場合、モルタル強度が45N/mm<sup>2</sup>以上あれば付着ひび割れが生じないことが確認できた。

プレストレス導入後、曲げ試験を行うまでの間、モルタルの収縮によるプレストレスの減少量を検討した。(図-1 4) いずれの試験体も下面で1000 $\mu$ 近い収縮ひずみが発生しているが、アラミド緊張材の弾性係数を考慮して算出した張力の減少量は4%程度である。M45Bは偏心量が大きいため圧縮ひずみが大きい面に取り付けたX150Rのひずみ増加が著しい結果となっている。試験体の反りは5.21mm発生したがひび割れは認められなかった。なお、試験は室内温度環境で行い、室内温度は0.7~11.9 $^{\circ}$ C (平均5.5 $^{\circ}$ C)であった。

### 4.3 曲げ耐力

図-1 5~図-1 8に載荷試験の結果を示す。試験時のモルタル圧縮強度を表-1に示した。計算値は、ファイバーモデルによって算出した値である。モルタルの応力とひずみの関係は、圧縮試験によって測定した結果を用いた。アラミド緊張材は、引張試験によって最大荷重付近で得られたヤング係数(27.4 kN/mm<sup>2</sup>)を有する弾性体とした。各試験体のプレストレス力は、導入時から載荷試験までの

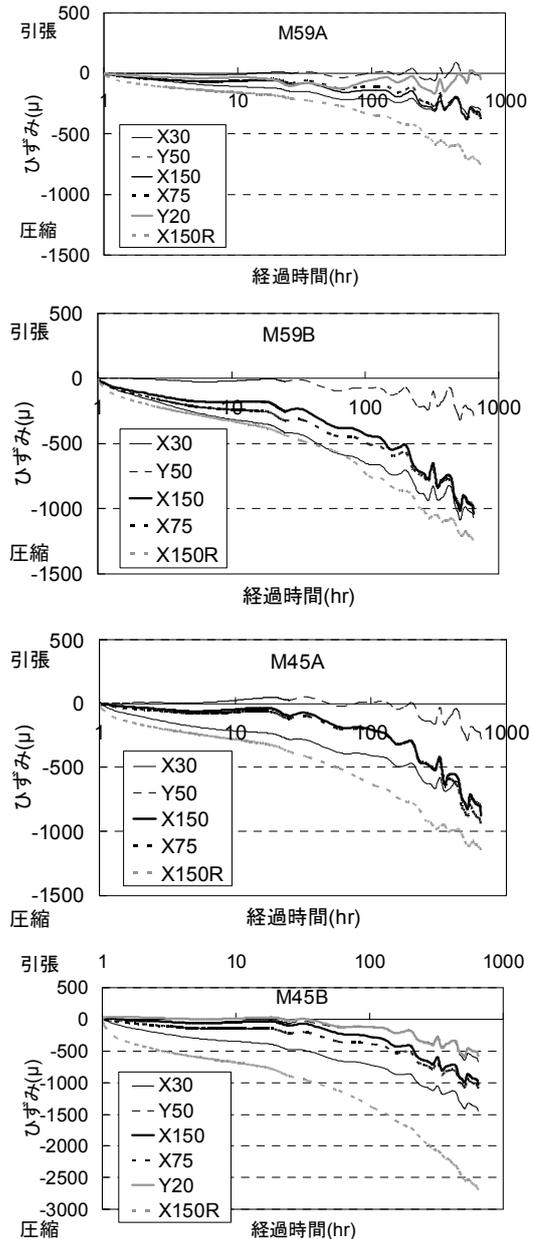


図-1 4 収縮ひずみ

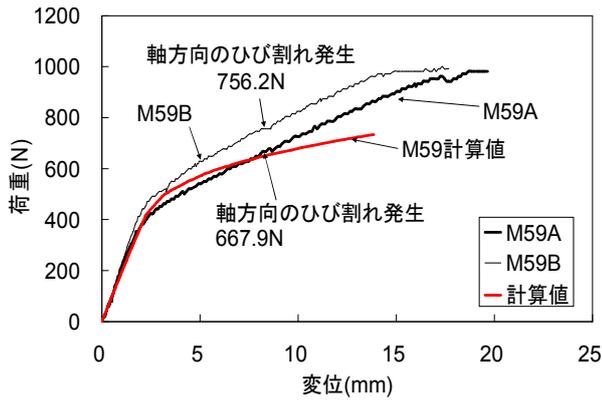


図-15 荷重-変位曲線 (M59)

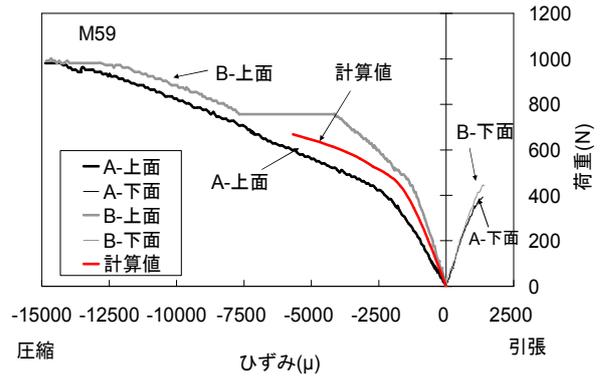


図-17 荷重-変位曲線 (M59)

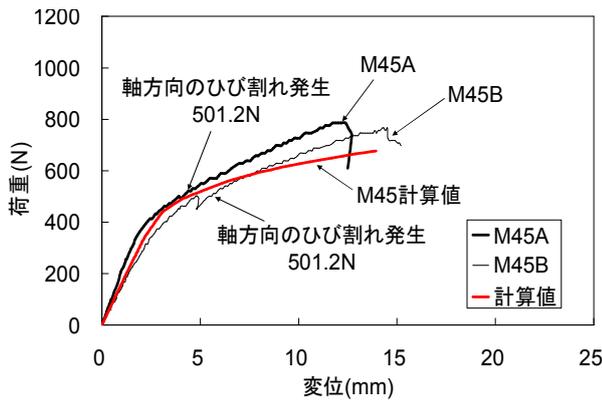


図-16 荷重-変位曲線 (M45)

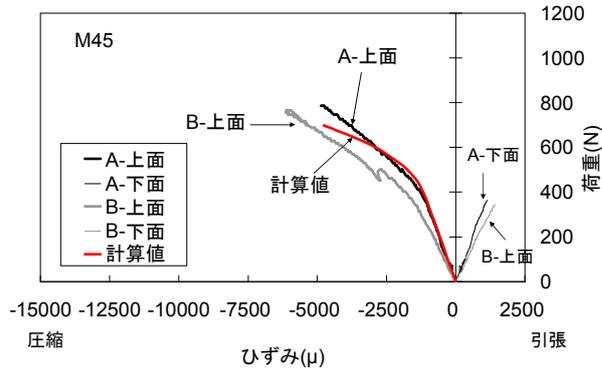


図-18 荷重-ひずみ曲線 (M45)

モルタルの収縮による張力減少を考慮し、8.5kNとした。

いずれの試験体も荷重が300~400Nで曲げひび割れが等曲げスパン内に発生した。この値は概ね計算値と一致している。M59は約700N、M45は約500Nにおいて軸方向のひび割れが繊維に沿って発生した。軸方向ひび割れが生じた後も荷重は低下せず計算値より大きくなる傾向を示した。計算値では圧縮縁モルタルひずみが終局ひずみに達しているが、試験体が薄肉部材であることから、寸法効果<sup>3)</sup>の影響が考えられ、終局ひずみの3倍程度のひずみが生じたと考えられる。M59では載荷荷重が990N (計算値の約1.4倍、M45では602N (計算値の1.3倍) で試験体上縁が圧縮破壊した。

### 5. まとめ

本研究で、アラミド緊張材を用いた試験体厚さ5mmのPC板のプレストレス導入および曲げ耐力を検討したところ、以下の結果が得られた。

- (1) 薄肉部材にプレストレスを導入した場合、30~75mmの間にプレストレス導入に必要な定着長が存在する。
- (2) 本実験においては、マトリクス強度が45N/mm<sup>2</sup>以上有すれば、付着ひび割れは発生しなかった。
- (3) 5mmのPC板の曲げ試験を行うと、軸方向ひび割れが発生するまでは、概ね計算値と一致する。

### 参考文献

- 1) 池田博之, 水口和之, 浅井洋, 平喜彦: U型コア断面を有するプレキャストセグメント橋の構造特性, 構造工学論文集, Vol. 48A, pp. 1203-1210, 2002
- 2) 出頭圭三, 小林一輔: 連続繊維強化セメント系複合板の曲げ特性, 土木学会第42回年次学術講演会, pp298-299, 5-130, 1987
- 3) 土井至朗, 川又篤, 唐沢智之: 超高強度繊維補強モルタルの曲げ特性における寸法効果, コンクリート工学年次論文集, pp395-400, Vol. 28, No. 1, 2006