

# 論文 異なる位置に鉛直打継目を設けて FRP を補強材に用いた CPC はりの力学的性状

松浪康行\*1・西須稔\*2・杉山隆文\*3・辻幸和\*4

要旨：異なる位置に鉛直打継目を設けて、補強材に FRP を用いた CPC はりの曲げおよびせん断性状を実験的に検討した。鉛直打継目をせん断スパン内に設けた場合は、等曲げモーメント区間に設けた場合より曲げひび割れ発生モーメントと斜めひび割れ発生モーメントが大きく、平均ひび割れ幅が小さくなった。また、鉛直打継目の位置に関わらず、膨張コンクリートの利用により曲げおよびせん断性状が向上した。鉛直打継目をせん断スパン内に設けたはりの破壊形式は、FRP の種類および格子間隔の大きさに関わらず、すべてせん断圧縮破壊となった。

キーワード：FRP、膨張コンクリート、CPC はり、鉛直打継目

## 1. はじめに

コンクリート構造物には、新旧コンクリートの打継目が存在し、それが構造物の弱点になることが多い。しかし、打継ぎコンクリートに膨張コンクリートを使用して、長期的に有効であるケミカルプレストレスを導入することにより、鉛直打継目部分の曲げおよびせん断耐力は、本体と同等あるいはそれ以上に保持できると考えられる[1]。また、FRP が、その耐食性、非磁性、軽量化、高強度化などの観点から、鋼材に代わる補強材として関心を集めている。しかし、FRP は鋼材と比較すると、一般にヤング係数が小さいため、曲げひび割れ幅が大きくなり、せん断耐力が小さくなるなどの問題点がある。しかし、この問題点も、ケミカルプレストレスを導入した CPC はりとするにより改善できる[1][2]。

本研究では、耐アルカリガラス繊維あるいは炭素繊維による格子状 FRP を補強材に用い、はりに鉛直打継目をせん断スパン内あるいは等曲げモーメント区間に設けた場合の曲げおよびせん断性状について、膨張コンクリートの利用によるケミカルプレストレスの導入効果を把握するために、実験的に検討を行う。

表-1 各補強材の力学的特性

補強材の種類	種類	名称	繊維束の本数(本)	繊維含有率(%)	見かけの断面積(mm <sup>2</sup> )			引張耐力(kgf/本)	引張強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	弾性係数×10 <sup>3</sup> (kgf/cm <sup>2</sup> )
					繊維束	樹脂	総断面積			
格子状FRP	G10		30	42.2	28.5	39.0	67.5	5574	8258	0.33
			36	41.4	31.5	44.5	76.0	5901	7764	0.29~0.31
	G13		50	43.3	47.5	62.1	109.6	8935	8152	0.34
			60	41.5	52.5	74.1	126.6	9799	7740	0.29~0.31
	C10		42	43.3	20.4	26.7	47.1	4831	10257	1.52
			35	41.4	15.7	22.2	37.9	5907	15587	0.96~1.03
C13		70	41.8	34.0	47.4	81.4	7426	9123	1.51	
		60	41.5	27.0	38.1	65.1	10156	15600	0.96~1.03	
鉄筋	D10	(SD345)	—	—	—	71.3	3660	3598*	1.80	
	D13	(SD345)	—	—	—	126.7	6393	3578*	1.79	
	D6	(SD295A)	—	—	—	31.7	1745	4020*	2.01	

注：FRPの上段はシリーズ1、下段はシリーズ2、\*印は降伏強度  
繊維束：総断面積中の実繊維面積

## 2. 実験概要

本研究で使用したFRP補強材は、耐アルカリガラス繊維あるいは炭素繊維をビニルエステル樹脂で被覆し、二次元格子状に成形し

- \* 1 群馬大学大学院 工学研究科建設工学専攻 (正会員)
- \* 2 オリエンタル建設(株)、工修 (正会員)
- \* 3 群馬大学助手 工学部建設工学科、Ph. D. (正会員)
- \* 4 群馬大学教授 工学部建設工学科、工博 (正会員)

たものである（以下それぞれ、GFRPおよびCFRPと称する）。FRPは、引張耐力が異形鉄筋のD10およびD13に相当する2種類とし、それぞれの格子間隔は、5, 10, 15, 20cmの4種類とした。また、比較のために、D10およびD13の鉄筋を使用したRCはりも作製した。各補強材の力学的特性を、表-1に示す。

コンクリートの配合は、水結合材比を50%、単位水量を174kg/m<sup>3</sup>、粗骨材の最大寸法を15mm、細骨材率を46.1%、スランプを8cm、空気量を4%と一定にした。また打継ぎコンクリートは、単位膨張材量を0, 30, 40および50kg/m<sup>3</sup>として、その分をセメントと置換させた。

はり供試体は、図-1に示すように、幅が15cm、高さが20cmの矩形断面で、長さが120cmである。鉛直打継目は、シリーズ1では等曲げモーメント区間に、シリーズ2では、せん断スパンの中央にそれぞれ設けた。またせん断スパン内には、D6のスターラップを7.5cm間隔で、片側4本ずつ配置した。

打継ぎ面処理方法は、はり両端の普通コンクリートを材齢24hrでグリーンカットし、材齢7日でエチレン酢酸ビニル系エマルジョンポリマーを用いたポリマーセメントモルタルを塗布した。

さらに材齢14日で打継ぎコンクリートを打ち込み、はり供試体を作製した。普通コンクリートを材齢14日まで湿布養生し、打継ぎコンクリートの打込みから材齢26日まで水中養生し、材齢27日からは実験室内で自然養生した。そして、材齢28日で支点間が100cm、載荷点間が40cmの2点集中載荷を行った。A法一軸拘束供試体については、断面を10cm×10cm、高さを30cmとした。材齢1日で脱型し、その後は、はり供試体と同様に養生を行った。圧縮試験用円柱供試体については、寸法をφ10×20cmとし、材齢1日で脱型した後は、はり供試体と同様に養生を行った。

### 3. コンクリートの圧縮強度と膨張ひずみ

シリーズ1およびシリーズ2で用いたコンクリートの圧縮強度とA法一軸拘束供試体の膨張ひずみを、表-2に示す。また、この膨張ひずみから算定したA法一軸拘束供試体に入力されたケミカルプレストレスと単位膨張材量の関係を、図-2に示す。図-2に示すように、ケミカルプレストレスは、シリーズ1とシ

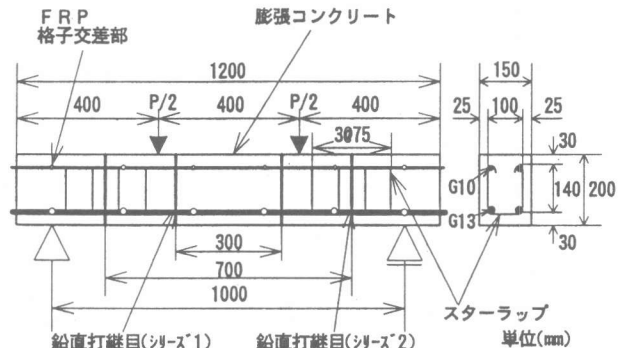


図-1 はり供試体の断面形状寸法と載荷方法 (FRP: 格子間隔20cm)

表-2 コンクリートの圧縮強度および A法一軸拘束供試体の膨張ひずみ

FRP補強材の種類	GFRP				CFRP	
	0	30	40*	50	40*	50
単位膨張材量 (kg/m <sup>3</sup> )						
打継ぎコンクリート圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	S1 433	417	397	346	397	356
普通コンクリート圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	S1 450	457	453	433	453	463
A法一軸拘束供試体の膨張ひずみ (μ)	S1 -85	195	414	610	414	704
	S2 -6	128	414	444	414	460

\*単位膨張材量が40kg/m<sup>3</sup>は同一バッチ S1:シリーズ1 S2:シリーズ2

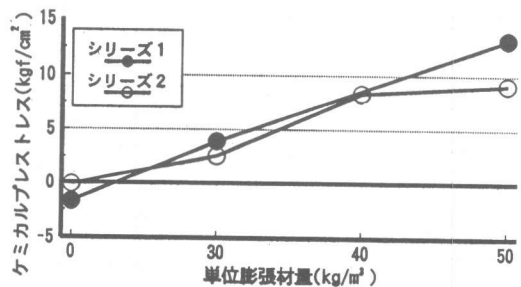


図-2 ケミカルプレストレスと単位膨張材量

リーズ2で用いた膨張コンクリートにおいて、単位膨張材量が大きくなるとほぼ同じ増加率で増加している。

材齢1日まで型枠で拘束し、その後は無拘束で養生を行った膨張コンクリートの圧縮強度を、表-2に示している。打継ぎコンクリートに膨張コンクリートを用いると、単位膨張材量が $30\text{kg/m}^3$ の場合は、圧縮強度の低下はほとんどないが、 $40\text{kg/m}^3$ の場合は5%、 $50\text{kg/m}^3$ の場合は15%程度、強度低下を生じている。

#### 4. 曲げひび割れ発生モーメント

シリーズ1で得られた、曲げひび割れ発生モーメントと単位膨張材量の関係およびFRP補強材の格子間隔の関係を、図-3および図-4に示す。同様にシリーズ2の結果を、図-5および図-6に示す。図-3および図-5に示すように、両シリーズの打継ぎコンクリートに用いた膨張材の使用量を増加すると、コンクリートに導入されるケミカルプレストレスが増大し、RCはりおよびFRPを補強材に用いたはりのいずれも曲げひび割れ発生モーメントは増加した。また、RCはりにおいて、シリーズ2のはりの方がシリーズ1のはりより、一般に曲げひび割れ発生モーメントが大きくなっている。これは、曲げひび割れが最初に発生しやすい等曲げモーメント区間に鉛直打継目が配置されたのが、シリーズ1のはりであるためと考えられる。また、FRPはりでは、単位膨張材量が $30\text{kg/m}^3$ 以下のとき、シリーズ1とシリーズ2の曲げひび割れ発生モーメントはほぼ同程度であるが、 $40\text{kg/m}^3$ 以上の単位膨張材量では、シリーズ2がシリーズ1を上回っている。この理由としては、鉛直打継目の配置位置のほかに、単位膨張材量を増加したために膨張コンクリートにより部材軸方向に導入されたケミカルプレストレスが増大し、シリーズ2のFRPはりの曲げひび割れの抑制効果がより顕著になったためと考えられる。

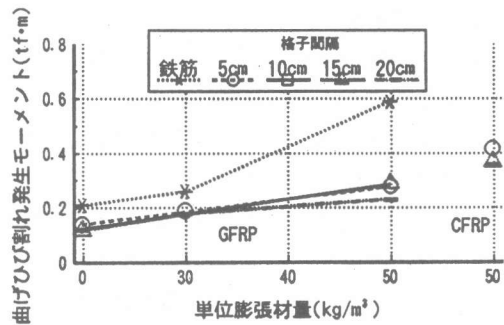


図-3 曲げひび割れ発生モーメントと単位膨張材量(シリーズ1)

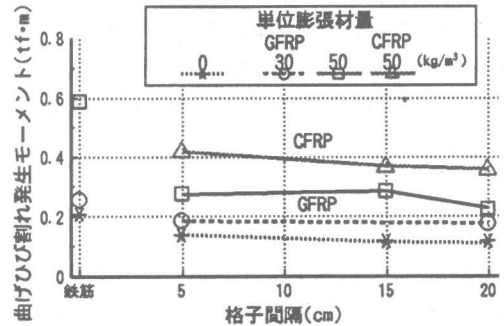


図-4 曲げひび割れ発生モーメントと格子間隔(シリーズ1)

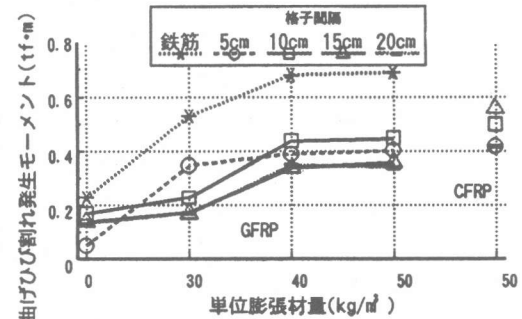


図-5 曲げひび割れ発生モーメントと単位膨張材量(シリーズ2)

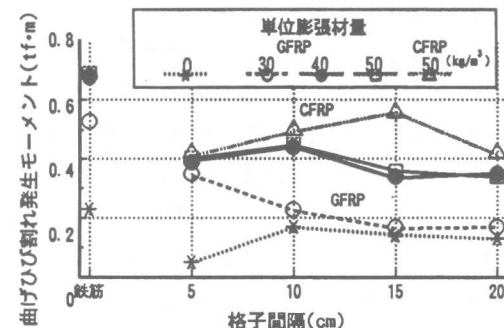


図-6 曲げひび割れ発生モーメントと格子間隔(シリーズ2)

図-4に示すシリーズ1においては、FRP補強材の格子間隔が5cmから20cmに変化しても、格子間隔が曲げひび割れ発生モーメントに及ぼす影響は、顕著に示されていない。これは、FRPの格子間隔に関わらず、すべてのはりで曲げひび割れが鉛直打継目から最初に発生したためと思われる。一方、図-6に示すシリーズ2における、単位膨張材量が $30\text{kg/m}^3$ のGFRPはりの場合は、格子間隔が増加すると曲げひび割れ発生モーメントが減少する傾向がみられた。しかし単位膨張材量が $40\text{kg/m}^3$ と $50\text{kg/m}^3$ のはりの場合も勘案すると、格子間隔は曲げひび割れ発生モーメントにほとんど影響を及ぼさないと考えられる。

### 5. 斜めひび割れ発生モーメント

斜めひび割れ発生モーメントと単位膨張材量の関係を、シリーズ1およびシリーズ2の場合について、それぞれ図-7および図-8に示す。シリーズ1およびシリーズ2とも、膨張材を用いることにより、斜めひび割れ発生モーメントが向上している。この原因も、膨張コンクリートの利用によるケミカルプレストレスの導入効果である。また、図-8に示す、鉛直打継目をせん断スパンの中央に設けたシリーズ2のFRPはりの斜めひび割れ発生モーメントは、図-7に示したシリーズ1のはりより大きい値を示している。これは、前述のようにシリーズ2のFRPはりにおける、これから斜めひび割れへ発達する曲げひび割れの発生モーメントの値が、シリーズ1のはりより大きかったためと考えられる。また、シリーズ2において、混入する単位膨張材量を $30\text{kg/m}^3$ とすると、膨張材を用いない場合と比較して、斜めひび割れ発生モーメントの増加が顕著である。しかし、それ以上用いても、斜めひび割れ発生モーメントの増加は小さい。

斜めひび割れ発生時のせん断力を、土木学会コンクリート標準示方書の算定式を用いて求めたせん断耐力の計算値で除したものを、

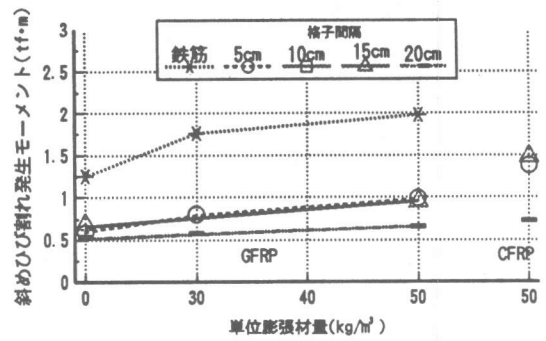


図-7 斜めひび割れ発生モーメントと単位膨張材量(シリーズ1)

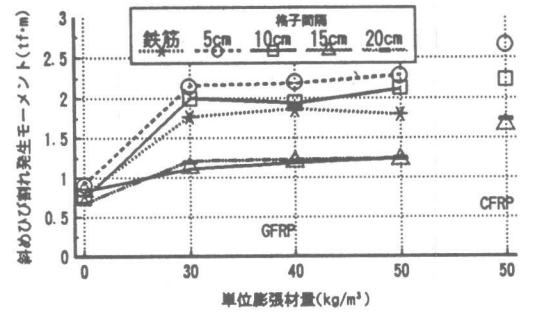


図-8 斜めひび割れ発生モーメントと単位膨張材量(シリーズ2)

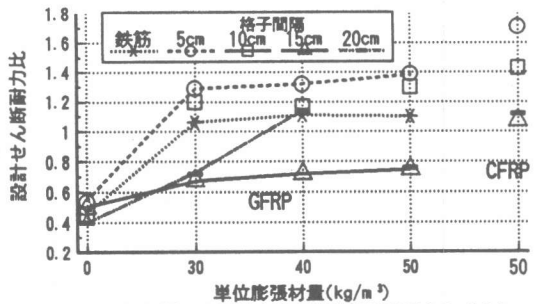


図-9 設計せん断耐力比と単位膨張材量(シリーズ2)

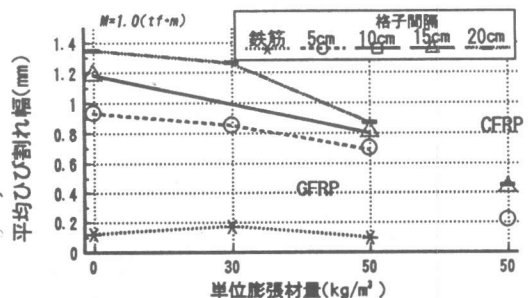


図-10 平均ひび割れ幅と単位膨張材量(シリーズ1)

設計せん断耐力比とし、シリーズ2についての設計せん断耐力比と単位膨張材量の関係を図-9に示す。シリーズ2では鉛直打継目をせん断スパンの中央に設けたため、RCはりおよびFRPはりのいずれのはりにおいても、膨張材を用いない場合、設計せん断耐力比が0.5程度となっている。また、膨張コンクリートを用いたGFRPはりおよびRCはりの場合、そしてCFRPはりおよびRCはりの場合、設計せん断耐力比が1.0より大きくなった。この理由として、せん断スパン内に設けた鉛直打継目において、膨張コンクリートの使用によりケミカルプレストレスがはりの軸方向に導入されたこと、鉛直打継目よりはり中央部に配置された2本のスターラップに、膨張コンクリートの使用によりケミカルプレストレスがはりの高さ方向に導入されたことが、斜めひび割れの抑制効果に大きく関わったためと考えられる。

## 6. 平均曲げひび割れ幅

等曲げモーメント区間に発生した曲げひび割れのうち、曲げひび割れ幅が大きいものの3個の平均を、平均曲げひび割れ幅とする。シリーズ1とシリーズ2において、曲げひび割れがある程度発達した曲げモーメントが $1.0\text{tf}\cdot\text{m}$ における平均ひび割れ幅と単位膨張材量の関係を、図-10および図-11に示す。両シリーズとも、単位膨張材量が増加すると、平均曲げひび割れ幅が減少する傾向がみられる。

これもケミカルプレストレスの導入効果である。また、シリーズ2のはりはシリーズ1のはりより小さな平均ひび割れ幅を示している。特に、GFRPを補強材として用いた場合に、このことが明らかである。シリーズ1のはりでは等曲げモーメント区間に鉛直打継目を設けたために、その鉛直打継目で発生したひび割れ幅が著しいことと、シリーズ2のはりでは等曲げモーメント区間に鉛直打継目が存在せず、すべて膨張コンクリートであるため、ケミカルプレストレスによる等曲げモーメント区間の曲げひび割れの抑制効果が顕著に現れたためである。

図-12および図-13は、FRPの格子間隔と平均ひび割れ幅の関係を示したものである。これらの図において、格子間隔が大きくなると、等曲げモーメント区間に鉛直打継目があるシリーズ1においても、シリーズ2と同様に平均ひび割れ幅が大きくなっている。これは、格子間隔の小さいはりのほうが、等曲げモーメント区間の格子交差部で応力が分散され、曲げひび割れ幅が大きくな

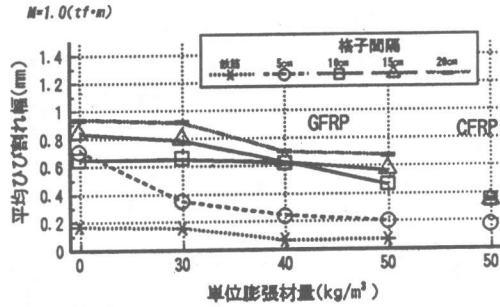


図-11 平均ひび割れ幅と単位膨張材量(シリーズ2)

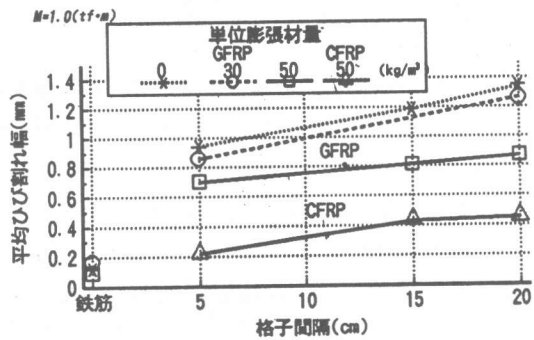


図-12 平均ひび割れ幅と格子間隔(シリーズ1)

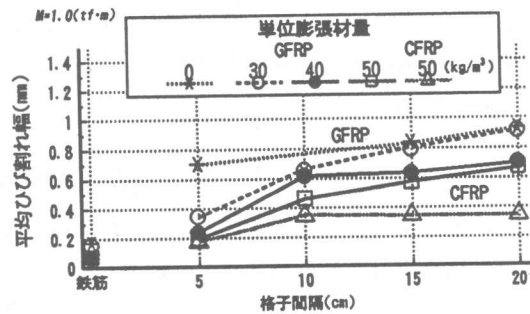


図-13 平均ひび割れ幅と格子間隔(シリーズ2)

らないためと考えられる。なお、図-12と図-13を比較すると、等曲げモーメント区間に鉛直打継目のあるシリーズ1の場合が、シリーズ2と比較して膨張コンクリートの使用効果が顕著である。

表-3 破壊モーメント(tf・m)および破壊形式

FRP補強材の種類		GFRP				CFRP		
単位膨張材量(kg/m <sup>3</sup> )		0	30	40	50	40	50	
格子間隔 (cm)	5	S1	1.74△	2.10△	/	2.21△	/	2.07◎
		S2	1.86○	2.66○	2.48○	2.46○	/	2.67○
	10	S1	/	/	/	/	/	/
		S2	1.74○	2.51○	2.48○	2.49○	2.53○	2.39○
	15	S1	2.25△	/	/	2.46△	/	2.11●
		S2	2.16○	2.25○	2.12○	/	/	2.65○
	20	S1	2.28△	2.38△	/	2.40△	/	1.98●
		S2	1.50○	2.34○	2.06○	2.30○	/	2.00○
鉄筋	S1	2.09□	1.92□	/	2.19□	/	/	
	S2	2.06□	2.07□	2.18□	2.06□	/	/	

凡例 S1:シリーズ1 △曲げ圧縮破壊 □曲げ引張破壊 ●繊維破断型せん断破壊  
S2:シリーズ2 ○せん断圧縮破壊 ◎繊維破断型曲げ破壊

### 7. 破壊モーメントと破壊形式

破壊モーメントおよび破壊形式を、表-3に示す。両シリーズを比較すると、シリーズ1のGFRPはりは曲げ圧縮破壊、CFRPは

りはせん断圧縮破壊、繊維破断型のせん断破壊あるいは曲げ破壊になっているのに対し、シリーズ2ではGFRPはりとCFRPはりの全てがせん断圧縮破壊になっている。これは、シリーズ1のはりでは、せん断スパンに鉛直打継目がないのに対して、シリーズ2のはりでは、せん断スパンに弱点となる鉛直打継目があるためと考えられる。なお、シリーズ1とシリーズ2に用いたGFRPの引張強度およびコンクリートの強度ともほぼ等しいものであったため、破壊形式は異なったが、破壊モーメントそのものはほとんど等しくなる場合が多かった。CFRPの引張強度はシリーズ2のほうがシリーズ1より50%程度大きかったため、破壊形式と破壊モーメントに差が生じたものとする。両シリーズともに、RCはりは曲げ引張破壊となっており、単位膨張材量に関わらずほぼ同じ破壊モーメントを示した。このことは、鉛直打継目の位置が異なっても、RCはりの耐力にはほとんど影響を及ぼさないことを示している。

### 8. まとめ

FRPを補強材に用いて、鉛直打継目をせん断スパンと等曲げモーメント区間に設けたCPCはりの曲げおよびせん断性状を実験的に検討した結果、次のことがいえる。

- 1) 鉛直打継目をせん断スパンに設けることにより、はりの斜めひび割れ発生耐力は、FRPはりのみならずRCはりも低下するが、膨張コンクリートを用いてケミカルプレストレインを、鉛直打継目と直角な軸方向のみならず、鉛直打継目に平行に配置されたスターラップ方向にも導入することにより、改善された。
- 2) 鉛直打継目の位置に関わらず膨張コンクリートの利用により、曲げひび割れ発生モーメントと斜めひび割れ発生モーメントが大きくなり、平均曲げひび割れ幅が小さくなった。
- 3) 鉛直打継目をFRPはりのせん断スパンに設けた場合は、その部分が弱点となり、破壊形式が曲げ圧縮破壊からせん断圧縮破壊へ移行しやすくなった。

### 参考文献

- 1) 西須稔・小向広一・辻幸和：FRPを補強材に用いた打継目を有するCPCはりの力学的性状、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.16、No.1 pp.1209-1214、1994.6
- 2) 丸岡正知・石田知子・辻幸和・西須稔：格子状FRPで補強したCPCはりの曲げ・せん断性状、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15、No.1 pp.1005-1010、1993.6