

[1202] 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

西須稔*¹・小向広一*²・辻幸和*³

1. はじめに

コンクリート工事の急速化施工や合理化施工にプレキャスト部材を利用することは有力な方法であるが、部材同士を接合して一体化させる方法は、主として鋼材を用いた機械的な方法であるため、施工が複雑で高価格であるなどの欠点を有している。しかし、接合部のコンクリートに膨張材を使用することによって、接合部の力学的性状を本体と同等あるいはそれ以上に保持できるものと考えられる[1][2]。

また、近年、コンクリート中の鋼材の腐食により、海岸などの海洋環境下に造られているコンクリート構造物の早期劣化が問題となっており、FRPは、その耐食性の高さ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は鋼材と比較して、付着力が小さいという弱点があり、付着性状を改善する研究も活発である。その内、格子状に成形したFRPのコンクリートとの付着は、格子交差部で確保できるため、その付着効果を大きくすることが可能である。しかしながら、格子交差部に局所的に高いせん断応力や曲げ応力が発生しやすい等の留意すべき点があり、これら格子状FRPの材料特性がはりの力学的性状に及ぼす影響について検討を行う必要があると考えられる。

本研究は、ガラス繊維および炭素繊維による格子状FRPを補強材に用い、等曲げモーメント区間に鉛直打継目を有したはりを作製し、膨張材を使用してケミカルプレストレスを導入したCPCはりの力学的性状について、実験的検討を行うものである。

表-1 各補強材の力学的特性

| 補強材の種類 | | 繊維束の本数 (本) | 繊維含有率 (%) | 見かけの断面積(mm ²) | | | 引張耐力 (kgf/本) | 引張強度 (kgf/cm ²) | 弾性係数 ×10 ⁶ (kgf/cm ²) |
|--------|-----|------------|-----------|---------------------------|-------|-------|--------------|-----------------------------|--|
| 種別 | 名称 | | | 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 |
| | G13 | 50 | 43.3 | 47.5 | 62.1 | 109.6 | 8935 | 8152 | 0.34 |
| | C10 | 42 | 43.3 | 20.4 | 26.7 | 47.1 | 4831 | 10257 | 1.52 |
| | C13 | 70 | 41.8 | 34.0 | 47.4 | 81.4 | 7426 | 9123 | 1.51 |
| 鉄筋 | D10 | (SD345) | ---- | ---- | 71.3 | 4137 | 3976 * | 2.10 | |
| | D13 | (SD345) | ---- | ---- | 126.7 | 7000 | 3750 * | 2.10 | |
| | D6 | (SD295A) | ---- | ---- | 31.7 | 1562 | 3450 * | 2.10 | |

*: 降伏強度

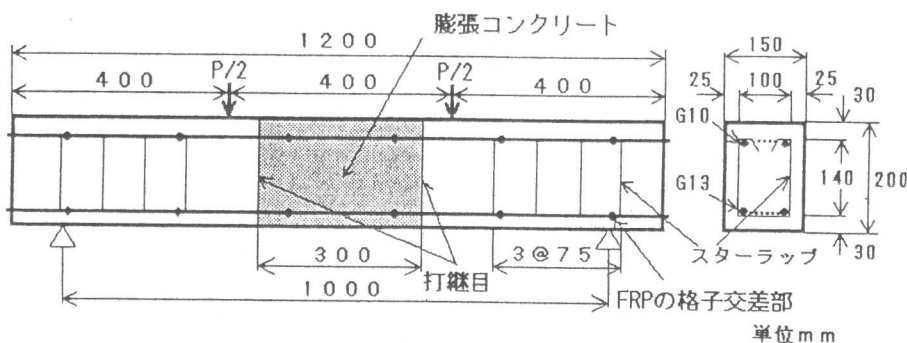


図-1 はり供試体の断面形状と載荷方法 (格子間隔 20cmの場合)

*1 群馬大学大学院 工学研究科建設工学専攻 (正会員)

*2 オリエンタルコンサルタンツ

*3 群馬大学教授 工学部建設工学科、工博 (正会員)

2. 実験概要

本実験で使用したFRPは、耐アルカリガラス繊維および炭素繊維をビニルエステル樹脂で被覆し、格子状に成形したものである（以下それぞれ、GFRPおよびCFRPと称する）。格子の間隔は、5・15・20cmの3種類とし、引張耐力が異形鉄筋のD10およびD13に相当する2種類のFRPを使用した。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。使用した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/m³、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、接合部のコンクリートは、単位膨張材量を0、30および50 kg/m³と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のものを用いた。せん断スパンには、D6のスターラップを7.5cm間隔で片側4本ずつ配置した。

打継ぎ面には、旧コンクリートの材齢24hrにグリーンカットし、材齢7日にポリマーエマルジョン混入モルタル（エチレン酢酸ビニル）を塗布した。さらに材齢14日に新コンクリートを打ち込み、各種補強材の組み合わせによって、合計11本のはり供試体を作製した。また、鉛直打継目のないはり供試体も作製した。

養生方法は、旧コンクリートの材齢14日まで湿布養生し、接合部のコンクリートの打ち込みから材齢26日まで水中養生し、材齢27日は実験室に放置し、材齢28日で支点間100cm、載荷点間40cmで2点集中載荷を行った。その間、同一バッチで打ち込み、はり供試体と同様に養生したA法一軸拘束供試体の膨張ひずみおよび供試体の補強材に生じた膨張ひずみを測定した。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、はり供試体と同じ養生を行った。

3. ケミカルプレストレス

A法一軸拘束供試体により測定した膨張ひずみから、仕事量の概念を用いて膨張コンクリートに導入されるケミカルプレストレス σ_{CP} は、次式により求められる[3]。

$$\sigma_{CP} = 2 U_A / \varepsilon_A$$

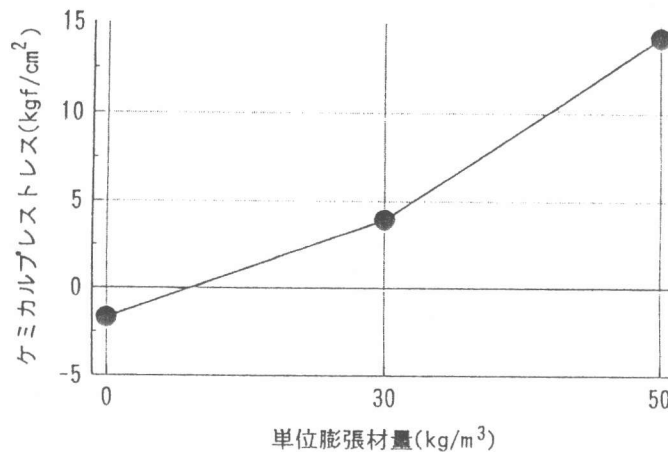


図-2 ケミカルプレストレスと単位膨張材量

ただし U_A : 算出したA法一軸拘束供試体の単位体積当たりの仕事量

ε_A : A法一軸拘束供試体の膨張ひずみ

上式から求めたケミカルプレストレスと単位膨張材量との関係を図-2に示す。単位膨張材量が大きくなると、膨張ひずみは大きく、導入されるケミカルプレストレスも増加している。特に単位膨張材量が30 (kg/m³)から50 (kg/m³)に増加すると、ケミカルプレストレスは3倍近く増大した。

4. 曲げひび割れ発生モーメント

曲げひび割れ発生モーメントを表-2に示し、曲げひび割れ発生モーメントと単位膨張材量お

よびFRP補強材の格子間隔との関係を図-3および図-4に示す。

等曲げモーメント区間の接合部のコンクリートに膨張材を用いることにより、コンクリート全断面にケミカルプレストレスが導入され、RCはり、FRPはりの曲げひび割れ発生モーメントは増加している。単位膨張材量を50(kg/m³)と一定とし、FRP補強材をガラス繊維と炭素繊維と比較すると、CFRPはりの曲げひび割れ発生モーメントは、GFRPはりのそれに比べて大きな値を示している。これは、炭素繊維の弾性係数がガラス繊維に比べ大きいこと、大きなプレストレスがコンクリートに導入されたためである。

同様な理由により、ケミカルプレストレスを導入したFRPはりの曲げひび割れ発生モーメントも、ケミカルプレストレスが小さいためRCはりのそれに比べて小さい値を示している。

なお、FRP補強材の格子間隔が大きくなると、曲げひび割れ発生モーメントは小さくなる傾向も認められるが、この範囲内では、格子間隔は曲げひび割れ発生モーメントにはほとんど影響を及ぼさないようである。

GFRPはりの曲げひび割れ発生モーメント比と単位膨張材量との関係を図-5に示す。GFRPはりの曲げひび割れ発生モーメント比は、単位膨張材量が増加するにともない、上昇した。特に、単位膨張材量が50(kg/m³)においては、曲げひび割れ発生モーメント比は80%まで上昇し、打継目のないはりにほぼ近い値となった。

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を表-3に示し、斜めひび割れ発生モーメントと

表-2 曲げひび割れ発生モーメント(tf・m)

| FRP補強材 | GFRP | | | | CFRP | |
|----------------------------|------|------|------|------------|------|------|
| 単位膨張材量(kg/m ³) | 0 | 30 | 50 | 0 打継目なし | 50 | |
| 格子間隔(cm) | 5 | 0.14 | 0.19 | 0.28 | 0.35 | 0.42 |
| | 15 | 0.12 | 0.29 | 0.29 | 0.32 | 0.37 |
| | 20 | 0.12 | 0.18 | 0.23 | 0.32 | 0.36 |
| 鉄筋 | 0.21 | 0.26 | 0.57 | 0.59 | | |

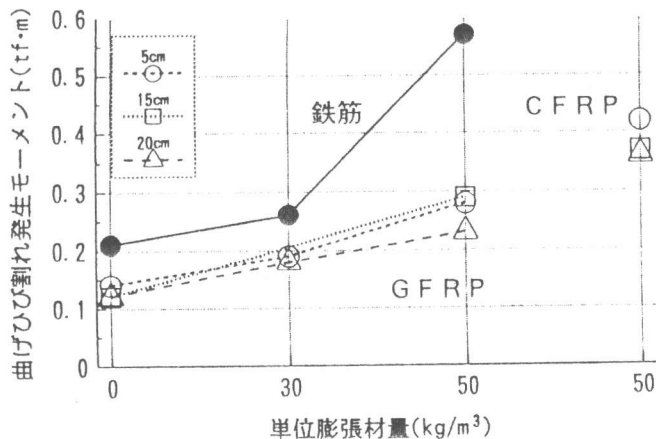


図-3 曲げひび割れ発生モーメントと単位膨張材量

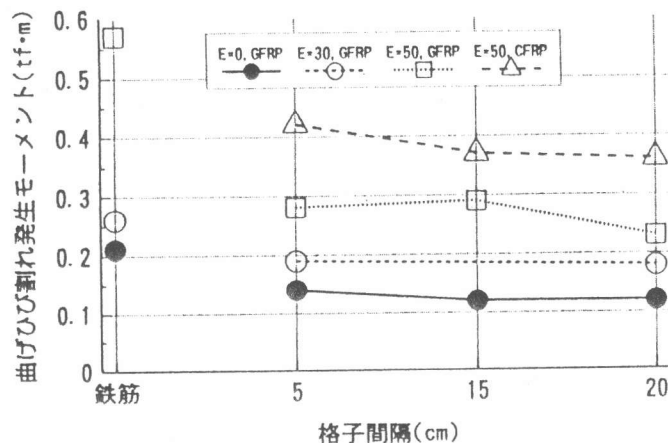


図-4 曲げひび割れ発生モーメントと格子間隔

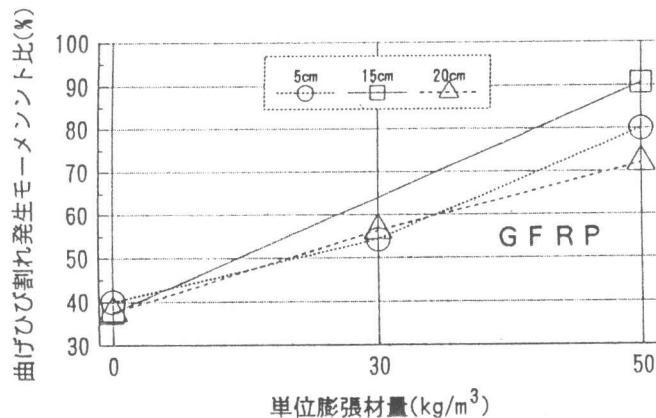


図-5 GFRPはりの曲げひび割れ発生モーメント比と単位膨張材量

単位膨張材量およびFRP格子間隔との関係を図-6および図-7に示す。単位膨張材量が増加するにしたがって、斜めひび割れ発生モーメントも上昇した。この原因も、膨張材の利用によるケミカルプレストレスの効果である。そして、弾性係数の大きい補強材を用いたCFRPはりの斜めひび割れ発生モーメントは、GFRPはりに比べて大きくなっている。

FRP補強材の格子間隔が増加するにともない、斜めひび割れ発生モーメントは減少している。この現象は、打継目がないはりにおいても既に報告したが[1]、格子間隔が15(cm)から20(cm)へと増加した場合の低下が著しい。図-1に示したように、鉛直打継目が等曲げモーメント区間にあるため、斜めひび割れの発生には鉛直打継目は影響を及ぼさないためと考えられるが、後述するように、鉛直打継目があるとその部分の曲げひび割れ幅が大きくなり、そのことがせん断スパンにおいて斜めひび割れを発生しやすくさせると考えた方がよいと思われる。そして、格子間隔が増加すると、格子交差部は減少し、そこに局所的に高いせん断応力が集中したためであると考えられる。

GFRPはりの斜めひび割れ発生モーメント比と単位膨張材量との関係を図-8に示す。単位膨張材量が増加するにしたがって、斜めひび割れ発生モーメント比も上昇し、特に単位膨張材量が、50(kg/m³)となると鉛直打継目のないはりにほぼ近い値を示す。

また、単位膨張材量が、0(kg/m³)、30(kg/m³)のはりにおいては、格子間隔が5(cm)から20(cm)に増加すると、斜めひび割れ発生モーメント比も増加した。格子間隔が大きい場合の斜めひび割れ発生モーメントの低下が膨張材の使用

表-3 斜めひび割れ発生モーメント(tf・m)

| FRP補強材 | | GFRP | | | CFRP | |
|----------------------------|----|------|------|------|------------|------|
| 単位膨張材量(kg/m ³) | | 0 | 30 | 50 | 0 打継目なし | 50 |
| 格子間隔(cm) | 5 | 0.59 | 0.61 | 0.99 | 1.04 | 1.38 |
| | 15 | 0.69 | 0.95 | 1.19 | 1.19 | 1.48 |
| | 20 | 0.54 | 0.58 | 0.66 | 0.68 | 0.73 |
| 鉄筋 | | 1.70 | 1.76 | 1.98 | | |

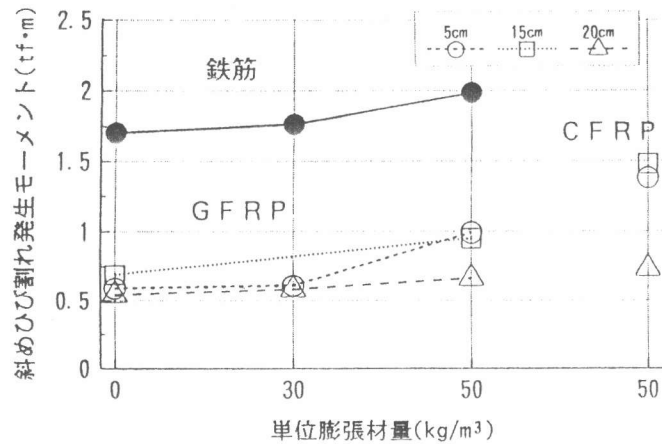


図-6 斜めひび割れ発生モーメントと単位膨張材量

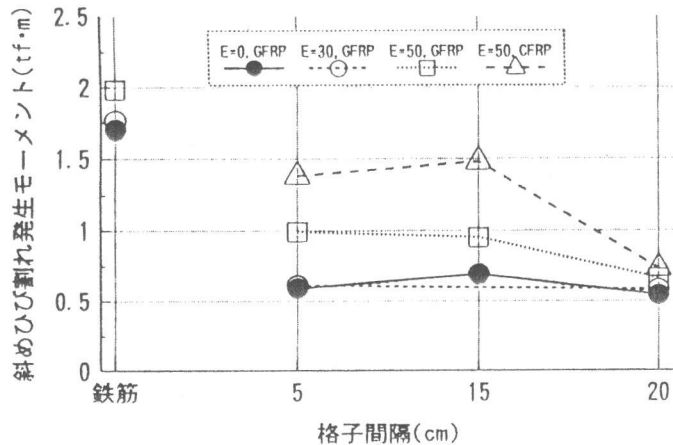


図-7 斜めひび割れ発生モーメントと格子間隔

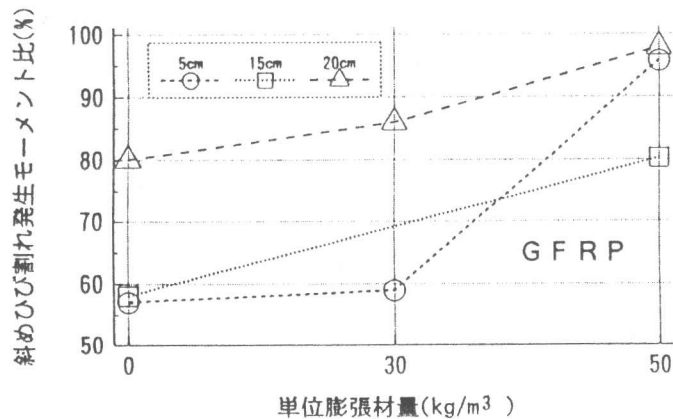


図-8 GFRPはりの斜めひび割れ発生モーメント比と単位膨張材量

により軽減されている。単位膨張材量が50 (kg/m³)のほりにおいては、FRP補強材にケミカルプレストレスが十分に伝達されたため、どの格子間隔においても斜めひび割れ発生モーメント比は、80%以上の高い値を示した。

6. 最大曲げひび割れ幅

同一モーメント(0.3tf・m)における最大曲げひび割れ幅と、単位膨張材量およびFRP補強材の格子間隔との関係を図-9および図-10に示す。最大曲げひび割れ幅は、打継目に生じた。

GFRPはりの最大曲げひび割れ幅は、単位膨張材量が0 (kg/m³)から30 (kg/m³)に増加しても、あまり減少しないが、単位膨張材量が50 (kg/m³)になると大きなケミカルプレストレスの導入のため、急激に減少した。そして、CFRPはりの最大曲げひび割れ幅は、GFRPはりに比べ小さくなっている。炭素繊維の弾性係数がガラス繊維に比べ大きいため、同一モーメントにおけるひずみが小さくなったためである。

単位膨張材量が0、30 (kg/m³)としたGFRPはりの最大曲げひび割れ幅は、格子間

隔が増加するにしたがって、増大する傾向が認められる。格子間隔が増加するにしたがって、曲げひび割れの本数が減少し、そこに応力が集中するとともに打継目への集中度が大きくなったためと考えられる。しかし、単位膨張材量を50 (kg/m³)としたGFRPはりとCFRPはりの最大曲げひび割れ幅は、格子間隔が増加しても0.1mm以下の範囲でほぼ一定の値を示し、このモーメント段階では格子間隔の影響がほとんど認められない。

7. 破壊モーメントおよび破壊形式

表-4に、破壊モーメントおよび破壊形式を示す。ガラス繊維は、炭素繊維と比較して弾性係数が小さく、同一モーメントにおけるひずみが大きいいため、GFRPはりは、補強材が破断する前に圧縮縁が圧壊する曲げ圧縮破壊となった。しかし、炭素繊維の弾性係数は、ガラス繊維に比べ約5倍とかなり大きく、同一モーメントにおけるひずみが小さいため、CFRPはりは、圧縮縁が圧壊する前に軸方向の補強材が破断するせん断破断となる傾向が認められた。

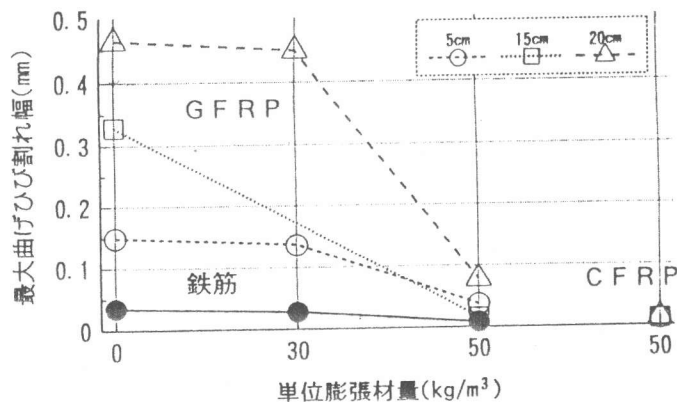


図-9 0.3tf・mにおける最大曲げひび割れ幅と単位膨張材量

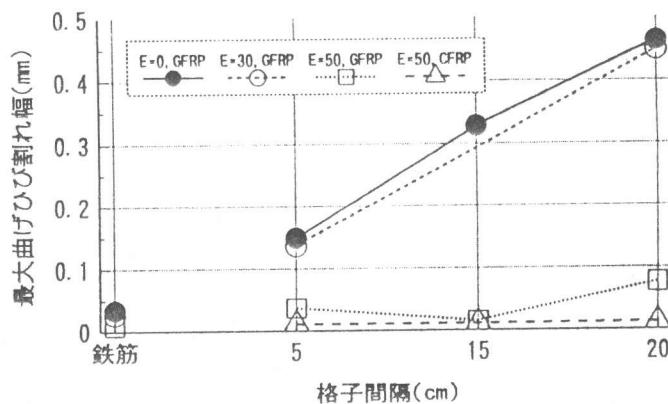


図-10 0.3tf・mにおける最大曲げひび割れ幅と格子間隔

鉄筋コンクリートはりについてはすべて曲げ引張破壊となり、その破壊モーメントは単位膨張材量と打継目の有無に関わらずほぼ等しい値となった。曲げ圧縮破壊したGFRPはりも、破壊モーメントは単位膨張材量と格子間隔に関わらずほぼ等しい値となった。打継目のないGFRPはり、せん断圧縮破壊を生じたが、曲げ圧縮破壊との判別が困難であり、その破壊モーメントの値にはほとんど差がなかった。

8. まとめ

補強材にガラス繊維と炭素繊維を格子状に成形したFRPを用い、鉛直打継目間の接合部コンクリートに膨張材を用いてケミカルプレストレスを導入したCPCはりについて、その曲げおよびせん断性状を実験的に検討した。本実験の範囲内で次のことがいえる。

- 1) FRPはり、RCはりに比べ曲げひび割れ発生モーメントおよび斜めひび割れ発生モーメントはともに小さく、鉛直打継目があるとさらに小さくなるが、膨張材の使用によりその低下が軽減される。
- 2) 曲げひび割れ幅は、打継目に集中して発生するため、その幅も大きく、その傾向は弾性係数の小さい補強材を用いるほど、また格子間隔が大きいほど著しい。膨張材を用いることによりこの様な性状も改善される。
- 3) 補強材の種類により、曲げ圧縮破壊、せん断圧縮破壊、せん断破断および曲げ引張破壊と破壊形式は異なったが、破壊モーメントは単位膨張材量に関わらずほぼ等しい値となった。

本研究は文部省科学研究費補助金(総合研究(A))課題番号04302040)により行った。

《参考文献》

- 1) 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
- 2) 丸岡正知・辻 幸和・吉田 誠・石田知子: FRP材を用いたケミカルプレストレストコンクリートはりの力学的性状、連続繊維補強材のコンクリート構造物への適用に関するシンポジウム講演論文報告集、Vol. 11、pp. 265-270、1992
- 3) 辻 幸和: ケミカルプレストレスおよび膨張分布の推定方法、コンクリート工学、Vol. 19、No. 6 pp. 99-105、1981. 6

表-4 破壊モーメント(tf・m)および破壊形式

| FRP補強材 | | GFRP | | | | CFRP |
|-------------------------------------|----|--------|--------|--------|------------|--------|
| 単位膨張材量(kg/m ³) | | 0 | 30 | 50 | 0 打継目なし | 50 |
| 格子間隔(cm) | 5 | 1.74 △ | 2.10 △ | 2.21 △ | 2.16 △ | 2.07 ◎ |
| | 15 | 2.25 △ | / | 2.46 △ | 2.43 ○ | 2.11 ◎ |
| | 20 | 2.28 △ | 2.38 △ | 2.40 △ | 2.52 ○ | 1.98 ◎ |
| 鉄筋 | | 2.09 □ | 1.92 □ | 2.19 □ | 1.95 □ | / |
| 接合部コンクリート圧縮強度(kgf/cm ²) | | 433 | 417 | 346 | 386 | 356 |
| 旧コンクリート圧縮強度(kgf/cm ²) | | 450 | 457 | 447 | | 463 |
| A法一軸拘束供試体の膨張ひずみ(μ) | | -85 | 195 | 610 | -10 | 704 |

凡例 △曲げ圧縮破壊 □曲げ引張破壊
 ○せん断圧縮破壊 ◎せん断補強材破断