

I-35 AFRPロッドを用いたPC梁の耐衝撃特性

室蘭工業大学工学部 正員 松岡健一
室蘭工業大学工学部 正員 岸 徳光
三井建設(株)技研 正員 田村富雄
三井建設(株)技研 正員 三上 浩
室蘭工業大学工学部 正員 田中 功

1. はじめに

建設材料として多く用いられているコンクリートは、圧縮に比べ引張やせん断に弱いと云う宿命的な欠点があり、この弱点を補うものとして鉄筋コンクリートやプレストレストコンクリートが考案され利用されている。しかし、補強に用いる鉄筋やPC鋼棒などは、耐蝕性や帯磁性に問題があり、これらを改良すべく連続繊維状の高分子材料を補強筋として用いるコンクリートに関する研究が最近活発に行われている^{1)~5)}。

著者らも新素材として組紐状AFRPロッドを採用したコンクリート部材について種々研究している^{6)~9)}。これらの研究結果は、AFRPロッドの特性(高強度、高弾性伸び率)が衝撃的な外力を受ける部材の補強材として有利であることを示しており、さらに詳細な検討を加えるべく研究を進めている。特に、緊張材として長繊維を用いたPC部材に対する衝撃実験はこれまで例がなく、従来のPC鋼棒を用いたPC部材の衝撃挙動に及ぼすプレストレスの影響もまだ明かではない。

本論文では、この点に注目し組紐状AFRPロッドをPC緊張材として用いた梁を対象に、これが落錐衝撃力を受けるときの衝撃挙動に及ぼすプレストレスの影響を検討した。衝撃挙動に及ぼすプレストレスの影響としてはプレストレス量、緊張材位置、PC材の材質などが考えられるが、ここでは特に総プレストレス量(断面中心でのプレストレス応力)を一定とし、緊張材位置を変化させた実験を行い緊張材位置の影響に限定して検討した。

2. 実験概要

供試体の一覧を表-1に示す。PC梁はプレテンション方式で作製し、用いた緊張材は組紐状のAFRPロッドFA13、FA11(公称径12.7mm、10.4mm)である。組紐状AFRPロッドFA13、FA11は保証引張耐力がそれぞれ、12.0tonf、8.0tonfで弾性係数は $0.7 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ である。緊張材位置は3種類とし、(a)断面中央に1本(PC-A)、(b)断面下側核点位置に1本(PC-B)、(c)断面上下の核点位置に2本(PC-C)とした。また、プレストレス量はいずれも断面中央位置で 50 kgf/cm^2 とした。コンクリートは25日圧縮強度が 465 kgf/cm^2 で弾性係数は $2.9 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ である。なお実験はコンクリート打設後25日目に行った。

図-1に供試体の形状寸法、配筋及びゲージ位置を示す。なお、張出し部の長さは、衝

表-1 供試体一覧

梁種別	緊張材位置	載荷速度(m/sec)
PC-A	断面中央	1, 2, 3, 4
PC-B	下側核点	1, 2, 3, 4, 5
PC-C	上下核点	1, 2, 3, 4, 5

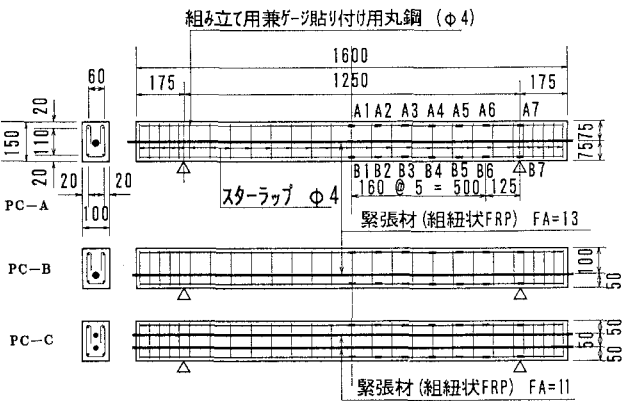


図-1 供試体

Dynamic Behaviour of PC-Beam Using Braided AFRP Rods as PC Tendon under Impact Load
by Kenichi MATSUOKA, Norimitsu KISHI, Tomio TAMURA, Hiroshi MIKAMI and Isao TANAKA

撃による張出し部の慣性力の影響を少なくし、かつ緊張材の定着長を確保するため17.5cmとした。また、各供試体にはスターラップ(丸鋼、径4mm)をピッチ75mmで配置し、衝撃による梁側面でのコンクリートの剥落を少なくするようにした。さらに、梁の上下各2cmの位置にひずみ測定用のひずみゲージを貼付するために径4mmの丸鋼を配置した。

衝撃荷重は円柱状の鋼製重錘(直径15cm、重量100kgf)を所定の高さにセットし、梁中央部に自由落下させて載荷した。支点は、供試体両端面から17.5cmの位置で梁の上下を支点反力測定用のロードセルを介し鋼製のピンを用いて単純支持した。載荷実験は1m/sec刻みで破壊するまで行い、重錘加速度、ひずみ、たわみ及び支点反力を測定し、各載荷速度毎にひび割れ状況も観察した。なお、梁破壊時における重錘の載荷速度はPC-Aは4m/sec、PC-B、Cは5m/secであった。

3. 実験結果

3.1 重錘加速度波形

加速度は重錘の4個所に加速度計を貼付し計測した。このうち、重錘の左右対称位置に貼付した2個の加速度波形を図-2に示す。載荷速度は1m/secと4m/secのものである。左右の波形は大きさは多少の差がみられるものの、ほぼ同様の波形を示している。図(a)は、載荷速度1m/secのものである。いずれの梁に対しても初期の衝撃継続時間は約0.5msecと等しいが、PC-Cの梁では全体として高周波成分が多くみられる。左右の加速度の平均値はPC-A、PC-B、PC-Cに対して、それぞれ90.5G、93.3G、111.5Gであり $A < B < C$ となっている。

図(b)は載荷速度4m/sec

のものである。この場合も衝撃初期の波形はA、B、Cであまり差はなく、継続時間も各梁ともほぼ同じであるが、1m/secのときよりかなり短く約0.3msecである。また、平均加速度はA、B、Cに対してそれぞれ487G、521G、507Gとなり、 $A < C < B$ である。PC-Aは、載荷速度1m/sec、4m/secとも加速度は小さいが、PC-BとPC-Cでは1m/secと4m/secで大きさの順序が逆転している。

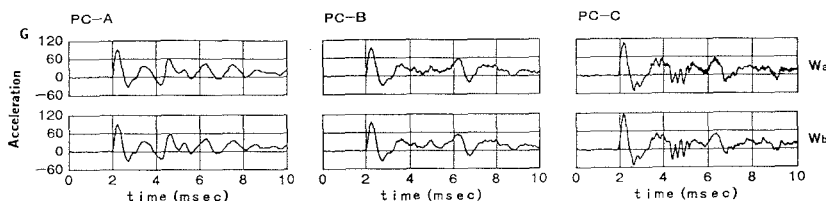


図-2(a) 重錘加速度波形($V=1\text{m/sec}$)

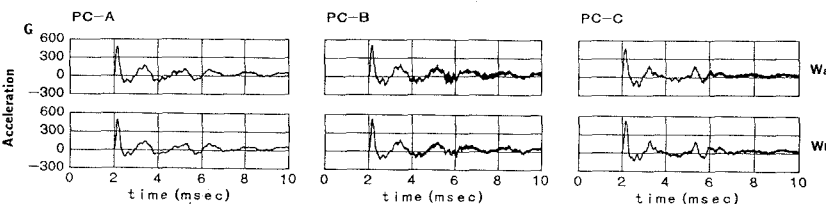


図-2(b) 重錘加速度波形($V=4\text{m/sec}$)

3.2 ひずみ波形

ひずみ測定用に配置した鉄筋のひずみ波形を載荷速度3m/secに限定し、梁中央付近のA1、A2、A3、B1、B2、B3のみについて図-3に示す。上端筋(A1~A3)の波形はいずれも衝撃初期約20msecに大きな圧縮の値を示し、その大きさは $C < B = A$ である。その後周期約9msecの減衰自由振動を示している。衝撃初期から自由振動に移行するときかなり大きな引張ひずみを生じており、特にPC-Bの梁では初期の最大圧縮ひずみより絶対値の大きな引張ひずみを示している。これは梁下縁のプレストレス量に差があるためで、重錘落下後の梁の跳ね返りがPC-Bで最も大きいことを示しており、緊張材位置が下方にあるBの梁の下縁プレストレス量が最も大きいことに対応するものと考えられる。除荷後の残留ひずみは僅かではあるが生じており、Aでは圧縮、Bでは引張、CではA1で引張、A2、A3で

圧縮のひずみとなっている。

一方下端筋(B1~B3)のひずみ波形は、衝撃初期に大きな引張ひずみを示し、その大きさは $B=C>A$ である。その後はやはり減衰振動を示し減少しているが、上端筋のような反転現象は顕著ではない。また、除荷後の残留ひずみは、いずれの梁もB1では引張、B2、B3では圧縮のひずみが生じている。

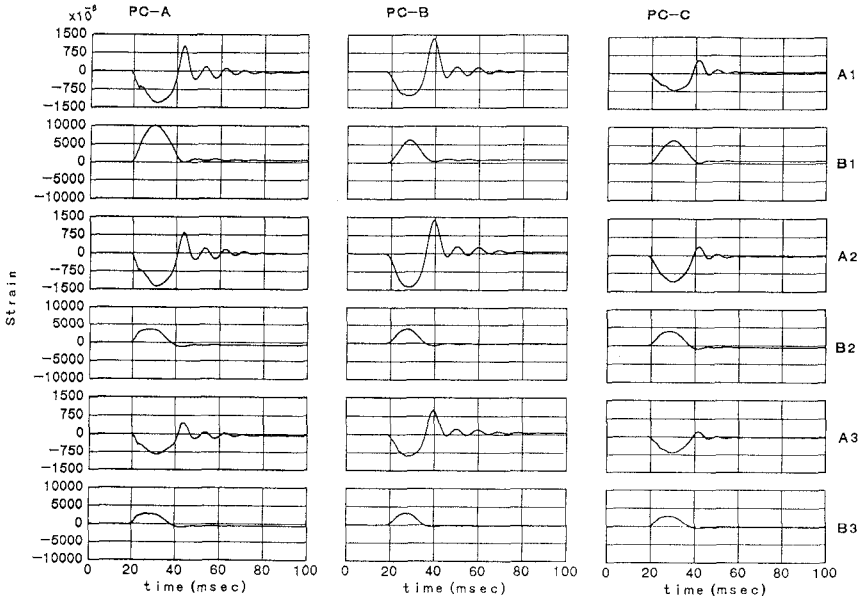


図-3 ひずみ波形($V=3\text{m/sec}$)

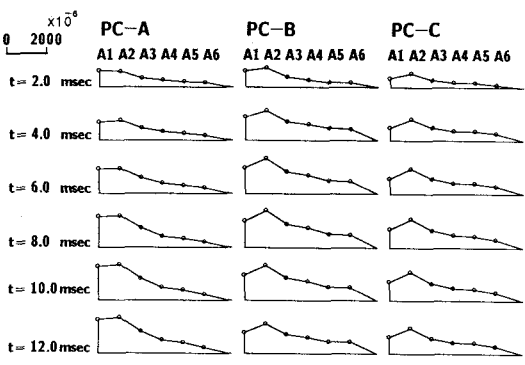


図-4 上端筋ひずみのスパン方向分布($V=3\text{m/sec}$)

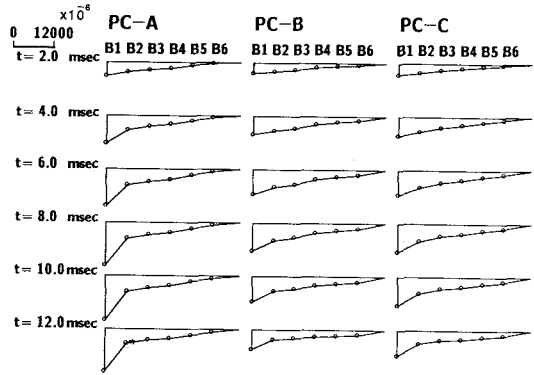


図-5 下端筋ひずみのスパン方向分布($V=3\text{m/sec}$)

における、ひずみのスパン方向分布を代表的な時刻で示したのが図-4、5である。図-4は、上端筋のひずみ分布を示したが、いずれの梁も最大ひずみ発生時刻付近では中央点で最大値を示さず、A2点で最大ひずみを示しており、特にBの梁で著しい。また、下端筋のひずみ分布は図-5のようであるが、下端筋では時間の経過とともに中央点のひずみが増大し、応力が中央部に集中している様子がわかる。その傾向は特にAの梁で著

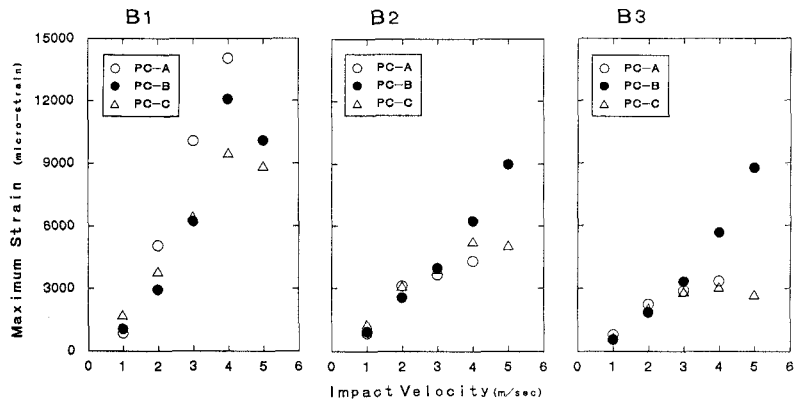


図-6 下端筋ひずみの最大値と載荷速度との関係

しい。

各ひずみの最大値と載荷速度との関係を図-6～8に示した。上端筋については、圧縮と引張の最大値を別々に整理した。下端筋ひずみでは(図-6)破壊状態近傍を除けば、PC-A、PC-Cの梁のひずみはほぼ載荷速度に比例しているのに対し、PC-Bの梁では放物線のような曲線関係を示しており、緊張材位置の影響が現れている。

上端筋の圧縮ひずみでは(図-7)いずれもきれいな直線性を示さないが、A、Cの梁は比較的似た挙動を示し、Bの梁はA1のひずみが速度によらずあまり大きくなく、A2、A3のひずみは速度と比例関係にあるようである。

また、上端筋の引張ひずみ(図-8)でも、A、Cの梁は似た挙動を示しているが、Bの梁ではやはりA1のひずみがかなり大きく、緊張材位置の影響が現れていると思われる。

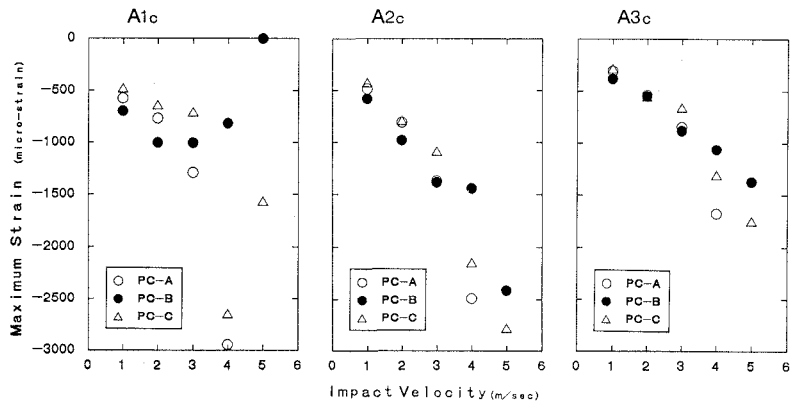


図-7 上端筋の圧縮ひずみの最大値と載荷速度との関係

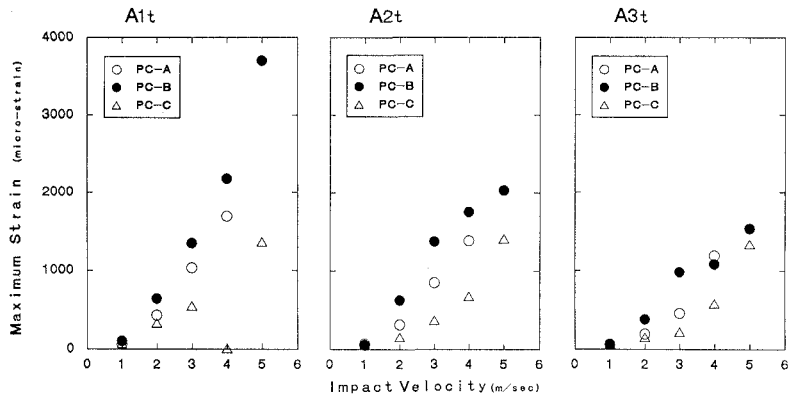


図-8 上端筋の引張ひずみの最大値と載荷速度との関係

3.3 ひび割れ発生状況

各載荷速度毎に観察されたひび割れの状況を図-9に示す。PC-Aの梁は、1m/secではひび割れは発生せず、2m/secで下側に引張ひび割れが生じ、その後本数は変化せず4m/secで圧縮側の圧壊により破壊にいたっている。PC-Bは、1m/secから下側はもとより上側にも引張ひび割れが発生している。これはひずみ波形でみられた跳ね返りによるひび割れとみられる。その後速度の増加とともにひび割れ長さ、本数とも増加し、せん断ひび割れや、緊張材に沿うひび割れが発生し緊張材にそったひび割れ幅の増大と上側の圧壊によって5m/secで破壊している。PC-Cのひび割れ発生状況は1m/secですでに下側にひび割れが発生するもののPC-Aと比較的似ている。即ち、3m/sec位までは下側に数本のひび割れが発生するのみで本数も多くはない。PC-Aと異なる点は3～4m/secで支点付近の上側にもひび割れが発

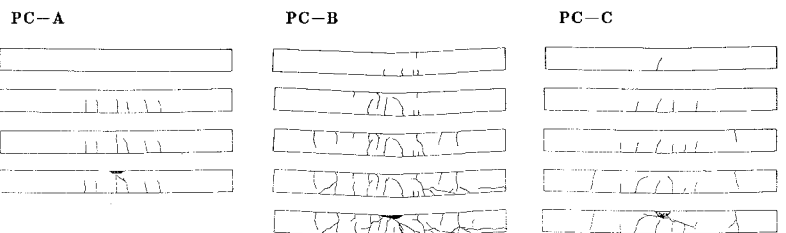


図-9 ひび割れ発生状況

生し5m/secでは中央部にせん断ひび割れがみられるとともに圧縮部が大きく圧壊することにより破壊状態となっている。図に示すようにいずれの梁も最終的には圧縮部の圧壊で破壊していると思われるが、最終載荷速度や破壊状態から、衝撃耐力の大きさは $A < B < C$ であると推測される。

3.4 反力波形

重錘落下衝撃実験では、重錘の衝撃力の評価が重要な問題であり、衝撃位置の衝撃力を直接評価する方法として、重錘加速度による方法や落下位置に設置したロードセルによる方法などがある。また、間接的に評価する方法として、支点反力を測定する方法も行われている。本実験では衝撃力と支点反力の関係を明らかにするために、支点部にロードセルを設置し測定を行った。その結果を図-10に示す。波形は左右の支点部に設置したロードセルの波形である。いずれも衝撃の初期に大きく、主たる反力の継続時間は20msec前後であり、強いて比較すれば、 $B < C < A$

である。また、左右のロードセルの最大値の合計はA、B、Cそれぞれ約5.7tonf、4.9tonf、4.1tonfであり、 $C < B < A$ である。先に示した加速度波形とは大きさ、形とも全く異なる波形をしていることがわかる。

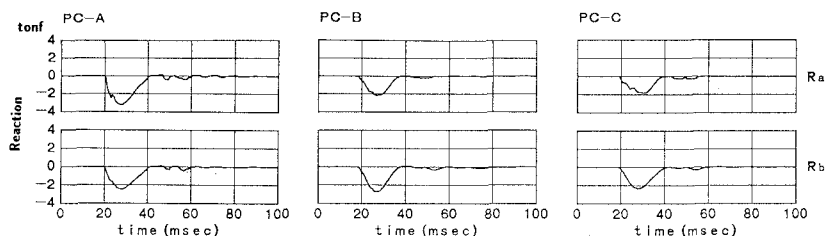


図-10 支点反力波形($V=3\text{m/sec}$)

3.5 載荷速度と重錘衝撃力及び支点反力の関係

各梁について、重錘加速度から得られる衝撃力と支点のロードセルから得られる支点反力を載荷速度に対して示せば図-11のようになる。衝撃力は各梁とも、載荷速度3m/sec位までは多少のばらつきがあるもののほぼ速度に比例しており、大きさの順序は $A < B < C$ である。載荷速度4m/sec以上では、梁の損傷が大きくなるため衝撃力も減少傾向にあり、5m/secのB、C梁はその傾向が大きく特にCの梁で著しい。このことは前述の破壊状況とも符合する。反力の最大値も載荷速度とほぼ比例関係にあるが、全体として大きさは $C < B < A$ であり、衝撃力とは逆の傾向となっている。図をみると1m/secの値はかなり差があるが、勾配は各梁ともそれほど差はなく、1~5m/secの平均を取るとA、B、Cそれぞれ約1.42tf、1.28tf、1.26tfとなっており、衝撃力の約1/8~1/10となっている。

3.6 緊張材位置の影響

以上、全プレストレス量を一定とし(断面中心で一定プレストレス応力)、緊張材位置を変化させた場合の重錘自由落下衝撃を受ける梁の挙動を考察した。

その結果、衝撃力、支点反力等には多少影響はみられるものの、その差はそれほど顕著ではない。しかし、ひずみ及びひび割れ発生状況にはかなりの違いがみられる。即ち、緊張材を断面中心においたA梁では中央部の上下端筋のひずみが大きく、これによるひび割れ及び圧縮部の圧壊により破壊している。B梁では、下側中央付近のひずみと跳ね返りによる上側の引張ひずみが広範囲に大きく上下端からの多数のひび割れ発生により破壊している。また、C梁ではA梁に似た挙動を示しているが、全体としてひずみは小さく、ひび割れが分散し、破壊耐力を増加させていると思われる。総合的に判断すれば、これら3種の緊張材位置では、上下に配置したC梁が最良の結果を与えている。A梁では、PC緊張材はプレストレス導入のみの効果で補強筋の効果がないこと。B梁ではPC材の補強筋効果はあるものの、プレストレスによる初期曲げモーメントの影響により上側が弱点になっている。それに対してC

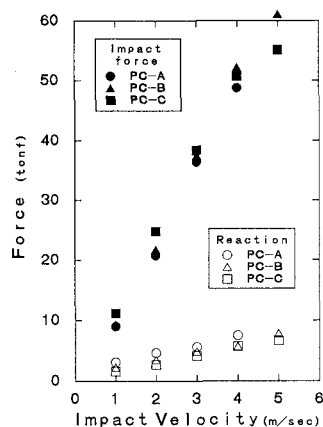


図-11 載荷速度と重錘衝撃力及び支点反力の関係

梁ではプレストレス導入の効果とともに、補強筋の効果も現れ良い結果を与えていると思われる。

4. まとめ

組紐状AFRPロッドを緊張材として用いたPC梁の耐衝撃挙動に及ぼす緊張材位置の影響を検討するため、緊張材位置の異なる3種の供試体を作成し、重錘落下衝撃実験を行った。紙面の都合で全ての実験結果を示すことは出来なかったが、実験で得られた結果から、次のことが明かとなった。

- 1) 破壊に至った載荷速度はPC-Aが4m/sec、PC-B、PC-Cが5m/secであり、断面中央に配置する事は、衝撃的外力に対しても得策ではない。
- 2) 重錘衝撃力には各梁ともそれほど差はないが、傾向としては $A < B < C$ であり、載荷速度に比例している。
- 3) 下端筋ひずみは、中央点ではA梁が大きい、その他の点では低速度ではほぼ同じであり、速度が大きくなるとB梁が大きい。
- 4) 上端筋ひずみは、主衝撃時には大きな圧縮ひずみを生じるが、その後はかなり大きな引張ひずみを生じている。
- 5) 上端筋の引張ひずみは、特にB梁で大きくその絶対値は中央点で圧縮ひずみより大きい。
- 6) ひび割れ発生状況を比較すると、A、C梁は主として下側の引張ひび割れが顕著であるが、CはAに比べひび割れが分散している。B梁は、A、Cとは異なり低速度の衝撃から上側に引張ひび割れが生じており、速度の増加とともに多数のひび割れが発生している。
- 7) この実験からは、上下に緊張材を配置した梁が総合的に判断して良い特性を示している。すなわち、プレストレス応力の効果とPC緊張材が補強筋として衝撃力に抵抗する二つの効果を合わせ期待できるからであると思われる。

今後、RC梁との比較などを重ねPC梁の耐衝撃挙動をより詳細に検討する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 古川 茂, 辻 幸和, 大谷杉郎, 小島 昭; CFRPロッドで補強したコンクリートはりの曲げおよびせん断性状, 第11回コンクリート工学年次論文報告集, 849-854, 1989.
- 2) 秋山 暉, 天野玲子, 奥村一正; 板状のFRPロッドを用いたコンクリートはりの曲げ性状, 第12回コンクリート工学年次論文報告集, 1099-1104, 1990.
- 3) 木村耕三, 小島克郎, 岡野素之; 炭素繊維およびアラミド繊維を補強筋としたはり部材のせん断実験, 第12回コンクリート工学年次論文報告集, 1135-1140, 1990.
- 4) 涌く井 一, 鳥取誠一; FRP棒材をらせん状せん断補強筋として用いた場合のコンクリートはりのせん断補強効果, 第12回コンクリート工学年次論文報告集, 1141-1146, 1990.
- 5) 岡野素之, 小島克郎, 木村耕三; 炭素繊維を緊張材に用いたプレストレストコンクリートはりの曲げ実験, 第12回コンクリート工学年次論文報告集, 1111-1116, 1990.
- 6) 片脇清士, 西崎 到; CFRP緊張材を用いて製作したプレストレストコンクリート桁の製作試験, 第12回コンクリート工学年次論文報告集, 1075-1080, 1990.
- 7) 三上 浩, 加藤正利, 竹内 光, 田村富雄; 組紐状FRPロッドによるスパイラル筋を用いたRC梁の曲げ・せん断性状, 第11回コンクリート工学年次論文報告集, 813-818, 1989.
- 8) 三上 浩, 林 寿夫, 加藤正利, 田村富雄; アラミド繊維による組紐状棒材を用いたPCはりの静的耐荷挙動, 第10回コンクリート工学年次論文報告集, 665-670, 1988.
- 9) 三上 浩, 加藤正利, 田村富雄, 能町純雄; 組紐状FRPロッドのPC緊張材としての定着および付着特性に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.36A, 1191-1202, 1990.