

論文 FRP ロッドを用いた PC 梁の靱性を改善する定着装置の開発

岡本大*1・玉井真一*1・増田芳久*2

要旨：PC緊張材に連続繊維補強材（以下、FRP）を用いた場合の部材靱性改善方法の一つとしてアンボンド方式が提案されている。しかし、この方法においては荷重状態の変化によって部材の靱性が改善できない場合がある。本研究は、FRPを緊張材としたアンボンドPC部材の荷重スパンと部材靱性の関係について解析検討を行った。その結果、荷重スパンが大きくなる場合には部材靱性の改善が難しいことがわかった。そこで、FRPの伸び能力を見かけ上大きくするスライド式定着装置を開発し、改善効果に関する検討を行った結果、本定着装置によって靱性を大きく改善できることを確認した。

キーワード：FRP、アンボンド、PC、モーメント-曲率関係、定着装置

1.はじめに

連続繊維補強材（以下、FRP）は鋼材と比較して弾性係数が小さいため、PC緊張材として使用した場合には乾燥収縮や弾性変形によるプレストレスの減少を鋼材よりも小さくできるという特徴を有している。その反面、FRPは鋼材のような降伏点を持たず伸び能力も小さいことから、FRPを緊張材に用いた場合には終局時の部材の変形は小さく、靱性を確保することが難しい。

現在、FRPを緊張材とするPC部材については、圧縮部コンクリートの圧壊によって破壊に至るように設計される場合が多い。これは、FRPの破断によって破壊に至る方が圧縮部コンクリートの圧壊による場合よりも脆性的な破壊であることに起因している。一方、終局状態を圧縮部コンクリートの圧壊とした場合には、圧縮部コンクリートに拘束筋を用いて圧縮部コンクリートの靱性を改善する方法 [1] が提案されている。

一方、FRPの破断によって破壊に至るように設計する場合には、引張強度の異なるFRPロッドを多段に配置して部材に靱性を与える方法 [2] や、PC部材をアンボンド方式あるいは外ケーブル方式とする方法 [3] [4] が提案されている。

PC部材をアンボンド方式あるいは外ケーブル方式とした場合の靱性改善効果は荷重状態等により変化して不明確な点が多いことから、本研究では、まずアンボンド方式としたPC梁の靱性改善効果について、荷重状態および部材長の異なった条件下でアンボンド方式とすることによる靱性改善効果がどのように変化するかを解析的研究により明らかにした。次に、FRPを緊張材として使用したアンボンド方式のPC部材について、FRPの見かけ上の伸び能力を大きくできるスライド機構を有した定着装置を開発し、この定着装置によるアンボンド方式のFRPを緊張材とするPC部材の靱性改善効果を解析的に検討した。

2.アンボンドPC梁の解析検討

(1) 解析の条件と供試体の種類

解析は、緊張材位置とその位置でのコンクリートひずみが部材全長にわたって等しいという部

*1 東急建設技術研究所 土木構造研究室 工修（正会員）

*2 東急建設技術研究所 土木構造研究室室長（正会員）

材軸方向の変形適合条件を用いた精算法 [5] によって行った。解析を行った供試体の一覧を表-1に、形状および荷重条件を図-1に示す。

表-1 解析を行った供試体の一覧

供試体記号	供試体のタイプ	緊張材の種類	スパン L (m)	荷重点間距離(m)
Bond FRP	ボンド	FRP	-	-
Bond PC	ボンド	PC鋼材	-	-
F5C	アンボンド	FRP	5	中央1点荷重
F510	アンボンド	FRP	5	0.5
F520	アンボンド	FRP	5	1.0
F533	アンボンド	FRP	5	1.6
F10C	アンボンド	FRP	10	中央1点荷重
F1010	アンボンド	FRP	10	1.0
F1020	アンボンド	FRP	10	2.0
F1033	アンボンド	FRP	10	3.4
F20C	アンボンド	FRP	20	中央1点荷重
F2010	アンボンド	FRP	20	2.0
F2020	アンボンド	FRP	20	4.0
F2033	アンボンド	FRP	20	6.6
F30C	アンボンド	FRP	30	中央1点荷重
F3010	アンボンド	FRP	30	3.0
F3020	アンボンド	FRP	30	6.0
F3033	アンボンド	FRP	30	10.0

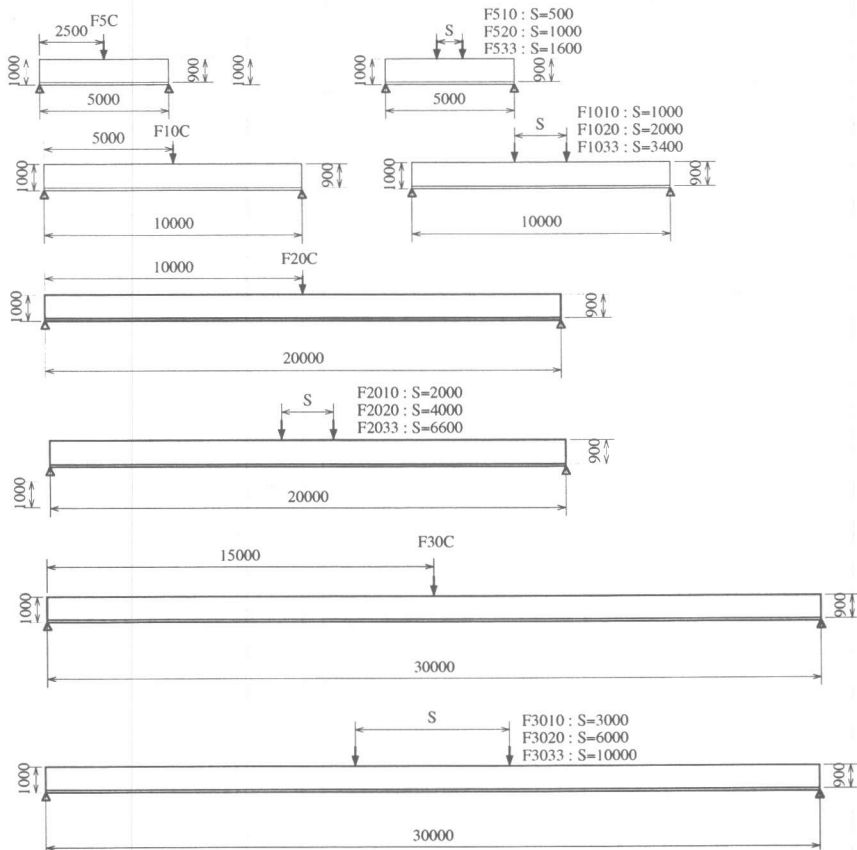


図-1 供試体の形状と荷重スパン (単位: mm)

解析条件として、断面形状、有効高さ、緊張材断面積、緊張材破断強度、有効プレストレス、弾性係数、コンクリート強度についてそれぞれ表2に示す値を使用した。緊張力は各供試体とも

に、緊張直後における上縁の引張応力が 13kgf/cm^2 となるように導入した。そして、この値を有効プレストレス（各緊張材の破断強度の60%）で除した値を各緊張材の断面積と仮定した。曲げモーメントと曲率の関係は、コンクリートの圧縮ひずみが 0.0035 に達するかあるいはFRPが破断ひずみに達するまで求めた。

表-2 解析条件

緊張材の種類	断面形状			緊張材			コンクリート強度 (kgf/cm^2)	
	幅 (cm)	高さ (cm)	有効高さ (cm)	断面積 (cm^2)	弾性係数 (kgf/cm^2)	破断強度 (kgf/cm^2)		有効プレストレス (kgf/cm^2)
FRP	50	100	90	4.33	1.4×10^4	17870	10722	350
PC鋼材				4.07	2.0×10^4	19000	11400	

(2) 解析結果

解析結果を図-2～図-6に示す。

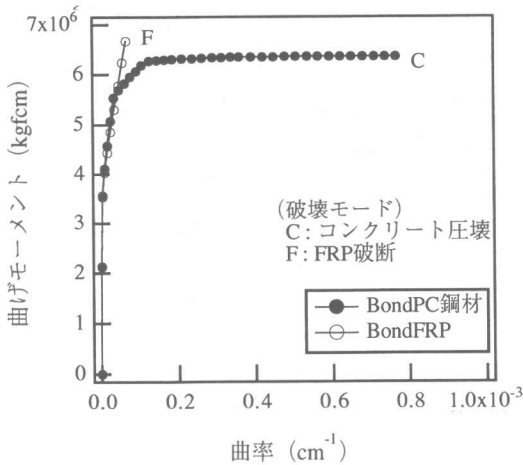


図-2 曲げモーメント-曲率関係（ボンド部材）

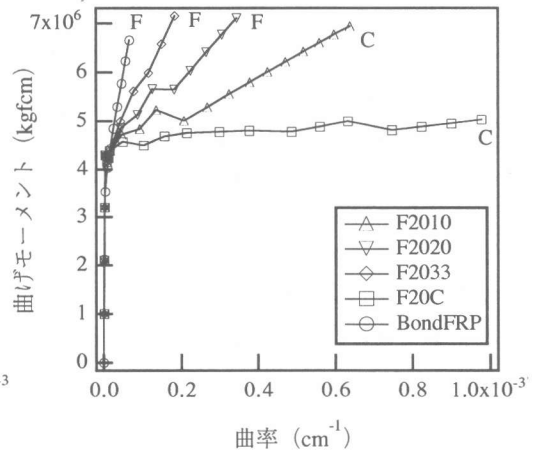


図-3 曲げモーメント-曲率関係（L=20m）

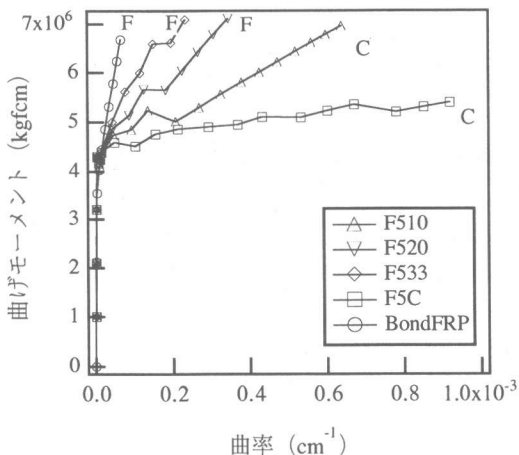


図-4 曲げモーメント-曲率関係（L=50m）

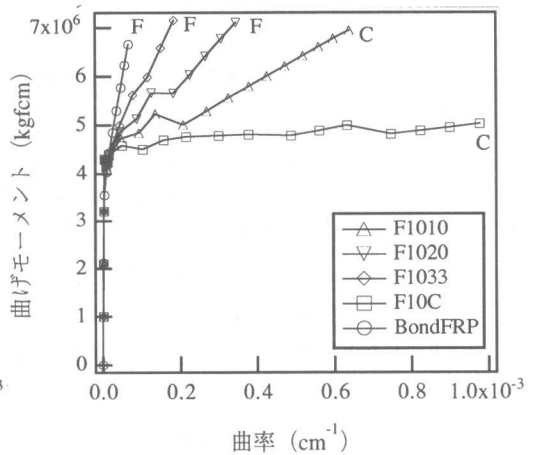


図-5 曲げモーメント-曲率関係（L=10m）

ボンド方式のPC部材における曲げモーメントと曲率の関係を図-2に示す。この図では、FRPを緊張材として用いたPC梁はPC鋼材を使用したものと比較して、きわめて小さな曲率で破壊に至っている。これよりFRPを緊張材に用いたPC梁はPC鋼材を使用した場合に比べて靱性がかなり小さいことがわかる。

次に、部材長20mの供試体について、载荷スパンを図-1に示すように中央1点载荷、2.0m（梁スパンの10%）、4.0m（同20%）、6.6m（3等分点）と4つの場合に変化させた時の解析結果を図-3に示す。図-3より、FRPを緊張材とした場合には、载荷スパンが梁スパンの10%の場合は中央1点载荷の供試体に比べて曲率が30%程小さい段階で破壊に至っているが、この値はPC鋼材を使用したボンド方式のPC梁と大きな差はなく、FRPが破断する以前にコンクリートが圧壊に至っている。しかし、载荷スパンが梁スパンの20%の場合と3等分点载荷の場合はFRPが破断しており、曲率に関しては1点载荷のときの約25~40%で破壊に至っている。これらの結果から、载荷スパンが部材の靱性に与える影響は大きいことの知見が得られた。

以上の結果に対して梁スパンの影響がないかを調べるために、梁スパンを5m、10m、30mと変化させて同様の解析を行った。その結果が図-4~6である。これらの図を参照すると、いずれの場合も梁スパン20mの場合と大きな差はなく、モーメントと曲率の関係において梁スパンの相違の影響は見られなかったことがわかる。

4 靱性を改善する定着装置の適用

(1) スライド機構を有する定着装置

解析の結果より、アンボンド方式のPC部材とした場合でも、载荷スパンが大きくなると曲率が小さいうちにFRPの破断により部材が破壊してしまうことが明らかとなった。そこで筆者らは、図-7および図-8に示すようなスライド機構を有する定着装置（以下、スライド式定着装置）を開発し、見かけ上FRPの伸び能力を大きくすることによってPC部材の変形能力を大きくすることを試みた。

図-7、図-8に示すスライド式定着装置は、溝部を有した内側リング、凸部を有した外側リングの2つの部分から構成されている。溝部はアルミニウム、凸部はステンレス製であり、溝部の幅は凸部の直径よりも幅が狭くなっている。そのため定着装置セット時には各溝部が各凸部の上に位置している。そして载荷後、緊張材に所定以上の張力が作用すると溝部が降伏することによってスライドを生じる。そして、このスライドによってFRPは見かけ上伸び能力が増加し、図-9に示すような応力-ひずみ関係を得る。なお、図-9は実験によって得た結果を示している。

(2) 曲げモーメント-曲率関係

定着装置のスライド量は、内リングおよび凸部からコンクリート面までの距離で決定され、緊

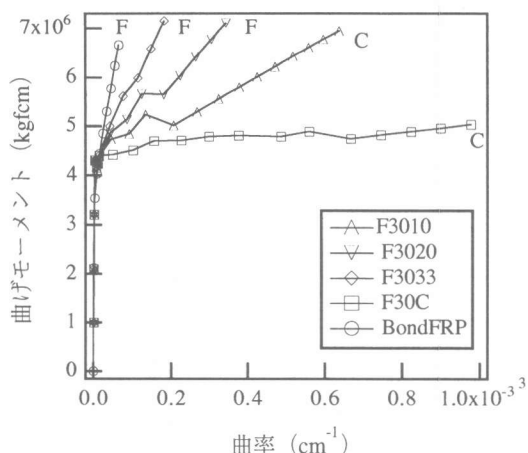


図-6 曲げモーメント-曲率関係 (L=30m)

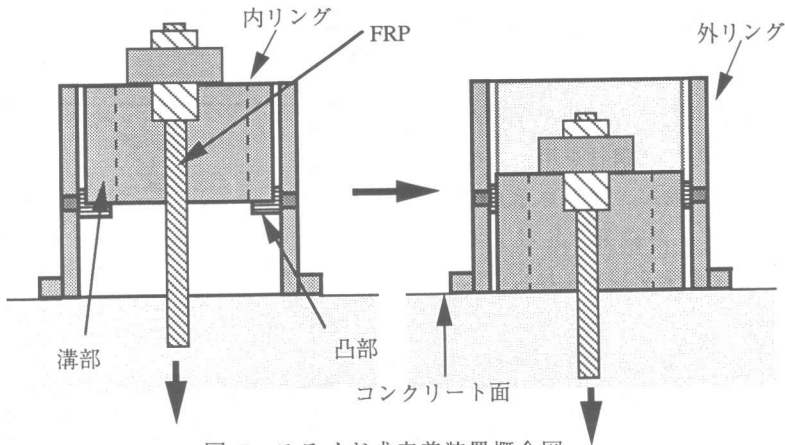


図-7 スライド式定着装置概念図

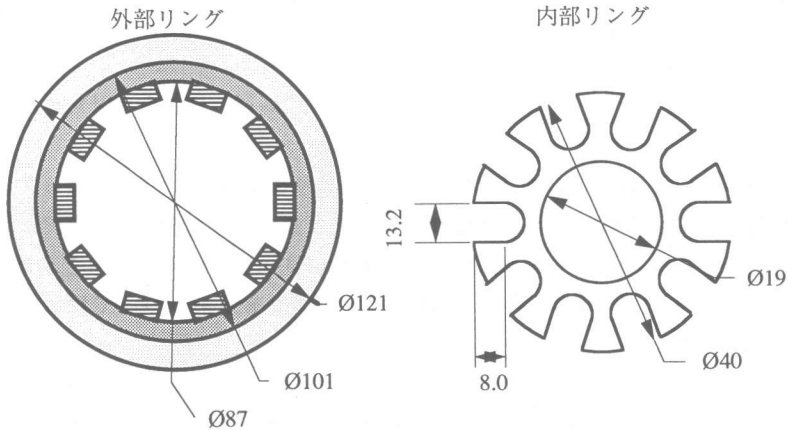


図-8 平面図

張材の全長に応じたスライド量が必要となる。今回は梁スパン20mの梁に関して解析を行った。必要となるスライド量は、PC鋼材を使用した梁スパン20mのアンボンドPC梁において緊張材のひずみが2.0%の時にコンクリートが圧壊していることから、定着装置+FRPの必要ひずみ量を2.0%として算定した。なお、解析では、緊張材の両端に定着装置を使用するものとして、式(1)によって定義した値をFRP+スライド式定着装置のひずみとした。

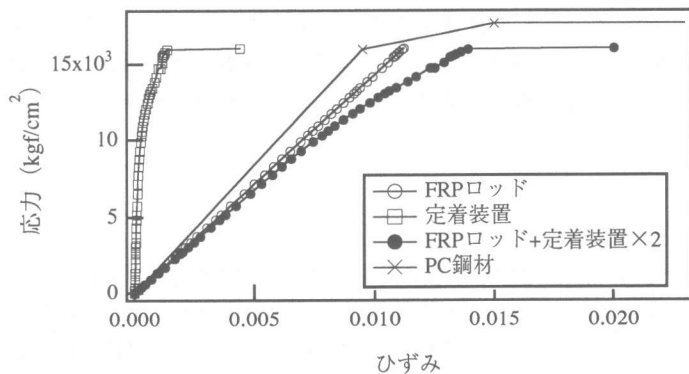


図-9 スライド式定着装置の応力-ひずみ関係

その他の条件は第2章の解析と同じ値とし、載荷方法を3等分点載荷として、曲げモーメントと曲率の関係を求めた。

$$(FRP+定着装置 \times 2) \text{ のひずみ} = \frac{\text{定着装置のスライド量} \times 2 + FRP \text{ の伸び}}{\text{定着装置間の距離}} \quad (1)$$

図-10は、スライド式定着装置を用いたFRPアンボンドPC梁とPC鋼材を用いた場合の曲げモーメント-曲率の関係を示している。第2章の図-3の結果と比較すると、スライド式定着装置を用いた場合にはFRPが破断ではなくコンクリートの圧壊によって破壊に至っており、靱性改善効果が確認できる。また、FRPが破断しないのでコンクリートの圧縮強度を有効に利用できるために、部材の耐力も増加した。

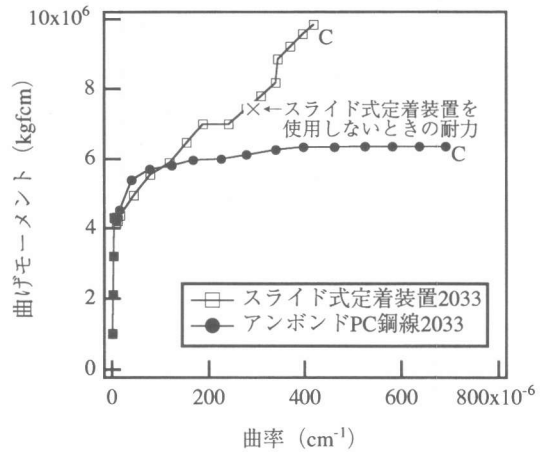


図-10 曲げモーメント-曲率関係

4 まとめ

本研究は、アンボンド方式のPC梁に関して、荷重状態および部材長の異なる条件下でアンボンド方式とすることによる靱性改善効果について解析を通じて検討を行った。そして、FRPを緊張材として使用したアンボンド方式のPC部材に、FRPの見かけ上の伸び能力を改善できるスライド機構を有した定着装置を用いた場合についてその靱性改善効果について解析的に検討を行った。結果を以下に要約する。

(1) FRPを緊張材とするPC梁をアンボンド方式として靱性を改善する場合は、載荷スパンが梁スパンの20%以上になるとその効果はあまり期待できず、FRPの破断によって部材が破壊する。また、梁スパンが変化してもこの傾向は同様である。

(2) スライド式定着装置はFRPを緊張材としたアンボンド方式のPC部材の定着部においてFRPの張力が設定した荷重を越えるとスライドを開始し、見かけ上FRPの伸び能力が大きくなる。そのためFRPの破断を防止する事ができ、部材の変形能力が改善される。

参考文献

- [1] 谷口、睦好、細井、喜多、町田：CFRPを主筋および拘束筋に用いたPC部材の曲げ性状；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、pp247-252
- [2] 平井、坂井、安藤：連続せんい補強セメントの試作研究；日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和63年10月、pp85-86
- [3] 秋山、天野、奥村：板状のFRPロッドを用いたコンクリートはりの曲げ性状；コンクリート工学年次論文報告集 1990年、pp1099-1104
- [4] 加藤、林田、乗富、久保：FRP緊張材を用いた桁部材のじん性改善方法に関する研究；プレストレストコンクリート、Vol.34、No.1、Jan.1992
- [5] 六車、渡辺、西山：アンボンドPC部材の曲げ終局耐力に関する研究；プレストレストコンクリート、Vol.26、No.1、Jan.1984