論文 打込み型枠 FRC 薄板を用いた鉄筋コンクリート部材の力学的 性状に関する研究

高実子 光*」・槇谷 栄次*2

要旨:FRC板を用いたRC部材の一部を切り出した要素部材に関して引張・純曲げ実験 を行い、FRC板を用いた複合部材においてのFRC板の合成効果及び付着性状を調べる。 これに基づいてFRC板を用いたRC梁部材の曲げ終局強度に関する評価式の提案を行う。 その結果、複合部材において底面にあるFRC板は初期剛性に、側面にあるFRC板は鉄筋 降伏前後の剛性、靭性の向上に大きく寄与していることが認められた。また評価式にお いては、今後幅広く適用しさらに適合性を高めることが必要であると考えている。 キーワード:打込み型枠板、複合部材、試験方法、合成効果、曲げ終局モーメント、曲率

1. はじめに

型枠プレキャスト工法の普及により、打込み型枠板等の需要は増加しており、各社から様々な ものが製品化されている。また、打込み型枠板を用いたRC部材の実験研究も数多く行われてお り、咋年度行われた打込み型枠板(以下、FRC板と略す)を用いた鉄筋コンクリート部材、梁・柱 ・壁部材の実験^{<1>}において、FRC板と躯体との一体性、FRC板を用いた複合部材の剛性、強度、 破壊性状についての研究を行い、その結果、FRC板は一体性があり、剛性、強度の向上に寄与す ることが確認された。しかし、現在FRC板に対する需要は増加しているものの、FRC板そのもの の強度、剛性、破壊性状についての実験研究はあまり行われておらず、それを評価する試験方法 の確立が待たれている。

本研究は、昨年度の実験研究を踏まえ、部材の一部を切り出した要素部材に関して引張・純曲 げ実験を行い、FRC板を用いた複合部材においてFRC板が剛性、強度の向上に寄与することを再 度確認し、FRC板の合成効果及び付着性状を調べることを目的とし、この実験資料に基づいて FRC外殻RC梁の曲げ強度に関する評価式の提案を行う。

2. FRC板

図-1にFRC板の断面形状を示す。FRC板は、主原材料として無機結合材・繊維質添加剂(ゼロ7ベ -ス)・増粘材・水を使用し、押出成形により製造されている。本研究で使用するFRC板は、Aタイ プ、Bタイプの2種類とし、Aタイプは平板部が8mm、リブ部が12mm、リブ幅が50mmで、Bタイ プはリブ幅のみAタイプと異なり36mmで角が面取りさ 50 ″″″″ 50 れて製作されている。

3. 実験概要

3.1 試験体

表-1に試験体一覧を示し、図-2に試験体形状図を示 <u>2R</u> Bタイプ <u>1R</u> す。試験体は、引張実験(Tシリーズ)、曲げ実験(Mシリーズ) 図-1 FRC板の断面形状(単位:mm) 共に、打込み型枠板工法によりFRC板を使用して躯体コンクリートと一体化させた複合部材が

*1 (納熊谷組(正会員) *2 関東学院大学教授 工学部建築学科、工博(正会員)



単調載荷によって実験を行う。また、試験体の鉄筋(D19)を破断させないため、最大荷重を12ff とする。計測方法は、FRC板及びコンクリート表面の中央部に生じたひび割れ幅をパイ型変位計 で測定し、鉄筋(D19)ひずみは、中央部に貼付したワイヤーストレインゲージで計測する。

曲げ試験体の試験方法は、図-3に示すような門型の治具を使用し、50#オイルジャッキを用い て梁の下端筋を想定した鉄筋に引張荷重を与え、試験体の曲げ荷重とする。また引張実験と同様、 単調載荷、最大荷重12#とする。計測方法は、図-4に示すようにFRC板及びコンクリート表面の 中央部に生じたひび割れ幅をパイ型変位計で測定し、鉄筋(D19)ひずみは、中央部に貼付したワ イヤーストレインゲージで計測する。 表-4 引張実験結果一覧

4. 実験結果

4.1 引張実験結果

整整降伏 初期ひび割れ 鉄筋降伏 変位(mm 試験体名 最大荷重 最大変位 (mm) TRC 2.3 9.8 0.46 3.76 TPF-A1 3.3 9.8 0.33 3.44 TPF-B1 2.8 9.5 12.0 0.30 3.20 TPF-A2 4.5 10.2 0.27 3.05 TPF-B2 5.5 10.0 0.31

引張実験結果一覧を表-4に示し、荷重ーひずみ曲線を図-5、荷重ー閉口変位(ひび割れ幅)曲線を図-6に示す。初期ひび割れ荷重、降伏荷重及びそれ以降について、TRCに比べFRC板を使用



線のTRCとTPFシリーズの荷重の差からFRC板引張応 カを導き、FRC板引張応カー開口変位曲線を図-7 に示す。この図は、FRC板を使用した複合部材にお ける開口変位に対して、FRC板のみにかかる引張応 力度を示す図である。ここで、TPFシリーズの試験体 全てにおいて、開口変位が0.25mm前後でFRC板の最 大引張応力度を示していることがわかる。

4.2 曲げ実験結果

曲げ実験結果一覧を表-5に示し、荷重-ひずみ 曲線を図-8、荷重一開口変位曲線を図-9に示す。 初期ひび割れ荷重は、MPFシリーズがすべてMRCを上

回っている。特に底面に配されて いる1型が大きい。また、鉄筋降 伏直後の図-8に関して1型の荷重 の変動を見ると、MRCと同様に



試験体名 MRC

MPF-A1 MPF-B1

MPF-A2 MPF-B2

板の効果が無くなったためと思われる。側面にFRC板を配した場合(2型) の鉄筋降伏時は、MRCよりも荷重が上回っており、開口変位は下回って いる。また、鉄筋降伏直後に目立った荷重低下は見られない。しかし、 FRC板のひび割れ貫通前後からはMRCとほぼ同等の性状が認められた。 破壊性状として、側面にAタイプのFRC板を配したMPF-A2に関しての図-10 ひび割れ性状図



Load (tf)

15

図-6荷重-開口変位曲線



Crack Opening Displacement (mm) 図-7 FRC板引張応力-開口変位曲線。

表-5曲げ実験結果一覧

期ひび割れ 荷重((/)	FRC板初期ひび 割れ荷重(ff)	鉄筋降伏荷重(り	最大荷重	降伏 <u>変位</u> (<i>mm</i>)	最大変位 (mm)
3.7		9.6	12.0	0.46	7.62
6.3	7.0	9.0		0.58	1.73
7.3	7.3	9.4		0.62	5.36
5.2	8.2	9.8		0.35	7.07
C C	66	10.2		0.25	5.00

1.94 P



分布図を図-11に、図-7と図-11から導いたFRC板 引張応力分布図を図-12に示す。初期ひび割れ時に はFRC板の引張応力度は引張側縁で最大となるが、 鉄筋降伏に近付くにつれ最大引張応力度位置は圧縮 側に近付いていく。これは、他試験体についても同 様に見られる。

FRC板の曲げモーメントと曲率の関係を、図-13 に、FRC板と引張鉄筋を累加した曲げモーメントと 曲率の関係を図-14に示す。さらに、図-15に複合 部材におけるFRC板と引張鉄筋のモーメントの割合 を、それぞれ初期ひび割れ時、鉄筋降伏時について



示す。MPF-A1、B1は、FRC板が引張側縁に1枚のみの配置なので、FRC板のひび割れ貫通時に 曲げモーメントの最大を迎え、その直後に急減し以後最大荷重までほぼ一定値で推移している。 MPF-A2、B2は、側面にFRC板を配しており、引張側から圧縮側に至る全面をFRC板が覆ってい るので、引張側縁にひび割れが生じてもモーメントの低下は起こらず、鉄筋降伏まで増加し、降 伏と同時に滑らかに低下している。割合を見ても、FRC板を底面のみに配した場合の試験体 MPF-A1、B1では、初亀裂発生時のFRC板のモーメントの割合が、降伏時よりも大幅に高い。ま た、初亀裂発生時の側面のみに配した場合の試験体MPF-A2、B2と比べても高くなっている。 FRC板を側面のみに配した場合の試験体MPF-A2、B2では、FRC板にかかる引張応力が引張側か ら次第に圧縮側に移動していき、それに沿ってひび割れが進むので、初亀裂発生時から降伏時に 至るまでモーメントは増加しており、大幅にモーメントの値は大きい。

4.3 考察

以上から、FRC板を用いた複合部材は、RCに比べ剛性、強度が高く、FRC板が剛性、強度の向 上に寄与することが確認された。また、FRC板を底面に配した場合は初期剛性の向上に寄与する ことがわかり、FRC板を側面に配した場合は鉄筋降伏前後の剛性、靭性の向上に寄与しているこ とが認められた。これによりFRC板を側・底面両方に配した場合は、部材の弾・塑性全域におい て剛性、靭性が高まるものと思われるが、今後の課題として、側・底面にFRC板を配した試験体 で実験する必要があると考えている。

5. 曲げ終局強度評価式の提案

打込み型枠板工法により躯体コンクリートと 一体化された複合部材、FRC外殻RC梁の曲げ 終局モーメントを評価するため、①式のように 仮定を行う。

 $Mcr = McrR + McrF_1 + McrF_2$ $McrR = 0.9 \cdot a_t \cdot \sigma y \cdot d$

FRC外殻RC梁の曲げ終局モーメント(Mcr) は、略算式によるRC梁の曲げ終局モーメン ト(McrR)、底面のみにFRC板を配した場合 の曲げ終局モーメント(McrF1)、側面のみ にFRC板を配した場合の曲げ終局モーメン



(McrF₁・McrF₂)のモデル図

ト(McrF2)を累加したもの与えられる。ここで、FRC板のみの曲げ終局モーメントは引張応力の みを考慮する。また、FRC板のモーメントを②式のように仮定し、モデル図を図-16に示す。釣 り合う圧縮モーメントは、コンクリートの圧縮モーメントに含まれることと仮定する。

(1)

ここで、McrはFRC外殻RC梁の曲げ終局モーメント(kgf・cm)、McrRは略算式による曲げ終局 モーメント(kgf・cm)、McrF1はFRC板を底面のみに配した場合のFRC板のみの曲げ終局モーメン ト(kgf・cm)、McrF2はFRC板を側面のみに配置した場合のFRC板のみの曲げ終局モーメント(kgf ・cm)、Atは引張鉄筋の断面積(cm²)、 σ yは引張鉄筋の降伏強度(kgf/cm²)、dは梁の有効せい(cm)、 tはFRC板の等価断面幅(cm)、bは梁幅(cm)、Dは梁せい(cm)、Xnは圧縮側縁から中立軸までの距 離(cm)、hfは引張側縁から中立軸までの距離(cm)、 σ f1、 σ f2は引張鉄筋降伏時のFRC板の等価 引張応力(kgf/cm²)、jは応力中心距離(圧縮応力の中心と引張応力の中心との距離)(cm)である。 しかし、jについてはFRC板の圧縮応力を考慮に入れないので、jは引張応力の中心から中立軸ま での距離とする。ここで、FRC板のみの曲げ終局モーメント(McrF1・McrF2)をFRC板の材料物 性で表現するため、次頁(③式の上の括弧内)のような仮定を行う。

ここで、 σ_{B} はFRC板の圧縮強度(kgf/cm²)、Dは梁せい(cm)である。 α 、 β 、 γ 、 ρ は係数で

$$\sigma f_{1} = \alpha_{1} \cdot \sqrt{\sigma_{B}} \qquad hf = \beta \cdot D \qquad D-Xn = \rho \cdot D$$

$$\sigma f_{2} = \alpha_{2} \cdot \sqrt{\sigma_{B}} \qquad j = \gamma \cdot D$$

$$Mcr = (0.9 \cdot a_{1} \cdot \sigma_{Y} \cdot d) + (\alpha_{1} \cdot \rho \cdot t \cdot b \cdot D \cdot \sqrt{\sigma_{B}}) \qquad \dots 3$$

$$+ (\alpha_{2} \cdot \beta \cdot \gamma \cdot 2t \cdot D^{2} \cdot \sqrt{\sigma_{B}})$$

あり、本研究の曲げ実験結果から算定する。その結果を下記に示し、それを代入したFRC外殻 RC梁の曲げ終局モーメント式をAタイプ、Bタイプに分けて④式に示す。これをFRC板外殻RC梁 の曲げ終局モーメント式として提案し、曲げ実験との比較を図-17に示す。全試験体共に±20%に 収まっており、係数の妥当性が証明されたと思われる。

$$A \not \forall \dashv \overrightarrow{\uparrow} \begin{pmatrix} \alpha_{1} = 1.19 & \alpha_{2} = 3.92 & \beta = 0.84 \\ \gamma = 0.48 & \rho = 0.95 \end{pmatrix} \qquad B \not \forall \dashv \overrightarrow{\uparrow} \begin{pmatrix} \alpha_{1} = 1.00 & \alpha_{2} = 3.93 & \beta = 0.84 \\ \gamma = 0.44 & \rho = 0.92 \end{pmatrix}$$
$$Mcr(A \not \forall \dashv \overrightarrow{\uparrow}) = 0.9 \cdot a_{t} \cdot \sigma_{y} \cdot d + t \cdot D \cdot \sqrt{\sigma_{B}} \cdot (1.13 \cdot b + 3.16 \cdot D)$$
$$Mcr(B \not \forall \dashv \overrightarrow{\uparrow}) = 0.9 \cdot a_{t} \cdot \sigma_{y} \cdot d + t \cdot D \cdot \sqrt{\sigma_{B}} \cdot (0.92 \cdot b + 2.90 \cdot D)$$
$$\cdots \qquad (4)$$

④式を咋年に実験が行われた鉄筋コンクリート梁部材^{<1>}(G-CF:在来型枠板工法による梁部 材)(G-PF:型枠プレキャスト工法によりFRC板を使用した梁部材)に適用したところ、図-18に 示すように、既存の略算式よりも近似値を得たことを報告する。しかし、今後幅広くこの評価式 を型枠Pca工法による部材に適用し、さらに適合性を高めることが必要であると考えている。



- ・FRC板を用いた複合部材は、RCに比べ剛性、強度が高く、FRC板が剛性、強度の向上に寄与することが確認された。
- ・FRC板を底面に配した場合は初期剛性の向上に寄与することがわかり、FRC板を側面に配した 場合は鉄筋降伏前後の剛性、靭性の向上に寄与していることが認められた。
- ・FRC板を側・底面両方に配した場合は、部材の弾・塑性全域で剛性、靭性が高まるものと思われ るが、今後の課題として側・底面にFRC板を配した試験体で実験する必要があると考えている。
- ・実験結果から導いた評価式を、今後幅広く様々な部材に適用し、さらに適合性を高めることが
 必要であると考えている。
- 謝辞:本研究を行うにあたり、江口 正昭氏、渡辺 英彦氏(㈱熊谷組)を始めとする、讃岐 郁夫氏(㈱クボタ)、 前島 毅氏(昭和電工建材㈱)に多大なるご指導、ご協力を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。
- 参考文献: <1>江口正昭、舟山勇司他:押出成形セメント板を用いた打込み型枠工法の開発 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)A材料施工、1995年8月