

# GRC 打込み型枠による鉄筋コンクリートはりの構造特性に関する実験的研究

## その1 変形および耐荷性状

### EXPERIMENTAL STUDY ON STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF REINFORCED CONCRETE BEAM WITH GRC PERMANENT FORM

#### Part 1 Deformation and bearing behavior

村上 聖\*1, 平居孝之\*2, 岸谷孝一\*3, 前田孝一\*4, 武田浩二\*5

三井宜之\*6, 市村 信\*7

*Kiyoshi MURAKAMI, Takayuki HIRAI, Koichi KISHITANI, Koichi MAEDA, Koji TAKEDA, Yoshiyuki MITSUI and Makoto ICHIMURA*

Applications of permanent formwork using highly strengthened precast concrete instead of the conventional plywood form have been attempted recently for the automation and simplification of RC construction. In this study, large RC beam specimens were manufactured using permanent forms made from high strength glass fiber reinforced cement (GRC), which were to form part of the beams' concrete cover. Its main objective is to compare the flexural behavior of these specimens to a RC beam specimen of the same size constructed using the conventional plywood form.

Experimental results show that the cracking, yielding, and ultimate loads of the RC beam specimens using GRC permanent forms are similar to the conventional RC beam.

**Keywords :** *glass fiber reinforced cement, permanent form, reinforced concrete beam, flexural behavior,*

ガラス繊維強化セメント, 打込み型枠, 鉄筋コンクリートはり, 曲げ性状

## 1. はじめに

最近、鉄筋コンクリート（以下、RCと略記する）施工の自動化・省力化の一つとして、在来の合板型枠に替わり薄肉の高強度プレキャストコンクリートを用いた打込み型枠の実用化が進められている<sup>2)~5)</sup>。打込み型枠工法の普及により、ラワン合板使用による熱帯森林資源の乱伐に対する地球環境問題対策、型枠工事における熟練工の不足に対する現場作業の合理化、躯体寸法精度の確保や耐久性の向上、仮設工事としての型枠の組立・撤去の簡略化によるコスト低減・工期短縮などの波及効果が期待されている。

ここで、打込み型枠とは、コンクリートの鑄型としての機能だけでなく、躯体の一部として断面設計に考慮されることを意図して用いられている用語である。従って打込み型枠に要求される構造性能は、次の2点である。

①型枠材を構造用寸法、すなわちかぶり厚さに含めるときに在来のRC部材と同等以上の耐力を有すること。

②耐久性・耐火性の面から、設計荷重レベルまで型枠材と後打ちコンクリートの付着面が剝離することなく、十分な一体性を保っていること。

そこで、本研究では、高強度のガラス繊維強化セメント（以下、GRCと略記する）を打込み型枠材として用いたRCはりの曲げ載荷試験を行い、本報では、その1として、GRC打込み型枠および在来合板型枠によるRCはりの曲げ性状の比較により、上記の①の観点について実験的に検討した。次報では、その2として、負荷の下でのGRC打込み型枠と後打ちコンクリートの付着剝離状況を調べ、上記の②の観点について実験的検討を行った結果を報告する予定である。

## 2. 実験方法

### 2.1 使用材料

GRCの使用材料および調合をそれぞれ表1および表2に示す。繊維には、長さ25mmの耐アルカリ性ガラス繊維

本論文は、日本GRC工業会の委託研究の成果報告書である参考文献1)の内容の一部をとりまとめ、再編成したものである。

\*1 熊本大学工学部建築学科 助教授・工博

\*2 大分大学工学部共通講座 教授・工博

\*3 日本大学理工学部建築学科 教授・工博

\*4 千葉大学工学部建築学科 助教授・工博

\*5 熊本大学大学院自然科学研究科 大学院生・

工修

\*6 熊本大学工学部建築学科 教授・工博

\*7 熊本大学大学院工学研究科 大学院生

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Kumamoto University, Dr. Eng.

Prof., Dept. of Inter-departmental study, Faculty of Engineering, Oita University, Dr. Eng. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Science and Engineering, Nihon University, Dr. Eng.

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Chiba University, Dr. Eng. Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University, M. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Kumamoto University, Dr. Eng.

Graduate Student, Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Kumamoto University

を用い、繊維は外割質量で3%混入した。GRCの混練には、容量30 lのオムニミキサーを使用し、混練手順は表3に示すとおりとした。なお、繊維を混入する前のプレーンモルタルとGRCのフロー値および空気量を表4に示す。

RCはりに用いたレディーミクストコンクリートは、表5の仕様に示すように、呼び強度が210 (kgf/cm<sup>2</sup>) の普通コンクリートとし、スランプ値および空気量の測定値は、それぞれ18.7cmおよび4.3%であった。また、鉄筋にはSD295Aを用い、主筋はD22、あばら筋はD10とした。

## 2.2 GRC打込み型枠の作製

GRC打込み型枠の形状寸法は、図1に示すように、外形寸法が幅250mm×高さ400mm×長さ4800mmのU字形とし、後打ちコンクリートとの付着性能を高めるために、次の2種類の断面形状のものを1体ずつ作製した。

### (1) 円形凹凸内面U字形一体成型型枠

図2に示すように、後打ちコンクリートと接する型枠内面にエアーキャップにより円形の凹凸を設けた、一体成形のU字形断面で、凸部および凹部のGRCの厚さはそれぞれ19mmおよび15mmとした。

表1 GRCの使用材料

セメント	普通ポルトランド
骨材	けい砂5号
混和材	シリカフェーム
混和剤	高性能減水剤 (フタリンスルホン酸系)
繊維	耐アルカリ性ガラス繊維 繊維長さ25mm

表2 GRCの使用調合

材 料	質 量 比
セメント	100
骨材	90
混和材	10
混和剤	3.5
混練水	30
繊維	7

\* 繊維は、外割質量で3%混入した。

表3 GRCの混練方法

①骨材+混和材	: 空練り	30秒
②+セメント	: 空練り	30秒
③+(水+混和剤)	: 混練	120秒
--- プレーンモルタル混練 ---		
④+繊維	: 混練	30秒

\* 混練には、オムニミキサー使用。

表4 GRCのフロー値と空気量

プレーン	フロー値 (mm)		空気量 (%)
	GRC	GRC	
194	153	6.5	

表5 レディーミクストコンクリートの仕様

コンクリート種類	呼び強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	指定スランプ (cm)	粗骨材の最大寸法 (mm)	セメントの種類	実測スランプ (cm)	実測空気量 (%)
普通	210	15	20	N	18.7	4.3

\* 水セメント比=58.5%, 単位水量=175kg/m<sup>3</sup>, 単位セメント量=300kg/m<sup>3</sup>, 細骨材率=49.3%, 減水剤使用。

### (2) 金網埋込内面U字形組立成型型枠

図3に示すように、寸法30×30mmの角材により、凹凸(ピッチ約70mm)に型押しした亜鉛ビキ亀甲金網をGRC中に半分埋め込んだ、厚さ15mmのGRC平板をU字形に組み立てたものである。

以上のGRC打込み型枠は、GRC打設後材令21日まで現場封緘養生を行い、その後は後打ちコンクリートの打設時まで気乾状態とした。

## 2.3 素材試験

### (1) GRC

圧縮試験には、φ100×200mmの円柱試験体を用い、圧縮応力-ひずみ曲線とポアソン比を測定した。なお、縦ひずみおよび横ひずみの測定には、それぞれコンプレッソメータおよびワイヤーストレインゲージ(ゲージ長30mm)を使用した。

直接引張試験には、幅40mm×厚さ10mm×長さ380mmのGRC工業会案<sup>9)</sup>に準拠した試験体と、同一寸法で中央の両側に切り込みを設けたダンベル形状試験体(切り込み加工長さ50mm、最細部分の幅20mm×長さ25mm)の2種類を用いて、引張応力-ひずみ曲線を測定し、引張ヤング係数、引張比例限界強度および引張強度を求めた。なお、試験方法は、GRC工業会案のアルミ板接着法に準拠し、両端つかみ間隔は280mm、クロスヘッド変位速度は3mm/min.とし、ひずみの測定にはワイヤーストレインゲージ(ゲージ長30mm)を中央両側面に貼り付けた。

曲げ試験には、幅50mm×厚さ10mm×長さ275mmのGRC工業会案試験体を用い、中央集中3点曲げ載荷(スバ

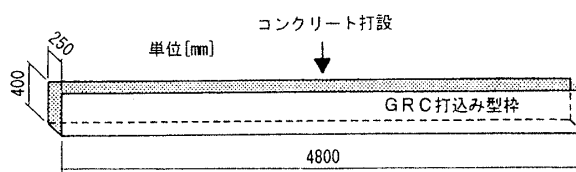


図1 GRC打込み型枠の形状寸法

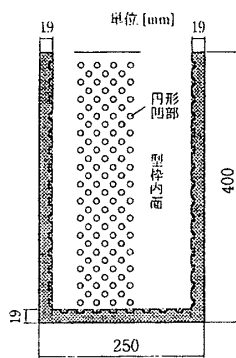


図2 円形凹凸内面U字形一体成型型枠

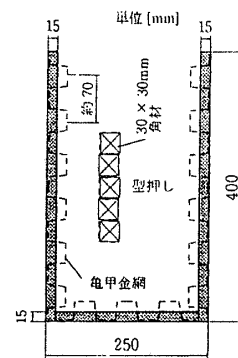


図3 金網埋込内面U字形組立成型型枠

ン長さ225mm)により、クロスヘッド変位速度3mm/min.で荷重-クロスヘッド変位曲線を測定し、曲げヤング係数、曲げ比例限界強度および曲げ強度を求めた。なお、直接引張および曲げ試験体は、内形寸法が深さ15mmで、500mm角の鋼製型枠にGRCを打設し硬化した後、所定の寸法に切断、研削加工して作製した。

以上の試験体の養生方法と個数を表6に示す。

(2) レディーミクストコンクリート

圧縮試験には、φ100×200mmの円柱試験体を用いて、圧縮応力-ひずみ曲線とポアソン比を測定した。割裂引張試験には、圧縮試験と同一寸法の円柱試験体を用い、引張強度を測定した。曲げ試験には、100×100×400mmの角柱試験体を用いて、3等分点曲げ載荷(スパン長さ300mm)により曲げ強度を測定した。

以上の試験体の養生方法と個数を表7に示す。

(3) 鉄筋

主筋、あばら筋各6体について引張試験を行い、降伏点、引張強度および破断伸びを測定した。

2.4 RCはりの作製

外形寸法が幅250mm×高さ400mm×長さ4800mmで、前述の2種類の断面形状をもつGRC打込み型枠を用いたRCはりとは、比較のために在来合板型枠による同一寸法のRCはりを1体ずつ作製した。図4に、RCはりの配筋を示す。圧縮鉄筋および引張鉄筋はともに2-D22、あばら筋は□D10@200mmとし、はり端部は上端および下端筋ともにフック定着とした。なお、主筋・あばら筋量は、曲げ降伏以前にせん断破壊を生じない範囲で選定した。

鉄筋は、高さを調節しながら桝木に針金で吊り下げて配置し、スペーサ等は使用しなかった。コンクリートの締め固めには、突き棒および棒状バイブレータを使用し

て、型枠バイブレータ等は使用しなかった。また、RCはりは、材令21日まで現場シート養生を行い、その後試験時まで気中養生(約1週間)とした。

2.5 RCはりの曲げ載荷試験

RCはりの曲げ試験は、図5に示す載荷治具を用いて行い、載荷方法は、次のとおりである。

① 載荷形式は4点曲げで、スパン長さは4000mm、中央の載荷点間隔は800mmとした。

② 加力は、H形鋼の反力ビームに取り付けたセンターホール油圧ジャッキ(容量20tf)により行い、荷重は二出力型ロードセル(容量20tf)により検出した。また偏心を除去するために、ジャッキ先端とロードセルの間に球座を、載荷点にはピン座を取り付けた。

③ 載荷点と支持点には、試験体との間に厚さ15mmのミガキ鋼板をはさみ、載荷点ではGRC打込み型枠と後打ちコンクリートの両面に均等に荷重が加わるようにした。また、支持点は、φ50mmのミガキ棒鋼を用いてローラ支承とし、鋼棒とローラ押さえ板との間に発泡スチロールをかませ、水平拘束を除去した。

また、載荷要領および測定方法は次のとおりである。

① 引張鉄筋降伏荷重の約2/3まで載荷後、一旦除荷。再び、降伏荷重まで載荷後除荷。その後は、スパン中央変位がスパン長さ(4000mm)の約1/150(約27mm)、約1/100(約40mm)に達した時点でそれぞれ除荷し、最終的に変位がスパン長さの約1/50(約80mm)に達した時点で除荷して、試験を打ち切った。なお、荷重-スパン中央変位曲線をX-Yレコーダにより計測し、モニターとして使用した。その実測例を、GRC打込み型枠(凹凸内面)によるRCはりについて図6に示す。また、載荷前と除荷ごとにタイル剝離診断器によ

表6 GRC試験体の養生方法と個数

養生方法	圧縮試験	引張試験	曲げ試験
20℃水中養生	3体	-	-
現場封緘養生	3体	各3体	6体
現場気中養生	3体	-	-

表7 レミコン試験体の養生方法と個数

養生方法	圧縮試験	引張試験	曲げ試験
20℃水中養生	3体	3体	3体
現場封緘養生	3体	3体	3体
現場気中養生	3体	-	-

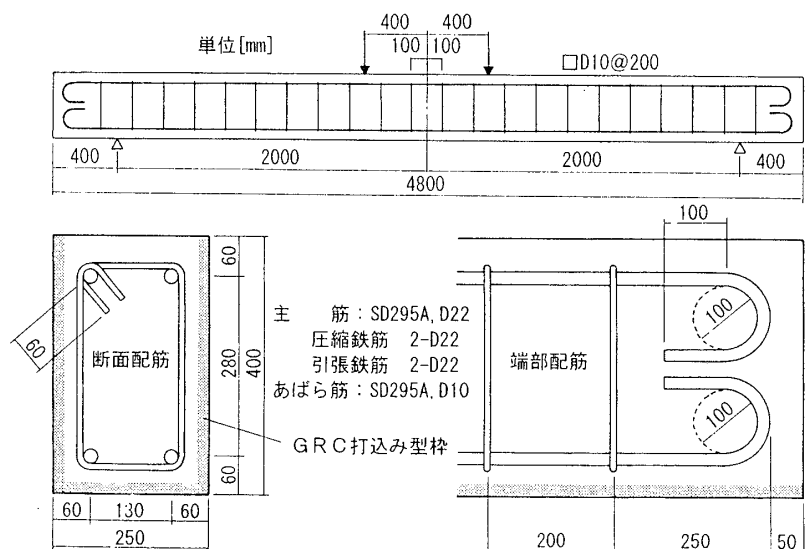
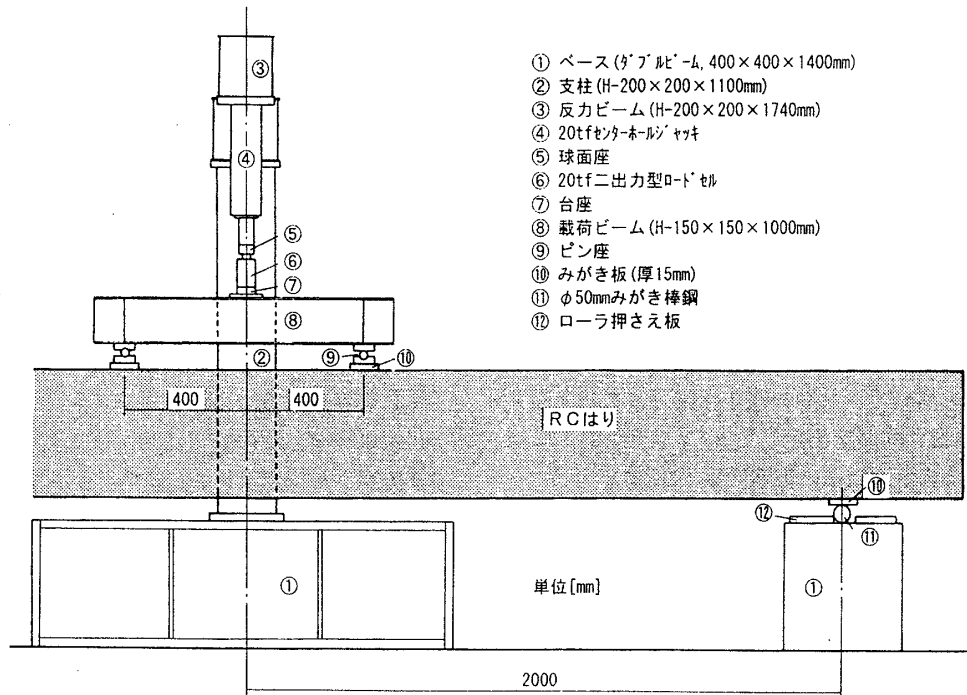


図4 在来合板およびGRC打込み型枠によるRCはりの配筋



- ① ベース(ガブ鉄) 400×400×1400mm
- ② 支柱(H-200×200×1100mm)
- ③ 反力ビーム(H-200×200×1740mm)
- ④ 20tfセンサ-ホルダ
- ⑤ 球面座
- ⑥ 20tf二出力型ロードセル
- ⑦ 台座
- ⑧ 載荷ビーム(H-150×150×1000mm)
- ⑨ ピン座
- ⑩ みがき板(厚15mm)
- ⑪ φ50mmみがき棒鋼
- ⑫ ローラ押さえ板

図5 RCはりの曲げ試験に用いた載荷治具

り、GRC打込み型枠と後打ちコンクリートの付着剝離状況を非破壊で調べた。ここで、本実験で使用した剝離診断器の仕様ならびに剝離状況調査結果等については次報(その2)で報告する予定であり、その詳細については割愛する。

②降伏荷重に至るまでは、約0.5tfの荷重刻みで、降伏荷重以降は一定変位ごとにひずみや変位をデータロガーにより計測し、ひび割れや破壊性状を記録した。ひずみや変位は、片側スパン半長の両側面を測定対象とし(なお、剝離診断器による剝離状況調査は、反対側

の両側面を対象とした)、図7に示す位置での主筋、GRC打込み型枠表面あるいはコンクリート表面のひずみ、およびスパン中央、載荷点、支持点の変位を測定した。

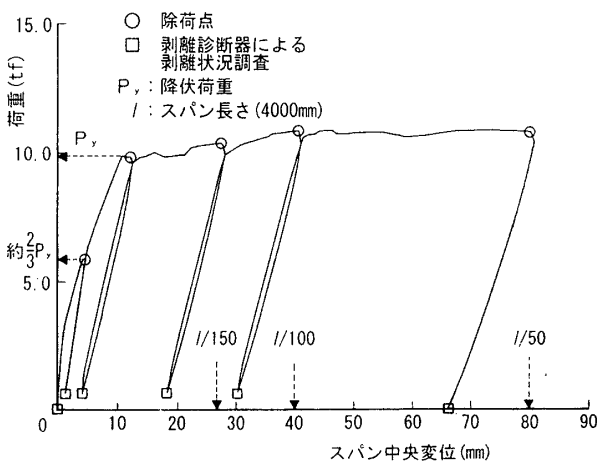


図6 荷重-変位曲線の実測例

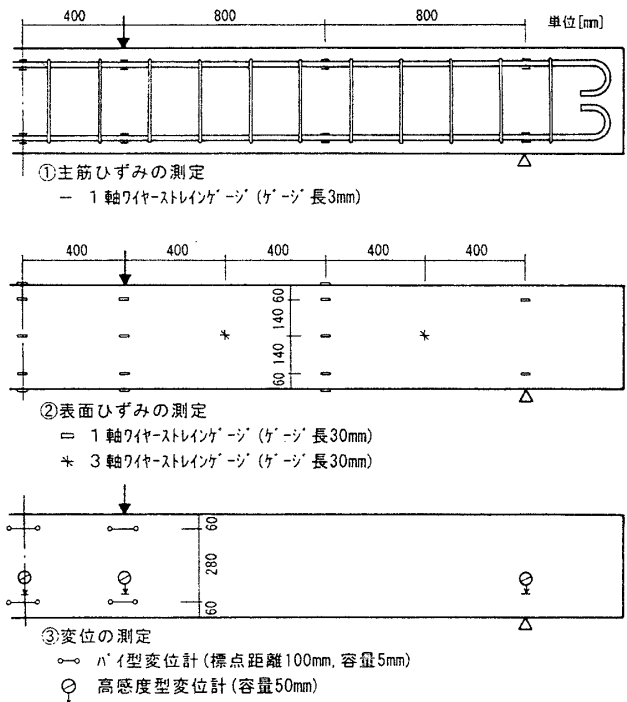


図7 RCはりのひずみおよび変位の測定位置

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 素材試験結果

##### (1) GRC

表8,9,10に、GRCの圧縮、直接引張および曲げ試験結果を示す。GRCの圧縮強度は約620kgf/cm<sup>2</sup>と高強度で、養生方法の違いによる影響はほとんどみられない。また、引張強度は、試験体形状により差があるが、約55~75kgf/cm<sup>2</sup>、曲げ強度は約190kgf/cm<sup>2</sup>で、普通コンクリートに比べてかなり高い値が得られている。ここで、試験体形状による引張強度の差異は、GRC工業会案試験体では最弱断面で破断するのに対して、ダンベル形状試験体は中央両側の切り込み部分に破断が強制されるためであると考えられる。また、ヤング係数については、圧縮および曲げヤング係数はほぼ同程度であるが、引張ヤング係数は圧縮および曲げヤング係数の約1.4~1.6倍の高い値を示している。

##### (2) レディーミクストコンクリート

表11に、レミコンの圧縮、割裂引張および曲げ試験結果を示す。圧縮強度は、20℃水中養生および現場封緘養生（ともに材令21日後気中養生）で呼び強度を満足し、割裂引張強度や曲げ強度も両者の養生間で同程度の値が得られている。一方、現場気中養生では、圧縮強度およびヤング係数は、20℃水中養生の場合のそれぞれ約70%および約80%に低下している。

##### (3) 鉄筋

表12に、主筋およびあばら筋の引張試験結果を示しているが、両者ともにSD295Aの規定最小降伏点を満足している。

#### 3.2 RCはりの曲げ試験結果

##### (1) 最終的ひび割れおよび破壊状況の比較

図8に、在来合板型枠および2種類のGRC打込み型枠によるRCはりの最終的ひび割れおよび破壊状況を示す。終局的破壊は、すべてのはりについて圧縮側コンクリートの圧壊により生じた。GRC打込み型枠（凹凸内面）では、全スパンにわたる圧縮縁でGRC打込み型枠

表11 コンクリートの圧縮、引張および曲げ試験結果

養生方法	f <sub>c</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )	E (X10 <sup>5</sup> ) (kgf/cm <sup>2</sup> )	ν	ε <sub>co</sub> (×10 <sup>-3</sup> )	f <sub>t</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )	f <sub>b</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )
20℃水中養生	2 2 5	2. 2 2	0.26	2. 1 9	2 3. 1	3 3. 2
現場封緘養生	2 4 0	2. 1 9	0.21	2. 1 3	2 0. 3	3 7. 6
現場気中養生	1 6 2	1. 8 0	0.18	1. 9 0	—	—

\* f<sub>c</sub>: 圧縮強度, E: ヤング係数 (1/3割線弾性係数), ν: 横変位比, ε<sub>co</sub>: 圧縮強度時のひずみ, f<sub>t</sub>: 割裂引張強度, f<sub>b</sub>: 曲げ強度

と後打ちコンクリートの付着面に沿ったひび割れが観察され、終局時点では純曲げ区間の圧縮縁で型枠材の頭著な剝離がみられた。一方、GRC打込み型枠（金網埋込内面）では、終局時点でも目視による剝離は観察されなかった。また、ひび割れ性状の特徴として、在来合板型枠によるRCはりに比べて、GRC打込み型枠によるRCはりの方がひび割れの分散性がかなり小さく、前者ではせん断スパン内にも広く曲げひび割れが分布しているのに対して、後者では純曲げ区間内に曲げひび割れが集中し、せん断スパン内にはあまりひび割れは観察されなかった。この要因として、GRC打込み型枠と後打ちコンクリートの付着面が剝離し、内部のコンクリートのひび割れが表面に現れなかったということも想定される。しかし、これに関しては、後述の同一位置の鉄筋および型枠表面のひずみの対応や、次報で報告する予定である

表8 GRCの圧縮試験結果

養生方法	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	圧縮ヤング係数 (×10 <sup>5</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	横変位比
20℃水中養生	6 2 2	2. 2 9	0. 1 8
現場封緘養生	6 2 6	2. 5 7	0. 1 9
現場気中養生	6 2 5	2. 5 4	0. 2 1

表9 GRCの直接引張試験結果

試験体形状	引張比例 限界強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	引張強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	引張ヤング係数 (×10 <sup>5</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )
GRC工業会案	1 6. 7	5 5. 4	3. 3 4
ダンベル形状	3 5. 2	7 4. 6	3. 4 9

表10 GRCの曲げ試験結果

曲げ比例 限界強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	曲げ強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	曲げヤング係数 (×10 <sup>5</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )
1 0 8	1 9 0	2. 1 1

表12 鉄筋の引張試験結果

種 類	下降伏点 (kgf/cm <sup>2</sup> )	引張強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	破断伸び (%)
主 筋	3 3 0 6	4 9 1 6	3 1. 1
あばら筋	3 4 7 0	5 0 9 2	2 2. 9

剝離診断器による剝離状況調査の結果などから、その可能性は小さく、GRCを含むかぶりコンクリート全体の引張強度に比べて、コンクリートと鉄筋の付着強度が相対的に小さくなるためにひび割れの分散性が小さくなったものと考えられる。

(2) 荷重-変位曲線および曲げ耐力の比較

図9に、在来合板型枠および2種類のGRC打込み型枠によるRCはりの荷重-スパン中央変位曲線の比較を示す。また、表13に、ひび割れ荷重、引張鉄筋降伏荷重および試験を打ち切った時点での終局荷重の測定値を示す。なお、ひび割れおよび降伏荷重は、スパン中央および載荷点断面での荷重-鉄筋ひずみ関係から読み取った値の平均値を示している。これは、変位よりも鉄筋ひずみの方がひび割れ発生や鉄筋降伏に伴う変化が敏感なためである。これらの結果より、GRC打込み型枠によるRCはりは、在来合板型枠によるRCはりに比べて同等以上の曲げ耐力を有していることが実験的に確認され、降伏および終局荷重については在来のRCはりと大差はないが、ひび割れ荷重は約7~8割程度増加しており、高い引張強度をもつGRCの補強効果がみられる。

(3) 荷重-ひずみ関係の比較

図10に、在来合板型枠および2種類のGRC打込み型枠によるRCはりについて、荷重とスパン中央断面における圧縮縁コンクリート、圧縮鉄筋および引張鉄筋ひずみの関係を示す。また、同図中には、平面保持を仮定した断面解析による計算結果を併記している。なお、解析の仮定は、次のとおりである。

- ① 平面保持を仮定する。
- ② コンクリートの引張抵抗やGRC打込み型枠の存在は無視する。
- ③ コンクリートの圧縮応力-ひずみ関係には、次式で示されるPopovics式<sup>7)</sup>を用いる。

$$\sigma / f_c = \frac{n(\epsilon / \epsilon_{co})}{n-1 + (\epsilon / \epsilon_{co})^n} \dots (1)$$

ここに、 $f_c$ : 圧縮強度、 $\epsilon_{co}$ : 圧縮強度時のひずみ、 $n$ : 実験定数。

表13 RCはりのひび割れ、降伏および終局荷重

RCはりの種類	ひび割れ荷重 (tf)	降伏荷重 (tf)	終局荷重 (tf)
在来合板型枠による	2.02 (1.0)	9.43 (1.0)	11.04 (1.0)
GRC打込み型枠 (凹凸内面) による	3.49 (1.73)	9.77 (1.04)	10.86 (0.98)
GRC打込み型枠 (金網埋込内面) による	3.77 (1.87)	10.16 (1.08)	11.66 (1.06)

\* ( ) 内の数値は、在来合板型枠によるRCはりに対する比を示す。

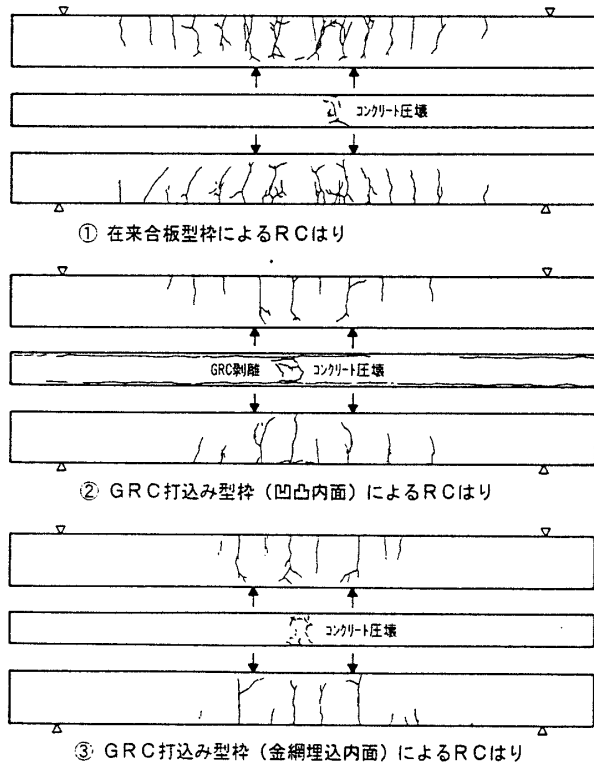


図8 RCはりの最終的ひび割れおよび破壊性状

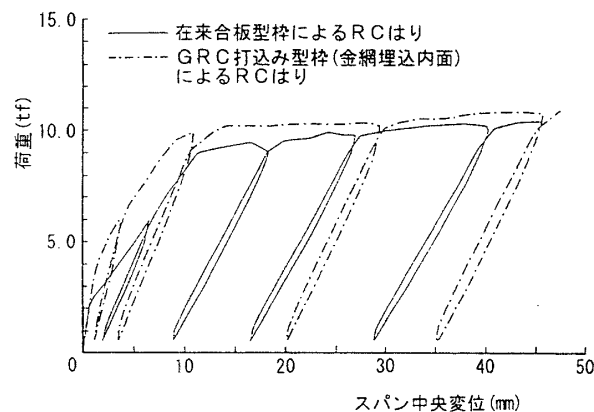
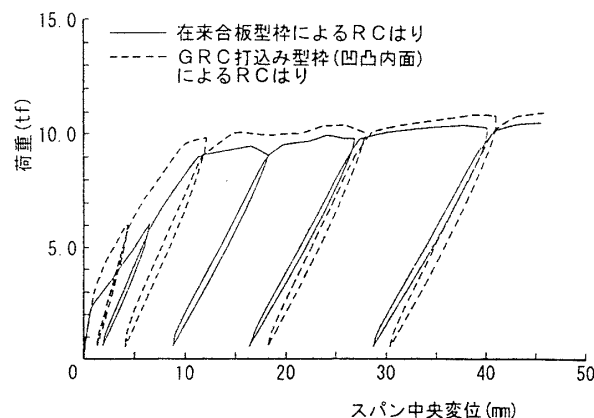


図9 RCはりの荷重-変位曲線の比較

ここで、 $f_c$ 、 $\epsilon_{c0}$ には、RCはりと同養生条件が同一の現場封緘養生の場合の測定値を用い、 $n$ 値は圧縮応力-ひずみ曲線の測定値をPopovics式に当てはめて、非線形回帰により求めた。

なお、コンクリートの圧縮応力-ひずみ関係の関数表示として、梅村による $e$ 関数が解析の簡便性のためによく利用されているが、荷重-引張鉄筋ひずみ関係はほとんど差異はないものの、荷重-圧縮縁および圧縮鉄筋ひずみ関係に多少差異がみられ、 $e$ 関数によるよりもPopovics式による方が測定値とより良い一致が得られた。

④鉄筋の応力-ひずみ関係は、完全弾塑性とし、降伏強度には測定値を用いた。

図より、在来合板型枠およびGRC打込み型枠によるRCはりの荷重-ひずみ関係は、ひび割れ発生点近傍を除いて大きな差異はなく、計算結果とも良い対応を示しており、断面内部のひずみ分布状態についても在来のRCはりに比べて、GRC打込み型枠によるRCはりにおいて特に問題となる異状は観察されなかった。

(4)同一位置の鉄筋および表面ひずみの対応

図11に、在来合板型枠および2種類のGRC打込み型

枠によるRCはりについて、スパン中央断面における同一位置の鉄筋とコンクリートあるいはGRC打込み型枠表面のひずみの対応を示す。引張側では、ひび割れ発生荷重時点まで引張鉄筋とその真上のコンクリートあるいはGRC打込み型枠表面のひずみはほぼ一致し、少なくとも在来のRCはりと同程度以上に一体性が保たれているものと考えられる。また、ひび割れ発生後は、コンクリートあるいはGRC打込み型枠にひび割れ間で除荷を生じるために、表面ひずみは急減している。一方、圧縮側では、引張鉄筋降伏荷重時点まで圧縮鉄筋とその真上のコンクリートあるいはGRC打込み型枠表面のひずみはほぼ一致し、一体性が十分に保たれている。降伏荷重以降では、圧縮鉄筋とコンクリートあるいはGRC打込み型枠表面のひずみの間にずれを生じているが、変化の傾向は概ね類似している。

以上の結果より、内部と表面のひずみ性状についても在来のRCはりと同程度以上に一体性が保たれている。降伏荷重以降で大きな差異はなく、前者と比べて後方で特に問題となる異状は観察されなかった。

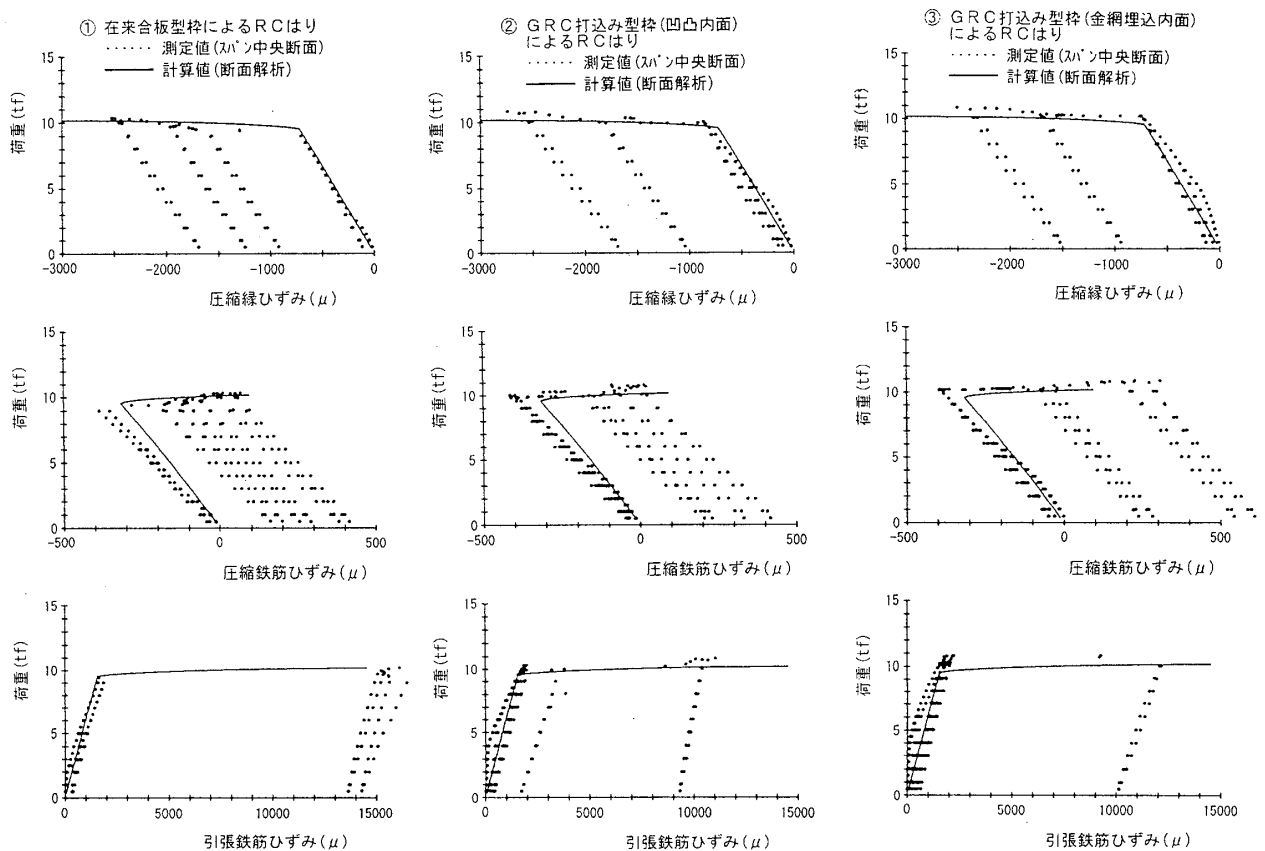


図10 RCはりの荷重-圧縮縁、圧縮鉄筋および引張鉄筋ひずみ関係

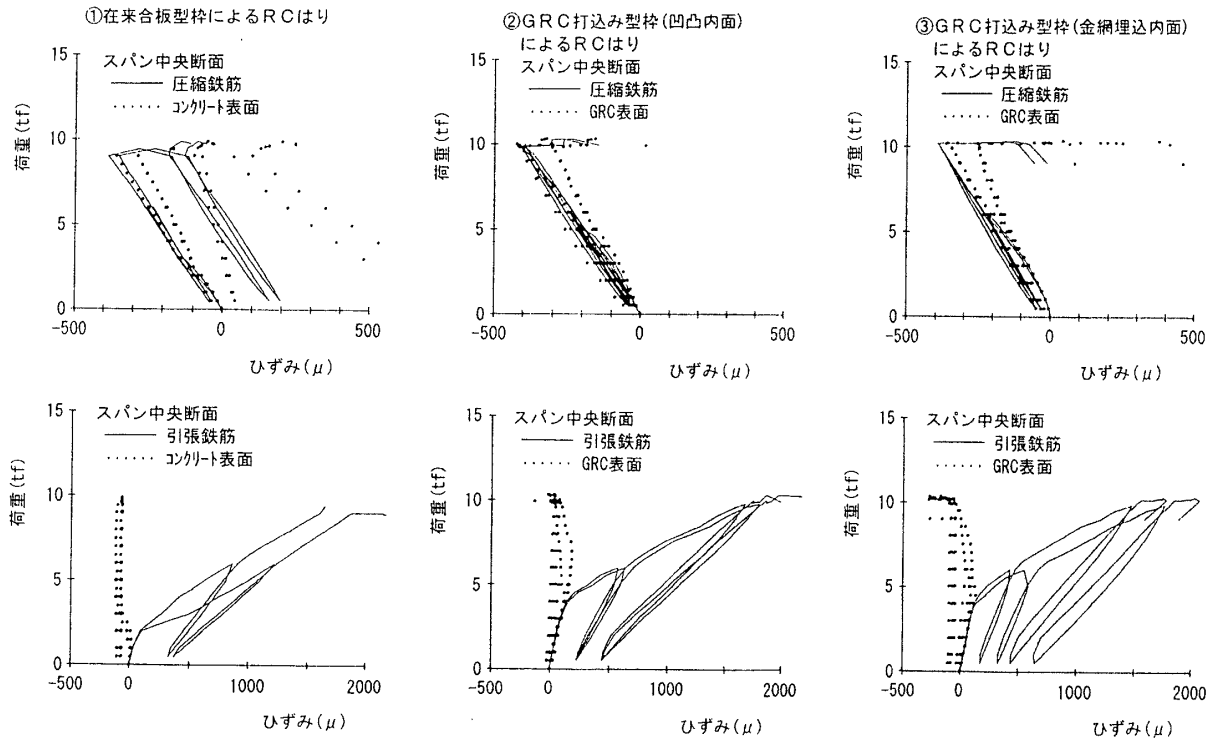


図11 RCはりの鉄筋およびコンクリートあるいはGRC打込み型枠表面のひずみの対応

#### 4. まとめ

本研究では、高強度のGRCを打込み型枠として用いた大型のRCはりの曲げ載荷試験を行い、打込み型枠に要求される構造性能のうち、型枠材を構造用寸法、すなわちかぶり厚さに含めたときに在来のRCはりと同様以上の耐力を有するかどうかについて実験的に検討した。本実験では、GRC打込み型枠として、後打ちコンクリートとの付着性能を高めるために、内面に円形の凹凸を設けたU字形一体成型型枠と、内面に凹凸の金網を半分埋め込んだU字形組立成型型枠の2種類を用いてRCはりを作製し、その曲げ性状について在来合板型枠によるRCはりと比較検討し、次のような知見を得た。

GRC打込み型枠によるRCはりは、ひび割れ、降伏および終局耐力について在来のRCはりと同様以上の耐力を有することが実験的に確認され、特にひび割れ耐力の増加に対して高い引張強度をもつGRCの補強効果が認められた。また、断面内部のひずみ分布状態や内部の鉄筋と表面のひずみの対応についても、在来のRCはりに比べて、GRC打込み型枠によるRCはりにおいて特に問題となる異状は観察されなかった。

なお、GRC型枠の引張剛性を考慮した解析などは、今後の課題としたい。

#### 謝辞

本研究は、日本GRC工業会の委託による、平成6年度GRC打込み型枠調査・研究委員会（委員長 平居孝

之）における調査・研究の一貫として行われた内容の一部を取りまとめたものであり、協力をいただきましたGRC工業会技術部会（部会長 大沼邦由氏）の会員、GRC打込み型枠調査・研究委員会の委員の皆様へ感謝の意を表します。また、本実験を行うに当たっては、熊本大学工学部技官の甲斐定夫氏をはじめ、建築材料・施工研究室の大学院生・卒論生の皆様へ多大な協力をいただきました。重ねて深謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 日本GRC工業会：GRC打込み型枠調査・研究委員会報告書，1995.6
- 2) 日本建築学会：新型枠技術の現状と課題，1993年度日本建築学会大会（関東）材料施工部門パネルディスカッション資料，1993.9
- 3) 日本建築学会，材料施工委員会，建築生産における技術に関する小委員会：施工自動化への道程，1993年度日本建築学会大会（関東）材料施工部門パネルディスカッション資料，1993.9
- 4) 徳富久二ほか：ガラス繊維補強コンクリート板を使用した打込み型枠工法の開発について，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.907-908，1991.9
- 5) 日本コンクリート工学協会：特集\*コンクリート技術の最前線，コンクリート工学，Vol.33，No.3，1995.3
- 6) 日本GRC工業会：GRCの物性と試験方法，1988.11
- 7) S.Popovics:A numerical approach to the complete stress-strain curve of concrete,Cement and Concrete Research,Vol.3, pp.583-599,1973

(1995年10月2日原稿受理，1996年4月22日採用決定)