

論文 GRC 打込み型枠を使用した梁の施工に関する考察

竹内好雄^{*1}・藤田直明^{*2}・平居孝之^{*3}

要旨：GRC 打込み型枠がコンクリート躯体の一部として断面設計に考慮されるために、部材耐力、型枠材とコンクリートとの一体性、耐火性などが検討されており、良好な結果が得られている。本報告は、実際の RC 構造物の梁に GRC 打込み型枠を使用し、フレッシュコンクリートの打設状況、GRC 打込み型枠に生じるひずみ、コンクリートの硬化後の GRC 打込み型枠との一体性を調べた。その結果、GRC 打込み型枠を適用するうえでの施工上の要点および問題点が明らかになった。

キーワード：打込み型枠、ガラス繊維、GRC、一体性、施工

1. はじめに

コンクリート躯体の断面の一部に GRC 打込み型枠を含めるため、様々な検討が行われてきた^{1),2),3),4),5),6)}。それらにより得られた、部材耐力、一体性、耐火性などの結果をもとに、実際の RC 構造物の梁に GRC 打込み型枠を適用し、コンクリートの打設状況、GRC 打込み型枠に生じるひずみ、硬化後のコンクリートと GRC 打込み型枠との一体性を調べ、施工上の要点や問題点を明らかにした。

2. GRC型枠

2.1 成形

打込み型枠に使用した GRC の調合を表1に示す。ガラス繊維は、ジルコニアを 16%以上含有した耐アルカリ性ガラス繊維で、25mm の長さのものを使用し、ウエットモルタルに対し 3 重量%添加した。成形は、オムニミキサーを

表1 GRCの調合

普通ポ ルランド セメント	珪砂 5号	マイクロ シリカ	収縮低 減剤	減水剤	水	ARG
90	100	10	1	3	30	7

ARG：耐アルカリ性ガラス繊維(長さ25mm)
単位：kg

使用したプレミックス法で行った。GRC 型枠は、成形翌日に脱型し、屋外にてシート養生を行った。

2.2 特性

打込み型枠に使用した GRC の基本物性を表2に示す。曲げ試験は、275 × 50 × 15mm に調整した 12 個の試験体に対して材令 28 日で行った。載荷は、型枠面とコテ仕上げ面から半数ずつ、スパン 225mm の二等分点載荷で、2mm/min の速度で行った。圧縮弾性率は、50 × 50 × 15mm の試験体の型枠面と研磨面にひずみゲージを貼り付け、面内方向の圧縮応力約 23.5 MPa でのひずみから求めた。

表2 GRCの基本物性

LOP	MOR	曲げ弾性率	圧縮弾性率
11.1	15.1	20	31

LOP=曲げ比例限界強度, MOR=曲げ強度

単位：LOP, MOR=MPa

単位：弾性率=GPa

2.3 形状

GRC 型枠の寸法と重量は、幅 300mm × 高さ 435mm × 長さ 2305mm、重量 100kg(44kg/m)で、

*1 日本電気硝子㈱ ARG開発室 主任(正会員)

*2 大分大学 大学院生(正会員)

*3 大分大学 工学部 福祉環境工学科 教授(正会員)

U字型をしており、その断面図を図1に示す。GRC型枠内面には、コンクリートとの接着性を上げるため、直径7mm、深さ4mmの円形凹部を、10mm間隔で設けた。そのため、最少厚さ15mm、最大厚さ19mmとした。また、下部コーナー部に補強のための面取りを施した。

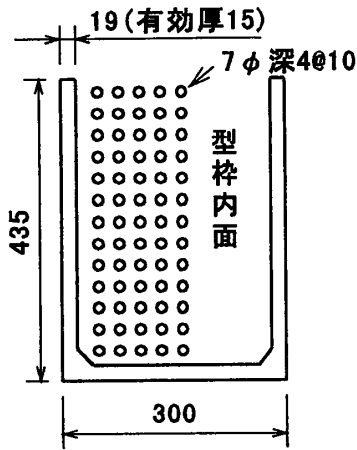


図1 GRC型枠

3. コンクリート

使用したコンクリートの調合を表3に、使用材料を表4に、基本物性を表5に示す。かぶり厚さを15mmとしたため、粗骨材の最大寸法は、コンクリートの打込み締固めが良好に行えると思われる最大のものとして15mmとした。コンクリートの強度管理用の試験体の養生は、現場水中養生とした。

表3 コンクリートの調合

呼び強度 (MPa)	スランプ (cm)	空気量 (%)	最大骨材寸法 (mm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)
24	18	4.5	15	54.0	50.8
単位量 (kg/m ³)					
水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤	
184	341	876	864	3.41	

表4 コンクリートの使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント
粗骨材	川砂利、最大骨材寸法15mm、滋賀県愛知川産
細骨材	川砂、粗粒率2.72
混和剤	A E減水剤(標準型)

表5 コンクリートの基本物性

スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	圧縮強度 (MPa)	
			材令7日	材令28日
18.0	4.7	29	24.1	31.6

4. RC梁

コンクリート躯体の平面図を図2に示す。このうち、斜線を引いたRC梁にGRC型枠を適用した。

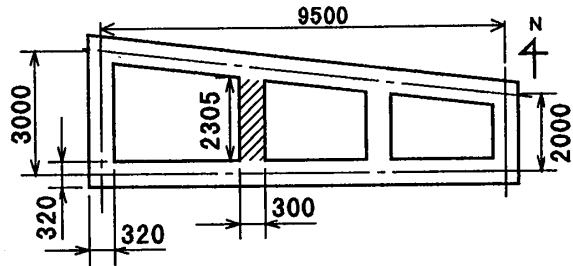


図2 RC躯体平面図

RC梁の外形寸法は、GRC型枠と同じ幅300mm×高さ435mm×長さ2305mmで、配筋は、図3に示すように上端筋：2-D16、下端筋2-D16、腹筋：2-D13、あばら筋：□ D10@200とした。かぶり厚は、あばら筋の外側とGRC型枠の内側との距離を15mmとした。上端筋と下端筋付近の側面との10カ所の測定結果は、12～19mmの範囲で、平均14.8mmであった。

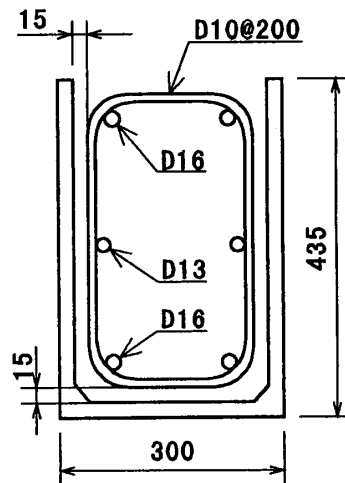


図3 RCはり配筋図

5. 施工

5.1 GRC型枠施工

GRC型枠は壁の木製型枠を組み上げてからからはめ込んだ。GRC型枠と壁の木製型枠との接合は、図4に示すように、GRC型枠にボルトで固定したU字型の木枠と壁の木製型枠とを水平に釘打ちして行った。支柱は、GRC型

枠の両端のみとし、中間に支柱は立てなかった。
また GRC 型枠上端に約 600mm 間隔で木製の
開止めを設けた。

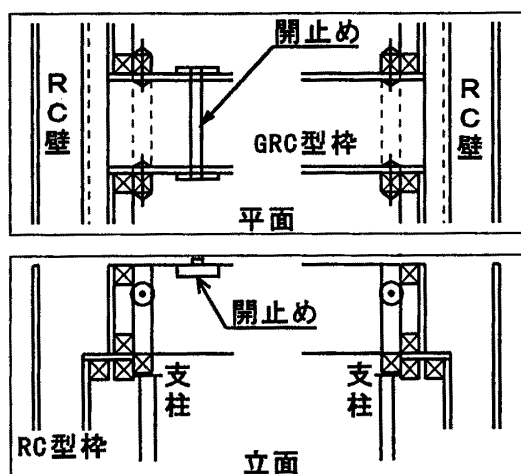


図4 型枠施工図

5.2 コンクリート打設

コンクリートの打込みは、ポンプ打により行い、締固めはコンクリート棒形振動機を用いた。打設量は、壁などを含め全体で 15.5m³ で、時間は1時間であった。

コンクリート打設前に設けた開止めは、コテ仕上げのために、コンクリート打設後約 80 分で取り外した。

5.3 測定

コンクリート打設中の GRC 型枠にかかる応力を測定するため、図5に示す位置にひずみゲージを貼り付け、梁の長さ方向の GRC 型枠のひずみを測定した。

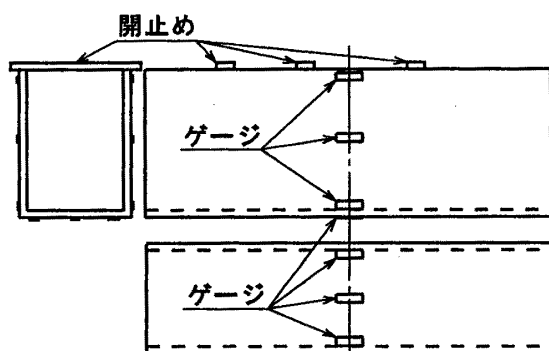


図5 ゲージ貼付位置

また、GRC 型枠とコンクリートとの接着状況を調べるため、コンクリート打設後材令 28 日で表6に示す仕様の剥離診断機により 10cm 角の範囲ごとに非破壊調査を行った。

表6 剥離診断機の仕様

適用条件：	タイル 大きさ50mm角以上、厚さ30mm以下			
	モルタル コテ仕上げ、弾性塗装の無い壁面			
	下地 RC構造			
検出深度	40mm以内			
診断目安	3色ランプ(LED)表示			
	表示色	青	黄	赤
	接着強度 (MPa)	0.4以上	0.1~0.4	0~0.1

6. 試験結果

6.1 施工

壁の木製型枠が組み上がったから GRC 型枠をはめ込んだが、簡単に設置できた。

GRC 型枠と壁の木製型枠を接合するため、今回は U 字に組んだ木枠を GRC 型枠の側面にボルトで固定し、その木枠と壁の木製型枠を水平に釘打ちした。そのため、垂直に釘を打つことのできる在来木製型枠と比較して、水平方向の固定が少し弱かったが、コンクリート打設には問題がなかった。

今回はスラブがなかったが、スラブがある場合はスラブの木製型枠と GRC 型枠との接合方法を考える必要がある。

コンクリートの打設に関して、在来木製型枠と何ら変わるところがなかった。

6.2 GRC型枠の応力

コンクリート打設中の GRC 型枠のひずみを図6, 7, 9, 10に示す。図6と7は底面のひずみを示し、図9と10は東側面のひずみを示す(西側面はあふれたコンクリートでゲージが濡れてしまい異常値が発生した)。また、図6と9は打設後 85 分までのひずみを 5 分間隔に示し、図7と10は打設から測定終了までのひずみを 30 分間隔に示す。

施工に際して、あらかじめ梁に発生する応力を計算した。コンクリート打設中に GRC 型枠

に発生する応力は、垂直荷重によるものと水平荷重によるものがある。前者は、コンクリート自重によるもので GRC 型枠の U 字断面に発生し(最大は底面)、後者は、コンクリート側圧によるもので GRC 型枠の側面に発生する。計算の際、GRC 型枠の厚さは最少厚さである 15mm とした。また、側面の計算の際、底面と開止めで囲まれる一辺支持三辺自由板での等変荷重時の平板構造解析結果が得られていないため、側圧を等変荷重と同面積を持つ等分布荷重とした。

(1)U 字断面

GRC 型枠を厚さが 15mm, スパンが 2305mm の単純ばりと考えた場合、GRC 型枠の U 字断面に発生する最大応力の計算値は 1.0 MPa で、底面に発生する。打設開始後の底面のひずみは、約 30 分から開止めを外す約 80 分まではほぼ安定しており 40 ~ 50 μ であった(図6)。曲げ試験から得られたヤング率を乗じて応力を求めると、0.8 ~ 1.0 MPa となり計算値とほぼ一致した。

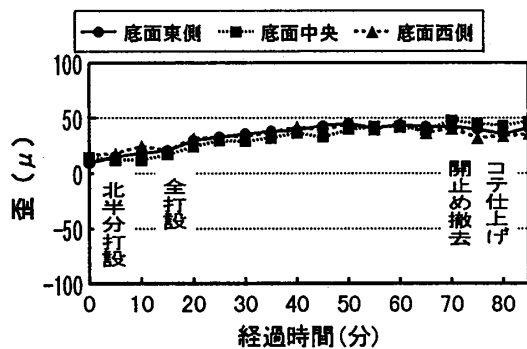


図6 GRC歪(底面, ~85分)

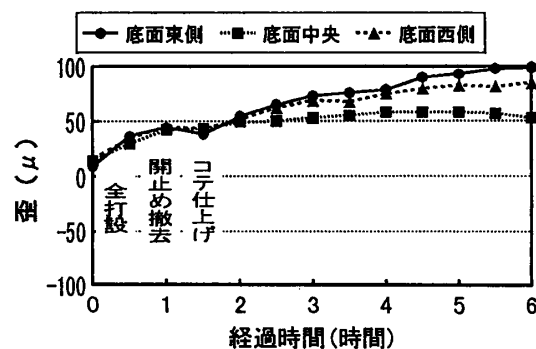


図7 GRC歪(底面, 全時間)

開止めを外した後は、時間とともにひずみが大きくなった。打設開始後 5 ~ 6 時間でほぼ安定したが、その値は 80 ~ 100 μ であった(図7)。応力に換算すると 1.6 ~ 2.0 MPa となり、計算値の約 2 倍の応力が発生した。コンクリート側圧により GRC 型枠の側面が外側に押されていることに加え、GRC 型枠の U 字断面の中立軸より上半分には、コンクリート打設中に圧縮応力が発生しているため、非常に GRC 型枠が開きやすくなっている。そのため開止めを外してから徐々に GRC 型枠が開いてしまい、圧縮側の負担応力が低下し、引張側の応力が増加したと思われる(図8)。

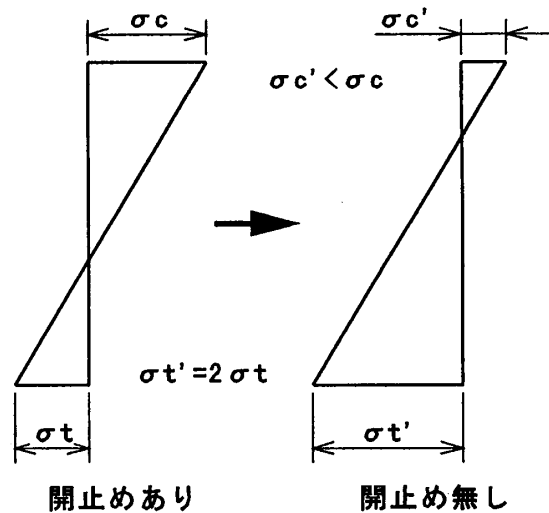


図8 応力の負担の変化

今回よりも長スパンの梁を施工する場合は、GRC 型枠を厚くするかサポートを増やす必要がある。サポートを設置する手間はほとんどかからないため、GRC 型枠を厚くせず、サポートを増やすことで対応した方がよいと思われる。

(2)側面

コンクリート側圧により 600mm 間隔の開止めに囲まれた GRC 型枠の側面に発生する最大応力の計算値は 3.6 MPa で、側面上端に梁の長さ方向に発生する。単純梁と考えた場合と同様に、測定したひずみとヤング率から応力を求めると以下ようになる。打設開始後の東側面の

応力は、約 40 分から開止めを外す約 80 分まではほぼ安定しており 0.2 ~ 0.4 MPa で、計算値よりもかなり低い値であった(図9)。開止めを外した後は、時間とともに応力が大きくなった。打設開始後 4 ~ 6 時間でほぼ安定したが、その値は側面中段で 1.6 ~ 1.8 MPa, 上段と下段で 1.0 ~ 1.2 MPa であった(図10)。

開止めを外すまでの応力が計算値より低かった原因は、1) 計算に使用した荷重を等変荷重でなく同じ面積を持つ等分布荷重としたこと(図11)、2) 点支持で考えていたところが開止めのた

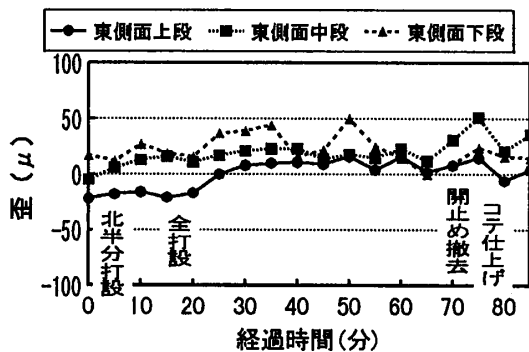


図9 GRC歪(東側面, ~85分)

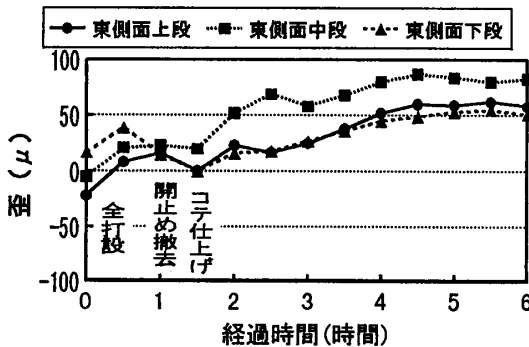


図10 GRC歪(東側面, 全時間)

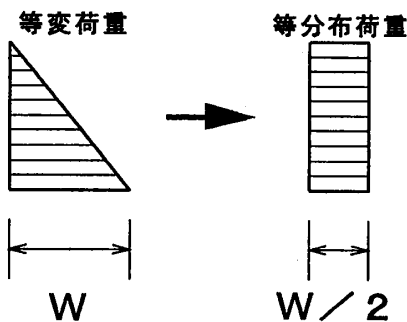


図11 計算で検討した側圧

めに辺支持に近くなり、側圧が梁の高さ方向へ多く流れたこと(図12), 3) 単純ばりとして発生する応力が側面上端では圧縮となり、側圧により発生する引張と相殺されたこと, 4) ゲージの位置が正確に開止めの中央になかったことなどが原因と考えられる(図5)。

開止めを外した後の応力の増加の原因は、スパンが 600mm から、2305mm となったことと、開止めにより梁の高さ方向へ多く流れていた側圧が、梁の長さ方向へ多く流れるようになったためと思われる。

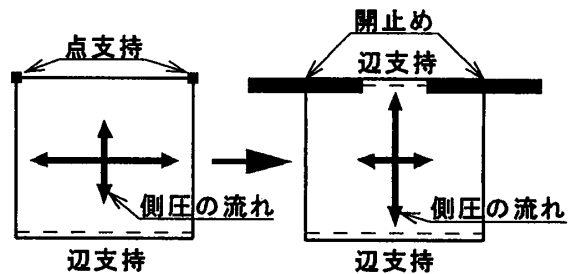
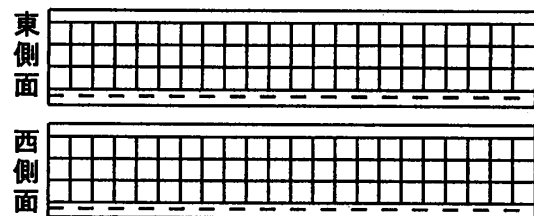


図12 側圧の流れ

6.3 GRC型枠の接着状況

コンクリート打設後材令 28 日での剥離診断機による接着状況を図13に示す。東、西の GRC 型枠の両側面とも 132 の全ての点で青の表示となり、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⁷⁾によれば、GRC 型枠とコンクリートが剥離せず良好な接着状態にあると考えられる。



- 各点の表示内容
- 青 (接着強度 0.4MPa 以上)
 - ▨ 黄 (接着強度 0.1 ~ 0.4MPa)
 - ▩ 赤 (接着強度 0.1MPa 以下)

結果
132カ所全て青の表示で
良好な接着状況を示した。

図13 GRC型枠の接着状況

開止めを外した後に応力が大きくなっていることから GRC 型枠が開いたと考えられ、コンクリートと GRC 型枠との接着が悪くなっているかとも思えたが、接着は良好であった。コンクリート打設後約 5 時間で GRC 型枠の応力の増加は収まっており、これ以降の GRC 型枠の開きは発生していなかったものと思われる。

コンクリートと GRC は調合が大きく違うため、長さ変化による剥離の可能性もあったが、材令 28 日の時点ではそれも見られなかった。すでに確認されている GRC 型枠の内面の円形凹模様の一体性への効果¹⁾²⁾³⁾が再度確認されたと思われる。次回の剥離診断試験は材令 1 年の時点で測定を行い、その後定期的に測定して行く予定である。

今回はコンクリートの最大骨材寸法を 15mm としたが、25mm の場合で、今回のような配筋でのコンクリートの充填性の確認をする必要がある。

7. まとめ

- ①コンクリート打設時に U 字型の梁型枠に発生する応力は、非常に複雑であり、正確な解析をすることは難しいが、応力が大きくなると思われる条件で計算を行った結果とほぼ同等かそれ以下の結果が得られた。
- ②材令 28 日時点における剥離診断機による接着状態の調査結果は良好であった。
- ③開止めを外してしまうと、凝結が始まっていて側圧が下がった状態でも計算以上の応力となる部位が発生する。
- ④コテ仕上げなどのために開止めを外さなくてもよいように、コンクリート中に埋め込んでしまうタイプの開止めとする必要がある。
- ⑤ GRC 型枠を簡単にセットするためには、在来の木製型枠と GRC 型枠の両方の寸法精度が重要である。
- ⑥通常は床が併設されるため、スラブの木製型枠と梁の GRC 型枠との接合方法を考

える必要がある。また、その場合はスラブの木製型枠が、開止めをかねるため、別途開止めを設ける必要はない。

- ⑦最大骨材寸法が 25mm のコンクリートで、今回のような配筋でのコンクリートの充填性を確認する必要がある。
- ⑧今回より長スパンの梁を施工する場合は、GRC 型枠を厚くするよりもサポートの数を増やした方がよいと思われる。

謝辞

本研究にご協力を頂いた日本 GRC 工業会技術部会(部会長：松本行夫氏)および鹿島建設株式会社の関係各位に感謝の意を表します。

「参考文献」

- 1)前田孝一ほか：GRC 打込み型枠に関する研究(1)接着試験と曲げ試験，日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)，A-1，pp.529-530，1996.9
- 2)何仕栄ほか：GRC 打込み型枠に関する研究(2)接合面の応力伝達機構，日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)，pp.531-532，1996.9
- 3)平居孝之ほか：GRC 打込み型枠に関する研究(3)圧縮における接合面の性能評価，日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)，pp.533-534，1996.9
- 4)徳富久二ほか：GRC 打込み型枠に関する研究(4)模型部材実験，日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)，pp.535-536，1996.9
- 5)村上聖ほか：GRC 打込み型枠に関する研究(5)部材構造試験，日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)，pp.537-538，1996.9
- 6)藤田直明ほか：GRC 打込み型枠に関する研究(6)耐火試験，日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)，pp.539-540，1996.9
- 7)村上聖ほか：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，日本建築学会構造系論文集，pp.29-36，1997.4