

GRC打込み型枠研究委員会

報 告 書

平成11年3月

日本GRC工業会

G R C打込み型枠研究委員会 報告書

目 次

1.	序	
	研究の目的、経過、組織	1
2.	耐火性能試験	
	2. 1 G R C型枠の構成と表面形状に関する検討	3
	2. 2 試験体作成方法	6
	2. 3 試験方法および試験結果	8
	2. 4 まとめ	10
3.	G R Cの中性化抑制効果	
	3. 1 はじめに	11
	3. 2 実験計画	11
	3. 3 実験結果と検討	13
	3. 4 結論	15
4.	施工試験	
	4. 1 G R C打込み型枠	16
	4. 2 コンクリート	17
	4. 3 R C梁	17
	4. 4 施工	18
	4. 5 試験結果	20
	4. 6 まとめ	26
5.	結 論	27

1. 序

GRCが建設材料として使われるようになってから四半世紀になり、今日では建築物の内装と外装に、また景観材料として広く使われている。GRCの類い希な意匠性と防火性が評価されたからである。その一方で、優れた強度と靱性および中性化抑制効果は誰もが注目しているが、これらの長所を生かした製品はできていない。

GRCの用途として建築構造部材の打込み型枠が有望であるとの方針から、平成5年7月に日本GRC工業界のなかにGRC打込み型枠調査・研究委員会が設置になり、GRC打込み型枠の研究開発がスタートした。

当初、GRC打込み型枠と打設されたコンクリートの一体性を十分に確保できる方法を見つけることに力が注がれ、円形凹み付き内面形状と金網埋設内面形状のGRC打ち込み型枠が開発された。これら2種類の内面形状をしたGRC打込み型枠を用いた鉄筋コンクリートの実大はり試験体を作成し、その構造性能が同じ断面寸法で同じ配筋の在来鉄筋コンクリートはりと同様であることが明らかにされた。以上のことは、平成7年3月に上梓されたGRC打込み型枠調査・研究委員会報告書にまとめられている。

GRC打込み型枠の実用化のためには、さらにGRC打込み型枠を用いた鉄筋コンクリート部材の耐火性と中性化速度を試験により明らかにし、型枠相互の収まりや支保工について実構造物に現場施工して確かめることが必要である。これらの性能について下記の委員会のもとで研究が実施されており、このたびその成果を本報告書にまとめることとなった。

G R C 打込み型枠研究委員会

委員長	平居 孝之	(大分大学 教授)
委員	依田 彰彦	(足利工業大学 教授)
委員	村上 聖	(熊本大学 助教授)
委員	松本 行夫	(太平洋セメント 部長)
委員	藤田 直明	(旭硝子 主席技師)
委員	伊藤 哲郎	(セントラル硝子 課長)
委員	石井 卓郎	(日本板硝子 主席技師)
委員	藤井 洋	(日本電気硝子 担当部長)
委員	竹内 ^好 芳雄	(日本電気硝子 担当主任)
事務局	三嶋 清敬	(日本G R C工業会 事務局長)

2.耐火試験

2.1 GRC型枠の構成と表面形状に関する検討

2.1.1 耐火時の接合面に生じる応力の数値解析

GRCを打込み型枠に用いたRCはりには、耐火時の内部の温度分布、および材料の熱膨張係数と弾性係数が変化するため、GRC打込み型枠とコンクリートを剥離させるような応力が両者の接合面に発生する。ここではその応力を3次元有限要素法による数値計算で検討した。

図-1に示すようなGRCを打込み型枠に用いたRCはりにおいて、左右対称から太い線で囲った部分を解析の対象とし、20節点6面体アイソパラメトリック要素を用いて図-2のような要素数330、接点数1818のモデルを設定した。XZ面上のコノ字型の黒い幅のある線がスターラップで、Y軸に並行な2本の太い黒線が主筋であり、XY平面とYZ平面にある灰色の板状部分がGRC打込み型枠であり、その他の部分がコンクリートである。

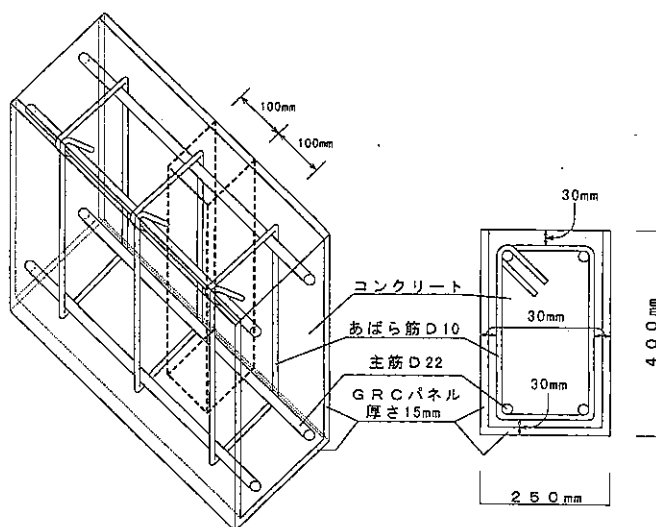


図-1 GRC打込み型枠使用鉄筋コンクリートはり構造図

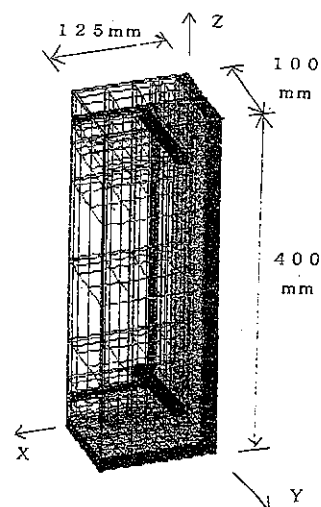


図-2 有限要素モデル

JIS A 1304 建築構造部分の耐火試験方法に基づく加熱温度曲線で加熱した時の40分経過時、80分経過時、120分経過時の各部分の温度とヤング率と線膨張量を、資料^{1~4)}を参考にして表-1のように仮定した。

加熱前の 20℃ から加熱後に RC はりの内部が表 1 の状態になった時の GRC 打込み型枠とコンクリートの接合面に生じる温度応力を計算した。なお、加熱時間が経過すると、塑性変形や局所的な損傷が起こると考えられるが、これらは考慮せず設定された温度ごとに線形弾性を仮定した。GRC 打込み型枠とコンクリートの接合面に生じる応力の計算結果が最大になるのは、スターラップに最も近い位置、すなわち、図 2 における $X=15\text{mm}$ 、 $Y=0\text{mm}$ の位置である。図 3 と図 4 はこの位置の接合面での垂直応力度 σ_x とせん断応力度 τ_{xz} の計算結果を示している。

表 1 はりの構成材料の物性値の加熱時の経時変化

	加熱表面からの距離 mm	温度 °C	コンクリート		主筋		スターラップ		GRC	
			E	Φ	E	Φ	E	Φ	E	Φ
加熱前	全域	20	2.20	0.0000	21.0	0.0000	21.0	0.0000	2.50	0.0000
40分経過時	90~125	50	2.11	0.0002	-	-	-	-	-	-
	60~90	120	1.91	0.0007	-	-	-	-	-	-
	40~60	230	1.65	0.0017	19.5	0.0023	-	-	-	-
	30~40	320	1.47	0.0029	-	-	18.4	0.0035	-	-
	15~30	430	1.30	0.0047	-	-	-	-	-	-
0~15	610	-	-	-	-	-	-	1.18	0.0084	
80分経過時	90~125	190	1.74	0.0013	-	-	-	-	-	-
	60~90	290	1.54	0.0024	-	-	-	-	-	-
	40~60	430	1.30	0.0047	16.6	0.0051	-	-	-	-
	30~40	540	1.12	0.0069	-	-	12.8	0.0074	-	-
	15~30	650	0.97	0.0095	-	-	-	-	-	-
0~15	790	-	-	-	-	-	-	0.93	0.0135	
120分経過時	90~125	260	1.61	0.0020	-	-	-	-	-	-
	60~90	370	1.39	0.0036	-	-	-	-	-	-
	40~60	490	1.21	0.0058	14.9	0.0061	-	-	-	-
	30~40	590	1.06	0.0080	-	-	9.9	0.0078	-	-
	15~30	680	0.92	0.0103	-	-	-	-	-	-
0~15	800	-	-	-	-	-	-	0.90	0.0137	

E:ヤング率 $\times 10^6 \text{kgf/cm}^2$ Φ : 温度上昇による線膨張係数
 ボアコン比はそれぞれの温度においてもコンクリート 0.2、GRC 打込み型枠 0.2、鉄筋 0.3 と設定。

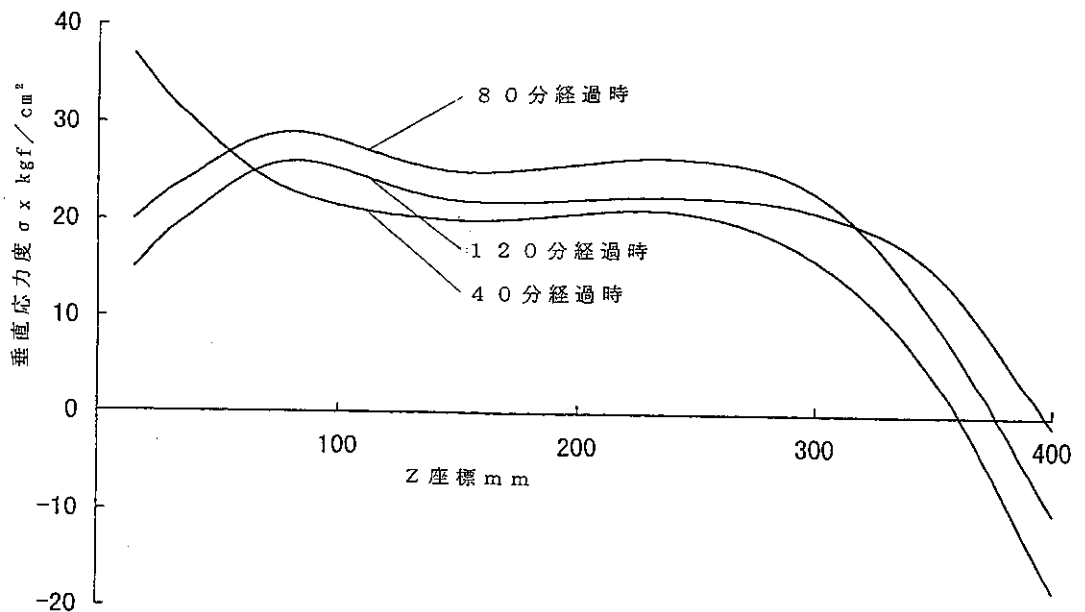
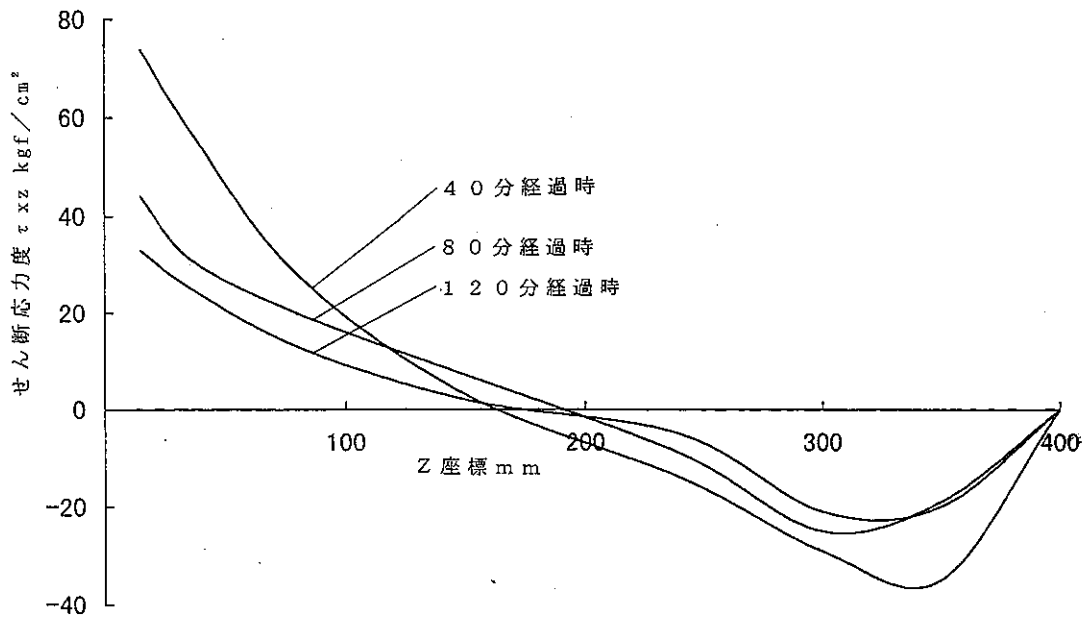


図 3 GRC とコンクリートの接合面の垂直応力度



図一4 GRCとコンクリート接合面のせん断応力度

図一3、図一4に示すように、加熱時間が長くなるにつれて温度応力が大きくなるのではなく、40分加熱で既に80分加熱や120分加熱のときと似た大きさの温度応力が生じている。図一3と図一4のようにGRC打込み型枠とコンクリートの接合面に部分的に最大で約40kgf/cm²の引張応力度と約80kgf/cm²のせん断応力度が生じる。これらの最大応力度が生じる箇所は、図一3、4のZ座標が小さい所すなわちGRC打込み型枠の底板と側板の境目の近傍である。

2.1.2 GRC打込み型枠の構成

2.1.1の数値解析によると、GRC打込み型枠の側板と底板の継ぎ目の近傍で大きな応力が生じていると考えられる。従ってGRC打込み型枠を別々に成形して組み立てるのではなく、側板と底板を連続した構成とした。

2.1.3 GRCとコンクリートの接合面の検討

GRC打込み型枠の表面形状を変えた場合のコンクリートとの接合面の研究は先に行われ^{5, 6)}、気泡シートで円形の窪みのエンボスを付けた表面形状と、亜鉛引き亀甲金網を半分埋設した表面形状の接合性能が良好であることが報告されているので、GRCの打込み型枠にはこれらを採用した。

なお、これらの表面形状のGRC打込み型枠とコンクリートの接合性能は、引張強度が20kgf/cm²程度、見かけのせん断強度が50kgf/cm²程度と考えられ、

2.1.1 の数値解析の結果と比較すると少し下回っているので、耐火試験のときに GRC 打込み型枠とコンクリートの接合面に部分的な剥離などの損傷が生じると考えられる。

2.2 試験体作成

2.2.1 試験体作成方法

GRC 打込み型枠は、表一 2 に示す調合を用い、プレミックス成形法で作成した。エンボス付き GRC 打込み型枠は、気泡シート（市販品 エアセル）を成形用金型の内面に両面テープで接着し、プレミックス GRC を打設した。GRC の硬化後シートを剥がし、GRC 打込み型枠内面に、直径 10mm、深さ 4mm の円形凹みを 14mm 間隔で設けた。金網埋設 GRC 打込み型枠は、底板と側板を蝶番でつないだ型を広げ、プレミックス GRC を所定厚の半分まで打設した後、線径 1.6mm、網目 26×38mm の亜鉛引き亀甲金網を 30×30mm の角材で 60mm ピッチの凹凸状に型押ししたものを乗せ、残りのプレミックス GRC を打設した。GRC が半硬化状態の際に、蝶番から折り曲げ、底面と側面の GRC は連続した構成で成形した。鉄筋は、主筋が SD 295 D 22 を、試験体上下左右位置に計 4 本、スターラップ筋は SD 295 D 10 を 200mm ピッチで配筋した。鉄筋には、測定用の熱電対を予め張り付けた。GRC 打込み型枠に配筋した後、表一 3 に示す調合のコンクリートを打設した。在来 RC はりの場合は、外形寸法が同じになるように合板型枠を作成し、同様に配筋しコンクリートを打設し、材令 28 日で合板型枠をはずした。約 2 ヶ月間室内養生した後、耐火試験の前に 60℃ で恒常質量になるまで乾燥した。RC はりの上部に取り養生した。なお、耐火試験時にスラブを想定した厚さ 120mm の RC 板をつけた。

表一 2 GRC 調合

使用原材料	重量比
普通ポルトランドセメント	32.0
珪砂	61.0
マイクロシリカ	2.0
減水剤	1.5
耐アルカリ硝子繊維	3.5
水量	14.5

表一 3 コンクリート調合

使用原料	重量	物性値	
普通ポルトランドセメント	290kg/cm ³	スラブ	15cm
細骨材	844	空気量	4%
粗骨材	1018	圧縮強度	210kg/cm ²
混和剤	3.07		
単位水量	167		

2.2.2 試験体構造および测温位置

エンボス付きGRC打込み型枠RCはり、金網埋設GRC打込み型枠RCはり、在来RCはりの鉄筋部の測温位置を示す。小口断面図をそれぞれ図-5, 6, 7に、また、3試験体の側面から見た共通断面図を図-8に示す。図-5~7において、1~14, 1'~14', a, a', bの記号は主筋もしくはあばら筋に取付けられた熱電対位置を示す。

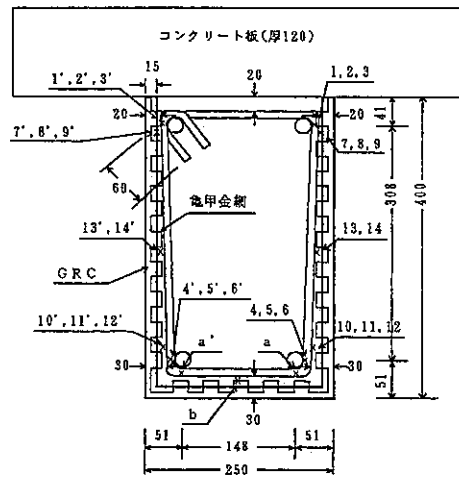


図-6 亀甲金網試験体小口断面図

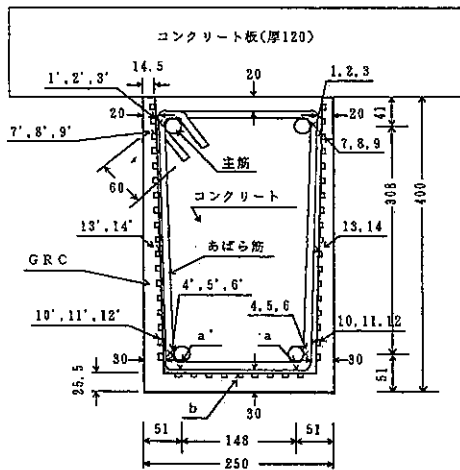


図-5 エアセル試験体小口断面図

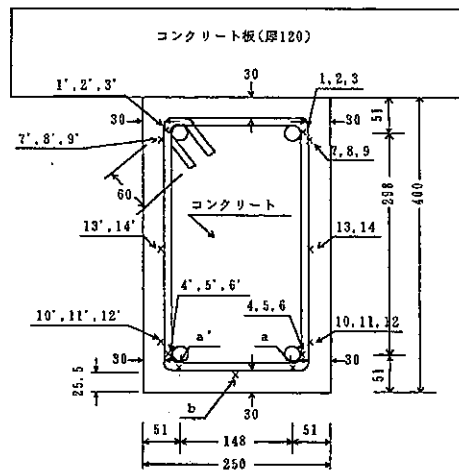


図-7 コンクリート試験体小口断面図

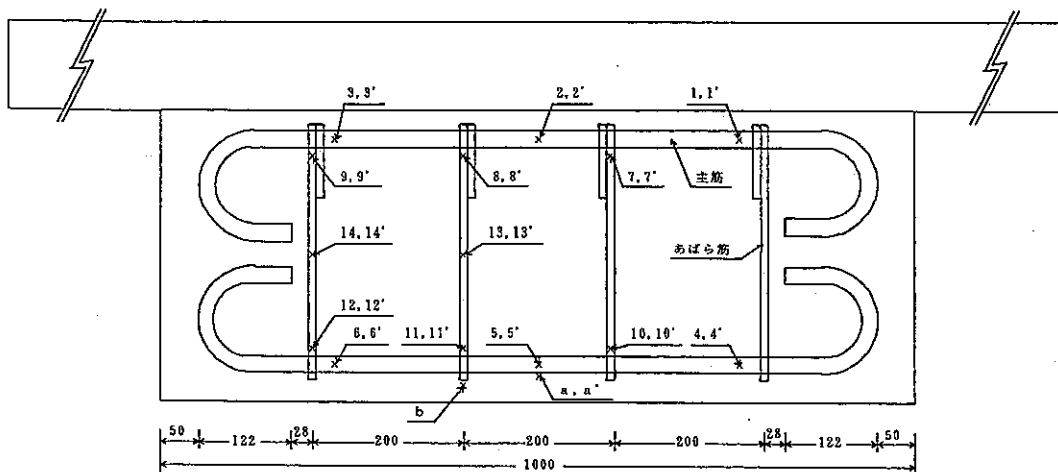


図-8 試験体共通断面図

2.3 試験方法および試験結果

2.3.1 試験方法

耐火試験は、JIS A 1304 建築構造物の耐火試験方法の「はり」の2時間耐火試験方法に準拠して行った。実際に使用した試験炉は、下方と左右側面からプロパンガスバーナーにてRCはりを加熱した。加熱は、JIS A 1304 に示す標準加熱曲線に沿って2時間加熱し、加熱中および加熱後の鉄筋の温度を測定した。また、加熱が終了し、鉄筋の温度が低下したことを確認してからRCはりを炉から取り出し、GRC打込み型枠とコンクリート界面の付着状況について調べるなど外観の目視検査を行った。

2.3.2 試験結果

(1) 加熱後の試験体の外観検査結果

加熱終了後、RCはりを加熱炉から取り出し、中央部から切断し、GRC打込み型枠とコンクリートの接合面の状態を調べるため写真撮影した。その結果を図-9に示す。

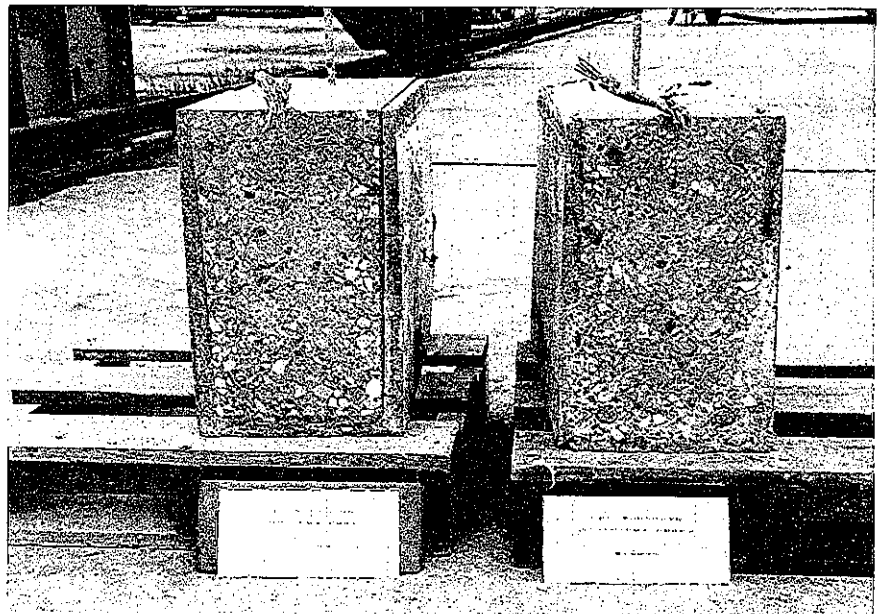


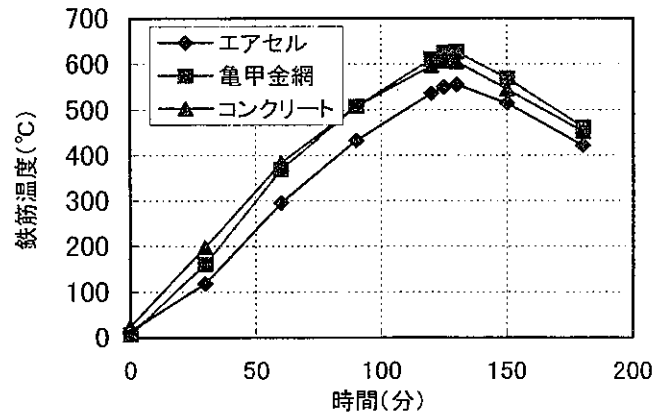
図-9 加熱試験後の試験体切断断面向かって左側が、エアセル試験体
右側が亀甲金網試験体

図-9 から、エンボス付きGRC打込み型枠は、コンクリートとの接合面に若干の剥離が見られるが、金網埋設GRC打込み型枠はコンクリートとの接合面に何らの剥離も見られない。

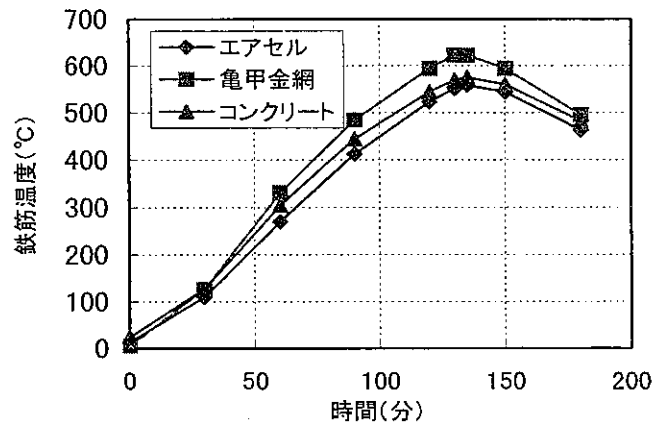
(2) 鉄筋各部の測温

結果

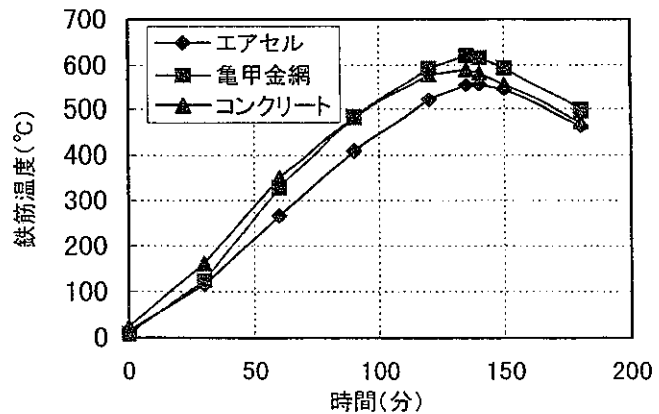
鉄筋温度の測温結果を図一10～12に示す。いずれのRCはりも鉄筋の温度が急激に上昇するような現象はない。RCはりの種類と鉄筋位置により差はあるが、概ね加熱開始から125～140分すなわち2時間耐火の加熱終了直後に、最大の温度になった。金網埋設GRC打込型枠RCはりとは在来RCはりと同様な鉄筋の昇温傾向を示した。一方、エンボス付きGRC打込み型枠RCはりとは他のRCはりとは比べて鉄筋の温度が若干低く、その理由は円形くぼみに残った空気やコンクリートとGRC打込み型枠の接合面に生じた部分的な剥離箇所の空気の断熱効果と思われる。なお、測定された鉄筋の温度は、表一1で文献を元に設定した加熱時の温度と似た傾向



図一10 はり下・側面かぶり30mm



図一11 はり下・側面かぶり40mm



図一12 はり下・底面かぶり40mm

を示している。

2.4 まとめ

GRC打込み型枠を使用したRCはりの耐火時のGRC打込み型枠とコンクリートの接合面に生ずる応力を調べた。その結果から、耐火性を向上するためにGRC打込み型枠は、底板と側板が連続した構成で、コンクリートとの接合面に接合性能の高いエンボス付きまたは金網埋設表面形状とした。これらのGRC打込み型枠を用いたRCはりと在来RCはりの耐火試験を行った。金網埋設GRC打込み型枠RCはりはコンクリートとの接合性に優れ、接合面の剥離は起こらず、鉄筋の温度上昇も在来RCはりと同様な傾向を示した。エンボス付きGRC打込み型枠RCはりはコンクリートとの接合面に部分的な剥離が生じ、剥離部分の空気層の断熱効果で在来RCはりと比べて鉄筋の温度上昇は低い傾向を示した。以上から、コンクリートとの接合性に優れたGRC打込み型枠を使用したRCはりは、GRC打込み型枠の部分がコンクリートである同じ断面寸法の在来RCはりと、同等の耐火性があると考えられた。

参考文献

- 1) 浜田稔ほか：建築学大系 21 建築防火論，彰国社，pp.202-230,1970
- 2) 原田有：建築耐火工法，工業調査会，pp23-29,pp64-66,1973
- 3) 日本建築学会：構造用教材，日本建築学会，p39，1995
- 4) 岸谷孝一ほか：GRCの物性と試験方法，日本GRC工業会 pp70-73,pp109-112,1988
- 5) 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，日本建築学会学術講演梗概集 pp.529-530，1996
- 6) 平居孝之ほか：GRC打込み型枠とコンクリート接合面における応力伝達に関する基礎的考察，日本建築学会構造系論文集，第485号，pp.17-24，July，1996

3. GRCの中性化抑制効果

3.1. はじめに

GRCの中性化抑制効果の程度を知ることを目的として日本GRC工業会に於いて作製したGRC(溝形、厚さ15mm)を永久的せき板とし、設計基準強度 $22.5\text{N/mm}^2\{225\text{kgf/cm}^2\}$ の普通コンクリートを躯体コンクリートとした場合の中性化速度をはじめ、コンクリート中に埋め込んだ磨き鉄筋の発錆等について実験研究した。

3.2. 実験計画

3.2.1 躯体コンクリート

設計基準強度(F_c) 22.5N/mm^2 、スランプ18cm、空気量4.5%を目標としてH社製の普通ポルトランドセメント、鬼怒川産の骨材、主成分がリグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体のPOz社製のAE減水剤標準形、足利工大の上水道水を用い、関連するJISの方法等によって1996年10月28日(月)に練り混ぜ・打込み・締固めた(なお、ミキサは容量100ℓの強制攪拌を使用した)。表1~4に使用した材料の品質を示す。なお、これらの品質はJASS 5の品質規定値³⁾を満足している。

表1 使用セメントの品質

ig.loss	insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
0.7%	0.1%	21.7%	5.2%	3.1%	64.7%	1.5%	2.0%
密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)	凝結(h-m)		安定性	圧縮強さ(N/mm ²)		
		始発	終結		3d	7d	28d
3.16	3410	2-22	3-27	良	16.8	25.9	41.6

表2 使用骨材の品質

種類	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	粘土塊量 (%)	洗い損出量 (%)	有機不純物	最大寸法 又は粗粒率
砂利	2.56	1.5	0.04	-	-	25mm
砂	2.54	1.6	0.54	0.64	うすい	2.8

表3 使用水の品質

色度	濁度	水素イオン 濃度	蒸発残留物	塩化物イオン	過マンガン酸 カリウム消費量
5度以下	2度以下	6.4	200mg/ℓ	10.6mg/ℓ	0.3mg/ℓ

表4 使用磨き鉄筋の品質

記号	呼び径	降伏点	最大	伸び	破断位置
SR295	13φ	373N/mm ²	576N/mm ²	13.3%	B

3.2.2 供試体

20×20×30cmの梁型(コア採取して中性化深さ・鉄筋の発錆や圧縮強度等の測定用)及び直径10cm高さ20cmの円柱(20℃水中養生した場合の圧縮強度等の測定用)ならびに10×10×40cmの角柱(JISによる長さ変化率とASTMによる凍結融解作用に対する抵抗性(耐久性指数)の測定用)。

3. 2. 3 GRC打込み型枠の作製方法と梁型供試体の詳細

図1～3に示す通りエアセルエンボス付きGRC打込み型枠及び亀甲金鋼GRC打込み型枠ともに表5に示す調合でプレミックス成形法にて作製した。GRC供試体は打込み後一次養生として40℃×6時間の蒸気養生を施してから脱型し、さらに二次養生として1ヶ月間、室内に放置した。

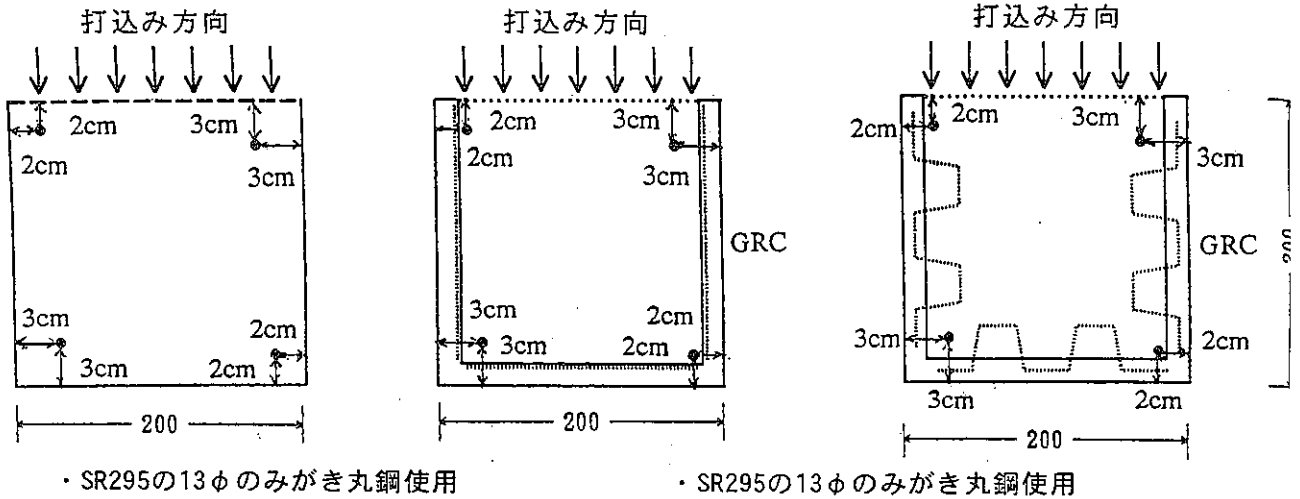


図1 打放し供試体の断面

図2 エアセル供試体の断面

図3 亀甲金網供試体の断面

(単位mm)

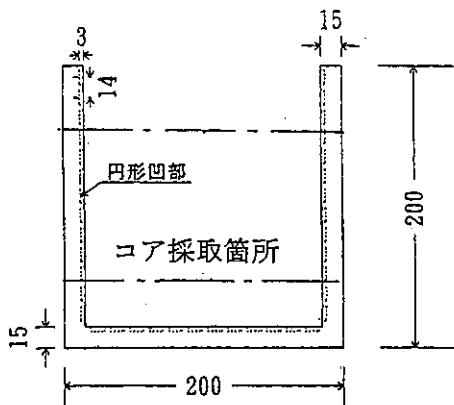


図2' エアセル供試体の断面

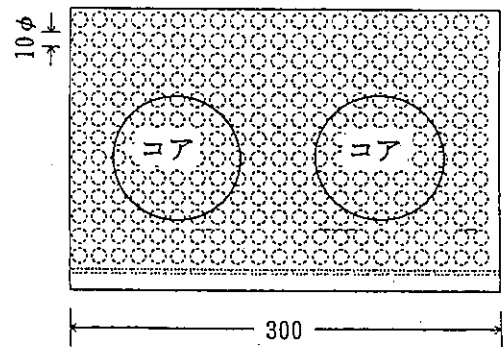


図2'' エアセル供試体の断面

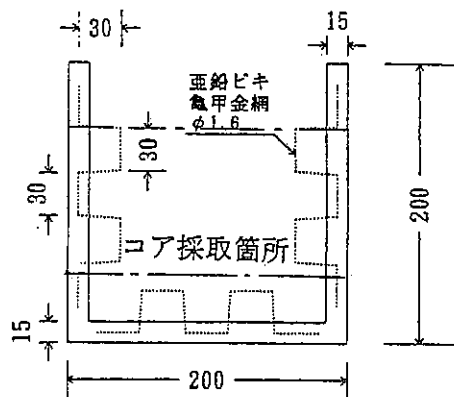


図3' 亀甲金網供試体の断面

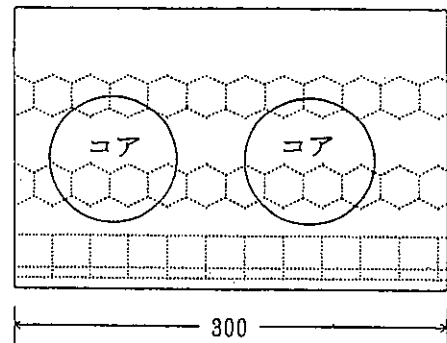


図3'' 亀甲金網供試体の断面

2.4 梁型供試体の初期養生法と強制劣化及び自然暴露の方法
 脱型後 5 日間 20 °C 水中養生・21 日間 20 °C・80 % 室に放置した後、供試体を 3 グループに分けた。強制劣化は温度 30 °C・湿度 60 %・CO₂ 濃度 10 % の槽(足利工大、写真 1)へ入れた。自然暴露は一般地域として(社)セメント協会・研究所(東京都北区、写真 2)、海岸近接地域として第一セメント(株)川崎工場(神奈川県川崎市、写真 3)へ放置した。

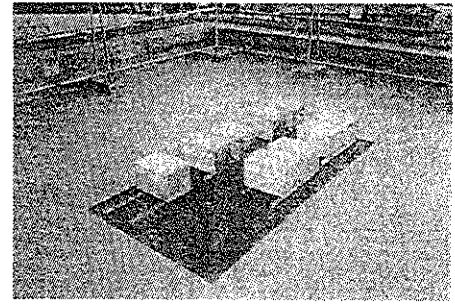


写真 2

表 5 GRC 型枠の調合

使用材料	質量比	
セメント	普通ポルトランドセメント	90
骨材	けい砂 5 号	100
混和材	シリカフェーム	10
混和剤	高性能減水剤	3.5
繊維	耐アルカリ性ガラス、 繊維長 13mm	7
練混ぜ水	上水道水	30

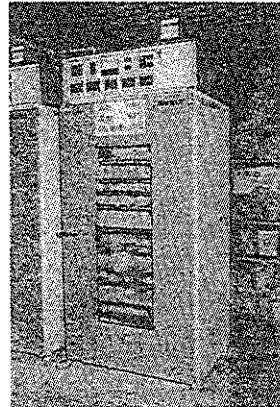


写真 1

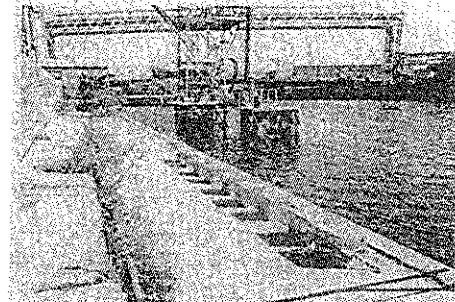


写真 3

3.3. 実験結果と検討

10 年間にわたる実験研究のうち、現在まで得られている実験結果を表 6～10 に示す。標準養生した円柱供試体の材齢 28 日のヤング係数は 28kN/mm²、ポアソン比は 0.16 である。

表 6 実験結果 (その 1)

水セメント比 (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	単位水量 (kg/m ³)	細骨材率 (%)	砂利のかさ容積 (m ³ /m ³)	ワーカビリティ	最終ブリーディング量 ⁽¹⁾ (cc/cm ³)
63	20.0	4.0	173	44.0	0.61	良	0.38

[注]⁽¹⁾ JASS 5 の目標値は 0.5cm³/cm³ 以下。

表 7 実験結果 (その 2)

乾燥収縮率 ⁽²⁾ (× 10 ⁻⁴)	質量減少率 (%)	耐久性指数 ⁽³⁾ (%)	20 °C 水中養生した円柱の圧縮強度 (N/mm ²)							
			材齢 (日)							
6 ヶ月間	6 ヶ月間	300 サイクル	7	28	91	365	3 年	5 年	7 年	10 年
6.0	3.1	94	16.4	22.5	30.0	31.9				

[注]⁽²⁾ JASS 5 の目標値は 8.0 × 10⁻⁴ 以下。⁽³⁾ JASS 5 の目標値は 70 % 以上。空欄は材齢未到達。

表 8 実験結果 (その 3)

	種類	初期値					温度 30 °C・湿度 60 %・CO ₂ 濃度 10 % の槽 ¹⁾									
		材齢 28 日					3 ヶ月間 ^{*1}					6 ヶ月間 ^{*2}				
		F	E	ν	D	R	F	E	ν	D	R	F	E	ν	D	R
強制劣化槽	炭打放し	26.4	30	0.16	0	なし	30.4	31	0.15	14.3	若干	32.4	31	0.15	16.7	若干
	GRC	29.1	31	0.17	0	なし	33.8	32	0.16	0	なし	36.1	32	0.17	0	なし
	エアセル				0					0					0	
	GRC	29.1	31	0.17	0	なし	33.5	32	0.16	0	なし	35.7	32	0.17	0	なし
	槽 亀甲金網				0					0					0	

[注] *1 屋外自然暴露の 20 年に相当する。 *2 同 40 年。 表中の記号は表 10 の脚注参照。

表9 実験結果(その4)

	種類	温度 30℃・湿度 60%・CO ₂ 濃度 10% の槽																
		1年間*3						2年間*4										
		F	E	ν	D	R				F	E	ν	D	R				
						上端		下端						上端		下端		
2cm	3cm					2cm	3cm	2cm	3cm					2cm	3cm			
強制劣化	炭酸ガス層	打放し	34.2	32	0.16	18.5	兆し	なし	兆し	なし	34.5	31	0.17	23.0	若干	若干	兆し	兆し
		GRC	36.3	33	0.18	0	なし	なし	なし	なし	36.9	30	0.18	0	なし	なし	なし	なし
		エアセル				0								0				
		GRC	35.9	33	0.18	0	なし	なし	なし	なし	36.4	30	0.19	0	なし	なし	なし	なし
	亀甲金網				0								0					

[注] *3 屋外自然暴露の80年に相当する。 *4 同100年。 表中の記号は材齢未到達。

表10 実験結果(その5)

	種類	屋外自然暴露																					
		初期値					材齢1年				材齢5年				材齢10年								
		材齢28日					F	E	ν	D	R	F	E	ν	D	R	F	E	ν	D	R		
屋外自然暴露	一般地域	打放し	26.4	30	0.16	0	なし	37.5	31	0.18	1.3	なし											
		GRC	29.1	31	0.17	0	なし	40.1	34	0.18	0	なし											
		エアセル				0																	
		GRC	29.1	31	0.17	0	なし	39.9	34	0.18	0	なし											
海岸近接地域	一般地域	打放し	26.4	30	0.16	0	なし	35.9	31	0.17	1.4	なし											
		GRC	29.1	31	0.17	0	なし	39.5	33	0.18	0	なし											
		エアセル				0																	
		GRC	29.1	31	0.17	0	なし	39.2	33	0.18	0	なし											
	亀甲金網				0																		

[注] 空欄は材齢未到達。なお、表中の記号の意味は次の通り。
 F: 圧縮強度(N/mm²) E: ヤング係数(×10⁴kN/mm²) ν: ポアソン比
 D: 中性化深さ(mm) なお、表3~5のD欄が2段になっているが、上段がGRC部分、
 下段が下地の躯体コンクリート、それぞれの中性化深さ
 R: 躯体コンクリート中の鉄筋の発錆状況

- (1) 打込んだ躯体コンクリートのワーカビリティは目視だが良好と判断した。また、最終ブリーディング量、6ヶ月間の乾燥収縮率及び耐久性指数はJASS 5の目標値⁹を満足している(表7)。
- (2) 打放し、GRCエアセル、GRC亀甲金網の各コンクリートの初期値(圧縮強度)は、標準養生より17~29%程度大きい。
 初期値として圧縮強度の他にヤング係数、ポアソン比、中性化深さならびに鉄筋の発錆を試験した(表8、表10)。
- (3) 強制劣化した各コンクリートの圧縮強度は、期間が長くなるほど多少であるが大きくなっている。特に打放しに対してGRCエアセル、GRC亀甲金網とも多少大きい。ヤング係数、ポアソン比は圧縮強度の傾向と似ている。
- (4) 強制劣化した各コンクリートの中性化深さは打放しコンクリートは3ヶ月間(屋外自然暴露20年相当)で14.3mm、6ヶ月間(40相当)で16.7mm、1年間(80年相当)で18.5mm、2年間(100年相当)で23.0mmであった。それに対してGRCエアセル、GRC亀甲金網とも0(ゼロ)であった。いいかえるとGRCは躯体コンクリートの中性化を十分抑制できる。
- (5) 強制劣化した各コンクリート中の鉄筋の発錆は打放しコンクリートの上端筋と下端筋の下側に兆候が見られた。
- (6) 屋外自然暴露は現在までの結果のみであるが初期値に対して圧縮強度は大きい。打放しに

対してGRCエアセル、GRC亀甲金網とも多少大きい。ヤング係数、ポアソン比は圧縮強度の傾向と似ている。

(7) 屋外自然暴露の中性化深さは打放しコンクリートが1.3mm～1.4mmに対しGRCエアセル、GRC亀甲金網とも0(ゼロ)であった。鉄筋の発錆はいずれのコンクリートも認められていない。

3.4. 結論

強制劣化試験は終了したが、屋外自然暴露試験は続行中であるので最終的な結論は他日に譲るが、GRCは躯体コンクリートの中性化を十分に抑制できるといえる。また、コアの圧縮強度も材齢が経過するほど、強制劣化は多少、屋外自然暴露はかなり、大きくなる。

参考文献

- 1) セメント協会；コンクリート製型枠、セメント・コンクリート誌、No582、1995.8
- 2) 依田彰彦；コンクリートの中性化、コンクリート工学誌、Vol.17、No11、1979.11
- 3) 日本建築学会；JASS 5鉄筋コンクリート工事(第11版)、1997.1
- 4) 依田彰彦、林 雅治；コンクリートの中性化を抑制するGRCの効果(自然暴露10年間の結果から)、第7回GRCシンポジウム、1995.2
- 5) 依田彰彦、横室 隆；コンクリートの中性化を抑制するGRCの効果、足利工業大学研究集録、第19号、1993.3
- 6) 日本建築学会；JASS 5 鉄筋コンクリート工事(第5版)解説表10.3、1975.1
- 7) 依田彰彦、横室 隆、平居孝之、藤田直明；GRC打込み型枠を使用RCの中性化試験(I)、第9回GRCシンポジウム、1997.2
- 8) 依田彰彦、横室 隆、平居孝之、藤田直明；GRC打込み型枠を使用した鉄筋コンクリートの中性化試験(II)、第10回GRCシンポジウム、1998.2

4. 施工試験

4.1 GRC打込み型枠

4.1.1 成形

打込み型枠に使用した GRC の調合を表4.1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ガラス繊維で、25mm の長さのものを使用し、ウェットモルタル

表4.1 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 : 耐アルカリガラス繊維(長さ25mm)

単位 : kg

に対し 3 重量%添加した。成形は、オムニミキサーを使用したプレミックス法で行った。GRC打込み型枠は、成形翌日に脱型し、屋外にてシート養生を行った。

4.1.2 特性

打込み型枠に使用した GRC の基本物性を表4.2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

表4.2 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

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。

4.1.3 形状

GRC打込み型枠の寸法と重量は、幅 300mm × 高さ 435mm × 長さ 2305mm, 重量 100kg (44kg/m) で、U 字型をしており、その断面図を図4.1に示す。GRC打込み型枠内面には、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。

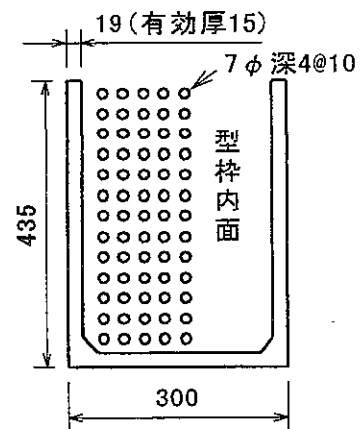


図4.1 GRC打込み型枠

4.2 コンクリート

使用したコンクリートの調合を表4.3に、使用材料を表4.4に、基本物性を表4.5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4.3 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4.4 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4.5 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

4.3 RC梁

コンクリート躯体の平面図を図4.2に示す。このうち、斜線を引いたRC梁にGRC打込み型枠を適用した。

RC梁の外形寸法は、GRC打込み型枠と同じ幅300mm×高さ435mm×長さ2305mmで、配筋は、図4.3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打込み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。

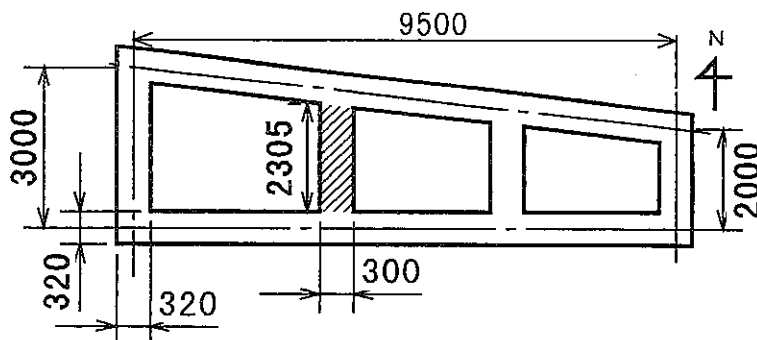


図4.2 RC躯体平面図

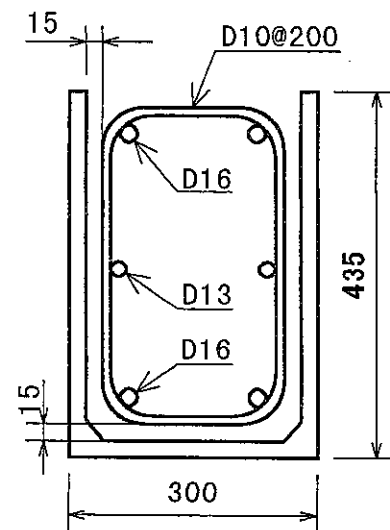


図4.3 RCはり配筋図

4.4 施工

4.4.1 GRC打込み型枠施工

GRC打込み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打込み型枠と壁の木製型枠との接合は、図4.4に示すように、GRC打込み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打込み型枠の両端のみとし、中間に支柱は立てなかった。またGRC打込み型枠上端に約600mm間隔で木製の開止めを設けた。

4.4.2 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 15.5m^3 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。

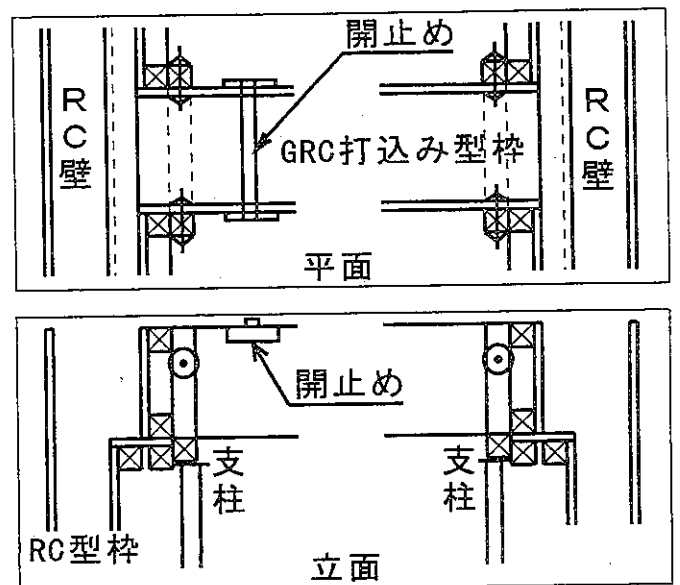


図4.4 型枠施工図

4.4.3 測定

コンクリート打設中のGRC打込み型枠にかかる応力を測定するため、図4.5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打込み型枠のひずみを測定した。

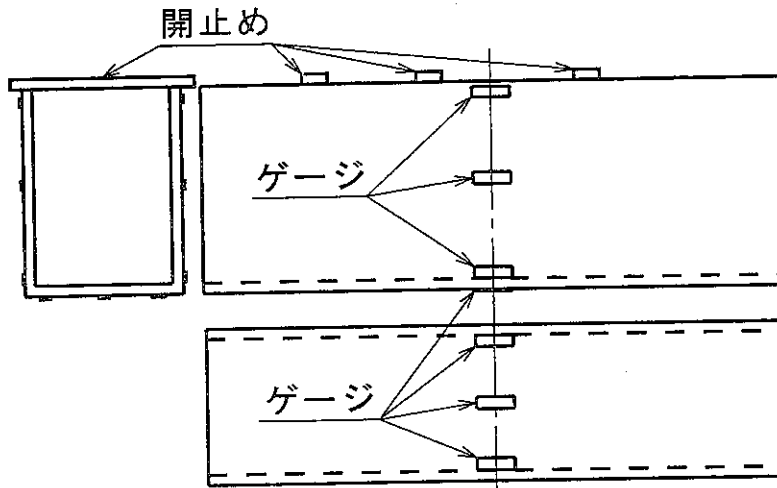


図4.5 ゲージ貼付位置

また、GRC打込み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日及び1年で表4.6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4.6 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

4.5 試験結果

4.5.1 施工

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

GRC打込み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打込み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打込み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。

4.5.2 GRC打込み型枠の応力

コンクリート打設中のGRC打込み型枠のひずみを図4.6, 4.7, 4.9, 4.10に示す。図4.6と4.7は底面のひずみを示し、図4.9と4.10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4.6と4.9は打設後85分までのひずみを5分間隔に示し、図4.7と4.10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打込み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打込み型枠の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打込み型枠の側面に発生する。計算の際、GRC打込み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。

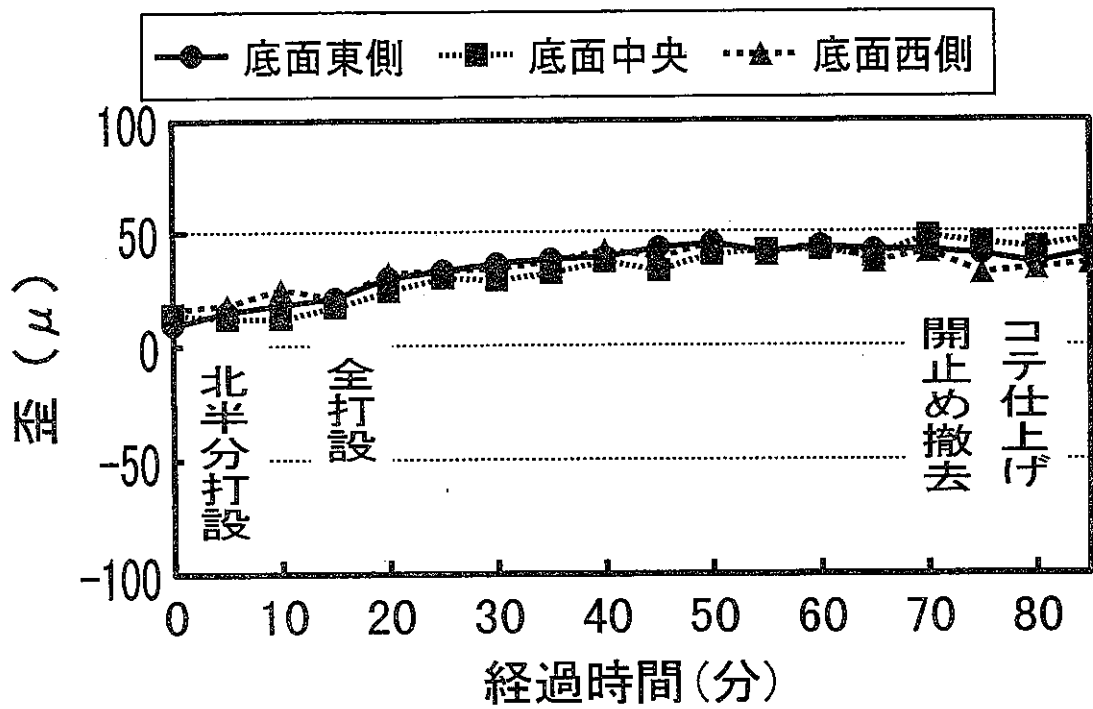


図4.6 GRC打入型枠底面の歪 (~85分)

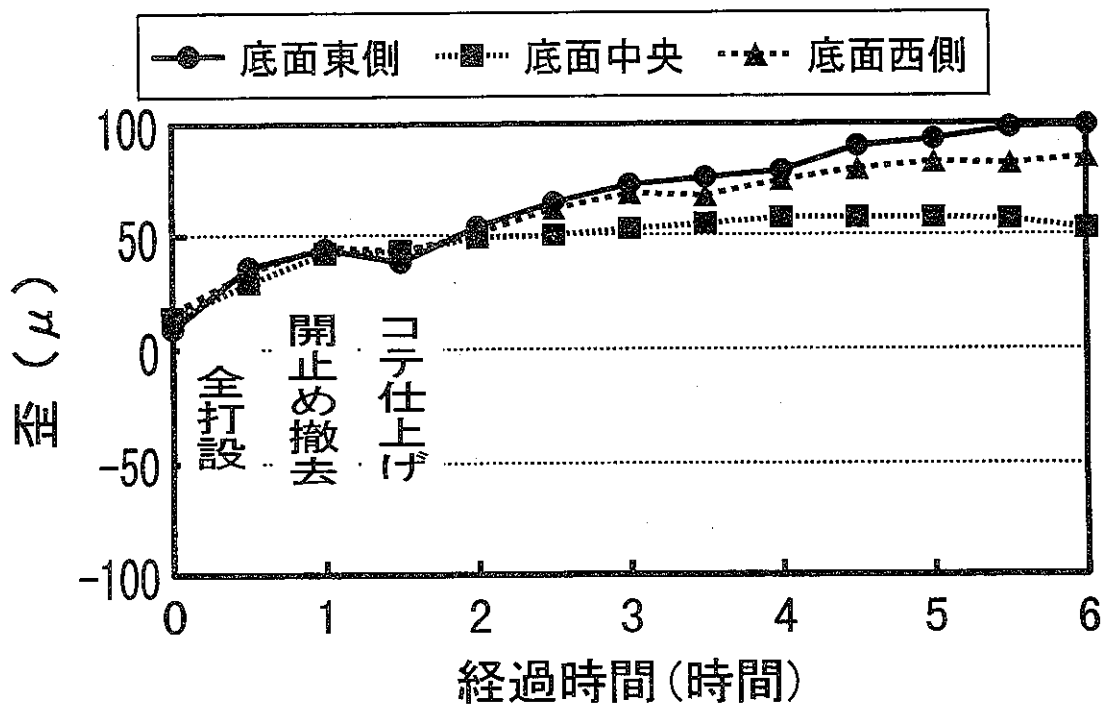


図4.7 GRC打入型枠底面の歪 (全時間)

(1) U字断面

GRC打込み型枠を厚さが15mm、スパンが2305mmの単純ばりと考えた場合、GRC打込み型枠の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4.6)。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。

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4.7)。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打込み型枠の側面が外側に押されていることに加え、GRC打込み型枠の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打込み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打込み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4.8)。

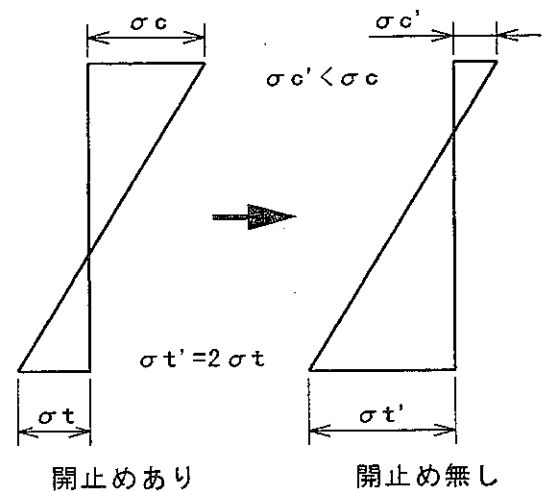


図4.8 応力の負担の変化

今回よりも長スパンの梁を施工する場合は、GRC打込み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打込み型枠を厚くせず、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 600 mm 間隔の開止めに囲まれた GRC 打込み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のようなになる。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4.9)。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4.10)。

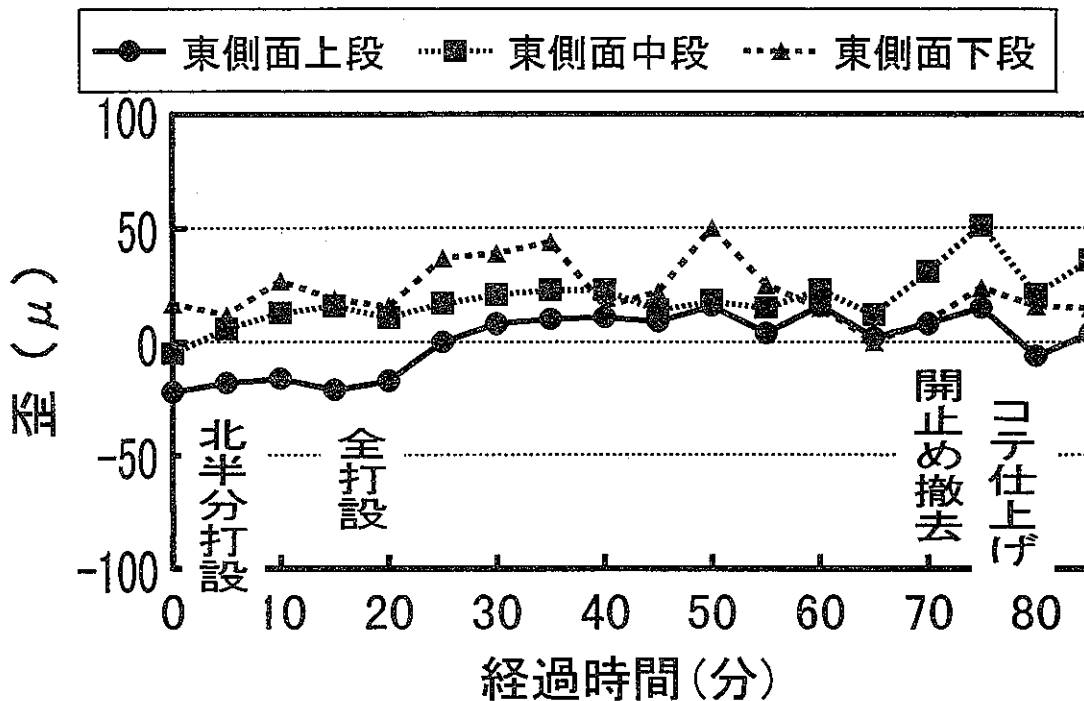


図4.9 GRC打込み型枠側面の歪 (~85分)

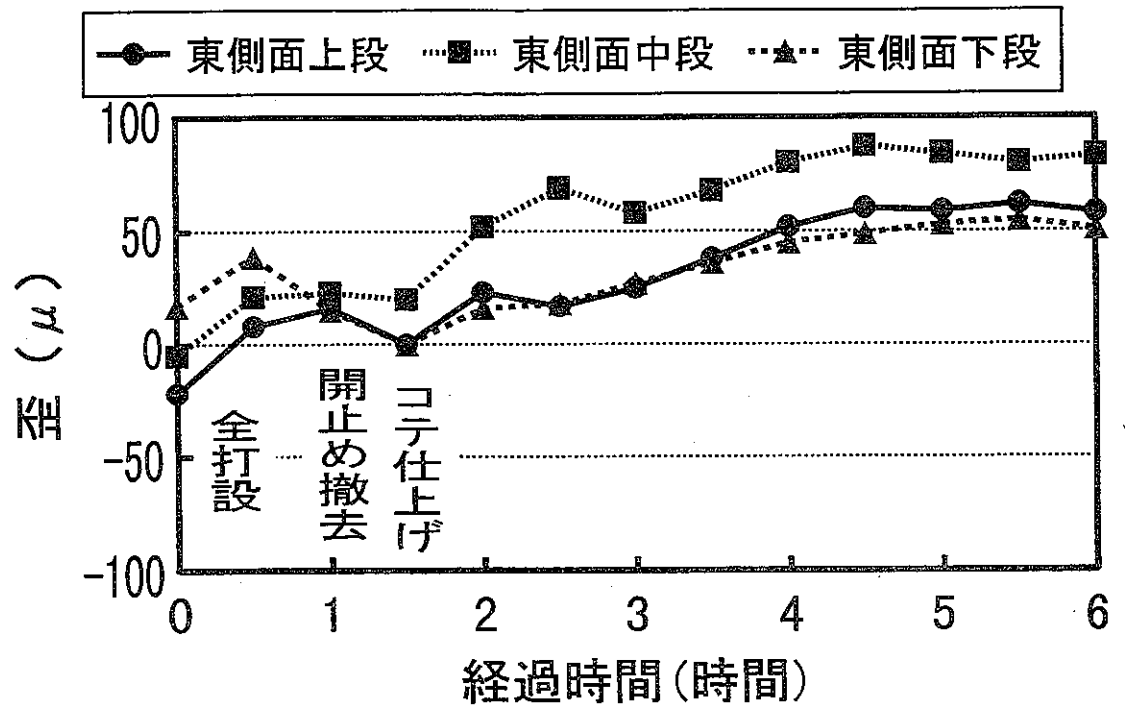


図4.10 GRC打込み型枠側面の歪(全時間)

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4.11)、2) 点支持で考えていたところが開止めのた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4.12)、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4.5)。

開止めを外した後の応力の増加の原因は、スパンが

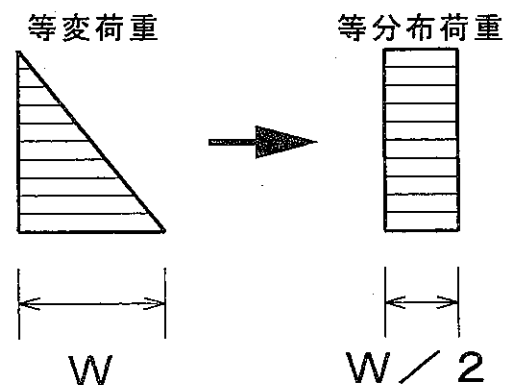


図4.11 計算で検討した側圧

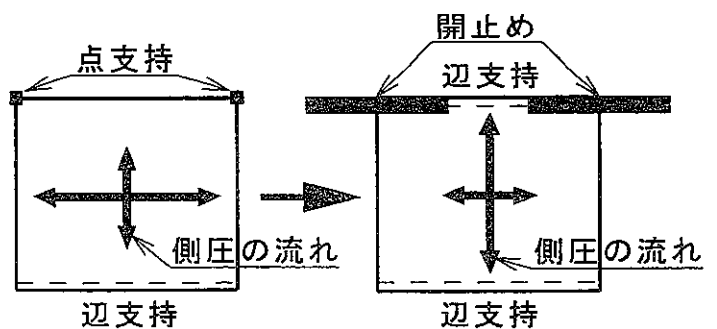
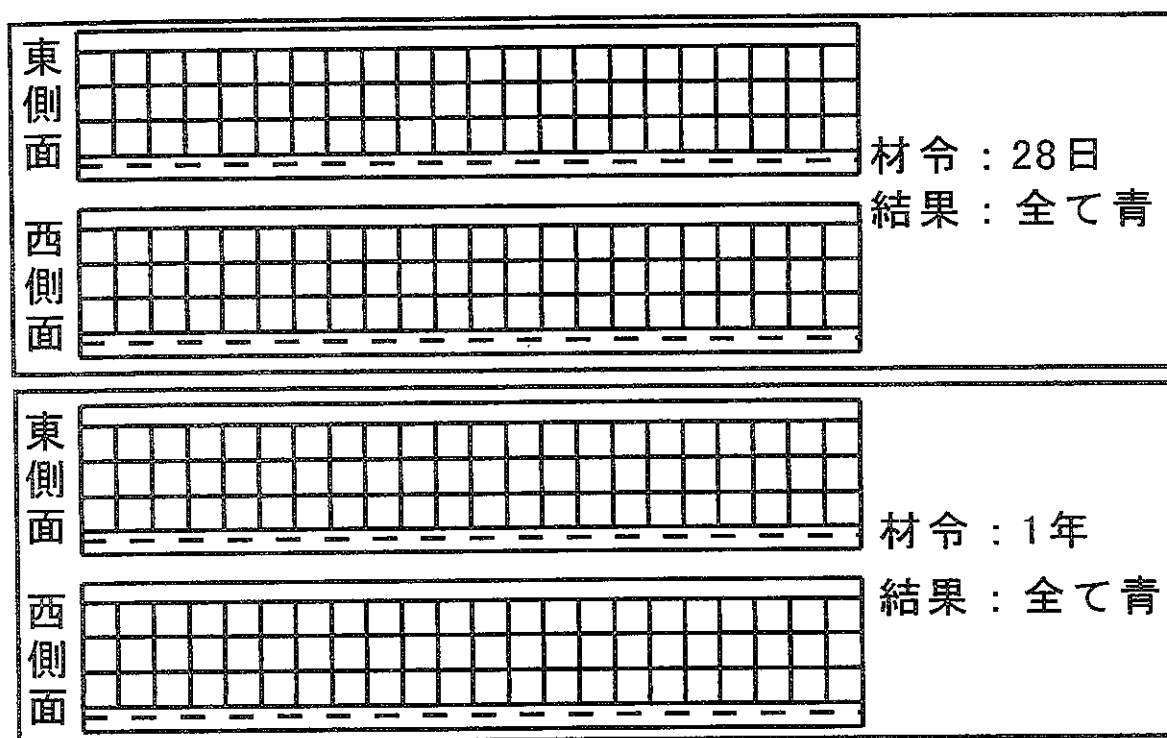


図4.12 側圧の流れ

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。

4.5.3 GRC打込み型枠の接着状況

コンクリート打設後材令 28 日と 1 年での剥離診断機による接着状況を図4.13 に示す。東、西のGRC打込み型枠の両側面とも 132 の全ての点でいずれの材令でも青の表示となり、前報の部材構造試験からGRC打込み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)

図4.13 GRC打込み型枠の接着状況

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打込み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打込み型枠の応力の増加は収まっており、これ以降のGRC打込み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 1 年の時点でそれも見られなかった。すでに確認されている GRC 打込み型枠の内面の円形凹模様の一体性への効果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 5 年の時点で測定を行うのである。

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。

4.6 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 日及び 1 年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 打込み型枠を簡単にセットするためには、在来の木製型枠と GRC 打込み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 打込み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 打込み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。

5. 結論

5. 1 耐火性能

5. 1. 1 在来鉄筋コンクリートはりとの比較

GRC打込み型枠を使用した鉄筋コンクリートはりの耐火試験において測定された性能が、建設省告示第2999号に定められた2時間耐火構造のはりに合格するかどうかを調べると表5. 1になる。在来の鉄筋コンクリートはりについての試験結果も表5. 1に示しており、これを見るとGRC打込み型枠を使用したはりと同じ断面寸法で同じ配筋の在来の鉄筋コンクリートはりと同等の耐火性能を有している。

表5. 1 2時間耐火構造のはりの判定

判定条件	試験体種類		
	円形凹み付き内面形状のGRC打込み型枠のRCはり	金網埋設内面形状のGRC打込み型枠のRCはり	在来RCはり 同じ断面寸法で同じ配筋
加熱中、耐火上及び構造耐力上有害な変形、破壊、脱落の変化を生じないこと	GRC打込み型枠の若干の剥離があるが、脱落はなし	問題なし	問題なし
加熱中鋼材の最高温度が500℃以下であること	最高温度 536.2℃	最高温度 630.3℃	最高温度 596.1℃
構成材料の一部が不燃材料でないものにあつては、加熱終了後10分間火気が残存しない	火気の残存なし	火気の残存なし	火気の残存なし

5. 1. 2 GRC打込み型枠の内面形状

円形凹み付き内面形状のGRC打込み型枠は、耐火試験において接合面に部分的な剥離があったが、構造耐力上で有害な破損はなかった。金網埋設内面形状のGRC打込み型枠は、打設されたコンクリートとの接合性が優れており、耐火試験において接合面の剥離などはなかった。円形凹み付き内面形状と金網埋設内面形状は、耐火試験において必要となるコンクリートとの接合性を満足するものである。

5. 1. 3 底板と側板の接合

耐火試験時にGRC打込み型枠に作用する応力を数値計算で解析した結果では、底板と側板の接合部に両者を分離するような応力が働くことが明らかになっている。このためGRC打込み型枠は底板と側板が接合された構成にしてある。これにより耐火試験にける判定条件の1つである加熱中、耐火上および構造耐力上有害な変形、破壊、脱落の変化を生じないことを満足できたと考えられる。

5. 1. 4 鉄筋の温度

表5. 1の判定条件のうち、鋼材の最高温度は500℃を超えており、この試験結果で判定すると耐火構造として合格できないことになる。在来の鉄筋コンクリートはりについての試験結果も、鋼材の最高温度は500℃を超えており、合格していない。

在来の鉄筋コンクリートはり、建築基準法に基づく2時間耐火構造の通則的指定に適合しており、特に試験をしなくても耐火構造として使えるものである。建築基準法の通則的指定を受けた耐火構造が、試験の判定では耐火構造に合格しないという矛盾が生じている。今回の試験結果だけでなく、耐火構造として通則的指定を受けている在来の鉄筋コンクリートはり、耐火試験において鋼材の最高温度が500℃を超えることが多い。

これが大きな問題である。GRC打込み型枠を使用した鉄筋コンクリートのはりが、同じ断面寸法で同じ配筋の在来鉄筋コンクリートはりと、耐火試験において同じ性能があることを確かめることができても、それは耐火性能の判定条件を満たすものではない。今回のような試験結果に基づいて、GRC打込み型枠を使用した鉄筋コンクリートはりについて、2時間耐火構造の指定を得るのは難しい。

5. 2 中性化抑制効果

円形凹み付き内面形状または金網埋設内面形状のGRC打込み型枠に表面を磨いた鉄筋を配筋し、普通コンクリートを打設した試験体を炭酸ガス濃度10%の槽に入れて、中性化が促進される状態に3ヶ月、6ヶ月、1年間および2年間おいたときの中性化深さを測定した。GRC打込み型枠の中性化深さはいずれの測定期間においても、ゼロでありまた鉄筋の錆の発生も全くなかった。

炭酸ガス濃度10%の促進環境に2年間おいたときの中性化深さは、屋外自然暴露を100年間続けたときの中性化深さに相当する。GRC打込み型枠は屋外の自然環境のもとで100年以上表面まで強アルカリ性を保持しており、内部の鉄筋にはその位置が表面の近傍であっても錆が生じないといえる。

比較のために同時に試験したGRC打込み型枠を用いない試験体は、コンクリートの中性化深さが測定時期が長くなるほど大きくなり、炭酸ガス濃度10%の促進環境に2年間おいたときの中性化深さは23mmであり、このときのかぶり厚さ20mmと30mmの鉄筋には若干であるが錆が発生している。

5. 3 実構造物の現場施工

5. 3. 1 GRC打込み型枠の形状寸法とハンドリング

鉄筋コンクリートの実構造物の現場施工に適用したGRC打込み型枠は、直径7mm深さ4mmの円形凹みを10mmピッチで内面に付けた厚さ19mmで幅300mm高さ435mm長さ2305mmのU字型断面のはり型枠である。工場で全体を一度に成形し、現場に搬送して型枠に取り付け、コンクリートの打設が終了するまで、ハンドリングにおける破損はなく施工に必要な強度を保持している。

5. 3. 2 型枠組立と支保工

大ばりの在来の合板型枠に取り付けた栈木に、GRC打込み型枠の両端を差し込んで栈木とGRC打込み型枠をボルトで固定し、GRC打込み型枠の両端を支柱で支えた。在来の合板型枠の場合に使われる側板の開きを抑えるスペーサはGRC打込み型枠に入れずに、型枠の上部に側板の開き止めを600mmピッチで付けた。

はりのスパン約2300mmの間はGRC打込み型枠は両端支持の状態にあ

り、打設されたコンクリートの重量に耐えるだけの剛性と強度を有している。しかし上部に付けた開き止めがコテ仕上げのときに邪魔になったので、この点を改良する必要がある。また型枠の組立においては、GRC打込み型枠と在来の合板型枠の寸法精度を良好に保つことが重要である。

より長いスパンのはりの施工では、支柱をスパンの間に入れる方法で支保工ができると考えられるので、板厚を大きくせずに重量の軽減をはかった長い部材のGRC打込み型枠の適用が可能である。

5. 3. 3 コンクリートの打設

配筋された鉄筋とGRC打込み型枠が最も近接しているのは、あばら筋とGRC打込み型枠の間で12～19mmであり、打設したコンクリートの粗骨材の最大寸法は15mmである。材齢28日と1年で行った剥離診断機による調査では、GRC打込み型枠とコンクリートの分離や空隙はなく、コンクリートはGRC打込み型枠に密実に打設されていることが明らかになった。

打設するコンクリートの粗骨材の最大寸法が15mmより大きくなる場合は、あばら筋とGRC打込み型枠との間隔をさらに大きくすることが必要である。

5. 4 今後の課題

5. 4. 1 耐火性能

当初はGRC打込み型枠を含めたかぶり厚さが在来の鉄筋コンクリートと同じ30mmで、2時間耐火構造のはりを造れるGRC打込み型枠を目標にしてきた。しかし5. 1で述べたように、耐火構造の個別認定を受けるための試験を行っても、判定条件に合格することは困難である。

それではどうするかということになり、次のように4つの方策とその問題点が考えられる。

1) かぶり厚さを在来の鉄筋コンクリートより少し大きくする。

今回の耐火試験結果の2章の図-10と図-11を見ると、GRC打込み型枠の厚さを含めたかぶり厚さが30mmと40mmのいずれの場合も、鉄筋の温度は500℃を超えている。したがってかぶり厚さを大きくしても、鉄筋の温度を500℃以下に抑えることは容易でないと危惧される。

なお鉄筋の熱伝導性がよいために、かぶり厚さ30mmの箇所の鉄筋から熱が伝わり、かぶり厚さ40mmの箇所の鉄筋の温度がかぶり厚さ30mmに近い値まで上昇したと考え、すべての鉄筋のかぶり厚さを40mmにした試験体を作製して耐火試験すれば、鉄筋の温度は500℃以下であるという可能性は残る。

2) 鋼材の温度が判定条件とならない載荷加熱試験により耐火試験を行う。

はり、柱、壁の耐火試験で、載荷加熱試験が用いられたことは少なく、予算も含めて試験の実施ができるかどうか不明。

3) GRCをコンクリートの一部と見なす。

GRCをコンクリートの一種類と見なすことが認められれば、通則的指定に含まれておのずと耐火構造になるわけであるが、GRCが構造体コンクリートと同じ力学的、耐久的性質があることの試験など、未確定の事項が多い。

4) GRCを除いたコンクリートだけのかぶり厚さが、通則的指定の耐火構造になるようにする。

建築構造部分に使うことのできる鉄筋コンクリートのはりは、建築基準法でかぶり厚さ30mm以上にすることが定められており、この場合は通則的指定で2時間耐火構造に認められている。

このように1)～3)は実現するのが困難であり、4)が当面の実現可能な方法であると考えられる。

5. 4. 2 中性化と施工性

鉄筋の防錆について、長年を経ても中性化深さがゼロであることから、GRC打込み型枠が連続した層となっていれば、厚さが小さくても十分な性能を有する。

現場施工におけるハンドリングと支保工のために必要な最小の厚さがある。したがって前述の4)の方法を選ぶ場合にGRC打込み型枠の厚さを左右するのは、施工性ということになる。

GRC 打込み型枠研究委員会報告書

発行年月日 平成11年3月20日

編集・発行 日本 GRC 工業会

東京都千代田区内神田1-18-14

(ヨシザワビル6階) 〒101-0047

電話 (03) 5281-9858

印刷・製本 大新舎印刷株式会社