

GRC打込み型枠を使用したRCの中性化試験—10年間の試験結果—

日本GRC工業会 技術部会 (依田 彰彦*¹,
横室 隆*², 平居 孝之*³, 相子 恒夫*⁴)

1. はじめに

GRC (ガラス繊維補強セメント) は、構造用コンクリートに勝るとも劣らない性能を有する素材であり、構造上、耐火上、耐久性上問題のないことが評価されれば、単なる仕上げ材から構造用コンクリートの一部として活用することが可能になる。このような構造用打込み型枠が実用化されれば、従来の化粧型枠に比べて建設コストが低減し省資源にも寄与することから、日本GRC工業会 (以下、工業会) は1993年7月に「GRC打込み型枠調査・研究委員会」を発足させ、GRC打込み型枠に関する調査・研究を実施してきた。同研究委員会では、1995年6月30日に「文献調査、形状予備試験、構造試験」について、さらに1999年3月20日には「耐火性能試験、中性化抑制効果、施工試験」について冊子でその成果を報告・発表している。

これらの成果から、GRC打込み型枠に関する調査・研究は1999年3月をもって一応終了 (耐久性についての長期材齢試験を残して) したが、工業会技術部会ではその後も普及・実用化の方法等について調査を継続してきた。調査では、工業会提供のエアセルと亀甲金

筆者: *1 (よだ・あきひこ) 足利工業大学 名誉教授, *2 (よこむろ・たかし) 同 教授, *3 (ひらい・たかゆき) 日本文理大学 教授, (あいこ・つねお) 旭硝子ビルウォール(株) 室長

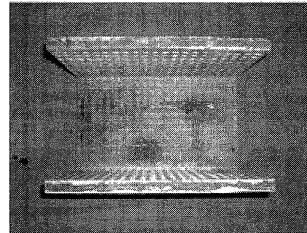


写真-1 エアセル

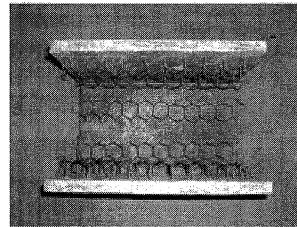


写真-2 亀甲金網

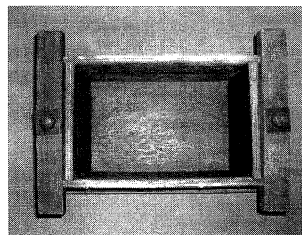


写真-3 梁型型わく

網の2種類のGRC (溝形, 厚さ15mm, 写真-1~2) を永久せき板として、設計基準強度 $22.5\text{N}/\text{mm}^2$ の普通コンクリートを躯体コンクリート (RC=鉄筋コンクリート) として打込み、この場合の中性化速度をはじめ強度、鉄筋の発錆等の耐久性および力学的特性について確認した。調査の結果は、1997年⁴⁾、1998年⁵⁾、

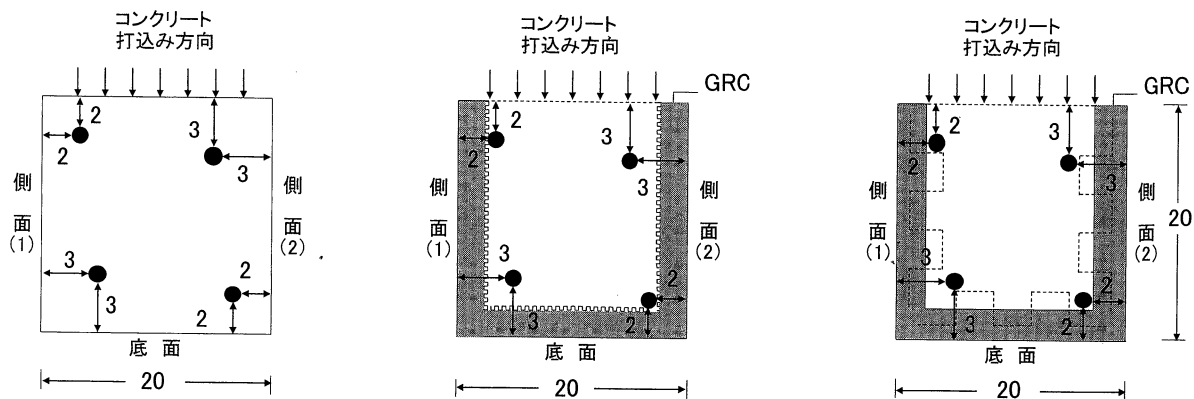


図-1 打放し供試体の断面 (cm) 図-2 エアセル供試体の断面 (cm) 図-3 亀甲金網供試体の断面 (cm)

表-1 実験結果 (その1)

水セメント比 (%)	スランプ (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⁾ (cm ³ /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-2 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⁾ (%)	標準養生した円柱供試体の圧縮強度 (N/mm ²)							
			材齢							
6ヵ月	6ヵ月	300サイクル	7日	28日	91日	365日	3年	5年	7年	10年
6.0	3.1	94	16.4	22.5	30.0	31.9	32.7	35.2	36.3	36.9

[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。

1999年⁶⁾, 2002年⁷⁾, 2004年⁸⁾, に行われたGRCシンポジウムで報告してきた。今回の報告は, 材齢10年の結果で最終報告となるものである。

2. 実験計画

2-1 躯体コンクリート

設計基準強度 (Fc) 22.5N/mm², スランプ18cm, 空気量4.5%を目標とし, 使用した材料は, いずれも日本建築学会標準仕様書JASS 5 の規定値を満足している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た。足利工大建築実験棟にて1996年10月28日 (月), コンクリートをJISの方法によって練混ぜ・打込み・締固めを行った (なお, ミキサは容量100リットルの強制練りを使用した)。

2-2 供試体

写真-3 に示す20×20×30cmの梁型 (直径10cmのコアを採取して中性化深さ・鉄筋の発錆や圧縮強度等の測定用) および直径10cm×高さ20cmの円柱 (標準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 (20℃・60%R.H.雰囲気中の長さ・質量変化率とASTM (アメリカ材料学会) による凍結融解抵抗性の測定用)。

2-3 梁型供試体の詳細

供試体の断面を図-1~3 に示す。なお, 供試体に埋め込んだ4本のみがき鉄筋は, SR295の13φで, かぶり厚さは2cmおよび3cmである。

2-4 梁型供試体の初期養生法と強制劣化および自然暴露の方法

打込み2日後に脱型し, 5日間標準養生, 21日間20℃・80%室に養生した後, 供試体を3グループに分けた。

表-3 実験結果 (その3)

種類	初期値						強制劣化 (温度30℃・湿度60%・CO ₂ 濃度10%の槽 ³⁾)									
	材齢28日						3カ月間 ⁽⁴⁾					6カ月間 ⁽⁵⁾				
	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	ポアソン比	中性化深さ (mm)	躯体コンクリート中の発錆状況		圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	ポアソン比	中性化深さ (mm)	躯体コンクリート中の発錆状況	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	ポアソン比	中性化深さ (mm)	躯体コンクリート中の発錆状況
炭酸ガス槽	打放し	26.4	30	0.16	0	なし	30.4	31	0.2	14.3	若干	32.4	31	0.15	16.7	若干
	GRCエアセル	29.1	31	0.17	0	なし	33.8	32	0.2	0	なし	36.1	32	0.17	0	なし
	GRC亀甲金網	29.1	31	0.17	0	なし	33.5	32	0.2	0	なし	35.7	32	0.17	0	なし

[注] (4) 屋外自然暴露の27.9年に相当する⁹⁾。(5) 同 38.0年⁹⁾。
表中2段の内訳は、上段がGRC、下段が躯体コンクリートを示す。

表-4 実験結果 (その4)

種類	強制劣化 (温度30℃・湿度60%・CO ₂ 濃度10%の槽 ³⁾)																
	1年間 ⁽⁶⁾								2年間 ⁽⁷⁾								
	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	ポアソン比	中性化深さ (mm)	躯体コンクリート中の発錆状況				圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	ポアソン比	中性化深さ (mm)	躯体コンクリート中の発錆状況				
					上端		下端						上端		下端		
2 cm					3 cm	2 cm	3 cm	2 cm					3 cm	2 cm	3 cm		
炭酸ガス槽	打放し	34.2	32	0.16	21.1	兆し	なし	兆し	なし	34.5	31	0.17	23.0	若干	若干	兆し	兆し
	GRCエアセル	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
	GRC亀甲金網	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

[注] (6) 屋外自然暴露の60.7年に相当する⁹⁾。(7) 同 72.1年⁹⁾。
表中2段については、表-3の脚注参照。

すなわち、強制劣化は温度30℃・湿度60%・CO₂濃度10%の槽(足利工大)へ入れた。屋外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)、海岸近接地域として旧第一セメント(株)(現(株)デイ・シー)川崎工場(神奈川県川崎市)で10年間にわたって放置した。

2-5 測定材齢その他の実験条件

3. 実験結果を参照されたい。

3. 実験結果

10年間にわたる実験結果を表-1~7および(1)~(8)に示す。なお、標準養生した円柱供試体の材

齢28日の圧縮強度は22.5N/mm²(表-2)、ヤング係数は28kN/mm²、ポアソン比は0.16である。

(1) 打込んだフレッシュコンクリートのワーカビリティは、スランプ試験の際に目視で観察した結果、「良好」と判断した(表-1)。また、最終ブリーディング量、6カ月間の乾燥収縮率、および耐久性指数はJASS 5の目標値³⁾を満足している。材齢10年まで標準養生したコンクリートの圧縮強度は、順調に増進している(表-2)。

(2) 材齢28日の初期値をベースとすると、打放し、GRCエアセル、GRC亀甲金網の各コンクリートの圧縮強度は、標準養生の22.5N/mm²に対し17~

表-5 実験結果 (その5)

種類	初期値						屋外自然暴露				
	材齢28日						材齢1年				
	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	ポアソン比	中性化深さ (mm)	躯体コンクリート中の発錆状況	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	ポアソン比	中性化深さ (mm)	躯体コンクリート中の発錆状況	
一般地域	打放し	26.4	30	0.16	0	なし	32.5	31	0.18	1.3	なし
	GRC	29.1	31	0.17	0	なし	30.1	30	0.18	0	なし
	エアセル				0					0	
GRC	29.1	31	0.17	0	なし	29.9	30	0.18	0	なし	
亀甲金網				0					0		
海岸近接地域	打放し	26.4	30	0.16	0	なし	31.9	31	0.17	1.4	なし
	GRC	29.1	31	0.17	0	なし	30.5	30	0.18	0	なし
	エアセル				0					0	
GRC	29.1	31	0.17	0	なし	29.2	29	0.18	0	なし	
亀甲金網				0					0		

[注] 表中2段については、表-3の脚注参照。

表-6 実験結果 (その6)

種類	屋外自然暴露								
	材齢5年								
	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	ポアソン比	中性化深さ (mm)	躯体コンクリート中の発錆状況	ポロシチー (cm ³ /g)	塩分浸透量 (%)		
							表層	表層から2cm	
一般地域	打放し	31.8	29.3	0.18	2.1	なし	0.0190	-	-
	GRC	28.1	26.6	0.18	0	なし	0.0085	-	-
	エアセル				0		0.0219		
GRC	26.8	25.7	0.16	0	なし	0.0137	-	-	
亀甲金網				0		0.0210			
海岸近接地域	打放し	31.1	29.5	0.17	2.1	なし	0.0174	0.011	0.008
	GRC	30.2	28.6	0.17	0	なし	0.0103	0.008	0.007
	エアセル				0		0.0214		
GRC	28.9	26.1	0.18	0	なし	0.0093	0.012	0.005	
亀甲金網				0		0.0204			

[注] 表中2段については、表-3の脚注参照。

表-7 実験結果 (その7)

種類	屋外自然暴露										
	材齢10年										
	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	ポアソン比	中性化深さ (mm)	躯体コンクリート中の発錆状況	GRCとコンクリートの付着強度(N/mm ²)			塩分浸透量 (%)		
						底面	側面(1)	側面(2)	表層	表層から2cm	
一般地域	打放し	33.0	29.7	0.18	5.5	なし	-	-	-	-	-
	GRC	31.9	27.0	0.17	0.9	なし	2.0	1.5	2.3	-	-
	エアセル				0						
GRC	31.6	26.8	0.17	0.8	なし	2.2	0.6	0.7	-	-	
亀甲金網				0							
海岸近接地域	打放し	31.4	26.6	0.17	4.7	なし	-	-	-	0.015	0.014
	GRC	32.5	29.1	0.18	1.0	なし	1.8	2.3	1.8	0.014	0.012
	エアセル				0						
GRC	30.1	26.4	0.17	0.8	なし	2.0	2.3	1.8	0.017	0.011	
亀甲金網				0							

[注] 表中2段については、表-3の脚注参照。

29%程度大きく、ヤング係数は28kN/mm²に対し30~31kN/mm²、ポアソン比は0.16に対し0.16~0.17と多少大きい。フェノールフタレインアルコール溶液法による中性化深さは0(ゼロ)、目視に

よる鉄筋の発錆は認められなかった(表-3, 表-5)。

(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

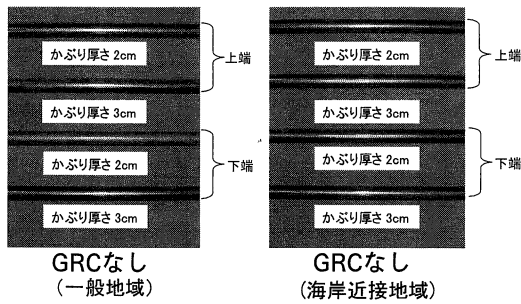


写真-4 屋外自然暴露10年における鉄筋の表面状況（錆なし）

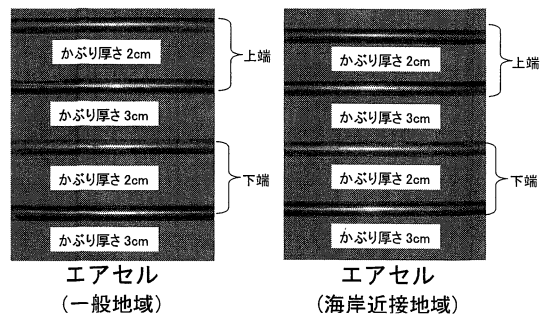


写真-5 屋外自然暴露10年における鉄筋の表面状況（錆なし）

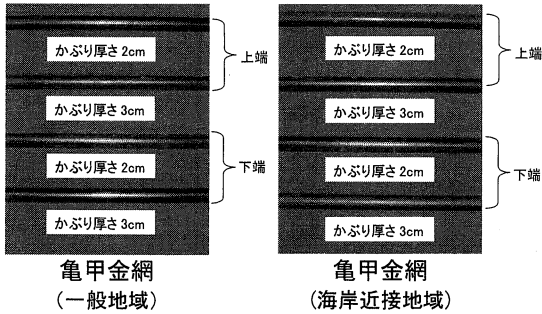


写真-6 屋外自然暴露10年における鉄筋の表面状況（錆なし）

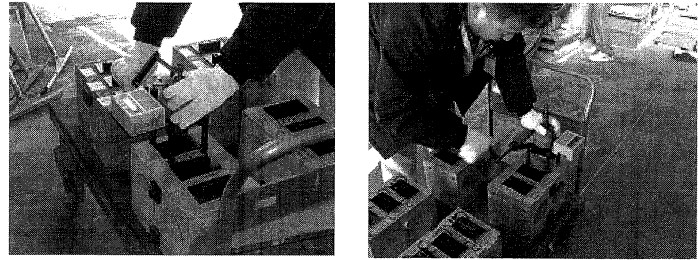


写真-7 付着強度試験状況（1） 写真-8 付着強度試験状況（2）

- （表-3，表-4）。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酸化深さは，打放しコンクリートでは3カ月間（屋外自然暴露20年相当³⁾→文献⁹⁾では27.9年）で14.3mm，6カ月間（40年相当³⁾→文献⁹⁾では38.0年）で16.7mm，1年間（80年相当³⁾→文献⁹⁾では60.7年）で21.1mm，2年間（100年相当³⁾→文献⁹⁾では72.1年）で23.0mmであった。これに対してGRCエアセル，GRC亀甲金網とも0（ゼロ）であった（表-3，表-4）。いいかえるとGRCは躯体コンクリートの中酸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。これは若干のブリーディング量だが「ス」が生じていたためかと考える。したがって，打込みに際しては入念に締固めをする必要がある。
- （6）屋外自然暴露したコア強度は，初期値に対して材齢1年，5年，10年とも同程度で，打放しは20

- %前後，GRCエアセル・亀甲金網は3%前後大きい。これは長期間にわたる降雨等を直接，受けたものと受けないものとの水和の影響の差かと考える。ヤング係数，ポアソン比，ポロシチーは，圧縮強度の傾向と似ている（表-5～7）。
- （7）屋外自然暴露したコンクリートの中酸化深さは打放しコンクリートが，材齢1年で1.3mm～1.4mm，5年で2.1mm，10年で4.7～5.5mmに対し，GRCエアセル，GRC亀甲金網およびそれらの躯体コンクリートとも0（ゼロ）であったが，材齢10年ではGRCは0.8～1.0mm中酸化したが，躯体コンクリートは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なかった（表-5～7，写真-4～6）。いいかえるとGRCは，躯体コンクリートの中酸化を十分抑制できる。なお，要因が温度，湿度，CO₂濃度のみの強制劣化試験では，GRCは，いずれの期間でも中酸化しなかったが，屋外自然暴露10年の場合，若干中酸化したのは気象条件が気圧，気温，相対湿度，降水量，日照時間，風速・風向，CO₂，SO₂，NO₂など，要因が多いためと考える。

(8) GRCエアセルと亀甲金網と躯体コンクリートとの付着強度は、日本建築仕上学会認定の試験機材RT-2000LDを用いて測定した。その結果、底面は一般、海岸近接地域とも $1.8\sim 2.2\text{N}/\text{mm}^2$ 、側面は $0.6\sim 0.7\text{N}/\text{mm}^2$ の一般地域のGRC亀甲金網を除き $1.5\sim 2.3\text{N}/\text{mm}^2$ であった。一般地域のGRC亀甲金網が小さい理由は明確ではないが、写真-2に示したように突起物が多くあるのでコンクリート打込み・締固めに十分注意して行う必要があるものと思われる¹⁰⁾(写真-7~8)。また、塩分(Cl^-)浸透量は、値自体は小さいが、GRCは塩分の浸透を抑制する効果があるものとする。

4. 結論

躯体コンクリートにおよぼすGRCの中性化抑制効果と力学的特性を知るために、強制劣化試験および10年間にわたる屋外自然暴露試験を実施した。結論として次のことがいえよう。

- (1) GRCは躯体コンクリートの中性化を十分に抑制できる。
- (2) GRCを施した躯体コンクリートのコア強度は材齢が経過するほど、強制劣化は多少大きくなるが、屋外自然暴露は横ばいである。
- (3) GRCエアセルと亀甲金網と躯体コンクリートとの付着強度は、 $0.6\text{N}/\text{mm}^2$ 以上で、タイル先付けPC工法の判定基準値を満足している。したがって、一体化していると考えられる。
- (4) その他、GRCを施した躯体コンクリートのヤング係数、ポアソン比、ポロシチー、塩分浸透量の性状を把握し、GRCに効果があることがわかった。
- (5) 注意点としてGRC型枠に打込むコンクリートは、「ス」ができないように入念に締固める必要がある。

【謝辞】

本試験研究の実施において、 $20\times 20\times 30\text{cm}$ の梁型供試体を10年間にわたって屋外自然暴露させていただいた(社)セメント協会・研究所および(株)デイ・シイの関係者に対して深甚の謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 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年2月
- 2) 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年3月
- 3) 日本建築学会; 建築工事標準仕様書・同解説(JASS 5 鉄筋コンクリート工事)解説表2.2, 解説表10.3, 1975年1月
- 4) 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RCの中性化試験(I), 第9回GRCシンポジウム, 1997年2月
- 5) 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年2月
- 6) 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RCの中性化試験(III), 第11回GRCシンポジウム, 1999年2月
- 7) 依田彰彦, 横室 隆, 平居孝之, 加藤信義; GRC打込み型枠を使用したRCの中性化試験(IV), 第14回GRCシンポジウム, 2002年3月
- 8) 依田彰彦, 横室 隆, 平居孝之, 岡太 浩; GRC打込み型枠を使用したRCの中性化試験(V), 第16回GRCシンポジウム, 2004年7月
- 9) 依田彰彦; 40年間自然暴露した高炉セメントコンクリートの中性化と仕上げ材の効果, セメントコンクリート論文集, No.56, 2002年12月
- 10) 日本GRC工業会; GRC打込み型枠調査・研究委員会報告書, 1995年3月

コンクリートテクノ

JOURNAL OF CONCRETE TECHNOLOGY

特集 非破壊評価総合展2007



株式会社光榮で稼働中のK & Kプラント(株)製ジクロス搭載バッチャプラント

2007

11

Vol.26, No.11

株式会社 **セメント新聞社**