

GRC打込み型枠を使用した RCの中酸化試験

— 10年間の試験結果 —

日本GRC工業会

〒113-0034 東京都文京区湯島3-14-19 湯島ビル5階
TEL : 03-3833-8714 FAX : 03-3833-7037

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

足利工業大学 名誉教授 依田彰彦

足利工業大学 教授 横室 隆

日本文理大学 教授 平居孝之

旭硝子ビルウォール(株) 室 長 相子恒夫

1. はじめに

GRCの中性化抑制効果の程度を知ることを主目的として日本GRC工業会提供の写真1と2に示すエアセルと亀甲金網の2種類のGRC（溝形、厚さ15mm）を永久せき板とし、設計基準強度 22.5 N/mm^2 { 225 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、強度、鉄筋の発錆等の耐久性および力学的特性について'97⁴⁾、'98⁵⁾、'99⁶⁾、'02⁷⁾、'04⁸⁾年に引き続き今回は、材齢10年の結果で、本報を最終報告とする。



写真1 エアセル



写真2 亀甲金網

2. 実験計画

2.1 躯体コンクリート

設計基準強度 (F_c) 22.5 N/mm^2 、スランプ18 cm、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、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・締固めた(なお、ミキサは容量100リットルの強制攪拌を使用した)。

2.2 供試体

写真3に示す $20 \times 20 \times 30 \text{ cm}$ の梁型(直径10 cm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10 cm高さ20 cm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 $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ 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)。



写真3 梁型型わく

2.3 梁型供試体の詳細

図1～3に示す。なお、供試体に埋込んだ、4本のみがき鉄筋は、SR 295の13φで、かぶり厚さ2cmおよび3cmある。

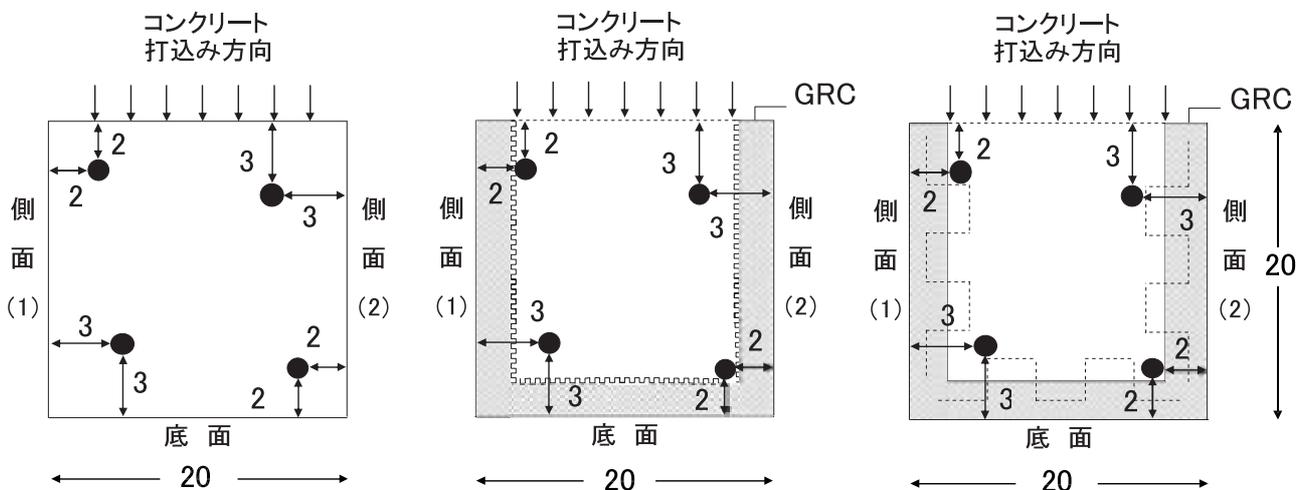


図1 打放し供試体の断面 (cm)

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)

[注] 亀甲金網の形状は写真2に示す通りである。

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%室に放置した後、供試体を3グループに分けた。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。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・シイ）川崎工場（神奈川県川崎市）へ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22.5 N/mm² (表2) ヤング係数は28 kN/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ヶ月間の乾燥収縮率、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22.5 N/mm²に対し17～29%程度大きく、ヤング係数は28 kN/mm²に対し30～31 kN/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)。

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 ティ ー	最 終 ブリーディング量 ⁽¹⁾ (cm ³ /cm ²)
63	20.0	4.0	173	44.0	0.61	良	0.38

[注] (1) JASS 5の目標値は0.5 cm³/cm²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ヶ月	6ヶ月	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。

- (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(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性化深さは、打放しコンクリートでは3ヶ月間(屋外自然暴露20年相当³⁾ → 文献⁹⁾では27.9年)で14.3 mm、6ヶ月間(40年相当³⁾ → 文献⁹⁾では38.0年)で16.7 mm、1年間(80年相当³⁾ → 文献⁹⁾では60.7年)で21.1 mm、2年間(100年相当³⁾ → 文献⁹⁾では72.1年)で23.0 mm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性化を十分抑制できる。

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ヶ月間 ⁽⁴⁾					6ヶ月間 ⁽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		
				2cm	3cm	2cm	3cm					2cm	3cm	2cm	3cm		
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⁾。(5) 同72.1年⁹⁾

表中2段については、表3の脚注参照。

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 エアセル	29.1	31	0.17	0 0	なし	30.1	30	0.18	0 0	なし
	GRC 亀甲金網	29.1	31	0.17	0 0	なし	29.9	30	0.18	0 0	なし
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 エアセル	29.1	31	0.17	0 0	なし	30.5	30	0.18	0 0	なし
	GRC 亀甲金網	29.1	31	0.17	0 0	なし	29.2	29	0.18	0 0	なし

[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						塩分浸透量(%)	
		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	ポロシティー (cm ³ /g)	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 エアセル	28.1	26.6	0.18	0 0	なし	0.0085 0.0219	—	—
	GRC 亀甲金網	26.8	25.7	0.16	0 0	なし	0.0137 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 エアセル	30.2	28.6	0.17	0 0	なし	0.0103 0.0214	0.008	0.007
	GRC 亀甲金網	28.9	26.1	0.18	0 0	なし	0.0093 0.0204	0.012	0.005

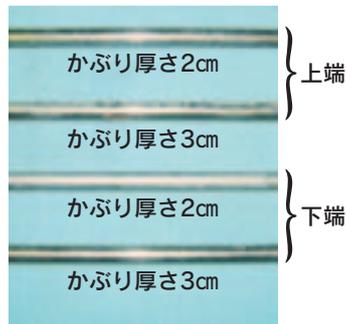
[注] 表中2段については、表3の脚注参照。

表7 実験結果 (その7)

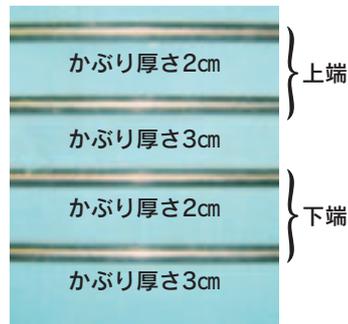
	種類	屋外自然暴露									
		材齢10年									
		圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	ポアソン比	中性化深さ (mm)	躯体コンクリート中の 発錆状況	GRCとコンクリートの付着強度 (N/mm ²)			塩分浸透量 (%)	
							底面	側面(1)	側面(2)	表層	表層から 2cm
一般地域	打放し	33.0	29.7	0.18	5.5	なし	—	—	—	—	—
	GRC エアセル	31.9	27.0	0.17	0.9 0	なし	2.0	1.5	2.3	—	—
	GRC 亀甲金網	31.6	26.8	0.17	0.8 0	なし	2.2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

[注] 表中2段については、表3の脚注参照。

- (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。従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性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中性化したが、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性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性化しなかったが、屋外自然暴露10年の場合若干、中性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1.8～2.2N/mm²、側面は0.6～0.7N/mm²の一般地域のGRC亀甲金網を除き1.5～2.3N/mm²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(CI⁻)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考えられる。

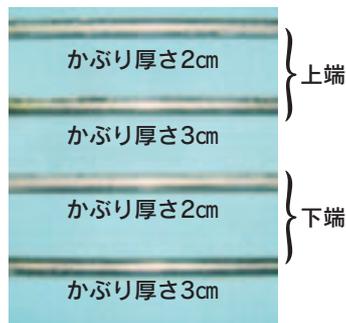


GRC無
(一般地域)

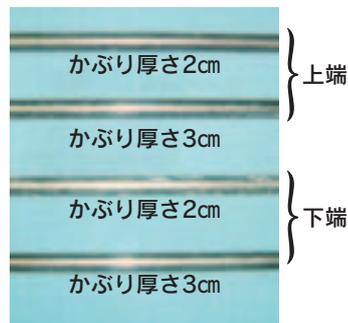


GRC無
(海岸近接地域)

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）

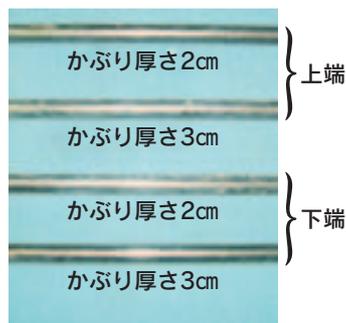


エアセル
(一般地域)

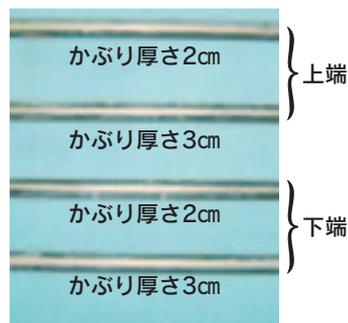


エアセル
(海岸近接地域)

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）



亀甲金網
(一般地域)



亀甲金網
(海岸近接地域)

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



写真8 付着強度試験状況

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 N/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。従って、一体化していると考える。
- (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分かった。
- (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。

【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る。

【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