

V-85 コンクリートの中性化に関する2、3の考察

ショーボンド建設(株) 技術研究所 正会員 宇野祐一
東京大学生産技術研究所 正会員 小林一輔

1. はじめに

コンクリートの中性化（炭酸化）を評価する方法として現在最も一般的となっているのはフェノールフタレインを用いた呈色法である。この方法は、フェノールフタレインが未炭酸化部で赤色を呈し炭酸化部では無色であることを利用したもので、鉄の不動態皮膜がpHの低下と共に破壊され腐食が開始することから埋設鉄筋の腐食の可能性を推定できる簡便な方法として一般的に用いられており、完全に赤色を呈した部分については鉄筋腐食を考慮する必要がないと判定する人が多いのが現状である。本研究は、モルタル供試体を促進炭酸化させてフェノールフタレインによる呈色を確認した後、表層から細かく熱分析を行うことにより、この呈色反応がいかなる意味を持つかを定量的に明らかにし、鉄筋腐食の可能性を推定する際のフェノールフタレインの妥当性について検討を行ったものである。併せて、セメント中の R_2O が炭酸化に与える影響および炭酸化の進行過程について考察したものである。

2. 実験概要

モルタルは、 R_2O 0.57%のセメント・豊浦標準砂・イオン交換水を用い、 $W:C:S=0.5:1:1.75$ の配合とした。更に、アルカリ強化配合については、 $NaOH$ を用いて R_2O 量を0.9, 1.2, 1.5%に調整した。供試体は $10 \times 10 \times 40$ cmのサイズとし、温度 $20^\circ C$ 、湿度100%R.H.の霧室にて28日間標準養生を行った後、促進炭酸化槽（温度 $20^\circ C$ 、湿度60%R.H.、 CO_2 濃度10%）に入れ、12週の促進炭酸化を行った。炭酸化した供試体は端部より5cmの部分を割裂し、直ちに割裂面にフェノールフタレイン1%エタノール溶液を吹き付け発色させた後、画像解析装置を用いて非発色部の面積を測定し平均炭酸化深さを求めた。熱分析用の試料は、図-1のように割裂した供試体の打設側面表層より中心部に向かって5mmごとに10試料採取し、示差熱分析及び熱重量測定を行った。

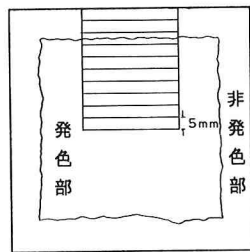


図-1 熱分析試料の採取方法

3. 試験結果と考察

3-1. セメント中の R_2O と炭酸化深さ

セメント中の R_2O の違いによる

炭酸化の様子を写真-1に、炭酸化深さ測定結果を表-1に示す。

これらの結果より明らかのように、炭酸化はセメント中の R_2O の増加に伴って著しく促進されることがわかる。本結果は既に報告している試験結果¹⁾を裏付けるものであるが、これはセメント中の R_2O の増加に伴い大きな細孔が増えること、およびpHの上昇が反応生成物である $CaCO_3$ の溶解度を減少させ固相の $Ca(OH)_2$ が細孔溶液中に溶け出し易くなって炭酸化反応を促進することに起因すると考えられる。

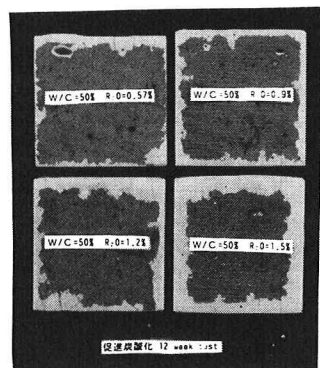
3-2. 呈色境界部の熱分析

各 R_2O の表層より20mmまでの熱重量分析結果を表-2に示す。本結果と3-1の呈色による炭酸化深さを

表-1 炭酸化深さ測定結果

$R_2O\%$	最小値	最大値	平均値
0.57	0	9.4	3.4
0.9	2.6	14.0	6.1
1.2	3.7	14.0	5.1
1.5	9.3	17.1	12.7

単位：mm

写真-1 R_2O の違いによる炭酸化の様子

比較すると、非呈色部は完全に炭酸化していることがわかる。また、境界面をまたぐ試料は呈色結果と同様に $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と CaCO_3 が混在している。しかしながら、更に中心に向かって完全に呈色を示している部分の測定結果は、既に炭酸化の進行が開始していることを示している。従って、フェノールフタレインは完全に炭酸化している部分を指し示すだけで、既に炭酸化が進行中であっても $\text{Ca}(\text{OH})_2$ がある量存在しさえすれば呈色を示すことがわかる。本結果は、鉄筋腐食の可能性を推定するに当たりフェノールフタレイン呈色法が必ずしも正しい評価法とはならないこと、すなわち赤色を呈してもpHが鉄の不動態皮膜を破壊せしめる値（11付近）を下回れば鉄筋の腐食が起こりうることを示したものである。

3-3. 炭酸化の進行過程

表層から中心部まで行った熱重量分析結果を R_2O 1.5%を例に取り図-2に示す。また、その熱分析のグラフの一例を図-3~4に示す。図-2より明らかなように、供試体の中心部においても既に炭酸化は進行しており、表層より20mmから中心部までその組成に大きな変化がみられない。これらから、本研究の試験条件においては、先ず CO_2 が先行して供試体の中心部まで一様に拡散し、遅れて表層から炭酸化が終結して行くことがわかる。すなわち、 CO_2 の拡散が炭酸化の反応速度をはるかに越えるスピードで進行するためと思われるが、促進を加えない条件下で同様の傾向がみられるかについては現在検討中である。

表-2 表層から20mmまでの熱分析結果

$\text{R}_2\text{O}\%$	0.57	0.9	1.2	1.5
表層からの距離 (mm)				
0~5	5.86	—	3.53	—
	26.56	29.60	27.28	30.90
5~10	8.06	4.73	5.82	—
	21.63	20.93	21.24	27.58
10~15	11.66	8.16	10.41	4.68
	16.11	18.05	17.91	25.22
15~20	10.62	10.36	11.52	10.46
	14.81	17.82	15.91	16.71

注 上段が $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、下段が CaCO_3 で、セメントペーストに対する重量百分率で表した

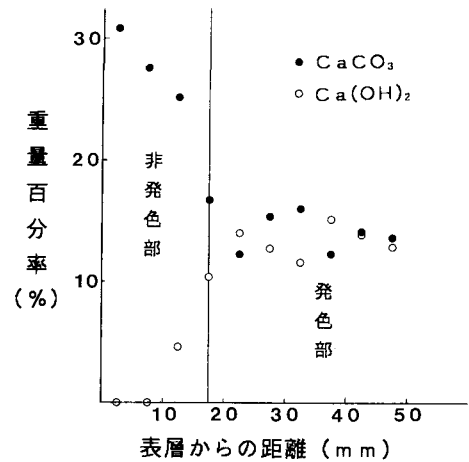


図-2 表層からの炭酸化の状態

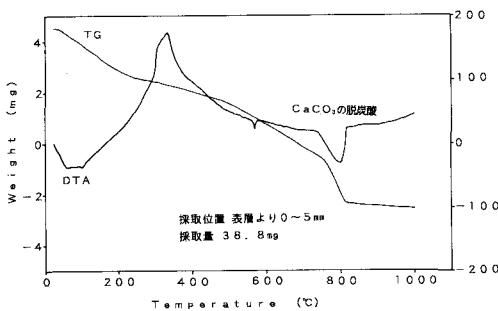


図-3 熱分析試験結果(表層部)

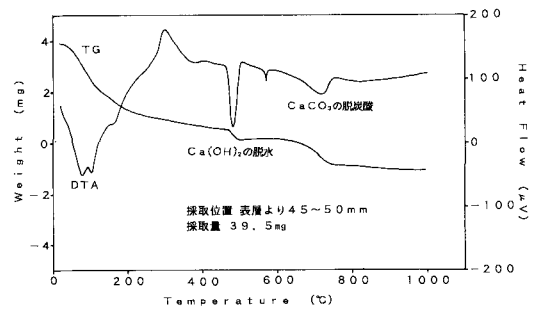


図-4 熱分析試験結果(中心部)

4. まとめ

コンクリートにおいて、フェノールフタレインは完全に炭酸化している部分を示すことはできるが、かなり炭酸化が進行していても $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が存在すれば赤色を呈することがわかった。従って、鉄筋腐食に関していれば、フェノールフタレイン呈色法の結果を全面的に信頼することについては問題があると思われる。

参考文献 1) 小林・宇野：コンクリートの炭酸化に関する研究（I），生産研究，Vol.40，No.5