

V-294 コンクリートの炭酸化に影響を及ぼす要因

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

コンクリートの炭酸化に影響を及ぼす要因としては、これまでにセメントの種類・水セメント比を始めとして多くの要因が明らかにされている。また、これらの要因を考慮したいわゆる中性化速度式も数多く提案されている。これらの式は、いずれも多くの中性化実験ならびに実構造物の調査の結果から導きだした実験式であり、それぞれ実績を持った式であった。しかし、時代の推移と共にこれらの中性化速度式では説明が困難なほど中性化が深く進行している構造物の報告例が出されるようになってきた¹⁾。これは、コンクリートに用いられる材料がかつてのものと異なることに起因するものであり、特にセメントの焼成方法が湿式より乾式に変わったことによるアルカリ分の多いセメントの供給がその主要原因であると考えられる。本報告はこのような観点に立ち、セメント中のアルカリ分を考慮したブレンコンクリートの促進および自然暴露による炭酸化試験を行い、従来から指摘されている水セメント比および養生条件の要因効果と比較検討したものである。また、自然暴露の試験結果を用いてセメント中のアルカリ分を考慮に入れた新たな炭酸化速度式の提案を行った。

2. 実験概要

セメントは、 $R_2O=0.31\%$ ならびに 0.57% の普通ポルトランドセメントを使用した。コンクリートは、粗骨材として最大寸法が 20mm の秩父両神産碎石を、細骨材として大井川産川砂を使用して作製し、スランピングが 8cm になるように配合を定めた。さらに、セメント中のアルカリ分が炭酸化に及ぼす影響を検討するために $R_2O=0.57\%$ のセメントに $NaOH$ を添加することにより等価 Na_2O 量を $0.9, 1.2, 1.5\%$ に調整した。供試体は $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ の円柱供試体とし、打設後、養生条件が炭酸化に及ぼす影響をみるために1) 温度 20°C 、湿度 100% の霧室内に4週間（以下、湿潤と呼ぶ）、2) 同霧室内に1週間置いた後、 20°C の室内に3週間（以下、湿潤+気中と呼ぶ）、3) 20°C の室内に4週間（以下、気中と呼ぶ）の3条件で養生を行った。養生を終了した供試体は、温度 20°C 、湿度 60% 、炭酸ガス濃度 10% の促進炭酸化槽内および屋外に放置した。所定の期間炭酸化を行った供試体は、 $\phi 10\text{cm}$ の破断面が得られるように割裂し、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て非炭酸化部を赤色に発色させた後、画像解析装置により炭酸化深さを測定した。

3. 実験結果と考察

図-1(a), (b) および (c) は、促進炭酸化16週におけるセメント中の R_2O と炭酸化深さの関係を湿潤、湿潤+気中、気中の3条件

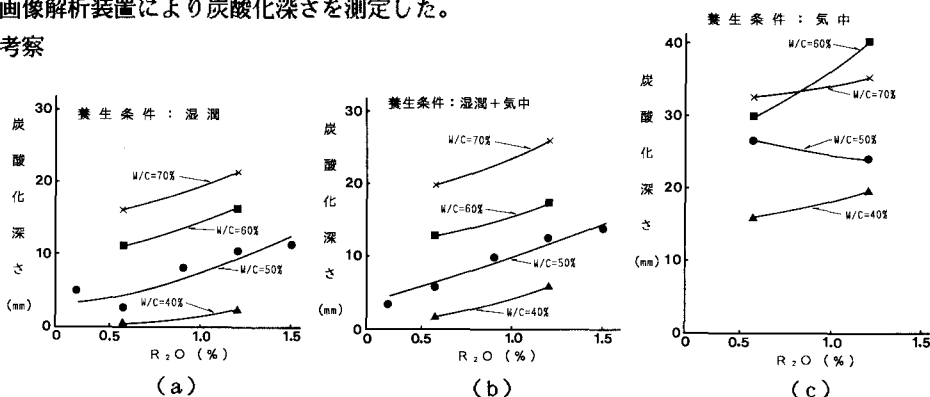


図-1 促進炭酸化16週におけるセメント中の R_2O と炭酸化深さの関係

について示したものである。図-1(a), (b)より、明らかにセメント中の R_2O が炭酸化を促進する要因となることがわかる。図-1(a)より従来から指摘されている水セメント比の要因効果とセメント中の R_2O

の要因効果を比較検討すると、例えば、 $R_2O=0.57\%$ のセメントを用いて水セメント比を70%にした場合の炭酸化深さが16mmであるが、 $R_2O=1.2\%$ のセメントを用いると水セメント比を60%に下げても同等の炭酸化が生じていること、また、 $R_2O=0.57\%$ のセメントを用いて水セメント比を60%にした場合の炭酸化深さが10mmであるが、 $R_2O=1.2\%$ を越えるセメントを用いると、水セメント比を50%に下げてもそれ以上の炭酸化を生じていることから、セメント中の R_2O の要因効果が水セメント比の要因効果よりも卓越していることがわかる。すなわち、水セメント比を下げても R_2O の高いセメントを用いると炭酸化は促進されることがわかる。図-1(c)に図-1(a),(b)のようなセメント中の R_2O の効果が顕著に現れていないのは、養生が不完全であるために組織が多孔質になり、その効果が半減しているためと考えられる。また、この3つの図を比較すると、特に気中養生の場合に炭酸化が著しく促進されており、湿潤養生が炭酸化を遅らせる効果があることがわかる。

図-2(a),(b)および(c)は、自然暴露6ヶ月におけるセメント中の R_2O と炭酸化深さの関係を各養生条件につ

て示したものである。これらの図より、セメント中の R_2O は促進炭酸化と同様に自然暴露においても炭酸化を促進する

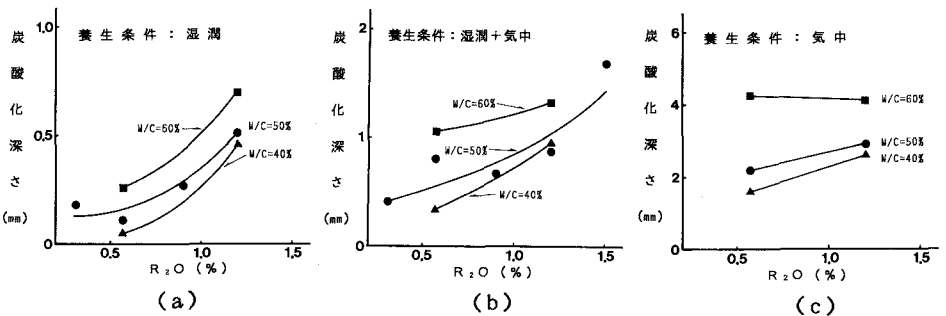


図-2 自然暴露6ヶ月におけるセメント中の R_2O と炭酸化深さの関係

要因であることがわかる。また、セメント中の R_2O と水セメント比との要因効果の差は促進炭酸化の場合よりもさらに顕著となっており、実際の構造物においてはセメント中の R_2O がより重要となることが予想される。ここで注目すべきは、初期養生の影響である。各養生条件の炭酸化深さを比較すると湿潤に対して湿潤+気中は約2~3倍の炭酸化を、気中では約4~6倍の炭酸化を示している。したがって、実構造物においては初期養生もより重要な要因となることがわかる。

これらの自然暴露の試験結果を用いて、現在、中性化速度式として一般に用いられている岸谷式²⁾にセメント中の R_2O の要因を考慮して修正を加えると以下のような炭酸化速度式が導ける。ただし、養生条件の定量化が困難であるため本実験の3つの養生条件別の式とした。

$$t = \frac{7.2}{(Ay - Bw + C)^2 (4.6w - 1.76)^2} \cdot x^2$$

ここで、 t :経過年数(年), w :水セメント比(≤ 0.6), x :炭酸化深さ(cm), y :セメント中の R_2O (%)
また、初期養生によって決まる定数として、

湿潤養生の場合、 $A=0.19$, $B=0.25$, $C=0.15$
 湿潤+気中養生の場合、 $A=0.43$, $B=2.23$, $C=1.40$
 気中養生の場合、 $A=0.15$, $B=5.73$, $C=4.85$

【参考文献】

- 1) 例えば、石橋忠良、北後征雄：コンクリート工学年次論文集，Vol.9，No.1，pp.429-434，1987
- 2) 岸谷孝一：鉄筋コンクリートの耐久性，鹿島建設技術研究所出版部，pp.147-149