

コンクリートの中酸化速度に及ぼす温度の影響

Influence of Environmental Temperature on Carbonation Ratio of Concrete

魚 本 健 人*・高 田 良 章**

Taketo UOMOTO and Yoshiaki TAKADA

1. は し が き

本来、コンクリート構造物中の鉄筋は、コンクリートの高アルカリ環境下によって保護されているが、大気中の炭酸ガスがコンクリート中へ拡散することによって徐々に中性化され、コンクリート内部の鉄筋まで到達すると鉄筋は腐食しやすくなる。したがって、コンクリートの中性化はコンクリート構造物の耐久性を知る上できわめて重要な現象であり、今まで多くの研究機関等で暴露試験や促進中性化試験等を通じて数多くの研究成果が報告されている。しかしながら、中性化に対する耐久性を評価する場合、自然環境下では長い年月をかけて中性化が進行するため、一般に炭酸ガス濃度や温度を高めた促進中性化試験が行われている。しかし、これは同一試験条件下においてどの材料が中性化に対して抵抗性があるかの相対的な比較はできるが、自然環境下の何倍の速度で中性化が進行しているかについては十分明らかにされておらず、自然環境下と関連付けた研究例は数少ないのが現状である。これは、中性化速度に及ぼす促進要因である炭酸ガス濃度や温度の影響が十分明らかにされていないためであろう。すでに著者らは、促進要因の一つである炭酸ガス濃度に着目し、炭酸ガス濃度がコンクリートの中性化速度に及ぼす影響について検討し、従来の中性化速度式^{1)~3)}に炭酸ガス濃度の要因を含んだ中性化速度式を提案している⁴⁾。そこで本文では、もう一つの促進要因である温度に着目し、環境温度がコンクリートの中性化速度に及ぼす影響について検討した結果について報告する。

2. 実 験 概 要

2-1 使用材料およびコンクリートの配合

セメントは普通ポルトランドセメント、粗骨材は秩父両神産砕石(最大寸法;20mm,表乾比重;2.69,FM;

*東京大学生産技術研究所 第5部

**藤沢薬品工業(株) 筑波コンクリート研究所

6.80), 細骨材は大井川産川砂(表乾比重;2.60,FM;2.86)を使用した。コンクリートは目標スランプ8cm, 単位水量一定のプレーンコンクリートとした。表1にコンクリートの配合を示す。

表1 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				初期養生期間
		W	C	S	G	
60	47	184	307	872	978	0日及び5日

2-2 中性化試験

コンクリート試験体は、直径10cm, 高さ20cmの円柱供試体で、打設後48時間後に脱型し、その後の初期水中養生期間を0日および5日とした。初期水中養生後は炭酸ガス濃度5%, 相対湿度55%を一定とした試験槽で、環境温度を10°C, 30°Cおよび50°Cの環境下に静置した。中性化深さの測定は、所定の材令にて試験体を10×20cmの破断面が得られるように割裂し、直ちにその破断面にフェノールフタレイン1%溶液を吹き付け、非発色面を中性化部として測定した。

3. 実 験 結 果

図1および図2に環境温度の違いによる中性化深さの経時変化の結果を示す。一般に、中性化深さは経過時間の平方根に比例するとされているが、本実験で行った中性化試験においても環境温度や初期養生期間の違いにかかわらず、ほぼ経過時間に比例することが確認された。これより、温度を高めた促進中性化試験においても中性化深さは炭酸ガス濃度の拡散によって支配されていると考えられる。一般に温度が高いほど炭酸ガス濃度の拡散や炭酸化反応が活発化し、中性化が速く進行するとされており、いくつか提案式が報告されている^{5)~7)}。ここで、図1および図2に示す直線の傾きを中性化速度係数(表2)としてプロットした結果を図3に示す。図に示

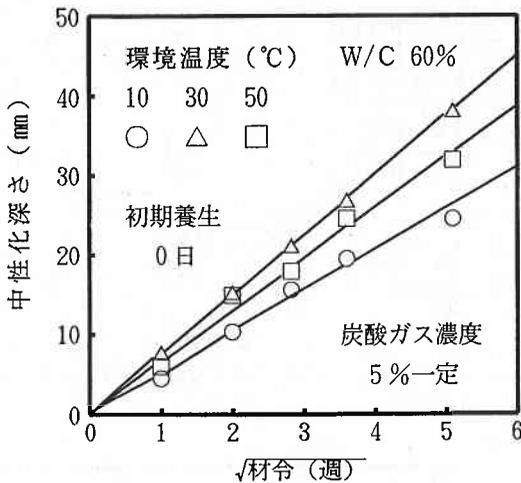


図1 中性化深さの経時変化 (初期養生 0日)

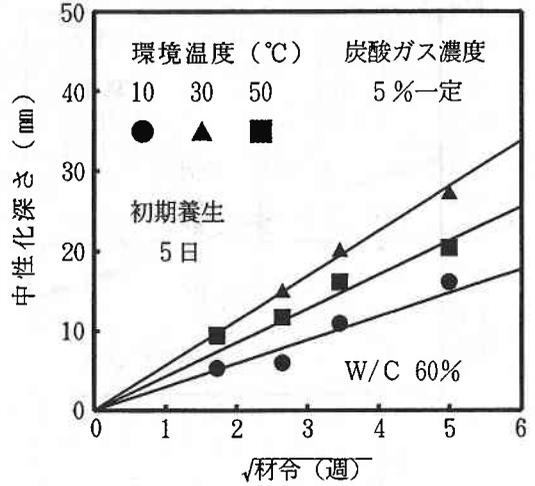


図2 中性化深さの経時変化 (初期養生 5日)

表2 各試験条件における中性化速度係数

環境温度 (°C)	初期養生 期間 (日)	中性化速度係数 (mm/√週)
10°C	0	5.09
30°C		7.46
50°C		6.48
10°C	5	3.04
30°C		5.56
50°C		4.76

すように初期養生期間の違いにかかわらず中性化は 30°C 前後の範囲で最も速く進行しており、既往の実験結果^{5), 6)}とは異なる傾向を示した。これは、既往の実験では環境温度が各研究機関で通常行われている 40°C 以下の条件で試験されたものであり、本実験結果も図 3 に示すように 40°C 付近以下では、既往の実験結果と同様の傾向を示しているものと思われる。

4. 既往の提案式との比較

一般に中性化の進行は、コンクリート中に大気中の炭酸ガスが拡散し、炭酸ガスとコンクリート中の水和物である水酸化カルシウムとの化学反応によって進行する。気体の拡散や化学反応に及ぼす温度の影響は、ある種の反応を除き温度が高くなるほど指数関数的に反応が進行するというアレニウムの理論に従うとされている。

著者らはすでに中性化速度に及ぼす炭酸ガスの濃度の影響を実験的に明らかにしており、各研究機関等 (合計 34 ヶ所) でさまざまな試験条件 (炭酸ガス濃度: 屋内自然環境下 ~ 100%, 環境温度: 10°C ~ 40°C) で試験された促進中性化試験結果 (データ数約 150 個) と比較検証し、その結果、温度の影響も含めた中性化速度式を提案している⁷⁾。図 4 に各研究機関で試験された約 150 の実験結果に対して著者らがすでに提案した式⁴⁾を用い、炭酸ガス濃度の影響を取り除き、屋内自然環境下における中性化速度係数の予測値を求め、20°C における中性化速度係数を 1 とした場合のアレニウムプロットの結果を示す。この図は中性化速度に及ぼす温度の影響がアレニウム則に従うと仮定して求めた著者らの提案式であるが、本実験結果はアレニウス側に従わない結果を示した。し

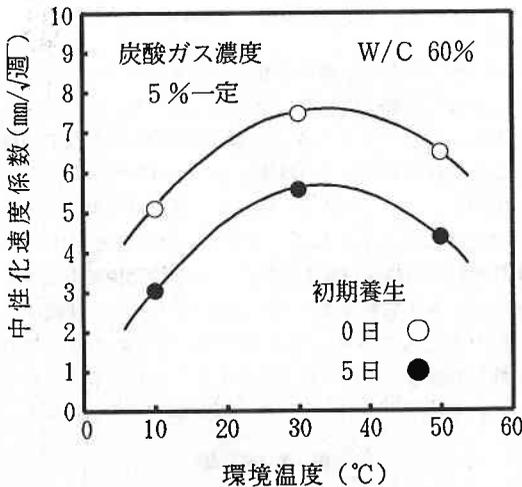


図3 中性化速度に及ぼす温度の影響

研 究 速 報

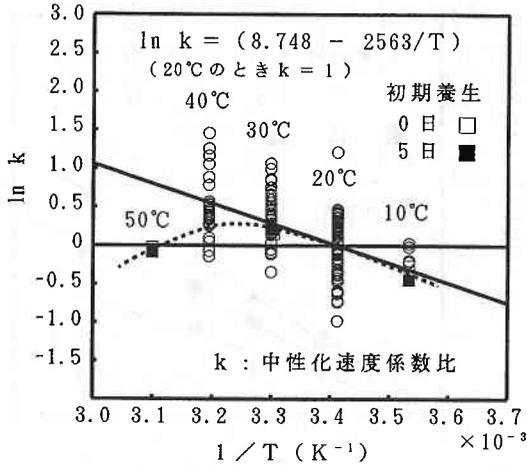


図4 アレニウスプロット

かしながら、関口ら⁸⁾はこれら約150個の実験結果に対してニューラルネットワークを適用し、環境温度、炭酸ガス濃度および水セメント比の3つの要因からそれぞれの中性化速度に及ぼす影響について検証しており、本実験結果と同様の傾向を示している。(図5)

図6に20°Cのときの中性化速度係数を1とした場合の既往の実験結果との比較を示す。本実験結果は先述した通り、温度が30°C~40°C付近で中性化速度係数比が最も大きくなり、それ以上の温度では小さくなる傾向を示しているが、40°C以下の温度範囲では、既往の実験結果とほぼ同様の傾向を示した。これより、40°C以下の範囲では温度が高くなるほど中性化が速く進行するものと考えられる。以上のことより、本実験結果から中性化速度係数比kは次式のようになる。

$$k = -8.00 \times 10^{-4} (T)^2 + 5.41 \times 10^{-2} (T) + 0.24$$

ここに、k：中性化速度係数比
 (ただし、20°Cのとき k = 1)
 T：温度 (°C)
 (ただし、10°C~50°Cの範囲)

5. ま と め

本文は、異なる温度環境下において促進中性化試験を行い、環境温度がコンクリートの中性化速度に及ぼす影響について実験的に明らかにし、既往の実験結果と比較検討したものである。本実験で得られた結果を要約すると以下のとおりとなる。

環境温度が10°C~50°Cの範囲で促進中性化試験を行った結果、中性化速度係数は環境温度が30°C~40°C付近で最も大きく、それ以上の環境温度では小さくなる

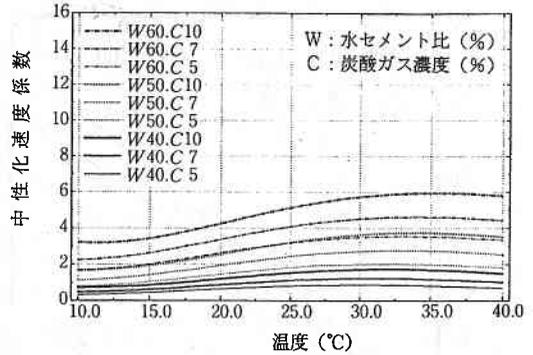


図5 ニューラルネットワークを用いた環境温度に対する推定値の変化⁸⁾

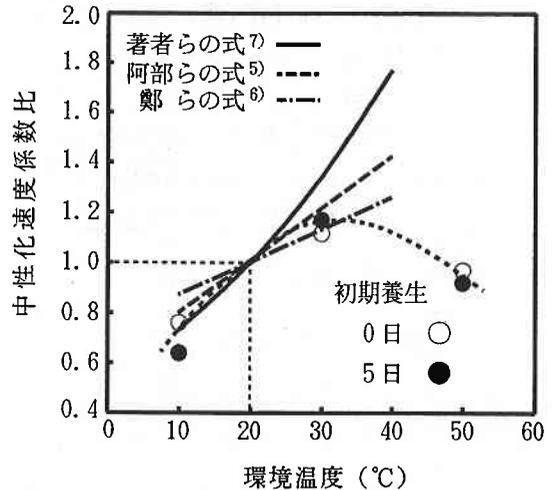


図6 既往の実験結果(提案式)との比較

傾向を示しており、環境温度がコンクリートの中性化速度に及ぼす影響は、アレニウス則に従わないことが明らかとなった。しかしながら、環境温度が40°C以下の範囲では既往の実験結果(提案式)とほぼ同様の傾向を示しており、この温度範囲では温度が高いほど中性化は速く進行すると思われる。最後に、環境温度が40°Cの条件で促進中性化試験を実施している研究機関も数多くあるが、本実験結果より40°Cと30°Cの中性化速度はほぼ同程度と考えられ、促進を目的に40°Cの条件で促進中性化試験を行うのはあまり好ましくないと考えられる。

(1993年5月24日受理)

参 考 文 献

- 1) 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，1963
- 2) 日本建築学会：コンクリートの調査設計・調査管理・品

研究速報

- 質査指針案・同解説, 1976
- 3) 依田彰彦: 高炉セメントコンクリートの中性化, セメント・コンクリート, No. 429, 1982.11
 - 4) 魚本・高田: コンクリートの中性化速度に及ぼす炭酸ガス濃度の影響, 生産研究, Vol. 43, No. 6, pp. 35-38, 1991.6
 - 5) 阿部・榊田ほか: コンクリートの促進中性化試験方法の評価に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第409号, pp. 1-10, 1990.3
 - 6) 鄭・平井・三橋: モルタルの中性化速度に及ぼす温度・湿度の影響に関する実験的研究, コンクリート工学論文集, Vol. 1, No. 1, pp. 85-93, 1990
 - 7) 魚本・高田: コンクリートの中性化速度に及ぼす要因: 土木学会論文集, No. 451, V-17, pp. 119-128, 1992.8
 - 8) 関口・魚本・高田: ニューラルネットワークを用いた促進中性化試験結果の分析, 生産研究, Vol. 44, Nr. 3, pp. 54-58, 1992.3