

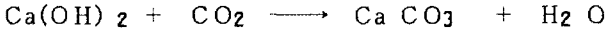
V-290

コンクリートの拡散性状に基づく中性化速度の予測

前田建設工業株式会社技術研究所 正員 出頭 圭三
 東京大学生産技術研究所 正員 小林 一輔

1. まえがき

コンクリートの中性化は、主としてコンクリート中へ侵入した炭酸ガスと、セメントの水和により生じた水酸化カルシウムが反応して炭酸カルシウムが生成されることにより生じる。



コンクリート中への炭酸ガスの侵入は主に拡散現象によるものと考えられており、このことは多くの中性化速度予測式が経過時間の平方根として求められていることで裏付けられている。しかしこれまで行われている多くの研究では、必ずしも中性化速度を拡散現象と関連させてとらえていない。その理由としては、炭酸ガスの拡散が水酸化カルシウムとの化学反応を伴うこと、空気中の炭酸ガス濃度が約0.03%と低く拡散速度が遅いことなどが考えられる。

筆者らはこれまで、コンクリートを含む種々のセメント系材料の酸素の拡散係数を測定している。酸素の拡散性状が炭酸ガスに対しても同じように適用できるならば、酸素の拡散係数を用いて中性化速度を予測することが可能となる。本文は、酸素の拡散係数を用いて中性化深さを予測し、その結果を従来の研究結果と比較したものである。またこれまでの中性化予測式ではコンクリートの中性化速度に影響する因子として、水セメント比、セメントの種類、混和材料の使用、環境（屋外、屋内）、表面仕上げの種類、施工の程度などがあげられている。一方酸素の拡散性状に影響する因子としては、コンクリートの含水率、養生条件、水セメント比、スランプなどがあるが、この内拡散性状に大きな影響を与える養生条件が、中性化予測式には含まれていない。本文では養生条件の相違が中性化速度に、どの程度影響するかについても検討した。

2. 拡散性状に基づく中性化速度の予測

筆者らは、表-1に示す化学成分の普通ポルトランドセメントを用いた、表-2の配合のコンクリートの拡散係数を、数種の条件で養生（材令28日まで水中養生、材令7日まで水中養生以後気中養生、気中養生）して求めている。その結果の一部を表-3に示す。拡散係数は、同じコンクリートであっても養生条件によって大きな差を生じ、気中養生の場合には水中養生の約4倍の値となる。拡散係数が違えば中性化速度も異なると考えられるので、以下各養生をしたコンクリートの中性化深さを求める。

セメントの水和により生成される水酸化カルシウムの量は、おおよそ次式で推定できる。¹⁾

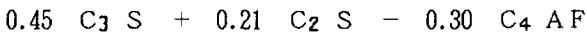


表-1 セメントの化学成分 (%)

強熱減量	不溶残分	二酸化 けい素	酸 化 アルミニウム	酸 化 第二鉄	酸 化 カルシウム	酸 化 マグネシウム	三酸化 イオウ	合計
0.6	0.2	21.6	5.3	3.1	64.8	1.4	2.2	99.2

表-2 コンクリートの配合

水セメ ント比 (%)	細骨材 率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)				測 定 結 果	
		セメント	水	細骨材	粗骨材	スランプ (cm)	空気量 (%)
60	48	342	205	870	967	11.0	1.4

表-3 酸素の拡散係数

養生条件	拡散係数 (10 ⁻⁴ cm ² /s)
28日まで水中養生	2.40
7日まで水中養生	4.44
気中養生	9.78

C_3S , C_2S , C_4AF の量を表—1の化学成分と表—2の単位セメント量からBogueの式を用いて求めると, $C_3S=182.3\text{kg/m}^3$, $C_2S=74.6\text{kg/m}^3$, $C_4AF=32.1\text{kg/m}^3$ となる. その結果, 水酸化カルシウムの生成量は 95.3kg/m^3 となる. ただしこの値は全セメントが水和した場合の値であり, 養生条件などにより異なるが実際の水酸化カルシウムの生成量はこの値より小さくなる. 普通ポルトランドセメントの水和率は, 表—4に示すような値が得られており²⁾, この表に基づいて材令28日まで水中養生, 材令7日まで水中養生, 気中養生の場合のセメントの水和率を85%, 64%, 38%とすると, 生成される水酸化カルシウムの量はそれぞれ 81.0kg/m^3 , 61.0kg/m^3 , 36.2kg/m^3 となる.

空気中の炭酸ガス濃度を0.03%として, 表—3の拡散係数を用いて一次元の差分解析によって炭酸ガスの拡散量を求め, この拡散量から中性化深さを求めると図—1に示す通りとなる. この場合コンクリート内部に拡散した炭酸ガスは直ちに全て水酸化カルシウムと反応すると仮定し, ある部分での水酸化カルシウムが全て炭酸カルシウムに変わった後に初めて炭酸ガスは内部に拡散するものとした. 図中の点線は現在最も一般的に用いられている中性化予測式³⁾を用いて求めた中性化速度である. 材令28日まで水中養生した場合の中性化速度は予測式と良く一致しているが, 水中養生期間が短い場合には中性化速度は予測式よりかなり速くなっている. これは水中養生期間が短い場合には, 拡散係数が大きく炭酸ガスの拡散量が多いこと, 生成される水酸化カルシウム量は逆に少ないことの相乗効果の結果である.

3. まとめ

現在用いられている中性化速度の予測式は, コンクリートの拡散性状に大きな影響を与える養生条件等が考慮されていないため, 中性化速度を非常に遅く算定する可能性がある. すなわちここで検討したコンクリートと同じ配合を用いたかぶり5cmの構造物では, かぶり部分のコンクリートが中性化するのに要する期間は, 材令28日まで水中養生したコンクリートで170年, 材令7日まで水中養生したコンクリートで70年であり, これらの構造物は中性化に対して十分な耐久性を有していると判断されるが, 気中養生したコンクリートでは中性化に要する期間はわずか18年にすぎず, $1/4\sim 1/10$ の寿命しかないことになる. 予測式では養生条件に関係なく中性化に要する期間は180年である.

4. あとがき

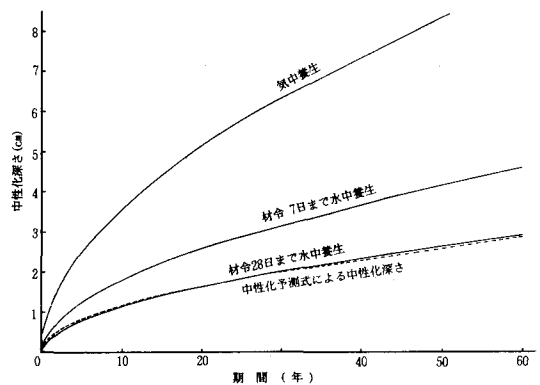
現在中性化速度の予測は, 実験あるいは実測に基づいて導かれた予測式によって行われている. しかし実験ではコンクリートが置かれているさまざまな条件を全て包含することは難しく, 重要因子が欠落する可能性もある. これに対し, 拡散性状に基づく方法はさまざまな条件のもとでの中性化速度を正確に予測することが出来る有効な方法であると考えられる.

参考文献

- 1) W. Czernin, 徳根訳: 建設技術者のためのセメントコンクリート化学, 技報堂, 1969
- 2) 笠井順一: セメント化学概論, コンクリート工学, 1983, 11
- 3) 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

表—4 セメントの水和率²⁾ (%)

	1日	3日	7日	28日	91日
小野 吉雄	37.5	47.0	63.9	84.0	88.9
C.H.Taplin	37.5	62.5	80.0	92.5	97.5
L.E.Copeland	44.0	60.0	72.0	87.5	94.5
G.Verbeck	—	50.7	66.0	79.6	86.5



図—1 コンクリートの拡散性状に基づく中性化深さ