

養生条件がコンクリートの塩分浸透に及ぼす影響

徳山工業高等専門学校 学生会員 ○藤尾 朋生
正会員 温品 達也

1. 目的

コンクリートは様々な構造物に適用されている. コンクリートの耐久性を向上させることで, 社会インフラとして膨大に適用されているコンクリート構造物が長寿命化し, 社会基盤の安定化に貢献することができる. 本研究では鉄筋コンクリートの代表的な劣化の1つである塩害と養生方法の関係について検討した.

塩害とは, 鉄筋コンクリートに塩化物イオンが侵入し, 不動態被膜が不安定となって, 内部の鉄筋を腐食させる現象である. この腐食鉄筋が膨張し, ひび割れが発生してコンクリートが剥落するなどして部材としての強度が低下する.

ここで, コンクリート標準示方書¹⁾に記載されている塩害に関する照査式を式(1)に示す.

$$\log_{10} D_k = 30 \times \frac{W}{C} - 18 \quad (1)$$

ここに, D_k :塩化物イオンの拡散係数の特性値($\text{cm}^2/\text{年}$), W/C :水セメント比である. この照査式にはセメント種類ごとの水セメント比のみがパラメータとなっている. しかし実際の構造物には養生条件が存在し, この条件によってコンクリートの耐久性は大きく変化すると考えられる. また, 水セメント比を低減しなくても, 養生によって一定上の耐久性を確保できる可能性を照査式では考慮できていないともいえる.

以上より, 本論文では, 塩水浸せきおよび塩分滴定試験コンクリートので得られた塩分浸透量を示し, その結果を基に養生条件別に耐久年数を計算し, 養生条件と耐久年数の関係を考察した.

2. 実験条件

コンクリートの配合を表-1に示す. 養生条件は気中養生, 水中養生, 封かん養生, ラップ養生の4種類である. それぞれ材齢7日に脱型を行った. 気中養生は, 脱型した後そのまま養生室にて保管した. 水中養生は, 脱型した後水中に浸せきし, 養生室で保管した. 封かん養生は, 打込み後から天端をラップし脱型せずそのまま保管した. ラップ養生は, 脱型の翌日(材齢8日目)にラップで供試体全体を覆った. 供試体はすべて温度 20°C , 湿度60%の養生室で保管した. 材齢28日に各養生を終了し, 側面4面をエポキシ樹脂でコーティングした. 養生完了から7日後に濃度10%(1.71mol/l)の塩水に56日間浸せきさせた. その期間も温度 20°C , 湿度60%の養生室で保管した. 浸透塩化物イオン量はJCI-SC5「硬化コンクリート中に含まれる全塩分の簡易分析方法²⁾」に準拠した.

表-1 コンクリートの配合

水セメント 比W/C (%)	細骨材率 s/a(%)	単位量(kg/m^3)				
		W	C	S	G	混和剤
55.0	45.0	172	313	831	1042	$C \times 1.5\%$

キーワード 養生, 塩害, 耐久性, 拡散係数

連絡先 〒745-8585 山口県周南市学園台 徳山工業高等専門学校

T E L 090-7997-3173 E-mail: c13fujio@tokuyama.ac.jp

3. 塩分滴定の結果と考察

図-1 は各養生条件における塩分浸透量の測定値である。水中養生は浅い部分に多く塩分が侵入しており、深い部分は塩分があまり侵入していない。気中養生は浅い部分にあまり塩分が侵入しておらず、深い部分に多く侵入している。

この測定値を Fick の拡散則に基づく式(2)に用いて、 C_{a0} と後に記載する D_a から重回帰分析して塩分浸透量の計算値を導出したもののうち、気中養生を代表として図-2 に示す。

$$C(x, t) = C_{a0} \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_a t}} \right) \right\} \quad (2)$$

ここに、 x :暴露面からの距離(cm)、 t :浸せき期間(年)、 $C(x, t)$:測定されたコンクリート単位質量あたりの全塩化物物

イオン(%), C_{a0} :コンクリート表面の全塩化物イオン(kg/m³), D_a :見掛けの拡散係数 (cm²/年), erf:誤差関数である。実験値と計算値が近い値を取っていることから、妥当な結果が得られていると考えられ、他の養生条件も同じことが言える。全ての養生条件の計算値をまとめたものが図-3 であり、計算値と測定値を比較すると、おおむね同じ傾向であった。

図-3 を基に、各養生条件の $C(xt) \approx 0.1$ かつ $C(xt) \geq 0.1$ の部分を塩分浸透深さとした結果を図-4 に示す。水和反応が最も促進されたと考えられる水中養生の塩分浸透深さが浅いことから、塩分浸透深さが浅いほどコンクリート中に多く水分を含んでおり、水和反応が促進されたと考えられる。

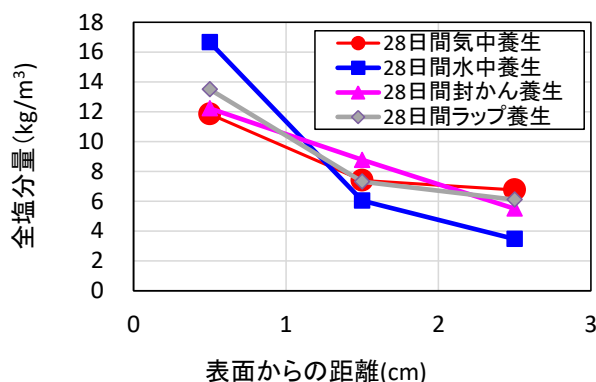


図-1 塩分浸透量の測定値

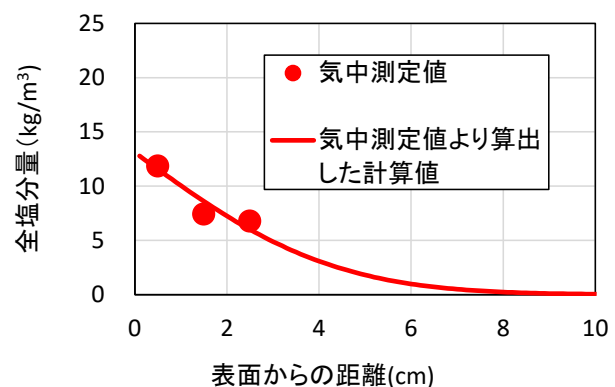


図-2 塩分浸透量の計算値(気中)

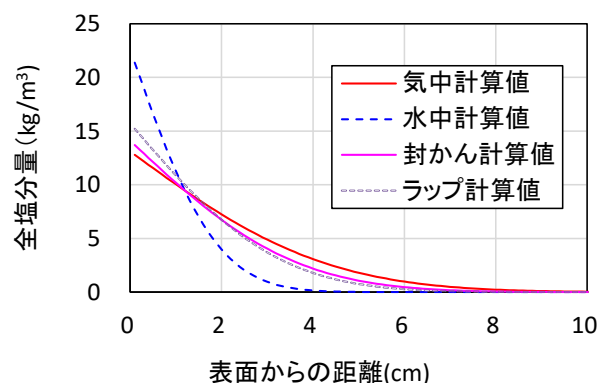


図-3 各養生条件における塩分浸透量計算値

次に、今回検証した養生条件が耐久年数にどの程度影響を与えるか検証するため、に示方書に準拠して計算した例を述べる.耐久年数を予測するために、塩化物イオン濃度の設計値 $C_d(\text{kg/m}^3)$ ，腐食発生限界濃度 $C_{lim}(\text{kg/m}^3)$ ，はコンクリート標準示方書に記載されている式(3)，式(4)を用いる.

$$C_d = \gamma_d \cdot C_0 \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{01 \cdot c_d}{2 \sqrt{D_a \cdot t}} \right) \right\} \tag{3}$$

$$C_{lim} = -30 \left(\frac{W}{C} \right) + 34 \tag{4}$$

ここで、 γ_d :安全係数で 1.3 を用いた、 c_d :かぶり (mm)で 50 を用いた、 D_a :塩化物イオンの拡散係数($\text{cm}^2/\text{年}$)で図-4 の結果を用いた、 t :時間(年)， erf :誤差関数， W/C :水セメント比で、この式(3)の値が、式(4)に達した時の時間を耐久年数とし、計算結果を図-5 に示す. 図-5 における鋼材腐食開始年数をグラフにしたものを図-6 に示す. とともに、促進試験より得た拡散係数を用いた計算例であることを付記する.この結果から養生条件によって耐久性が変動することが明らかであり、外気に触れている養生条件ほど耐久年数が短い値を示している.このことより、コンクリートの水分が外気に触れて蒸発していることが考えられる.また外気にほとんど触れていない水中養生と封かん養生では、水中養生のほうが耐久年数が長い.したがって、コンクリート中への供給水分が多いほど、耐久年数が長くなると考えられる. これは、十分な水分で水和反応が促進され密実なコンクリートになり、塩分が深く浸透しづらくなったためであると推察される.

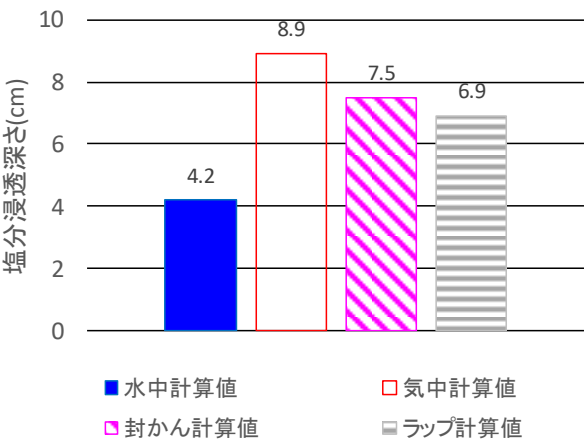


図-4 各養生条件における塩分浸透深さ

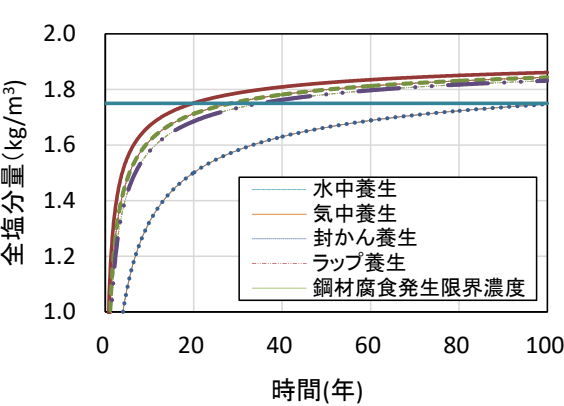


図-5 全塩分量の経時変化試算値

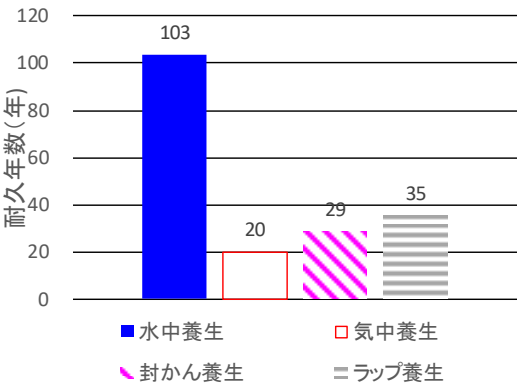


図-6 耐久年数の試算結果

4. 結論

養生条件によって耐久性が変動し、コンクリート中への水分量の多いコンクリートほど水和反応が促進され、密実なコンクリートになり塩化物イオンが深い部分まで浸透しにくいことが分かった。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書， pp148-150， pp88-93， 2012
- 2) JCI-SC5：硬化コンクリート中に含まれる全塩分の簡易分析方法， pp.127-134