

コンクリート中の塩分浸透量に関する既往調査結果の整理とその分析

鹿児島大学工学部 学生員 ○塘 一秀

同 上 正会員 武若耕司

1. まえがき

塩害の顕在化によって、ここ10年程の間に、海岸、海洋のコンクリート構造物の劣化調査や耐久性向上に関する研究が急激に増加している。特に、塩害の元凶となるコンクリート中の塩分量の把握は最も基本的かつ重要であり、その調査報告もかなりの数にのぼっている。ただし現状では、このような塩害調査データの多くは個々にその調査対象の状況を説明しているにすぎず、これら全ての調査データを取りまとめて総合的に検討し、耐久性設計に積極的に利用しようとする試みは未だない。

一方著者らはこれまで、海洋コンクリート構造物の耐久性設計方法の確立を目的として、コンクリート中の塩分浸透過程について一連の検討を行い、その推定手法についても一提案を行っている。しかし、この推定結果の信頼性の確認やより実情に即した解析条件の設定等のためには、これまで報告された種々の実測データを有効に活用していかなければならない。そこでここでは、過去15年間に我が国で報告された約400件にのぼる海岸・海洋コンクリートの塩分量の調査データを、塩分浸透過程推定に有効活用できる資料とするために整理と分析を行った結果について報告する。

2. 使用調査データとその分析方法

2-1 使用データの内訳

今回の整理および分析に使用したコンクリート中の塩分量の調査データは、過去15年間に我が国の土木、建築両分野のセメント・コンクリート関係の学会、雑誌などで報告されたものであり、その引用文献数および使用データ数の主な内訳を表-1~3に示す。なお、これらのデータを使用するにあたっては、予め次の条件がおおむね満足していることを確認した。

- 1) コンクリートの配合および使用セメントの種類等が明らかなこと
- 2) 供試体や構造物の設置環境と調査までの暴露期間あるいは共用期間が明らかなこと
- 3) コンクリート中の塩分量の測定位置が明確で、かつ3か所以上の位置で測定を行っていること
- 4) 塩分抽出方法および定量方法が明らかなこと

2-2 データの分析方法

上記のデータをコンクリート中での塩分浸透過程推定のための資料とするため、次の処理を行った。すなわち、コンクリート中への塩分浸透量が1次元の非定常拡散方程式の解として表されるものと仮定してその方程式の解と測定データとを最小二乗近似させ、コンクリートの塩分拡散係数あるいはコンクリート表面における塩分の供給条件の推定を行うものである。なお、拡散方程式の解としては、海洋環境を①海中・干満帯の場合、②飛沫帯・海岸地域の場合に分け、夫々について次式(1)、(2)を使用して近似を行った。

$$C(x, t) = C_0 \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \right] \dots\dots\dots(1)$$

$$C(x, t) = 2W \left[\frac{t}{\pi D} \cdot \exp \left(-\frac{x^2}{4Dt} \right) - \frac{x^2}{2D} \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \right) \right] \dots\dots\dots(2)$$

表-1 調査データの引用文献リスト

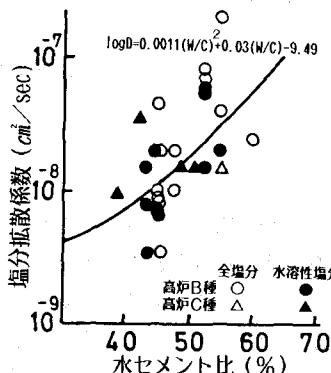
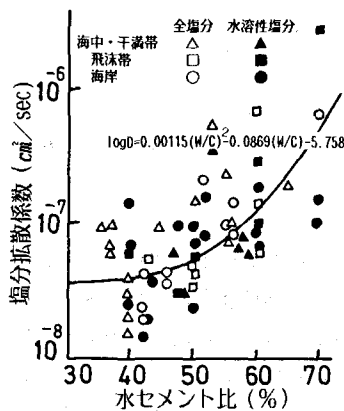
調 査 文 献 名	文献数	データ数
コンクリート工学年次学術講演会講演論文集	9	99
土木学会年次学術講演会講演論文集	10	45
土木学会論文報告集	2	19
コンクリート工学	7	19
セメント・コンクリート	10	84
日本建築学会大会学術講演梗概集	10	64
セメント技術年報	10	65
その他	1	14
合 計	59	409

表-2 測定対象の設置環境条件別分類

環境条件	データ数
海中部・干満帯	45
海洋飛沫帯	83
海岸(1-100m)	129
海岸(100-500m)	74
海岸(500m 以上)	21
海水浸漬・散布実験	51
合 計	409

表-3 測定対象の材令別分類

調査材令	データ数
1年未満	12
1~4年	79
5~14年	96
15~24年	121
25~34年	30
35~44年	24
45~54年	8
55~64年	39
合 計	409



(a) 普通ポルトランドセメント使用の場合

(b) 高炉スラグセメント使用の場合

図-1 コンクリートの水セメント比と推定塩分拡散係数の関係

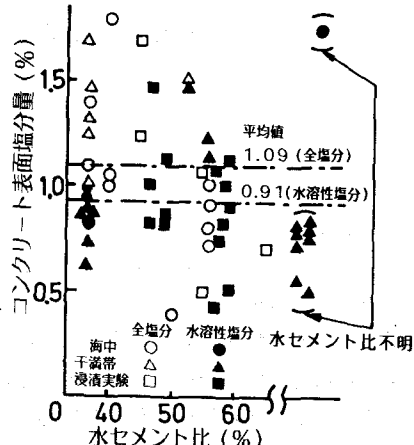


図-2 海中・干満帯におけるコンクリート表面塩分量の推定値

ここで、 $C(x, t)$: t 時間後の表面から x の深さにおける塩分量 ($\%$)

C_0 : コンクリートの表面塩分量 ($\%$)

D : コンクリートの塩分拡散係数 (cm^2/sec)

W : 単位時間あたりのコンクリート表面付着塩分量 ($\%/ \text{sec}$)

さらに、測定データのうち、コンクリート中の全塩分量と水溶性の塩分量を同時に測定しているものについては、その差からコンクリートにおける塩分固定化量を求め、その性状についても検討を行った。

4. データ分析の結果と考察

図-1は、普通ポルトランドセメントおよび高炉スラグセメントを使用したコンクリートにおける塩分拡散係数の推定結果を示したものである。この結果からコンクリートの塩分拡散係数は、①おおむね $10^{-8} \sim 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{sec}$ の範囲にあること、②全般的な傾向として水セメント比の増大に伴って大きな値を示すこと、③高炉セメントの使用によって普通セメント使用の場合の $1/5 \sim 1/10$ になること等を確認できる。

図-2は、海中、干満帯あるいは浸漬実験のコンクリートでは表面の塩分量が常時一定であると仮定して、この表面塩分量の推定を行った結果である。この結果にはかなりのばらつきが見られ、この結果のみから一義的に表面塩分量を決定することは難しいが、その平均値は著者らがこれまで推測していた値とはほぼ一致するものであった。一方、図-3は、飛沫帯、海上大気中および海岸付近のコンクリートの含有塩分量から、表面に付着する塩分量を推定した結果を示したものである。この推定では、飛沫帯やその周辺では、コンクリート重量比で $10^{-2} \sim 10^{-1} \%/ \text{month}$ の付着塩分があり、また100m以内の海岸でもこの量が $10^{-2} \%/ \text{month}$ のオーダーに達する場合のあることが明らかとなったが、同時に、海岸から離れるに従ってこの付着量が指数関数的に減少することもこの図より明確に確認できる。

図-4は、コンクリート中における塩分固定化状況について検討した結果の一例である。平均的には浸透塩分量の約20%程度はコンクリート中で固定化されるようであるが、この固定化率はコンクリート中の含有塩分量が多くなるに従って減少するようであった。

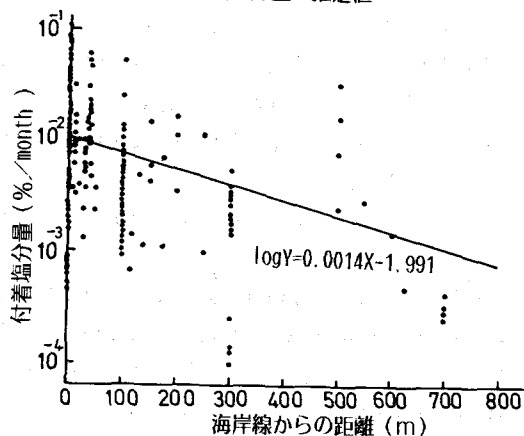


図-3 付着塩分量と海岸線からの距離との関係

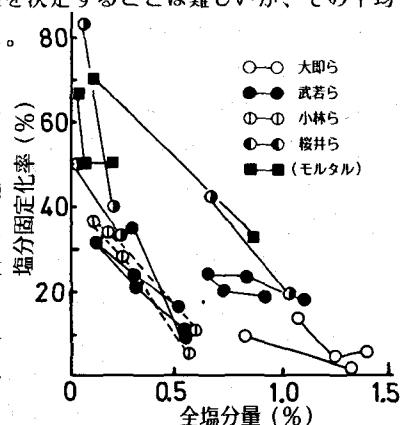


図-4 全塩分量と塩分固定化率の関係