

V-151 施工欠陥を考慮した塩害の定量化に関する一試み

鹿児島大学工学部 正会員○武若耕司

1. まえがき

これまでの多くの研究成果によって、コンクリート構造物に生じる塩害の発生メカニズムについてはかなり明確になってきている。しかし一方で、実構造物における塩害の状況と、理論的あるいは実験的な見解とが一致しないことがかなり多いことも事実である。この不一致の原因のほとんどは、コンクリートの施工不良や施工後比較的早い段階で生じた初期欠陥が耐久性に及ぼす影響について、これまで具体的かつ定量的に評価されていないことに関連があると考えられる。このような欠陥は本来あってはならないものであり、また、理論研究の立場からの研究テーマとしては馴染まないために研究の対象とはなりにくいが、他方、実際には十分に起こり得るものであり、その影響評価は特に構造物の耐久性評価において欠くことのできない資料となる。そこで本研究では、耐久性低下の事例として塩害を取り上げ、この現象に及ぼす施工欠陥の影響を定量的にとらえるために簡単なケーススタディーを実施して、施工欠陥の影響評価を試みた。

2. 実施工されたコンクリートの施工欠陥の定量評価について

実際に施工されたコンクリートの品質がどのようなものであるかを定量的に把握できない限り、その構造物の耐久性を評価することもできない。一方、施工されたコンクリートの品質は、施工欠陥の有無やその規模によって決定される。さらに、これら施工欠陥の存在状況は、コンクリートの配合条件、施工条件ならびに構造物の設計条件（形状や配筋状況）によって影響を受けるものと思われる。また、施工欠陥の有無には人為的な影響も多分に加わっており、従って、種々の条件に対して一義的に実施工コンクリートの品質を定量評価することは極めて困難である。しかし、あえてこのような実施工コンクリートの品質を定量評価しようとするならば、その方法としては、まず①施工欠陥を出来るだけ定量化し易い幾つかの欠陥モデルの組合せと考え、その後②それぞれの組合せの存在可能性を確率論的に評価すること等が考えられる。

さて、この施工欠陥のモデル化にあたって、ここでは取り敢えず次のように考えた。すなわち、施工欠陥が球状の欠陥（以下、欠陥球）の集合によって出来上がっていると考え、その大きさと数の組合せによって異なったタイプの施工欠陥となると見なすものである。例えば、施工欠陥の1つであるブリージングによるコンクリートの品質低下部は小さな欠陥球が多数集った部分、一方、ジャンカ部は数は少ないが大きな欠陥球の集まりと見なすことができる。このような欠陥球の大きさや数と施工条件あるいは配合条件等の関係が明らかになれば、実施工コンクリートの品質評価の定量化もスムーズに行うことができる。表-1は、シミュレーションを行うために、施工欠陥の存在可能性を欠陥球の大きさや数によって分類した一例である。ここでは、欠陥球の大きさは構造物の設置環境あるいは配筋状況等からさきまる施工の難易度を表し、欠陥球の数は配合条件からさきまるコンクリートの施工し易さを表すと仮定した。また、この分類例を基に、図-1に示すフローに従ってモデルコンクリート中に施工欠陥を設定した一例を図-2に示す。

表-1 施工欠陥シミュレーションのための条件設定の例

施工欠陥の原因	原因の水準	欠陥球の条件設定
構造物の設置環境あるいは配筋状況などを考慮した施工難易度	易、やや難、難 など	欠陥球の径の水準に置換 (小、中、大など)
コンクリートの配合条件から予想される欠陥存在の可能性	少、中、多 など	欠陥球の数の水準に置換 (少、中、多など)

注) 欠陥球部と健全部の差については、水セメント比あるいは塩分拡散係数等の差で表すことにする。

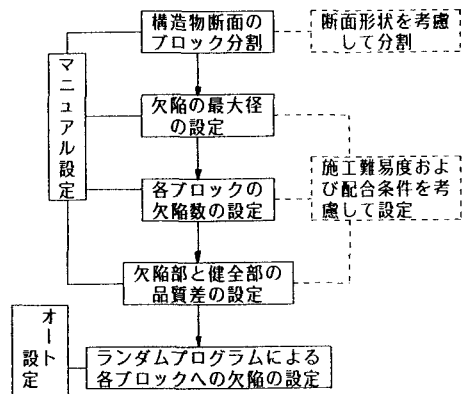


図-1 施工欠陥シミュレーションのためのフロー

3. 施工欠陥が塩害に及ぼす影響の定量評価

塩害によるコンクリート構造物の劣化進行の過程は、コンクリート中に塩化物イオンが浸透し鋼材に腐食が発生するまでと、鋼材腐食が進行しコンクリートに劣化が生じるまでの2つの過程に大別できる。従って、施工欠陥が塩害に及ぼす影響を検討する場合においても、まず、それぞれの過程において最も重要となる2つの現象、すなわち、①コンクリート中への塩化物イオンの浸透現象および、②鋼材におけるマクロ腐食セル形成、に対する施工欠陥の影響をそれぞれ個々に論じ、その後これ等を総合して、塩害に対する施工欠陥の定量評価を行う必要がある。ここでは、この内①について施工欠陥の影響評価の1方法を考察する。

先きに示したような方法で施工欠陥を定量的にシミュレートすることが可能であれば、拡散理論を用いて数値解析を行うことによって、塩分が欠陥を含む種々の断面内を通して外部環境から鉄筋まで到達する時間を推定することは十分に可能である。その際、欠陥の存在によって各断面ごとの塩分の浸透速度は一様とはならないと予想され、そのうち最も早く塩分が鉄筋まで到達する時間をこの構造物の”塩害感受性指数”等として表すと、この値は、明らかに施工欠陥を考慮した塩害評価の指標と見なすことができる。図-3は、図-2で与えられるモデルコンクリート断面において、欠陥球部と健全部の塩分拡散係数を 10^{-6} および $10^{-8} \text{ cm}^2/\text{sec}$ として、鉄筋へ塩分が到達するまでの最短時間とその浸透経路をシミュレーションした結果である。また、表-2は、ケーススタディーとして、設計・施工条件および配合条件ごとに欠陥球の大きさや数を適当に変化させ、図-3に示す4方向からの塩分浸透最短時間を解析した結果である。これらの結果から、今回の手法によって施工欠陥の存在が塩分浸透経路やその速度に及ぼす影響はある程度表現されているものと思われ、この手法を発展させれば、耐久性に及ぼす施工欠陥の影響を定量的に評価することも可能性があると考えられる。

4. あとがき

ここで一例を示した施工欠陥モデルの妥当性については、未だ十分な確認は行っていない。しかし、今回のモデルを1つのケーススタディーの手法と考え、実施工コンクリートの種々のケースと整合性を取ることにより、例えば欠陥球の存在状況をより具体的な実状に即したものとすることは十分に可能であると思われる。

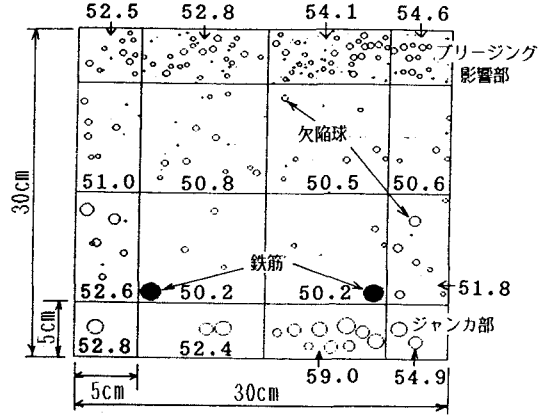


図-2 施工欠陥設定結果の一例

(図中の数値は各ブロック内の平均W/C(%)
(ただし、健全部のW/C=50%、欠陥球部のW/C=70%)

拡散理論を用いて数値解析を行うことによって、塩分が欠陥を含む種々の断面内を通して外部環境から鉄筋まで到達する時間を推定することは十分に可能である。その際、欠陥の存在によって各断面ごとの塩分の浸透速度は一様とはならないと予想され、そのうち最も早く塩分が鉄筋まで到達する時間をこの構造物の”塩害感受性指数”等として表すと、この値は、明らかに施工欠陥を考慮した塩害評価の指標と見なすことができる。図-3は、図-2で与えられるモデルコンクリート断面において、欠陥球部と健全部の塩分拡散係数を 10^{-6} および $10^{-8} \text{ cm}^2/\text{sec}$ として、鉄筋へ塩分が到達するまでの最短時間とその浸透経路をシミュレーションした結果である。また、表-2は、ケーススタディーとして、設計・施工条件および配合条件ごとに欠陥球の大きさや数を適当に変化させ、図-3に示す4方向からの塩分浸透最短時間を解析した結果である。これらの結果から、今回の手法によって施工欠陥の存在が塩分浸透経路やその速度に及ぼす影響はある程度表現されているものと思われ、この手法を

発展させれば、耐久性に及ぼす施工欠陥の影響を定量的に評価することも可能性があると考えられる。

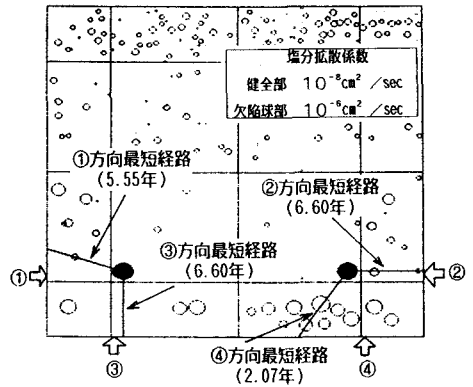


図-3 塩分浸透の最短経路の検索結果の一例

表-2 種々の施工条件および配合条件における塩害感受性指数のシミュレーション結果

配合条件 (欠陥の個数)	設計・施工条件 (欠陥径の範囲)			
	良い (0~0.5cm)	普通 (0~1.0cm)	悪い (0~1.5cm)	非常に悪い (1.5~2.0cm)
良い (0~10個/m ²)	—	—	—	①0.88年 ②4.30 ③4.46 ④3.41
普通 (10~20個/m ²)	①6.60年 ②6.60 ③6.60 ④6.60	①6.60年 ②6.60 ③6.60 ④4.95	①6.60年 ②5.98 ③6.60 ④5.90	—
悪い (20~30個/m ²)	①5.67年 ②6.60 ③6.60 ④6.60	①4.20年 ②6.00 ③4.54 ④4.02	①3.21年 ②5.98 ③4.04 ④3.54	—
非常に悪い (40~54個/m ²)	①4.99年 ②5.94 ③6.03 ④4.64	—	—	—

注) 表中の①~④は、図-3における塩分の浸透方向を示す。