

鹿児島大学大学院 学生会員○松武 進太郎

鹿児島大学工学部 正会員 武若 耕司

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の早期劣化が大きな社会問題となっている。その原因の一つとして、外部からの塩分浸入によって内部鉄筋が腐食する、いわゆる塩害が考えられる。この塩害については、これまでも様々な研究がなされてきたが、実態の解明は未だ十分ではない。その理由として、コンクリート品質のばらつきを十分に把握できないこと、また、実験が長期にわたるために限られたデータしかとれていないこと等が挙げられる。そこで本研究では、コンピュータ解析用にモデル化されたコンクリートを用い、鉄筋腐食に関する様々な要因を取り入れて、塩害によるコンクリート構造物の耐久性をシミュレーションすることを試みた。

2. 解析モデル供試体の概要

今回のシミュレーションモデルとしては、図-1に示すような長さ20cmのコンクリートに、かぶり厚5cmで、径1.5cmの鉄筋を配筋したRCモデルを用いた。また、コンクリートの品質は、内部に存在する欠陥で決まるものとした。この欠陥は、図に示すように球状の欠陥の集合としてモデル化したもので、その大きさや数でコンクリートの品質を表すことができる。さらに品質のばらつきを考慮して欠陥球の配置や大きさはランダム性を持たせて設定できるようにしてある。

3. モデルコンクリートの設定

モデルコンクリートの品質を表すパラメータとしては、水セメント比と相対含水率を考えた。このうち、水セメント比の増加に伴うコンクリートの品質低下については、コンクリート中の余剰水（ここではとりあえず結合水以外の水のこと）の増加に伴う欠陥の増加によると考え、水セメント比が増加するに従って欠陥球も増加するように設定した。図-2は、今回の解析で用いたモデルコンクリートの見かけの単位セメント量、単位水量の解析結果である。一方、相対含水率はコンクリートの全細孔中に含まれる水分の割合を表していると考え、今回の解析では、設定された欠陥球を水球と空隙に分け、全欠陥球容積に対する水球容積の比によって相対含水率を表すことにした。

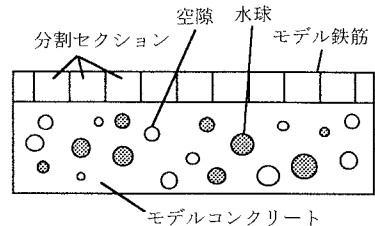


図-1 モデルの含水率の考え方

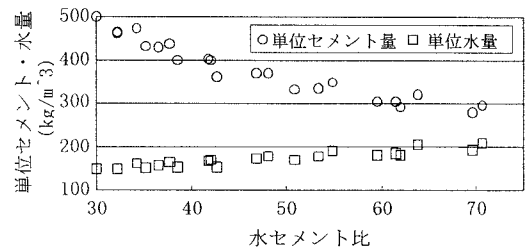


図-2 モデルの単位セメント量及び単位水量

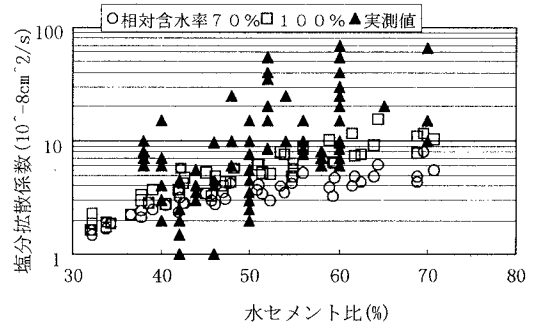


図-3 モデルの塩分拡散係数

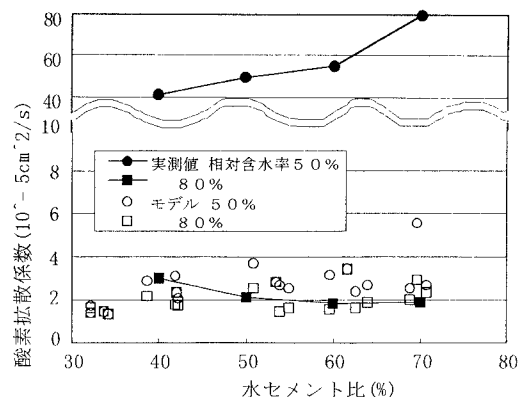


図-4 モデルの酸素拡散係数

以上のようにして設定したモデルコンクリートと実際のコンクリートとの整合性については、それぞれの塩分あるいは酸素の拡散性を比較することにより検討した。その結果の一例として、図-3、4には、今回、最終的に鉄筋腐食解析に用いることになったモデルコンクリートの塩分及び酸素拡散係数を示している。

この場合、絶対的な値においては、さらに検討の余地もあるが、コンクリートの品質と鉄筋腐食性の相対的な検討は、このモデルコンクリートを使っても十分に可能であると判断した。

4. 腐食条件の設定

通常、コンクリート内の鉄筋腐食についてはマクロセル腐食がよく知られている。そこで本解析においても、その考えに基づき、図-5のフローチャートに従って鉄筋腐食の算定を行った。すなわち先ずモデル鉄筋を1cm長さのセクションに分割し、鉄筋腐食は図-6に示すように塩分が早く到達したセクションから順次腐食するものと考え、腐食部をアノード部、非腐食部をカソード部と考えた。そして、腐食セクションの腐食反応が、カソードあるいはアノード支配のいずれの支配形態をとるかを判定した後、酸素拡散係数を考慮して腐食量の算定を行った。

なお、腐食反応には酸素とともに水の存在も重要である。鉄筋の周りに酸素が十分にあるとすると、腐食量は水の量によって支配される。そこで本解析では、モデルコンクリート中の水の量（相対含水率）と腐食に必要な水の量との関係から腐食量を修正している。

さらに、鉄筋の腐食問題は、鉄筋腐食に伴うコンクリートのひび割れ問題に帰着する。この点に関しては、ひび割れが発生するのに必要な腐食量（ V_x ）は、コンクリートの強度を考慮に入れ、既往の研究結果も参考として、次式により求めた。

$$V_x = \frac{\{0.02 \times (0.4 + 0.2 \times LR/LA) \times 50\}}{W/C}$$

ここで、 LR ：かぶり厚、 LA ：鉄筋径

5. コンクリートの品質と塩害の関係についての一考察

以上で検討を行った塩分拡散の状況や腐食の解析手法を基に、鉄筋の腐食によってコンクリートにひび割れが発生するまでの、腐食進行シミュレーションを行った。図-7には、その一例として、水セメント比と腐食ひび割れ発生までの年数の関係についての解析結果を示した。また、表-1には、コンクリートの含水率が異なる場合において、安全に50年構造物が使用できると予想されるコンクリートの水セメント比についての推定結果を示した。

6. 結論

上記の結果により、塩分がコンクリート内部に浸入し、鉄筋が腐食、膨張しコンクリート構造物にひび割れが発生するという一連の塩害過程を、ある程度シミュレーションすることが可能となった。

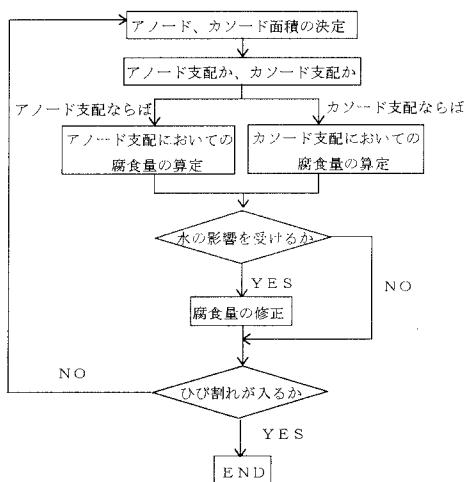


図-5 腐食量算定のフロー

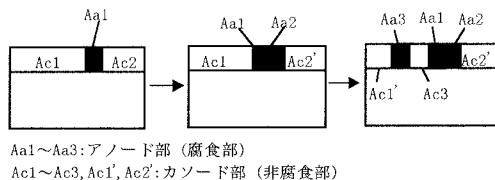


図-6 腐食部の拡大状況の概念図

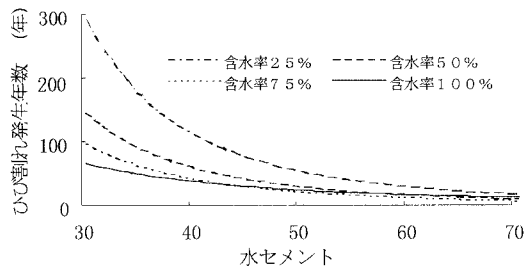


図-7 水セメント比とひび割れ発生年数の関係

表-1 安全に50年使用できると予想される
コンクリートの水セメント比

含水率	W/C
2.5%	50.3
5.0%	41.1
7.5%	36.5
10.0%	32.2