

RC構造物のかぶりの信頼性設計法に関する基礎的研究

広島工業大学大学院 学生員 ○松原 多孝

広島工業大学工学部 正 員 中山 隆弘

1. はじめに

RC構造物中の鉄筋の腐食は、コンクリートの劣化現象の一つである中性化が基本的原因であり、RC構造物の耐久性を評価する上で重要な事項である。しかし、中性化による鉄筋の腐食を防ぐ策として有効であるかぶりの厚さの設計は、日本建築学会、土木学会とも最小値を規定しているのみで、設計者の経験にゆだねられているのが現状である。しかし、われわれも、「構造計画で、経済性、施工性に加え、信頼性も取り上げるべきであり¹⁾」、「従来の方法を信頼性工学のterminologyを用いて解釈しなおし、信頼性解析を行うべきである²⁾」と考えている。そこで、和泉の研究³⁾を参考にして、信頼性設計手法に従って鉄筋のかぶり厚さを算定するコンピュータシステムの構築を試みた。

2. 設計かぶり厚さの算定法

設計かぶり厚さとは、耐久性上必要とされるかぶり厚さに施工誤差の影響を加味したかぶり厚さである。

さて、鉄筋にとって有害な腐食は、屋外では、コンクリートの中性化領域が鉄筋の位置にまで到達すると急速に進行し始める。中性化領域の進行速度は不確実であり、平均中性化深さ Ct は、一般に次式で与えられる。

$$Ct = \alpha \gamma \kappa \sqrt{t} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 α :環境条件による係数、 γ :コンクリートの品質による係数、 κ :仕上げ材による係数、 t :材令である。また、施工誤差は、コンクリートの表面から鉄筋位置までの距離、すなわち、かぶり厚さ D のばらつきとして考慮する。

前述のように、中性化深さ Ct は、材令と共に経時的に進行し、ある時期に鉄筋の位置に達するが、中性化深さおよびかぶり厚さが共に確率分布するとすれば、鉄筋の腐食の発生も確率的な事象と考えられる³⁾。

和泉の方法は、中性化深さとかぶり厚さのばらつきが共に正規分布するときのみ有効であるが、本研究では、最近では一般的な信頼性解析法である1次ガウス近似法⁴⁾を導入し、両者が非正規分布に従う場合にも対応できるシステムとした。

この場合、中性化深さ Ct がかぶり厚さ D に達するときを限界状態と想定し、性能関数 Z を次式で定義することができる。

$$Z = D - Ct \dots\dots\dots (2)$$

さらに安全性指標 β がかぶり厚さ D が材令 t における中性化深さ Ct に対してどの程度の余裕をもっているかの定量的指標となる。

さて、確率量となる中性化深さ Ct とかぶり厚さ D は次の性質を持つものとする。

まず、中性化深さの平均値は、式(1)において、 α 、 γ 、 κ を設定し、目標耐用年数 T を t に代入することにより求めるものとし、その変動係数は、材令に関係なく一定値 δc を有する。

また、かぶり厚さ D は施工誤差によりばらつくものとし、平均値によらず一定の標準偏差 σ を有するものとする。

このとき1次ガウス近似法により求まる安全性指標 β が許容安全性指標 βa を満たすようにかぶり厚さを変化させ、 βa に応じた設計かぶり厚さ Dd

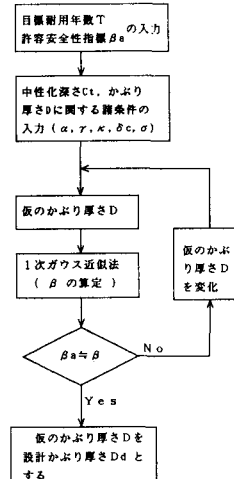


図-1 設計かぶり厚さ算定の流れ図

を算定する。流れ図を示せば図-1 になる。

3. 数値計算例

式(1)中の α , γ , κ および中性化深さの変動係数 δc , 施工誤差の標準偏差 σ を和泉の研究に従って以下のように設定し, 目標耐用年数 T と許容安全性指標 βa に応じた設計かぶり厚さを計算した。

・環境条件による係数 α

$$\alpha = 1.0$$

(屋外で風雨にさらされる場合)

・仕上げ材による係数 κ

$$\kappa = 1.0 \quad (\text{仕上げがない場合})$$

$$\kappa < 1.0 \quad (\text{仕上げがある場合})$$

・コンクリートの品質による係数 γ (水セメント比の関数)

$$(w \geq 0.6)$$

$$(w \leq 0.6)$$

$$\gamma = \frac{(w - 0.25)}{\sqrt{0.3(1.15 + 3w)}}$$

$$\gamma = 0.37(4.6w - 1.76)$$

・かぶり厚さの標準偏差 σ

$$\sigma = 0.5 \text{ cm} \quad (\text{ばらつきが小さい場合}) \quad \delta c = 0.3 \quad (\text{ばらつきが小さい場合})$$

$$\sigma = 1.0 \text{ cm} \quad (\text{標準})$$

$$\delta c = 0.4 \quad (\text{標準})$$

$$\sigma = 1.5 \text{ cm} \quad (\text{ばらつきが大きい場合}) \quad \delta c = 0.5 \quad (\text{ばらつきが大きい場合})$$

また, 中性化深さ及び, かぶり厚さの確率分布は正規分布とする。さらに目標耐用年数 T は, 構造物によって異なることは言うまでもないが, 仮に100年, 65年, 30年と設定した⁵⁾。

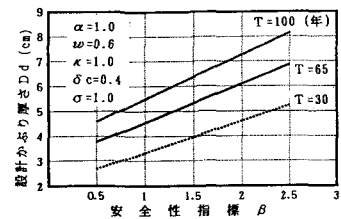
本システムでは上述のパラメータと許容安全性指標を入力すれば, 設計かぶり厚さ Dd が出力される。 βa と Dd との関係を計算した結果を図-2に示す。

なお計算に用いたパソコンは PC-9801RA, プログラミング言語はFORTRANである。また1ケース当りの CPUtimeは, 約2sec程度であった。

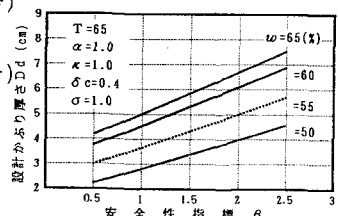
4. あとがき

土木構造物は, 比較的中性化の進みにくい屋外にあり, しかも現状では一般的にかぶりも厚いので, コンクリートの中性化はあまり問題にされていないように思われる。しかし, 特殊環境とはいえ, RC橋においてコンクリートの中性化を十分に考慮してかぶり厚さを設計した事例⁶⁾もある。ここではこれまで経験によって決められていた設計かぶり厚さを計算機による信頼性設計システムに委ねるひとつの方法を示した。本システムは, 少なくとも, 設計かぶり厚さの決定をするにあたり, 従来の経験に加えて設計者の判断を数理的に取り入れることができる点に特徴がある。

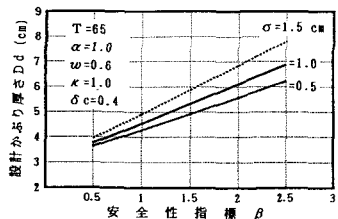
(1) 目標耐用年数の影響



(2) 水セメント比の影響



(3) かぶり厚さの標準偏差の影響



(4) 中性化深さの変動係数の影響

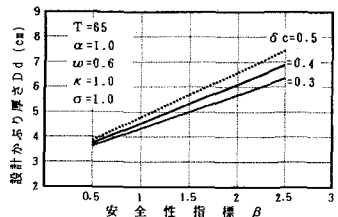


図-2 安全性指標とかぶり厚さの関係

《参考文献》1) 白石: 構造物の信頼性解析, カラム, No.95, June, 1985. 2) 板垣: 信頼性工学の方向, 船体構造委員会シンポジウム, 1990.1. 3) 和泉: 構造物の耐久性設計手法例, コンクリート工学, Vol.26, No.11, Nov., 1988. 4) 星谷, 石井: 構造物の信頼性設計法, 鹿島出版会, 1986.5. 5) 魚本ら: コンクリート構造物の寿命予測と耐久性に関する技術の現状, コンクリート工学, Vol.26, No.11, Nov., 1988. 6) 伊藤ら: 温泉地に架けるRCアーチ橋, セメント・コンクリート, No.496, June, 1988.