

I-367 信頼性設計法によるRC構造物のかぶり算定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、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定であり、平均中性化深さCtを和泉は、岸谷式を基に次式で与えられるものとした。

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

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。前報⁴⁾では、式(1)のみでかぶりの算定を行ったが、コンクリートの中性化に及ぼす要因には、締固め条件も重要であると思われるので、今回その影響を考慮できる依田式⁵⁾も式(1)との比較のために用いた。

$$Ct = \alpha \tau \kappa \frac{(100w-36)}{\sqrt{155}} \sqrt{t} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 α :環境条件による係数、 τ :コンクリートの締固め条件、 κ :仕上げ材による係数、 w :水セメント比、 t :材令

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に有効であるが、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⁶⁾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。

$$Z = D - Ct \dots\dots\dots (3)$$

式(3)で算定される安全性指標 β は、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、式(2)においては α 、 τ 、 κ 、 w 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られ、その変動係数は、材令には関係なく一定値 δc を有す

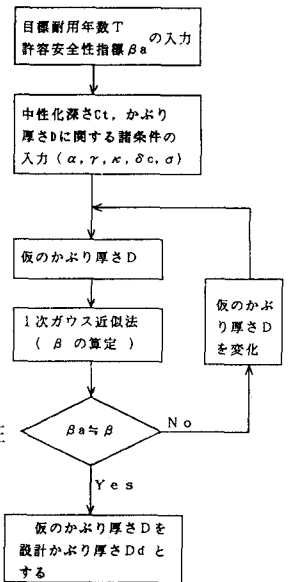


図-1 設計かぶり厚さ算定の流れ図

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 β_a を満たすようにかぶり厚さを変化させ、 β_a に応じた設計かぶり厚さDdを算定する。流れ図を示せば図-1のようになる。

3. 数値計算例

まず、式(1)中の係数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 β_a に応じた設計かぶり厚さを試算してみた。 $\alpha=1.0$ 、 $\kappa=1.0$ 、 $\delta c=0.3\sim 0.5$ 、 $\sigma=0.5\sim 1.5$ 、 $w=50\sim 65$ (%)

$$\gamma = \frac{(w-0.25)}{\sqrt{0.3(1.15+3w)}} \quad (w \geq 0.6), \quad \gamma = 0.37(4.6w-1.76) \quad (w \leq 0.6)$$

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した。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⁷⁾。

本システムでは上述のパラメータと構造物に重要度によって設定される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。 β_a とDdとの関係を計算した結果の一部を図-2に示す。

次に、式(2)において、 $\alpha=1.0$ 、 $\tau=1.0\sim 2.0$ 、 $\kappa=1.0$ 、 $w=60$ (%)と設定して求めた安全性指標とかぶり厚さとの関係を、式(1)に基づく結果と共に図-3に示す。この図より中性化速度式の違いによるかぶり厚さの違いが理解できる。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によるRC構造物の耐久性は、あまり問題にされていないように思われる。しかし、土木構造物の健全度診断例⁸⁾において中性化も取り上げられており、自動車社会がコンクリートの中性化へ及ぼす問題点も指摘されている。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、設計かぶり厚さの決定をするにあたり、コンクリートの品質、環境条件、施工誤差の確率特性を数理的に取り入れることができる可能性を有している点に特徴がある。

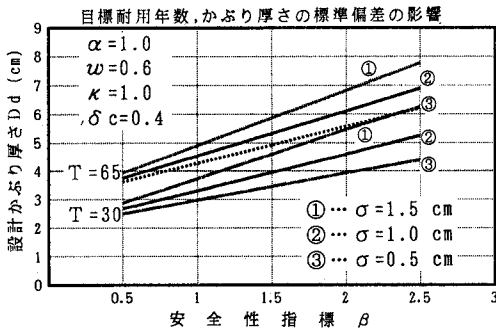


図-2 安全性指標とかぶり厚さの関係

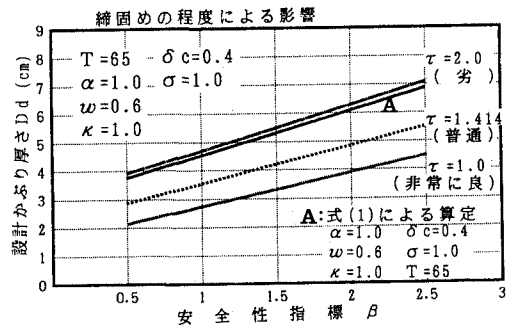


図-3 依田式による安全性指標とかぶり厚さの関係

《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) 松原，中山：RC構造物のかぶりの信頼性設計法に関する基礎的研究，平成3年度土木学会中国四国支部研究発表会講演概要集，1991.5. 5) 依田：中性化・炭酸化，セメント・コンクリート，No.492，pp.38-40，Feb.，1988. 6) 星谷，石井：構造物の信頼性設計法，鹿島出版会，1986.5. 7) 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. 8) 岡田 監修：鉄道事例にみる土木構造物の診断，山海堂，1990.10.