

部分安全係数を用いた構造物の耐久性設計について

信州大学大学院 学生員〇土屋 宏信
信州大学工学部 正員 小山 健

本研究はコンクリート構造物の耐久性設計について、信頼性理論に基づいた部分安全係数を用いた設計書式を提案することを主眼とする。コンクリート構造物の耐久性に大きく影響する不確定性の要因には、設計、施工、材料などの直接構造物に関係するものと、二酸化炭素濃度、気温などの環境に関係するものがある。本研究は、これらの不確定性要因の各要因における評価値を、確率変数としたときの、信頼性理論に基づいた部分安全係数を用いた耐久性設計のための設計書式の作成を目指そうとするものである。

1. はじめに

コンクリート構造物が所望の期間メンテナンスフリー（コンクリート構造物の耐久性の目標）である設計、施工、材料の品質が求められる一方で、現在の示方書は、耐久性に対する意識が安全性のそれに比べてかなり低いこと、はっきりとした評価体系がないことが問題点としてあげられる^{1), 2)}。

土木学会コンクリート委員会耐久性設計小委員会「コンクリート構造物の耐久設計指針(試案)」で耐久指数、環境指数の大小による耐久性の検討方法を提案している。これは、部材各部において、次式が成立するとき、構造物は耐久であると判定されるというものである^{1), 2)}。

$$T_P \geq S_P \quad (1)$$

ここで、 T_P = 耐久指数、 S_P = 環境指数 である。

耐久指数はコンクリート材料、設計ひびわれ、コンクリート工などの要因ごとの耐久性への影響を定量的に評価した耐久性ポイント T_{Pi} より算定するもので、一般に次式で表される。

$$T_P = 50 + \sum_i T_{Pi} \quad (2)$$

また、環境指数は目標を50年間メンテナンスフリーとするときは標準的な環境条件では一般に 100として、次式で表される。

$$S_P = 100 + \Delta S_P \quad (3)$$

ここで、 ΔS_P は増分値であり、例えば、塩分の影響が大きいと考えられる環境条件としては $\Delta S_P = 40$ である。

しかし、各要因ごとの耐久性ポイントの決定には確固たる根拠がある訳ではないことから耐久性ポイントには不確定性が存在すると考えられる。そこで、

本研究では全ての耐久性ポイントを確率変数として捉えることにして、式 (2) を以下のように書き改める。

$$50 + \sum_i x_i \geq x_7 \quad (4)$$

ここで、 x_1 = コンクリート材料に関する耐久性ポイント、 x_2 = コンクリートおよび補強材に関する耐久性ポイント、 x_3 = 設計ひびわれに関する耐久性ポイント、 x_4 = 部材の形状・鉄筋詳細・設計図に関する耐久性ポイント、 x_5 = コンクリート工に関する耐久性ポイント、 x_6 = 鉄筋工・型枠・支保工に関する耐久性ポイント、 x_7 = 環境条件に関するポイントであり、いずれも確率変数である。

2. 部分安全係数の適用

いま、式 (4) が部分安全係数を用いて次式のように表現できるとする。

$$50 + \sum_i \phi_i x_i \geq \phi_7 x_7 \quad (5)$$

ここで、 ϕ_i ($i=1, 2, \dots, 7$) = 要因 i の部分安全係数である。

いま仮に、全ての確率変数が正規分布に従うとすると、部分安全係数は次のように求められる³⁾。

$$\phi_i = (1 - \beta \alpha_1 \alpha_2 v_i) / (1 - z_i v_i) \quad (i=1, 2, \dots, 6) \quad (6)$$

$$\phi_7 = (1 + \beta \alpha_1 v_7) / (1 + z_7 v_7) \quad (7)$$

ここで、 $\mu_i, \sigma_i = x_i$ の平均値、標準偏差、 $v_i = \sigma_i / \mu_i$ ($i=1, 2, \dots, 7$) である。

$$z_i = (\mu_i - x_i) / \sigma_i \quad (i=1, 2, \dots, 6),$$

$$z_7 = (x_7 - \mu_7) / \sigma_7 \text{ である。}$$

また、 α_1, α_2 は分離係数と呼ばれるものである。ただし、式 (5), (6) の中の安全性指標 β は次式で表

される。

$$\beta = (50 + \sum_{i=1}^6 \mu_i - \mu_7) / \sqrt{\sum_{i=1}^6 \sigma_i^2 + \sigma_7^2} \quad (8)$$

3. 計算例および考察

参考文献(1)の例題をもとにモデルをいくつか想定してシミュレーションを行った。

鉄筋工・型枠・支保工に関する耐久性ポイントである x_6 は、総合的な耐久指数に占める割合が大きく、その取り得る値の変動も大きいことから、その平均値と変動係数の変動と他の要因の部分安全係数の変化を調べ、影響の度合いを見ることにする。

図-1から x_6 の平均値を2から20とかなり大きく変動させたが他の要因の部分安全係数はさほど大きくは変動していない。一方、図-2によると x_6 の変動係数の変動による影響は大きく、他の変数についてはその変動係数の大きい要因ほどこの影響は顕著に出ている。

これらのことから部分安全係数は、主に各要因の変動係数に大きく影響されることが分かる。図示していない他の変数についても同様の傾向がある。

4. まとめ

本研究はコンクリート構造物の耐久性設計のための信頼性理論に基づいた部分安全係数を用いた基礎的な設計書式の提案を目指して行ったものである。確率変数の媒介変数、特に変動係数による部分安全係数への影響の大きさを指摘した。このことは不確定性のばらつきの大きいコンクリート工や鉄筋工などの施工に関係する要因の耐久性ポイントの変動係数の設定の重要度を意味している。

また、環境条件の不確定性要因を数量的に評価した環境指数は客観的に評価できる性質と、主観的に評価せざるを得ない確率統計的に表現できない性質とを持ち合わせていると考えられる。従って、耐久性設計を考える場合に、耐久指数、環境指数を確率

変数として処理するほかに、主観的要因をファジィネスとして処理するための補正係数の導入が考えられ、現在その方面からの検討をしている⁴⁾。

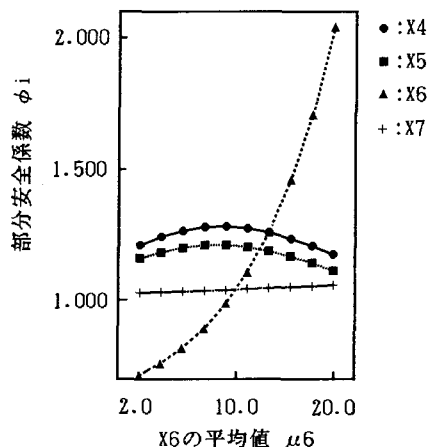


図-1 μ_6 と ϕ_i の関係

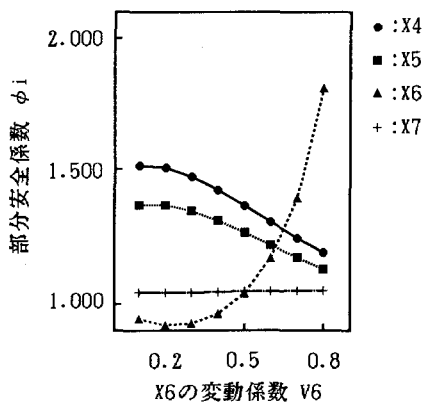


図-2 V_6 と ϕ_i の関係

参考文献

- 1) 土木学会コンクリート委員会耐久性設計小委員会：コンクリート構造物の耐久設計指針(試案)，1988。
- 2) 岡村甫：コンクリート構造物の耐久性設計の考え方，コンクリート工学，Vol.26，No.11，1988。
- 3) Alfredo H-S. Ang and C. Allin Cornell：Reliability Bases of Structural Safety and Design，ASCE，ST9，1974。
- 4) 白石成人 古田均 池島賢治：信頼性解析法へのファジィ理論の適用に関する基礎的研究，土木学会誌，Vol.325，1982。