

コンクリート構造物の部分安全係数を用いた耐久性の確保について

信州大学工学部 学生員○花田 潤治
信州大学工学部 正会員 小山 健

1, はじめに

今回土木学会コンクリート耐久性設計小委員会により提案されたコンクリート構造物の耐久設計指針(1995, 案)¹⁾は前回のものと比較して, 耐久性ポイントの算定に大きな差がみられる. また各小項目についても違いがでている. これらの値が耐久性に及ぼす影響をみるために, 本研究は各項目ごとのポイントを確率変数として処理した場合の信頼性理論による部分安全係数を用いた耐久性設計書式を作成し, この設計書式で確保できる耐久性の程度はどの程度の可能性があるかを前試案の場合と比較しながら確率論的に調べることを主眼としている.

2, 耐久性設計書式

土木学会コンクリート委員会耐久性設計小委員会は, 「コンクリート構造物の耐久設計指針(案)」で, 耐久指数と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場合にそのコンクリート構造物は耐久であると判定されるというものである.

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

ここで, T_P =耐久指数, S_P =環境指数 である. 耐久指数 T_P は設計ひび割れ, コンクリート材料の品質, コンクリート工, 鉄筋工・型枠工・支保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_{P_i} より算定するもので, 一般に次式で表される. (前試案においては, 30が50であり各要因ごとのポイントのあたえ方が改訂されている.)

$$T_P = 30 + \sum T_{P_i} \quad (2)$$

また, 環境指数 S_P は構造物が置かれる環境条件および要求されるメンテナンスフリーの期間を考慮して定め, 一般に次式で表される.

$$S_P = S_0 + \sum (\Delta S_P) \quad (3)$$

ここで, S_0 は標準的な環境条件における環境指数値を示し, 50年間メンテナンスフリーを目標とする場合では一般に100である. ΔS_P は塩分や凍結融解作用の影響が厳しい環境条件における環境指数の増分値である. 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実性が存在すると考えられる. そこで, 本研究ではすべての耐久性ポイントを確率変数として扱うことにし, 式(2)を以下のように書き改める.

$$30 + \sum_{i=1}^6 X_i \geq X_7 \quad (4)$$

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 =コンクリートに関する耐久性ポイント, X_3 =設計ひび割れに関する耐久性ポイント, X_4 =設計作業・部材の形状・補強材の種類・補強材の詳細・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・型枠工・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.

3, 部分安全係数を用いた耐久性設計書式

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.

$$30 + \sum_{i=1}^6 \phi_i X_i \geq \phi_7 X_7 \quad (5)$$

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

いま仮に、すべ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²⁾

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

$$\phi_7 = (1 + \beta \alpha_1 V_7) / (1 + z_7 V_7) \quad (7)$$

ここで、 μ_i , σ_i はそれぞれ X_i の平均値および標準偏差で、 $V_i = \sigma_i / \mu_i$ ($i=1,2,\dots,7$) は X_i の変動係数である。

ただし、 $Z_i = (\mu_i - x_i) / \sigma_i$ ($i=1,\dots,6$)

$$Z_7 = (x_7 + \mu_7) / \sigma_7 \quad \text{である。}$$

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), (7) の中の安全性指標 β は次式で表される。

$$\beta = (30 + \sum_i^6 \mu_i - \mu_7) / \sqrt{\sum_i^6 \sigma_i^2 + \sigma_7^2} \quad (8)$$

4. 計算例および考察

各要因ごとの耐久性ポイントおよび環境条件に関するポイントの平均値、変動係数を今回の試算を参考にして表-1のように仮定する。いまこれらの値を用いて耐久性ポイントおよび環境条件に関する確率変数が (a) すべて正規分布に従う場合、について今回の改正のものと同前試算の耐久指数が環境指数を下回る確率 (危険度) P_f をモンテカルロ法で求めたものと、標準化空間での Hasofer-Lind による安全性指標 β_{HL} を利用して求めたものが表-2である。

これらより、前試算においての結果と比較すると、今回改正案の場合の方が危険度が少し増していることが分かる。

次に、前試算から大幅にポイントのあたえ方が改訂された設計ひび割れに関する耐久性ポイント X_3 について、その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_3 の変動係数の変動による影響は大きく、他の要因については、その変動係数の大きい要因 (X_1 , X_4 , X_5 ,) ほどこの影響は顕著に見られる。

これらのことから、部分安全係数は変動係数、平均値が大きく設定された要因ほど大きく影響されることが分かる。また、図示していない他の要因についても同様の傾向が見られる。

5. まとめ

変動係数による部分安全係数への影響の大きさは、不確定性のばらつきの大きいコンクリート工や設計ひび割れなどの要因の耐久性ポイントの変動係数の設定の重要性を意味している。このように部分安全係数は、設定する平均値、変動係数により大きく左右されることから、仮定にあたっては十分検討すべきである。また、改正案においての耐久性の確保の度合いは、前試算の場合に比べて下がっていることから、今後は前試算程度の耐久性の確保を実現するための方法を検討し、大まかな部分安全係数の値を推定する必要があると考えられる。

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 (案), 1995.
- 2) Alfreo H-S. Ang and C. Allin Cornell: Reliability Bases of structural safety and Design, ASCE, ST9, 1974.

表-1

	μ_i	V_i
X_1	2.0	0.90
X_2	15.0	0.25
X_3	30.0	0.50
X_4	31.0	0.60
X_5	23.0	0.65
X_6	12.0	0.60
X_7	100.0	0.10

表-2

	モンテカルロ法		β_{HL} による手法	
	P_f	β_M	P_f	β_{HL}
(a)	0.083	1.387	0.083	1.385
前試算 (a)	0.053	1.613	0.053	1.618

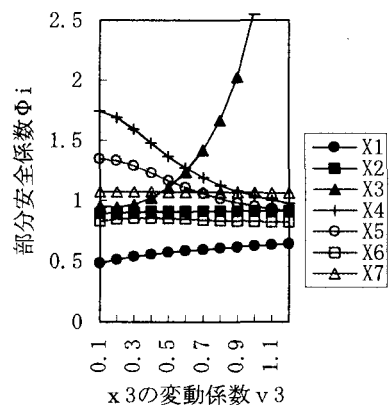


図-1