

I-322 荷重係数の決定法に関する一考察

京都大学大学院 学生員 川村 幸男
 京都大学工学部 正 員 白石 成人
 京都大学工学部 正 員 古田 均

1. まえがき 荷重係数設計法は、部分荷重係数を用いることにより各荷重の特性を設計に反映させることができる利点がある。しかし、荷重の組み合わせを考える場合、荷重の時間変動を考慮することが必要であり、従来の荷重係数設計法に関する研究では、荷重の時間変動の影響を簡単な形で取り扱うことはあまりなされていなかった。本研究では、2次モーメント法の考え方を用いて荷重の組み合わせ効果を部分荷重係数に、簡単な形で導入することを考える。まず、Kiureghianにより提案された方法を基にして、荷重の時間変動の影響を考慮し、修正係数というものを定義することにより荷重の組み合わせ効果を部分荷重係数に反映させるを試みる。つぎに、Fuzzy代数を用いることにより、Kiureghianの方法の改善と、モデル化等による不確定要因を荷重係数設計法に導入することを考える。

2. 経時的効果を考慮した荷重係数 簡単のため、2つの時間変動する荷重 S_1, S_2 を考え、抵抗 R と荷重の特性値として初期の平均値 $\bar{S}_1, \bar{S}_2$ をとると、一般に荷重係数設計法は、

$$\phi \cdot R \geq \gamma_1 \bar{S}_1 + \gamma_2 \bar{S}_2 \quad (1)$$

と定式化される。強度係数 ϕ 、荷重係数 γ_1, γ_2 に荷重の組み合わせの影響を導入しようとする、まず単一の荷重の時間変動を評価することが必要である。Kiureghianは、定常的な荷重 S_i のある時刻における確率分布が平均値 $\bar{S}_i$ 、標準偏差 σ_{Si} で表わされるとき、時間変動を考慮するために T 時間後の荷重の平均と標準偏差を、パラメータ P_i, β_i を用いて、

$$\bar{S}_{iT} = \bar{S}_i + P_i \sigma_{Si} \quad (2) \quad \sigma_{S iT} = \beta_i \sigma_{Si} \quad (3) \quad (i=1, 2)$$

と定義した。本研究では、さらに荷重の組み合わせの影響を表わすパラメータ a_i, b_i を用いて $\bar{S}_{iT}, \sigma_{S iT}$ は、

$$\bar{S}_{iT} = \bar{S}_i + a_i P_i \sigma_{Si} \quad (4) \quad \sigma_{S iT} = b_i \beta_i \sigma_{Si} \quad (5)$$

と表わせると考える。 P_i, β_i は正規化された変数 $U_i = (S_{iT} - \bar{S}_i) / \sigma_{Si}$ の平均と標準偏差として求められる。

修正係数、 a_i, b_i は Kiureghian の方法に準じると以下ようになる。

$$a_i = \sigma_{Si} / \sqrt{\sum_{j=1}^n \sigma_{Sj}^2} \quad (6) \quad b_i = \sum_{j=1}^n \beta_j \sigma_{Sj}^2 / \beta_i \sigma_{Si}^2 \quad (7)$$

以上から、必要とする安全性レベル β_d が与えられたとき、部分荷重係数 γ_1, γ_2 と強度係数 ϕ は、

$$\phi = 1 - \frac{\sigma_R \delta_R \beta_d}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_{S1T}^2 + \sigma_{S2T}^2}} \quad (8) \quad \gamma_1 = 1 + a_1 P_1 \delta_{S1} + \frac{\sigma_{S1T} \delta_{S1} \beta_d}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_{S1T}^2 + \sigma_{S2T}^2}} \quad (9) \quad \gamma_2 = 1 + a_2 P_2 \delta_{S2} + \frac{\sigma_{S2T} \delta_{S2} \beta_d}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_{S1T}^2 + \sigma_{S2T}^2}} \quad (10)$$

として、時間変動する荷重の組み合わせの影響を考慮した形で求められる。 $\delta_{S1}, \delta_{S2}, \delta_R$ は変動係数

3. Fuzzy理論を用いた決定法 Kiureghianは個々の荷重 S_i における P_i, β_i を用いて、組み合わせられた荷重 $S (= \sum_{i=1}^n S_i)$ に対する P, β を、

$$P \cong \sum_{i=1}^n P_i \sigma_{Si}^2 / \sum_{i=1}^n \sigma_{Si}^2 \quad (11) \quad \beta \cong \sum_{i=1}^n \beta_i \sigma_{Si}^2 / \sum_{i=1}^n \sigma_{Si}^2 \quad (12)$$

と求めている。ところが、式(11)、(12)は近似式であり、一般的には成立しない。そこで、Fuzzy理論を用いて、Kiureghianの方法の改善と、さらに組み合わせを考える際の荷重分布やモデルの仮定による誤差などの不確定な要因を、荷重係数設計法に組みこむことを考える。いま、作用荷重として静荷重 Q 、時間的に変動する荷重として L_1, L_2 を考える。 L_1, L_2 の時間変動を考える際、荷重のモデル化や定常性の仮定に伴う誤差、あるいは、その他の不確定要因を考えるために、Fuzzy化された確率密度関数 $f_{L1}(l_1), f_{L2}(l_2)$ を規定する。 $f_{L1}(l_1), f_{L2}(l_2)$ を用いて R_i, g_{Li} は、

$$R_{Li} = \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} L_i f_{Li,T}(L_i) dL_i - \bar{L}_i \right\} / \sigma_{L_i} \quad (13)$$

$$\sigma_{L_i} = \left[\int_{-\infty}^{\infty} L_i^2 f_{Li,T}(L_i) dL_i - (\bar{L}_i + R_{Li} \sigma_{L_i})^2 \right]^{1/2} / \sigma_{L_i} \quad (14)$$

と表わせる。つぎに L_1 と L_2 の組み合わせを考える際に生じる不確定性として荷重の独立性や構造物の信頼度、その他の要因を考え、式(11)の改善を考える。いま P の値は、

$$\min (R_{L1} / \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_{L_i}^2}, R_{L2} / \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_{L_i}^2}) \leq P \leq \sum_{i=1}^n R_{L_i} / \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_{L_i}^2} \quad (15)$$

の範囲にあることがわがっている。そこで、それぞれの不確定要因に対する主観的評価を上式の範囲で定義した帰属度関数で表わしFuzzy可能性測度を用いて P を決定する。なお、 σ は不確定要因との関係が明確でないため式(12)を用いる。以上から不確定性を考慮した P 、 σ が求まり、2.と同様に安全性レベル $\beta\alpha$ と耐用期間 T が与えられると強度係数 γ 、荷重係数 γ_i が決定される。

4. 数値計算例および考察

Fig.1は死荷重 D と活荷重 L_s の2つの荷重の組み合わせを考えた場合の、標準化空間における破壊面を示したもので、全ての荷重が静的と考えた場合と L_s が時間変動すると考えた場合の破壊面の違いが示されている。図より L_s の時間変動

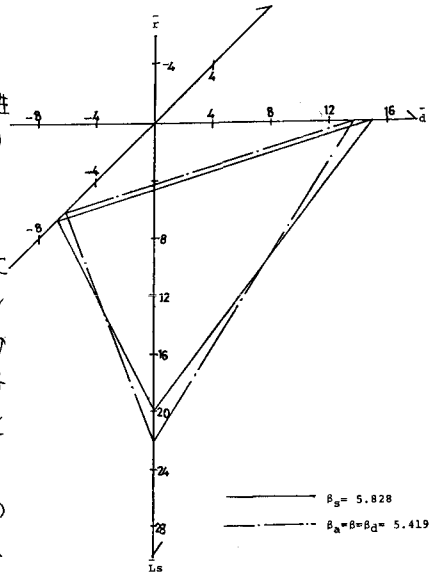


Fig.1 Change of Safety Index

による影響が他の荷重にも及んでいることがわかり、部分荷重係数を決定するには、他の荷重による影響も考慮することが必要であると考えられる。Fig.2は、5つの荷重の組み合わせを考え、安全性レベル $\beta\alpha=4$ と与えたときの各荷重係数の経時的变化を調べたもので、時間変化に伴い、各値が大きく評価されていることがわかる。しかし、その増加率は仮定した再現期間、分布形の違いによって異なる、ている。Fig.3は組み合わせにおける不確定要因をFuzzy化し、 P の値を計算した図である。図より、全ての要因をlargeとsmallとで評価した結果は、式(15)の上限と下限にそれぞれ対応しておりKiureghianによる近似式はmediumとlargeの間にあることがわかる。

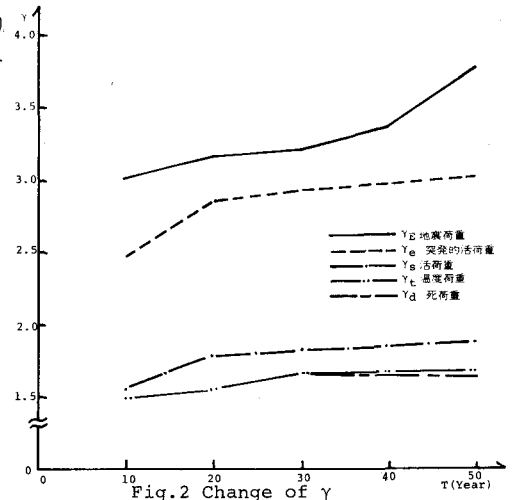


Fig.2 Change of γ

5. あとがき

本研究では、修正係数という考え方をを用いて、 P 荷重の時間変動および組み合わせによる不確定要因の影響を荷重係数設計法に反映させることを考え、簡単な形で部分荷重係数を決定することを考えた。Kiureghianの考え方を発展させ、簡略化した形で部分荷重係数が決定できることが明らかになり、一つの荷重の時間変動の影響は、他の荷重評価にも及ぶことがわかった。さらに、Fuzzy理論を用いることで、従来、設計に定量的に組み込むことが不可能であった不確定要因の影響を、荷重係数設計法に反映できるようになった。

謝辞

本研究を報告するにあたり、大阪ガス 池島賢二氏に御協力を頂き、ここに深く感謝の意を表します。

参考文献：1) A.D. Kiureghian: "Reliability-based Design under Multiple Load Combinations," Proc. of 4th International Conf. on Structural Mechanics in Reactor Technology

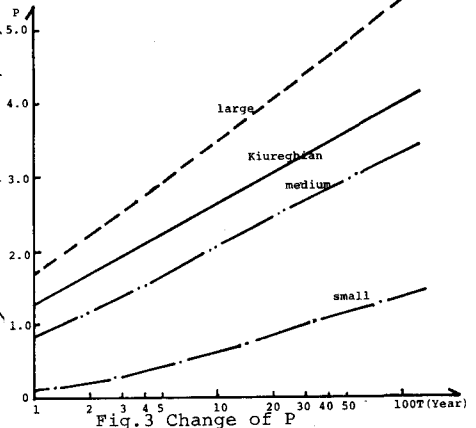


Fig.3 Change of P