

I-176

限界状態設計法における構造解析係数の決定法について

早稲田大学大学院 学生員○丸山 順也

早稲田大学理工学部 正員 依田 照彦

1. まえがき

昭和61年に改訂された「コンクリート標準示方書」では、限界状態設計法が採用され、安全性照査式の中に部分安全係数が導入されている。しかしながら、部分安全係数の値がすべて明確に決められているとは必ずしもいい難い状況にある。本報告では、限界状態設計法における5つの部分安全係数のうち、断面力算出時の構造解析上の不確実性等を考慮して定める構造解析係数 γ_a を、あいまいさの理論であるファジイ理論を用いて決定することを試みる。

2. 構造解析係数の意味

構造解析係数 γ_a は、断面力算出時の構造解析上の不確実性等を考慮して定められるとされている。この不確実性は大きく分けて二つのグループに分類できると思われる。すなわち1番目は、構造解析において、実際の部材を一次元化したり二次元化したりすることにより、適切なモデルに置き換える際の不確実性（「モデル化」）であり、2番目は、この解析モデルに荷重の組合せを考慮した荷重の設計用値を作用させ、部材に生じる断面力や変形を計算する際の不確実性（「解析法」）である。

上述したこれら二つの不確実性の中で、影響が大きいのは「解析法」によるものと考えられる。「解析法」の中には二つの内容が含まれていると考えてよい。すなわち、一つは設計データ量にもとづく経験及び現実から判断される正しさ（「信頼度」と呼ぶ）であり、もう一つは、構造解析において構造物の剛性の変化や、変形による二次的効果（幾何学的非線形）等を、非常に厳密に考慮することにより得られる挙動の正確さ（「現実への近さ」（厳密さ）と呼ぶ）を表すものである。

そして、これら二つの内容には非常にあいまいなものが存在している。すなわち「信頼度」においては、“弾性一次理論による算出値はこの位信頼できるが、弾性二次理論による値は、まあこの位信頼できるだろう…”という判断であり、「現実への近さ」においては、“非弾性二次理論は完全に実際の挙動を考慮しているのでほぼ現実に近いが、非弾性一次理論ではこの位考慮しているのでこれ位現実に近いだろう…”といった具合である。そこでこのあいまいな部分を評価する方法として、ファジイ理論を用いることとし、「設計データ量が多く、かつ厳密に実際上の挙動を考慮した解析法であれば、構造解析係数 γ_a は $\gamma_a=1.0$ として良い。」という考え方を基本に、 γ_a の具体的な決定を試みることにする。

3. 構造解析係数の決定方法

1) 「信頼度」（設計データ量）

信頼度に対する評価は、設計データ量にもとづいて行うこととした。そこで表1に、建設会社、メーカー、コンサルタンツ、一般会社、官公庁、大学で、設計に用いられた解析法についてのデータ量を示す¹⁾。これらの値をもとに、「それぞれの解析法による算出値は信頼できる。」というファジイ集合Aに属するグレード μ_A を決定し、メンバーシップ関数にS関数²⁾を用いて次式を仮定した。

$$\mu_A(x) = S(u; 0, 30, 60)$$

ただし、 u は設計データ量（％）

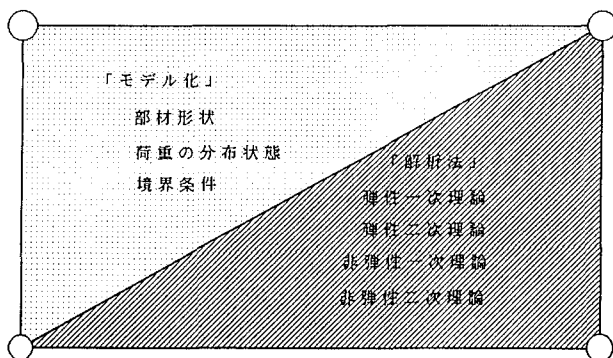


図1 構造解析係数に含まれる内容

2) 「現実への近さ」（厳密さ）

「それぞれの解析法による算出値は現実に近い」というファジイ集合Bに属するグレード μ_B を決定するにあたっては、以下のよう
に考えた。「非弾性二次理論については、現実の挙動を完全に反映
しているので $\mu_B=1.0$ とし、弾性一次理論についてはこの半分とす
る。また、他の2つの解析理論については同じ値とし、“現実にな
ければ、解析結果は満足である。”と考え、“非線形解析は満足で
ある”という満足度を表すファジイ集合Xから求める。」とした。

非線形解析に対する満足度に関するデータ¹⁾を図2のように整理
すると、それぞれの選択肢に対する満足度のグレードは図3のよう
に決定できる。従ってこれらよりファジイ確率の考え方を用いて弾
性二次及び非弾性一次理論についての満足度のグレード μ_X を決定
する。すなわち、

$$\mu_X (\text{弾性二次, 非弾性一次}) = 1 \times 0.34 + 0.7 \times 0.607 + 0.1 \times 0.031 \\ = 0.768$$

さらに、「現実への近さ」と「満足度」の関係にS関数を用いる
ことにより、ファジイ集合Bに属するグレード μ_B を決定する。

$$\begin{aligned} \mu_X (X) &= S (\mu_B; 0, 0.5, 1) && \text{より} \\ \mu_B (X) &= S^{-1} (\mu_X; 0, 0.5, 1) && \text{を得る。} \end{aligned}$$

3) 構造解析係数の決定

「設計データ量が多く、かつ厳密に実際の挙動を考慮した設計法であれば、 $\gamma_a=1.0$ として良い」という
考え方にもとづいて決定する。つまり、ファジイ集合AとBの積集合を考慮することになる。

$$A \cap B = \mu_A (X) \wedge \mu_B (X) = \min \{ \mu_A (X), \mu_B (X) \}$$

であるので、表2が得られる。

また、示方書の規定より、 $\gamma_a=1.0 \sim 1.2$ として良いので、 γ_a
のとり値の範囲をこの区間を選ぶと、 $\mu_A (X) \wedge \mu_B (X) (=X)$
と $\gamma_a (=Y)$ の関係式より次式が得られる。

$$Y = X^{-1/25}$$

その結果、表3を得る。

以上の結果からわかるように、 γ_a についてはほぼ1.0でよく
設計データの少ないものに関しては、 γ_a を少し割増した方が
良いことがわかる。

4. あとがき

本報告では、ファジイ理論を用いて構造解析係数の概略値を求め
た。ここでの考察は多くの仮定に基づいているため、検討すべき
点は多く残されている。構造解析係数の具体的な決定方法につい
ての参考資料となれば幸いである。

（参考文献）

- 1) 土木学会構造工学委員会非線形解析分科会：構造工学における計算機利用と数値解析に関するアンケート
調査，1988年11月。
- 2) 水本 正晴：最近のF U Z Z Y集合理論，数理学，1979.5。

表1 解析法と設計データ量

解析法	設計データ量u (%)
弾性一次理論	890 (54.74)
弾性二次理論	162 (9.96)
非弾性一次理論	501 (30.81)
非弾性二次理論	68 (4.18)
その他	5 (0.31)

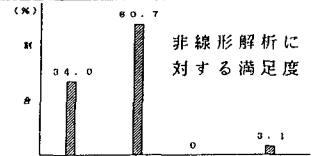


図2 選択肢とその割合

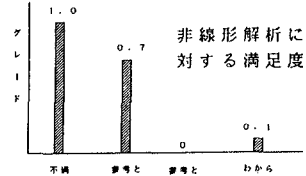


図3 選択肢とそのグレード

表2 解析法と各グレード

解析法x	$\mu_A(x)$	$\mu_B(x)$	$\mu_A(x) \wedge \mu_B(x)$
弾性一次理論	0.98	0.5	0.5
弾性二次理論	0.055	0.66	0.055
非弾性一次理論	0.53	0.66	0.53
非弾性二次理論	0.006	1.0	0.006

表3 解析法と構造解析係数

解析法x	$\mu_A(x) \wedge \mu_B(x)$	γ_a
弾性一次理論	0.5	1.03
弾性二次理論	0.055	1.12
非弾性一次理論	0.53	1.03
非弾性二次理論	0.006	1.23