

○東北大学 学 深海 正彦
東北大学 正 尾坂 芳夫
東北大学 学 武山 泰

1. まえがき

現在、確立が急がれている限界状態設計法は、用いる確率統計理論の厳密さ等により、3つのlevelに分けられる。level IIにおける各種安全性評価法の有用性は、(A):用いる安全性指標と破壊確率との対応性の良否。(B):各構造変数の統計的情報量の差を有効に設計に反映出来るか否か。(C):設計点が合理的に設定されているかどうか。等の観点から、判断すべきである。このうち本研究では、level IIにおける安全性評価法として提案されている3つの方法について、「安全性指標と破壊確率との対応性の良否」という観点から、それらの有用性を比較検討した。

2. 各種安全性評価法の説明及び解析に用いる限界状態式の設定

本研究では、①FOSM法、②分布形を考慮したFOSM法(以下DFOSM法と呼ぶ)、③フラクタイル法の3方法の安全性評価法の有用性を比較するが、各方法により求められる安全性指標をそれぞれ β_F , β_{DF} , e , とした。①の概略については、才35回土木学会年講「純曲げを受けるRC矩形単鉄筋断面の、部分安全係数評価に関する研究」を参照されたい。②、③については各々図-2、図-3のフローチャートに手法の概略を示す。

以上3つの安全性評価法の有用性を比較するために、通常、矩形断面を有するRC部材に用いられる次の3つの限界状態式 $g(\cdot)$ を設定した。

$$(1): g(\cdot) = R - S \quad (\text{耐力} R, \text{荷重} S \text{ の2変数を用いた場合})$$

$$(2): g(\cdot) = R - N = (Q_s A_s + Q_c b \cdot h) - N \quad (\text{軸力限界状態式})$$

$$(3): g(\cdot) = R - M = \left\{ Q_s A_s \cdot d \cdot \frac{Q_s A_s}{17 \cdot Q_c b} \right\} - M \quad (\text{Whitneyの曲げ軸力式を用いた限界状態式})$$

R : 耐力, S : 荷重, N : 断面に作用する軸力, M : 断面に作用する曲げモーメント
 Q_s : 鉄筋降伏点強度, A_s : 鉄筋断面積, Q_c : コンクリート圧縮強度, h : 断面高, b : 断面幅, d : 有効高,

3. 解析方法及び入力データ

解析方法を、図-1のフローチャートに示す。(1)式について

は、 R 及び S の変動係数 V_R , V_S を各々10%, 20%とし、

(2), (3)

式については

各構造変数の

入力データを

表-1, 表-2

に示す通りに

設定した。

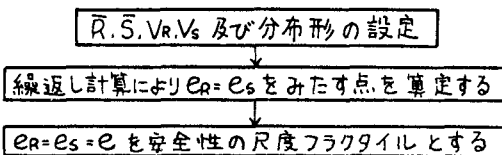
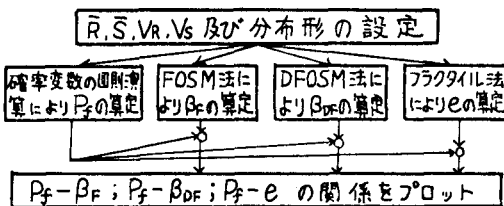


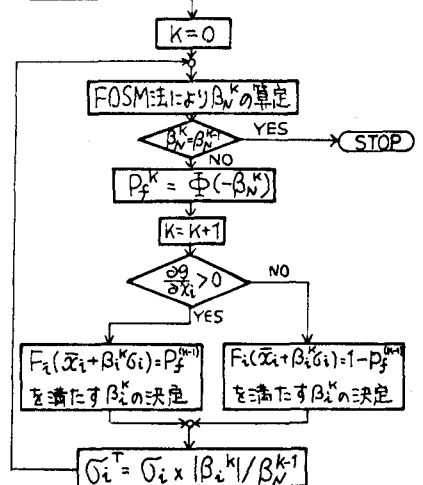
表-1 軸力データ

構造変数	平均値	変動係数
$Q_c(\text{kg/cm}^2)$	250	10%
$Q_s(\text{kg/cm}^2)$	3500	6
$\Delta d(\text{cm})$	264.6	2
$h(\text{cm})$	10.5	0.5
$b(\text{cm})$	10.5	0.5
$N(\text{kg})$ 片支持片固定	20	

表-2 曲げデータ

構造変数	平均値	変動係数
$Q_c(\text{kg/cm}^2)$	250	10%
$Q_s(\text{kg/cm}^2)$	3500	6
$\Delta d(\text{cm})$	71.5	2
$d(\text{cm})$	10.2	2
$b(\text{cm})$	8.5	0.5
$M(\text{kg-cm})$ 片支持片固定	20	

表-2 曲げデータ



4. 解析結果及び考察

(1) 式の β (関数 ($\beta = R - S$)) に対し、 R と S に 6 種の分布形の組み合わせを適用し、3 方法における安全性指標と破壊の確率との対応を示したものが、図-4、図-5、図-6 である。但し、図中の曲線の番号は表-3(分布の組合せ表)のオー列の番号に対応している。FOSM法、DFOSM法においては、 $B = 4.3$ ($P_f = \pm(4.3 \times 10^3)$)、フラクタイル法については $e = 10^3$ (分布形の組み合わせが、Normal-Normal の時 $P_f \approx 10^5$ となるフラクタイル) に着目して、その点で P_f の取り得る値の範囲を表-5 に示した。表-5 から明らかなように、FOSM法では P_f と β との相関は低く、DFOSM法、フラクタイル法では P_f と β あるいは P_f と e との相関が高い。また、DFOSM法で β から実際の P_f を推定する場合に、一般的な Normal-Normal の $P_f - \beta$ 関係(①)、つまり $P_f = \pm(\beta)$ を用いると、Normal-Normal 以外の分布形の組み合わせにおける P_f の推定値は実際よりもやや大きめに評価される傾向があり、安全側の見積りとなる。一方、フラクタイル法では、Normal-Normal の $P_f - e$ 関係(①)から P_f を推定すると、他の分布形の組み合わせにおいては、危険側の見積りとなる。さらに、図-7、図-8 には、軸力限界状態式(2)式)及び曲げ限界状態式(3)式)を用い、FOSM法、DFOSM法を適用した場合の $P_f - \beta$ 関係を示す。(但し、荷重の分布形は表-4 に示す通りとし、耐力構造変数は、すべて正規分布とした。) 2 変数の場合同様 DFOSM法により求められる β と P_f の相関が高いことが分る。

5. まとめ

本研究から、DFOSM法及びフラクタイル法における安全性指標と破壊確率との対応性は、各種分布形及び限界状態式の適用に対しても、比較的良好なことが明らかとなった。また、今回の研究では言及出来なかった、「名構造変数の統計的情報の差を設計に有効に反映出来るか否か」及び「設計点が合理的に設定されているかどうか」という観点からの安全性評価法の比較については、今後の課題として、研究を進めて行きたい。

参考文献

Sub comitee for First
Order Reliability Concepts
for Design Codes
by Rackwitz

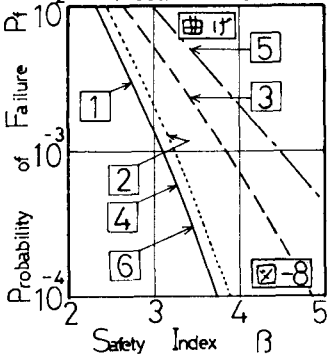
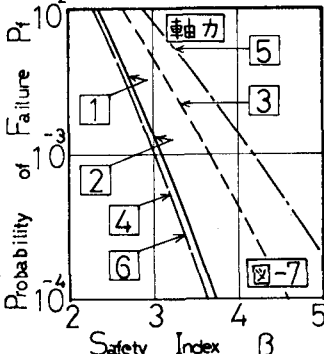
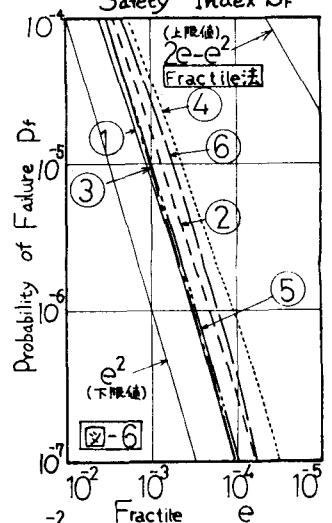
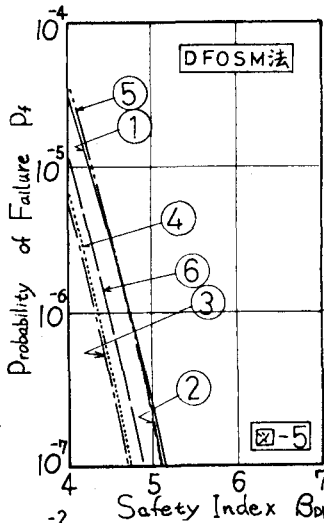
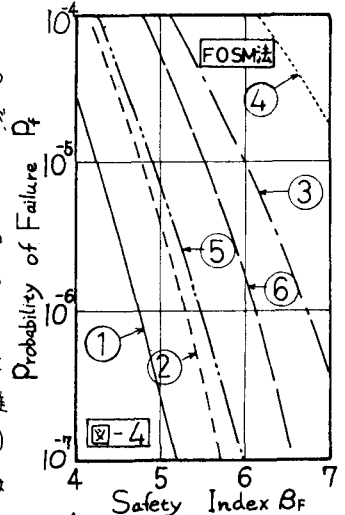


表-3 分布の組合せ

NO	R	S
①	Normal	Normal
②	LOG-N	LOG-N
③	E X 3	E X 1
④	E X 3	E X 2
⑤	Normal	LOG-N
⑥	Normal	E X 1

表-4 手法と荷重分布形

NO	解析方法	荷重分布形
②	FOSM	Normal
③	FOSM	LOG-N
④	DFOSM	LOG-N
⑤	FOSM	E X 1
⑥	DFOSM	E X 1

但し⑦は $P_f = \pm(\beta)$ の線
又は標準正規分布

表-5 手法と P_f の取りうる範囲との対応

図	②()	解析方法	P_f の取りうる範囲
図-4	R-S	FOSM	$1.8 \times 10^{-3} \sim 10 \times 10^{-5}$
図-5	R-S	DFOSM	$1.2 \times 10^{-5} \sim 15 \times 10^{-6}$
図-6	R-S	Fractile	$4.8 \times 10^{-5} \sim 10 \times 10^{-5}$
図-7	軸力	FOSM	$8.4 \times 10^{-4} \sim 10 \times 10^{-5}$
図-7	軸力	DFOSM	$1.0 \times 10^{-5} \sim 4.8 \times 10^{-6}$
図-8	曲げ	FOSM	$1.4 \times 10^{-3} \sim 2.2 \times 10^{-5}$
図-8	曲げ	DFOSM	$2.2 \times 10^{-5} \sim 10 \times 10^{-5}$