

曲げと軸力が同時に作用するR.C.矩形断面の確率論的安全性評価

東北大学 学生員 ○丹野 弘

東北大学 学生員 戸谷 有一

東北大学 学生員 武山 泰

1. はじめに

現在許容応力度設計法に代わる設計法として検討が進められている限界状態設計法は、構造物や部材がその耐用期間中に受ける各種の不確定要因に対して適度な安全性を有することを検証しようとする設計法である。この限界状態設計法は、用いる確率統計理論の厳密さと安全性の確保の仕方により水準Ⅲ,Ⅱ,Ⅰに大別することができる。

本研究は、破壊確率 P_f を安全性の尺度とした水準Ⅲの手法を軸力と曲げが同時に作用するR.C.矩形断面に適用し、断面破壊の終局限界状態に対する安全性の考察を行、たものである。

2. 断面諸元及び限界状態式の設定

断面諸元を表1に示す。ここでコンクリート圧縮強度は、設計基準強度 $\alpha_c=240\text{MPa}$ のコンクリートが、実構造物中において 250MPa の平均値を有するものとし、SD30の降伏点強度は、圧縮引張り共 $3,500\text{MPa}$ の平均値を用いた。又部材寸法鉄筋量の変動性は小さいとして確定値を用いた。さうと軸力荷重作用と曲げ荷重作用の間に相関はないものとし、軸力荷重作用は確定値、曲げ荷重作用は確率変数として取り扱い、その分布形は、N(Normal), LN(Log Normal), E1max(極値Ⅰ型最大値分布), E2(極値Ⅱ型分布), E3max(極値Ⅲ型最大値分布, 上限10%)の5種類を設定した。

断面耐力の計算式としては、一般に終局強度設計法で軸力と曲げが同時に作用するR.C.矩形断面に対して用いられている式

を適用した。この場合コンクリートの縦ひずみが $\epsilon_{cu}=0.0035$ となることにより達する終局限界状態は、引張り鉄筋、圧縮鉄筋が降伏しているかないかにより3つの状態に分けることができる。①式は終局限界状態時に圧縮鉄筋は降伏しておらず、引張鉄筋は降伏している場合の ϕ_c の関数である。②式は終局時に圧縮引張り両鉄筋が降伏している場合で③式は引張鉄筋降伏前に圧縮縦ひずみが 0.0035 に達するいわゆるover reinforcement 状態での ϕ_c の関数でこの場合圧縮鉄筋は降伏している。

$$\textcircled{1} \phi_c = 0.8\alpha_c b x \left(\frac{h}{2} - 0.4x \right) + E_s \frac{x-d'}{x} \epsilon_{cu} A_s' \left(\frac{h}{2} - d' \right) + A_s \sigma_{sy} \left(\frac{h}{2} - d'' \right) - M$$

$$x = (\sqrt{B^2 + 4AC} - B) / 2A \quad A = 0.8\sigma_c b \quad B = A_s E_s \epsilon_{cu} - A_s \sigma_{sy} - N \quad C = E_s d' \epsilon_{cu} A_s'$$

$$\textcircled{2} \phi_c = 0.8\alpha_c b x \left(\frac{h}{2} - 0.4x \right) + A_s' \sigma_{sy} \left(\frac{h}{2} - d' \right) + A_s \sigma_{sy} \left(\frac{h}{2} - d'' \right) - M \quad x = N / 0.8\sigma_c b$$

$$\textcircled{3} \phi_c = 0.8\sigma_c b x \left(\frac{h}{2} - 0.4x \right) + A_s' \sigma_{sy} \left(\frac{h}{2} - d' \right) + A_s E_s \epsilon_{cu} \frac{h-d'-x}{x} \left(\frac{h}{2} - d'' \right) - M$$

$$x = (\sqrt{B^2 + 4AC} - B) / 2A \quad A = 0.8\sigma_c b \quad B = \sigma_{sy} A_s' + A_s E_s \epsilon_{cu} - N \quad C = A_s E_s \epsilon_{cu} (h - d'')$$

本研究においては、限界状態式の境界及び中立軸の位置を確定値として与えることにより簡略化を行っている。今回の断面諸元の場合①式は $N < 260\text{t}$ ②式は $260\text{t} < N < 1,175\text{t}$ ③式は $1,175\text{t} < N$ に対して適用される。

計算は、断面耐力の分布を確率変数の外乗数値積分により求め、各種曲げ荷重作用の分布形について破壊確率 P_f が $10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}, 10^{-6}$ となるような平均値を求めるという方法で行、た。

表-1. 断面諸元

	分布形	平均値	特性値	変動係数
コンクリート圧縮強度 α_c	正規分布	250 MPa	240 MPa	10 %
鉄筋降伏点強度 σ_{sy}	正規分布	3500 MPa	3000 MPa	6 %
引張鉄筋量 A_s	確定値	71.5 cm ²		
圧縮鉄筋量 A_s'	確定値	71.5 cm ²		
引張鉄筋の x/d'	正規分布	8 cm	8 cm	5 %
圧縮鉄筋の x/d'	正規分布	8 cm	8 cm	10 %
部材幅 b	確定値	85 cm		
部材高さ h	確定値	110 cm		
軸力荷重作用 N	確定値	パラメター		
曲げ荷重作用 M	N, LN, EXM E2, E3M	破壊確率 P_f	5%, 10%, 20 %	20 %

3. 結果及び考察

破壊確率 $P_f=10^{-5}$ となるような各種荷重分布形の平均値を図1に示す。曲げ荷重作用の分布形の違いにより荷重の平均値は異なり、同一の荷重分布形についても加わっている軸力荷重作用の大きさによつて差のあることがわかる。図2は、曲げ荷重作用の分布形がLog-Normalの場合について $P_f=10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}, 10^{-6}$ となるよう荷重の平均値を求めたものである。図1, 図2のように、分布形、軸力荷重作用の大きさ、安全性水準の違いにより曲げ荷重作用の平均値が異なるということは、設計の際与えられる曲げ荷重作用の平均値の違いにより目標とする安全性水準を確保する為に必要な断面の寸法が異なることに相当する。表-2は、軸力荷重作用が作用していない状態で曲げ荷重作用の平均値200t・m, 変動係数

表-2

	本研究の 部材寸法と0.1	本研究の 全筋量と0.1
Normal	1.230	1.512
Log-Nor	1.287	1.656
Ex I max	1.348	1.818
Ex II	1.564	2.445
Ex III max	1.260	1.638

0.2とした場合に分布形の違いにより $P_f=10^{-5}$ を確保する為に必要な断面の寸法がどの程度異なつたものになるかを示したものである。

図4は荷重の分布形をExI maxとした場合 $P_f=10^{-5}$ を与える曲げ荷重作用の平均値, 上側5%及び5% fractile の値と、本研究で用いた断面に許容応力度設計法, 終局強度設計法も適用することにより求めた断面耐力の値を示したものである。許容応力度設計法は、軸力荷重作用が小さい場合にはある程度大きな抵抗モーメントを与えている。しかし軸力荷重作用が増加するとつれ、実際の断面がまた十分under reinforcement の状態で耐力がある場合でも許容応力度設計法では釣り合い鉄筋比以上となり、断面の抵抗モーメントも過小評価している。

4. まとめ

得られた結果をまとめると次のようになる。

- ・荷重の分布形, 軸力荷重作用の大きさ, 目標とする安全性水準の違いにより曲げ荷重作用の平均値はかなり異なつたものとなつた。
- ・許容応力度設計法では、軸力荷重作用が小さな場合と大きな場合とで曲げによる断面破壊に対する安全性に大きな差がある。

以上破壊確率を安全性の尺度として、軸力と曲げが同時に作用するR.C.矩形断面の安全性評価を行つてきたが、本研究では、構造解析, 強度解析荷重の組み合わせ等における不確定要因を解析の中に取り入れなかつた為、今後は上記の不確定要因をも含めた解析を行つてゆきたい。

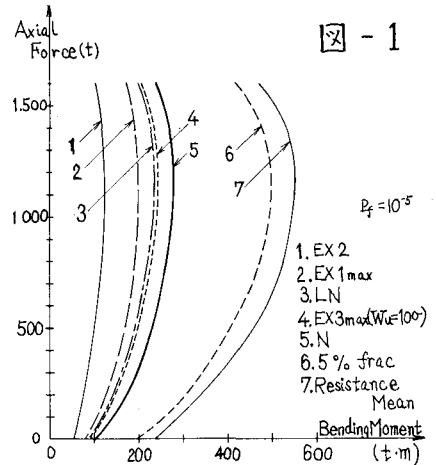


図-1

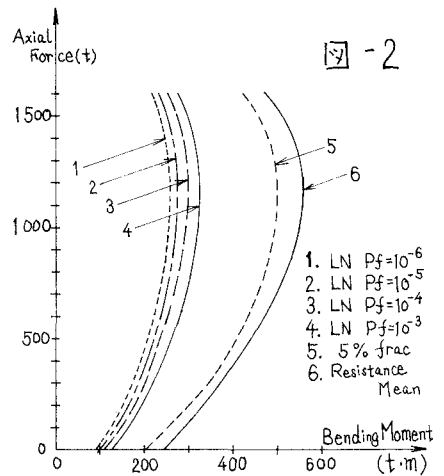


図-2

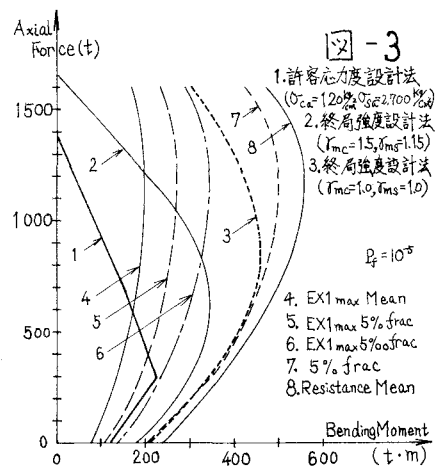


図-3