

中部工業大学 正会員 〇平澤 征夫
中部工業大学 学生員 古澤 誠司

1. まえがき

土木学会標準示方書を限界状態設計法へと移行させるに当たり、検討すべきことは多い。高架橋や橋脚には地震時に二軸曲げを受ける場合を想定して設計しなければならないこともある。本研究は、このような場合の終局強度の検討に当たり、一軸曲げ強度より二軸曲げ強度を簡単に定式化できれば、設計に便利であると考え、まず、実際に供用されている橋脚断面に対して、その設計されたものが、その破壊強度に対して、どの程度の安全率を有するかを確かめること、および終局強度算定の際の応力ブロックの仮定、周面鉄筋の影響について検討した。つぎにこれらの計算結果に対して、CP110 などで取上げられている二軸曲げを受ける RC 短柱の曲げモーメントの近似式 $(M_x/M_{ux})^\alpha + (M_y/M_{uy})^\alpha \leq 1$ を当てはめた場合の指数 α の値を検討した。

2. 二軸曲げを受ける正方形断面柱の終局強度の検討

図1(a)に示す配筋で設計された正方形断面柱を図1(b)の配筋と仮定して、その終局強度を求めた例が図2, 3である。図2は応力ブロックの係数の影響を軸力 $N=0$ と 50 t の場合について調べたものであるが、 45° 方向に対しては、この係数の影響は 4% 程度であり大きくはないことがわかる。つぎに図3は、周面鉄筋の影響を調べたものであるが、この場合の側面鉄筋を考慮するか、否かの影響は非常に大きい。図4, 5はそれぞれ軸力 $N=0$ と 50 t の場合の許容応力度設計 ($\sigma_c = 67 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_{sa} = 1700 \text{ kg/cm}^2$) の場合と終局強度 ($\sigma_c' = 200 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_{sy} = 3000 \text{ kg/cm}^2$) とを示したものであるが、許容応力度設計によると安全率は、側鉄筋を無視した場合の安全率は軸方向に対しては約 2.0 、 45° 方向に対しては約 3.2 である。また周面鉄筋を考慮した場合では、軸方向に対して 2.25 、 45° 方向に対しては 3.5 であり、いずれの場合も軸方向に対して 2.0 以上、 45° 方向に対しては 3.0 以上確保できていることがわかる。

図6, 7 に軸力 $N=0$ と 50 t の場合の終局強度を近似式 $(M_x/M_{ux})^\alpha + (M_y/M_{uy})^\alpha = 1$ を当てはめた場合の α の値を調べたものである。この結果より、いずれの場合も $\alpha = 2.0$ の曲線によく合致したが、 $N=50$ t の場合の計算値がやや近似曲線の内側に位置している。ここで $N_0 = 0.85 \sigma_c A_c + \sigma_{sy} A_s = 2209 \text{ t}$ であるので $N/N_0 = 0.023$ となり、軸力比は非常に小さいので設計用の α の値はそれ程大きくはとれないが $\alpha = 1.0$ なら十分安全である。

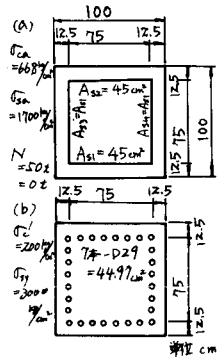


図1 断面および配筋の仮定

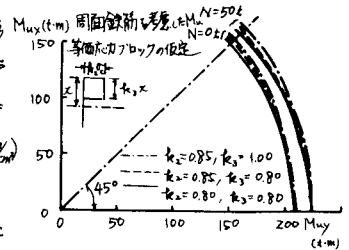


図2 終局強度の計算結果

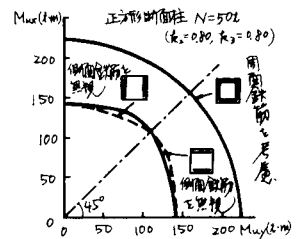


図3 周面鉄筋の影響

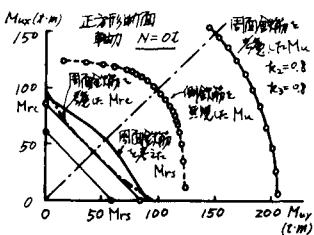


図4 許容応力度計算結果との比較 ($N=0$ t)

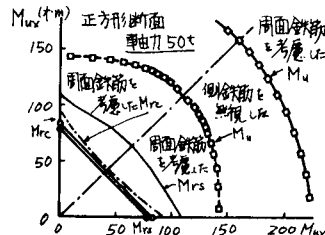


図5 許容応力度計算方法による結果との比較

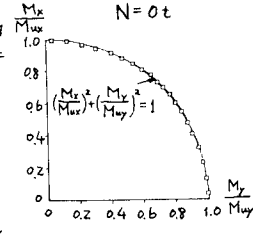
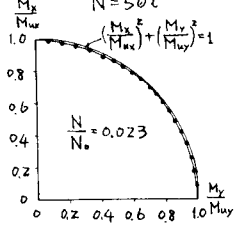


図6 近似式とのあてはめ ($N=0$ t), 図7 近似式とのあてはめ ($N=50$ t)



3. 二軸曲げを受ける長方形断面柱の終局強度の検討

図8(a)に示す配筋で設計された長方形断面柱を図8(b)の配筋と仮定して、正方形断面柱と同様にしてその終局強度を求めた結果を図9, 10に示した。ここに図9は、等価応力ブロックおよび周面鉄筋の影響を調べたものである。この断面は片持ばりを有する単柱式の高架橋の柱部分であるので、橋軸直角方向で配筋量が異なり、それらはまた橋軸方向曲げに対する鉄筋(側鉄筋)の量とも異なっている。そのため図9に示す側鉄筋を無視した M_u もZ通りに求まる。ACIのように側鉄筋を無視する考え方をすれば、これらの線の外側部分を用いることになる。この場合の側鉄筋の有無の影響は、側鉄筋を無視した場合の終局強度に対して、周面鉄筋を考慮すれば M_{uy} で1.55, M_{ux} で1.60, 両曲線が交叉する方向において1.64であり、周面鉄筋を考慮すれば、考慮しない場合よりも55~65%も大きな終局強度が得られることになる。またこの図9より、等価応力ブロックの違いによって得られる終局強度の異なりは、 α , γ の主軸方向曲げに対しては殆んど影響はないが、二軸方向曲げの場合に現われ、この場合、側面鉄筋を無視したもので約3%, 周面鉄筋を考慮したもので3.5%程度と比較的少ない。

次に図10では、長方形断面柱について、図9で求めた、終局強度と、地震時許容応力度($G_{ca}=135 \text{ kg/cm}^2$, $G_{sa}=2700 \text{ kg/cm}^2$)を用いて求めた、許容抵抗曲げモーメント(M_{rs} , M_{rc})とを比較したものである。この図より許容応力度設計法で求めた、 M_{rs} , M_{rc} は、側面鉄筋を無視して求めた終局強度曲線に近い値となっていることがわかる。したがって、周面鉄筋を考慮して求めた終局強度と比較すれば、周面鉄筋を考慮した地震時許容応力度($G_{ca}=135 \text{ kg/cm}^2$)時の M_{rc} は、終局強度に対しては、 M_{uy} に於いて、74%, M_{ux} で70%と30%近く小さな計算値を与えていることになる。

図11は長方形断面柱について、近似式 $(M_x/M_{ux})^\alpha + (M_y/M_{uy})^\alpha = 1$ をあてはめた場合の適合性を調べたものである。この図より、計算例に適合する α の値は断面の寸法、曲げモーメントの方向によっても異なるが $\alpha=1.84 \sim 2.0$ が適合することがわかる。この場合の軸力 $N=807.4 \text{ t}$ は、中心軸圧縮強度 $N_0=23017 \text{ t}$ に対して $N/N_0=0.035$ と軸力比は小さいので、CP110に示されているが、軸力比 $N/N_0 < 0.2$ の場合は $\alpha=1.0$ とすることにして設計を行なえば、二軸曲げに対して十分安全であると考えられる。

4. まとめ

二軸曲げを受ける鉄筋コンクリート短柱の終局強度定式化について2,3の検討、考察を行なった。終局強度算定に於いて、応力ブロックの仮定の影響は、4%以下であるが、側面鉄筋を考慮するか否かは、この場合非常に大きく影響する。二軸曲げ強度定式化の一例としてCP110の式 $(M_x/M_{ux})^\alpha + (M_y/M_{uy})^\alpha \leq 1$ の α の値を検討した結果、本計算例では、その軸力比が小さい場合であったが、 α の値は、1.84~2.0と大きめの値を得た。このことから、二軸曲げ強度定式化においては、CP110に示すように、 $N/N_0 < 0.2$ の場合は $\alpha=1.0$ として設計を行なえば十分安全であろう。

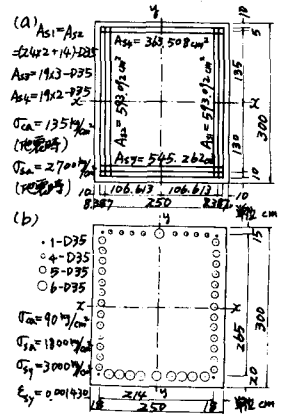


図8. 断面および配筋の仮定

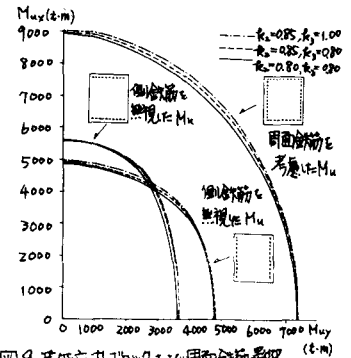


図9 等価応力ブロックおよび側面鉄筋の影響

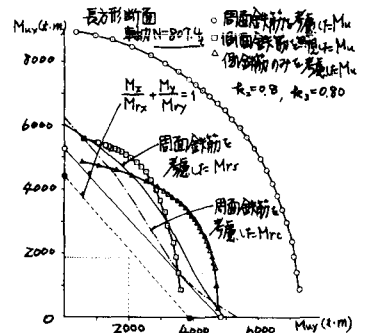


図10 地震時許容応力度を用いた計算結果の比較

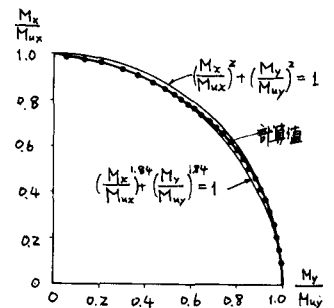


図11 計算結果への近似式のあてはめ