

### § RC 部材の釣合い鉄筋比と曲げ破壊モード

ここまでの話では、RC はりの終局時、すなわち上縁コンクリートの圧縮ひずみが破壊ひずみ  $\epsilon'_u$  に達するときには、鉄筋がすでに降伏 ( $\epsilon_s > \epsilon_y$ ) していることを前提にしていた。実は、この前提条件は無制限に成り立つものではない。

終局時の鉄筋のひずみは、以下で表される。

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d - z_n}{z_n} \epsilon'_u \\ &= \left( \frac{1}{p} \frac{f'_c}{f_y} \beta - 1 \right) \cdot \epsilon'_u \end{aligned}$$

ただし、これは例題の (4) (i) のコンクリートの応力-ひずみ関係を用いた場合であり、

$$\beta = k \left( 1 - \frac{1}{3} \frac{\epsilon'_o}{\epsilon'_u} \right) = 0.688$$

である。終局時において鉄筋が降伏しているかどうかの条件を、鉄筋比  $p$  について整理すると以下のようなになる。

$$\epsilon_s > \epsilon_y \quad \Leftrightarrow \quad p < \frac{f'_c}{f_y} \frac{\beta}{1 + \frac{\epsilon_y}{\epsilon'_u}} \quad (\equiv p_b)$$

ここに  $p_b$  を釣合い鉄筋比という。RC はりの鉄筋比  $p = A_s / (bd)$  と、曲げ破壊の形態 (破壊モード) との間には、以下の関係がある。

$$\left\{ \begin{array}{l} p < p_b \quad \Leftrightarrow \quad \text{鉄筋が降伏してからコンクリートの圧縮破壊が生じる} \\ \hspace{15em} (\equiv \text{曲げ引張破壊}) \\ p = p_b \quad \Leftrightarrow \quad \text{鉄筋の降伏とコンクリートの圧縮破壊が同時に生じる} \\ \hspace{15em} (\equiv \text{釣合い破壊}) \\ p > p_b \quad \Leftrightarrow \quad \text{鉄筋が降伏せずコンクリートの圧縮破壊が生じる} \\ \hspace{15em} (\equiv \text{曲げ圧縮破壊}) \end{array} \right.$$

釣合い鉄筋比は、RC 部材の破壊モードをコントロールする上での指標となる。これまで前提にしていた、鉄筋が降伏してからコンクリートの圧縮破壊が生じる破壊モード (≡曲げ引張破壊) が生じるようにするためには、鉄筋比を釣合い鉄筋比以下にして部材を設計しなければならない。通常の鉄筋とコンクリートであれば、鉄筋の降伏ひずみ  $\epsilon_y = 2000 \times 10^{-6}$ 、コンクリートの圧縮破壊ひずみ  $\epsilon'_u = 3500 \times 10^{-6}$ 、鉄筋の降伏強度  $f_y = 400 \text{ N/mm}^2$ 、コンクリートの圧縮強度  $f'_c = 25 \sim 60 \text{ N/mm}^2$  程度であるので、RC はりの釣合い鉄筋比は  $p_b = 3 \sim 7\%$  程度となる。

なお、上記の釣合い鉄筋比は、曲げモーメントのみを受ける RC 部材 (はりや桁がこれに相当する) について求めたものである。曲げモーメントと軸力を同時に受ける場合には、その組み合わせによって釣合い鉄筋比 (釣合い破壊の生じる鉄筋比) が変わる。曲げモーメントと軸力を受ける RC 部材 (柱や橋脚がこれに相当する) については後述する。

曲げ破壊モードの名称には、多少注意が必要である。「曲げ引張破壊」といっても、上部コンクリートの「圧縮破壊」が生じるのである。

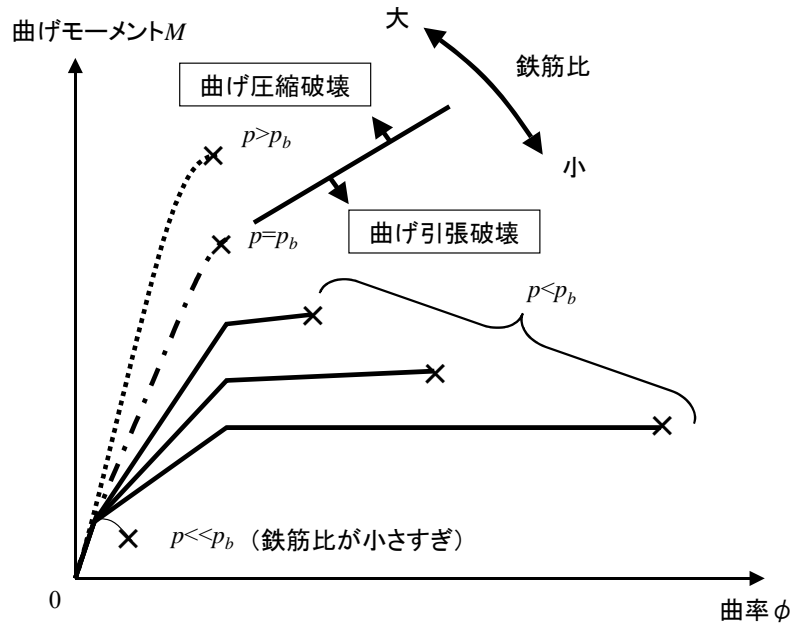


図1 RC はりの曲げ破壊モードと  $M-\phi$  関係

図1はRC はりの曲げ破壊モードと  $M-\phi$  (モーメントー曲率) 関係を示している。

破壊モードが曲げ引張破壊となるはりは、終局状態までに大きな変形を遂げる。ねばりのある破壊、延性的な破壊と形容されることもある。 $M-\phi$  曲線下の面積は、終局状態までに部材が吸収するエネルギーを表すので、曲げ引張破壊の場合は、エネルギー吸収が大きいといえる。このことは、地震等の大きなエネルギーが作用した場合に、急激に崩壊することなく、外力のエネルギーを吸収することを意味しており、構造物に好ましい性質である。したがって、通常のRC部材は、破壊モードがこの曲げ引張破壊となるように、鉄筋比等の諸元が設定される。

一方、破壊モードが曲げ圧縮破壊となるはりは、高い荷重に耐えられるものの、ある荷重に達したら脆性的に破壊する。構造物に好ましい性質ではない。破壊荷重は大きくても、終局時に至るまでの変形が小さいので、吸収エネルギーは小さい。

なお、鉄筋比が釣合い鉄筋比より小さければ小さいほどよいかというと、そうではない。鉄筋比があまりに小さいと、コンクリートにひび割れが発生し、それまでコンクリートが負担していた引張力が鉄筋に分配されたとたん鉄筋が降伏、あるいは一気に破断することがある。つまり、無筋コンクリートの挙動に近づくこととなり、ひび割れ発生後は鉄筋が引張力を負担する鉄筋コンクリートの特徴的な性質を失う。そのような鉄筋比の下限値は、曲げひび割れ発生モーメント  $M_{cr}$  と鉄筋降伏モーメント  $M_y$  を比較することにより求めることができるが、およそ0.5%程度である。