

各種RCはり部材の破壊性状におよぼす材料特性の影響

岐阜大学 正会員 小柳 治 ○六郷恵哲
学生会員 岩瀬裕之 内田裕市

1. まえがき コンクリート構造物や部材には耐力とならんで靱性が必要とされるが、この靱性は消散エネルギー量をもとに評価することができる。本研究においては、複鉄筋RCはりを対象とし、はりの靱性とコンクリートならびに鉄筋の材料特性および鉄筋量との関係について検討した。

2. 引張鉄筋の塑性変形が停止する点《R点》 曲げをうける単鉄筋はりの破壊過程においてはコンクリート上縁ひずみ ϵ_c が増大し曲率が増加しても引張鉄筋の塑性変形が停止する点（R点とよぶ）が存在し、このR点以後耐力が急激に低下することも筆者らは報告した¹⁾。ここでは、より一般化したはりとして複鉄筋はりをとりあげ R点の算定方法について検討した。

ϵ_{cr} と ϵ_{sr} コンクリートの圧縮応力ひずみ曲線において あるひずみ ϵ_c にいたるまでの曲線によって囲まれる面積 $S(\epsilon_c)$ は次式で与えられる。

$$S(\epsilon_c) = \int_0^{\epsilon_c} \sigma(\epsilon) d\epsilon \quad (1)$$

圧縮力 C と引張力 T は、圧縮鉄筋と引張鉄筋が降伏している場合には、

$$T = pbd\sigma_{sy} \quad (2)$$

$$C = S(\epsilon_c)bx/\epsilon_c + p'bd\sigma_{sy}' \quad (3)$$

p は引張鉄筋比、 p' は圧縮鉄筋比、 σ_{sy} は引張鉄筋の降伏強度、 σ_{sy}' は圧縮鉄筋の降伏強度、 b ははり幅、 d は有効高さである。引張鉄筋のひずみを ϵ_s とすると中立軸位置 x は $x = \epsilon_c d / (\epsilon_c + \epsilon_s)$ で与えられる、

$$C = S(\epsilon_c)bd / (\epsilon_s + \epsilon_c) + p'bd\sigma_{sy}' \quad (4)$$

となる。力のつりあい ($T = C$) より、

$$pbd\sigma_{sy} = S(\epsilon_c)bd / (\epsilon_s + \epsilon_c) + p'bd\sigma_{sy}' \quad (5)$$

コンクリート上縁ひずみが ϵ_c のときの引張鉄筋ひずみ ϵ_s は、

$$\epsilon_s = S(\epsilon_c) / (p\sigma_{sy} - p'\sigma_{sy}') - \epsilon_c \quad (6)$$

R点では $d\epsilon_s / d\epsilon_c = 0$ となり、(6)式より、

$$d\epsilon_s / d\epsilon_c = \{dS(\epsilon_c) / d\epsilon_c\} / (p\sigma_{sy} - p'\sigma_{sy}') - 1 \quad (7)$$

したがって、R点に対応するコンクリート上縁応力 σ_{cr} は、

$$\sigma_{cr} = p\sigma_{sy} - p'\sigma_{sy}' \quad (8)$$

上式より、R点のコンクリートひずみ ϵ_{cr} は、コンクリートの圧縮応力ひずみ曲線において、応力が下降域で $\{p\sigma_{sy} - p'\sigma_{sy}'\}$ に等しくなるひずみとして与えられる。R点の引張鉄筋ひずみ ϵ_{sr} は(8)式を(6)式へ代入して求まる。ただし、(8)式が成立するのは R点の引張鉄筋ひずみ ϵ_{sr} が引張鉄筋の破断ひずみ ϵ_{sf} より小さく、かつ圧縮鉄筋が降伏している場合である。

ϵ_{cc} と ϵ_{sc} 圧縮鉄筋位置を d' とすると、圧縮鉄筋ひずみ ϵ_s' は次式で表わされる。

$$\epsilon_s' = \epsilon_c (1 - d'/d) - \epsilon_s d'/d \quad (9)$$

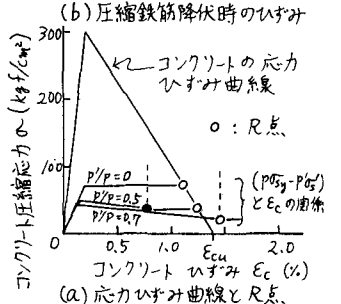
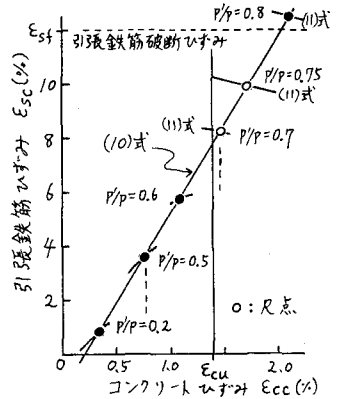


図-2 R点の算定

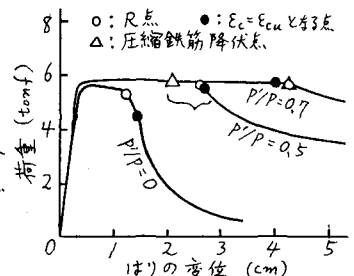


図-3 RCはりの荷重変位曲線

圧縮鉄筋降伏時 ($\epsilon'_s = \epsilon'_{sy}$) の引張鉄筋ひずみ ϵ_{sc} は、

$$\epsilon_{sc} = \epsilon_{cc} (d-d')/d' - \epsilon'_{sy} d/d' \quad (10)$$

ϵ_{cc} は圧縮鉄筋降伏時のコンクリートひずみ。一方、(6)式より、

$$\epsilon_{sc} = S(\epsilon_c) / (p\sigma_{sy} - p'\sigma'_{sy}) - \epsilon_{cc} \quad (11)$$

(10), (11)式より圧縮鉄筋降伏時の ϵ_{sc} と ϵ_{cc} が求まる。

計算例 図-1に示すはり部材を考える。コンクリートの圧縮応力ひずみ曲線の形状は図-2(a)とし、鉄筋の引張応力ひずみ曲線はひずみ硬化を無視して2直線で与え、引張鉄筋比 p を2.0%とし、圧縮鉄筋比 p' を変化させた場合

合のはりの荷重変位曲線も計算し(計算方法の詳細は文献1参照)、図-3に示す。 p'/p が小さい場合 ($p'/p = 0.5$) には ϵ_c が ϵ_{cu} (コンクリート応力かゼロとなるひずみ) 以前に圧縮鉄筋が降伏するため、 R 点は $\sigma_r = p\sigma_{sy} - p'\sigma'_{sy}$ に対応する ϵ_{cr} で生じる。しかし、 p'/p が高くなると ($p'/p = 0.7$) ϵ_c が ϵ_{cu} を越えた後、圧縮鉄筋が降伏する点か R 点となる。図-2(b)に圧縮鉄筋が降伏したときのコンクリートひずみ ϵ_{cc} と引張鉄筋ひずみ ϵ_{sc} との関係を示し、図-2(a)に ($p\sigma_{sy} - p'\sigma'_{sy}$) と ϵ_c との関係を示す。 $p'/p = 0.2, 0.5, 0.6$ の場合、 ϵ_c が ϵ_{cu} となる以前に圧縮鉄筋が降伏するので、 R 点のコンクリートひずみ ϵ_{cr} は(8)式を用いて求まる。 $p'/p = 0.7, 0.75$ の場合、 R 点のコンクリートひずみ ϵ_{cr} は、圧縮鉄筋降伏時のコンクリートひずみ ϵ_{cc} となる。引張鉄筋の破断ひずみ ϵ_{sf} を12%と仮定すると、 $p'/p = 0.8$ 以上の場合には、圧縮鉄筋の降伏による R 点が生じる以前に引張鉄筋が破断することとなる。

3. 消散エネルギー はり全体のエネルギー消費の大部分はモーメントスパン (l_m) 内で生じると仮定する。はり全体の消散エネルギー W_{it} は、コンクリート部分の消散エネルギー W_{ic} 、引張鉄筋の消散エネルギー W_{ist} 、圧縮鉄筋の消散エネルギー W_{isc} の和となり、次式で与えられる。

$$W_{it} = W_{ist} + W_{isc} + W_{ic} = pbd\sigma_{sy}(\epsilon_s - \epsilon_{sy})l_m + p'bd\sigma'_{sy}(\epsilon'_s - \epsilon'_{sy})l_m + W_{ic} \quad (12)$$

引張鉄筋ひずみ ϵ_s が降伏ひずみ ϵ_{sy} をはるかに越えている場合には $\epsilon_s \gg \epsilon_{sy}$, $\epsilon_s \gg \epsilon_c$ となり(5)式より、

$$W_{it} \approx S(\epsilon_c)bd l_m + p'\sigma'_{sy}\epsilon_s b d l_m + p'bd\sigma'_{sy}(\epsilon'_s - \epsilon'_{sy})l_m + W_{ic} \quad (13)$$

となる。単鉄筋はりで $W_{ist} \gg W_{ic}$ の場合には、 $W_{it} \approx S(\epsilon_c)bd l_m$ となり、はり全体の消散エネルギーは、コンクリートの圧縮応力ひずみ曲線において ϵ_c にいたるまでの曲線下面積 $S(\epsilon_c)$ にほぼ比例する。一方、複鉄筋はりで $W_{ist} \gg W_{ic}$ の場合、圧縮鉄筋が W_{it} におよぼす効果には、圧縮鉄筋が降伏することによる効果((13)式右辺第3項)のほか、圧縮合力の増加により引張鉄筋の消散エネルギーを増加させた効果(第2項)がある。

計算例 先の計算例の場合と同じ条件とし、圧縮鉄筋比 p' を0~1.6%に変化させ、 R 点までの W_{it} , W_{ic} , W_{ist} , W_{isc} を計算し表-1に結果を示す。はり全体の消散エネルギー W_{it} の大部分を引張鉄筋の消散エネルギー W_{ist} が占め、圧縮鉄筋の消散エネルギー W_{isc} は極めて小さいこと、圧縮鉄筋比が増加すると引張鉄筋の消散エネルギー W_{ist} が増加することから表-1よりわかる。

4. まとめ 複鉄筋はりについて、 R 点の算定方法を導き、 R 点と圧縮鉄筋降伏点とをひずみ引張鉄筋破断点の関係を示すとともに、圧縮鉄筋がはり全体の消散エネルギーにおよぼす影響を明らかにした。

参考文献 1) 小柳ほか: 第4回コンクリート工学年講義文集, pp. 345~348, 1982年。

表-1 計算結果

$p'(\%)$	p'/p	W_{it}	W_{ic}	W_{ist}	W_{isc}	ϵ_{sr}	ϵ_{cr}
0	0	60.4	18.7	40.7	-	0.017	0.011
0.4	0.2	76.8	12.6	59.9	2.8	0.024	0.012
1.0	0.5	133.0	9.5	118.1	4.8	0.045	0.013
1.2	0.6	168.3	7.6	157.3	2.6	0.060	0.013
1.4	0.7	228.0	7.1	218.7	0	0.083	0.015
1.6	0.8	342.0	8.2	330.4	0	0.125	0.021

$\sigma_{sy} = \sigma'_{sy} = 3600 \text{ kgf/cm}^2$, $p = 2.0\%$, エネルギー単位: $\text{kgf}\cdot\text{m}$

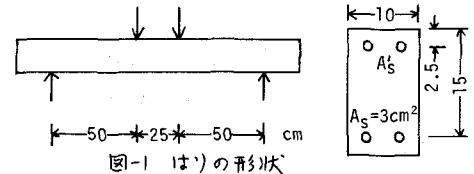


図-1 はりの形状