

高性能なRCならびにPRC部材の設計

岐阜大学 正会員 小柳 治 六郷恵哲 岩瀬裕之
 岐阜大学 学生員 ○近藤吉信 伊藤勝美

1. まえがき

鉄筋コンクリート部材ならびに構造物の靱性設計及び耐久性設計の確立が急がれている。靱性設計の確立のためには部材の最大耐力以降をも含めた終局挙動の解明が必要である。RCはりやPRCはりの曲げ靱性を向上させるには、圧縮鉄筋を配筋する方法、あるいは横拘束筋（スターラップやスパイラル筋）を配筋したり繊維補強コンクリートを用いることによりコンクリートの圧縮靱性を高めるとともに圧縮鉄筋の座屈を遅らせる方法等がある。本研究においては、引張鉄筋の塑性最大ひずみを表すパラメータとして提案されているタフネス指数 γ の値¹⁾を、0.03以上となるように、コンクリートと圧縮鉄筋量とを組み合わせて作製したRCならびにPRCはりの載荷試験を行い、はりの曲げ靱性について検討した。

2. 実験概要

RCならびにPRCはり供試体の形状寸法ならびに載荷スパンを図-1に示す。試験条件の概要を表-1に示す。コンクリートは、普通コンクリート・鋼繊維補強コンクリート・鋼繊維補強高強度コンクリートの3種類とした。コンクリートの強度試験結果と圧縮靱性の値を表-2に示す。供試体は各試験条件ともそれぞれ2体作製し、スターラップは ϕ 6mmのものを支点間に7cmあるいは10cm間隔で1本あるいは2本ずつ配筋した。PC鋼棒には公称径13mmのもの($f_{p0.2}=143$, $f_{p0.5}=151$)を用いた。鋼繊維の混入率が2%の場合には、 ϕ 0.5mm \times 30mmのインデント付き繊維を使用し、鋼繊維の混入率が4%の場合には、 ϕ 1.0mm \times 40mmのストレート繊維を使用した。PC導入は材令3週間で行い、2週間後に再導入を行った。導入量は15tonfとした。次式により計算したタフネス指数 γ の値を表-1に示す。

$$\gamma = \frac{S_c \cdot b \cdot d}{A_s \cdot f_{su} + A_p \cdot f_{pu} - A_c \cdot f_{cu}} \quad \text{--- (1)}$$

ここに、 S_c :コンクリートの圧縮靱性； b, d :はり断面の幅、有効高さ(引張鉄筋位置)
 A_s, A_c :引張、圧縮鉄筋の断面積； f_{su}, f_{cu} :引張、圧縮鉄筋の降伏強度
 A_p, f_{pu} :PRCはりの場合のPC鋼棒の断面積、降伏強度
 ϵ_{cu} :コンクリートの終局ひずみ(= $S_c / (0.8 f_{cu})$)； f_c :コンクリートの圧縮強度

表-1 試験条件の概要

| 供試体の名称 | コンクリート | | 鉄筋* | | スターラップ 間隔(本数) | PC鋼棒 [導入量(tonf)] | タフネス指数 γ |
|-----------|-----------|--------------|-----------------|-----------------|------------------|---------------------|--------------------|
| | コンクリートの種類 | 鋼繊維 (容積%) | 圧縮側 [鉄筋比(%)] | 引張側 [鉄筋比(%)] | | | |
| RC はり | RN | N | 2D22 [5.2] | 2D22 [5.2] | 7cm (2本) | — | ∞ |
| | RF | F | 2D16 [2.7] | 2D22 [5.2] | 7cm (1本) | — | 0.062 |
| | RHF | HF | 2D10 [0.96] | 2D22 [5.2] | 10cm (1本) | — | 0.062 |
| PRC はり | PN | N | 2D22 [5.1] | 2D16 [2.6] | 7cm (2本) | R13 [15] | 0.030 |
| | PF | F | 2D19 [3.8] | 2D16 [2.6] | 7cm (1本) | R13 [15] | 0.054 |
| | PHF | HF | 2D13 [1.7] | 2D16 [2.6] | 10cm (1本) | R13 [15] | 0.050 |

* f_{su} (kgf/cm²):D10(3880),D13(3690),D16(3470),D19(3770),D22(3470)

3. 結果と考察

載荷試験により得られた各供試体の荷重-変位曲線を図-2、3に示す。目視により測定したひび割れ耐力 $P_{0.1}$ と最大耐力 P_{max} の測定値、弾性解析によるひび割れ耐力 $P_{0.1}$ と最大耐力 P_{ut} の算定値、さらにはりの靱性(荷重-変位曲線で囲まれる部分の面積)と降伏耐力の測定値を表-3に示す。表-3に示すはりの靱性値は、図-2、3におい

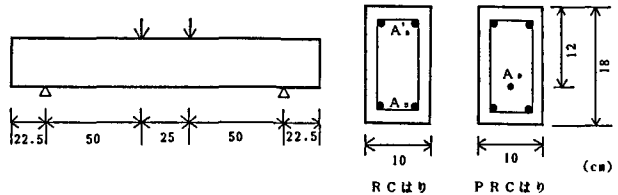


図-1 はり供試体の形状寸法

表-2 コンクリートの強度試験結果と圧縮靱性値

| コンクリート 種類 | 圧縮強度 f_c (kgf/cm ²) | 曲げ強度 (kgf/cm ²) | 割裂強度 (kgf/cm ²) | 圧縮靱性 S_c (kgf/cm ²) | ϵ_{cu} = $S_c / (0.8 f_c)$ |
|--------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--|
| N | 596 | 74.0 | 46.9 | 1.84 | 0.00386 |
| F | 654 | 135 | 75.0 | 5.81 | 0.0111 |
| HF | 1075 | 181 | 130.0 | 10.59 | 0.0123 |

て矢印(↓)で示した点までの荷重-変位曲線下の面積として求めた。すなわち、FとPFシリーズでは圧縮鉄筋の座屈により耐力低下が生じる点、HFとPHFシリーズでは圧縮鉄筋の座屈が生じる点と荷重が最大耐力の2/3に低下する点(括弧付き矢印)、NとPNシリーズでは荷重部分の局部破壊によって耐力が急激に低下する点までの曲線下の面積をそれぞれ靱性とした。

PRCはりのひび割れ耐力はRCはりに比べ、プレストレスを導入した効果分だけ大となった。RCならびにPRCはりの最大耐力は16~18(tonf)となった。これは、引張鉄筋比が1%程度の通常のはり(寸法が同じ場合)の3~4倍である。圧縮鉄筋量が最も少ないHFならびにPHFシリーズでは、はりの降伏後圧縮鉄筋の座屈が他のシリーズと比較して早い段階で生じ、その後は徐々に荷重が低下していった。NとPNシリーズでは、はりの降伏後荷重点部分のコンクリートが局部破壊し、圧縮鉄筋が座屈する前に荷重が不可能になった。FとPFシリーズは降伏後も大きな変形能を示し、圧縮鉄筋の座屈までの靱性値はHFシリーズの約3倍になった。

以上の結果から、鋼材とコンクリートの性能と使用量を適正に組み合わせ、例えば、タフネス指数 γ を0.03以上とすることにより引張鉄筋比の高いRCならびにPRCはりにおいても、高い耐力とともに大きい靱性を確保しうることがわかる。ただし、圧縮鉄筋の座屈や荷重点の局部破壊の適切な予測と防止についての検討が今後必要である。

4. あとがき

タフネス指数 γ を考慮してコンクリートと鋼材とを適正に組み合わせることにより、高い耐力とともに大きい靱性を有する強靱なはり部材を設計することが可能なことを明らかにした。

参考文献 1)小柳、六郷、岩瀬、酒井 : 材料, 36-406, pp. 744~750, 1987年7月

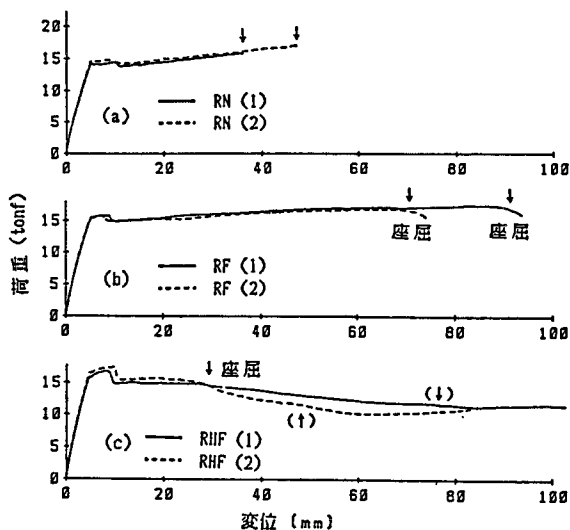


図-2 RCはりの荷重-変位曲線

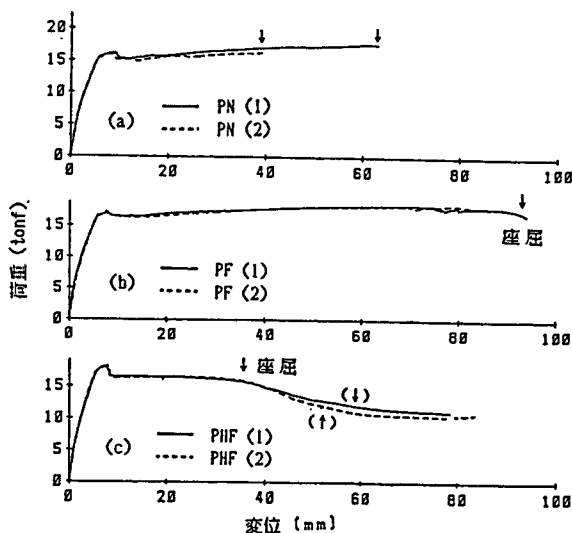


図-3 PRCはりの荷重-変位曲線

表-3 はりの載荷試験による各耐力と靱性値

| 供試体の種類 | ひび割れ耐力(tonf) | | 降伏耐力の測定値(tonf) | | 最大耐力(tonf) | | はりの靱性の測定値(tonf·cm) |
|--------|--------------|-----|----------------|-----|------------|------|--------------------|
| | 目視による測定値 | 算定値 | 測定値 | 算定値 | 測定値 | 算定値 | |
| RN (1) | 4.9 | | 14.3 | | 15.9 | | 49.9 |
| RN (2) | 4.7 | 2.9 | 14.8 | | 17.1 | 13.8 | 70.8 |
| RF (1) | 4.6 | | 15.5 | | 17.6 | | 153 |
| RF (2) | 4.9 | 5.0 | 15.6 | | 16.9 | 14.0 | 117 |
| RHF(1) | 7.3 | | 15.9 | | 16.9 | | 39.7 (102) |
| RHF(2) | 6.6 | 5.7 | 16.6 | | 17.5 | 14.6 | 42.6 (105) |
| PN (1) | 8.0 | | 15.7 | | 17.7 | | 100 |
| PN (2) | 8.5 | 6.5 | 15.4 | | 16.3 | 15.2 | 59.1 |
| PF (1) | 10.5 | | 16.6 | | 18.3 | | 167 |
| PF (2) | 10.0 | 8.2 | 16.6 | | 18.3 | 15.3 | 147 |
| PHF(1) | 10.9 | | 17.1 | | 18.1 | | 52.9 (86.4) |
| PHF(2) | 8.0 | 8.7 | 17.1 | | 18.1 | 16.1 | 55.3 (76.9) |