

## ASR 劣化した PRC はり部材のせん断耐荷特性に関する実験的研究

JIP テクノサイエンス株式会社

正会員

○波多野 雄士

大阪工業大学

正会員

三方 康弘

井上 晋

## 1. はじめに

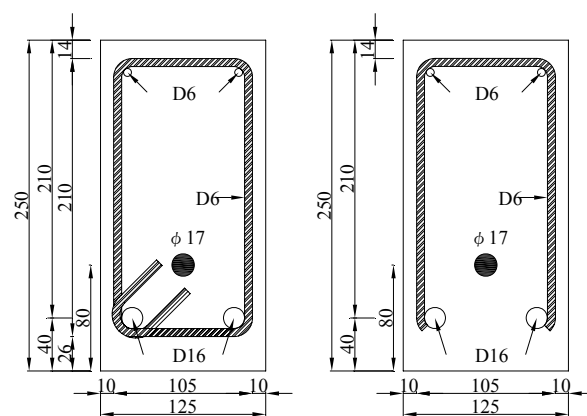
近年, ASR 劣化により鉄筋破断が生じた RC はり部材の耐荷特性に関する知見は蓄積されつつあるものの, PC・PRC はり部材の耐荷特性については未だ不明な点が多い. そこで本研究では, ASR 劣化によりせん断補強筋の破断を生じた PRC はり部材のせん断耐荷特性を評価することを目的とした.

## 2. 実験概要

供試体には, 図-1 に示すような長方形断面の PRC 単純はり (125×250×1800mm) を用いた. 実験要因として, (1) せん断補強筋の形状: 健全なもの (図-1(a)), 破断 (断面引張側隅角部を切断) したもの (図-1(b)) の 2 種類を選定した. (2) せん断補強筋比:  $p_w=0.34\%$

(せん断補強筋配置間隔  $s=150\text{mm}$ ),  $p_w=0.51\%$  (せん断補強筋配置間隔  $s=100\text{mm}$ ) の 2 種類を選定した. (3) 導入プレストレス量: 断面引張縁の応力  $\sigma_{ct}=2\text{N/mm}^2$ ,  $4\text{N/mm}^2$  の 2 種類を選定した. また, 比較のために普通コンクリート (以下 Np と略す) を用いて, 健全供試体を作製した. 以上これらの組合せにより 5 体を作製した. ASR 劣化したはり供試体 (以下 PR と略す) の粗骨材および細骨材には反応性骨材を使用した. コンクリートの設計基準強度は既往の研究<sup>1)</sup>を参考とし  $f'_{cd}=36\text{N/mm}^2$  (PR シリーズの材齢 28 日および材齢 365 日時点での圧縮強度:  $f'_c=50.4\text{N/mm}^2$ ,  $23.1\text{N/mm}^2$ , Np シリーズの材齢 28 日の圧縮強度:  $f'_c=46.5\text{N/mm}^2$ ) とした. 主鉄筋には 2-D16 (PR シリーズの  $f_{sy}=337\text{N/mm}^2$ , Np シリーズの  $f_{sy}=331\text{N/mm}^2$ ), せん断補強筋には D6 スターラップ (PR シリーズの  $f_{wy}=404\text{N/mm}^2$ , Np シリーズの  $f_{wy}=432\text{N/mm}^2$ ), PC 鋼材には  $\phi 17$  (PR シリーズの  $f_{py}=1128\text{N/mm}^2$ , Np シリーズの  $f_{py}=1123\text{N/mm}^2$ ) とした.

いずれの供試体も曲げ降伏後, せん断破壊が先行するように設計した. 表-2 に示す各供試体はファイバー法による曲げ破壊荷重計算値, 土木学会コンクリート標準示方書<sup>2)</sup>によるせん断耐力計算値ならびに, 最大荷重実測値, 破壊形式等を一括して示す. なお, せん断耐



(a)せん断補強筋健全 (b)せん断補強筋破断

図-1 供試体図 (単位: mm)

表-1 各供試体のひび割れ密度

| 供試体      | ひび割れ密度 [mm/mm <sup>2</sup> ] |       |       |       |
|----------|------------------------------|-------|-------|-------|
|          | L                            | M     | H     | Σ     |
| PR150-2  | 0.049                        | 0.059 | 0.000 | 0.109 |
| PR100T-2 | 0.063                        | 0.060 | 0.001 | 0.124 |
| PR150T-2 | 0.083                        | 0.047 | 0.001 | 0.131 |
| PR150T-4 | 0.051                        | 0.067 | 0.000 | 0.118 |

L=幅 0.2mm 未満, M=幅 1mm 未満, H=幅 1mm 以上

力  $V_s$  として, 45 度トラス理論から算出した計算値  $V_{s1}$  と, 破断位置より  $20\phi$  区間を無効とし, 式(1)<sup>3)</sup>により低減させたアーム長  $z$  を用いて式(2)より求めた  $V_{s2}$  の計算値を示す.

$$z_1 = d / 1.15 - 20\phi \quad (1)$$

$$V_{s2} = A_w f_{wy} \frac{z_1}{s} \quad (2)$$

## 3. 載荷試験結果と考察

## (1) 圧縮強度の推定

載荷試験の結果を表-2 に示す. PR シリーズの供試体には既に ASR によるひび割れが生じていたものの, 最大荷重の実測値は曲げ破壊荷重計算値を大きく上回った (PR シリーズのひび割れ密度を表-1 に示す). そこで, 最大荷重実測値から逆算し各々の供試体の圧縮強度を推定することを試みた. その結果, 表-2 に示す圧縮強度を推定した. また, ひび割れ密度が大きい場

キーワード ASR, PRC はり部材, 鉄筋破断, ひび割れ密度, せん断耐荷特性

連絡先 〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町 1 丁目 2 番 5 号 JIP テクノサイエンス株式会社 TEL03-5641-3209

表-2 供試体の詳細と実験結果

| 供試体      | スター<br>ラップ |                 | 下縁応力 $\sigma_{ct}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] |                   | 曲げ <sup>*2</sup><br>破壊荷重<br>計算値<br>P <sub>ub</sub> [kN] | せん断耐力計算値<br>[kN]              |                               |                               |                 | 最大荷重<br>実測値<br>P <sub>u</sub> [kN] | はりコア部の推定<br>圧縮強度[N/mm <sup>2</sup> ] |                    | 破壊<br>形式 |      |
|----------|------------|-----------------|--------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|----------|------|
|          | 定<br>着     | 間<br>隔<br>s(mm) | PS導入                                       | 載荷前 <sup>*1</sup> |                                                         | V <sub>c1</sub> <sup>*2</sup> | V <sub>s</sub>                |                               | P <sub>us</sub> |                                    | 最大荷重<br>から逆算                         | 式(3)<br>$f_{cASR}$ |          |      |
|          |            |                 |                                            |                   |                                                         |                               | V <sub>s1</sub> <sup>*3</sup> | V <sub>s2</sub> <sup>*4</sup> |                 |                                    |                                      |                    |          |      |
| Np150    | ○          | 150             | 2                                          | 1.87              | 216.6                                                   | 39.3                          | 33.3                          |                               | 145.2           | 191.8                              | -                                    | -                  | 曲げ引張     |      |
| PR150-2  | ○          | 150             | 2                                          | 11.91             | 160.0                                                   | 42.6                          | 31.1                          |                               | 147.4           | 215.3                              | 43.6                                 | 44.9               | 曲げ引張     |      |
| PR100T-2 | ×          | 100             | 2                                          | 4.91              | 143.5                                                   | 35.5                          | 46.7                          | 16.0                          | 164.5           | 103.1                              | 213.8                                | 42.4               | 44.2     | 曲げ引張 |
| PR150T-2 | ×          | 150             | 2                                          | 9.57              | 158.7                                                   | 40.1                          | 31.1                          | 10.7                          | 142.4           | 101.6                              | 189.8                                | 31.8               | 43.7     | 曲げ引張 |
| PR150T-4 | ×          | 150             | 4                                          | 5.13              | 166.2                                                   | 34.9                          | 31.1                          | 10.7                          | 132.0           | 91.2                               | 218.7                                | 45.3               | 44.6     | 曲げ引張 |

\*1:載荷前の下縁の応力=残存プレストレス+下縁に生じたケミカルプレストレス。

\*2:材齢365日時の圧縮強度を用い、耐力計算を行った。

\*3:45度トラス理論より算出。

\*4:破断位置より必要定着長 $20\phi$ を無効としアーム長 $z$ を低減させ、 $V_s$ を算出した。

合、圧縮強度ならびに、はり供試体の最大荷重は低下するものと想定し、PRシリーズに生じたひび割れ密度からはりコア部の圧縮強度を推定することを試みた(式(3)に示す)。

$$f'_{cASR} = f'_{c28}(1-\rho) \quad (3)$$

$f'_{cASR}$  : ASR 劣化したはりコア部の推定圧縮強度 [N/mm<sup>2</sup>],  $f'_{c28}$  : 材齢 28 日の圧縮強度 [N/mm<sup>2</sup>],

$\rho$  : ひび割れ密度 [mm/mm<sup>2</sup>]

式(3)を用いて算出した推定圧縮強度は、最大荷重の実測値から逆算した推定圧縮強度と比較すると、せん断補強筋が破断し、配置間隔が 150mm である PR150T-1 で若干差があるものの、他の供試体においては程よく推測した。

#### (2) 作用せん断力 $V$ ー負担せん断力 ( $V_s$ , $V-V_s$ )

図-2 に作用せん断力ー負担せん断力を示す。Np150-2 はせん断ひび割れ発生後、 $V_s$ が増加しトラス機構が形成された。一方、PR150-2 は既に ASR によるひび割れが生じていたものの、はり軸方向に生じたケミカルプレストレスの効果により斜めひび割れの発生を抑制し、コンクリート負担せん断  $V-V_s$ が増加したものと考えられる。

導入プレストレス量に関わらず、せん断補強筋が破断しているものについて (PR150T-2, PR150T-4), ASR により主鉄筋に沿ったひび割れが生じ、せん断補強筋の破断のため、主鉄筋のダウエル力を拘束する力が低下しているため、荷重の増加に伴い、それらのひび割れが付着割裂ひび割れへと進展することでトラス機構が機能せず、タイドアーチ的耐荷機構が形成されたため、Np150-2 と比較して、 $V_s$ の実測値が小さくなった。また、それらの値は  $V_{s1}$  の計算値を下回ったものの、ア

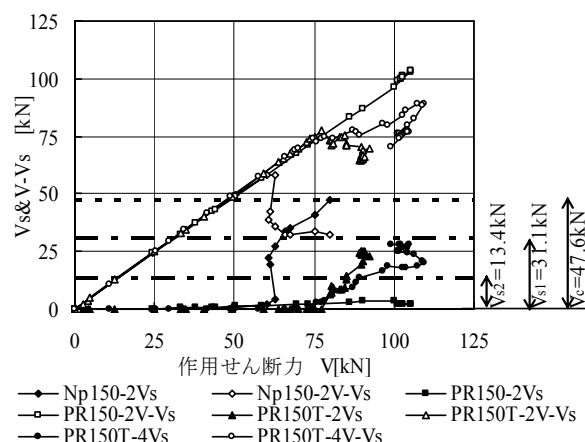


図-2 作用せん断力 $V$ ー負担せん断力 ( $V_s$ ,  $V-V_s$ )

ーム長  $z$  を低減させた計算値  $V_{s2}$  を上回った。

#### 4. まとめ

本実験の供試体において、ASR によって生じたひび割れ密度からはりコア部の圧縮強度の推定を試みたが、今後は、あらゆる環境条件や体積効果を踏まえ整合性を検証する必要がある。また、ASR によりせん断補強筋の破断が生じたはりは、トラス機構よりもタイドアーチ的耐荷機構が卓越することにより、せん断力を負担する挙動を示した。

#### 参考文献

- 1) 大久保ほか：ASR による劣化を受ける PC 部材の長期性状評価に関する実験的研究，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，Vol5，pp179-184，2005.10
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書，[構造性能照査編]，2003.3
- 3) 土木学会：アルカリ骨材反応対策小委員会報告書ー鉄筋破断と新たな対応ー，ppⅡ-9-Ⅱ-11