

せん断補強筋の破断を模擬した PRC はり部材のせん断耐荷挙動に関する研究

大阪工業大学大学院 学生員 ○波多野 雄士 澤井 健二
大阪工業大学工学部 正会員 三方 康弘 井上 晋

1. はじめに

ASR 劣化による鉄筋破断を生じた PC 部材の耐荷性能については知見が少ない。そこで本研究では、コンクリートの膨張およびせん断補強筋の付着・定着状態を変化させた PRC はり部材の載荷試験を実施し、そのせん断耐荷挙動について検討を行った。

2. 試験概要

供試体には、図-1 に示すような 125×250×1800mm の長方形断面 PRC 単純はりを用いた。せん断補強筋の付着・定着状態については、せん断補強筋の全周にわたって付着を無くした供試体（グリースを塗り、その上からビニールテープを巻き付けて作製、図-1 (a)の黒塗り部分）、断面引張側隅角部を切断した供試体（図-1 (b)）、断面引張側隅角部を破断させ、破断位置より 10φ（60mm φ：スターラップの直径）区間の付着を無くした供試体（図-1(b)の黒塗り部分）を（a）スターラップ破断無（b）スターラップ破断有 図-1 供試体図（単位：mm）作製し付着・定着とも健全なものと比較した。コンクリートの膨張の影響については総セメント量の 20%を膨張材に置換した膨張コンクリートを使用した。コンクリートの設計基準強度は $f'_{ck}=36\text{N/mm}^2$ （実強度 $f'_c=55.6\text{N/mm}^2$ 、膨張コンクリートは 2 週間膨張拘束後の強度 $f'_c=54.7\text{N/mm}^2$ ）とし、主鉄筋には 2-D16（ $f_{sy}=337\text{N/mm}^2$ ）、せん断補強筋には D6 スターラップ（ $f_{wy}=404\text{N/mm}^2$ ）を用いた。せん断補強筋間隔は 100mm（ $p_w=0.51\%$ ）ならびに 150mm（ $p_w=0.34\%$ ）とした。これらの要因の組合せにより計 9 体の供試体を作製した。その詳細を表-1 に示す。載荷方法は曲げスパンを 300mm とした対象 2 点集中荷重方式（ $a/d=2.62$ ）とし、破壊に至るまで単調漸増載荷を実施した。PC 鋼材には φ17（ $f_{py}=1026\text{N/mm}^2$ ）を用い、いずれの供試体も計算上せん断破壊が先行するようにした。また、膨張コンクリートの自由膨張量は 3900μ であったが、載荷時に供試体 9 体にはひび割れは発生していなかった。

3. 試験結果と考察

(1) 載荷試験結果と荷重-スターラップひずみ関係

表-1 に各供試体の曲げ耐力、せん断耐力の土木学会コンクリート標準示方書による計算値ならびに最大荷重の表-1 供試体の詳細と実験結果

供試体	膨張有無	スターラップ°			下縁応力	曲げ耐力 計算値 Pu(kN)	せん断耐力 計算値					最大荷重 実測値 Pmax(kN)	斜めひび割れ 傾斜角		破壊 形式
		付着	定着	間隔 s(mm)	目標値		Vc (kN)	Vs (kN)		破壊荷重 Psu(kN)			θ1	θ2	
					(N/mm ²)										
Np150-2	無	○	○	150	2	204.2	39.2	31.1		140.6		177.6	41°	32°	曲げ
Bp150-2	有	○	○	150	2	203.6	39.3	31.1		140.8		181.6	41°	45°	曲げ
Bp150F-2	有	×*1	○	150	2	203.5	39.3	31.1		140.8		180.6	41°	25°	曲げ
Bp100T-2	有	○	×	100	2	203.5	39.3	46.7	16.0*3	172.1	110.7	182.0	41°	42°	曲げ
Bp150T-2	有	○	×	150	2	203.5	39.3	31.1	10.7*3	140.8	100.0	190.9	41°	30°	曲げ
Bp150T-4	有	○	×	150	4	204.2	41.4	31.1	10.7*3	145.0	104.2	197.7	38°	38°	曲げ
Bp100FT-2	有	×*2	×	100	2	203.5	39.3	46.7	16.0*3	172.1	110.7	189.1	41°	35°	曲げ
Bp150FT-2	有	×*2	×	150	2	203.5	39.3	31.1	10.7*3	140.8	100.0	193.1	41°	40°	曲げ
Bp150FT-4	有	×*2	×	150	4	204.1	41.4	31.1	10.7*3	145.0	104.2	187.4	38°	35°	曲げ

{付着:○=良好, ×*1=全周付着無し, ×*2=破断位置より10φ区間付着無し}, {定着:○=良好, ×=不良}

*3=破断位置より必要定着長20φを無効とし式(3)を用いてアーム長zを低減させ、 V_s を算出した

キーワード ASR ケミカルプレストレス PRC はり部材 付着不良 定着不良

連絡先 〒535-8585 大阪府旭区大宮 5 丁目 16 番 1 号 大阪工業大学都市デザイン工学科 TEL06-6954-4182

実測値、破壊形式を一括して示す。なお、せん断耐力 V_s については 45° トラス理論から算出した計算値 V_s と、破断位置より 20ϕ 区間を無効とし、式(3)¹⁾により低減させたアーム長 z を用いて式(4)より求めた V_s^{*3} の計算値を示す。載荷試験の結果、せん断ひび割れの進展状況はそれぞれ異なったものの全て曲げ引張破壊に至った。そこで、荷重とスターラップひずみについて考察することとした。普通コンクリート(Np)と膨張コンクリート(Bp)ではせん断ひび割れ発生荷重が異なることが図-2 から伺える(Np $\approx$ 60kN, Bp $\approx$ 110kN)。この差異は主としてケミカルプレストレスによるものと考えられる。また、せん断補強筋が健全なもの(Bp150-2)と、せん断補強筋を全周にわたって付着を無くしたもの(Bp150F-2)は、ひび割れ発生後の挙動がほぼ同様であり、鋭角フックの効果により鉄筋に応力が伝達されたと考えられる。またせん断補強筋の破断をさせたもの(Bp150T-2)についても、同様な傾向が得られた。このことから破断を生じていても鋼材の降伏に必要な定着長が確保されていれば、せん断補強筋として有効に機能することが示された。一方、付着を無くしたもの(Bp150FT-2)は他のものに比べ同一荷重におけるひずみが減少する傾向を示した。これは、破断位置から必要定着長(20ϕ 区間)において、付着低下を 10ϕ 区間設けたことによりせん断補強筋として機能しにくくなったものと考えられる。

(2) 作用せん断力 V —負担せん断力(V_s , $V-V_s$)について

PCはり部材のせん断ひび割れ傾斜角 θ を式(1)²⁾より算定した。ここに、 θ_1 :せん断ひび割れ傾斜角, f'_{ck} :コンクリートの設計基準強度(ここでは実圧縮強度を採用), σ_{cg} :断面内の平均プレストレスである。表-1 に示すように、断面下縁 $2\text{N}/\text{mm}^2$ の供試体, $4\text{N}/\text{mm}^2$ の供試体ではそれぞれ $\theta_1=41^\circ$, $\theta_1=38^\circ$ となりばらつきはあるものの実測値とほぼ同等な結果となっている。作用せん断力 V —負担せん断力(V_s , $V-V_s$)のグラフを図-3 に示す。ここで、水色のライン(V_s^{*3})は定着不良を考慮し破断位置より必要定着長 20ϕ を無効とし、式(3)¹⁾を用いてアーム長 z を低減させ V_s^{*3} を求めた。Bp150T-2 の V_s の挙動は、ひび割れ発生後急に作用せん断力に抵抗し、その後の挙動は Np とほぼ同じ傾向を示した。引張隅角部が破断していても定着長が付着により十分に確保されており、かつ、コンクリート強度が低下していなかったことからトラス機構が卓越し、せん断力に抵抗したと考えられる。また、 V_s の実測値は V_s の計算値を下回ったものの、定着不良を考慮した V_s^{*3} より大きな値を示した。一方、Bp150FT-2 は、Bp150T-2 と比較するとせん断ひび割れ発生後の V_s の増加は小さく、また、 V_s の実測値の最大値は V_s^{*3} とほぼ同じ値を示した。せん断ひび割れ発生後もコンクリート負担せん断力 $V-V_s$ が大きく増加していることから、アーチ機構が卓越し最終的に曲げ引張破壊に至ったと考えられる。

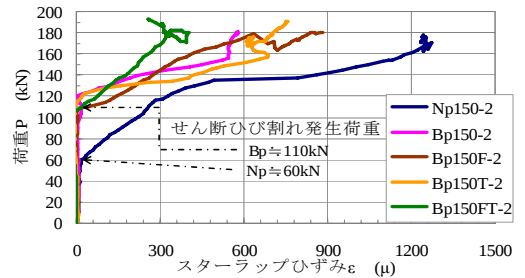


図-2 荷重—スターラップひずみ関係

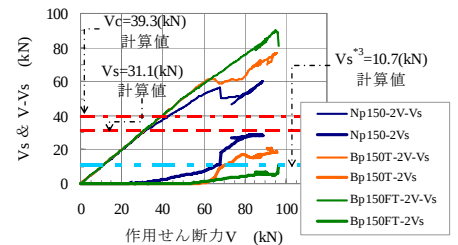


図-3 作用せん断力—負担せん断力関係

$$\cot \theta_1 = \sqrt{1 + \frac{\sigma_{cg}}{f_t}} \quad (1)$$

$$f_t = 0.23 f'_{ck} \quad (2)$$

$$z_1 = d / 1.15 - 20\phi \quad (3)$$

$$V_s^{*3} = A_w f_{wy} \frac{z_1}{s} \quad (4)$$

4. まとめ

本実験において、せん断補強筋の破断が生じていてもコンクリート強度が低下しておらず、必要な定着長が付着により確保されていればトラス機構が卓越し、それによって作用せん断力に抵抗すると考えられる。一方、付着・定着不良の場合はせん断ひび割れ発生後もせん断補強筋が有効に機能せずアーチ機構が卓越し、曲げ引張破壊に至ったと推測される。また、定着不良を考慮した V_s^{*3} の計算値は、定着不良のみ再現させた供試体の V_s の実測値を安全側に評価した。今後の課題としては、確実にせん断破壊を先行させたうえで、せん断耐荷挙動を検討するとともに、実際の ASR 劣化させた PRC はりや ASR 劣化に近いひび割れに模擬させた PRC はりで比較検討すべきと考えられる。

参考文献

- 1) 土木学会 アルカリ骨材反応対策小委員会報告書—鉄筋破断と新たな対応—, ppⅡ-9-Ⅱ-11
- 2) 三方康弘, 井上晋, 小林和夫, 仁枝保: PC はり部材のせん断耐力に及ぼすプレストレスの効果, 土木学会論文集, No669/V-50, pp149-159, 2001.2