

V-28 高付着応力レベルでの正負繰返し载荷時におけるRC柱試験体の劣化挙動に関する研究

広島大学 正会員 ○平井 杏奈
京都大学 佐藤 裕一
高松高専 正会員 長友 克寛
高松高専 松原 三郎

1. 研究目的 現行の設計指針における付着強度評価法は、引き抜き型試験体、カンチレバー型試験体、梁型試験体などの実験結果に基づいている。これらの試験体は、ひび割れの進展とそれに伴う破壊性状が比較的明解であるため得られる結果の比較が容易である反面、鉄筋及びコンクリートの応力条件が限定され、実部材の応力状態と異なる危険性が捨てきれない。一方、RC柱・はり部材にみられる付着割裂破壊は、正負の载荷履歴に大きく支配されると考えられるが、その影響については十分に検討されていない。本研究は、既往の試験体では困難であった軸力と主筋の押し引き力の同時制御を実現し、かつ高付着応力レベルでの正負繰返し载荷の可能なRC柱試験体を用い、破壊性状に及ぼすこの载荷の影響を検討したものである。

2. 実験概要 図-1に試験体の形状・寸法を示す。試験体は、幅150mm、高さ400mm、長さ1100mmの直方体であり、全部で6体製作した。主筋はD19、SD345のねじふし鉄筋であり、試験体の上側と下側に間隔300mmで各2本ずつ($p_t=1.09\%$)配置した。主筋の両側150mmの区間は付着を絶縁した。この4本の主筋をD6、SD295A、間隔65mmあるいは130mmの閉鎖型せん断補強筋で取り囲んだ。表-1に主筋およびせん断補強筋の力学的性質を示す。コンクリート強度は29.4MPaであった。表-2に各試験体のせん断補強筋間隔 s_w 、有効せん断補強筋比 p_{we} 、日本建築学会靱性保証型耐震設計指針(案)による付着強度算定値 τ_b 、及び荷重比 R_L を用いた载荷履歴を示す。ここに、 R_L は p_{we} 及び τ_b から計算される付着破壊時の鉄筋力と実際に加える鉄筋力(ひいては平均付着応力レベル)の比である。

2本の上端筋の一端に引張力 T を、他端に圧縮力 C を加え、2本の下端筋にはこれと逆向きの鉄筋力を加えた。試験体の左右の側面に作用させる軸力 N によって腹部コンクリートの圧縮応力を自由に制御できるが、今回は軸力 N を主筋最大荷重の0.75倍の一定値とした。この N の大きさは、試験体内に角度 45° の一樣トラス応力場が形成されたと仮定した場合の、コンクリート圧縮力軸方向成分に相当する値である。

表-2に実験に採用した载荷履歴を示す。载荷は、原則として定荷重正負繰返しであり、その際に主筋端部引張力 T と端部圧縮力 C の比を1:1に保った。低引張力レベル(目標荷重の25%と50%)でのサイクルを正負2回繰り返した後、目標荷重での正負10回の繰返しとしたが、試験体の劣化が著しい場合は途中で打ち切った。ただし、試験体によっては付着劣化の進行により目標荷重

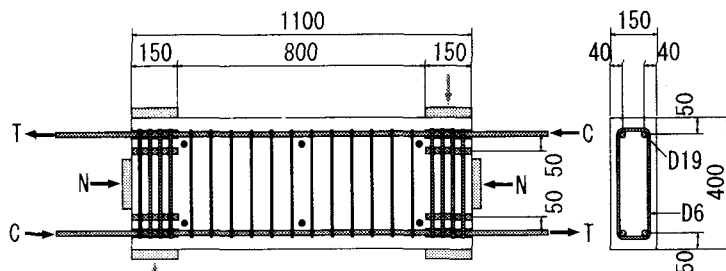


図-1 試験体の形状・寸法(単位: mm)

表-1 使用鋼材の力学的性質

	降伏応力度 f_y (MPa)	引張強度 f_u (MPa)	弾性係数 E_s (GPa)
主筋D19	385.6	572.7	192.2
せん断補強筋D6	336.8	548.1	191.0

表-2 試験体のせん断補強筋量及び载荷履歴

試験体	s_w (mm)	p_{we} (%)	τ_b (MPa)	载荷履歴(荷重比 R_L 正载荷時/負载荷時)	载荷回数
S1	---	---	2.77	0.75/0.75 $\times$ 3 $\rightarrow$ 0.85/0.85 $\times$ 2 $\rightarrow$ 0.97/0.97 $\times$ 2 $\rightarrow$ 0.83/0.83 $\times$ 1 $\rightarrow$ 0.64	8
S2	130	0.46	3.36	0.63/0.85 $\times$ 3 $\rightarrow$ 0.61	3
S3	65	0.92	3.95	0.75/0.75 $\times$ 2 $\rightarrow$ 0.85/0.85 $\times$ 7 $\rightarrow$ 1.07	10
S4				1.00/1.00 $\times$ 8	8
S5				1.10/1.10 $\times$ 2 $\rightarrow$ 1.10/0.66 $\times$ 1 $\rightarrow$ 0.17	3
S6				3mm/3mm $\times$ 8	8

に到達しなくなる場合があり、この場合は途中から定変位载荷に切り換えた。なお、試験体 S6 のみ主筋端部の最大変位を 3 mm とする定変位繰返し载荷とした。

主筋 4 本のうち 1 本には 7 箇所、他の 3 本には 5 箇所に歪ゲージを貼付した。また、主筋の両端部（計 8 箇所）に変位計を設け、滑りを測定した。さらに、トラス状に組んだ変位計群により、試験区間の軸変形及びせん断変形状態を把握した。

3. 破壊状況 繰返し载荷により、まずせん断ひび割れが発生し、次に付着割裂ひび割れが生じた。最終的にはそれらのひび割れが成長し破壊に至った。図-2 に試験体の破壊状況の一例を示す。表-2 の载荷履歴において、せん断補強量が同じ試験体 S3, S4, S5 で劣化の進行度合いを比較してみると、荷重比 R_L が大きくなるにつれて破壊に至るまでの载荷回数が減少している。特に試験体 S5 においては、3 回の繰返しで破壊に至っており、その傾向が顕著である。このことから、作用主筋力レベルの高い正負繰返し载荷は、試験体の劣化をかなり早めることが分かった。

4. 主筋応力分布 図-3 に試験体 S4 の最大主筋力作用時における主筋の応力分布の推移を一例として示す。図中の番号は繰返し回数を表している。作用主筋力レベルの高い同試験体は、繰返し载荷によってひび割れが閉口しなくなり、それに伴って応力がゼロの位置が中心からずれていく。また、付着劣化によって端部の応力勾配が緩くなり、一部で負勾配が生じている。なお、作用主筋力レベルの低い試験体 S1, S3 では試験中央部における応力ゼロの位置のシフトはほとんど見られず、応力分布は中央部で勾配が緩く、端部に近づくほど勾配の大きいものであった。

5. せん断補強筋応力分布 図-4 に試験体 S4 のせん断補強筋の応力分布の推移を一例として示す。応力が大きい部分は、せん断ひび割れの本数が多く、かつひび割れ幅も大きいところである。繰返し回数が増えるほど、残留ひずみが蓄積され、定荷重繰返しにも関わらず応力は増大している。応力値が一定となっているところでは、せん断補強筋は降伏している。なお、試験体左端付近に圧縮応力が生じているのは、ある方向のひび割れが完全に閉じず、逆方向载荷時に補強筋に押し込みが生じたためである。

6. 主筋の平均付着応力-端部変位関係 図-5 に試験体 S4 における 4 本の主筋の平均付着応力と主筋端部変位との関係を示す。同図より、除荷から逆载荷に移るまでの領域において剛性がゼロに近くなる異形鉄筋特有のピンチ効果がみとれる。同様の傾向は他の試験体でもみられた。なお、せん断補強筋のない試験体 S1 は、付着割裂ひび割れの発生と同時に付着応力が急減する脆性的な挙動を示したが、せん断補強筋量の増加に伴ってその傾向は小さくなり、靱性が増大した。一方、せん断補強筋量が同じ場合には、作用主筋力レベルが大きくなるにつれて、繰返し载荷による剛性低下が明瞭となった。試験体 S6 では、定変位繰返しに伴う最大変位時の付着応力の低下が顕著であった。

7. まとめ 付着強度算定式から計算される鉄筋力と比較して、作用主筋力がそれに近い正負繰返し载荷の場合、試験体は少ない载荷回数で破壊に至る。作用主筋力が計算鉄筋力の 75% 以上の場合でも、载荷回数を増やすことによって、せん断及び付着割裂ひび割れの成長により試験体が劣化し、破壊に至る。

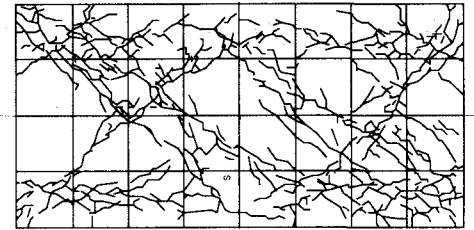


図-2 試験体の破壊状況
(試験体 S4)

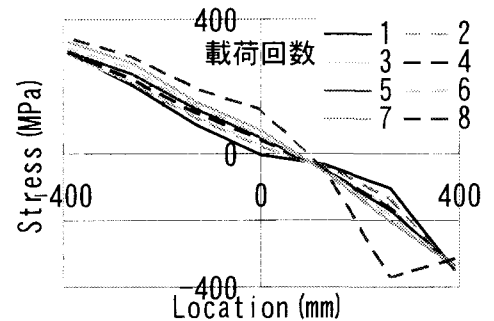


図-3 主筋応力分布図
(試験体 S4)

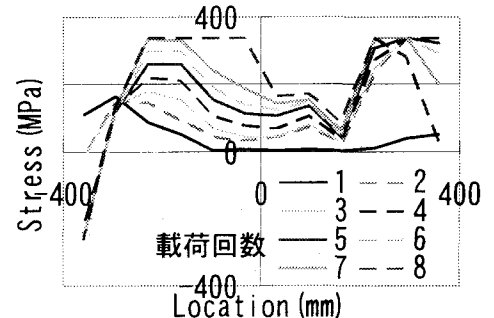


図-4 せん断補強筋応力分布図
(試験体 S4)

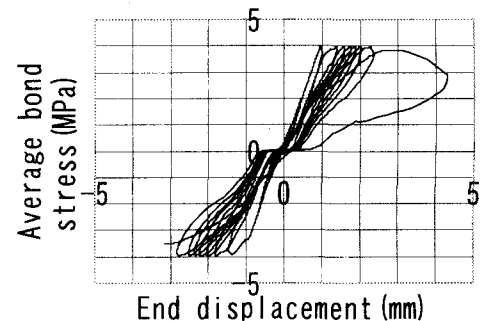


図-5 主筋付着応力-端部変位関係
(試験体 S4)