

V-304

軸方向引張力によりRC棒部材のせん断耐力が上昇する場合についての一考察

長岡技術科学大学 正会員 田村隆弘
徳山工業高等専門学校 正会員 重松恒美
九建設計(株) 正会員 仲敷憲一

1.はじめに 土木学会示方書では棒部材のせん断耐力算定式中で軸方向力の影響を(1)式のようなデコンプレッションモーメントの関数によって表現している。式は、軸方向力を受ける部材では軸方向圧縮を受ける場合にせん断耐力は上昇し、逆に軸方向引張力を受けた場合耐力は減少することを示している。著者らの、軸方向引張力を調査した既往の実験でも、式(1)が精度的には問題はあるものの、傾向としては表現していることを確認した¹⁾。しかし、著者らの実験の中で、軸方向引張力を導入することによって部材の耐力が上昇する場合が現れた。このことは、山田らの初期貫通ひび割れを有する部材のせん断耐力に着目した研究でも報告されている²⁾。軸方向引張力によって部材の耐力が上昇する事は、示方書算定式を用いて設計することに対して安全側の解を与えるものであり、危急の問題とは言えないが、RC部材のせん断破壊メカニズムを考えると一つの情報としては無視できない挙動であると思われる。ここでは、既往の研究データ(1)、²⁾ およびその後の著者らの実験結果)から、この問題について考察する。

$$\beta_n = 1 + M_o / M_d \quad (N_d \geq 0 \text{ の場合}), \quad \beta_n = 1 + 2M_o / M_d \quad (N_d < 0 \text{ の場合}) \cdots (1)$$

2. 試験条件 供試体は全てせん断補強筋を配置しない幅10cm、高さ20cmの複筋鉄筋矩形梁で、表1に示すような範囲で40通りのパラメータを変化させた。供試体総数は150体である。ここで、軸方向力を導入した後、これを解除して曲げ載荷した場合は、軸方向力を受ける場合として扱った。

表1 試験条件

せん断スパン比a/d	1.5~4.0
軸方向引張力(Mpa)	0~4.0
引張主鉄筋比(%)	0.75~2.97
圧縮主鉄筋比(%)	0.36~2.61

3. 試験結果 表2は、40種類のパラメータの軸力ナシの場合の破壊状態と、これに対応した条件のもとで軸方向引張力を受ける部材の破壊状態、そしてこれらの部材の軸力ナシの部材に対する終局耐力の上昇あるいは下降を分類している。

3.1 終局耐力 軸方向引張力により終局耐力が上昇したケースは全体(150体)のうち41体あったが、この中でせん断破壊したものは16体で、全体の約11%である。図1、図2は、縦軸を各供試体の終局耐力(Pu)と対応する条件の下で軸方向力を受けない供試体の終局耐力(Po)との比(Pu/Po)をとり、図1ではせん断スパン比(a/d)とPu/Poの関係を示し、図2では軸方向鉄筋比(pw+pw*)とPu/Poの関係を示している。これらの図より、せん断スパン比が大きな領域、軸方向鉄筋比が小さな領域で曲げ破壊した梁が多く、せん断破壊と曲げ破壊の遷移領域に曲げせん断破壊する梁が多く認められる。軸方向引張力を受けた場合に耐力を上昇するのは曲げ破壊や曲げせん断破壊した梁が多いが、a/d>2.5の領域で、軸方向引張力を受けてせん断破壊を起こした場合に耐力が上昇するケースが認められる。また、軸方向鉄筋比が大きいところでは、軸方向引張力を受けてせん断破壊を起こしつつ耐力が上昇するケースが現れている。

3.2 破壊状態 表2に示すように、軸力ナシの状態においてせん断破壊した場合、同条件の供試体が軸方向引張力を受けて、せん断破壊を起こしつつ終局耐力を上げるケースは15体あった。図3、図4では、軸方向引張力を受けてせん断耐力が低下あるいは上昇した場合の代表的な終局的なひび割れ状態を、軸力ナシの梁と比較した。いずれの梁も軸方向引張力が作用することで、斜めひび割れの角度が立ち上がり、曲げひび割れの発生数が増加しながら、その高さが高くなっている。しかし、曲げひび割れの高さは耐力上昇が起きている梁の方が、耐力低下した梁より低く、斜めひび割れ発生以前の状態において、コンクリート圧縮域の高さが高いと言える。

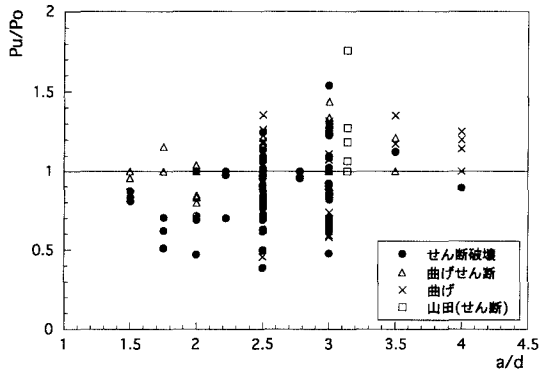
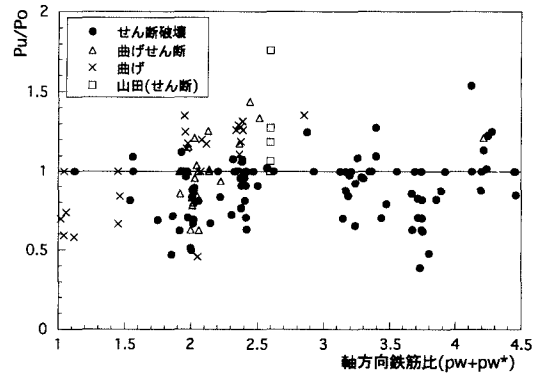
表2 破壊状態の分類

軸力ナシの場合の破壊状態	個数	軸引張力を受ける場合の破壊状態	個数	耐力の下降・上昇	個数
せん断破壊	31	せん断破壊	56	下降	41
				上昇	15
		曲げせん断破壊	12	下降	5
曲げせん断破壊	6			上昇	7
		曲げ破壊	13	下降	3
				上昇	10
曲げ破壊	3	せん断破壊	12	下降	11
				上昇	1
		曲げせん断破壊	7	下降	4
軸力ナシ合計	40			上昇	3
		曲げ破壊	2	下降	0
				上昇	2
軸方向引張力を受けるもの合計	110	せん断破壊	1	下降	1
				上昇	0
		曲げせん断破壊	0	下降	0
				上昇	0
		曲げ破壊	7	下降	4
				上昇	3

せん断破壊：主筋は降伏せず、斜めひび割れの成長により破壊
曲げせん断破壊：破壊時に主筋は降伏し、斜めひび割れも形成
曲げ破壊：破壊時に斜めひび割れを伴っていないもの

キーワード：RC棒部材、軸方向引張力、せん断破壊、終局耐力、破壊機構

連絡先：〒940-2188 長岡市上富岡町 1603-1, TEL 0258-47-9152, FAX 0258-47-9150


図1 せん断スパン比 (a/d)と V_u/V_o の関係

図2 軸方向鉄筋比と V_u/V_o の関係

4. 軸方向引張力によりせん断耐力が上昇する機構について

軸方向引張力を導入することによって破壊性状が(せん断破壊から曲げせん断あるいは曲げ破壊へ)変化することは、軸方向力が斜めひび割れの発生に強く関与していることを示すものである。斜めひび割れを生じない曲げ破壊の場合は、軸方向力の影響は、引張主鉄筋の引張力とコンクリート圧縮力の釣り合い力に対するものである。従って、部材が圧壊する場合には、軸方向引張力は部材耐力を上昇させ、鉄筋の降伏が破壊の条件であれば軸方向引張力によって部材の耐力は低下する。斜めひび割れの発生に対して、軸方向引張力の影響として主応力の状態を考慮することは、軸方向引張力によって斜めひび割れ発生荷重が低下することを表現する上では矛盾はない。しかし、逆に耐力が上昇する場合に対しては矛盾したものとなる。このことは、せん断スパン比が大きなところで耐力上昇が起きやすく、小さなところで起きにくいことから、せん断スパン比が小さなところでは、斜めひび割れ発生荷重を主応力の問題として考慮できるが、せん断スパン比が大きくなるに従って斜めひび割れの発生について主応力の状態から考えることが困難であることを示すものである。せん断スパン比の大きなところで、斜めひび割れ発生以前の梁に対する軸方向引張力は、引張主鉄筋の引張力を増加させ、コンクリート圧縮力を軽減する。同時にウェブコンクリートの主応力を増大しているが、曲げひび割れの成長に伴う梁の軟化がこの主応力を変化させていると考えられ、主鉄筋比の小さな梁ではこの傾向は強くなる。しかし、主鉄筋量の多い領域でもせん断耐力が上昇したケースがいくつか見られた。この場合は、結果的に軸方向引張力を受けた梁の斜めひび割れの傾きが、図4のひび割れ状態とは異なり、軸力ナシのものに比較して緩やかになったために、梁の終局耐力が上昇したと思われるケースもあったが、主鉄筋量と斜めひび割れ角度の関係は定量化できなかった。

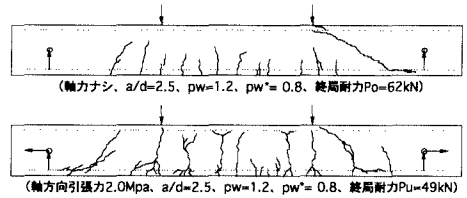


図3 軸方向引張力により耐力低下した梁

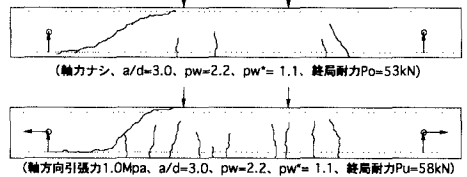


図4 軸方向引張力により耐力上昇した梁

5. おわりに 山田らの実験は、せん断スパン比 $a/d=3.5$, $pw+pw^*=2.6\%$ で著者らの実験結果と重ねると、軸方向引張力によって曲げ破壊に移行する可能性の強いところであるが、主鉄筋に異形PC鋼棒を使用しているために、この領域でも部材耐力を上昇させながらせん断破壊を起こしたと思われる。著者らの実験では、主鉄筋にPC鋼材は用いていない。このため、軸方向引張力によって破壊性状が曲げせん断破壊や曲げ破壊に移行したが、もし、同条件で主筋に降伏しないPC鋼材を用いていたなら、これらの部材は耐力を上昇しながらせん断破壊したと予想される。

今回扱ったデータの範囲では個々の要因の影響や境界値等の定量化は困難であったが、軸方向引張力によってせん断耐力が上昇する現象は、せん断スパン比 $a/d>2.5$ で起きやすく、 M/EI が大きな状態の場合、そして軸方向引張力によって部材の剛性が低下したときに起き易いことが示された。また、このとき引張主鉄筋比が小さく、鉄筋の引張力に余裕が無いときは曲げ破壊に、逆に余裕が大きいつきはせん断破壊によって終局に至ることも明らかになった。

- 文献 1) 田村, 重松, 原, 中野, 軸方向引張力を受けるRC梁のせん断耐力に関する実験的研究, コンクリート工学論文集, 第2巻第2号, 1991.
2) 山田, 清宮, 初期貫通ひびわれを有する鉄筋コンクリートはり部材のせん断耐力, コンクリート工学年次論文集, Vol17, No.2 1995.