せん断スパン比の小さいRC部材を対象とした軸力によるせん断耐力への影響に関する実験的検討

東日本旅客鉄道株式会社　正会員　○関　玲子
東日本旅客鉄道株式会社　正会員　松本　浩一
東日本旅客鉄道株式会社　正会員　井口　重信
東日本旅客鉄道株式会社　正会員　築嶋　大輔

１．はじめに

鉄筋コンクリート（以下，RCという）部材に作用する軸方向圧縮力がせん断耐力へおよぼす影響について，せん断スパン比（以下，a/dという）が約2.5～3.0の範囲における既往の研究[1)]は比較的多いが，a/dが2.0未満については少ない．さらに，軸方向圧縮力が大きい領域におけるβ_n（5.1参照）の適用については，知見が少ないのが現状である．一方，実構造物においては，軸方向圧縮力作用下でa/dが2.0未満となるRC橋脚等が，少なからず存在する．そこで，今回，a/dの小さいRC構造物のせん断耐力について，軸方向圧縮力に着目した実験を行ったので，その結果について報告する．

２．供試体諸元

本実験では，断面寸法，配筋，せん断スパン等は全て同一条件とし，軸方向圧縮応力のみ変化させ，0, 1.5, 5.0N/mm^{2}の3つの条件により試験を行った．それぞれを供試体No.1，2，3とする．なお，a/dは全て1.0とした．供試体概要を図-1，供試体諸元を表-1 に示す．軸方向鉄筋，帯鉄筋の降伏強度ならびにコンクリートの圧縮強度は，材料試験値を示している．

３．実験概要

載荷方法は，供試体フーチング部をPC鋼棒にて反力床に固定し，鉛直ジャッキにより軸方向圧縮力を導入した．水平方向載荷は，供試体柱頭部付近を載荷点として静的な一方向単調載荷とした[2)]．主な計測項目は，せん断スパン内の帯鉄筋のひずみ，水平・鉛直荷重および水平変位である．

４．実験結果

４．１　破壊性状

破壊性状は，最大荷重時まで3供試体ともに類似していた．軸方向圧縮応力が5.0N/mm^{2}と大きい供試体No.3の荷重-載荷点変位関係を図-2に，最大荷重時のひび割れ状況を写真-1 に示す．載荷に伴う破壊過程は，まず引張側基部に曲げひび割れが入り，その後，せん断スパンの上方に曲げひび割れが発生し，斜めひび割れに移行する．さらにこれとは別に，載荷点付近から斜めひび割れが新たに発生する．斜めひび割れ発生後，帯鉄筋の降伏が生じ，斜めひび割れが圧縮側基部に達

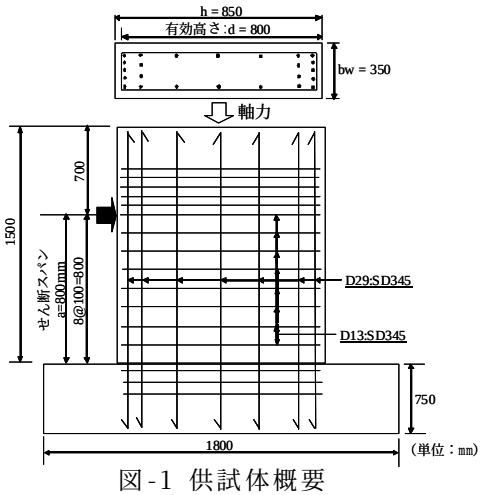

図-1 供試体概要

表-1 供試体諸元

No	軸方向圧縮応力 (N/mm^2)	軸方向鉄筋 呼び名	軸方向鉄筋 f_{sy} (N/mm^2)	帯鉄筋 呼び名	帯鉄筋 ピッチ (mm)	帯鉄筋 f_{wy} (N/mm^2)	柱 f'_c (N/mm^2)
1	0	D29	381.7	D13	100	355.7	26.5
2	1.5		381.7			366	31.3
3	5.0		370.6			374.6	30.7

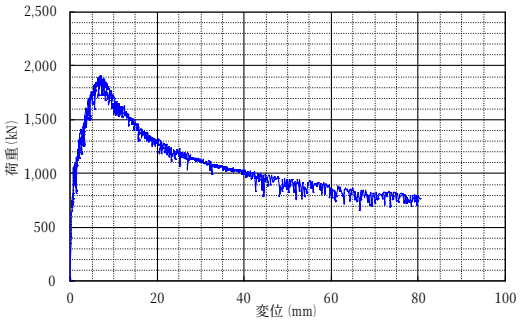

図-2 荷重-載荷点変位関係(供試体No.3)

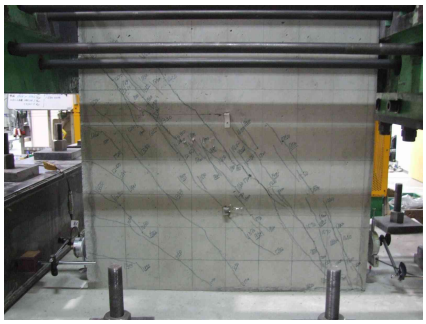

写真-1 最大荷重時のひび割れ状況(供試体No.3)

キーワード　せん断耐力，せん断スパン比，軸方向圧縮力
連絡先　〒151-8578　東京都渋谷区代々木2-2　東日本旅客鉄道(株) 建設工事部 構造技術センター　TEL 03-5334-1288

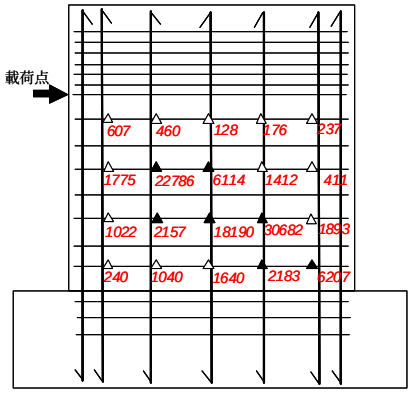

図-3 最大荷重時の帯鉄筋のひずみ発生状況(供試体 No.3)

すると，その周辺で柱表面の剥離のような微細なひび割れが発生して，最大荷重に達する．最大荷重後，変位の増加に伴う荷重低下は緩やかで，最大荷重の半分程度で載荷を終了した．

最大荷重後，供試体 No.3 は，載荷点と圧縮側基部を結ぶエリア（以下，圧縮ストラットという）の一つの斜めひび割れ幅が特に大きくなる傾向を示した．一方，供試体 No.1，2 は圧縮ストラット部に生じた数本の斜めひび割れにおいて，ひび割れ幅が大きくなる傾向を示し，供試体 No.3 と比較すると圧縮ストラット部における斜めひび割れが分散している傾向を示した．

４．２　帯鉄筋のひずみ発生状況

図-3 に供試体 No.3 の最大荷重時の帯鉄筋のひずみ発生状況を示す．図中の数字は，帯鉄筋の引張ひずみを正の値で示し，降伏している箇所を▲印で示す．

最大荷重時で，3 供試体とも帯鉄筋は圧縮ストラット部で降伏し，降伏した範囲も同様であった．

５．計算結果と実験結果の比較について

５．１　せん断耐力式と β_n

本実験では，いずれの供試体も最大荷重時に帯鉄筋が降伏しているため，せん断耐力 V_y は，帯鉄筋が負担するせん断耐力 V_s を考慮し，$V_y=V_c+V_s$ により算定した[2)]．せん断補強鉄筋を用いないコンクリート部材のせん断耐力 V_c は，石橋らの式[3)]を参考にした．しかし，β_n が考慮されていないため，設計せん断圧縮破壊耐力 V_{dd} 算定式[4)]に含まれる β_n を考慮することとし，式（1）により算定した．

$$V_c = 0.76(a/d)^{-1.166} \cdot \sqrt[3]{f'_c} \cdot \beta_d \cdot \beta_p \cdot b_w \cdot d \cdot \beta_n \qquad (1)$$

ここに，$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_v}$　（ただし，β_p＞1.5 となる場合は1.5）

$p_v = p_{v1} + p_{v2} \cdot d_2 / d_1$ [4)]

p_v：引張鋼材比

p_{v1}：引張縁鉄筋の鋼材比

p_{v2}：柱腹部に配置した側方鉄筋の鋼材比

d_1　：引張縁鋼材の圧縮縁からの距離

表-2 計算結果と実験結果

No	計算値						実験値		V_{ctest}/V_c	P_{max}/V_y
	V_{my}	V_{mu}	β_n	V_c	V_s	V_y	P_{max}	V_{ctest}		
1	2,138	2,720	1.00	1,050	627	1,677	1,703	1,076	1.02	1.02
2	2,234	2,802	1.06	1,131	645	1,776	1,899	1,254	1.11	1.07
3	2,617	3,094	1.20	1,322	660	1,982	1,903	1,243	0.94	0.96

d_2　：柱腹部に配置した各側方鉄筋の圧縮縁からの距離

$\beta_n = 1+2M_o/M_u$　（$N'_d \geqq 0$ の場合）

（ただし，β_n＞2となる場合は2）

$\beta_n = 1+4M_o/M_u$　（N'_d＜0の場合）

（ただし，β_n＜0となる場合は0）

M_0：設計曲げモーメントM_dに対する引張縁において，軸方向力によって発生する応力を打ち消すのに必要な曲げモーメント

M_u：曲げ耐力

N'_d：設計軸方向圧縮力

次に，帯鉄筋が負担するせん断耐力 V_s は，本実験供試体の帯鉄筋をせん断補強鉄筋とし，トラス理論に基づき算出した．

５．２　せん断耐力の計算結果と実験結果との比較

せん断耐力の計算結果と実験結果を表-2 に示す．3 供試体のうち，誤差が最も大きいのは供試体 No.2 で，V_c が若干過小評価となっているが，3 供試体ともに比較的精度よく評価できていると考えられる．なお，今回の実験において，軸方向圧縮応力で 5.0N/mm^2 の増加に伴う β_n の増加率は 2 割程度であった．

したがってせん断スパン比の小さい RC 部材のせん断耐力についても，軸方向圧縮力の影響は β_n によりおおむね評価できるものと考えられる．

６．まとめ

今回，a/d=1.0 の RC 供試体で，軸方向圧縮応力を 0～5.0N/mm^2 に変化させた場合のせん断耐力に及ぼす影響について，実験により得られた知見を以下に示す．

- 最大荷重時におけるひび割れ発生状況は，3 供試体ともに圧縮ストラット部において斜めひび割れが分散して発生する傾向を示した．最大荷重時において，3 供試体ともに帯鉄筋が圧縮ストラット部において降伏した後，せん断耐力に達した．帯鉄筋が降伏する範囲もほぼ同様であった．
- せん断スパン比の小さい RC 部材においても，軸方向圧縮力がせん断耐力に与える影響は，一般的な棒部材と同様に β_n により評価できると考えられる．

参考文献：
1)佐藤, 山住, 渡邊:プレストレストコンクリートはりのせん断強度, 鉄道総研報告，Vol2，No.8，p.19～24，1988.
2)松本，菅野，小林，築嶋：せん断スパン比の小さい RC 部材の水平加力試験，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.30，No.3，2008.
3)石橋，松田，斉藤:少数本の杭を用いたフーチングのせん断設計について，土木学会論文報告集，第 337 号，p.197～204，1983.
4)土木学会：コンクリート標準示方書[設計編]，2007.