軸方向鉄筋の内側に配置された帯鉄筋のせん断補強効果に関する一考察

東日本旅客鉄道株式会社　正会員　○三次 涼太
東日本旅客鉄道株式会社　正会員　田附 伸一
東日本旅客鉄道株式会社　フェロー　岩田 道敏

１．はじめに

近年の鉄道高架橋においては，想定外の大地震においても破壊的損傷を避ける目的で，鉄筋コンクリート柱の軸方向鉄筋の内側に円形帯鉄筋（以下，内巻き帯鉄筋という）を配置する[1)]例が増えてきている．しかしながら，現在の設計では，内巻き帯鉄筋を有する鉄筋コンクリート柱のせん断耐力を求める際，内巻き帯鉄筋が負担するせん断耐力が考慮されていない．そこで，本研究では，内巻き帯鉄筋のせん断補強効果を把握するため，試験体を製作して載荷実験を行った．

２．実験概要

実験に用いた試験体の形状及び諸元を**図－1** 及び**表－1** に示す．試験体は，幅 450mm，高さ 450mm，有効高さ 400mm の正方形断面の単純梁試験体で，引張鉄筋は D32 を 5 本配置している．せん断スパン比 a/d は 3.0 とし，対象となるせん断スパンにおいて，内巻き帯鉄筋を等間隔に配置した．この内巻き帯鉄筋の鉄筋径及び配置間隔を実験パラメータとし，内巻き補強度 pw（=Aw・d / s）を変化させた．対象外のスパンには，100mm 間隔で内巻き帯鉄筋に加え，軸方向鉄筋の外側に帯鉄筋（以下，外巻き帯鉄筋という．D13.）も同一断面に配置した．

載荷方法は 2 点対称載荷とし，静的な単調載荷を行った．なお，載荷版及び支承版には 100mm 幅の鋼板を用いた．測定は，鉄筋のひずみ，たわみについて行うとともに，ひび割れ性状の観察も行った．

３．実験結果

3.1　破壊性状

試験体 No.3 の最大荷重時のひび割れ状況を**写真－1** に示す．まずスパン中央付近に曲げひび割れが発生し，荷重の増加とともに，支承前面から載荷版内側に向かってせん断ひび割れが発達した．その後，内巻き帯鉄筋のうちのいくつかが降伏し，荷重が低下した．各試験体間でひび割れ性状に大きな違いはなく，破壊モードはせん断破壊であった．

3.2　最大せん断力の内訳

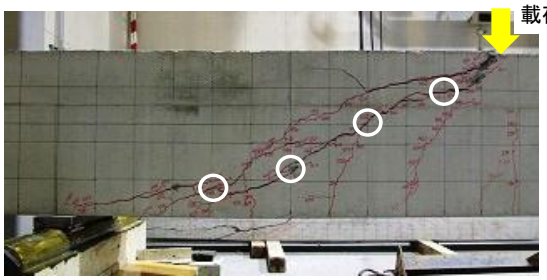
現在，棒部材のせん断耐力 Vy は，土木学会コンクリート標準示方書[2)]に従い(1)式により算定される．

$$V_y = V_c + V_s \qquad (1)$$

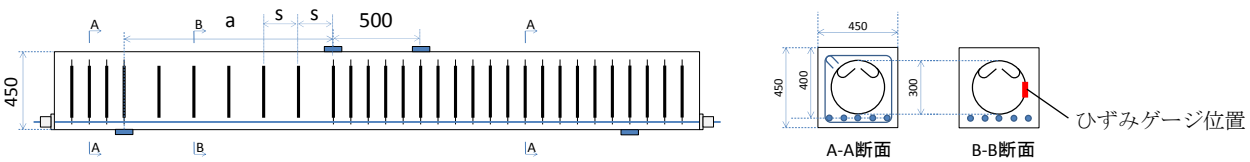
ここで，Vc：せん断補強鋼材を用いない棒部材のせん断耐力
Vs：せん断補強鋼材により受け持たれる棒部材のせん断耐力

表－1　試験体諸元，実験結果及びせん断耐力計算値

No	a (mm)	a/d	内巻き帯鉄筋(SD345) 径	s (mm)	pw (%)	f'c (N/mm²)	①V_{max} (kN)	②Vc (kN)	Vs'(kN) (=①-②)
1	1200	3.0	D13	200	0.32	29.9	267.2	223.5	43.7
2	1200	3.0	D13	100	0.63	33.0	434.2	230.9	203.3
3	1200	3.0	D16	200	0.50	27.5	360.0	217.3	142.7



写真－1　最大荷重時のひび割れ状況
（○印：せん断破壊面と内巻き帯鉄筋との交差位置）



図－1　試験体形状

キーワード：鉄筋コンクリート，せん断補強鋼材，せん断耐力
連絡先：〒980-8580　仙台市青葉区五橋一丁目 1 番 1 号　TEL:022-266-3713　FAX:022-268-6489

これに加え，本研究では，内巻き帯鉄筋もせん断耐力に寄与していると考え，(1)式の項と区別するため，ここでは内巻き帯鉄筋が負担するせん断耐力を Vs'と表すこととする．試験体のせん断スパン区間は，外巻き帯鉄筋を省略し，内巻き帯鉄筋のみを配置しているため，実験で得られた最大荷重 V_{max}（=Vy）から Vc を差し引くことで，Vs'を算定する．

ここで，Vc の算定式として用いた，二羽らの研究[3]による式（(2)式）を以下に示す．

$$V_{cd} = 0.20\left(0.75 + 1.4\,d/a\right)\cdot\sqrt[3]{f'_c}\cdot\beta_d\cdot\beta_p\cdot b_w\cdot d \qquad (2)$$

ただし，2≦a/d の場合に限る

４．内巻き帯鉄筋のせん断補強効果の検討

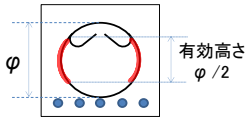
全てのケースにおいて，最大荷重が， Vc を上回っていることから，内巻き帯鉄筋にもせん断補強効果があることが確認された．従来のせん断補強鋼材（外巻き帯鉄筋）により受け持たれるせん断耐力 Vs はトラス理論に基づく(3)式により算定される．内巻き帯鉄筋についても，同様の理論が成り立つと仮定して，(3)式を適用し Vs'を算出した結果を**図－2** に示す．

$$V_s = A_w\cdot f_{wy}\cdot z/s \qquad (3)$$

ここで，A_w ：内巻き帯鉄筋の断面積(mm²)
f_{wy} ：内巻き帯鉄筋の降伏強度(N/mm²)
z ：せん断解析での有効高さ(=d/1.15)

(3)式を用いた評価は過大な結果となった． なお，内巻き補強度 pw が大きいほど，Vs'は増加する傾向にある．

せん断ひび割れ発生後に，内巻き帯鉄筋がせん断耐力として引張に寄与する有効高さを，**図－3** に示すように，内巻き帯鉄筋の中心高さから上下 φ/4 の範囲のみと仮定する．この有効高さについては，実験結果より，せん断破壊面と交差する内巻き帯鉄筋のうち，当該範囲の鉄筋は降伏し，範囲外の鉄筋にはあまりひずみが生じない傾向にあることが推察される．このように従来の外巻き帯鉄筋に比べて有効高さが小さくなる理由としては，以下の 2 点が考えられる．



図－3　内巻き帯鉄筋のせん断耐力に寄与する有効高さ

- 内巻き帯鉄筋の形状が円形であるため，せん断破壊面に対して直交する範囲が限られる
- 軸方向鉄筋の内側に配置するため，軸方向鉄筋を巻き込むことによる拘束効果は得られない

なお，有効高さの範囲外では，せん断破壊面に対して内巻き帯鉄筋が沿うような形で交差することになり，鉄筋の引張としてではなく，ひび割れの進展を鉄筋が阻害するように働いているものと推察される．

式(3)を用いて，z=φ/2 として算出した Vs'の結果を，図－2 に重ねてプロットした．比較的，実験値に近い値を示す結果となった．

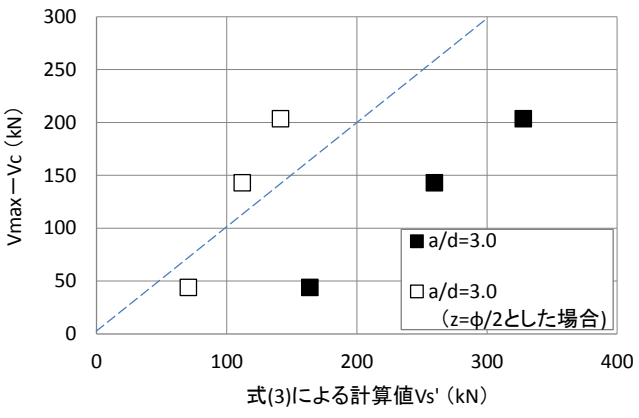
５．まとめ

本研究で得られた主な知見を以下に示す．

(1) 内巻き帯鉄筋にもせん断補強効果があることが確認された．

(2) 内巻き補強度 pw が大きいほど，せん断耐力 Vs'は増加する傾向にある．

(3) せん断抵抗に寄与する有効高さが，従来の外巻き帯鉄筋に比べて限定的(φ/2 程度)と推察される．



図－2　Vs'についての実験値と計算値の比較

参考文献

1) 石橋忠良，菅野貴浩，木野淳一，小林薫，小原和宏：軸方向鉄筋の内側に円形帯鉄筋を配置した鉄筋コンクリート柱の正負水平交番載荷実験，土木学会論文集，No.795/V-68，pp.95-110，2005. 8

2) 土木学会：コンクリート標準仕方書[構造性能照査編]，丸善(株)，2002. 3

3) 二羽淳一郎，山田一宇，横沢和夫，岡村甫：せん断補強筋を用いない RC はりのせん断強度式の再評価，土木学会論文集，No.372/V-5，pp.167-176，1986. 8