

V-31

RC 柱の側方筋がせん断耐荷性状に与える影響

三井建設(株)	正員	三上 浩
室蘭工業大学	正員	岸 徳光
開発土木研究所	正員	佐藤 昌志
室蘭工業大学	正員	松岡 健一

1. はじめに

平成 7 年 1 月に発生した阪神・淡路大地震は、コンクリート構造物のせん断破壊に対する安全性をより向上させるための配慮が必要であることを再認識させた。この地震を契機として、平成 8 年の道路橋示方書耐震設計編(以後、示方書)では、コンクリートが負担するせん断耐力の計算式に、荷重の正負交番作用、橋脚断面の有効高さ、軸方向引張鉄筋比の影響が取り入れられるようになった。また、軸方向引張鉄筋比は断面の図心位置から引張側にある鉄筋の総断面積を用いて算出しても良いこととなった。このため、上端、下端筋以外の側方筋の存在はせん断耐力の計算値に大きな影響を与えるものと考えられる。ただし、示方書の引張鉄筋比に関する補正係数は鉄筋比が 1.0 % 以上で一定上限値の 1.5 であり、鉄筋比が 1.0 % 以上におけるせん断耐力の向上は期待しないこととしている。

本研究は、柱部材の梁部材とは異なる配筋上の特徴でもある側方筋(軸方向引張鉄筋比)がせん断耐荷性状に与える影響を両端単純支持状態で実験的に検討したものである。なお、側方筋のせん断耐荷性状に与える影響は、部材の断面寸法や側方筋量によって異なると考えられ、本研究では 2 種類の断面寸法のもと引張鉄筋比 1.0 % 以上の状態で側方筋量を 3 種類に変化させて試験体を製作した。また、アラミド繊維製のテープで巻き付け補強した場合の効果に与える側方筋量の影響をテープの補強割合を 2 種類に変化させて合わせて検討した。

2. 実験の概要

試験体は表-1 に示す断面タイプが 2 種類、側方筋本数が 3 種類、アラミド繊維テープ補強量が 2 種類の合計 12 体である。試験体名のうち、第 1 項の A、B は断面タイプを示し、第 2 項の 0、2、4 または 0、4、8 は側方筋の本数、第 3 項の 0、10、18 はアラミドテープの巻き付け本数を示す。

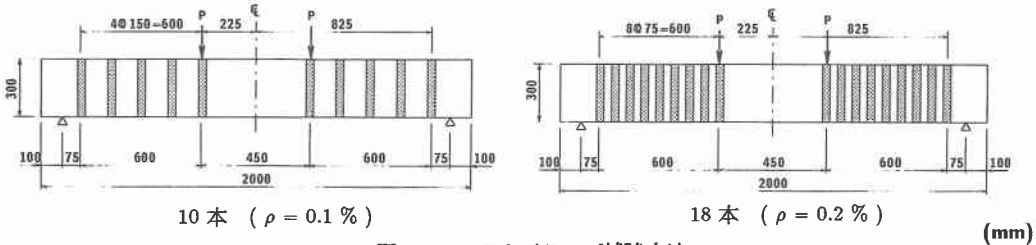
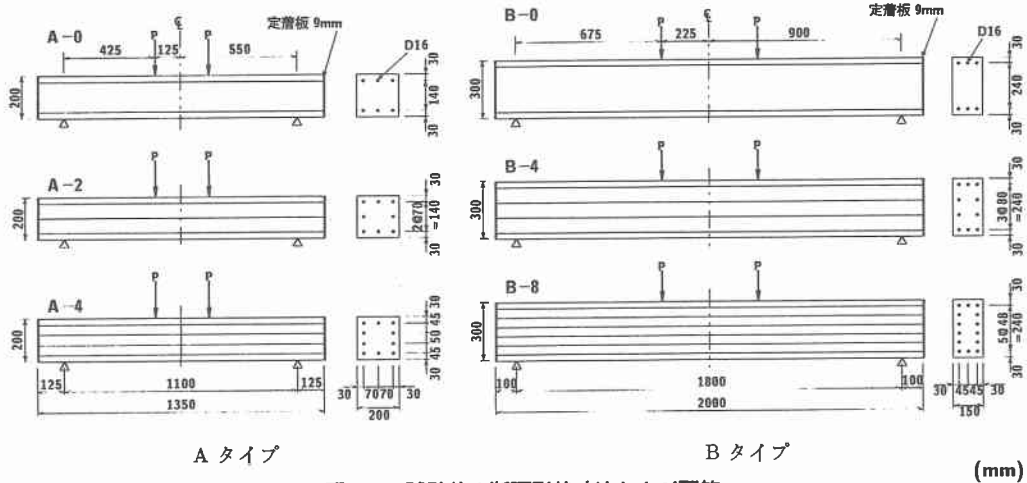
図-1 に A、B タイプ試験体の断面形状寸法および配筋を示す。A、B タイプともに a/d (せん断スパン比) は 2.5 とした。また、図-2 に B タイプ試験体のアラミドテープ補強方法を示す。用いたコンクリートは実験時の材令が 115 日、平均圧縮強度は 309 kgf/cm^2 、弾性係数は $2.35 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 、ポアソン比は 0.22 である。

表-1 試験体一覧

試験体名	断面タイプ	側方筋本数	軸方向引張鉄筋比 (%)	アラミド本数	体積補強割合 ρ (%)
A-0	A	0	1.75	-	-
A-2	A	2	2.34	-	-
A-4	A	4	2.92	-	-
B-0-0	B	0	1.47	-	-
B-4-0	B	4	2.45	-	-
B-8-0	B	8	3.43	-	-
B-0-10	B	0	1.47	10	0.10
B-4-10	B	4	2.45	10	0.10
B-8-10	B	8	3.43	10	0.10
B-0-18	B	0	1.47	18	0.20
B-4-18	B	4	2.45	18	0.20
B-8-18	B	8	3.43	18	0.20

Influence of Side Rebar on Shear Behavior of RC Columns.

by Hiroshi MIKAMI, Norimitsu KISHI, Masashi SATO and Ken-ichi MATSUOKA



また、鉄筋は全て D16 (SD 345) であり、アラミド繊維テープは幅 3.75 cm で厚さ 0.286 mm、平均引張強度は 25,300 kgf/cm² である。なお、計測項目は梁中央の変位および下端鉄筋のひずみである。

3. 実験結果

3.1 荷重一変位関係

図-3 にアラミド補強をしていない A、B タイプ試験体の荷重-変位関係を示す。いずれも明瞭なせん断破壊を示し、側方筋の本数の増加にともなってせん断耐力が増大している。特に側方筋がない場合と、A タイプで 2 本、B タイプで 4 本配置した場合のせん断耐力差は極めて大きい。さらに側方筋の本数を増やすとせん断耐力は増加するが、その増加量はわずかである。なお、最大変形量は A タイプで 1 cm 程度、B タイプで 1 cm ～ 1.5 cm 程度である。

図-4 にアラミドテープを 10 本 ($\rho = 0.1\%$)、18 本 ($\rho = 0.2\%$) で補強した B タイプ試験体の荷重-変位関係を示す。(a) の 10 本補強の場合、最大耐力は側方筋が多い試験体ほど大きく、アラミド補強していない場合と同様に、B-0 と B-4 の耐力差が大きく、B-4 と B-8 の耐力差は小さい。なお、B-0-10 は主筋降伏後にテープが破断して破壊したため、最大変形量は他の試験体の 2 倍以上となっている。(b) の 18 本補強の場合も最大耐力は側方筋が多い試験体ほど大きい。B-0 タイプでは主筋が降伏したため最大変形量は実験装置の制約上の最大変位 12 cm を示し、他の試験体の 2~4 倍の変形量となっている。

このように同一の体積補強割合でアラミドテープ補強した場合でも、側方筋の有無によって荷重-変位関

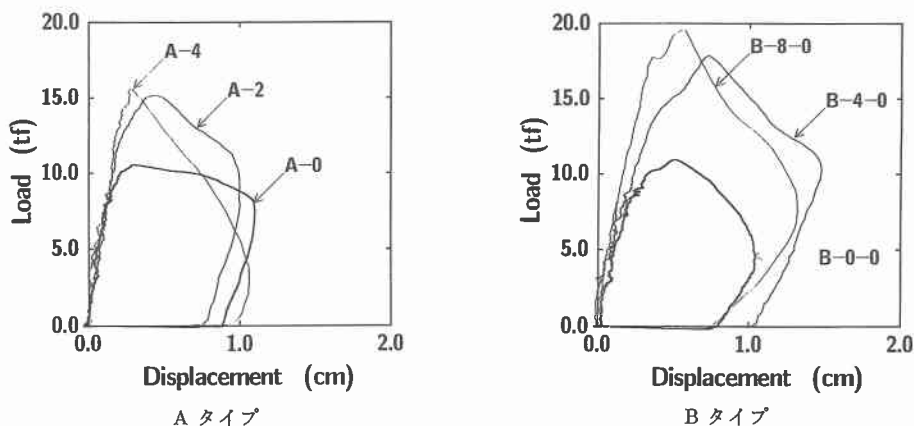


図-3 荷重-変位関係 (アラミド補強なし)

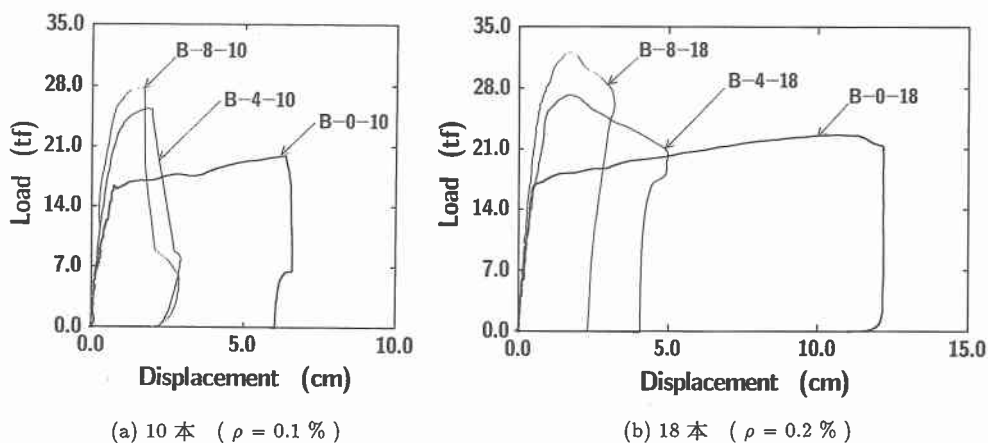


図-4 荷重-変位関係 (アラミド補強あり)

係が大きく異なることに留意する必要がある。これは、側方筋がない場合はアラミドテープ補強によってせん断破壊から主筋降伏後の破壊モードに変化しやすいのに対して、側方筋がある場合は曲げ耐力も増加して曲げ破壊しにくくなり、破壊モードが変化しにくいことを示している。

3.2 終局耐力と破壊形式

表-2 に各試験体の計算曲げ耐力と計算せん断耐力および実測耐力と破壊形式の一覧を示す。計算曲げ耐力は前述したコンクリートおよび鉄筋の力学的特性を用いて断面分割法によって算出した。なお、分割は約 5 mm 間隔で行っている。一方、計算せん断耐力は、示方書式では安全側すぎるため土木学会コンクリート標準示方書設計編 (以後、設計編) に準拠して算出したが、下端主筋のみを考慮し、部材係数 $\gamma_b = 1.0$ としている。また、アラミドテープで補強した試験体のせん断耐力は、文献 1) に準じてアラミドテープの設計引張強度を $21,000 \text{ kgf/cm}^2$ の 0.6 倍として算出し、設計編によるコンクリートが負担するせん断耐力に加算して求めた。

表から、側方筋のない場合の計算せん断耐力と実測耐力の比は 1.36 ～ 1.45 倍であるが、引張鉄筋比が 1.0 % 以上においても側方筋がある場合は 2.11 ～ 2.52 倍と極めて安全側となることが分かる。一方、アラミドテープ補強し、せん断破壊した試験体では、側方筋がない場合の計算耐力と実測耐力の比は 1.23 倍、側方筋がある場合は 1.71 倍であり、アラミドテープ補強していない場合に比べて安全余裕度が低下していることが分かる。

表－2 実験結果の一覧

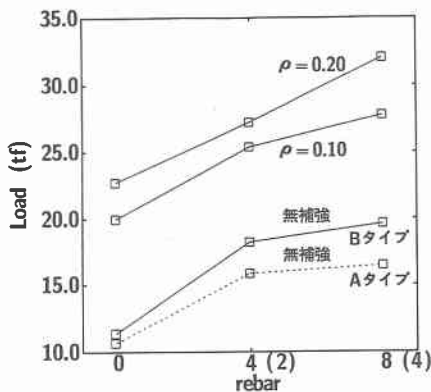
試験体名	計算曲げ耐力 (tf)	計算せん断耐力 (tf)	実測耐力 (tf)	破壊形式
A-0	16.89	7.76	10.6	せん断破壊
A-2	21.85	-	15.8	
A-4	24.80		16.4	
B-0-0	17.51	7.78	11.3	せん断破壊
B-4-0	26.30	-	18.2	
B-8-0	32.36		19.6	
B-0-10	17.51	16.24	19.9	主筋降伏後せん断破壊 (テープ破断)
B-4-10	26.30	-	25.4	せん断破壊 (テープ破断)
B-8-10	32.36		27.7	
B-0-18	17.51	24.70	22.7*	破壊に至らず
B-4-18	26.30	-	27.2	主筋降伏後 コンクリートの圧壊
B-8-18	32.36		32.0	

* 実験装置の制約変位となったため加力を中止

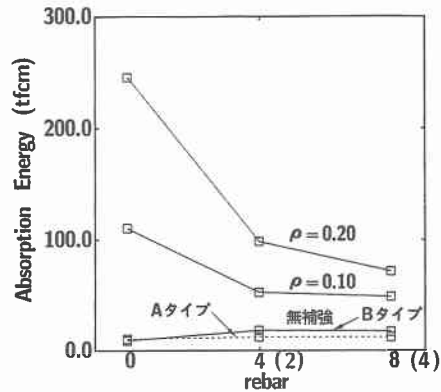
3.3 側方筋の終局耐力とエネルギー吸収能に与える影響

図－5 に全試験体の終局耐力と側方筋本数の関係を示す。アラミドテープを $\rho = 0.2\%$ で補強した場合は、側方筋本数の増加に対応して終局耐力がほぼ直線的に増加している。その他の場合は、側方筋が配置されることで大幅に終局耐力が増加するものの、側方筋本数を倍増しても耐力の増加はさほど顕著ではないことが分かる。なお、B タイプの方が A タイプよりも側方筋を配置することによるせん断耐力の増分が大きいのは、B タイプの方が側方筋量が多いためと考えられる。

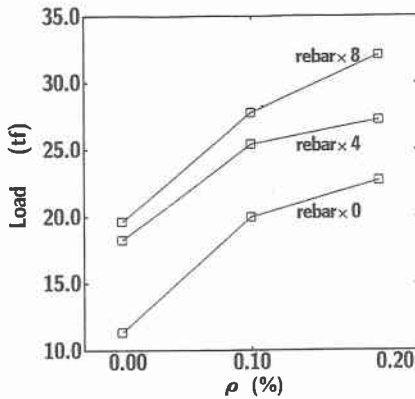
一方、図－6 に全試験体のエネルギー吸収能と側方筋本数の関係を示す。吸収エネルギーは図－3、4 に示した荷重－変位関係を積分して求めた。この図から、無補強の場合は側方筋を配置することでせん断耐力は増大するものの破壊形式は変わらないため、エネルギー吸収能には大きな変化がみられないことが分かる。一方、アラミドテープを $\rho = 0.1\%$ で補強することでエネルギー吸収能は大幅に向上し、その傾向は特に側



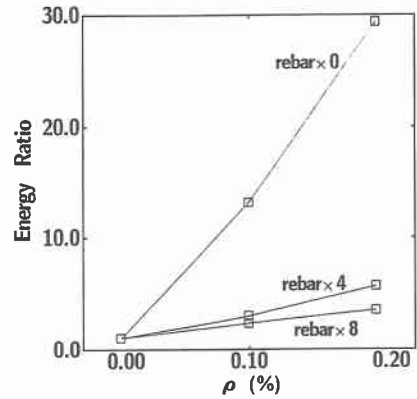
図－5 終局耐力と側方筋本数の関係



図－6 エネルギー吸収能と側方筋本数の関係



図ー 7 体積補強割合と終局耐力の関係



図ー 8 体積補強割合と吸収エネルギー比率の関係

方筋がない場合で顕著である。また、側方筋本数が増えるに従いアラミドテープ補強によるエネルギー吸収効果の増加割合が小さくなっている。これらの傾向は、 $\rho = 0.2\%$ 補強の場合にも同様にみられる。これは、アラミドテープ補強によって側方筋の有無に関わらず終局耐力は増大するものの、側方筋が多い場合には曲げ圧縮破壊を示すなど、終局変位量が大幅に低下するためである。

3.4 アラミドテープの補強効果

図ー 7 にアラミドテープの体積補強割合と終局耐力の関係を側方筋の本数ごとに示す。これより、側方筋の有無や本数に関わらず、アラミド補強することで終局耐力が大幅に向上することが分かる。なお、 $\rho = 0.1\%$ と 0.2% の耐力差が、無補強と 0.1% の差ほど顕著でないのは、 $\rho = 0.2\%$ では全ての試験体がせん断破壊を示さず曲げ破壊モードに移行したためと考えられる。

図ー 8 にアラミドテープの体積補強割合と吸収エネルギー比率の関係を示す。吸収エネルギー比率とは、補強後の各試験体の吸収エネルギーと無補強の試験体の吸収エネルギーの比を表す。図より、アラミドテープ補強による吸収エネルギーの増加割合は側方筋の有無や本数に関わらず体積補強割合とほぼ線形関係にあることが分かる。ただし、側方筋の有無や本数によって吸収エネルギーの増加割合は大きく変化し、側方筋がない場合は最大で 30 倍程度、側方筋の本数が多い場合は最大で 4 倍程度である。

3.5 側方筋とアラミドテープのせん断補強効果

アラミドテープ補強後も明瞭なせん断破壊を示した $\rho = 0.1\%$ 試験体と無補強の試験体の比較により、側方筋とアラミドテープのせん断補強効果を検討する。表ー 3 にせん断耐力と耐力の増分を示した。表中、耐力の増分 (A) のうち、⑦は側方筋がない状態でのアラミドテープのせん断補強効果を示す。この耐力増分と既往の文献式の関係から、本実験におけるアラミドテープの有効係数は引張強度 $21,000 \text{ kgf/cm}^2$ に対して $K = 0.61$ であることが分かる。これは、設計用値 $K = 0.6$ を満足するものの安全率は小さい。理由として、B タイプ試験体の断面寸法比が 1 : 2 と扁平であることが考えられる。なお、⑧、⑨のように側方筋がある状態でのアラミドテープ補強によるせん断耐力の増分は⑦に比べて小さい。

耐力の増分 ⑩、⑪はアラミドテープ補強していない状態での側方筋のせん断耐力向上効果を示し、⑫、⑬はアラミドテープで補強した状態での側方筋の耐力向上効果を示す。⑩と⑫、⑪と⑬の比較から(⑭と⑮)、アラミドテープを巻き付けた場合の側方筋のせん断耐力向上効果は、テープ補強しない場合に比べて若

表－３ セン断耐力と耐力の増分

試験体名	せん断耐力 (tf)	耐力の増分 (A) (tf)	耐力の増分 (B) (tf)	耐力の増分差 (tf)
B-0-0	11.32 ^①	—	—	—
B-4-0	18.20 ^②	—	②－① 6.88 ^⑩	—
B-8-0	19.59 ^③	—	③－① 8.27 ^⑪	—
B-0-10	19.94 ^④	④－① 8.62 ^⑦	—	—
B-4-10	25.35 ^⑤	⑤－② 7.15 ^⑧	⑤－④ 5.41 ^⑫	⑩－⑫ 1.47 ^⑭
B-8-10	27.72 ^⑥	⑥－③ 8.13 ^⑨	⑥－④ 7.78 ^⑬	⑪－⑬ 0.49 ^⑮

干小さいことが分かる。これは、アラミドテープの補強効果と側方筋のせん断耐力向上効果の加算則が厳密には成立していないことを示す。

なお、⑧に⑭を加えた耐力増分および⑨に⑮を加えた増分はいずれも 8.62 tf となり、実際のアラミド繊維テープのせん断耐力向上効果は側方筋の有無や量に関わらず本実験の場合は 8.62 tf である。

4.まとめ

柱部材の側方筋がせん断耐荷性状に与える影響を引張鉄筋比が 1.0 % 以上において両端単純支持状態で実験的に検討した。また、アラミドテープで巻き付け補強した場合の効果に与える側方筋の影響を合わせて検討した。本実験の範囲内で得られた結論を要約すると、

- (1) 引張鉄筋比が 1.0 % 以上でも、正方形、長方形断面など断面形状によらず柱部材のせん断耐力は側方筋を配置することで大幅に向上する。
- (2) 側方筋はせん断耐力を向上させると同時に曲げ耐力も向上させる。これは破壊形式やエネルギー吸収性能を論じる場合には特に重要であり留意する必要がある。
- (3) アラミドテープで補強した場合、側方筋のせん断耐力向上効果は若干低下する。これは、両者の効果の加算則が厳密には成立していないためである。
- (4) アラミドテープで補強することで終局耐力およびエネルギー吸収性能が向上する。本実験でのアラミドテープのせん断補強に関する有効率は、引張強度 $21,000 \text{ kgf} / \text{cm}^2$ に対して $K = 0.61$ であった。

参考文献

- 1) アラミド繊維シートによる鉄筋コンクリート橋脚の補強工法 設計・施工要領(案)、1997、アラミド補強研究会編。