

# 論文 緊張ラッシングベルトと型枠合板で緊急補強を施したせん断損傷 RC 柱の水平加力実験

原口 貴臣<sup>\*1</sup>・中田 幸造<sup>\*2</sup>・山川 哲雄<sup>\*3</sup>・許田 昇<sup>\*4</sup>

要旨:これまで山川らは地震被災直後におけるせん断損傷RC柱への応急補強に関する研究を行ってきた。本研究では,簡便で迅速な補強法として柱表面に合板を当て,その上からラッシングベルト(荷締め具)を巻きつけ,ラッシングベルトに導入する緊張力で合板を柱表面に圧着させるとともにせん断損傷RC柱にプレストレスを導入可能な補強法を緊急補強法と称して実験的研究を行った。その結果,緊急補強後の曲げせん断性能と柱の軸ひずみ度には,せん断損傷RC柱に導入する能動側圧だけでなく,ラッシングベルトの引張剛性と関係する受動的横拘束効果が重要であることが分かった。

キーワード:せん断損傷 RC 柱,ラッシングベルト,型枠合板,プレストレス,引張剛性

## 1. 序

これまで山川らは地震被災直後の建物への応急補強法の開発を目指して実験的研究を行ってきた<sup>1),2)</sup>。この応急補強法は,せん断損傷 RC 柱に鋼板を当て,PC 鋼棒やアラミド繊維ベルトで外部横補強を施し,それらに導入する緊張力で柱に鋼板を圧着させる補強法で,せん断損傷RC柱の曲げせん断性能や軸支持能力を回復させることができる。一方,地震被災地における応急補強は重機不要の乾式工法で,どのサイズの柱にも適合可能,かつ簡便・迅速な補強技術が必要だと考える。そこで実用化を目指すために,補強自由度の高い連続繊維ベルトとラチェットバックルで構成するラッシングベルト(荷締め具)と鋼板を用いた応急補強法を提案した<sup>3)</sup>。

しかし,使用する鋼板は地震被災地での調達・加工が困難であることが予想されるため 鋼板の代わりに型枠合板を使用することを提案し,合板でも十分に鋼板の代替が可能であることを確認した<sup>4)</sup>。一方,補強に使用するコーナーアングルは(Fig. 1(a)),柱隅角部においてベルトの応力集中を緩和出来るが,実験室レベルの機材である。また,合板は曲げ剛性が低いため亀裂が入りやすく,さらにコーナーアングルの使用により柱とベルトとの間に20mmの隙間が生じるため 非拘束領域でのコンクリートのはらみ出しを抑制し難いことも分かった(Fig. 1(a))。そこでこれらの問題を解決するため,合板を工夫して使用することで,より実用的になった補強法を「緊急補強法」として提案し(Fig. 1(b)),鉛直荷重載荷実験と水平加力実験により緊急補強後の軸支持能力や曲げせん断性能を確認した<sup>5)</sup>。

本研究は文献5)の継続研究であり,(1)耐力の高いラチェットバックルを使用し,より大きな能動側圧を導入

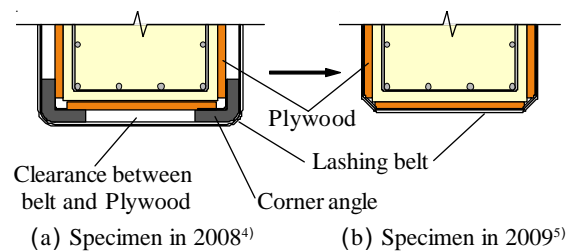


Fig. 1 Cross section of retrofitted specimen

すること,(2)使用するベルトの引張剛性が緊急補強後の曲げせん断性能に与える影響を水平加力実験により確認し,これまでの結果と比較・検討することを目的とする。

## 2. 実験計画

試験体一覧を Table 1 に示す。緊急補強に使用するラッシングベルトの引張剛性の影響を照査するため 本研究では文献5)の試験体ER09S-P'H4(以下,ER09S-は省略)を再掲する。試験体は1辺が250mmの正方形断面で,柱高さ500mm,せん断スパン比1.0の極短柱である。試験体は主筋にD10を12本使用し( $p_g=1.36\%$ ),3.7φの帯筋を105mm間隔で配筋した( $p_w=0.08\%$ )。試験体に使用した材料の力学的性質を Table 2 に示す。ラッシングベルトを構成するのは,ポリプロピレンベルト(以下,PPベルトと略称),又はアラミド繊維ベルトとラチェットバックルである。P'H4のラチェットバックルの引張耐力は30kNであり,ER10S-PPM(以下,ER10S-は省略),PPM',AwMについては,せん断損傷 RC 柱に大きな能動側圧を導入するため,引張耐力が50kNのラチェットバックルを使用した。緊急補強実験ではPPベルト,あるいはアラミド繊維ベルトにラチェットバックルを取り付け,ベルトの自由端をバックル

\*1 琉球大学大学院 理工学研究科環境建設工学専攻 博士前期課程 (正会員)

\*2 琉球大学 工学部環境建設工学科助教 博士 (工学) (正会員)

\*3 琉球大学 工学部環境建設工学科教授 工博 (正会員)

\*4 清水建設株式会社 (正会員)

**Table 1 Details of column specimens**

Specimen	ER10S-PPM	ER10S-PPM'	ER10S-AwM	ER09S-P'H4
Elevation				
Fiber reinforcement	Polypropylene belt (1 ply - @63mm)		Aramid fiber belt (double - @63mm)	Polypropylene belt (2 ply - @65mm)
Damage level (max. crack width)	IV (2.3mm)	IV (2.0mm)	IV (3.5mm)	IV (5.0mm)
Initial strain of fiber reinf. (Initial force)	1.51% (10.4kN)	1.70% (11.7kN)	0.30% (12.5kN)	0.47% (8.6kN)
$\sigma_B$	26.6MPa			21.3MPa
Plywood	470 × 240 × 12mm			450 × 240 × 12mm
Common details	M/(VD) = 1.0, N/(bD $\sigma_B$ ) = 0.2, Rebar : 12-D10( $p_g$ = 1.36%), Hoop : 3.7 $\phi$ -@105( $p_w$ = 0.08%).			

Notes : ply = a unit of numbering the layers of reinf. belt (cross sectional area : 1 ply of polypropylene = 208.6 mm<sup>2</sup> (for ER10S), 2 ply of polypropylene = 135.6mm<sup>2</sup>(for ER09S)),  $\sigma_B$  = cylinder strength, M/(VD) = shear span to depth ratio, N/(bD $\sigma_B$ ) = axial force ratio.

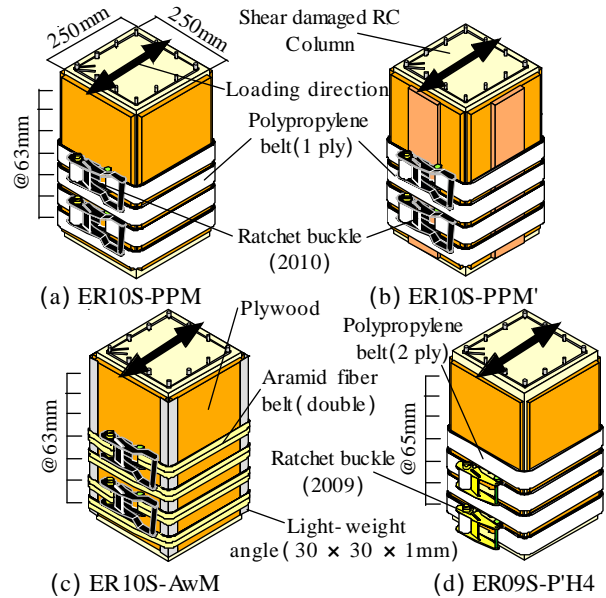
**Table 2 Mechanical properties of materials**

Reinforcement		A (mm <sup>2</sup> )	E (GPa)	P <sub>u</sub> (kN)	$\epsilon_y, \epsilon_u^*$ (%)	$\sigma_y, \sigma_u^*$ (MPa)
Rebar	D10	71	201	35.3	0.18	355 <sup>(1)</sup>
		184	36.4	0.19	357 <sup>(2)</sup>	
Hoop	3.7 $\phi$	11	188	4.7	0.2	371 <sup>(1)</sup>
		199	7.3	-	593 <sup>(2)</sup>	
Polypropylene	t=3mm	67.8	13.5	31.1	3.4*	459* <sup>(1)</sup>
	t=4.05mm	208.6	3.3	46.0	6.7*	220* <sup>(2)</sup>
Aramid 1	t=0.57mm	9.7	107	23.1	2.2*	2381*

Notes : A = cross sectional area, E = Young's modulus of elasticity, P<sub>u</sub> = tensile strength,  $\sigma_y$  = yield strength of steel,  $\sigma_u$  = ultimate strength of fiber reinf.,  $\epsilon_y$  = yield strain of steel,  $\epsilon_u$  = ultimate strain of fiber reinf., <sup>(1)</sup>for ER09S, <sup>(2)</sup>for ER10S.

に通してレバーを回転させることで緊張力を導入した。ベルトのひずみは、ベルトの両ウェブ面中央部のエポキシ樹脂硬化部にひずみゲージを貼付することで管理した。

緊急補強詳細を Fig. 2 に示す。試験体 PPM, PPM', AwM (Fig. 2(a), (b), (c)) は、せん断損傷した試験体にラッシングベルトを 63mm 間隔で、試験体 P'H4 (Fig. 2(d)) は 65mm 間隔で配置し、導入する緊張力で柱表面に合板 (厚さ 12mm) を圧着した。合板はベルトの応力集中を緩和できるよう、角を鑿 (やすり) で削り丸くした。さらに丸くした合板の角にグリスを満遍なく塗ることで、ベルトに均等に緊張ひずみが入るよう工夫している。Fig. 3 に各試験体の能動側圧  $\sigma_r$  とベルトのひずみ  $\epsilon_p$  関係を示す。プロットは緊急補強時に導入した能動側圧である。P'H4 に使用した PP ベルトの引張剛性は、PPM, PPM' に使用した PP ベルトに比べて 3 倍弱の大きさである。ただし、使用したラケットバックルの耐力が小さいため、PPM, PPM' に比べて導入できた能動側圧は小さい。また、AwM に使用し



**Fig. 2 Details of emergency retrofit**

たアラミド繊維ベルトの引張剛性は、PPM, PPM' に使用した PP ベルトの約 6 倍、P'H4 については約 2 倍である。Fig. 4 に緊急補強実験の手順を示す。実験では RC 柱が地震でせん断損傷したことを想定するため、健全な柱試験体を軸力比 0.2 の一定軸力下でせん断損傷させた (Fig. 4(a))。せん断損傷実験では与える損傷レベル<sup>6)</sup>を制御するために、アラミド繊維ベルト (2ply-@150) で粗な外部横補強を施し、目標とする損傷レベルに到達するまで水平加力を行った。せん断損傷実験後、試験体 PPM, P'H4 は型枠合板と緊張ラッシングベルトでせん断損傷 RC 柱に緊急補強を行い (Fig. 2(a), (d))、試験体 PPM' は中間主筋位置にさらに 1 枚合板を挟み込み、ベルトによる拘束効果の向上を図る緊急補強を施した (Fig. 2(b))。試験体 AwM では、PP ベルトよりも引

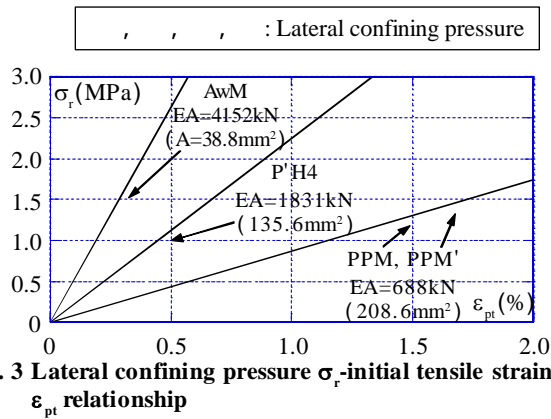


Fig. 3 Lateral confining pressure  $\sigma_f$ -initial tensile strain  $\epsilon_{pt}$  relationship

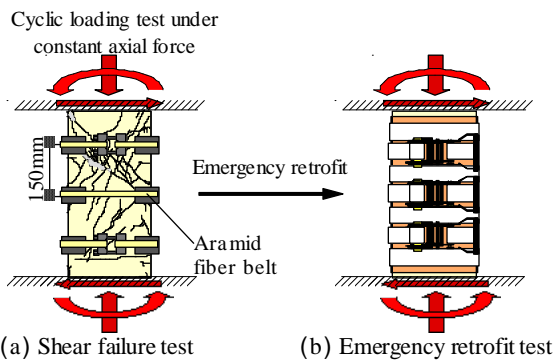


Fig. 4 Procedure of loading test

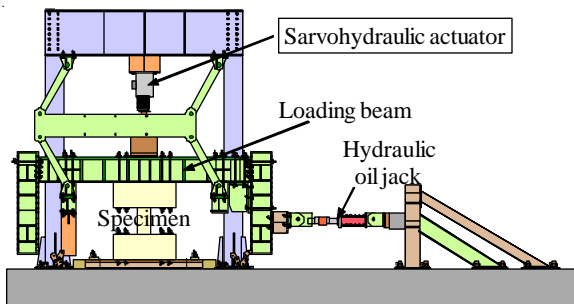


Fig. 5 Test setup

張剛性の高いアラミド繊維ベルト (Fig. 3) で緊急補強を施し、ベルトの引張剛性が補強効果へ与える影響を確認する (Fig. 2(c))。また、AwM を緊急補強する際、柱に当たった合板の角に軽量アングル (厚さ1mm) を設置し、導入する緊張力でベルトが合板に食い込むのを防ぐ工夫した。

せん断損傷RC柱への緊急補強は、残留水平変位をゼロにし、安全のために軸力を除荷した状態でやっている。試験体 AwM, PPM, PPM' の水平加力実験では Fig. 5 に示す建研式加力装置を用い、部材角  $R = 0.125\%$ ,  $0.25\%$  を1回、 $R = 0.5\%$ ,  $0.75\%$  を各2回、 $R = 1.0 \sim 3.0\%$  を0.5%の増分で各2回、 $R = 4.0, 5.0\%$  を各1回繰り返す加力プログラムで繰返し水平力を载荷した。

### 3. 実験結果

#### 3.1 せん断損傷実験

せん断損傷をコントロールするため、せん断損傷実験ではアラミド繊維ベルト (2ply-@150) で外部横補強を施

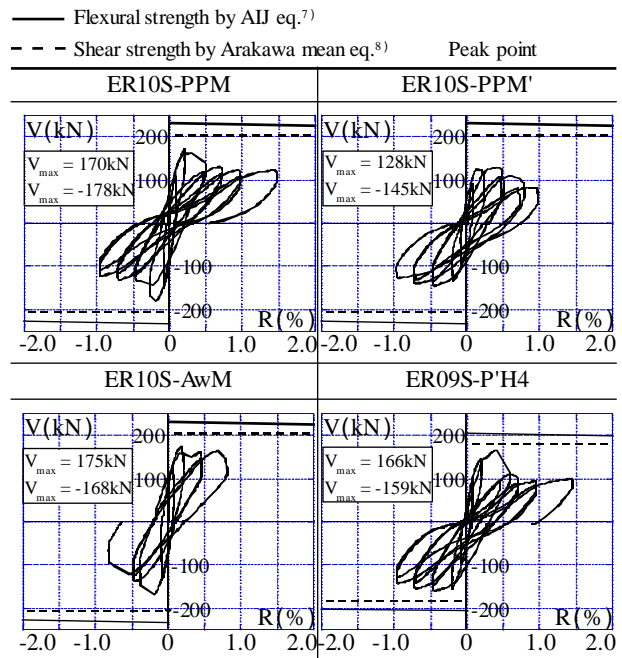


Fig. 6 Measured V-R relationships (Shear failure test)

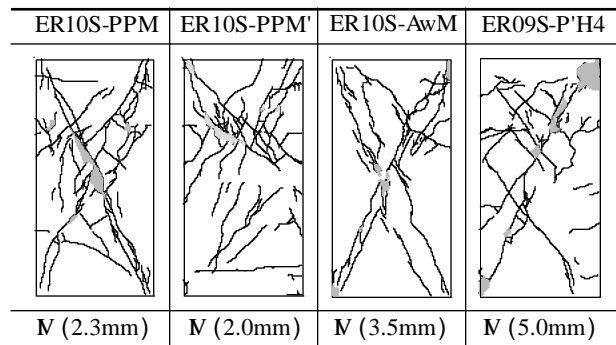


Fig. 7 Observed cracking patterns after shear failure test

し、水平加力を行った。実験より得られた水平荷重  $V$  と部材角  $R$  関係を Fig. 6 に、実験終了後のひび割れ図 (ウェブ面)、損傷レベル及び最大残留ひび割れ幅を Fig. 7 に示す。Fig. 6 には、シリンダー強度  $\sigma_b$  による多段配筋柱の曲げ強度計算値<sup>7)</sup> を実線で、アラミド繊維ベルトを考慮した修正荒川 mean 式によるせん断強度計算値<sup>8)</sup> を破線で示している。どの試験体も部材角  $R = 0.5\%$  までにせん断破壊し、その後、目標とする損傷レベルに到達するまでそれぞれ加力を行った。損傷レベルは日本建築防災協会の判定基準<sup>9)</sup> に基づき、ひび割れ幅等により総合的に評価している。その結果、どの試験体も損傷レベル  $N$  に該当するが、損傷の程度は必ずしも同じとはならない。なお、せん断損傷実験において、試験体 PPM' はウェブ面の主筋の座屈が見られたが、他の試験体に座屈は生じなかった。また、全試験体とも主筋は引張降伏していない。

#### 3.2 緊急補強後の水平加力実験

Fig. 8 に緊急補強後の水平加力実験により得られた水平荷重  $V$  と部材角  $R$  関係、および柱の軸ひずみ  $\epsilon_c$  と部材角  $R$

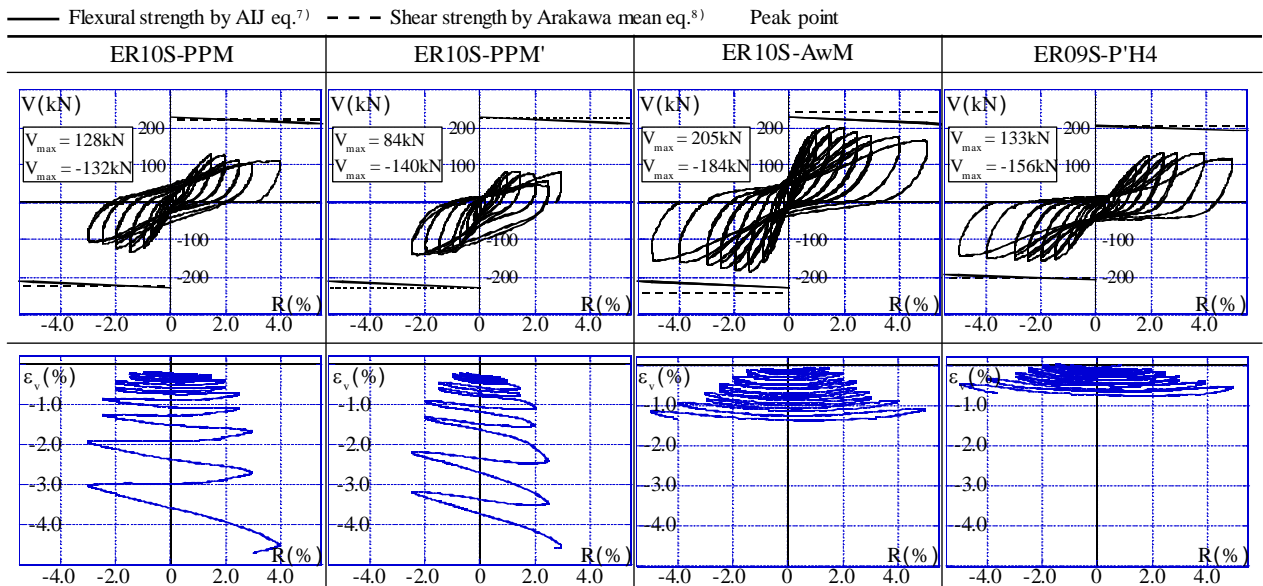


Fig. 8 Measured V-R and  $\epsilon_v$ -R relationships during emergency retrofit loading test

関係を示す。Fig. 8にはシリンダー強度 $\sigma_b$ による多段配筋柱の曲げ強度計算値<sup>7)</sup>を実線で、補強に使用するベルトを考慮した修正荒川 mean 式によるせん断強度計算値<sup>8)</sup>を破線で示した。試験体 PPM は部材角  $R=1.5\%$  で最大水平耐力に達し、 $R=2.5\%$  加力時に合板の割れる音と共に合板に亀裂が入った。その後、 $R=2.5\%$  (2回目) 正側加力から軸ひずみが  $1.0\%$  を超え、加力に伴い軸ひずみの進行が大きくなったため、 $R=4.0\%$  正側加力で実験を終了した。実験終了後、主筋の座屈が確認できたことから、加力の進行に伴う合板のひび割れは、主筋の座屈によるコンクリートのはらみ出しが原因であると考えられる。中間主筋位置に合板をさらに一枚重ねた試験体 PPM' は、部材角  $R=1.4\%$  で最大水平耐力に達し、 $R=2.0\%$  の正側加力中に軸ひずみが  $1.0\%$  を超え、加力に伴い軸ひずみの進行が大きくなったため  $R=3.0\%$  の正側加力で実験を終了した。 $R=3.0\%$  時の水平耐力が  $R=2.5\%$  時よりも回復しているのは、加力中に最下段のバックルがスタブと接触したことが原因であると考えられる。試験体 PPM、PPM' は水平耐力がシリンダー強度  $\sigma_b$  による曲げ強度計算値よりも極端に低く、軸ひずみは大きく進行し、実験後のひび割れ状況においてはせん断損傷実験時に発生したせん断ひび割れが拡大していた (Photo 1 (a), (b))。これは補強に使用した PP ベルトの引張剛性が低いことでベルトの受動的横拘束効果が小さくなり、その結果、せん断損傷実験時のひび割れの拡大を抑えきれず軸ひずみが進行し、主筋の座屈やコンクリートのはらみ出しを抑制できなかったためであると考えられる。

PP ベルトよりも引張剛性の高いアラミド繊維ベルト (Fig. 3) を用いて緊急補強を施した試験体 AwM は、部材角  $R=1.4\%$  で最大水平耐力に達した後、耐力は緩やかに低下し、部材角  $R=5.0\%$  まで優れた履歴性状を示した。Fig. 8 より、試験体 AwM の最大水平耐力はシリンダー強度による



(a) PPM (b) PPM' (c) AwM (d) P'H4  
Photo 1 Final damage after emergency retrofit test

曲げ強度に到達していない。これはせん断損傷 RC 柱にアラミド繊維ベルトによるラッシングベルトと合板で緊急補強を施しても、補強後の拘束損傷コンクリート強度 (3 節参照) がシリンダー強度まで回復しなかったことを示している。軸ひずみは  $R=4.0\%$  加力中に  $1.0\%$  を超え始めたものの、PPM、PPM' に比べて大きく改善された。試験体 P'H4 は、部材角  $R=2.5\%$  で最大水平耐力に達し、その後、耐力は緩やかに低下した。P'H4 の最大水平耐力は曲げ強度計算値に達しなかったものの、負側の最大水平耐力はせん断損傷実験時まで回復し、軸ひずみも抑制されている。最大水平耐力時部材角が他の試験体に比べて大きいのは、せん断損傷実験時のひび割れ幅が  $5\text{mm}$  (Fig. 7) と、試験体の損傷程度が大きかったためだと考える。AwM、P'H4 の実験終了後のひび割れ状況を見ると、せん断損傷実験時に発生したせん断ひび割れが PPM、PPM' ほど拡大していない (Photo 1 (c), (d))。従って、ベルトの引張剛性が高いと受動的横拘束効果も高くなり、ひび割れの拡大を抑制できるため、軸ひずみの進行を防ぐことができる。

次に、各試験体で水平耐力や軸ひずみに差が見られるため、引張剛性と補強効果の関係を検討する。Fig. 9 に各試験体の初期緊張ひずみと最大水平耐力時におけるベルトの引張ひずみを示す。Fig. 9 に示す各段のデータは、実験時にベルトに添付した 2 枚のひずみゲージの平均値であ

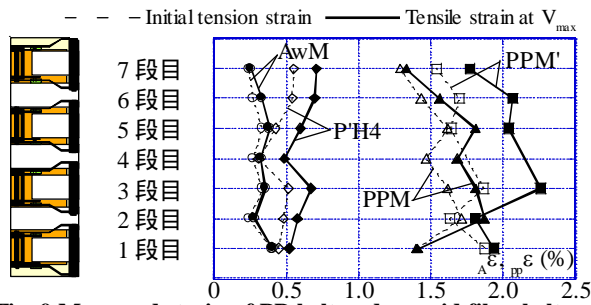


Fig. 9 Measured strain of PP belt and aramid fiber belt

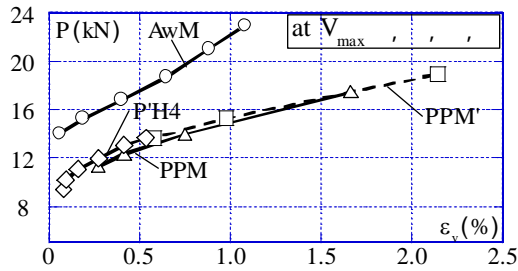


Fig. 10 Tensile force of fiber reinforcement versus vertical compressive strain of emergency retrofitted RC columns

る。Fig. 9より、PPM、PPM'の初期緊張ひずみからのベルトのひずみ増分がAwM、P'H4より大きいのは、ベルトの引張剛性が小さいからだと考えられる(AwMに対しては1/6、P'H4に対しては1/3)。

ベルトの引張剛性の差異が緊急補強効果に与える影響を検証するため、Fig. 10に水平加力実験時におけるベルトの引張力Pと柱の軸ひずみ $\epsilon_v$ の関係を示す。Fig. 10において、ベルトの引張力Pは各部材角でベルト全段の平均値を計算し、最大水平耐力時を黒塗りで、それ以降を白抜きでプロットした。試験体P'H4は他の試験体よりも最大水平耐力時部材角が大きいので、他の試験体の最大水平耐力時部材角であるR=1.5%からプロットした。試験体AwM、P'H4ではR=5.0%までデータを示しているが、試験体PPM、PPM'については、ベルトのデータが測定できたR=3.0%、R=2.5%までをそれぞれ示した。Fig. 10より、ベルトの引張力の上昇率は、引張剛性の高いベルトで補強した試験体AwMが大きい。このことから、引張剛性の低いベルトが引張剛性の高いベルトと同じ引張力(横拘束圧)を発揮するには、より大きな柱の鉛直ひずみに伴う柱の横ひずみが必要となり、従ってせん断損傷RC柱の緊急補強には能動側圧だけでなく、補強材の引張剛性(受動的横拘束)が重要であるといえる。

Fig. 11は補強方法の同じ試験体PPM、AwM、P'H4のスケルトンカーブである。縦軸は実験で得られた水平荷重Vを損傷前のシリンダー強度 $\sigma_b$ による多段配筋柱の曲げ強度計算値 $Q_{mu}$ で基準化した。Fig. 11より、PPMの水平荷重は $Q_{mu}$ の約60%であるが、AwMでは $Q_{mu}$ の約90%、P'H4では $Q_{mu}$ の約75%まで回復した。同じPPベルトであって

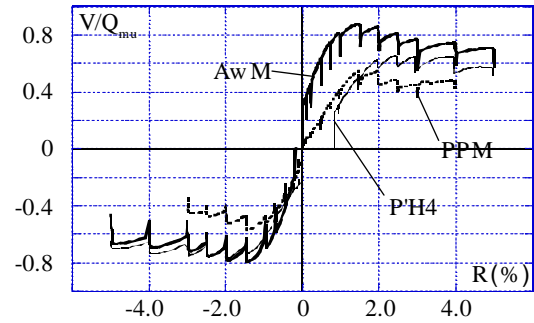


Fig. 11 Normalized skeleton curves

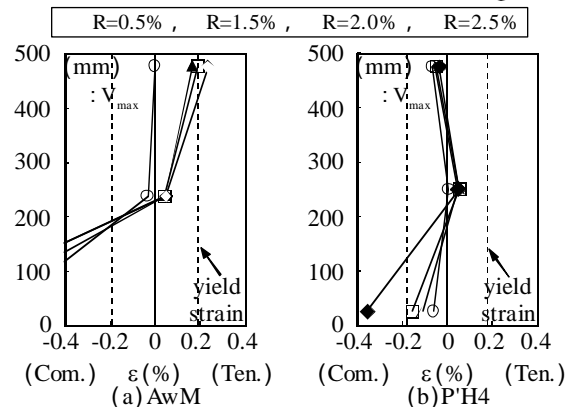
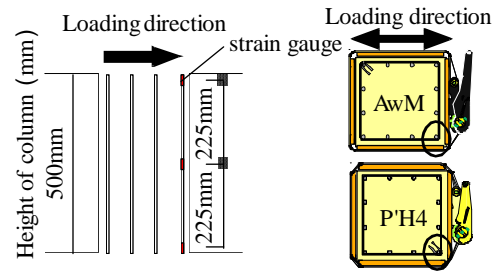
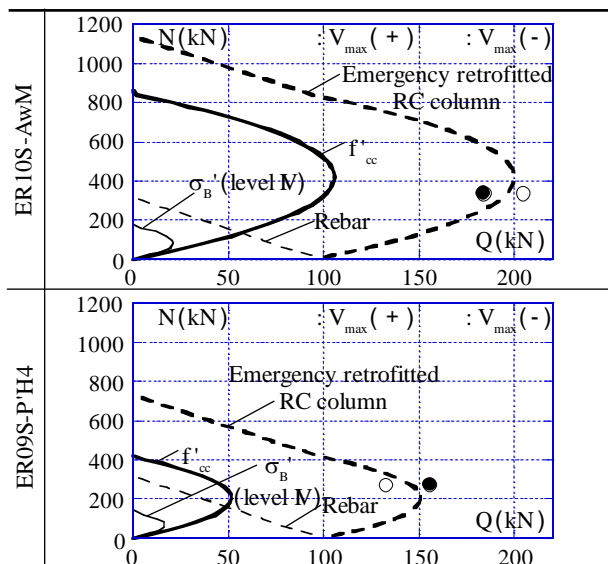


Fig. 12 Strain distribution of longitudinal reinforcement along the height of column

も、引張剛性の高いP'H4の方が引張剛性の低いPPMより水平耐力が回復しており、また最も引張剛性の高いベルトを使用したAwMの水平剛性と水平荷重がPPM、P'H4より大きくなっていることが分かる。一方でAwMの軸ひずみがP'H4より大きいのは(Fig. 8)、AwMの合板の角に使用した軽量アングルにより、ベルトと合板の間に1mmの隙間ができたことが原因と考えられる。

Fig. 12は緊急補強後の水平加力実験で得られた柱高さ方向における隅主筋のひずみ分布である。最大水平耐力時の主筋のひずみを黒塗りで示した。Fig. 12より、試験体AwMは隅主筋のひずみ勾配が大きいのにに対し、試験体P'H4は主筋のひずみ勾配がほとんどない。このことから簡便な補強法であっても、ベルトの引張剛性が大きければ主筋が引張降伏し、緊急補強後も優れた履歴性状が得られるものと考えられる。

ベルトの緊急補強効果を検証するため、実験で得られた正負の最大水平耐力実験値の平均値を用いて拘束損傷コンクリート強度を逆算する。本研究では、せん断損傷



Notes :  $f'_{cc}$  = compressive strength of confined concrete of emergency retrofitted specimen,  $\sigma_B'$  = damaged concrete strength (level IV)<sup>9)</sup>.

Fig. 13 N-Q interaction curves

Table 3 Estimated compressive strength of confined concrete after emergency retrofit

	PPM	PPM'	Aw M	P'H4
$\sigma_B$ (MPa)	26.6			21.3
$f'_{cc}$ (MPa)	6.7 (0.25 $\sigma_B$ )	5.0 (0.19 $\sigma_B$ )	13.5 (0.5 $\sigma_B$ )	6.8 (0.32 $\sigma_B$ )
$\sigma_B'^{9)}$ (MPa)	2.7 (0.1 $\sigma_B$ )			2.1 (0.1 $\sigma_B$ )
$K_{exp}$ (= $f'_{cc}/\sigma_B'$ )	2.5	1.9	5.0	3.2

Notes :  $K_{exp}$  = strength enhancement of confined concrete.

RC柱を緊急補強により能動拘束して得られた拘束コンクリート強度を「拘束損傷コンクリート強度」と呼称する。逆算においては、鉄筋の強度直線とコンクリートの強度曲線の単純累加曲線が正負の最大水平耐力実験値の平均を通過するようなコンクリート強度を求める(具体的には単純累加曲線がFig. 13の破線となるときコンクリート強度を求めた)。このようにして求めた軸力Nとせん断力Qの関係を図13に示す。Table 3には、逆算で得られた拘束損傷コンクリート強度 $f'_{cc}$ と損傷レベルMにおける損傷コンクリート強度 $\sigma_B'$  (0.1 $\sigma_B$ )<sup>9)</sup>、および強度上昇率 $K_{exp} = f'_{cc}/\sigma_B'$ を示す。Fig. 13より、試験体AwMの実験値は釣合い軸力より下側の曲げの引張破壊領域に位置していることから、主筋が引張降伏した実験結果と整合する。試験体P'H4は釣合い軸力よりやや上の曲げ圧縮破壊領域にある。逆算で求めた拘束損傷コンクリートの強度曲線は、損傷レベルMの強度曲線より大きく改善され、特にAwMでは著しく、損傷コンクリート強度 $\sigma_B'$ からの強度上昇率 $K_{exp}$ は5.0となり、他の試験体より大きい(Table 3)。

#### 4. 結論

(1) 耐力の高いバックルを使用することで、ベルトに大

きな緊張力を容易に導入可能となった。

(2) 緊急補強では、せん断損傷RC柱に導入する能動側圧だけでなく、引張剛性に依存する補強材の受動的な横拘束効果も重要であることが分かった。

(3) アラミド繊維ベルトのように引張剛性が高ければ簡便な補強法であっても主筋が引張降伏し、優れた履歴性状となる。

(4) 最大水平耐力からの逆算の結果、せん断損傷で低下したコンクリート強度は緊張ラッシングベルトによる緊急補強により、大きく回復することがわかった。

#### 謝辞

本研究は日本学術振興会の平成22年度科学研究費補助金(基盤研究(A), 課題番号: 20246091, 代表者: 山川哲雄)により行われた。また、アラミド繊維ベルトをファイベックス(株)から提供していただいた。

#### 参考文献

- 1) T. Yamakawa, K. N. Nesheli, H. Satoh : Seismic or Emergency retrofit of RC Short Columns by Use of Prestressed Aramid Fiber Belts as External Hoops, 日本建築学会構造系論文集, No.550, pp.135-141, 2001.12
- 2) 金城秀俊, 山川哲雄, 藤川将吾, 中田幸造 : 緊張アラミド繊維ベルトを用いたせん断損傷RC短柱の応急補強実験, コンクリート工学年次論文集, Vol. 27, No.2, pp.1447-1452, 2005
- 3) 中田幸造, 山川哲雄, 上松茂, 新里一博 : ラッシングベルトを用いた損傷脆性柱の応急補強法, コンクリート工学年次論文集, Vol. 29, No. 3, pp.1123-1128, 2007
- 4) 許田昇, 長濱温子, 山川哲雄, 中田幸造 : 緊張ラッシングベルトによるせん断損傷RC柱の応急補強実験, コンクリート工学年次論文集, Vol. 31, No. 2, pp.109-114, 2009
- 5) 許田昇, 中田幸造, 山川哲雄, 原口貴臣 : 緊張ラッシングベルトと型枠合板で緊急補強されたせん断損傷RC柱の実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 32, No. 2, pp.1027-1032, 2010
- 6) 日本建築防災協会 : 震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針, 2001
- 7) 日本建築学会 : 建築耐震設計における保有耐力と変形性能, 1990
- 8) 前田興輝, 山川哲雄, 新城良大, 中田幸造 : 緊張アラミド繊維ベルトで横補強したRC柱の正負繰返しせん断実験, コンクリート工学年次論文集, Vol. 28, No. 2, pp.1147-1152, 2006
- 9) 上松茂, 山川哲雄, 吉井大輔, 中田幸造 : せん断損傷RC柱短柱の残存軸耐力と応急補強実験, コンクリート工学年次論文集, Vol. 28, No. 2, pp.1123-1128, 2006