

ハイゼラス工法 高目付アラミド繊維シートによる耐震補強工法

ファイベックス株式会社^{*1}

要旨:ハイゼラス工法はアラミド繊維による耐震補強工法で、繊維シートを部材の全面に巻付けるのに対して一定の間隔を空けて巻き付ける方式であり、壁の取り付く柱などの補強を可能とするものである。本工法では、アラミド繊維の「カバーシート」を柱、梁の表面に貼り付けた上に、壁に設けた貫通孔を通して「帯シート」を閉鎖型に巻き付けることで補強性能を確保している。間隔を空けて巻き付ける帯シートについては、より補強効率を高めるために通常のシートに比べて繊維量の多い高目付繊維シートを用いることとしている。

キーワード:アラミド繊維シート, 高目付シート, 耐震補強, せん断補強, 壁付き柱, スラブ付き梁

1. はじめに

アラミド繊維シートによる RC 造, SRC 造建築物の耐震補強工法は、これまで多くの実績を積み重ねてきている。しかしながら、壁の取り付く柱の補強では繊維シートの定着に必要な金物のために補強量の確保, 補強部位の意匠性に問題があり、設備配管やコンセントボックスなどの付帯物のある柱の補強では繊維シートの全面巻きが困難になるなどの課題があった。

「ハイゼラス工法」は、壁に貫通孔を設けて繊維シートを通し、間隔を空けて巻き付ける補強工法であり、上で述べたような課題を解決するために開発されたものである。また、繊維シートは間隔を空けて巻き付けることから、補強効率を高めるために高目付繊維シートを用いることにも大きな特徴がある。

2. 工法の概要

2.1 ハイゼラス工法とは

ハイゼラス(High Quantity Zebra-shaped Retrofitting with Aramid Sheet)工法(以下、本工法という)とは、図-1に示すように、アラミド繊維による織物状の「カバーシート」を既存建築物の柱、梁の表面に貼り付けた上に、「帯シート」を一定の間隔で閉鎖型に巻き付けることによって柱、梁のせん断耐力および変形性能の向上を図る耐震補強工法である。主に壁の取り付く柱や設備配管などの付帯物のある柱などを対象としている。

帯シートは、柱の面外方向に壁が取り付く場合は壁に設けた貫通孔を通して閉鎖型に巻き付けるもので、シート端部の定着用金物が不要となるとともに優れた補強性能が確保できる。一方、カバーシートは壁部分を除く柱の表面のみに貼り付けるもので、補強効果をより高めるために帯シートと併用することを原則としている。

本工法で用いるアラミド繊維シートは、カバーシートについては一般的な繊維量のシートを、帯シートについては補強効率を高めるために繊維量の多い高目付繊維シートを採用する。また、いずれのシートもアラミド繊維を一方向のみに配した一方向シートであり、繊維方向が部材軸と直交するように貼り付けることとしている。

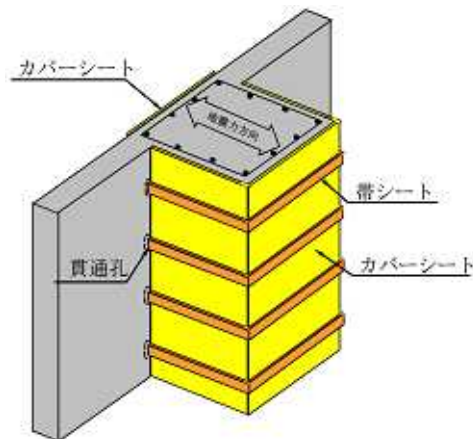


図-1 ハイゼラス工法による補強方法

2.2 適用範囲

本工法を適用できる部材は、せん断強度の向上を必要とする RC 造および SRC 造の柱、梁とする。ただし、SRC 造の梁については適用外とする。

部材形状は、独立柱、矩形梁およびスラブ付き梁とする。ただし、柱については、補強方向(面内方向)に袖壁が取り付く場合、壁長さが 300mm かつ厚さの 3 倍を超えない場合はこれを無視して独立柱として扱うことができるが、この条件以外の袖壁が取り付く場合は適用外とする。補強直交方向(面外方向)に壁が取り付く場合、壁長さの大小に拘わらずこれを無視して独立柱として

*1 〒160-0022 東京都新宿区新宿5-15-5 新宿三光町ビル4F (TEL 03-6380-0215)

扱うことができる。図 - 2 に柱断面の適用範囲を示す。

梁については、腰壁・垂れ壁の取り付く場合、地震時の挙動が不明な点も多いことから適用外とする。

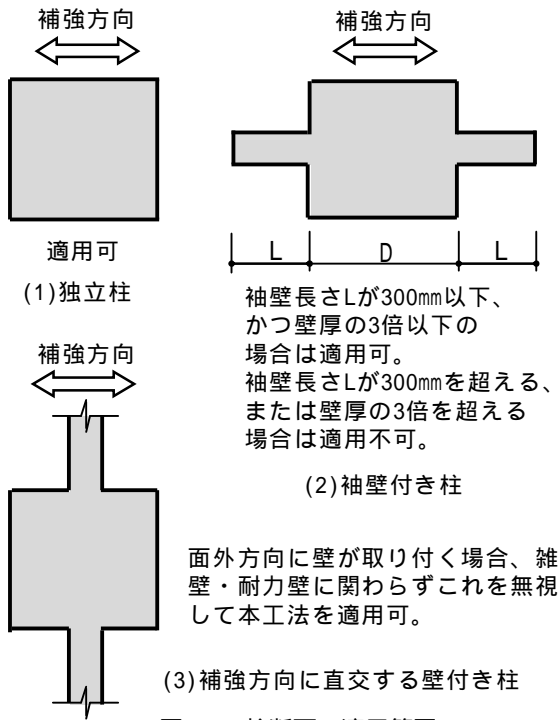


図 - 2 柱断面の適用範囲

3. 使用材料

3.1 繊維シート

繊維シートは、シート長さ方向にアラミド繊維（アラミド 1）を、幅方向にナイロン繊維やポリエステル繊維などを配した一方向シートである。表 - 1 に本工法で適用する繊維シートの仕様を示す。

表 - 2 は JIS A 1191 に準拠した繊維シートの引張試験結果を、図 - 3 は引張強度の頻度分布を AK-90 と AK-240 について示したものである。目付量の増加につれて引張

表 - 1 本工法で適用する繊維シートの仕様

(1) 帯シート(カバーシートと併用)

品番	引張荷重 (kN/m)	目付量 (g/m ²)	設計厚 (mm)	シート幅 (mm)
AK-40	392	280	0.193	50
AK-60	588	415	0.286	
AK-90	882	623	0.430	
AK-120	1,176	830	0.572	
AK-180	1,764	1,245	0.859	
AK-240	2,352	1,660	1.145	

(2) カバーシート(帯シートと併用)

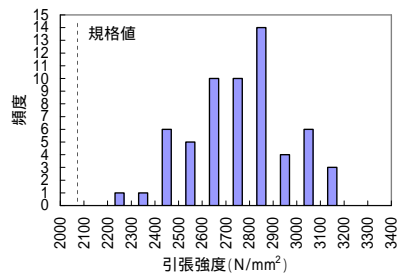
品番	引張荷重 (kN/m)	目付量 (g/m ²)	設計厚 (mm)	シート幅 (mm)
AK-40	392	280	0.193	100, 200, 300

強度、ヤング係数は低下する傾向にあるが、平均値から標準偏差の3倍を減じた引張特性値およびヤング係数の平均値は繊維シートの品質基準値(それぞれ 2,060N/mm² 以上、 $(1.18 \pm 0.20) \times 10^5 \text{N/mm}^2$)を満足している。

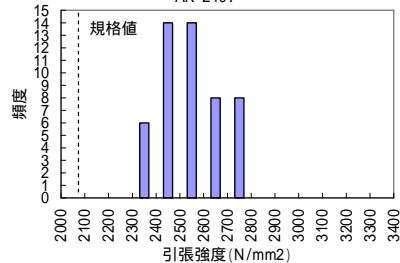
表 - 2 繊維シートの引張試験結果

	AK-40	AK-60	AK-90	AK-120	AK-180	AK-240
N	51	40	60	40	50	50
X	2,957	2,789	2,760	2,530	2,677	2,450
X-3	2,392	2,135	2,137	2,175	2,091	2,078
E _f	134	127	130	124	116	114

N：サンプル数 X：引張強度の平均値(N/mm²) 標準偏差 E_f：ヤング係数(kN/mm²)



(1) AK-90



(2) AK-240

図 - 3 引張強度の頻度分布 (AK-90, AK-240)

3.2 樹脂

補強材表面に塗布するプライマー、繊維シートに含浸させる含浸接着樹脂は、エポキシ樹脂系の常温硬化の2液混合型とする。特に本工法では高目付繊維シートを用いることから、AK 120 以上の繊維シートの引張試験、AK 240 の継手試験(重ね長さ 150mm)を行い、表 - 3 の品質基準値を満足することを確認するものとする。

表 - 3 樹脂の品質基準値

(1) プライマー

試験項目	試験方法	規格値
接着強さ	JIS K 6916	1.5N/mm ² 以上

(2) 含浸接着樹脂

曲げ強度	JIS K 7203	40N/mm ² 以上
引張強度	JIS K 7113	30N/mm ² 以上
引張せん断強さ	JIS K 6850	12.5N/mm ² 以上

4. 構造的な性能

4.1 工法開発実験

本工法の開発にあたっては、(1)せん断強度の評価、(2)変形性能の評価、(3)付着の検討、(4)短柱の適用性について加力実験による検討を行った。

表 - 4 にせん断強度を評価するために行った実験の試験体一覧を、写真 - 1 に No.4 試験体の状況を示す。また、図 - 4、5 は荷重方法別の実験結果の荷重 - 変形関係を示したものである。

実験の結果、繊維シートによる補強によりせん断強度が大幅に増加する、カバーシートはせん断強度の確保に寄与する、カバーシートの繊維方向を縦方向に貼り付けた場合の効果は少ないなどが明らかとなった。これらの実験結果に基づいて本工法の設計法を検討した。

表 - 4 試験体一覧 (せん断強度評価実験)

番号	荷重方法	補強方法		せん断強度 (kN)		
		カバーシート	帯シート	計1	計2	実験
1	単調	なし	なし	80	93	93
2		AK-90 全面	なし	204	148	186
3		なし	AK-90 6層 120mm ピッチ	155		165
4		AK-16 横貼				221
5		AK-16 縦貼				171
6		繰返				AK-16 横貼



写真 - 1 試験体

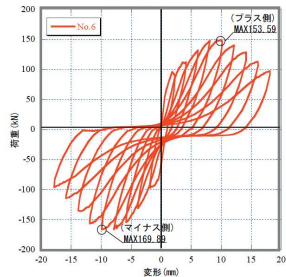


図 - 4 実験結果 (繰返荷重)

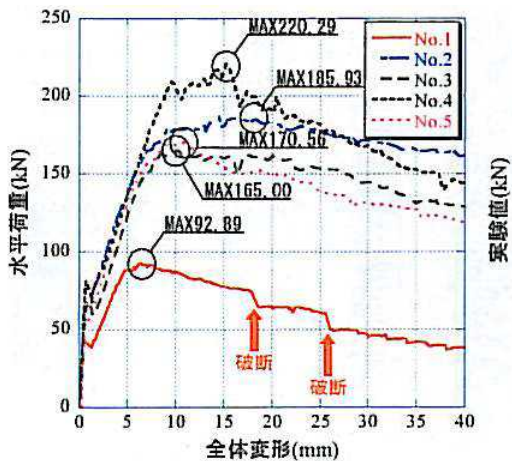


図 - 5 実験結果 (単調荷重)

4.2 せん断強度の算定式

本工法の開発実験や既往文献の実験結果に基づいて補強部材のせん断強度の評価方法を検討した。

柱のせん断強度算定式を(1)式に示す。本式は、基本的には「連続繊維耐震改修設計・施工指針」((財)日本建築防災協会)の算定法に準じているが、(2)式により帯シートの巻き付け間隔による補強効果の低減を行っている。

図 - 6 に最大耐力の実験値と(1)式による算定値を比較して示す。本算定式は実験値を安全側に評価している。

$$cQ_{su} = \left\{ \frac{0.053p_t^{0.23}(17.6 + F_c)}{M/(Q \cdot d) + 0.12} + 0.845\sqrt{\sum p_w \cdot \sigma_{wy} + 0.1\sigma_0} \right\} \cdot b \cdot j \quad (1)$$

ここで、

p_t : 引張鉄筋比 (%)

F_c : コンクリート圧縮強度 (N/mm²) ただし、 $F_c \geq 13.5$

$M/(Q \cdot d)$: せん断スパン比 ただし、 $1 \leq M/(Q \cdot d) \leq 3$

M/Q : $h_0/2$ としてよい。 h_0 は柱内のり高さ。なお、腰壁・垂れ壁の厚さが120mm未満の場合は、これを無視して床天端から上階の梁下までを柱内のり高さとする。

D : 柱断面せい (mm)

d : 柱断面有効せい (mm) $D - 50$ mm としてよい。

$\sum p_w \cdot \sigma_{wy}$: (2) 式により算定する。 $\sum p_w \cdot \sigma_{wy} \leq 3.6$ N/mm²

σ_0 : 柱軸方向応力度 (N/mm²) $\sigma_0 \leq 7.84$ N/mm²

b : 柱断面幅 (mm)

j : 応力中心間距離 (mm) ただし、 $0.8D$ としてよい。

帯シートおよびカバーシートの効果を考慮したせん断補強量 $\sum p_w \cdot \sigma_{wy}$ は下式による。

$$\sum p_w \cdot \sigma_{wy} = r p_w \cdot r \sigma_{wy} + \left(1 - \frac{s}{D} \right) b_p p_w \cdot b \sigma_{wy} \quad (2)$$

ここで、

$r p_w$: 既存 RC 部のせん断補強筋比

$r \sigma_{wy}$: 既存 RC 部のせん断補強筋の降伏点強度 (N/mm²)

s : 帯シート間のおき (mm) = 帯シート間隔 - 帯シート幅 250mm

b_p : カバーシートの効果を考慮して ≥ 3 とする。ただし、カバーシートを用いない場合は $=1$ として評価できる。

$b_p p_w$: 帯シートのせん断補強比

$b_p p_w = 2 \times$ 帯シートの断面積 / (柱幅 \times 帯シート間隔)

$b \sigma_{wy}$: 帯シートの設計用引張強度

$b \sigma_{wy} = \min (0.008E_{fd}, 2/3 f)$

E_{fd} : 繊維シートの規格ヤング係数 (N/mm²)

f : 繊維シートの規格引張強度 (N/mm²)

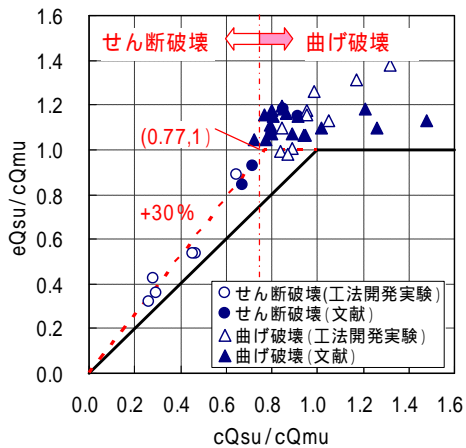


図 - 6 最大耐力の実験値と計算値の比較

4.3 構造細則

柱隅角部は半径 10mm 以上の円弧状に面取りをする。
 帯シートを巻き付ける間隔は、部材の中央区間では $p=300\text{mm}$ 以下かつ柱せいの $1/2$ 以下とし、下式による端部区間 L_e では $p_1=150\text{mm}$ 以下とする (図-7)。

$$L_e = (0.4 \times (\text{F 値})) \times D \quad \text{ただし、} 0.5D \leq L_e \leq 1.0D$$

柱端部の帯シート位置は、柱頭柱脚端から 100mm 以下とする (図-7)。

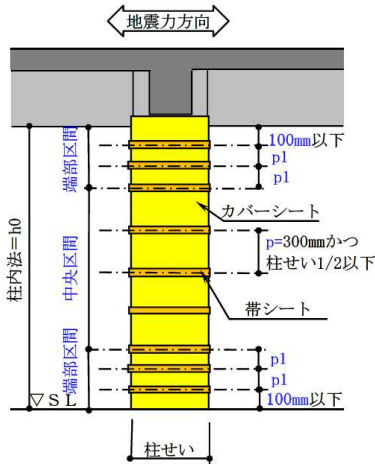


図 - 7 柱補強における帯シートの巻き付け方

帯シートの設計重ね継手長さは表 - 5 による。

表 - 5 帯シートの設計重ね継手長さ

シートの種類	設計重ね継手長さ (mm)
AK-40, AK-60	200mm 以上
AK-90, AK-120	250mm 以上
AK-180, AK-240	300mm 以上

カバーシートは繊維方向を部材軸に直交させて貼り付ける。柱頭部に取り付く梁のせいが異なる場合、せいの最も小さい梁下端まで貼り込むものとする。

5. 施工方法

5.1 施工手順・施工

本工法の施工手順は、図 - 8 に示すように基本的には繊維シートを全面に巻付ける工法とほぼ同様である。

まず、既存仕上げがある場合は撤去し、壁やスラブに貫通孔を設け、不陸調整などの下地処理を行いプライマーを塗布する。その後、繊維シートをカバーシート、帯シートの順でエポキシ樹脂を含浸させながら接着させる。最後に貫通孔にモルタルを充填して仕上げを施す。

施工にあたっては、設計図書に基づいて適切な施工計画書を作成する。また、施工場所に応じた下地処理方法や材料、機械の選定、作業手順などについての施工要領書を作成する。

施工者および施工管理者は、本工法による施工品質を十分確保できる技術を有する者とする。

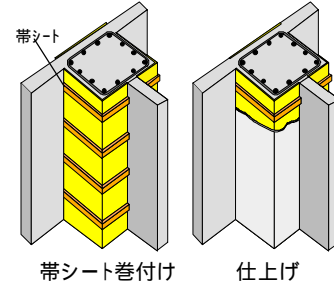
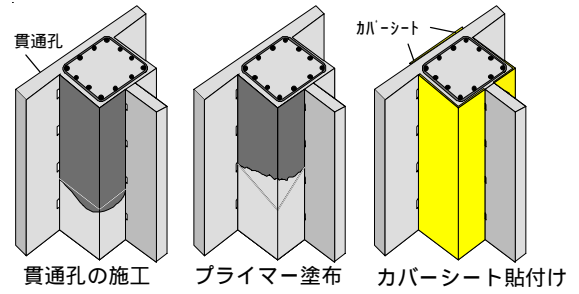


図 - 8 施工手順

5.2 本工法の特殊施工

壁などに設ける貫通孔形状・段差修正は図 - 9 を標準とする。

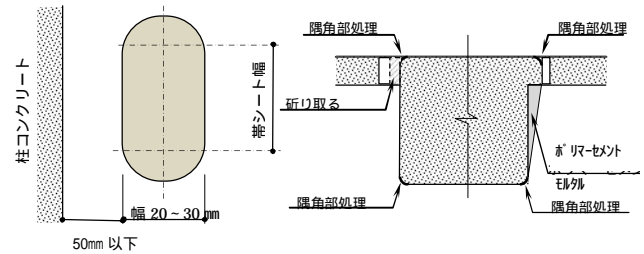


図 - 9 貫通孔形状・段差修正例

帯シートの高目付繊維シート(AK-120 以上)では、通常の樹脂の塗布方法ではシート内部まで含浸されない場合がある。そこで、巻き付け作業に先行して樹脂の所要量を帯シートに含浸させることとする。

5.2 本工法による施工事例

写真 - 2 に貫通孔の設置状況とカバーシート、帯シートの巻き付け状況を示す。



(1)帯シート用貫通孔 (2)シート巻き付け
 写真 - 2 施工状況

6. むすび

アラミド繊維シートによる補強工法は軽量で柔軟なシートの特長から施工性に優れている。ハイゼラス工法の開発によりさらに展開が拡大することが期待される。