

論文 腰壁により短柱化した部材のアラミド繊維シートによる補強効果

谷垣 正治^{*1}・石橋 一彦^{*2}・伊吹 英昭^{*3}

要旨: 本研究は、腰壁により短柱化したRC柱のアラミド繊維シートによるせん断補強効果に関するものである。今回のシリーズは、せん断破壊型の試験体について加力実験を行い、耐力・靱性などに及ぼすシート補強量、腰壁厚さ、直交壁の有無等について既往の実験結果も含めて検討した。その結果、アラミド繊維シートで補強した場合には、せん断スパン比が1以下の場合でも既往の耐力算定式が適用可能であること、またせん断耐力に達した後でも安定した履歴減衰性能が期待できること等が示された。

キーワード: アラミド繊維、腰壁、短柱、せん断耐力

1. はじめに

本研究は、一般的な既存の鉄筋コンクリート造板状集合住宅の桁行方向を想定し、腰壁によって短柱化した柱の内法区間をアラミド繊維シートを貼り付けてせん断補強する工法の有効性を実験的に検討したものである。前回は行った実験シリーズ1¹⁾では、アラミド繊維シートで補強することにより曲げ降伏先行型の破壊形式になる試験体が主であったが、今回のシリーズ2は主にせん断破壊が先行する場合を検討の対象とし、両シリーズの結果を比較して考察した。

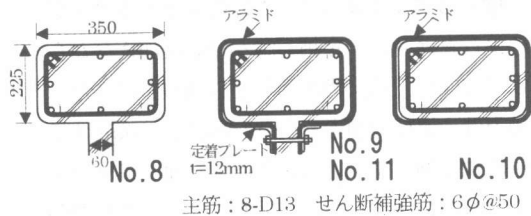
2. 試験方法

2.1 試験体

試験体の構成を表-1に示す。既発表¹⁾のシリーズ1と今回のシリーズ2とを合わせて試験体は合計11体あり、実験パラメータは、アラミド繊維シートの補強量、腰壁の厚さ、直交壁の有無、柱隅角部の面取り半径である。シリーズ2は4体あり、No.8試験体は比較用のRC試験体で、せん断破壊するように設計されている。No.9試験体は、No.8のせん断耐力確認後ひびわれにエポキシ樹脂を注入して補修した後、シー

表-1 試験体一覧

	No.	繊維シートの補強比 R (%)	繊維シートの種類	直交壁	腰壁 t (mm)	柱面 取りR (mm)
前回のシリーズ	1	—	—	有	60	30
	2	—	—	無	225	30
	3	0.254	AK60	無	225	30
	4	0.224	AT60	無	225	30
	5	0.224	AT60	有	225	30
	6	0.170	AW40	有	60	30
	7	0.170	AW40	有	60	10
今回のシリーズ	8	—	—	有	60	15
	9	0.224	AT60	有	60	15
	10	0.170	AT60	無	225	15
	11	0.224	AT60	有	225	15



主筋: 8-D13 セン断補強筋: 6φ@50

図-1 試験体断面

表-2 アラミド繊維シートの材料特性

	密度	目付量 (g/m ²)	厚さ (mm)	ヤング率 (GPa)	引張強度 (MPa)
AK60	1.45	415	0.286	120	2100
AT60	1.39	350	0.252	80	2400
AW40	1.45	280	0.193	120	2100

*1 三井建設(株)技術研究所 工博 (正会員)

*2 千葉工業大学工学部建築学科 教授 工博 (正会員)

*3 帝人(株) 建設・環境商品事業推進室

トを巻き付けて補強した試験体である。

図-1に各試験体の断面図を示す。各試験体とも試験体柱部分の断面は22.5cm×35cmで内法高さは45cmである。また、各試験体柱部分の隅角部の面取り半径は15mmである。No.10試験体は閉鎖型にアラミド繊維シートを貼り付け、重ね長さを24cmとした。直交壁のあるNo.8, No.9, No.11試験体では、曲げ加工したプレートと直交壁を貫通するボルトを用いてアラミド繊維シートを定着した。No.11試験体は、No.5で定着ボルトの降伏が生じてしまったため、再度作製したもので、プレートにてこ作用によるボルト引張力の増大を考慮してプレート長さ・ボルト材質等を定めた。図-2に試験体形状と配筋図を示す。図は腰壁厚さ60mmで直交壁ありの場合(試験体No.9)を示している。腰壁厚さが225mmの場合はダブル配筋となっている。

2.2 使用材料

使用したアラミド繊維シートは、表-2に示ような3種類である。含浸接着樹脂は、エポキシ樹脂を用いている。表-3に使用した鉄筋とコンクリートの材料諸元を示す。コンクリート強度は、シリーズ1では20MPa、シリーズ2では18MPaである。

2.3 加力・測定方法

図-3に示すように、支柱により上下スタブの平行を保ち、一定軸力324kNを加えながら水平方向に正負交番の繰り返し加力を行った。軸力は、支柱の軸力負担分を計測し、試験体に作用する軸力が一定になるように油圧ジャッキをコントロールした。水平変位は、下スタブから柱脚間と柱脚から上スタブ間に分けて測定し、両者の和を層間変位とした。

3. 実験結果

3.1 荷重変形関係および破壊性状

表-4に各試験体の実験結果の一覧、図-5にシリーズ2の各試験体の荷重と変形角の関係を示す。No.8試験体(図-5a))は、部材角0.0069で最大耐力に達し急激に耐力低下した。最大耐

表-3 鉄筋およびコンクリート

	鉄筋降伏応力度(MPa)		コンクリート圧縮強度(MPa)
	D13	6φ	
シリーズ1	389	407	20.0
シリーズ2	345	477	18.0

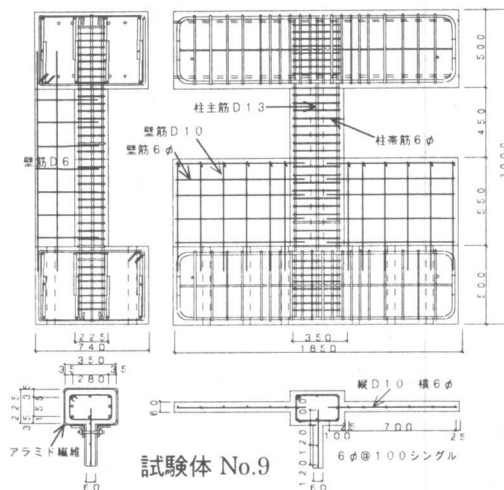


図-2 試験体図

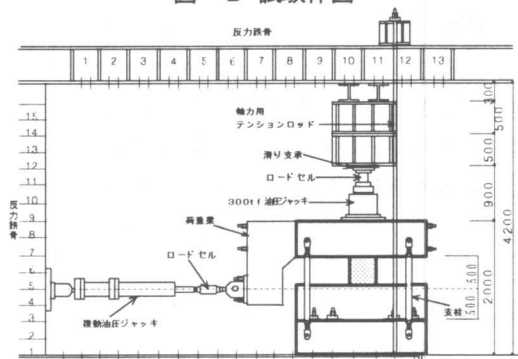


図-3 加力方法

表-4 実験結果一覧

試験体	初降伏時		最大耐力時		耐力維持率		破壊形式
	Qy (kN)	Ry (×10 ³)	Q _{max} (kN)	R _{max} (×10 ³)	R _{1/75}	R _{1/50}	
No.1	—	—	226	2.02	—	—	S
No.2	—	—	227	3.44	—	—	S
No.3	297	2.90	408	6.78	77.5	71.5	M先行
No.4	238	0.80	385	11.8	87.4	84.9	M先行
No.5	(175)	(1.20)	(232)	(4.25)	88.7	78.6	S(定着)
No.6	158	1.83	368	11.2	86.8	66.1	M→S
No.7	230	3.80	339	10.5	91.9	77.8	M→S
No.8	280	2.90	289	6.70	—	—	S
No.9	280	3.30	341	9.10	93.8	76.2	M→S
No.10	262	3.10	354	6.03	62.0	63.0	S
No.11	305	2.70	327	6.56	83.2	83.2	S

力時に柱頭の主筋の降伏が一部見られたが、柱脚では降伏しておらず、せん断耐力が確認できたものと考えられる。No.9 試験体 (図-5b)) は、No.8 試験体をアラミド繊維シートで補強したものであるが、補強によって最大耐力が 301kN から 356kN に上昇している。No.9 では、最大耐力付近から柱脚部近傍の腰壁の圧壊が顕著になり、見かけ上せん断スパンが長くなるような状態になった。このため腰壁上端より下の部分で柱主筋の降伏が生じ、曲げ降伏が先行する破壊形式を示した。その後、変形の進展とともに腰壁内の柱がせん断破壊し終局状態に達した。写真-1 に No.9 試験体の破壊状況を示す。

No.10 試験体 (図-5c)) は、部材角 0.006 付近で最大耐力に達し、直後に 30% 程度の耐力低下を生じた後、その耐力を維持して変形が増大する傾向が見られた。部材角 0.05 付近で一部アラミド繊維シートの破断が生じた。No.11 試験体 (図-5d)) は、柱頭の主筋降伏は見られたが、柱脚部では降伏しておらずせん断破壊を生じた。しかし、せん断破壊後急激な耐力低下は示さず、緩やかに耐力を減しながら変形が増大し終局状態に達したが、アラミド繊維シートは破断しなかった。写真-2 に No.11 試験体の破壊状況を示す。写真に見られるようにクリアスパン部分でかなりのせん断変形が生じていることがわかる。本実験での部材角は上下スタブの水平変位の差を上下スタブ間の距離 (100cm) で除して求めているが、実際の変形はほとんどクリアスパン部分 (45cm) で生じているため、この部分でのせん断変形角は部材角の 2 倍程度あると考えられる。

3. 2 各要因の比較

図-6 にシリーズ 1 およびシリーズ 2 の各試験体の荷重と変形角の関係の包絡線を比較して示す。図-6a) は、アラミド繊維シートの補強量の異なる試験体 No.2, No.3, No.10 を比較したものである。無補強の No.2 に比べて No.3, No.10 では耐力変形性能ともに向上しているが、No.3 と No.10 とでは繊維の補強量に大きな差がない

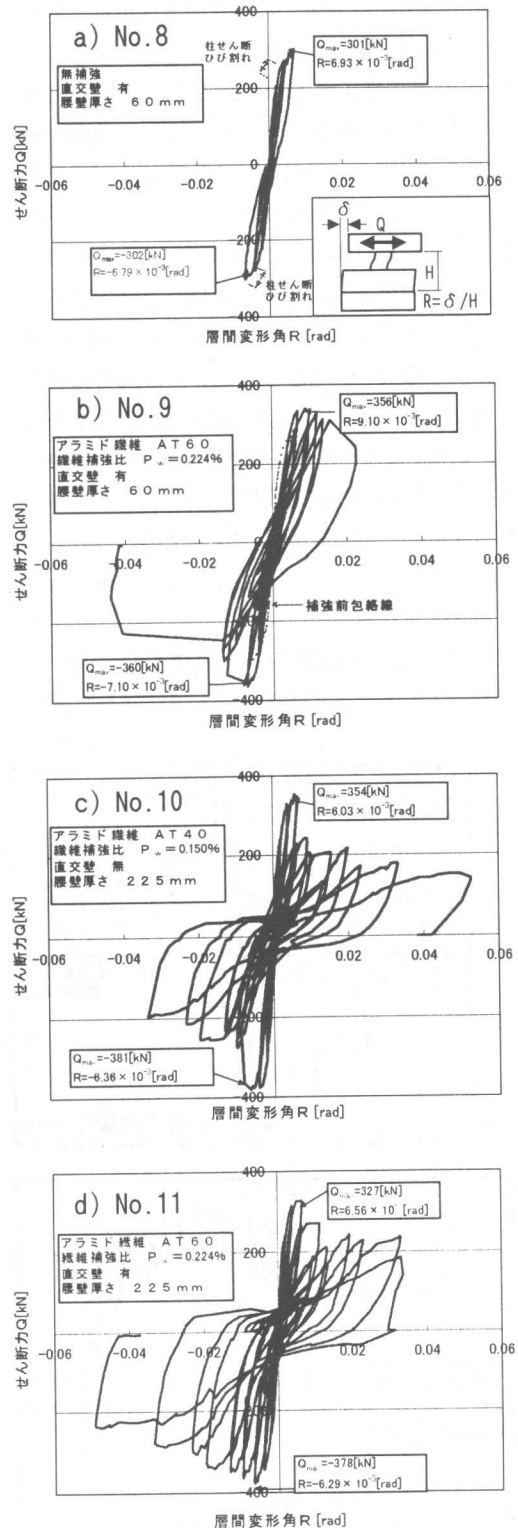


図-5 荷重変形関係

ため、荷重変形関係にあまり顕著な相違は見られない。図-6h)は、腰壁の厚さの異なる No.9 と No.11 を比較したものである。最大耐力はほぼ等しいものの、腰壁厚さの薄い No.9 では腰壁の圧壊に引き続いて腰壁内部の柱のせん断破壊が生じたため、変形性能が低下していることがわかる。図-6c)は、柱の隅角部の面取り半径が荷重変形関係に及ぼす影響を見たものである。面取り半径は No.6 が 30mm、No.7 が 10mm であるが、この図を見る限りにおいては両者に顕著な差は認められない。図-6d)は、直交壁の有無の影響を見たものである。No.4 が直交壁無し、No.11 が直交壁有りの試験体である。この図から判断すると、本実験では、直交壁が耐力および変形性能におよぼす影響はほとんどなかったものと考えられる。

3.3 アラミド繊維シートのひずみ

図-7にアラミド繊維シートで補強した試験

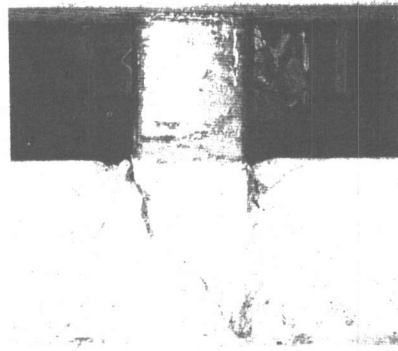


写真-1 No.9試験体最終状況

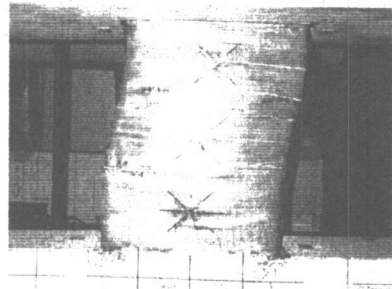


写真-2 No.11試験体最終状況

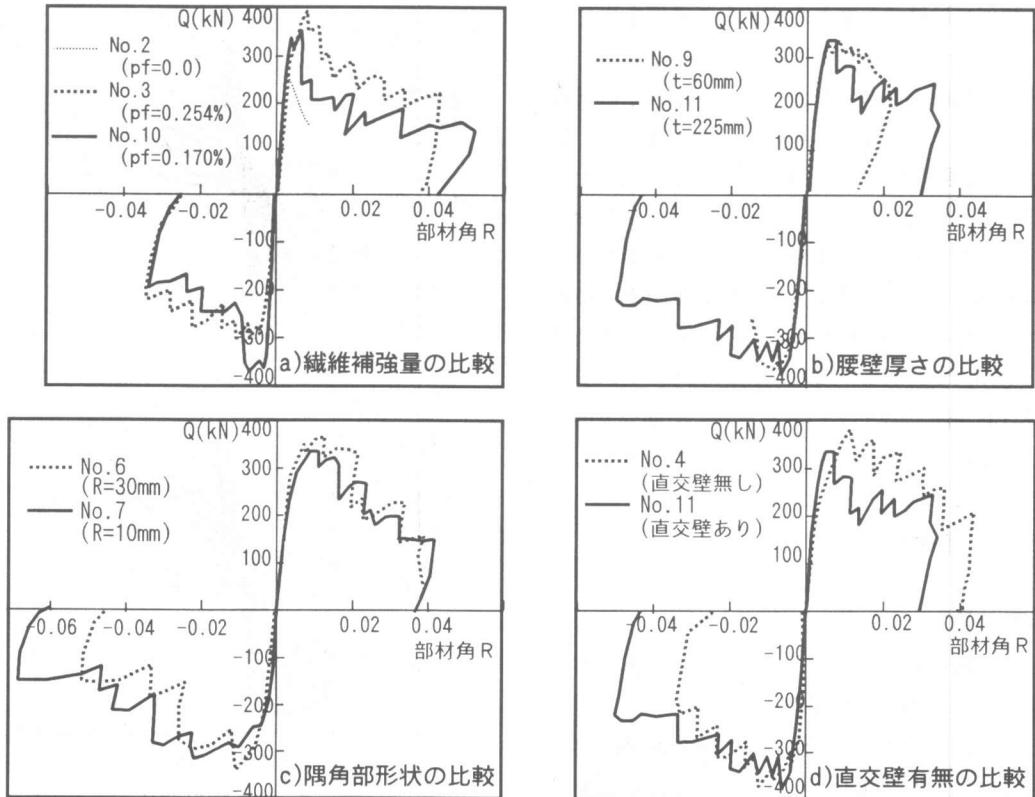


図-6 荷重変形関係包絡線の比較

体について、部材の変形角と繊維シートのひずみとの関係を示す。定着金物の降伏が生じた試験体 No.5 は除いている。各試験体間のアラミド繊維シートの補強量に差があまりないため、変形角とひずみの関係に顕著な傾向は見られないが、一般的に言うと、各試験体とも最大耐力付近で 4000 μ 、変形角 0.02 で 6000 μ 、変形角 0.04 で 10000 μ 程度のひずみであった。

3. 4 等価粘性減衰定数 heq

図-8 にアラミド繊維シートで補強した試験体について、部材の変形角と等価粘性減衰定数 heq の関係を示す。各試験体とも最大耐力時 (変形角 0.005 付近) では、heq が 10 数%であり、変形の進展とともに heq が増大している。せん断破壊が先行した No.10, 11 試験体では heq の増大傾向がやや緩やかではあるが安定しており、このような試験体においても履歴減衰性能が期待できるものと考えられる。

4. 終局耐力および限界部材角の検討

表-5 は、実験耐力と計算耐力を比較したものである。表中のせん断耐力の計算値は、文献 2) 3) に示された修正荒川式による値と文献 4) による終局強度 A 法による値を示している。せん断耐力の算定にあたっては、アラミド繊維シートの計算用引張強度を既往の研究結果⁶⁾を参考に 1000MPa とした。なお、表中の限界部材角 Ru は、繰り返し载荷 1 回目の包絡線が最大耐力の 80%まで低下した時点の部材角である。図-9 a) は修正荒川式による計算耐力 Vs と実験耐力 Vmax とを比較したものである。繊維シートで補

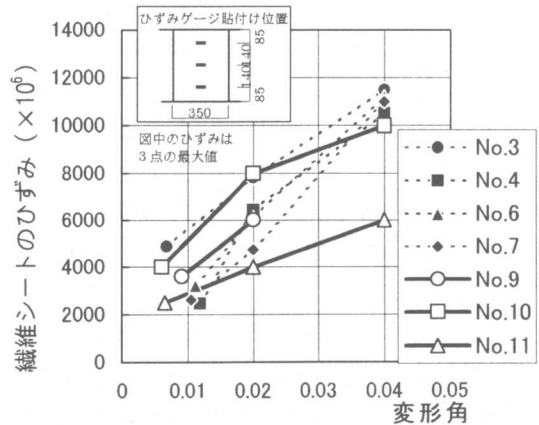


図-7 変形角と繊維シートひずみの関係

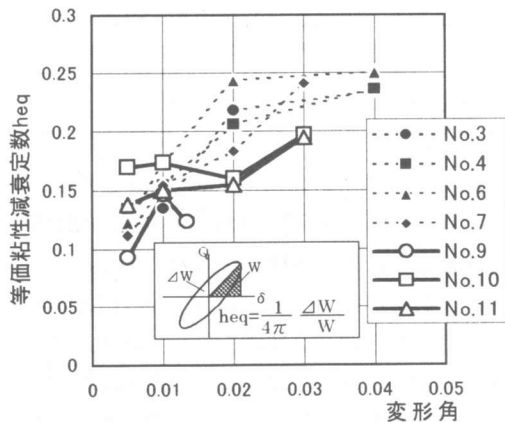


図-8 変形角と等価粘性減衰定数の関係

表-5 実験耐力と計算耐力の比較

	計算値			実験値		実験 / 計算
	曲げ耐力	せん断耐力		限界部材角	最大耐力	
		修正荒川	終局 A 法			
	Vm(kN)	Vs(kN)	Vs(kN)	Ru(rad)	Vmax(kN)	Vmax/Vm
No. 1	302	229	258	—	226	0.748
No. 2	357	229	270	—	227	0.636
No. 3	357	268	375	0.013	408	1.143
No. 4	357	265	369	0.027	385	1.078
No. 5	357	265	353	(0.019)	(232)	(0.650)
No. 6	302	257	353	0.017	368	1.219
No. 7	302	257	353	0.018	339	1.123
No. 8	280	218	230	—	289	1.032
No. 9	280	252	332	0.022	341	1.218
No. 10	331	245	313	0.007	354	1.069
No. 11	331	252	332	0.024	327	0.988

[せん断耐力式]

修正荒川式 (文献 2) .3)

$$V_s = \left\{ \frac{0.053pt^{0.23}(17.6 + \sigma_B)}{M(Q \cdot d) + 0.12} + 0.845 \sqrt{\Sigma p_w \sigma_{wy} + 0.1 \sigma_o} \right\} b \cdot j$$

終局強度 A 法 (文献 4))

$$V_s = b \cdot j \cdot \Sigma p_w \sigma_{wy} \cdot \cot \phi + \tan \theta (1 - \beta) \cdot b \cdot D \cdot \nu \cdot \sigma_B / 2$$

[曲げ耐力算定上の仮定]

曲げ耐力は、柱脚ヒンジ位置を腰壁上端より柱せい D の s 倍の位置に仮定して求めた。腰壁厚 t=60mm の場合 s=0.12、t=225mm の場合 0.37 とした。(文献 5))

強された試験体では修正荒川式を用いて耐力評価ができることがわかる。図-9b)は(1),(2)式²⁾に示すようにせん断余裕度 V_s/V_m から算定した限界部材角計算値 R_u と実験値を比較したものである。文献3)では、係数 q を 0.9 としているが、この場合でも限界部材角を安全側に評価する。

$$R_u = \mu_s \cdot R_y \quad (1)$$

$$\mu_s = 10\{V_s/V_m - q\} \geq 1 \quad (2)$$

ここに、 μ_s : 終局塑性率、 R_y : 降伏部材角 (=1/150rad²)、 q : 補強方法によって決まる係数

図-10 はせん断耐力式に終局強度指針式を用いた場合について、図-9と同様に耐力・靱性評価を行ったものである。図より、せん断耐力および靱性とともやや危険側に評価される場合がある。

5. まとめ

アラミド繊維シートで補強された腰壁付き短柱のせん断加力実験の結果を以下にまとめる。

- 1)腰壁が薄い場合、腰壁の圧壊による腰壁内柱のせん断破壊に対する検討が必要である。
- 2)せん断破壊が先行する場合でも、最大耐力以後も安定した履歴減衰性能を有していた。
- 3)せん断スパン比(a/D)が1を下回る柱においても、既往の評価方法²⁾で耐力・靱性評価が可能である。

最後に、本研究を進めるにあたりご協力頂いたアラミド補強研究会ならびにショーボンド建設の関係各位に深く感謝致します。

[参考文献]

- 1)岡本他：腰壁によって短柱化した柱のアラミド繊維シートによる補強，日本建築学会大会 C-2，pp.93，1999
- 2)財)日本建築防災協会：改訂版既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説，1990
- 3)財)日本建築防災協会：連続繊維補強材を用いた既存鉄筋コンクリート造および鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計・施工指針，1999
- 4)日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の終局強度型耐震設計指針・同解説，1990
- 5)塩原他：既存鉄筋コンクリート腰壁付き短柱の炭素繊維シートによるせん断補強，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21，No.1，pp.373-378，1999
- 6)谷垣他：アラミド繊維シートによる既存 RC 柱の補強効果に対する仕上げモルタルおよび高軸力の影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21，No.1，pp.367-372，1999

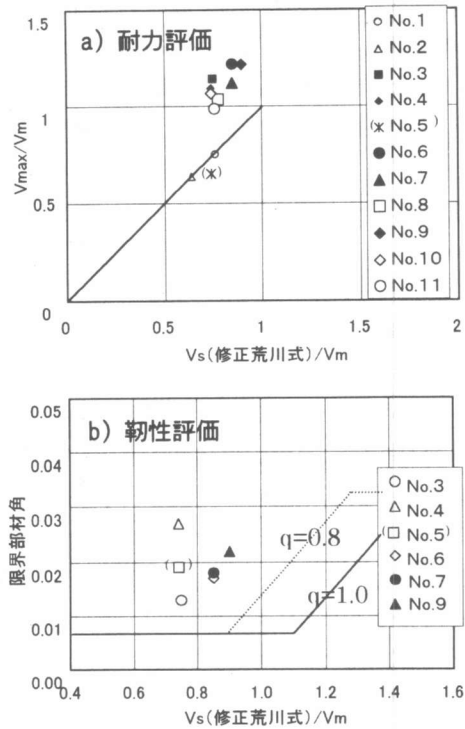


図-9 修正荒川式による耐力・靱性評価

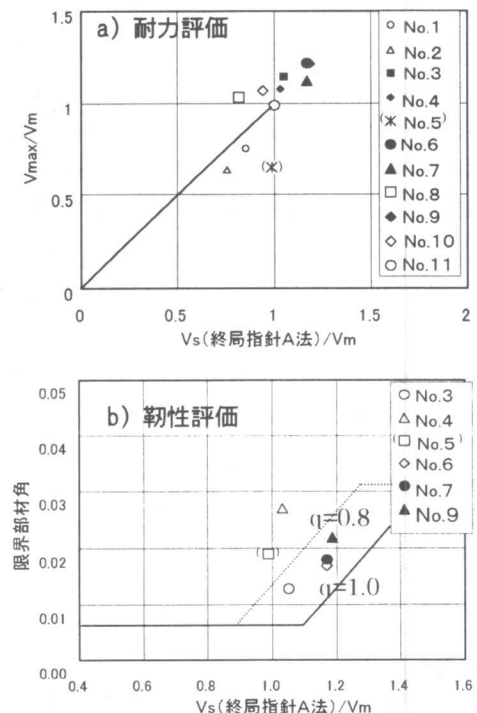


図-10 終局強度式による耐力・靱性評価