

論文 縦筋を考慮したトラスアーチ機構に基づく RC 耐震壁の強度検討

小坂 英之^{*1}・溝口 光男^{*2}・荒井 康幸^{*3}

要旨: 両側柱付き RC 耐震壁の強度算定に、縦筋が考慮された壁板のトラスアーチ機構を準用し、その算定法の適用可能性を検討した。横筋の応力度は、壁板の場合と同様に壁端部を 0 として中央部に向かって大きくなる分布形状に仮定した。既往の実験資料 79 体と比較した結果、破壊形式がせん断破壊、柱主筋降伏後のせん断破壊および曲げ破壊のいずれにおいても強度計算値は実験値を概ね安全側に評価し、計算値のばらつきは小さかった。なお、計算結果は横筋の応力度に依存するため、せん断強度時の横筋の応力度に関する実験資料を多く収集し、適切な応力度分布を設定すれば、さらに良い対応が得られるものと考えられる。

キーワード: 耐震壁, 壁板, せん断強度, 曲げ強度

1. はじめに

側柱や柱主筋等の曲げ補強筋がない長方形断面の鉄筋コンクリート (RC) 壁板の強度算定法として、筆者らはトラスアーチ機構における鉛直方向の力の釣り合いに壁縦筋を考慮する方法を提案し、その強度計算値の適合性を単層および連層壁板の加力実験によって確認した¹⁾²⁾。この壁板強度算定法では、横筋の応力度を両端から壁板中央部に向かって大きくなる分布形状に仮定し、その応力度変化のある部分で成立するトラス機構を構成しており、軸力およびトラス機構の残余分の縦筋の引張力はアーチ機構で考慮している。

一般の両側柱付き RC 耐震壁 (I 形断面耐震壁) のせん断強度の算定には、広沢式^{例えば 3)}や靱性指針式⁴⁾が広く用いられている。広沢式では柱主筋量と軸力は考慮されているが縦筋は考慮されていない。靱性指針式では側柱が存在すること、トラスアーチ機構を形成するための鉛直方向の反力は十分にとれることを前提とし、各層のせん断強度のトラス機構分として、横筋の降伏強度相当のせん断力が見込まれており、縦筋量や軸力の影響は考慮されていない。したがって縦筋量は、曲げ強度の算定に用いられ、横筋量と同等程度になるように設計されているのが現状であると思われる。

縦筋の効果は、壁板内の横筋の応力度分布に依存すると考えられるが、せん断破壊する I 形断面耐震壁の横筋の応力度分布に関する実験研究は少ない。例えば浅見・小野里らの実験⁵⁾では、横筋のひずみが大きくなるのは、壁脚・壁頭部では圧縮域近傍であり、壁高さの中間部ではスパン中央部であり、せん断強度時の横筋のひずみは壁長さ方向に様とはなっていない。そこで本論文では、I 形断面耐震壁の横筋の応力度も曲げ補強筋のない壁板と同様に応力度変化のある分布形状に仮定し、柱主筋は

壁縦筋として扱い、縦筋が考慮された壁板のトラスアーチ機構¹⁾²⁾を準用して I 形断面耐震壁の強度を算出し、本算定法の適用可能性を検討する。

2. 縦筋を考慮したトラスアーチ機構

本章では、壁板の強度算定法¹⁾²⁾の概要とともに、同算定法を図-1 に示すような I 形断面耐震壁に適用する際に設定した仮定を示す。

2.1 トラス機構

横筋の応力度は図-2 に示すように、I 形断面の両端で 0 とし、水平力 Q_i の作用位置から ϕ 方向 (ϕ : 圧縮束の角度, $\cot \phi = 1$) の線と壁中心線上で最大応力度 σ_{sh} (横筋の降伏強度 σ_{sy} 以下) となる分布形状に仮定する。図示のように応力度勾配のある部分の付着応力度を τ とすると、横筋と縦筋の交点における力の釣り合いから、縦筋の応力度増分 $d\sigma_{sv}$ およびコンクリートの ϕ 方向応力度増分 $d\sigma_c$ が得られる。 $d\sigma_{sv}$ を壁高さ方向に積分することによって、座標 x における壁脚の縦筋応力度の変化量が定式化でき、これにより縦筋の引張合力 ΔS_i とその作用位置が定まる。トラス機構のせん断力 Q_i は、 ΔS_i とコンクリ

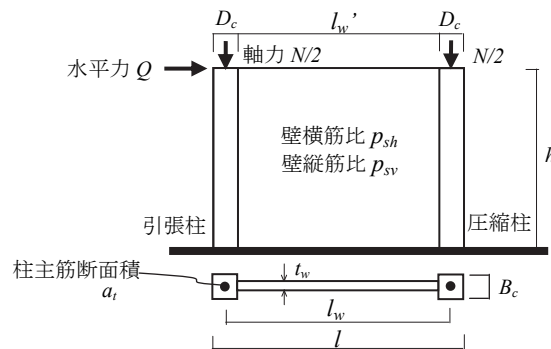


図-1 I 形断面耐震壁

*1 三井住友建設 (株) 技術研究所 博(工) (正会員)

*2 室蘭工業大学大学院工学研究科教授 博(工) (正会員)

*3 室蘭工業大学名誉教授 工博

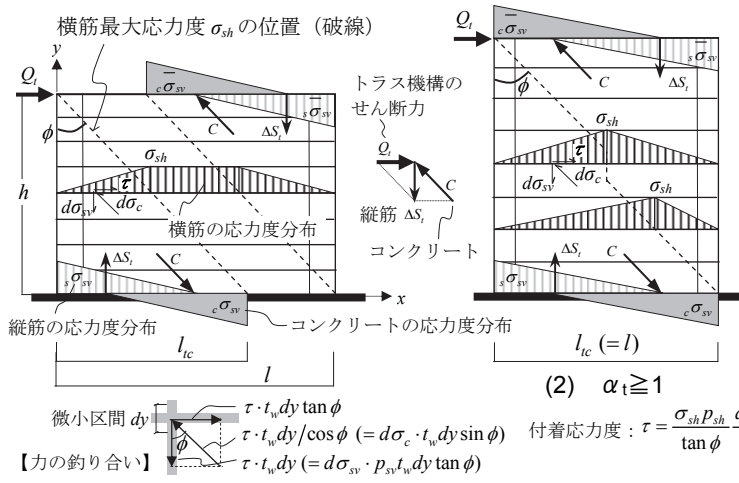


図-2 トラス機構

ートの圧縮合力 C に釣り合う力として式(1)で表される。横筋の応力度分布の状況は、図-2 に示すように耐震壁のアスペクト比 $\alpha_t (=h/l \cot \phi)$ によって異なる。このため、 $\alpha_t < 1$ の場合は壁脚と壁頂の C はそれぞれ独立して得られるが、 $\alpha_t \geq 1$ の場合は耐震壁の中心線上で σ_{sh} となる壁高さの中間部分では左右のコンクリート圧縮束の力が釣り合うために、その分壁脚・壁頂の C が小さくなり、 Q_t も小さくなる。式(1)中の A はその低減係数であり、 A は式(2)で表される。

$$Q_t = C \sin \phi = \sigma_{sh} p_{sh} t_w l_{tc} \cot \phi \cdot A \quad (1)$$

$$A = \begin{cases} 1 & [\alpha_t < 1] \\ 1 - (\alpha_t - 1)^2 + (\alpha_t - 1) \log(2\alpha_t - 2) & [1 \leq \alpha_t < 3/2] \\ 3/4 & [\alpha_t \geq 3/2] \end{cases} \quad (2)$$

$$l_{tc} = \begin{cases} l & [\alpha_t \geq 1] \\ \alpha_t l & [\alpha_t < 1] \end{cases} \quad (3)$$

ここに、 p_{sh} ：壁横筋比、 t_w ：壁厚、 l_{tc} ：コンクリートの圧縮応力作用域の長さ（図-2 参照）

Q_t を算出する際の σ_{sh} は、下界定理より横筋の降伏強度 σ_{sv} 以下で最も大きな値を与えてよいが、降伏条件を満たすように縦筋（柱主筋を含む）の最大応力度は降伏強度以下となるように定める。横筋の応力度分布の仮定に依存する Q_t は柱主筋の有無と無関係に定まるが、 Q_t に釣り合う縦筋の力による応力度 $\beta \sigma_{sv}$ （式(4)参照、壁脚部の応力度を全て縦筋に換算した応力度分布）の計算では、壁縦筋比が一定の壁板のみの場合と異なり、I形断面耐震壁の場合には柱部分で柱主筋の断面積を考慮する。

$$\beta \sigma_{sv} = c \sigma_{sv} + c \bar{\sigma}_{sv} + s \sigma_{sv} + s \bar{\sigma}_{sv} + \sigma_N \quad (4)$$

ここに、 $c \sigma_{sv}$ 、 $c \bar{\sigma}_{sv}$ 、 $s \sigma_{sv}$ 、 $s \bar{\sigma}_{sv}$ ：壁脚・壁頂におけるコンクリートの圧縮応力度および縦筋の引張応力度（図-2 参照、合力 C 、 ΔS_t による力の分布形状を三角形に仮定）、 σ_N ：軸力 N による応力度

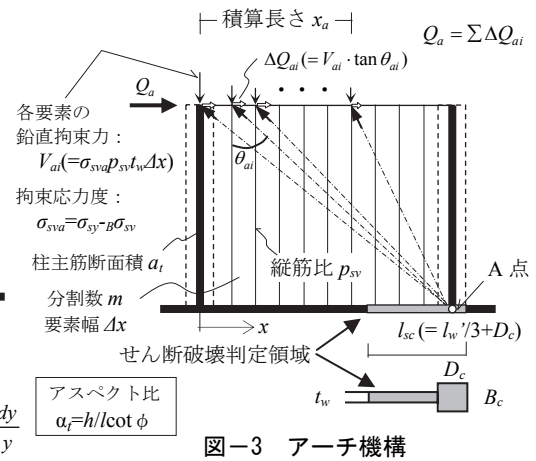


図-3 アーチ機構

2.2 アーチ機構

アーチ機構によるせん断強度 Q_a は、図-3 に示すように耐震壁を縦に m 分割し、圧縮束の作用点（A点）までの各要素ごとの水平力 ΔQ_{ai} を積算して求める。壁板強度算定法では、A点を壁板脚部の圧縮縁から $0.05l_w$ の位置としたが、I形断面耐震壁の場合にはA点を圧縮柱の中心位置とし、全要素数 m の積算を行った際の Q_a が、次式^{例えは3)}の曲げ強度相当のせん断力となるようにする。

$$M_u = a_t \sigma_{cy} l_w + 0.5 a_w \sigma_{sy} l_w + 0.5 N l_w \quad (5)$$

ここに、 a_t ：柱主筋の断面積、 σ_{cy} ：柱主筋の降伏強度、 l_w ：柱中心間距離、 a_w ：壁縦筋の全断面積、 σ_{sy} ：壁縦筋の降伏強度

2.3 せん断破壊の判定と各部の応力状態

壁脚部にせん断破壊判定領域 l_{sc} を設定し、トラス機構とアーチ機構の合計の ϕ 方向の圧縮応力度 σ_c がコンクリートの有効強度⁴⁾ $\nu \sigma_B$ に達する場合をせん断破壊と判定する。 l_{sc} は、壁板強度算定法では壁板長さ l_w の1/3としたが、I形断面耐震壁では図-3 に示すように $l_w/3$ に圧縮柱せい D_c を加え、評価断面積を $t_w l_w/3 + B_c D_c$ とする。

前節のアーチ機構の積算は、せん断破壊と判定 ($\sigma_c = \nu \sigma_B$) される要素位置（図-3 の距離 x_a ）まで行う。したがって、 x_a が引張柱内であれば、せん断破壊に至るための鉛直方向反力が柱主筋で充足していることを、 x_a が壁板内であればせん断破壊時に $0 \sim x_a$ の範囲の壁縦筋が降伏することを、 $x_a = l_w$ で $\sigma_c < \nu \sigma_B$ であれば柱主筋と壁縦筋の全てが降伏する曲げ破壊（式(5)の曲げ強度と一致）であることを示す。前述のように最大応力度 σ_{sh} はトラス機構分の Q_t の算出時に定まるので、本算定法では、強度（せん断強度あるいは曲げ強度）とともに、強度時の横筋、縦筋およびコンクリートの応力状態が推定できる。

3. 既往の実験結果による終局強度の検討

3.1 検討対象試験体

検討対象の試験体は、既往の実験から壁厚が45mm以上のものを抽出した表-1 に示す79体^{6)~36)}である。試

験体のコンクリートの圧縮強度 σ_B の範囲は 15～136N/mm², 柱主筋の降伏強度は 315～797N/mm², 壁縦筋と壁横筋の降伏強度は 229～1420N/mm², 壁縦筋比は

0.20～2.00%, 壁横筋比は 0.20～2.84%である。連層試験体で中間梁がある試験体は, 中間梁の主筋がトラス機構に寄与すると考えられるため, 全横筋に中間梁主筋の断

表-1 検討対象試験体^{6)～36)}の諸元と計算結果

No.	文献番号	試験体名	t_w (mm)	h (mm)	l_w (mm)	σ_B (N/mm ²)	柱										軸力 N (kN)	実験値 Q_{max} (kN)	破壊形式	強度											実験/計算 ※3		
							D_c (mm)	B_c (mm)	a_t (mm ²)	σ_{cy} (N/mm ²)	σ_{sy} (N/mm ²)	p_{sv} (%)	p_{sh} (%)	※1						Q_{su1} (kN)	Q_{su2} (kN)	Q_{su3} (kN)	Q_{su4} (kN)	広沢式 (制限解除)	広沢式 (制限解除)	靱性指針式	本算定法	広沢式 (制限解除)	靱性指針式				
														Q_{sh}	σ_{sh}	σ_{sy}														X_a	Q_{su1}	Q_{su2}	Q_{su3}
1	6	W7501	80	1875	2000	27	250	250	1016	318	367	0.24	0.53	368	635	BS	42	564	605	0.14	1	758	801	860	1.05	0.84	0.79	0.74					
2	6	W7502	80	1875	2000	23	250	250	1016	318	367	0.24	0.53	368	668	BS	42	564	605	0.14	1	706	745	640	1.10	0.95	0.90	1.04					
3	6	W7503	80	1875	2000	22	250	250	1016	318	367	0.24	0.53	368	639	BS	42	564	605	0.14	1	694	732	622	1.06	0.92	0.87	1.03					
4	7	W6	50	600	1000	29	150	150	284	367	409	1.13	1.13	177	453	S	84	339	422	0.60	0.45	287	340	384	1.07	1.58	1.33	1.18					
5	7	W8	50	600	1000	19	150	150	284	367	409	1.13	1.13	177	402	S	84	253	337	0.60	0.30	251	293	300	1.19	1.60	1.37	1.34					
6	7	W9	50	600	1000	26	150	150	284	367	409	1.13	1.13	177	408	S	84	317	401	0.60	0.41	277	327	361	1.02	1.48	1.25	1.13					
7	8	W7601	80	1875	2000	20	250	250	1016	409	443	0.35	0.67	368	797	BS	69	625	694	0.16	0.51	723	759	653	1.15	1.10	1.05	1.22					
8	8	W7602	100	1875	2000	20	250	250	1524	409	443	0.23	0.48	368	826	S	51	720	771	0.13	0	814	858	869	1.07	1.01	0.96	0.95					
9	8	W7603	100	1875	2000	24	250	250	1524	409	443	0.35	0.60	368	1008	BS	79	817	896	0.16	0.26	900	948	868	1.12	1.12	1.06	1.16					
10	9	W7604	80	2875	2000	35	250	250	1016	328	423	0.24	0.58	368	493	B	45	366	411	0.13	1	804	804	707	1.20	0.61	0.61	0.70					
11	9	W7605	100	2875	2000	27	250	250	1524	328	423	0.23	0.50	368	622	B	48	488	537	0.13	1	847	847	749	1.16	0.73	0.73	0.83					
12	9	W7606	100	1875	2000	26	250	250	1524	328	423	0.23	0.44	368	884	BS	51	768	819	0.15	1	881	931	837	1.08	1.00	0.95	1.06					
13	10	77W202	45	1725	1200	22	150	150	568	369	529	0.72	1.23	132	252	BS	48	171	220	0.16	0.42	303	303	331	1.14	0.83	0.83	0.76					
14	10	77W203	45	1725	1200	17	150	150	568	369	529	0.24	1.23	132	209	BS	17	154	171	0.06	0	283	283	303	1.22	0.74	0.74	0.69					
15	10	77W205	45	1725	1200	18	150	150	568	369	529	0.24	0.75	0	169	BS	13	152	166	0.07	0.80	245	245	235	1.02	0.69	0.69	0.72					
16	10	77W206	45	1725	1200	15	150	150	568	369	529	0.24	0.75	309	231	S	22	136	157	0.12	0	260	260	198	1.47	0.89	0.89	1.17					
17	11	76W101	45	1725	1200	20	150	150	284	315	474	0.24	0.73	132	152	B	19	109	128	0.12	1	235	235	241	1.18	0.65	0.65	0.63					
18	11	76W201	45	1725	1200	31	150	150	568	315	474	0.24	0.73	132	212	B	16	175	190	0.10	1	303	303	250	1.12	0.70	0.70	0.85					
19	11	76W401	45	1725	1200	22	150	150	1016	352	474	0.24	0.73	132	265	S	14	196	210	0.09	0	289	289	255	1.26	0.92	0.92	1.04					
20	12	79W402	45	1725	1200	24	150	150	1016	370	229	0.72	2.84	132	329	BS	20	206	226	0.07	0	334	334	405	1.45	0.99	0.99	0.81					
21	12	79W403	60	1725	1200	20	150	150	1016	370	229	0.24	1.83	132	317	BS	9	211	219	0.03	0	339	339	393	1.45	0.94	0.94	0.81					
22	13	NW-1	80	3000	1500	88	200	200	852	776	1002	0.53	0.53	1765	1063	B	179	675	854	0.33	0.65	1071	1071	818	1.24	0.99	0.99	1.30					
23	13	NW-2	80	2000	1500	94	200	200	852	776	1002	0.53	0.53	1765	1469	BS	263	929	1192	0.46	0.44	1256	1256	1068	1.23	1.17	1.17	1.38					
24	14	NW-3	80	3000	1500	56	200	200	852	713	754	0.27	0.27	1373	718	BS	68	550	618	0.33	0	736	736	521	1.16	0.98	0.98	1.38					
25	14	NW-4	80	3000	1500	55	200	200	1136	713	754	0.27	0.27	1569	785	BS	65	548	613	0.31	0	778	778	493	1.28	1.01	1.01	1.59					
26	14	NW-5	80	3000	1500	60	200	200	1136	713	754	0.53	0.53	1373	900	BS	116	593	709	0.28	0	865	865	680	1.27	1.04	1.04	1.32					
27	14	NW-6	80	3000	1500	65	200	200	1524	726	754	0.53	0.53	1569	1056	BS	111	630	741	0.27	0	954	954	703	1.42	1.11	1.11	1.50					
28	15	No.1	80	2000	1500	65	200	200	2032	713	792	0.20	0.20	3299	1093	S	83	827	911	0.49	0	1187	1187	613	1.20	0.92	0.92	1.78					
29	15	No.2	80	2000	1500	71	200	200	2032	713	792	0.35	0.35	3587	1226	S	149	836	985	0.50	0	1309	1309	691	1.25	0.94	0.94	1.77					
30	15	No.3	80	2000	1500	72	200	200	2032	713	792	0.53	0.53	3637	1353	S	224	796	1020	0.50	0	1366	1366	755	1.33	0.99	0.99	1.79					
31	15	No.4	80	2000	1500	101	200	200	2032	726	792	0.53	0.53	5143	1659	S	270	1011	1281	0.60	0	1769	1769	907	1.30	0.94	0.94	1.83					
32	15	No.5	80	3000	1500	77	200	200	2032	776	792	0.53	0.53	3886	1142	S	152	688	840	0.35	0	1281	1281	626	1.36	0.89	0.89	1.82					
33	15	No.6	80	2000	1500	74	200	200	2032	713	1420	0.66	0.66	3756	1305	S	465	662	1128	0.47	0	1507	1507	806	1.16	0.87	0.87	1.62					
34	15	No.7	80	2000	1500	71	200	200	2032	726	792	1.00	1.00	3622	1479	S	394	685	1079	0.47	0	1445	1445	899	1.37	1.02	1.02	1.64					
35	15	No.8	80	2000	1500	76	200	200	2032	776	792	1.45	1.45	3856	1630	S	551	624	1175	0.45	0	1572	1572	1067	1.39	1.04	1.04	1.53					
36	16	1-H65C	50	1400	1550	22	150	150	762	369	245	0.52	0.52	226	423	S	26	296	322	0.30	0	322	342	277	1.31	1.31	1.24	1.53					
37	16	1-H62C	50	1400	1550	20	150	150	762	369	245	0.52	0.52	226	434	S	26	274	300	0.30	0	311	330	300	1.45	1.39	1.31	1.45					
38	17	FW5-0.00*1	50	1400	1600	31	200	200	508	362	380	1.28	1.28	392	519	S	127	448	575	0.37	0.69	521	557	609	0.90	1.00	0.93	0.85					
39	17	FW5-0.00*2	50	1400	1600	30	200	200	508	337	380	1.28	1.28	392	510	S	119	478	597	0.35	0.50	539	577	593	0.85	0.95	0.88	0.86					
40	18	M-I-0-0-0	80	1100	750	24	150	250	2272	327	305	1.41	1.41	241	539	S	69	262	331	0.29	0	437	437	309	1.63	1.23	1.23	1.75					
41	18	M-III-0-0-0	80	1100	750	28	150	250	2272	327	305	0.71	0.71	241	402	S	35	314	349	0.29	0	421	421	233	1.15	0.96	0.96	1.73					
42	19	76W201	45	1725	1200	31	150	150	568	315	474	0.23	0.72	132	212	BS	15	174	189	0.10	1	299	299	246	1.12	0.71	0.71	0.86					
43	20	No.10	75	1000	1800	21	200	200	508	388	573	0.25	0.25	235	569	S	54	613	667	0.54	0.47	464	568	547	0.85	1.23	1.00	1.04					
44	21	FW5-0.0	50	1400	1600	28	200	200	508	337	380	0.64	0.64	392	392	S	72	435	507	0.42	0.80	449	483	394	0.77	0.87	0.81	1.00					
45	22	No.1	75	1600	2450	84	250	250	1524	378	370	0.57	0.57	0	1155	B	120	1028	1148	0.48	1	1621	1970	1794	1.01	0.71	0.59	0.64					
46	22	No.3	75	1600	2450	83	250	250	3444	393	370	0.57	0.57	0	2082	BS	120	2213	2333	0.48	0.87	1900	2319	1791	0.89	1.10	0.90	1.16					
47	23	FW5-0.0000	50	1500	1600	30	200	200	762	337	380	0.64	0.64	392	510	S	62	477	539	0.34	0.63	487	514	477	0.95	1.05	0.99	1.07					
48	24	No.1	70	1150	1750	39	220	220																									

面積を加えて算出した等価横筋比により計算した。加力位置が多層の試験体は、外力の等価高さ h の単層試験体として計算した。コンクリートの有効係数 ν は、 $\sigma_B \leq$

60N/mm^2 では靱性指針 ($\nu=0.7-\sigma_B/200$) に従い、 $\sigma_B > 60\text{N/mm}^2$ では CEB 式⁴⁾ ($\nu=1.7\sigma_B^{-1/3}$) による値を用いた。

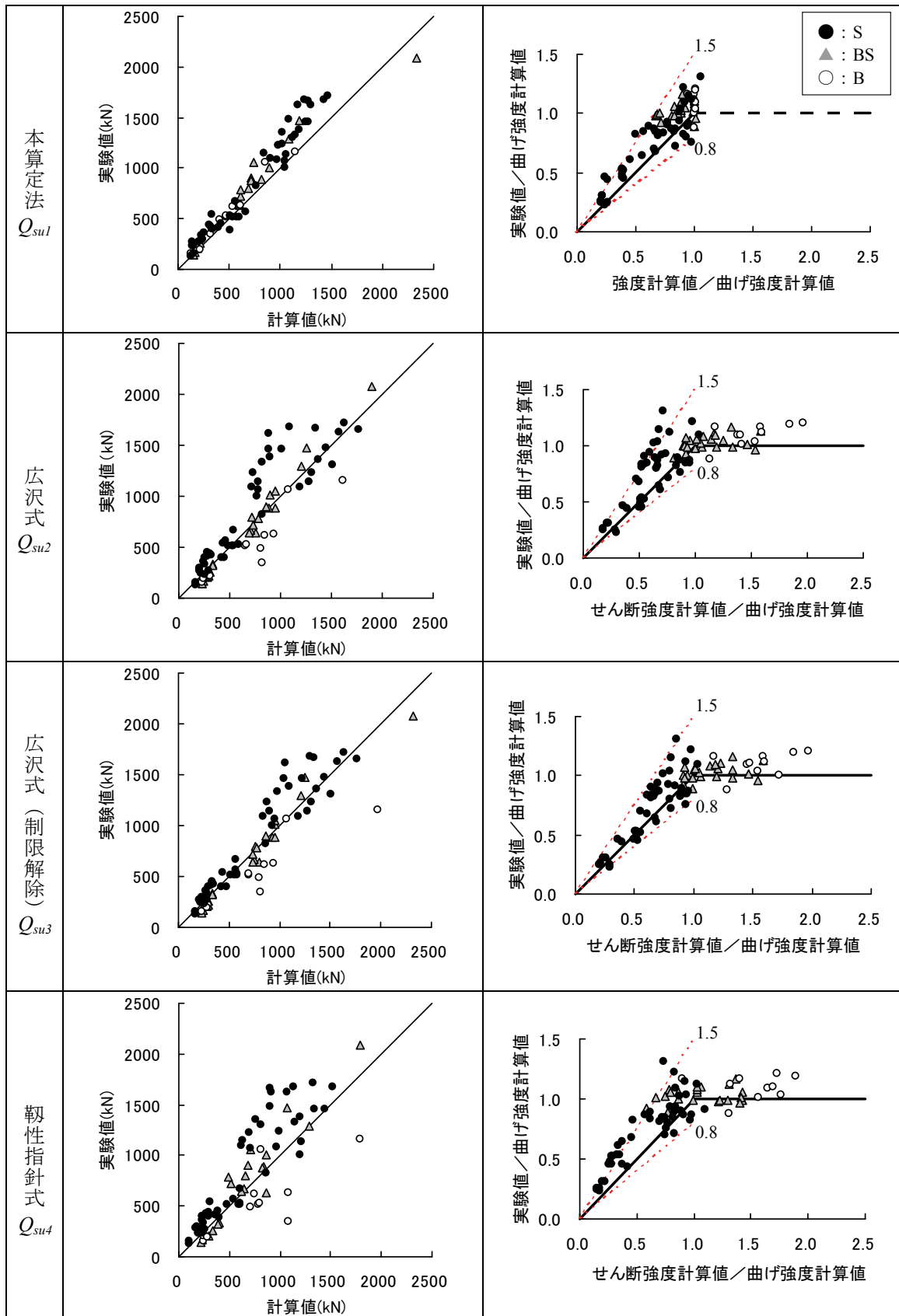


図-4 終局強度の実験値と計算値の比較

3.2 計算結果と考察

表-1 に計算結果の一覧を併記し、図-4 に終局強度の実験値と計算値の関係ならびに曲げ強度計算値(式(5)相当のせん断力)で基準化した同関係を示す。 Q_{su1} は本算定法による計算値であり、 Q_{su2} は広沢式($1 \leq M/QD$ (せん断スパン比) ≤ 3)による計算値、 Q_{su3} は広沢式の M/QD の制限を解除した場合の計算値、 Q_{su4} は靱性指針式による計算値である。実験時の破壊形式をせん断破壊(表-1の記号S、図-4の●印)、柱主筋降伏後のせん断破壊(BS、▲)および曲げ破壊(B、○)に分類した。

本算定法は曲げ破壊からせん断破壊までの統一された強度算定法となっているため、計算値と実験値の対応状況は破壊形式に関わらず同様である。全試験体の計算値に対する実験値の比率は0.77~1.90(平均値1.18, 変動係数0.16)となっている。本算定法以外では曲げ強度計算値との比較から終局強度を求めることを考慮し、図-4右図の横軸のせん断強度計算値/曲げ強度計算値が1以上となる試験体(表-1の網掛欄)を除外し、計算値に対する実験値の比率を計算すると、広沢式では0.69~1.83(平均値1.18, 変動係数0.24)、 M/QD の制限を解除した広沢式では0.78~1.53(平均値1.11, 変動係数0.16)、靱性指針式では0.85~1.83(平均値1.33, 変動係数0.21)となっている。いずれの算定法においても計算値は実験値を概ね安全側に評価しているが、図-4に見られるように本算定法は計算値のばらつきが小さくなっている。

図-5に、本算定法による強度時の横筋の応力度比 σ_{sh}/σ_{sy} と、縦筋の降伏範囲を表すアーチ機構の積算長さ比 x_d/l_w を示す。実験でせん断破壊を示した試験体(●)を見ると、せん断強度が柱主筋のみで算定された $x_d/l_w=0$ の試験体のほか、 $x_d/l_w=0.08\sim 0.81$ の壁縦筋も考慮された試験体がある。また、実験で曲げ破壊と判断された試験体(○)を見ると、1体を除いて $x_d/l_w=1.0$ となり、全縦筋が降伏するものとして曲げ強度が算定されている。

横筋の応力度比 σ_{sh}/σ_{sy} を見ると、せん断破壊を示した試験体においても横筋は未降伏($\sigma_{sh}/\sigma_{sy} < 1$)として強度 Q_{su1} が算定されたものが多く、 Q_{su1} に占める割合は表-1に示すようにトラス機構分 Q_t に比べてアーチ機構分 Q_a がかなり大きくなった。これは、I形断面耐震壁の横筋の応力度分布を、壁板の場合と同様に端部を0として中央部に向かって大きくなる分布形状に仮定しているために、トラス機構分 Q_t における柱主筋の寄与分が小さく評価されたためと考えられる。

4. むすび

本論文では、I形断面耐震壁における柱主筋を壁縦筋と同様に扱い、縦筋が考慮されたトラスアーチ機構に基づく壁板強度算定法^{1),2)}を準用してI形断面耐震壁の強

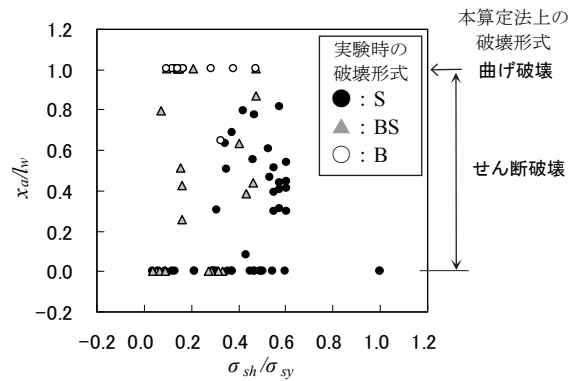


図-5 本算定法による横筋の応力度比とアーチ機構の積算長さ比

度を算出し、本算定法の適用可能性を検討した。既往の実験資料^{6)~36)}と比較した結果、本算定法による強度計算値(せん断強度あるいは曲げ強度)は、広沢式や靱性指針式による計算値と同程度に実験値を概ね安全側に評価し、計算値のばらつきは小さかった。なお、本算定法の計算結果は横筋の応力度分布の仮定に依存するため、今後はI形断面耐震壁のせん断強度時の横筋の応力度に関する実験資料を多く収集し、適切な応力度分布の設定を行えば、強度および壁板内の応力状態に関してさらに良い対応が得られるものと期待される。

参考文献

- 1) 荒井康幸, 溝口光男, 小坂英之, 山中久幸: 軸力と曲げ戻しモーメントの作用する鉄筋コンクリート壁板の強度算定法, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.2, pp.427~432, 2009
- 2) 小坂英之, 溝口光男, 荒井康幸: 鉄筋コンクリート連層壁板の強度算定法, 日本建築学会構造系論文集, 第79巻, 第695号, pp.129~136, 2014.1
- 3) 建築物の構造関係技術基準解説書編集委員会: 2007年版建築物の構造関係技術基準解説書, 2007
- 4) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, 1999
- 5) 浅見祐一, 兼平雄吉, 小野里憲一: せん断破壊するRC耐震壁の壁筋と壁面のひずみ分布, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C, pp.377-378, 2008
- 6) 小野 新ほか: 鉄筋コンクリート造耐震壁の耐震性能に関する総合研究(その7) 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造系), pp.1601-1602, 1976
- 7) 深田泰夫: 鉄筋コンクリート造耐震壁の動的破壊実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造系), pp.1521-1522, 1979
- 8) 小野 新ほか: 鉄筋コンクリート造耐震壁の耐震性能に関する総合研究(その16), 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造系), pp.1631-1632, 1977

- 9) 遠藤利根穂, 斉藤完治: 鉄筋コンクリート造耐震壁の耐震性能に関する総合研究(その17), 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造系), pp.1633-1634, 1977
- 10) 佐藤稔雄ほか: 鉄筋コンクリート造耐震壁の弾塑性性状に関する研究(その3), 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造系), pp.1609-1610, 1978
- 11) 佐藤稔雄ほか: 鉄筋コンクリート造耐震壁の弾塑性性状に関する実験研究(その1), 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造系), pp.1645-1646, 1977
- 12) 佐藤稔雄ほか: 鉄筋コンクリート造耐震壁の弾塑性性状に関する研究(その9), 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造系), pp.1623-1624, 1980
- 13) 金本清臣, 松本和行, 壁谷澤寿海: 高強度材料を用いた曲げ降伏型鉄筋コンクリート耐震壁の復元力特性(その1, その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C, pp.607-610, 1990
- 14) 五味 学, 壁谷澤寿海, 倉本 洋, 松本和行: 高強度鉄筋コンクリート耐震壁の曲げ性能に関する実験(その1, その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C, pp.341-344, 1992
- 15) 柳沢延房, 上出美智雄ほか: 高強度材料を用いた鉄筋コンクリート耐震壁のせん断性能(その1, その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C, pp.347-350, 1992
- 16) 坂本 亨, 溝口光男, 荒井康幸: 引張軸力を受ける鉄筋コンクリート耐震壁のせん断破壊性状に関する実験的研究(その1, その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.511-514, 2002
- 17) 小野正行, 徳広育夫: 開口壁の水平耐力の評価に関する研究, コンクリート工学論文集, Vol.7, No.2, pp.53-64, 1996
- 18) 精木紀男, 藤本一郎, 小池孝平, 渡辺修二: 有開口鉄筋コンクリート耐震壁の変形と耐力について, 日本建築学会論文報告集, 第293号, pp.69-82, 1980.7
- 19) 佐藤稔雄ほか: 鉄筋コンクリート造耐震壁の弾塑性性状に関する研究(その12), 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造系), pp.1601-1602, 1981
- 20) 東 洋一ほか: RC建物の耐震補強法に関する実験的研究(その6), 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造系), pp.1347-1348, 1979
- 21) 徳広育夫, 小野正行: 各種形状の開口を有する鉄筋コンクリート造有開口耐震壁の弾塑性性状に関する実験的研究(その1, その2) 日本建築学会大会学術講演梗概集 C, pp.265-268, 1986
- 22) 熊谷仁志ほか: 高強度コンクリートを用いた RC 耐震壁の構造特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C, pp.611-612, 1990
- 23) 西山 拓, 小野正行: 開口周比 0.4 以上の開口壁に関する実験的研究(その1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.147-148, 1995
- 24) 田野健治, 小坂英之, 松井幸一郎: 耐震壁のひび割れ誘発目地材に関する検討(その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.485-486, 2009
- 25) 青山博之, 加藤大介, 勝俣英雄: 増設 RC 耐震壁の耐力と変形態の評価に関する実験的研究(その1, その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造系), pp.1407-1410, 1982
- 26) 前田安治ほか: 建屋の復元力特性に関する研究(その62, その63), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C, pp.1123-1126, 1986
- 27) 小野 新ほか: 鉄筋コンクリート造耐震壁の耐震性能に関する総合的研究(その4), 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造系), pp.1179-1180, 1975
- 28) 片桐 徹, 望月 洵, 小野里憲一: 背高な連層耐震壁の強度と変形, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C, pp.579-580, 1990
- 29) 斎藤文孝, 倉本 洋, 南 宏一: 高強度コンクリートを用いて耐震壁のせん断破壊性状に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C, pp.605-606, 1990
- 30) 白石一郎, 中村善郎, 狩野芳一: 鉄筋コンクリート造耐震壁の最大耐力への壁筋の効果, 日本建築学会構造系論文報告集, 第392号, pp.34-45, 1988.10
- 31) 平石久廣, 川島俊一: 鉄筋コンクリート造耐震壁の曲げ降伏以降の変形性状に関する実験的研究(その1, その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造系), pp.1941-1944, 1984
- 32) 小野 新, 安達 洋, 中西三和: 鉄筋コンクリート造耐震壁の弾塑性性状に関する研究(その8), 日本建築学会 関東支部研究報告集, pp.121-124, 1979
- 33) 長嶋俊雄, 麻生直木, 菅野俊介: 高強度コンクリート(Fc600)を用いた耐震壁の力学性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.15, No.2, pp.1155-1160, 1993
- 34) 菅野俊介, 長嶋俊雄, 木村秀樹: 高強度コンクリート耐震壁の強度と変形性能に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C, pp.437-438, 1991
- 35) 加藤大介, 村上幸靖: 鉄筋コンクリート造有開口壁のせん断補強法およびせん断耐力評価に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.11, No.2, pp.573-578, 1989
- 36) 壁谷澤寿海, 木村 匠: 鉄筋コンクリート耐震壁の開口による終局強度低減率, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.11, No.2, pp.585-590, 1989