

論文

[2202] 有開口連層耐震壁のマクロモデルによる弾塑性解析

竹原雅夫*1・望月 洵*2・小野里憲—*3・赤塚孝行*4

1. はじめに

筆者らは、さきに有開口連層耐震壁（以下、有開口壁という）についてマクロモデルによる極限解析を行い、その強度の評価を試みた[1]。解析結果は、限定されたパラメータをもつものではあるが、32体の試験体の実験値を的確に捉えていた。一方、有開口壁の弾塑性解析については、マクロモデルによる方法も、マイクロモデルによる有限要素法も有効な結果を得ていないのが現状である。本研究は、有開口壁について、さきのマクロモデルのうち、側柱を剛体要素とバネに置換し、さらに構成部材の構成則を導入して弾塑性解析を試みたものである。ここでは頁数の関係で最大強度の評価についてのみ報告する。

2. 弾塑性解析のためのマクロモデル

有開口壁を上梁位置に曲げモーメント、せん断力、および軸力をうける単独有開口壁に置換して扱う。図1に有開口壁のマクロモデルを示す。マクロモデルは、壁板に斜め亀裂が十分に生じた状態を対象とし、上・下梁、側柱、コンクリートの圧縮ストラット、および縦・横の引張補強筋より構成される。圧縮ストラットの傾斜角 θ は極限解析で得られた圧縮ストラットの傾斜角とする。また、開口をよぎる圧縮ストラットと縦・横の引張補強筋は除去する。マクロモデルを構成する部材は次の性質をもつ（図2）。

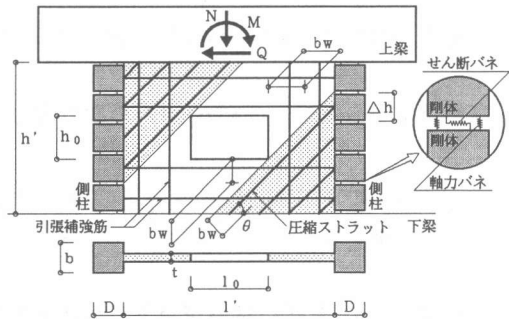
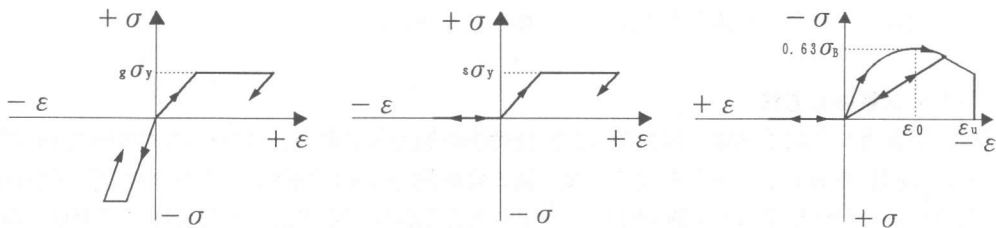


図-1 マクロモデル



a) 軸力バネ

b) 引張補強筋

c) 圧縮ストラット

図-2 構成則

*1 東京建築専門学校、工修（正会員）
 *2 工学院大学教授 工学部建築学科、工博（正会員）
 *3 O. R. S事務所、工修（正会員）
 *4 工学院大学大学院 工学研究科建築学専攻

- a) 上・下梁は剛体で破壊しない。
 b) 側柱は、剛体要素、弾塑性軸力バネとせん断バネに置換される。軸力バネは、片側主筋中心位置にあり、その強度と剛性は次の式で表される。

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{引張域：} \\
 \text{強度 } cN_{nt} = ag \cdot g \sigma_y / 2, \quad \text{剛性 } cK_{nt} = Es \cdot ag / (2\Delta h) \\
 \text{圧縮域：} \\
 \text{強度 } cN_{nc} = (ag \cdot g \sigma_y + b \cdot D \cdot \sigma_B) / 2, \quad \text{剛性 } cK_{nc} = (Es \cdot ag + Ec \cdot b \cdot D) / (2\Delta h)
 \end{array} \right\} (1)$$

せん断バネの剛性は次の式で表される。

$$cK_s = G \cdot b \cdot D \cdot cK_n / (\Delta h \cdot cK_{nc}) \quad (2)$$

ここで、 cK_n/cK_{nc} は剛性の低減係数で、 cK_n は二つの軸力バネの同一時刻における剛性の平均である。これは水平亀裂の進展を考慮したものである。

- c) 縦・横の引張補強筋は分割幅 b_w の壁補強筋を置換し、その強度と剛性は次の式で表される。

$$\text{強度 } bN_t = Ps \cdot s_y \cdot b_w \cdot t, \quad \text{剛性 } bK_n = Ps \cdot Es \cdot b_w \cdot t / L \quad (3)$$

- d) 圧縮ストラットは、Popovics[2]の次の応力-ひずみ関係にしたがう。

$$\sigma = \frac{n \cdot \xi}{n-1+\xi^n} \cdot \sigma_B', \quad \text{ただし、} \quad \sigma_B' = 0.63 \sigma_B, \quad n = 0.57 \cdot 10^{-2} \cdot \sigma_B' + 1 \quad (4) \\
 \xi = \varepsilon / \varepsilon_0, \quad \varepsilon_0 = 4.29 \cdot 10^{-4} \cdot \sigma_B'^{0.25}$$

ここで、 σ_B' は平行な亀裂が生じたコンクリート壁板の有効圧縮強度で、その係数0.63は筆者らの無開口壁の実験から提案されたものである[3]。式(4)の歪限界は $\varepsilon_u = 0.003$ としている。これは、 ε_u をパラメータとする無開口壁の弾塑性解析[4]によって、包絡線の実験値と解析値が最もよく適合する値として選定されたものである。

3. 解析の試験体と方法

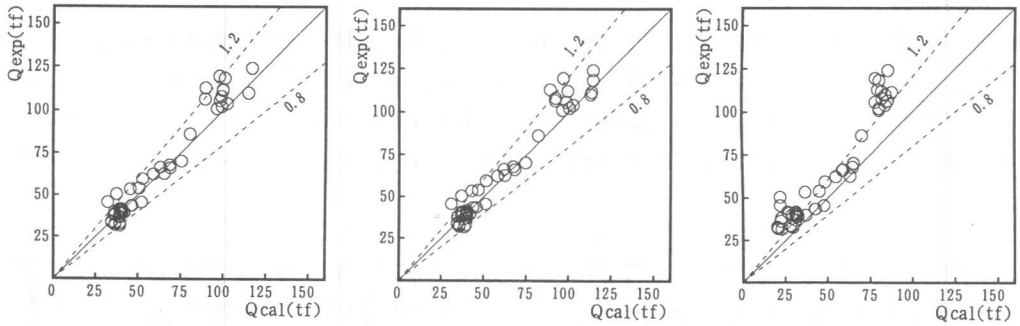
解析の対象とした試験体は、学会編：靱性設計小委員会報告書[5]に掲載された単独有開口壁55体のうち柱型をもち、単一中央開口、縦・横の壁補強筋のもの40体、および文献[1]の偏在開口を含む10体の合計50体である。試験体は、いずれも上梁位置に水平力、必要に応じて定軸力をうけるもので、最大強度は壁板の破壊で限界づけられている。試験体No. 20～33は上梁の定着筋がすべて柱の中にもみ込まれている。このため、側柱上端部の軸力バネの算定には、外側定着筋と柱全主筋の和の半分を片側主筋として扱った。試験体No. 39～47は、開口の左右袖壁にX型補強筋をもっている。モデルは、X型補強筋を考慮していないため、解析の際これを省略し、得られた最大強度にX型補強筋の全降伏強度の水平成分を加えて、試験体の最大強度とした。解析法は層間変形角の増分 $\Delta R = 0.5 \times 10^{-3} \text{ rad}$ の変位増分解析とし、側柱の分割数は5、および圧縮ストラットの分割幅は10cm程度とした。

4. 解析結果

表1に、最大強度の実験値 Q_{exp} 、解析値 $Q_{cal I}$ 、および実験値／解析値を示す。参考値として筆者らのマクロモデルによる極限解析値 $Q_{cal II}$ と文献[5]の評価式案による計算値 $Q_{cal III}$ を示す。適用にあたって、側柱の軸力は評価式案のせん断力に相応する値を反復計算で求めた。また、評価式案の最大強度と有開口壁下端の全塑性曲げモーメントに相応するせん断力のうち、小さい

表-1 解析結果

NO.	試験体名	Q_{exp} (tf)	$Q_{cal I}$ (tf)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{cal I}}$	$Q_{cal II}$ (tf)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{cal II}}$	$Q_{cal III}$ (tf)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{cal III}}$
1	M-I -10-20-0	41.8	39.4	1.06	39.9	1.05	26.3	1.59
2	M-I -10-20-0	33.0	39.0	0.85	39.4	0.84	29.5	1.12
3	M-I -15-30-0	37.0	39.0	0.95	39.9	0.93	31.3	1.18
4	M-I -15-30-0	39.0	39.0	1.00	39.9	0.98	31.3	1.25
5	M-I -20-40-0	34.0	34.6	0.98	34.6	0.98	28.0	1.21
6	M-I -20-40-0	33.5	34.6	0.97	34.6	0.97	28.0	1.20
7	M-II -15-30-9	39.4	40.1	0.98	40.2	0.98	31.3	1.26
8	M-II -15-30-9	40.3	40.4	1.00	40.4	1.00	31.7	1.27
9	M-II -15-30-13	40.1	36.3	1.10	36.7	1.09	28.9	1.39
10	M-II -15-30-13	38.0	36.5	1.04	36.9	1.03	29.1	1.31
11	M-II -15-30-2.13	40.9	39.6	1.03	39.6	1.03	30.9	1.32
12	M-II -15-30-2.13	41.9	39.8	1.05	39.9	1.05	31.3	1.34
13	M-II -15-30-PL	39.6	41.7	0.95	41.8	0.95	32.2	1.23
14	M-II -15-30-PL	39.1	41.9	0.93	42.1	0.93	32.6	1.20
15	M-III -15-30-9	32.9	36.4	0.90	35.5	0.93	20.4	1.61
16	M-III -15-30-9	32.0	36.6	0.87	35.8	0.89	20.9	1.53
17	M-III -15-30-2.13	36.4	39.0	0.93	38.4	0.95	22.4	1.63
18	M-III -15-30-2.13	31.8	39.4	0.81	38.5	0.83	22.7	1.40
19	SSC-3C	106.6	89.1	1.20	91.6	1.16	85.7	1.24
20	SSC-2	110.0	114.4	0.96	112.7	0.98	84.3	1.30
21	SSC-3	105.7	97.8	1.08	98.2	1.08	78.0	1.36
22	SSC-3M	112.0	99.6	1.12	99.0	1.13	81.9	1.37
23	SSC-3N	103.8	102.2	1.02	102.3	1.01	84.3	1.23
24	NO.1	112.9	89.3	1.26	88.9	1.27	79.7	1.42
25	NO.2	102.3	98.9	1.03	100.1	1.02	80.3	1.27
26	NO.3	101.2	96.0	1.05	96.2	1.05	80.3	1.26
27	SSL-3	119.6	97.3	1.23	96.7	1.24	78.0	1.53
28	SSE-3 (R)	108.0	98.7	1.09	91.9	1.18	82.2	1.31
29	SSE-3 (L)	124.4	116.5	1.07	114.3	1.09	85.6	1.45
30	SSC-4	86.5	80.4	1.08	82.0	1.05	70.4	1.23
31	RSC-3	118.3	100.6	1.18	114.2	1.04	80.4	1.47
32	RSC-3C	111.3	99.5	1.12	113.4	0.98	87.9	1.27
33	OPEN	41.1	40.8	1.01	37.4	1.10	27.2	1.51
34	K12	38.0	36.0	1.06	34.8	1.09	22.6	1.68
35	K15	50.6	37.4	1.35	37.2	1.36	22.0	2.30
36	K16	45.7	32.1	1.42	31.2	1.46	22.0	2.08
37	WO-A	39.9	40.8	0.98	40.2	0.99	36.9	1.08
38	WO4AX-0	59.4	52.8	1.13	51.7	1.15	48.7	1.22
39	WO4AX-1	62.3	59.2	1.05	58.1	1.07	55.1	1.13
40	WO4AX-2	66.5	63.1	1.05	62.1	1.07	59.3	1.12
41	WO4AX-3	67.9	68.5	0.99	67.5	1.01	64.7	1.05
42	WO3AX-1	66.2	68.9	0.96	68.1	0.97	58.6	1.13
43	WO3AX-2	70.2	75.5	0.93	74.7	0.94	65.2	1.08
44	WO-8X6	43.6	46.6	0.94	45.9	0.95	42.7	1.02
45	WO-8X10	45.7	52.0	0.88	51.3	0.89	47.8	0.96
46	WO-A8X6	43.6	46.2	0.94	43.8	1.00	42.6	1.02
47	WO-12X13	62.8	65.4	0.96	62.4	1.01	63.4	0.99
48	WO-A2	53.5	45.4	1.18	43.3	1.24	36.8	1.45
49	WOE-A (R)	54.1	50.7	1.07	47.0	1.15	45.1	1.20
50	WOE-A (L)	70.0	64.1	1.09	55.4	1.26	45.0	1.56
	平均値			1.04		1.05		1.33
	標準偏差			0.12		0.13		0.25
	変動係数			0.11		0.12		0.19



a) Q cal I と実験値の関係 b) Q cal II と実験値の関係 c) Q cal III と実験値の関係

図-3 解析値と実験値の関係

ほうの値をQ cal IIIとした。図3にこれらの解析値と実験値との関係を示す。Q cal IとQ cal IIはほぼ同じ値であるが、これは基本的には同じ抵抗機構のモデルによることに起因している。上の結果は、筆者らのマクロモデルが有開口壁の弾塑性解析のモデルとして、特に、最大強度の評価に対し妥当であることを示している。

5. 結び

本研究では、有開口連層耐震壁のマクロモデルを設定し、弾塑性解析を試みた。その結果は、強度の解析値が筆者らのマクロモデルによる極限解析値と同じ程度の精度で実験値を捉えていることを示した。

【記号】

ag : 側柱の全主筋断面積	E_c : コンクリートのヤング係数	P_s : 壁補強筋比
b・D : 側柱の断面積	G : コンクリートのせん断弾性係数	$g\sigma_y$: 側柱主筋の降伏強度
bw : 壁板の分割幅	L : 壁板の内法長さ (l'またはh')	$s\sigma_y$: 壁補強筋の降伏強度
E_s : 鉄筋のヤング係数	σ_B : コンクリートの圧縮強度	

参考文献

- 1) 望月 洵・竹原雅夫・小野里憲一：マクロモデルによる有開口耐震壁の最大強度の解析、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.12、No.2、pp.569-574、1990
- 2) S.Popovics:Factors Affecting the Elastic Deformations of Concrete.Proc. of the International Conference on Materials, Kyoto,1971, Vol. IV, pp.172
- 3) 望月 洵・竹原雅夫・小野里憲一：強剛な付帯フレームをもつ耐震壁のスリップ破壊せん断強度、日本建築学会構造系論文報告集、No.416、pp.79-89、1990・10
- 4) 小野里憲一・望月 洵：マクロモデルによる単独耐震壁の弾塑性解析、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.12、No.2、pp.575-580、1990
- 5) 日本建築学会：靱性設計小委員会報告書、pp.123-153、1992