

鉄筋コンクリート構造物の離散化極限解析(その3)

——せん断壁の解析——

Discrete Limit Analysis of Reinforced Concrete Structures (III)
—— Analysis of Shear Wall ——

川井忠彦*・毛井崇博**・竹内則雄*
渡辺正明*・上田真稔**・樋口晴紀***
Tadahiko KAWAI, Takahiro KEI, Norio TAKEUCHI
Masaaki WATANABE, Masatoshi UEDA and Haruki HIGUCHI

1. ま え が き

柱型のない鉄筋コンクリートせん断壁の試験体を解析した。まず最初に、せん断スパン比(M/QD)=1.0の試験体について解析し若干のパラメトリックスタディを行った。次にM/QD=0.62の試験体を解析した。

せん断ひび割れ角度を考慮した要素分割法の違いによる崩壊パターンや諸強度等について考察を加えた。

2. せん断スパン比1.0の壁

2.1 解析試験体

解析の対象とした試験体は、壁式構造の構造特性を調べるために行った独立壁(解析例A-20)である¹⁾。試験体の配筋形状を図-1に示す。一定軸力下($\sigma_0=20\text{kg/cm}^2$)のもとで、水平力の多数回繰返し実験を行っている。最終破壊は、曲げ降伏の近傍で主として脚部の圧縮部分が壊れるせん断圧縮破壊型である。

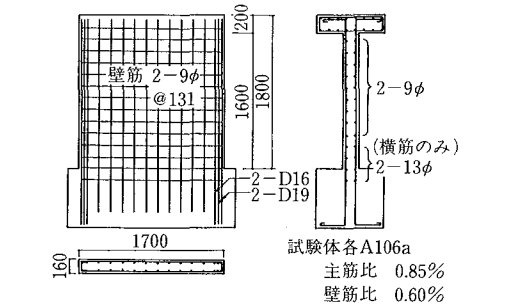
2.2 実験と解析の比較

実験と解析で得られた荷重-変形曲線を、図-2に示す。実験では、曲げひび割れ発生荷重30t、せん断ひび割れ発生荷重40t、最大強度89tであるのに対して、解析では、

それぞれ40t、50t、90tと良く合っている。実験では、多数回水平繰返しを行っているためか解析のほうが剛性は若干高めである。水平せん断力 $P=50\text{t}$ 時と、最大耐力時の実験で得られたひび割れ図および解析で得られた破壊状況を図-3と図-4に示す。解析では、最終破壊は、コンクリートの脚部の圧縮破壊であり、そのときの変形モードを図-5に示す。ひび割れ荷重のみならずひび割れ状況、最終破壊状況も実験と良く合っている。

2.3 パラメトリックスタディ

前記試験体をモデルとして、軸力のない場合と曲げ主筋を2倍にした場合についてパラメトリックスタディを



$F_c=210\text{ kg/cm}^2$ 壁筋 $f_y=4150\text{ kg/cm}^2$ $E_c=2.1 \times 10^5\text{ kg/cm}^2$
 $F_t=19.0\text{ kg/cm}^2$ 主筋 $f_y=3850\text{ kg/cm}^2$ $E_s=2.1 \times 10^6\text{ kg/cm}^2$

図-1 試験体配筋図

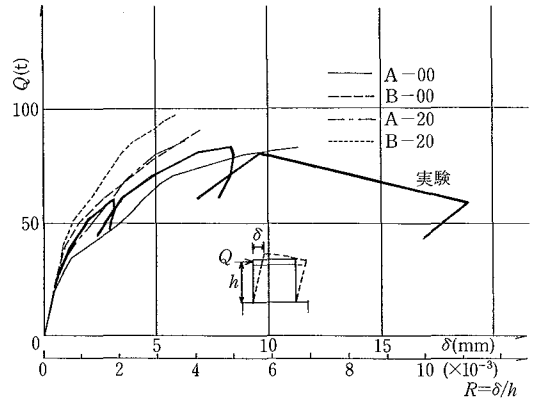


図-2 荷重-変形曲線

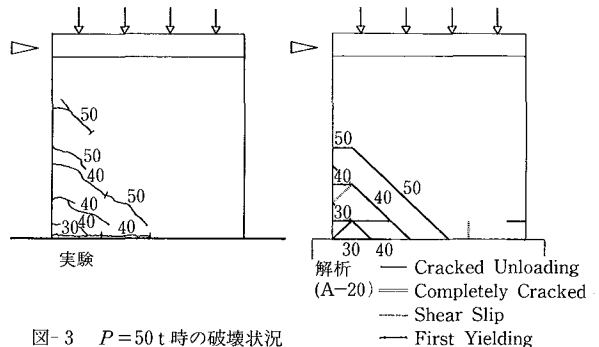


図-3 $P=50\text{t}$ 時の破壊状況

* 東京大学生産技術研究所 第2部
** 榊竹中工務店 技術研究所
*** 榊安部工業所

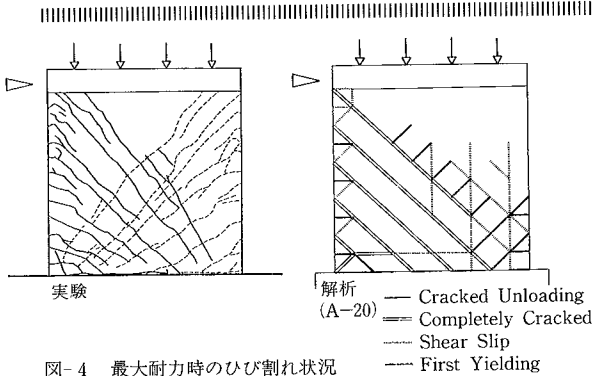


図-4 最大耐力時のひび割れ状況

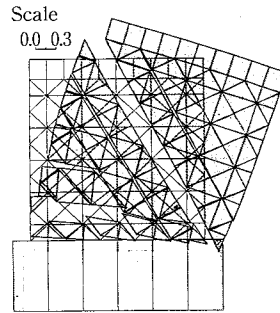


図-5 変形モード (A-20)

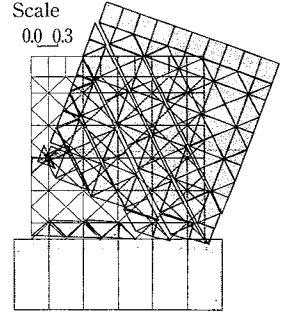


図-6 変形モード (A-00)

表-1 解析結果

解析例	変動因子		解析結果	
	P_g (%)	σ_0 (kg/cm ²)	Q_{max} (t)	最終破壊
A-20	0.57	20.0	90.0	圧縮破壊
A-00	0.57	0.0	77.5	引張主筋降伏
B-20	1.14	20.0	97.5	せん断破壊
B-00	1.14	0.0	85.0	せん断破壊

行った。それらの解析例を表-1に示す。解析例 A-20 を基本とし、軸力のない場合の解析例 A-00 と、せん断型の破壊モードを調べるために、曲げ主筋を2倍にし、軸力載荷をした解析例 B-20 と軸力のない解析例 B-00 である。それらの解析例で得られた荷重-変形曲線を図-2に示す。各解析例共に、既往の曲げ耐力とせん断耐力算定値から推測される破壊モードおよび耐力とも良く合っていた。曲げ破壊した A-00 とせん断破壊した B-20 の変形モードと破壊モードを図-6、図-7に示す。これらの変形モードからも、視覚的に最終破壊状況をとらえることができる。また、A-00 は、引張脚部に大きな(“完全な”)曲げひび割れが発生している。A-20 と B-20 は、およその破壊モードは同じであるが、A-20 が、引張脚部に完全にひび割れが一様に発生しているのに対し、B-20 は、45度斜め方向に全面的に圧縮1次降伏し、圧縮脚部でコンクリートがせん断破壊している。

壁板中央と上下はり端近傍の壁のコンクリートのせん断応力 σ_c 分布と鉛直軸応力 σ_n 分布を A-20 の場合について図-8に示す。弾性時の最大せん断応力 τ_{max} と τ の比は、壁板の中央で1.35~1.40で、弾性論に比べてやや低い。比較的小さい分割要素であることを考慮すれば、十分満足できる値である。圧縮脚部のせん断応力は、水平せん断力の増大と共に増大し、軸力のある場合 τ_{max}/τ は約2.0、軸力のない場合は約2.6~2.9となり軸力のない場合のほうが大きな応力集中を起こす。最終的には圧縮脚部の σ_n は0.7~0.8 F_c の高応力となっている。 σ_c 分

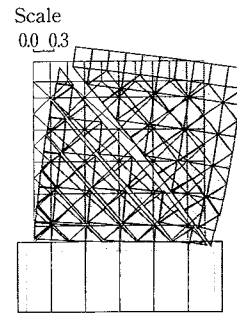


図-7.1 変形モード (B-20)

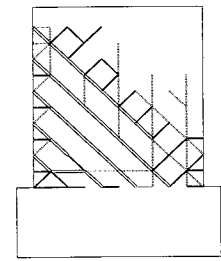


図-7.2 破壊モード (B-20)

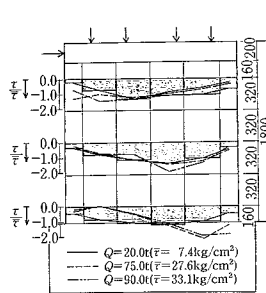


図-8.1 せん断応力分布 (A-20)

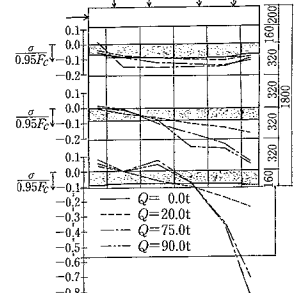


図-8.2 軸応力分布 (A-20)

布と σ_n 分布からわかるように、水平加力点から圧縮脚部にかけて圧縮力が流れ、水平加力点から圧縮脚部にかけてせん断応力と軸応力が大きくなっている。

3. せん断スパン比0.62の壁

3.1 解析試験体

解析の対象とした試験体は、多数の小開口を持つ耐震壁の強度と変形を調べる一連の実験の中で、比較のために行った無開口耐震壁である²⁾。

試験体の断面形状および配筋を図-9に示す。水平加力は、2台のジャッキにより、加力ばり両端の押し引きにより半分づつ載荷し、多数回繰り返して実験を行っている。

研究速報

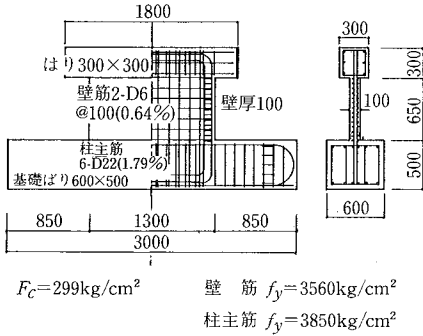


図-9 試験体断面性状

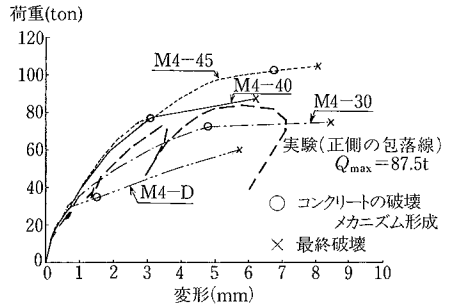


図-10 荷重-変形曲線

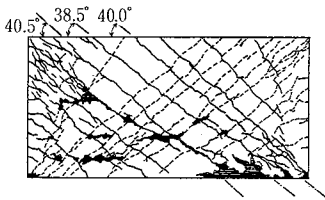


図-11 最終破壊状況(実験)

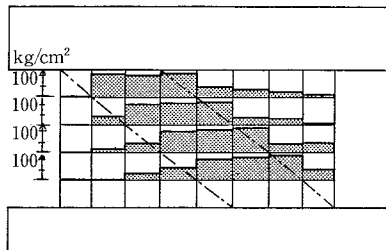


図-13 せん断応力分布(M4-40)

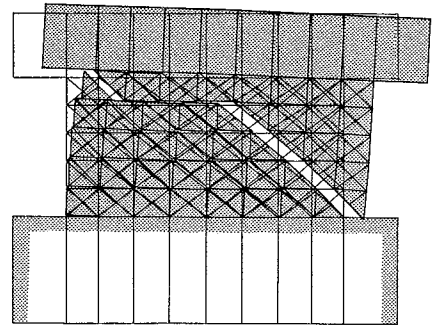


図-12 最終変形モード(M4-40)

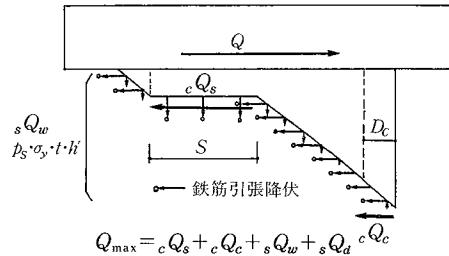


図-14 破壊ライン上の鉄筋の応力状態と水平方向の力の釣り合い

最終破壊は、壁板脚部でのすべり破壊である。

3.2 要素分割法

極限解析法としてのRBSM法の特徴を利用するために、4種類の要素分割法によって鉄筋コンクリート壁を解析した。ひび割れ角度を45°とし、そのひび割れにそって最終崩壊メカニズムに達すると考えたときの分割法“M4-45”，ひび割れ状況に無関係に引張柱頭部から圧縮柱脚部にかけて対角に破壊ラインが形成されると考えたときの分割法“M4-D”(ひび割れ角度27.5°)，実験で得られたひび割れ角度約38°~41°に近似させた分割法“M4-40”(38.4°)および、それらの中間の角度を持たせた“M4-30”(29.5°)の4種類である。

3.3 実験と解析の比較

図-10に実験および解析で得られた荷重-変形曲線を示す。実験で得られたひび割れ角度に最も近い要素分割法であるM4-40が、やはり、最大強度および荷重-変形曲線共に最も良い近似を示している。

実験で得られた最終破壊状況を図-11に示す。解析例M4-40の最大強度近傍の変形モードを図-12に示す。また、コンクリートのせん断応力分布を図-13に示す。図-12より、引張柱頭部および圧縮柱脚部より伸びたひび割れ間(区間S)のコンクリートが限界せん断ひずみ γ_u に達してせん断破壊し、実験と同様にすべり破壊していることが良くわかる。このように、区間S内のコンクリートがすべてせん断破壊したときをコンクリートの破壊メカニズム形成時と呼ぶ。

実験では壁の脚部ですべり破壊しているのに対し、解析では壁の上部ですべり破壊している。コンクリートの応力分布からわかるように、区間S内のせん断応力と圧縮応力は壁の高さ位置にかかわらずほぼ等しいので、ど

の位置ですべり破壊してもおかしくはない、実験では、正負繰り返し載荷しているために、負側のひび割れのために脚部ですべったものと思われる。破壊ライン上のコンクリートと鉄筋の応力状態を示したのが図-14である。壁横筋はすべて降伏しているのに対し、縦筋は区間S内で降伏し、他の縦筋や柱筋は弾性範囲に止まっている。

破壊ライン上での水平方向の力の釣り合いをたてると以下ようになる。

$$Q_{max} = {}_cQ_s + {}_cQ_c + {}_sQ_w + {}_sQ_d \quad (1)$$

ただし、 ${}_cQ_s$: 区間S内でコンクリートが負担するせん断力

${}_cQ_c$: 圧縮柱のコンクリートが負担するせん断力

${}_sQ_w$: 壁横筋が負担するせん断力
 $(= P_s \cdot \sigma_y \cdot t \cdot h')$

${}_sQ_d$: 柱主筋、壁縦筋のダボ作用による負担せん断力

3.4 解析結果の検討

解析例M4-45, M4-30, M4-Dのコンクリートの破壊メカニズム形成時のコンクリートと鉄筋の負担せん断力を表-2に示す。コンクリートの破壊メカニズム形成後は、コンクリートの負担せん断力の増分は無く、鉄筋のダボ作用による負担せん断力の増分のみである。特に、解析例M4-Dのような対角線の破壊ラインでは、コンクリート破壊メカニズム形成時には ${}_sQ_d$ は約7t(全荷重比20%)であるが、柱断面面積比で15.5%と大きな鉄筋比のために、最大せん断強度時には約32t(53%)ほどにもなっている(図-10参照)。 ${}_cQ_c$ は耐力に及ぼす影響は比較的小さいので ${}_cQ_c$ を ${}_cQ_s$ に含めて、区間Sで平均したせん断応力 $\tau = ({}_cQ_s + {}_cQ_c) / t \cdot s$ を求めると約7.0F_c(120kg/cm²)である。

表-2 コンクリート破壊メカニズム発生時の負担せん断力

解 析 例	M4-45	M4-40	M4-30	M4-D
${}_cQ_s(t)$	81.9	54.5	31.8	—
${}_cQ_c(t)$	0.0	3.2	7.6	11.8
${}_sQ_w(t)$	16.0	16.0	13.7	16.0
${}_sQ_d(t)$	4.6	3.8	19.4	7.2
ΣQ	102.5	77.5	72.5	35.0
$[\tau]$	【126】	【115】	【118】	—
Q_{max}	105.0	87.5	75.0	60.0

※1 $\Sigma Q = {}_cQ_s + {}_cQ_c + {}_sQ_w + {}_sQ_d$

; コンクリート破壊メカニズム発生時のせん断力

※2 $\tau = ({}_cQ_s + {}_cQ_c) / t \cdot s$

※3 Q_{max} : 最大せん断強度(解析)
 なお、実験での $Q_{max} = 87.5t$

4. ま と め

適切なひび割れ角度を設定することにより、せん断スパン比の短い壁も最大強度のみならず荷重-変形曲線や断面応力状態を本手法により推定できることがわかった。すなわち、RBSMは鉄筋コンクリートのすべりや分離を容易に表現することができ、少ない要素分割で最終の崩壊荷重および崩壊形態を表現できることがわかった。

(1986年1月23日受理)

参 考 文 献

- 1) 広沢・後藤；現場打ち壁式構造の高層化のための部材実験，昭和45年度建築研究所年報
- 2) 吉崎・外村他；多数の小開口を持つ鉄筋コンクリート耐震壁の強度と変形・その2・開口配置と寸法の影響，日本建築学会大会，昭和56年9月

