

2. 開口周囲の補強

(加藤大介)

(1) 有開口耐震壁が負担すべき水平せん断力 Q

本条で取り扱う有開口耐震壁は、等価開口周比 ($\sqrt{h_o l_o / h l}$) が 0.4 以下の比較的小さな開口の耐震壁を対象としている。また、有開口壁の許容水平せん断力 Q_D は、開口周囲に本項で定める補強がなされていることを条件に、無開口壁の許容水平せん断力に開口に対する低減率 γ を乗じて得られるとしている。

一般に、耐震壁の設計用水平せん断力 Q_D が壁板に大きなせん断ひび割れを発生させるほど大きくなければ ($Q_D \leq Q_I$)、その大部分を壁板のコンクリートが負担していると考えて差し支えない。しかし壁板に大きなひび割れを生じるような設計用水平せん断力の場合 ($Q_D > Q_I$) には、壁板が負担できるせん断力は壁板のせん断補強筋(開口周囲の補強筋を含む)が負担できる水平せん断力に主として支配されるものと考えられるものの、その効果には不明な点も多い。よって、ここでは、直交する 2 方向が等しいせん断補強筋で一様に補強された有開口壁板を対象に、負担すべき水平せん断力 Q を規準(22)式で表されると仮定した。ただし、設計用水平せん断力 Q_D がコンクリートの短期許容応力度による許容せん断力 (Q_I) のみで負担できないとき ($Q_D > Q_I$) は、 Q_I または以下に示す rQ_w のうち、いずれか大きい方の値を壁板が負担するせん断力 Q とみなして、得られた諸応力に対して(2)(3)で示す方法で開口部を補強しなければならない。

$$rQ_w = \gamma_s t_l' f_t$$

(2) 開口周辺の縦横筋

開口周辺の縁張力に対して開口周囲に縦横筋を配置する。開口周辺の縦横筋が開口隅角部において負担しなければならない最大縁張力 T_v および T_h は、ラーメンの曲げ応力に準じて反曲点を各開口縁の中央に仮定すると次式で略算される¹⁵⁾ (図 19.6 参照)。

$$T_v = \frac{h_o t_w}{2} \tau_h \quad T_h = \frac{l_o t_w}{2} \tau_v$$

ここで、耐震壁の水平方向の平均せん断応力度は τ_h は、

$$\tau_h = \frac{Q}{t_w (\Sigma l - \Sigma l_o)}$$

で与えられる。また、図 19.6 において、 Q_{B0} (ここでは $Q = (\Sigma l / \Sigma h) Q_B$ なので、鉛直方向の壁板(梁)の平均せん断応力度 τ_v は、以下で与えられる。

$$\tau_v = \frac{Q_B}{t_w (\Sigma h - \Sigma h_o)} = \frac{Q}{t_w (\Sigma h - \Sigma h_o)} \cdot \frac{\Sigma h}{\Sigma l}$$

以上の関係を、 T_v および T_h の右辺に代入すると、規準 (27) 式および規準 (28) 式が与えられる。

なお、 Q として rQ_w をとる場合は、(27) (28) 式において h, l をそれぞれ h', l' に置き換える。また、開口が柱に接する場合、一段目の柱主筋を開口補強筋としてみなして必要補強量を算定してよい。

図 19.6 開口周辺の鉛直袖壁と水平垂腰壁に想定するモーメント

(3) 開口隅角部の斜め補強筋

開口隅角部には、無開口と見なした場合の斜め引張応力度(図 19.7 参照)

$$\sigma' = \tau = \frac{Q}{h}$$

[注] $Q = \gamma Q_w$ とする場合は l を l' に置き換える。

のほかに、無開口壁に開口を設けることによって失われる斜め引張力の 1/2 の付加引張力(図 19.6 参照)

$$T_d = d_i \sigma' = d_i \tau = \frac{d}{l} Q = \frac{h_0 + l_0}{2\sqrt{2} \cdot l} Q$$

[注] $Q = \gamma Q_w$ とする場合は l を l' に置き換える。

が作用するが、上式の結果は、正方形開口部に関する精算結果¹⁴⁾とも一致する。

開口隅角部の付加斜め引張力に対しては斜め筋を配置する。斜め補強筋量の算定にあたっては、開口周囲の縁張力に対する縦横補強筋の断面積から、無開口壁と見なした場合に必要とされる断面積を除いた残りの断面積の $1/\sqrt{2}$ を有効断面積とみなして、付加斜め引張力に対する補強量に算入してもよい(計算例 2(b)、(e)参照)。

これが規準 (26) 式であるが、 Q として rQ_w をとる場合は、(26) 式において h, l をそれぞれ h', l' に置き換える。また、図 19.6 に示す縁張力 (T_v, T_h) と図 19.7 に示す付加斜め張力 (T_d) の両モードは別個の事象と考えられており、また、配置された縦横の補強筋は付加斜張力 (T_d) に対しても有効と考えられるので、付加斜張力 (T_d) に対しては斜め方向の(縦筋、横筋、斜め筋)の総和が必要な補強筋量を満たしていればよい(計算例 2(b)、(c)参照)。

図 19.7 開口を設けたために失われる斜め引張応力度 σ' と開口隅角部の付加斜め引張力 T_d

(4) その他の留意事項

以上述べてきた開口周囲の諸応力は、壁板の中央付近に小さな開口があつて壁板の周辺に一樣なせん断応力度が作用していると仮定し、付帯ラーメンの拘束効果を見捨てて求めたものである。開口の位置形状によっては、複雑な破壊を起こすことも考えられるので、上記の仮定が著しく不適当と考えられる場合については、実験資料^{16, 17)}も参考にするなど、特別の配慮をはらって補強する必要がある。

一方、開口の左右の袖壁あるいは上下の梁に、せん断強度および曲げ強度のいずれにも有効な斜め補強筋を配筋することも推奨される。図 19.A はこのような斜め補強筋を開口両側の袖壁部分に配筋した例である²⁵⁾。このような有開口壁は一般的な縦横の開口補強筋をもつ有開口壁に比べ、終局強度ならびに変形能がすぐれることが実験的に報告されており¹¹⁾、2次設計においてヒンジを計画する有開口壁では特に有効な配筋となる。1次設計では、この斜め補強筋は圧縮および引張のいずれの応力を受ける場合でも、その水平方向成分が耐震壁の許容水平せん断力 Q_1 に寄与するとともに、本節(2)(3)で述べた通常の縦横補強筋および斜め筋の役割も兼ねる。すなわち、図 19.A の場合、開口隅角部を通る斜め補強筋の縦方向の成分が T_v に対して、斜め 45° 方向の成分が T_d に対してそれぞれ有効として良い。なお、このような斜め筋は引っ張り側になるときの定着に注意する必要がある(図 19.A 参照)。

図 19. A 有効な壁板の斜め補強筋²⁵⁾

3. 軸方向力と曲げモーメントに対する設計

耐震壁の各断面において、軸方向力と曲げモーメントに対して、縦筋およびコンクリートが許容応力度以下となることを確認する。

付帯ラーメンの柱は鉛直荷重による軸方向力のほか、耐震壁全体の曲げによる軸方向力も受けるので、15条柱の規定を参考にして十分安全なように設計しておく必要がある。柱断面の大きさは、耐震壁の水平断面に関する断面2次モーメントに大きな影響を及ぼすから、曲げ剛性の面でも重要である。この軸方向力が許容圧縮耐力 N_c および許容引張耐力 N_t を越えないことを確認するほか、本条4.―5.(1)～(8)の各規定に準じて十分安全なように設計する。

$$\text{許容圧縮耐力: } N_c = f_c (b \cdot D + n \cdot a_g) \quad (19.8)$$

$$\text{許容引張耐力: } N_t = f_t \cdot a_g \quad (19.9)$$

f_c : コンクリートの短期許容圧縮応力度 (N/mm²)

f_t : 鉄筋の短期許容引張応力度 (N/mm²)

bD : 付帯ラーメンの柱断面積 (mm²)

a_g : 柱主筋全断面積 (mm²)

n : ヤング係数比

一方、耐震壁に開口を有する場合、開口の左右の袖壁と上下の梁に軸方向力と曲げモーメントが作用する。これらのうち、曲げモーメントによる断面の縁張力に対しては開口補強筋の配置により対応しているが、縁圧縮力に対してコンクリートが許容圧縮応力度以下になる必要があり、特に開口が偏心している場合に検討を要する。また、縁圧縮力が大きくなる場合は、袖壁端に柱型を設け開口周囲の縦補強筋を閉鎖型帯筋により拘束することも有効である。

4. 付帯ラーメンの形状

付帯ラーメンの断面は、耐震壁に必要な靱性に於いて十分な幅とせいを確保するとともに、有効な配筋詳細とする。せん断ひび割れの発生によって異方性化した壁板の広がり¹⁾を周辺から有効に拘束できる強剛な付帯ラーメンを有する耐震壁は、壁板の広がりを拘束している壁筋のせん断補強筋比が(19.4)式に示す $p_{s,cr}$ 以下であっても、 Q_{cr} 以上の水平せん断力を負担できることが理論的¹⁾にもまた多くの実験結果によっても認められている。壁板のせん断ひび割れが付帯ラーメンのきわまで進展した場合を考え、そのとき壁板のコンクリートが失う斜め引張力のすべてを負担するのに必要な付帯ラーメンの部材断面を求めると表19.1のようになる。

付帯ラーメンへのひび割れの進展を防ぐには、その部材断面のほか、その部材の最小径に対しても制限を加えておく必要がある。部材の最小径も壁板のコンクリートがひび割れを起こして失う斜め引張力 ($s \times t$ に比例する。 s : 壁板 $h' \times l'$ の短辺の長さ、 t : 壁板の厚さ) に関係すると仮定し両者の次元の関係を考慮すると、部材の最小径は \sqrt{st} に比例して与えられることになる。実験結果からこの比例定数を求め、さらに壁板の厚さとの関係を求めると、最小径に関する条件は表19.1のようになる¹⁸⁾。

表 19.1 付帯ラーメンの断面形状に関する推奨条件

付帯ラーメンの断面の形状が表 19.1 の条件のうち

柱および梁の断面積： $st/2$ 以上

柱および梁の最小径： $2t$ 以上

のいずれかを満足していない耐震壁は、付帯ラーメンの部材端のせん断力が大で、壁板より先に付帯ラーメンの部材端にせん断ひび割れが生じる場合があることが弾性解析によって指摘されている¹⁹⁾。

付帯ラーメンが弱い場合は、その部材端部のせん断破壊によって耐震壁の水平せん断耐力が支配され、付帯ラーメンが強剛な場合はスリップ状破壊または斜め方向の圧縮破壊を起こすまで水平せん断力の増大に耐えることが、いずれも実験的に認められているので⁸⁾、付帯ラーメンはできるだけ強剛にすることが望ましい。付帯ラーメンに大きなひび割れが生じると補修も困難になるので、表 19.1 の条件を満足する付帯ラーメンを設計することが望ましい。

これらの規定は、壁板にせん断ひび割れが生ずるおそれがある場合を想定したものであるが、二次設計においてその可能性がないと確認された場合においても、付帯柱の断面形状に関しては特別の検討を行わない限り本規定に準ずることが望ましい。

一方、連層耐震壁の中間階では、梁型を省略し梁断面の幅を壁厚と同じにすることがある。この場合、鉛直荷重を負担した状態で壁板に水平せん断力を受けるため、壁板にせん断ひび割れが生ずると鉛直荷重支持能力が低下し崩壊に至ることも考えられる。よって、梁型を省略する場合は壁厚を極力厚くし複配筋とするほか、大地震時に壁板に有害なせん断ひび割れが生じないことを確認²⁰⁾するなど、安全側の配慮が必要である。さらに、この場合、連層耐震壁のせん断伝達、および境界梁主筋、スラブ筋、小梁主筋の定着について検討する必要がある。連層耐震壁のせん断伝達については、文献 25) などの方法があるが、詳細な検討を行わない場合は、本条 5. (6) に示す主筋量を満たす必要がある。(本条 4. (6) 参照)

下階が柱となる耐震壁の最下層の梁では、下階への応力伝達が可能であることを検討するとともに、十分な剛性、強度、梁せいを確保する。

一方、付帯ラーメンの柱は鉛直荷重による軸方向力のほか、耐震壁全体の曲げによる軸方向力も受けるので、15 条柱の規定を参考にして十分安全なように設計しておく必要がある。柱断面の大きさは、耐震壁の水平断面に関する断面 2 次モーメントに大きな影響を及ぼすから、曲げ剛性の面でも重要である。この軸方向力が許容圧縮耐力 N_c および許容引張耐力 N_t を越えないことを確認するほか、本条 5. (1)～(8) の各規定に準じて十分安全なように設計する。

前に移動

許容圧縮耐力： $N_c = f_c \cdot (b \cdot D + n \cdot a_g)$ (19.8)

許容引張耐力： $N_t = f_t \cdot a_g$ (19.9)

f_c : コンクリートの短期許容圧縮応力度 (N/mm²)

f_t : 鉄筋の短期許容引張応力度 (N/mm²)

bD : 付帯ラーメンの柱断面積 (mm²)

a_g : 柱主筋全断面積 (mm²)

n : ヤング係数比

変更無し

5. 算定外の規定

(1) 壁板の厚さ

耐震壁の壁板の厚さ t は、単配筋とした場合でもコンクリートの充填性を考慮して、
 $t \geq 120\text{mm}$ (19.10)

となる条件を満たすことを規定した。

震害の実状を見てみると、付帯ラーメンがある耐震壁の壁板のひび割れはほとんど 45° 方向に入っているから、一般には鉛直荷重の大部分は付帯ラーメンの柱に加わり、壁板の鉛直圧縮応力度 σ は小さいと考えられる。実験においても、ひび割れ発生以前に座屈を起こした例は報告されておらず、通常の場合、 $Q_p < Q_l$ ならば座屈は考慮する必要がないといえよう。

ただし 鉛直荷重と同時に壁面に直角な曲げモーメント(面外曲げ)を負担させる $t/h' < 1/15$ なる壁板(鉄筋軽量コンクリートの壁板に対しては $t/h' < 1/10$)には、柱の規準 14 条 3. (1) に準じて座屈の検討を加える必要がある。

一方、耐震壁の壁板に 45° 方向のせん断ひび割れが発生すると、 45° 方向の圧縮帯が形成され、壁板の厚さが薄い場合には圧縮帯に座屈が生じる実験例 ($l'/h' = 1.5$, $t/s = 1/40$, s : 壁板 $h' \times l'$ の短辺の長さ) が報告されている⁸⁾。複雑な応力分布状態にある異方性化した板の座屈問題を厳密に解析することは難しいので、次の簡単な仮定を設けて、その座屈を検討する(図 19.8 参照)。

i) 壁板は全面にわたって一様な応力状態とする。

ii) 壁板に発生しているせん断ひび割れは、水平に対し 45° と仮定した主応力の方向と一致するものとする。

iii) 座屈時の壁板の引張主応力度 σ_{lk} は、(19.3) 式で与えられる無拘束の壁筋 (p_s) が負担できるせん断応力度に等しいとして、次式で与えられるものとする。

$$\sigma_{lk} = p_s f_t \quad (19.11)$$

iv) せん断ひび割れで囲まれた壁板の圧縮帯は、長さが $\sqrt{2}s$ (s : 壁板 $h' \times l'$ の短辺の長さ) でその端部(付帯ラーメンと接する辺)でピン支持され、面外座屈を起こす。

v) σ_{lk} は圧縮帯の面外座屈を拘束しない。

図 19.8 せん断ひび割れが発生している壁板の座屈時の応力

上記の仮定により、圧縮帯が座屈を起こすときに壁板の周辺に作用している一様なせん断応力度を τ_k とすれば、 $\tau_k \geq p_s f_t$ となり、(19.11) 式の条件を満たすためには壁板の周辺に垂直圧縮応力度

$$\sigma_k = \tau_k - p_s f_t \quad (19.12)$$

が作用し、圧縮帯に作用する壁板の圧縮主応力度 σ_{2k} は次式で与えられる。

$$\sigma_{2k} = 2\tau_k - p_s f_t \quad (19.13)$$

さらに、(19.13) 式で与えられる σ_{2k} を、両端ピンの圧縮帯が面外座屈を起こすときのオイラー座屈応力度

$$\sigma_{2k} = \text{略} \quad (19.14)$$

と等置すると、 τ_k , $p_s f_t$, t/s の関係式は次のように与えられる。

$$\tau_k = \text{略} \quad (19.15)$$

(19.12) 式と (19.15) 式から (19.16) 式を、規準 (22) 式から (19.17) 式を得る

$$\sigma_k = \text{略} \quad (19.16)$$

$$\tau_2 = \text{略} \quad (19.17)$$

ここで、座屈が生じない条件 ($\tau_k > \tau_2$) から (19.15) 式 > (19.17) 式とすれば、座屈が生じない壁厚比 t/s の条件として (19.18) 式が導かれ、同式に実用範囲の諸元を代入すると (19.19) 式を得る、

$$t/s > \text{略} \quad (19.18)$$

$$t/s > 1/32 \quad (19.19)$$

ここで、

コンクリートの平均的なヤング係数: $E = 2.1 \times 10000 \text{ M/mm}^2$

$p_s f_t$ の設計用上限値: $p_s f_t = 0.012 \times 300 = 3.6 \text{ N/mm}^2$

既往の諸実験の $\Sigma Q_c / t l$ の上限値⁹⁾: 2.4 N/mm^2

しかし高さ方向に細長い耐震壁 ($h' > l'$) に (19.19) 式を適用すると、 $s = \min(l', h') = l'$ であるから高さ h' には無関係に t/s 値が決定する、したがって、鉛直荷重に対して過小壁厚になることもあるので、本項では (19.19) 式を基本にした (19.20) 式によって壁厚を規定することにした。

$$t/h' > 1/30 \quad (19.20)$$

t/h' が小さくなると、鉛直荷重に対して、せん断ひび割れが壁板に発生すると座屈を起こしやすくなることが予想されるが、壁板の厚さが (19.20) 式の条件を満足している場合は、(19.19) 式の条件も必ず満足することになるので、前述のようにせん断ひび割れが壁板に発生しても、せん断座屈は生じないと考えられる。

(2) 壁板のせん断補強筋比

以下の点を考慮し、壁板のせん断補強筋比 p_s の最小限度は、直交する 2 方向に関し 0.0025 とした。

i) 壁板のせん断補強筋比が大きいと、周囲の付帯ラーメンによって乾燥収縮を拘束されている壁板のひび割れを制御できる。

ii) 壁板にせん断ひび割れが発生した場合、発生直前にコンクリートが負担していた斜張力を負担するのに必要なせん断補強筋比 $p_{s,cr}$ ((19.4) 式、(19.4') 式参照) に比べて壁板のせん断補強筋比 p_s が著しく小さいと、水平せん断力の再配分によって付帯ラーメンに大きな応力を生じ、それによって付帯ラーメンが損傷を受けると、急激な剛性低下を起こす。

iii) 壁板のせん断補強筋比 p_s が大きいと、せん断ひび割れが壁面の全面に分散発生し応力集中が防げる。

また、本規準では縦と横方向にほぼ等しいせん断補強筋比をもつ耐震壁を対象としているので、直交する各方向のせん断補強筋比が異なる場合、小さい方は大きい方の 1/2 以上とする制限を設けた。

さらに、壁板に開口を設ける場合は、開口上下の梁には大きなせん断力が発生するので、壁縦筋はせん断力に抵抗する。従って、開口低減率が γ_3 で決まるような開口を設ける場合は、縦と横方向で同じせん断補強筋比にするのが望ましい (この文章要検討)。

変更無し

(3) 壁筋の複筋配置

複筋配置は単筋配置に比べて面外の曲げ抵抗が大きいばかりでなく、周囲の付帯ラーメンによって乾燥収縮を拘束されている壁板のひび割れを有効に阻止または分散できるので、壁板の厚さが厚い場合には複筋配置が望ましい。壁板の厚さが 180mm の場合には複筋配置としても施工上の支障はほとんどないが、余裕をみて 200mm 以上の場合は必ず複筋配置とすることにした。

(4) 壁筋の直径と間隔

壁筋は、D10以上の異形鉄筋あるいは素線の径が6mm以上の溶接金網とする。壁筋の間隔を細かくすることは乾燥収縮ひび割れの防止または分散に役立つほか、ひび割れ発生時の衝撃緩和、ひび割れの進展抑制、コンクリートの剥落防止にも有効である。そこで、本規準では使用鉄筋径にかかわらず壁筋間隔は壁板の見付け面に対して300mm以下とし、干鳥に複筋配置をする場合でも片面の壁筋間隔は450mm以下とすることにした。

変更無し

(5) 開口部の補強筋

開口隅角部には応力が集中すること、また、開口周囲は破損風化のおそれも多いことなどを考慮し開口縁の縦横および斜め補強筋はD13以上の異形鉄筋、かつ、壁筋と同径以上の鉄筋径を配置することにした。

開口隅角部の斜め補強筋は、斜め引き裂きひび割れの進展を最も有効に抑制できる補強筋ではあるが、開口隅角部には補強筋が錯綜しコンクリートの充填性に問題が生ずる場合も多い。斜め補強筋の配置にあたっては、かぶりや鉄筋間隔など配筋納まりを検討したうえで補強筋の配置方法や補強筋径、壁厚を決定することが望ましい。

(6) 付帯ラーメンの主筋

せん断力を受ける壁板がせん断ひび割れを起こすと圧力場(diagonal compression field)を形成してその面積が広がり¹⁾、その広がりを周辺から拘束している付帯ラーメンには大きな曲げモーメント・軸方向力・せん断力が作用するが、壁板周辺の柱および連層耐震壁の中間階以外の梁の主筋は、その広がりを抑制する補強筋としての役割がある。

また、付帯ラーメンに生ずる曲げモーメント・軸方向力・せん断力は、壁板にせん断ひび割れが発生しない場合に関しては等方性板の応力関数を用いた精密な弾性解が²¹⁾、また、壁板にせん断ひび割れが発生した場合に関しては45°方向直交異方性板の応力関数²²⁾を用いた精密な弾性解^{23, 24)}がそれぞれ求められている。しかし、本条では、付帯ラーメンの断面形状(表19.1)の制限および以下に示す規定を遵守することを条件に、特に検討をしない場合、付帯ラーメンの拘束力の算定を行わない簡便な設計法を採用している。

すなわち、その主筋量は、本条3項で述べたように耐震壁全体に加わる鉛直荷重および曲げに対して安全なように算定されるほか、柱・梁の算定外の規定13条4.(2)~(5)および14条3.(2)~(4)をも満足することを規定した。さらに、柱・梁の全長にわたって柱だけでなく、連層耐震壁の中間階以外の梁では、梁断面(スラブ部分を除く)の各コンクリート全断面積に対する各主筋全断面積の割合を、いずれも0.8%以上とする算定外の規定を設けた。

また、連層耐震壁などで壁中の梁型を省略する場合は、本条3.4.に示した検討を行うとともに、梁型省略の条件を満たすとともに、特別な検討²⁵⁾などによらない限り表19.1で定義する断面積(st/2)を仮定し、当該断面積に対して0.8%に相当する主筋量以上を各階のスラブ近傍に配置することが必要である。

これらの主筋配置は壁幅内に限らずスラブ内にも配置してよいが、極力付帯柱幅内のスラブに集約して配置し、壁板両側の付帯柱および直交大梁に定着する。この場合、スラブ厚が壁厚と比較して相対的に薄くなり過ぎないように注意する。

変更無し

(7) 付帯ラーメンのせん断補強筋

付帯ラーメンの柱および梁の端部には、壁板にせん断ひび割れが発生しない場合でも、大きなせん断力を生じることが²¹⁾、また壁板にせん断ひび割れが発生した場合には、さらに大きなせん断力が生じることが²⁴⁾いずれも明らかにされている。

ゆえに、柱の帯筋は、規準(25)式で算定される許容せん断力 Q_c を満足するように算定し

たものを全長にわたって配筋するほか、15条3.(3)の柱の帯筋に関する算定外の諸規定をも満足することを求めた。

梁のあばら筋は、規準の本文によっては算定されていないが、算定外の規定として 15条2.(3)の梁のあばら筋に関する諸規定を満足することを求めた。

実験結果によれば、図 19.9 にハッチで示した柱・梁の端部は、壁板のせん断ひび割れが貫通して破壊しやすいところなので、15条3.(3)ii)に示す柱の上下端における帯筋の間隔に関する算定外の規定

i) D10 の異形鉄筋を用いる場合は 100mm 以下

ii) 上記の直径より大きい鉄筋を使用した場合は 200mm 以下

を準用することが望ましい。なお、鉛直荷重を支えている柱のせん断破壊は、場合によっては構造物の破壊を招く危険があるから、図 19.9 に示す S_2 に関しては、 $h' - l'$ 、 $1.5D_2$ のうち、いずれか大きいほうの値とすることをすすめる。

図 19.9 壁板のせん断ひび割れが貫通して破壊しやすい梁・柱の端部（ハッチ部分）

(8) 壁板に開口がある場合の付帯ラーメンの設計

本項は、耐震壁とみなされる条件程度に開口周比が小さい ($\sqrt{(h_d/h_l)} \leq 0.4$) 場合、を満たす有開口壁について規定するものである。開口が壁板中央に配置されるとき場合には耐震壁としての挙動を示すと考えられる。しかしながら、付帯ラーメンに接近して開口が設けられる場合には、壁板の開口縁が付帯ラーメンの梁・柱に近いときは、耐震壁に作用する正負交番繰返し水平せん断力によって、その梁・柱に交差状のせん断ひび割れが発生するなど複雑なひび割れを生じ、短材のせん断破壊にみられるもろい破壊を起こす場合がある。また、開口位置が非対称の場合は、加力方向によってせん断強度が異なるとの報告¹³⁾もあり、曲げ降伏を計画した連層耐震壁の場合、偏在開口により独立柱が圧縮側になる場合にはその終局強度および変形能が大きく低下する、との報告^{A2)}もある。

そこで、本項では袖壁が 30cm 未満となるような偏在開口の場合に、その柱の帯筋比を 0.004 以上確保するほか、ゆえに、本条1.の解説(3)で述べたように繰返し荷重によるせん断耐力の低減を考慮 (式(25)において $\alpha = 1$ とするなど) して、その許容せん断力を算定することとした。さらに、ほか、15条に関する解説および実験資料を参考にして、副帯筋を数多く使用するなど、特別の配慮をはらって設計する必要がある。

一方、開口周比が大きい ($\sqrt{(h_d/h_l)} > 0.4$) 壁はラーメン的変形挙動を示すものと考えられるので、袖壁・垂壁・腰壁を考慮した剛域ラーメン解法によって設計用応力を算定するとともに、剛性率や偏心率はこれらの解析結果に基づいて行う。この場合、主要架構（垂壁や腰壁を除く柱、梁、耐震壁）の断面算定用応力を確保する目的で、垂壁や腰壁の剛性を弾性剛性とせず適宜低下させる設計の便法を用いることもある。同様の主旨で、ラーメン架構内の耐震壁にも適用（例えば、耐震壁のせん断剛性低下率 $\beta < 1.0$ (8条(4)参照) を解析プログラムに入力)する場合もある。これらは柱や梁を脆弱にしないための便法であり、建物の変形性状を正しく表現したものではないことに注意する必要がある。

また、近年では、構造スリットによって主架構から垂壁や腰壁を切り離し、これらの影響を除去する方法も多用されているが、不完全なスリット形状や安易な配置によってその効果が得られず、被害を受けた事例⁴⁾も報告されている。

このように、開口が大きく耐震壁とは見なされない壁の垂壁や腰壁などの影響、便法として用いた剛性低下の妥当性、スリットの配置とディテール、耐震壁ではあるが開口が偏在する壁など、構造解析だけでは把握できない項目も多い。設計にあたってはこれらを勘案しつつ、細心の注意を払い計画を進めることが必要である。

- 13) 徳広育夫・小野正行: 偏在開口を有する耐震壁の弾塑性性状に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集 9-2、1987 年。
- 14) 坪井善勝・田治見 宏: 開口を有する壁体について、日本建築学会研究報告、NO. 6(昭 25. 5)。
- 15) 武藤 清: 構造設計法、建築学大系、14、彰国社 (昭 44・6)。
- 16) 富井政英: 有開口耐震壁のひび割れおよび破壊の状況とせん断耐力、日本建築学会論文報告集、NO. 68(昭 36. 6)。
- 17) 東洋一・大久保全陸・江戸宏彰: 静加力試験による腰壁、たれ壁、そで壁付鉄筋コンクリート柱の破壊状況と履歴曲線、日本建築学会論文報告集、NO. 169(昭 45. 3)。
- 18) 富井政英: 鉄筋コンクリート壁の勢断抵抗に関する研究、東京大学生産技術研究所報告、6 巻 3 号(昭 32. 1)。
- 19) 富井政英・徳広育夫: 耐震壁の形状とせん断初ひび割れ発生位置の関係、日本建築学会大会学術講演梗概集(昭 45・9)。
- 20) 日本建築センター: 中高層壁式ラーメン鉄筋コンクリート造設計施工指針・同解説、1987 年 10 月。
- 21) 富井政英・平石久廣: Elastic Analysis of Framed Shear Walls by Considering Shearing Deformation of the Beams and Columns of Their Boundary Frames、Part I、II、III、日本建築学会論文報告集、No. 273、274、275(昭 53. 11、昭 53. 19、昭 54. 1)。
- 22) 富井政英・末岡禎佑・平石久廣: Airy' s Stress Functions for 45-Degree Orthotropic Elastic Plates、日本建築学会論文報告集、No. 249(昭 15. 11)。
- 23) 富井政英・末岡禎佑・平石久廣: Elastic Analysis of Framed Shear Walls by Assuming Their Infilled Panel Wall to be 45-Degree Orthotropic Plates、Part I、日本建築学会論文報告集、No. 280(昭 54. 6)。
- 24) 富井政英・平石久廣: Elastic Analysis of Framed Shear Walls by Assuming Their Infilled Panel Walls to be 45-Degree Orthotropic Plates、Part II、日本建築学会論文報告集、No. 284(昭 54. 10)。
- 25) 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. 8。

A1) 加藤大介、壁谷沢寿海、小谷俊介、青山博之: 鉄筋コンクリート造有開口壁の耐震設計法、コンクリート工学論文集、Vol. 2、No. 2、1991 年、pp. 143-152

A2) 加藤大介、杉下陽一、小倉宏一、大谷裕美: 鉄筋コンクリート造連層有開口耐震壁の変形能の評価方法、日本建築学会構造系論文集、第 530 号、2000 年 4 月、pp. 107-113

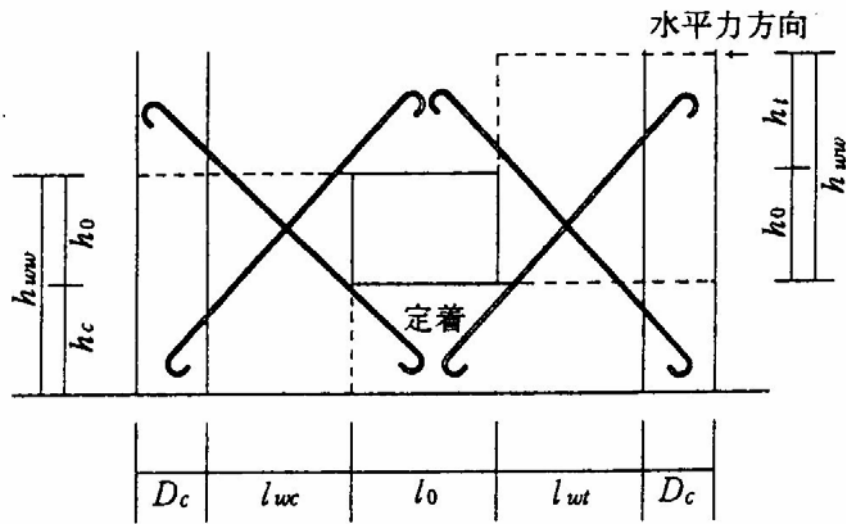


図 19. A 有効な壁板の斜め補強筋²⁵⁾

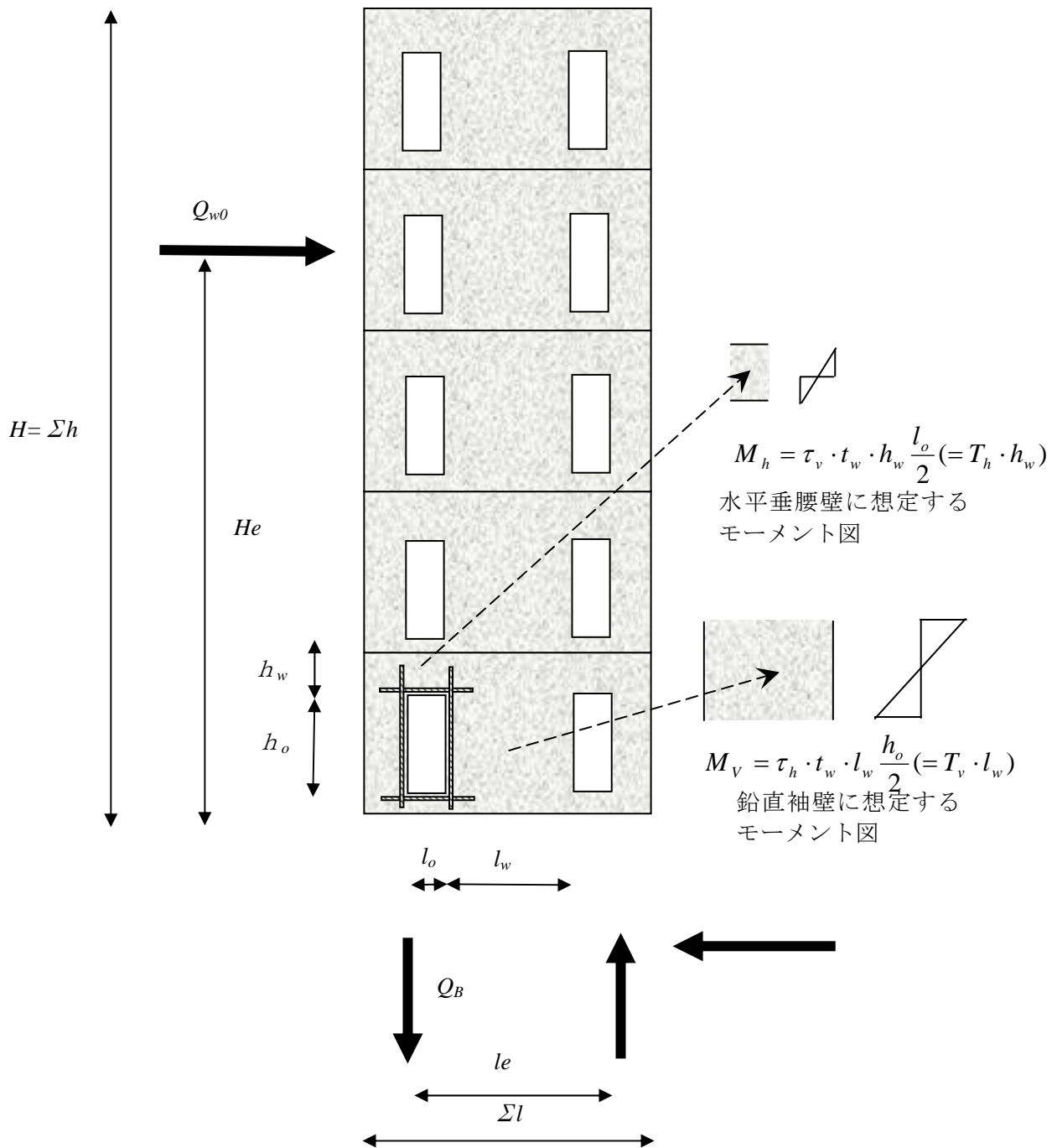


図 19.6 開口周辺の鉛直袖壁と水平垂腰壁に想定するモーメント

表 19.1 付帯ラーメンの断面形状に関する推奨条件

柱および梁の断面積	$st/2$ 以上
柱および梁の最小径	$\sqrt{st/3}$ 以上, かつ $2t$ 以上

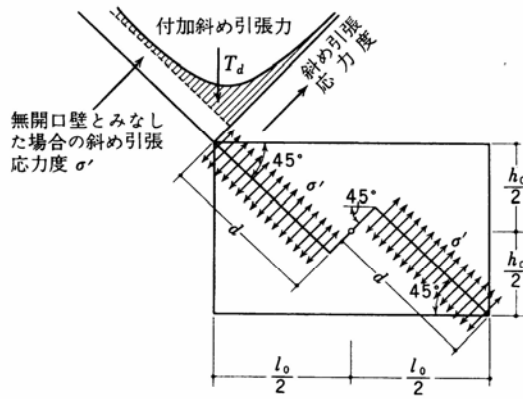


図 19.7 開口を設けたために失われる斜め引張応力度 σ' と開口隅部の付加斜め引張力 T_d

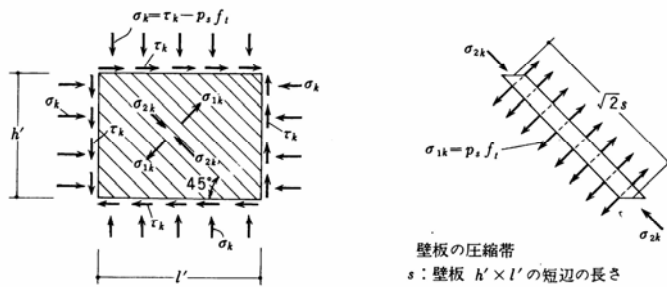


図 19.8 せん断ひび割れが発生している壁板の座屈時の応力

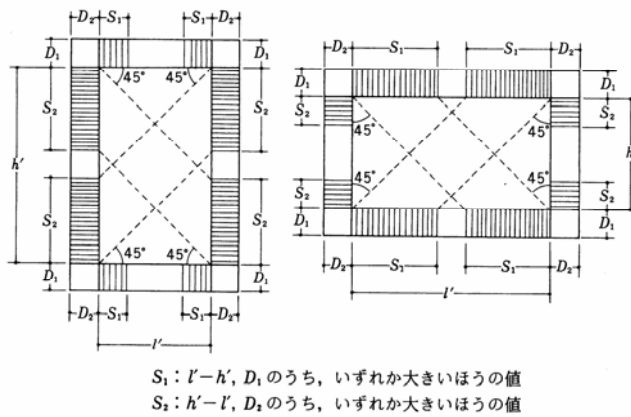


図 19.9 壁板のせん断ひび割れが貫通して破壊しやすい梁・柱の端部（ハッチ部分）