

枠組壁工法建築物において直交壁効果を期待できる領域に 壁の配置が及ぼす影響

岡本 慶太^{*1} 野村 圭介^{*2}

Influence of Wall Arrangement on Orthogonal Wall Effect Area in a Wood Frame Construction

by

Keita OKAMOTO^{*1} and Keisuke NOMURA^{*2}

(Received on Sep. 29, 2018 and accepted on Jan. 10, 2019)

Abstract

When structurally designing the construction of walls part of building is treated as a two-dimensional frame, and the stresses on the frame are analyzed. If the wall orthogonal to the frame is jointed, the orthogonal wall will have some effect on the frame. In a wood frame construction, this effect is taken into consideration by adding part of the weight of the orthogonal wall to the frame. This part is called the effective area of the orthogonal wall. In this paper, we report the change in the effective area by the arrangement of the orthogonal walls in wood frame construction. The effective area was evaluated by FEM (reaction force or sectional force) of a partial model of the building. As a result, the effective area by the arrangement of the orthogonal walls was clarified. We also created a calculation chart that can be used to easily obtain the solution.

Keywords: Wood frame construction, Orthogonal wall effect, Wall arrangement, Calculation chart

1. 序論

壁式構造において壁面を設計する際、各構面を平面フレームと捉え、応力解析する手法が一般的である。この時、構面に直交する壁が存在すると直交する壁の一部が構面に協力するものと考えられている。この効果は直交壁効果と呼ばれている。枠組壁工法建築物における直交壁効果は、耐力壁の脚部に生じる引拔力を抑え込む効果があるものとして扱われており、直交壁の一定領域の鉛直圧縮軸力を耐力壁の端部にカウンターウェイトとして与えることができる。枠組壁工法建築物設計指針¹⁾によると、その領域は接合端部から 2730 mm とされているが、この数値に論理的な根拠は見受けられない。耐力壁の各部寸法や剛性によらず領域を一定としていることは、壁の立体的な作用について明確に表現されていない可能性がある。

これに対し、宮本らは直交壁効果を考慮し、柱頭・柱脚引拔力の算定式を提案²⁾しているが、その設計式は複雑であり、領域長さを与える現行方法は設計時に簡便だと考えられる。

ところで、壁式 RC 構造の直交壁効果は、直交壁のある一部が耐力壁の曲げ剛性に寄与するものと考えられており、直交壁の一部の長さを協力幅として耐力壁に与えている。RC 規準³⁾に示されている協力幅を算出する式は

梁に対するスラブの協力幅を表す式を準用したものである。また勅使川原らは、RC 壁式構造における直交壁効果に関する研究⁴⁾を行っており、直交壁に生じた応力度を高さとして、最大応力度で作成した四角形の幅を協力幅としている。これは剛性に協力できる直交壁の幅を把握することが目的だと思われるが、枠組壁工法で用いられているカウンターウェイトの領域とは異なる考え方である。

上記を踏まえ、著者らは枠組壁工法建築物における直交壁効果領域を適切に評価する方法について研究をしている。

著者らの既報⁵⁾では一枚の耐力壁に直交する壁を設けたモデルを作成し、水平力によって直交壁に伝達された引拔力を数値解析的に求め、その伝達された範囲を領域長さとして評価している。しかし、既報で対象とした形状は、耐力壁の両側に同長の直交壁が取り合う場合（平面が T 型に見える形状）と片側にのみ取り合う場合（L 型）であり、これらの限定された形状以外の領域長さは得られていない。本論では T 型と L 型形状の間を補完し、直交壁の配置による領域長さの傾向について調査する。なお、領域長さを求める方法は既報と同様の支点反力から求める方法と勅使川原らの評価方法を参考に著者らが新たに考案した要素断面力から求める方法を用いる。枠組壁工法建築物で扱われているようにカウンターウェイトとして機能する幅を求めるには、水平力によって壁内で生じる引張断面力がカウンターとしての効果があると

^{*1} 工学研究科建築土木工学専攻修士課程

^{*2} 工学部建築学科助教

考え、引張断面力が生じている領域の面積から有効幅を求めることとした。

本論の構成を述べる。2 章では本論で取り扱う解析モデルの概要を説明する。3 章ではモデルの評価方法と解析結果を述べる。4 章では得られた結果より作成した計算図表について述べる。5 章では本論においての結論を述べる。

2. 解析モデル概要

壁の形状が領域長さに影響する度合いを調査するため、直交壁の長さを変え、様々な形状の直交壁を有する解析モデルを作成することとした。また、枠組壁工法建築物における壁は枠材と面材から作られているが、このモデル化は複雑であり、また枠材と面材があっても領域長さへの影響が小さいと考え、枠材と面材による壁を 1 つの板要素としてモデルを作成した。

Fig.1 に解析モデルの構成を示す。水平力を加える耐力壁 (Bearing wall)、それに直交する直交壁 (Orthogonal wall)、耐力壁と直交壁を接合する隅柱 (Corner post) で構成した。耐力壁の長さを L_a 、直交壁の長さを L_o と呼ぶ。また直交壁のうち、短い方を L_s 、長い方を L_l とし、モデル高さを H と呼ぶ。 L_s と L_l を変更することで、直交壁の配置を様々に変えることができる。

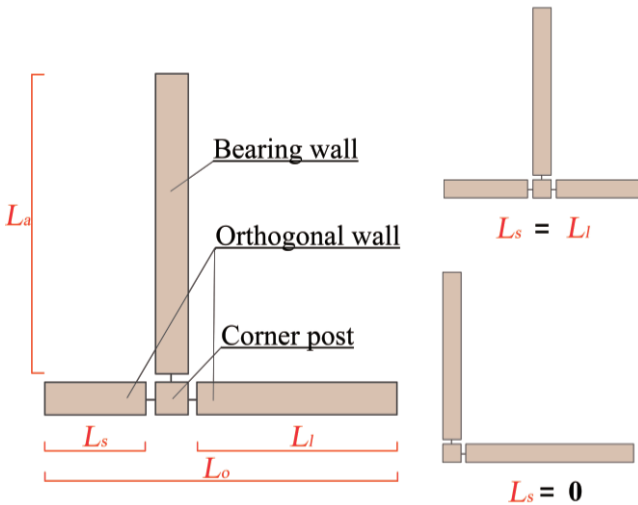


Fig. 1 Model component.

壁体は板要素とし、要素を $100 \times 100 \text{ mm}$ でメッシュ分割した。隅柱と土台は梁要素でモデル化した。隅柱の断面は 404 ($89 \times 89 \text{ mm}$) とし、土台の断面は 204 ($38 \times 89 \text{ mm}$) とした。材料は隅柱、土台共にオウシュウアカマツと同様の物性値を用いた。壁体は隅柱と土台に CN90 釘で接合されるものとし、モデル上では釘のせん断、引抜剛性を表すバネ要素で接合した。また、釘の剛性値は木材へのめり込みを考慮して引抜と圧縮で異なる値を定めており、剛性値は文献²⁾より引用した。釘の接合間隔は 300 mm で等間隔に接合した。Fig. 2 に各要素との接合図、Table 1 に釘のバネ剛性、Table 2 に隅柱と土台の材料特性を示す。

Table 1 Stiffness of elastic element.

CN90	Discomposition (N/mm)	Compression (N/mm)	Shear (N/mm)
Corner post Base	4750	470000	10325

Table 2 Material data.

Member	Material	Gauge	Poisson	Young's modulus (N/mm ²)
Corner post Base	Scots pine	404 204	0.3	8.34×10^3

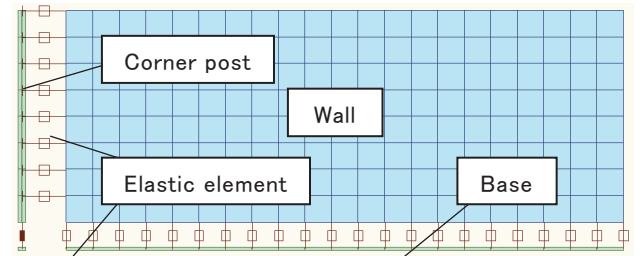


Fig. 2 Junction of wall panels.

また、既報⁵⁾では壁体の剛性による領域長さの変化を調査しており、壁倍率 1~5 相当までのモデルを検証し、領域長さには壁倍率が概ね線形に影響していることを確認している。そのため本論では、壁剛性による検討は除外し、壁倍率を 1.5 相当の剛性として用いることとした。なお、剛性は、国土交通大臣認定の壁倍率を評価する方法⁶⁾を用いて算出しており、ヤング係数は 205 kN/m^2 である。

支持条件は土台下部にピン支持を 100 mm 間隔で設けており、荷重は耐力壁の上部に水平力を等分布荷重として与え、値は 2.891 N/mm とした。解析には汎用解析ソフト MidasiGen⁷⁾を用いている。Fig.3 に支持条件並びに水平力を図式化したものを示す。

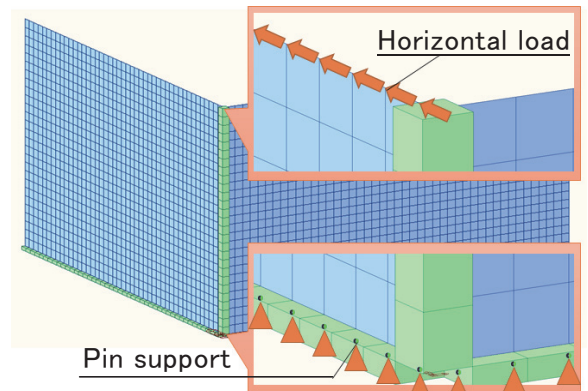


Fig. 3 Load and support condition.

この他、壁配置による領域の差異を検証するため、 L_s を 0 から 4500 mm 、 L_l を 300 から 9000 mm 、 H を 2400 から 4500 mm までを 300 mm 間隔で増減させる。また既報⁵⁾にて耐力壁の長さによる直交壁効果領域への影響は認めら

れなかった為、 L_a は4500 mmに固定する。Table 3に各変数の最小、最大値と値の増減量を示す。

Table 3 Model size.

Name	Upper (mm)	Lowwer (mm)	Interval (mm)
L_o	300	9000	300
L_s	0	4500	
L_l	300	9000	
L_a	4500		
H	2400	4500	

以上の条件を基に L_s と L_l が異なる255通りの組み合わせに8種類の H を掛け合わせた2040個の解析モデルを作成した。

例としてFig.4に、 $H=4500$ mm, $L_s=2700$ mm, $L_l=5400$ mmのモデルを示す。

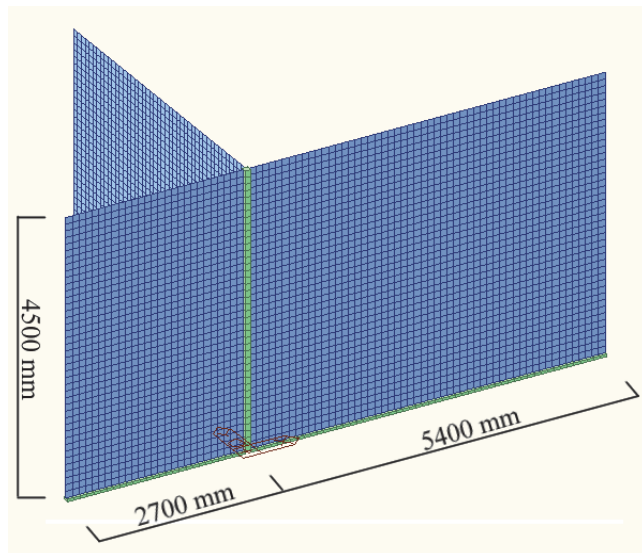


Fig. 4 Overhead view of FEM model.

3. 直交壁効果領域の評価

3.1 評価方法

直交壁効果領域の評価方法を示す。本論では既報までで用いていた支点反力による評価方法と要素断面力による評価方法で検証を行った。Fig. 5に領域評価における概念図を示す。Fig. 5は解析結果の支点反力と板要素断面に生じる膜力の鉛直成分（以下、断面軸力と呼ぶ）を表した図で、モデル下部に反力の向きを表し、板要素内は二色で引抜力と圧縮力を表現している。また、破線によって囲まれている部分は断面内に生じている引抜力の面積と等価な長方形を示している。

初めに、支点反力を用いた評価方法について述べる。本論では外力によって生じる土台下部の支点反力を用い引抜力と圧縮力が切り替わる地点を接合端部より求め、

この幅を直交壁効果領域とする。なお、支点は100 mm間隔で作成しているが、正確な領域長さを算出するために、支点部の力が反転する前後の数値を読み取り、それらの比率を基に算出している。

次に断面力を用いた評価方法について述べる。こちらは板要素に生じる鉛直軸力を読み取り、引張軸力が生じる要素の面積と等価な長方形の幅を直交壁効果領域としている。また本論では、板要素内の節点位置と要素中央で軸力が変化することがあるため、要素中央の軸力のみを用いる方法と要素四隅の節点に生じる軸力の比で負担面積を推定する方法で領域を求めることとした。

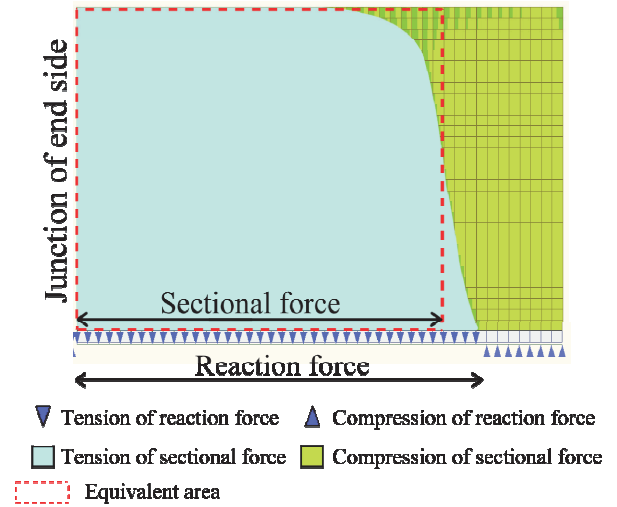


Fig. 5 Evaluation method of orthogonal wall effect area.

3.2 反力から求めた直交壁効果領域

反力値を用いて評価した直交壁効果領域について述べる。Fig.6に得られた領域長さの一例を示す。横軸は直交壁全長 L_o 、縦軸は得られた領域長さ T であり、直交壁短辺長さ L_s ごとにまとめている。(a)は壁高さ $H=2400$ mm, (b)は $H=3600$ mm, (c)は $H=4500$ mmの場合である。

これらの図より、領域長さは L_o に大きく依存しており、さらに L_s が変わり、壁が片側に偏心して配置されることで、領域長さは大きく変化することがわかる。また、これらの傾向は H に依存して変化し、 H が大きい程壁の偏心配置による領域長さの変化量は、小さくなる傾向にある。

H が最小 (Fig. 6(a)) と最大 (Fig. 6(c)) の場合を分析すると、最小の場合では、 L_o が小さいと領域長さは L_o に比例し、 L_o が特定の長さに到達すると領域長さがほぼ一定の値となることがわかる。また、 L_s が小さく壁が片側に寄って配置されていると、領域長さが一定となる範囲が広がっている。 H が最大の場合では、最小の時に見られた領域長さが一定となる範囲は見られず、領域長さが直交壁全長に近い値となる傾向にある。これらのことから、壁高さ H によって、直交壁の偏心配置による領域長さの変化量の幅に差異が生まれ、その幅は H が高いほど小さくなることがわかった。

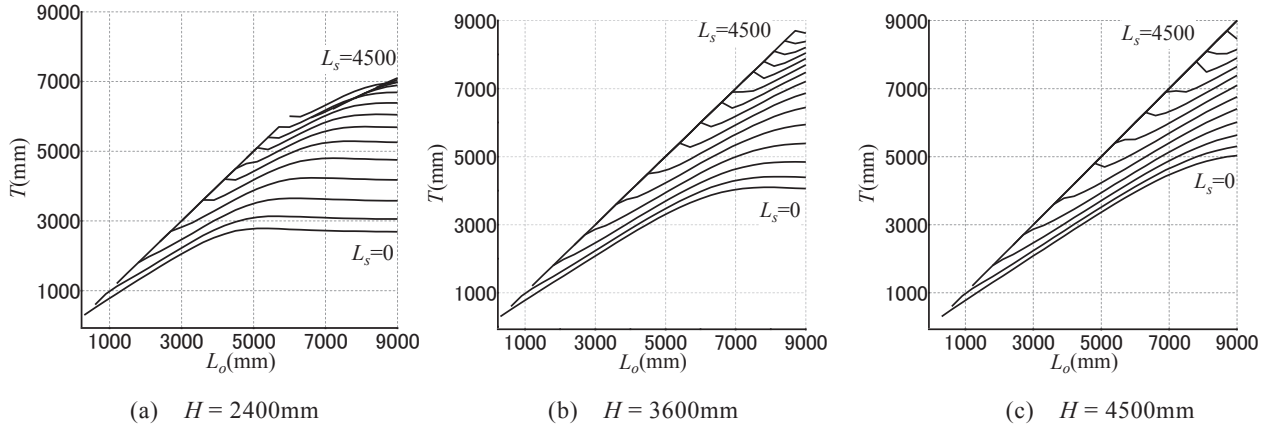


Fig. 6 Orthogonal wall effect area evaluated by reaction force.

3.3 断面力から求めた直交壁効果領域

次に、断面力を用いて評価した領域長さについて述べる。3.2節と同様に、直交壁短辺長さ L_s ごとにまとめた領域長さを Fig. 7, 8 に示す。

Fig. 7 は要素四隅の節点軸力を用いた場合、Fig. 8 は要素中央の軸力を用いた場合で示している。なお、両評価方法において大きな差が見られなかったため、ここでは Fig. 8 に示した要素中央の軸力を用いた場合を使い検討する。

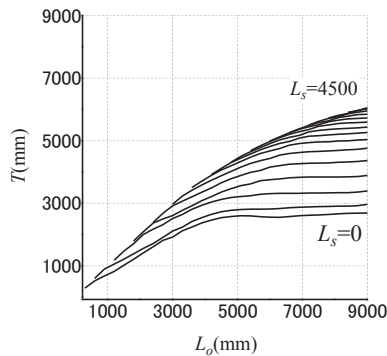


Fig. 7 Orthogonal wall effect area evaluated by node sectional axis force.

Fig. 8 では、先述の Fig. 6 と同様に、横軸は直交壁全長 L_o 、縦軸は得られた領域長さ T であり、(a)は壁高さ H が 2400 mm、(b)は 3600 mm、(c)は 4500 mm の場合である。

Fig.8 より、断面力より求めた領域長さは、反力から求めた場合に比べて、小さく得られる傾向にあることがわかる。また反力の場合では、直交壁全てが領域となる ($T=L_o$ の場合) 現象が見られたが、断面力の場合にはそのような現象は現れなかった。これらは、壁体に働く軸力が、上部から下部に向かって裾が広がるように分布していることが要因であると考えている。しかし、値が小さい点、直交壁全長が領域長さとならない点以外は概ね反力の場合と同様の傾向である。よって、断面力であっても、領域長さには壁高さ、直交壁全長、壁の偏心配置が影響していることがわかる。

4. 領域導出への計算図表提案

4.1 反力から求めた直交壁効果領域

3 章より直交壁効果領域は直交壁の長さや壁高さ、そして配置が大きく影響し、それらは互いの変化によって、影響度合いが変化することがわかった。著者らの既報では上記の要因を変数として、領域長さを求められる算定式を求めているが、各変数の影響度合いを適切に評価し、それを設計時に煩雑でない程度の算定式で提案することは非常に困難である。一方、設計時には必ずしも算定式

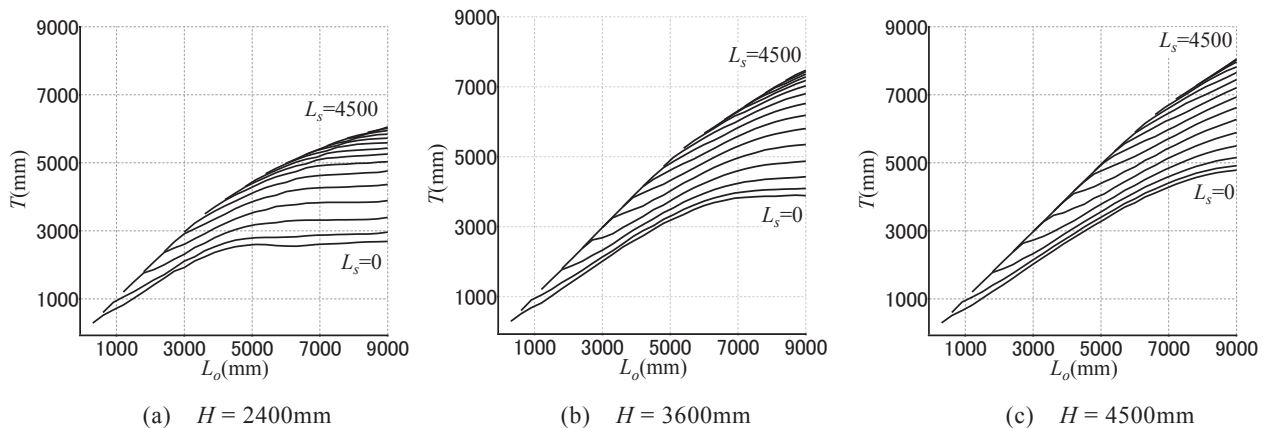


Fig.8 Orthogonal wall effect area evaluated by element sectional axis force.

が必要な訳ではなく、精度が低くても、簡易に評価できる計算図表であれば十分に有用である。そのため本論では、領域長さを簡便に求められる計算図表を提案することとした。

Fig. 9 に支点反力を基準に作成した計算図表を示す。図表の横軸は直交壁全長 L_o であり、縦軸は領域長さ T を表している。そして図中の各線は、領域長さが最大と最小の場合を壁高さ H ごとに描いたものであり、最大の場合には×印のマーカーを付している。また各線の上端と下端は耐力壁の両側に同長の直交壁が取り合う形状（平面が T 型形状）と片側のみに取り合う形状（L 型形状）を表している。なお、 $H=3600\sim 4500$ mm の場合の領域長さ最大の線は、同一線である。

これを指針によって定められた直交壁効果領域と比較すると、指針では 2730 mm が領域長さとなっているので、本論において領域長さが 2730 mm を超える形状については、抑え込む圧縮軸力を小さく評価することになり、安全側と捉えられる。一方、2730 mm を下回る形状については、軸力を大きく評価していることになり、危険側であると言える。Fig. 9 で描かれている破線は基準となる 2730 mm を表しており、それを下回る部分は灰色で差別化した。これより本論で検討の対象とした 2040 個のモデルでは、219 個が危険側であった。特に壁配置が L 型に近づく程、危険側であることがわかる。

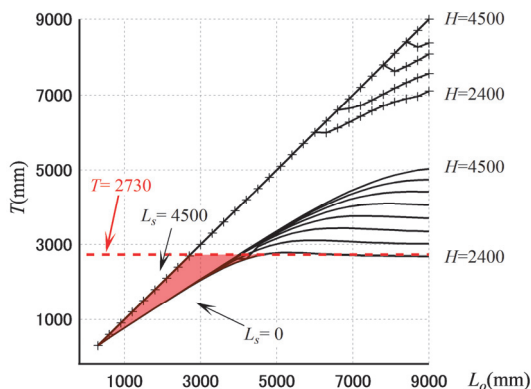


Fig. 9 Calculation chart of reaction force.

4.2 断面力から求めた直交壁効果領域

次に断面軸力を基準とした計算図表を Fig. 10 に示す。図表は Fig. 9 と同様に、横軸は直交壁全長 L_o 、縦軸は領域長さ T で表しており、各線は、領域長さが最大と最小の場合を壁高さ H ごとに描き、最大の場合には×印のマーカーを付している。加えて前節と同様に Fig. 10 の危険側にあたる部分を灰色で示している。Fig. 10 では 2040 個のモデルの内、328 個が危険側に評価された。

また、これら Fig. 9 と Fig. 10 を比較すると Fig. 10 の方が T は低く表れている。これは T が低いと耐力壁へ協力できる幅が短くなるので、断面軸力を基に評価した方が安全側であると言える。加えて、実際に耐力壁に生じる引抜きを抑え込むのは直交壁に生じる軸力の為、断面力を基にした評価方法は指針の考え方に即していると考えられる。

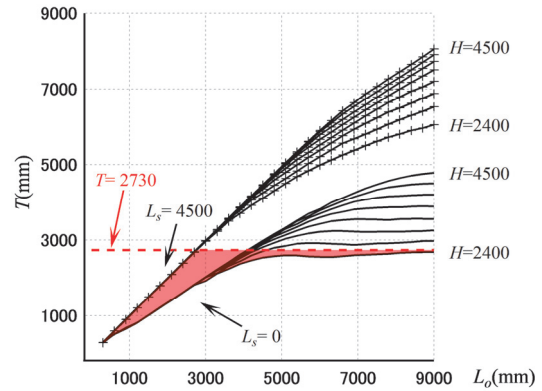


Fig. 10 Calculation chart of section force.

5. 結論

本論では直交壁の配置を変化させた時の直交壁効果領域の性状を検証した。得られた知見を次に示す。

壁の配置を L 型から T 型へ変化させると、領域長さは次第に長くなることがわかった。領域長さは壁長や壁高さに依存しており、壁が長く、また壁高が高くなる程、領域は増大することが判明した。

次に領域の評価方法を既報⁵⁾までで使用していた支点反力を用いて評価するのに加えて、断面軸力を用いた評価方法を試みた。支点反力に比べ、断面軸力を用いて評価で行う方が領域長さは低く現れた。これは、壁体に働く軸力が、上部から下部に向かって裾が広がるように分布しており、要素毎で評価することにより、支点反力では得られなかった壁体上部の軸力を加味しているのが原因だと考える。

最後に本論では直交壁効果領域を簡便に求められるように、計算図表の提案を行った。計算図表は横軸の直交壁長さと同様の高さを決め、壁配置に合わせて 2 種類ある線群の間を直線補間することで直交壁効果領域の概算を求めることができる。また、作成した計算図表と指針が定める基準値(2730 mm)との比較も行い、本論で扱ったモデル形状のうち、支点反力と断面軸力のそれぞれで約 15 %のモデルが基準値を下回っており、これらの形状においては危険側に評価していることがわかった。

今後の展望としては、本論で用いたモデルをより詳細にしたモデルによる直交壁効果領域の検証を考えている。具体的には現在、壁体を 1 枚の板要素で表現している部分を 1 組の枠材を 2 枚の板要素で挟み込む形に変更すること、土台までしか考慮されていないモデル下部を基礎まで考慮し、HD 金物やアンカーボルトを想定した弾性バネの導入を構想している。これによって耐力壁より伝達される力の流れがより実情に即したものとなり詳細な性状の把握が可能になると考えている。また柱脚部を細部まで再現することで、直交壁効果を考慮した脚部金物の設計方法を提案したい。

また、本論で述べている条件は無開口で構面の一部のみに限られる為、開口を有するモデルによる検討と上層階や複数の耐力壁を有している場合による検討も併せて検証していきたい。

参考文献

- 1) ウェブ版枠組壁工法建築物設計の手引及び構造計算指針日本ツーバイフォー建築協会発行< http://www.2x4assocorp.jp/builder/technology/faq/file/2007midoribon_faq.pdf >.
- 2) 宮本俊輔：枠組壁工法耐力壁構造の柱頭柱脚引き抜き力の設計に関する研究，第1回坪井記念研究助成報告書 (2004).
- 3) 壁式鉄筋コンクリート造設計・計算規準・同解説，日本建築学会，pp.173-175 (2015.12).
- 4) 勅使川原正臣，竹内馨一，神谷隆，太田勤，楠浩一，
稲井栄一，中村聡宏，向井智久，福山洋：壁式 RC 構造の耐震損傷制御に関する研究（その 1 直交壁の効果に関する実験概要），日本建築学会学術講演梗概集（中国），pp.845-846 (2017.9).
- 5) 岡本慶太，野村圭介：枠組壁工法建築物における直交壁効果を期待できる領域の評価，日本建築学会学術講演梗概集(中国)，pp.465-466 (2017.9).
- 6) 構造用合板の手引き東京合板工業組合／東北合板工業組合発行< <http://www.jpma.jp/data/kouzou/kouz10-25.pdf> >.
- 7) MUSS <http://jp.midasuser.com/building/membership/my_info.asp >.