

第7章 枠組壁工法の安全限界に関する検討

第7章 枠組壁工法の安全限界に関する検討

7.1 目的

枠組壁工法の安全限界に関する検討について、今まで、平成21年度は枠組壁工法（西宮）の安全限界検証実験（引き倒し実験）を、平成22年度は平成21年度の引き倒し実験結果と既往の振動台実験結果に基づく損傷限界・安全限界変形・荷重変形性能の実態値の整理を行った。

今年度は、枠組壁工法の安全限界を検証するために平成21年度引き倒し実験データの詳細分析と在来軸組構法との比較において接合部設計法の妥当性の確認を行う。

7.2 引き倒し実験データの詳細分析

7.2.1 引き倒し実験棟の構造計算方法

安全限界検証実験棟である西宮モデルハウス（三井ホーム株式会社）の構造計算書によると、当該建物は「住宅の品質確保の促進等に関する法律」（以下、住宅品質確保法という。）の住宅性能表示制度の「構造の安定に関すること」の耐震等級3の基準により設計されており、「長期優良住宅の普及の促進に関する法律」（以下、長期優良住宅法という。）に基づく認定長期優良住宅の要件である耐震等級2以上は確保されていることが解った。

なお、この構造計算は「枠組壁工法 住宅性能表示制度における構造の安定に関する基準解説書」（平成12年、社団法人日本ツーバイフォー建築協会（以下、ツーバイフォー協会という。）発行）に基づき、耐力壁の「許容耐力」を基にして、耐力壁が許容耐力に達した状態を想定して計算する方法で行われている。

7.2.2 引き倒し実験データの詳細分析

実験棟の構造計算方法を確認した結果、許容耐力で設計されている住宅であることが解り、安全限界検証実験データの詳細分析を行うことが出来ないことが解った。

7.3 接合部設計法の現状

7.3.1 接合部の位置付け

本節で対象としている接合部とは、在来軸組構法については、平成12年建設省告示第1460号第二号にいう「壁を設け又は筋かいを入れた軸組の柱の柱脚及び柱頭の仕口」を、枠組壁工法については、評価方法基準(平成13年国土交通省告示第1347号)第5の1-1(3)へ①b(i)にいう「たて枠上下端の接合部」を指す。いずれの条文も、いわゆる四号建築物において壁量計算を行う場合の仕様書規定に関するものである。

7.3.2 接合部設計法の概要

接合部の設計法には、接合部に生ずる応力を算定する外力の条件として、①耐力壁の「許容耐力」を基にして、耐力壁が許容耐力に達した状態を想定して計算する方法と、②耐力壁の剛性等に基づいて解析等によって導かれる「存在応力」を基に計算する方法に大別される。

許容応力度計算による場合の接合部の設計法は、在来軸組構法では「許容耐力」を基に算定することが「木造軸組工法住宅の許容応力度設計」のなかで原則とされる。枠組壁工法については「2007年 枠組壁工法建築物構造計算指針」のなかで「存在応力」を基に算定することが例示さ

れている。

一方、住宅性能表示制度の構造の安定に関しては、枠組壁工法においてその解説書「ツーバイフォー住宅の住宅性能表示制度・長期優良住宅認定制度利用の手引 2011」のなかでは①に相当する降伏せん断耐力を基に計算することとされており、これとは別に、いわゆる四号建築物の壁量計算を中心とする仕様書の規定に伴って用いられる接合部の設計法は、在来軸組構法と枠組壁工法のいずれも、壁倍率(すなわち①の許容耐力と等価)を基に計算する方法となっている。

したがって、長期優良住宅において枠組壁工法のこの接合部設計法は、在来軸組構法の接合部設計法と同等であると言える。

7.4 長期優良住宅の耐震性の認定基準

長期使用構造等の耐震性の認定基準は、すべて住宅品質確保法に基づく住宅性能表示制度の評価方法基準(平成 13 年国土交通省告示第 1347 号)を援用するものである。木造の場合、具体的な規定は以下の①～⑤のいずれかとなるが、通常の木造建築では①の耐震等級 2 または耐震等級 3 の基準に適合することと言い換えて差し支えない。

- ① 「耐震等級(構造躯体の倒壊等防止)」の等級 2 または等級 3 の基準に適合すること。
- ② 「耐震等級(構造躯体の倒壊等防止)」において、限界耐力計算による場合で、各階の安全限界変形の高さに対する割合が 1/40 以下であること。
- ③ 「耐震等級(構造躯体の倒壊等防止)」において、限界耐力計算による場合で、各階の安全限界変形の 75%以下とした状態を安全限界変形と読み替えて検証すること。
- ④ 「耐震等級(構造躯体の倒壊等防止)」において、限界耐力計算による場合で、等級 2 または等級 3 の基準に適合し、かつ、各階の安全限界変形の高さに対する割合が 1/30 以下であること。
- ⑤ 「その他(地震に対する構造躯体の倒壊等防止及び損傷防止)」の免震建築物の基準に適合すること。

以下、本節では、許容応力度設計を行う場合と、壁量計算を伴う仕様書の規定にしたがう場合において、耐震等級 2 または耐震等級 3 の基準に適合することについてのみ取り扱う。

7.5 枠組壁工法と木造軸組工法の接合部の引き抜き力の計算方法

7.5.1 枠組壁工法の許容応力度計算における接合部の引き抜き力の計算方法

枠組壁工法の構造計算ルートで、いわゆる許容応力度計算に該当するものは、平成 13 年国土交通省告示第 1540 号第 10 第二号である。これは、同告示第 9 第一号及び第 2 号に定めるところにより行う構造計算によって安全性を確認するものであり、具体的には「令第 82 条各号に定めるところによること」(第 9 第一号)、「構造耐力上主要な部分に使用する構造部材相互の接合部がその部分の存在応力を伝えることができるものであることを確かめること」(第 9 第二号)が要求される。

耐震等級 2 または耐震等級 3 の基準は、評価方法基準第 5 の 1-1(3)へ①a が適用され、平成 13 年国土交通省告示第 1540 号第 10 第二号を、令第 82 条第二号の表の K の値(令第 88 条に規定する地震力によって生じる力)を耐震等級に応じて 1.25 倍または 1.5 倍に割り増して運用する。

すなわち、在来軸組構法と枠組壁工法では、根拠条文は異なるが、耐震等級 2 または耐震等級 3 において、地震力によって生じる力を割り増して、接合部を含めて許容応力度計算を行う点において、同一の取り扱いになっている。

枠組壁工法の具体的な構造計算の方法について、「2007年版建築物の構造関係技術基準解説書」によると、ツーバイフォー協会発行の「枠組壁工法建築物設計の手引」「枠組壁工法建築物構造計算指針」「枠組壁工法建築物スパン表」を参考とすることができるとされている(P.176)。

最新の「2007年枠組壁工法建築物構造計算指針」では、許容応力度計算-1(耐力壁の剛性、耐力を壁倍率から求める場合)において、計算の原則(3.1.2)と手順を追った構造計算の詳細(3.1.4)を示している。これによると、壁倍率が剛性と比例するものと見なして各耐力壁の分担水平力を計算し、これを基に簡略化ラーメンモデルによって耐力壁脚部に生ずる引き抜き力を算出する方法が示されている(P.14、P.36)。

すなわち、枠組壁工法は在来軸組構法とは異なり、存在応力を基にした計算が原則になっている。また詳細な設計法、応力解析のための架構のモデル化の方法として、トラスモデル、簡略化ラーメンモデル、ラーメンモデル、せん断パネルモデル、有限要素法、立体モデルが例示されているが、基本的に存在応力による解析を前提としている。

これに対し、耐震等級2または耐震等級3の場合の接合部設計を解説した図書、すなわちツーバイフォー協会発行の「枠組壁工法住宅 住宅性能表示制度における構造の安定に関する基準解説書」や、これを引き継いだ「ツーバイフォー住宅の住宅性能表示制度・長期優良住宅認定制度利用の手引 2011」では、耐力壁に「降伏せん断力」が作用したとして簡易ラーメン法で応力解析を行うことが記されている。この降伏せん断耐力は壁倍率に比例するものと説明されており、耐力壁の「許容耐力」に相当するものである。

7.5.2 在来軸組構法の許容応力度計算における接合部の引き抜き力の計算方法

許容応力度計算において、建築基準法施行令第47条(構造耐力上主要な部分である継手又は仕口)において仕様書の基準への適合が求められているが、この規定に基づく平成12年建設省告示第1460号(木造の継手及び仕口の構造方法を定める件)の前文ただし書きに「ただし、令第82条第一号から第三号までに定める構造計算によって構造耐力上安全であることが確かめられた場合においては、この限りでない。」という規定があり、接合部を含めて許容応力度計算を行えばよい。

耐震等級2または耐震等級3の基準は、評価方法基準第5の1-1(3)ロ①b(i)が適用される。上と同じく令第82条第一号から第三号までに定める構造計算によって安全性を確認するが、令第82条第二号の表のKの値(令第88条に規定する地震力によって生ずる力)を耐震等級に応じて1.25倍または1.5倍に割り増す。接合部についても同様の割り増し計算を行う。なおこの場合、4分割法によらず、各階各方向の偏心率が0.3以下という条件が付帯してくる。

全国官報販売協同組合発行の「2007年版建築物の構造関係技術基準解説書」では、在来軸組構法の具体的な構造計算の方法について、財団法人日本住宅・木材技術センター発行の「木造軸組工法住宅の許容応力度設計」を参考とすることができるとされている(P.388)。

「木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2008年版)」では、標準的な仕様に対する構造設計法のうち、柱頭柱脚接合部の引き抜き力の計算として、N値計算法に準拠した方法(P.68、2.4.3)を示している。さらに、特殊な仕様や形状に対する構造設計法のうち、柱頭柱脚接合部の引き抜き力の詳細計算法として、ラーメン置換モデルによる計算法(P.402、4.6.1)、せん断パネル置換モデルによる計算法(P.407、4.6.2)が紹介されている。また具体的な説明はないが立体フレームモデルの応力・変形解析等も挙げられている。計算方法としては、これらのいずれによってもよいとされている。

ただし、接合部引き抜き計算の原則について解説(P.69、2.4.3の【解説】(1))があり、「存在応

力ではなく、当該階の耐力壁が短期許容耐力に達した状態での柱軸力を計算しなければならない。」とされている。

7.5.3 枠組壁工法の仕様書の規定による接合部の引き抜き力の計算

いわゆる四号建築物に該当する枠組壁工法は、在来軸組構法と同様に構造計算が省略されるが、平成13年国土交通省告示第1540号第1から第8までの仕様書の規定をすべて遵守する必要があり、この中に壁量計算(第5第五号)も含まれる。

たて枠上下端接合部については、同告示第5第十号に「屋外に面する部分で、かつ、隅角部又は開口部の両端にある耐力壁のたて枠は、直下の床の枠組に金物(くぎを除く。以下同じ。)又は壁材で構造耐力上有効に緊結しなければならない。」という規定があるのみで、在来軸組構法のよくな定量的検証は要求されていない。

耐震等級2や耐震等級3の場合は、評価方法基準第5の1-1(3)へ①b(i)に、「たて枠上下端の接合部に必要とされる引張力が、当該部分の引張耐力を超えていないものであることが、当該接合部の周囲の耐力壁の種類及び配置を考慮して確認されていること。」という規定がある。

これは、耐震等級2や3において、簡単な壁量計算で倒壊等に至るまでの耐震性能の評価を行うための付帯条件と位置づけられている。

住宅品質確保法施行直前(平成12年8月)に住宅性能表示制度を活用した枠組壁工法住宅の整備・推進を目的として、ツーバイフォー協会より「枠組壁工法 住宅性能表示制度における構造の安定に関する基準解説書」が発行され、接合部の簡易計算式が示されている。

これは床面等を剛と仮定したせん断パネルモデルを用いて解析を行い、最も厳しい条件を仮定して略算式としたものである。耐力壁が降伏せん断耐力に達したときの荷重を基にした解析であり、最終的な略算式は1階及び2階の壁倍率Aの関数式で、結果は接合部倍率N(在来軸組構法のN値と等価なもの)で表される。

この計算法はオーバーハング、セットバック、両面開口等の多様な設計には適用できなかった。

そこで、その後、ツーバイフォー協会において、新たに耐力壁実大試験結果に基づく「たて枠上下端の必要接合部倍率簡易計算法」(新計算法)が開発され、2009年より運用されている。

この計算式はたて枠上下端の必要接合部倍率N(在来軸組構法のN値と等価なもの)を算出するもので、下式によって求める。

$$N = |N_A + \alpha N_M| - N_W$$

ここで、 N_A は「たて枠左右の耐力壁の負担モーメントによる接合部倍率」、 N_M は「横架材に生ずる曲げモーメントによる接合部倍率」、 N_W は「たて枠が負担する鉛直力による接合部倍率」である。

解析モデルは、在来軸組構法の「木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2008年版)」に掲載されている「4.6.1 ラーメン置換モデル」とほぼ同一のもので、もちろん細部は枠組壁工法用に適正化されている。

この式において N_A は、たて枠の左右の耐力壁の「倍率」(いわゆる壁倍率)を基に算出するようになっている。

したがって、枠組壁工法では、四号建築物の仕様書の規定に対応した、たて枠上下端接合部の計算法として紹介されているものは、すべて「存在応力」ではなく「許容耐力」に基づく計算法と言える。

7.5.4 在来軸組構法の仕様書の規定による接合部の引き抜き力の計算……N値計算

在来軸組構法で、2階建て以下、延べ500㎡以下、高さ13m以下、軒の高さ9m以下の、いわゆる四号建築物では、構造計算が省略され、いわゆる壁量計算を中心とする仕様書の規定を遵守することで、構造安全性を確認する。

柱頭柱脚接合部については、建築基準法施行令第47条(構造耐力上主要な部分である継手又は仕口)第1項に「国土交通大臣が定める構造方法によりその部分の存在応力を伝えるように緊結しなければならない」という規定があり、平成12年建設省告示第1460号(木造の継手及び仕口の構造方法を定める件)第二号の規定により、接合部の検証をしなければならない。

この規定は建築基準法に基づくものであるため、枠組壁工法の場合と異なり、耐震等級とは無関係に全ての建物で適用される。耐震等級2や耐震等級3の場合は、壁量計算の基準自体が異なっており耐力壁が増加・強化されるため、それに応じて定量的に接合部の緊結を強化することになる。

平成12年建設省告示第1460号には、前文にも第二号の中にもただし書きがあるため、接合部の設計には3つのやり方がある。

- ①告示第二号の表1～表3を用いて仕様選択
 - ②告示第二号ただし書きにしたがい引張力計算(一例としてN値計算)
 - ③告示前文ただし書きにしたがい許容応力度計算
- ③については(4)で前述した。構造計算を行わない場合は①か②になる。

①の告示表による選択が最も簡単であるが、柱の位置や耐力壁の使用が制限されるほか、そもそも告示表が、厳しめの条件を想定してN値計算を行った結果を表にしたものに過ぎず、過剰な仕口が選択されがちである。

②の引張力計算の具体的な方法も各種あり得るが、「2007年版建築物の構造関係技術基準解説書」に唯一掲載されているのがN値計算法であり、広く普及している方法である。

N値とは、柱頭・柱脚に必要とされる引張耐力と、柱頭・柱脚の接合部仕様が有する引張耐力を共通の倍率で表したもので、引張耐力=N値×5.3kNの関係がある。

N値の計算式は以下の通りである。

- ・平家の柱もしくは2階建ての2階の柱 : $N = A_1 \times B_1 - L$
- ・2階建て部分の1階の柱 : $N = A_1 \times B_1 + A_2 \times B_2 - L$

細かい要素を割愛して、計算式の骨子を表すと、

$$N = A \times B - L$$

となる。このとき、Nは引き抜き力、Aは柱に取り付く左右の耐力壁の壁倍率の差、Bは周辺部材による押さえ効果を表す係数、Lは鉛直荷重による押さえ効果を表す係数(定数)である。

このように、N値は耐力壁の壁倍率(法律では軸組の倍率)を基に計算する。壁倍率は、耐力壁の単位長さ当たり短期許容耐力(ただし9.8kN/m以下の場合)に比例する数値であるので、N値計算法は、「存在応力」ではなく「許容耐力」に基づく計算法と言える。

7.6 まとめ

枠組壁工法建築物が「存在応力」で設計されることになった理由は、以下のような経緯による。

昭和 62 年に行われた枠組壁工法による総 3 階建て実大水平加力実験（建設省建築研究所）における建物の変形と外壁引抜力の関係から 3 階建て構造設計指針が生まれ、計算の方法が確立した。

その後、昭和 57 年建設省告示第 56 号の平成 4 年の改正（平成 4 年 3 月 10 日建設省告示第 590 号）において、第 8 適用除外 第一号ニのなかで構造材相互の接合部がその部分の「存在応力」を伝えることを確かめることが規定された。これは、同告示が全面改正された平成 13 年国土交通省告示第 1540 号にも引き継がれ、現在に至っている。

また、枠組壁工法建築物は過去の実大加力実験等の結果から、設計値以上の耐力を有することが確認されており、非耐力要素（間仕切り壁、垂れ壁、腰壁、外壁仕上げ材等）の効果があるとされている。

現状、枠組壁工法の安全限界を検証するにあたって、建築基準法においては「存在応力」による接合部設計法が基本と考える。

