木造軸組構法における柱脚接合部に入力される引張力に関する研究

A STUDY ON TENSION OF COLUMN JOINTS IN WOODEN TRADITIONAL HOUSES

那須 秀行*¹, 石山 央樹*¹, 野口 弘行*²

Hideyuki NASU, Hiroki ISHIYAMA and Hiroyuki NOGUCHI

This monograph relates tension of a column bases in adjustment between an experimental result and calculation by the standard or general design for conventional wooden structure. At first, 2-stories and 126 m² model house was given static load to examine the experimental measure and then 2 stories and 27 m² square houses was loaded in the same condition to investigate an effect of perpendicular walls to the load direction. Furthermore, some partial models of columns and sills were experimented to clarify the effect of rocking of column and confining of joint. After the experiments, the experimental measurement was revised with the effect of the rocking and confining, and compared with the standard calculation. As a conclusion, when the story deformation angle is 1/50rad, the rocking considerably affects the tension of column bases. The tension is not serious on every column base in the elastic limit. The required value of tension of corner columns seems to be unreasonable, but there is a noteworthy case that the tension more than the required value occurs to the column bases with compressive braces. The perpendicular walls shared with the corner columns seem to carry 1/3 to 1/2 of stress if it has the same specification as the walls in the same direction as the load.

Keywords: *Wooden traditional houses, Static test,*

Tension of joints, Rocking of column, Restriction effect

木造軸組構法 静加力実験 接合部の引張力 柱ロッキング 拘束効果

1. はじめに

2000年の建設省告示(1460号)の中で在来木造住宅における柱脚接合部の補強方法について仕様或いは設計法が具体的に示された。一方、1995年に発生した兵庫県南部地震を受けた当該地震地において、当時の基準に則ってはいるがホールダウン金物を用いる等の特別な補強のない軽微なプレート金物のみで柱脚接合されている木造住宅であっても無被害のものが多数存在していた。

そこで著者らは、いくつかの実大静加力実験を元にした面材耐力壁構法と筋かい構法の違い、通し柱構法と管柱構法の違い、直交壁による効果、幅1820mm(2P)の単体静加力実験結果の加算則による実大建物の挙動予測等一連の研究^{文献1, 2)}を進める中で、柱脚の引張力についても整理を試みてきた。

本論文は、現在、木造軸組構法の構造設計の拠り所となっている仕様基準或いは設計法によって生じると想定される柱脚の引張力が、実際の実験結果とどの程度整合性があるのかを論じている。

具体的には、N値計算法^{文献1)}や標準設計法^{文献12)}で想定される引張力に対し、実大実験で検出された引張力はいどの程度だったのか、層間変形に伴う柱の傾きによる影響および、耐力面材や筋かい金物による柱脚の拘束の影響を定量的に把握し、それを反映した真の柱脚引張力を予測した上で、諸基準類との整合性に言及する。

2. 研究の経緯

まず2階建38坪プランの実大静加力実験を行い、設計上、柱脚接合部に想定される引張力と実際に検出された引張力との整合性について研究を始めた(本論3.)。

続いて2層で2間×2間(4P×4P)の整形プランで同様の実大実験を行った。その際、加力面とは直交する構面に存在する耐力壁が建物の変形抑制等に寄与する効果(以下、直交壁効果)についても研究を進めた(本論4.)。これらの研究過程で、

- ・柱脚に生じる引張力は概ね諸基準類の想定程は大きくないこと
- ・柱に対するホールダウン金物の取り付け側面の違い(以下、取り付け勝手)によって、層間変形に伴う柱の傾き(以下、柱のロッキング)による影響を受け、ホールダウン金物の軸部で検出される引張力(以下、柱脚の引張力)に違いが生じること
- ・耐力面材や筋かい金物による柱脚部の拘束効果(以下、拘束効果)があること、等が明らかになった。

上記を加味し、柱のロッキングの影響や拘束効果を定量的に把握するため、柱脚部のみ抜粋した部分実験を実施した(本論5.)。

最後に、先述の実大実験より検出された柱脚の引張力に対して、部分実験によって明らかとなった柱のロッキングや拘束効果を補正し、諸基準類で想定される引張力との比較検討を行った(本論6.)。

*¹ 住友林業(株) 研究員・工修
*² 明治大学理工学部 教授・工博

Researcher, Sumitomo Forestry Co., Ltd., M. Eng.
Prof., Dept. of Architecture School of Science & Technology, Meiji Univ., Dr. Eng.

3. 実大実験（実際の住宅プラン）

実際の設計に基づいたプランにおいて、柱脚接合部に検出される引張力を検証した。

3. 1 試験体概要（R試験体）

試験体は、1階 69.6 m² (約 21 坪)、2階 56.3 m² (約 17 坪)、延べ床 125.9 m² (約 38 坪) の面積で、積載荷重（実情を想定し 600N/m²）を加えた設計質量は 24.5ton であった。構造仕様は小規模斜め貼り合わせによる壁倍率 2.5 倍の耐力面材を品確法の等級 3 を想定し、建築基準法施行令 46 条で定められる必要壁量の 1.57 倍で施工したものである（以下、R試験体）。写真 1 に R 試験体の全景を、図 1 にプランおよび加力方向を示す。

1 階柱脚部のホールダウン金物は N 値計算法^{文献 11)}に従って配置した。柱脚部の軸力計測はホールダウン金物の軸部に歪みゲージを貼ることで検出し、ナットを所定トルク（スプリングワッシャーが密着する手締め程度の 3N・m）で締め付けた後、水平加力直前にインシャライズしその後の増分軸力を測定した。なお、本論で用いたホールダウン金物は全て同一仕様で後述の写真 7、8 の形状と図 1 2 に示す特性（許容引張耐力 30 kN）を有した初期ずれの少ないタイプであることから、比較的小さな引張力でも検出可能である。

3. 2 実験方法

試験体は反力床に固定された鉄骨架台にアンカーボルトとホールダウン金物で固定した。加力は 1 本の油圧ジャッキを用い層せん断力分布が A_i 分布となるように分配治具を介して 2 階床及び軒桁位置に行い、水平方向の加力位置については 1 階の剛心位置とした。

なお、加力スケジュールは正負交番繰返しによる変位制御とした（ $\pm 1/600 \rightarrow \pm 1/450 \rightarrow \pm 1/300$ (3 回) $\rightarrow \pm 1/200 \rightarrow \pm 1/150$ (3 回) $\rightarrow \pm 1/100 \rightarrow \pm 1/75$ (3 回) $\rightarrow \pm 1/50 \rightarrow$ 最終）。

写真1 R試験体（38坪プラン）全景

図1 実大実験（38坪）プラン

3. 3 建物全体の挙動

1 層における両端外壁構面の平均層間変形角と水平力（すなわちジャッキ荷重）の特性を図 2 に示す。地震層せん断力係数 $C_0=0.2$ 相当の水平力 (50kN) が加わった時点での層間変形角は $1/2700\text{rad}$ であった。最大耐力 $P_{\max}$ は 310kN を示し、その後ジャッキストローク一杯の $1/10\text{rad}$ まで耐力低下は穏やかであった。

3. 4 柱脚の引張力

柱の位置によって柱脚の引張力には差があり、図 3 および表 1 に示す通り、出隅部「る10」で比較的大きな値を示した。しかしながら、それでも層間変形角 $1/150\text{rad}$ 時で 7.44kN、 $1/50\text{rad}$ 時でも 12.76kN と絶対値としてはそれ程大きな値とはなっていない。

「と10」・「に9」・「い9」は、正側加力において圧縮側の付加軸力が生じると予測されたが、実際には、 $1/50\text{rad}$ 時に 6~10kN 程度の引張力を示した。これはホールダウン金物の取り付け勝手の影響であり、建物の層間変形に伴う柱のロッキングにより圧縮側の柱であってもホールダウン金物には引張力が検出されたためと思われる。

「い5」および「い6」は加力方向とは直交する耐力壁であるが、負側加力の $-1/50\text{rad}$ 時には 5kN を超える引張力が検出された。

図2 R試験体荷重変形角

図3 R試験体1階柱における層間変形角と柱脚引張力の関係

表1 特定変形角毎のホールダウン金物軸力 (kN)

層間変形角 (rad.)	る10	と10	に9	い9	い6
+1/600	2.60	0.36	-0.52	-0.20	(0.64)
+1/150	7.44	4.40	-1.36	2.94	(2.48)
+1/50	12.76	9.76	6.86	8.64	(5.92)

( ) 内は負側加力時

4. 実大実験（整形プラン）

できる限り本研究とは直接関係のない変動因子を少なくするため、シンプルかつ偏心のない整形プランにて実大静加力実験を実施した。柱脚の引張力を検証すると共に、筋かい構法と面材耐力壁構法の違い、および直交壁効果についても検証した。

4. 1 試験体概要（SB試験体・SR試験体）

整形プランは2層の2間×2間（各層共4坪）の正方形であり、建物自重と積載荷重（600N/m²）を加えた設計質量は6.6tonであった。試験体は耐力壁が筋かい仕様（以下、SB試験体）1体、面材仕様（以下、SR試験体）1体の計2体である。SB試験体とSR試験体の全景を写真2、写真3に示す。

両試験体とも耐力壁の配置は同じであるが、直交壁の配置においてその対峙する側とは異なる壁配置としている（ジャッキ側は出隅部に、その反対側は平部に壁がある）。これは押し側と引き側の柱脚引張力を比較することで直交壁効果を検討するためである。

SB試験体とSR試験体のプラン及び耐力壁配置を図4に示す。構造仕様を先述のR試験体と併記して表2に示す。

写真2 SB試験体全景

写真3 SR試験体全景

表2 実大実験の試験体概要

試験体名（解説）	大きさ	質量(t)	耐力壁	令46条に対する存在壁量比
R（実設計プラン）	10P×9P	24.5	面材※1	157%（等級3を満足する壁配置）
SB（整形・ブレース）	4P×4P	6.6	筋かい	110%（整形プランの四隅に配置）
SR（整形・面材）			面材※1	138%（整形プランの四隅に配置）

床仕様は全て同一で、構造用合板24mm厚直貼四周釘打の品確法床倍率3倍仕様

※1：小幅板斜め貼り合せ面材（壁倍率2.5倍）

図4 Sタイプ試験体プラン・耐力壁配置

写真4 試験治具とホールダウン金物の取り付け方向(2階床)

4. 3 実験結果・考察

4. 3. 1 筋かい構法と面材構法の違い

図5に示すP- δ 特性から読み取ると、耐力壁が面材仕様であるSR試験体の方が、筋かい仕様のSB試験体より層間変形角1/150rad.程度まで若干剛性が高かった。

また、1/50rad.付近でSB試験体は圧縮筋かいの座屈破壊に伴う耐力低下を生じたが、SR試験体ではその後も耐力上昇し1/20rad.付近で最大耐力となった後、ジャッキストローク一杯の1/10rad.まで穏やかに耐力低下した。

4. 3. 2 柱脚の引張力

図6にSB、SR両試験体の各層間変形角時における個々の柱脚部における引張力を示す。ただし、ホールダウン金物の構造上、圧縮力に関しては初期導入軸力分を超えては計測できない。

$C_0=0.2$ 時(層せん断力13kN)における層間変形角程度では、SB試験体、SR試験体とも、小さな値の引張力しか検出されなかった。SR試験体は隅部の柱の引張力が大きかったが、SB試験体では、圧縮筋かいの突上側の柱脚における引張力が大きかった。

図5 Sタイプ試験体の荷重変形角

図6 SB、SR試験体における層間変形角と柱脚の引張力

4. 3. 3 直交壁効果

図6に示すように、「ほ」通りでは試験体の出隅に耐力壁が存在し、「1」或いは「5」通り構面から見れば直交壁が隣接していることになる。逆に、「い」通りでは出隅から1P離れたところに耐力壁があり、直交壁は隣接していない。

図7に加力方向から見れば直交構面である「ほ」および「い」通りの特定層間変形角時における柱脚の引張力を示す。隣接直交壁なしの「い」通りと比較すると、隣接直交壁有りの「ほ」通りのほうが隅部の「1」および「5」通りで柱脚の引張力が小さく、逆にその隣の「2」および「4」通りは「い」通りより引張力が大きい傾向が看取され、こちらに力が流れていることが解る。

本実験のように隣接する直交壁が同一仕様であれば、隣り合う各柱脚部の引張力をどうし比較することで、各耐力壁に分配されているせん断応力の割合も予測可能と考えられる。図7の「ほ」通りの1/50rad.時を例にとれば、実験値のため多少のばらつきはあるものの、概ね1/2~1/3程度の応力が隣接直交壁に流れていると考えて大過ないと思われる。

図5からも直交壁の効果は確認できる。正側加力の場合は「ほ」通りに引張力がかかり、当該「ほ」通りには隣接直交壁がある。逆に、負側加力の場合は「い」通りに引張力がかかる。つまり、図5における第1象限が隣接直交壁有り、第3象限が隣接直交壁なしの荷重変形角関係となる。同じ変形角時どうしの耐力を比較すると第1象限の方が絶対値として若干高い値を示しており、その差分は直交壁による効果と考えられる。

なお、直交壁効果に関しては、床剛性によりその影響度は変化すると考えられるが、本論では表2に示すとおり全て実情に合わせた同一仕様にて実験を行っている。

図7 隣接直交壁の有無による柱脚引張力の違い

5. 部分実験（柱脚部のみを抜粋）

3. のR試験体および4. のSB試験体およびSR試験体で実施した実大実験において測定された引張力は、柱の傾きによるホールダウン金物の取り付け勝手の影響や、耐力面材或いは筋かい金物による拘束効果の影響を含んでいる。その影響を取り除き、真の柱脚引張力と考えられる値を定量的に把握するため、柱脚部のみを抜き出し部分実験を行った。

5. 1 実験概要

部分実験の試験体概要を表3に、試験体図を図8、試験状況を写真5に示す。試験体は大別して柱のロッキング関連で2タイプ（ホールダウン金物の取り付け面が加力面か①、直交面か②③④）あり、面材等による拘束効果関連で3タイプ（接合具がホールダウン金物か⑤、面材か⑥⑦⑧、筋かい金物か⑨）ある。柱のロッキングの影響を見る場合、ホールダウン金物の柱への取り付け面を変えて柱に強制的に傾きを与え、その時の軸力を計測した。面材等の拘束効果については、3種類の接合具別に単純引張剛性を計測した。

表3 部分試験体概要

試験タイプ	試験体名	接合具	取り付け状況
柱ロッキング (水平加力)	①X-HD-P-10(6体)	ホールダウン金物	加力面1本(初期軸力10kN)
	②X-HD-C-10(2体)		直交面2本(// 各10kN)
	③X-HD-C-05(2体)		直交面2本(// 各05kN)
	④X-HD-C-01(2体)		直交面2本(// 各01kN)
拘束効果 単純引張 (鉛直加力)	⑤Y-HD-01(3体)	ホールダウン金物	1本(初期軸力01kN)
	⑥Y-KD-03(3体)	面材耐力壁 倍率2.5倍仕様	仕様1(N50釘3本)
	⑦Y-KD-05(3体)		// 2(// 5本)
	⑧Y-KD-07(3体)	筋かい金物	// 3(// 7本)
	⑨Y-BP(3体)		Dマーク金物BP2同等仕様

5. 2 実験方法

各試験体は土台をアンカーボルトにて架台に止め付け、ホルダウン金物は直接鉄骨架台から引っ張った。加力は1本の油圧ジャッキを用い、水平もしくは鉛直方向に加力した。

柱のロッキングの影響を検証する水平加力試験体(①~④)は、変位制御の正負交番各1回繰返しで行った。ただし、部分実験装置の関係上、実大実験であれば必ずと存在する柱の鉛直荷重分(圧縮軸力分)は、ホールダウン金物を所定トルクで締め付けた引張力により、表3に示す「初期軸力」として与えた。一方、拘束効果をみる鉛直加力の試験体については単調引張りとした。

5. 3 実験結果・考察

5. 3. 1 柱のロッキング時における中立軸の位置

ロッキングによる各試験体の柱脚の浮き上がり状態を図9に示す。中立軸は、取り付くホールダウン金物の軸材の近辺に発生し、その傾向は初期軸力が大きい程顕著であることが解った。

図9 柱脚部の浮き上がり状況

柱のロッキングの影響を検証(①~④) 拘束効果を検証(⑤~⑨)

図8 部分実験試験体図

写真5 部分実験試験体加力状況

5. 3. 2 柱のロッキングによる軸力変動

1) ホールドダウン金物が加力面に取付く場合 (試験体①)

図10および写真6に示すとおり、試験体①X-HD-P-10のように加力面にホールドダウン金物が取り付く場合、柱のロッキングによって生じる付加軸力は、層間変形角1/500rad. で1~2kN程度と影響は少なかったが、1/50rad. では平均12kN程度と無視できない影響があった。

なお、本論において層間変形角1/500rad. に着目したのは、著者らの過去の実験結果より損傷限界程度としての目安としたものであり、同様に1/50rad. については安全限界程度の目安としたためである。

2) ホールドダウン金物が加力方向と側面の場合 (試験体②③④)

加力方向に対して側面にホールドダウン金物が取り付く場合 (写真7)、図11に示すとおり、層間変形角1/500rad. では初期軸力に関わらずいずれも殆ど影響なかった。ただし、1/50rad. では試験体② (初期軸力10kN) で約0~1kN、試験体③ (初期軸力5kN) で約2~4kN、試験体④ (初期軸力1kN) で約3~4.5kNと若干影響があった。

5. 3. 3 拘束効果

1) 面材耐力壁による拘束効果 (試験体⑤⑥⑦⑧)

まず、試験体⑤より基準とするホールドダウン金物の特性 (図12) と破壊性状 (写真8) を得た。次に、試験体⑥⑦⑧により面材による拘束効果が及ぶ範囲も検証すべく、面材の長さを変えて実験を実施した。面材の面内回転剛性に違いはあるものの、いずれも最終的には土台と面材との接合釘の抜け出しが支配的であった (写真9)。

図12に示すホールドダウン金物の特性と図13に示す面材による拘束力の同一変位どうしを比較すると、変位1.8mm時 (層間変形角1/500rad. 相当) での拘束効果はホールドダウン金物の1~1.5割程度、変位18.2mm時 (50rad. 相当) では1割程度と確認された。

図10 ロッキング加力面①

図11 ロッキング直交面②③④

図12 ホールドダウン (⑤)

図13 拘束効果 (⑥⑦⑧⑨)

写真6 柱ロッキング
加力面に取付 (①)

写真7 柱ロッキング
側面に取付 (②③④)

写真8 拘束効果
ホールドダウン (⑤)

写真9 拘束効果
耐力面材 (⑥⑦⑧)

写真10 拘束効果
筋かい金物 (⑨)

2) 筋かい金物による拘束効果 (試験体⑨)

図13に示すとおり、筋かい金物による柱と土台との拘束効果については、9mm程度の変位すなわち1/100rad. 相当までは面材による拘束効果の2倍程度の拘束力を筋かい金物が有していることが解った。

その後、筋かい金物は写真10に示すような変形に向けて拘束力は減少し、安全限界程度 (18.2mm変位1/50rad. 相当) では面材と概ね同程度の拘束力となることが確認された。なお、本実験に使用した筋かい金物はDマーク金物BP2と同等評価されたものである。

5. 4 部分実験の結果

1) 柱のロッキングによる影響

建物の層間変形に伴い柱がロッキングすることによるホールドダウン金物に入力される引張力の影響については、層間変形角1/500rad. 程度では殆ど無視できる。

しかしながら、1/50rad. 程度においては、ホールドダウン金物が柱の加力面であれ側面であれ、いずれの場合でも軸力変動は小さくない。特に実験等で精密さを要する場合には、ホールドダウンの取り付け勝手に留意する必要がある。

2) 拘束効果

面材耐力壁や筋かい金物による土台と柱脚の拘束効果については、絶対値としてはそれ程大きくないが、層間変形角の初期段階から安全限界と考えられるような大変形時まで、安定的な拘束効果があることが解った。

耐力面材や釘のせん断或いは筋かいによる引張力との複合応力となるため単純な加算とはならないが、今後、これら拘束効果の相応分は、柱脚の固定金物充充分として算入可能な合理設計も視野に入れて良いのではないかとと思われる。

6. 実験と設計との整合性

まず、実大実験で検出された柱脚の引張力に対し部分実験結果を反映させ、真の柱脚引張力と考えられる値を算出する。具体的には、柱の傾きによるホールダウン金物の取り付け勝手の影響や拘束効果といった影響を取り除く。

その上で、この真の柱脚引張力と諸基準・設計法で想定されている引張力との比較検討を行う。

6. 1 部分実験結果の単純化と実大実験への補正条件

補正を行うに当たり各部分実験結果の値を同じ試験体仕様毎に平均化しした。柱のロッキング効果を特定変形角時の軸力の平均値として図14に示す。同様に拘束効果についても、特定変位時の引張力（圧縮力）の平均値として図15に示す。

表4に各仕様毎の柱脚の引張強度、剛性およびホールダウン金物に対する剛性比を示す。引張剛性は1.8mm変位時（1/500rad.相当）および、18.2mm（1/50rad.相当）変位時の各々の割線剛性とした。

各実大実験に対して補正適用する値とその適用条件を表5に示す。

図14 特定変形角時ロッキング効果

図15 特定変位時拘束効果

表4 面材・筋かい金物の拘束効果剛性

	強度	剛性		剛性比	
		1.8mm時	剛性比	18.2mm時	剛性比
Y-HD-01 (⑤)	56.00	12.29	100.0%	2.83	100.0%
Y-KD-03 (⑥)	4.63	1.36	11.1%	0.24	8.5%
Y-KD-05 (⑦)	5.52	1.68	13.7%	0.30	10.7%
Y-KD-07 (⑧)	6.06	1.96	15.9%	0.31	11.1%
Y-BP (⑨)	8.14	3.06	24.9%	0.32	11.2%

表5 実大実験に適用する補正值と条件

▼ ホールダウン金物 取り付け面		ロッキング効果			拘束効果	
		加力面	加力背面	加力直交面	面材	筋かい金物
C ₀ =0.2	R試験体	-0.40	+0.54	-0.00	×1.16	×1.25
	SB試験体	-1.17	+1.28	-0.05		
	SR試験体	-1.24	+1.37	-0.07		
	1/50rad.	-12.84	+9.79	-3.83		
					1.8mm時 (1/500rad.相当)	18.2mm時 (1/50rad.相当)
					×1.11	×1.11

6. 2 補正手法

6. 2. 1 ロッキング効果を補正

実大実験において測定されたホールダウン金物の引張軸力は、耐力壁の転倒モーメントにより発生する引張力と前述の柱ロッキング効果との複合力であると考えられる。即ち、測定値からロッキング効果の影響分を差し引いた値が耐力壁による実際の引張力であると考えられる。

測定された軸力、耐力壁による引張力、ロッキング効果による引張力をそれぞれ $N_{測}$ 、 $N_{壁}$ 、 $N_{ロ}$ とすると、次のように表せる。

$$N_{壁} = N_{測} - N_{ロ} \quad \cdots \quad A式$$

6. 2. 2 拘束効果を補正

一方、測定された軸力は、耐力壁による引張力から耐力面材や筋かい金物による拘束効果を差し引いた値であると考えられる。即ち、測定値に拘束効果の影響分を付加した値が実際の耐力壁による引張力であると思われる。

測定された軸力、耐力壁による引張力を $N_{測}$ 、 $N_{壁}$ 、ホールダウン金物に対する拘束効果の剛性比を k とすると、次のように表せる。

$$N_{壁} = N_{測} + k \cdot N_{測} \quad \cdots \quad B式$$

耐力壁による真の引張力 $N_{真}$ を求めるため、A式とB式をまとめる（A式の $N_{壁}$ をB式の $N_{測}$ に代入する）と次のように表せる。

$$N_{真} = (1 + k) \cdot (N_{測} - N_{ロ}) \quad \cdots \quad C式$$

最終的に、C式によって柱のロッキングおよび拘束効果の両影響は補正可能と考えられる。

6. 3 補正結果および考察

図16に $C_0=0.2$ 時および1/50rad.時における実験値とA式、C式による補正後の想定値比の変化を示す。また、この手法を用いて最終的に真の柱脚引張力と思われる結果を N 値計算法による想定値と比較しながら表6に示す。なお、剛性比 k の値は変形角によって暫時変化すると考えられるが、ここでは簡略化するため部分実験における1.8mm変位時および、18.2mm変位時をそれぞれ $C_0=0.2$ 時、1/50rad.時として適用し剛性比配分した。

図16 補正前後における想定値の変動

表6 想定値と実験補正值（ロッキングと拘束効果を補正：C式）

試験体	測定箇所	加力方向	想定値 (N値計算)	測定値(kN) (想定値比)	
				C ₀ =0.2	1/50rad.
R	る10	押側	15.90	0.42 (2.6%)	9.92 (62.4%)
	と10	引側	15.90	1.04 (6.5%)	11.40 (71.7%)
	に9	引側	11.40	1.14 (10.0%)	18.49 (162.2%)
	い9	引側	19.08	1.09 (5.7%)	14.31 (75.0%)
SB	ほ5	押側	11.66	0.80 (6.9%)	3.28 (28.1%)
	に5	引側	2.12	2.07 (97.7%)	10.71 (505.0%)
	ろ5	押側	2.12	0.49 (23.1%)	5.18 (244.4%)
	い5	引側	11.66	2.50 (21.5%)	10.75 (92.2%)
SR	ほ5	押側	15.90	0.08 (0.5%)	13.43 (84.5%)
	に5	引側	4.77	-0.21 (-4.5%)	6.17 (129.3%)
	ろ5	押側	4.77	-0.19 (-4.1%)	9.39 (196.9%)
	い5	引側	15.90	0.26 (1.6%)	14.70 (92.4%)

6. 3. 1 ロッキングおよび拘束効果の影響

図16および表6に示すとおり、 $C_0=0.2$ 時の引張力は殆どの箇所で絶対値として小さく補正前後の変化も小さい。しかしながら、 $1/50\text{rad.}$ 時ではロッキングの影響が大きいといえる。また、A式補正後とC式補正後ではそれ程大きな変化がない(図16)ことから、拘束効果はそれ程大きくないといえる。

6. 3. 2 想定値と真の柱脚引張力との整合性

真の柱脚引張力と考えられる表6の結果を図17、図18にグラフ化した。その際、正負加力それぞれにN値計算法^{文献11)}および標準計算法^{文献12)}による想定値を併記した。更に図17には建物の質量から求まる $C_0=0.2$ 時と共に存在壁量から求まる弾性限界時(耐力壁量の余裕分だけ大きな外力がかかった状態)も記した。N値計算法と標準計算法とで想定される値が異なるのは、当該階より上階の鉛直力による抑え込み効果が反映されているためであり、特に本論のSタイプ試験体のように柱本数に対し床面積が小さい場合、想定値はN値計算法より標準計算法の方が大きくなる。

図17に示すとおり、 $C_0=0.2$ 時および弾性限界時においていずれの柱脚にも絶対値として大きな引張力は発生していない。

図18に示すとおり、 $1/50\text{rad.}$ 時では接合金物の安全率($P_{\max}/P_y$)が通常1.5倍以上ある事を勘案し、想定値も1.5倍している。3試験体の正負加力とも想定値が真の柱脚引張力をほぼ上回っており、特に隅柱における想定値は過大と思われる。ただし、圧縮筋かいの突上げ側となる柱脚部においては、絶対値そのものはそれ程大きくはないものの、元々の想定値が小さいためそれを超える引張力がかかる場合があることが解った。

7. まとめ

- ・柱のロッキングおよび耐力面材や筋かい金物による拘束効果を定量的に把握し、真の柱脚引張力を求める手法を提案した。
- ・層間変形角 $1/50\text{rad.}$ 時において柱のロッキングの影響が大きい。
- ・3体の実大実験によれば、 $C_0=0.2$ 時および弾性限界時においていずれの柱脚も絶対値としてさほど大きな引張力は発生しなかった。
- ・隅柱の想定値はやや過大と思われるが、圧縮筋かいの突上げ側の脚部では想定値以上の引張力がかかる場合があり注意を要する。
- ・同仕様の隣接直交壁には $1/2\sim 1/3$ 程度の応力が流れると思われる。

参考文献

- 1) 那須秀行, 町田健一, 塩沢伸明, 石山央樹, 大橋好光: 面材耐力壁を用いた木造軸組構法住宅の実大静加力実験(その1) ~実験概要および筋交い構法との比較~, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), C-1, pp. 109-110, 2002. 8
- 2) 塩沢伸明, 那須秀行, 町田健一, 石山央樹, 大橋好光: 面材耐力壁を用いた木造軸組構法住宅の実大静加力実験(その2) ~壁の加算則の検証~, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), C-1, pp. 111-112, 2002. 8
- 3) 石山央樹, 那須秀行, 町田健一, 塩沢伸明, 大橋好光: 面材耐力壁を用いた木造軸組構法住宅の実大静加力実験(その3) ~柱頭柱脚金物に入力される引張力~, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), C-1, pp. 113-114, 2002. 8
- 4) 那須秀行, 石山央樹, 塩沢伸明, 野口弘行: 木造軸組工法における構造仕様の違いについて(その1) ~通し柱と管柱、面材耐力壁と筋かい耐力壁の構造性能比較~, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), C-1, pp. 355-356, 2003. 9
- 5) 石山央樹, 那須秀行, 塩沢伸明, 野口弘行: 木造軸組工法における構造仕様の違いについて(その2) ~柱頭柱脚に入力される引張力~, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), C-1, pp. 357-358, 2003. 9
- 6) 竹村雅行, 稲山正弘, 村上雅英: 在来軸組工法木造住宅の構造設計手法の開発(その66) ~平面保持仮定にもとづく柱脚柱頭接合部軸力の一般解~, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), C-1, pp. 285-286, 2003. 9

図17 真の引張力と想定値 ($C_0=0.2$ と弾性限界)

図18 真の引張力と想定値 ($1/50\text{rad.}$)

- 7) 稲山正弘, 村上雅英, 那須秀行, 石山央樹: 在来軸組工法木造住宅の構造設計手法の開発(その67) ~柱脚柱頭接合部軸力一般解の立体建物への適用方法と検証~, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), C-1, pp. 287-288, 2003. 9
- 8) 佐藤俊平, 稲山正弘, 村上雅英, 那須秀行, 石山央樹: 在来軸組工法木造住宅の構造設計手法の開発(その68) ~下屋付2階建の柱脚柱頭接合部軸力の計算、および実大実験との比較~, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), C-1, pp. 289-290, 2003. 9
- 9) 腰原幹雄, 阿川将樹, 大橋好光, 宮澤健二, 坂本功: 偏心を有する木質面材耐力壁構造の静的挙動に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集 No. 558 pp. 165, 2002. 8
- 10) 富崎修平, 稲山正弘, 村上雅英: 在来軸組構法による面材有開口壁の柱頭柱脚の必要接合耐力算定法の提案, 日本建築学会構造系論文集 No. 563 pp. 123, 2003. 1
- 11) 国土交通省住宅局建築指導課他: 建築物の構造関係技術基準解説書, 工学図書, 2001. 3
- 12) 日本住宅・木材技術センター: 木造軸組工法住宅の許容応力度設計(第3版), 2004. 4
- 13) 建築技術: 建築技術, pp. 148-164, 2001. 6
- 14) エクスナレッジ: 建築知識, pp. 177-178, 2004. 8

(2004年6月8日原稿受理, 2004年9月9日採用決定)