

## すべり支承を設けた木造戸建住宅の鉄骨架台の 施工精度に関する考察

山本 享明

### Consideration about Building Accuracy of Steel Frame Stools under A Wooden Detached House Supported by Sliders

Takaaki YAMAMOTO

#### 緒 言

平成12年10月17日建設省告示第2009号（免震建築物の構造方法に関する安全上必要な技術的基準を定める等の件）が交付されて、交付以前では建設大臣認定（いわゆる38認定）を得ないと建設できなかった免震構造物が、検査機関の確認で建設されるようになった。建設大臣認定に要する費用と時間のために、現実的には困難であった戸建免震住宅にとっては、告示により普及が促進したのは想像に難くなかった。

戸建免震住宅の中でも、上部構造が軽量な木造及び鉄骨造の場合は、上部構造を鉄骨架台で支持し、その架台を経て支承材に鉛直力を伝達するという形式が一般的である。また、建物自体が軽量であるために、ビル免震とは異なり、積層ゴムなどの弾性支承は用いられず、すべり支承や転がり支承が用いられる。

木造住宅の免震構造に採用される免震システムに対し、その免震性能を実現するために、これまで様々な種類の免震材料が製品化されている。支承材には、すべり支承と転がり支承があり、復元材にはゴム製品から形状自体に復元性能を持たせたものまである。減衰材として、油圧ダンパーを用いるものや、支承材や復元材の履歴減衰を利用するものなどがある。

これらのすべり支承や転がり支承の多くは、引張に対して抵抗力を持たない形状となっている。設計上は、鉄骨架台と支承材は寸法通りに配置され、浮上りや隙間を生じることなどは想定していないが、施工精度が十分でないと、鉄骨架台と支承材の間又は支承材の上下間に隙間が生じる場合がある。通常、上部構造を構築中に隙間は解消されるが、その時の荷重支持状態は、設計で想定したものと異なったバランスとなる。多くの支承材は面圧依存性があるので、支持荷重が変化すること自体が摩擦係数の変化をもたらす。最終的には免震構造の性能を変化させることになる。

本稿では、数多くの実績があるシステムとして、すべり支承のうち剛すべり支承材（高摩擦タイプと低摩擦タイプの2種類）により鉛直荷重を支持し、水平変形能力を保持し、履歴減衰性能を利用しながら、筒型合成ゴム製品の復元材により復元性能を確保するタイプを考慮する。このシステムの鉄骨架台の施工精度により、免震性能にどのような変化をもたらすかを調査する。

## 研究方法

図1から図4に表される矩形平面を持つ切妻屋根の2階建て木造住宅を、図5の鉄骨架台で支持し、図6に示されるようにすべり支承材と復元材を配置する。



図1 1階平面図



図2 2階平面図

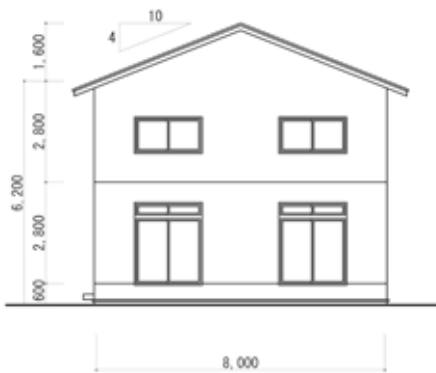


図3 南立面図



図4 西立面図

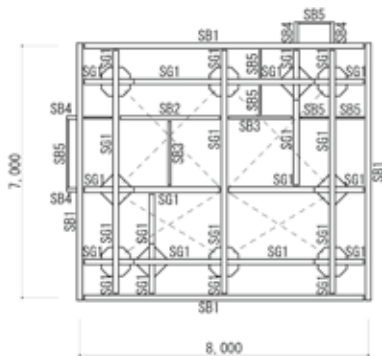


図5 南立面図

表1 鉄骨部材リスト

符号	部材断面
SG1	H-300x150x6.5x9
SB1	H-298x149x5.5x8
SB2	H-200x100x5.5x8
SB3	H-150x75x3.2x4.5
SB4	H-100x100x6x8
SB5	H-100x100x3.2x4.5

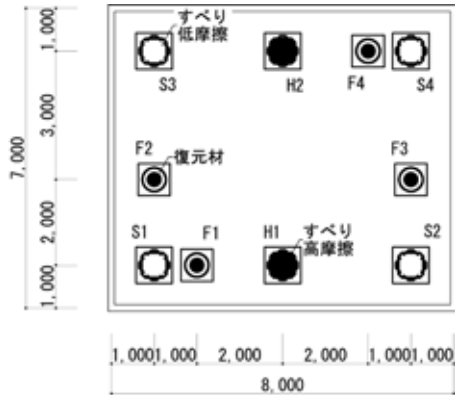


図6 免震部材配置図

表2 免震部材リスト

符号	免震材料
S1・S2・S3・S4	すべり支承材（低摩擦）
H1・H2	すべり支承材（高摩擦）
F1・F2・F3・F4	復元材

免震材料の主要諸元を表3に示す。

表3 免震材料の基準値<sup>1) 2)</sup>

	すべり支承材 低摩擦タイプ	すべり支承材 高摩擦タイプ	復元材
水平限界変形	400mm	450mm	400mm
すべり摩擦係数	0.031	0.020	…
水平剛性	…	…	43.7N/mm

最初に施工誤差がないものとして、上部構造から生じるすべり支承の鉛直反力を計算する。この時の反力を基準とする。この反力を用いて地震応答変位と減衰材の負担せん断力係数（摩擦係数）を計算する。この手順は、通常の設計の流れに即しているものである。

次に、ある支承位置で施工誤差が生じる場合を検討する。施工誤差が生じる位置の支点を解除し自由節点として計算をする。図7に示すように、柱からの荷重 $N_i$ による各支点の反力を $R_j$ とする。その時、支点を解除した位置の鉛直変位を $\delta_0$ とする。次に、図8のように支点を解除した位置に上向きの集中荷重 $P_n$ を作用させた場合の各支点の反力を $R_{nj}$ とする。この時の支点を解除した位置での鉛直変位を $\delta_n$ とする。

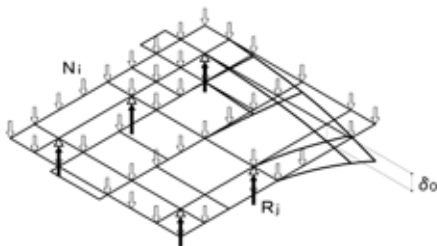


図7 支点解除時の上部構造による変形

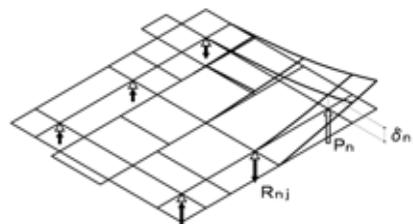


図8 集中荷重による変形

これら二つの状態を組み合わせ、施工誤差 $\Delta$ は、 $\Delta = \delta_0 - \delta_n$ で表され、その時、各支点の反力は $R_j + R_{nj}$ で表される。尚、施工誤差を考慮した支点での反力は $P_n$ となる。このように求められた支点反力を用いて、地震応答変位と減衰材の負担せん断力係数を計算する。

施工誤差 $\Delta$ は、1mmから10mmまでの1mm間隔で計算をする。また、表4に示すように、施工誤差は各すべり支承のうちの1箇所が生じる場合6ケースと、同時に2箇所が生じる場合5ケースを考慮する。

表4 計算のケース

1箇所を考慮する場合	S1,S2,S3,S4,H1,H2
2箇所を考慮する場合	S1とS4,S2とS4,S3とS4,H1とH2,H2とS4

それぞれの、施工誤差における各すべり支承の反力を用いて、地震応答変位や減衰材の負担せん断力係数の変化を調べる。

## 結果と考察

### 1. 支点反力の変化

S1に施工誤差が生じる場合の各支承での鉛直反力を図9に示す。誤差が増加するにつれ、S1とS2の反力が同じように減少し、H1の反力がS1とS2の合計分増加している。S3、S4及びH2は、ほぼ一定である。施工誤差により生じる反力の低減分は、殆どがスパンの短い支点に伝達されると考えられる。

S2に施工誤差が生じる場合も図9に同じである。これは、短いスパン側に力が伝達されるため、端部の荷重点と2支点間が等スパンの3点に並んでいる場合は、荷重点と対称側では、荷重と同じ向きの反力が生じるためと考えられる。

S3に施工誤差が生じる場合の各支承での鉛直反力を図10に示す。誤差が増加するにつれ、S3とS4の反力が同じように減少し、H2の反力がS3とS4の合計分増加している。S1、S2及びH1は、ほぼ一定である。

S4に施工誤差が生じる場合も図10に同じである。S2と同様のことがいえる。

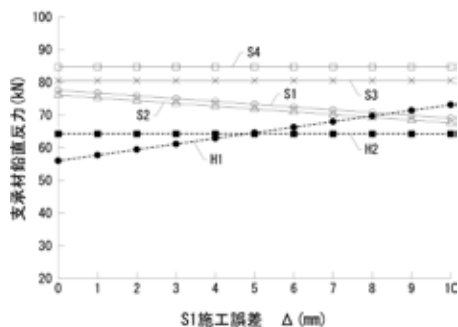


図9 鉛直反力の変化 (S1)

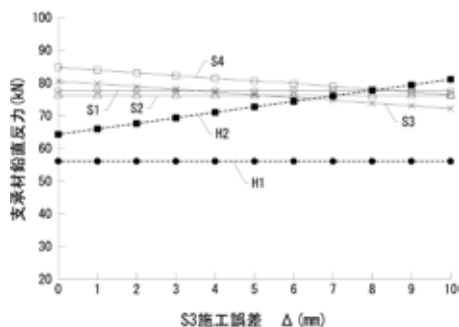


図10 鉛直反力の変化 (S3)

H1に施工誤差が生じる場合の各支承での鉛直反力を図11に示す。誤差が増加するにつれ、H1の反力が減少し、S1とS2の反力がH1の半分程度増加している。S3、S4及びH2は、ほぼ一定である。

H2に施工誤差が生じる場合の各支承での鉛直反力を図12に示す。誤差が増加するにつれ、H2の反力が減少し、S3とS4の反力がH2の半分程度増加している。S1、S2及びH1は、ほぼ一定である。

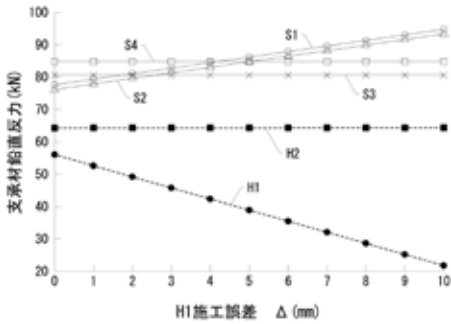


図11 鉛直反力の変化 (H1)

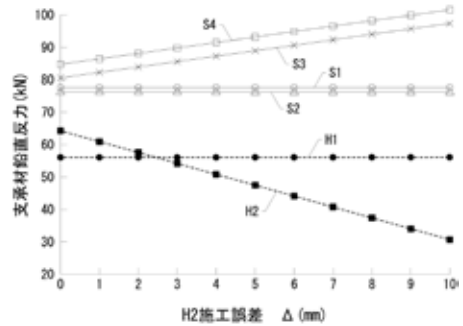


図12 鉛直反力の変化 (H2)

2点の支承で施工誤差が生じる場合を考える。S1とS4に施工誤差が生じる場合の各支承での鉛直反力を図13に示す。誤差が増加するにつれ、S1、S2、S3及びS4の反力が同じように減少し、H1とH2の反力が同じように増加している。この増加分はS1からS4までの減少分と等価になっている。単独にS1とS4の支承に誤差が生じる場合の重ね合わせと考えてもよいようである。

S2とS4に施工誤差が生じる場合も図13に同じである。これは、S1単独の誤差とS2単独の誤差が同じであることと、重ね合わせができることから類推できる。

S3とS4に施工誤差が生じる場合の各支承での鉛直反力を図14に示す。誤差が増加するにつれ、S3とS4の反力が同じように減少し、H2の反力がS3とS4の合計分増加している。S1、S2及びH1は、ほぼ一定である。S3の誤差の時と同じような図になるが、図10に比べて、S3、S4、H2の勾配は2倍程度となっている。

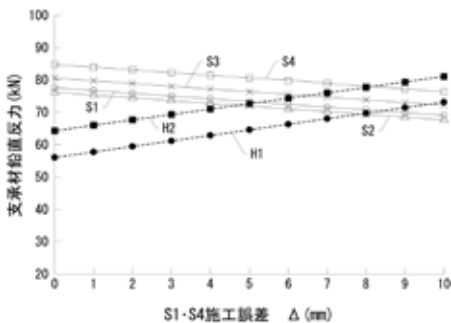


図13 鉛直反力の変化 (S1・S4)

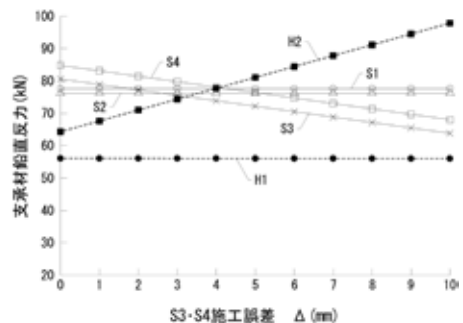


図14 鉛直反力の変化 (S3・S4)

H2とS4に施工誤差が生じる場合の各支承での鉛直反力を図15に示す。誤差が増加するにつれ、H2の反力が減少し、S3及びS4の反力がH2の半分程度増加している。S1、S2及びH1は、ほぼ一定である。ここでは、S4に施工誤差を考えているのに、反力が増加している点が注目される。

H1とH2に施工誤差が生じる場合の各支承での鉛直反力を図16に示す。誤差が増加するにつれ、H1とH2の反力が同じように減少し、S1、S2、S3及びS4の反力が同じように増加している。これらの増加分はH1とH2の減少分と等価になっている。今までのケースの中で、この場合が一番大きな反力の変化を示している。

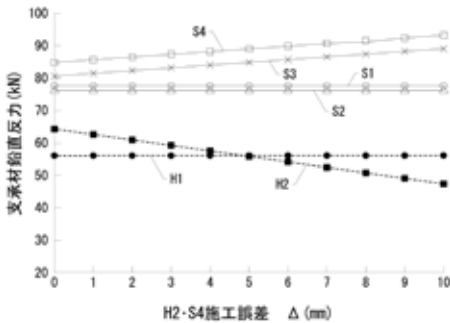


図15 鉛直反力の変化 (H2・S4)

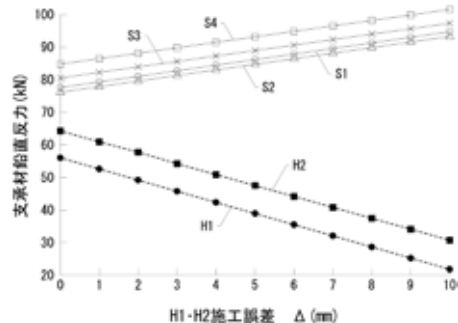


図16 鉛直反力の変化 (H1・H2)

考慮した全ての施工誤差のケースについて、支承の反力の変化率を図17にプロットする。施工誤差がない場合の各支承の鉛直反力で基準化したものである。

これから、鉄骨架台は弾性変形のみを考慮しているので、施工誤差の量に対して、反力の変化が直線で表されるのがわかる。施工誤差に対する反力の変化は基準値に対して10mmの誤差の時に、39%~152%の範囲に分布しているが、大半は80%~131%の範囲にある。直線性を考慮して、反力の変化率は-6.1%/mm~+5.2%/mmの間に分布しているが、大半は-2.0%/mm~+3.1%/mmの間に分布する。

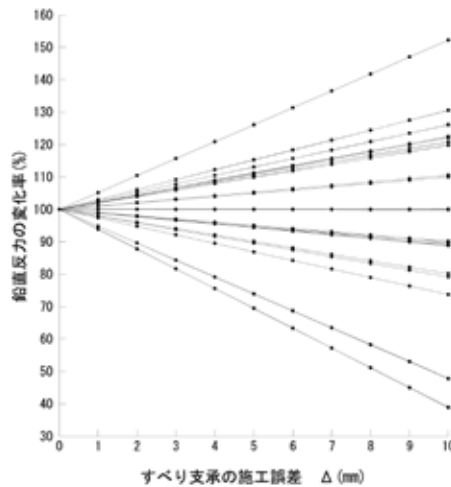


図17 鉛直反力の変化率

## 2. 地震応答変位の変化

支承の施工誤差と地震応答変位の変化の関係を図18に示した。施工誤差がない場合の地震応答変位は328mmである。ここで、Gsは1.25と仮定した。支点反力は一次的に変化したが、地震応答係数は直線に近いものの、完全な一次とはなっていないのがわかる。

低摩擦タイプのみ施工誤差がある場合は、単独の場合(S1, S2, S3, S4)でも複数の場合(S1・S4, S2・S4, S3・S4)でも、施工誤差が増加するとともに地震応答変位は低減する傾向がある。また、高摩擦タイプに施工誤差がある場合は、単独の場合(H1, H2)でも複数の場合でも(H2・S4, H1・H2)、施工誤差が増加するとともに地震応答変位は増加する。

地震応答変位が最も大きくなるのは、二つの高摩擦タイプが誤差を生じる場合(H1・H2)である。これは、高摩擦タイプが支持荷重を減じることにより摩擦抵抗が減少し地震応答変位が大きくなることを意味している。誤差10mmで地震応答変位が398mmとなっている。

地震応答変位の変化率を図19に表す。この変化率は誤差10mmの時に最大で-8.2%～+21.3%の範囲にばらつく。

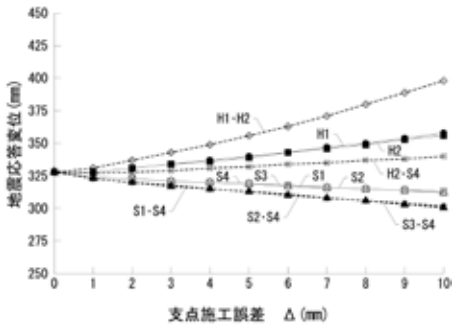


図18 地震応答変位

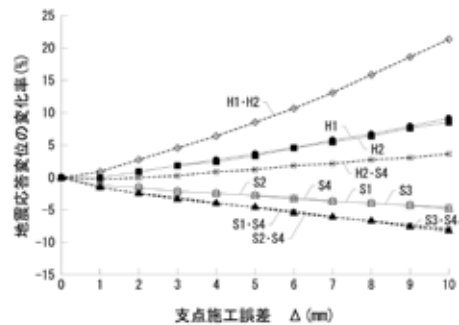


図19 地震応答変位の変化率

## 3. 減衰材のせん断力分担率（摩擦係数）の変化

減衰材のせん断力分担率は、平成12年10月17日建設省告示第2009号第6項第八号に示されているが、本検討の免震構造のように流体系の減衰材を用いていない場合は、減衰材のせん断力分担率は、結局、摩擦係数を意味することになる。

支承の施工誤差と摩擦係数の変化の関係を図20に示した。施工誤差がない場合の摩擦係数は0.0834である。地震応答変位と同じように、直線に近いが完全な一次とはなっていない。低摩擦タイプのみ施工誤差がある場合は、単独の場合(S1, S2, S3, S4)でも複数の場合(S1・S4, S2・S4, S3・S4)でも、施工誤差が増加するとともに摩擦係数は増加する傾向がある。また、高摩擦タイプに施工誤差がある場合は、単独の場合(H1, H2)でも複数の場合でも(H2・S4, H1・H2)、施工誤差が増加するとともに摩擦係数は減少する。地震応答変位の性状とは逆になっている。

摩擦係数が最も大きくなるのは、二つの低摩擦タイプが誤差を生じる場合(S1・S4, S2・S4, S3・S4)である。誤差10mmの時の摩擦係数は最大で0.0949である。

摩擦係数の変化率を図21に表す。この変化率は誤差10mmの時に最大で-29.0%～+13.8%の範囲にばらつく。

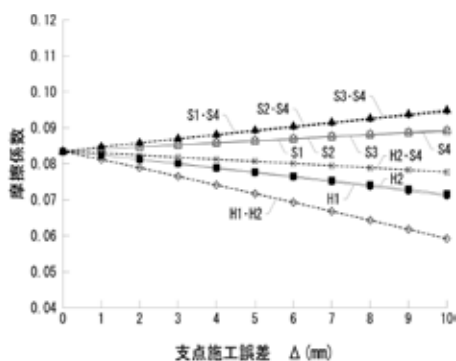


図20 摩擦係数の変化

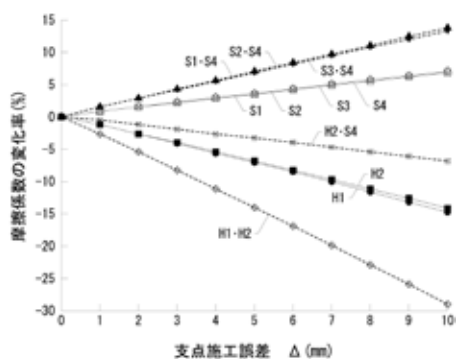


図21 摩擦係数の変化率

#### 4. まとめ

支承の反力は施工誤差量の大きさに比例して直線的に増減し、反力の変化率は $-6.1\%/mm \sim +5.2\%/mm$ の間に分布している。その結果を反映して、地震応答変位の変化率は施工誤差10mmにおいて $-8.2\% \sim +21.3\%$ の間に分布している。擬似的に1次とみなせば $-0.82\%/mm \sim +2.13\%/mm$ の分布である。また、摩擦係数の変化率は施工誤差10mmにおいて $-29.0\% \sim +13.8\%$ の間に分布し、擬似的に1次とみなせば $-2.90\%/mm \sim +1.38\%/mm$ の分布である。

地震応答変位の増加は、免震層の設計限界変位や免震材料の水平限界変形と関係するため、過度の増加は限界値を超える可能性がある。逆に地震応答変位が減少する場合は、免震層の設計限界変位に対しては有利になるが、その分摩擦係数が増加して上部構造の地震応答加速度を増加することになる。しかし、現行法規の枠内において、免震構造といえども上部構造の必要壁量は通常の耐震木造建築物と同等以上としているので、摩擦係数が大きくなったとしてもまったく問題はないと考えられる。

免震告示により計算をする場合、免震層の地震応答変位を算出するのに免震層の代表変位に1.1を乗じている。<sup>3)</sup> この1.1という係数は不測の偏心の影響を考慮して設定されたものであって、本稿で取り上げた施工精度が含まれるかどうかは不明である。しかし、施工誤差が大きくなると、10%以上の地震応答変位の増加を引き起こす可能性は十分に考えられる。

本稿で取り上げたような整形な住宅でも、地震応答変位に少なからず影響を及ぼすので、免震材料と鉄骨架台の設置には極力施工誤差をなくすように努める必要がある。

#### 要約

整形な平面と立面をもつ小規模（1階床面積 $56m^2$ 、2階床面積 $56m^2$ ）木造戸建て住宅に、剛すべり支承と復元材を組み合わせた免震構造について、鉄骨架台と支承材の設置における施工誤差（浮上り）が及ぼす影響を調査した。支点的反力は施工誤差量（浮上り量）とともに、1次的に増減する。反力の変化率は $-6.1\%/mm \sim +5.2\%/mm$ の間に分布する。地震応答変位は浮上り量に対して直線にはならないが、擬似的に1次とみなせば、地震応答変位の変化率は $-0.82\%/mm \sim +2.13\%/mm$ の間に分布する。摩擦係数も浮上り量に対して擬似的に1次とみなせば、 $-2.90\%/mm \sim +1.38\%/mm$ の間に分布する。

浮上り量が1mm以内だと地震応答変位の増加率は1%以内で、殆ど問題はないと考えられ



る。浮上り量が3mmの場合は最大4.6%の増加率となる。高摩擦タイプの支承の浮上りが大きな影響を与えることもわかった。地震応答変位が免震層の設計限界変位を超えないように、施工時の精度について注意を要する。

## 文 献

- 1) セイフティーテクノ型剛すべり支承材性能評価書, (2002)
- 2) セイフティーテクノ型復元材性能評価書, (2001)
- 3) 社団法人日本免震構造協会他：免震建築物の技術基準解説及び計算例とその解説, p.42, 工学図書株式会社 (2001)

