

1 面材補強の安全性を検証する 令46条対応でも倒壊の可能性

表1 振動応答解析の結果 (50カイン[cm/sec]基準化)

	階	現状壁量			面材補強後		
		EL Centro-NS	HACHI-NS	Taft-EW	EL Centro-NS	HACHI-NS	Taft-EW
Q N (層せん断力)	2	165026	152655	178002	217697	87705	158345
	1	287171	172921	269730	507226	206808	393128
D cm (層間変位)	2	61.58	56.03	67.40	20.10	2.99	11.23
	1	23.78	9.12	21.55	19.48	2.97	12.15
1/R (層間変形角)	2	5	5	4	14	94	25
	1	13	33	14	16	103	25
AD cm (階の最大応答変位)	2	40.01	64.98	88.24	39.53	5.61	23.33
	1	23.78	9.12	21.55	19.48	2.97	12.15
AV cm/s [カイン] (階の最大応答速度)	2	97.92	87.92	91.58	119.73	58.74	80.97
	1	65.41	30.58	49.13	71.72	31.28	43.40
AA cm/s ² [ガル] (階の最大応答絶対加速度)	2	488.7	420.6	404.9	920.2	592.0	731.0
	1	428.4	289.7	360.0	541.6	390.8	509.3

<解析方法>①多質点系連弾性地震応答解析「DAP V1.0」(構造システム)を採用②入力地震波は標準3波 EL Centro-NS、HACHI-NS、Taft-EW。地震レベルは50カイン(約500ガル)③復元力特性はトリリニア・スリップ型(SL3)を使用④標準h(減数定数)=0.10(瞬間剛性比例型)

表2 試験条件

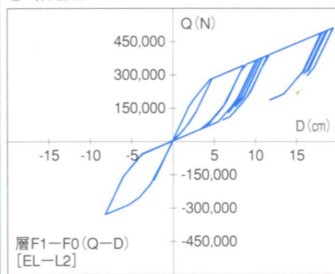
	現状壁量	面材補強後
1階	片筋かい7.28m 構造用合板10.9m	片筋かい14.56m 構造用合板21.8m
2階	片筋かい3.64m 構造用合板1.82m	片筋かい10.92m 構造用合板5.46m

[解説]

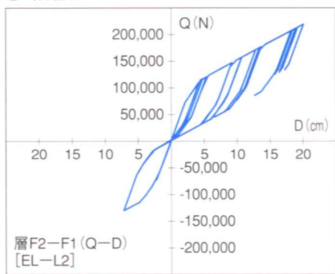
- ①現状壁量では、1階の層間変位1/13(23cm)に対して2階は1/5(61cm)。2階の変位が大きく、層間変位1/30を倒壊限界とすると、ともに完全倒壊と思われる
- ②構面材による壁量は片筋かい45×90mm、合板9mm厚を使用する
- ③面材補強後、現状の壁量の1階を2倍、2階を3倍とした場合はEL Centro-NS波に限り、1階の層間変位1/16(20cm)は構面材による壁量アップ前(現状)と大きく変化なし。2階の層間変位1/14(19cm)は以前よりやや改善されている。しかしともに依然1/30を超えており、完全倒壊と思われる

図 面材補強後の耐震の現状

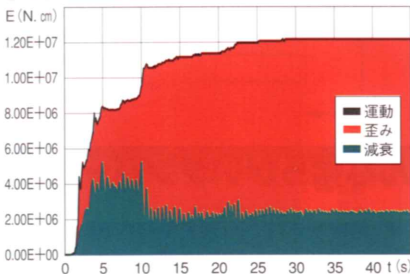
①1階履歴ループ



②2階履歴ループ



③エネルギー消費図



同じ建物を振動応答解析すると、表1・2のとおりになる。50カイン・EL Centro-NS波を例に見てみると、表1のように面材の増加と建物の層間変位量は比例して少なくなるどころか、大きく変化しないこともあるという結果が出

動的な振動応答解析では剛性は耐力に比例しない

どうだろうか。

では、動的な振動応答解析では、動的な振動応答解析では、静的な計算ではこのような場合、面材量の増加に伴って、層間変位量(階における頭部の変位量)も比例的に少なくなる。

このように建物の構造設計に性能設計が必要とされる時代の趨勢においては、国が担保する建築基準法の耐震レベルは、品質確保促進法による等級1(令46条の壁量の15倍)でも必ずしも十分ではないことを理解しておく必要がある。特に建物が大地震を受けた後の余震などの繰返し地震に対しては法のカバーするところではない。

まず、現状の令46条で一般的な建物を静的解析計算すると、地震力に対して現状壁量1階1・13倍、2階1・48倍の壁量をもつという結果になる。構面材による壁量アップは、片筋かい45×90mm、9mm厚の合板を用い、1階は現状の2倍、2階は現状の3倍とする(令46条の壁量に対して1階2・26倍、2階4・44倍となる)。静的な計算ではこのような場合、面材量の増加に伴って、層間変位量(階における頭部の変位量)も比例的に少なくなる。

このように建物の構造設計に性能設計が必要とされる時代の趨勢においては、国が担保する建築基準法の耐震レベルは、品質確保促進法による等級1(令46条の壁量の15倍)でも必ずしも十分ではないことを理解しておく必要がある。特に建物が大地震を受けた後の余震などの繰返し地震に対しては法のカバーするところではない。

まず、現状の令46条で一般的な建物を静的解析計算すると、地震力に対して現状壁量1階1・13倍、2階1・48倍の壁量をもつという結果になる。構面材による壁量アップは、片筋かい45×90mm、9mm厚の合板を用い、1階は現状の2倍、2階は現状の3倍とする(令46条の壁量に対して1階2・26倍、2階4・44倍となる)。静的な計算ではこのような場合、面材量の増加に伴って、層間変位量(階における頭部の変位量)も比例的に少なくなる。

このように建物の構造設計に性能設計が必要とされる時代の趨勢においては、国が担保する建築基準法の耐震レベルは、品質確保促進法による等級1(令46条の壁量の15倍)でも必ずしも十分ではないことを理解しておく必要がある。特に建物が大地震を受けた後の余震などの繰返し地震に対しては法のカバーするところではない。

面材量に比例して少なくなる静的解析による層間変位量

確認申請で必要な壁量計算である建築基準法施行令46条にもつく建物がある程度安全性を担保しているのか。ここでは地震時応答解析の結果を用いて検証してみよう。

(真崎雄一)
[MASA建築構造設計室]

実際の建物は内外の仕上げ材、腰壁、垂壁などが耐力に計算され、安全性はそんなに低くないという意見もある。しかし、建物の剛性アップは必ずしも耐力増加にはつながらない。つまり振動応答解析では地盤の振動がそのまま建物の振動にはならないということである。

①②を見ると、建物の振動時のせん断力と変形の履歴には、1階(2階床面)、2階(屋根面)ともに振動の早い段階から履歴ループが片側に偏在していることが分かる。木造の建物は木材の接合部がめり込むことで歪みを吸収するので、繰返しの地震による力に対して弱く、その結果過大な変形が生じやすい。③では、3/4相当は建物の歪みエネルギーで消費されていることが確認できる。

このように建物の構造設計に性能設計が必要とされる時代の趨勢においては、国が担保する建築基準法の耐震レベルは、品質確保促進法による等級1(令46条の壁量の15倍)でも必ずしも十分ではないことを理解しておく必要がある。特に建物が大地震を受けた後の余震などの繰返し地震に対しては法のカバーするところではない。

このように建物の構造設計に性能設計が必要とされる時代の趨勢においては、国が担保する建築基準法の耐震レベルは、品質確保促進法による等級1(令46条の壁量の15倍)でも必ずしも十分ではないことを理解しておく必要がある。特に建物が大地震を受けた後の余震などの繰返し地震に対しては法のカバーするところではない。

このように建物の構造設計に性能設計が必要とされる時代の趨勢においては、国が担保する建築基準法の耐震レベルは、品質確保促進法による等級1(令46条の壁量の15倍)でも必ずしも十分ではないことを理解しておく必要がある。特に建物が大地震を受けた後の余震などの繰返し地震に対しては法のカバーするところではない。

このように建物の構造設計に性能設計が必要とされる時代の趨勢においては、国が担保する建築基準法の耐震レベルは、品質確保促進法による等級1(令46条の壁量の15倍)でも必ずしも十分ではないことを理解しておく必要がある。特に建物が大地震を受けた後の余震などの繰返し地震に対しては法のカバーするところではない。

このように建物の構造設計に性能設計が必要とされる時代の趨勢においては、国が担保する建築基準法の耐震レベルは、品質確保促進法による等級1(令46条の壁量の15倍)でも必ずしも十分ではないことを理解しておく必要がある。特に建物が大地震を受けた後の余震などの繰返し地震に対しては法のカバーするところではない。

このように建物の構造設計に性能設計が必要とされる時代の趨勢においては、国が担保する建築基準法の耐震レベルは、品質確保促進法による等級1(令46条の壁量の15倍)でも必ずしも十分ではないことを理解しておく必要がある。特に建物が大地震を受けた後の余震などの繰返し地震に対しては法のカバーするところではない。

このように建物の構造設計に性能設計が必要とされる時代の趨勢においては、国が担保する建築基準法の耐震レベルは、品質確保促進法による等級1(令46条の壁量の15倍)でも必ずしも十分ではないことを理解しておく必要がある。特に建物が大地震を受けた後の余震などの繰返し地震に対しては法のカバーするところではない。

このように建物の構造設計に性能設計が必要とされる時代の趨勢においては、国が担保する建築基準法の耐震レベルは、品質確保促進法による等級1(令46条の壁量の15倍)でも必ずしも十分ではないことを理解しておく必要がある。特に建物が大地震を受けた後の余震などの繰返し地震に対しては法のカバーするところではない。

このように建物の構造設計に性能設計が必要とされる時代の趨勢においては、国が担保する建築基準法の耐震レベルは、品質確保促進法による等級1(令46条の壁量の15倍)でも必ずしも十分ではないことを理解しておく必要がある。特に建物が大地震を受けた後の余震などの繰返し地震に対しては法のカバーするところではない。

*1 1階112㎡、2階38㎡の片筋かいと合板を構面材とする標準的プラン型の住宅を例とし、地震時の重量は1階が428KNで2階が154KN。構面材の耐力要素は片筋かい45×90mm、9mm厚の合板で、柱、土台、梁、筋かいの接合金物および合板の釘仕様は法令に準拠
*2 建物振動には共振現象があり、地盤の振動周期と建物のそれが近いと建物はより大きく揺れ、加速度・速度・変位が上昇する

2 ダンパーの効果を検証する 制震ダンパーで倒壊は免れる



表 振動応答解析の結果(GVAダンパー補強後の性能比較)

	階	50カイン (cm/sec) 基準化		
		EL Centro-NS	HACHI-NS	Taft-EW
Q (層せん断力)	2	140459	67067	98633
N	1	417547	163402	294624
D (層間変位)	2	4.47	1.59	2.37
cm	1	9.10	1.73	3.78
1/R (層間変形角)	2	63	178	119
	1	34	177	81
AD (階の最大応答絶対変位)	2	13.57	3.16	6.05
cm	1	9.10	1.73	3.78
AV (階の最大応答速度)	2	73.96	42.91	59.64
cm/s [カイン]	1	44.57	24.99	32.12
AA (階の最大応答絶対加速度)	2	872.5	459.6	667.6
cm/s ² [ガル]	1	664.2	308.5	489.1

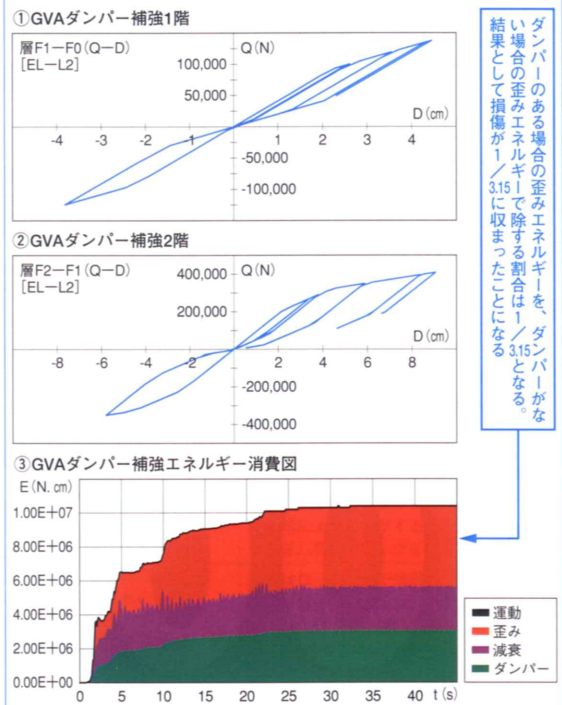
<計算条件>①壁量は現状補強後の壁量アップ例を用いる。1・2階の現状をそれぞれ2・3倍とする②耐力要素は片筋かい45×90mm、合板9mm厚③制震ダンパー補強はGVA-NRD2を1階片方向4P、2階片方向2P(建物全体で12P使用)
<解析方法>①多質点系断塑性地震応答解析「DAP V1.0」(構造システム)を採用②入力地震波は標準3波EL Centro-NS、HACHI-NS、Taft-EW。地震レベルは50カイン(約500ガル)③復元力特性はh(減衰定数)=0.10(瞬間剛性比例型)③GVAダンパーの粘性部の減衰係数は試験結果(住宅構造研究所)のデータ(GVA-NRD)より算出したもの

形を同時に抑えるのは難しい。ダンパーの設置位置は建物の頂

部・各階と、1階のみに集中して配置する特殊な型に分類できる。たとえば1階を上層階よりも柔らかく設計すれば、建物の消費エネルギーは1階に集中する。つまり1階にダンパーを集中配置すればそのぶん効率上がるのである。

- ① GVAダンパーの在来木造取付け例(トヨー建設現場)
- ② GVAダンパーの2×4取付け例(大成住宅現場)。各メーカー推奨のホールダウン金物を使用し、偏心のないような配置や、内断熱仕様の外壁では断熱材との納まりなどの検討が重要

図 ダンパー補強後の現状



ダンパーのある場合の歪みエネルギーを、ダンパーがない場合の歪みエネルギーで除する割合は1/3.15となる。結果として損傷が1/3.15に収まったことになる。

ダンパーを使った制震工法の基礎知識と、その効果を振動応答解析による結果を交えてまとめる。

制震ダンパーの種類と設置位置による効果の違い

制震構造は、歪み消費エネルギーを、制震ダンパー(減衰材)の消費エネルギーとすることで建物本体の構造部材の損傷を抑制し、倒壊を防止する仕組みである。ダンパーには、オイル・ゴム・粘弾性体・鉛・鉄・塑性合金の内部摩擦方式と、ステンレスなどを用いた表面摩擦を利用するものがある。

内部摩擦方式のオイルダンパーは粘性ダンパーの代表的なもので、自動車のショックアブソーバーといえは分かりやすい。減衰のタイプとしては、粘性ダンパーは速度に比例して減衰が大きくなるが、鉛・鉄・塑性合金などの履歴ダンパーと呼ばれるものは、変形が大きくなるほど減衰が増す。なお、粘弾性体は合成ゴム系、アクリル樹脂系があるが、ゴムの弾性の性質に粘性ダンパーの性質を併せもつたものである(写真1・2)。

表面摩擦方式は、建物の動きを制御するブレーキパットというところから分かる。ただし、「力×変形」のエネルギー的な観点では、これらダンパーでも建物の加速度と変形を同時に抑えるのは難しい。

次に05頁同様に制震工法でも振動応答解析を表のとおり行った。結果は、50カインのEL Centro-NS波を例にすると、現状補強後の層間変形は、1階が層間変位1/16(19cm)、2階が1/14(20cm)であった。そこで1階に制震ダンパー4P、2階に2Pを入れると、1階は1/34(9.1cm)、2階は1/63(47cm)となり、安全限界の1/30以内にとまった。したがって倒壊は免れるという結果が得られた。

木造筋かい制震工法でみる振動応答解析結果

また、ダンパーがない場合のループは1階、2階ともに片流れ現象が大きくみられ倒壊の様子が分かる。エネルギー消費は建物の損傷となる歪みエネルギーで大方のエネルギーを消費している。しかし、ダンパーがある場合はともに片流れが小さい。これは歪みエネルギーの約0.5倍をダンパーによるエネルギーで消費していることの結果である(図)。

(真崎雄一)

MAVA建築構造設計室(株)

※ GVA(シーバ)工法(ゴムと粘土両方の性質をもつ振動吸収材「VEM」[住友スリーエム製]を筋かい端部と梁・土台の接合部に金物を介して取り付け、建物に入る地震エネルギーを吸収する)を採用した場合
GVA工法ホームページ: <http://www.gva-tomo.com/>

3 地盤・強風対策 免震の効果を得る導入時の注意点

図 免震構造の概要(「ハイ免震」の場合)

① 免震装置は基礎と床梁の間に設置する



免震は建物と地盤との縁を切り、地震の揺れを建物に伝わりにくくした構造。やわらかい構造体「免震層」を地盤と建物の間に設置する



② 減衰材(オイルダンパー)



③ 支承材(鋼製ベアリング)



④ 復元材(円筒ゴム)



⑤ 電動復帰装置
(ボタン1つで家の復帰、固定が自在にできる)



① 免震装置の施工の様子。導入検討時には、装置自体の理解とともに、隣地の空き空間の確保、可動部の断熱対策、可動部の雨水の浸入対策、可動部の電気・ガス・水道・排水などの設備機器対策、保守点検の必要性などの検討が必要

表1 免震の特徴

免震ならではの特徴	
①	建物の重さを支える柱の直下に積層ゴム・滑り支承・転がり支承などを設置することで地震の横力に対して縁切り・絶縁する (机に載せた分厚い本の下に下敷きを挟み、すばやく引き抜くと本はそのまま下敷きが抜ける原理と同じである)
②	建物自身のもつ固有の周期を極端に長くして地震の周期と大きくずらすことで建物の共振による加速度・速度の増大を抑える

表2 主な免震部材の概要

機能や種類	
架台	すべての免震部材が同一の変形となるように、剛性の高いRCスラブや鉄骨造、大断面集成材でつくられる
支承	上部構造の鉛直荷重を支えつつ、水平方向に低い剛性をもった主要部材
ダンパー	水平方向の変位によりエネルギーを吸収する。履歴型ダンパー(鋼材・鉛・摩擦ダンパー)と、流体型ダンパー(オイル・粘性体ダンパー)がある

表3 主な強風対策

対策と補足	
①	通常は免震装置を働かせ、風速センサーなどの感知によりロックする。または台風の予報を聞き、手動でロックをする
②	通常はロック状態で地震の規模を機械的に感知してロックを解除し、ある時間を経て自動的にロックする(感震センサーが震度4以上の地震を感知するとロックを自動解除し免震状態に切り替え、強風時や震度3以下の場合はロック状態を保つ「風揺れ固定装置」 ^{※2} など)

表2・写真。免震装置は基礎と床梁の間に設置する。免震は建物と地盤との縁を切り、地震の揺れを建物に伝わりにくくした構造。やわらかい構造体「免震層」を地盤と建物の間に設置する。免震では制震構造で用いるダンパー機能を併用し、消費エネルギーを稼ぎながら共振による加速度・速度の増大を低く抑える。また、建物が横移動した後後に元に引戻す復元力のあるバネの働きもポイントとなる。こうしたことから免震部材には、支持・絶縁・減衰・復元といった4つの機能の高度なバランスが求められる(図・表2・写真)。

ここでは、免震装置導入の際の地盤・強風対策や装置以外のチェックポイントをまとめる。
免震構造も37頁で述べた制震構造と同じ思想をもつ「損傷制御設計」の代表的構造であり、双方を合わせて「応答制御構造」と呼ぶこともある。制震構造では全階にダンパーを設置するのが基本だが、1階のみに集中設置する特殊な例もある。そのため免震構造は、制震構造の究極版ともいわれる。制震と異なる免震ならではの特徴は表1にまとめた。実際は建物の重さから生じる摩擦力を完全になくすのは不可能なのでそれぞれ組合せて採用する。しかし②は北海道地震のような長周期地震の存在もあり、設計時の配慮が必要である。

次に免震構造の概要を見てみる。免震では制震構造で用いるダンパー機能を併用し、消費エネルギーを稼ぎながら共振による加速度・速度の増大を低く抑える。また、建物が横移動した後後に元に引戻す復元力のあるバネの働きもポイントとなる。こうしたことから免震部材には、支持・絶縁・減衰・復元といった4つの機能の高度なバランスが求められる(図・表2・写真)。

また、免震工法の採用に際しては、施主も含め、通常の工法以上に緊密な打合せが大切である。
(真崎雄一)

住宅では地盤や強風対策にも配慮する
住宅における免震構造の共通課題としては、建物が軽いことによる特殊性が挙げられる。つまり地盤対策と強風対策である。高度な工学的振動モデルによる計算で成り立つ免震構造では、通常的地盤のもつ固有周期を1秒以下と仮定し、建物の固有周期を2〜4秒と設定することで地震による横力を絶縁し、共振を防ぐといった利点がある。しかし、これらは強風では逆に建物が過大に移動するという欠点になる。そのため導入にあたってまず確認したいのが地盤である。土質条件を見極め、軟弱地盤であれば地盤改良などをしなければならぬ。

強風対策については表2にその手法をまとめたので参考にされたい。いづれにしても、通常の建物では問題のない風力に対して敏感に反応する免震構造は、台風と地震の同時発生を想定した場合の復帰のタイミングと時間設定が重要である。より確実で信頼性のある機構が今後の研究課題といえるだろう。

参考図書:「木造建築構造の設計」(社団法人日本建築構造技術者協会編)(オーム社刊)、「エネルギーの釣合に基づく建築物の耐震設計」(丸善刊) 和田章他共著
※1 エス・テク・リソース(<http://www.s-tech-r.com/>) ※2 大和ハウス工業と不二越の共同開発