

免震のススめ



壱岐振興局建設部管理・用地課 ◎ 山口 基美

○ 松崎 和広

1. はじめに

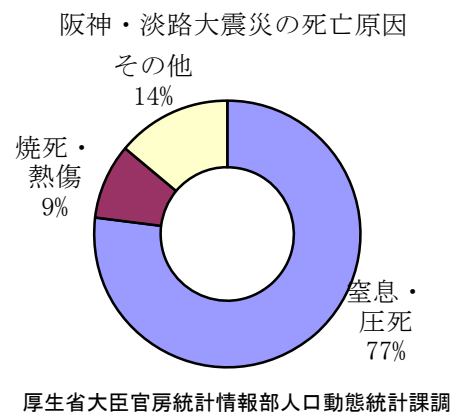
日本が地震国であることは誰もが知っていますが、その備えは充分でしょうか。長崎県は大規模地震の記録がないせいか、切実な問題として考えられる機会が少ないようです。近年、学校等の耐震強度不足が問題になり、耐震化には随分力が入るようになりましたが災害支援施設、避難施設、災害拠点病院など地震被災後にも使用が継続できる免震構造を採用した施設はほとんどみられません。この機会に免震構造のデメリットを分析することで、建築に携わる職員の選択肢の一つとなつてほしいと考えます。

2. 免震構造

2.1 ほとんどの建築物は耐震構造

現在主流の耐震建築物では、震度6弱から7程度の地震で倒壊を防ぐことはできても、激しい震動により人的損害や建物の機能を失う可能性が高いのです。例えば、倒壊した病院はなくても機能喪失なら病院として成り立ちません。災害本部など拠点施設も同様です。窓ガラスが割れ散らばった体育館など、余震を考えると避難施設には不向きなことがよくわかります。

地震災害の死亡原因の約8割は建物の倒壊や家具の転倒による窒息・圧死という報告もあります。



2.2 免震構造のメリットとデメリット

免震構造が普及しない大きな原因は次のデメリットにあると思われます。

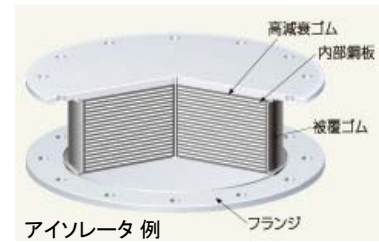
メリット	デメリット
・地震後も使用可能	・コストが高い
・仕上げ、外装等の損傷もほとんど起こらない	・建物外のライフラインは維持できない
・地震時のパニックやケガ防止	・事例や地震に対する経験が少ない
・地震後の財産の保護	・設計、施工できる業者が限られる
・柱、梁のサイズダウン	・構造計算が特殊になる
・大空間の設計	・低層建築物には向かない

2.3 デメリットの克服

2.3.1 コストが高い

免震構造が普及しなかった大きな原因と考えられるのが「コスト」です。しかし免震装置を設置することで、構造計算時に地震力(水平力)を少なくすることができ、柱や梁などの躯体を小さくすることが可能になります。柱や梁が小さくなれば建物荷重も減り基礎形状の軽減にもつながります。躯体が軽減することで材料費、施工費が軽減され、費用の差は数%にまで縮まるという報告もあります。

佐世保市崎岡町のテクノパークでは、工事費の10.9%を免震関連工事が占めています。ただし当該地はN値0~2が深さ13mまで続き、地下水位GL-1.2mという弱い地盤です。ここでは、べた基礎部分の浮力や地下水の侵入も検討し地下ピットの増設など地盤の影響で費用がかさんでいますが、それでも約一割の増額です。



2.3.2 構造計算が特殊になる

免震建築物の構造計算方法は大きく分けて2つの方法があります。建築基準法関連告示H12第2009号の第2により告示の構造方法に則して安全を確かめる方法と国土交通大臣の認定を取得する方法です。手続きにも差が出てきます。図面が出来てから告示の場合は約2ヶ月程度で確認済証が発行され工事に着手ができますが、大臣認定の場合は、日本建築センターに申し込みを行ってから評定(性能評価)を取得しその評定書を基に国土交通省へ認定申請を行なうことになり、認定を受けるまでに通常4ヶ月くらいかかるようで、建築基準法の審査期間を含めると約5ヶ月かかることとなります。告示は一般化した検証方法なので設計者が手がつけられないほどのものではありません。

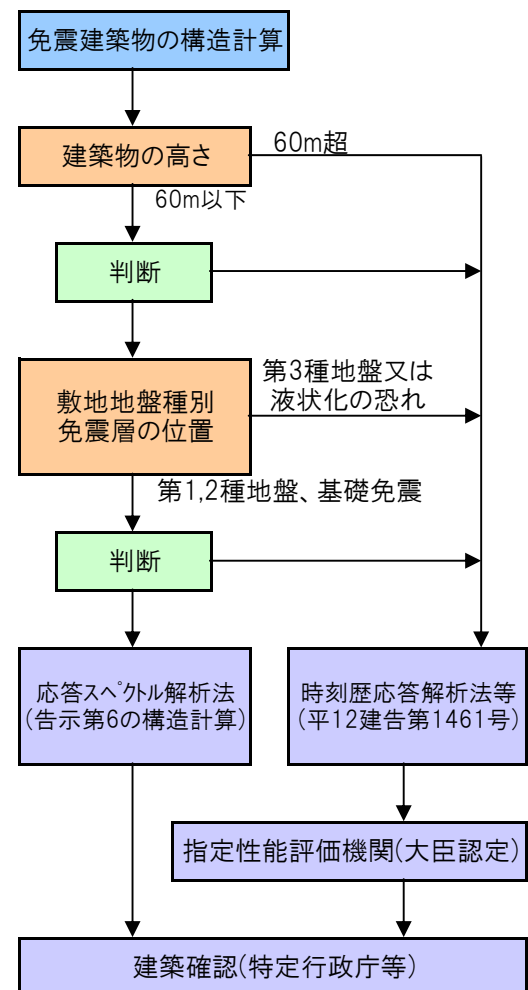


図: 免震構造計算の基本ルート

2.3.3 低層建築物には向かない

一般的に低層建築物はその自重が軽くなるため、免震構造の設計には不向きと言われてきました。自重が軽くなると前ページの図にあるようなアイソレータを柔らかくしないと揺れを起せず、柔らかいと強風時でも揺れてしまい居住性が悪くなるというものです。少しコスト高にはなりますが、柱の数ほど基礎を作らずに鉛直荷重を集中させアイソレータに適切な荷重を与えるよう設計すれば、低層建築物でも免震機能を充分果たせます。柱を多く設置できない大空間にも適しています。

また「軟弱地盤に免震は避けるべきだ」という意見が多く聞かれます。長周期地震動の検討も軽減されるので、避けられるに越したことはないのですが、軟弱地盤の上でも免震構造が耐震構造に対して有効なことに変わりはありません。ただし、長周期成分が強い地震動では、免震装置に発生する変形量が大きくなるので装置の選定やクリアランスの確保など配慮が必要です。

3. 免震構造を設計する

3.1 設計するにあたっての留意点

免震建築物はクリアランスの確保以外にも、風雨の吹込み、結露、火災、小動物の侵入等を予想し、免震部材取替の為の空間の確保も必要です。

河口や海に近く、地下水位が高い場合は、浸水した場合の検討も必要で排水設備の選定も必要ですし、市街地であれば人の通行、侵入にも配慮が必要です。

地下ピットに水が浸入してくることを想定して設計された建物は多くありますがいずれも水が入ってきた場合の措置が多く、地下壁面のクラックから浸水する事例が多く見られます。防水仕様を外部に施すのもひとつの方法ですが、施工精度、打継位置、打継面の処理など品質保持の改善も必要となります。打継部の立上げ、打設時の充填対策など施工に手間はかかりますが、防水性能確保にもつながります。

地下水位が高い場合は建物に浮力が生じるので検討が必要です。実際に佐世保市崎岡町に建設した物件は、建物を重くする必要が生じてしまい、免震により建物の自重を軽くするという効果が薄くなってしまいました。さらに問題なのは、施工中です。ピット工事などの場合は、上部構造物が無いので浮力や矢板への側圧に注意が必要です。軟弱地盤では盤膨れもあり、施工荷重の集中は地盤を変動させることを念頭においていないと大変なことになります。

免震装置を適正に働かせるには振れは禁物です。上部構造の重心と免震層の剛心とを極力一致させることが重要です。剛性の調整は積層ゴムでは難しいのですが、ダンパーの配置を工夫することによって容易にその調整が可能です。しかし、ダンパー一体型の積層ゴムを使用する場合は、柱位置に固定されるため簡単ではありません。

3.2 免震構造を設計する前に

建物を設計する際に地質調査は欠かせないものですが、免震の設計を行なうには地盤増幅係数 G_s の算出が必要になるため、N値か、弾性波速度検層(P S 検層)による V_s 値の算出が必要です。告示には略算法もありますが、地盤ごとに数値が定められており、これを用いると不合理で不経済な設計となるため、是非とも地質調査は必要です。N値=0の地質があれば換算法が用いられないので、このような場合はP S 検層を行なうことをお勧めします。

※弾性波速度検層(P S 検層)とは、各地層の弾性波速度(P波、S波)を求めるもので、その結果を地上弾性波速度の分析、動的応答解析などに利用する。

方法はつぎのとおり。

- ①ダウンホール法 : 地表で起振する検層方法
- ②サスペンション法 : 孔内で起振する検層方法

サスペンション法は精度が高いが、浮遊タイプのため孔中水が必要となる。

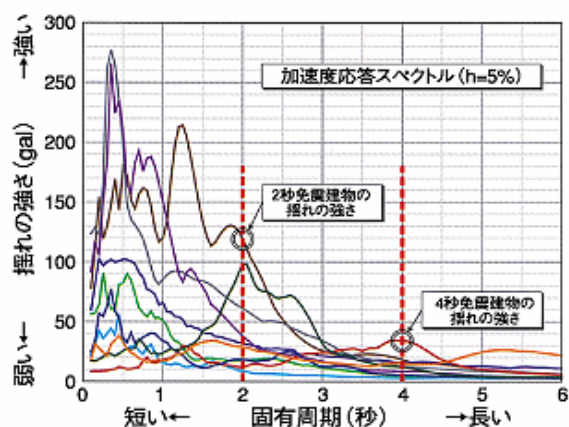
地質調査は、軟弱地盤の把握や長周期地震動対策を検討する意味でもとても大切です。支持力だけでなく、必要な調査項目を調べておく必要があります。結果次第では、地盤を改良して周期を変えることが必要になるかもしれません。

3.3 目指せ4秒免震

免震で一番重要なことは「免震構造部分の一次固有周期が何秒であるか」ということです。4秒以上にすると地震波の種類に関わらず、建物の応答はほぼ一定になります。揺れの強さ(gal)は、理想的な免震である5秒免震と4秒免震の差はごく僅かですが、3秒、2秒と減っていくと免震構造にした意味さなくなるほどの建物になってしまいます。日本で起こる大地震の周期の主成分は、地震波0.1秒～2秒余りと言われ、これに共振した建物が多く崩壊しています。通常0.5秒程度の木造住宅も壊れ始めると周期が伸びるため、共振範囲に入り崩壊したものも多いと考えられます。

※阪神淡路大震災の場合、地震波周期は1～2秒と言われている。

建物の一次固有周期と揺れの強さの関係



3.4 免震装置の選定

3.4.1 地方公共団体での免震設計のあり方

県で設計を行なう場合(設計委託を含む)、公平性等を検討すると次のいずれかに

なります。①性能のみを指定し、装置は決めない。②複数案の設計を行い、施工者が選択できるようにする。③その建物に相応しい装置を特定し設計する。①では、具体的な設計ができるまで工事費がわからず、想定外の製品について検証が困難になり、採用決定の判断に困ります。②では、採用しない案を設計する費用がかかり税金の無駄遣いを指摘されるかもしれません。そもそも建物の特性や設計条件を熟知している設計者がその建物に最も相応しい免震装置を設計すべきと思われます。

3.4.2 免震性能の簡易な判定

提案された免震構造の性能が良いのか悪いのかはとても気になるところです。簡易に判断する方法として、応答加速度／地震入力加速度の数値で判断できます。例えば1/10、1/7、1/3の3つの計画案があれば、1/10→1/7→1/3の順で悪くなっていきます。1/10くらいになると建物の揺れがかなり小さくなってきます。

3.4.3 免震装置の選定例

建物や条件によって異なるので、下記に選定の一例を紹介します。

- <検討条件>
- ・本敷地は、G L - 約 1 0 m まで N 値 = 0 ~ 1。
 - ・本建物は、3階建ての建築物で自重が小さい。
 - ・免震効果を高めるために建物の固有周期をより長くする。

	免震装置の組み合わせ ()内は保有機能	装置 コスト	躯体 杭 コスト	加速度 (揺れ)	施工	備 考
イ	高減衰積層ゴム (支承, 復元, 減衰)	◎ 安価	○	○	◎	・装置のコストは安価
ロ	鉛入り積層ゴム (支承, 復元, 減衰)	○	○	○	◎	・高減衰積層ゴムより高い
ハ	天然ゴム系積層ゴム+ダンパー (支承, 復元) (減衰)	○	○	○	△	・天然系積層ゴムだけでは減衰が不足 ・ダンパーが付加増となりコストup
ニ	高減衰積層ゴム+弾性滑り支承 (支承, 復元, 減衰) (支承, 減衰)	◎ 安価	◎ 安価	◎ より 弱い	○	・長周期が必要な建物(軟弱地盤) ・低層の建物(建物重量が小さい) ・弾性滑り支障を用いることで 固有周期をより長くする
ホ	天然ゴム系積層ゴム+ 弾性滑り支承+ダンパー	△ 高価	◎ 安価	◎ より 弱い	△	・長周期が必要な建物(軟弱地盤) ・低層の建物(建物重量が小さい) ・弾性滑り支障を用いることで 固有周期をより長くする ・ダンパーが付加増となりコストup

上記から支承材はコストの安い「高減衰積層ゴム」を主体に採用し、建物の長周期化のために高減衰積層ゴムの一部を「弾性滑り支承」に置き換える案も検討する必要を感じ、イ、ニ案について検討してみます。次表は比較にハ案も検討してみました。

- <設計方針> ・免震層の接線周期をおおむね4秒以上とする。
 ・免震層の応答変位 $\delta r \leq 32\text{cm}$ 程度(平均せん断ひずみ $\leq 200\%$)

	応答変位 δ rcm	免震層Cr0	1階CB	接線周期s
イ	31.9	0.123	0.14	4.04
ハ	30.0	0.138	0.15	3.64
ニ	22.9	0.101	0.12	4.98

免震層Cr0：免震層にかかるせん断係数

1階CB：1階のせん断力係数

- <考察> ・滑り支承を併用したほうが長周期化を図ることができ性能が良かった。
 ・上部構造の応答加速度も小さくなり収容物の転倒などに対しても有利。
 ・高減衰ゴムのみでは、滑り支承併用に比べて2サイズ程は大きくなる。
 ・周期4秒を確保できる天然ゴム系積層ゴムの配置は無理であった。

3.5 反省点

設計時点での一番の失敗は、地盤調査を軽んじたということです。土地造成時に行なわれた地質調査をもって代用することを承諾し、改めて今回の建物用に調査を行なわなかったことです。造成地は広く、当該建設予定地にはボーリング1箇所という有様にも関わらず、既に調査済みですから予算が付きませんという依頼課の言葉に負けました。N値が0ではVs値の算出もできず、不経済な設計になるところでしたし、鋭敏比の認識も甘く、地下水位の高い当該現場では流動化しやすくなる対策を設計で検討していませんでした。免震構造を経済的に、かつ有効に働かせ、安全に施工するには、どのような地質調査が必要なかを事前に検討し、その地質地層の分析から、免震部材の組み合わせの検討を行なう必要があります。

建物を造るにあたって、図面は出来上がりの姿です。どうやって造るのか、仮設をどうするか、安全か、図面には表現されない施工の難しさがそこにあります。

4. まとめ

地震が来なければ無駄な投資です。しかし、来ないと言えない以上、来たときの対策、引いては来た後の措置まで考慮するのが危機管理です。避難所になり得る施設、医療行為が行なわれる施設、被災後に災害本部となる施設などを建設、改修する場合には、依頼者の具体的な要望がなくても、提案できる技術者が増えることを期待します。

勘違いしていただきたいのですが、免震であれば良いというわけではありません。実際は工期やコストに制限があったり、地盤や敷地形状に制限があったりするものです。建物の用途、役割から耐震、制震、免震等のどれが適正であるかを一度は考えてほしい。重ねて問います。あなたの避難所はどこですか。そして、そこは安全ですか。