

UFO-E の性能評価について

(UFO-E 工法における、アンカーボルトナットと 2 段皿バネと摩擦緩み防止「ナイロンナット」の緊結度及び地震加速度の減衰効果)

SMRC 株式会社 技術顧問 半澤和夫

1、建築基準法施工例、第 4 2 条、2 項で「土台は基礎に緊結しなければならない」されている、UFO-E 工法における土台と基礎の緊結の考え方は次の通りです。

- (1) 座金φ45 及び 2 段皿バネ（弊社特許）の順に取り付け、ナイロンナットを、電動レンチまたはドライバーにより 20~30N・m のトルクを限度として、締め付けます。
- (2) 座金とナイロンナットの間「2 段皿バネ」、(厚さは 0.7 mm、高さは、1 段目は約 1 mm、2 段目は約 3 mm、合計約 4 mm) は、20~30N・m のトルクで最大、5 kN、約 1 mm（1 段目）が沈みます。
- (3) 2 段皿バネの 2 段目の機能は、引き抜きがかかった時のショックアブソーバーの外、座金がスライドせず、座金面の角度は自由に変わり、UFO-E の数 mm のスライドに追従することができ、UFO-E の摩擦による地震加速度の減衰機能を阻害しません。
- (4) しかもその最大スライド範囲は平均、± 5 mm 程度であり、木造構造物としては許容誤差内です。
- (5) さらに、UFO-E が作動するのは 300 gal を超えてから、つまり、基準法の地震水平力、層せん断力係数 $C_o = 0.2$ を超え、さらに、 $C_o = 0.3$ を超えてから作動するので、構造躯体が倒壊するかどうか、際立った時に減衰する、最後の命綱であり、基準法が施工されたところに比べると、土台を緊結する為のアンカーボルトの数は、HD 金物を含めると 3 倍以上になり、又、UFO-E 仕様の土台のアンカーボルトと座金、2 段皿バネ及びナイロン座金による 2 重の緩み防止で、安全な緊結法と言えます。

以上の観点から、UFO-E が木造躯体に影響なく地震エネルギーをカットできるのですが、あえて減衰効果をうたわなければ、これを金属製基礎パッキン（ネコ土台）と考えられるので、法 68 条の大臣認定は不要と考えます。

ただし、3 号建築物では、構造計算を伴うので、設計者の責任において採用しなければならないのは、他の建材と同等です。

2、木材に優しい仕様

一般に、丸座金 φ45 によるボルトの締め最大トルクは木材の許容応力度を超えないように 30 N・m 未満が適切とされていますが、近年は座彫り可能な座金の付いたナットを使用する為、40~60 N・m の高トルクの電動工具を使用する傾向にあります。これは遥かに木材の許容応力度を超えています。

UFO-E のアンカーボルトに使用するバネ座金は 35 N・m、約 6000N の軸力でバックリング等により、過締めが出来ないシステムになっています。

つまり、木材を傷つけることなく安定した軸力で緊結し、さらに、バネ座金は2段皿バネとして緩み防止を担うほか、さらに、摩擦型緩み防止ナット（ナイロンナット）で、2重に安全対策を施しています。

3、摩擦減震装置「UFO-E」の地震エネルギーの減衰機能（以下、減震という）は次によります。

- (1) 基礎と土台の間に、亜鉛合金の摩擦面を2枚持つ、摩擦減衰装置「UFO-E」を挟み込むことにより、300galを超える、大型地震が来た時に、その摩擦盤を数mmスライドさせて、地震の力を逃がすとともに、UFO-Eの金属摩擦抵抗、床組仕口の摩擦抵抗、そして、アンカーボルトの曲げ応力、木材の変形応力などで、地震エネルギーを複合的に減衰します。

建物構造躯体に地震エネルギーが入る前に、そのエネルギーを何割かカットできることから、絶縁工法とも言えます。

- (2) UFO-Eの減震量は、その負担荷重に摩擦抵抗を掛けたものになり、表面酸化した亜鉛合金の静止摩擦抵抗 $\mu = 0.3$ であり、300galの地震加速度を相殺する能力があります。

UFO-Eの摩擦面は地震の変位がUFO-Eのスライド幅より大きいとして、慣性力により静止摩擦は振幅1回に対して2度の静止摩擦抵抗が得られます。

さらに、摩擦面上に同心円状の凹凸を付けることにより、その凹凸が互いに乗り上げた時に、4点支持の状態になり、その接触点に集中荷重とともに歪による大きな摩擦力が加わり、減震量が増幅される構造になっており、実験値では静摩擦と合わせて、最大800gal減衰が認められました。

- (3) 緊結されたアンカーボルトが座金部分での変位応力による減衰は、アンカーボルト径 $\phi 1.06\text{ cm}$ 、断面二次モーメント $I = 0.06194(\text{cm}^4)$ 、ヤング係数 $E = 2100\text{ t/cm}^2$ として計算すると、1mm曲げるのに390Nの応力で済みますが、UFO-Eの最大スライド数値、5mmの曲げ応力は各アンカーボルト全てで1920Nの応力がかかることになり、UFO-Eの摩擦減震に付加されます。
- (4) その他、計算には乗りませんが、1千年の歴史を持つ木造建築では、木材の仕口の摩擦抵抗で地震力を吸収すると知られていますが、UFO-E仕様の住宅も同様で、大型地震時に束、大引き等の床組み全体がUFO-Eに追従して数mm動くことで、木材等の仕口の摩擦抵抗も減震に付加されます。

4、熊本地震での実証例

UFO-Eのメーカーである弊社とともに、UFO-Eを標準仕様住宅としている(株)イシンホールディングス及び原田木材工業(株)の共同調査によるUFO-E仕様住宅、熊本地震報告にあるように、①タンス及び脚立が倒れない、②外装、内装に然したる被害が

ない、②歩行できた等の報告を総合すると、熊本地震の最大加速度 1580～843gal の基礎への地震入力に対して、床面では「300～400gal」まで、減震していたことになり、理論及び実験の減衰量を遥かに超えて、最大、約 1000gal 前後の地震加速度が減衰したと推論される。

地震波は多種多様、想定外が付き物で、一概には言えるものではないが、UFO-E の性能は、通気機能ばかりではなく、地震倒壊防止に寄与する建築金物と言えます。

5、施工の簡便さ及び100個前後の多数使用による、荷重分散によるリスク分散された、安全な建築金物といえます。

6、通気機能の優秀性

UFO-E V型の見附面積は 15.35 cm²であり、1 m当たり最大3個使うものとしても、153.95 cm²/mの通気面積が確保され、高耐久等級3の 75 cm²/mの2倍あり、さらに、UFO-Eは円筒形の為、空気抵抗が少ない、きわめて優良なネコ土台と言えます。

7、アンカーボルト及びHD金物の水平剪断力

(1) UFO-E A型（気密タイプ、厚さ 5.5 mm）及びUFO-E V型（通気タイプ、厚さ 20 mm）いずれのアンカーボルトの摩擦・せん断面は基礎天端から 2.5 mmで、その剪断面での 1 mm の曲げ応力は 24.9 k Nであり、使用するアンカーボルトの剪断強度は 20.2 k Nと、小さいので、せん断力で、破壊は決まります。

(2) 一般的な HD 金物の柱の固定位置の中心を 22 cm前後とすると、アンカーボルト径 $\phi 1.45$ cm、断面二次モーメント $I = 0.216881(\text{cm}^4)$ 、ヤング係数 $E = 2100\text{t/cm}^2$ として計算すると、UFO-E のスライド範囲約 5mm 曲げるのに 642Nの応力で済みます。

UFO-E の地震時の作動する最低想定水平荷重は 3,000N なので、UFO-E の作動範囲では UFO-E の動きに追従することになり、HD 金物は剪断力を負担することなく、もっぱら引き抜き荷重を負担することになります。

(3) アンカーボルト孔の径については、UFO-E の最大スライド幅を 5mm必要ですが、クリアランスは施工精度を考慮して大き目の $\phi 24$ mmとし、本数の少ない HD アンカーボルト径は $\phi 14.5$ mmでクリアランスをタイトにすることで、最大スライド幅が 5 mmを大幅に超えないようにしてある。

HD に剪断集中したとしても、平均 0.25 mm分タイトであるが、木材が破壊しない範囲で拡張されます。熊本地震においても、UFO-E 仕様の HD 金物の被害はありませんでした。

8、UFO-E標準仕様書が完備しています。

この仕様書の中に、材質、形状、施工法、品質管理法、設置基準棟が基準として盛り込まれております。

特に、設置基準では木材のめり込みを考慮して、UFO-E 1個当たりの負担荷重を10KN未満になるように設定しています。

3階建ての様に、負担荷重が10KNを超えるような箇所は設置数を追加する仕様になっています。勿論、設計者の判断が必要です。

以上の様に

UFO-Eの性能は、通気機能ばかりではなく、地震倒壊防止に寄与する建築金物であり、安全面を含めてすべての面で、UFO-Eがあらゆる認定レベルを超える性能はあることは間違いないのですが、実際の地震は、地震波は多種多様、木造住宅の構造耐力も壁の位置一つ違うだけで、全く異なる耐力になるなど、モデル化が困難で、個別認定しか取れないのが現状でした。

しかしながら、UFO-Eの性能は

(1) 理論構築

(2) 理論を証明する実験

(3) 全壊建物6,990棟となった、熊本地震での安全性の実証例

と、三拍子そろったので、減震効果について評価できる装置と言えます。