

低層鉄骨造住宅の耐震要素に関する実験的研究

その7 累積損傷値を規範とした設計例

耐震デバイス 低降伏点鋼 疲労寿命 耐震設計

正会員 小山雅人*¹ 正会員 三宅辰哉*²
正会員 馬場三千雄*³ 正会員 花井 勉*⁴

1. はじめに

本報(その7)では前報(その6)で設定された累積損傷値 D の算定方法に基づき、 $D \leq 1$ を耐震設計規範とした設計例を示す。累積損傷値を算定するために必要な地震応答に関する諸量は時刻歴応答解析によって求める。

2. 解析条件

2.1 振動モデル

解析モデルはせん断型多質点系であり、3階建てを想定して質点数は3とする。各質点の質量 m_i は次のように設定する。

$$m_1 = M / 2.7 \quad m_2 = M / 2.7 \quad m_3 = 0.7 M / 2.7$$

ここで、 M : 総質量 = $Q_{py} / (\alpha \cdot g)$ 、 α : 降伏せん断力係数、 Q_{py} : 耐震要素の降伏耐力(3.658tf)である。

耐力壁構造の低層住宅の実況を考慮して耐震要素数は各層で等しく、ここでは1とする。また、柱梁フレームの弾性変形に起因する剛性低下率 R_i を次のように設定する。

$$R_1 = 1 \quad R_2 = 0.9 \quad R_3 = 0.8$$

耐震要素の復元力特性は図1のようにトリリニア型モデルにスリップ部分を付加したものとする。前報の極低サイクル疲労試験等の結果に基づき、復元力モデルを規定する各パラメータを次のように設定する。

$$Q_{py} = 3.658\text{tf} \quad \delta_y = 2.231\text{cm} \quad \beta = 0.6 \quad \gamma = 0.5 \quad \varepsilon = 0.4$$

$$k_0 = 2.987\text{tf/cm} \quad k_1 = 1.130\text{tf/cm} \quad k_2 = 1.167\text{tf/cm}$$

$$k_3 = 1.130\text{tf/cm} \quad k_4 = 0.07\text{tf/cm}$$

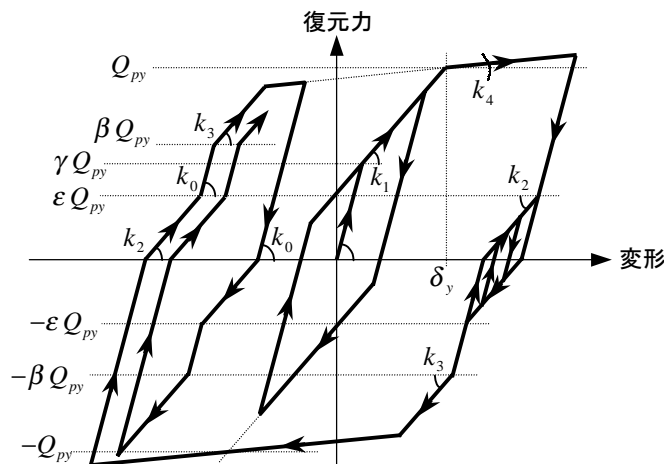


図1 耐震要素の復元力モデル

また、別途行った構面せん断実験の結果に基づき、柱・梁フレームのラーメン効果による水平剛性 k_{cl} を耐震要素一つ当たり0.16tf/cmとする。

剛性低下は耐震要素の復元力モデルに弾性バネ k_{fi} を直列につなぐことで表現する。剛性低下率 R_i は耐震要素に許容耐力に相当する水平力が作用するときの等価(割線)剛性 k_e (1.8tf/cm) に対して設定する。このとき k_{fi} は次のようになる。

$$R_i k_e = \frac{k_e k_{fi}}{k_e + k_{fi}} \quad \text{より} \quad k_{fi} = \frac{R_i k_e}{1 - R_i} \quad (1)$$

層の復元力は剛性低下を考慮した耐震要素の復元力に柱の負担水平力を加えた値とする。また、各層についてP-効果による復元力の低下を考慮する。 i 層の復元力は次のように表される。

$$Q_{si} = \{Q'_{pi}(\Delta_i, \dot{\Delta}_i) + k_{cl} \cdot \Delta_i\} \cdot n_{pi} - \frac{\Delta_i}{H_i} \cdot \sum_{j=i}^N m_j \cdot g \quad (2)$$

ここで、 $Q'_{pi}(\Delta_i, \dot{\Delta}_i)$: 剛性低下を考慮した耐震要素1枚当たりの復元力、 Δ_i : 層間変形、 $\dot{\Delta}_i$: 層間速度、 H_i : 耐震要素の高さ(262cm)である。

なお、耐震要素の復元力特性と別に、耐震要素の水平剛性を k_e とした場合の1次モード減衰定数が5%となる剛性比例型粘性減衰を設定する。

2.2 入力波

令82条の6が想定する第2種地盤の地表面地震動の加速度応答スペクトル S_{a2} をターゲットとした模擬波(以下'模擬波')を採用する。模擬波は正弦波合成法によって作成し、各正弦波成分の位相角は0~2 間の一様乱数とした。加速度の時刻歴波形の包絡線は図2のように仮定し、20波を用意した。なお、継続時間は旧建設省告示1461

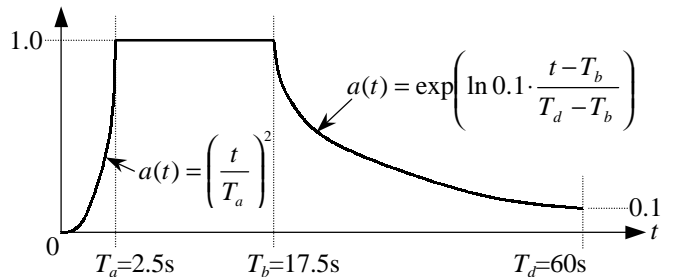


図2 時刻歴波形の包絡線関数

号の規定に従い60秒としている。この他、表1に示す実地震動の最大速度 V_{max} を50kineに規準化したものを用いる。 S_{a2} および実地震動の加速度応答スペクトルを図3に示す。

表1 応答解析に用いる実地震動

名称	日付	A_{max} (gal)	V_{max} (kine)	T_r (sec)
El centro NS	1940.5.18	341.7	33.5	53.75
Hachinohe EW	1968.5.16	182.9	35.8	36.05
Kobe(JMA) NS	1995.1.17	813.0	91.8	60.00
Taft EW	1952.7.21	175.9	17.7	54.45

A_{max} : 最大加速度、 V_{max} : 最大速度、 T_r : 記録時間

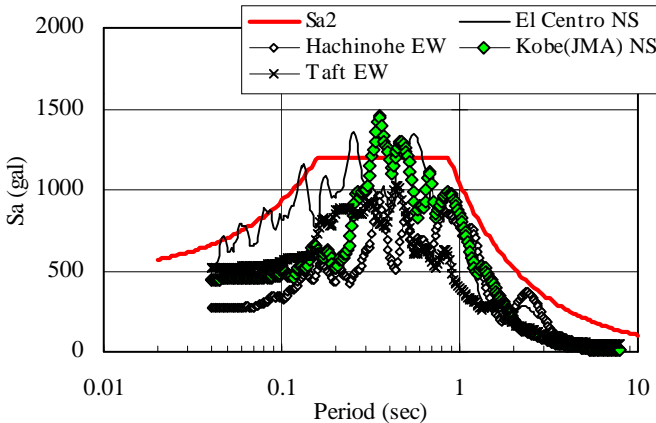


図3 入力波の加速度応答スペクトル

3. 解析結果

ここで設定した振動モデルの降伏せん断力は各層で等しいので、耐震要素の塑性化は1層に集中する。1層の最大層間変位 δ_{max} 、耐震要素吸収エネルギーの等価速度 V_D 、および前報(その6)の(2),(4)式による1層の累積損傷値 D, D' を図4に示す。ただし、模擬波による応答値は20波の平均値である。

δ_{max} はKobe(JMA) NSを除き、実地震動による応答値が模擬波による値の1/2程度となっている。

実地震動による V_D は150kine前後、模擬波による V_D は300kine前後となっている。 V_D は損傷に寄与するエネルギー入力等の等価速度と呼ばれ、 V_D を入力時振動の擬似速度応答スペクトル($h=5\%$)に等しいとする耐震設計法が提案されている¹⁾。この設計法によれば、模擬波による V_D は最大で165kineとなる。この V_D に対して模擬波による V_D は約1.8倍、エネルギー量にして約3.3倍となり、ここで用いた模擬波は文献¹⁾等の設計規範と比べ入力エネルギー量が過大と言わざるを得ない。

図4には耐震要素の吸収エネルギー E_T を $V_D=165kine$ として求めた D' (以下 D'_{165}) を併記した。図4から累積損傷値が1となる α を読み取ると、 D に対して0.23、 D' に対して0.26、 D'_{165} に対して0.17となる。従来の耐震設

計規範に適合する累積損傷値を D'_{165} とすれば、ここで対象としている鉄骨造住宅は極めて高い耐震性能を有するといえる。

4. まとめ

前報(その6)に示す耐震要素を有する3階建て住宅を対象として、時刻歴応答解析により耐震性能を評価した。その結果、従来の耐震設計規範と同等の耐震安全性を確保するために必要な降伏せん断力係数は0.17であり、対象住宅は高い耐震性能を有することが確認された。

また、 D' は耐震要素の最大塑性変形 $\delta_{p,max}$ と吸収エネルギー E_T のみによって定まり、時刻歴応答解析以外の方法によって算定することが可能である。今後はこのような簡易な損傷評価法に基づく耐震設計手法について検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 建築研究所, 鋼材倶楽部: エネルギー法に基づく耐震性能評価法 鋼構造建築物に適用した場合, 平成12年1月

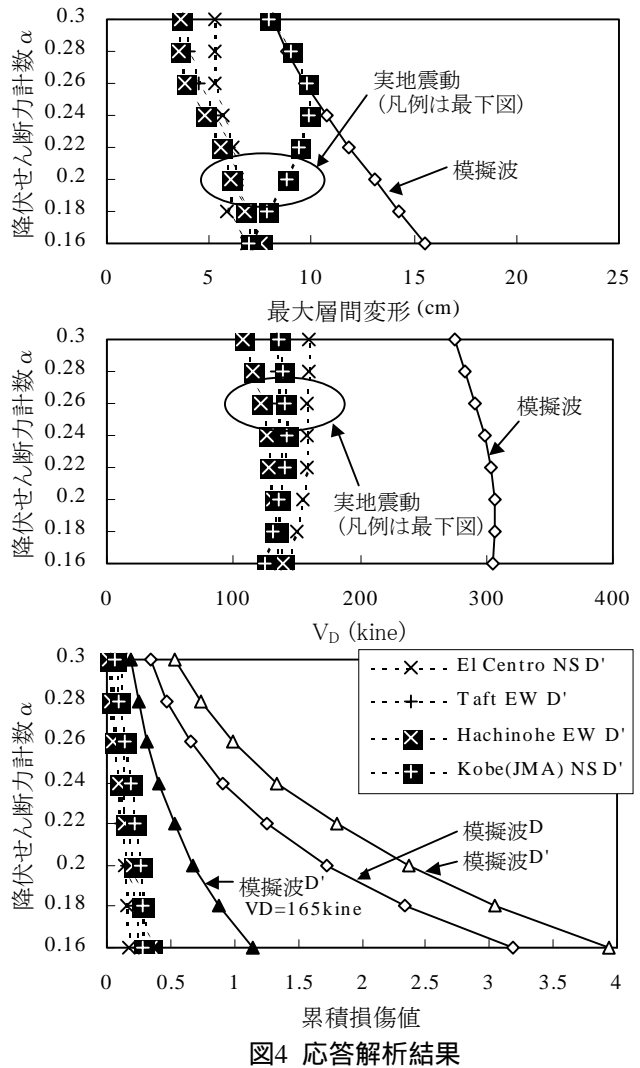


図4 応答解析結果

*1 旭化成ホームズ(株) Asahi Kasei Homes Co.
*2 (株)日本システム設計・工博 Nihon System Sekkei Co., Dr. Eng.
*3 旭化成(株) Asahi Kasei Co.

*4 (株)日本システム設計 Nihon System Sekkei Co.