

低層鉄骨造住宅の耐震要素に関する実験的研究

その6 低降伏点鋼を用いた耐震要素の極低サイクル疲労実験

低降伏点鋼 極低サイクル疲労試験 疲労寿命

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

1. はじめに

既報¹⁾では、低層鉄骨造住宅用に開発された低降伏点鋼を用いた耐震デバイスを有する耐震要素の構造性能について報告した。本報(その6)では、既報に示す耐震要素に対して耐震デバイスの接合方法に若干の改良を行った耐震要素に関して、種々の変位履歴を与えた極低サイクル疲労実験の結果、ならびに線形累積損傷則(Miner則)等による耐震寿命予測の可能性について報告する。

2. 実験概要

試験体は図1に示すような、耐震要素であり、柱材、耐震フレームおよび中央部の耐震デバイスによって構成される。耐震デバイスには低降伏点鋼($F=100N/mm^2$)を用い、その他の材にはSS400級の鋼材を用いている。耐震デバイスと耐震フレームの接合方法は高力ボルトを用いた摩擦接合である。柱材の頭部・脚部にはベアリングを配置してほぼ完全なピン接合とした。

変位履歴は図2に示すように、定振幅(F1~6)、2段多重(D1,2)、ランダム(E1,2)に大別される。E2はE1を層間変形角 γ にして $1/50rad$ だけオフセットしたものである。またいずれもランダム履歴の後に $\gamma=1/60rad$ の低振幅部分を加えている。

3. 実験結果

3.1 限界繰返し数

いずれの実験でも耐震デバイス以外の材に降伏は生じなかった。耐震デバイスは塑性変形が著しいが破断は確認されなかった。図3に示すように変位の折返し点から次の折返し点を1回の繰返しと数える。図6に変位の折返し点における荷重と繰返し数 N の関係を示す。1サイクルごとに塑性変形 δ_p と吸収エネルギーの増分 E を求める。F1~6では、 E は N に伴って緩やかに減少する。さらに載荷を繰返すと $E-N$ 関係の接線勾配が急変する。本報ではこのときの N を限界繰返し数 N_f とする。 N_f を図6に×印で示す。

3.2 疲労寿命曲線

F1~6について δ_p および E と N_f の関係を図4に示す。ただし、 δ_p および E の値は $1 \sim N_f$ の平均値とした。これらの関係に基づき次の疲労寿命曲線が得られる

$$\delta_p = 28.324N_f^{-0.3711} \text{ (cm)} \quad E = 127.43N_f^{-0.4867} \text{ (tf}\cdot\text{cm)} \quad (1)$$

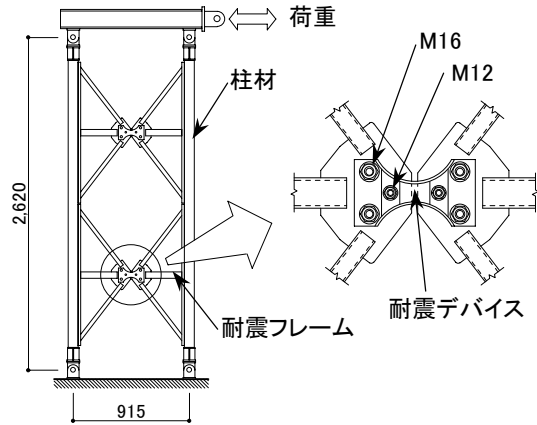


図1 試験体

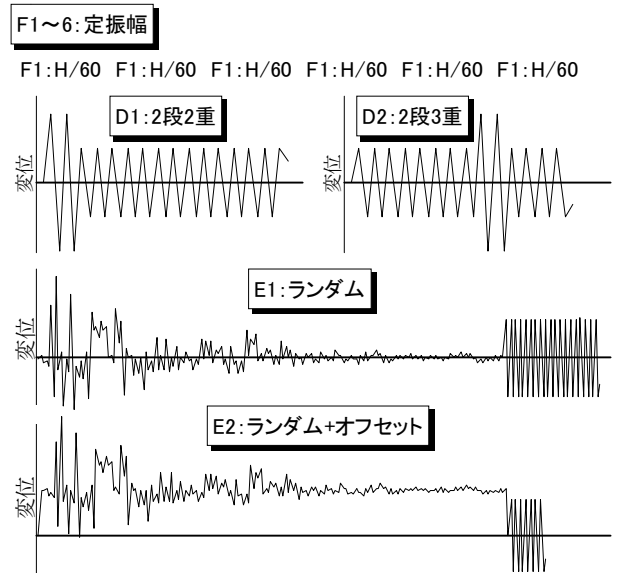


図2 変位履歴

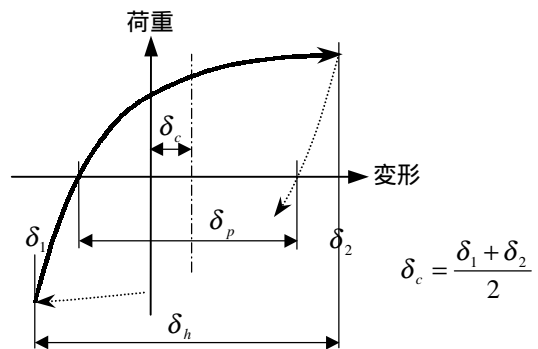


図3 振幅・繰返し数の計数方法

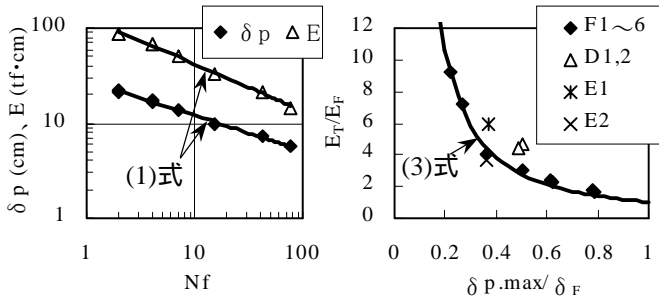


図4 疲労寿命曲線1

図5 疲労寿命曲線2

4. 耐震寿命予測

4.1 Miner則に基づく方法

Miner則による累積損傷値 D は次のように求められる。

$$D = \sum_i \frac{1}{N_{fi}} \quad \text{ここで、} N_{fi} = \left(\frac{\delta_{pi}}{C - \delta_{ci}} \right)^{1/k} \quad (2)$$

C と k は(1)式より、 $C=28.324$ 、 $k = -0.3711$ となる。
 δ_{ci} は図3に示すように、履歴中心と原点の距離である³⁾。
振幅の計数方法はレインフロー法⁵⁾ (以下‘RF法’)とする。
 δ_{ci} は δ_{hi} の始点・終点の変位量の平均値とする。以上の方法で求められる D を $N = N_f$ 時、加力終了時について図6中の[]内に示す。また、 $N < N_f$ で $D=1.0$ となる場合には、その N を印で示した。変位履歴F1~6ではその他のものに比べ D がやや過大評価となっているが、E1,2では終局時に D はほぼ1.0となっており、本方法により耐震寿命予測が可能といえる。

4.2 最大塑性変形と総吸収エネルギーによる方法

(1)式において $N_f=1$ としたときの δ_p と E をそれぞれ δ_F 、 E_F とする。また、載荷過程で生じた塑性変形 δ_p の最大値を $\delta_{p,max}$ とし、 $N = N_f$ までの全吸収エネルギー

を E_T とする。 $\delta_{p,max}$ と E_T をそれぞれ δ_F 、 E_F で除して無次元化したものを $\bar{\delta}_p$ 、 \bar{E}_T とする。本実験における $\bar{\delta}_p$ - \bar{E}_T 関係は図5のようになる。同一の $\bar{\delta}_p$ に対する \bar{E}_T の値はF1~6がその他のものより大きい。

F1~6の $\bar{\delta}_p$ - \bar{E}_T 関係は次の累乗関数で近似できる。

$$\bar{E}_T = \bar{\delta}_p^{-1.47} \quad (3)$$

このとき、地震応答による $\bar{\delta}_p$ 、 \bar{E}_T が $\bar{E}_T \leq \bar{\delta}_p^{-1.47}$ を満足すれば耐震安全性は確保される。 $\bar{E}_T \leq \bar{\delta}_p^{-1.47}$ を設計規範とすると、次の累積損傷値 D' が定義できる。

$$D' = \bar{E}_T \cdot \bar{\delta}_p^{1.47} \quad (4)$$

この D' が1.0となるときの N を図6中に印で示した。変位履歴D1では D' は D と比べ早期に1.0に達するが、E1,2では $D'=1.0$ となるときの全吸収エネルギーは E_T の70%程度であり、実用に供する設計規範の安全率として適度と考える。

また、 D を求めるためには地震応答過程における変位履歴が必要で、実設計上は時刻歴応答解析によらざるを得ない。これに対して D' は $\delta_{p,max}$ と E_T のみによって定まる。 $\delta_{p,max}$ および E_T の実用的評価方法に関する知見はすでに得られており、 $D' \leq 1.0$ を設計規範とすることは特に低層建築物の耐震設計において実用性が高い。

5. まとめ

本報(その6)では極低サイクル疲労試験の結果に基づき、疲労寿命予測の可能性について報告した。

参考文献

- 1) 高橋, 他: 低層鉄骨住宅の耐震要素に関する実験的研究・その3, 日本建築学会学術講演梗概集, 1997
- 2) 日本建築学会: 地震荷重-その現状と将来の展望, pp.177, 1987.11
- 3) 日本鋼構造協会: 鋼構造物の疲労設計指針・同解説, pp.262, 1993.4

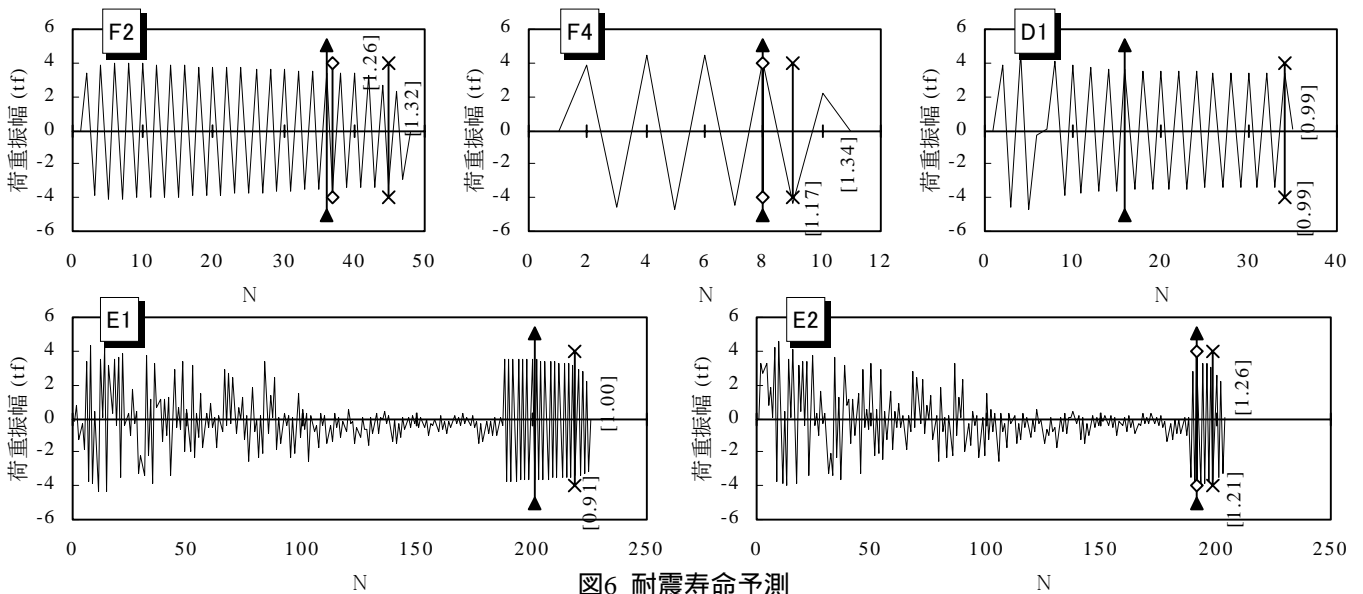


図6 耐震寿命予測

*1 (株)日本システム設計・工博 Nihon System Sekkei Co., Dr. Eng. *4 (株)日本システム設計 Nihon System Sekkei Co.
*2 旭化成ホームズ(株) Asahi Kasei Homes Co.
*3 旭化成(株) Asahi Kasei Co.