

地震動による構造物の低サイクル疲労

金沢大学工学部 正会員 小 堀 為 雄
 学生員 〇山 森 広一

1. まえがき

強震動を受ける構造物は部材の一部に塑性変形を起し、低サイクル疲労の影響を受けることがある。この疲労損傷を計算するには構造物の応答解析を履歴復元力を考慮して行なわなければならない。現在これを実行する方法に等価線形化法や Step by Step の数値計算法があり、応答の統計的性質について研究が行なわれているが、低サイクル疲労の仮説の基本であるひずみ応答については確率論的に表示されていない。そのため本研究では数値計算を用いてひずみ応答を求め、Yao-Munse の仮説に従って構造物の低サイクル疲労を解析しようとするものである。さらに全国各地で記録されている過去の強震記録から気象庁震度階ごとの地震発生確率を計算し、Simulate された人工地震波による損傷値を求め、この値を用いて将来受けるであろう期待損傷値を求めることを目的としている。

2. 応答計算法

図1に示すせん断型1自由度系の運動方程式は次式で示される。

$$\ddot{y}(t) + 2\omega_0 \zeta \dot{y}(t) + \frac{Q(y(t))}{m} = -\ddot{x}(t) \quad (1)$$

ここで ω_0 ; 構造物固有円振動数, ζ ; 減衰定数, m ; 質量, Q ; 復元力 である。柱高 L , 柱のヤング率 E , 断面2次モーメントを I とすれば次の関係式が成り立つ。

$$\omega_0 = \sqrt{K/m}, \quad K = \frac{24EI}{L^3} \quad (2)$$

本研究では150 mm H型鋼を基準断面として採用する。このとき復元力-ひずみ関係は完全弾塑性応力-ひずみ関係を仮定すれば $Q/L = 4M$ の式から降伏応力がフランジ内およびウェブ内にあるときの各々について次の式が成り立つ。

$$Q/m = \theta g [3.952(1 - \frac{1}{2}(\epsilon_f/\epsilon)^2) - 1.635(\epsilon/\epsilon_f)] \quad (3)$$

$$Q/m = \theta g [1.123 - 0.06152(\epsilon_f/\epsilon)^2] \quad (4)$$

ここで ϵ_f は降伏ひずみであり、 g を重力加速度とすれば θg は Q/m の降伏値を示す。式(3),(4)の関係は K_1 の値をもって図2に、また変位-ひずみ関係は K_2 の値をもって図3に示されている。

$$K_1 = \frac{8EI}{Ld m}, \quad K_2 = \frac{3d}{L^2} \quad (5)$$

荷重反転後の線形関係は安全側を考慮して $-\theta g$, $-Y_y$ まで保たれると

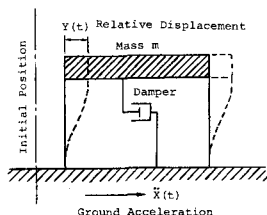


Fig.1

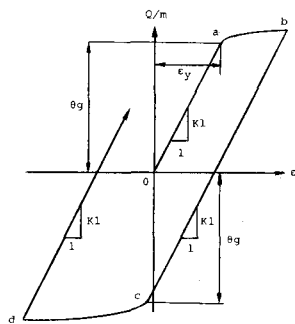


Fig.2

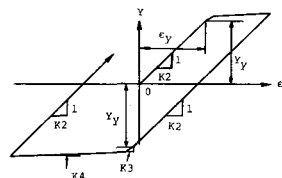


Fig.3

仮定する。ここで Y_f は降伏変位である。次に式(3)を Constant Velocity Method によって数値積分しひずみ応答を求めた後、Yao - Munse の仮説に諸数値を代入して損傷値を求めた。図4に EL Centro 1940.5.18 NS に対する計算結果を示した。

3. 期待累積損傷値

強震動を対象とした構造物の低サイクル疲労の期待値を求めるためには各地の過去の地震記録が必要である。気象庁震度階にもとづいてまとめられた例を表1に示す。¹⁾ これより各震度階の地震発生確率は次の式で表わすことができる。

$$Y_R(I) = \frac{1}{Y^{-1}(I) - Y^{-1}(I+1)} \quad (6)$$

γ 年間に震度階 γ 以上の地震の発生確率は $1 - e^{-Y/Y(5)}$ となり、これらが $\dot{\mu}_{15}, \dot{\mu}_{16}, \dot{\mu}_{17}$ 回発生する確率は次式で示される。²⁾

$$P_{\dot{\mu}_{15} \dot{\mu}_{16} \dot{\mu}_{17}} = \frac{(\dot{\mu}_{15} \dot{\mu}_{16} \dot{\mu}_{17})!}{\dot{\mu}_{15}! \dot{\mu}_{16}! \dot{\mu}_{17}!} \int_{\dot{\mu}_{15}}^{\dot{\mu}_{17}} \int_{\dot{\mu}_{16}}^{\dot{\mu}_{17}} \int_{\dot{\mu}_{15}}^{\dot{\mu}_{17}} (1 - e^{-Y/Y(5)}) \quad (7)$$

$\dot{\mu}_1$ は震度階 γ 以上の地震の発生を条件とする、震度階 I の地震の条件付発生確率であり次式で示される。

$$\dot{\mu}_1 = \frac{Y(5)}{Y_R(I)} \quad (8)$$

さらに各震度階での損傷を $FD5, FD6, FD7$ とすれば期待累積損傷は

$$E[D(Y)] = \sum_{\dot{\mu}_1=Y(5)} (FD5 \times \dot{\mu}_{15} + FD6 \times \dot{\mu}_{16} + FD7 \times \dot{\mu}_{17}) P_{\dot{\mu}_{15} \dot{\mu}_{16} \dot{\mu}_{17}} \quad (9)$$

となり、 γ 年における損傷値が計算できる。人工地震波は Shinozuka の方法により作成し形状関数をかけて非定常波とし、毫田の提案している各震度階ごとの平均最大加速度に人工地震波の最大加速度が一致するように係数を乗じた。以上の結果を図5に示す。

4. 考察

地震動による構造物の累積損傷は固有振動数が大、またパラメーター θ が小さいほど大きな値を示す。図4は我意定数 0.02 に対する結果であるが、 θ が大きくなれば損傷値は減少する。通常の構造物では1回の地震で疲労破壊するものはほとんどみあたらないがこれは1自由度系のみを考察したからであり、多層構造物における損傷度も検討されなければならないが、線形系のようにモーダルアナリシスが適用できないため解析は困難となる。また過去の強震記録が不足しているため人工地震波を使用したが、形状関数や平均最大加速度のように不明確なものが使用されており、今後の研究が必要である。最後に本研究に際し協力して下さった金沢大学工学部4年生、桑野善之君に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 後藤, 毫田 地震時における最大地動の確率論的研究 土木学会論文報告集 第159号
- 2) Shinozuka Application of Stochastic Process Theory to Earthquake Engineering

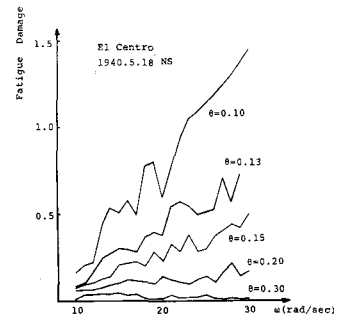


Fig. 4

TABLE (1)

	AKITA	SENDAI	TOKYO	NAGOYA	KYOTO	KOUCHI
N	14	11	31	19	39	9
N5	7	9	14	9	20	6
N6	6	1	10	6	18	2
N7	1	1	7	4	1	1
Nr	8	7	15	8	13	4
Sr	200	200	200	200	200	200
Y(5)	25	29	13	25	15	50
Y(6)	50	157	24	48	32	113
Y(7)	350	314	59	119	600	450

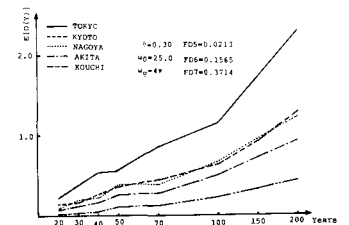


Fig. 5