

エネルギースペクトルの変数分離に基づく構造物の耐久性評価手法に関する研究

応答性能設計図表による累積応答量の予測

A Study on Durability Evaluation of Structure Based on Separated Variables of Energy Spectrum

Prediction of Cumulative Response with Performance-Based Design Diagram

○廣谷直也³, 石丸辰治¹, 秦一平²

* Naoya Hirota³, Shinji Ishimaru¹, Ippei Hata²

Recently, a lot of earthquake of long time and the long period is observed. This suggests that it is necessary to perform not only evaluation of the maximum response but also evaluation of cumulative response as before. Therefore, in this paper, “the Performance-Based Design Diagram” is created using “the Separated Variables of Energy Spectrum”. It shows the simple predictive method of the cumulative response of the structure using “the Performance-Based Design Diagram”.

1. はじめに

近年では、2011 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震に代表されるような、長周期・長時間の地震動が日本全土で数多く観測されている。このことから、構造物が長時間の繰り返し変形を受けることが考えられる。つまり、従来のような構造物の最大応答値のみの評価だけではなく、非線形領域を含む累積的な損傷にも着目せざるおえない状況になってきているといえる。しかし、Fig.1 のように非線形特性を含んだ構造物の応答量は、Fig.2 に示すような様々な弾塑性要素を全て考慮して評価を行わなくてはならない。これらの様々なパラメータを変化させ、ある目標応答値を満足するように時刻歴応答解析を繰り返すような従来の設計手法では、作業が非常に煩雑になることが容易に想像できる。

このような状況に対し、既往の研究^{[1],[2]}において、弾塑性応答解析をせずに、設計用入力地震動の弾性応答スペクトルと任意に設定したパラメータから簡便に最大応答値や累積応答量が予測可能な『エネルギースペクトルの変数分離を用いた設計法』が提案されている。そこで、本研究では、この設計法を用いて、より精度よく弾塑性時の累積応答量を求めることを目的とする。そこで、累積応答量を求める応答性能設計図表を作成し、その精度の検証を行うことで、本設計手法の有用性を確認する。

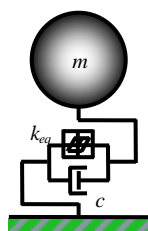


Fig.1 バイリニア型復元力を有する 1 質点系モデル

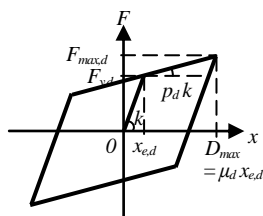


Fig.2 バイリニア型復元力の荷重-変位関係

※記号の定義・・・	m :質量	c :粘性減衰係数
k :弾性剛性	k_{eq} :等価剛性	p_d :バイリニア係数
μ_d :塑性率	D_{max} :最大変形	F_{yd} :降伏荷重
		F_{maxd} :最大復元力

2. 既往の研究及び改善点

エネルギースペクトルの変数分離とは、(1)式に示すように、弾塑性応答スペクトル $S_{eq}(T)$ を弾性応答スペクトル $S(T)$ と粘性減衰定数 h 、塑性率 μ_d 、バイリニア係数 p_d などの周期関数を含まない設計用パラメータの関数 $f(h, \mu_d, p_d)$ との積で表すことである。

$$S_{eq}(S(T), h, \mu_d, p_d) \approx S(T) \cdot f(h, \mu_d, p_d) \quad (1)$$

ただし、既往の研究^{[1],[2]}では、最大応答値を予測する際には、 $h = 0.4$ の弾性応答スペクトルを用いるのに対し、累積応答量を求める際には、 $h = 0.1$ の弾性エネルギースペクトル $V_{E,10}$ を用いる。つまり、減衰 2 種類の弾性応答スペクトルを求める手間が必要である。そこで、次節より、 $h = 0.4$ 時の $V_{E,40}$ 及び $S_{v,40}$, $p S_{v,40}$ の 3 種類の弾性応答スペクトルから累積応答量を求める手法を示す。

3. エネルギースペクトルの変数分離

バイリニア型復元力の 1 ループの履歴面積 E_d を(2)式に示す。既往の研究^{[1],[2]}より、塑性後の繰り返し変形による累積変形エネルギー E_D を累積塑性率 μ_c を用いて(3)式で定義し、その速度換算値 V_{ED} を(4)式で定義する。設計用基準スペクトルとして $V_{E,40}$ を(5)式のように表す。弾性周期 T_E に対する実効周期 T' の比の関係は(6)式と定義する。また、試行錯誤の結果、3 種類の弾性応答スペクトルから修正エネルギースペクトル $\bar{V}_{E,40}$ を(7)式のように定義する。

Fig.3-(a)に塑性率 μ_d をパラメータとして T_E に対して描いた $V_{ED}(T_E)$ を示す。なお、ここでは El Centro 1940 NS を対象とし、 $h = 0.1$, $p_d = 0.1$ について示している。同図中には、 $\bar{V}_{E,40}(T_E)$ および $(V_{ED}(T_E) / \bar{V}_{E,40}(T_E))$ を併せて示している。また、Fig.3-(b)には、(6)式に定義した T' に対してシフトした $V_{ED}(T')$ を示し、同様に $(V_{ED}(T') / \bar{V}_{E,40}(T_E))$ を併せて示す。これより、 T' に対してシフトすることで、 μ_d による変動は少なく、且つ周期に対して一定となることがわかる。よって、周期による影響がほぼないということから(8)式の変数分離が成立する。Fig.3-(c)には、既往の研究における $V_{E,10}$ を用いた場合を示すが、本研究で提案する $\bar{V}_{E,40}$ を用いた方が、より周期に対して一定且つ安

