

第 8 章 構造特性係数の設定方法に関する検討

第8章 構造特性係数の設定方法に関する検討

8.1 はじめに

これまで1) 一般的な荷重変形を持つ構造、2) 1に対して靱性のある構造、3) 1に対して靱性のない構造、の3つを対象に構造特性係数 D_s の設定方法について時刻歴応答解析により検討を進めた。24年度はこれまで課題として挙がっている内容について時刻歴応答解析という特殊解の積み重ねではなく等価線形化法という経験的ではあるものの、いわば理論に則って検討を進め、解を得ることを試みる。なお、繰り返しになるが、課題は、以下のとおりである。

1. 脆性的な壁ではエネルギー一定則が成り立たない
2. 結局エネルギー一定則は経験則なので、時刻歴応答解析を繰り返して整合をとってもそれは特殊解の積み重ねに過ぎない。理論的な応答予測法、地震時必要せん断力について検討する。

8.2 等価線形化による応答変形の追跡

非線形系の最大応答は、速度一定領域にあるとして、既往の研究⁸⁾を参考に以下の式で計算する。

$$\delta = \frac{T_{eff}}{2\pi} S_{pv}(T_{eff}) \times D_h(h_{eq}) \quad (8-1)$$

$$T_{eff} = 0.87 \cdot \left(1 + \frac{1-0.87}{\sqrt{10T_e}} \right) \cdot T_e$$

$$D_h = \sqrt{(1+25h_0)/(1+25h_{eq})} \quad \text{観測波} \quad D_h = \sqrt{(1+75h_0)/(1+75h_{eq})} \quad \text{模擬地震動}$$

$$h_0 = 0.05, \quad h_{eq} = 1/30 \cdot \delta + 0.05 : 0 < \delta \leq 3cm \quad hp = 0.15 : 3cm < \delta$$

ここで、図 8-1 に層の標準骨格曲線を示す。縦軸は質量を 1.0 に基準化し $Co=0.2$ で設計した場合を想定している。図 8-1 右には 4 つの指標を示した。

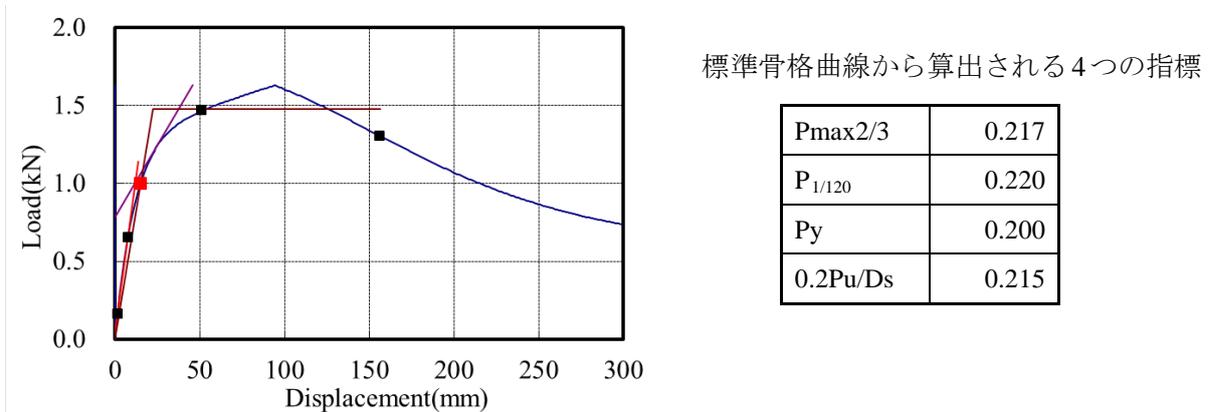


図 8-1 層の荷重変形関係

図 8-1 の骨格曲線の割線剛性から算出される等価周期 T_e (割線剛性) と割線剛性算出のもとと

なった変形の関係を図 8-2 に示す。骨格曲線は関数的であったが周期に関しては直線な関係がある。そこで、直線回帰し、さらにこの T_e を式(8-1)の T_{eff} を求める式に代入し、 T_{eff} も同様に直線回帰する。その結果、有効周期 T_{eff} は以下の式で計算できることになる。

$$T_{eff} = 0.071\delta_e + 0.3483 \quad (8-2)$$

δ_e の単位はcm、以降特に断らない限り変形の単位はcm

ついで、減衰の加速度の低減係数 D_h について検討する。観測波と模擬地震動に対する加速度の低減係数を比較して図 8-3 に示す。模擬地震動のほうの低減が大きい。ここでは今後模擬地震動に対する時刻歴応答解析と比較することを考え、模擬地震動を用いることとする。

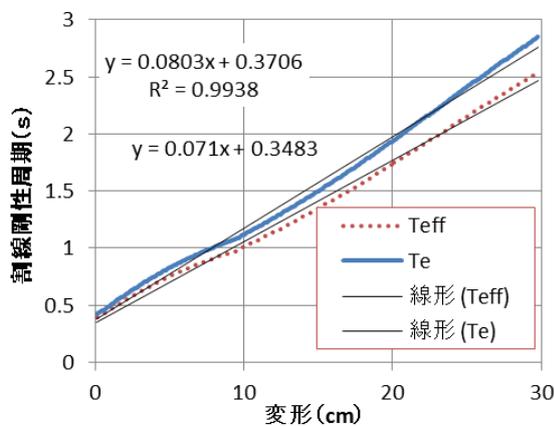


図 8-2 有効周期と変形の関係

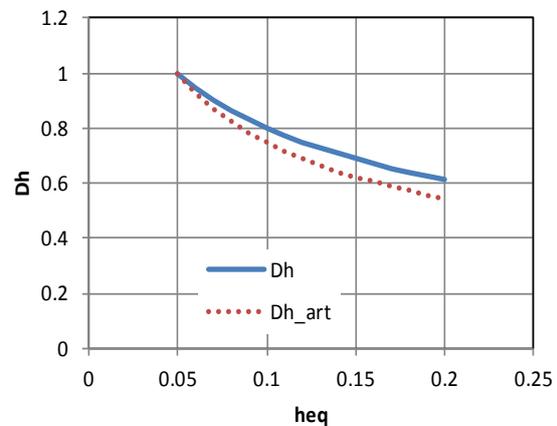


図 8-3 減衰と加速度の低減係数の関係

ここで、耐力が α 倍の時の $T_e(\alpha)$ は以下の式で表される。

$$T_e(\alpha) = T_e/\sqrt{\alpha} \quad (8-3)$$

また、変形が β 倍の時も同様に、 $T_e(\beta)$ は以下の式で表される。

$$T_e(\beta) = \sqrt{\beta}T_e \quad (8-4)$$

有効周期の耐力と変形の変化も式 (8-3)、(8-4)で表せるとする。以上の結果、式(8-1)～(8-4)により非線形系の変形 δ_e は下記により求まる。

$$\delta_e = \frac{0.3483}{(2\pi(\sqrt{\alpha/\beta}/(S_{pv}(T_{eff} \cdot \sqrt{\beta/\alpha}) \cdot D_h) - 0.071)} \quad (8-5)$$

最大応答を求める対象を 3cm以上とおけば、 $h_{eq}=0.15$ であり、 D_h は以下となる。

$$D_h=0.6227 \quad (8-6)$$

ここで、非線形の終局耐力 ePu は以下の式で表される。

$$ePu = Pu \cdot \alpha \quad (8-7)$$

図 8-1 において Pu は 0.2958 となる。ついで、線形系に対しては加速度一定領域にあるものとみなし Sp_a に対する変形を求める。 Sp_a に対し変形は下式で求まる。

$$\delta_0 = \left(\frac{T_0}{2\pi}\right)^2 S_{pa}(T_0) \quad (8-8)$$

ここで T_0 は初期周期であり、図 8.2-1 で定義した荷重変形に対しては、0.547 秒である。また、 α 倍の耐力、 β 倍の変形に対する応答変形は、以下の通りとなる。

$$\delta_0 = \left(\frac{T_0}{2\pi}\right)^2 \frac{\beta}{\alpha} \cdot S_{pa}(T_0 \cdot \sqrt{\beta/\alpha}) \quad (8-9)$$

線形系の応答荷重は、加速度一定領域では耐力や変形によらず、以下で表される。

$$P_0 = m \cdot S_{pa} \quad (8-10)$$

なお、図 8-1 では $m=1$ としており、 $P_0=Sp_a$ となる。

非線形と線形系の耐力比が D_s であり、下式で表される。

$$D_s = \frac{ePu}{P_0} = \frac{Pu \cdot \alpha}{mS_{pa}} \quad (8-11)$$

一方で塑性率 μ は、非線形系と線形系の変形比であり、下式で表される。

$$\mu = \frac{\delta_e}{\delta_0} \quad (8-12)$$

Sp_v と Sp_a を 2 種地盤に対して求めるものとし、1 自由度系に対する検討であるので、建築物の階数及び損傷限界固有周期に応じる係数 $p=0.8$ を考慮すると、 $Sp_v=165 \times 0.8=132\text{cm/sec}$ 、 $Sp_a=1200 \times 0.8=960\text{cm/sec}^2$ となる。 Sp_v を式(8-5)、(8-10)に代入することにより非線形応答が、 S_a を式(8-9)、(8-10)に代入することにより線形応答が求まる。代入後の式は以下となる。

$$\delta_e = \frac{0.3483}{0.0764 \sqrt{\frac{\alpha}{\beta}} - 0.071} \quad ePu = 0.2958\alpha \quad (8-13)$$

$$\delta_0 = 7.249 \frac{\beta}{\alpha} \quad P_0 = 0.9796 \quad (8-14)$$

代入後の塑性化による耐力の低減 D_s と塑性率 μ は以下の式となる。

$$D_s = 0.302\alpha \quad \mu = \frac{0.048\alpha}{0.0764\sqrt{\alpha\beta} - 0.071\beta} \quad (8-15)$$

以上のとおり、等価線形化に基づいて耐力の低減と塑性率の関係を表すことができた。耐力の

倍率 α と変形の倍率 β によって構造特性係数 D_s と塑性率 μ の関係は異なった。特に耐力の変動がなく変形能力が変わる、つまり β が変動する場合には D_s は 0.302 に固定となった。図 8-4 には疑似速度応答スペクトルと疑似加速度応答スペクトルを示した。非線形系の速度一定領域の境界変形は 6.7cm 程度である。変形が 0.5 倍、あるいは耐力が 2 倍となると 4.7cm となる。一方、線形系の加速度一定領域の初期周期は 0.547 秒であり、変形が 0.5 倍、あるいは耐力が 2 倍となると、0.387 秒で速度一定、加速度一定の領域にあるものとみなせる。変形が変化した場合については、今回定義した係数も含め今後検討を要する。

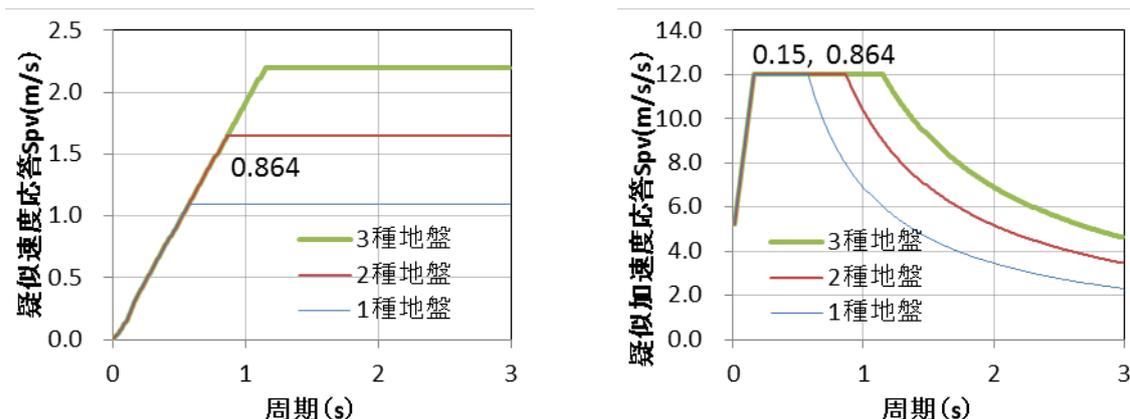


図 8-4 疑似速度応答スペクトルと疑似加速度応答スペクトル

8.3 結果の考察

図 8-5 は変形 β を 1.0 に固定し荷重 α を変動させ、構造特性係数 D_s と塑性率 μ の関係を描いたものである。図中には $D_s = 1/\sqrt{2\mu - 1}$ (実線で表記) も併せて記した。塑性率が 2.0 を超える範囲において、良好に一致していることがわかる。

8.4 まとめ

既往の研究で求めた有効周期 T_{eff} や等価減衰 h は、耐力を増減させたパラメータスタディに基づいて定義したものである。このような一般的な変形特性を持ち、耐力のみが増減する場合については、等価線形化を根拠にして、エネルギー一定則で良好に塑性率と必要耐力の関係を表すことができることを確認した。今後、入力を検討し、変形特性が異なる場合について検討を深める予定である。

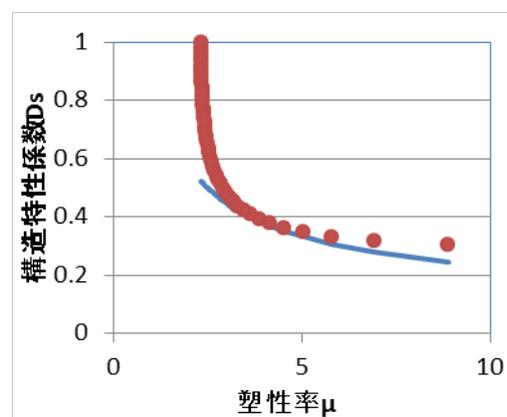


図 8-5 耐力を増減させた場合の結果

参考文献

8-1) 長岡修、五十田博：等価線形化による木造住宅の地震時応答推定とその精度、日本地震工学会論文集、2013 年