

I-265

摩擦応答スペクトルによる重力式構造物及び土構造物の耐震設計

大成建設(株) 正会員 五十嵐 俊一

1 はじめに

現在、重力式構造物及び土構造物は、震度法により設計されている。設計震度は、地域の地震特性、地盤条件、構造物の重要性などを表す係数の積として示方書、指針などで与えられている。したがって、これら設計の基本条件と設計震度の関係は、ウォーターフロントなどの新しい条件下で、その他の構造物まで考慮した設計検討に用いられるほど明確とは言えない。とくに、重力式構造物等は地震動の最大加速度だけを考慮して設計されていると言う誤った印象を与えていることも多い。

盛土、護岸、擁壁、直接基礎などは、土木構造物のなかで、最も一般的なものであり、交通・エネルギー・情報システムなどの都市のライフラインを構成する構造要素として数多く用いられている。都市の総合的な耐震性の検討を行うために、これらの構造物に対して、建築物、橋梁、タンクなどの、諸施設と整合性のある耐震設計・診断を行うことが必要である。

重力式構造物等に対しても、その地震応答を考慮した設計法を考えることができる。本講演では、以上の考えに基づく新しい設計法を提示し、その適要例を述べるものである。

2 基本フロー

重力式構造物・土構造物などは、その抵抗力を、地震力より大きくすると言う考え方に基づいて設計されてきた。これに対して、構造物の応答変位量を設計値以下に押えることを基本にしたものが図-1に示した方法である。摩擦応答スペクトルは、構造物の応答変位と抵抗力(限界加速度)の関係を与えるものである(五十嵐、梶塚、伯野、1985)。これにより、設計地震動に対して設計値以下の応答変位量を与えるような限界加速度(震度)を求め、これを設計震度として震度法による設計を行うものである。具体的な設計計算は、構造物によって個別の設計震度を用いる以外は、現行の震度法とおなじである。この方法は、図-1に掲げた構造物や環境にかかわる基本的な設計条件から定量的に設計震度を求める点に特徴がある。

3 摩擦応答スペクトル

重力式構造物、土構造物などの地震応答については、Seed(1979), Whitman & Liao(1985), 上部(1986)らによって被災事例の分析・実験解析の研究が報告されている。これらの研究を通じて、Newmark(1965)により提案された滑りブロックモデルが、上述の構造物の応答を代表することが確かめられている。

これは、図-2に示したような一自由度系であり、その滑り限界加速度は A_c である。このブロック滑り面に対する相対変位量 x (cm)を、 A_c なる限界加速度をもつ構造物の応答変位の代表値と考える。入力地震動 $\ddot{X}_g$ はランダムであるので、応答 X もランダムになる。設計用摩擦応答スペクトルとしてこのシステムの最大応答の期待値を使うことが出来る。

$$S(A_c) = E [\text{Max} (|X(t)| \ddot{X}_g + A_c \text{sign} \dot{X} = -\ddot{X}_g)], \quad 0 \leq t \leq T \quad (1)$$

ここに、 T は地震動 $\ddot{X}_g$ の継続時間、 $\text{sign} \dot{X}$ は滑り面とブロックの相対速度 $\dot{X}$ の符号を表す。

摩擦応答スペクトル $S(A_c)$ と入力のパワースペクトル $S_g(\omega)$ には強い相関のあることが、多くの強震記録や一般の不規則波を用いて明らかにされている(五十嵐、伯野、1987)。

$$S(A_c) = s\sigma^2 / (2\pi\omega A_c) \text{Exp}(-0.5(A_c/\sigma)^2) (1 + (\pi/2)(1 - \alpha^2)^{0.5} / \alpha) \quad (2)$$

この中の強震パラメータ s (sec)、 σ (gal)、 ω (rad/sec)、 α は、それぞれ、強震時間、2乗平均加速度、中心角振動数、バンド巾指数とよばれ、入力 $\ddot{X}_g$ のパワースペクトル密度関数 $S_g(\omega)$ のモーメントより計算される。

4 適用例とまとめ

この方法は、図-1の上段に掲げた設計の基本条件を、設計地震動と設計変位量として定量化し、摩擦応答スペクトルを使い、設計震度を連続的に計算する点に特色がある。設計計算は、設計震度が毎回決った値にならない点を除いては、現行の震度法と同じであるので、ここでは設計震度の計算例を示す。

はじめに、過去の日本の平均的な強震に対して予測される最大変位が5 cmになるような設計震度を求める。五十嵐、伯野（1987）によって、日本の過去の20地震から計算された強震パラメータの平均値を式（2）に代入して計算した摩擦応答スペクトルから設計震度は $K_d=0.11$ となる（図-3）。設計地震動の全エネルギー $I=s\sigma^2$ が大きくなると摩擦応答スペクトルは右上にシフトし、同じ設計変位に対して大きな設計震度を使う必要がでてくる。例えば、1978年宮城県沖地震($M=7.4$)の震央距離120 kmの三種地盤の記録地震動から計算した強震パラメータを用いて摩擦応答スペクトルを計算し、この地震動と同等の設計地震動を考えると、設計変位5 cmに対して設計震度は0.19となる。ちなみに、設計震度0.1で設計したものは、後者の地震動に対しては、31 cm 変位すると予測される。

摩擦応答スペクトルを用いることにより、重力式構造物等に対しても、応答特性、使用条件、重要性、設計地震動の性質をこれまでより定量的に考慮した新しい耐震設計法が考えられる。

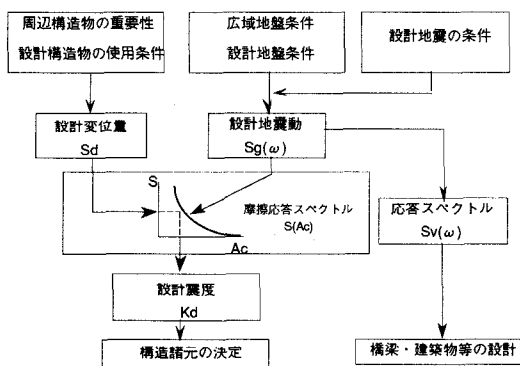


図-1 摩擦応答スペクトルを用いた耐震設計フロー

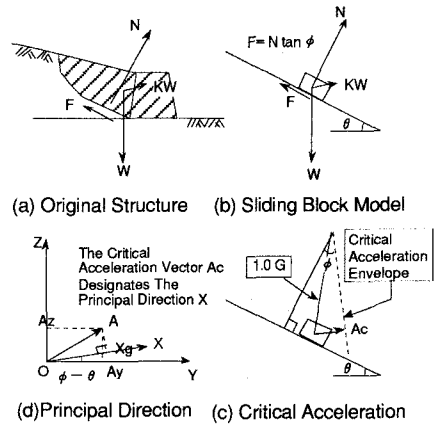


図-2 滑りブロックモデル

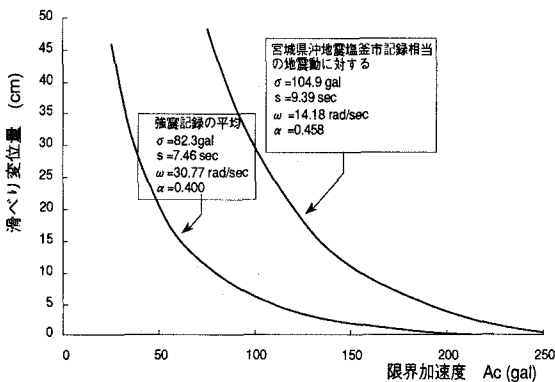


図-3 摩擦応答スペクトル

参考文献

- 五十嵐 俊一、梶塚 健治、伯野 元彦：地震動によるすべりの統計的研究、土木学会論文集 第356号／1-3 1985.4
- Igarashi, S. Hakuno, M.: The Response of Mass-on-Rough-plane Model Due to Earthquakes, Proc. of JSCE No 380/I-7 1987.4
- Seed, H.B.: Considerations in the Earthquake-resistant Design of Earth and Rockfill Dams, Geotechnique 29, No 3 pp. 215-263 1979.
- Whitman and Liao.: Seismic Design of Gravity Retaining Walls, Miscellaneous Paper GL-85-1, M.I.T., 1985
- 上部達生：重力式係船岸の地震被災量に関する研究、港研資料 No. 548, 1986.6
- Newmark, N. M.: Effects of Earthquakes on Dams and Embankments, Geotechnique, Vol 15 No.2 pp. 139-160, 1965