

I-19 所定の最大塑性率に対する降伏震度の算定法に関する研究

徳島大学大学院 学生員 ○門 峰康
徳島大学工学部 フェロー 平尾 潔

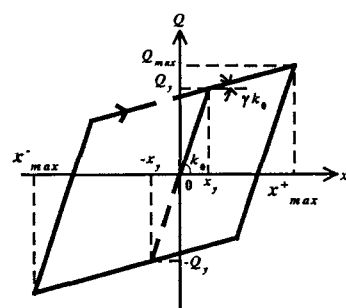
徳島大学工学部 正 員 成行 義文
ゾータ建設コンサルタント(株) 正 員 竹園 雅樹

1. まえがき

現在の土木構造物の多くは、二段階設計法の理念に基づき耐震設計されている。すなわち、構造物の供用期間中に一度あるか否かの大地震に対しては構造物の損傷は許すものの完全倒壊等による人命の損失は避けなければならない。このような理念のもと、近年、安全性と使用性の両方の確保を目的とした、損傷制御型の耐震設計法が提唱されている。このような耐震設計法を確立するためには、所定の損傷度に対する降伏震度スペクトル^{1),2)}の作成が不可欠である。降伏震度スペクトルは、一般に多くの入力地震動に対するスペクトルの平均値として与えられる。したがって、降伏震度スペクトルを求めるためには、任意の地震動入力に対して、所定の損傷度に対する所要降伏震度を精度良く求める必要がある。本研究では、損傷度として最大塑性率に注目し、まず最大塑性率-降伏震度関係の特性について検討し、ついで任意の最大塑性率に対する降伏震度の実用的な算定方法を導いた。

2. 解析方法

入力地震動としては、El Centro 記録(1940 年)と兵庫県南部地震神戸海洋気象台記録(1995 年)を用いた。非線形 1 自由度系で表される解析モデルの復元力履歴モデルは、図-1 に示すような Bilinear モデルとした。同図中、 γ は弾塑性剛性比、 x_y 及び Q_y は降伏変位及び降伏復元力、また、 $x_{\max}^+$ および $x_{\max}^-$ は+側応答変位の最大値および-側応答変位の最小値をそれぞれ表している。



Bilinearモデル

図-1 復元力履歴モデル

3. 最大塑性率と降伏震度の関係

最大塑性率($\mu_d = \{x_{\max}^+, |x_{\max}^-|\}_{\max} / x_y$)と降伏震度($q_y = Q_y / mg$)の定義より、これらの関係は、式(1)のように表される。式(1)より、最大変位 $x_{\max}$ ($= \{x_{\max}^+, |x_{\max}^-|\}_{\max}$) が仮に一定の場合、降伏震度 q_y は最大塑性率 μ_d の単調減少関数であることが分かる。

$$q_y = \frac{k_0 \cdot \{x_{\max}^+, |x_{\max}^-|\}_{\max}}{mg} \cdot \frac{1}{\mu_d} \quad (1)$$

図-2 は、降伏震度 q_y の値を 0 から 1 まで 0.001 刻みで変化させ、それぞれに対する最大塑性率 μ_d をプロットしたものである。図-2 より、これらの曲線は巨視的には前述の傾向を示しているが、最大変位 $x_{\max}$ の変動により、スムーズな曲線とはなっておらず、また一部単調減少傾向が崩れている部分が見られる。図より明らかなように、このような部分では、 μ_d と q_y との対応関係が一義的でなく、ある μ_d に対して 2~3 個の q_y が存在することが分かる。図-3 はこのような現象の周期ごとの発生頻度を示したものである。同図より、 μ_d の反転現象はほぼ全周期で発生しているが、特に最大塑性率が 2 付近での頻度が高いことが分かる。

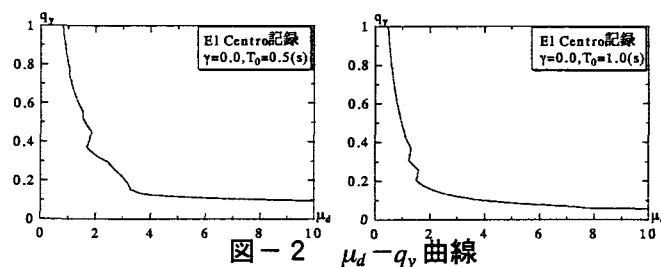


図-2 $\mu_d - q_y$ 曲線

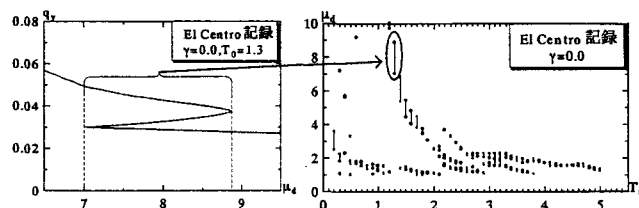
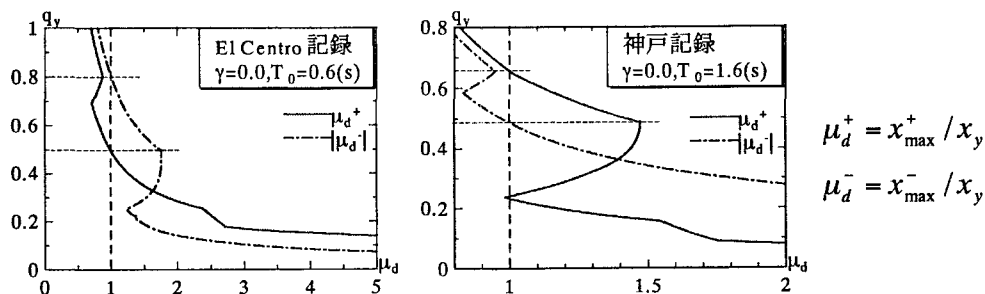


図-3 出現頻度

4. 正負最大塑性率

ここでは、前述のような現象の発生原因に関する検討を行うため、図-4 に示すように、正負の各最大塑性率と降伏震度の関係をプロットした。図-4 から、降伏震度の低下に伴い、+側あるいは-側どちらかの

最大塑性率が弾性限界を超えた時、反対側の最大塑性率の増加率が減少あるいは負になっていることが分かる。これは、片側で塑性化が生じることにより、その方向の変位が増大し、付随的に逆方向の変位が減少するためである。このことが、複数の降伏震度を持つ最大塑性率が発生する一因である。



図－4 正負最大塑性率と降伏震度の関係

5. 収束方法と算定結果

前述のような複数の降伏震度を有する最大塑性率に対して、従来よりよく用いられている単純繰返し法を適用すると、どれかの値には収束するものの、当然全ての値を求めることはできず、またどの値に収束するかも特定できない。構造物の耐震設計においては最も大きな q_y が安全側の値として重要である。最大の降伏震度に収束させる手順は以下のようなものである(図－5 参照)。

1) 非常に大きな q_{y1} と小さな $q_{y'1}$ を与え、それぞれに対応する $\mu_{d1}, \mu_{d'1}$ を求める。

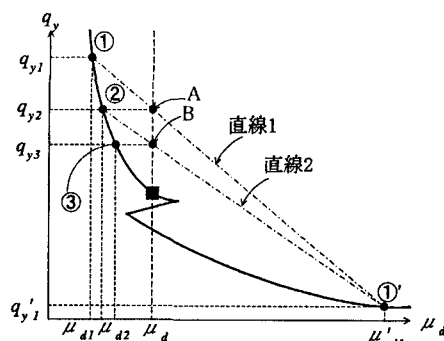
2) この2点(①, ①')を結ぶ直線 1(割線)上の最大塑性率の所定値 μ_d に対する q_{y2} (A 点)を求め、さらにこの q_{y2} に対する μ_{d2} (②点)を求める。

3) 次に①'と②を結ぶ直線 2 を求め、先程と同様に q_{y3} (B 点)及び μ_{d3} (③点)を求める。

4) 以下この作業を μ_{dN} が設定値 μ_d に収束するまで繰返すことにより、最大の q_y が得られる。

なお、最小の q_y 、中間の q_y に関しても最大の場合とほぼ同様の手順を用いて算定することができる。

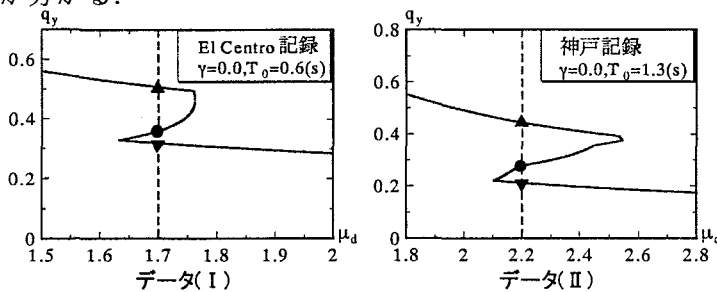
本算定法を適用させた時の収束結果は表－1 ならびに図－6 のようである。いずれも所定の最大塑性率にする全ての降伏震度が精度良く算定されているのが分かる。



図－5 最大の降伏震度

表－1 収束結果

	データ(I)	データ(II)
入力地震動	El Centro	神戸
弾塑性剛性比	0.0	0.0
固有周期	0.6	1.3
最大塑性率	1.7	2.2
最大の q_y	0.5081	0.4430
最小の q_y	0.3184	0.2106
中間の q_y	0.3615	0.2785



図－6 収束結果

6. おわりに

降伏震度は最大塑性率に対して概ね単調減少の関係にある。しかし、降伏震度を徐々に小さくした場合、正負いずれかの方向で初めて弾性限界を超える付近で、反対側の最大塑性率の増加率が減少あるいは負になる現象が見られ、その結果として、複数の降伏震度を有する最大塑性率が存在することが分かった。また、このような最大塑性率に対する、全ての降伏震度を精度良く算定することができる手法を開発し、その妥当性を検証した。

7. 参考文献

- 1) 柴田 明德:最新耐震構造解析,1981 年 6 月。2) 西村・室野・斎藤:所要降伏震度スペクトルの作成と耐震設計への適用,第 3 回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集,1999 年 12 月。