

1-23 リダクションファクタースペクトル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
(株)東亜道路工業 風早 健吾

1. まえがき

兵庫県南部地震以降、構造物の地震時非線形挙動の照査に動的非線形解析が広く用いられるようになってきた。しかし、実務的な観点からは、静的設計により強震下の構造物の挙動を推定し得る手法がより有用であると考えられる。その一つの手法として、リダクションファクタースペクトルの利用が提唱されている。リダクションファクタースペクトルの特性あるいは定式化に関する研究も盛んに行われているが、それらの中である最大塑性率に対してリダクションファクター(R_μ)の解が複数個存在することが指摘されている。^{1),2)}

以上のようなことより、本研究では、最大塑性率とリダクションファクターの関係について検討するとともに、最小の R_μ 解を効率よく求める反復計算法を導き、いくつかの適用例によりその妥当性を示した。

2. 解析方法

入力地震動としては、El Centro NS 記録(1940 年), JMA Kobe NS(1995 年), 模擬地震動(Level2, Type2, I 種地盤, $M=7.0$, $D=5.0$)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 (a), (b)に示すような Bilinear モデル, Q -hyst モデルとした。同図中, p 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+側および-側の応答変位の絶対最大値をそれぞれ表している。なお、本研究における解析では、減衰定数 $h=0.05$, 弾塑性剛性比 $p=0.0$, 固有周期 $T_0=0.1 \sim 3.0(s)$ [$\Delta T_0=0.1(s)$]としている。

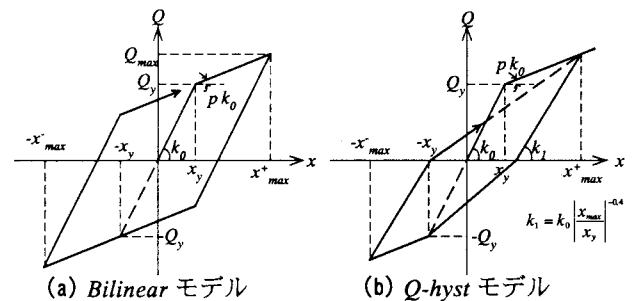


図-1 復元力履歴モデル

3. 最大塑性率とリダクションファクターの関係

最大塑性率($\mu_d = \{x_{\max}^+, x_{\max}^-\}_{\max} / x_y$)とリダクションファクター($R_\mu = Q_{L\max} / Q_y$, $Q_{L\max}$:線形応答時の最大復元力)の定義より、これらの間には式(1)のような関係がある。式(1)より、最大変位 $x_{\max} (= \{x_{\max}^+, x_{\max}^-\}_{\max})$ に対する線形応答時の最大変位 $x_{L\max}$ が仮に一定の場合、リダクションファクター R_μ は最大塑性率 μ_d と比例関係にあることが分かる。

$$R_\mu = \frac{x_{L\max}}{x_{\max}} \cdot \mu_d \quad (1)$$

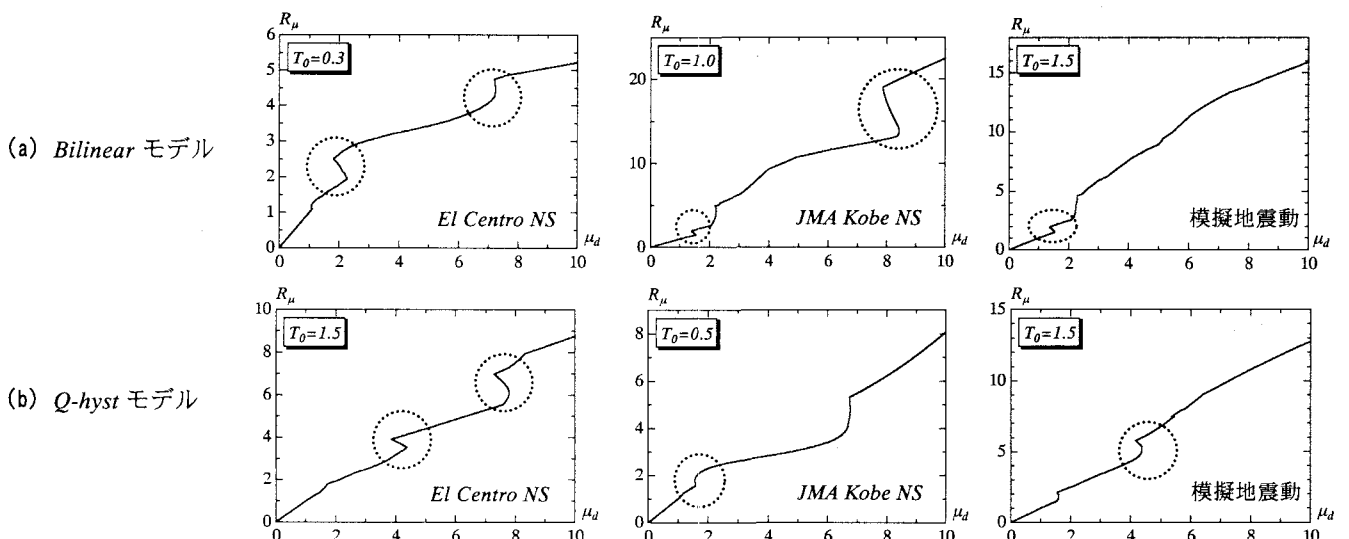


図-2 最大塑性率(μ_d)—リダクションファクター(R_μ)曲線

図-2は、リダクションファクター R_μ を0から微小増分で漸増させ、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、一部曲線が折れ曲がっている部分が見られる(図中の点線丸内)。図より明らかなように、このような部分では、 μ_d と R_μ との対応関係が一義的でなく、ある μ_d に対して複数の R_μ が存在することが分かる。

4. 任意の最大塑性率 μ_d に対する R_μ の最小値($R_{\mu\min}$)の算定法と収束結果

前述のような複数のリダクションファクター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、どの値に収束するかが特定できない。構造物の耐震設計においては最も小さな R_μ が安全側の値として重要であり、本研究では最小のリダクションファクターに収束させる算定法を以下のように導いた。(図-3参照)

図-3(a)において直線 $R_\mu = \mu_d$ と $\mu_d = \mu_d^*$ が交わる点(①)の R_μ を求め、次いでそれに対する μ_d を求める(②)。次に点②と原点を結ぶ直線が $\mu_d = \mu_d^*$ と交わる点(③)を求め、以下同様に、第1次解に収束するまで反復する。図-3(a)では最大の R_μ が求まっているが、実際にはどの解に収束するかは定かではない。よって第1次解を用いて最小の R_μ 解($R_{\mu\min}$)を算定する手順(図-3(b))が必要となる。

図-3(b)のように第1次解(点C)から $\Delta\mu_d^*$ だけ水平移動した点①と原点を結ぶ直線を求め、 $\mu_d = \mu_d^*$ と交わる点(②)の R_μ から点③を求める。以下、図-3(a)の場合と同様の手順を用いて、 $R_{\mu\min}$ (点A)を求める。この場合、適切に $\Delta\mu_d^*$ の値を設定しなければ、 $R_{\mu\min}$ に収束させることが出来ない。

図-3(c)に示すように、任意の μ_d^* に対し $R_{\mu\min}$ に収束させるための $\Delta\mu_d^*$ の必要最小値が $\Delta\mu_{d\min}^*$ である事が分かる。また、この $\Delta\mu_d^*$ の必要値が最大となる μ_{dR} における $\Delta\mu_{d\min}^*$ を $\Delta\mu_{d\max}^*$ とし、今回解析対象とした全データにおける μ_{dR} と $\Delta\mu_{d\max}^*$ の関係をプロットしたものが図-3(d)である。この図より、本研究では最小の R_μ 解を求めるための $\Delta\mu_d^*$ 値を式(2)のように設定した。

$$\begin{aligned} \Delta\mu_d^* &= 3.0 \quad (0 \leq \mu_d^* \leq 3.0) \\ \Delta\mu_d^* &= \mu_d^* \quad (3.0 < \mu_d^*) \end{aligned} \quad (2)$$

前述した図-2の各データにおいて、本算定法を適用した場合の収束結果を表-1に示す。いずれも所定の最大塑性率に対する最小のリダクションファクターが精度良く算定されているのが分かる。

5. おわりに

リダクションファクターは最大塑性率に対して巨視的には比例関係である。しかし、一部曲線が不規則に折れ曲がり、その結果として、複数のリダクションファクター解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、最小のリダクションファクター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。

6. 参考文献

1)柴田 明徳:最新耐震構造解析,1981年6月。2)西村・室野・斎藤:所要リダクションファクター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。

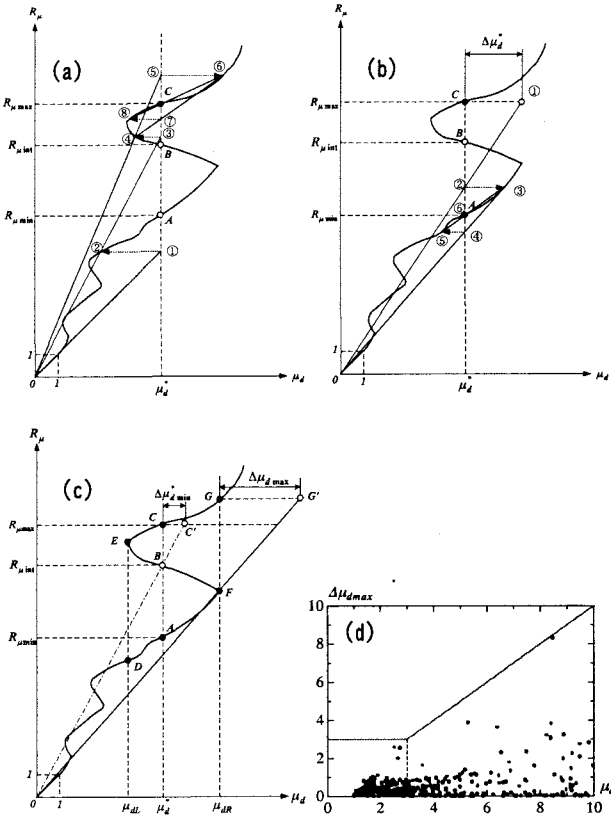


図-3 $R_{\mu\min}$ 算定のための提案法

表-1 収束結果

入力地震動記録	El Centro NS		JMA Kobe NS		模擬地震動	
	Bilinear	Q-hyst	Bilinear	Q-hyst	Bilinear	Q-hyst
履歴モデル	0.3	1.5	1.0	0.5	1.5	1.5
固有周期 T_0 (s)	2.000	4.100	8.130	1.576	1.420	4.260
目標最大塑性率 μ_d^*						
第1次解						
(1) $R_{\mu\max}$	-	4.027	19.487	-	-	-
(2) $R_{\mu\min}$	-	-	-	-	-	-
(3) $R_{\mu\min}$	1.789	-	-	1.550	1.387	4.652
所要解 $R_{\mu\min}$	1.788	3.276	12.969	1.548	1.386	4.650
反復回数(第1次解)	3	2	5	5	2	6
反復回数(所要解)	27	22	4	27	41	59
総反復回数	30	24	9	32	43	65