

鋼製橋脚におけるエネルギー一定則および変位一定則の適用性について

九州大学大学院工学研究科 学生員 ○山口 斉
フェロー 大塚 久哲
正会員 松田 泰治

1. はじめに

平成2年の道路橋示方書より、鉄筋コンクリート橋脚の設計にはエネルギー一定則が用いられている。一方、鋼製橋脚の設計においては、エネルギー一定則による評価が適当であるか否かが不明であるため、コンクリートを充填しない場合においては動的解析を行うこととされている。本研究では、鋼製橋脚の地震時挙動を適切に表現できる復元力モデルとして開発された2パラメータモデル⁽¹⁾を用いて動的解析を行い、その結果とエネルギー一定則および変位一定則による応答値を比較することによりそれらの法則の適用性を検討した。

2. 動的解析について

(1) 2パラメータモデル

2パラメータモデルは、局部座屈およびP-Δ効果を考慮したモデルで、剛性低下と強度劣化をあらわす2つのパラメータを用いた非線形復元力特性である。図-1および図-2には、JMAKOBÉ波、HIGASIKOBÉ波の履歴曲線と応答変位の時刻履歴図をそれぞれ示す。2パラメータモデルでは、断面諸元以外に最大荷重、およびその時の変位を設定する必要がある。本解析では、最大点を推定式から求めた⁽²⁾。推定式およびその適用範囲を右に示す。

(2) 2パラメータモデルの妥当性

2パラメータモデルを用いた動的解析結果とハイブリッド実験結果⁽³⁾を比較することにより、このモデルを用いた動的解析の妥当性を評価した。表-1に比較結果を示す。ここで、表中の $\delta_{\max}/\delta_y$ は最大応答変位を降伏変位で除した値である。

多くのパターンにおいて精度の良い結果を得ることができたが、2パラメータモデルのように劣化域を持つ復元力特性においては、最大荷重が応答値に大きな影響を及ぼすことが知られている。そのため、皿地盤のように最大荷重点における変位を少し上回った変位でのくり返し回数が多い場合は精度の良い結果を得ることは難しいようである。(図-1、図-2参照)

3. パラメトリックスタディー

(1) 入力地震動

入力地震動としては、平成8年の道路橋示方書に基づき、タイプⅠの地震動(プレート境界型の大規模地震)とタイプⅡの地震動(内陸直下型地震)の二種類についてそれぞれ地盤種別三種類の標準波形を用いた。(表-2参照)

(2) 橋脚の諸元に関するパラメータ

鋼製橋脚の強度および変形性能をあらわす代表的なパラメータに幅厚比パラメータ R_f と細長比パラメータ λ がある。これらのパラメータは、前述の2パラメータ

表-1 ハイブリッド実験と動的解析との比較

No.	入力地震動	R_f	λ	$\delta_{\max}/\delta_y$		
				最大荷重点の変位 降伏変位	動的解析結果 最大点は推定式から	
		幅厚比パラメータ	細長比パラメータ	実験結果 (A)	最大点は推定式から (B)	B/A
1	KAIHOKU	0.419	0.234	3.570	3.950	4.652 1.178
2	KAIHOKU	0.294	0.504	3.477	3.552	3.906 1.100
3	KAIHOKU	0.355	0.362	3.407	3.990	5.294 1.327
4	KAIHOKU	0.296	0.263	4.882	3.120	3.111 0.997
5	JMAKOBÉ	0.298	0.281	4.651	10.418	11.641 1.117
6	JMAKOBÉ	0.294	0.504	3.477	3.440	3.696 1.074
7	JMAKOBÉ	0.355	0.362	3.407	3.870	4.213 1.089
8	JMAKOBÉ	0.366	0.374	3.275	4.130	4.352 1.054
9	JMAKOBÉ	0.481	0.382	2.703	2.830	2.900 1.025
10	JMAKOBÉ	0.355	0.362	3.407	3.840	4.273 1.113
11	HIGASI	0.354	0.363	3.411	3.200	4.454 1.392
12	HIGASI	0.354	0.363	3.411	3.160	4.495 1.422

$$\frac{\delta_{\max}}{\delta_{y0}} = 0.055(R_f \cdot \sqrt{\lambda})^{-2.1} + 2.0 \quad \dots (式-1)$$

$$\frac{H_{\max}}{H_{y0}} = 0.7(R_f \cdot \sqrt{\lambda})^{-0.22} + 0.1 \quad \dots (式-2)$$

$$0.3 \leq R_f \leq 0.7 \quad 0.0 \leq P/P_y \leq 0.2$$

$$0.25 \leq \sqrt{\lambda} \leq 0.5 \quad \gamma/\gamma^* \geq 3.0$$

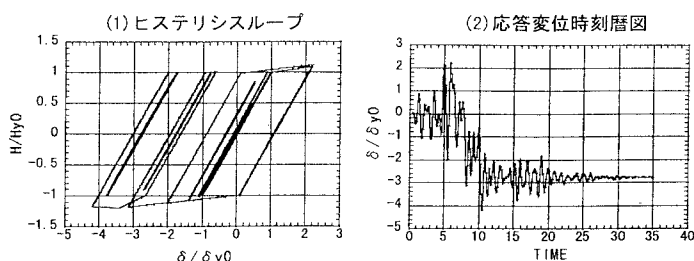


図-1 JMAKOBÉ波入力の場合

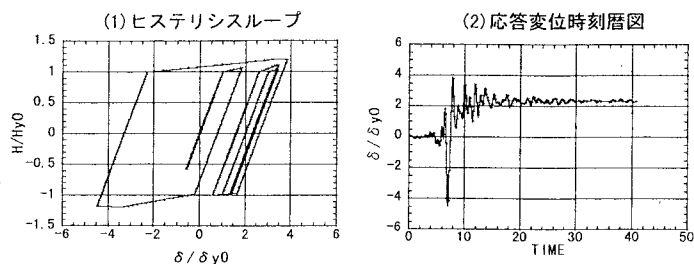


図-2 HIGASIKOBÉ波入力の場合

モデルや、骨格曲線における最大点の推定式にも含まれている。この推定式には、パラメータに対する制限があるため、本研究では、制限に従って表-3に示すような範囲においてパラメトリックスタディーを行った。解析手順としては、まず基本となる橋脚モデルを設定する。これは、既往の研究においてハイブリッド実験で用いられた供試体の諸元を参考にした。その供試体諸元より、まず R_f の異なる供試体モデルを作成する。これは、補剛板の板厚だけを変化させ、それ以外は基本となる橋脚モデルと同一の諸元とした(式-3参照)。これにより、橋脚の断面積と断面二次モーメントが R_f に応じて変化していくことになり、降伏条件が変わる。次に、それぞれの橋脚モデルを対象として、細長比パラメータを前述の制限内で橋脚高さだけを変化させて、パラメトリックスタディーを行った。(式-4参照)。

表-2 入力地震動

分類	地震種別	地震名	記録場所	最大加速度(gal)
タイプⅠ	I種	1978年宮城県沖地震	宮城県側	359.97
	Ⅱ種	1968年日向灘沖地震	阪神橋側	417.13
	Ⅲ種	1983年日本海沖地震	津柱大橋側	442.89
タイプⅡ	I種	1995年兵庫県南部地震	神戸海洋気象台	812.02
	Ⅱ種	1995年兵庫県南部地震	JR盛岡駅側	686.83
	Ⅲ種	1995年兵庫県南部地震	東神戸大橋側	591.03

表-3 パラメータの範囲

細長比パラメータ	$0.25 \leq \lambda \leq 0.5$
幅厚比パラメータ	$0.3 \leq R_f \leq 0.7$
補剛材剛比	$r/r^* = 3.0$
断面形状	補剛断面

$$R_f = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \cdot \frac{12(1-\mu^2)}{4n^2\pi^2}} \dots \dots \text{(式-3)} \quad \bar{\lambda} = \frac{2h}{r} \cdot \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \dots \dots \text{(式-4)}$$

$$P_y = \frac{M_y}{h} \dots \dots \text{(式-5)} \quad \delta_y = \frac{Ph^3}{3EI} \dots \dots \text{(式-6)}$$

4. 解析結果および考察

図-3、図-4に、タイプⅡのⅠ種地盤、およびⅢ種地盤用入力地震波形を入力した場合の解析結果を示す。横軸は想定実橋脚の固有周期、縦軸はエネルギー一定則および変位一定則の最大応答変位を動的解析による最大応答変位で除した値である。Ⅰ種地盤用地震波形を入力した場合は、タイプⅠおよびタイプⅡのいずれの場合においても、変位一定則の方が固有周期をパラメータとしたときの変位の比のばらつきは小さい。また、周期が長くなるに連れて、精度の良い結果を得ることができる。Ⅱ種地盤用地震波形を入力した場合についても同様で、変位一定則の方が変位比のばらつきは小さい。ただし、固有周期が長くなるとばらつきが生じる。Ⅲ種地盤用地震波形を入力した場合は、変位一定則、エネルギー一定則共に変位比にばらつきが生じた。

5. 終わりに

表-1にあるように、Ⅲ種地盤の地震動に対する精度は2パラメータモデルでも十分ではないようであり、このため新たな復元力特性の開発が必要であると考えられる。

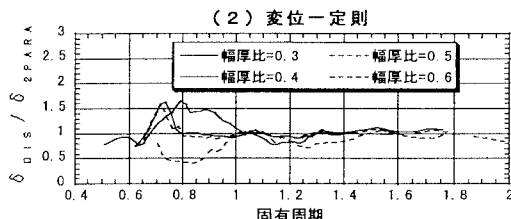
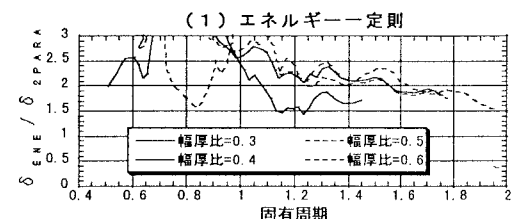


図-3 JMAKOBÉ 波形入力の場合

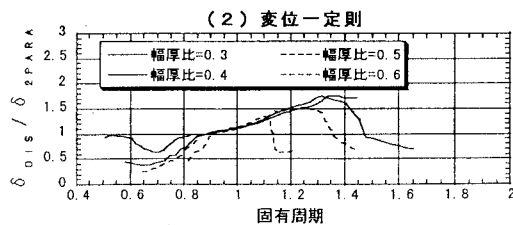
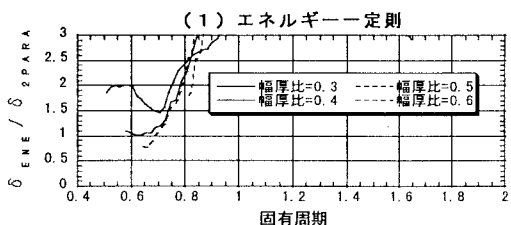


図-4 HIGASIKOBÉ 波形入力の場合

【参考文献】

- (1) 鈴木森昌 他：鋼製箱型断面橋脚の復元力モデルと弾塑性地震応答解析、土木学会論文集, No. 549/I-37, pp191 ~ pp204, 1995 年
- (2) 鈴木森昌 他：繰返し荷重下における鋼製橋脚モデルの強度と変形能の推定式に関する研究、土木学会論文集, No. 519/I-32, pp115 ~ pp117, 1996 年
- (3) 才塚邦宏 他：兵庫県南部地震観測地震波を用いたハイブリッド地震応答実験による鋼製橋脚の激震時挙動、土木学会論文集, No. 556/I-38, pp119 ~ pp129, 1997 年