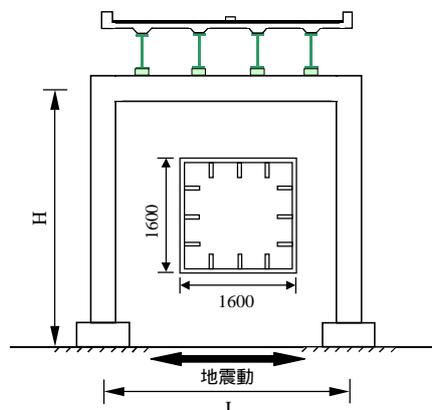


静的解析に基づく鋼製門形ラーメン橋脚の弾塑性最大応答変位・残留変位算定法

横河工事(株) 正会員 伊田 義隆
 長崎大学工学部 正会員 中村 聖三
 長崎大学工学部 フェロー 高橋 和雄

1. はじめに

著者らは、図-1に示すような鋼製門形ラーメン橋脚の弾塑性最大応答変位の推定方法としてエネルギー一定則に着目し、その適用性について検討を行ってきた¹⁾。本研究では、エネルギー一定則を基にして推定した場合、また変位一定則を適用して推定した場合の弾塑性最大応答変位の推定精度を比較した。その結果、エネルギー一定則と表-1に示す補正係数を用いたものが最も精度よく最大応答変位を推定できることがわかった。そこで、この補正係数を用いて道路橋示方書・同解説 耐震設計編(以下、道示)に示される加速度応答スペクトルを利用した動的解析(時刻歴応答解析)を必要としない弾塑性最大応答変位の推定法を提案し、その妥当性を検証した。また、本推定法により推定した最大応答変位を用いて、既往の研究²⁾により提案されているコンクリートを充填しない単柱式鋼製橋脚の残留変位推定式を準用して残留変位の算定を試みた。



Model No.	H (m)	L (m)	k	$\bar{\lambda}$	R_R	R_F
1	8	20	0.40	0.26	0.34	0.25
2	10	20	0.50	0.32	0.31	0.31
3	12	9	1.33	0.38	0.54	0.33
4	12	25	0.48	0.39	0.34	0.20
5	13	10	1.30	0.41	0.54	0.52
6	15	15	1.00	0.48	0.48	0.31
7	16	15	1.07	0.50	0.48	0.46
8	18	8	2.25	0.58	0.40	0.27
9	20	20	1.00	0.63	0.48	0.46
10	23	20	1.15	0.75	0.34	0.20

k : 柱部材に対する梁部材の剛比
 $\bar{\lambda}$: 細長比パラメータ
 R_R : 補剛材間の板パネルの幅厚比パラメータ
 R_F : 補剛材の幅厚比パラメータ

図-1 検討対象橋脚

2. 経験則の適用性

文献1)において、エネルギー一定則を適用して弾塑性最大応答変位を推定した場合、過度に安全側の結果となることがあることから表-1に示すような補正係数を提案し、この補正係数により補正を行うことで推定精度が向上することを述べた。なお、文献1)においては、下限値相当の補正係数のみを提案したが、平均値相当に対する補正係数も同様の手法により求めている。ここでは、もう一つの代表的経験則である変位一定則の適用性について検討するとともに、エネルギー一定則を基にした推定結果と比較を行う。

表-1 補正係数

CASE	Type	下限値相当	平均値相当
		$f(\mu_E)=1/(0.0201\mu_E^2-0.0493\mu_E+1)$	$f(\mu_E)=1/(0.0139\mu_E^2+0.0520\mu_E+1)$
CASE1	Type	$f(\mu_E)=1/(0.0034\mu_E^2+0.0079\mu_E+1)$	$f(\mu_E)=1/(0.0029\mu_E^2+0.0501\mu_E+1)$
	Type	$f(\mu_E)=1/(0.0132\mu_E^2+0.0182\mu_E+1)$	$f(\mu_E)=1/(0.0054\mu_E^2+0.1431\mu_E+1)$
CASE2	Type	$f(\mu_E)=1/(0.0028\mu_E^2+0.0115\mu_E+1)$	$f(\mu_E)=1/(0.0022\mu_E^2+0.0925\mu_E+1)$
	Type	$f(\mu_E)=1/(0.0139\mu_E^2+0.0269\mu_E+1)$	$f(\mu_E)=1/(0.0131\mu_E^2+0.0841\mu_E+1)$
CASE3	Type	$f(\mu_E)=1/(0.0018\mu_E^2+0.0659\mu_E+1)$	$f(\mu_E)=1/(0.0009\mu_E^2+0.1356\mu_E+1)$
	Type		

図-2は、横軸に弾性1次固有周期(T_1)、縦軸にエネルギー一定則、変位一定則、エネルギー一定則と補正係数のそれぞれを用いて推定される弾塑性最大応答変位(δ_{ES})を弾塑性動的応答解析から得られる最大応答変位(δ_{DP})で除した値をとり、プロットしたものである。一般に、エネルギー一定則は短周期(概略 $T=1.4$ 秒以下)、変位一定則は長周期の構造物に対して精度がよいとされているが、今回検討した限りにおいてはそのような傾向は見られず、変位一定則による推定結果は若干危険側になる場合があるものの、いずれの周期帯においてもエネルギー一定則による推定結果より高い精度が得られている。また、今回検討した3種類の方法のうち、エネルギー一定則と補正係数を用いた場合が最も精度よく弾塑性最大応答変位を推定していた。

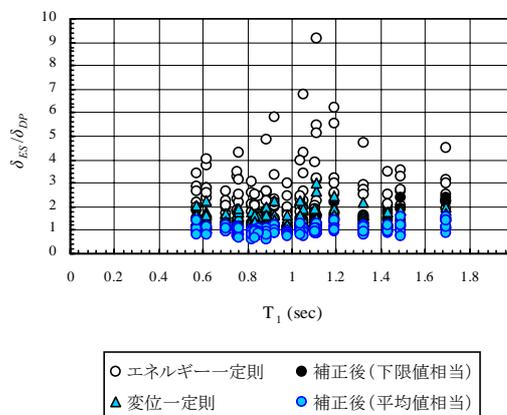


図-2 推定精度の比較

3. 弾塑性最大応答変位の簡易推定法の提案

2.では、エネルギー一定則および変位一定則を適用して弾塑性最大応答変位を推定するに際して、弾性動的応答解析結果から最大ひずみエネルギーを算出した。しかし、実務設計においては、計算負荷等の観点から、動的解析(時刻歴応答解析)を行うことなく、静的解析のみで断面が決定できることが望ましい。そこで、道示に示されているタイプおよびタイプの標準加速度応答スペクトルから最大ひずみエ

キーワード: 鋼製ラーメン橋脚, エネルギー一定則, 変位一定則, 弾塑性最大応答変位, 残留変位, 加速度応答スペクトル
 連絡先: 〒852-8521 長崎市文教町1-14 TEL&FAX 095-843-6301 E-mail snakamura@civil.nagasaki-u.ac.jp

エネルギーを算出し、Pushover 解析から得られる弾塑性時の水平荷重 - 水平変位関係に対してエネルギー一定則を適用するとともに、表-1 に示す補正係数を用いることにより、弾塑性最大応答変位を推定する方法を提案する。

今回提案する推定法の流れを図-3 に示す。本法では、応答スペクトル法により弾性応答時の最大応答変位を算出し、この最大応答変位と初期剛性を用いて最大ひずみエネルギーを算出する。最大ひずみエネルギー算出後の流れは、文献 1) に示したとおりである。

本法が実際に適用可能であるか、その妥当性の検証を行った。なお、応答スペクトル法による最大応答変位の算出にあたっては、最大応答変位の生じる方向に応答が卓越している 5 つのモードによる応答の自乗和の平方根をとった。図-4 は、弾塑性動的応答解析から得られる地盤種別および地震動のタイプごとの 3 波平均の最大応答変位 (δ_{DPA})、縦軸にそれぞれ下限値および平均値相当の補正係数を用いて本法により算出した最大応答変位 (δ'_{SP0} , $\bar{\delta}'_{SP0}$) をとり、プロットしたものである。下限値相当の補正係数を用いた場合では、全ての結果が安全側に推定されていることがわかる。また、その推定精度は、ほとんどの結果に対して δ_{DPA} の 1.5 倍以内となり、比較的高い精度で推定されている。平均値相当の推定結果においては、安全側、危険側にそれぞれ最大 50%、20% 程度の誤差が発生しているが、全体的な傾向としては、精度良く最大応答変位を推定している。以上の結果から、本法は今回対象としたような鋼製門形ラーメン橋脚の概略設計における弾塑性最大応答変位の簡易推定法として適用可能であると考えられる。

4. 残留変位算定の試み

ハイダクティリティー鋼製橋脚のハイブリッド地震応答実験から得られる応答塑性率と残留変位の関係から得られる、下限 (1) 式) および平均 (2) 式) 相当の値を与える残留変位推定式²⁾を準用して、残留変位の算定を試みた。

$$\frac{\delta_R}{\delta_y} = \tan \left(0.208 \frac{\delta_{max}}{\delta_y} - 1.46 \right) + 2.7 \geq 0.0 \quad (1)$$

$$\frac{\delta_R}{\delta_y} = 3.37 \tan \left[0.0879 \left(\frac{\delta_{max}}{\delta_y} - 1 \right) \right] \geq 0.0 \quad (2)$$

δ_R : 残留変位, δ_y : 降伏変位, δ_{max} : 弾塑性最大応答変位

図-5 は、弾塑性動的応答解析から算定された地盤種別および地震動のタイプごとの 3 波平均の残留変位 (δ_{RDA}) と残留変位推定式 (2) 式) に本研究で提案した推定法により推定した下限値相当の最大応答変位を適用して算出した残留変位 (δ'_{R0}) の関係をプロットしたものである。若干危険側に推定している結果が存在するが、安全側かつ比較的高い精度で残留変位を推定できることがわかった。その他の算定結果については講演当日に発表する。

5. まとめ

一般にエネルギー一定則は短周期、変位一定則は長周期の構造物に対して精度がよいとされているが、今回検討した限りにおいてはそのような傾向は見られなかった。応答スペクトル法から得られる弾性応答時の最大応答変位より最大ひずみエネルギーを算出し、エネルギー一定則と表-1 に示した補正係数を用いて、動的解析 (時刻歴応答解析) を必要としない弾塑性最大応答変位の簡易推定法を提案し、その妥当性を示した。

既往の研究⁴⁾で提案されているコンクリートを充填しない単柱式鋼製橋脚の残留変位推定式を準用して、鋼製門形ラーメン橋脚の残留変位を算定した結果、安全側かつ比較的高い精度で残留変位を推定できることがわかった。

参考文献 1) 伊田義隆他：鋼製ラーメン橋脚に対するエネルギー一定則の適用性に関する考察，鋼構造年次論文報告集 第 8 巻，pp.27-284,2000.11. 2) 宇佐美勉他：Pushover 解析と等価 1 自由度モデルによる鋼製ラーメン橋脚の耐震照査法，土木学会論文集，No.626/I-4 8,pp.231-240,1999.7.

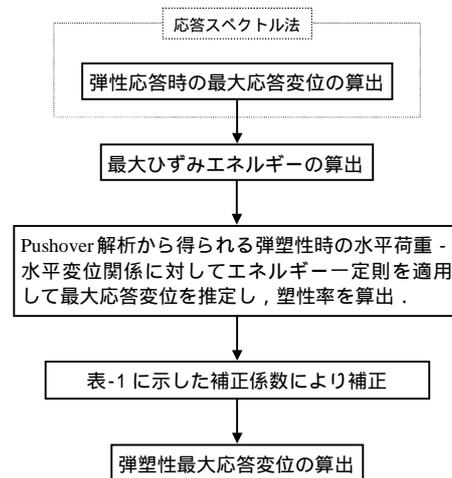


図-3 推定法の流れ (弾塑性最大応答変位)

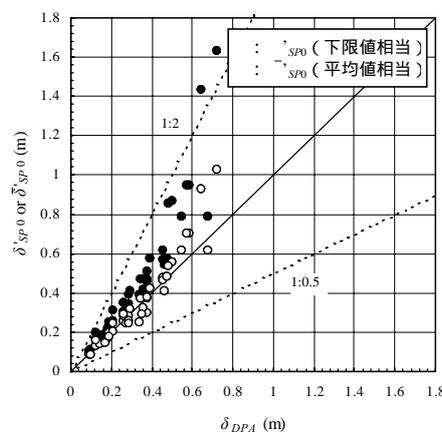


図-4 推定法の検証結果

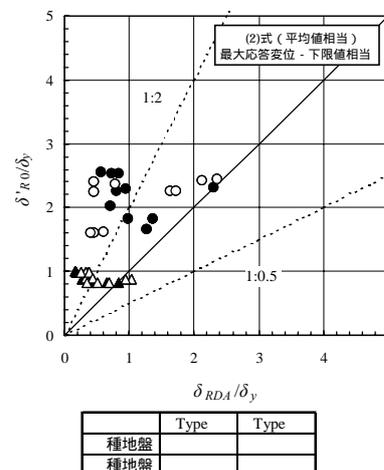


図-5 残留変位の算定結果