

ひずみ照査法に基づく耐震性能照査の1次設計の重要性

○名城大学大学院

学生会員

鈴木 元哉

名城大学

フェロー

葛 漢彬

1. 緒言

鋼構造物の耐震性能照査法の一つにひずみ照査法がある．ひずみ照査法の特徴としては，局部座屈を考慮しないはり要素を用いた解析により，簡易的に鋼構造物の耐震照査を行うことが可能で，実務性に優れている．しかしながら近年，ひずみ照査法を用いた耐震照査では，その結果を危険側に評価するという文献が散見されている．宇佐美ら¹⁾は，ひずみ照査法の誤った適用事例をいくつか述べているが，ここでは文献1)で示している「1次設計の省略」のみについて具体的に考察する．既往の検討²⁾では高強度鋼 SM570 を用いた鋼製橋脚を例にとり，ひずみ照査法の妥当性を再確認した．そこで，本検討では既往検討結果を踏まえ，より一般性を示すために普通鋼 SM490 を用いた鋼製橋脚に対して同様の検討を行う．

2. 解析概要

解析モデル概要を図-1 に示す．解析には ABAQUS を用い，材料構成則は 2 次勾配 $E/100$ のバイリニア型応力-ひずみ関係とした．解析方法は柱頂部に一定の鉛直軸圧縮荷重 P と水平方向に変位 δ を単調载荷で与える Pushover 解析とした．分割については有効破壊長 L_e ($=\text{Min}: 0.7b, ab$) (地震時に最も損傷が集中する部材セグメント) を 5 分割，それ以外を 15 分割とし，全体で 20 分割とした．ここで，本検討では縦横比 α が 0.5 のため，有効破壊長の範囲についてはダイアフラム間隔 (縦横比 0.5 にフランジ幅 b を乗じた値) とした．材料特性は表-1 に示す通りである．

ひずみ照査法が誤認される原因の一つとして，解析対象にレベル 1 地震動に基づく 1 次設計を満たさずに耐震照査を行った結果，危険側に評価することが確認されている²⁾．そこで文献2)と同様に構造諸元は幅厚比パラメータ R_f と細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ を 0.25, 0.35 および 0.45 とそれぞれ変動させ，軸力比 P/P_y (P_y =降伏軸力)を 1 次設計より算出した場合と任意に定めた場合 (0.15, 0.30) とでそれぞれ比較を行う．構造諸元は表-2 に示す通りである．

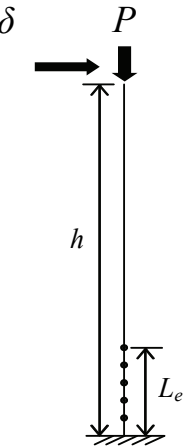


図-1 解析モデル概要

表-1 材料特性

鋼種	E (GPa)	ν	σ_y (MPa)	E_{st}
SM490	206	0.3	315	$E/100$

表-2 構造諸元

R_f	$\bar{\lambda}$	P/P_y		
		任意		1次設計値
0.25	0.25	0.15	0.30	0.20
0.25	0.35	0.15	0.30	0.16
0.25	0.45	0.15	0.30	0.13
0.35	0.25	0.15	0.30	0.21
0.35	0.35	0.15	0.30	0.16
0.35	0.45	0.15	0.30	0.13
0.45	0.25	0.15	0.30	0.21
0.45	0.35	0.15	0.30	0.16
0.45	0.45	0.15	0.30	0.13

3. 鋼製橋脚の限界値の推定式

耐震照査を行う場合，Pushover 解析による結果と繰り返し载荷実験または高度な解析の結果（正解）との比較をするのが一般的である．本検討では，鋼製橋脚の限界値推定式(1)～(3)より得られる値を正解として Pushover 解析結果との比較を行う．

$$\frac{H_m}{H_y} = \frac{0.10}{(R_f \bar{\lambda} \lambda'_s)^{0.5}} + 1.06$$

(S=0.07)

(1)

$$\frac{\delta_m}{\delta_y} = \frac{0.22}{R_f \sqrt{\bar{\lambda} \lambda'_s}} + 1.20$$

(S=0.59)

(2)

$$\frac{\delta_u}{\delta_y} = \frac{0.25}{(1 + P/P_y) R_f \sqrt{\bar{\lambda} \lambda'_s}} + 2.31$$

(S=0.64)

(3)

$$(0.25 \leq R_f \leq 0.56, \quad 0.20 \leq \bar{\lambda}_s \leq 0.50, \quad 0.0 \leq P/P_y \leq 0.30, \quad \gamma/\gamma^* \geq 0.7)$$

ここで， H_m は最大荷重， δ_m は最大荷重時変位， δ_u は最大荷重から 95%まで荷重が低下した点（以降 95%荷重点）での変位あり，推定式の適用範囲は括弧内に示している．なお，各式における $\bar{\lambda}_s$ は縦補剛材の細長比パ

キーワード ひずみ照査法，1次設計，鋼製橋脚，はり要素

連絡先 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部社会基盤デザイン工学科 TEL 052-838-2342

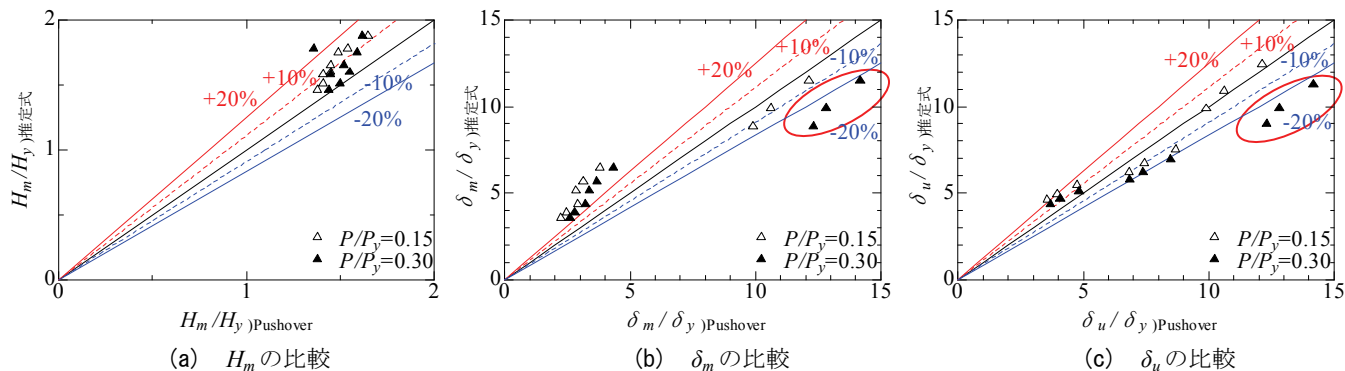


図-2 1次設計を行わなかった場合

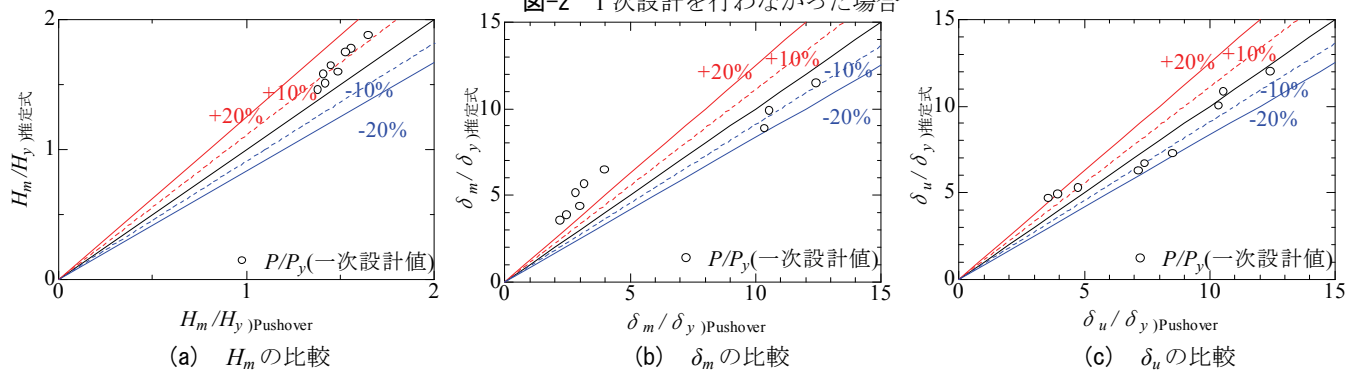


図-3 1次設計を行なった場合

ラメータ $\bar{\lambda}_s$ に対して縦横比の影響を考慮したパラメータであり、 S は標準偏差である。

4. ひずみ照査法に基づく簡易耐震照査

Pushover 解析より終局点を算定するには終局圧縮ひずみが必要となり、以下の式(4)、(5)より得られる。この終局ひずみは解析から得られる、有効破壊長領域での平均圧縮ひずみから導かれたものである。

$$\frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y} = \frac{0.8(1 - P/P_y)^{0.94}}{(R_f \bar{\lambda}_s^{0.18} - 0.168)^{1.25}} + 2.78(1 - P/P_y)^{0.68} \leq 20 \quad (4)$$

$$(0.3 \leq R_f \leq 0.5, \quad 0.18 \leq \bar{\lambda}_s \leq 0.75, \quad 0.0 \leq P/P_y \leq 0.5, \quad \gamma/\gamma^* \geq 1.0)$$

$$\frac{\varepsilon_m}{\varepsilon_y} = \frac{1.41}{(R_f \bar{\lambda}_s^{0.18} - 0.21)^{0.462}} + 0.38 \leq 20 \quad (5)$$

$$(0.3 \leq R_f \leq 0.7, \quad 0.18 \leq \bar{\lambda}_s \leq 0.75, \quad 0.0 \leq P/P_y \leq 0.5, \quad \gamma/\gamma^* \geq 1.0)$$

図-2 に 1 次設計を行わず軸力を任意に与えた場合を、図-3 に 1 次設計を行って軸力を適切に与えた場合をそれぞれ示す。図-2、3 の (a) より終局荷重の比較では 1 次設計を満たすか否かの影響はほとんどないことが確認できる。しかしながら、終局変位においては、図-2 (b) より $P/P_y = 0.30$ のケースで赤枠に示した 3 ケースは Pushover 解析の結果が推定式から得られる限界値に比べ 20% 以上大きく評価していることが確認できる。このことは図-2 (c) の 95% 荷重時を終局とした場合でも同様の傾向であり、1 次設計を満たしていない場合、ひずみ照査法を適用すると過大評価することがある。これは軸力を任意に与えていることに起因しており、ひずみ照査法の誤認の原因の一つとなる。これに対して、図-3 の (b)、(c) より 1 次設計を満たしている場合では終局変位をどちらも精度よく評価できていることがわかる。

5. 結言

本検討では、SM490 を用いた鋼製橋脚のひずみ照査法に基づく簡易耐震照査の妥当性を再確認した。その結果、ひずみ照査法における 1 次設計が重要であることの一般性を改めて示した。

参考文献: 1) 宇佐美勉, 葛 漢彬: 鋼橋の耐震設計における「ひずみ照査法」は正當に評価されているのか?, 土木学会全国大会, 2017. 9. 2) 鈴木元哉, 葛 漢彬: ひずみ照査法による鋼構造物の耐震性能評価に関する注意点—SM570 鋼を用いた鋼製補剛箱形断面橋脚の例—, 土木学会中部支部平成 28 年度研究発表会, I-13, pp.25-26, 2017. 3.