

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—

名城大学 学生会員 ○鈴木 元哉
名城大学 フェロー 葛 漢彬

1. 緒言

著者らは SM570 鋼材を用いた鋼製橋脚の耐震性能を評価するために、シェル要素モデルによる正方形補剛箱形断面を有する鋼製橋脚の解析結果¹⁾に対し、はり要素モデルによる Pushover 解析を用いて、ひずみ照査法に基づく簡易耐震照査を行った²⁾。詳細は以降に記載するが、文献 1)では 1 次設計を行わず所定の構造パラメータの橋脚に対して任意の軸力を与えた解析を行っている。そのため文献 2)では一部のケースを危険側に評価する結果を得た。これをふまえて本検討では 1 次設計を行ったうえで、文献 2)と同様の検討を行い、ひずみ照査法による耐震性能評価の結果を示し、注意すべき点を明らかにする。

2. 解析概要

解析モデル概要を図-1 に示す。解析ソフトには ABAQUS を用い、材料構成則を 2 次勾配 $E/100$ のバイリニア型応力-ひずみ関係とし、はり要素 B31 でモデル化した。载荷方法は柱頂部に一定の鉛直荷重 P と水平変位 δ を単調载荷で与えている。構造パラメータについては、文献 1)と同様、幅厚比パラメータ R_f を 0.25, 0.35 および 0.45 の 3 種類、細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ も同様に 0.25, 0.35 および 0.45 の 3 種類、軸力比 P/P_y を 0.15, 0.30 の 2 種類として任意に与えている。加えて、本検討ではこれらの構造パラメータをもつ橋脚に対して 1 次設計により軸力を求め、その結果を表-1 に示す。分割数については有効破壊長（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。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。

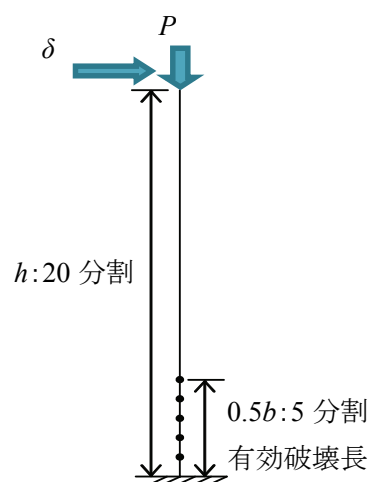


図-1 解析モデル概要

3. 照査手法

本検討で用いる耐震照査法では、はりモデルによる Pushover 解析から得られる有効破壊長の断面フランジ部における平均圧縮軸ひずみ ε_a が限界値である終局ひずみに達したとき構造物は終局に至るとみなしている。

表-1 構造諸元および材料諸元

No.	鋼種	E (GPa)	ν	σ_y (MPa)	R_f	$\bar{\lambda}$	γ/γ^*	α	$\bar{\lambda}_s$	h (mm)	b (mm)	t (mm)	b_s (mm)	t_s (mm)	P/P_y	H_y (MN)	δ_y (mm)
1	SM570	216	0.3	450	0.25	0.25	3	0.5	0.149	2090	625	20	92	20	0.23	1.95	8.95
2						0.35				2926					0.18	1.47	16.77
3						0.45				3762					0.14	1.18	27.37
4					0.35	0.25			0.207	2968	875	20	101	20	0.23	2.64	12.93
5						0.35				4156					0.18	2.00	24.25
6						0.45				5343					0.15	1.60	39.60
7					0.45	0.25			0.272	3846	1125	20	108	20	0.23	3.31	16.85
8						0.35				5384					0.18	2.50	31.61
9						0.45				6922					0.15	2.01	51.65

なお, SM570 を適用した鋼製補剛箱形断面橋脚の終局状態については荷重が最大荷重の 95% まで低下した点 (以降 95% 荷重点) の圧縮軸ひずみ ε_u を終局状態とした場合の算定式(1), および最大荷重点の圧縮軸ひずみ ε_m を終局状態とした場合の算定式(2)の 2 種類が提案されている³⁾.

$$\frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y} = \frac{0.75}{(R_f \bar{\lambda}_s^{0.18} - 0.13)^{1.9} (1 + P/P_y)^{2.4}} + \frac{1.8}{(1 + P/P_y)} \leq 20 \quad (1)$$

$$\frac{\varepsilon_m}{\varepsilon_y} = \frac{0.97}{(R_f \bar{\lambda}_s^{0.18} - 0.188)^{0.7}} + 0.2 \leq 20 \quad (2)$$

($0.3 \leq R_f \leq 0.7$, $0.18 \leq \bar{\lambda}_s \leq 0.75$, $0 \leq P/P_y \leq 1.0$, $\gamma/\gamma^* \geq 1.0$)

4. 解析結果

図-2, 図-3 に前報²⁾の結果とともに本検討の解析結果を示す. ここで各グラフは, はりモデルによる Pushover 解析結果を横軸に, シェルモデルによる繰り返し解析結果を縦軸にとったものである. なお, 図-2 および図-3 は縦軸を降伏水平荷重 H_y , 横軸を降伏水平変位 δ_y でそれぞれ無次元化している. 図-2(a) からわかるように最大荷重 H_m については誤差 +20% ~ -20% に収まる結果を得ている. しかし, 図-2(b) と (c) からわかるように最大荷重時変位 δ_m および 95% 荷重時変位 δ_u については -20% 以上の誤差でシェルによる解析の結果を危険側に評価してしまっているケースが多々ある. これらのほとんどは P/P_y が 0.30 のケースであり, 高軸力下においてひずみ照査法の適用性が欠けていると誤解されることがあろう. しかし, この P/P_y は任意に定められた値であり, 1 次設計より算出された値ではない. そこで図-3 に 1 次設計より算出される P/P_y を用いた場合の解析結果を示す.

H_m については図-3(a) からわかるように全ての解析値を安全側に誤差 +20% 以内に収める結果を得た. δ_m については図-3(b) より 1 ケースのみ僅かに大きめの値を得たが, その他は全て安全側の評価となっている. δ_u については図-3(c) からわかるように 3 ケースのみ大きめに評価したが, こちらも良い精度で評価出来ている. これより, 1 次設計を行ったうえでひずみ照査法に基づく本照査法の妥当性を検証することが出来た.

5. 結言

本検討では 1 次設計により構造パラメータを適切に決定することで, ひずみ照査法に基づく簡易耐震照査法の妥当性を確認することが出来た. しかし, 今回の解析対象は軸力変動がない単柱式鋼製橋脚であるため, 今後は軸力変動のある構造物 (例えば, アーチ橋など) に対して同様の結果が得られるか検討を行う必要がある.

参考文献: 1) 辛 燁超, 鈴木元哉, 宇津宮直幸, 葛 漢彬: SM570 鋼材を用いた鋼製補剛箱形断面橋脚の繰り返し弾塑性解析, 土木学会第 71 回年次学術講演会概要集, I-282, pp.563-564, 2016.9. 2) 鈴木元哉, 葛 漢彬: SM570 鋼材を用いた鋼製補剛箱形断面橋脚の簡易耐震性能照査法に関する解析的検討, 土木学会第 71 回年次学術講演会概要集, I-255, pp.509-510, 2016.9. 3) Ge, H.B., Kang, L. and Maruyama, R.: Ductility Evaluation Formula for Thin-walled Steel Structures Made of High Strength Structural Steel SM570, Proc. the 5th International Symposium on Innovation & Sustainability of Structures in Civil Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, China, July 6-7, pp.359-364, 2013.7.

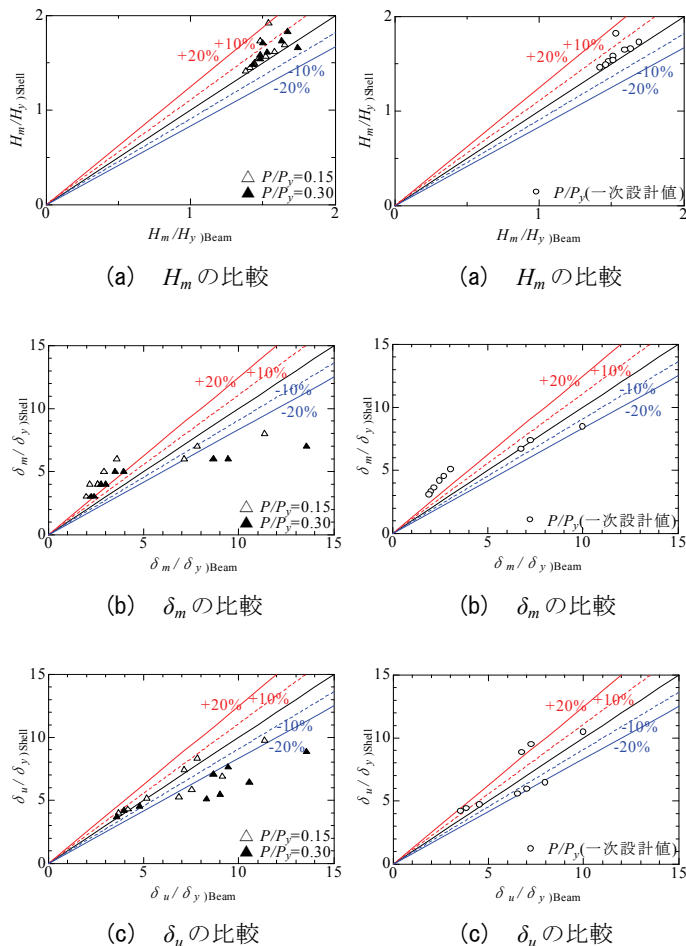


図-2 1 次設計を行わなかった場合²⁾

図-3 1 次設計を行なった場合