

補剛箱形変断面鋼製橋脚の耐震性能と設計法に関する研究

名城大学大学院 学生会員 中村佳昭
名城大学 正会員 葛 漢彬

1. はじめに

兵庫県南部地震以前の鋼製橋脚は、経済的な面あるいは軽量化のために断面寸法や材料強度を部材軸方向に変化させた変断面鋼製橋脚が使用されていた。ところが、兵庫県南部地震時における鋼製橋脚の被害のうち、変断面構造であることに起因して生じた被害がいくつか見られた為、兵庫県南部地震以降は断面寸法が部材軸方向に一樣な等断面橋脚が主に使用されるようになった。しかし、設計条件によっては変断面橋脚を用いても等断面橋脚と同等の耐震性能を有することが確保できると考えられるため、本研究では、プレート幅厚比または柱の細長比の異なる等断面モデルおよび変断面モデルを作成・解析し、局部座屈の発生箇所の検証および等断面橋脚と変断面橋脚の強度と変形能の比較を行い、変断面橋脚の最適な設計方法に関して検討することを目的とする。

2. 設計方法

解析の対象となる橋脚を図-1に示す。2段階変断面モデルは、高さ $h/2$ ごとに板厚が変化するモデルである。また、表-1に今回解析を行うモデルおよび基部に適用した主な構造パラメータを示す。等断面モデルおよび変断面モデルの一次設計を行う際は基部の構造パラメータを用いる。また、変断面モデルにおいて基部周辺以外の板厚を決定する際は、Pushover解析による損傷度評価で定める。ここで、損傷度 D を次のように定める¹⁾。

$$D_i = \varepsilon_{a,i} / \varepsilon_{u,i} \quad (i=1, 2) \tag{1}$$

ここに、 $\varepsilon_{a,i}$ はフランジに発生する圧縮ひずみの有効破壊長領域での平均値、 $\varepsilon_{u,i}$ は終局ひずみであり、 $\varepsilon_{u,i}$ を次のように定める。

$$\frac{\varepsilon_{u,i}}{\varepsilon_y} = \frac{0.8(1 - P/P_y)^{0.94}}{\left(R_f \lambda_s^{-0.18} - 0.168 \right)^{1.25}} + 2.78(1 - P/P_y)^{0.68} \leq 20.0 \tag{2}$$

損傷度 D が 1.0 に達したとき、その部分が終局状態に達したと考え、モデル基部および断面変化部周辺に対して損傷度評価を行う。変断面モデルにおいて、モデル基部よりも薄肉な断面変化部周辺で先に終局状態に達すると、基部で終局を迎えた場合と比べて強度と変形能が低下すると考えられるため、今回の研究ではモデル基部で先に破壊が生じるようにし、なおかつ経済性の向上も考慮して可能な限り基部以外の板厚を薄くする。具体的には、Pushover解析による損傷度評価においてモデル基部の有効破壊長領域の損傷度 D_1 が 1.0 となったときに、断面変化部周辺の

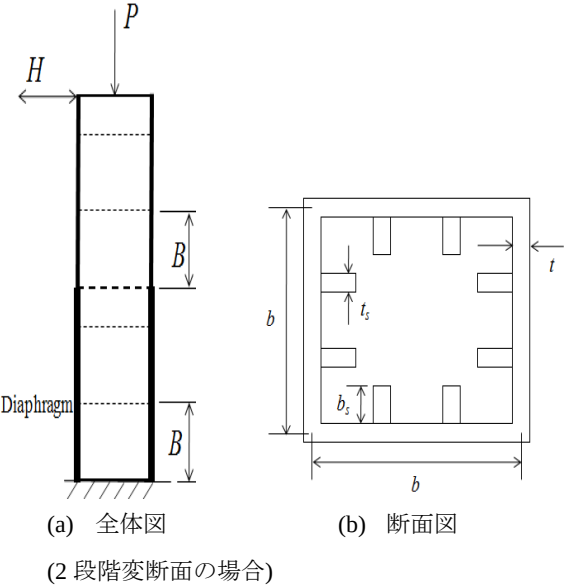


図-1 解析の対象となる橋脚

表-1 解析モデル

No.	R_f	$\bar{\lambda}$	t (mm)	γ/γ^*
S-05-03シリーズ	0.5	0.3	20	3
S-04-03シリーズ	0.4	0.3	20	3
S-03-03シリーズ	0.3	0.3	20	3

Note: R_f =幅厚比パラメータ； λ =細長比パラメータ； t =基部断面の板厚； γ/γ^* =補剛材剛比

キーワード：変断面鋼製橋脚，耐震性能，設計法，損傷度

連絡先：〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部建設システム工学科 TEL 052-838-2342

有効破壊長領域の損傷度 D_2 が 0.9 程度となるように板厚を決定する。

3. 解析概要

2 段階変断面モデルを例に、はり要素を用いた Pushover 解析およびシェル要素を用いた準静的解析を行い破壊箇所など耐震性能の検証を行う。いずれの解析において解析モデル頂部に一定の鉛直荷重および水平変位を与え、構成則はバイリニア型応力-ひずみ関係に移動硬化則を適用したものとした。解析に使用した鋼材は SM490 とし、材料定数は $\sigma_y = 315\text{MPa}$, $E = 206\text{GPa}$ および $\nu = 0.3$ である。

4. Pushover 解析

解析モデルを図-2 に示す。要素分割は全体を 24 分割とし、同一の板厚区間それぞれに対し $0.7B$ の高さ ($B=b+t$) までを有効破壊長領域とし、要素を 5 分割する。断面は、補剛箱形断面を等価無補剛箱形断面に置き換えたものを用いた。

Pushover 解析により各解析モデルの損傷度 D_2 が 0.9 程度となる板厚 t_2 を表-2 に示すように決定した。

5. シェル要素を用いた解析による検証

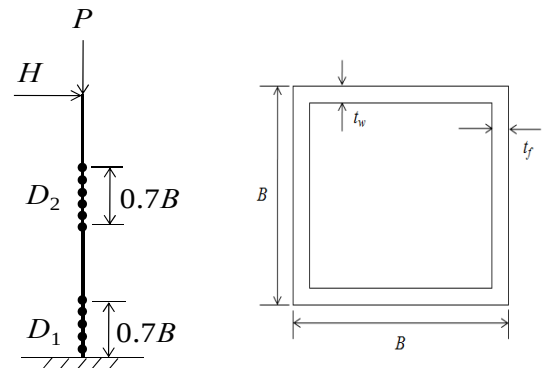
変断面モデルは断面変化部周辺での座屈も考えられるため、モデル基部から断面変化部周辺までをシェル要素とし、残りははり要素を用いた²⁾。はり要素適用部分の断面は補剛箱形断面を等価無補剛箱形断面に置き換えたものを用いた。ダイアフラムは断面変化部に加え、同一の板厚区間それぞれに対して縦横比が 1.0 となる高さ B ごとにダイアフラムを設置する。

図-3 は $R_f = 0.4$, $\bar{\lambda} = 0.3$ の等断面モデル S-04-03-1 および 2 段階変断面モデル S-04-03-2 の解析終了時の座屈モード、図-4 は水平荷重-水平変位履歴曲線による $R_f = 0.4$, $\bar{\lambda} = 0.3$ の等断面モデルと 2 段階変断面モデルの比較である。表-2 に示す構造パラメータを用いて解析を行った結果、どのモデルも基部で座屈が生じ、また、等断面モデルと 2 段階変断面モデルを履歴曲線によって比較すると、等断面モデルと同じような挙動を示しており、同等の耐震性能を有していることがわかった。

6. まとめ

橋脚頂部に鉛直力および水平力を受ける補剛箱形変断面鋼製橋脚の設計法を Pushover 解析および準静的解析によって検討し、損傷度評価により決定した板厚を用いて 2 段階変断面モデルを設計することによって、等断面モデルと比べて耐震性能を損なわず、かつ経済性を高めることができたと考えられる。

参考文献：1)宇佐美ら：コンクリートを部分的に充填した鋼製橋脚の地震時保有水平耐力照査法の提案，土木学会論文集，No.525/I-33，pp.69-82，1995。2)葛ら：鋼製補剛箱形断面橋脚の繰返し弾塑性挙動に関する解析的研究，構造工学論文集，Vol.46A，pp.109-118，2000。



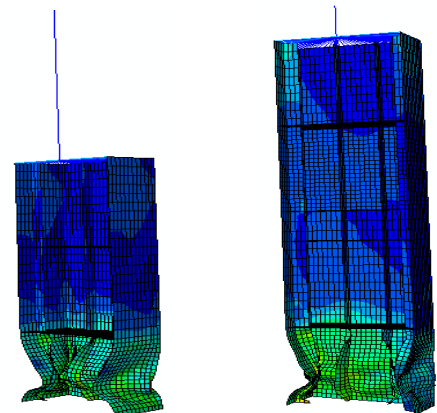
(a) 全体図

(b) 断面図(等価無補剛断面)

図-2 Pushover 解析モデル概略

表-2 各解析モデルの板厚および損傷度

No.	R_f	$\bar{\lambda}$	$t_1(\text{mm})$	D_1	$t_2(\text{mm})$	D_2
S-05-03-2	0.5	0.3	20	1.0	12.9	0.9
S-04-03-2	0.4	0.3	20	1.0	13.3	0.89
S-03-03-2	0.3	0.3	20	1.0	14.0	0.93



(a) S-04-03-1

(b) S-04-03-2

図-3 座屈モードの比較

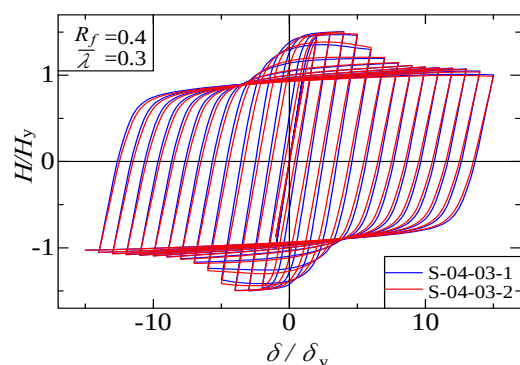


図-4 水平荷重-水平変位履歴曲線の比較