

衝撃突き上げを受ける鋼製円筒橋脚模型の局部座屈防止策に関する検討

防衛大学校 正会員 ○森 雅美

1. はじめに

2008年岩手・宮城内陸地震¹⁾や2011年Christchurch地震(New Zealand)²⁾では約2g以上にも達する大加速度の上下動が観測された。このような近年の地震観測例を踏まえ、上下動の構造物への影響は無視できず、今後懸念される3大都市圏での内陸直下型地震に対しては、水平動だけでなく上下動に対する対策を併せて考える必要があるとの見解³⁾が示されている。

本報告は、1995年兵庫県南部地震で局部座屈が発生した鋼製円筒橋脚の2つのダイヤフラム間の変断面円筒シェルを模擬し、衝撃突き上げ実験⁴⁾で用いた図-1の変断面鋼管短柱を基準断面として、局部座屈現象の防止策を検討したものである。すなわち、道路橋示方書⁵⁾(以下、道示と略称)規定の水平動を対象とした縦リブ補強構造(図-2(a))と径厚比制限構造(図-2(b))の上下動に対する適用性を静的圧縮実験および衝撃突き上げ実験のシミュレーション解析の両面から検討した。

2. 実験シリーズ

(1) 縦リブ補強構造 (Aシリーズ)

前述の基準断面(変断面)に取付ける縦リブの寸法は以下のように決定した。水平動を対象とした等断面の円筒橋脚の縦リブ補強構造に関する既往の実験の中から、表-1に示す径厚比パラメータ R_t が基準断面の上部薄肉側(A; $D=138.4\text{mm}, t_1=1.6\text{mm}$)のものと同様である岡本ら⁶⁾の供試体(A')を選び、その補剛パラメータ R_R, R_F と R_H と極力一致するよう縦

リブの寸法を決定した。これと基準断面(無補強)の中間の補剛パラメータの供試体も作成した。ここで、径厚比パラメータ R_t 、補剛パラメータ R_R, R_F, R_t と R_H は道示^{5),7)}よりそれぞれ

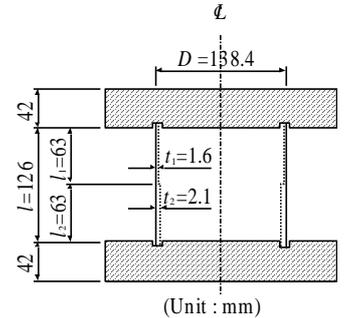


図-1 基準断面

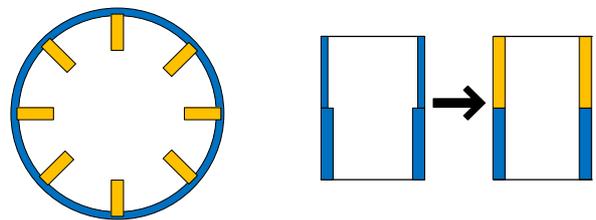


図-2 脆性的な破壊を防ぐための構造細目(道示)

れ次式のように表される。

$$R_t = \frac{R \sigma_y}{t E} \sqrt{3(1 - \nu^2)} \tag{1}$$

$$R_{R,F,H} = \frac{b_r}{t_r} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \frac{12(1 - \nu^2)}{\pi^2 k_{R,F,H}}} \tag{2}$$

なお、 E : 鋼材の縦弾性係数、 ν : ポアソン比、 σ_y : 鋼材の降伏応力、 D : 円筒の外径、 t : 円筒の板厚、 $R=(D-t)/2$: 円筒の板厚中心半径、 b_r : 縦リブの全幅、 t_r : 縦リブの板厚、 R_R, R_F と R_H : 座屈係数である。

表-1 供試体のパラメータの計算値

シリーズ	断面	補剛の有無	円筒断面		縦リブ			パラメーター														
			直径 D	板厚		幅 b_r	厚 t_r	本数	円筒				補鋼板									
				t_1	t_2				径厚比	径長比	軸力比	軸力	径幅比	幅厚比								
			(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		R_{t1}	R_{t2}	l_1/D	l_2/D	P/P_y	P (kN)	D/b_r	D/t_r	R_R	R_F	R_H				
A'	等断面	No.1:無補剛	609.6	7.9	-----	-----	-----	0.125	5.054	-----	-----	-----	704	10.2	67.7	0.673	0.234	0.457				
		0.115						647					0.669						0.233	0.455		
		0.115						640					10.2						67.7	0.643	0.224	0.437
		0.105						514					10.2						67.7	0.643	0.224	0.437
A	変断面	無補剛	138.4	1.6	2.1	6	1.6	8	0.0972	0.0738	0.455	0.455	0.127	24.7	23.1	86.5	0.655	0.561	0.223			
		リブ6.0*1.6																		12	1.6	8
B	等断面	無補剛	138.4	-----	-----	-----	-----	-----	0.0972	-----	0.910	-----	24.7	-----	-----	-----	-----	-----				
																			3.00	0.0513	-----	
																			3.76	0.0407		
																			4.00	0.0382		

キーワード 上下動, 鋼製円筒橋脚, 局部座屈現象, 局部座屈防止策, 複合非線形動的解析

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 TEL: 046-841-3810(内 2365) FAX: 046-844-5913

表-2 材料諸元

	Pipe	Plate・Weight	Adhesive
Material	STPG370	SS400	Epoxy
Young's modulus E (GPa)	206	206	0.177
Poisson's ratio ν	0.3	0.3	0.34
Yield stress σ_y (MPa)	283	235	2.58
Density ρ (kg/m ³)	7850	7850	1097

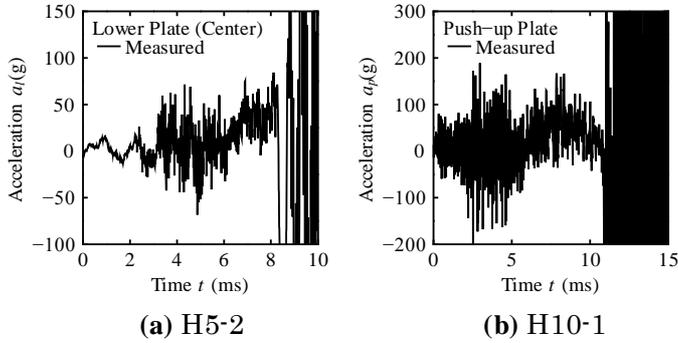


図-3 入力加速度 (衝撃突き上げ実験)

(2) 径厚比制限構造 (B シリーズ)

径厚比パラメータ R_t の範囲は、表-1 に示すように基準断面の上部薄肉側の板厚 $R_t=0.0972$ ($t_1=1.6\text{mm}$) を上限、供試体を作成する原管から加工可能な最大板厚 $R_t=0.0382$ ($t_{\text{max}}=4.00\text{mm}$) を下限とした。

3. 数値解析概要

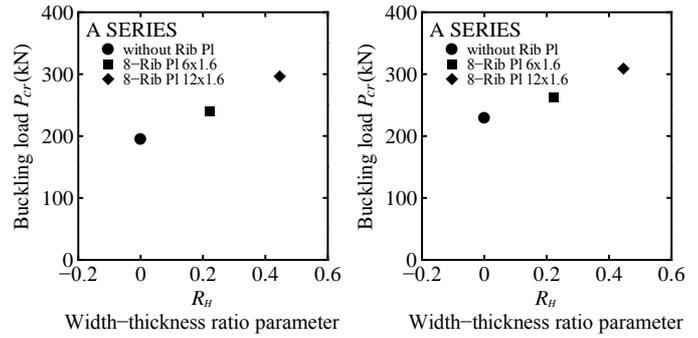
数値解析には汎用非線形構造解析プログラム MSC.Marc⁸⁾を用い、鋼管短柱の塑性局部挙動を考慮した複合非線形動的解析を行った。

解析対象は、上部に重錘(重量:24.7kN, 軸力比: $P/P_y=-0.127$)を掲載した図-1 に示す板厚42mmの上・下部鋼板とエポキシ系接着剤で一体化したAおよびBシリーズの鋼管短柱である。材料諸元を表-2 に示す。入力加速度は、衝撃突き上げ実験中、断面変化部直上の薄肉側で局部座屈が発生した突き上げ速度が図-3 に示す高速($v \approx 1.4\text{m/s}$)の場合のものとした。突き上げ変位量は、Aシリーズに対しては局部座屈を顕在化するため $u=10\text{mm}$ (H10-1)), Bシリーズに対しては $u=5\text{mm}$ (H5-2) とした。

4. 解析結果および考察

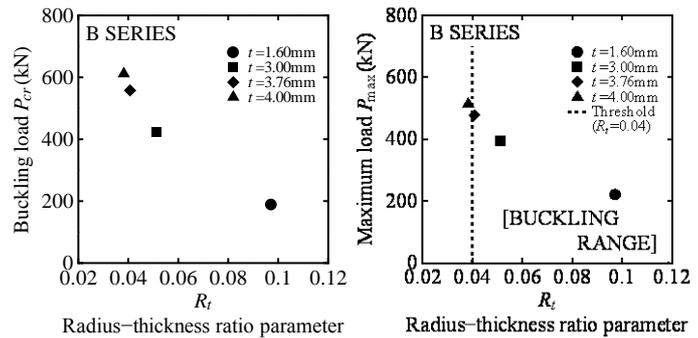
(1) 縦リブ補強構造 (A シリーズ)

Aシリーズの局部座屈荷重~幅厚比パラメータ ($P_{cr} \sim R_H$) 関係を図-4 に示す。図中、(a)は静的圧縮実験結果を、(b)は衝撃突き上げ実験のシミュレーション解析結果を表す。(b)より、局部座屈荷重 P_{cr} は(a)に比べ約4~15%上昇していることがわかる。 R_H の増大に伴う局部座屈荷重 P_{cr} の上昇 ($R_H=0$ の無補強の



(a) 静的圧縮実験結果 (b) 解析結果

図-4 局部座屈荷重~幅厚比パラメータ関係 (A シリーズ)



(a) 静的圧縮実験結果 (b) 解析結果

図-5 局部座屈荷重~径厚比パラメータ関係 (B シリーズ)

供試体を基準断面)はそれぞれ約1.15倍と約1.35倍となり、一定の補強効果は認められるものの、局部座屈は防止できないことがわかる。

(2) 径厚比制限構造 (B シリーズ)

Bシリーズの局部座屈荷重~径厚比パラメータ ($P_{cr} \sim R_t$) 関係を図-5 に示す。(b)より、 $R_t=0.0407$ と 0.0382 の場合の最大荷重 P_{max} は(a)の局部座屈荷重 P_{cr} に達していない。このため、両者の最大半径方向変位比 $u_{r,\text{max}}/D$ (局部座屈発生位置の半径方向の最大変位 $u_{r,\text{max}}$ と外径 D との比) の上限値0.2%を局部座屈発生条件と定義すれば、局部座屈を防止できる径厚比パラメータの閾値は $R_t=0.4$ と求まる

参考文献

- 1)防災科学技術研究所, 強震観測網 (K-net, KiK-net), <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>.
- 2)GeoNet-Strong Motion Data, <http://www.geonet.org.nz/resources/basic-data/strong-motion-data/>.
- 3)五十嵐俊一: 連発・直下型クライストチャーチ地震とCTVビル崩壊が示した課題「次の地震」に対して安全な構造物を確保する建物のシートベルトの必要性, http://www.sqa.co.jp/opinion/seat_belt.pdf.
- 4)森 雅美・鈴木一孝・石川信隆・増田陳紀: 衝撃的突き上げを受ける変断面鋼管短柱の動的塑性局部座屈に関する実験的検討, 土木学会論文集, Vol.64A, pp.376-392, 2008.4.
- 5)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編, pp.203-208, 2002.3.
- 6)岡本 隆, 水谷慎吾, 長山秀昭, 原 茂樹, 半野久光, 田嶋仁志: 縦リブ補強した円形断面鋼製橋脚の耐震性評価, 構造工学論文集, Vol.46A, pp.97-108, 2000.3.
- 7)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 I共通編 II共通編, pp.160-169, 2002.3.
- 8)エムエスソフトウェア(株): MSC.Marc2001 日本語マニュアル, A~E編.