

変断面鋼管短柱の衝撃突き上げ実験

武蔵工業大学 ○学生会員 江川大介 防衛大学校 正会員 森 雅美
武蔵工業大学 フェロー 増田陳紀 防衛大学校 正会員 香月 智

1. はじめに

先の兵庫県南部地震では、鋼製円筒橋脚の断面変化部直上に軸対称局部座屈損傷が見られた。この損傷の原因を究明するため、水平動の繰り返しによる実験的または解析的アプローチによる検証がなされている¹⁾。著者ら²⁾は、衝撃的上下動による検証も必要との観点から変断面鋼管短柱の衝撃突き上げ実験を行い、断面変化部直上での軸対称局部座屈波形を再現し得ているが、座屈荷重を直接計測していなかった。本研究は、座屈荷重を直接計測する自作のロードセルを用いた変断面鋼管短柱の衝撃突き上げ実験を行い、局部座屈現象の実験的再現を試みるものである。

2. 実験の概要

(1) 供試体 供試体は、ダイヤフラム間を模擬した図-1 に示す形状・寸法の上・下鋼板と一体化した中央に断面変化部を有する変断面鋼管短柱である。管種は JIS G3454 の STPG370-SH125A SCH20 (降伏応力: $\sigma_y=284\text{MPa}$) の圧力配管用炭素鋼管であり、内面と外面を機械切削により減厚して外径 $D=138.4\text{mm}$ 、薄肉側上部($l_1=63\text{mm}$)の板厚 $t_1=1.6\text{mm}$ ($D/t_1=86.5$)、厚肉側下部($l_2=63\text{mm}$)の板厚 $t_2=2.1\text{mm}$ ($D/t_2=65.9$, $t_2/t_1=1.31$)、全長 $l=(l_1+l_2)=126\text{mm}$ ($l/D=0.91$) とした。両端部には、板厚 42mm の鋼板をエポキシ系接着剤で固着して取り付けた。供試体上部には、重錘 (重量: 24.7kN) を上載し、軸力比を $P/P_y=0.13$ とした。

(2) 計測項目 計測項目は、図-2 に示す供試体の上と下に設置した手製の上・下ロードセルの荷重 (P_u, P_l)、突き上げ板 (u_l) と重錘 (u_w) の変位、下部鋼板の左・中央・右 (a_{ll}, a_{lc}, a_{lr})、上部鋼板 (a_u) と重錘 (a_w) の加速度、および供試体の軸方向の 6 断面 (薄肉側上部の 4 断面 (S1~S4) と厚肉側下部の 2 断面 (S5, S6)) での正面 (Front) とその対角の背面 (Back) の軸ひずみ (G1~G12) である。

(3) ロードセル 自作のロードセルは、図-3 に示すように $250 \times 250 \times 12\text{mm}$ の鋼板 (材質: SS400) の中心に $50 \times 50 \times 32\text{mm}$ の受圧部の鋼板 (材質: SM490, 降伏応力: $\sigma_y=325\text{MPa}$) を溶接接合して作成した。受圧部の鋼板の平面寸法は、今回の衝撃突き上げ実験において予想される座屈荷重 ($P_{cr}=200\text{kN}$ 以上) に対する発生ひずみを降伏ひずみ以下の弾性範囲内に抑制することとその上に重錘 ($570 \times 570 \times 200\text{mm}$) を上載する際の安定性を勘案して $50 \times 50\text{mm}$ とした。受圧部の 4 側面の軸方向の中心線上に箔大ひずみゲージ (ゲージ長: 2mm , ひずみ限界: 約 15%) を各 1 枚貼付し、4 アクティブ 1 ゲージ法 (平均ひずみ測定法) によるひずみゲージ式のロードセルとした。

(4) 実験ケース 実験ケースは、突き上げ速度と突き上げ変位量をパラメータとし、突き上げ速度が 4 ケース ($v=1.0, 1.1, 1.2, 1.4\text{m/s}$)、突き上げ変位量が 4 ケース ($u=2.5, 5, 10, 20\text{mm}$) とした。

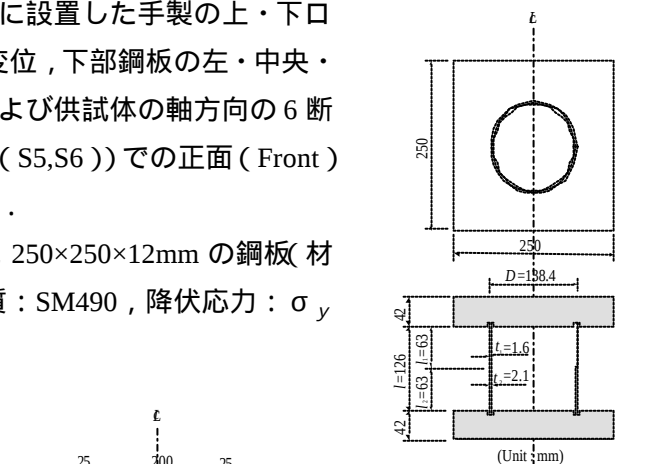


図-1 供試体

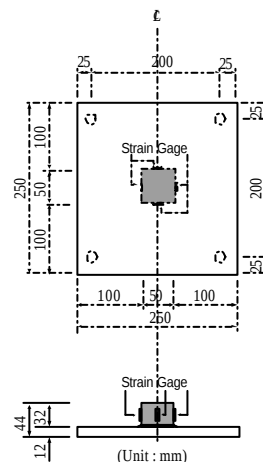


図-2 自作ロードセル

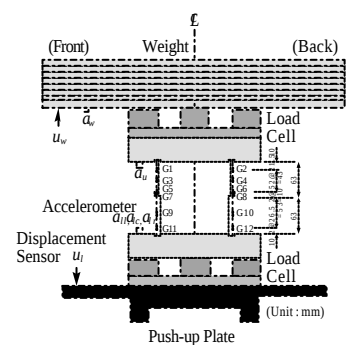


図-3 計測項目

Key Words: 衝撃的上下動, 鋼製円筒橋脚, 局部座屈, 突き上げ実験

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

3. 実験結果と考察

ここでは一例として、実験ケース "H5-2" (突き上げ速度：高速 ($v=1.4\text{m/s}$), 突き上げ変位量： $u=5\text{mm}$) を取り挙げる。

(1) 局部座屈波形 衝撃突き上げ実験終了後の局部座屈波形を写真-1 に示す。同写真より、断面変化部直上に環状の軸対称局部座屈波形を再現し得ていることが確認される。

(2) 軸ひずみ～時間関係 図-4(a)～(f)は、それぞれ断面 S1～断面 S6 での軸ひずみ～時間関係を示したもので、実線は供試体の正面 (Front)、点線はその対角の背面 (Back) での軸ひずみを示している。これらより、断面 S4 (断面変化部より 5mm 上) での 5ms 以降を除き、各断面とも対称性が極めて良好に満たされていることが分かる。薄肉側上部 (S1,S2) と厚肉側下部 (S5,S6) の軸圧縮ひずみ ε_a は、約 6ms 近傍でそれぞれ約 0.16～0.19% と約 0.11～0.13% のピーク値を示し、薄肉側上部 (S1,S2) では降伏ひずみ ε_y 0.14% をやや超える塑性域に、厚肉側下部 (S5,S6) では弾性域内にあることがわかる。一方、薄肉側の断面変化部直上 (S3,S4) の軸圧縮ひずみは、薄肉側上部 (S1,S2) と厚肉側下部 (S5,S6) の軸圧縮ひずみがピーク値を示す約 6ms 近傍から急増を開始し、断面 S3 では約 8.3ms、断面 S4 では約 7.2～7.8ms でピーク値が現れている。約 6ms 近傍での軸圧縮ひずみは、断面 S3 では 0.26～0.43%、断面 S4 では 0.20～0.26% と降伏ひずみを超え、またピーク値はそれぞれ約 0.24～0.44% と約 1.3～1.7% と降伏ひずみの約 2～12 倍の塑性域に達している。すなわち、断面変化部直上 (S3,S4) では、約 6ms 近傍から軸対称の塑性局部座屈波形が発生していることが確認される。

(3) 荷重～時間関係 図-5(a)～(c)は荷重～時間関係を示したもので、(a)は上ロードセルの荷重 P_u 、(b)は下ロードセルの荷重 P_l 、(c)は G11 と G12 の軸ひずみの平均値に軸剛性 EA_2 (E :縦弾性係数、 A_2 :厚肉側断面積) を乗じて算定した荷重 P_e を示している。これらより、荷重 P_u 、 P_l と P_e は約 6ms 近傍でそれぞれ約 259kN、221kN と 219kN のピーク値を示している。約 6ms 近傍は局部座屈の発生時刻であり、前述の断面変化部直上 (S3,S4) での軸圧縮ひずみの急増開始時刻と符合している。荷重 P_e は、時間的変化の傾向とピーク値が下ロードセルの荷重 P_l と良好に一致しており、軸圧縮力の評価に用い得ることがわかる。荷重 P_l のピーク値 (約 221kN) を動的座屈荷重とみなせば、別途行った静的圧縮実験による静的座屈荷重 (約 196kN) より約 13% 上昇していることがわかる。これは材料のひずみ速度効果によるものと考えられ、今後の検討が必要である。

【参考文献】

- 例えば、井浦ら：繰返し横力を受ける円形鋼製橋脚の強度と変形性能に関する研究，土木学会論文集，No.598/I-44，pp.125-135，1998.7.
- 森，石川，鈴木，増田：衝撃的突き上げを受ける変断面鋼管の局部座屈現象に関する実験的研究，第28回関東支部技術研究発表会講演概要集，I-35，pp.70-71，2001.3.



写真-1 座屈波形 (H5-2)

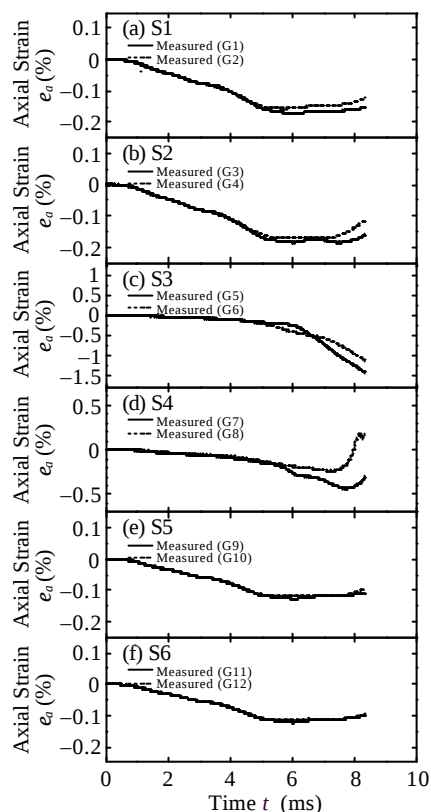


図-4 ひずみ～時間関係

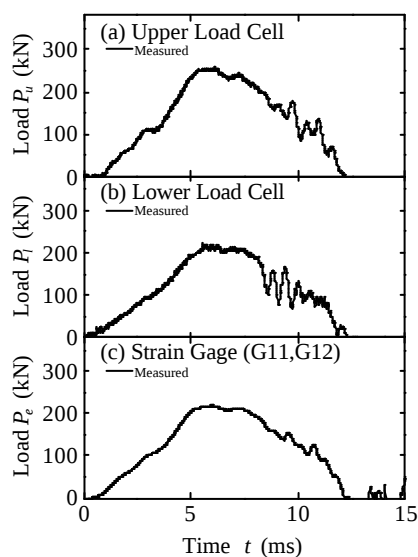


図-5 荷重～時間関係