

自作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

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

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、局部座屈現象を実験的に再現したうえで、座屈荷重に対する考察を試みるものである。

2. 実験の概要

(1) 供試体 供試体は、実橋脚の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変断面鋼管短柱であり、断面変化部は管軸方向の中央である。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。板厚 42mm の鋼板 2 枚に切削加工してある円環状の溝 (幅：10mm、深さ：3mm) に充填したエポキシ系接着剤により、供試体と両鋼板を一体化した。供試体上部には、軸力比 P/P_y 0.13 となるよう重量 24.7kN の重錘を上載した。

(2) 自作ロードセル 自作ロードセルは、図-2 に示すように 250×250×12mm の鋼板 (材質：SS400) の中心に 50×50×32mm 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 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。

(3) 計測項目 計測項目は、図-3 に示す供試体の上と下に設置した自作の上・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。

(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、突き上げ速度を 4 ケース ($v=1.0, 1.1, 1.2, 1.4\text{m/s}$)、突き上げ変位量を 4 ケース ($u=2.5, 5, 10, 20\text{mm}$) に設定した。

3. 実験結果と考察

一例として、実験ケース“H10-2” (突き上げ速度：高速 ($v=1.4\text{m/s}$)、突き上げ変位量： $u=10\text{mm}$) を取り挙げる。

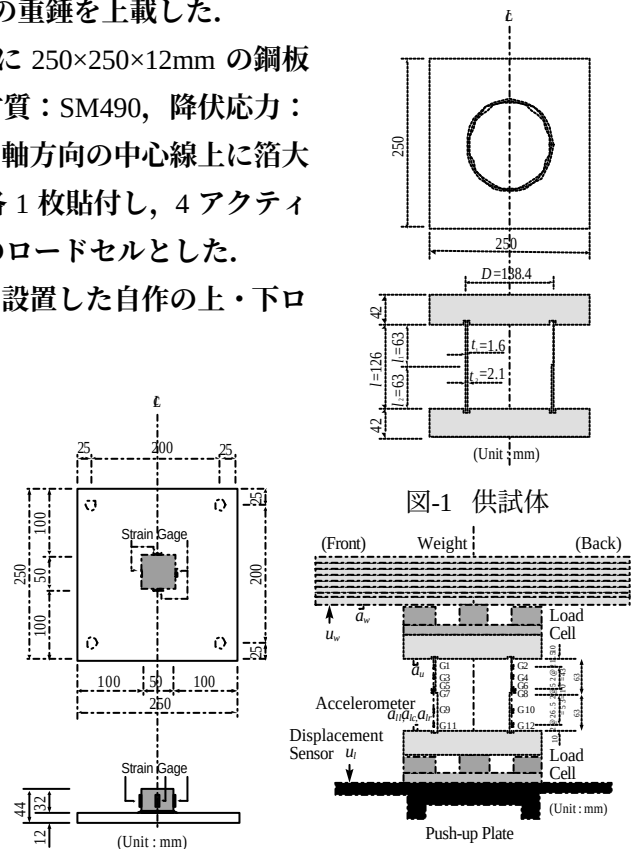


図-2 自作ロードセル

図-3 計測項目

Key Words：衝撃突き上げ実験，変断面鋼管短柱，局部座屈，座屈荷重

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

(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。これより本実験ケースでは、断面変化部直上に発生した環状の軸対称局部座屈波形が大きく進展して、潰れに至っ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。まず、薄肉側上部 (S1,S2) の軸圧縮ひずみ ε_a は、正面 (実線) では約 6.1 と 7.6ms でそれぞれ約 0.16 と 0.22%, 背面 (点線) では約 5.8ms でそれぞれ約 0.15 と 0.20%, また厚肉側下部 (S5,S6) においては、正面 (実線) では約 7.6ms でそれぞれ約 0.16 と 0.15%, 背面 (点線) では約 5.8ms で約 0.12% のピーク値を示した後、概ね零になっている。このことから、薄肉側上部 (S1,S2) では降伏ひずみ ε_y 0.14% を幾分超える塑性域、厚肉側下部 (S5,S6) では弾性域内のピーク値に達した後、弾性的に回復していることがわかる。

次に、薄肉側の断面変化部直上 (S3,S4) の軸圧縮ひずみ ε_a は、厚肉側下部 (S5,S6) の軸圧縮ひずみがピーク値を示す時刻 (正面では約 7.6ms, 背面では約 5.8ms) から急増を開始し、断面 S3 の正面では約 8.4ms, 背面では約 7.5ms, 断面 S4 の正面では約 9.8ms でピーク値に達した後、引張側に反転、急減している。急増開始時刻での軸圧縮ひずみは、断面 S3 では 0.20～0.24%, 断面 S4 では 0.16～0.26% と降伏ひずみを超え、またピーク値はそれぞれ約 0.38～0.56% と約 2.6～6.1% となり、降伏ひずみの約 3～44 倍の塑性域に達している。このことから、断面変化部直上 (S3,S4) では、軸圧縮ひずみの急増開始時刻から環状の塑性局部座屈が発生し、進展して鋼管の管壁が外側に膨らむ曲げ変形が卓越し、潰れに至ることがわかる。

(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_ε を示している。これらより、荷重 P_u , P_l と P_ε は 5.7～6ms 近傍でそれぞれ約 267kN, 236kN と 233kN, 7.4～8ms 近傍でそれぞれ約 267kN, 246kN と 240kN の二つのピーク値を示している。これら二つのピークは、前述の断面変化部直上 (S3,S4) の正面と背面での軸圧縮ひずみの急増開始時刻に概ね対応して発生しており、局部座屈の発生時刻であると考えられる。荷重 P_ε 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 の大きい方のピーク値 (約 245kN) 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 25% 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起因するものと考えられ、今後の検討が必要である。

[参考文献]

- 1) 例えば、井浦ら：繰り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.
- 2) 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 局部座屈波形 白10-2)

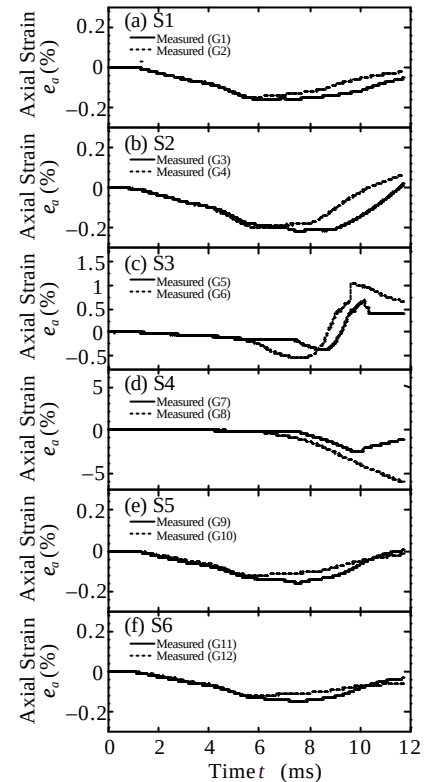


図-4 軸ひずみ～時間関係

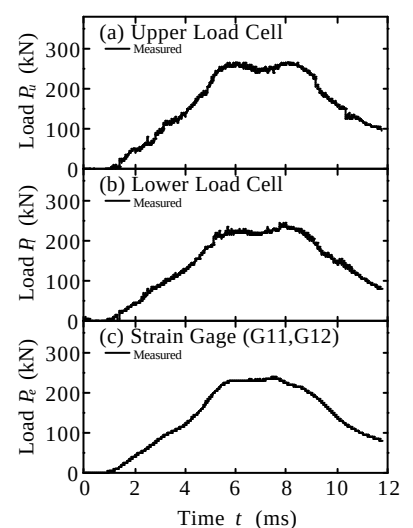


図-5 荷重～時間関係