

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強度

防衛大学校 正会員 森 雅美 防衛大学校 フェロー 石川信隆 防衛大学校 正会員 香月 智
 武蔵工業大学 学生員 鈴木一孝 武蔵工業大学 フェロー 増田陳紀

1. はじめに

兵庫県南部地震では、写真-1 に示すような鋼製円筒橋脚の変断面部直上に軸対称局部座屈損傷が見られた。この損傷の原因としては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⁾。一方、震災直後に議論された衝撃的上下動による検証はあまり見当たらない。本研究は、被災橋脚の局部座屈が発生する場合のダイヤフラム間の変断面鋼管短柱モデルの座屈発生条件とその強度について衝撃突き上げ実験²⁾によって検証したうえで、動的塑性局部座屈強度算定式を提案するものである。



写真-1 局部座屈損傷の例

2. 実験の概要²⁾

衝撃突き上げ実験は、基盤に表-1 に示すような突き上げ速度 v を約 10msec で生じさせ、変位 $u=2.5 \sim 20\text{mm}$ で停止させるものである。供試体は、ダイヤフラム間を模した図-1 に示す形状・寸法を有する上下鋼板と一体化した変断面鋼管短柱で、管種は STPG370 S-H 125A (降伏応力 $\sigma_y=270\text{MPa}$) である。内面と外面を機械切削により減厚して外径 $D=138.4\text{mm}$ 、上側断面の板厚 $t_1=1.6\text{mm}$ ($D/t_1=86.5$)、下側断面の板厚 $t_2=2.1\text{mm}$ ($t_2/t_1=1.31$)、全長 $l=126\text{mm}$ ($l/D=0.91$) とし、変断面部は鋼管短柱の中央とした。両端部は、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) を搭載する。この軸力比は $P/P_y=0.13$ となる。

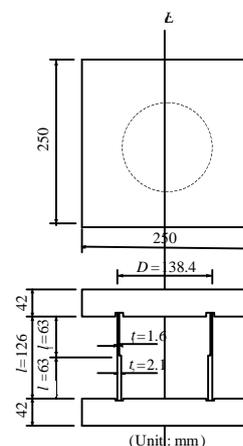


図-1 供試体の形状・寸法

計測項目は、図-2 に示す突き上げ板 (u_i) と重錘 (u_w) の変位および下部 (a_i)、上部鋼板 (a_u) と重錘 (a_w) の加速度、並びに供試体の上側断面の上部 (G1,G4)、変断面部直上 (G2,G5) と下側断面 (G3,G6) の軸ひずみである。実験ケースは、表-1 に示すように突き上げ速度と突き上げ変位量をパラメータとし、速度 v を 4 ケース (80kine, 100kine, 120kine, 140kine)、変位 u を 4 ケース (2.5, 5, 10, 20mm) に変化させて行った。

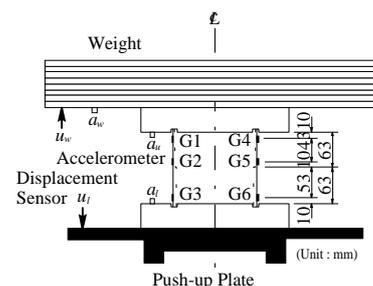


図-2 計測項目

3. 実験結果と考察

今回の実験では図-3 に示す 5 通りの破壊形態が見られた。なお、試験条件と破壊形態の分類は表-1 の括弧内の英字ようになる。突き上げ速度が大きくなるにつれて、変断面部に対称な局部座屈が形成される傾向が見られる。

表-1 実験ケース

u(mm)	2.5	5	10	20
v(kine)				
80			M10-1 (D)	M20-1 (D)
100		LH5-1 (B)	LH10-1 (E) LH10-2 (E)	
120		MH5-1 (B)	MH10-1 (C) MH10-2 (C)	
140	H2.5-1 (A)	H5-1 (B) H5-2 (B)	H10-1 (C) H10-2 (C)	

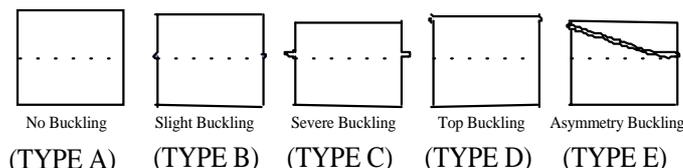


図-3 破壊形態

Key Words: 衝撃的上下動, 変断面鋼管短柱, 突き上げ実験, 局部座屈強度

連絡先: 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 TEL: 0468-41-3810 FAX: 0468-44-5913

図-4 は、破壊形態 C に分類される実験ケース H10-2 の動的荷重～変位関係を示したもので、比較のために静的荷重実験結果も破線で併記している。動的荷重は、供試体の下側断面の軸圧縮ひずみ (G3, G6) の平均値に履歴を考慮した軸剛性を乗じて算定したものである。変位は、下変位 u_l と上変位 u_w の差から求めた軸方向変形量である。図-4 より、動的塑性局部座屈荷重 $dP_{cr,p}=243\text{kN}$ は静的塑性局部座屈荷重 $sP_{cr,p}=190\text{kN}$ より約 27% 上昇していることがわかる。

4. 動的塑性局部座屈強度算定式の提案

変断面鋼管短柱の上側断面 (薄肉部) に対する、加藤ら³⁾の提案した等断面円筒シェルの静的塑性局部座屈強度算定式は次式ようになる。

$$\frac{s\bar{\sigma}_{cr,p}}{s\bar{\sigma}_y} = 0.36 + \frac{0.13 + \frac{2.8 C 10^{A4}}{s\bar{\sigma}_y} \sqrt{\frac{2}{D=t A 1}}}{s\bar{\sigma}_y} \quad (D=t < 49) \quad (1)$$

$$\frac{s\bar{\sigma}_{cr,p}}{s\bar{\sigma}_y} = 1 \quad (D=t \geq 49) \quad (2)$$

ここで、 $s\bar{\sigma}_y$ と $s\bar{\sigma}_y$ はそれぞれ静的降伏応力と降伏ひずみであり、両式は図-5 のように表される。図で明らかなように、本実験の $D/t=86.5$ は式(2)の適用範囲であり、塑性局部座屈強度が材料の降伏強度に一致することを示している。よって、衝撃突き上げ実験時に観察される動的塑性局部座屈荷重 $dP_{cr,p}$ の上昇は、材料の降伏応力のひずみ速度依存性に起因するのではないかと考えられる。すなわち、衝撃時の塑性局部座屈強度算定式は式(2)を拡張して次式のようになる。

$$\frac{d\bar{\sigma}_{cr,p}}{d\bar{\sigma}_y} = 1 \quad (3)$$

ここで、 $d\bar{\sigma}_{cr,p}$: 動的塑性局部座屈強度、 $d\bar{\sigma}_y$: 動的降伏応力であり、 $d\bar{\sigma}_y$ は、ひずみ速度の関数として求めることが可能である。例えば、森ら⁴⁾は次式を提案している。

$$d\bar{\sigma}_y = s\bar{\sigma}_y \bar{A} 10^{0.4623 \log \dot{\epsilon} + 0.2234} + 0.9860 \bar{A} \quad (4)$$

よって、鋼管の動的塑性局部座屈荷重は次式となる。

$$dP_{cr,p} = A_d \bar{\sigma}_{cr,p} = A_s \bar{\sigma}_y \bar{A} 10^{0.4623 \log \dot{\epsilon} + 0.2234} + 0.9860 \bar{A} \quad (5)$$

図-6 に、静的荷重時と表-1 の全ての実験ケースでの動的塑性局部座屈荷重～ひずみ速度関係を示す。図中、実線は提案式を示し、印と×印はそれぞれ局部座屈が発生する場合としない場合の実験結果を示している。図より、局部座屈が発生する場合の実験結果は概ね提案式の曲線上にあり、一方、局部座屈が発生しない場合の実験結果は提案式の曲線より小さな荷重 (重錘慣性力) が作用した場合に区分されている。すなわち、提案式は本実験における局部座屈発生条件 (発生するか否かの判定) を適切に推定できたものと思われる。

【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.
- 3) 加藤ら：軸圧縮力を受ける鋼管の塑性局部座屈耐力，日本建築学会論文報告集，第 204 号，pp.9-17，1973.2.
- 4) 森，佐藤：高速荷重を受ける砂中埋設鋼管の履歴吸収エネルギーに関する一考察，第 4 回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集，pp.107-112，1998.6.

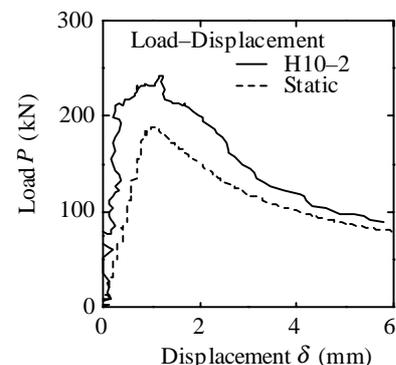


図-4 動的荷重～変位関係 (TYPE C)

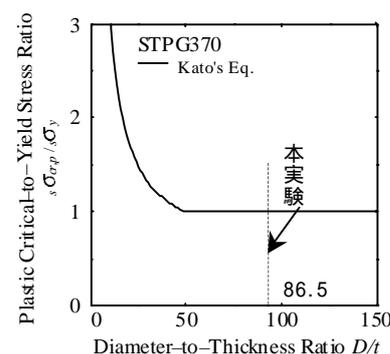


図-5 塑性局部座屈強度上昇率～径厚比関係

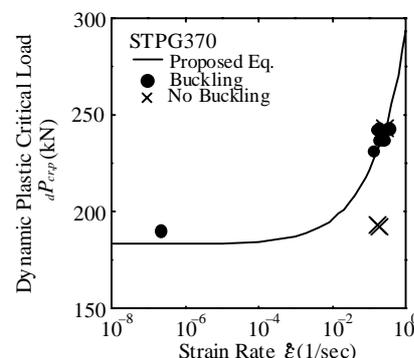


図-6 動的塑性局部座屈荷重～ひずみ速度関係