

I-B292

非線形動的有限要素法による衝撃的突き上げを受ける
円筒アルミ合金柱局部座屈実験のシミュレーション解析

防衛大学校土木工学科 ○正会員 森 雅美 フェロー 石川信隆
NKK エンジン・アリンク* 研究所 正会員 鈴木信久 正会員 松山英治

1. はじめに 先の阪神・淡路大震災では、鋼製円筒橋脚の軸対称局部座屈など損傷の原因が衝撃的上下動で説明し得る被災例が多々見受けられた。鋼製円筒橋脚の局部座屈現象の発生メカニズムを解明するため、衝撃突き上げ装置を用いた円筒アルミ合金柱の衝撃突き上げ実験^{1),2)}が別途報告され、局部座屈現象を再現し得ている。本研究は、非線形動的有限要素法を用いて円筒アルミ合金柱の衝撃突き上げ実験結果のシミュレーションを試みたものである。

2. 解析モデルの概要

(1) 解析対象 解析の対象は、図-1 に示す衝撃突き上げ装置を用いた別途報告^{1),2)}の実験ケース"UH10-1"である。供試体は、SS400 製の重錘(重量約 1tf)を上載した円筒アルミ合金(A6063TE-T1)柱であり、図-2 に示すように上部と下部のベースプレートを溶接接合しており、また実験装置の破損防止のため上部ベースプレートと重錘を切断状態にしている。表-1 に材料諸元を、図-3 に突き上げ板に設置した加速度計により計測された入力加速度の時刻歴を示す。

(2) 解析モデル 数値解析には汎用非線形構造解析プログラム MARC³⁾を用い、円筒アルミ合金柱の非弾性局部座屈挙動を考慮するため複合非線形動的解析を行った。解析モデルは、幾何形状と荷重条件の対称性から供試体と重錘の手前の 1/2 対称モデルとし、図-4 に示すように円筒アルミ合金柱の板の中立軸位置に 4 節点シェル要素、上下部ベースプレートと重錘に 8 節点ソリッド要素、切断状態にある上部ベースプレートと重錘の間に Gap/Friction 要素を用いた 3 次元の要素分割を行った。実験ケース"UH10-1"では、局部座屈波形は供試体上端より下方約 2cm の位置で発生した。このため、円筒アルミ合金柱のシェル要素の軸方向分割は、局部座屈波形が発生する供試体上端より $1/9l$ の間では軸方向弾性座屈波長 $1.72\sqrt{Rt}$ (R : 平均半径)の中に 4 要素を配置して細分化し、 $1/9l \sim 1/2l$ の間では漸増的に要素長を増加させ、 $1/2l \sim l$ の間では 8 等分割とした。また、円周方向では 10 等分割とし、板厚方向は 11 層分割とした。構成則は、供試体と重錘とも von Mises の降伏条件と等方硬化則を用いた。なお、本解析例では解析モデル(シェル要素とソリッド要素)の自重による初期応力を考慮し、減衰は無視した。

3. 解析結果と考察 (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、基盤の上昇が急停止する停止領域(図-3 より約 10msec 以降)

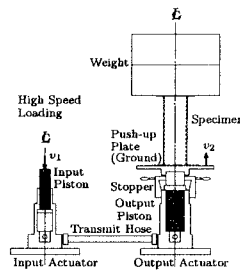


図-1 衝撃突き上げ装置

表-1 材料諸元

	Pier	Weight
Material	A6063TE-T1	SS400
Young's Modulus	E(GPa)	70
Poisson's Ratio	ν	0.33
Yield Stress	σ_y (MPa)	90
Tangent Modulus	E_t/E	0.009
Mass Density	ρ (kg/m ³)	2000

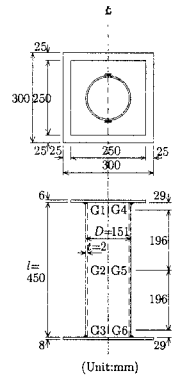


図-2 供試体
(アルミ合金柱
(A6063TE-T1))

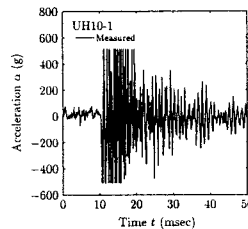


図-3 入力加速度

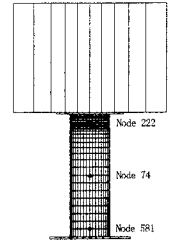


図-4 要素分割

キーワード 衝撃的上下動、円筒橋脚、局部座屈、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 0468-41-3810 FAX 0468-44-5913

内の $t=12\text{msec}$ での解析結果の局部座屈波形を図-5 に示す。図-5 より解析結果は、写真-1 の供試体上端より下方約 2cm の位置で発生した環状の局部座屈波形によく似た局部座屈波形を再現し得ていることがわかる。

（2）面外変位と円周ひずみの時刻歴 図-6 と 7 は、それぞれ供試体上部の bulge 変形の中心（Node 222）における面外変位 u_y と供試体上部（Node 222）、中央部（Node 74）と下部（Node 581）における円周ひずみ

の解析結果の時刻歴を示している。図-6 より、bulge 変形の中心（Node 222）での面外変位 u_y は、3msec 近傍から増大し始めており、局部座屈波形の発生が認められる。3msec 近傍から 11.5msec 近傍までほぼ直線的に増大して約 0.4cm のピーク値に達した後ほぼ一定値を保持しており、局部座屈波形の進展が停止していることがわかる。これは、停止領域での急停止に伴う鉛直上方向の慣性力により重錘が飛び上るためであり、Gap/Friction 要素によりこの現象を良好にシミュレートし得ていることが認められる。

図-7 より円周ひずみ ε_θ に関しては、供試体上部（Node 222）では 3msec 近傍から急増して 11.5msec 近傍で約 1.5% のピーク値に達した後ほぼ一定値を保持しており、図-6 の面外変位 u_y と符合した挙動を示している。供試体中央部（Node 74）と下部（Node 581）の円周ひずみ ε_θ は上部（Node 222）のものに比し非常に小さく、局部座屈が発生していないことがわかる。

（3）軸ひずみの時刻歴 図-8, 9 と 10 はそれぞれ供試体上部（G1, G4）、中央部（G2, G5）と下部（G3, G6）におけるひずみゲージによる軸ひずみ ε_a の実測値と対応する解析結果の時刻歴を示したものである。図-8 より、解析結果は 8msec 近傍までは実験結果とよく一致し、11.5msec 近傍で約 4.5% のピーク値に達した後、概ね一定値を保持している。ピーク値に関しては、実験結果では局部座屈発生後に偏心により対称性が損なわれてそれぞれ 3.6% と 6.3% であるのに対し、解析結果では概ねそれらの中間の値となっており、良好な結果が得られていることが認められる。図-9 と 10 より解析結果は、供試体中央部では 8msec 近傍まで、供試体下部では 4msec 近傍まで実験結果と概ね一致しているが、それ以降は実験結果から幾分ずれる傾向にあることがわかる。

4. おわりに 本報告では、非線形動的有限要素法を用いて円筒アルミ合金柱の衝撃突き上げ実験結果のシミュレートを試みた。その結果、解析結果は実験結果を良好に表現でき、実橋脚へのシミュレートの可能性があることが判明した。

（参考文献）1) 佐藤・森・石川ら：第 26 回関東支部技術研究発表会講演概要集、I-78, pp.148-149, 1999.3. 2) 石川・森ら：土木学会第 54 回年講, 1999.9. 3) 日本マーク㈱：MARC Manual, Vol.A～E, Ver.K7.1, 1998.2.

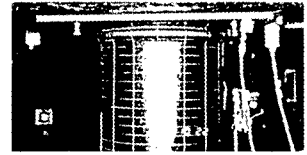


写真-1 局部座屈波形
(実験結果)

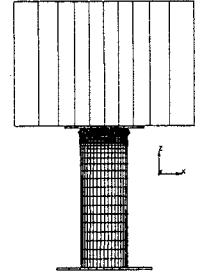


図-5 局部座屈波形
(解析結果: $t=12\text{msec}$)

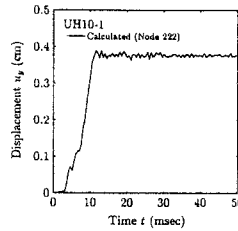


図-6 面外変位の時刻歴

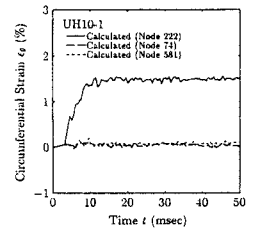


図-7 円周ひずみの時刻歴

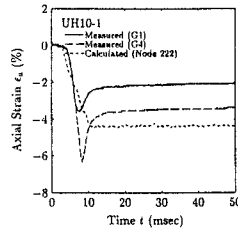


図-8 軸ひずみの時刻歴
(供試体上部)

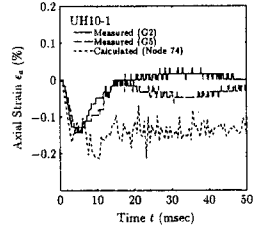


図-9 軸ひずみの時刻歴
(供試体中央部)

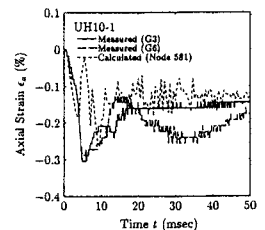


図-10 軸ひずみの時刻歴
(供試体下部)