

I - B199

衝撃的上下動を受ける円筒橋脚の非線形動的解析

防衛大学校土木工学科 ○ 正会員 森 雅美

同 上 姉崎和敬

同 上 フェロー 石川信隆

1. はじめに 先の兵庫県南部地震（1995 年 1 月）では、RC 橋脚の輪切り状ひび割れや鋼製橋脚の軸対称局部座屈など、通常地震被害とは異なる軸方向に卓越した特異な損傷が発生した。このうち鋼製橋脚の損傷の原因として、水平動による交番曲げが主原因との見解¹⁾が主流となっている。しかし、交番曲げにより偏心のない円周方向に一樣な局部座屈の発生を説明しにくいことから、直下型地震特有の衝撃的な上下動により入力された軸圧縮力によるものとの見解²⁾もある。本研究は、衝撃的な上下動が鋼製橋脚に発生した局部座屈の主原因との観点から、衝撃突き上げ装置³⁾による円筒橋脚模型の局部座屈の再現実験を行うための準備段階として、非線形動的有限要素法を用いて数値解析的に局部座屈の再現を試みたものである。

2. 解析モデルの概要 数値解析には汎用非線形構造解析プログラム MARC⁴⁾を用い、板要素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。

(1) 解析対象 解析の対象は、衝撃突き上げ装置による鉛直方向の強制変位を受ける重錘（重量約 500kgf）を上載した円筒橋脚模型である。円筒橋脚模型は被災橋脚の約 1/30 の縮尺とし、図-1 に示すような断面変化部を有する模型を設定した。衝撃突き上げ装置の性能の制約（最大突き上げ速度：約 1.38m/sec）から、材料としてアルミニウム合金（A6061）を用いた。入力加速度は、図-2 に示す RC 橋脚模型の衝撃突き上げ実験³⁾で計測された基盤加速度の時刻歴であり、模型の基部の全節点に入力した。

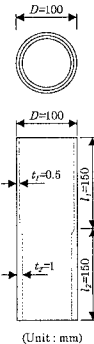


図-1

円筒橋脚模型

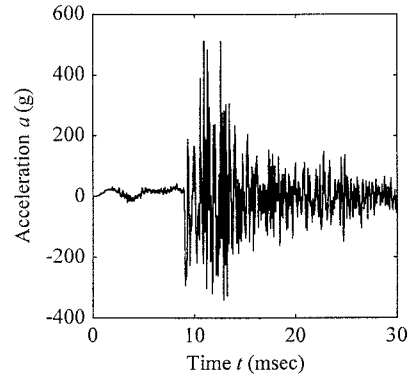


図-2 入力基盤加速度

(2) 解析モデル 幾何形状と荷重条件の対称性から、模型と重錘の断面の 1/2 を解析対象とし、図-3 に示すように円筒橋脚模型の板の中立軸位置に 4 節点シェル要素を配置し、重錘に 8 節点ソリッド要素を用いた 3 次元の要素分割を行った。座屈変形が予想される部分の軸方向分割は、柱長さの中央（断面変化部）の直上部 1/4L の部分で軸方向弾性座屈波長 $1.72\sqrt{Rt}$ (R : 平均半径) の中に 5 要素を配置して細分化し、それ以外の部分は等比級数により漸増的に要素長を増加させた。構成則は、模型と重錘とも von Mises の降伏条件と等方硬化則を用いた。解析に用いた材料定数を表-1 に示す。

表-1 材料定数

	Pier	Weight
$E(\text{MPa})$	7.00×10^4	2.06×10^5
ν	0.33	0.3
$\sigma_y(\text{MPa})$	55	235
E_t/E	0.005	0.003
$\rho(\text{g/cm}^3)$	2.70	7.85

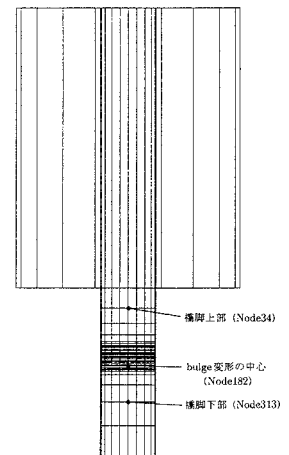


図-3 要素分割

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

3. 解析結果と考察 解析終了時 (13.5msec) の変形形状を図-4に示す。同図より、断面変化部の直上部の剛性の小さい断面側に、円周方向に一樣な半周 bulge 型の座屈変形が発生しており、実際に被災した鋼製円筒橋脚の中間部に生じた局部座屈例¹⁾を再現し得ていることが確認される。

図-5は、図-3に示す橋脚上部 (Node34; 破線)、bulge 変形の中心 (Node182; 実線) と橋脚下部 (Node313; 点線) の3節点における面外方向 (z 方向) の変位 u_z の時刻歴を示しており、その面外変位 u_z に対応する円筒殻の外表面の軸応力 σ_a と円周応力 σ_θ の時刻歴をそれぞれ図-6と7に示す。

図-5より、面外変位 u_z に関して bulge 変形の中心 (Node182) で 2.5msec 近傍から目視可能となり、局部座屈の発生が認められる。4msec 近傍から増大の度合いが急激に大きくなって9msec 近傍まではほぼ直線的に増大して約4.3mmに達し、その後増大の度合いは小さくなっている。これは図-2から明らかにように、9msec 近傍までは入力基盤加速度の加速領域であり、それ以降降停止領域に入るためである。橋脚上部 (Node34) と下部 (Node182) では9msec 以降 u_z の増大が多少認められる。

図-6より、軸応力 σ_a に関して橋脚上部 (Node34) と bulge 変形の中心 (Node182) で 2.5msec 近傍までは両者の断面の管厚が同一であるため全く同じ時間的な変化で圧縮応力が増大しており、橋脚下部 (Node313) では断面の管厚が2倍であるため約1/2となっている。

2.5msec 以降、bulge 変形の中心 (Node182) では急速に圧縮側から減少傾向に転じて 4msec 近傍で引張側に遷移しており、座屈により外側に凸となる板曲げの発生が確認される。

図-7より、円周応力 σ_θ に関して 2msec 以降、bulge 変形の中心 (Node182) では 4.5msec 近傍まで急増して約70MPaの引張応力に達し、さらに9msec 近傍で約100MPaの引張応力に達している。橋脚上部 (Node34) と下部 (Node313) では7.5msec 以降増大するものの、それらの絶対値は30MPa以下となっており弾性状態であることがわかる。

4. おわりに 本報告では、衝撃的な上下動を受ける円筒橋脚の非線形動的解析を試みた。その結果、実際に被災した鋼製橋脚の局部座屈を数値解析的に再現でき、衝撃的上下動により橋脚の断面変化部近傍に局部座屈が発生する可能性があることが判明した。

(参考文献) 1)渡邊ら：土木学会誌, Vol.80, pp.54-62, 1995.7. 2)大野ら：鋼製橋脚の非線形数値解析と耐震設計に関する論文集, pp.175-182, 1997.5. 3)別府・香月・石川・宮本：土木学会論文集 No.577/1-41, pp.165-180, 1997.10. 4)日本マーク株式会社：MARC Manual, Vol.A~E, Ver.K6.2, 1994.1.

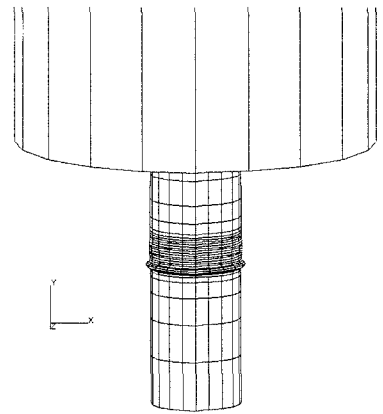


図-4 変形形状 (13.5msec)

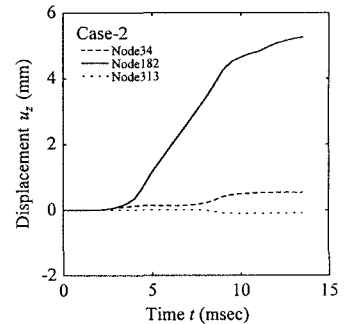


図-5 面外変位の時刻歴

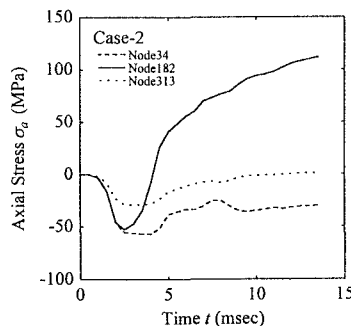


図-6 軸応力の時刻歴

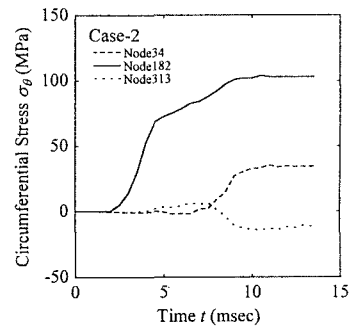


図-7 円周応力の時刻歴