

幾何学的非線形性を考慮した RC 橋脚の地震応答解析

大分工業高等専門学校 学生会員 河野 直也

大分工業高等専門学校 正会員 中野 友裕

1. はじめに

橋脚を設計する際には、非常に強い地震動を受けた場合に、ある程度の損傷は許容するが、致命的な損傷に到らないようにするという考え方が採用される。この考え方に基づけば、橋脚に代表される構造物の動的応答解析を行う際には、その変形による幾何学的非線形性を考慮する必要がある。本研究では、RC 橋脚の非線形動的応答解析を行い、幾何学的非線形性の有無が応答に与える影響を検討した。

2. 幾何学的非線形性を考慮した運動方程式

微小変形理論に基づく構造物の運動方程式は、次式で表される。

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K_L]\{u\} = -[M]\{\ddot{u}_g\} \quad (1)$$

ここに、 $[M]$ は質量マトリクス、 $[C]$ は減衰マトリクス、 $[K_L]$ は微小変形理論により得られる剛性マトリクスである。変形に伴う幾何非線形性を考慮すると、

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + ([K_L] + [K_g])\{u\} = -[M]\{\ddot{u}_g\} \quad (2)$$

となる。ここに、 $[K_g]$ は幾何剛性マトリクスであり、質点座標が移動するたびに変化するマトリクスである。本解析では式(1)、式(2)を比較した。なお、式(2)の数値積分では update Lagrange 法¹⁾を採用している。

3. 解析対象と解析モデル

解析対象は、RC 橋脚とし、8 質点、7 要素にモデル化(図-1)したものを用いた。解析モデルは、道路橋示方書で定められた設計条件を満足するように、正方形断面、剛域の長さ 2 m の下で、上部工の質量を 400ton、600ton、800ton、橋脚の高さを 10.0m、12.5m、15.0m と変化した 9 ケースで解析を行った。また、動的解析に使用した地震波は、兵庫県南部地震において、JR 鷹取駅で観測された NS 成分及び UD 成分と、神戸海洋気象台で観測された NS 成分及び UD 成分を用いた。なお、コンクリートの構成則は渡辺らの論文²⁾で用いられたもの(図-2)、鉄筋の構成則は Bi-Linear モデル(図-3)を採用した。また、材料の特性値を表-1 に示す。

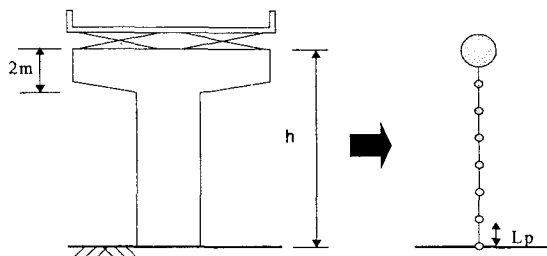


図-1 解析対象物

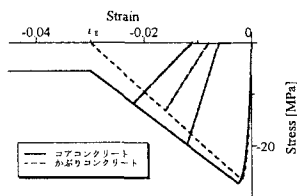


図-2 コンクリートの構成則

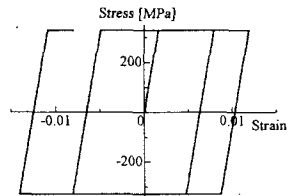


図-3 鉄筋の構成則

表-1 材料の特性値

コンクリート				鉄筋			
		コア コンクリート	かぶり コンクリート			主鉄筋	帯鉄筋
圧縮強度	σ_{cc}	-27.3 MPa	-26.5 MPa	初期ヤング率	E_s	206 GPa	206 GPa
σ_{cc} に対するひずみ	ε_{cc}	-0.0026	-0.0020	降伏強度	σ_y	328 MPa	328 MPa
	ε_E	0.03	0.03	鉄筋間隔	s	—	10cm

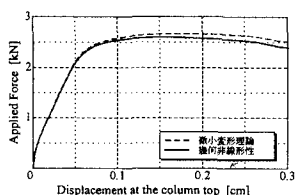


図-4 荷重 - 変位関係(h=12.5m)

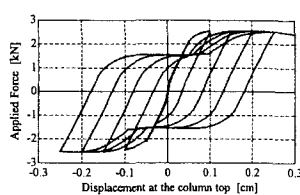


図-5 繰り返し復元力特性

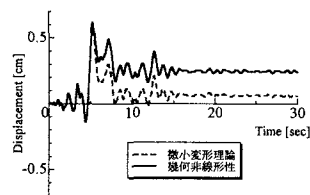


図-6 橋脚の応答

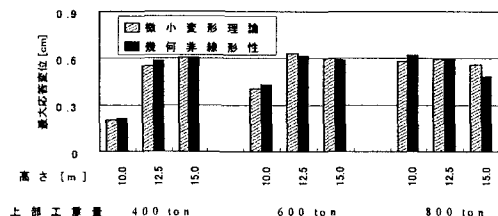


図-7 最大応答変位

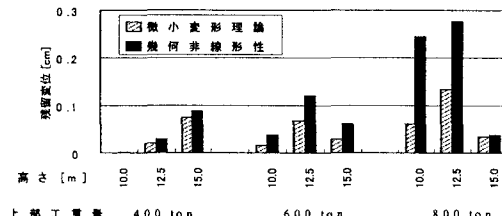


図-8 残留変位

4. 静的解析による橋脚の復元力特性

微小変形理論と、幾何非線形性を考慮した有限変形理論の差を把握するために、動的応答に先立ち、橋脚断面に Fiber-Model³⁾を適用した静的解析を行った。各橋脚高さにおける結果の中から、高さ 12.5m の場合を図-4、図-5に示す。図-4を見ると、例えば 2.6kN の力を作用させた場合には、微小変形理論では 0.107cm、幾何非線形性を考慮すると 0.156cm となっており、2.6kN に対する変形が幾何非線形性を考慮することで 1.5 倍となっている。この幾何非線形性による変位の増大は全てのケースについて認められる。それは、座標を更新することによって死荷重による基部のモーメントが増加するからである。なお、図-5は、幾何非線形性を考慮した場合の繰り返し復元力特性である。

5. 動的応答解析による橋脚の応答に与える幾何学的非線形性の影響

動的応答解析結果の例として、上部工重量 800ton、高さ 10mの橋脚に JR 鷹取駅で観測された地震波 (NS,UD 成分)を入力した場合の橋脚の応答を図-6に示す。この図からは、微小変形理論、幾何非線形性ともに最大応答変位の違いは小さく、残留変位は、微小変形理論に比べて幾何非線形性のほうが大きくでているのがわかる。最大応答変位をグラフ化したものを図-7、残留変位をグラフ化したものを図-8に示す。最大応答変位については、どの場合も微小変形理論と幾何非線形性との大きな違いは見られなかった。残留変位は、どの場合も幾何非線形性の方が大きく変位していた。このことは、設計時に微小変形理論を適用すると危険側の判定をする可能性があることを示している。

6. 結論

幾何学的非線形性を考慮すると、質点が移動することにより、付加モーメントが生じることとなる。従って、微小変形理論により得られる結果を設計に適用する場合、慎重に検討する必要がある。

参考文献

- 1) 有限要素法ハンドブックⅡ, 培風館, pp.128-141, 1983
- 2) 渡辺浩, 崎元達郎, 新田晃久, 大石健一郎: 繰り返し水平力を受ける鉄筋コンクリート中の挙動と終局耐力に関する実験と解析, 構造工学論文集, Vol.43A, pp.339-346, 1997.
- 3) CEB: RC FRAMES UNDER EARTHQUAKE LOADING, Thomas Telford, pp.50-56,1996.