

鋼製円形断面橋脚の非線形有限要素解析における要素分割

九州工業大学大学院 学生会員 ○鬼木浩二 九州工業大学 正会員 山口栄輝
国土交通省 (研究当時九州工業大学大学院) 永松寿隆 南野能克

1. はじめに

1995年の兵庫県南部地震では、鋼製橋脚に甚大な被害が生じた。そのため、1995年以降、鋼製橋脚の耐震性向上を目的に、数多くの載荷実験が行われている¹⁾。しかしながら、鋼製橋脚に影響を及ぼす因子は多岐にわたるため、実験のみでの検討は費用や時間の制約上、現実的ではない。一方、コンピュータや構造解析ソフトの飛躍的な進歩により、非線形構造解析も比較的容易に行える環境が整ってきている。以上のことを踏まえ、本研究では、鋼製円形断面橋脚を取り上げ、要素分割が解析結果に及ぼす影響を検討し、最適な要素分割法を提案する。

2. 解析概要

2.1 解析対象 解析対象橋脚には、建設省土木研究所の載荷実験に用いられたNo.8 供試体¹⁾を取り上げる。この供試体の概略を図-1に示す。構成則には、バイリニア型の移動硬化則を採用し、応力-ひずみ関係の骨格曲線の第2勾配はヤング率 E の1/100とする。本研究の全ての解析には、汎用有限要素解析プログラムABAQUSを用い、材料非線形性のみならず幾何学非線形性も考慮して解析を行う。なお、ヤング率 E は206 GPa、ポアソン比 ν は0.3、初期降伏応力 σ_y は290 MPaとする。

2.2 載荷条件 鋼製橋脚の実験で標準的に行われている方法に従い、供試体頂部に一定圧縮軸力 P (公称降伏軸力の15%)を作用させた上で、繰り返し水平荷重 H を静的に作用させ、その点の水平変位 δ の振幅が $0 \rightarrow +\delta_y \rightarrow -\delta_y \rightarrow +2\delta_y \rightarrow -2\delta_y \cdots$ と漸次増加しながら変化するように繰り返し載荷を行う。なお、基本変位 δ_y は、橋脚を片持梁と見なして求めた初期降伏水平変位である。また、基本変位 δ_y に対応する水平荷重を H_y とする。

2.3 解析モデル 対称性を考慮して、円筒橋脚の1/2のみをシェル要素と梁要素で要素分割する。以下では、細かなシェル要素を用いる領域を細分割領域、粗いシェル要素を用いる領域を粗分割領域と呼ぶ。局部座屈の発生が予想される橋脚基部から0.5D(D:断面直径)の範囲を細分割領域、残りを粗分割領域、橋脚頂部の載荷装置を剛な梁要素1個でモデル化する。その基本分割をN1と呼び、図-2(a)に示す。要素形状比は細分割領域で約3.0、粗分割領域で約0.7と設定する。また要素分割の影響を検討する為には、参照解が必要である。ここでは、N1の要素分割を細かくしていった際の収束解を参照解とし、それをCONVとする。

本研究では、1)梁要素の適用可能領域、2)細分割領域の要素分割、3)径厚比の影響の検討を行うが、そのために以下のモデルを設定する。1)では、N1を基本に、細分割領域を橋脚基部から高さ0.5Dまでに固定した上で、粗分割領域を漸次減少させ、減少した部分に梁要素を適用して新たな要素分割モデルを作成する。これらのモデルはN2~N4と名付け、図-2(b)~(d)に示す。2)では、N4を基本に、軸方向と周方向の分割数が約1.5、2.0、2.5倍となるモデルN4-1~3を設定する。3)では、2)の要素分割を用いて、板厚のみが異なる円形断面橋脚を解析する。文献1)の実験供試体の径厚比が0.0763~0.123であることに鑑み、径厚比として0.075、0.125の2つの値を考慮する。ちなみに、図-1の円形断面橋脚の径厚比は0.115である。

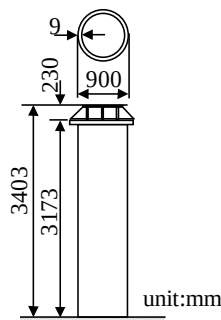


図-1 解析対象橋脚

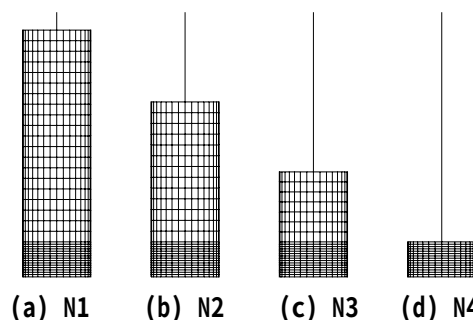


図-2 要素分割(N1~N4)

3. 解析結果

3.1 梁要素の適用可能領域 解析結果と

して、N1～N4 による水平荷重－水平変位曲線の包絡線を図-3 に示す。2 δ_y から 4 δ_y にかけて多少の差が認められるが、その差は最大でも 2.8% に過ぎず、実用上、許容できる範囲と考えられる。すなわち、粗分割領域をなくし、梁要素領域と細分割領域を直結した N4 モデルも使用可能である。

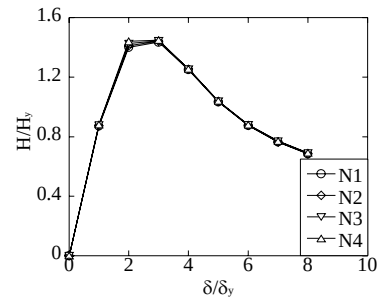


図-3 梁要素の適用可能領域の検討

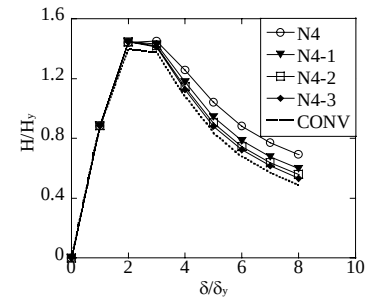
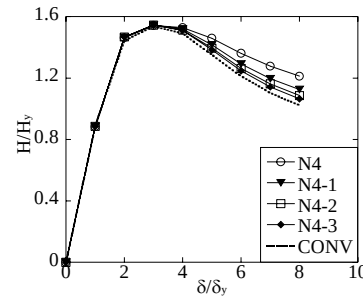


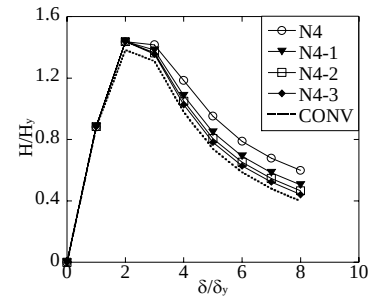
図-4 要素分割の影響

3.2 細分割領域の要素分割 解析結果と

して、N4 および N4-1～3 による水平荷重－水平変位曲線の包絡線を図-4 に示す。要素分割の影響は、最大耐力点までは見られず、劣化域のみに現れ、要素が細かなモデルほど、耐力低下の度合いが大きくなっている。



(a) 径厚比 0.075



(b) 径厚比 0.125

図-5 径厚比の影響

収束解に対する各モデルの解析誤差は、最大耐力点である 2 δ_y において、N4 で 3.0%、N4-1 で 3.2%、N4-2 で 3.3%、N4-3 で 3.3% である。変形が進むにつれて誤差は増え、4 δ_y において

は、N4 で 16.2%、N4-1 で 8.9%、N4-2 で 5.8%、N4-3 で 4.1% となる。ちなみに、本解析の計算時間は、N4 モデルで 8 分、N4-1 モデルで 15 分、N4-2 モデルで 28 分、N4-3 モデルで 46 分であった。

3.3 径厚比の影響 解析結果として、径厚比 0.075、0.125 の水平荷重－水平変位曲線の包絡線を収束解とともに図-5 に示す。また、収束解に対する各モデルの解析誤差を表-1 にまとめている。表中、最大耐力点の変位を*で示している。径厚比が大きくなると、最大耐力点の変位が小さくなる、最大耐力力の値が減少する、最大耐力点以降の劣化勾配が大きくなる、解析誤差が増加するといった傾向が認められる。また、変位の増加に伴い、解析誤差は増加している。

表-1 より、N4 モデルを用いれば、いずれの径厚比においても、最大耐力点での誤差は 5% を十分に下回っている。最大耐力点より水平変位が 2 サイクル進展した変形状態で、解析誤差を 10% 以下にするには、径厚比 0.075、0.125 の橋脚に対して、それぞれ N4、N4-2 モデルを使用する必要がある。解析誤差を 5% 以下にするには、径厚比 0.075 の場合は N4-1 モデル、径厚比 0.125 の場合には N4-3 モデルを用いる必要がある。

4. 結論

- ・ 橋脚基部からの距離が 0.5D (D: 断面直径) より上の領域については、梁要素によるモデル化が可能である。このようなモデル化により、計算精度をそのままに、計算時間を大幅に短縮できる。
- ・ 径厚比が大きくなると、解析誤差が増加する。また変位の増加に伴い、解析誤差は増加する傾向にある。径厚比の大きな橋脚、大きな変形状態までの解析を行う際には、より細かな要素分割が必要とされる。

<参考文献>

- 1) 建設省土木研究所，首都高速道路公団，阪神高速道路公団，名古屋高速道路公社，鋼材倶楽部，日本橋梁建設協会：道路橋橋脚の地震時限界状態設計法に関する共同報告書(I)，1997。

表-1 解析誤差

(a) 径厚比 0.075

	2 δ_y	3 δ_y^*	4 δ_y	5 δ_y
N4	1.3%	0.4%	2.7%	8.0%
N4-1	1.6	0.5	2.0	4.7
N4-2	1.7	0.6	1.5	3.2
N4-3	1.7	0.6	1.3	2.4

(b) 径厚比 0.125

	2 δ_y^*	3 δ_y	4 δ_y	5 δ_y
N4	3.8%	8.1%	20.9%	29.0%
N4-1	3.9	5.5	10.9	14.8
N4-2	3.9	4.3	7.0	9.2
N4-3	3.9	3.5	4.8	6.0