

繰返し水平荷重を受ける鋼製円形変断面橋脚の有限要素解析における要素分割について

九州工業大学 学生会員○永松 寿隆 九州工業大学 正会員 山口 栄輝
九州工業大学 正会員 久保 喜延
国土交通省 正会員 南野 能克

1. はじめに

数多くの実験により鋼製橋脚の耐震性が検討されているが、耐震性に及ぼす因子は多岐にわたるため、費用や時間の制約上、解析による検討も不可欠である。またハード、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た。そのような背景のもと、1995年の兵庫県南部地震以降、有限要素法を用いた鋼製橋脚の複合非線形解析が数多く行われ、シェル要素を用いることにより、局部座屈が再現され、解析法に関してかなりの知見が蓄えられてきている。しかしながら、この種の解析において、要素分割が解析結果に及ぼす影響について検討した事例は限られている^{1),2)}。特に、既存の橋脚の多くが変断面面であるにもかかわらず、そうした実橋脚に近い解析モデルに対する検討は十分に行われていない。そこで本研究では、鋼製円形変断面橋脚の要素分割が解析結果に及ぼす影響について検討する。

2. 解析モデルおよび解析方法

解析対象は、図-1に示すような高さ方向に板厚 t が変化する変断面構造の円形断面橋脚である。対称性を考慮して、円形断面橋脚の1/2のみをシェル要素と梁要素で要素分割する。面外変形は、断面変化部と基部で発生し得るため、その領域での要素を細かくする。断面変化部における面外変形は、断面変化点上側(板厚が小さい側)の領域において生じる²⁾が、文献2)では、細分割領域を断面変化点上側だけでなく、下側にも設定している。この点に関し、本研究では、断面変化点両側を細かく要素分割するモデルと断面変化点上側のみを細かく要素分割するモデルの2種類を設定し、下側細分割領域の必要性を再検討する。

要素分割例を図-2に示す(図中 D は断面直径)。細分割範囲は文献3)に倣い $0.5D$ とし、基本分割数も、文献3)を参考に決定した。なお、T型張り出し部は剛体と見なし、断面板厚 38mm の部分と共に梁要素でモデル化している。図-2に示すモデルが基本要素分割モデルであり、 $S1$, $S2$ と呼ぶ。さらに、 $S1$, $S2$ の要素分割数を円周方向、高さ方向共に約 1.5 , 2.0 , 2.5 倍を増やして要素分割モデルを作成し、それらを $S1-1\sim 3$, $S2-1\sim 3$ と呼ぶ。 $S1$, $S1-1\sim 3$ を $S1$ シリーズ、 $S2$, $S2-1\sim 3$ を $S2$ シリーズと呼称する。

要素分割数は、計算時間に大きな影響を及ぼす¹⁾。

そこで、局部座屈が生じない粗分割領域の要素数を減らすことで、計算時間の短縮を試みる。そのために、本研究では、要素形状の1つのパラメータとして要素形状比 b/h (b : 要素の幅, h : 要素の高さ)に着目する。すなわち、 $S1$ モデルの粗分割領域において、 b は一定としたままで、要素形状比 b/h を 1.0 , 0.7 , 0.5 , 0.3 , 0.1 と変化させ、その影響を検討する。

構成則には、第2勾配がヤング率の $1/100$ となるバイリニア骨格曲線を有するミーゼス型の弾塑性モデル(移動硬化則)を採用する。橋脚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、その点の水平変位 δ の振幅が、 $0 \rightarrow +\delta_y \rightarrow -\delta_y \rightarrow +2\delta_y \rightarrow -2\delta_y \rightarrow \dots$ と漸次増加しながら変化するように制御する

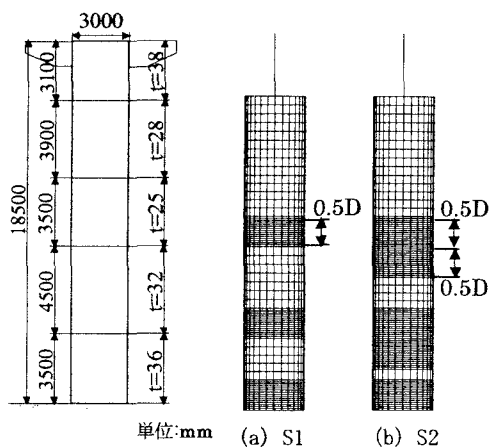


図-1 解析対象橋脚

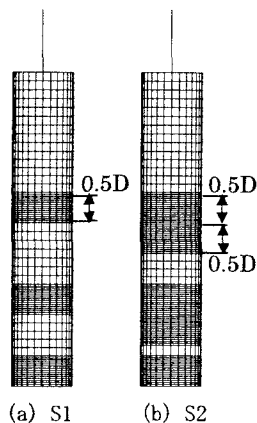


図-2 要素分割

繰り返し載荷を行う。基本変位 δ_y は、橋脚を片持ち梁と見なし求めた初期降伏水平変位であり、 δ_y に対応する水平荷重を H_y とする。なお、全ての解析は汎用有限要素解析プログラム ABAQUS で行い、要素タイプ S4R と B310S を使用する。

3. 解析結果および考察

解析結果として、載荷点における水平荷重—水平変位関係(包絡線)を図-3, 4に示す。

図-3の解析結果を見ると、両シリーズとも、要素分割数の影響は最大耐力までは見られず、耐力力の劣化域で現れている。すなわち、要素分割が細かいほど耐力力低下の度合いが大きくなっている。また、対応する両シリーズの解析結果はほぼ一致しており、計算時間を見ると、例えば S1-3 で約 425 分、S2-3 で約 547 分となっており、S1 シリーズの方が S2 シリーズより計算効率が良い。細分割領域を断面変化点下側に設ける必要性は感じられない。

図-4の解析結果を見ると、要素形状比の影響はほとんどなく、全ての結果がほぼ一致している。計算時間を見ると、 b/h が 1.0 の場合に約 57 分であるのに対し、 b/h が 0.1 の場合には約 33 分であり、大きな差が生じている。粗分割領域の要素形状比 b/h は 0.1 でも十分と考えられる。

図-5に変形性状を示す。文献2)の場合と異なり、局部座屈は、要素分割モデルの影響はあまり受けず、全て橋脚基部に生じている。

4. まとめ

本研究では、円形変断面橋脚を取り上げ、要素分割について検討した。その結果、(1)要素分割数の影響は最大耐力以降の耐力力劣化域で現れ、要素分割が細かいほど耐力力低下の度合いが大きくなる、(2)細分割領域は、断面変化点上側(板厚が小さい側)のみで十分と考えられる、(3)粗分割領域の要素形状比 b/h は 0.1 でも十分であることなどが明らかになった。

<参考文献>

- 1) 山口他：鋼製円筒橋脚の有限要素解析に関する一考察、第4回鋼構造物の非線形数値解析と耐震設計への応用に関する論文集、pp255-260、2001年
- 2) 日本鋼構造協会：橋梁システムの動的解析と耐震性、2000年
- 3) 大田他：鋼製橋脚の耐震設計に対する構造解析ソフトウェアの適用性、橋梁と基礎、pp33-39、1997年

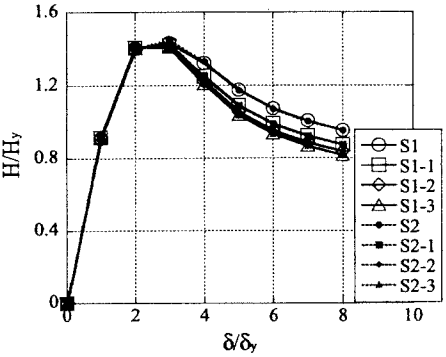


図-3 S1, S2 シリーズ

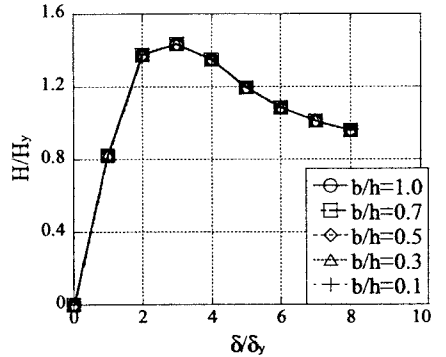


図-4 粗分割領域の要素形状比の影響

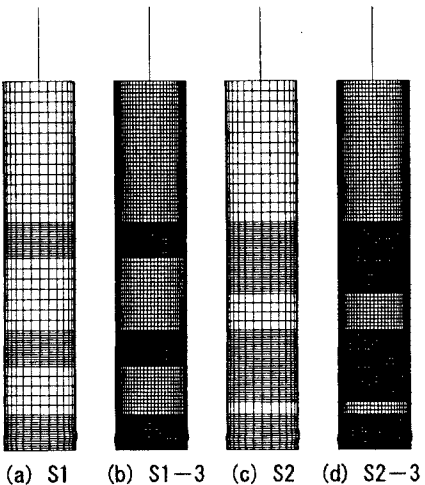


図-5 変形性状