円形断面鋼製橋脚を対象とした地震時倒壊解析の効率化に関する検討

ジェイアール東海コンサルタンツ株式会社 正会員 〇本田 真基 名古屋工業大学大学院 正会員 海老澤 健正 名古屋工業大学大学院 フェロー会員 後藤 芳顯

1. はじめに: 現行の橋の耐震設計では過去最大級の観測地震動に基づき設定された設計地震動に対して損傷制御 設計がなされる.しかしながら,設計地震動を上回る場合については照査されていないので,想定外の極大地震が 発生した場合には大規模崩壊挙動が発生し,重大な人的・物的被害がもたらされる可能性も否定できない.このような極大地震動下において連続高架橋の大規模崩壊を防止するためには,部分的な崩壊が大規模崩壊に繋がらない ことを照査することが必要である.このような照査には高架橋の動的崩壊挙動を正確に予測できる解析が必須であ る.鋼製橋脚の倒壊には局部座屈が生じる極端な大変形挙動を伴うので数学的には動的な高次複合非線形問題とな る.このため,従来のシェル要素を用いた FE 解析 ¹⁾では終局状態を超えて崩壊に至る領域では収束解を得にくく

なり、計算の効率が極端に低下する場合も多い.実務で用いる崩壊解析では 計算の安定性と効率を向上することが必須である.シェル要素を用いた FE 解析は橋脚の終局状態までに関しては多くの実績があり精度についても十 分検証されている.そこで、本研究では、終局状態を超えて崩壊に至る領域 を対象に、大変形が生じることにより数値計算の収束性が悪化したシェル要 素を含む橋脚の座屈領域をマルチスプリングモデルに置換し、倒壊挙動の計 算効率を大幅に向上するための手法を提案する.そして、この手法の妥当性 を円形断面鋼製橋脚模型の振動台による倒壊実験ならびにシェル要素を用 いた FE モデルによる倒壊解析と比較することで検証する.

2. マルチスプリングを用いた置換モデル: 終局挙動までは従来のシェル 要素を用いた精緻な FE モデルにより解析を行い,計算効率が低下する終局 挙動以降については局部座屈領域をマルチスプリングモデルに置換する方 法を提案する.具体的には,図1のように,橋脚全体をシェルモデルで表し た全シェルモデルと橋脚基部の局部座屈領域を表す複数の鉛直ばねで表し

たマルチスプリングモデル²⁾を同一座標上に配置する.そして,終局挙動までは全シェ ルモデルで計算し,終局状態を超えて数値計算の収束性が悪化した時点で,橋脚基部 の局部座屈領域においてシェル要素の機能を停止するとともに,この部分をマルチス プリングモデルに置換して計算を継続する(モデル置換).この置換ステップでは,シェ ル要素とマルチスプリングモデルとの結合点での力がつり合うようにマルチスプリン グモデルの結合点に全シェルモデルから得た断面力(力とモーメント)として与えた後 に,もとの橋脚上部側シェル要素と結合する.本来これらの断面力は全シェルモデル での載荷履歴を考慮して与えるべきであるが,荷重制御では最大荷重点で全 シェルモデルの断面力とつり合うマルチスプリングモデルの解が得られな い可能性があることから,図2のように目標断面力まで比例的に増加した単 純な荷重履歴を与える.また,非置換のシェル要素とマルチスプリングモデ ルでは結合点の変位に差が生じるので,これを補正するために剛なダミー要 素で結合する.なお,この結合点は,十分に剛性を有し橋脚の断面形状が保 持されるダイアフラム位置とする.

3. マルチスプリングモデル: 結合点でのマルチスプリングモデルの並進 および回転剛性を精度よく表すため,図1に示すように橋脚基部に弾塑性マ

連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 TEL052-735-5021 FAX052-735-5563 キーワード 鋼製橋脚, 倒壊解析, マルチスプリングモデル







ルチプリング A とせん断ばね,中間に弾性のマルチスプリング B を配置する.せん断ばねおよびマルチスプリン グ B の剛性ははり理論の弾性剛性により決定する.マルチスプリング A の各非線形ばねの骨格曲線は図3に示す ように圧縮側の軟化域については変位が増大するに従って荷重が0に漸近する指数関数型とする.はねの骨格曲線 を表すパラメータは全シェルモデルによる橋脚の Pushover 解析での橋脚頂部の水平荷重-水平変位関係との誤差 が最小となるよう滑降シンプレックス法を用いて同定する.

1100

4. 橋脚模型の振動台実験との比較検証: 縮尺 1/8 の円形断 面鋼製橋脚(図4)にTsugaruの225%増幅波をx方向(LG成分), y方向(TR成分)に同時入力した振動台による倒壊実験²⁰との比 較を行う.供試体諸元を表1に示す.図5に示す履歴曲線では 置換モデルの等価水平復元力³⁰は実験結果やシェルモデルに よる解析と比べてやや高くなっている.これは、マルチスプリ ングモデルでは置換ステップまでの載荷履歴を正確に考慮し ていないことによるものと考えられる.しかし、置換モデルの 軟化勾配や荷重の変動については実験結果に近い挙動を示し ており、倒壊解析として一定の精度が得られているといえる. また、図6に示すように実験結果とほぼ同時刻に変位が急激に 増大しており、従来のシェル要素による解析では十分に予測で きない倒壊挙動を精度よく再現している.なお、計算時間は要 素置換後、劇的に短縮され、解析全体でもシェルモデルの1/2 以下に短縮することが可能になった.

5. 実大橋脚の動的応答解析: 実大橋脚への本手法の適用性 を検討するため, H24 道路橋示方書に基づき設計された円形断 面鋼製橋脚を対象としてJRT観測波を300%に増幅してx方向 (NS 成分), y方向(EW 成分)に同時入力した動的応答解析を行 う.橋脚諸元を表1に示す.図7に水平荷重-水平変位関係を 示すが,模型供試体での解析同様に,ピーク後の荷重がシェル 要素モデルと比べてやや高いものの,軟化勾配はシェル要素モ デルによる解析を十分に近似している.また,非置換モデルで は収束解の得られない大変形領域まで計算が可能となった.

6. まとめ: 終局状態以降にマルチスプリングで置換した置換モデルによる橋脚の倒壊解析では,置換前の載荷履歴を考慮していないため復元力がやや大きく評価されるものの倒壊挙動については概ね表現できることを確認した.また,置換モデルはシェル要素を用いたFEM解析では計算が困難な極端な大変形領域まで安定的に収束解を得ることが可能となるとともに解析時間を大幅に短縮することができる.

謝辞: 本研究の一部は一般社団法人日本鉄鋼連盟「鋼構造研 究・教育助成事業」(重点テーマ研究,代表:後藤芳顯)による 助成を受けました.

<u>参考文献:</u> 1) Goto, Y. et. al.: *J. Struct. Engrg.*, Vol.132, No.10, ASCE, pp.1621-1631, 2006. 2) Goto, Y. et. al.: *J. Struct. Engrg.*, ASCE, 登載予定. 3) 後藤芳顯ら: 構造工学論文集, Vol. 57A, pp.490-499, 2011.

