

連続斜張橋のプッシュオーバー解析による破壊プロセスの検討

大日本コンサルタント 正会員 ○吉澤 努 正会員 平山 博 正会員 吉岡 勉
阪神高速道路 正会員 杉山 裕樹 正会員 篠原 聖二 正会員 安積 恭子

1. はじめに

現在計画中の4本主塔の連続斜張橋(図-1 参照)では、設計地震動を超える超過外力に対しても冗長性の高い構造物を目指している。一般的な橋梁では変形特性や振動モードが明確であり、損傷を許容する部位も道路橋示方書等に示されているが、連続斜張橋は同種の橋梁が極めて少なく、冗長性を高めるために避けるべき致命的な破壊プロセスが必ずしも明確ではない。そこで、超過外力により橋に損傷が生じることを前提に、避けるべき損傷部位の組合せを別論文¹⁾の座屈固有値解析により検討している。本稿はこれ続いて実施したプッシュオーバー解析による検討について述べる。これらの検討結果は、今後、橋の耐震設計の過程において超過外力を入力した破壊プロセスの検討を行う際に活用することを考えている。

2. 検討方法

本検討では、座屈固有値解析の検討で確認された橋に望ましくない損傷が生じ得る変形モードが地震時に現れる時刻に着目し、その際の荷重状態を再現して静的に漸増解析を行う。

解析モデルはファイバーモデルを用いた3次元骨組みモデルとし、材料非線形と幾何非線形を考慮した複合非線形解析とする。ここで、機能分離型支承の免震ゴム

バッファの破断が構造不安定を招くという座屈固有値解析の知見を受け、支承部には主塔-主桁間の過大な水平変位を制限するストッパー構造を設置したモデルとしている。

変形モードを抽出する動的解析は、超過外力として設定されたシナリオ地震動を用いて実施する。本稿では紙面の都合より、複数の変形モードのうち橋軸方向の構造系に着目した図-2 に示1 ケースの結果を示す。続いて、抽出した時刻の変位・断面力に適合する荷重条件を文献²⁾の手法により抽出し、倍率(SF)を乗じて漸増載荷する静的解析を行う。これにより、構造不安定に至るまでの破壊の順序と、安定性を保てる荷重倍率を把握する。

3. 解析結果

解析結果より、荷重倍率 SF と主桁の変位の関係を図-3 に示す。SF=0.19 時に曲線の勾配が大きくなるのは、支承部のストッパー構造が動作したことによる。ストッパーは SF=1.0 時に動作した状態であり、その際の荷重状態が入力値に設定されている。この荷重状態はストッパーが動作しない規模の地震動によるものとは異なるため、レベル2 地震動に相当する SF=0.39 より低い SF でストッパーが動作する結果となった。SF の値は作用の規模の目安であるが、SF が小さい領域では橋の地震時の挙動と必ずしも一致しない。

この後 SF=0.57 時に 4P 主塔基部の柱下端が圧縮降伏し、続いて SF=0.67 時に同じ部位が引張降伏する。

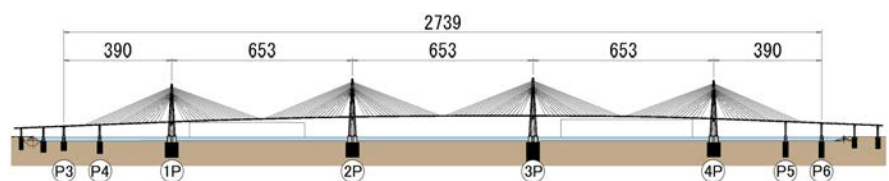


図-1 連続斜張橋 側面図



図-2 橋軸方向のプッシュオーバー解析で再現する変形モードの例

(動的解析の時刻 17.44 秒)

キーワード 連続斜張橋, ファイバーモデル, プッシュオーバー解析, 橋軸 A 型主塔, 破壊プロセス

連絡先 〒102-0075 東京都千代田区三番町 6-3 三番町 UF ビル 4F

大日本コンサルタント(株) インフラ技術研究所 TEL03-6850-0066

SF=0.84 時に主桁に圧縮降伏が生じ、SF=1.04 時に橋脚の柱下端が降伏する。なお、図では降伏が最初に生じる 4P 主塔についてのみ示したが、他の主塔も同様に塑性化が進展している。SF=1.05 を超えると曲線の勾配は小さくなり二次勾配に移行する。その後 SF=1.28 の最大値の後に負勾配となり収束解が得られず解析が終了する。

最後に解が得られた SF=1.27 時の変形図を図-4 に示す。主塔基部柱部の上下端が塑性化して水平変位が大きく生じている。また 1P 主塔位置で主桁に曲率半径が小さい負の曲げたわみが生じている。座屈固有値解析では主塔基部の上下端のヒンジ化と、主塔近傍の主桁の 2 箇所ヒンジ化で構造不安定となることから、次の計算ステップにおいていずれかの事象により構造不安定となり収束解が得られなくなると推定される。

4. 破壊プロセスの評価

この解析により SF が 1 を超えるまで変位が急増せず、設定したシナリオ地震動に対しては部材降伏が生じるものの構造物が剛性を保つことが確認された。SF=1.28 以上では構造不安定となるが、この状態に至るまでに A 型主塔のラーメン構造の隅角部が塑性ヒンジ化し、エネルギー吸収をしつつ変形が増加するというじん性が高い破壊プロセスが先行して生じている。なお、この解析の通りに破壊プロセスが進行するためには、支承部のストッパー構造が主塔より先に破壊しないように耐力の階層化を図る必要がある。

5. まとめ

地震時の橋の変形モードを抽出し、静的なプッシュオーバー解析により破壊プロセスの検証を行った。この解析ではシナリオ地震動に対して構造安定性は保たれており、構造不安定に至る過程でもじん性が高い望ましい破壊プロセスであると確認された。また、部材間の耐力階層化の必要性も確認された。

なお、本検討ではファイバーモデルによる解析であり、部材の局部座屈を再現していない。破壊プロセスの評価に局部座屈の影響を考慮するためには、主塔の FEM 解析等のより詳細な検討の実施が必要となる。

参考文献

- 1) 安積ほか: 連続斜張橋の座屈固有値解析による破壊プロセスの検討, 土木学会第 78 回年次学術講演会, 2023.9.,
- 2) 奥村ほか: 非エネルギー吸収部材の損傷を伴う上路式鋼アーチ橋の構造全体系の地震時終局挙動, 構造工学論文集 Vol.66A, pp.264-273, 2020.3.

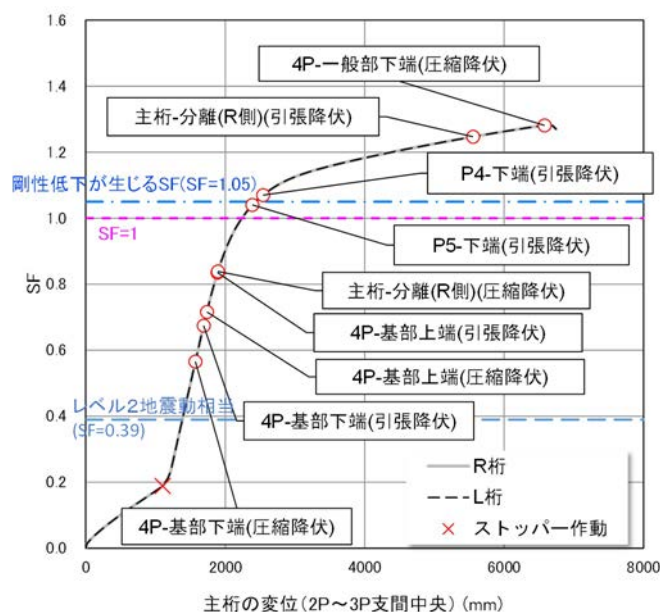


図-3 解析結果における荷重倍率 SF と主桁変位の関係

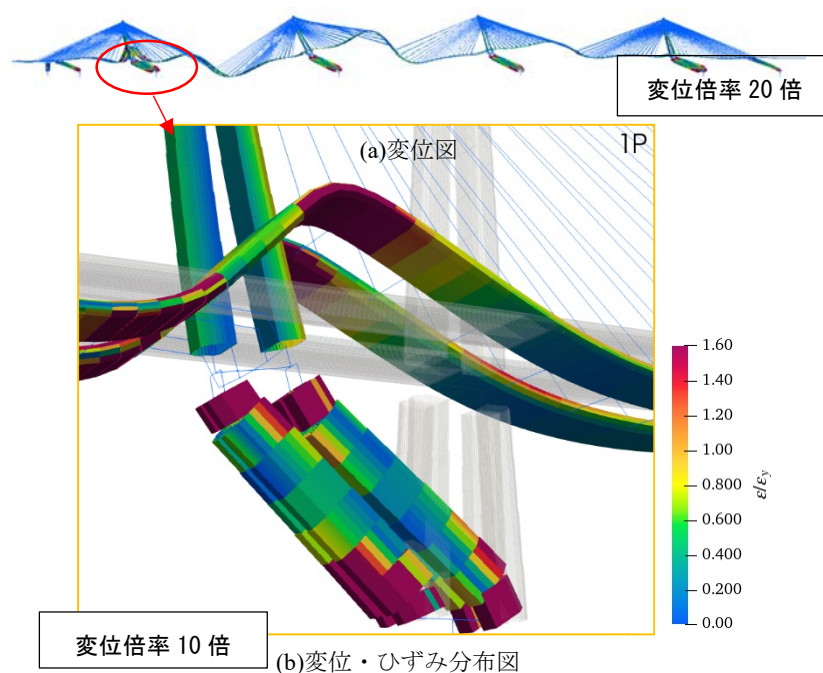


図-4 SF=1.27 時の変位図及び 1P 主塔基部のひずみ分布図