

漸増動的解析を用いた1本主塔の長大斜張橋の破壊プロセスの検証

阪神高速道路 正会員 ○篠田 隆作 正会員 篠原 聖二 正会員 河野 晴彦
長大 正会員 鈴木 俊洋 正会員 深谷 茂広 正会員 舘 浩司

1. はじめに

高次不静定構造物である斜張橋は、地震動等の作用に対する損傷順序や橋が致命的な状態に至るまでの破壊プロセスが解明されておらず、その特定方法も一般化されていないことが課題であった。筆者らは座屈固有値解析を用いた構造安定性の定量評価を行い、検討のために想定した対象橋梁（図-1）について、橋脚基部、主塔基部又は主塔上部の順に耐力を階層化することが基本的な耐震戦略として望ましいことを確認した¹⁾。一方で、耐震戦略に基づき設計した橋梁について、設定した設計用地震動以上の超過外力が作用した状況で、実際にどのような破壊プロセスを経過するか確認するには至っていない。そこで本稿では、耐震戦略に基づき設計した1本主塔の長大斜張橋を対象に、漸増動的解析を用いて破壊プロセスを検証した。

2. 漸増動的解析 (IDA)

漸増動的解析 (Incremental Dynamic Analysis : IDA) は、入力地震動の振幅倍率を漸増させながら非線形時刻歴応答解析を繰り返し行った結果に基づき、振幅倍率と応答値の関係から構造物の耐震性を評価する手法²⁾である。本稿の振幅倍率は0.25毎に漸増させた値 (0.5~3.0) とし、最大応答値と目標限界値を整理した。

3. 解析モデル

対象橋梁は1本主塔斜張橋を想定した。図-1に側面図、主塔の橋軸直角方向の一般図を示す。主塔は鋼製ダイヤ型、主桁は鋼床版一箱桁、橋脚は鋼製ラーメン橋脚とした。対象橋梁は道路橋示方書のレベル2地震動が作用する状況において、主塔、主桁、橋脚及びケーブルが弾性状態となるように設計した。支承は免震支承を使用し、せん断ひずみが250%以内に留まるように設計した。支承条件等の解析条件は文献1)に示す。

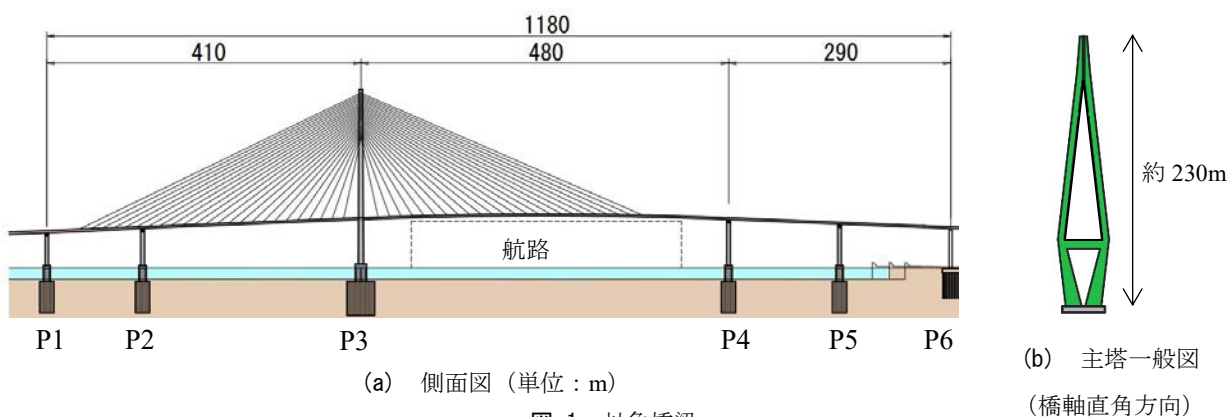


図-1 対象橋梁

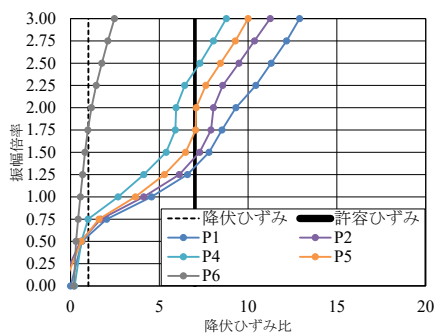


図-2 コンクリート充填橋脚 IDA 曲線

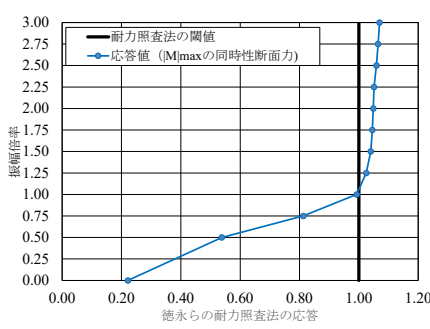


図-3 主塔基部 IDA 曲線

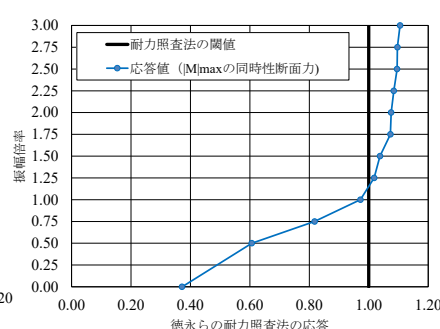


図-4 主塔上部 IDA 曲線

キーワード 破壊プロセス, 漸増動的解析, 1本主塔斜張橋

連絡先 〒650-0023 神戸市中央区栄町通 1-2-10 読売神戸ビル

阪神高速道路 (株) 建設事業本部 神戸建設部 湾岸西伸第二建設事業所 TEL: 078-335-6747

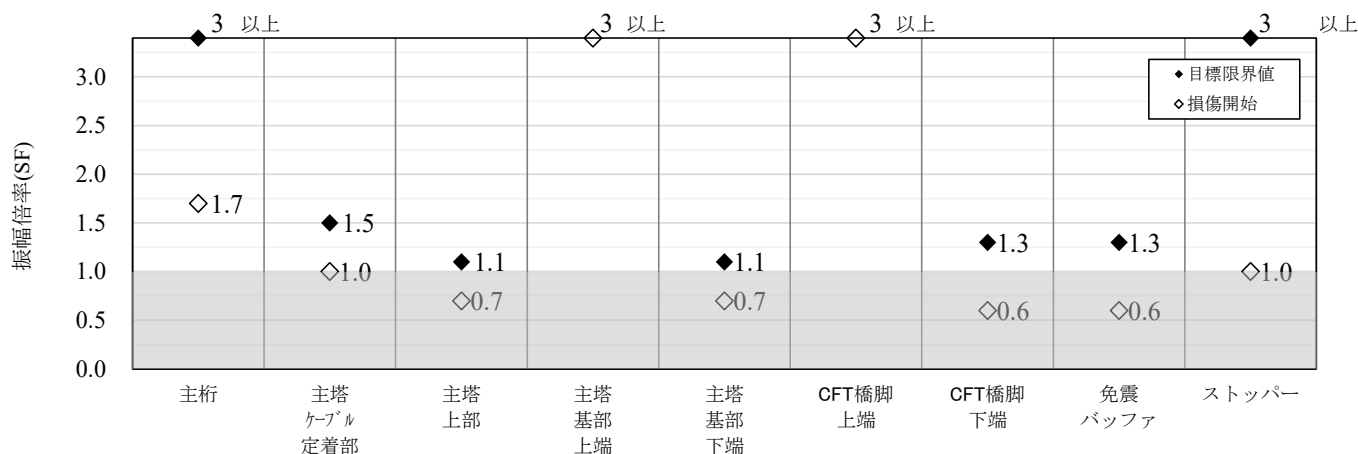


図-5 橋軸方向加振時のシナリオ地震動に対する損傷イベント

4. 部材ごとの振幅倍率と限界状態の関係 (IDA 曲線)

図-2 にコンクリート充填橋脚（以下、「CFT 橋脚」という。）の IDA 曲線を示す。図-2 より、CFT 橋脚は振幅倍率 1.3~2.5 倍程度で目標限界値（降伏ひずみの 7 倍）に至るが、実際の挙動は最大荷重後の軟化挙動でエネルギー吸収が見込まれるため、ただちに脆性的な破壊（橋脚の座屈等）につながるものではないと考える。

図-3 に主塔基部の IDA 曲線を、図-4 に主塔上部の IDA 曲線を示す。なお、IDA 曲線とは各振幅倍率での着目する応答値の最大応答を包括する曲線である。図-3 及び図-4 より、主塔基部及び主塔上部は振幅倍率 1~1.3 倍程度で部材の終局状態の閾値に至ることがわかる。また、主塔上部および主塔基部は振幅倍率を漸増させた場合においても、目標限界値に到達した後では一定以上の応答が生じない結果となった。これは、評価方法が耐力（荷重）の照査方法であり、ある部材が目標限界値（終局状態）に到達するとその部材がヒンジ化し、別部材に荷重が再配分されることが原因と考えられる。

5. 斜張橋に対する破壊プロセスの検証

図-5 に橋軸方向加振時のシナリオ地震動（橋に及ぼす影響が甚大と予想される最大級の地震動のうち、断層を調査結果等に基づく精緻な断層モデルにより算定した地震動）に対する損傷イベントを示す。損傷開始点について、CFT 橋脚、主塔基部及び主塔上部はひずみが降伏ひずみに達する時、免震バッファはせん断ひずみが 250%に到達する時と設定した。目標限界値（終局状態）について、CFT 橋脚は道路橋示方書に準じて許容ひずみ（降伏ひずみの 7 倍）に達する時、主塔基部及び主塔上部は 2 方向で照査可能な徳永の耐力照査法³⁾により終局状態に達する時、免震バッファはせん断ひずみが 300%に到達する時と設定した。

図-5 より、全構造部材が終局状態の目安に到達する振幅倍率は 1.0 倍以上であるため、シナリオ地震動が作用した状況においても橋全体が致命的な状態に至らないことを確認した。耐力の階層化について、CFT 橋脚は振幅倍率 0.6 で損傷を開始し、主塔基部及び主塔上部は振幅倍率 0.7 で損傷を開始して振幅倍率 1.1 で目標限界値に到達し、その後 CFT 橋脚が目標限界値に到達するため、耐震戦略で設定した望ましい破壊プロセスとなることを確認した。なお、免震バッファは振幅倍率 0.6 で損傷を開始するが、目標限界値（終局状態）に到達する振幅倍率は 1.3 倍であるため、免震バッファの破断等の脆性的な破壊に至らないことを確認した。今後も、部材ごとに冗長性を高め、望ましい破壊プロセスに誘導できるように検討を進めたい。

6. おわりに

耐震戦略に基づき設計した 1 本主塔の長大斜張橋を対象に、漸増動的解析を用いて破壊プロセスを検証した結果、シナリオ地震動が最大強度を迎える前に橋が致命的な状態に至らないことを確認した。

参考文献 1) 篠田隆作ら：座屈固有値解析による構造安定性の定量評価、第 25 回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集、2022.7、2) 谷口惺ら：漸増動的解析(IDA)に基づく長大橋の耐震性能評価、土木学会論文集 A1, Vol. 70, No.4, pp. I_323-I_333, 2014、3) 徳永宗正ら：繰返し塑性履歴の影響を考慮したファイバーモデルによる鋼骨組構造の耐震性能照査法の提案、土木学会論文集 A, Vol. 65, No.4, 898-914, 2009.11