

漸増動的解析(IDA)に基づく既設鋼斜張橋の耐震性能評価

ショーボンド建設 正会員 ○木田 秀人
 京都大学防災研究所 正会員 五十嵐 晃
 京都大学大学院 正会員 杉浦 邦征

1. はじめに

大規模橋梁では、設計上仮定される損傷の生じる部位と損傷の順序の決定が自明な問題ではないこと、想定外の地震動の挙動が必ずしも把握されていないこと等から、著者らはこうした橋梁の耐震性能評価への漸増動的解析 (IDA) の適用を提案している。その具体例として、大規模鋼斜張橋を対象とした検討を行った。

2. 漸増動的解析(IDA)

漸増動的解析 (Incremental Dynamic Analysis, 以下 IDA) は、基準となる入力地震波に振幅倍率 (Scale Factor) を乗じることで強度を調整した入力を用いて、入力地震波の振幅を徐々に増加させながら非線形時刻歴動的解析を繰り返し行った結果に基づき、構造物の耐震性能を評価する手法である。各々の振幅倍率と、対応する最大応答値の関係をまとめることで得られる IDA 曲線を基に構造物の耐震性能を検討する。以下に IDA の手順を示す。

- (1) 対象構造物に応じて基準地震波を選択する。
- (2) 選択した基準地震波に振幅倍率 (例えば 0.25~2.0) を乗じ、大小様々の強度の入力地震波を作成する。
- (3) 横軸に着目する最大応答値を表す指標、縦軸を振幅倍率の値としたグラフとして IDA 曲線を得る。
- (4) 構造物の限界状態を設定し、着目する最大応答値が初めに限界状態を上回る振幅倍率の値を求める。
- (5) 対象とするすべての部位あるいは応答値に対して同様に限界状態に対応する振幅倍率を求め整理することで、損傷順序や弱点となる部位を評価する。

3. 対象橋梁と地震応答解析

ここで想定対象とする斜張橋は、図-1 に示す橋長 1000m (支間 250+500+250m)、主塔高さ 200m を有する鋼 3 径間連続斜張橋である。主桁は鋼床版多室箱桁であり、橋軸方向に主塔とケーブルダンパーで結合さ

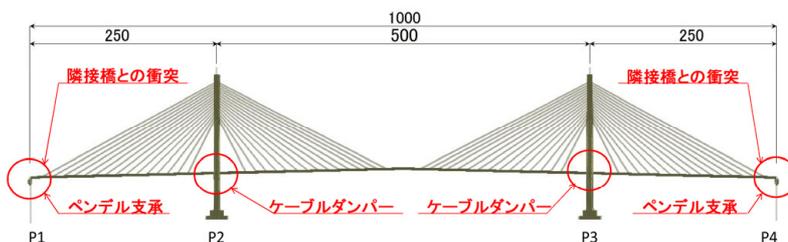


図-1 対象橋梁一般図

れ、端橋脚とペンデル支承で支持される。橋軸直角方向は主塔部、端橋脚部で支承により固定されている。

主塔、箱桁の軸力変動および 2 軸曲げの影響を考慮し、かつ材料非線形性を反映した評価を行うため、ファイバーモデルによる 3 次元動的複合非線形解析を行った。鋼部材の材料構成則は、2 次勾配が $E/100$ のバイリニアモデルを使用した。死荷重とケーブルプレストレスの作用した状態での固有値解析によれば、固有周期は橋軸方向と橋軸直角方向においてそれぞれ 4.04s, 2.9s であり、橋軸方向は主桁・塔の逆対称モード、橋軸直角方向は主桁・塔の対称モードであった。時刻歴応答解析では、部材別剛性比例減衰を用いた。

地盤はⅢ種地盤を想定しており、設計地震動は、道路橋示方書 (V耐震設計編) で与えられているⅢ種地盤、タイプ I 地震動 (I-Ⅲ-1)、タイプ II 地震動 (II-Ⅲ-1) の波形を選択した。IDA では、入力波形による応答値のばらつきを考慮して複数の地震波形を使用することがしばしば行われるが、本研究では振幅調整された道示波を用いて、入力波形のスペクトルの変動に起因するばらつきの影響を極力排除することとした。

4. 耐震性能評価と IDA 曲線 (橋軸方向)

耐震性能評価は、構造部位ごとに限界状態を明確化した上で、安全性や修復性を考慮して部材健全度が定められる²⁾。橋軸方向の設計対象部位と設定した部材健全度を表-1 に示す。主塔・主桁は、基本的に弾性域に留める事を前提としつつ軽微な損傷を許容する、部材健全度 2 とした。ケーブルダンパー・ペンデル支承は部材耐力が小さく、別途フェールセーフ対策を講じることを前提とし、終局限界である部材健全度 4 とした。

ケーブルダンパーおよびペンデル支承は、ある振幅倍率の値において破断することが判明したため、当該振幅倍率以上の場合の動的解析では、最初からその部

表-1 設計対象構造部位と部材健全度

設計対象構造		限界状態	部材健全度
上部構造	主塔・主桁	軽微な損傷	2 ($\epsilon_{max}/\epsilon_y \leq 2.0$)
	ケーブル	無損傷	1 ($N_{max}/N_y \leq 1.0$)
ケーブルダンパー		終局限界	4 ($N_{max}/N_u \leq 1.0$)
ペンデル支承		終局限界	4 ($\epsilon_{max} \leq 0.05$)
隣接橋との衝突		-	-

キーワード 漸増動的解析 (Incremental Dynamic Analysis), 斜張橋, 耐震性能

連絡先 〒536-0022 大阪市城東区永田 3-12-15 ショーボンド建設(株)近畿圏支社 TEL06-6965-4333

材をモデルから削除した解析を行った。

主塔の最大ひずみ分布 (タイプ I 地震動) を図-2 に示す。振幅倍率が 0.25 から 2.0 までの結果を示しており、負側が圧縮、正側が引張である。図-3 に主塔の IDA 曲線を示す。タイプ I 地震動では圧縮側は振幅倍率 1.5 で降伏ひずみを超過し塑性化が進行する。振幅倍率 1.75 以上は圧縮側で健全度 2 (2.0 ϵ_y) を満足しない結果となる。タイプ II 地震動では部材の塑性化は生じない。

ケーブルの最大張力分布 (タイプ I 地震動) を図-4 に示す。ケーブルは降伏せず健全度 1 を満足している。

5. 損傷順序ダイアグラム

各部位の IDA 曲線より限界状態を超過する振幅倍率を確認し作成した損傷順序ダイアグラムを図-5 に示す。タイプ I 地震動の損傷順序は、振幅倍率 0.5 でケーブルダンパーが損傷し、振幅倍率 0.75 で隣接橋との衝突、1.0 で主桁が降伏する。その後、振幅倍率 1.5 で主桁、1.75 で主塔の限界値を超過する。ペンデル支承も振幅倍率 1.75 で破断する。ケーブルダンパーが振幅倍率 0.5 (タイプ I)、0.75 (タイプ II) で破断するが、ケーブルは降伏せず、ケーブルダンパーの破断は耐震性能上の明確な弱点とはならないことがわかる。また、隣接橋との衝突が振幅倍率 0.75 以降に複数回確認できることから、橋軸方向の変位を抑制する必要がある。

6. まとめ

動的特性が複雑な大規模橋梁の耐震性能の評価に IDA をすることで構造物の損傷順序の考慮が可能であり、弱点部材の抽出への有用性を確認した。耐震補強設計の場合への適用により、耐震補強工法の相違による損傷順序や弱点部材の変化の評価を行う予定である。

参考文献

- 1) 谷口 惺,五十嵐 晃,木田 秀人:漸増動的解析 (IDA) に基づく長大橋の耐震性能照査,土木学会論文集 A1,Vol.70,No.4 (地震工学論文集 Vol.33) (印刷中)
- 2) 土木学会:鋼・合成構造標準示方書,耐震設計編 2008.1.

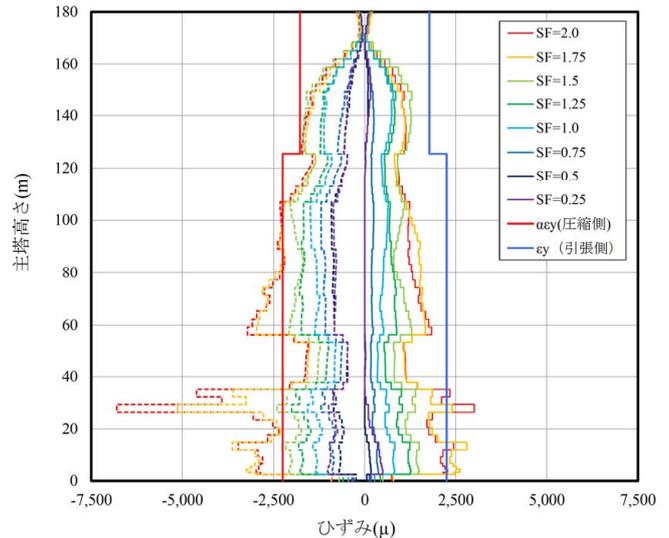


図-2 主塔の最大ひずみ分布 (タイプ I)

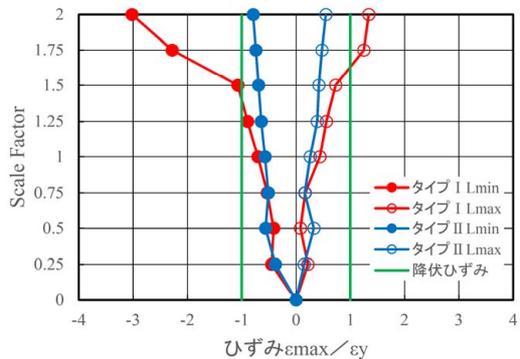


図-3 主塔 IDA 曲線

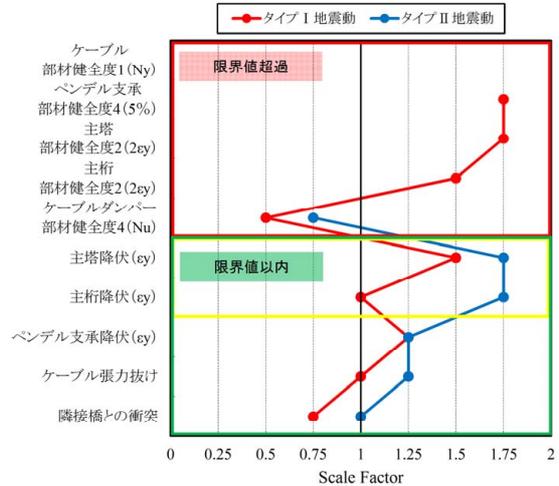


図-5 損傷順序ダイアグラム

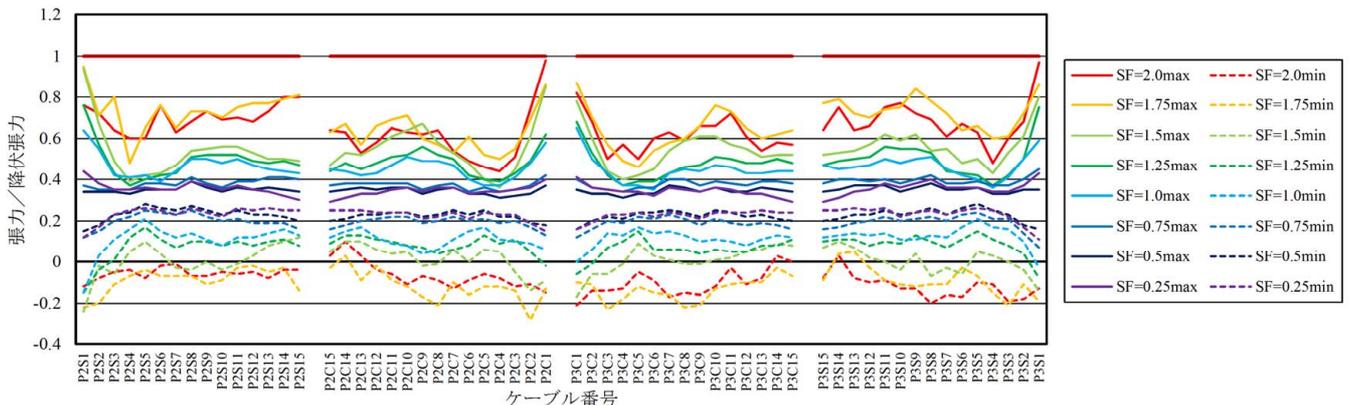


図-4 ケーブルの最大張力分布 (タイプ I)