

大規模解析モデルによる鋼斜張橋の耐荷力評価

株式会社東芝 正会員 ○久國 陽介
株式会社東芝 非会員 釘宮 哲也
株式会社東芝 正会員 清水 暁央
株式会社東芝 正会員 渡部 一雄
阪神高速道路株式会社 正会員 伊佐 政晃
阪神高速道路株式会社 正会員 茂呂 拓実

1. はじめに

近年，一斉に高齢化を迎える社会インフラ設備に対する，効率的な維持管理手法の確立が喫緊の課題となっている．我々は，橋梁の健全状態を推定するデジタルツインの構築を目指し，実橋梁を精緻に再現した大規模有限要素モデルによる解析技術の開発を進めている．これまで，製作図面を参照し作成した鋼斜張橋の橋梁全体モデルを用いて，車両荷重および温度日変動による応答が予測できることを確認した¹⁾．本稿では，上記大規模モデルに死荷重を導入し，車両荷重を想定した耐荷力解析を実施した結果を報告する．

2. 解析モデルと計算環境

製作図面を参照し，橋長 885m の既設鋼斜張橋の主構・橋脚・主塔を含む全体をモデル化した(図 1)．鋼製部材は主にシェル要素で表現し，ペンデル支承やケーブル定着ブロックなど厚みがある部材はソリッド要素で，ケーブルは梁要素で表現した．主構と支持部の連結を，ウィンド支承部では橋軸直角方向の並進成分，ペンデル支承部ではペンデルの回転を除く変位成分が等しくなるように拘束し，表現した．解析に用いた物性値を表 1 に示す．舗装とケーブル以外の鋼製部材には鋼種に応じた降伏応力を設定し，降伏後の剛性はヤング率の 1/100 となるバイリニアとした．モデル規模および計算環境を表 2 に示す．解析には ADVENTUREcluster^{TM2)}を用いた．

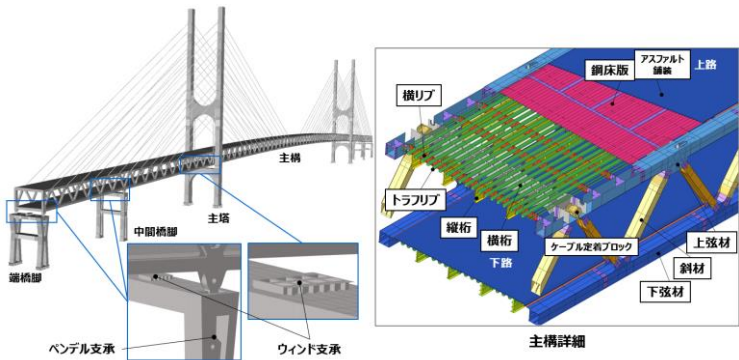


図 1 解析モデル

表 1 物性値

部品グループ	ヤング率 [MPa]	ポアソン比	密度 [ton/mm ³]
主桁定着ブロック	205000	0.3	8.71e-9
主桁本体	205000	0.3	8.64e-9
アスファルト舗装	3000	0.35	3.47e-9
ペンデル支承	205000	0.3	4.93e-9
橋脚	205000	0.3	9.58e-9
主塔定着ブロック	205000	0.3	7.51e-9
主塔本体	205000	0.3	8.02e-9
ケーブル	196000	0.3	8.41e-9

鋼種	降伏応力 [MPa]
SM570(SM58)	450
SM520(SM53)	355
SM490(SM50)	355
SS400(SS41)	235
SCPH2(SC49)	245
SFVQ2B	450

表 2 モデル規模と
計算環境

モデル規模	
節点数	37,175,569
要素数	37,791,692
自由度数	201,709,848

構成	
CPU	1ノード: 2CPU x 18コア Intel Xeon Gold 6150 (3.0GHz)
主記憶	コアあたり16~32GB
OS	Linux
ノード間接続	Infiniband
ソフトウェア	ADVENTUREcluster (Ver. 2020-R1.0)

3. 設計時のケーブル張力，全体形状，残留応力の再現

鋼斜張橋の死荷重として，自重とケーブルのプレストレスを考慮した．橋梁をキャンバー形状でモデル化し，自重を付与した上でケーブルを収縮させることで，死荷重を導入した完成系の応力状態を得た．ケーブルの収縮量は，ケーブル張力と主構の完成系形状が設計値と等しくなるように調整した．図 2 にケーブル張力および主構格点の橋軸，鉛直方向のキャンバー変位を示す．大規模モデルで得られた解析値は，設計値に対してケーブル張力は誤差 2% 未満，キャンバー変位は残差 8mm 未満となった．また，上弦材の橋軸方向の応力を図 3 に示す．解析値は，支間中央から橋端にかけて，設計値と同傾向の応力分布が再現できた．大規模モデルの解析値は細かく変動しているが，これは添接板や板厚変化による応力変動を捉えているためである．以上から，設計想定の状態を大規模モデル上でも再現し，詳細な残留応力の分布を表現できたと考える．

キーワード 大規模解析，橋梁，耐荷力，鋼斜張橋，並列解析

連絡先 〒212-8582 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 株式会社東芝 研究開発センター TEL 044-549-2331

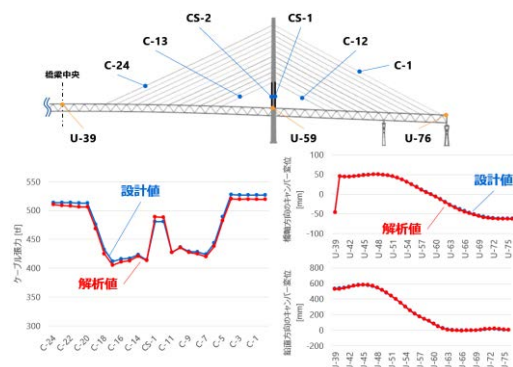


図2 ケーブル張力とキャンバー変位

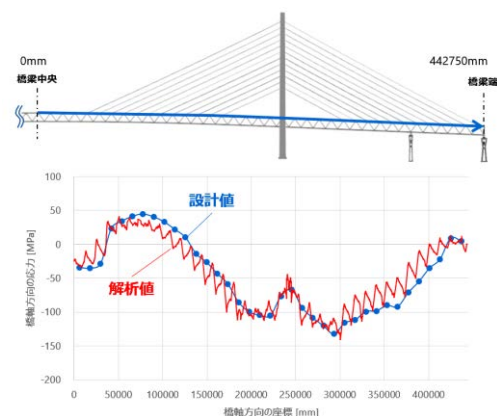


図3 上弦材の橋軸方向の応力

4. 耐力解析の負荷条件

耐力解析では、前節の死荷重に加え、車両荷重を想定した漸増荷重を与えた。漸増荷重は、主塔間の上下路の舗装面に与え、橋軸直角方向の舗装端から 2750mm の舗装面では 300kgf/m^2 、その他の舗装面では 150kgf/m^2 の等分布荷重を基準とした。基準荷重を定数倍漸増し、変位が発散した時点の漸増荷重を耐力力とした。

5. 耐力解析結果

解析の結果、漸増荷重が基準の 8.83 倍に達した時点で変位が発散した。なお、設計時における耐力力照査では基準の 7.3 倍で、主桁支間中央に塑性ヒンジが生ずる崩壊状況が想定されていた。図 4 に解析にて部材の降伏が発生し始めた荷重倍率 5.75 倍と、8.83 倍における降伏領域の分布を示す。支間中央では、上路側の横桁や横リブの接合部から降伏が生じ、荷重増加に伴い鋼床版や上弦材に降伏領域が拡大した。この広域な降伏によって変位が発散したと考える。一方、主塔付近や中間橋脚付近では、斜材に降伏の発生・拡大が見られ、支間中央以外にも局所的な降伏が生じていることを確認した。精緻な大規模モデルを用い、橋梁全体を対象に、局所的な降伏発生から広域に降伏領域が拡大する様子を把握できた。

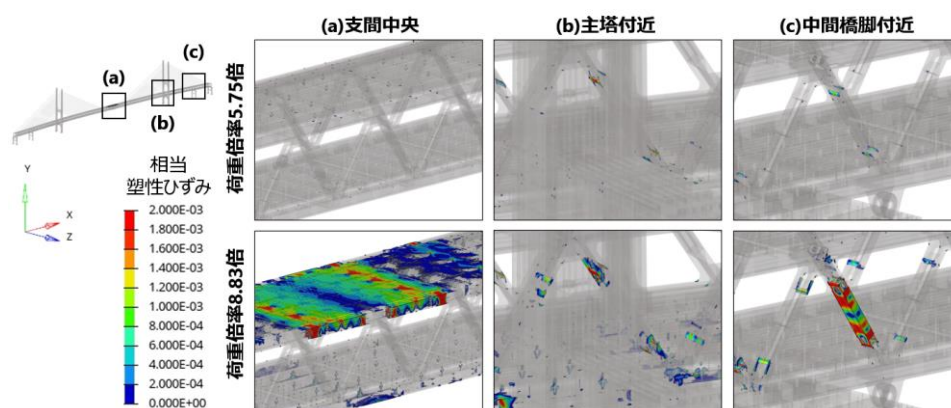


図4 降伏領域の分布

6. まとめ

大規模解析モデルによる、死荷重と車両荷重を想定した漸増荷重による耐力解析を実施した。橋梁全体を精緻にモデル化することで、橋梁全体における局所から広域への降伏領域の拡大状況を把握できることを示した。また、本解析の計算時間は、表 2 の計算環境下で 108 コア並列実行時に 124 時間であった。今後、精緻な大規模モデルの活用として、変位の反映、ならびに耐力力への影響確認等を検討していく。なお、本稿の内容は阪神高速道路(株)と(株)東芝の「大規模解析モデルによる挙動シミュレーションに関する共同研究」の成果の一部である。

参考文献・注釈

- 1) 清水暁央, 久國陽介, 釘宮哲也, 渡部一雄, 久野勝美, 篠原聖二, 赤松伸祐: 大規模解析による鋼斜張橋の車両荷重および温度変化に対する挙動評価, 土木学会構造工学論文集, Vol. 66A, pp. 170-180, 2020.
- 2) ADVENTURECluster™は(株)アライドエンジニアリング社の日本登録商標です。