

超大規模解析モデルを用いた鋼斜張橋の車両荷重作用時の変形解析

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 非会員 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 篠原 聖二
 一般財団法人 阪神高速道路技術センター 正会員 赤松 伸祐

1. はじめに 計算技術の発展により、実世界の製品と全く同じ性質・挙動を示すモデルを計算機上に再現し、設計・製造から保守まで管理する、デジタルツインという概念が工業製品の分野で広まりつつある。本検討は、同概念の社会インフラへの適用、および超大規模解析モデルを活用し、活荷重や温度変化、地震動等の負荷を受ける橋梁の変形や損傷・劣化といった状態推定技術の確立を目的としている。精度の高い状態推定には、センサーによる負荷データの収集に加えて、形状寸法や製作過程といった設計・製造情報をモデルに反映することが重要と考えられる。本検討では、竣工図をそのまま反映した精緻な解析モデル構築に着目し、既存の鋼斜張橋の主構全体を有限要素法モデルとして作成、車両による荷重を作用させた場合の変形解析を行った。

2. 解析モデル 図1に示すように、解析対象は全長885mの鋼斜張橋であり、主塔から2種類のケーブルを、端橋脚・中間橋脚からペンデル支承をそれぞれ介して支持される。本検討では橋梁中央を対称面に橋軸方向の形状対称性を仮定した。モデルの作成フローを図2に示す。まず、竣工図面より主構を構成する各部材を製作し、区間単位で組み立てを行った。続いて、各区間を連結し、最後に主構全体側面のアーチ形状を座標変換にて再現した。このように、実際の橋梁製作・架設過程に近い方法で解析モデルを作成した。メッシュサイズは概ね40mm四方、ケーブル・定着ブロックはソリッド要素、その他はシェル要素とした。本検討では主構に着目し、橋脚および主塔は剛体と仮定した。材料物性値は文献1)を参考に表1のように定めた。材料モデルは全て線形弾性と仮定し、シェル要素に定義する板厚は、竣工図に基づき区間や部材ごとに定義した。作成した解析モデルの規模を表2に示す。要素数は約8400万、

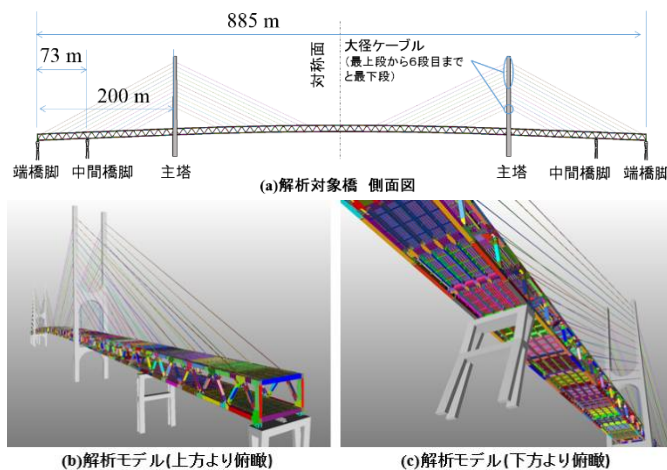


図1. 解析対象橋の全体モデル

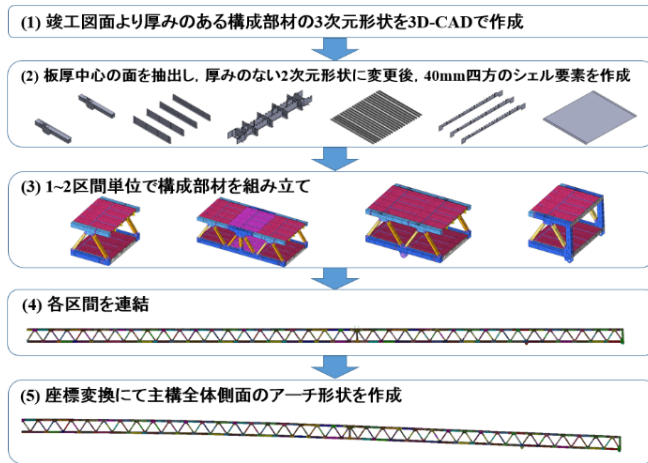


図2. モデル作成のフロー

表1. 材料物性値¹⁾

材料	ヤング率 [MPa]	ポアソン比
鋼材	205000	0.3
アスファルト混合物 ¹⁾ (鋼床板上の舗装80mm)	5000	0.35
ケーブル (大径以外)	97750	0.3
ケーブル (大径)	93310	0.3

表2. 解析モデルの規模

節点数	84,119,925
要素数	84,125,023
部品数 (板厚・材料定義に用いた要素集合数)	4,232
自由度	487,118,982

キーワード 大規模解析, 橋梁, 車両荷重, シェルモデル, 並列計算

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

自由度は約 5 億となった。

3. 解析条件 文献 2) を参考に、図 3 (a) のように車両モデルを設定した。各車輪の接地面(接地長さ×車輪幅)に対し、均等に車両荷重に応じた表面力を加えた。解析上は要素に表面力を作用させることで表現した。車両位置は、橋軸直角方向については図 3 (b) に示す位置に固定し、橋軸方向については荷重ステップごとに端部から中央に向かって位置を移動させた。橋梁の支持は、ケーブルの主塔側端面・主構ペンデル支承接合部にあたる節点群を変位拘束することで表現した。ケーブル端面は全自由度(6 自由度)を、ペンデル接合部はペンデルの回転自由度を除く 5 自由度を拘束した。解析ソルバは分散メモリ型並列構造解析システム ADVENTUREcluster™³⁾ を用い、256 コア並列計算を行った。計算機はベース動作周波数 2.9GHz、1 ノード(2CPUx8 コア)あたりのメモリが 128GB である(Intel Xeon E5-2690)。1 荷重ステップあたりの計算時間は概ね 1 時間、必要メモリは最大 836GB となった。

4. 解析結果 図 4 に車両が橋梁端部から 13m に位置する場合の橋梁の変形断面図を示す。鋼床版が車輪位置を中心にしてたわみ、この鋼床版の面変形に伴い、トラフリブや横桁・横リブが変形し、上弦材の変形に至る様子が確認できた。精緻な橋梁全体モデルの構築により、局所的な変形が橋梁全体に及ぼす影響を評価できるようになった。次に、図 5 (a) に車両各位置における橋梁の変形とたわみ量(橋梁高さ方向変位)のコンター図、(b) に上下弦材と斜材の各格点におけるたわみ量の変化を示す。図 5 (a) に示す(1)端部側～中間橋脚間のペンデル支承とケーブルによって支持される領域、(2)中間橋脚～主塔周辺のケーブルのみで支持される領域、(3)橋梁中央の支持のない領域それぞれで剛性が異なり、特に(3)ではたわみ量が大きくなり、主塔間の全域にわたって変形が生じた。上下弦材と斜材の格点では、区間(1)で最大 1mm、(2)で最大 2mm と大きくなり、(3)では最大 7mm となった。なお、図 4 の変形図から、上下弦材格点でのたわみ量よりも、鋼床版の局所的なたわみ量の方がより大きいことがわかった。

5. まとめ 設計・製造情報を反映できるモデル構築に着目し、鋼斜張橋の主構全体の精緻な有限要素法モデルを作成し、車両荷重を作用させた場合の変形解析を行った。橋梁の各構成部材形状を再現することで、車両荷重によって鋼床版の平面変形が発生し、トラフ

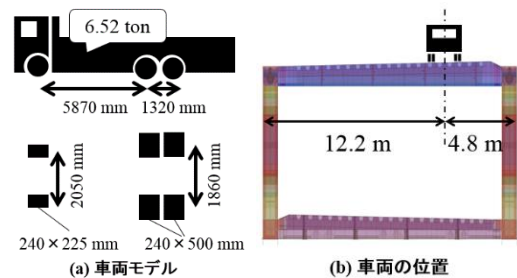


図 3. 車両モデルと車両位置

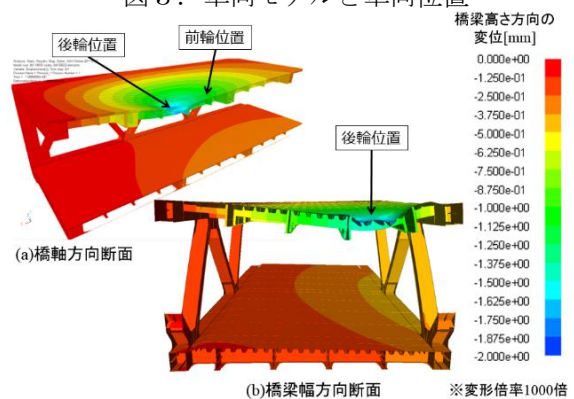


図 4. 橋梁の変形断面図

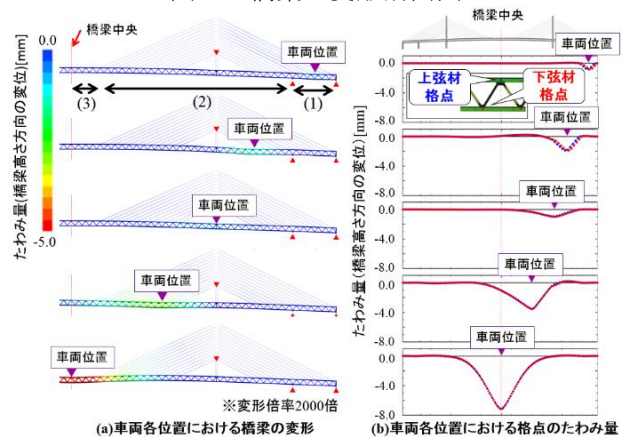


図 5. 車両各位置における橋梁・格点の変形

リブ・横桁を介して上弦材に荷重が伝わる 3 次元的な変形が考慮可能になった。また、本モデルを用いた計算が、256 コア程度の計算機においても十分実行可能であることが示された。なお、本検討は、阪神高速道路(株)と東芝(株)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) 西澤辰男・姫野賢治・佐藤亮一・佐藤育正：鋼床版舗装の構造解析法に関する研究，土木学会論文集，Vol. 44, No. 627, pp. 103-112, 1999.
- 2) 高田佳彦・木代穰・中島隆・薄井王尚：BWIM を応用した実働荷重と走行位置が鋼床版の疲労損傷に与える影響検討，構造工学論文集，Vol. 55A, pp. 1456-1467, 2009.
- 3) 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。