

超大規模有限要素モデルによる鋼斜張橋の車両荷重応答解析と実測による比較検証

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、および超大規模有限要素モデルを活用し、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。本報では、竣工図を精緻に反映した主桁・主塔・橋脚全体の有限要素モデル構築を行い、車両による荷重を作用させた場合の変形解析を実施した。また、鋼斜張橋に車両荷重を加えた場合の応答実測値と比較を行い、有限要素モデルの精度を検証した。

2. 有限要素モデル

鋼斜張橋全体を対象に、主桁はメッシュサイズ 40mm、各橋脚、主塔は 400mm を目安に有限要素モデルを作成した(図 1)。主桁・橋脚・主塔はシェル要素で作成し、ペンデル支承・ケーブル締結ブロック、ケーブルはソリッド要素で作成した。有限要素モデルの規模は、要素数がおおよそ 8300 万、自由度がおおよそ 4.9 億となった。主塔・橋脚と主桁との連結は、剛体梁と線形拘束式を用いて表現した。図 2 左に示すように、リブとペンデルは開口軸(z 軸)周りの回転のみ許容し、それ以外の並進・回転変位が等しくなるように拘束した。一方、ケーブルは締結ブロックの開口中心とケーブル端面の中心の並進・回転変位が等しくなるように拘束した。等方弾性を仮定した各物性値を表 1 に示す。

解析ソルバは ADVENTURECluster™²⁾を用い、256 並列計算を行った。計算機は動作周波数 2.9GHz、1 ノード(2CPU×8 コア)あたりのメモリが 128GB のものを用いた。1 荷重ステップあたりの計算時間は概ね 3.5～4 時間であった。

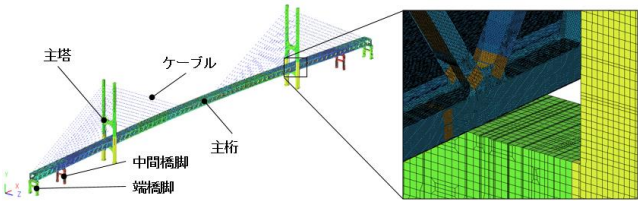


図 1 解析対象橋の全体モデル

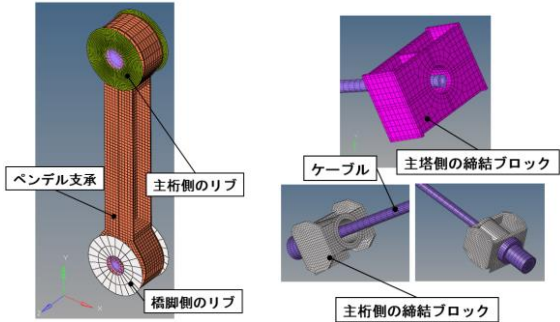


図 2 ペンデル支承と締結ブロックのモデリング

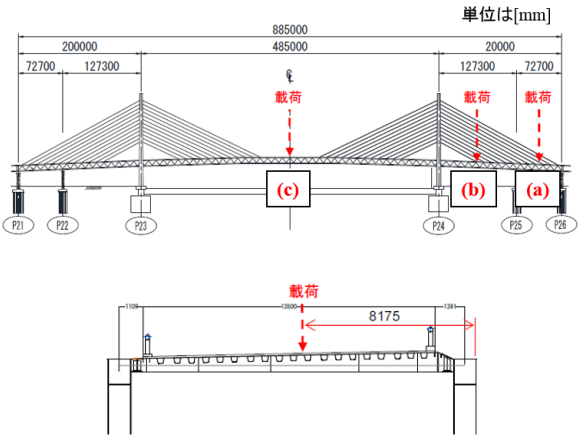


図 3 荷重位置

表 1 解析に用いた物性値¹⁾

基本物性値	ヤング率 [MPa]	ポアソン比
鋼材	205000	0.3
ケーブル	HiAM265 : 97750 HiAM301 : 93310 HiAM367 : 127560	0.3
アスファルト混合物 ¹⁾	5000	0.35

キーワード 大規模解析, 鋼斜長橋, 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 T E L 044-549-2331

3. 載荷条件

図3上に示すように(a)端橋脚-中間橋脚間, (b)中間橋脚-主塔間, (c)主塔間と, 橋軸方向に3か所の載荷位置を設けた. なお, 橋梁幅方向には中央とした(図3下). 載荷は車両重量 20ton の荷重車 1 台または 2 台を用いて行った. 載荷位置と荷重車の位置関係は図4に示す. 載荷による橋梁の変位は, 荷重車が完全に静止した状態で測定を行い, 対応する有限要素解析も静解析として実施した. (a)および(b)位置は直接地上よりレーザー変位計で測定し, (c)位置は評点を設置し, トランシットを用いて測定を行った.

4. 解析結果

各載荷条件における主構格点の鉛直方向変位を図5に示す. 載荷位置を中心に広範囲に変形していることがわかる. また, 載荷位置では荷重方向にたわむ一方で, 載荷位置から離れた位置では荷重方向と逆向きの変位が発生した. 一例として, 載荷位置(c)の全体変形と各測定位置の変位を図6に示すが, 載荷位置の主桁の変形がケーブルを介して主塔に伝わり, 主塔が傾くことで, 載荷位置から離れた主桁をケーブルが引き上げる変形が確認できる. なお, 測定点の変位は荷重車の台数とほぼ線形関係になっている. 図7および表2に実測値と解析値の比較を示す. 図7では縦軸に変位, 横軸に荷重をとった. 全体的に解析値の変形量の方が小さく, 変形量の大きい載荷位置(c)で比較すると, 解析値の変形量は実測値よりも20~30%小さかった. ただし, 荷重車1台から2台への増分(グラフ上の傾きに相当)で比較すると, 実測値が 0.4mm/ton, 解析値が 0.391mm/tonと比較的近い値が得られた. 本結果より, 有限要素モデルは実橋よりも剛性を大きく評価していると考えられる.

5. まとめ

鋼斜張橋全体の精緻な有限要素モデルを用いて, 車両荷重に対する橋梁の応答を計算し, 実測との比較によって解析精度を検証した. 比較から, 有限要素モデルは実橋よりも剛性を大きく評価していると考えられるが, その他の要因を分析した上で, さらなる精度向上を目指す. また, 固有値解析や日照温度変化といった負荷に対する応答予測に本モデルを展開していく.

なお, 本検討は阪神高速道路(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.

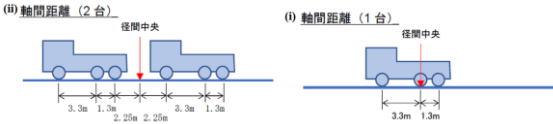


図4 載荷位置と荷重車の位置

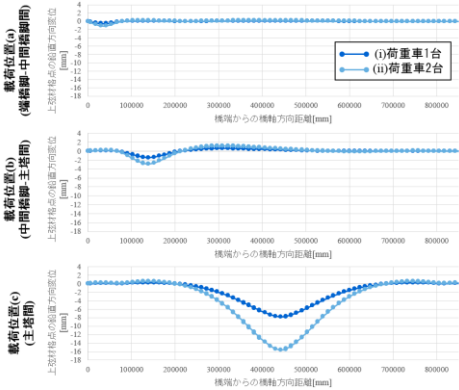


図5 上弦材格点の鉛直方向変位

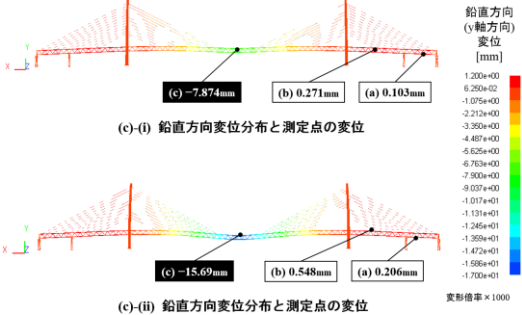


図6 載荷位置(c)主塔間における変形

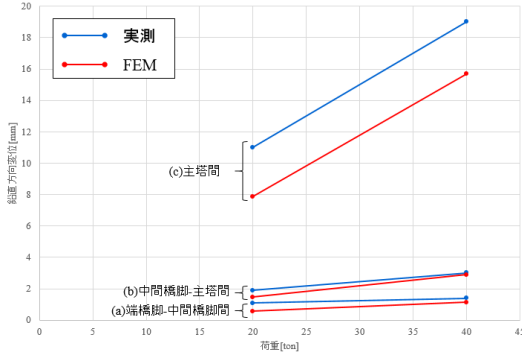


図7 実測値と解析値の比較

表2 得られた実測値と解析値

条件	載荷位置	荷重車台数 [台]	桁の鉛直方向変位 [mm] (地面方向を負とする)		
			実測	FEM	FEM/実測(%)
(a)-(i)	(a)端橋脚-中間橋脚間	1	1.1	0.578	52.5
(b)-(i)	(b)中間橋脚-主塔間	1	1.9	1.476	77.7
(c)-(i)	(c)主塔間	1	11.0	7.874	71.6
(a)-(ii)	(a)端橋脚-中間橋脚間	2	1.4	1.128	80.6
(b)-(ii)	(b)中間橋脚-主塔間	2	3.0	2.903	96.8
(c)-(ii)	(c)主塔間	2	19.0	15.69	82.6

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) 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.