

鉄道車両と構造物との動的相互作用解析の可視化に関する検討

鉄道総研 正会員 曾我部 正道 鉄道総研 フェロー 涌井 一
 鉄道・運輸機構 正会員 青木 一二三 鉄道総研 正会員 松本 信之

1. 目的 近年、コンピューター技術の長足の進歩によって、動力学現象に対する様々なシミュレーション解析が可能となってきた。こうした数値解析における、微小な時間増分ごとの時刻歴データは通常膨大なものとなり、全ての解析結果を俯瞰して、その現象を適切に理解することには多くの困難が伴う。筆者等はこれまで、新幹線車両と鉄道構造物の動的相互作用解析プログラム(DIASTARS)を用いて、車両と構造物との相互作用に関する様々な研究を行ってきたが¹⁾、こうした複雑な連成振動を理解するためには、可視化技術の活用が有効であると考えられる。そこで本検討では、数値解析結果を可視化し、車両及び構造物の全体挙動の把握について試みることにした。

2. 可視化システムの構築 (1)システム構成 通常、ほとんどの有限要素法プログラムには、ある時刻の全体変形図を描かせたり、ワイヤーフレームによる簡易なアニメーションを行う機能等が既に組み込まれている。一方で、近年の映画やゲーム等の分野における Computer Graphics(CG)技術の進歩は極めて著しく、また比較的容易かつ安価にこうした技術の転用が可能となりつつあり、リアルな形状と質感を有した本格的な CG 技術の活用が様々な分野で進みつつある。

図-1 に可視化システムの概要を示す。本検討では、こうした既存の CG 技術を可能な限り利用して、システム構築を図ることとした。具体的には、車両や構造物等のオブジェクトの作成、可視化空間でのオブジェクト配置、カメラ設定、光源指定、レンダリング(描画)、画像圧縮等は、幾つかの既存モジュールを組み合わせて処理することとし、解析結果のモーションキャプチャー、可視化空間座標へ変換、応答の拡大率の調整等を行うモジュールのみを新たに作成した。

(2)車両オブジェクトの作成 DIASTARS では、車体、台車、輪軸等の車両を構成するコンポーネントを剛体質点とみなし、これらをバネやダンパーで結合したモデルを用いている。従って、その解析結果は、剛体オブジェクトの6自由度(線路方向には等速走行)の応答として表される。

図-2 に車両の剛体オブジェクトモデルを示す。通常、有限要素法による動的解析の可視化では、有限要素メッシュをそのまま通常のワイヤーフレームとして表現する方法が一般的であるが、本検討では、車両の各構成要素が剛体質点であることから、別途実車ベースの形状データを作成し、シェーディング表示(陰線消去、陰影、塗りつぶし)により各剛体質点を表現することとした。

車両の形状は、図面に基づきポリゴン(四角形の面要素)を立体的に組合せて作成した。また、各ポリゴンの表面に、着色指定したテクスチャー(画像データ)を貼り付け、オブジェクトを作成した。図の車両のオブジェクトモデルは、車体、台車、輪軸の各剛体オブジェクトから構成されており、1両当たり合計3521のポリゴンを使用している。

オブジェクト表面における質感を表現するために、各ポリゴンに対して、環境光、光沢、反射、透過度、陰影などの特性を、材質に合わせて指定した。

窓や扉などのディテールは、ポリゴンを用いた形状作成を行わず、テクスチャーによるパンプ(凹凸)表現により行い、描画に対する負荷の低減を図った。

(3)構造物オブジェクトの作成 DIASTARS では、構造物は、梁、トラス、シェル、ソリッドなどの有限要素でモデル化され、その応答解析結果は、節点変位により時々刻々と与えられる。可視化においては、必ずしも全有限要素節点の挙動が必要ではないことから、代表的な節点を見極めて、剛体オブジェクトを作成し、これを連結することにより、構造物全体の挙動を表現することとした。

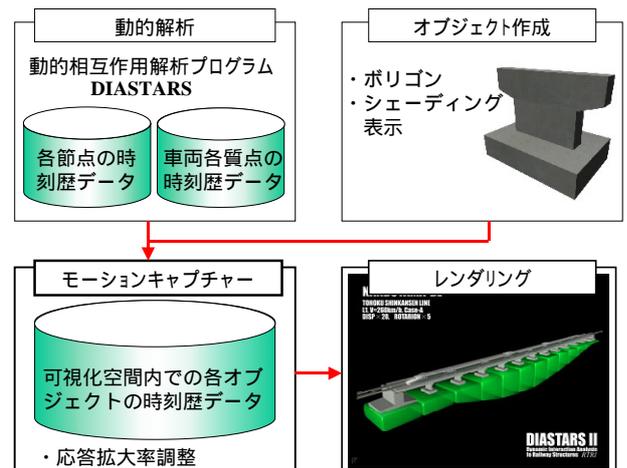


図-1 可視化システムの概要

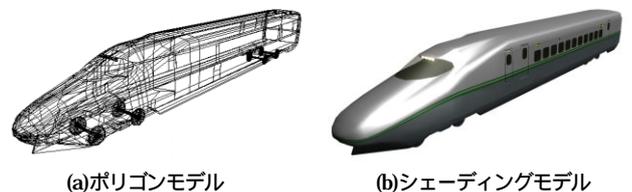


図-2 車両のオブジェクトモデル

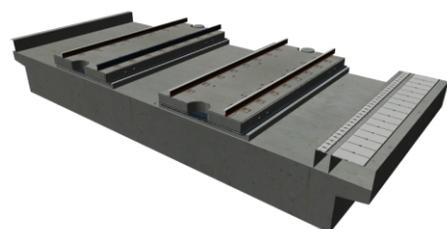


図-3 構造物のオブジェクトモデル

キーワード 動的相互作用解析、可視化、列車走行性

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所 構造力学

TEL 042-573-7290

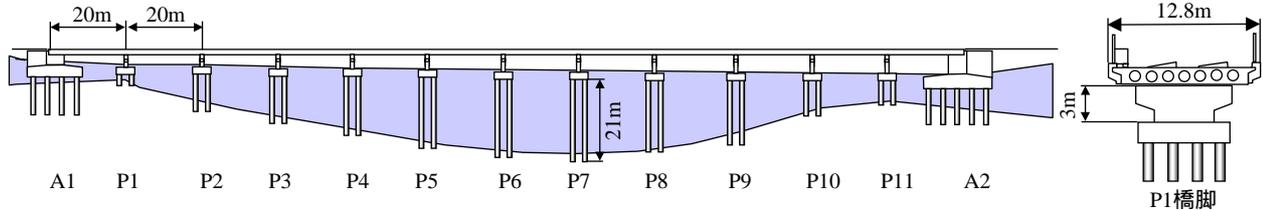


図-4 東北新幹線(八戸～新青森)南部山高架橋(南部山 BL)

図-3 に構造物の有限要素オブジェクトの例を示す。後述する RC 連続桁を 5m 単位の剛体オブジェクトに分割した例である。主桁は数値解析上、梁要素でモデル化しているが、これに対して車両と同様にポリゴンによる剛体オブジェクトを構築した。このオブジェクトの挙動は、5m 区間の重心位置節点の 6 自由度の変位や回転角により表される。

(4) モーションキャプチャー 作成したモーションキャプチャーモジュールにより、DIASTARS により得られる変位応答履歴を、可視化空間座標内での剛体オブジェクト各々のモーションデータに変換する。ただし、車両や構造物の実挙動は、構造物全体の大きさに比べ微小であるため、動的問題の理解のためには、応答を一定比率で拡大する必要がある。そこで、可視化空間座標への変換の過程で、変位や回転角に対して、任意の拡大率を指定できるよう機能を付加した。

(5) レンダリング 各オブジェクトを可視化空間内の初期位置に配置し、それぞれに対してモーションデータを指定した後、低解像度画像を参考に、カメラ配置、光源指定、背景画などを決定する。レンダリング(描画)は、30frame per second(FPS)で 1 フレームづつ静止画を作成することにより行う。フレーム内及び時間方向に画像圧縮をかけて最終的な動画ファイルを得る。

3. 可能化の例 図-4 に示す東北新幹線(八戸～新青森)南部山高架橋(南部山 BL)は、腐植土層が厚く地盤が軟弱な、いわゆる「おぼれ谷」を横切る構造物である。南部山 BL は、12 径間連続 RC ホーロー桁で、桁を連続化し、橋軸直角方向に図-5 に示すようなすべり支承を用いることにより、地震時に地盤及び橋脚の位相差により生じる軌道面の水平角折れを防ぐ構造となっている²⁾。

数値解析では、図-6 に示すように地盤応答解析の結果を橋脚下端の入力値として多点入力している。図-7 に解析結果を示す。図中左列は、カメラを A2 橋台付近に固定したもので、右列は、カメラを車両と併走させたもので、挙動を 20 倍に拡大して表示している。従来であれば複数の時刻歴波形を逐一つき合わせて現象の解明と考察を行う必要があった。一方、本可視化システムを用いれば、車両のロッキングモーション、地盤、橋脚、主桁との複雑な連成振動などを視覚的にかつ容易に瞬時に捉えることができる。

4. まとめ 既存 CG 技術を可能を活用し、新幹線車両と鉄道構造物との動的相互作用現象把握のための可視化システムを構築した。すべり支承を用いた連続桁に関して可能化を行い、複雑な連成振動現象を視覚的に容易に捉えることができた。

参考文献 1) 曾我部正道, 松本信之, 藤野陽三, 涌井一, 金森真, 宮本雅章: 共振領域におけるコンクリート鉄道橋の動的設計法に関する研究, 土木学会論文集, No.724/ -62, pp.83-102, 2003. 2) 山洞晃一: 超軟弱地盤おぼれ谷を 12 径間連続 RC 桁で通過, 日本鉄道施設協会誌, Vol.41, No.9, pp.38 ~ 40, 2003.

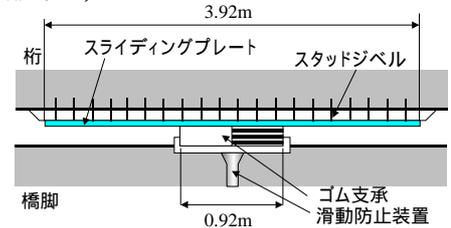


図-5 すべり支承詳細図

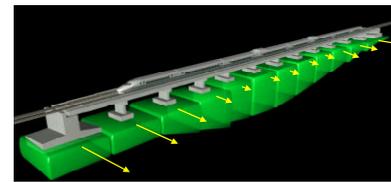


図-6 地震力の入力

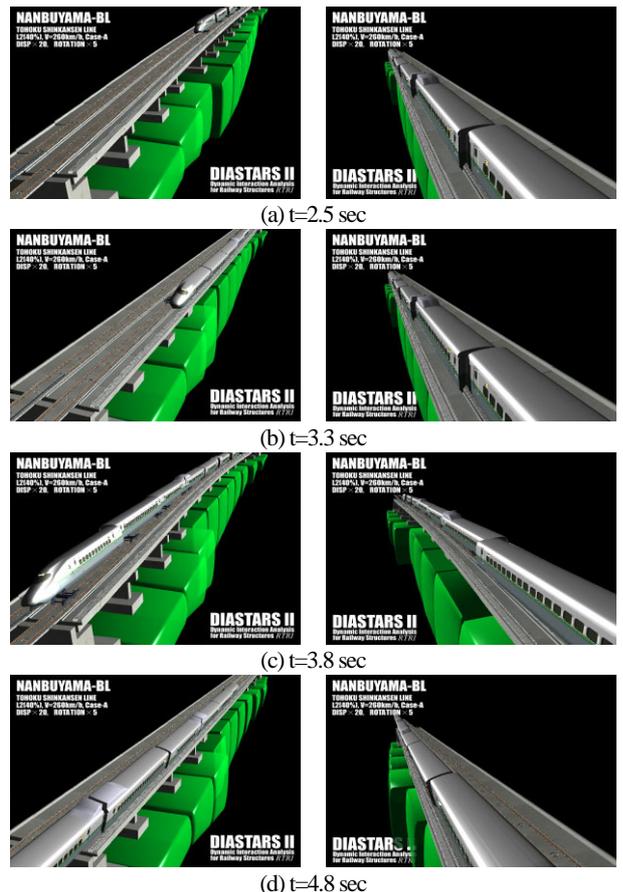


図-7 可視化結果の例