

サブストラクチャー法を用いた移動体と構造物の動的相互作用解析手法の開発

(株)構造計画研究所 正会員 ○矢部 明人

1. はじめに

車両、列車、人といった移動を伴う物体が構造物に力学的作用を及ぼす場合、その作用は、荷重ベクトルとしてモデル化し、そのベクトル移動によって構造物の応答をシミュレーションすることが一般的に行われている。

一方で、列車の高速化、構造物の長大化などの影響で、それら移動物体と構造物との相互作用を無視できないケースも少なからず存在し、様々な研究成果を背景にその応用が進んでいる。

本研究は、古くから地盤-構造物連成系問題で用いられているサブストラクチャー法を、移動物体と構造物の動的相互作用問題へ応用し、その特性について考察したものである。

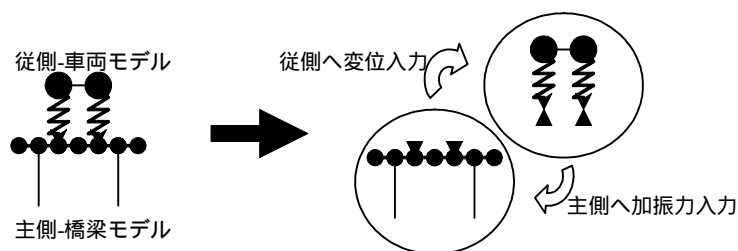


図-1 サブストラクチャー法概念図

2. モデル化および解析手法について

サブストラクチャー法適用にあたり、構造物を主側（メインストラクチャー）、車両等の移動物体を従側（サブストラクチャー）とする。

メインストラクチャー側では、通常の加振力による運動方程式で定式する。（ ）また、サブストラクチャー側では、拘束自由度への強制変位入力による運動方程式で定式化を行う。（ ）

$$\begin{bmatrix} M_{ff} & M_{fg} \\ \text{sym} & M_{gg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_f^t \\ \ddot{u}_g^t \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{ff} & C_{fg} \\ \text{sym} & C_{gg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{u}_f^t \\ \dot{u}_g^t \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{ff} & K_{fg} \\ \text{sym} & K_{gg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_f^t \\ u_g^t \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_f^t \\ R_g \end{Bmatrix} \dots$$

$$\begin{bmatrix} M_{ff} & M_{fg} \\ \text{sym} & M_{gg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_f^t \\ \ddot{u}_g^t \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{ff} & C_{fg} \\ \text{sym} & C_{gg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{u}_f^t \\ \dot{u}_g^t \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{ff} & K_{fg} \\ \text{sym} & K_{gg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_f^t \\ u_g^t \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ R_g \end{Bmatrix} \dots$$

$\ddot{u}_f^t, \dot{u}_f^t, u_f^t$: 非拘束自由度の加速度、速度、変位

$\ddot{u}_g^t, \dot{u}_g^t, u_g^t$: 拘束自由度の加速度、速度、変位

F^t : 動的入力荷重ベクトル（加振力）

R_g : 拘束自由度に発生する支持反力

物体移動を有する動的相互作用問題を解くにあたり、式 1 に示すように、サブストラクチャー法では、取り扱うマトリックスは対称形のみであり、既存の多くのマトリックス解法を幅広く適用が可能である。

キーワード 動的相互作用，移動荷重，サブストラクチャー

連絡先 〒164-0011 東京都中野区中央 4 丁目 5 番 3 号

(株)構造計画研究所 TEL 03-5342-1138

3. 移動のモデル化

メインストラクチャーは,サブストラクチャー()を解いて得られた支持力 R_g を所定の場所に荷重ベクトル F_t として作用させ,1 Step の応答計算を()を使って行う.次に,メインストラクチャー()を解いて得られた応答変位から,サブストラクチャー結合予定位置の変位 u_g を計算し,()を解く.これら一連の応答ステップを繰り返すことによって、時々刻々の物体の移動と動的相互作用をモデル化する.

3. 考察

サブストラクチャー法による物体移動を伴う動的相互作用解法は,一般的な非対称マトリックスを利用する解法よりも計算速度,計算機リソースの面で大変有利である.また,既存の計算ライブラリーを利用できるため,日常使われているパーソナルコンピュータレベルのスペックで計算環境としては十分である.以下に,本計算手法を用いた計算事例とその処理速度等を示す.

表1 計算規模と計算時間

計算自由度	規模	計算条件	計算時間
約 300 自由度	単純梁レベル	10 秒 1/100 秒刻み	約 10 秒
約 5000 自由度	線材多径間高架橋レベル	10 秒 1/100 秒刻み	約 15 分
約 50000 自由度	スラブ桁付複数径間高架橋	10 秒 1/100 秒刻み	約 40 分
約 300000 自由度	PC 梁フルソリッドレベル	10 秒 1/100 秒刻み	約 180 分

CPU クロック...1.5GHz 物理メモリ 1.0GB

3. 課題

サブストラクチャー法では各ストラクチャーごとの釣り合いは担保されるものの,全体系での釣り合いは厳密には担保されない.また,計算刻みにおいても粗い場合には解への影響が現れることがある.

現在なお,実測比較他解の安定性,信頼性に対して実績積み上げを行っている.

4. 今後の開発

サブストラクチャー法ではメイン,サブの2ストラクチャーのみに適応できる手法ではない.多重階層(マルチサブストラクチャー)構造を有する相互作用問題への応用や、各ストラクチャーにおいて非線形を取り入れた手法の開発を進める予定である。