

変位制御用ダンパーを有する高架橋の地震応答解析
—動的サブ・ストラクチャ法の適用—

岡山大学工学部 正員 竹宮宏和
オリエンタルコンサルト 正員 西 陽旋

1. 概要 本研究は、変位制御用装置を有する多径間連続高架橋の橋軸方向の地震時応答性状を、橋台と
の建成において把握することを目的とした。解析対象系は、フレキシブルな高架部とマッシュを橋台と非線形特
性を持つオイルダンパーで連結した連成系で、今回の報告は、このような局所的な非線形系に対する動的サブ
ストラクチャ法の適用を試みにものである。

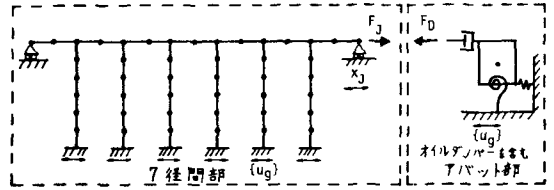


図1 解析対象系

2. 定式化 多径間連続高架部と橋台の連成系の
運動方程式を作成するに当り、まず、それらを図1の
ように一時的に切断してそれぞれサブシステムを
考える。

多径間高架部：通常の有限要素法より 解析対象構造物を
多節点系モデルとし 並進運動が回転より卓越すると、静
的縮合後 $[M](\ddot{x}) + [C](\dot{x}) + [K](x) = \{F\}$ (1)

を得る。ここに $[M]$, $[C]$, $[K]$ は質量、減衰、剛性マトリックス
を表わす。いま 変位ベクトル $\{x\}$ を、地盤との境界点につい
て $\{x_g\}$ 、切断面上の $\{x_j\}$ および内部節点の $\{x_i\}$ に区別する。

従って式(1)は

$$\begin{bmatrix} [M_{jj}] & [M_{ji}] & [M_{jg}] \\ [M_{ij}] & [M_{ii}] & [M_{ig}] \\ [M_{gj}] & [M_{gi}] & [M_{gg}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{x_j\} \\ \{x_i\} \\ \{x_g\} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [C_{jj}] & [C_{ji}] & [C_{jg}] \\ [C_{ij}] & [C_{ii}] & [C_{ig}] \\ [C_{gj}] & [C_{gi}] & [C_{gg}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_j \\ \dot{x}_i \\ \dot{x}_g \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [K_{jj}] & [K_{ji}] & [K_{jg}] \\ [K_{ij}] & [K_{ii}] & [K_{ig}] \\ [K_{gj}] & [K_{gi}] & [K_{gg}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_j \\ x_i \\ x_g \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{F_j\} \\ \{0\} \\ \{F_g\} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

ここで、さらに内部節点変位も、全境界点を拘束した状態下の橋性力による動的変位 $\{x_i^d\}$ と、これらの拘束点
の変位による準静的変位 $\{x_i^s\}$ の和と考える。

$$\{x_i\} = \{x_i^d\} + \{x_i^s\} \quad (3)$$

そして後者は 式(2)の静的釣合方程式を縮合から

$$\{x_i^s\} = [B]\{x_j\} + [Y]\{x_g\} \quad (4)$$

ただし $[B]$, $[Y]$ は変位影響マトリックスで $[B] = -[K_{ij}]^{-1}[K_{ij}]$ $[Y] = -[K_{ij}]^{-1}[K_{ig}]$ と表まる。

式(2)で新たに変位ベクトル $\{\ddot{x}\}^T = \{\{x_j\}^T, \{x_i^d\}^T, \{x_g\}^T\}$ を用い、しかも係数マトリックスが対称性を有するように書き表せ
ば

$$\begin{bmatrix} [M_{jj}] + [B]^T [M_{ii}] [B] & [B]^T [M_{ii}] \\ [M_{ii}] [B] & [M_{ii}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{x_j\} \\ \{x_i^d\} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [B]^T [C_{ii}] & [B]^T [C_{ii}] \\ [C_{ii}] [B] & [C_{ii}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_j \\ \dot{x}_i^d \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [K_{jj}] + [K_{ji}] [B] & [0] \\ [0] & [K_{ii}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_j \\ x_i^d \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{F_j\} \\ \{0\} \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} [B]^T [M_{ii}] [Y] \\ [M_{ii}] [Y] \end{bmatrix} \ddot{x}_g \\ - \begin{bmatrix} [B]^T [C_{ig}] + [B]^T [C_{ii}] [Y] \\ [C_{ig}] + [C_{ii}] [Y] \end{bmatrix} \dot{x}_g - \begin{bmatrix} [B]^T [K_{ig}] \\ [0] \end{bmatrix} x_g \quad (5)$$

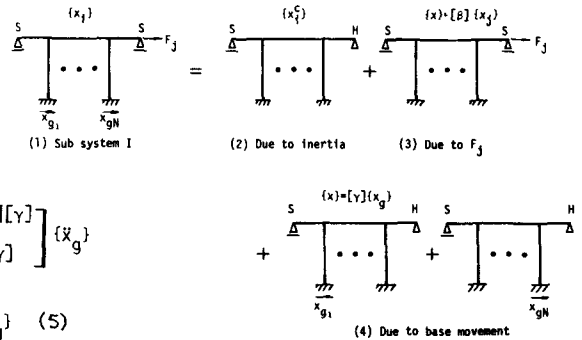


図3 応答の線形重ね合せ

橋台部：橋台を地盤との動的相互作用から剛体2自由度系とモデル化し、運動方程式を絶対座標系で表わすと

$$[M_A](\ddot{x}_A) + [C_A](\dot{x}_A) + [K_A](x_A) = -\{F_D\} + [C_A']x_{gA} + [K_A']x_{gA} \quad (6)$$

ただし $[M_A]$, $[C_A]$, $[K_A]$ は質量、減衰、剛性マトリックスで、地盤バネ定数は埋地盤定数より橋台底加へ調整し、減衰効果は並進・回転それぞれに減衰定数の形で仮定する。

全体系：多径間高架部(式(5))と橋台部(式(6))を 図2に示したオイルダンパーで連結する。その場合前者の拘束系に固有振動モード分解が適用できるものとする。つまり、全体系の運動の自由度を低減を計るため、多径間高架部の代表的な固有モード系と橋台の連成系を作成する。その結果、次式を得る。

$$\begin{bmatrix} [I] \\ [M_{jj}] + [\beta]^T [M_{ij}] [\beta] & [\beta]^T [M_{ij}] [\phi] \\ [\phi]^T [M_{ij}] [\beta] & [I] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} (\ddot{x}_A) \\ (x_j) \\ (q) \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [M_A]^{-1/2} [C_A] [M_A]^{-1/2} \\ [\beta]^T [C_{ij}] [\beta] & [\beta]^T [C_{ij}] [\phi] \\ [\phi]^T [C_{ij}] [\beta] & [2E_{\phi} \omega_{\phi}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} (\dot{x}_A) \\ (x_j) \\ (q) \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [M_A]^{-1/2} [K_A] [M_A]^{-1/2} \\ [K_{jj}] + [K_{ij}] [\phi] & [0] \\ [0] & [-\omega_{\phi}^2] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} (x_A) \\ (x_j) \\ (q) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -[M_A]^{-1/2} (F_D) \\ (F_D) \\ (0) \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} (0) \\ -[\beta]^T [M_{ij}] [\gamma] (x_g) \\ -[\phi]^T [M_{ij}] [\gamma] (x_g) \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} [M_A]^{-1/2} [C_A] (\dot{x}_A) \\ -[\beta]^T [C_{ij}] [\gamma] (x_g) \\ -[\phi]^T [C_{ij}] [\gamma] (x_g) \end{Bmatrix}$$

3. 解析結果 解析例は本州連絡橋の与島高架橋(7径間連続、分数減衰マトリックス)である。図4に拘束系の固有振動モードを、図5に変位影響マトリックスを示す。

図6, 7は HACHINOHE 1968, NS 入力に対する最大応答値で、拘束系の固有モードの使用次数をパラメータにしている。これらの結果より、対象系の応答性状は、高架部の基本振動モードが卓越しており、粘性制御ダンパー10本を設置すると変位応答が10数パーセント低減されること判明した。橋台部は質量が高架部に比べて非常に大きく、高架部からの影響は受けがたい。

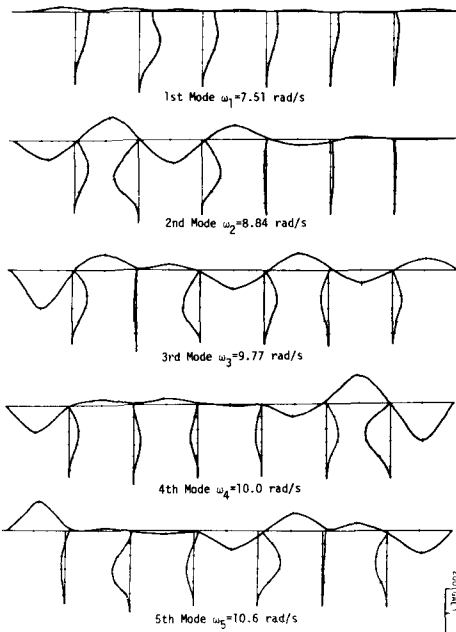
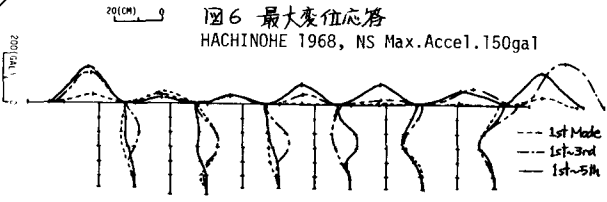
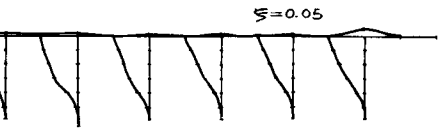
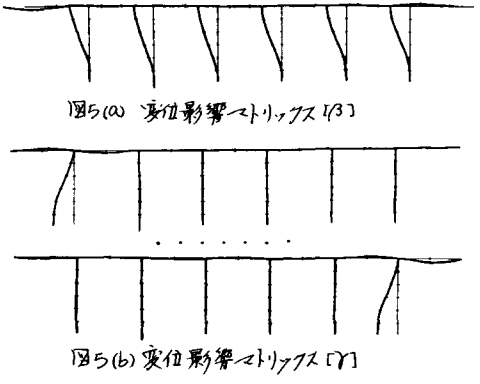


図4 拘束系の固有振動モード



参考文献：竹宮，PC高架橋の耐震設計，昭和55年度研究報告書-本州同連絡橋公団工事建設局委託