

岡山大学大学院 学生員 魚谷 玄太郎
岡山大学工学部 正員 竹宮 宏和

1. まえがき 本研究は、変位制御用ダンパーを有する分散固定方式の多径間連続高架橋の橋軸方向の地震応答性状を把握することを目的とした。解析対象系は、フレキシブルな多径間高架部とマッシブな橋台を非線形特性をもつオイルダンパーで連結した連成系で、解析手法は、動的サブストラクチャ法を適用した。今回の研究は、地震時の変位制御用ダンパー効果を評価したものである。

2. 定式化 図1に示すような全体系の運動方程式を作成するに当たり、まず、図2に示すように、多径間高架部と橋台部に、一時的に切断して、5つのサブシステムに分割する。次に、それぞれのサブシステムにおける運動方程式を作成し、適合条件および平衡条件を考慮して、全体系の運動方程式を得る。

〔多径間高架部〕；通常の有限要素法により、解析対象構造物を多質点モデルと $P(V)F_i$ を作成し、適合条件および平衡条件を考慮して、全体系の運動方程式を得る。

し、また、並進運動が回転運動より卓越するとして、静的縮合を施すと、

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{F\} \quad (1) \quad \text{を得る。}$$

ここに、 $[M]$ 、 $[C]$ 、 $[K]$ は質量、減衰、剛性マトリックスを表わす。ここで、図3、オイルダンパー特性変位ベクトル $\{x\}$ を切断面上の $\{x_1\}$ 、内部自由節点の $\{x_2\}$ および地震動入力点の $\{x_3\}$ に区別する。さらに、内部自由節点変位 $\{x_2\}$ を、全境界点 ($\{x_1\}$ および $\{x_3\}$) を拘束した状態における慣性力による動的変位 $\{x_d\}$ と、これらの拘束点の変位による準静的変位 $\{x_s\}$ との和と考える。 $\{x_2\} = \{x_s\} + \{x_d\} \quad (2)$

準静的変位は、静的つり合い式より $\{x_s\} = [B]\{x_1\} + [r]\{x_3\} \quad (3)$ で表わされる。ただし、 $[B]$ 、 $[r]$ は、変位影響マトリックスで $[B] = -[K_{11}][K_{22}]^{-1}$ 、 $[r] = -[K_{13}][K_{22}]^{-1}$ と求まる。

次に、変位ベクトル $\{x\} = \{\{x_1\}^T \{x_d\}^T \{x_3\}^T\}^T$ 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する。

〔橋台部〕；橋台部は、地盤との動的相互作用を考慮して剛体2自由度（水平並進、回転）系としてモデル化する。絶対座標系における運動方程式は、 $[M_A]\{\ddot{x}_A\} + [C_A]\{\dot{x}_A\} + [K_A]\{x_A\} = \{F_0\} + \{C_A'\}\dot{x}_g + \{K_A'\}x_g \quad (4)$ となる。ただし、 $[M_A]$ 、 $[C_A]$ 、 $[K_A]$ は、それぞれ質量、減衰、剛性マトリックスを表わす。

〔全体系〕；多径間高架部と橋台部を図3に示すような特性を有するオイルダンパーで連結する。この場合、多径間高架部の拘束系において、固有振動モード分解が適用できるものとし、全体系の運動方程式の自由度の低減を計るために、代表的な固有モード系と橋台との連成系を作成する。全体系の運動方程式は次式になる。

$$\begin{bmatrix} [M]_{\text{SUBE-1B4P}} \\ [M]_{\text{SUBI-4}} \\ [M_A]_{\text{SUBE-4P}} \\ [M]_{\text{SUBE-7}} \\ [M_A]_{\text{SUBE-BB1A}} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_A^{\text{SUBE-1B4P}} \\ \ddot{x}^{\text{SUBI-4}} \\ \ddot{x}_A^{\text{SUBE-4P}} \\ \ddot{x}^{\text{SUBE-7}} \\ \ddot{x}_A^{\text{SUBE-BB1A}} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [C_A]_{\text{SUBE-1B4P}} \\ [C]_{\text{SUBI-4}} \\ [C_A]_{\text{SUBE-4P}} \\ [C]_{\text{SUBE-7}} \\ [C_A]_{\text{SUBE-BB1A}} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_A^{\text{SUBE-1B4P}} \\ \dot{x}^{\text{SUBI-4}} \\ \dot{x}_A^{\text{SUBE-4P}} \\ \dot{x}^{\text{SUBE-7}} \\ \dot{x}_A^{\text{SUBE-BB1A}} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [K_A]_{\text{SUBE-1B4P}} \\ [K]_{\text{SUBI-4}} \\ [K_A]_{\text{SUBE-4P}} \\ [K]_{\text{SUBE-7}} \\ [K_A]_{\text{SUBE-BB1A}} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_A^{\text{SUBE-1B4P}} \\ x^{\text{SUBI-4}} \\ x_A^{\text{SUBE-4P}} \\ x^{\text{SUBE-7}} \\ x_A^{\text{SUBE-BB1A}} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_0^{\text{SUBE-1B4P}} \\ F_0^{\text{SUBI-4}} \\ F_0^{\text{SUBE-4P}} \\ F_0^{\text{SUBE-7}} \\ F_0^{\text{SUBE-BB1A}} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} C_A'^{\text{SUBE-1B4P}} \\ C'^{\text{SUBI-4}} \\ C_A'^{\text{SUBE-4P}} \\ C'^{\text{SUBE-7}} \\ C_A'^{\text{SUBE-BB1A}} \end{Bmatrix} \dot{x}_g + \begin{Bmatrix} K_A'^{\text{SUBE-1B4P}} \\ K'^{\text{SUBI-4}} \\ K_A'^{\text{SUBE-4P}} \\ K'^{\text{SUBE-7}} \\ K_A'^{\text{SUBE-BB1A}} \end{Bmatrix} x_g$$

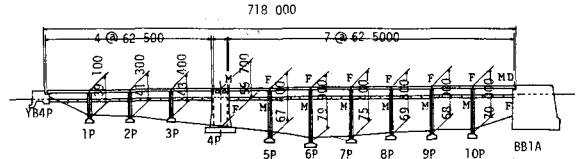


図1. 与島高架橋

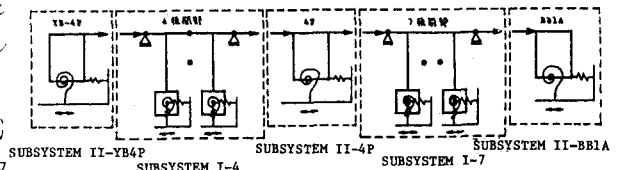


図2. サブシステム化

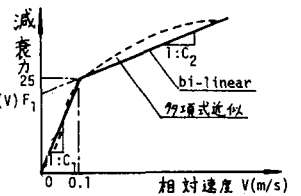


図3. オイルダンパー特性

$$+ \begin{bmatrix} [K]_{\text{SUBE-TOP}} \\ [K]_{\text{SUBI-4}} \\ [K]_{\text{SUBI-4P}} \\ [K]_{\text{SUBI-7}} \\ [K]_{\text{SUBE-BBIA}} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{X_A\}_{\text{SUBE-TOP}} \\ \{X\}_{\text{SUBI-4}} \\ \{X_A\}_{\text{SUBI-4P}} \\ \{X\}_{\text{SUBI-7}} \\ \{X_A\}_{\text{SUBE-BBIA}} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{F_D\}_{\text{SUBE-TOP}} \\ \{F_f\}_{\text{SUBI-4}} \\ \{F_D\}_{\text{SUBI-4P}} \\ \{F_f\}_{\text{SUBI-7}} \\ \{F_D\}_{\text{SUBE-BBIA}} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \{F_f\}_{\text{SUBE-TOP}} \\ \{F_f\}_{\text{SUBI-4}} \\ \{F_f\}_{\text{SUBI-4P}} \\ \{F_f\}_{\text{SUBI-7}} \\ \{F_f\}_{\text{SUBE-BBIA}} \end{Bmatrix} \quad (5)$$

3. 解析結果 解析例は、本四連絡橋の手島高架橋（7径間連続、4径間連続マルチラーメン、分散固定支承形式）である。地盤パネ定数は現地盤定数より算定し、減衰効果は、減衰係数の形で仮定した。入力地震波は、E.L. CENTR0、1940、NSを用い、各橋脚基礎に一樣入力させた。表1は、橋桁部の最大水平応答値である。図4、5は、7径間高架部の最大断面力分布図で、図4は、拘束系および減衰定数を、図5は、オイルダンパー本数をパラメーターにしている。これらの結果より、変位制御用オイルダンパーが設置されていない状態で、単独系（S-Sモデル）および連成系（S-Hモデル）において限界減衰定数の5%を減衰効果として仮定した場合、連成系では、変位影響マトリックス[B]による振動モード（単独系の基本固有振動モードに相当する）に約13%の減衰定数が与えられ、応答変位および断面力に、かなりの差が生じている。ここで、連成系において、[B]による振動モードに対する減衰定数が5%になるようにすると、応答変位および断面力の差は、工学的な許容範囲内にある。よって、動的サブストラクチャ法において、拘束を解除することによ、て生じる振動モードに適切な減衰効果を与える工夫がなされなければならない。4径間高架部と橋脚4Pの間の支承上および7径間高架部と橋台BB/Aの間の支承上に変位制御用オイルダンパー10本設置した場合、7径間高架部の応答変位および断面力は、約25%減少する。橋台BB/Aは、高架部に比べて非常にマッシブであるため、ダンパー設置による高架部からの影響は受けない。4径間高架部の応答変位は、橋脚4Pがあまりマッシブでないため、却って約2%大きくなる。よって、変位制御用オイルダンパーは、7径間高架部と橋台BB/Aにのみ設置するのがよいと言える。

表1 最大水平応答値

E	ND1	ND2	ND3	ND4	1P TOP		3P TOP		5P TOP		7P TOP		10P TOP	
					絶対加速度 (発生時刻)	相対変位 (発生時刻)	絶対加速度 (発生時刻)	相対変位 (発生時刻)	絶対加速度 (発生時刻)	相対変位 (発生時刻)	絶対加速度 (発生時刻)	相対変位 (発生時刻)	絶対加速度 (発生時刻)	相対変位 (発生時刻)
E ₁	なし	10	なし	10	113.79 (3.16)	3.46 (5.50)	115.89 (3.54)	3.51 (5.52)	81.24 (2.46)	7.39 (4.96)	54.63 (5.64)	7.62 (4.96)	126.00 (4.56)	7.81 (4.96)
E ₂	なし	10	なし	10	126.74 (3.10)	4.11 (6.12)	128.22 (3.16)	4.08 (6.12)	83.88 (2.46)	9.76 (4.92)	60.69 (5.64)	9.90 (4.92)	127.22 (4.56)	10.02 (4.96)
E ₃	なし	なし	なし	なし	93.91 (6.04)	4.14 (6.06)	94.55 (6.04)	4.16 (6.06)	78.36 (11.82)	13.55 (11.82)	78.42 (11.82)	13.53 (11.72)	78.29 (11.82)	13.49 (11.72)
E ₄	なし	0	なし	0	182.45 (4.46)	3.38 (5.50)	186.41 (4.54)	3.46 (5.46)	91.61 (3.30)	8.67 (4.92)	59.00 (5.64)	8.73 (4.94)	161.19 (3.16)	9.06 (4.94)
E ₅	なし	0	なし	0	149.77 (3.74)	3.98 (6.06)	160.90 (3.82)	3.99 (6.08)	98.65 (8.94)	13.32 (11.74)	81.80 (11.82)	13.33 (11.74)	162.99 (3.16)	13.47 (11.72)

ND1: 橋脚（YB-4Pと4径間橋）ダンパー本数
ND2: 橋脚（4径間橋と4P）ダンパー本数
ND3: 橋脚（4Pと7径間橋）ダンパー本数
ND4: 橋脚（7径間橋とBB-1A）ダンパー本数
INPUT DATA EL.CENTRO MAX150gal
5次モードまで採用
なし: 非拘束
0: 拘束解除

絶対加速度 gal
相対変位 cm
発生時刻 sec

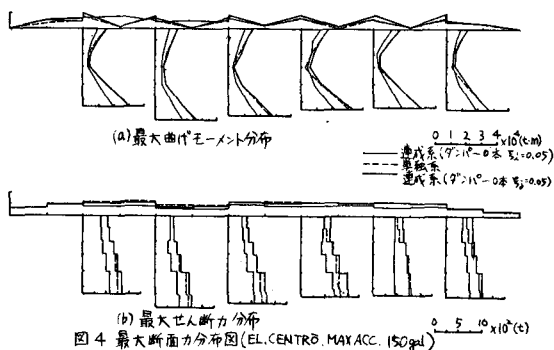


図4 最大断面力分布図(EL.CENTRO, MAX.ACC. 150gal)

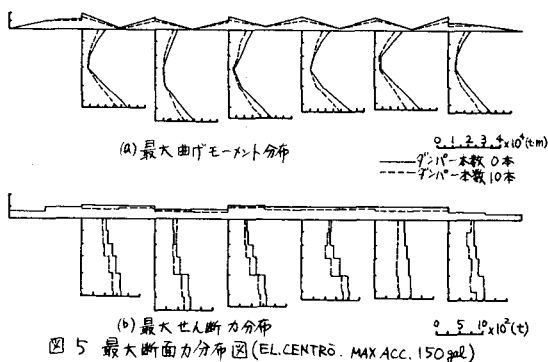


図5 最大断面力分布図(EL.CENTRO, MAX.ACC. 150gal)

[参考文献] 竹宮、堀山、西；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— 第17回地震工学研究発表会講演概要、昭和56年7月、PP 301-304