

岡山大学工学部 正員 竹宮 宏和
 岡山大学大学院 学生員 ○魚谷 広太郎
 佐伯建設工業 竹内 純

1. まえがき 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、橋台との連成系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ブな橋台を非線形特性を持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。今回の報告は、地震時の変位制御用オイルダンパー効果を評価したものである。

2. 定式化 図1に示すような多径間高架部と橋台とから成る全体系の運動方程式を作成するにあたり、図2に示すように、一時的に切断して、5つのサブシステムに分割する。まず、これらそれぞれのサブシステムにおける運動方程式を作成し、次に、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、変位ベクトル $\{x\}$ を地震動入力点の $\{x_g\}$ 、切断面上の $\{x_i\}$ および内部自由質点の $\{x_n\}$ に区別すると、式(1)は次式で表わされる。

$$\begin{bmatrix} [M_{ii}] & [M_{in}] & [M_{ig}] \\ [M_{ni}] & [M_{nn}] & [M_{ng}] \\ [M_{gi}] & [M_{gn}] & [M_{gg}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{x_i\} \\ \{x_n\} \\ \{x_g\} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [C_{ii}] & [C_{in}] & [C_{ig}] \\ [C_{ni}] & [C_{nn}] & [C_{ng}] \\ [C_{gi}] & [C_{gn}] & [C_{gg}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\dot{x}_i\} \\ \{\dot{x}_n\} \\ \{\dot{x}_g\} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [K_{ii}] & [K_{in}] & [K_{ig}] \\ [K_{ni}] & [K_{nn}] & [K_{ng}] \\ [K_{gi}] & [K_{gn}] & [K_{gg}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{x_i\} \\ \{x_n\} \\ \{x_g\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{F_i\} \\ \{0\} \\ \{F_g\} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

さらに、内部自由質点変位 $\{x_n\}$ を、全境界点($\{x_i\}$ および $\{x_g\}$)を拘束した状態における慣性力による動的変位 $\{x_n^d\}$ と、これらの拘束点の変位による準静的変位 $\{x_n^s\}$ の和と考える。 $\{x_n\} = \{x_n^d\} + \{x_n^s\}$ (3)

準静的変位は、式(2)の静的つり合い式より $\{x_n^s\} = [\beta]\{x_i\} + [\gamma]\{x_g\}$ (4) で表わされる。

ただし、 $[\beta]$ 、 $[\gamma]$ は変位影響マトリックスで $[\beta] = -[K_{ni}]^{-1}[K_{ij}]$ 、 $[\gamma] = -[K_{ni}]^{-1}[K_{ig}]$ と求まる。

式(2)で新しく、変位ベクトル $\{x^r\} = \{\{x_i\}^T \{x_n^d\}^T \{x_g\}^T\}^T$ 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次式で表わされる。

$$[M_h]\{\ddot{x}_h\} + [C_h]\{\dot{x}_h\} + [K_h]\{x_h\} = \{F_h\} + \{C_h'\}\dot{x}_{gn} + \{K_h'\}x_{gn} \quad (5)$$

ただし、 $[M_h]$ 、 $[C_h]$ 、 $[K_h]$ は質量、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もつ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、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で与えられる。

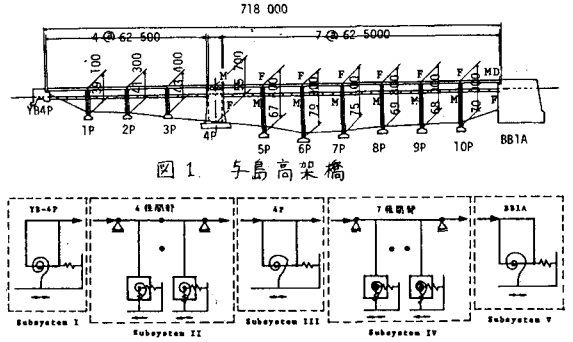


図1. 多島高架橋

図2 サブシステム化

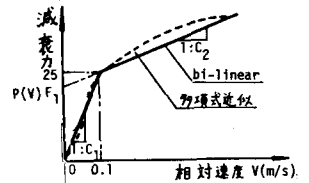


図3 オイルダンパー特性

$$\begin{bmatrix} [M]_{sub I} \\ [M]_{sub II} \\ [M]_{sub III} \\ [M]_{sub IV} \\ [M]_{sub V} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{x\}_{sub I} \\ \{x\}_{sub II} \\ \{x\}_{sub III} \\ \{x\}_{sub IV} \\ \{x\}_{sub V} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [K]_{sub I} \\ [K]_{sub II} \\ [K]_{sub III} \\ [K]_{sub IV} \\ [K]_{sub V} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{x\}_{sub I} \\ \{x\}_{sub II} \\ \{x\}_{sub III} \\ \{x\}_{sub IV} \\ \{x\}_{sub V} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [C]_{sub I} \\ [C]_{sub II} \\ [C]_{sub III} \\ [C]_{sub IV} \\ [C]_{sub V} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{x\}_{sub I} \\ \{x\}_{sub II} \\ \{x\}_{sub III} \\ \{x\}_{sub IV} \\ \{x\}_{sub V} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \{F_D\}_{sub I} \\ \{F_D\}_{sub II} \\ \{F_D\}_{sub III} \\ \{F_D\}_{sub IV} \\ \{F_D\}_{sub V} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \{F_g\}_{sub I} \\ \{F_g\}_{sub II} \\ \{F_g\}_{sub III} \\ \{F_g\}_{sub IV} \\ \{F_g\}_{sub V} \end{bmatrix} \quad (6)$$

3、解析結果 解析例は、本四連橋の与島高架橋（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。地盤バ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。表1は、最大水平応答値である。図4、5は、7径間部の最大断面力分布図で、図4は、拘束系を、図5は、オイルダンパー本数をパラメーターにしている。これらの結果は、EL.CENTRO、1940、NS、同時入力に対するものである。これらの結果より、7径間高架部は、オイルダンパー10本で橋台BB-1Aと連結することにより、応答変位および断面力が10数パーセント低減する。橋台BB-1A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径間高架部は、橋台4Pとダンパー10本で連結する場合、橋台4Pがあまりマッシブでないため、応答変位は約2パーセント大きくなる。式(2)における[C_{xi}]は、拘束系の固有振動モードより求め

表1 最大水平応答値

ND1	ND2	ND3	ND4	1P TOP		3P TOP		5P TOP		7P TOP		10P TOP	
				絶対応答値 (発生時刻)	相対応答値 (発生時刻)	絶対応答値 (発生時刻)	相対応答値 (発生時刻)	絶対応答値 (発生時刻)	相対応答値 (発生時刻)	絶対応答値 (発生時刻)	相対応答値 (発生時刻)	絶対応答値 (発生時刻)	相対応答値 (発生時刻)
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)	7.59 (4.96)	54.63 (5.64)	7.62 (4.96)	126.00 (4.56)	7.81 (4.96)
0	10	0	10	139.84 (3.22)	4.21 (6.14)	117.54 (6.20)	4.20 (6.16)	89.16 (5.12)	10.70 (4.94)	63.72 (4.72)	10.75 (4.94)	115.18 (2.46)	10.65 (4.96)
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)
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)
0	0	0	0	130.51 (3.22)	3.96 (6.12)	110.57 (6.06)	4.01 (6.08)	125.61 (11.90)	18.80 (11.76)	104.43 (11.84)	18.61 (11.76)	139.75 (11.78)	18.80 (11.76)

ND1: 橋脚(YB-4Pと4径間部)ダンパー本数
 ND2: 橋脚(4径間部と4P)ダンパー本数
 ND3: 橋脚(4Pと7径間部)ダンパー本数
 ND4: 橋脚(7径間部と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

絶対応答値 gal
 相対応答値 cm
 発生時刻 sec

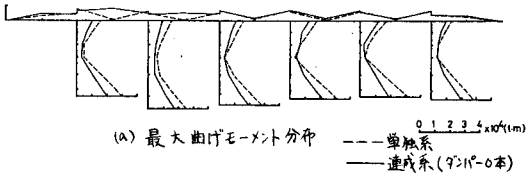


図4 最大断面力分布図 (EL.CENTRO, MAX ACC.150gal)

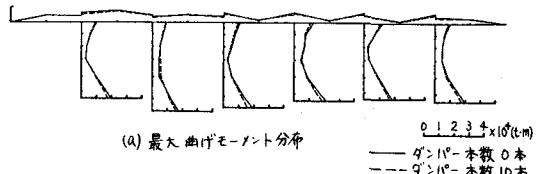


図5 最大断面力分布図 (EL.CENTRO, MAX ACC.150gal)

[参考文献] 竹宮、福山、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、PP301-304