

宮崎大学 工学部 正員 堤 一
 宮崎大学 工学部 正員 横田 義
 宮崎大学 工学部 正員 〇瀬崎 希弘

1. まえがき ディビダーク工法によるPCCコンクリート橋の建設途中において、桁が隣接なものと連結されていない状態は、とくに地震時に不安定である。本研究は、このような状態を対象として、実物の振動実験、地盤の載荷試験を行い、得られたデータを用いて、地盤の復元力に非線形性を考慮した応答解析を行い、この構造物の転倒に対する安全性を解析したものである。対象とした橋は、宮崎市の新橋橋で、図-1に示されるような両張り出し桁(以下単体とよぶ)を連結した全長389 mの6径間連続PC箱桁橋である。ピアの基礎は、第三紀の宮崎層群(泥岩と砂岩の互層)に対しての直接基礎で、大きさは、7×11 mである。

2. 振動実験結果とモデル化 起振機による振動実験より、求められた単体の固有振動数は、上下方向については、1次が1.21 Hz(ロッキング1次)、2次が2.73 Hz(片持梁1次)、3次が9.15 Hz(片持梁2次)、橋軸方向については、1次と2次が上下方向と同じで、3次が3.78 Hzである。橋軸直角方向は、1次が1.79 Hz(水平面内ねじり)、2次が3.39 Hz(河流方向ロッキング)、3次が8.54 Hz(床版のねじり)である。

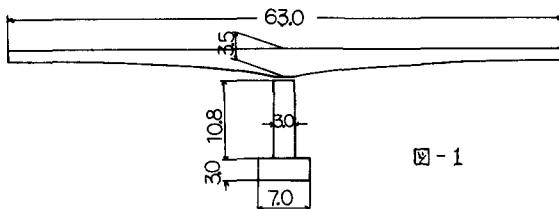


図-1

地震に対して最も心配されるロッキング振動の1次振動数は、1.21 Hzと比較的小さい値である。

単体のロッキング振動を表現するために、図-2のようなモデルを考へる。すなわち、単体の全質量を重心Gに集中させ、base(A)はその底面が実物と等しい大きさをもつ質量のない剛板であり、これと支点mと結ぶバネも無限大の剛性をもつものとする。

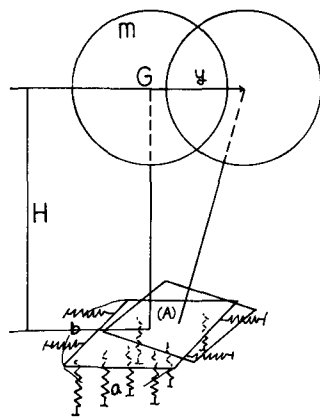


図-2

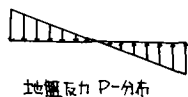
地盤反力に関しては、図-3に示すような反力分布およびbi-linear型の復元力特性を仮定する。として、上下方向に20本のバネ、水平方向に2本のバネを考へる。第1勾配長(R_v, R_H)は、以下のように決定した。図-2のモデルの1次振動であるロッキング振動の1次振動($\tau = 1.21$ Hz)は、そのモードから判定してbase中心軸まわりのロッキング振動とみなしてよく、次式が成立する。

$$R = (2\pi\tau)^2 J_0 / I_0 \quad J_0, I_0: \text{base 中心軸まわりの慣性モーメントおよび同断面2次モーメント}$$

上式に、 $\tau = 1.21$ Hzの実験結果を代入すると、 $R_v = 20.39 \text{ kg/cm}^3$ となる。同様に $\tau = 1.79$ Hz(水平面内ねじり振動)より、 $R_H = 8.14 \text{ kg/cm}^3$ となる。次に、降伏点 σ_y は、載荷試験より0.5 cmとし、第2勾配長は、安全という意味で $1/1000 \times R$ とした。以上の仮定に基づき、単体のロッキング振動に関する運動方程式は、橋軸方向を代表すると、次式で表わされる。

$$\begin{cases} m(\ddot{x} + H\ddot{\theta}) + C_1\dot{x} + a\theta R_H(x) = -m\ddot{z} \\ J_0\ddot{\theta} + C_2\dot{\theta} + b \int_{-\theta}^{\theta} R_v(\eta) d\eta - a\theta R_H(x)H = 0 \end{cases} \quad (1)$$

ただし、 $x = y - H\theta$ 、 y : 質点 m の水平変位、 θ : base の回転角、
 H : base から質点 m までの距離、13.16 m、 $m = 250.33 \text{ tsec}^2/\text{m}$ 、
 C_1, C_2 : 減衰係数、 J_0 : 重心まわりの慣性モーメント、69430.6 tsec^2/m 、
 a : base の巾、7.0 m、 b : base の奥行、11.0 m、
 $\ddot{z}$: 地動の加速度



地震反力 P -分布

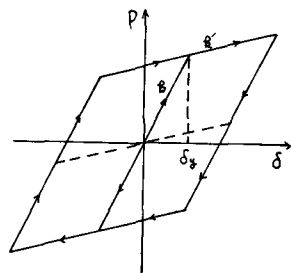


図-3

3. 等価線形および入力 $\ddot{z}$ 今、すべてのバネの変位が、 δ_y 0.5 cm を越える時を、この構造物が転倒したとする。その時の base edge のバネの変位は 9.5 cm となる。という非線形結果と比較検討する等価線形 (バネ定数 k) を、次のように考える。等価線形と非線形におけるバネのエネルギーの総和が等しくなるように、バネ定数 k を決定する。その時 $k = 2.86 \text{ kg/cm}^2$ となる。入力 $\ddot{z}$ については、以下の通りとする。

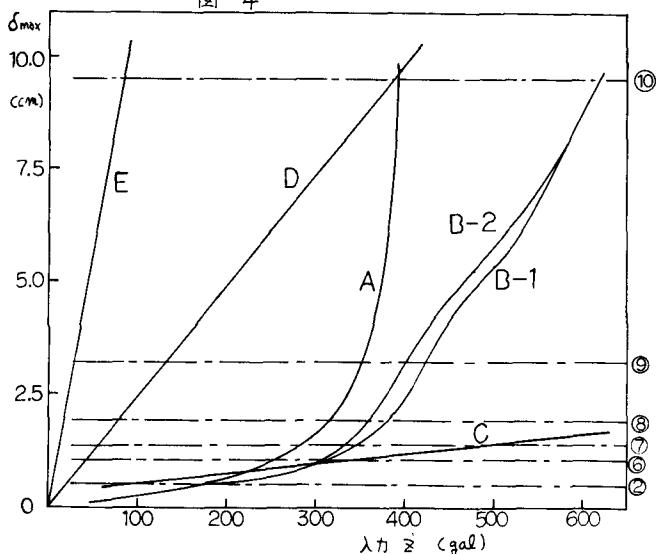
(A) step 荷重 $\ddot{z} = \ddot{z}_0$ ($0 \leq t \leq t_0$)、 $\ddot{z} = 0$ ($t > t_0$)

(B) 等価線形の第1次固有振動数 f_0 ($= 0.442 \text{ Hz}$) での共振 $\ddot{z} = \ddot{z}_0 \sin 2\pi f_0 t$ ($0 \leq t \leq t_0$)、 $\ddot{z} = 0$ ($t > t_0$)

(C) 地震波 (エルセントロ 1940 N-S 成分)

4. 解析結果 式(1)を減衰を無視して幾何加速度法により解析した結果が、図-4 に示されている。図中は、前述の (A), (B), (C) の入力に対する base edge の上下方向の変位の最大値 $\delta_{\max}$ を示すものである。図中 A-line は、(A) の step 荷重に対する解、B-1、B-2-line は、いずれも (B) の共振三波に対する解、C-line は、(C) のエルセントロの地震波に対する解で、ここでは、N-S 成分を 10 秒間隔巾を種々変えて入力したものである。B-1-line は三波のうち、最初の一波の間の $\delta_{\max}$ であり、B-2-line は、三波の中での $\delta_{\max}$ である。B-1、B-2-line が重なっている部分は、三波の間の $\delta_{\max}$ が、第一波にあることを意味している。図中の ⑩, ⑨, ⑧, ..., ② という数字は、 δ_y を越えているバネの本数を意味している。例えば、⑩-line は、 $\delta_{\max} = 9.5 \text{ cm}$ の場合で、ここでは、バネのすべてが δ_y を越えて転倒を起こしている。図より転倒は共振三波に対して $61.5 \text{ gal} \sin 2\pi f_0 t$ ($f_0 = 0.442 \text{ Hz}$) の入力に対し、第一波中では起っている。step 荷重では、 $\ddot{z}_0 = 391 \text{ gal}$ の入力に対して起っている。エルセントロ地震波に対しては、転倒は起こりえないが、500 gal のエルセントロに対し、7割のバネが δ_y を越えていることが認められる。

図-4



一方、等価線形の場合の応答は、D、E-line で表わされている。D-line は step 荷重に対する解であり、E-line は、共振三波に対する解である。これより、step 荷重の場合は、 $\ddot{z}_0 = 391 \text{ gal}$ で転倒が起き、これは非線形解析の場合と全く同一となる。共振三波では、わずか 85 gal で転倒が起っている。

5. 終りに 変形の大きい振動においては、非線形解析の有用性が認められた。