

京都大学工学部 正会員 亀田弘行
能谷組 正会員の故本政雄

1. まえがき 橋梁のような、水平方向に大きな寸法を持つ構造物の地震応答を考える場合、一様な入力地震動を用いることは現実的ではなく、橋脚地点による地震動の位相差、地盤条件の変動などの影響により、一様な入力の場合とは異なる応答特性を示すと考えられる。この問題では、小坪・原田はディビダーク橋を対象に、また青柳は吊橋を対象として、各橋脚地点で地震動に位相差がある場合の応答性状を検討し、一様な入力では現れない振動モードが励起され、応答が増大する場合のあることを指摘している。また、広瀬・伊藤・小柳・山原は、建築構造について同様の研究を行なっている。本報告は、3スパン連続桁橋を対象に同様の観点から検討を加えたものであるが、特に以下の点を重視して研究を行なった。1) 各橋脚からの入力地震動の卓越振動数を変化させることにより、地盤条件の変化の影響を調べる。2) 地盤条件と地震動の位相差の二つのパラメータによって、橋桁の応答が受ける影響を詳細に検討する。3) 応答の一般的性状を系統的に把握するため、定常不規則過程入力に対する r. m. s. 応答に注目し、応答量としては桁のたわみおよび曲げモーメントを扱う。4) ここでは橋桁の鉛直方向の応答に注目し、地震動としては上下成分のみを考慮する。

2. 連続桁橋および地盤のモデル化 本研究では、図-1 のような3スパン連続桁橋を対象として解析を行なった。振動モデルとしては、図4に示すような36自由度の集中質量系を採用する。各質点の重量および桁の剛性を表-1に示した。橋脚を支持する地盤のばねは、橋脚底面における鉛直地盤係数を $K_v = 5 \sim 100 \text{ kg/cm}^3$ の範囲で変化させて算出した。図-2に $K_v = 5 \text{ kg/cm}^3$ の場合の振動モードの一部を示した。1次～6次では桁のみの振動が卓越し、7次、8次では橋脚の振動が目立つようになる。減衰は各モード毎に与えたが、各モードの一般化質量のうち、桁の占める割合が橋脚のそれより大きい場合には減衰定数を2%、逆の場合には10%とした。入力地震動は、white noise $\dot{z}(t)$ が基盤から入射し、表層のフィルター作用を受けて橋脚底部から作用するものとした。表層の動的特性は、各橋脚地点で独立した線形1自由度系とし、加速度入力 $\ddot{z}(t)$ に対する絶対加速度応答と橋脚への入力とした。さらに $\dot{z}(t)$ は見かけ上ひたす速度で橋軸方向に伝播するものと考ええる。

3. 位相差をもつ不規則入力に対する応答

前節で設定した連続桁橋および地盤のモデルに対し、基盤から white noise が入射した場合の橋桁上の点 i の動的変位の自乗平均応答は次式で表わされる。

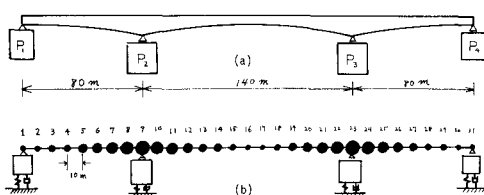


図-1 連続桁橋のモデル化

橋脚番号	重量 (ton)	断面積 (m^2)
P_1, P_4	6000	160
P_2, P_3	7500	160

表-1
振動モデルの諸元

質点番号	重量 (ton)	断面積 (m^2)
1, 31	61.0	0.507
2, 30	122.5	0.534
3, 29	128.0	0.684
4, 28	129.0	0.828
5, 27	133.5	1.294
6, 26	135.0	1.763
7, 25	142.0	2.496
8, 24	148.0	3.637
9, 23	149.0	3.568
10, 22	148.0	2.358
11, 21	142.0	1.730
12, 20	134.0	1.166
13, 19	133.0	0.936
14, 18	132.0	0.722
15, 17	128.0	0.666
16	127.5	

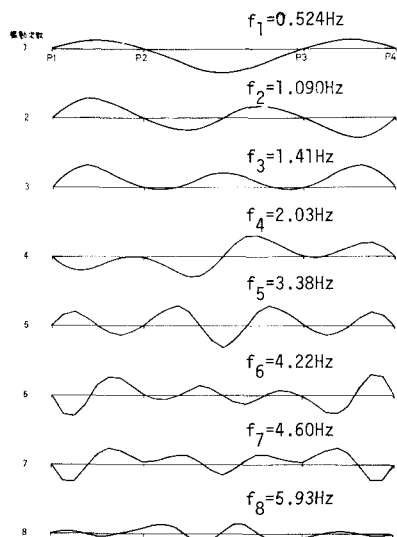


図-2 振動モード ($K_v = 5 \text{ kg/cm}^3$)

$$x_i^{M.S.} = \sum_r \sum_g \phi_{ir} \phi_{is} \sum_p \sum_g \phi_{pr} \phi_{gs} M_p M_g \sum_k \sum_l D_{pk} D_{gl} I_{rskl} \quad \text{----- (1)}$$

$$\text{ただし, } I_{rskl} = S_0 \int_0^\infty H_r^*(\omega) H_s(\omega) H_{gk}^*(\omega) H_{gl}(\omega) e^{-i\omega \tau_{kl}} d\omega \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 ϕ_{ij} は modal matrix の ij 要素、 M_i は i 番質点の質量、 D_{pk} は入力ベクトル $\{z\}$ に対して静的変位を与える影響係数行列の pk 要素、 $H_i(\omega)$ は i 次モードの周波数応答関数、 $H_{gj}(\omega)$ は j 番の橋脚地点での基礎入力に対する表層の周波数応答関数、 τ_{kl} は、 l, k 橋脚間での地震波の伝播に要する時間、 S_0 は基礎から入射する white noise のパワースペクトルを表す。同様の議論より桁の曲げモーメントの自乗平均応答を算出したが、その表示式は省略する。

4. 数値計算結果

(1) 地盤の振動特性が一様な場合

図-3は、表層の固有振動数の種々の値に対する、桁の変位と曲げモーメントの自乗平均を示す。変位と曲げモーメントでは卓越するモードが異なるため、最大応答を与える f_g が異なるのがわかる。図-4は各モードの影響を表わしており、変位では1次、曲げモーメントでは3次の影響が強いことがわかる。図-5は橋脚間の地震波の伝播速度 v の影響を表わしており、 v が小さいほど応答が大きい。これらの応答の最大値をとって、 v, f_g の影響を系統的に示したのが図-7である。変位の傾向は図-5と同様であるが、曲げモーメントでは、 f_g によって、 v とともに増加、減少両様の傾向が見られる。これは、 f_g によって各モードの貢献度が異なるためと考えられる。

(2) 地盤の振動特性が変化する場合

図-6に、表層の固有振動数が場所的に変化する三つの場合について自乗平均応答を示した。場合によって変位応答がかなり異なること、曲げモーメントでは卓越するモードが異なることがわかる。図-8は、これら三つの場合について図-7と同様に図示したものである。ケースにより、また v によって、応答がかなり

複雑に変化する
ことがわ
かる。

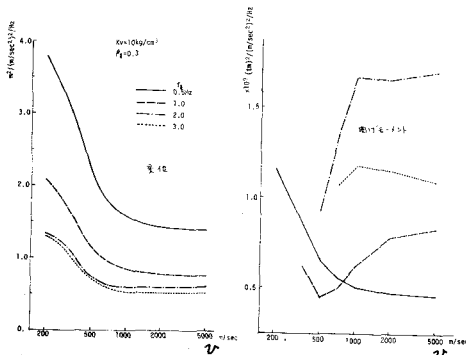


図-7 桁の最大自乗平均応答(1)

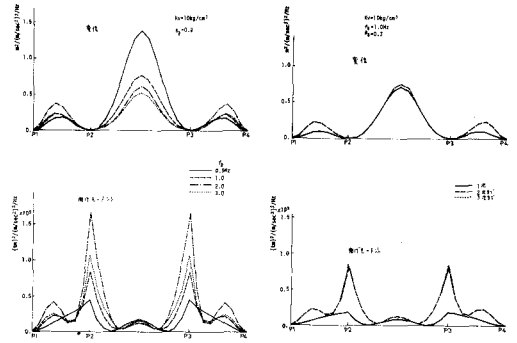


図-3 桁の自乗平均応答(1)

図-4 桁の自乗平均応答(2)

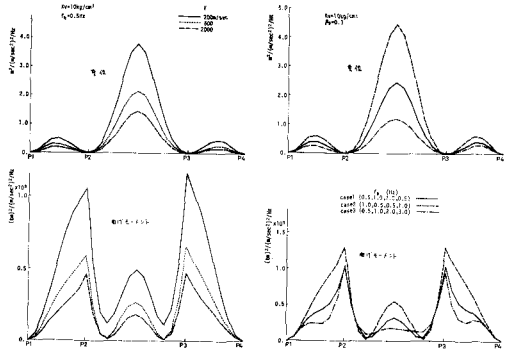


図-5 桁の自乗平均応答(3)

図-6 桁の自乗平均応答(4)

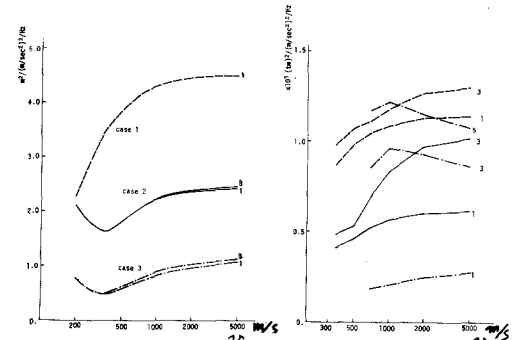


図-8 桁の最大自乗平均応答