

ディヴィダー橋の地震応答に及ぼす地動移相差の影響

九大 正 員 小 坪 清 真
同 ○ 学生員 原 田 謙 二

1. まえがき

従来の地震応答計算に用いる外力としての地動加速度は構造物の各基礎に対し同一周期、同一振幅、同一位相で作用すると仮定している。しかし、最近のように多くの長大な橋梁が作られるようになると、地震波の伝播速度を考慮する必要があり、従って構造物の各基礎における地動の位相差も地震応答を計算する場合に考慮せねばならないと思われる。特に長大橋梁の橋軸方向に入射する地震波を考える時、この地動の位相差の影響は顕著になるであろう。

地動の位相差を考慮に入れた応答の研究はあまり見受けられないが、この影響を考えたものとして、強震の変位記録を用い、これを橋脚、橋台の基礎に単独に作用させたものがある。強震の変位記録が整っていればこれを外力として作用させることができるが、従来、変位記録はあまり整備されていないようである。そこで加速度記録を調整し積分した変位記録を用いるのだが、これを微分した値は元の加速度記録に対し大きな誤差を生じて厳密でない。そこで本研究では加速度記録を外力として用い、モード解析により相対的な変位、モーメントを求め、さらに、各基礎の変位による静的な変位、モーメントをこれに加えて絶対的な変位、モーメントを求める方法を取った。

地震応答計算の実例としてディヴィダー方式のP.C橋(名護屋大橋)を選んだ。この方式の橋梁は主径間の中央にせん断力のみを伝え、曲げモーメント、軸力を伝えないゲレンクを有する構造になっている。従って左右対称の構造であれば、従来の震度法、同一位相の応答計算法ではゲレンクにはせん断力を生じない。しかし、本橋のような長径間の橋梁の各基礎における地動位相差を考慮した場合は、ゲレンクにせん断力を生じ、主桁に対する曲げモーメント、橋脚への捩りモーメントに多少の影響を及ぼすと考えられる。本研究はその影響について考察したものである。

2. 基礎微分方程式

1) モード解析による従来の応答計算式

主桁の質点*i*の水平変位を次のように、
$$y_i = \sum_{s=1}^m a_s Y_{is} \quad \dots (a)$$

とおき、エネルギーを計算してラグランジュの方程式に入れれば次の微分方程式が得られる。

$$\ddot{a}_s + 2h_s n_s \dot{a}_s + n_s^2 a_s = -\beta_s \ddot{\phi}(t) \quad \dots (b)$$

ここで a_s : S 次の規準変位 n_s : S 次の固有円振動数 h_s : S 次の減衰係数
 β_s : S 次の制数係数 Y_{is} : S 次の振動モード $\ddot{\phi}(t)$: 時刻 t における地動加速度

刻々の $\ddot{\phi}(t)$ を (b) に代入して解き a_s を求め (a), (c) により i 点の相対変位、相対モーメントが得られる。

$$m_i = \sum_{s=1}^m a_s M_{is} \quad \dots (c)$$

ここで M_{is} : S 次の単位振幅あたりの i 点のモーメント

2) 地動移相差を考慮した場合のモード解析による応答計算式

地動の移相差を考慮した場合、橋の個々の基礎が別々に変位することになる。この時、橋の主桁の各点に作用する外力としての加速度は各々の基礎が変位した場合の主桁の弾性曲線に比例する。

従って微分方程式は次のようになる。

$$\ddot{a}_s + 2\eta_s n_s \dot{a}_s + n_s^2 a_s = - \frac{1}{\sum_{i=1}^m W_i \gamma_{is}^2} \cdot \sum_{i=1}^m (W_i \gamma_{is} \cdot \sum_{j=1}^N f_{ij} \phi_j(t)) \quad (d)$$

ここで f_{ij} : 基礎 j が単位長の変位を起した時の i 点の変位

$\phi_j(t)$: 時刻 t における基礎 j の地動加速度

N : 基礎の個数

ϕ_j に各地点の刻々の加速度記録を入れて (d) を解き (a), (c) より相対変位、相対モーメントを求め、これに各基礎の変位による静的な量を加えて絶対変位、絶対モーメントを求めることができる。

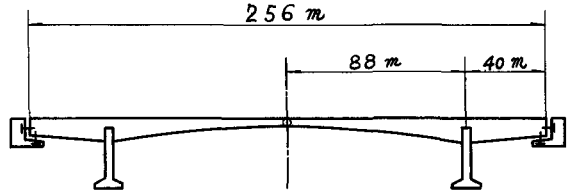


図-1. 一般形状図

3. 名護屋大橋の固有振動数、振動モードの解析における仮定

1). 橋梁全体を図-2に示すような33個の質点系に分割する。

2). 中央径間のゲレンクでは相対変位はなくせん断力のみを伝達する。またアバットと主桁の結合点はヒンジ構造とする。

3). 橋脚は曲げせん断変形を起し主桁との取り付け部で接りの影響も考慮する。

4). 基礎地盤の反力係数は無限大とし、従って基礎のロッキング運動は考慮しない。

以上の仮定のもとに、対称、逆対称変形の固有円振動数、固有振動周期、正規化モードを求めた。これを表-1と図-3, 4に示す。

数値計算は九大計数施設OKITAC-5090Hによった。

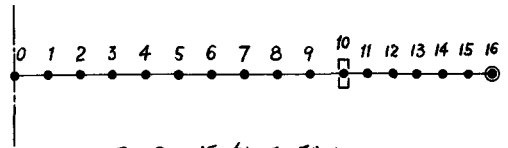


図-2 振動モデル

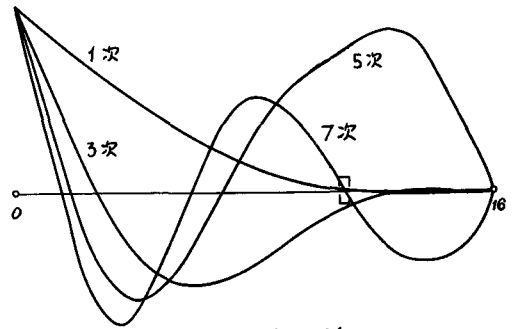


図-3. 対称振動モード

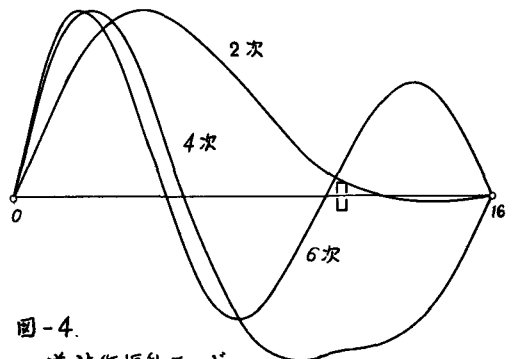


図-4. 逆対称振動モード

次数	n_s (rad/sec)	T_s (sec)	β_s
1	4.967	1.265	1.823
2	13.93	0.451	0.
3	19.84	0.317	-1.593
4	33.83	0.186	0.
5	35.97	0.175	1.138
6	44.08	0.143	0.
7	50.78	0.124	-0.435

表-1 円振動数、固有周期、制数係数

4. 応答計算

地震記録には EL-CENTRO, N-S 成分の加速度記録を用いた。加速度記録は Berg Thomaides の方法により基準線を決め、補正計算を行ない変位記録を作った。

橋軸方向に入射する地震波の伝播速度は地盤の状態を考慮 0.5 km/sec, 1.0 km/sec, 2.0 km/sec, 4.0 km/sec, ∞ km/sec (地動移相差を考慮しない場合) の 5 通りを用いた。

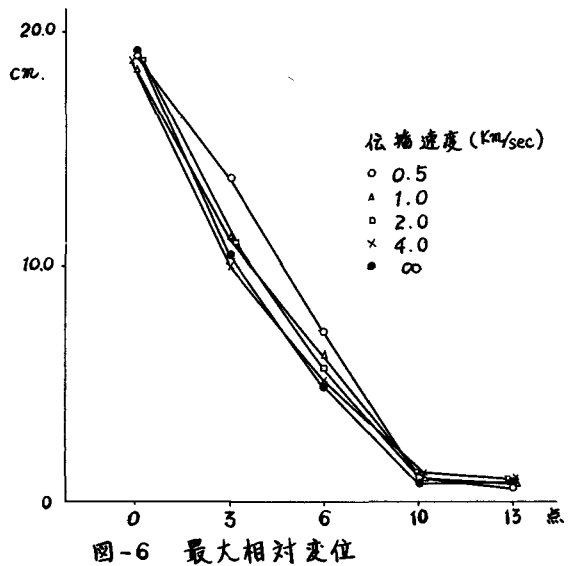
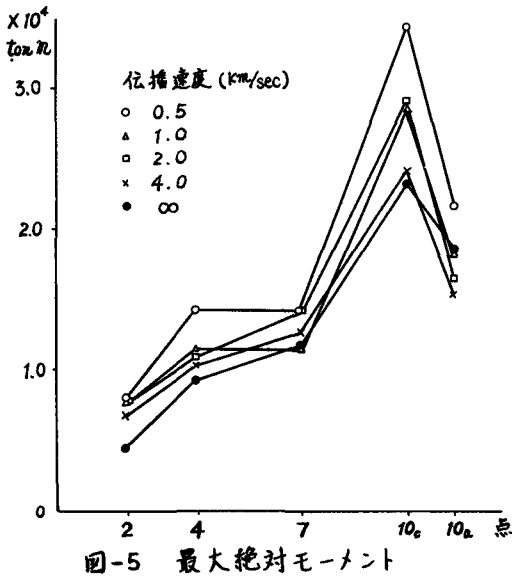
各次の減衰係数 α_s は 2%、次数は 7 次まで取り、時間刻みを 0.01 sec. とし線形加速度法により応答計算を行なった。地震波の各伝播速度における各点の最大絶対モーメント、最大相対変位の計算結果を表-2, 3 及び図-5, 6 に示す。また、2, 4 点のモーメント-時間曲線を図-7, 8 に示す。

伝播速度 各点	0.5 Km		1.0 Km		2.0 Km		4.0 Km		∞ Km	
	M_{max}	t	M_{max}	t	M_{max}	t	M_{max}	t	M_{max}	t
2	8051 (2.86)		7713 (2.50)		8000 (2.87)		6704 (3.50)		4348 (2.55)	
4	14180 (3.10)		11500 (2.49)		11070 (2.46)		10300 (2.57)		9221 (2.55)	
7	14220 (2.40)		11760 (2.16)		14350 (4.98)		12610 (2.04)		11870 (2.00)	
10 _c	34520 (2.63)		28650 (2.29)		29260 (5.15)		24150 (2.23)		23293 (5.07)	
10 _a	21760 (4.71)		18340 (5.30)		15620 (2.19)		15370 (4.65)		18658 (5.09)	

表-2. 最大絶対モーメント M_{max} (ton m) と発生時刻 t (sec) 但し、10_c, 10_a は主桁と橋脚の取付け部のゲレンク側とアバウト側の点。

伝播速度 各点	0.5 Km		1.0 Km		2.0 Km		4.0 Km		∞ Km	
	D_{max}	t	D_{max}	t	D_{max}	t	D_{max}	t	D_{max}	t
0	19.06 (2.42)		18.39 (15.90)		18.80 (15.15)		18.81 (2.05)		19.23 (15.81)	
3	13.80 (2.40)		11.27 (15.25)		11.07 (15.19)		9.96 (2.04)		10.54 (15.77)	
6	7.25 (5.17)		6.21 (2.29)		5.72 (5.16)		5.09 (2.21)		4.94 (5.08)	
10	1.08 (2.66)		0.94 (5.04)		1.29 (5.16)		1.14 (2.65)		0.90 (5.36)	
13	0.66 (2.89)		0.77 (2.85)		0.96 (2.77)		0.97 (2.65)		0.86 (2.64)	

表-3 最大相対変位 D_{max} (cm) と発生時刻 t (sec)



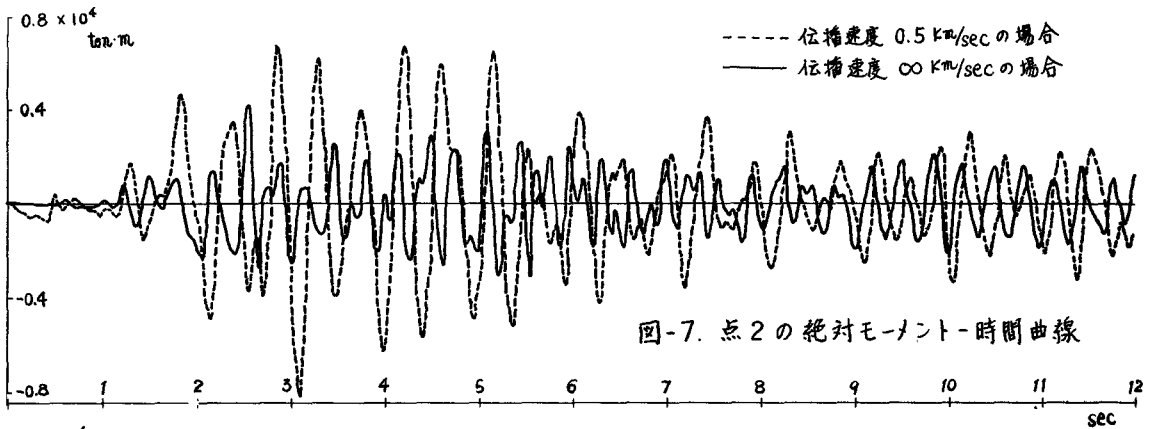


図-7. 点2の絶対モーメント-時間曲線

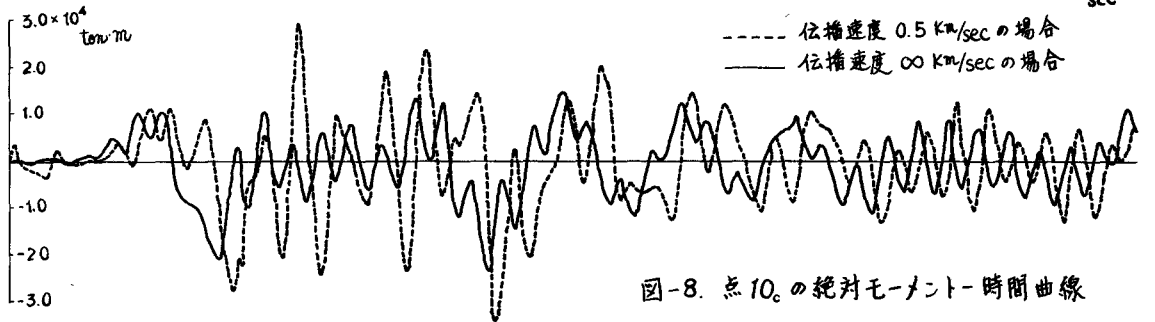


図-8. 点10cの絶対モーメント-時間曲線

5. 計算結果

地動移相差を考慮した場合、主径間中央付近2,4点における最大モーメントは2次振動によるものが卓越しており、1次の70倍程度にも達する。これは逆対称変形による中央ゲレンクのせん断力が非常に大きく影響していることを示す。主桁の橋脚との取り付け部10c, 10a点における最大モーメントは1次振動によるものが卓越している。各点の相対変位の最大値は1次振動によるものが大きく、地動位相差による影響、即ち逆対称変形はあまりきいていない。

地震波の伝播速度の大小による応答の相違は図-5, 6 に示したように各点とも速度が遅い方が応答が大きいかといちがいにはいいがたいが、モーメントの場合、0.5 km/sec の伝播速度によるものが∞ km/sec の伝播速度によるものに対し、1.2~1.8倍の大きさを示している。当然のことながら伝播速度が遅いほど位相差を無視した場合に近づくようである。また、位相差を考慮した場合の応答は地震波の加速度記録の卓越周期と伝播速度の関係により左右されると思われる。次数の取り方による収束状態は変位の場合非常に早く、5次まで取れば十分であり、モーメントの場合も7次まで取ればよい。モーメントでは7次を除いた場合でも誤差は2%以下である。相対モーメントに対する各基礎の独立な変形により生じる静的なモーメントの割合は2~10%で増加側、減少側に作用する。

6. むすび

以上は一つの橋に対する計算例に過ぎないが、長大径間の橋梁では地動移相差を考える必要があることがわかる。しかし、各橋梁に対し応答計算を行なうことは非常に膨大な手数を要する。従って、耐震設計のためには統計的解析法を用いる必要がある。これについては目下考察中である。

[文献] 高田他: 多スパンデビダーク方式P.C橋の振動性状と耐震性について、土木研究所報告才128号

武藤他: SERACに使用した地震記録のデジタル化について、日本建築学会論文集 昭和40年9月