

橋脚-地盤の相互作用を考慮した斜張橋の地震応答解析

山梨大学大学院 学生会員 ○シマ ラルビョ

山梨大学工学部 正会員 深澤 泰晴

山梨大学工学部 正会員 杉山 俊幸

1. まえがき

近年、斜張橋は急速な発展を遂げ、支間が長大化し構造系がフレキシブルになり、軟質地盤で建設される場合が多いため、斜張橋の耐震設計では橋脚-地盤の相互作用も考慮に入れた検討が重要と思われる。斜張橋の地震応答に関してはこれまでにいくつかの研究成果が発表されているが、基礎周辺の地盤も含めた地盤-構造系としての解析は必ずしも十分にされていない。

そこで本研究では、斜張橋とその周辺地盤を有限要素法で離散化し、人工地震波のレベル1とレベル2を入力した場合のたわみ、せん断力、曲げモーメントなどの時刻歴応答を求め、橋脚-地盤の相互作用を考慮した時の動特性について検討を加える。

2. 地震応答解析法¹⁾

地盤-構造物系の運動方程式はマトリックス形式で表すと次のようになる。

$$\begin{Bmatrix} m_{ss} & m_{sf} & 0 \\ m_{fs} & m_{ff}+m_{bb} & m_{bg} \\ 0 & m_{gb} & m_{gg} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_s \\ \ddot{x}_f \\ \ddot{x}_g \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} c_{ss} & c_{sf} & 0 \\ c_{fs} & c_{ff}+c_{bb} & c_{bg} \\ 0 & c_{gb} & c_{gg} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_s \\ \dot{x}_f \\ \dot{x}_g \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} k_{ss} & k_{sf} & 0 \\ k_{fs} & k_{ff}+k_{bb} & k_{bg} \\ 0 & k_{gb} & k_{gg} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} x_s \\ x_f \\ x_g \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_s \\ F_f \\ F_g \end{Bmatrix} \quad \dots (1)$$

ここで、sは構造物の節点、fは基礎の節点、bはそれらの境界節点で、しかもfの一部となっている。gは地盤の節点（図-1参照）、m、c、kはそれぞれ質量、減衰と剛性マトリックスの成分、Fは節点外力ベクトルの成分、xは絶対変位、wは相対変位である。なお、 $\dot{}$ は時間に関する偏導関数を表す。絶対加速度と相対加速度の関係を次式のように表す。

$$\ddot{x}_s = \ddot{w}_s + \ddot{z}, \quad \ddot{x}_f = \ddot{w}_f + \ddot{z}, \quad \ddot{x}_g = \ddot{w}_g + \ddot{z} \quad \dots (2)$$

式(2)を式(1)に代入し、一般式に書き直すと

$$M\ddot{w} + C\dot{w} + Kw = F - M1\ddot{z} \quad \dots (3)$$

となる。

ここに、M、C、Kはそれぞれ全体質量マトリックス、全体減衰マトリックス、全体剛性マトリックスで、1は単位ベクトル、 $\ddot{z}$ は入力地震波である。本研究ではニューマークのβ法を用い、時間刻みを0.02秒として線形動的応答を求めた。

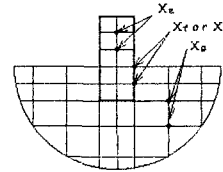


図-1 基礎面節点のびり

3. 斜張橋の動的応答特性

(1) 解析モデルと諸元

橋脚-地盤の相互作用を考慮した斜張橋の解析モデルは図-2に示すような9段ケーブルの自作式斜張橋である。モデル2の地盤条件は図-3に示すような10土層モデルであり、横方向の範囲は基礎幅の約5倍の長さを左右両側にとった。これをモデル1の動的応答と比較し、橋脚-地盤の相互作用を考慮した場合の応答特性について検討した。モデル2の地盤の諸元を表-1に表す。

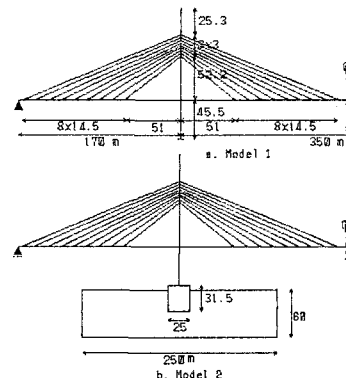


図-2 解析モデル

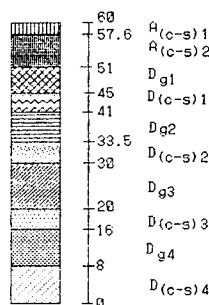


図-3 地盤のモデル

(2) 耐震設計上の地盤種別

道路橋示方書による耐震設計上の地盤種別は地盤の特性値により区別でき、それによって設計水平震度を定めることができる。地盤の特性値は式(4)で表わされる。

$$T_g = 4 \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{si}} \quad \dots\dots (4)$$

ここに、

T_g : 地盤の特性値 (s)

H_i : i 番目の地層の厚さ (m)

V_{si} : i 番目の地層の平均せん断弾性波速度 (m/s)

i : 地層数

式(4)を用いると本研究の地盤モデルは第2種地盤であり、これより入力地震波はレベル1とレベル2の地盤条件2とした。

(3) 数値計算結果および考察

表-2に、モデル1、モデル2の固有振動数および前者の後者に対する比を示す。また、モデル2の()内の数値は地盤を考慮したモデルの次数であり、モデル2の固有振動次数がとんでいるのは、その間に地盤単独のモードが含まれていることを意味している。表よりモデル1に対するモデル2の固有振動数の差は最大5%程度であることが分かる。

図-4および図-5は各々レベル1およびレベル2の地震波を入力したとき中央径間中央でのたわみ、せん断力、曲げモーメントを表したものである。図よりモデル2の中央径間中央のたわみはモデル1より大きい、これは地盤変形によって基礎の回転振動が生じる影響と思われる。一方、せん断力と曲げモーメントはモデル1よりそれぞれ50%程度小さいことが分かる。

このことは、斜張橋の耐震設計を行う場合、橋脚-地盤の相互作用を考慮する必要があることを示唆している。

4. 参考文献: 土木学会(1989): 動的解析と耐震設計

[第2巻] 動的解析の方法, 技報堂出版。

表-1 地盤の諸元

土層	G (t/m ²)	ρ (t/m ³)	ν	Vs (m/s)
A(c-s)1	7,650	1.70	0.49	210
A(c-s)2	19,900	1.90	0.48	320
Dg1	27,200	1.95	0.47	370
D(c-s)1	11,500	1.95	0.49	240
Dg2	23,000	1.95	0.48	340
D(c-s)2	8,780	1.95	0.49	210
Dg3	33,400	1.95	0.49	410
D(c-s)3	5,750	1.95	0.498	170
Dg4	30,300	1.95	0.49	390
D(c-s)4	6,450	1.95	0.497	180

表-3 固有振動数 Hz.

Mode	Model 1	Model 2	比
1	1.073	1.131 (1)	1.054
2	0.910	0.915 (2)	1.006
3	0.582	0.582 (5)	0
4	0.463	0.463 (8)	0
5	0.443	0.444 (9)	1.002
6	0.420	0.420 (10)	0
7	0.391	0.391 (11)	0
8	0.299	0.299 (14)	0

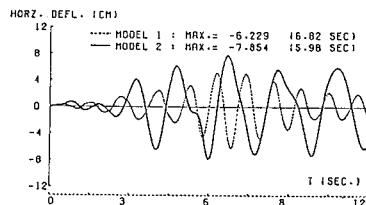
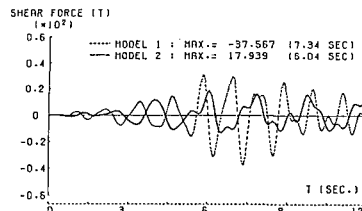


図-4 中央径間のたわみ、せん断力および曲げモーメント (レベル1)

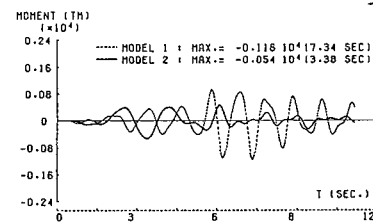
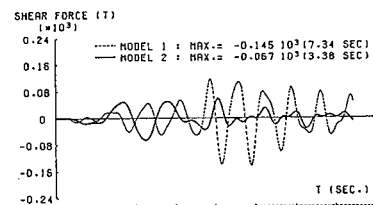
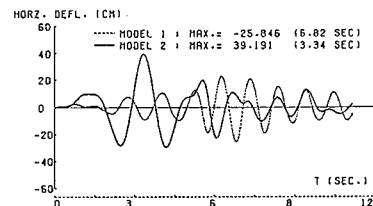


図-5 中央径間のたわみ、せん断力および曲げモーメント (レベル2)