

I-853

軟弱地盤に建設されるPC斜張橋の地震応答特性

鹿島技術研究所 正会員 鄭 京哲 竹田 哲夫 山野辺 慎一

1. まえがき

近年、軟弱地盤においてもPC斜張橋が建設されるようになってきており、地震時における地盤と構造物の動的相互作用の影響の解明が非常に重要になってきた。しかし、これまでに、PC斜張橋を対象とした動的相互作用の研究はまだ数少ないのが現状である。本研究は、軟弱地盤上の実在のPC斜張橋に基づいて、まず2次元有限要素法を用いてパラメータスタディを実施し、動的相互作用がPC斜張橋—基礎—地盤系の震動特性に与える影響を橋軸方向について調べ、次に設計でよく用いられている質点—バネモデルの適用性を検討したものである。

2. 橋体—基礎—地盤のモデル化と解析ケース

図-1に橋体—基礎—地盤の有限要素モデルを示す。PC斜張橋のモデル化は、実在の3径間連続PC斜張橋に基づき、橋軸方向応答の対称性から半橋のみを対象とした。上、下部工はその剛性と重量を基礎の単位奥行き当たり換算したはり要素で、地盤とケーソン基礎は平面ひずみ要素で表現した。地盤の側方境界は、基礎から十分に離れたところにあり、基礎から逸散してくる波の影響を殆ど受けないことを基礎における点加振のシミュレーションによって確認している。応答計算の際、側方境界の入力は、自由地盤として別途求めた応答を用いた。地盤底面は剛とした。

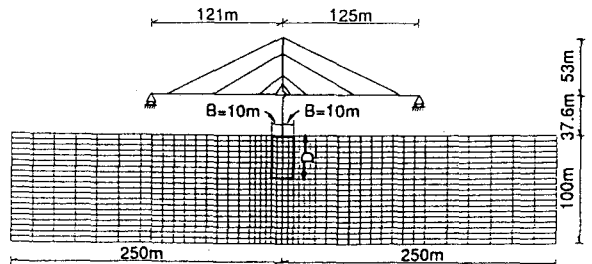


図-1 PC斜張橋—基礎—地盤系の有限要素モデル

表-1 解析ケース

ケース	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T_s/T_g	2.0 (3.2)*	2.0 (3.2)	2.0 (3.2)	1 (1.6)	1 (1.6)	1 (1.6)	0.5 (0.8)	0.5 (0.8)	0.5 (0.8)
D/B	0 (0)**	2 (20)	4 (40)	0 (0)	2 (20)	4 (40)	0 (0)	2 (20)	4 (40)

* Value of T_s (sec.) ; ** Value of D (m)

表-1に解析ケースを示す。基礎を固定した場合のPC斜張橋の1次固有周期 T_s と自由地盤の1次固有周期 T_g の比(T_s/T_g)、およびケーソン基礎の深さ(D/B)をパラメータとした。なお、ケース3は実際のPC斜張橋に相当する。

3. 地盤と構造物の動的相互作用の影響

表-1に示す各ケースについて固有値解析を行った。基礎を固定した場合のPC斜張橋の1次モードを図-2に示す。各ケースの1次固有周期 T と基礎を固定した場合の1次固有周期 T_s との比を求め、図-3に示す。 T_s/T_g が小さければ、すなわち、斜張橋の固有周期が地盤のそれに比べ小さい場合、橋体—基礎—地盤系の固有周期の増加が顕著になる。基礎の深さの影響については、D/Bが小さいと、固有周期の増加が大きく、また、 T_s/T_g が小さい方がD/Bの影響が比較的大きい。これらの傾向は建築構造物の場合で得られている結果²⁾と一致する。

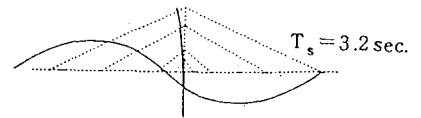


図-2 PC斜張橋の1次固有モード

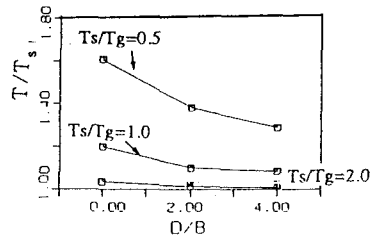


図-3 計算した T/T_s

EI Centro NS波を用い、自由地盤地表面での最大加速度を100Galとし、各ケースについて応答計算を行った。図-4にタワーと橋脚における最大曲げモーメントと最大水平変位の分布の例を示す。基礎を深くすると、変位応答が低減するが、曲げモーメントが増大する。 T_s/T_g の影響を見るために、各ケースの橋脚底部の最大曲げモーメントおよびタワー頂部の最大変位と T_s/T_g の関係を図-5に示す。斜張橋の周期を長く、

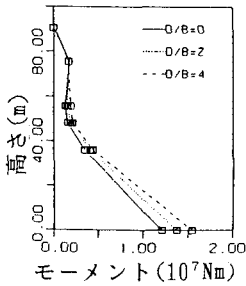


図-4 最大曲げモーメントと最大水平変位の分布

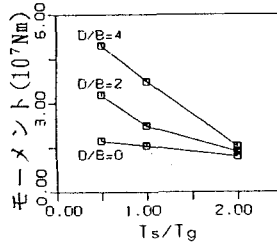
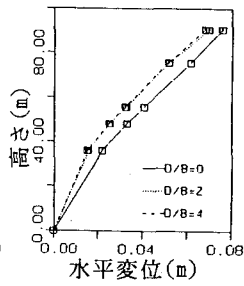
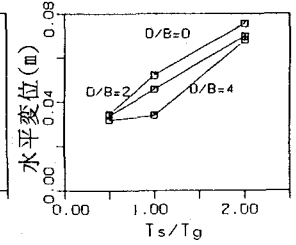


図-5 最大曲げモーメントおよび

水平変位と T_s/T_g の関係



T_s/T_g を大きくすると、曲げモーメントが低減するが、タワー頂部の変位が増える。

4. 質点-バネモデルの適用性

設計によく用いられている質点-バネモデルを用い、表-1に示す各ケースについて斜張橋-基礎-地盤系の固有周期および地震応答を求めた。計算に用いたモデルを図-6に示す。地盤バネは道路橋示方書に示されている方法によって決定した³⁾。

表-2に T_{ms}/T_{fem} の結果を示す。 T_{ms} と T_{fem} はそれぞれ質点-バネモデルと有限要素モデルによって求めた1次固有周期である。 T_s/T_g が2.0の場合、両モデルによって計算した結果がよく一致している。しかし、 T_s/T_g が小さい場合、両者の差が大きくなる。図-7に両モデルによって求めたタワー

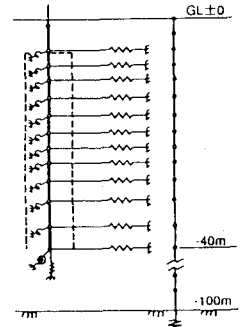
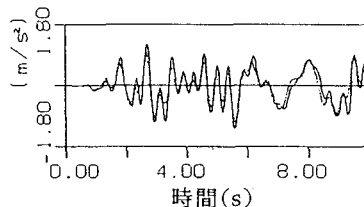


図-6 質点-バネモデル

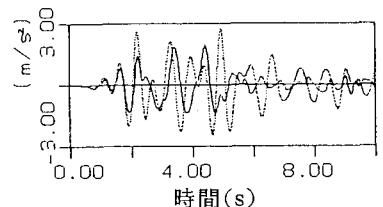
ー頂部の水平加速度応答の例を示す。 T_s/T_g が2.0の場合、よい一致が見られるが、 T_s/T_g が0.5の場合は、両方法の結果にかなりの差が認められる。これは、比較的高い周波数領域においては地盤バネの周波数依存性が顕著に現われ、また、幾何学的相互作用が複雑となるため、図-6に示されている質点-バネモデルではこれらの現象をうまく表現できないためと思われる。しかし、実際のPC斜張橋は一般に周期が比較の長いので、質点-バネモデルは実用上十分な解析手法であると考えられる。

表-2 T_{ms}/T_{fem} の結果

D/B \ T_s/T_g	0.5	1.0	2.0
0	1.13	1.12	1.04
4	1.08	1.06	1.03



(a) ケース3 ($T_s/T_g=2$)



(b) ケース9 ($T_s/T_g=0.5$)

図-7 タワー頂部の加速度応答

5. まとめ

実在のPC斜張橋に基づいて有限要素法によってパラメータスタディを実施し、動的相互作用が橋体-基礎-地盤系の震動特性に及ぼす影響を橋軸方向について調べ、さらに質点-バネモデルの適用性について検討を行った。その結果、基礎の深さおよび橋体と地盤の剛性比がPC斜張橋の地震応答特性に大きく影響することが確認でき、また、PC斜張橋の固有周期が地盤のそれに比較して長い場合、質点-バネモデルは実用上十分な解析手法であることが分かった。

- 参考文献：1) 石原、三浦：3次元構造物-地盤系の非線形地震応答解析、土木学会論文集No. 465/I-23, pp. 145-154, 1993 2) 土木学会耐震工学委員会：基礎-地盤-構造物系の動的相互作用、平成4年9月 3) 日本道路協会：道路橋示方書耐震設計編、1990