

同調液体ダンパーによる架設途中の斜張橋の制震

九州共立大学 工学部 正員 小 坪 清 真
九州工業大学 工学部 正員 ○高 西 照 彦
九州工業大学 工学部 正員 多 田 浩

1. まえがき 図-1に示すような斜張橋を架設する場合、通常、まず両主塔を上方へ伸ばし、つぎに主塔から桁を左右に張り出して、これを斜材で支えるという一連の手順を繰り返しながら作業を進めてゆき、最後に、両主塔から張り出した桁の一端を互いに中央で締結し、他端をそれぞれアバットに定着することによって橋の架設を完了するという施工方法が採用されているようである。従って、架設途中においては、左右の構造系（主塔-桁-斜材系）は互いに独立しており、両構造系はいずれも主塔下端のみによって支持される構造となっている。このような架設途中の構造系が、地震や風による外力を受けた場合、塔頂や桁の両端では大きな動的変位が生ずる可能性がある。現在はこれを防ぐために、桁の両端をロープ等を用いて海中に定着するというようなことが行われているようである。本論は、架設途中の斜張橋に同調液体ダンパー（TLD）を取り付けることによって、橋が地震や風のような外力を受けたときの動的応答変位をどの程度低減することができるかということについて検討したものである。本論では、図-2に示すように、それが外荷重を受けたときに一番大きな変位が生ずると考えられる両桁端締結直前の構造系を取り上げて、この構造系が、面内水平方向の地震を受けたときの動的応答に及ぼすTLDの制震効果について解析を行った。

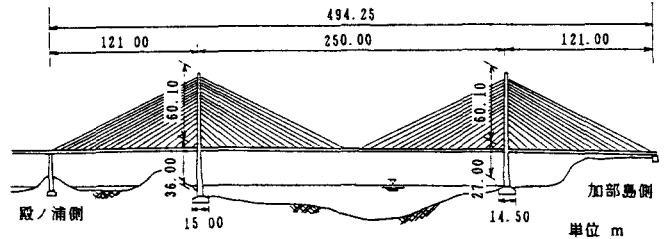


図-1 呼子大橋（3径間連続P C斜張橋）側面図

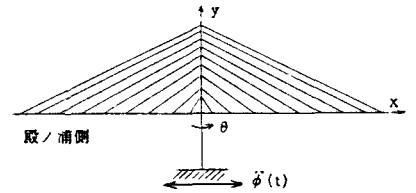


図-2 解析の対象とした構造系

図-2の構造系に対して、主塔及び桁はラーメン要素（35要素）、斜材はばね要素（18要素）にそれぞれモデル化し、FEMを用いてその振動特性を算出した。逆対称振動に対する固有振動数は1次が0.1993Hz、2次が0.7631Hz、刺激係数はそれぞれ6.044, 41.60である。1次の振動形のみを図-3に示した。塔頂Q点における振動形の値を同図中に記した。

2. 解析理論 (1) 固有振動数及び振動形 解析の対象とした橋梁は呼子大橋で、これは図-1に示すように3径間連続P C斜張橋である。本論では、本橋がまだ架設途中にあって、図-2に示すように、締結直前の状態にあるときについて考える。図-2の構造系に対して、主塔及び桁はラーメン要素（35要素）、斜材はばね要素（18要素）にそれぞれモデル化し、FEMを用いてその振動特性を

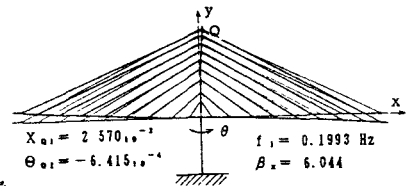


図-3 振動形（1次）

算出した。逆対称振動に対する固有振動数は1次が0.1993Hz、2次が0.7631Hz、刺激係数はそれぞれ6.044, 41.60である。1次の振動形のみを図-3に示した。塔頂Q点における振動形の値を同図中に記した。

(2) TLDについて TLDとしては1個の大きさが長さ2m、幅0.5m、水深0.065mの長方形貯槽をN個用いることにして、これを塔頂Q点に設置するものとする。TLDは図-4に示すように、水平及びロッキング振動をうけるものとして、それぞれの方向についてこれを等価振動系に置換して取り扱った。等価振動系についてはいずれも1次振動のみを採用した。

(3) TLDを設置した構造系の振動方程式 図-2に示す構造系にTLDを設置した場合に、それが $\ddot{\phi}(t)$ で表される面内水平方向の地震波を受けたときの応答について考える。TLD 1個についてその内容液の水平及びロ

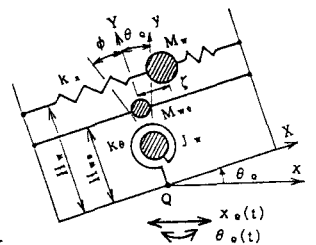


図-4 TLDの等価振動系

キング振動に対する振動方程式は、次式のように表される。

$$M_w \ddot{\zeta} + c_x \dot{\zeta} + k_x \zeta = -M_w (\ddot{x}_Q + \ddot{\phi}) \text{ ----- (1),} \qquad J_w \ddot{\phi} + c_\theta \dot{\phi} + k_\theta \phi = -J_w \ddot{\theta}_Q \text{ ----- (2)}$$

ここに、 M_w , c_x , k_x , ζ は水平振動に対する水の等価質量、減衰定数、ばね定数、水平変位であり、 J_w , c_θ , k_θ , ϕ はロッキング振動に対する水の等価慣性モーメント、減衰定数、回転ばね定数、回転角である。 x_Q , θ_Q はQ点の水平及び回転変位である。構造系についても逆対称1次振動のみを考えることにすれば、その振動方程式は次式のように表される。

$$M \ddot{\eta} + C \dot{\eta} + K \eta = -F_x \ddot{\phi} - N M_w (\ddot{\zeta} + \ddot{x}_Q + \ddot{\phi}) X_Q - N M_{w0} (\ddot{x}_Q + \ddot{\phi}) X_Q - N J_w (\ddot{\phi} + \ddot{\theta}_Q) \Theta_Q + N M_w (\ddot{\zeta} + \ddot{x}_Q + \ddot{\phi}) H_w \Theta_Q + N M_{w0} (\ddot{x}_Q + \ddot{\phi}) H_{w0} \Theta_Q \text{ ----- (3),}$$

ここに、 M , C , K , η , F_x は構造系の1次振動に対する換算質量、減衰定数、換算ばね定数、基準座標、振動形によって定まる定数である。 M_{w0} は固定水の質量、 H_{w0} と H_w は M_{w0} と M_w の着力点の高さである。 X_Q , Θ_Q は点Qの水平及び回転に対する振動形で、点Qの水平及び回転変位は

$$x_Q = \eta X_Q \text{ ----- (4),}$$

$$\theta_Q = \eta \Theta_Q \text{ ----- (5)}$$

によって得ることができる。 $\ddot{\phi}(t)$ が与えられれば、式(1)～(5)より x_Q , θ_Q を求めることができる。

3. 数値計算結果及び考察 数値計算に用いた諸定数は次の通りである。構造系については、全質量 18420t, 換算質量 $M = 6.252t$, 刺激係数 $\beta_x = F_x/M = 6.044$ である。従って、有効質量 $M_E = M \beta_x^2$ は 228.4t となる。また、減衰定数 h は 0.005 とした。TLDについては、その全質量が構造系の有効質量 M_E の 1, 5, 10 % である各ケースについて検討した。このときTLDの個数は 35, 176, 351 個となる。なお、TLDの減衰定数 h_w は 0.011 とした。

(1) 減衰自由振動曲線と共振曲線 図-5にTLDを 35 個設置したときの構造系のQ点の水平方向変位とTLDの水平方向壁面動水圧に対する減衰自由振動曲線を示す。図-6はTLDを設置しない場合とTLDを 35 個設置した場合とについて、構造系のQ点の水平方向変位に対する共振曲線を示したものである。

(2) 地震応答曲線 構造系の地震応答計算に用いた入力地震波を図-7に示す。構造系の地震応答曲線の一例を図-8に示した。同図は (i) TLDを設置しない場合と、TLDを構造系の有効質量の 5 % (176個)設置した場合に (ii) 回転変位に対するTLDの寄与を無視したときと (iii) 考慮したときに対する点Qの水平変位の時刻歴応答曲線を示したものである。図-8から、地震動中に高い振動数成分の割合が多い初期段階（このとき構造系の変位はまだ小さい）では、TLDの効果はほとんど発揮されないが、低い振動数成分（構造系の固有振動数に近い）の割合が多い後期段階（このとき構造系の変位が大きくなる）においてはTLDの効果が発揮されるようになることが判る。今の場合、TLDの効果は3割程度である。さらに、同図から、回転変位に対するTLDの寄与は小さいことが分かる。これは、図-3に示したように、回転に対する振動形が小さいことによるものである。

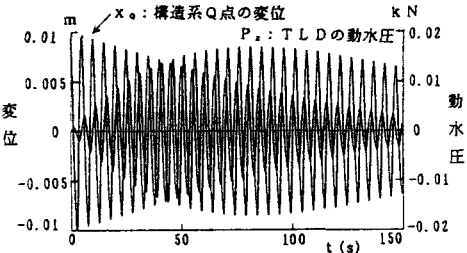


図-5 減衰自由振動曲線

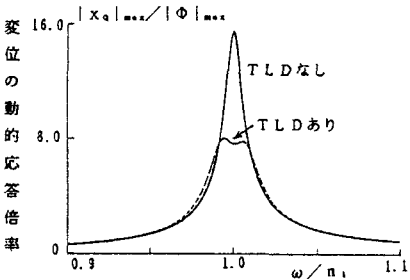


図-6 構造系Q点の変位の共振曲線

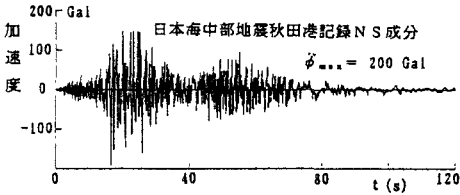


図-7 入力地震波

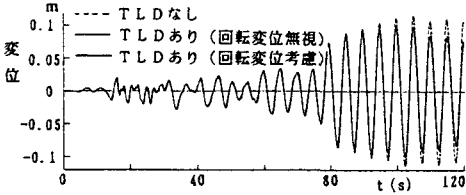


図-8 構造系Q点の変位の時刻歴応答曲線