

入力地震動特性が与える浮体式構造物(浮体橋)の地震時応答

中電技術コンサルタント(株) 正会員 ○小嶋 竜智

中電技術コンサルタント(株) 正会員 日下 理

中電技術コンサルタント(株) 正会員 大輝 聡

1.はじめに

浮体式構造物(浮体橋)は、一般に固有周期が長い構造系である。同じような特性を持つ長周期構造系としては、例えば、長大吊橋、高層ビル、大型の石油タンクなどが挙げられる。

長周期構造物の免震性は、過去の震災において被害事例が少ないことや、その固有周期帯を励起するような地震動の記録も不十分であったことから、かつては余り問題視されることが少なかった。しかし、昨年(2003年)発生した十勝沖地震(M8.0)において、苫小牧市に設けられた石油タンクが、スロッシングが原因と考えられる火災被害を受けたことから、入力地震動の特性と長周期構造物の地震時応答の関係を検討する必要性が出てきた。

本文は、入力地震動の持つ特性が浮体橋の地震時応答に与える影響について述べるものである。

2.解析方法および入力地震動

想定する浮体橋の基本諸元および解析モデルを図-2に示す。浮体橋の地震時応答は、以下に示す運動方程式を時間領域で直接積分して求める。

$$[M + Ma(\bar{\omega})]\ddot{x} + [C + Ca(\bar{\omega})]\dot{x} + [K]x = -[M + Ma(\bar{\omega})]\ddot{y}$$

ただし、 M 、 C 、 K は構造の質量、減衰、剛性行列を示し、 $Ma(\bar{\omega})$ 、 $Ca(\bar{\omega})$ は付加質量、造波減衰行列を示す。 $\ddot{y}$ は入力加速度である。なお、流体力は周波数に依存することから、値は代表周波数 $\bar{\omega}$ のものをを用いた。

入力地震動は、特性の異なる3波形を想定した。その応答特性を図-3に示す。短周期成分が卓越する地震波として、2003年十勝沖地震で最大加速度が記録された広尾観測点の観測記録を用いる。中間的な周期成分が卓越する地震波としては、道路橋の設計で標準的に用いられているレベル2地震動を選んだ。長周期成分が卓越する代表波は、長周期地震動として注目されている十勝沖地震における苫小牧観測点の観測記録を用いることにした。なお、地震波は、概ねの条件、地域性を合わせる目的で、道示波については示方書に示されている範囲の成分を北海道地域相当に調整²⁾して入力した。

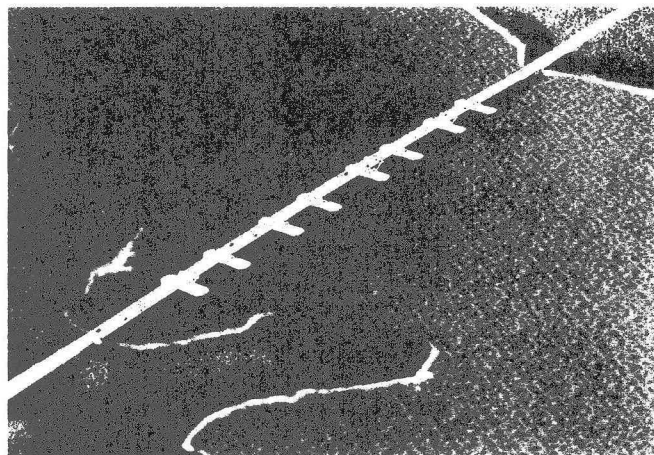


図-1 浮体橋の概念図

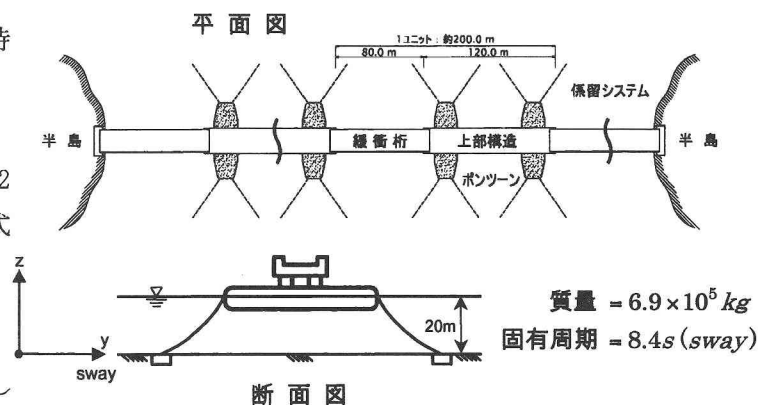


図-2 解析モデル図

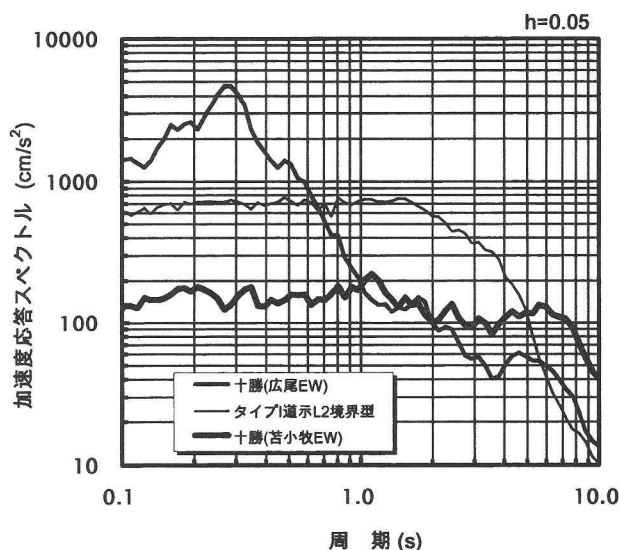


図-3 入力地震動の加速度応答スペクトル

3. 解析結果

3.1 短周期成分が卓越する入力地震動による応答

図-5 に観測波(広尾)による応答値を示す。地震波の最大値は 970Gal で、今回の解析において最も大きく、0.2～0.3 秒の周期に高いエネルギーを持つ特徴がある。これに対し、浮体の応答は図からもわかるように非常に小さく、応答/入力加速度比で 0.05 である。このような短周期成分が卓越する地震波は、浮体の応答にあまり影響がない。

3.2 0.5～5.0s 周期成分が卓越する入力地震動による応答

図-6 に中間的な周期特性を持つ地震波の代表として道示波(プレート境界型)による応答値を示す。浮体の応答は、応答/入力加速度比で 0.10 である。同規模の固定式橋梁であれば、形式にもよるが、固有周期で 1.5～2.0s の範囲であり、設計地震力で 800Gal 相当が予想される。一方、浮体の応答加速度は 30Gal であることから、免震性で優れ、かつ、固定式橋梁で課題となるような周期帯でもほとんど応答しないことがわかる。

3.3 長周期地震動による応答

図-7 に観測波(苦小牧)による応答値を示す。地震波の特徴として次の 2 点がある。①図-5, 6, 7 の最上段図で比較すると、ほかの地震波の最大値が数百 Gal のレベルであるのに対して、数十 Gal と非常に小さい。②次に図-4 の Fourier スペクトルの観点から見ると、周期 5.0s より長い周期の領域で多くのエネルギーを持つ。これらは、従来、道示波に代表されるような構造物の設計地震動にはない特徴である。浮体の応答は、応答/入力加速度比では 1.25 と増幅しているものの、値としてはほかの地震波と同様の数十 Gal レベルにあり、応答加速度への影響は少ないことがわかる。

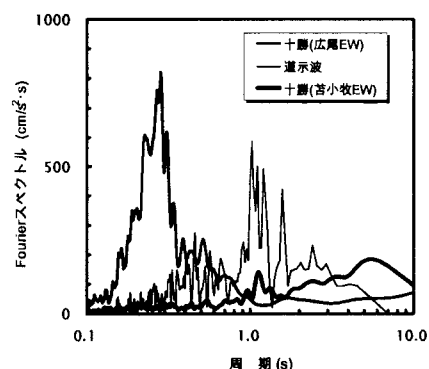


図-4 Fourier スペクトル

しかし、変位に関しては、ほかの地震波と異なり最大で 140cm 程度振幅している。これは、図-4 の Fourier スペクトルから推定すると、浮体の固有周期付近の周波数特性に起因しているものである。

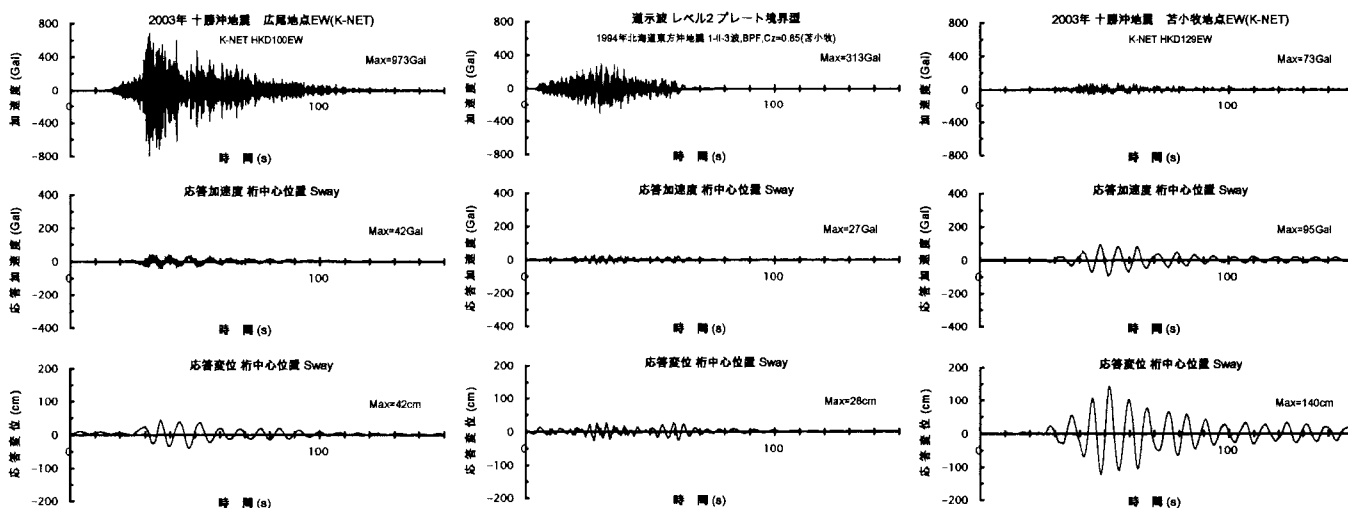


図-5

図-6

図-7

4. おわりに

- 浮体橋は、短周期成分が卓越する地震波や道示波のような短中周期型の波に対しては、免震性において優れている。
- 従来の耐震設計において、あまり想定されていなかった長周期地震動に関しては、応答加速度(力)は従来と同様に余り大きいものにはならないが、応答変位については、地震波の周波数特性に浮体橋の固有周期が近い場合、注意が必要であることがわかった。

【参考文献】 1) 独立行政法人 防災科学技術研究所: K-NET, <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/> 2) 日下理, 石丸勝, 小鴨竜智: 長い固有周期を持つ浮体式構造物(浮体橋)の免震性に関する一考察, 土木学会中国支部研究発表会概要集, pp71-72, 2001.6.