

長大斜張橋の架設時の耐震設計

Aseismic Design of a Long-Span Cable-Stayed Bridge

高橋 亘*¹
Wataru TAKAHASHI

Summary

As the dimensions of structures increase, the problem of how to reasonably evaluate natural forces exerted on a structure such as by wind and earthquakes becomes a more important design issue. This issue involves the balance between safety and the cost of the structure. No well-knit theory has yet been established for calculating values of force to be used for aseismic design, so it is common practice to empirically adopt one-half spectrum to the completed structure. The aseismic design of the Tsurumi-Tsubasabashi Bridge depended basically on this method and the bridge was provided with rubber bearings at its support points to extend its longitudinal vibration period.

This paper describes a case in which a base isolation structure was installed to counter the effects of the seismic force the structure was predicted to experience.

1. まえがき

構造物の長大化に伴って、風・地震などの自然外力を如何に合理的に見積もるかが設計上の重要なポイントとなる。一般的に完成系構造物に対しては、有識者による慎重な審議を経て設計条件すなわち耐震設計用のスペクトル・耐風設計上の基準風速などが決定される。しかしながら、これらの自然外力に対して施工時の安全性をどう保持するかというテーマに対しては、再現期間の評価法などの問題もあり若干あいまいな面もあるが通常は完成系構造物に対する評価の1/2（設計震度の1/2・風による抗力の1/2）を使用している。

この値は、論理的というよりは、むしろ、経験的に決められたものであるが鶴見つばさ橋でも基本的にこの手法を採用している。すなわち、施工時に対しては1/2スペクトルを使用して動的解析を行い安全性を照査している。ただし、鶴見つばさ橋の主桁の支持条件は主塔上、端橋脚上とも完成状態では可動であり、このままでは、施工時に発生する水平力に抵抗することができない。そこで、架設手順・橋脚の耐力などを勘案して主塔上で仮固定することにしたものである。

つぎに、どのような方法で仮固定するかという点であるが、通常は塔上の可動支承を押しえ込んでピン構造とする方法が一般的であるが、こうすると、大きな仮固定反力が発生し、本体構造物に与える影響は少ないものの、仮固定架台や鉛直支承が過大となり、また、主塔横

梁上のスペースの問題もある。より合理的な構造を模索する中で大規模地震に対してはゴムを用いて弾性的支持することにして、橋軸方向振動周期の長周期化を図り水平力の軽減を期待する構造を採用したものである。実際には、架設時に位置決めをする必要もあり、架設時に発生するアンバランス力と風荷重によって発生する水平力に対しては、ピン結合的に支持し、それを超過する大規模地震に対してはゴムを用いた免震仮固定とすることにした。本文はこれらの検討経緯と、実橋に適用した架設時の耐震設計の内容について報告するものである。

2. 架設時仮固定方法の選定

長大構造物の架設時の仮固定方法を特定することは、完成時構造物の設計思想を十分吟味して、固定位置・固定方法を選定する必要がある。最近の長大橋梁では構造物のもつ固有周期を出来るだけ長周期化して地震外力に対する応答値の低減を図っている。鶴見つばさ橋でも主塔と主桁の支持方式として弾性拘束ケーブルを用いて橋軸方向に弾性支持する構造としており、また、端橋脚はペンデル支承であるから、橋軸方向には可動である。

そこで、主として基礎構造の耐力の関係から架設時の仮固定位置は主塔上とすることにした。

(1) 架設時の地震外力の見積り

架設時に作用する地震外力は、既往の長大橋の例にな

*1 技術本部 第一設計部

らって、完成時の1/2スペクトルを使用するものとした。
 図-1に加速度応答スペクトルを、表-1にこのスペクトルを用いて解析した仮固定力を示す。完成時の1/2スペクトルを用いると鉛直支承を利用した仮固定の作用力が非常に大きく、また、主塔の応答値も大きくなる。この応答値を用いて仮固定装置を試算すると非常に過大なものとなるが、本体構造物は部分的に支配断面力が発生するものの、断面構成は可能であることが分かった。

比較のため、道路橋示方書に規定されるスペクトルの1/2を用いた解析を行ったが、応答値はそれほど改善さ

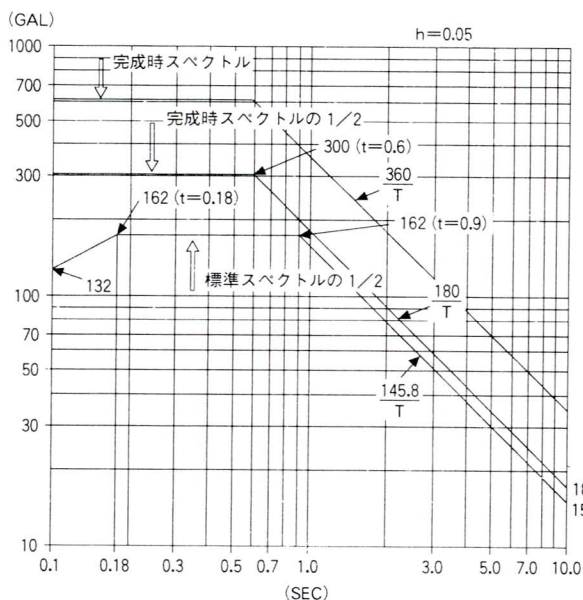


図-1 加速度応答スペクトル

れないこともわかった。以上の検討結果を踏まえて、架設時に作用する地震外力は完成時の1/2スペクトルを使用することとし、仮固定装置として現実的・合理的な方策を模索することとした。

(2) 免震仮固定を用いた動解結果

仮固定部に弱いバネを用いると当然ながら周期特性が変わり免震効果がある。ゴムを用いた弾性バネ（線形バネ）として解析すると表-2、表-3に示すように橋軸方向1次の固有振動周期は5.1secと大幅に長周期側に移行する。因に、ピン仮固定とした場合には橋軸方向1次の固有振動周期は3.6secである。

この解析の結果、架設時の仮固定力は201tf/沓となることがわかった。仮固定の構造を図-2に示す。また、この時使用するバネ値はゴム支承・緩衝装置などを参考にして下記のように定めた。

ゴム材料	ゴムの物性
材 質：天然ゴム	変 位：315mmの時
硬 度：60+5 Hs	圧 縮 率：41.4%
引長強さ：150Kgf/cm ² 以上	荷 重：201tf/沓
伸 び：400%以上	圧縮応力：41Kgf/cm ²
	K(バネ値)：638tf/m

図-3に解析に使用した仮固定ゴムの特性を示す。

表-1 仮固定反力

仮固定力 (塔自立、大ブロックモデル)					仮固定力 (架設時 1/2 系モデル)				
単位 (t)					単位 (t)				
橋軸方向地震時	P 2 側		P 3 側		橋軸方向地震時	P 2 側		P 3 側	
	Me. 652	Me. 654	Me. 652	Me. 654		Me. 652	Me. 654	Me. 652	Me. 654
完成時スペクトルの1/2	1,615.0	1,607.4	1,866.5	1,857.9	完成時スペクトルの1/2	1,789.1	1,789.1	3,022.2	3,022.2
標準スペクトルの1/2	1,040.3	1,034.7	1,467.4	1,460.3	標準スペクトルの1/2	1,235.8	1,235.8	1,817.9	1,817.9
橋軸直角方向地震時	P 2 側		P 3 側		橋軸直角方向地震時	P 2 側		P 3 側	
	Me. 652	Me. 654	Me. 652	Me. 654		Me. 652	Me. 654	Me. 652	Me. 654
完成時スペクトルの1/2	1,727.3	1,727.3	2,098.8	2,098.8	完成時スペクトルの1/2	1,969.9	1,969.9	1,778.3	1,778.3
標準スペクトルの1/2	1,366.7	1,366.7	1,696.2	1,696.2	標準スペクトルの1/2	1,493.9	1,493.9	1,403.9	1,403.9

表-2 弾性バネを用いた時の固有値解析結果（橋直方向）

モード 次数	固有周期 (sec)		固有振動数(C/Sec)		有効質量	
	P 2 側	P 3 側	P 2 側	P 3 側	P 2 側	P 3 側
1	6.015	6.018	0.166	0.166	433	454
2	1.510	1.565	0.660	0.639	173	5692
3	1.501	1.515	0.666	0.660	3279	32
4	1.125	1.126	0.889	0.888	42	12
5	0.865	0.934	1.156	1.071	7	2023800
6	0.751	0.865	1.331	1.156	2290	0
7	0.623	0.770	1.604	1.299	5878	925
8	0.568	0.650	1.761	1.538	1483000	1590
9	0.563	0.576	1.776	1.737	73898	721
10	0.442	0.442	2.260	2.260	0	0

(閉合寸前系固有値解析結果)

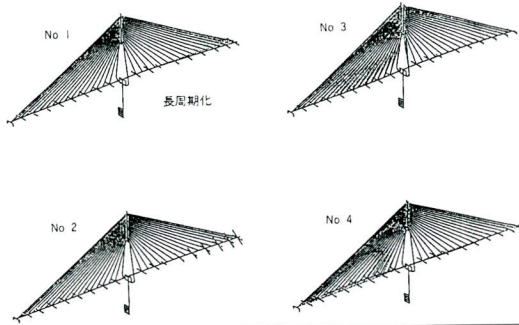


表-3 弾性バネを用いた時の固有値解析結果（橋軸方向）

モード 次数	固有周期 (sec)		固有振動数(C/Sec)		有効質量	
	P 2 側	P 3 側	P 2 側	P 3 側	P 2 側	P 3 側
1	5.132	5.147	0.195	0.194	1784	1894
2	3.643	3.643	0.274	0.274	6	6
3	1.758	1.759	0.569	0.568	49	83
4	1.241	1.242	0.806	0.805	11	38
5	1.012	1.021	0.988	1.979	366	5463
6	0.803	0.935	1.246	1.070	8488	2014300
7	0.652	0.892	1.534	1.121	90	10326
8	0.636	0.652	1.572	1.533	244	17
9	0.568	0.637	1.762	1.570	1557500	41
10	0.502	0.508	1.992	1.969	327	861

(閉合寸前系固有値解析結果)

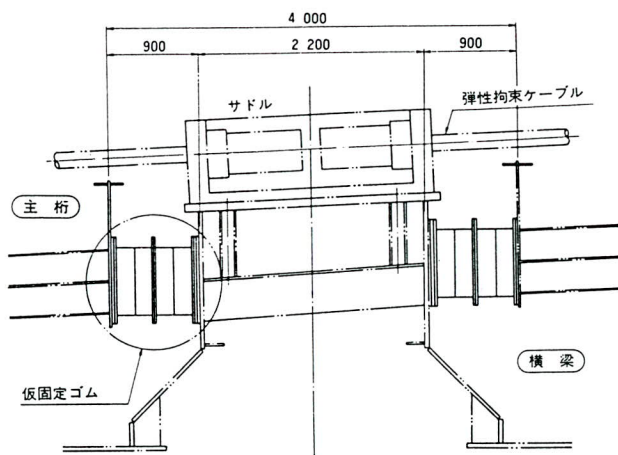
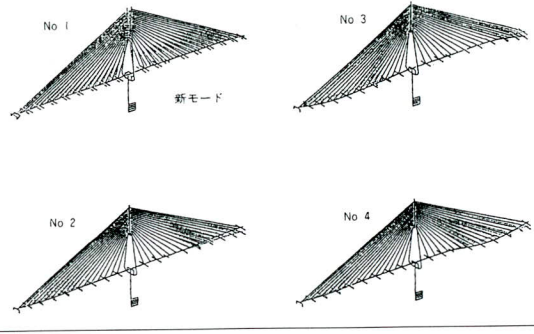


図-2 主塔上仮固定装置

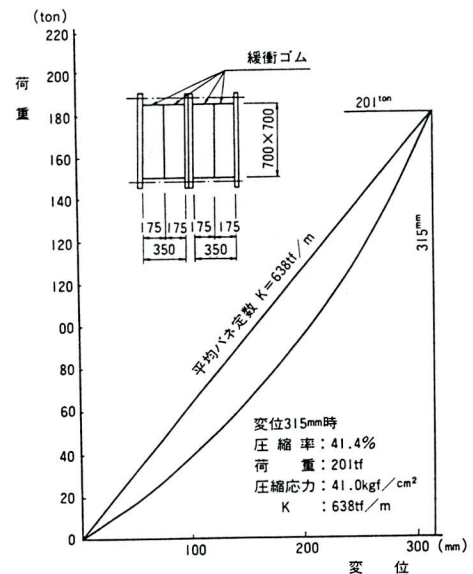


図-3 仮固定ゴムの特性

3. 架設時の耐震設計

免震仮固定装置を用いた動解析の結果ゴムを用いた装置で十分免震効果があり、その際に剛仮固定時に発生する応答値を超過することはないことが分かった。そこで、架設時の耐震設計の基本方針として主塔と主桁の間に仮固定ゴムを設置して架設時の大規模地震に対処することにした。ただし、構造各部の設計に際しては剛仮固

定時に発生する応答値を用いることとし、架設施工上必要となる仮固定設備に対しては地震外力以外の架設時アンバランス力と風荷重に抵抗できるようにした。

(1) 架設機材に作用する地震力

本体構造物の架設時の耐震性は前述の方法で十分安全

が保障できると考えられる。ただし、架設機材についてはその設置位置が特定されているもの（水切クレーン・主塔架設クレーン）、広範囲に分布しているもの、橋梁本体の慣性力を受けるもの（塔頂クレーン）などがあり、これらの全てに対して動解析を行うことは煩雑であるばかりでなく、載荷重位置の特定にも無理があり得策でない。そこで、基本的には動解析の結果によるが、具体的には次のように取り扱うことにした。すなわち、機材位置が決まっているものはその位置の応答加速度から静的震度をもとめ、広範囲に分布しているものは加速度分布を平準化する意味で応答反力から逆算した静的震度を用いて応力照査をおこなった。

(2) 架設時の設計震度

1) 橋梁本体

構造・質量をモデル化した動解析により照査を行う。なお、仮固定装置は、この結果では過大となるため免震性を考慮した設計とする。

2) 架設機材

a) 位置が固定され局所的なものは動解析より得られたその位置での応答加速度 (α) から震度を算定する。

$$Kh = \alpha / 980 \quad (\alpha: gal)$$

b) 広範囲に分布しているもの、もしくは桁・塔の慣性力を受けるものは反力から算定される震度を用いる。

主桁震度……………0.20 (表-4より)

主塔震度……………0.30 (表-5より)

鉛直震度……………0.10 (表-6より)

表-4 反力から求まる設計震度 (桁) (単位: t)

	架設時 1/2系モデル			独立塔・大ブロック系モデル			
	P2側	P3側	平均	P2側	P3側	平均	
橋軸 直角 反力	端支点	802.370	560.664	681.517	854.697	515.145	684.921
	塔支点	1864.376	1324.191	1594.284	1468.754	1129.782	1299.268
	総合計	2666.746	1884.855	2275.801	2323.451	1644.927	1984.189
	重量	12725.660	12725.660	12725.660	9750.810	9750.810	9750.810
	換算震度	0.210	0.148	0.179	0.238	0.169	0.203
橋軸 反力	港内側	1026.218	1026.218	1026.218	1026.218	1026.218	1026.218
	港外側	1026.218	1026.218	1026.218	1026.218	1026.218	1026.218
	合計	2052.436	2052.436	2052.436	2052.436	2052.436	2052.436
	重量	12725.660	12725.660	12725.660	9750.810	9750.810	9750.810
	換算震度	0.161	0.161	0.161	0.210	0.210	0.210

表-5 反力から求まる設計震度 (塔) (単位: t)

	架設時 1/2系モデル			独立塔・大ブロック系モデル			
	P2側	P3側	平均	P2側	P3側	平均	
橋軸 直角 反力	作用力	1523.708	686.182	1104.945	3354.796	559.988	1957.392
	重量	3956.670	3956.670	3956.670	3778.080	3778.080	3778.080
	換算震度	0.385	0.173	0.279	0.888	0.148	0.518
橋軸 反力	作用力	604.620	1740.163	1172.392	609.057	873.521	741.289
	重点	3956.670	3956.670	3956.670	3778.080	3778.080	3778.080
	換算震度	0.153	0.440	0.298	0.161	0.231	0.196

表-6 反力から求まる設計震度 (鉛直方向) (単位: t)

	1/2系			大ブロック系			
	P2側	P3側	平均	P2側	P3側	平均	
鉛直 反力	端支点	338.436	525.522	431.979	185.106	764.792	474.949
	塔下端	941.642	1499.097	1220.369	475.384	901.870	688.627
	ペント	539.544	862.940	701.242	1322.702	2255.052	1788.877
	総合計	1819.622	2887.559	2353.590	1983.192	3921.714	2952.453
	重量	28392.550	28392.550	28392.550	25239.110	25239.110	25239.110
	換算震度	0.064	0.102	0.083	0.079	0.155	0.117

4. まとめ

鶴見つばさ橋では、完成時の主塔と主桁との橋軸方向の支持方式は弾性拘束ケーブルを用いてバネ的に支持する構造である。架設施工時に仮固定方法をどうするかという点に関して議論を重ねた結果、主塔と主桁の間にゴムを使った弱いバネを挿入して免震仮固定とすることにした。これは、構造的に弾性拘束ケーブルの受梁を有効に利用できることと、剛仮固定とすると過大な応答値が生じあまりにも不経済となるため、何らかの工夫ができないかという事から出発したものである。上部構造を支える橋脚構造の設計思想にもよるが、架設施工時には位置決めのため何らかの方法で仮固定する必要があり、本橋で用いた免震仮固定が今後の長大橋梁の参考になれば幸いである。

<参考文献>

- 1) 栗林、宮崎：施工時の地震荷重の決め方についての
一提案 橋梁と基礎 1973.5
- 2) 鋼構造架設設計指針 土木学会編
- 3) 高橋、渡辺、柴山：鶴見航路橋（仮称）の設計と架
設 宮地技報 No.10

1995.8.8受付