

川田工業(株) 正会員 ○ 米田 昌弘
東京大学 正会員 伊藤 学

1. まえがき 耐風性を考慮した長大吊橋の補剛桁として、トラス形式と流線形箱桁形式がある。我が国では諸般の事情からトラス形式が主流であり、最近では、大島大橋に流線形箱桁形式が採用されたことより、今後この形式の吊橋が増加するものと考えられている。従来のトラス形式では、おじいフック効果の耐風安定性を支配する最も重要な現象であったことが知られている。一方、流線形箱桁形式では、水平風の流れによる曲りおじいフック効果、すなわち、構造減衰が小さい場合、この断面が比較的柔くなり、おじいフック効果が発生する可能性がある。自然風の流れによるバリエーションに対しては、必要とされる耐風性能が異なるものと考えられている。

このような振動を抑制する手法は、質量や剛性の増強や減衰の増強に大別される。質量や剛性の増強は有効な方法であるが、種々の制約の下で、この方法に頼ることは出来ず、減衰や剛性の増強の重要性が大きいと考えられている。吊橋における質量の増強は、橋脚や橋台に質量を付加して、トラス形式に対しては、経済的優位性を保ち、耐風安定性上重要な振動の振動数が大幅に低下しないように、減衰や剛性の増強の1つとして、吊橋の耐風安定性に対する質量の効果を検討する必要があると考えられている。そこで、本章では概略設計レベルで、吊橋を用いた固有振動特性の風による、減衰と質量の振動数に及ぼす効果について検討し、結果を報告する。

2. 対象として吊橋 対象として吊橋は、中央径間長1,000mの3径間連続変形吊橋であり、本図は概略設計レベルで概略設計した。概略設計に用いた、図-1に示すような流線形箱桁形式(Bタイプ)を基本系に採用し、その変形を考慮した場合(SBタイプ)と箱桁中央に質量を付加した場合(MBタイプ)、さらに箱桁モーメントをMBタイプより大きくするもの(MBタイプ)と質量を箱桁中央より5m離した位置に付加した場合(IBタイプ)について、概略設計を実施した。これらの断面質量を表-1に示す。

3. 固有振動数 耐風安定性を検討する際に重要なものは、吊橋の固有振動数であり、おじいフック効果の振動数は図-2に示す。また、無次元の質量のパラメータに着目して整理した結果を、図-3、図-4に示す。これらの結果より、MBタイプでは、固有振動数が概略設計、おじいフック効果の振動数とほぼ同じ値を下回っていることが判る。また、IBタイプ

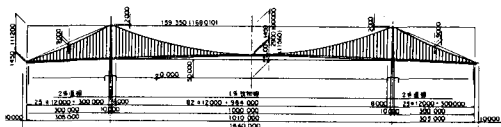
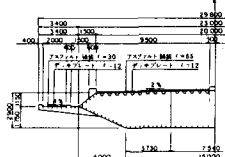


図-1 対象とした吊橋の一般図

表-1 断面質量

項目	形式	基本形 箱桁形式 (B1, B2)				質量付加型 箱桁形式 (MB1, MB2)			
		質量 (kg)	質量 (kg)	質量 (kg)	質量 (kg)	質量 (kg)	質量 (kg)	質量 (kg)	質量 (kg)
箱桁	メインケーブル	53.00	6.00	6.50	7.00	6.00	6.50	7.00	7.00
	吊橋	10.083	10.083	10.083	10.083	1.883	1.883	1.883	1.883
	吊橋	3.117	3.117	3.117	3.117	3.117	3.117	3.117	3.117
	吊橋	18.500	19.200	19.700	20.200	22.000	24.500	27.000	27.000
橋脚	橋脚	127.0	136.5	143.2	150.0	136.5	143.2	150.0	150.0
	橋脚	230	230	230	230	230	230	230	230
	橋脚	0.564	0.648	0.713	0.773	0.648	0.713	0.773	0.773
	橋脚	100	87.73	80.408	74.815	100	100	100	100
橋台	橋台	231.25	275.00	306.25	337.50	275.00	306.25	337.50	337.50
	橋台	1.239	1.239	1.239	1.239	1.239	1.239	1.239	1.239
	橋台	5.8119	5.8119	5.8119	5.8119	5.8119	5.8119	5.8119	5.8119
	橋台	3.13×10 ⁴	3.13×10 ⁴	3.13×10 ⁴	3.13×10 ⁴	3.13×10 ⁴	3.13×10 ⁴	3.13×10 ⁴	3.13×10 ⁴
その他	その他	2.68×10 ⁷	2.68×10 ⁷	2.68×10 ⁷	2.68×10 ⁷	2.68×10 ⁷	2.68×10 ⁷	2.68×10 ⁷	2.68×10 ⁷
	その他	2.68×10 ⁷	2.68×10 ⁷	2.68×10 ⁷	2.68×10 ⁷	2.68×10 ⁷	2.68×10 ⁷	2.68×10 ⁷	2.68×10 ⁷
	その他	2.68×10 ⁷	2.68×10 ⁷	2.68×10 ⁷	2.68×10 ⁷	2.68×10 ⁷	2.68×10 ⁷	2.68×10 ⁷	2.68×10 ⁷
	その他	2.68×10 ⁷	2.68×10 ⁷	2.68×10 ⁷	2.68×10 ⁷	2.68×10 ⁷	2.68×10 ⁷	2.68×10 ⁷	2.68×10 ⁷

注1) ケーブルの質量は、ケーブルの長さ、ケーブルの断面積、ケーブルの密度から算出されている。

注2) ケーブルの質量は、ケーブルの長さ、ケーブルの断面積、ケーブルの密度から算出されている。

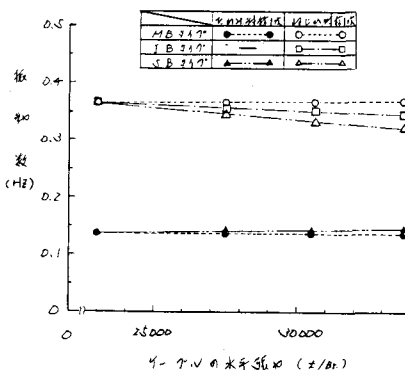


図-2 ケーブルの質量比と固有振動数

7°を許すに於ては、
振動数が若干低下して
ゐるが、SBタイプは
と低下してゐることは
判る。

4. 耐風安全性の検討

水平風の場合、
流線が橋桁を通過する
に際して曲がらぬとい
うから、7°を発生する
と予想される。そこで、
Bleichの方法²⁾を用

いて曲がらぬとい
う7°の限界風速を計算し
た。計算結果に補正係数
0.8を乗じた結果を図-5
に示す。図より、MBタ
イプとIBタイプでは、
質量大振動性エメント
が増加するに従、2限界
風速が上昇するのに対し、
逆にSBタイプでは、サ
ビが小さくなるに従、2
限界風速が低下する傾向
が見られる。

一方、図-6に示す7°半橋振動特性を有する断面の半橋受振模型
風洞実験結果より算定した非定常風荷を用いて、おじり橋振動の時
系列応答解析を実施した。存続、計算にわたる、2、8、12、16、20、24、28、32、36、40、44、48、52、56、60、64、68、72、76、80、84、88、92、96、100、104、108、112、116、120、124、128、132、136、140、144、148、152、156、160、164、168、172、176、180、184、188、192、196、200、204、208、212、216、220、224、228、232、236、240、244、248、252、256、260、264、268、272、276、280、284、288、292、296、300、304、308、312、316、320、324、328、332、336、340、344、348、352、356、360、364、368、372、376、380、384、388、392、396、400、404、408、412、416、420、424、428、432、436、440、444、448、452、456、460、464、468、472、476、480、484、488、492、496、500、504、508、512、516、520、524、528、532、536、540、544、548、552、556、560、564、568、572、576、580、584、588、592、596、600、604、608、612、616、620、624、628、632、636、640、644、648、652、656、660、664、668、672、676、680、684、688、692、696、700、704、708、712、716、720、724、728、732、736、740、744、748、752、756、760、764、768、772、776、780、784、788、792、796、800、804、808、812、816、820、824、828、832、836、840、844、848、852、856、860、864、868、872、876、880、884、888、892、896、900、904、908、912、916、920、924、928、932、936、940、944、948、952、956、960、964、968、972、976、980、984、988、992、996、1000、1004、1008、1012、1016、1020、1024、1028、1032、1036、1040、1044、1048、1052、1056、1060、1064、1068、1072、1076、1080、1084、1088、1092、1096、1100、1104、1108、1112、1116、1120、1124、1128、1132、1136、1140、1144、1148、1152、1156、1160、1164、1168、1172、1176、1180、1184、1188、1192、1196、1200、1204、1208、1212、1216、1220、1224、1228、1232、1236、1240、1244、1248、1252、1256、1260、1264、1268、1272、1276、1280、1284、1288、1292、1296、1300、1304、1308、1312、1316、1320、1324、1328、1332、1336、1340、1344、1348、1352、1356、1360、1364、1368、1372、1376、1380、1384、1388、1392、1396、1400、1404、1408、1412、1416、1420、1424、1428、1432、1436、1440、1444、1448、1452、1456、1460、1464、1468、1472、1476、1480、1484、1488、1492、1496、1500、1504、1508、1512、1516、1520、1524、1528、1532、1536、1540、1544、1548、1552、1556、1560、1564、1568、1572、1576、1580、1584、1588、1592、1596、1600、1604、1608、1612、1616、1620、1624、1628、1632、1636、1640、1644、1648、1652、1656、1660、1664、1668、1672、1676、1680、1684、1688、1692、1696、1700、1704、1708、1712、1716、1720、1724、1728、1732、1736、1740、1744、1748、1752、1756、1760、1764、1768、1772、1776、1780、1784、1788、1792、1796、1800、1804、1808、1812、1816、1820、1824、1828、1832、1836、1840、1844、1848、1852、1856、1860、1864、1868、1872、1876、1880、1884、1888、1892、1896、1900、1904、1908、1912、1916、1920、1924、1928、1932、1936、1940、1944、1948、1952、1956、1960、1964、1968、1972、1976、1980、1984、1988、1992、1996、2000、2004、2008、2012、2016、2020、2024、2028、2032、2036、2040、2044、2048、2052、2056、2060、2064、2068、2072、2076、2080、2084、2088、2092、2096、2100、2104、2108、2112、2116、2120、2124、2128、2132、2136、2140、2144、2148、2152、2156、2160、2164、2168、2172、2176、2180、2184、2188、2192、2196、2200、2204、2208、2212、2216、2220、2224、2228、2232、2236、2240、2244、2248、2252、2256、2260、2264、2268、2272、2276、2280、2284、2288、2292、2296、2300、2304、2308、2312、2316、2320、2324、2328、2332、2336、2340、2344、2348、2352、2356、2360、2364、2368、2372、2376、2380、2384、2388、2392、2396、2400、2404、2408、2412、2416、2420、2424、2428、2432、2436、2440、2444、2448、2452、2456、2460、2464、2468、2472、2476、2480、2484、2488、2492、2496、2500、2504、2508、2512、2516、2520、2524、2528、2532、2536、2540、2544、2548、2552、2556、2560、2564、2568、2572、2576、2580、2584、2588、2592、2596、2600、2604、2608、2612、2616、2620、2624、2628、2632、2636、2640、2644、2648、2652、2656、2660、2664、2668、2672、2676、2680、2684、2688、2692、2696、2700、2704、2708、2712、2716、2720、2724、2728、2732、2736、2740、2744、2748、2752、2756、2760、2764、2768、2772、2776、2780、2784、2788、2792、2796、2800、2804、2808、2812、2816、2820、2824、2828、2832、2836、2840、2844、2848、2852、2856、2860、2864、2868、2872、2876、2880、2884、2888、2892、2896、2900、2904、2908、2912、2916、2920、2924、2928、2932、2936、2940、2944、2948、2952、2956、2960、2964、2968、2972、2976、2980、2984、2988、2992、2996、3000、3004、3008、3012、3016、3020、3024、3028、3032、3036、3040、3044、3048、3052、3056、3060、3064、3068、3072、3076、3080、3084、3088、3092、3096、3100、3104、3108、3112、3116、3120、3124、3128、3132、3136、3140、3144、3148、3152、3156、3160、3164、3168、3172、3176、3180、3184、3188、3192、3196、3200、3204、3208、3212、3216、3220、3224、3228、3232、3236、3240、3244、3248、3252、3256、3260、3264、3268、3272、3276、3280、3284、3288、3292、3296、3300、3304、3308、3312、3316、3320、3324、3328、3332、3336、3340、3344、3348、3352、3356、3360、3364、3368、3372、3376、3380、3384、3388、3392、3396、3400、3404、3408、3412、3416、3420、3424、3428、3432、3436、3440、3444、3448、3452、3456、3460、3464、3468、3472、3476、3480、3484、3488、3492、3496、3500、3504、3508、3512、3516、3520、3524、3528、3532、3536、3540、3544、3548、3552、3556、3560、3564、3568、3572、3576、3580、3584、3588、3592、3596、3600、3604、3608、3612、3616、3620、3624、3628、3632、3636、3640、3644、3648、3652、3656、3660、3664、3668、3672、3676、3680、3684、3688、3692、3696、3700、3704、3708、3712、3716、3720、3724、3728、3732、3736、3740、3744、3748、3752、3756、3760、3764、3768、3772、3776、3780、3784、3788、3792、3796、3800、3804、3808、3812、3816、3820、3824、3828、3832、3836、3840、3844、3848、3852、3856、3860、3864、3868、3872、3876、3880、3884、3888、3892、3896、3900、3904、3908、3912、3916、3920、3924、3928、3932、3936、3940、3944、3948、3952、3956、3960、3964、3968、3972、3976、3980、3984、3988、3992、3996、4000、4004、4008、4012、4016、4020、4024、4028、4032、4036、4040、4044、4048、4052、4056、4060、4064、4068、4072、4076、4080、4084、4088、4092、4096、4100、4104、4108、4112、4116、4120、4124、4128、4132、4136、4140、4144、4148、4152、4156、4160、4164、4168、4172、4176、4180、4184、4188、4192、4196、4200、4204、4208、4212、4216、4220、4224、4228、4232、4236、4240、4244、4248、4252、4256、4260、4264、4268、4272、4276、4280、4284、4288、4292、4296、4300、4304、4308、4312、4316、4320、4324、4328、4332、4336、4340、4344、4348、4352、4356、4360、4364、4368、4372、4376、4380、4384、4388、4392、4396、4400、4404、4408、4412、4416、4420、4424、4428、4432、4436、4440、4444、4448、4452、4456、4460、4464、4468、4472、4476、4480、4484、4488、4492、4496、4500、4504、4508、4512、4516、4520、4524、4528、4532、4536、4540、4544、4548、4552、4556、4560、4564、4568、4572、4576、4580、4584、4588、4592、4596、4600、4604、4608、4612、4616、4620、4624、4628、4632、4636、4640、4644、4648、4652、4656、4660、4664、4668、4672、4676、4680、4684、4688、4692、4696、4700、4704、4708、4712、4716、4720、4724、4728、4732、4736、4740、4744、4748、4752、4756、4760、4764、4768、4772、4776、4780、4784、4788、4792、4796、4800、4804、4808、4812、4816、4820、4824、4828、4832、4836、4840、4844、4848、4852、4856、4860、4864、4868、4872、4876、4880、4884、4888、4892、4896、4900、4904、4908、4912、4916、4920、4924、4928、4932、4936、4940、4944、4948、4952、4956、4960、4964、4968、4972、4976、4980、4984、4988、4992、4996、5000、5004、5008、5012、5016、5020、5024、5028、5032、5036、5040、5044、5048、5052、5056、5060、5064、5068、5072、5076、5080、5084、5088、5092、5096、5100、5104、5108、5112、5116、5120、5124、5128、5132、5136、5140、5144、5148、5152、5156、5160、5164、5168、5172、5176、5180、5184、5188、5192、5196、5200、5204、5208、5212、5216、5220、5224、5228、5232、5236、5240、5244、5248、5252、5256、5260、5264、5268、5272、5276、5280、5284、5288、5292、5296、5300、5304、5308、5312、5316、5320、5324、5328、5332、5336、5340、5344、5348、5352、5356、5360、5364、5368、5372、5376、5380、5384、5388、5392、5396、5400、5404、5408、5412、5416、5420、5424、5428、5432、5436、5440、5444、5448、5452、5456、5460、5464、5468、5472、5476、5480、5484、5488、5492、5496、5500、5504、5508、5512、5516、5520、5524、5528、5532、5536、5540、5544、5548、5552、5556、5560、5564、5568、5572、5576、5580、5584、5588、5592、5596、5600、5604、5608、5612、5616、5620、5624、5628、5632、5636、5640、5644、5648、5652、5656、5660、5664、5668、5672、5676、5680、5684、5688、5692、5696、5700、5704、5708、5712、5716、5720、5724、5728、5732、5736、5740、5744、5748、5752、5756、5760、5764、5768、5772、5776、5780、5784、5788、5792、5796、5800、5804、5808、5812、5816、5820、5824、5828、5832、5836、5840、5844、5848、5852、5856、5860、5864、5868、5872、5876、5880、5884、5888、5892、5896、5900、5904、5908、5912、5916、5920、5924、5928、5932、5936、5940、5944、5948、5952、5956、5960、5964、5968、5972、5976、5980、5984、5988、5992、5996、6000、6004、6008、6012、6016、6020、6024、6028、6032、6036、6040、6044、6048、6052、6056、6060、6064、6068、6072、6076、6080、6084、6088、6092、6096、6100、6104、6108、6112、6116、6120、6124、6128、6132、6136、6140、6144、6148、6152、6156、6160、6164、6168、6172、6176、6180、6184、6188、6192、6196、6200、6204、6208、6212、6216、6220、6224、6228、6232、6236、6240、6244、6248、6252、6256、6260、6264、6268、6272、6276、6280、6284、6288、6292、6296、6300、6304、6308、6312、6316、6320、6324、6328、6332、6336、6340、6344、6348、6352、6356、6360、6364、6368、6372、6376、6380、6384、6388、6392、6396、6400、6404、6408、6412、6416、6420、6424、6428、6432、6436、6440、6444、6448、6452、6456、6460、6464、6468、6472、6476、6480、6484、6488、6492、6496、6500、6504、6508、6512、6516、6520、6524、6528、6532、6536、6540、6544、6548、6552、6556、6560、6564、6568、6572、6576、6580、6584、6588、6592、6596、6600、6604、6608、6612、6616、6620、6624、6628、6632、6636、6640、6644、6648、6652、6656、6660、6664、6668、6672、6676、6680、6684、6688、6692、6696、6700、6704、6708、6712、6716、6720、6724、6728、6732、6736、6740、6744、6748、6752、6756、6760、6764、6768、6772、6776、6780、6784、6788、6792、6796、6800、6804、6808、6812、6816、6820、6824、6828、6832、6836、6840、6844、6848、6852、6856、6860、6864、6868、6872、6876、6880、6884、6888、6892、6896、6900、6904、6908、6912、6916、6920、6924、6928、6932、6936、6940、6944、6948、6952、6956、6960、6964、6968、6972、6976、6980、6984、6988、6992、6996、7000、7004、7008、7012、7016、7020、7024、7028、7032、7036、7040、7044、7048、7052、7056、7060、7064、7068、7072、7076、7080、7084、7088、7092、7096、7100、7104、7108、7112、7116、7120、7124、7128、7132、7136、7140、7144、7148、7152、7156、7160、7164、7168、7172、7176、7180、7184、7188、7192、7196、7200、7204、7208、7212、7216、7220、7224、7228、7232、7236、7240、7244、7248、7252、7256、7260、7264、7268、7272、7276、7280、7284、7288、7292、7296、7300、7304、7308、7312、7316、7320、7324、7328、7332、7336、7340、7344、7348、7352、7356、7360、7364、7368、7372、7376、7380、7384、7388、7392、7396、7400、7404、7408、7412、7416、7420、7424、7428、7432、7436、7440、7444、7448、7452、7456、7460、7464、7468、7472、7476、7480、7484、7488、7492、7496、7500、7504、7508、7512、7516、7520、7524、7528、7532、7536、7540、7544、7548、7552、7556、7560、7564、7568、7572、7576、7580、7584、7588、7592、7596、7600、7604、7608、7612、7616、7620、7624、7628、7632、7636、7640、7644、7648、7652、7656、7660、7664、7668、7672、7676、7680、7684、7688、7692、7696、7700、7704、7708、7712、7716、7720、7724、7728、7732、7736、7740、7744、7748、7752、7756、7760、7764、7768、7772、7776、7780、7784、7788、7792、7796、7800、7804、7808、7812、7816、7820、7824、7828、7832、7836、7840、7844、7848、7852、7856、7860、7864、7868、7872、7876、7880、7884、7888、7892、7896、7900、7904、7908、7912、7916、7920、7924、7928、7932、7936、7940、7944、7948、7952、7956、7960、7964、7968、7972、7976、7980、7984、7988、7992、7996、8000、8004、8008、8012、8016、8020、8024、8028、8032、8036、8040、8044、8048、8052、8056、8060、8064、8068、8072、8076、8080、8084、8088、8092、8096、8100、8104、8108、8112、8116、8120、8124、8128、8132、8136、8140、8144、8148、8152、8156、8160、8164、8168、8172、8176、8180、8184、8188、8192、8196、8200、8204、8208、8212、8216、8220、8224、8228、8232、8236、8240、8244、8248、8252、8256、8260、8264、8268、8272、8276、8280、8284、8288、8292、8296、8300、8304、8308、8312、8316、8320、8324、8328、8332、8336、8340、8344、8348、8352、8356、8360、8364、8368、8372、8376、8380、8384、8388、8392、8396、8400、8404、8408、8412、8416、8420、8424、8428、8432、8436、8440、8444、8448、8452、8456、8460、8464、8468、8472、8476、8480、8484、8488、8492、8496、8500、8504、8508、8512、8516、8520、8524、8528、8532、8536、8540、8544、8548、8552、8556、8560、8564、8568、8572、8576、8580、8584、8588、8592、8596、8600、8604、8608、8612、8616、8620、8624、8628、8632、8636、8640、8644、8648、8652、8656、8660、8664、8668、8672、8676、8680、8684、8688、8692、8696、8700、8704、8708、8712、8716、8720、8724、8728、8732、8736、8740、8744、8748、8752、8756、8760、8764、8768、8772、8776、8780、8784、8788、8792、8796、8800、8804、8808、8812、8816、8820、8824、8828、8832、8836、8840、8844、8848、8852、8856、8860、8864、8868、8872、8876、8880、8884、8888、8892、8896、8900、8904、8908、8912、8916、8920、8924、8928、8932、8936、8940、8944、8948、8952、8956、8960、8964、8968、8972、8976、8980、8984、8988、8992、8996、9000、9004、9008、9012、9016、9020、9024、9028、9032、9036、9040、9044、9048、9052、9056、9060、9064、9068、9072、9076、9080、9084、9088、9092、9096、9100、9104、9108、9112、9116、9120、9124、9128、9132、9136、9140、9144、9148、9152、9156、9160、9164、9168、9172、9176、9180、9184、9188、9192、9196、9200、9204、9208、9212、9216、9220、9224、9228、9232、9236、9240、9244、9248、9252、9256、9260、9264、9268、9272、9276、9280、9284、9288、9292、9296、9300、9304、9308、9312、9316、9320、9324、9328、9332、9336、9340、9344、9348、9352、9356、9360、9364、9368、9372、9376、9380、9384、9388、9392、9396、9400、9404、9408、9412、9416、9420、9424、9428、9432、9436、9440、9444、9448、9452、9456、9460、9464、9468、9472、9476、9480、9484、9488、9492、9496、9500、9504、9508、9512、9516、9520、9524、9528、9532、9536、9540、9544、9548、9552、9556、9560、9564、9568、9572、9576、9580、9584、9588、9592、9596、9600、9604、9608、9612、9616、9620、9624、9628、9632、9636、9640、9644、9648、9652、9656、9660、9664、9668、9672、9676、9680、9684、9688、9692、9696、9700、9704、9708、9712、9716、9720、9724、9728、9732、9736、9740、9744、9748、975