

2 主桁合成構造斜張橋のクリープ解析と ねじり振動解析

星 埜 正明¹

¹正会員 工博 Dr.-Ing. 日本大学教授 理工学部交通土木工学科
(〒274 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

本論文は、最近海外で建設例の増加している2主桁合成構造斜張橋のクリープ解析とねじり振動解析について述べたものである。この形式の斜張橋では、桁はコンクリート床版と鋼桁から成る合成桁構造となるため、コンクリート床版のクリープにより応力の移行が生じる。設計上この応力の移行を的確に評価することは重要であり、本論文ではその解析方法について詳しい検討を行っている。

一方、桁は Π 形をした開断面をしているため、ねじり剛性は箱断面に比べ著しく小さい。そのため、ねじり振動の固有振動数が低く、特に耐風性との関連で設計上的確にねじり振動解析を行うことは重要である。本論文では、開断面桁の特性を十分考慮したねじり振動解析方法についても検討を行っている。

Key Words : cable-stayed bridges, concrete-steel composite girder, creep analysis, torsional vibration analysis

1. まえがき

斜張橋の新しい構造形式として、桁に床版コンクリートと鋼桁とを合成した合成桁を採用した、いわゆる合成構造斜張橋がカナダ、アメリカ合衆国、中国などで相次いで建設されている^{1), 2), 3)}。その最大のもは上海市の黄浦江に架かる楊浦橋で、中央径間長は602mで1993年10月に完成している。我が国では本格的なものはまだ実現されていないが、検討はされており今後発展の期待される橋梁形式の一つと言える⁴⁾。

合成桁の断面構造にはいくつかの種類があるが、カナダのアナシス橋に代表されるような、断面の両端にI桁を配置した2主桁形式が広く採用されている。したがって、ここではこのような2主桁形式の合成構造斜張橋を検討対象とする。

この種の斜張橋がPCあるいは鋼の斜張橋と大きく異なる特徴的な点は、桁がコンクリートと鋼の合成構造になっていることと、ねじり剛性の小さい開断面構造が採用されていることである。開断面桁はPCあるいは鋼の斜張橋でも用いられることはあるが、主径間が300mを超えるような長大斜張橋で採用された例は極めて僅かである。

このような特徴を有する2主桁合成構造斜張橋の設計で問題になることとして、床版コンクリートのクリープの影響を実用上十分な精度で評価することと、ねじり固有振動解析を的確に行うことの2つを挙げることができる。上述のように、この形式の斜張橋の実施例は多くあるにも関わらず、実際にクリ

ープ解析あるいはねじり振動解析がどのようにして行われているのか、詳しい報告は見当たらずはつきりしない。

合成桁を有する斜張橋のクリープ解析の難しさは、合成桁内部で床版コンクリートから鋼桁への応力移行が生じるのみならず、合成桁とケーブルあるいは塔との間で断面力の移行が生じることにある。このような複雑なクリープによる応力移行現象を十分正確に求めるための解析方法について、本論文では詳しい検討を行った。

一方、2主桁形式の合成桁は Π 形をした開断面となり、サンブナンのねじり剛性でなく、曲げねじり剛性が主体となるため、ねじり剛性は箱断面に比べて小さい。このことから、ねじり固有振動数が低く耐風性についての十分な検討が要求されることが多い。このとき、ねじり固有振動解析を的確に行うことが耐風性を判断する上で重要となるが、上述のように曲げねじり剛性が主体となることから、精度の高い振動解析をこの形式の斜張橋に対して行うことは必ずしも容易ではない。同様のことは、PC斜張橋ではあるが、ヘルゲラント橋（中央径間長423m）の耐風性の検討においても認められる⁵⁾。本論文ではこの問題についても詳しい検討を行った。

本論文では、具体的にある一つの2主桁合成構造斜張橋を想定し、それを対象として実際にクリープ解析あるいはねじり振動解析を行い、解析方法について検討するという方法を採用した。クリープ解析、ねじり振動解析ともそれぞれ2種類の解析方法を用い、両者を比較しながら検討を進めている。

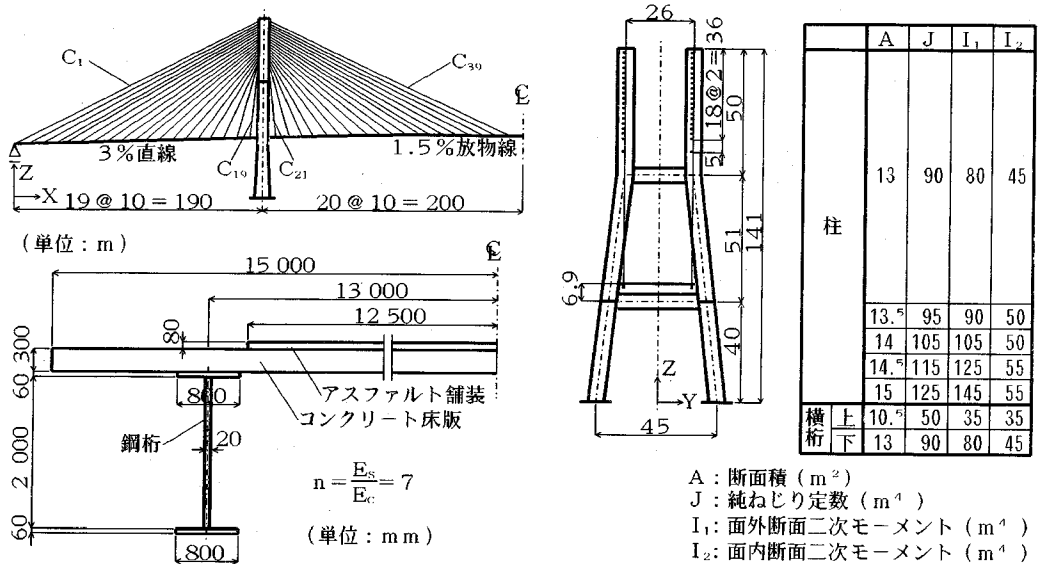


図-1 解析の対象とした2主桁合成構造斜張橋

表-1 ケーブルの断面積と初期張力

番号	断面積	張力	14	0.0050	4430
1	0.0175	13780	15		4430
2		7790	16		4420
3	0.0075	7800	17		3710
4		7800	18		3690
5	0.0060	7110	19		3660
6		7110	20		0.0050
7	0.0060	7120	21~23	0.0050	3630
8		6120	24~26		4310
9	0.0060	6130	27~29	0.0060	5190
10		6130	30~32		5980
11	0.0075	5330	33~35	0.0075	6960
12		5340	36~38		7640
13	0.0150	5340	39	0.0150	13520

(単位: m², kN)

本論文では、最初に対象とした2主桁合成構造斜張橋について説明し、次に、クリープ解析について述べ、続いてねじり振動解析について論じている。

2. 解析の対象とした2主桁合成構造斜張橋

本論文で検討の対象としているのはカナダのアナシス橋や上海市の南浦橋で代表されるような形式の合成構造斜張橋である。これらの橋梁および我が国で検討された橋梁⁴⁾の構造緒元を参考にして、本論文では図-1に示すような2主桁合成構造斜張橋を解析の対象として設定した。

中央径間長400m、側径間長190mの3径間連続斜張橋で、中央径間中央に関して対称構造である。ケ

ーブルは2面吊りであり、桁とは鋼桁の図心位置で結合されている。桁は橋軸方向には移動自由ないわゆるフローティング形式である。鉛直方向には両端で固定支持され、塔位置では鉛直ケーブルで弾性支持されている。橋軸直角方向には、両端で固定支持され、塔の横はりとは剛性棒で結合されている。

合成桁の断面寸法、塔の断面定数も図-1に示してある。ケーブルの断面積は表-1に示す通りである。合成桁の床版コンクリートのヤング係数は $E_c=29.4 \text{ kN/mm}^2$ である。鋼桁とケーブルのヤング係数は $E_s=206.0 \text{ kN/mm}^2$ である。塔はコンクリート製でヤング係数は $E_c=29.4 \text{ kN/mm}^2$ である。

クリープ解析と振動解析では桁の死荷重あるいは質量が必要であるが、これには表-2に示すような値を使用した。なお、極慣性モーメントは、質量中心回りのものである。

表-2 桁の死荷重、質量と極慣性モーメント

	死荷重 (kN/m)	質量 (t/m)	極慣性モーメント (tm ² /m)
舗装	45	4.6	240
床版	221	22.5	1690
高欄	28	2.9	650
鋼重	69	7.0	1190
合計	363	37.0	3770

3. クリープ解析

(1) 解析方法

コンクリート床版と鋼桁から成る合成桁を有する斜張橋では、床版コンクリートのクリープにより合

成桁内部で応力の移行が生じるのみならず、桁とケーブルあるいは塔との間でも断面力の移行が生じる。この点がクリープ解析を難しくしている一つの理由である。

ここでは、解析の対象としている斜張橋を平面骨組構造物と考え、次の2種類のクリープ解析方法（解析法Aと解析法B）を適用した。いずれの場合も、床版コンクリートと鋼桁との間の合成は完全であり、ずれは生じないものと仮定している。

a) 解析法A

この方法は、合成桁を1部材とせずにコンクリート部材と鋼部材の2部材で表現し両者の間を剛体棒で連結するものである（図-2）。このようにして、解析の対象としている斜張橋を鋼部材とコンクリート部材から成る構造物に理想化し、著者らの提案した解析法⁶⁾を用いる。なお、剛体棒の間隔をどの程度にとるべきかを一般的に述べることは難しいが、ここでは、初期状態で桁の応力が解析法Bの場合とほぼ等しくなるように、2.5m間隔で配置した。

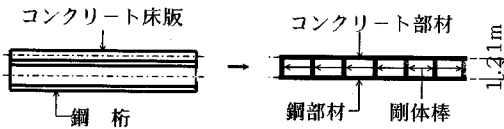


図-2 合成桁の2部材による置換（解析法A）

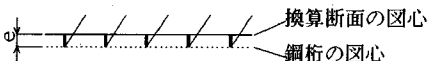
b) 解析法B

この方法は、コンクリート断面を鋼断面に換算した換算断面の手法を用いてクリープ解析を行うものである。この解析方法については文献⁷⁾に詳述してあるので説明は省略する。解析に際しては、合成桁の換算断面の断面積A、断面2次モーメントI、中立軸の位置が必要であるが、これらの値は表-3に示す通りである。

表-3 合成桁の換算断面定数（解析法B）

	$\phi = 0$	$\phi = 1.0$	$\phi = 2.0$
n	7	14	21
e (m)	1.00	0.85	0.74
A (m ²)	1.56	0.92	0.70
I (m ⁴)	0.57	0.51	0.48

ϕ : クリープ係数, $n = E_s (1 + \phi) / E_c$
A: 換算断面積, I: 換算断面2次モーメント



(2) 解析結果

以上の二つの解析法を用いてクリープ解析を実施した。解析は完成後におけるクリープによる応力の変化を対象として行っており、架設中のクリープに

よる応力の変化は考えていない。

いずれの方法においても、はじめに死荷重に対して構造解析を行い、各部材の断面力を求めた後で、クリープ解析に入っている。この際、ケーブルの張力は桁の曲げモーメントを滑らかにする目的で調整を行っている。また、死荷重状態で塔には曲げモーメントが生じないという条件も設けた。このような初期応力状態の設定は、必ずしも実際に完成系で死荷重が作用し、ケーブル張力の調整が行われるということの意味しているわけではない。実際に、この形式の斜張橋では張出し架設が一般的に行われている。しかしながら、張出し架設においても、完成時に所定の応力状態になるように架設は進められる⁸⁾。したがって、上述のような初期応力状態の設定は、少なくとも本解析の目的に対しては適当である。

表-1にケーブル張力を示す。張力の値は両解析法で同じである。桁に作用する死荷重についてはすでに2.で記述しているが、塔の死荷重（自重）は断面積に 24.5 kN/m³ を乗じて求めている。

クリープ係数は $\phi = 1$ と 2 の二通りを考えた。一般に、この種の斜張橋では床版にはプレキャストコンクリートが使用され、コンクリート打設後かなりの時間をおいてから鋼桁上に配置されるので、このことを考慮して上記のクリープ係数は設定した。実際には塔のコンクリートのクリープも考慮する必要があるが、ここでは主として床版コンクリートのクリープの影響に着目しており、簡単のため無視した。

上記の2種類の方法でクリープ解析した結果は表と図にまとめて示す。なお、解析法Aではクリープ係数 ϕ を分割して $\Delta\phi$ に対して繰り返し計算を行っているが、この場合 $\Delta\phi = 0.5$ とした。また、 $\phi = 2$ では、遅れ弾性ひずみによる回復クリープを考慮した場合 ($\phi_v = 0.4$) についても解析を行った。

a) 変位と反力

表-4に主要点の変位と反力の解析結果を示す。解析法Bは、すでに指摘している通り⁷⁾クリープの影響を若干過小評価している。特に、この傾向はクリープ係数の大きい $\phi = 2$ で顕著になるが、回復クリープを考慮した場合との相違は比較的小さい。解析法Bは回復クリープの影響を最大限含んだものとなっていることから、このことは説明できる。

b) ケーブル張力

表-5はケーブル張力の解析結果をまとめたものである。解析法Bで、クリープの影響がいくらか過小評価されていることは変位の場合と同様であるが、本橋梁ではクリープによるケーブル張力の変動はかなり小さいことが認められる。

c) 桁の応力度

図-3、図-4は桁の応力度の解析結果を示したもので、前者は床版コンクリートの図心位置における垂直応力度 σ_c を、後者は鋼桁下縁の垂直応力度 σ_s を示している。簡単のために、図では応力はケーブル取り付け点の値を用い、その間は直線で結んでいる。図から、クリープ開始前の応力度（図で ϕ

表-4 クリープによる変位と反力の変化

		クリープ開始前		クリープ終了後				
		$\phi = 0$		$\phi = 1$		$\phi = 2$		
		解析法A	解析法B	解析法A	解析法B	解析法A		解析法B
$\phi_v = 0$	$\phi_v = 0.4$							
変位	δ_{x1}			0.051	0.047	0.094	0.089	0.082
	δ_{z5}			0.019	0.018	0.035	0.033	0.031
	δ_{z2}			0.072	0.066	0.131	0.123	0.114
	δ_{x4}			0.040	0.037	0.073	0.069	0.063
反力	R_{z1}	3500	3500	3390	3400	3300	3320	3330
	R_{x2}	0	0	230	210	430	400	370
	M_{y2}	39500	39200	36900	36800	34800	35000	35100
	R_{x3}	0	0	230	210	430	400	370
	R_{z3}	237220	237220	237120	237130	237030	237040	237060
	M_{y3}	0	0	34300	31500	62800	59200	54600

(単位: m, kN)

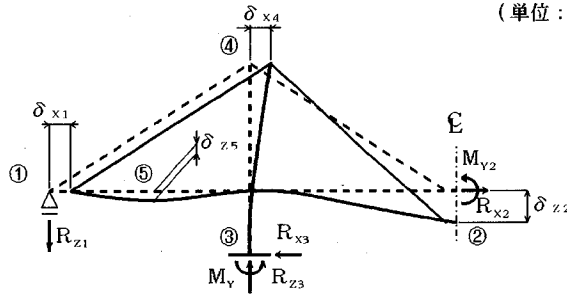
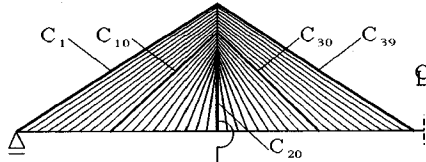


表-5 クリープによるケーブル張力の変化

	クリープ開始前		クリープ終了後				
	$\phi = 0$		$\phi = 1$		$\phi = 2$		
	解析法A	解析法B	解析法A	解析法B	解析法A		解析法B
$\phi_v = 0$					$\phi_v = 0.4$		
C_1	13780	13780	13430	13460	13140	13180	13220
C_{10}	6130	6130	6160	6160	6180	6180	6170
C_{20}	3700	3700	3700	3700	3710	3710	3710
C_{30}	5980	5980	5990	5990	6000	6000	6000
C_{39}	13520	13520	13390	13400	13290	13300	13320

(単位: kN)



=0) は解析法AとBでほぼ一致しており、解析法Aで合成桁をコンクリート部材と鋼部材の2部材で理想化したことによる誤差はほとんどないことが分かる。クリープの影響に関しては、合成桁内部で床版コンクリートから鋼桁へ圧縮応力が移行しているのが明瞭に認められる。解析法AとBの相違はそれ程大きくはない。特に、 $\phi = 2$ の場合でも、解析法Aで回復クリープを考慮した場合と解析法Bとの

差はかなり小さい。

d) 合成桁の軸力と曲げモーメント

図-5、図-6は、解析法Bから得られた合成桁としての軸力Nと曲げモーメントMをそれぞれ示したものである。解析法Aでは、合成桁を2部材として扱っているので合成桁としてのNとMを求めることは難しいため、図は描いていない。この図から分かることは、本橋梁ではクリープによる桁断面力

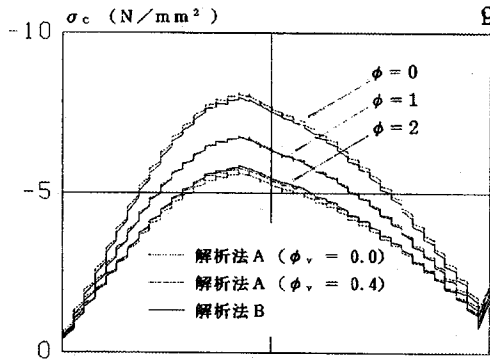


図-3 コンクリート床版の応力度

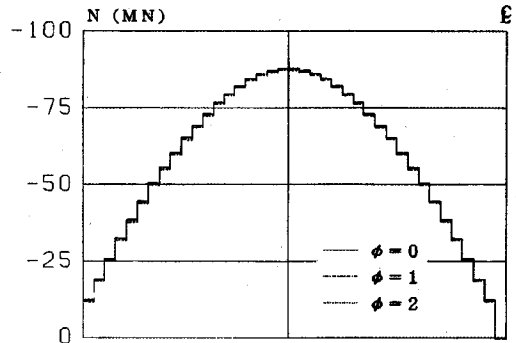


図-5 合成桁の軸力N

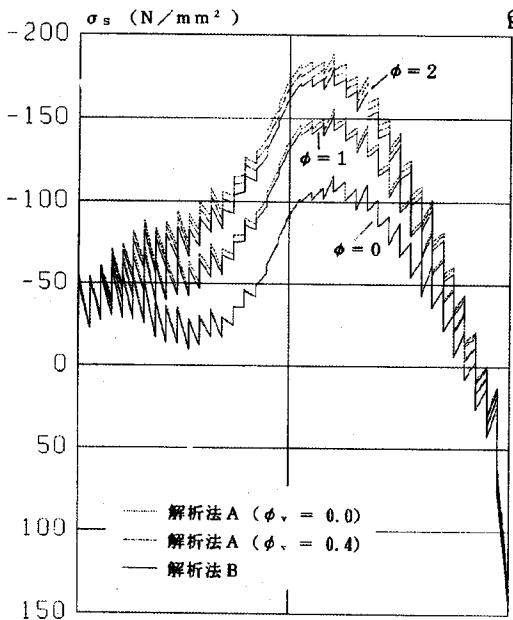


図-4 鋼桁下縁の応力度

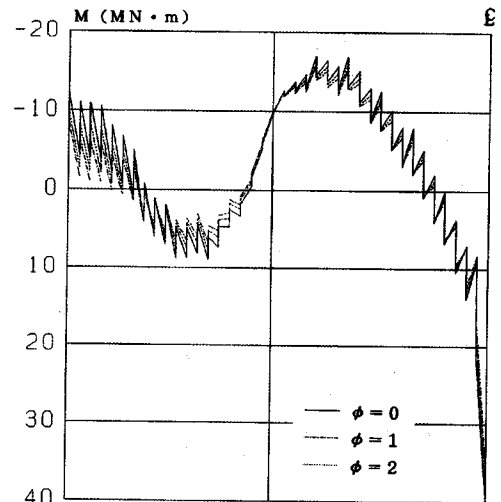


図-6 合成桁の曲げモーメントM

の変化は小さく、部材間の断面力の移行は極めて僅かしか生じていないことである。このことはケーブル張力の変化が小さいことから言えることである。すなわち、ここで解析の対象とした斜張橋では、クリープによる桁応力の変化は、作用断面力自体の変化によるものではなく、合成桁内部での床版コンクリートから鋼桁への応力の移行によるものが主であるということである。

(3) 解析法の比較

ある特定の斜張橋を対象として行った、以上の解析に基づき以下のようなことが言える。

まず、解析結果であるが、解析法Bは回復クリープの影響を最大限に含んでいるため、クリープの影響をいくらか過小評価するが、解析法Aとそれ程大きな相違はない。特に、解析法Aで回復クリープの影響を考慮した場合との相違は小さい。

解析法Aは合成桁をコンクリート部材と鋼部材の2部材で理想化するという点で誤差が入る可能性があるが、今回の例ではこの誤差は小さい。両部材を結合する剛体棒の数を十分大きくとれば、この誤差は一般に問題とならない。ただし、このような理想化を行うと、自由度の数が増し、この点に関しては解析法Bより劣る。一般に、解析法Aの方が柔軟性を有しており、例えば、回復クリープの影響を評価するとか、あるいは、床版コンクリート内のPC鋼棒や鉄筋の影響を考慮したいといった場合には、この方法の方が適用し易い。

これに対して、解析法Bは計算量が比較的少なく済むことが一つの利点である。また、換算断面の考え方は、設計技術者に馴染みのものであり、しかも、活荷重など他の荷重状態に対しては、一般に、換算断面で構造解析や応力照査を行うので、この点でも都合がよい。

実際の設計との関連で言えば、少なくとも予備的な検討では、クリープ終了後の合成桁の応力は、断面力は変わらないものとして、全体構造のクリープ

解析はせずに、死荷重状態に対して得られた断面力をそのまま使って、換算断面で計算することが考えられる。詳細な応力照査では精度の点で解析法Aの方が好ましいが、実用上は解析法Bでも十分な場合が多いものと考えている。一般に、解析法Bの精度が問題となってくるのは、クリープ係数が大きい場合、あるいは、鋼桁のコンクリート床版に対する剛性の比が大きい場合である⁷⁾。

4. ねじり振動解析

(1) 解析方法

本論文で解析の対象としている2主桁合成構造斜張橋は、桁がΠ形をしたいわゆる開断面であることが一つの特徴となっている。したがって、サンプナのねじり剛性でなく、曲げねじり剛性が主体となる。このような桁のねじり特性を考慮した精度の高いねじり振動解析は、固有振動数自体がかなり低いことから、本橋梁のような形式の斜張橋では耐風性との関連で極めて重要である。本論文では、以下の2種類の解析法(解析法Iと解析法II)を適用してねじり振動解析を行った。

a) 解析法 I

この方法は、一般に使用されている立体骨組構造振動解析法を応用したものである。このような振動解析プログラムでは、一般に部材のねじりとしてはサンプナのねじりのみが考慮されている。したがって、桁のねじりという点で、この解析プログラムを直接本橋梁のねじり振動解析に適用することはできない。そこで、次のような工夫を行った。すなわち、図-7に示すように、主桁を3本のはり部材で置き換え、1本は断面のせん断中心を結ぶ線上に配置し(はり1)、残りの2本はそれぞれ鋼桁の図心を結ぶ線上に配置する(はり2)。はり1とはり2とは10m置きに剛体棒で結合する。この際、剛体棒ははり1には剛結合、はり2にはピン結合させる。

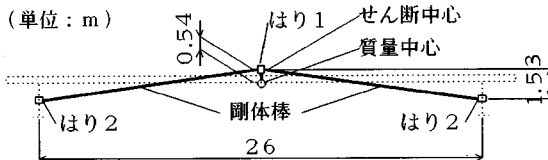


図-7 3本のはりによる桁の理想化(解析法I)

次に、各部材への剛性の与え方であるが、はり1には合成桁に対して計算されたサンプナのねじり

剛性 $G_s J$ (実際には無視できるほど小さい)と橋軸直角方向の曲げ剛性 $E_s I_1$ ($I_1=142 \text{ m}^4$)を与えた。はり2には鉛直方向の曲げ剛性 $E_s I_2$ のみを与えた。この場合の断面2次モーメント I_2 は実際のものでなく、桁としての曲げねじり定数が合うように以下の式を用いて求めたものである。

$$I_2 = \frac{2J\omega}{a^2} = \frac{2 \times 85}{26^2} = 0.25 \text{ m}^4 \quad (1)$$

ここで、 $J\omega$ は合成桁の曲げねじり定数であり、 a は鋼桁間の距離である。上記の I_2 の値は床版幅の約1/2(すなわち、鋼桁1本当たり約7.5mの床版幅)を有効として求めた断面2次モーメントの値とほぼ等しくなっている。参考までに記しておく、鋼桁の外側に床版の張り出しがない場合については、床版幅の1/3が有効となる¹⁰⁾。なお、ここでの断面定数はいずれも鋼換算断面についてのものである。

桁の質量は質量の中心位置で、橋軸直角方向質量と極慣性モーメントを与えた。桁のせん断中心と質量中心との間は10mごとに剛体棒で結合した。

ケーブルと塔の取り扱いについては特別なことは何も無い。塔の質量は両水平方向にのみ考慮した。

横断面が対称な斜張橋では、桁のねじりは橋軸直角方向(Y-方向)の曲げとは連成するが、鉛直方向(Z-方向)の曲げとは独立である。したがって、本解析では鉛直方向の曲げ振動は起こらないように、X-Z面上に位置する格点では、鉛直面内の変位と回転角および橋軸方向の変位は拘束した。

b) 解析法 II

この方法は、基本的には立体骨組構造振動解析法に属するものであるが、特にここで対象としているような斜張橋に適用する目的で、新たに開発したものである。本方法では、ケーブルと塔に関しては解析法Iと全く同じであり、異なるのは桁の取り扱いである。

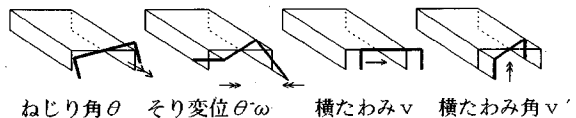


図-8 解析で考慮した桁の変形量(解析法II)

桁はねじりと橋軸直角方向の曲げを受ける1本のはり部材と考える。部材軸はせん断中心と一致させる。桁の変位としては、ねじり角 θ 、ねじり率 θ' 、

表-6 固有振動数

モード次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
解析法 I	0.367	0.412	0.673	0.739	0.885	1.07	1.16	1.23	1.42	1.59
解析法 II	0.366	0.411	0.672	0.736	0.881	1.07	1.14	1.23	1.42	1.58
	0.358	0.418	0.674	0.736	0.883	1.07	1.14	1.22	1.42	1.57

注: 解析法IIで下段はねじりと水平たわみに関する質量の連成を無視した場合である。(単位Hz)

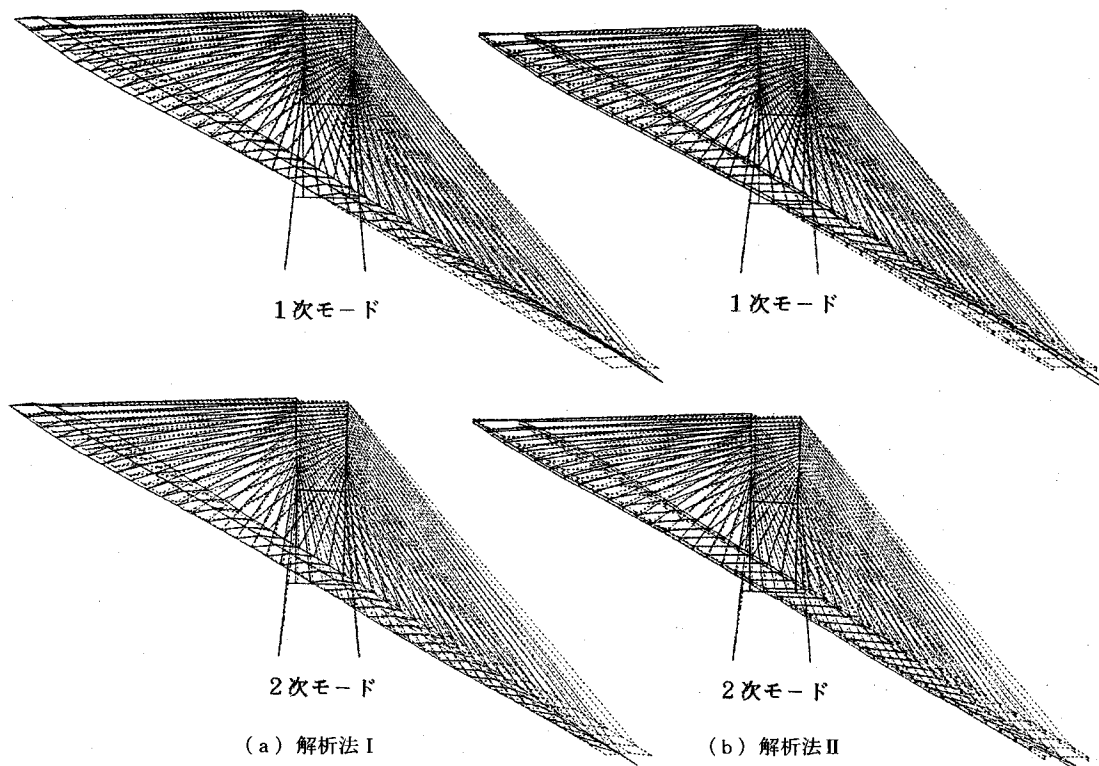


図-9 固有振動モード

橋軸直角方向のたわみ v とたわみ角 v' の4つを考える(図-8)。後者のたわみに関する剛性方程式は通常の変形法で用いられるものと同じである。前者のねじりに関する剛性方程式には、 θ を3次式で近似して求めたもの⁹⁾を用いる。なお、鉛直たわみはねじりあるいは橋軸直角方向のたわみとは連成しないので、ここでは考慮していない。

このような解析法で問題となるのは、支点の拘束条件、桁と塔の結合条件、桁とケーブルの結合条件を的確に考慮することであるが、これについては文献8)と同様な方法で行っているので詳しい説明は省略する。

桁の質量はせん断中心位置で与える。そのため、橋軸直角方向の質量、極慣性モーメントの他に、両者の連成項も存在するので、これも考慮する。せん断中心回りの極慣性モーメントは $3780 \text{ tm}^2/\text{m}$ であり、連成項の大きさは $20 \text{ tm}^2/\text{m}$ である。なお、連成項の影響を見るために連成項を無視した場合についても解析を行った。

(2) 解析結果

解析は中央径間中央に関して対称なモードのみを対象として行った。したがって、半分の構造系を用いた。表-6に、10次までの固有振動数の解析結果を示す。表から明らかなように、解析法Iと解析法IIの結果は一致していると言える。図-9に、1次

と2次モードについての比較を示すが、モード形状も両者で一致していることが分かる。1次は桁のねじりが、2次は橋軸直角方向のたわみが卓越していると考えられるが、質量の連成項を考慮した場合は1次と2次の固有振動数が接近する。しかしながら、桁の質量の中心とせん断中心とのずれが本橋梁程度であれば、連成項の影響はそれ程大きくはないと言える。

(3) 解析法の比較

解析法Iと解析法IIの2種類の方法でねじり振動解析を行ったが、結果は両者でほぼ一致している。このことは両解析法の妥当性を裏付けている。解析法Iは一般に広く普及している立体骨組構造解析を応用しているため、特に新しく解析プログラムを作成する必要はない。しかしながら、自由度の数は解析法IIに比べて著しく大きく、ここで検討の対象としているような特殊な問題に適用するのは無駄が多い。一方、解析法IIは今の問題に的を絞ったものであるから、当然効率の良いものとなっている。計算時間も解析法Iに比べ著しく少ない。

5. まとめ

本論文では、最近海外で架設例の増加してきている2主桁合成構造斜張橋の設計で重要な問題となる、

クリープ解析とねじり振動解析について論じた。それぞれについて2種類の解析方法を提示し、ある想定した斜張橋に適用し、両者を比較検討した。今回行った解析の範囲内で次のようなことが言える。

1) 合成桁をコンクリート部材と鋼部材で理想化してクリープ解析を行うことは十分正確であるが、自由度が増すため、計算時間は多くかかる。

2) 換算断面の考え方を適用してクリープ解析を行うことは、クリープの影響をいくらか過小評価するが、1)で述べた解析方法との差はそれ程大きくはない。特に、回復クリープを考慮したクリープ解析の結果との差は小さい。

3) 予備的な設計段階で、主桁の設計に関してはクリープによる断面力の変化は小さいとして、換算断面を用いて合成桁内部でのクリープによる応力の移行のみを考慮するという設計手法も考えられる。特に、最終的に1)で述べたような詳細なクリープ解析を行うという前提を設ければ、この手法は好ましい。

4) 一般に広く普及している立体骨組構造振動解析法を適用してねじり振動解析を十分正確に行うことは可能である。しかしながら、自由度の数が多く、所要計算時間は大きい。

5) ここで対象としているような斜張橋用に新しく開発したねじり振動解析法は十分正確であり、かつ計算時間も少ない。

6) 一般に主桁のせん断中心と質量の中心が一致しないため、せん断中心を基点とすると、ねじりと橋軸直角方向のたわみに関して質量項の連成が生じるが、今回解析の対象とした斜張橋ではこの影響は比較的小さい。質量の連成項は、1次のねじりと橋軸直角方向たわみの固有振動数を接近させる効果を有する。

謝辞：本論文は、上海市の黄浦江に架かる南浦橋と楊浦橋の設計を詳しく検討する機会があり、これを契機として勉強したことをまとめたものである。このような機会を与えて頂いたことに対して、アジア開発銀行の関係各位に感謝の意を表します。また、埼玉大学大学院政策科学研究科の西野文雄教授には、このような機会を与えて頂くと同時に、貴重な助言と議論を頂きました。深く感謝いたします。ねじり

振動解析プログラム作成の実際の作業は、松野貴洋（当時学部学生、現在、(株)長大）、中山喜行（当時学部学生、現在、北海道開発コンサルタント(株)）の両氏にお願いした。記して謝意を表するものである。

参考文献

- 1) Ito, M. et al.(Editors): *Cable-stayed bridges*, Elsevier Science, Tokyo, 1991.
Taylor, P. R. :Precast and composite concrete cable-stayed bridges, pp. 107-214.
Tang, M. C. :Cable-stayed bridges in North America, pp. 299-316.
Xiang, H. :Cable-stayed bridges in China, pp. 317-340.
- 2) 文献調査委員会(担当 山野辺 慎一) :斜張橋の主げたにおける鋼コンクリート合成構造の適用, コンクリート工学, Vol. 31, No. 2, pp. 38-44, 1993.
- 3) Svensson, H. und Humpf, K. :Die Schraegkabelbruecke ueber den Mississippi bei Burlington, USA, *Der Stahlbau*, Vol. 63, pp. 193-199, 1994.
- 4) 横山 功一, 日下部 毅明, 若狭 忠雄, 大場 誠道 :二主桁合成床版を有する斜張橋に関する総合的研究, 構造工学論文集, Vol. 38 A, pp. 1153-1160, 1992.
- 5) Kovacs, I. und Svensson, H. :Analytische aerodynamische Untersuchung der Schraegkabelbruecke Helgeland, *Beton und Stahlbetonbau*, Vol. 89, pp. 149-153, 1994.
- 6) 星埜 正明, 佐伯 彰一 :コンクリート斜張橋のクリープ解析, 土木学会論文報告集, No. 285, pp. 103-113, 1980.
- 7) 星埜 正明 :鋼・コンクリート合成部材を含む骨組構造物のクリープ解析, 橋梁と基礎, Vol. 28, No. 6, pp. 28-33, 1994.
- 8) 星埜 正明 :斜張橋の力学的特性と設計の基本的考え方(上)(下), 橋梁と基礎, Vol. 17, No. 4-5, pp. 16-23, pp. 44-49, 1983.
- 9) 藤谷 義彦 :薄肉はり構造解析, 培風館, pp. 61-65, 1990.
- 10) 1)に同じ
Wyatt, T.A. :The dynamic behaviour of cable-stayed bridges, p.156.

(1995.6.19 受付)

CREEP ANALYSIS AND TORSIONAL VIBRATION ANALYSIS OF CABLE-STAYED BRIDGES WITH TWO EDGE COMPOSITE GIRDERS

Masaaki HOSHINO

In the present paper creep analysis and torsional vibration analysis of cable-stayed bridges with two edge composite girders are discussed. For this type of the bridges there occurs stress redistribution not only within the composite girder but also between the girder, the cables and the pylons due to creep of concrete slab. Two creep analysis methods are presented, applied to an assumed bridge and compared.

To conduct torsional vibration analysis precisely is very important for this type of bridges with regard to aerodynamic stability because of relatively low natural frequency caused by low torsional rigidity of the open girder section. Also two analysis methods are presented, applied to the bridge and discussed.