

I—19 長大支間アーチ橋の温度応力特性

北海道大学工学部 正員 渡辺 昇
 北海道大学工学部 正員 佐藤 浩一
 北海道大学工学部 学生員 ○ 吉本 秀一

1. まえがき

近年、鋼材や継手の発達や架設手法の進歩にともなって長大支間の橋梁が架設されるようになった。吊橋、斜張橋などのケーブルを主部材とする吊形式橋梁と並んで、アーチ式橋梁においても支間500m級のものが製作されている。そうした中でアーチ式橋梁においては全体座屈の問題などとともに、温度応力の解析が重要視されるようになった。本研究は102mから510mまでの支間をもつ5本の固定プレストリプアーチ橋を設計し、それらについていくつかの温度荷重を与え、支間が長くなるに従って応力等がどのように変化するかを計算したものである。

2. 解析方法

温度応力解析手法は大別して応力法と変形法があるが、ここでは変形法による剛性マトリックス法を用いて解析する。

この解析方法は加熱される部材をそれぞれ分離してそれらの自由温度変形を拘束するように節点荷重 P'' を与え(状態1)、次に部材を結合して節点荷重 P'' を逆方向に作用させると(状態2)、実際の部材応力は状態1と状態2の和となり、節点変位は状態2より求めることができる。また、外荷重が作用している場合は状態2の節点荷重 P にその外荷重を加えればよい。これをマトリックス表示すれば次のようになる。”

$$X + X_s = K u \quad (1)$$

ここで、 X =外荷重ベクトル、 X_s =温度荷重ベクトル、 K =全体座標系の剛性マトリックス、 u =全体座標系の変位ベクトル

X_s はある部材 g の全体座標系における状態1の温度荷重ベクトル P''_g をすべての部材について重ね合わせたもので、 P''_g は部分座標系のそれを $\bar{P}''_g$ とすると $\bar{P}''_g = T P''_g$ となる。 $\bar{P}''_g$ は一様な温度変化 ΔT に対する軸力 $N = EA\alpha\Delta T$ と部材上下面の温度差 Δt に対する曲げモーメント $M = EI\alpha\Delta t/h$ で表わされる。従って、温度変化による変位 u と部材の断面力 $\bar{P}_g$ は次のようになる。

$$u = K^{-1}(X + X_s) \quad (2)$$

$$\bar{P}_g = \bar{P}''_g + \bar{P}_g \quad (3)$$

ここで、状態2における部材の断面力 $\bar{P}_g$ は式(2)で求めた変位 u を部分座標系になおした u_g によって $\bar{P}_g = T K_g u_g$ で表わされる。

3. 数値計算例

図一/に示すようなプレストリプアーチ橋(第3種第1級、鋼床版)について支間が102m, 204m, 306m, 408m, 510mと異なる5橋について次のような温度変化を与え、部材力、応力、反力、変位を調べた。部材の断面諸元は表一/のとおりであり、補剛桁は両端ローラーと考え軸力を生じない構造とし、アーチグラウンでアーチ上弦材と結合した構造になっている。補剛桁以外は軸力のみを受け持つトラス構造として解析した。また、橋重は図一2に示す。

3-1. 一様に40℃の温度変化が生じた場合

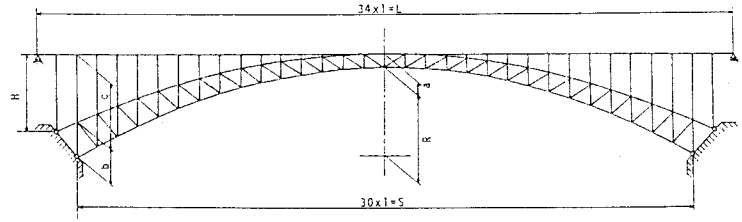
道路橋示方書2.1./2に基づいて架設時の温度を10℃とし寒冷地という設定のもとに40℃の温度変化を与える。もし、この状況と異なる場所に架設される場合、この解析方法では温度変化の量に比例して諸現象も比例するので、例えば温度変化が30℃の時はここで示した値の4分の3の値となる。

図-3は B-type の橋に+40℃の温度上昇が生じた時の橋全体の変形を示したものである。その他の type の橋も変位量は異なってもほぼ相似的な変形をする。

図-4は支間中央点（アーチクラウン）での変位量を活荷重と死荷重と温度荷重のそれぞれの割合を実線で、絶対量を破線で示したものである。この図からわかるように温度変化による変位は活荷重による変位の2倍から4倍になる。

図-5は上弦材、下弦材、垂直腹材、斜腹材それぞれの部材の中で全荷重による応力に対する温度荷重による応力の割合が最も大きな部材について、その割合（実線）と軸力（破線）を示したものである。垂直材はほとんど温度応力は生じない。ここで温度変化の正負の符号は温度荷重と死荷重による応力の符号が同じになるように与えた。この図より支間が長くなるにつれて死荷重、温度荷重、分布活荷重による軸力は直線的に増加し、線活荷重による軸力は一定である傾向がわかる。また、各荷重による応力の割合は温度荷重と分布活荷重による割合はほぼ一定で、死荷重の割合は増加し、線活荷重の割合は減少している。

図-6は下弦材の支点の反力を各荷重による割合（実線）と絶対量（破線）で示したものである。この反力は X 方向と Y 方向の反力の合力である。この図より反力においても支間が長くなるにつれて死荷重と温度荷重による反力は直線的に増加し、分布活荷重による反力はわずかに増加し、線活荷重による反力



	S	R	L	H	I	a	b	c
A-type	102.0	15.0	115.6	13.08	3.40	2.25	5.75	11.5
B-type	204.0	29.0	231.2	25.03	6.80	4.50	11.50	22.0
C-type	306.0	44.0	346.8	38.12	10.2	6.75	17.25	33.5
D-type	408.0	58.0	462.4	50.06	13.6	9.00	23.00	44.0
E-type	510.0	73.0	578.0	63.15	17.0	11.25	28.75	55.5

(m)

図- / 一般図

	Stiffening girder	Upper chord member	Lower chord member	Vertical member	Web member	
					vertical	diagonal
A-type	1.4606 ~	2.4920 ~	2.4920 ~	0.24000 ~	0.26000 ~	0.49400 ~
	1.5662	2.5760	3.2640	1.3640	0.98000	0.53200
	0.50065 ~	0.68559 ~	0.68559 ~	0.0016306 ~	0.0015043 ~	0.010297 ~
B-type	0.51905	0.72719	0.97080	0.18132	0.047580	0.11440
	2.2448 ~	5.4000 ~	5.4000 ~	0.36800 ~	0.46800 ~	1.1020 ~
	2.6048	5.6000	7.5000	4.4000	2.5760	1.7860
C-type	1.1000 ~	3.6071 ~	3.6071 ~	0.0065392 ~	0.0087557 ~	0.056932 ~
	1.1676	3.8351	5.5531	1.9966	0.34078	0.16466
	2.9814 ~	9.1000 ~	9.1000 ~	0.43200 ~	0.72000 ~	2.2790 ~
D-type	3.5046	9.3600	12.160	8.5800	4.7880	3.9600
	2.3258 ~	10.454 ~	10.454 ~	0.009735 ~	0.025354 ~	0.25510 ~
	2.4529	10.952	15.068	8.9262	1.2089	0.74896
E-type	3.8226 ~	12.180 ~	13.860 ~	0.49600 ~	1.4000 ~	3.6850 ~
	4.4934	13.200	19.404	14.960	8.2320	6.3360
	4.4949 ~	21.866 ~	22.338 ~	0.015305 ~	0.10722 ~	0.69345 ~
E-type	4.7767	19.507	34.239	28.009	3.6560	2.0535
	4.7060 ~	16.500 ~	19.500 ~	0.59200 ~	1.5600 ~	5.5760 ~
	5.3744	19.240	29.000	23.016	12.528	10.101
E-type	7.4750 ~	38.028 ~	45.297 ~	0.027135 ~	0.14833 ~	1.6250 ~
	7.9355	45.734	91.242	67.716	9.0304	5.2765

表- / 断面諸元

上: 断面積 (m²)

下: 断面2次モーメント (m⁴)

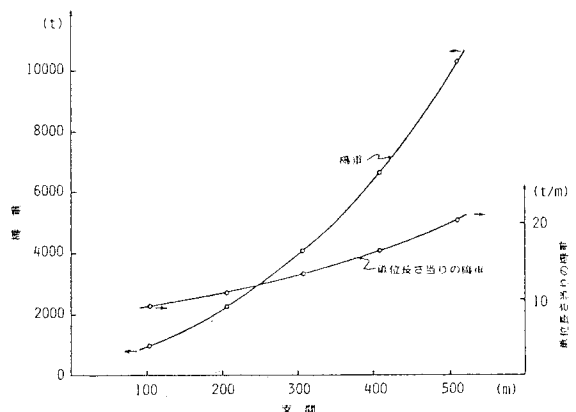


図-2 橋重

は一定であることがわかる。また、各荷重による反力の割合は温度荷重と分布活荷重の割合が一定で、死荷重の割合は増加し、線活荷重の割合は減少している。

3-2. 補剛桁とその他の部材に $\pm 5^{\circ}\text{C}$ の温度差を生じた場合

補剛桁が軸力を生じない構造になっているため、補剛桁と他の部材に温度差が生じて互いにほとんど影響しない。従って、例えば架設時と比べて補剛桁が $+5^{\circ}\text{C}$ 、他の部材が $+30^{\circ}\text{C}$ の温度変化が生じた場合、橋全体が $+30^{\circ}\text{C}$ の温度変化を生じた状態と同じ応力が生じる。即ち 3-1 で求めた応力の 4 分の 3 の値で代用できる。

3-3. 補剛桁の上下に $\pm 5^{\circ}\text{C}$ の温度差が生じた場合

鋼床版を使用しているため補剛桁の上フランジ（デッキプレート）と下フランジに $\pm 5^{\circ}\text{C}$ の温度差が生じた時、ウェブでは直線的に温度が

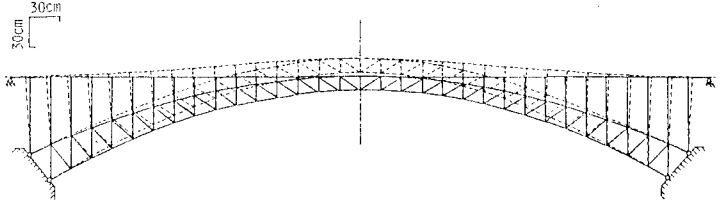


図-3 橋の変形 ($\Delta T = 40^{\circ}\text{C}$)

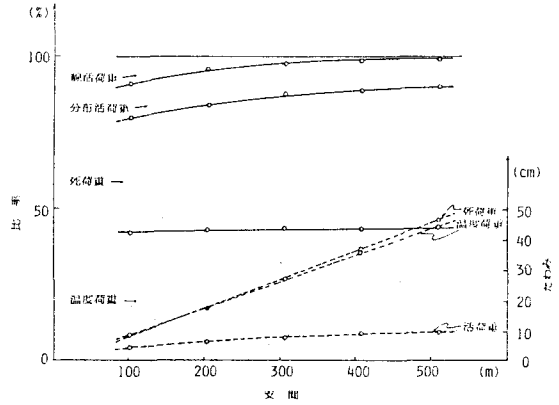


図-4 アーチクラウンのたわみ ($\Delta T = 40^{\circ}\text{C}$)

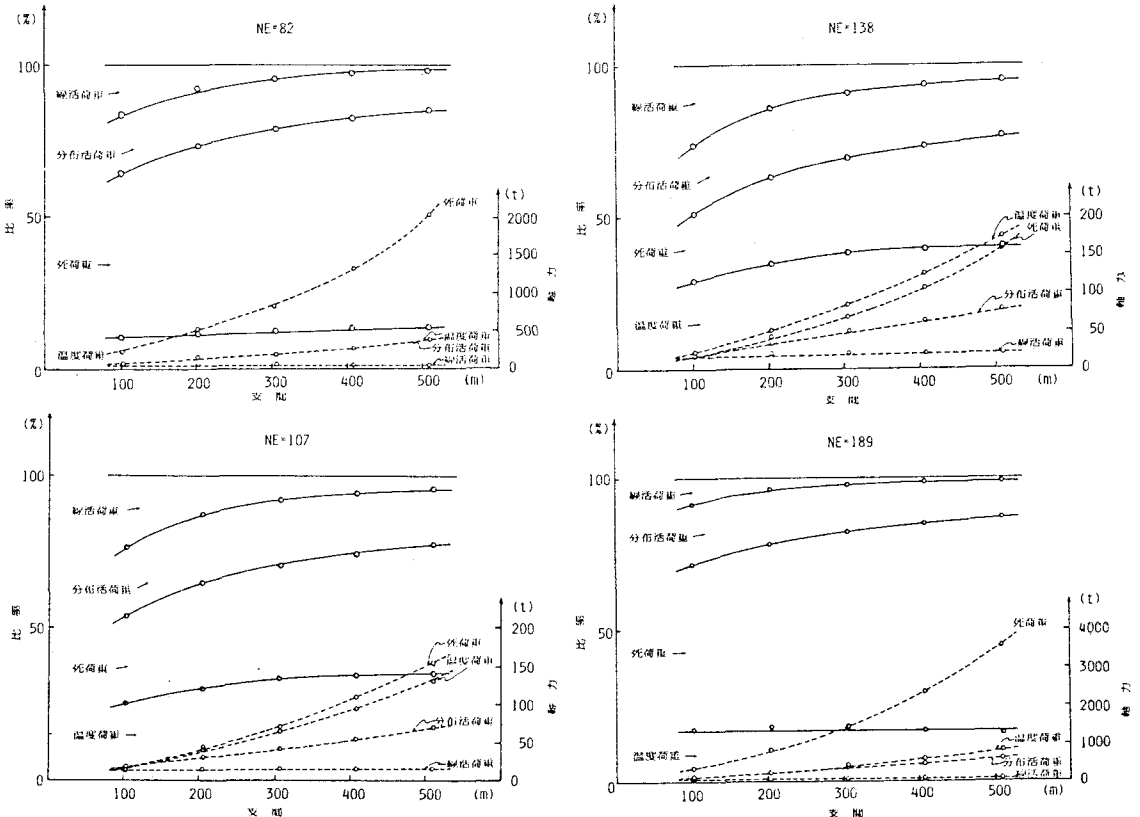


図-5 応力の割合と軸力 ($\Delta T = 40^{\circ}\text{C}$)

変化するものとして解析した。

図-7に示すように支間が長くなるにつれて死荷重と温度荷重による曲げモーメントはほぼ直線的に増加し、各荷重による応力の割合は死荷重の割合が増加し、線活荷重の割合は減少する。温度応力の割合は支間300m程までは減少しそれ以上の支間ではほぼ一定である。補剛桁以外の部材ではほとんど温度応力は生じない。

4. あとがき

以上のように、アーチ部材については一様に40℃の温度変化を与えた時最も大きな温度応力を生じるのでその場合について考察してみると、支間が長くなるにつれて温度荷重による軸力、反力、たわみはほぼ直線的に増加し、全荷重における温度応力の占める割合は支間に関係なくほぼ一定であることがわかる。これは支間が長くなるにつれて部材断面も大きくなり温度変化によって生じる軸力の増加が相殺されるためである。従って、この形式の橋においては支間に関係なく各部材について死荷重と活荷重による応力に一定の割合で温度応力を考慮すればよいことになる。図-8はその割合を示したものである。上図の中のNEは部材番号を表わし、下図の点は真上の部材に対応している。

なお、本計算には北海道大学計算機センター H ITACM- 200 を使用した。

(参考文献)

- 1) 渡辺, 佐藤, 林川「剛性マトリックス法による立体トラス橋の温度応力」北海道支部第32号, 1976. 2
- 2) 吉識雅夫 監訳: マトリックス法による構造力学の解法 (1967) 培風館
- 3) 小西一郎編: 鋼橋 設計編
- 4) 日本道路協会編: 道路橋示方書・同解説

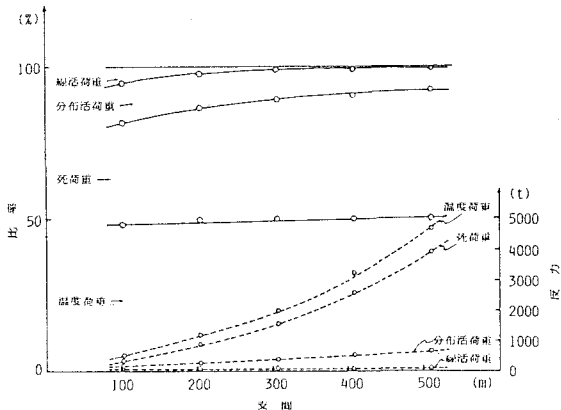


図-6 反力 ($\Delta T = 40^{\circ}\text{C}$)

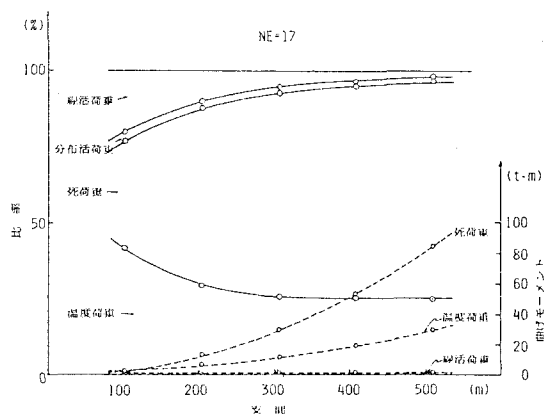


図-7 応力の割合と軸力 ($\Delta t = 5^{\circ}\text{C}$)

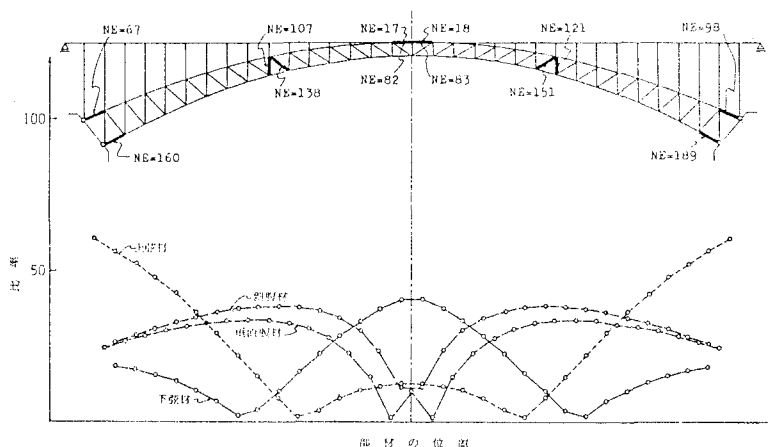


図-8 アーチ部材の温度応力の割合