

I-12 トラス橋における床構造の荷重配分作用について

徳島大学工学部 正員 星 治 雄
 〃 〃 児 嶋 弘 行
 〃 〃 平 尾 潔
 〃 〃 〇 横 田 健 一
 新日鉄株式会社 〃 三 木 甫

はしがき

トラス橋における床構造が 主構との協力作用によって、鉛直荷重配分作用と同時に 水平荷重配分作用を行うことは、すでにいくつかの研究によって解明されている。¹⁾

本研究は 参考文献2) にかんがみ トラス橋における床構造を等方性板とみなして 鉛直、および水平荷重配分作用を同時に考慮した立体解析を行ない 床構造の荷重配分効果を検討したものである。なお 解析は 参考文献1) 2) で採用された 平行弦ワーレントラス橋を対象とし その断面性状は すべて同一とした。 また 等方性板の計算には有限要素法を用いた。

1 解法の概要

解析方法としては、主構と床構造とを、横桁端部において切断した基本系を考え、各切断点における鉛直、および、水平方向の変形条件より 弾性方程式をたてて解く、一般的方法を用いた。

解析上の仮定としては 1) 床構造は 相対二辺単純支持、他の二辺自由なる等方性板とする。

2) 板剛度は 縦桁の曲げ剛性より求めた橋軸方向の板剛度、および、横桁の曲げ剛性より求めた橋軸と直角方向の板剛度との平均値とする。 3) シャイベ作用の盤厚は 縦桁の断面が中員方向になられたものとする。 4) 主構と床構造とは 横桁端部でヒンジ結合されている。 などである。

2 基本系の変形量

解析の対象とした平行弦ワーレントラスの断面性状は、前述のように 参考文献1) 2) に採用されたものと同一であるので、ここでは省略し、さきに述べた解法による基本系と静定力を示せば、図-1 のようである。

なお 床構造にかかる水平荷重の状態、および それに対応する水平変位が床構造の荷重配分効果にどのような影響をおよぼすかを検討するため、床構造を i) 図-1(b) のような等方性板とした場合 (case 1), ii) 図-2 に示すように、縦桁のあいだをシャイベとみなし 横桁をシャイベに固定された片持梁と考えた場合 (case 2) の両者について解析を行なった。

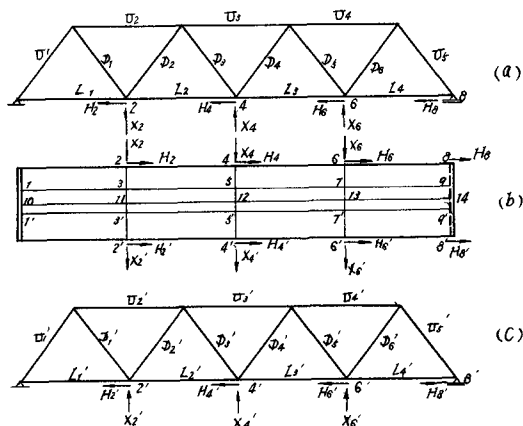


図-1 基本系と静定力

図-1に示す 各不静定力を $X_1 = 1$, $H_1 = 1$, とした場合について, 基本系の鉛直方向と水平方向との変形量を各不静定力の作用点に対して計算すると, 表-1~4のようになる。表-3, 表-4(Ⅱ)の結果は, いずれも有限要素法により求めたものであり, 鉛直方向の変形量を求める場合には 長方形要素, 水平方向の変形量を求める場合には 三角形要素を送んだ。

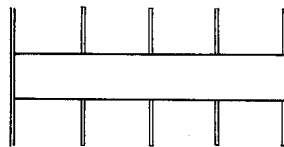


図-2

表-1 単位不静定力によるトラスの鉛直方向の変形量 ($\times 10^{-3} \text{cm/g}$)

不静定力	変形点	2(2')	4(4')	6(6')
$X_1 = 1$	2(2')	-24.337590	-23.234952	-13.203743
	4(4')	-23.234952	-40.124829	-23.234952
	6(6')	-13.203743	-23.234952	-24.337590
$H_1 = 1$	2(2')	-2.670571	-1.705714	-0.892857
	4(4')	-7.142857	-7.142857	-3.571429
	6(6')	-9.82149	-12.500000	-8.035714
	8(8')	-10.714285	-14.285714	-10.714285

表-2 単位不静定力によるトラスの水平方向の変形量 ($\times 10^{-3} \text{cm/g}$)

不静定力	変形点	2(2')	4(4')	6(6')	8(8')
$X_1 = 1$	2(2')	-2.670571	-7.142857	-9.821429	-10.714285
	4(4')	-1.705714	-7.142857	-12.500000	-14.285714
	6(6')	-0.892857	-3.571429	-8.035714	-10.714285
$H_1 = 1$	2(2')	-4.761903	-4.761903	-4.761903	-4.761903
	4(4')	-4.761903	-9.523810	-9.523810	-9.523810
	6(6')	-4.761903	-9.523810	-14.285714	-14.285714
	8(8')	-4.761903	-9.523810	-14.285714	-19.047619

表-3 単位不静定力による床構造の鉛直方向の変形量 (cm)

不静定力	変形点	2(2')	4(4')	6(6')
$X_1 = 1$	2(2')	0.262832	0.304018	0.189601
	4(4')	0.304018	0.452433	0.304018
	6(6')	0.189601	0.304018	0.262832
	8(8')	0.201883	0.255854	0.165258
$H_1 = 1$	2(2')	0.255854	0.367741	0.255854
	4(4')	0.255854	0.367741	0.255854
	6(6')	0.165258	0.255854	0.201883
	8(8')	0.165258	0.255854	0.201883

表-4 単位不静定力による床構造の水平方向の変形量

		(a) case 1 ($\times 10^{-3} \text{cm/g}$)			
不静定力	変形点	2(2')	4(4')	6(6')	8(8')
$X_1 = 1$	2(2')	2.252461	2.098816	2.099453	2.100640
	4(4')	2.098816	4.435056	4.286381	4.287149
	6(6')	2.099453	4.286381	6.633964	6.502537
	8(8')	2.100640	4.287149	6.502537	9.030947
$H_1 = 1$	2(2')	-0.176590	-0.317722	-0.328472	-0.328852
	4(4')	-0.290164	-0.484523	-0.625533	-0.633223
	6(6')	-0.279230	-0.584990	-0.774105	-0.897051
	8(8')	-0.276967	-0.574531	-0.867415	-0.882470

3 弾性方程式

2) で得た基本系の各変形量を用いてトラスの下弦格点と床構造の切断点との変形が等しいという条件より弾性方程式が得られる。case 1 の場合のそれと示すと 表-5 のようである。

		(b) case 2 (cm/g)			
不静定力	変形点	2(2')	4(4')	6(6')	8(8')
$X_1 = 1$	2(2')	0.106770	0.000950	0.000950	0.000950
	4(4')	0.000950	0.107719	0.001899	0.001899
	6(6')	0.000950	0.001899	0.106669	0.002849
	8(8')	0.000950	0.001899	0.002849	0.109619
$H_1 = 1$	2(2')	0.000950	0.000950	0.000950	0.000950
	4(4')	0.000950	0.001899	0.001899	0.001899
	6(6')	0.000950	0.001899	0.002849	0.002849
	8(8')	0.000950	0.001899	0.002849	0.003799

表-5 弾性方程式 (case 1 の場合)

X_2	X_4	X_6	$X_{2'}$	$X_{4'}$	$X_{6'}$	H_2	H_4	H_6	H_2'	H_4'	H_6'	H_8'	荷重項
0.281170	0.327253	0.202805	0.201883	0.255854	0.165258	0.002679	0.007143	0.009021	0.010714				$\delta_{20} - \delta_{20}^0$
0.327253	0.492358	0.327253	0.255854	0.367741	0.255854	0.001786	0.007143	0.012500	0.014286				$\delta_{40} - \delta_{40}^0$
0.202805	0.327253	0.281170	0.165258	0.255854	0.201883	0.000891	0.003371	0.008036	0.010714				$\delta_{60} - \delta_{60}^0$
0.201883	0.255854	0.165258	0.281170	0.327253	0.202805				0.002679	0.007143	0.009021	0.010714	$\delta_{20}^H - \delta_{20}^0$
0.255854	0.367741	0.255854	0.327253	0.492358	0.327253				0.001786	0.007143	0.012500	0.014286	$\delta_{40}^H - \delta_{40}^0$
0.165258	0.255854	0.201883	0.202805	0.327253	0.281170				0.000891	0.003371	0.008036	0.010714	$\delta_{60}^H - \delta_{60}^0$
0.002679	0.007143	0.000891				0.007014	0.006861	0.006861	0.006862	-0.000176	-0.000290	-0.000279	$\delta_{20}^{H'} - \delta_{20}^0$
0.007143	0.007143	0.003371				0.006861	0.013810	0.013812	-0.000348	-0.000485	-0.000381	-0.000516	$\delta_{40}^{H'} - \delta_{40}^0$
0.000891	0.012500	0.008036				0.006861	0.013810	0.020920	0.020789	-0.000328	-0.000626	-0.000714	$\delta_{60}^{H'} - \delta_{60}^0$
0.010714	0.014286	0.010714				0.006862	0.013812	0.020789	0.020789	-0.000329	-0.000635	-0.000891	$\delta_{80}^{H'} - \delta_{80}^0$
			0.002679	0.007143	0.000891	-0.000290	-0.000328	-0.000329	0.007014	0.006861	0.006862	0.006862	$\delta_{20}^{H''} - \delta_{20}^0$
			0.007143	0.007143	0.003371	-0.000290	-0.000485	-0.000635	0.006861	0.013810	0.013812	0.013810	$\delta_{40}^{H''} - \delta_{40}^0$
			0.000891	0.012500	0.008036	-0.000279	-0.000381	-0.000714	0.006861	0.013810	0.020789	0.020789	$\delta_{60}^{H''} - \delta_{60}^0$
			0.010714	0.014286	0.010714	-0.000279	-0.000373	-0.000867	0.006862	0.013810	0.020789	0.020789	$\delta_{80}^{H''} - \delta_{80}^0$

4 弾性方程式の荷重項とこれに対する解

弾性方程式の荷重項は、表-5に示すように与えられた荷重による基本系の不静定力の作用点の変形量 δ_{10}^{TT} , δ_{10}^{VF} , δ_{10}^{HT} , および δ_{10}^{HF} より求めることができる。ここで δ_{10}^{TT} , δ_{10}^{VF} はそれぞれ 外荷重によるトラス、および床構造の格点1における鉛直方向の変形量、 δ_{10}^{HT} , δ_{10}^{HF} は 外荷重による格点1の水平方向の変形量を表わし、これらの値は 荷重を与えることによって 2) におけると同様に計算できる。

いま 四-1(b)の格点3, 5, 11, 12に鉛直方向に単位集中荷重を作用させた場合について計算を進めることにすると、 $\delta_{10}^{TT} = 0$, $\delta_{10}^{HT} = 0$, $\delta_{10}^{HF} = 0$ となり、荷重項は δ_{10}^{VF} だけとなる。

各載荷状態に対する荷重項を示せば 表-6のようになる。

表-6の値を case 1, case 2, の弾性方程式の右辺に代入して、それぞれの荷重状態に対する解を求めると 不静定力の値として 表-7, 表-8, を得る。

5 結果、および、考察

鉛直荷重配分作用の結果、トラスに配分される外荷重の割合は さきに計算した不静定力の値が示すとおりである。これと慣用計算法によるXと比較すれば、荷重配分効果は明らかであるが 組合わされた不静定力の値が、トラスの各部材に いかなる影響をおよぼすかは推定しがたい。そこで 表-7,

表-8, に示す不静定力から厳密解による部材力を求め 載荷側と非載荷側にわけて、慣用計算法に対する 上弦材、斜材、下弦材および全部材の百分率を求めれば 表-9のようになる。

表-6 荷重項 (mm)

荷重状態	P-1 on 3	P-1 on 5	P-1 on 11	P-1 on 12
$-\delta_{10}^{VF}$	-0.213676	-0.282828	-0.223116	-0.274480
$-\delta_{10}^{HT}$	-0.282828	-0.412660	-0.274480	-0.397921
$-\delta_{10}^{HF}$	-0.178983	-0.282828	-0.174805	-0.274480
$-\delta_{10}^{TT}$	-0.213801	-0.266716	-0.223116	-0.274480
$-\delta_{10}^{VF}$	-0.266716	-0.364683	-0.274480	-0.397921
$-\delta_{10}^{HT}$	-0.178882	-0.266716	-0.174805	-0.274480

表-7 case 1の不静定力

不静定力	P-1 on 3	P-1 on 5	P-1 on 11	P-1 on 12
X ₂	-0.524801	-0.073368	-0.396411	-0.071243
X ₄	-0.056711	-0.490562	-0.058203	-0.311563
X ₆	0.007718	-0.073368	0.006142	-0.071243
X _{2'}	-0.277733	-0.062344	-0.396411	-0.071243
X _{4'}	0.057638	-0.263243	-0.058203	-0.311563
X _{6'}	0.003317	-0.062344	0.006142	-0.071243
H ₂	-0.147937	-0.275584	-0.184801	-0.216393
H ₄	0.133633	0.002808	0.102032	0.003016
H ₆	0.163208	0.290679	0.154984	0.231222
H ₈	0.079291	0.163419	0.064438	0.132734
H _{2'}	-0.088302	-0.152241	-0.119479	-0.216393
H _{4'}	-0.072483	0.003227	0.102032	0.003016
H _{6'}	0.104244	-0.173702	0.154984	0.231222
H _{8'}	-0.049601	0.101567	0.064438	0.132734

表-8 case 2の不静定力

不静定力	P-1 on 3	P-1 on 5	P-1 on 11	P-1 on 12
X ₂	-0.520307	-0.071685	-0.394329	-0.070993
X ₄	-0.052596	-0.484221	-0.056763	-0.368773
X ₆	0.008228	-0.071685	0.005673	-0.070993
X _{2'}	-0.278125	-0.063738	-0.394329	-0.070993
X _{4'}	-0.054345	-0.263978	-0.056763	-0.368773
X _{6'}	0.002233	-0.063738	0.005673	-0.070993
H ₂	0.007516	0.002866	0.005537	0.002160
H ₄	0.025807	0.024628	0.019897	0.019777
H ₆	0.036830	0.047810	0.028730	0.031588
H ₈	0.039390	0.055092	0.030941	0.043440
H _{2'}	0.003663	0.001401	0.005537	0.002160
H _{4'}	0.04083	0.013938	0.019897	0.019777
H _{6'}	0.020764	0.027482	0.028730	0.031588
H _{8'}	0.022406	0.031864	0.030941	0.043444

表-9 慣用計算法に対する厳密解の百分率

部材	P-1 on 3			P-1 on 5			P-1 on 11			P-1 on 12		
	case 1	case 2	case 3	case 1	case 2	case 3	case 1	case 2	case 3	case 1	case 2	case 3
載荷側	上弦材	89.26	87.33	86.80	93.48	91.98	90.89	94.44	93.75	90.35	90.36	92.66
	斜材	82.57	81.72	80.77	80.97	79.79	78.98	84.51	84.06	81.33	83.80	83.23
	下弦材	89.45	87.92	86.84	92.00	90.54	89.42	94.58	93.90	90.25	90.05	92.31
	全部材	86.63	85.38	84.30	88.08	86.72	85.74	90.52	89.91	90.98	92.45	92.37
非載荷側	上弦材	105.44	106.31	106.57	112.66	113.63	113.86	94.44	93.75	90.35	90.36	92.66
	斜材	90.53	90.73	90.00	91.47	91.96	91.64	84.51	84.06	81.33	83.80	83.23
	下弦材	105.50	100.09	102.86	110.15	111.10	110.94	94.58	93.90	90.25	90.05	92.31
	全部材	99.49	100.09	98.75	103.51	104.29	104.94	90.52	89.91	90.98	92.45	92.37

表中 case 3 は 鉛直荷重配分作用のみを考慮した参考文献 2) の値である。

これより考察を加えれば、参考文献 2) による結果と同様、わすかではあるが 非対称載荷の方が対称載荷の場合より 鉛直荷重配分効果が大きい。また 部材別では斜材に対する効果が顕著であり格点 3 および格点 5 に載荷された場合 載荷側の方が非載荷より大きく約 10% の差異がある。

case 1, case 2, case 3 をくらべると 各 case とも同じ傾向を示し 鉛直荷重配分効果に関してはほとんど相違はない。

ii) 水平荷重配分作用

水平荷重配分作用の影響は 下路橋の場合 下弦材だけにあらわれるから以下下弦材だけを取り扱う。そこで 表-7, 表-8 のうち X だけを考慮した場合と H だけを考慮した場合との下弦材の軸力を対比し水平荷重配分作用による下弦材の軸力の減少を百分率であらわすと表-10 のようになる

表-10 水平荷重配分作用による軸力の減少率

case 1 の場合												
部材	P=1 on 3			P=1 on 5			P=1 on 11			P=1 on 12		
	Xに軸力	Hに軸力	減少率	Xに軸力	Hに軸力	減少率	Xに軸力	Hに軸力	減少率	Xに軸力	Hに軸力	減少率
L ₁	0.3148	-0.2302	73.1	0.2392	-0.1813	75.8	0.2436	-0.1831	75.2	0.1928	-0.1505	78.1
L ₂	0.3507	-0.3781	68.7	0.6623	-0.4569	69.0	0.4336	-0.3015	69.5	0.5249	-0.3669	69.9
L ₃	0.3511	-0.2445	69.6	0.6623	-0.4541	68.6	0.2827	-0.1995	70.6	0.5249	-0.3669	69.9
L ₄	0.1152	-0.0793	68.8	0.2392	-0.1834	68.3	0.0927	-0.0645	69.7	0.1928	-0.1327	68.8
L ₁ '	0.1751	-0.1380	78.5	0.1455	-0.1193	82.0	0.2436	-0.1831	75.2	0.1928	-0.1505	78.1
L ₂ '	0.3108	-0.2263	71.0	0.3897	-0.2785	71.5	0.4336	-0.3015	69.5	0.5249	-0.3669	69.9
L ₃ '	0.2134	-0.1538	72.1	0.3897	-0.2753	70.6	0.2827	-0.1995	70.6	0.5249	-0.3669	69.9
L ₄ '	0.073	-0.0495	70.6	0.1455	-0.1015	69.8	0.0927	-0.0645	69.7	0.1928	-0.1327	68.8

case 2 の場合												
部材	P=1 on 3			P=1 on 5			P=1 on 11			P=1 on 12		
	Xに軸力	Hに軸力	減少率	Xに軸力	Hに軸力	減少率	Xに軸力	Hに軸力	減少率	Xに軸力	Hに軸力	減少率
L ₁	0.3109	-0.1099	35.3	0.2353	-0.1304	55.4	0.02421	-0.0049	33.1	0.1915	-0.1024	53.5
L ₂	0.5425	-0.1024	18.9	0.6522	-0.1275	19.5	0.4305	-0.0794	18.4	0.5214	-0.1003	19.2
L ₃	0.3442	-0.0765	22.2	0.6522	-0.1029	15.8	0.2803	-0.0596	21.3	0.5214	-0.0810	15.5
L ₄	0.1127	-0.0296	35.1	0.2353	-0.0531	23.4	0.0920	-0.0309	33.6	0.1915	-0.0434	22.7
L ₁ '	0.1764	-0.0610	34.6	0.1468	-0.0748	51.0	0.2421	-0.0849	35.1	0.1915	-0.1024	53.5
L ₂ '	0.3205	-0.0579	17.9	0.3921	-0.0734	18.7	0.4305	-0.0794	18.4	0.5214	-0.1003	19.2
L ₃ '	0.2154	-0.0432	20.1	0.3921	-0.0594	15.1	0.2803	-0.0596	21.3	0.5214	-0.0810	15.5
L ₄ '	0.0712	-0.0224	31.5	0.1469	-0.0319	21.7	0.0920	-0.0309	33.6	0.1915	-0.0434	22.7

表より 両 case とも回転支持辺側と移動支持辺側 とでは相当な開きが見られるが 大体 case 1 で約 70%, case 2 で約 30% の水平荷重配分作用が見られる。床構造を格子構造として解析した参考文献 1) および実在のトラスの載荷実験結果と比較して 水平荷重配分作用に関しては、床構造を梁とシャイベの組合わされた構造とした方がより妥当だと思われ 完全な板としてとく場合には シャイベの盤厚の仮定が問題となろう。

参考文献

- 1) 児嶋, 成岡 下路トラス橋における床組と主構との協力作用について
土木学会論文集 第 130 号
- 2) 星, 児嶋, 平尾 トラス橋における床構造の荷重配分作用について
昭和 44 年度学術講演会概要 P 98
- 3) 川本 暁 応用弾性学 共立出版