

I-290

固有周期を極小化するトラス橋とランガー橋の設計に関する研究

○ 滝上工業 正会員 森 下 恭 光
 瀧上工業 正会員 高 木 録 郎
 瀧上工業 正会員 安 藤 浩 吉
 岐阜大学 正会員 中 川 建 治

1. 剛性行列について

本研究は、振動が生じ易いと言われるランガー橋を対象にして固有周期を近似的に最小化する方法を示したものである。平面構造物の曲げと軸変形を考慮する場合の一般的な非減衰の自由振動方程式は次のようになる

$$[W/g] \{\ddot{x}\} + [S] \{x\} = 0 \cdots \cdots \cdots (1)$$

$$S = A^T D A \cdots \cdots \cdots (2)$$

解析における剛性行列 S は3つの行列の積によって表すことができ、ランガー橋の場合の概略は次のようになる。節点 i, j (変位 $U_i, V_i, \theta_i, U_j, V_j, \theta_j$) を連結する部材 (l_{ij}, A_{ij}) が、節点 i, j の力の釣合式へ貢献する要素を簡単に行列表示するなら

$$\begin{bmatrix} C^T(\beta_{ij}) \\ C^T(\beta_{ji}) \end{bmatrix} [D_{ij}] \begin{bmatrix} C(\beta_{ij}) & C(\beta_{ji}) \end{bmatrix} \cdots \cdots \cdots (3)$$

$$C(\beta_{ij}) = \begin{bmatrix} \cos \beta & \sin \beta & 0 \\ -\sqrt{2} \sin \beta & \sqrt{2} \cos \beta & L/\sqrt{2} \\ 0 & 0 & L \operatorname{sign} \beta / \sqrt{2} \end{bmatrix} \quad D_{ij} = \begin{bmatrix} AE/L & & \\ & 6EI/L^3 & \\ & & 6EI/L^3 \end{bmatrix}$$

β : 全体座標軸に対する時計方向の傾斜角

$\operatorname{sign} \beta$: 部材の着目点側の節点番号が反対側の節点番号より大きい場合 $\cdots -1$

部材の着目点側の節点番号が反対側の節点番号より小さい場合 $\cdots 1$

となり、このような要素行列を各部材について求めていき集約させると式(2)のような3つの行列の積で表される剛性行列が導かれる。すなわち、 A は式(3)の $C(\beta_{ij})$ を要素とする矩形行列となり、 D は式(3)の D_{ij} を対角要素とする対角大行列である。

2. 最適断面の計算例

現行示方書を基にして設計された橋を、主構の鋼材の総重量を一定にして固有周期を最小にする設計例2題を示す。図1はローゼ橋の例、図2はトラスランガー橋(網掛けの部分は、現行の示方書を基にして設計された部材の断面積。白地の部分は、固有周期を最小にする部材の断面積。特に図1には現行示方書を基に設計されたローゼ橋の1次から3次までの自由振動モード形を併せて示してある)である。ただし、補剛桁はボックスガーター、弦材は曲げが関与する場合ボックスガーターとして計算を行った。

全体的な傾向として補剛桁はより太く、弦材は細くする方が固有周期を小さくすることになる。図1のローゼ橋の場合は補剛桁を支点より $1/4$ の部分を最大にするようにし、鉛直吊材は、極端に細くして良いことを示しているが、鉛直吊材は示方書の細長比の条項に抵触するので実際は不都合になる。図3のトラスランガー橋の場合のように腹材が斜めの場合は、腹材は部材として有効に働くので大きな相違は生じないが、支点付近の補剛桁は太くする方がよいようである。

3. 実際の固有周期の変化状況

示方書に基づいて設計された橋と、最適断面を採用した橋の固有周期をローゼ橋の場合を表1、トラスランガー橋の場合を表2に示す。

表1に示したローゼ橋の場合には、最適断面を採用した橋は示方書に基づいて設計された橋に比べて周期自乗和は約45%減少された。この変化の割合は第1次モードから第3次モードまでの周期自乗和の変化の割合(約46%減)とほぼ一致している。第1次モードから第3次モードの周期の変化を見ると、特に第1次モードの周期が約38%と大幅に減少し、第2次と第3次モードの周期には大きな変化が現れなかった。

表2に示すトラスランガー橋の場合においては、最適断面を採用した橋は示方書に基づいて設計された橋に比べて周期自乗和は約7%減少された。第1次モードから第3次モードの周期の変化を見ると、特に第3次モードの周期が約24%減少し、第1次と第2次モードの周期には大きな変化が現れなかった。第1次モードの周期には大きな変化が見られなかったのは、腹材が部材として有効に働き、ランガー橋やローゼ橋とは趣の異なる剛性の特性を持つ為であろうと思われる。

また、振動モード形は示方書によって設計された橋と最適断面を採用した橋の場合では、第1次モードでは形状の変化が小さいが、他のモードでは周期の大きさの順序が入れ替わる現象が現れる。

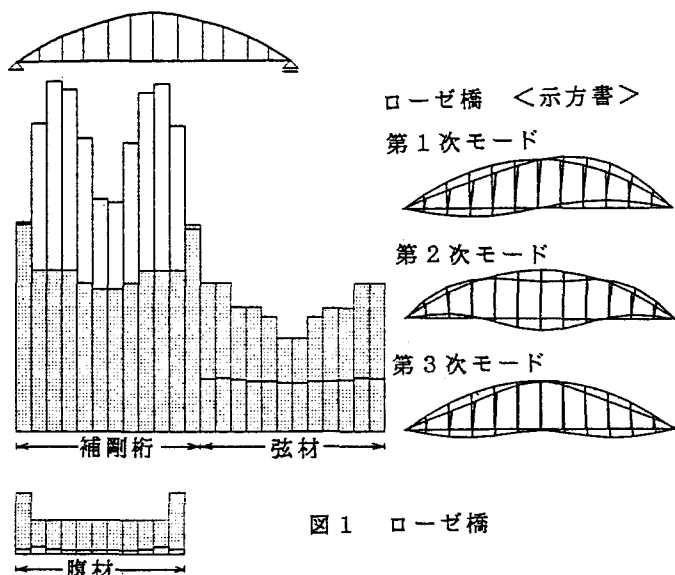


図1 ローゼ橋

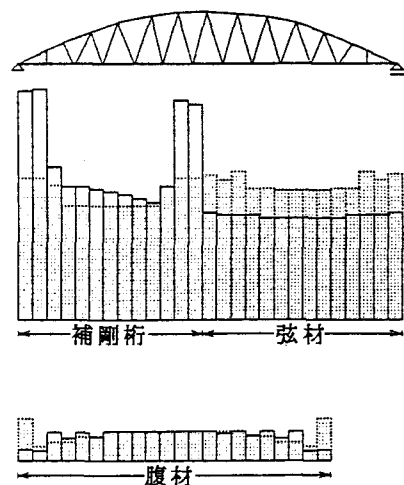


図2 トラスランガー橋

	周期 [sec]			周期自乗和 [sec ²]	
	1次モード	2次モード	3次モード	部分和 (1~3)	総和
示方書	1.032	0.514	0.352	1.452	1.660
最適断面	0.648	0.513	0.308	0.778	0.905
最適断面 示方書	0.628	0.998	0.875	0.536	0.545

表1 ローゼ橋

	周期 [sec]			周期自乗和 [sec ²]	
	1次モード	2次モード	3次モード	部分和 (1~3)	総和
示方書	0.705	0.369	0.318	0.734	1.035
最適断面	0.714	0.358	0.242	0.696	0.965
最適断面 示方書	1.013	0.970	0.761	0.948	0.932

表2 トラスランガー橋