K6-80

近似曲線を用いた自動車車体構造の結合剛性推定法

—L 形結合部材を対象とした推定精度の検討—

Joint Stiffness Estimation Method of Automobile Body Structures using Approximate Curve

—Applying to L-shape joint structures that consists of thin thickness—

○菅野 大博[1]，畠山 駿斗[2]，岡部 顕史[3]，冨岡 昇[3]

○Tomohiro Sugano[1], Hayato Hatakeyama[2], Akifumi Okabe[3], Noboru Tomioka[3]

In the beginning designing stage of an automobile body structure, it is demanded to design the body structure in consideration to a joint stiffness. However, the joint stiffness can not be obtained easily. If a tool to quickly and accurately obtain the joint stiffness is developed, it is useful in the body design. The estimation method to obtain the joint stiffness values from the design parameters using the approximate curve was researched. This estimation method was applied to L-shape joint structures that consist of thin thickness. It was shown that the method using the approximate curve can obtain the joint stiffness values accurately.

1. 緒　言

自動車車体構造の短期開発に対応するために，上流で高い設計を行い，下流に問題点を極力持ち込まないことが求められている．初期設計段階では，結合部の剛性を考慮した簡単なモデルで構造を検討する必要がある．構造寸法などの設計パラメータに対して，車体全体の剛性に影響を及ぼす結合部の剛性値が，迅速かつ精度良く得られるツールが開発されると，初期設計段階において役立つと考えられる[1, 2]．

本研究では，薄肉箱型断面部材 2 本からなる L 型結合部材を対象として，部材の断面寸法，上部板厚，下部板厚，フランジ高さを設計パラメータとし，これら設計パラメータから 3 次曲線を用いて結合剛性値を推定する手法について検討した．

2. 結合部構造と結合剛性の定義

図 1，図 2 に示すように，薄肉箱型断面部材 2 本から成る L 形結合部材を対象とする．

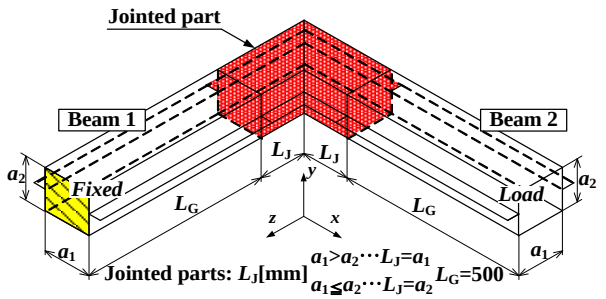

Fig. 1 L-shape joint structure

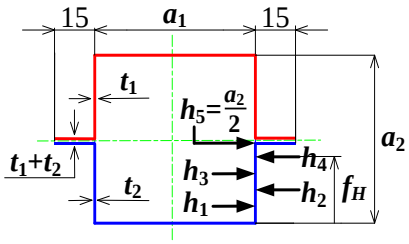

Fig. 2 Height of flange

結合剛性は次のように定義する．結合部は同一座標値を持つ節点で構成される弾性体と考え，その節点に加わるモーメント[M]と回転角[Θ]との関係を剛性マトリクスで表したとき，そのマトリクスを結合剛性と定義し，これを結合剛性マトリクスと呼ぶことにする[3]．

$$\begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Theta_1 \\ \Theta_2 \end{bmatrix} \tag{1}$$

where, $M_i=[m_{ix} \quad m_{iy} \quad m_{iz}]^T$, $\Theta_i=[\theta_{ix} \quad \theta_{iy} \quad \theta_{iz}]^T$,
$[K_{ij}]$: 3×3 square sub –matrix (i,j = 1 ~ 3),
k_{ij} : each element of matrix [K] (i,j =1 ~ 6)

3. 結合剛性推定法の検討

断面寸法を設計パラメータとし，この設計パラメータと結合剛性値(結合剛性マトリクスの各要素)との関係を，近似曲線を用いて推定する．設計パラメータは部材断面幅 a_1，部材断面高さ a_2，上部板厚 t_1，下部板厚 t_2，フランジ高さ f_H とし，その範囲を表 1 に示す．本研究ではフランジ高さ f_H を h_1 一定とした．表 1 の設計パラメータにおけるすべての組み合わせに対す結合剛性値との対のデータは，3969 組となる．

Table 1 Range of design parameters (L-shape joint structure)

Design parameters	Range	Step
Width of cross section: a_1 [mm]	30~90	10
High of cross section: a_2 [mm]	$a_1\times$ (0.5~1.0)	0.125
Aspect ratio: a_2/a_1 [-]	0.5~1.0	0.125
Thickness of upper part: t_1 [mm]	0.6~1.4	0.1
Thickness of lower part: t_2 [mm]	0.6~1.4	0.1
Height of flange: f_H [mm]	$a_2/2/5\times 1$	const

表 2 に示すように部材断面幅 a_1，部材断面比 a_2/a_1，上部板厚 t_1，下部板厚 t_2 のそれぞれの最小値，中間値の前後，最大値の 4 つのパラメータを選択し，これらのデータを組み合わせの 256 組のデータを用いて近似曲線を作成した．今回は結合剛性マトリクス要素 k_{11} の場合で近似曲線による推定を行った．

1:日大理工・学部・機械 2:日大理工・院(前)・機械 3:日大理工・教員・機械

近似曲線は設計パラメータを説明変数，結合剛性マトリクス要素 k_{11} を目的変数として以下のように求めた．

1) t_2 を変数として，$(a_2/a_1)\times(a_1)\times(t_1)=4\times4\times4=64$ 個の 3 次の近似式を求める．
2) 1)で得られた近似式から t_2 の表 2 以外の値(0.7,0.8, 1.0,1.2,1.3mm)について算出し，t_2 についてそれぞれ 9 個の推定値を求めた．
3) 次に t_1 を変数として，$(a_2/a_1)\times(a_1)\times(t_2)=4\times4\times9=144$ 個の 3 次の近似式を求める．
4) 3)で得られた近似式から t_1 の表 2 以外の値(0.7,0.8, 1.0,1.2,1.3mm)について算出し，t_1 についてそれぞれ 9 個の推定値を求めた．
5) 以下同様に，次に a_2/a_1 を変数として，$(a_1)\times(t_1)\times(t_2)=4\times9\times9=324$ 個の 3 次の近似式を求め，得られた近似式から a_2/a_1 の表 2 以外の値(0.4,1.0,0.9)について，それぞれ 7 個の推定値を求めた．
6) 最後に a_1 を変数として，$(a_2/a_1)\times(t_1)\times(t_2)=7\times9\times9=567$ 個の 3 次の近似式を求め，得られた近似式から a_1 の表 2 以外の値(40,60,80mm)について，それぞれ 7 個の推定値を求めた．

上記より 3 次の近似式の総数は 1099(＝64+144+324+567)個となる．

Table 2 Design parameters (L-shape joint structure)

	a_2/a_1 [-]	a_1 [mm]	t_1 [mm]	t_2 [mm]
Minimum	0.5	30	0.6	0.6
Middle 1	0.67	50	0.9	0.9
Middle 2	0.83	70	1.1	1.1
Maximum	1.0	90	1.4	1.4

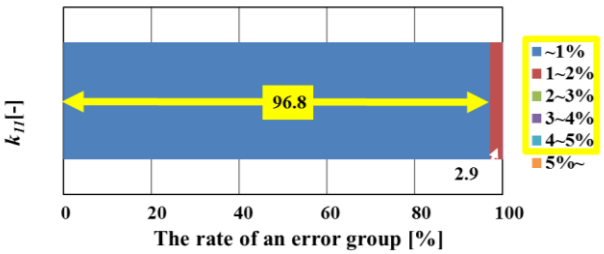

Fig. 3 Error distribution the estimate value by the approximate curve

図 3 に，近似曲線を用いて推定した結合剛性マトリクス要素 k_{11} の誤差分布を示す．

本手法により，各結合剛性マトリクス要素の 256 個のデータから，表 1 における設計パラメータの範囲では，誤差 1%以内が 96.8%で，誤差 2%以内が 2.9%となり，精度よく推定することができた．

同一部材を用いて，表 1 の設計パラメータと表 2 の 256 組の学習データを使って階層型ニューラルネットワークを構築した[4]．

図 4 に，階層型ニューラルネットワークを用いて推定した結合剛性マトリクス要素 k_{11} の誤差分布を示す．

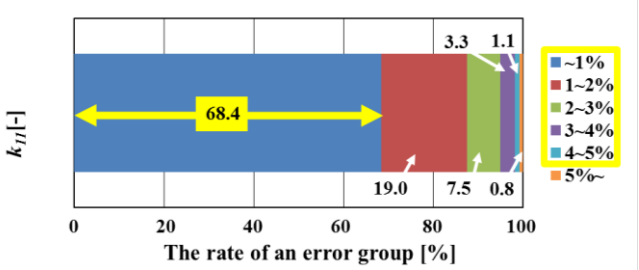

Fig. 4 Error distribution of the estimate value by the feed forward neural network[4]

図 4 より，階層型ニューラルネットワークによる結合剛性マトリクス要素 k_{11} の推定値の誤差は，1%以内が 68.4%で，2%以内が 19.0%であることがわかる．

図 3，4 より，近似曲線による推定手法の方が，階層型ニューラルネットワークによる推定手法より，精度よく k_{11} を得られることがわかった．

4. 結　言

薄肉円形断面部材 2 本からなる L 形結合部材を対象とし，3 次多項式の近似曲線を用いて結合剛性マトリクス k_{11} を推定する手法について検討した．主な結果を以下に示す．

(1) 設計パラメータ 256 個のデータを元にして，近似曲線から算出した値は，階層型ニューラルネットワークによる推定値よりも精度よく得られる可能性があることを示した．
(2) 今後，他の結合剛性マトリクス要素についても確認を行う予定である．

参　考　文　献

[1] 新四原，廣瀬，岡部，冨岡：開発初期段階で利用するスポット溶接部材の静剛性と結合剛性を考慮した骨組構造解析手法，自動車技術会論文集，No.38，vol 3, pp.5-10 (2007)
[2] Y. Sato, A. Okabe, N. Tomioka, T. Hirose：Estimating Design Parameters of Jointed Part using Neural Network, COMPUTATIONAL MECHANICS, WCCM VI in conjunction with APCOM'04, CD-ROM (2004)
[3] 下牧他 9 名，自動車技術会論文集.No.43, pp.138-142 (1990)
[4] 畠山，島，岡部，冨岡：ニューラルネットワークを用いた自動車車体構造の結合剛性推定法，日本設計工学会 2015 年度春季大会発表講演会講演論文集，pp.77-80 (2015)