構造同定と最適化計算による構造解析モデルの精緻化手法に関する検討

長崎大学大学院 学生会員 〇清水誠人 長崎大学大学院 正会員 西川貴文 長崎大学大学院 正会員 中村聖三

1. はじめに

既設橋梁の構造状態を構造解析で評価する場合,有限要素モデルの精緻化にはモデルパラメータの細かな調整が必要である.本研究では,最適化計算によるFEモデル精緻化手法について,実応答から参照値を取得するプロセスと,モデルパラメータを最適化するプロセスについて,精度と合理性の観点で計算手法の妥当性を検討した.

2. FE モデル精緻化方法

FE モデル精緻化のフローチャートを図1に示す.振動特性の解析値と実測値の差を最小化する FE モデルパラメータ x の最適化問題と定義し、式(1)の目的関数を最小化することでモデルを精緻化することとした.最適化アルゴリズムには、内点法および遺伝的アルゴリズム(以下: GA^{11})を用いた.ここに、fは固有振動数、 Φ は固有モードベクトルであり、添字 i はモード次数、a は解析値、m は実測値である.

$$J(\mathbf{x}) = \sum_{i}^{n} \left[\frac{f_{ai}(\mathbf{x}) - f_{ni}}{f_{ni}} \right]^{2} + \sum_{i}^{n} \{ 1 - MAC(\Phi_{ai}(\mathbf{x}), \Phi_{ni}) \}$$
 (1)

3. 橋梁の全体構造モデルの精緻化に関する検討

3.1 対象橋梁と計測概要

対象橋梁は、単純下路トラス形式の廃線鉄道橋(支間長 69.2m)とした、計測対象は常時微動とし、片側トラス格点部に全体系の振動特性を推定するためにサーボ型加速度計を全6点配置した。

3.2 振動特性の推定方法および FE モデル概要

本研究では、精緻な振動特性の推定を行うために確率的部分空間法(以下:SSI)を用いた. 対象橋梁のFEモデルは、はり要素を用いて図2のように作成した. 全体系の挙動を把握するために、部材の局所的な振動は無視し、格点間の要素分割は行っていない. 実応答に対応する解析値との差を最小化するようにモデル精緻化を行う.

3.3 更新パラメータの選定

更新パラメータは、はり要素の各部材の断面積19種類、

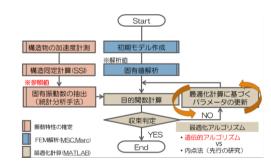


図1 精緻化プロセス



要素	はり				
弾性係数	205 kN/mm ²				
質量密度	7.85×10^{-6}				
	kg/mm³				

図 2 単純下路トラス橋の FE モデル諸元および振動特性

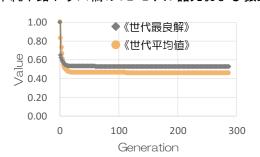


図3 目的関数の推移

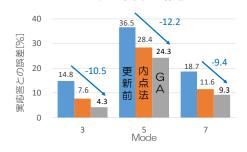


図 4 固有振動数の実応答との誤差



図5 振動モードの推移

キーワード:最適化計算,遺伝的アルゴリズム,カーネル密度推定,

連絡先:〒852-8521 長崎県長崎市文教町 1-14 長崎大学大学院工学研究科 Tel:095-819-2613

				上横構	畫	才	斜木	す	斜材	斜材	斜材	斜材	
対象	上弦材	下弦材	上横構	(横方	(L2~1	U1)	(L2~U	J3)	(L4~U3)	(L4~U5)	(L6~U5)	(L6~U7)	中間横桁
				(1英ノノ)	(L12~l	U13)	(L12~U	J11)	(L10~U11	l) (L10~U9)	(L8~U9)	(L8~U7)	
更新前	17840	16280	5200	5200	122	66	1560	00	8680	10440	7128	9900	31600
更新後	17323	17779	5719	560′	7 112	82	1702	29	9548	11484	7451	10806	34342
変化率[%]	-2.90	+9.21	+9.99	+7.8	2 -8.0)2	+9.1	0	+9.99	+10.00	+4.53	+9.15	+8.68
	下横棒	ち		J	b道縦桁	歩道	直縦桁	歩ì	道縦桁	歩道縦桁	歩道横桁	弾性係数	質量密度
対象	(L4~L14		1 王.桁和	質構 ^	A	В			C	D	(中間部)	[N/mm ²]	[kg/mm ³]
更新前	2529	23100) 190	0	6146	6.	146	6	5146	6146	1900	205000	7.85×10 ⁻⁶
更新後	2391	2532	203	2	6760	6	760	6	6760	6274	2089	195493	8.62×10 ⁻⁶

+9.99

表1 更新パラメータの推移(断面積[mm²])

弾性係数および質量密度とした.また、パラメータの制約条件は、初期値±10%とした.

+9.62

+6.93

+10.00

3.4 最適化計算の検討

変化率[%]

FE モデル精緻化過程における目的関数の推移を図 3 に示す. 世代が交代される毎に一定の値に収束していることが確認できる. 図 4-5 に示す振動特性の変化より, GA の方が内点法より FE モデルが更新されていることが認められる. また, 更新パラメータの推移を表 1 に示す. 弾性係数が 10%近く減少しており, 制約条件の見直しが課題として挙げられる.

4. 部材レベルのモデル精緻化に関する検討

4.1 FE モデル精緻化の概要

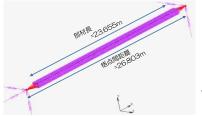
最適化計算手法の適用として部材系の構造物においても同様な検討を行った。ただし、部材系では目的関数に固有振動数のみを用いた。また、統計分析手法でありノンパラメトリックな経験的確率分布を表現するカーネル密度推定によって SSI の推定結果から対象のモードパラメータの抽出を行い、有意な推定結果を得ることにした。FE モデル諸元を図 6 に示す。

4.2 最適化計算の検討

精緻化過程における各結果を図7-8および表2に示す. GAでは、全てのパラメータが制約条件最大まで更新された. また、固有振動数の変化は微小であり、解析値と参照値の相互性の精査および更新パラメータの選択において課題がみられる

5. まとめ

本研究では、SSI にカーネル密度関数を援用すること



+2.08

+9.99

要素	3D シェル
弾性係数	200 kN/mm ²
質量密度	7.85×10 ⁻⁶ kg/mm ³

+9.78

-4.64

図6 部材のFEモデル諸元

+9.95

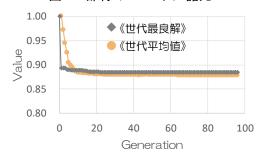


図7 目的関数の推移

表 2 更新パラメータの推移(斜材)

対象	軸力	ばね剛性	ばね剛性	フランジ	ウェブ
	[KN]	[N*m/rad]	[N*m/rad]	[mm]	[mm]
更新前	1945	2.0×10 ⁸	2.0×108	25	12
更新後	1751	2.2×10 ⁸	2.2×10 ⁸	27	13
変化率[%]	-10	10	10	10	10

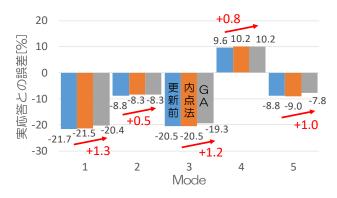


図8 固有振動数の実応答との差

で定量的で客観的な振動特性の推定が可能になった. また, いずれの構造物モデルにおいても GA の方が解析値の振動特性が実応答に近づくように更新された. 今後, 更新パラメータおよび制約条件に加え, 初期モデルの再検討を試みる.

【参考文献】1) J.H. Holland: Adaptation in Nature and Artificial Systems, The University of Michigan Press, Michigan, 1975