

初期不整を考慮した組立柱部材の座屈固有値に関する基礎的検討

九州工業大学 学生会員○小嶋 悠太

九州工業大学 正会員 高井俊和

1. はじめに

形鋼をレーシングバーでつなぎ組み立てた柱部材は古い橋梁に多くみられる。構成部材が多いため圧縮座屈挙動が複雑になることは容易に想像されるが、その詳細挙動は不明な点が多い。座屈モードが不明な場合は、座屈固有値解析を実施して確認することがあるが、野村ら[1]は H 形鋼の座屈解析を行い、その検討の中で初期不整を考慮した固有値解析を行い、座屈モードが変化するか調べることも必要と考えられると述べている。本研究では、組立柱部材を対象に座屈固有値解析を実施して、初期不整の考慮により得られる座屈モードへの影響を確認した。

2. 解析方法

解析対象とした組立柱部材は、とあるアーチ橋の 1 部材である。その概要を図 1 に示す。2 つの溝形鋼の端部付近をタイプレートで、中ほどをレーシングバーでつないだ長さ 7.525m の部材である。部材構成は溝形鋼 (250×90×9×7525) が 2 本、レーシングバー (60×9×520) が 40 枚、タイプレート (450×9×700) が 4 枚である。解析ケースを表 1 に示す。着目パラメータは、部材の両端の境界条件、初期たわみと残留応力の初期不整の考慮の有無である。初期たわみは振幅 $L/1000$ の sin 波形で x 方向と y 方向のケースを設定した。残留応力は溝形鋼を対象に文献[2]を参考に自己つり合いをとり図 2 のように設定した。

座屈固有値解析は、解析プログラム Abaqus Standard v6.13 を用いて行った。図 3 に示す材料特性は文献[3]を参考にしたトリリニアとした。ポアソン比は 0.3 とした。4 節点低減積分シェル要素でモデル化し、要素長は約 25mm とした。荷重は図 1 にも示したように溝形鋼の端部に圧縮荷重を作用させた。境界条件は、部材の中央を x, y, z 方向の並進を拘束して空間固定し、両端ピンのケースは端部でねじりのみ拘束した。両端固定のケースでは、端部のねじりと、 x, y 方向の回転を固定した。

解析で得られた 1 次と 2 次の座屈モードと、固有値を比較することで、初期不整の考慮が解析結果に及ぼす影響を確認した。

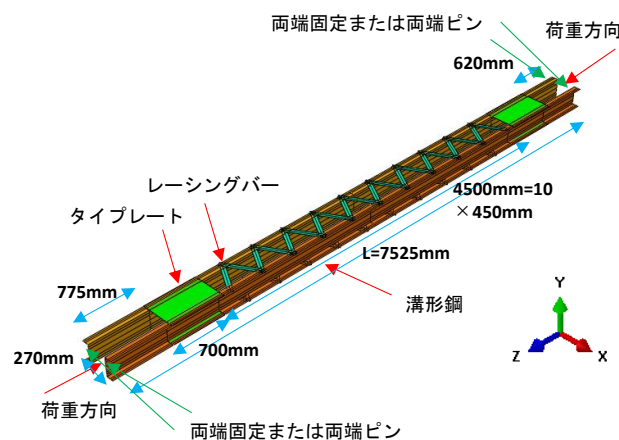


図 1 組立柱部材の概要

表 1 解析ケース

ケース	a	b	c	d	e	f
初期たわみ	なし	なし	L/1000 x方向	L/1000 y方向	なし	あり
残留応力	なし	あり	なし	あり	なし	あり
1 境界条件	両端ピン					
2 境界条件	両端固定					

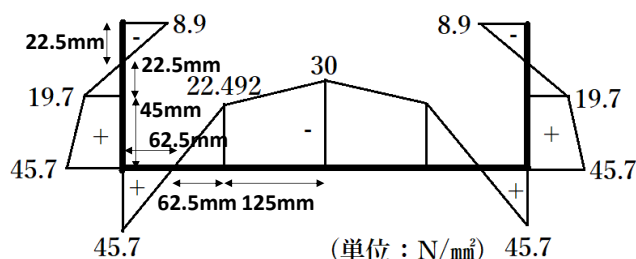


図 2 残留応力

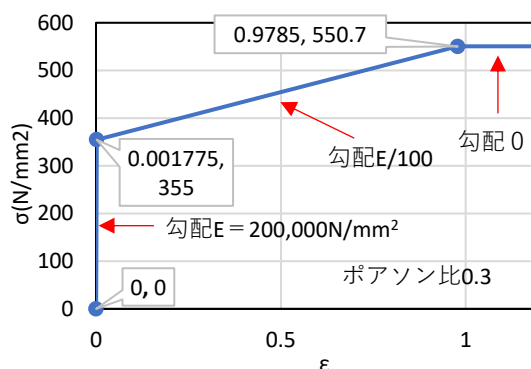


図 3 材料特性

3. 解析結果

図 4 に解析で得られた主要な解析ケースの各座屈モードの変位分布を示す。1-a の 1 次モードは y 方向の全体座屈、1-a の 2 次モードは局部座屈、1-f の 1 次モ

ードはy方向の全体座屈, 1-fの2次モードはx方向の全体座屈と局部座屈が混合した座屈波形が得られた。

表2に各ケースの1次と2次の座屈モード, 固有値と, 変化率をまとめる。変化率は, 初期たわみ, 残留応力を考慮しないケースに対する固有値の変化を示している。図5に各ケースの固有値の比較を示す。両端ピンのケースでは1次モードと2次モードの固有値で45%程度の差がある一方で, 両端固定のケースでは差が0.05%程度と小さかった。

両端ピンのケースでは, すべてのケースで1次モードはy方向の全体座屈となった。2次モードはx方向の全体座屈と局部座屈の混合波形または局部座屈となった。初期たわみや残留応力を考慮した時の固有値の変化は, 1-cの2次モードで4%程度となったが, それ以外では1%程度と小さかった。したがって, 1次モードの確認に初期たわみや残留応力を考慮しなくても同様の結果が得られることが確認された。

両端固定のケースでは, いずれのケースとも1次モード, 2次モードとも局部座屈となり, 全体座屈は生じない結果となった。初期たわみ, 残留応力を導入すると若干モードが変わったが固有値は変化率1%以内であった。座屈モードが変化した理由として, 1次モードと2次モードの固有値が近接したため, 初期たわみ等の影響が現れたと考えられる。

4. まとめ

座屈固有値の解析における初期たわみや残留応力の考慮による結果の影響を確認したところ, 固有値への影響は1%程度と小さいことが確認された。したがって, 着目するモード間で固有値が近接している場合を除けば, 初期たわみや残留応力を考慮しなくても得られる結果に差がないことが分かった。

謝辞 本研究を進めるにあたり, 明石高専の三好 崇夫 准教授, 熊本高専の岩坪 要 教授, 舞鶴高専の玉田 和也 教授から, 情報提供と助言を受けました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 野村敏雄, 表佑太郎: スーパーコンピュータを利用した座屈解析方法の研究, 大林組技術研究所報, No.42, pp.1-8, 1991.
- [2] 林田幸浩: 繊維化塑性関節法の汎用性の向上と実用化に関する研究, 長崎大学学術研究成果リポトリ, 2008.

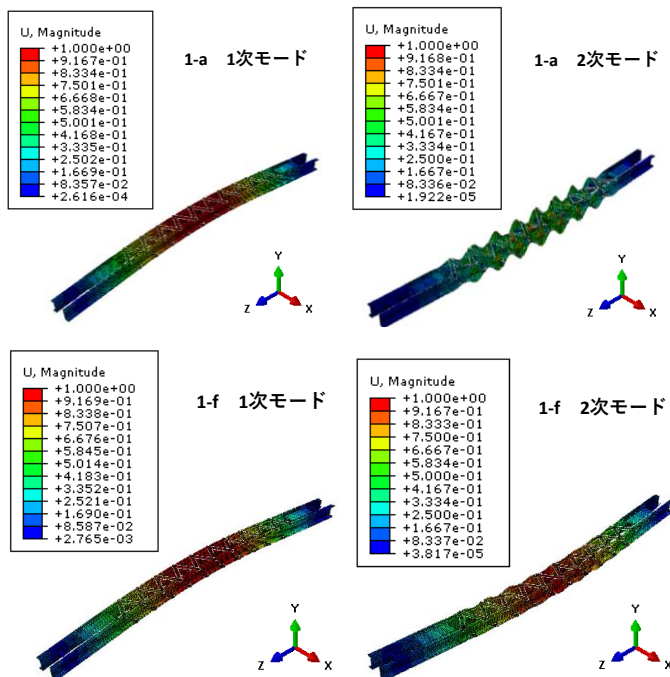


図4 座屈モードと変位分布

表2 座屈モードと固有値

ケース	座屈モード		固有値		変化率(%)	
	1次モード	2次モード	1次モード	2次モード	1次モード	2次モード
1-a	全体(y方向)	全体(x方向)かつ局部	122.32	177.24	0.00	0.00
1-b	全体(y方向)	全体(x方向)かつ局部	123.15	178.73	-0.68	-0.84
1-c	全体(y方向)	局部	122.12	170.2	0.16	3.97
1-d	全体(y方向)	局部	122.94	179.33	-0.51	-1.18
1-e	全体(y方向)	全体(x方向)かつ局部	122.22	177.27	0.08	-0.02
1-f	全体(y方向)	全体(x方向)かつ局部	123.05	178.79	-0.60	-0.87
2-a	局部	局部	177.25	177.33	0.00	0.00
2-b	局部	局部	178.74	178.82	-0.84	-0.84
2-c	局部	局部	175.56	175.7	0.95	0.92
2-d	局部	局部	177.01	177.14	0.14	0.11
2-e	局部	局部	177.36	177.46	-0.06	-0.07
2-f	局部	局部	178.84	178.95	-0.90	-0.91

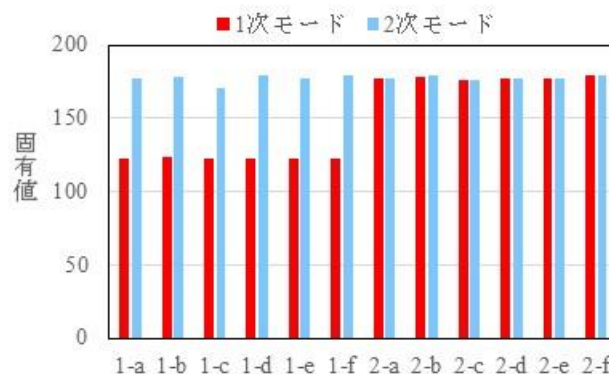


図5 座屈固有値の比較

- [3] 岩坪要, 小田七海, 三好崇夫, 高井俊和, 玉田和也: 組立圧縮材の設計と耐荷力挙動について, 鋼構造年次論文報告集, 第28巻, pp.102-108, 2020.