

リベット接合部を考慮した組立て柱部材の腐食劣化後の座屈挙動に関する解析的検討

九州工業大学 学生会員 ○森本 賢太
九州工業大学 正会員 高井 俊和
熊本高等専門学校 正会員 岩坪 要

九州工業大学 学生会員 古市 大陽
明石工業高等専門学校 正会員 三好 崇夫
舞鶴工業高等専門学校 正会員 玉田 和也

1. 目的

形鋼をレーシングバーで組立てた柱部材は、古い橋梁に多く見られ、老朽化によりレーシングバーが欠落している場合があるが、このときの座屈挙動は不明な点が多い。既往の研究[1]ではシェル要素を用いた簡易的なモデルで組立て柱部材の座屈挙動を検討しているが、詳細な挙動を確認するにはリベット結合部のモデル化が必要と考えられる。そこで本研究では、ソリッド要素を用いた組立て柱部材のモデル化を行い、部材間の接触を考慮した解析により、腐食劣化によりレーシングバーが消失した組立て柱部材の詳細な座屈挙動を明らかにする。

2. 解析モデル作成方法についての検討

2.1 解析条件

座屈耐荷力解析へのソリッド要素の適用性、リベット孔やリベットのモデル化の必要性について、溝形鋼を用いて確認した。文献[2]を参考に図-1に示すモデルを作成し、初期不整は初期たわみと残留応力を与えた。図心2にてX方向の変位を拘束し、図心1にてX方向への変位を与えることで圧縮荷重を作用させた。

解析ケースを表-1に示す。ケースaとb、ケースeとfの比較ではシェル要素とソリッド要素によるモデル化の違いの影響を確認する。ケースb, c, dとケースf, g, hの比較では、ソリッド要素でモデル化する時のリベット孔や、リベットのモデル化の有無により、得られる座屈挙動への影響を確認する。

2.2 解析結果

図-2に荷重-変位関係を示す。縦軸は圧縮荷重を降伏荷重で無次元化した値で、横軸は端部の変位量を降伏変位で無次元化した値である。表-2に各ケースの最大荷重およびその時の変位を、図-3に部材長L=300の最大荷重時のミーゼス応力分布を示す。

シェル要素とソリッド要素では最大荷重の差がL=300で0.4%、L=1,200で0.8%程度と小さく、荷重-変位関係もほぼ一致した。また、応力分布にも顕著な差は見られなかったことから、ソリッド要素でモデル化してもシェル要素の場合と同等の座屈挙動が得られることを確認した。

リベットのモデル化に関して、孔を開けると最大荷重が

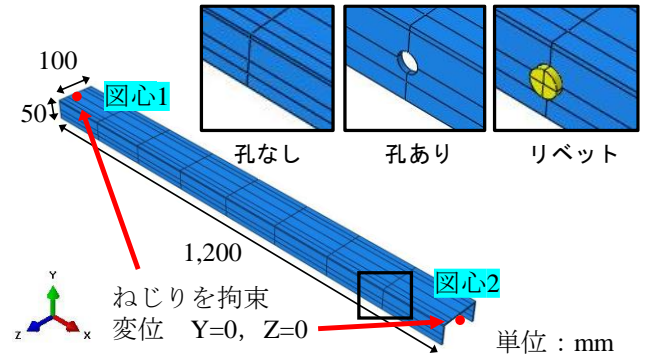


図-1 モデル概要

表-1 解析ケース

ケース名	a	b	c	d	e	f	g	h
部材長(mm)	300				1,200			
要素	シェル		ソリッド		シェル		ソリッド	
孔	なし	なし	あり	あり	なし	なし	あり	あり
リベット	なし	なし	なし	あり	なし	なし	なし	あり

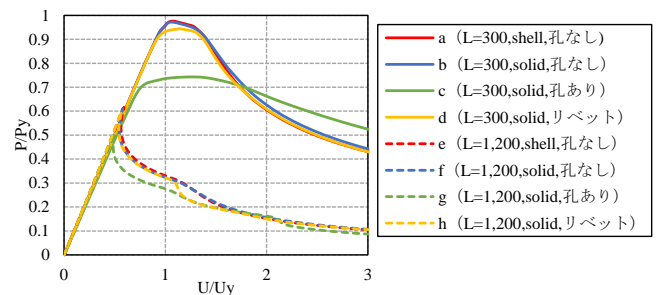


図-2 荷重-変位関係

表-2 最大荷重および変位

ケース名	a	b	c	d	e	f	g	h
P (kN)	235	234	179	227	148	147	122	144
U (mm)	0.6	0.6	0.7	0.6	1.4	1.4	1.2	1.3

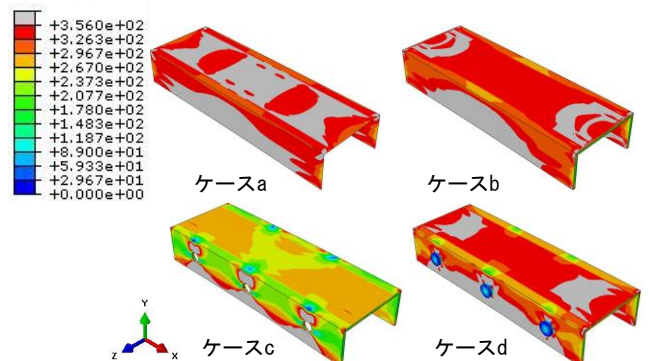


図-3 応力分布 (L=300, 灰色: 降伏領域)

リベット孔を開ける前よりも最大 23.6%低下した。荷重－変位関係の初期勾配はほとんど変わらないものの、リベット孔により断面積が小さい純断面で降伏，変形，座屈が早期に進行し最大荷重が低下した。

また，リベットをモデル化することで荷重－変位関係，応力分布はリベット孔を開ける前のケースと同様になったが，最大荷重はわずかに低下した。これらのことから，リベット結合を有する柱部材の座屈挙動をより詳細に確認するには，リベット孔とリベットのモデル化が必要であると考えられる。

3. レーシングバーが消失した組立て柱の座屈解析

3.1 解析条件

組立て柱部材は文献[2]を参考に図-4 に示すようにモデル化し，溝形鋼 2 本，レーシングバー 24 枚，リベット 26 本で構成した。初期不整として溝形鋼には初期たわみと残留応力を与えた。図心 2 にて X 方向の変位を拘束し，図心 1 にて X 方向への変位を与えることで圧縮荷重を作用させた。

解析ケースを表-3 に示す。レーシングバーを消去しないケース，端の 2 本，または 4 本を消去したケース，中央の 2 本，4 本，または 6 本を消去したケースを作成し，レーシングバーの消去位置および消去本数による比較を行った。また，レーシングバーの消去により，レーシングバーと接触しないリベットが存在する場合，リベットを消去したケースを作成し，消去しないケースと比較した。

3.2 解析結果

図-5 に荷重－変位関係を示す。縦軸は圧縮荷重を降伏荷重で無次元化した値で，横軸は端部の変位量を降伏変位で無次元化した値である。図-6 に各ケースの最大荷重を，図-7 に最大荷重時のミーゼス応力分布を示す。

組立て柱部材の 2~6 本のレーシングバーのみを消去した場合では荷重－変位関係にはほぼ影響がなく，最大荷重の低下率は 2%未満であった。一方で，リベットまで消去したケースでは最大荷重の低下率が最大 5%程度まで大きくなり，最大荷重時にはリベットの消失により開いた孔周辺に応力の集中がみられ，孔周辺のレーシングバーにも応力が発生するようになった。

また，レーシングバーやリベットの消去位置によっても最大荷重の低下率が異なり，端よりも中央付近のレーシングバーやリベットを消去することで最大荷重の低下率が大きくなった。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 19K04587 の助成を受けたものです。ここに記して感謝の意を表します。

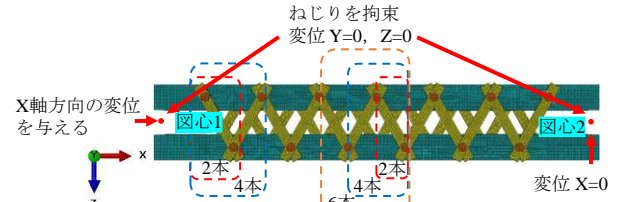


図-4 レーシングバーの消去位置

表-3 解析ケース

ケース名	1-0	1-2	1-2r	1-4	1-4r	2-2	2-4	2-4r	2-6	2-6r
消去位置	—	端		中央						
消去本数	—	2本	4本	2本	4本	6本				
リベットの消去	なし	なし	あり	なし	あり	なし	なし	あり	なし	あり

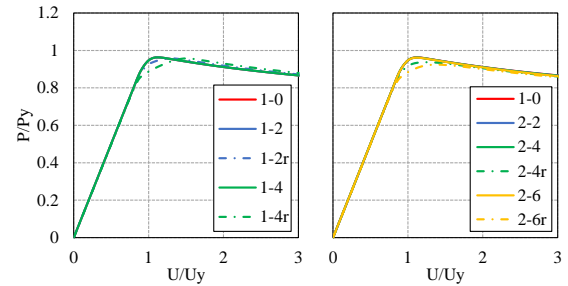


図-5 荷重－変位関係

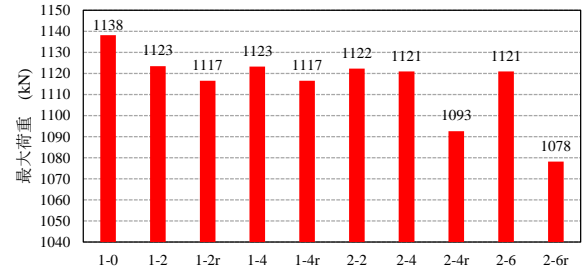


図-6 最大荷重

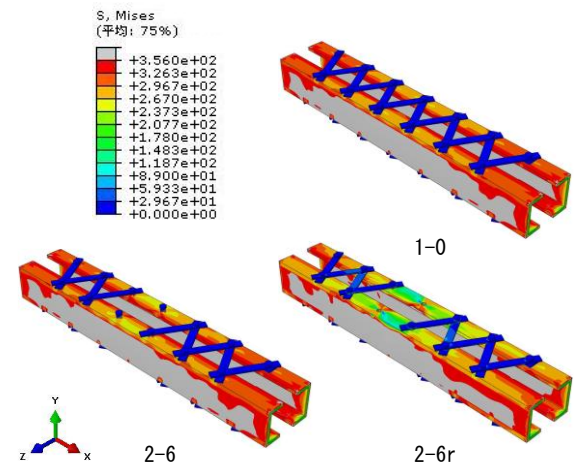


図-7 応力分布 (灰色：降伏領域)

参考文献

[1] 小嶋 悠太, 高井 俊和: 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, 令和 2 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, I-26, pp. 51-52, 2021.3

[2] 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, 令和 2 年度土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会公演概要集, I-123, 2p., 2020.9