

設計者向けCAEを用いた折りたたみ自転車の強度解析

山本昌治^{*1}、浅井 徹^{*2}、依田康宏^{*1}

Strength Analysis of the Folding Bicycle using Designer's CAE

Masaharu YAMAMOTO, Tohru ASAI and Yasuhiro YODA

Research and Development Division, AITEC^{*1},

Industrial Technology Division, AITEC^{*2}

14インチの車輪と同程度の大きさに折りたたみ可能な折りたたみ自転車の機構に関する特許に基づき試作品開発のための3次元設計を行った。この過程で、設計者向けCAEを利用して強度解析を行い、小型かつ軽量性と製造の容易性を満たしたフレーム梁部の形状を決定した。その結果、類似構造である単一のパイプ型梁を使用している折りたためない市販自転車と同等の強度を有するフレーム梁部をアルミ合金では315g、マグネシウム合金では198gの重量で製造できることが分かった。

1. はじめに

持ち運び可能な折りたたみ自転車は、省資源、省エネルギーに貢献できる新たな交通手段として注目されており、折りたたみ寸法が世界最小(363×455×243mm)となる機構¹⁾が考案されている。本機構は図1に示すとおり6関節の折りたたみにより小型化を実現している。設計者向けCAEを利用して強度解析を行いながら本折りたたみ機構の詳細設計を行ったので紹介する。

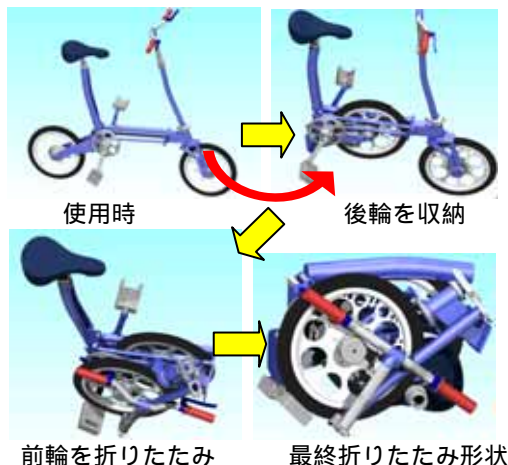


図1 折りたたみ機構略図

2. 設計課題

主な設計課題は、自転車の前部と後部を接続するフレーム梁部を必要強度を維持しながら可能な限り軽量に設計することである。また、フレーム梁部は折りたたみ時の後輪と干渉しないように配置する必要がある。

フレーム梁部の製造方式として、配置可能な最大寸法の無垢から切削により軽量化する切削軽量化方式、板材をプレス成形するプレス成形方式、円形パイプを

楕円形状(15×60mm)にプレス成形した変形パイプを2本配置する変形パイプ方式、φ14mmの細い円形パイプを4本配置する円形パイプ方式の4種類の方式を取り上げた。

3. 解析結果

解析モデルは、左右の対称性を考慮して図2の実線で示す後輪支持部からフレーム梁の折りたたみ部までの1/2を4面体ソリッドメッシュで作成し、その他の部分は完全剛体としてモデル化を省略した。解析は、前輪車軸部を回転可能な状態で、後輪車軸部を水平移動可能な状態で固定し、シート部とヘッド部にそれぞれ490N(50kgf)、196N(20kgf)の荷重を加える条件で行った。この条件は、JIS D 9401-1997(自転車用フレーム：耐振性試験)に準じて設定した。使用材料として構造用鋼、アルミ合金、マグネシウム合金の3種を取り上げた。解析に使用したそれらの弾性係数とポアソン比を表1に示す。比較のために、類似構造である単一のパイプ型梁を使用している折りたためない市販自転車のフレーム梁部の形状、及び、配置可能な最大寸法のフレーム梁部の形状を合わせて解析した。ソフトウェアは3次元CADにSolidWorksを、設計者向けCAEにCOSMOS/Worksを使用した。

解析した梁部モデル形状と解析結果を表2に示す。梁の両端部は必要に応じて補強することを前提にしている。表中の梁部最大応力は両端部を除外した中央の90%区間の最大応力を示している。安全率は梁部最大応力の降伏応力に対する比率である。この解析条件では、類似構造の市販自転車の安全率は5.6と計算されたので、

^{*1}基盤技術部 ^{*2}工業技術部 機械電子室

表1 材料条件

材 質	密度 (kg/m ³)	耐力 (MPa)	弾性係数 (GPa)	ポアソン比
構造用鋼(SS400)	7800	220	210	0.28
アルミ合金(A5083)	2700	127	69	0.33
マグネシウム合金 (AM537)	1700	190	45	0.35

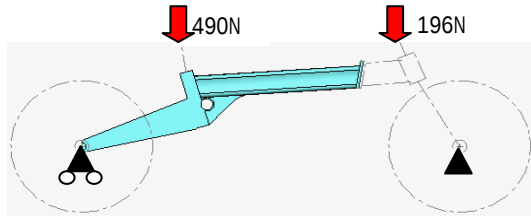
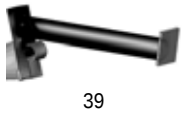
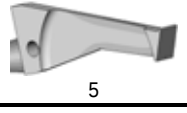
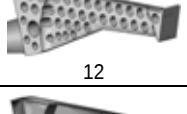
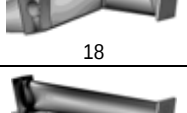
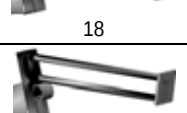
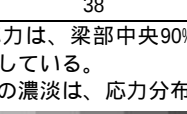


図2 解析条件

安全率が同等以上の梁の中で軽量で製造コストの低いアルミ合金製の 変形パイプ方式を最適構造として選定した。なお、選定した梁の安全率は、繰り返し荷重が加わる条件下において一般的に推奨される安全率である3を上回っており、この選定は妥当である。

次に、車体中心から150mm離れたペダルに850Nを印加するJIS D 9301-2002改正原案（一般用時自転車：動件）（図3）で解析した。その結果、新たに強度不足であ試験）に準じ左右非対称な荷重を印加するより厳しい条

表2 モデル形状と解析結果

構 造	概略形状と梁部 最大応力(MPa) (*1)	材質 (*2)	重さ (g)	梁部 安全率
類似構造の 市販 自転車 Φ40mm t 1.5mm	 39	St	757	5.6
配置 可能な 最大形状	 5	St Al Mg	5143 1780 1121	45.8 26.4 39.7
切削軽量 化方式 軽量率33%	 12	St Al Mg	3551 1229 774	18.3 10.6 15.8
プレス成 形方式 t 2mm	 18	St Al Mg	1106 383 241	12.0 6.9 10.5
変形パイ プ方式 60×15mm t 1.5mm	 18	St Al Mg	911 315 198	12.0 6.9 10.5
円形パイ プ方式 Φ15mm t 1.5mm	 38	St Al Mg	742 257 161	5.8 3.2 5.0

*1：・梁部最大応力は、梁部中央90%区間のVonMises応力の最大値を表している。

・概略形状図の濃淡は、応力分布を表示している。



*2：St: 構造用鋼、Al: アルミ合金、Mg: マグネシウム合金

最大応力は75MPa、安全率は1.7となった（図4）。安全率を3以上とするためには、溶接後の耐力が225MPa以上となるように材料変更又は熱処理を行う必要がある。

最後に、自転車全体をモデル化して同一条件で解析を行った。図5に応力分布結果を示す。前述の解析結果と比較してフレーム梁部部分の応力は約1/2に減少したが、メッシュサイズやモデルの違いによるものと考えられる。

4. まとめ

本解析により、数値的な根拠に基づいた形状の比較検討ができ、新規製品の概略設計を効率的に行うことができた。しかし、応力集中により生ずる局所的な強い応力や衝撃的な応力については解析していないので、実用状態での耐久試験を省略することはできない。今後は、考案者である工学院大学塩田清専任講師と試作機開発メーカーである(株)齋藤工業との共同研究により実用化を進めたい。

文献

1)特開平14-200995

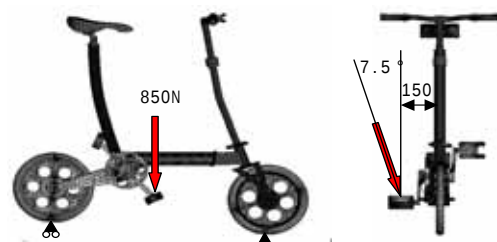


図3 非対称荷重解析条件



図4 非対称荷重条件における解析結果（応力分布）

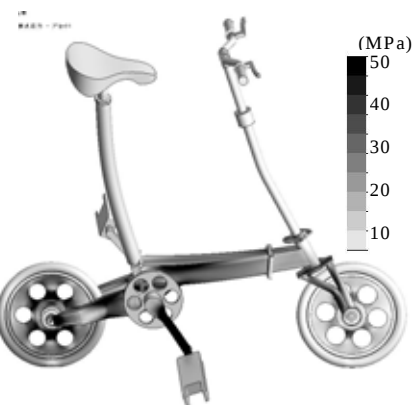


図5 フレーム強度解析結果（応力分布）