

Title	薄板構造柱の軸圧縮動的荷重による不安定力学挙動
Author(s)	荒木, 敏弘
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	https://doi.org/10.18910/26190
DOI	10.18910/26190
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/repo/ouka/all/>

論文内容の要旨

[題 名] 薄板構造柱の軸圧縮動的荷重による不安定力学挙動

学位申請者 荒木 敏弘

本論文では、薄板構造柱に軸圧縮荷重が動的に負荷される際の力学的挙動について、その負荷速度依存性を系統的に調査し、負荷速度に応じた変形挙動のメカニズムについて詳細に検討した。特に、静的な平板の座屈理論に基づくKarmanの解、あるいはEulerの解を参照にして考察を行った。

1章では、薄板構造の反力特性に関する従来の研究動向をまとめ、本研究で検討すべき課題を明確にした。その結果、薄板構造柱の軸圧縮荷重に対する不安定挙動について、Karmanの有効幅の考慮が必要となる時の弾性限界付近での衝撃荷重の負荷速度依存性を体系的に調査することが、極めて重要であることがわかった。

2章では、現状の車両開発における課題を示すことで本研究の重要性を示した。Karmanの解やEulerの解について述べ、薄板構造柱で発生する反力特性の課題を明示した。さらに、薄板構造設計の詳細とこれら理論の関係を整理し、実際の設計においてKarmanの理論を考慮しない場合の不具合の一例を示した。

3章では、本研究で用いる有限要素解析について、基準となるモデルの概要、動的陽解法の理論的背景と妥当性、要素の概要と理論、接触条件の理論的な取り扱い、負荷条件の与え方について述べた。

4章では、薄板構造柱の軸方向負荷時の不安定挙動を解析し、以下の結果を得た。(1)低負荷速度域では、Eulerの座屈による系全体の面外変形が生じ、その後端面の局所的な塑性座屈による不均一変形モードに移行した後急激な反力低下を示すことがわかった。一方、高負荷速度域では、応力波の繰り返し伝播に伴う準静的な力学状態に達する前に全断面塑性状態となることがわかった。(2)低負荷速度域での面外変形発生時の反力はEulerの座屈荷重にほぼ一致し、その後の塑性座屈発生時の反力は、 $\kappa=4.0$ と $\kappa=1.7$ のKarmanの有効幅での反力の間にほぼ収束することがわかった。(3)最大反力時のエネルギー分配は、低負荷速度域はEulerの座屈による面外変形に伴うひずみエネルギー、中負荷速度域は面内ひずみエネルギー、高負荷速度域は運動エネルギーの比率が高いことがわかった。

5章では、薄板構造柱の最大反力の負荷速度依存性について、断面形状の幅、柱の長さ、断面形状(多角形、四角形の縦横比)を種々に変化させた結果、以下のことがわかった。(1)幅を変化させた場合、幅が小さい時は全断面塑性の荷重、Eulerの座屈荷重が制約となり最大反力が決定すること、幅が大きくなるとKarmanの $\kappa=4.0$ の解に漸近することがわかった。Karmanの解の予測と異なり、幅に依存することがわかり、修正Karmanの式を提案した。(2)柱の長さを変化させた場合、低負荷速度域では柱の長さによらない。遷移領域では最大反力は柱が長いほど遷移領域が負荷速度の大きい方へ移動するが、これは曲げ応力/膜応力が大きく、応力の不均一さの増加により早期に降伏応力に達するためであることがわかった。(3)断面形状を六角形、八角形、円形と変化させると、Eulerの座屈の発生が遅延され、最大反力の負荷速度依存性が緩和されることがわかった。(4)縦横比を変化させた場合、短辺の反力が全幅に占める有効幅の割合により大きく変動すること、長辺の最大反力の負荷速度依存性が短辺の変形モードに影響されることなどから、縦横比が小さいほど最大荷重の負荷速度依存性が緩和されることがわかった。

6章では、本研究の総括を述べた。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (荒 木 敏 弘)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教 授	澁谷 陽二
	副 査	教 授	箕島 弘二
	副 査	教 授	中谷 彰宏
	副 査	准教授	垂水 竜一

論文審査の結果の要旨

本論文では、車両の部材として多用される薄板構造柱に軸圧縮荷重が動的に負荷される際の力学的挙動について、動的陽解法の弾塑性有限要素解析によりその負荷速度依存性を系統的に調査し、負荷速度に応じた変形挙動のメカニズムについて詳細に検討している。特に、静的な平板の座屈理論に基づく Karman の解、あるいは Euler の解を参照にして考察を行っている。得られた主要な成果は以下のとおりである。

薄板構造の反力特性に関する従来の研究動向をまとめ、本研究で検討すべき課題を明確にしている。その結果、薄板構造柱の軸圧縮荷重に対し、Karman の有効幅の考慮が必要となる弾性限界付近での衝撃荷重の負荷速度依存性を体系的に調査することが極めて重要であることを示している。その指針に基づき、薄板構造柱の軸圧縮荷重負荷時の不安定挙動を解析し、(1) 低負荷速度域では、Euler の座屈による系全体の面外変形が生じ、その後端面の局所的な塑性座屈による不均一変形モードに移行した後、急激な反力低下を示すことが得られている。一方、高負荷速度域では、応力波の繰り返し伝播に伴う準静的な力学状態に達する前に、全断面塑性状態となることを示している。(2) 低負荷速度域での面外変形発生時の反力は Euler の座屈荷重にほぼ一致し、その後の塑性座屈発生時の反力は変形モードを表す係数 $\kappa=4.0$ と $\kappa=1.7$ の Karman の有効幅での反力の間にはほぼ収束することを示している。(3) 最大反力発生時の薄板構造柱に蓄えられるエネルギーの内訳は、低負荷速度域については Euler の座屈による面外変形に伴うひずみエネルギー、中負荷速度域は面内ひずみエネルギー、高負荷速度域は運動エネルギーの比率が高いことを示している。また、薄板構造柱の断面の幅、柱の長さ、断面形状（多角形、四角形の縦横比）を種々に変化させた結果、(1) 幅を変化させた場合、幅が小さい時は全断面塑性の荷重と Euler の座屈荷重が制約となり最大反力が決定すること、幅が大きくなると $\kappa=4.0$ の Karman の解に漸近することを示している。従来の知見と異なり、Karman の解は幅に依存することがわかり、本論文では新たに修正 Karman の式を提案している。(2) 柱の長さを変化させた場合、低負荷速度域での最大反力は柱の長さに依存しない。遷移領域での最大反力は柱が長いほどその領域が負荷速度の大きい方へ移動するが、これは曲げ応力/膜応力の比が大きくなり、応力の不均一さの増加により早期に降伏応力に達するためであることを示している。(3) 断面形状を六角形、八角形、円形と変化させると、Euler の座屈の発生が遅延され、最大反力の負荷速度依存性が緩和されることを示している。(4) 縦横比を変化させた場合、短辺の反力が全幅に占める有効幅の割合により大きく変動すること、長辺の最大反力の負荷速度依存性が短辺の変形モードに影響されることなどから、縦横比が小さいほど最大荷重の負荷速度依存性が小さくなることを示している。

以上のように、本論文は反力部材とともにエネルギー吸収部材である薄板構造柱の負荷速度依存性を包括的に示し、得られた知見はより高精度な設計に資することができると思われる。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。