

報告番号 ※ 第 3098 号
之

主論文の要旨

題名

薄肉H形断面鋼柱の連成座屈に関する研究

氏名 山 尾 敏 孝

主論文の要旨

報告番号	※ 第 乙 号	氏名	山尾 敏 孝
------	---------	----	--------

骨組構造物や梁の終局状態での挙動や強度を求めることができるならば、終局状態を基準とした合理的な設計が可能となる。現道路橋示方書では、鋼材の降伏点応力度以下での局部座屈の発生を考慮した許容応力度式を採用しており、比較的幅厚比の大きい板要素の使用が認められている。しかし、局部座屈を考慮した部材の許容応力度つまり耐荷力をどのように評価するかが問題となる。幅厚比が大きい板要素で構成される薄肉構造物が圧縮や圧縮と曲げを受ける場合、部材の全体座屈と構成板要素の局部座屈の連成座屈を生じる。さらに、実構造物では板要素が単一に使用されることはなく、必ず複数で構成されており、構成板要素相互の局部変形挙動も全体強度に影響すると考えられる。そして、構成板要素の幅厚比の組合わせによっても、連成座屈挙動は非常に複雑なものとなると考えられる。このように、幅厚比が大きい板要素で構成される部材の耐荷力や連成座屈後の挙動等については未解決な問題点も多く、連成座屈強度に関する厳密な評価式を確立することは重要な問題である。

本論文では、中心軸圧縮を受ける薄肉H形断面鋼柱の全体座屈と板の局部座屈の連成座屈問題について、薄肉骨組構造部材の断面の変形を考慮して全体構造の解析ができる有限変位弾塑性解析の理論を展開し、この解析法による数値解析と考察、さらに、実験による連成座屈現象の把握、および連成座屈強度の算定式を提案するものである。本論文は8章から構成されている。

まず、第1章では連成座屈に関する既往の研究の概説、本研究の目的および本論文の内容と構成について述べている。

第2章では、任意形状の薄肉開断面部材の3次元有限変位弾塑性解析法の定式化と解析方法の妥当性について検討している。ここでは、移動座標系及び増分手法を使用し、ポテンシャルエネルギー増分の停留条件により増分つり合い方程式を導いている。本解析結果と他の理論解析結果や実験値と比較し、本解析法の妥当性について検討した。得られた結果は次のようである。

1) 相当応力、相当ひずみの概念を用いて2軸応力状態での材料の弾塑性ひずみ硬化挙動を、単軸応力状態の硬化型弾塑性関係で表わしている。

主論文の要旨

報告番号	※甲第 乙	号	氏名	山尾敏孝
<p>2) 増分荷重ごとに部材断面の応力分布及び塑性域の発達を、全荷重過程を通して追跡し表示することができる。</p> <p>3) 本解析法では、剛体変位除去の手法を使用しないでも、大たわみ問題を単精度計算により精度よく行なえる。</p> <p>第3章では、局部変形を考慮した全体座屈挙動の解析を行なう上で必要な、板要素の有限変位弾塑性解析法の定式化を行なっている。ここでは通常のひずみ一定要素に、micropolar理論によるmicro変形に対応した面内回転剛性を導入し、一節点6自由度を有する三角形平板要素としている。そして、増分つり合い方程式を系の全ポテンシャルエネルギー増分の停留条件より誘導している。板要素の分割数による精度や収束性等を他の解析結果と比較検討し、本解析法の妥当性および有効性について検討した。得られた結果は次のようである。</p> <p>1) 通常のひずみ一定三角形要素に、平面応力問題において存在しない面内回転剛性を導入して、一節点6自由度の三角形平板要素を導いている。また、面内回転変位は線形変位関数を仮定しているので定式化が簡略された。</p> <p>2) 板の面内曲げを受ける場合の、板要素の幅方向及び軸方向の分割方法と精度の関係を明らかにした。特に、ひずみ一定要素を使用する関係上、軸方向の分割数が大きく影響することが判明したので、解析する際には分割数に十分注意する必要がある。</p> <p>3) 板の面内曲げの解析結果より面内回転角が適切に計算されており、面内回転剛性の導入の妥当性が示された。</p> <p>4) 剛体変位の除去の手法を用いることによりひずみ-変位関係が線形化され、大変形挙動をよく解析することができた。</p> <p>第4章では、局部座屈等による断面の変形を考慮して全体構造を解析する手法として、板要素とはり要素を結合一体化して解析する手法について述べる。はり要素と板要素の結合部は変位の適合条件を満足するように、多点拘束処理の手法を用いて結合部での自由度を一致させている。両要素を結合した解析方法を用いて薄肉H形断面部材を対象に、板要素部分の要素の分割方法や結合位置と精度の関係等について</p>				

主論文の要旨

報告番号	※甲第 乙	号	氏名	山尾敏孝
<p>理論解や他の解析結果と比較検討し、解析法の妥当性について検討した。得られた結果は次のようである。</p> <ol style="list-style-type: none">1) 板要素により立体構成した板要素部分とはり要素の結合は、多点拘束処理の手法によりうまく処理ができ、変位の連続性も満足している。また、結合部での応力もはり理論値とよく対応している。2) 結合解析でのモデル化において、両要素の結合位置つまり板要素部分の長さは、部材長Lの0.2~0.3程度でよいと判断される。3) 解析精度は、単一板と同様に面内曲げを受ける板要素の長さ方向の分割数に關係がある。この分割数は、板面内曲げを受ける板要素の幅Bと一板要素の軸方向の長さl_eの比l_e/Bが、0.1~0.2になる程度であれば十分である。 <p>第5章は、板要素相互の連成挙動や最大強度特性を明らかにするため、鋼H形断面短柱7体の一様圧縮の局部座屈実験を行なったものである。また、溶接集成による残留応力や初期たわみも測定し最大強度や連成挙動に及ぼす影響も調べている。さらに、板要素による有限変位弾塑性解析法を用いてH形断面短柱全体を解析し、解析法の妥当性について実験結果との比較検討を行なっている。また、H形断面短柱の最大強度を推定する方法について検討した。得られた結果は次のようである。</p> <ol style="list-style-type: none">1) 幅厚比が大きい板要素からなるH形断面短柱では、局部変形が発生してから最大強度に達するまでかなりの余剰耐荷力がある。2) H形断面短柱のフランジとウェブは互いに連成しながら変形し、フランジとウェブの接合辺はほぼ直角を保持していた。3) 幅厚比が比較的大きいH形断面短柱の、構成板要素相互の影響を考慮した等価幅厚比R_{fw}と短柱の最大強度との相関が大きいことが明らかにされた。今回の実験での短柱の最大強度は、R_{fw}を使った$\sigma_{max}/\sigma_y^* = 0.77/R_{fw}$の形で表わされた。なお、$\sigma_y^*$は断面のウェブとフランジの平均降伏点応力度である。4) 面内回転剛性を導入した一節点6自由度を有する板要素の有限変位弾塑性解析法により、H形断面短柱のフランジ及びウェブの変形挙動がよく解析でき、有限変位弾塑性解析法の妥当性が確認された。				

主論文の要旨

報告番号	※ 座 号	氏 名	山 尾 敏 孝
<p>第6章は、溶接H形断面鋼柱の連成座屈挙動や耐荷力特性を明かにするため、幅厚比および細長比を変化させた13体について弱軸回りの中心軸圧縮の耐荷力実験を行なったものである。また、部材及び板としての初期たわみや溶接残留応力等の初期不整が連成挙動や耐荷力に及ぼす影響を調べている。そして、第5章の短柱の最大強度を推定する方法を用いて、鋼柱の連成座屈強度について検討している。さらに、道路橋示方書の連成座屈を生じる場合の部材の耐荷力評価式を用いて、実験結果についての検討も行なった。得られた結果は次のようである。</p> <ol style="list-style-type: none">1) フランジ及びウェブの幅厚比が小さい断面を持つ鋼柱は、最大荷重に達した後の変形能が大きい。また、局部座屈後もかなりの余剰耐力を保持している。2) しかし、フランジの幅厚比が大きくなると最大荷重に達した後の強度の低下が早い。つまり、変形にねばりがなく、その変形能も小さい。また、ウェブとフランジが連成して局部変形を生じ、部材全体の耐荷力挙動に大きく影響する。3) 部材の連成座屈を考慮した場合、実験結果に比較して現行の道路橋示方書の部材の耐荷力の評価式は、応力的には相当安全側となる。4) 短柱の強度を表わす低減係数 $Q (= \sigma_{\max} / \sigma_y^*)$ から求まる仮定の降伏点応力度 $Q\sigma_y$ を用いると、H形断面鋼柱の連成座屈強度をよく推定できる。 <p>第7章は、中心軸圧縮を受ける溶接H形断面鋼柱の連成座屈強度について、設計強度式の提案を行なっている。また、結合解析法を用いてH形断面鋼柱の連成座屈実験の解析を行なって、局部変形が生じる場合の解析法の妥当性を示す。さらに、幅厚比及び細長比等をパラメータに選んで短柱及び鋼柱のパラメータ解析を行なった。そして、提案強度式と耐荷力解析結果から得られた鋼柱の強度を比較検討し、提案式の妥当性について検証した。得られた結果は次のようである。</p> <ol style="list-style-type: none">1) 本解析法を用いて局部変形の影響を考慮した鋼圧縮部材を解析する場合、板要素部分の軸方向分割方法の目安が得られ、解析モデル化が簡単に行なえるようになった。2) 本解析法は、初期たわみや残留応力等の初期不整を考慮して、連成座屈挙動や耐荷力が精度よく解析でき、本解析法の妥当性が示された。			

主論文の要旨

報告番号	※甲第 乙	号	氏名	山尾敏孝
<p>3) 短柱実験から得られた短柱強度式 ($\sigma_{max}/\sigma_y^*=0.77/R_{fw}$) は、解析結果とよい対応を示した。また、提案した中心軸圧縮鋼柱の強度推定式は解析結果とよく一致した。</p> <p>第8章は、結論であり各章の結果をもとに本論文の総括を行なっている。また、今後の研究問題について述べている。</p>				