

立体要素と平面要素の複合構成によるせん断パルの非線形解析
有限要素解析での要素種別と非線形挙動への影響 2

準会員○ 神谷 勇成*1 準会員 木藤 一輝*1
正会員 薩川 恵一*2 正会員 鈴木 敏郎*3

せん断パネル 純せん断場 繰返し荷重
弾塑性履歴 有限要素法 立体要素

はじめに

建築分野で対象となる薄板構成の部材について、板座屈と座屈後変形を組み込んだ解析には従前からの解析である平板(シェル)要素を利用することがより有効であると考えている。ただ、ここでは面内せん断を受ける平板領域だけに限定し平板を除く他の構造部材については立体(ソリッド)要素とするハイブリッド型構成とし、立体要素の有限要素法だからできる構造解析に対応し得るよう意図した。

1. 複合型要素による薄板せん断パネルの非線形挙動

図-1は解析対象図であり、600 mm x 600 mmの正方形板周辺枠は19 mm x 120 mmの断面とし、板厚4種について周辺部から力が作用する純せん断場の設定とした。主体を構成する平板は4角形平板要素とし周辺部枠組みを立体要素とするが、立体要素には4面体,5面体,6面体の形があり、まずこれら各立体要素での解析結果の対比から始める。

図-2は、周囲枠組みを4面体要素とした解析結果を実線で又5面体要素を破線で重ねて描いた。厚さが異なる平板に対する各解析結果を見ると、面内せん断の非線形挙動に差異があり、座屈とは間接的関わりと思われる枠組みでも要素の形が影響していることが読み取れる。

更に、図-3には6面立方体要素とする解析結果で、その内の実線結果は図-2と同じ平板を40x40分割しそれに

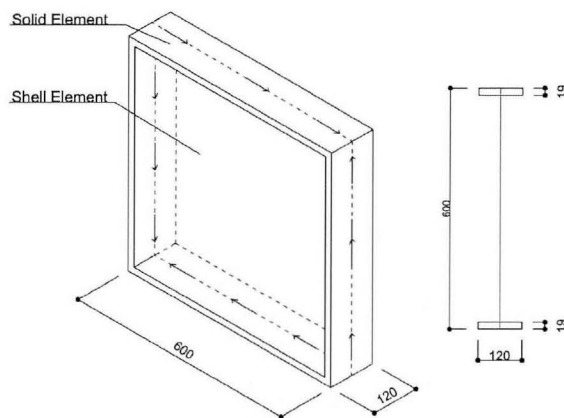


図-1

対応するよう枠材を分割しての結果である。これら立体要素3者を比較すると4面体要素が最も固く、5面体が続き、6面体要素が一番柔らかいことが判る。

又、図-3に描かれている破線は平板を20x20分割し且つ枠材もそれに対応して分割した結果で、実線での要素の大きさの2倍、要素数1/4と粗くしたもので、各板厚毎の対比から特に薄板では要素分割は構造体の硬軟に影響する。

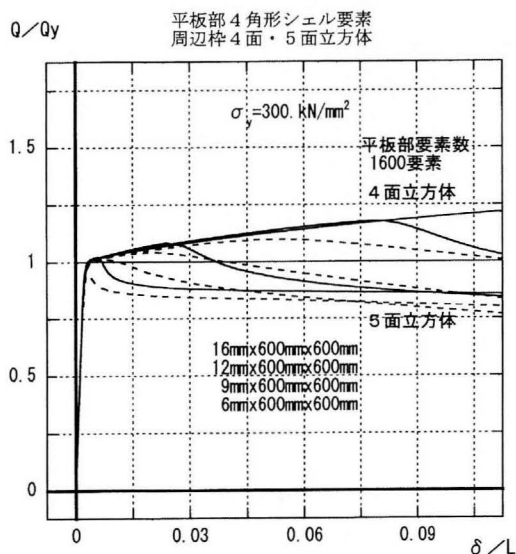


図-2

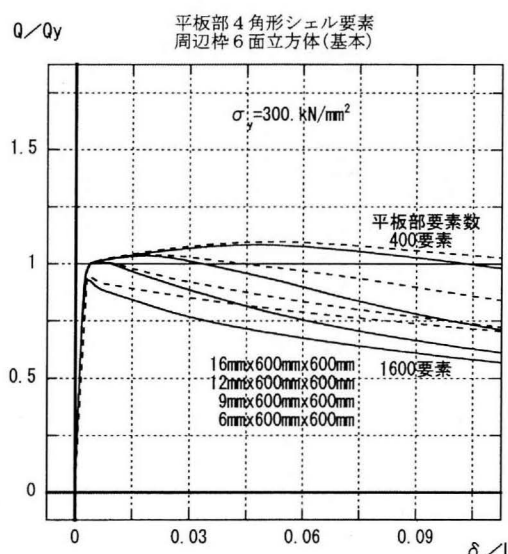


図-3

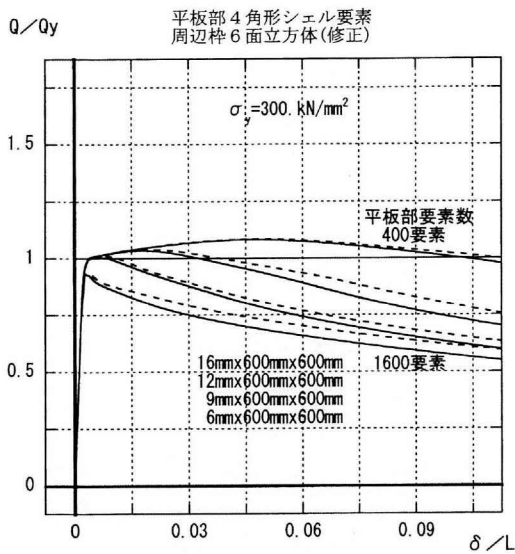


図-4

これまでの解析結果は立体要素の力学的対応は基本的な構造要素としたが、座屈に敏感な平板を平面(シェル)要素で構成したにも拘わらず間接的関わりの周辺枠材の立体要素が平板の非線形挙動に影響している。そのため柔軟な要素としての6面立方体を選択し、更に要素のより変形の自由度がある柔軟さを増した要素構造で検討する。

図-4は、平板は4角形平板(シェル)要素の分割は40x40とし、枠組みは柔軟な6面立方体要素とするものである。実線は平板要素の分割に合わせた6面立方体要素の大きさとするもの、大きさを2倍とするものを破線で示している。板厚の異なる4種の平板それぞれの非線形挙動は、枠材の立体要素の粗密にも拘わらず比較的接近している。

図-5は薄板座屈問題で主に対象となる幅厚比100、板厚6mmについて平板の要素分割は40x40と細かくした場合で、周辺枠材をそれと対応して分割した6面立方体要素とその2倍の大きさの要素とする場合について枠材要素の硬軟2種についての解析結果である。枠材要素数の多少により結果に若干差はあるものの薄い平板での板座屈には反応して降伏点荷重を若干下回り且つその後の変形の進行とともに耐力低下している。

図-6は周辺部枠材からせん断力を受ける純せん断場で、±4.5%の一定振幅での繰返し载荷の結果である。実線は板厚9mm、破線は板厚16mmの平板で、両者を同一図面上に重ねて載せている。厚さ9mmの結果は座屈変形が進行する薄い平板特有の繰返し载荷での正負変換点近傍で耐力の落ち込みが見られ、面内せん断を受ける薄板構造での座屈の影響は組込まれている。又厚さ16mmの結果においても、繰返し载荷に伴う歪みの進行とともに平板の座屈変形が拡大し、降伏開始時点の荷重は漸次下がる様子が捉えられる。

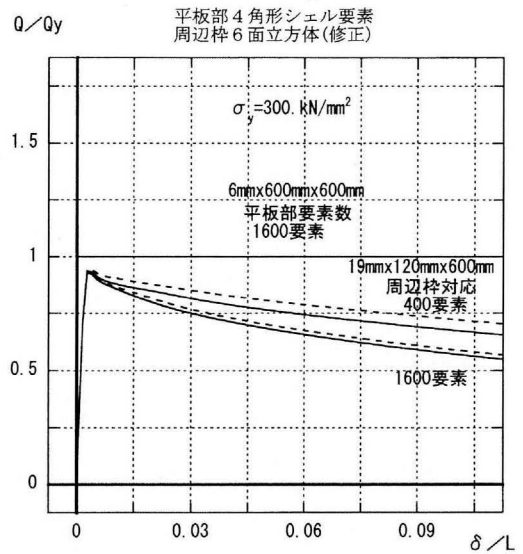


図-5

これらの結果から、平板要素と立体要素によるハイブリッド型の有限要素法は、立体要素については全て6面立方体で構成するとともに変形に対し柔軟な対応可能な状態とすることが必要となる。加えて可能な限り要素分割を細かくすれば、面内せん断を受ける薄板平板の解析には有効である。ただハイブリッド型構成では、解析上平板要素と立体要素の接続部位で要素接点の連続性に問題が生じないことの確認が必要となる。解析で設定した鋼材の $\sigma - \epsilon$ 関係は材料の歪み硬化勾配のない完全弾塑性材料として扱っている。これは降伏以降の力学的釣合をはっきり認識するためで、材料の歪み硬化勾配は降伏後の応力・歪み関係での降伏以降の傾きに関わるものの非線形釣合での安定性には直接関係はしないと考えているからである。

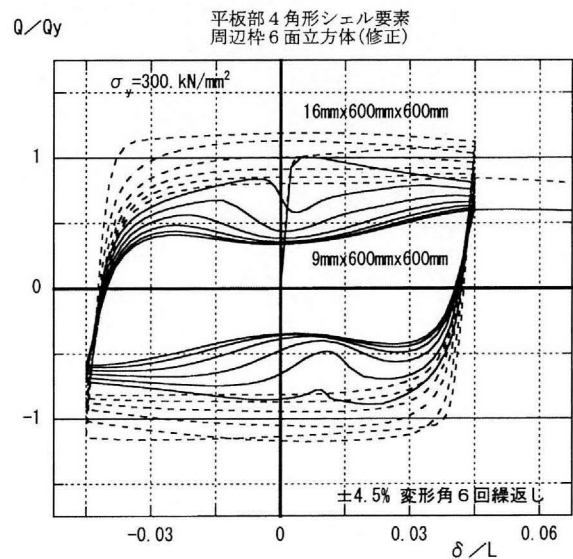


図-6

* 1 愛知工業大学 学部生
* 2 愛知工業大学
* 3 構造材料研究会

Aichi Institute of Technology
Aichi Institute of Technology
Suzuki Laboratory of Material and Structure