

立体要素を用いたせん断パネルの非線形解析  
有限要素解析での要素種別と非線形挙動への影響 1

準会員○ 木藤 一輝\*1 準会員 神谷 勇成\*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

近年コンピュータ処理能力の向上で計算時間の大幅な短縮、有限要素法ソフトウェアのモデリングでのプレ処理の簡易化で、立体要素での解析が容易となってきた。そこで、有限要素法解析での立体要素の利用が薄い平板の座屈及び大変形領域での非線形解析に対応可能か如何か検証する。立体要素による有限要素法解析の利用なしで対処困難な事例も多く、可能となれば工学的に有効であろう。

1. 立体要素による薄板せん断パネルの非線形挙動

立体要素には4面体、5面体、6面体の形があり構造上の力学的性能はある程度予想されるが、改めてここで基本的な力学的対応を調べてみた。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での非線形釣合である。

図-2は4面体要素と5面体要素とによる解析結果を同一図面上に重ねて描いたが、板厚16 mm~6mm 全てでせん断降伏到達し、それ以降も耐力が上昇している。板要素幅厚比が37.5~100のこれら解析結果を見る限り、座屈変形の拡大成長に反応しているとは思えない。これら要素は基本的力学条件下にあり、要素変形の柔軟化の対応である程度は改善されると思われる。なお、要素数は比較のため続く6面立方体の密な要素数と略同数としている。

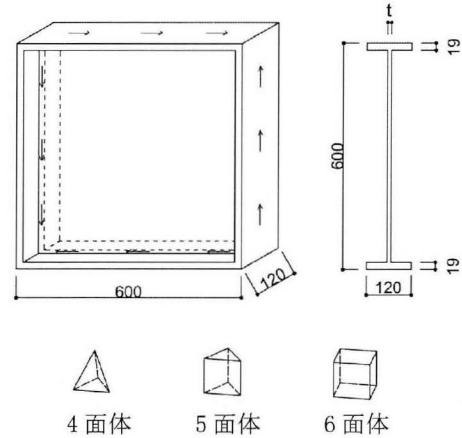


図-1

図-3は6面体要素での解析結果であるが、平板部の要素分割を40x40、要素数は板厚2分割3200の場合が実線であり、要素分割を20x20、要素数は板厚2分割800の場合が破線である。これら要素は基本的力学条件下での扱いであるが、解析結果は要素分割の疎密によって大きく変わるものの、要素分割を多くすることで板厚差に応じた変化が現れる。薄板構造に対しては6面体要素が唯一利用可能な要素形と考えられる。

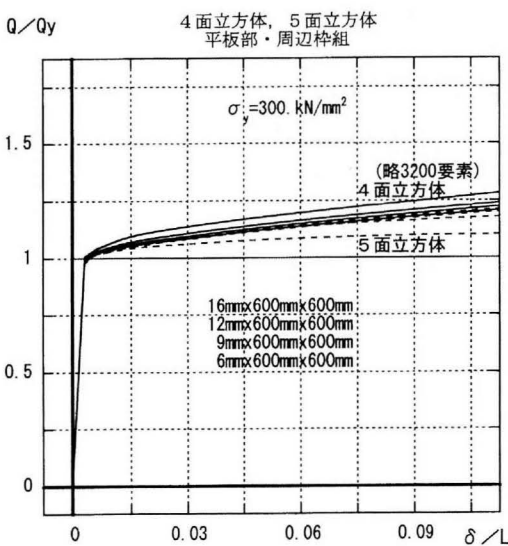


図-2

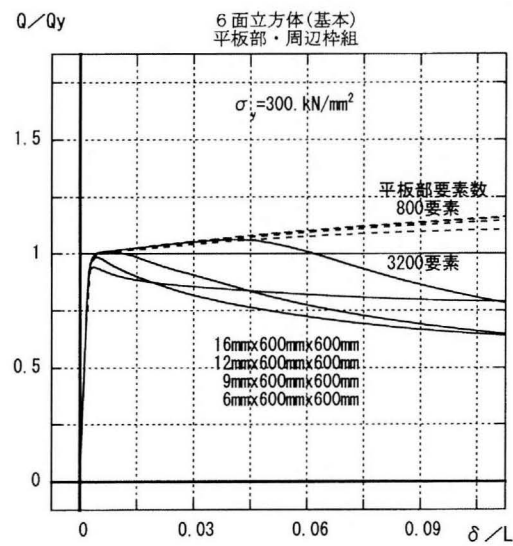


図-3

薄板構造の座屈乃至座屈後の挙動を扱う上で何が正解なのかではなく、より座屈に敏感に反応することが重要である。それにより座屈に伴う構造部材の耐力劣化を把握し座屈後挙動の安定化を図る情報を得ることができるからである。これまでの解析で6面立方体要素は他の立方体要素より勝っているが、更に柔軟な要素として解析した結果が図-4である。平板の要素分割が20x20を破線で、40x40を実線で示したが、分割数を大きく変えても各板厚毎に対比する限り差は小さい。それぞれ座屈発生に反応し、座屈に伴う非線形挙動を調べるに良好な解析が可能と考えられる。

## 2. 純せん断場での一定振幅での繰返し履歴

面内せん断を受ける制振耐震パネルとしては、正負交番に繰り返される荷重に対し降伏後の安定した耐力維持は必須の要件である。これの解析的扱いに於いては、座屈後変形は拡大進行するため、有限要素法での対応には更なる配慮が必要となる。以下では、一方向単調荷重での立体要素の解析結果で比較的良好な6面体要素に絞って繰返し荷重での挙動を追跡調査することにする。

図-5は一方向荷重での図-3の扱いと同じ基本的な6面体要素であるが、せん断変形角を一定の±4.5%振幅で6回繰返ししたものである。実線は厚さ9mm、幅厚比66.7又破線は厚さ16mm、幅厚比37.5で、同一図面上に重ねて載せている。この結果を見る限り座屈変形が進行する薄い平板特有の荷重の正負変換点近傍での耐力の落ち込みが見られず、面内せん断を受ける薄板構造の扱いは出来ていないと思われる。むしろ大きく歪みが進行する繰返し荷重では、解析対象である構造体の動きに加え立方体要素独自の動きが複雑に絡んでいると思われる。

図-6は一方向荷重での図-4の扱いで取り上げた柔軟な要素とする6面立方体であるが、せん断変形角を前図同様

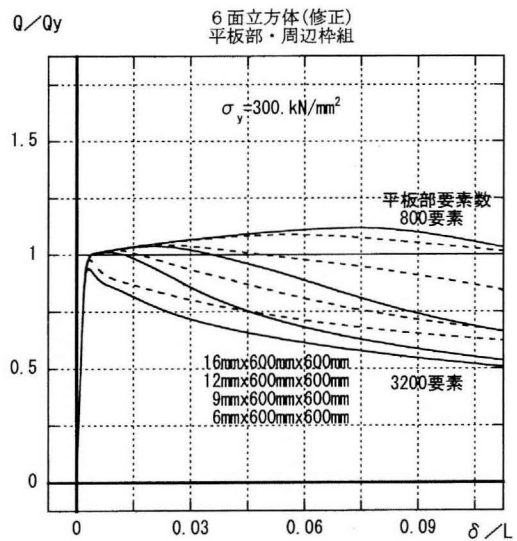


図-4

一定振幅での繰返し荷重の結果である。実線は厚さ9mm、破線は厚さ16mmで、前図と対比出来るよう図面上に重ねて載せている。厚さ9mmの結果では座屈変形が進行する薄い平板特有の正負変換点近傍での耐力の落ち込みが見られ、面内せん断を受ける薄板構造の扱いは出来ていないと思われる。厚さ16mmの結果においても、繰返し荷重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ている。

総じて、立体要素による面内せん断場の薄板解析では、要素の形は全て6面立方体で構成するとともに要素の変形に対し可能な限り柔軟な力学的状態とする必要がある。加えて構造体全域を構成する立体要素は分割を細かく、要素数を多くすることである。

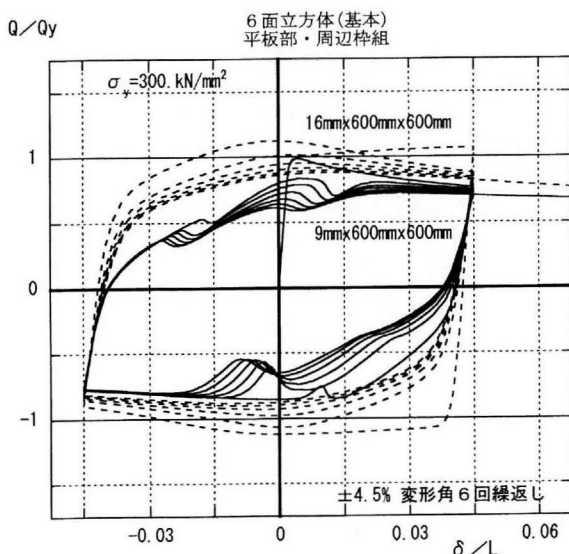


図-5

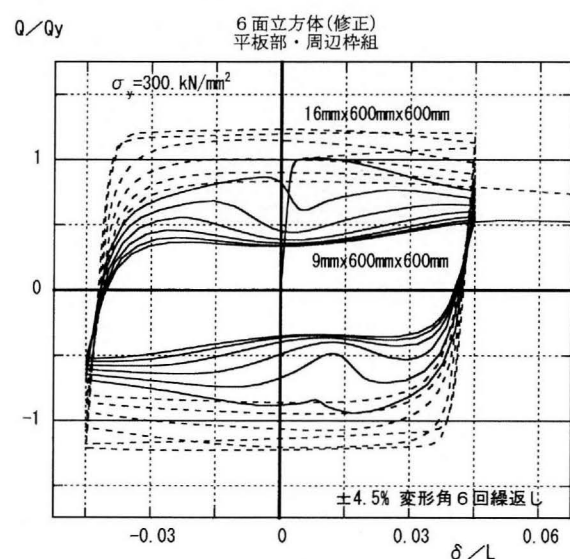


図-6

\* 1 愛知工業大学 学部長  
\* 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