

枠材の剛性・耐力がせん断パネルの力学挙動に及ぼす影響 その3 FEM解析による検討

せん断パネル せん断座屈 補剛材
繰り返し載荷実験 振り定数 枠材

正会員 ○ 岩崎 桃子*1 正会員 吉敷 祥一*2
同 小西 克尚*3 同 蓑和 健太郎*4
同 薩川 恵一*5

1. はじめに

近年、間柱型のせん断パネルを使用した耐震補強の適用も望まれている。しかしながら、それらを構成する外枠材と補剛材の組合せがせん断パネルの力学挙動に及ぼす影響は必ずしも明らかでない。

前報では、補剛材の本数の影響を把握するため、外枠材は一定として補剛材の本数のみを変化させた実験を行った。本報では、外枠材と補剛材の組合せの影響を把握するため、FEM解析により外枠材と補剛材の組合せを変化させて必要な振り剛性を検討する。

2. 縦枠材と補剛材に必要な振り剛性

2.1 解析概要

本章では、有限要素法解析プログラムABAQUS6.14を用いて弾塑性解析を行い、まず実験結果の再現を試みる。次いで、縦枠材と補剛材の振り剛性がせん断パネルの力学挙動に与える影響を検討する。解析モデルを図1に示す。図(a)は境界条件であり、図(b)、(c)は補剛材なしと1本の座屈固有値解析の結果である。解析モデルは、3次元のソリッドモデルとし、要素タイプは8節点の6面体とした。メッシュは、パネル部の長辺方向を80分割、短辺方向を35分割、厚さ方向を2分割とした。また、パネル部、縦枠材、横枠材、補剛材は一体とし、縦枠材と横枠材の上部と下部をそれぞれパネル中央で拘束した。鋼材の材料特性は、引張試験結果を体積一定の仮定の下で真応力-対数ひずみ関係に置換して用いる。荷重は上部3点を剛体要素で連結し、中央の代表節点に水平方向に強制変位を与える。弾塑性解析で用いる初期不整は、図1(b)、(c)に示す座屈モードをパネル板厚の1.0%として与えている。

2.2 実験結果とFEM解析の比較

2.2.1 荷重-変形角関係

実験と解析における補剛材1本の荷重-変形角関係を図2に示す。ここで全幅有効とした降伏せん断耐力 Q_y 、縦枠材を兼ねるパネル部を除いた降伏せん断耐力 Q'_y 、縦枠材と補剛材を兼ねるパネル部を除いた降伏せん断耐力 Q''_y の計算値を図中に破線で示す。実験と解析を比較すると、降伏後の二次剛性に差が見られるものの、弾性剛性と降伏せん断耐力はある程度対応していることが分かる。降伏せん断耐力に着目すると、全幅有効とした降伏せん断耐力 Q_y は実験値や解析値よりも高く、縦枠材を兼ねるパネル部を除いた降伏せん断耐力 Q'_y の方が近い値を

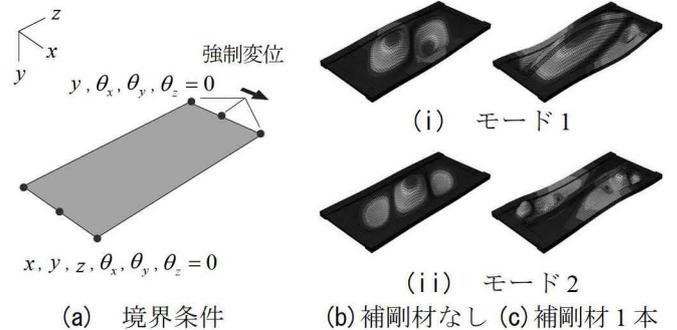


図1 解析モデルと座屈固有値解析結果

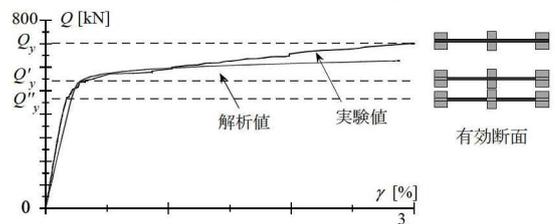


図2 実験値と解析値の比較

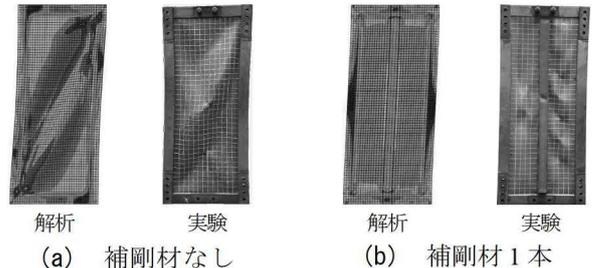


図3 弾塑性解析結果とパネルの損傷状況

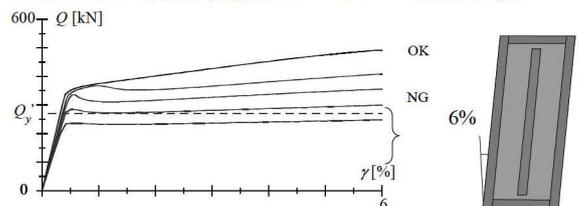


図4 解析の評価基準

示している。したがって、設計時に想定する降伏せん断耐力は、パネル部の断面積を縦枠材を兼ねるパネル部を除いて算出する必要があると考えられる。

2.2.2 解析モデルの考察

補剛材なしと1本のせん断変形角4.0%におけるパネル部の変形状態とミーゼス応力分布とせん断パネルの損傷状況の比較を図3に示す。それぞれの左側にはパネル部のみの弾塑性解析結果を、右側には実験より得られた損傷状況を示す。補剛材なしと1本を比較すると、補剛材があ

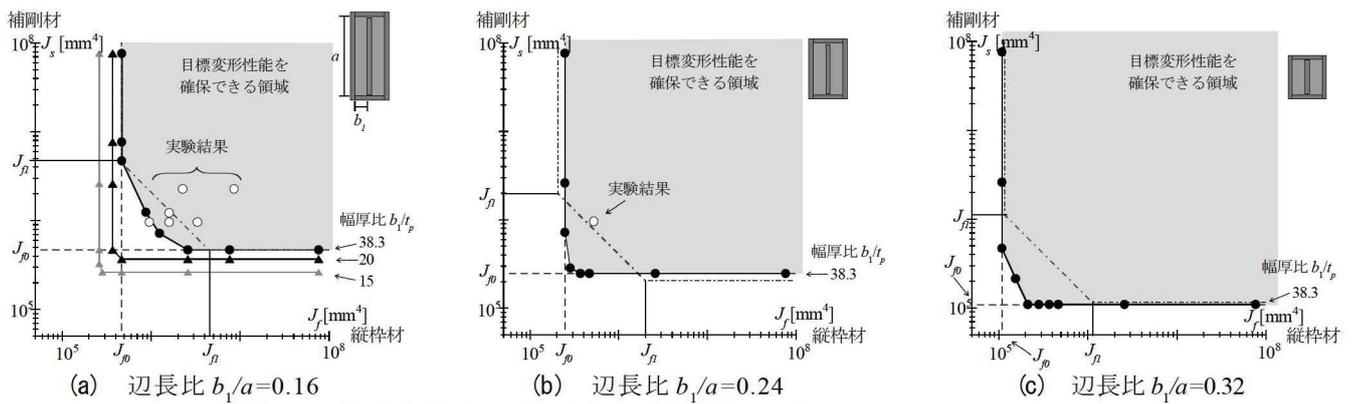


図5 補剛材と縦枠材に必要な振り定数(幅厚比●:38.3, ▲:20, ▲:15)

ることによって面外変形が抑えられている。また、解析結果と損傷状況は同様の変形を示しており、パネル部のみの結果をみても縦枠材と補剛材と重なる部分は降伏耐力に達していないことが分かる。したがって、応力分布からも降伏せん断耐力 Q_y を算出する際のパネル部の断面積 A_p は、縦枠材と補剛材を兼ねるパネル部を除いて算出する必要があると言える。

2.3 辺長比と振り定数の必要量に関する検討

2.3.1 解析パラメータと評価方法

最後に、実験結果との対応が確認された解析モデルを用い、幅厚比 b_1/t_p (38.3) を一定として辺長比 b_1/a が異なる3種類の解析モデルと、辺長比 b_1/a (0.16) を一定として幅厚比 b_1/t_p が異なる3種類の解析モデルを作成し、縦枠材と補剛材に最低限必要な振り定数 J について検討する。縦枠材と補剛材はいずれも平板とし、パラメータは辺長比 0.16, 0.24, 0.32 と幅厚比 38.3, 20, 15 のそれぞれ3種類と縦枠材と補剛材の厚さ t_p, t_s とする。なお、辺長比 0.16, 幅厚比 38.3 は実験で使用したモデルと同様である。振り定数 J は平板で表裏を合わせた断面にて評価し、角形鋼管の場合は表裏それぞれの和とする。

解析の評価基準を図4に示す。実験では、せん断パネルの繰り返し変形性能として $\pm 3.0\%$ の1サイクル目までせん断座屈を生じずに耐力を保つことを目標とした。したがって、解析より得られる荷重-変形角関係が、せん断変形角 $\pm 3.0\%$ の1サイクル目まで得られる骨格曲線とほぼ等しい片振幅 6.0% まで耐力低下を生じず、かつ降伏せん断耐力 Q_y 以上であることを目標とし、それを満たす振り定数を検討した。

2.3.2 解析結果と考察

辺長比を3種類とし、縦枠材と補剛材の振り定数を変化させた解析結果のうち、目標変形性能を満たした縦枠材と補剛材の組合せを黒ぬりの●プロットにて図5に示し、

実験より小さな幅厚比については▲、▲プロットにて示す。図は左から辺長比 0.16, 0.24, 0.32 であり、縦軸は補剛材の振り定数 J_s 、横軸は縦枠材の振り定数 J_c である。また、各モデルのパネルの幅を半分としたときに縦枠材に必要な振り定数を基準振り定数 J_{j0} として破線にて示す。

縦枠材と補剛材に基準振り定数 J_{j0} を与えても、目標変形性能を満足しないことが分かる。また、縦枠材と補剛材は少なくとも基準振り定数 J_{j0} 以上は必要であることが分かる。図(a)において幅厚比の違いに着目すると、幅厚比が小さいほど縦枠材と補剛材の基準振り定数は小さくなることから、幅厚比 38.3 以下であれば●プロットの解析結果で囲まれた塗りつぶしの範囲内で、目標変形性能を確保した上で縦枠材と補剛材の断面を自由に選択できると言える。

ここで実験結果との比較を行う。白ぬきの○プロットは以前行われた実験²⁾などの振り定数を示している。なお、実験結果は全て目標変形性能を満足している。実験値は、図(a), (b)ともに解析結果を満足しており、解析結果で囲まれた塗りつぶしの範囲内であれば、目標変形性能を満たせることが実験的にも確認できたと言える。

最後に図5の解析結果に加え、パネルの幅を変化させた解析を行い、これらの結果を近似したものを一点鎖線にて図中に示す。解析値や実験値と比較してもある程度対応していることが分かる。

4. まとめ

本報(その3)ではFEM解析により外枠材と補剛材の組合せを変化させて必要な振り定剛性を検討した。

参考文献

- 1) 岩崎桃子ほか: 枠材の剛性・耐力がせん断パネルの力学挙動に及ぼす影響(その1~2), 日本建築学会学術講演梗概集, pp.299-302, 2017.8
- 2) 五十嵐規矩夫ほか: 管状補剛材付きせん断パネルダンパーの繰返し載荷挙動(その1~2), 日本建築学会学術講演梗概集, pp.1027-1030, 2010.9

*1 元東京工業大学大学院

*2 東京工業大学 准教授・博士(工学)

*3 新日鉄住金エンジニアリング・博士(工学)

*4 新日鉄住金エンジニアリング

*5 愛知工業大学 教授・博士(工学)

Former Graduate Student, Tokyo Institute of Technology

Associate Professor, Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng.

NIPPON STEEL and SUMIKIN ENGINEERING, Dr.Eng.

NIPPON STEEL and SUMIKIN ENGINEERING

Associate Professor, Aichi Institute of Technology, Dr.Eng.