

I-83

圧縮板の塑性座屈モードの局所化と繰り返し荷重下の劣化挙動

名古屋工業大学 学生員 松岡 宏典
本州四国連絡橋公団 正員 鳥羽 保行

名古屋工業大学 正員 後藤 芳顕

1. まえがき: 座屈モードの局所化とは、座屈直後に周期性等の対称性を有する初期座屈波形が生ずる場合、载荷を進めていくうちにこの波形の特定の部分に塑性変形が集中する現象である。薄板集成構造物の圧縮板要素では、繰り返し荷重下において、このような現象により、耐力、変形能が大きく低下していくことが実験等で観察されている。著者らは、鋼構造物の耐震性を損なう原因の一つとして、塑性座屈モードの局所化が関与しているという観点からこの現象への理論的アプローチ方法について検討を加えてきた。その結果、多点支持柱等の単純なモデルを対象として、局所化現象は第1分岐経路が最大荷重点に到達後の荷重減少経路上に存在する第2分岐点での分岐挙動に起因することを確認するとともに、この現象が繰り返し荷重下においてより発生しやすいこと、さらに、構造物の劣化にかなりの影響を及ぼすこと等を数値解析により明らかにした¹⁾。ここでは、土木分野の鋼構造物の構成要素としてより重要な圧縮板を取り上げ、繰り返し荷重下の局所化現象について検討する。

2. 解析手法: 多軸応力下の構成則は降伏条件にVon Misesの条件、流れ則には降伏曲面を塑性ポテンシャル面とする関連流れ則、また硬化則はZieglerの移動硬化則による。なお、相当応力-相当ひずみ関係は図1に示すBi-linear型を仮定する。有限変位解析は四辺形要素を用いた剛体変位除去の手法によっている²⁾。

3. 単調载荷時の塑性座屈モードの局所化挙動: 図2に示すような4辺単純支持板の一方圧縮による座屈モードの局所化現象を解析する。パラメータとしては幅厚比パラメータを4種類($b/t=28.6, 40, 50, 100$)、辺長比を2種類($a/b=2, 3$)変化させている。ここで辺長比は各幅厚比に対し第1分岐点で半波の座屈波形が2波および3波生ずる場合を対象としている。

まず図3に単調载荷条件下の局所化挙動を载荷辺の無次元化応力と無次元化軸方向変位の関係として示している。また図4には各経路での変形モードを示している。この図より端部変位 $\delta/a=6 \times 10^{-3}$ の範囲で、 $b/t=28.6$ の場合を除いて、全ての場合に局所化現象が生じている。このとき b/t の値が小さいほど局所化現象の発生は遅いが、逆に局所化による荷重の低下は大きいことがわかる。また辺長比については、これが大きいほど局所化による荷重の低下が大きいといえる。

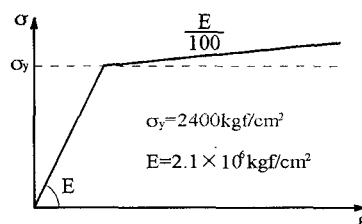


図1 一軸応力下の応力-ひずみ関係

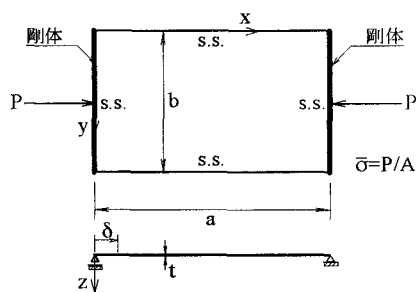


図2 圧縮板

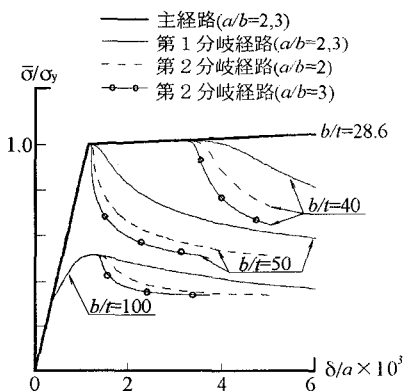


図3 単調载荷条件下の挙動

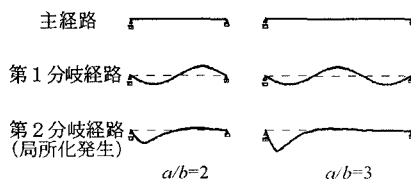


図4 変形モード

4. 繰り返し荷重時の塑性座屈モードの局所化による劣化挙動：繰り返し荷重下の挙動としては、両振りの一定変位振幅を与えた場合の幅厚比 $b/t=40$ ならびに50の構造について検討した。 $b/t=50$ の板では、辺長比 $a/b=1, 2, 3$ の3種類の構造に関して、2通りの変位振幅を6サイクル荷重した。振幅としては、単調荷重時の第1分岐点と第2分岐点間の値 $\delta/a=1.2 \times 10^{-3}$ と第2分岐点以降の値 $\delta/a=1.5 \times 10^{-3}$ を与えた。一方、 $b/t=40$ の板については、 $a/b=1, 2$ の2種類の構造に関して、 $b/t=50$ の板と同様の基準で、2種類の振幅 $\delta/a=3.0 \times 10^{-3}, 3.5 \times 10^{-3}$ を与えた。なお、 $b/t=40, 50$ いずれの板についても $a/b=1$ の場合、座屈はするが局所化は生じない。解析結果として $b/t=50, a/b=2$ の板の挙動を図5-a, bに示している。 $\delta/a=1.2 \times 10^{-3}$ の場合には単調荷重では局所化は生じないが、繰り返し荷重下においては3サイクル目に局所化が生じ荷重が低下する。一方、 $\delta/a=1.5 \times 10^{-3}$ では1サイクル目に局所化が生じ、その後の荷重サイクルで大きく耐力が低下する。図5には各荷重サイクルで圧縮方向の最大振幅を与えたときの板縦断面の変形の推移を表示している。この図からいずれも座屈モードの局所化は端部に発生し、荷重サイクル数の増加により集中していくことがわかる。また、変形量の増加は荷重低下の大きなサイクルにおいて著しい。図6には $b/t=40, 50$ の板について、各変位振幅下で、荷重サイクル数による最大荷重の低下を辺長比をパラメータとして描いている。これより、一般に a/b が大きいほど、また、変位振幅が小さいほど局所化による荷重低下が大きい。しかしながら、 $b/t=40$ の場合は板の塑性変形がかなり進展してから第1分岐が生ずるため、第1分岐モードでの荷重低下が大きく、局所化による荷重低下は $b/t=50$ の場合に比べて小さい。

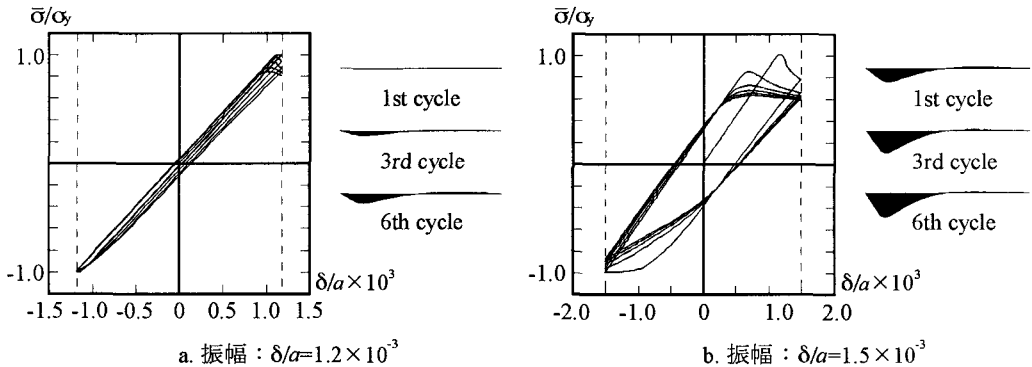


図5 繰り返し荷重下の挙動 ($b/t=50, a/b=2$)

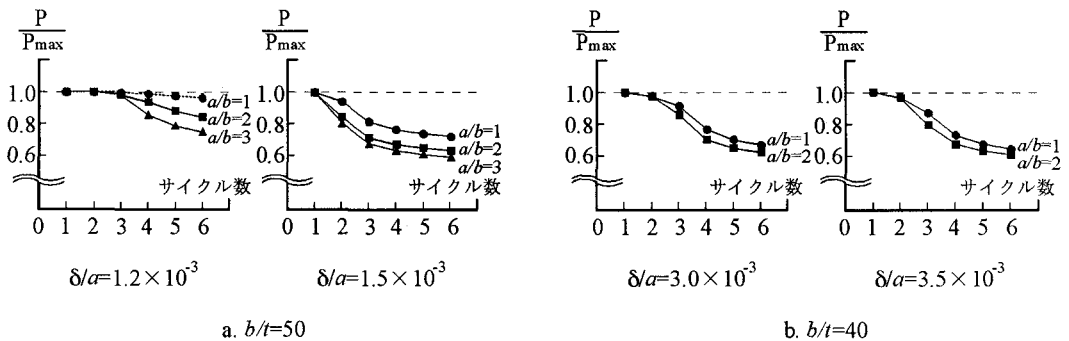


図6 サイクル数と最大荷重との関係

【参考文献】 1) 後藤、川西、鳥羽、小畑：構造物の塑性座屈モードの局所化による変形能の低下と繰り返し荷重下の挙動：土木学会論文集 1994.1

2) MARC analysis Res.Co. : Background information, Vol.F, May, 1991