

I-A 44

正方形孔を有する正方形鋼板の弾塑性せん断座屈強度及び終局強度に関する実験的研究

福山大学 工学部 正員 ○中村 雅樹

福山大学 工学部 正員 上野谷 実

1. まえがき 孔を有する板の座屈強度は板の形状、荷重条件、周辺境界の支持条件等によって異なる。本実験では面外方向に対する境界条件を固定とし板周辺の面内方向変形に対する境界条件を図1のように板周辺が直線を保ったまません断変形するような載荷装置によりせん断座屈実験を行い、板厚3.2mm、幅厚比125の正方形鋼板が板の中央に大きさの異なる正方形孔を有する場合の弾塑性せん断座屈について、孔の大きさと座屈強度および終局強度と既往の理論解析の結果¹⁾と比較検討する。また、著者らが既に行っている^{2~4)}板厚1.2, 1.8, 2.8mmの実験結果も加えて板厚の影響を考察する。

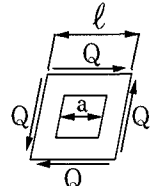


図-1 有孔板のせん断変形

2. 実験方法 載荷方法は図2に示すように、試験機による引張荷重Pと油圧ジャッキによる圧縮荷重Pを連結装置から載荷フレームを経て板周辺が一様せん断変形となる方法を用いた。供試体は正方形鋼板の辺長 $\ell=400$ と正方形孔の孔長aの比で表すと、無孔板 $a/\ell=0$ および有孔板 $a/\ell=0.3, 0.5, 0.7$ の4種類である。鋼板は $t=3.2\text{mm}$ の一般構造用鋼板SS41である。引張試験結果は表-1に示す。板の面内変位および面外たわみは最小目盛りを1/1000mmに設定したマルチ変位計によって測定した。その結果を表-2に示す。表-1および表-2には既発表の $t=1.2, 1.8, 2.8\text{mm}$ も含めて示す。

表-1 引張試験結果

	板厚 t (mm)			
	1.2	1.8	2.8	3.2
引張降伏応力	2879 (314)	3268 (320)	3197 (313)	3290 (322)
引張強さ	3560 (349)	4421 (433)	4400 (431)	4756 (466)

表-2 最大初期たわみ

板厚 t (mm)	a/ℓ	最大初期たわみ $\delta_{s, \max}$ (mm)	$\delta_{s, \max} / t$
1.2	0	-0.080	0.099
	0.3	-0.120	0.119
	0.5	-0.102	0.104
	0.7	-0.095	0.084
1.8	0	-0.315	0.069
	0.3	-0.065	0.099
	0.5	-0.095	0.129
	0.7	-0.058	0.094
2.8	0	-0.015	0.104
	0.3	-0.095	0.099
	0.5	-0.090	0.094
	0.7	-0.095	0.094
3.2	0	-0.000	0.120
	0.3	-0.000	0.200
	0.5	-0.000	0.100
	0.7	-0.060	0.080

3. 実験結果および考察 図3に $t=3.2\text{mm}$ の荷重一面外たわみ曲線を示す。無孔板は板中央および板周辺の塑性域の拡がりと座屈により面外たわみが急激に増加する。その後、面外たわみが大きくなると面外剛性が一時的に増加するような傾向を示す。これはひずみ硬化の影響と思われる。有孔板のたわみは孔縁の塑性開始後、座屈荷重まで徐々に増加するが周辺断面の塑性開始前後に急激に増加している。座屈荷重はこの図において座屈荷重付近までの接線と、座屈荷重後たわみが急激に増加する付近の接線との交点とした。有孔板は決定した2つの座屈荷重の平均とした。終局荷重後、無孔板はひずみ硬化の影響により強度増加がかなり認められる。有孔板は孔縁隅角部に亀裂が生じて終局状態になるので終局荷重後の強度はあまり期待できない。

図4に $t=3.2\text{mm}$ の終局荷重を決定した荷重一平均せん断ひずみ曲線を示す。正方形鋼板の平均せん断ひずみ γ_0 は次式で定義している。

$$\gamma_0 = (\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4) / \sqrt{2} \ell \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$: 鋼板隅角部の対角線方向面内変位
(荷重方向変位を正とする)

荷重一平均せん断ひずみ曲線は板全体の面内剛性を表す。無孔板は塑性域が板中央から全体へまた有孔板は対角断面へ拡がると傾きが急激に小さくなり終局荷重に達する。その後、無孔板の場合はひずみ硬化の影響を受け強度が増加する。ここでの終局荷重は平均せん断ひずみが急激に大きくなるときの荷重とする。

図5に $t=1.2, 1.8, 2.8, 3.2\text{mm}$ の座屈強度および終局強度の関係を示す。無孔板の塑性せん断力 Q_p は、ひず

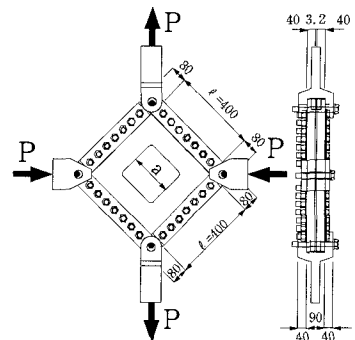


図-2 載荷方法(単位:mm)

み硬化を考えない場合、次式によって定義する。

$$Q_p = \sigma_y t \ell / \sqrt{3} \quad \dots\dots\dots (2)$$

また、ここに使用している既発表¹⁻³⁾の座屈荷重の決定は今回の $t=3.2\text{mm}$ に用いた方法に統一している。これより実験による座屈強度は解析と比較して $t=1.2\text{mm}$ の場合、 $a/\ell=0, 0.3, 0.5$ は解析に良く近似する。ここには示さないが孔縁隅角部の応力集中中は実験が解析より大きな値となる。これより $a/\ell=0.7$ は実験における隅角部の塑性開始が解析より早くなり、実験の座屈強度が解析より53.4%小さくなったと思われる。同様に $t=1.8\text{mm}$ の場合、 $a/\ell=0\sim 0.7$ は29.7～45.2%小さい。 $t=2.8\text{mm}$ の場合、 $a/\ell=0$ は良く近似するが $a/\ell=0.3, 0.5, 0.7$ は16.6, 43.0, 18.9%小さい。 $t=3.2\text{mm}$ の場合、 $a/\ell=0, 0.3, 0.5, 0.7$ は14.1, 40.5, 38.4, 10.6%小さい。これらは孔縁隅角部の塑性開始が解析より早くなった影響と思われる。ただし、 $t=3.2, 2.8\text{mm}$ の $a/\ell=0.7$ の場合は塑性崩壊と座屈が同時となる塑性座屈を生じるのでそれほど影響を受けなかったものと思われる。

実験による終局強度は後座屈解析を行っていないので面内応力解析による塑性崩壊強度と比較する。実験に対する終局強度は塑性崩壊強度と比較して $t=1.2\text{mm}$ の場合、 $a/\ell=0, 0.3, 0.5, 0.7$ は14.9, 30.9, 40.6, 42.9%小さく、 $t=1.8\text{mm}$ の場合、14.6, 27.0, 38.5, 28.1%小さい。これは座屈による面外たわみの影響と思われる。 $t=2.8\text{mm}$ の場合、 $a/\ell=0, 0.3, 0.5, 0.7$ は13.8, 20.0, 27.2, 18.0%小さく、 $t=3.2\text{mm}$ の場合、8.6, 17.0, 18.7, 7.8%小さい。これは座屈による面外たわみの影響と思われるが、 $a/\ell=0.7$ の場合、塑性座屈を生じるため座屈の影響が小さいことからそれほど小さくならない。無孔板の終局強度はそれほど低下しないが、有孔板の終局強度は大きく低下する。これらを調べるためには後座屈解析を行う必要がある。

実験による初期座屈強度に対する後座屈強度の増加割合は板厚が薄い場合大きく、板厚が厚い場合小さい。また板厚が薄く孔が小さい場合は無孔板と同じような後座屈強度の増加割合であるが、孔が大きくなるとその増加の割合は小さくなる。

4. あとがき (1)座屈強度において弾性座屈および塑性座屈を生じる場合は解析によく近似するが弾塑性座屈を生じる場合は孔縁隅角部の塑性開始が解析より早くなる影響によって解析よりかなり小さくなる。(2)終局強度は座屈による面外たわみの影響を受けて面内応力解析の塑性崩壊強度と比較して無孔板より有孔板の強度低下が著しい。(3)後座屈強度の増加割合は板厚が薄く孔が小さい場合は無孔板と同じくらい期待できるが、孔が大きい場合はそれほど期待できない。

参考文献 (1)上野谷：正方形孔を有する正方形板の弾塑性せん断座屈強度，福山大学紀要，Vol. 11, 1989. (2)上野谷、中村ら：せん断荷重を受ける正方形孔板の座屈に関する実験的研究，中国四国支部第45回講演概要集，pp. 34～35, 1993. (3)上野谷、中村：せん断荷重を受ける正方形孔板の弾塑性座屈に関する実験的研究，第49回年次学術講演会概要集，第1部，pp. 150～151, 1994. (4)中村、上野谷：せん断荷重を受ける正方形孔板の座屈強度および終局強度に関する実験的研究，中国支部第47回講演概要集，pp. 57～58, 1995.

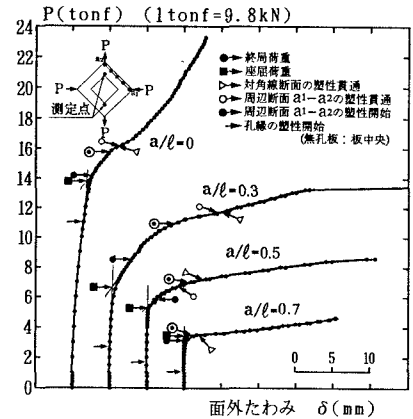


図-3 荷重-面外たわみ曲線

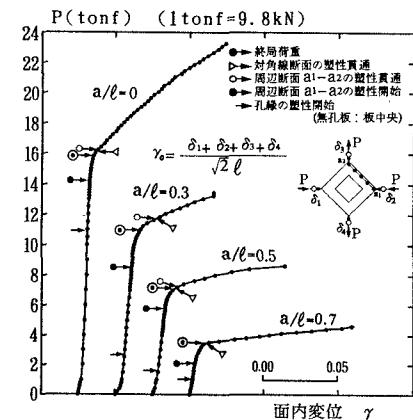


図-4 荷重-平均せん断ひずみ曲線

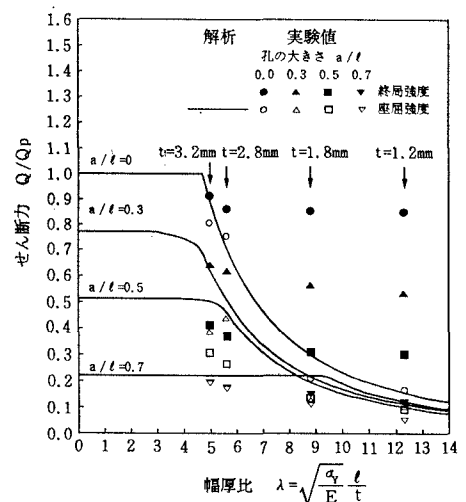


図-5 座屈強度及び塑性崩壊強度