

固定正方形鋼板のせん断耐荷力に関する 実験的研究

福山大学 工学部 正 員 上野谷 実
福山大学 工学部 正 員 中村 雅樹
福山大学 工学部 学生員 ○守本 竜司

1. まえがき 鋼板は、構造物において主要な構成部材の一つで重要な役割を果している。この鋼板の座屈や終局強度は構造物の強度に直接影響するので設計において重要である。鋼板の崩壊形式は、板厚により次のように分けられる。板厚が薄い場合は、弾性座屈を起こし、板厚が増すにつれ一部に塑性域がある状態で座屈する弾塑性座屈を起こす。さらに板厚が増すと、座屈が起きないで塑性域貫通による塑性崩壊が生じる。このように板厚によって鋼板の崩壊形式は大きく変わるので、今回の実験の目的は純せん断を受ける鋼板の幅厚比と崩壊形式および終局強度の関連を調べることである。

2. 実験方法 実験には、形、大きさが同じで厚さ $t = 1.2, 1.8, 2.8\text{mm}$ の3種類の鋼板を用いた。載荷方法は図1に示すように、試験機による引張荷重と油圧ジャッキによる圧縮荷重を連結装置から載荷フレームを経て板周辺が純せん断となる方法を用いた。供試体は図2に示すように鋼板の四隅を切取った $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ の正方形板である。鋼板は $t = 1.2\text{mm}, 1.8\text{mm}, 2.8\text{mm}$ の構造用軟鋼SS41である。幅厚比は板の辺長に対する板厚の比で表し $\ell/t = 167, 111, 71$ の3種類である。引張強度試験の結果は、 $t = 1.2\text{mm}, 1.8\text{mm}, 2.8\text{mm}$ の鋼板の引張降伏応力はそれぞれ $\sigma_y = 2890, 3400, 3180\text{kgf/cm}^2$ で、引張強度はそれぞれ $\sigma_u = 3570, 4490, 4480\text{kgf/cm}^2$ であった。ひずみゲージは図3に示す位置に接着した。板の面外たわみ及び面内変位は最小目盛りが $1/100\text{mm}$ のダイヤルゲージによって測定した。

3. 実験結果及び考察 図3に鋼板全体の応力分布を示す。理論値及び実験値は次式で定義される平均せん断応力 τ により各応力成分を除き無次元応力として表す。

$$\tau_0 = Q / t \ell \quad \dots \dots \dots (1) \quad Q: \text{板周辺のせん断力}$$

$$Q = \sqrt{2} P \quad \dots \dots \dots (2) \quad P: \text{対角線方向荷重}$$

純せん断では $\tau_{xy} / \tau_0 = 1, \sigma_x / \tau_0 = \sigma_y / \tau_0 = 0$ である。 $t = 1.2, 1.8,$ 及び 2.8mm の各鋼板の全測点のうち載荷点に近い四隅を除いた測定点におけるせん断応力の平均はそれぞれ $\tau_{xy} / \tau_0 = 0.83, 0.96, 0.99$ である。 $t = 1.2\text{mm}$ の鋼板の平均せん断応力が他の鋼板にくらべ低いのは、型枠のヒンジ部分に摩擦が生じていたためと考えられる。また鋼板の隅角部で応力分布が乱れているのは、型枠の剛性が不十分で、型枠の面内方向変形が起こったためと考えられる。

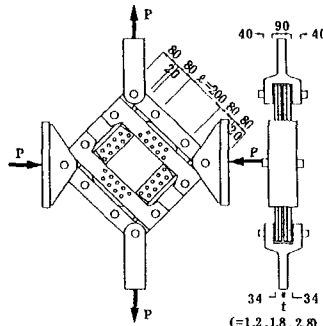


図1 載荷方法 (mm)

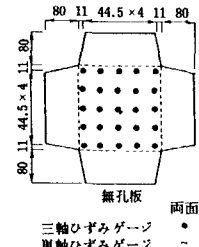


図2 ひずみゲージ接着位置 (mm)

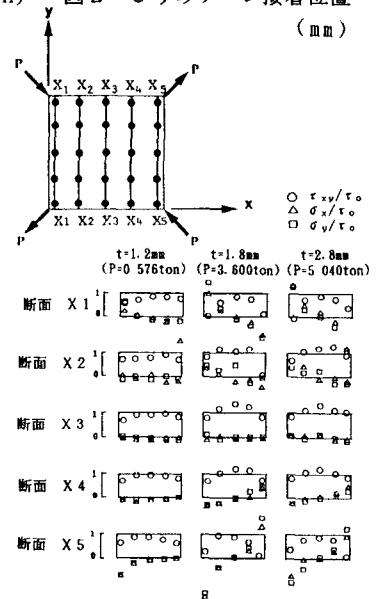


図3 応力分布

図4に座屈荷重を決定した板中央における荷重-面外たわみ曲線を示す。 $t=1.2\text{mm}$ の鋼板は弾性座屈を起こしたのでこの曲線の変曲点を座屈荷重とした。変曲点は実験値を荷重増分5段階ごとで3次曲線に最小2乗近似した曲線で決定した。これより $t=1.2\text{mm}$ の鋼板の座屈荷重は $P=1215\text{kg}$ ($Q/Q_p=0.428$) となり解析値より28.7%低い値となる。 $t=1.8, 2.8\text{mm}$ の鋼板は急激にたわみが増加した

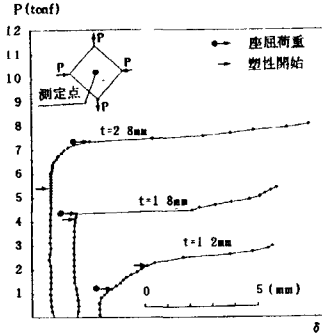


図4 荷重-面外たわみ曲線

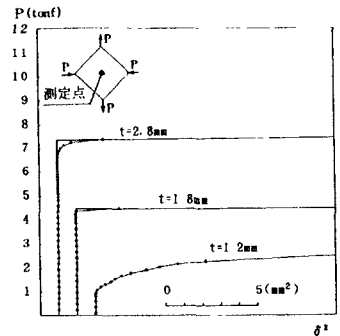


図5 荷重-面外たわみ2乗曲線

直後に座屈するため弾性座屈のような変曲点が現れないので図5に示す荷重-面外たわみ2乗曲線で座屈荷重を決定した。座屈荷重は曲線の傾きが最小となる接線と荷重軸の交点とした。これより $t=1.8, 2.8\text{mm}$ の鋼板の座屈荷重は $P=4440, 7302\text{kg}$ ($Q/Q_p=0.888, 1.004$) となる。 $t=1.8\text{mm}$ の鋼板は解析の塑性崩壊強度より11.2%低い座屈荷重で弾塑性座屈を起こした。 $t=2.8\text{mm}$ の鋼板は塑性崩壊強度より0.4%大きい荷重で塑性座屈を起こした。

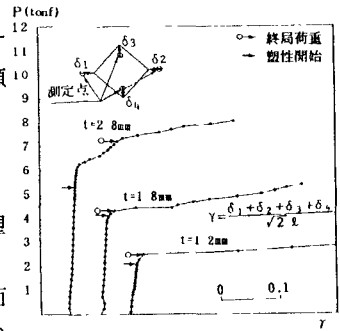


図6 荷重-面内変位曲線

図6に終局荷重を決定した荷重-面内変位曲線を示す。終局荷重は面内変位が急激に増加し始めた最初の荷重とした。 $t=1.2, 1.8$ 及び 2.8mm の鋼板の終局荷重は、それぞれ $P=2496, 4440, 7320\text{kg}$ ($Q_{us}/Q_p=0.880, 0.888, 1.007$) であった。

図7に座屈強度および終局強度の関係を示す。塑性せん断力 Q_p はひずみ硬化を考えない場合次式によって定義される。

$$Q_p = \sigma_y l t / \sqrt{3} \quad \dots\dots\dots (4)$$

座屈が起きない時の塑性崩壊強度は $Q_{us}/Q_p=1$ である。実験による $t=1.2\text{mm}, 1.8\text{mm}, 2.8\text{mm}$ の鋼板の終局強度は、それぞれ $Q_{us}/Q_p=0.880, 0.888, 1.007$ であった。実験による終局強度と塑性崩壊強度を比較すると、 $t=1.2\text{mm}, 1.8\text{mm}$ の鋼板はそれぞれ12.0%、11.2%小さいが、 $t=2.8\text{mm}$ の鋼板は、0.7% 大きいだけで解析と良く近似する。実験において $t=1.2\text{mm}$ の鋼板は、座屈による面外たわみによって終局強度が12.0%低下したと考えられる。 $t=1.8\text{mm}$ の鋼板は、型枠の剛性不足のためせん断応力分布が鋼板の中央付近で解析より最大34%大きい。このため理論より小さい荷重で降伏し、弾塑性座屈を起こして終局強度が11.2%低下したと考えられる。 $t=2.8\text{mm}$ の鋼板は1.8mmの鋼板と同様に理論より小さい荷重で降伏が始まるが板厚が、厚いので降伏直後に座屈をおこさないため終局強度は低下せず塑性崩壊強度と良く近似したと思われる。

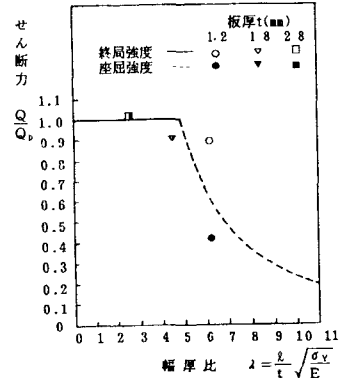


図7 座屈強度及び終局強度

4. まとめ (1) $t=1.2\text{mm}$ の鋼板は弾性座屈を起こし約2倍の後座屈強度があった。終局強度は座屈による面外たわみのために塑性崩壊強度より12.0%低下する。
- (2) $t=1.8\text{mm}$ の鋼板は降伏した直後に弾塑性座屈を起こして終局強度が塑性崩壊強度より11.2%低下する。
- (3) $t=2.8\text{mm}$ の鋼板も理論より小さい荷重で降伏するが、板厚が厚く降伏直後に座屈を起こさないため終局強度は解析と良く近似する。