

請求の範囲

[請求項1] 互いに直交するx軸及びy軸に沿って広がる平板状に形成された弾性要素の端面に外力が作用し、前記弾性要素がその板厚方向であるz軸に沿う方向に座屈するときに、前記z軸に沿う方向に向けた前記弾性要素の第1面外変位 w_w を推定する変位の推定装置であって、

前記弾性要素は、前記z軸に沿って見たときに、前記y軸に沿う方向の長さよりも前記x軸に沿う方向の長さが長い矩形状を呈し、

前記弾性要素の前記y軸に沿う方向の長さの中心の位置を通り、前記x軸に沿う線を基準線としたときに、

前記第1面外変位 w_w が前記基準線に対して前記y軸に沿う方向に对称になると推定される場合に、前記第1面外変位 w_w を(1)式により推定し、前記第1面外変位 w_w が前記基準線に対して前記y軸に沿う方向に非対称になると推定される場合に、前記第1面外変位 w_w を(2)式により推定する第1変位推定部を備え、

前記(1)式及び前記(2)式では、係数 b_n を含む項は前記第1面外変位 w_w の成分のうち、前記y軸に沿う方向の両端の境界条件が単純支持となる面外変位を表し、係数 a_n を含む項は前記第1面外変位 w_w の成分のうち、前記y軸に沿う方向の両端の境界条件が固定支持となる面外変位を表す、

変位の推定装置。

ただし、(1)式及び(2)式中のYの値は、前記y軸の座標を前記弾性要素の前記y軸に沿う方向の長さを用いて無次元化した値であり、Nは2以上の自然数であり、 a_0 、 a_n 、 b_n は未定係数である。

[数1]

$$w_w = a_0 + \sum_{n=1}^N \left(a_n \cos \pi Y^n + b_n \cos \frac{\pi}{2} Y^n \right) \quad \cdots (1)$$

$$w_w = a_0 + \sum_{n=1}^N \left(a_n \cos 2\pi Y^n + b_n \sin \pi Y^n \right) \quad \cdots (2)$$

[請求項2] 前記Nは2である請求項1に記載の変位の推定装置。

[請求項3]

請求項1に記載の変位の推定装置を用いて、前記外力として圧縮力が作用して座屈するH形鋼の座屈応力度を推定する座屈応力度の推定装置であって、

前記H形鋼は、前記弾性要素である、ウェブ板要素と、第1フランジ板要素と、第2フランジ板要素と、を備え、

前記第1フランジ板要素及び第2フランジ板要素は、前記ウェブ板要素を、前記ウェブ板要素の前記y軸であるv軸に沿う方向に挟むように配置され、

前記圧縮力は、前記ウェブ板要素の前記x軸であるu軸に沿う方向に、前記H形鋼の前記端面に作用し、

w軸を、前記ウェブ板要素の前記z軸に沿う方向の軸とし、

前記基準線は、前記ウェブ板要素の前記y軸に沿う方向の長さの中心の位置を通り、前記ウェブ板要素の前記x軸に沿う線とし、

前記v軸に沿う方向における前記第1フランジ板要素の中心の位置を、前記v軸の原点とし、

前記第1フランジ板要素から前記第2フランジ板要素に向かう向きを、前記v軸の正の向きとし、

前記v軸に沿う方向における前記第1フランジ板要素の中心と前記第2フランジ板要素の中心との距離を、 b_w とし、

前記ウェブ板要素の前記u軸に沿う方向の第1端に向かうに従い、前記w軸の正の向き及び前記w軸の負の向きに交互に波状に変位する前記ウェブ板要素の前記u軸に沿う方向における半波長をaとしたときに、

前記第1変位推定部は、前記H形鋼の前記第1面外変位 w_w が前記基準線に対して前記v軸に沿う方向に対称になると推定し、

前記ウェブ板要素における前記w軸に沿う方向に向けた第2面外変位 W_w を、前記第1変位推定部が推定した前記第1面外変位 w_w を用いて(3)式により推定し、かつ、前記第1フランジ板要素、前記第

2 フランジ板要素における前記 v 軸に沿う方向に向けた第 2 面外変位 W_{f1} , W_{f2} を、前記第 1 変位推定部が推定した前記第 1 面外変位 w_w を用いて (4) 式、(5) 式によりそれぞれ推定する第 2 変位推定部と、

前記 H 形鋼の前記座屈応力度を、前記第 2 面外変位 W_w 、前記第 2 面外変位 W_{f1} , W_{f2} 、及び (3) 式から (5) 式を用いてエネルギー法に基づいて求める応力度算出部と、

を備える、

座屈応力度の推定装置。

ただし、 N は 2 以上の自然数である。

[数2]

$$W_w = \sin \frac{\pi u}{a} \left[a_0 + \sum_{n=1}^N \left(a_n \cos \pi \left(\frac{2v}{b_w} - 1 \right)^n + b_n \cos \frac{\pi}{2} \left(\frac{2v}{b_w} - 1 \right)^n \right) \right] \quad \cdot \cdot (3)$$

$$W_{f1} = w \frac{\partial W_w}{\partial v} \bigg|_{v=0} \quad \cdot \cdot (4)$$

$$W_{f2} = w \frac{\partial W_w}{\partial v} \bigg|_{v=b_w} \quad \cdot \cdot (5)$$

[請求項4]

前記応力度算出部は、(6) 式から (9) 式を用いて、(10) 式による前記座屈応力度 σ_{cr} に最小の正の値を与える実数である前記 a_n , b_n 及び前記半波長 a に基づいて、前記座屈応力度 σ_{cr} を求める、

請求項 3 に記載の座屈応力度の推定装置。

ただし、 E は前記 H 形鋼のヤング係数であり、 ν は前記 H 形鋼のポアソン比であり、 t_w は前記ウェブ板要素の厚さであり、 t_f は前記第 1 フランジ板要素及び前記第 2 フランジ板要素それぞれの厚さであり、 b_f は前記第 1 フランジ板要素及び前記第 2 フランジ板要素それぞれの幅の半分の値である。

[数3]

$$\begin{aligned}
A &= \int_0^a \int_0^{b_w} \left(\frac{\partial W_w}{\partial u} \right)^2 dv du \quad \cdot \cdot (6) \\
B &= \frac{b_w^2}{\pi^2} \int_0^a \int_0^{b_w} \left[\left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial u^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial v^2} \right)^2 + 2v \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial u^2} \right) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial v^2} \right) + 2(1-v) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial u \partial v} \right)^2 \right] dv du \\
&\quad \cdot \cdot (7) \\
C &= \sum_{i=1}^2 \int_0^a \int_{-b_f}^{b_f} \left(\frac{\partial W_{fi}}{\partial u} \right)^2 dw du \quad \cdot \cdot (8) \\
D &= \frac{b_f^2}{\pi^2} \sum_{i=1}^2 \int_0^a \int_{-b_f}^{b_f} \left[\left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial u^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial w^2} \right)^2 + 2v \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial u^2} \right) \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial w^2} \right) + 2(1-v) \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial u \partial w} \right)^2 \right] dw du \\
&\quad \cdot \cdot (9) \\
\sigma_{cr} &= \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \frac{t_w^2}{b_w^2} \frac{B}{A + \frac{t_f}{t_w} C} + \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \frac{t_f^2}{b_f^2} \frac{D}{t_f A + C} \quad \cdot \cdot (10)
\end{aligned}$$

[請求項5]

請求項1に記載の変位の推定装置を用いて、前記x軸に沿う方向に、前記外力として圧縮力が作用して座屈する板要素の座屈応力度を推定する座屈応力度の推定装置であって、

前記板要素は、前記弾性要素であり、

前記板要素の前記x軸に沿う方向の第1端に向かうに従い、前記z軸の正の向き及び前記z軸の負の向きに交互に波状に変位する前記板要素の、前記x軸に沿う方向における半波長をaとしたときに、

前記第1変位推定部は、前記板要素の前記第1面外変位 w_w が前記基準線に対して前記y軸に沿う方向に対称になると推定し、

前記z軸に沿う方向に向けた前記板要素の第2面外変位 W_w を、前記第1変位推定部が推定した前記第1面外変位 w_w を用いて(11)式により推定する第2変位推定部と、

前記板要素の前記座屈応力度を、(11)式を用いてエネルギー法に基づいて求める応力度算出部と、

を備える、

座屈応力度の推定装置。

ただし、Nは2以上の自然数であり、 b_w は前記y軸に沿う方向における前記板要素の長さである。

[数4]

$$W_w = \sin \frac{\pi x}{a} \left[a_0 + \sum_{n=1}^N \left(a_n \cos \pi \left(\frac{2y}{b_w} - 1 \right)^n + b_n \cos \frac{\pi}{2} \left(\frac{2y}{b_w} - 1 \right)^n \right) \right] \quad \cdot \cdot (11)$$

[請求項6]

前記応力度算出部は、(12)式及び(13)式を用いて、(14)式による前記座屈応力度 σ_{cr} に最小の正の値を与える実数である前記 a_n 、 b_n 及び前記半波長 a に基づいて、前記座屈応力度 σ_{cr} を求める、

請求項5に記載の座屈応力度の推定装置。

ただし、 E は前記板要素のヤング係数であり、 ν は前記板要素のポアソン比であり、 t_w は前記板要素の厚さである。

[数5]

$$\begin{aligned} A &= \int_0^a \int_0^{b_w} \left(\frac{\partial W_w}{\partial x} \right)^2 dy dx \quad \cdot \cdot (12) \\ B &= \frac{b_w^2}{\pi^2} \int_0^a \int_0^{b_w} \left[\left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial x^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial y^2} \right)^2 + 2\nu \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial x^2} \right) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial y^2} \right) + 2(1-\nu) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] dy dx \\ &\quad \cdot \cdot (13) \\ \sigma_{cr} &= \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \frac{t_w^2 B}{b_w^2 A} \quad \cdot \cdot (14) \end{aligned}$$

[請求項7]

請求項1に記載の変位の推定装置を用いて、前記外力として曲げモーメントが作用して座屈するH形鋼の座屈応力度を推定する座屈応力度の推定装置であって、

前記H形鋼は、前記弾性要素である、ウェブ板要素と、第1フランジ板要素と、第2フランジ板要素と、を備え、

前記第1フランジ板要素及び第2フランジ板要素は、前記ウェブ板要素を、前記ウェブ板要素の前記 y 軸である ν 軸に沿う方向に挟むように配置され、

前記曲げモーメントは、前記ウェブ板要素の前記 z 軸である w 軸回りに、前記H形鋼の前記端面に作用し、

u 軸を、前記ウェブ板要素の前記 x 軸に沿う方向の軸とし、

前記基準線は、前記ウェブ板要素の前記 y 軸に沿う方向の長さの中心の位置を通り、前記ウェブ板要素の前記 x 軸に沿う線とし、

前記第1フランジ板要素は、前記曲げモーメントにより引張力を受けるとし、

前記 v 軸に沿う方向における前記第1フランジ板要素の中心の位置を、前記 v 軸の原点とし、

前記第1フランジ板要素から前記第2フランジ板要素に向かう向きを、前記 v 軸の正の向きとし、

前記 v 軸に沿う方向における前記第1フランジ板要素の中心と前記第2フランジ板要素の中心との距離を、 b_w とし、

前記ウェブ板要素の前記 u 軸に沿う方向の第1端に向かうに従い、前記 w 軸の正の向き及び前記 w 軸の負の向きに交互に波状に変位する前記ウェブ板要素の前記 u 軸に沿う方向における半波長を a としたときに、

前記第1変位推定部は、前記H形鋼の前記第1面外変位 w_w が前記基準線に対して前記 y 軸に沿う方向に非対称になると推定し、

前記ウェブ板要素における前記 w 軸に沿う方向に向けた第2面外変位 W_w を、前記第1変位推定部が推定した前記第1面外変位 w_w を用いて(15)式により推定し、かつ、前記第1フランジ板要素、前記第2フランジ板要素における前記 v 軸に沿う方向に向けた第2面外変位 W_{f1} 、 W_{f2} を、前記第1変位推定部が推定した前記第1面外変位 w_w を用いて(16)式、(17)式によりそれぞれ推定する第2変位推定部と、

前記H形鋼の前記座屈応力度を、前記第2面外変位 W_w 、前記第2面外変位 W_{f1} 、 W_{f2} 、及び(15)式から(17)式を用いてエネルギー法に基づいて求める応力度算出部と、

を備える、

座屈応力度の推定装置。

ただし、 N は2以上の自然数である。

[数6]

$$\begin{aligned}
 W_w &= \sin \frac{\pi u}{a} \left[a_0 + \sum_{n=1}^N \left(a_n \cos \frac{2\pi v^n}{b_w^n} + b_n \sin \frac{\pi v^n}{b_w^n} \right) \right] \quad \cdot \cdot (15) \\
 W_{f1} &= w \frac{\partial W_w}{\partial v} \Big|_{v=0} \quad \cdot \cdot (16) \\
 W_{f2} &= w \frac{\partial W_w}{\partial v} \Big|_{v=b_w} \quad \cdot \cdot (17)
 \end{aligned}$$

[請求項8]

前記応力度算出部は、(18)式から(21)式を用いて、(22)式による前記座屈応力度 σ_{cr} に最小の正の値を与える実数である前記 a_n 、 b_n 及び前記半波長 a に基づいて、前記座屈応力度 σ_{cr} を求める請求項7に記載の座屈応力度の推定装置。

ただし、 E は前記H形鋼のヤング係数であり、 ν は前記H形鋼のポアソン比であり、 t_w は前記ウェブ板要素の厚さであり、 t_f は前記第1フランジ板要素及び前記第2フランジ板要素それぞれの厚さであり、 b_f は前記第1フランジ板要素及び前記第2フランジ板要素それぞれの幅の半分の値である。

[数7]

$$\begin{aligned}
 A &= \int_0^a \int_0^{b_w} \left(\frac{2v}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{\partial W_w}{\partial u} \right)^2 dv du \quad \cdot \cdot (18) \\
 B &= \frac{b_w^2}{\pi^2} \int_0^a \int_0^{b_w} \left[\left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial u^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial v^2} \right)^2 + 2v \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial u^2} \right) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial v^2} \right) + 2(1-\nu) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial u \partial v} \right)^2 \right] dv du \\
 &\quad \cdot \cdot (19) \\
 C &= \sum_{i=1}^2 (-1)^{(i+1)} \int_0^a \int_{-b_f}^{b_f} \left(\frac{\partial W_{fi}}{\partial u} \right)^2 dw du \quad \cdot \cdot (20) \\
 D &= \frac{b_f^2}{\pi^2} \sum_{i=1}^2 \int_0^a \int_{-b_f}^{b_f} \left[\left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial u^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial w^2} \right)^2 + 2v \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial u^2} \right) \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial w^2} \right) + 2(1-\nu) \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial u \partial w} \right)^2 \right] dw du \\
 &\quad \cdot \cdot (21) \\
 \sigma_{cr} &= \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \frac{t_w^2}{b_w^2} \frac{B}{A + \frac{t_f}{t_w} C} + \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \frac{t_f^2}{b_f^2} \frac{D}{t_f A + C} \quad \cdot \cdot (22)
 \end{aligned}$$

[請求項9]

請求項1に記載の変位の推定装置を用いて、前記 z 軸回りに、前記外力として曲げモーメントが作用して座屈する板要素の座屈応力度を推定する座屈応力度の推定装置であって、

前記板要素は、前記弾性要素であり、

前記板要素の前記 x 軸に沿う方向の第1端に向かうに従い、前記 z 軸の正の向き及び前記 z 軸の負の向きに交互に波状に変位する前記板

要素の、前記 x 軸に沿う方向における半波長を a としたときに、

前記第 1 変位推定部は、前記板要素の前記第 1 面外変位 w_w が前記基準線に対して前記 y 軸に沿う方向に非対称になると推定し、

前記 z 軸に沿う方向に向けた前記板要素の第 2 面外変位 W_w を、前記第 1 変位推定部が推定した前記第 1 面外変位 w_w を用いて (23) 式により推定する第 2 変位推定部と、

前記板要素の前記座屈応力度を、(23) 式を用いてエネルギー法に基づいて求める応力度算出部と、

を備える、

座屈応力度の推定装置。

ただし、 N は 2 以上の自然数であり、 b_w は前記 y 軸に沿う方向における前記板要素の長さである。

[数8]

$$W_w = \sin \frac{\pi x}{a} \left[a_0 + \sum_{n=1}^N \left(a_n \cos \frac{2\pi y^n}{b_w} + b_n \sin \frac{\pi y^n}{b_w} \right) \right] \quad \cdot \cdot (23)$$

[請求項10]

前記応力度算出部は、(24) 式及び (25) 式を用いて、(26) 式による前記座屈応力度 σ_{cr} に最小の正の値を与える実数である前記 a_n 、 b_n 及び前記半波長 a に基づいて、前記座屈応力度 σ_{cr} を求める、

請求項 9 に記載の座屈応力度の推定装置。

ただし、 E は前記板要素のヤング係数であり、 ν は前記板要素のポアソン比であり、 t_w は前記板要素の厚さである。

[数9]

$$A = \int_0^a \int_0^{b_w} \left(\frac{2y}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{\partial W_w}{\partial x} \right)^2 dy dx \quad \cdot \cdot (24)$$

$$B = \frac{b_w^2}{\pi^2} \int_0^a \int_0^{b_w} \left[\left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial x^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial y^2} \right)^2 + 2\nu \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial x^2} \right) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial y^2} \right) + 2(1-\nu) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] dy dx \quad \cdot \cdot (25)$$

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \frac{t_w^2 B}{b_w^2 A} \quad \cdot \cdot (26)$$

[請求項11]

請求項 1 に記載の変位の推定装置を用いて、前記外力としてせん断

力が作用して座屈するH形鋼の座屈応力度を推定する座屈応力度の推定装置であって、

前記H形鋼は、前記弾性要素である、ウェブ板要素と、第1フランジ板要素と、第2フランジ板要素と、を備え、

前記第1フランジ板要素及び第2フランジ板要素は、前記ウェブ板要素を、前記ウェブ板要素の前記y軸であるv軸に沿う方向に挟むように配置され、

前記せん断力は、前記v軸に沿う方向に、前記H形鋼の前記端面に作用し、

u軸を、前記ウェブ板要素の前記x軸に沿う方向の軸とし、

w軸を、前記ウェブ板要素の前記z軸に沿う方向の軸とし、

前記基準線は、前記ウェブ板要素の前記y軸に沿う方向の長さの中心の位置を通り、前記ウェブ板要素の前記x軸に沿う線とし、

前記ウェブ板要素における前記v軸に沿う方向の中心の位置を、前記v軸の原点とし、

前記第1フランジ板要素から前記第2フランジ板要素に向かう向きを、前記v軸の正の向きとし、

前記v軸に沿う方向における前記第1フランジ板要素の中心と前記第2フランジ板要素の中心との距離を b_w とし、

前記ウェブ板要素の前記u軸に沿う方向の第1端に向かうに従い、前記w軸の正の向き及び前記w軸の負の向きに交互に波状に変位する前記ウェブ板要素の前記u軸に沿う方向における半波長を a としたときに、

前記第1変位推定部は、前記H形鋼の前記第1面外変位 w_w が前記基準線に対して前記v軸に沿う方向に対称になると推定し、

前記ウェブ板要素における前記w軸に沿う方向に向けた第2面外変位 W_w を、前記第1変位推定部が推定した前記第1面外変位 w_w を用いて(27)式により推定し、かつ、前記第1フランジ板要素、前記

第2フランジ板要素における前記 v 軸に沿う方向に向けた第2面外変位 W_{f1} , W_{f2} を、前記第1変位推定部が推定した前記第1面外変位 w_w を用いて(28)式、(29)式によりそれぞれ推定する第2変位推定部と、

前記H形鋼の前記座屈応力度を、前記第2面外変位 W_w 、前記第2面外変位 W_{f1} , W_{f2} 、及び(27)式から(29)式を用いてエネルギー法に基づいて求める応力度算出部と、

を備える、

座屈応力度の推定装置。

ただし、 N は2以上の自然数であり、 λ は未定係数である。

[数10]

$$W_w = \sin \frac{\pi}{a} \left(u + \lambda \sin \frac{\pi v}{b_w} \right) \left[a_0 + \sum_{n=1}^N \left(a_n \cos \pi \left(\frac{2v}{b_w} \right)^n + b_n \cos \frac{\pi}{2} \left(\frac{2v}{b_w} \right)^n \right) \right] \quad \cdot \cdot (27)$$

$$W_{f1} = w \frac{\partial W_w}{\partial v} \bigg|_{v=-\frac{b_w}{2}} \quad \cdot \cdot (28)$$

$$W_{f2} = w \frac{\partial W_w}{\partial v} \bigg|_{v=\frac{b_w}{2}} \quad \cdot \cdot (29)$$

[請求項12]

前記応力度算出部は、(30)式から(32)式を用いて、(33)式による前記座屈応力度 τ_{cr} に最小の正の値を与える実数である前記 a_n , b_n , λ 及び前記半波長 a に基づいて、前記座屈応力度 τ_{cr} を求める、

請求項11に記載の座屈応力度の推定装置。

ただし、 E は前記H形鋼のヤング係数であり、 ν は前記H形鋼のポアソン比であり、 t_w は前記ウェブ板要素の厚さであり、 t_f は前記第1フランジ板要素及び前記第2フランジ板要素それぞれの厚さであり、 b_f は前記第1フランジ板要素及び前記第2フランジ板要素それぞれの幅の半分の値である。

[数11]

$$\begin{aligned}
A &= \int_0^a \int_{-\frac{b_w}{2}}^{\frac{b_w}{2}} \left(\frac{\partial W_w}{\partial u} \right) \left(\frac{\partial W_w}{\partial v} \right) dv du \quad \cdot \cdot (30) \\
B &= \frac{b_w^2}{2\pi^2} \int_0^a \int_{-\frac{b_w}{2}}^{\frac{b_w}{2}} \left[\left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial u^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial v^2} \right)^2 + 2v \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial u^2} \right) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial v^2} \right) + 2(1-v) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial u \partial v} \right)^2 \right] dv du \\
&\quad \cdot \cdot (31) \\
C_i &= \frac{b_f^2}{2\pi^2} \int_0^a \int_{-b_f}^{b_f} \left[\left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial u^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial v^2} \right)^2 + 2v \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial u^2} \right) \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial v^2} \right) + 2(1-v) \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial u \partial v} \right)^2 \right] dv du \\
&\quad \cdot \cdot (32) \\
\tau_{cr} &= \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \frac{t_w^2 B}{b_w^2 A} + \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \frac{t_f^2 t_f \sum_{i=1}^2 C_i}{b_f^2 t_w A} \quad \cdot \cdot (33)
\end{aligned}$$

[請求項13]

請求項1に記載の変位の推定装置を用いて、前記x軸に沿う方向又は前記y軸に沿う方向に、前記外力としてせん断力が作用して座屈する板要素の座屈応力度を推定する座屈応力度の推定装置であって、

前記板要素は、前記弾性要素であり、

前記板要素の前記x軸に沿う方向の第1端に向かうに従い、前記z軸の正の向き及び前記z軸の負の向きに交互に波状に変位する前記板要素の、前記x軸に沿う方向における半波長をaとしたときに、

前記第1変位推定部は、前記板要素の前記第1面外変位 w_w が前記基準線に対して前記y軸に沿う方向に対称になると推定し、

前記z軸に沿う方向に向けた前記板要素の第2面外変位 W_w を、前記第1変位推定部が推定した前記第1面外変位 w_w を用いて(34)式により推定する第2変位推定部と、

前記板要素の前記座屈応力度を、(34)式を用いてエネルギー法に基づいて求める応力度算出部と、

を備える、

座屈応力度の推定装置。

ただし、Nは2以上の自然数であり、 λ は未定係数であり、 b_w は前記y軸に沿う方向における前記板要素の長さである。

[数12]

$$W_w = \sin \frac{\pi}{a} \left(x + \lambda \sin \frac{\pi y}{b_w} \right) \left[a_0 + \sum_{n=1}^N \left(a_n \cos \pi \left(\frac{2y}{b_w} \right)^n + b_n \cos \frac{\pi}{2} \left(\frac{2y}{b_w} \right)^n \right) \right] \quad \cdot \cdot (34)$$

[請求項14] 前記応力度算出部は、(35)式及び(36)式を用いて、(37)式による前記座屈応力度 τ_{cr} に最小の正の値を与える実数である前記未定係数 a_n 、 b_n 、 λ 及び前記半波長 a に基づいて、前記座屈応力度 τ_{cr} を求める、

請求項13に記載の座屈応力度の推定装置。

ただし、 E は前記板要素のヤング係数であり、 ν は前記板要素のポアソン比であり、 t_w は前記板要素の厚さである。

[数13]

$$A = \int_0^a \int_{-\frac{b_w}{2}}^{\frac{b_w}{2}} \left(\frac{\partial W_w}{\partial x} \right) \left(\frac{\partial W_w}{\partial y} \right) dy dx \quad \cdots (35)$$

$$B = \frac{b_w^2}{2\pi^2} \int_0^a \int_{-\frac{b_w}{2}}^{\frac{b_w}{2}} \left[\left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial x^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial y^2} \right)^2 + 2\nu \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial x^2} \right) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial y^2} \right) + 2(1-\nu) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] dy dx \quad \cdots (36)$$

$$\tau_{cr} = \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \frac{t_w^2 B}{b_w^2 A} \quad \cdots (37)$$

[請求項15] 前記 N は2である請求項3から14のいずれか一項に記載の座屈応力度の推定装置。

[請求項16] 互いに直交する x 軸及び y 軸に沿って広がる平板状に形成された弾性要素の端面に外力が作用し、前記弾性要素がその板厚方向である z 軸に沿う方向に座屈するときに、前記 z 軸に沿う方向に向けた前記弾性要素の第1面外変位 w_w を推定する変位の推定方法であって、

前記弾性要素は、前記 z 軸に沿って見たときに、前記 y 軸に沿う方向の長さよりも前記 x 軸に沿う方向の長さが長い矩形状を呈し、

前記弾性要素の前記 y 軸に沿う方向の長さの中心の位置を通り、前記 x 軸に沿う線を基準線としたときに、

前記第1面外変位 w_w が前記基準線に対して前記 y 軸に沿う方向に対称になると推定される場合に、前記第1面外変位 w_w を(41)式により推定し、前記第1面外変位 w_w が前記基準線に対して前記 y 軸に沿う方向に非対称になると推定される場合に、前記第1面外変位 w_w を(42)式により推定する第1変位推定工程を行い、

前記(41)式及び前記(42)式では、係数 b_n を含む項は前記

第1面外変位 w_w の成分のうち、前記 y 軸に沿う方向の両端の境界条件が単純支持となる面外変位を表し、係数 a_n を含む項は前記第1面外変位 w_w の成分のうち、前記 y 軸に沿う方向の両端の境界条件が固定支持となる面外変位を表す、

変位の推定方法。

ただし、(41)式及び(42)式中の Y の値は、前記 y 軸の座標を前記弾性要素の前記 y 軸に沿う方向の長さを用いて無次元化した値であり、 N は2以上の自然数であり、 a_0 、 a_n 、 b_n は未定係数である。

[数14]

$$w_w = a_0 + \sum_{n=1}^N \left(a_n \cos \pi Y^n + b_n \cos \frac{\pi}{2} Y^n \right) \quad \cdot \cdot (41)$$

$$w_w = a_0 + \sum_{n=1}^N \left(a_n \cos 2\pi Y^n + b_n \sin \pi Y^n \right) \quad \cdot \cdot (42)$$

[請求項17]

前記 N は2である請求項16に記載の変位の推定方法。

[請求項18]

請求項16に記載の変位の推定方法を用いて、前記外力として圧縮力が作用して座屈するH形鋼の座屈応力度を推定する座屈応力度の推定方法であって、

前記H形鋼は、前記弾性要素である、ウェブ板要素と、第1フランジ板要素と、第2フランジ板要素と、を備え、

前記第1フランジ板要素及び第2フランジ板要素は、前記ウェブ板要素を、前記ウェブ板要素の前記 y 軸である v 軸に沿う方向に挟むように配置され、

前記圧縮力は、前記ウェブ板要素の前記 x 軸である u 軸に沿う方向に、前記H形鋼の前記端面に作用し、

w 軸を、前記ウェブ板要素の前記 z 軸に沿う方向の軸とし、

前記基準線は、前記ウェブ板要素の前記 y 軸に沿う方向の長さの中心の位置を通り、前記ウェブ板要素の前記 x 軸に沿う線とし、

前記 v 軸に沿う方向における前記第1フランジ板要素の中心の位置

を、前記 v 軸の原点とし、

前記第 1 フランジ板要素から前記第 2 フランジ板要素に向かう向き

を、前記 v 軸の正の向きとし、

前記 v 軸に沿う方向における前記第 1 フランジ板要素の中心と前記第 2 フランジ板要素の中心との距離を、 b_w とし、

前記ウェブ板要素の前記 u 軸に沿う方向の第 1 端に向かうに従い、前記 w 軸の正の向き及び前記 w 軸の負の向きに交互に波状に変位する前記ウェブ板要素の前記 u 軸に沿う方向における半波長を a としたときに、

前記第 1 変位推定工程では、前記 H 形鋼の前記第 1 面外変位 w_w が前記基準線に対して前記 v 軸に沿う方向に対称になると推定し、

前記ウェブ板要素における前記 w 軸に沿う方向に向けた第 2 面外変位 W_w を、前記第 1 変位推定工程で推定した前記第 1 面外変位 w_w を用いて (43) 式により推定し、かつ、前記第 1 フランジ板要素、前記第 2 フランジ板要素における前記 v 軸に沿う方向に向けた第 2 面外変位 W_{f1} 、 W_{f2} を、前記第 1 変位推定工程で推定した前記第 1 面外変位 w_w を用いて (44) 式、(45) 式によりそれぞれ推定する第 2 変位推定工程と、

前記 H 形鋼の前記座屈応力度を、前記第 2 面外変位 W_w 、前記第 2 面外変位 W_{f1} 、 W_{f2} 、及び (43) 式から (45) 式を用いてエネルギー法に基づいて求める応力度算出工程と、

を行う、

座屈応力度の推定方法。

ただし、 N は 2 以上の自然数である。

[数15]

$$W_w = \sin \frac{\pi u}{a} \left[a_0 + \sum_{n=1}^N \left(a_n \cos \pi \left(\frac{2v}{b_w} - 1 \right)^n + b_n \cos \frac{\pi}{2} \left(\frac{2v}{b_w} - 1 \right)^n \right) \right] \quad \cdots (43)$$

$$W_{f1} = w \frac{\partial W_w}{\partial v} \bigg|_{v=0} \quad \cdots (44)$$

$$W_{f2} = w \frac{\partial W_w}{\partial v} \bigg|_{v=b_w} \quad \cdots (45)$$

[請求項19] 前記応力度算出工程では、(46)式から(49)式を用いて、(50)式による前記座屈応力度 σ_{cr} に最小の正の値を与える実数である前記 a_n 、 b_n 及び前記半波長 a に基づいて、前記座屈応力度 σ_{cr} を求める、

請求項18に記載の座屈応力度の推定方法。

ただし、 E は前記H形鋼のヤング係数であり、 ν は前記H形鋼のポアソン比であり、 t_w は前記ウェブ板要素の厚さであり、 t_f は前記第1フランジ板要素及び前記第2フランジ板要素それぞれの厚さであり、 b_f は前記第1フランジ板要素及び前記第2フランジ板要素それぞれの幅の半分の値である。

[数16]

$$\begin{aligned}
 A &= \int_0^a \int_0^{b_w} \left(\frac{\partial W_w}{\partial u} \right)^2 dv du \quad \cdot \cdot (46) \\
 B &= \frac{b_w^2}{\pi^2} \int_0^a \int_0^{b_w} \left[\left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial u^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial v^2} \right)^2 + 2\nu \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial u^2} \right) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial v^2} \right) + 2(1-\nu) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial u \partial v} \right)^2 \right] dv du \\
 &\quad \cdot \cdot (47) \\
 C &= \sum_{i=1}^2 \int_0^a \int_{-b_f}^{b_f} \left(\frac{\partial W_{fi}}{\partial u} \right)^2 dw du \quad \cdot \cdot (48) \\
 D &= \frac{b_f^2}{\pi^2} \sum_{i=1}^2 \int_0^a \int_{-b_f}^{b_f} \left[\left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial u^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial w^2} \right)^2 + 2\nu \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial u^2} \right) \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial w^2} \right) + 2(1-\nu) \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial u \partial w} \right)^2 \right] dw du \\
 &\quad \cdot \cdot (49) \\
 \sigma_{cr} &= \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \frac{t_w^2}{b_w^2} \frac{B}{A + \frac{t_f}{t_w} C} + \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \frac{t_f^2}{b_f^2} \frac{D}{A + C} \quad \cdot \cdot (50)
 \end{aligned}$$

[請求項20] 請求項16に記載の変位の推定方法を用いて、前記 x 軸に沿う方向に、前記外力として圧縮力が作用して座屈する板要素の座屈応力度を推定する座屈応力度の推定方法であって、

前記板要素は、前記弾性要素であり、

前記板要素の前記 x 軸に沿う方向の第1端側に向かうに従い、前記 z 軸の正の向き及び前記 z 軸の負の向きに交互に波状に変位する前記板要素の、前記 x 軸に沿う方向における半波長を a としたときに、

前記第1変位推定工程では、前記板要素の前記第1面外変位 w_w が前記基準線に対して前記 y 軸に沿う方向に対称になると推定し、

前記 z 軸に沿う方向に向けた前記板要素の第2面外変位 W_w を(5

1) 式により推定する第2変位推定工程と、

前記板要素の前記座屈応力度を、(51)式を用いてエネルギー法に基づいて求める応力度算出工程と、

を行う、

座屈応力度の推定方法。

ただし、Nは2以上の自然数であり、 b_w は前記y軸に沿う方向における前記板要素の長さである。

[数17]

$$W_w = \sin \frac{\pi x}{a} \left[a_0 + \sum_{n=1}^N \left(a_n \cos \pi \left(\frac{2y}{b_w} - 1 \right)^n + b_n \cos \frac{\pi}{2} \left(\frac{2y}{b_w} - 1 \right)^n \right) \right] \quad \cdot \cdot (51)$$

[請求項21]

前記応力度算出工程では、(52)式及び(53)式を用いて、(54)式による前記座屈応力度 σ_{cr} に最小の正の値を与える実数である前記 a_n 、 b_n 及び前記半波長aに基づいて、前記座屈応力度 σ_{cr} を求める、

請求項20に記載の座屈応力度の推定方法。

ただし、Eは前記板要素のヤング係数であり、 ν は前記板要素のポアソン比であり、 t_w は前記板要素の厚さである。

[数18]

$$\begin{aligned} A &= \int_0^a \int_0^{b_w} \left(\frac{\partial W_w}{\partial x} \right)^2 dy dx \quad \cdot \cdot (52) \\ B &= \frac{b_w^2}{\pi^2} \int_0^a \int_0^{b_w} \left[\left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial x^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial y^2} \right)^2 + 2\nu \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial x^2} \right) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial y^2} \right) + 2(1-\nu) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] dy dx \\ &\quad \cdot \cdot (53) \\ \sigma_{cr} &= \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \frac{t_w^2 B}{b_w^2 A} \quad \cdot \cdot (54) \end{aligned}$$

[請求項22]

請求項16に記載の変位の推定方法を用いて、前記外力として曲げモーメントが作用して座屈するH形鋼の座屈応力度を推定する座屈応力度の推定方法であって、

前記H形鋼は、前記弾性要素である、ウェブ板要素と、第1フランジ板要素と、第2フランジ板要素と、を備え、

前記第1フランジ板要素及び第2フランジ板要素は、前記ウェブ板

要素を、前記ウェブ板要素の前記 y 軸である v 軸に沿う方向に挟むように配置され、

前記曲げモーメントは、前記ウェブ板要素の前記 z 軸である w 軸回りに、前記 H 形鋼の前記端面に作用し、

u 軸を、前記ウェブ板要素の前記 x 軸に沿う方向の軸とし、

前記基準線は、前記ウェブ板要素の前記 y 軸に沿う方向の長さの中心の位置を通り、前記ウェブ板要素の前記 x 軸に沿う線とし、

前記第 1 フランジ板要素は、前記曲げモーメントにより引張力を受けるとし、

前記 v 軸に沿う方向における前記第 1 フランジ板要素の中心の位置を、前記 v 軸の原点とし、

前記第 1 フランジ板要素から前記第 2 フランジ板要素に向かう向きを、前記 v 軸の正の向きとし、

前記 v 軸に沿う方向における前記第 1 フランジ板要素の中心と前記第 2 フランジ板要素の中心との距離を、 b_w とし、

前記ウェブ板要素の前記 u 軸に沿う方向の第 1 端に向かうに従い、前記 w 軸の正の向き及び前記 w 軸の負の向きに交互に波状に変位する前記ウェブ板要素の前記 u 軸に沿う方向における半波長を a としたときに、

前記第 1 変位推定工程では、前記 H 形鋼の前記第 1 面外変位 w_w が前記基準線に対して前記 v 軸に沿う方向に非対称になると推定し、

前記ウェブ板要素における前記 w 軸に沿う方向に向けた第 2 面外変位 W_w を、前記第 1 変位推定工程で推定した前記第 1 面外変位 w_w を用いて (55) 式により推定し、かつ、前記第 1 フランジ板要素、前記第 2 フランジ板要素における前記 v 軸に沿う方向に向けた第 2 面外変位 W_{f1} 、 W_{f2} を、前記第 1 変位推定工程で推定した前記第 1 面外変位 w_w を用いて (56) 式、(57) 式によりそれぞれ推定する第 2 変位推定工程と、

前記H形鋼の前記座屈応力度を、前記第2面外変位 W_w 、前記第2面外変位 W_{f1} 、 W_{f2} 、及び(55)式から(57)式を用いてエネルギー法に基づいて求める応力度算出工程と、

を行う、

座屈応力度の推定方法。

ただし、 N は2以上の自然数である。

[数19]

$$W_w = \sin \frac{\pi u}{a} \left[a_0 + \sum_{n=1}^N \left(a_n \cos \frac{2\pi v^n}{b_w} + b_n \sin \frac{\pi v^n}{b_w} \right) \right] \quad \cdot \cdot (55)$$

$$W_{f1} = w \frac{\partial W_w}{\partial v} \Big|_{v=0} \quad \cdot \cdot (56)$$

$$W_{f2} = w \frac{\partial W_w}{\partial v} \Big|_{v=b_w} \quad \cdot \cdot (57)$$

[請求項23]

前記応力度算出工程では、(58)式から(61)式を用いて、(62)式による前記座屈応力度 σ_{cr} に最小の正の値を与える実数である前記 a_n 、 b_n 及び前記半波長 a に基づいて、前記座屈応力度 σ_{cr} を求める、

請求項22に記載の座屈応力度の推定方法。

ただし、 E は前記H形鋼のヤング係数であり、 ν は前記H形鋼のポアソン比であり、 t_w は前記ウェブ板要素の厚さであり、 t_f は前記第1フランジ板要素及び前記第2フランジ板要素それぞれの厚さであり、 b_f は前記第1フランジ板要素及び前記第2フランジ板要素それぞれの幅の半分の値である。

[数20]

$$A = \int_0^a \int_0^{b_w} \left(\frac{2v}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{\partial W_w}{\partial u} \right)^2 dv du \quad \cdot \cdot (58)$$

$$B = \frac{b_w^2}{\pi^2} \int_0^a \int_0^{b_w} \left[\left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial u^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial v^2} \right)^2 + 2v \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial u^2} \right) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial v^2} \right) + 2(1-v) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial u \partial v} \right)^2 \right] dv du \quad \cdot \cdot (59)$$

$$C = \sum_{i=1}^2 (-1)^{(i+1)} \int_0^a \int_{-b_f}^{b_f} \left(\frac{\partial W_{fi}}{\partial u} \right)^2 dw du \quad \cdot \cdot (60)$$

$$D = \frac{b_f^2}{\pi^2} \sum_{i=1}^2 \int_0^a \int_{-b_f}^{b_f} \left[\left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial u^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial w^2} \right)^2 + 2v \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial u^2} \right) \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial w^2} \right) + 2(1-v) \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial u \partial w} \right)^2 \right] dw du \quad \cdot \cdot (61)$$

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \frac{t_w^2}{b_w^2} \frac{B}{A + \frac{t_f}{t_w} C} + \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \frac{t_f^2}{b_f^2} \frac{D}{\frac{t_w}{t_f} A + C} \quad \cdot \cdot (62)$$

[請求項24] 請求項16に記載の変位の推定方法を用いて、前記z軸回りに、前記外力として曲げモーメントが作用して座屈する板要素の座屈応力度を推定する座屈応力度の推定方法であって、

前記板要素は、前記弾性要素であり、

前記板要素の前記x軸に沿う方向の第1端側に向かうに従い、前記z軸の正の向き及び前記z軸の負の向きに交互に波状に変位する前記板要素の、前記x軸に沿う方向における半波長をaとしたときに、

前記第1変位推定工程では、前記板要素の前記第1面外変位 w_w が前記基準線に対して前記y軸に沿う方向に非対称になると推定し、

前記z軸に沿う方向に向けた前記板要素の第2面外変位 W_w を(63)式により推定する第2変位推定工程と、

前記板要素の前記座屈応力度を、(63)式を用いてエネルギー法に基づいて求める応力度算出工程と、

を行う、

座屈応力度の推定方法。

ただし、Nは2以上の自然数であり、 b_w は前記y軸に沿う方向における前記板要素の長さである。

[数21]

$$W_w = \sin \frac{\pi x}{a} \left[a_0 + \sum_{n=1}^N \left(a_n \cos \frac{2\pi y^n}{b_w} + b_n \sin \frac{\pi y^n}{b_w} \right) \right] \quad \cdot \cdot (63)$$

[請求項25] 前記応力度算出工程では、(64)式及び(65)式を用いて、(66)式による前記座屈応力度 σ_{cr} に最小の正の値を与える実数である前記 a_n 、 b_n 及び前記半波長aに基づいて、前記座屈応力度 σ_{cr} を求める、

請求項24に記載の座屈応力度の推定方法。

ただし、Eは前記板要素のヤング係数であり、 ν は前記板要素のポアソン比であり、 t_w は前記板要素の厚さである。

[数22]

$$\begin{aligned}
 A &= \int_0^a \int_0^{b_w} \left(\frac{2y}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{\partial W_w}{\partial x} \right)^2 dy dx \quad \cdot \cdot (6.4) \\
 B &= \frac{b_w^2}{\pi^2} \int_0^a \int_0^{b_w} \left[\left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial x^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial y^2} \right)^2 + 2v \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial x^2} \right) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial y^2} \right) + 2(1-v) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] dy dx \\
 &\quad \cdot \cdot (6.5) \\
 \sigma_{cr} &= \frac{\pi^2 E}{12(1-v^2)} \frac{t_w^2 B}{b_w^2 A} \quad \cdot \cdot (6.6)
 \end{aligned}$$

[請求項26]

請求項16に記載の変位の推定方法を用いて、前記外力としてせん断力が作用して座屈するH形鋼の座屈応力度を推定する座屈応力度の推定方法であって、

前記H形鋼は、前記弾性要素である、ウェブ板要素と、第1フランジ板要素と、第2フランジ板要素と、を備え、

前記第1フランジ板要素及び第2フランジ板要素は、前記ウェブ板要素を、前記ウェブ板要素の前記y軸であるv軸に沿う方向に挟むように配置され、

前記せん断力は、前記v軸に沿う方向に、前記H形鋼の前記端面に作用し、

u軸を、前記ウェブ板要素の前記x軸に沿う方向の軸とし、

w軸を、前記ウェブ板要素の前記z軸に沿う方向の軸とし、

前記基準線は、前記ウェブ板要素の前記y軸に沿う方向の長さの中心の位置を通り、前記ウェブ板要素の前記x軸に沿う線とし、

前記v軸に沿う方向における前記ウェブ板要素の中心の位置を、前記v軸の原点とし、

前記第1フランジ板要素から前記第2フランジ板要素に向かう向きを、前記v軸の正の向きとし、

前記v軸に沿う方向における前記第1フランジ板要素の中心と前記第2フランジ板要素の中心との距離を、 b_w とし、

前記ウェブ板要素の前記u軸に沿う方向の第1端に向かうに従い、前記w軸の正の向き及び前記w軸の負の向きに交互に波状に変位する前記ウェブ板要素の前記u軸に沿う方向における半波長をaとしたと

きに、

前記第 1 変位推定工程では、前記 H 形鋼の前記第 1 面外変位 w_w が前記基準線に対して前記 v 軸に沿う方向に対称になると推定し、

前記ウェブ板要素における前記 w 軸に沿う方向に向けた第 2 面外変位 W_w を、前記第 1 変位推定工程で推定した前記第 1 面外変位 w_w を用いて (67) 式により推定し、かつ、前記第 1 フランジ板要素、前記第 2 フランジ板要素における前記 v 軸に沿う方向に向けた第 2 面外変位 W_{f1} , W_{f2} を、前記第 1 変位推定工程で推定した前記第 1 面外変位 w_w を用いて (68) 式、(69) 式によりそれぞれ推定する第 2 変位推定工程と、

前記 H 形鋼の前記座屈応力度を、前記第 2 面外変位 W_w 、前記第 2 面外変位 W_{f1} , W_{f2} 、及び (67) 式から (69) 式を用いてエネルギー法に基づいて求める応力度算出工程と、

を行う、

座屈応力度の推定方法。

ただし、 N は 2 以上の自然数であり、 λ は未定係数である。

[数23]

$$W_w = \sin \frac{\pi}{a} \left(u + \lambda \sin \frac{\pi v}{b_w} \right) \left[a_0 + \sum_{n=1}^N \left(a_n \cos \pi \left(\frac{2v}{b_w} \right)^n + b_n \cos \frac{\pi}{2} \left(\frac{2v}{b_w} \right)^n \right) \right] \quad \cdot \cdot (67)$$

$$W_{f1} = w \frac{\partial W_w}{\partial v} \Big|_{v=-\frac{b_w}{2}} \quad \cdot \cdot (68)$$

$$W_{f2} = w \frac{\partial W_w}{\partial v} \Big|_{v=\frac{b_w}{2}} \quad \cdot \cdot (69)$$

[請求項27] 前記応力度算出工程では、(70) 式から (72) 式を用いて、(73) 式による前記座屈応力度 τ_{cr} に最小の正の値を与える実数である前記 a_n , b_n , λ 及び前記半波長 a に基づいて、前記座屈応力度 τ_{cr} を求める、

請求項 26 に記載の座屈応力度の推定方法。

ただし、 E は前記 H 形鋼のヤング係数であり、 ν は前記 H 形鋼のポアソン比であり、 t_w は前記ウェブ板要素の厚さであり、 t_f は前記

第 1 フランジ板要素及び前記第 2 フランジ板要素それぞれの厚さであり、 b_f は前記第 1 フランジ板要素及び前記第 2 フランジ板要素それぞれの幅の半分の値である。

[数24]

$$\begin{aligned}
 A &= \int_0^a \int_{-\frac{b_w}{2}}^{\frac{b_w}{2}} \left(\frac{\partial W_w}{\partial u} \right) \left(\frac{\partial W_w}{\partial v} \right) dv du \quad \cdot \cdot (70) \\
 B &= \frac{b_w^2}{2\pi^2} \int_0^a \int_{-\frac{b_w}{2}}^{\frac{b_w}{2}} \left[\left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial u^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial v^2} \right)^2 + 2\nu \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial u^2} \right) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial v^2} \right) + 2(1-\nu) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial u \partial v} \right)^2 \right] dv du \\
 &\quad \cdot \cdot (71) \\
 C_i &= \frac{b_f^2}{2\pi^2} \int_0^a \int_{-b_f}^{b_f} \left[\left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial u^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial v^2} \right)^2 + 2\nu \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial u^2} \right) \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial v^2} \right) + 2(1-\nu) \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial u \partial v} \right)^2 \right] dv du \\
 &\quad \cdot \cdot (72) \\
 \tau_{cr} &= \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \frac{t_w^2 B}{b_w^2 A} + \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \frac{t_f^2}{b_f^2} \frac{\sum_{i=1}^N C_i}{t_w A} \quad \cdot \cdot (73)
 \end{aligned}$$

[請求項28]

請求項 16 に記載の変位の推定方法を用いて、前記 x 軸に沿う方向又は前記 y 軸に沿う方向に、前記外力としてせん断力が作用して座屈する板要素の座屈応力度を推定する座屈応力度の推定方法であって、

前記板要素は、前記弾性要素であり、

前記板要素の板厚方向に延びる軸を z 軸とし、

前記板要素の前記 x 軸に沿う方向の第 1 端側に向かうに従い、前記 z 軸の正の向き及び前記 z 軸の負の向きに交互に波状に変位する前記板要素の、前記 x 軸に沿う方向における半波長を a としたときに、

前記第 1 変位推定工程では、前記板要素の前記第 1 面外変位 w_w が前記基準線に対して前記 y 軸に沿う方向に対称になると推定し、

前記 z 軸に沿う方向に向けた前記板要素の第 2 面外変位 W_w を (74) 式により推定する第 2 変位推定工程と、

前記板要素の前記座屈応力度を、(74) 式を用いてエネルギー法に基づいて求める応力度算出工程と、

を行う、

座屈応力度の推定方法。

ただし、N は 2 以上の自然数であり、 λ は未定係数であり、 b_w は前記 y 軸に沿う方向における前記板要素の長さである。

[数25]

$$W_w = \sin \frac{\pi}{a} \left(x + \lambda \sin \frac{\pi y}{b_w} \right) \left[a_0 + \sum_{n=1}^N \left(a_n \cos \pi \left(\frac{2y}{b_w} \right)^n + b_n \cos \frac{\pi}{2} \left(\frac{2y}{b_w} \right)^n \right) \right] \quad \cdot \cdot (74)$$

[請求項29] 前記応力度算出工程では、(75)式及び(76)式を用いて、(77)式による前記座屈応力度 τ_{cr} に最小の正の値を与える実数である前記未定係数 a_n 、 b_n 、 λ 及び前記半波長 a に基づいて、前記座屈応力度 τ_{cr} を求める、

請求項28に記載の座屈応力度の推定方法。

ただし、 E は前記板要素のヤング係数であり、 ν は前記板要素のポアソン比であり、 t_w は前記板要素の厚さである。

[数26]

$$A = \int_0^a \int_{-\frac{b_w}{2}}^{\frac{b_w}{2}} \left(\frac{\partial W_w}{\partial x} \right) \left(\frac{\partial W_w}{\partial y} \right) dy dx \quad \cdot \cdot (75)$$

$$B = \frac{b_w^2}{2\pi^2} \int_0^a \int_{-\frac{b_w}{2}}^{\frac{b_w}{2}} \left[\left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial x^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial y^2} \right)^2 + 2\nu \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial x^2} \right) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial y^2} \right) + 2(1-\nu) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] dy dx$$

$$\quad \cdot \cdot (76)$$

$$\tau_{cr} = \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \frac{t_w^2 B}{b_w^2 A} \quad \cdot \cdot (77)$$

[請求項30] 前記 N は2である請求項18から29のいずれか一項に記載の座屈応力度の推定方法。

[請求項31] 請求項16又は17に記載の変位の推定方法を用いてH形鋼及び板要素の少なくとも一方である板状体を設計する板状体の設計方法。

[請求項32] 互いに直交する x 軸及び y 軸に沿って広がる平板状に形成された弾性要素の端面に外力が作用し、前記弾性要素がその板厚方向である z 軸に沿う方向に座屈するときに、前記 z 軸に沿う方向に向けた前記弾性要素の第1面外変位 w_w を推定する推定装置用の変位の推定プログラムであって、

前記弾性要素は、前記 z 軸に沿って見たときに、前記 y 軸に沿う方向の長さよりも前記 x 軸に沿う方向の長さが長い矩形状を呈し、

前記弾性要素の前記 y 軸に沿う方向の長さの中心の位置を通り、前記 x 軸に沿う線を基準線としたときに、

前記推定装置を、

前記第 1 面外変位 w_w が前記基準線に対して前記 y 軸に沿う方向に
対称になると推定される場合に、前記第 1 面外変位 w_w を (8 1) 式
により推定し、前記第 1 面外変位 w_w が前記基準線に対して前記 y 軸
に沿う方向に非対称になると推定される場合に、前記第 1 面外変位 w_w
を (8 2) 式により推定する第 1 変位推定部として機能させ、

前記 (8 1) 式及び前記 (8 2) 式では、係数 b_n を含む項は前記
第 1 面外変位 w_w の成分のうち、前記 y 軸に沿う方向の両端の境界条
件が単純支持となる面外変位を表し、係数 a_n を含む項は前記第 1 面
外変位 w_w の成分のうち、前記 y 軸に沿う方向の両端の境界条件が固
定支持となる面外変位を表す、

変位の推定プログラム。

ただし、(8 1) 式及び (8 2) 式中の Y の値は、前記 y 軸の座標
を前記弾性要素の前記 y 軸に沿う方向の長さをを用いて無次元化した値
であり、 N は 2 以上の自然数であり、 a_0 、 a_n 、 b_n は未定係数であ
る。

[数27]

$$w_w = a_0 + \sum_{n=1}^N \left(a_n \cos \pi Y^n + b_n \cos \frac{\pi}{2} Y^n \right) \quad \cdot \cdot (8 1)$$

$$w_w = a_0 + \sum_{n=1}^N \left(a_n \cos 2\pi Y^n + b_n \sin \pi Y^n \right) \quad \cdot \cdot (8 2)$$

[請求項33]

前記 N は 2 である請求項 3 2 に記載の変位の推定プログラム。

[請求項34]

請求項 3 2 に記載の変位の推定プログラムを用いて、前記外力とし
て圧縮力が作用して座屈する H 形鋼の座屈応力度を推定する座屈応力
度の推定プログラムであって、

前記 H 形鋼は、前記弾性要素である、ウェブ板要素と、第 1 フラン
ジ板要素と、第 2 フランジ板要素と、を備え、

前記第 1 フランジ板要素及び第 2 フランジ板要素は、前記ウェブ板
要素を、前記ウェブ板要素の前記 y 軸である v 軸に沿う方向に挟むよ

うに配置され、

前記圧縮力は、前記ウェブ板要素の前記 x 軸である u 軸に沿う方向に、前記H形鋼の前記端面に作用し、

w 軸を、前記ウェブ板要素の前記 z 軸に沿う方向の軸とし、

前記基準線は、前記ウェブ板要素の前記 y 軸に沿う方向の長さの中心の位置を通り、前記ウェブ板要素の前記 x 軸に沿う線とし、

前記 v 軸に沿う方向における前記第1フランジ板要素の中心の位置を、前記 v 軸の原点とし、

前記第1フランジ板要素から前記第2フランジ板要素に向かう向きを、前記 v 軸の正の向きとし、

前記 v 軸に沿う方向における前記第1フランジ板要素の中心と前記第2フランジ板要素の中心との距離を、 b_w とし、

前記ウェブ板要素の前記 u 軸に沿う方向の第1端に向かうに従い、前記 w 軸の正の向き及び前記 w 軸の負の向きに交互に波状に変位する前記ウェブ板要素の前記 u 軸に沿う方向における半波長を a としたときに、

前記変位の推定プログラムにより、前記第1変位推定部を、前記H形鋼の前記第1面外変位 w_w が前記基準線に対して前記 v 軸に沿う方向に対称になると推定させ、

前記推定装置を、

前記ウェブ板要素における前記 w 軸に沿う方向に向けた第2面外変位 W_w を、前記第1変位推定部が推定した前記第1面外変位 w_w を用いて(83)式により推定し、かつ、前記第1フランジ板要素、前記第2フランジ板要素における前記 v 軸に沿う方向に向けた第2面外変位 W_{f1} 、 W_{f2} を、前記第1変位推定部が推定した前記第1面外変位 w_w を用いて(84)式、(85)式によりそれぞれ推定する第2変位推定部と、

前記H形鋼の前記座屈応力度を、前記第2面外変位 W_w 、前記第2

面外変位 W_{f1} , W_{f2} 、及び (83) 式から (85) 式を用いてエネルギー法に基づいて求める応力度算出部と、

して機能させる、

座屈応力度の推定プログラム。

ただし、 N は 2 以上の自然数である。

[数28]

$$W_w = \sin \frac{\pi u}{a} \left[a_0 + \sum_{n=1}^N \left(a_n \cos \pi \left(\frac{2v}{b_w} - 1 \right)^n + b_n \cos \frac{\pi}{2} \left(\frac{2v}{b_w} - 1 \right)^n \right) \right] \quad \cdot \cdot (83)$$

$$W_{f1} = w \frac{\partial W_w}{\partial v} \Big|_{v=0} \quad \cdot \cdot (84)$$

$$W_{f2} = w \frac{\partial W_w}{\partial v} \Big|_{v=b_w} \quad \cdot \cdot (85)$$

[請求項35]

前記応力度算出部は、(86) 式から (89) 式を用いて、(90) 式による前記座屈応力度 σ_{cr} に最小の正の値を与える実数である前記 a_n , b_n 及び前記半波長 a に基づいて、前記座屈応力度 σ_{cr} を求める、

請求項34に記載の座屈応力度の推定プログラム。

ただし、 E は前記 H 形鋼のヤング係数であり、 ν は前記 H 形鋼のポアソン比であり、 t_w は前記ウェブ板要素の厚さであり、 t_f は前記第 1 フランジ板要素及び前記第 2 フランジ板要素それぞれの厚さであり、 b_f は前記第 1 フランジ板要素及び前記第 2 フランジ板要素それぞれの幅の半分の値である。

[数29]

$$A = \int_0^a \int_0^{b_w} \left(\frac{\partial W_w}{\partial u} \right)^2 dv du \quad \cdot \cdot (86)$$

$$B = \frac{b_w^2}{\pi^2} \int_0^a \int_0^{b_w} \left[\left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial u^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial v^2} \right)^2 + 2\nu \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial u^2} \right) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial v^2} \right) + 2(1-\nu) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial u \partial v} \right)^2 \right] dv du \quad \cdot \cdot (87)$$

$$C = \sum_{i=1}^2 \int_0^a \int_{-b_f}^{b_f} \left(\frac{\partial W_{fi}}{\partial u} \right)^2 dw du \quad \cdot \cdot (88)$$

$$D = \frac{b_f^2}{\pi^2} \sum_{i=1}^2 \int_0^a \int_{-b_f}^{b_f} \left[\left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial u^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial w^2} \right)^2 + 2\nu \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial u^2} \right) \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial w^2} \right) + 2(1-\nu) \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial u \partial w} \right)^2 \right] dw du \quad \cdot \cdot (89)$$

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \frac{t_w^2}{b_w^2} \frac{B}{A + \frac{t_f}{t_w} C} + \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \frac{t_f^2}{b_f^2} \frac{D}{t_f A + C} \quad \cdot \cdot (90)$$

[請求項36]

請求項32に記載の変位の推定プログラムを用いて、前記x軸に沿う方向に、前記外力として圧縮力が作用して座屈する板要素の座屈応力度を推定する座屈応力度の推定プログラムであって、

前記板要素は、前記弾性要素であり、

前記板要素の前記x軸に沿う方向の第1端に向かうに従い、前記z軸の正の向き及び前記z軸の負の向きに交互に波状に変位する前記板要素の、前記x軸に沿う方向における半波長をaとしたときに、

前記変位の推定プログラムにより、前記第1変位推定部を、前記板要素の前記第1面外変位 w_w が前記基準線に対して前記y軸に沿う方向に対称になると推定させ、

前記推定装置を、

前記z軸に沿う方向に向けた前記板要素の第2面外変位 W_w を、前記第1変位推定部が推定した前記第1面外変位 w_w を用いて(91)式により推定する第2変位推定部と、

前記板要素の前記座屈応力度を、(91)式を用いてエネルギー法に基づいて求める応力度算出部と、

して機能させる、

座屈応力度の推定プログラム。

ただし、Nは2以上の自然数であり、 b_w は前記y軸に沿う方向における前記板要素の長さである。

[数30]

$$W_w = \sin \frac{\pi x}{a} \left[a_0 + \sum_{n=1}^N \left(a_n \cos \pi \left(\frac{2y}{b_w} - 1 \right)^n + b_n \cos \frac{\pi}{2} \left(\frac{2y}{b_w} - 1 \right)^n \right) \right] \quad \cdots (91)$$

[請求項37]

前記応力度算出部は、(92)式及び(93)式を用いて、(94)式による前記座屈応力度 σ_{cr} に最小の正の値を与える実数である前記 a_n 、 b_n 及び前記半波長aに基づいて、前記座屈応力度 σ_{cr} を求める、

請求項36に記載の座屈応力度の推定プログラム。

ただし、 E は前記板要素のヤング係数であり、 ν は前記板要素のポアソン比であり、 t_w は前記板要素の厚さである。

[数31]

$$\begin{aligned}
 A &= \int_0^a \int_0^{b_w} \left(\frac{\partial W_w}{\partial x} \right)^2 dy dx \quad \cdot \cdot (92) \\
 B &= \frac{b_w^2}{\pi^2} \int_0^a \int_0^{b_w} \left[\left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial x^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial y^2} \right)^2 + 2\nu \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial x^2} \right) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial y^2} \right) + 2(1-\nu) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] dy dx \\
 &\quad \cdot \cdot (93) \\
 \sigma_{cr} &= \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \frac{t_w^2 B}{b_w^2 A} \quad \cdot \cdot (94)
 \end{aligned}$$

[請求項38]

請求項32に記載の変位の推定プログラムを用いて、前記外力として曲げモーメントが作用して座屈するH形鋼の座屈応力度を推定する座屈応力度の推定プログラムであって、

前記H形鋼は、前記弾性要素である、ウェブ板要素と、第1フランジ板要素と、第2フランジ板要素と、を備え、

前記第1フランジ板要素及び第2フランジ板要素は、前記ウェブ板要素を、前記ウェブ板要素の前記y軸であるv軸に沿う方向に挟むように配置され、

前記曲げモーメントは、前記ウェブ板要素の前記z軸であるw軸回りに、前記H形鋼の前記端面に作用し、

u軸を、前記ウェブ板要素の前記x軸に沿う方向とし、

前記基準線は、前記ウェブ板要素の前記y軸に沿う方向の長さの中心の位置を通り、前記ウェブ板要素の前記x軸に沿う線とし、

前記第1フランジ板要素は、前記曲げモーメントにより引張力を受けるとし、

前記v軸に沿う方向における前記第1フランジ板要素の中心の位置を、前記v軸の原点とし、

前記第1フランジ板要素から前記第2フランジ板要素に向かう向きを、前記v軸の正の向きとし、

前記v軸に沿う方向における前記第1フランジ板要素の中心と前記第2フランジ板要素の中心との距離を、 b_w とし、

前記ウェブ板要素の前記u軸に沿う方向の第1端に向かうに従い、
前記w軸の正の向き及び前記w軸の負の向きに交互に波状に変位する
前記ウェブ板要素の前記u軸に沿う方向における半波長をaとしたと
きに、

前記変位の推定プログラムにより、前記第1変位推定部を、前記H
形鋼の前記第1面外変位 w_w が前記基準線に対して前記v軸に沿う方
向に非対称になると推定させ、

前記推定装置を、

前記ウェブ板要素における前記w軸に沿う方向に向けた第2面外変
位 W_w を、前記第1変位推定部が推定した前記第1面外変位 w_w を用
いて(95)式により推定し、かつ、前記第1フランジ板要素、前記
第2フランジ板要素における前記v軸に沿う方向に向けた第2面外変
位 W_{f1} 、 W_{f2} を、前記第1変位推定部が推定した前記第1面外変位
 w_w を用いて(96)式、(97)式によりそれぞれ推定する第2変
位推定部と、

前記H形鋼の前記座屈応力度を、前記第2面外変位 W_w 、前記第2
面外変位 W_{f1} 、 W_{f2} 、及び(95)式から(97)式を用いてエネ
ルギー法に基づいて求める応力度算出部と、

して機能させる、

座屈応力度の推定プログラム。

ただし、Nは2以上の自然数である。

[数32]

$$W_w = \sin \frac{\pi u}{a} \left[a_0 + \sum_{n=1}^N \left(a_n \cos \frac{2\pi v^n}{b_w} + b_n \sin \frac{\pi v^n}{b_w} \right) \right] \quad \cdot \cdot (95)$$

$$W_{f1} = w \frac{\partial W_w}{\partial v} \Big|_{v=0} \quad \cdot \cdot (96)$$

$$W_{f2} = w \frac{\partial W_w}{\partial v} \Big|_{v=b_w} \quad \cdot \cdot (97)$$

[請求項39]

前記応力度算出部は、(98)式から(101)式を用いて、(1
02)式による前記座屈応力度 σ_c に最小の正の値を与える実数で

ある前記 a_n , b_n 及び前記半波長 a に基づいて、前記座屈応力度 σ_r を求める、

請求項 38 に記載の座屈応力度の推定プログラム。

ただし、 E は前記 H 形鋼のヤング係数であり、 ν は前記 H 形鋼のポアソン比であり、 t_w は前記ウェブ板要素の厚さであり、 t_f は前記第 1 フランジ板要素及び前記第 2 フランジ板要素それぞれの厚さであり、 b_f は前記第 1 フランジ板要素及び前記第 2 フランジ板要素それぞれの幅の半分の値である。

[数33]

$$\begin{aligned}
 A &= \int_0^a \int_0^{b_w} \left(\frac{2v}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{\partial W_w}{\partial u} \right)^2 dv du \quad \cdot \cdot (98) \\
 B &= \frac{b_w^2}{\pi^2} \int_0^a \int_0^{b_w} \left[\left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial u^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial v^2} \right)^2 + 2v \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial u^2} \right) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial v^2} \right) + 2(1-\nu) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial u \partial v} \right)^2 \right] dv du \\
 &\quad \cdot \cdot (99) \\
 C &= \sum_{i=1}^2 (-1)^{(i+1)} \int_0^a \int_{-b_f}^{b_f} \left(\frac{\partial W_{fi}}{\partial u} \right)^2 dw du \quad \cdot \cdot (100) \\
 D &= \frac{b_f^2}{\pi^2} \sum_{i=1}^2 \int_0^a \int_{-b_f}^{b_f} \left[\left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial u^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial w^2} \right)^2 + 2v \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial u^2} \right) \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial w^2} \right) + 2(1-\nu) \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial u \partial w} \right)^2 \right] dw du \\
 &\quad \cdot \cdot (101) \\
 \sigma_{cr} &= \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \frac{t_w^2}{b_w^2} \frac{B}{A + \frac{t_f}{t_w} C} + \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \frac{t_f^2}{b_f^2} \frac{D}{t_w A + C} \quad \cdot \cdot (102)
 \end{aligned}$$

[請求項40]

請求項 32 に記載の変位の推定プログラムを用いて、前記 z 軸回り、前記外力として曲げモーメントが作用して座屈する板要素の座屈応力度を推定する座屈応力度の推定プログラムであって、

前記板要素は、前記弾性要素であり、

前記板要素の前記 x 軸に沿う方向の第 1 端に向かうに従い、前記 z 軸の正の向き及び前記 z 軸の負の向きに交互に波状に変位する前記板要素の、前記 x 軸に沿う方向における半波長を a としたときに、

前記変位の推定プログラムにより、前記第 1 変位推定部を、前記板要素の前記第 1 面外変位 w_w が前記基準線に対して前記 y 軸に沿う方向に非対称になると推定させ、

前記推定装置を、

前記 z 軸に沿う方向に向けた前記板要素の第 2 面外変位 W_w を、前

記第1変位推定部が推定した前記第1面外変位 w_w を用いて(103)式により推定する第2変位推定部と、

前記板要素の前記座屈応力度を、(103)式を用いてエネルギー法に基づいて求める応力度算出部と、

して機能させる、

座屈応力度の推定プログラム。

ただし、 N は2以上の自然数であり、 b_w は前記 y 軸に沿う方向における前記板要素の長さである。

[数34]

$$W_w = \sin \frac{\pi x}{a} \left[a_0 + \sum_{n=1}^N \left(a_n \cos \frac{2\pi y^n}{b_w} + b_n \sin \frac{\pi y^n}{b_w} \right) \right] \quad \cdot \cdot (103)$$

[請求項41]

前記応力度算出部は、(104)式及び(105)式を用いて、(106)式による前記座屈応力度 σ_{cr} に最小の正の値を与える実数である前記 a_n 、 b_n 及び前記半波長 a に基づいて、前記座屈応力度 σ_{cr} を求める、

請求項40に記載の座屈応力度の推定プログラム。

ただし、 E は前記板要素のヤング係数であり、 ν は前記板要素のポアソン比であり、 t_w は前記板要素の厚さである。

[数35]

$$\begin{aligned} A &= \int_0^a \int_0^{b_w} \left(\frac{2y}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{\partial W_w}{\partial x} \right)^2 dy dx \quad \cdot \cdot (104) \\ B &= \frac{b_w^2}{\pi^2} \int_0^a \int_0^{b_w} \left[\left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial x^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial y^2} \right)^2 + 2\nu \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial x^2} \right) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial y^2} \right) + 2(1-\nu) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] dy dx \\ &\quad \cdot \cdot (105) \\ \sigma_{cr} &= \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \frac{t_w^2 B}{b_w^2 A} \quad \cdot \cdot (106) \end{aligned}$$

[請求項42]

請求項32に記載の変位の推定プログラムを用いて、前記外力としてせん断力が作用して座屈するH形鋼の座屈応力度を推定する座屈応力度の推定プログラムであって、

前記H形鋼は、前記弾性要素である、ウェブ板要素と、第1フランジ板要素と、第2フランジ板要素と、を備え、

前記第1フランジ板要素及び第2フランジ板要素は、前記ウェブ板要素を、前記ウェブ板要素の前記 y 軸である v 軸に沿う方向に挟むように配置され、

前記せん断力は、前記 v 軸に沿う方向に、前記H形鋼の前記端面に作用し、

u 軸を、前記ウェブ板要素の前記 x 軸に沿う方向の軸とし、

w 軸を、前記ウェブ板要素の前記 z 軸に沿う方向の軸とし、

前記基準線は、前記ウェブ板要素の前記 y 軸に沿う方向の長さの中心の位置を通り、前記ウェブ板要素の前記 x 軸に沿う線とし、

前記ウェブ板要素における前記 v 軸に沿う方向の中心の位置を、前記 v 軸の原点とし、

前記第1フランジ板要素から前記第2フランジ板要素に向かう向きを、前記 v 軸の正の向きとし、

前記 v 軸に沿う方向における前記第1フランジ板要素の中心と前記第2フランジ板要素の中心との距離を b_w とし、

前記ウェブ板要素の前記 u 軸に沿う方向の第1端に向かうに従い、前記 w 軸の正の向き及び前記 w 軸の負の向きに交互に波状に変位する前記ウェブ板要素の前記 u 軸に沿う方向における半波長を a としたときに、

前記変位の推定プログラムにより、前記第1変位推定部を、前記H形鋼の前記第1面外変位 w_w が前記基準線に対して前記 v 軸に沿う方向に対称になると推定させ、

前記推定装置を、

前記ウェブ板要素における前記 w 軸に沿う方向に向けた第2面外変位 W_w を、前記第1変位推定部が推定した前記第1面外変位 w_w を用いて(107)式により推定し、かつ、前記第1フランジ板要素、前記第2フランジ板要素における前記 v 軸に沿う方向に向けた第2面外変位 W_{f1} 、 W_{f2} を、前記第1変位推定部が推定した前記第1面外変

位 w_w を用いて (108) 式、(109) 式によりそれぞれ推定する
第2変位推定部と、

前記H形鋼の前記座屈応力度を、前記第2面外変位 W_w 、前記第2
面外変位 W_{f1} 、 W_{f2} 、及び(107)式から(109)式を用いて
エネルギー法に基づいて求める応力度算出部と、

して機能させる、

座屈応力度の推定プログラム。

ただし、 N は2以上の自然数である。

[数36]

$$W_w = \sin \frac{\pi}{a} \left(u + \lambda \sin \frac{\pi v}{b_w} \right) \left[a_0 + \sum_{n=1}^N \left(a_n \cos \pi \left(\frac{2v}{b_w} \right)^n + b_n \cos \frac{\pi}{2} \left(\frac{2v}{b_w} \right)^n \right) \right] \quad \cdots (107)$$

$$W_{f1} = w \frac{\partial W_w}{\partial v} \Big|_{v=-\frac{b_w}{2}} \quad \cdots (108)$$

$$W_{f2} = w \frac{\partial W_w}{\partial v} \Big|_{v=\frac{b_w}{2}} \quad \cdots (109)$$

[請求項43] 前記応力度算出部は、(110)式から(112)式を用いて、(113)式による前記座屈応力度 τ_{cr} に最小の正の値を与える実数である前記 a_n 、 b_n 、 λ 及び前記半波長 a に基づいて、前記座屈応力度 τ_{cr} を求める、

請求項42に記載の座屈応力度の推定プログラム。

ただし、 E は前記H形鋼のヤング係数であり、 ν は前記H形鋼のポアソン比であり、 t_w は前記ウェブ板要素の厚さであり、 t_f は前記第1フランジ板要素及び前記第2フランジ板要素それぞれの厚さであり、 b_f は前記第1フランジ板要素及び前記第2フランジ板要素それぞれの幅の半分の値である。

[数37]

$$\begin{aligned}
A &= \int_0^a \int_{-\frac{b_w}{2}}^{\frac{b_w}{2}} \left(\frac{\partial W_w}{\partial u} \right) \left(\frac{\partial W_w}{\partial v} \right) dv du \quad \cdots (110) \\
B &= \frac{b_w^2}{2\pi^2} \int_0^a \int_{-\frac{b_w}{2}}^{\frac{b_w}{2}} \left[\left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial u^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial v^2} \right)^2 + 2v \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial u^2} \right) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial v^2} \right) + 2(1-v) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial u \partial v} \right)^2 \right] dv du \\
&\quad \cdots (111) \\
C_i &= \frac{b_f^2}{2\pi^2} \int_0^a \int_{-b_f}^{b_f} \left[\left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial u^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial v^2} \right)^2 + 2v \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial u^2} \right) \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial v^2} \right) + 2(1-v) \left(\frac{\partial^2 W_{fi}}{\partial u \partial v} \right)^2 \right] dv du \\
&\quad \cdots (112) \\
\tau_{cr} &= \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \frac{t_w^2 B}{b_w^2 A} + \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \frac{t_f^2 t_f \sum_{i=1}^2 C_i}{b_f^2 t_w A} \quad \cdots (113)
\end{aligned}$$

[請求項44]

請求項32に記載の変位の推定プログラムを用いて、前記x軸に沿う方向又は前記y軸に沿う方向に、前記外力としてせん断力が作用して座屈する板要素の座屈応力度を推定する座屈応力度の推定プログラムであって、

前記板要素は、前記弾性要素であり、

前記板要素の板厚方向に延びる軸をz軸とし、

前記板要素の前記x軸に沿う方向の第1端に向かうに従い、前記z軸の正の向き及び前記z軸の負の向きに交互に波状に変位する前記板要素の、前記x軸に沿う方向における半波長をaとしたときに、

前記変位の推定プログラムにより、前記第1変位推定部を、前記板要素の前記第1面外変位 w_w が前記基準線に対して前記y軸に沿う方向に対称になると推定させ、

前記推定装置を、

前記z軸に沿う方向に向けた前記板要素の第2面外変位 W_w を、前記第1変位推定部が推定した前記第1面外変位 w_w を用いて(114)式により推定する第2変位推定部と、

前記板要素の前記座屈応力度を、(114)式を用いてエネルギー法に基づいて求める応力度算出部と、

して機能させる、

座屈応力度の推定プログラム。

ただし、Nは2以上の自然数であり、 λ は未定係数であり、 b_w は

前記 y 軸に沿う方向における前記板要素の長さである。

[数38]

$$W_w = \sin \frac{\pi}{a} \left(x + \lambda \sin \frac{\pi y}{b_w} \right) \left[a_0 + \sum_{n=1}^N \left(a_n \cos \pi \left(\frac{2y}{b_w} \right)^n + b_n \cos \frac{\pi}{2} \left(\frac{2y}{b_w} \right)^n \right) \right] \quad \cdot \cdot (114)$$

[請求項45] 前記応力度算出部は、(115)式及び(116)式を用いて、(117)式による前記座屈応力度 τ_{cr} に最小の正の値を与える実数である前記未定係数 a_n 、 b_n 、 λ 及び前記半波長 a に基づいて、前記座屈応力度 τ_{cr} を求める、

請求項44に記載の座屈応力度の推定プログラム。

ただし、 E は前記板要素のヤング係数であり、 ν は前記板要素のポアソン比であり、 t_w は前記板要素の厚さである。

[数39]

$$\begin{aligned} A &= \int_0^a \int_{-\frac{b_w}{2}}^{\frac{b_w}{2}} \left(\frac{\partial W_w}{\partial x} \right) \left(\frac{\partial W_w}{\partial y} \right) dy dx \quad \cdot \cdot (115) \\ B &= \frac{b_w^2}{2\pi^2} \int_0^a \int_{-\frac{b_w}{2}}^{\frac{b_w}{2}} \left[\left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial x^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial y^2} \right)^2 + 2\nu \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial x^2} \right) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial y^2} \right) + 2(1-\nu) \left(\frac{\partial^2 W_w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] dy dx \\ &\quad \cdot \cdot (116) \\ \tau_{cr} &= \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \frac{t_w^2 B}{b_w^2 A} \quad \cdot \cdot (117) \end{aligned}$$

[請求項46] 前記 N は 2 である請求項34から45のいずれか一項に記載の座屈応力度の推定プログラム。