

I-8

周期的な圧縮荷重を受ける鋼薄肉断面材の動的不安定解析

山梨大学工学部 正会員 岡村 美好
 山梨大学工学部 正会員 深沢 泰晴
 日本道路公団 河浦 康雄

1. はじめに

周期的な圧縮荷重あるいは曲げ荷重が作用するプレートガーダーの動的不安定問題に関する研究の多くは、腹板を一枚の長方形板とした解析が行われている^{1), 2)}。これらの解析では腹板とフランジの接合辺を単純支持あるいは固定として解析しているためフランジの影響が考慮されておらず、プレートガーダーの動的不安定問題は十分に明らかにされていない。

そこで、本研究では、有限帯板法³⁾を用いることにより、周期的な圧縮荷重が作用する単純支持薄肉 I 形断面材についてフランジの影響も考慮した動的不安定解析を試みる。

2. 解析方法

図-1に示す帯板要素について、両端単純支持を仮定し、 x, y, z 軸方向の変位成分 u, v, w として次式を用いる。

$$u = \sum_{m=1}^{\infty} (1 - \eta) \eta \begin{Bmatrix} u_{1, m}(t) \\ u_{2, m}(t) \end{Bmatrix} \cos k_m x, \quad v = \sum_{m=1}^{\infty} (1 - \eta) \eta \begin{Bmatrix} v_{1, m}(t) \\ v_{2, m}(t) \end{Bmatrix} \sin k_m x, \quad (1)a, b$$

$$w = \sum_{m=1}^{\infty} \left\langle (1 - 3\eta^2 + 2\eta^3) y(1 - 2\eta + 2\eta^2) (3\eta^2 - 2\eta^3) y(\eta^2 - \eta) \right\rangle \begin{Bmatrix} w_{1, m}(t) \\ \theta_{1, m}(t) \\ w_{2, m}(t) \\ \theta_{2, m}(t) \end{Bmatrix} \sin k_m x \quad (1)c$$

ただし、 $k_m = m\pi/a, \quad \eta = y/b$

ここに、 $(\cdot)_{1, m}(t)$ は時刻 t における節線1の第 m 項に対する各変位成分の振幅を表す。

微小変形を仮定すれば、図-2のような周期的圧縮荷重を受ける薄肉断面材の運動方程式は次式で表すことができる。

$$[M]\{\ddot{U}(t)\} + [[K] + (\sigma_0 + \sigma_t \cos \theta t)[K_0]]\{U(t)\} = 0 \quad (2)$$

ここに、 $[M], [K], [K_0], \{U(t)\}, \{P(t)\}$ は質量マトリクス、剛性マトリクス、幾何剛性マトリクス、節線変位ベクトルおよび節線外力ベクトルであり、減衰は考慮していない。また、 σ_0 は静的圧縮応力、 σ_t は変動圧縮応力の最大値である。式(2)の一般解を次式で仮定する。

$$\{U(t)\} = e^{\lambda t} \left[\frac{1}{2} \{b_0\} + \sum_{k=1}^{\infty} (\{a_k\} \sin k \theta t + \{b_k\} \cos k \theta t) \right] \quad (3)$$

ここに、 $\{a_k\}, \{b_k\}$ は時間に無関係なベクトルであり、 λ は未定係数である。式(3)を式(2)に代入し、調和バランス法を用いて系の安定性を評価する²⁾。

3. 数値解析結果と考察

図-2に示す I 形断面材について、フランジを2要素、ウェブを4要素とした8要素の帯板要素モデルを用いて解

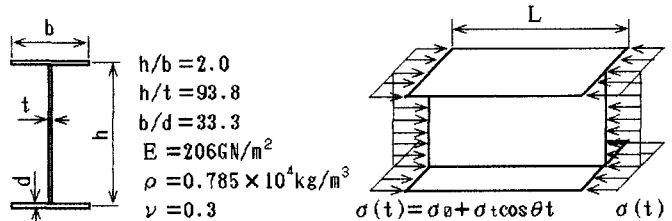


図-2 解析モデル

析を行った。

3.1 座屈解析 動的不安定解析に先立って、座屈解析を行った。図-3にスパンと桁高の比(L/h)が0.3~10の部材について部材軸方向の波数を1としたときの座屈曲線を示す。通常では1次の座屈が問題となるが、動的不安定問題と結びつけて考える際には高次の座屈も検討する必要がある。ここでは8次までの座屈曲線を示した。また、図-4に $L/h=2$ のときの座屈モードを示す。1, 3, 7次は弱軸回りの曲げ座屈、2, 4, 8次はねじり座屈で、高次になると腹板の変形が複雑になり、フランジにも変形が生じる。5, 6次はフランジの座屈である。

3.2 動的不安定解析 図-5は、 $L/h=2$ の部材について、静的圧縮応力 σ_0 を0.0とし、変動圧縮応力の円振動数 θ および最大値 σ_t をパラメータとした場合の動的不安定領域図を示したものである。縦軸は最小座屈応力 σ_{cr} で、横軸は軸方向波数を1としたときの1次の固有円振動数 ω_{11} で無次元化してあり、斜線部分が不安定領域である。図中の ω_{ij} は対応する固有円振動数を表し、 i は軸方向波数を、 j は次数を意味する。図-6に4次までの振動モードを示す。軸方向波数が変化しても各次の振動モードはほぼ図-6と同じものである。図-4に示した座屈モードと同じモードであり、弱軸回りの曲げ振動とねじり振動による不安定領域が認められる。軸方向波数が大きく、次数が小さいときに不安定領域の幅が広がっている。また、ここでは示していないが、変動圧縮応力の振動数がさらに大きくなると図-4の5, 6次モードであるフランジの曲げ振動による不安定領域が生じることも確認している。

4. まとめ

両端が単純支持されたI形断面部材に周期的な圧縮応力が作用する場合について、有限帯板法を用いた動的不安定解析を試み、フランジも考慮した解析を行うことができた。その結果、1)弱軸回りの曲げ振動およびねじり振動

による不安定が支配的であること、2)軸方向波数が大きく次数が小さいときに不安定領域の幅が広がること、3)フランジの曲げ振動による動的不安定挙動も生じることなどが明らかになった。

〈参考文献〉 1)八巻,永井:周期的な圧縮荷重をうける矩形板の動的安定,東北大学高速力学研究所報告,第36巻,第351号,pp.147~168 2)高橋,田川,池田,松川:面内曲げを受ける長方形板の動的安定,土木学会論文報告集,第341号,pp.179~186 3)Chueng,Y.K.:Finite Strip Method in Structural Analysis, PERGAMON PRESS

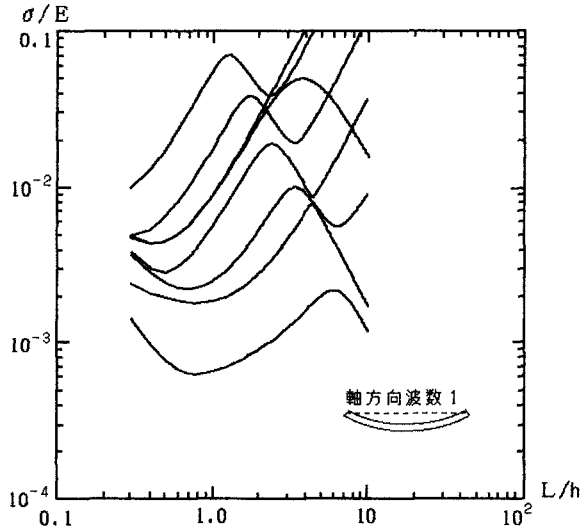


図-3 圧縮荷重による座屈 (8次まで)

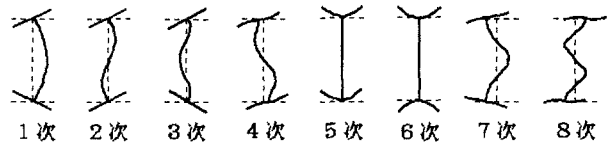


図-4 $L/h=2$ のときの座屈モード

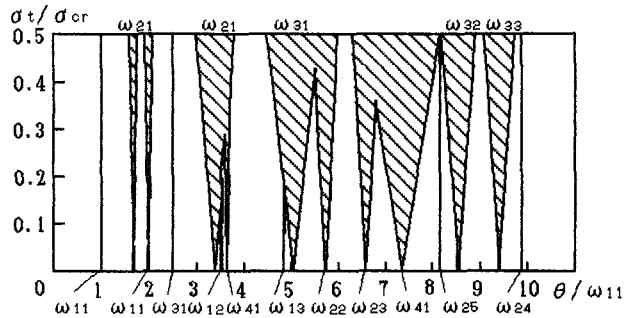


図-5 不安定領域 ($L/h=2$)

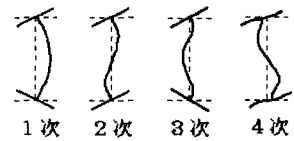


図-6 振動モード