

一様圧縮力を受ける弾性床上板の座屈強度特性

東北大学工学部 ○学正員 松本 秀樹
 東北大学工学部 正 員 中沢 正利
 東北大学工学部 正 員 岩熊 哲夫

1. まえがき

兵庫県南部地震による鋼製橋脚の被災経験を踏まえて、道示耐震基準も改訂され、今後ほぼ全ての鋼製橋脚にはコンクリートを充填することが常識となるであろう。内部にコンクリートを充填することにより、鋼製橋脚の地震時保有水平耐力および変形性能が向上することが分かっているためである。このような状態での板パネルの静的耐力を考える時、まずコンクリートを弾性支承とみなした圧縮板の座屈問題としてモデル化できる。ところが、この弾性支承はコンクリートが板に押される時にのみ抵抗し、板と離れるときには全く抵抗しない。また、コンクリートと板が接触している領域も時間とともに変化していく。そこで、単純な弾性床上圧縮板の座屈問題ではあるが、この接触を考慮した上での座屈現象のメカニズムを明らかにすることが本研究の目的である。

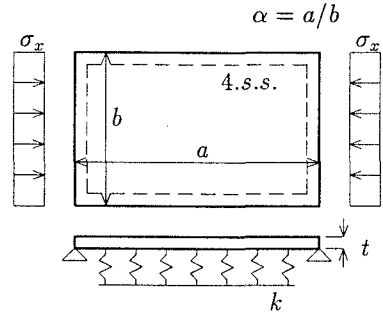


図-1 解析モデル

2. 解析モデルと接触問題簡易解析法

本研究では、コンクリートや地盤等からなる弾性床の反力とその変形量との関係が線形であるとし、矩形板は線形バネ支承が連続分布した弾性床上にあると仮定する。解析モデルとして面内一方向に一様な圧縮力が作用している四辺単純支持の弾性床上矩形板を考え、面外たわみ $w(x, y)$ は梁の自由振動モードを利用した板の変位関数を用い、座屈荷重をエネルギー法¹⁾により算出する。解析法としては図-2の(a)のような全面バネ支持の場合の座屈解析をまず行い、座屈モードが(b)のようになると、板にバネによる正の反力が作用する部分(2-3)にバネ支承を与え、負の反力が作用する部分(1-2,3-4)のバネを除去した(c)のようなモデルを次に解析する。その結果、座屈モードが例えば(d)のようになれば、ここでもまた上と同様に(5-6)の部分にバネを与え、それ以外のバネを除去して(e)を解く。以上を座屈荷重及び座屈モードが収束するまで繰り返し計算する。

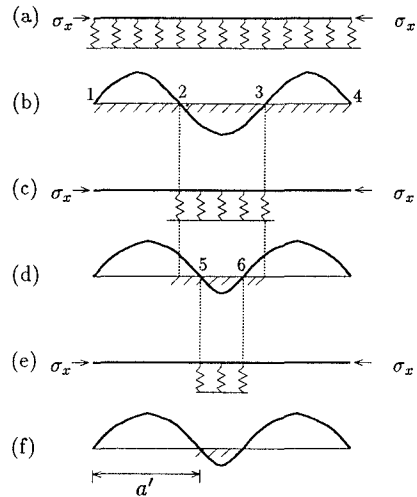


図-2 解析方法

3. 解析結果

線形バネ定数 k を 1.0×10^5 から 1.0×10^{-2} [kgf/cm³] の範囲で変化させた時の座屈強度特性を実丸(・)で図-3に示す。このときの縦横比は $\alpha = 2.0$ であり、横軸は kt/E ($E = 2.1 \times 10^6$ [kgf/cm²]), 縦軸は $\psi = b^2 t \sigma_{xcr} / D \pi^2$ (σ_{xcr} は座屈応力, D は板の曲げ剛性) という無次元量で、座屈係数と同じである。この図では、バネ定数が小さくなると一般の板の座屈強度に漸近し、バネ定数がおおよそ $kt/E > 5.0 \times 10^{-7}$ (地盤程度以上)

になると、バネの強さに関係なく座屈強度はほぼ一定であることを示している。こうしたバネ定数の大きさに依存しない一定座屈強度 $\bar{\sigma}_{scr}$ を種々の縦横比 α について解析した結果を図-4に示す。ここで、縦軸は弾性床板上板の座屈応力 $\bar{\sigma}_{scr}$ と四辺単純支持板（バネなし）の座屈応力 σ_{scr0} の比である。四辺単純支持板が $m = 1$ のモード、つまり $\sin$ 関数の1半波の座屈モードを示す縦横比 α の範囲 ($\alpha \leq \sqrt{2}$) に対しては弾性床板上板の座屈強度および座屈モードは四辺単純支持板のものと等しくなり、バネ支承の影響を全く受けない。また、それ以外の縦横比に対してもほぼ同程度の座屈強度が得られ、これは例えば、 $\sqrt{2} < \alpha < \sqrt{6}$ の範囲でも弾性床板上板は $m = 1$ (半波長 $\simeq a/2$) のモードで部分的に座屈するためである。したがって、弾性床の影響は座屈強度には小さいが、座屈波長には大きいことが分かる。四辺単純支持板が $m = 3$ のモード形に変わる $\alpha \geq \sqrt{6}$ でも同様の考察より同程度の座屈強度となることが分かる。以上の議論より、 $\alpha > \sqrt{2}$ の弾性床板上板の座屈強度は、その座屈している部分 (図-2(f) の α' の範囲) を求めてやることで簡便に算出できることになる。

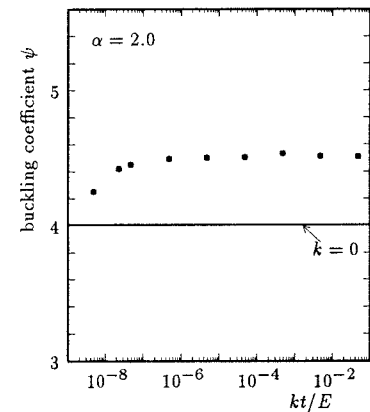


図-3 無次元化バネ定数 kt/E と座屈係数 ψ の関係

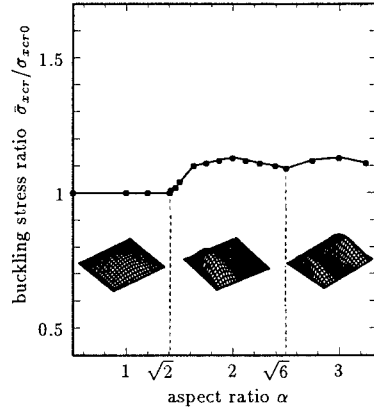


図-4 弾性床板上板の一定座屈応力 $\bar{\sigma}_{scr}$ と四辺単純支持板の座屈応力 σ_{scr0} の比

よって、弾性床板上板の座屈強度と等価の座屈強度を示す四辺単純支持板の縦横比を換算縦横比 α' として求め、 α との比を縦軸にとって図-5に示した。ここで、 $\alpha > \sqrt{2}$ では α' はほぼ一定値をとるので、線形に近い形で低下していく。 α' が一定ということは図-4の座屈モード形において上方に座屈波形の生じた範囲がほぼ一定であることを意味している。

以上、接触を考慮して、一様圧縮力を受ける弾性床板上板の座屈強度特性を求めることができたが、二辺単純支持二辺固定支持の境界条件でも傾向の類似した解析結果が得られた。

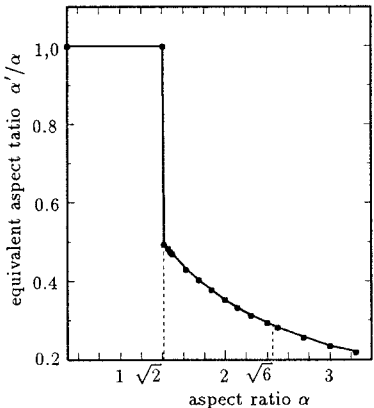


図-5 弾性床板上板の縦横比 α と四辺単純支持板の換算縦横比 α' の比

参考文献

- 1) 中沢・倉西・横幕：種々の境界および荷重条件を統一的に考慮した弾性矩形板の線形座屈解析法，構造工学論文集，Vol.39A, pp.105-114, 1993.3.
- 2) 小堀為雄・吉田 博：鋼構造設計理論，pp.76-79, 森北出版,1977.