

第 I 部門

3次元FEMによる縦リブの局部座屈を考慮した2方向面内力を受ける補剛板の耐荷力に関する基礎的研究

大阪公立大学大学院 学生員 ○安田 航輔
(株)建設技術研究所 正会員 刑部 清次

大阪公立大学大学院 正会員 山口 隆司
大阪公立大学大学院 正会員 林 厳

1. 研究背景と目的

鋼床版は、疲労耐久性や舗装への影響を考慮し、必要最小剛比よりも大きな剛比を有する縦リブが密に配置されており、リブ間パネルに関する局部座屈の照査が不要とされている。すなわち、耐荷力の観点から設計すると縦リブ本数を削減できる可能性がある。また、道路橋示方書には2方向面内力を受ける補剛板の設計基準は定められていないが、広幅員となる橋や斜張橋の場合、橋軸直角方向を含む2方向の曲げ圧縮力を考慮しなければならない実例も存在する。2方向面内力を受ける補剛板の耐荷力に関する研究²⁾では、FEM解析により3.(2)で示す相関曲線が提案されている。しかし、縦リブは、はり要素でモデル化されており、縦リブの局部座屈は考慮されていない。縦リブの局部座屈考慮するためには、縦リブもシェル要素でモデル化する必要がある。

本研究では、鋼床版のバルブリブ(以下、縦リブと呼ぶ)本数が耐荷力に与える影響をFEM解析により検討した。また、3次元FEMを用い、縦リブの局部座屈を考慮した2方向面内力を受ける補剛板の耐荷力曲線を検討する。

2. 解析対象と解析モデル

解析対象は、首都高速道路の橋梁構造物標準図集³⁾の鋼床版を参考に設定した。図-1に示す解析モデルは、モデル中心を横リブ位置に取った1パネルとした。表-1に寸法と初期不整を示す。初期不整は、図-1に示す残留応力と初期たわみを考慮した。

解析には汎用有限要素解析コードAbaqus/CAE2022を用い、弾塑性有限変位解析を行った。表-2に機械的性質を示す。境界条件として辺AB、BCは単純支持、辺CDは対称条件、横リブは十分剛であるとし鉛直方向の変位を拘束した。荷重方法は、辺ABおよびBCへの圧縮変位により面内力を与え、各1方向(x軸とy軸)および2方向の計3パターンとした。2方向荷重では、x軸とy軸のひずみ比 $\rho^*(=\varepsilon_y/\varepsilon_x)$ を8.0, 4.0, 2.0, 1.0, 0.25, 0.1, 0.01とした。デッキ、縦リブは、8節点低減積分シェル要素、バルブ部は、2節点低減積分はり要素でモデル化した。要素分割は縦リブを高さ方向に20分割、デッキを幅方向に

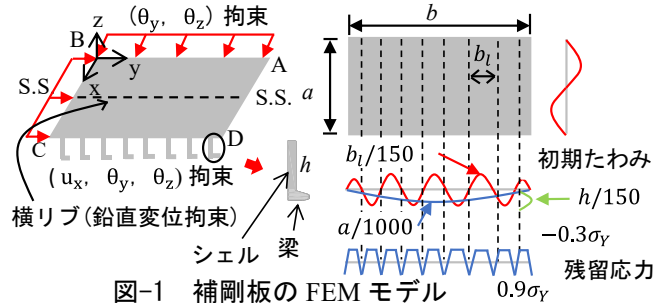


図-1 補剛板のFEMモデル
表-1 寸法(mm)と初期不整

補剛板幅 b	2600	縦リブ	板部: 230×11(シェル)
補剛板長さ a	1250		バルブ部: 30×22(梁)
アスペクト比	0.96	初期たわみ	補剛板全体: $a/1000$
縦リブ間隔	$2100/(n-1)$ n : 縦リブ本数 250(両端パネル)		縦リブ間: $b_l/150$ 縦リブ: $h/100$
縦リブ長さ h	230	残留応力 (N/mm^2)	引張部: $0.9\sigma_y$ 圧縮部: $-0.3\sigma_y$
デッキ厚	12		

表-3 座屈パラメータ

表-2 機械的性質		縦リブ本数	$\gamma_l/\gamma_{l,req}$	R_R	R_S	R_F
鋼種	SM490Y	8本	15.9	0.54	0.83	0.16
降伏点 $\sigma_y(N/mm^2)$	365	7本	13.2	0.61	0.83	0.16
弾性係数 $E(N/mm^2)$	200,000	6本	10.9	0.7	0.83	0.16
ポアソン比 μ	0.3	5本	8.7	0.81	0.83	0.16

γ_l : 剛比, $\gamma_{l,req}$: 必要最小剛比
 R : 幅厚比パラメータ

添え字 — F : 補剛板全体
 S : 縦リブ
 R : 縦リブ間パネル

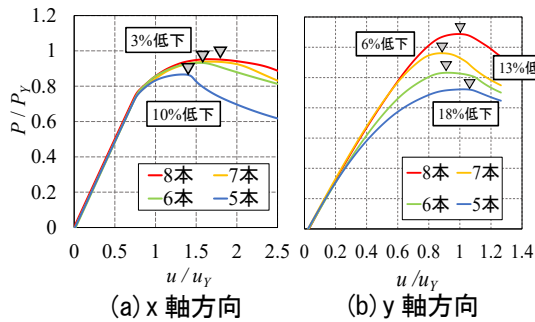
110分割した。応力-ひずみ関係は、ひずみ硬化係数 $E/100$ のバイリニア型とした。表-3に解析ケースおよび座屈パラメータを示す。

3. 解析結果と考察

(1) 1方向面内力を受ける場合の耐荷力

図-2に降伏荷重 P_y および、x軸の降伏時変位 u_y で無次元化した荷重-変位関係、図-3, 4に6, 5本の最大耐力時の変形図と最大面外変位位置の荷重-ひずみ関係を示す。

図-2(a)より、x軸方向荷重では、最大耐力は設計標準と比較して、縦リブ6本の場合、約3%の低下であったが、5本では、約10%低下した。これは、図-3より、6本の場合、縦リブのみが局部座屈しているが、5本の場合、縦リブに加え、縦リブ間パネルも局部座屈しているためである。さらに、図-4より、5本では、デッキの面外変位量が大きくなり、座屈モードが変化していることがわかる。縦リブ間パネルの幅厚比パラメータ R_R が0.7以下の場合



(a) x 軸方向 (b) y 軸方向
図-2 荷重-圧縮変位関係

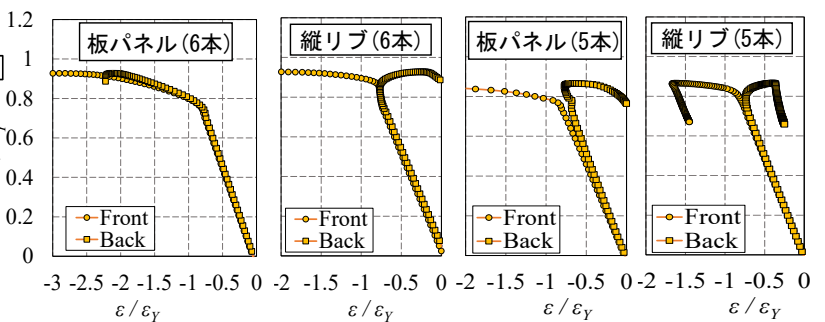


図-3 荷重-ひずみ関係 (x 軸方向荷重のみ)

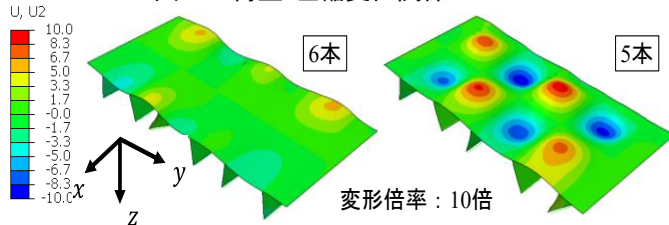


図-4 変形コンター図 (耐力力時-x 軸方向作用のみ)

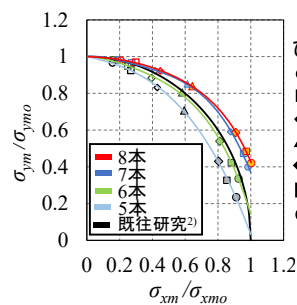
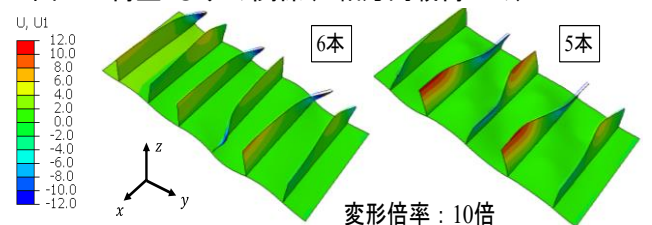


図-5 相関曲線

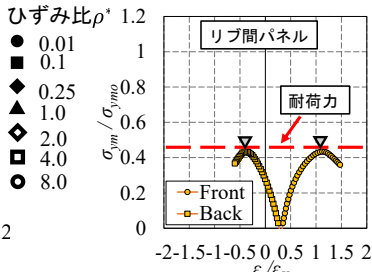


図-6 荷重-ひずみ関係 (2 方向荷重-5 本時)

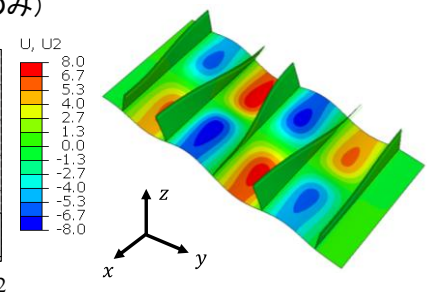


図-7 変形コンター図 (2 方向荷重)

には、最大耐力は、約 3% の低下とほとんど変化しないが 0.7 以上では、リブ間パネルが局部座屈してしまう。

図-2(b) より y 軸方向荷重では、縦リブ本数の減少に伴い最大耐力が低下している。これは、x 軸方向の場合と異なり、縦リブは y 軸方向作用に対する抵抗が小さく幅厚比の増加に伴い座屈耐力が低下したためと考えられる。

(2) 2 方向面内力を受ける場合の耐力力

図-5 に各ひずみ比 $\rho^* (= \varepsilon_y / \varepsilon_x)$ における 2 方向面内力を受ける補剛板の耐力力と既往研究²⁾の提案式(式(1))、図-6 に縦リブが 5 本時における $\rho^* = 0.25$ の縦リブ間パネルと縦リブの y 方向荷重-ひずみ関係 (計測点は最大面外変位点)、図-7 に変形図を示す。図-5 の各軸は荷重を断面積で除した公称応力 σ_{xm}, σ_{ym} を 3.(1) の解析結果である各方向の最大耐力 $\sigma_{xmo}, \sigma_{ymo}$ で無次元化したものである。

$$(\sigma_{xm} / \sigma_{xmo})^2 + (\sigma_{ym} / \sigma_{ymo})^2 = 1 \quad (1)$$

図-2(b) より、y 軸方向の最大耐力 σ_{ymo} は縦リブ本数を減らすごとに低下するため、2 方向時の最大耐力も縦リブ本数の減少とともに低下する。次に、図-5 より、縦リブが 8, 7 本では、同様の耐力力曲線であるが、6 本以下では、耐力力曲線の形状が変化している。図-6 より、耐力力時の $\sigma_{xm} / \sigma_{xmo} = 0.80$, $\sigma_{ym} / \sigma_{ymo} = 0.42$ において、縦リブの局部座屈と y 方向の荷重低下が認められる。つ

まり、縦リブが局部座屈することで耐力力が決定したと考えられる。さらに、図-3, 6 より、2 方向となることで縦リブの座屈耐力が低下している。また、図-7 より、縦リブの挙動は、デッキの変形図から、正に凸の場合には、閉じる方向、負に凸の場合では、開く方向に変形している。そのため、横リブを中心に変形の正負が異なるため、縦リブがねじれ、座屈耐力が低下したと考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた結論を以下に示す。

- 1) 鋼床版では、必要最小剛比よりも大きい縦リブを用いているため、x 軸方向荷重では、縦リブ間パネルの幅厚比パラメータ R_R を 0.7 まで大きくしても最大耐力の低下率は約 3% とほとんど変わらない。
- 2) 2 方向面内力を受ける補剛板では、縦リブが局部座屈しリブ間パネルも局部座屈することで耐力力が決定する。
- 3) 幅厚比パラメータ R_R が 0.6 より大きくなると、2 方向面内力を受ける補剛板の耐力力曲線の形状が変化する。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，II 鋼橋・鋼部材編，2017。
- 2) 北田俊行，中井博，古田富保，鈴木宏昌：2 方向面内力を受ける補剛板の極限強度に関する研究，構造工学論文集，Vol.34，pp203-214，1988。
- 3) 首都高速道路株式会社：橋梁構造物標準図集，2007。