

輪荷重と2方向面内圧縮応力とを受ける鋼床版の終局強度相関曲線

Ultimate Strength Interaction Curves of Steel Decks subjected to Biaxial In-Plane Forces and Wheel Load

福本 和弘*, 尾崎 大輔**, 北田 俊行***

Kazuhiro Fukumoto, Daisuke Ozaki, Toshiyuki Kitada

*工修, 日立造船(株)鉄構事業本部(〒552-0002 大阪市西区江戸堀2丁目6番33号江戸堀フコク生命ビル8階)

大阪市立大学大学院 工学研究科都市系専攻後期博士課程2年生(〒558-8585 大阪市住吉区杉本3丁目3番138号)

**大阪市立大学大学院 工学研究科都市系専攻前期博士課程1年生(〒558-8585 大阪市住吉区杉本3丁目3番138号)

***工博, 大阪市立大学大学院教授, 工学研究科都市系専攻(〒558-8585 大阪市住吉区杉本3丁目3番138号)

Steel decks are generally used in long span bridges such as cable stayed bridges. Not only biaxial in-plane stresses and wheel loading should be considered in the design against the buckling of wide steel decks. However, there are no specifications considering the buckling of deck plates due to the biaxial in-plane stresses as well as wheel loading in Japan. This paper deals with the ultimate strength and interaction curves of stiffened plates subjected to the biaxial in-plane stresses and wheel loading for the purpose of providing reference data for an appropriate design against the buckling of wide steel decks.

Key Words: wheel loading, biaxial in-plane stress, steel deck, interaction curve, ultimate strength

キーワード: 輪荷重, 2方向面内応力, 鋼床版, 相関曲線, 終局強度

1. 目的

鋼床版は軽量で加工性が高いことから、図-1に示すような長大橋によく用いられる。主桁・主構間隔が大きい鋼床版や斜張橋鋼床版のケーブル付近等では、橋軸方向（以下、縦方向と略す）とともに橋軸直角方向（以下、横方向

と略す）にも大きな面内応力が発生する。特に、せん断遅れ現象により、鋼床版の横桁付近には、横方向にも大きな面内応力が発生することを考慮しなければならない。

一方、道路橋示方書（以下、道示と略す）¹⁾には、縦・横方向の応力が独立に発生する補剛板の座屈耐荷力の照査規定があるが、それらが連成する場合の規定はない。この規定を拡充するために、文献2)では、2方向面内力を受ける補剛板の終局強度を求める相関曲線が提案されている。

一般的に、橋梁の部材は、外力により発生した断面力から生じる内部応力に抵抗するように設計される。鋼床版は2つの役割に対して抵抗するように設計される。1つは床版および床組としての適切な耐荷力を有するように、もう一つは主桁フランジとしての適切な耐荷力を有するように設計される。いずれの場合の活荷重も、鋼床版に面内応力を発生させる荷重体系として規定されている。

その一方で、鋼床版は、橋梁の他の構成部材と異なり、直接輪荷重を受け持つという構成部材である。すなわち、鋼床版は直接、活荷重である輪荷重を支持することから、発生している縦・横方向の面内応力とともに、面外の荷重も同時に受けることになる。鋼床版を正當に評価し設計するためには、発生している内部応力とともに、この面外荷重も同時に評価する必要がある。

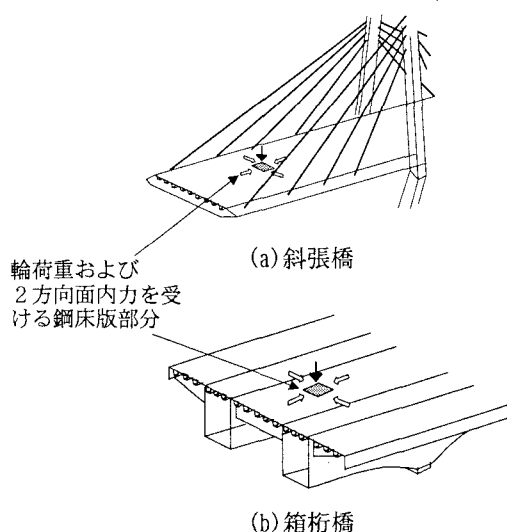


図-1 長大橋に用いられる鋼床版

そこで、本論文では、輪荷重を面外荷重としてとらえて、2方向面内応力が発生する鋼床版の終局強度を、2方向面内力と面外部分荷重とを同時に受ける補剛板としてモデル化して、数値解析により明らかにしている。図-2には、解析に用いたT荷重を示す。

2. 検討対象とした鋼床版

本研究では、2方向面内応力が発生すると同時に輪荷重を受ける鋼床版の例として、図-3(a)のような箱桁を想定した。縦リブは図-3(b)に示すような一般橋梁によく用いられている閉断面リブを設置した。

3. 解析モデル

解析には、USSP(Ultimate Strength of Steel Plated Structure)³⁾を用いた。本プログラムは、残留応力、初期たわみ、材料の降伏、および、材料のひずみ硬化を考慮して、任意の組合せ強制変位および外力を受ける補剛板構造の終局限界に至るまでと、その後の弾塑性有限変位挙動とが解析できる。解析にあたっては以下の仮定に基づいた。

- (1) 材料は等質・等方性でひずみ硬化を考慮しない弾塑性体とした。
- (2) von Mises の降伏条件および関連流動性に従う。
- (3) 変形前に板の中央面に垂直であった任意の柱断面は変形後も板の中央面に垂直である。

図-4 には、対象とした鋼床版の解析モデルを斜線部 ABCD で示す。道示規定を満たす閉断面リブを用いた鋼床版では、横方向には、閉断面リブで囲まれた板パネルの圧縮強度で耐力は決定されることが文献 5) で報告されている。本解析モデルは図-4 に示すように、横リブ、横

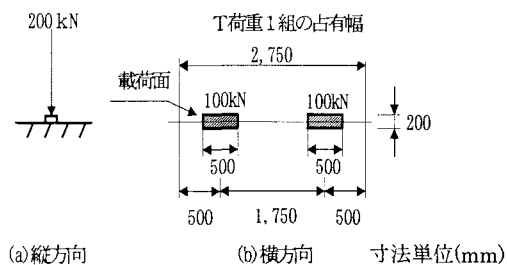


図-2 対象とした T 活荷重（輪荷重）

桁の位置を除いて、鉛直方向変位を自由として全体座屈も考慮できるようにしたが、最終的には、文献 5) を考慮して、閉断面リブで囲まれた板パネルの局部座屈で横方向圧縮強度が決まるモデルとした。また、幅の広い鋼床版では、横リブ間の鋼床版パネルの縦横比 a/b が小さくなるため、縦方向には、横リブ位置を支点とした無限連続柱に理想化して、鋼床版の全体座屈を考慮できる解析モデルとした。すなわち、図-4(c)に示す境界条件により無限連続柱（ただし、板要素でモデル化した柱）の変形状況を実現した。

図-5 には、解析モデルの要素分割状況を示す。補剛部材である縦リブは、鋼床版の終局強度を正當に評価するために、補剛される板と同じ三角形要素でモデル化した。解析モデルの境界条件は図-4 に示し、載荷方法については後に述べる。

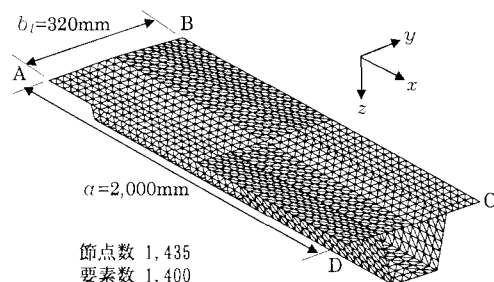


図-5 解析モデルの要素分割状況

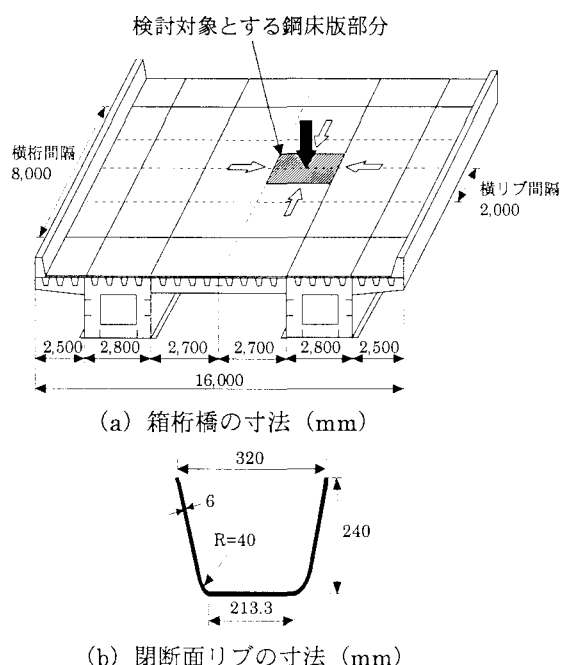


図-3 検討対象とする箱桁橋の鋼床版と閉断面リブ

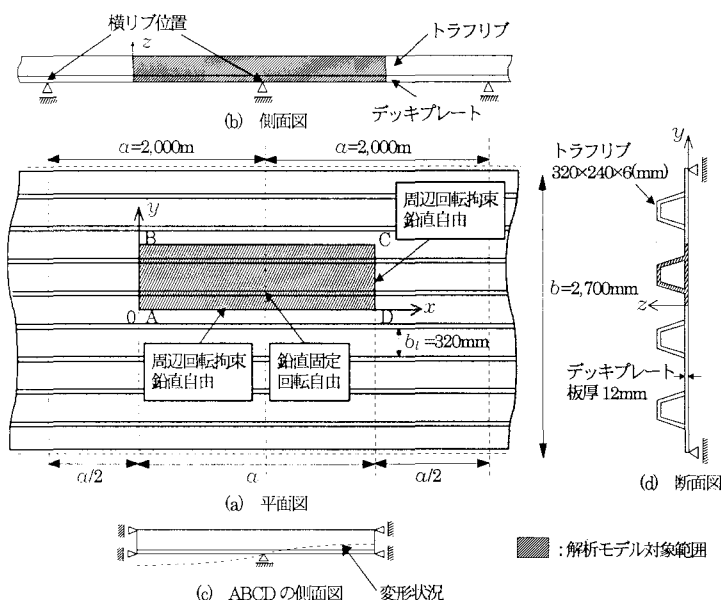


図-4 対象とした鋼床版と解析モデルおよび境界条件

4. 初期不整

文献 4) では、閉断面リブ腹板間のデッキプレートは、初期たわみがすべて下方にたわむ、いわゆる「やせ馬」状の形状(図-6 参照)になることが多いことが確認されている。正弦波形の初期たわみの場合に比較して、この初期たわみ波形は横方向にのみ圧縮応力が発生している補剛板の終局強度を 20%ほど上昇させることが報告されている。ところが、連続箱桁橋の鋼床版では、必ずしも「やせ馬」状の初期たわみ波形が卓越しているとは限らないことも示されている。また、文献 5) によると、座屈モードに類似した初期たわみ波形を有する解析モデルの横方向圧縮強度が、最も低い強度を与えるとの報告がある。そこで、本研究では、補剛板の最小の耐荷力を再現するために、閉断面リブ間の初期たわみは図-7(b)に示すように、上下交互に発生する正弦波形と仮定した。

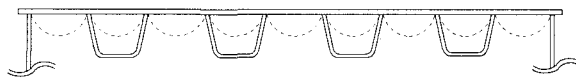


図-6 「やせ馬」状の初期たわみ波形

縦方向の局所的な初期たわみは、後に示す 2 方向面内圧縮力が作用している場合の相関曲線により決定した。すなわち、縦方向の局所的な初期たわみを図-8 に示すように、1 波、2 波、および 3 波を考え、2 方向面内圧縮力のみが作用している補剛板モデルの終局強度相関曲線を作成した。縦軸は降伏点で無次元化した横方向の平均圧縮応力度 $\bar{\sigma}_{yu}/\sigma_Y$ の最大値 $\bar{\sigma}_{yu}/\sigma_Y$ 、横軸は降伏点で無次元化した縦方向の平均圧縮応力度 $\bar{\sigma}_{xu}/\sigma_Y$ の最大値 $\bar{\sigma}_{xu}/\sigma_Y$ とした。

その結果、縦方向圧縮力が支配的となる相関部分で、局所的な初期たわみ波形が縦方向に 1 波の方が 3 波より 2~3%、終局強度が大きくなることが確認された。一方、横方向圧縮力が支配的となる部分では、20%も 1 波の方が小さかった。そこで、終局強度が最も小さくなるように、縦方向の局所的な初期たわみ波形を図-7(d)に示すように 1 波とした。

したがって、横リブ間の鋼床版パネルの全体的な初期たわみ w_g は縦・横方向とも、図-7 に示すように、道示規定の最大値 $a/1,000$ を補剛材中央に与える正弦波形で与えた。横方向の補剛材間の局所的な初期たわみ w_l も道示規定の限界値である $b_l/150$ を最大とする正弦波形で与えた。解析モデルに与えた初期たわみを式(1)~(3)に示す。

$$w_a = w_g + w_l \quad \cdots \cdots (1)$$

$$w_g = \frac{a}{1,000} \left\{ \cos\left(\frac{\pi}{a}x\right) \times \cos\left(\frac{\pi}{b_l}y\right) \right\} \quad \cdots \cdots (2)$$

$$w_l = \frac{b_l}{150} \left\{ \cos\left(\frac{\pi}{a}nx\right) \times \cos\left(\frac{\pi}{b_l}y\right) \right\} \quad \cdots \cdots (3)$$

残留応力についても文献 4) の報告の実測結果に基づいた値を採用し、図-7(h), (i), (j)に示すような分布形を

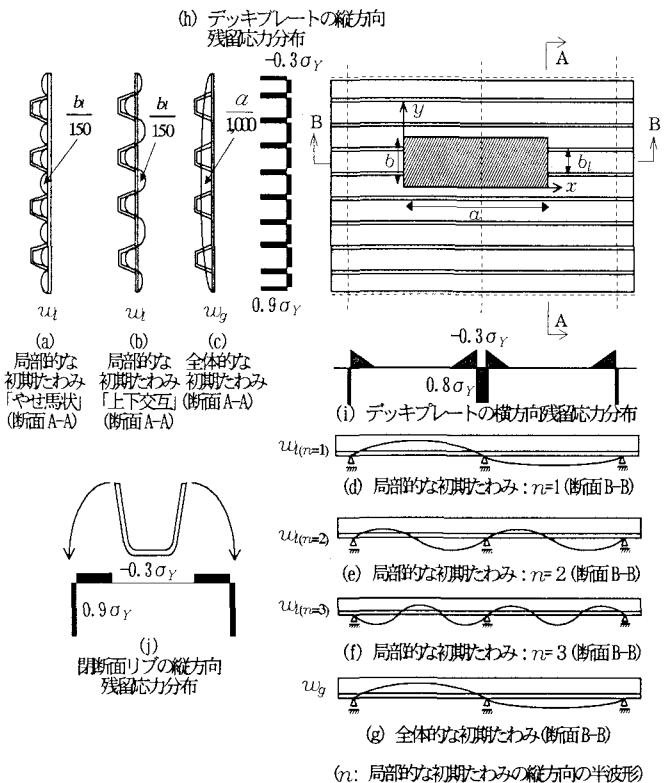


図-7 解析モデルに導入した初期不整

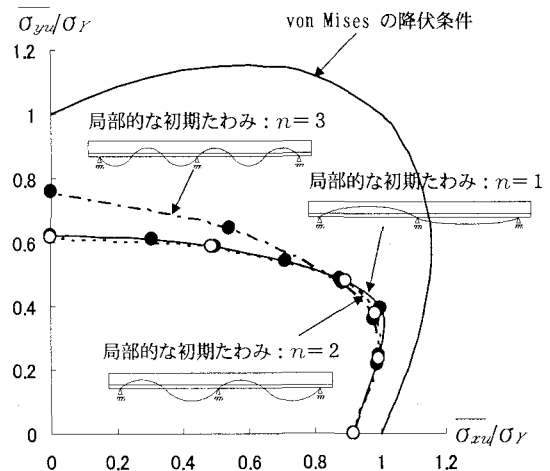


図-8 局所的な初期たわみ波形の違いによる終局強度相関曲線の変化

採用した。これらの残留応力は、自己平衡となる条件を満たす分布形状で与えている。

鋼材の機械的性質は、表-1 に示すように、実橋によく用いられている SM400 材の公称値とした。

表-1 鋼板の材料特性

ヤング係数	$E = 2.0 \times 10^5 \text{ (N/mm}^2\text{)}$
ポアソン比	$\nu = 0.3$
降伏点	$\sigma_Y = 245 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

5. 輪荷重を考慮しない場合の鋼床版の終局強度相関曲線

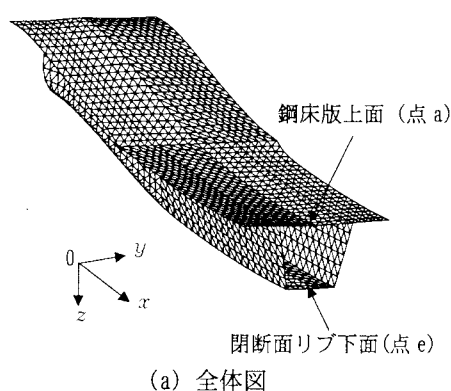
5.1 縦方向のみに圧縮した時の終局強度特性

解析モデルに対して縦方向に一定の軸方向圧縮変位を与えた時の終局強度特性を調べた。圧縮変位は、実橋の応力発生状況を考慮して、後の図-16 に示す ε_x のように、閉断面リブを含めた鋼床版全体の断面を圧縮するように導入した。最大の縦方向平均圧縮応力が発生する終局状態直前で、図-9(b)に示すように解析モデル全体に柱座屈のような変形が生じ、突然崩壊に至った。そこで、同図に示す変形の大きい鋼床版上面点 a と閉断面リブ下側点 e のひずみの変化を調べ、崩壊に至る過程を検討した。降伏点で無次元化した縦方向の平均圧縮応力度 $\bar{\sigma}_x/\sigma_Y$ と x 軸方向のひずみを降伏ひずみで無次元化した $\varepsilon_x/\varepsilon_Y$ の関係を図-10 に示す。解析モデルは $\bar{\sigma}_x/\sigma_Y=0.8$ の载荷レベルまで鋼床版上面、リブ下面とも同程度の線形的な小さなひずみしか発生していないため、局部座屈変形は発生しておらず、ほとんど板面外たわみは生じていないと考えられる。しかし、終局状態付近になると、突然、局部座屈変形が発

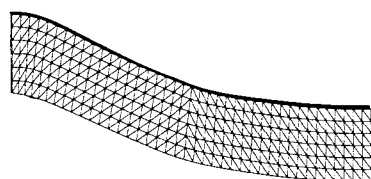
生するため、鋼床版上面ではひずみが増大し、またリブ下面ではひずみは引張側に向かい、 $\bar{\sigma}_{xu}/\sigma_Y=0.916$ で終局状態に至ったことがわかる。これらのことより、縦方向のみに圧縮した時の終局崩壊モードは、崩壊直前に形成されることがわかった。

5.2 横方向のみに圧縮した時の終局強度特性

縦方向と同じように、解析モデルに対して横方向にのみ、すなわち、後の図-18 に示す ε_y のように、一定の圧縮変位を与えた時の終局強度特性を調べた。図-11 には終局時の変形状態を示す。解析モデル中央の横リブ取り付け点を節目として、鋼床版には局部座屈が入れ替わるような形の崩壊モードが発生している。そこで、鋼床版に着目して、閉断面リブの内側と外側、すなわち、図-11 に示す鋼床版上面の点 a, c, および、下面の点 b, d の位置のひずみを調査した。縦軸には降伏点で無次元化した横方向の平均圧縮応力度 $\bar{\sigma}_y/\sigma_Y$ 、横軸には y 軸方向のひずみを降伏ひずみで無次元化した値 $\varepsilon_y/\varepsilon_Y$ を図-12 に示す。

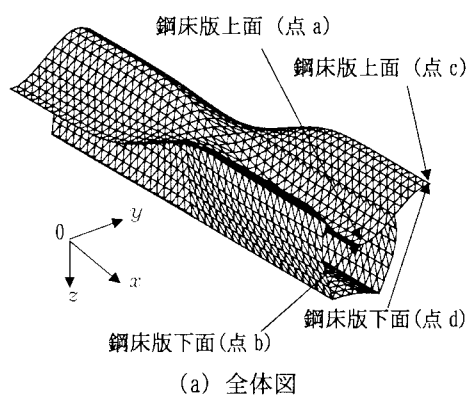


(a) 全体図

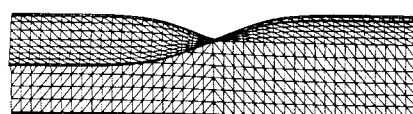


(b) 側面図

図-9 縦方向のみに圧縮した場合の終局崩壊モード



(a) 全体図



(b) 側面図

図-11 横方向のみに圧縮した場合の終局崩壊モード

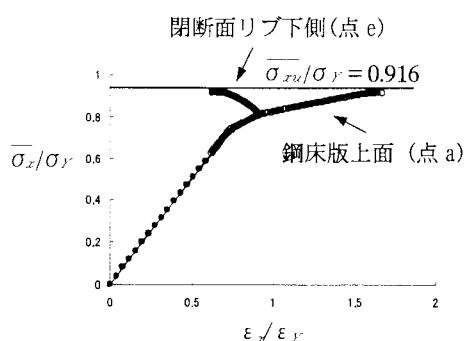


図-10 縦方向の平均圧縮応力度と代表点における歪みの変化

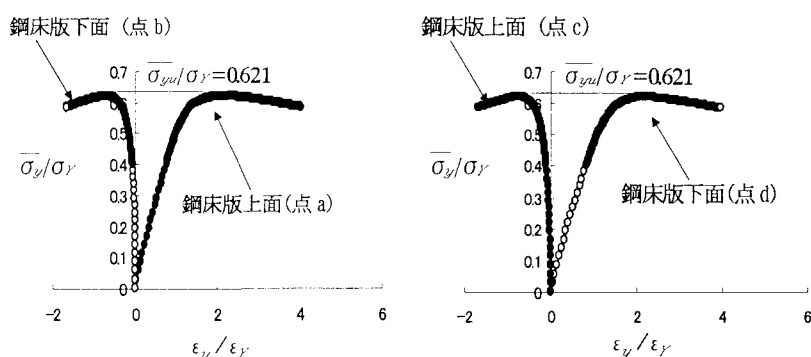


図-12 横方向の平均圧縮応力度と代表点における歪みとの関係

解析結果からわかるように、終局崩壊モードは初期たわみの影響を受けて、横方向応力発生初期の段階から鋼床版は面外方向に変形はじめて、しかもその方向は閉断面リブの内側と外側とで向きが逆であることがわかる。この解析モデルは $\overline{\sigma}_{yu}/\overline{\sigma}_y = 0.621$ で、最大の横方向平均圧縮応力が発生して崩壊に至った。

5.3 縦・横方向同時に圧縮した時の終局強度相関曲線

2方向面内応力が発生している鋼床版の終局強度特性を明らかにするために、輪荷重は考慮せず、縦・横方向の面内変位増分値を変化させ、終局状態に至るま

での鋼床版の応力経路を調べた。発生するそれぞれの縦・横方向の平均応力度 $\overline{\sigma}_x, \overline{\sigma}_y$ を降伏点で無次元化した値、および、von Mises の降伏条件を図-13 に示している。

一方、発生する縦・横方向平均応力度の比は、図-13の応力経路が示すように、変位増分の初期の状態では一定であるが、解析モデルが崩壊状態に近づくときと応力の再配分が行われ、変化する。そこで、発生する平均応力の目安として、終局強度に至った時に発生している鋼床版の平均応力の相当応力 $\overline{\sigma}_y = \sqrt{\overline{\sigma}_x^2 - \overline{\sigma}_x \overline{\sigma}_y + \overline{\sigma}_y^2 + 3 \overline{\tau}_{xy}^2}$ が最大になるときを崩壊と定義する。

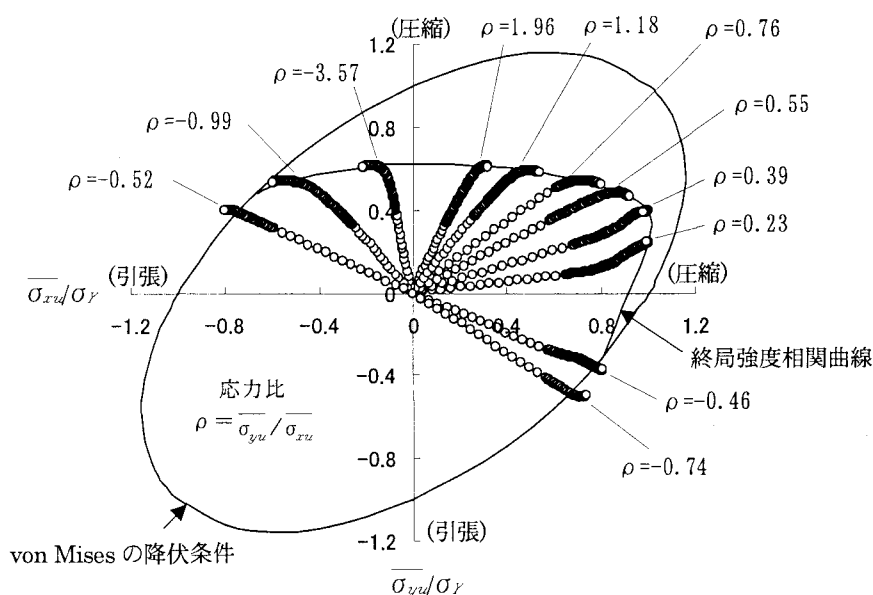


図-13 応力経路と終局強度相関曲線

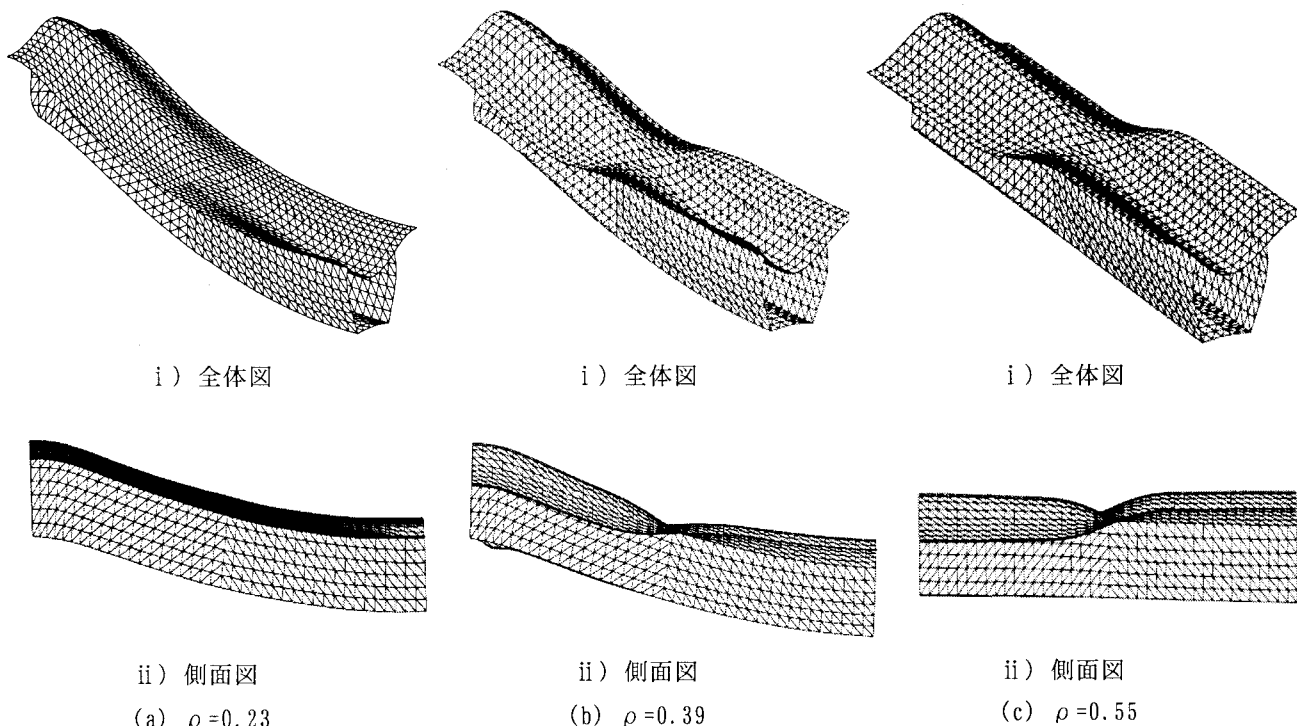


図-14 終局座屈崩壊モード

一般的に図-13に示す $\rho=0.39$ 以外では、 $\overline{\sigma_x}$ と $\overline{\sigma_y}$ のどちらかの応力成分が、最大値 $\overline{\sigma_{xu}}$ 、あるいは $\overline{\sigma_{yu}}$ に達しても、もう一方の応力成分は、さらに増加する傾向が見られる。しかし、本研究では実用的な見地から、どちらかの平均応力が最大値に達した時を、終局状態と定義している。一方、およそ $\rho=0.39$ 付近では、応力経路は縦・横のどちらの方向にも変化せず、また縦・横の応力成分が同時に平均応力の最大値に達し、鋼床版が終局状態を迎えていることがわかる。その時の縦方向の平均終局応力度 $\overline{\sigma_{xu}}$ と横方向平均終局応力度 $\overline{\sigma_{yu}}$ との比を ρ として、式(4)に示すように応力比を定義する。

$$\rho = \overline{\sigma_{yu}} / \overline{\sigma_{xu}} \quad \cdots \cdots (4)$$

ここで、応力比 $\rho=0.23, 0.39$, および 0.55 に対する最終座屈崩壊モードを図-14(a)~(c)に示す。これらの図により、応力比 0.39 を境に図-9に示した縦方向の圧縮による鋼床版の全体的な波形から、図-11に示した横方向の圧縮によるトラフリブ腹板間の局所的な波形へと座屈モードが変化していることが観察された。ここで、縦方向から横方向、もしくは、横方向から縦方向への終局崩壊モードが変化する点を、座屈モード変化点と呼ぶ。座屈モード変化点の応力比は鋼床版の断面緒元や輪荷重の大きさにより変化する。また、2方向圧縮応力が作用する場合の終局強度相関曲線は、座屈モード変化点で凸となっていることがわかる。

6. 輪荷重が作用する鋼床版の終局強度相関曲線

縦横2方向の面内力が発生している鋼床版に対する輪荷重の影響を見るため、輪荷重を解析モデルに直接載荷した。また、輪荷重の大きさによる影響も調査するため、その大きさも変化させた。

6.1 輪荷重による終局強度の低下

図-15には、本解析モデルへの輪荷重の載荷方法を示す。輪荷重を外力として捉えるために、載荷方法は変位増分ではなく、輪荷重の載荷量を増加させる方法とした。

図-16に示すように、縦方向のみの変位増分により発生した圧縮ひずみと、輪荷重の載荷量のある一定の

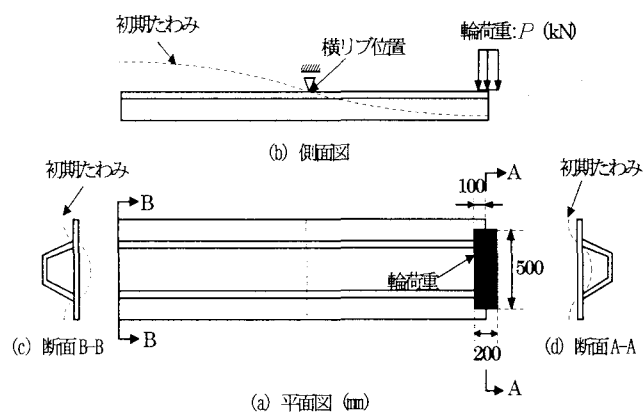


図-15 本解析モデルへの輪荷重載荷方法

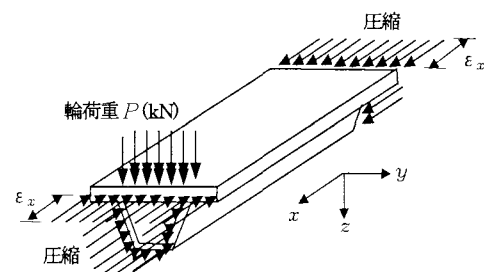


図-16 縦方向圧縮応力の導入と輪荷重載荷

割合で増分させ、その割合を順次変えることにより算出した縦方向の載荷経路、および終局強度の変化を図-17に示す。

図-17(a)のグラフの縦軸は輪荷重 P の大きさを示し、横軸は縦方向の平均応力度を降伏点で無次元化した $\overline{\sigma_x}/\sigma_Y$ を示す。複数の曲線は計算の一例を示したもので、図中に×印で示した最大縦方向の応力が発生する時の輪荷重の値を読み取ることができる。

また、終局状態を迎えた時の輪荷重 P を縦軸に、横軸にはその時の発生平均応力を降伏点で無次元化した $\overline{\sigma_{xu}}/\sigma_Y$ を図-17(b)に示す。同図より、輪荷重を考慮しない場合は 0.916 であった縦方向の終局強度は、道示で示すT荷重を考慮した場合は 0.864 に低下していることがわかる。この結果、T荷重を考慮した場合は、考慮しない場合に比べて、6%ほど終局強度が低下していることがわかる。

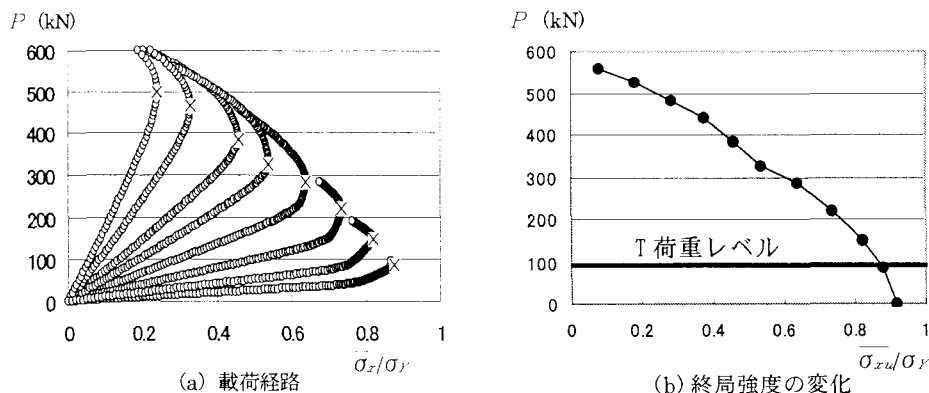


図-17 輪荷重強度と縦方向終局強度との関係

6.2 2方向面内応力が発生する鋼床版の耐荷力に対する輪荷重の影響

図-18に示すように、2方向面内応力が発生している鋼床版に輪荷重を作用させた場合の特性を調べた。横方向の圧縮力が卓越する $\rho=1.96$ の場合の縦・横方向の載荷経路、および終局強度の変化を図-19に示す。同図は、縦方向および横方向のひずみ比と、輪荷重の載荷量とをある一定の割合で増分させ、縦・横方向のひずみ比と輪荷重の載荷量の割合を順次変えることにより算出した。

図-19(a), (b)の縦軸には増加する輪荷重 P (kN)を、横軸には縦・横方向の変位増加に伴って、それぞれに発生する応力を平均応力に換算し降伏点 σ_f で無次元した値を示した。同図には、縦・横方向のどちらかが先に降伏応力に達した位置を赤色で、またその時のもう一方の応力の値を水色で示した。また、図-19(c)には、縦軸に輪荷重の最大値を、横軸に縦・横方向のそれぞれの終局時における発生応力を降伏点で無次元化した値を示している。輪荷重が400kNから500kNの位置で、縦・横発生応力が急激に低下していることがわかる。輪荷重が作用しない応力比 $\rho=1.96$ の場合(図-19の点A)、輪荷重が500kN載荷された場合(点B)、および輪荷重が570kN載荷された場合

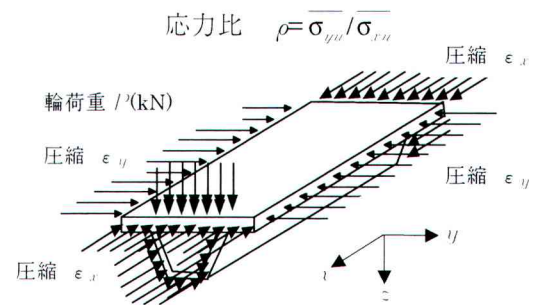


図-18 縦・横方向の圧縮応力の導入と輪荷重載荷

合(点C)の応力コンターをそれぞれ図-20に示す。点Aにおける終局崩壊モードでは、トラフリブ間の局部座屈がすべての領域で起こっている一方、点Bの座屈モードでは輪荷重載荷位置の局部座屈が先行し、点Cになるとさらにその傾向は顕著に現れることが応力コンターからわかる。すなわち、応力比 $\rho=1.96$ の場合は、輪荷重が作用しない時、トラフリブ間の板パネルの局部座屈モードが、輪荷重の作用により、その載荷位置に発生する局部座屈モードに支配される終局崩壊モードに移行する第2の座屈モード変化点が存在することがわかる。

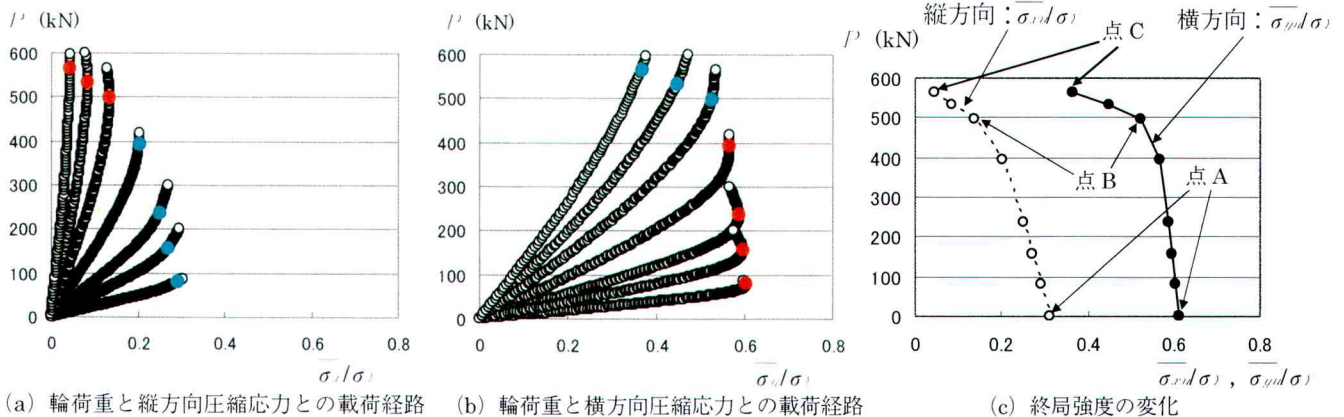


図-19 輪荷重強度と縦・横方向圧縮力との載荷経路および終局強度との関係
(応力比 $\rho=1.96$)

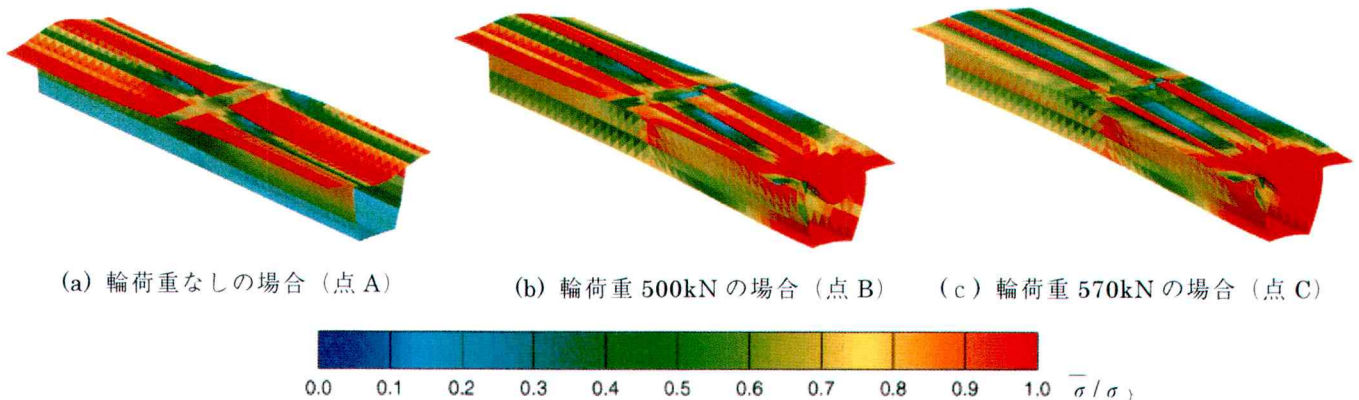


図-20 応力比 $\rho=1.96$ の場合の点A, Bにおける終局崩壊モード

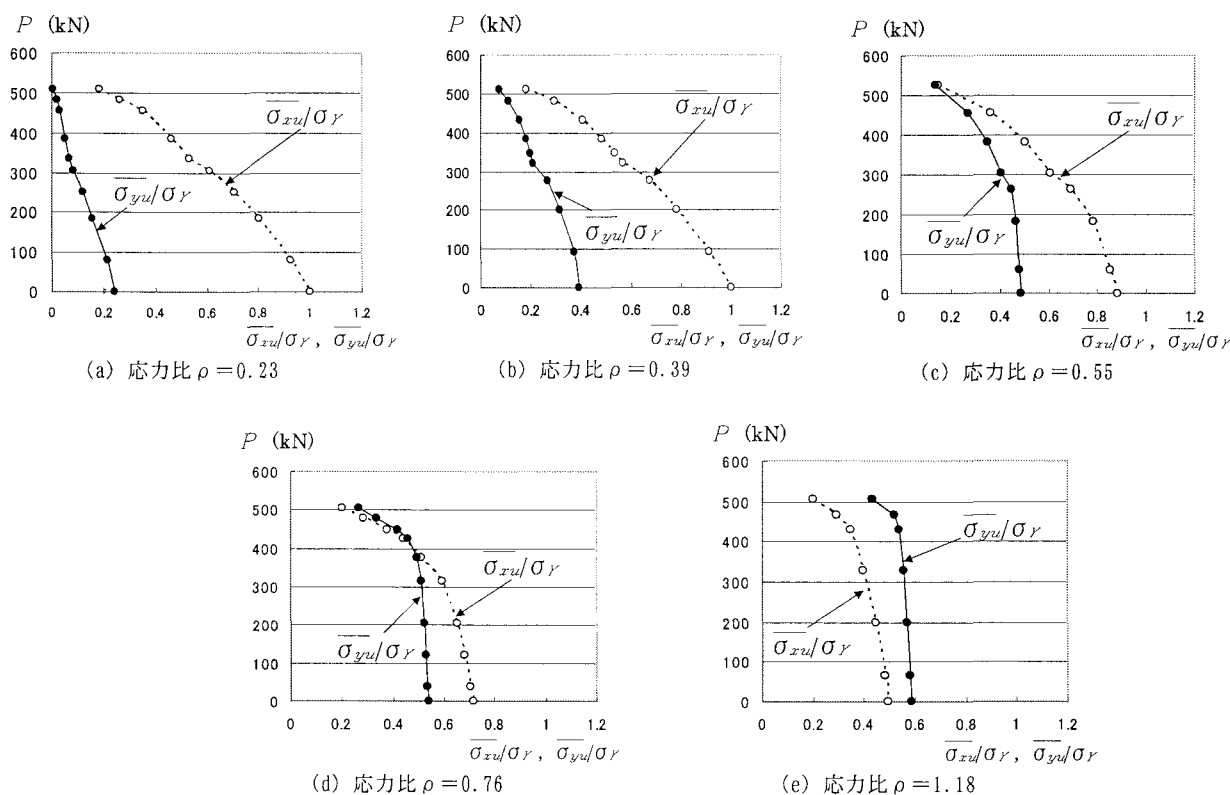


図-21 輪荷重強度と縦・横方向終局応力度との関係（図中の応力比 ρ は $P=0$ 時）

6.3 輪荷重を変化させた場合の終局強度相関曲線の変化状況

2方向の面内応力を変化させて、輪荷重の載荷量を0から順次増加させた時の終局強度の変化状況を図-21(a)～(e)に示す。図中、横軸は縦・横方向のそれぞれの終局強度を示し、縦軸は解析モデルが崩壊に至ったときの輪荷重を示した。

輪荷重を考慮しない時の全体座屈モードから横方向局部座屈モードへの座屈モード変化点付近であると考えられる応力比 $\rho=0.39$ 以下（図-21(a), (b)）では、図-19の $\rho=1.96$ の場合と異なり、輪荷重が載荷されると、輪荷重が初期の段階から、ほぼ直線的に終局強度は低下する。一方、応力比 0.39 以上（図-21(c), (d), (e)）では、横方向局部座屈が主となる領域であるが、輪荷重が増加することにより、輪荷重の載荷量がある値を境に、終局強度が低下する現象がみられる。これは、第2の座屈モード変化点が存在することを意味する。また、図-21(c), (d), (e)より、応力比が大きくなるにつれ、第2の座屈モード変化点が発生する輪荷重の値は大きくなっていることがわかる。

6.4 輪荷重を考慮した時の終局強度相関曲線

応力比・輪荷重を順次変化させて算出した2方向面内圧縮応力が作用する場合の終局強度相関曲線を図-22に示す。同図には、各々の輪荷重が作用するときの最も大きな相当応力度が発生したときの応力比 ρ を示す。

また、図-23には、道示の規定値である100kNの輪荷重（T荷重）を考慮した場合と輪荷重を考慮しない場合との終局強度の比較を、相関図上の原点から作用応力点までの距離 l により評価した結果を示す。同図より、終局強度は、輪荷重を考慮しないときと比べて、縦方向のみの圧縮のときには、6%低下する。さらに、終局強度の低下は応力比 $\rho=0.39$ の場合が最大で、8%の低下となる。

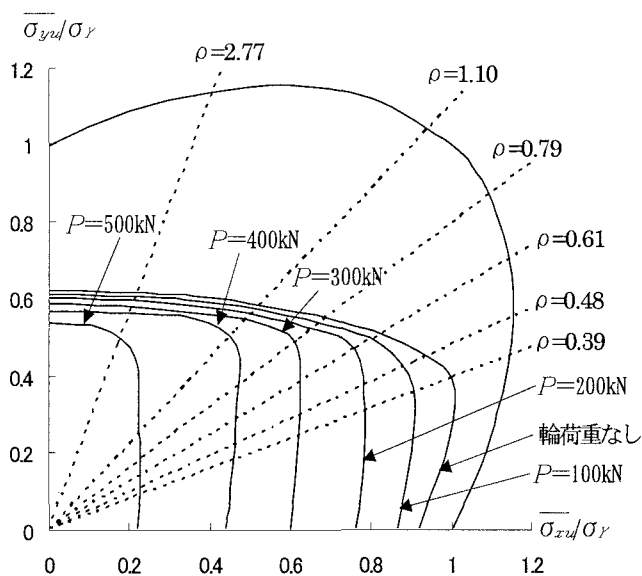


図-22 輪荷重と2方向面内圧縮応力との終局強度相関曲線

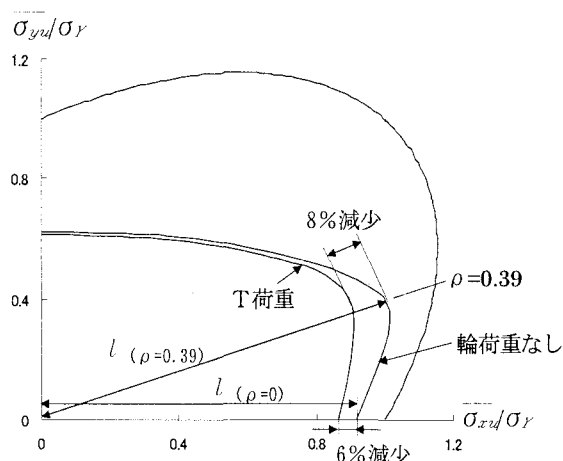


図-23 輪荷重無載荷と T 荷重載荷との
終局強度相関曲線の比較

ところが、一般に横方向局部座屈が支配的な領域では、輪荷重の増加により、終局強度は大きく減少しない。これは、トラフリブ間の局部座屈が発生している場所では、輪荷重によるさらなる強度低下が少ないものと考えられる。一方、縦方向全体座屈が支配的な領域では、輪荷重の増加により、大きく終局強度は減少する。輪荷重による終局強度の低下は、縦方向の圧縮が卓越する領域において、より顕著になる。

8. 結論

本論文では、道路橋示方書に示されている T 荷重を想定した輪荷重と 2 方向面内応力とが同時に発生している鋼床版の終局強度特性について数値解析により研究した。得られた主な結論を以下にまとめる。

- (1) 2 方向面内応力が発生している一般的な鋼床版では、横方向に比べて、トラフリブ配置方向である縦方向の圧縮強度の方が高い。T 荷重を考慮しない場合は、縦方向に、大きく膨らむ終局強度相関曲線を描く。縦方向から横方向へと座屈モードが変化する座屈モード変化点に対応する応力比 ρ は、輪荷重が載荷された場合に比べて、最も小さい値を示す。
- (2) T 荷重が載荷された場合は、T 荷重を考慮しない時と比べて、橋軸方向のみの圧縮では 6% ほど終局強度が低下する。
- (3) T 荷重の載荷による終局強度の低下は、橋軸直角方向の応力と橋軸方向の応力とをある一定の比で 0 から増加させると、終局強度相関曲線の座屈モード変化点を迎える値までは、最大 8% と、若干大きくなっていき、その値を越えてからは、急速に 1% にまで縮まってくという傾向を示した。

- (4) 輪荷重が載荷される時の終局強度相関曲線では、縦方向の終局強度の低下が顕著に現れた。
- (5) 輪荷重が載荷されない場合は、縦方向のみに圧縮した場合の座屈モードは全体座屈モードを示し、横方向のみに圧縮した場合はトラフリブ間の局部座屈モードを示す。座屈モード変化点は終局応力比 $\rho=0.39$ である。
- (6) 輪荷重が載荷されることにより、最終座屈モードは輪荷重載荷位置付近の局部座屈モードに移行する点が存在する。
- (7) 縦方向の圧縮力が支配的な載荷状態においては、さらに輪荷重が載荷された場合、座屈モードが全体座屈モードから輪荷重載荷位置の局部座屈モードへと移行し、終局強度は大きく低下する。
- (8) 輪荷重が加わると、横桁・横リブ位置を軸とした対称な局部座屈モードとはならない。しかしながら、輪荷重を考慮しない場合のトラフリブ間の局部座屈モードと輪荷重を考慮した場合の輪荷重位置付近の局部座屈モードとは類似した座屈モードであることから、輪荷重が載荷されたとしても横方向の終局強度は大きくは低下しない。
- (9) (1)~(8)の結論として、鋼床版の終局強度は 2 方向面内力と輪荷重である面外荷重を同時に受ける補剛板として取り扱う必要がある。

謝辞

本研究は大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻の山口隆司助教授、および松村政秀助手の多大な協力を得て行われたものであり、ここに謝意を表す。また、多大なご支援を頂いた日立造船（株）高島和彦鉄構事業本部長に改めて謝意を表する。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説、丸善、2002.3.
- 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.34A，土木学会，pp.203-214，1988.3.
- 3) USSP 研究会，日本構研情報株式会社：USSP Version 5.0 ユーザーズ・マニュアル，2001.3.
- 4) 北田俊行, 中井 博, 古田富保：閉断面補剛材を有する鋼板に含まれる初期不整に関する研究，土木学会論文集，第 428 号，I-15，pp.127-136，1991.4.
- 5) 北田俊行, 中井 博, 古田富保：横方向圧縮力を受ける補剛板の極限強度とその一簡易計算法に関する研究，土木学会論文集，第 446 号，I-19，pp.137-146，1992.4.

(2004 年 9 月 17 日受付)