

トラックタイヤ載荷によって生じる アルミニウム床版の板曲げ応力

ALST 研究レポート 3

2008 年 2 月

大阪大学大学院工学研究科

大倉一郎，筒井将仁

名古屋大学大学院環境学研究科

石川敏之

概 要

本研究では，トラックタイヤ載荷装置を製作し，これを用いて，トラックタイヤの接地形状がアルミニウム床版の板曲げ応力の発生に与える影響を明らかにする．最初に，タイヤの接地形状と接地圧力の特性を明らかにし，荷重とタイヤの接地面積，平均接地圧力および接地半径の関係を定式化する．次に，アルミニウム床版に生じる板曲げ応力を調べ，荷重と板曲げ応力の関係が非線形であることを示す．最後に，トラックタイヤ載荷と長方形領域載荷によって生じる板曲げ応力の比較を行い，長方形領域載荷によって生じる板曲げ応力は安全側の値とならないことを示す．

本論文は，次の論文に加筆・修正を加えたものである．

大倉一郎，石川敏之，筒井将仁，大澤章吾：トラックタイヤの接地形状がアルミニウム床版の板曲げ応力に与える影響，土木学会論文集 A，Vol. 63，No. 4，pp. 655-666，2007．

謝 辞

本研究は、科学技術振興調整費充当戦略的研究拠点「阪大フロンティア研究機構」の研究プロジェクト（プロジェクト名：アルミニウム合金構造物実現のための基礎研究，2003～2005）ならびに科学研究費補助金 基盤研究（B）（研究課題名：アルミニウム床版による軽量橋の実現，課題番号19360202，研究期間 2007～2008）の研究費補助金を受けた。

トラックタイヤ載荷装置によるアルミニウム床版の応力実測に多大なご協力をいただいた，研究当時 大阪大学 大学院工学研究科 博士前期課程の学生であった大澤章吾氏（現 九州旅客鉄道株式会社）に感謝致します。

目 次

第1章	序論	・ ・ ・ 1
第2章	トラックタイヤ載荷装置ならびにタイヤの接地形状と接地圧力の計測方法	・ ・ ・ 2
第3章	荷重とタイヤの接地面積，平均接地圧力および接地半径の関係	・ ・ ・ 3
3.1	アルミニウム床版と荷重の載荷方法	・ ・ ・ 3
3.2	タイヤの接地形状と接地圧力	・ ・ ・ 4
3.3	タイヤの接地面積と平均接地圧力	・ ・ ・ 5
3.4	荷重とタイヤの接地面積および平均接地圧力の関係の定式化	・ ・ ・ 6
3.5	荷重とタイヤの接地半径の関係の定式化	・ ・ ・ 7
第4章	アルミニウム床版に生じる応力	・ ・ ・ 9
4.1	アルミニウム床版の開断面に生じる応力	・ ・ ・ 9
4.1.1	橋軸断面に生じる応力	・ ・ ・ 9
4.1.2	橋軸直角断面に生じる応力	・ ・ ・ 10
4.2	アルミニウム床版の閉断面に生じる応力	・ ・ ・ 12
4.2.1	橋軸断面に生じる応力	・ ・ ・ 12
4.2.2	橋軸直角断面に生じる応力	・ ・ ・ 13
第5章	アルミニウム床版のFEM解析	・ ・ ・ 15
5.1	FEM解析	・ ・ ・ 15
5.2	アルミニウム床版の開断面に生じる板曲げ応力	・ ・ ・ 15
5.2.1	橋軸断面に生じる応力	・ ・ ・ 15
5.2.2	橋軸直角断面に生じる応力	・ ・ ・ 16
5.3	アルミニウム床版の閉断面に生じる板曲げ応力	・ ・ ・ 17
5.3.1	橋軸断面に生じる応力	・ ・ ・ 17
5.3.2	橋軸直角断面に生じる応力	・ ・ ・ 18
第6章	複輪トラックタイヤ載荷と長方形領域載荷によって生じる板曲げ応力の比較	・ ・ ・ 19
6.1	複輪トラックタイヤ載荷と長方形領域載荷	・ ・ ・ 19
6.2	アルミニウム床版の開断面に生じる板曲げ応力の比較	・ ・ ・ 20
6.2.1	橋軸断面に生じる応力	・ ・ ・ 20
6.2.2	橋軸直角断面に生じる応力	・ ・ ・ 21
6.3	アルミニウム床版の閉断面に生じる板曲げ応力の比較	・ ・ ・ 21
6.3.1	橋軸断面に生じる応力	・ ・ ・ 21
6.3.2	橋軸直角断面に生じる応力	・ ・ ・ 22
第7章	結論	・ ・ ・ 24
	参考文献	・ ・ ・ 25

第1章 序論

わが国では、損傷した鉄筋コンクリート床版の補修・補強ならびに取替えが行われ始めている。床版を取替える場合、現行の道路橋示方書¹⁾を適用すると、床版が厚くなることによって死荷重が増加すること、ならびに設計活荷重が更新されていることによって、主桁の補強が必要になる場合がある^{2),3)}。これに対して、アルミニウム床版の導入により、床版そのものの重量を減らすことによって対処できないかとの要望^{4)~7)}が出されている。アルミニウム床版を用いることにより、鉄筋コンクリート床版と比較して、床版重量を約 1/5 に減らすことができ、従来よりも小型の架設重機で工事が行えるため、施工時の道路占有面積を抑え、事業を早期に完了することができる。

著者らは、これまでに、図 1 に示すような開閉断面のアルミニウム床版を開発してきた⁸⁾。アルミニウム床版の荷重載荷試験では、道路橋示方書¹⁾に規定される T 荷重に従って 500 mm×200 mm の長方形の領域に、硬質ゴム板を介して荷重を載荷した。その結果、長方形の載荷領域およびその近傍のアルミニウム床版に大きな板曲げ応力が発生することが明らかになった⁸⁾。

アルミニウム床版には、実際にはトラックタイヤが乗る。舗装設計施工指針⁹⁾のコンクリート舗装の疲労設計においては、タイヤの接地形状は、荷重の大きさによって直径が変化する円形として扱われている。秋山¹⁰⁾は、タイヤの接地形状は荷重の大きさだけでなくタイヤの空気圧によっても変化することを示している。これらを考慮すると、アルミニウム床版に生じる板曲げ応力は、トラックタイヤが載荷された場合と、500mm×200mm の長方形の領域に荷重が載荷された場合とではかなり異なることが予想される。

本研究では、トラックタイヤ載荷装置を製作し、これを用いて、トラックタイヤの接地形状がアルミニウム床版の板曲げ応力の発生に与える影響を明らかにする。



図 1 開閉断面のアルミニウム床版

第2章 トラックタイヤ載荷装置ならびにタイヤの接地形状 と接地圧力の計測方法

本研究で製作したトラックタイヤ載荷装置を図2に示す。タイヤは単輪である。この装置にはロードセルが設けられており、ストローク長を確保するために、200kNの油圧シリンダが採用されている。トラックタイヤの規格を表1に示す。タイヤの標準空気圧は700kPa、負荷能力は単輪で26.72kNである。タイヤのトレッド幅が210mmであるので、タイヤの最大接地幅は210mmである。

タイヤの接地面積および接地圧力の計測には、FUJIFILM社製のプレスケールとプレスケール圧力画像解析システムを用いた。3.2節で述べる小型圧力センサによる計測結果に基づいて、プレスケールには0.2～0.6MPaの圧力が計測できる極超低圧および0.5～2.5MPaの圧力が計測できる超低圧の2種類を用いた。アルミニウム床版の上にプレスケールを置き、その上にタイヤを乗せ、2分間で所定の荷重に到達させ、2分間その荷重を維持した後、荷重を除荷した。プレスケールは接地圧力の大きさに応じて発色する。この色をプレスケール圧力画像解析システムで読み取ることにより、接地圧力を測定した。

表1 トラックタイヤの規格

TOYO タイヤ		11R22.5 14PR
タイヤ構造		ラジアル
タイヤ外形[mm]		1060
リム径[mm]		572
断面幅[mm]		279.4
トレッド幅[mm]		210.0
負荷能力 [kN]	単輪	26.72
	複輪	24.52
標準空気圧[kPa]		700

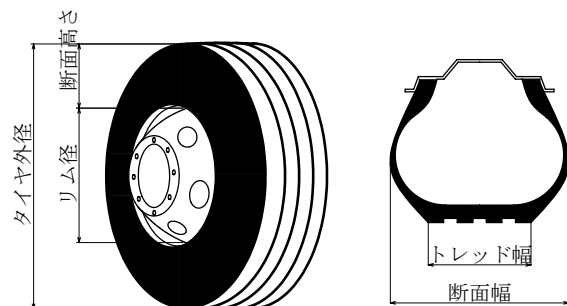
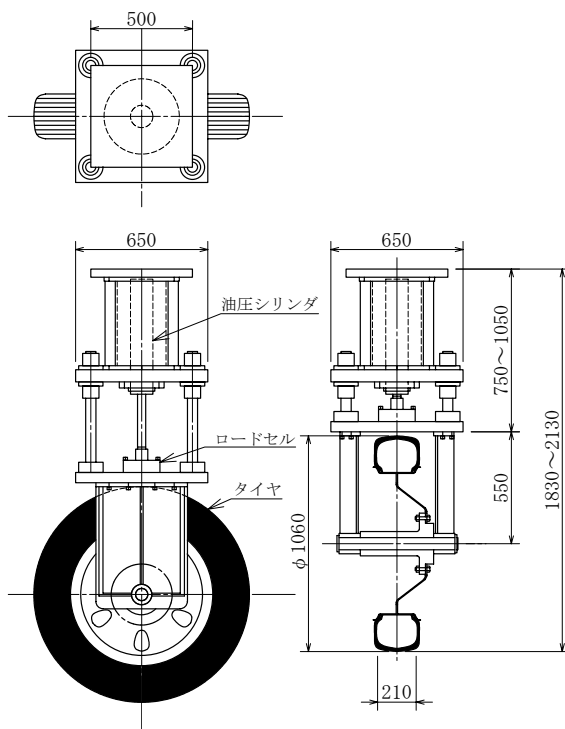


図2 トラックタイヤ載荷装置

第3章 荷重とタイヤの接地面積，平均接地圧力および接地半径の関係

3.1 アルミニウム床版と荷重の載荷方法

トラックタイヤを載荷したアルミニウム床版を図3に示す。アルミニウム床版は、鋼桁の上フランジにスタッドと無収縮モルタルで固定されている。アルミニウム床版と無収縮モルタルの材料特性を表2に示す。アルミニウム床版の材質はA6061S-T6である。このアルミニウム床版の詳細は文献8)に述べられている。

実橋では、アルミニウム床版の上に舗装が設けられ、舗装の剛性によって、アルミニウム床版に生じる応力が減ぜられる。しかし、アルミニウム床版はこれまでにない構造であり、現時点では、アルミニウム床版の疲労設計においては舗装の剛性を考慮しない安全側に立って設計するのが妥当であると考えられる。したがって、アルミニウム床版へトラックタイヤを直接載荷した。

タイヤの載荷位置は、図3に示すように、床版支間の中央である。さらに比較として、幅300mm、長さ400mm、厚さ50mmの鋼板をアルミニウム床版の中央に置き、その上にトラックタイヤを載荷した。この鋼板は剛床を模擬したものであり、以後、剛床と呼ぶ。

タイヤの接地形状と接地圧力は、タイヤの空気圧の影響を受けることが考えられるため、標準空気圧700kPaの他に、減圧された空気圧600kPaおよび加圧された空気圧800kPaに対しても載荷試験を行った。タイヤの負荷能力が26.72kNであるため、荷重の最大値を、その約2倍の50kNとした。10kN以下では荷重を2.5kNごとに増加させ、10kNから50kNの範囲に対して5kNごとに荷重を増加させた。トラックタイヤのアルミニウム床版への載荷状況を図1に示す。

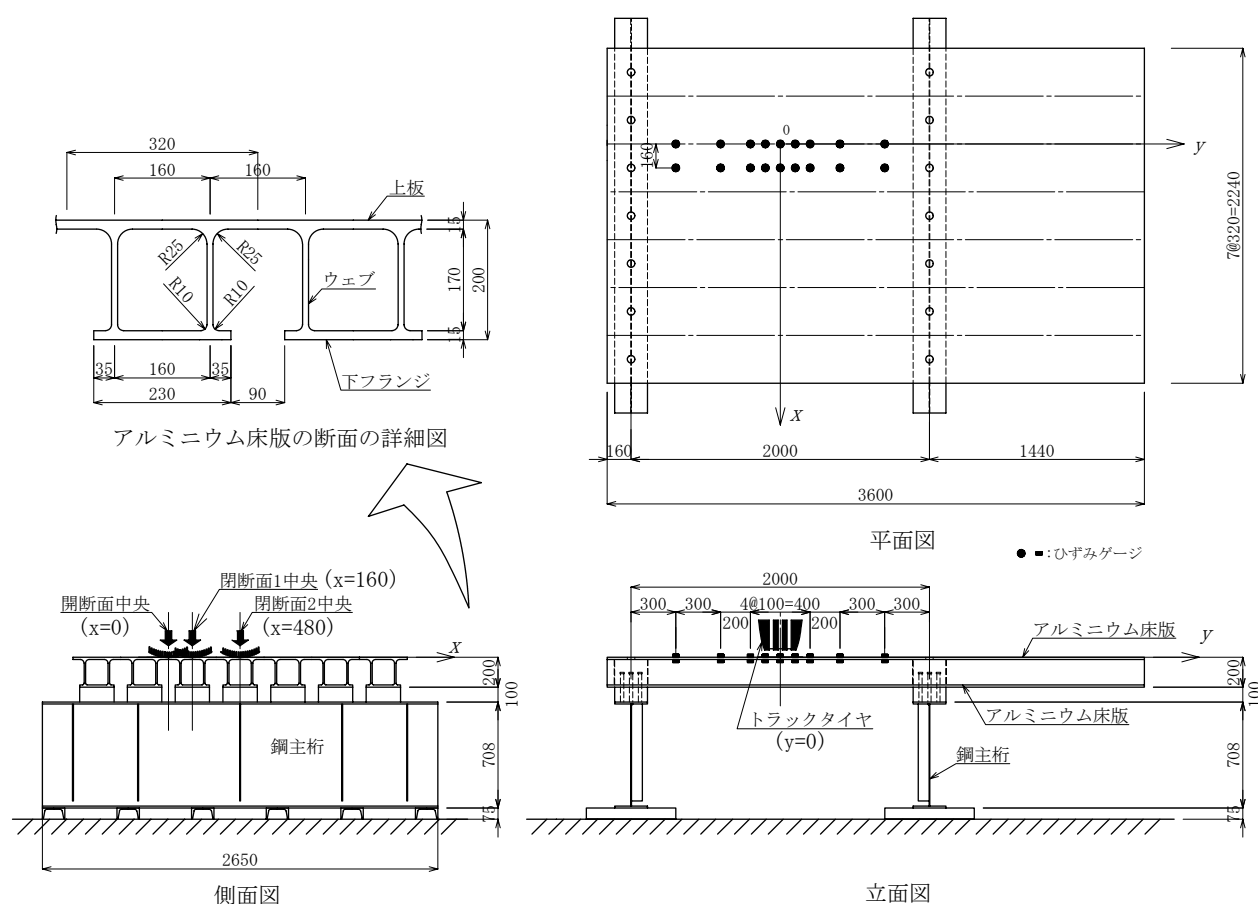


図3 アルミニウム床版の寸法緒元と荷重の載荷位置

表 2 アルミニウム床版と無収縮モルタルの材料特性

(a) アルミニウム床版

材質	A6061S-T6
0.2%耐力[MPa]	292
引張強さ[MPa]	309
ヤング係数 E_a [GPa]	71.5
ポアソン比 μ_a	0.31
伸び[%]	12.0

(b) 無収縮モルタル

圧縮強度[MPa]	75.5
ヤング係数[GPa]	27.7
ポアソン比	0.215

3.2 タイヤの接地形状と接地圧力

アルミニウム床版の開断面の中心にタイヤを載荷した場合に対して、極超低压のプレスケールによって計測されたタイヤの接地形状を図 4 に示す。タイヤの空気圧は 700kPa である。この図から分かるように、荷重 P_1 が 20kN までは、タイヤの接地形状は円形であるが、 P_1 が 20kN より大きくなると、接地形状は樽形になり、さらに P_1 が増加すると長方形に近づく。

極超低压(測定可能圧力 0.2~0.6 MPa)のプレスケールでは、図 4 に示すように、タイヤの接地圧力が計測範囲を超えた。超低压(測定可能圧力 0.5~2.5 MPa)のプレスケールでは、0.5 MPa 未満の圧力を検出できなかった。また、タイヤの溝の縁において、プレスケールで計測可能な圧力を超える圧力が発生したため、正確な接地圧力を計測することができなかった。さらにプレスケールでは、載荷中に発生した最大の接地圧力のみが計測されるので、荷重の増加に伴って接地圧力が低下するような場合には、最終の荷重に対する接地圧力を得ることができなかった。

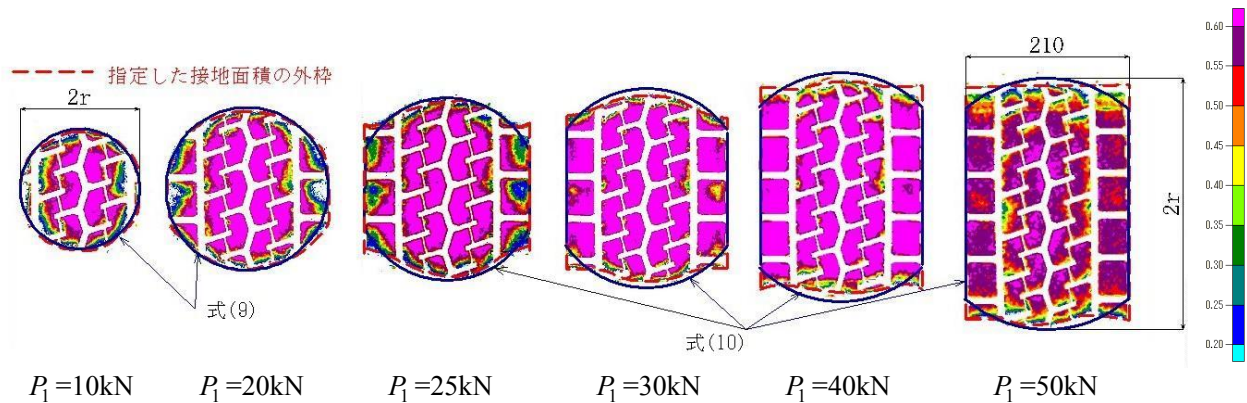


図 4 タイヤの接地形状[タイヤの空気圧 700kPa]

そこで、共和電業製の小型圧力センサ(PS-20KA M260)を用いて、図 5 の挿入図に示してある位置の接地圧力を計測した。小型圧力センサはタイヤの溝を避けて設置した。タイヤの空気圧 700kPa について、開断面にタイヤが載荷された場合に対する荷重 P_1 と各位置の接地圧力 q の関係を図 5 に示す。

図 5 から分かるように、タイヤの中心 $x=0$ の接地圧力 q は、 P_1 が 20kN を超えると増加しない。 $x=80$ の位置では、 P_1 が 10kN までは、タイヤが接触しないため q は 0MPa であるが、 P_1 が 10kN を超えると q は増加し始め、 P_1 が 40kN を超えると q の増加は止まる。このようにタイヤの接地圧力は、ある荷重以上で増加が止まる。

各タイヤの空気圧に対して、開断面、閉断面および剛床へ荷重を載荷した場合も、荷重とタイヤの接地圧力の関係は上記と同じ傾向を示した。

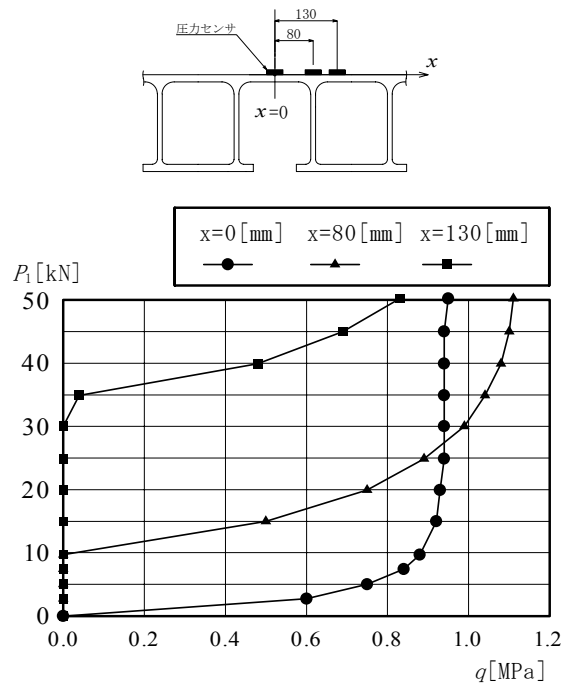


図5 タイヤの接地圧力[タイヤの空気圧 700kPa]

3.3 タイヤの接地面積と平均接地圧力

アルミニウム床版の開断面の中心にタイヤを載荷した場合に対して、荷重 P_1 と接地面積 A_1 の関係を図 6、荷重 P_1 と平均接地圧力 q_1 の関係を図 7 に示す。 A_1 は、図 4 に示すように、極超低圧(測定可能圧力 0.2~0.6 MPa)のプレスケールがタイヤの接地圧力に反応して発色した領域の外枠を指定して、プレスケール圧力画像解析システムから算出した面積である。したがって A_1 にはタイヤの溝の面積も含まれている。タイヤの平均接地圧力 q_1 は次式から計算される。

$$q_1 = \frac{P_1}{A_1} \quad (1)$$

図 6 と 7 から分かるように、タイヤの空気圧が大きくなると、同一の荷重 P_1 に対して接地面積 A_1 は小さくなり、平均接地圧力 q_1 は大きくなる。 P_1 が 15kN から 25kN の間で、 P_1 と A_1 の関係は直線から曲線に変化し、反対に P_1 と q_1 の関係は曲線から直線に変化する。この直線から曲線あるいは曲線から直線に変化するときの荷重は、タイヤの接地幅がタイヤのトレッド幅に達するときの荷重である。

タイヤの空気圧が 700kPa について、開断面、閉断面および剛板に対する荷重 P_1 と接地面積 A_1 の関係を図 8、荷重 P_1 と平均接地圧力 q_1 の関係を図 9 に示す。開断面と閉断面へ荷重を載荷した場合の P_1 と A_1 の関係および P_1 と q_1 の関係はそれぞれほぼ等しい。剛床へ荷重を載荷した場合の A_1 は、開断面または閉断面に荷重を載荷した場合の A_1 より少し小さく、剛床へ荷重を載荷した場合の q_1 は、開断面または閉断面に荷重を載荷した場合の q_1 より少し大きい。

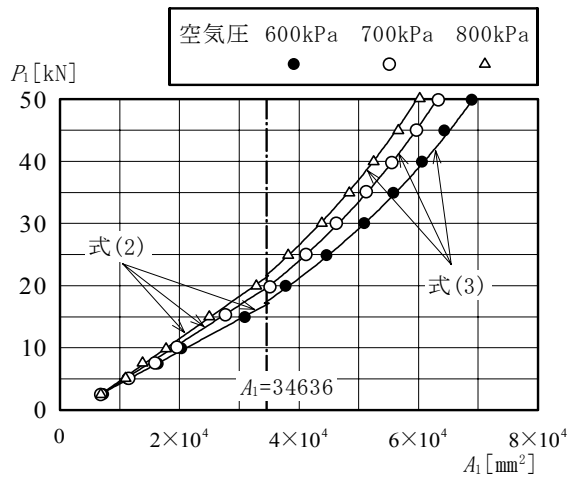


図6 P_1 と A_1 の関係[開断面]

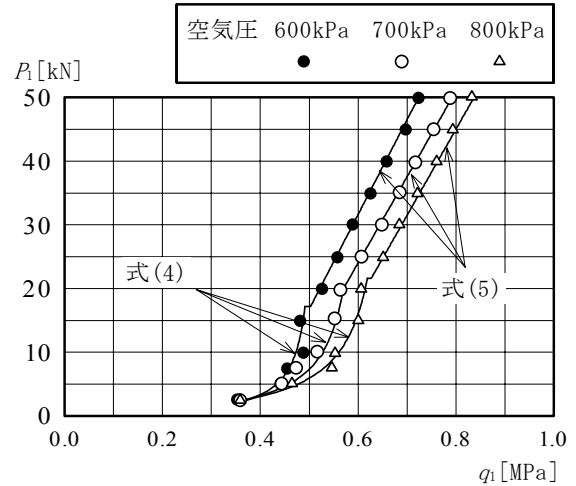


図7 P_1 と q_1 の関係[開断面]

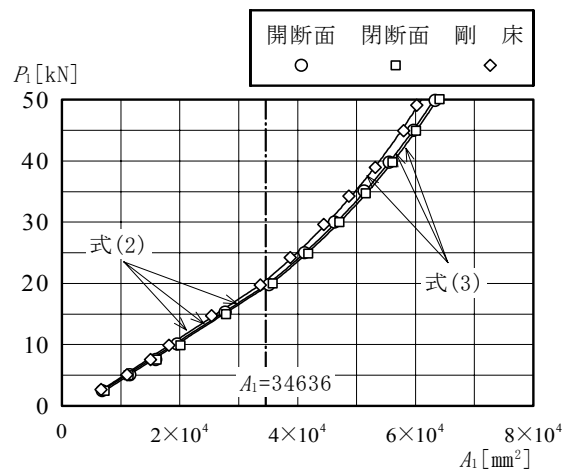


図8 P_1 と A_1 の関係[タイヤの空気圧 700kPa]

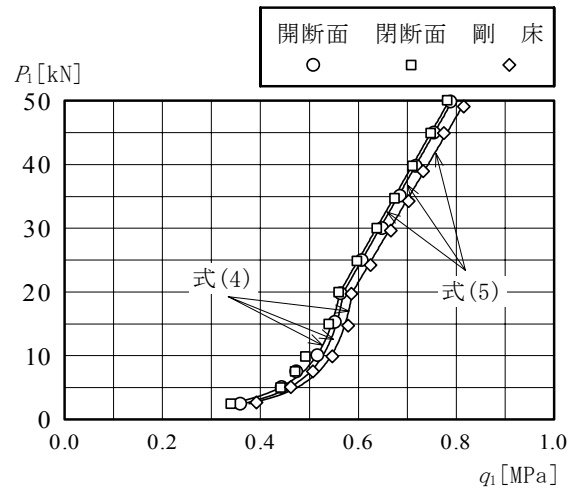


図9 P_1 と q_1 の関係[タイヤの空気圧 700kPa]

3.4 荷重とタイヤの接地面積および平均接地圧力の関係の定式化

円の直径がトレッド幅 210mm に達するまでタイヤの接地形状は円形である。したがって、タイヤの接地形状が円形から楕円形に変わる臨界の接地面積は、直径が 210 mm の円の面積 $A_1 = 34636 \text{ mm}^2$ である。この面積に対応する荷重を、タイヤの接地形状が円形から楕円形に変わる臨界荷重 P_{1cr} と定義する。図 6 と 8 に示すように、 $A_1 = 34636 \text{ mm}^2$ に対応する臨界荷重 P_{1cr} の値を表 3 に示す。この表から分かるように、タイヤの空気圧が高くなると、 P_{1cr} は大きくなるが、同一の空気圧に対して、開断面、閉断面および剛板の間で P_{1cr} の変化は小さい。

表 3 臨界荷重 P_{1cr} の値[kN]

空気圧[kPa]	開断面	閉断面	剛板
600	17.2	17.4	17.9
700	20.2	19.4	20.5
800	21.6	21.3	22.0

3.3 節で述べたように、 $P_1 \leq P_{1cr}$ で P_1 と A_1 の関係が直線になり、反対に $P_1 \geq P_{1cr}$ で P_1 と q_1 の関係が直線になることを考慮して、 P_1 と A_1 の関係および P_1 と q_1 の関係をそれぞれ次式で近似した。

$$A_1 = \alpha_1 P_1 + \alpha_2 \quad (2.5 \text{ kN} \leq P_1 \leq P_{1cr}) \quad (2)$$

$$A_1 = \frac{1000P_1}{\alpha_3 P_1 + \alpha_4} \quad (P_{1cr} \leq P_1 \leq 50\text{kN}) \quad (3)$$

$$q_1 = \frac{1000P_1}{\alpha_1 P_1 + \alpha_2} \quad (2.5\text{kN} \leq P_1 \leq P_{1cr}) \quad (4)$$

$$q_1 = \alpha_3 P_1 + \alpha_4 \quad (P_{1cr} \leq P_1 \leq 50\text{kN}) \quad (5)$$

ここで、 A_1 、 q_1 、 P_1 の単位はそれぞれ mm^2 、 MPa 、 kN である。

$P_1 \leq P_{1cr}$ で P_1 と A_1 の関係に最小二乗法を適用して α_1 と α_2 の値を決定し、 $P_1 \geq P_{1cr}$ で P_1 と q_1 の関係に最小二乗法を適用して α_3 と α_4 の値を決定した。これらの値を表4に示す。式(3)は式(1)と(5)から q_1 を消去することによって得られ、式(4)は式(1)と(2)から A_1 を消去することによって得られる。

式(2)と(3)が与える P_1 と A_1 の関係を図6と8に示し、式(4)と(5)が与える P_1 と q_1 の関係を図7と9に示す。式(2)～(5)は試験結果をよく近似していることが分かる。

表4 係数 α_1 、 α_2 、 α_3 および α_4 の値

空気圧[kPa]		開断面	閉断面	剛板
600	α_1	1923	1887	1923
	α_2	1924	2284	959
	α_3	6.729×10^{-3}	6.767×10^{-3}	7.075×10^{-3}
	α_4	0.387	0.389	0.397
700	α_1	1613	1613	1563
	α_2	2838	3299	2733
	α_3	7.405×10^{-3}	7.430×10^{-3}	7.707×10^{-3}
	α_4	0.422	0.414	0.434
800	α_1	1471	1471	1471
	α_2	3134	3428	2662
	α_3	7.394×10^{-3}	7.478×10^{-3}	7.678×10^{-3}
	α_4	0.467	0.459	0.470

3.5 荷重とタイヤの接地半径の関係の定式化

図10(a)を参照して、タイヤの接地形状が円形の場合、接地面積 A_1 と円の半径 r の関係は次式で与えられる。

$$A_1 = \pi r^2 \quad (r \leq 105\text{mm}) \quad (6)$$

円の直径がタイヤのトレッド幅210mmを超えると、タイヤの接地形状は楕形になる。図10(b)を参照して、半径 r の円内の、タイヤのトレッド幅部分を楕形と仮定すると、接地面積 A_1 と半径 r の関係が次式で与えられる。

$$A_1 = \left\{ 1 - \frac{2}{\pi} \cos^{-1} \left(\frac{105}{r} \right) \right\} \pi r^2 + 210 \sqrt{r^2 - (105)^2} \quad (r \geq 105\text{mm}) \quad (7)$$

この式は、 $105\text{mm} \leq r \leq 200\text{mm}$ の範囲で0.2%以下の誤差で次式で近似できる。

$$A_1 = 485.7r - 16360 \quad (105\text{mm} \leq r \leq 200\text{mm}) \quad (8)$$

式(6)と(8)を式(2)と(3)にそれぞれ代入して、荷重 P_1 と接地半径 r の関係が次式で与えられる。

$$r = \sqrt{\frac{\alpha_1 P_1 + \alpha_2}{\pi}} \quad (2.5\text{kN} \leq P_1 \leq P_{1cr}) \quad (9)$$

$$r = \frac{1000P_1}{485.7(\alpha_3 P_1 + \alpha_4)} + 33.7 \quad (P_{1cr} \leq P_1 \leq 50\text{kN}) \quad (10)$$

式(9)と(10)が与えるタイヤの接地形状を図4に示す。 $P_1 \leq P_{1cr}$ の場合、式(9)が与える円形は、タイヤの接地形状と一致している。 $P_1 \geq P_{1cr}$ の場合、式(10)が与える楕形は、タイヤの接地形状に概ね合っ

いる。

アルミニウム床版の開断面に荷重を載荷した場合に対して、式(9)と(10)が与える P_1 と r の関係を図 11 に示す。タイヤの空気圧が大きくなると、タイヤの接地半径は小さくなる。

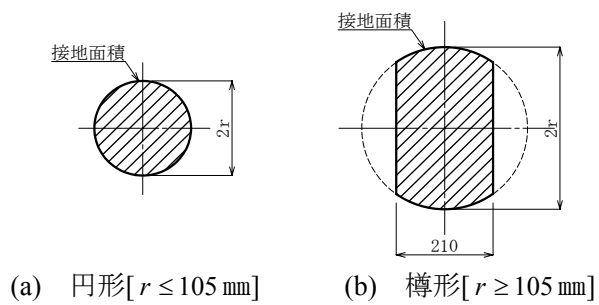


図 10 タイヤの接地半径

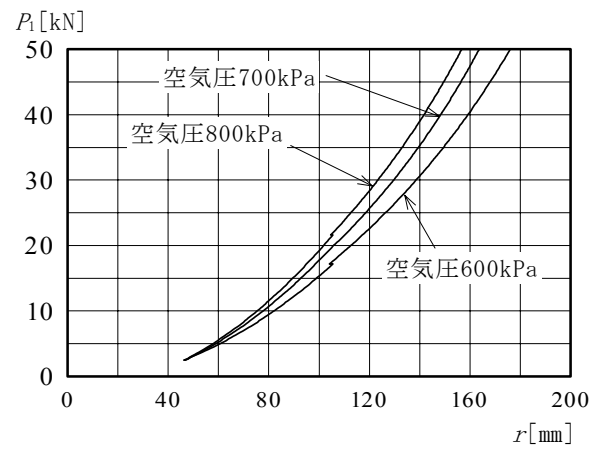


図 11 P_1 と r の関係

第4章 アルミニウム床版に生じる応力

アルミニウム床版に生じるひずみをゲージ長 2mm の 2 方向ひずみゲージにより計測した。ひずみゲージは、図 3 に示すように、アルミニウム床版の上板の上下面に対称に貼付されている。計測された 2 方向のひずみ ε_x と ε_y を用いて、アルミニウム床版の上板の橋軸断面に生じる応力 σ_x および橋軸直角断面に生じる応力 σ_y を次式から算出した。

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_x + \mu\varepsilon_y) \quad (11)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\mu^2}(\mu\varepsilon_x + \varepsilon_y) \quad (12)$$

ここで、ヤング率 E とポアソン比 μ に対して表 2(a) に示す値を用いた。

4.1 アルミニウム床版の開断面に生じる応力

4.1.1 橋軸断面に生じる応力

図 3 に示すアルミニウム床版の開断面の中心 ($x=0$, $y=0$) にタイヤを載荷した場合に対する σ_x の、開断面の中央の y 軸に沿う分布を図 12 に示す。図にはアルミニウム床版の上板の上下面の応力分布が示されている。タイヤの空気圧は 700kPa である。図から分かるように、 σ_x は、上面で圧縮応力、下面で引張応力であり、しかも両者の絶対値がほぼ等しいので、 σ_x は板曲げ応力である。 σ_x はタイヤの中心で最も大きく、タイヤの中心から約 200 mm 離れると急激に減少し、約 700 mm 離れた位置ではほぼ 0MPa になる。

荷重 P_1 とタイヤの中心位置の σ_x の関係を図 13 に示す。図には、タイヤの空気圧が 600kPa, 700kPa および 800kPa に対する結果が示されている。この図から分かるように、 P_1 が約 30kN あたりで σ_x は増加から減少に転じる。 σ_x の最大値は、タイヤの空気圧の低下に従って、小さくなる。このように、トラックタイヤを載荷した場合には、荷重 P_1 とアルミニウム床版の橋軸断面に生じる応力 σ_x の関係は非線形になる。この理由は第 5 章で明らかにする。

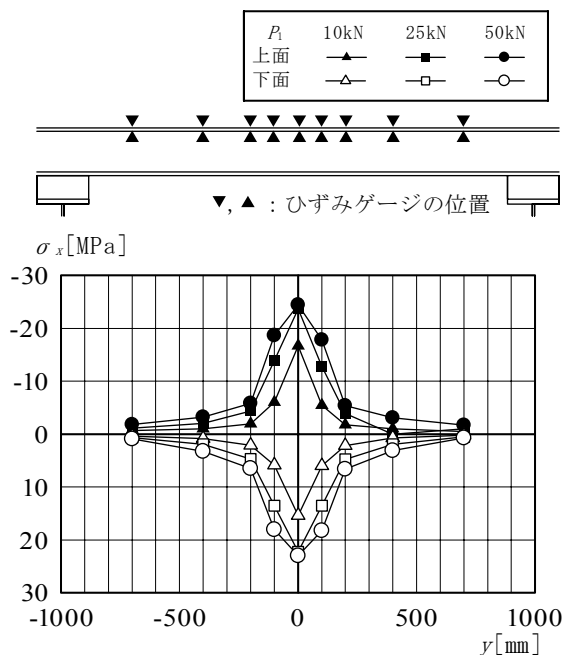


図 12 アルミニウム床版の上板の σ_x の分布
[タイヤの空気圧 700kPa]

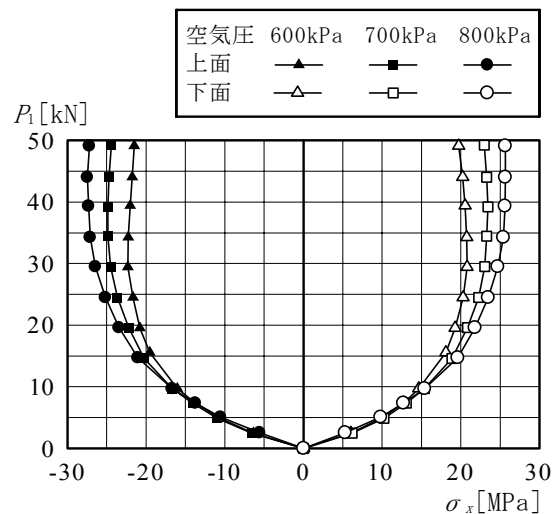


図 13 P_1 と σ_x の関係

タイヤの空気圧が 700kPa に対して、アルミニウム床版上板の開断面の中心 ($x=0$, $y=0$) の σ_x の影響線を図 14 に示す。この図から分かるように、上板上面の σ_x は、開断面直上に荷重が載荷されたときに最大の圧縮応力になり、荷重の位置が開断面から閉断面へ移動すると圧縮応力から引張応力に変化し、さらに荷重の位置が次の閉断面 ($x=480$) へ達するとほぼ 0 になる。 σ_x が最大の引張応力となる荷重の位置は、 $P_1=10\text{kN}$, 25kN の場合、閉断面中心 ($x=160\text{ mm}$) であるが、 $P_1=50\text{kN}$ の場合、アルミニウム床版のウェブの直上 ($x=240\text{ mm}$) となり、載荷荷重の大きさによって最大の引張応力が発生する荷重の位置が異なる。上板下面の開断面中心に生じる応力も同様に、荷重の位置が開断面から閉断面へ移動すると引張応力から圧縮応力に変化していることが分かる。

タイヤの各空気圧に対して、アルミニウム床版上板の上下面の開断面中心に生じる σ_x の応力範囲 $\Delta\sigma_x$ (応力の最大値と最小値の代数差) および応力比 R (応力の最大値に対する最小値の比) を表 5 に示す。この表から、タイヤの各空気圧において、 $P_1=50\text{kN}$ に対する応力範囲は、 $P_1=25\text{kN}$ のそれに近いことが分かる。さらに、 $P_1=10\text{kN}$ に対する応力範囲は、 $P_1=50\text{kN}$ のそれのおよそ 6~7 割である。 P_1 の各大きさに対して、タイヤの空気圧が増加すると応力範囲も増加する。

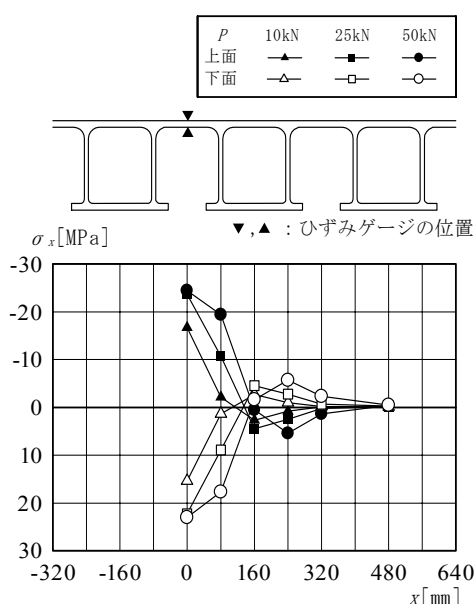


図 14 開断面の中心 ($x=0$, $y=0$) の σ_x の影響線
[タイヤの空気圧 700 k Pa]

表 5 開断面の中心 ($x=0$, $y=0$) の $\Delta\sigma_x$ および R

空気圧 (kPa)	P_1 (kN)	上面		下面	
		$\Delta\sigma_x$ (MPa)	R	$\Delta\sigma_x$ (MPa)	R
600	10	18.7	-6.09	17.2	-0.17
	25	25.7	-5.42	24.3	-0.20
	50	26.6	-4.20	25.3	-0.28
700	10	19.4	-6.22	18.1	-0.18
	25	28.1	-5.30	26.8	-0.20
	50	29.8	-4.52	28.7	-0.25
800	10	19.1	-6.99	18.0	-0.17
	25	29.8	-5.45	28.3	-0.20
	50	32.6	-5.05	31.4	-0.22

4.1.2 橋軸直角断面に生じる応力

アルミニウム床版の開断面の中心 ($x=0$, $y=0$) にタイヤを載荷した場合に対する σ_y の、開断面の中央の y 軸に沿う分布を図 15 に示す。図にはアルミニウム床版の上板の上下面の応力分布が示されている。タイヤの空気圧は 700kPa である。アルミニウム床版の上板の上面の応力の絶対値が下面の応力の絶対値より大きいので、 σ_y に関しては、板曲げ応力と圧縮の膜応力が発生している。この圧縮の膜応力は、アルミニウム床版全体の橋軸直角方向の曲げモーメントによって起こされる。アルミニウム床版の上下面の応力の差を 2 で除すことにより板曲げ応力成分 σ_{yb} が得られ、上下面の応力の和を 2 で除すことにより膜応力成分 σ_{ym} が得られる。

荷重 P_1 とタイヤの中心位置の σ_{yb} および σ_{ym} の関係を図 16 に示す。この図から分かるように、 P_1 と σ_{yb} の関係は非線形であり、 P_1 が約 25kN あたりで σ_{yb} は増加から減少に転じる。このように、 σ_{yb} は前述の σ_x と同様な傾向を示す。これに対して、 P_1 と σ_{ym} の関係は線形であり、しかも異なるタイヤの空気圧に対して同じ結果になる。すなわち、アルミニウム床版全体の橋軸直角方向の曲げモーメントによって起こされる圧縮の膜応力は、タイヤの接地形状およびタイヤの空気圧の影響を受けない。

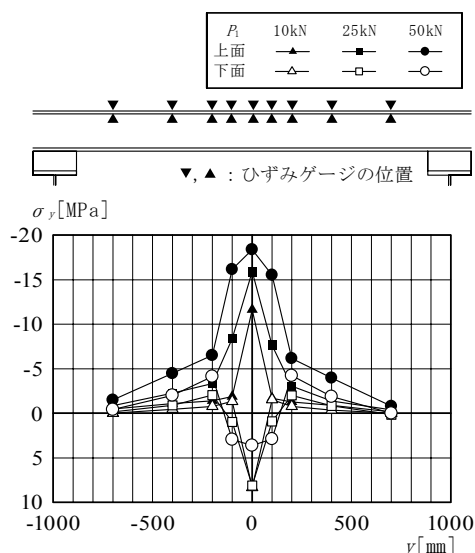


図 15 アルミニウム床版の上板の σ_y の分布
[タイヤの空気圧 700kPa]

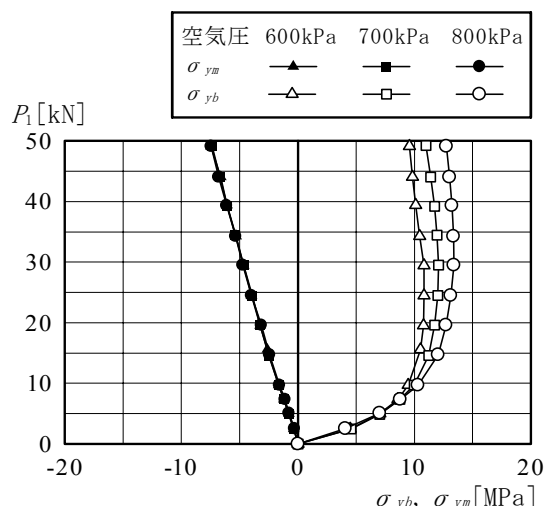


図 16 P_1 と σ_{yb} および σ_{ym} の関係

タイヤの空気圧が 700kPa に対して、アルミニウム床版上板の開断面の中心($x=0$, $y=0$)の σ_y の影響線を図 17 に示す. この図から分かるように、上板上面の σ_y は、開断面直上に荷重が載荷されたときに最大の圧縮応力になり、荷重の位置が開断面から離れると減少し、さらに荷重の位置が次の閉断面($x=480$)へ達するとほぼ 0 になる. 他方、上板下面の開断面中心に生じる応力は、開断面直上に荷重が載荷されたときに最大の引張応力になり、荷重の位置が開断面から閉断面へ移動すると引張応力から圧縮応力に変化し、さらに荷重の位置が次の閉断面($x=480$)へ達するとほぼ 0 となっていることが分かる. σ_y が最大の圧縮応力となる荷重の位置は、 $P_1=10\text{kN}$, 25kN の場合、閉断面中心($x=160\text{ mm}$)であるが、 $P_1=50\text{kN}$ の場合、アルミニウム床版のウェブの直上($x=240\text{ mm}$)となり、載荷荷重の大きさによって最大の引張応力が発生する荷重の位置が異なる.

タイヤの各空気圧に対して、アルミニウム床版上板の上下面の開断面中心に生じる σ_y の応力範囲 $\Delta\sigma_y$ および応力比 R を表 6 に示す. この表から、タイヤの各空気圧において、上板上面の応力範囲は、荷重の増加に従って増加するが、上板下面の応力範囲は、 $P_1=50\text{kN}$ に対する応力範囲が、 $P_1=25\text{kN}$ のそれより小さいことがわかる.

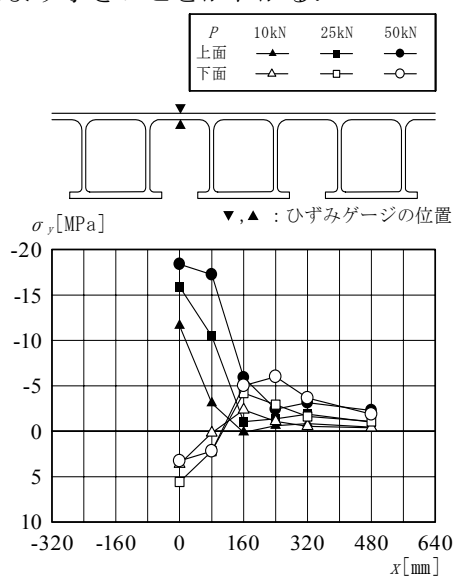


図 17 開断面の中心 ($x=0$, $y=0$) σ_y の影響線
[タイヤの空気圧 700kPa]

表 6 開断面の中心 ($x=0$, $y=0$) の $\Delta\sigma_y$ および R

空気圧 (kPa)	P_1 (kN)	上面		下面	
		$\Delta\sigma_y$ (MPa)	R	$\Delta\sigma_y$ (MPa)	R
600	10	11.1	$-\infty$	10.1	-0.28
	25	14.8	$-\infty$	10.9	-0.59
	50	17.0	$-\infty$	8.1	-2.81
700	10	11.7	-99.8	10.7	-0.28
	25	15.9	$-\infty$	12.3	-0.52
	50	18.4	$-\infty$	9.6	-1.65
800	10	12	-122.3	10.9	-0.25
	25	17.1	$-\infty$	13.6	-0.48
	50	20.2	$-\infty$	11.3	-1.13

4.2 アルミニウム床版の閉断面に生じる応力

4.2.1 橋軸断面に生じる応力

アルミニウム床版の閉断面の中心($x=160, y=0$)にタイヤを載荷した場合に対する σ_x の、閉断面の中央の y 軸に沿う分布を図 18 に示す。図にはアルミニウム床版の上板上面の応力分布が示されている。タイヤの空気圧は 700kPa である。図から分かるように、 σ_x はタイヤの中心で最も大きく、タイヤの中心から約 200 mm 離れると急激に減少し、約 700 mm 離れた位置ではほぼ 0MPa になる。

荷重 P_1 とタイヤの中心位置の σ_x の関係を図 19 に示す。図には、タイヤの空気圧が 600kPa, 700kPa および 800kPa に対する結果が示されている。この図から分かるように、 P_1 が約 30kN あたりで σ_x の増加の割合が小さくなる。 σ_x の最大値は、タイヤの空気圧の低下に従って小さくなる。このように、トラックタイヤを載荷した場合には、荷重 P_1 とアルミニウム床版の橋軸断面に生じる応力 σ_x の関係は非線形になる。この理由は第 5 章で明らかにする。

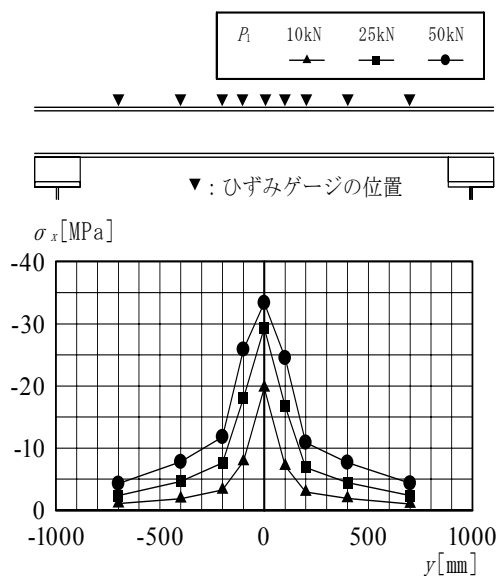


図 18 アルミニウム床版の上板の σ_x の分布
[タイヤの空気圧 700kPa]

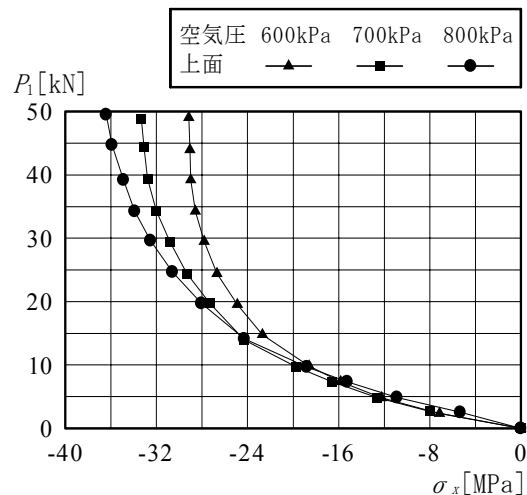


図 19 P_1 と σ_x の関係

タイヤの空気圧が 700kPa に対して、アルミニウム床版上板の閉断面の中心($x=160, y=0$)の σ_x の影響線を図 20 に示す。この図から分かるように、 σ_x は、閉断面直上に荷重が載荷されたときに最大の圧縮応力になり、 $P_1=10\text{kN}$ と 25kN の場合、荷重が閉断面から開断面に移動すると圧縮応力から引張応力に変化する。 $P_1=50\text{kN}$ の場合、荷重が次の閉断面($x=480$)へ移動すると圧縮応力から引張応力に変化する。

タイヤの各空気圧と載荷荷重に対して、アルミニウム床版上板の上面の閉断面中心に生じる σ_x の応力範囲 $\Delta\sigma_x$ および応力比 R を表 7 に示す。この表から、タイヤの各空気圧において、 $P_1=50\text{kN}$ に対する応力範囲は、 $P_1=25\text{kN}$ のその約 1.1~1.2 倍であることが分かる。

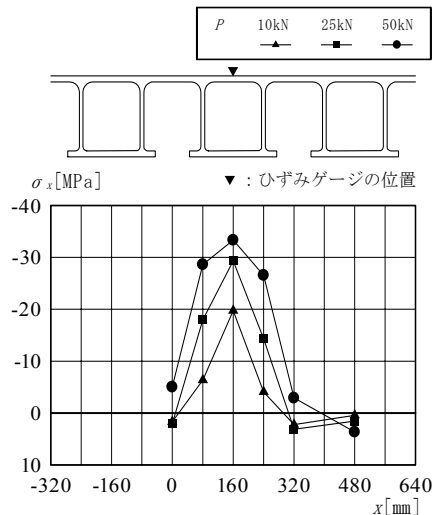


図 20 閉断面の中心($x=160, y=0$)の σ_x の影響線
[タイヤの空気圧 700kPa]

表 7 閉断面の中心($x=160, y=0$)の $\Delta\sigma_x$ および R

空気圧 (kPa)	P_1 (kN)	$\Delta\sigma_x$ (MPa)	R
600	10	20.7	-8.86
	25	29.3	-10.18
	50	33.0	-7.56
700	10	21.9	-8.94
	25	32.4	-9.47
	50	37.0	-9.14
800	10	20.9	-8.84
	25	34.0	-9.11
	50	40.0	-10.05

4.2.2 橋軸直角断面に生じる応力

アルミニウム床版の閉断面の中心($x=160, y=0$)にタイヤを載荷した場合に対する σ_y の、閉断面の中央の y 軸に沿う分布を図 21 に示す。図にはアルミニウム床版の上板の上面と下フランジの下面の応力分布が示されている。タイヤの空気圧は 700kPa である。図から分かるように、上板では、 σ_y はタイヤの中心で最も大きく、タイヤの中心から約 200 mm 離れると急激に減少し、約 700 mm 離れた位置ではほぼ 0MPa になる。下フランジではタイヤの中心で最も大きく、タイヤの中心から離れるに従って線形的に減少する。

荷重 P_1 とタイヤの中心位置の σ_y の関係を図 22 に示す。図には、タイヤの空気圧が 600kPa, 700kPa および 800kPa に対する結果が示されている。この図から分かるように、上板では、 P_1 と σ_y の関係は非線形になり、 σ_y の最大値は、タイヤの空気圧の低下に従って小さくなる。他方、下フランジでは、荷重が増加するに従い、 σ_y は線形的に増加し、タイヤの空気圧の影響を受けない。このように、トラックタイヤ載荷の場合、荷重 P_1 とアルミニウム床版の橋軸断面に生じる応力 σ_y の関係は、上板で非線形、下フランジで線形になる。

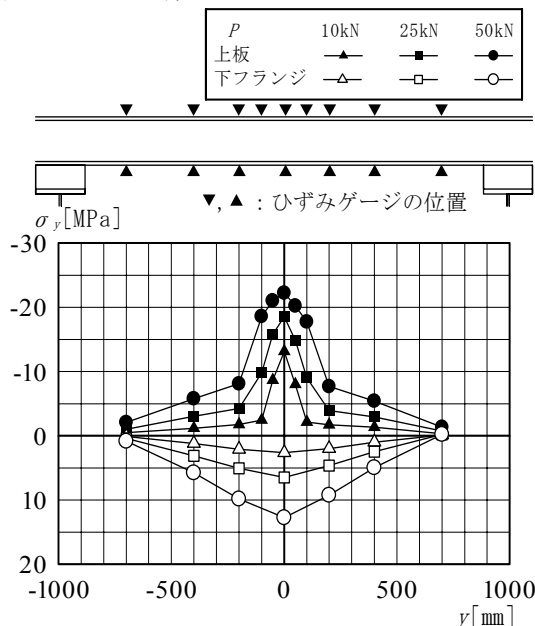


図 21 アルミニウム床版の σ_y の分布
[タイヤの空気圧 700kPa]

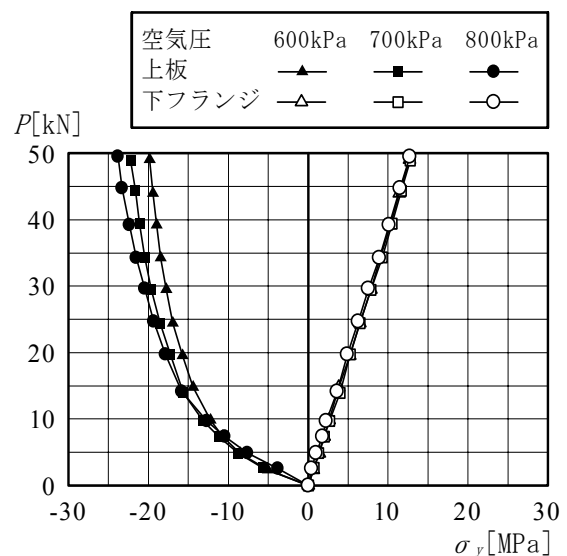


図 22 P_1 と σ_y の関係

タイヤの空気圧が 700kPa に対して，アルミニウム床版の上板上面および下フランジ下面の閉断面の中心($x=160, y=0$)の σ_y の影響線を図 23 に示す．この図から分かるように，上板上面の σ_y は，閉断面直上に荷重が載荷されたときに最大の圧縮応力になり，荷重の位置が閉断面から移動すると応力が減少し，さらに荷重の位置が次の閉断面($x=480$)へ達するとほぼ 0 となっていることが分かる．同様に，下フランジ下面の σ_y は，閉断面直上に荷重が載荷されたときに最大の引張応力になり，荷重の位置が閉断面から移動すると応力が減少し，さらに荷重の位置が次の閉断面($x=480$)へ達するとほぼ 0 となっていることが分かる．

タイヤの各空気圧と載荷荷重に対して，アルミニウム床版の上板上面および下フランジ下面の閉断面中心に生じる応力範囲 $\Delta\sigma_y$ および応力比 R を表 8 に示す．この表から，各載荷荷重の大きさに対して，タイヤの空気圧が増加すると，上板上面の応力範囲は増加するが，下フランジ下面の応力範囲は変化しないことが分かる．

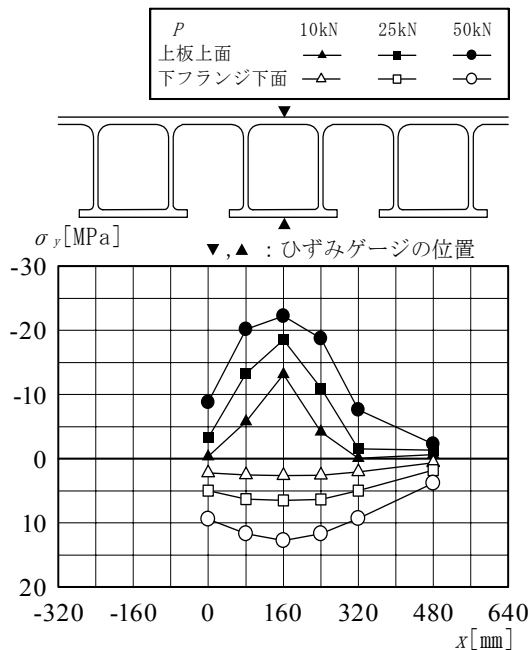


図 23 閉断面の中心($x=160, y=0$)の σ_y の影響線[タイヤの空気圧 700kPa]

表 8 閉断面の中心($x=160, y=0$)の $\Delta\sigma_y$ および R

空気圧 (kPa)	P_1 (kN)	上板上面		下フランジ下面	
		$\Delta\sigma_y$ (MPa)	R	$\Delta\sigma_y$ (MPa)	R
600	10	12.3	-155.73	2.8	0
	25	16.9	$-\infty$	6.5	0
	50	19.8	$-\infty$	12.7	0
700	10	13.1	$-\infty$	2.7	0
	25	18.5	$-\infty$	6.5	0
	50	22.2	$-\infty$	12.8	0
800	10	12.7	$-\infty$	2.8	0
	25	19.3	$-\infty$	6.5	0
	50	23.8	$-\infty$	12.7	0

第5章 アルミニウム床版のFEM解析

第4章で、トラックタイヤが载荷された場合、荷重とアルミニウム床版に生じる板曲げ応力の関係が非線形になることを示した。本章では、この理由をFEM解析によって明らかにする。

5.1 FEM解析

FEM解析には汎用有限要素解析プログラム MARC¹¹⁾を使用した。アルミニウム床版の要素分割を図24に示す。x軸およびy軸に対して、それぞれ対称となる境界条件を設けた。アルミニウム床版が鋼桁に連結される位置でz軸方向の変位を拘束し、アルミニウム床版と鋼桁の連結に用いられる無収縮モルタルを閉断面内に考慮した。アルミニウム床版に4節点厚肉四辺形シェル要素(MARCの要素 No.75)、無収縮モルタルに3次元直方体(六面体)要素(MARCの要素 No.7)を使用した。無収縮モルタルの節点とアルミニウム床版の節点が重なる位置において、両者の節点を共有させた。空気圧700kPaのタイヤが開断面および閉断面の中心に载荷された場合に対して、式(4)と(5)から計算される平均接地圧力を式(9)と(10)から計算されるタイヤの接地形状に载荷した。アルミニウム床版および無収縮モルタルのヤング率 E とポアソン比 μ に対して表2の値を使用した。

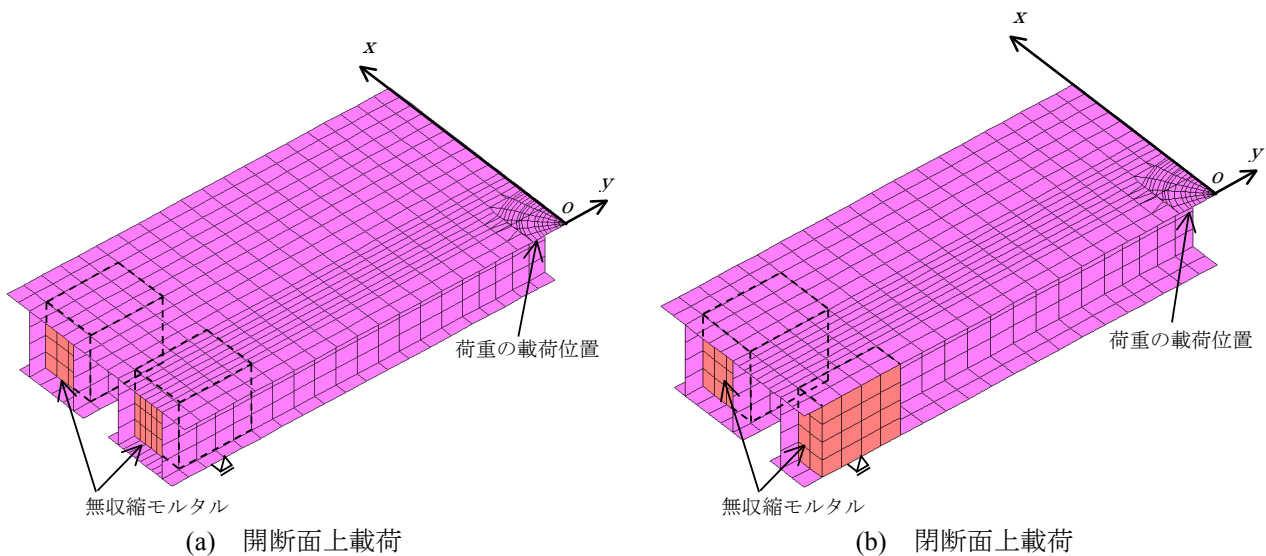


図24 アルミニウム床版の要素分割

5.2 アルミニウム床版の開断面に生じる板曲げ応力

5.2.1 橋軸断面に生じる応力

荷重 $P_1=25\text{kN}$ に対して、FEM解析によるアルミニウム床版の上板の橋軸断面に生じる応力 σ_x の分布を図25に示す。解析値は試験値とほぼ一致している。

FEM解析による荷重 P_1 とタイヤ直下の σ_x の関係を図26に示す。FEM解析の結果は、試験結果と同様に非線形性を示し、 $P_1=15\text{kN}$ 辺りから σ_x の増加の割合が小さくなる。これは、タイヤの接地形状が変化すること、および図27(a)に示すように、タイヤの接地半径が大きくなると荷重が閉断面の上板に载荷されるようになり、これが開断面の上板に負曲げモーメントを起こさせるからである。

しかし図26において、 P_1 が約25kN以上になると、 σ_x の試験値は増加しないが、解析値は依然増加している。この違いは、FEM解析では、式(4)と(5)から計算される平均接地圧力 q_1 は P_1 の増加に伴って増加するが、図5に示したように、実際のタイヤの接地圧力はある一定値より増加しないからである。

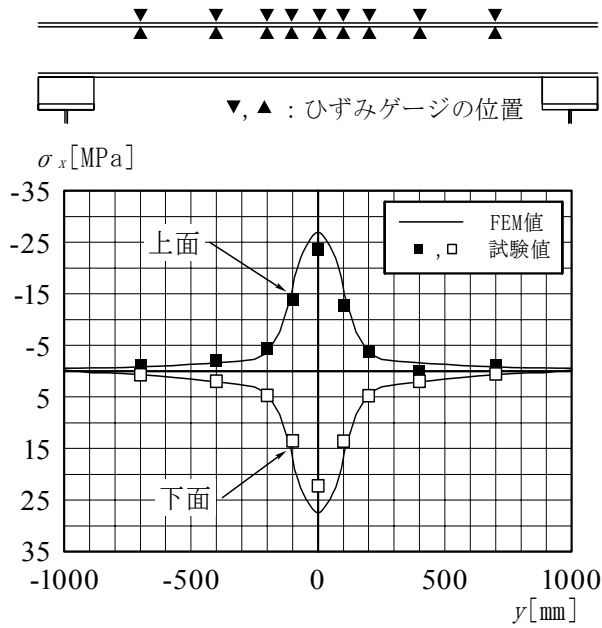


図 25 アルミニウム床版上板の σ_x の分布
[タイヤの空気圧 700kPa]

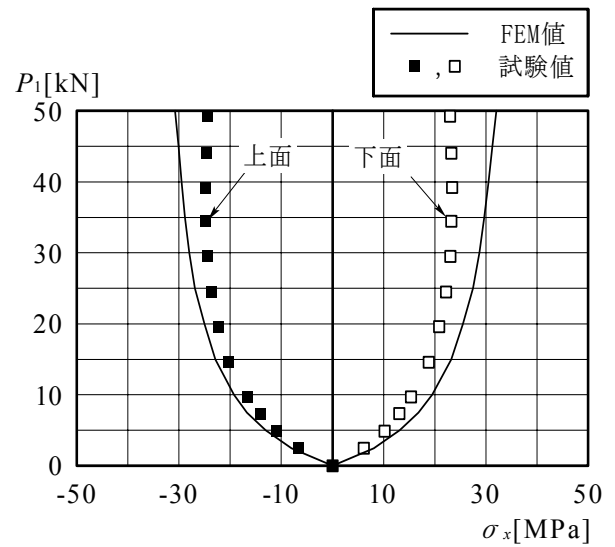
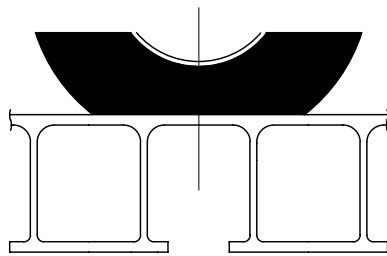
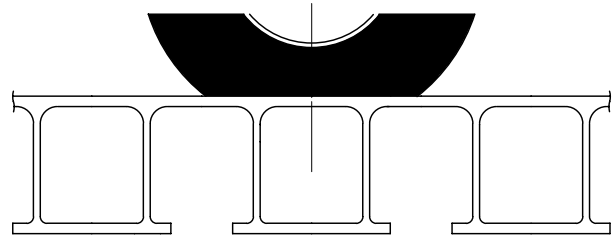


図 26 P_1 と σ_x の関係[タイヤの空気圧 700kPa]



(a) 開断面上载荷



(b) 閉断面载荷

図 27 タイヤの接地状況

5.2.2 橋軸直角断面に生じる応力

荷重 $P_1=25\text{kN}$ に対して、FEM 解析によるアルミニウム床版の上板の橋軸直角断面に生じる応力 σ_y の分布を図 28 に示す。 σ_y は、タイヤの直下の狭い範囲で局所的に高くなることが FEM 解析の結果からも確認できる。

FEM 解析が与える、荷重 P_1 とタイヤ直下の σ_y の板曲げ応力成分 σ_{yb} および膜応力成分 σ_{ym} の関係を図 29 に示す。 P_1 と σ_{yb} の関係は非線形で、 P_1 と σ_{ym} の関係が線形になることが FEM 解析によって確認できる。

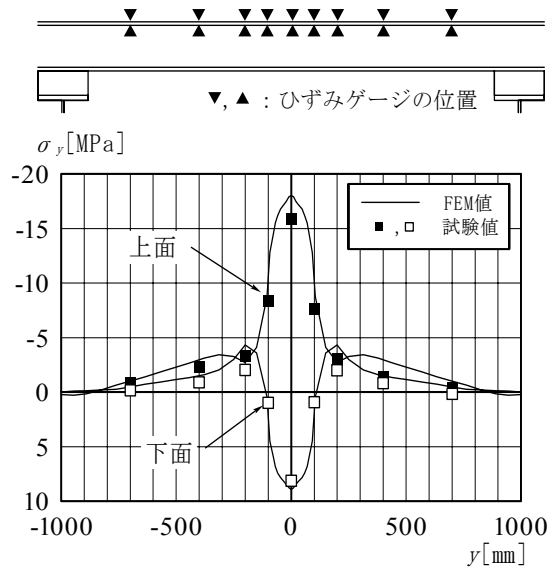


図 28 アルミニウム床版の上板の σ_y の分布
[タイヤの空気圧 700kPa]

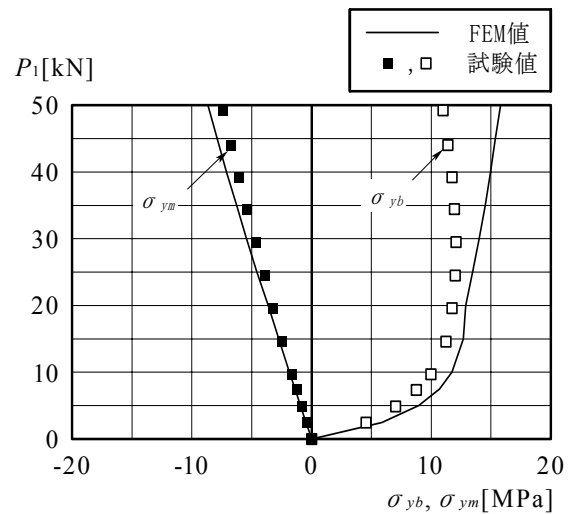


図 29 P_1 と σ_{yb} および σ_{ym} の関係
[タイヤの空気圧 700kPa]

5.3 アルミニウム床版の開断面に生じる板曲げ応力

5.3.1 橋軸断面に生じる応力

荷重 $P_1=25\text{kN}$ に対して、FEM 解析によるアルミニウム床版の上板の橋軸断面に生じる応力 σ_x の分布を図 30 に示す。開断面の上板では、上面のみにひずみゲージを貼ることができるので、試験値に対して上板上面の結果が示してある。解析値は試験値とほぼ一致している。

FEM 解析による荷重 P_1 とタイヤ直下の σ_x の関係を図 31 に示す。FEM 解析の結果は、試験結果と同様に非線形性を示し、 $P_1=20\text{kN}$ 辺りから σ_x の増加の割合が小さくなる。これは、タイヤの接地形状が変化すること、および図 27(b)に示すように、タイヤの接地半径が大きくなると荷重が開断面の上板に載荷されるようになる、これが開断面の上板に負曲げモーメントを起こさせるからである。

しかし図 31 において、 P_1 が約 25kN 以上になると、 σ_x の解析値は試験値と異なる。この違いは、FEM 解析では、式(4)と(5)から計算される平均接地圧力 q_1 は P_1 の増加に伴って増加するが、図 5 に示したように、実際のタイヤの接地圧力はある一定値より増加しないからである。

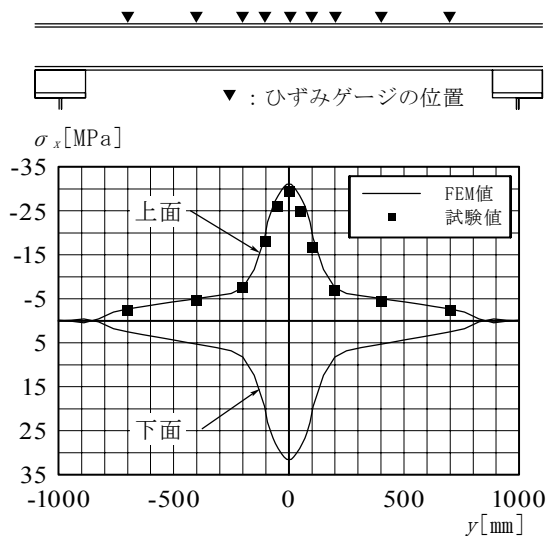


図 30 アルミニウム床版上板の σ_x の分布
[タイヤの空気圧 700kPa]

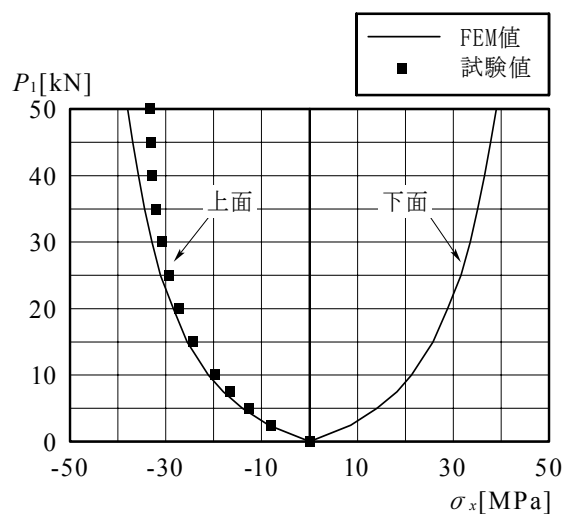


図 31 P_1 と σ_x の関係[タイヤの空気圧 700kPa]

5.3.2 橋軸直角断面に生じる応力

荷重 $P_1=25\text{kN}$ に対して、FEM 解析によるアルミニウム床版の上板および下フランジ下面の橋軸直角断面に生じる応力 σ_y の分布を図 32 に示す。上板における σ_y は、タイヤの直下の狭い範囲で局所的に高くなることが FEM 解析の結果からも確認できる。アルミニウム床版の上板上面の応力の絶対値が下面の応力の絶対値より大きいので、上板の σ_y に関しては、開断面と同様に、閉断面でも板曲げ応力と圧縮の膜応力が発生している。他方、下フランジでは試験結果よりも解析値が大きな値を示している。これは、解析モデルでは、アルミニウム床版が鋼桁の位置で単純支持されているが、試験体では、アルミニウム床版と鋼桁の上フランジとはスタッドにより結合されており、アルミニウム床版は鋼桁からある程度の回転拘束を受けるからである。

荷重 P_1 と板曲げ応力成分 σ_{yb} ，膜応力成分 σ_{ym} の関係を図 33 に示す。開断面と同様に、 P_1 と σ_{yb} の関係は非線形で、 P_1 と σ_{ym} の関係が線形になることが FEM 解析によって確認できる。

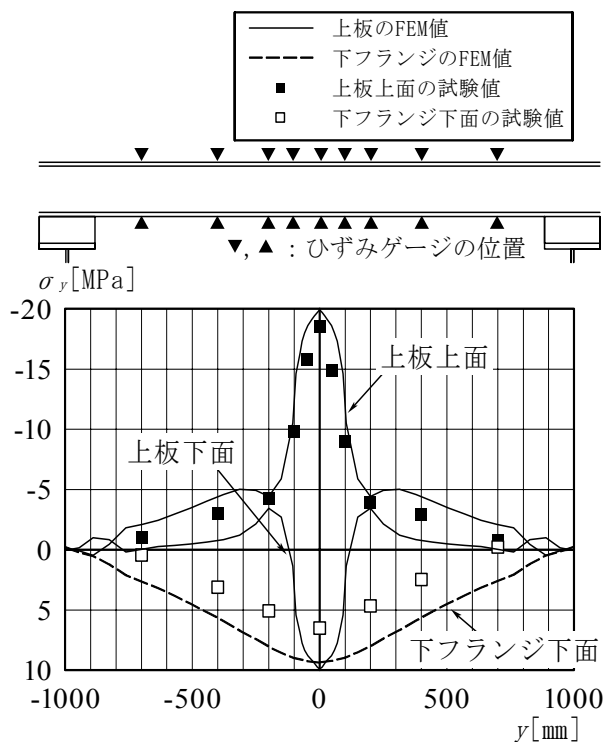


図 32 アルミニウム床版の σ_y の分布
[タイヤの空気圧 700kPa]

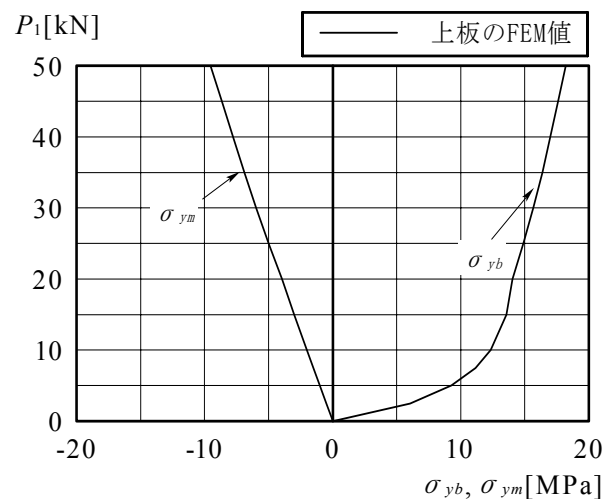


図 33 P_1 と σ_{yb} および σ_{ym} の関係
[タイヤの空気圧 700kPa]

第 6 章 複輪トラックタイヤ載荷と長方形領域載荷 によって生じる板曲げ応力の比較

複輪トラックタイヤ載荷によってアルミニウム床版に生じる板曲げ応力と、道路橋示方書¹⁾に規定される T 荷重に従って 500 mm×200 mm の長方形領域載荷によってアルミニウム床版に生じる板曲げ応力の比較を FEM 解析によって行なう。

6.1 複輪トラックタイヤ載荷と長方形領域載荷

複輪トラックタイヤ載荷に対して、図 34 に示すように、複輪の最大接地幅を 500 mm とし、各タイヤに荷重 P_1 を載荷する。すなわち各タイヤに対して、式(4)と(5)から計算される平均接地圧力を式(9)と(10)から計算されるタイヤの接地形状に載荷する。タイヤの空気圧は 700kPa とし、複輪トラックタイヤ全体の中心をアルミニウム床版の支間中央に合わせた。複輪トラックタイヤ載荷の輪荷重 P は単輪荷重 P_1 の 2 倍である。すなわち、

$$P = 2P_1 \quad (13)$$

複輪トラックタイヤ載荷に対するアルミニウム床版の要素分割を図 35 に示す。

他方、500 mm×200 mm の長方形領域載荷に対して、次式から計算される平均接地圧力 q_s を 500 mm×200 mm の長方形領域に載荷する。

$$q_s = \frac{P}{100} \quad (14)$$

ここに、 q_s と P の単位はそれぞれ MPa、kN である。

長方形の長辺の中央をアルミニウム床版の支間中央に合わせた。長方形板領域載荷に対するアルミニウム床版の要素分割を図 36 に示す。

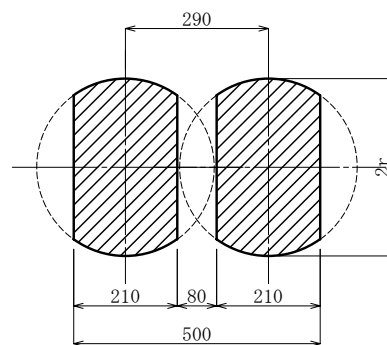


図 34 複輪トラックタイヤの接地形状

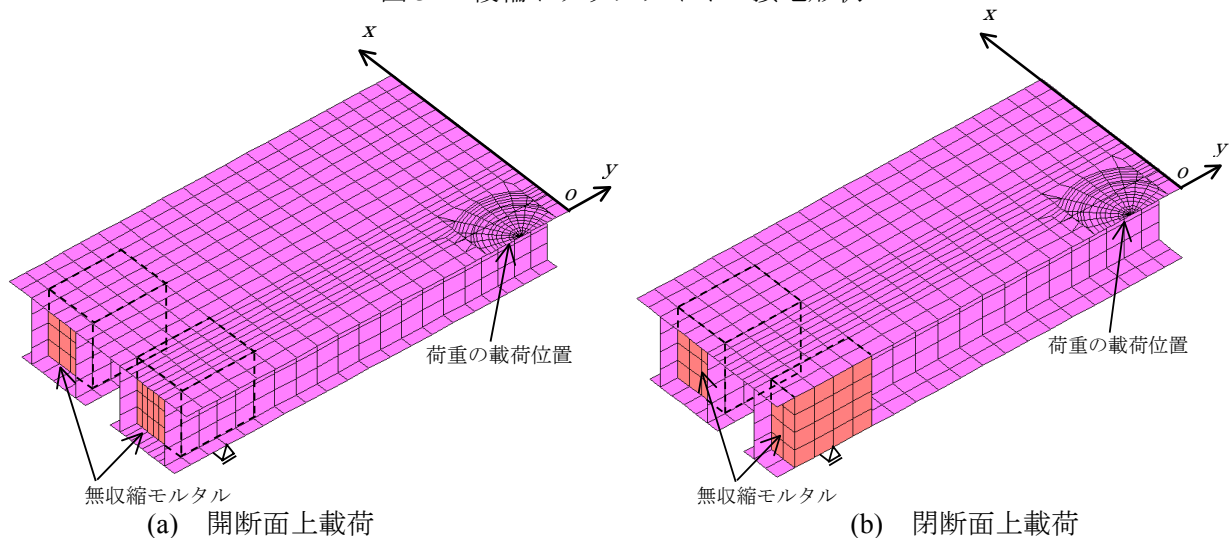


図 35 複輪トラックタイヤ載荷に対するアルミニウム床版の要素分割

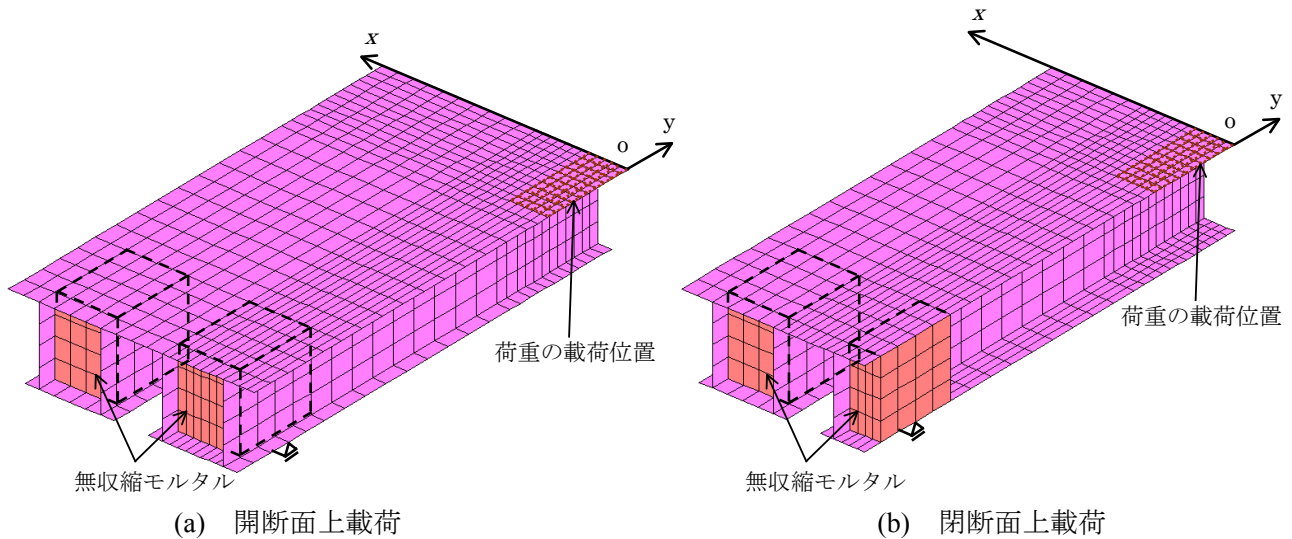


図 36 長方形板領域載荷に対するアルミニウム床版の要素分割

6.2 アルミニウム床版の開断面に生じる板曲げ応力の比較

6.2.1 橋軸断面に生じる応力

輪荷重 $P = 50 \text{ kN}$ に対して、アルミニウム床版の上板の橋軸断面に生じる応力 σ_x の分布を図 37 に示す。この図には、試験において、空気圧 700 kPa に対して、単輪トラックタイヤ載荷によってアルミニウム床版に発生した応力の重ね合わせによって得られる結果も示してある。複輪トラックタイヤ載荷では、各タイヤの直下で応力が最大になる。他方、長方形領域載荷では、長辺の中央の位置で応力が最大になる。

輪荷重 P と応力 σ_x の最大値の関係を図 38 に示す。 P と σ_x の関係は、複輪トラックタイヤ載荷の場合、非線形になるが、長方形領域載荷の場合、線形である。解析値では、 P が約 60 kN より小さいとき、複輪トラックタイヤ載荷の σ_x が、長方形領域載荷の σ_x より大きく、 P が約 60 kN より大きくなると、長方形領域載荷の σ_x が複輪トラックタイヤ載荷の σ_x より大きくなる。

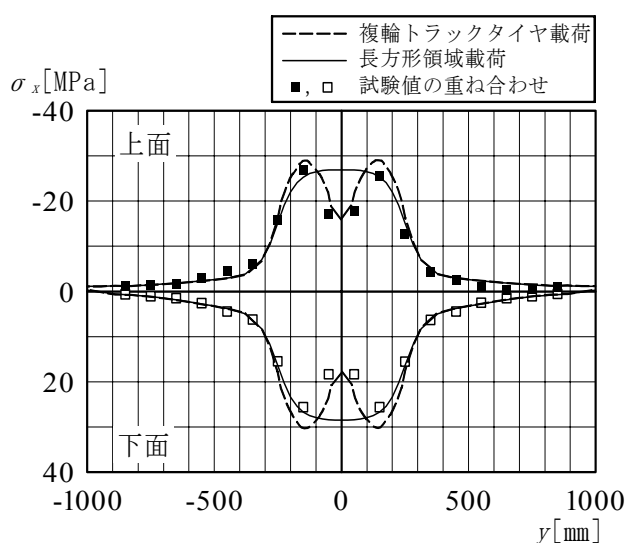


図 37 アルミニウム床版の上板の σ_x の分布
[タイヤの空気圧 700 kPa]

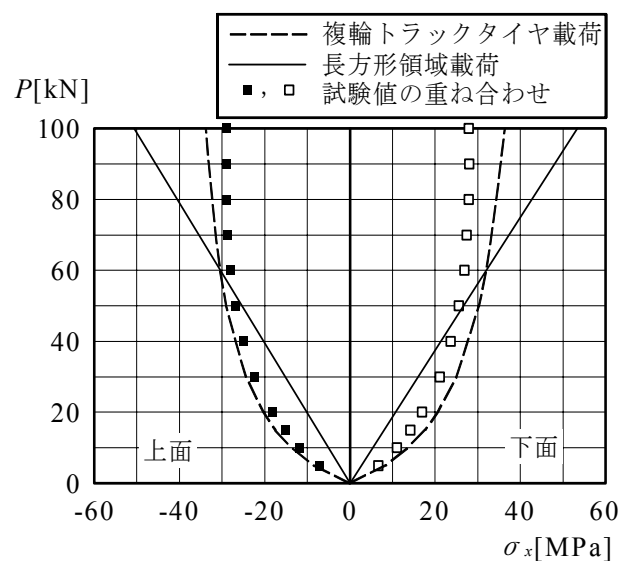


図 38 P と σ_x の関係[タイヤの空気圧 700 kPa]

6.2.2 橋軸直角断面に生じる応力

輪荷重 $P=50\text{kN}$ に対して、アルミニウム床版の上板の橋軸直角断面に生じる応力 σ_y の分布を図 39 に示す。 σ_y は、複輪トラックタイヤ载荷の場合、各タイヤの直下の狭い範囲で局所的に高くなり、長方形領域载荷の場合、長方形の長辺の両端で最大になる。

輪荷重 P と応力 σ_y の板曲げ応力成分 σ_{yb} および膜応力成分 σ_{ym} の関係を図 40 に示す。 P と σ_{yb} の関係は、前述の P と σ_x の関係と同様、複輪トラックタイヤ载荷の場合、非線形であるが、長方形領域载荷の場合、線形である。解析値では、 P が約 71kN より小さいとき、複輪トラックタイヤ载荷の σ_{yb} が、長方形領域载荷の σ_{yb} より大きく、 P が約 71kN より大きくなると、長方形領域载荷の σ_{yb} が複輪トラックタイヤ载荷の σ_{yb} より大きくなる。

P と σ_{ym} の関係は、図 40 から分かるように、複輪トラックタイヤ载荷と長方形領域载荷の両者の場合とも線形であり、しかも両者の P と σ_{ym} の関係は重なっている。すなわち、アルミニウム床版の上板の橋軸直角断面に生じる応力 σ_y の膜応力成分にタイヤの接地形状の変化は影響しない。

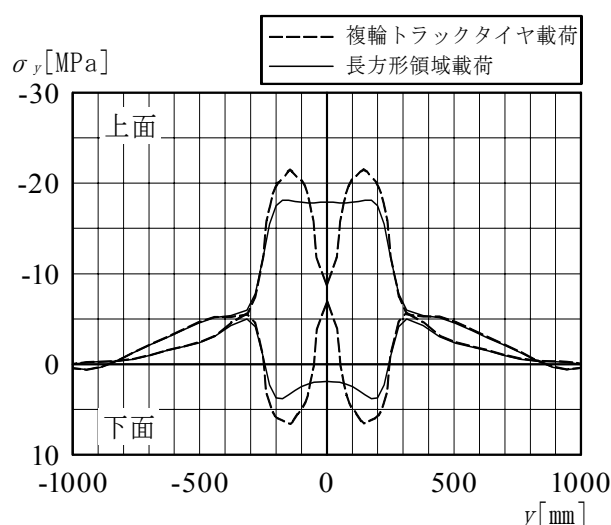


図 39 アルミニウム床版の上板の σ_y の分布
[タイヤの空気圧 700kPa]

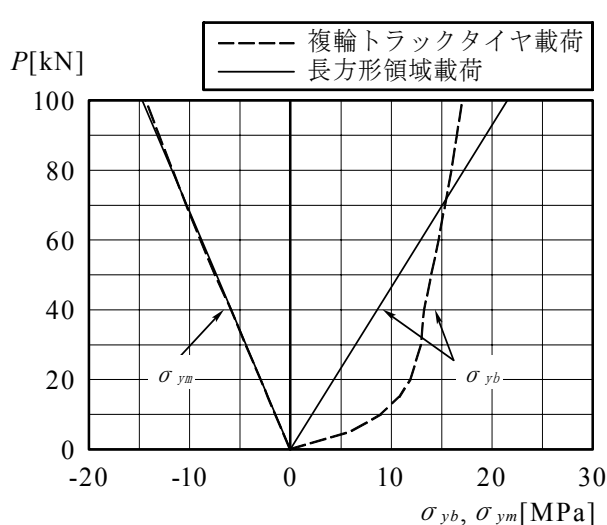


図 40 P と σ_{yb} および σ_{ym} の関係
[タイヤの空気圧 700kPa]

6.3 アルミニウム床版の閉断面に生じる板曲げ応力の比較

6.3.1 橋軸断面に生じる応力

輪荷重 $P=50\text{kN}$ に対して、アルミニウム床版の上板の橋軸断面に生じる応力 σ_x の分布を図 41 に示す。この図には、試験において、空気圧 700kPa に対して、単輪トラックタイヤ载荷によってアルミニウム床版に発生した応力の重ね合わせによって得られる結果も示してある。複輪トラックタイヤ载荷では、各タイヤの直下で応力が最大になり、長方形領域载荷では、長辺の中央の位置で応力が最大になる。複輪トラックタイヤ载荷と長方形領域载荷の各場合について、閉断面に発生する応力が開断面に発生する応力よりも大きな値を示す。

輪荷重 P と応力 σ_x の最大値の関係を図 42 に示す。 P と σ_x の関係は、複輪トラックタイヤ载荷の場合、非線形になるが、長方形領域载荷の場合、線形である。解析値では、 P が約 60kN より小さいとき、複輪トラックタイヤ载荷の σ_x が、長方形領域载荷の σ_x より大きく、 P が約 60kN より大きくなると、長方形領域载荷の σ_x が複輪トラックタイヤ载荷の σ_x より大きくなる。

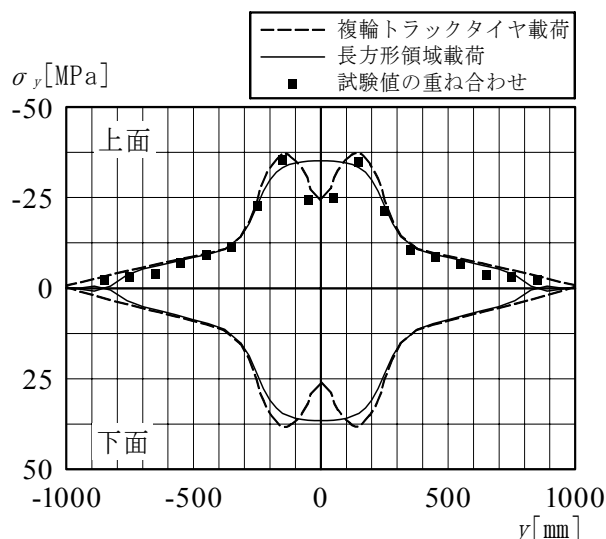


図 41 アルミニウム床版の上板の σ_x の分布
[タイヤの空気圧 700kPa]

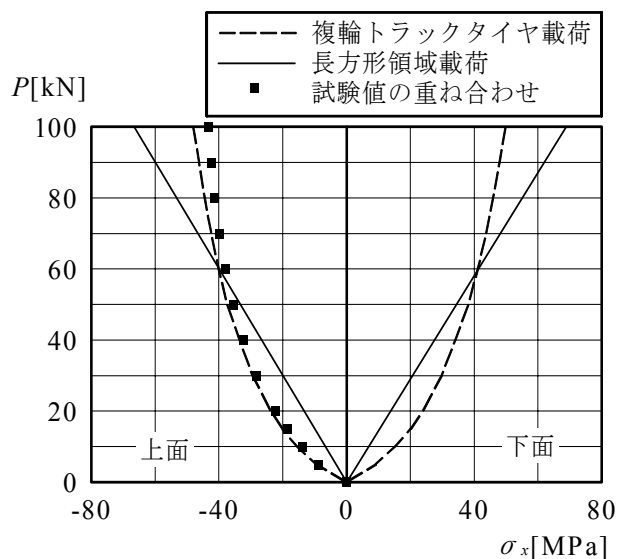


図 42 P と σ_x の関係[タイヤの空気圧 700kPa]

6.3.2 橋軸直角断面に生じる応力

輪荷重 $P=50\text{kN}$ に対して、アルミニウム床版の上板の橋軸直角断面に生じる応力 σ_y の分布を図 43 に示す。 σ_y は、複輪トラックタイヤ载荷の場合、各タイヤの直下の狭い範囲で局所的に高くなり、長方形領域载荷の場合、長方形の長辺の両端で最大になる。

輪荷重 P と応力 σ_y の板曲げ応力成分 σ_{yb} および膜応力成分 σ_{ym} の関係を図 44 に示す。 P と σ_{yb} の関係は、前述の P と σ_x の関係と同様、複輪トラックタイヤ载荷の場合、非線形であるが、長方形領域载荷の場合、線形である。解析値では、 P が約 71kN より小さいとき、複輪トラックタイヤ载荷の σ_{yb} が、長方形領域载荷の σ_{yb} より大きく、 P が約 71kN より大きくなると、長方形領域载荷の σ_{yb} が複輪トラックタイヤ载荷の σ_{yb} より大きくなる。

P と σ_{ym} の関係は、図 44 から分かるように、複輪トラックタイヤ载荷と長方形領域载荷の両者の場合とも線形であり、しかも両者の P と σ_{ym} の関係は重なっている。すなわち、アルミニウム床版の上板の橋軸直角断面に生じる応力 σ_y の膜応力成分には、タイヤの接地形状の変化は影響しない。

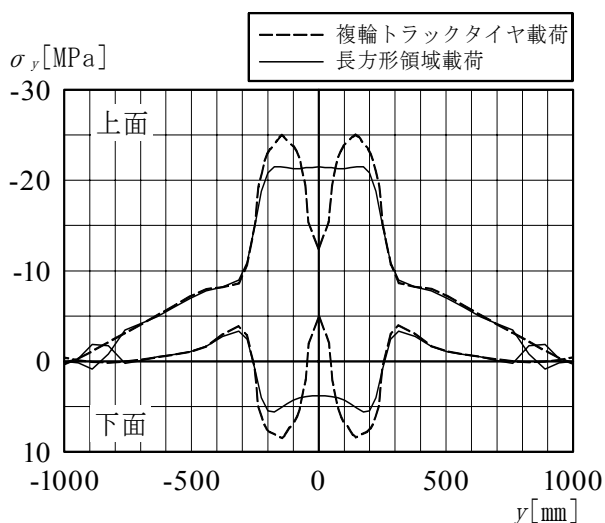


図 43 アルミニウム床版の上板の σ_y の分布
[タイヤの空気圧 700kPa]

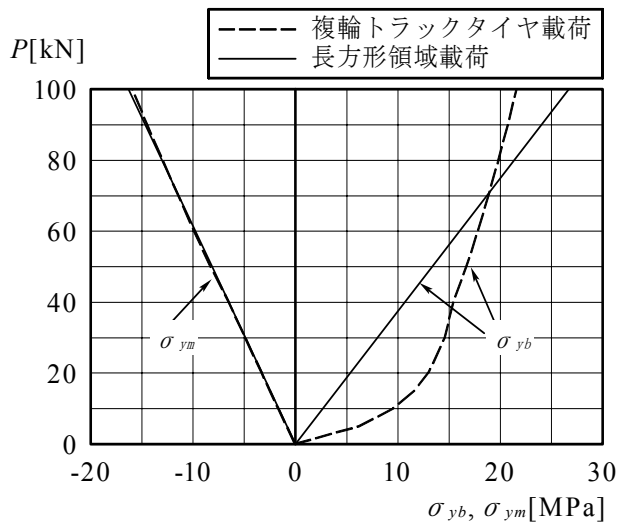


図 44 P と σ_{yb} および σ_{ym} の関係
[タイヤの空気圧 700kPa]

前述したように，開断面，閉断面ともに，アルミニウム床版に生じる板曲げ応力 σ_x は輪荷重が約 60kN 以下で，そして σ_{yb} は輪荷重が約 71kN 以下で，複輪トラックタイヤ載荷による応力が長方形領域載荷による応力より大きくなる．複輪の各タイヤの負荷能力は 24.52kN（表 1 参照）であり，これに対応する輪荷重は 49kN である．したがって，アルミニウム床版の板曲げ応力に対して疲労照査を行なう際，500 mm×200 mm の長方形領域載荷に対して算出された板曲げ応力は安全側の値にならないので，複輪トラックタイヤ載荷に対して板曲げ応力が算出されなければならない．

第7章 結論

本研究では、タイヤの空気圧および接地形状がアルミニウム床版の板曲げ応力に与える影響を明らかにするために、タイヤ荷重載荷装置を製作し、タイヤをアルミニウム床版へ載荷した。さらにタイヤの接地形状を考慮したアルミニウム床版のFEM解析を行った。主な結論を以下に示す。

- 1) タイヤの接地形状は、タイヤの接地幅がタイヤのトレッド幅以下のとき円形であり、荷重が増加すると樽形になり、さらに荷重が増加すると長方形になる。タイヤの接地形状が円形から樽形に変わる臨界荷重は、タイヤの空気圧が高くなるに従って大きくなる。
- 2) 荷重とタイヤの接地面積の関係を式(2)と(3)、荷重とタイヤの平均接地圧力の関係を式(4)と(5)、さらに荷重とタイヤの接地半径の関係を式(9)と(10)で与えた。タイヤの空気圧が高くなると、タイヤの接地面積と接地半径は減少し、タイヤの平均接地圧力は増加する。
- 3) トラックタイヤ載荷の場合、アルミニウム床版の上板の橋軸断面に生じる応力は板曲げ応力であり、この応力は荷重に対して非線形になる。この原因は、荷重の増加に伴うタイヤの接地形状の変化およびタイヤの接地圧力がある一定値より増加しないこと、ならびにタイヤの接地半径が大きくなると荷重がアルミニウム床版の上板の隣接する断面に載荷されるようになり、これがタイヤ直下の断面の上板に負曲げモーメントを起こさせることによる。
- 4) トラックタイヤ載荷の場合、アルミニウム床版の上板の橋軸直角断面に生じる応力の板曲げ応力成分は荷重に対して非線形になる。この原因は、前述のアルミニウム床版の上板の橋軸断面に生じる応力(板曲げ応力)の場合と同じである。しかし、アルミニウム床版全体の橋軸直角方向の曲げモーメントによって起こされる圧縮の膜応力成分および下フランジに生じる応力は、タイヤの接地形状およびタイヤの空気圧の影響を受けない。
- 5) アルミニウム床版の板曲げ応力に対して疲労照査を行う際には、500mm×200mmの長方形領域載荷に対して算出された板曲げ応力は安全側の値とならないので、複輪トラックタイヤ載荷に対して板曲げ応力を算出しなければならない。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，I共通編 II鋼橋編，丸善，2002.
- 2) 脇芳弘：昼間全面交通解放の条件下における橋梁床版取替え工法について，土木学会第54回年次学術公演会概要集 第5部，V-120，pp.820-821，1999.
- 3) 川合徳男，前島真二：鋼合成桁橋梁の床版取替えと主桁補強～乙津橋補強工事～，第五回道路橋床版シンポジウム講演論文集，pp.189-194，2006.
- 4) 大倉一郎，萩澤亘保，岩田節雄，北村幸嗣：アルミニウム橋実現のための技術開発，軽金属，軽金属学会，第54巻，第9号，pp.380-387，2004.
- 5) 大倉一郎：アルミニウム合金の橋への適用，アルミニウム，日本アルミニウム協会，第11巻，第56号，pp.58-64，2004.
- 6) Okura, I., Osawa, S., Takeno, M., Hagisawa, N. and Ishikawa, T. : Development of aluminum decks for highway bridges, IABSE Symposium, Budapest, Hungary, pp.370-371 on Book, Paper No. A-0269 on CD, September 13-15, 2006.
- 7) 大倉一郎，萩澤亘保，鳴尾亮，戸田均：摩擦攪拌接合で製作されたアルミニウム床版の疲労特性，土木学会論文集，No.703/I-59，pp.255-266，2002.
- 8) 大倉一郎，岡田理，萩澤亘保，大澤章吾：開閉断面アルミニウム床版の開発，構造工学論文集，Vol.51A，pp.1219-1227，2005.
- 9) 日本道路協会：舗装設計施工指針，丸善，2003.
- 10) 秋山政敬：輪荷重と接地圧，接地半径の関係，土木学会論文報告集，第243号，pp.81-90，1975.
- 11) 日本エムエスシー：MSC.MARC2001日本語オンラインマニュアル，日本エムエスシー，2001.