

斜角が道路橋用アルミニウム床版の
発生応力に与える影響

ALST 研究レポート 41

2015 年 4 月

大阪大学大学院工学研究科

重久純平，大倉一郎

概要

実橋には、直橋のみならず、斜橋も数多く存在する。本研究では、斜角が道路橋用アルミニウム床版の発生応力に与える影響を明らかにする。

目次

第 1 章 序論	……1
第 2 章 斜角を有するアルミニウム床版	……3
2.1 アルミニウム床版	……3
2.2 斜橋におけるアルミニウム床版の設置	……4
2.3 解析モデル	……5
第 3 章 活荷重による発生応力	……8
第 4 章 疲労荷重による発生応力	……19
第 5 章 アルミニウム床版のたわみと局部変形	……25
5.1 アルミニウム床版のたわみ	……25
5.2 アルミニウム床版上板の局部変形	……26
第 6 章 結論	……31
参考文献	……32
付録 A	……33

第1章 序論

国土交通省によって取りまとめられた道路の老朽化対策の本格実施に関する提言¹⁾によれば、2013年現在、我が国には、橋長2m以上の橋梁が約70万橋あり、このうち建設後50年以上を経過した橋梁が占める割合は約18%に達し、2013年には約43%に達することが予測されている。これらの中には補修が必要とされる橋が数多く出てくることが予想される。他方、1993年に設計自動車荷重が196kNから245kNに変更されたことにより、鉄筋コンクリート床版を取り替える場合、現行の道路橋示方書²⁾を適用すると床版厚を厚くしなければならなくなる橋梁も出てくる。床版が厚くなると自重が増えるため、鋼桁および下部工を補強しなければならなくなる場合が生じる。これに対して、重量が鉄筋コンクリート床版の約1/5倍のアルミニウム床版を導入することにより解決できないかと考えられた³⁾。橋の新設の際にも、建設重機の小型化による工期の短縮、下部工の小型化、および耐食性の良さからライフサイクルコストの削減にもつながるといった利点がある。

このような背景で、2000年頃から道路橋用アルミニウム床版の研究が開始された。最初、押出型材が摩擦撈拌接合によって連結された、 1.1 に示すような閉断面アルミニウム床版が開発された⁴⁾。しかし、閉断面アルミニウム床版では、摩擦撈拌接合部の裏面を目視検査することができなかつたので、 1.2 に示すような開閉断面アルミニウム床版⁵⁾が開発された。その後、アルミニウム床版と鋼桁の連結構造⁶⁾、現場継手⁷⁾、地覆定着⁸⁾、摩擦撈拌接合部の疲労強度⁹⁾、¹⁰⁾に関する研究が行われ、2008年には、静岡県富士市にある施工技術総合研究所において、 1.3 に示すような道路橋用アルミニウム床版に対してトラックタイヤ移動載荷疲労試験の公開実験が実施され、開発された開閉断面アルミニウム床版が高い疲労耐久性を有していることが明らかにされた¹¹⁾。2011年3月には、日本アルミニウム協会から道路橋用アルミニウム床版を用いた鋼桁橋—設計・製作・施工ガイドライン¹²⁾が発刊され、同年4月には 1.4 に示すような道路橋用アルミニウム床版を用いた鋼桁橋の試験施工が開始された¹³⁾。

実橋には、直橋のみならず、斜橋も数多く存在する。本論文では、斜角が道路橋用アルミニウム床版の発生応力に与える影響を明らかにする。

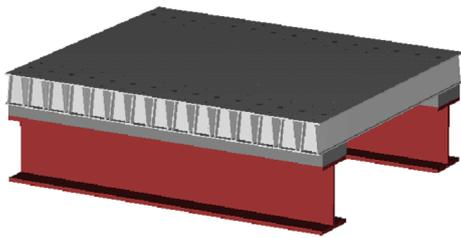


図 1.1 閉断面アルミニウム床版

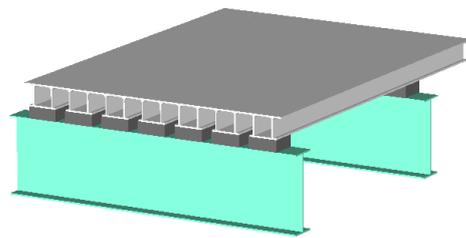


図 1.2 開閉断面アルミニウム床版



図 1.3 道路橋用アルミニウム床版のトラックタイヤ移動載荷疲労試験



図 1.4 道路橋用アルミニウム床版を用いた鋼桁橋

第2章 斜角を有するアルミニウム床版

2.1 アルミニウム床版

アルミニウム床版に使用される押出型材の断面寸法を図 2.1 に示す。材料は A6061S-T6 である。図 2.2 に示すように、この押出型材のフランジを摩擦攪拌接合で連結することによってアルミニウム床版が製作される⁵⁾。

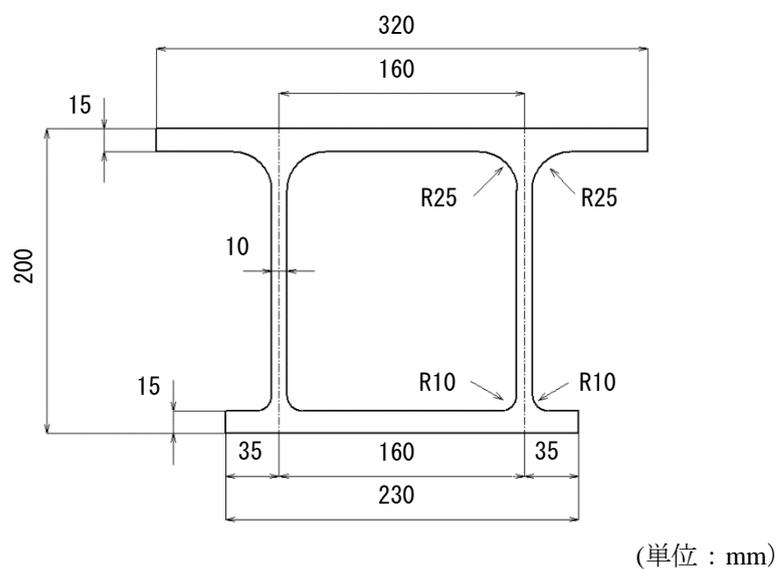


図 2.1 押出型材の断面寸法

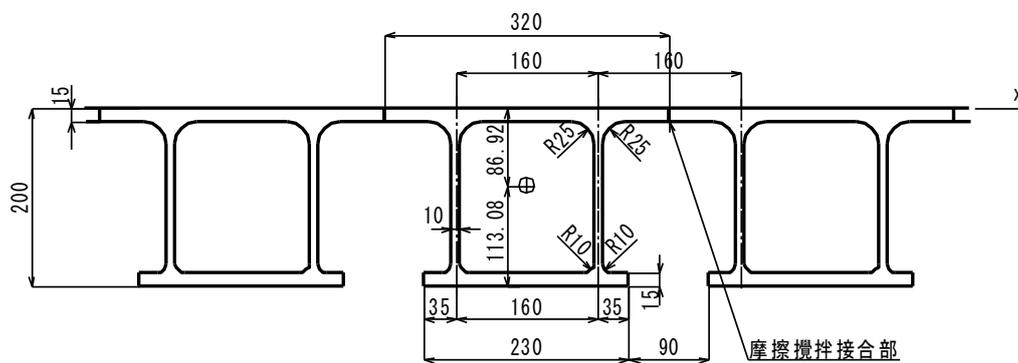


図 2.2 アルミニウム床版

アルミニウム床版と鋼桁の連結構造を図 2.3 に示す。アルミニウム床版が鋼桁に接触す

ることによって生じる異種金属接触腐食を防ぐために、鋼桁上フランジとアルミニウム床版下フランジの間には ECC（高靱性セメント複合材料）の台座が設けられる。鋼桁上フランジに溶接された頭付きスタッドが、アルミニウム床版の閉断面内に挿入され、対向するアルミニウム仕切り板の間を無収縮モルタルで充填することにより、アルミニウム床版と鋼桁が連結される。

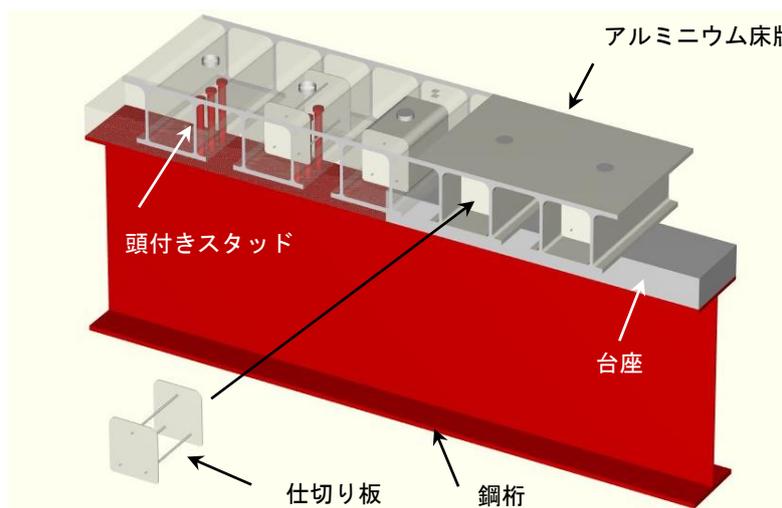
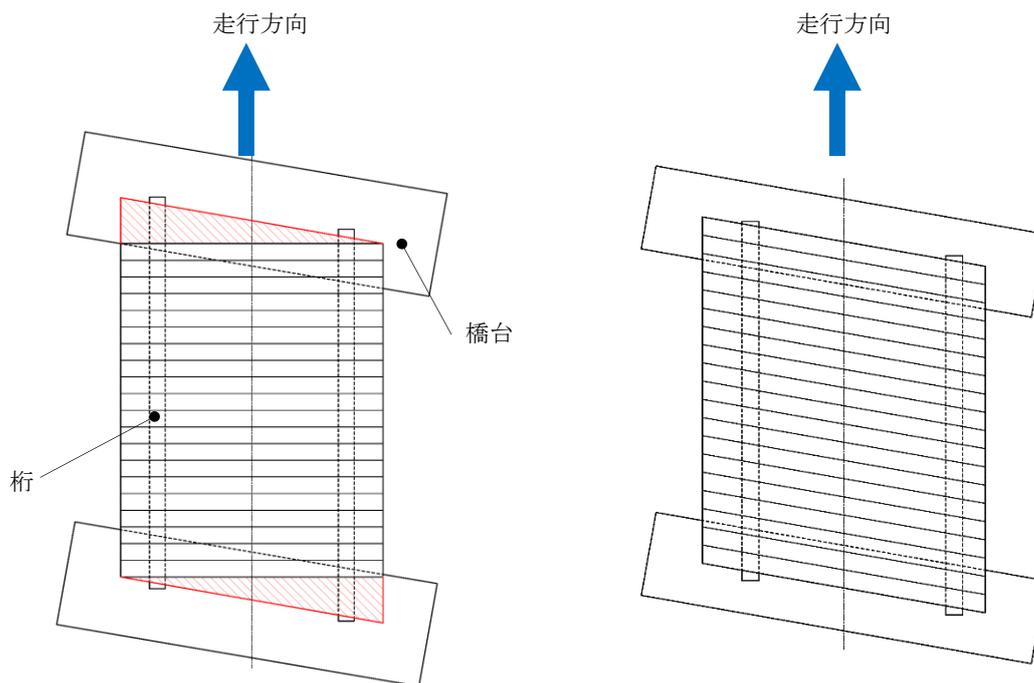


図 2.3 アルミニウム床版と鋼桁の連結構造

2.2 斜橋におけるアルミニウム床版の設置

斜橋におけるアルミニウム床版の設置を図 2.4 に示す。アルミニウム床版上の実線は摩擦攪拌接合線を表している。図 2.4(a) は、車両の走行方向が摩擦攪拌接合線に直交する場合であり、図 2.4(b) は、車両の走行方向が摩擦攪拌接合線に直交しない場合である。図 2.4(a) の場合、主桁に対してアルミニウム床版の押出形材が直交するため、アルミニウム床版の設計に対して、これまでの設計法¹²⁾を適用することができる。しかし、同図の桁端の斜線部分をアルミニウム合金材で製作することができないため、アルミニウム床版が設置された後、場所打ちのコンクリート床版を設ける必要がある。コンクリート床版とアルミニウム床版の連結構造を考案するのは容易ではない。他方、図 2.4(b) の場合、場所打ちのコンクリート床版を桁端に設ける必要はないが、主桁に対してアルミニウム床版の押出形材が直交しないので、アルミニウム床版の設計に、これまでの設計法¹²⁾が適用できるかどうかは不明である。本研究では、図 2.4(b) に示す、車両の走行方向が摩擦攪拌接合線に直交しないアルミニウム床版に発生する応力を有限要素法によって調べる。



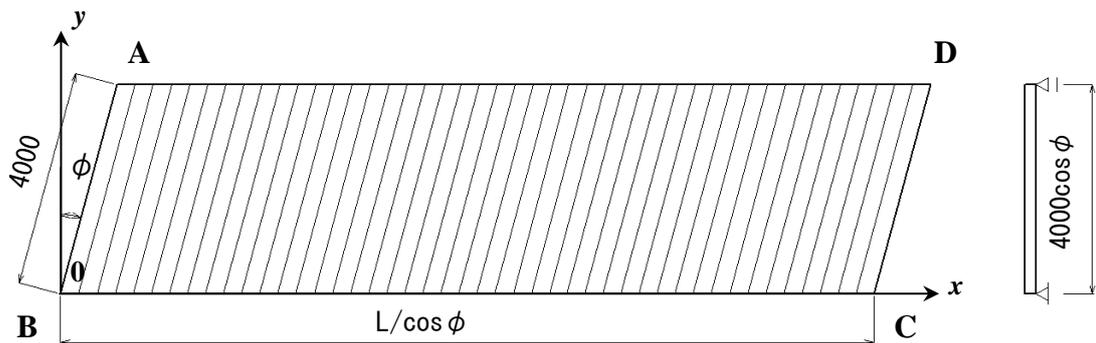
(a) 車両の走行方向が摩擦撹拌接合線に直交する場合

(b) 車両の走行方向が摩擦撹拌接合線に直交しない場合

図 2.4 アルミニウム床版の設置

2.3 解析モデル

斜角を有するアルミニウム床版を図 2.5 に示す。ここで、アルミニウム床版の押出材の方向と橋軸直角方向との間の角を斜角と呼び、 ϕ で表す。直橋の場合、すなわち、 $\phi = 0^\circ$ の場合、アルミニウム床版の主桁間隔の適用限界は 4000mm である¹²⁾。斜角を有するアルミニウム床版において、主桁間隔を 4000mm とすると、押出材の方向の、アルミニウム床版の支持間隔が 4000mm を超えるので、アルミニウム床版に発生する応力が、支持間隔が 4000mm の直橋のアルミニウム床版に発生する応力より大きくなる。したがって、斜角を有するアルミニウム床版においては、押出材の方向の支持間隔を 4000mm 以下とする。この場合、主桁間隔は $4000\cos\phi$ になる。主桁間隔と斜角の関係を図 2.6 に示す。 $\phi = 30^\circ$ に対する主桁間隔は、 $\phi = 0^\circ$ に対する主桁間隔の 87% になる。



(単位 : mm)

図 2.5 斜角を有するアルミニウム床版

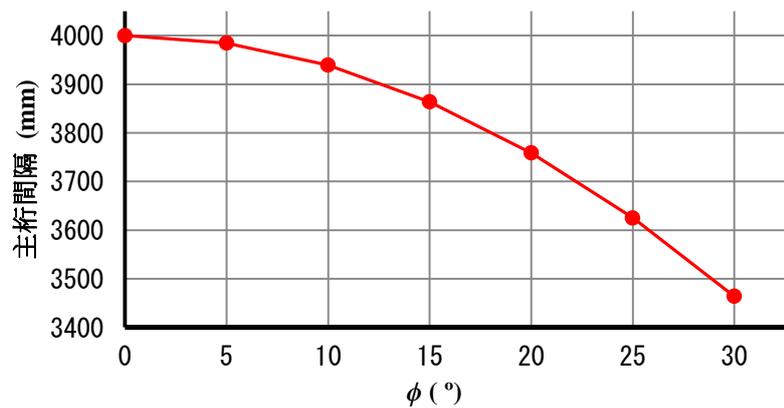


図 2.6 主桁間隔と斜角の関係

図 2.5 において、アルミニウム床版は、辺 AD と BC で主桁によって支持され、辺 AB と CD で端横桁によって支持される。通常、端横桁上のアルミニウム床版は補強される。例えば、アルミニウム床版の端部は、端横桁に溶接された頭付きスタッドがアルミニウム床版の閉断面内へ挿入され、中空部が無収縮モルタルで充填される¹²⁾。アルミニウム床版の端部に発生する応力は、アルミニウム床版の補強方法によって異なるので、採用された補強方法に対応して検討することになる。本研究では、アルミニウム床版の端部の補強方法によって影響されない、主桁の支間中央のアルミニウム床版に発生する応力について調べる。

主桁間隔が 4000mm の直橋に対して、アルミニウム床版の端部の支持条件が、主桁の支間中央のアルミニウム床版に発生する応力に影響しないアルミニウム床版の長さは、主桁間隔の 4 倍程度と想定して、14400mm の長さのアルミニウム床版に対して有限要素解析を行う。この長さは、図 2.1 に示す押出型材を橋軸方向に 45 本並べた長さである。図 2.5 において、 $L=14400\text{mm}$ で、 $\phi=0^\circ$ のアルミニウム床版の中央、すなわち点 (7200, 2000) に

集中荷重 100kN を載荷する。アルミニウム床版下フランジの辺 AD と BC の境界条件の詳細は 3 章で与える。辺 AB と CD を鉛直支持する場合としない場合に対して、アルミニウム床版下フランジの鉛直変位 w の $y = 2000$ に沿う分布を 図 2.7, アルミニウム床版下フランジの下面に生じる橋軸直角方向の応力 σ_y の $y = 2000$ に沿う分布を 図 2.8 に示す。各図において、辺 AB と CD の支持条件が異なることによって分布に違いが見られないので、端部の支持条件は主桁の支間中央のアルミニウム床版に発生する変位および応力に影響しない。したがって、解析モデルは、 $L = 14400\text{mm}$ として、アルミニウム床版下フランジの辺 AB と CD の境界条件を自由とする。

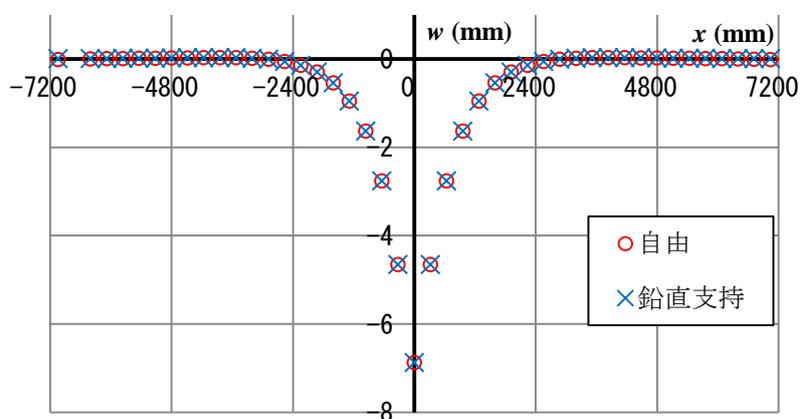


図 2.7 アルミニウム床版下フランジの鉛直変位 [$\phi = 0^\circ$]

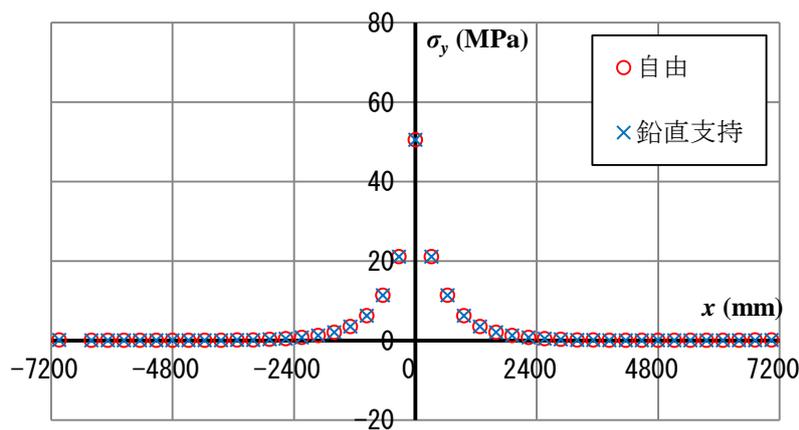


図 2.8 アルミニウム床版下フランジの下面の橋軸直角方向の応力 [$\phi = 0^\circ$]

第 3 章 活荷重による発生応力

道路橋用アルミニウム床版を用いた鋼桁橋—設計・製作・施工ガイドライン¹²⁾に規定される活荷重を図 3.1 に示す。活荷重は道路橋示方書²⁾に規定される T 荷重に従い、橋軸方向 200mm、橋軸直角方向 500mm の長方形の領域に載荷される。衝撃係数 0.4 を考慮して、1 つの長方形の領域に 140kN (=100kN×1.4) が載荷される。活荷重の載荷は、橋軸方向に 1 組、橋軸直角方向には組数に制限がないものとし、着目する位置に最も不利な応力が生じるように載荷される。

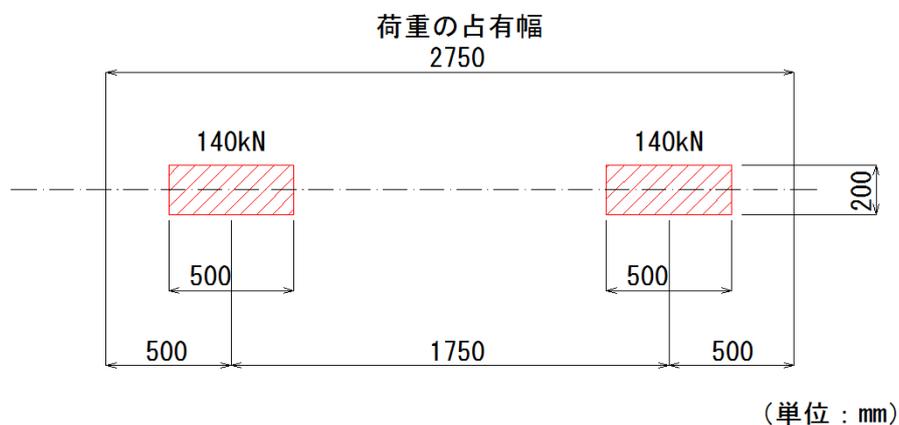
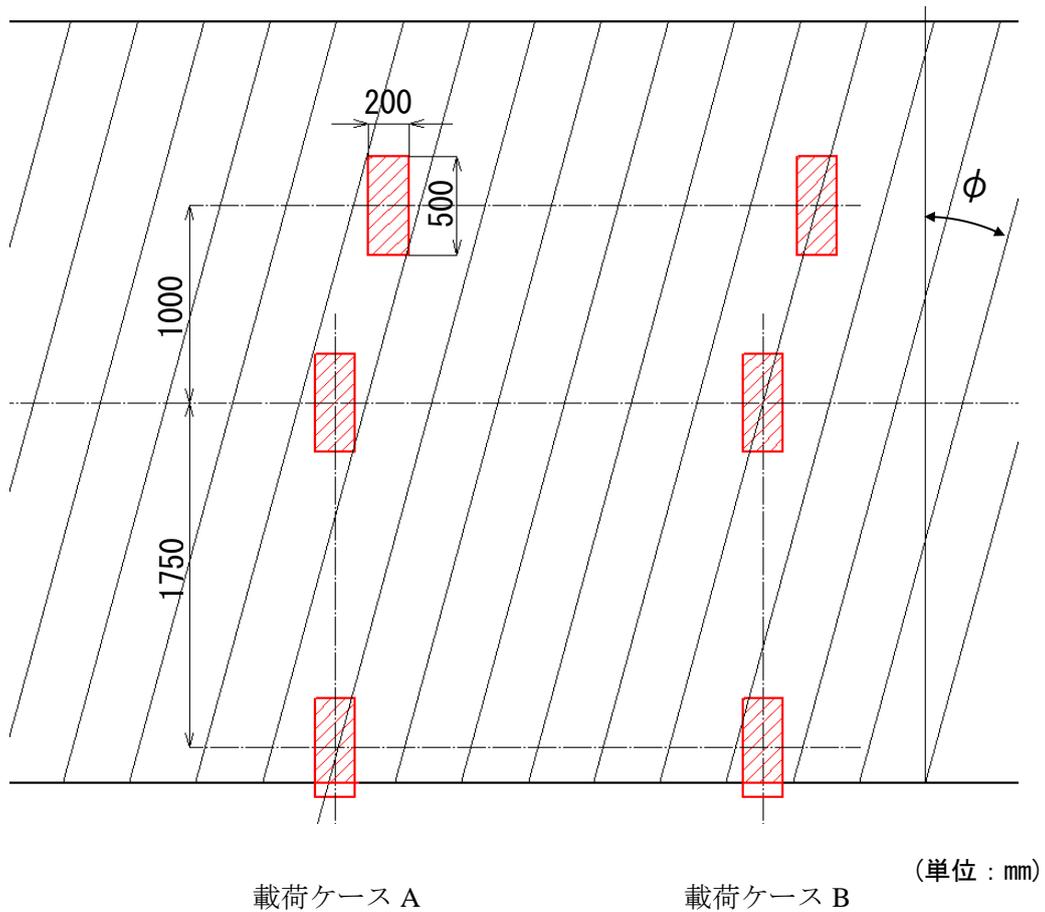


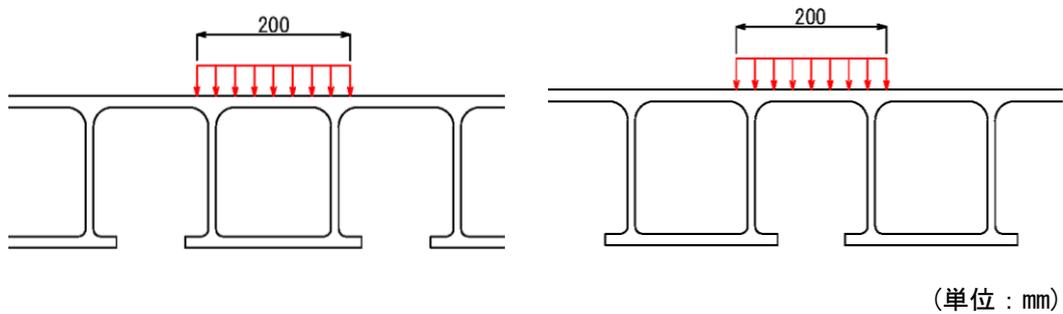
図 3.1 活荷重

解析対象は図 2.5 において $L = 14400\text{mm}$ の、斜角を有するアルミニウム床版である。アルミニウム床版の押出方向の支持間隔は 4000mm であり、主桁間隔 $4000\cos\phi$ 、橋軸方向の長さ $14400/\cos\phi$ である。活荷重に対して、図 3.2 に示す二つの載荷ケースを扱う。同図の斜線は摩擦攪拌接合線を表している。載荷ケース A は、床版支間中央の輪荷重がアルミニウム床版の開断面上に載る場合であり、載荷ケース B は、床版支間中央の輪荷重がアルミニウム床版の開断面上に載る場合である。アルミニウム床版の支持辺から外に出た部分の輪荷重に対しては荷重を載荷しない。



荷重ケース A

荷重ケース B



(a) 荷重ケース A

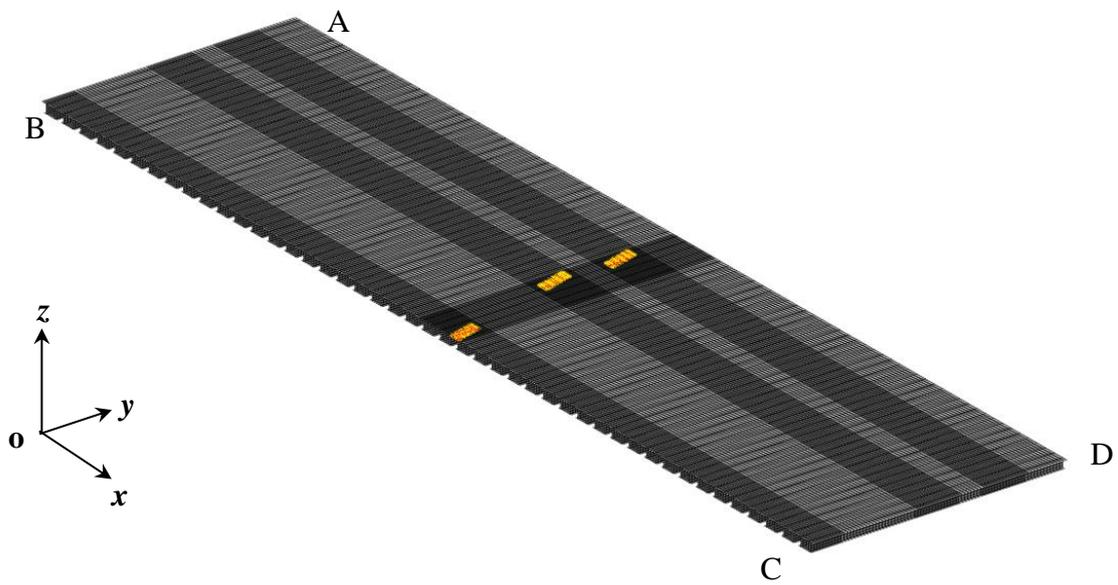
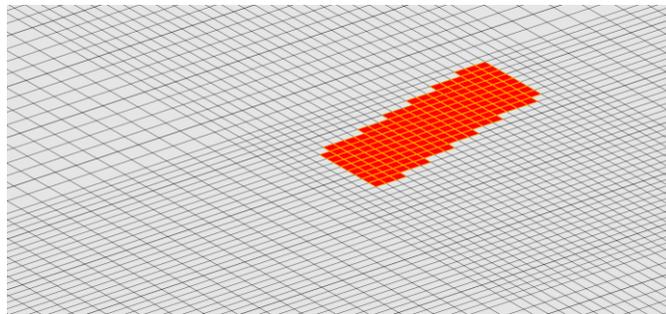
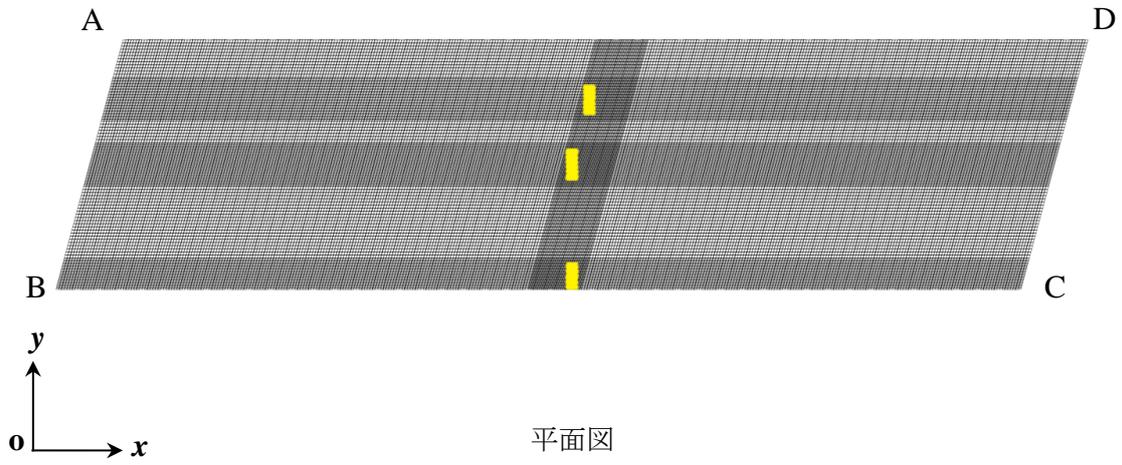
(b) 荷重ケース B

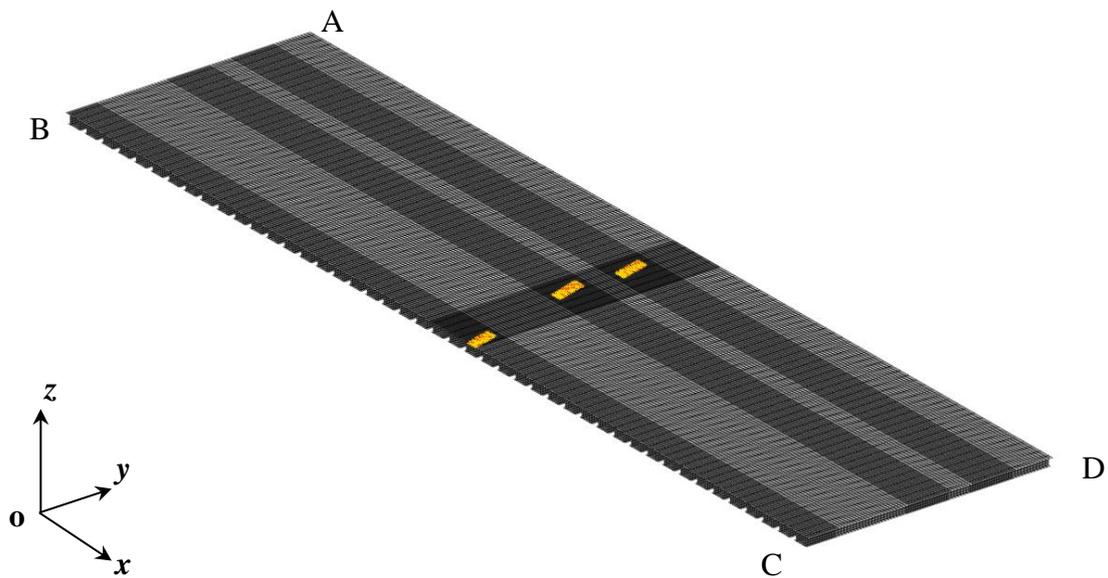
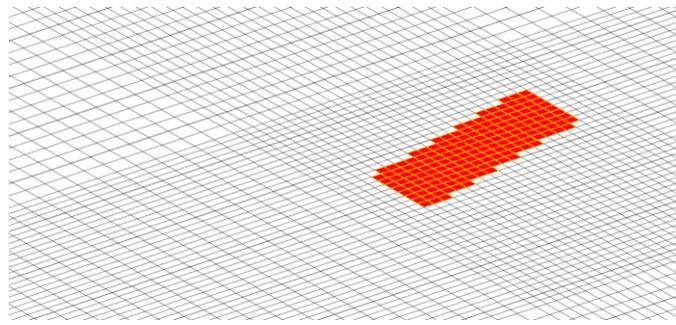
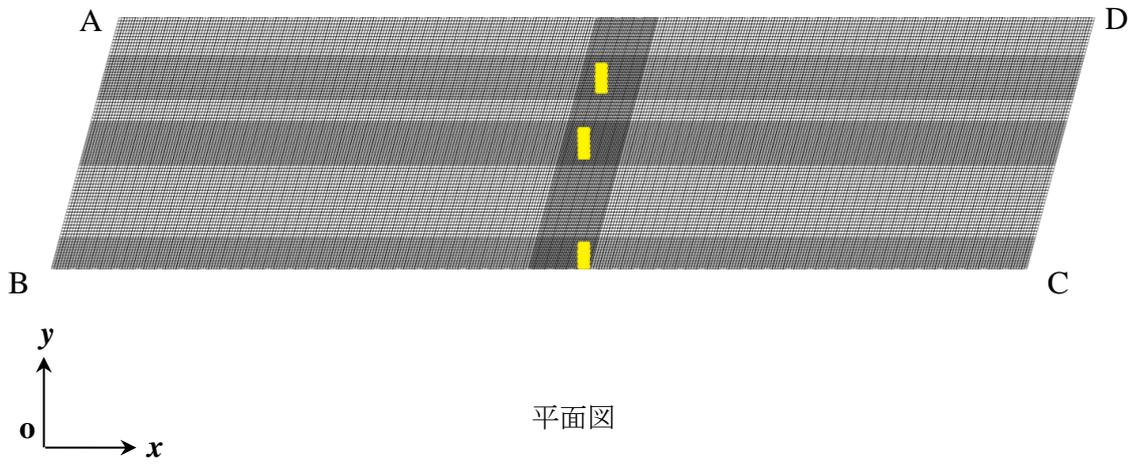
図 3.2 活荷重載荷

FEM 解析には、汎用有限要素解析プログラム DIANA¹⁴⁾を用いる。例として、 $\phi = 15^\circ$ のアルミニウム床版に対する要素分割を図 3.3 に示す。使用する有限要素は 4 節点曲面シェル要素 (Q20SH) である。一つの要素の形状は、橋軸方向の長さが 20mm から 40mm、押出材の方向の長さが 25mm から 50mm の平行四辺形である。図 3.4 に示すように、500mm×200mm の長方形の領域内に、要素の全てが含まれるオレンジ色の部分に、140kN の荷重を等分布荷重として与える。アルミニウム合金のヤング係数とポアソン比をそれぞれ 70GPa,

0.3 とする.

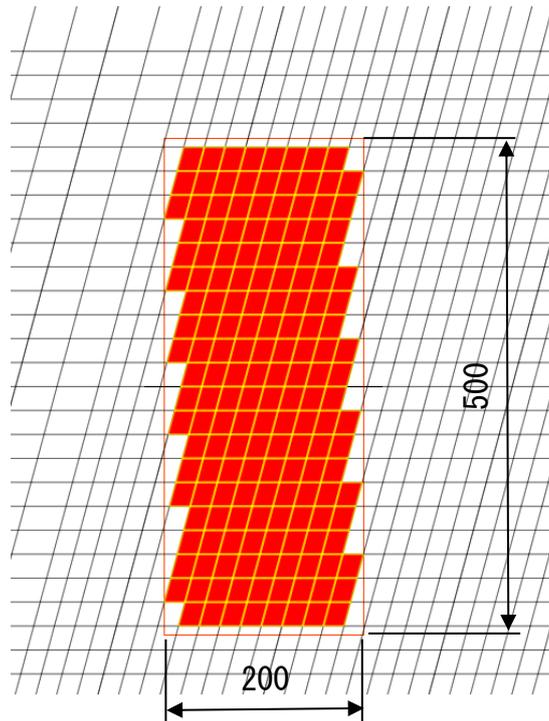
アルミニウム床版の境界条件を表 3.1 に示す. アルミニウム床版は, 主桁によって鉛直支持され, さらに頭付きスタッドによって x 軸方向の変位が拘束されていると仮定し, アルミニウム床版下フランジの辺 AD と BC の x 軸方向および z 軸方向の変位を拘束する. さらに隅角点 B と C の y 軸方向の変位を拘束する. アルミニウム床版下フランジの辺 AB と CD は自由とする.





(b) 荷重ケース B

図 3.3 要素分割 [$\phi = 15^\circ$]



(単位 : mm)

図 3.4 FEM 解析における活荷重載荷

表 3.1 境界条件

	u	v	w	θ_x	θ_y	θ_z
辺 AD, BC	1	0	1	0	0	0
点 B, C	1	1	1	0	0	0
辺 AB, CD	0	0	0	0	0	0

1 : 固定 0 : 自由

図 3.5 を参照して、押出材材の方向を t 軸、これに直交する方向を s 軸とする座標系における垂直応力 σ_t , σ_s は、橋軸方向を x 軸、橋軸直角方向を y 軸とする座標系における垂直応力 σ_x , σ_y およびせん断応力 τ_{xy} と次の関係を有する。

$$\sigma_t = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) - \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y)\cos 2\phi + \tau_{xy} \sin 2\phi \quad (3.1)$$

$$\sigma_s = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) + \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y)\cos 2\phi - \tau_{xy} \sin 2\phi \quad (3.2)$$

FEM 解析では、 σ_x , σ_y , τ_{xy} が与えられる。

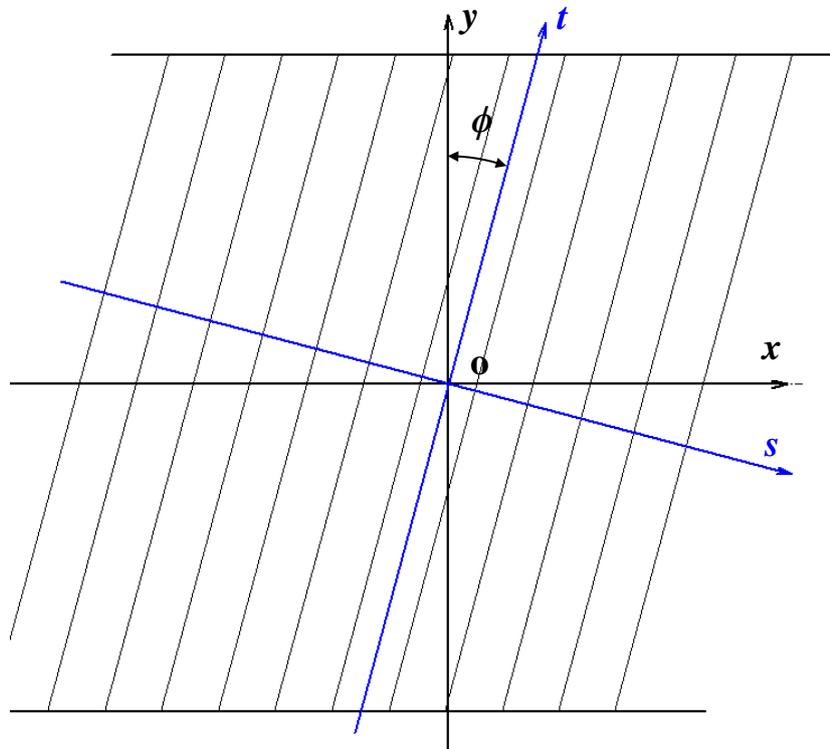


図 3.5 座標系

最初に、荷重ケース A に対する解析結果について述べる。

アルミニウム床版下フランジの下面に生じる σ_t と斜角 ϕ の関係を図 3.6 に示す。 σ_t は床版支間中央の輪荷重直下に発生する応力である。 σ_t は、 ϕ が 20° まではほとんど変化しないが、これを超えると、徐々に低下する。

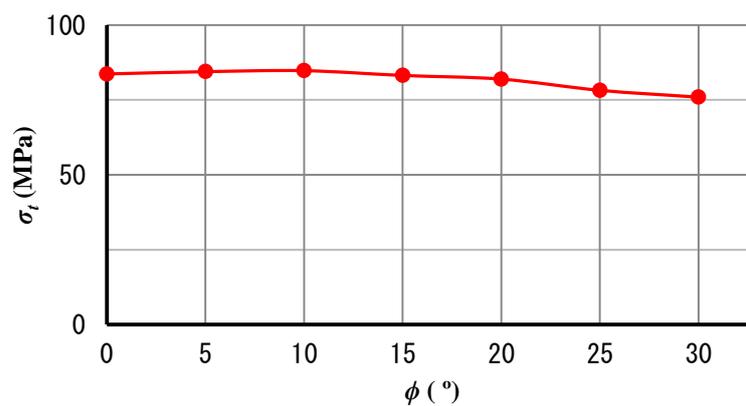


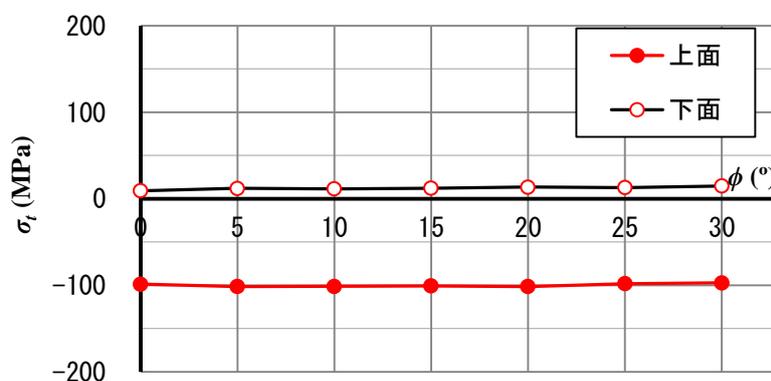
図 3.6 アルミニウム床版下フランジの下面の σ_t と ϕ の関係 [荷重ケース A]

アルミニウム床版上板に生じる σ_t と斜角 ϕ の関係を図 3.7 に示す。図 3.7 (b) に示す膜応力と板曲げ応力は、それぞれ式(3.3)と(3.4)で与えられる。表面応力 σ_t はほとんど変化しないので、膜応力 σ_m と板曲げ応力 σ_{ib} もほとんど変化しない。

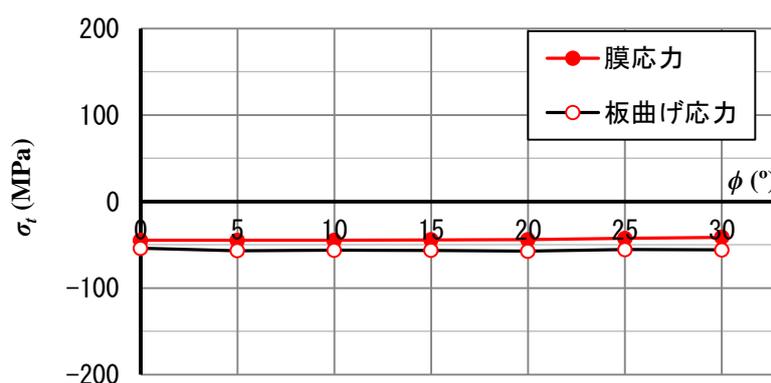
$$\sigma_m = \frac{\sigma_u + \sigma_l}{2} \quad (3.3)$$

$$\sigma_b = \frac{\sigma_u - \sigma_l}{2} \quad (3.4)$$

ここに、 σ_m : 膜応力
 σ_b : 板曲げ応力
 σ_u : 板の上面に発生する垂直応力
 σ_l : 板の下面に発生する垂直応力



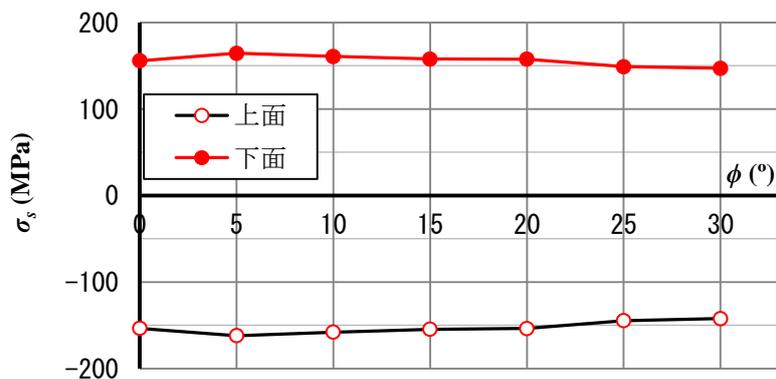
(a) 表面応力 σ_t



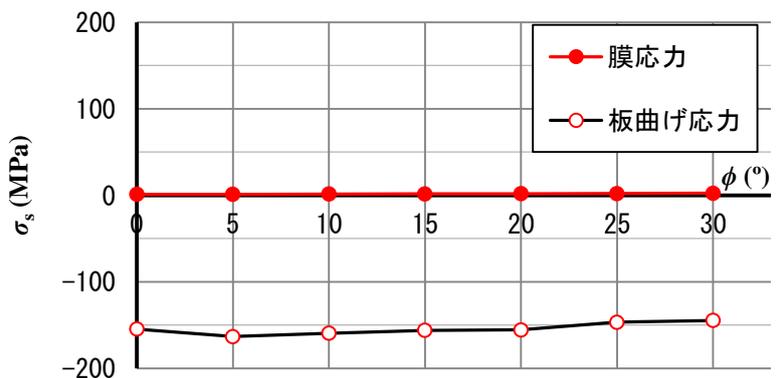
(b) 膜応力 σ_m と板曲げ応力 σ_{ib}

図 3.7 アルミニウム床版上板の σ_t と ϕ の関係 [载荷ケース A]

アルミニウム床版上板に生じる σ_s と斜角 ϕ の関係を図 3.8 に示す. 表面応力 σ_s はほとんど変化しないので, 膜応力 σ_{sm} と板曲げ応力 σ_{sb} もほとんど変化しない. 膜応力 σ_{sm} はほぼ 0 を示す. これは, 押出型材の方向に直交する方向に荷重が伝達されないことを意味する. すなわち, ϕ が大きくなってもアルミニウム床版は強い異方性を示す.



(a) 表面応力 σ_s



(b) 膜応力 σ_{sm} と板曲げ応力 σ_{sb}

図 3.8 アルミニウム床版上板の σ_s と ϕ の関係 [载荷ケース A]

次に, 载荷ケース B に対する解析結果について述べる. アルミニウム床版下フランジの下面に生じる σ_t と斜角 ϕ の関係を図 3.9 に示す. 载荷ケース A の場合と同様に, σ_t は ϕ が 5° まではほぼ同じであるが, これを超えると, 徐々に低下する. アルミニウム床版上板に生じる σ_t と斜角 ϕ の関係を図 3.10 に示す. σ_t は载荷ケース A と同様の傾向を示す. アルミニウム床版上板に生じる σ_s と斜角 ϕ の関係を図 3.11 に示す. σ_s も载荷ケース A と同様の傾向を示す.

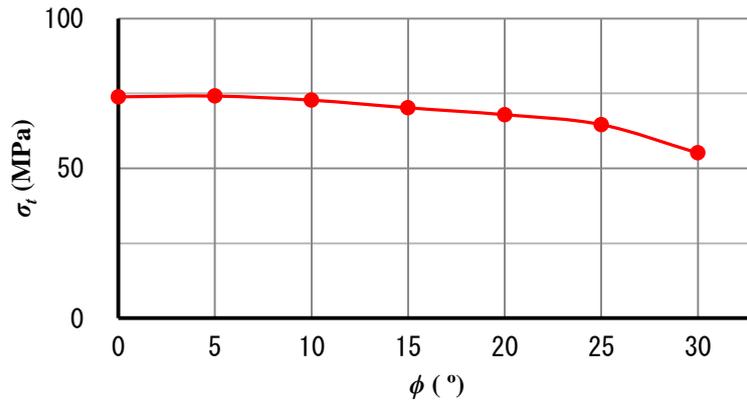
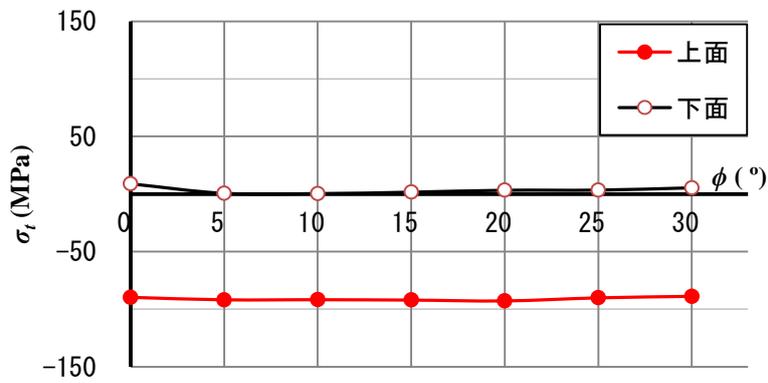
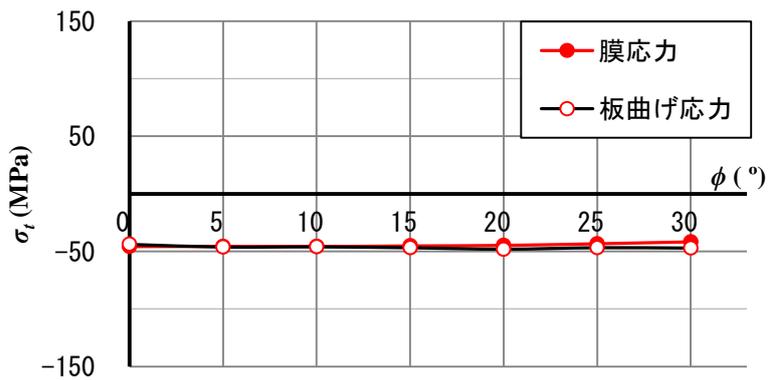


図 3.9 アルミニウム床版下フランジの下面の σ_t と ϕ の関係 [载荷ケース B]

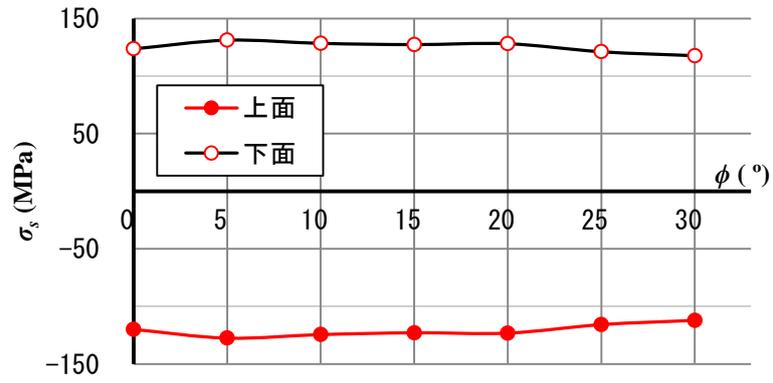


(a) 表面応力 σ_t

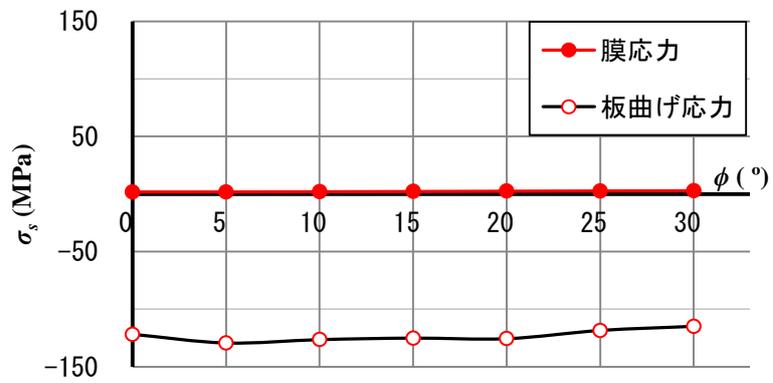


(b) 膜応力 σ_m と板曲げ応力 σ_{ib}

図 3.10 アルミニウム床版上板の σ_t と ϕ の関係 [载荷ケース B]



(a) 表面応力 σ_s



(b) 膜応力 σ_{sm} と板曲げ応力 σ_{sb}

図 3.11 アルミニウム床版上板の σ_s と ϕ の関係 [载荷ケース B]

第 4 章 疲労荷重による発生応力

道路橋用アルミニウム床版を用いた鋼桁橋—設計・製作・施工ガイドライン¹²⁾に規定される疲労荷重を図 4.1 に示す。左右の複輪タイヤの中心間隔は 1750mm，前軸と後軸の間隔は 1300mm である。道路橋示方書²⁾の T 荷重の総計 100kN に対して，タイヤ 1 輪あたりの荷重は 25kN になる。さらに，鋼道路橋の疲労設計指針¹⁵⁾に従って，道路橋示方書²⁾で規定される衝撃係数 0.4 の半分 0.2 を考慮して，タイヤ 1 輪の荷重は 30kN (=25kN×1.2) である。疲労荷重の載荷は，橋軸方向に 1 組，橋軸直角方向には組数に制限がないものとし，着目する位置に最も不利な応力が生じるように載荷される。1 組の複輪タイヤの接地形状の詳細を図 4.2 に示す。

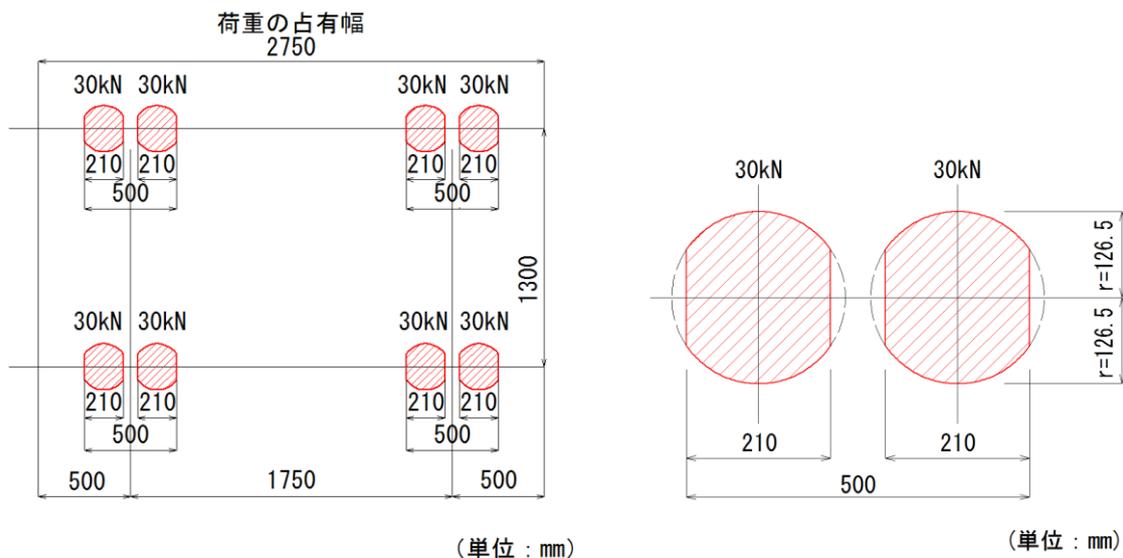


図 4.1 疲労荷重

図 4.2 複輪タイヤの接地形状の詳細

$L = 14400\text{mm}$ の直橋に対して，図 4.2 に示す，一組の複輪タイヤをアルミニウム床版の床版支間中央に沿って移動させた場合に対して，アルミニウム床版の床版支間中央の下フランジおよび摩擦攪拌接合部に発生する応力の変化をそれぞれ図 4.3，4.4 に示す。応力の着目点から荷重が 1300mm 離れると，応力はほぼ 0 になる。疲労荷重の前軸と後軸の間隔は 1300mm あるので，前軸と後軸によって応力は独立して発生する。したがって，1 軸載荷によって発生する応力を調べる。

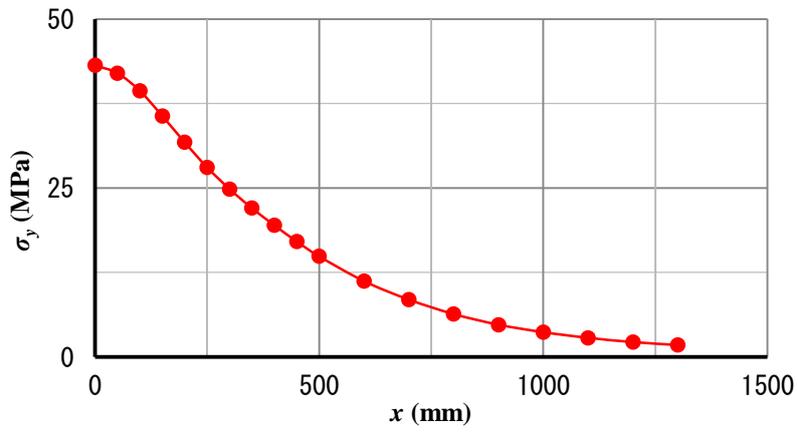
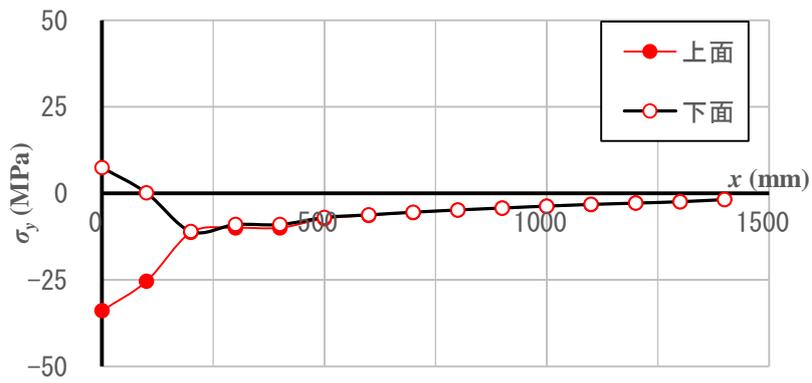
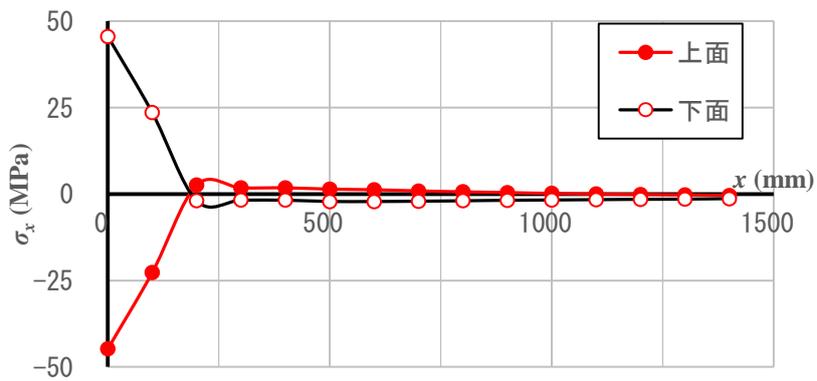


図 4.3 アルミニウム床版下フランジの下面の σ_y の変化



(a) σ_y



(b) σ_x

図 4.4 アルミニウム床版上板の摩擦攪拌接合部の応力の変化

疲労荷重に対して，**図 4.5** に示す二つの荷重ケースを扱う．同図の斜線は摩擦攪拌接合線を表している．荷重ケース A は，床版支間中央の輪荷重がアルミニウム床版の閉断面上に載る場合であり，荷重ケース B は床版支間中央の輪荷重がアルミニウム床版の開断面上に載る場合である．アルミニウム床版の支持辺から外に出た部分の複輪タイヤに対しては荷重を載荷しない．

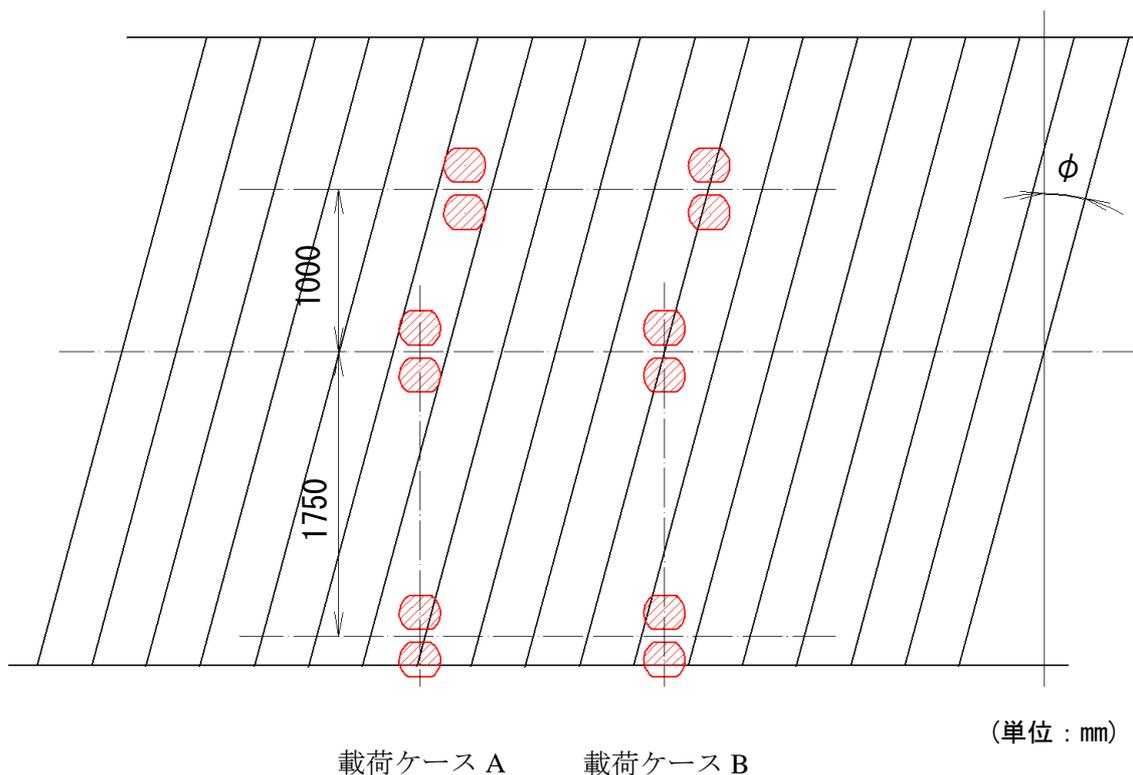
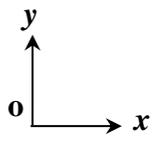
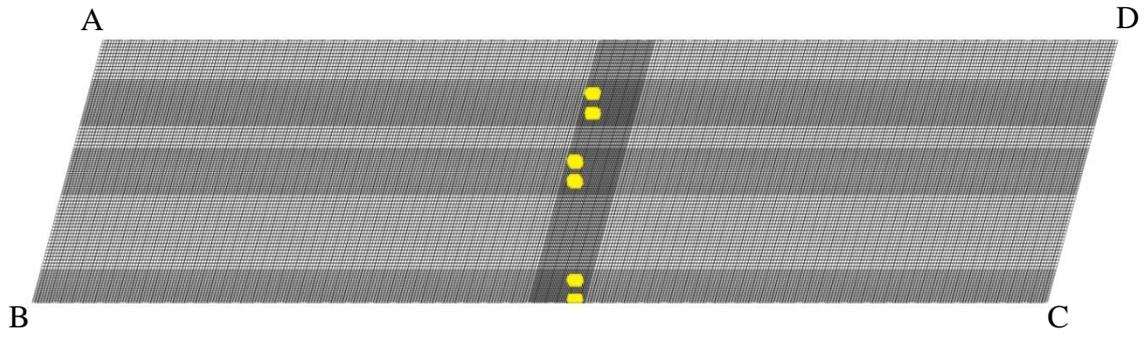
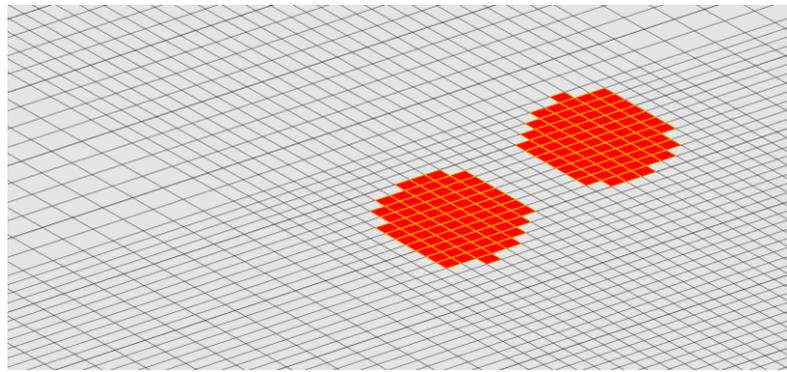


図 4.5 疲労荷重載荷

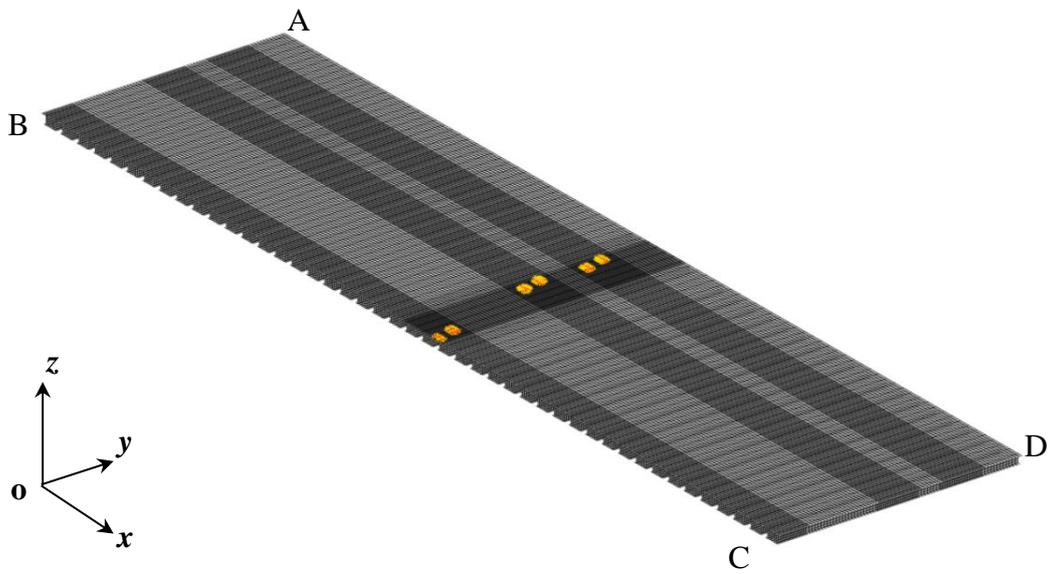
$\phi = 15^\circ$ のアルミニウム床版に対して，荷重ケース A と B に対する疲労荷重の載荷状況を **図 4.6** に示す．要素分割は **図 3.3** と同じである．



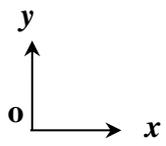
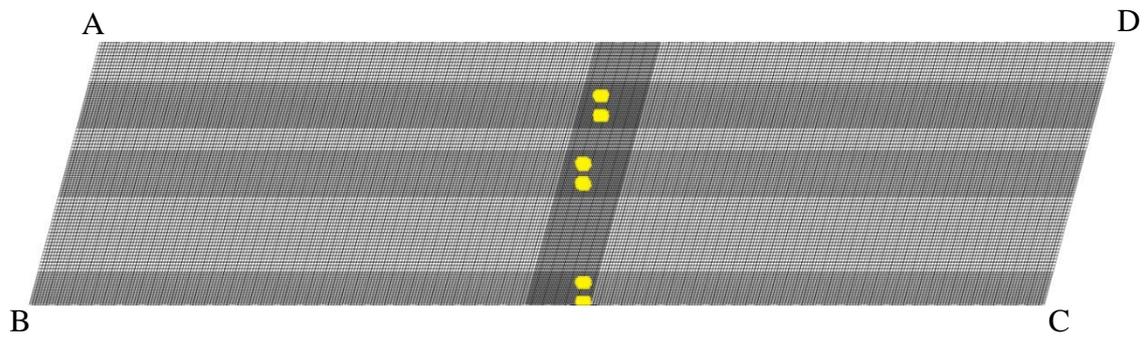
平面図



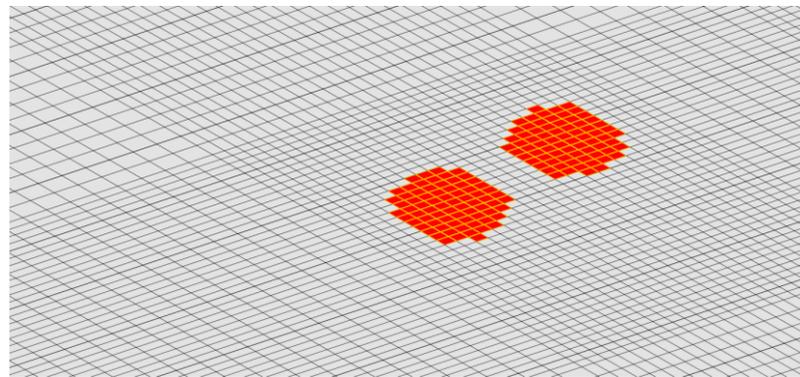
拡大図



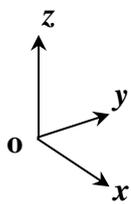
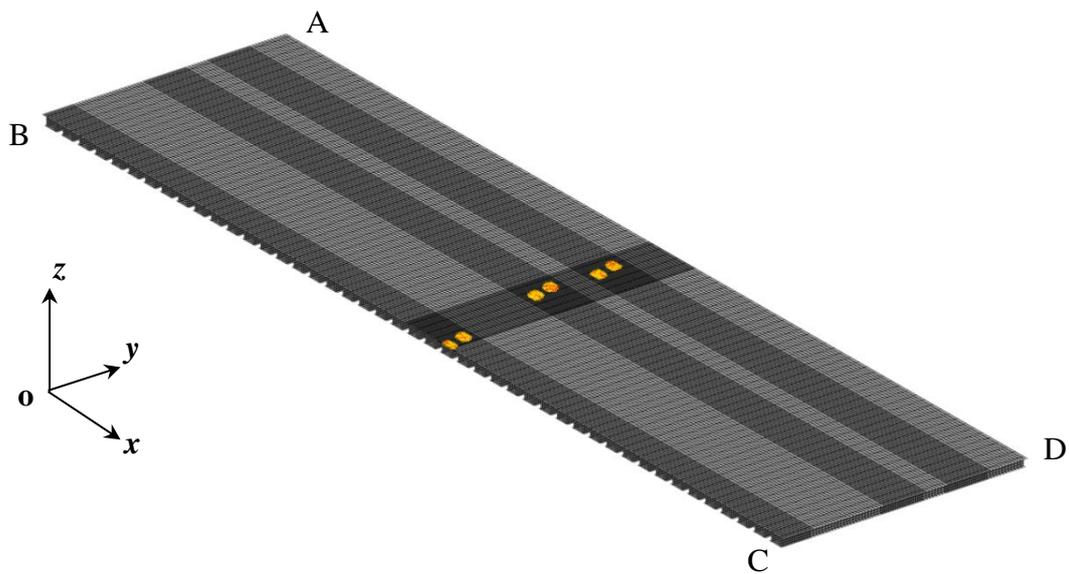
(a) 载荷ケース A



平面図



拡大図



(b) 荷重ケース B

図 4.6 疲労荷重の荷重状況 [$\phi = 15^\circ$]

アルミニウム床版下フランジとアルミニウム床版上板の摩擦攪拌接合部に疲労亀裂が発生する可能性がある。アルミニウム床版下フランジに発生する疲労亀裂は、下フランジに押出型材と直交する方向に発生し、 σ_t によって生じる。アルミニウム床版上板の摩擦攪拌接合部に発生する疲労亀裂は、摩擦攪拌接合部に生じる最大主応力の方向に直交する方向に発生する。摩擦攪拌接合部に生じる最大主応力が σ_s にはほぼ等しいことを付録 A に示す。

載荷ケース A に対して、アルミニウム床版下フランジの下面に生じる応力 σ_t と斜角 ϕ の関係を図 4.7 に示す。 σ_t は床版支間中央の輪荷重直下に発生する応力である。 $\phi = 15^\circ$ を超すと、 σ_t はわずかに低下する。

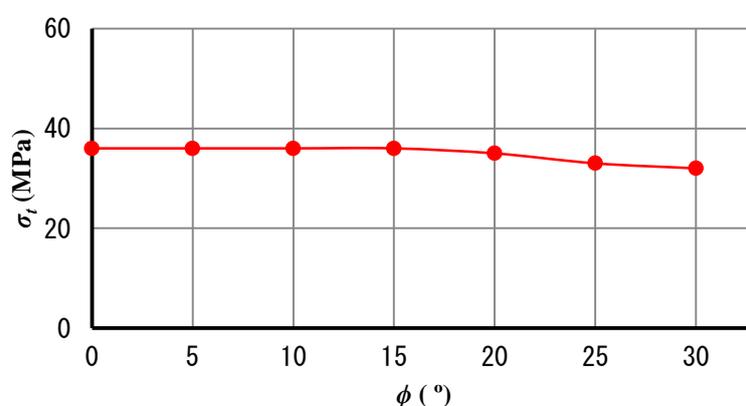


図 4.7 アルミニウム床版下フランジの下面の σ_t と ϕ の関係 [載荷ケース A]

載荷ケース B に対して、アルミニウム床版上板の摩擦攪拌接合部の下面に生じる応力 σ_s と斜角 ϕ の関係を図 4.8 に示す。 σ_s は、床版支間中央の輪荷重の、一方のタイヤの直下の摩擦攪拌接合部に生じる応力である。 σ_s は徐々に低下する。

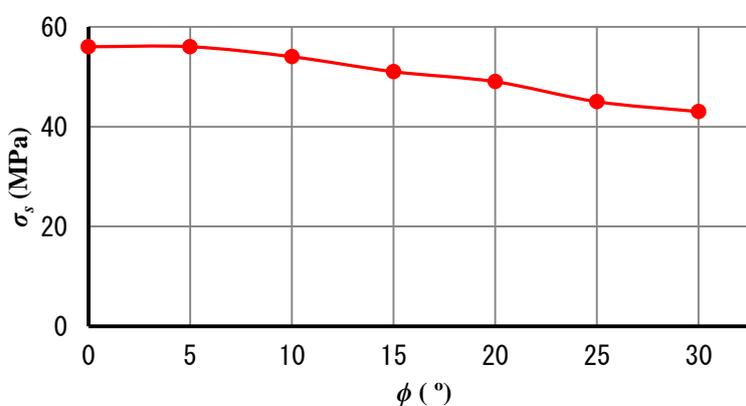


図 4.8 アルミニウム床版上板の摩擦攪拌接合部の下面の σ_s と ϕ の関係 [載荷ケース B]

第 5 章 アルミニウム床版のたわみと局部変形

5.1 アルミニウム床版のたわみ

道路橋用アルミニウム床版を用いた鋼桁橋—設計・製作・施工ガイドライン¹²⁾に規定されるたわみ荷重を図 5.1 に示す。疲労荷重と同様に、後輪 2 軸を前軸と後軸に分ける。活荷重と同様に、橋軸方向 200mm、橋軸直角方向 500mm の長方形の領域に輪荷重 50kN が載荷される。衝撃荷重を考慮しない。たわみ荷重の載荷は、橋軸方向に 1 組、橋軸直角方向には組数に制限がないものとし、着目する位置に最も不利なたわみが生じるように載荷される。

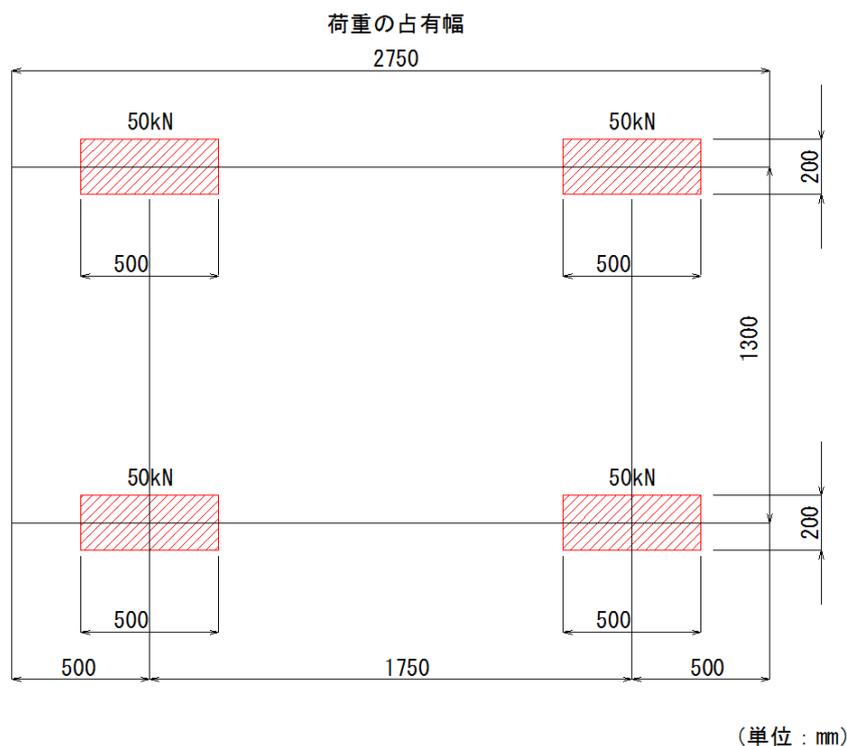


図 5.1 たわみ荷重

4 章で述べたように、図 4.1 に示す疲労荷重を載荷した場合、前軸と後軸によって生じる応力は独立する。したがって、図 5.1 のたわみ荷重を載荷した場合に対しても、前軸と後軸によって生じるたわみは独立する。そこで、1 軸載荷によって生じるたわみを調べる。要素分割は図 3.3 と同じであり、輪荷重を 50kN に変更して載荷する。図 3.2 の載荷ケース A に対して、アルミニウム床版下フランジの鉛直変位 w と斜角 ϕ の関係を図 5.2 に示す。 $\phi =$

10° を超すと、 w は低下する。

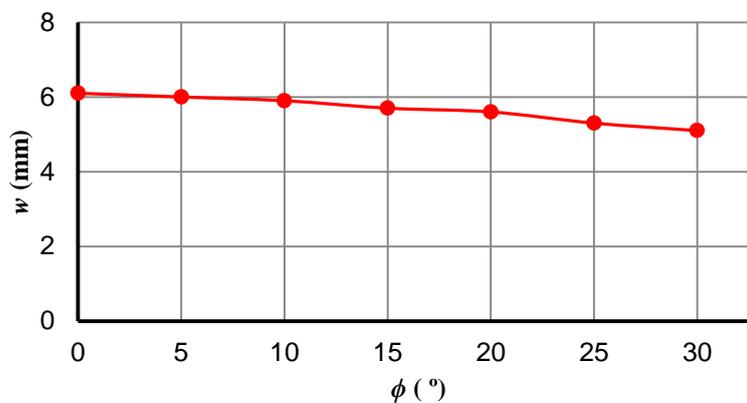


図 5.2 アルミニウム床版下フランジの w と ϕ の関係

5.2 アルミニウム床版上板の局部変形

アスファルト舗装へ悪影響を及ぼさないようにするために、アルミニウム床版のウェブとウェブの間の上板の局部変形を抑制する必要がある。アルミニウム床版上板の局部変形を照査する荷重を図 5.3 に示す。道路橋示方書²⁾の鋼床版のデッキプレートの最小板厚の規定に付随する解説に従い、衝撃荷重を考慮して、橋軸方向 200mm、橋軸直角方向 500mm の長方形の領域に輪荷重 70kN が載荷される。

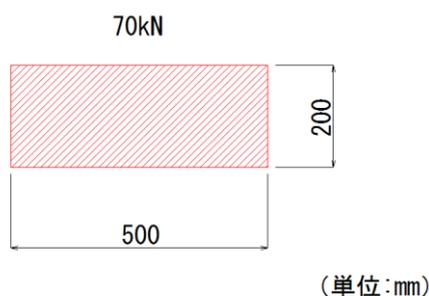


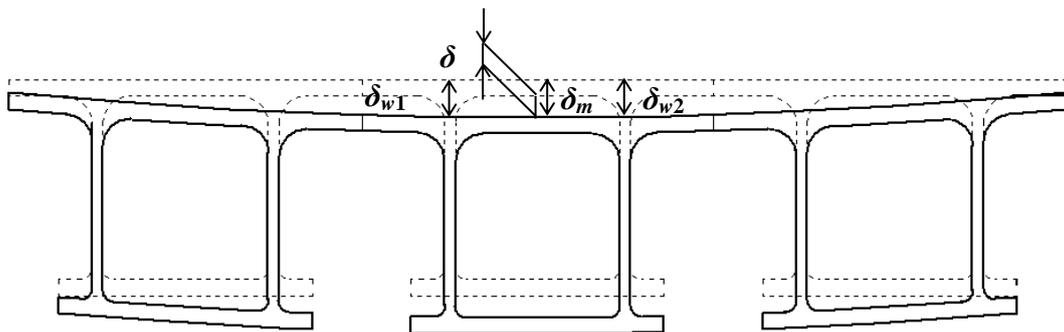
図 5.3 アルミニウム床版上板の局部変形を照査する荷重

図 5.4 を参照して、アルミニウム床版の開断面の直上に図 5.3 の荷重を載荷する載荷ケース A とアルミニウム床版の開断面の直上に図 5.3 の荷重を載荷する載荷ケース B を扱う。輪荷重直下のアルミニウム床版の局部変形は次式によって定義される。

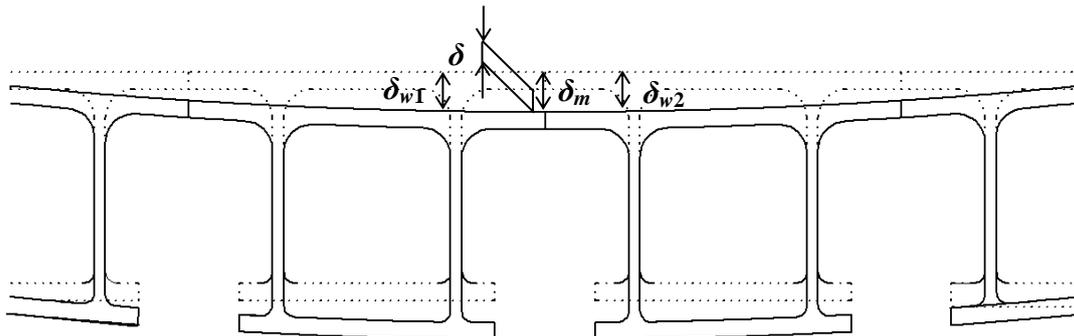
$$\delta = \delta_m - \frac{1}{2}(\delta_{w1} + \delta_{w2}) \quad (5.1)$$

ここに,

- δ : 輪荷重直下のアルミニウム床版の局部変形
- δ_m : 輪荷重の中心位置のアルミニウム床版のたわみ
- δ_{w1} と δ_{w2} : 隣接するウェブの位置のたわみ



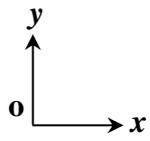
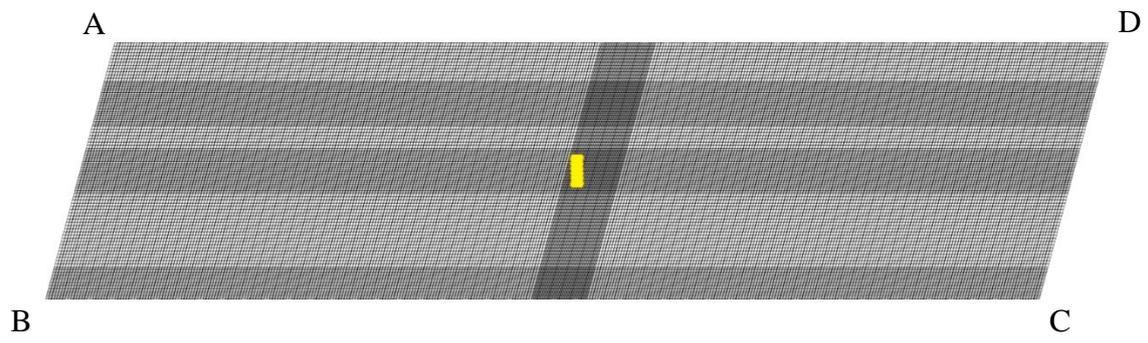
(a) 荷重ケース A



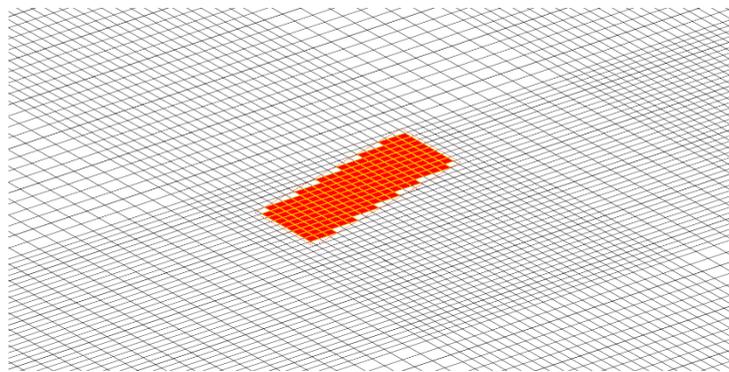
(b) 荷重ケース B

図 5.4 アルミニウム床版の局部変形を照査する荷重載荷

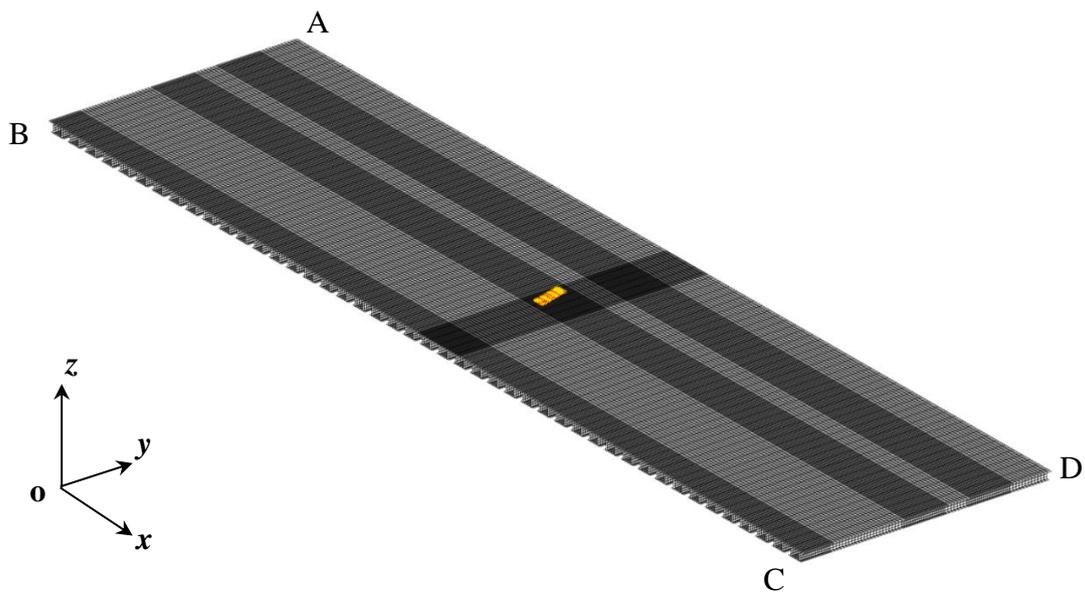
$\phi = 15^\circ$ のアルミニウム床版に対して、荷重ケース A と B に対する荷重の荷重状況を図 5.5 に示す。要素分割は図 3.3 と同じである。



平面図



拡大図



(a) 荷重ケース A

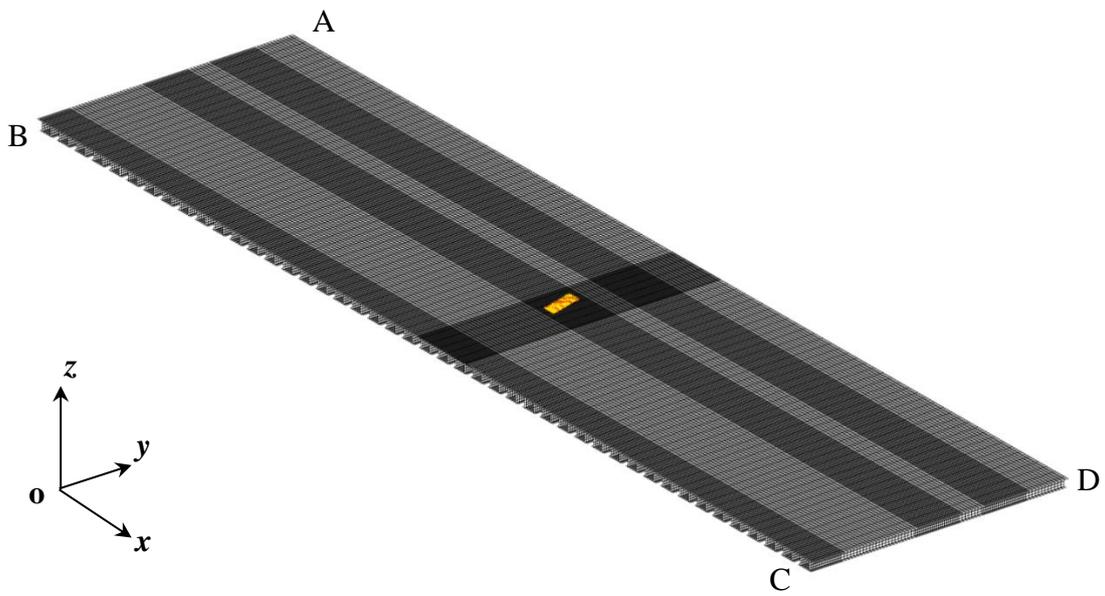
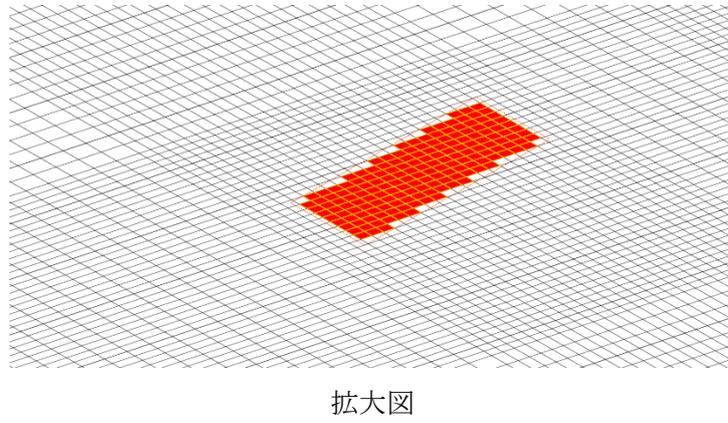
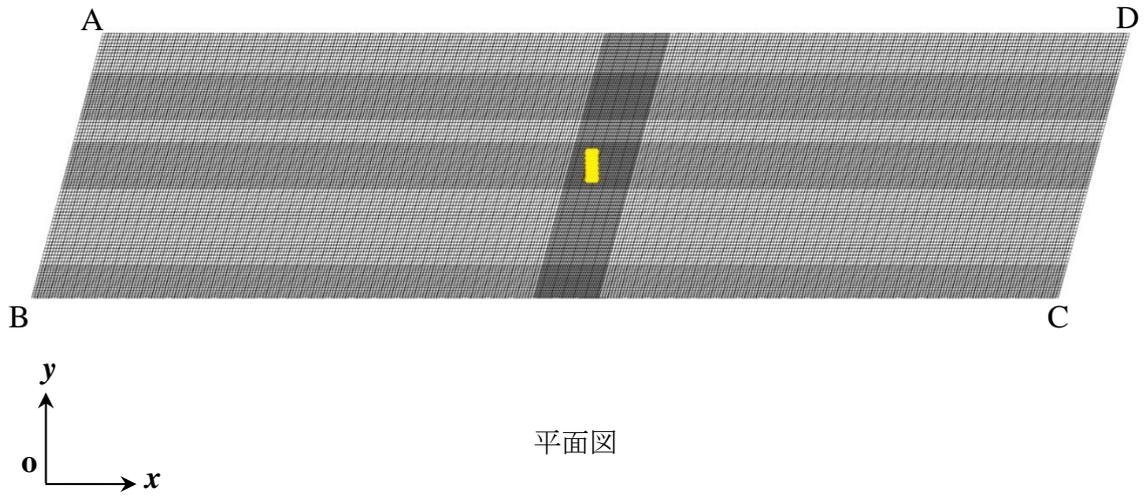


図 5.5 アルミニウム床版の局部変形を照査する荷重荷荷の状況 [$\phi = 15^\circ$]

アルミニウム床版上板の局部変形 δ と斜角 ϕ の関係を図 5.6 に示す。 荷重ケース A と B の両者ともに、局部変形 δ は、 ϕ が 20° までは 0° の場合より大きくなるが、局部変形の許容値 0.53 mm [$B/300 = 160/300$ (ここで、 B はアルミニウム床版のウェブとウェブの間隔)] よりかなり小さい。

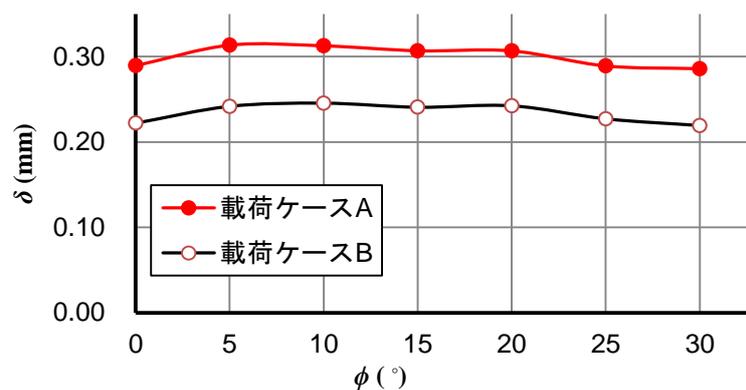


図 5.6 アルミニウム床版上板の δ と ϕ の関係

第 6 章 結論

本研究では、車両の走行方向が摩擦攪拌接合線に直交しないように設置された、斜角を有するアルミニウム床版に対して、斜角がアルミニウム床版の発生応力に与える影響を有限要素解析によって明らかにした。30°までの斜角が考慮された。

押出型材の方向の支持間隔を、直橋のアルミニウム床版の主桁間隔の適用限界 4000mm 以下とすれば、活荷重および疲労荷重に対して、直橋のアルミニウム床版で発生する応力より大きな応力が斜橋のアルミニウム床版に発生することはない。斜橋のアルミニウム床版のたわみは直橋のアルミニウム床版のたわみより小さくなる。斜橋のアルミニウム床版の局部変形は、0°から 20°までの斜角で、直橋のアルミニウム床版の局部変形より大きくなるが、局部変形に対する許容たわみよりかなり小さい。

参考文献

- 1) 社会資本整備審議会，道路分科会：道路の老朽化対策の本格実施に関する提言，2014.
<http://www.mlit.go.jp/common/001036085.pdf>
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅰ共通編 Ⅱ解説編，2012.
- 3) 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.
- 4) 大倉一郎，萩澤亘保，鳴尾亮，戸田均：摩擦撈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.
- 5) 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.
- 6) 大倉一郎，萩澤亘保，中原太樹，岡田理，山口進吾：アルミニウム床版と鋼主桁との連結部の静的および疲労挙動，鋼構造年次論文報告集，第11巻，pp.199-206，2003.
- 7) 大倉一郎，西田貴裕：アルミニウム合金板摩擦接合継手の疲労特性，ALST 研究レポート，No.8，2009.
- 8) 大倉一郎，筒井将仁：地覆定着のためのアルミニウム床版の引抜強度，ALST 研究レポート，No.4，2008.
- 9) 萩澤亘保，大倉一郎，花崎昌幸，大西弘志，佐藤正典：アルミニウム合金材の母材と摩擦撈拌接合部の疲労強度に腐食が与える影響，土木学会論文集 A，Vol.62，No.3，pp.478-488，2006.
- 10) 萩澤亘保，大倉一郎：アルミニウム合金 A6005C-T5 の母材と摩擦撈拌接合部の疲労強度に応力比が与える影響，土木学会論文集 A，Vol.65，No.1，pp.117-122，2009.
- 11) 大倉一郎，長尾隆史，萩澤亘保：アルミニウム床版の移動トラックタイヤ載荷疲労試験による疲労耐久性評価，構造工学論文集，Vol.56A，pp.1217-1226，2010.
- 12) 日本アルミニウム協会，土木構造物委員会：道路橋用アルミニウム床版を用いた鋼桁橋－設計・製作・施工ガイドライン，2011.
http://www.aluminum.or.jp/doboku/files/guideline110303_03.pdf
- 13) 蒲原ケミカル橋，2011. <http://alst.jp/str/bridge/kanbara.htm>
- 14) TNO Building and Construction Research；DIANA, Release 9.4.4, Delft, Netherland, 2012.
- 15) 日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針，2002.

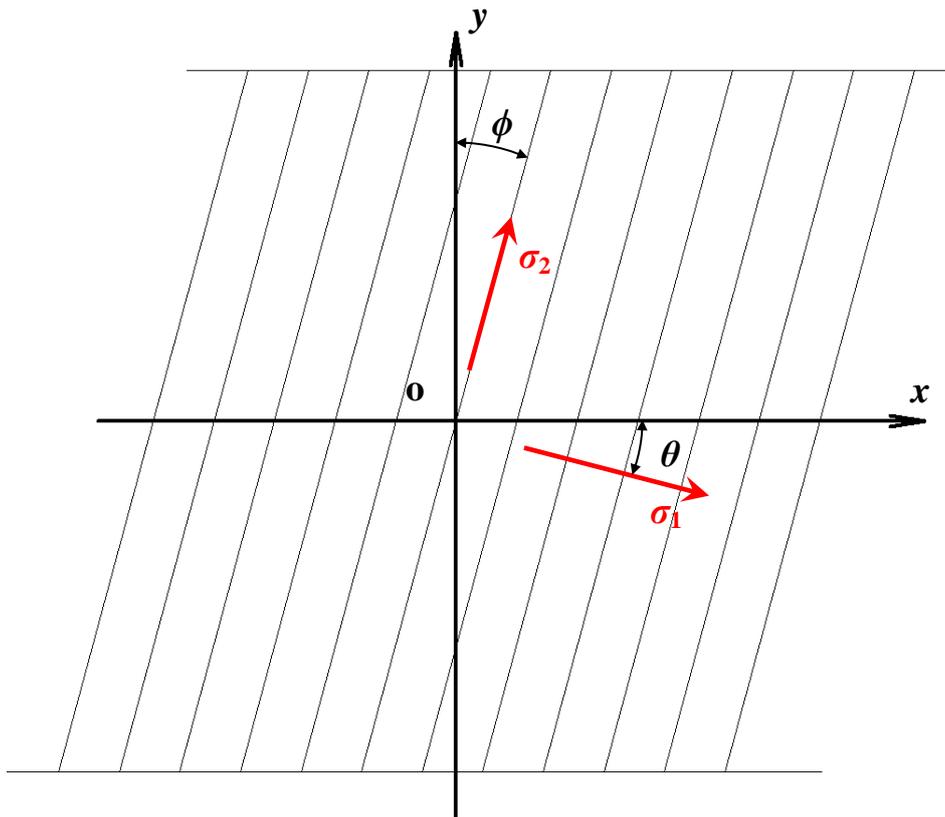
付録 A

付図 A.1 を参照して、アルミニウム床版上板の摩擦攪拌接合部に生じる主応力 σ_1 , σ_2 とその方向 θ は次式で与えられる.

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (\text{A.1})$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (\text{A.2})$$

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} \quad (\text{A.3})$$



付図 A.1 座標系

図 4.6(b) に示す、荷重ケース B の疲労荷重に対して、アルミニウム床版上板の摩擦攪拌接合部の下面に生じる主応力を付表 A.1 に示す。斜角 ϕ の各値に対して、 σ_1 と σ_2 は、それ

ぞれ σ_s と σ_t にほぼ一致する. θ も ϕ にほぼ一致する.

付表 A.1 アルミニウム床版上板の摩擦攪拌接合部の下面に生じる主応力

ϕ (°)	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	σ_s (MPa)	σ_t (MPa)	θ (°)
0	55	6	55	6	0
5	55	6	55	6	5
10	53	5	53	6	10
15	51	5	51	5	16
20	48	4	48	4	21
25	44	3	44	3	26
30	42	3	42	3	31