

現 行	改 正	備 考
<p data-bbox="311 667 1086 835">空港土木施設設計要領 (舗装設計編)</p> <p data-bbox="460 1451 943 1570">平成31年4月 (令和<u>3</u>年4月一部改訂)</p> <p data-bbox="409 1755 1003 1812">国土交通省航空局</p>	<p data-bbox="1448 667 2223 835">空港土木施設設計要領 (舗装設計編)</p> <p data-bbox="1596 1451 2080 1570">平成31年4月 (令和<u>4</u>年4月一部改正)</p> <p data-bbox="1546 1755 2139 1812">国土交通省航空局</p>	

現 行	改 正	備 考
<p style="text-align: center;">目次</p> <p>空港土木施設設計要領（舗装設計編）</p> <p>第Ⅰ章 共通 省略</p> <p>第Ⅱ章 アスファルト舗装の新設 省略</p> <p>第Ⅲ章 アスファルト舗装の補修 省略</p> <p>第Ⅳ章 コンクリート舗装の新設 省略</p> <p>第Ⅴ章 コンクリート舗装の補修 省略</p> <p>付録 付録-1～22 省略</p> <p>参考文献</p>	<p style="text-align: center;">目次</p> <p>空港土木施設設計要領（舗装設計編）</p> <p>第Ⅰ章 共通 省略</p> <p>第Ⅱ章 アスファルト舗装の新設 省略</p> <p>第Ⅲ章 アスファルト舗装の補修 省略</p> <p>第Ⅳ章 コンクリート舗装の新設 省略</p> <p>第Ⅴ章 コンクリート舗装の補修 省略</p> <p>付録 付録-1～22 省略 <u>付録-23 RCプレキャスト舗装の構造設計-----付-123</u></p> <p>参考文献</p> <p><u>設計例</u></p> <p><u>例-1 付録-6の方法による各航空機の ESWL曲線算定結果（アスファルト舗装）-----例 -1</u></p> <p><u>例-2 付録-7の方法によるアスファルト舗装の基準舗装厚算定結果-----例 -12</u></p> <p><u>例-3 航空機及びトーイングトラクターの荷重諸元-----例 -15</u></p> <p><u>例-4 理論的設計法によるアスファルト舗装の構造設計例-----例 -22</u></p> <p><u>例-5 理論的設計法による無筋コンクリート舗装の構造設計例-----例 -59</u></p> <p><u>例-6 アスファルト舗装補修設計例-----例 -86</u></p> <p><u>例-7 アスファルト舗装補修事例-----例 -88</u></p> <p><u>例-8 コンクリート舗装補修設計例-----例-101</u></p> <p><u>例-9 コンクリート舗装補修事例-----例-105</u></p>	<p>付録を追加した。</p> <p>設計例を追加した。</p>
<p>第Ⅰ章 共通</p> <p>I-2.1 舗装の構成</p> <p>(1) 舗装種別の選定にあたっては、設計荷重、設計交通量、地盤や路床の土質、気象、現地の材料条件、施工性、完成後の補修の難易等を総合的に判断して決定しなければならない。一般に、補修における長時間の閉鎖が困難な滑走路や誘導路では、補修容易性を重視し、アスファルト舗装が採用されることが多い。また、エプロン、大型ジェット機の交通量が多い空港の滑走路端部や誘導路、大型ジェット機が就航する空港のGSE通行帯や機材置場では、わだち掘れ対策を重視し、コンクリート舗装が採用されることが多い。</p> <p>(2)～(11) 省略</p>	<p>第Ⅰ章 共通</p> <p>I-2.1 舗装の構成</p> <p>(1) 舗装種別の選定にあたっては、設計荷重、設計交通量、地盤や路床の土質、気象、現地の材料条件、施工性、完成後の補修の難易等を総合的に判断して決定しなければならない。一般に、補修における長時間の閉鎖が困難な滑走路や誘導路では、補修容易性を重視し、アスファルト舗装が採用されることが多い。また、エプロン、大型ジェット機の交通量が多い空港の滑走路端部や誘導路、大型ジェット機が就航する空港のGSE通行帯や機材置場では、わだち掘れ対策を重視し、コンクリート舗装が採用されることが多い。<u>なお、小型機用エプロン等では、経済性を重視し、コンクリート舗装ではなく、半たわみ性舗装を採用することがある。</u></p> <p>(2)～(11) 省略</p>	<p>半たわみ性舗装に関する記述を追加した。</p>

現 行	改 正	備 考
<p>第Ⅱ章 アスファルト舗装の新設 Ⅱ-4.6 アスファルト混合物に関する細目 (1)～(10) 省略</p>	<p>第Ⅱ章 アスファルト舗装の新設 Ⅱ-4.6 アスファルト混合物に関する細目 (1)～(10) 省略 <u>(11) 耐流動性、耐油性及び難燃性を有する半たわみ性舗装を採用する場合は、以下を参考にするとよい。</u> <u>(i) 半たわみ性舗装の設計</u> <u>アスファルト舗装として構造設計を行い、その表層に半たわみ性混合物を用いることが望ましい。ただし、表層の下が粒状路盤となる場合（基層がない場合）、半たわみ性混合物の母体となる開粒度アスファルト混合物にセメントミルクを注入すると、セメントミルクが粒状路盤に浸透してしまい、母体がセメントミルクで十分に充填されない可能性があるため、基層を設けることとする。上記の理由で基層を設ける場合、構造設計上、基層はアスファルト安定処理路盤として扱うこととし、そのうえで基層下の粒状路盤厚を求めてもよい。</u> <u>(ii) 半たわみ性舗装の施工</u> <u>半たわみ性混合物には、セメントミルク硬化時の乾燥収縮や外気温差による収縮が原因で、早期にひび割れが発生することがあり^{91),92)}、硬化後にカッター目地を設けることが望ましい。目地間隔はⅣ-4.3.4 横方向目地に示すコンクリート版の収縮目地間隔を参考にするとよい。構造的弱点となりうる目地は、荷重をほとんど負担しない前脚車輪が走行する位置に設けてよいが、主脚車輪が走行する位置を避けることが望ましい。また、雨水等の侵入を防ぐために、目地には注入目地材等を注入することとする。</u></p>	<p>半たわみ性舗装に関する記述を追加した。</p>
<p>第Ⅳ章 コンクリート舗装の新設 Ⅳ-2.2.4 たわみの算定 (1)～(2) 省略 (3) 単輪荷重によるたわみの算定式としては、次のようなものがある。 (i) コンクリート版自由縁部</p> $w_e = \frac{F}{\sqrt{6}K_{75} \cdot l^2} (1 + 0.4\nu) \quad \dots \dots \dots \text{(式Ⅳ-2.1)}$ <p>(ii) コンクリート版中央部</p> $w_i = \frac{F}{8K_{75} \cdot l^2} \{1 - a_k^2(0.217 - 0.3671 \cdot \ln a_k)\} \quad \dots \dots \dots \text{(式Ⅳ-2.2)}$	<p>第Ⅳ章 コンクリート舗装の新設 Ⅳ-2.2.4 たわみの算定 (1)～(2) 省略 (3) 単輪荷重によるたわみの算定式としては、次のようなものがある。 (i) コンクリート版自由縁部 <u>Westergaard による自由縁部たわみ式⁹³⁾</u></p> $w_e = \frac{F}{\sqrt{6}K_{75} \cdot l^2} (1 + 0.4\nu) \quad \dots \dots \dots \text{(式Ⅳ-2.1)}$ <p>(ii) コンクリート版中央部 <u>Westergaard による中央部たわみ式⁹³⁾</u></p> $= \frac{F}{8K_{75} \cdot l^2} \{1 - a_k^2(0.217 - 0.367 \cdot \log_{10} a_k)\} \quad \dots \dots \dots \text{(式Ⅳ-2.2)}$	<p>参考文献を追加した。</p> <p>参考文献を追加した。</p> <p>平成11年の航空局「空港舗装構造設計要領」以降、自然対数が用いられていたが、自然対数は誤りであり、常用対数に修正した。この式は、プレキャスト舗装の設計に使用されているが、版厚等はたわみ量以外の照査項目で決定されている。また、算定されるたわみ量の差は軽微である（後述）。</p>

現 行	改 正	備 考
<p>第IV章 コンクリート舗装の新設 IV-2.3.2 応力度の算定</p> <p>(1) 省略</p> <p>(2) 交通荷重によってコンクリート版に発生する曲げ応力度の算定式としては次のようなものがある。</p> <p>(i) コンクリート版縁部</p> $\sigma_e = (1 + 0.54\nu) \cdot C \cdot \frac{F}{h^2} \cdot \left\{ \log\left(\frac{l}{10}\right) - 0.75 \cdot \log\left(\frac{r}{10}\right) - 0.18 \right\} \quad \dots \text{(式IV-2.4)}$ <p>(ii) コンクリート版中央部</p> $\sigma_i = 0.0547 \cdot \frac{F}{h^2} \cdot \left\{ \left(\frac{b}{l}\right)^2 - 10.186 \cdot \ln\left(\frac{b}{l}\right) + 3.714 \right\} \quad \dots \text{(式IV-2.5)}$ <p>ここで、</p> <p>σ_e : コンクリート版縁部の輪荷重応力度 (N/mm²) σ_i : コンクリート版中央部の輪荷重応力度 (N/mm²) F : 輪荷重 (N) C : 係数 (自由縁部に対して 2.12, 適当量のダウエルバーを用いた目地縁部に対して 1.59) b : $r < 1.724h$の場合, $b = \sqrt{1.6r^2 + h^2} - 0.675h$ (mm) $r \geq 1.724h$の場合, $b = r$ (mm) l : 剛比半径 $= \sqrt[4]{\frac{E_c \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot K_{75}}}$ (mm) E_c : コンクリートの弾性係数 (N/mm²) h : コンクリート版厚 (mm) ν : コンクリートのポアソン比 K_{75} : 路盤支持力係数 (N/mm³)</p> <p>(3)~(5) 省略</p>	<p>第IV章 コンクリート舗装の新設 IV-2.3.2 応力度の算定</p> <p>(1) 省略</p> <p>(2) 交通荷重によってコンクリート版に発生する曲げ応力度の算定式としては次のようなものがある。</p> <p>(i) コンクリート版自由縁部 <u>Westergaard による自由縁部応力式を, Teller と Sutherland が修正し, それを岩間が修正した式⁹³⁾</u></p> $\sigma_e = (1 + 0.54\nu) \cdot C \cdot \frac{F}{h^2} \cdot \left\{ \log_{10}\left(\frac{l}{10}\right) - 0.75 \cdot \log_{10}\left(\frac{r}{10}\right) - 0.18 \right\} \quad \dots \text{(式IV-2.4)}$ <p>(ii) コンクリート版中央部 <u>Westergaard による中央部応力式⁹³⁾</u></p> $\sigma_i = 0.0547 \cdot \frac{F}{h^2} \cdot \left\{ \left(\frac{b}{l}\right)^2 - 10.186 \cdot \ln\left(\frac{b}{l}\right) + 3.714 \right\} \quad \dots \text{(式IV-2.5)}$ <p>ここで、</p> <p>σ_e : コンクリート版縁部の輪荷重応力度 (N/mm²) σ_i : コンクリート版中央部の輪荷重応力度 (N/mm²) F : 輪荷重 (N) C : 係数 (自由縁部に対して 2.12, 適当量のダウエルバーを用いた目地縁部に対して 1.59) b : $r < 1.724h$の場合, $b = \sqrt{1.6r^2 + h^2} - 0.675h$ (mm) $r \geq 1.724h$の場合, $b = r$ (mm) r : <u>車輪の接地半径 (mm)</u> l : 剛比半径 $= \sqrt[4]{\frac{E_c \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot K_{75}}}$ (mm) E_c : コンクリートの弾性係数 (N/mm²) h : コンクリート版厚 (mm) ν : コンクリートのポアソン比 K_{75} : 路盤支持力係数 (N/mm³)</p> <p>(3)~(5) 省略</p>	<p>参考文献を追加した。</p> <p>常用対数であることを明確にした。</p> <p>参考文献を追加した。</p> <p>記載漏れの変数を追加した。</p>

現 行	改 正	備 考
<p>付録-12 PCプレキャスト舗装の構造設計 12.2.1 PC版の設計 (1)~(4)省略 (5)たわみ量の計算</p> $W_i = \frac{ESWL \cdot l^2}{8 \cdot D} (1 - a_k^2 \cdot (0.217 - 0.367 \cdot \log_e a_k))$ $W_i = \frac{265310 \times 850^2}{8 \times 36534 \times 10^6} \times (1 - 0.291034^2 \times (0.217 - 0.367 \times \log_e 0.291034))$ <p>=<u>0.62 mm</u> < 1.25 mm . . . OK</p>	<p>付録-12 PCプレキャスト舗装の構造設計 12.2.1 PC版の設計 (1)~(4)省略 (5)たわみ量の計算</p> $W_i = \frac{ESWL \cdot l^2}{8 \cdot D} (1 - a_k^2 \cdot (0.217 - 0.367 \cdot \log_{10} a_k))$ $W_i = \frac{265310 \times 850^2}{8 \times 36534 \times 10^6} \times (1 - 0.291034^2 \times (0.217 - 0.367 \times \log_{10} 0.291034))$ <p>=<u>0.63 mm</u> < 1.25 mm . . . OK</p>	<p>平成11年の航空局「空港舗装構造設計要領」以降、自然対数が用いられていたが、自然対数は誤りであり、常用対数に修正した。版厚等はたわみ量以外の照査項目で決定されている。また、算定されるたわみ量の差は軽微である。</p>
<p>(新設)</p>	<p>付録-23 RCプレキャスト舗装の構造設計 別紙のとおり</p>	<p>RCプレキャスト舗装の構造設計を追加した。</p>
<p>1)~90) 省略</p> <p style="text-align: center;">参考文献</p>	<p>1)~90) 省略</p> <p style="text-align: center;">参考文献</p> <p>91) 佐藤信彦監修：舗装技術の質疑応答，第6巻，pp.257-259，1991.</p> <p>92) 大塚徳之，天野喜勝，神谷誠，富永直輝，岡田圭亮，佐藤伸一，齊藤かおる：東京国際空港国際線エプロン半たわみ舗装のひび割れ防止対策，土木学会第70回年次学術講演会，2015.</p> <p>93) 坪川将丈：コンクリート舗装の Westergaard 載荷公式及び剛比半径の考察，国土技術政策総合研究所資料，2022.</p> <p>94) 八谷好高，元野一生，伊藤彰彦，田中秀樹，坪川将丈：RCプレキャスト版舗装による空港誘導路の急速補修，土木学会論文集F，Vol.62，No.2，2006.</p> <p>95) 藤原慎八：高強度PRC版に使用するコッター式継手の改良開発，第22回空港技術報告会論文集，2021.</p> <p>96) 公益社団法人土木学会：2014年制定 舗装標準示方書，p.52，2015.</p> <p>97) 福手勤，佐藤勝久，山崎英男：第Ⅲ種設計法によるPCスラブの空港舗装への適用性に関する研究，港湾技術研究所報告，Vol.18，No.3，1979.</p> <p>98) 公益社団法人土木学会：2017年制定 コンクリート標準示方書【設計編】，p.39，2018.</p>	<p>参考文献を追加した。</p>

付録-23 RC プレキャスト舗装の構造設計

23.1 設計法

23.1.1 一般

RC プレキャスト舗装は、高強度コンクリートを用いて工場製作するプレキャスト鉄筋コンクリート舗装版（以下、PRC 版）を、工場から現場に運搬して路盤上に敷設した後、PRC 版に埋設した継手で隣り合う版同士を連結する舗装である。施工時は即日開放が可能であり、補修に際しては継手を外すことで部分的な版の交換を容易にしている。

RC プレキャスト舗装の構造設計は、舗装設計編第IV章及び付録-12 PC プレキャスト舗装の構造設計に準拠する。航空機荷重、温度変化及びコンクリートの収縮により舗装版に生じる応力を合成して求められる断面力に対し、鉄筋コンクリート理論を適用し、許容応力度法で断面の仕様を決定する。

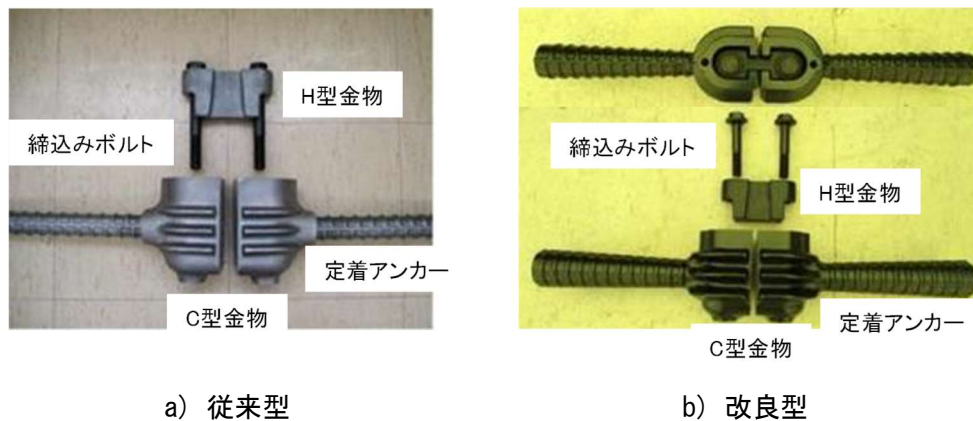
23.1.2 PRC 版

圧縮鉄筋と引張鉄筋を三角形に加工したラチストラス鉄筋で成形した鉄筋かごと高強度コンクリートで PRC 版を製作することで、コンクリート版としての剛性を高め、版厚を薄くし、版本体の重量を軽減している。運搬可能な版寸法が大きくなり施工性の向上に有効であるが、荷重条件、路盤以下の変形を考慮し適切に定める必要がある。

23.1.3 継手

PRC 版同士を連結する継手は、せん断力と曲げモーメントを伝達するコッター式継手を基本とする。航空機荷重、温度変化及びコンクリートの収縮に対する耐久性を高め、複数の PRC 版を一体化することが可能である。PRC 版に埋設した C 型金物に、現場で H 型金物を挿入してボルトを締込み、PRC 版同士を連結する。コッター式継手の設計方法はダウエルバーと同等と考え付録-14 ダウエルバーの設計法に準拠する。

従来型の C 型金物のアンカー部は、異形棒鋼を模擬したストレート形状であり、継手に作用する引抜力に対し、コンクリートとアンカー部の付着力で抵抗する構造とし、標準のアンカー長は 450mm⁹⁴⁾としていた。一方、改良型の C 型金物のアンカー部は、形状をストレート形状からテーパ形状とすることで付着力を高めたことにより、アンカー長が短くても従来型と同程度の性能を有することを確認しており⁹⁵⁾、標準のアンカー長を 270mm としている。



付図-23.1 コッター式継手

23.1.4 目地

(1) 施工目地

コッター式継手の目地幅は 10mm を標準とする。コッター式継手の荷重伝達及び PRC 版同士の一体化のため、目地には PRC 版と同程度の強度を有するグラウト材を充填する。確実かつ迅速に施工するため、グラウト材には流動性、自己充填性及び速硬性が必要である。性能の目安は、材齢 3 時間で一軸圧縮強度 20N/mm^2 以上、J14 ロート流下時間 20 秒以下、可使時間 15 分以上である。

(2) 伸縮目地

伸縮目地の構造は、ダウエルバー型、枕版方式伸縮目地型、あるいは端部補強版型とする。伸縮目地間隔は 60m 程度とする。

23.1.5 裏込めグラウト

路盤と PRC 版の間の空隙を充填する裏込めグラウトは、流動性、自己充填性及び速効性に優れた材料を用いる必要がある。性能の目安は、材齢 2 時間で一軸圧縮強度 3.0N/mm^2 以上、JA ロート流下時間 60 秒以下、可使時間 30 分以上である。

23.1.6 路盤

路盤厚の設計は舗装設計編IV-2.2 に従うものとするが、PRC 版は無筋コンクリート舗装に比べて版厚を薄くすることが可能なため、相対的に交通荷重による路床及び路盤の変形が大きくなり、目地部の段差やポンピング現象等を引き起こす原因となりうるため、路盤の設計支持力係数は 70MN/m^3 以上とすることが望ましい。

23.2 設計例

23.2.1 PRC版の設計

(1) 設計条件

版寸法

L_{PRC}	: 版長	= 7,500 mm
B_{PRC}	: 版幅	= 2,500 mm
h	: 版厚	= 240 mm
LL	: 伸縮目地間隔	= 60 m

対象機種 B-747-400

P_g	: 脚荷重	= 910,000 N
P_w	: 輪荷重 = $P_g/4$ 輪	= 227,500 N
p	: タイヤ接地圧	= 1.38 N/mm ²
a	: タイヤ接地半径 = $\sqrt{P_w/(p\pi)}$	= 229 mm
A_w	: タイヤ接地面積 = P_w/p	= 164,855 mm ²

路盤

K_{75}	: 設計支持力係数	= 0.07 N/mm ³
----------	-----------	--------------------------

コンクリート

f_{ck}'	: 設計圧縮強度	= 60 N/mm ²
σ_{ca}	: 許容圧縮応力 = $f_{ck}'/3$	= 20 N/mm ²
f_{cb}	: 設計曲げ引張強度	= 6.4 N/mm ²
E_c	: 弾性係数	= 35,000 N/mm ²
ν_c	: ポアソン比	= 0.15
α_c	: 線膨張係数	= 0.00001/°C
w_c	: 単位体積重量	= 24.5 kN/m ³

鉄筋 (SD345)

σ_{sa}	: 許容引張応力	= 230 N/mm ²
E_s	: 弾性係数	= 200,000 N/mm ²
α_s	: 線膨張係数	= 0.00001/°C

コッター式継手 (H型金物 FCD500)

σ_{Ha}	: 許容曲げ引張応力	= 190 N/mm ²
---------------	------------	-------------------------

コッター式継手 (C型金物 ストレート型アンカーの場合)

L	: 標準アンカー長	= 450 mm
D	: アンカー直径	= 35 mm

コッター式継手 (C型金物 テーパー型アンカーの場合)

L	: 標準アンカー長	= 270 mm
D_{max}	: アンカー最大直径	= 64 mm
D_{min}	: アンカー最小直径	= 43 mm
δ	: アンカーのテーパー角度	= 2度

(2) 等価単車輪荷重 (ESWL) の算定

$$l = \sqrt[4]{\frac{E_c \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu_c^2) \cdot K_{75}}}$$

ここで,

l	: 剛比半径	= 876 mm
E_c	: コンクリートの弾性係数	= 35,000 N/mm ²
h	: コンクリート版厚	= 240 mm
ν_c	: コンクリートのポアソン比	= 0.15
K_{75}	: 路盤の設計支持力係数	= 0.07 N/mm ³

B747-400 の以下の諸元から、付録-6 ESWL の求め方により、図から $P_g/ESWL$ を読み取り、等価単車輪荷重 (ESWL) を算定した。

P_g	: 脚荷重	= 910,000 N
S	: 複車輪の横中心間隔	= 1,118 mm
S_T	: 複々車輪の縦中心間隔	= 1,473 mm
ΣA_w	: 全タイヤ接地面積 = $A_w \times 4$ 輪	= 659,420 mm ²
S/l	= 1,118 / 876	= 1.276
S_T/l	= 1,473 / 876	= 1.682
$\Sigma A_w/l^2$	= 659,420 / 876 ²	= 0.859
$ESWL$	= 910,000 / 3.36	= 270,800 N

(3) 応力の算定

a) 輪荷重応力

中央部、自由縁部及び継手近傍部載荷時の応力を次式により算出する。なお、継手近傍載荷時の応力は、自由縁部載荷時の応力と、荷重伝達効果を考慮する応力低減係数を用いて算出することとし、コッター式継手の荷重伝達率が 96% であること⁹⁴⁾から、舗装標準示方書⁹⁶⁾に掲載されている CRC 舗装のひび割れ部を参考に、応力低減係数を 0.6 とした。

中央部載荷時

$$\sigma_{wi} = 0.0547 \cdot \frac{F}{h^2} \cdot \left\{ \left(\frac{b}{l} \right)^2 - 10.186 \cdot \ln \left(\frac{b}{l} \right) + 3.714 \right\}$$

自由縁部載荷時

$$\sigma_{we} = (1 + 0.54\nu_c) \cdot C \cdot \frac{F}{h^2} \cdot \left\{ \log_{10} \left(\frac{l}{10} \right) - 0.75 \cdot \log_{10} \left(\frac{r}{10} \right) - 0.18 \right\}$$

継手近傍載荷時

$$\sigma_{we}' = \beta \cdot \sigma_{we}$$

ここで、

σ_{wi}	: コンクリート版中央部載荷時の輪荷重応力	= 4.420 N/mm ²
σ_{we}	: コンクリート版自由縁部載荷時の輪荷重応力	= 7.693 N/mm ²
σ_{we}'	: コンクリート版継手近傍載荷時の輪荷重応力	= 4.616 N/mm ²
F	: 等価単車輪荷重 (ESWL)	= 270,800 N
h	: コンクリート版厚	= 240 mm
b	: $r < 1.724h$ の場合, $b = \sqrt{1.6r^2 + h^2} - 0.675h$ $r \geq 1.724h$ の場合, $b = r$	= 235 mm
r	: ESWL の接地半径 = $\sqrt{F/(p\pi)}$	= 250 mm
p	: タイヤ接地圧	= 1.38 N/mm ²
l	: 剛比半径	= 876 mm
ν_c	: コンクリートのポアソン比	= 0.15
C	: 係数 (自由縁部の場合)	= 2.12
β	: 応力低減係数	= 0.6

b) そり拘束応力

コンクリート版上下面温度差による版のそり変形が、自重等により拘束されるため発生するそり拘束応力を次式により算出した。なお、継手近傍の場合は PRC 版が一体化されていることから、中央部のそり拘束応力を採用した。

中央部

$$\sigma_{ti} = 0.7 \cdot \frac{E_c \cdot \alpha_c \cdot \theta}{2 \cdot (1 - \nu_c)}$$

自由縁部

$$\sigma_{te} = 0.35 \cdot C_w \cdot E_c \cdot \alpha_c \cdot \theta$$

継手近傍

$$\sigma_{te}' = \sigma_{ti}$$

ここで、

σ_{ti}	: コンクリート版中央部のそり拘束応力	
	温度上昇時の版下面	= 2.450 N/mm ²
	温度下降時の版表面	= 1.297 N/mm ²

(8) 表面ひび割れ発生荷重の照査で使用

σ_{te}	: コンクリート版自由縁部のそり拘束応力	
	温度上昇時の版下面	= 1.978 N/mm ²
σ_{te}'	: コンクリート版継手近傍のそり拘束応力	
	温度上昇時の版下面	= 2.450 N/mm ²
E_c	: コンクリートの弾性係数	= 35,000 N/mm ²
α_c	: コンクリートの線膨張係数	= 0.00001/°C

θ	: コンクリート版の上下面温度差	温度上昇時 = 17 °C
		温度下降時 = 9 °C
ν_c	: コンクリートのポアソン比	= 0.15
C_w	: そり拘束係数	
	温度上昇時・収縮目地間隔 (L_{PRC}) = 7.5m	= 0.95

c) 軸方向拘束応力

温度下降時における PRC 版の収縮変形が、路盤摩擦により拘束されるため発生する軸方向拘束応力（引張応力）を次式で算出した。なお、自由縁部では変形が拘束されないことから考慮しない。また、温度上昇時における圧縮応力は考慮しない。

$$\sigma_f = f \cdot w_c \cdot \frac{LL}{2}$$

ここで、

σ_f	: コンクリート版の軸方向拘束応力	= 0.735 N/mm ²
f	: 路盤摩擦係数	= 1.0
w_c	: コンクリートの単位体積重量	= 24.5 kN/m ³ = 24.5 × 10 ⁶ N/mm ³
LL	: 伸縮目地間隔	= 60 m = 60,000 mm

(4) 合成応力の算定

コンクリート版下面における輪荷重応力、そり拘束応力及び軸方向拘束応力の合成応力を、温度上昇時及び温度下降時のそれぞれについて算定した。

【温度上昇時】

PRC 版の膨張変形が拘束され、軸方向拘束応力（圧縮応力）が発生するが考慮しない。一方、PRC 版のそり変形が拘束され、版下面にそり拘束応力（引張応力）が発生する。そのため、合成応力は輪荷重応力とそり拘束応力の和となる。

【温度下降時】

PRC 版のそり変形が拘束され、版下面にそり拘束応力（圧縮応力）が発生するが考慮しない。一方、PRC 版の収縮変形が拘束され、軸方向拘束応力（引張応力）が発生する。そのため、合成応力は輪荷重応力と軸方向拘束応力の和となる。ただし、自由縁部では変形が拘束されないことから軸方向拘束応力は考慮しない。

付表-23.1 コンクリート版下面の合成応力の算定

		曲げモーメント成分			軸力成分
		輪荷重 応力	そり拘束 応力	合成 応力	軸方向 拘束応力
温度 上昇時	中央部	$\sigma_{wi} = 4.420$	$\sigma_{ti} = 2.450$	$\sigma_i = 6.870$	—
	自由縁部	$\sigma_{we} = 7.693$	$\sigma_{te} = 1.978$	$\sigma_e = 9.671$	—
	継手近傍	$\sigma_{we}' = 4.616$	$\sigma_{te}' = 2.450$	$\sigma_e' = 7.066$	—
温度 下降時	中央部	$\sigma_{wi} = 4.420$	—	$\sigma_i = 4.420$	$\sigma_f = 0.735$
	自由縁部	$\sigma_{we} = 7.693$	—	$\sigma_e = 7.693$	—
	継手近傍	$\sigma_{we}' = 4.616$	—	$\sigma_e' = 4.616$	$\sigma_f = 0.735$

(単位：N/mm²)

(5) 断面力の算定

断面力として、曲げモーメントと軸力を算定した。

【温度上昇時】

曲げモーメントは、合成応力（輪荷重応力＋そり拘束応力）に断面係数を乗じる。

【温度下降時】

曲げモーメントは、合成応力（輪荷重応力）に断面係数を乗じる。

軸力は、軸方向拘束応力に断面積を乗じる。

断面係数

$$Z = \frac{B \cdot h^2}{6}$$

断面積

$$A = B \cdot h$$

ここで、

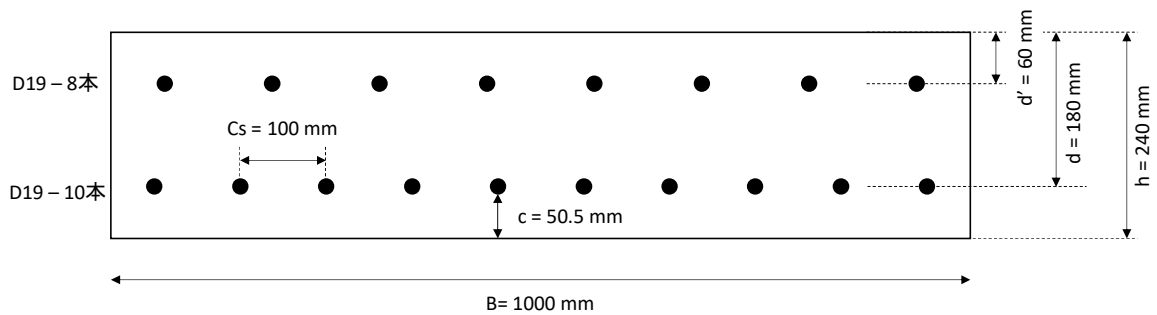
Z	: 断面係数	$= 9.6 \times 10^6 \text{ mm}^3$
A	: 断面積	$= 2.4 \times 10^5 \text{ mm}^2$
B	: 版幅（単位幅）	$= 1000 \text{ mm}$
h	: コンクリート版厚	$= 240 \text{ mm}$

付表-23.2 断面力の算定

		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)
温度 上昇時	中央部	$\sigma_i \times Z = 65.952$	—
	自由縁部	$\sigma_e \times Z = 92.842$	—
	継手近傍	$\sigma_e' \times Z = 67.834$	—
温度 下降時	中央部	$\sigma_i \times Z = 42.432$	$\sigma_f \times A = 176.40$
	自由縁部	$\sigma_e \times Z = 73.853$	—
	継手近傍	$\sigma_e' \times Z = 44.314$	$\sigma_f \times A = 176.40$

(6) 応力の照査

断面力から RC 理論により鉄筋及びコンクリートの応力を算定し、コンクリートの許容圧縮応力 σ_{ca} 、鉄筋の許容引張応力 σ_{sa} よりも小さいことを確認した。



- B : 版幅 (単位幅) = 1000 mm
- h : コンクリート版厚 = 240 mm
- E_s : 鉄筋の弾性係数 = 200,000 N/mm²
- E_c : コンクリートの弾性係数 = 35,000 N/mm²
- n : 弾性係数比 = E_s/E_c = 5.7
- ϕ : 鉄筋径 = 19 mm
- 表面側鉄筋
 - d' : 有効高さ = 60 mm
 - A_s' : 鉄筋量 D19-8本
- 下面側鉄筋
 - d : 有効高さ = 180 mm
 - A_s : 鉄筋量 D19-10本
 - C_s : 鉄筋中心間隔 = 100 mm
 - c : 純かぶり = $h - (d + \phi/2)$ = 50.5 mm

付表-23.3 応力の算定

		曲げ モーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)	版表面の コンクリート 圧縮応力 σ_c (N/mm ²)	版下面側の 鉄筋引張応力 σ_s (N/mm ²)
温度 上昇時	中央部	65.952	—	$13.3 < \sigma_{ca} = 20$	$144.8 < \sigma_{sa} = 230$
	自由縁部	92.842	—	$18.7 < \sigma_{ca} = 20$	$203.9 < \sigma_{sa} = 230$
	継手近傍	67.834	—	$13.7 < \sigma_{ca} = 20$	$149.0 < \sigma_{sa} = 230$
温度 下降時	中央部	42.432	176.40	$8.5 < \sigma_{ca} = 20$	$127.4 < \sigma_{sa} = 230$
	自由縁部	73.853	—	$14.8 < \sigma_{ca} = 20$	$162.2 < \sigma_{sa} = 230$
	継手近傍	44.314	176.40	$8.9 < \sigma_{ca} = 20$	$131.6 < \sigma_{sa} = 230$

(7) 下面ひび割れ幅の照査

PRC 版下面のひび割れ幅は、コンクリート標準示方書のひび割れ幅算定式を用いて算定し、許容ひび割れ幅よりも小さいことを確認した。許容ひび割れ幅は、付録-11 連続鉄筋コンクリート舗装の構造設計より 0.5mm とした。

$$w_l = 1.1 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \{4c + 0.7(C_s - \phi)\} \left(\frac{\sigma_s}{E_s} + \varepsilon_{csd}' \right)$$

ここで、

w_l	: 下面ひび割れ幅	付表-23.4
w_{la}	: 許容ひび割れ幅	= 0.5 mm
k_1	: 鉄筋の表面形状がひび割れ幅に及ぼす影響を表す定数。一般に、異形鉄筋の場合 1.0, 普通丸鋼及び PC 鋼材の場合 1.3.	= 1.0
k_2	: コンクリートの品質がひび割れ幅に及ぼす影響を表す係数 = $15/(f_c' + 20) + 0.7$	= 0.89
f_c'	: コンクリートの設計強度。一般に設計圧縮強度。	= 60 N/mm ²
k_3	: 引張鉄筋の影響を表す係数 = $5(n + 2)/(7n + 8)$	= 1
n	: 引張鉄筋の段数	= 1
c	: 純かぶり	= 50.5 mm
C_s	: 鉄筋中心間隔	= 100 mm
ϕ	: 鉄筋径	= 19 mm
σ_s	: 鉄筋の増加応力	付表-23.3
E_s	: 鉄筋の弾性係数	= 200,000 N/mm ²
ε_{csd}'	: コンクリートの乾燥収縮及びクリープによるひび割れ幅の増加を考慮するための数値	= 100×10^{-6}

付表-23.4 下面ひび割れ幅の算定

		鉄筋の増加応力 σ_s (N/mm ²)	下面ひび割れ幅 w_l (mm)
温度 上昇時	中央部	144.8	$0.209 < w_{la} = 0.5$
	自由縁部	203.9	$0.284 < w_{la} = 0.5$
	継手近傍	149.0	$0.214 < w_{la} = 0.5$
温度 下降時	中央部	127.4	$0.187 < w_{la} = 0.5$
	自由縁部	162.2	$0.231 < w_{la} = 0.5$
	継手近傍	131.6	$0.192 < w_{la} = 0.5$

(8) 表面ひび割れ発生荷重の照査

表面ひび割れ発生荷重⁹⁾を算定し、脚荷重に対して 1.25 以上の安全率があることを確認した。

$$P_c = \left\{ \frac{4\pi}{1 - 4a/(3b')} + \frac{1.8(S + S_T)}{l - a/2} \right\} \cdot (M_r + M_r')$$

ここで、

P_c	: 表面ひび割れ発生荷重	= 1,952,139 N
a	: タイヤ接地半径	= 229 mm
b'	: $3.9 \cdot l$	= 3,416 mm
l	: 剛比半径	= 876 mm
S	: 複々車輪の横中心間隔	= 1,118 mm
S_T	: 複々車輪の縦中心間隔	= 1,473 mm
M_r	: 単位幅当たりのひび割れ抵抗モーメント	= 48,988.8 N・mm/mm
M_r'	: 単位幅当たりの破壊抵抗モーメント	= 48,988.8 N・mm/mm
P_g	: 脚荷重	= 910,000 N
P_c/P_g	: 表面ひび割れ発生荷重/脚荷重	= 2.14 > 1.25

算定に使用する $M_r(= M_r')$ は、コンクリートの曲げ引張強度からそり拘束応力（版表面において引張応力となる拘束応力＝中央部・温度下降時のそり拘束応力）を差し引いた残存強度から算定した。

$$M_r = M'_r = (f_{cb} - \sigma_{ti}) \cdot \frac{h^2}{6}$$

ここで,

f_{cb}	: 設計曲げ引張強度	= 6.4 N/mm ²
σ_{ti}	: コンクリート版中央部のそり拘束応力	
	温度下降時・版表面	= 1.297 N/mm ²
h	: コンクリート版厚	= 240 mm

(9) たわみ量の照査

コンクリート版中央部載荷時のたわみ量を算定し、1.25mm よりも小さいことを確認した。

$$w_i = \frac{F}{8 \cdot K_{75} \cdot l^2} \{1 - a_k^2 (0.217 - 0.367 \cdot \log_{10} a_k)\}$$

ここで,

w_i	: コンクリート版中央部載荷時のたわみ量	= 0.609 mm < 1.25 mm
F	: 等価単車輪荷重 (ESWL)	= 270,800 N
K_{75}	: 路盤の設計支持力係数	= 0.07 N/mm ³
l	: 剛比半径	= 876 mm
a_k	: 荷重分布パラメータ = r/l	= 0.285
r	: ESWL の接地半径	= 250 mm

23.2.2 継手の設計

(1) 継手間隔の照査

コッター式継手の間隔は、付録-14 ダウエルバーの設計法に準拠した。隅角部から離れた箇所におけるコッター式継手群の荷重伝達能力は設計荷重の48%とし、1組のコッター式継手が伝達する荷重は実験⁹⁴⁾で得られたせん断耐力と安全率から算定した。

$$S_c = \frac{1.8 \cdot l \cdot P_a}{0.48 \cdot P}$$

ここで、

S_c	: 継手間隔	= 773 mm
l	: 剛比半径	= 876 mm
P_a	: 1組の継手が伝達する荷重 = V/γ	= 70,000 N
V	: 1組の継手のせん断耐力	= 210,000 N
γ	: 安全率	= 3
P	: 設計荷重 (複々車輪のため車軸について二分し、 複車輪とみなして計算した等価単車輪荷重)	= 297,400 N

B747-400の以下の諸元から、複車輪とみなして等価単車輪荷重を算定した。

P_g	: 脚荷重	= 910,000 N
P_g'	: 脚荷重/2	= 455,000 N
S	: 複車輪の横中心間隔	= 1,118 mm
ΣA_w	: 全タイヤ接地面積 = $A_w \times 2$ 輪	= 329,710 mm ²
S/l	= 1,118 / 876	= 1.276
$\Sigma A_w/l^2$	= 329,710 / 876 ²	= 0.430
P	= 455,000 / 1.53	= 297,400 N

以上の結果から、継手間隔を750mmとした。

(2) 継手の照査

温度下降時におけるPRC版の収縮変形が、路盤摩擦により拘束されるため継手に発生する軸引張応力を算定し、H型金物及びC型金物のアンカー長を照査した。

a) H型金物の照査

H型金物に発生する引張応力を算定し、許容引張応力以下であることを確認した。

$$\sigma_H = \frac{N_H}{A_H}$$

ここで、

σ_H	: H型金物に発生する引張応力	= 82.7 N/mm ² < $\sigma_{Ha} = 190$ N/mm ²
N_H	: 1組の継手に作用する軸引張力 = $\sigma_f \cdot A_{CH}$	= 132,300 N
σ_f	: コンクリート版の軸方向拘束応力 (23.2.1 (3) c) より)	= 0.735 N/mm ²
A_{CH}	: 1組の継手あたりのコンクリート断面積 (継手間隔 750mm × 版厚 240mm)	= 180,000 mm ²
A_H	: H型金物の断面積 (20mm × 80mm)	= 1,600 mm ²

b) C型金物のアンカー長の照査

C型金物の必要アンカー長を算定し、標準アンカー長が必要アンカー長以上であることを確認した。

$$L_H = \frac{N_H}{f_{bok} \cdot l_{sa}}$$

ここで、

L_H	: C型金物の必要アンカー長	ストレート型の場合 = 286 mm < $L = 450$ mm テーパ型の場合 = 190 mm < $L = 270$ mm
N_H	: 1組の継手に作用する軸引張力 (23.2.2 (2) a) より)	= 132,300 N
f_{bok}	: コンクリートの付着強度 ⁹⁸⁾ = $0.28 \cdot f_{ck}^{1/3}$ ただし $f_{bok} \leq 4.2$ N/mm ²	= 4.2 N/mm ²
l_{sa}	: C型金物のアンカーの周長 = $\pi \cdot D$	ストレート型の場合 = 110 mm テーパ型の場合 = 166 mm
D	: C型金物のアンカーの直径	ストレート型の場合 = 35 mm テーパ型の場合 = $(D_{max} + D_{min})/2$ = 53 mm