

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1256

October 2023

空港舗装のPCR算出方法の研究

坪川将丈

Research on PCR Calculation Method for Airport Pavement

TSUBOKAWA Yukitomo

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

空港舗装のPCR算出方法の研究

坪川将丈*

要 旨

国際民間航空機関第14付属書（ICAO Annex14）では1981年から、航空機が舗装に及ぼす影響を示す指標としてACNが、空港舗装の強度を示す指標としてPCNが用いられており、世界各国の空港管理者はPCNをAIPで公示する必要がある。

2022年にICAO Annex14が改定され、これまで用いられてきたACN-PCN法は2024年11月27日で廃止され、翌11月28日からはACR-PCR法が用いられることとなった。

国土交通省航空局が「舗装強度の公示方法について」を改定するにあたり、著者はICAOが定めた新しいACR算出方法や我が国の空港舗装設計法を考慮した標準的なPCR算出方法を構築することを目的として研究を実施した。

その結果、アスファルト舗装の場合は基準舗装厚と路床の設計弾性係数から、コンクリート舗装の場合はコンクリート版厚と路盤の設計支持力係数からPCRを算出する標準的な方法を構築した。さらに、我が国のオーバーロード運航におけるACR/PCRの目安値も作成した。

キーワード：PCR, ACR, ICAO, 空港アスファルト舗装, 空港コンクリート舗装

* 空港研究部 空港施設研究室 室長

Research on PCR Calculation Method for Airport Pavement

TSUBOKAWA Yukitomo*

Synopsis

Aircraft classification number (ACN) is a number expressing a relative effect of an aircraft on a pavement. Pavement classification number (PCN) is a number expressing a bearing strength of a pavement. ACN and PCN are used in ICAO Annex 14 since 1981. Airport authorities need to indicate PCN of pavement in their airports.

ICAO Annex 14 was revised in 2022. By this revision, ACN-PCN method are applicable until 27 November 2024 and ACR-PCR method are applicable as of 28 November 2024.

When the Civil Aviation Bureau of the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism revised the notification “Method of publicizing aerodrome pavement strength”, author conducted this research to establish standard calculation method of PCR for airport pavement in JAPAN considering new calculation method of ACR established by ICAO and airport pavement design method in JAPAN.

As a result, author established standard calculation method of PCR from both pavement thickness and subgrade/base strength (subgrade elastic modulus of flexible pavement or base coefficient of bearing capacity of rigid pavement). Furthermore, author established reference values of ACR/PCR for overload operations in JAPAN.

Key Words: PCR, ACR, ICAO, airport flexible pavement, airport rigid pavement

* Head, Airport Facilities Division, Airport Department

目 次

1. はじめに	1
2. 舗装強度の公示における留意点	4
2.1 舗装種別コード，許容タイヤ圧カテゴリー，評価方法コード	4
2.2 PCR の算出に使用する舗装厚	5
2.3 AIP 以外の文書等での PCR	5
3. アスファルト舗装の PCR 算出方法の検討	6
3.1 アスファルト舗装の ACN と PCN	6
3.2 ICAO によるアスファルト舗装の ACR 算出方法	6
3.3 ICAO によるアスファルト舗装の PCR 算出推奨方法	10
3.4 我が国のアスファルト舗装の PCR 算出方法の検討	12
3.4.1 路床強度カテゴリーの選択方法	12
3.4.2 路盤を単一層とした場合の等価路盤弾性係数	12
3.4.3 PCR の試算	16
3.4.4 PCR 算出方法の検討	23
3.4.5 PCR 算出方法の妥当性の検証	32
3.5 まとめ	32
4. コンクリート舗装の PCR 算出方法の検討	33
4.1 コンクリート舗装の ACN と PCN	33
4.2 ICAO によるコンクリート舗装の ACR 算出方法	33
4.3 ICAO によるコンクリート舗装の PCR 算出推奨方法	35
4.4 我が国のコンクリート舗装の PCR 算出方法の検討	35
4.4.1 路床強度カテゴリーの選択方法	35
4.4.2 PCR の試算	38
4.4.3 PCR 算出方法の検討	41
4.4.4 PCR 算出方法の妥当性の検証	46
4.5 まとめ	46
5. オーバーロード運航の目安の検討	47
5.1 検討方針	47
5.2 オーバーロード運航許容率	48
5.3 まとめ	50
6. 結論	51
7. おわりに	51
参考文献	51

付録 国土交通省航空局：舗装強度の公示方法について（令和 5 年 10 月）

本資料では、異なる年度に発刊された同一名称の文献を多く引用することから、以下の略称で記載している。

- ・ ICAO Annex 14, Volume 1 - Aerodrome Design and Operations, Seventh Edition, 2016 → 2016Annex 14
 - ・ ICAO Annex 14, Volume 1 - Aerodrome Design and Operations, Ninth Edition, 2022 → 2022Annex 14
 - ・ ICAO Aerodrome Design Manual, Part 3 - Pavements, Second Edition, 1983 → 1983ADM
 - ・ ICAO Aerodrome Design Manual, Part 3 - Pavements, Third Edition, 2022 → 2022ADM
 - ・ 運輸省航空局 舗装強度の公示方法について, 1981 → 1981 公示方法
 - ・ 運輸省航空局 舗装強度の公示方法について, 1999 → 1999 公示方法
 - ・ 国土交通省航空局 舗装強度の公示方法について, 2009 → 2009 公示方法
 - ・ 国土交通省航空局 舗装強度の公示方法について, 2016 → 2016 公示方法
 - ・ 国土交通省航空局 舗装強度の公示方法について, 2023 → 2023 公示方法
 - ・ 坪川, 伊藤, 水上, 斎藤: 空港舗装の PCN 算出方法の改定に関する検討, 国土技術政策総合研究所資料, No.604, 2010 → 2010 国総研資料
- ※発行年を問わない場合の総称として「Annex 14」「ADM」「公示方法」と記載する場合もある。

また、本資料では、路床及び路盤の力学特性を表す指標について、以下の略称で記載している。

- ・ 路床の設計 CBR : 路床 CBR
- ・ 路床及び路盤の設計弾性係数 : 路床 E, 路盤 E
- ・ 路床及び路盤の設計支持力係数 : 路床 K, 路盤 K

1. はじめに

国際民間航空機関 (ICAO) 第 14 付属書 (Annex 14) では、航空機が舗装に及ぼす影響を示す指標として ACN (Aircraft Classification Number : 航空機等級番号) が用いられており、航空機製造者が公表している各航空機の特性を示す文書 (Airplane Characteristics) に記載されている。また、空港舗装の強度を示す指標として PCN (Pavement Classification Number : 舗装等級番号) が用いられており、世界各国の空港管理者は自空港の PCN を AIP (Aeronautical Information Publication : 航空路誌) で公示している。我が国の各空港の AIP は、国土交通省航空局 Japan Aeronautical Information Service Center の WEB サイト「AIS JAPAN」で閲覧することが可能である。

ICAO において ACN-PCN 法が導入されるまでは、表-1.1 に示す様々な舗装強度指標が Annex 14 に掲載されており、我が国では長らく SIWL (Single Isolated Wheel Load : 換算単車輪荷重) が用いられていた。その後、ICAO は 1981 年 11 月 26 日から、全備重量が 5,700 kg を超える航空機を対象とした舗装については ACN-PCN 法を適用することとした。我が国も運輸省航空局により 1981 公示方法が編纂され、1981 年 12 月 1 日以降に AIP で公示する舗装強度を SIWL から PCN に変更した。主な航空機の ACN を表-1.2 に、AIP における舗装強度の公示の例を図-1.1 に示す。

ACN 及び PCN を公示する目的は、主に以下のとおりである。

- ・ 空港管理者 : その空港にとって新しい航空機の運航の可否が簡単に判断できる。
- ・ 航空会社 : ある空港に運航できる航空機と運航重量が簡単に判断できる。
- ・ 航空機製造者 : 既設舗装の改修なしで運航できる新しい航空機を開発できる。

これらの検討は ACN と PCN を比較することにより行われる。ACN ≤ PCN であれば、舗装はその機材に対して十分な舗装強度を有しており、通常運航が可能である。ACN > PCN であれば、舗装はその機材に対して十分な舗装強度を有しておらず、空港管理者は「オーバーロード運航」として運航を許可する、運航重量を制限し運航を許可する、運航を許可しないと判断する。

ACN 算出方法は ICAO が定めており、1983ADM に掲載されている。各機材の ACN は航空機重量等から算出されるため世界共通であるが、PCN 算出方法は各国に委ねられている。これは、各国の空港舗装設計法が異なることに起因している。ACN や PCN を空港舗装設計に使用することはないが、例えば ACN が 70 の航空機を対象として空港舗装を設計・整備する場合、A 国では基準舗装厚 (表基層厚と粒状路盤厚の合計) 100 cm のアスファルト舗装が採用され、B 国では基準舗装厚 80 cm のアスファルト舗装が採用されるというように、同一機材を対象とした場合でも国により舗装厚が異なる。この場合、当然であるが、A 国では基準舗装厚 100 cm のアスファルト舗装の PCN は 70 以上の値が算出される必要があ

り、B国では基準舗装厚 80 cm のアスファルト舗装の PCN は 70 以上の値が算出される必要がある。このため PCN 算出方法は、比較対象となる ACN 算出方法を意識しつつ、各国の空港舗装設計法を考慮する必要があるため、ACN とは異なり、ICAO は世界共通の PCN 算出方法を示していない。

我が国の各空港の PCN は、空港管理者がその責任において決定し公示するものであるが、国土交通省航空局が編纂している「舗装強度の公示方法について」では「国内空港の舗装強度の整合性、算出方法の合理性及び簡便性を考慮し、「3. 舗装支持力強度の算出方法」に示す方法によって算出することが望ましい。」とされている。

公示方法については、ICAO が ACN-PCN 法を導入した 1981 年に運輸省航空局が 1981 年公示方法を編纂し、その後、1999 年、2009 年、2016 年に改定されている。2009 年公示方法の改定は、2008 年に我が国の空港舗装設計法が抜本的に改定され、従来から用いられてきた経験的設計法に若干の変更が加えられるとともに、新たに理論的設計法が導入されたことを公示方法に反映することが目的であった。この改定の詳細は 2010 国総研資料に示されている。また、2016 年公示方法の改定は、2016Annex 14 において許容タイヤ圧カテゴリー X の上限値が 1.50 MPa から 1.75 MPa に、Y の上限値が 1.00 MPa から 1.25 MPa に改定されたことによるものであり、PCN 算出方法には影響しない改定であった。

その後、2022 Annex 14 において、ACN-PCN 法は 2024 年 11 月 27 日まで有効とされ、2024 年 11 月 28 日から新たに ACR-PCR 法 (ACR : Aircraft Classification Rating, 航空機分類等級) (PCR : Pavement Classification Rating, 舗装分類等級) が用いられることとなった。ACR 算出方法は ACN と同様に ICAO が定めており 2022ADM に掲載されているが、PCR 算出方法は PCN と同様に各国に委ねられているため、我が国の空港舗装設計法を考慮した PCR 算出方法を構築する必要がある。

以上の背景から、国土交通省航空局が公示方法を改定するにあたり、著者は ICAO が定めた新しい ACR 算出方法や我が国の空港舗装設計法を考慮した標準的な PCR 算出方法を構築することを目的として本研究を実施した。以降では、2 章で舗装強度の公示における留意点を述べた後、3 章でアスファルト舗装の PCR 算出方法の検討結果、4 章でコンクリート舗装の PCR 算出方法の検討結果、5 章でオーバーロード運航の目安の検討結果について述べる。

表-1.1 過去に Annex14 に掲載されていた舗装強度指標¹⁾

名称	概要
SIWL (Single Isolated Wheel Load)	最大全備重量に脚車輪数に応じた係数を乗じて表示する。
AUW (All-Up Weight)	脚車輪数別に許容可能な最大全備重量を表示する。
GL (Gear Load)	脚車輪数別に許容可能な最大脚荷重を表示する。
LCN (Load Classification Number)	等価単車輪荷重とタイヤ接地圧を組み合わせた LCN を表示する。
LCG (Load Classification Group)	LCN を基とした 7 段階のグループを表示する。

表-1.2 主な航空機の ACN

機材名	舗装種別 路床強度 カテゴリー	コンクリート舗装				アスファルト舗装			
		A K=150	B K=80	C K=40	D K=20	A CBR=15	B CBR=10	C CBR=6	D CBR=3
A380-800		56	70	91	113	56	63	77	108
B777-300ER		66	85	109	131	64	71	89	120
B787-8		61	71	84	96	60	66	81	106
A320-200		47	49	52	54	41	43	47	53

※CBR は路床 CBR (%), K は路盤 K (MN/m³) で、数値は ICAO が定める路床強度カテゴリー A~D の代表値。

(1) 全備重量が 5,700kg を超過する航空機を対象とした舗装の場合

PCN80 / F / B / X / T

PCN	舗装種別 コード	路床強度 カテゴリー	許容 タイヤ圧 カテゴリー	評価方法 コード
-----	-------------	---------------	---------------------	-------------

- ・ 舗装種別コード：アスファルト舗装は F，コンクリート舗装は R
- ・ 路床強度カテゴリー：

アスファルト舗装は，路床 CBR に応じて

路床 CBR	路床強度カテゴリー
13 %以上	A
8 %以上 13 %未満	B
4 %以上 8 %未満	C
4 %未満	D

コンクリート舗装は，路盤 K に応じて

路盤 K	路床強度カテゴリー
120 MN/m ³ 以上	A
60 MN/m ³ 以上 120 MN/m ³ 未満	B
25 MN/m ³ 以上 60 MN/m ³ 未満	C
25 MN/m ³ 未満	D

- ・ 許容タイヤ圧カテゴリー：制限なしは W，1.75 MPa 以下は X，1.25 MPa 以下は Y，0.50 MPa 以下は Z
- ・ 評価方法コード：技術的は T，経験的は U

(2) 全備重量が 5,700 kg 以下の航空機を対象とした舗装の場合

AUW 5,700kg / 0.48MPa

最大許容航空機重量	最大許容タイヤ圧
-----------	----------

※LSA-1 のドルニエ 228-200 (全備重量 5,700 kg，タイヤ圧 0.48 MPa) を対象とした場合の公示方法を示している。

図-1.1 2016 公示方法に基づく舗装強度の公示の例

2. 舗装強度の公示における留意点

2章では、舗装強度を公示する際の留意点について述べる。

2.1 舗装種別コード、許容タイヤ圧カテゴリー、評価方法コード

図-1.1 に示した ACN-PCN 法の舗装種別コード、許容タイヤ圧カテゴリー、評価方法コードの内容は、新しい ACR-PCR 法においても変更はないが、これまでの公示方法においてやや不明確な点があるため以下のとおり整理した。なお、路床強度カテゴリーの選択方法は ACN-PCN 法と ACR-PCR 法で大きく異なるため、3章及び4章で詳しく述べる。

舗装種別コードは、アスファルト舗装であれば F、コンクリート舗装であれば R を選択する。これまでの公示方法では、小型機用エプロン等で用いられることがある半たわみ性舗装について言及されていなかったが、半たわみ性舗装は、アスファルト舗装として設計を行った後、表層材料をアスファルト混合物から半たわみ性混合物へ切り替えることが多いため、半たわみ性舗装の場合は F を選択することとした。

許容タイヤ圧カテゴリーは、Annex 14 や ADM でも選択方法が明確に記されておらず、これまでの公示方法でも選択方法は示されていない。我が国の空港では X (1.75 MPa 以下) が選択されている場合がほとんどであり、一部の古い短距離滑走路において Y (1.25 MPa 以下) が選択されている場合がある。これまでの公示方法において選択方法が示されていないことから、ACN-PCN 法を導入した当時の就航機材の接地圧を参考に選択した許容タイヤ圧カテゴリーが、各空港で長年踏襲されてきたものと推察される。運航可否を判断する際に用いられるのは PCN や PCR であり、許容タイヤ圧カテゴリーが使用されることはないが、公示方法において何らかの定めを設けるのが望ましいと考え、表-2.1 のように表層の材料仕様により選択することとした。コンクリート舗装の場合は ADM の 3.3.4 「コンクリート舗装ではタイヤ圧制限は不要である」を参考に、材料としての耐久性が高いことから W (無制限) とした。また、アスファルト舗装の場合は、空港土木工事共通仕様書において、設計航空機荷重区分が LA-4 以上と LSA-1 以下で使用されているアスファルト混合物の仕様を参考とした。ただし、設計航空機荷重区分 LSA-1 以下は全備重量が 5,700 kg を超過しない航空機を対象としており、ACR-PCR 法の適用対象外となるため、我が国のアスファルト舗装の許容タイヤ圧カテゴリーは特殊な場合を除き X (1.75 MPa 以下) となる。なお、半たわみ性混合物はコンクリートほどの耐久性がないことから、アスファルト混合物と同様に X を選択することとした。

評価方法コードは、何らかの技術的な方法により PCR を算出した場合は T (技術的評価)、過去に就航した航空機の中で最大の ACR を PCR として採用する等の場合は U (経験的評価) を選択するが、我が国の場合、技術的な方法により PCR を算出しているため T を選択する。

表-2.1 許容タイヤ圧カテゴリーの選択方法

許容タイヤ圧カテゴリー	表層の種類	備考
W (無制限)	コンクリート版	ADM の 3.3.4 「コンクリート舗装ではタイヤ圧制限は不要である」を参考とした。
X (1.75 MPa 以下)	アスファルト混合物の配合設計においてマーシャル安定度を 8.80 kN 以上とした表層 (半たわみ性混合物を含む)	空港土木工事共通仕様書において設計航空機荷重区分が LA-4 以上の場合に用いられる表層ではマーシャル安定度が 8.80 kN 以上である。
Y (1.25 MPa 以下)	アスファルト混合物の配合設計においてマーシャル安定度を 4.90 kN 以上とした表層	空港土木工事共通仕様書において設計航空機荷重区分が LSA-1 以下の場合に用いられる表層ではマーシャル安定度が 4.90 kN 以上である。

2.2 PCRの算出に使用する舗装厚

AIPには、滑走路・誘導路・エプロンそれぞれの代表的な舗装厚により算出したPCRを公示することで良い。例えば、滑走路の部位に応じて舗装種別・舗装厚等が異なるからといって、滑走路のPCRを部位別に複数公示する必要はない。これは以下の理由による。一部の小型機用の滑走路・誘導路・エプロンを除き、空港内の施設では同じ設計航空機荷重区分が採用されるが、路床 CBR や路盤 K の違い等により舗装厚が異なれば算出される PCR も変化する。しかしながら、PCR と ACR の比較から「滑走路端部は運航が可能だが、滑走路中間部は運航不可」あるいは「C3 誘導路は運航が可能だが、その先の C4 誘導路は運航不可」のような判断は、非常に特殊な事例を除き現実的ではないためである。以下を参考にして PCR の算出に使用する舗装厚を選択するとよい。

(1) 滑走路

滑走路では、滑走路端部縁端帯・滑走路中間部中央帯・滑走路中間部縁端帯で舗装厚を減厚しているため、基本的には最も舗装が厚い滑走路端部中央帯の舗装厚による PCR を公示するとよい。例えば、大部分がアスファルト舗装で、端部の一部がコンクリート舗装である滑走路や、滑走路延長により延長部のみ舗装厚が異なる滑走路があるが、代表的な舗装厚による PCR を公示するとよく、複数の PCR を公示する必要はない。

(2) 誘導路

各空港の AIP を見ると、それぞれの誘導路毎の PCN を公示している空港が多いが、誘導路の代表的な舗装厚による PCR を算出し、複数の誘導路を一括して PCR を公示することでよい。代表的な舗装構造が決め難い場合は、航空機の使用頻度の高い末端取付誘導路・平行誘導路の舗装厚や、想定される何らかの航空機の ACR に対して最も有利となる (ACR/PCR が最も小さくなる) 誘導路の舗装厚を採用するとよい。ここで、複数の誘導路の PCR の大きさを単純に比較することとしていないのは、それぞれの誘導路の路床強度カテゴリーが異なる場合、比較する ACR も路床強度カテゴリーにより変化するため、PCR の大小だけでは判別しにくいためである。

なお、一部の小型機用誘導路のように、設計荷重や舗装厚が周囲と明らかに異なる範囲は、誘導路を一括して PCR を公示するのではなく、それぞれの範囲の PCR を公示するとよい。

(3) エプロン

エプロンでは、滑走路・誘導路と同様に考えると良い。ただし、エプロンの一部を占める小型機用エプロンのように、設計荷重や舗装厚が周囲と明らかに異なる範囲は、エプロンを一括して PCR を公示するのではなく、それぞれの範囲の PCR を公示するとよい。

(4) 特殊な舗装構造

栈橋上に設置されている施設、アスファルト舗装下に旧舗装のコンクリート版が残置されている施設、プレキャストコンクリート舗装を採用している施設のような特殊な舗装構造の PCR を算出することは難しいため、その周囲の一般的な舗装構造 (アスファルト舗装であれば表基層・路盤・路床、コンクリート舗装であれば無筋コンクリート版・路盤・路床) による PCR を公示するとよい。

(5) 半たわみ性舗装

2.1 で記した理由から、半たわみ性舗装はアスファルト舗装と同様に扱う。

2.3 AIP 以外の文書等での PCR

AIP 以外の文書等で PCR を示す場合は、PCR のみではなく、例のように舗装種別コード及び路床強度カテゴリーを併記する必要がある。これは、同一機材であっても舗装種別コード及び路床強度カテゴリーに応じて 8 種類の ACR が存在するため、PCR のみを示しても ACR と比較ができないためである。

(例) 当空港の滑走路の PCR は 800 (舗装種別コード F, 路床強度カテゴリー B) であるため、ACR が 800 (舗装種別コード F, 路床強度カテゴリー B) を超過する航空機を使用してはならない。

3. アスファルト舗装の PCR 算出方法の検討

3章では、アスファルト舗装の PCR の算出方法の検討結果について述べる。

3.1 で現行の ACN 及び PCN の算出方法の概要を、3.2 で ICAO による ACR 算出方法の概要を、3.3 で ICAO による PCR 算出推奨方法の概要を述べる。3.4 では、多層弾性解析により PCR の多くの試算を行う前に、ICAO による ACR の算出で使用されている路盤 E の複雑な設定を簡略化する方法について検討した結果を述べた後、我が国の一般的な舗装厚を用いて試算した PCR の傾向と、その傾向を参考に我が国のアスファルト舗装の PCR の算出方法を検討した結果及び PCR の妥当性を検証した結果を述べる。

3.1 アスファルト舗装の ACN と PCN

ICAO が定めるアスファルト舗装の ACN 算出方法は 1983ADM に掲載されている。また、我が国のアスファルト舗装の PCN 算出方法は 2016 公示方法に、その詳細は 2010 国総研資料に掲載されている。

アスファルト舗装の ACN 算出方法の概要は以下のとおりである。

- ・ ACN 算出対象航空機の荷重諸元と路床 CBR (4 つの路床強度カテゴリ A~D それぞれの代表値である 15, 10, 6, 3%) から、設計反復作用回数が 10,000 回の場合に必要な基準舗装厚 (アスファルト混合物層厚と粒状路盤厚の合計) を、米国連邦航空局 (FAA) の設計で採用されていた基準舗装厚式により算出する。
- ・ 算出した基準舗装厚及び基準舗装厚式から、接地圧 1.25 MPa の単車輪荷重 DSWL (Derived Single Wheel Load, 1,000 kgf 単位) を逆算し、DSWL を 2 倍した値を ACN とする。

我が国のアスファルト舗装の PCN 算出方法の概要は以下のとおりである。

- ・ PCN 算出対象舗装の基準舗装厚を、我が国の設計反復作用回数 10,000 回の基準舗装厚に補正する。この際、1 脚 4 輪あるいは 6 輪の航空機を対象としている舗装では、算出された PCN が、設計で想定している航空機の ACN を大幅に上回る傾向があるため、補正係数 0.825 を乗じることで基準舗装厚を減厚する。
- ・ 補正した基準舗装厚と路床 CBR を用い、ACN 算出で使用されている基準舗装厚式を用いて接地圧 1.25 MPa の DSWL を逆算し、DSWL を 2 倍した値を PCN とする。

3.2 ICAO によるアスファルト舗装の ACR 算出方法

ACR は航空機製造者が公表している Airplane Characteristics で示されるため、ACR の計算が必要となるのは、Airplane Characteristics が入手できない航空機の ACR を確認したい場合等に限定される。その場合は、ICAO が公開している ACR 算出プログラム「ICAO ACR 1.3」が FAA の WEB サイトから無料でダウンロードできるので、それを使用するのが簡便である。主な航空機の ACN と ACR を表-3.1 に示すが、ACR は ACN の 10 倍程度の値である。

表-3.1 主な航空機の ACN と ACR

航空機	舗装種別 路床強度 カテゴリ	アスファルト舗装の ACN				アスファルト舗装の ACR			
		A	B	C	D	A	B	C	D
		CBR=15	CBR=10	CBR=6	CBR=3	E=200	E=120	E=80	E=50
A380-800		56	63	77	108	560	590	660	940
B777-300ER		64	71	89	120	577	629	787	1,232
B787-8		60	66	81	106	550	590	690	910
A320-200		41	43	47	53	370	390	430	470

※CBR は路床 CBR (%), E は路床 E (MPa) であり、数値は ICAO が定める路床強度カテゴリ A~D の代表値。

アスファルト舗装の ACR 算出方法は 2022ADM に掲載されており、概要は以下のとおりである。ACN の算出方法と異なるのは、多層弾性解析により舗装のひずみを算出すること、疲労破壊曲線により累積疲労度を算出することとし、そのための同一位置走行回数を 36,500 回としていること、DSWL の接地圧を 1.50 MPa としていること、ACN と区別しやすいように ACR を概ね 3 桁・4 桁の整数値で表すため DSWL の単位を 100 kgf 単位としていること、路床強度カテゴリーを路床 CBR ではなく路床 E による選択としていることである。

- (1) 表-3.2 に示す舗装構造において路盤厚を変化させ、ACR 算出対象航空機の脚荷重により路床上面に発生する鉛直ひずみを多層弾性解析により算出し、ACR 算出用疲労破壊曲線により、同一位置走行回数 36,500 回で路床上面の累積疲労度が 1.0 となる（路床上面鉛直ひずみが 1,325 μ となることと同義である）路盤厚を算出する。
- (2) (1)で算出した舗装構造において、タイヤ接地圧 1.50 MPa の単車輪荷重により路床上面に発生する鉛直ひずみを多層弾性解析により算出し、ACR 算出用疲労破壊曲線により、同一位置走行回数 36,500 回で路床上面の累積疲労度が 1.0 となる（路床上面鉛直ひずみが 1,325 μ となることと同義である）単車輪荷重 DSWL を算出する。
- (3) (2)で算出した DSWL を 100 kgf 単位とした値を 2 倍した値を ACR とする。

なお、(1)の同一位置走行回数は離着陸回数ではなく、我が国の経験的設計法で用いられている設計反復作用回数とも異なる。この同一位置走行回数は、我が国の理論的設計法において、航空機の横断方向走行位置分布を考慮するために用いられるパス/カバレッジ率 P/C により、着目する航空機の全通過回数を除した値に相当する。パス/カバレッジ率 P/C とは、航空機が中心線から逸れて走行することや航空機の主脚位置を考慮するため、航空機の横断方向走行位置分布を正規分布曲線で仮定し、着目する特定の位置を航空機が 1 回走行するために必要となる航空機の通過回数を表す。例えば、滑走路中心線から 4.0 m 離れた位置の P/C が 5 の場合、この滑走路を航空機が 5 回通過すると、滑走路中心線から 4.0 m 離れた位置を航空機が 1 回走行することを意味する。この例の場合、滑走路中心線から 4.0 m 離れた位置を航空機が 36,500 回走行するためには、この滑走路を航空機が 182,500 回通過することが必要となる。

表-3.2 ACR 算出に使用するアスファルト舗装構造条件

層の種類	厚さ (mm)	弾性係数 (MPa)	ポアソン比	備考
表層	127 (1脚4輪以上) 76 (1脚2輪以下)	1,379	0.35	各層の境界は付着した状態とする
路盤	変化させる	路盤を分割し 式-3.3により設定		
路床	無限	路床強度カテゴリー A~Dの代表値 A : 200, B : 120 C : 80, D : 50		

ACR 算出用疲労破壊曲線は式-3.1 のとおりである。前述のとおり、許容される同一位置走行回数を 36,500 回とすると、路床上面の鉛直ひずみは 1,325 μ となる。

$$\log_{10}(C_e) = (-0.1638 + 185.19 \cdot \varepsilon)^{-0.60586} \quad \dots \quad \text{式-3.1}$$

ここで、

- C_e : 許容される同一位置走行回数 (回)
- ε : 路床上面の鉛直ひずみ

ACR 算出に使用する路盤 E の設定方法は以下のとおりである。路盤を何層かに分割し、直下層の弾性係数と当該層の路盤厚に応じた計算が必要となる。

- (1) 路盤の分割数を式-3.2により算出する。ただし、路盤厚が 381 mm 未満の場合は分割しない。
- (2) (1)で算出した分割数により路盤を分割する。各分割層の厚さは、最上層以外は 254 mm、最上層は残りの厚さとして設定する。最上層の厚さは 127 mm 以上 381 mm 未満となる。分割例を図-3.1に示す。
- (3) それぞれの分割層の弾性係数を式-3.3により算出する。算出例を図-3.2に示す。
- (4) 最上層が 127 mm 以上 254 mm 未満の場合、最上層の弾性係数を調整する。図-3.3の左図の「最上層である分割層Nを254 mmと仮定した場合」及び右図の「分割層N-1を508 mm-t_Nと仮定した場合」の弾性係数を(3)の方法で算出し、式-3.4に示す線形補間により最上層である分割層Nの弾性係数E_Nを算出する。

$$N = \text{int} \left(\frac{t_B}{254} + 0.5 \right) \quad \dots \dots \dots \text{式-3.2}$$

ここで、

- N : 分割数
- t_B : 路盤厚 (mm)
- int() : 小数切り捨ての関数

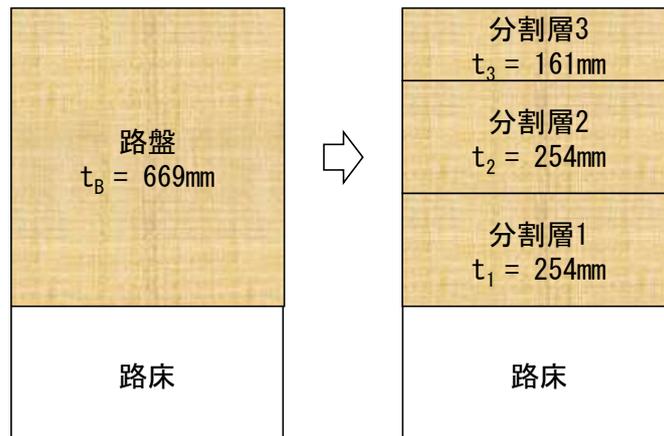


図-3.1 路盤の分割の例 (分割数 3 の場合)

$$E_n = E_{n-1} \cdot \left\{ 1 + (\log_{10}(t_n) - \log_{10}(25.4)) \cdot (c - d \cdot (\log_{10}(E_{n-1}) + \log_{10}(145.037))) \right\} \quad \dots \text{式-3.3}$$

ここで、

- E_n : 分割層nの弾性係数 (MPa)
- E_{n-1} : 分割層nの直下にある分割層n-1 (最下層の場合は路床) の弾性係数 (MPa)
- t_n : 分割層nの厚さ (mm)
- c : 10.52 (定数)
- d : 2.0 (定数)

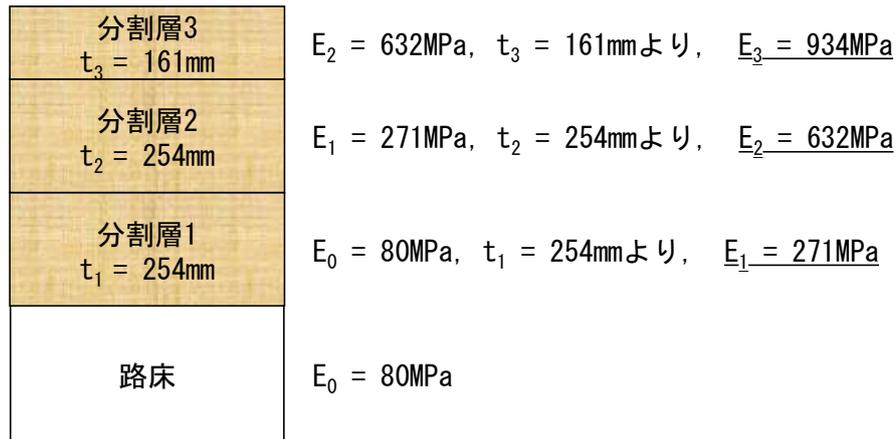


図-3.2 各分割層の弾性係数算出の例 (路床 E が 80MPa の場合)

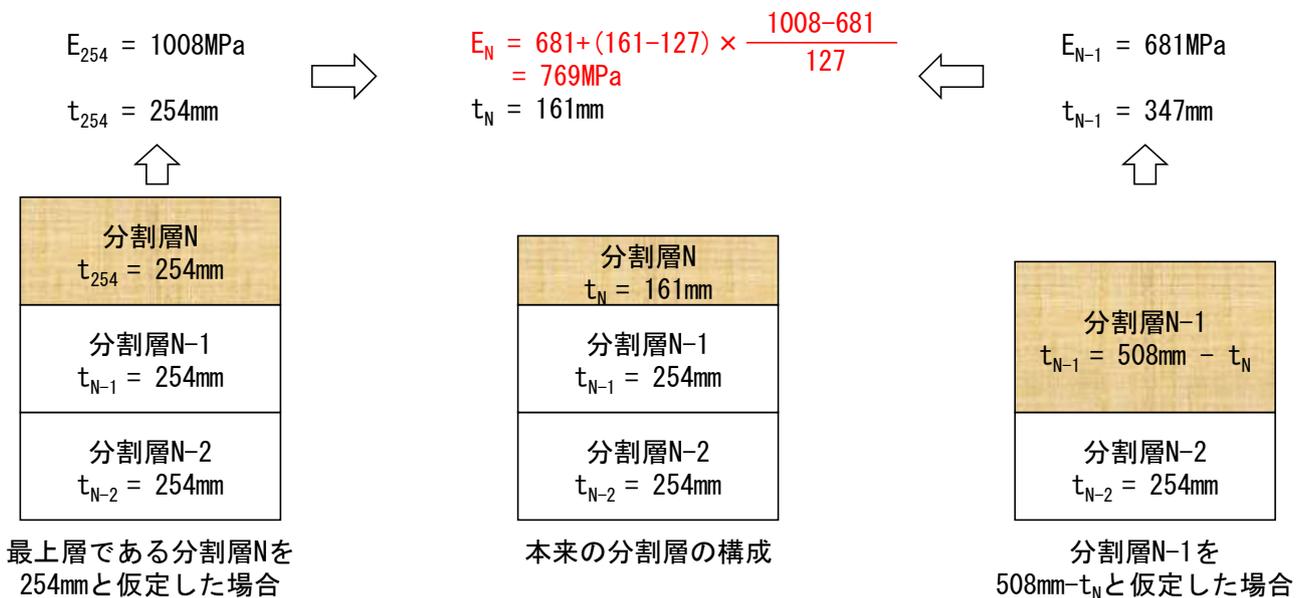


図-3.3 最上層である分割層Nの弾性係数調整の例

$$E_N = E_{N-1} + (t_N - 127) \cdot \frac{E_{254} - E_{N-1}}{127} \dots \dots \dots \text{式-3.4}$$

ここで、

- E_N : 最上層である分割層Nの弾性係数 (MPa)
- t_N : 最上層である分割層Nの厚さ (mm)
- E_{254} : 最上層である分割層Nを 254 mm と仮定した場合の弾性係数 (MPa)
- E_{N-1} : 分割層N-1を 508 mm- t_N と仮定した場合の弾性係数 (MPa)

なお、2022ADM に掲載されている線形補間式には誤りがあり、2022ADM の記述や試算例から考えると、この式-3.4 が正しい。

3.3 ICAOによるアスファルト舗装のPCR算出推奨方法

1章で示した理由により、1983ADMにはACNの算出方法が掲載されているのみで、PCNの算出方法は掲載されていない。新しい2022ADMにはアスファルト舗装のACR算出方法の他、1.1.4.5 PCR recommended procedure for technical evaluation (T)にPCR算出の「推奨方法」が掲載されており、その概要を以下に記すが、後述する理由により、我が国のPCR算出方法としては、この「推奨方法」は採用しないこととした。

- (1) PCR算出対象舗装構造（各層厚，弾性係数，ポアソン比）及び利用する航空機を設定する。
- (2) 各航空機の交通量（離陸機のみ）及び総重量を設定する。
- (3) 各航空機のACRを整理し，ACR最大航空機を確認する。
- (4) 各航空機の諸元，交通量から，設計時の方法で累積疲労度を算出し，**図-3.4(a)**のように最大累積疲労度を確認する。
- (5) 最大累積疲労度に最も寄与している「クリティカル航空機」を選択し，**図-3.4(b)**のようにクリティカル航空機以外の航空機の交通量を(2)の各航空機の交通量から除外する。
- (6) (5)のクリティカル航空機のみによる交通量による累積疲労度が，(4)の最大累積疲労度と等しくなるよう，**図-3.4(c)**のようにクリティカル航空機の交通量を補正する。
- (7) (6)の累積疲労度が1.0となるよう，**図-3.4(d)**のようにクリティカル航空機の総重量を補正したMAGW（最大許容総重量）を算出する。
- (8) MAGWを用いてACRを算出し，これを仮のPCRとする。
- (9) クリティカル航空機が(3)のACR最大航空機の場合は，以降の(10)～(12)は省略する。なお(10)～(12)は「総重量は軽いが高交通量が多い航空機がクリティカル航空機に採用されることを防ぐ」ことが目的である。
- (10) (2)の各航空機の交通量から，現時点のクリティカル航空機の交通量を除外する。
- (11) (10)の各航空機の交通量により累積疲労度を再度算出し，最大累積疲労度を確認する。
- (12) (5)～(9)の手順を繰り返す。なお(6)の補正で使用する最大累積疲労度は，最初に算出した(4)の最大累積疲労度を用いる。
- (13) 以上の手順で算出されたPCRの中から，最大のPCRを，当該舗装のPCRとして採用する。

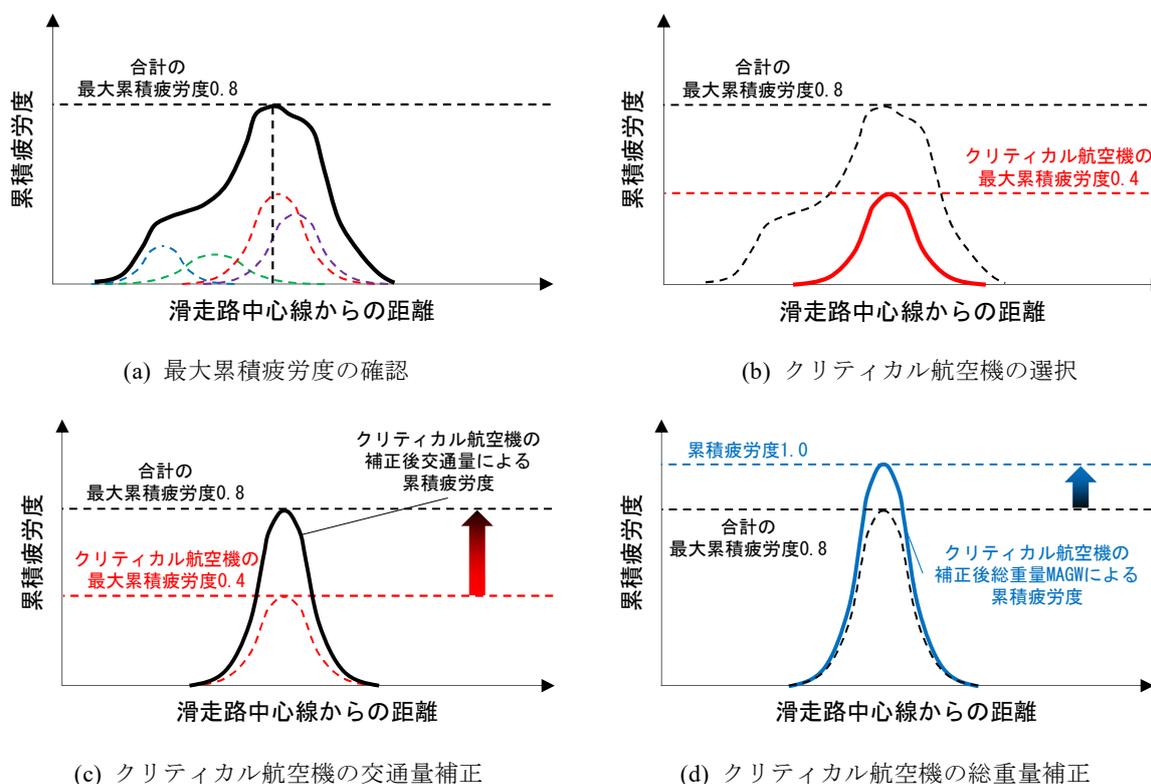


図-3.4 ICAOによるPCR算出の「推奨方法」

この方法は、複数の航空機による累積疲労度を算出し、この複数の航空機による影響を単一のクリティカル航空機に代表させた場合の交通量で累積疲労度が 1.0 となるよう、クリティカル航空機の総重量を補正した MAGW による ACR を PCR としている。これは、(1)及び(2)で想定した各航空機の交通量及び総重量による累積疲労度にはまだ余裕があるので、その分、クリティカル航空機の総重量を MAGW まで増加させ、この MAGW により PCR を決定する方法である。

累積疲労度を算出する(4)では、各国の理論的設計法で使用している各層の弾性係数や疲労破壊曲線を反映すればよいのであるから、各国の舗装設計法を考慮することが可能であり、舗装の疲労寿命に着目した合理的・理想的な PCR 算出方法と言える。しかしながら、種々の舗装厚、航空機、交通量を設定して PCR を試算したところ、(1)の航空機の設定により PCR が大きく変動することが確認された。この点について、(1)で設定する航空機を表-3.1 の 4 機種、路床強度カテゴリーを D として解説する。なお、(7)においてクリティカル航空機の総重量を補正して MAGW を算出する際の補正率を MAGW 補正率 (=補正後の MAGW ÷ 補正前の総重量) と呼ぶこととする。

- ・ ACR 最大航空機は B777-300ER であるため、B777-300ER がクリティカル航空機に選択されるまで繰返し計算を行うこととなる。4 機種を設定したため最大で 4 回の計算を行うこととなるが、B777-300ER が何回目の計算でクリティカル航空機に選択されるかは、最大累積疲労度に対する 4 機種それぞれの累積疲労度の寄与の大きさによる。例えば、B777-300ER による累積疲労度の寄与が最も大きい場合は 1 回目でクリティカル航空機に選択され計算は終了となる。一方、B777-300ER の交通量が少なく累積疲労度の寄与が最も小さい場合は最終の 4 回目でクリティカル航空機に選択される。ここでは、ACR が小さい順にクリティカル航空機に選択されるものと仮定し、1 回目では A320-200 (ACR470)、2 回目では B787-8 (ACR910)、3 回目では A380-800 (ACR940)、4 回目では B777-300ER (ACR1,232) となる場合を例に解説する。
- ・ 累積疲労度が 1.0 となるよう総重量を補正して MAGW を算出するのであるから、ACR が小さなクリティカル航空機の MAGW 補正率は大きく、ACR が大きなクリティカル航空機の MAGW 補正率は小さくなると予想された。しかしながら、試算の結果、1~4 回目で選択されるクリティカル航空機の MAGW 補正率は、総重量、ACR、交通量によらず大きく変化しないことが確認された。これは、(7)でクリティカル航空機の総重量を補正して MAGW を算出する前に、(6)でクリティカル航空機の交通量の補正を行っていることが原因と推測される。累積疲労度の増減には各航空機の交通量及び総重量が影響するが、先に交通量の補正を行うため、MAGW 補正率には総重量が大きく影響しないのである。
- ・ (13)に記載されているとおり、1~4 回目の MAGW を用いて算出した 4 つの ACR の最大値が PCR となる。しかしながら、1~4 回目の MAGW 補正率は大きく変化しないため、1~3 回目の ACR が小さなクリティカル航空機の MAGW が採用される可能性は極めて低く、ACR が最大である B777-300ER の MAGW が採用される可能性が極めて高い。
- ・ このため、舗装厚が同一であっても、(1)で設定する航空機の最大 ACR が小さい場合は PCR が小さくなり、最大 ACR が大きい場合は PCR が大きくなる。例えば、時限的に運航されるため交通量が非常に少ない大型航空機を設定する・しないの違いによる累積疲労度の変動は小さいが、算出される PCR の変動は非常に大きくなる。

このように、この「推奨方法」による PCR は、(1)で設定する航空機の最大 ACR の影響を大きく受けるため、空港管理者が PCR を算出する際に航空機の設定に苦慮することや、空港管理者により設定方針が大きく異なることが予想される。また、この方法では多くの舗装構造解析が必要となり利便性に欠けることから、我が国の PCR 算出方法としては、この「推奨方法」は採用しないこととした。

3.4 我が国のアスファルト舗装の PCR 算出方法の検討

各種の試算を行う際に影響する路床強度カテゴリーの選択方法、PCR 算出に使用する路盤 E の設定方法について整理した後、アスファルト舗装の PCR 算出方法を検討した。

3.4.1 路床強度カテゴリーの選択方法

ACN-PCN 法におけるアスファルト舗装の路床強度カテゴリーは、表-3.3 に示すとおり、路床 CBR により A～D に分類されていた。一方、ACR-PCR 法では路床 E により A～D に分類されることとされた。いずれの場合もそれぞれの路床強度カテゴリーの路床 CBR あるいは路床 E の代表値が ICAO により示されており、ACN や ACR は代表値を用いて算出されたものが使用されている。つまり、1 つの航空機に対して示されるアスファルト舗装の ACN や ACR は 4 種類である。また、アスファルト舗装の設計では、路床 CBR あるいは路床 E が小さいほど基準舗装厚を厚くするため、ACN や ACR は路床強度カテゴリーが A, B, C, D の順に大きくなる。

我が国のアスファルト舗装の経験的設計法では路床 CBR が使用されており、理論的設計法では路床 CBR (%)を 10 倍した値を路床 E (MPa)とすることが多い。この換算方法は ICAO が ADM において以前から示している換算方法と同一である。

以上のことから、理論的設計法により舗装設計を実施した際に路床 CBR と路床 E の換算に独自の方法を設定した場合を除き、ACR-PCR 法の路床強度カテゴリーは、路床 CBR (%)を 10 倍した値を路床 E (MPa)として路床強度カテゴリー A～D を選択することとした。

表-3.3 アスファルト舗装の路床強度カテゴリー

路床強度 カテゴリー	ACN-PCN 法における 路床 CBR (%)		ACR-PCR 法における 路床 E (MPa)	
	範囲	代表値	範囲	代表値
A	13 以上	15	150 以上	200
B	8 以上 13 未満	10	100 以上 150 未満	120
C	4 以上 8 未満	6	60 以上 100 未満	80
D	4 未満	3	60 未満	50

3.4.2 路盤を単一層とした場合の等価路盤弾性係数

我が国の PCR 算出方法の検討を行うためには、ACR と同様の舗装構造解析が必要となるが、ICAO ACR 1.3 では航空機荷重諸元以外の設定値を変更できないことから、我が国の舗装構造解析で一般的に用いられている多層弾性解析プログラム GAMES (General Analysis of Multi-layered Elastic Systems) を用いることとした。GAMES は土木学会舗装工学委員会の WEB サイトから無料でダウンロード可能であり、ICAO ACR 1.3 により算出される ACR と、3.2 に示す方法で GAMES により算出される ACR はほぼ同一であることを確認している。

しかしながら、路盤 E を 3.2 で示した手順で設定し GAMES に入力するのは煩雑となることから、路盤を分割した弾性係数 (以下、分割路盤 E) を用いた場合と同一の ACR が得られる、路盤を分割せずに単一層とした場合の等価路盤弾性係数 (以下、等価路盤 E) の算出方法を検討することとした。

検討は以下の手順で実施した。

- (1) 表-3.2 の ACR 算出舗装構造条件において、路床 E を 4 つの路床強度カテゴリーの代表値である 50, 80, 120, 200 MPa とし、路盤厚を 200～2000 mm まで 50 mm ピッチで変化させて 3.2 の方法で分割路盤 E を算出し、多層弾性解析により路床上面の鉛直ひずみが $1,325 \mu$ となる DSWL を算出する。
- (2) (1)と同じ舗装構造条件及び(1)で決定した DSWL を用い、路盤を分割せずに単一層とし、多層弾性解析により路床上面の鉛直ひずみが $1,325 \mu$ となる路盤 E を等価路盤 E とする。

図-3.5 に路盤厚と等価路盤 E の関係を示す。路盤厚と等価路盤 E の傾向は相似形であり、路盤厚と路床 E を用いることで等価路盤 E を近似できる可能性があることから、目的変数を等価路盤 E、説明変数を路盤厚及び路床 E とした重回帰分析により得られた等価路盤 E 推定式が式-3.5 である。この式-3.5 による等価路盤 E を用いて算出した ACR と、分割路盤 E を用いて算出した ACR (真値) を比較したのが図-3.6 及び図-3.7 であるが、ACR の差は小さく、実用上は問題ないものと考えられる。

以上の結果から、以降の検討で PCR を算出する場合は、ACR のように路盤を分割せずに単一層とし、式-3.5 で算出した等価路盤 E を用いることとした。

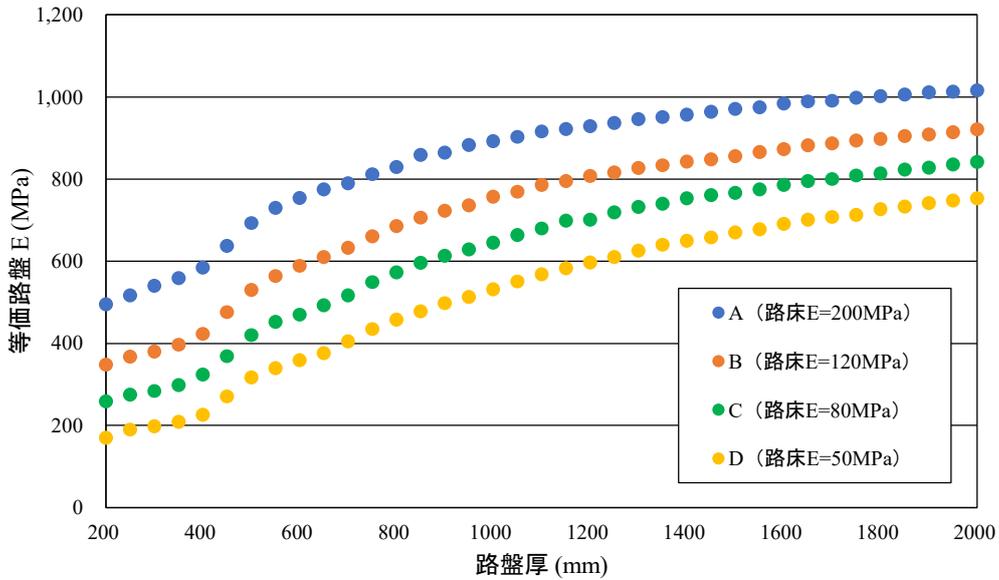


図-3.5 路盤厚と等価路盤 E の関係

$$E_B = (C_1 \cdot E_{SG} + C_2) \cdot t_B^3 + (C_3 \cdot E_{SG}^2 + C_4 \cdot E_{SG}) \cdot t_B^2 + (C_5 \cdot E_{SG}^2 + C_6 \cdot E_{SG} + C_7) \cdot t_B + C_8 \cdot E_{SG} + C_9 \quad \text{式-3.5}$$

ここで、

- E_B : 路盤を単一層とした場合の等価路盤 E (MPa)
- E_{SG} : 路床 E (MPa)
- t_B : 路盤厚 (mm)
- C_1 : 7.750×10^{-10} (定数)
- C_2 : -1.811×10^{-8} (定数)
- C_3 : 6.369×10^{-9} (定数)
- C_4 : -4.601×10^{-6} (定数)
- C_5 : -1.609×10^{-5} (定数)
- C_6 : 7.016×10^{-3} (定数)
- C_7 : 0.4098 (定数)
- C_8 : 1.643 (定数)
- C_9 : -78.0 (定数)

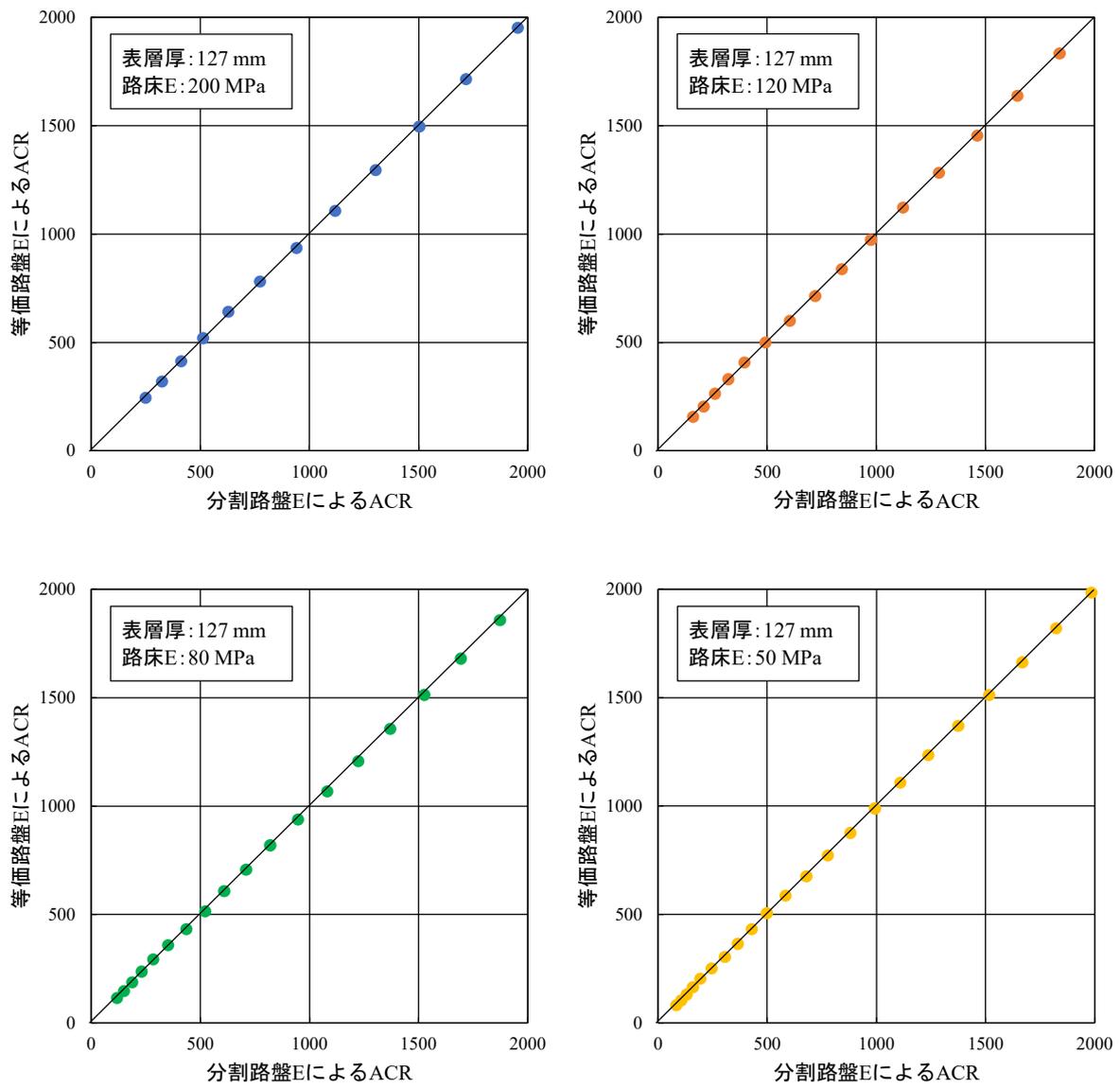


図-3.6 分割路盤 E による ACR と等価路盤 E による ACR
(1 脚 4 輪以上の場合で、表層厚が 127 mm)

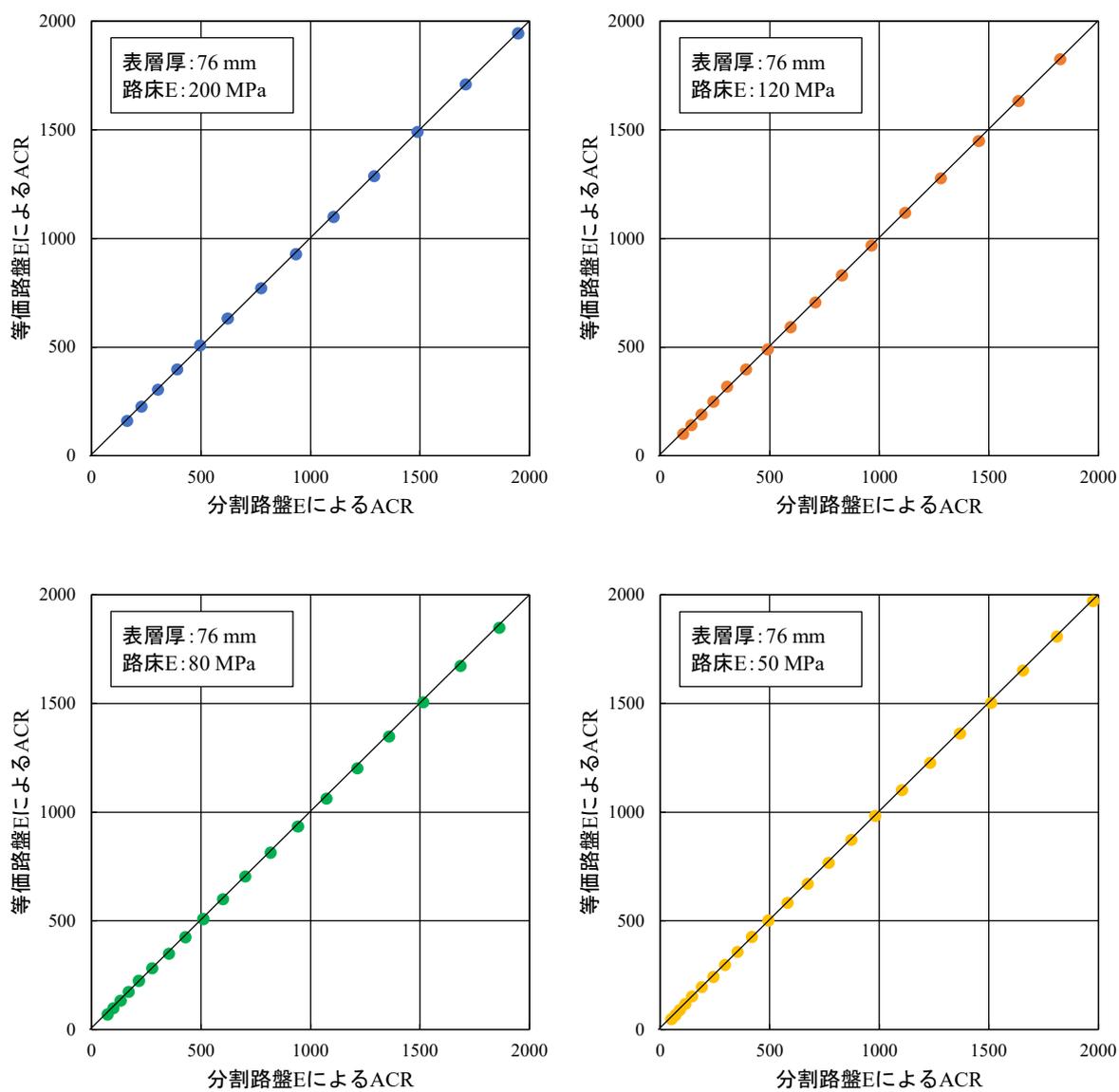


図-3.7 分割路盤EによるACRと等価路盤EによるACR
(1脚2輪以下の場合で、表層厚が76mm)

3.4.3 PCR の試算

我が国の PCR 算出方法を検討するため、最初に、経験的設計法による我が国の標準的な基準舗装厚に対して ACR と同一の方法（ただし路盤は単一層として等価路盤 E を用いる）で PCR を試算し、設定条件による PCR の傾向や主要航空機の ACR と比較してどの程度の PCR が得られるかを確認することで、PCR 算出方法の検討方針を設定することとした。

PCR の試算に使用した舗装構造解析条件を表-3.4 に、試算した PCR を表-3.5～表-3.9 に示す。表層厚は、設計反復作用回数が LA-12 以上の場合は ACR の算出で 1 脚 4 輪以上の場合に使用する 127 mm とし、LA-2 以下の場合は ACR の算出で 1 脚 2 輪以下の場合に使用する 76 mm とした。路盤厚は、算出対象の基準舗装厚から表層厚を引いた値とした。路盤 E は前項で得られた式-3.5 による等価路盤 E を用いた。路床 E は ACR の算出で用いられている路床強度カテゴリーの代表値を用いた。

表-3.4 PCR の試算に使用するアスファルト舗装構造条件（下線部は表-3.2 の ACR 算出条件と異なる点）

層の種類	厚さ (mm)	弾性係数 (MPa)	ポアソン比	備考
表層	127 (<u>LA-1・12</u>) 76 (<u>LA-2・3・4</u>)	1,379	0.35	各層の境界は 付着した 状態とする
路盤	<u>基準舗装厚から</u> <u>表層厚を引いた値</u>	<u>路盤を単一層とし</u> <u>式-3.5 により設定</u>		
路床	無限	路床強度カテゴリー A～D の代表値 A : 200, B : 120 C : 80, D : 50		

表-3.5 試算した PCR (設計航空機荷重区分 LA-1)

路床強度 カテゴリー	路床 CBR (%)	設計反復 作用回数 (回)	基準 舗装厚 (mm)	表層		路盤		路床 弾性 係数 (MPa)	PCR
				層厚 (mm)	弾性 係数 (MPa)	層厚 (mm)	弾性 係数 (MPa)		
A	20	6,000	500	127	1,379	373	601	200	575
		10,000	530	127	1,379	403	623	200	651
		20,000	570	127	1,379	443	650	200	761
		40,000	600	127	1,379	473	669	200	851
		80,000	640	127	1,379	513	694	200	979
B	12	6,000	740	127	1,379	613	589	120	872
		10,000	780	127	1,379	653	610	120	982
		20,000	830	127	1,379	703	635	120	1,132
		40,000	890	127	1,379	763	663	120	1,325
		80,000	940	127	1,379	813	684	120	1,500
C	8	6,000	1,030	127	1,379	903	603	80	1,366
		10,000	1,080	127	1,379	953	621	80	1,523
		20,000	1,160	127	1,379	1,033	649	80	1,796
		40,000	1,230	127	1,379	1,103	672	80	2,057
		80,000	1,310	127	1,379	1,183	695	80	2,374
D	5	6,000	1,450	127	1,379	1,323	630	50	2,241
		10,000	1,530	127	1,379	1,403	650	50	2,538
		20,000	1,640	127	1,379	1,513	675	50	2,977
		40,000	1,740	127	1,379	1,613	696	50	3,410
		80,000	1,850	127	1,379	1,723	715	50	3,912

表-3.6 試算した PCR (設計航空機荷重区分 LA-12)

路床強度 カテゴリー	路床 CBR (%)	設計反復 作用回数 (回)	基準 舗装厚 (mm)	表層		路盤		路床 弾性 係数 (MPa)	PCR
				層厚 (mm)	弾性 係数 (MPa)	層厚 (mm)	弾性 係数 (MPa)		
A	20	6,000	440	127	1,379	313	556	200	440
		10,000	460	127	1,379	333	571	200	482
		20,000	490	127	1,379	363	594	200	550
		40,000	520	127	1,379	393	616	200	624
		80,000	550	127	1,379	423	637	200	705
B	12	6,000	640	127	1,379	513	531	120	628
		10,000	670	127	1,379	543	549	120	696
		20,000	720	127	1,379	593	578	120	819
		40,000	760	127	1,379	633	599	120	926
		80,000	810	127	1,379	683	625	120	1,070
C	8	6,000	880	127	1,379	753	540	80	946
		10,000	930	127	1,379	803	562	80	1,076
		20,000	990	127	1,379	863	587	80	1,245
		40,000	1,050	127	1,379	923	610	80	1,427
		80,000	1,120	127	1,379	993	636	80	1,658
D	5	6,000	1,250	127	1,379	1,123	572	50	1,581
		10,000	1,310	127	1,379	1,183	591	50	1,767
		20,000	1,410	127	1,379	1,283	620	50	2,101
		40,000	1,500	127	1,379	1,373	643	50	2,426
		80,000	1,590	127	1,379	1,463	664	50	2,773

表-3.7 試算した PCR (設計航空機荷重区分 LA-2)

路床強度 カテゴリー	路床 CBR (%)	設計反復 作用回数 (回)	基準 舗装厚 (mm)	表層		路盤		路床 弾性 係数 (MPa)	PCR
				層厚 (mm)	弾性 係数 (MPa)	層厚 (mm)	弾性 係数 (MPa)		
A	20	6,000	380	76	1,379	304	548	200	311
		10,000	400	76	1,379	324	564	200	348
		20,000	430	76	1,379	354	587	200	406
B	12	6,000	500	76	1,379	424	475	120	355
		10,000	520	76	1,379	444	488	120	388
		20,000	560	76	1,379	484	513	120	459
C	8	6,000	650	76	1,379	574	452	80	463
		10,000	690	76	1,379	614	473	80	533
		20,000	730	76	1,379	654	493	80	608
D	5	6,000	890	76	1,379	814	460	50	698
		10,000	940	76	1,379	864	480	50	797
		20,000	1,000	76	1,379	924	503	50	924

表-3.8 試算した PCR (設計航空機荷重区分 LA-3)

路床強度 カテゴリー	路床 CBR (%)	設計反復 作用回数 (回)	基準 舗装厚 (mm)	表層		路盤		路床 弾性 係数 (MPa)	PCR
				層厚 (mm)	弾性 係数 (MPa)	層厚 (mm)	弾性 係数 (MPa)		
A	20	6,000	370	76	1,379	294	540	200	294
		10,000	380	76	1,379	304	548	200	311
		20,000	410	76	1,379	334	572	200	366
B	12	6,000	450	76	1,379	374	440	120	280
		10,000	480	76	1,379	404	461	120	323
		20,000	510	76	1,379	434	481	120	371
C	8	6,000	600	76	1,379	524	425	80	384
		10,000	630	76	1,379	554	441	80	430
		20,000	670	76	1,379	594	463	80	497
D	5	6,000	800	76	1,379	724	421	50	539
		10,000	840	76	1,379	764	439	50	607
		20,000	900	76	1,379	824	464	50	717

表-3.9 試算した PCR (設計航空機荷重区分 LA-4)

路床強度 カテゴリー	路床 CBR (%)	設計反復 作用回数 (回)	基準 舗装厚 (mm)	表層		路盤		路床 弾性 係数 (MPa)	PCR
				層厚 (mm)	弾性 係数 (MPa)	層厚 (mm)	弾性 係数 (MPa)		
A	20	6,000	330	76	1,379	254	507	200	232
		10,000	350	76	1,379	274	524	200	262
		20,000	370	76	1,379	294	540	200	294
B	12	6,000	330	76	1,379	254	350	120	143
		10,000	350	76	1,379	274	366	120	162
		20,000	370	76	1,379	294	381	120	182
C	8	6,000	440	76	1,379	364	328	80	187
		10,000	460	76	1,379	384	341	80	207
		20,000	500	76	1,379	424	366	80	251
D	5	6,000	590	76	1,379	514	321	50	257
		10,000	620	76	1,379	544	336	50	290
		20,000	670	76	1,379	594	361	50	350

PCR 試算結果を図-3.8 に整理した。路床強度カテゴリ C や D のような、路床 E が小さいことに起因して基準舗装厚が厚い場合や、設計反復作用回数が多いことに起因して基準舗装厚が厚い場合では、過度に大きな PCR が算出される傾向がある。なお、LA-4 では路床強度カテゴリ A の PCR が路床強度カテゴリ B の PCR よりも大きいのが、これは、LA-4 では路床 CBR が 12 % 以上の基準舗装厚を同一厚としているため、路床強度カテゴリ A 及び B の PCR の試算に使用した路床 CBR は異なるが、使用した基準舗装厚が同一であることが原因である。

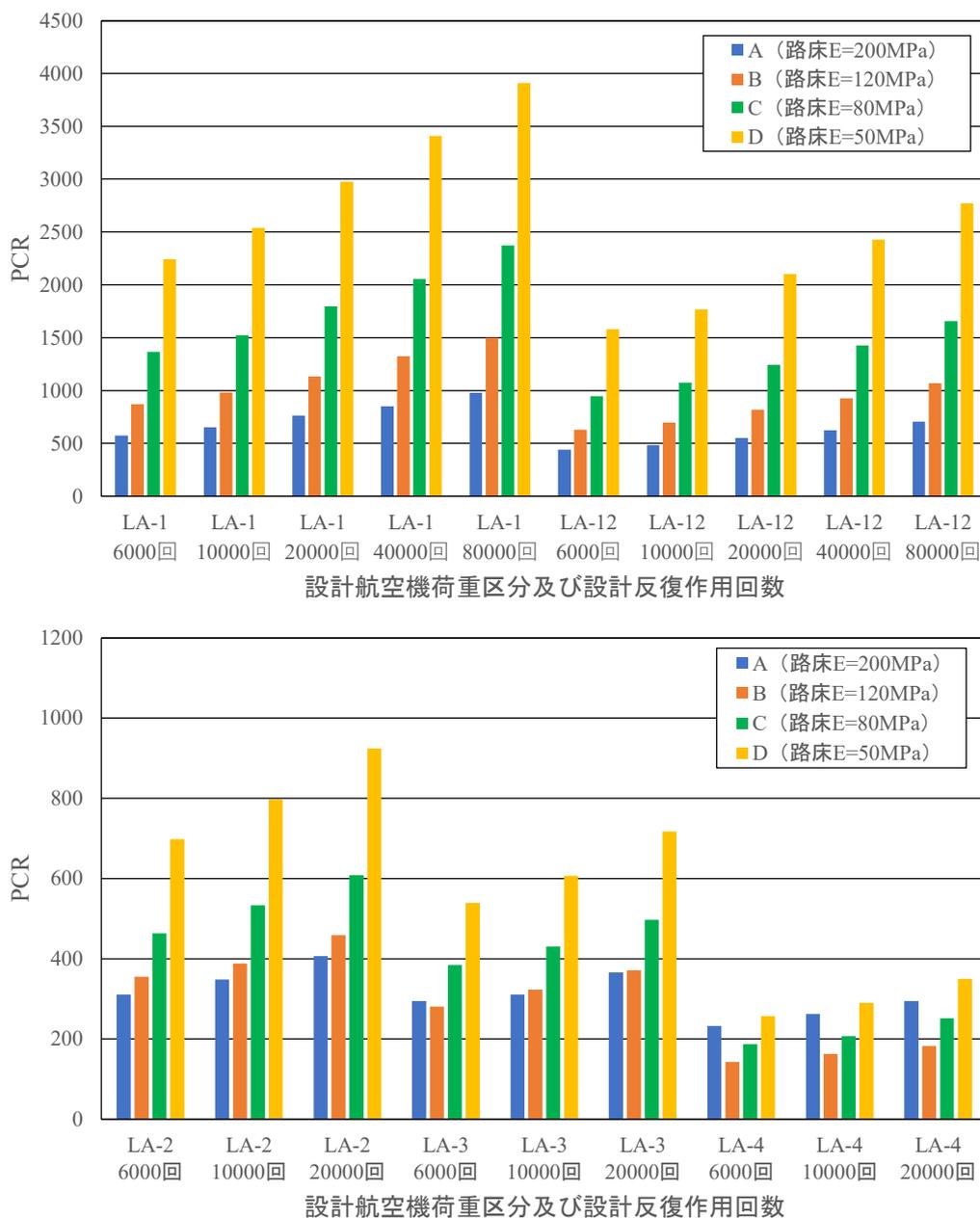


図-3.8 PCR 試算結果

試算した PCR の規模感を把握するため、国内各空港の航空機就航状況を参考に、比較的大きな ACR を有する表-3.10 の航空機の ACR を PCR で除した ACR/PCR を図-3.9 に示す。これによると、設計反復作用回数 6,000 回や 10,000 回の基準舗装厚を用いた場合は、基準舗装厚が薄く PCR が小さく算出されるため、ACR/PCR が 1.0 を超過する結果が散見されるが、設計反復作用回数 20,000 回の基準舗装厚を用いた場合は ACR/PCR が全て 1.0 以下となる。ただし、前述したとおり、基準舗装厚が厚い路床強度カテゴリ C や D では PCR が過度に大きく算出されるため、ACR/PCR が過度に小さくなり、設計で想定しているよりも大型の航空機が重量制限せずとも就航できることとなる。

表-3.10 ACR/PCR の計算に使用した航空機の ACR

設計 航空機 荷重区分	航空機	舗装種別	アスファルト舗装の ACR				備考
			路床強度 カテゴリー				
		A E=200	B E=120	C E=80	D E=50		
LA-1	B777-300ER		577	629	787	1,232	LA-1 空港への就航があり ACR が大きい航空機
LA-12	A300-B4		390	440	530	720	LA-12 空港への就航はないが LA-12 の設計代表航空機
LA-2	B737-800		380	410	450	510	LA-2 空港への就航があり ACR が大きい航空機
LA-3	B737-500		280	300	330	380	LA-3 空港への就航はないが 開港当時の設計代表航空機
LA-4	DHC8-400		130	150	170	200	LA-4 空港の主要航空機 及び設計代表航空機

※網掛け部の ACR は ICAO ACR 1.3 による算出値であり、Airplane Characteristics に掲載された公式値ではない。

以上の試算結果を基に、我が国のアスファルト舗装の PCR 算出方法の検討方針を以下のとおりとした。

- PCR の算出では、算出対象舗装の基準舗装厚を、設計反復作用回数 20,000 回の基準舗装厚に補正したものを統一的に用いることとする。これは、2016 公示方法の PCN の算出において、設計反復作用回数 10,000 回の基準舗装厚に補正しているのと同様の措置である。設計航空機荷重区分及び路床 E が同一であっても、設計反復作用回数により基準舗装厚が異なるため、例えば「A 空港では設計反復作用回数が 6,000 回と少なく基準舗装厚が薄いため、PCR が航空機 X の ACR よりも小さくなる」「B 空港では設計反復作用回数が 20,000 回と多く基準舗装厚が厚いため、PCR が航空機 X の ACR よりも大きくなる」のようなことを避けるためである。
- ACR と同様の方法を用いることで、国内各空港に就航している航空機の ACR を上回る PCR が得られるが、路床 E が小さいことに起因して基準舗装厚が厚い場合には、PCR が過度に大きな値となる場合がある。そのため、PCR の算出に使用する路盤厚や路盤 E について何らかの措置を講ずることで、過度に大きな PCR が算出されることを抑制する。これは、2016 公示方法の PCN の算出において、基準舗装厚が厚い LA-1 及び LA-12 の場合に、補正係数を乗じて基準舗装厚を減厚しているのと同様の措置である。
- PCR 算出対象舗装の設計航空機荷重区分、路床 E 及び基準舗装厚から簡便に PCR を選択可能な一覧表を作成する。GAMES の操作方法は簡便であり、1 ケースの解析時間も 1 秒程度であるため、GAMES を用いてこれらの条件から PCR を算出することは難しくはないが、空港管理者の利便性を考慮した措置である。

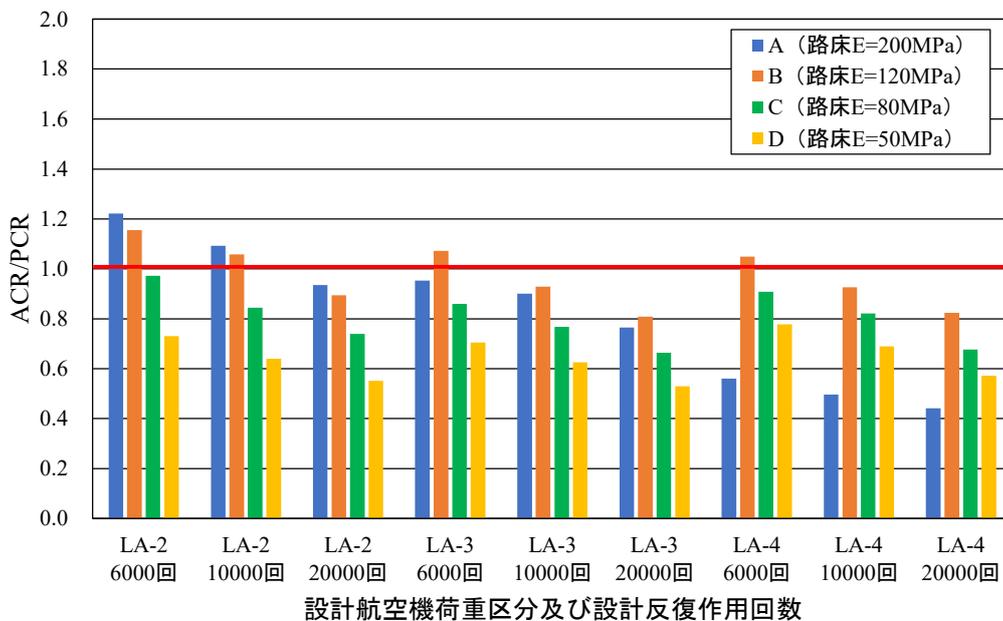
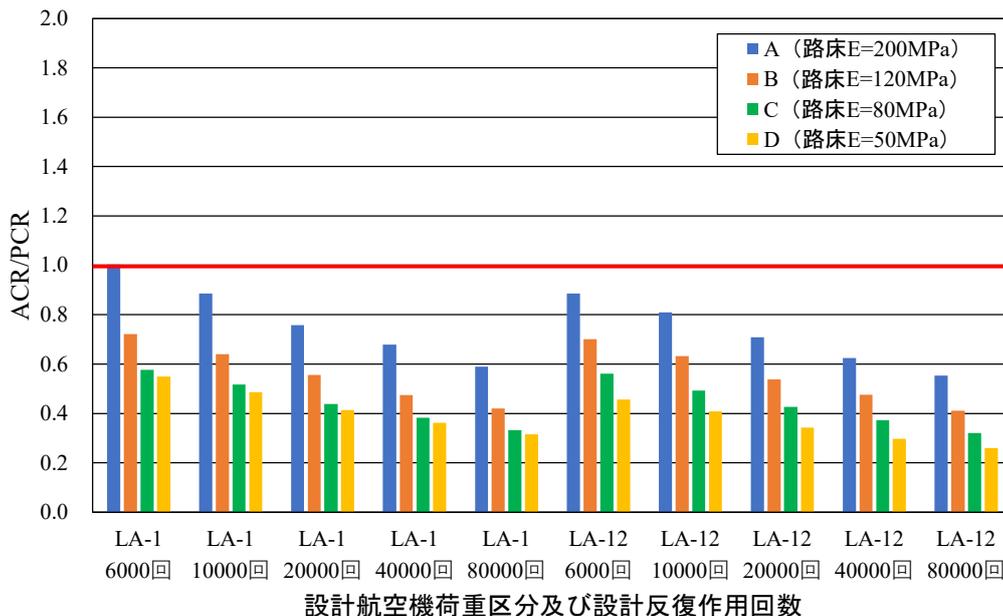


図-3.9 表-3.10 の ACR と試算した PCR による ACR/PCR

3.4.4 PCR 算出方法の検討

前項で示した検討方針を基に、以降では PCR 算出用設計反復作用回数 20,000 回の基準舗装厚による PCR 算出方法の検討を行う。前項で示したとおり、PCR が過度に大きくなるのは、路床 E が小さいことに起因して基準舗装厚が厚い場合であった。路床 E が小さい場合は同様の理由により ACR も大きく計算されるのであるが、ACR と試算した PCR では、路床 E に応じた基準舗装厚増減の感度が異なるため、ACR に比べて PCR が過度に大きくなった。

PCR が過度に大きくなるのを抑制する方策としては、PCR 算出方法において以下のような措置を講じることが考えられる。

- (1) 基準舗装厚を減厚する。この方法は 3.1 に記したとおり、我が国の PCN 算出方法で用いられている。これにより、多層弾性解析により路床上面に発生する鉛直ひずみが大きくなるため、DSWL は小さくなり、その 2 倍の PCR は小さくなる。ただし、基準舗装厚の減厚を一律に設定すると、基準舗装厚が厚い場合だけではなく薄い場合も PCR が小さくなるため、基準舗装厚がどの厚さを超えた場合にどの程度減厚させるべきかの調整が複雑となる。
- (2) 路盤 E を小さく設定する。これにより、多層弾性解析により路床上面に発生する鉛直ひずみが大きくなるため、DSWL は小さくなり、その 2 倍の PCR は小さくなる。前項の試算では、路床 E 及び路盤厚から式-3.5 により算出した等価路盤 E を用いたが、路床 E の数倍を等価路盤 E の上限値として設定することにより、基準舗装厚が薄く（つまり路盤厚が薄く）路盤 E が小さく設定される場合は PCR が変わらず、基準舗装厚が厚く（つまり路盤厚が厚く）路盤 E が大きく設定される場合のみ PCR が過度に大きくなるのを抑制することが可能である。
- (3) DSWL を算出する際の路床上面鉛直ひずみの閾値を $1,325 \mu$ よりも小さく設定する。これにより DSWL は小さくなり、その 2 倍の PCR は小さくなる。ただし、ひずみ閾値を一律に小さくすると、基準舗装厚が厚い場合だけではなく薄い場合も PCR が小さくなるため、基準舗装厚がどの厚さを超えた場合にひずみ閾値をどの程度小さくすべきかの調整が複雑となる。

種々の検討の結果、基準舗装厚が厚い場合だけ PCR が過度に大きくなるのを抑制することが可能な(2)の措置について検討することとした。具体的には、3.4.2 で述べたとおり、路盤 E は路床 E と路盤厚により決定され、路盤が厚くなるほど路盤 E は大きく設定されるが、路盤 E の上限値を、路床 E の N 倍とすることで、基準舗装厚が厚い場合のみ PCR が過度に大きくなるのを抑制することが可能と考えたためである。また、路床 E が小さいほど ACR も PCR も大きくなるが、「航空機 X の ACR に対して、路床強度カテゴリー A の場合は ACR/PCR が 1.0 を超過、路床強度カテゴリー D の場合は ACR/PCR が 1.0 以下」のようなことは望ましくはなく、4 つの路床強度カテゴリー毎の ACR/PCR の差が小さくなることが望ましいため、路床強度カテゴリーによる ACR/PCR の差が小さくなることも念頭に、路盤 E の上限値について検討することとした。

路盤 E の上限値を路床 E の N 倍 ($N = 2 \sim 5$) とした場合の路盤 E を表-3.11 に示す。どの設計航空機荷重区分の場合も、比較的路盤厚が厚くなる条件、すなわち、路床強度カテゴリーが C や D の場合に、路盤 E の上限値が適用されていることがわかる。

表-3.11 上限値を適用した場合の路盤の弾性係数

設計 航空機 荷重区分	路床強度 カテゴリー	路床 弾性 係数 (MPa)	路床 層厚 (mm)	路盤 弾性係数 (MPa)				
				上限 なし	上限 5E	上限 4E	上限 3E	上限 2E
LA-1	A	200	443	650	650	650	600	400
	B	120	703	635	600	480	360	240
	C	80	1,033	649	400	320	240	160
	D	50	1,513	675	250	200	150	100
LA-12	A	200	363	594	594	594	594	400
	B	120	593	578	578	480	360	240
	C	80	863	587	400	320	240	160
	D	50	1,283	620	250	200	150	100
LA-2	A	200	354	587	587	587	587	400
	B	120	484	513	513	480	360	240
	C	80	654	493	400	320	240	160
	D	50	924	503	250	200	150	100
LA-3	A	200	334	572	572	572	572	400
	B	120	434	481	481	480	360	240
	C	80	594	463	400	320	240	160
	D	50	824	464	250	200	150	100
LA-4	A	200	294	540	540	540	540	400
	B	120	294	381	381	381	360	240
	C	80	424	366	366	320	240	160
	D	50	594	361	250	200	150	100

※Eは路床Eである。

※網掛け部の路盤Eは上限値が適用されている。

路盤Eに上限値を設定した場合のACR/PCRを図-3.10～図-3.14に示す。ACRは表-3.10の航空機以外にも、就航実態を踏まえて選択した。

図-3.10及び図-3.11はACR及びPCRの算出において表層厚を127mmとしたLA-1及びLA-12のACR/PCRである。路床強度カテゴリーによるACR/PCRの差は、路盤Eの上限値を設定しない場合が最も大きい。しかしながら、路盤Eの上限値を設定すると、路床強度カテゴリーによるACR/PCRの差は小さくなる傾向がある。これは、路床強度カテゴリーがAやBのような路盤厚が薄い場合は路盤Eの上限値が適用されにくくPCRは変化しないものの、路床強度カテゴリーがCやDのような路盤厚が厚い場合は路盤Eの上限値が適用されることでPCRが小さくなったことによる。ただし、N=2とすると、一部の航空機においてACR/PCRが1.0を超過する場合がある。

図-3.12～図-3.14はACR及びPCRの算出において表層厚を76mmとしたLA-2、LA-3及びLA-4のACR/PCRである。路床強度カテゴリーによるACR/PCRの差は、N=2～5のいずれにおいても小さいが、N=2及び3とすると一部の航空機においてACR/PCRが1.0を超過する場合がある。前述のLA-12以上の場合と若干傾向が異なるのは、LA-2以下のACR及びPCRの算出において設定する路盤厚や表層厚がLA-12以上の場合よりも薄いことが影響している可能性がある。

以上の結果から、就航航空機のACRを用いたACR/PCRが1.0を超過しないこと、路床強度カテゴリーによるACR/PCRの差が小さいことを考慮し、PCR算出時の路盤Eは、LA-1及びLA-12の場合は路床Eの3倍、LA-2、LA-3及びLA-4の場合は路床Eの5倍を上限値としてPCRを算出することとした。

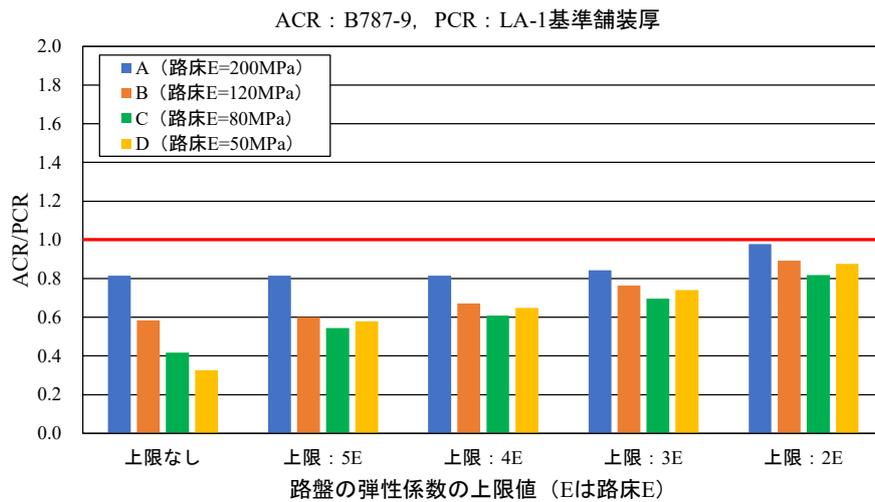
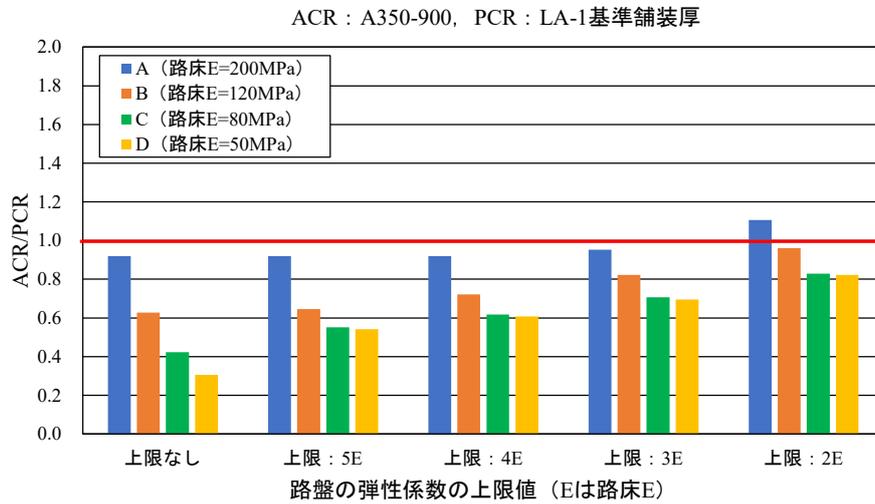
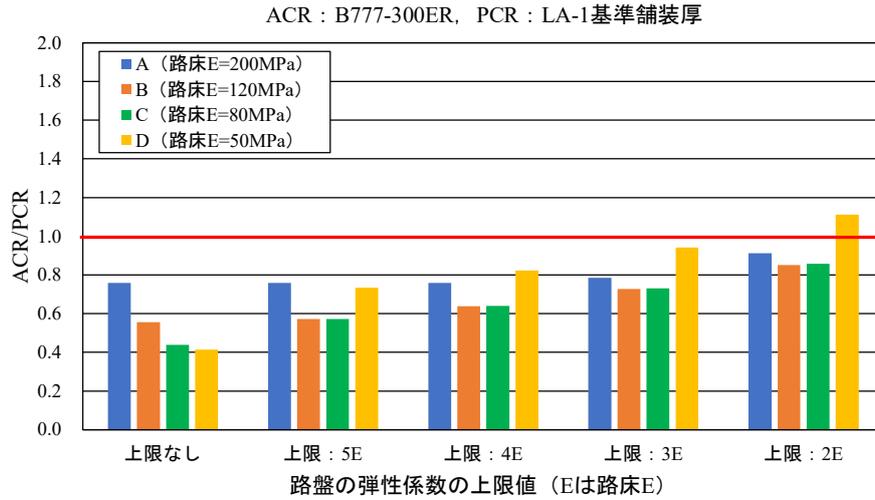


図-3.10 PCRの算出で路盤Eに上限値を適用した場合のACR/PCR (LA-1)

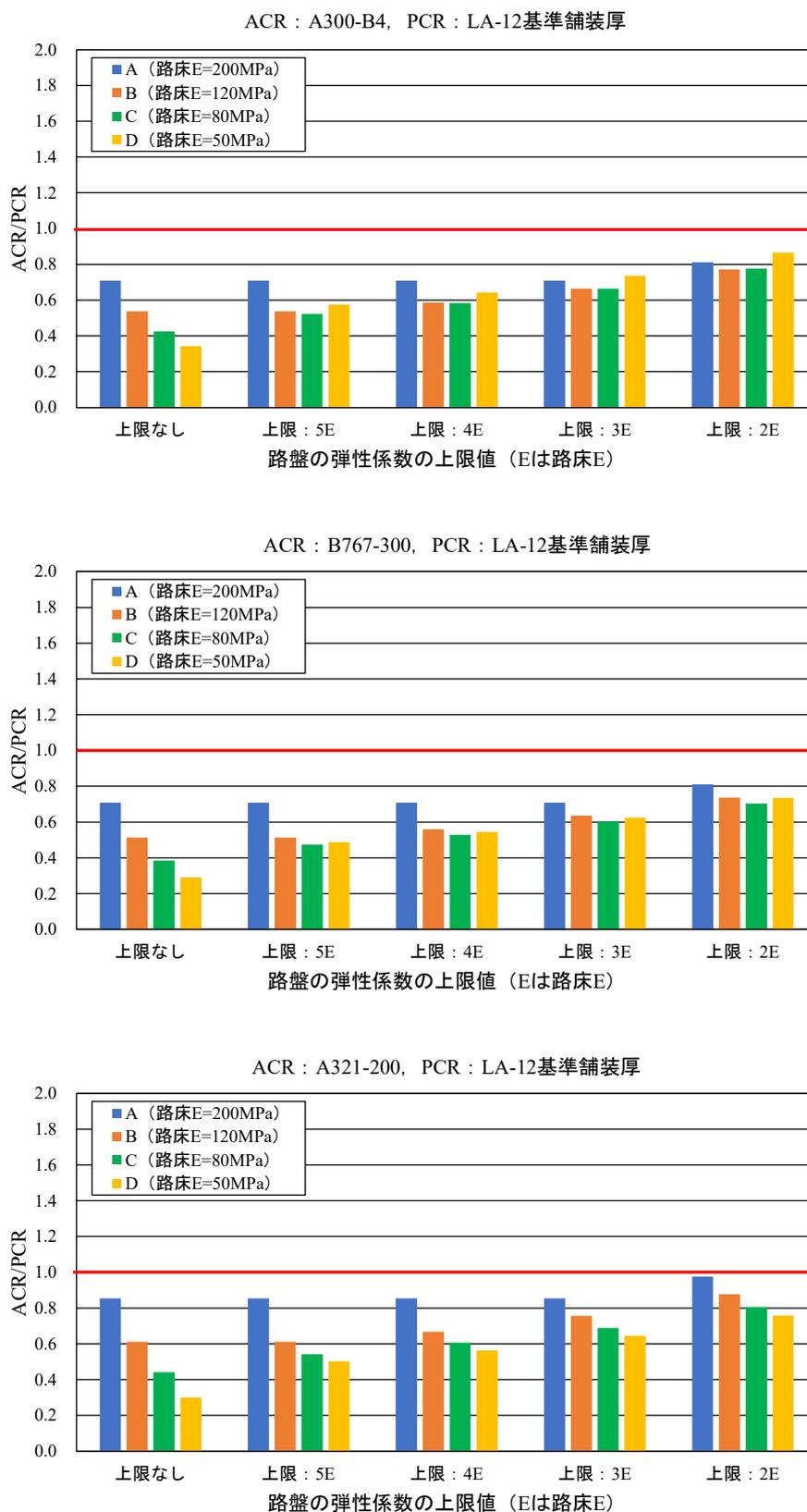


図-3.11 PCRの算出で路盤Eに上限値を適用した場合のACR/PCR (LA-12)

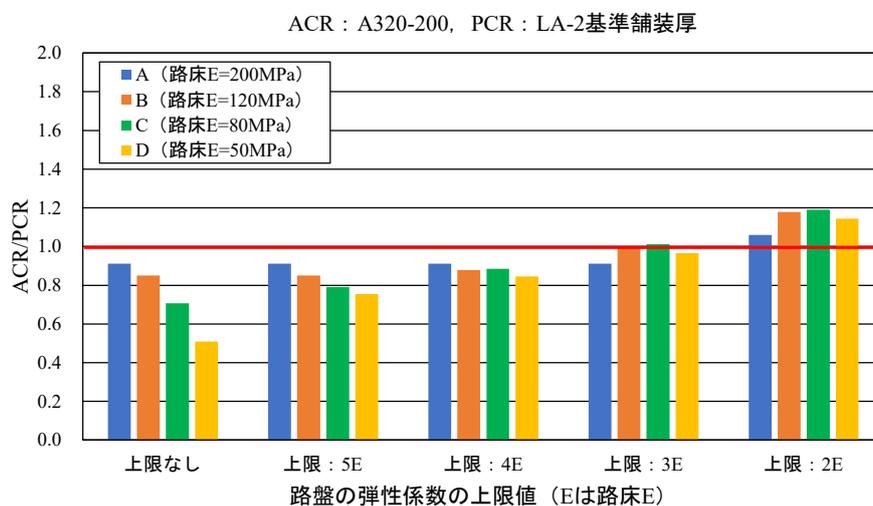
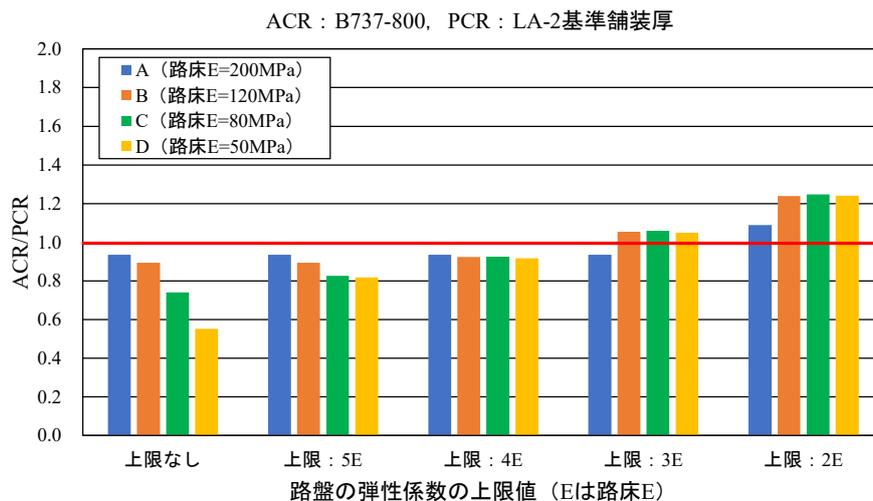


図-3.12 PCRの算出で路盤Eに上限値を適用した場合のACR/PCR (LA-2)

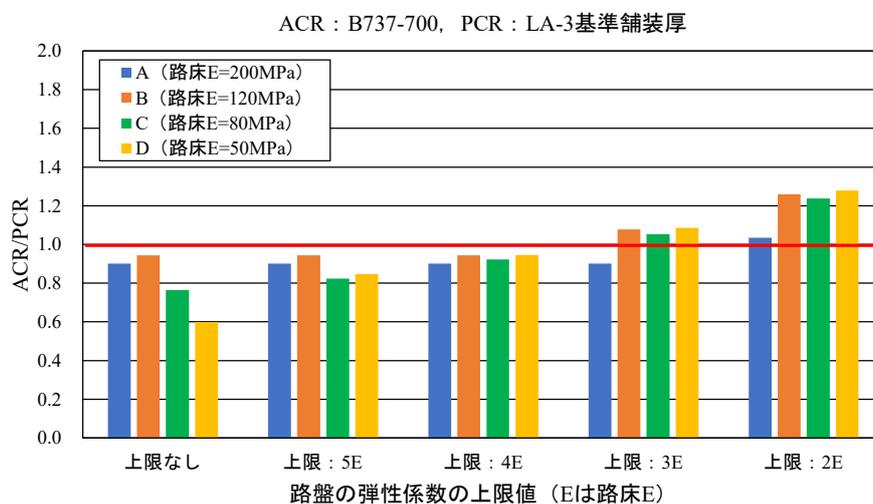
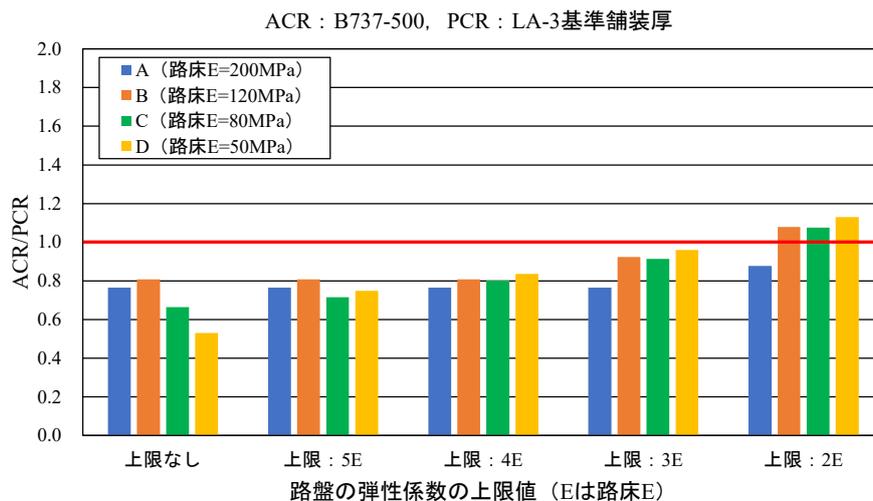


図-3.13 PCRの算出で路盤Eに上限値を適用した場合のACR/PCR (LA-3)

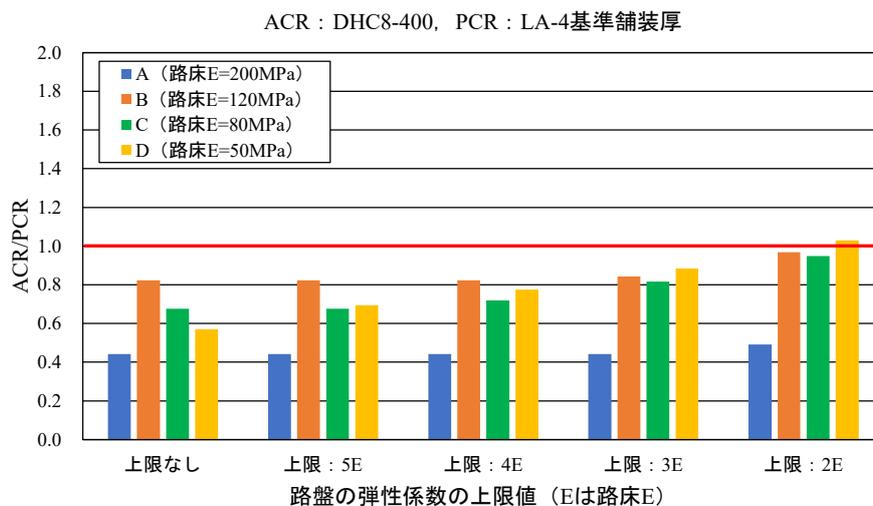


図-3.14 PCRの算出で路盤Eに上限値を適用した場合のACR/PCR (LA-4)

以上の検討結果を踏まえ、我が国のアスファルト舗装の PCR 算出方法を以下のとおりとした。

- (1) PCR 算出対象舗装の表基層厚、路盤厚及び路床 CBR を確認する。グルーピングが設置されている場合は、空港土木施設設計要領（舗装設計編）のアスファルト舗装の設計時と同様に、表基層厚はグルーピングを含まない値を採用する。例えば、グルーピングを含む表基層厚が 16 cm の場合は、グルーピング分として 1 cm は構造上の寄与がないと考え、表基層厚を 15 cm とする。
- (2) PCR 算出対象舗装の基準舗装厚を算出する。路盤が全て粒状路盤の場合は、表基層厚と路盤厚を単純に合計した厚さが基準舗装厚となる。路盤の一部に安定処理材を用いている場合は、空港土木施設設計要領（舗装設計編）に記載の路盤材料別の等価値を用いて、安定処理材による当該路盤厚を、粒状材で構築した場合の路盤厚に換算してから表基層厚を加算することで基準舗装厚となる。例えば、グルーピング分を除外した表基層厚 15 cm、アスファルト安定処理上層路盤 15 cm、粒状下層路盤 45 cm の舗装構造の場合、アスファルト安定処理材の等価値は 2.0 であるので、これを粒状材で構築する場合は $15\text{ cm} \times 2.0 = 30\text{ cm}$ となる。そのため基準舗装厚は表基層厚 15 cm、上層路盤 30 cm、下層路盤 45 cm の合計により 90 cm となる。
- (3) (2)の基準舗装厚を、PCR 算出用設計反復作用回数 20,000 回の基準舗装厚に補正する。例えば(2)の舗装が設計反復作用回数 10,000 回で設計されている場合は、空港土木施設設計要領（舗装設計編）に記載の式-3.6 で $N=10,000$ として(2)の基準舗装厚を補正する。 $N=10,000$ 、(2)の基準舗装厚が 900 mm であるため、PCR 算出用設計反復作用回数 20,000 回の基準舗装厚は 963 mm となる。

$$t_{20000} = t \times \frac{0.23 \cdot \log_{10}(20000/2) + 0.15}{0.23 \cdot \log_{10}(N/2) + 0.15} \quad \dots \dots \quad \text{式-3.6}$$

ここで、

- t_{20000} : PCR 算出用設計反復作用回数 20,000 回の基準舗装厚 (mm)
- t : (2)で算出した基準舗装厚 (mm)
- N : PCR 算出対象舗装の設計反復作用回数 (回)

- (4) 路床 E として、路床 CBR(%)を 10 倍した値を設定する。理論的設計法により舗装設計を実施した際に路床 CBR と路床 E の換算に独自の方法を設定した場合は、設計時の換算方法を用いてもよい。
- (5) 路盤 E を式-3.5 により設定する。ただし、LA-1・12 の場合は(4)で設定した路床 E の 3 倍、LA-2・3・4 の場合は(4)で設定した路床 E の 5 倍を上限値とする。
- (6) (3)で補正した基準舗装厚において、タイヤ接地圧 1.50 MPa の単車輪荷重により路床上面に発生する鉛直ひずみを多層弾性解析により算出し、ACR 算出用疲労破壊曲線である式-3.1 により、同一位置走行回数 36,500 回で路床上面の累積疲労度が 1.0 となる（路床上面鉛直ひずみが $1,325\ \mu$ となることと同義である）単車輪荷重 DSWL を算出する。この際の舗装構造解析条件は表-3.12 のとおりである。具体的には、多層弾性解析において舗装表面に載荷する円形等分布荷重の接地圧を 1.50 MPa とし、接地半径を徐々に大きくすると円形等分布荷重が増加し、路床上面鉛直ひずみが増加するので、路床上面鉛直ひずみが $1,325\ \mu$ となる時の円形等分布荷重=接地面積×接地圧を DSWL とする。
- (7) (6)で算出した DSWL (100 kgf 単位) を 2 倍した値を PCR とする。

以上の方法により算出したアスファルト舗装の PCR 一覧表を表-3.13～表-3.14 に示す。

表-3.12 PCRの算出に使用するアスファルト舗装構造条件

層の種類	厚さ (mm)	弾性係数 (MPa)	ポアソン比	備考
表層	127 (LA-1・12) 76 (LA-2・3・4)	1,379	0.35	各層の境界は付着した状態とする
路盤	基準舗装厚から表層厚を引いた値	路盤を単一層とし式-3.5により設定する。ただし、LA-1・12の場合は路床Eの3倍、LA-2・3・4の場合は路床Eの5倍を上限値とする。		
路床	無限	路床 CBR(%)を10倍した値を設定する。		

表-3.13 アスファルト舗装のPCR一覧表 (LA-1・LA-12)

基準舗装厚 t ₂₀₀₀₀ (mm)	設計航空機荷重区分LA-1・LA-12 (設計対象航空機が1脚4輪または1脚6輪)																		
	E: 路床の設計弾性係数 (MPa)																		
	200 以上	190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20 以下
300	208	199	189	180	171	162	153	144	135	126	117	108	99	90	80	71	62	52	41
350	278	265	252	240	227	215	202	190	178	165	153	141	128	116	103	90	77	63	49
400	362	345	328	312	295	279	262	246	229	211	194	177	160	143	126	110	93	75	57
450	461	439	418	397	373	349	326	303	281	259	237	216	194	173	152	131	110	88	66
500	574	543	512	482	452	423	394	366	339	312	285	258	232	206	180	155	129	103	76
550	688	649	612	575	539	504	469	435	402	369	337	305	273	242	211	180	149	118	86
600	811	765	721	677	634	592	551	511	471	432	394	356	318	281	245	208	172	135	98
700	1,090	1,028	967	907	849	792	735	681	626	574	521	470	419	369	320	270	221	172	123
800	1,411	1,329	1,250	1,172	1,096	1,021	948	876	805	736	668	601	535	470	406	342	278	215	152
900	1,775	1,671	1,570	1,471	1,375	1,280	1,188	1,097	1,008	920	834	749	666	584	503	422	343	263	184
1000	2,180	2,052	1,927	1,806	1,686	1,570	1,455	1,343	1,234	1,125	1,019	915	812	711	611	512	414	317	219
1100	2,626	2,472	2,322	2,174	2,030	1,889	1,751	1,615	1,483	1,352	1,224	1,098	973	851	731	611	493	376	259
1200	3,116	2,932	2,753	2,577	2,406	2,238	2,075	1,913	1,754	1,600	1,447	1,298	1,150	1,005	861	720	580	441	302
1300	3,647	3,431	3,221	3,015	2,814	2,617	2,425	2,235	2,051	1,868	1,690	1,514	1,341	1,171	1,003	838	674	511	349
1400	4,220	3,969	3,725	3,487	3,254	3,026	2,803	2,584	2,370	2,158	1,951	1,748	1,548	1,351	1,157	965	775	587	399
1500	4,834	4,546	4,267	3,993	3,726	3,464	3,209	2,957	2,711	2,469	2,232	1,999	1,770	1,544	1,321	1,102	884	668	453
1600	5,489	5,162	4,845	4,533	4,230	3,932	3,641	3,357	3,076	2,801	2,532	2,267	2,006	1,750	1,497	1,247	1,000	755	511
1700	6,186	5,817	5,459	5,108	4,765	4,430	4,100	3,780	3,464	3,154	2,850	2,552	2,258	1,969	1,684	1,403	1,124	848	573
1800	6,922	6,511	6,109	5,716	5,332	4,956	4,589	4,229	3,875	3,528	3,188	2,854	2,526	2,201	1,882	1,567	1,255	946	638
1900	7,703	7,244	6,796	6,359	5,931	5,513	5,102	4,703	4,309	3,923	3,545	3,173	2,807	2,446	2,091	1,741	1,394	1,050	708
2000	8,524	8,016	7,519	7,035	6,561	6,098	5,645	5,201	4,766	4,339	3,919	3,508	3,103	2,704	2,311	1,924	1,540	1,159	780
2100	9,385	8,826	8,279	7,745	7,223	6,712	6,212	5,723	5,243	4,774	4,313	3,859	3,414	2,975	2,543	2,115	1,693	1,274	857
2200	10,289	9,675	9,075	8,489	7,916	7,356	6,808	6,271	5,747	5,231	4,725	4,228	3,740	3,259	2,785	2,317	1,854	1,395	938
2300	11,233	10,562	9,907	9,266	8,641	8,029	7,432	6,844	6,271	5,708	5,156	4,613	4,081	3,556	3,038	2,527	2,022	1,521	1,022
2400	12,218	11,488	10,774	10,078	9,398	8,732	8,080	7,444	6,818	6,206	5,606	5,015	4,436	3,865	3,303	2,747	2,198	1,653	1,110
2500	13,244	12,452	11,678	10,923	10,185	9,463	8,757	8,066	7,389	6,724	6,073	5,435	4,805	4,187	3,578	2,976	2,380	1,790	1,201
2600	14,311	13,455	12,618	11,802	11,004	10,224	9,461	8,714	7,982	7,264	6,561	5,869	5,190	4,522	3,864	3,212	2,570	1,932	1,297
2700	15,420	14,496	13,595	12,715	11,854	11,013	10,191	9,385	8,596	7,824	7,066	6,320	5,590	4,870	4,160	3,459	2,768	2,080	1,396
2800	16,568	15,576	14,607	13,661	12,736	11,832	10,948	10,083	9,235	8,404	7,590	6,789	6,004	5,230	4,468	3,716	2,972	2,234	1,499
2900	17,759	16,695	15,656	14,640	13,649	12,679	11,731	10,803	9,895	9,005	8,131	7,275	6,432	5,604	4,787	3,981	3,184	2,393	1,605
3000	18,991	17,852	16,740	15,653	14,592	13,555	12,543	11,549	10,576	9,626	8,692	7,776	6,875	5,989	5,116	4,254	3,403	2,557	1,715

表-3.14 アスファルト舗装のPCR一覧表 (LA-2・LA-3・LA-4)

基準舗装厚 t ₂₀₀₀₀ (mm)	設計航空機荷重区分LA-2・LA-3・LA-4 (設計対象航空機が1脚1輪または1脚2輪)																		
	E: 路床の設計弾性係数 (MPa)																		
	200 以上	190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20 以下
300	190	181	172	163	153	145	136	127	118	109	100	91	83	74	65	56	47	38	28
350	262	249	236	224	211	199	187	174	162	150	138	126	114	101	89	77	65	52	39
400	348	331	314	298	281	265	249	232	216	200	184	168	152	135	119	103	87	69	49
450	449	427	406	385	364	343	322	301	280	259	239	218	197	177	156	135	111	85	59
500	565	539	512	486	459	433	407	381	355	329	303	277	251	225	197	166	134	103	71
550	698	665	633	600	568	537	504	473	440	409	377	345	313	275	236	198	160	122	84
600	845	806	768	729	691	652	614	576	537	499	460	420	372	325	279	233	188	143	98
700	1,187	1,135	1,083	1,030	977	924	871	817	765	699	632	566	501	437	375	313	252	191	130
800	1,593	1,525	1,456	1,387	1,318	1,248	1,179	1,090	998	908	820	734	650	567	485	405	325	246	167
900	2,064	1,976	1,889	1,802	1,714	1,615	1,494	1,374	1,258	1,144	1,033	924	817	713	610	508	408	308	208
1000	2,594	2,489	2,380	2,273	2,143	1,989	1,838	1,691	1,548	1,407	1,270	1,136	1,004	875	748	623	500	377	255
1100	3,186	3,058	2,930	2,780	2,588	2,401	2,219	2,041	1,867	1,697	1,532	1,369	1,211	1,055	901	750	601	453	306
1200	3,837	3,687	3,536	3,303	3,074	2,851	2,634	2,423	2,216	2,014	1,817	1,624	1,435	1,251	1,069	890	712	537	362
1300	4,545	4,371	4,147	3,870	3,602	3,340	3,085	2,837	2,595	2,358	2,127	1,901	1,680	1,463	1,250	1,040	833	627	423
1400	5,312	5,111	4,803	4,483	4,171	3,868	3,573	3,285	3,003	2,729	2,461	2,199	1,943	1,692	1,445	1,202	962	725	488
1500	6,136	5,887	5,509	5,140	4,782	4,433	4,093	3,764	3,442	3,126	2,818	2,519	2,225	1,937	1,654	1,376	1,101	830	558
1600	7,017	6,692	6,261	5,842	5,434	5,037	4,652	4,276	3,908	3,550	3,201	2,859	2,526	2,198	1,877	1,561	1,249	941	633
1700	7,961	7,550	7,063	6,589	6,128	5,680	5,244	4,820	4,405	4,001	3,607	3,222	2,845	2,475	2,113	1,758	1,407	1,059	713
1800	8,965	8,458	7,911	7,380	6,863	6,361	5,871	5,396	4,932	4,478	4,036	3,605	3,183	2,769	2,364	1,966	1,573	1,185	797
1900	10,046	9,417	8,808	8,216	7,640	7,080	6,535	6,004	5,487	4,982	4,490	4,009	3,540	3,080	2,629	2,186	1,749	1,317	886
2000	11,122	10,429	9,754	9,097	8,459	7,838	7,234	6,645	6,072	5,513	4,968	4,435	3,915	3,406	2,907	2,417	1,934	1,456	980

3.4.5 PCR 算出方法の妥当性の検証

最後に、我が国の各空港の設計反復作用回数、基準舗装厚、路床 CBR を基に試算した PCR と、各空港の就航航空機の ACR を参考に、前節で定めた PCR 算出方法の妥当性を検証することとした。PCR の算出には、2016 公示方法の付録に掲載されている各空港の舗装情報を使用し、LA-4 未満の空港や定期便の就航がない空港は除外した。ACR としては、各空港のダイヤ等から把握した就航航空機の中から最大の ACR を選定した。なお、航空機の離陸時搭載燃料は路線距離に応じて異なり、特に国内線の場合は燃料を満載することはないため、全備重量よりも軽い重量で運航しているが、ここでは燃料等を満載した場合の全備重量による ACR を用いた。

図-3.15 に各空港の ACR と PCR を示す。一部の空港を除き、ACR/PCR は概ね 0.9 以下となることがわかる。

ACR/PCR が小さい空港が散見されるが、最大の ACR を有する就航航空機が、舗装設計時の設計航空機荷重区分よりも下位に属する航空機であることが理由である。そのため、舗装厚から算出した PCR が、舗装設計時の設計航空機荷重区分に属する航空機の ACR に比して過度に大きく算出されているのではない。

一方、ACR/PCR が 1.0 を超過しているのは、舗装設計時の設計航空機荷重区分が LA-12 である 2 空港 (ACR/PCR=1.005, 1.034) であるが、最大の ACR を有する就航航空機が上位の LA-1 に属する航空機であることが理由である。そのため、LA-12 の舗装厚から算出した PCR が、LA-12 に属する航空機の ACR に比して過度に小さく算出されているのではない。なお、この 2 空港については、現行の ACN/PCN も 1.3 程度であることから、空港管理者は、全備重量による ACN ではなく、当該路線における離陸時搭載燃料を想定した軽い重量による ACN により運航可否を判断していると考えられる。

以上の結果から、3.4.4 で設定した PCR 算出方法により妥当な PCR が得られていることを確認した。

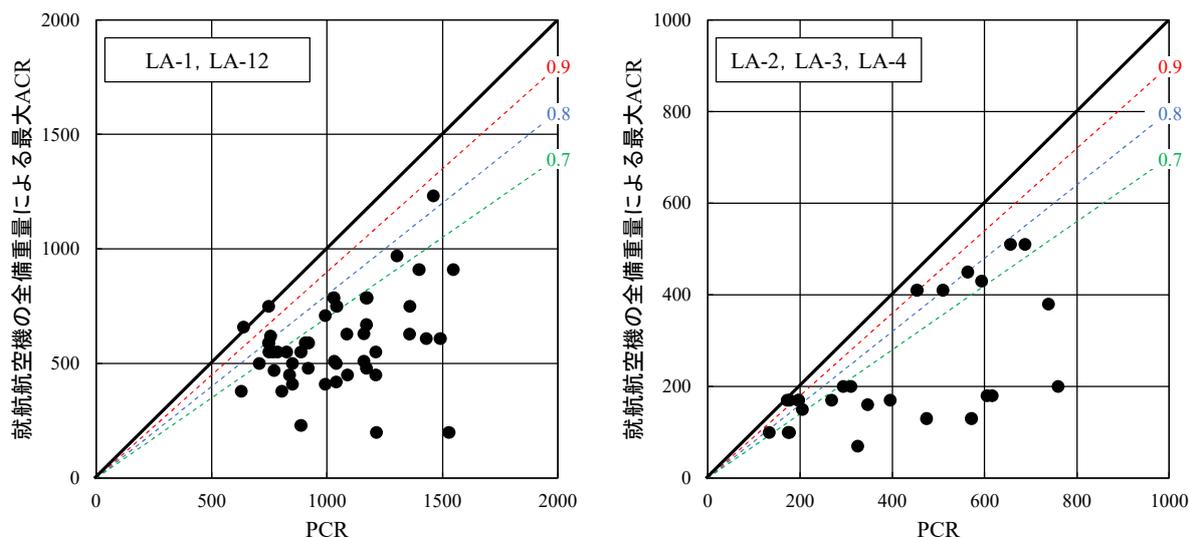


図-3.15 各空港の PCR と就航航空機の全備重量による最大 ACR

3.5 まとめ

アスファルト舗装の PCR 算出方法を検討した本章の結果は以下のとおりである。

- ・ アスファルト舗装の PCR は、ICAO が定めた ACR の算出方法のうち、路盤 E の設定方法を変更した方法を採用した。具体的には、路盤を分割して分割層毎に路盤 E を設定した場合と同様の結果が得られる等価路盤 E 算定式を用いて路盤 E を設定するものとし、LA-12 以上の場合は路床 E の 3 倍、LA-2 以下の場合は路床 E の 5 倍を上限とした。詳細な PCR 算出手順は 3.4.4 の末尾に記載している。
- ・ 各空港の舗装情報及び就航航空機を参考に ACR/PCR を確認し、妥当な結果が得られることを確認した。

4. コンクリート舗装の PCR 算出方法の検討

4章では、コンクリート舗装の PCR の算出方法の検討結果について述べる。

4.1 で現行の ACN 及び PCN の算出方法の概要を、4.2 で ICAO による ACR 算出方法の概要を、4.3 で ICAO による PCR 算出推奨方法の概要を述べる。4.4 では、路床強度カテゴリーの選択方法について、空港管理者の利便性を考慮し、新たに導入された路床 E により選択する方法ではなく、従来の路盤 K により選択する方法について検討した結果を述べた後、我が国の一般的なコンクリート版厚を用いて試算した PCR の傾向と、その傾向を参考に我が国のコンクリート舗装の PCR の算出方法を検討した結果及び PCR の妥当性を検証した結果を述べる。

4.1 コンクリート舗装の ACN と PCN

ICAO が定めるコンクリート舗装の ACN 算出方法は 1983ADM に掲載されている。また、我が国のコンクリート舗装の PCN 算出方法は 2016 公示方法に、その詳細は 2010 国総研資料に掲載されている。

コンクリート舗装の ACN 算出方法の概要は以下のとおりである。

- ・ ACN 算出対象航空機の荷重諸元と路盤 K (4 つの路床強度カテゴリー A~D それぞれの代表値である 150, 80, 40, 20 MN/m³) から、Winkler 基礎モデル (図-4.1) で算出したコンクリート版下面の荷重応力が 2.75 MPa となるコンクリート版厚を算出する。
- ・ 算出したコンクリート版厚に対し、Winkler 基礎モデルで算出したコンクリート版下面の荷重応力が 2.75 MPa となる接地圧 1.25 MPa の単車輪荷重 DSWL (Derived Single Wheel Load, 1,000 kgf 単位) を算出し、DSWL を 2 倍した値を ACN とする。

我が国のコンクリート舗装の PCN 算出方法の概要は以下のとおりである。

- ・ PCN 算出対象舗装のコンクリート版厚を、コンクリート版下面の荷重応力が 2.75 MPa となるよう設計した場合のコンクリート版厚に補正する。
- ・ 補正したコンクリート版厚と路盤 K を用い、Winkler 基礎モデルで算出したコンクリート版下面の荷重応力が 2.75 MPa となる接地圧 1.25 MPa の DSWL を算出し、DSWL を 2 倍した値を PCN とする。

4.2 ICAO によるコンクリート舗装の ACR 算出方法

ACR は航空機製造者が公表している Airplane Characteristics で示されるため、ACR の計算が必要となるのは、Airplane Characteristics が入手できない航空機の ACR を確認したい場合等に限定される。その場合は、ICAO が公開している ACR 算出プログラム「ICAO ACR 1.3」が FAA の WEB サイトから無料でダウンロードできるので、それを使用するのが簡便である。主な航空機の ACN と ACR を表-4.1 に示すが、ACR は ACN の 10 倍程度の値である。

表-4.1 主な航空機の ACN と ACR

航空機	舗装種別 路床強度 カテゴリー	コンクリート舗装の ACN				コンクリート舗装の ACR			
		A K=150	B K=80	C K=40	D K=20	A E=200	B E=120	C E=80	D E=50
A380-800		56	70	91	113	660	840	1,010	1,190
B777-300ER		66	85	109	131	787	1,006	1,178	1,360
B787-8		61	71	84	96	670	790	870	970
A320-200		47	49	52	54	480	500	520	530

※K は路盤 K (MN/m³), E は路床 E (MPa) であり、数値は ICAO が定める路床強度カテゴリー A~D の代表値。

コンクリート舗装の ACR 算出方法は 2022ADM に掲載されており、概要は以下のとおりである。ACN の算出方法と異なるのは、図-4.1 に示すように、路盤以深の構造を 1 次元鉛直バネで模擬する Winkler 基礎モデルではなく、全ての層を弾性体とする弾性基礎モデルとして、多層弾性解析によりコンクリート版下面の荷重応力を算出すること、荷重応力の算出において路盤 K ではなく路盤 E 及び路床 E を設定していること、DSWL の接地圧を 1.50 MPa としていること、ACN と区別しやすいように ACR を概ね 3 桁・4 桁の整数値で表すため DSWL の単位を 100 kgf 単位としていること、路床強度カテゴリーを路盤 K ではなく路床 E による選択としていることである。

- (1) 表-4.2 に示す舗装構造においてコンクリート版厚を変化させ、ACR 算出対象航空機の脚荷重によりコンクリート版下面に発生する荷重応力を多層弾性解析により算出し、荷重応力が 2.75 MPa となるコンクリート版厚を算出する。
- (2) (1)で算出した舗装構造において、タイヤ接地圧 1.50 MPa の単車輪荷重によりコンクリート版下面に発生する荷重応力を多層弾性解析により算出し、荷重応力が 2.75 MPa となる単車輪荷重 DSWL を算出する。
- (3) (2)で算出した DSWL を 100 kgf 単位とした値を 2 倍した値を ACR とする。

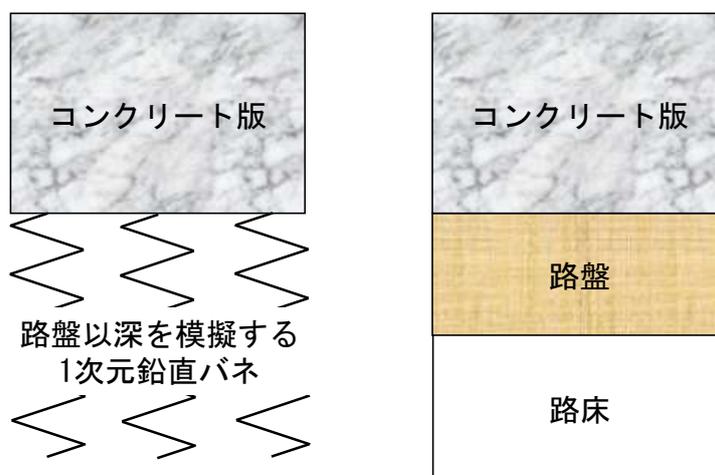


図-4.1 ACN 算出に使用する Winkler 基礎モデル (左) と ACR 算出に使用する弾性基礎モデル (右)

表-4.2 ACR 算出に使用するコンクリート舗装構造条件

層の種類	厚さ (mm)	弾性係数 (MPa)	ポアソン比	備考
表層	変化させる	27,579	0.15	表層と路盤の境界は 附着しない 状態とし、
路盤	200	500	0.35	
路床	無限	路床強度カテゴリー A~D の代表値 A : 200, B : 120 C : 80, D : 50	0.40	路盤と路床の 境界は 附着した 状態とする。

4.3 ICAO によるコンクリート舗装の PCR 算出推奨方法

新しい 2022ADM にはコンクリート舗装の ACR 算出方法の他、3.3 の PCR 算出の「推奨方法」が掲載されているが、アスファルト舗装と同様の理由により、我が国の PCR 算出方法としては、この「推奨方法」は採用しないこととした。

4.4 我が国のコンクリート舗装の PCR 算出方法の検討

各種の試算を行う際に影響する路床強度カテゴリーの選択方法について整理した後、コンクリート舗装の PCR 算出方法を検討した。

4.4.1 路床強度カテゴリーの選択方法

ACN-PCN 法におけるコンクリート舗装の路床強度カテゴリーは、表-4.3 に示すとおり、路盤 K により A~D に分類されていた。一方、ACR-PCR 法では路床 E により A~D に分類されることとされた。いずれの場合もそれぞれの路床強度カテゴリーの路盤 K あるいは路床 E の代表値が ICAO により示されており、ACN や ACR はこれらの代表値を用いて算出されたものが使用されている。つまり、1つの航空機に対して示されるコンクリート舗装の ACN や ACR は4種類である。また、コンクリート舗装の設計では、路盤 K あるいは路床 E が小さいほどコンクリート版厚を厚くするため、ACN や ACR は路床強度カテゴリーが A, B, C, D の順に大きくなる。

表-4.3 コンクリート舗装の路床強度カテゴリー

路床強度 カテゴリー	ACN-PCN 法における 路盤 K (MN/m ³)		ACR-PCR 法における 路床 E (MPa)	
	範囲	代表値	範囲	代表値
A	120 以上	150	150 以上	200
B	60 以上 120 未満	80	100 以上 150 未満	120
C	25 以上 60 未満	40	60 以上 100 未満	80
D	25 未満	20	60 未満	50

我が国の空港コンクリート舗装の設計法を基に考えると、コンクリート舗装の路床強度カテゴリーの選択に路床 E を用いる場合は二つの課題がある。設計値の換算方法と設計値の確認容易性である。コンクリート舗装の設計は、大別するとコンクリート版厚の設計と路盤厚の設計の2つがあるが、コンクリート版厚の設計では、国や交通分野を問わず、弾性基礎モデルではなく Winkler 基礎モデルが長年採用されてきたため、路盤 K を用いることが多い。我が国のコンクリート版厚の設計でも路盤 K が使用されているため、空港管理者が過去の設計資料等から路盤 K を確認することは比較的容易であった。一方、我が国のコンクリート舗装の路盤厚の設計では路床 K を用いているので、路床 K から路床 E に換算することで路床強度カテゴリーを選択することは可能である。しかしながら、コンクリート舗装の場合、コンクリート版の打ち換えを行うことはあるが、路盤・路床の打ち換えを行うことは極めて稀であることから、コンクリート舗装の路床は空港開港時に設計・施工されたものがほとんどであり、空港管理者が過去の設計資料等から路床 K を確認することは難しい可能性がある。

以上の理由から、ACR-PCR 法における路床強度カテゴリーを、ACN-PCN 法と同様に路盤 K から容易に選択できる方法を検討することとした。

検討は以下の手順で実施した。この検討には ACR と同様の舗装構造解析が必要となるが、ICAO ACR 1.3 では航空機荷重諸元以外の設定値を変更できないことから、アスファルト舗装の検討と同様に、多層弾性解析プログラム GAMES を用いることとした。なお、ICAO ACR 1.3 により算出される ACR と、4.2 に示す方法で GAMES により算出される ACR はほぼ同一であることを確認している。

- (1) 表-4.2 の ACR 算出舗装構造条件において，路床 E を 4 つの路床強度カテゴリーの代表値である 50, 80, 120, 200 MPa とし，コンクリート版厚を 250～450 mm まで 10 mm ピッチで変化させ，多層弾性解析によりコンクリート版下面の荷重応力が 2.75 MPa となる接地圧 1.50 MPa の単車輪荷重 DSWL を算出する。
- (2) (1)と同じ舗装構造条件及び(1)で決定した DSWL を用い，路盤以深の構造を路床 E 及び路盤 E による弾性基礎モデルではなく，路盤 K による Winkler 基礎モデルとし，路盤 K を変化させ，Winkler 基礎モデルの荷重応力式²⁾である式-4.1 により算出したコンクリート版下面の荷重応力が 2.75 MPa となる路盤 K を等価路盤 K とする。

$$\sigma = 1.1 \cdot (1 + \mu) \cdot \frac{F}{h^2} \cdot \left[\log_{10} \left(\frac{l}{b} \right) + \log_{10} \left(\sqrt[4]{12 \cdot (1 - \mu^2)} \right) \right] \quad \dots \dots \dots \text{式-4.1}$$

ここで，

- σ : コンクリート版中央部下面の荷重応力 (N/mm² = MPa)
- μ : コンクリートのポアソン比
- F : 載荷重 (N)
- h : コンクリート版厚 (mm)
- l : 剛比半径 (mm) $= \sqrt[4]{\frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \mu^2) \cdot K}}$
- E : コンクリートの弾性係数 (N/mm² = MPa)
- K : 路盤 K (N/mm³ = 1,000 MN/m³)
- b : $r < 1.724 \cdot h$ の場合, $b = \sqrt{1.6r^2 + h^2} - 0.675 \cdot h$ (mm)
: $r \geq 1.724 \cdot h$ の場合, $b = r$ (mm)
- r : 載荷重の接地半径 (mm) $= \sqrt{F/(p \cdot \pi)}$
- p : 接地圧 (N/mm² = MPa)

コンクリート版厚と等価路盤 K の関係を図-4.2 に示す。等価路盤 K はコンクリート版厚の影響を受け，コンクリート版が薄いほど等価路盤 K は大きくなる傾向がある。我が国の空港のコンクリート版厚のほぼ全てが 300～420 mm の範囲であるため，この中間のコンクリート版厚 360 mm における等価路盤 K を整理したのが表-4.4 であるが，この等価路盤 K は ACN-PCN 法で使用しているそれぞれの路床強度カテゴリー A～D における路盤 K の代表値と概ね一致することがわかる。

図-4.3 には，前述の(1)の方法で ACR-PCR 法の 4 つの路床強度カテゴリーの路床 E 代表値（路床 E=50, 80, 120, 150 MPa）を用いて算出した ACR（真値）と，前述の(2)の方法で ACN-PCN 法の 4 つの路床強度カテゴリーの路盤 K 代表値（路盤 K=20, 40, 80, 150 MN/m³）を用いて算出した ACR を示した。これによると，現行の ACN-PCN 法の路盤 K 代表値を用いて算出した ACR は，ACR-PCR 法の路床 E 代表値による ACR と概ね同等となることがわかる。

以上の結果から，コンクリート舗装の路床強度カテゴリーの選択では路床 E ではなく路盤 K を用いることとし，4 つの路床強度カテゴリーの路盤 K の範囲及び代表値は，現行の ACN-PCN 法を踏襲することとした。また，以降の検討では，コンクリート版下面の荷重応力を，ACR の算出で用いられている多層弾性解析ではなく，Winkler 基礎モデルによる式-4.1 により算出することとした。

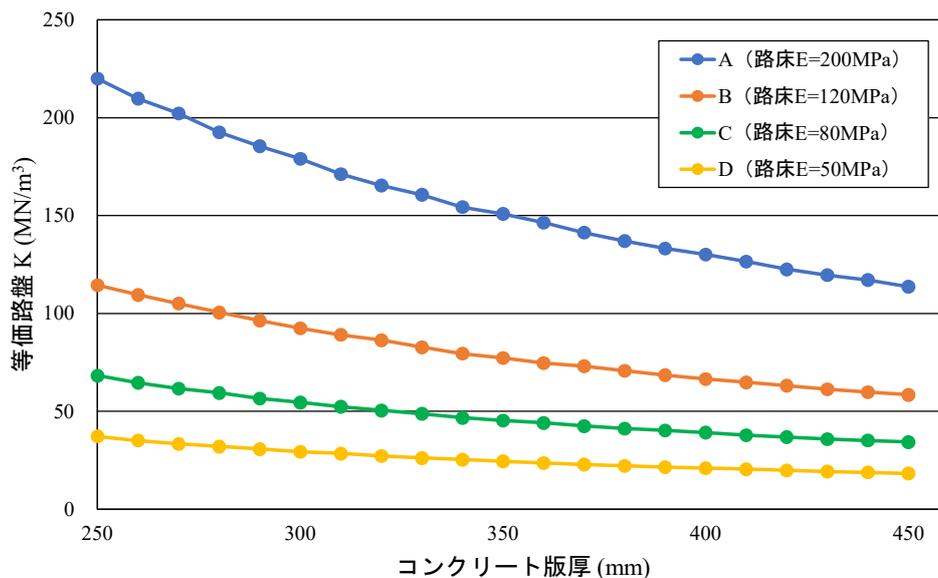


図-4.2 コンクリート版厚と等価路盤 K の関係

表-4.4 コンクリート版厚 360 mm の等価路盤 K と ACN-PCN 法における路盤 K の代表値

路床強度 カテゴリー	コンクリート版厚 360mm の 等価路盤 K (MN/m³)	ACN-PCN 法における 路盤 K の代表値 (MN/m³)
A	146.42	150
B	74.63	80
C	44.09	40
D	23.70	20

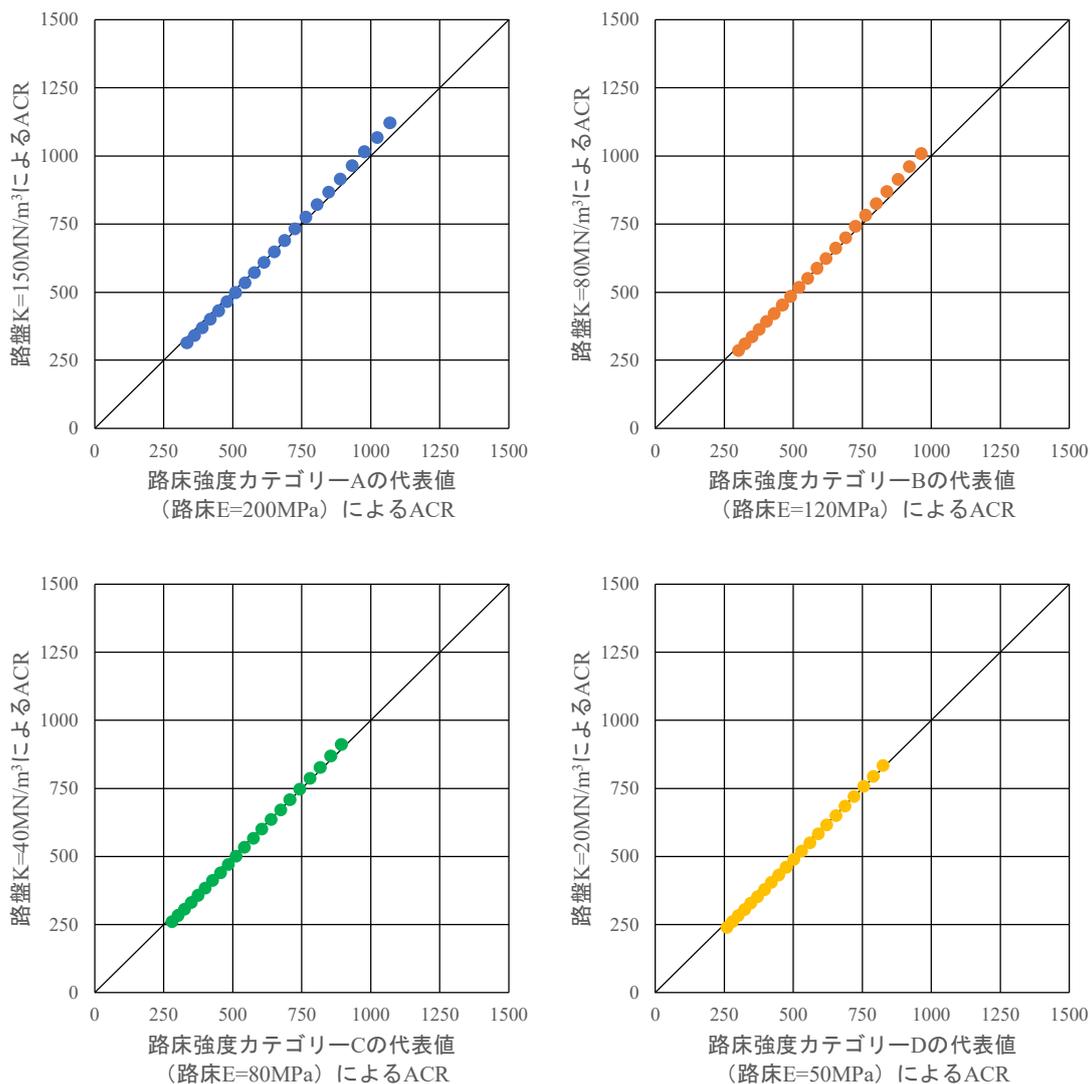


図-4.3 路床 E 代表値による ACR と路盤 K 代表値による ACR

4.4.2 PCR の試算

我が国の PCR 算出方法を検討するため、最初に、経験的設計法による我が国の標準的なコンクリート版厚に対して ACR と同一の方法（ただし路盤 K を用いた Winkler 基礎モデルとする）で PCR を試算し、設定条件による PCR の傾向や主要航空機の ACR と比較してどの程度の PCR が得られるかを確認することで、PCR 算出方法の検討方針を設定することとした。

PCR の試算に使用した舗装構造解析条件を表-4.5 に、試算した PCR を表-4.6 に示す。なお、我が国の空港コンクリート舗装で採用されているコンクリート版厚は、その 9 割程度が空港土木施設設計要領（舗装設計編）のコンクリート版厚表の版厚（路盤 K を 70 MN/m³、コンクリートの設計曲げ強度 5.0 MPa として算出）であるため、以降の試算では、コンクリート版厚表の版厚を用いた。また、PCR の試算に用いる路床強度カテゴリーは B、路盤 K は 70 MN/m³ を用いた。

表-4.5 PCR の試算に使用するコンクリート舗装構造条件（下線部は表-4.2 の ACR 算出条件と異なる点）

層の種類	厚さ (mm)	設定値	ポアソン比	備考
表層	<u>空港土木施設設計要領 (舗装設計編) のコンク リート版厚表の版厚 (路盤 K が 70 MN/m³, コンクリートの設計曲げ 強度が 5.0 MPa)</u>	弾性係数 27,579 MPa	0.15	<u>Winkler 基礎モデル とする</u>
<u>路盤以深</u>	<u>設定なし</u>	<u>路盤 K 70 MN/m³</u>	<u>設定なし</u>	

表-4.6 試算した PCR

設計 航空機 荷重区分	設計反復 作用回数 (回)	設計反復 作用回数 の区分	コンクリート版			路盤 K (MN/m ³)	PCR
			版厚 (mm)	弾性係数 (MPa)	ポアソン 比		
LA-1	6,000	M	370	27,579	0.15	70	649
	10,000~40,000	N	420	27,579	0.15	70	852
	80,000	O	450	27,579	0.15	70	989
LA-12	6,000	M	320	27,579	0.15	70	475
	10,000~40,000	N	360	27,579	0.15	70	612
	80,000	O	390	27,579	0.15	70	727
LA-2	6,000	M	300	27,579	0.15	70	414
	10,000~40,000	N	340	27,579	0.15	70	541
	80,000	O	360	27,579	0.15	70	612
LA-3	6,000	M	270	27,579	0.15	70	331
	10,000~40,000	N	300	27,579	0.15	70	414
	80,000	O	320	27,579	0.15	70	475
LA-4	6,000	M	200	27,579	0.15	70	174
	10,000~40,000	N	220	27,579	0.15	70	213
	80,000	O	230	27,579	0.15	70	235

表-4.7 ACR/PCR の計算に使用した航空機の ACR

設計 航空機 荷重区分	航空機	コンクリート舗装の ACR (路床強度カテゴリーB)	備考
LA-1	B777-300ER	1,006	LA-1 空港への就航があり ACR が大きい航空機
LA-12	A300-B4	570	LA-12 空港への就航はないが LA-12 の設計代表航空機
LA-2	B737-800	530	LA-2 空港への就航があり ACR が大きい航空機
LA-3	B737-500	390	LA-3 空港への就航はないが 開港当時の設計代表航空機
LA-4	DHC8-400	190	LA-4 空港の主要航空機 及び設計代表航空機

※網掛け部の ACR は ICAO ACR 1.3 による算出値であり，Airplane Characteristics に掲載された公式値ではない。

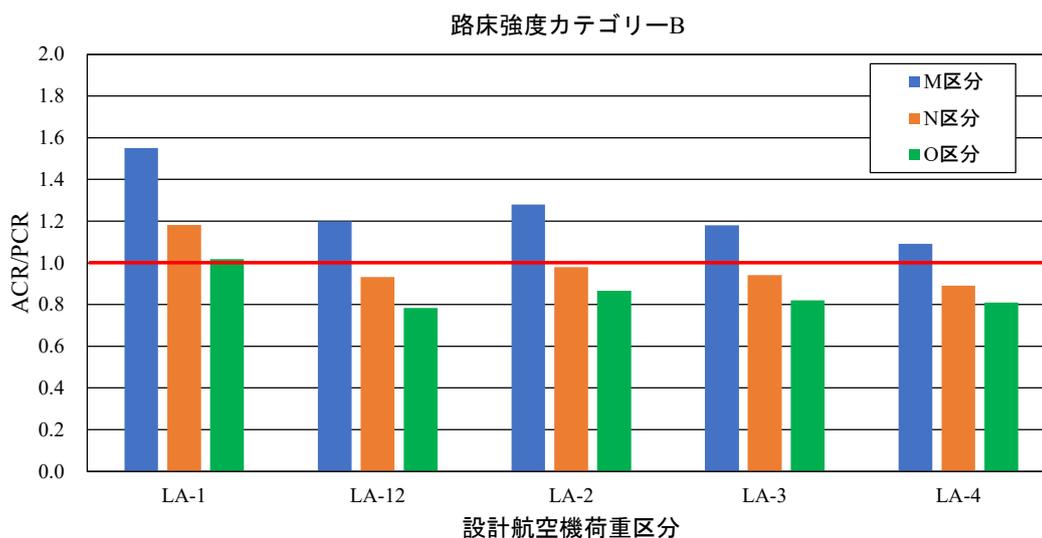


図-4.4 表-4.7 の ACR と試算した PCR による ACR/PCR

試算した PCR の規模感を把握するため，国内各空港の航空機就航状況を参考に，比較的大きな ACR を有する表-4.7 の航空機の ACR を PCR で除した ACR/PCR を図-4.4 に示す．これによると，設計反復作用回数 6,000 回である M 区分はコンクリート版が薄いため PCR が小さく算出されており，どの設計航空機荷重区分でも ACR/PCR が 1.0 を超過した．また設計航空機荷重区分が LA-1 では，設計反復作用回数が 10,000 回，20,000 回，40,000 回である N 区分や，最も厚い 80,000 回の O 区分のコンクリート版厚においても ACR/PCR が 1.0 を超過した．

ACR/PCR が 1.0 を超過しているため，ACR 算出条件と同様に 27,579 MPa としていたコンクリート版の弾性係数を，我が国の空港コンクリート版の設計で用いられている 34,000 MPa として PCR を再試算したが，図-4.4 に示した結果よりも PCR は小さくなり ACR/PCR が大きくなった．この理由としては，コンクリート版の弾性係数が大きくなったことにより，コンクリート版下面の曲げひずみは小さくなったと考えられるが，曲げひずみと弾性係数の積であるコンクリート版下面の荷重応力が大きくなり，DSWL 及び PCR が小さくなったと推察される．

以上の試算結果を基に、我が国のコンクリート舗装の PCR 算出方法の検討方針を以下のとおりとした。

- ・ 3章で検討したアスファルト舗装の PCR 算出方法と同様に、コンクリート舗装の PCR の算出では、算出対象舗装のコンクリート版厚を、設計反復作用回数 20,000 回 (N 区分) のコンクリート版厚に補正したものを統一的に用いることとする。アスファルト舗装と同じ設計反復作用回数 20,000 回としたのは、図-4.4 に示した ACR/PCR の試算結果の他、国内のコンクリート舗装の多くが N 区分で設計されていること、5章で述べるオーバーロード運航の目安を検討する上ではアスファルト舗装とコンクリート舗装の PCR 算出条件を同じ条件とした方が好都合なためである。コンクリート版厚換算のための補正係数は、表-4.6 に示す M 区分、N 区分及び O 区分のコンクリート版厚比率から表-4.8 のとおりとし、算出対象のコンクリート版厚に補正係数を乗じて換算コンクリート版厚を算出することとする。そのため、設計反復作用回数が少ない M 区分では薄いコンクリート版厚が採用されているため厚くなるよう補正し、設計反復作用回数が多い O 区分では厚いコンクリート版厚が採用されているため薄くなるよう補正することとなる。
- ・ ACR と同様の方法を用いると、特に LA-1 において ACR/PCR が 1.0 を超過する結果となった。そのため、我が国の空港コンクリート舗装の設計法及び設計用値を基礎とした PCR 算出方法を検討する。我が国の空港コンクリート舗装の設計法には、コンクリート舗装の ACR 算出方法と同様の経験的設計法（コンクリート版下面に発生する荷重応力が、ある閾値以下となる版厚を算出する方法）と、アスファルト舗装の ACR 算出方法と同様の理論的設計法（コンクリート版下面に発生する荷重応力及び温度応力の合計による累積疲労度が 1.0 以下となる版厚を算出する方法）があるが、5章で述べるオーバーロード運航の目安を検討する上では、3章で検討したアスファルト舗装の PCR 算出方法と同様に、累積疲労度に着目した PCR 算出方法の方が好都合であるため、我が国の理論的設計法を基礎とした PCR 算出方法を検討することとした。
- ・ アスファルト舗装と同様に、PCR 算出対象舗装のコンクリート版厚及び路盤 K から簡便に PCR を選択可能な一覧表を作成する。式-4.1 による荷重応力の計算は非常に簡便であり、この式を用いて PCR を算出することは難しくはないが、空港管理者の利便性を考慮した措置である。

表-4.8 換算コンクリート版厚の補正係数

設計反復作用回数の区分	設計反復作用回数	補正係数
M	6,000 回	1.1352
N	10,000 回	1.0000
	20,000 回	
	40,000 回	
O	80,000 回	0.9334

4.4.3 PCR 算出方法の検討

前項で示した検討方針を基に、以降では PCR 算出用設計反復作用回数 20,000 回 (N 区分) のコンクリート版厚による PCR 算出方法の検討を行う。

我が国の空港コンクリート舗装の理論的設計法を基礎として、以下の手順で PCR を試算することとした。

- (1) 空港土木施設設計要領（舗装設計編）に掲載されているコンクリート版厚表の N 区分の版厚（路盤 K を 70 MN/m³、コンクリートの設計曲げ強度 5.0 MPa として算出）を用い、路盤 K を我が国の空港の 9 割程度で採用されている 70 MN/m³（路床強度カテゴリー B）とする。なお、我が国の空港での採用実績は非常に少ないが、路床強度カテゴリー A については、路盤 K をカテゴリー代表値の 150 MN/m³ とした版厚及び路盤 K を用いることとし、路床強度カテゴリー C 及び D については、空港土木施設設計要領（舗装設計編）の「50 MN/m³ 未満の設計支持力係数は施工上問題があるので用いてはならない」との記述を参考に省略した。
- (2) (1)のコンクリート版厚を用い、寸法効果を考慮したコンクリートの曲げ強度を、空港土木施設設計要領（舗装設計編）に記載の寸法効果考慮式である式-4.2 より算出する。ここで、版厚 150 mm（曲げ強度試験供試体の高さ）の設計曲げ強度を、空港コンクリート舗装の設計で標準的に使用されている 5.0 MPa とする。寸法効果とは、同じコンクリー

トを用いたとしても版厚が厚くなると曲げ強度が小さくなる現象であり、空港土木施設設計要領（舗装設計編）の理論的設計法では、配合設計時の曲げ強度試験に使用する供試体の版厚 150 mm で設定した設計曲げ強度を、実際に施工する版厚の曲げ強度に補正して設計に使用している。

$$f_{bd,h} = 0.8 \cdot \left(0.6 + \frac{2.25}{h^{1/4}} \right) \cdot f_{bd,h0} \quad \dots \dots \dots \text{式-4.2}$$

ここで、

- $f_{bd,h}$: 寸法効果を考慮した版厚 h のコンクリート曲げ強度 (MPa)
- h : コンクリート版厚 (mm)
- $f_{bd,h0}$: 版厚 150mm のコンクリート設計曲げ強度 (MPa)

- (3) (2)の寸法効果を考慮したコンクリートの曲げ強度を用い、同一位置走行回数 36,500 回とした場合の許容荷重応力を、空港土木施設設計要領（舗装設計編）に記載の疲労破壊曲線である式-4.3 により算出する。なお、式-4.3 を変形することにより、同一位置走行回数 36,500 回に対する許容応力比 ($\sigma/f_{bd,h}$) は 0.80 となるため、具体的には、(2)の寸法効果を考慮したコンクリートの曲げ強度の 0.80 倍が許容荷重応力となる。また、この「同一位置走行回数」は、3.2 に記したとおり、我が国の経験的設計法で用いられている設計反復作用回数とは異なる。

$$\log_{10}N = \frac{a - \sigma/f_{bd,h}}{b} \quad \dots \dots \dots \text{式-4.3}$$

ここで、

- N : 同一位置走行回数 (回)
- σ : コンクリート版下面に発生する荷重応力 (MPa)
- $f_{bd,h}$: 寸法効果を考慮した版厚 h のコンクリート曲げ強度 (MPa)
- a : 係数 (=1.19614)
- b : 係数 (=0.08672)

- (4) (1)のコンクリート版厚と路盤 K などから、タイヤ接地圧 1.50 MPa の単車輪荷重によりコンクリート版下面に発生する荷重応力を式-4.1 により算出し、(3)の許容荷重応力と等しくなる単車輪荷重 DSWL を算出する。この際の舗装構造解析条件は表-4.9 のとおりである。具体的には、舗装表面に載荷する円形等分布荷重の接地圧を 1.50 MPa とし、単車輪荷重を増加させることで荷重応力が増加するので、荷重応力が(3)の許容荷重応力と等しくなる時の単車輪荷重を DSWL とする。
- (5) (4)で算出した DSWL (100 kgf 単位) を 2 倍した値を PCR とする。

なお、空港コンクリート舗装の理論的設計法における累積疲労度の算出では、荷重応力以外にも、日温度変化の影響を受けて時間帯により変化する温度応力を考慮するが、ここでは考慮しないこととした。その理由としては、実際のコンクリート舗装の設計とは異なり、温度応力を考慮する際に必要な、版上下面温度差が正の（版下面で引張温度応力となる）時間帯・版上下面温度差が負の（版下面で圧縮温度応力となる）時間帯に応じた交通量割合について、PCR 算出用の設定を見出すのが困難なためである。ただし、温度応力を考慮しないことと同義となる版上下面温度差が 0℃以下の時間帯の合計が全時間帯に占める割合は、温度応力の設定に使用されている版上下面温度差の実測結果に基づく発生頻度分布表³⁾から考えると概ね 65%程度であることから、PCR 算出時は温度応力を考慮しないこととしても問題ないと考えたためである。

表-4.9 PCR の試算に使用するコンクリート舗装構造条件

項目	設定値	備考
コンクリート版厚	210~420 mm	路床強度カテゴリーA： 路盤 K が路床強度カテゴリーA 代表値の 150 MN/m ³ ，コンクリートの設計曲げ強度が 5.0 MPa，設計反復作用回数が N 区分の版厚 路床強度カテゴリーB： 空港土木施設設計要領（舗装設計編）に掲載されている路盤 K が 70 MN/m ³ ，コンクリートの設計曲げ強度が 5.0 MPa，設計反復作用回数が N 区分の版厚
コンクリートの弾性係数	34,000 MPa	空港土木施設設計要領（舗装設計編）に掲載されている値と同値
コンクリートのポアソン比	0.15	
路盤 K	70, 150 MN/m ³	路床強度カテゴリーA： 路床強度カテゴリーA 代表値の 150 MN/m ³ 路床強度カテゴリーB： 我が国の空港の 9 割程度で採用されている 70 MN/m ³
単車輪荷重の接地圧	1.50 MPa	ACR 算出方法の DSWL と同値

表-4.9 の条件で PCR を算出し，この PCR で表-4.7 の航空機の ACR を除した ACR/PCR を図-4.5 に示す．図-4.4 に示した結果と異なり，どの設計航空機荷重区分においても ACR/PCR は 1.0 以下となり，路床強度カテゴリーによる ACR/PCR の差も小さいことがわかる．また，3 章で示したアスファルト舗装の ACR/PCR と同程度となることが望ましいが，概ね同程度の結果が得られている．

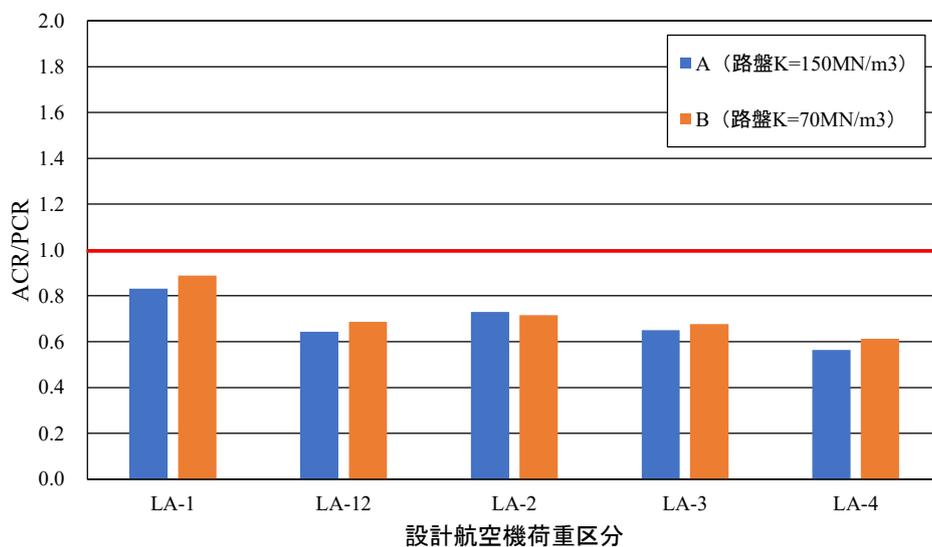


図-4.5 我が国の理論的設計法により試算した PCR による ACR/PCR

以上の検討結果を踏まえ、我が国のコンクリート舗装の PCR 算出方法を以下のとおりとした。

- (1) PCR 算出対象舗装のコンクリート版厚及び路盤 K を確認する。
- (2) (1)のコンクリート版厚を、PCR 算出用設計反復作用回数 20,000 回 (N 区分) のコンクリート版厚に補正する。例えば(1)のコンクリート版厚が 370 mm で、設計反復作用回数 6,000 回 (M 区分) で設計されている場合は、表-4.8 の補正係数が 1.1352 であるため、370 mm に 1.1352 を乗じることで、補正したコンクリート版厚は 420.024 mm となる。
- (3) (2)で補正したコンクリート版厚を用い、寸法効果を考慮したコンクリートの曲げ強度を、空港土木施設設計要領（舗装設計編）に記載の寸法効果考慮式である式-4.2 により算出する。ここで、版厚 150 mm（曲げ強度試験供試体の高さ）の設計曲げ強度を、空港コンクリート舗装の設計で標準的に使用されている 5.0 MPa とする。
- (4) (3)の寸法効果を考慮したコンクリートの曲げ強度を用い、同一位置走行回数 36,500 回とした場合の許容荷重応力を、空港土木施設設計要領（舗装設計編）に記載の疲労破壊曲線である式-4.3 により算出する。
- (5) (1)の路盤 K、(2)のコンクリート版厚などから、タイヤ接地圧 1.50 MPa の単車輪荷重によりコンクリート版下面に発生する荷重応力を式-4.1 により算出し、(4)の許容荷重応力と等しくなる単車輪荷重 DSWL を算出する。この際の舗装構造解析条件は表-4.10 のとおりである。具体的には、舗装表面に載荷する円形等分布荷重の接地圧を 1.50 MPa とし、単車輪荷重を増加させることで荷重応力が増加するので、荷重応力が(4)の許容荷重応力と等しくなる時の単車輪荷重を DSWL とする。
- (6) (5)で算出した DSWL（100 kgf 単位）を 2 倍した値を PCR とする。

以上の方法により算出したコンクリート舗装の PCR 一覧表を表-4.11 に示す。

表-4.10 PCR の算出に使用するコンクリート舗装構造条件

項目	設定値	備考
コンクリート版厚	PCR 算出対象舗装のコンクリート版厚に表-4.8 の補正係数を乗じた版厚	PCR 算出用設計反復作用回数 20,000 回のコンクリート版厚に補正した値
コンクリートの弾性係数	34,000 MPa	空港土木施設設計要領（舗装設計編）に掲載されている値
コンクリートのポアソン比	0.15	
路盤 K	PCR 算出対象舗装の路盤 K	
単車輪荷重の接地圧	1.50 MPa	ACR 算出方法の DSWL と同値

表-4.11 コンクリート舗装のPCR一覧表

換算コンクリート版厚 (mm)	K : 路盤の設計支持力係数 (MN/m ³)													
	150 以上	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20 以下
200	289	286	283	279	275	271	267	262	257	251	245	238	229	219
210	319	315	312	308	303	299	294	289	283	277	270	262	253	240
220	350	346	342	338	333	328	322	317	310	304	296	287	277	264
230	383	379	374	369	364	358	352	346	339	332	323	314	302	288
240	417	412	407	402	396	390	384	377	369	361	352	341	329	313
250	453	448	442	436	430	423	416	409	400	391	381	370	356	339
260	490	484	478	472	465	458	450	442	433	423	412	400	385	366
270	529	523	516	509	501	494	485	476	467	456	445	431	415	395
280	569	562	555	547	539	531	522	512	502	491	478	463	446	424
290	611	604	596	588	579	570	560	550	538	526	512	497	478	454
300	654	646	638	629	620	610	599	588	576	563	548	531	511	486
310	699	691	681	672	662	651	640	628	615	601	585	567	546	518
320	746	736	727	716	706	694	682	670	656	640	623	604	581	552
330	794	784	773	762	751	739	726	712	697	681	663	642	618	587
340	843	832	821	810	797	784	771	756	740	723	704	682	655	622
350	894	883	871	858	845	832	817	801	785	766	746	722	694	659
360	947	935	922	909	895	880	865	848	830	811	789	764	734	697
370	1,001	988	975	961	946	930	914	896	877	856	833	807	775	736
380	1,057	1,043	1,029	1,014	998	982	964	946	925	903	879	851	818	776
390	1,114	1,100	1,084	1,069	1,052	1,035	1,016	996	975	952	926	896	861	817
400	1,173	1,158	1,142	1,125	1,107	1,089	1,069	1,048	1,026	1,001	974	943	906	859
410	1,234	1,217	1,200	1,183	1,164	1,145	1,124	1,102	1,078	1,052	1,023	990	951	902
420	1,296	1,278	1,260	1,242	1,222	1,202	1,180	1,157	1,132	1,104	1,074	1,039	998	946
430	1,359	1,341	1,322	1,303	1,282	1,260	1,237	1,213	1,187	1,158	1,126	1,089	1,046	992
440	1,425	1,405	1,386	1,365	1,343	1,320	1,296	1,270	1,243	1,212	1,179	1,141	1,095	1,038
450	1,491	1,471	1,450	1,429	1,406	1,382	1,357	1,329	1,300	1,269	1,233	1,193	1,146	1,086
460	1,560	1,539	1,517	1,494	1,470	1,445	1,418	1,390	1,359	1,326	1,289	1,247	1,197	1,134
470	1,630	1,608	1,585	1,561	1,536	1,509	1,481	1,452	1,419	1,385	1,346	1,302	1,249	1,184
480	1,702	1,678	1,654	1,629	1,603	1,575	1,546	1,515	1,481	1,444	1,404	1,358	1,303	1,234
490	1,775	1,751	1,725	1,699	1,671	1,642	1,612	1,579	1,544	1,506	1,463	1,415	1,358	1,286
500	1,850	1,824	1,798	1,770	1,742	1,711	1,679	1,645	1,608	1,568	1,524	1,473	1,414	1,339

4.4.4 PCR 算出方法の妥当性の検証

最後に、我が国の各空港の設計反復作用回数、コンクリート版厚、路盤 K を基に試算した PCR と、各空港の就航航空機の ACR を参考に、前節で定めた PCR 算出方法の妥当性を検証することとした。PCR の算出には、2016 公示方法の付録に掲載されている各空港の舗装情報を使用し、LA-4 未満の空港や定期便の就航がない空港は除外した。ACR としては、各空港のダイヤ等から把握した就航航空機の中から最大の ACR を選定した。なお、航空機の離陸時搭載燃料は路線距離に応じて異なり、特に国内線の場合は燃料を満載することはないため、全備重量よりも軽い重量で運航しているが、ここでは燃料等を満載した場合の全備重量による ACR を用いた。

図-4.6 に各空港の ACR と PCR を示す。一部の空港を除き、ACR/PCR は概ね 0.9 以下となることがわかる。

ACR/PCR が小さい空港が散見されるが、最大の ACR を有する就航航空機が、舗装設計時の設計航空機荷重区分よりも下位に属する航空機であることが理由である。そのため、コンクリート版厚から算出した PCR が、舗装設計時の設計航空機荷重区分に属する航空機の ACR に比して過度に大きく算出されているのではない。

一方、ACR/PCR が 1.0 を超過しているのは、舗装設計時の設計航空機荷重区分が LA-12 である 2 空港 (ACR/PCR=1.030, 1.036) であるが、最大の ACR を有する就航航空機が上位の LA-1 に属する航空機であることが理由である。そのため、LA-12 のコンクリート版厚から算出した PCR が、LA-12 に属する航空機の ACR に比して過度に小さく算出されているのではない。なお、この 2 空港については、現行の ACN/PCN も 1.3 程度であることから、空港管理者は、全備重量による ACN ではなく、当該路線における離陸時搭載燃料を想定した軽い重量による ACN により運航可否を判断していると考えられる。

以上の結果から、4.4.3 で設定した PCR 算出方法により妥当な PCR が得られていることを確認した。

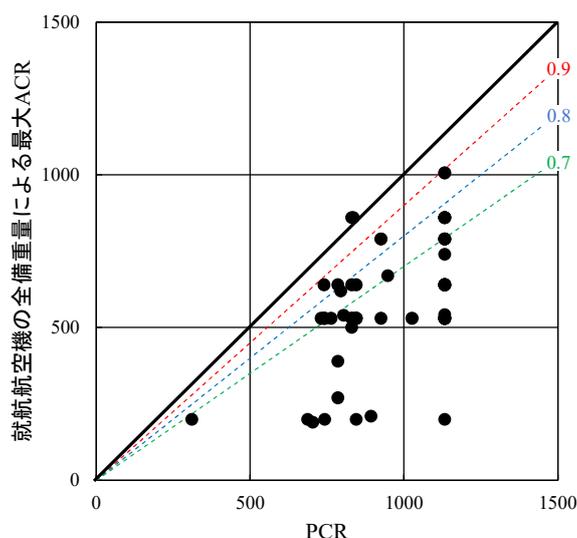


図-4.6 各空港の PCR と就航航空機の全備重量による最大 ACR

4.5 まとめ

コンクリート舗装の PCR 算出方法を検討した本章の結果は以下のとおりである。

- ・ コンクリート舗装の路床強度カテゴリーは、路床 E ではなく路盤 K により選択することとした。
- ・ コンクリート舗装の PCR は、Winkler 基礎モデルによる荷重応力式と我が国の理論的設計法を用い、同一位置走行回数 36,500 回でコンクリート版の累積疲労度が 1.0 となる DSWL により算出する方法を採用した。詳細な PCR 算出手順は 4.4.3 の末尾に記載している。
- ・ 各空港の舗装情報及び就航航空機を参考に ACR/PCR を確認し、妥当な結果が得られることを確認した。

5. オーバーロード運航の目安の検討

ACNがPCN以下の航空機は無条件で当該施設を使用することができるが、ACNがPCNを超過する航空機であっても、空港管理者の判断により条件付きで当該施設を使用することが可能である。これをオーバーロード運航と呼んでいる。2016 公示方法に示されている ACN-PCN 法における我が国のオーバーロード運航の目安は表-5.1 のとおりである。しかしながら、この目安値については根拠が残されていない。

ACR/PCR の値は我が国のこれまでの ACN/PCN の値とは異なるため、表-5.1 の目安値をそのまま用いるのは妥当ではない。また「数回程度」「短期間の運航」のように定性的な記述となっており、空港管理者からは定量的な記述が望まれていた。

以上の背景から、ACR-PCR 法における我が国のオーバーロード運航の目安を、何らかの仮定を基にした数値的根拠を基礎として設定すること、現行よりも定量的な記述とすることを念頭に検討を行うこととした。

表-5.1 ACN-PCN 法における我が国のオーバーロード運航の目安

$\frac{ACN}{PCN} \leq 1.0$	無条件で運航可能
$1.0 < \frac{ACN}{PCN} \leq 1.1$	1 日当りの運航回数が数回程度の運航であれば可能
$1.1 < \frac{ACN}{PCN} \leq 1.3$	1 日当りの運航回数が数回程度でしかも短期間の運航であれば可能
$1.3 < \frac{ACN}{PCN} \leq 2.0$	特別の事情により数回程度の運航であれば可能
$2.0 < \frac{ACN}{PCN}$	緊急機以外は不可

5.1 検討方針

本来、その空港に就航している航空機別の重量・交通量から分析した結果を基にオーバーロード運航を判断するのが最も現実に即した方法と言えるが、各種の舗装構造解析を必要とするため汎用性に欠ける。何らかの仮定に基づく検討が必要であるが、設計で想定している航空機よりも大きな航空機をどの程度まで許容するかは難しい問題である。例えば、3 章及び 4 章で示した PCR 算出方法では累積疲労度が 1.0 となるよう PCR を決定するが、オーバーロード運航を想定した場合、この累積疲労度が 1.0 をどこまで超過してよいかを設定することが必要となる。

2022ADM の Chapter 2 Guidance for Overload Operations では、以下の考え方が示されている。

- ・ アスファルト舗装においてもコンクリート舗装においても、PCR から 10%を超過しない ACR 航空機の一時的作用は、舗装に悪影響を及ぼさないはずである。
- ・ 年間オーバーロード運航回数は、年間運航回数の概ね 5%を超過すべきではない。
- ・ 10%を超えるオーバーロードは、状況に応じ、より詳細な技術的分析によって検討してもよい。

そこで「ACR/PCR=1.1 の航空機の運航回数が、年間運航回数の 5%以下」を、舗装に悪影響を及ぼさない目安と考え、これを 3 章及び 4 章で示した PCR 算出方法に導入し、アスファルト舗装及びコンクリート舗装のオーバーロード運航の目安を以下の手順により検討することとした。具体的には、PCR の算出で使用している同一位置走行回数 36,500 回の 5%を、PCR と同値の ACR を有する航空機ではなく、PCR の 1.1 倍の ACR を有する航空機に置き換えた場合の累積疲労度を算出し、ACR/PCR が 1.2 以上の場合も、この累積疲労度と等価となる同一位置走行回数を算出する方法である。

- (1) 用語を以下のとおり定義する。括弧内は変数である。
- ・ 単車輪荷重 DSWL (ACR/PCR) :
オーバーロード運航として任意の ACR/PCR を想定した場合の単車輪荷重 DSWL。単位は 100 kgf である。例えば、DSWL (1.0)は PCR を 2 で除した値であり、ACR/PCR=1.1 のオーバーロード運航を想定した DSWL (1.1)は DSWL (1.0)の 1.1 倍である。
 - ・ オーバーロード運航許容率 p (ACR/PCR) :
PCR の算出で用いる同一位置走行回数 36,500 回に対して、オーバーロード運航として任意の ACR/PCR を想定した DSWL (ACR/PCR)の同一位置走行回数が占める率。単位は%である。例えば、オーバーロード運航の ACR/PCR として 1.1 を想定した場合の p (1.1)が 5%の場合、DSWL (1.1)の同一位置走行回数は 36,500 回に 5%を乗じた 1,825 回であり、DSWL (1.0)の同一位置走行回数は残りの 34,675 回である。
 - ・ 累積疲労度 FD (ACR/PCR) :
オーバーロード運航として任意の ACR/PCR を想定した場合の累積疲労度。単位は無次元である。例えば ACR/PCR = 1.0 を想定した場合の FD (1.0)は 1.0 である。また、オーバーロード運航の ACR/PCR = 1.1 を想定した場合、前述の例を用いれば、全走行回数 36,500 回のうち 1,825 回については DSWL (1.1)を、残りの 34,675 回については DSWL (1.0)を用いて算出した累積疲労度の合計が FD (1.1)となる。
- (2) 検討対象の舗装の DSWL 及び PCR を算出する。なお、この DSWL は DSWL (1.0)である。
- (3) 2022ADM の記述を参考に、PCR の算出で用いる同一位置走行回数 36,500 回のうち、 p (1.1)=5%にあたる 1,825 回は DSWL (1.1)が、残りの 95%にあたる 34,675 回は DSWL (1.0)が同一位置を走行するものと想定する。
- (4) (3)の DSWL (1.0)、DSWL (1.1)及びそれぞれの同一位置走行回数を用い、(2)の舗装に生じる FD (1.1)を算出する。PCR は DSWL (1.0)が同一位置を 36,500 回走行することで FD が 1.0 となるよう算出されているため、DSWL (1.0)よりも大きな DSWL (1.1)が全体の 5%の回数だけ走行することとなれば、自ずと FD (1.1)は 1.0 を超過することとなる。(5)の ACR/PCR が 1.2 以上の検討では、累積疲労度を、この FD (1.1)の値まで許容するものとする。
- (5) オーバーロード運航の ACR/PCR として 1.2 を想定し、DSWL (1.2)を混入させた場合の FD (1.2)が、(4)で算出した FD (1.1)と等しくなる p (1.2)を算出する。(3)(4)で想定した DSWL (1.1)よりも大きな DSWL (1.2)を混入させているため、 p (1.2)は p (1.1)よりも小さくなる。ACR/PCR=1.3, 1.4, 1.5 の場合の p (1.3), p (1.4), p (1.5)も同様に算出する。

5.2 オーバーロード運航許容率

経験的設計法による表-5.2 のアスファルト舗装構造及び表-5.3 のコンクリート舗装構造を基に、ACR/PCR を 1.1, p (1.1)を 5%として算出した累積疲労度 FD (1.1)を表-5.4 に示す。どちらの舗装種別でも、舗装構造条件による FD (1.1)の差は小さいため、 p (1.2)~ p (1.5)を算出する際に基準とする FD (1.1)としては、アスファルト舗装では全 20 ケースの平均値である 1.142 を、コンクリート舗装では全 10 ケースの平均値である 1.189 を採用することとした。

次に、ACR/PCR を 1.2~1.5 とした場合について、FD (1.2)~FD (1.5)の平均値が FD (1.1)と同一となるよう p (1.2)~ p (1.5)を算出した。その結果を表-5.5 に示す。これによれば、ACR/PCR によらず、オーバーロード運航許容率はコンクリート舗装の方が若干小さいことがわかる。

表-5.2 検討に使用したアスファルト舗装構造

設計 航空機 荷重区分	路床強度 カテゴリー	基準 舗装厚 (mm)	表層		路盤		路床 弾性 係数 (MPa)
			層厚 (mm)	弾性 係数 (MPa)	層厚 (mm)	弾性 係数 (MPa)	
LA-1	A	570	127	1,379	443	600	200
	B	830	127	1,379	703	360	120
	C	1,160	127	1,379	1,033	240	80
	D	1,640	127	1,379	1,513	150	50
LA-12	A	490	127	1,379	363	594	200
	B	720	127	1,379	593	360	120
	C	990	127	1,379	863	240	80
	D	1,410	127	1,379	1,283	150	50
LA-2	A	430	76	1,379	354	587	200
	B	560	76	1,379	484	513	120
	C	730	76	1,379	654	400	80
	D	1,000	76	1,379	924	250	50
LA-3	A	410	76	1,379	334	572	200
	B	510	76	1,379	434	481	120
	C	670	76	1,379	594	400	80
	D	900	76	1,379	824	250	50
LA-4	A	370	76	1,379	294	540	200
	B	370	76	1,379	294	381	120
	C	500	76	1,379	424	366	80
	D	670	76	1,379	594	250	50

※ポアソン比は全ての層で0.35

表-5.3 検討に使用したコンクリート舗装構造

設計 航空機 荷重区分	路床強度 カテゴリー	コンクリート版			路盤 K (MN/m ³)
		版厚 (mm)	弾性係数 (MPa)	ポアソン 比	
LA-1	A	360	34,000	0.15	150
	B	420	34,000	0.15	70
LA-12	A	320	34,000	0.15	150
	B	360	34,000	0.15	70
LA-2	A	310	34,000	0.15	150
	B	340	34,000	0.15	70
LA-3	A	280	34,000	0.15	150
	B	300	34,000	0.15	70
LA-4	A	210	34,000	0.15	150
	B	220	34,000	0.15	70

表-5.4 ACR/PCR を 1.1 とした場合の累積疲労度 FD (1.1)

設計航空機 荷重区分	累積疲労度 FD (1.1)	
	アスファルト舗装	コンクリート舗装
LA-1	1.100～1.175	1.175～1.194
LA-12	1.133～1.178	1.177～1.197
LA-2	1.113～1.181	1.178～1.198
LA-3	1.135～1.167	1.180～1.200
LA-4	1.078～1.142	1.185～1.204
平均	1.142	1.189

表-5.5 ACR/PCR を 1.1～1.5 とした場合のオーバーロード運航許容率 p (ACR/PCR)

ACR/PCR	オーバーロード運航許容率 p (%)	
	アスファルト舗装	コンクリート舗装
1.1	5.00	5.00
1.2	1.60	0.92
1.3	0.72	0.21
1.4	0.40	0.05
1.5	0.25	0.01

5.3 まとめ

以上の結果から、我が国における ACR-PCR 法のオーバーロード運航の目安としては、コンクリート舗装に関して算出したオーバーロード運航許容率を参考に表-5.6 とした。コンクリート舗装の値を用いたのは、アスファルト舗装とコンクリート舗装で異なるオーバーロード運航の目安を設けると煩雑であるため統一することが望ましいこと、安全側の値を採用したことが理由である。なお、ACR/PCR=1.4 及び 1.5 の場合には、オーバーロード運航許容率が 0.1%未満と非常に小さいため、現行の目安と同様に「緊急機以外は不可」とした。

表-5.6 ACR-PCR 法における我が国のオーバーロード運航の目安

$\frac{ACR}{PCR} \leq 1.0$	無条件で運航可能
$1.0 < \frac{ACR}{PCR} \leq 1.1$	当該施設における当該機の 1 年間の走行回数が、当該施設における全航空機の 1 年間の走行回数の 5%以下の運航であれば可能
$1.1 < \frac{ACR}{PCR} \leq 1.2$	当該施設における当該機の 1 年間の走行回数が、当該施設における全航空機の 1 年間の走行回数の 0.9%以下の運航であれば可能
$1.2 < \frac{ACR}{PCR} \leq 1.3$	当該施設における当該機の 1 年間の走行回数が、当該施設における全航空機の 1 年間の走行回数の 0.2%以下の運航であれば可能
$1.3 < \frac{ACR}{PCR}$	緊急機以外は不可

6. 結論

本資料における結論を以下に記す。

- (1) 我が国のアスファルト舗装の PCR 算出方法は、2022ADM に記載されている ACR 算出方法を参考とし、路盤の弾性係数の設定を変更し、累積疲労度を用いる方法とした。具体的には 3.4.4 に記載のとおりである。
- (2) 我が国のコンクリート舗装の PCR 算出方法は、空港土木施設設計要領（舗装設計編）に記載されている理論的設計法を参考とし、累積疲労度を用いる方法とした。具体的には 4.4.3 に記載のとおりである。
- (3) 我が国のアスファルト舗装及びコンクリート舗装のオーバーロード運航の目安は、オーバーロード運航を想定した累積疲労度を基に定めた。具体的には 5.3 に記載のとおりである。

7. おわりに

この研究成果に基づく具体的な PCR 算出方法は、付録に示す国土交通省航空局「舗装強度の公示方法について（令和 5 年 10 月）」に掲載された。

(2023 年 8 月 30 日受付)

参考文献

- 1) 運輸省航空局：滑走路の強度の表示に関する調査報告書，1974.
- 2) 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，No.1196，2022.
- 3) 坪川将丈，水上純一，江崎徹，八谷好高：空港コンクリート舗装の温度応力に関する研究，国土技術政策総合研究所資料，No.341，2006.

舗装強度の公示方法について

令和5年10月

航空局安全部航空安全推進室

目 次

舗装強度の公示方法について

1. 序文	1
2. 舗装強度の公示	2
3. 舗装強度の算出方法	6
付録-1 主な航空機の ACR	17
付録-2 ACR 算出プログラム ICAO-ACR1.3 の概要	18
付録-3 PCR の算出例	20

1. 序文

昭和 56 年 11 月 26 日より ICAO が規定する舗装強度の公示方法は、「ACN—PCN (Aircraft Classification Number—Pavement Classification Number) 方式」が適用されることとなり、我が国においても「舗装強度の公示方法について」（昭和 56 年 10 月 27 日付け空建第 175 号）の通達により、昭和 56 年 12 月 1 日以降に航空路誌（AIP : Aeronautical Information Publication）で公示する舗装強度を SIWL（単車輪荷重）表示から ACN—PCN 方式に基づく PCN 表示に変更した。一方、航空法施行規則第 76 条等の規定により公示する滑走路の強度については、従前の SIWL を引き続き用いることとした。

AIP で公示する舗装強度は、航空機の運航を制限しない舗装強度を示すものであり、空港管理者、航空機運航者及び航空機製造者にとって重要な航空情報として利用されている。

その後、それまで示してきた図表による PCN 値の算出方法が、航空機の更新等に伴う舗装強度の増加に対応できないものであること、航空機の設計交通量を反映していないものであること、平成 20 年 7 月に改定した「空港舗装設計要領」の理論的設計法に対応できないものであることなどの理由から見直しを行い、平成 21 年 8 月 1 日以降は全面改定した「舗装強度の公示方法について」（平成 21 年 7 月 23 日付け国空技企第 46 号）を用いることとした。また、ICAO が許容タイヤ圧カテゴリーの数値を一部変更したことに伴い、平成 28 年 10 月 7 日に一部改定した。

令和 6 年 11 月 28 日より ICAO が規定する舗装強度の公示方法は、「ACR—PCR (Aircraft Classification Rating—Pavement Classification Rating) 方式」が適用されることとなり、我が国においても、AIP で公示する舗装強度を PCN 表示から PCR 表示に変更することとしたため、本資料は、これまでの「舗装強度の公示方法について」を全面改定したものとなっている。なお、航空法施行規則第 76 条等の規定により公示する滑走路の強度についても SIWL から PCR に変更する予定である。

2. 舗装強度の公示

AIPにおいて公示する滑走路等の舗装強度は、国際民間航空条約第14付属書(ICA0 Annex14)及び第15付属書(ICA0 Annex15)の規定に基づき、全備重量が5,700kgを超える航空機の使用を目的とする舗装強度は、ACR-PCR方式による表示とし、全備重量が5,700kg以下の航空機の使用を目的とする舗装強度は、最大許容航空機重量及び最大許容タイヤ圧表示としている。

2.1 全備重量が5,700kgを超える航空機の使用を目的とする舗装強度の公示

全備重量が5,700kgを超える航空機の使用を目的とする舗装強度は、PCR、舗装種別コード、路床強度カテゴリー、許容タイヤ圧カテゴリー、評価方法コードを公示する必要がある。(具体的な表示内容は、「3. 舗装強度の算出方法」を参照。)

この舗装強度はACR-PCR方式に基づくものであり、ACRは標準タイヤ圧1.50MPaにおける単車輪荷重(換算単車輪荷重、DSWL: Derived Single Wheel load)の2倍として規定されている。ACR及びPCRの定義は以下のとおりである。

- ・ACR: 標準路床強度の舗装に対する航空機の相対的な影響を表す数値
- ・PCR: 航空機の運航を制限しない舗装強度を表す数値

(1) ACR (Aircraft Classification Rating) : 航空機分類等級

ACRは、航空機が舗装に及ぼす影響をPCRと比較するために数値化したものであり、ICA0飛行場設計マニュアル第3部(ICA0 Aerodrome Design Manual Part3 Doc 9157)に標準的な算出手法が示されている。ACR算出方法の詳細は参考文献^リで解説されている。

ACRは同じ航空機であっても、重量、舗装種別、路床強度によってその数値が異なり、航空機製造者が発行するAirplane Characteristics等にACRが掲載されている。また、ICA0が作成しWEBで無償公開しているACR算出プログラムICA0-ACR 1.3によりACRを算出することも可能である。

参考として、付録-1に主な航空機のACRを、付録-2にACR算出プログラムICA0-ACR 1.3の概要を示している。

(2) PCR (Pavement Classification Rating) : 舗装分類等級

PCRは、航空機の運航を制限しない舗装強度を数値化したものであり、その数値及び算出方法は空港管理者が決定するものとなっている。

PCRは、空港管理者がその責任において決定するものであるが、国内空港の舗装強度の整合性、算出方法の合理性及び簡便性を考慮し、「3. 舗装強度の算出方法」に示す方法によって算出することが望ましい。PCR算出方法の詳細は参考文献^リで解説されている。

(3) ACR-PCR方式の使用方法

ACR-PCR方式は、舗装強度をAIPに公示し、空港管理者、航空機運航者及び航空機製造者の三者が以下に示す目的に応じて利用するものである。なお、ACR-PCR方式は、舗装の設計

のために用いるものではない。

- ・ 空港管理者 : 新しい航空機の運航可否の判断
- ・ 航空機運航者 : 運航可能な航空機と運航重量の判断
- ・ 航空機製造者 : 既存空港に適合可能な新型機材の開発

空港管理者は、新たな航空機を運航させる場合の可否判断に ACR-PCR 方式を用いることができる。

ACR \leq PCR の場合の航空機は、無条件で当該空港の滑走路等を使用することができるが、ACR $>$ PCR の航空機であっても、空港管理者の判断により条件付きで運航させることができる。この条件付きの運航をオーバーロード運航と呼んでいるが、オーバーロード運航の実施にあたっては、使用を予定する舗装の状況を点検し、特に顕著な異常がないことを確認した上で、次の値を目安として当該航空機の運航の可否を判断することができる。なお、走行回数とは、空港舗装の設計で用いられている設計反復作用回数ではない。また、施設毎の走行回数を確認するのが困難な場合は、滑走路の離着陸回数を参考としてもよい。

	$\frac{ACR}{PCR} \leq 1.0$: 無条件で運航可能
1.0 <	$\frac{ACR}{PCR} \leq 1.1$: 当該施設における当該機の 1 年間の走行回数が 当該施設における全航空機の 1 年間の走行回数の 5%以下の運航であれば可能
1.1 <	$\frac{ACR}{PCR} \leq 1.2$: 当該施設における当該機の 1 年間の走行回数が 当該施設における全航空機の 1 年間の走行回数の 0.9%以下の運航であれば可能
1.2 <	$\frac{ACR}{PCR} \leq 1.3$: 当該施設における当該機の 1 年間の走行回数が 当該施設における全航空機の 1 年間の走行回数の 0.2%以下の運航であれば可能
1.3 <	$\frac{ACR}{PCR}$: 緊急機以外は不可

(4) 舗装強度の公示における留意点

- ① AIP には、滑走路・誘導路・エプロンそれぞれの代表的な舗装厚により算出した PCR を公示することでよい。例えば、滑走路の部位に応じて舗装種別・舗装厚等が異なるからといって、滑走路の PCR を部位別に複数公示する必要はない。具体的には②～⑥を参考にするとよい。
- ② 滑走路では、端部縁端帯・中間部中央帯・中間部縁端帯で舗装を減厚しているため、基本的には最も舗装が厚い端部中央帯の舗装厚による PCR を公示するとよい。その他、大部分がアスファルト舗装で端部のみがコンクリート舗装である滑走路や、滑走路延長により延長部のみ舗装厚が異なる滑走路があるが、滑走路の PCR を部位別に複数公示する必要はない。
- ③ 誘導路では、誘導路別に PCR を公示する必要はなく、誘導路の代表的な舗装厚による PCR を算出し、複数の誘導路を一括して PCR を公示することでよい。代表的な舗装厚が決め難い場合は、航空機の使用頻度の高い末端取付誘導路・平行誘導路の舗装厚や、想定される何らかの航空機の ACR に対して最も有利となる（ACR/PCR が最も小さくなる）誘導路の舗装厚を採用するとよい。ただし、一部の小型機用誘導路のように、設計荷重や舗装厚が周囲と明らかに異なる範囲は、誘導路を一括して PCR を公示するのではなく、それぞれの範囲の PCR を公示するとよい。
- ④ エプロンでは、滑走路・誘導路と同様に考えるとよい。ただし、エプロンの一部を占める小型機用エプロンのように、設計荷重や舗装厚が周囲と明らかに異なる範囲は、エプロンを一括して PCR を公示するのではなく、それぞれの範囲の PCR を公示するとよい。
- ⑤ 栈橋上に設置されている施設、アスファルト舗装下に旧舗装のコンクリート版が残置されている施設、プレキャストコンクリート舗装を採用している施設のような特殊な舗装構造の PCR を算出することは難しいため、その周囲の一般的な舗装構造（アスファルト舗装であれば表基層・路盤・路床、コンクリート舗装であれば無筋コンクリート版・路盤・路床）による PCR を公示するとよい。
- ⑥ 半たわみ性舗装はアスファルト舗装と同様に扱う。
- ⑦ AIP 以外の文書等で PCR を示す場合は、PCR のみではなく、例のように舗装種別コード及び路床強度カテゴリーを併記する必要がある。これは、同一機材であっても舗装種別コード及び路床強度カテゴリーに応じて 8 種類の ACR が存在するため、PCR のみを示しても ACR と比較ができないためである。

（例）当空港の滑走路の PCR は 800（舗装種別コード F、路床強度カテゴリー B）であるため、ACR が 800（舗装種別コード F、路床強度カテゴリー B）を超過する航空機を使用してはならない。

2.2 全備重量が 5,700kg 以下の航空機の使用を目的とする舗装強度の公示

全備重量（AUW：All-up weight）が 5,700kg 以下の航空機の使用を目的としている舗装強度は、その舗装が支持できる最大許容航空機重量と最大許容タイヤ圧を公示する必要がある。我が国においては、現設計要領の LSA-1 又は 1982 年以前の旧設計要領 LA-5（設計対象航空機：ドルニエ 228-200, 5,700kg）以下で設計する 800m 級滑走路の STOL 空港が概ねこれに該当する。

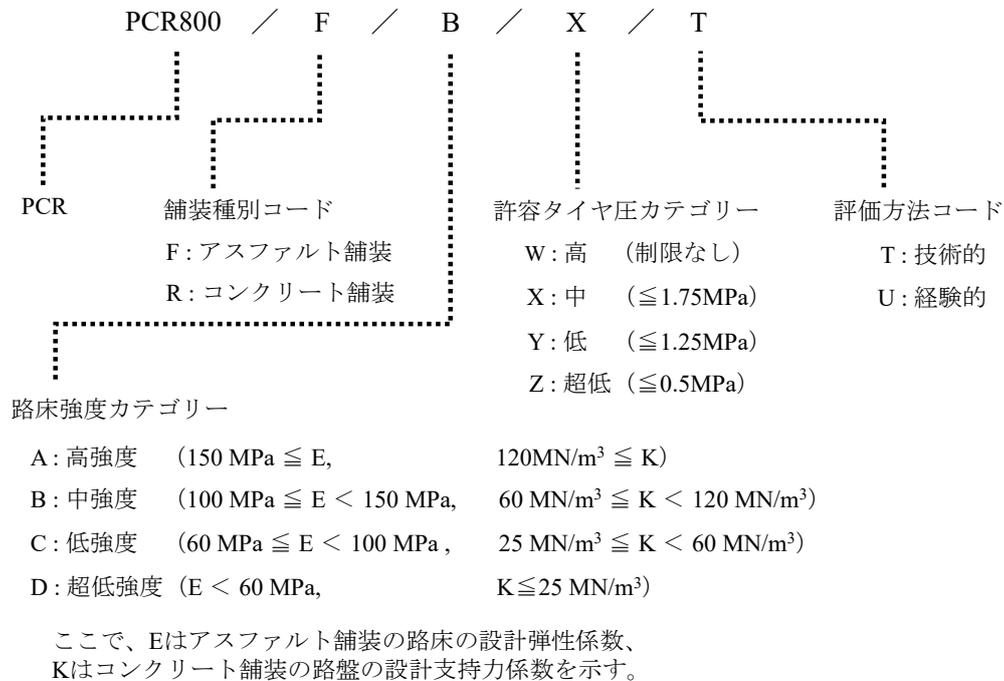
（例）LSA-1 舗装で設計対象航空機がドルニエ 228-200（全備重量 5,700kg, タイヤ接地圧 0.48MPa）の場合は以下のとおり公示する。なお、ドルニエ 228-212 の場合は、全備重量が 6,430kg であるため PCR 表示で公示することになる。

AUW 5,700kg／0.48MPa

3. 舗装強度の算出方法

3.1 舗装強度の表示内容

ACR-PCR 方式による舗装強度は、次のように表示する。



3.2 PCR

(1) アスファルト舗装

(a) 経験的設計法による場合

現設計要領で示す経験的設計法により設計する舗装のように、設計条件（設計荷重、設計反復作用回数、路床の設計 CBR）が明確である場合には、その舗装構造設計をもとに、次に示す①～④の手順により PCR を算出する。

① 基準舗装厚の算出

基準舗装厚とは、設計荷重、設計反復作用回数及び路床の設計 CBR から決定される通常の粒状材を路盤に用いた場合の表層から路盤までの舗装の総厚であり、現設計要領で示す経験的設計法による全備重量の航空機荷重が作用する区域の舗装厚（舗装区域による減厚を行わない舗装厚）である。

上層路盤、下層路盤に粒状材以外の材料を用いる舗装の場合には、表-1 及び表-2 に示す材料の等価値を用いて粒状材を用いた場合の路盤厚に換算し基準舗装厚を算出する。また、表・基層（ただし、グルーピングのために加算する 1cm 分は構造的な寄与がないと見なすため控除する。）は、路盤のように換算しないでそのまま基準舗装厚に加えるが、舗

装の嵩上げによって旧表・基層を路盤として扱う場合には、表-3に示す表・基層の最小合計厚を越える厚さの旧表・基層をアスファルト安定処理材の等価値により換算し、基準舗装厚に加えることができる。ただし、嵩上げを実施した舗装の旧表・基層及び旧安定処理路盤を前述のように安定処理路盤として扱くと、就航が想定される機材の ACR を大幅に上回る PCR が算出される場合がある。そのため、等価値による換算を行わずに旧表・基層及び旧安定処理路盤の全部又は一部を粒状路盤として扱い算出した基準舗装厚や、同じ設計航空機荷重区分、設計反復作用回数 20,000 回及び路床の設計 CBR から経験的設計法により試算した基準舗装厚を用いることでもよい。

表-1 上層路盤材料の等価値

材料名	混合方法	主な材質	等価値
アスファルト安定処理材	中央プラント加熱混合	マーシャル安定度 (75 回) 4.90kN 以上	2.0
		マーシャル安定度 (50 回) 3.45kN 以上	1.5
セメント安定処理材	中央プラント混合	一軸圧縮強度 (材令 7 日) 2.9N/mm ² 以上	1.5
石灰安定処理材	中央プラント混合	一軸圧縮強度 (材令 14 日) 2.9N/mm ² 以上	1.5
水硬性粒度調整鉄鋼スラグ		一軸圧縮強度 (材令 14 日) 1.2N/mm ² 以上, 修正 CBR80 以上	1.5
粒度調整碎石	中央プラント混合	修正 CBR80 以上	1.0

表-2 下層路盤材料の等価値

材料名	混合方法	主な材質	等価値
アスファルト安定処理材	中央プラント加熱混合	マーシャル安定度 (50 回) 3.45kN 以上	2.0
セメント安定処理材	中央プラント混合	一軸圧縮強度 (材令 7 日) 2.0N/mm ² 以上	1.5
石灰安定処理材	中央プラント混合	一軸圧縮強度 (材令 14 日) 2.0N/mm ² 以上	1.5
粒状材		修正 CBR30 以上	1.0

表-3 表・基層の最小合計厚

設計荷重の区分	設計反復作用回数の区分	最小合計厚 (cm)	設計荷重の区分	設計反復作用回数の区分	最小合計厚 (cm)
LA-1	a	14	LSA-1	a	4
	b	15		b	4
	c	15		c	4
	d	16	LSA-2	a	4
	e	17		b	4
LA-12	a	13	c	4	
	b	14	LT-1	a	10
	c	14		b	10
	d	15		c	10
	e	16	LT-12	a	9
a	12	b		9	
b	12	c		9	
LA-2	c	12	LT-2	a	8
	a	10		b	8
	b	10		c	8
LA-3	c	10			
	a	9			
	b	9			
LA-4	c	9			
	a	9			
	b	9			

② 設計反復作用回数による基準舗装厚の補正

PCR は、設計反復作用回数が 20,000 回に相当する舗装厚をもとに算出するため、設計反復作用回数が 20,000 回以外の場合には、①で算出した基準舗装厚を以下の(1)式に代入して PCR 算出用設計反復作用回数 20,000 回の基準舗装厚に換算する必要がある。

なお、(1)式の設計反復作用回数 N は、現設計要領における設計供用期間 20 年の値を用いるため、旧設計要領で標準としていた設計年数 10 年の舗装構造の場合は 2 倍の値を入力する。

$$t_{20000} = t \times \frac{0.23 \cdot \log_{10}(20000/2) + 0.15}{0.23 \cdot \log_{10}(N/2) + 0.15} \quad \dots \dots \dots \quad (1)式$$

t_{20000} : PCR 算出用設計反復作用回数 20,000 回の基準舗装厚 (mm)

t : ①で算出した基準舗装厚 (mm)

N : PCR を算出したい舗装の設計反復作用回数

③ 路床の設計弾性係数の算出

路床の設計弾性係数 E は、 $E \text{ (MPa)} = 10 \cdot \text{CBR (\%)}$ の関係を用いて設定する。

④ PCR の算出

PCR は、②で得られた基準舗装厚 (t_{20000}) と③で得られた路床の設計弾性係数を用いて表-4 から以下のように算出する。

- ・ ②で得られた基準舗装厚及び③で得られた路床の設計弾性係数に応じて、最も近い 2 つの PCR を用いて比例補間により算出する。
- ・ 比例補間により算出した PCR は小数点以下を切り捨てる。

(b) 理論的設計法等による場合

現設計要領で示す理論的設計法による舗装構造設計の場合も、経験的設計法の場合と同様の手順により PCR を算出する。この場合、以下を参考にするとよい。

- ・ 路床の設計弾性係数は、経験的設計法と同様に $E(\text{MPa}) = 10 \cdot \text{CBR}(\%)$ の関係を用いて設定するか、理論的設計法で採用した路床の設計弾性係数を採用するとよい。
- ・ 理論的設計法では経験的設計法よりも薄い舗装厚が算出される場合があるため、同じ設計航空機荷重区分、設計反復作用回数 20,000 回及び路床の設計 CBR から経験的設計法により試算した基準舗装厚を用いることでもよい。

表-4 アスファルト舗装の PCR 一覧表 (その1)

基準舗装厚 t ₂₀₀₀₀ (mm)	設計航空機荷重区分LA-1・LA-12 (設計対象航空機が1脚4輪または1脚6輪)																		
	E: 路床の設計弾性係数 (MPa)																		
	200 以上	190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20 以下
300	208	199	189	180	171	162	153	144	135	126	117	108	99	90	80	71	62	52	41
350	278	265	252	240	227	215	202	190	178	165	153	141	128	116	103	90	77	63	49
400	362	345	328	312	295	279	262	246	229	211	194	177	160	143	126	110	93	75	57
450	461	439	418	397	373	349	326	303	281	259	237	216	194	173	152	131	110	88	66
500	574	543	512	482	452	423	394	366	339	312	285	258	232	206	180	155	129	103	76
550	688	649	612	575	539	504	469	435	402	369	337	305	273	242	211	180	149	118	86
600	811	765	721	677	634	592	551	511	471	432	394	356	318	281	245	208	172	135	98
700	1,090	1,028	967	907	849	792	735	681	626	574	521	470	419	369	320	270	221	172	123
800	1,411	1,329	1,250	1,172	1,096	1,021	948	876	805	736	668	601	535	470	406	342	278	215	152
900	1,775	1,671	1,570	1,471	1,375	1,280	1,188	1,097	1,008	920	834	749	666	584	503	422	343	263	184
1000	2,180	2,052	1,927	1,806	1,686	1,570	1,455	1,343	1,234	1,125	1,019	915	812	711	611	512	414	317	219
1100	2,626	2,472	2,322	2,174	2,030	1,889	1,751	1,615	1,483	1,352	1,224	1,098	973	851	731	611	493	376	259
1200	3,116	2,932	2,753	2,577	2,406	2,238	2,075	1,913	1,754	1,600	1,447	1,298	1,150	1,005	861	720	580	441	302
1300	3,647	3,431	3,221	3,015	2,814	2,617	2,425	2,235	2,051	1,868	1,690	1,514	1,341	1,171	1,003	838	674	511	349
1400	4,220	3,969	3,725	3,487	3,254	3,026	2,803	2,584	2,370	2,158	1,951	1,748	1,548	1,351	1,157	965	775	587	399
1500	4,834	4,546	4,267	3,993	3,726	3,464	3,209	2,957	2,711	2,469	2,232	1,999	1,770	1,544	1,321	1,102	884	668	453
1600	5,489	5,162	4,845	4,533	4,230	3,932	3,641	3,357	3,076	2,801	2,532	2,267	2,006	1,750	1,497	1,247	1,000	755	511
1700	6,186	5,817	5,459	5,108	4,765	4,430	4,100	3,780	3,464	3,154	2,850	2,552	2,258	1,969	1,684	1,403	1,124	848	573
1800	6,922	6,511	6,109	5,716	5,332	4,956	4,589	4,229	3,875	3,528	3,188	2,854	2,526	2,201	1,882	1,567	1,255	946	638
1900	7,703	7,244	6,796	6,359	5,931	5,513	5,102	4,703	4,309	3,923	3,545	3,173	2,807	2,446	2,091	1,741	1,394	1,050	708
2000	8,524	8,016	7,519	7,035	6,561	6,098	5,645	5,201	4,766	4,339	3,919	3,508	3,103	2,704	2,311	1,924	1,540	1,159	780
2100	9,385	8,826	8,279	7,745	7,223	6,712	6,212	5,723	5,243	4,774	4,313	3,859	3,414	2,975	2,543	2,115	1,693	1,274	857
2200	10,289	9,675	9,075	8,489	7,916	7,356	6,808	6,271	5,747	5,231	4,725	4,228	3,740	3,259	2,785	2,317	1,854	1,395	938
2300	11,233	10,562	9,907	9,266	8,641	8,029	7,432	6,844	6,271	5,708	5,156	4,613	4,081	3,556	3,038	2,527	2,022	1,521	1,022
2400	12,218	11,488	10,774	10,078	9,398	8,732	8,080	7,444	6,818	6,206	5,606	5,015	4,436	3,865	3,303	2,747	2,198	1,653	1,110
2500	13,244	12,452	11,678	10,923	10,185	9,463	8,757	8,066	7,389	6,724	6,073	5,435	4,805	4,187	3,578	2,976	2,380	1,790	1,201
2600	14,311	13,455	12,618	11,802	11,004	10,224	9,461	8,714	7,982	7,264	6,561	5,869	5,190	4,522	3,864	3,212	2,570	1,932	1,297
2700	15,420	14,496	13,595	12,715	11,854	11,013	10,191	9,385	8,596	7,824	7,066	6,320	5,590	4,870	4,160	3,459	2,768	2,080	1,396
2800	16,568	15,576	14,607	13,661	12,736	11,832	10,948	10,083	9,235	8,404	7,590	6,789	6,004	5,230	4,468	3,716	2,972	2,234	1,499
2900	17,759	16,695	15,656	14,640	13,649	12,679	11,731	10,803	9,895	9,005	8,131	7,275	6,432	5,604	4,787	3,981	3,184	2,393	1,605
3000	18,991	17,852	16,740	15,653	14,592	13,555	12,543	11,549	10,576	9,626	8,692	7,776	6,875	5,989	5,116	4,254	3,403	2,557	1,715

※空港土木施設設計要領(舗装設計編)に掲載されている設計航空機荷重区分 LA-1、設計反復作用回数 20,000 回の基準舗装厚の最大値(2,850mm)を参考に、3,000mm までの PCR を示している。

表-4 アスファルト舗装のPCR一覧表（その2）

基準舗装厚 t ₂₀₀₀₀ (mm)	設計航空機荷重区分LA-2・LA-3・LA-4 (設計対象航空機が1脚1輪または1脚2輪)																		
	E：路床の設計弾性係数 (MPa)																		
	200 以上	190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20 以下
300	190	181	172	163	153	145	136	127	118	109	100	91	83	74	65	56	47	38	28
350	262	249	236	224	211	199	187	174	162	150	138	126	114	101	89	77	65	52	39
400	348	331	314	298	281	265	249	232	216	200	184	168	152	135	119	103	87	69	49
450	449	427	406	385	364	343	322	301	280	259	239	218	197	177	156	135	111	85	59
500	565	539	512	486	459	433	407	381	355	329	303	277	251	225	197	166	134	103	71
550	698	665	633	600	568	537	504	473	440	409	377	345	313	275	236	198	160	122	84
600	845	806	768	729	691	652	614	576	537	499	460	420	372	325	279	233	188	143	98
700	1,187	1,135	1,083	1,030	977	924	871	817	765	699	632	566	501	437	375	313	252	191	130
800	1,593	1,525	1,456	1,387	1,318	1,248	1,179	1,090	998	908	820	734	650	567	485	405	325	246	167
900	2,064	1,976	1,889	1,802	1,714	1,615	1,494	1,374	1,258	1,144	1,033	924	817	713	610	508	408	308	208
1000	2,594	2,489	2,380	2,273	2,143	1,989	1,838	1,691	1,548	1,407	1,270	1,136	1,004	875	748	623	500	377	255
1100	3,186	3,058	2,930	2,780	2,588	2,401	2,219	2,041	1,867	1,697	1,532	1,369	1,211	1,055	901	750	601	453	306
1200	3,837	3,687	3,536	3,303	3,074	2,851	2,634	2,423	2,216	2,014	1,817	1,624	1,435	1,251	1,069	890	712	537	362
1300	4,545	4,371	4,147	3,870	3,602	3,340	3,085	2,837	2,595	2,358	2,127	1,901	1,680	1,463	1,250	1,040	833	627	423
1400	5,312	5,111	4,803	4,483	4,171	3,868	3,573	3,285	3,003	2,729	2,461	2,199	1,943	1,692	1,445	1,202	962	725	488
1500	6,136	5,887	5,509	5,140	4,782	4,433	4,093	3,764	3,442	3,126	2,818	2,519	2,225	1,937	1,654	1,376	1,101	830	558
1600	7,017	6,692	6,261	5,842	5,434	5,037	4,652	4,276	3,908	3,550	3,201	2,859	2,526	2,198	1,877	1,561	1,249	941	633
1700	7,961	7,550	7,063	6,589	6,128	5,680	5,244	4,820	4,405	4,001	3,607	3,222	2,845	2,475	2,113	1,758	1,407	1,059	713
1800	8,965	8,458	7,911	7,380	6,863	6,361	5,871	5,396	4,932	4,478	4,036	3,605	3,183	2,769	2,364	1,966	1,573	1,185	797
1900	10,046	9,417	8,808	8,216	7,640	7,080	6,535	6,004	5,487	4,982	4,490	4,009	3,540	3,080	2,629	2,186	1,749	1,317	886
2000	11,122	10,429	9,754	9,097	8,459	7,838	7,234	6,645	6,072	5,513	4,968	4,435	3,915	3,406	2,907	2,417	1,934	1,456	980

※空港土木施設設計要領（舗装設計編）に掲載されている設計航空機荷重区分 LA-2、設計反復作用回数 20,000 回の基準舗装厚の最大値（1,710mm）を参考に、2,000mm までの PCR を示している。

(2) コンクリート舗装

コンクリート舗装の PCR の算出方法は、通常の無筋コンクリート舗装を対象としている。このため、プレキャストコンクリート舗装等の特殊なコンクリート舗装の場合には、その周囲の一般的な舗装構造（無筋コンクリート版・路盤・路床）により PCR を算出するとよい。

なお、航空機製造者によるコンクリート舗装の ACR の算出では路床の設計弾性係数が用いられているが、我が国の空港管理者によるコンクリート舗装の PCR の算出では路盤の設計支持力係数を用いる。これは、路盤厚の設計で使用された路床の設計用値を設計書等で確認することが難しいため、従来の PCN と同様に、コンクリート版厚の設計で使用された路盤の設計支持力係数を用いることとしたためである。

(a) 経験的設計法による場合

現設計要領で示す経験的設計法により設計が行われている舗装のように、設計条件（設計荷重、設計反復作用回数、路盤の設計支持力係数）が明確である場合には、その舗装構造設計をもとに、次に示す①～③の手順により PCR を算出する。

① 換算コンクリート版厚の算出

PCR は、設計反復作用回数が 20,000 回に相当するコンクリート版厚をもとに算出するため、設計反復作用回数が 20,000 回以外の場合には、実際のコンクリート版厚に、表-5 に示す補正係数を乗じて換算コンクリート版厚を算出する必要がある。

なお、表-5 の設計反復作用回数は、現設計要領における設計供用期間 20 年の値を用いるため、旧設計要領で標準としていた設計年数 10 年の舗装構造の場合は 2 倍の値を用いる。

表-5 換算コンクリート版厚の補正係数

設計反復作用回数の区分	設計反復作用回数※	補正係数
M	6,000 回	1.1352
N	10,000 回	1.0000
	20,000 回	
O	40,000 回	0.9334
	80,000 回	

※ 現設計要領で示す設計反復作用回数（設計供用期間 20 年）

② 路盤の設計支持力係数の確認

実際のコンクリート版厚の設計に用いられた路盤の設計支持力係数を設計書等で確認する。

③ PCR の算出

PCR は、①で得られた換算コンクリート版厚と②で確認した路盤の設計支持力係数を用いて表-6 から以下のように算出する。

- ・ ①で得られた換算コンクリート版厚及び②で確認した路盤の設計支持力係数に応じて、最も近い2つの PCR を用いて比例補間により算出する。
- ・ 比例補間により算出した PCR は小数点以下を切り捨てる。

(b) 理論的設計法等による場合

現設計要領で示す理論的設計法による舗装構造設計の場合も、経験的設計法の場合と同様の手順により PCR を算出する。この場合、以下を参考にするとよい。

- ・ 理論的設計法では経験的設計法よりも薄いコンクリート版厚が算出される場合があるため、同じ設計航空機荷重区分、設計反復作用回数 20,000 回及び路盤の設計支持力係数から経験的設計法により試算したコンクリート版厚を用いることでもよい。

表-6 コンクリート舗装のPCR一覧表

換算コンクリート版厚 (mm)	K : 路盤の設計支持力係数 (MN/m ³)													
	150 以上	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20 以下
200	289	286	283	279	275	271	267	262	257	251	245	238	229	219
210	319	315	312	308	303	299	294	289	283	277	270	262	253	240
220	350	346	342	338	333	328	322	317	310	304	296	287	277	264
230	383	379	374	369	364	358	352	346	339	332	323	314	302	288
240	417	412	407	402	396	390	384	377	369	361	352	341	329	313
250	453	448	442	436	430	423	416	409	400	391	381	370	356	339
260	490	484	478	472	465	458	450	442	433	423	412	400	385	366
270	529	523	516	509	501	494	485	476	467	456	445	431	415	395
280	569	562	555	547	539	531	522	512	502	491	478	463	446	424
290	611	604	596	588	579	570	560	550	538	526	512	497	478	454
300	654	646	638	629	620	610	599	588	576	563	548	531	511	486
310	699	691	681	672	662	651	640	628	615	601	585	567	546	518
320	746	736	727	716	706	694	682	670	656	640	623	604	581	552
330	794	784	773	762	751	739	726	712	697	681	663	642	618	587
340	843	832	821	810	797	784	771	756	740	723	704	682	655	622
350	894	883	871	858	845	832	817	801	785	766	746	722	694	659
360	947	935	922	909	895	880	865	848	830	811	789	764	734	697
370	1,001	988	975	961	946	930	914	896	877	856	833	807	775	736
380	1,057	1,043	1,029	1,014	998	982	964	946	925	903	879	851	818	776
390	1,114	1,100	1,084	1,069	1,052	1,035	1,016	996	975	952	926	896	861	817
400	1,173	1,158	1,142	1,125	1,107	1,089	1,069	1,048	1,026	1,001	974	943	906	859
410	1,234	1,217	1,200	1,183	1,164	1,145	1,124	1,102	1,078	1,052	1,023	990	951	902
420	1,296	1,278	1,260	1,242	1,222	1,202	1,180	1,157	1,132	1,104	1,074	1,039	998	946
430	1,359	1,341	1,322	1,303	1,282	1,260	1,237	1,213	1,187	1,158	1,126	1,089	1,046	992
440	1,425	1,405	1,386	1,365	1,343	1,320	1,296	1,270	1,243	1,212	1,179	1,141	1,095	1,038
450	1,491	1,471	1,450	1,429	1,406	1,382	1,357	1,329	1,300	1,269	1,233	1,193	1,146	1,086
460	1,560	1,539	1,517	1,494	1,470	1,445	1,418	1,390	1,359	1,326	1,289	1,247	1,197	1,134
470	1,630	1,608	1,585	1,561	1,536	1,509	1,481	1,452	1,419	1,385	1,346	1,302	1,249	1,184
480	1,702	1,678	1,654	1,629	1,603	1,575	1,546	1,515	1,481	1,444	1,404	1,358	1,303	1,234
490	1,775	1,751	1,725	1,699	1,671	1,642	1,612	1,579	1,544	1,506	1,463	1,415	1,358	1,286
500	1,850	1,824	1,798	1,770	1,742	1,711	1,679	1,645	1,608	1,568	1,524	1,473	1,414	1,339

3.3 舗装種別コード

舗装強度を表示する舗装の種別により、表-7 に示すコードを表示する。

表-7 舗装種別コード

区分	コード
アスファルト舗装	F
コンクリート舗装	R

3.4 路床強度カテゴリー

アスファルト舗装の場合は、PCR の算出で用いた路床の設計弾性係数により表-8 に示すカテゴリーを表示する。

コンクリート舗装の場合は、3.2(2)に示す理由により、PCR の算出で用いた路盤の設計支持力係数により表-8 に示すカテゴリーを表示する。

なお、路床強度カテゴリーの分類は従来の PCN とは大きく異なることから、路床強度カテゴリーの選択においては十分に留意する必要がある。

表-8 路床強度カテゴリー

カテゴリー	アスファルト舗装	コンクリート舗装
	E の範囲	K の範囲
A : 高強度	150MPa 以上	120MN/m ³ 以上
B : 中強度	100MPa 以上 150MPa 未満	60MN/m ³ 以上 120MN/m ³ 未満
C : 低強度	60MPa 以上 100MPa 未満	25MN/m ³ 以上 60MN/m ³ 未満
D : 超低強度	60MPa 未満	25MN/m ³ 未満

※E：路床の設計弾性係数、K：路盤の設計支持力係数

3.5 許容タイヤ圧カテゴリー

許容タイヤ圧カテゴリーは、コンクリート舗装の場合は W を、半たわみ性舗装の場合は X を表示する。アスファルト舗装の場合は、表層アスファルト混合物の配合設計で指定したマーシャル安定度が 8.8kN 以上の場合は X を、4.9kN 以上の場合は Y を表示する。なお、空港土木工事共通仕様書では、設計航空機荷重区分が LA-4 以上の場合は配合設計で指定するマーシャル安定度を 8.8kN 以上、LSA-1 以下の場合は 4.9kN 以上としているため、PCR を公示する空港では、特殊な場合を除き X を選択することとなる。

表-9 許容タイヤ圧カテゴリー

区 分		カテゴリー
高	圧力制限なし	W
中	圧力は 1.75MPa に制限	X
低	圧力は 1.25MPa に制限	Y
超低	圧力は 0.50MPa に制限	Z

3.6 評価方法コード

PCR の算出方法を評価し、表-10 に示すコードを表示する。

なお、これまで示した算出方法は、舗装特性を考慮した「技術的評価」に該当するが、就航している航空機の運航実績をもとに当該航空機の ACR を PCR として表示する場合は「経験的評価」となる。

表-10 評価方法コード

区 分		コード
技術的評価	舗装の特性及び強度に関する技術的知見を基にした評価方法	T
経験的評価	通常運航のもとで舗装が十分に耐えられる特定の航空機型式及び重量に関する経験的知見を基にした評価方法	U

参考文献

- 1) 坪川将丈：空港舗装の PCR 算出方法の研究，国土技術政策総合研究所資料，2023.9

付録-1 主な航空機の ACR

航空機の 種類	最大 総質量 (t)	主脚の荷 重負担率	タイヤ 接地圧 (MPa)	ACR								ACRを参照した Airplane Characteristics の公開年月
				コンクリート舗装				アスファルト舗装				
				A	B	C	D	A	B	C	D	
A300-600	172.6	0.475	1.34	150≤E	100≤E<150	60≤E<100	E<60	150≤E	100≤E<150	60≤E<100	E<60	未掲載
A300-B2	142.0	0.469	1.24	380	460	520	580	330	360	420	550	未掲載
A300-B4	165.0	0.468	1.24	480	570	640	710	390	440	530	720	未掲載
A319-100	76.9	0.457	1.38	460	480	490	510	350	370	410	450	2022年3月
A320-200	78.4	0.464	1.44	480	500	520	530	370	390	430	470	2022年3月
A320neo	79.4	0.463	1.44	490	510	520	540	370	400	430	480	2022年3月
A321-200	93.9	0.476	1.50	620	640	660	680	470	500	550	630	2022年3月
A321neo	97.4	0.475	1.57	650	680	690	710	490	530	580	660	2022年3月
A330-200	242.9	0.463	1.47	630	730	810	920	580	600	660	820	2022年8月
A330-300	242.9	0.469	1.49	650	740	830	930	590	610	670	830	2022年8月
A330-900	251.9	0.469	1.56	690	790	880	990	620	650	710	880	2022年8月
A340-300	275.9	0.397	1.42	600	690	780	880	560	580	640	770	2022年8月
A340-600	381.2	0.317	1.61	720	820	920	1,030	640	660	730	900	2022年8月
A350-900	280.9	0.469	1.71	750	850	950	1,060	700	710	760	910	2022年5月
A350-1000	319.9	0.469	1.56	700	880	1,040	1,200	530	570	700	1,070	2022年5月
A380-800	577.0	0.283	1.50	660	840	1,010	1,190	560	590	660	940	2020年11月
B727-200	78.5	0.485	1.27	510	530	550	570	380	420	460	530	未掲載
B737-200	52.6	0.455	1.25	300	320	330	340	230	250	270	300	未掲載
B737-400	68.3	0.469	1.27	430	450	470	480	320	350	390	450	未掲載
B737-500	60.8	0.461	1.34	370	390	400	410	280	300	330	380	未掲載
B737-700	69.6	0.466	1.41	430	450	460	480	330	350	380	430	未掲載
B737-800	78.5	0.475	1.41	510	530	540	560	380	410	450	510	未掲載
B737-900	79.2	0.468	1.41	500	520	540	560	380	410	450	510	未掲載
B737-MAX8	82.9	0.467	1.46	533	554	570	586	399	434	474	537	2022年5月
	43.1			244	256	265	275	200	207	215	235	
B747-100	323.4	0.234	1.51	450	520	580	650	390	410	450	590	未掲載
B747-200B	352.8	0.236	1.37	500	580	650	730	420	450	520	700	未掲載
B747-300	379.1	0.228	1.31	510	610	690	770	430	470	540	750	未掲載
B747-400	397.8	0.233	1.38	580	680	770	850	470	520	610	830	未掲載
B747-400D	278.3	0.241	1.13	340	400	460	530	320	340	380	470	未掲載
B747-8	449.1	0.237	1.52	720	840	930	1,030	560	620	730	1,050	未掲載
B747-SR	273.5	0.241	1.23	340	400	460	520	320	340	370	460	未掲載
B757-200	116.1	0.456	1.26	310	370	420	470	260	290	340	450	未掲載
B757-300	122.9	0.463	1.34	360	420	470	530	290	320	380	510	未掲載
B767-200	163.7	0.458	1.31	420	500	560	640	370	400	450	570	未掲載
B767-300	163.7	0.475	1.38	450	530	600	670	390	420	480	610	未掲載
B767-300ER	187.3	0.462	1.38	530	620	700	780	440	480	560	740	未掲載
B777-200	248.1	0.469	1.26	422	542	660	796	385	408	455	630	2022年12月
	137.1			196	216	247	302	214	217	224	245	
B777-200ER	298.5	0.459	1.41	575	742	885	1,043	471	503	587	881	2022年12月
	142.2			208	230	262	316	224	225	231	252	
B777-300	300.3	0.474	1.48	623	800	949	1,111	497	531	627	954	2022年12月
	159.2			251	285	332	404	262	263	273	308	
B777-300ER	352.4	0.462	1.52	787	1,006	1,178	1,360	577	629	787	1,232	2022年12月
	167.8			261	298	347	421	271	272	282	319	
B777-9	352.4	0.472	1.54	820	1,040	1,220	1,400	590	650	820	1,280	2023年2月 (Preliminary)
	158.8			250	280	330	400	260	260	270	300	
B787-8	228.4	0.456	1.57	670	790	870	970	550	590	690	910	2023年2月
	113.4			270	290	320	360	270	270	280	310	
B787-9	255.4	0.461	1.58	740	860	960	1,070	620	660	750	970	2023年2月
	113.4			260	280	310	340	270	270	280	290	
B787-10	254.7	0.466	1.54	740	870	970	1,080	620	660	760	990	2023年2月
	113.4			260	280	310	350	270	270	280	300	
DC9-41	52.2	0.468	1.22	330	340	350	370	240	270	300	350	未掲載
DC10-30	253.1	0.392	1.34	560	650	740	830	500	530	590	740	未掲載
DC10-40	253.1	0.392	1.34	560	650	740	830	500	530	590	740	未掲載
DHC8-100	15.7	0.471	0.58	70	80	80	90	50	60	80	90	未掲載
DHC8-300	19.6	0.470	0.77	100	110	120	120	70	90	100	130	未掲載
DHC8-400	29.3	0.466	1.07	180	190	190	200	130	150	170	200	未掲載
E170	36.2	0.470	0.96	190	200	210	220	150	160	180	200	未掲載
E190	48.0	0.463	1.11	250	270	280	300	200	220	230	260	未掲載
MD11	287.1	0.388	1.41	670	780	880	990	570	610	690	900	未掲載
MD81	64.0	0.478	1.30	420	440	450	470	310	350	390	450	未掲載
MD87	64.0	0.474	1.30	420	440	450	460	310	340	380	440	未掲載
MD90-30	71.2	0.483	1.31	490	510	520	530	350	400	460	520	未掲載
YS-11	23.5	0.451	0.53	80	90	100	110	60	80	90	110	未掲載

注1) 諸数値は、航空機製造者の Airplane Characteristics による。B777-9 は準備段階の値 (Preliminary Information) を示す。令和5年4月時点で Airplane Characteristics に ACR が掲載されていない機材については、ICAO-ACR 1.3 により算出した ACR を参考値として示している。

注2) 上段は最大重量、下段は最小重量の ACR であり、これらの中間重量の概算の ACR は比例補間により、正確な ACR は ICAO が WEB で無償公開している ACR 算出プログラム ICAO-ACR1.3 により算出する。

付録-2 ACR 算出プログラム ICAO-ACR1.3 の概要

ICAO が ACR 算出プログラム「ICAO-ACR1.3」を FAA（米国連邦航空局）の WEB で無償公開している。「ICAO ACR Program」で検索するとよい。

プログラム画面を付図-1 及び付図-2 に示す。ACR の算出には、舗装種別と航空機諸元の入力が必要である。航空機製造者が公開している Airplane Characteristics で確認した航空機諸元などを自由入力することが可能であるが、一部の機材については航空機諸元がプログラムに格納されており、これを選択することも可能である。なお、航空機重量や荷重負担率は主脚荷重を算出するためのものであるから、主脚荷重の値を基に航空機重量や荷重負担率を便宜的に設定することでもよい。

舗装種別と航空機諸元を入力し計算を開始すると、画面右側に 4 つの路床強度カテゴリー別の ACR が表示される。なお「ACR Thickness」は ACR を計算する過程で使用された舗装厚であり、アスファルト舗装の場合は表基層厚（1 脚 4 輪以上の場合は 127mm、1 脚 2 輪以下の場合は 76mm）と粒状路盤厚の合計、コンクリート舗装の場合はコンクリート版厚である。

ICAO-ACR1.3 では多層弾性解析により ACR を算出しているため、土木学会舗装工学委員会が WEB で無償公開している多層弾性解析プログラム GAMES を用いて ACR を算出することも可能である。詳細は参考文献¹⁾で解説されている。

The screenshot shows the ICAO-ACR software interface. The title bar indicates 'ICAO-ACR Version 1.32 Date December 9, 2020'. The interface is divided into several sections:

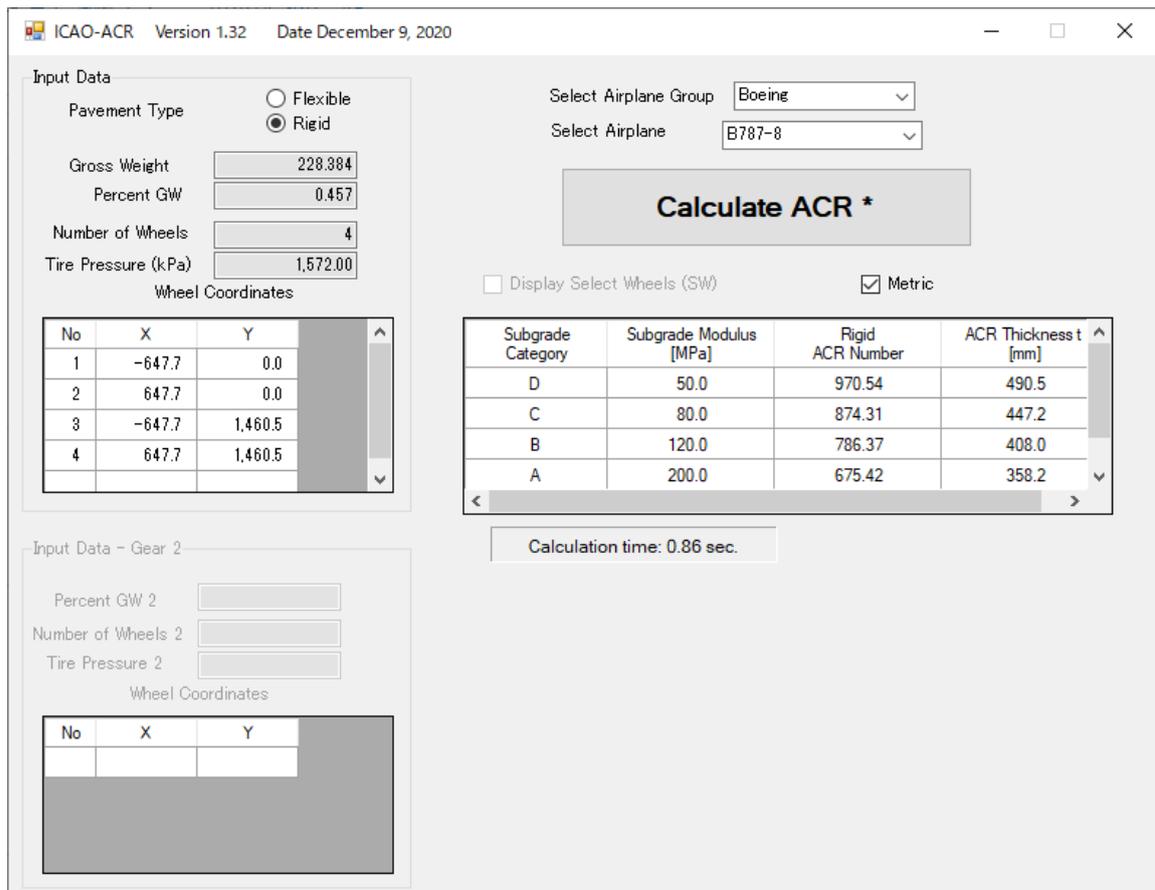
- Input Data:**
 - Pavement Type: Flexible, Rigid
 - Gross Weight: 228,384
 - Percent GW: 0.913
 - Number of Wheels: 8
 - Tire Pressure (kPa): 1,572.00
 - Wheel Coordinates table:

No	X	Y	SW
5	5,549.9	0.0	1
6	4,254.5	0.0	1
7	5,549.9	1,460.5	1
8	4,254.5	1,460.5	1
- Selections:**
 - Select Airplane Group: Boeing
 - Select Airplane: B787-8
- Buttons:** A large 'Calculate ACR *' button is present.
- Options:**
 - Display Select Wheels (SW)
 - Metric
- Results Table:**

Subgrade Category	Subgrade Modulus [MPa]	Flexible ACR Number	ACR Thickness t [mm]
D	50.0	908.10	989.1
C	80.0	689.35	767.6
B	120.0	592.21	621.9
A	200.0	550.31	494.0
- Calculation Time:** A box at the bottom indicates 'Calculation time: 1.32 sec.'
- Input Data - Gear 2:**
 - Percent GW 2: []
 - Number of Wheels 2: []
 - Tire Pressure 2: []
 - Wheel Coordinates table:

No	X	Y	SW

付図-1 計算完了時のプログラム画面（アスファルト舗装の場合）



付図-2 計算完了時のプログラム画面（コンクリート舗装の場合）

付録-3 PCR の算出例

(1) アスファルト舗装

1) 舗装の条件

付表-1 に示す条件のアスファルト舗装における PCR の算出を行う。

付表-1 アスファルト舗装条件

項目	内容	備考
設計航空機荷重区分	LA-1	
設計反復作用回数	10,000 回 (b 区分) 設計供用期間 20 年	
路床の設計 CBR	9.5%	
表・基層厚	16cm	アスファルトコンクリート グルーピング層 1cm 含む
上層路盤厚	15cm	アスファルト安定処理材 (マーシャル安定度 (75 回) 4.90kN 以上)
下層路盤厚	45cm	粒状材
全舗装厚	76cm	

2) 基準舗装厚の算出

上層路盤にアスファルト安定処理材を使用していることから、アスファルト安定処理材の等価値 2.0 を用いて上層路盤厚を粒状材厚に換算し、表・基層のグルーピング層の 1cm を控除すると、基準舗装厚（路盤を全て粒状材で構築した場合の路盤厚と表・基層厚の合計）は 900mm となる。

$$t = (\text{表・基層厚 } 16\text{cm} - \text{グルーピング層 } 1\text{cm}) + (\text{上層路盤厚 } 15\text{cm} \times \text{等価値 } 2.0) + \text{下層路盤厚 } 45\text{cm} = 90\text{cm} = 900\text{mm}$$

3) 設計反復作用回数による基準舗装厚の補正

本舗装は、現設計要領における設計供用期間 20 年に対する設計反復作用回数が 10,000 回であるため、PCR 算出用設計反復作用回数 20,000 回における基準舗装厚に補正する。

基準舗装厚 $t = 900\text{mm}$ 、設計反復作用回数 $N = 10,000$ 回より、 $t_{20000} = 962.266\text{mm}$ となる。

$$t_{20000} = t \times \frac{0.23 \log_{10}(20000/2) + 0.15}{0.23 \log_{10}(N/2) + 0.15} = 900 \times \frac{0.23 \log_{10}(20000/2) + 0.15}{0.23 \log_{10}(10000/2) + 0.15}$$

$$= 962.266\text{mm}$$

4) 路床強度カテゴリーの設定

路床の設計 CBR が 9.5%であるため、 $E(\text{MPa}) = 10 \cdot \text{CBR}(\%)$ の関係をを用い、路床の設計弾性係数 $E = 95 \text{ MPa}$ とし、路床強度カテゴリーは表-8 から C とする。

5) PCR の算出

設計航空機荷重区分は LA-1 であるため、補正した基準舗装厚 $t_{20000} = 962.266\text{mm}$ 、路床の設計弾性係数 $E = 95\text{MPa}$ を基に、表-4 から以下のように算出する。

- ・ 表-4 の路床の設計弾性係数 100MPa の列より選択した $t_{20000} = 900\text{mm}$ の PCR=834 と 1000mm の PCR=1019 から、基準舗装厚 1mm 当りの PCR 増分は 1.85 となる。 $t_{20000} = 900\text{mm}$ の PCR=834 に、PCR 増分 $1.85 \times (962.266\text{mm} - 900\text{mm}) = 115.1921$ を加え、路床の設計弾性係数 100MPa の PCR は 949.1921 となる。
- ・ 表-4 の路床の設計弾性係数 90MPa の列より選択した $t_{20000} = 900\text{mm}$ の PCR=749 と 1000mm の PCR=915 から、基準舗装厚 1mm 当りの PCR 増分は 1.66 となる。 $t_{20000} = 900\text{mm}$ の PCR=749 に、PCR 増分 $1.66 \times (962.266\text{mm} - 900\text{mm}) = 103.36156$ を加え、路床の設計弾性係数 90MPa の PCR は 852.36156 となる。
- ・ 路床の設計弾性係数 100MPa の PCR=949.1921 と 90MPa の PCR=852.36156 から、路床の設計弾性係数 1MPa 当りの PCR 増分は 9.683054 となる。路床の設計弾性係数 90MPa の PCR=852.36156 に、PCR 増分 $9.683054 \times (95\text{MPa} - 90\text{MPa}) = 48.41527$ を加え、路床の設計弾性係数 95MPa の PCR は 900.77683 となる。
- ・ 小数点以下を切り捨てた PCR=900 とする。

また、アスファルト舗装であることから、舗装種別コードは F、表層アスファルト混合物の配合設計で指定したマーシャル安定度は 8.8kN 以上であることから、許容タイヤ圧カテゴリーは X とする。

以上より、AIP における公示内容は以下のとおりとなる。

PCR900/F/C/X/T

(2) コンクリート舗装

1) 舗装の条件

付表-2 に示す条件の無筋コンクリート舗装における PCR の算出を行う。

付表-2 コンクリート舗装条件

項目	内容	備考
設計航空機荷重区分	LA-1	
設計反復作用回数	6,000 回 (M 区分) 設計供用期間 20 年	
路盤の設計支持力係数	70MN/m ³	コンクリート版厚の設計に使用した路盤の設計支持力係数
コンクリート版厚	37cm	

2) 換算コンクリート版厚の算出

本舗装は、現設計要領における設計供用期間 20 年に対する設計反復作用回数が 6,000 回であるため、表-5 に示す補正係数 1.1352 を用いて、PCR 算出用設計反復作用回数 20,000 回における換算コンクリート版厚を算出する。

対象とするコンクリート版厚が 37cm であるため、補正係数 1.1352 を乗じると換算コンクリート版厚は 420.024mm となる。

$$t = 370\text{mm} \times 1.1352 = 420.024\text{mm}$$

3) 路床強度カテゴリーの設定

路盤の設計支持力係数 $K = 70\text{MN/m}^3$ であるため、路床強度カテゴリーは表-8 から B とする。

4) PCR の算出

換算コンクリート版厚 420.024mm、路盤の設計支持力係数 70MN/m^3 であるため、表-6 から以下のように算出する。

- ・ 表-6 の路盤の設計支持力係数 70MN/m^3 の列より選択した $t = 420\text{mm}$ の PCR=1132 と 430mm の PCR=1187 から、換算コンクリート版厚 1mm 当りの PCR 増分は 5.5 となる。
- ・ $t = 420\text{mm}$ の PCR=1132 に、PCR 増分 $5.5 \times (420.024\text{mm} - 420\text{mm}) = 0.132$ を加え、小数点以下を切り捨てた PCR=1132 とする。

また、コンクリート舗装であることから、舗装種別コードは R、許容タイヤ圧カテゴリーは W とする。

以上より、AIP における公示内容は以下のとおりとなる。

PCR1132/R/B/W/T

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 1256 October 2023

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは
〔〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019〕
E-mail:ysk.nil-46pr@gxb.mlit.go.jp

国土技術政策総合研究所資料

No.1256

空港舗装のPCR算出方法の研究

October 2023