

2024 年から適用される新しい舗装強度指標 PCR の算出方法

国土交通省国土技術政策総合研究所
空港研究部 空港施設研究室長
坪川 将丈

1. ACN-PCN 法の概要

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、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。

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。

これらの検討は図-1 のように ACN と PCN を比較することにより行われ、 $ACN \leq PCN$ 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。

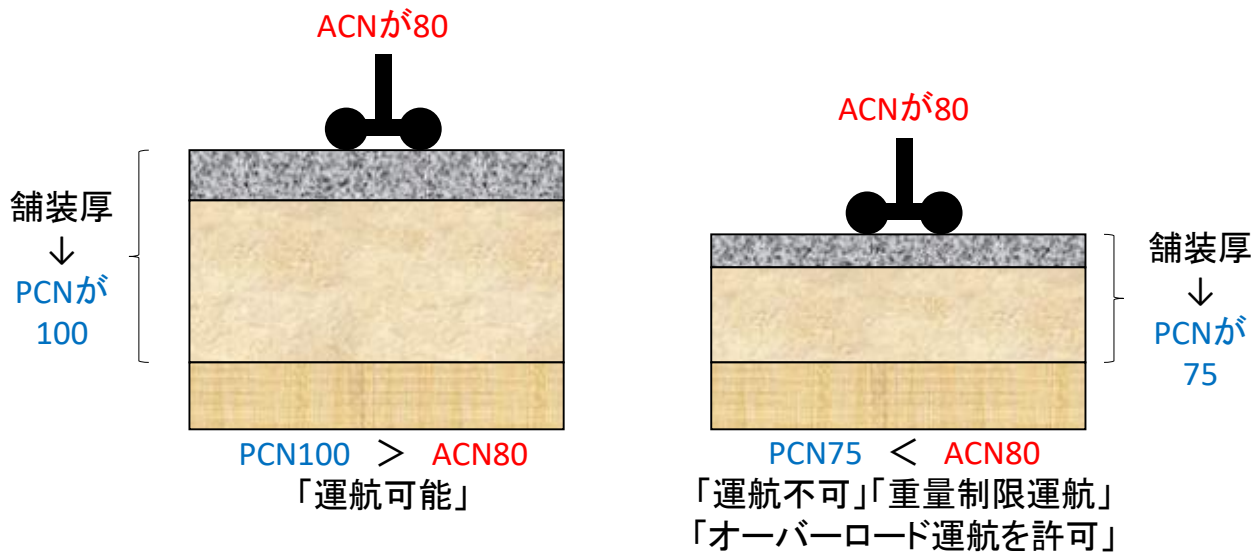


図-1 ACN と PCN の概念図

ACN 算出方法は ICAO が定めてい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。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、国土交通省航空局の「舗装強度の公示方法について」に望ましい算出方法が掲載されている。

ICAO は 2022 年に Annex 14 を改正し、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り、ACR 算出方法が掲載された。

以上の背景から、国土交通省航空局が ACR-PCR 法の導入に対応するため「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 算出方法を分析すること、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ことを目的として本研究を実施した¹⁾。本報告ではその概要を紹介する。

2. ICAO が定めた ACR 算出方法

主な航空機の ACN と ACR を表-1 及び表-2 に示す。新しい ACR は従来の ACN の概ね 10 倍程度の値となる。これは、ACN と ACR を区別しやすいよう配慮されたためである。ACR 算出方法は ICAO の ADM (Aerodrome Design Manual) に掲載されており、概要は以下のとおりである。

表-1 主な航空機の ACN と ACR (アスファルト舗装)

航空機	舗装種別	アスファルト舗装の ACN				アスファルト舗装の ACR			
	路床強度 カテゴリー	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 は路床弾性係数 (MPa) である。

表-2 主な航空機の ACN と ACR (コンクリート舗装)

航空機	舗装種別	コンクリート舗装の ACN				コンクリート舗装の ACR			
	路床強度 カテゴリー	A	B	C	D	A	B	C	D
		K=150	K=80	K=40	K=20	E=200	E=120	E=80	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 は路盤設計支持力係数 (MN/m³), E は路床弾性係数 (MPa) である。

アスファルト舗装の ACR

- (1) 図-2 のように、表-3 の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。

コンクリート舗装の ACR

- (1) 図-3 のように、表-4 の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。

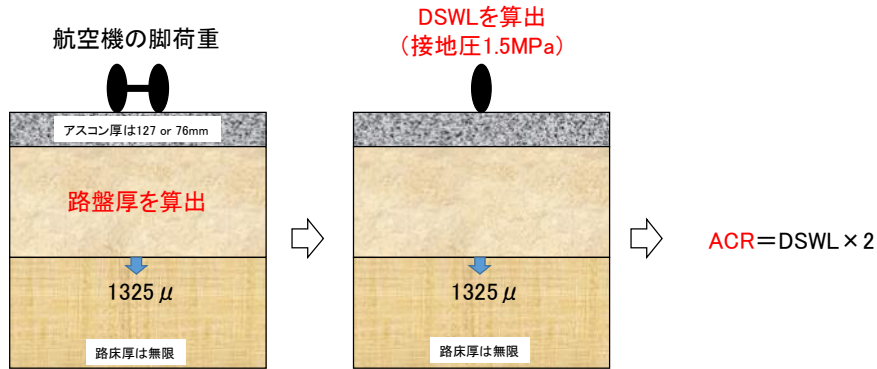


図-2 アスファルト舗装の ACR 算出方法

表-3 アスファルト舗装の ACR 算出に使用する舗装構造条件

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		

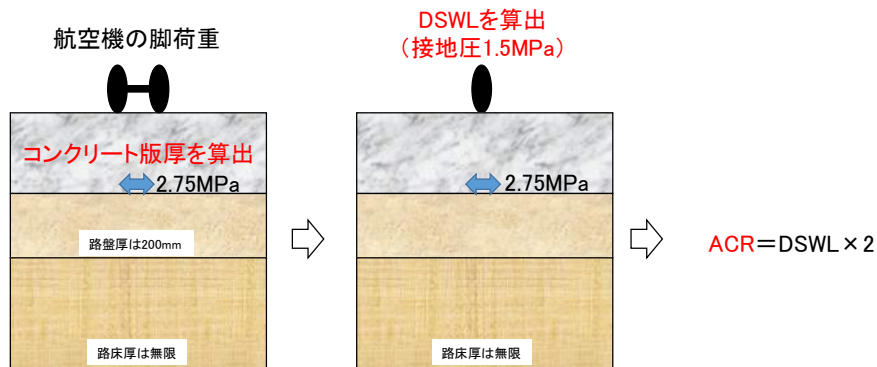


図-3 コンクリート舗装の ACR 算出方法

表-4 コンクリート舗装の ACR 算出に使用する舗装構造条件

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 付着しない 状態とし、 路盤と路床の 境界は 付着した 状態とする。
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	

3. 我が国の PCR 算出方法

我が国の PCR 算出方法を構築するため、最初に、我が国の標準的な舗装厚に対して ACR と同一の方法で PCR を試算し、ACR と試算 PCR について各種の分析を行った。その結果、試算 PCR は、我が国の空港舗装設計で想定する航空機の ACR よりも過度に大きく算出される場合や、若干小さく算出される場合があることが明らかとなった。

この原因は、ACR 算出方法と我が国の空港舗装設計法の相違によるものであるため、我が国の空港舗装設計法が反映された PCR 算出方法となるよう各種試算を重ねた結果、表-5 及び表-6 のように ACR 算出方法の一部を、我が国の空港舗装設計法が加味されるよう変更した方法を採用することとした。また、空港管理者の利便性を考慮し、舗装厚等の条件から PCR を簡便に算出可能な PCR 一覧表を作成した。

表-5 ICAO の ACR 算出方法と我が国の PCR 算出方法の対比（アスファルト舗装）

項目		ICAO の ACR 算出方法	我が国の PCR 算出方法
舗装構造モデル		多層弾性モデル	
算出（ACR）・使用（PCR） する舗装厚		路床上面鉛直ひずみが 1,325 μ となる舗装厚を算出	算出対象の舗装厚を 設計反復作用回数 20,000 回に 補正した舗装厚を使用
アスファルト 混合物層	厚さ	127mm（1脚4輪以上） 76mm（1脚2輪以下）	127mm（LA-12 以上） 76mm（LA-2 以下）
	弾性係数	1,379MPa	
路盤	厚さ	舗装厚からアスファルト混合物層厚を引いた厚さ	
	弾性係数	路盤を複数層に分割し ICAO 算出式により設定 （上限なし）	路盤を単一層とし ICAO 算出式の近似式により設定 （上限設定）
路床	厚さ	無限	
	弾性係数	路床強度カテゴリーA～Dの代表値 A：200MPa, B：120MPa C：80MPa, D：50MPa	算出対象舗装の路床設計 CBR を 10倍した値（MPa）など
DSWL		路床上面鉛直ひずみが 1,325 μ となる時の 接地圧 1.5MPa の単車輪荷重	
ACR 又は PCR		DSWL（100kgf 単位）の 2 倍	

表-6 ICAO の ACR 算出方法と我が国の PCR 算出方法の対比（コンクリート舗装）

項目		ICAO の ACR 算出方法	我が国の PCR 算出方法
路盤以深の構造モデル		弾性基礎モデル	Winkler 基礎モデル
コンクリート版	算出（ACR）・ 使用（PCR） する厚さ	版下面の荷重応力が 2.75MPa となる版厚を算出	算出対象の版厚を 設計反復作用回数 20,000 回に 補正した版厚を使用
	弾性係数	27,579 MPa	34,000 MPa
路盤	厚さ	200mm	Winkler 基礎モデルのため 設定しない
	弾性係数 又は 支持力係数	弾性係数 500MPa	算出対象舗装の 路盤設計支持力係数（MN/m ³ ）
路床	厚さ	無限	Winkler 基礎モデルのため 設定しない
	弾性係数 又は 支持力係数	路床強度カテゴリ A～D の代表値 A：200MPa, B：120MPa C：80MPa, D：50MPa	Winkler 基礎モデルのため 設定しない
DSWL		版下面の荷重応力が 2.75MPa となる時の 接地圧 1.5MPa の単車輪荷重	同一位置走行回数 36,500 回で 疲労度が 1.0 となる時の 接地圧 1.5MPa の単車輪荷重
ACR 又は PCR		DSWL（100kgf 単位）の 2 倍	

4. PCR 算出方法の妥当性の検証

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，3 章で定めた PCR 算出方法の妥当性を検証することとした。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 を選定したが，ACR-PCR 法の適用対象外の LA-4 未満の空港や定期便の就航がない空港は除外した。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 及び図-5 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 をやや超過しているのは，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 1.0 を超過していることから、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章で設定した 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。

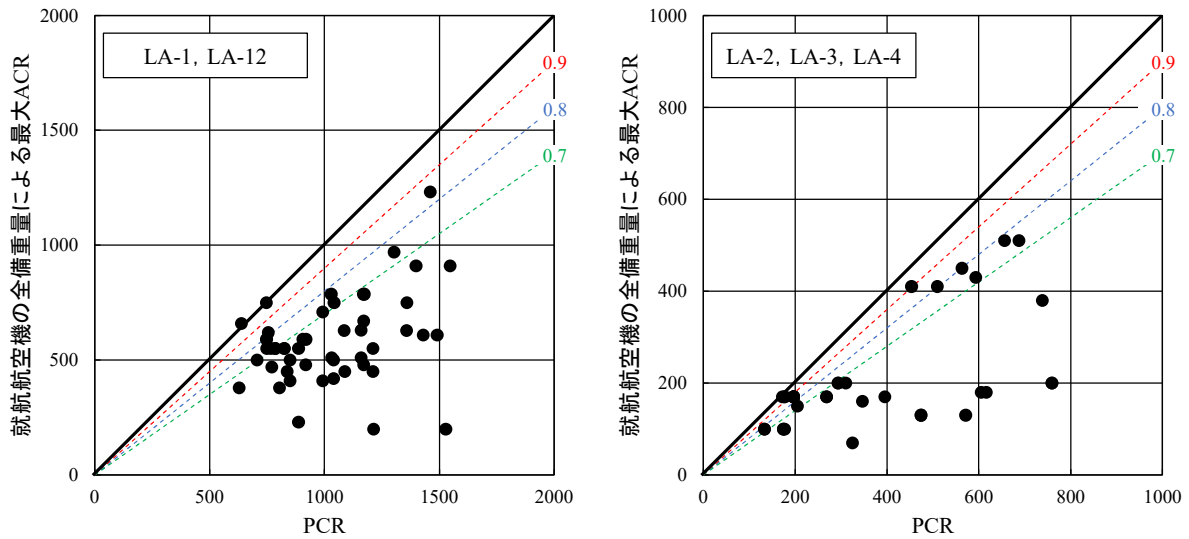


図-4 各空港の PCR と就航航空機の全備重量による最大 ACR（アスファルト舗装）

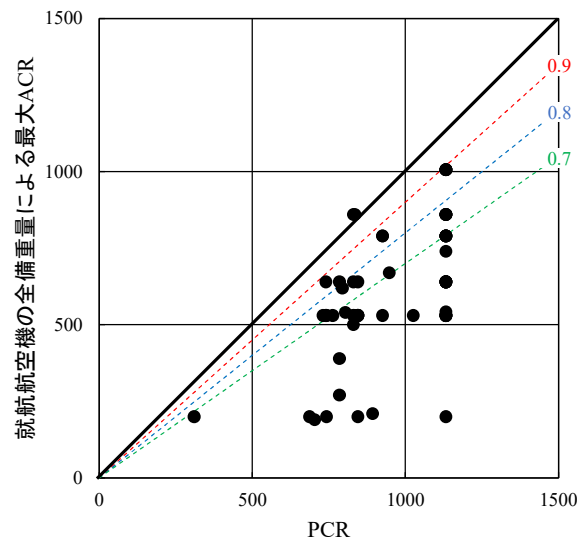


図-5 各空港の PCR と就航航空機の全備重量による最大 ACR（コンクリート舗装）

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，No.1256，2023。