

空港舗装の PCR算出方法の研究

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

【概要】

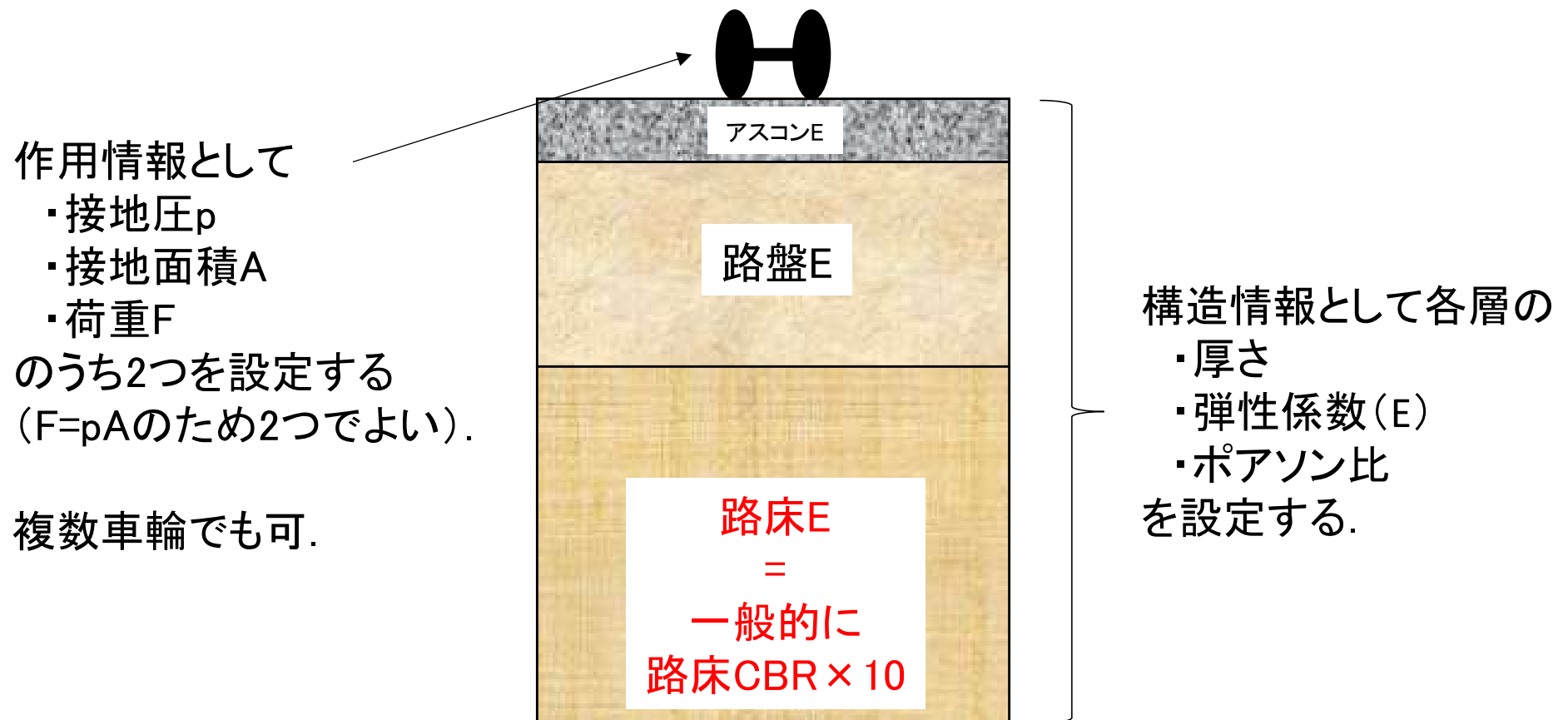
ICAOが2024年から適用を開始するACR-PCR法に対応するため、2023年10月に航空局が「舗装強度の公示方法について」を改正するにあたり、我が国のPCR算出方法を作成した。

【内容】

- 予備知識，舗装強度の概要，ACR-PCR法の概要
- アスファルト舗装のPCR算出方法の検討
- コンクリート舗装のPCR算出方法の検討
- オーバーロード運航の目安の検討

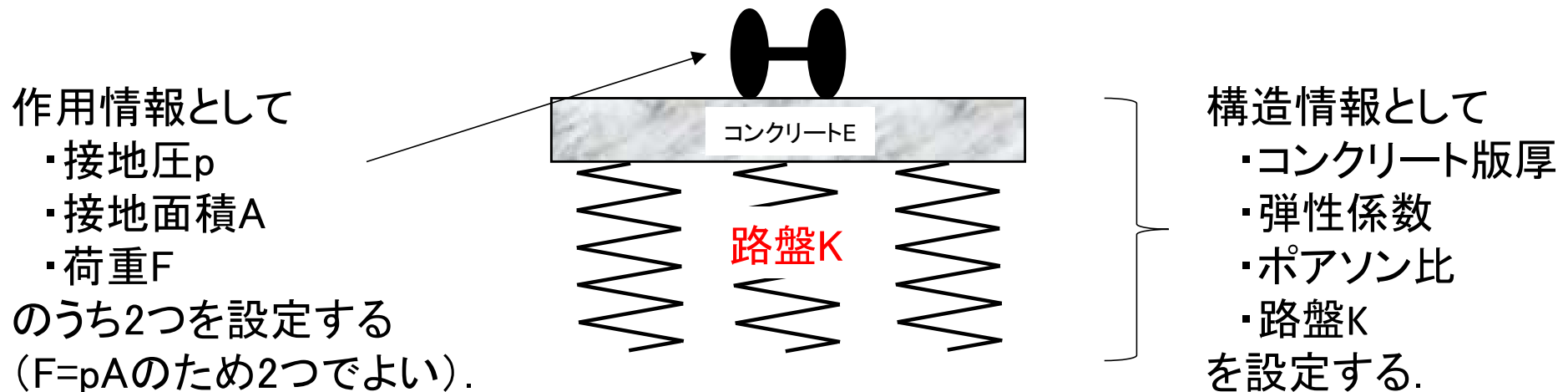
予備知識(多層弾性解析)

- ・ 舗装の変位・ひずみ・応力を計算する手法.
- ・ 昔からアスファルト舗装の構造解析で用いられ, 近年では設計でも用いられている.
- ・ 我が国では土木学会WEBで無償公開されているGAMESが用いられている.



予備知識(Winkler基礎モデル)

- コンクリート版の変位・ひずみ・応力を計算するための舗装構造モデル.
- 昔から世界各国のコンクリート舗装の設計で用いられている (計算・プログラム化が容易なため).
- 我が国ではWestergaard荷重応力式 (単車輪荷重のみ) や Westergaardプログラム (複数車輪可)・FEMが用いられている.



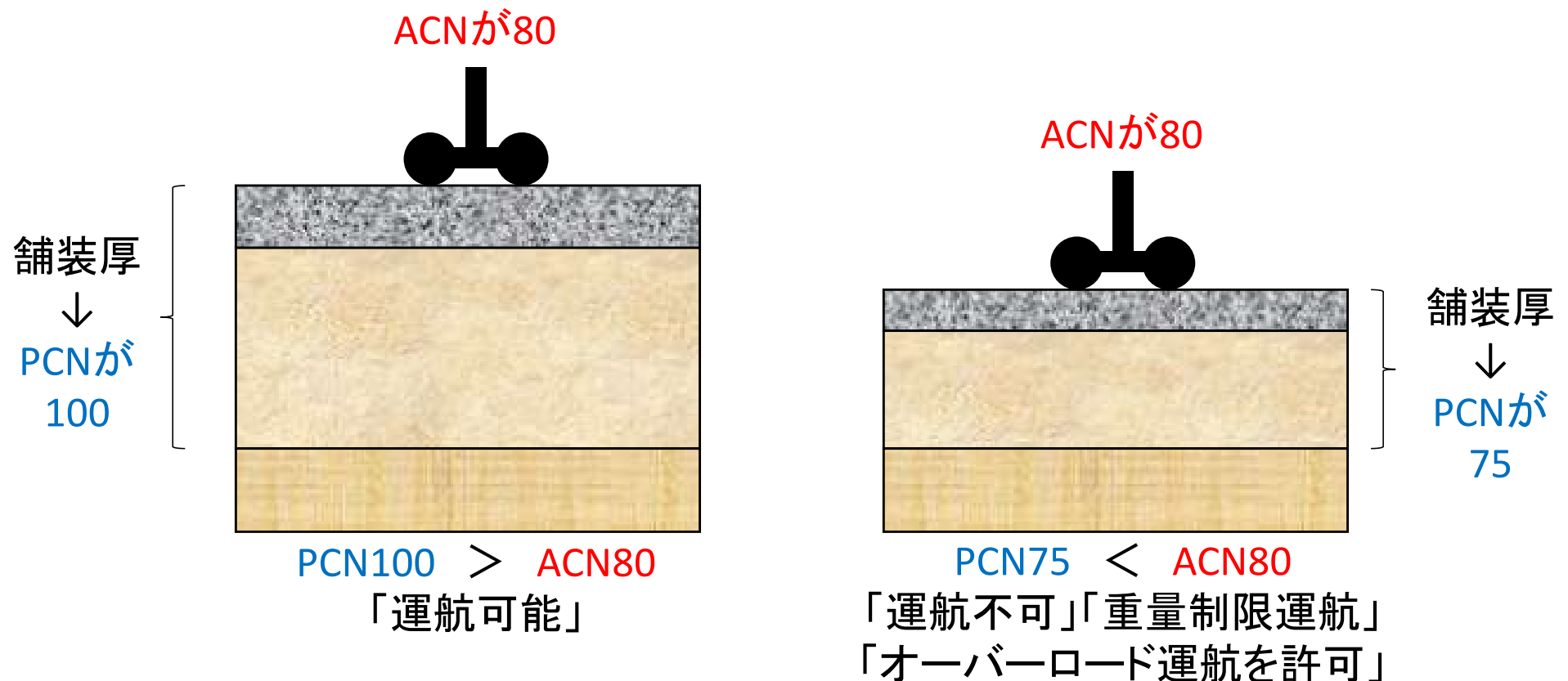
予備知識(脚荷重と換算単車輪荷重)

- 航空機重量の95%前後を負担するのが主脚.
- 主脚は複数のタイヤ(輪荷重)で構成されている.
- 舗装設計では, 複数車輪による舗装の応答と同じ応答となる換算単車輪荷重を使用することがある. ACNやACRの算出ではDSWL(Derived Single Wheel Load).



「舗装強度」とは

- 航空機の空港使用可否の判断に用いられる.
- 航空機脚荷重・脚輪数等から航空機等級(ACNやACR)が計算される.
- 舗装厚等から舗装強度(PCNやPCR)が計算され, 航空機等級と比較される.
- 空港管理者は, 自空港の舗装強度を公示する必要がある.
- 舗装強度は, 舗装の設計には使用しない.
- 我が国のPCN算出方法は航空局「舗装強度の公示方法について」



舗装強度の公示

- ACN-PCN法より前は, Annex14に種々の舗装強度指標が掲載されていた.
- 本邦ではSIWLを採用したが, SIWLは1953年にAnnex14から削除された.

名称	概要	採用国数 (1974年時点)
SIWL	Single Isolated Wheel Load 最大全備重量に0.45, 0.35等の脚車輪数に応じた係数を乗じた換算単車輪荷重.	1
AUW	All Up Weight 脚車輪数別に許容可能な最大全備重量.	55
GL	Gear Load 脚車輪数別に許容可能な最大脚荷重.	18
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.	63
LCG	Load Classification Group LCNを基とした7段階のグループ.	0



- ICAOは1981年11月26日からACN-PCN法を適用(唯一の指標).
- 航空局は「**舗装強度の公示方法について**」を制定し, 1981年12月1日からACN-PCN法を適用.



2008年7月に空港舗装設計法が大きく改正

- 航空局は2009年8月に「**舗装強度の公示方法について**」を改正.
- 改正の技術的詳細を, 国総研資料「空港舗装のPCN算出方法の改定に関する検討」として公開.

舗装強度の公示

- 各空港の舗装強度は空港管理者がAIPで公示している。

AIPの例(Runway Physical Characteristicsを抜粋)

Designations RWY NR	TRUE BRG	Dimensions of RWY(M)	Strength(PCN) and surface of RWY	THR coordinates THR geoid undulation	THR elevation and highest elevation of TDZ of precision APP RWY
1	2	3	4	5	6
06	051.91°	3000 × 60	PCN 86/F/C/X/T Asphalt Concrete	404329.77N 1404028.61E 122.6ft	THR ELEV : 647ft
24	231.91°	3000 × 60	PCN 86/F/C/X/T Asphalt Concrete	404429.79N 1404209.27E 122.6ft	THR ELEV : 664ft TDZ ELEV : 661ft
Slope of RWY	Strip dimensions(M)	RESA (overrun) Dimensions(M)		Remarks	
7	10			14	
See below figure	3120× 300	40 × 300		RWY grooving : 3000m×60m	
	3120× 300	190 × (MIN:100 MAX:300)* *For detail, ask airport administrator			

- ・PCN=86
- ・アスファルト舗装F
- ・路床強度カテゴリーC

- PCN=86
- アスファルト舗装F
- 路床強度カテゴリーC
- 許容タイヤ圧カテゴリーX
- 技術的評価T

舗装強度の公示

ACN-PCN法 (2024年11月27日まで)

- ACN 航空機等級番号 : Aircraft Classification Number
- PCN 舗装等級番号 : Pavement Classification Number

PCN86 / F / C / X / T

PCN値	舗装種別 コード F/R	路床強度 カテゴリー A/B/C/D	許容タイヤ圧 カテゴリー W/X/Y/Z	評価方法 コード T/U
------	--------------------	--------------------------	----------------------------	--------------------



2022年7月 ICAO Annex14 9th Editionで改正済

ACR-PCR法 (2024年11月28日から)

- ACR 航空機分類等級 : Aircraft Classification Rating
- PCR 舗装分類等級 : Pavement Classification Rating

PCR860 / F / C / X / T

PCR値 改正	舗装種別 コード (変更なし)	路床強度 カテゴリー 改正	許容タイヤ圧 カテゴリー (変更なし)	評価方法 コード (変更なし)
------------	-----------------------	---------------------	---------------------------	-----------------------

2024年11月28日から何が変わるのか

- アスファルト舗装では、米国の設計法で使用されていた**基準舗装厚式**を用いて**ACN**を算出
→ **多層弾性解析**により**ACR**を算出
- コンクリート舗装では、多くの国で用いられている**Winkler基礎モデル**で算出した応力を用いて**ACN**を算出
→ **多層弾性解析**により**ACR**を算出
- 4つの路床強度カテゴリー(A～D)の選択方法は
アスファルト舗装: 路床CBR
コンクリート舗装: 路盤K
→ **どちらも路床E(路床弾性係数)**
- ACN算出時のDSWL(単車輪荷重)の**接地圧が1.25MPa**
→ **1.50MPa**



ACNからACRへ変更されるため
我が国のPCR算定手法を構築する必要がある

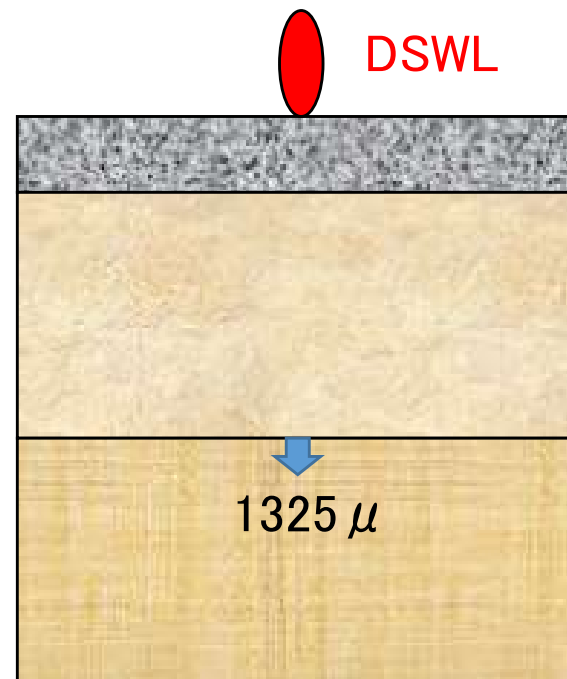
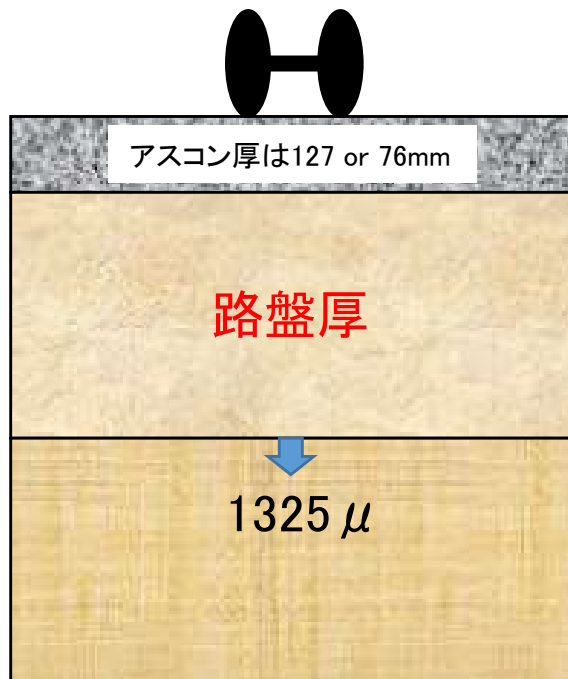
ACRとは(アスファルト舗装)

ICAOが定めたアスファルト舗装のACRの定義は以下のとおり.

①
ある機材の脚荷重
で
36500回走行で
路床疲労度1.0となる
(路床ひずみ 1325μ となる)
路盤厚を算出

②
①の舗装厚
で
①の影響と等価となる
DSWLを算出

③
DSWLを
2倍して
ACRを算出



$$\text{ACR} = \text{DSWL (100kgf単位)} \times 2$$

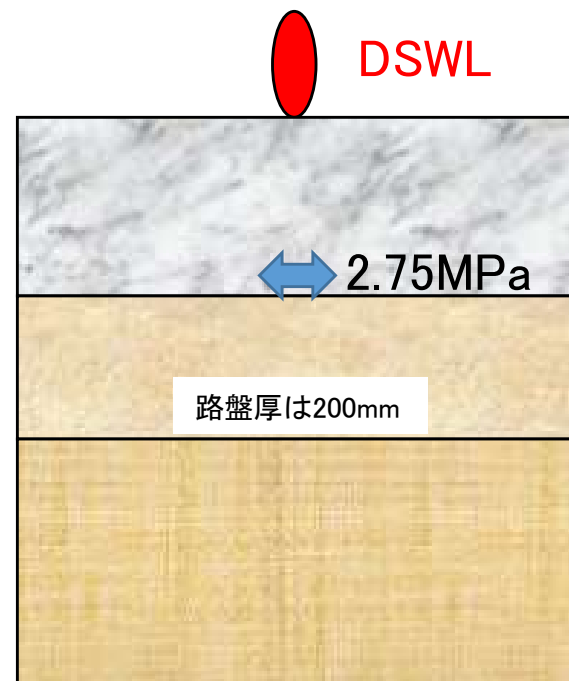
ACRとは(コンクリート舗装)

ICAOが定めたコンクリート舗装のACRの定義は以下のとおり.

①
ある機材の脚荷重
で
版下面応力が
2.75MPaとなる
コンクリート版厚を算出

②
①の舗装厚
で
①の影響と等価となる
DSWLを算出

③
DSWLを
2倍して
ACRを算出



$$ACR = DSWL \times 2$$

ACRの例

- ACRは航空機メーカーが公開するAirplane Characteristicsに掲載される.
- ICAOが無償公開している計算プログラム (ICAO-ACR1.3) で計算することも可能.
- ACRは4つの路床強度カテゴリーの路床E代表値で算出されるため, 1つの機材に4種類のACR × 舗装種別2種類が存在.
- 路床強度カテゴリーはAが最も強く, Dが最も弱い路床を表す.

機材				コンクリート舗装の ACR				アスファルト舗装の ACR			
				路床強度カテゴリー				路床強度カテゴリー			
AIRCRAFT TYPE	MAXIMUM TAXI WEIGHT	LOAD ON ONE MAIN GEAR LEG (%)	TIRE PRESSURE PSI (MPa)	A	B	C	D	A	B	C	D
	MINIMUM WEIGHT *[1] LB (KG)			HIGH E = 200 MPa	MEDIUM E = 120 MPa	LOW E = 80 MPa	ULTRA LOW E = 50 MPa	HIGH E = 200 MPa	MEDIUM E = 120 MPa	LOW E = 80 MPa	ULTRA LOW E = 50 MPa
787-8	503,500 (228,383)	45.64	228 (1.57)	670	790	870	970	550	590	690	910
	250,000 (113,398)			270	290	320	360	270	270	280	310
787-9	563,000 (255,373)	46.11	229 (1.58)	740	860	960	1070	620	660	750	970
	250,000 (113,398)			260	280	310	340	270	270	280	290
787-10	561,500 (254,692)	46.63	224 (1.54)	740	870	970	1080	620	660	760	990
	250,000 (113,398)			260	280	310	350	270	270	280	300

*[1] Minimum weight used solely as a baseline for ACR curve generation.

ICAO-ACR1.3

①舗装種別選択

②機材を選択

③②で機材を選択すると脚荷重情報が自動入力される(自由入力も可)

④計算実行

⑤ACR計算結果

Input Data

Pavement Type ☐ Flexible ☒ Rigid

Gross Weight 79.243

Percent GW 0.468

Number of Wheels 2

Tire Pressure (kPa) 1,406.53

Wheel Coordinates

No	X	Y
1	-431.8	0.0
2	431.8	0.0

Input Data - Gear 2

Percent GW 2

Number of Wheels 2

Tire Pressure 2

Wheel Coordinates

No	X	Y

Select Airplane Group Boeing

Select Airplane B737-800

Calculate ACR *

☐ Display Select Wheels (SW) ☒ Metric

Subgrade Category	Subgrade Modulus [MPa]	Rigid ACR Number	ACR Thickness t [mm]
D	50.0	555.71	370.4
C	80.0	539.60	350.6
B	120.0	523.95	332.5
A	200.0	501.91	308.3

Calculation time: 0.57 sec.

PCRとは

- ACRはICAOが定義を決めているが、PCR算出法は各国に委ねられている。以下のよう
に各国の舗装設計法が異なるため。

	A国	B国
設計対象航空機	B787-8	
設計対象航空機の ACR	590 (アスファルト舗装・路床強度カテゴリーB)	
設計対象航空機を 対象とした自国の舗装厚	100cm	80cm
自国の PCR算出法	100cmでACR590を上回る PCRが算出される方法	80cmでACR590を上回る PCRが算出される方法

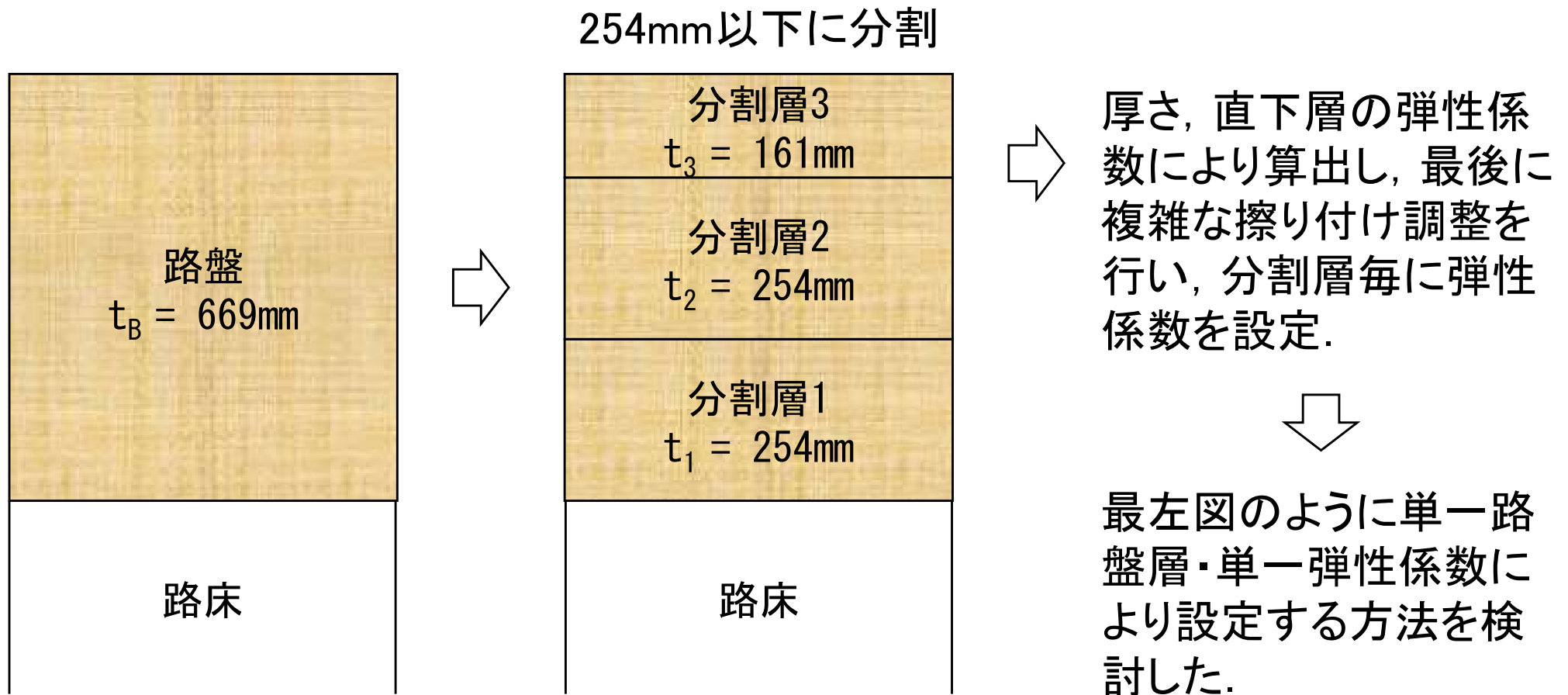
- 航空局「舗装強度の公示方法について」を改正するため、本邦のPCR算出方法を構築
すべく検討を実施した。
- PCRが大きすぎず小さすぎず、簡便な算出方法が望ましい。
 PCRが小 → 舗装設計想定 of 航空機が利用できなくなってしまう(論外)
 PCRが大 → 舗装設計想定よりも大きな航空機が利用できてしまう(避けたい)

【内容】

- 予備知識, 舗装強度の概要, ACR-PCR法の概要
- アスファルト舗装のPCR算出方法の検討
等価路盤Eの検討
PCR算出方法の検討
PCRの妥当性の検証
- コンクリート舗装のPCR算出方法の検討
- オーバーロード運航の目安の検討

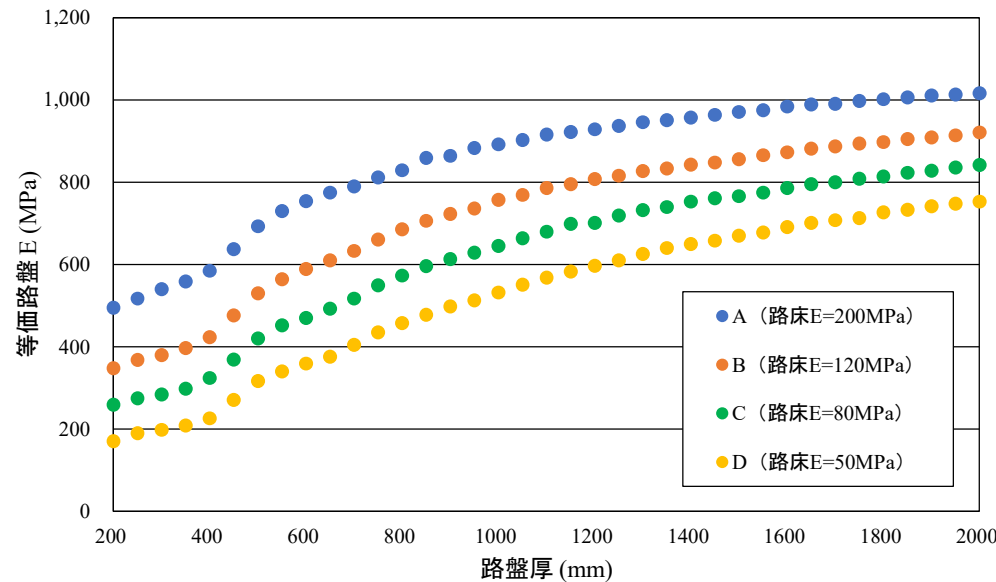
等価路盤Eの検討(アスファルト舗装)

- アタリをつけるため, 我が国の標準的な舗装厚により, まずはACRと同じ手法で多層弾性解析によりPCRを試算することとした.
- その前に, ICAOが定めたACR算出時の「路盤の弾性係数の設定法」が非常に複雑で使いにくいいため, 同等の結果が得られる簡易設定法を検討した.

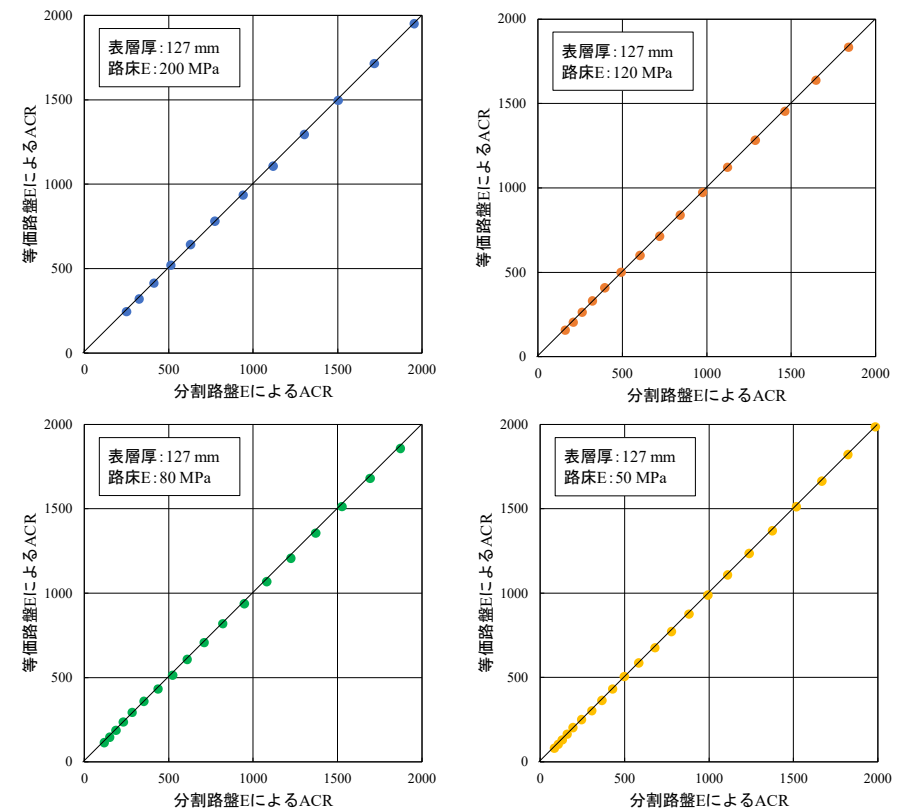


等価路盤Eの検討(アスファルト舗装)

- 等価路盤E:【ICAOが定めた分割路盤EによるACR】と同じACRが得られる単一路盤層の単一弾性係数.
- 等価路盤Eは路床Eに関わらず相似形 → 近似式を設定した
- PCR算出時の路盤Eは, 近似式から「路床E」「路盤厚」を用いて算出した等価路盤Eを用いることとした.



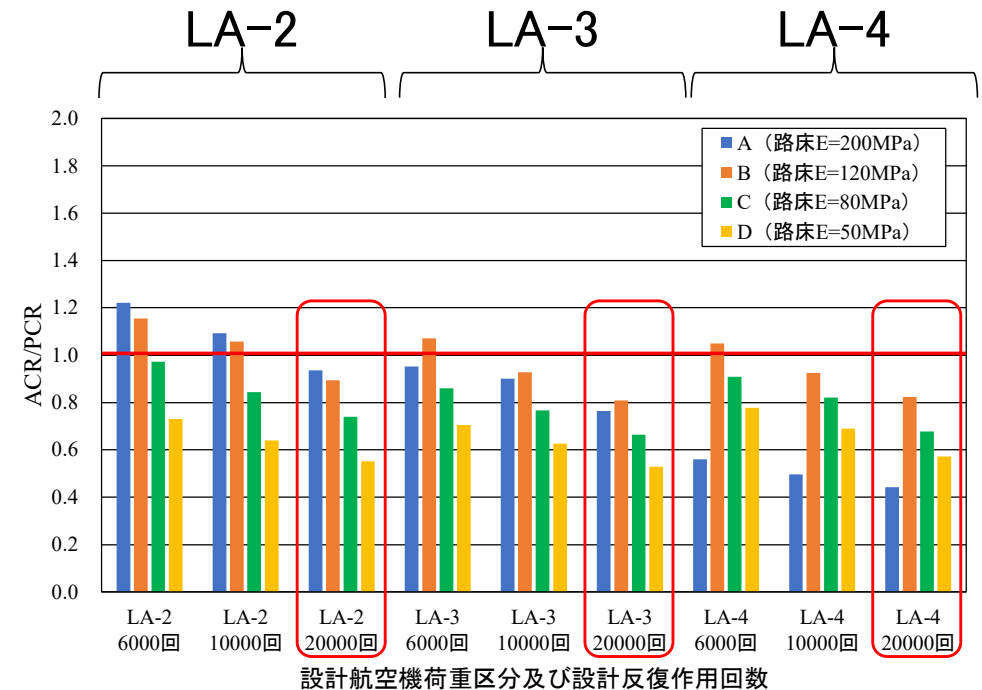
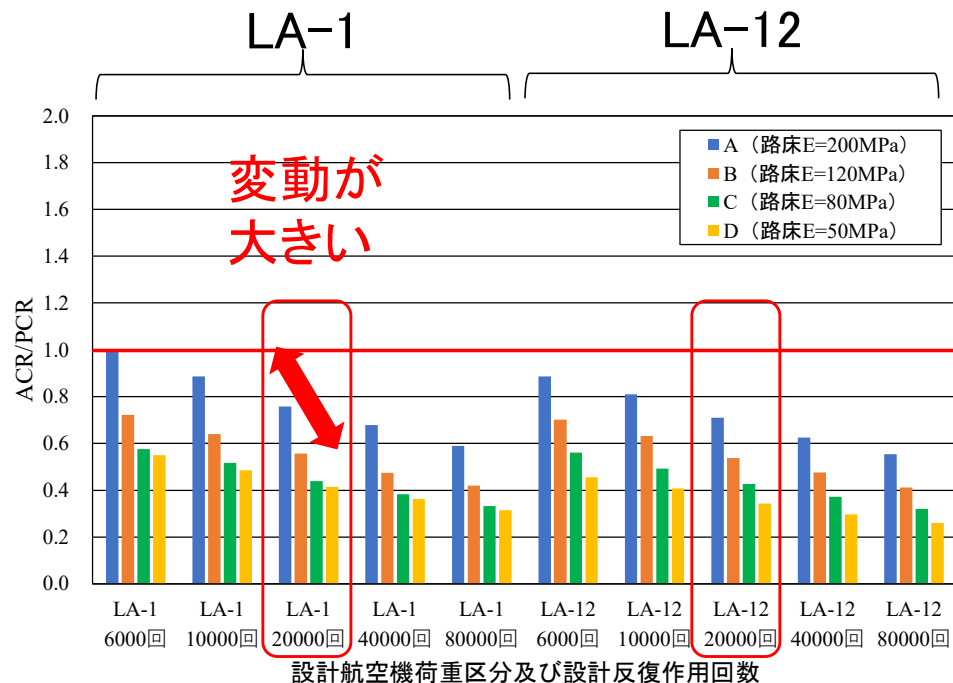
等価路盤Eと路盤厚の関係



分割路盤EによるACR(横軸)と
近似式等価路盤EによるACR(縦軸)

PCR算出方法の検討(アスファルト舗装)

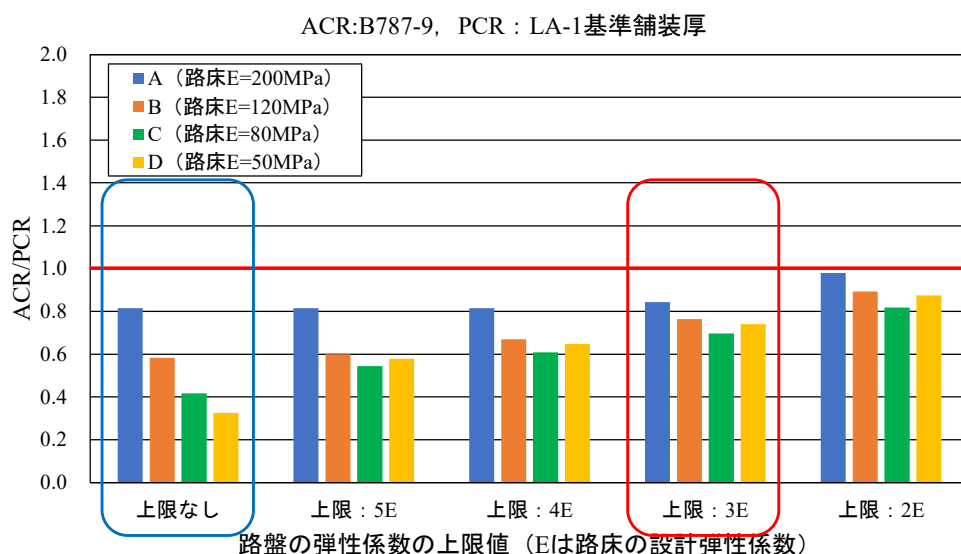
- 我が国の標準的な舗装厚により, ACRと同じ手法(ただし等価路盤Eを使用)で多層弾性解析によりPCRを試算した.
- 我が国の設計反復作用回数20000回の舗装厚を用いることで, 概ね問題のない値(1.0以下)が得られるが, 路床強度カテゴリーによるACR/PCRの変動が非常に大きく, バランスが悪い.
- 路床Eによる舗装厚の増減が, ACR算出法と我が国の設計法とで乖離があることが原因.



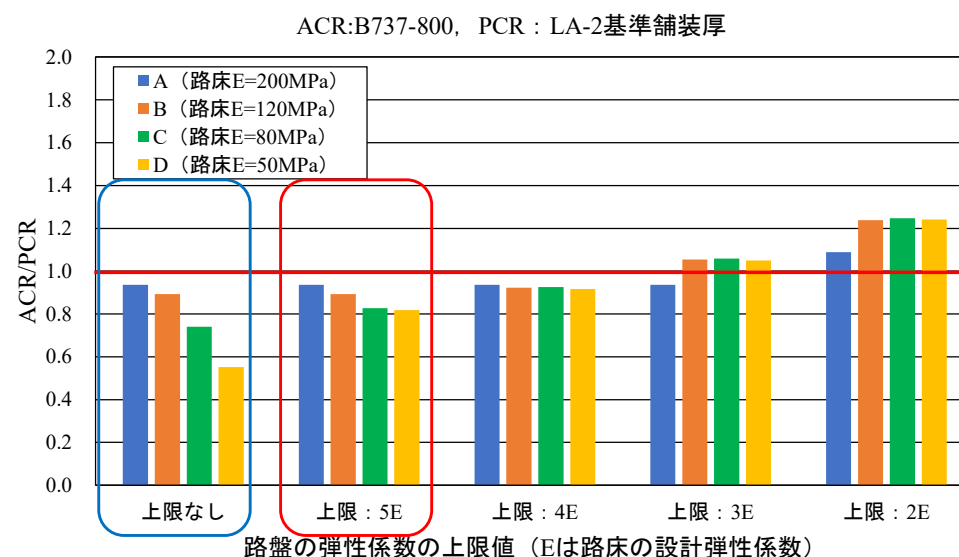
$$\text{ACR/PCR} = \frac{\text{代表的な機材のACR}}{\text{試算したPCR}}$$

PCR算出方法の検討(アスファルト舗装)

- 「路床強度が低い→路盤が厚い→路盤Eが大きい→PCRが大きい」となるため、**路盤Eに上限値を適用し**、PCRが大きくなりすぎないように設定することとした。
- 路盤E＝路床Eの2～5倍を上限値とした試算を行い、
 LA-12以上 : 路盤E＝路床Eの3倍
 LA-2以下 : 路盤E＝路床Eの5倍 とした。
- 「LA-12以上」「LA-2以下」で分けたのは、ACR算出条件のアスコン層厚が異なるため(1脚4輪以上:127mm, 1脚2輪以下:76mm)。



LA-12以上の一例
(B787-9のACR/LA-1舗装のPCR)



LA-2以下の一例
(B737-800のACR/LA-2舗装のPCR)

PCR算出方法の検討(アスファルト舗装)

構築したPCR算出方法は以下のとおり.

- 舗装厚と路床の設計CBRを確認.
- 設計反復作用回数20000回の舗装厚に補正.
- 以下の条件で多層弾性解析により路床ひずみを算出し, 同一位置走行36500回で累積疲労度が1.0となる(路床上面ひずみが 1325μ となる)DSWLを算定.
- DSWL(100kgf単位)を2倍した値がPCR.

層の種類	厚さ (mm)	弾性係数 (MPa)	ポアソン比	備考
表層	127(LA-12以上) 76(LA-2以下)	1379	0.35	各層の境界は 付着した状態
路盤	補正後の 基準舗装厚から 表層厚を 引いた厚さ	近似式により算出するが 上限は 路床Eの3倍(LA-12以上) 路床Eの5倍(LA-2以下)	0.35	
路床	無限	路床の設計CBR $\times$ 10	0.35	

PCR算出方法の検討(アスファルト舗装)

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	111	88	66
500	574	543	512	481	450	419	388	357	326	295	264	233	202	171	140	109	78	47	16
550	688	649	610	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	393	356	318	281	245	208	172	135	98
700	1,008	952	908	867	827	788	750	713	677	642	607	573	540	507	475	443	411	379	347
800	1,229	1,161	1,094	1,028	967	907	849	792	735	680	625	571	518	466	415	364	313	262	211
900	1,471	1,391	1,312	1,234	1,157	1,081	1,006	932	859	787	716	646	577	509	442	375	308	241	174
1000	1,734	1,641	1,554	1,468	1,383	1,300	1,218	1,137	1,057	978	899	822	746	672	600	528	456	384	312
1100	2,016	1,910	1,814	1,719	1,626	1,535	1,445	1,356	1,268	1,181	1,095	1,011	928	847	767	688	609	530	451
1200	2,316	2,197	2,082	1,968	1,856	1,746	1,637	1,530	1,424	1,319	1,215	1,113	1,012	913	815	718	621	524	427
1300	2,634	2,502	2,379	2,258	2,139	2,022	1,907	1,794	1,683	1,573	1,464	1,357	1,252	1,149	1,048	948	849	750	651
1400	2,969	2,824	2,692	2,562	2,434	2,308	2,184	2,062	1,942	1,823	1,706	1,591	1,478	1,367	1,258	1,150	1,043	936	829
1500	3,321	3,163	3,022	2,883	2,746	2,611	2,478	2,347	2,218	2,091	1,966	1,843	1,722	1,603	1,485	1,368	1,253	1,138	1,023
1600	3,689	3,518	3,368	3,220	3,074	2,930	2,788	2,648	2,510	2,374	2,240	2,108	1,978	1,850	1,724	1,600	1,477	1,355	1,233
1700	4,073	3,890	3,741	3,594	3,450	3,308	3,167	3,028	2,891	2,756	2,623	2,492	2,363	2,236	2,111	1,987	1,865	1,743	1,621
1800	4,473	4,278	4,129	3,983	3,840	3,698	3,557	3,418	3,281	3,146	3,013	2,882	2,753	2,626	2,501	2,377	2,255	2,133	2,011
1900	4,889	4,682	4,533	4,387	4,245	4,104	3,964	3,825	3,687	3,551	3,417	3,285	3,155	3,026	2,899	2,774	2,651	2,528	2,405
2000	5,321	5,102	4,953	4,807	4,666	4,526	4,386	4,247	4,109	3,973	3,839	3,706	3,575	3,445	3,317	3,191	3,067	2,943	2,819
2100	5,769	5,538	5,389	5,243	5,102	4,962	4,822	4,683	4,545	4,409	4,275	4,142	4,011	3,881	3,753	3,627	3,502	3,377	3,252
2200	6,233	5,991	5,842	5,696	5,555	5,415	5,275	5,136	5,000	4,865	4,731	4,598	4,467	4,337	4,209	4,082	3,956	3,830	3,704
2300	6,713	6,460	6,311	6,165	6,024	5,884	5,744	5,605	5,467	5,331	5,196	5,062	4,929	4,798	4,668	4,539	4,412	4,285	4,158
2400	7,209	6,945	6,796	6,650	6,509	6,369	6,229	6,089	5,951	5,815	5,680	5,546	5,413	5,281	5,150	5,020	4,892	4,764	4,636
2500	7,721	7,446	7,297	7,151	7,010	6,869	6,729	6,589	6,451	6,315	6,180	6,046	5,913	5,781	5,650	5,520	5,391	5,262	5,133
2600	8,249	7,963	7,814	7,668	7,527	7,386	7,246	7,106	6,967	6,829	6,693	6,558	6,424	6,291	6,159	6,028	5,898	5,768	5,637
2700	8,793	8,496	8,347	8,201	8,059	7,918	7,778	7,638	7,499	7,361	7,225	7,090	6,956	6,823	6,691	6,560	6,429	6,298	6,166
2800	9,353	9,046	8,897	8,751	8,609	8,468	8,328	8,188	8,049	7,911	7,775	7,639	7,504	7,370	7,237	7,104	6,972	6,840	6,707
2900	9,929	9,611	9,462	9,316	9,174	9,032	8,891	8,751	8,611	8,472	8,335	8,198	8,062	7,927	7,793	7,659	7,525	7,391	7,256
3000	10,521	10,192	10,043	9,897	9,754	9,612	9,471	9,331	9,191	9,051	8,912	8,774	8,637	8,499	8,363	8,227	8,091	7,954	7,817

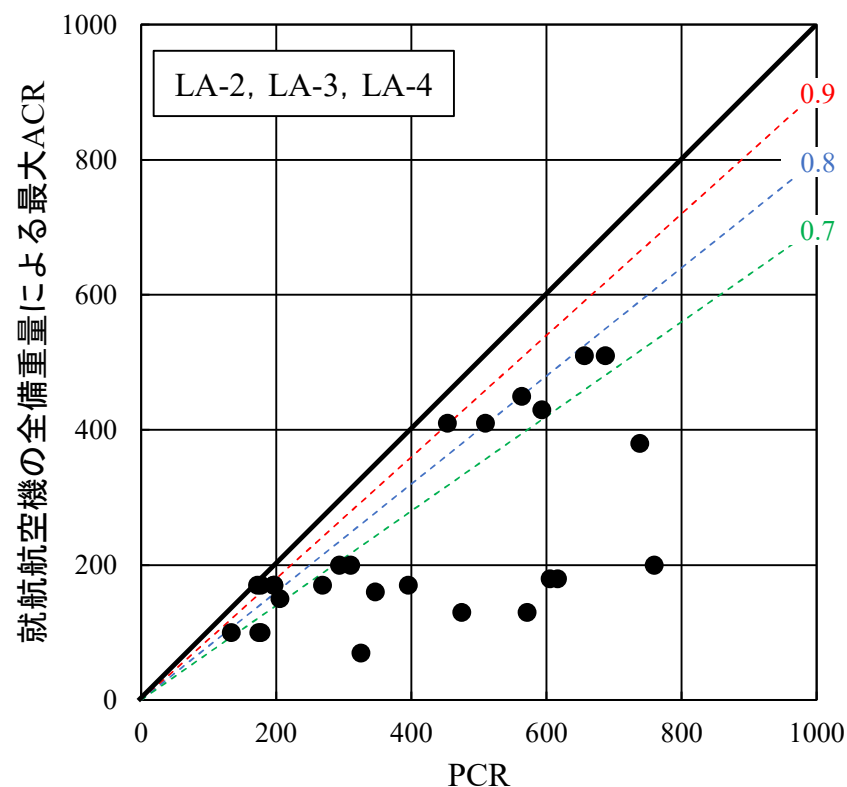
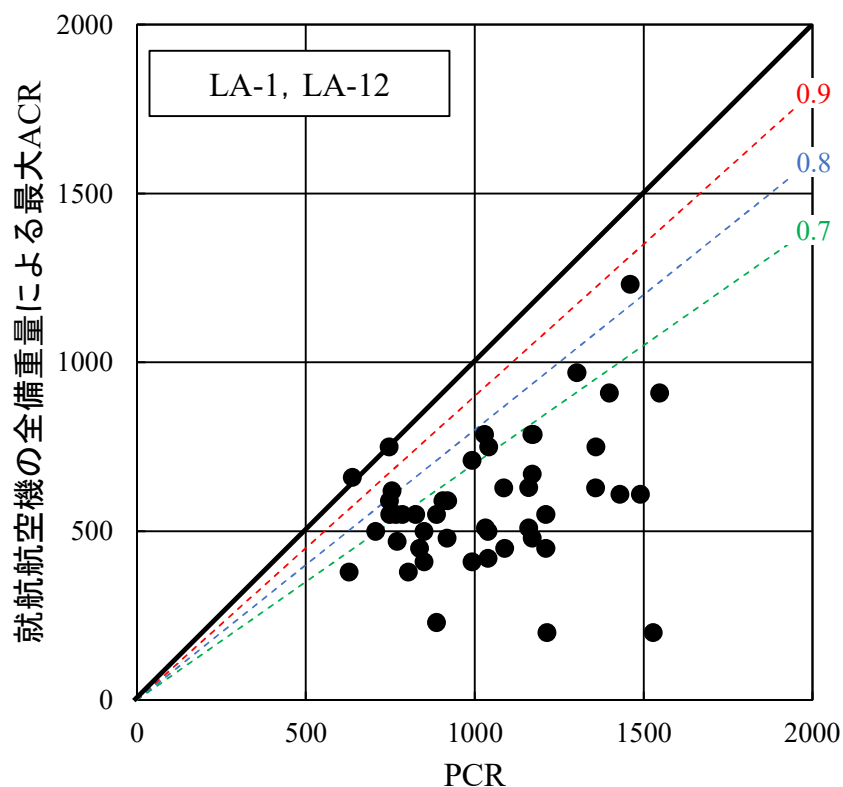
基準舗装厚

= アスコン層厚 + 粒状路盤厚

基準舗装厚及び路床Eの中間値に応じたPCRは比例補間により算出する。

PCRの妥当性の検証(アスファルト舗装)

- 各空港のPCRを試算し、就航している機材の最大ACRと比較したところ、 ACR/PCR は概ね0.9以下となった。
- ACR/PCR が小さい空港は就航航空機の荷重区分<設計航空機荷重区分が原因。
- $ACR/PCR > 1.0$ の2空港は設計がLA-12<就航がLA-1が原因。現行の ACN/PCN も1.0を超過しているため、当該路線の離陸搭載燃料を想定した(全備重量よりも軽い)ACNにより運航を許可していると考えられる。

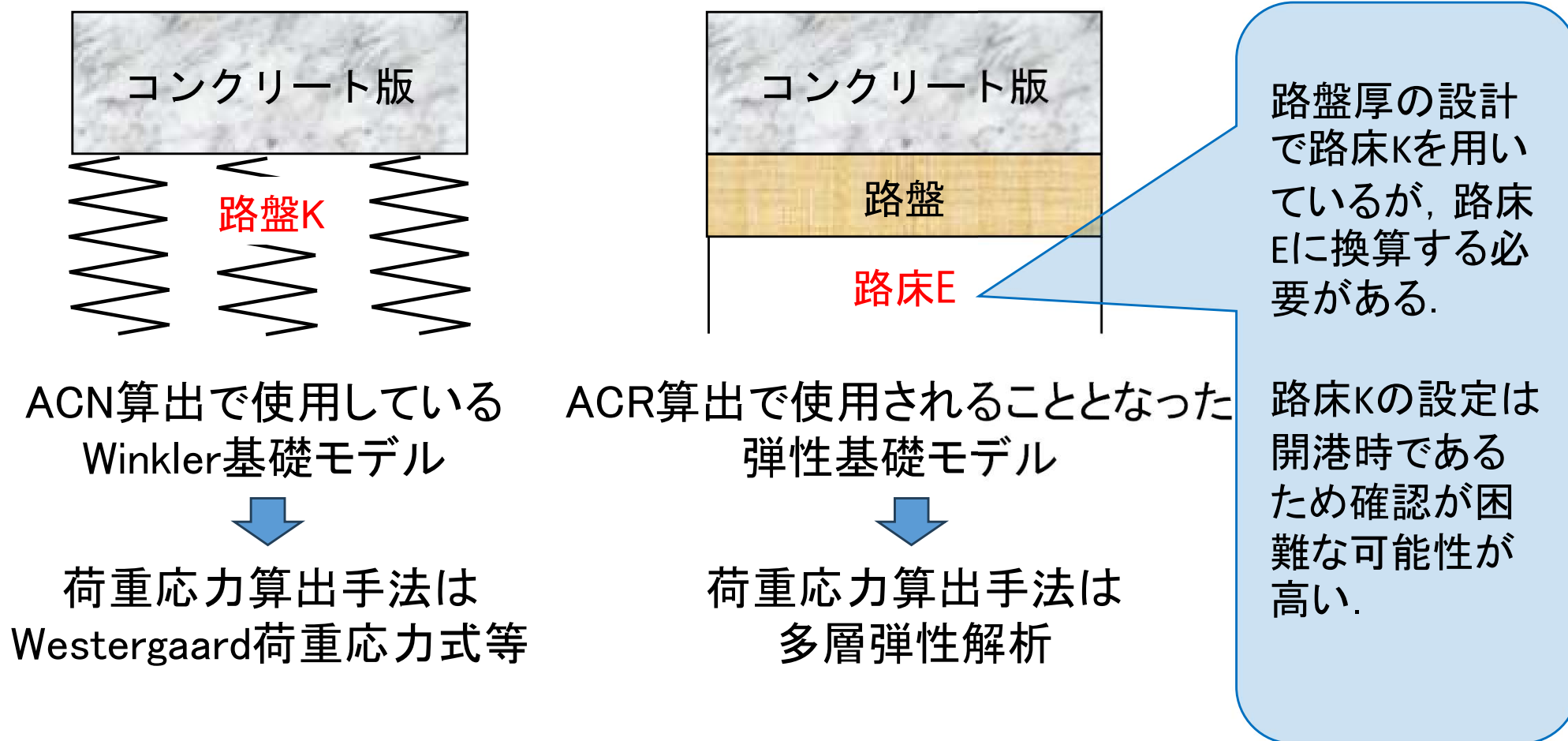


【内容】

- 予備知識, 舗装強度の概要, ACR-PCR法の概要
- アスファルト舗装のPCR算出方法の検討
- コンクリート舗装のPCR算出方法の検討
 - 路床強度カテゴリーの検討
 - PCR算出方法の検討
 - PCRの妥当性の検証
- オーバーロード運航の目安の検討

路床強度カテゴリーの検討(コンクリート舗装)

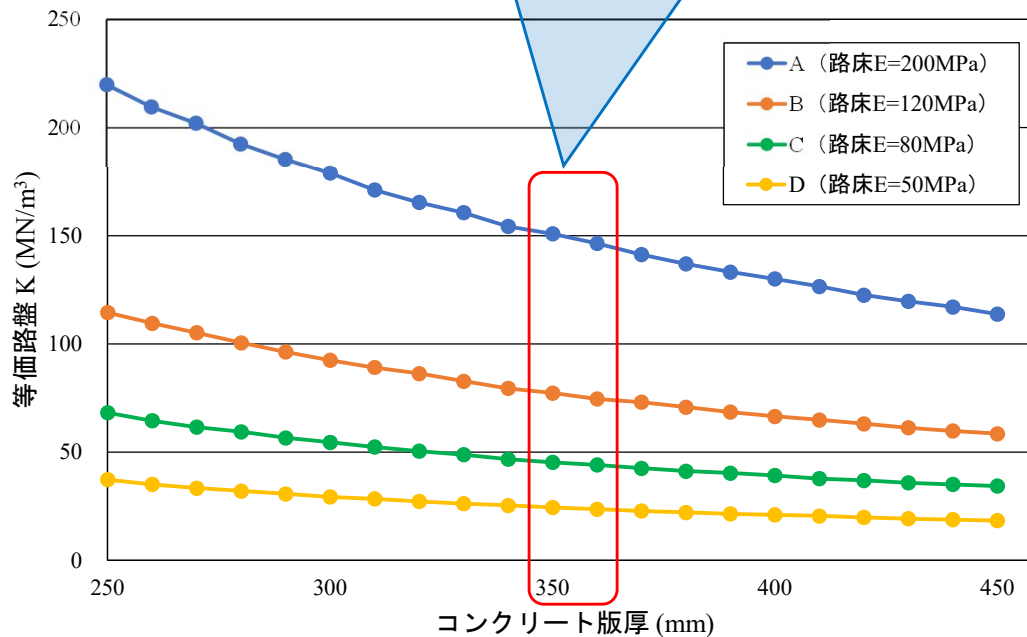
- アタリをつけるため、我が国の標準的なコンクリート版厚により、まずはACRと同じ手法で多層弾性解析によりPCRを試算することとした。
- その前に、路床強度カテゴリーの選択指標が「路盤K」から「路床E」に変更になったが、コンクリート版厚の設計に使用されている路盤Kの方が確認が容易であるため、引き続き路盤Kを用いる方法を検討した。



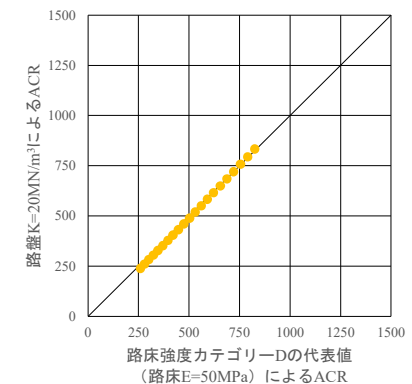
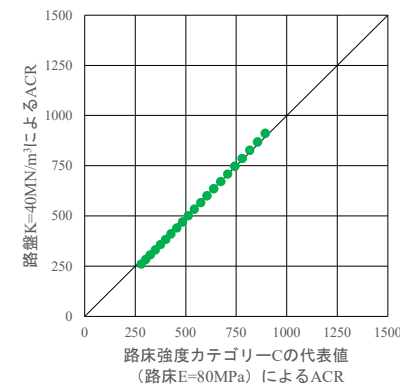
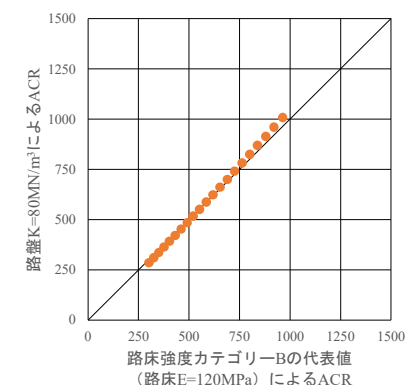
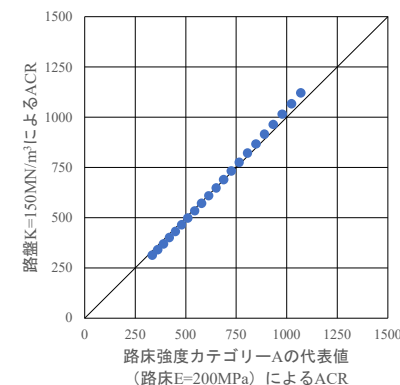
路床強度カテゴリーの検討(コンクリート舗装)

- 等価路盤K:【ICAOが定めた弾性基礎モデルによるACR】と同じACRが得られるWinkler基礎モデルの路盤K.
- 路床強度カテゴリーの選択では, 現行の路盤Kによる選択を踏襲することとした. 応力算出手法も(多層弾性解析ではなく)Winkler基礎モデルを用いる.

我が国の平均的版厚で, 現行ACNの路盤K代表値(150・80・40・20)と同程度が得られる.



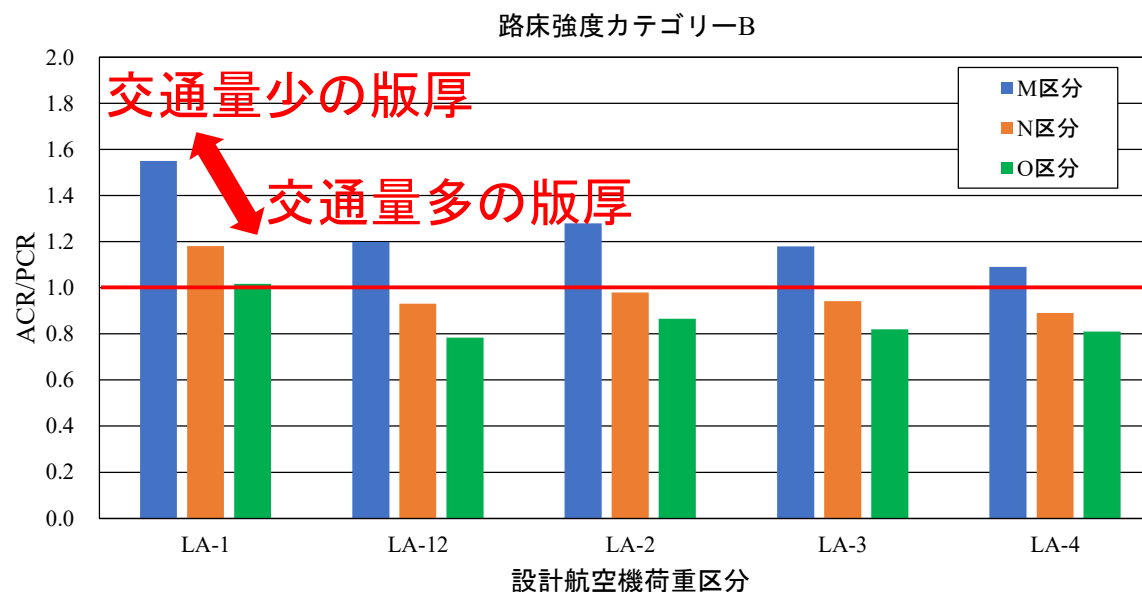
等価路盤Kと路盤厚の関係



弾性基礎モデルによるACR(横軸)と
Winkler基礎モデルによるACR(縦軸)

PCR算出方法の検討(コンクリート舗装)

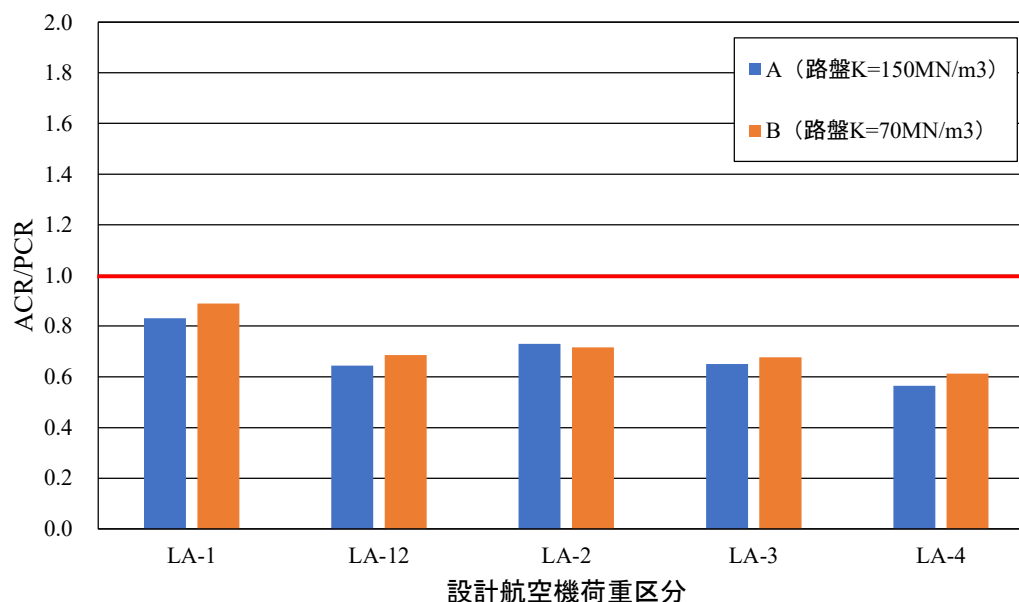
- 我が国の標準的なコンクリート版厚により, ACRと同じ手法(ただしWinkler基礎モデルを使用)でPCRを試算した.
- 交通量が最も少ないM区分の版厚ではACR/PCRが1.0を超過する. また, LA-1ではM・N・O区分いずれの版厚でもACR/PCRが1.0を超過する.
- 後述するオーバーロード運航の目安を構築するためには, アスファルト舗装と同様に疲労設計を基にした算出法の方が好都合.
- 以上の結果から, 我が国の理論的設計法により算出することとした. 使用する版厚はN区分(アスファルト舗装と同じ設計反復作用回数20000回)とした.



$$\text{ACR/PCR} = \frac{\text{代表的な機材のACR}}{\text{試算したPCR}}$$

PCR算出方法の検討(コンクリート舗装)

- アスファルト舗装と同様に，同一位置走行36500回で累積疲労度が1.0となるDSWL・PCRを算出した(設計要領において，路盤K50未満は用いてはならないこととなっているため，路床強度カテゴリーC・Dは省略)．
- ACR/PCRは1.0以下であり，路床強度カテゴリーによる差も小さく，またアスファルト舗装と概ね同程度のACR/PCRが得られているため，この方法を採用した．



$$\text{ACR/PCR} = \frac{\text{代表的な機材のACR}}{\text{試算したPCR}}$$

PCR算出方法の検討(コンクリート舗装)

構築したPCR算出方法は以下のとおり.

- コンクリート版厚と路盤Kを確認.
- 設計反復作用回数20000回のコンクリート版厚に補正.
- 以下の条件でWestergaard荷重応力式により荷重応力を算出し, 同一位置走行36500回でコンクリート版の累積疲労度が1.0となるDSWLを算定.
- DSWL(100kgf単位)を2倍した値がPCR.

層の種類	厚さ (mm)	弾性係数 (MPa)	ポアソン比
表層	補正後の コンクリート版厚	弾性係数34,000MPa	0.15
路盤	Winkler基礎モデル のため設定不要	路盤Kを設定	Winkler基礎モデル のため設定不要

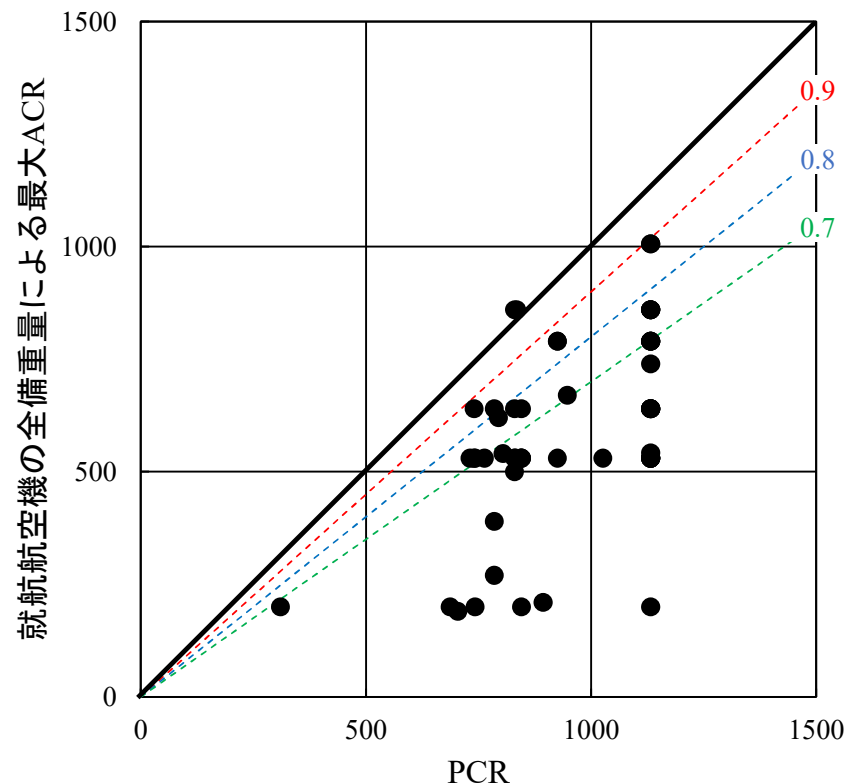
PCR算出方法の検討(コンクリート舗装)

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	239	229	219
210	319	315	312	308	304	300	296	291	286	280	274	268	253	240
220	350	346	342	338	333	328	322	317	310	304	296	289	277	264
230	383	379	374	369	364	358	352	346	339	332	323	314	302	288
240	417	412	407	402	396	390	383	376	369	361	352	341	329	313
250	453	448	442	436	430	423	415	407	400	391	381	370	356	339
260	490	484	478	472	465	458	450	442	434	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	809	797	784	770	755	739	722	704	682	655	622
350	894	883	871	859	846	833	818	802	785	767	746	722	694	659
360	947	935	923	910	897	883	867	850	832	814	789	764	734	697
370	1,000	988	975	961	946	930	914	896	877	856	833	807	775	736
380	1,053	1,043	1,029	1,014	998	982	964	946	925	903	879	851	818	776
390	1,107	1,100	1,084	1,069	1,052	1,035	1,016	996	975	952	926	896	861	817
400	1,161	1,158	1,142	1,125	1,107	1,089	1,069	1,048	1,026	1,001	974	943	906	859
410	1,215	1,217	1,200	1,183	1,164	1,145	1,124	1,102	1,078	1,052	1,023	990	951	902
420	1,269	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	1,323	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	1,377	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	1,431	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

コンクリート版厚及び路盤Kの中間値に応じたPCRは比例補間により算出する。

PCRの妥当性の検証(コンクリート舗装)

- 各空港のPCRを試算し、就航している機材の最大ACRと比較したところ、ACR/PCRは概ね0.9以下となった.
- ACR/PCRが小さい空港は就航航空機の荷重区分<設計航空機荷重区分が原因.
- $ACR/PCR > 1.0$ の2空港は設計がLA-12<就航がLA-1が原因. 現行のACN/PCNも1.0を超過しているため、当該路線の離陸搭載燃料を想定した(全備重量よりも軽い)ACNにより運航を許可していると考えられる.



【内容】

- 予備知識, 舗装強度の概要, ACR-PCR法の概要
- アスファルト舗装のPCR算出方法の検討
- コンクリート舗装のPCR算出方法の検討
- オーバーロード運航の目安の検討
 - 現行のオーバーロード運航の目安
 - 新しいオーバーロード運航の目安の検討

- 根拠資料は残されていない.
- 以前から航空局より「もう少し定量的な目安にならないか」との要望を頂いている.

ACN ≤ PCN 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、ACN > PCN 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。

$$\frac{ACN}{PCN} \leq 1 \quad : \text{無条件で運航可能}$$

$$1 < \frac{ACN}{PCN} \leq 1.1 \quad : \text{1日当りの運航回数が数回程度の運航であれば可能}$$

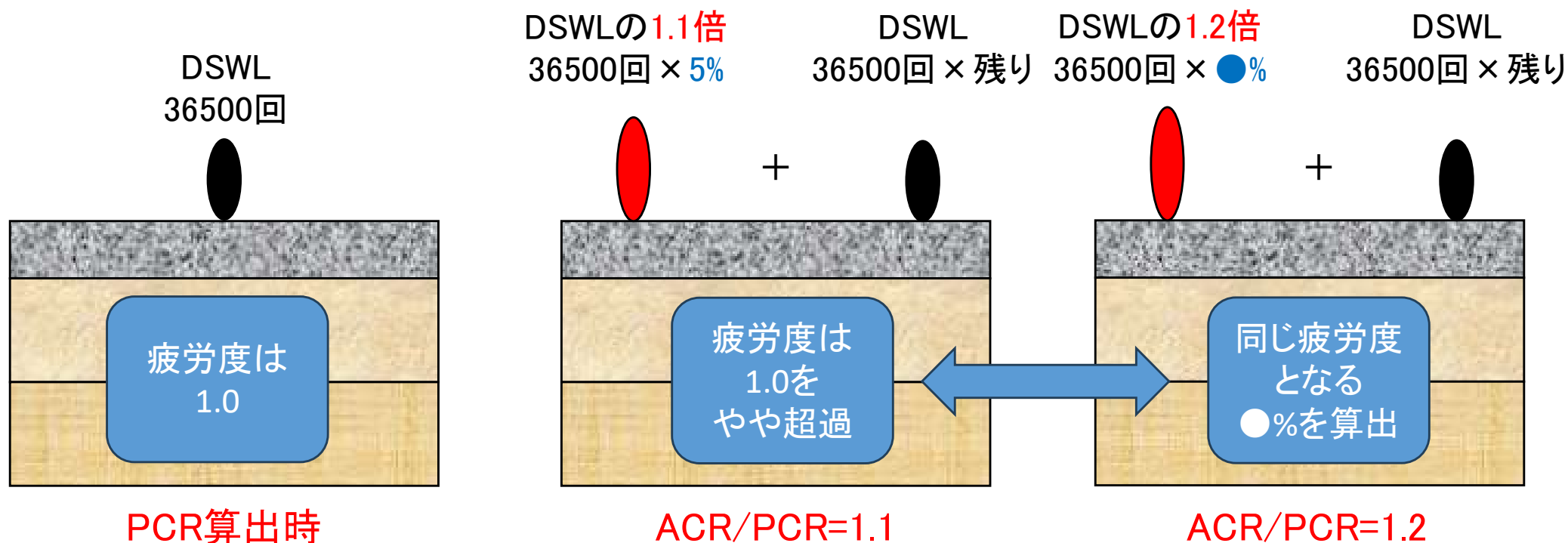
$$1.1 < \frac{ACN}{PCN} \leq 1.3 \quad : \text{1日当りの運航回数が数回程度でしかも短期間の運航であれば可能}$$

$$1.3 < \frac{ACN}{PCN} \leq 2.0 \quad : \text{特別の事情により数回程度の運航であれば可能}$$

$$2.0 < \frac{ACN}{PCN} \quad : \text{緊急機以外は不可}$$

新しいオーバーロード運航の目安の検討

- ICAO ADM (Annexの下位の文書)では以下の記述がある.
 - 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.
- 「 $ACR/PCR=1.1$ の運航回数が年間運航回数の5%以下」をモノサシとして, 以下の方針で検討した.



新しいオーバーロード運航の目安の検討

ACR/PCR	オーバーロード運航許容率 (%)	
	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



小さめのコンクリート舗装を参考とした

ACR/PCR	目安
1.0以下	無条件で運航可能
1.1以下	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
1.2以下	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
1.3以下	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を超過	緊急機以外は不可

結論

- ① ICAOによるACR算出方法や、我が国の舗装設計法を参考に、我が国のアスファルト舗装及びコンクリート舗装のPCR算出方法を作成した.
- ② 各空港に就航している航空機のACRと比較して妥当なPCRが算出されることを確認した.
- ③ 空港管理者が使いやすいよう、PCR一覧表を作成した.
- ④ オーバーロード運航の目安について、従来よりも定量化した目安を作成した.

Summary

Author conducted the research of the difference between “ICAO ACR definition”, “ICAO ADM3 PCR recommended procedure for technical evaluation” and “Japanese airport pavement design method”.

Based on the results, PCR calculation method in Japan was set in October 2023 for the change from ACN-PCN method to ACR-PCR method in 28 November 2024.

PCR of airport flexible pavement in Japan is calculated as below.

- Each layer thickness and subgrade design CBR are confirmed.
- Total pavement thickness (sum of surface course, binder course and base course) is calculated. If stabilized material is used for base course, the thickness of the stabilized base course is modified to that of the granular base course by using the equivalent coefficient.
- Total pavement thickness is modified to t_{20000} which is total pavement thickness in the design coverage 20,000 / 20 years.
- DSWL at constant tire pressure 1.50 MPa is calculated using the conditions as below (vertical strain at the top of subgrade is equal to 1325 microstrain as same as the strain of ACR definition for 36,500 passes).
- PCR is 2 times of DSWL (in 100kgf unit).

Layer	Thickness (mm)	Elastic Modulus (MPa)	Poisson Ratio
Asphalt Concrete	127 or 76 (same as ACR)	1,379 (same as ACR)	0.35
Base Course	t_{20000} - 127 or 76	Since the definition of the elastic modulus for ACR is very complicated, single layer elastic modulus is set using simplified formula. Maximum is 3 times (in 127 mm AC) or 5 times (in 76 mm AC) of subgrade elastic modulus.	0.35
Subgrade	Infinite	10 times of design CBR (in %)	0.35

Summary

Author conducted the research of the difference between “ICAO ACR definition”, “ICAO ADM3 PCR recommended procedure for technical evaluation” and “Japanese airport pavement design method”.

Based on the results, PCR calculation method in Japan was set in October 2023 for the change from ACN-PCN method to ACR-PCR method in 28 November 2024.

PCR of airport rigid pavement in Japan is calculated as below.

- Concrete slab thickness and design K value on base course are confirmed.
- Subgrade strength category (A, B, C and D) is set by (not elastic modulus of subgrade but) design K value on base course.
- Concrete slab thickness is modified to t_{20000} which is concrete slab thickness in the design coverage 20,000 / 20 years.
- DSWL at constant tire pressure 1.50 MPa is calculated using the conditions as below (CDF is equal 1.0 for 36,500 passes by using “stress at the bottom of concrete slab on Winkler foundation”, “design flexural strength of concrete” and “design fatigue failure curve for Japanese airport rigid pavement”).
- PCR is 2 times of DSWL (in 100kgf unit).

Layer	Thickness (mm)	Elastic Modulus (MPa)	Poisson Ratio
Concrete Slab	t_{20000}	34,000 (commonly used in Japanese airport rigid pavement design)	0.15
Base Course	Infinite (since Winkler foundation)	Design K value on base course	None