

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

本日の発表内容

【概要】

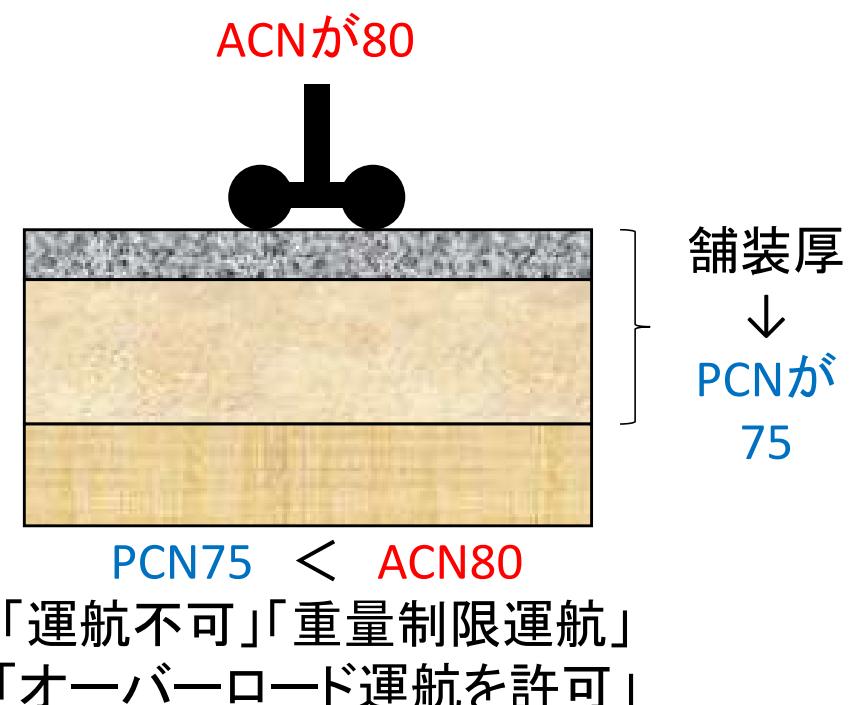
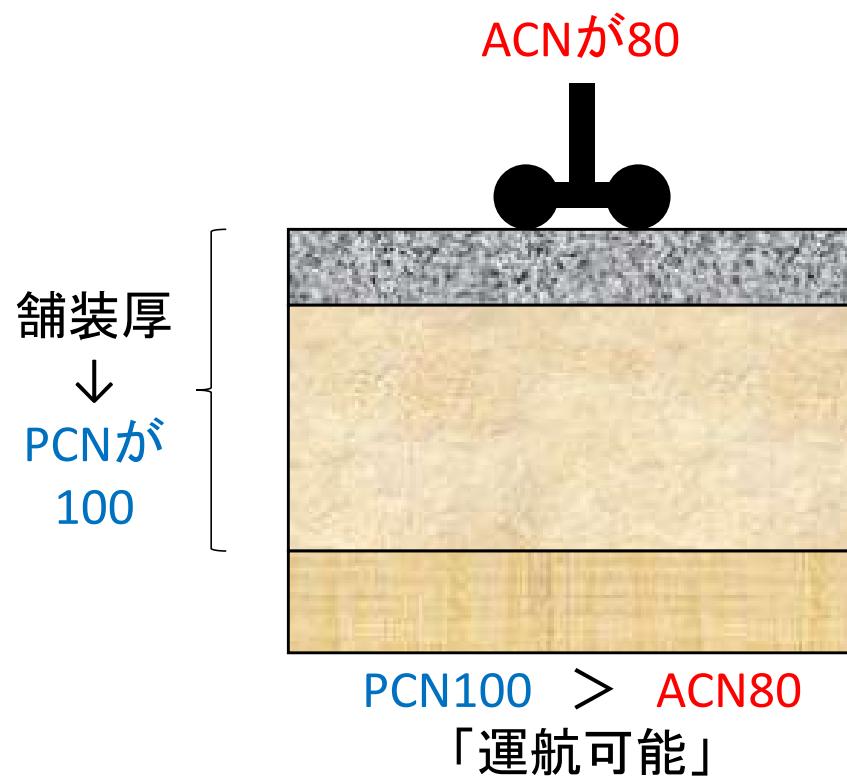
ICAOが2024年から適用開始するACR-PCR法に対応するため、我が国のPCR算出方法を作成した。これに基づき、航空局「舗装強度の公示方法について」が2023年10月に改正された。

【発表内容】

- ACN-PCN法の概要、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

ACN-PCN法の概要

- 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。
 - 航空機製造者が算出し, Airplane Characteristics等に掲載。
- 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。
 - 空港管理者が算出し, AIPで公示する。
 - 我が国の算出方法は航空局「舗装強度の公示方法について」に掲載。



ACN-PCN法の概要

- 各空港の舗装強度は空港管理者がAIPで公示している。
- 以下はAIS JAPAN(航空局のWEBサイト)で確認した某空港のAIP。

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
[Redacted]	[Redacted] °	[Redacted]	PCN 86/F/C/X/T Asphalt Concrete	[Redacted] N [Redacted] E	THR ELEV : [Redacted] ft
[Redacted]	[Redacted] °	[Redacted]	PCN 86/F/C/X/T Asphalt Concrete	[Redacted] N [Redacted] E	THR ELEV : [Redacted] ft TDZ ELEV : [Redacted] ft
Slope of RWY	Strip dimensions(M)	RESA (errun) Dimensions(M)		Remarks	
7	10			14	

PCN 86／F／C／X／T

- PCNは86です
- アスファルト舗装です
- 路床強度カテゴリーはC(路床CBRが4~8%)です
- など

ACN-PCN法の概要・ACR-PCR法の概要

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	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 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)
-----------	-----------------------	---------------------	---------------------------	-----------------------

【参考】 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.

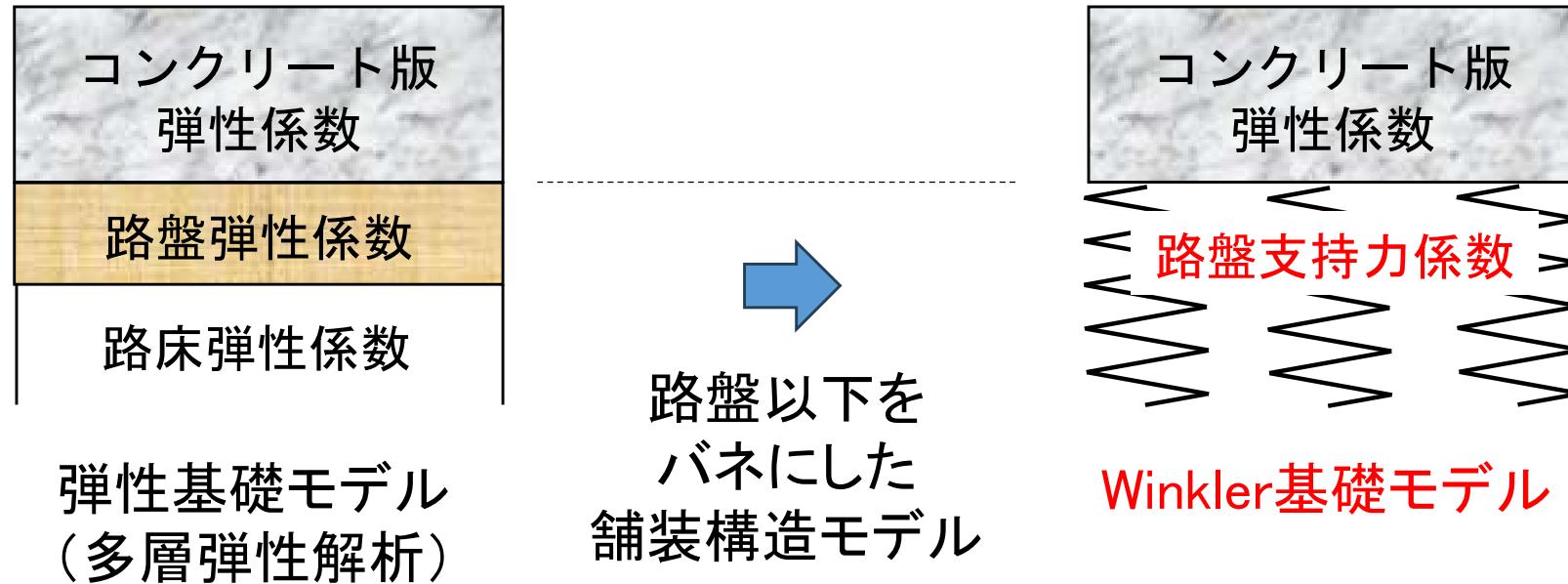
- ・荷重の情報
- ・舗装厚等の情報

から1秒程度で
舗装内のひずみや応力が
計算できる解析手法



【参考】 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）.



ACNとACRの違い

	航空機のACN	航空機のACR
アスファルト舗装の算出方法	米国設計法で使用されていた舗装厚式を使用	多層弹性解析で算出したひずみを使用
コンクリート舗装の算出方法	Winkler基礎モデルで算出した応力を使用	多層弹性解析で算出した応力を使用
路床強度カテゴリーA・B・C・Dの選択方法	路床のCBR(As) 路盤の支持力係数(Co)により選択	路床の弹性係数により選択
DSWLの算出方法 (主脚の2輪・4輪・6輪を1輪に換算した荷重のこと)	接地圧は 1.25MPa	接地圧は 1.50MPa

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。
(既に一部の機材については掲載されています)

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 CBR=15	B CBR=10	C CBR=6	D CBR=3	A E=200	B E=120	C E=80
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ーA~D の代表値.

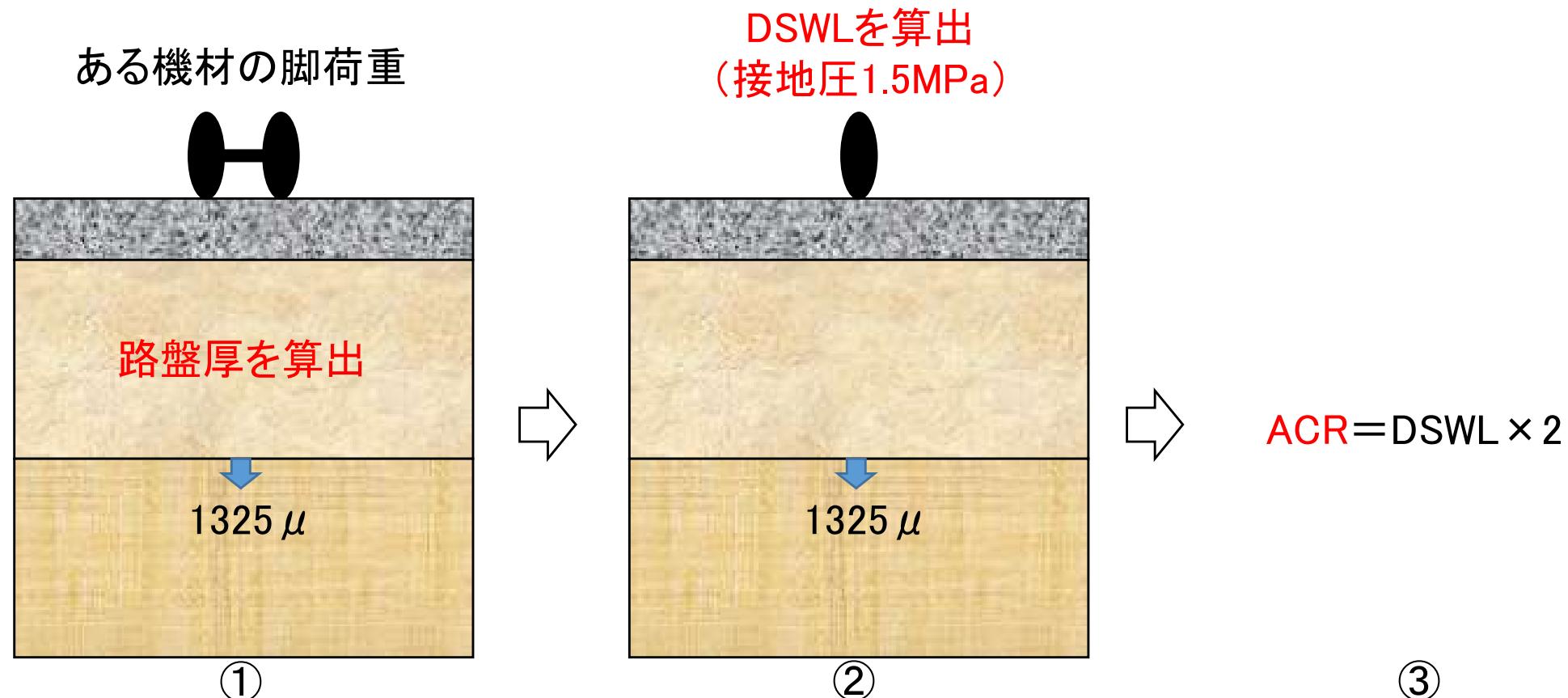
航空機	舗装種別	コンクリート舗装の ACN				コンクリート舗装の ACR			
		路床強度 カテゴリー	A K=150	B K=80	C K=40	D K=20	A E=200	B E=120	C E=80
A380-800		56	70	91	113	660	840	1,010	1,190
B777-300ER		66	85	109	131	787	1,006	1,178	1,360
B787-8		61	71	84	96	670	790	870	970
A320-200		47	49	52	54	480	500	520	530

※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.

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.

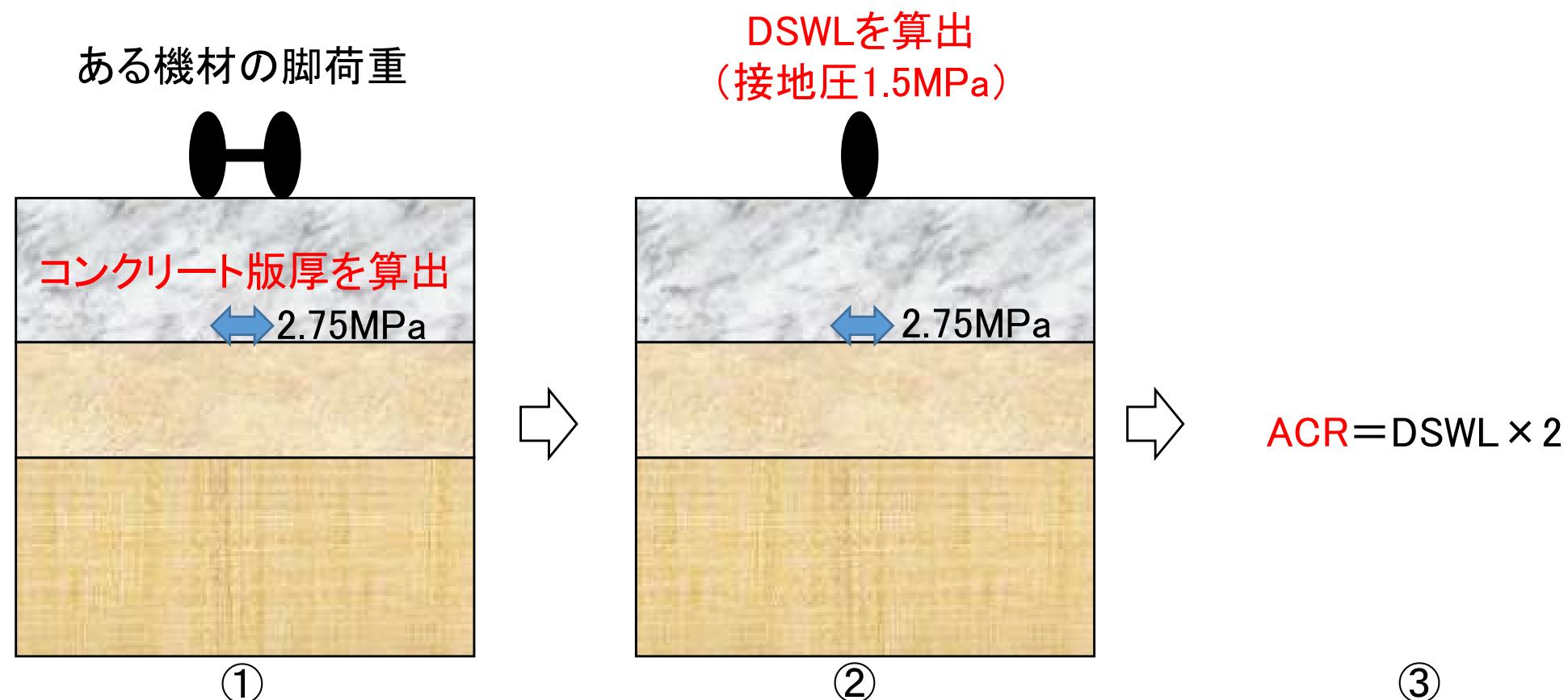
- ① 脚荷重の同一位置走行36500回載荷で路床疲労度1.0となる(路床ひずみが 1325μ となることと同義)路盤厚を多層弾性解析で算出する.
- ② ①の路盤厚で、同一位置走行36500回で路床疲労度1.0となる(路床ひずみが 1325μ となることと同義)DSWLを多層弾性解析で算出する.
- ③ DSWL(100kgf単位)を2倍してACRとする.



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 脚荷重によるコンクリート版下面の引張応力が2.75MPaとなる版厚を多層弹性解析で算出する.
- ② ①の版厚で、引張応力が2.75MPaとなるDSWLを多層弹性解析で算出する.
- ③ DSWL(100kgf単位)を2倍してACRとする.



本日の発表内容

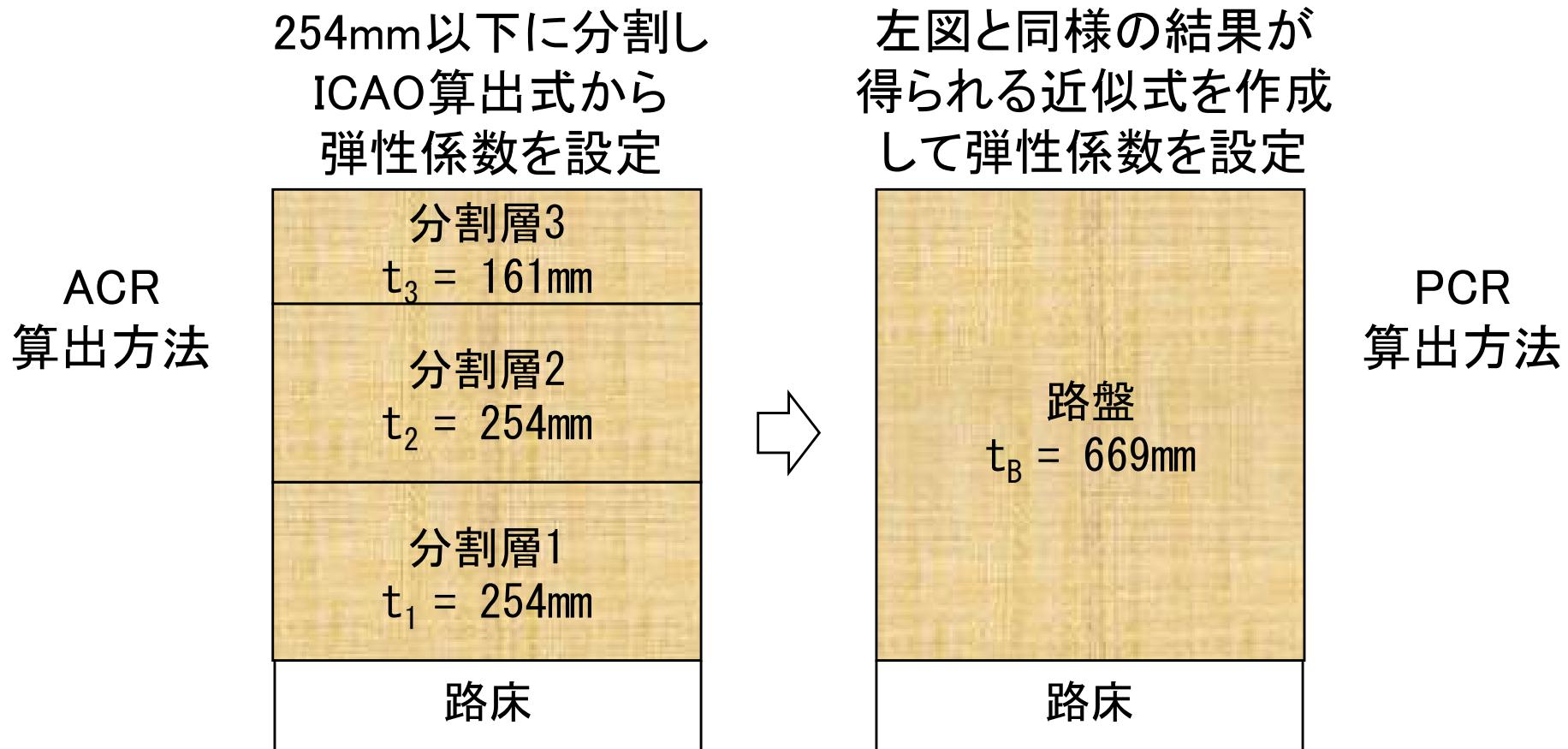
- 基礎知識, 舗装強度の概要, ACR-PCR法の概要
- アスファルト舗装のPCR算出方法の検討
- コンクリート舗装のPCR算出方法の検討

アスファルト舗装のPCR算出方法の検討

ACRと同一の方法でPCRを試算・分析し、我が国の空港舗装設計法が反映されるよう、ACR算出方法を一部変更した方法をPCR算出方法とした。

ACR算出方法からの主な変更点

- ACRの「路盤を分割したモデル」ではなく、路盤を単一層としたモデルとする。
⇒解析が非常に煩雑なため、同じ結果が得られる近似式を作成して使用。



アスファルト舗装のPCR算出方法の検討

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)																		
	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	482	452	422	392	362	332	302	272	242	211	180	149	129	103	76	54
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	550	518	485	442	400	360	320	281	245	208	172	135	98
700	1,061	1,028	967	907	849	792	742	682	622	562	502	442	382	320	270	221	172	123	82
800	1,329	1,250	1,172	1,096	1,021	942	872	802	722	642	562	482	406	342	278	215	152	98	76
900	1,711	1,671	1,570	1,471	1,375	1,280	1,180	1,080	980	880	780	680	584	503	422	343	263	184	126
1000	2,111	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	2,611	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	3,111	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	3,611	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	4,211	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	4,811	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	5,411	5,161	4,881	4,601	4,321	4,041	3,761	3,481	3,201	2,951	2,711	2,469	2,232	1,999	1,770	1,544	1,321	1,102	884
1700	6,111	5,811	5,531	5,251	4,971	4,691	4,411	4,131	3,851	3,571	3,311	3,031	2,751	2,471	2,191	1,911	1,631	1,451	1,271
1800	6,911	6,551	6,271	5,991	5,711	5,431	5,151	4,871	4,591	4,311	4,031	3,751	3,471	3,191	2,911	2,631	2,351	2,071	1,891
1900	7,711	7,321	7,041	6,761	6,481	6,201	5,921	5,641	5,361	5,081	4,801	4,521	4,241	3,961	3,681	3,401	3,121	2,841	2,561
2000	8,511	8,040	7,660	7,280	6,900	6,520	6,140	5,760	5,380	5,000	4,620	4,240	3,860	3,480	3,100	2,720	2,340	2,060	1,780
2100	9,311	8,680	8,300	7,920	7,540	7,160	6,780	6,400	6,020	5,640	5,260	4,880	4,500	4,120	3,740	3,360	3,080	2,700	2,420
2200	10,111	9,601	9,221	8,841	8,461	8,081	7,701	7,321	6,941	6,561	6,181	5,801	5,421	5,041	4,661	4,281	3,901	3,521	3,141
2300	11,011	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	12,011	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	13,011	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	14,011	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	15,011	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	16,011	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	17,011	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	18,011	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

路床弾性係数

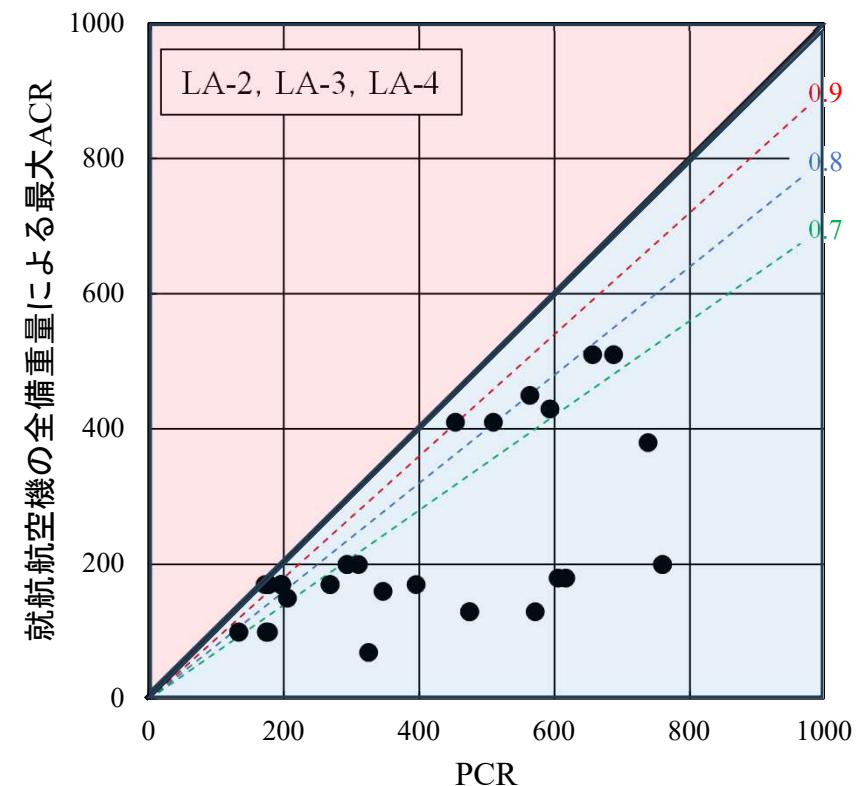
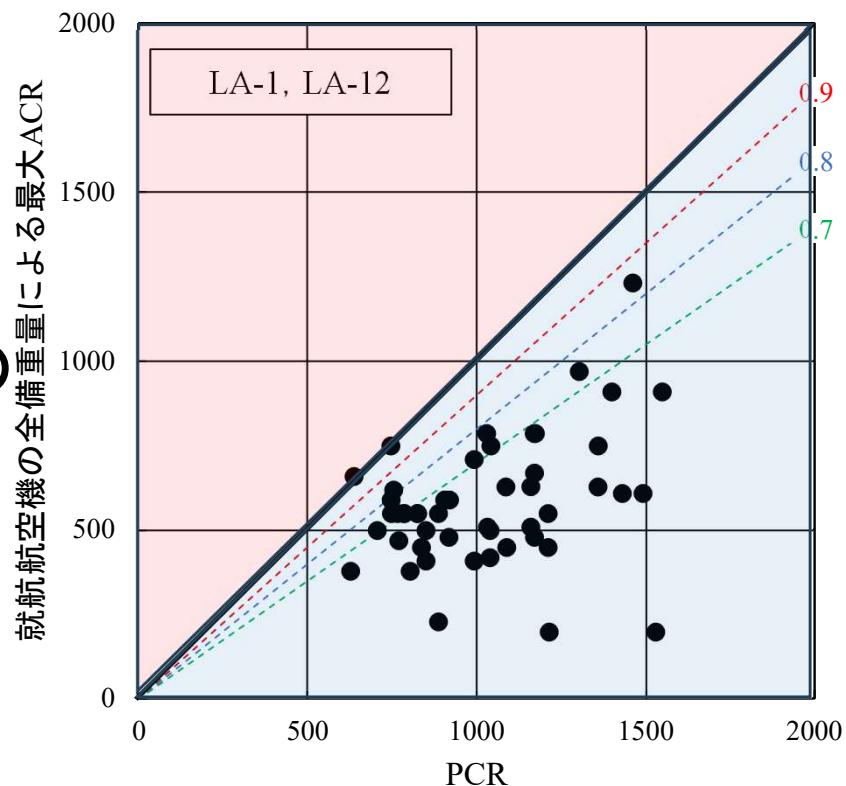
基準舗装厚
＝アスコン層厚 + 粒状路盤厚



アスファルト舗装のPCR算出方法の検討

- 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。
- LA-12の2空港でACR/PCRが1.0をやや超過しているが、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。

縦軸：
就航機材の
最大ACR



横軸：舗装厚から試算したPCR

本日の発表内容

- ・ 基礎知識, 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

コンクリート舗装のPCR算出方法の検討

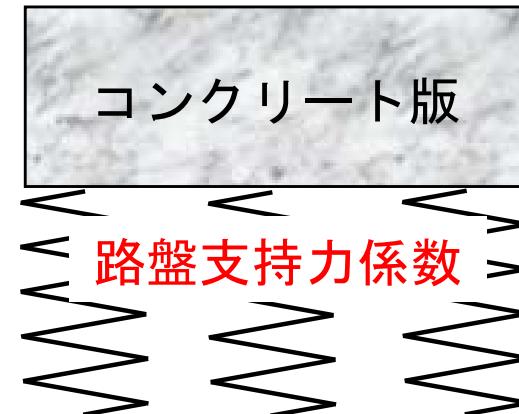
ACRと同一の方法でPCRを試算・分析し、我が国の空港舗装設計法が反映されるよう、ACR算出方法を一部変更した方法をPCR算出方法とした。

ACR算出方法からの主な変更点

- ACRの「弾性基礎モデル」ではなく、我が国の空港舗装設計法で用いられている「Winkler基礎モデル」による算出方法とした。
⇒コンクリート版厚の設計で使用している「路盤の設計支持力係数」の方が空港管理者が確認しやすい・換算不要のため。



ACR算出で使用されることとなった
弾性基礎モデル



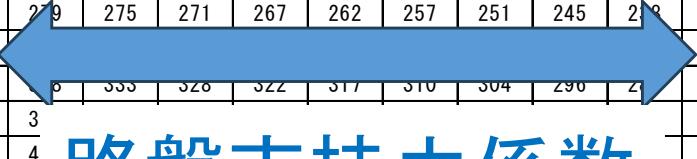
ACN算出や
我が国の設計法で使用されている
Winkler基礎モデル

コンクリート舗装のPCR算出方法の検討

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										253	240	
220	350	346	342										277	264	
230	383	379	374	373									302	288	
240	417	412	407	404									329	313	
250	453	448	442	439									356	339	
260	490	484	478	472									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										704	682	655	622
350	894	883										746	722	694	659
360	947	935										789	764	734	697
370	1,000	988		975	961	946	930	914	896	877	856	833	807	775	736
380	1,050	1,043		1,029	1,014	998	982	964	946	925	903	879	851	818	776
390	1,111	1,100		1,084	1,069	1,052	1,035	1,016	996	975	952	926	896	861	817
400	1,171	1,158		1,142	1,125	1,107	1,089	1,069	1,048	1,026	1,001	974	943	906	859
410	1,231	217		1,200	1,183	1,164	1,145	1,124	1,102	1,078	1,052	1,023	990	951	902
420	1,291	278		1,260	1,242	1,222	1,202	1,180	1,157	1,132	1,104	1,074	1,039	998	946
430	1,351	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	1,421	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	1,451	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

路盤支持力係数

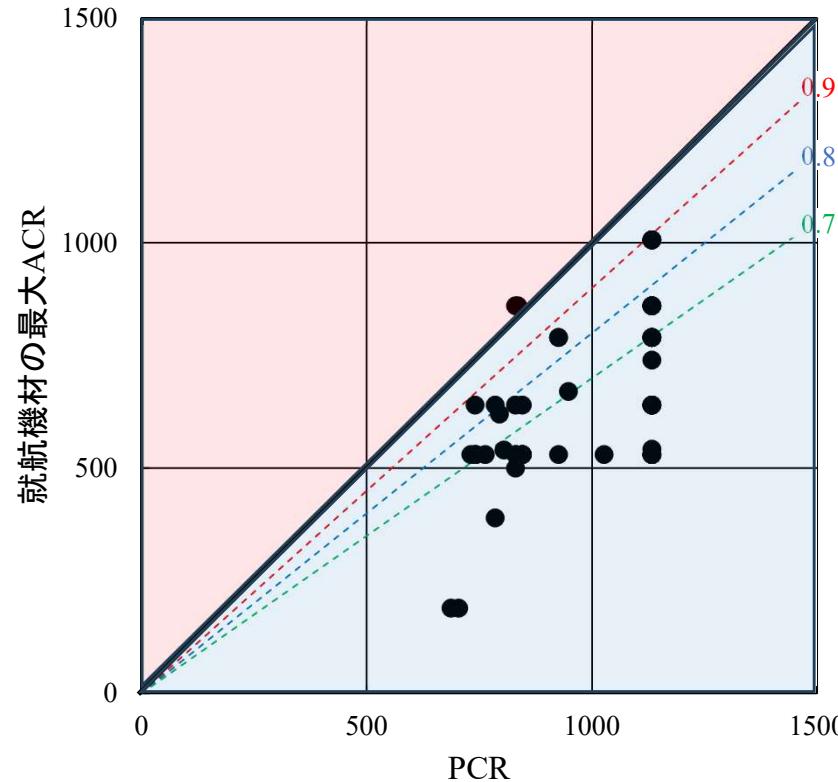
コンクリート版厚



コンクリート舗装のPCR算出方法の検討

- 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。
- LA-12の2空港でACR/PCRが1.0をやや超過しているが、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。

縦軸：
就航機材の
最大ACR



横軸：舗装厚から試算したPCR

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、PCRの試算・分析を行い、我が国の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。