

平成24年度
東京国際空港国際線地区エプロン等整備等事業
(第3回) 技術検討委員会

日時：平成24年10月26日（金）13:00～15:00
場所：霞山会館37階 紅梅の間

議 事 次 第

1. 開 会

2. 議 事

(1) 前回技術検討委員会での主な意見及び第3回技術検討委員会の論点

(2) 既設エプロンの疲労度照査手法について

3. 閉 会

.....

配付資料

議事次第、出席者名簿、配席図

- 資料 1-1 業務要求水準変更に伴う大規模補修工事計画の見直し経緯
- 資料 1-2 前回技術検討委員会での主な意見及び第3回技術検討委員会の論点
- 資料 2 既設エプロンの疲労度照査手法について
- 資料 3 大規模補修工事計画の試算結果（北・南）

平成24年度
東京国際空港国際線地区エプロン等整備等事業(第3回)技術検討委員会

出席者名簿

(委員)

伊豆 太	国土技術政策総合研究所 空港研究部空港施設研究室長	
菅野 高弘	港湾空港技術研究所 特別研究官	
田中 洋行	北海道大学大学院 工学研究院 教授	
福手 勤	東洋大学 理工学部 教授	
前川 宏一	東京大学大学院 工学系研究科 教授	(欠席)
山内 弘隆	一橋大学大学院 商学研究科 教授	(欠席)
渡部 要一	港湾空港技術研究所 地盤研究領域長	

(以上、敬称略、五十音順)

(関係者)

滝本 豊	航空局 安全部 空港安全・保安対策課 空港安全分析企画調整官
杉野 浩茂	航空局 航空ネットワーク部 空港施設課 大都市圏空港調査室長
三浦 清人	東京航空局 空港部次長
池田 尊彦	東京航空局 東京空港事務所次長
下司 弘之	関東地方整備局 港湾空港部長
水上 純一	関東地方整備局 東京空港整備事務所長
鈴木 高二朗	関東地方整備局 横浜港湾空港技術調査事務所長

(事業者)

羽田空港国際線エプロンPFI株式会社

(事務局)

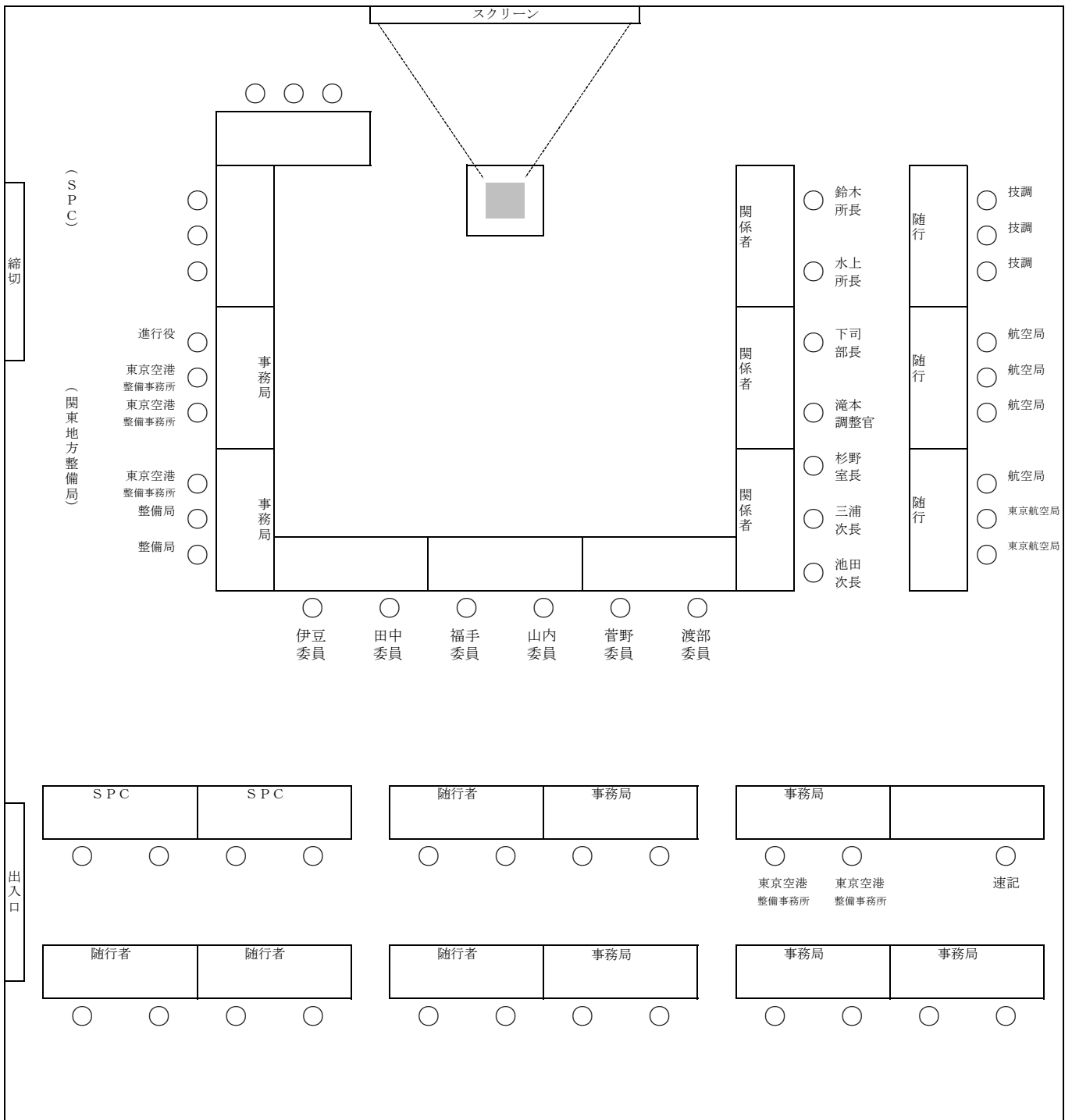
関東地方整備局

(財)港湾空港建設技術サービスセンター

平成24年度
東京国際空港国際線地区エプロン等整備等事業（第3回）技術検討委員会

平成24年10月26日（金）13時～
霞山会館37階 紅梅の間

配席図

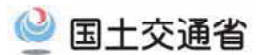


業務要求水準の変更に伴う大規模補修工事計画の見直し経緯



Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

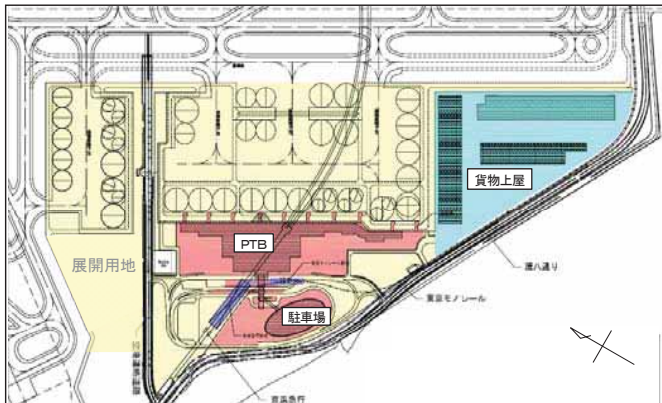
1. 国際線地区の整備(PFI手法の活用)



民間のノウハウを活用した効率的・効果的な施設整備を行うため、国際線地区については、①旅客ターミナル等整備・運営事業、②貨物ターミナル整備・運営事業、③エプロン等整備等事業について、PFI手法を活用。

PFI手法を活用した国際線地区の整備・運営

- 民間のノウハウを活用した効率的・効果的な施設整備
- 空港利用者に対するサービス水準の向上



- 国際線地区の整備は以下の3事業に区分してPFI手法で実施
 - ・ 旅客ターミナル等整備・運営事業 (約 13ha)
 - ・ 貨物ターミナル整備・運営事業 (約 17ha)
 - ・ エプロン等整備等事業 (約 68ha)

- これら国際線地区の整備にあわせて、京浜急行電鉄・東京モノレールが新駅の整備事業を実施

国際線地区の整備手法について

	旅客ターミナルビル等 整備・運営事業	貨物ターミナル 整備・運営事業	エプロン等整備等事業
特別目的会社 (SPC)	東京国際空港ターミナル(株) <代表企業: 日本空港ビルデング(株)>	東京国際エアカーゴターミナル(株) <代表企業: 三井物産(株)>	羽田空港国際線エプロンPFI(株) <代表企業: 大成建設(株)>
施設概要	敷地面積 約13万㎡ 旅客ターミナルビル*	敷地面積 約17万㎡ 貨物上屋 3棟	エプロン 34スポット
業務概要	旅客ターミナルビル等の運営、設計、施工監理、維持管理	貨物ターミナルの運営、設計、施工監理、維持管理	エプロン等の設計、施工、維持管理
事業方式	独立採算型 (国費は投入せず、SPCがPSFC(旅客取扱施設使用料)やテナント料収入等により施設整備費等を回収する。)		サービス購入型 (国が施設整備費等の対価を支払う。)
事業期間	約30年間		

(注)ターミナルの運営事業者と建設施工者の選定手続を分離し、競争促進を図る。
 建設施工者については、SPCが一般競争入札により選定する方式を採用することとし、ターミナル建設費の低減を図る。

2. 工事施工状況・維持管理状況

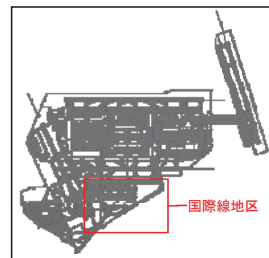
	H18年度	H19年度	H20年度	H21年度	H22年度	H46年度
工事						
土工						
液状化対策工						
既設構造物防護工						
舗装工						
GSE橋梁工						
航空保安施設工						
付帯施設工						
構内道路・駐車場工						
緑地工						
維持管理						

H19年3月1日
●工事着手

H21年9月30日
●維持管理開始

H47年3月31日
●事業契約終了

GSEとは、Ground Support Equipmentの略で、航空機の支援業務に使用される地上機材をいう。



-2-

3. 首都圏空港(羽田・成田)の年間発着枠の増加

羽田空港については、平成22年10月の新たな4本目の滑走路供用開始を契機に、今後、発着枠を44.7万回まで段階的に増加。成田空港についても、発着枠30万回への増加を図る。

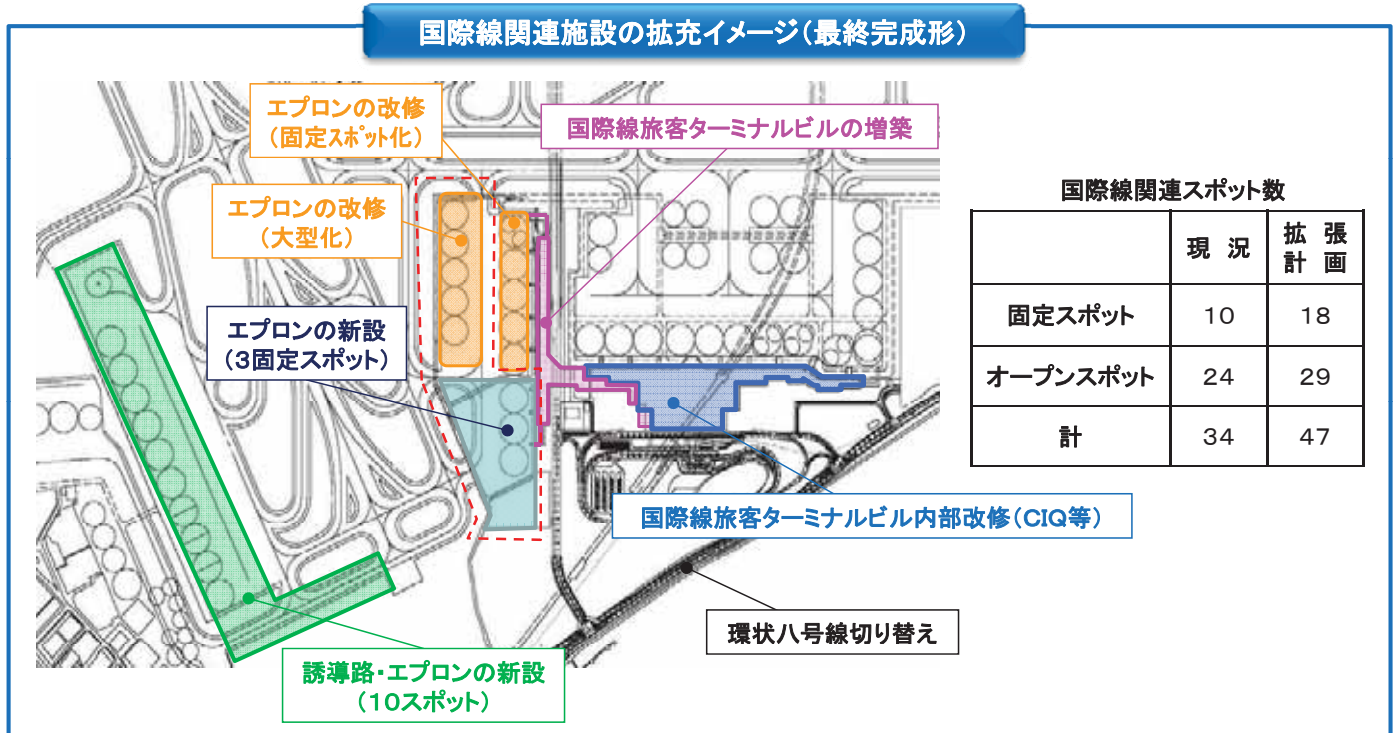
	羽田空港 (うち国際線)	成田空港	首都圏空港全体
H22.10月まで (羽田D滑走路供用前)	30.3万回	22万回	52.3万回
現在 (H24.3.25以降)	39万回 (6万回) [国際線の内訳 昼間: 3万回 深夜早朝: 3万回]	25万回	64万回
H25年夏ダイヤから (H25.3.31以降)	41万回 (6万回) [国内線2万回を増枠]	27万回	68万回
最終形 (羽田:H25年度末 成田:H26年度中)	44.7万回 (9万回) [国際線の内訳 昼間: 6万回 深夜早朝: 3万回]	30万回	74.7万回

以降、首都圏空港を含めたオープンスカイを実施

* 1. いずれも年間当たりの回数である。
* 2. 回数のカウントは、1離陸で1回、1着陸で1回のため、1離着陸で2回とのカウントである。
* 3. 今後のスケジュールについては、最短の場合を想定したものである。
* 4. 羽田空港の深夜早朝時間帯については、このほか国際チャーター便等の運航が可能である。

-3-

項目	現況	拡張計画
就航路線	近距離アジアビジネス路線	長距離アジア・欧米路線を含めた高需要、ビジネス路線
年間発着回数(昼間時間帯)	3万回	6万回



5. これまでの技術検討委員会経緯

事業契約締結

- ▶ 平成17年 4月15日 実施方針の公表
- ▶ 平成17年 6月29日 特定事業の評価、選定、公表
- ▶ 平成17年 7月29日 事業者の募集(入札公告)
- ▶ 平成18年 1月31日 開札
- ▶ 平成18年 3月24日 大成グループと事業契約の締結

設計・施工・維持管理の実施

- ▶ 平成18年 5月19日 第1回技術検討委員会
- ▶ 平成18年10月20日 第2回技術検討委員会
- ▶ 平成19年 2月 9日 第3回技術検討委員会
- ▶ 平成19年 2月28日 設計の承諾
- ▶ 平成19年 3月 1日 工事着手
- ▶ 平成20年 2月29日 第4回技術検討委員会(現場報告)
- ▶ 平成21年 9月30日 一部施設を除き工事完了
- ▶ 平成21年 9月30日 維持管理業務開始
- ▶ 平成22年 7月30日 全施設工事完了

技術検討委員会で審議した主な技術提案内容

- ① **エプロン舗装の設計**: 全面NC舗装の採用
 - ・不同沈下と航空機荷重を考慮した疲労度設計を導入。
 - ・一部の不同沈下が大きい箇所のみ高強度コンクリートを使用。
- ② **地盤改良工**: 液状化対策工はBs、As1層のみ実施
 - ・全対象層を改良するのではなく、上部のBs、As1層を改良し10m程度の非液状化層を造ることで、地盤全体の安定を図る。
 - ・Ac2上部層の過剰間隙水圧消散に伴う沈下に対し、変形性能照査型の設計法を導入。
- ③ **GSE橋梁**: UFC(超高強度繊維補強コンクリート)桁を採用
 - ・桁重量がPC桁と比べて小さくなり、下部及び基礎の規模が小さい。
- ④ **事業対象施設への影響対策工**:
適切な軽量盛土の採用
 - ・不同沈下抑制対策として一部の路床に水砕スラグを採用
- ⑤ **既設構造物への影響対策工**:
沈下を許容した軽量盛土対策
 - ・空港連絡道路や三愛シールドがあるGSE橋梁は、一番軽量のEPSを採用
- ⑥ **維持管理**: 予防保全の考えを取り入れた合理的な維持管理
 - ・施設の健全度及び施設の重要度に応じた保全区分を導入
 - ・NC舗装版の大規模補修方法
 - ・長期スポット閉鎖が可能な範囲は「コンクリート打ち換え」、即日復旧が必要な範囲は「PRC版」、勾配補修等に関しては「付着オーバーレイ工法」とする。

平成24年4月16日：変更業務要求水準書(※)の決定

※) エプロン等を設計・施工・維持管理する際に求める(目標とする)水準を規定したもの。

要求水準変更内容

業務要求水準書の変更ポイント

- ① 入力地震動及び地震動レベルの変更
- ② 計画交通量及び機材別内訳の変更

(遵守・参考・引用する各種基準や設計要領等の改定も反映)

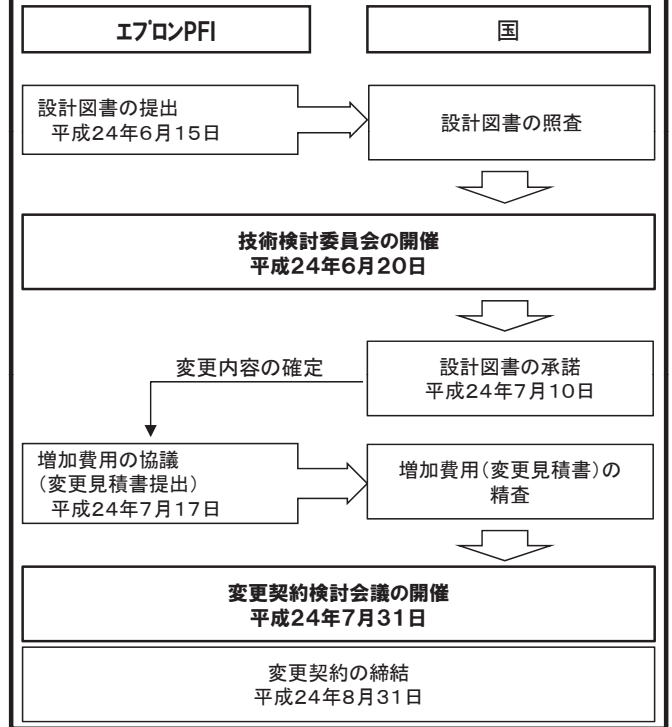
技術検討委員会の主要審議事項

当初技術提案を踏襲した下記の設計及び提案内容の妥当性を審議

- ① 地盤改良設計内容
- ② 舗装設計内容
- ③ 大規模補修工事計画の見直し

第2回技術検討委員会にて審議済

これまでの流れ



7. 舗装設計 計画交通量及び機材別内訳の変更(1)

新成長戦略に基づく国際線増枠に対応するため、計画交通量(回数、機材構成)について業務要求水準書を変更した。

1. 荷重条件の変更

ークラス別航空機荷重及び年間便別離着陸回数の計画値ー

表1 当初の航空機荷重及び機材別年間交通量(北・南側エプロン)

	国際線該当機材	最大離陸重量 (t)	最大着陸重量 (t)	年間離着陸回数 (回)
A380 クラス	A380-800	560	386	6,000
J クラス	B747-400	396	286	12,000
L クラス	B777-200ER	294	192	7,500
M クラス	B767-300ER	181	145	24,500
			合計	50,000

近距離アジア路線

国際線増枠と共に、設計対象航空機として、
 ・成田発着では長距離国際線(欧州、北米間)の主力となっているB777-300ER
 ・今後の中型機の主流となるB787-8を追加設定

長距離アジア・欧米路線
を含めたビジネス路線

表2 変更した航空機荷重及び機材別年間交通量(北側エプロン)

	国際線該当機材	最大離陸重量 (t)	最大着陸重量 (t)	年間離着陸回数 (回)
J クラス	B747-400	396.0	285.8	8,500
	B777-300ER	352.4	251.3	9,000
L クラス	B777-200ER	287.8	208.7	17,500
	B767-300ER	187.3	145.2	6,000
M クラス	B787-8	228.4	172.4	9,000
			合計	50,000

表3 変更した航空機荷重及び機材別年間交通量(南側エプロン)

	国際線該当機材	最大離陸重量 (t)	最大着陸重量 (t)	年間離着陸回数 (回)
A380 クラス	A380-800	562.0	386.0	3,000
J クラス	B747-400	396.0	285.8	12,000
	B777-300ER	352.4	251.3	13,000
L クラス	B777-200ER	287.8	208.7	25,000
	B767-300ER	187.3	145.2	9,000
M クラス	B787-8	228.4	172.4	13,000
			合計	75,000

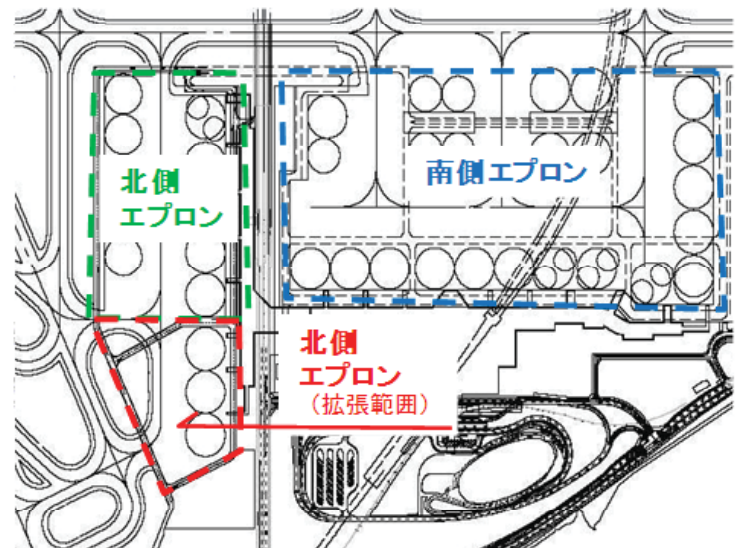
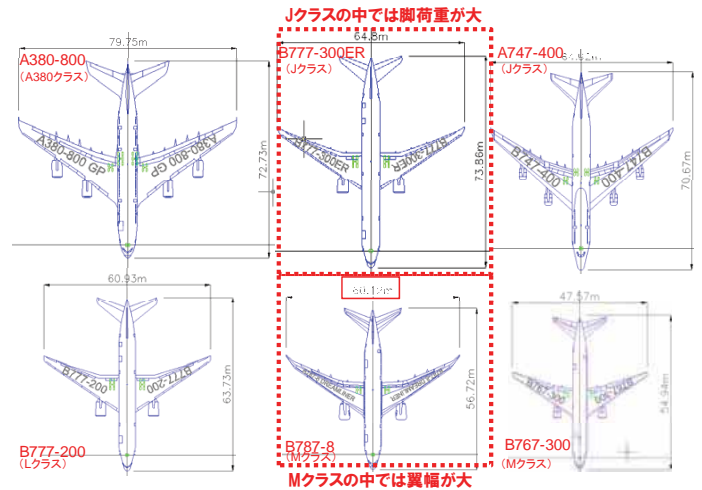


表4. クラス別航空機諸元

機材	翼中心 (cm)	翼前幅 (cm)	翼後幅 (cm)	接地圧 (N/mm ²)	離陸				着陸			
					脚荷重 (kN)	輪荷重 (kN)	接地幅 (cm)	接地長 (cm)	脚荷重 (kN)	輪荷重 (kN)	接地幅 (cm)	接地長 (cm)
A380-800 (B)	526	153.0	340.0	1.50	1,573	262	34.7	50.3	1,080	180	28.7	41.8
A380-800 (W)	1,246	135.0	170.0	1.50	1,049	262	34.7	50.3	720	180	28.7	41.8
B747-400 (B)	384	111.8	147.3	1.38	910	228	33.7	49.0	656	164	28.6	41.5
B747-400 (W)	1,100	111.8	147.3	1.38	910	228	33.7	49.0	656	164	28.6	41.5
B777-300ER	1,097	140.0	293.0	1.52	1,598	266	34.7	50.4	1,139	190	29.3	42.7
B777-200ER	1,097	140.0	290.0	1.41	1,323	221	32.8	47.8	959	160	28.0	40.5
B767-300ER	930	114.3	142.2	1.38	849	212	32.5	47.3	658	165	28.7	41.7
B787-8	980	129.5	146.1	1.57	1,022	256	33.5	48.7	771	193	29.1	42.2

解説) (W):ウイングギア (B):ボディギア



技術検討委員会における事業者設計図書確認の視点

計画交通量及び機材別内訳を変更した中で、設計図書等の下記妥当性について確認

1. 当初技術提案を踏襲した新設北エプロンにおける設計舗装構成等
2. 既設エプロンへの影響と大規模補修工事計画の見直し(第3回技術検討委員会で継続審議)

8. 大規模補修工事計画とは

国際線エプロンPFIでは、経年劣化により、低下あるいは消失した施設機能を回復するため、エプロン等の運用を一定期間制限したうえで広範囲な補修(舗装の打換等)を行う大規模補修工事計画を策定し、維持管理を行っている。大規模補修には主に、疲労破壊に対する補修、勾配修正に伴う補修がある。

(1) 疲労ひび割れが発生する可能性のある基準 → 累積疲労度1.0

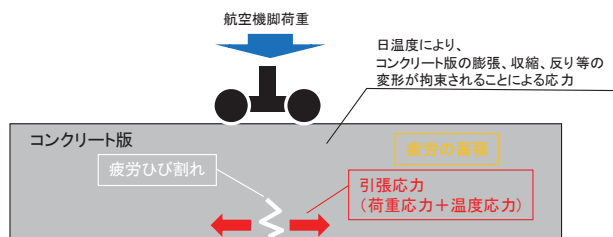
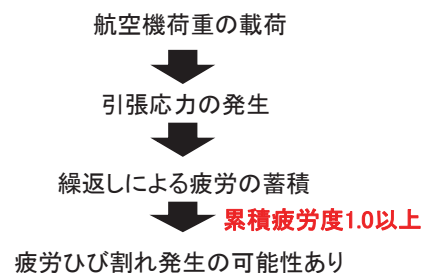


図5. 疲労破壊の概念図



(2) 疲労破壊に伴う大規模補修工事計画の目安 → PRI評価 C

事業終了時におけるPRIによる評価(空港土木施設点検要領(案))がA又はBとなっていることが必要。

コンクリート舗装の路面の評価は、ひび割れ、目地部の破損、段差の3項目の調査結果を用い、次式により算出されるPRIに基づいて、表-4.2の基準によって行う。(9, 10)

$$PRI=10-0.290CR-0.296JC-0.535SV\cdots\cdots(4.1)$$

ここに、PRI: 舗装補修指数 (Pavement Rehabilitation Index)
 CR: ひび割れ度 (cm/m²)
 JC: 目地部の破損率 (%)
 SV: 段差 (最大値) (mm)

表-4.2 PRIの評価

舗装区域	評価		
	A	B	C
滑走路	7.0以上	3.7以上7.0未満	3.7未満
誘導路	6.4以上	2.3以上6.4未満	2.3未満
エプロン	5.7以上	0以上5.7未満	0未満

(注) A: 補修の必要なし
 B: 近いうちの補修が望ましい
 C: できるだけ早急に補修の必要がある

(3) 勾配修正に伴う大規模補修工事計画の目安 → 沈下によるエプロン規定勾配逸脱防止

エプロンの勾配は、駐機部分を0.5%程度、それ以外は1.0%以内とする。

■国からエプロンPFI(株)への要求水準書の変更提示(平成24年 4月 2日)

新成長戦略に基づく国際線増枠に対応し、クラス別航空機荷重及び年間便別離着陸回数の計画値及び設計対象航空機を見直し。

表 1 当初の航空機荷重及び機材別年間交通量(北・南側エプロン)

	国際線該当機材	最大離陸重量 (t)	最大着陸重量 (t)	年間離着陸回数 (回)
A380 クラス	A380-800	560	386	6,000
J クラス	B747-400	396	286	12,000
L クラス	B777-200ER	294	192	7,500
M クラス	B767-300ER	181	145	24,500
			合計	50,000

表 2 変更した航空機荷重及び機材別年間交通量(北側エプロン)

	国際線該当機材	最大離陸重量 (t)	最大着陸重量 (t)	年間離着陸回数 (回)
J クラス	B747-400	396.0	285.8	8,500
	B777-300ER	352.4	251.3	9,000
L クラス	B777-200ER	287.8	208.7	17,500
	B767-300ER	187.3	145.2	6,000
M クラス	B787-8	228.4	172.4	9,000
				合計

表 3 変更した航空機荷重及び機材別年間交通量(南側エプロン)

	国際線該当機材	最大離陸重量 (t)	最大着陸重量 (t)	年間離着陸回数 (回)
A380 クラス	A380-800	562.0	386.0	3,000
J クラス	B747-400	396.0	285.8	12,000
	B777-300ER	352.4	251.3	13,000
L クラス	B777-200ER	287.8	208.7	25,000
M クラス	B767-300ER	187.3	145.2	9,000
	B787-8	228.4	172.4	13,000
			合計	75,000

-10-

9. 大規模補修工事計画の見直し (2)

■エプロンPFI(株)から国への要求水準書の変更内容に対する検討結果(平成24年 4月13日)

【エプロンPFI(株)による累積疲労度の試算結果】

既存施設(北側エプロン)に対する疲労破壊照査の結果、B777-300ERの影響により、既設施設に対する疲労破壊が当初計画より早期かつ広範囲に及ぶ見通しとなり、抜本的な大規模補修工事計画の見直しが必要。

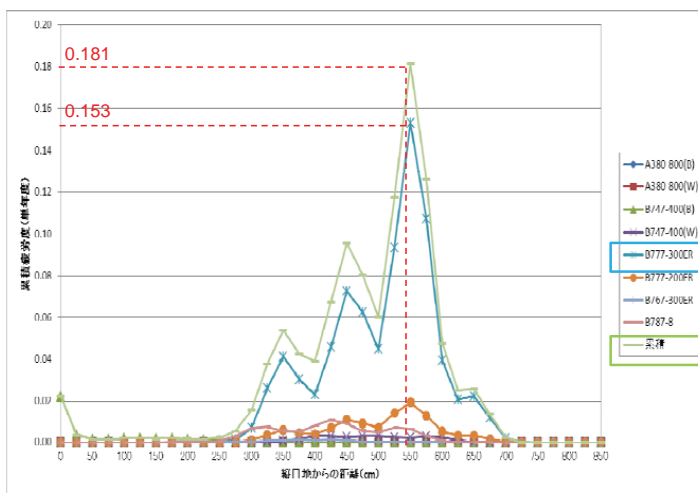


図 1 既設北側エプロンで試算した疲労度(単年度)

【試算結果】

単年度の累積疲労度を試算したところ縦目地からの距離 550cmの位置において最も大きな累積疲労度0.181となった。これは、不同沈下=0cmの状態であっても、6年目で疲労破壊する(0.181×6=1.086>1.00)という結果である。

累積疲労度0.181のうちB777-300ERが0.153と大部分を占めており、累積疲労度が急激に増加した要因としては、新たに追加されたB777-300ERの脚荷重が他と比べて大きいことが挙げられる。

(試算条件)

既設北側エプロン部と同様の仕様(NC舗装厚:460mm、設計基準強度:5.0N/mm²、路盤支持力係数:70MN/m³)にて、不同沈下=0cmの単年度の累積疲労度を試算

【エプロンPFI(株)からの提案内容】

この様な状況において、従来(提案時・実施設計時)と同様の手法により大規模補修工事計画を作成すると、①スポットクローズなどの運用面への影響が大きく、かつ②補修コストが大きくなる計画とならざるを得ない。そこで、今回の業務要求水準書変更における大規模補修工事計画(勾配修正を除く)の取扱いについては、合理的な補修方法等を国側と別途検討・協議することを提案する。

■対応方針 国からエプロンPFI(株)へ通知(平成24年 4月16日)

(1) 大規模補修工事計画における疲労破壊対策の取扱い

既存契約における大規模補修工事計画のうち、不同沈下対策として行う勾配修正は、引き続き当初計画どおり実施するものとし、疲労破壊により必要となる改良(大規模補修工事)については、当初計画を含め、今回の事業変更契約から一旦対象外とする。

(2) 今後の大規模補修工事計画の見直し

交通量増大に伴い長期間のスポットクローズもより困難となること等を踏まえ、事業者は、工事の効率化やコストの縮減を合わせた合理的な補修方法等について、国側と協議しながら検討を進める。

国側は、具体の補修方法等に関する事業者との協議や技術検討委員会における有識者の助言等を踏まえつつ、平成24年度内に業務要求水準書の変更等の合理的な対応策を講じる。



今後、技術検討委員会にて、「**実態に即した大規模補修の照査方法**」や「**合理的な補修方法**」等について継続審議を行う

前回技術検討委員会の主な意見及び第3回技術検討委員会の論点



Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

1. これまでの技術検討委員会における主な意見



1. 既設エプロンの大規模補修工事計画の見直し

- 破壊確率のばらつきを考慮することや強度増加について取り込んでいくと現実的な結果が得られると思われる。
- 当初設計時から実際には相当高いレベルでコンクリート強度が上がっている可能性もあるため、出来上がったものをベースにチェックすればよい。
- H18当初設計との違いは交通量である。B777-300ERでも距離によって燃料の積み方を変えている実態もあるので、荷重を減らすのが妥当と思うがどの程度軽減するか、どの程度の混合率とするか考えていく必要がある。満載で飛ぶのは例えばアメリカだと東海岸になる。それ以外はほとんど満載ではないので十分反映させて良い条件だと思われる。

➤ **資料2で実態に即した疲労度設計照査方法の考え方を提示。**

2. 羽田シナリオ波の適用による既存施設の影響

- 地盤改良済み既存エプロンの液状化判定は、液状化しないIVに近いので液状化しないものと思われる。
- 改良地盤については、この液状化判定チャートを作ったときには情報として入っておらず、埋立地盤や自然地盤が基になっている。今回は地盤改良して砂杭やコンクリート塊があるような改良地盤の中でも強度の低い杭間のデータを用いて評価していると思われる。

➤ **参考資料で地盤改良後の土質調査結果による液状化判定の報告。**

既設エプロンの疲労度照査手法の考え方について

- 既設エプロンはH24.4要求水準の変更により、計画交通量及び機材内訳が変更になっている。当初の計画交通量及び機材内訳においては、疲労破壊による大規模補修工事は全体で2箇所計画されていた。しかし、要求水準の変更による単年累積疲労度の試算によると、不同沈下量0cmの場合でも疲労寿命6～8年程度となりPFI事業期間内に全域の大規模補修工事が必要であることが判明した。

そのため、既設エプロンに対して、より実情を反映させた条件で照査を行う。

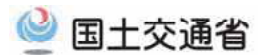
- 既設エプロンに対して「実態に即した疲労度設計照査手法」として、合理的に実情を反映(評価)できているか。
- 将来の航空需要が変化した際にも、今回の「実態に即した疲労度設計照査手法」によって大規模補修工事計画の見直しが適切に検討できるか。

既設エプロンの疲労度照査手法の考え方について



Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

1. 既設エプロンの疲労度照査手法の考え方



- 第2回技術検討委員会での感度分析結果より、破壊確率及びB777-300ERの脚荷重、コンクリート強度が累積疲労度に大きな影響を与えることがわかった。
- 影響の大きい以下の条件について、照査に反映することが合理的であるか検討する。
 - ①破壊確率、②B777-300ERの満載重量と交通量、③既設エプロンのコンクリート強度

■感度分析結果のまとめ

- ・「①破壊確率・版厚効果・曲げ強度と疲労曲線の関係」「②脚荷重と疲労度の関係」について感度分析を行った。
- ・路盤支持力係数：70MN/m³、不同沈下量：0cm

検討ケース	版厚 (cm)	疲労曲線式	破壊確率 (%)	曲げ強度 (N/mm ²)	B777-300ER 脚荷重	B777-300ER 交通量 (離陸)	累積疲労度 (単年度)	疲労寿命	累積疲労度 (21年間)
Case0	46	空港舗装設計要領	---	5.0	100%載荷	4500回	0.181 (100%)	5.5 (1.0)	3.801 (100%)
Case1	46	空港舗装設計要領	---	5.0	100%載荷	2025回	0.105 (58.0%)	9.5 (1.7)	2.205 (58.0%)
					86.5%低減	2475回			
Case2	46	空港舗装設計要領	---	5.0	95%載荷	4500回	0.0933 (51.5%)	10.7 (1.9)	1.959 (51.5%)
Case3	46	H18年実施設計	5	5.0	100%載荷	4500回	0.108 (59.7%)	9.3 (1.7)	2.268 (59.7%)
Case4	46	H18年実施設計	50	5.0	100%載荷	4500回	0.0066 (3.6%)	151.5 (27.4)	0.139 (3.6%)
Case5	46	空港舗装設計要領	---	5.5	100%載荷	4500回	0.0178 (9.8%)	56.2 (10.2)	0.374 (9.8%)
Case6	46	H18年実施設計	5	5.0	100%載荷	2025回	0.0707 (39.1%)	14.1 (2.6)	1.485 (39.1%)
					86.5%低減	2475回			
Case7	46	H18年実施設計	5	5.0	95%載荷	4500回	0.0690 (38.1%)	14.5 (2.6)	1.449 (38.1%)

※累積疲労度・疲労寿命は、不同沈下0cmの結果であり、不同沈下を考慮した検討結果ではないため、既設舗装の累積疲労度・疲労寿命を示すものではない。

1. 既設エプロンの疲労度照査手法の考え方 (1)

①破壊確率の考え方

国際線エプロンにおける破壊確率の考え方は、H18当初設計(PFI設計法)及びH24新設3スポット設計で異なっており、以下の通り設定されている。

■コンクリート疲労強度

PFI設計法	$N_i = 10^{(a - \sigma_{s,d}/b)}$ $a = 1.11364 + 0.00165 \times P_i$ $b = 0.09722 - 0.00021 \times P_i$ <p>SL: 応力レベル (合成応力/設計基準曲げ強度) Ni: 合成応力に対する許容回数 Pi: 破壊確率(%) →破壊確率5%</p>
空港舗装設計要領	$\log N_d = \frac{a - \sigma_{s,d} / f_{M,h}}{b} \cdot \frac{1}{\gamma_\sigma}$ <p>ここで、 Nd: 疲労破壊回数 σ_{s,d}: 繰返し最大曲げ応力 f_{M,h}: 設計曲げ強度 γ_σ: 疲労寿命に関する材料係数で、一般に1.0としている a, b: 係数で、a=1.19614, b=0.08672を用いることができる。</p> $f_{M,h} = 0.8 \cdot \left(0.6 + \frac{2.25}{h^{1/4}}\right) \cdot f_{M,h_0}$ <p>ここで、 f_{M,h}: 版厚h (mm) の設計曲げ強度 f_{M,h₀}: 版厚h₀(mm) の設計曲げ強度で、f_M/γ_σで求められる。 h₀は一般に150mmとしている。</p>

H18当初設計(PFI設計法)では、舗装設計施工指針の式に対して、技術検討委員会の助言等を踏まえ破壊確率5%として許容回数を算定していた。

それに対し、H24新設設計では空港舗装設計要領に準じており、疲労度(疲労破壊回数)算定の考え方が異なる。

→既設エプロンに対する疲労度の照査は、**破壊確率5%を含めて、H18当初設計時の疲労度算定方法を踏襲することが妥当である。**

本資料は、委員会時に説明した事項について指摘を受け、一部修正したものです。

1. 既設エプロンの疲労度照査手法の考え方 (2)

②B777-300ERの満載重量と交通量の考え方

成田空港においてB777-300ERは1日当たり離発着計60便(20空港)運航されており、欧州及びアメリカ東海岸(ロンドン及びワシントン)はほぼ満載重量で運航され、アメリカ西海岸(ロサンゼルス)では82%~91%程度の重量で運航している。20空港のうち、アメリカ西海岸と同様の運航条件と考えられる11空港が満載重量での就航ではないと想定される。

表-1 設計要領における総質量・運航総質量(成田空港)

空港舗装設計要領 総質量	運航総質量	
	総質量	総質量の内訳割合
352.4t	【ロンドン及びワシントン】 331.1t~348.8t →アメリカ東海岸や欧州便は、 設計重量とほぼ同等の総重	運航自重 約50% 有償荷重 約15%~20% 燃料 約35%~30%
	【ロスアンゼルス】 290.3t~322.1t →アメリカ西海岸は、設計重量 の82%~91%程度	運航自重 約55% 有償荷重 約15%~20% 燃料 約30%~20%

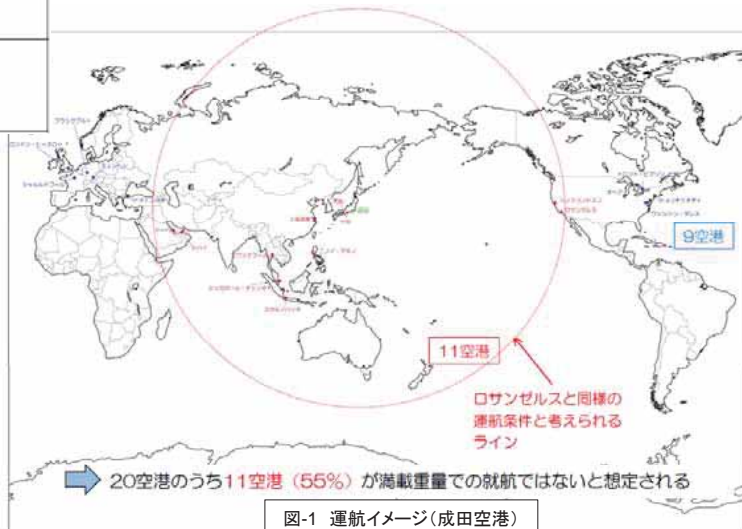


離陸回数の55%が満載荷重ではないとし
 離陸荷重を86.5%に低減
 (82%~91%の平均値86.5%)

表-2 最大離陸荷重・離陸回数(成田空港)

北側エプロン		変更前	最大離陸重量 (t)	年間離陸回数 (回)	備考
		変更後: Case1	352.4	2,025	
	変更後: Case2	304.8	2,475	設計離陸荷重の86.5% 年間離陸回数の55.0%	
	変更後: Case2	334.8	4,500	設計離陸荷重の95.0%	

※20空港のうち、9空港(45%)は満載荷重での運航と考えられ、11空港(55%)では満載荷重の86.5%での運航と考えられる。



現在、羽田空港の国際線は20空港運航されているが、B777-300ERでの運航はシンガポールなど限られた路線である。実際に羽田空港でB777-300ERが運航する際の最大離陸荷重について以下の通り確認した。

→成田空港同様、全てが満載重量での運航ではないため、実情を考慮した重量及び回数で照査を行うことが妥当と考えられる。

表-3 設計要領における総質量・運航総質量(羽田空港)

空港舗装設計要領 総質量	整備局調べ	
	運航路線	総質量
352.4t	長距離(欧州やアメリカ東海岸・西海岸、豪州、ホノルル)	341.1t程度
	中距離(東南アジア)	299.4t程度

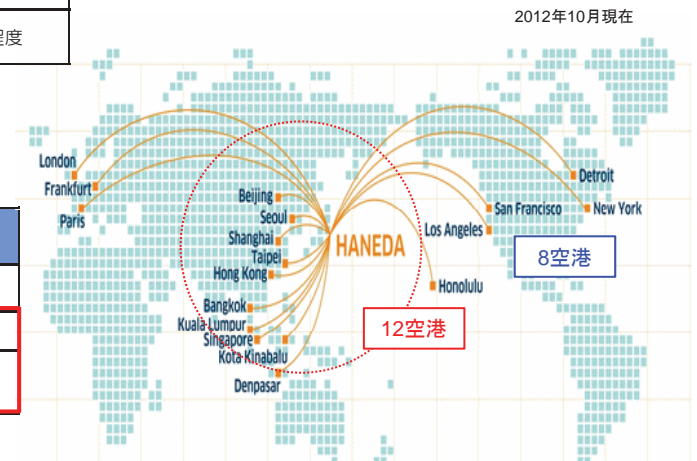


離陸回数の60%が満載荷重ではないとし
離陸荷重を低減

表-4 最大離陸荷重・離陸回数(羽田空港)

		最大離陸重量 (t)	年間離陸回数 (回)	備考
北側 エプロン	変更前	352.4t	4,500	
	変更後	352.4t	1,800	
		300.0t	2,700	設計離陸荷重の85.1% 年間離陸回数の60.0%

※羽田空港では、20空港のうち、8空港(40%)は満載荷重での運航と考え、**12空港(60%)では満載荷重の85.1%(300.0t)での運航と考えられる。**



20空港のうち、12空港(60%)が満載重量での就航ではないと想定される。

図-2 運航イメージ(羽田空港)

③既設エプロンのコンクリート強度の考え方

舗装補修の際には実際の構造物強度を確認したうえで補修法を検討する必要がある。今回の大規模補修においても補修の考え方をうい、実際のコンクリート強度(施工時の供試体試験結果)や材齢効果を考慮した疲労寿命を算定し、大規模補修工事計画を検討する。

■コンクリート曲げ強度(実績) 設計基準強度5.0N/mm²

南側エプロン 最終打設日H21.6.3

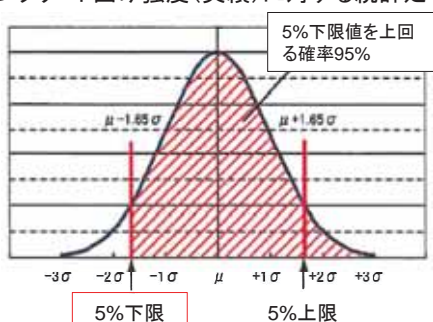
	曲げ強度(N/mm ²)	
	各供試体(全642個)	3個平均
最大	6.94	6.45
最小	4.79	5.02
平均	—	5.65

北側エプロン 最終打設日H21.1.29

	曲げ強度(N/mm ²)	
	各供試体(全186個)	3個平均
最大	6.49	6.08
最小	4.79	5.07
平均	—	5.60

→ 設計基準強度5.0N/mm²に対し、コンクリートの平均曲げ強度(28日)は南側エプロン5.65N/mm²、北側エプロン5.60N/mm²であった。平均値をコンクリート強度と評価するには危険側の設計と考えられるため、統計処理を行った5%下限値を採用する。

■コンクリート曲げ強度(実績)に対する統計処理結果



正規分布確率密度関数での5%下限値(平均値 $\mu - 1.65\sigma$)を算定する。

南側エプロン $\mu = 5.65, \sigma = 0.28 \rightarrow 5\% \text{ 下限値} = 5.19 \div 5.2 \text{ N/mm}^2$

北側エプロン $\mu = 5.60, \sigma = 0.26 \rightarrow 5\% \text{ 下限値} = 5.17 \div 5.2 \text{ N/mm}^2$

図-3 正規分布の5%下限イメージ

■コンクリート曲げ強度の材齢効果

コンクリートの強度は、材齢に伴い増加する。舗装設計要領の基準曲げ強度は、材齢28日強度である。文献「コンクリート舗装の供用性評価、小松原他、日本道路公団試験研究所報告 Vol.34 1997.11」では、曲げ強度の増加を高速道路の実測値から報告している。下表のとおり、20年後の曲げ強度は建設時より20~30%増加している。

路線	IC区間	経過期間	曲げ強度 (MPa)		伸び率 (倍)
			調査時	建設時	
東北自動車道	矢板～西那須野塩原	20.8年	7.10	5.60	1.27
		20.8年	7.43		1.33

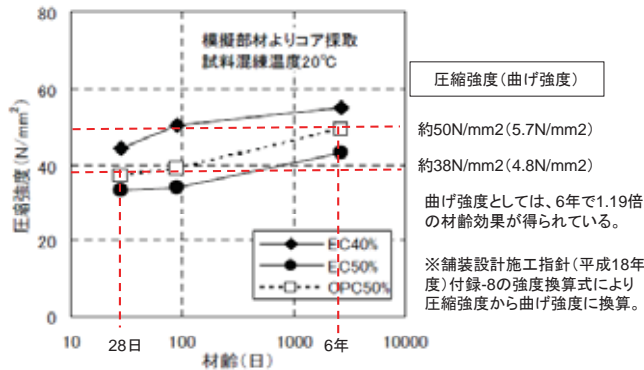


図-4 材齢と圧縮強度の関係
出典：コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, 2009

【算定例】

設計基準強度5.0N/mm2に対して上表から材齢効果20%増/20年を想定し、

南側エプロン(H21.6からH26.3まで) 4.8%増/4.8年
北側エプロン(H21.2からH26.3まで) 5.2%増/5.2年を見込む。

よって、
南側エプロン $5.0\text{N/mm}^2 \times 4.8\% \text{増} \doteq 5.2\text{N/mm}^2$
北側エプロン $5.0\text{N/mm}^2 \times 5.2\% \text{増} \doteq 5.3\text{N/mm}^2$
の曲げ強度が発現していると考えられる。

→ 統計処理した実績コンクリート強度や材齢効果を見込むことで「実態に即した疲労度設計照査」と考えられる。

2. 既設エプロンの疲労度照査手法の考え方まとめ

➤ 既設エプロンに対して「実態に即した疲労度設計照査手法」として、以下について実情を反映(評価)することが合理的と考えられる。

①破壊確率

→ 既設エプロンであるため、H18当初設計(PFI設計法)で照査することが妥当である。

②B777-300ERの満載重量と交通量

→ 羽田空港で想定される運航条件を考慮した実情に考慮した重量及び回数で照査することが妥当である。

③既設エプロンのコンクリート強度

→ 統計処理した実績コンクリート強度や材齢効果を見込むことが妥当である。

➤ 将来の航空需要が変化した際に、「実態に即した疲労度設計照査手法」によって大規模補修工事計画の見直しが適切と考えられるか。

→ 将来的に交通量の変更や新機材の導入は十分想定される。計画交通量等の変更時に上記②及び③の実情を考慮することは既存施設の評価としては合理的と考えられ、補修方法を含めて大規模補修工事計画を見直すことは適切と考えられる。

大規模補修工事計画の試算結果（北・南）

羽田空港国際線エプロンPFI株式会社

1. 計画交通量及び荷重

表-1 北・南エプロン（当初の要求水準）

	国際線該当機材	最大離陸重量 (t)	最大着陸重量 (t)	年間離着陸回数 (回)
A380クラス	A380-800	560	386	6,000
Jクラス	B747-400	396	286	12,000
Lクラス	B777-200ER	294	192	7,500
Mクラス	B767-300ER	181	145	24,500
	合計			50,000



表-2 北側エプロン（第6回変更要求水準）

	国際線該当機材	最大離陸重量 (t)	最大着陸重量 (t)	年間離着陸回数 (回)
Jクラス	B747-400	396.0	285.8	8,500
	B777-300ER	352.4	251.3	9,000
Lクラス	B777-200ER	287.8	208.7	17,500
Mクラス	B767-300ER	187.3	145.2	6,000
	B787-8	228.4	172.4	9,000
	合計			50,000

表-3 南側エプロン（第6回変更要求水準）

	国際線該当機材	最大離陸重量 (t)	最大着陸重量 (t)	年間離着陸回数 (回)
A380クラス	A380-800	562.0	386.0	3,000
Jクラス	B747-400	396.0	285.8	12,000
	B777-300ER	352.4	251.3	13,000
Lクラス	B777-200ER	287.8	208.7	25,000
Mクラス	B767-300ER	187.3	145.2	9,000
	B787-8	228.4	172.4	13,000
	合計			75,000

2. 既設エプロン累積疲労度・クラック度の試算

■試算の概要

- ・ **コンクリート強度をパラメータ**とし、既設エプロン（北・南）についてクラック度の試算を行う。
- ・ 累積疲労度の算定は、**不同沈下量0cm**について**コンクリート曲げ強度（初期強度）5.0～5.5N/mm²**の0.1N/mm²ごとに行う。
- ・ 累積疲労度の算定結果からクラック度の算定ケースを決定しクラック度の試算を行う。

■累積疲労度の算定

- ・ 累積疲労度の算定に用いるパラメータは、**平成18年実施設計時のパラメータ**とする。
- ・ 交通量・荷重条件については、以下の2つの期間に区分し、それぞれの累積疲労度を算定し足しあわせることとする。（供用開始から現在に至るまでの累積疲労度の算定が困難なため。）

	期間	交通量・荷重条件
平成21年10月～平成26年3月末	4.5年	当初の要求水準
平成26年4月～平成47年3月末	21.0年	第6回変更要求水準

■クラック度の算定

- ・ 上記の手法により不同沈下量ごとに累積疲労度を算定し、許容不同沈下量を設定する。
- ・ 設定した許容不同沈下量からクラック度を算定する。
- ・ クラック度の算定は、不同沈下量0cmの場合において**25.5年間の累積疲労度が1.0未満**のケースについてのみ行う。

- 3 -

3. 累積疲労度算定結果

■北側エプロン

・算定条件

版厚：46cm、路盤支持力係数：70MN/m³、不同沈下量：0cm

検討ケース	曲げ強度 (N/mm ²)	累積疲労度 (4.5年間)	累積疲労度 (21年間)	累積疲労度 (25.5年間)
Case1	5.0	0.1129	2.577	2.690
Case2	5.1	0.0790	1.786	1.865
Case3	5.2	0.0562	1.258	1.314
Case4	5.3	0.0423	0.899	0.942
Case5	5.4	0.0323	0.652	0.684
Case6	5.5	0.0249	0.479	0.504

➡ 曲げ強度5.0～5.2N/mm²については、不同沈下0cmで25.5年間の累積疲労度が1.0を超えるためクラック度の算定は、**5.3～5.5N/mm²の3ケース**について行う。

- 4 -

3. 累積疲労度算定結果

■南側エプロン

・算定条件

版厚：47cm、路盤支持力係数：70MN/m³、不同沈下量：0cm

検討ケース	曲げ強度 (N/mm ²)	累積疲労度 (4.5年間)	累積疲労度 (21年間)	累積疲労度 (25.5年間)
Case1	5.0	0.0858	2.870	2.956
Case2	5.1	0.0605	2.003	2.064
Case3	5.2	0.0449	1.420	1.465
Case4	5.3	0.0340	1.021	1.055
Case5	5.4	0.0260	0.745	0.771
Case6	5.5	0.0202	0.551	0.571

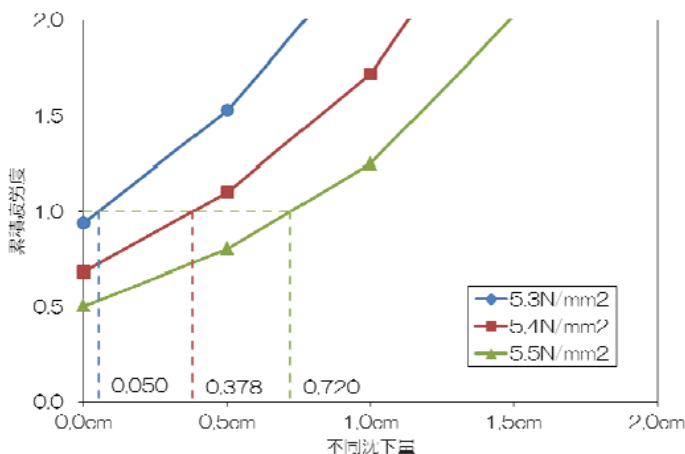
➡ 曲げ強度5.0~5.3N/mm²については、不同沈下0cmで25.5年間の累積疲労度が1.0を超えるためクラック度の算定は、**5.4~5.5N/mm²の2ケース**について行う。

4. 許容不同沈下量算定結果

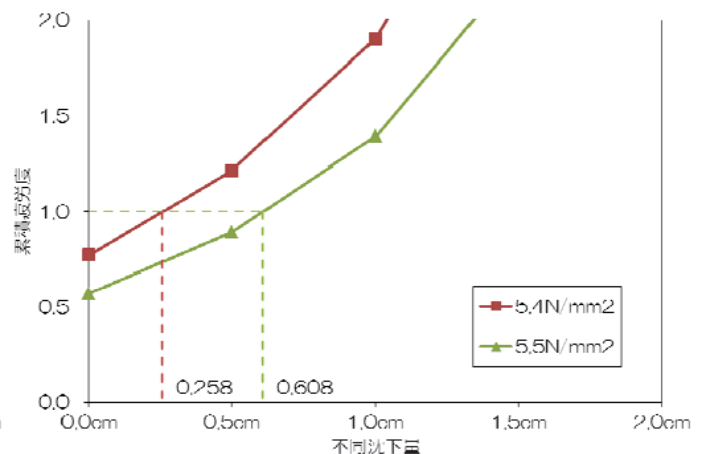
■不同沈下量と累積疲労度

	曲げ強度 (N/mm ²)	累積疲労度					許容不同沈下量 (cm)
		0.0cm	0.5cm	1.0cm	1.5cm	2.0cm	
北側エプロン	5.3	0.942	1.528	2.408	3.903	7.521	0.050
	5.4	0.684	1.101	1.723	2.791	5.316	0.378
	5.5	0.504	0.805	1.250	2.024	3.811	0.720
南側エプロン	5.4	0.771	1.215	1.906	3.140	5.977	0.258
	5.5	0.571	0.892	1.390	2.290	4.308	0.608

■許容不同沈下量算定結果



【図1 北側エプロン】

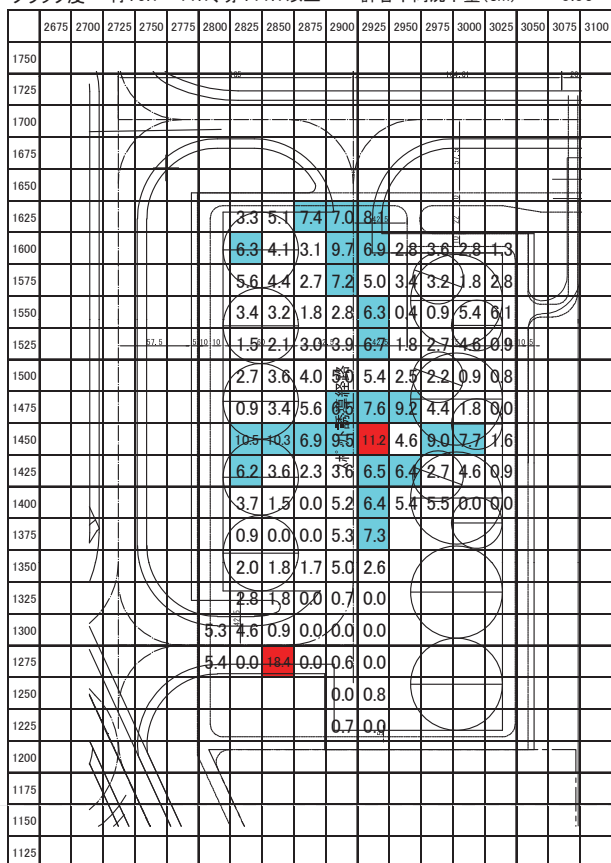


【図2 南側エプロン】

5. クラック度解析結果

■北側エプロン：5.3N/mm²

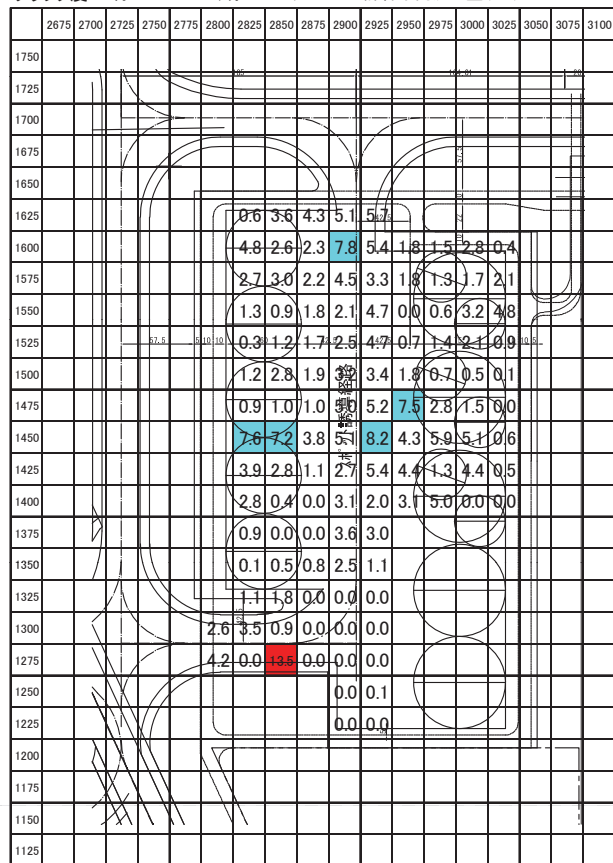
クラック度 青:6.1~11.1、赤:11.1以上 許容不同沈下量(cm) = 0.05



【図1 5.3N/mm²】

■北側エプロン：5.4N/mm²

クラック度 青:6.1~11.1、赤:11.1以上 許容不同沈下量(cm) = 0.38



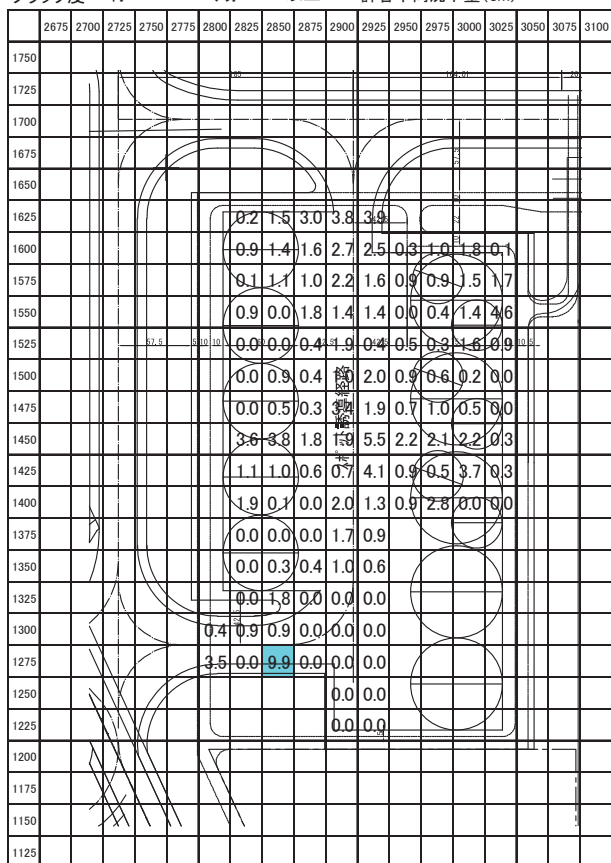
【図2 5.4N/mm²】

- 7 -

5. クラック度解析結果

■北側エプロン：5.5N/mm²

クラック度 青:6.1~11.1、赤:11.1以上 許容不同沈下量(cm) = 0.72



【図3 5.5N/mm²】

- 8 -

5. クラック度解析結果

■クラック度解析結果のまとめ

曲げ強度 (N/mm ²)	Cランクユニット数	
	北側エプロン	南側エプロン
5.0	全エリア	全エリア
5.1	全エリア	全エリア
5.2	全エリア	全エリア
5.3	2	全エリア
5.4	1	7
5.5	0	1

※北側エプロンは、高強度コンクリートエリアを除く



コンクリート強度を変更することでクラック度がCランクとなるユニットが大幅に低減されることがわかった。