

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2回) 技術検討委員会

日時：平成24年6月20日（水）10:00～12:00
場所：尚友会館8階会議室

議 事 次 第

1. 開 会

2. 議 事

- (1) 前回合同会議での意見とりまとめ及び第2回技術検討委員会の論点
- (2) 維持管理等状況及び新設スポット設計
- (3) 大規模補修工事計画の見直し

3. 閉 会

配付資料

議事次第、出席者名簿、配席図

- 資料1 前回合同会議での意見とりまとめ及び第2回技術検討委員会の論点
- 資料2-1 モニタリング状況
- 資料2-2 今回の新設スポットの設計 地盤改良設計
- 資料2-3 今回の新設スポットの設計 舗装設計
- 資料2-4 その他設計（EPS、水砕スラグ）
- 資料3 大規模補修工事計画の見直し

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2回)技術検討委員会

出席者名簿

(委員)

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)
水上 純一	国土技術政策総合研究所 空港研究部空港施設研究室長	
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)

干山 善幸	航空局 安全部 空港安全・保安対策課長
高野 誠紀	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
今井 泰男	東京航空局 空港部長
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
石原 弘一	関東地方整備局 東京空港整備事務所長
米山 治男	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)

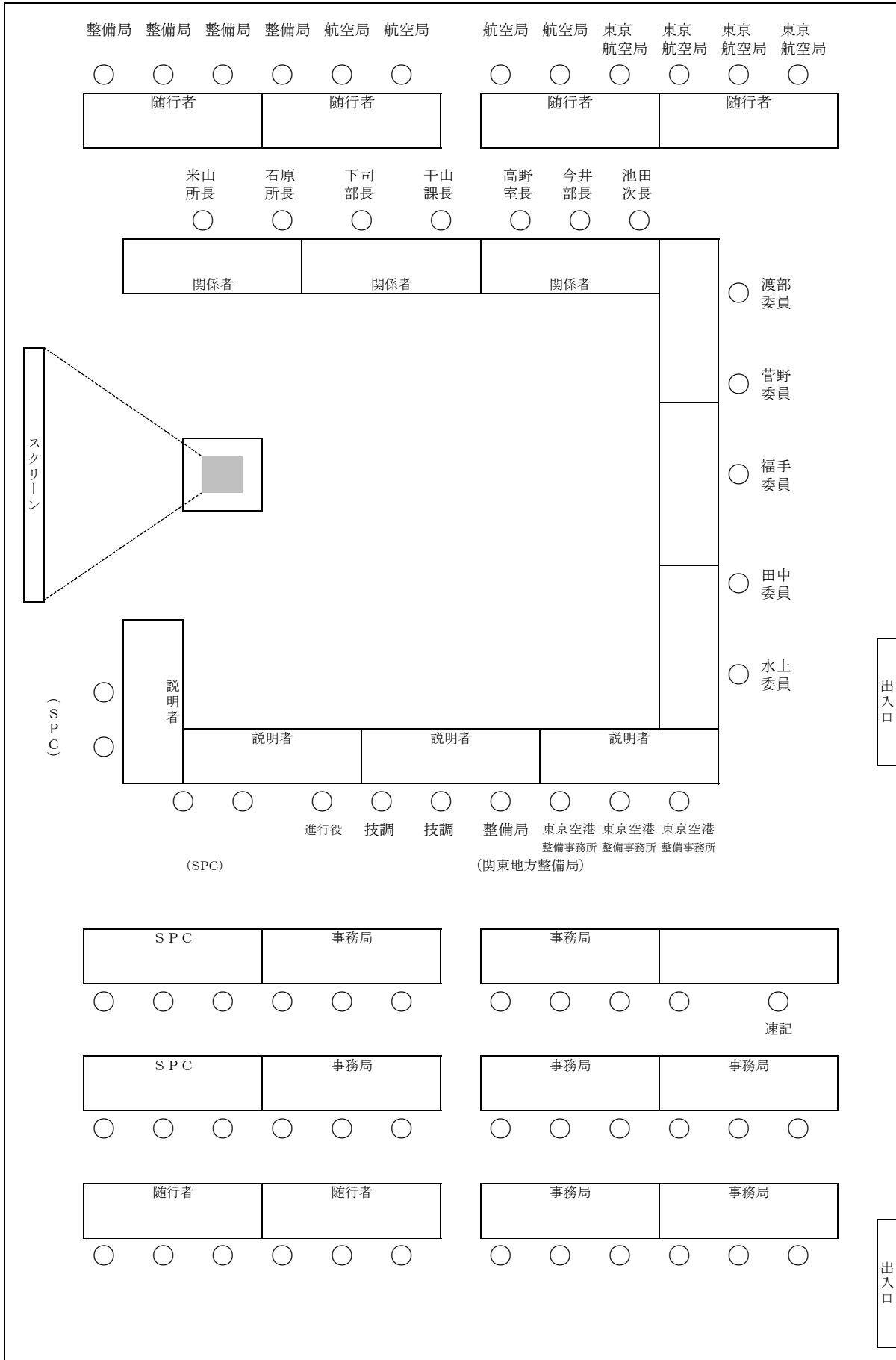
関東地方整備局

(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2回）技術検討委員会

平成24年6月20日（水）10時～
尚友会館8階会議室

配席図



合同会議の主な意見及び第2回技術検討委員会の論点



Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

I. 合同会議における主要意見とりまとめ



1. モニタリング状況について

(1) 不同沈下観測

- 供用後2年経過して沈下等の不具合が起きているか、想定と比べて不同沈下がどうなっているかなど、現状のモニタリングの有無や新設する際の参考になるデータや計測例があるか示してほしい。
- 東日本大震災時の地震による不同沈下が生じなくても標高全体が下がったとかギャップがあったのか、どの程度の観測ピッチで勾配等を出しているか示してほしい。

➤ 事業者より議事(2)で説明

(2) 東日本大震災時の地震観測

- 東日本大震災時には、運用に影響を与える被害は生じなかったとしているが、加速度や継続時間の観測データをより詳細に報告してほしい。

➤ 事業者より議事(2)で説明

2. 地震動レベル及び耐震性能について

(1) 既存施設と新設施設の整合性

- 今回変更により既設／新設の入力地震動が変更となっている点の整合性はどのような整理か。
- 既存の南側エプロンがレベル2対応、既存の北側エプロンがレベル1対応で、今回の新設エプロンがレベル2となっているが、耐震工事が終了した既存施設について、どの程度の地震に耐えうるか照査が必要。

➤ 資料1の「Ⅱ. 地震動レベル及び耐震性能の考え方」(P5～7)で説明

(2) 羽田シナリオ波の適用による既存施設の影響

- 既存の施設に対して羽田シナリオ波を適用した場合、どのような影響があるか。

➤ 事業者より議事(2)で説明

3. 設計思想について

- 不同沈下や沈下を許容したという表現があるので、当初の技術提案内容と今回の設計内容をしっかり整合するよう明確にして欲しい。

➤ 事業者より議事(2)で説明

4. 大規模補修工事(疲労破壊対策)について

- 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。

➤ 事業者より議事(3)で説明

(詳細は、第3回技術検討委員会にて提示予定)

II. 地震動レベル及び耐震性能の考え方

当初(既存施設)の要求水準	地震動レベル		レベル1	レベル2
	入力地震動		八戸波・大船渡波 〔プレート境界地震の強震記録〕	
	最大基盤加速度 (補正最大基盤加速度)		350gal (439gal) 震度法における地域区分AIに対する 再現期間75年期待値	390gal (486gal) 経験的方法により関東大地震(1923年 /M7.9)の再来を想定した距離減衰式 によるSMAC最大加速度
	耐震性能 (被害程度)	南側(ローディング)	被害程度 I	被害程度 II
北側(ナイトステイ)		被害程度 II	被害程度 III	



被害程度 I : 無被害または軽微な被害で機能維持
被害程度 II : 中程度の被害で短期間の応急復旧で所期の機能を確保
被害程度 III : 著しい被害を受けるが全般的に崩壊しないこと

今回(新設部)の要求水準	地震動レベル		レベル1	レベル2
	入力地震動		羽田シナリオ波 〔羽田空港オリジナルの設定〕	
	最大基盤加速度		80.4gal	EW:487gal / NS:463gal
	耐震性能 (被害程度)	北側新設 (ローディング)	航空機の運航に必要な機能に影響を 与えないこと	人命、財産または社会経済活動に重 大な影響を与えないこと

II. 地震動レベル及び耐震性能の考え方

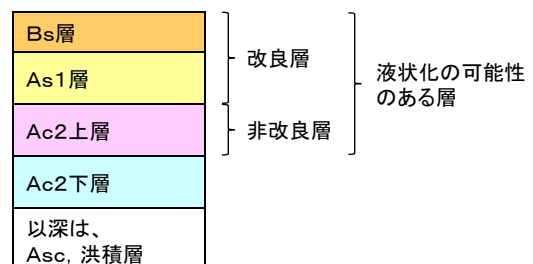
既存施設の耐震性能について

当初(既存施設)の耐震照査	地震動レベル		レベル1	レベル2
	照査基準 (許容被害 状態)	南側(ローディング)	被害程度 I ・軽微なひび割れの発生 ^{※1} ・エプロン表面の許容変形量を満足 ・エプロン基礎地盤が液状化しない ^{※2}	被害程度 II ・早期復旧可能な程度の残留沈下量 以下 ・エプロン表面に沈下や段差が若干発 生し許容変形量を一部逸脱する ・部分的な液状化 ^{※3} が発生する
		北側(ナイトステイ)	被害程度 II ・早期復旧可能な程度の残留沈下量 以下 ・エプロン表面に沈下や段差が若干発 生し許容変形量を一部逸脱する ・部分的な液状化 ^{※3} が発生する	被害程度 III ・エプロン表面に沈下や段差が若干発 生し許容変形量を逸脱する ・液状化が発生する

※1: 軽微なひび割れの発生は、発生する平均ひずみレベルから推定する。
※2: 液状化が発生しても、地盤変状が小さく、施設に与える影響が小さければ、基準を満たすものとする。
※3: 深度的に見て対象となる施設に与える影響が小さい液状化現象をいう。

〔当初の実施設計における照査結果〕

- 改良層(Bs層・As1層)については、南側でレベル2地震動、北側でレベル1地震動に対して、被害程度 II (部分的な液状化を許容)を満足するよう改良率を設定。(南側はレベル1地震動で被害程度 I を満足)
- 非改良の液状化層(Ac2上層)については、北側・南側ともにレベル2地震動に対して、地震時(過剰間隙水圧消散後)における変形の影響を照査し、エプロン表面の許容変形量を十分満足することを確認。



1. 既存施設の耐震性能について

- 北側・南側について、当初は重要度(ナイトステイ、ローディングの用途の違い)を考慮して耐震性能を設定しているが、当初の地震動レベルでは最大基盤加速度がレベル1とレベル2で1割程度の差であること、非改良の液状化層(Ac2上層)のエプロン表面への影響は軽微であること等から、北側エプロンは、南側エプロンと比較しても、一定の修復性は確保されており、基礎地盤の耐震性能に大きな差はないと考えられる。

2. 新たな地震動レベルの適用について

- 現在進めている羽田空港における耐震化においては、原則的に新たな地震動レベル(以下、シナリオ波という)に基づいて設計することとしている。
- 一方、旧地震動レベルで設計された既存施設については、シナリオ波による照査を実施したうえで、地震発生時に早期復旧できるよう被害程度及び修復方法について検討することで対応することとしている。
- 今回の新設部については、新設3スポットとともに移設する取付け誘導路部分(P8誘導路)も同様にシナリオ波による設計を行うことにより、一体的な機能を確保することとしている。なお、新設部の設計にあたっては、新設部と既設部の地震動レベルが異なることによる影響も検証し、適切な対策を講じることとしている。

- 7 -

III. 審議事項の主な論点

1. 総論

- これまでのモニタリング結果を踏まえつつ、当初設計の妥当性や既存施設のパフォーマンス等をレビューしたうえで、これらの知見が今回の新設エプロンの設計で適切に反映されているか。

2. 地盤改良(液状化対策)

- Ac2上層の上位に地盤改良による10m程度の非液状化層(Bs層及びAs1層)を設けることによって、Ac2上層が液状化することによるエプロンへの影響(過剰間隙水圧消散に伴う地盤の変形)を抑制する、とした当初と同様の設計手法について、当該エプロンに求められる耐震性能、入力地震動、土層構成等を踏まえ、液状化対策の工法・仕様が適切に検討されているか。
- 施工中及び設計供用期間中(50年間)の地盤変形や施工機械の振動等が既存施設の影響を与えないよう適切に検討されているか。

3. エプロン舗装

- 構造安定性及び補修の容易性・確実性の観点からNC舗装を採用し、かつ不同沈下を考慮した疲労度設計手法による信頼性設計を採り入れているが、不同沈下が適切に検討されているか。
- 長距離アジア・欧米路線に対応した設計対象航空機等に対して、設計供用期間(50年間)にわたり、十分な支持力・耐久性を持つ舗装構造となるよう適切に検討されているか。

- 8 -

モニタリング状況

羽田空港国際線エプロンPFI株式会社

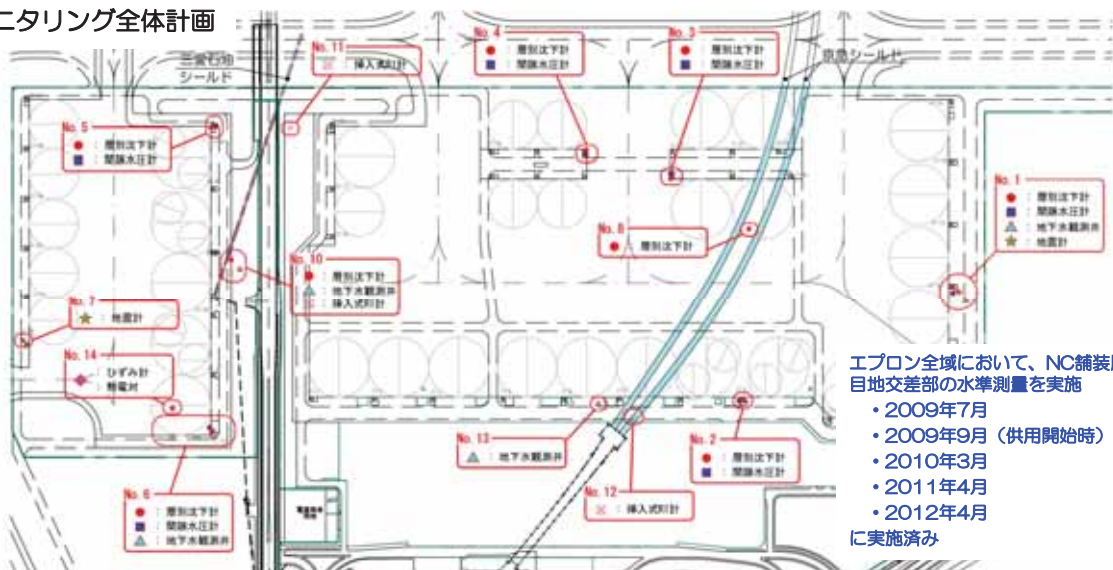
1. 技術検討委員会で審議した主な技術提案内容

※は今回関係無し

項目	技術提案書に関する意見	対応	
I7 01 舗装 (施工編)	NC舗装設計法	羽田2期地区整備で確立された「2,3期設計法」、今回設計法、及び設計要領を用い、設計供用期間10年におけるコンクリート舗装の版厚を比較し、本設計手法の妥当性を確認した。	
	高強度コンクリート※	実機での試験施工を実施し、施工性、品質管理基準値の妥当性、水和熱等による施工時ひび割れ等への対応の確実性を確認した。	
	水砕スラグ	試験施工を実施し、路床としての剛性、長期的な含水比の変化傾向、アルカリ溶出特性を確認した。また、標準路床と水砕スラグ路床の境界部におけるコンクリート版の応力を解析的に求め、構造安定性を照査した。	
I7 01 舗装 (補修)	切削オールレイ、PRC版	付着オールレイについては、室内試験及び試験施工を実施し、付着性能、長期耐久性、施工性を確認した。また、PRC版については、試験施工を実施し、短期間での補修の実現性、灯火が介在する箇所の施工の確実性を確認した。	
地盤改良	地盤改良工の実施に伴う既設構造物への振動、変位等の影響については、試験施工等により確認を行う必要がある。	実機による試験施工（実施設計時、実施工前）により、適用範囲を確認した。	
既設構造物防護工	京浜急行ビルド、三菱石油ビルド、東京モーター	提案では、深層混合処理工法及び軽量処理土による対策が提案されているが、既設構造物への影響の程度を適切に評価するためには、提案されている検討手法に加えてより精度の高い手法による検討が必要である。また、施工にあたっては、掘削によるガウインド等を適切に評価し既設構造物へ影響を与えないよう施工工程等を設定する必要があるとともに、適切かつ十分な計測管理体制の構築についてもさらに検討が必要である。	既設構造物の現状調査した上で適切な許容値及び管理値を設定し、施工工程を考慮した解析により、掘削時及び盛土時において、許容値を満足できる防護工仕様及び施工工程を設定した。また、動態観測計画を策定し、管理値超過時には即作業中止、対策工の検討・実施が出来る体制を確保した上で工事を実施した。
	FCB※	FCB（気泡混合処理土）については、吸水等による単位体積重量の増加等の長期耐久性、大量打設時の品質確保及びアルカリ溶出について、試験等による確認が必要である。	既往の調査研究資料の調査及び実績調査、室内試験により、吸水等による単位体積重量の増加等の長期耐久性、大量打設時の品質管理手法、アルカリ溶出特性を確認した。
	高強度SGM※	高強度SGM（軽量混合処理土）については、合理的な設計法の検討に加え、長期耐久性について試験等による確認が必要である。	長期耐久性試験を実施した結果、標準強度のSGMのままで要求性能・品質を満足できることを確認した。
GSE橋梁※	GSE橋梁についてはアール部も含め、縦断方向に構造断面が変化するため、不同沈下への確実な対策方針について、さらに詳細な検討が必要である。また、超高強度繊維補強コンクリート（UFC）を使用した橋梁の提案となっているが、GSE車両等の大荷重を受けた場合における各部（桁と桁の接続部、桁と床板の接続部等）の応力伝達特性、変形特性等について、試験等による確認が必要である。	アール部普通盛土部とEPS盛土境界の不同沈下量を弾粘塑性FEM解析を用いて算出し、対応策を策定した。また、床板とUFC桁の接合部、UFC桁間のウェッジ部外において、性能確認実験を実施し、設計で想定した性能を有することを確認した。	
維持管理	予防保全	本事業が、国際線地区I7 01の設計、施工及び維持管理業務であることを十分に認識し、可能な限り空港の運用に影響を与えないよう、I7 01等の基本施設、航空灯火等の航空保安施設等の本事業の対象とする施設の維持管理にあたっては、予防保全の考え方を適切に取り入れ、より合理的な維持管理計画の策定を検討する必要がある。	空港運用上「重要度が高い」と判断される施設・部位を予防保全対象とし、補修工事の必要性を判断する健全度評価基準を予防保全対象外の施設に比べて一段階厳しく設定し、空港運用に影響を生じる性能の低下・損失等を未然に防止する計画とした。
	危機管理	緊急時等への対応を適切に行うための体制、資機材の確保等についても十分に留意した維持管理計画について検討する必要がある。	体制と資機材の確保等に十分留意し維持管理計画を策定するとともに、危機管理マニュアルを作成した。

2. モニタリングの全体計画

■モニタリング全体計画



エブロン全域において、NC舗装版
目地交差部の水準測量を実施

- ・2009年7月
- ・2009年9月（供用開始時）
- ・2010年3月
- ・2011年4月
- ・2012年4月

に実施済み

対象	計測内容	数量	頻度
空港用地 No. 1~7 No. 14	● : 層別沈下計	6箇所	6回/年
	■ : 間隙水圧計	6箇所	1回/月
	▲ : 地下水観測井	2箇所	1回/月
	★ : 地震計	2箇所	随時
	◇ : ひずみ計	1箇所	自動計測 (当初2.5年間)
	◇ : 熱電対	1箇所	自動計測 (当初2.5年間)
FCB盛土部 No. 10~13	□ : 挿入式R1計	3箇所	6回/2.5.5年
	▲ : 地下水観測井	2箇所	1回/月

対象	計測内容	数量	頻度
エブロン全域	水準測量	全域	大規模補修工事実施予定年度の 前々年度、及び1回/3年を標準とする
	FWD試験	エブロン内 各所	2回/2.5.5年 (初年度、及び地盤沈下収束 時10年目)
京浜急行 シールドトンネル No. 8	水準測量	940m	必要に応じて実施
	● : 層別沈下計	1箇所	6回/年
三愛石油 シールドトンネル No. 10	水準測量	255m	必要に応じて実施
	● : 層別沈下計	1箇所	6回/年

3. 沈下モニタリング結果

■計測結果と予測値の比較（1/2）

全体的に予測値と比べて沈下量は小さいが、
北側エブロンの東側の沈下量が予測値と比べて大きい

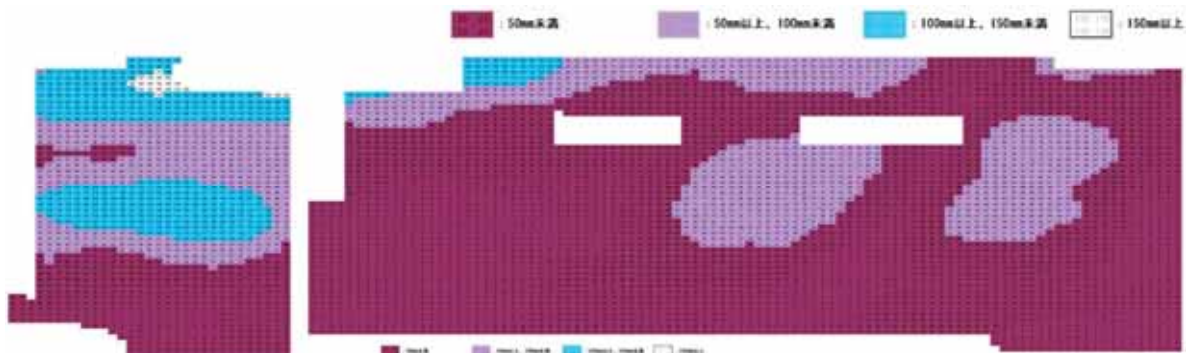


図-1 計測結果（供用開始から1.5年間）



図-2 不同沈下シミュレーション結果（供用開始から1.5年間、平均値）

3. 沈下モニタリング結果

■計測結果と予測値の比較 (2/2)

全体的に予測値と比べて沈下量は小さいが、北側エプロンの東側の沈下量が予測値と比べて大きい

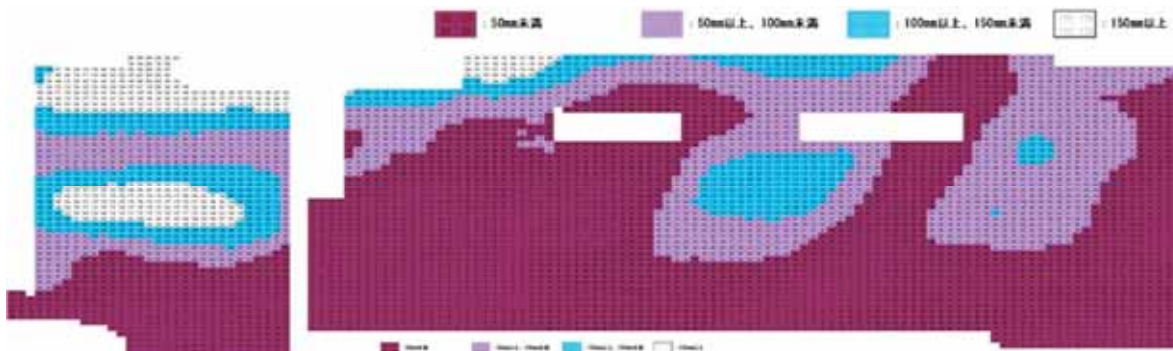


図-1 計測結果（供用開始から2.5年間）



図-2 不同沈下シミュレーション結果（供用開始から2.5年間、平均値）

3. 沈下モニタリング結果

■年度毎の沈下量

1年間の沈下量は、半分程度になっており、沈下は収束に向かっている

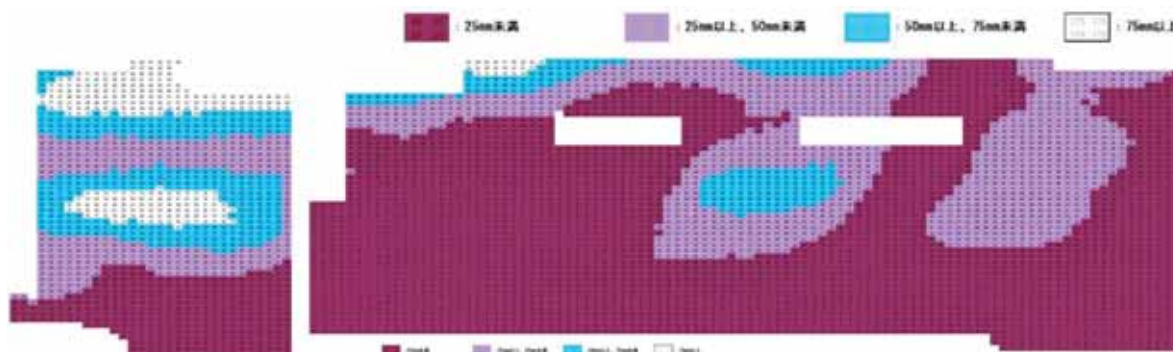


図-1 2010年度（2010年3月～2011年4月）の沈下量

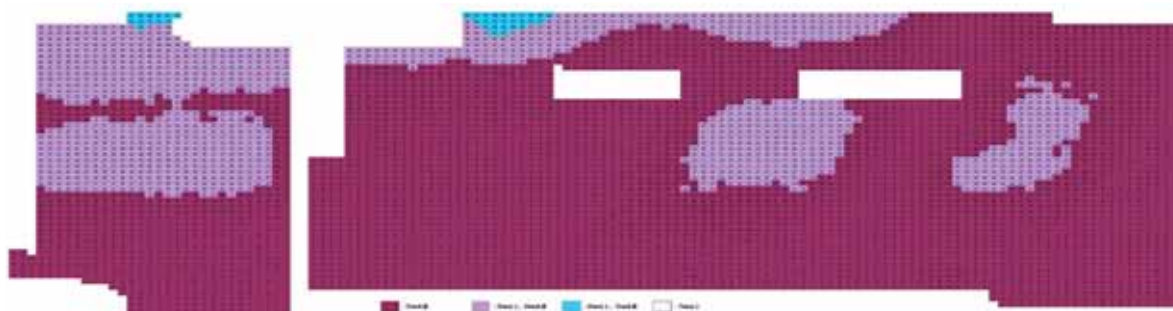


図-2 2011年度（2011年4月～2012年4月）の沈下量

3. 沈下モニタリング結果

■北側エプロン NC舗装高の時刻歴

沈下量が予測値と比べて大きい箇所の沈下は、収束に向かって

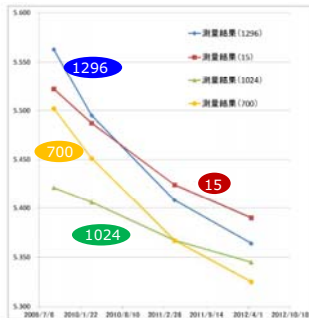


図-1 沈下測量結果 (NC舗装天端高)

15

沈下量が大きい箇所

1296

沈下量が大きい箇所

1024

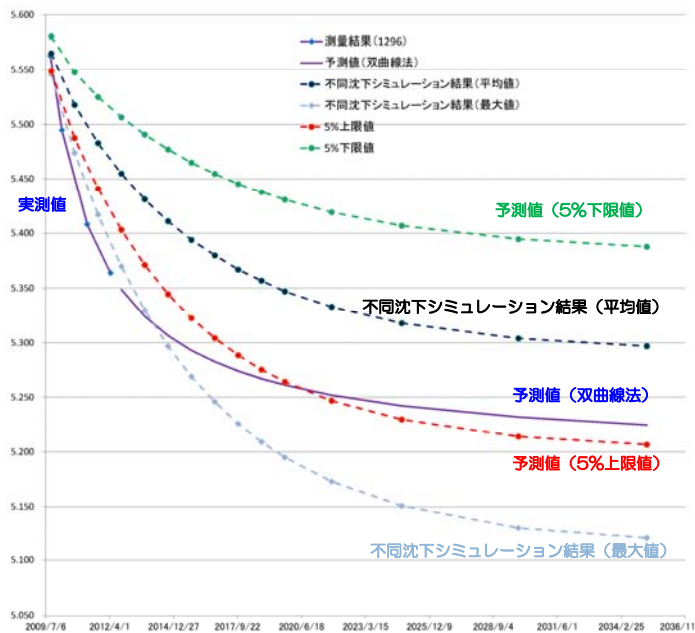
周囲と比べて沈下量が小さい箇所

700

沈下量が大きい箇所

1	1296	15	700	1024
2	1296	15	700	1024
3	1296	15	700	1024
4	1296	15	700	1024
5	1296	15	700	1024
6	1296	15	700	1024
7	1296	15	700	1024
8	1296	15	700	1024
9	1296	15	700	1024
10	1296	15	700	1024
11	1296	15	700	1024
12	1296	15	700	1024
13	1296	15	700	1024
14	1296	15	700	1024
15	1296	15	700	1024
16	1296	15	700	1024
17	1296	15	700	1024
18	1296	15	700	1024
19	1296	15	700	1024
20	1296	15	700	1024
21	1296	15	700	1024
22	1296	15	700	1024
23	1296	15	700	1024
24	1296	15	700	1024
25	1296	15	700	1024
26	1296	15	700	1024
27	1296	15	700	1024
28	1296	15	700	1024
29	1296	15	700	1024
30	1296	15	700	1024
31	1296	15	700	1024
32	1296	15	700	1024
33	1296	15	700	1024
34	1296	15	700	1024
35	1296	15	700	1024
36	1296	15	700	1024
37	1296	15	700	1024
38	1296	15	700	1024
39	1296	15	700	1024
40	1296	15	700	1024
41	1296	15	700	1024
42	1296	15	700	1024
43	1296	15	700	1024
44	1296	15	700	1024
45	1296	15	700	1024
46	1296	15	700	1024
47	1296	15	700	1024
48	1296	15	700	1024
49	1296	15	700	1024
50	1296	15	700	1024
51	1296	15	700	1024
52	1296	15	700	1024
53	1296	15	700	1024
54	1296	15	700	1024
55	1296	15	700	1024
56	1296	15	700	1024
57	1296	15	700	1024
58	1296	15	700	1024
59	1296	15	700	1024
60	1296	15	700	1024
61	1296	15	700	1024
62	1296	15	700	1024
63	1296	15	700	1024
64	1296	15	700	1024
65	1296	15	700	1024
66	1296	15	700	1024
67	1296	15	700	1024
68	1296	15	700	1024
69	1296	15	700	1024
70	1296	15	700	1024
71	1296	15	700	1024
72	1296	15	700	1024
73	1296	15	700	1024
74	1296	15	700	1024
75	1296	15	700	1024
76	1296	15	700	1024
77	1296	15	700	1024
78	1296	15	700	1024
79	1296	15	700	1024
80	1296	15	700	1024
81	1296	15	700	1024
82	1296	15	700	1024
83	1296	15	700	1024
84	1296	15	700	1024
85	1296	15	700	1024
86	1296	15	700	1024
87	1296	15	700	1024
88	1296	15	700	1024
89	1296	15	700	1024
90	1296	15	700	1024
91	1296	15	700	1024
92	1296	15	700	1024
93	1296	15	700	1024
94	1296	15	700	1024
95	1296	15	700	1024
96	1296	15	700	1024
97	1296	15	700	1024
98	1296	15	700	1024
99	1296	15	700	1024
100	1296	15	700	1024

図-2 NC舗装版No.



※不同沈下シミュレーション結果(最大値)とは、20回試行のうち、当該箇所の沈下予測値が最も大きな値を示したケースである。

図-3 沈下量が大きい箇所 1296 における沈下実測値と予測値との比較

本資料は、委員会時に説明した事項について指摘を受け、一部修正をしたものです。

3. 沈下モニタリング結果

■北側エプロン 縦断方向沈下分布

北側エプロンの東側の沈下量は、予測値と比べて大きい
X=1525m付近の沈下量が周囲と比べて小さい

NC舗装天端高 (AP)

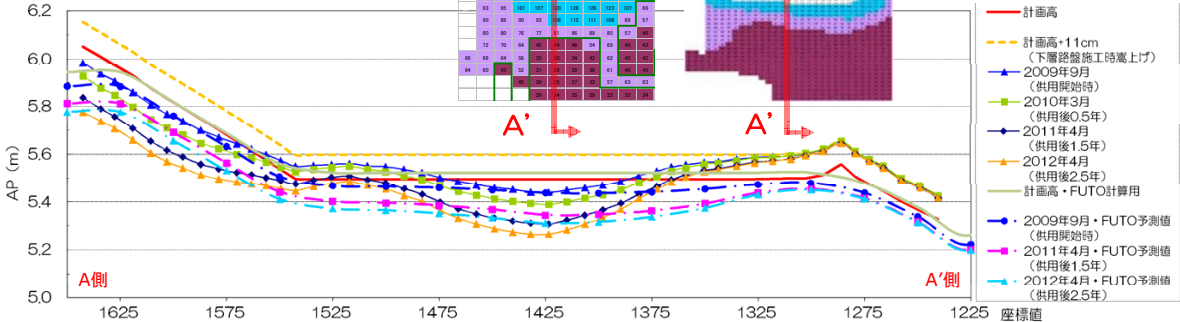


図-1 既設北側エプロン縦断方向NC天端高分布 (A-A' 断面)

沈下量

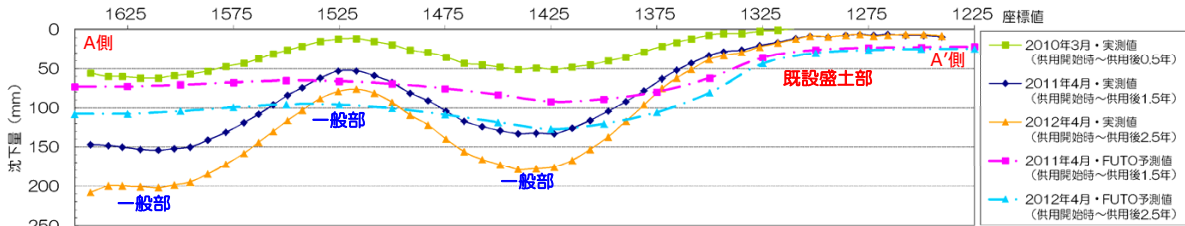


図-2 既設北側エプロン縦断方向沈下量分布 (2009年9月からの沈下量) (A-A' 断面)

本資料は、委員会時に説明した事項について指摘を受け、一部修正をしたものです。

3. 沈下モニタリング結果

■北側エプロン 横断方向沈下分布

既設盛土部に挟まれている一般部の沈下量は予測値と比べて小さい（不陸が小さい）

NC舗装天端高 (AP)

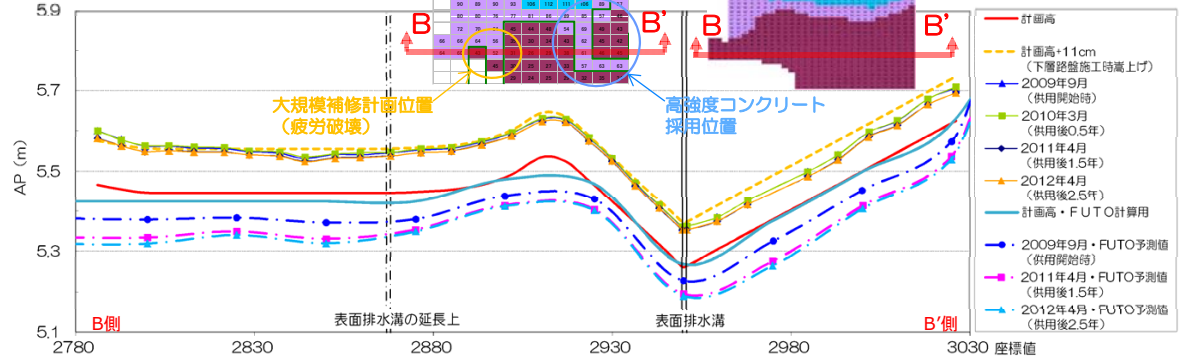


図-1 既設北側エプロン横断方向NC天端高分布 (B-B' 断面)

沈下量

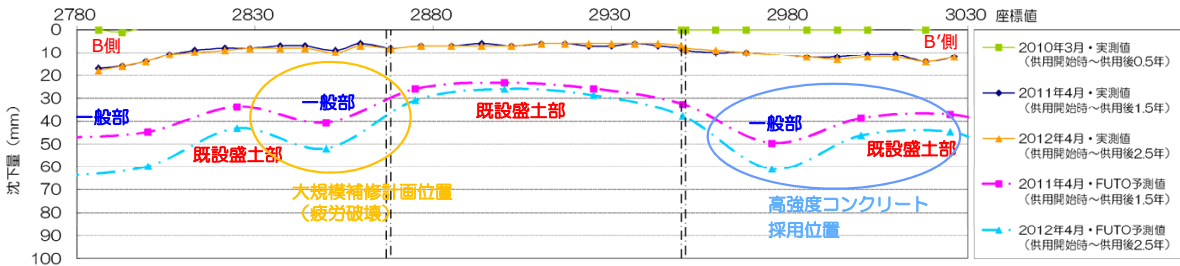


図-2 既設北側エプロン横断方向沈下量分布 (2009年9月からの沈下量) (B-B' 断面)

本資料は、委員会時に説明した事項について指摘を受け、一部修正をしたものです。

4. 東北地方太平洋沖地震 (2011年3月11日)

■地震計観測結果

南北エプロン各1箇所 の地表面において、地震波形を観測

設置位置	成分	最大加速度 (gal)	
		南側エプロン	北側エプロン
表層	NS	91.9	88.6
	EW	86.2	90.7
	UD	45.8	42.3

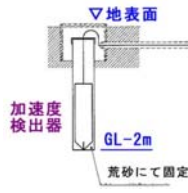


図-1 地震計

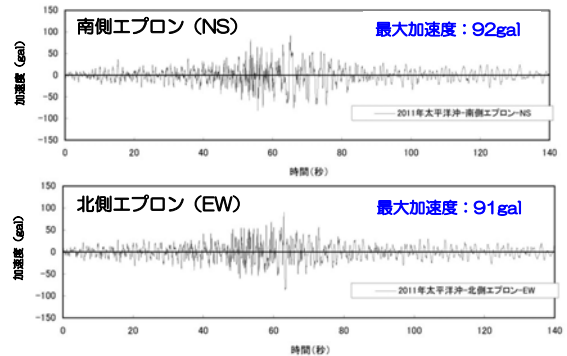


図-2 観測地震波形

■コンクリート舗装版への影響

スポット誘導経路P5・P6に、地震の影響と思われる目地欠けが発生 (IBC滑走路)
※液状化の発生は観察されていない

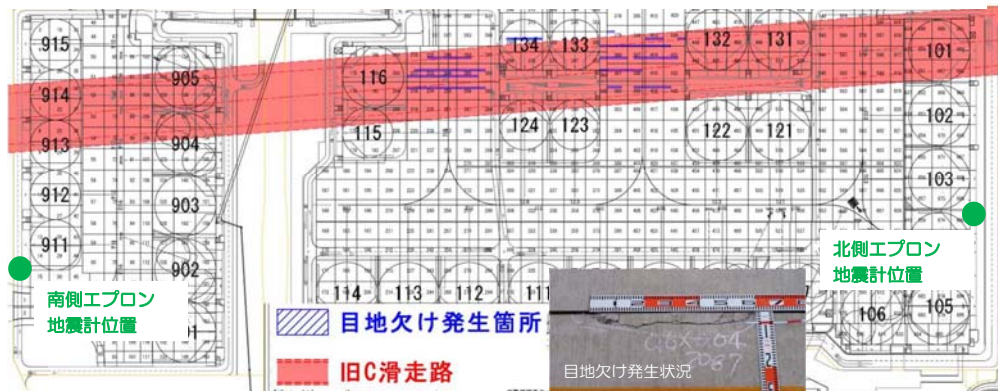


図-3 目地欠け発生箇所

4. 東北地方太平洋沖地震（2011年3月11日）

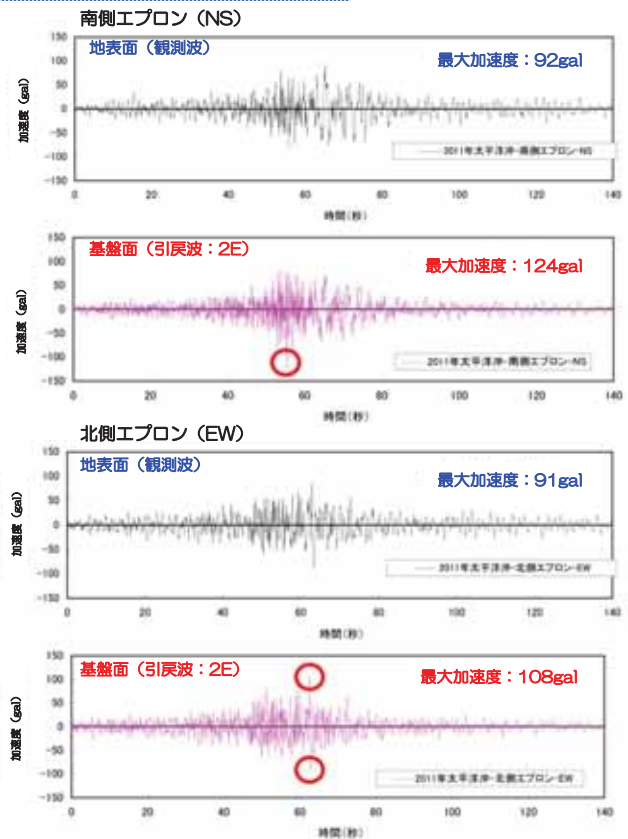
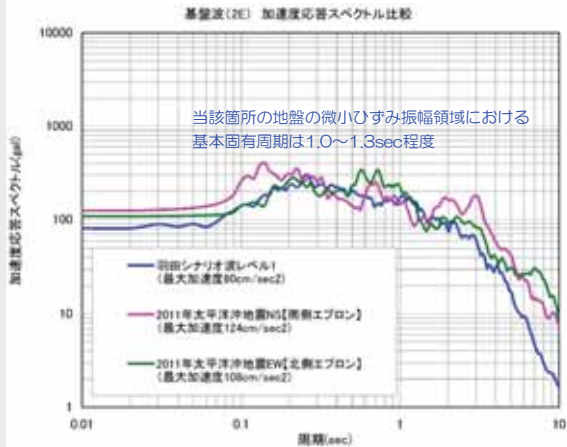
■ 基盤面への引戻し結果

	成分	最大加速度 (gal)	
		地表面	基盤面
南側エプロン	NS	92	124
北側エプロン	EW	91	108

地表面に比べて基盤面の最大加速度が大きくなったが、基盤での最大加速度はスパイク状に表れている

■ 加速度応答スペクトルの比較

東北地方太平洋沖地震は、羽田シナリオ波（L1）と同程度の規模であったと考えられる



今回の新設スポットの設計 地盤改良設計

羽田空港国際線エプロンPFI株式会社

1. 要求水準及び入力地震動

- 要求水準
- ・入力地震動が「八戸波・大船渡波(L1・L2)」から「羽田シナリオ波(L1・L2)」に変更
 - ・基準類が「空港土木施設の耐震設計指針(案)」から「空港土木施設耐震設計要領」に変更

項目	要求内容	基準類
地震条件	<p>1. 平成22年7月30日迄の引渡し施設 最大基盤加速度350gal (補正最大基盤加速度439gal)、地震波形：八戸波・大船渡波 最大基盤加速度390gal (補正最大基盤加速度486gal)、地震波形：八戸波・大船渡波 動的解析を行う場合は補正最大基盤加速度を用いること。</p> <p>2. 平成24年4月以降の引渡し施設 レベル1地震動 シナリオ波 (最大基盤加速度 80.4gal) レベル2地震動 シナリオ波 (最大基盤加速度 487gal(EW),463gal(NS)) なお、平成22年7月30日迄の引渡し施設については、上記シナリオ波に対する影響検討を実施すること</p>	<p>空港土木施設の耐震設計指針(案)</p> <p>空港土木施設耐震設計要領</p>
地盤改良工	<p>平成22年7月30日迄の引渡し施設： 液状化対策の検討については、3章性能要件に示す本件事業で整備するエプロン等に求められる耐震性能を考慮し、各施設の耐震性能が「空港土木施設の耐震設計指針(案)」に示す所要の重要度を満足するように液状化対策の工法・仕様を設定すること。なお、必要に応じてその他の範囲や構造物周辺における液状化対策の検討を実施すること。</p> <p>平成24年4月以降の引渡し施設： 液状化対策の検討については、3章性能要件に示す本件事業で整備するエプロン等に求められる耐震性能を考慮し、各施設の耐震性能を確保するように液状化対策の工法・仕様を設定すること。なお、必要に応じてその他の範囲や構造物周辺における液状化対策の検討を実施すること。</p>	基本施設標準配置図(一般図面集)
エプロン	<p>空港連絡道路南側のエプロンにおいては、空港土木施設の耐震設計指針(案)に示す重要度Aのエプロンとしての耐震性能を確保すること。 空港連絡道路北側のエプロンにおいては、空港土木施設の耐震設計指針(案)に示す重要度Bのエプロンとしての耐震性能を確保すること。</p> <p>ただし、平成24年度から施工する空港連絡道路北側のエプロンにおいては、空港土木施設耐震設計要領に示すレベル1地震動に対して、航空機の運航に必要な機能に影響を与えないように、また、レベル2地震動に対して、人命、財産または社会経済活動に重大な影響を与えない耐震性能を確保すること。</p>	

※赤字は、今回の要求水準書変更(第6回)での変更・追記箇所

1. 要求水準及び入力地震動

■入力地震動

入力地震動が「八戸波・大船渡波(L1・L2)」から「羽田シナリオ波(L1・L2)」に変更

羽田シナリオ波の特徴

八戸波・大船渡波に比べて継続時間が長い
周期1sを超える領域での加速度応答が大きい

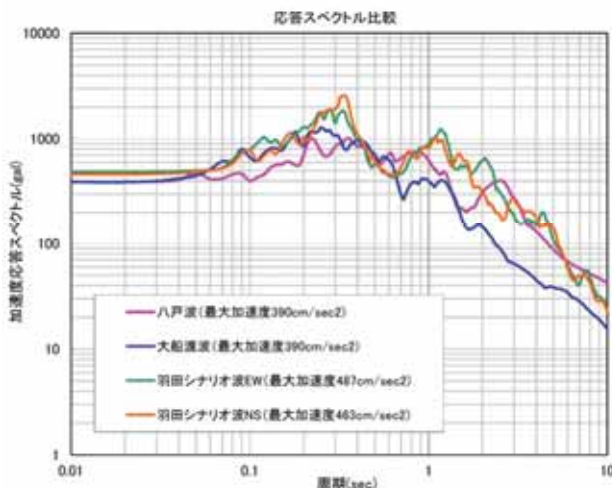
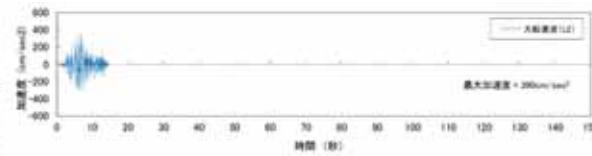
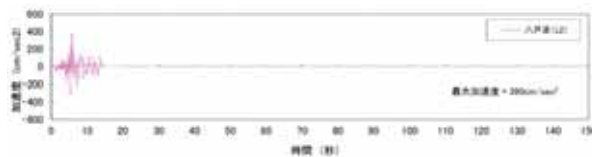


図-1 応答スペクトル比較

八戸波・大船渡波 (L2)



羽田シナリオ波 (L2)

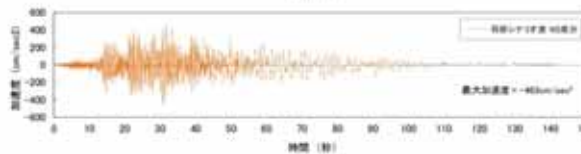
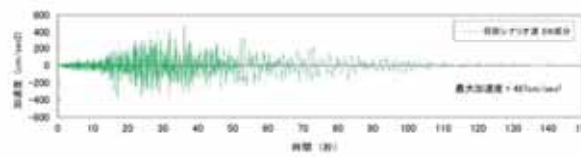


図-2 地震波形の比較

1. 要求水準及び入力地震動

■基準類の変更

基準類が「空港土木施設の耐震設計指針(案)」から「空港土木施設耐震設計要領」に変更

①空港土木施設の耐震設計指針(案)の“耐震性能”

対象施設	重要度	地震動のレベル	耐震性能	照査標準 (許容被害状態)
南側エプロン	A	レベル1地震動	被害程度I	・軽微なひび割れの発生 ^{※1} ・エプロン表面の許容変形量を満足する ・エプロン基礎地盤が液状化しない ^{※2}
		レベル2地震動	被害程度II	・早期復旧可能な程度の残留変形量以下 ・エプロン表面に沈下や段差が若干発生し許容変形量を一部逸脱する ・部分的な液状化 ^{※3} が発生する
北側エプロン	B	レベル1地震動	被害程度II	・部分的な液状化 ^{※3} が発生する
		レベル2地震動	被害程度III	・エプロン表面に沈下や段差が発生し、許容変形量を逸脱する ・液状化が発生する

※1 軽微なひび割れの発生は、発生する平均ひずみレベルから推定する。
 ※2 液状化が発生しても地盤変位が小さく、施設(構造物)に与える影響が小さければ、規準を満たすものとする。
 ※3 深度的にみて対象となる施設(構造物)に与える影響が小さい液状化現象をいう。

②空港土木施設耐震設計要領の“設計限界値の例”

施設	大規模地震発生後に必要とされる輸送形態		
	固定翼機による旅客輸送	固定翼機による緊急物資輸送	回転翼機による緊急物資輸送
エプロン	①地盤が液状化する場合 ^{※1} a) 地盤の変形 ・最大勾配が1%以下 ・部分的な勾配については、舗装面のすり付け及び地盤面の処理の最大勾配 ^{※2} までの変形を許容する b) 地盤の支持力 (過剰間隙水圧の消散による) 必要な地盤の支持力の確保に影響を及ぼさない程度の間隙水圧比の経時変化 ②短期間で復旧可能な程度のひび割れ ※地盤の変形についての記載は、L1、L2共通	①地盤が液状化する場合 ^{※1} a) 地盤の変形 輸送機の駐機エリアおよび誘導路へ連絡する経路について、 ・最大勾配が1%以下 ・部分的な勾配については、舗装面のすり付け及び地盤面の処理の最大勾配 ^{※2} までの変形を許容する b) 地盤の支持力 (過剰間隙水圧の消散による) 必要な地盤の支持力の確保に影響を及ぼさない程度の間隙水圧比の経時変化 ②比較的短期間で復旧可能な程度のひび割れ	①地盤が液状化する場合 ^{※1} a) 地盤の変形 回転翼機の発着スペースおよび駐機エリアについて、 ・最大勾配が1%以下 ・部分的な勾配については、舗装面のすり付け及び地盤面の処理の最大勾配 ^{※2} までの変形を許容する b) 地盤の支持力 (過剰間隙水圧の消散による) 必要な地盤の支持力の確保に影響を及ぼさない程度の間隙水圧比の経時変化

※2 地盤が液状化しなければ、レベル2地震動が作用しても、地盤上の舗装に勾配や段差等が発生する可能性は少ないことが、例えば、「1993年朝鮮半島地震港施設被害報告」^{※1}などに示されている。
 ※3 航空保安業務処理規程 第10 制限区域内工事実施規程 IV 工事実施要領 (3) 工事期間中における舗装面のすり付け及び地盤面の処理に示されている。
 注) 表中の勾配は地震後の勾配を意味している。

表-解 4.13 エプロンの許容変形量(既設舗装面を基準とする)

種別	横断方向最大勾配	縦断方向最大勾配
エプロン	航空機が通行する方向3%、その他の方向1/2勾配	
ショルダー	現地盤面からの高さ30cm以内	

対象施設の重要度によって、耐震性能(被害程度)を設定
被害程度II(南側エプロン: L2、北側エプロン: L1)でも、
・許容変形量の一部逸脱を許容
・部分的な液状化の発生を許容

③舗装面のすり付け最大勾配(既設舗装面を基準とする。)

種別	方向	横断方向		縦断方向
		中央部(帯状部幅の1/3)	縁部	
滑走路		1.5%	1/2勾配	0.5%
滑走路			3%	0.5%
コブタン		航空機が通行する方向3%、その他の方向1/2勾配		

重要度区分がない
地盤が液状化する場合の地盤の変形として、
・最大勾配が1%以下
・部分的な勾配については、舗装面のすり付け及び地盤面の処理の最大勾配までの変形を許容
・舗装面のすり付け最大勾配は、「空港土木施設の耐震設計指針(案)」の許容変形量と同値

「空港土木施設の耐震設計指針(案)」における
重要度AのエプロンのL1地震動に対する耐震性能と
同等の性能が、L2地震動に対しても求められている。

2. 地盤の概要

■地盤の概要（液状化判定対象層）

表層から約10m：沖積砂質土層（Bs層、As1層）

表層から約10m～20m：沖積粘性土（Ac2層）

※Ac2層は、粘性土としては比較的砂分が多く混入している上部層（Ac2上層）と砂分が少ない下部層（Ac2下層）に区別される。

【Bs層、As1層】

細粒分含有率が30%以下のものが大半を占めており、液状化する可能性がある地盤と考えられる

【Ac2上層】

細粒分含有率が40～80%程度あるが、塑性指数が小さく（15以下を含む）、液状化する可能性がある地盤と考えられる

【Ac2下層】

細粒分含有率が80～100%程度であり、塑性指数も30以上あり、液状化する可能性が非常に低い

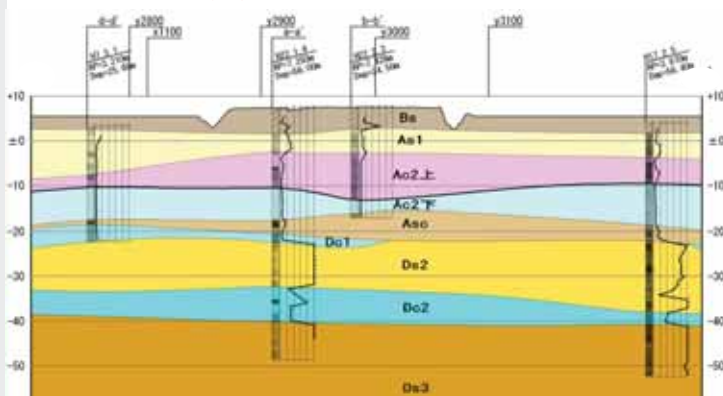


図-1 土層断面図

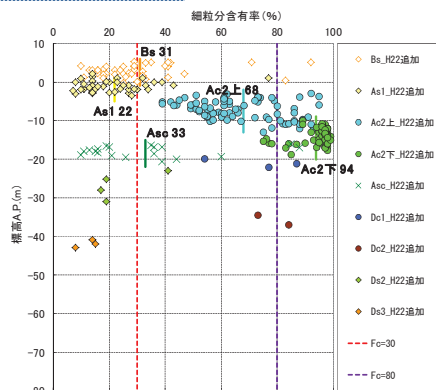


図-2 細粒分含有率：Fc (%)

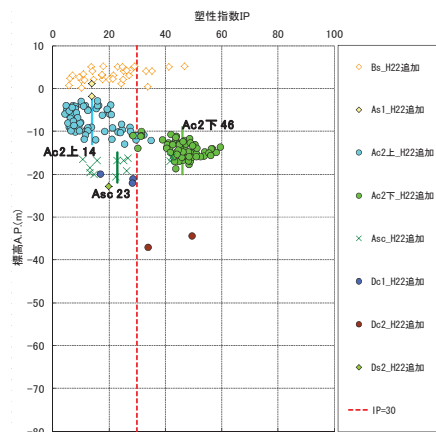


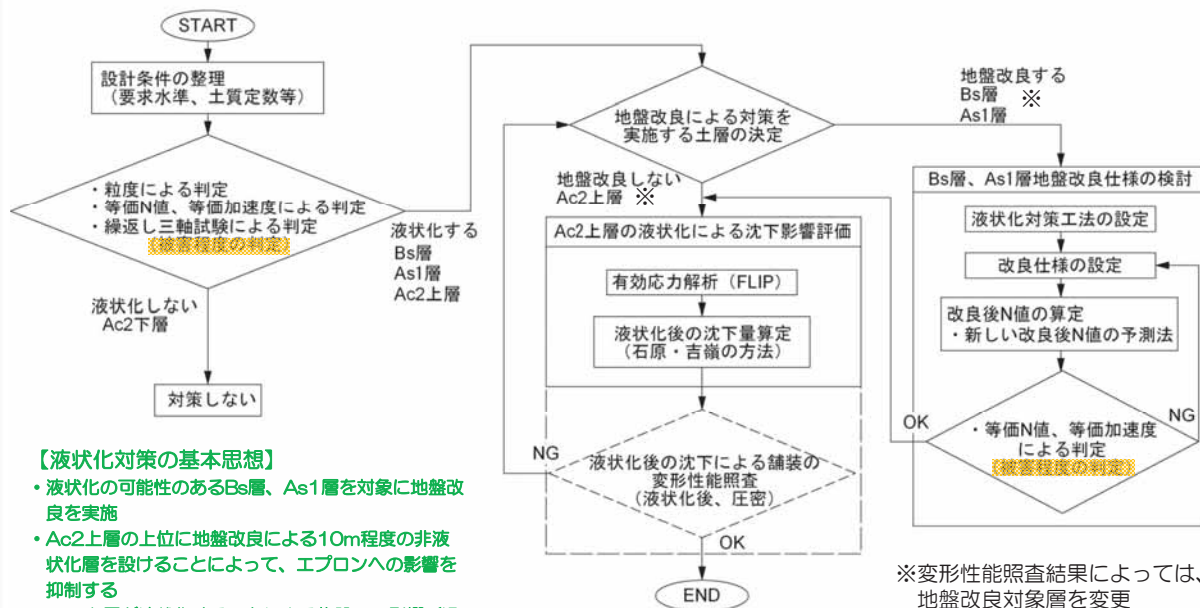
図-3 塑性指数：IP

3. 地盤改良検討方針

■地盤改良検討方針

実施設計時（H18年度）と同様に以下の検討フローにて検討を実施する。

※ L2地震動に対して、実施設計時（H18年度）に設定した被害程度Ⅰの耐震性能を満足させる。



【液状化対策の基本思想】

- 液状化の可能性のあるBs層、As1層を対象に地盤改良を実施
- Ac2上層の上位に地盤改良による10m程度の非液状化層を設けることによって、エプロンへの影響を抑制する
- Ac2上層が液状化することによる施設への影響（過剰間隙水圧消散に伴う地盤変形）は、その変形量を定量的に評価し、舗装の変形性能照査を行う。

※変形性能照査結果によっては、地盤改良対象層を変更

4. 粒度による判定

■ 粒度による判定結果

- Bs層、As1層、Ac2上層は液状化の可能性あり
- Ac2下層は液状化しない

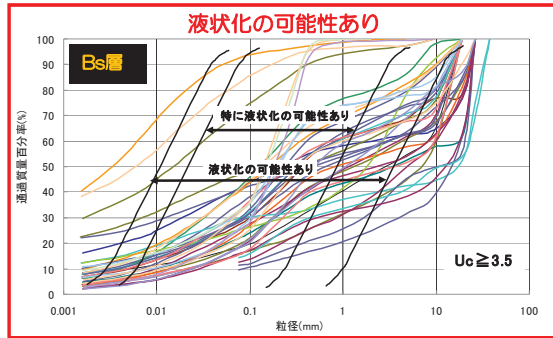


図-1 Bs層 粒径加積曲線

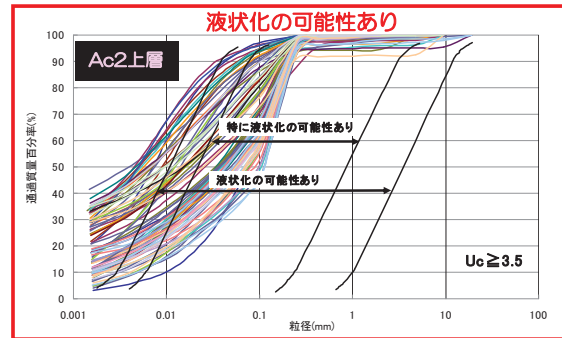


図-3 Ac2上層 粒径加積曲線

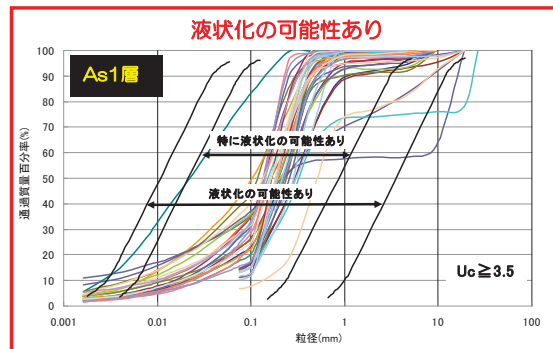


図-2 As1層 粒径加積曲線

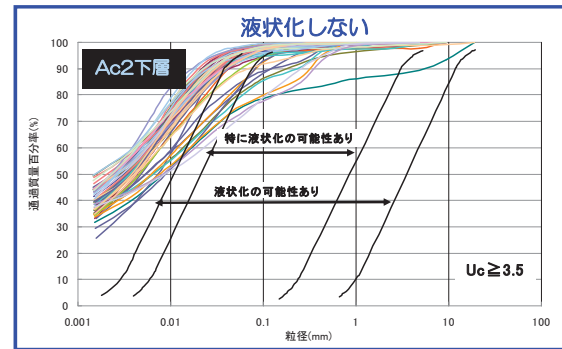


図-4 Ac2下層 粒径加積曲線

-7-

5. 等価N値、等価加速度による判定

■ 等価N値、等価加速度による判定結果

締固め砂杭工改良ピッチ：1.4m~1.8m

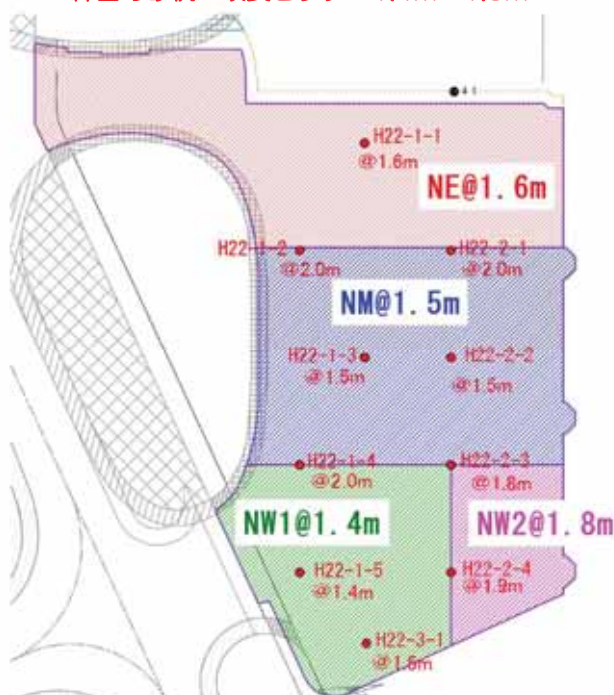


図-1 締固め砂杭工における改良ピッチ・ブロックの設定

【判定対象層】

Bs層、As1層

【判定規準】

「埋立地の液状化対策ハンドブック（改訂版）」に示された粒度とN値の液状化判定方法によって、1m間隔で判定を行い、2点が連続して液状化する（範囲Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ）と判定された場合、もしくは連続しなくても3点以上が液状化する（範囲Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ）と判定された場合は、当該ボーリング地点が液状化すると判定

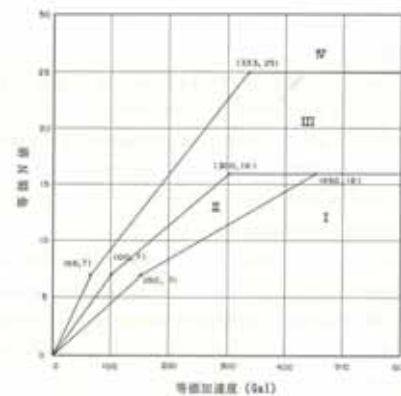


図-2 境界の等価N値

-8-

7. 有効応力解析 (FLIP)

■有効応力解析 (FLIP) 断面の選定

地震後の舗装面の不陸に最も影響が大きい、Ac2上層の層厚コンターをもとに2断面選定

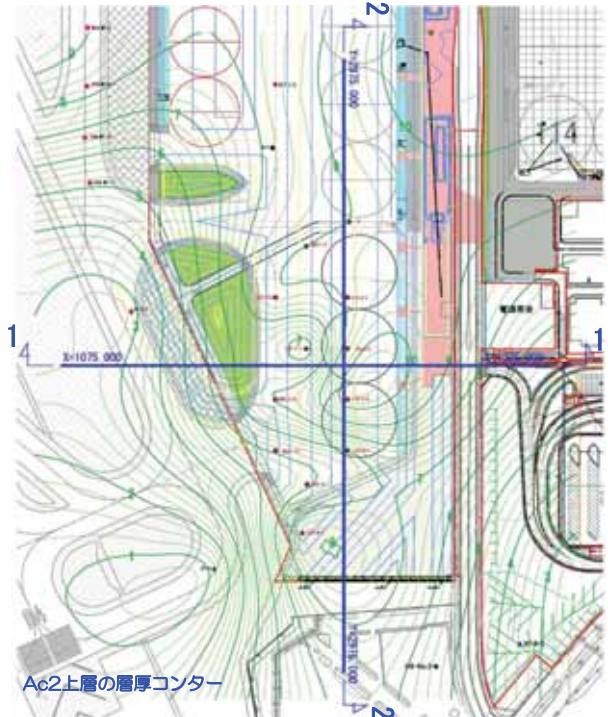


図-1 有効応力解析 (FLIP) 断面

■解析用物性値の設定

Bs層、As1層、Ac2上層については水圧上昇を考慮

【Bs層、As1層】：簡易設定法

地盤改良の効果を考慮するため、改良後N値を用いて簡易設定法により設定

【Ac2上層】：詳細設定法

繰返し三軸試験結果から得られた液状化抵抗曲線に対し、要素シミュレーションを行い詳細にパラメーターを設定

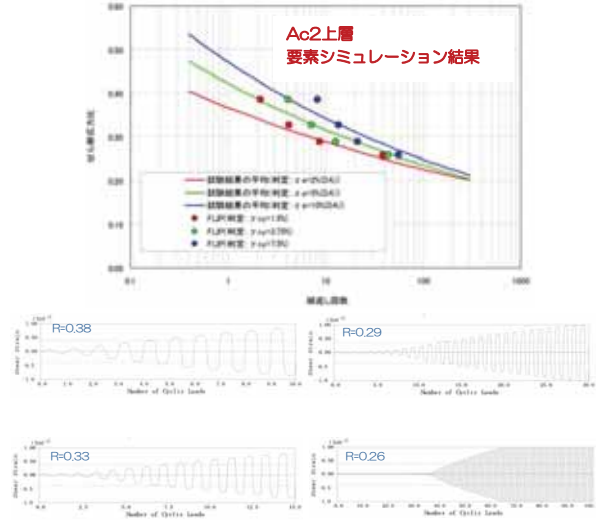
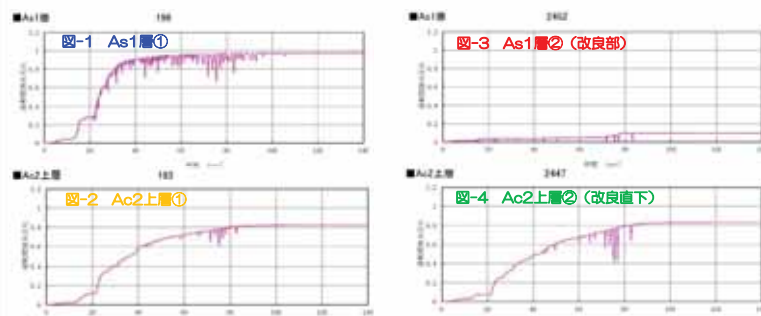


図-2 要素シミュレーション結果 (Ac2上層)

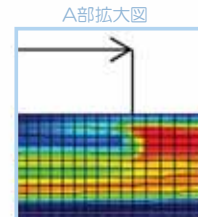
7. 有効応力解析 (FLIP)

過剰間隙水圧比

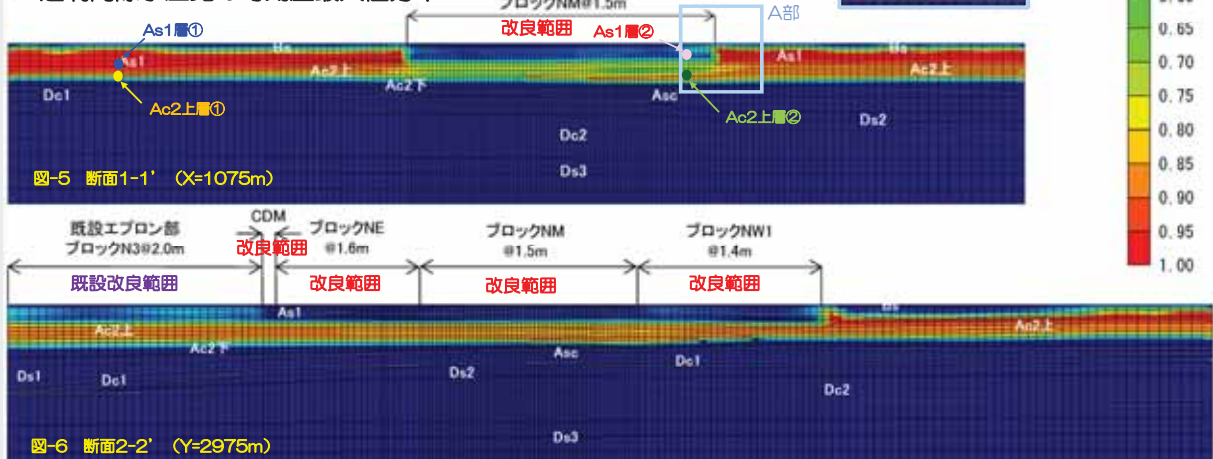
■過剰間隙水圧比 ($\Delta u/\sigma'_v$) の時刻歴



Bs層、As1層 (改良部) は、ほとんど過剰間隙水圧の上昇は発生しない
改良直下のAc2上層の一部で、過剰間隙水圧が0.8程度まで上昇



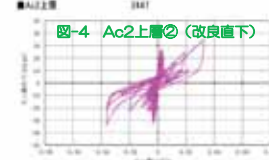
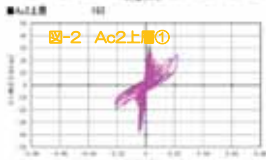
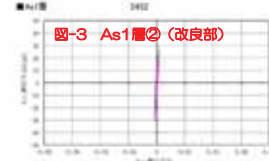
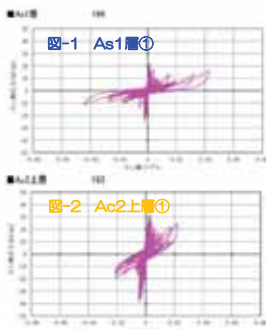
■過剰間隙水圧比の時刻歴最大値分布



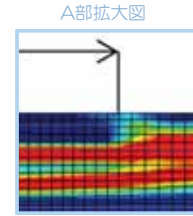
7. 有効応力解析 (FLIP)

せん断ひずみ

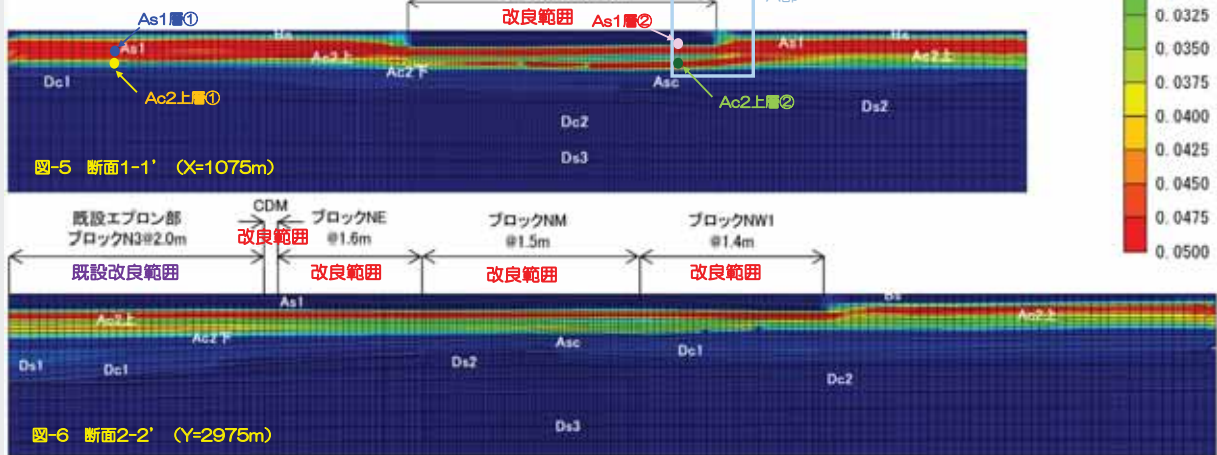
■せん断応力～せん断ひずみ関係



Bs層、As1層 (改良部) は、ほとんどせん断ひずみは発生しない
改良直下のAc2上層では、5%程度のせん断ひずみが発生



■せん断ひずみの時刻歴最大値分布



8. 舗装の変形性能照査

■過剰間隙水圧消散による沈下量の算定

体積ひずみの算定

液状化強度試験後に実施した再圧密試験結果より、最大せん断ひずみと体積ひずみの関係を整理
FLIPの解析結果により得られた最大せん断ひずみから要素毎の体積ひずみを求める



等価体積弾性係数の算定

FLIPの解析結果より得られた間隙水圧と左記の体積ひずみより、等価体積弾性係数を求める

$$E = \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{1-\nu} \frac{\Delta u}{\epsilon_0} = \frac{2}{3} \frac{\Delta u}{\epsilon_0}$$

ここに、
 Δu : 間隙水圧
 ϵ_0 : 体積ひずみ
 ν : ポアソン比 (= 1/3)

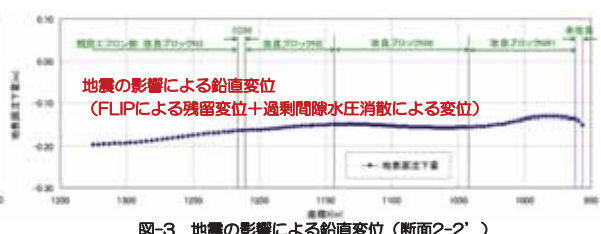
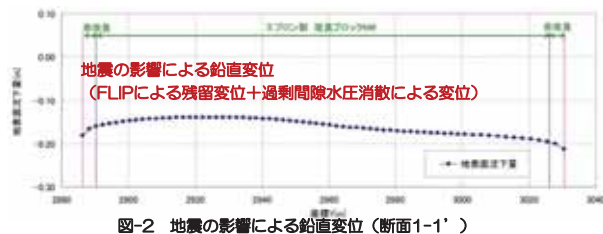
二次元FEM沈下解析

過剰間隙水圧を水平方向及び鉛直方向に作用させ、過剰間隙水圧消散後の地盤変形を求める

※二次元液状化流動解析プログラムALIDにおける方法を適用

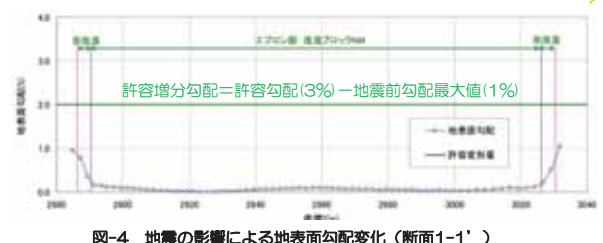
■地震の影響による沈下量の算定

有効応力解析による残留変位と過剰間隙水圧消散による変位より地震の影響による沈下量を算定

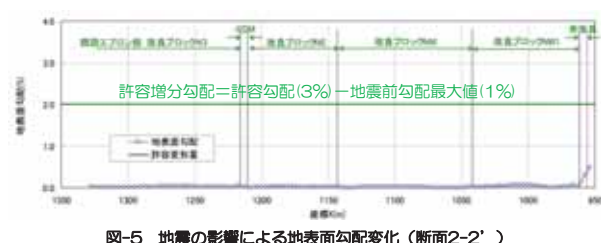


■舗装の変形性能照査

地震の影響による沈下量より、地表面勾配変化を算定



地震後のエプロン勾配が、許容勾配(3%)以下となることを確認



今回の新設スポットの設計 舗装設計

羽田空港国際線エプロンPFI株式会社

1. 基本施設舗装の提示条件及び要求水準

■ 提示条件

項目		要求内容	基準類
荷重条件	航空機荷重	<ul style="list-style-type: none">平成22年7月30日迄の引き渡し施設 クラス別(4機種)航空機荷重、年間離着陸回数(計50,000回/年)平成24年4月以降の引き渡し施設(北側エプロン) クラス別(5機種)航空機荷重、年間離着陸回数(計50,000回/年)平成24年4月以降の引き渡し施設(南側エプロン) クラス別(6機種)航空機荷重、年間離着陸回数(計75,000回/年)	
	上載荷重	<ul style="list-style-type: none">積雪荷重1kN/m²	
維持管理条件	大規模補修工事 における制限	<ul style="list-style-type: none">閉鎖可能スポットは1スポット日々復旧による施工を標準とする1回の工事規模は3000~5000m²	

※赤字は、今回の要求水準書変更(第6回)での変更・追記箇所

1. 基本施設舗装の提示条件及び要求水準

■要求水準（抜粋）

項目		要求内容	基準類
対象施設の基本性能	構造物の安全性	・十分な耐震性能を有すること	
	事業終了時の評価	・事業終了時にPR IがA又はBとなっていること	空港舗装補修要領案
一般		・安全かつ円滑な空港運用が可能なこと	
		・作用する荷重に対し十分な支持力・耐久性を持つ舗装構造とすること ・設計供用期間中においてエプロン等の勾配が規定勾配を逸脱しないものとし、所要の構造安定性、使用性を確保すること ・舗装構造は耐流動性を有し、設計対象車両及び航空機の輪荷重が設計上想定される回数分、繰り返し载荷した場合に過大な変形がないこと ・舗装構造は、設計対象車両及び航空機の輪荷重が設計上想定される回数分、繰り返し载荷した場合に、疲労破壊しないこと	空港舗装構造設計要領
		・所定の耐震性能を有すること ・舗装構造内に地下水位が位置しないように防止対策を施すこと	
エプロン	耐震性能	・北側エプロンについては空港土木施設の耐震設計指針（案）に示す重要度B、南側エプロンは重要度Aの耐震性能を確保すること ・ただし、平成24年度から施工する北側エプロンについては、レベル1地震動に対して、航空機の運航に必要な機能に影響を与えないように、レベル2地震動に対して、人命、財産または社会経済活動に重大な影響を与えない耐震性能を確保すること。	
	勾配	・設計供用期間中において、駐機部分（縦断勾配）は0.5%程度、それ以外は1.0%以内とする。	

※赤字は、今回の要求水準書変更（第6回）での変更・追記箇所

-3-

2. 設計条件の設定（H18年実施設計との比較）

■H18年実施設計と今回設計における変更点

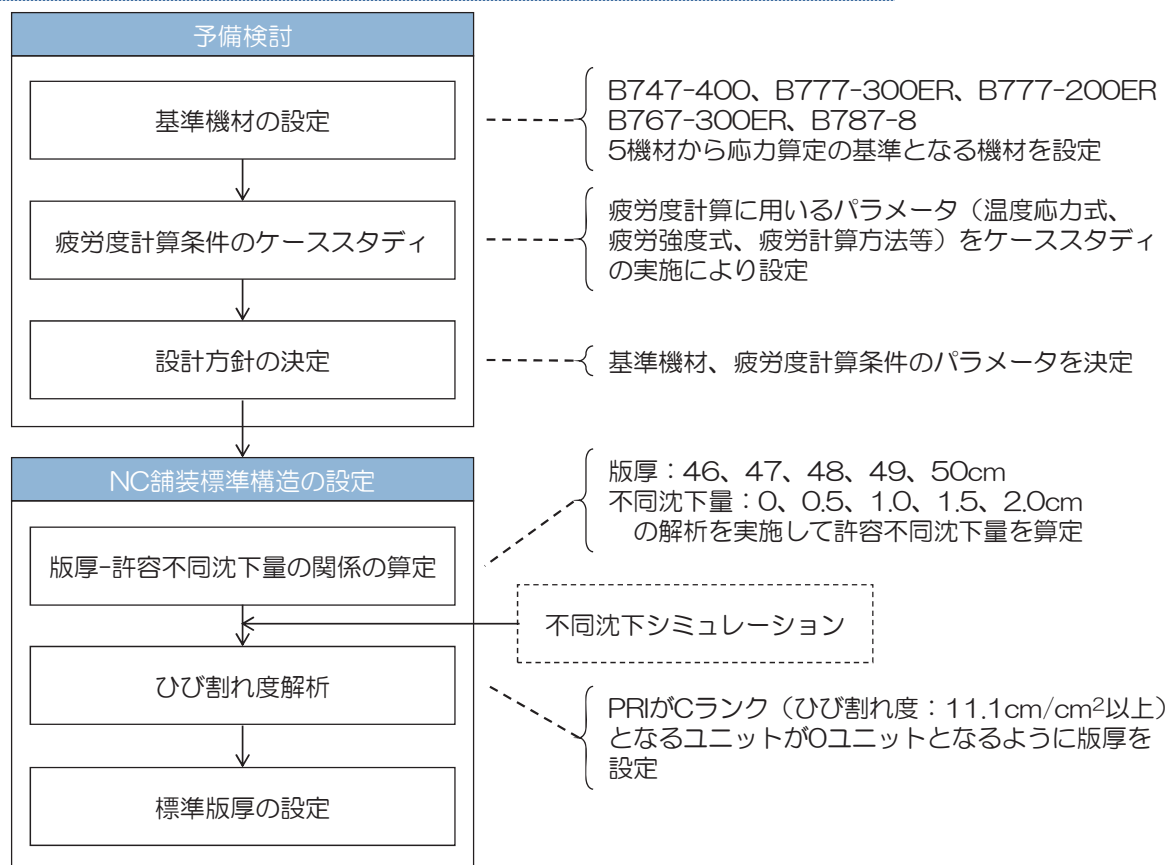
項目	変更理由
設計対象機材・機材別交通量 航空機荷重	要求水準書の変更に伴い、新たな設計対象機材・機材別交通量・航空機荷重が設定されたため。
疲労度解析における応力算出 に使用する温度応力式	空港舗装設計要領及び設計例の改訂に伴い、最新の知見を取入れた温度応力式が明示されたため。
疲労度解析における版上下面 の温度差発生頻度	空港舗装設計要領及び設計例の改訂に伴い、最新の知見を取入れた版上下面の温度差発生頻度が明示されたため。
疲労度解析における疲労曲線	空港舗装設計要領及び設計例の改訂に伴い、最新の知見を取入れた疲労曲線式が明示されたため。
脚応力算出においてFEM解析 に用いる路盤支持力係数	路盤構造を強化し路盤支持力係数を上げる（70MN/m ³ →100MN/m ³ ）ことでNC舗装版厚が適切な版厚となるようにしたため。



上表以外の項目及び計算手法（FEM解析手法、疲労度解析手法等）については、H18年実施設計と同様の方法としている。

-4-

2. 設計条件の設定（舗装設計フロー）



-5-

2. 設計条件の設定（設計対象航空機と荷重緒元）

■ 設計対象航空機と荷重緒元

機材	脚中心 (cm)	横間隔 (cm)	縦間隔 (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

-6-

2. 設計条件の設定（航空機荷重及び機材別年間交通量）

■H18年実施設計時の条件

表-1 航空機荷重及び機材別年間交通量（H18年実施設計時）

	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

■新設北側エプロン（今回設計）の条件

表-2 航空機荷重及び機材別年間交通量（今回設計）

	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

-7-

3. 予備検討（基準機材の設定）

■基準機材の設定フロー

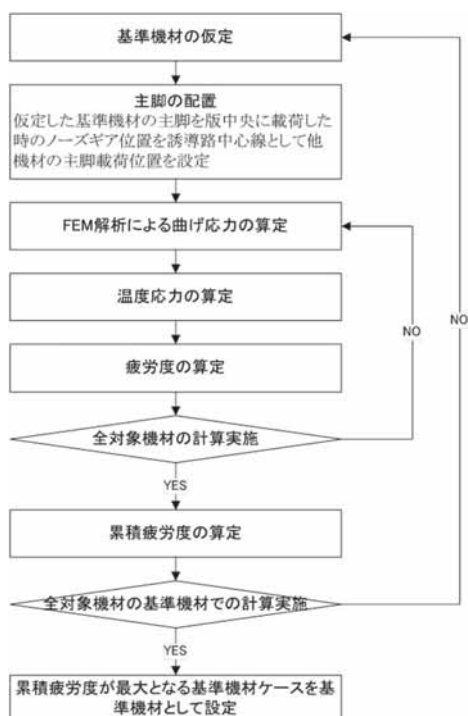


図-1 基準機材選定フロー

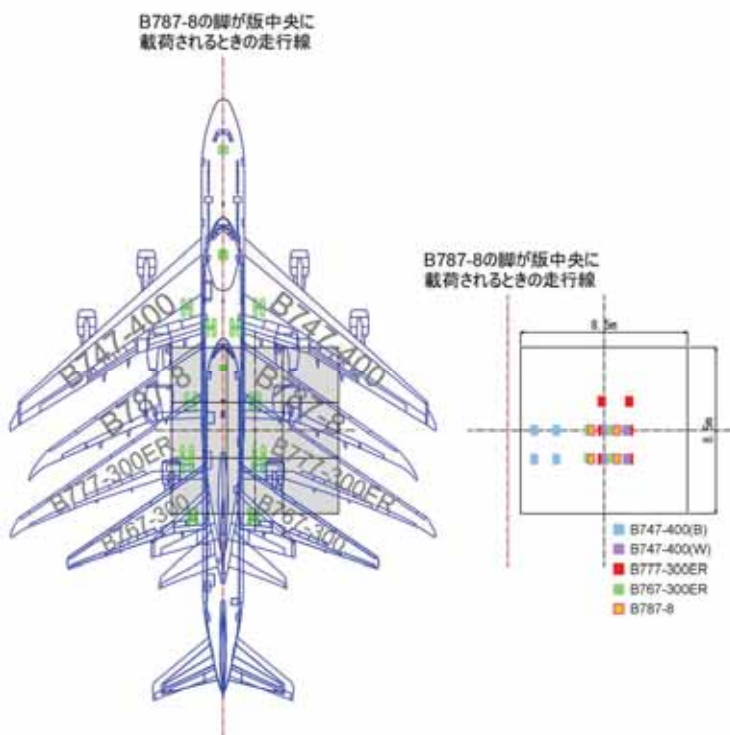


図-2 脚載荷位置設定の概念図

-8-

3. 予備検討（基準機材の設定）

■FEM検討条件

表-1 FEM検討条件

項目	解析条件	備考
機材（脚）	8機材(脚)	B747-400(B),B747-400(W) B777-300ER B777-200ER B767-300ER B787-8
版厚	46cm	既設北側エプロンの版厚とした
不同沈下量	5ケース	0,0.5,1.0,1.5,2.0cm
載荷位置	各機材について13箇所	横断方向に30cmピッチ

■累積疲労度（単年度）算定結果

表-2 累積疲労度（単年度）算定結果

基準機材	累積疲労度（単年度）の最大値				
	0.0cm	0.5cm	1.0cm	1.5cm	2.0cm
B747-400(B)	0.04	0.08	0.15	0.28	0.54
B747-400(W)	0.13	0.30	0.50	1.00	2.15
B777-300ER/200ER	0.12	0.28	0.46	0.94	2.02
B767-300ER	0.22	0.41	0.62	1.05	2.31
B787-8	0.18	0.39	0.62	1.15	2.45
最大値	0.22	0.41	0.62	1.15	2.45

➡ 不同沈下が大きいケースで累積疲労度が最大となる**B787-8**を基準機材として設定した

-9-

3. 予備検討（疲労度計算条件のケーススタディ）

■舗装設計（累積疲労度の算定）で考慮する要因

PFI事業で実施した既設エプロンの設計法との整合性、また改訂された空港舗装設計要領の取扱いを含めて舗装設計で考慮する要因を決定するため、ケーススタディを実施し、設計手法を決定した。

考慮する要因	内容	ケース1	ケース2	ケース3
脚荷重応力	脚荷重応力算定時の脚配置など	PFI	PFI	PFI
走行分布の標準偏差	航空機が基準線を通る割合	PFI	PFI	PFI
温度応力算定式	温度応力算定時の算定式の違い	要領	PFI	PFI
温度差正負割合	温度差正負の時間帯に航空機が通行する割合	PFI	PFI	PFI
温度差頻度	版上下面の温度差が発生する頻度	要領（例）	要領（例）	PFI
疲労強度	疲労度算定時の疲労曲線の違い	要領	PFI	PFI
疲労計算方法	累積疲労度算定時の算定方法	PFI	PFI	PFI
累積疲労度（単年度）		0.18	0.16	0.12

※PFI：H18年実施設計時の設計法

※要領：空港舗装設計要領及び設計例

➡ 要領に示されているもの及び最新の知見を取入れ要領（例）に示されているものは要領に従いそれ以外はPFI設計法に従ったケース1を採用することとした。

4. 版厚の設定（版厚算定条件）

■版厚算定条件

項目	設計法	概要															
脚荷重応力	PFI	設計対象機種は全就航機材とし、不同沈下（空隙）発生時の曲げ応力をFEM解析により算定。 脚配置は、予備解析の結果から基準機材を選定し、その基準機材と他の機材との脚配置を考慮して載荷位置を設定。															
走行分布の標準偏差	PFI	$\sigma = 50\text{cm}$ （平行誘導路走行時の値を10cmでラウンド） 表 1.3.6 既往調査値：航空機の走行分布（標準偏差） <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>滑走路離陸時</th> <th>滑走路着陸時</th> <th>平行誘導路離陸時</th> <th>高速脱出誘導路</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LA-1</td> <td>0.91m</td> <td>1.74m</td> <td>0.67m</td> <td>0.74m</td> </tr> <tr> <td>LA-12</td> <td>0.74m</td> <td>1.10m</td> <td>0.57m</td> <td>0.63m</td> </tr> </tbody> </table>		滑走路離陸時	滑走路着陸時	平行誘導路離陸時	高速脱出誘導路	LA-1	0.91m	1.74m	0.67m	0.74m	LA-12	0.74m	1.10m	0.57m	0.63m
	滑走路離陸時	滑走路着陸時	平行誘導路離陸時	高速脱出誘導路													
LA-1	0.91m	1.74m	0.67m	0.74m													
LA-12	0.74m	1.10m	0.57m	0.63m													
温度応力	要領	$\sigma_t = (-0.772h + 0.854) \frac{\alpha E_c \theta}{2(1-\nu)}$ 版厚 47cm : $\sigma_t = 0.49 \times \frac{\alpha E_c \theta}{2(1-\nu)}$ 版厚 46cm : $\sigma_t = 0.50 \times \frac{\alpha E_c \theta}{2(1-\nu)}$ E_c : 弾性係数(MPa) ν : ポアソン比 α : 線膨張係数(1/°C) θ : 版上下面の温度差(°C) h : 版厚(m)															
温度差正負割合	PFI	正（10時～25時）：負（25時～10時）＝6：4															

4. 版厚の設定（版厚算定条件）

■版厚算定条件

項目	設計法	概要																																															
温度差頻度	要領（例）	例表-5.2.4 コンクリート版の温度差とその発生頻度 版上下面温度差の発生割合 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">版上下面温度差 (°C)</th> <th colspan="2">版上下面温度差の発生割合</th> </tr> <tr> <th>温度応力が主に正となる 時間帯 (10時～25時)</th> <th>温度応力が主に負となる 時間帯 (25時～10時)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>17 (16.0～17.9)</td><td>0.0011</td><td>-</td></tr> <tr><td>15 (14.0～15.9)</td><td>0.0123</td><td>-</td></tr> <tr><td>13 (12.0～13.9)</td><td>0.0392</td><td>-</td></tr> <tr><td>11 (10.0～11.9)</td><td>0.0467</td><td>-</td></tr> <tr><td>9 (8.0～9.9)</td><td>0.0518</td><td>-</td></tr> <tr><td>7 (6.0～7.9)</td><td>0.0724</td><td>-</td></tr> <tr><td>5 (4.0～5.9)</td><td>0.0948</td><td>-</td></tr> <tr><td>3 (2.0～3.9)</td><td>0.1109</td><td>-</td></tr> <tr><td>1 (0.0～1.9)</td><td>0.1411</td><td>0.0067</td></tr> <tr><td>-1 (-2.0～-0.1)</td><td>0.1879</td><td>0.1448</td></tr> <tr><td>-3 (-4.0～-2.1)</td><td>0.1516</td><td>0.4345</td></tr> <tr><td>-5 (-6.0～-4.1)</td><td>0.0766</td><td>0.3521</td></tr> <tr><td>-7 (-8.0～-6.1)</td><td>0.0133</td><td>0.0478</td></tr> <tr><td>-9 (-10.0～-8.1)</td><td>0.0003</td><td>0.0140</td></tr> </tbody> </table>	版上下面温度差 (°C)	版上下面温度差の発生割合		温度応力が主に正となる 時間帯 (10時～25時)	温度応力が主に負となる 時間帯 (25時～10時)	17 (16.0～17.9)	0.0011	-	15 (14.0～15.9)	0.0123	-	13 (12.0～13.9)	0.0392	-	11 (10.0～11.9)	0.0467	-	9 (8.0～9.9)	0.0518	-	7 (6.0～7.9)	0.0724	-	5 (4.0～5.9)	0.0948	-	3 (2.0～3.9)	0.1109	-	1 (0.0～1.9)	0.1411	0.0067	-1 (-2.0～-0.1)	0.1879	0.1448	-3 (-4.0～-2.1)	0.1516	0.4345	-5 (-6.0～-4.1)	0.0766	0.3521	-7 (-8.0～-6.1)	0.0133	0.0478	-9 (-10.0～-8.1)	0.0003	0.0140
版上下面温度差 (°C)	版上下面温度差の発生割合																																																
	温度応力が主に正となる 時間帯 (10時～25時)	温度応力が主に負となる 時間帯 (25時～10時)																																															
17 (16.0～17.9)	0.0011	-																																															
15 (14.0～15.9)	0.0123	-																																															
13 (12.0～13.9)	0.0392	-																																															
11 (10.0～11.9)	0.0467	-																																															
9 (8.0～9.9)	0.0518	-																																															
7 (6.0～7.9)	0.0724	-																																															
5 (4.0～5.9)	0.0948	-																																															
3 (2.0～3.9)	0.1109	-																																															
1 (0.0～1.9)	0.1411	0.0067																																															
-1 (-2.0～-0.1)	0.1879	0.1448																																															
-3 (-4.0～-2.1)	0.1516	0.4345																																															
-5 (-6.0～-4.1)	0.0766	0.3521																																															
-7 (-8.0～-6.1)	0.0133	0.0478																																															
-9 (-10.0～-8.1)	0.0003	0.0140																																															
コンクリート疲労強度	要領	$\log N_d = \frac{a - \sigma_{s,d} / f_{M,h}}{b} \cdot \frac{1}{\gamma_{\sigma}}$ ここで、 N_d : 疲労破壊回数 $\sigma_{s,d}$: 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。 $f_{M,h} = 0.8 \cdot \left(0.6 + \frac{2.25}{h^{1/4}} \right) \cdot f_{M,h_0}$ ここで、 $f_{M,h}$: 版厚 h (mm) の設計曲げ強度 f_{M,h_0} : 版厚 h_0 (mm) の設計曲げ強度で、 f_M / γ_c で求められる。 h_0 は一般に150mmとしている。																																															
疲労度計算方法	PFI	$DF(j, k) = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^n \frac{n(t, i)}{N(t, i, j, k)}$ $DF(j, k)$: k 測線の j 点における疲労度 $n(t, i)$: 上下面温度差 t °Cの時の i 点を通過する交通量 $N(t, i, j, k)$: 曲げ応力 $\sigma_i = (\sigma_c(t, j, k) + \sigma_c(j, k, t))$ での許容繰返し回差 $\sigma_c(t, j, k)$: 脚載荷位置 i の場合の k 測線の j 点における応力 $\sigma_c(j, k, t)$: 上下面温度差 t °Cの時の k 測線の j 点での温度応力 $N(t, i, j, k) = f(\alpha, \sigma_i / \sigma_c)$ α : 適用する疲労曲線の破壊確率 σ_c : コンクリート曲げ強度																																															

4. 版厚の設定（発生応力の算定）

■FEM解析条件

- ①一枚のコンクリート版形状は、8.5m×8.5mを標準とする
- ②スリッパーによる荷重伝達を的確に評価するため、9枚版を基本とし、荷重載荷は中央版を基本とする
- ③不同沈下形状は、右図に示すとおり隣接する2地点で極値を有する3次曲線とし、極値間距離は30mとする
- ④不同沈下の中心位置（曲率半径最小地点）は、中央版の中央とする
- ⑤要素分割幅は、版厚、車輪接地幅および目地間隔を考慮し、25cmとする
- ⑥FEM解析コードは、「CP-for」（石川高等専門学校 西澤教授作成）とする

■解析定数の設定

定数		設定値
コンクリート版	コンクリート曲げ強度	5.0MPa
	目地間隔	850cm
	弾性係数	34,000MPa
	ポアソン比	0.15
	路盤支持力係数（K値）	100MN/m ³
	単位体積重量	0.024MN/m ³
	熱膨張係数	1.0×10 ⁻⁵ /°C
目地	せん断バネ定数	500MPa
	曲げバネ定数	0kN/m
	ねじりバネ定数	0kN/m

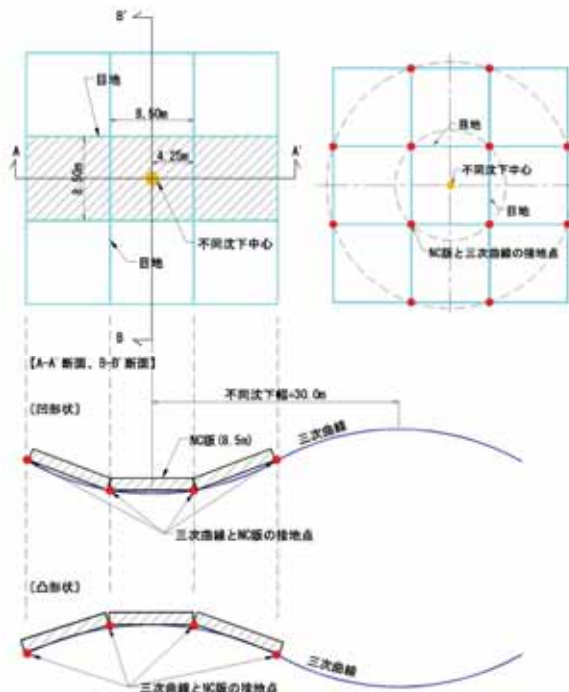


図-1 解析モデルと不同沈下形状の概念図

-13-

4. 版厚の設定（疲労度算定方法）

■疲労度算定方法

疲労度はマイナー則により算定する。

$$\text{疲労度} = \frac{\text{ある曲げ応力の発生回数}}{\text{ある曲げ応力に対する許容繰返し回数}}$$

■疲労度算定式

コンクリート版のある横断測線（ $k=1\sim 18$ ）上の j 点における疲労度の一般式を示す。

$$DF(j, k) = \sum_{t=1}^{n(t, i)} \sum_{i=1}^{m} \frac{n(t, i)}{N(t, i, j, k)}$$

$DF(j, k)$: k 測線の j 点における疲労度

$n(t, i)$: 上下面温度差 t °C の時の i 点を通る交通量

$N(t, i, j, k)$: 曲げ応力 $\sigma_s (= \sigma_s(i, j, k) + \sigma_s(j, k, t))$ での許容繰返し回数

$\sigma_s(i, j, k)$: 脚載荷位置 i の場合の k 測線の j 点における応力

$\sigma_s(j, k, t)$: 上下面温度差 t °C の時の k 測線の j 点での温度応力

$N(t, i, j, k) = f(\alpha, \sigma_s / \sigma_c)$

α : 適用する疲労曲線の破壊確率

σ_c : コンクリート曲げ強度

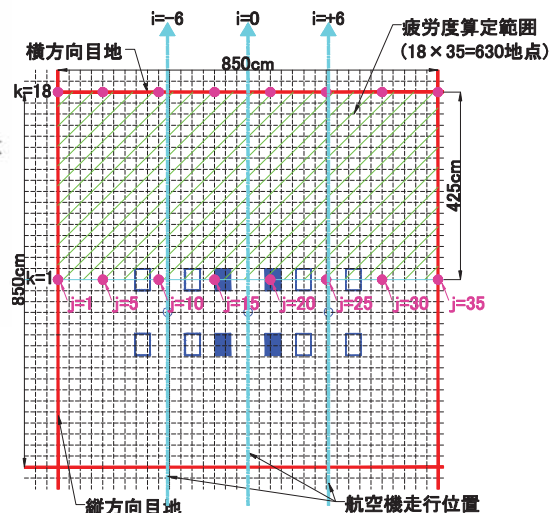
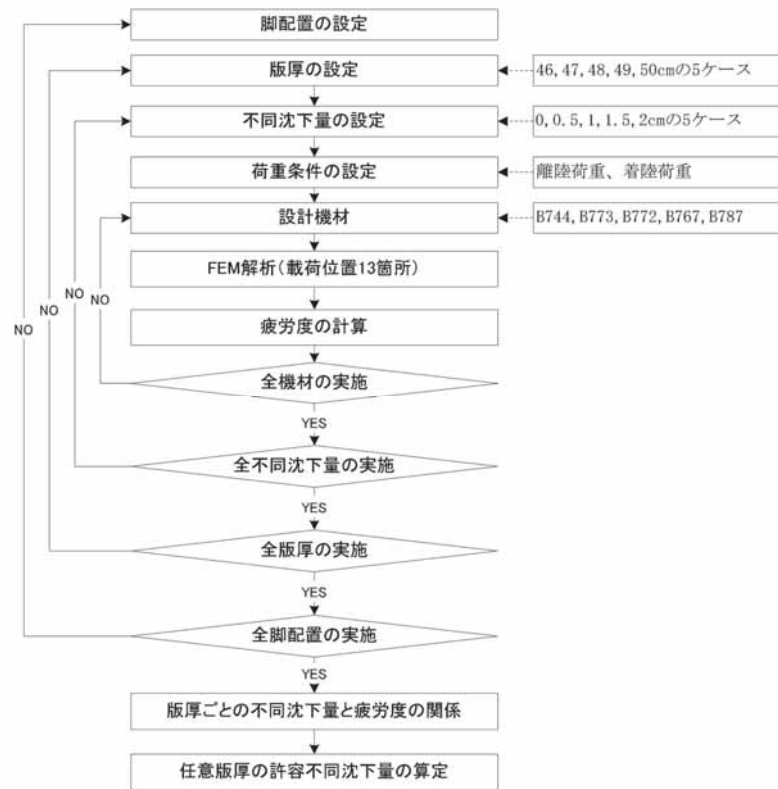


図-1 疲労度評価測線位置の概念図

-14-

4. 版厚の設定（版厚と許容不同沈下量の関係の算定）

■ 版厚と許容不同沈下量の関係の算定フロー

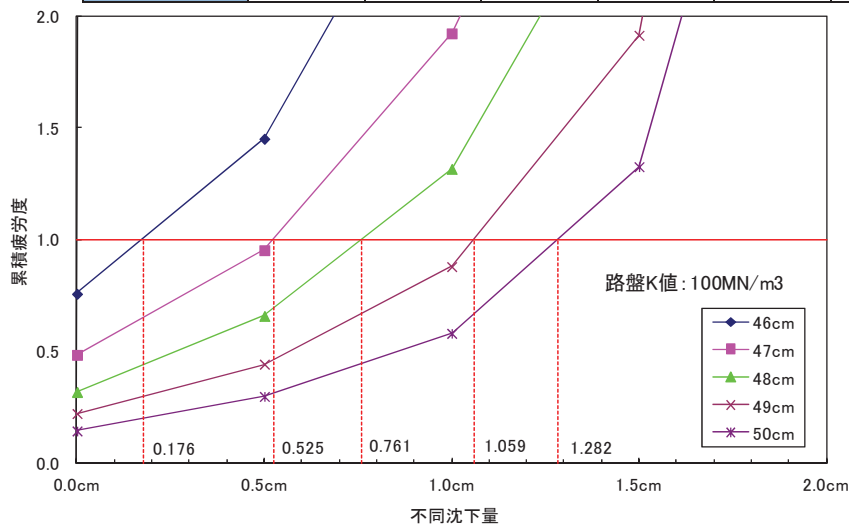


-15-

4. 版厚の設定（版厚と許容不同沈下量の関係の算定）

■ 許容不同沈下量算定結果

不同沈下量 版厚	0.0cm	0.5cm	1.0cm	1.5cm	2.0cm	許容不同沈下量 (cm)
46cm	0.756	1.449	2.932	5.493	15.443	0.176
47cm	0.483	0.951	1.921	3.676	9.888	0.525
48cm	0.317	0.657	1.315	2.767	7.801	0.761
49cm	0.221	0.441	0.878	1.912	6.321	1.059
50cm	0.143	0.297	0.579	1.325	4.285	1.282



※許容不同沈下量
それぞれの版厚において
累積疲労度が1.0になる
ときの不同沈下量

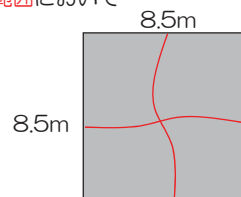
-16-

4. 版厚の設定（ひび割れ度の算定）

■ひび割れ度の定義

ひび割れは、不同沈下量（曲率半径）が版の許容不同沈下量（許容曲率半径）より小さい範囲において縦および横に1本ずつ入ると仮定。

$$\text{ひび割れ度}(\text{cm}/\text{m}^2) = \frac{\text{ひび割れの長さ}(\text{cm})}{\text{単位データユニットの面積}(\text{m}^2)}$$



単位データユニット：25m×25m（不同沈下シミュレーションに合わせる）

ひび割れの長さ：単位データユニットの面積のうち許容不同沈下量を下回る面積を8.5m×8.5mの版の面積に換算し、版一枚当たりのひび割れ長（8.5×2=17m）を乗じた長さ

■ひび割れ度算定式

$$\text{ひび割れ度} = \frac{2 \times L \times (Sr/S)}{A}$$

L：版の目地間隔=850(cm)

Sr：許容曲率半径を下回る範囲=113m²（半径12mと仮定）

S：コンクリート版1枚の面積=72.25m²（8.5×8.5m）

A：単位データユニット面積=625m²

$$\text{ひび割れ度} = \frac{2 \times 850 \times \frac{113}{72.25}}{625} = 4.254 (\text{cm}/\text{m}^2)$$

版1枚当たりのひび割れ長さ 許容不同沈下量を下回る面積を版1枚当りに換算
単位データユニット面積

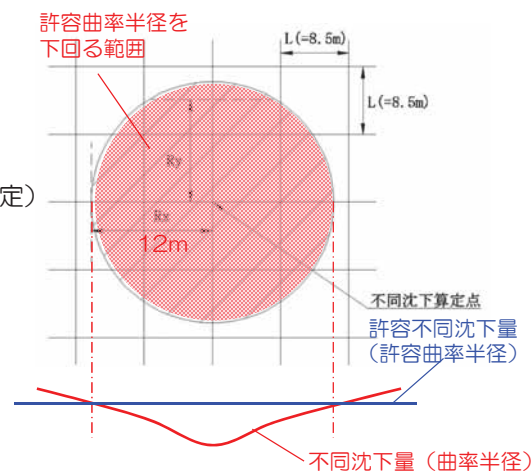


図-1 ひび割れ度算定の概念図

-17-

4. 版厚の設定（版厚設定方法）

■PRI (Pavement Rehabilitation Index)

路面性状を評価するための指標

項目	A	B1	B2	B3	C
CR：ひび割れ度(cm/m ²)	1.1未満	1.1~4.4	4.4~7.8	7.8~11.1	11.1以上
JC：目地の破損率(%)	0.1未満	0.1~2.0	2.0~3.8	3.8~5.7	5.7以上
SV：段差(mm)	5未満	5~8	8~11	11~14	14以上

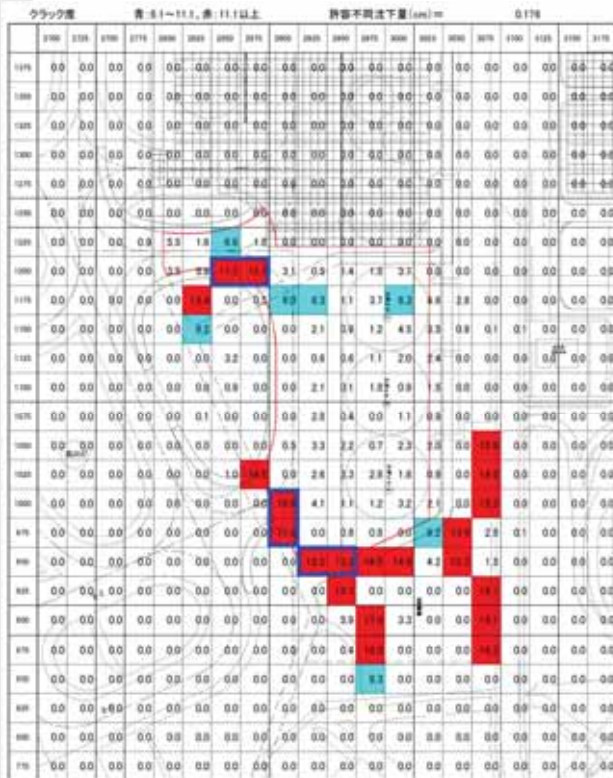
※空港舗装補修要領及び設計例、平成23年4月、SCOPEより

- 既往の設計においては、ひび割れ度Cランクのユニット数が全ユニット数の1%以下となるように版厚を決定している。
- 今回の設計においては、全ユニット数が70ユニットであることから、Cランクのユニット数が0となるように版厚を設定する。

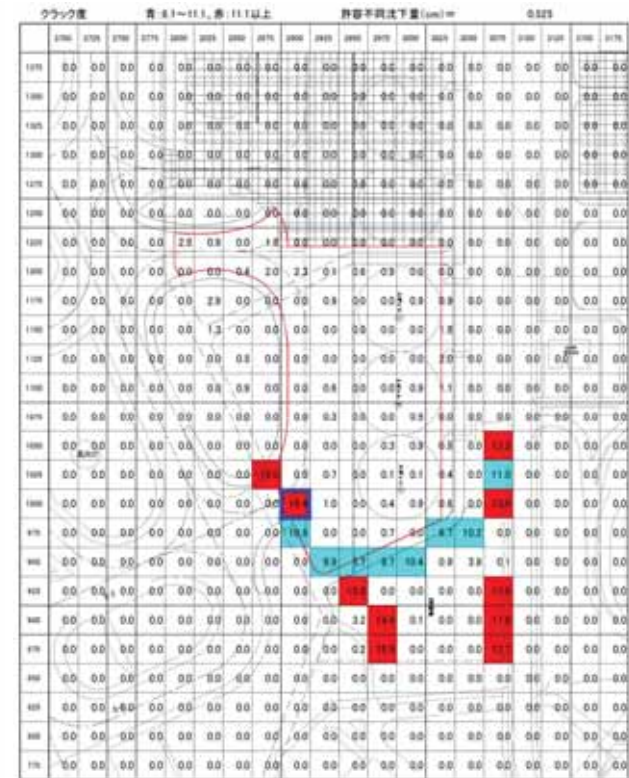
-18-

4. 版厚の設定（ひび割れ度算定結果）

■ 版厚：46cm

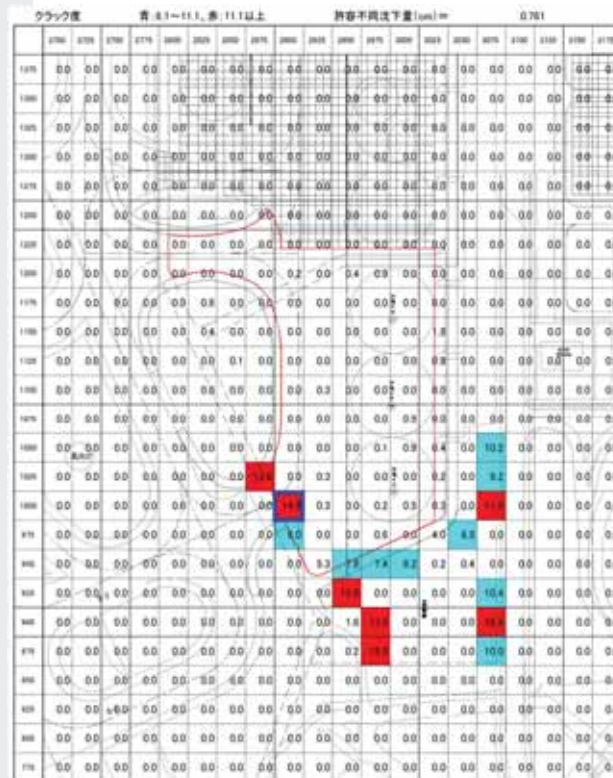


■ 版厚：47cm

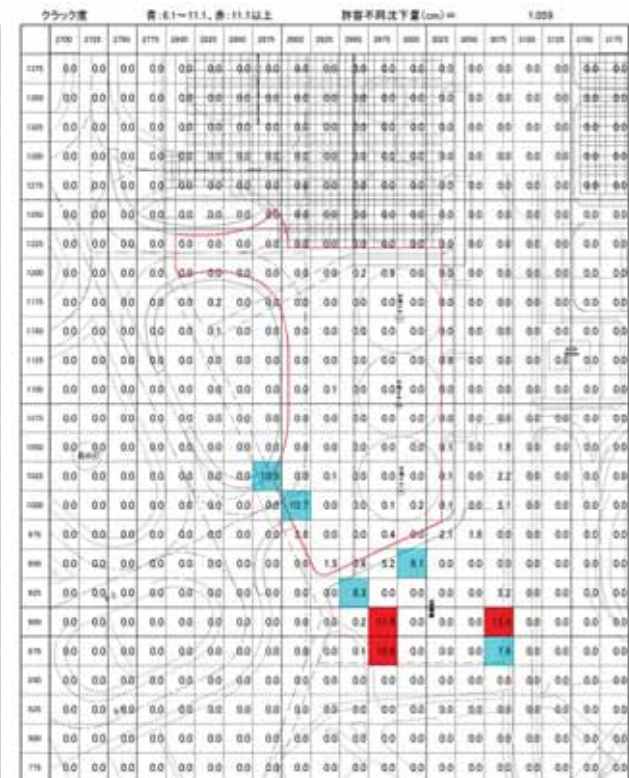


4. 版厚の設定（ひび割れ度算定結果）

■ 版厚：48cm

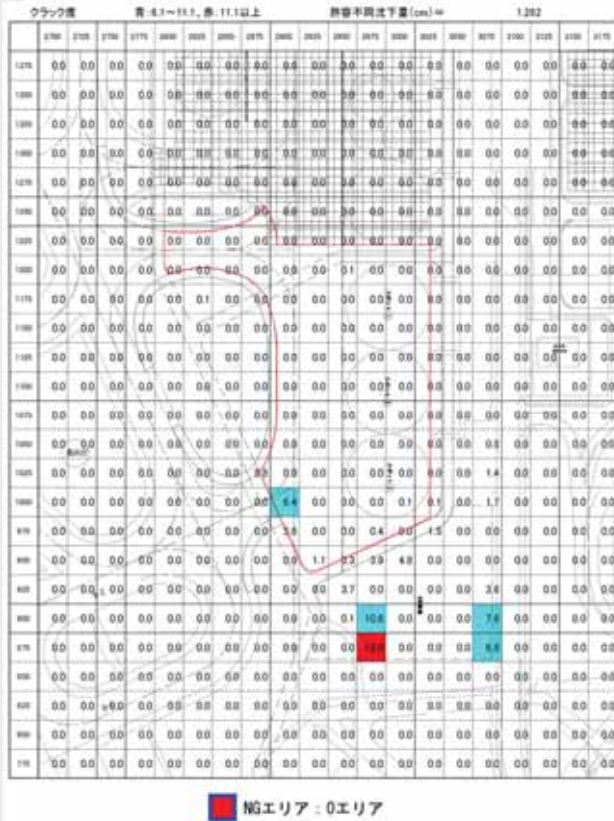


■ 版厚：49cm



4. 版厚の設定（ひび割れ度算定結果及び版厚の設定）

■ 版厚：50cm



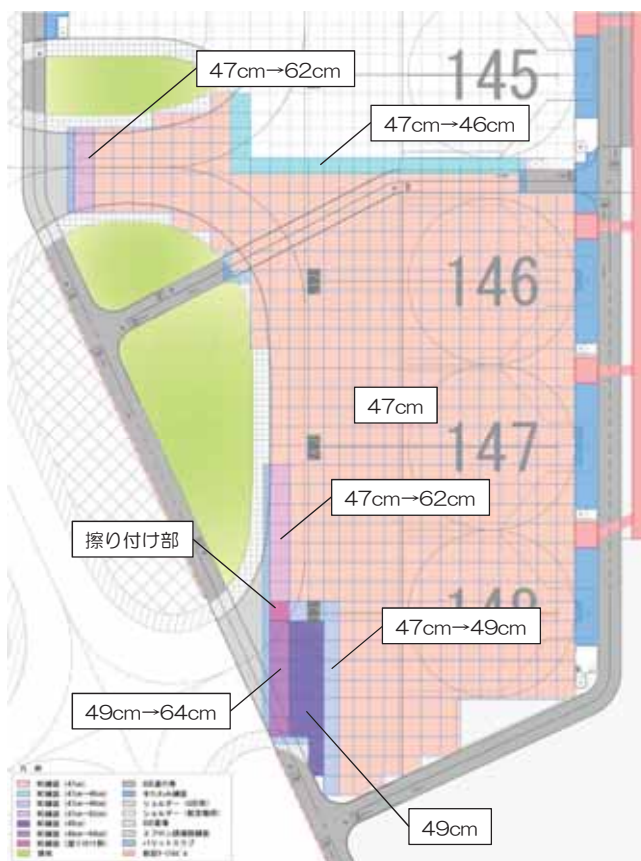
■ ひび割れ度の算定結果のまとめ及び版厚の設定

版厚	46cm	47cm	48cm	49cm	50cm
Cランク ユニット数	6	1	1	0	0

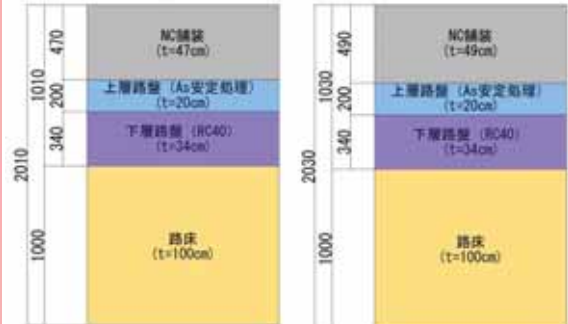
- ひび割れ度Cランクのユニットが0となる版厚は49cm以上
- 版厚47cm以上で1ユニットのみCランクとなる
- 基本版厚を47cmに設定し、誘導経路部を49cmに増厚する



4. 版厚の設定（版厚の設定結果）



■ 拡張部舗装構成

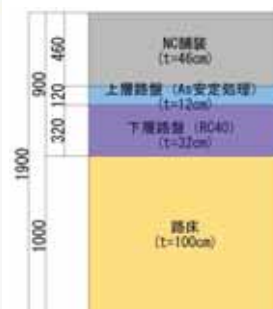


【NC舗装47cm】

【NC舗装49cm】

- コンクリート曲げ強度：5.0N/mm²
- 路盤支持力係数：100MN/m³
- 路床設計CBR：9%

■ 既設部舗装構成（参考）



- コンクリート曲げ強度
5.0、5.5N/mm²
- 路盤支持力係数：70MN/m³
- 路床設計CBR：9%

5. 設計供用年数に対する照査（照査の方針）

■ 設計供用年数に対する照査の方針

前項までで、設計した舗装構造で、事業期間（H47年3月）の構造成立性は確認された。しかし、要求水準書では、設計供用期間を50年（H71年9月）と規定しているため、事業終了時から設計供用期間までの期間においても構造成立性を確認する必要がある。

設計供用期間における舗装構造の成立性は、H18実施設計と同様に、コンクリートの曲げ強度の材齢効果を考慮し、照査するものとする。

■ コンクリートの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

■ 曲げ強度の材齢効果を考慮した舗装構造の照査

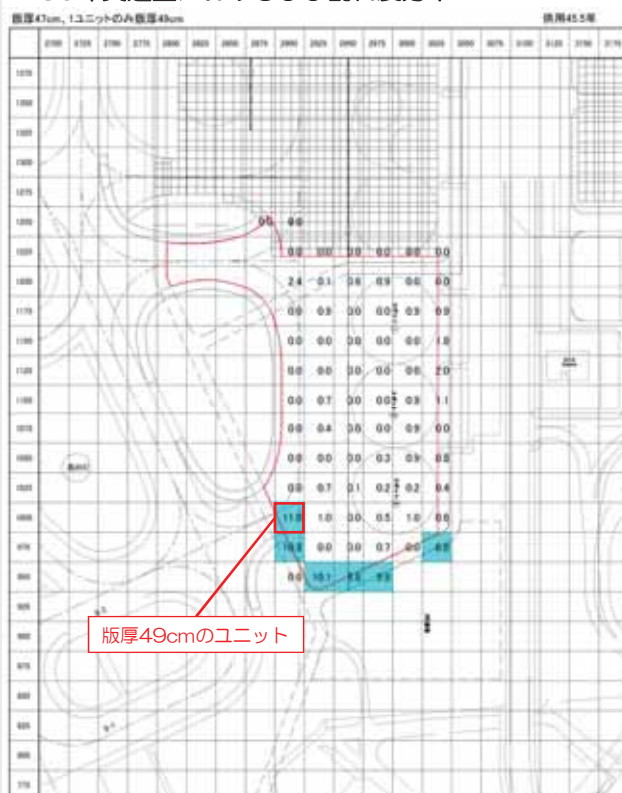
曲げ強度の材齢効果を考慮した設計供用期間における舗装構造の照査は以下の手順で行う。

①0～21年目（H47年3月）までは、施工当初の曲げ強度（5.0N/mm²）とする。

②21年目以降の曲げ強度は、建設時から20%増加すると考え曲げ強度を6.0N/mm²と設定する。

5. 設計供用年数に対する照査（照査結果）

■ 50年交通量におけるひび割れ度分布



コンクリートの材齢効果を考慮することにより設定した版厚で設計供用期間（50年）においても、ひび割れ度がCランクになるユニットは発生しない結果となった。



設計供用期間（50年）において、疲労破壊による大規模補修は不要となる。

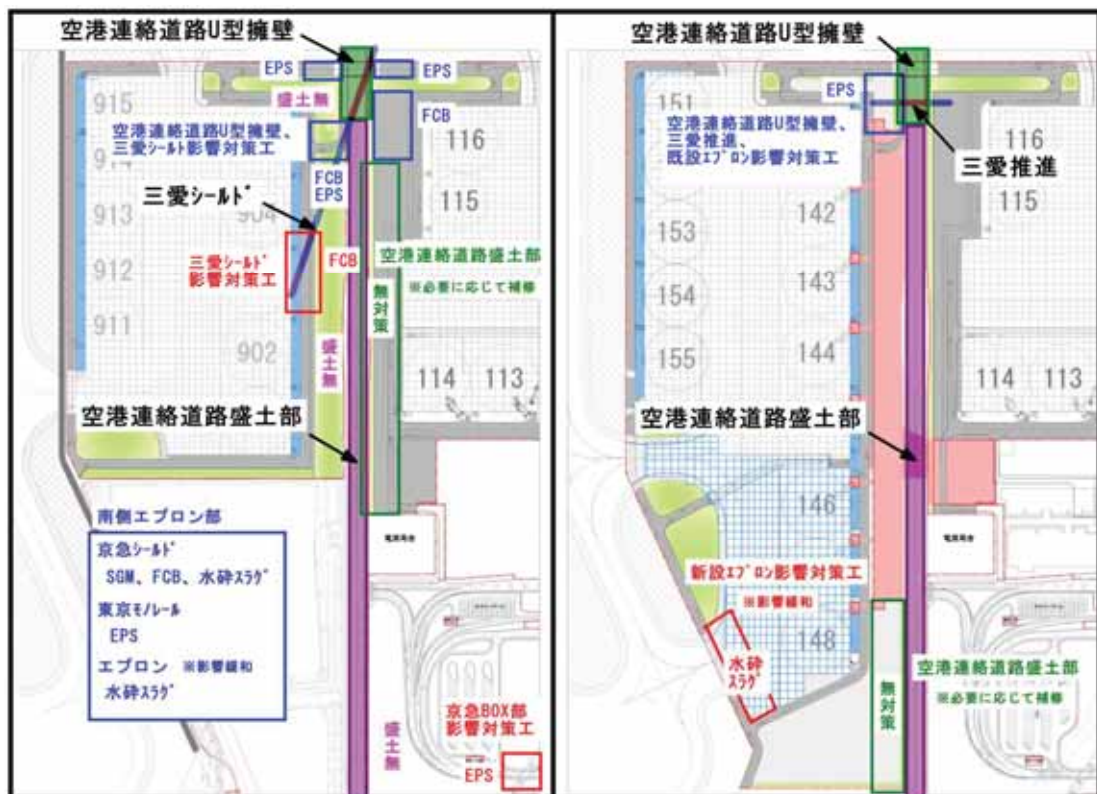
その他設計 (EPS・水砕スラグ)

羽田空港国際線エプロンPFI株式会社

1. 影響対策工 (軽量盛土) 計画位置

前回施工時の影響対策工

今回計画の影響対策工



2. 影響対策工 (EPS・水砕スラグ)

■ 既設構造物への影響対策工 (EPS)

空港連絡道路U型擁壁部、及び三愛推進管への影響対策工としてEPSを採用



図-1 EPS範囲図

EPSを採用することで、増加荷重をほぼ0とし、空港連絡道路U型擁壁、及び三愛推進管への影響を抑制する



図-2 EPS断面図

■ 事業対象施設への影響対策工 (水砕スラグ)

新設エプロン部への影響抑制工として水砕スラグを採用

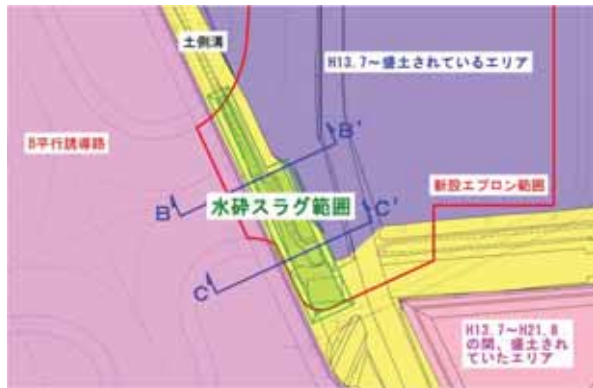


図-3 水砕スラグ範囲図

水砕スラグを採用することで、エプロン舗装部に発生する不同沈下を抑制し、舗装版厚の低減、勾配逸脱の抑制をはかる

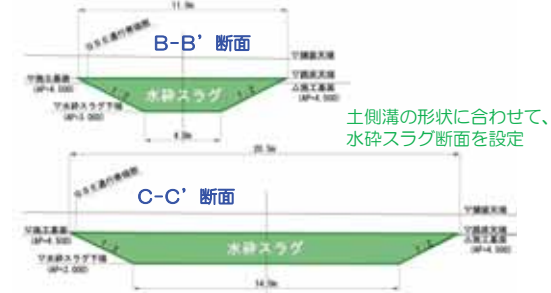


図-4 水砕スラグ断面図

3. 空港連絡道路盛土部への影響検討

■ 空港連絡道路盛土部への影響検討

対策工は実施せず、必要に応じて補修により対処を行う

空港連絡道路盛土部は、今回の用地造成（特に土側溝部の盛土）に伴い発生する地盤変形の影響が懸念される。しかしながら、比較的補修が容易である空港連絡道路盛土部については、軽量盛土等の対策工は実施せず、必要に応じて補修により対処を行う。（前回施工時と同様の考え方）

なお、空港連絡道路補修計画に用いる空港連絡道路盛土部の地盤変状を弾粘塑性FEM解析を用いて求める。



図-1 検討断面位置

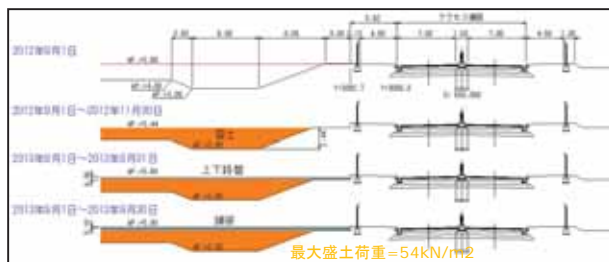


図-2 荷重条件 (施工ステップ、A-A' 断面)

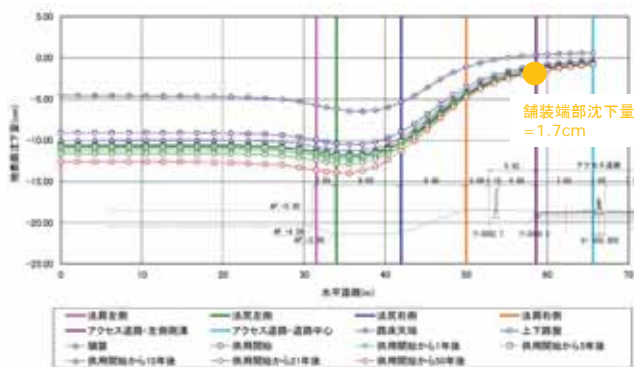


図-3 検討結果 (A-A' 断面のうち土側溝近傍を拡大)

空港連絡道路舗装端部の沈下量=1.7cm

施工期間中、及び維持管理期間中に、目視等によるモニタリングを実施し、必要に応じて補修により対処する。

大規模補修工事計画見直しに向けて

羽田空港国際線エプロンPFI株式会社

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. 既設エプロンの試算結果（計画交通量の変更）

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（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（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

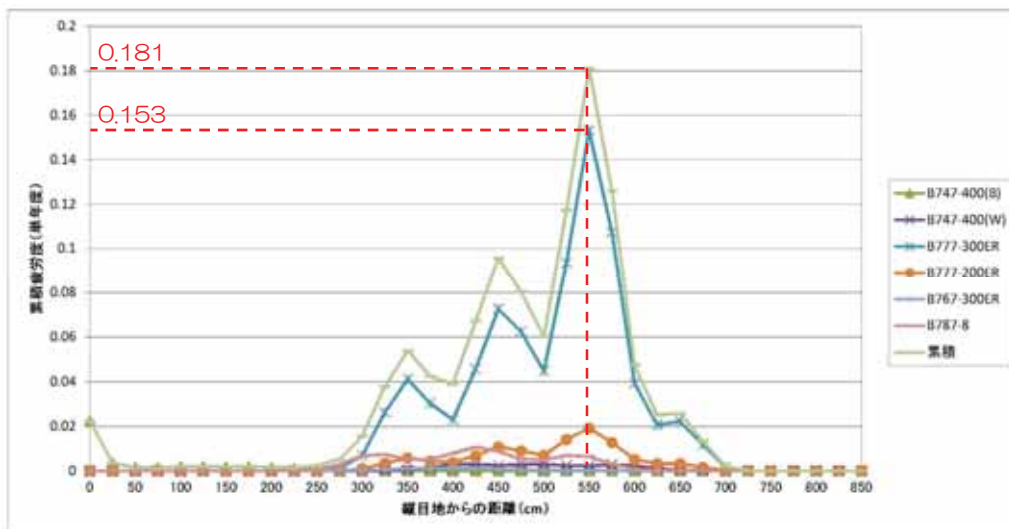
-3-

2. 既設エプロンの試算結果（累積疲労度算定結果）

■北側エプロン

・算定条件

版厚：46cm、設計基準強度：5.0N/mm²、路盤支持力係数：70MN/m³
 不同沈下量：0cm



➡ 累積疲労度（単年度）の最大値0.181のうちB777-300ERが0.153であり84.5%をしめる
 不同沈下0cmにおいても6年目で疲労破壊が生じるという結果である

-4-

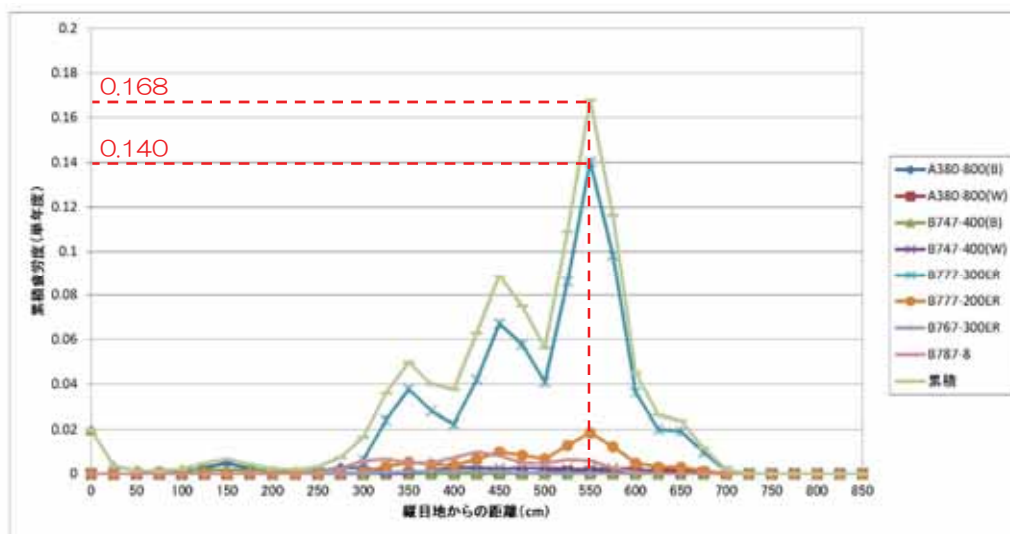
2. 既設エプロンの試算結果（累積疲労度算定結果）

■南側エプロン

・算定条件

版厚：47cm、設計基準強度：5.0N/mm²、路盤支持力係数：70MN/m³

不同沈下量：0cm



➡ 累積疲労度（単年度）の最大値0.168のうちB777-300ERが0.140であり83.3%をしめる
不同沈下0cmにおいても6年目で疲労破壊が生じるという結果である

3. エプロンPFIからの提案

■累積疲労度の試算結果

既施設（北側・南側エプロン）に対する累積疲労度の算定結果より、**B777-300ERの影響により、既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び見通しである。**

そのため、大規模補修計画の抜本的な見直しが必要となる。

■エプロンPFIからの提案事項

従来（提案時・実施設計時）と同様の手法により大規模補修計画を作成すると、

- ①スポットクローズなどの運用面への影響が大きい
- ②補修コストが大きくなる計画とならざるを得ない

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。（H24.4.13付）**

➡ 提案に対して国からエプロンPFIへ対応方針（案）の通知（H24.4.16付）を受け検討中

大規模補修工事計画見直しについて

(現状・原因分析)

羽田空港国際線エプロンPFI株式会社

4. 感度分析（累積疲労度増加の要因）

他機材と比べて脚荷重が大きいとしても、
B777-300ERはなぜ累積疲労度に大きな影響を与えるのか？

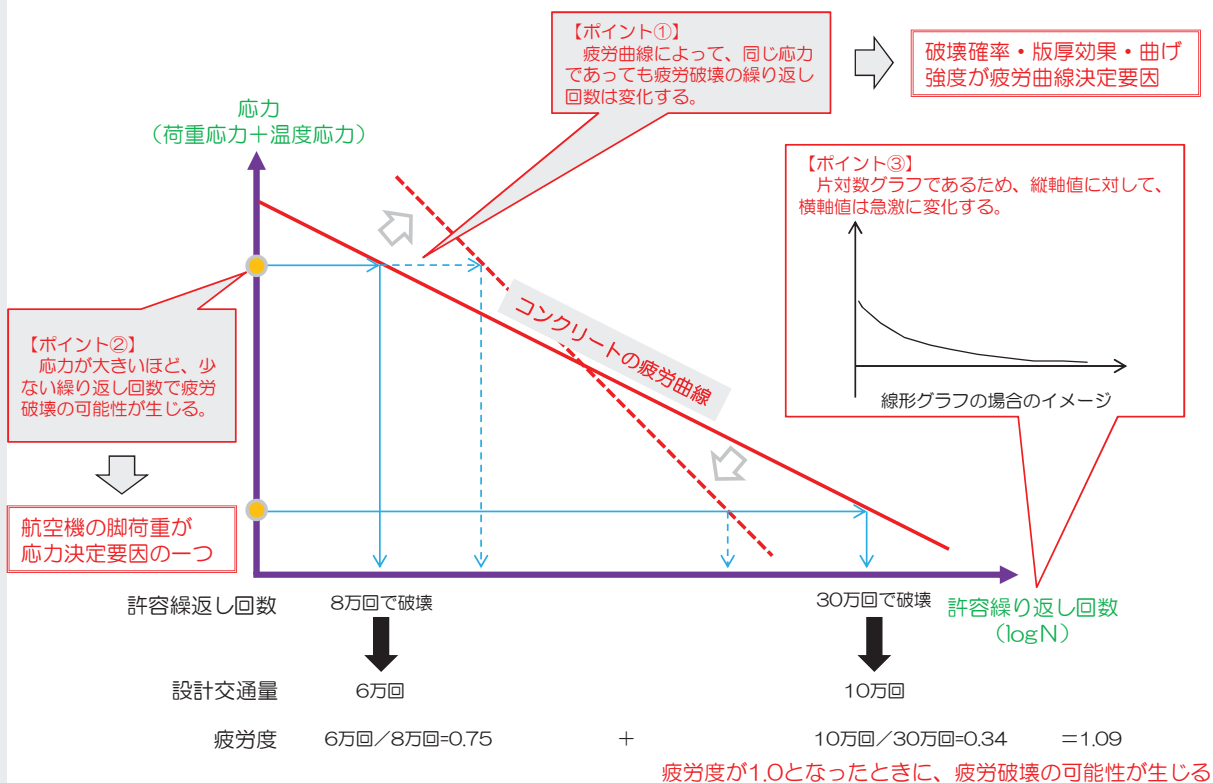


累積疲労度算出過程における以下の2点に着目し感度分析を行う

- 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

4. 感度分析（疲労度の算出方法）

■疲労度算出に必要な疲労曲線の特徴



-9-

4. 感度分析（破壊確率・版厚効果・曲げ強度と疲労曲線）

■疲労曲線の算出式

疲労曲線式は、空港舗装設計要領（H20.7）にて明示されたため、既存施設の疲労破壊照査においても最新の算出式を取り入れている。

原施設設計時と比較すると、版厚効果が反映されている算出式となっている。

また、原施設設計では、破壊確率を5%で設定しているが、空港舗装設計要領で「用いることができる」とした係数には、破壊確率50%を代入した際の係数と同値となっている。

許容繰返し回数に影響を与えるファクターは、「破壊確率」「合成応力（脚応力+温度応力）」「曲げ強度」「版厚」である。

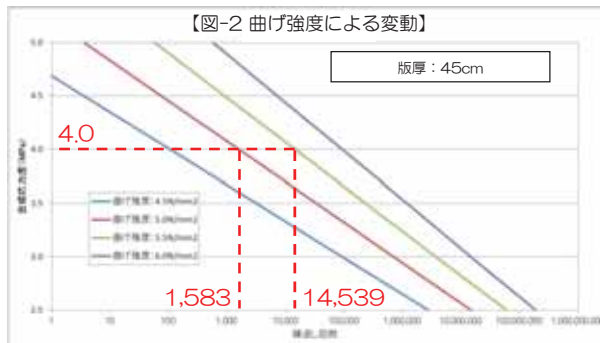
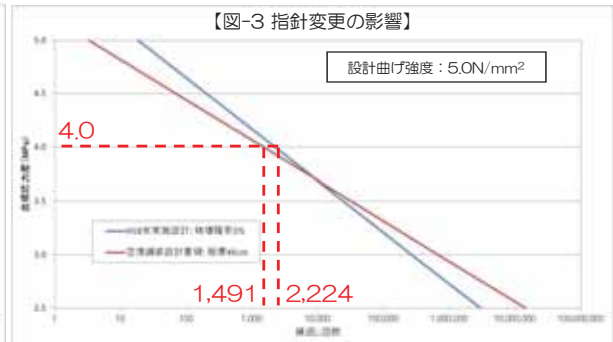
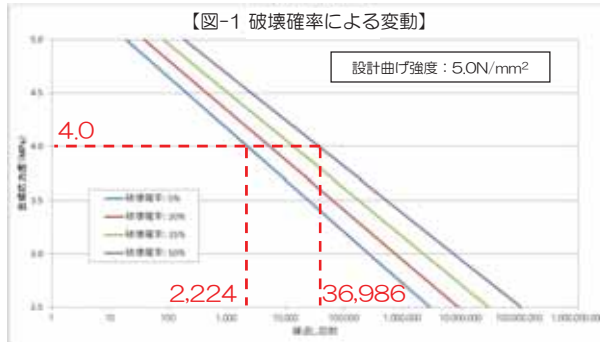
疲労曲線式	設計に採用している疲労曲線	
	実施設計「H18」時疲労曲線式 (舗装設計施工指針より)	今回の既存施設疲労破壊照査時における疲労曲線式 (空港舗装設計要領 (H20.7) より)
$N_i = 10^{(a - \sigma_{eq})/b} \Rightarrow \log N_i = \frac{a - \sigma_{eq}}{b}$ $a = 1.11364 + 0.00165 \times P,$ $b = 0.09722 - 0.00021 \times P,$ <p>SL: 応力レベル (合成応力/設計基準曲げ強度) N_i: 合成応力に対する許容回数 P: 破壊確率(%)</p>	$\log N_d = \frac{a - \sigma_{eq} / f_{M,2.5}}{b} \cdot \frac{1}{\gamma_r}$ <p>N_d: 疲労破壊回数 σ_{eq}: 繰返し最大曲げ応力 $f_{M,2.5}$: 設計曲げ強度 γ_r: 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> $f_{M,2.5} = 0.8 \cdot \left(0.6 + \frac{2.25}{h^{1/4}} \right) \cdot f_{M,h}$ <p>$f_{M,2.5}$: 版厚h (mm) の設計曲げ強度 $f_{M,h}$: 版厚h_0 (mm) の設計曲げ強度で、$f_{M,h_0}/\gamma_r$で求められる。 h_0は一般に150mmとしている。</p>	
破壊確率※1	5%で設定	左記a,b式にPf=50%を代入すると上記の係数となる
版厚効果	—	あり

※1. 破壊確率：コンクリート材料の疲労破壊試験により、疲労度1.0となったときに破壊する割合。言い換えると、疲労度1.0となっても〇〇%（破壊確率）しか破壊しないコンクリート材料。

4. 感度分析（破壊確率・版厚効果・曲げ強度と疲労曲線）

■破壊確率・版厚効果・曲げ強度と疲労曲線の関係

- 破壊確率が大きいほど、疲労曲線は右にシフトし、同じ応力でも許容繰返し回数は大きくなる（疲労度は小さくなる）
- 曲げ強度が大きいほど、疲労曲線は右にシフトし、同じ応力でも許容繰返し回数は大きくなる（疲労度は小さくなる）
- 指針が異なる2本の曲線を比較すると、合成応力3.7MPa付近で交差している。応力度が高い領域では、空港舗装設計要領の曲線の繰返し回数が小さくなる（疲労度は大きくなる）が応力度が低い領域では、その逆となる。



	変動	繰返し回数 の変化
破壊確率	5%→50%	16.6倍
曲げ強度	5.0N/mm ² →5.5N/mm ²	9.2倍
指針変更	要領→H18実施設計	1.49倍

※合成応力度（脚荷重による応力+温度応力）：4.0MPaの場合

-11-

4. 感度分析（脚荷重と疲労度の関係）

■脚荷重応力算出時の考え方

- 既存施設の疲労破壊照査では、計画交通量の半分が離陸時（燃料満載）とし、残りの半分は着陸時として算出している。

カテゴリー	国際線該当機材	荷重区分	年間離着陸回数	設計総質量 (t)	設計脚荷重 (kN)
Jクラス	B747-400	離陸荷重	4,250	396.0	910
		着陸荷重	4,250	285.8	656
	B777-300ER	離陸荷重	4,500	352.4	1,598
		着陸荷重	4,500	251.3	1,139
Lクラス	B777-200ER	離陸荷重	8,750	287.8	1,323
		着陸荷重	8,750	209.0	959
Mクラス	B767-300ER	離陸荷重	3,000	187.3	849
		着陸荷重	3,000	145.2	658
	B787-8	離陸荷重	4,500	228.4	1,022
		着陸荷重	4,500	172.4	771
合計			50,000	---	---

-12-

4. 感度分析（脚荷重と疲労度の関係）

■現実的な離陸時の航空機重量（B777-300ER）

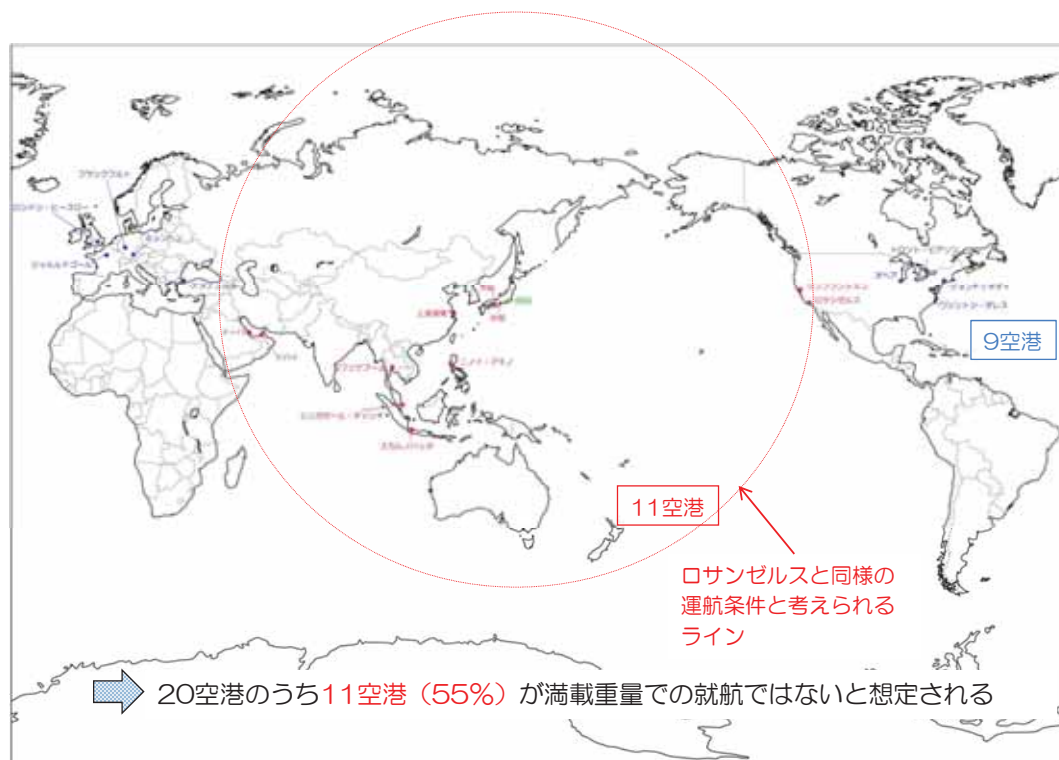
- 整備局調べによると、現実的には路線により給油量を変えるため、離陸時の総質量は、設計で用いているものと異なるケースもある。

空港舗装設計要領 総質量	整備局調べ	
	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、 設計要領とほぼ同等の荷重	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、設計要領 の82%～91%程度	運航自重 約55% 有償荷重 約15%～20% 燃料 約30%～25%

4. 感度分析（脚荷重と疲労度の関係）

■B777-300ERの就航実績

- 整備局調べによると、現在B777-300ERは1日当たり離発着計約60便（20空港）運航している。



4. 感度分析（脚荷重と疲労度の関係）

■ 脚荷重の変動に伴う疲労度の試算

- B777-300ERの計画交通量・離陸重量について整備局と協議した以下の2ケースについて疲労度の試算を行った。
Case1：整備局調べをもとに計画交通量・離陸荷重を細分化したケース
Case2：B777-300ERの全ての交通量について離陸荷重を5%低減したケース

表-1 最大離陸荷重・離陸回数

		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	352.4	4,500	
	変更後：Case1	352.4	2,025	
		304.8	2,475	設計離陸荷重の86.5% 年間離陸回数の55.0%
		334.8	4,500	設計離陸荷重の95.0%

- 脚荷重及び設置圧は以下の仮定で算出した。
①脚荷重は、最大離陸荷重と同等の割合（86.5%、95.0%）で低減した。
②接地圧は接地面積（接地幅、接地長）が変わらないものとして算出した。

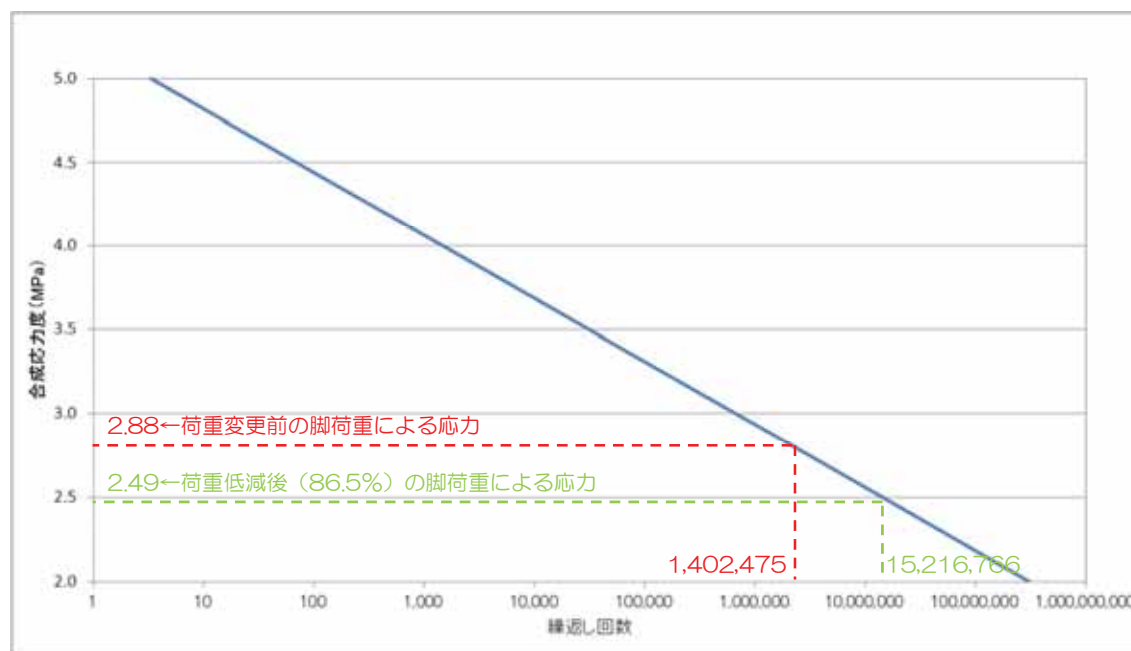
表-2 B777-300ER荷重諸元

		脚中心 (cm)	横間隔 (cm)	縦間隔 (cm)	接地圧 (N/mm ²)	離陸			
						脚荷重 (kN)	輪荷重 (kN)	接地幅 (cm)	接地長 (cm)
B777-300ER	変更前	1,097	140.0	293.0	1.52	1,598	266	34.7	50.4
	変更後：Case1	1,097	140.0	293.0	1.31	1,382	230	34.7	50.4
	変更後：Case2	1,097	140.0	293.0	1.44	1,518	253	34.7	50.4

-15-

4. 感度分析（脚荷重と疲労度の関係）

■ 脚荷重の変動に伴う疲労度の試算



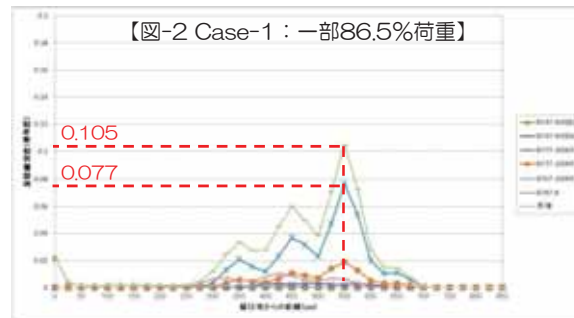
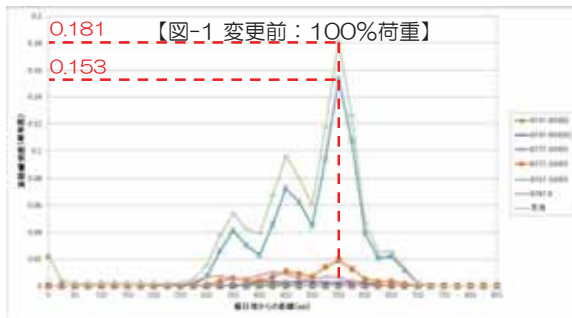
➡ 設計荷重が低減されることにより繰返し回数は、約10倍になる

-16-

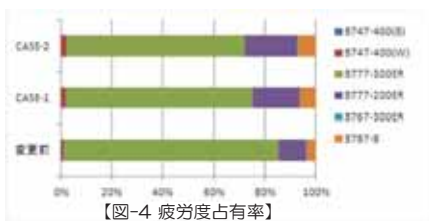
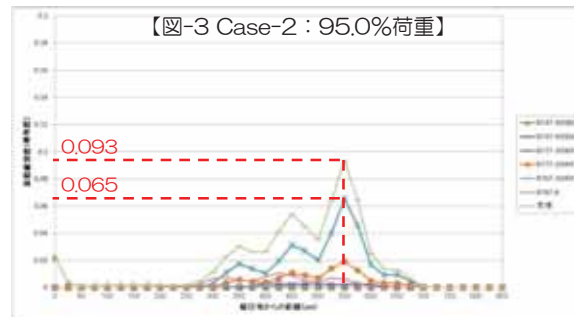
4. 感度分析（脚荷重と疲労度の関係）

■ 累積疲労度の試算結果

- これまでの「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」の分析から、下記を前提条件に累積疲労度の再試算を行った。
 - 版厚：46cm、設計基準強度：5.0N/mm²、路盤支持力係数：70MN/m³、不同沈下量：0cm



	単年度疲労度	疲労寿命
変更前	0.181 (100%)	5.5年 (1.0)
Case-1	0.105 (58.0%)	9.5年 (1.7)
Case-2	0.093 (51.4%)	10.7年 (1.9)



【図-4 疲労度占有率】

- 疲労寿命は、1.7~1.9倍となった。
- B777-300ERの占有率は、変更前より低下しているが、70%以上の占有率となっている。

-17-

4. 感度分析（分析結果のまとめ）

■ 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%)
Case 1	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。

- 感度分析結果より破壊確率の変更、コンクリート強度の変更が累積疲労度に大きな影響を与えることがわかった。

-18-