

10年目を迎えた羽田空港C滑走路の状況

関東地方整備局 東京空港整備事務所 設計課
遠藤敏雄

キーワード: 羽田空港、C滑走路、沈下状況、勾配変化、舗装劣化

1. 概要

平成22年10月末に供用開始予定のD滑走路および平成21年9月に工事完成予定及び維持管理段階に入る国際線地区エプロンの各事業は、鋭意施工が展開されている。一方、現空港については、国内航空の中心としての機能の確保を図りつつ利用者の利便性を図るために、供用しながら既存施設の改修を行うとともに、新たな航空機導線の確保(図-1.1)やC滑走路の耐震化も計画されている。

本報告は、平成8年に供用を開始したC滑走路を対象に、今後計画されている大規模改修への足がかりとするために、①滑走路の沈下状況、②滑走路の勾配変化、③FWD試験結果に基づく舗装の劣化程度など、供用開始から10年を経過したC滑走路の状態を報告する。なお、沈下状況においては過去に実施された予測沈下量との比較についても併せて報告する。

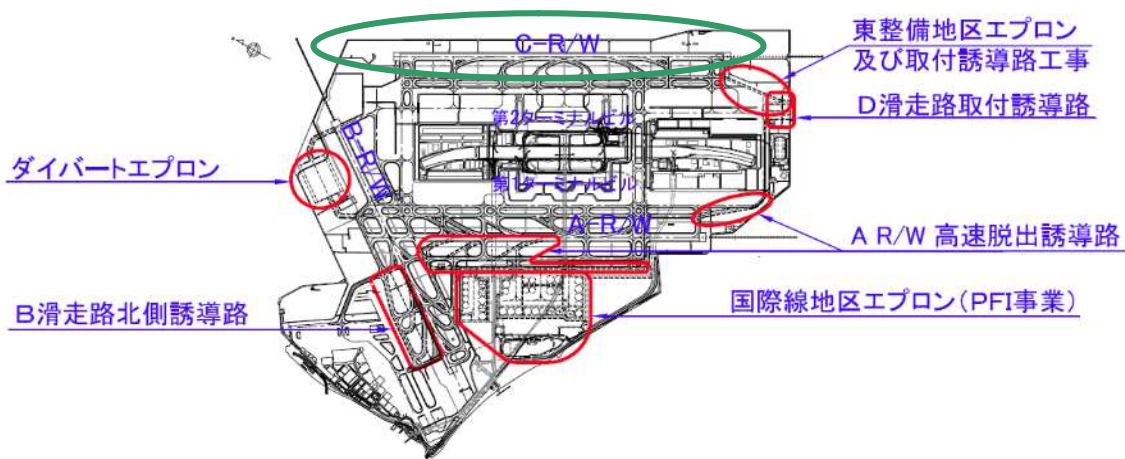


図-1.1 現空港内における新たな航空機導線の確保(新設予定のエプロン及び誘導路 平成20年3月現在)

2. C滑走路における地盤改良工法の選定

(1) C滑走路の土質条件

1) 土層構成

第Ⅲ期地区の主要施設であるC滑走路の地盤は、図-2.1 に示すように都内からの建設発生土であるBs層、人工的に投入された浚渫粘性土Ac1層、-18m以深の在来地盤である沖積粘性土Ac2及び洪積層Dc1、Dsから構成されている¹⁾。

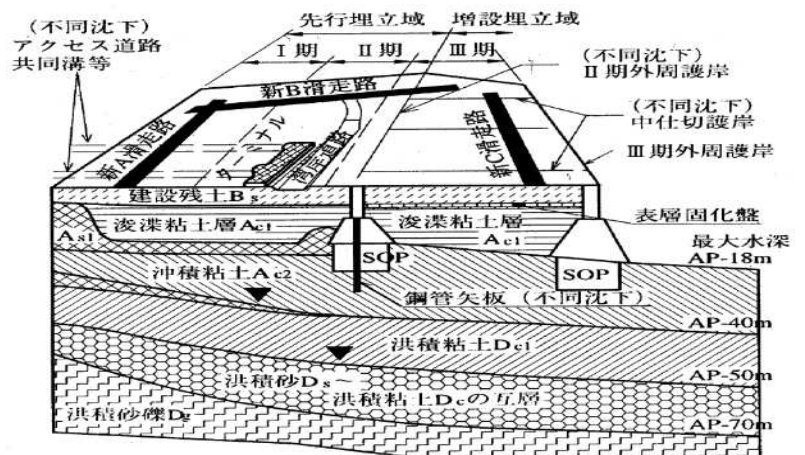


図-2.1 東京京国際空港沖合展開地区の地盤(南側からの鳥瞰、▼ 沈下対象層下端深度)

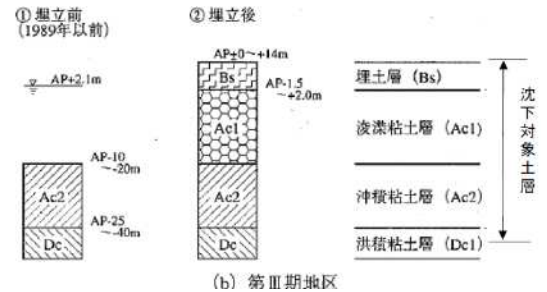
2) 沈下対象層 Bs, Ac1, Ac2, Dc1

Ⅲ期地区の地盤は、表-2.1 に示すように Ac1 層の含水比 250%、過圧密度 ΔPc =未圧密、Ac2 層の含水比 130%、過圧密度 $\Delta Pc=0$ と評価された超軟弱地盤である。また、Ac1 層及び用地造成(用地造成地盤高約+5.5m)による土被り圧が Dc1 層まで影響し、Dc1 も沈下すると予測された。

表-2.1 浚渫粘性土 Ac1 及び沖積粘性土 Ac2 の土性 (沈下対象層, Ac1, Ac2, Dc1)

土層	Ac1			Ac2		
	I期	II期	III期	I期	II期	III期
単位体積重量 $\gamma t(tf/m^3)$	1.2~1.9	1.3~1.9	1.2~1.5	1.5~1.6	1.4~1.8	1.4~1.7
自然含水比 $Wn(\%)$	30~200	30~170	60~250	60~110	40~110	60~130
塑性限界 $Wp(\%)$	20~70	20~70	50~140	50~120	40~130	60~120
塑性指数 *1 $I_p=W_L-W_p$	10~80	10~90	10~80	5~80	10~80	15~80
一軸圧縮強度 $qu(tf/m^2)$	1.0~5.0	0.5程度	殆ど0	10~20	2~25	1~15
圧密係数 *2 $C_v(cm^2/d)$	70~200	70~200	10~100	700(100)	650(200)	800(100)
過圧密度 *3 $\Delta Pc(tf/m^2)$	0	0.1~1.7	未圧密	4~5	1~3	0
圧縮指数 C_c	0.4~1.5	0.3~1.4	0.2~0.9	0.7~1.4	0.4~1.5	0.3~1.6

(注) *1 : $I_p = W_L - W_p$ (W_L : 液性限界)
 *2 : Ac1層は正規圧密領域の圧密係数、Ac2層は過圧密領域の圧密係数と()内に正規圧密領域の圧密係数を示す。
 *3 : 過圧密度 $\Delta p = (\text{圧密降伏応力 } p_c) - (\text{有効土被り圧 } p')$



(2) 地盤改良工法の選定

1) 供用中の空港の制限表面と地盤改良深度

これは、サンドドレーン施工機械が AP+50.6m の制限表面の制約を受けることから、施工機械のケーシング長を地盤高から $H=34.5m$ (図-2.2) とし、改良深度を最大 AP-28m とせざるを得なかった。このため、後述する在来粘性土 Ac2 の下部層を全て改良することが出来ず、未改良部を残した未貫通ドレーンの考え方を採用し、不同沈下を許容値以内に納めるべく供用後の目標整備水準が設定された。

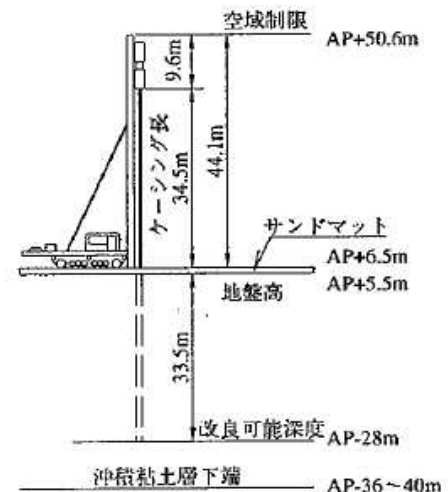


図-2.2 施工機械高と制限表面

2) 複合バーチカルドレーンの採用

浚渫粘性土 Ac1 層は、含水比が非常に大きく自重による圧密が未了であった。また Ac1 の圧密係数は、 $C_v=40cm^2/day$ と在来粘性土地盤 Ac2 層の $C_v=100\sim 200cm^2/day$ に比べかなり小さい。仮に Ac2 層に対して1年を目安に圧密がほぼ終了するようなサンドドレーンの改良仕様を設定すると、Ac1 層は圧密度 60%程度となり、大きな残留沈下を生じることになる。そこで、Ac1 層の圧密速度を在来粘性土 Ac2 層と同等とするために Ac1 層に補間ドレーン(4本のプラスチックボードドレーン)を設置した(図-2.3)。

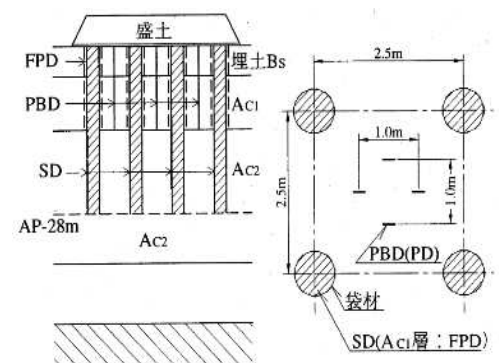


図-2.3 複合バーチカルドレーンの配置

3. 沈下予測手法と整備目標水準の設定

(1) 未貫通ドレーンの沈下予測手法

未貫通ドレーンの圧密排水条件と簡易モデル化のイメージを図-3.1に示す。未貫通ドレーンの沈下の考え方は、図-3.1(a)に示す未貫通ドレーンの下端部に、(b)に示す仮定の排水面を仮定し、未改良部の沈下量を一次元の両面排水条件のもとで計算するものである。

図-3.1(a)に示すように一般の改良部は水平放射方向にサンドドレーンに向かって排水される。しかし、ドレーン下端を未改良としたときの排水挙動が不明確であったことから、未貫通ドレーン部分を対象としたFEM解析を行い、間隙水圧の深度分布を解析した。解析結果を図-3.2に示す。解析の結果、未貫通層内の圧密の進み方は、未改良層中央よりもやや上側(深度-14m程度)をピークとする両面排水のような間隙水圧の分布を示しながら圧密が進行していることが確認できる。

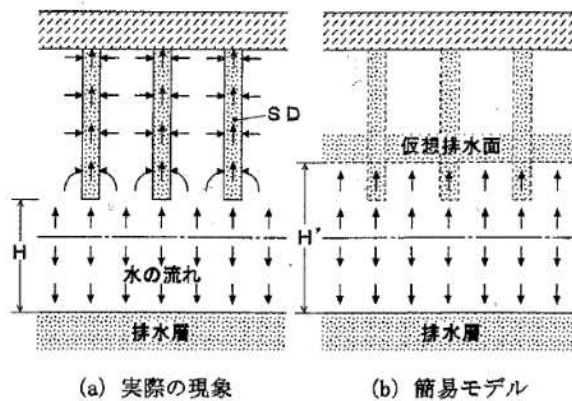


図-3.1 未貫通ドレーンの圧密排水条件と簡易モデル化

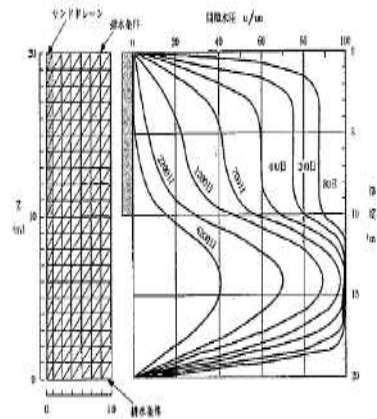


図-3.2 未貫通ドレーンによる改良地盤の間隙水圧の深度分布(FEM計算結果)

(2) 情報化施工による沈下予測

Ⅲ期地区では、予定期間内に想定した沈下量に到達させるために高い精度の圧密沈下の予測が要求されていた。当時の载荷盛土の圧密管理の手順を図-3.3に示す²⁾。図-3.3に示すように現場から得られるデータを活用し、解析結果と実測の適合性の判断を行い、最終的に余盛撤去後の将来沈下量の予測を実施していた。

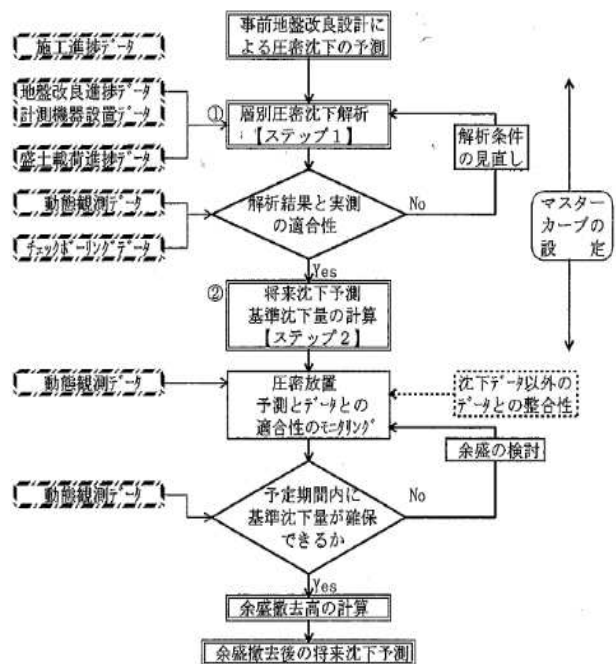


図-3.3 情報化施工による圧密管理の手順

(3) 整備目標水準の設定

基本的に沈下を許容する設計の考え方を採用したことから、表-3.1 示す基本施設の目標整備水準が設定された。同表より 10 年をむかえたC滑走路の沈下検討に対するチェックポイントとして、供用後 10 年を経過した沈下量は、150cm 以下、勾配変化 0.5%以下、最大不同沈下率(部分勾配)0.5%以下が挙げられる。ここで勾配変化 0.5%以下とは供用後の規定勾配からの逸脱量を、最大不同沈下率(部分勾配)0.5%とは任意の測点間における相対沈下量による部分勾配を示している。

表-3.1 Ⅲ期地区C滑走路の整備目標水準

	第Ⅰ期地区		第Ⅱ期地区		第Ⅲ期地区
	滑走路、誘導路	排水溝	エプロン、滑走路、GSE通行帯等	モノレール、トンネル部等	滑走路、誘導路、エプロン
施工期間中の許容沈下量	舗装から供用	全残留沈下	50cm以下	50cm以下	50cm以下
供用後10年の許容残留沈下量	開始10年後まで		50cm以下	50cm以下	150cm以下
供用後50年の許容残留沈下量	50cm以下	30cm以下	100cm以下	70cm以下	200cm以下
勾配変化	0.5%以下				
最大不同沈下率(部分勾配)	供用後10年間で0.5%以下				

4. 沈下予測と観測沈下量の比較

(1) 圧密沈下予測結果

未貫通ドレーンや複合バーチカルドレーン工法などを採用した供用後の残留沈下量を図-4.1 に示す。この残留沈下量の分布は、供用開始10年後の残留沈下量の分布である。図に示すように、C滑走路の中央部から北側で1.2m 以上、南側については0.8~1.0mの沈下が発生することが予測されている

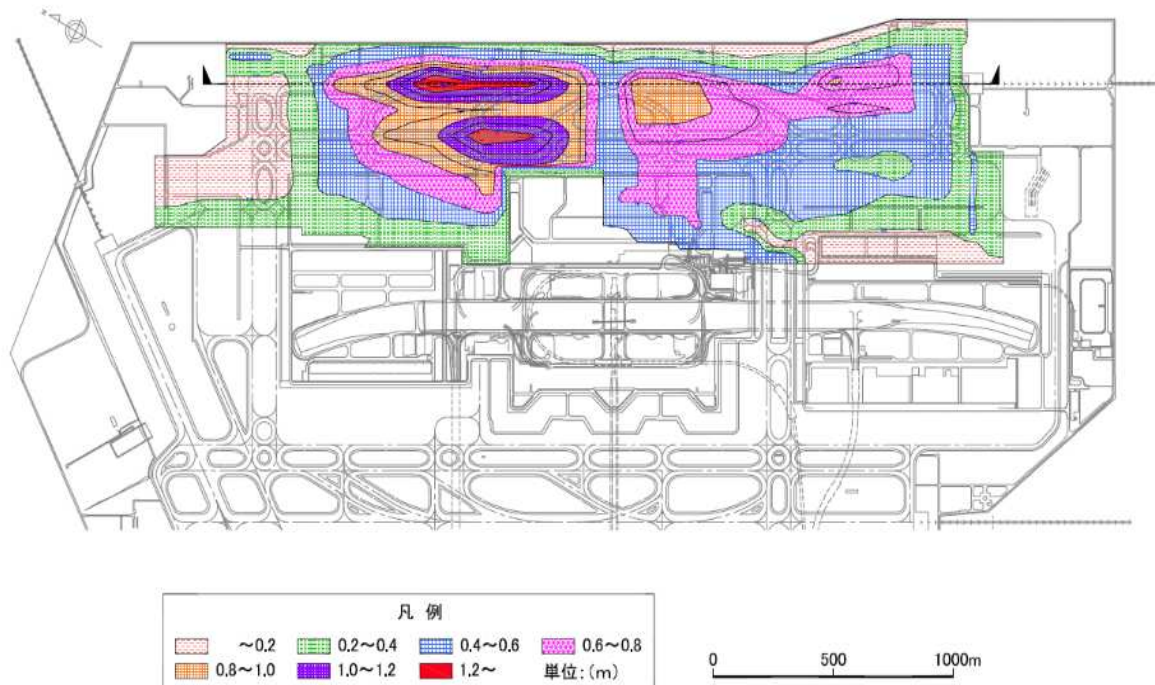


図-4.1 C滑走路地区 供用開始後 10 年の残留沈下予測

(2) 予測沈下量と観測沈下量との比較

予測沈下量と(図中赤線)と平成8～19年までに観測されたC滑走路の舗装面上での沈下量³⁾(図中緑線)の比較を最新の土層分布⁴⁾とともに図-4.2に示す。図に示すように予測値は、観測値との局所的な乖離があるものの、滑走路の縦断方向の沈下傾向をよく再現している。観測された沈下量は北側で1.4mであり、南側で0.8～1.0m程度である。

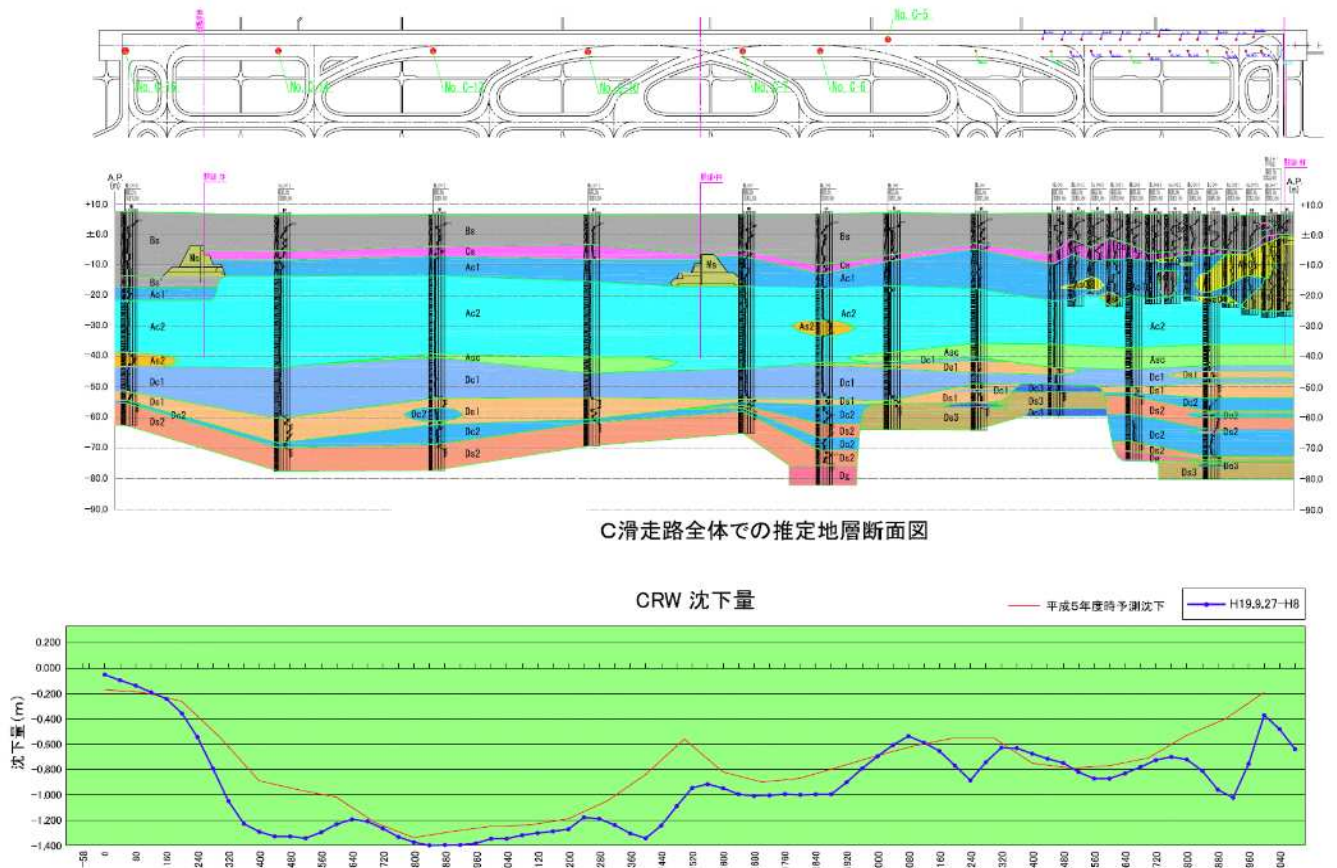


図-4.2 予測沈下量と観測沈下量の比較

(3) 滑走路の沈下量のまとめ

- ①未貫通ドレーンや複合バーチカルドレーン工法などを適用した圧密沈下量の予測値は、平成8年から19年までの約10年間に生じた滑走路縦断方向の沈下傾向をよく再現している。
- ②観測された沈下量は、滑走路北側において1.4m、南側で0.8～1.0m程度であり、設計段階で定めた目標整備水準の「供用後10年経過した沈下量は、1.5m以下」も満足している。
- ③滑走路の改修にむけて、建設当時のマスタープランに示されている南側(C-34側)AP+7.0m、北側(C-16側)AP+7.5mを基点として、不同沈下などを考慮した適切な計画高を再設定する必要がある。

5. 滑走路の勾配変化

(1) 滑走路の標準断面

C滑走路の標準断面を図-5.1に示す。滑走路の横断方向の規定勾配は1.0%、縦断勾配は、滑走路末端からL/4以下の部分が0.8%、それ以外の部分が1.0%である。

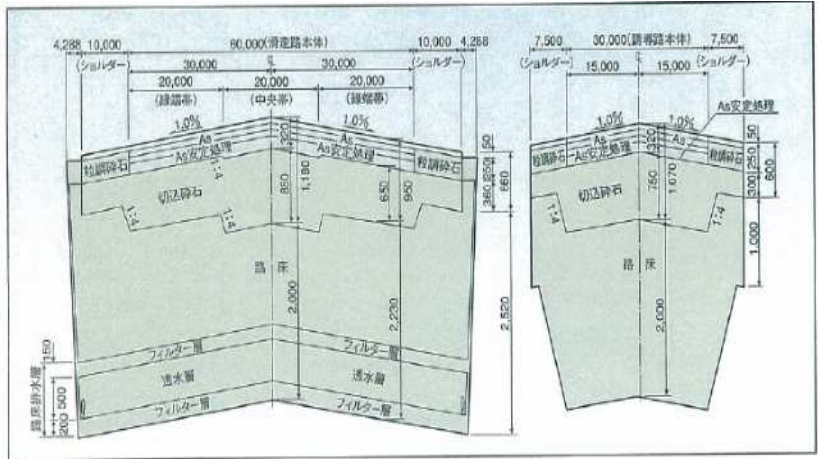


図-5.1 C滑走路の標準断面

(2) 滑走路の勾配変化

1) 横断方向の勾配変化

平成8年から平成19年までに観測されたC滑走路の横断方向の勾配変化を図-5.2に示す³⁾。測線CRW840は、S=1.4mの沈下を示した代表例である。最もフラットに見える滑走路端部(図中の赤丸印部分)の部分勾配は、平成19年現時点で $100 \times (6.704 - 6.673) / 10 = 0.3\%$ であり、当初の1.0%勾配から0.7%の勾配変化が生じたことになる。またCRW2760は、約0.7mの沈下を示した部分であるが、この部分は現時点でも約1%の横断勾配を確保している。

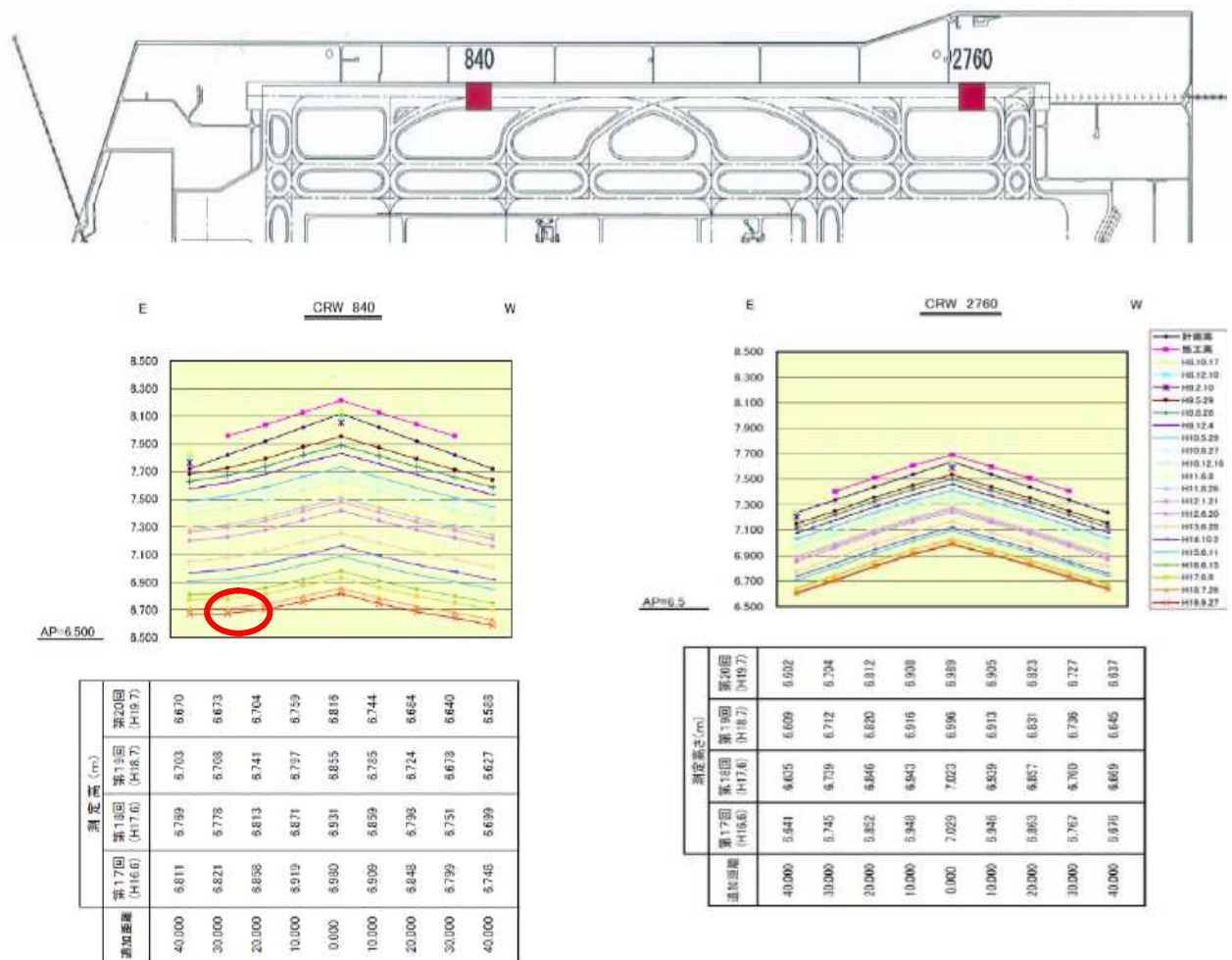


図-5.2 C滑走路の横断方向の勾配変化(平成8~19年)

2) 縦断方向の勾配変化

平成 19 年観測時点でのC滑走路の縦断方向の部分勾配を図-5.3 に示す。図中には、滑走路末端から L/4 (L:滑走路長) 以下の部分 0.8%及びそれ以外の部分 1.0%の規定勾配のラインと目標整備水準で示されていた勾配変化 $\pm 0.5\%$ の範囲(図中赤線)を併記した。滑走路の縦断勾配については、目標整備水準を満足できない箇所として北側1カ所、南側1カ所が認められるが、殆どの部分の勾配変化は、 $\pm 0.5\%$ 以内である。

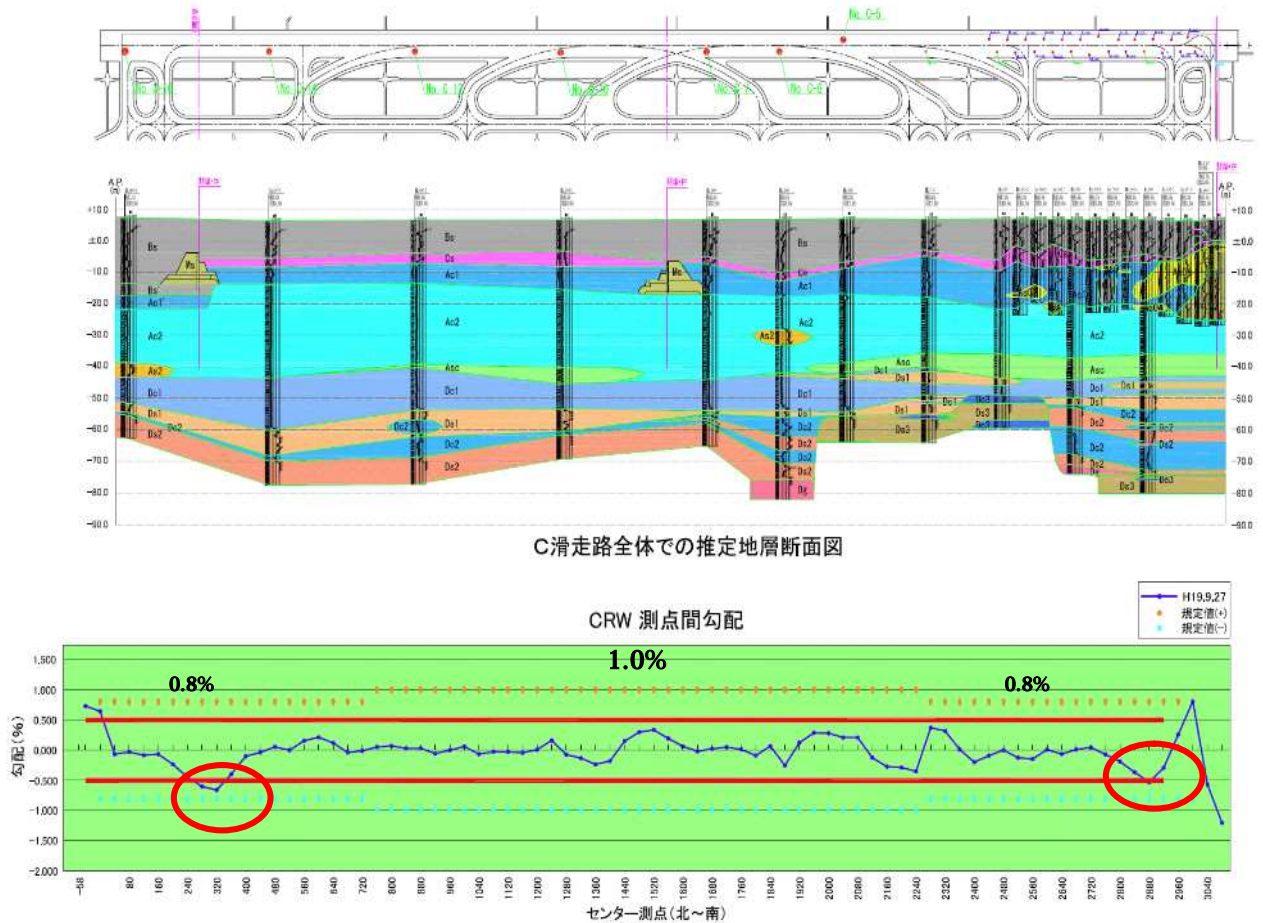


図-5.3 C滑走路縦断方向の勾配変化

(3) 勾配変化のまとめ

- ① C滑走路の横断方向において、勾配変化 0.5%を超えている部分は滑走路北側の一部であり、殆どの横断方向の勾配は、目標整備水準「供用後 10 年間で 0.5%以下」を満足している。
- ② 滑走路の縦断勾配については、規定勾配を満足する中で、C滑走路のために設定した目標整備水準 $\pm 0.5\%$ を一部で満足できない部分(北側1カ所、南側1カ所)がある。
- ③ 滑走路の改修に向けて、これまでの沈下傾向を踏まえ、部分勾配 $\pm 0.5\%$ 以内となるような適切な縦横断勾配を再設定する必要がある

6. FWD試験結果に基づいた滑走路舗装の劣化評価

(1)解析手順

平成 19 年度に実施されたFWD調査結果をもとに、航空機荷重が載荷されたときに、路床及びアスファルト混合層(=表層+基層+アスファルト安定処理を行った上層路盤)に発生するひずみに着目した解析を実施した⁵⁾。解析手順を図-6.1 に示す。

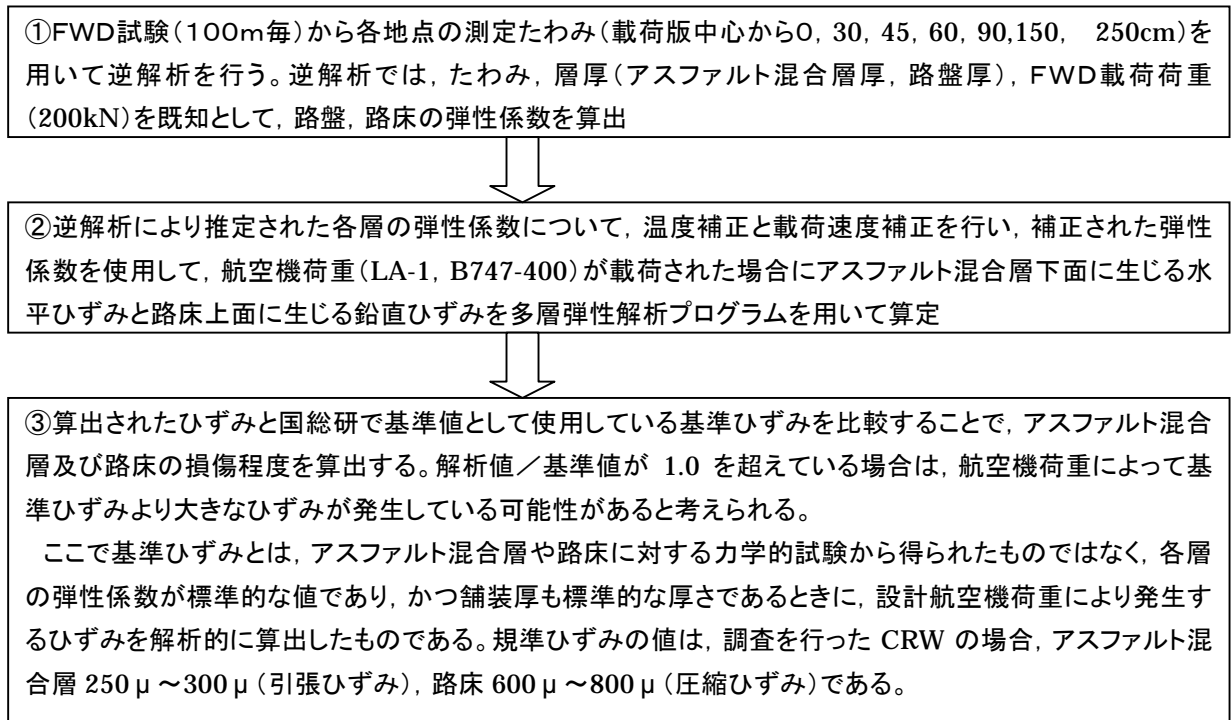


図-6.1 航空機荷重による発生ひずみと劣化可能性評価の解析手順

(2)解析結果

1)アスファルト混合層の下面での水平ひずみと規準値との比較

アスファルト混合層(表層+基層+アスファルト安定処理を行った上層路盤)の下面での水平ひずみと規準値の比較を図-6.2 に示す。南側付近(離陸待機位置)でアスファルト混合層下面の水平ひずみが規準値を上回っており, 徐々に劣化が進行している可能性がある。また滑走路中央部(C-062付近)においても一部規準値に近くなっている箇所がある。

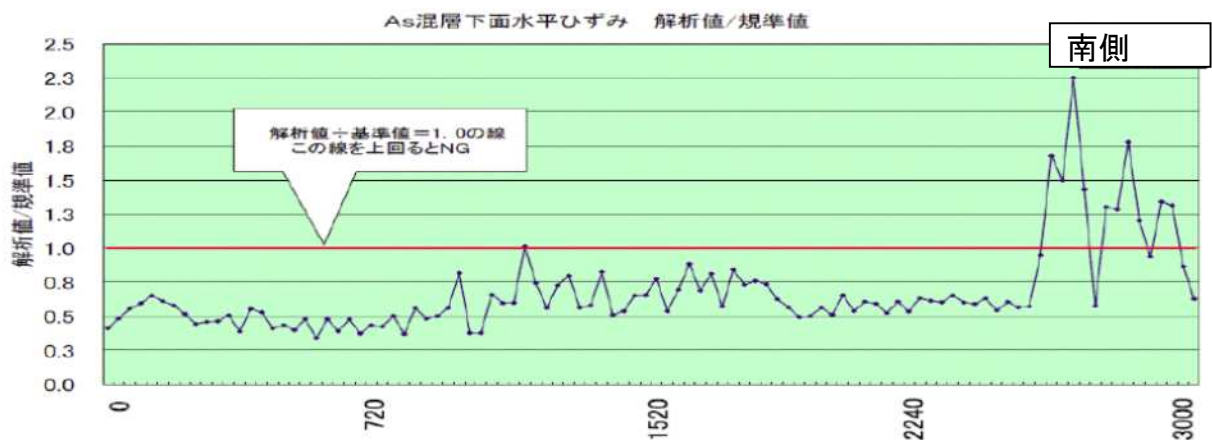
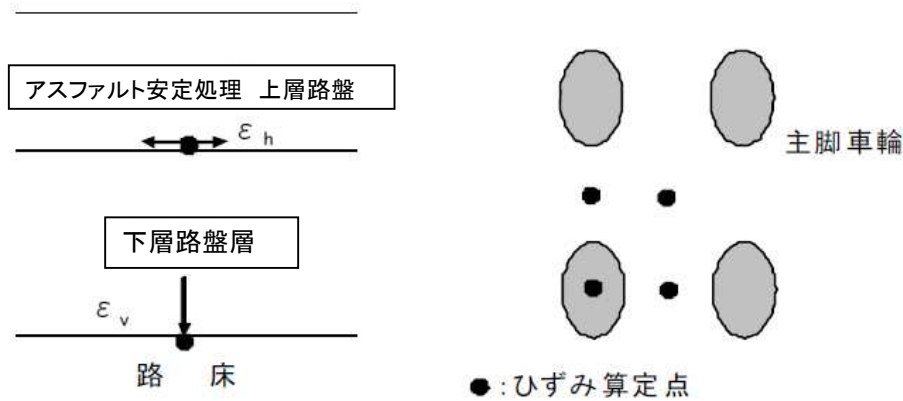


図-6.2 C滑走路のアスファルト混合層の下面の水平ひずみと規準値の比較

ここで、アスファルト混合層の下面の水平ひずみとは、図-6.3(a)の断面図に示す ϵ_h に相当し、アスファルト安定処理を行った上層路盤の下面に発生する水平方向の最大引張ひずみである。この最大ひずみは、図-6.3(b)に示したひずみ算定点において、各タイヤの直下においてほぼ同じ大きさであり、概ね滑走路横断方向に発生する。



(a)舗装断面におけるひずみ発生位置

(b)航空機主脚車輪とひずみ算定位置 平面図

図-6.3 アスファルト混合層の下面に発生する水平ひずみ ϵ_h

2) 路床上面の鉛直ひずみと規準値との比較

滑走路の路床上面の鉛直ひずみと規準値の比較を図-6.4に示す。滑走路の南側付近(離陸待機位置)で局部的に路床上面の鉛直ひずみが規準値を上回っており、劣化が徐々に進行している可能性がある。ここで路床上面の鉛直ひずみとは、図-6.3(a)に示した路床の一番上に生じる鉛直方向の最大圧縮ひずみ ϵ_v である。舗装厚等によっても若干変化するが、最大の圧縮ひずみは概ね脚の中央(タイヤ4輪であればタイヤ4個の中央)で発生する。

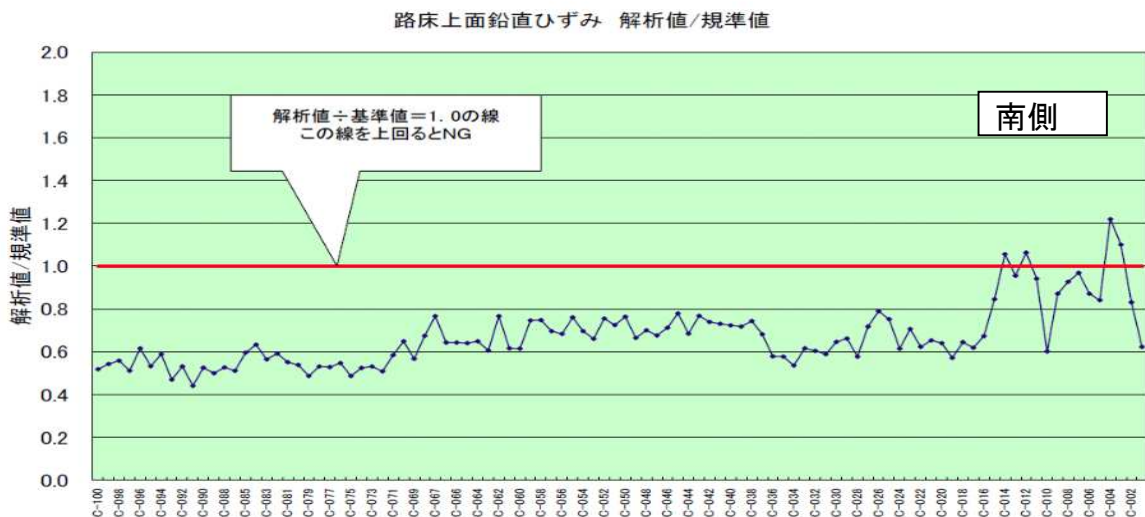


図-6.4 C滑走路の路床上面の鉛直ひずみと規準値の比較

3) アスファルト混合層の弾性係数の推移

平成12年から平成19年までのC滑走路のアスファルト混合層の弾性係数の推移を図-6.5に示す。図に示すようにアスファルト混合層の弾性係数が平成19年度(図中の緑色線)において低下している結果となっており、滑走路全延長にわたりアスファルト混合層が劣化している可能性を示している。

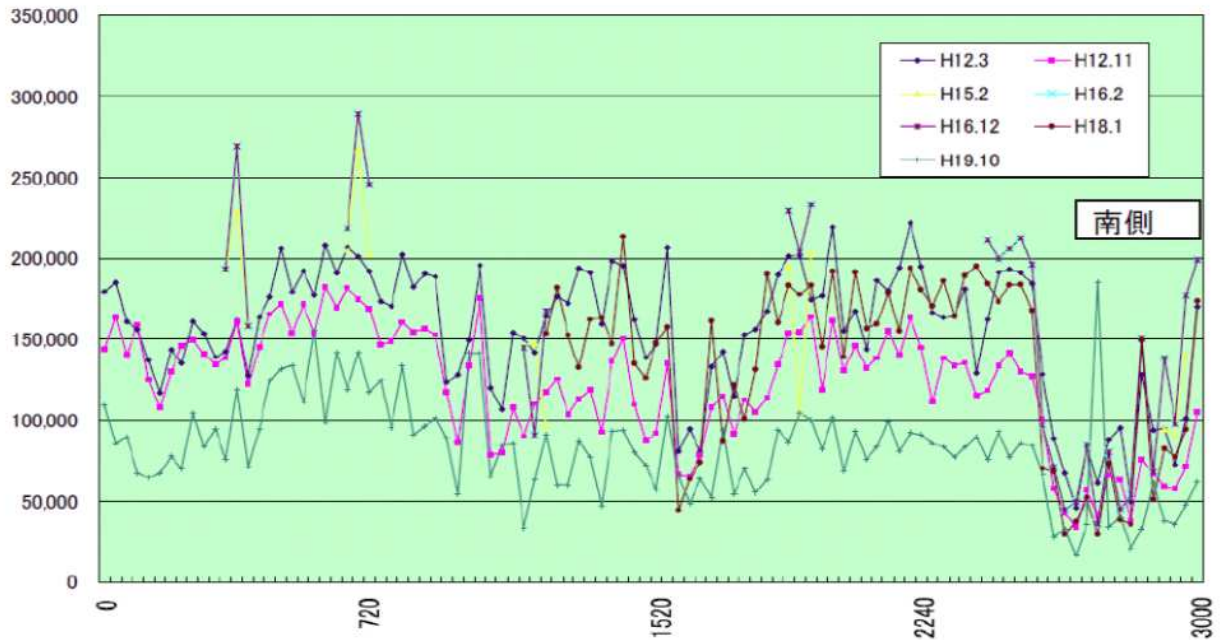


図-6.5 C滑走路の逆解析アスファルト混合層弾性係数の推移(弾性係数の単位は kgf/cm²)

(3) 滑走路舗装の劣化評価のまとめ

①C滑走路の南側付近(離陸待機位置)で局部的に航空機荷重による発生ひずみが規準値を上回っており、劣化している可能性がある。また、平成12年から平成19年までのアスファルト混合層の弾性係数は、年々低下していることからC滑走路全長にわたり劣化している可能性がある。

②滑走路の改修にむけて、表層、基層、路盤、路床の各舗装構造のうち、どの部分が劣化していてどの程度の改修を必要としているか、また劣化している面的な範囲(改修範囲)はどこまでかを適切に評価・設定する必要がある。

参考文献

- 1) 東京国際空港沖合展開事業技術総録 運輸省第二港湾建設局監修(財)沿岸開発技術研究センター
- 2) バーチカルドレーン工法による空港埋立地の地盤改良における沈下予測管理に関する研究
1998.3 運輸省第二港湾建設局
- 3) 平成19年度東京国際空港舗装動態観測調査報告書平成20年3月関東地方整備局東京空港整備事務所
- 4) 平成19年度東京国際空港C滑走路北側土質調査平成20年3月関東地方整備局東京空港整備事務所
- 5) 平成19年度多頻度交通荷重後の空港基本施設健全度の検討調査平成19年3月国土技術政策総合研究所
空港研究部 空港施設研究室