

地盤工学者のための舗装入門
-基礎から応用まで-

空港舗装の現状と課題

平成24年11月 2日

(財)港湾空港建設技術サービスセンター
八谷 好高
hachiya@scopenet.or.jp

主な内容

- ◆ 空港
- ◆ 航空機
- ◆ 空港舗装の性能
 - 走行安全性能／荷重支持性能
- ◆ 荷重支持性能
 - 空港用地／空港舗装／空港舗装の構造設計
- ◆ 空港舗装の評価
- ◆ 空港舗装の課題

空港舗装の現状と課題

空港

わが国の空港の分布



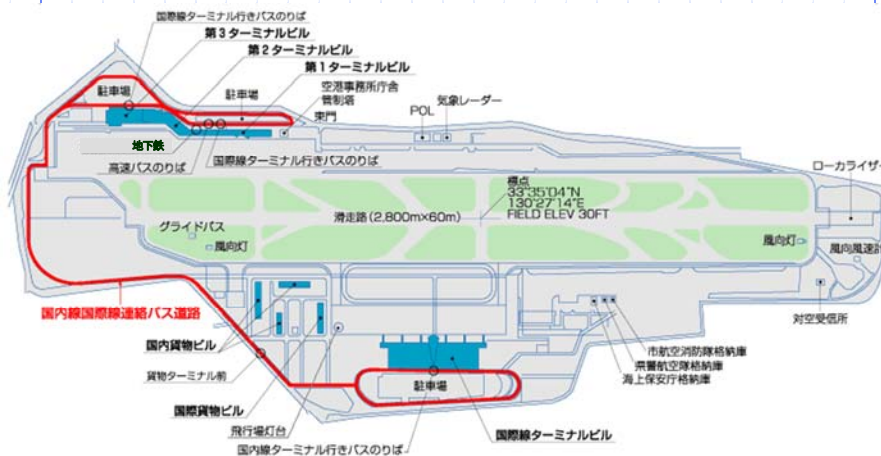
空港の定義

- ◆ 空港vs. 飛行場
 - 航空旅客の乗降，貨物の積み降ろしの有無による
- ◆ 法規
 - 条 約：国際民間航空条約
 - 国内法：航空法
- ◆ 組織
 - 国際民間航空機関(ICAO, International Civil Aviation Organization)が国際連合の専門下部機関として設置
- ◆ 基準
 - 様々な規定は条約附属書として整備
 - 空港に係る規定は第14附属書「飛行場」

空港の広さ:野球場との比較



空港平面図



空港舗装の現状と課題 航空機



滑走路へアプローチ



タクシーイング(誘導路走行)



スポット駐機

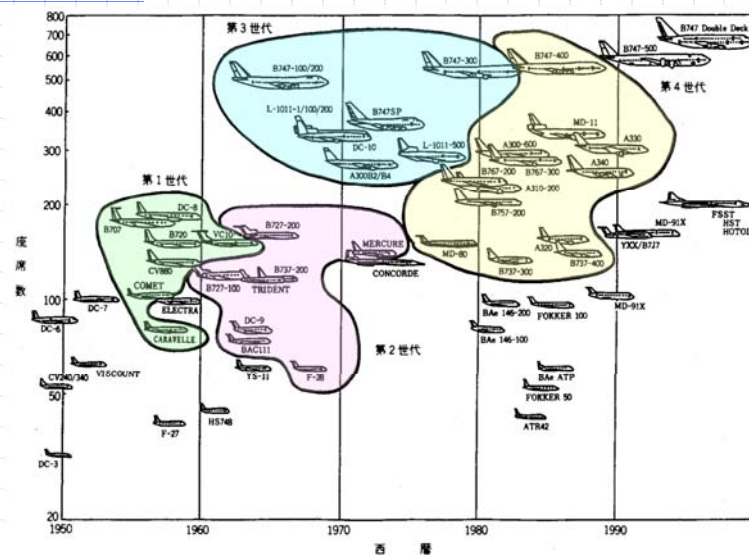


タクシーイング(誘導路走行)

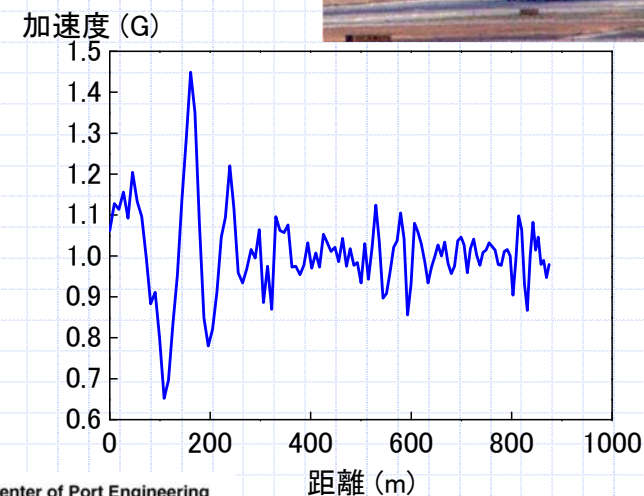


離陸

航空機の変遷



着陸時の衝撃荷重



着陸時衝撃荷重

- ◆ 滑走路への接線着陸を前提
- ◆ 着陸時には燃料がほとんど消費されている
- ◆ 計算によれば1.3倍程度

$$F = \frac{W_v}{g} p_v v_0$$

W_v : 航空機重量, g : 重力加速度, p_v : 固有振動数(1.1Hz),
 v_0 : 航空機の降下速度(6ft/s).

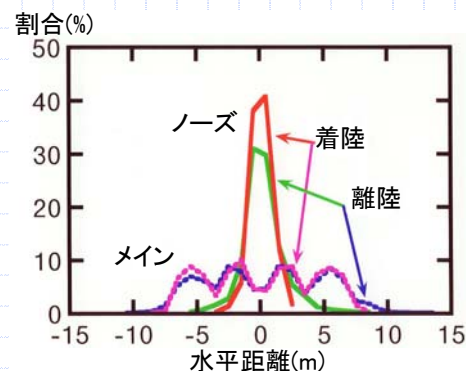
- ◆ 実測では重力加速度の1.5倍を超える場合あり

➡ 満載航空機重量の最大でも3割程度増加

着陸時の航空機位置



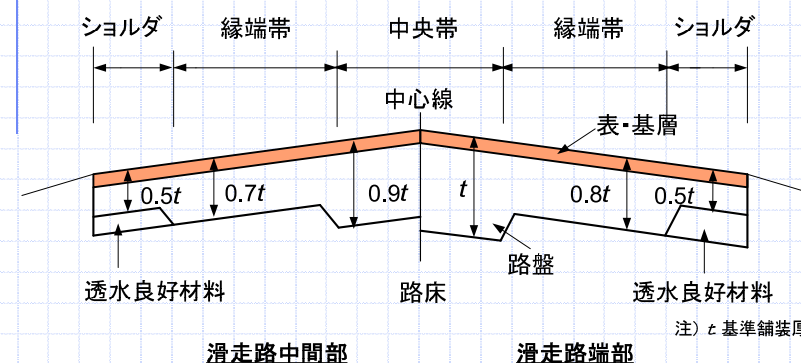
航空機脚横断方向通過位置



横断方向走行分布の標準偏差(単位:m)

航空機コード	滑走路離陸時	滑走路着陸時	平行誘導路	高速脱出誘導路
E, F	0.91	1.74	0.67	0.74
B~D	0.74	1.10	0.57	0.63

滑走路断面

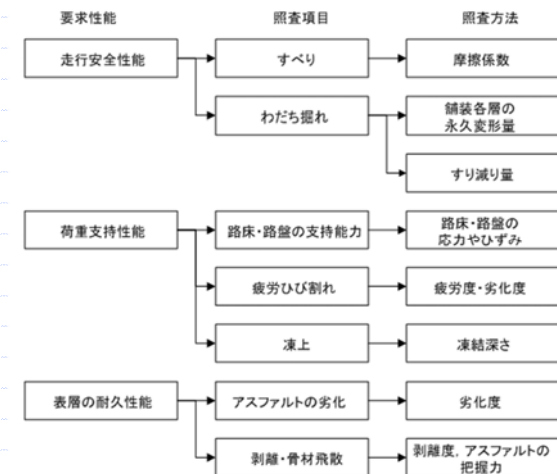


注) t 基準舗装厚

空港舗装の現状と課題

空港舗装の性能

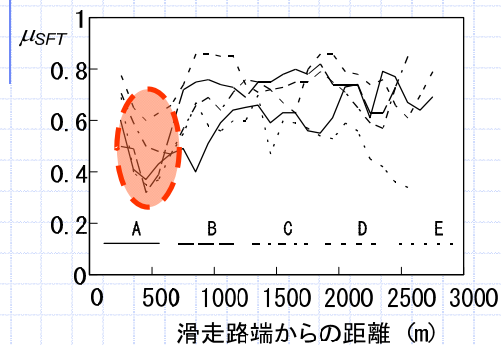
性能規定型設計法 空港アスファルト舗装



空港舗装の現状と課題

空港舗装の性能： 走行安全性能

すべり



平面形状

◆ 滑走路

- 長さは航空機の離陸距離、加速停止距離と着陸距離により決定
- 幅員は30mから60mの範囲

就航航空機	滑走路の標準長さ (m)
大型ジェット機	2,500
中小型ジェット機	2,000
プロペラ機	1,500
小型機	800~1,000

◆ 誘導路

- 幅員は最大で30m

◆ エプロン

- 幅70m, 奥行190または130mの広さ
(大型ジェット機・1スポット)

平坦性

◆ 滑走路・誘導路: 高速走行性、排水性の観点から

◆ 滑走路の縦断形状

- パイロットの操縦しやすさに関わる観点
- 乗客も含めた乗心地の観点
- 縦断勾配、視距離、縦断勾配の変化量と勾配変化点間隔といった項目

滑走路長 (m)	縦断勾配 (%)	勾配変化量 (%)
1,500以上	1.0以下	1.5以下
900以上1,500未満	1.0以下	1.5以下
900未満	1.5以下	2.0以下

- 舗装建設時の平坦性に関する項目

◆ 滑走路の横断形状

- 排水性能に関わる観点
中心線から左右へ1.5%の勾配

◆ エプロン: 排水性、駐機安定性の観点から

- 排水上から0.5%が最小値,
駐機安定性から1.0%が最大値

空港舗装の現状と課題

空港舗装の性能:
荷重支持性能

空港舗装の現状と課題

荷重支持性能:
空港用地

空港用地

- ◆ 面的 ↔ 道路・鉄道用地は線的
- ◆ 平坦・水平な表面
 - ↔ 道路・鉄道は凹凸・勾配許容
 - 時速300kmもの速さで航空機が離着陸
- ◆ 建設時点からの長期安定必要
 - ↔ 道路では段階的な施工可能
 - 不同沈下等に対する厳しい条件付与
- ◆ 造成
 - 切土・盛土(山岳地域)
 - 埋立(海上)

山岳高盛土空港／海上埋立空港



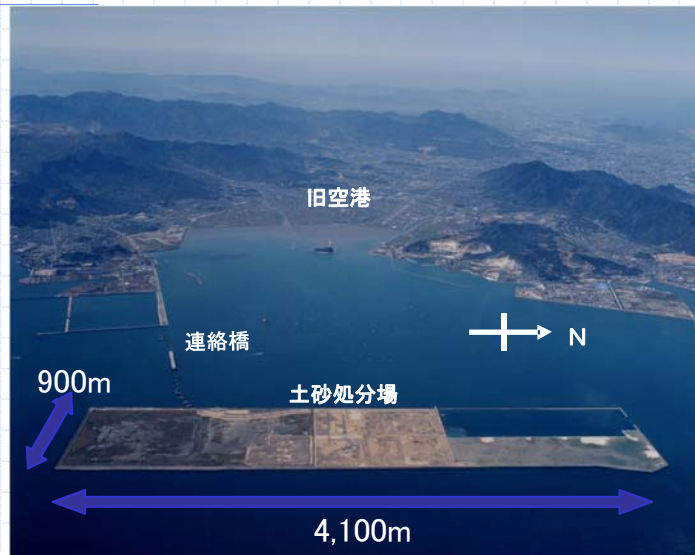
山岳高盛土空港



山岳高盛土空港の特徴

- ◆ 切盛土量のバランス
 - 土量変化率(L値とC値)を考慮して計画作成
 - ◆ 盛土の安定検討
 - ゾーニング
-
- 常時: 計画安全率は1.2以上
 - 地震時: 計画安全率は1.0以上
 - ◆ レベル1地震動: 空港の継続的な使用が可能
 - ◆ レベル2地震動: 盛土全体が崩壊しない
 - ◆ 高盛土の残留沈下対策
 - 軟岩盛土: 締固め度の増加
 - 高含水比粘性土盛土: 二次圧密量の事前検討

建設中の海上埋立空港



海上埋立空港の特徴

◆海底地盤

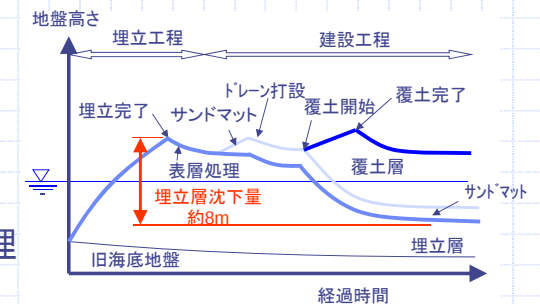
- 千差万別: 水深, 土層構成, 沈下量

◆用地造成工法

- 立地条件 (水深, 波高, 海底地盤, 潮流等)
施工技術
経済性

◆長期的な沈下

- 沈下予測
埋立かさ上げ
建設後維持管理



空港舗装の現状と課題

荷重支持性能:
空港舗装

荷重支持性能: ICAOの基準

◆ICAO (International Civil Aviation Organization)

◆ $ACN \leq PCN$: OK

- Aircraft Classification Number
- Pavement Classification Number

◆過大航空機

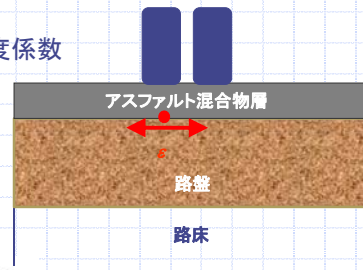
- 質量
 - ◆ $< 1.1PCN$: アスファルト
 - ◆ $< 1.05PCN$: コンクリート
- 交通量
 - ◆ $< 全体$ の5%

性能照査型設計法(疲労ひび割れ)

- ◆ 照査はアスファルト混合物層の底面における疲労破壊に対して行う。

$$\gamma_i \cdot FD_d / FD_{dl} \leq 1.0$$

- ◆ FD_d : 設計疲労度 (= 構造解析係数 γ_a × 疲労度 FD)
- ◆ FD_{dl} : 設計疲労度の限界値 (= 疲労度の限界値 1.0 / 構造層係数 γ_b)
- ◆ γ_i : 重要度係数



$$FD = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_{fi}}$$

舗装の構造設計

◆ 荷重

- 交通荷重
 - ◆ 大きさ (P): 最大航空機
 - ◆ 頻度 (N): 航空機便数, 横断方向ばらつき
- 環境: 表層温度, 凍結深

◆ 地盤

- 路床CBR
- K値

◆ 設計法

- アスファルト: CBR法, ...
- コンクリート: Westergaard式, 岩間式, ...

環境

- ◆ 温度: アスファルト舗装
 - アスファルト種類の変更
- ◆ 温度: コンクリート舗装
 - 変形(伸縮・そり)拘束応力算定
- ◆ 温度: 凍結深
 - 非凍上材料に置換え



凍上によるひび割れ

空港舗装の現状と課題

荷重支持性能:
空港舗装の構造設計

アスファルト舗装厚

◆反復作用回数 5,000回

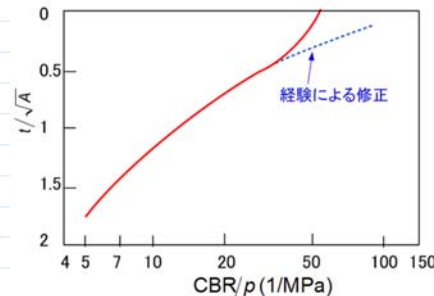
$$\frac{t}{\sqrt{A}} = \sqrt{\frac{1}{0.057 \frac{\text{CBR}}{p}} - \frac{1}{\pi}}$$

- A: 車輪接地面積 (mm²)
- t: 舗装厚 (mm)
- p: 接地圧 (MPa)

◆カバレッジ C 回

$$t_C = f \cdot t_{5000}$$

$$f = 0.23 \log C + 0.15$$



コンクリート舗装厚

◆ Westergaard中央載荷公式により荷重応力算定

- コンクリート曲げ強度5MPa
- 路盤支持力係数70MPa/m

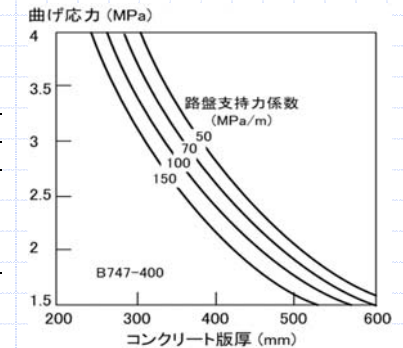
◆ 目地荷重伝達機能十分

◆ 温度応力は安全率にて考慮

- 1.7 (6,000回)
- 2.0 (10,000~40,000回)
- 2.2 (80,000回)

設計荷重の区分 (代表航空機)	設計カバレッジ		
	3,000	5,000~20,000	40,000
LA-1 (B-747)	37	42	45
LA-12 (A-300)	32	36	39
LA-2 (A-320)	30	34	36
LA-3 (DC-9)	27	30	32

(単位: cm)



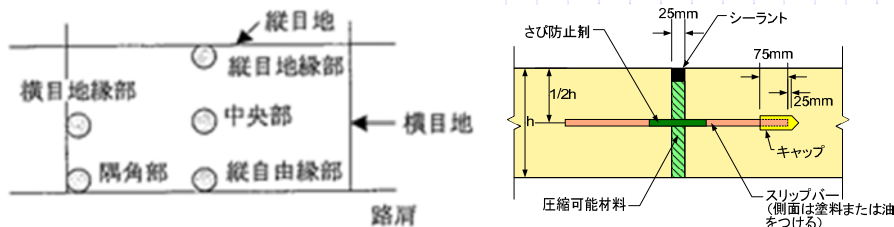
目地

◆目地が必要

- 施工目地, 収縮目地, 膨張目地

◆荷重応力

- 中央部 < 隅角部 < 目地部 < 縁部



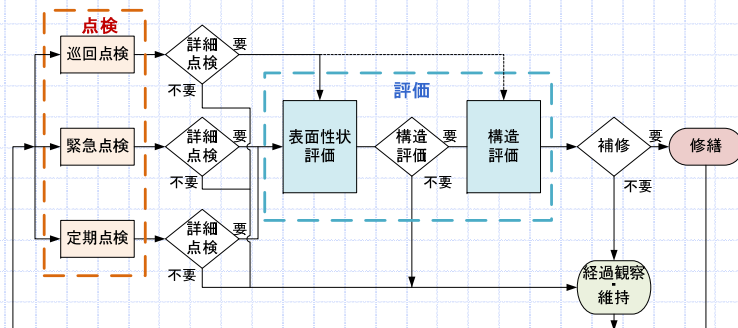
空港舗装の現状と課題

空港舗装の評価

空港舗装の保全システム

◆ 空港舗装の点検

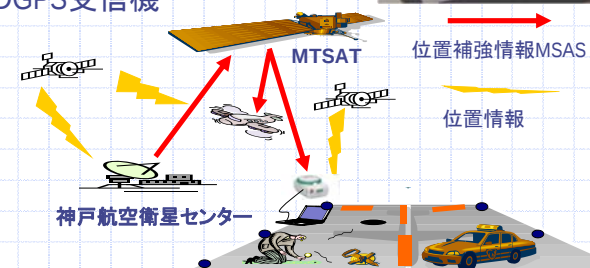
- 巡回点検: 12回/年, 目視
- 緊急点検: 地震発生時等, 目視
- 詳細点検: 必要時, 表面性状, 構造
- 定期点検: 1回/3年, 表面性状



空港舗装巡回等点検システム



- モバイルPC
- DGPS受信機



空港舗装の現状と課題

空港舗装の課題

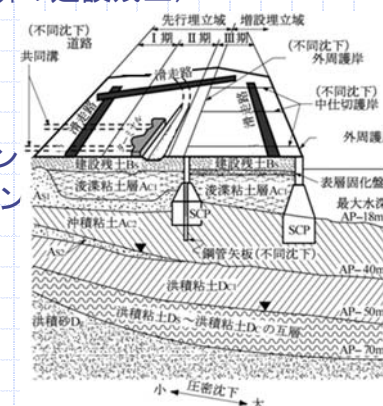
廃棄物埋立地盤

◆ 超軟弱地盤

- 在来粘土層厚: 30~40m
- 建設残土(浚渫ヘドロ, 近隣の建設残土)
- 初期含水比: 250%

◆ バーチカルドレーン工法による地盤改良

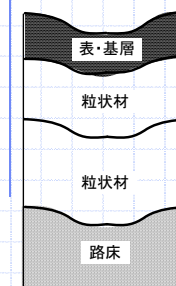
- プラスティックボードドレーン
- 小口径袋詰めサンドドレーン
- 部分被覆サンドドレーン



埋立地盤と不同沈下の状況

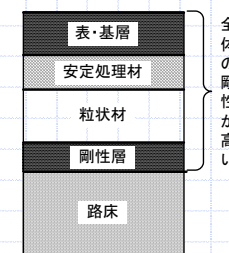


軟弱路床上のアスファルト舗装



従来舗装

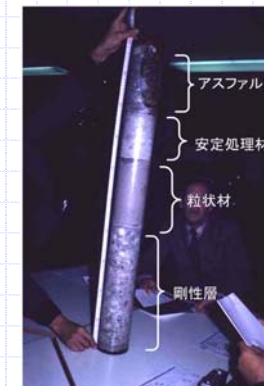
軟弱地盤の影響により
舗装面の沈下が著しい



サンドイッチ舗装

舗装全体の剛性が高いため舗
装面の沈下の問題はない

全体の剛性が高い



コアサンプル

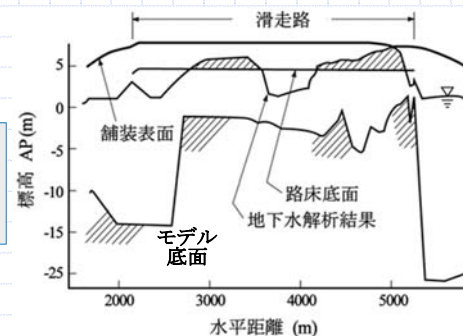
- ◆ 路床(原地盤)上に剛性の高い層を設け、それと舗装上部(表層・基層と安定処理材層)とで粒状材(砂利)層を挟み込む舗装形式。航空機荷重を路床の広い範囲に分散して小さくできるので、舗装を薄くできるとともに表面の不同沈下を防止できる

高地下水位への対応

- ◆ 滑走路供用後もかなりの部分で地下水位が路床内部に浸入
- ◆ 水で飽和された舗装は損傷を生じやすく、舗装破壊の原因となる。
- ◆ 工期の制約がある中で良好な施工性を確保する必要



路床下部に排水層を設置し、舗装および路床全体への地下水の浸入を防止



将来地下水位の予測結果(供用後5年)

滑走路の舗装構造設計

表層:

密粒アスファルトコンクリート
(50mm厚)雨天時の表面排水性の確保、すべり抵抗性を増加させるためのグルーピング施工

基層:

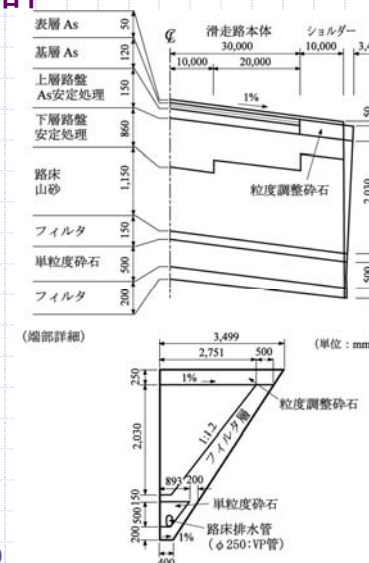
粗粒アスファルトコンクリート
(120mm厚, 2層仕上げ)

上層路盤:

安定処理材料(150mm厚)
(粒度調整碎石の標準厚300mm)

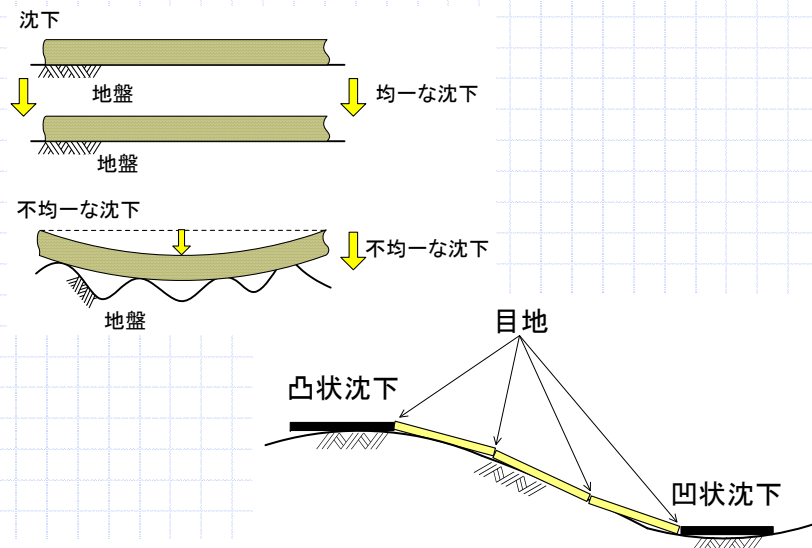
下層路盤:

安定処理の切込碎石(860mm厚)

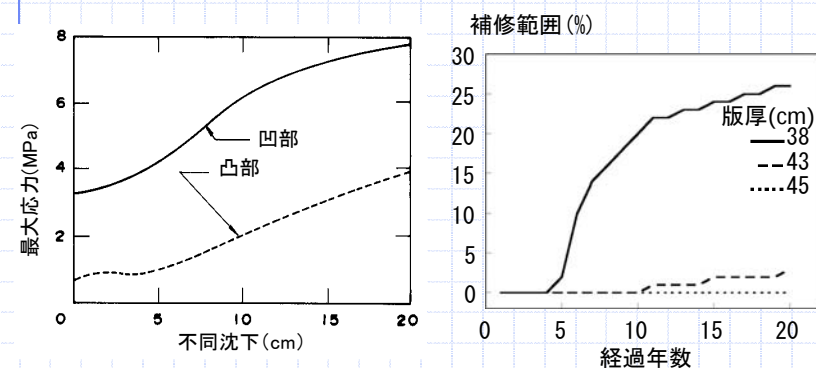


滑走路の舗装断面

地盤沈下と舗装

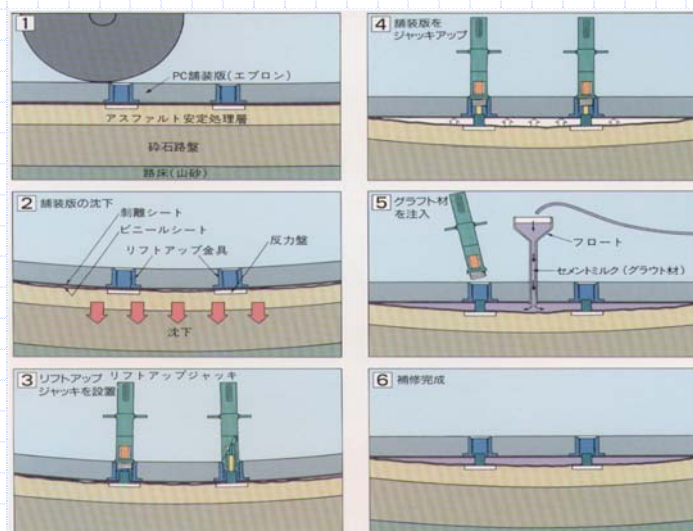


コンクリート版応力と舗装構造設計



コンクリート版応力の増加による補修

PC版のリフトアップ工法



空港土木施設の耐震化

- ◆ 災害時の緊急輸送拠点としての機能
 - 災害時の救急・救命活動, 救援物資輸送, 陸路復旧までの代替輸送機関として活用
- ◆ 空港土木施設の耐震化
 - 地盤の液状化対策は重要な対策の一つ



被災空港の状況

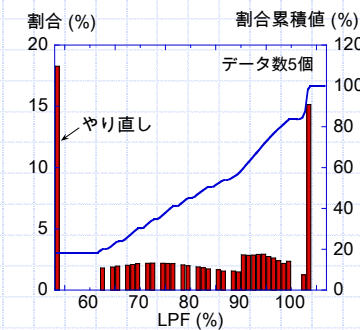
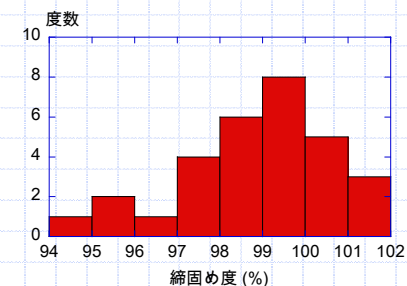


施工の性能照査

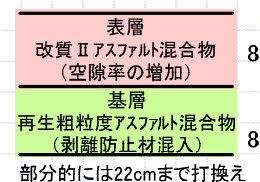
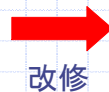
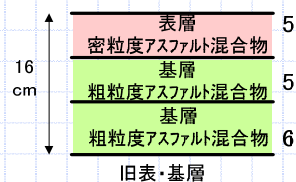
- ◆ 施工の良否により
工事費が増減
- ◆ ボーナスとペナルティ

LPF (%)	PWL (%)
106	96-100
PWL + 10	90-95
0.5 PWL + 55	75-89
1.4 PWL - 12	55-74
やり直し	55未満

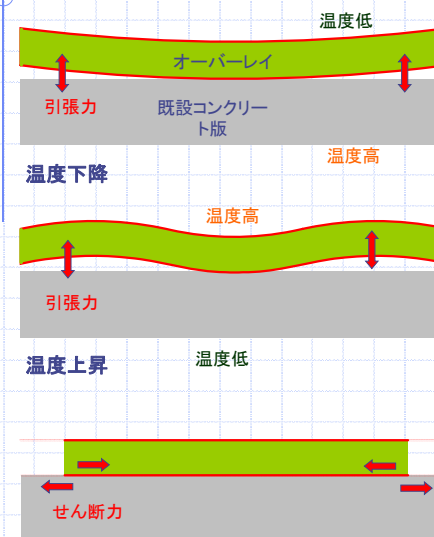
LPF:当初契約額に対する支払い額の割合
PWL:測定値が規格値を満たしている割合



アスファルト舗装のブリスタリング対策

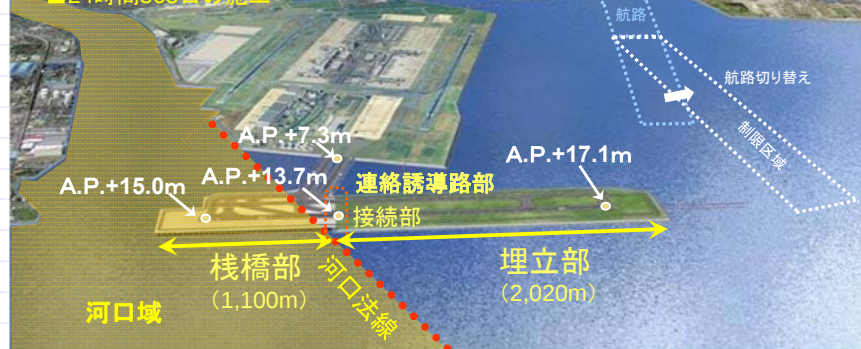


コンクリート舗装の付着オーバーレイ



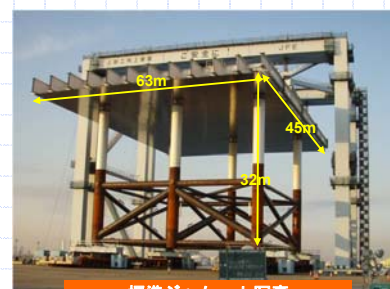
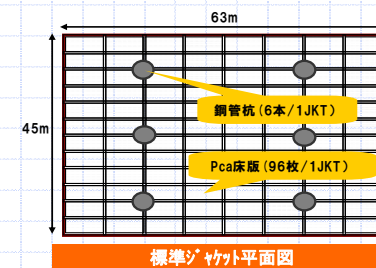
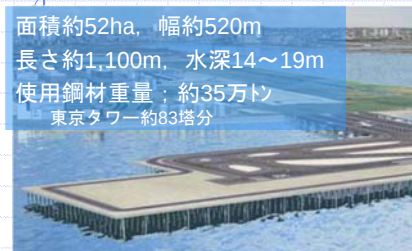
埋立・栈橋ハイブリッド滑走路

- 滑走路2,500m (空港島3,120m)
- 埋立・栈橋工法のハイブリッド構造 (水深A.P.-12.0~-20.0m)
- 河川の通水性を確保する栈橋構造
- 航路の付け替え
(大型コンテナ船が高度制限を受けず安全に入出港を可能とする)
- 24時間365日の施工

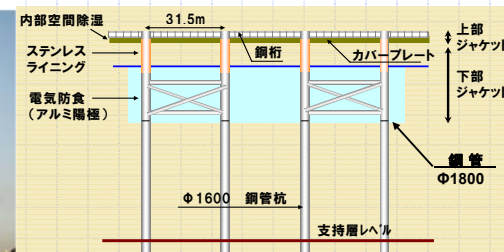


滑走路栈橋部

面積約52ha、幅約520m
長さ約1,100m、水深14~19m
使用鋼材重量: 約35万トン
東京タワー約83塔分



標準ジャケット写真



標準ジャケット断面図



ご清聴ありがとうございました.

<http://www.scopenet.or.jp/main/eng/index.html>