

空港工学講座

空港の建設

フジタ道路株式会社

中央区晴海一丁目8番10号

トリトンスクエア オフィスタワーX

TEL: 03-5859-0670(代表)

<http://www.fujitaroad.co.jp/>

内容

- 用地造成
 - 空港用地
 - 調査
 - 山岳高盛土空港の用地造成
 - 海上埋立空港の用地造成
 - 空港の耐震性
- 基本施設
 - 舗装

用地造成

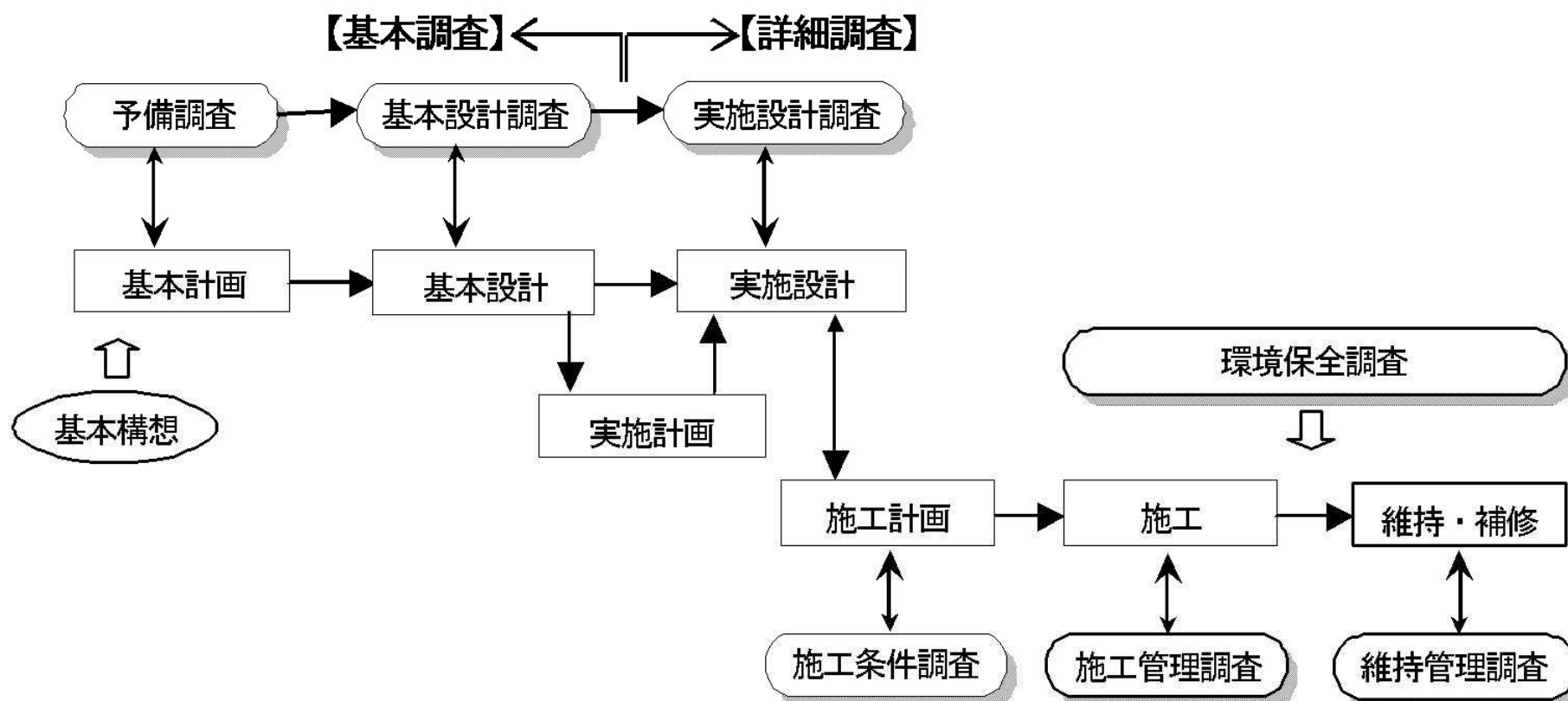
空港用地

- 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)

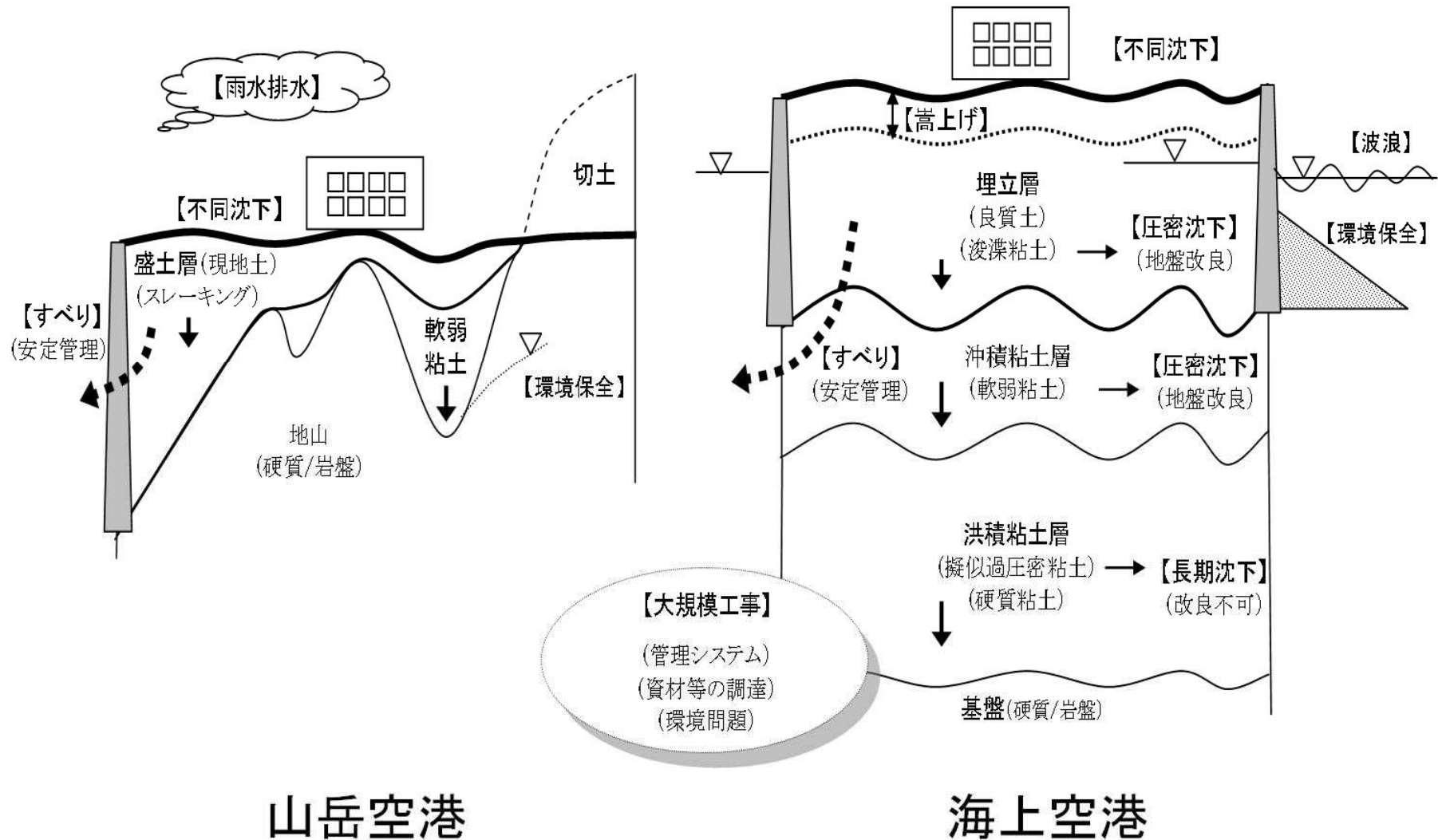
空港建設のための調査(内容から)

分類	調査内容(キーワード)
利用条件調査	航空機, 旅客の空港需要予測
自然条件調査	気象・海象調査, 地盤調査, 地震動評価
施工条件調査	資材, 機材, 資材輸送, 空港輸送制限条件, 仮設計画, 施設管理基準・システム
施工管理調査	変形(沈下)計測, 安定管理, 地盤改良確認, 水位観測, 密度管理(締固め・舗装)
維持管理調査	施設機能維持確認(安全点検), 劣化度合・不良箇所, 地盤挙動継続調査
環境影響調査	自然環境変化, 生活環境(大気・水質汚染, 騒音振動), 環境監視システム
災害損傷調査	風水害(強風, 豪雨, 豪雪, 高潮の被害), 地震被害(ゆれ, 液状化, 津波の被害)

建設段階から見た調査



空港建設上の課題



空港建設時の基本的調査

- 気象・海象
 - 気象庁による長年の観測記録(気象官署および気象観測所)が基礎
 - 建設地・周辺地域でのピンポイント観測も実施。建設工事中と運用期間中も継続
- 工事中の環境
 - 大気汚染, 水質汚濁, 騒音, 振動, 地形・地質, 植物, 動物, 魚貝, 景観等が対象
- 建設資材調達可能性
 - 建設資材・建材の円滑な調達(地盤改良材, 埋立材等)
 - 大規模かつ急速施工のために必要

空港建設時の基本的調査(地盤)

	山岳空港	海上空港
踏 査	建設予定地の地形・地質等（断層含む）	埋立土砂採取地区の地形・地質と土質
物理探査	基盤岩を含む堆積状況，断層・地下構造	基盤岩を含む堆積状況，断層・地下構造
ボーリング	地盤の土層とその分布状況	地盤の土層とその分布状況 【大深度調査】
サンプリング	土質試験・地質分析試料の採取	土質試験・地質分析試料の採取【大深度の採取技術】
地質分析	表層地質	地層のつながり，堆積環境
土質・岩質試験	強度特性，圧密特性 動的変形・液状化強度試験	強度特性，圧密特性，特殊圧密試験 動的変形・液状化強度試験
検層	速度構造	速度構造，盛土層の層厚計測
地下水調査	広域的分布，季節変動など	広域的分布，季節変動など（埋立層）

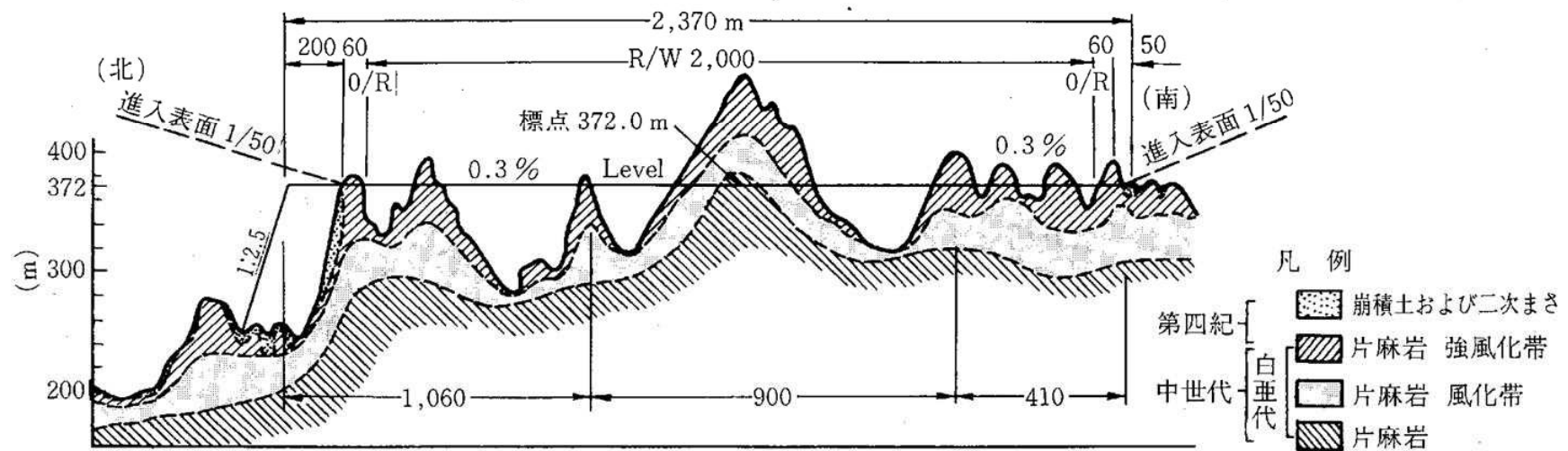
山岳高盛土空港



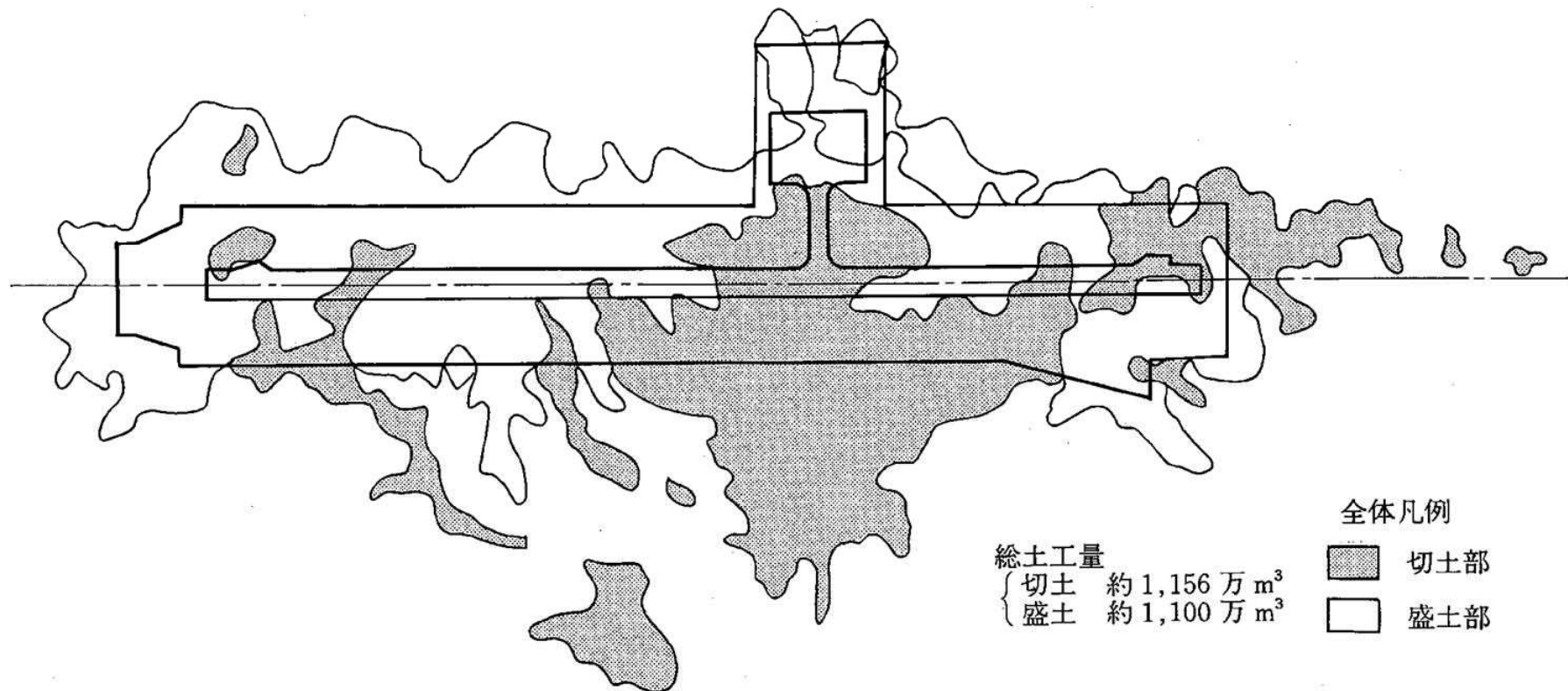
山岳空港の詳細事例

空港	盛土量 (万m ³)	盛土材料	施工年	備 考
広島空港	1,530	土砂～硬岩	1988～1992	2,500m滑走路 建設時
高松空港		土砂～硬岩		
秋田空港	1,350	粘土～シルト岩	1974～1979	
青森空港	868	火山灰質粘性土	1982～1987	2,000m滑走路 建設時
岡山空港	1,250	土砂～硬岩	1983～1987	2,000m滑走路 建設時
石見空港	550	土砂～礫混り土	1988～1992	
福島空港	1,080	土砂～硬岩	1988～1993	2,000m滑走路 建設時

山岳空港建設地(断面)



山岳空港建設地(平面図)



高盛土空港(その1)



高盛土空港(その2)



切盛土工のバランス

・土量変化率

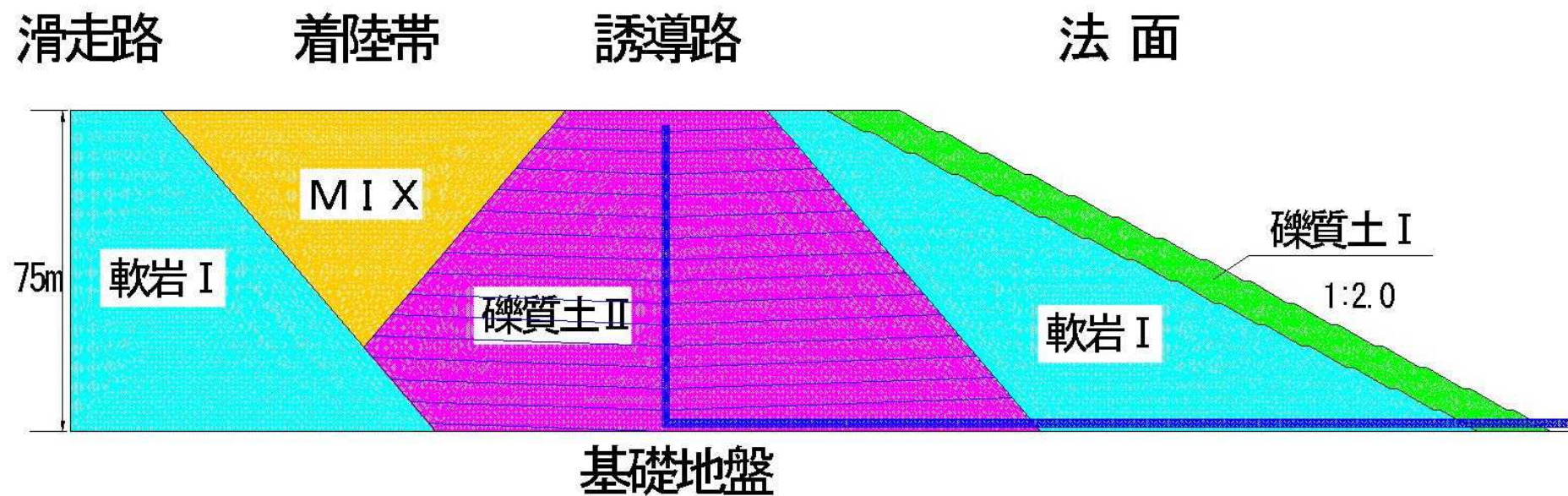
- － L値とC値を考慮して計画作成
- － L値＝ほぐした状態の土量／地山状態の土量
- － C値＝締め固めた土量／地山状態の土量

名 称		L	C
岩または石	硬 岩	1.65～2.00	1.30～1.50
	中 硬 岩	1.50～1.70	1.20～1.40
	軟 岩	1.30～1.70	1.00～1.30
	岩 塊 ・ 玉石	1.10～1.20	0.95～1.05
礫まじり土	礫 質 土	1.10～1.20	0.85～1.05
	礫 質 土	1.10～1.30	0.85～1.00
	固 結 し た 礫 質 土	1.25～1.45	1.10～1.30
砂	砂	1.10～1.20	0.85～0.95
	岩 塊 ・ 玉石 まじり 砂	1.15～1.20	0.90～1.00
普 通 土	砂 質 土	1.20～1.30	0.85～0.95
	岩 塊 ・ 玉石 まじり 砂 質 土	1.40～1.45	0.90～1.00
粘性土など	粘 性 土	1.20～1.45	0.85～0.95
	礫 まじり 粘 性 土	1.30～1.40	0.90～1.00
	岩 塊 ・ 玉石 まじり 粘性土	1.40～1.45	0.90～1.00

低品質粘性土



盛土ゾーニング



盛土の安定検討

- 常時
 - 円弧すべり法(修正フェレニウス法)による
 - 計画安全率は1.2以上. 解析モデルや土質定数等の設計条件を勘案
- 地震時
 - 円弧すべり法による(常時と同様)
 - 計画安全率は1.0以上
 - レベル1地震動
 - 航空機の運航に必要な機能に影響を与えない
 - 高盛土の場合, 空港の継続的な使用に影響を及ぼす変位を許容しない
 - レベル2地震動
 - 人命, 財産または社会経済活動に重大な影響を与えない
 - 高盛土の場合, 盛土全体が崩壊するような変形を許容しない

高盛土の残留沈下対策

- 軟岩盛土の水浸沈下対策
 - 盛土材は泥岩と砂岩の互層で構成され、雨水の浸透によるスレーキング沈下が生じやすい材料
 - 締固め度を92.5%とした盛土により、目立った水浸沈下は観察されず、総沈下量も室内試験結果とほぼ一致
- 高含水比粘性土盛土の沈下対策
 - 盛土材は高含水比の火山灰質粘性土で、一次圧密沈下が完了した後の二次圧密が無視できない程度に大きい材料
 - 二次圧密係数と盛土高さの関係を試験により明らかにして、プレロードにより二次圧密沈下を抑える対策を実施

用地造成工事 (1)



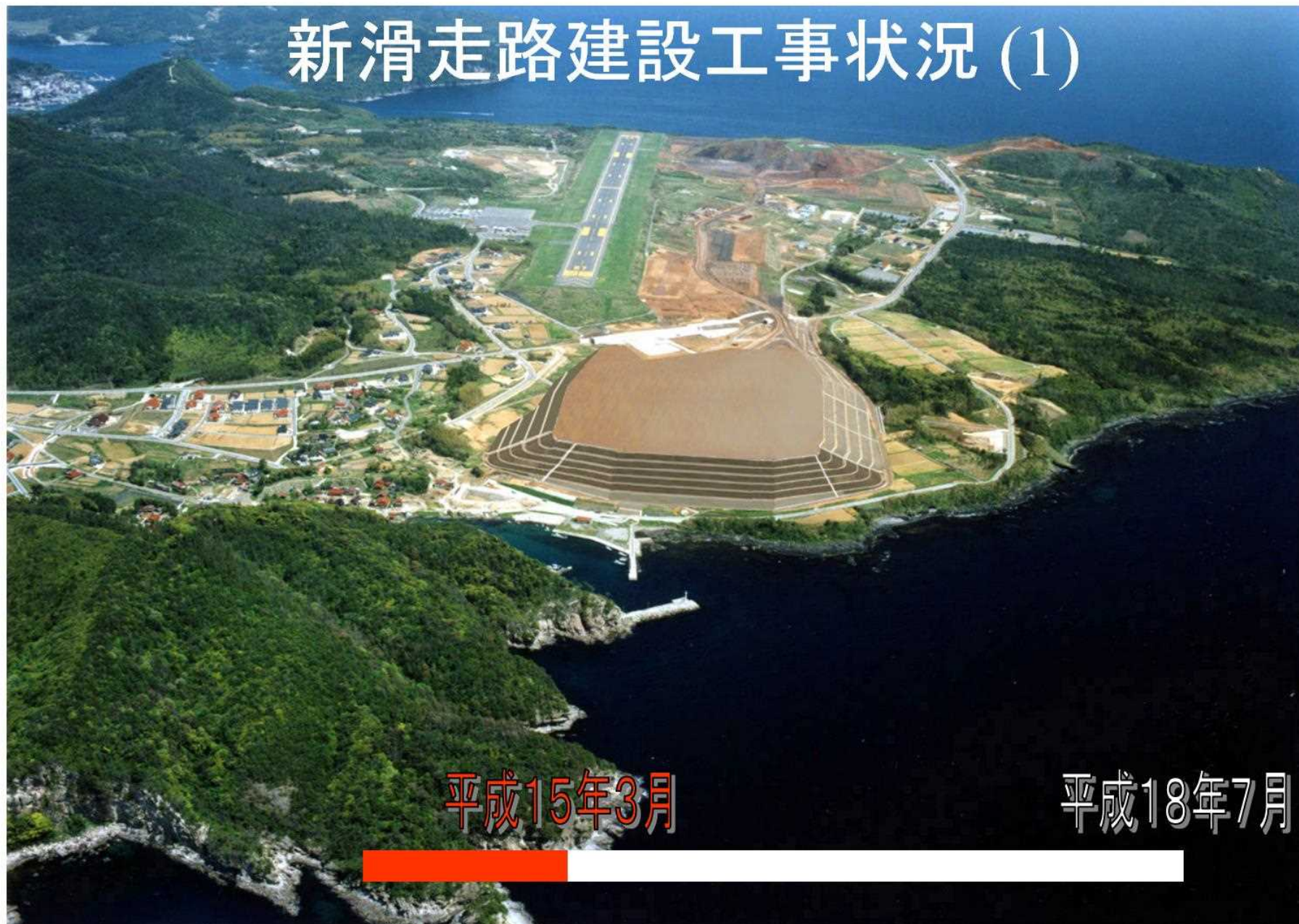
用地造成工事 (2)



用地造成工事 (3)



新滑走路建設工事状況 (1)



平成15年3月

平成18年7月

新滑走路建設工事状況 (2)



新滑走路建設工事状況 (3)



平成17年3月

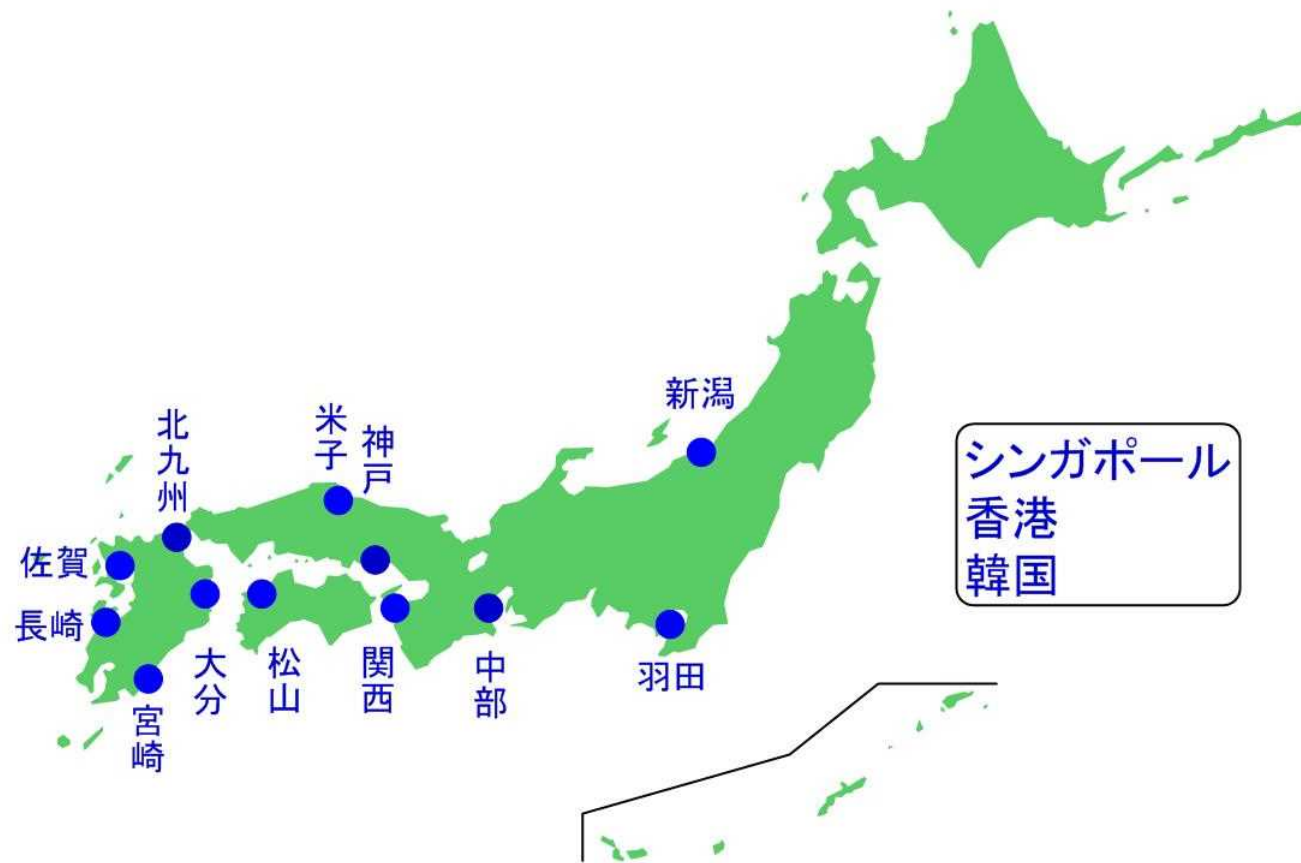
平成18年7月

新滑走路建設工事状況 (4)



平成18年7月

海上埋立空港



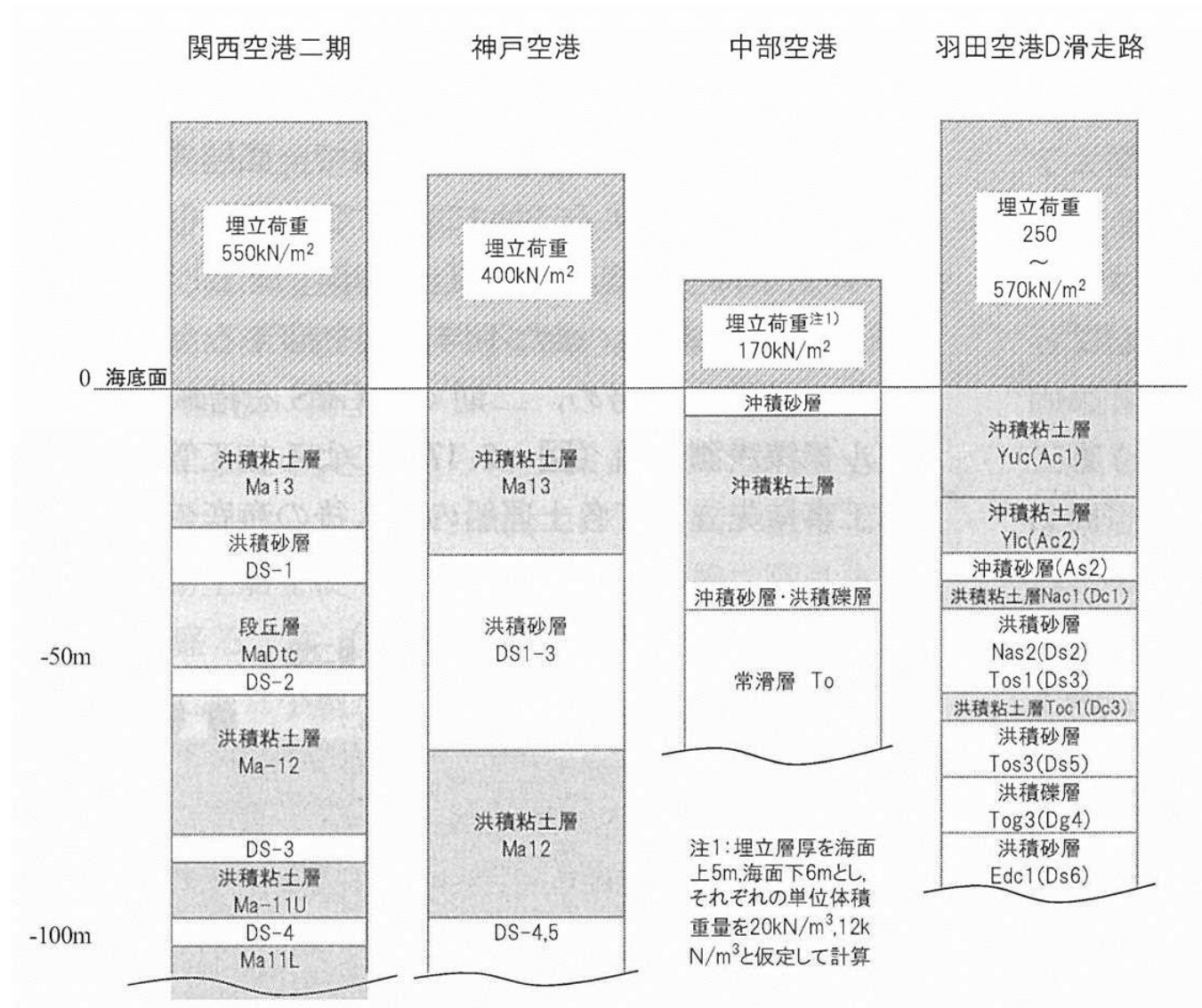
海上空港の特徴

- 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

海上空港の地盤高

- 空港周辺における地形，建造物，航行船舶などのうち除去しがたい物件が進入表面等の制限表面に抵触しない高さ
- 護岸天端が進入表面等の制限表面，航空保安施設の機能および航空機のパイロットからの視認性等に影響を与えない高さ
- 雨水および護岸を越波してきた海水を海域に排水する場合に，排水がスムーズに行われる高さ
- 各施設における縦断および横断勾配等の規定を満たす高さ
- 埋立土量と密接に関連していることから，経済性についても考慮した高さ

海上空港の地盤・建設条件



人工島の構築(埋立)

- 護岸の建設
 - － 人工島の周囲に護岸を建設して、まわりの海と遮断
- 埋立の実施
 - － 護岸の内側に土砂・廃棄物などを投入して埋立
- 用地の造成
 - － 造成地盤の安定性改善のために、必要に応じて地盤改良を実施

護岸の建設(その1)

- 護岸基礎

- 基礎捨石を投入して建設
- 地盤の凸凹の補正, 上部構造物の安定, 波浪や潮流からの基礎部の洗掘防止等を目的
- 投入した捨石の敷き均し作業が不可欠で, 人力(潜水夫)が主流. 水中捨石均機も
- 地盤改良
 - 基礎地盤が軟弱な場合, 捨石投入に先立って必要
 - 工法: 置換工法(軟弱土を除去して石や砂を投入)
地盤改良(砂杭打設等)

護岸の建設(その2)

- 護岸本体

- 構造形式: 捨石式, セル式, 矢板式, 重力式等. 条件に応じて選択・組み合わせる

- 捨石式: 比較的水深が浅い場合
 - 矢板式: 鋼矢板やコンクリート矢板を使用
 - セル式: 鋼矢板などを使用してセル構造とする. 埋立土の浸出防止効果が高い
 - 重力式: プレキャストまたは現場打ちコンクリート部材(ケーソン, L型ブロックなど)を使用
 - 消波ブロック被覆護岸: 護岸前面に消波工を設けたもの

- 護岸の施工方法

- クレーン船などによる機械化施工が進行
 - 陸上ヤードでのケーソン建設等の施工の合理化が進行

埋立の実施

- 護岸で仕切られた内部に土砂・廃棄物等を投入
- 使用材料
 - 海底土砂による浚渫埋立（東京羽田空港）
 - 陸上土砂による埋立（関西国際空港）
- 浚渫土砂による場合
 - 浚渫船で採取した土砂をパイプで圧送，土運搬船で搬入
- 陸上土砂による場合
 - 大量の土砂の採取場の確保
 - 均一性の確保が重要
 - 土砂運搬
 - 埋立地と採土地の距離により輸送手段を検討
 - ダンプトラック，ベルトコンベア，スラリーパイプライン等

埋立地盤の状況



用地の造成

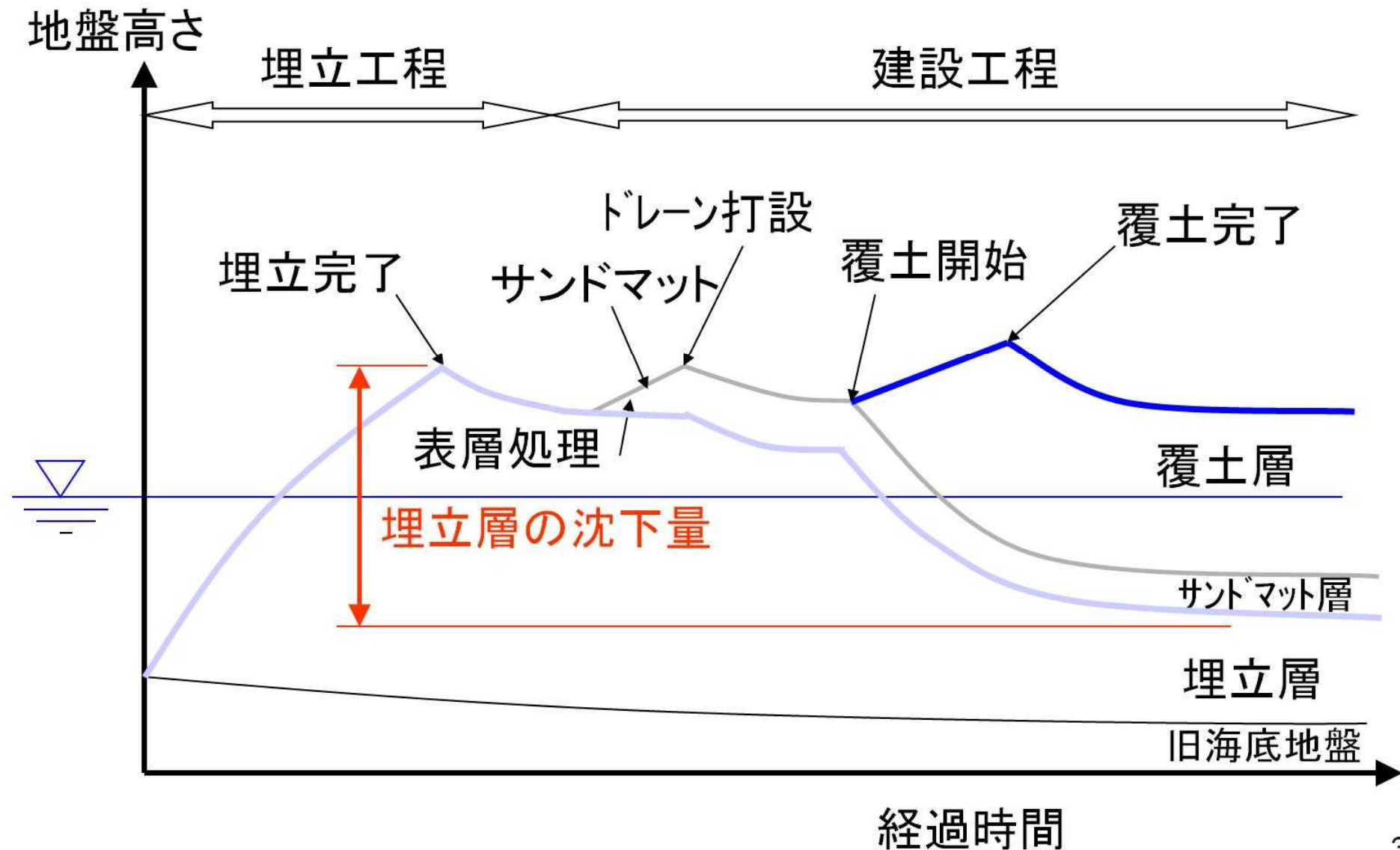
- 造成用地の圧密，締固めが必要
 - － 地盤改良により早期利用を実現
 - － 不同沈下の危険性軽減
- 第一期工事：サンドコンパクションパイル工法，振動棒締め固め工法，動圧密工法*

* 重錘(5-30t)をクレーンによって吊り上げて(5-30m)，地盤面に繰り返し落下させ，衝撃力によって地盤を締め固める

- 第二期工事：薄層まき出し転圧工法

* 空港用地の外側から揚土，ダンプ運搬，撒き出しを行い，転圧しながら盛土を造成する

用地造成の工程



地盤の状況（造成中）



ネット敷
設後に作
業実施

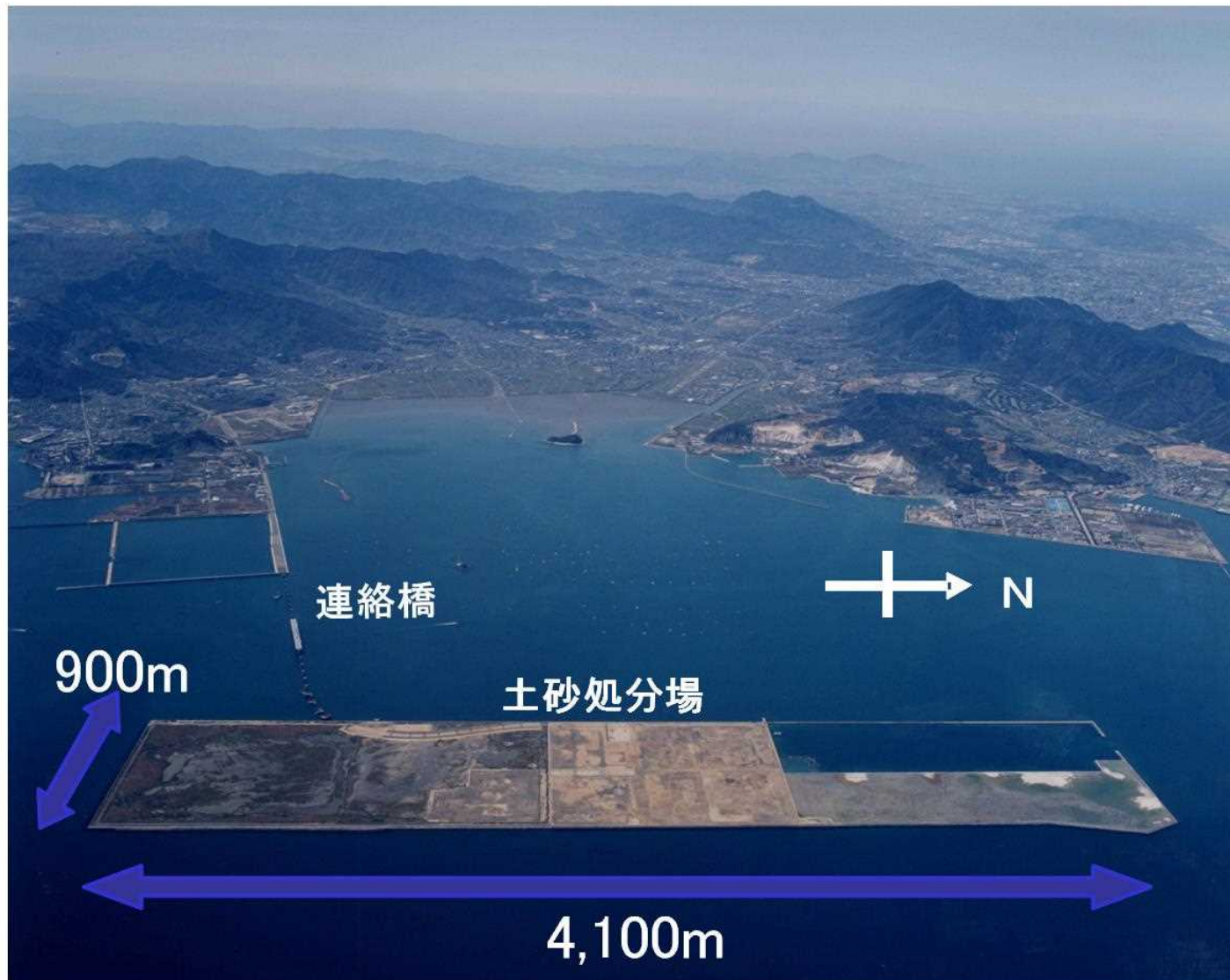


ボーリン
グ孔から
噴出した
地盤内部
の汚泥



地下水位
の状況

建設中の海上空港



不同沈下の状況



PC舗装の
端部が波
打ってい
る状況

←薄い舗
装なので、
地盤沈下
に追隨し
ている

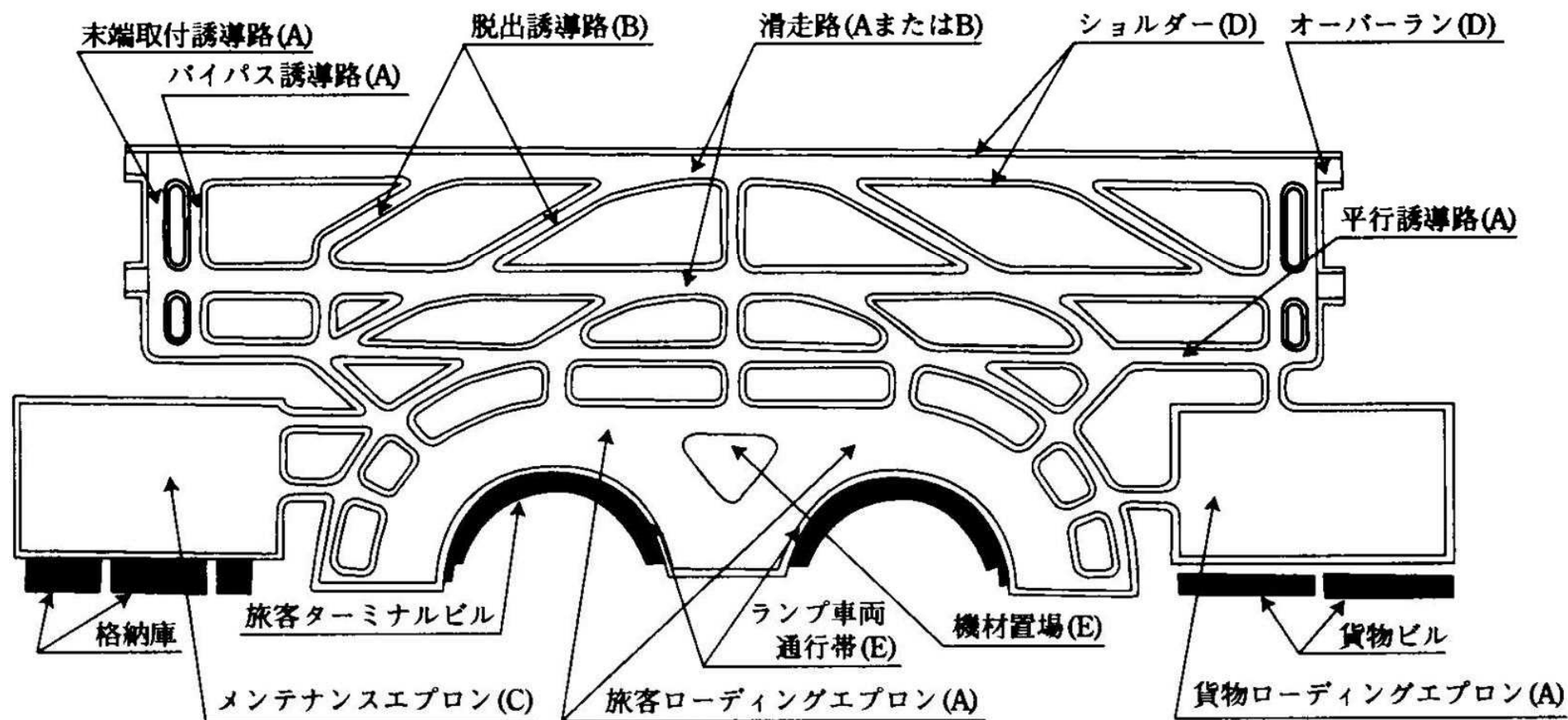
空港土木施設の耐震化

- 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



空港基本施設

空港平面図



舗装区域

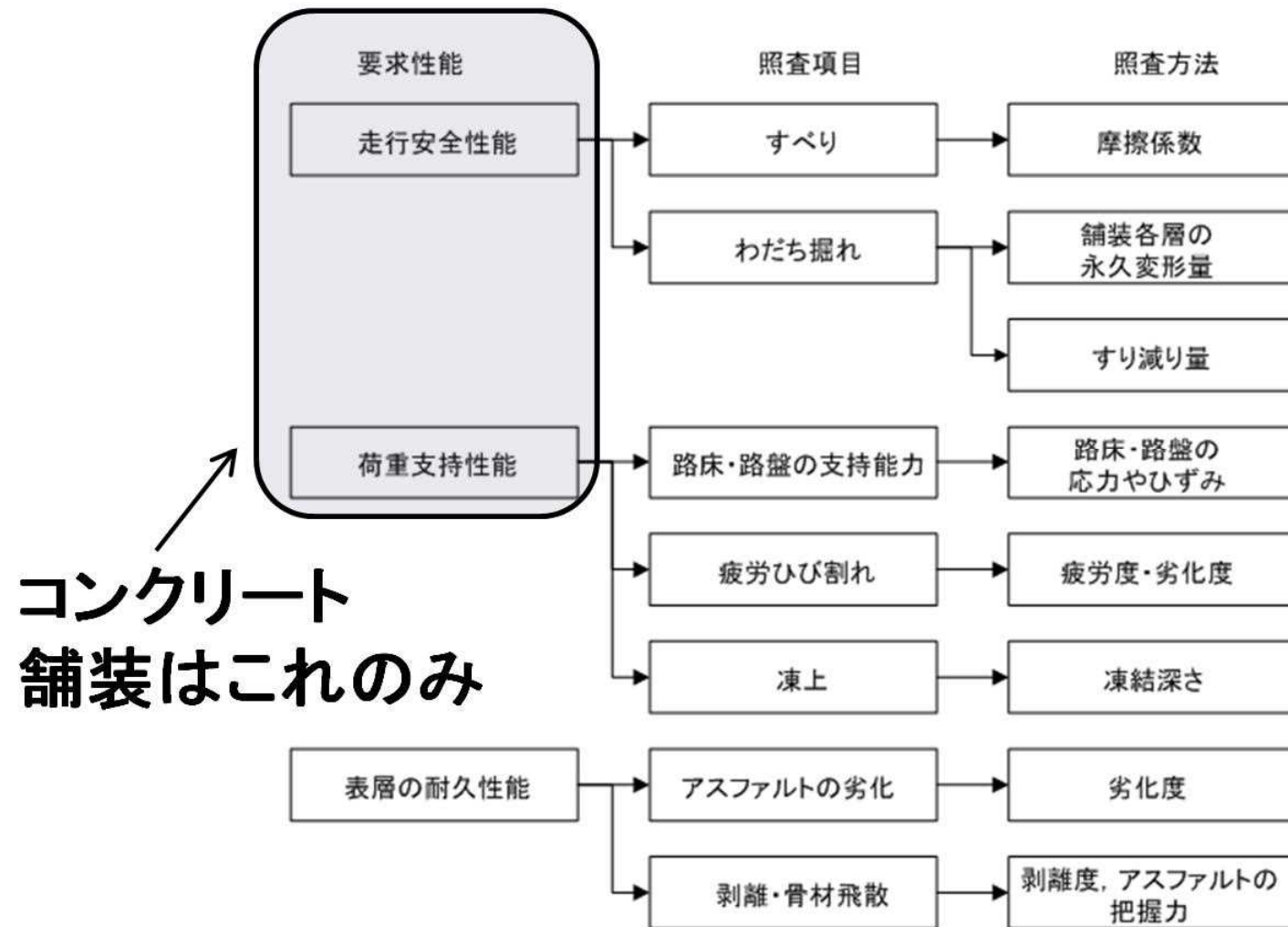
舗装区域	施設
A	滑走路端部 全備重量の航空機が通過する誘導路 ローディングエプロン
B	滑走路中間部 脱出誘導路 ナイトステイエプロン
C	メンテナンスエプロン メンテナンスエプロンに通じる連絡誘導路
D	オーバーラン ショルダー
E	エプロン周辺 機材置場

空港舗装の特徴

- 滑走路
 - 長さ: 800m～2,500m
 - 幅員: 30m～60m
- 誘導路
 - 幅員: 9m～23m
- エプロン
 - 幅: 70m
 - 奥行: 190m

空港舗装の構造設計

性能照査型設計法



舗装の構造設計における基本的事項

- 作用(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
 - 性能照査型
 - 仕様規定型
 - アスファルト: CBR法, ...
 - コンクリート: Westergaard式, ...

性能照査型設計法

- 照査項目：アスファルト舗装の疲労ひび割れの場合

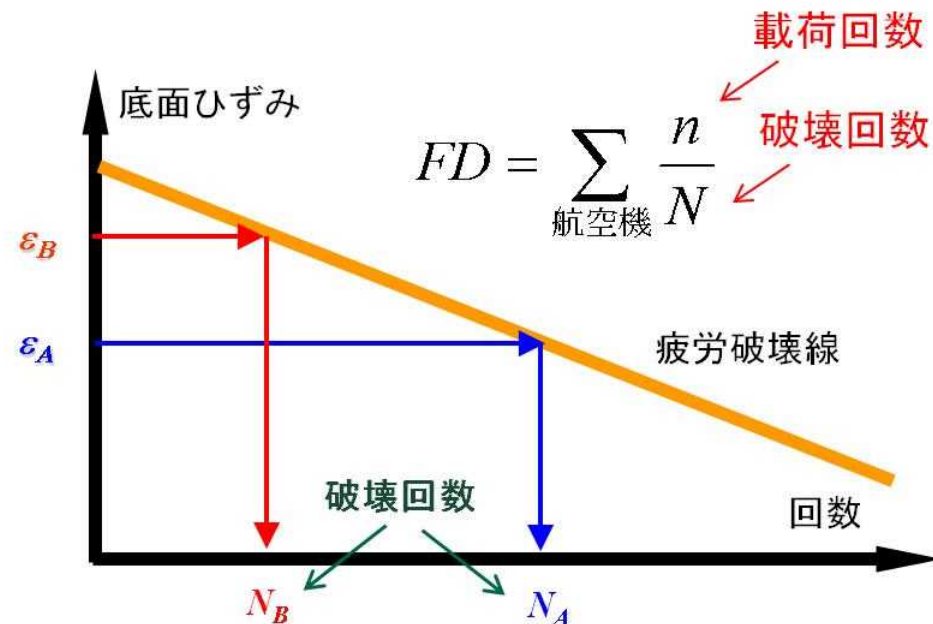
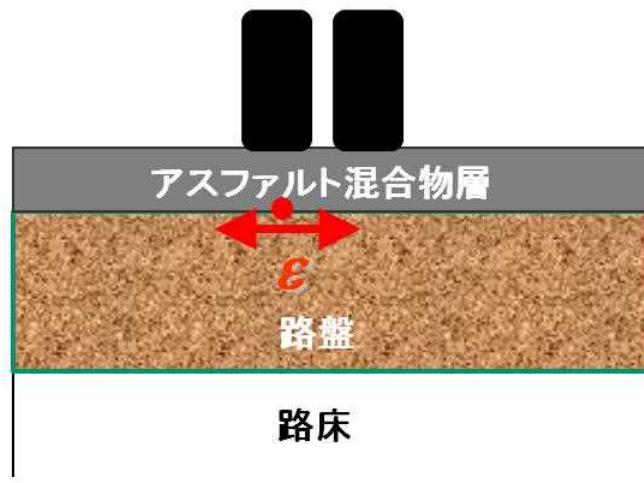
- アスファルト混合物層底面の疲労破壊を評価

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

- FD_d : 設計疲労度 (= 構造解析係数 $\gamma_a \times$ 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



仕様規定型設計法：アスファルト舗装

- 反復作用回数 5,000回

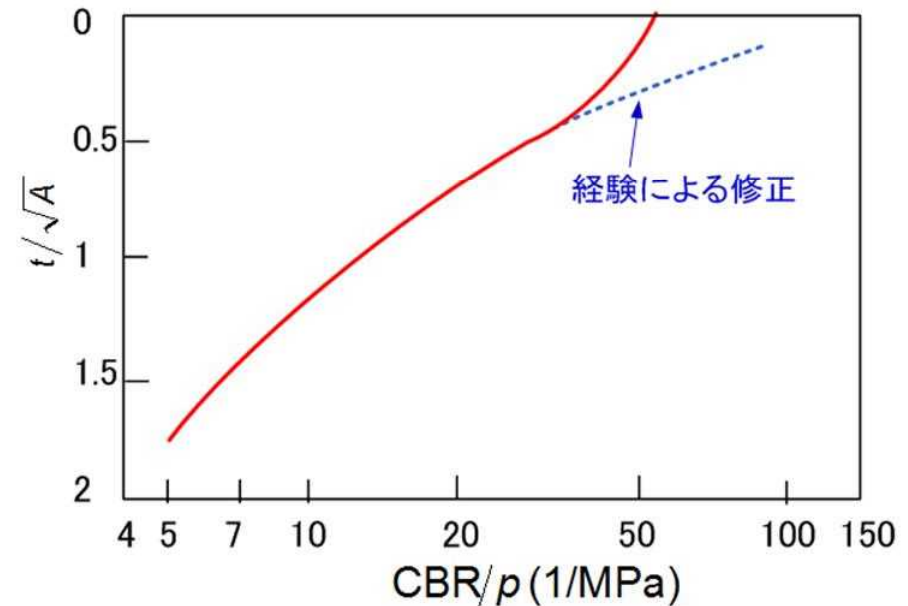
$$\frac{t}{\sqrt{A}} = \sqrt{\frac{1}{0.057 \frac{\text{CBR}}{p}} - \frac{1}{\pi}}$$

- 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

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

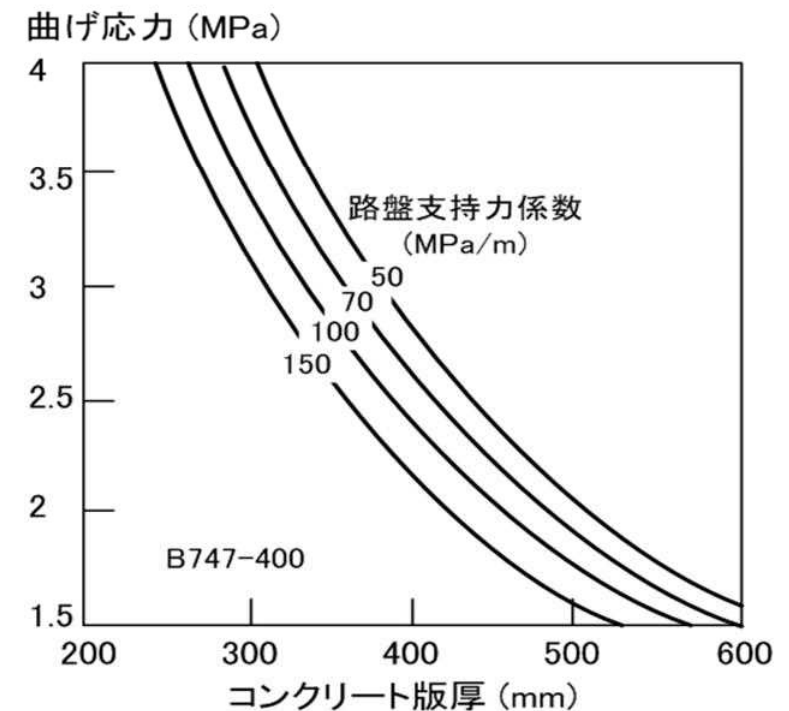
$$f = 0.23 \log C + 0.15$$



仕様規定型設計法：コンクリート舗装

- 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) (単位：cm)

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

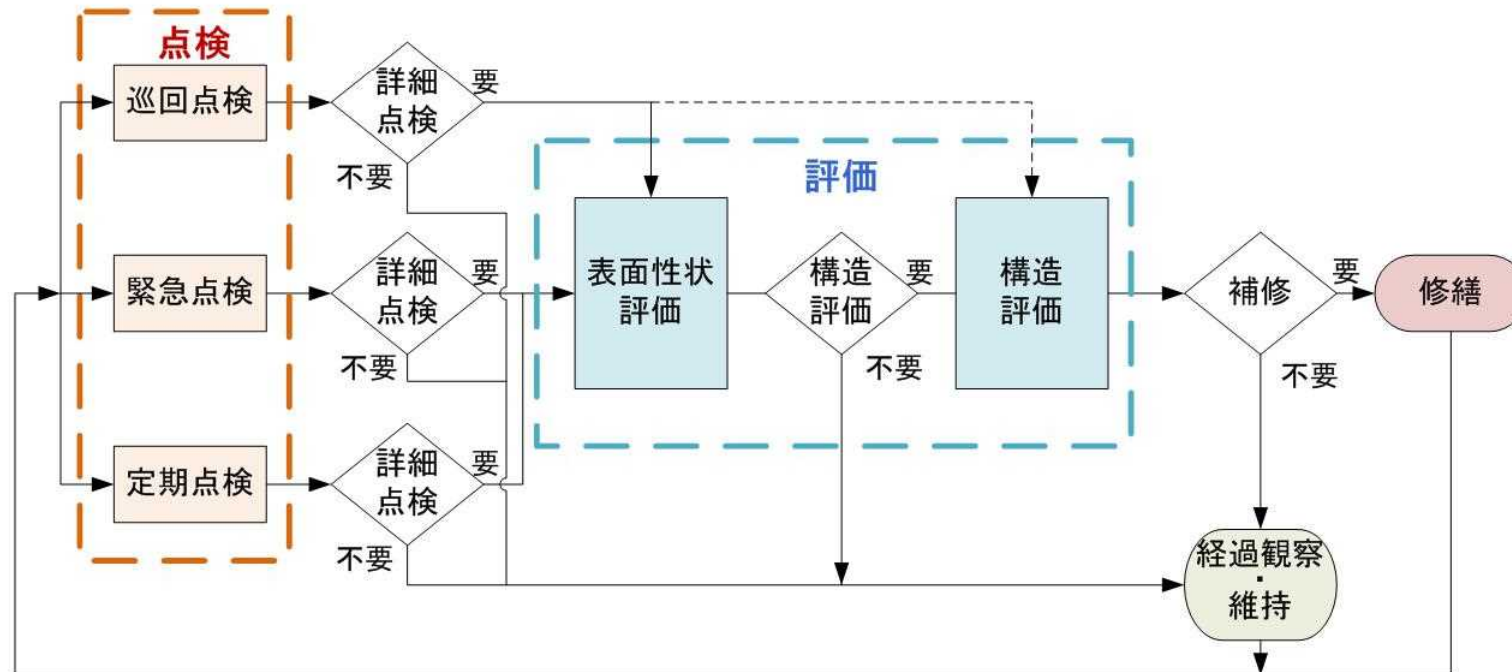


空港舗装の保全

空港舗装の保全システム

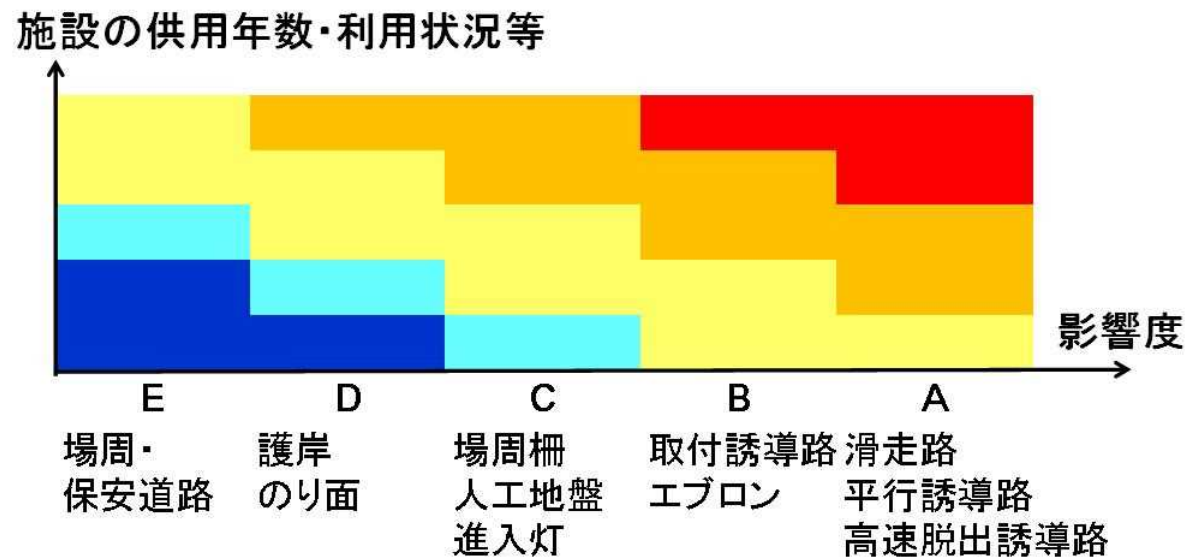
- 空港舗装の点検

- 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



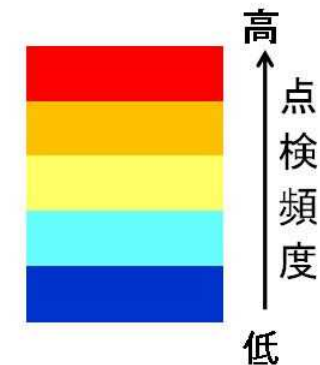
空港施設の点検頻度

－ 運航への影響に着目した点検頻度



注)

- A: 航空機事故・重大インシデントにつながる
- B: 航空機の運航に制限がかかる(影響大)
- C: 航空機の運航に制限がかかる(影響中)
- D: 航空機の運航に制限がかかる(影響小)
- E: 航空機の運航に制限はかからないが、
空港運用に影響が出る



各種点検方法

- 舗装破損状況
 - 路面性状測定車
- 構造状況
 - FWD
- 舗装内部状況
 - 赤外線カメラ