

東京国際空港新C滑走路の建設

秋元恵一¹・金澤 寛²・辻 安治³・平山義夫⁴・今井泰男⁵・稲田雅裕⁶

¹正会員 運輸省第二港湾建設局 東京空港工事事務所長 (〒144 東京都大田区羽田空港三丁目3-1)

²正会員 工修 運輸省第二港湾建設局 横浜調査設計事務所長 (〒231 横浜市中区北仲通5-57)

³正会員 工修 運輸省第二港湾建設局 工務第二課長 (〒231 横浜市中区北仲通5-57)

⁴運輸省第二港湾建設局 東京空港工事事務所次長 (〒144 東京都大田区羽田空港三丁目3-1)

⁵正会員 運輸省第二港湾建設局 東京空港工事事務所次長 (〒144 東京都大田区羽田空港三丁目3-1)

⁶正会員 工修 運輸省第二港湾建設局 横浜調査設計事務所第二設計室長 (〒231 横浜市中区北仲通5-57)

昭和59年度より運輸省第二港湾建設局が実施している「東京国際空港沖合展開事業」の中核プロジェクトの一つである「新C滑走路」は、計画どおり平成9年3月に供用を開始する予定である。

新C滑走路は、東京湾内の浚渫工事から発生したヘドロや東京都内から発生した建設残土が捨て込まれて形成された人工の超軟弱地盤上に建設されている。当該地区は埋立地盤の透水性の低さに起因して地下水位が高く、さらに残留沈下量も供用開始後50年で最大1.5m程度が予想される劣悪な環境下に置かれている。このため、設計段階から、特に高地下水対策および残留沈下を見込んだ検討を行ってきたものであり、本論文はこれら検討の概要と、設計、施工の成果について報告するものである。

Key Words : *airport, case history, design and construction, estimation of ground water level, field test, pavement for airport runway, settlement, soft ground*

1. はじめに

来る平成9年3月、首都圏の空の玄関口である東京国際空港（羽田空港）で待望の航空機発着枠増大が実現する。昭和59年度より運輸省第二港湾建設局が実施している「東京国際空港沖合展開事業」の目標である航空輸送能力の増大と騒音問題の解消の鍵を握る「新C滑走路」が完成し、計画どおり供用を開始するのである（写真-1）。

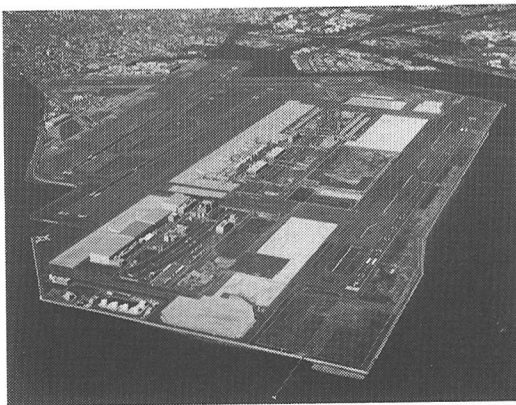


写真-1 東京国際空港全景

新C滑走路は、東京港内の浚渫工事から発生したヘドロや東京都内から発生した建設残土が捨て込まれて形成された人工の超軟弱地盤上に建設されている。当該地区は埋立地盤の透水性の低さに起因して地下水位が高く、さらに残留沈下量も供用開始後50年で最大1.5m程度が予想される劣悪な環境下に置かれている。また、航空輸送能力の早期向上のために1日も早い工事完成が要請された。このため、設計段階から、特に高地下水対策および残留沈下を見込んだ検討を行ってきたものであり、本論文ではこれら検討の概要と、設計、施工の成果について報告する。

2. 新C滑走路の役割と整備の概要

(1) 東京国際空港沖合展開事業について

「東京国際空港沖合展開事業」は、現空港（約408ha）に隣接して東京都により造成された羽田沖廃棄物埋立地に約1,100haの新空港を建設し、機能を沖合移転することにより、航空輸送能力の増大、アクセス等旅客利便性の向上および騒音問題の解消を図る事業である。本沖合展開計画は昭和58年に

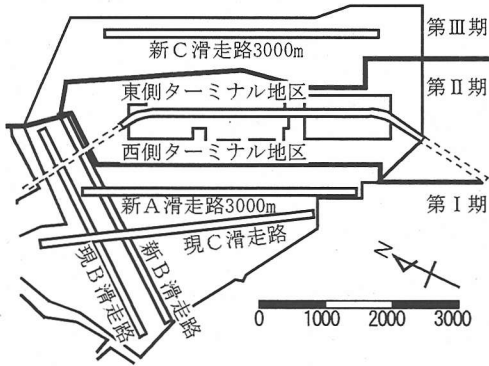


図-1 段階整備計画

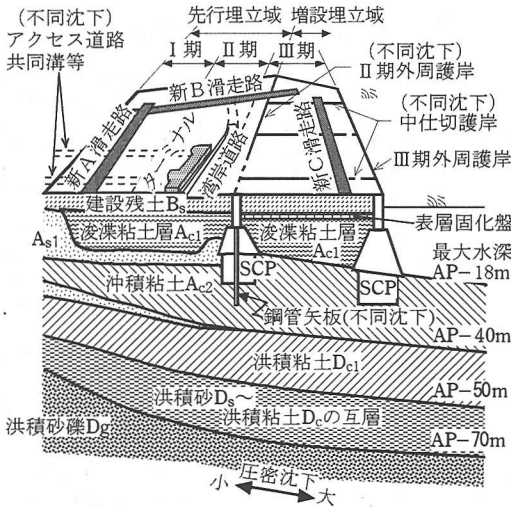
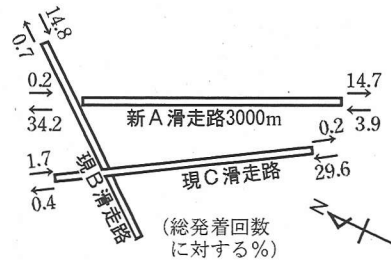


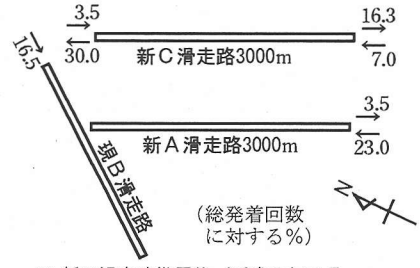
図-2 地盤模式図

決定され、三段階に分けて事業を進めることとされた(図-1)。第一期事業により建設された新A滑走路は昭和63年7月に供用開始、第二期事業による西側ターミナル地区も平成5年9月に供用開始となった。現在は新C滑走路や新B滑走路あるいは東側ターミナルなどの施設を新たに建設する最終の第三期事業を進めているところである。

当沖合展開計画用地である羽田沖廃棄物埋立地は、もともと軟弱な在来粘土層が30～40m堆積した原地盤上に、東京湾内の浚渫工事から発生したヘドロや東京都内から発生した建設残土が捨て込まれて形成された地盤である(図-2)。その当初含水比は250%にも及び、「マヨネーズ」とか「お汁粉」といった異名をとるほどの超軟弱地盤であった。このような地盤上に、極めて厳しい平坦性が求められる空港を建設するため、大規模な地盤改良工事を延べ11年あまりにわたって実施してきた。地盤改良工法はバーチカルドレーン工法を採用し、原地盤の施



(a) 現状(～平成9年3月)



(b) 新C滑走路供用後(平成9年3月～新B滑走路供用まで)

図-3 滑走路の利用比率

工履歴や後に建設される施設の要求精度などに応じてプラスチ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などを適切に使い分けている。これらドレーンの総施工延長は地球2周分にも及ぶ規模である。

(2) 新C滑走路の整備について

「新C滑走路」の整備は、沖合展開第三期事業の中核プロジェクトである。現状の羽田空港は新A滑走路、現C滑走路及び現B滑走路の3本の滑走路を有しており、その航空輸送処理能力は年間21万回である。沖合の埋立地に新C滑走路が完成すると、現C滑走路の機能を移転・拡充し、オープンパラレル配置にすることにより処理能力は年間23万回に増加し、併せて騒音源も沖合に移転される。図-3に現状および新C滑走路供用開始後の滑走路毎の利用比率を示す。年間処理能力の増加に伴い、1日約40便の航空機発着回数が増加することにより、羽田空港の発着枠が満杯であったために地方空港からの乗入れ要望に十分応えられていなかった状況が改善される効果がある。1日も早い状況改善が急務とされていたため、平成8年度末の供用開始が強く要望されていたものである。

新C滑走路は延長3,000m、幅60mの規模のアスファルト舗装であり、ボーイング747-400など大型ジェット機の国内線に対応した施設としては最大級

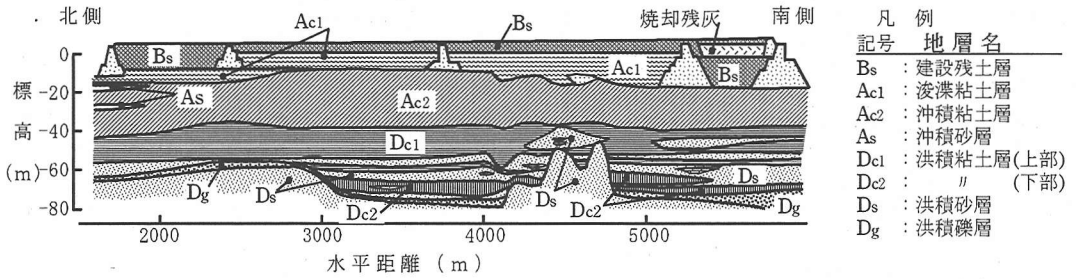


図-4 (1) 新C滑走路建設地盤の土層断面図

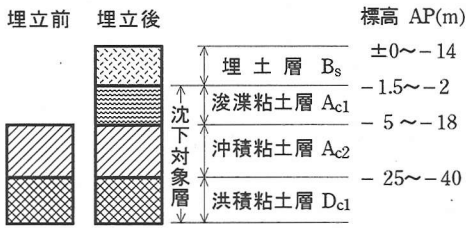


図-4 (2) 新C滑走路建設地盤の形成過程

表-1 新C滑走路建設地盤の土質特性

土質定数	Ac1層	Ac2層
湿潤密度 ρ (Mg/m ³)	1.2~1.5	1.4~1.7
自然含水比 w_n (%)	60~250	60~130
塑性限界 w_L (%)	50~140	60~120
塑性指数 I P	10~80	15~80
一軸圧縮強度 q_u (kN/m ²)	≒0	100~150
圧密係数 c_v (m ² /d)	0.001~0.01	0.01~0.08 ^{*1}
過圧密量 ^{*2} Δp_c (kN/m ²)	未圧密	0
圧縮指数 C_c	0.2~0.9	0.5~1.8

*1: 正規圧密領域における圧密係数

*2: 過圧密量=圧密降伏応力-有効土被り圧

の規模である。運輸省第二港湾建設局では平成4年度より調査設計，平成7年度から現地舗装工事に着手しており，平成8年夏までに用地造成，土工，舗装など一連の土木工事が終了する。その後，運輸省東京航空局により，航空灯火，無線施設等の工事，実機による試験飛行（フライトチェック）を経て，平成8年度末に供用を開始するものである。

3. 設計条件¹⁾

(1) 一般的な設計条件

滑走路など空港舗装の設計は「空港アスファルト舗装構造設計要領」に基づいて実施される^{2), 3)}。本要領における構造設計法はCBR法であるCE（米国陸軍工兵隊）法が採用されている。これは，比較的良好な地盤条件下での経験に基づき設定された舗装厚設計曲線を用い，支持力（CBR）と設計荷重により基準舗装厚を決定するという手順を踏む方法である。通常，設計年数は10年とされる⁴⁾。

路床支持力（設計CBR）は，現地に適用される予定であったシルト分を約10%含む山砂により30m×10m規模の試験路床を築造し，現場CBR試験を実施し，この結果に基づいて設計CBRは9%を採用した。

設計荷重は，設計対象機種をボーイング747-400（設計荷重区分：LA-1）とし，供用開始後の空港の運用条件を勘案した上で，設計反復作用回数

40,000回と決定した。

「空港アスファルト舗装構造設計要領」では，基準舗装の層構成を，表層・基層がアスファルトコンクリート，上層路盤が粒度調整碎石，下層路盤が粒状材から成るものとしており，以上の支持条件，荷重条件によると，同設計要領では基準舗装厚は1320mmとなる。

(2) 地盤の沈下予測^{5), 6)}

図-4は新C滑走路の建設用地となる沖合展開第三期地区の地盤の土層構成とその形成過程である。当該地区は最沖部に位置することから，原地盤の水深はAP-18mと比較的深く，表層には沖積粘土層Ac2層が20m程度堆積していた。その直上に軟弱な浚渫粘土が投入され，浚渫粘土層Ac1層が平均10m程度の厚さで形成された。その後昭和60年より建設残土の処分が行われ，表層に建設残土層Bs層が形成され，平成4年に埋立てが完了した。正規圧密状態であった沖積粘土層Ac2層の直上に大量の浚渫粘土層Ac1層と建設残土層Bs層が急速に形成された結果，埋立による圧密沈下が5~9mに及ぶほど大きなものとなることが予想された。表-1に圧密沈下対象層の主要な土質特性を示す。

当地区の地盤改良は，Ac1層およびAc2層両層に対応したサンドドレーン工法をAc1層対応のプラスチックボードドレーン工法で補間することにより，

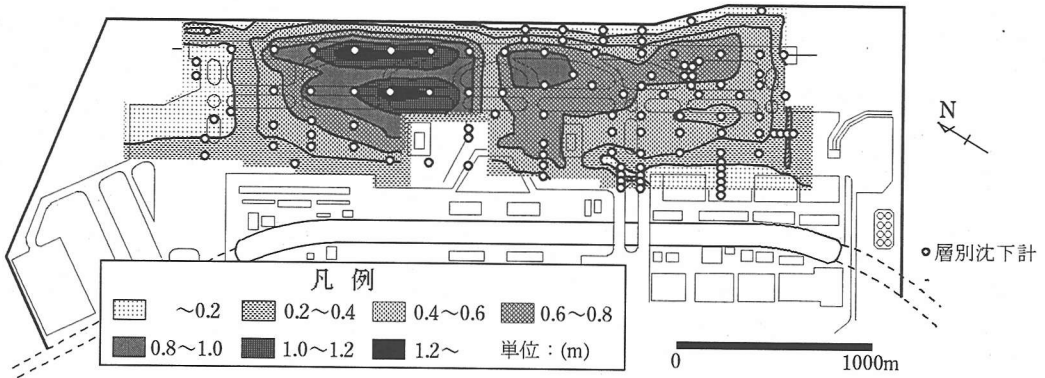


図-5 層別沈下計設置位置と施設供用開始後10年の残留沈下予測

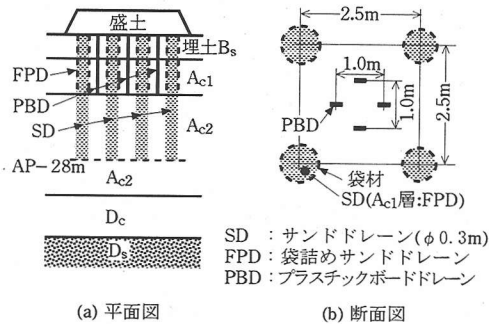


図-6 複合バーチカルドレーン

Ac1層とAc2層の圧密度のバランスをはかる「複合バーチカルドレーン」工法⁷⁾(図-6)とプレロード工法を併用することにより実施した。しかし、当地区は空港施設の制限表面の規制を受ける地区であり、地盤高から45m以上の高度には施工機械が出てはいけないという制限を受け、さらに急速施工が要請されたため、最大改良深度はAP-28mとなり、未改良層を残さざるを得ない状況となった。すなわち、施設供用後の残留沈下を許容せざるを得ない状況となったのである。

圧密計算は、バーチカルドレーンによる改良層についてはBarronの近似解をレジスタンスを考慮して修正した圧密遅れ解析^{8)・9)}、非改良層についてはサンドドレーン下端と下部沖積砂層を排水条件とした一次元圧密解析¹⁰⁾を行った。空港施設は供用後の平坦性や勾配に厳しい規定があるために、供用後の不同沈下予測の精度が重要となる。そこで、当工事では、層別沈下計を多数設置し計測データの蓄積を図り、土質性状の似通ったブロック毎に、逐次、実測沈下データに基づいて土質定数の見直しと修正の作業を行い、施工期間中および施設供用後の沈下

予測の精度向上を図った¹¹⁾。図-5に層別沈下計の設置位置と施設供用後10年の残留沈下予測結果を示す。これによると、施設供用後10年で最大1.3m程度、50年で最大1.5m程度の圧密沈下を生じることとなった。このため、沈下量分を事前に上げ越し施工することにより、縦断勾配0.8%以下という平坦性を確保できるような設計とすることにした。

(3) 地下水水位予測¹²⁾

将来の地下水水位を予測するための解析手順を図-7および図-8に示す。解析にあたっては先ず地盤の透水係数 k および貯留係数 S を把握する必要があり、現場において透水試験および揚水試験を実

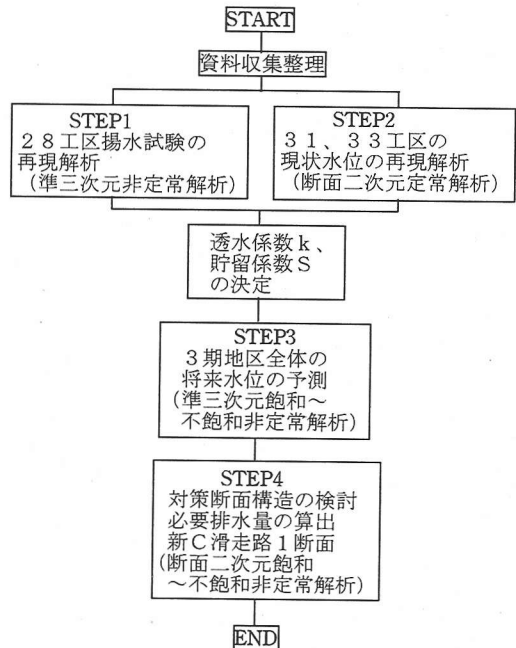


図-7 将来地下水水位予測フロー図

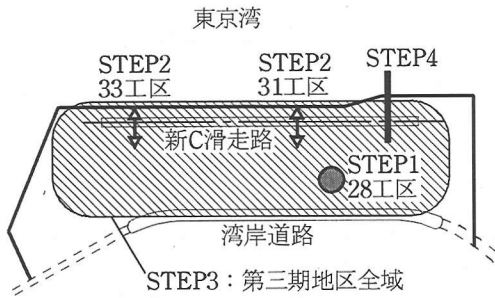


図-8 解析手順モデル図

表-2 地下水解析の定数

土層	現場透水試験結果		断面二次元 解析採用値
	範囲	平均	
上部盛土 (Bs1)	9.55×10^{-6} ~ 7.22×10^{-8}	2.19×10^{-6}	3.0×10^{-6}
サンドマット (Sa)	5.16×10^{-6} ~ 2.61×10^{-7}	1.87×10^{-6}	5.5×10^{-6}
下部盛土 (Bs2)	4.78×10^{-6} ~ 1.80×10^{-7}	1.14×10^{-6}	1.8×10^{-6}
盛砂・ 腹付砂	8.88×10^{-6} ~ 1.71×10^{-6}	4.47×10^{-6}	4.7×10^{-7}
裏込砂	2×10^{-3} 以上	2×10^{-3} 以上	2.0×10^{-3}
鉋さい	2×10^{-3} 以上	2×10^{-3} 以上	2.0×10^{-3}

施した。浚渫粘土層Ac1層は圧密途上であるため地下水供給源とし、その上層にある建設残土層Bs層および地盤改良のためのサンドマット層の透水定数を決定する。しかし、現場透水試験により得られた透水係数のばらつきが大きいため、現場揚水試験の結果をもとに準三次元非定常有限要素解析による逆解析を実施し、透水係数kおよび貯留係数Sを概略設定することとした。

次に、外周護岸から新C滑走路建設地点までの間で設定した2測線の水位観測結果をもとに、断面二次元飽和～不飽和定常有限要素法による再現解析を実施し、概略設定した透水係数kおよび貯留係数Sを修正し、沖合展開第三期地区全体の広域解析に使用する定数を決定した。再現解析の結果の一部を図-9に示す。この結果を受け、表-2に示す定数を採用することとした。地下水位が低下しにくいのは、建設残土層Bs層の透水係数が 10^{-6} m/sのオーダーと相当低いためと考えられる。また、サンドマット層も粘土による目詰まりなどのため、低い透水係数となっている。

最後に、沖合展開第三期地区全体の広域解析を準三次元非定常有限要素解析により実施し、新C滑走路地区の将来地下水位を予測した。要素分割に際し

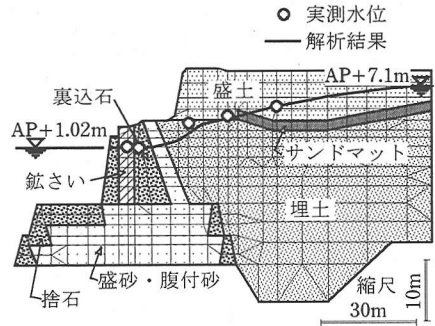


図-9 断面二次元有限要素再現解析結果

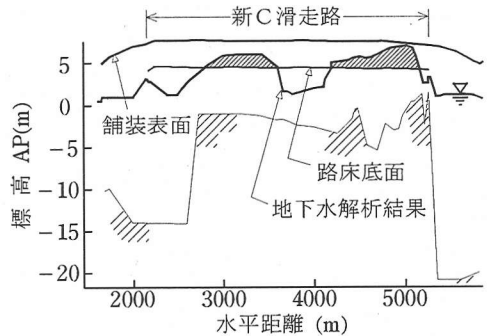


図-10 将来地下水位の予測結果 (供用後5年)

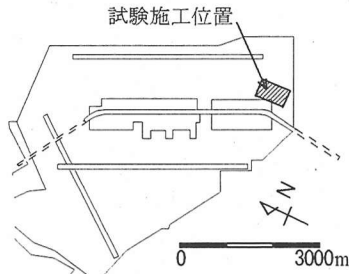
ては地上施設の形状、地盤改良区あるいは舗装工事区分などを考慮した。また、地下水供給条件としては現地観測から得られた降雨量、残留沈下量および舗装工事工程も考慮している。

図-10に滑走路供用開始より5年後の地下水位予測結果の一部を示すが、新C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することが判明した。

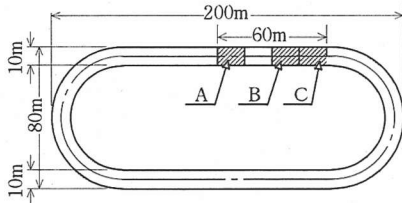
水で飽和された舗装は損傷を生じやすく、舗装破壊の原因となる。さらに工期の制約がある中で良好な施工性を確保する必要もあった。これらのことから、路床下部に排水層を設置し、舗装および路床全体への地下水の浸入を防ぐこととした。

(4) 設計方針

基本的には「空港アスファルト舗装構造設計要領」にもとづく標準設計とするが、予測される残留沈下に対しては事前に上げ越し施工することで対処すること、および高地下水位に対しては路床下部に排水層を設置して舗装体内への地下水の浸入を防ぐことを設計の基本方針とした。



(a) 試験位置図



- A: 標準舗装
- B: 路床に排水層を設置 (厚さ500mm)
- C: 路床に排水層を設置 (厚さ800mm)

(b) 試験走行路平面図

図-11 試験舗装ヤード

4. 舗装構造の安定性に関する検討

(1) 検討趣旨

高地下水対策として排水層を設置するが、この場合層全体としての構造的安定性を確認する必要がある。また、常時排水機能を有するように、目詰まりをしないかどうかの確認が必要であった。

以上を検討する目的で、現場試験舗装および室内試験を実施した。

(2) 試験舗装の概要

図-11に示すとおり、羽田空港沖合展開地区内に200m×80m規模の試験ヤードを確保し、12種類の試験断面を有する一周約460mのトラック状の試験舗装を施工した。この舗装上にボーイング747-400相当の脚荷重928kNを載荷できる原型走行荷重車を走行させることによって繰り返し載荷試験を実施した。走行回数0, 1,000回, 2,000回, 5,000回, 7,000回および10,000回の所定走行回数毎に、静的載荷試験、FWD (Falling Weight Deflectometer) 試験⁴⁾などを実施し、各断面の土圧、変位、舗装表面の変形等を計測し、標準断面との相对比较によって各断面の構造安定性を検討するものである。標準舗装の層構成を図-12に示すが、表層・基層はアスファルトコンクリート150mm厚、上層路盤はアスファルト安定処理150mm厚、下層路盤は切込砕石

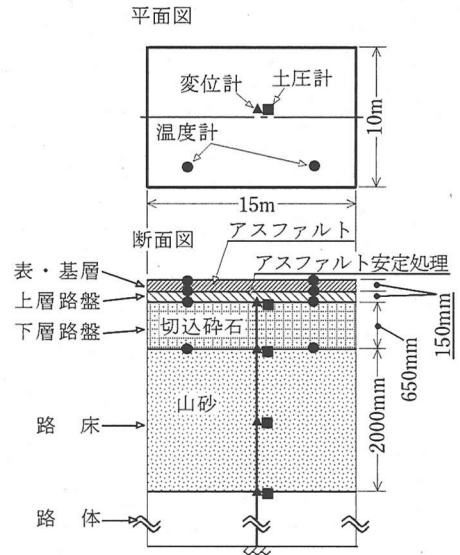


図-12 試験舗装の標準舗装断面および計器設置状況

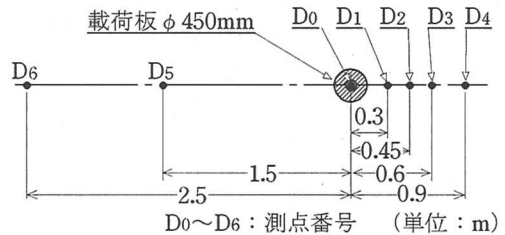


図-13 FWD試験のたわみ量測定位置

650mm厚および路床を2000mm厚の山砂としている。なお、静的載荷試験は設置計器上に原型走行荷重車を静止させた状態で各層の土圧、変位を計測するものであり、また、FWD試験は一般的に空港舗装の評価に用いられる最大載荷荷重200kNで、載荷板中心から0, 0.3m, 0.45m, 0.6m, 0.9m, 1.5mおよび2.5m離れた7点のたわみを計測する試験である(図-13)。

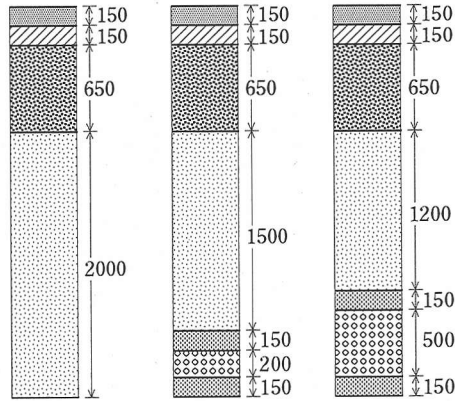
本試験舗装は様々な検討の観点から12断面を施工したものであるが、本論においては今回の趣旨に合致するものに関する試験結果、すなわち、路床に排水層を設置した断面と標準舗装断面の比較について記述する。

(3) 排水層の適用性に関する検討¹³⁾

a) 試験舗装走行試験結果

試験舗装において路床排水層を設けた断面は、図-14に示すとおり、排水層厚500mmと800mmの2断面である。排水層厚500mmの場合、200mm

(A) 標準断面 (B) 排水層500mm (C) 排水層800mm



■ アスファルトコンクリート ▨ アスファルト安定処理 ▩ 切込碎石
 ▨ 山砂 ▨ リサイクル材 ▨ 単粒度碎石

図-1-4 排水層の適用性の確認のための試験断面

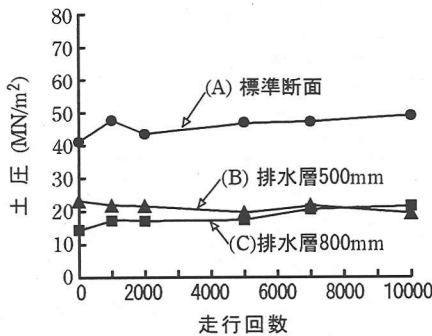


図-1-5 路床最下端土圧の経時変化(静的載荷試験)

厚の単粒度碎石による通水層の上下を150mm厚のフィルター層ではさんだ構成であり、排水層厚800mmの場合、通水層厚が500mmである。これらの排水層はいずれも路床の一部として評価できるものと仮定して、層構成を設計している。

図-1-5に静的載荷試験より得られた路床最下端(排水層下端)における土圧の走行試験回数毎の経時変化、図-1-6にFWD試験より得られた最大たわみ量の走行試験回数毎の経時変化を示す。標準舗装断面と比較して、排水層設置断面の方が、土圧、たわみとも軽減されている。これは路床下部に山砂よりも剛性の高い碎石層を設置したことによっていると考えられる。なお、排水層の厚さの差による有意差はなく、その影響は極めて軽微であった。

さらに、表面の変形や試験終了後の解体調査においても標準舗装と比べて差がないことも確認され、路床排水層は舗装の構造安定性を阻害しないことが確認できた。

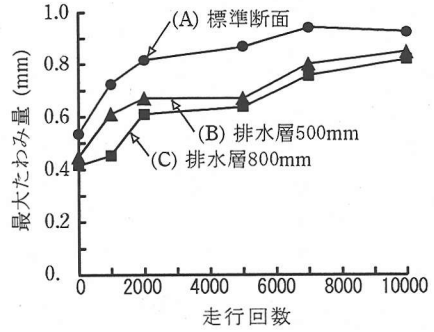


図-1-6 最大たわみ量の経時変化(FWD試験)

弾性係数(MN/m ²)	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
アスファルトコンクリート				
アスファルト安定処理	20,000	10,000	6,000	10,000
下層路盤(切込碎石)	2,000	1,000	600	600
路床(山砂)	1,000	500	300	500

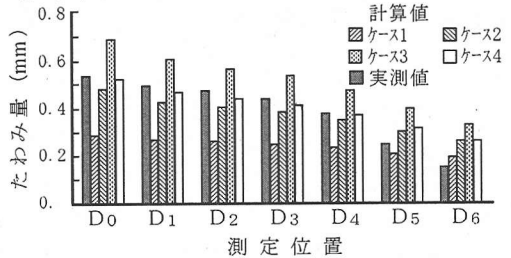


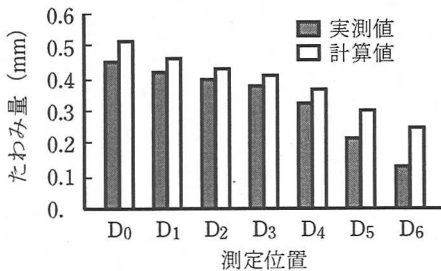
図-1-7 BISARによる解析値と実測値との比較(標準断面)

b) 解析結果

FWD試験より得られたたわみ量を用いて各層の弾性係数Eの推定を行った。解析には多層弾性理論による構造解析プログラムBISARを使用し、標準舗装断面の走行回数0回時の表面たわみ量実測値と比較的によく一致する各層の弾性係数Eを試行計算により求めた。

図-1-7に試行計算の結果を示す。ケース4の弾性係数の組合せが実測値と比較的によく一致している。ここで、アスファルト層の弾性係数Eは10,000MN/m²となるが、これはコンクリートの弾性係数に近い値である。下層路盤の切込碎石層および路床の山砂層も一般に言われる弾性係数の3~5倍であり、FWD試験データをもとにした試行計算による定数設定の困難さが判る。ただし、アスファルト層の弾性係数は温度によってはかなり幅があると言われており、厳寒期(1月)の試験により得られた実測値であることを考えるとこの程度の弾性係数は考えられる範囲にあるものと推察される。

ケース4の設定値により、路床排水層80cm設置断面(図-1-4の断面B)の排水層の弾性係数Eを



計算における設定弾性係数 E (MN/m^2)
 アスファルト層: 10,000、下層路盤切込砕石: 600
 路床山砂: 500、路床排水層: 600

図-18 路床排水層の弾性係数 E の逆解析

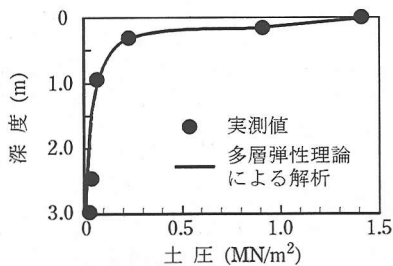


図-19 排水層設置断面 (B断面) の土圧解析結果

$600\text{MN}/\text{m}^2$ として計算した結果が図-18であるが、実測たわみ量と比較的合っていると見える。この定数条件で、深度方向の土圧を計算し、実測値と比較したものが図-19である。計算値と実測値はよく一致しており、BISARを用いて解析する上では、今回設定した弾性係数の設定による構造解析が可能であること、また、路床排水層の弾性係数は路床山砂よりも若干大きいことがわかった。

c) 目詰まりに関する室内試験結果¹⁴⁾

排水層を構成する単粒度砕石 (通水層) およびコンクリートリサイクル材 (フィルタ層) は、前者で透水係数 $10^{-3} \sim 10^{-1} \text{ m/s}$ 程度、後者で透水係数 10^{-4} m/s 程度と個々には良好な透水性を示すが、排水層上部の路床山砂あるいは舗装を取り囲む路体建設残土がフィルタ層に流入することによる目詰まりが懸念された。フィルタ層が目詰まりすると良好な透水性の確保が困難となり、排水機能を阻害することとなるため、室内模型試験により目詰まりの状況および透水性について確認試験を実施した。

室内試験の概要は図-20に示すが、上から山砂 550mm 厚、コンクリートリサイクル材 (フィルタ層) 250mm 厚、単粒度砕石 200mm 厚の3層からなる土層模型を作成し、動水勾配1で上部より給水、下部より排水させ、排水層への山砂の混入具合を確認するとともに、透水係数の経時変化を調べた。

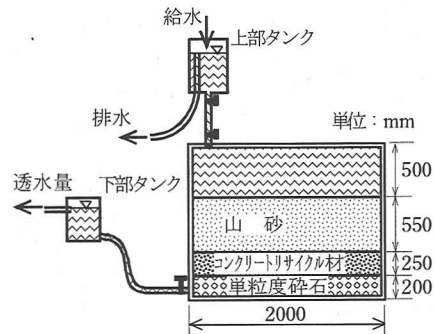
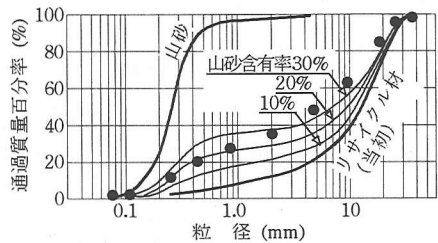
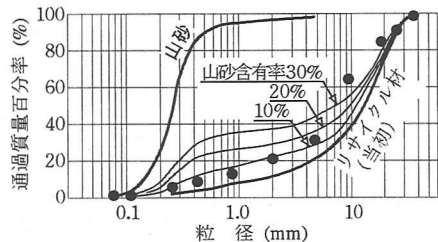


図-20 目詰まりに関する室内試験の概要



(a) フィルタ層上部 (山砂層下端より0~50mm)



(b) フィルタ層下部 (山砂層下端より150~200mm)

● 試験後の供試体の粒度分布
 — 山砂とリサイクル材混合体の計算上の粒度分布

図-21 粒度分布

図-21は山砂の混入率をまとめたものである。試験前のコンクリートリサイクル材の粒度分布曲線が試験後にどのように変化するかを示している。粒径の大きい範囲での変化は試験土層の転圧によるものと判断され、粒径の小さい範囲が山砂の混入による変化と見なすことができる。参考までに山砂の粒度分布曲線も示しており、図中の細線はこの山砂がコンクリートリサイクル材に10、20および30%混入した場合の計算曲線である。コンクリートリサイクル材と山砂の接するフィルタ層上部では山砂の混入が比較的多かったが、下部にいくにしたがって混入率が低下する結果を得た。また図-22に土層全体の透水係数の経時変化を示すが、透水係数は試験開始後徐々に低下するが概ね100時間の経過時間を過ぎたところから $1.0 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ 程度で一定値と

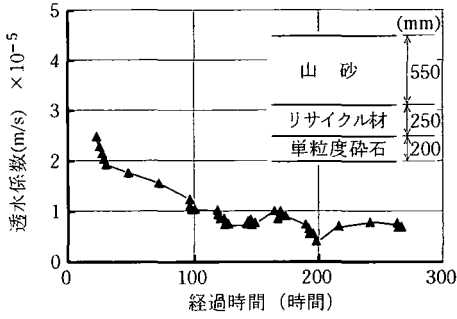


図-2 2 透水係数の経時変化

なった。これらより、山砂混入による目詰まりは初期的にフィルタ層と山砂層の接する部分で起こるが、一定時間後には収束するものと考えられ、排水層の機能は長期的にも確保できるものと判断した。

5. 設計

(1) 舗装構造

舗装構造は、「空港アスファルト舗装構造設計要領」に従い、路床支持力および設計荷重により層厚を定める標準設計を基本として、図-2 3のとおり決定した。路床支持力および設計荷重により、表層は厚さ 50mm の密粒アスファルトコンクリート、基層は厚さ 120mm の 2 層仕上げ（1 層 60mm）の粗粒アスファルトコンクリートである。表層には雨天時の表面排水性を確保し、滑り抵抗性を増加させるためのグルーピング（溝切り）を舗装完了後に施すため、標準厚より 10mm 厚くしている。上層路盤は粒度調整碎石を用いた場合の標準厚であれば 300mm となるが、マーシャル安定度 5kN（突固め回数 75 回）以上のアスファルト安定処理としたため、等価値 2.0 と評価できることから¹⁵⁾、厚さ 150mm とした。下層路盤は厚さ 860mm（＝標準厚 1320mm－表層および基層厚 160mm－上層路盤厚 300mm）の切込碎石である。

路床は標準どおり 2000mm の厚さとし、そのうち下部には 850mm 厚の排水層を設置している。前述の現場試験舗装の結果、排水層は路床の一部として評価することが可能であったためであり、排水層厚さは目詰まりに対する安全性および施工性を考慮して決定した。排水層は、粒径 20～40mm の単粒度碎石により構成される厚さ 500mm の通水層を、粒径 0～40mm のコンクリートリサイクル材（RC-40）を用いたフィルタ層によりサンドイッチし、さらに舗装全体をフィルタ層で包み込む構造とした。これ

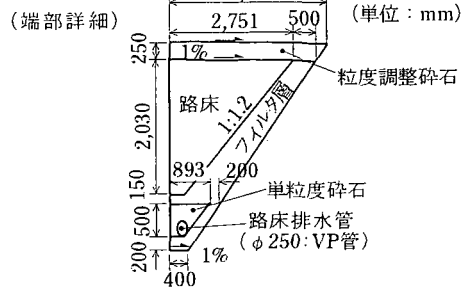
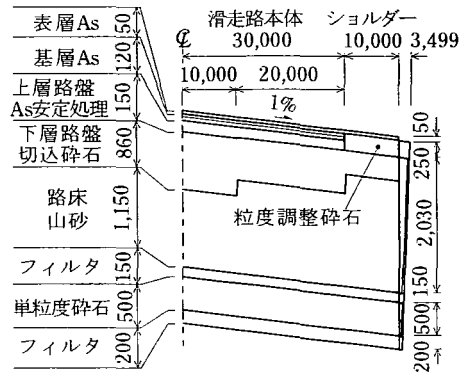


図-2 3 新C滑走路の舗装断面

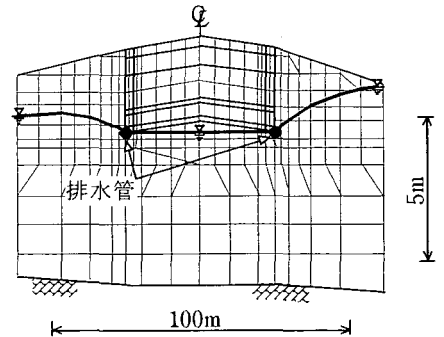


図-2 4 路床排水層の効果に関する FEM 解析結果

は、側方からの地下水の浸入を防止するためである。通水層の両側面下端に内径 250mm の塩化ビニール製の有孔管を配置している。舗装周辺の地下水は、透水性の良好なフィルタ層を通じて、通水層に集められ、有孔管を通して空港場外に自然流下方式で排水されることになる。

(2) 路床排水層の効果

前述の断面二次元飽和～不飽和定常有限要素解析により、路床排水層の効果をシミュレーションした結果を図-2 4 に示すが、最終定常状態において地下水の舗装体内への浸入が抑制されることがわかる。この解析では排水管位置の圧力水頭を 0 としており、この時の排水流量は奥行き 100m あたり 5.70～8.80

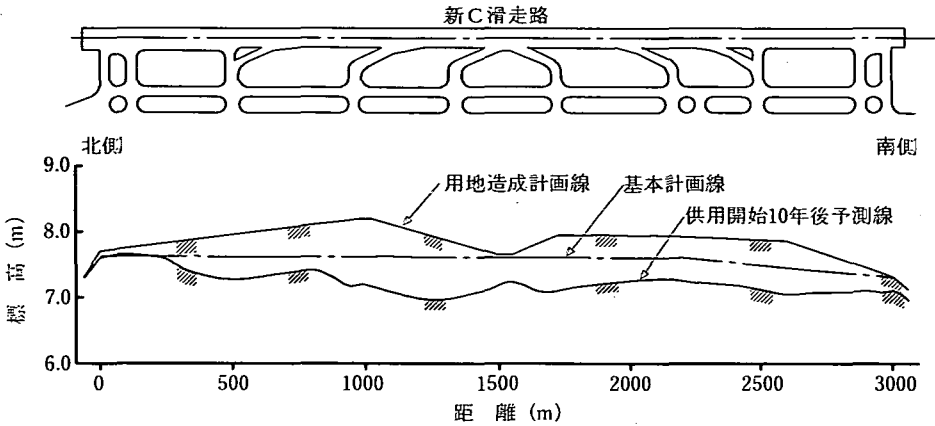


図-25 新C滑走路の縦断線形

$\times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ である。設計では、排水管に内径250mmの有孔管を敷設勾配最低0.1%で設置することとしており、この条件で延長100mあたりの許容流量は $1.88 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ となることから、十分排水が可能と判断している。

(3) 縦断線形

縦断線形は図-2.5のとおり決定した。施設供用後の大規模なオーバーレイを防ぐために、供用開始後10年間の予測沈下量分を上げ越し施工するように基本計画線を定めている。滑走路の縦断線形に関する設計基準³⁾としては、滑走路末端から滑走路長の4分の1以下の距離にある部分、すなわち新C滑走路の場合、両端750m区間は縦断勾配0.8%以下、それ以外の中間部は1%以下としなければならないとされている。さらに勾配変化点における2つの勾配差は1.5%以下とし、勾配変化点の間隔も十分とらなければならないこと、あるいは路面上3mの高さから滑走路長の半分の長さにわたり路面上3mの他の点が見えるような視距を確保することなどの規定がある。これらの条件を全て満足できるように最適な基本計画線を定めたものである。なお、路床排水層に敷設した有孔管の排水勾配の常時確保についても十分配慮したものとなっている。

6. 施工¹⁶⁾

新C滑走路の施工は平成7年度より着手し、土工、舗装工合わせて延べ約20ヶ月の舗装工事期間を予定した。概略の工程を図-26に示す。

工種	平成7年				平成8年			
	4	6	8	10	12	2	4	6
準備工	[Bar from 4 to 10]							
土工	[Bar from 4 to 12]							
滑走路舗装	[Bar from 6 to 12]							
誘導路舗装	[Bar from 8 to 12]							
ショルダー舗装	[Bar from 10 to 12]							
保安道路	[Bar from 12 to 18]							
排水工	[Bar from 6 to 12]							
整地工	[Bar from 12 to 18]							
仮設工	[Bar from 4 to 10]							

図-26 舗装工程

(1) 土工

路床置換部の掘削施工にはバックホウ(0.6~1.2 m^3 級)、湿地ブルドーザ(21t級)およびダンプトラック(11t)が使用された。この際、掘削底面より地下水位が高く、トラフィカビリティの確保が困難であったため、ウェルポイント工法を併用して対処した。

路床排水層の施工は、先ず排水層下部のフィルタ層(200mm厚)となるコンクリートリサイクル材をブルドーザで敷きならし、タイヤローラで転圧した。次に通水層(500mm厚)は3層仕上げとし、有効管敷設後、単粒度砕石をブルドーザで敷きならし、転圧した。その上層に再度フィルタ層(150mm厚)を下部同様施工した。舗装を包み込むことになる側面のフィルタ層は、仕上がりで1:1.2という比較的きつい法面勾配であったが、法丁張り設置後にバックホウ(0.7 m^3 級)で所定位置に仕上げ、法面バケットで整形することで支障なく施工できた。

(2) 路床工

路床排水層の上部に、山砂による路床(1150mm

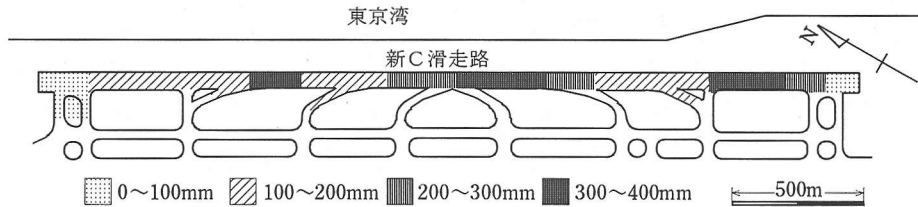


図-27 下層路盤の上げ越し修正量

厚)を築造したが、これは1層仕上がり厚 200mm 以下で層毎に密度測定を実施・管理したほか、最終仕上げ面については全域においてブルーローリングを実施した。事前の排水層施工が功を奏し、トラフィカビリティの確保が可能となり施工の円滑化が図られた。

(3) 粒状路盤工

切込碎石による下層路盤(860mm厚)は、1層仕上がり厚 200mm 以下となるように敷きならし、軽く転圧した後、モータグレーダで不陸を整形し、所定の締固め度が得られるようローラー転圧を実施した。最終仕上げ面では全域においてブルーローリングを実施した。その後、アスファルト乳剤(PK-3)を $0.8/m^2$ 以上散布してプライムコートを施した。

(4) アスファルト混合物の施工

上層路盤以上はアスファルト敷設工となり、中央プラント加熱混合方式(バッチ処理プラント)で製造されたアスファルトコンクリートを用いて施工した。空港舗装用アスファルトは、道路舗装用に比べて高品質な合材が求められるが、一度に大量に使用するため、多数の市中プラントからの寄せ集めとなる。したがって、各々のプラントから現場に搬入される合材についてマーシャル安定度および密度といった品質の管理を徹底した。また、現場施工においては温度管理も徹底した。

施工は、アスファルトフィニッシャによりアスファルト混合物を敷きならした後、初期転圧はマカダムローラー(11~14t)あるいはタンデムローラー(8t)などのロードローラーを使用し、二次転圧にはタイヤローラー(10~25t)、仕上げ転圧に再度ロードローラーを使用した。なお、表層と基層、基層間あるいは基層と上層路盤の間にはアスファルト乳剤(PK-4)を $0.2\sim 0.3/m^2$ 散布してタックコートを実施している。タックコートの養生時間は1日とし、十分な養生を行った。

(5) 残留沈下に対応した施工管理

施工上の特殊要件として、施工中も刻々と沈下が進行するため、設計厚を確保するためおよび工区境界で施工時期の違いにより生じる段差を修正するための施工管理の工夫が挙げられる。まず、施工期間中の予測沈下量に基づいて工区毎に路床底面の上げ越し高を設定した。さらに、路床底面に沈下板を多数設置し、実測沈下量と設計時の予測沈下量とを定期的に対比する施工管理を行った。沈下板は、横断方向は滑走路中心および滑走路両端、縦断方向は40m間隔で設置した。各層とも厚さで管理して設計厚を確保することとしたが、下層路盤施工後に実測値と予測値の比較結果から沈下の大きい部分についてはさらに上げ越し修正を行った。図-27に上げ越し量を示す。結果として大きいところでは380mm程度の上げ越しを行ったが、実測値と予測値の乖離量は全域の平均で200mm程度であった。また、上げ越し量の異なる工区境界部では50~100m程度の範囲ですりつけを行った。実測値と予測値の乖離の原因は、施工時より路床排水層が機能したことや例年になく小雨であったことなどに起因して、地下水位が予測時の想定よりも実際には低かったため、圧密荷重が大きくなったことなどが考えられる。したがって、施工時に沈下が大きかった分滑走路供用後の残留沈下量は減少するが、一方で下層路盤を上げ越した分の圧密荷重の増加もあるため、結果として当初予測より全体沈下量は増加するもの、供用後の残留沈下量には大きな変化はないものと考えている。すなわち、舗装表面勾配や敷設管路の排水勾配など縦断線形に関する設計思想は担保されている。

7. おわりに

本論文で述べたことをまとめると次のとおりである。

- 新C滑走路は高地下水水位対策として、舗装および路床をフィルタ層で取囲み、路床下部に排水層

を設置した構造である。この構造により、舗装体への地下水の浸入を阻止することができ、舗装の劣化を防ぐことが可能となる。

- b) 路床下部の排水層は、構造上路床の一部として評価できる。また、多層弾性理論によりその挙動はシミュレーションが可能である。
- c) 路床排水層は施工中においても排水効果を発揮したため、施工性の向上に役立った。
- d) 施設供用後も残留沈下が継続するため、施工時に事前の上げ越しを行う縦断設計とした。
- e) 施工中も残留沈下が進行するため、沈下計測を密に実施し、さらに下層路盤の上げ越し修正を行うことにより設計上の層厚および計画高を確保し、舗装構造の安全性を担保した。

新C滑走路はいよいよ平成9年3月に供用を開始するが、施設供用後も排水効果を常時十分有しているか、また滑走路部の地下水位低下に伴い周辺との比較において残留沈下挙動がどのように変化するかなどを注視する目的で、今後も十分な動態観測を実施していくこととしている。

謝辞：本滑走路の調査、設計にあたっては（財）沿岸開発技術研究センターに「東京国際空港舗装構造研究委員会（委員長：菅原照雄北海道大学名誉教授）」を設置して検討してきた。また、調査ならびに施工法に関して、運輸省港湾技術研究所土質部の八谷好高滑走路研究室長のご指導ご協力を得た。さらに、原稿調整にあたり復建調査設計（株）横浜事務所長中ノ堂裕文氏にご協力を頂いた。

新C滑走路の予定どおりの完成にあたり、これまでの調査、設計、施工に関与された多くの皆様方に厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 伊藤和央，稲田雅裕，児玉道久：東京国際空港新C滑走路の設計について，第22回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集，pp.506～507，1995.3.
- 2) 運輸省航空局：空港アスファルト舗装構造設計要領，（財）航空振興財団，1990.
- 3) 運輸省航空局：空港土木施設設計基準，（財）航空振興財団，1989.

- 4) （社）土木学会：舗装工学，（社）土木学会，1995.1.
- 5) 塩見雅樹，金沢寛，稲田雅裕，福田直三：超軟弱地盤上の空港建設における地盤改良の計画と実際，土木学会論文集，No.546/VI-32，pp.23～37，1996.9.
- 6) 秋本恵一，今井泰男，青島豊一，川越淳：羽田空港沖合展開Ⅲ期における地盤改良設計と施工，基礎工，Vol.24，No.7，pp.48-54，1996.
- 7) 丸山隆英，川上泰司，渡辺和重，中ノ堂裕文，今岡靖，補間ドレーンを併用したバーチカルドレーンによる圧密過程，第27回土質工学研究発表会，pp.2181～2184，1992.6.
- 8) 吉国洋，バーチカルドレーンの設計と施工管理，pp.40～69，技報堂，1979.9.
- 9) 丸山隆英，川上泰司，渡辺和重，中ノ堂裕文，羽田沖合展開（第2期）地盤改良におけるウェルレジスタンスとマットレジスタンスの解析，土木学会第46回年次学術講演会講演概要集第3部，pp.702～703，1991.9.
- 10) 常陸壯介，山本浩，池田直太，及川研，中ノ堂裕文，未貫通バーチカルドレーンによる圧密，第29回土質工学研究発表会，pp.2107～2110，1994.6.
- 11) 常陸壯介，塩見雅樹，伊藤和央，池田直太，中ノ堂裕文，今岡靖，東京国際空港沖合展開事業（Ⅲ期地区）地盤改良工事における情報化施工管理について，第39回土質工学シンポジウム，pp.103～110，1994.11.
- 12) 塩見雅樹，金澤寛，西村大司，梅野修一，田尻宣夫，菅野雄一：滑走路舗装構造のための地下水解析事例，土木学会第50回年次学術講演会講演概要集第6部，pp.66～67，1995.9.
- 13) 塩見雅樹，金澤寛，稲田雅裕，寺田俊明，橋本和明：排水層を設けた空港舗装の現地試験と舗装設計，土木学会第50回年次学術講演会講演概要集第3部，pp.774～775，1995.9.
- 14) 常陸壯介，塩見雅樹，山本浩，池田直太，梅野修一，山崎浩之，小倉咲人：砂-砂礫系の目詰まり特性について，土木学会第49回年次学術講演会講演概要集第3部，pp.1418～1419，1994.9.
- 15) （社）日本道路協会：アスファルト舗装要綱，（社）日本道路協会，1992.12.
- 16) 運輸省航空局：空港土木工事共通仕様書，（財）航空振興財団，1993.3.

(1996.7.30 受付)

CONSTRUCTION OF TOKYO INTERNATIONAL AIRPORT NEW C-RUNWAY

Keiichi AKIMOTO, Hiroshi KANAZAWA, Yasuharu TSUJI,
Yoshio HIRAYAMA, Yasuo IMAI and Masahiro INADA

Second District Port Construction Bureau, Ministry of Transport has been working on the Tokyo International Airport Offshore Expansion Project since 1984 to expand and move the airport facilities onto an offshore waste-filled island. The New C-runway, the main facility of the airport, is expected to complete in March 1997. The construction site was extremely soft ground that had been reclaimed with dredged soil and construction wastes. It appears that the underground water will remain high level in the future, and also it is expected that the maximum residual settlement 50 years after will amount to 1.5m. To cope with these problems, we made a fully worked-out design and construction works for this runway.