

航空機荷重を考慮した合成床版桁橋梁の設計について

関東地方整備局 東京空港整備事務所 設計課

静野 寿昭

キーワード: 橋梁, 合成床版桁, 誘導路

1. 概要

東京国際空港では国内の航空需要に対応するため、現在、再拡張事業としてD滑走路が建設されている。この再拡張事業によって、空港容量の拡大や国際線ターミナル地区の展開等が行われ、航空機の円滑な地上走行と定時制確保のため、A滑走路西側平行誘導路を複線化する誘導路が計画された。(写真-1)

本報告は、国際線地区に新設されるA滑走路西側平行誘導路の複線化に伴う空港アクセス道路を横断するための誘導路橋梁について紹介する。



写真-1 設計対象箇所

2. 橋梁構造の特徴

2-1 主な設計条件

表-1 主な設計条件

条件項目	基本設計条件
設計供用期間	施設供用開始後100年間
活荷重	航空機荷重 A380クラスとA-0荷重のうち、構造物に対して最も危険な荷重
地震条件	<ul style="list-style-type: none"> ・レベル1地震動: 最大基盤加速度3 6gal (補正最大基盤加速度4 9gal)、 地震波形: 八戸波・大船渡波 ・レベル2地震動: 最大基盤加速度3 9gal (補正最大基盤加速度4 6gal)、 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。 ・レベル2地震動: シナリオ波(想定南関東地震) 最大基盤加速度4 7gal、地震波形: 羽田7.9EW 最大基盤加速度4 8gal、地震波形: 羽田7.9NS 最大基盤加速度3 2gal、地震波形: 羽田7.9UD
地盤条件	土層断面図のとおり

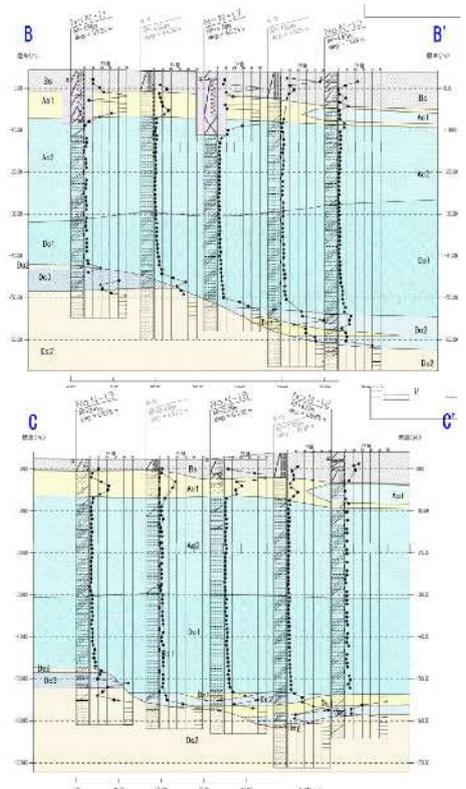


図-1 土層断面図

2-2 橋梁構造の諸元

誘導路橋は図-2に示すように橋長 43.0m、幅 63.0m、支間長 41.5m、上部工形式は単純合成床版橋、桁高 1.89m(最大)、下部工は逆T式橋台、鋼管杭 80鋼管杭中掘工法とした。橋梁を挟んだアプローチ部は軽量混合処理土(SGM)および発泡スチロール土木工法(EPS)による軽量盛土置換工を採用した。

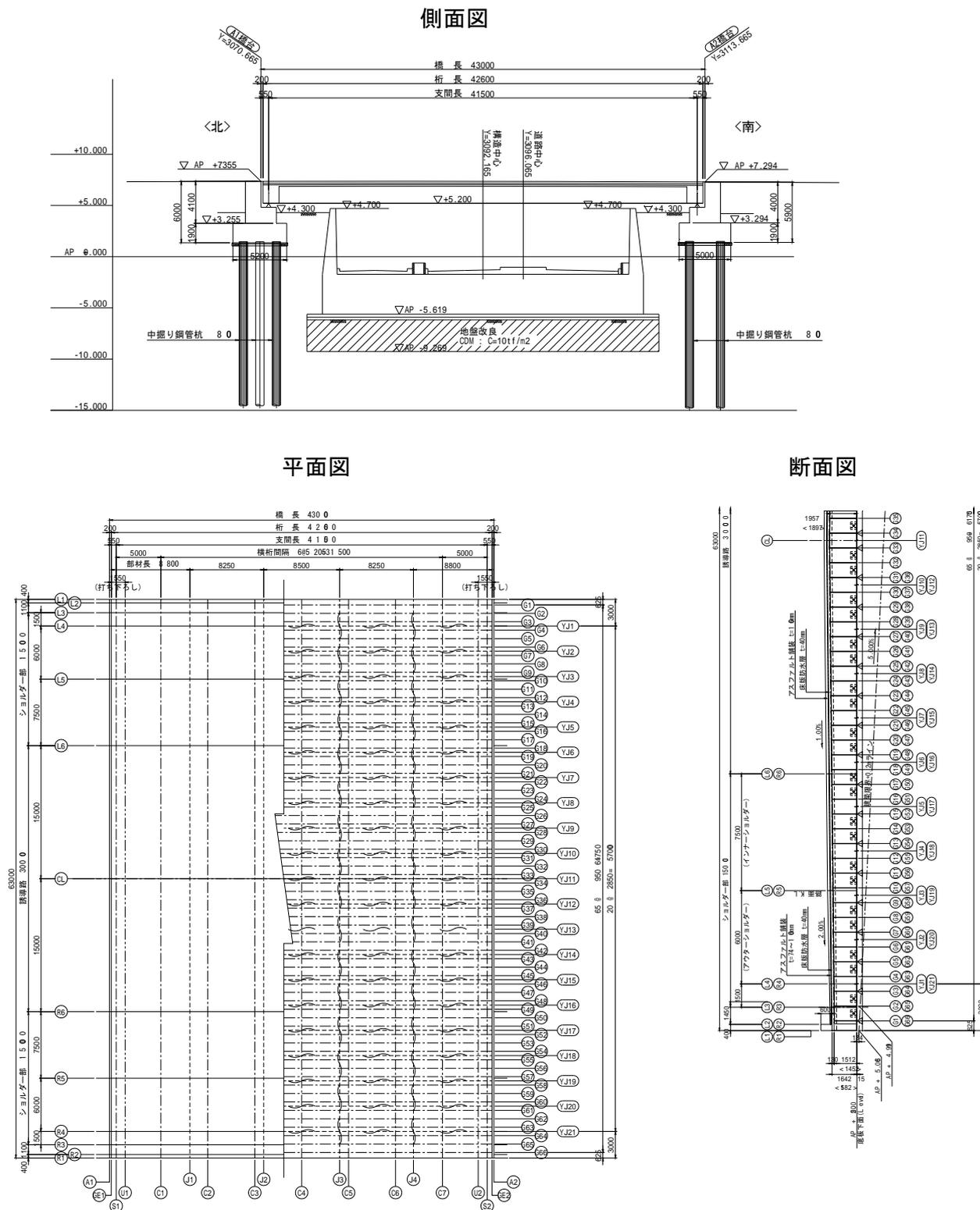


図-3 橋梁一般図

3. 設計検討に際しての主要課題

3-1 狭隘空間に誘導路橋梁を構築するための主な課題

本誘導路橋梁は写真-2 に示すとおり、A滑走路西側平行誘導路（L-TWY）の10m西側に整備される平行誘導路のうち、空港内を縦断する供用中のアクセス道路との交差部に整備される。また、当該箇所はアクセス道路を斜めに横断する三愛石油（株）のシールドトンネルも存在しており、狭隘な土地に誘導路橋梁を構築するなど、技術的課題への検討が必要とされた。

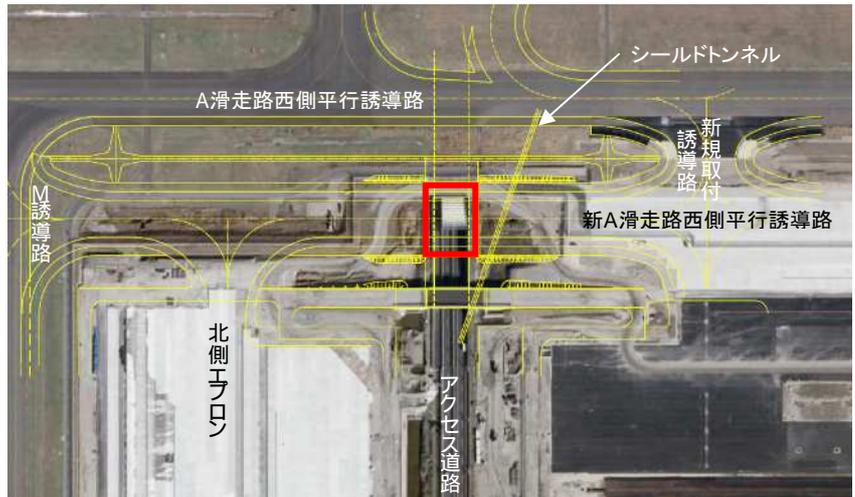


写真-2 設計箇所

(1) 乗り心地性能を確保するための許容たわみ量の制限

長さ 430m の橋梁に航空機荷重（LA-0: 680t）が作用しても航空機荷重による応力度を許容値以下におさえるほか、航空機が橋梁を通過する際の乗り心地性能を確保するものとした。

誘導路の平坦性についてはD滑走路の要求水準書に準拠して、道路橋示方書で定めるたわみ制限値 $L/60$ ではなく、鉄道構造物等設計基準におけるたわみ制限値 $L/800$ より設定し、航空機荷重によるたわみ量を 5mm 以下（43m（橋長） / 800）におさえることとした。

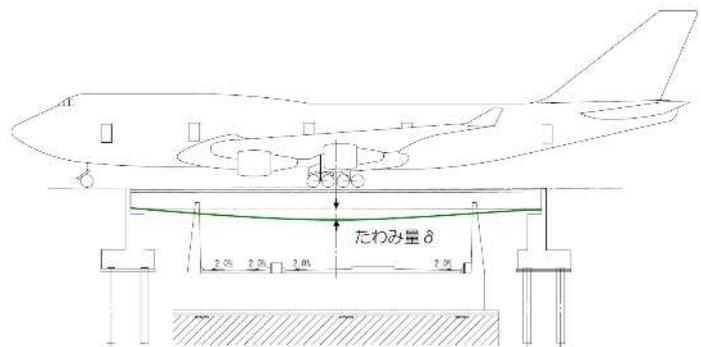


図-3 橋梁のたわみ

(2) 航空機の視距離を確保するための桁高の制限

誘導路については、縦横断勾配のほか、視距離（図-4）に係る基準があり、誘導路上の 3m のいかなる点からも 30m 離れた誘導路の表面が見えるような縦断勾配を確保する必要がある。橋梁部の計画高については、M誘導路中心、北側エプロン中心及び新規取付誘導路中心の計画高を考慮し所要の計画高となるよう、桁高の検討を行う必要があった。



図-4 視距離の概念

(3) 既設アクセス道路の建築限界を確保するための桁下制限

本橋梁は、供用しているアクセス道路を跨ぐため、橋梁架設後も所要の建築限界を確保する必要があり、橋梁のたわみを考慮した上で図-5 に示す建築限界+0.2m(舗装のオーバーレイを考慮)を確保する必要があった。



図-5 桁下の制限

3-2 既設地下構造物に対する変位抑制

先に述べたように、当該箇所はアクセス道路、シールドトンネルが近接しており、誘導路橋梁がアクセス道路を跨ぐことを考慮し計画高が設定されていることから、橋梁のアプローチ部が必要となる。アプローチは盛土としたが、既存のシールドトンネルは、建設以降周辺地盤の圧密沈下の進行によって縦断方向の不同沈下が進行しており、盛土による増加応力に対する余裕度が小さい状況であることから、この盛土により発生するシールドトンネルの変位、断面力の増加をいかにして低減するか、また、杭基礎工の施工時に周辺地盤に与える影響によるシールドトンネルへの影響を低減するか、対策工を含めこれらの施設をシールドトンネルに悪影響を与えることなく建設することが課題となった。

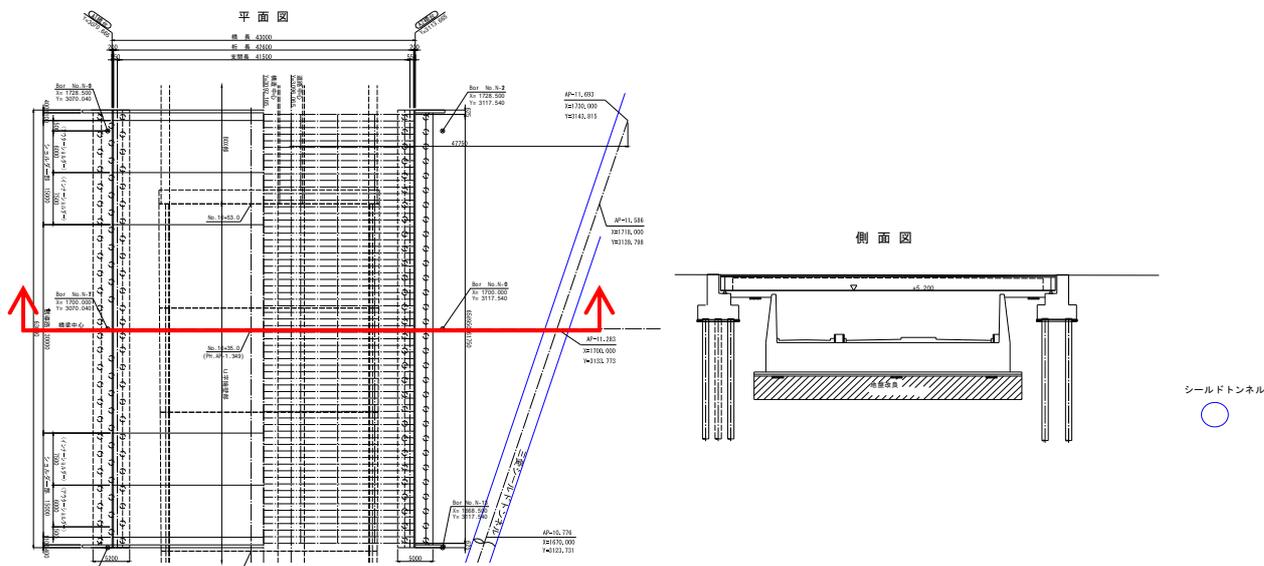


図-6 近接する既設構造物

4. 主な設計検討

4-1 狭隘空間に対応する多主桁単純合成床版の採用

(1) 構造形式の選定

上部工の一次選定にあたっては、誘導路橋梁が道路橋に比べ活荷重が大きいいため、道路橋で適用不可能な橋種は誘導路橋梁でも適用不可能であると言えることから、道路橋における適用可能な橋梁形式を形式選定上の基本とし、また、支間長から適用可能な橋梁形式において、架設地点の制約条件への適用性を照査し、PC 単純ポストテンションT桁 (プレキャスト桁架設)、合成床版橋、合

成床版桁橋を選択した。

表-2 橋梁形式の一次選定結果

橋梁形式	橋脚構造	(1) 構造性、たわみ	(2) 安全性、耐久性 防錆対策等	(3) 施工性の適用性	(4) 維持管理性の低減	選定
鋼床版桁橋 鋼床版合成桁橋	鋼床版 鋼床版	桁高/支保脚の長さ1/18 橋脚高/1.5倍程度	○	○	○	×
鋼床版桁橋 鋼床版合成桁橋	鋼床版 鋼床版	桁高/支保脚の長さ1/20 橋脚高/1.5倍程度 たわみ/容認値	○	○	○	×
PC床版ボックスンション工 (プレキャスト形式)	鋼床版 鋼床版	桁高/支保脚の長さ1/18 橋脚高/1.5倍程度 たわみ/容認値	○	○	○	○
PC床版ボックスンション形式工 (プレキャスト形式)	鋼床版 鋼床版	桁高/支保脚の長さ1/18 橋脚高/1.5倍程度	×	○	○	×
PC床版桁橋 (従来の形式)	鋼床版 鋼床版	桁高/支保脚の長さ1/18 橋脚高/1.5倍程度 たわみ/容認値	○	○	○	×
PC床版桁橋 (従来の形式)	鋼床版 鋼床版	桁高/支保脚の長さ1/18 橋脚高/1.5倍程度	○	○	○	×
合成床版桁橋	鋼床版 鋼床版	桁高/支保脚の長さ1/20 橋脚高/1.5倍程度 たわみ/容認値	○	○	○	○
合成床版桁橋	鋼床版 鋼床版	桁高/支保脚の長さ1/20 橋脚高/1.5倍程度	○	○	○	○
PC床版 (鋼床版合成桁橋形式) 鋼床版	鋼床版 鋼床版	桁高/支保脚の長さ1/18 橋脚高/1.5倍程度 たわみ/容認値	○	○	○	×

二次選定においては、構造性、施工性、維持管理性、架設工期及び経済性の5項目の評価を行い、橋梁形式を決定した。なお、一次選定において抽出した3案のうち、合成床版桁橋の応力度および活荷重たわみが許容値を満足しなかったため、追加として合成床版箱桁橋を追加し計4案において比較検討し、構造性、施工性、維持管理性、工期及び経済性のいずれも優位であった単純合成床版とした。

表-3 橋梁形式の二次選定結果

橋梁形式	断面図 (1:100)	断面図 (1:100)	特長	概算工価(千円)	評価
第1案 PC床版桁橋形式			プレキャスト形式による架設工期の短縮が期待できる。ただし、鋼床版の防錆対策が必要である。	1,100	○
第2案 合成床版桁橋			鋼床版とコンクリート床版の複合構造により、たわみ抑制効果が期待できる。ただし、鋼材の防錆対策が必要である。	1,100	○
第3案 合成床版桁橋			鋼床版とコンクリート床版の複合構造により、たわみ抑制効果が期待できる。ただし、鋼材の防錆対策が必要である。	1,100	○
第4案 合成床版桁橋			鋼床版とコンクリート床版の複合構造により、たわみ抑制効果が期待できる。ただし、鋼材の防錆対策が必要である。	1,100	○

(2) 上部工の検討

桁高、桁下高等の課題を踏まえ LA-0 荷重に対応した上部工の検討を行い、桁高を低減する対策として鋼桁と床版コンクリートとのずれ止めとして主桁のフランジに突起を付ける構造とした。



図-7 桁高低減の対策

(3) 床版耐久性の検討

合成床版橋のRC床版に航空機荷重 (LA-1: 40t) が繰り返し載荷すると、床版に局部応力が発生して損傷が発生する可能性がある。そこで、自動車荷重(T-24t)と航空機荷重(LA-1)による発生応力やたわみ変形の違いを確認した。

解析の結果、LA-1荷重による床版たわみは、最大0.363m程度であり、たわみの許容値(L/800 = 0.5mm)を十分に満足している。また、各部材における荷重が作用する箇所の発生応力は、T-24荷重と比べれば大きい、設計許容値(鋼材: 101 N/mm²、コンクリート: 2.15 N/mm²、鉄筋: 140 N/mm²)以内である。(図-8) LA-1荷重では、コンクリート内部のT形鋼接触面に応力集中が見られ、床版の耐久性が低下する可能性がある。(図-9) そこで、コンクリート床版の疲労耐久性を向上させる対策として、床版型枠を兼用した鋼板(t=9mm)を床版下面に設置することとした。また、FEM解析によって補強鋼板の効果を検証した。(図-11)

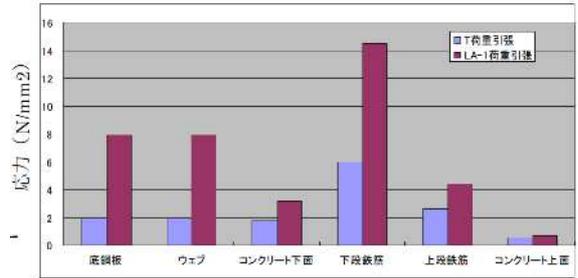


図-8 T荷重とLA-1荷重の発生応力比較

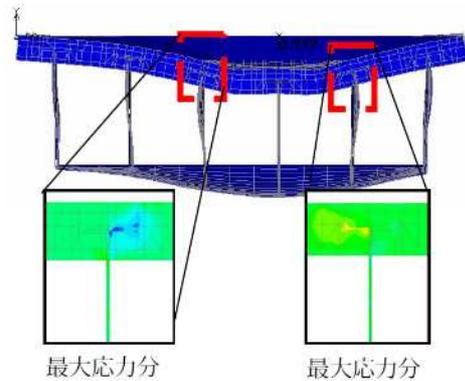
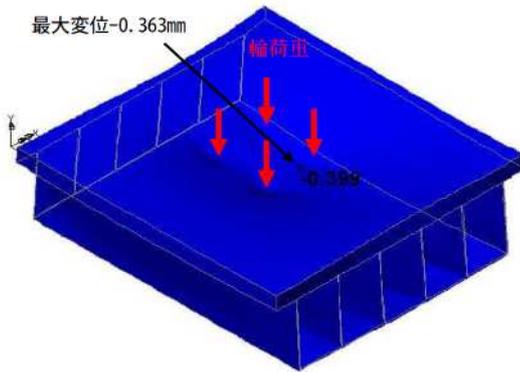


図-9 航空機荷重(LA-1)による床版変形 FEM解析結果

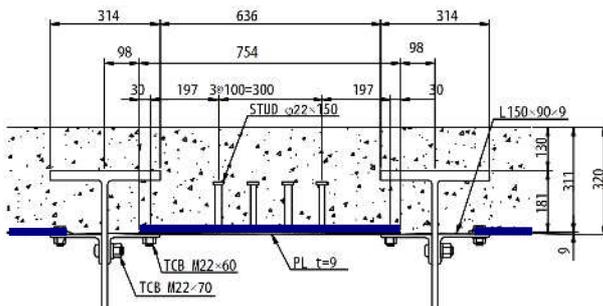


図-10 コンクリート床版下面の補強鋼

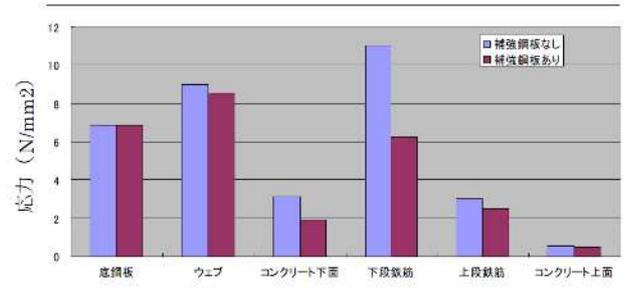


図-11 補強鋼板有無による発生応力比較

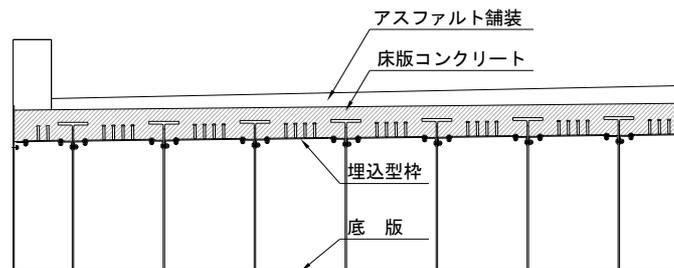


図-12 床版断面図

4-2 橋梁アプローチ部の軽量盛土の採用

誘導路複線化の各種工事によるシールドトンネルに対する影響を定量的に把握することを目的としてFEM解析を実施し、検討結果を踏まえ、シールドトンネル直上部ならびに対策範囲外の盛土の影響範囲の増加荷重を低減し、シールドトンネルの影響を許容変位量以下とすることを目的とした軽量土工法を採用することとした。置換え層厚については、アプローチ部の盛土及び舗装による現地盤への上載荷重が発生しないように設定することを基本方針とし、SGMとEPSによる置換を行うこととした。なお、EPS置換は地下水位（A.P.+2.1m）よりも上部の配置としている。

対策工の施工範囲は、基本的にアプローチ部盛土ならびに用地造成盛土が近接構造物（シールドトンネル、アクセス道路U型擁壁）に対して影響を与える範囲とし、FEM弾粘塑性解析の結果に基づいてシールド中心部から南側に55m離隔をとった範囲までとした。

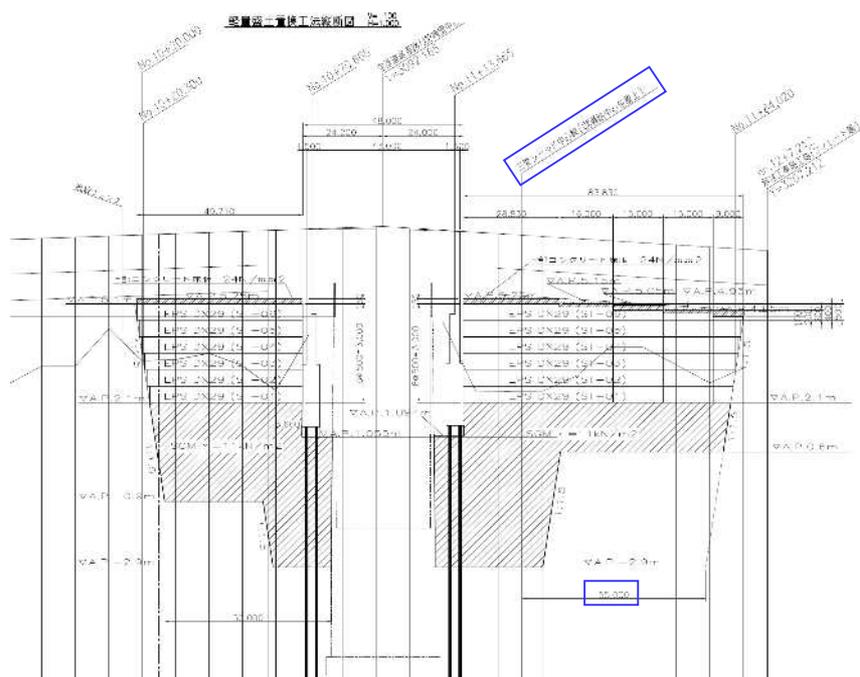


図-13 軽量盛土工範囲

シールドトンネルの近接工事に対する許容変位や掘削高等の設計上の制約については、「三愛石油シールドトンネルの近接工事における留意事項」(H. 17. 7)によった。設計上考慮した箇所について以下に示す。

- 掘削底面とシールドトンネルとの鉛直離隔は、シールドトンネル現況土かぶりの5%以上を確保する。
- 完成時にシールドトンネルに作用する荷重は現況の±5%以内とする。
- トンネルの変位・変形の目安は鉛直変位、水平変位ともに±20mm以内とする。またトンネルの内空変位は±6mm以内とする。
- 可撓セグメントの変位は作動余裕量の5%以内とする。

対策工の範囲についてはFEM解析結果を踏まえて施工後のシールドトンネルの変位量が許容変位量以下となるように決定している。また、軽量土置換工法の施工において現況地盤の掘削が発生するが、掘削時の地盤のリバウンドについてその影響を定量的に把握することを目的として、FEM解析を実施した。その結果を踏まえ、図-14に示すようにシールドの変位量を許容値以内とす

ることを目的とした分割施工方針を決定した。併せてFEMから算出されたシールド位置の地盤の変位量を踏まえ、施工後ならびに施工時の変状に伴って発生するシールドトンネルの応力を算出し、その耐力照査を行って安全性を確認した。

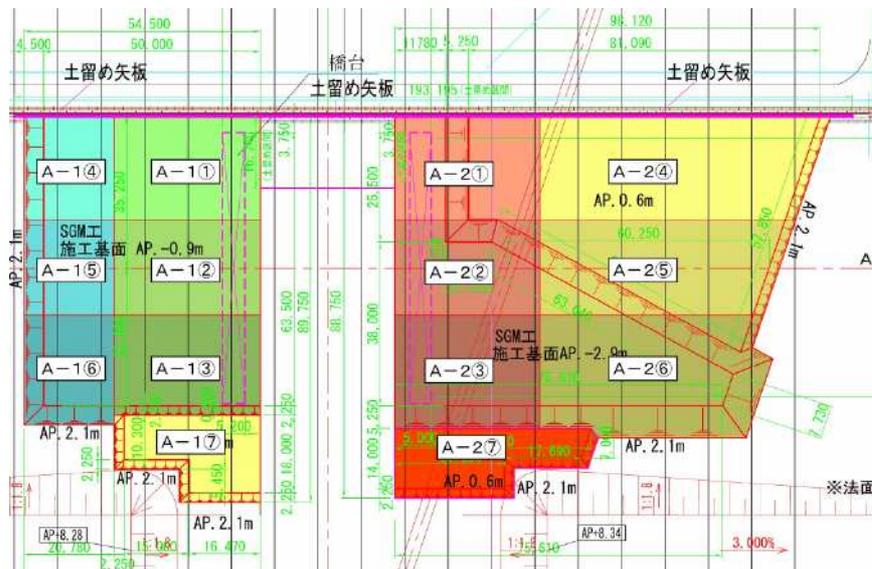


図-14 軽量盛土工施工分割案

5. 設計サイドから施工に際しての計測施工の要請

軟弱地盤対策工ならびに誘導路の施工にあたり、許容範囲内の施工時の地盤のリバウンドならびに盛土による地盤変状（主として圧密変形）が予測されている。

シールドトンネルは燃料給油管の配管を目的として設置されており、羽田空港の機能確保上重要な構造物であることから施工時に構造物の機能を損なわないこと・地盤の変状が事前予測の範囲内となっているか確認することを目的として表-4に示す動態観測を行うこととしている。

トンネル変位、二次覆工、撓セグメントについて計測管理フローに従って計測結果に基づく判断を行い、必要に応じて工事の中断・協議・対策工の検討などを実施するものとして、橋梁の整備を進めているところであり、基礎工、SGMによる軽量盛土置換工は竣工済み、上部工は工場製作中、EPSによる軽量盛土置換工は現地着手したところである。

表-4 観測項目一覧

計測対象	使用計器	設置数量	計測目的	管理値	計測頻度				
					施工前	掘削時	施工中	その後	
シールドトンネル	【長期】 トンネル構造物の鉛直・水平変位	レベル・トランシット	18箇所	・長期的なトンネル変位の計測を行う。 ・軽量盛土施工後はトンネル変位は収束方向になるものと判断されることから、増加傾向を観測することとし、管理値は前月の月変化量 (mm/月) に対して±5mm/月とする。	前月変化量に 対して±5mm/ 月	1回	1回/月	—	1回/月
	【掘削時】 トンネル構造物の鉛直・水平変位	レベル・トランシット	18箇所	・軽量盛土工の掘削に伴う短期的なリバウンドに対してトンネル変位の計測を行う。 ・三菱石油㈱の提示条件である変位量±20mmを一次管理値とし、影響対策工検討の解析結果の概略値である±30mmを二次管理値として管理する。	一次：±20mm 二次：±30mm	【掘削前】 1回/週	—	1回/日	1回/月
	二次覆工のクラック・漏水	目視	300m	・トンネル覆工の健全性を確認する。	有害なひび割れがないこと	1回	1回/月	1回/日	1回/月
	二次覆工の断面変形	トランシット	10断面	・三菱石油㈱の提示条件である変位量±6mmの60%値である±4mmを一次管理値とし、100%値である±6mmを二次管理値として管理する。	一次：±4mm 二次：±6mm	1回	1回/月	1回/日	1回/月
	可撓セグメントの伸縮量	トランシット	5断面	・三菱石油㈱の提示条件である変位量±5mmの60%値である±3mmを一次管理値とし、100%値である±5mmを二次管理値として管理する。	一次：±3mm 二次：±5mm	1回	1回/月	1回/日	1回/月
	トンネル構造物の振動	振動計	ポータブル	・事前に実施した調査試験結果との対比を行う。	75dB未満	1回	1回	—	—

参考文献

東京国際空港国際線地区エプロン等整備等事業 対象施設設計報告書