

東京国際空港D滑走路 棧橋部プレキャスト床版の設計

清水建設(株) 土木技術本部	正会員	工博	○興石 正己
国土交通省東京空港整備事務所			福本 裕哉
鹿島建設(株) 羽田D滑走路JV事務所	正会員	工修	南 浩郎
清水建設(株) 羽田D滑走路JV事務所		工修	南郷健太郎

1. はじめに

東京国際空港は、現在の航空需要に対して既にその航空処理能力が限界に達している状況にある。この対策として、新たに4本目の滑走路（以下、D滑走路という）および国際地区エプロン等を整備し、航空処理能力を大幅に増加（年間発着能力を28.5万回から40.7万回へ増加）させる羽田再拡張事業りが計画されている。D滑走路建設工事は、図-1に示すように東京湾内および多摩川河口域という極めて厳しい社会的、自然的条件のもとに2500mの滑走路を新たに建設するプロジェクトであり平成19年3月30日に工事着工した。D滑走路の施工期間は極めて短く、かつ世界でも例を見ない埋立構造と棧橋構造の混合構造であるため、非常に高度な技術的検討が必要とされた。本報文では、D滑走路の多摩川側約1100mの区間に採用されたジャケット式棧橋構造におけるプレキャスト床版（以下、PCa床版と記す）の設計に関してその概要を報告する。

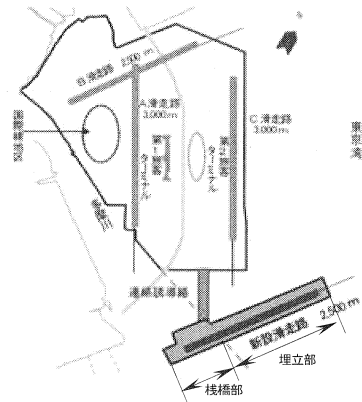


図-1 羽田空港再拡張概略図

2. PCa床版構造

2.1 構造概要

D滑走路の棧橋構造²⁾は、図-2に示すように鋼管杭、ジャケット、レグ、カバープレート、コンクリート床版および舗装より構成されている。コンクリート床版は、滑走路、誘導路、高速脱出誘導路、ショルダー・過走帯および着陸帯(A,B)に分類され、総面積は約51万 m^2 である。このうち、滑走路を含む中央部の約31万 m^2 は設計基準強度50N/mm²のPCa床版にて、また着陸帯B部分(約20万 m^2)には超高強度繊維補強コンクリート(180N/mm²)のUFC床版を敷設して構築する計画(図-3)である。

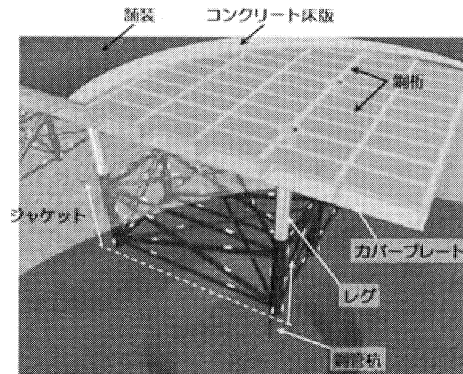


図-2 ジャケット式棧橋構造

中央部のPCa床版は、滑走路平行方向に約850m、滑走路直角方向に約400mであり、全施工部分の約70%を工場製作のPCa床版、残りの30%をRC間詰め部および場所打ちPC床版とし、伸縮目地を設定せず一枚の床版として構築する。標準的なジャケットは、滑走路平行方向63m、滑走路直角方向45mであり、6本の鋼管杭(レグ)により支持されている。ジャケット上には、7,875×3,750mmの間隔で格子桁が設置され、格子のマス目に合せてPCa床版(6,585×3,320mm)が架設(図-4)される。この際、滑走路平行方向の間詰め部にはずれ止めが配置されており合成桁となる。また、滑走路直角方向の鋼桁とPCa床版は合成させないため一方方向版としての挙動を示す。

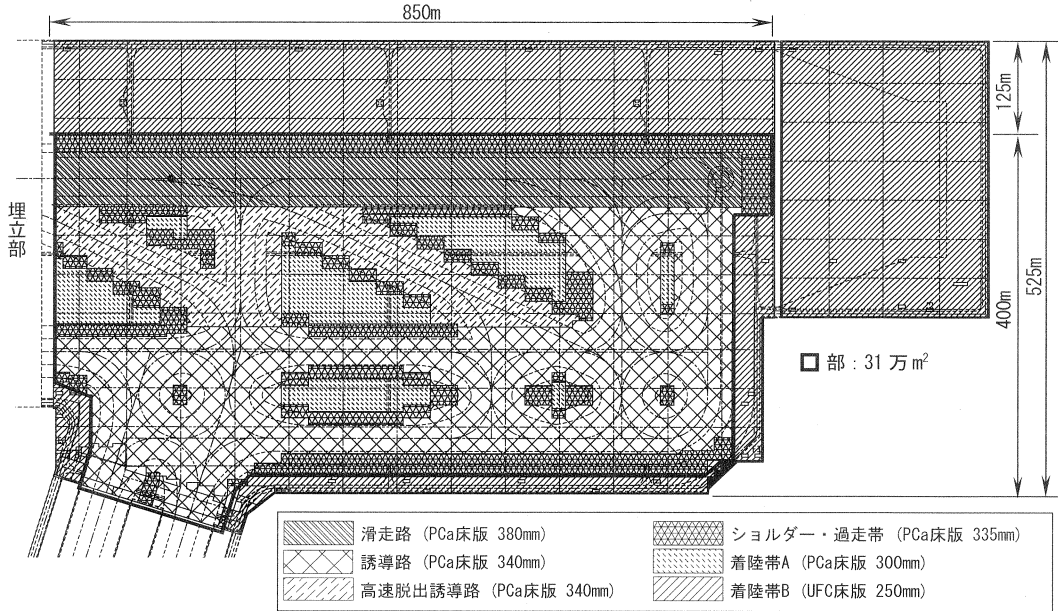


図-3 栈橋部床版構造区分

2.2 杭頭補強部

鋼管杭で支持された格子桁の交点近傍(レグ頭部)は、死荷重や活荷重によって負の曲げモーメントが作用し、コンクリート床版には引張力が作用する。またレグと格子桁は剛結されているため、温度荷重や地震力による水平方向の変形により、レグ頭部を境に正負に反転する曲げモーメントが生じ、負曲げ側の床版には鉛直荷重との重ね合せにより大きな軸引張力が作用する(図-5)。この対策として、鉄筋のみによる補強では配置鉄筋量が多くなり、鉄筋組立て、コンクリートの充填性等の施工性の低下は避けられない。そこで、疲労耐久性および環境条件に対応し長期耐久性に優れたPC構造を採用し、レグ頭部に配置した4枚のPCa床版とPCa床版間の間詰部にPC鋼より線1S28.6を用いてプレストレスを導入した。なお、プレストレスの導入に先立ち、間詰部のスタッドジベルは箱抜き、緊張作業終了後に無収縮モルタルにて格子桁と一体化を図った。

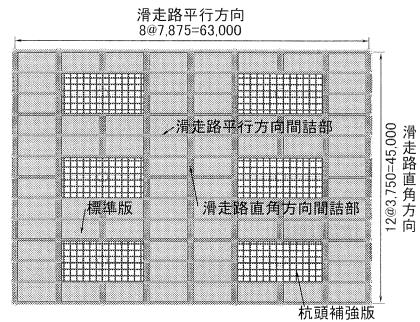


図-4 PCa 床版配置図

2.3 標準部

標準部のPCa床版には、工場にて2方向にプレストレスが導入される。滑走路直角方向には、PC鋼より線1S15.2を用いたプレテンション方式を、滑走路平行方向にはプレグラウト鋼棒φ32を用いたポストテンション方式をそれぞれ採用した。

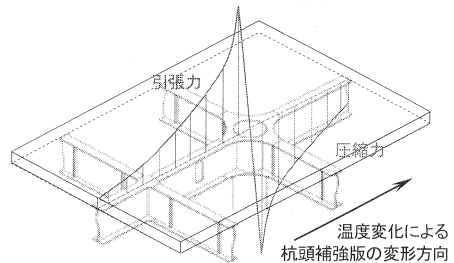


図-5 床版の軸力分布

2.4 間詰部

間詰部は、レフレクションクラック防止のためPCa床版同士の連続性を確保すると共にジャケットやPCa床版の製作・据付誤差を調整する部分であり、鉄筋コンクリート構造である。滑走路平行方向間詰部でのPCa床版同士の連結には、道路橋のPC床版にて使用実績の多いループ継手(図-6)を採用した。ループ継手により継手長が短縮されコンクリートの打込みを鋼桁のフランジ幅以内とすることにより、省力化施工を実現し

た。また、滑走路直角方向間詰部における PCa 床版の連結には、大きな引張力を伝達可能な重ね継手(図-7)を採用した。

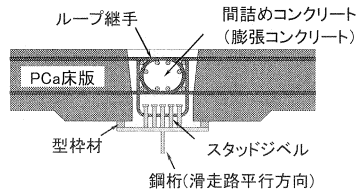


図-6 滑走路平行方向間詰部

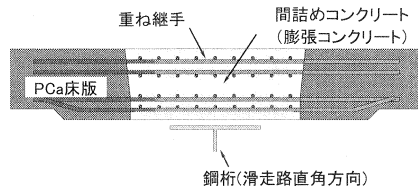


図-7 滑走路直角方向間詰部

3. 設計条件および設計手法

D滑走路の PCa 床版の荷重および使用材料を表-1に示す。滑走路部の設計条件としては、杭頭補強部及び標準部では、死荷重時、設計荷重時にひび割れを発生させず、温度荷重時のひび割れ幅を許容ひび割れ幅以下に制限している。また、間詰め部では、死荷重時にひび割れを発生させず、設計荷重時および温度荷重時には、ひび割れ幅を許容ひび割れ幅以下に制限している。許容ひび割れ幅としては、長期耐久性、復旧性等を考慮して最大 $W_a = 0.2\text{mm}$ を採用した。

次に各荷重に対する構造解析モデルの一覧を表-2に示す。表に示すように鉛直荷重に対してはジャケット6基分のぼ海底面より上の部分をモデル化し、床版にはシェル要素、ジャケットにはビーム要素を使用した(図-8)。クリープ、乾燥収縮に関してはジャケット4基分をモデル化した。床版にはソリッド要素、鋼桁にはシェル要素を使用し、PCa床版部と間詰め部の材齢差を正確に考慮した(図-9)。

さらに、温度荷重に対しては滑走路方向および滑走路直角方向にそれぞれ杭、地盤バネを含めた一列モデルを作成した(図-10)。床版、ジャケットには鉛直荷重モデルと同様の要素を用い、杭にはビーム要素を採用した。この際地盤バネに関しては変形に伴う非線形性を考慮した。

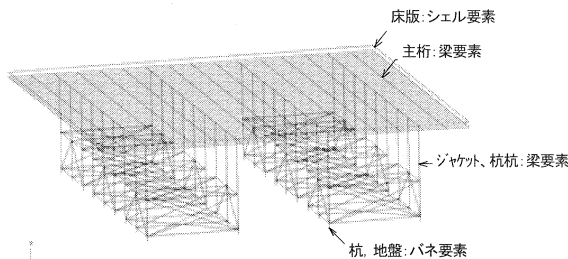


図-8 鉛直荷重解析モデル

表-1 荷重及び使用材料

死荷重	プレストレストコンクリート	24.5kN/m ³	
	鉄筋コンクリート	24.5kN/m ³	
活荷重	無筋コンクリート	23.0kN/m ³	
	アスファルト舗装	22.5kN/m ³	
	航空機(離陸時)		
	A380-800	400 t	
	B747-400	396 t	
航空機(着陸時)	B777-200ER	294 t	
	B747-400	286 t	
	B777-100	202 t	
	自動車		
温度変化の影響	消防自動車、A活荷重		
	全体温度変化	-10~+40°C	
地震の影響	床版温度差	±10°C	
	等価水平震度	270gal (栈橋の動的解析より決定)	
積雪		1.0 kN/m ²	
遠心荷重		$F = mV^2 / 127R$	
制動荷重		$\mu = 0.8$ および $0.31G$ ($h = 0.45\text{m}$)	
コンクリート	プレキャスト版	50N/mm ² (早強)	
	間詰部	50N/mm ² (普通膨張)	
使用材料	鉄筋	SD345	
	PC鋼材	ブレン鋼材	SWPR7BL IS15.2
		ポストテン鋼材	SBPR930/1080 $\phi 32$ SWPR19L IS28.6

表-2 構造解析モデル

モデル名	概要	対象断面力
床版自重モデル	・プレキャスト床版1枚に相当するシェル要素モデル ・要素寸法: 7.875(21 \times 375)mm \times 3.750 (10 \times 375)mm ・滑走路直角方向(短辺方向)に単純支持	床版自重
鉛直荷重算出モデル	・ジャケット2 \times 3基、計6基分の海底面から上の部分をモデル化 ・床版: シェル要素、ジャケット・ビーム要素、レグ下端: バネ支持 ・床版厚やジャケットの部材構成を反映するため、エリア毎(滑走路、誘導路、高遠脱出誘導路、ショルダー、着陸帯)に5種類をモデル化 ・鉛直荷重による床版作用(主に床版の曲げモーメント)の影響を詳細に解析できるよう、シェル要素の1辺を375mmに細分	間詰部自重 切削代荷重 舗装自重 積雪荷重 航空機荷重 自動車荷重
クリープ・乾燥収縮算出モデル	・ジャケット2 \times 2基、計4基分の鋼桁と床版をモデル化 ・コンクリート床版をソリッド要素、鋼桁をシェル要素でモデル化し、相互の影響をより詳細に解析 ・エリア毎(滑走路、誘導路、高遠脱出誘導路、ショルダー、着陸帯)に5種類をモデル化 ・プレキャスト版部と間詰部の物性の違いを評価(入力)できるように床版部分を要素分割	クリープ 乾燥収縮
不静定力算出モデル	・滑走路平行方向解析モデル(1 \times 14基、7種類) ・滑走路直角方向解析モデル(12 \times 1基、7種類) ・杭及び地盤バネも含め、ジャケット及び床版をモデル化 ・床版: シェル要素、ジャケット・杭: ビーム要素、地盤: 非線形ばね ・床版シェル要素の大きさは、1パネルを4 \times 8分割	全体温度変化 床版温度差

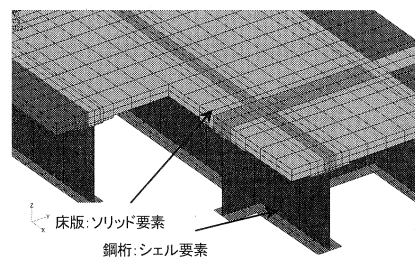


図-9 クリープ乾燥収縮モデル

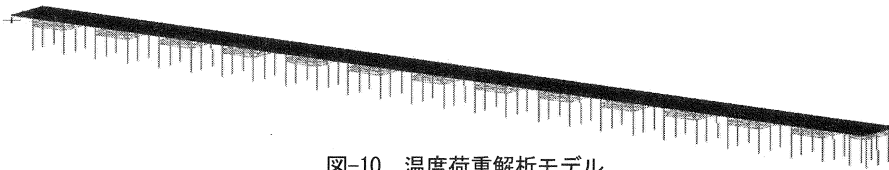


図-10 温度荷重解析モデル

4. 設計照査

PCa床版を採用した各エリアの内、滑走路の杭頭補強版に関する照査方法、照査結果を以下に示す。照査方法としては、ジャケット構造の対称性を考慮して図-11に示すように、レグ周辺の1枚の杭頭補強版、標準版および間詰部の照査を行った。照査点①、②、③はPC構造として、それ以外の照査点ではRC構造としての照査を行った。

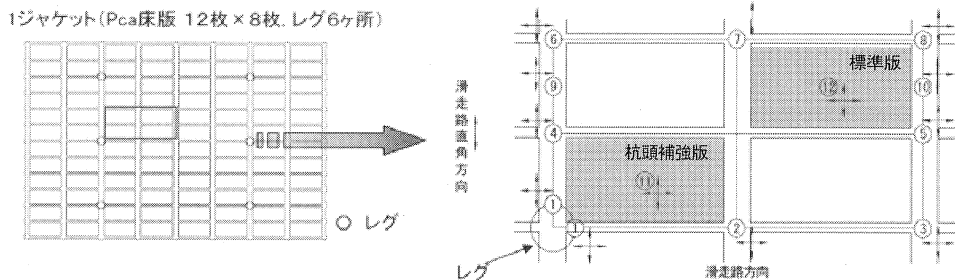


図-11 設計照査点

表-3に杭頭補強版に関する照査例を示す。この表より滑走路方向には、クリープ、乾燥収縮、温度が支配的であり全発生応力の82%程度を占め、死荷重は8%、活荷重は10%程度であることがわかる。一方、滑走路直角方向には活荷重が支配的であり全発生応力の75%を占め、死荷重は6%、クリープ、乾燥収縮、温度が19%程度である。この結果は、一方向に支持された大規模な連続構造である滑走路構造の特徴を適切に表現していると考えられる。

表-3 杭頭補強版の設計照査結果

杭頭補強版:照査点① (PC構造) (曲げひび割れ強度 -2.58)	滑走路平行方向(上縁着目)				滑走路直角方向(下縁着目)			
	軸力	曲げモーメント	上縁	分担率	軸力	曲げモーメント	下縁	分担率
	(kN/m)	(kN・m/m)	(N/mm ²)	(%)	(kN/m)	(kN・m/m)	(N/mm ²)	(%)
決定ケース	活荷重+温度差(-)				活荷重+温度差(-)			
死荷重	-160	-1	-0.5	8.0	-16	8	-0.4	6.0
クリープ	-738	-3	-2.1	59.9	-126	-6	-0.1	7.5
乾燥収縮	-528	-5	-1.6		-335	-12	-0.4	
プレストレス	1,937	-30	4.0	9.5	793	-32	3.4	74.5
航空機荷重	-150	-4	-0.6		56	111	-4.5	
温度荷重	-518	-1	-1.4	22.7	-266	0	-0.7	11.9
組合せ	-156	-43	-2.1	(100)	106	69	-2.5	(100)

5. おわりに

本報文では、棧橋部の概要および滑走路を含む中央部のPCa床版の設計について述べた。本文中でも述べたように、施工期間が工事数量に比べて非常に短く、PCa構造を多量に効率よく使用することが本プロジェクトには必要不可欠と考えられる。今後の実施工においては、関係各位の多大なるご協力のもと安全かつ確実にプロジェクトの遂行に努める次第である。なお、本報告は東京国際空港D滑走路建設工事の設計業務の一環として実施した成果の一部である。

参考文献

- 1) 国土交通省航空局ホームページ(http://www.mlit.go.jp/koku/04_outline/01_kuko/02_haneda)
- 2) 国土交通省関東地方整備局：東京国際空港D滑走路建設工事技術報告会技術報告集, 2006. 9