

東京国際空港D滑走路 棧橋部UFC床版の設計と性能確認実験

大成建設株式会社土木設計部 正会員○渡辺 典男  
 国土交通省 関東地方整備局 野口 孝俊  
 国土交通省 関東地方整備局 志茂 香  
 大成建設株式会社 東京支店 正会員 大竹 明朗

1. はじめに

東京国際空港(羽田空港)は、発着回数において既に能力の限界に達しており、首都圏における将来の航空需要の増大に、早急に対応することが求められている。その対応として、国際化を視野に入れつつ羽田空港の再拡張に早急に着手し4本目の滑走路(D滑走路)を整備することが都市再生プロジェクト等において位置づけられた。現空港沖合に建設する全長3,120mの新滑走路島は、図1.1に示すように、2,020mは埋立により構築されるが、1,100mは多摩川の通水性を確保するため棧橋構造が採用されている。棧橋部は、鋼管杭上に鋼製ジャケットが構築され、その上にプレキャスト化されたコンクリート床版等が設置される。コンクリート床版のうち、滑走路及び誘導路の外側については、新材料の超高強度繊維補強コンクリート(Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete: UFC)を使用した床版(以下、UFC床版)が採用された。UFC床版は、平面形状が矩形のプレキャスト床版であり、その概略数量は、総面積:約20万㎡,総枚数:約7,000枚である。本稿では、UFC床版の構造及び設計概要を説明し、実物大供試体を使用した性能確認実験について報告する。

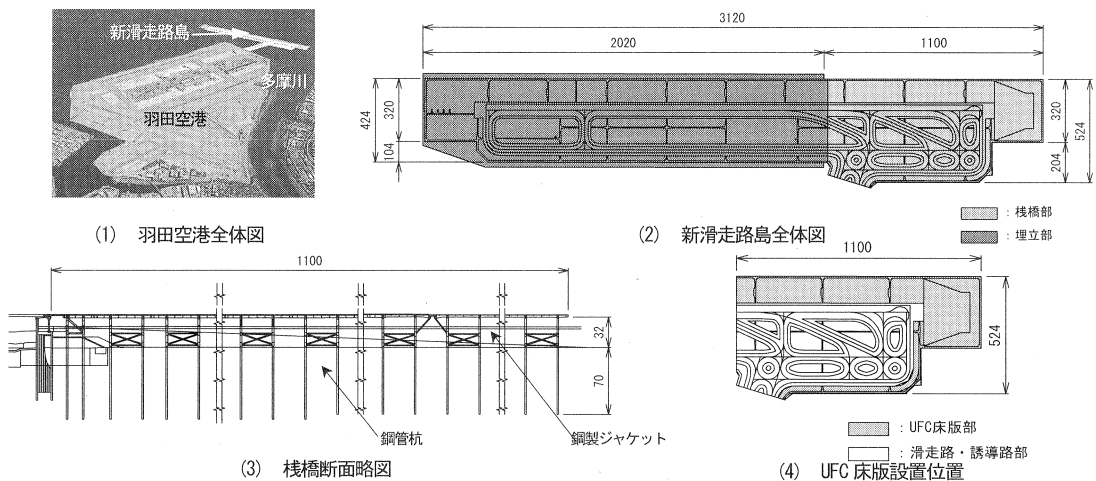


図 1.1 D滑走路工事概要(単位:m)

2. UFC床版の概要

2.1 UFC床版の構造概要

UFC床版は、鋼管杭上に長辺2辺を単純支持されており、その断面は軽量化のため短辺方向にリブを配置した櫛型断面が採用された(図2.1)。UFC床版の標準寸法は7.82m×3.61mであり、1枚あたりの質量は約10tである。UFC床版の利点は、次の2点である。

- ① 設計基準強度 $\sigma_{ck}=50N/mm^2$ の普通コンクリートを使用した床版より、床版重量を約50%低減でき、床版を支持するジャケットや杭の鋼材量を低減することができる
- ② UFCは密実であり普通コンクリートを使用したRC構造やPC構造よりも遥かに優れた耐久性を示すため、耐用年数100年において水分や塩化物イオンの侵入による劣化により構造物の性能を失わない。従って、防水対策や塩害対策の削減によるコスト削減を図ることができる

床版の大量生産を考えた場合、PC 鋼材定着具を用いないプレテンション構造とすることがサイクル工程を短縮し、工程面・コスト面で有利になることから、UFC 床版は、長辺方向・短辺方向の2方向にプレテンション工法によりプレストレスを導入する方法を採用した。

2.2 間詰めコンクリート

隣接する床版間は、コンクリートにより間詰めされる。この目的は、短辺方向については、隣接する床版間でせん断力を伝達させ床版端部の応力を緩和するとともに、場周道路での自動車走行時に床版間の段差を無くすることである。長辺方向の間詰めは、スタッドジベルを介して床版が浮き上がることを防止するとともに、地震時慣性力や制動荷重等の水平力に対して床版のずれを防止する。間詰め上は防水塗装を施し、雨水等の浸入を防ぎ鋼製ジャケットの防錆対策を施している。

3. UFC 床版の設計概要

3.1 設計概要

UFC 床版は、土木学会：「超高強度繊維補強コンクリート設計・施工指針 (案) (以下、UFC 指針)」に準拠して、限界状態設計法により設計を実施した。UFC 床版を設置するエリアは、常時において航空機は往来せず、滑走路・誘導路を逸脱した場合に走行する可能性がある着陸帯等の区域であり、航空機荷重を終局限界状態の荷重として扱っている。これを踏まえて、UFC 床版の要求性能を以下に整理する。

- ・使用限界状態：常時載荷される活荷重 (自動車荷重) に対し、床版にひび割れを生じさせない。
- ・終局限界状態：耐用期間中に想定される最大の荷重状態に耐え得る耐荷能力を有する。

終局限界状態においては、ひび割れの発生は許容するが床版が崩壊に至らないことを要求性能としたが、特に航空機の走行に対しては、早急に補修や取替を必要とせず、その後の使用にも耐え得る限定的な損傷に留めることとした。この条件を満たすために、航空機荷重載荷時にPC 鋼材応力が降伏応力以下とする制限を設けた。UFC 床版の具体的な設計項目を表 3.1 に示す。

3.2 材料条件

① 超高強度繊維補強コンクリート

- 設計基準強度  $\sigma_{ck}=180\text{N}/\text{mm}^2$
- 圧縮応力度の制限値  $\sigma_{ca}=108\text{N}/\text{mm}^2$
- 引張応力度の制限値  $\sigma_{ta}=-8.0\text{N}/\text{mm}^2$

② PC 鋼材

- 短辺方向 SWPR19L 1S19.3
- 長辺方向 SWPR7BL 1S15.2

3.3 荷重条件

表 3.2 に設計荷重の組合せを示す。以下に、設計上主たる荷重となる活荷重強度について詳述する。使用限界状態の活荷重は、道路橋示方書の A 活荷重と消防自動車荷重であり、一般的な道路橋の設計と荷重強度は変わら

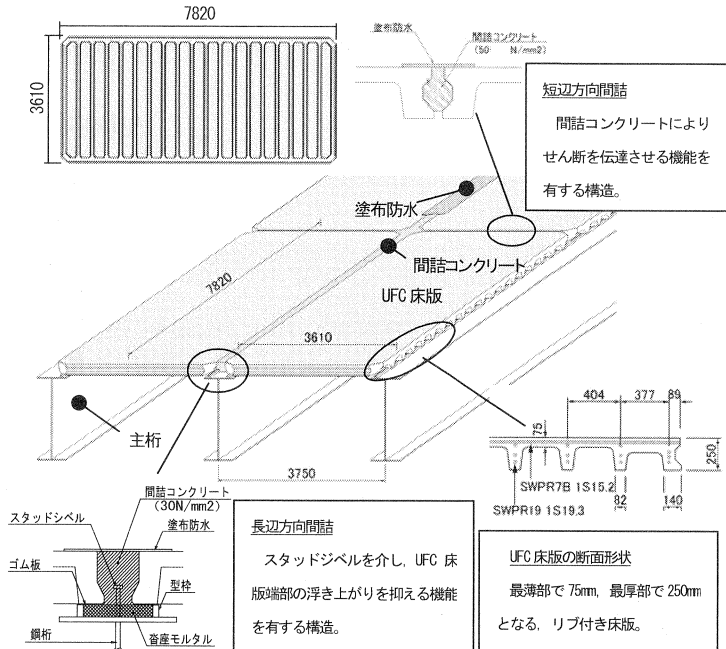


図 2.1 UFC 床版構造概要

表 3.1 UFC 床版の設計項目

項目		
使用限界状態	曲げモーメント	曲げ応力度の照査 PC鋼材応力度の照査
	せん断力	斜引張応力度の照査
	たわみ	たわみの照査
終局限界状態	曲げモーメント	曲げ耐力の照査
	せん断力	せん断耐力の照査
		押抜きせん断力の照査

ない。一方、終局荷重状態に作用する航空機荷重は、大型機を対象としており輪荷重 228kN/輪と、自動車のT荷重 (100 kN/輪) の2倍強の荷重強度になるとともに、その車輪数が多いのが特徴である (図 3.1)。

表 3.2 設計荷重の組合せ

荷重の組合せ		使用限界状態		終局限界状態		
		常時	自動車荷重 作用時	航空機荷重 走行時		
主荷重	床版荷重	○	○	○	○	
	72フルト舗装	○	○	○	○	
	活荷重	航空機	—	—	○	○
		自動車	○	○	—	—
		衝撃係数	○	○	○	○
		制動荷重	—	—	○	○
上載荷重	積雪荷重* (注)	(○)	—	—	—	
床版と鋼桁の温度差の影響		○	—	—	—	
照査方法		応力度の照査		終局耐力の照査		

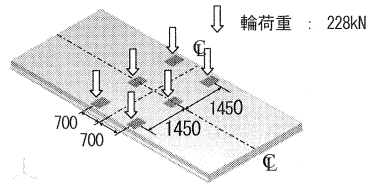


図 3.1 航空機荷重の例 (B777-200ER)

3.4 設計方法

UFC床版は、格子状に構築されたジャケット上に敷設されている。本検討では、UFC床版を取り出して単純支持した場合とジャケット上に支持されている場合の2つの構造系をモデル化し、応力が厳しい値を採用している。応力度等の設計値は、3次元弾性FEM解析により算出した。

3.5 設計結果

設計計算の一例として、標準版の使用限界および終局限界の曲げに対する照査結果を表 3.3 と表 3.4 に示す。今回のUFC床版は、使用限界状態の曲げ引張応力度により、仕様が決まっている。一方、終局荷重状態の航空機荷重時においては、曲げ破壊に対する安全率は高く、PC鋼材が降伏に達しないことを確認した。

表 3.3 使用限界状態の曲げ応力度の照査

	合成応力	応力の制限値
短辺方向 (梁)	-5.7	-8.0
長辺方向 (床版)	-7.9	

\* 応力は圧縮を正とする。圧縮応力は制限値よりかはるかに小さいため、掲載を省略する。

表 3.4 終局限界状態の曲げ耐力の照査

	曲げ破壊 安全率	PC鋼材応力 (N/mm <sup>2</sup> )
短辺方向 (梁)	1.57 > 1.00	1070 < $\sigma_y=1095$
長辺方向 (床版)	1.33 > 1.00	920 < $\sigma_y=1113$

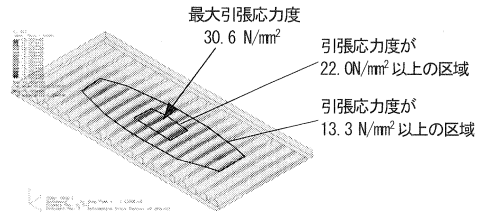


図 3.2 FEM 解析結果の例 (自動車荷重による引張応力度分布)

4. UFC床版の性能確認実験

4.1 実験の目的

本実験では、各限界状態において設計計算通りの応答や耐荷性能を検証するために、以下の内容を確認した。

- ① 使用限界状態：自動車荷重を載荷し、ひび割れが生じないこと。荷重に対する応答 (変位、ひずみ) が線形で、計算値と同程度であること。
- ② 終局限界状態：航空機荷重が載荷された場合、PC鋼材が降伏しないこと。その指標として、荷重が複数回繰返されたとき、変形の増加が顕著にならないこと、ならびに除荷時の残留変形が小さいこと。
- ③ 最大荷重状態：航空機荷重を超える荷重を載荷し、荷重と変位の関係が単調増加の範囲にあること、航空機荷重時に対して十分な余裕があることを確認する。

4.2 実験供試体

実験供試体は実物大寸法のものを使用し、UFCの耐荷性能のパラツキの程度を検証するために2体実施した。

4.3 載荷装置及び載荷ステップ

図 4.1 から図 4.3 に、それぞれ実験の載荷装置、載荷位置および載荷ステップ図を示す。実験では、まず自動車荷重を3回載荷し、その後、航空機荷重を2回

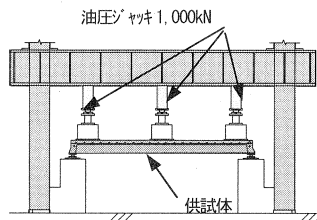


図 4.1 実験載荷装置

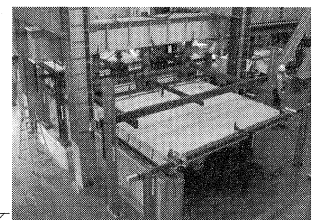


写真 4.1 実験載荷状況

繰返した。そして最後に、航空機荷重を超える荷重を行った。なお、荷重作用位置は、終局状態において主たる荷重となる航空機荷重の車輪位置に合わせた。そのため、自動車荷重を再現する場合、航空機と車輪配置が異なるため、自動車荷重で発生する最大引張応力度 29 N/mm<sup>2</sup> になるように載荷荷重を 156kN/輪に設定した。

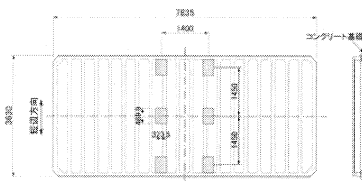


図 4.2 荷重載荷位置

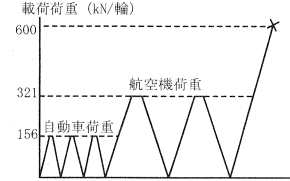
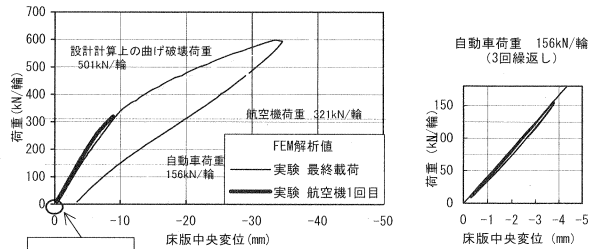


図 4.3 実験載荷ステップ

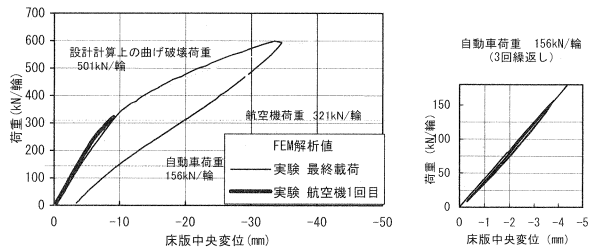
#### 4.4 実験結果と評価

図 4.4 に示す荷重—鉛直変位曲線は、航空機荷重載荷の 1 回目と最大荷重まで載荷したときの結果を示した。同図には、実験値のほか、FEM 解析値を同時にプロットした。また、同図右側に、自動車荷重付近を拡大したグラフを掲載した。以下に、一体目について、各限界状態における実験結果とその評価を述べる。



1) 荷重—鉛直変位曲線 (一体目)

① 使用限界状態: 自動車荷重の載荷では、ひび割れが生じないことを確認した。3 回の繰返し載荷においては、実験値はほぼ同じ直線上を動いており、線形挙動を確認した。なお、最初のひび割れは、荷重が 200kN を超えた段階で短辺方向の梁に発見された。



2) 荷重—鉛直変位曲線 (二体目)

図 4.4 荷重—鉛直変位曲線

② 終局限界状態: 航空機荷重について 1 回目と最終載荷を比較すると、鉛直変位は 8.8mm から 9.0mm へ 2.5% の増加にとどまり、有意な差がないことを確認した。また、航空機荷重による残留変位は約 0.3mm であり、1 回目の航空機載荷時変位 8.8mm に対して 4% 以下であり、有意な残留変位が生じていないことを確認した。

③ 最大荷重状態: 設計計算上の曲げ破壊荷重 (501kN/輪) を超える荷重 (600kN/輪) を載荷した場合のひび割れ幅は概ね 0.1mm 以下であり、床版にはまだ耐力の余裕があるように見受けられた (載荷設備の制約のためこの荷重で載荷を終了した)。また、厚さ 75mm の床版の押し抜きせん断についても、航空機荷重を超える 600kN/輪までの載荷に対して顕著な損傷はなかった。

二体目の供試体に対する実験結果も概ね同様であり、2 ケースにおける航空機荷重時の鉛直変位の差は 1.8% 程度であった。載荷実験の結果が示すように、従来の PC 構造では考えられない薄い版厚で、荷重強度の大きい航空機に対して所定の耐荷性能を確認し、またバラツキの少ない安定した耐荷性能が確認できた。

#### 5. おわりに

本工事では、UFC を使用した床版を設計した。UFC 床版は、通常のコンクリートを使用した床版より、重量を 50% 程度に軽減でき、床版を支持する鋼製ジャケット量や杭の鋼材量を低減することができた。また、耐久性についても、通常のコンクリートにはるかに優れた性能を有する。一方、UFC は材料コストが高い事を考慮しても、以下の条件で対応の利点がある。

- ① 大量生産によるスケールメリットがある構造物
- ② 耐久性を必要とする構造物もしくは腐食環境が厳しい構造物
- ③ 建築限界等により桁高に制限がある構造物

本工事の UFC 床版が、今後の PC 技術の一助になれば幸いである。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。