

羽田空港D滑走路の現地計測結果に基づく鋼構造疲労設計の妥当性考察

日鉄エンジニアリング株式会社 海洋本部 正会員 ○片山 能輔
 日鉄エンジニアリング株式会社 海洋本部 関口 太郎
 国土交通省 関東地方整備局 東京空港整備事務所 能登谷健一
 国土交通省 関東地方整備局 東京空港整備事務所 正会員 山田 崇人

1. はじめに

東京国際空港（羽田空港）D滑走路は、多摩川河口域の河積阻害防止の観点から、埋立と栈橋構造（通水性確保）が併用されている。栈橋部は長さ63m×幅45m×高さ30mの鋼製ジャケット198基からなり、高さ2～2.5mの格子状に配置した鋼桁の上部構造と、鋼管トラス構造の下部構造で構成される。100年間の供用期間中には1,150万回の航空機走行が想定されることから、上部工は、溶接部の疲労耐久性に配慮した構造詳細としている。維持管理計画では、供用開始後に、設計値と有意な乖離が生じていないことの確認を目的として10年毎に応力頻度を計測することとしている。本論文では、供用開始10年を経たD滑走路栈橋部上部工について、計測結果と設計照査結果を比較し、考察を行った。

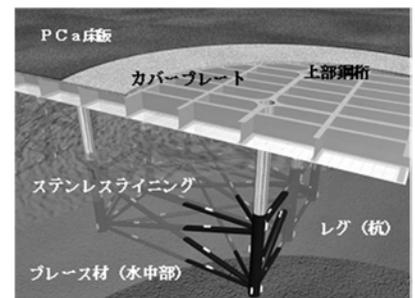


図-1 栈橋部ジャケット構造概要

2. 疲労設計方法概要

疲労設計方法は頻度分布法に従った。すなわち、航空機走行に伴う着目点の応力変動履歴を構造解析により求め、レインフロー法により応力範囲及び繰り返し回数を算出した上で、継手種別毎に、鋼道路橋の疲労設計指針（日本道路協会）の疲労曲線により疲労寿命回数を算出し、マイナー側により累積疲労損傷率を求めた。供用期間中に想定される航空機質量及び走行回数を表-1に示す。航空機荷重は、衝撃係数（滑走路：0.4、誘導路：0.3）を考慮した上で、各ギアの輪荷重として各上部桁に直接作用させた。設計では、滑走路平行方向主桁の板継部（桁交差付近のフランジ応力集中部）で最大疲労損傷率0.90となった。

表-1 設計条件と設計疲労損傷率

設計条件		機種ノクラス（設計条件）						
		A380-800 A380クラス	B747-400 Jクラス	B777-200ER Lクラス	B767-300ER Mクラス	B737-400 Sクラス	DHC-8-400 PRクラス	
質量(t)	国際線	離陸 400	396	294	181			
	着陸	275	286	192	145			
国内線	離陸	400	278	244	143	70	28	
	着陸	275	260	202	136	56	27	
走行回数 (万回/100年)	国際線	離陸	10	20	10	30		
		着陸						
	国内線	離陸	50	150	230	270	100	10
		着陸	20	40	70	80	30	10
	小計		1,150					
	滑走路方向主桁板継部 疲労損傷率(100年)		0.36	0.36	0.17	0.02	0.00	0.00
		0.90						

3. 計測方法及び結果

維持管理計画に基づき、供用後1年（2010年11月12日～）、供用後10年（2019年6月20日～）に応力頻度計測を実施した。計測位置は、疲労設計上支配的となる滑走路直下のブロック（I-11, I-16）の滑走路平行方向桁とした。表面に5枚のひずみゲージを貼付し（図-2）、3日間連続的に応力変動履歴を計測した。ひずみゲージはFLA-5-11単軸（東京測器研究所）、ブリッジボックスはDB120A 120Ω用（共和電業）、記録計はEDX100A 動ひずみ測定カード（共和電業）を用いた。応力範囲の計測結果（2010年11月）を図-3に示す。線形分布を示しており、ひずみが適正に計測されたと考えられる。



図-2 ひずみゲージ貼付位置

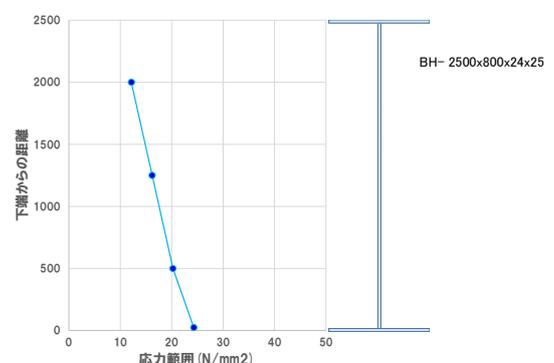


図-3 応力範囲分布

キーワード 疲労, 海上空港, ジャケット

連絡先 141-8604 東京都品川区大崎1-5-1大崎センタービル Tel:03-6665-2000

4. 妥当性の考察

2019年6月計測時の航空機の離着陸実績を表-2に、応力頻度計測結果に基づく応力範囲別頻度の比較結果を図-4示す。表-2より最大クラスはB747(国際線/離陸)であることから、図-4の最大計測値28.3N/mm²はB747(設計値56.7N/mm²)と推察される。3日間の発着回数は1,169回と、設計想定回数945と同等であるが、応力頻度計測による回数(I-11:2,696回, I-16:1,723回)とは乖離が大きいことから、設計上は打ち切り限界以下のため無視している航空機の前輪(ノーズギア)による応力変動幅を計測した可能性がある。

計測位置は、主桁の設計最大疲労損傷率(0.90)発生位置の桁交差部付近の応力集中影響を含まないため、同影響に関わる換算係数(1.78)を乗じて、設計最大発生位置相当の100年分の疲労損傷率を求めた(表-3)。計測結果に基づく最大疲労損傷率は0.04と、設計値0.90を下回る結果である。計測が3日間と短期であり、航空機の実際の重量が不明であるため厳密な比較はできないが、100年間の供用が十分可能な結果となった。設計と計測の差異理由として以下の①~④が考えられる。

①衝撃係数の相違 設計上は、滑走路上の航空機走行に伴う衝撃係数を一様に0.4(荷重1.4倍)としているが、実際にはこれよりも小さかった可能性がある。

②搭載燃料の相違 設計では燃料満載を前提に航空機重量を評価しているが、実際には目的地やルートにより燃料は最適化されるため、設計重量より小さい可能性がある。

③荷重分散影響の相違 設計上は、航空機の輪荷重を直接直下の鋼桁に作用させているが、実際には、舗装や床版の剛性の寄与により、より広範に荷重が分散されている可能性がある(図-5)。B747(国際線・離陸)の最大応力範囲計測値28.34N/mm²は、設計値56.67N/mm²の50%程度である。これは①~③の複合要因によるものと推察される。仮に全ての荷重が50%の応力変動幅で寄与するとすれば、疲労損傷度は設計値に対して0.13倍(=0.50³)となる。

④機種・回数の相違 走行回数は概ね設計想定通り(表-2)だが、計測時の機種は全般に設計想定よりも軽量クラスの比率が高かった。このことも計測に基づく疲労損傷度の軽減に寄与していると考えられる。

5. おわりに

東京国際空港D滑走路の維持管理計画に従って、応力頻度計測を実施した。現時点の結果から推定される最大疲労損傷率は0.04であり、100年耐用は十分可能である。航空機の機種・回数の頻度は、今後、需要に応じて変動することが予想され、10年毎の計測値を継続観察しながらその都度評価することが重要である。

表-2 航空機離着陸実績

(2019年6月21日12:30~6月24日12:30)

クラス	計測回数			【参考】設計回数	【参考】離陸質量(設計値)
	離陸	着陸	合計	合計	
A380	0	0	0	66	400
Jクラス(B747)	7	2	9	181	396
Lクラス(B777)	315	44	359	255	294
Mクラス(B767)	135	27	162	321	181
Sクラス(B737)	541	81	622	107	70
PRクラス	14	3	17	16	28
	1,012	157	1,169	945	

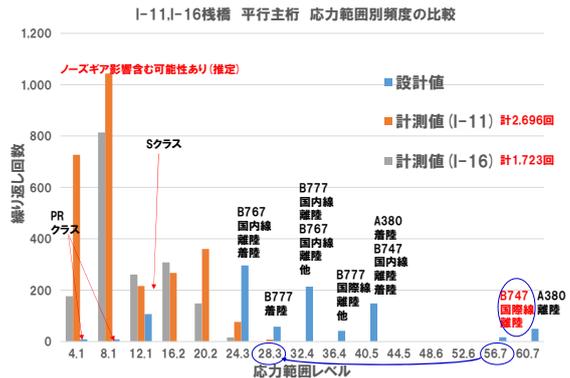


図-4 応力範囲別頻度の設計/計測の対比

表-3 計測値に基づく疲労損傷率推定

	繰り返し回数(3日)	繰り返し回数(100年)	応力範囲計測値(N/mm ²)	応力範囲設計位置換算値(N/mm ²)	疲労寿命回数	疲労損傷率
I-11	7	85,167	28	50	15,563,179	0.01
	76	924,667	24	43	24,718,112	0.04
	360	4,380,000	20	36		
	267	3,248,500	16	29		
	216	2,628,000	12	22		
	1,043	12,689,833	8	14		
	727	8,845,167	4	7		
	2,696	32,801,333	等価応力範囲	13.78	764,942,474	0.04
I-16	16	194,667	24	43	24,718,112	0.01
	148	1,800,667	20	36		
	308	3,747,333	16	29		
	261	3,175,500	12	22		
	814	9,903,667	8	14		
	176	2,141,333	4	7		
		1,723	20,963,167	等価応力範囲	9.09	2,661,831,709

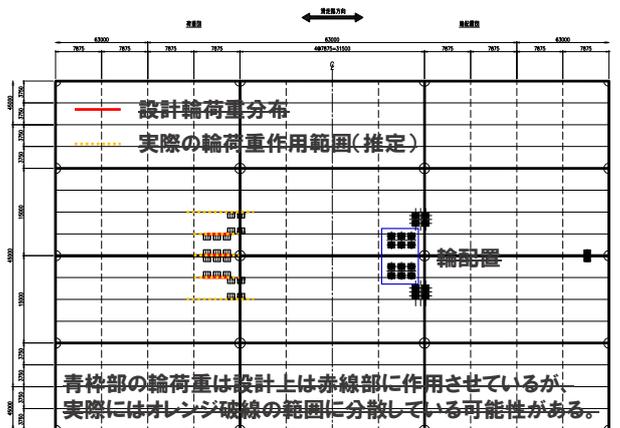


図-5 荷重分散効果