

大型航空機荷重に対応した合成床版橋の実機載荷試験および解析的検討

九州大学 学生会員 ○堀 陽介 正会員 崔 智宣, 山口浩平 フェロー会員 日野伸一  
成田国際空港株式会社 金子 雅廣, 武井 雄三

1. 目的

大型航空機荷重 (以下, LA-0, 6664kN) を対象とする鋼・コンクリート合成床版橋の設計を行うにあたり, 施工実績が無く設計上の技術基準が存在しないことから, 現在道路橋の技術基準により設計を行っている. そこで本研究では, 実際の橋梁 (以下, 実橋梁) において実航空機を用いた載荷試験や FEM 解析によりその妥当性を検討した. また設計で確認できない内部の応力やひずみ, 変形状態等を解析的に検討し健全性の検証を行った.

2. 概要

対象橋梁は, 長さ 48m, 幅 60m, 桁高 1.5m, 主桁本数 63 本, 主桁間隔 0.95m の 2 径間連続合成床版橋である. 全体図を図-1, 橋軸方向の断面図 (一部) を図-2 に示す. LA-0 による合成床版橋の挙動を解析的にシミュレートするため, DIANA ver.9.4.3 による材料非線形を考慮した解析を 3 次元モデルで行った. 表-1 に自動車荷重と LA-0 の比較を示す. 設計で用いた LA-0 は自動車荷重と比較すると, 輪荷重が 3.9 倍, 接地圧が 2.71 倍と, 非常に大きな荷重である. 設計, 解析に使用した航空機荷重は LA-0 で, 荷重載荷位置の詳細を図-3.1 に示す. 実験, 解析に使用した航空機荷重は B777-300ER (以下, B777, 燃料込で 1754kN) で, 荷重載荷位置の詳細を図-3.2 に示す. 解析での載荷方法は図-4.1, 4.2 のように集中荷重, 載荷条件は実際の航空機と同様に, LA-0 では前輪 1 輪あたり 218kN, 主輪 1 輪あたり 390kN, B777 では前輪 1 輪あたり 89kN, 主輪 1 輪あたり 131kN とした. またコンクリート床版, ウェブ, 下フランジはすべてシェル要素を用いた. コンクリートシェル要素にはコンクリート床版, 上フランジ, 上段・下段鉄筋, 底鋼板を含めており, 曲げ剛性が同様になるように換算して適用した. 要素寸法は, 240×240 とした. 拘束条件は図-4 のように両端を Z 軸方向に固定, 中央を X, Y, Z 軸方向に固定したピン支点とした. 表-2, 3 にコンクリート, 鋼材の特性値を示す. コンクリートの材料構成則は岸らの論文<sup>1)</sup>から定義した. 鋼材は完全弾塑性モデル式を用いた.

3. 結果

表-4 に変位, ウェブ, 下フランジの応力の試験値, 解析値, 設計値を示す. 設計値は格子理論により算定している. 航空機荷重は胴体中央部の後輪 (主輪) に集中的に作用するため, LA-0, B777 とともに, 主輪載荷位置での変位が最大となった. その変位は解析値で 12.1mm, 2.53mm と LA-0 では, 設計値の 1.3 倍と大きな値となったが, B777 は設計値と同値であり, 格子理論の変位を精度よく再現できた. 変位の分布図を図

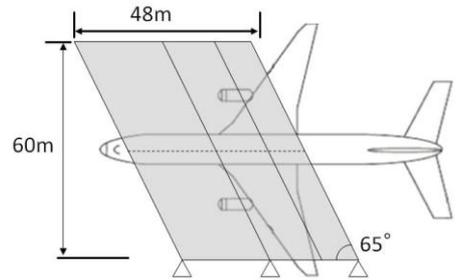


図-1 全体図

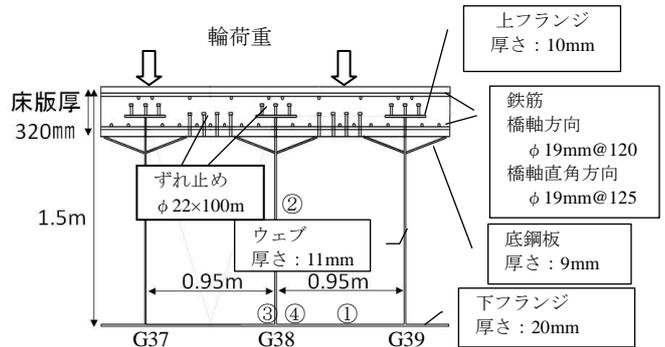


図-2 断面図 (一部)

表-1 自動車荷重と LA-0

	全質量 (kN)	輪荷重 (kN)	接地圧 (N/mm <sup>2</sup> )
自動車荷重 (250kN)	250	100	1.00
航空機荷重 (6664kN)	6664	390	2.71

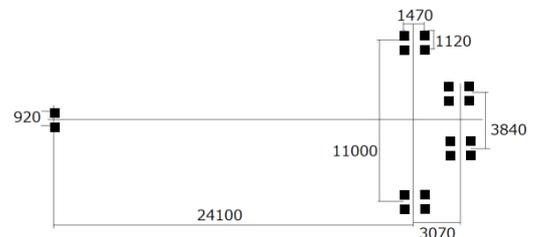


図-3.1 輪荷重 (LA-0)

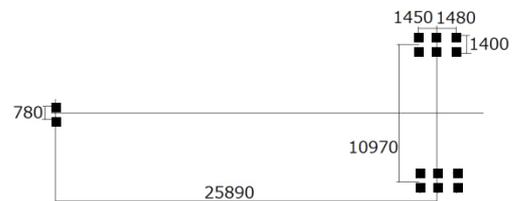


図-3.2 輪荷重 (B777)

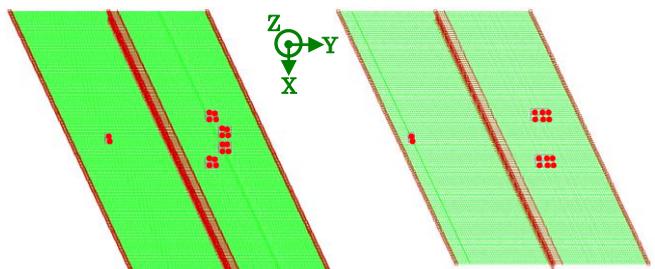


図-4.1 輪荷重位置 (LA-0) 図-4.2 輪荷重位置 (B777)

-5.1, 5.2 に示す。

荷重試験と同条件である B777 での解析結果から、各部材の応力は、ウェブ中央では  $6.2\text{N/mm}^2$  で設計値  $3.6\text{N/mm}^2$  の 1.7 倍であったが、試験値と設計値は同程度の値となった。また、下フランジでの解析値は  $14.8\text{N/mm}^2$  で設計値  $12.4\text{N/mm}^2$  の 1.2 倍となり、解析値が設計値を誤差 20% 程度で再現できた。また、鋼材のすべての点で試験値が設計値、解析値より小さな値を示し、十分安全側に設計されていることが確認できた。



写真-1 試験状況

表-2 コンクリートの特性値

圧縮強度 $f_c(\text{N/mm}^2)$	引張強度 $f_t(\text{N/mm}^2)$	ヤング係数 $E(\text{N/mm}^2)$	ポアソン比 $\nu$
55.9	3.40	40800	0.229

表-3 鋼材の特性値

部材	種類	降伏強度 $\sigma_{y0}(\text{N/mm}^2)$	ヤング係数 $E(\text{N/mm}^2)$	ポアソン比 $\nu$
ウェブ	SM400A	384	200800	0.2
鉄筋(D19)	SD345	388	181300	-
下フランジ	SM490YA	439	200100	0.2

表-4 設計値, 試験値, 解析値の比較

	最大変位(mm)	LA-0		B777		許容値
		解析値	設計値	試験値	解析値	
下フランジ	12.1	9.62	—	2.53	2.53	46
ウェブ中央	橋軸方向 応力(N/mm <sup>2</sup> )	20.3	13.6	3.6	6.2	3.6
ウェブ下端		49.4	47.3	10.4	15.2	12.5
下フランジ		47.3	47.1	10.7	14.8	12.4

設計で対象とした航空機が荷重された場合の挙動を把握するため、LA-0 の解析を行った。LA-0 での解析結果から、下フランジでの解析値は  $47.3\text{N/mm}^2$  で設計値  $47.1\text{N/mm}^2$  と同値となり、解析値が設計値を誤差 5% 以内で再現できた。また、すべての点での解析値が許容値以下となっている。

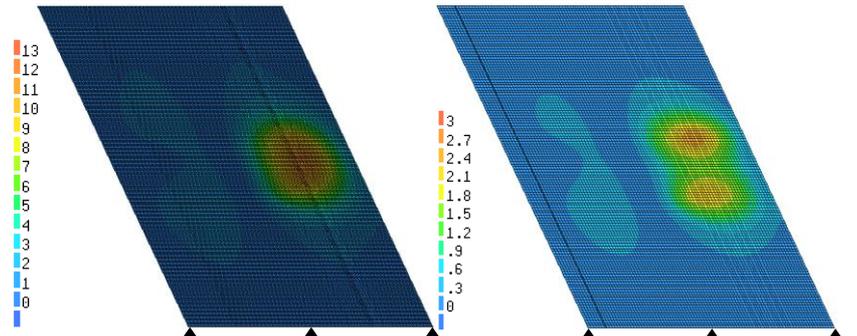


図-5.1 変位分布図 (LA-0 荷重) 図-5.2 変位分布図 (B777 荷重)

支点間中央に大きな荷重が作用するため、コンクリート床版上面の中央支点部分では、負曲げにより引張応力が発生した。橋軸方向の応力分布図を図-5.1, 5.2 に示す。LA-0 での負曲げ部分の引張応力は、 $6.09\text{N/mm}^2$  であり、曲げひび割れ強度  $5.35\text{N/mm}^2$  の 1.14 倍である。このように大きな値となったのは、解析でコンクリート床版をシェル要素としているためであると考えられる。B777 での負曲げ部分の引張応力は  $1.41\text{N/mm}^2$  となった。

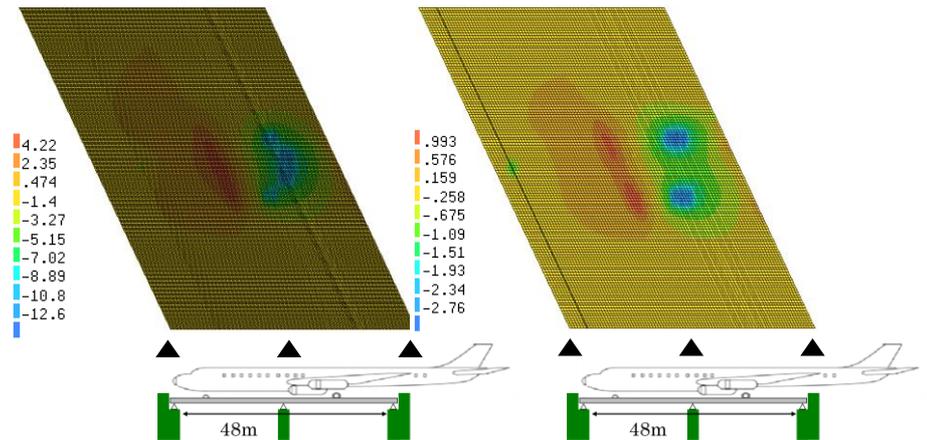


図-6.1 橋軸方向の床版上面 応力 (LA-0) 図-6.2 橋軸方向の床版上面 応力 (B777)

また、図-7 に LA-0 荷重時、B777 荷重時の鋼材応力分布を示す。同図より、鋼材応力は線形挙動を示している。LA-0 荷重時では、ウェブ上面での解析値が設計値と比較して小さな値となっているが、ウェブ下端では解析値と設計値は同程度となっている。B777 荷重時では、すべての点で、解析値、設計値、試験値が同程度となることが確認できた。

3. 結論

本解析により、FEM 解析により、格子理論で計算された設計値がほぼ再現できることが確認できた。また、設計段階では確認できなかったひずみ分布や変位、内部応力なども確認できたため、今後、橋梁の維持管理基準の参考にできると考えられる。

参考文献

1) 岸徳光他:RC 版の押し抜きせん断破壊に関する数値解析的検討,平成 16 年度土木学会北海道支部論文報告集,第 61 号, V-39, 2004.

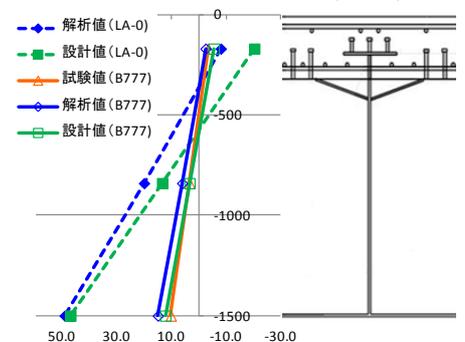


図-7 橋軸方向の鋼材応力分布 (LA-0)