

大型航空機荷重に対応した合成床版橋の耐荷特性

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, 出山 裕樹

1. 目的

鋼・コンクリート合成床版橋の設計を行うにあたり、同形式の橋梁では施工実績の無い、次世代航空機 LA-0 荷重 (680t) を対象とするため、橋梁上の技術基準が存在しない。このことから、道路橋の技術基準により設計を行っている。また、格子理論による設計値であるため、橋軸方向、橋軸直角方向をそれぞれ梁として計算している。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面作用による FEM 解析によりその妥当性を検討した。また本解析では応力について解析値を算出し、設計条件や載荷試験で得られる実験値と対比することにより健全性の検証を行うことを目的とした。

2. 解析概要

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。実橋梁の全体図は図-1、橋軸方向断面図、部位の名称は図-2 に示す。下フランジから 0.75m の位置をウェブ中央、下フランジと接合されている部分をウェブ下端とする。大型航空機荷重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 による線形解析を 3 次元モデルで行った。設計では、LA-0 荷重の 680t を用いており、自動車荷重と比較すると、輪荷重が 3.9 倍、接地圧が 2.71 倍となり、非常に大きな荷重を対象とした。表-1 に自動車荷重と航空機荷重の比較を示す。実験、解析に使用した航空機の荷重モデルは、B777-300ER(燃料込で 179t) で、荷重載荷位置の詳細を図-1、3 に示す。載荷実験の状況を写真-1 に示す。解析での載荷方法は図-4 のように集中荷重、載荷条件は各車輪均一に荷重を受けるように 179t を車輪数で割った 1 輪あたり 125kN 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、EI が同様になるように換算して適用した。最小要素寸法は、475×500×500 とした。図-4 の拘束条件に示すように両端を Z 軸方

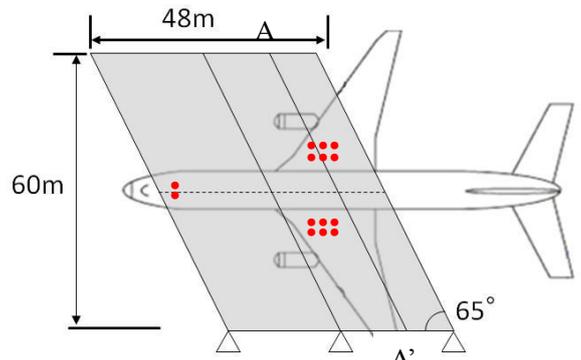


図-1 全体図

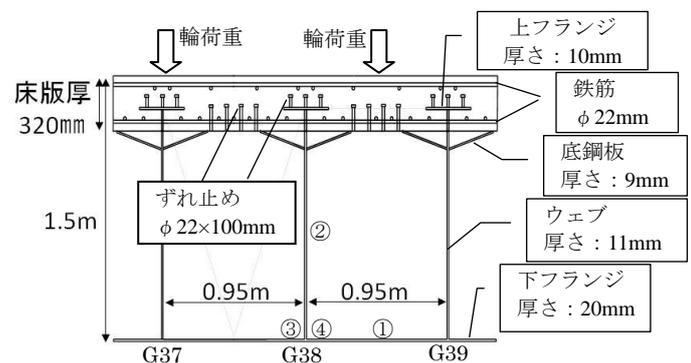


図-2 断面図 (一部)

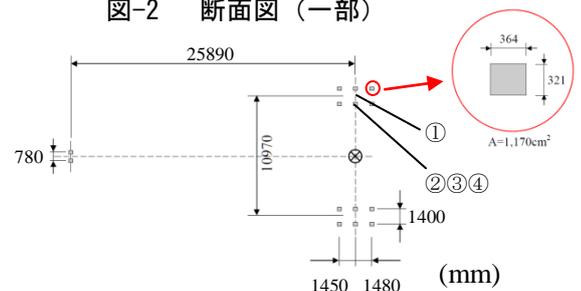


図-3 輪荷重 (B777-300ER)

表-1 自動車荷重と航空機 LA-0 荷重の比較

	全質量 (kN)	輪荷重 (kN)	接地圧 (N/mm ²)
自動車荷重 (25t)	250	100	1.00
航空機荷重 (680t)	6664	390	2.71

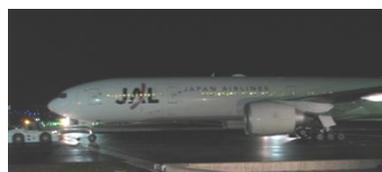


写真-1 試験状況

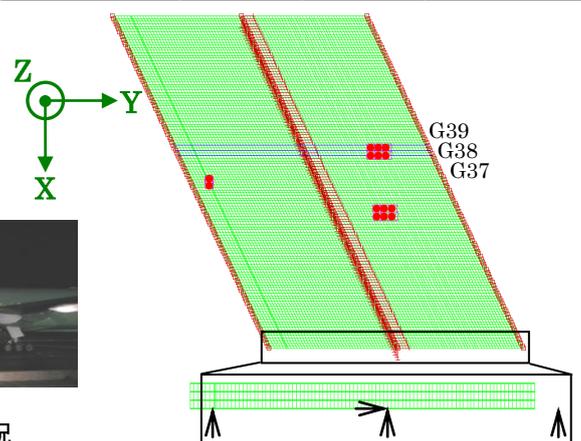


図-4 拘束条件

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。

図-5 に材料構成則を示す。材料構成則では, コンクリートの圧縮, 引張はそれぞれ DIANA の parabolic, exponential モデルを用いた。 G_f には CEB-FIP モデル¹⁾を用い, h は等価長さを示す。また, 鋼材は完全弾塑性モデル式を用いた。コンクリート, 鋼材の諸定数を表-2, 3 に示す。

3. 結果および考察

表-4 に変位, ウェブ, コンクリート, 下フランジの応力の設計値と解析値, 許容値を示す。図-6 に, 航空機荷重重載荷位置橋軸断面方向 (図-1 断面 A-A') の変位図を示す。航空機荷重は, 後輪に集中的に荷重がかかるため, 後輪の荷重位置での変位が最大変位となり, その変位が 2.19mm であった。解析値が設計値 2.39mm の 0.92 倍となり, ほぼ同じ値となった。

表-4 より, ウェブ中央での解析値は 5.46 で, 設計値 4.65 の 1.17 倍, ウェブ下端での解析値は 13.0 で, 設計値 16.2 の 0.80 倍, 下フランジでの解析値は 12.6 で, 設計値 16.1 の 0.78 倍となった。このように, ウェブ中央では, 解析値と設計値はほぼ同じ値を示すことが分かった。ウェブ下端と下フランジでは設計値と比べ安全側に評価された。

図-7(a) にコンクリート上面の橋軸直角方向圧縮応力, 図-7(b) にコンクリート下面の橋軸直角方向引張応力を示す。図-7(a) より, 航空機荷重の荷重位置に圧縮応力が作用すること, 図-7(b) より, 航空機荷重の荷重位置下面に引張応力が作用することが分かった。圧縮応力の解析値は 3.25 で, 設計値 0.91 の 3.57 倍, 引張応力の解析値は 3.44 であり, 非常に大きい値となった。これはコンクリートシェル要素に, コンクリート床版, 上フランジ, 上段・下段鉄筋, 底鋼板が含まれているためと考えられる。

また, 本解析では 179t 荷重で解析を行ったが, 設計荷重である LA-0 荷重(680t)に換算すると, 変位が 8.32mm で, 許容値 46.0mm に収まることが確認できた。応力では, ウェブ中央が 20.7 N/mm², ウェブ下端が 49.4 N/mm², 下フランジが 48.6 N/mm², コンクリートの圧縮応力が 13.1N/mm², コンクリートの引張応力が 13.8N/mm²となった。コンクリートの圧縮応力が許容値 12.0 に収まっていないのは, 荷重条件でタイヤの接地面を考慮せず, 集中荷重にしたことやコンクリートシェル要素にコンクリート床版, 上フランジ, 上段・下段鉄筋, 底鋼板を含めているためであると考えられる。変位, ウェブ中央, ウェブ下端, 下フランジについては許容値に収まることが確認できた。

4. まとめ

本解析により, FEM 解析でも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。現在, 右主輪荷重位置のシェルモデルに上フランジ, 上段・下段鉄筋, 底鋼板を考慮した詳細なモデルを解析しており, 今回の解析と設計値, 実験値と比較する。また, 格子理論では確認できなかった応力分布や変位, 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。なお, 実航空機荷重試験の実験値と解析値の評価については当日発表予定である。

参考文献

- 1) 張広鋒他: 離散ひび割れを考慮した RC 版の押し抜きせん断破壊性状に関する数値解析, 応用力学論文集 Vol.10, pp.477-484

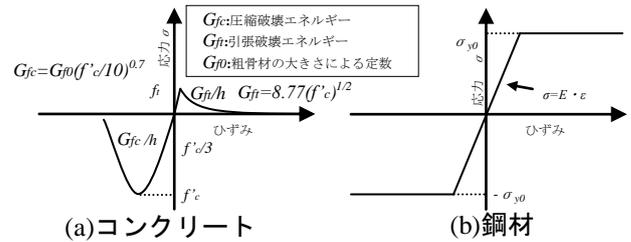


図-5 材料構成則

表-2 コンクリートの特性値

圧縮強度 f_c (N/mm ²)	引張強度 f_t (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν
25.5	2.69	26800	0.195

表-3 鋼材の特性値

部材	種類	降伏強度 σ_{y0} (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν
ウェブ	SM400A	384	200800	0.2
下フランジ	SM490YA	439	200100	0.2

表-4 設計値と解析値の比較

		位置	設計値	解析値	許容値
最大変位 (mm)		図-2, 3 ①	2.39	2.19	46.0
ウェブ中央	橋軸方向応力 (N/mm ²)	図-2, 3 ②	4.65	5.46	140
ウェブ下端	橋軸方向応力 (N/mm ²)	図-2, 3 ③	16.2	13.0	
下フランジ	橋軸方向応力 (N/mm ²)	図-2, 3 ④	16.1	12.6	
コンクリート 橋軸直角方向	圧縮応力 (N/mm ²)	図-7(a) ⑤ G38, G39間	0.91	3.25	12.0
	引張応力 (N/mm ²)	図-7(b) ⑥ G38, G39間	-	3.44	-

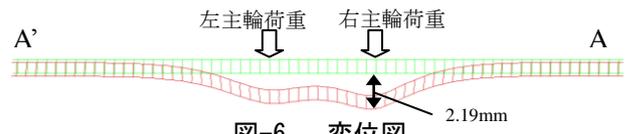
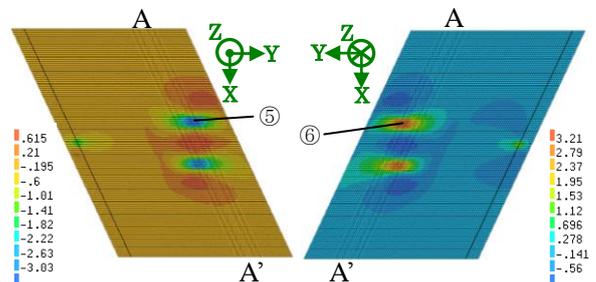


図-6 変位図



(a) 上面(圧縮応力) (b) 下面(引張応力)
図-7 コンクリートの応力 (N/mm²)