

16. 大型航空機荷重を用いた合成床版橋の耐荷・温度応力特性についての研究

堀 陽介

1. 目的

大型航空機荷重（以下、LA-0 荷重、680t）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。また、格子理論により橋軸方向、橋軸直角方向をそれぞれ梁として計算した値を設計値としている。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することを目的としている。また本解析では設計で確認できない内部の応力やひずみ、変形状態等を検討し健全性の検証を行った。

2. 内容

2.1. 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 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。表-1 に自動車荷重と LA-0 荷重の比較を示す。設計で用いた LA-0 荷重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。実験、解析に使用した航空機荷重は、B777-300ER（以下、B777 荷重、燃料込で 179t）で、荷重載荷位置の詳細を図-1、3 に示す。解析での載荷方法は図-4 のように集中荷重、その荷重は各車輪均一となるように 179t を車輪数で割った 1 輪あたり 125kN とした。コンクリート床版内のひずみ分布を確認するため、解析モデルは右主輪載荷位置の周囲 5m 四方のコンクリート床版を 8 節点 Solid 要素とし、その他の部分は 4 節点 Shell モデルとした。Solid 要素内の上・下フランジ、ウェブ、底鋼板を Shell 要素、上段・下段鉄筋を埋め込鉄筋要素で再現した。Shell モデルの床版部分は 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(mm)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¹⁾から図-5 のように定義した。鋼材は完全弾塑性モデル式を用いた。

2.2. 結果

表-4 に変位、コンクリートの応力、ウェブ、下フランジのひずみの試験値と解析値、設計値、許容値を示す。設計値①は全断面有効、設計値②は格子理論により算定している。航空機荷重は主輪に集中的に荷重がかかるため、図-1 の断面 A-A の主輪載荷位置での変位が最大変位であった。その変位は解析値で 2.53mm と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。

各部材のひずみにおいて、ウェブ中央では 31.9μ で設計値 17.8μ の 1.79 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、ウェブ下端、下フランジでの解析値はそれぞれ 71.2μ、71.7μ で設計値 62.0μ の 1.15 倍、1.16 倍となり、解析値が設計値を誤差 20%以内で再現できた。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。

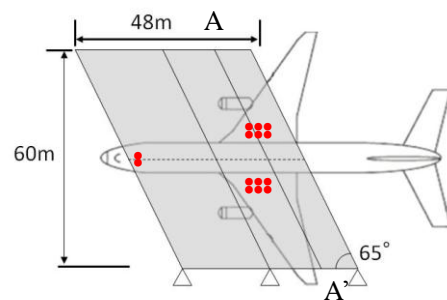


図-1 全体図

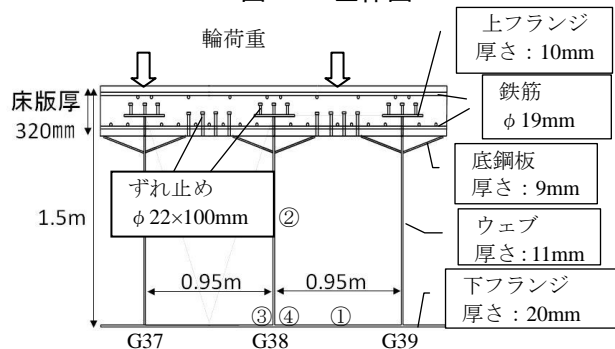


図-2 断面図（一部）

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 |

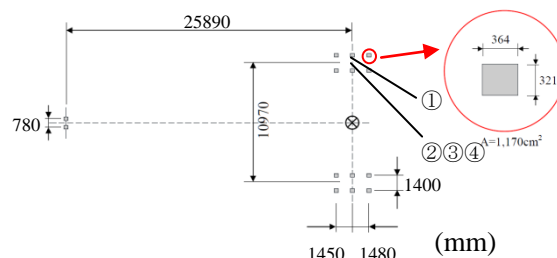


図-3 輪荷重 (B777-300ER)

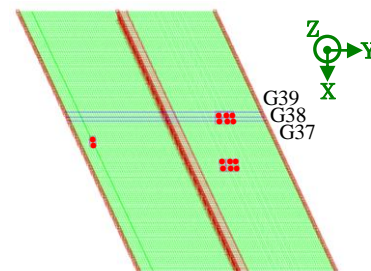
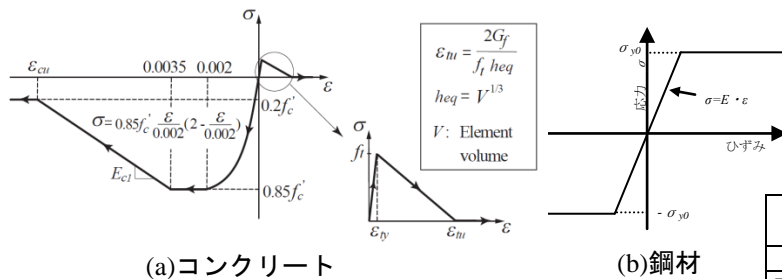


図-4 拘束条件



(a)コンクリート
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 |
|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------|
| 55.9 | 3.40 | 40800 | 0.229 |

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, 試験値, 解析値の比較

| | | B777荷重 | | | | LA-0荷重 | | | | 許容値 |
|----------|----------------------------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | | 試験値 | 解析値 | 設計値① | 設計値② | 試験値 | 解析値 | 設計値① | 設計値② | |
| 下フランジ | 最大変位(mm) | — | 2.53 | — | 2.53 | — | 9.61 | — | 9.62 | 46 |
| コンクリート上面 | 橋軸直角方向 応力(N/mm ²) | — | -3.37 | -0.91 | -0.91 | — | -12.8 | -3.46 | -3.46 | -12.0 |
| コンクリート上面 | 橋軸直角方向 ひずみ(μ) | — | -49.7 | -22.4 | -22.3 | — | -189 | -84.9 | -84.8 | — |
| 上段鉄筋 | | -14.5 | -20.4 | -15.4 | — | -55.1 | -77.5 | -58.6 | — | |
| 上フランジ | | -17.0 | 12.1 | — | -27.1 | -64.6 | 46.0 | — | -103 | |
| 下段鉄筋 | | 17.5 | 44.4 | 15.0 | — | 66.5 | 169 | 56.8 | — | |
| コンクリート下面 | — | 71.5 | 21.9 | — | — | 272 | 83.1 | — | — | |
| ウェブ中央 | 橋軸方向 ひずみ(μ) | 18.0 | 31.9 | — | 17.8 | 68.4 | 121 | — | 67.7 | 697 |
| ウェブ下端 | | 52.0 | 71.2 | — | 62.0 | 198 | 270 | — | 235 | |
| 下フランジ | | 53.5 | 71.7 | — | 62.0 | 203 | 272 | — | 235 | |

図-6 にコンクリート上面の橋軸方向応力分布を示す。同図より、主輪荷重部分に大きな荷重が作用しているため、中央支点部分に負曲げが生じ、コンクリート床版上面に引張応力 1.32N/mm²が発生していることが分かる。しかし、LA-0 荷重に換算した引張応力 5.01 N/mm²は曲げひび割れ強度 5.35 N/mm²より小さいことから負曲げによるひび割れは発生しないと考えられる。

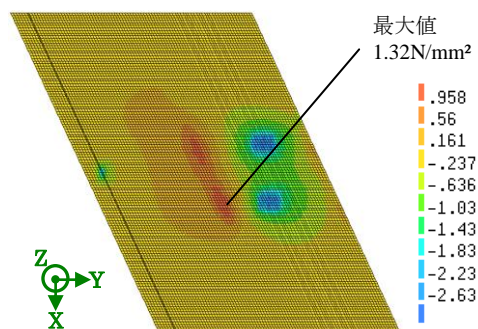


図-6 コンクリートの橋軸方向応力 (N/mm²)

図-7 にコンクリートひずみ分布を示す。同図より、線形挙動を示している。同図より、コンクリートのひずみにおいて各点での解析値, 設計値, 試験値が同程度となることが確認できた。なお試験値ではコンクリート上面, 下面を計測していない。図-8 に鋼材ひずみ分布を示す。鋼材ひずみも線形挙動を示している。同図より、鋼材ひずみも解析値, 設計値, 試験値が同程度となることが確認できた。

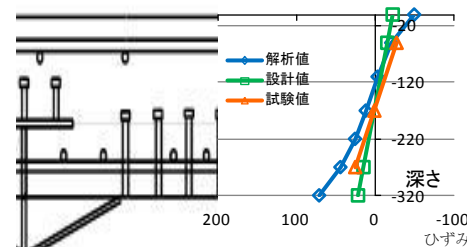


図-7 コンクリートひずみ分布 (橋軸直角方向)

また、B777 荷重での解析結果を用いて設計荷重である LA-0 荷重に換算すると、変位が 9.61mm となり許容値 46.0mm に収まることが確認できた。ひずみにおいてはウェブ中央が 121 μ 、ウェブ下端が 270 μ 、下フランジが 272 μ となり許容値に収まることが確認できた。また、コンクリートの橋軸直角方向の圧縮応力は 12.8N/mm² となり許容値 12.0 N/mm² 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点荷重としたためであると考えられる。

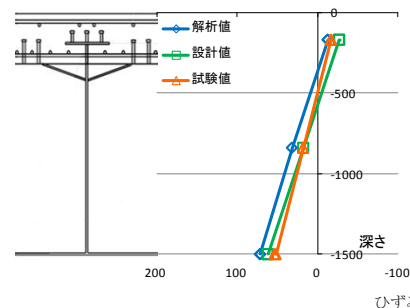


図-8 鋼材ひずみ分布 (橋軸方向)

3. 結論

本解析により、FEM 解析で全断面を有効とした設計値①, 格子理論で計算された設計値②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.