

FEM 解析を用いた鋼多主桁橋の設計合理化に関する一検討

土木研究所 正会員 ○ 吉岡 勉
 同上 正会員 村越 潤
 同上 正会員 高橋 実

1. はじめに 鋼道路橋上部構造の設計は、従来より、初等はり理論に基づいた格子解析により行われている。一方、現在ではコンピュータの急速な発達に伴い、パソコンレベルでも立体 FEM 解析ができるほど設計ツールの高度化が進んでいる。鋼道路橋の設計においても FEM 解析を設計の標準的な手法として導入することで、より合理的な上部構造の開発に繋がるものと考えられる。本検討では、鋼多主桁橋を対象に FEM 解析の適用性を検討するため試設計を実施した。また、格子解析による従来設計と比較した場合の鋼重低減効果の分析を行ったので報告する。

2. 対象橋梁と検討方法 図-1 に対象橋梁の上部工一般図を示す。橋長約 160m、幅員約 10.5m、桁高 2.2m、主桁本数 4 本、主桁間隔 2.6m の 4 径間連続非合成版桁橋である。対象橋梁の主桁は、非合成桁として設計されているが、ここでは、鋼材・床版重量を鋼断面のみで抵抗し、橋面荷重（舗装、壁高欄など）・活荷重を合成断面で抵抗する、いわゆる活荷重合桁に変更した。また、床版をプレキャスト PC 床版から設計基準強度 30N/mm² の RC 床版に変更し、ひび割れを許容するプレストレスしない連続合成桁橋とした。これらの条件変更のもと、3 章では計算を簡略化するため 4 径間のうち 2 径間のみを対象に、格子解析により再設計した桁断面と同一な断面で FEM モデルを作成し、条件を揃えた上で格子と FEM の影響線比較を行う。また、4 章では全径間を対象に、当初設計とは異なる条件の橋梁を格子解析と FEM 解析のそれぞれで最適桁断面を設計し、鋼重低減効果を分析する。

図-2 に設計に用いた FEM 解析モデルを示す。床版、主桁および横桁を 4 節点シェル要素、下横構をトラス要素で配置したモデルである。壁高欄、地覆およびハンチは、従来設計では構造部材として扱わないためモデル化していない。また、同図に示すように床版と上フランジの合成挙動を表現するため、シェル要素間の結合材を剛体梁要素でモデル化した。支承部のモデル化は、剛体梁要素を使って支承幅と高さをピラミッド型で表し、集約節点に境界条件を与えることで支承反力が支承幅内で分散することを表現した。なお、集約節点の高さ方向位置は想定した支承高 40cm の 1/2 点とした。要素分割は、主桁フランジの幅方向に 4 分割、主桁ウェブの高さ方向に 6 分割とし、橋軸方向の分割は、支間中央付近をアスペクト比 1:5 以下に、応力伝達の複雑な中間支点上付近をアスペクト比 1:3 以下になるように分割した。

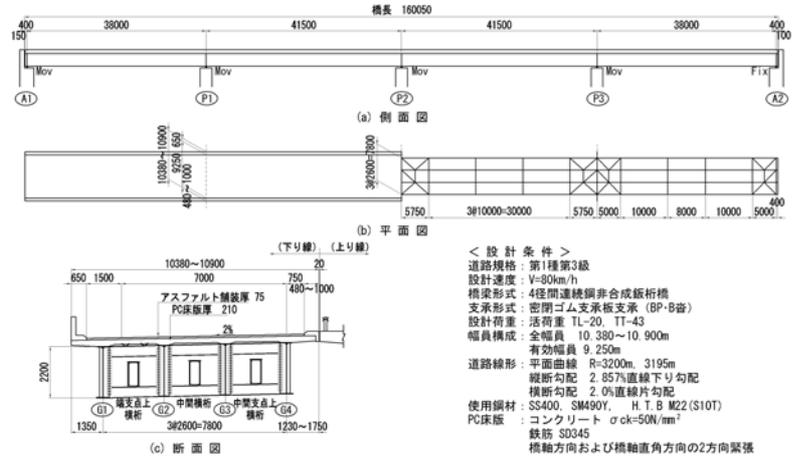


図-1 対象橋梁の上部工一般図

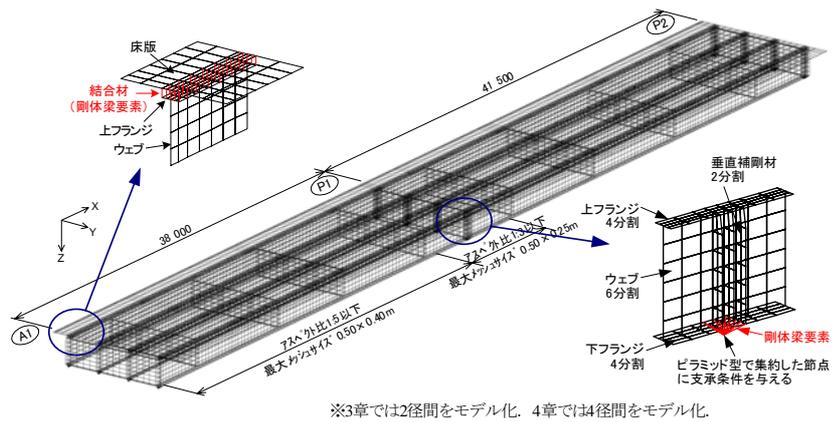


図-2 FEM 解析モデル

3. 格子と FEM による影響線の比較 活荷重の荷重にあたっては FEM 解析を設計に用いる場合でも従来設計同様、影響線により着目部位が最も不利となる荷重状態を求めることを考える。また、連続合成桁の設計では中間支点上における床版の合成作用の取扱いが重要である。格子解析では中間支点から両側支間長の 15% 領域を「鉄筋+鋼断面」として曲げ剛性を算出し、残りの領域を合成断面とする方法が実務レベルでは一般的に用いられており、それを踏襲した。FEM 解析では、RC 床版のひび割れの状態を評価し（ひび割れ強度 σ_{ct} 以上をひび割れとして判定）、「鉄筋+鋼断面」の範囲に反映させる方法を用いた。

このような方法により求めた代表的な部位での影響線の 3次元グラフを図-3 に示す。支間中央 G4 桁下フランジの直応力 σ_x 着目では、ピークの値が格子に比べ FEM の方が 21% 小さい。中間支点上 G4 桁下フランジ応力の直応力 σ_x 着目では、第 1 支間と第 2 支間で完全対称分布となる格子に対し、FEM ではやや非対称の分布となり、ピークの値は格子より 10% 小さい。これは FEM と格子で荷重分配効果が異なることを示している。一方、表-1 に示す影響面体積および活荷重 (L 荷重) 時発生応力の比較を見ると、支間中央 G4 桁下フランジの最大直応力 $\sigma_{x_{max}}$ では 8%、中間支点上 G4 桁下フランジの最小直応力 $\sigma_{x_{min}}$ では 17%、FEM の方が大きくなり、影響線ピークの差から逆転している。このことは、載荷面積を徐々に大きくして発生応力を比較した図-4 からわかるように、載荷面積が比較的狭い状態であれば FEM の発生応力は格子に比べ小さくなるが、載荷面積が大きくなると格子と同等か、それ以上になることを示している。

4. 設計結果と考察 設計荷重を前死荷重、後死荷重、活荷重および地震荷重に限定し、FEM 解析により発生する応力を用いて許容応力度法に基づき設計を行った。図-5 に設計断面から算出した鋼重を示す。同図には、非合成桁として設計した結果も併せて示す。FEM 解析を用いて設計した場合、非合成桁では約 2% の鋼重低減となり、合成桁では約 1% の鋼重低減となった。

5. おわりに FEM 解析により鋼多主桁橋の主桁設計を行い、格子解析による場合との比較を行った結果、本論文で対象とした有効幅員 9.25m、支間長約 40m の連続合成桁橋では、格子解析による従来設計とほぼ鋼重が変わらないことがわかった。今後は、様々なタイプの鋼桁橋の試設計を行うとともに、設計ツールの高度化に即した設計手法の見直し（構造解析係数の導入など）が必要と考えられる。

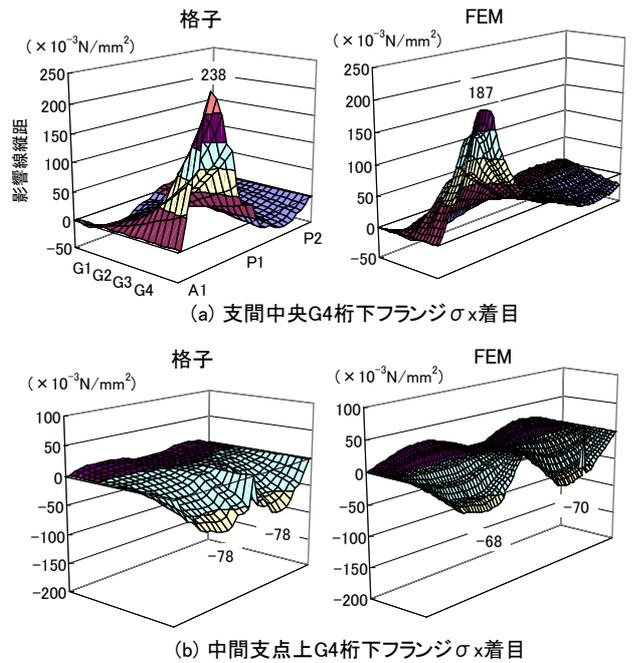


図-3 格子と FEM の 3次元影響面グラフ

表-1 影響面体積および活荷重応力の比較

着目点と着目量		解析モデル	格子	FEM	比率 (FEM/格子)
支間中央	G4下フランジ $\sigma_{x_{max}}$	影響面体積	9568	10423	1.09
		活荷重応力	93.3	100.4	1.08
中間支点上	G4下フランジ $\sigma_{x_{min}}$	影響面体積	-7883	-9163	1.16
		活荷重応力	-52.7	-61.4	1.17
	G4ウェブ τ_{max}	影響面体積	2728	2648	0.97
		活荷重応力	25.8	23.9	0.93

※単位は、影響面体積($\times 10^6 \text{N/mm}^2 \cdot \text{mm}^2$)、発生応力(N/mm^2)

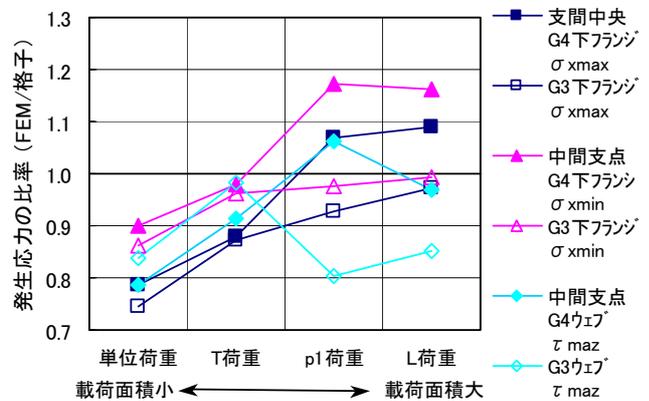


図-4 載荷面積の大きさによる発生応力の比較

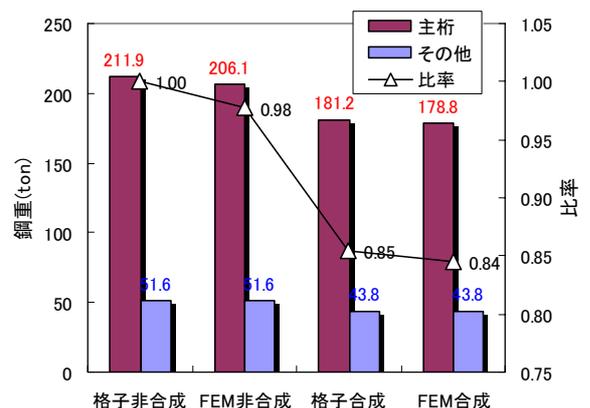


図-5 各設計での鋼重とその比率