

道路橋設計における構造解析結果の処理方法の比較

石尾真理* 玉越隆史** 横井芳輝*** 中洲啓太****

1. はじめに

道路橋設計基準の許容値等の規定は、格子モデルのような単純化された解析モデルで算出される応答値と照合することを前提として、定められていることが多い(図-1参照)。また、それらの規定の根拠となる実験結果の多くは、部材の力学的特性に影響する材料や施工品質のばらつきの影響も含まれた結果に対して評価されたものとなっている。一方、実務設計で部材の局部的な応力などが精度よく得られるFEM等の解析手法を用いた場合、設計基準で前提としている解析モデルで得られる値とは直接対比できないため、許容値とも単純な比較ができないという問題が生じる。

以上をふまえ、本研究ではFEM等の解析手法で得られる応答値と、基準の許容値等とを適切に比較できるように、FEM等の応答値の処理方法を検討する。また、照査する部材の限界状態等に対する安全余裕を把握するための方法を検討した。

具体的には、鋼桁橋及びコンクリート橋の代表的な橋梁を設定し、FEMモデルの解析結果に対して、特定の範囲に着目した平均化などの処理を施した結果の値と、格子モデルによる解析値との比較を行った。

2. 鋼桁橋

2.1 概要

鋼桁橋は、図-2に示す橋梁諸元を基本とし、せん断力及び曲げモーメントについて、処理方法の違いによる結果の比較を行った。

2.2 解析ケース

解析ケースを表-1及び表-2に示す。せん断応力度を図-3に示す抽出位置で比較すると、図-4に示すとおり、FEMではウェブの高さに応じて変化しており、格子モデルとは分布形状が異なることがわかる。また、図-5に示すとおり、主桁ウェブ厚(t_w)に対して主桁フランジ厚(t_f)が厚くなるほど、ウェブに発生する最大せん断応力度は大きくなることわかる。

このように、同じ位置の応力分布が構造によって大きく異なり、それらを忠実に出力するFEMでは、抽出対象要素の取り方や範囲によっても評価が大きく左右されることがわかる。ここでは、主桁と横桁の接合部や、中間支点上などの応力集中が生じる部位を対象に、FEMによる応力算出結果の処理方法を変えて、格子モデルとの比較を行った。

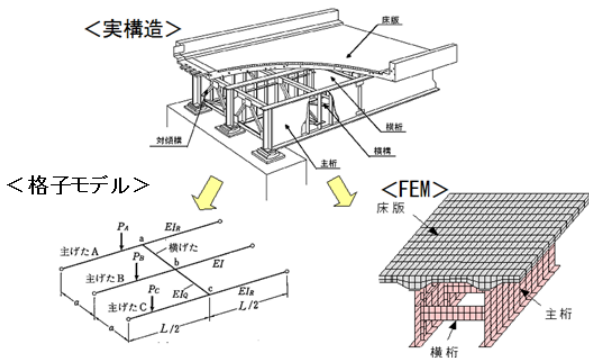


図-1 設計の仮定と実構造物

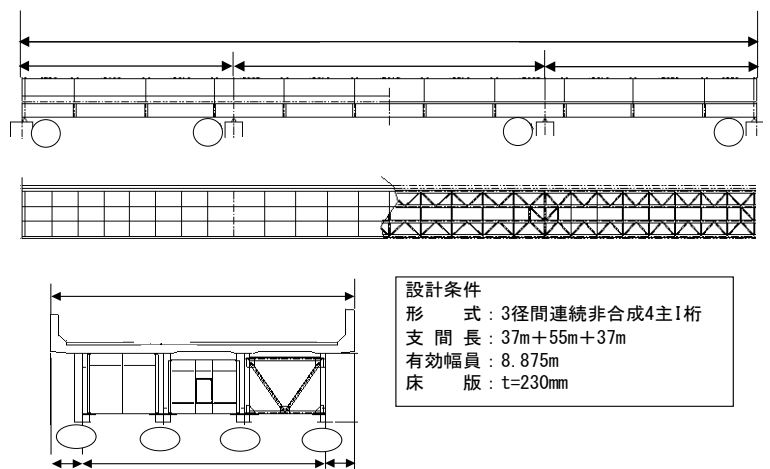


図-2 基本とする橋梁諸元(3径間連続鋼桁橋)

表-1 解析ケース(せん断応力のパラメータ)

せん断面積比 (A_f/A_w)	ウェブ厚 t_w (mm)	桁高 h (m)	フランジ厚 t_f (mm)	パラメータ
0.66	16	2.4	40	ウェブ厚変化
0.88	12			
1.17	9			
0.88	12	2.4	40	桁高変化
1.05		2.0		

A_f : 主桁下フランジの断面積
 A_w : 主桁ウェブの断面積

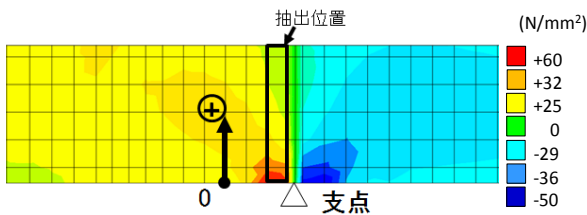


図-3 抽出位置 (中間支点上ウェブ)

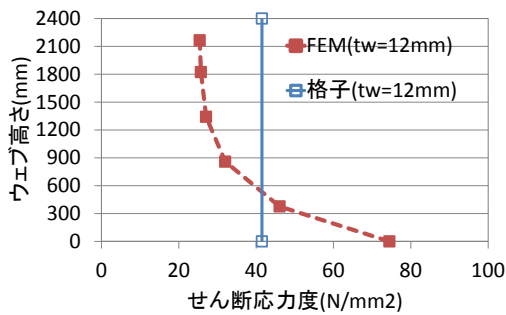


図-4 抽出位置(中間支点上ウェブ)の要素のせん断応力

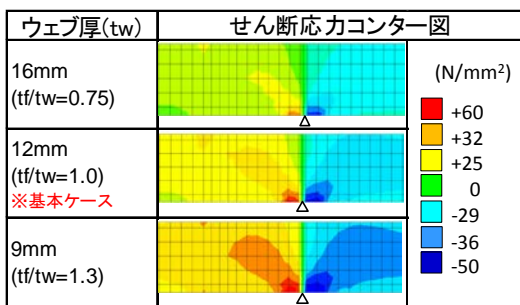


図-5 ウェブ厚とせん断応力の関係

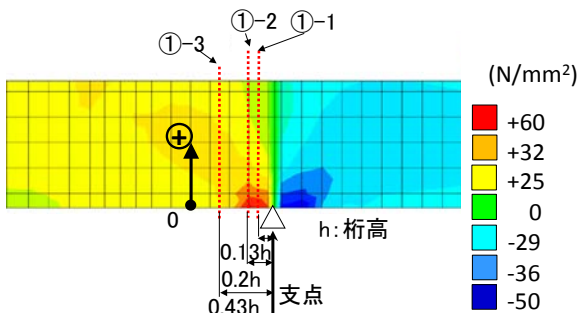


図-6 応力を評価した断面位置 (処理方法①)

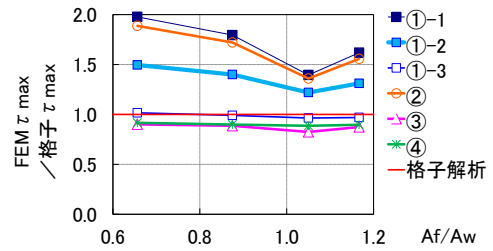


図-7 ウェブ内の最大せん断応力比

2.3 FEMモデルで算出した応力の処理方法

鋼桁橋をFEMで算出した応力の処理方法について4つの方法を説明する。

- ① 支点から桁高の0.13倍離れた断面を①-1、支点から0.2倍離れた位置を①-2、支点から0.43倍離れた位置を①-3とし、それぞれに位置するウェブ断面の応力分布の最大値 (図-6参照)。
- ② 支点から桁高0.13倍のウェブ断面(①-1断面)の応力分布を線形近似した直線の最大値。
- ③ 支点から桁高0.13倍のウェブ断面(①-1断面)の応力分布からせん断力又は曲げモーメントを逆算。(平面保持の仮定*)
- ④ 支点から1mの間にあり、ウェブ高の1/2に位置する要素の応力の平均値。

2.4 せん断応力度の照査

表-1に示すパラメータを上記2.3の方法で処理した結果を、格子解析結果で除した値を図-7に示す。なお、構造諸元の違いを普遍的に評価できるよう、ウェブ厚及び桁高の違いをせん断面積比として無次元化した。

処理方法①-1、2は、構造が急変する部位に近く局所的な応力の影響を受けて格子モデルよりも大きなせん断応力となり、指標ごとの応力変化傾向も異なる。また、②についても、①-2の位置で求めた分布を直線近似しているため同様の結果となった。一方、①-3及び④の方法では、せん断応力度は格子モデルに近い評価結果が得られた。

2.5 曲げの照査

表-2に示すパラメータについて、上記2.3の①から④の方法で処理した結果を、格子モデルの算出結果で除した値を図-8、9に示す。図-8は中間支点上主桁上フランジの引張応力度照査に用いる直応力、図-9は下フランジの圧縮応力度照査に用いる直応力を格子モデルと比較した結果である。なお、ここでは曲げ剛性 (L/δ_{max}) で無次元化した。

*土木用語解説：平面保持の仮定

図-8の上フランジの直応力比については、床版と主桁の合成効果を弾性バネとして考慮したケースのみ、③を除く全ての処理方法でFEMモデルよりも格子モデルに対する値が小さくなった。これは、FEMモデルにおいては格子解析で一般に考慮していないコンクリート床版をモデル化していることから、コンクリート床版による荷重分配作用が現れていることが要因の一つと考えられる。

下フランジの圧縮応力度の処理方法について、処理方法①-1、2では、構造が急変する部位に近く局部的な応力の影響を受けて格子モデルよりも直応力比が大きくなった。一方、①-3、②、③、④の方法の傾向は近く、格子モデルに対して0.9倍から0.7倍の結果となった。また、処理方法の違いによる大小関係は曲げ剛性ごとに違いがない結果となった。

表-2 解析ケース (曲げ照査のパラメータ)

パラメータ					パラメータの無次元値
床版合成作用	桁高	ずれ止めモデル化	二次部材 下横 対傾	フランジ厚	曲げ剛性
非合成	2.4m	剛バネ	○ ○	40mm	765
合成	2.0m	剛バネ	○ ○	62mm	1435
合成	2.4m	弾性バネ	○ ○	40mm	1589
合成	2.4m	剛バネ	× ○	40mm	1765
合成	2.4m	剛バネ	× ×	40mm	1775
合成	2.4m	剛バネ	○ ○	30mm	1908
合成	2.4m	剛バネ	○ ○	40mm	1918
合成	2.4m	剛バネ	○ ○	50mm	1929

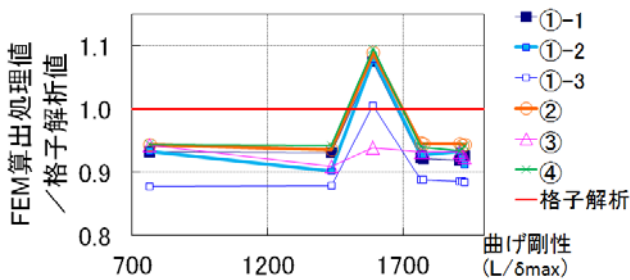


図-8 G4桁中間支点上フランジ

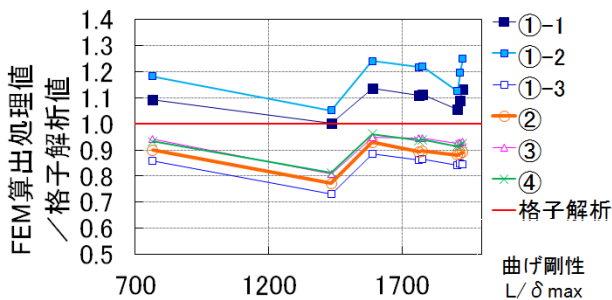


図-9 G4桁中間支点下フランジ

3. PC箱桁橋

3.1 概要

PC箱桁橋は、図-10に示す構造諸元を基本として、表-3に示すパラメータについて、せん断力及び曲げモーメントを算出し、処理方法の違いによる結果の比較を行った。

3.2 FEMモデルで算出した応力の処理方法

曲げモーメントの照査位置は、支間中央とした。せん断力の照査位置は、棒モデルでは桁高の1/2離れたa-a断面、FEMでは支点横桁充実断面があるため、せん断応力度が高く中空断面で充実部からの応力の乱れがほぼ解消されるA1と、A1から1.0mずつ離れたA2、A3の3断面とした (図-11参照)。

FEMで算出した各要素の応力は、断面方向に対して次の処理を行った。曲げモーメントは、図-12(a)に示すように、要素ごとに作用する軸力に断面図心軸からの距離を乗じたものを積分し、断面全体の曲げモーメントを算出した。せん断応力度は、図-12(b)に示すように各要素のせん断力を断面方向に積分し、断面全体のせん断力を算出した。

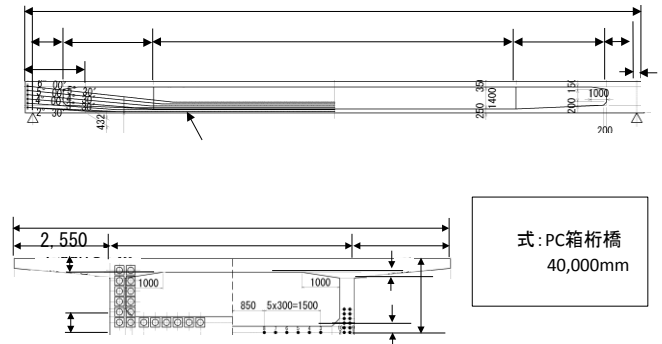


図-10 基本とする橋梁諸元 (PC単純箱桁橋)

表-3 解析ケース (PC単純箱桁橋)

上床版厚B (mm)	下床版厚L (mm)	ウェブ厚W (mm)	上床版ハンチ勾配	下床版ハンチ勾配
300	300	400	1:6.7	1:1
		600		
		800		

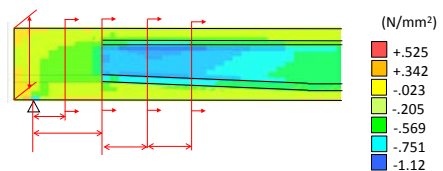


図-11 主桁FEM解析結果の照査位置

3.3 せん断応力度及び曲げモーメントの照査

棒モデル(断面a)とFEM(断面A1からA3)それぞれの終局荷重時せん断応力度の比較結果を、図-13に、曲げモーメントの比較結果を図-14に示す。

せん断応力度、曲げモーメントともに、床版厚に対してウェブ厚が薄くなると、FEMで算出した結果と棒モデルの結果ともに小さくなった。

以上のことから、支間40mのPC単純箱桁橋においては、床版厚とウェブ厚の組み合わせにかかわらず、棒モデルとFEMモデルの解析結果の間に一定の定量的関係が成立し、FEMによる解析結果のみで基準の許容値との対比が行える可能性があることがわかった。

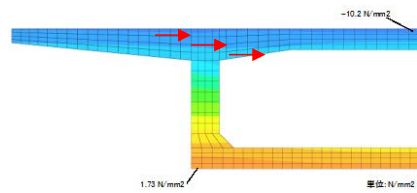
4. まとめ

以上のように、FEM等の精度の高い解析を用いた場合には、予め橋梁形式や評価内容に応じて、解析手法毎に計算応力等の結果の処理方法や適用範囲を適切に定めておかなければ、基準に定める許容値との適切な対比とならないことがわかった。また、解析方法とその結果の扱いによって、構造物の安全余裕の評価が大きく左右されうることも明らかとなった。

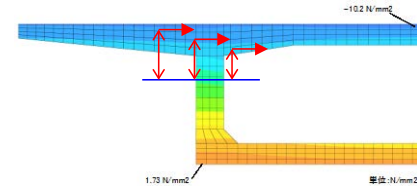
引き続き、対象を拡大して試算や実測結果との対比を進め、解析方法に応じた基準との対比手法(モデル化方法、解析結果の評価方法)の提案に向けた検討をしていく予定である。

参考文献

- 1) 玉越：道路維持管理のこれまでとこれからの方向性、道路、2011.9
- 2) 本州四国連絡橋公団：鋼上部構造の設計にFEMを適用するためのガイドライン(案)、1993.9



(a)せん断照査方法概念図



(b)曲げモーメント、軸力照査方法概念図

図-12 主桁FEM解析結果の算出方法

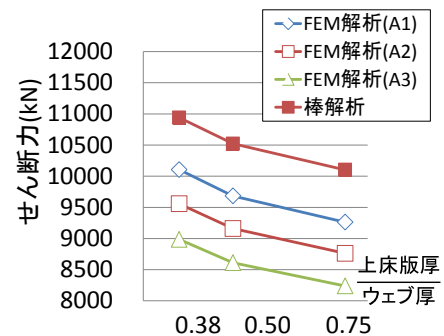


図-13 主桁のせん断力(終局荷重時)

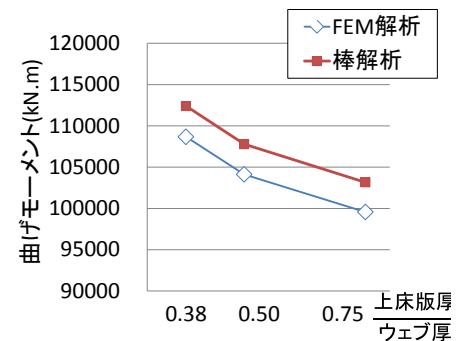


図-14 主桁下フランジの曲げモーメント(終局荷重時)

石尾真理*



国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室 研究官
Mari ISHIO

玉越隆史**



国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室長
Takashi TAMAKOSHI

横井芳輝***



国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室 研究官
Yoshiteru YOKOI

中洲啓太****



インド国JICA専門家(前 国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室主任研究官)
Keita NAKASU