松尾橋梁株式会社 学生会員

1.背景・目的

近年,経年劣化による構造物の腐食・損傷が問題視されており, これらに対する維持管理が重要な課題となっている.維持管理を 行う上で,腐食した構造物に適切な補修・補強を施すことと共に構 造物がどの程度の残存耐力を有しているかを正確に把握し,補 修・補強等の処置をいつ行うべきかを明確にすることが重要とな る.後者を判断するために,近年では3次元有限要素解析(FEM 解 析)を用いた応力度評価が数多く行われている.

既往の研究から,FEM 解析を用いれば設計計算で用いられる計 算方法より実際の状態に近い応力評価が可能であるとされている. また,FEM 解析による応力度評価は,同じ荷重状態での設計計算法 による応力度評価より,低い応力になることがわかっている.これ らの特徴を生かし,実応力比(実測応力を計算応力で除した値)を 用いた疲労設計が提案されている.

本研究では、実際に供用されている2種類の橋梁に対して FEM 解析を行い、その結果から得られる応力と、同じ条件での設計計算 法による応力を比較する.比較結果から FEM 解析を維持管理およ び疲労設計に用いる方法について考える.

## 2.解析概要

本研究で対象とした橋梁は1964年に架設された神戸橋 および2006年に架設された国守橋の2橋である.神戸橋は単純支持のボックスガーダー橋で、国守橋は2主桁4径間連続のプレートガーダー橋である.両橋ともほぼ全ての部材を4節点シェル要素でモデル化し、一部の部材については2節点梁要素を用いてモデル化を行った.各解析モデルの全景をFig.1, Fig.2にそれぞれ示す.材料特性は、鋼材に関して弾性係数210(GPa)単位重量を78.6(kg/m<sup>3</sup>),鉄筋コンクリートに関しては弾性係数30(GPa),単位重量を25.0 (kg/m<sup>3</sup>)で与えた.









- 清岡直樹 広島大学大学院 フェロー会員 中村秀治 広島大学大学院 正会員 藤井堅
  - 3.解析結果と設計計算法による計算結果との応力比較

比較を行う際の荷重条件は、死荷重として自重を載荷し、活荷重 として道路橋示方書で示されているL荷重(P1およびP2)を載荷し た.橋軸方向の活荷重載荷位置は、応力比較の際に着目する断面で 主要となる応力が最大になると考えられる位置とした.また、比較 対象とする応力はウェブのせん断応力と、下フランジの曲げ応力 とした.

まず,橋軸直角方向の荷重位置を幅員の中央とし,橋軸方向に移動させ,各荷重位置での解析結果と設計計算法による計算結果を支間中央での下フランジの曲げ応力に着目して比較を行った.その結果から,横軸に各荷重位置での設計計算応力,縦軸に同じ位置でのFEM 解析で得られた応力をプロットしたものをFig.3 に示す. グラフから,荷重が橋軸方向のどの位置にあった場合でも,設計計算応力に比べて,FEM 解析結果が小さくなっていることがわかる. また,これらの応力の比(FEM 解析/設計計算)は約0.85 で,ほぼ一定値となった.



Fig.3 各荷重位置での応力比較結果

続いて,橋軸方向の荷重位置を変えずに,橋軸直角方向の荷重位 置を変化させてそれぞれ比較を行った.着目する応力は,支間中央 部,下フランジの曲げ応力と,支承部付近でのウェブのせん断応力 とした.

曲げ応力を比較する際の荷重の載荷位置と着目断面を Fig.4 に 示す.またそれぞれの計算方法から得られた応力値を Table.1 に示 す.なお,case1 は幅員の中央部に載荷した状態であり,case 番号が大 きいほど幅員の中央から離れた場所に載荷している.国守橋の比 較結果に着目すると,設計計算法より FEM 解析のほうが小さい 応力になっているといえる.FEM/設計は,case1 から case6 に値 が少しずつ大きくなっていることがわかる.設計計算で用いた計 算法では,梁理論で断面に働く曲げモーメントを算出し,曲げ応

力 を断面二次モーメント I と中立軸からの距離 y を用いて

 $\sigma = \frac{M}{I} y$ より求めるため、断面内での応力値は中立軸からの距離の

みによって決まる.また,深理論で算出する曲げモーメントは橋 軸直角方向の荷重位置に左右されないため,橋軸方向の荷重が同 じであれば橋軸直角方向の荷重位置によらず一定の応力値を算出 することになる.実際には橋軸直角方向に荷重が偏心すれば,各 主桁の負担する応力は増減し,ねじれの効果も現れるため,FEM 解析結果の応力値は荷重が偏心するにつれて大きくなっている. 一方で、神戸橋の比較結果は、FEM / 設計の値はほぼ一定で,ケースによって変わらないことがわかる.神戸橋は幅員が8mであり,それに対して活荷重の幅は5.5mと大きく、主桁間には縦桁が配置されていることもあり,荷重が橋軸直角方向に移動しても,主桁の負担応力が大きく変化しなかったと考えられる.また,荷重の偏心によるねじれの効果はせん断応力には大きく影響するが,曲 げ応力には影響が少ないこともあり,FEM / 解析の値はほとんど変化しなかったと考える.



Fig.4 曲げ応力比較時の荷重載荷位置と着目断面

国守橋								
	(N/mm2)			2)	FEM/設計			
	設計計算		FEM解析					
case1		69.96		55.65	0.80			
case2		69.96		56.84	0.81			
case3		69.96		59.27	0.85			
case4		69.96		60.14	0.86			
case5		69.96		62.25	0.89			
case6		69.96		63.94	0.91			
	神戸橋							
		(N/mm2		/mm2)	CEM / 출자호구			
		設計計算		FEM解析				
case1		246.57		201.02	0.82			
case2		246.57		200.94	0.81			
case3		246.57		200.95	0.81			
case4		246.57		200.70	0.81			
case5 246.57			200.66	0.81				
case6 246.57			200.39	0.81				
00300		2-10.51		200.00	0.01			

Table.1 曲げ応力比較結果

次に,せん断応力を比較する際の荷重位置と着目断面を Fig.5 に,国守橋における応力比較結果を Fig.6 に示す.なお,Fig.6 のグラ フは,縦軸に下フランジからの高さをとり,横軸にはその位置での せん断応力をプロットしている.

グラフから , 応力値が大きい場所では FEM 解析結果のほうが 小さい応力になっていることが分かる.また.最大応力の位置は, 荷重位置によってかわらず,分布形状もほぼ一定で,荷重の偏心 が大きくなるほど 応力値そのものが大きくなっているといえる. 荷重が偏心すると, 主桁の負担応力が大きくなり, さらにねじれ の効果でせん断応力が大きく算出されたことが原因であると考え る.設計計算法と FEM 解析結果との最大荷重位置が違う理由と しては、床版との合成効果と自重の載荷方法の違いが考えられる. 設計計算法では,主桁のみの断面で応力を算出したが,FEM 解析 では, 主桁と床版が合成桁として機能するため, 床版に近い上フ ランジ付近での応力値が小さく算出されたと考えられる.また, FEM 解析で考慮した自重は節点ごとに分配して与えているが、設 計計算法では自重を等分布荷重として床版上に載荷しているた め、自重の載荷方法による発生応力の違いが影響していると考え られる.各々の最大応力について比較を行った結果をTable2に示 す. すべての場所で FEM 解析結果が小さい応力値になっている ことがわかる .また,FEM / 設計の値は荷重の偏心とともに大きく なっている.

神戸橋に関しても国守橋とほぼ同様の結果を得られた.



Fig.5 せん断応力比較時の荷重載荷位置と着目断面



Fig.6 せん断応力比較結果

国守橋						
	最大応力	CCM/==-				
	設計計算	FEM解析				
case1	37.58	29.32	0.78			
case2	37.58	30.25	0.80			
case3	37.58	31.49	0.84			
case4	37.58	32.82	0.87			
case5	37.58	33.64	0.90			
case6	37.58	34.41	0.92			

Table.2 最大応力比較結果

## 4.結論と課題

本研究で,国守橋,神戸橋について FEM 解析モデルを作成し同じ条件での設計計算との応力比較を行い以下の結果を得た.

- (1) FEM 解析結果から得られる応力値は,設計計算で得られる 応力値より小さくなる.
- (2) FEM 解析と設計計算応力の比は,橋軸方向の荷重位置によってほとんど変動せず,橋軸直角方向の荷重位置の影響が大きい.
- (3)3次元 FEM 解析を用いることで,床版との合成効果や,ね じれによるせん断応力の上昇などが把握できた.

今後はさらに別の橋梁でも同様の比較検討を行い,データを増やしていくことで、橋梁形式による設計計算値の有する特性が明らかになるものと考えられるまた、実測応力との比較を行いFEM解析の精度について検討する必要がある.

参考文献

- (1) 中村秀治・藤井堅・塩竈裕三:鋼構造物の定量的な維持管理 規定に関する
  - 検討,第60回 土木学会中国支部研究発表会 2008.5
- (2) 鈴木博之: 鋼道路橋の疲労設計のための実応力比に関する検討,福井工業

大学研究紀要 第26号, 1996