

鋼製橋脚隅角部の解析手法の一提案

A proposal of analytical solution for the beam-to-column connection

大村 武馬*, 下山田 孝志**, 江川 定利***, 玉越 隆史****

Takema OIMURA, Takashi SHIMOYAMADA, Sadatoshi EGAWA, Takashi TAMAKOSHI

*, (株)横河技術情報, エンジニアリングサービス部 (〒273-0026 千葉県船橋市山野町 47-1)

**, (株)横河技術情報, エンジニアリングサービス部 (〒273-0026 千葉県船橋市山野町 47-1)

***, (株)横河技術情報, エンジニアリングサービス部 (〒273-0026 千葉県船橋市山野町 47-1)

****, 国土交通省国土技術政策総合研究所, 道路研究部橋梁研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭一番地)

This paper proposes the constant shear flow panel for designing and analyzing beam-to-column connection of steel bridge pier. Fatigue strength is estimated from the local stress on complicated structure like the connection of the pier. Normally, the pier is designed using Okumura-Ishizawa method considering shear lag. However, the local stress does not come from this approach. On the other hand, FEM is still the effective method for analyzing local stress, but complicated.

This paper shows the constant shear flow panel makes the analysis model simple rather than FEM and estimates the local stress on corner edge of steel bridge pier and the improvement of fatigue performance like fillet or other method for reducing stress on early design step.

Key Words: beam-to-column connection, constant shear flow panel

キーワード: 鋼製橋脚隅角部, 一定せん断流パネル解析,

1. はじめに

平成 14 年 3 月の道路橋示方書改訂により, 鋼橋の設計にあたっては疲労の影響を考慮することが規定された¹⁾. あわせて具体的な疲労設計法として「鋼道路橋の疲労設計指針」²⁾ (以下, 疲労設計指針) が発刊され, 鋼製上部構造や橋脚構造の設計の参考とされている. 疲労設計指針では, 自動車荷重により部材に生じる応力変動が評価できる場合にはこれを用いて必要な耐久性を合理的に確保することがあくまで基本とされている. また, 鋼床版や鋼製橋脚等のように一般的な設計計算によっては応力変動の適切な評価が困難である場合でも, 疲労強度が著しく低い継手や過去に疲労損傷が報告されている構造の採用を避けることなどの配慮が求められる. ただし鋼床版に関しては, 疲労耐久性が確保できる構造詳細の例が示されているが, 鋼製橋脚など疲労耐久性確保策についての知見が必ずしも十分でなく一般化されていない他の構造について具体的方法は示されていない.

近年, 都市高速道路等の重交通路線を中心に鋼製橋脚隅角部 (以下, 隅角部) に自動車荷重による疲労が原因と疑

われる亀裂損傷が多数発見されている. このことを発端に, その原因究明や補修・補強方法の確立に関する研究が多方面で行われるようになった^{3)~5)}. これらの研究には, 隅角部の応力性状を模型載荷実験や FEM 解析によって算出し, 隅角部では局部的に従来耐力設計で考慮してきた設計応力を上回る応力が生じている可能性を報告するものもある. また, FEM 解析で求めた応力状態に関する情報から疲労照査を試みる事例も見られるようになった¹¹⁾.

このように隅角部のような複雑な構造において疲労耐久性を考慮するには支配的となる局部的な応力性状を考慮することが不可欠であり, その代表的な手法として FEM 解析には多くの実績があり, ある程度有効な手段であることも確認されている. しかし, 詳細なモデル化を行う FEM 解析を, 細部構造の試行錯誤が繰り返される設計初期の段階に適用することは, 解析モデルの再構築等にかかる労力が大きく効率的でない場合もある.

本報告は, 隅角部の設計において疲労耐久性確保のために種々検討されるフィレットの設置などの構造上の配慮について, その効果を FEM 解析のような詳細なモデル化を要することなく設計初期段階から簡便かつ一定水準以上

の精度で評価できる実用的な解析手法を提案するものである。

2. 解析手法の提案

2.1 解析手法の選択

隅角部の設計では、従来より奥村・石沢式を用いて断面の基本諸元を決定する手法が用いられてきた。一方、疲労耐久性の検討にあたっては、応力分布性状などを正確に評価して考慮することが重要であり、そのためにFEM解析が行われるケースも増加しつつある。しかし詳細なモデル化を伴うFEM解析を新設設計の初期段階から用いることは時間的・経済的負担も大きく、その合理化が課題となってきた。ここではFEM解析に替わる新たな計算手法として、一定せん断流パネル解析に着目し隅角部設計への適用性について検討する。以下に奥村・石沢式、FEM解析、一定せん断流パネル解析、の3つの解析手法の特徴を述べる。

(1) 奥村・石沢式

梁フランジと柱フランジそれぞれに対してせん断遅れの影響を考慮した垂直応力を係数を用いて簡易的に算出する手法であり、耐荷力設計における必要断面の算出に一般的に用いられる。

(2) FEM解析

部材を微小要素に分割し、要素毎に応力等の状態量を算出する手法であり隅角部の解析では一般に全体をシェル要素にモデル化する。応力状態が詳細に算出できるが、一定以上の詳細なモデル化作業が必要である。

(3) 一定せん断流パネル解析

立体骨組解析の一種であり、詳細は2.2で述べる。

2.2 一定せん断流パネル解析の概要

一定せん断流パネル解析とは、線形に変化する軸力を伝える縁部材を外周に持つ板要素で、すべての直応力を無視し、一定のせん断応力のみを考慮するという制限された仮定から剛性マトリックスが誘導された要素である。なお、剛性マトリックスの誘導といった詳細な説明は文献1)においてなされているためここでは省略することとする。

図-1に一定せん断流パネルを用いた板のモデル化概念図を示す。実務設計においては、鋼床版のデッキプレートや波形鋼板ウェブ合成橋の波形鋼板のモデル化に適用された例がある⁷⁾。

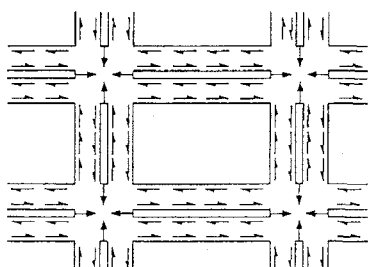


図-1 一定せん断流パネルによる板のモデル化

隅角部の疲労耐久性検討の観点から挙げられる、一定せん断流パネル解析法の特徴を以下に示す。

- (1) せん断遅れの影響を考慮した応力を直接的に算出することができる。
- (2) 部材の軸力が部材間で線形に変化するため、細かく要素分割しなくても精度良くせん断変形を評価できる。参考文献6)によれば、FEM解析の要素分割を850mm間隔、一定せん断流パネル解析で3400mmとして比較を行ってほぼ同じ結果が得られている。
- (3) 縁部材の剛性に板曲げ剛性を考慮することで、板曲げ応力を直接的に算出することができる。
- (4) 汎用構造解析プログラム⁸⁾で扱うことができ、一般の骨組解析と同様に影響線載荷によって活荷重の影響を直接的に算出することが可能である。

2.3 一定せん断流パネル解析のモデル化

一例として、図-2のような矩形断面の場合、以下のようなモデル化を行う。

- (1) 矩形断面のフランジとウェブは、板厚 t_f と t_w の一定せん断流パネル要素に置き換える(①, ②)。
- (2) 縁部材③の剛性は、フランジおよびウェブの分担幅分の断面積、フランジ面外の断面2次モーメント、ウェブ面外の断面2次モーメントを考慮する。
- (3) 縁部材④の剛性は、フランジの分担幅分の断面積とフランジ面外の断面2次モーメントの他にリブがある場合はリブの剛性も考慮する。
- (4) 縁部材⑤の剛性は、ウェブの分担幅分の断面積とウェブ面外の断面2次モーメントを考慮する。

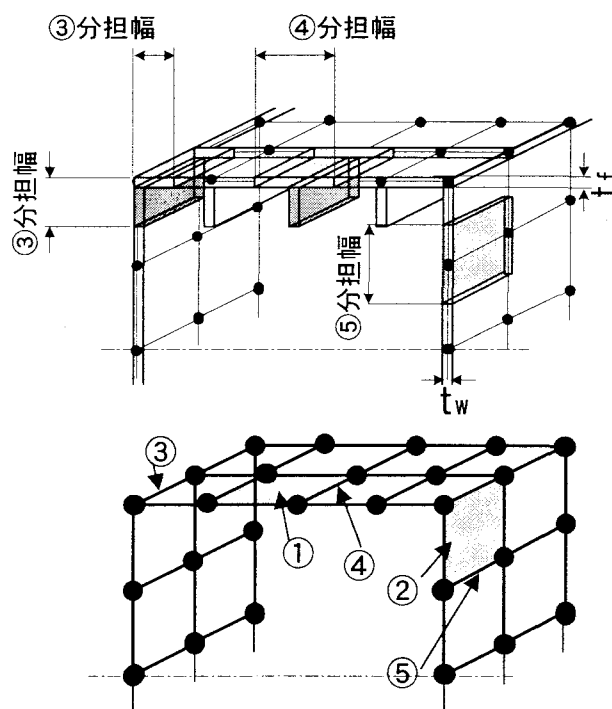


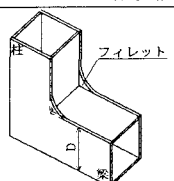
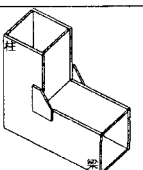
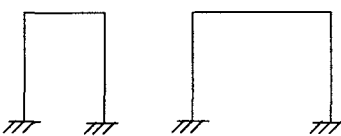
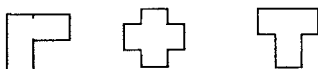
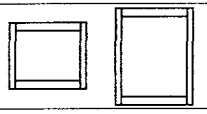
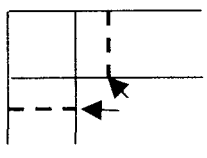
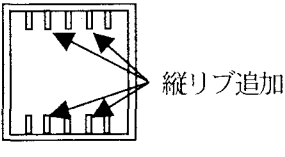
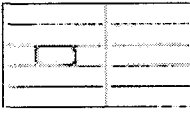
図-2 矩形断面のモデル化

2.4 解析手法の要求定義

隅角部設計の初期の段階から疲労耐久性を考慮する上で着目することが想定される構造細目等の項目を表-1に示す。すなわちこれらの構造的配慮の効果を設計初期の段階から一定以上の精度で評価できることが本解析法に対する疲労設計法としての適用性評価の重要なポイントである。その他にも、隅角部では補剛材などの部材が輻輳しており、それらに発生する様々な方向の応力を適切に評価する必要がある。

特に補剛材の間隔や板厚構成、ダイヤフラム位置などの相違によって隅角部の応力状態がどのように変化するかを適切かつ効率的に評価できなければ、実際の設計において板厚などの部材寸法や補剛材位置などの具体的な断面設計に結びつけることが困難となる。

表-1 隅角部応力性状に影響を与える構造細目

構造細目	概要図
フィレット	
当て板	
橋脚全体骨組形状	
隅角部形状	
梁・柱断面構成	
ダイヤフラム追加	
縦リブ本数増減	
マンホール位置	

2.5 解析手法の比較

構造細目の各解析手法の適用を表-2に示す。FEM解析と一定せん断流パネル解析は汎用的な解析なためすべてに適用可能である。奥村・石沢式は、せん断遅れによる応力算出を目的としているため、適用範囲が限定される。

FEM解析では隅角部に発生している主応力やそれぞれの方向の応力の算出が可能である。一方、骨組解析である一定せん断流パネル解析では図-3に示すように3方向に分けた応力成分の算出が可能である。

次に疲労設計への適用性の観点からの各解析手法の操作性と汎用性について大まかに相対評価したものを表-3に示す。

奥村・石沢式は、モデル化等の労力の面からは効率的であるが、局部応力や板曲げ応力など詳細な応力性状は算出されず、フィレットの有無の効果なども評価困難である。一方、先にも述べたようにFEM解析は、汎用性に優れるものの一定以上の精度が保証されるためのモデル化の労力の面では一定せん断流パネル解析に劣ると考えられる。

表-2 構造細目の各解析手法の適用

構造細目	奥村・石沢式	一定せん断流パネル解析	FEM解析
フィレット	×	○	○
当て板	×	○	○
橋脚全体骨組形状	△	○	○
隅角部形状	△	○	○
梁・柱断面構成	○	○	○
ダイヤフラム追加	×	○	○
縦リブ本数増減	×	○	○
マンホール位置	×	○	○

○：適用可 △：一部適用可 ×：適用不可

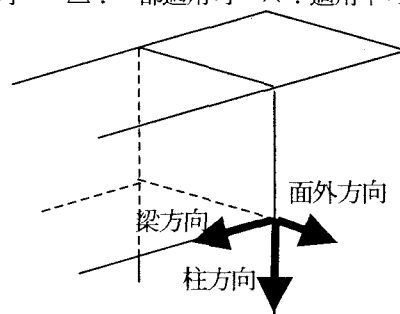


図-3 橋脚隅角部応力方向

表-3 各解析手法の操作性と汎用性

構造細目	奥村・石沢式	一定せん断流パネル解析	FEM解析
モデル化の労力	○	○	×
作業時間	○	△	×
経済性	○	○	×
設計との連動	○	△	×
影響線載荷	○	○	×
局部応力	×	○	○

○：よい △：普通 ×：わるい

3. 一定せん断流パネル解析の検証 (FEM 解析との比較)

3.1 検証モデル

図-4 に検証モデルとして門型ラーメン脚を示す。隅角部以外はビーム要素としてモデル化し、梁の中央部に鉛直荷重を載荷する。一定せん断流パネル解析のメッシュサイズは、隅角部付近は 25mm 間隔、その他は縦リブ位置間隔とし、総節点数は 672、梁要素数 1339、せん断パネル要素数 664 とする。FEM 解析のメッシュサイズは、隅角部付近は 25mm 間隔、その他は 50mm 間隔とし、総要素数 46678、総節点数 45930 とする。以上の条件により、隅角部に発生する応力を、梁方向、柱方向、面外方向の 3 つの方向に分けて比較・検証する。

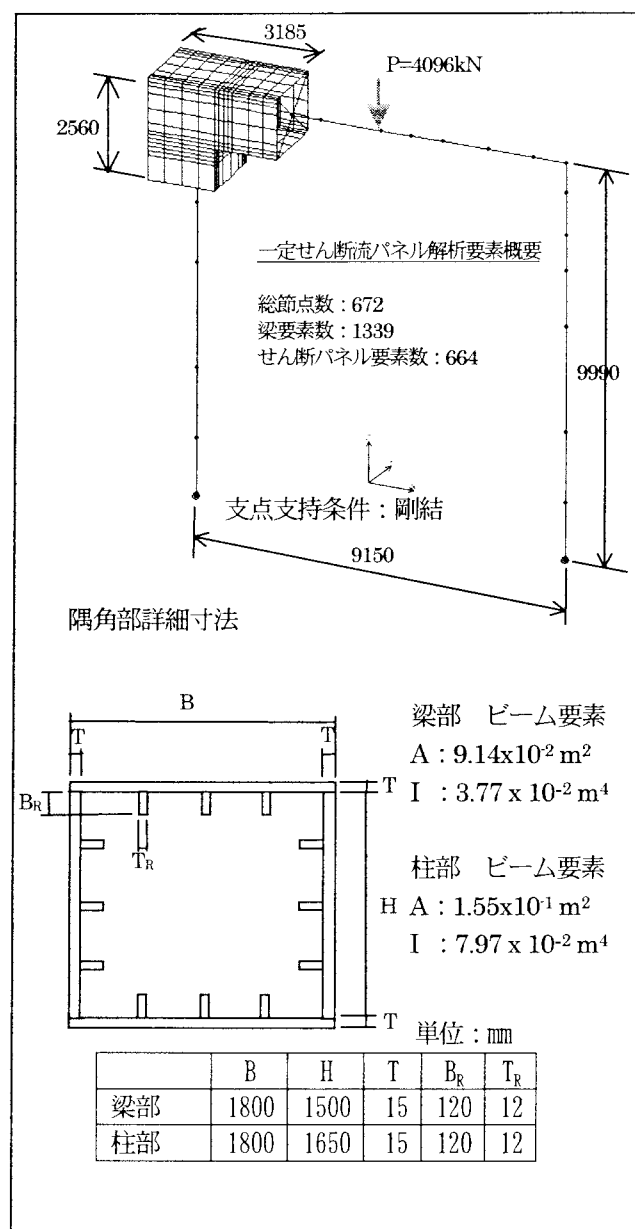


図-4 門型ラーメン橋脚モデル全体図

また、表-1 にあるようなフィレットを設置した場合についても、FEM 解析と一定せん断流パネル解析の比較を行う。

(1) 梁方向、柱方向

図-5 (a), (b) に示す柱フランジと梁フランジ位置の応力で比較する。隅角部の応力は図-6 に示すように、50mm 以下の範囲では、板曲げ応力などの応力乱れが顕著に現われる。FEM 解析では、文献9) に記されているように、隅角部の端より柱あるいは梁フランジ上で 50mm 離れた位置で応力を評価している。今回の比較についても同様の位置とする。

(2) 面外方向応力

図-5 (c) に示すように、隅角部に設置した柱方向、梁方向のダイヤフラムと腹板の接続する点の橋脚の面外方向応力にて比較する。

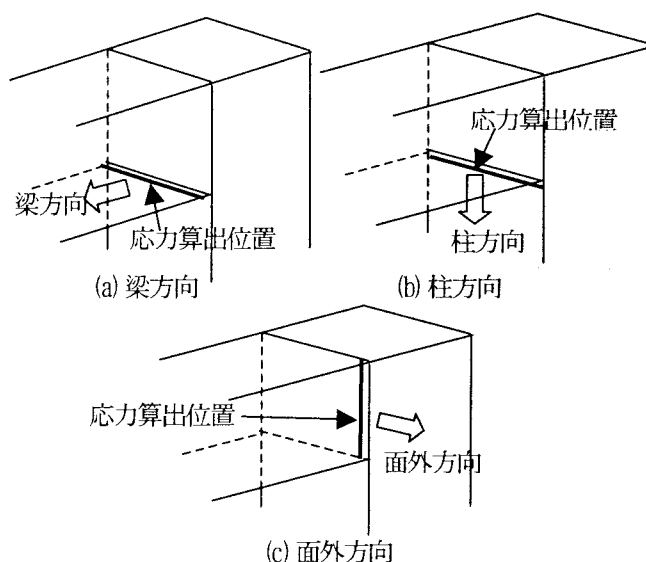


図-5 応力算出位置と方向

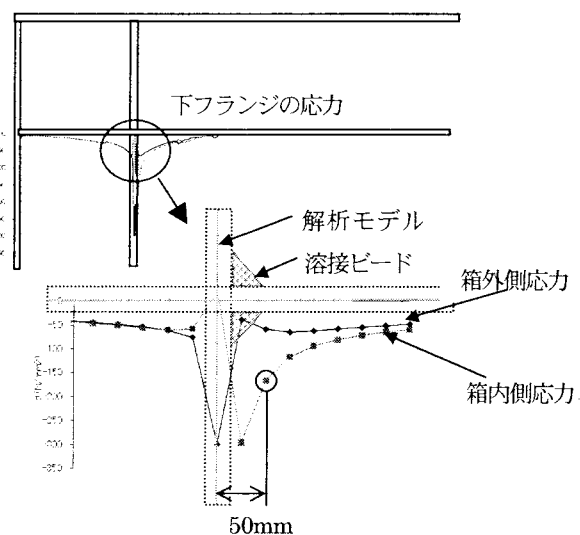


図-6 梁下フランジの箱内側と箱外側応力分布

3.2 フィレットなしモデルの比較結果

(1) 梁方向

図-7 に梁フランジの箱内側、外側の応力分布を示す。一定せん断流パネル解析は、FEM 解析と同様、せん断遅れによる現象が得られた。また板曲げの効果も一定せん断流パネル解析においても確認できた。

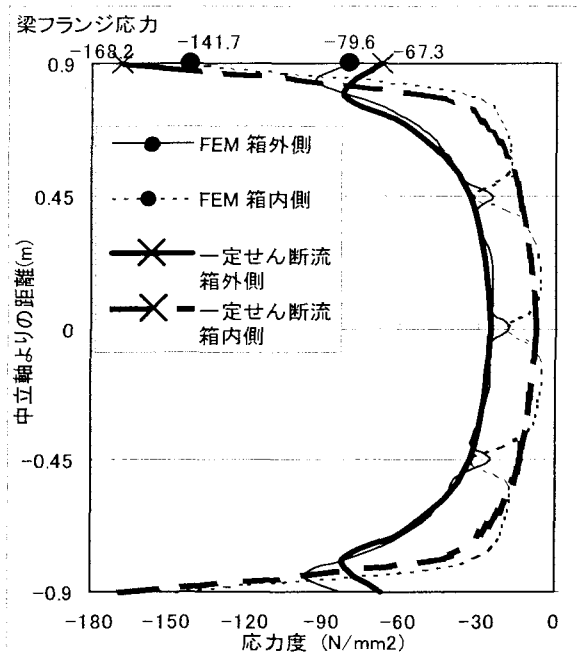


図-7 梁フランジ応力

図-8 に梁フランジの箱内側と外側の平均応力を示す。フランジ端の応力は、FEM 解析が -110.3 N/mm^2 、一定せん断流パネル解析が -117.8 N/mm^2 となり、ほぼ同じ結果が得られた。

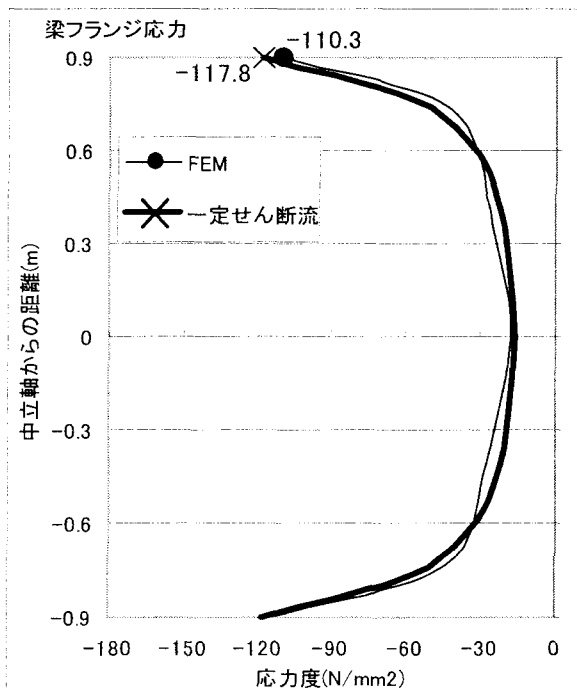


図-8 梁フランジ応力 (箱内外の平均)

(2) 柱方向

図-9 に柱フランジの箱内側、外側の応力分布を示す。これも梁方向と同様に、一定せん断流パネル解析においてもせん断遅れの現象、板曲げの効果が確認できた。

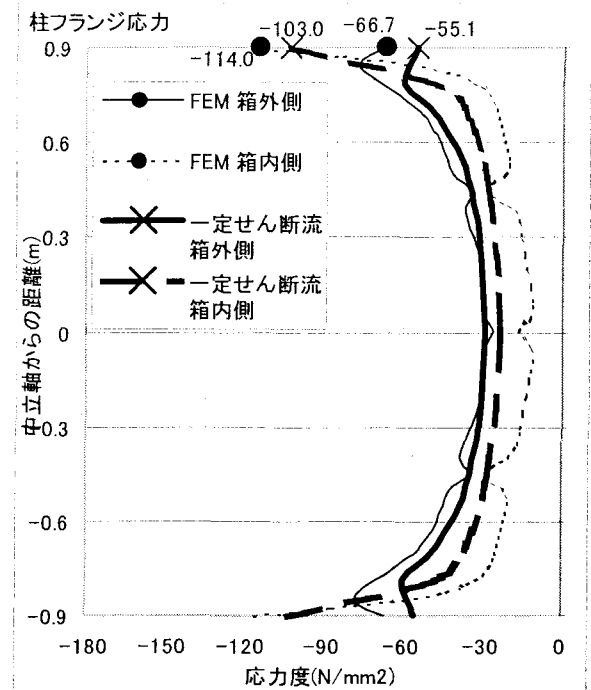


図-9 柱フランジ応力

図-10 に柱フランジの箱内側と外側の平均応力を示す。以下フランジ端の応力としては、FEM 解析が -90.4 N/mm^2 、一定せん断流パネル解析が -79.1 N/mm^2 となり、一定せん断流パネル解析で柱方向についても、ほぼ同じ結果が求められることが確認できた。

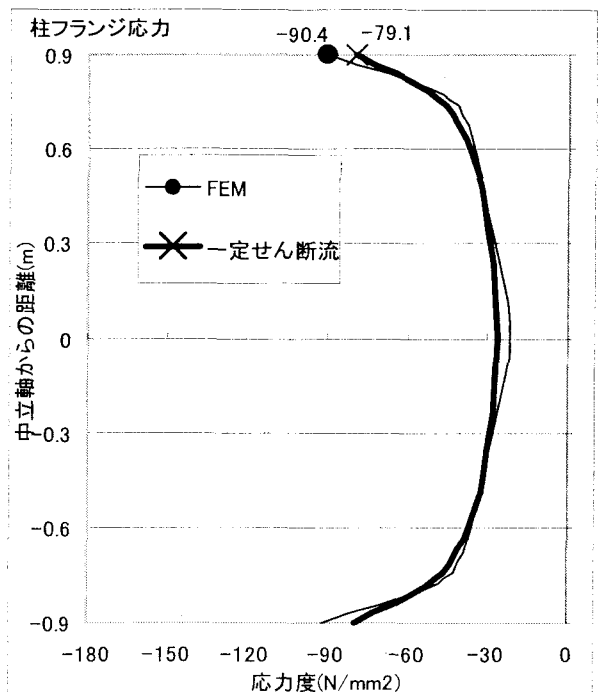


図-10 柱フランジ応力 (箱内外の平均)

(3) 面外方向

図-11 にダイヤフラムの面外方向の応力分布を示す。全体的にFEM解析とほぼ同じ応力分布となり、隅角部付近に応力集中が確認できた。この応力はFEM解析が -11.8N/mm^2 、一定せん断流パネル解析が -10.5N/mm^2 となり、これもほぼ同様の結果が得られた。

隅角部付近の面外方向応力の値はマイナスとなり圧縮が発生していることが確認できる。この面外方向の圧縮応力はポアソン比の影響により発生している。その発生理由は図-12 に示すように、柱方向に圧縮が作用すると、ポアソン比の影響により面外方向に変形しようとする。しかし隅角部位置には梁下フランジが存在するので変形を拘束しようとする。そのためにダイヤフラムの面外方向に圧縮応力が発生する。

隅角部よりの距離が1.5m付近の柱上部では値に違いが見られた。これは、一定せん断流パネル解析のモデル化時に、メッシュ割が粗いことと、縁部材がダイヤフラムと上フランジの両方の断面積と剛性を使用しているため、算出される応力も両方の平均となるためである。これを同条件で算出すると、図-11 の丸で囲まれたようになり、ほぼ同じ結果となった。ただし、今回は比較対象を隅角部としているので、対象外の隅角部よりの距離が1.5m付近の柱上部のモデル化は、粗いメッシュとして比較を行う。

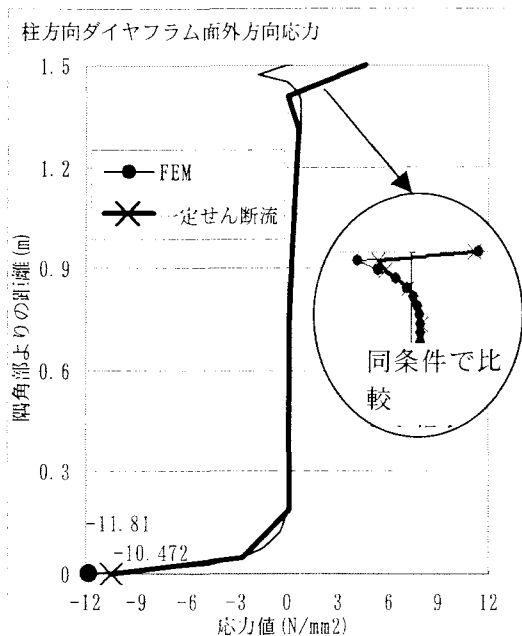


図-11 柱方向ダイヤフラム面外方向応力

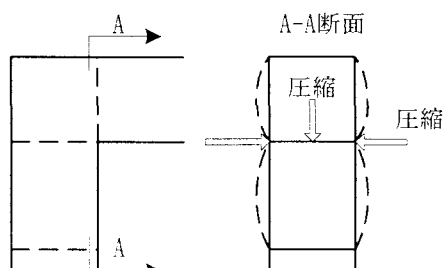


図-12 面外方向応力の発生理由

3.3 フィレットありモデルの比較結果

3.1に示す検証モデルにフィレットを設置した場合の応力についてFEM解析と一定せん断流パネル解析の結果を比較する。フィレットの寸法については、文献10)を参考にし図-13のように、梁の高さHとフィレット突出長Wの比 W/H を、角柱隅角部と円柱隅角部でそれぞれ10%と20%にすると約50%の応力低減があると報告されていることから、 W/H が10%以上となるように設定し、図-14に示す隅角部モデルとした。

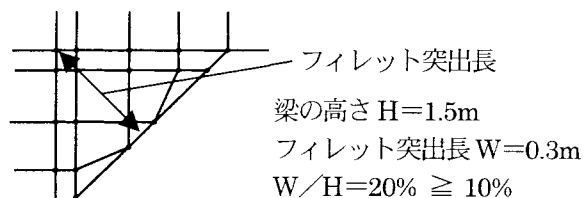


図-13 フィレットのモデル化

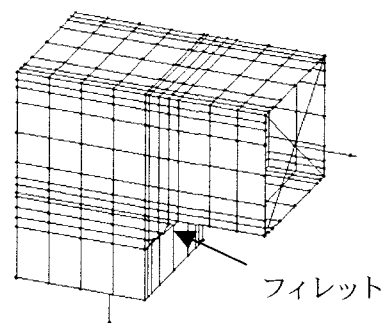


図-14 フィレットモデル隅角部詳細図

(1) 梁方向

図-15 に梁フランジの箱内側と外側の平均応力を示す。フランジ端の応力はFEM解析が -40.4N/mm^2 、一定せん断流パネル解析が -37.8N/mm^2 となり、フィレットの効果を一定せん断流パネル解析でもFEM解析とほぼ同様の精度で評価できた。

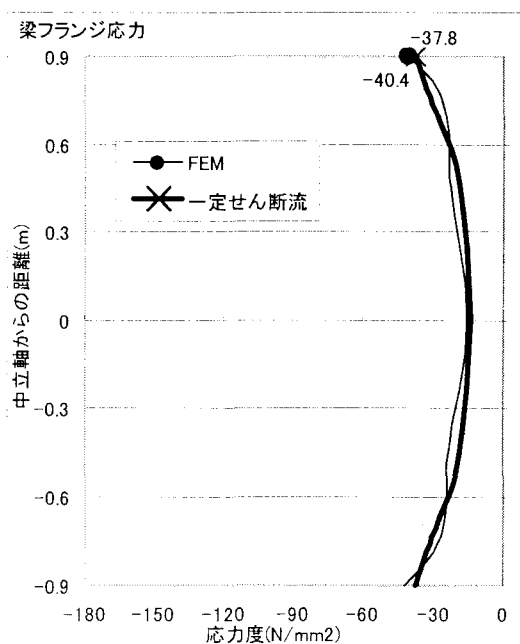


図-15 フィレット設置時の梁フランジ応力

(2) 柱方向

図-16 に柱フランジの箱内側と外側の平均応力を示す。フランジ端の応力はFEM 解析が -43.4N/mm^2 、一定せん断流パネル解析が -40.6N/mm^2 となり、フィレットの効果を一定せん断流パネル解析でも FEM 解析とほぼ同様の精度で評価できた。

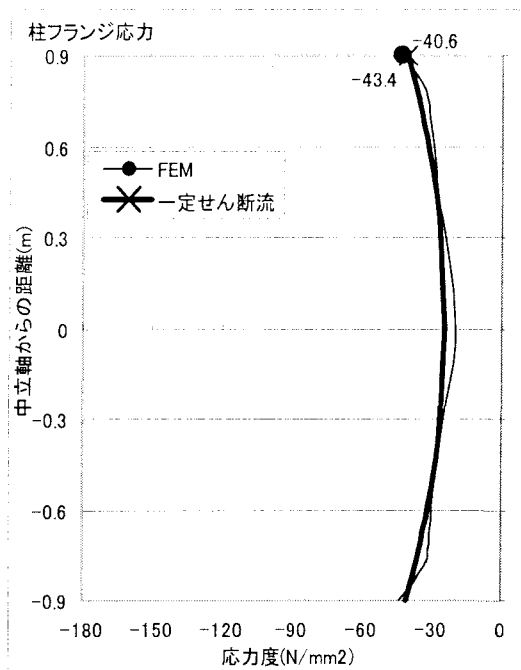


図-16 フィレット設置時の柱フランジ応力

(3) 面外方向

図-17 にダイヤフラムの面外方向の応力分布を示す。フィレット設置を設置した場合、隅角部応力はFEM 解析、一定せん断流パネル解析ともに -0.5N/mm^2 以下と非常に小さな値となった。

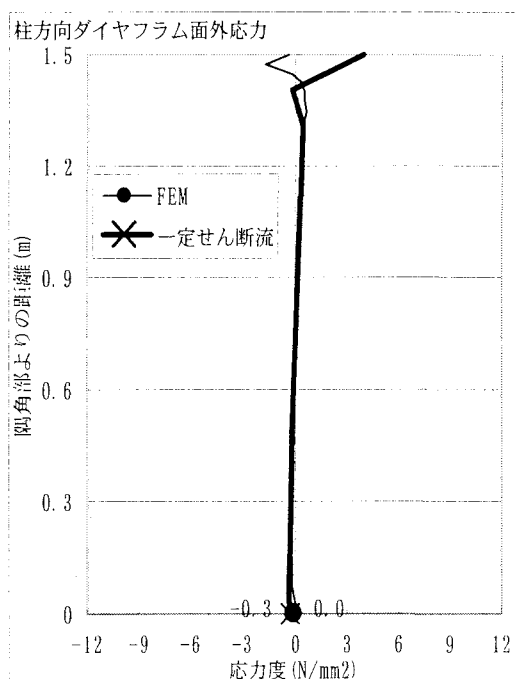


図-17 フィレット設置時面外方向応力

3.4 比較結果のまとめ

一定せん断流パネル解析において、梁、柱、面外方向の応力が算出できることが確認できた。同時に板曲げ応力の影響や、ポアソン比の影響、フィレット設置による応力低減効果も算出できることが明らかになった。これにより、一定せん断流パネル解析が、隅角部の応力解析に充分適用できるといえる。

なお、今回は鋼製橋脚の形式を門型ラーメン、載荷荷重を鉛直方向のみと条件を限定して比較を行った。今後は、T型などさまざまな形式の鋼製橋脚に対して、荷重についても、水平荷重など隅角部に影響を及ぼす荷重に対しても検証を行う予定である。また、一定せん断流パネル要素のメッシュ間隔をどの程度粗くしても精度が確保できるかなど、設計効率に着目した検討も行っていく。

4. 応力評価方法

(1) 梁方向、柱方向

梁、柱フランジに発生する応力は、せん断遅れの現象が現れ、端部の腹板接続位置で最大となり、フランジ中心で最小となる。隅角部の応力を評価するために、図-18 のような2つの評価パラメータを定義する。

- σ_{ave} : 平均応力. 発生応力の平均

- $\sigma_{max}/\sigma_{ave}$: 最大応力度

(σ_{max} はフランジ縁応力)

σ_{ave} と $\sigma_{max}/\sigma_{ave}$ の大小関係により応力性状を分類すると図-19 のようにタイプ-A から D に分類できる。タイプ-A は発生応力自体が大きくせん断遅れの影響も大きい。タイプ-B は発生応力そのものは小さいがせん断遅れの影響は大きい。タイプ-C は発生する応力、せん断遅れの影響ともに小さい。タイプ-D は発生応力が大きくせん断遅れの現象が小さい。

この中のタイプ-A の両端応力度 σ_{max} を小さくする方法としては、フィレットの設置などせん断遅れの影響を小さくしてタイプ-D にするか、板厚自体を上げて全体的に応力を低減させタイプ-B にするか、両方を低減させタイプ-C にするかが考えられる。

一定せん断流パネル解析によりフィレットなどの各種改善策において、 $\sigma_{max}/\sigma_{ave}$ 、 σ_{ave} のどちらを低減させる効果が高いかをあらかじめ把握できれば、設計対象隅角部の σ_{ave} 、 $\sigma_{max}/\sigma_{ave}$ を算出しタイプ-AからDに分類することにより、最適な改善方法の選択が可能となる。

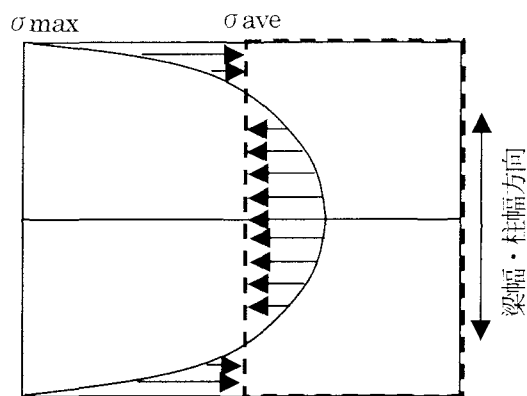


図-18 梁・柱方向の応力評価方法の提案

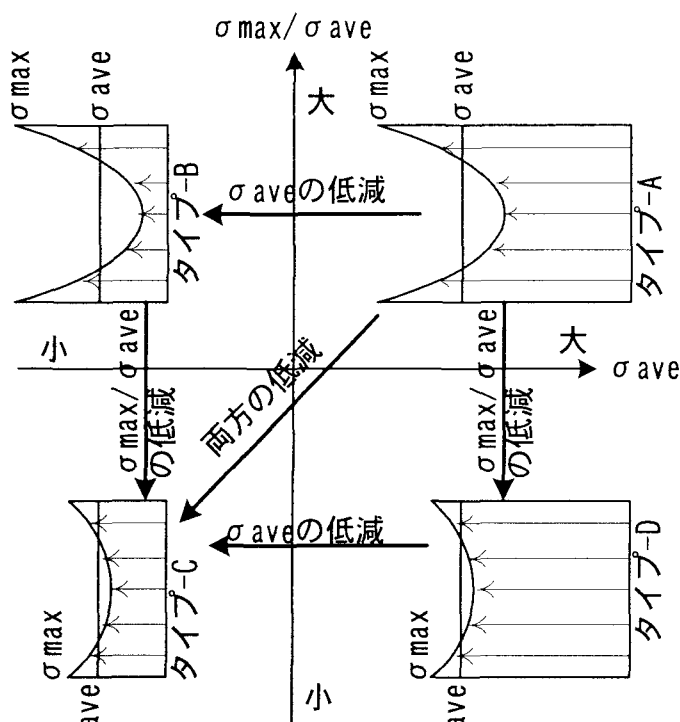


図-19 梁・柱方向の応力性状の分類

(2) 面外方向

通常の耐荷力設計において、面外方向応力に着目した設計例は見かけない。今回は、一定せん断流パネル解析にて面外応力がどれぐらい発生しているか、発生している方向は圧縮か引張りかなどを明らかにすることに止める。

5. 疲労耐久性向上の施策の検証

前述した隅角部応力性状に影響を与える構造細目の内、フィレットについて一定せん断流パネル解析での応力低減効果を検証する。解析モデルは3.1に示したものを使用し、フィレットなしとフィレットありについて比較を行う。梁方向と柱方向の応力評価方法は、前章で述べた、 σ_{ave} と、 $\sigma_{max}/\sigma_{ave}$ を使用する。

5.1 フィレット設置による応力低減効果の検証

(1) 梁方向

隅角部梁方向の応力度低減効果を検証する。表-4、図-20 に示すように、フィレットの設置による低減率は σ_{ave} で39%、 $\sigma_{max}/\sigma_{ave}$ は47%とほぼ半減した。フィレットの設置は $\sigma_{max}/\sigma_{ave}$ を低減する効果が大いと考えられるので 図-19のタイプ-A, Bのようにせん断遅れの影響が大きい隅角部に有効であるといえる。

表-4 フィレット有無の梁方向応力比較

(N/mm ²)				
	位置(m)	フィレットなし	フィレットあり	低減率(%)
応力分布	-0.900	-117.8	-37.8	68%
	-0.788	-64.7	-32.8	49%
	-0.675	-40.9	-27.3	33%
	-0.450	-23.5	-18.6	21%
	0.000	-16.4	-13.8	16%
	0.450	-23.5	-18.6	21%
	0.675	-40.9	-27.3	33%
	0.788	-64.7	-32.8	49%
	0.900	-117.8	-37.8	68%
	σ_{max}	-117.8	-37.8	68%
	σ_{ave}	-36.0	-22.0	39%
	$\sigma_{max}/\sigma_{ave}$ (比率)	3.27	1.72	47%

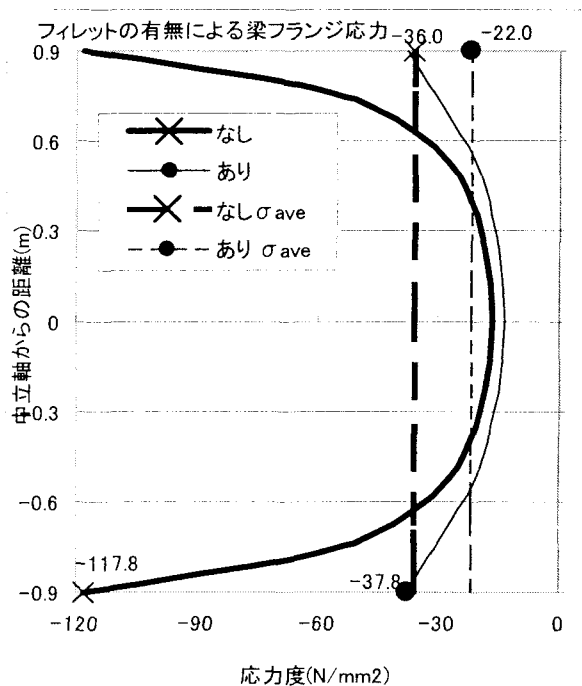


図-20 フィレット有無の梁方向応力

(2) 柱方向

隅角部柱方向の応力度低減効果を検証する。表-5、図-21 に示すように、フィレットの設置により、 σ_{ave} は 20%、 $\sigma_{max}/\sigma_{ave}$ は 36%低減している。柱方向も梁方向と同様に図-19 のタイプ-A, B のようにせん断遅れの影響が大きい隅角部に有効である。

表-5 フィレット有無の柱方向応力比較 (N/mm²)

	位置(m)	フィレットなし	フィレットあり	低減率(%)
応力分布	-0.900	-79.1	-40.6	49%
	-0.788	-53.2	-37.0	30%
	-0.675	-41.4	-33.6	19%
	-0.450	-31.5	-28.4	10%
	0.000	-26.4	-24.7	7%
	0.450	-31.5	-28.4	10%
	0.675	-41.4	-33.6	19%
	0.788	-53.2	-37.0	30%
	0.900	-79.1	-40.6	49%
σ_{max}		-79.1	-40.6	49%
σ_{ave}		-37.8	-30.3	20%
$\sigma_{max}/\sigma_{ave}$ (比率)		2.09	1.34	36%

(3) 面外方向

面外方向の応力分布を表-6、図-22 に示す。面外方向も隅角部付近に応力集中が確認できる。フィレットの設置により、この応力集中が極端に低減する結果となった。

フィレット設置前の最大応力度で比較すると、梁、柱方向がそれぞれ -117.8、-79.1N/mm²だったのに比べ、面外方向は、-10.5 と 1/8 程度の応力となっている。応力値はマイナスで圧縮となっている。これは 3.2 の (3) で述べたようにポアソン比の影響である。

表-6 フィレット有無の面外方向応力比較 (N/mm²)

	位置(m)	フィレットなし	フィレットあり	低減率(%)
応力分布	1.500	4.6	3.9	14%
	1.406	-0.1	-0.2	-256%
	1.313	0.7	0.5	26%
	1.000	0.3	0.2	35%
	0.750	0.1	0.0	82%
	0.500	0.1	-0.2	227%
	0.188	0.1	-0.3	369%
	0.050	-2.7	-0.3	87%
	0.000	-10.5	-0.3	97%

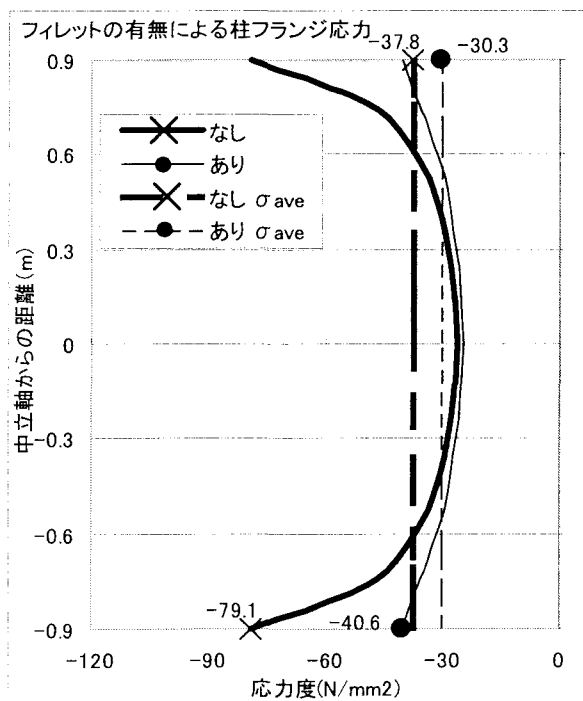


図-21 フィレット有無の柱方向応力

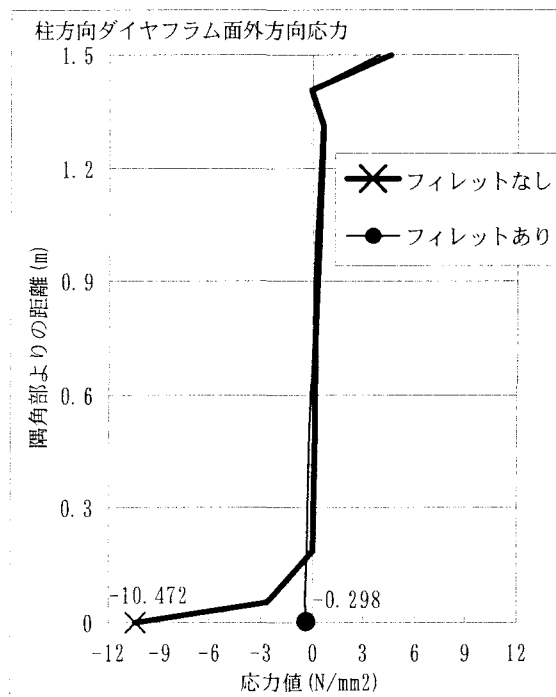


図-22 フィレット有無の面外方向応力

(4) フィレット設置による応力低減効果のまとめ

今回は鋼製橋脚の形式を門型ラーメン、載荷荷重を鉛直方向のみと条件を限定してフィレット設置による応力低減効果を一定せん断流パネル解析にて検証した。その結果、梁方向、柱方向ともに、せん断遅れの現象を低減でき、面外方向応力も 1/8 程度にまで低減していることが確認できた。今後は、表-1 に示したフィレット以外の構造細目においても一定せん断流パネル解析にて隅角部の応力状態を評価できるか検証を行う予定である。

6. まとめ

門型鋼製脚を対象にした各種の試算を行い、一定せん断流パネル解析手法の鋼製橋脚隅角部の疲労耐久性評価手法への適用性について検証した結果、以下のことが確認できた。

- ・ 新設設計時に疲労耐久性確保策として一般に検討することが想定される板厚構成や補剛材配置、フィレットの有無などの効果の検証という点では、FEM 解析結果による場合とほぼ同水準の評価が可能である。
- ・ 一般部で補剛材間隔程度という FEM 解析に比べて要素間隔が約 7 倍の非常に簡素なモデル化でも、隅角部の梁方向、柱方向、面外方向の 3 つの応力成分について局所的な応力集中も含めた精度良い解析結果が得られた。

また、梁・柱方向の応力評価方法では、 σ_{ave} と $\sigma_{max}/\sigma_{ave}$ による評価方法を提案した。このようにいくつかの評価方法によって疲労耐久性の面から隅角部を分類することによって、それぞれに対して疲労耐久性上有利な構造細目を絞り込んで設定することが容易となると考えられる。

本研究では、限られた条件の角柱形式の鋼製橋脚のみを対象としたが、今後は円柱や多層ラーメンなどのより複雑な形状の鋼製橋脚についても同様の検討を進め本解析手法の適用性の検証を行う予定である。

さらに実際の隅角部の疲労損傷事例の分析や疲労試験結果との比較等も実施し、新設設計時の疲労耐久性検討に本解析法を用いる場合モデル化や荷重載荷手法などの要領をとりまとめることを目標に引き続き検討を実施する予定である。

謝辞：本報告をまとめるにあたり、(株)横河ブリッジ尾下氏、小幡氏には多大なご助力を頂きました。ここに記して深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編Ⅱ鋼橋編，2002
- 2) (社)日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針，2002

- 3) 森河，下里，三木，市川：箱断面柱を有する鋼製橋脚に発生した疲労損傷の調査と応急対策，土木学会論文集 No. 703/I-59，2002. 4
- 4) 三木，市川，坂本，田辺，時田，下里：鋼製箱型断面ラーメン橋脚隅角部の疲労特性，土木学会論文集 No. 710/I-60，2002. 7
- 5) 三木，平林，時田，小西，柳沼：鋼製橋脚隅角部の板組構成と疲労き裂モード，土木学会論文集 No. 745/I-65，2003. 10
- 6) 尾下：鋼床版合成トラス構造の解析方法の提案，横河ブリッジ技報，No. 23，PP. 27-33，1994. 1
- 7) 江川：一定せん断流パネルを用いた橋梁解析モデルの提案，横河ブリッジグループ技報 No. 32，2003
- 8) 藤野：Apollo シリーズ Analyzer 3 次元汎用構造解析システム，横河ブリッジグループ技報 No. 281999
- 9) 首都高速道路公団：鋼製橋脚隅角部の補強設計施工要領(案)，2003
- 10) 時田：新設鋼製橋脚隅角部におけるフィレット構造の応力低減効果，土木学会第 58 回年次学術講演会 I-424，2003
- 11) 内海，鈴木，木下，三木：鋼製ラーメン橋における隅角部疲労設計 土木学会第 58 回年次学術講演会 I-430 2003. 9

(2004年9月17日受付)