

論文題目：“BF-spline Ritz法を用いた固定辺と自由辺を有する長方形厚板の曲げ解析”

著者：水澤富作

掲載：Vol.53A, pp.1-12, 2007年3月

◆討議 [松田浩（長崎大学）]

Timoshenkoの級数解とBF-spline Ritz法による解が合わない理由をご教示ください。

◆回答：著者の論文に対して、貴重なご意見を頂きましてありがとうございます。

ご指摘のとおり、表-3に示したTimoshenkoの級数解が、固定辺と自由辺を有する薄板の固定辺の中央点及び固定辺と自由辺の交点で大きな相違を示しています。

Timoshenkoのたわみの級数解は、BF-spline Ritz法により求めた数値解と比較して20%前後の大きな値を示しています。また、固定辺中央の曲げモーメントの級数解は、本手法の値と比較して、最大30%の小さな値を示しています。したがって、Timoshenkoの級数解は、比較的少ない級数項により求められた値と推測されます。また、この級数解は、戦前のコンピュータの無い時代に求められた値であり、十分に収束した解でないために、ご指摘のような差が現れたと考えています。

論文題目：“波形鋼板ウェブ桁のせん断座屈性能”

著者：渡辺孝一，内田祥生，久保全弘

掲載：Vol.53A, pp.13-24, 2007年3月

◆討議 [齋藤聡（JR東日本）]

せん断破壊後の実験写真と解析によるコンター図の変形状態に差異が見られるが、実験と解析の局所的せん断応力の精度ならびに相関関係はどのようになっているのか教えてください。

◆回答：論文中に示した、実験桁の崩壊状況（図-14）は最大荷重到達後、荷重を除荷した残留変形状態を示したものです。一方で、解析モデルの崩壊モード（図-23）は、最大荷重時の変形量をコンター図で示しており、実験桁の崩壊状況とは異なる荷重状態下の図を掲載しています。従って、ご質問のように変形状態に差異がみられます。

局所的なせん断応力の精度については、図-22で、最大せん断ひずみ分布を比較しているように、あくまでもひずみゲージを添付した位置における解析結果との比較であって、この図をもって精度を比較した場合に限り、著者らの見解では、概ね一致していると判断しておりますが、精度の捉え方で別の意見となることも考えられます。しかし、解析モデルに与えた初期変形が、実験供試体の実測値とは異なる（4.1解析方法）ことを考慮しても、局部座屈、全体座屈の傾向は、実験桁と解析モデルで一致していることから、この論文で用いた手法によって、波形ウェブ桁のせん断座屈現象を解析的に予測可能であると判断しております。

また、局所的せん断応力とせん断座屈モードの相関関係については、局所化した部位を起点としてせん断座屈が発生するという相関は成立すると考えています。ただし、波形桁においてせん断応力が局所化する位置は、実験桁の初期変形などの幾何学的誤差要因等によって変動することは避けられないと思います。しかし、この実験結果や、他に同様の実験が多数行われておりますので、ある程度の予見は可能であるとと考えております。

◆討議 [松村寿男（瀧上工業(株)）]

実験と解析の荷重-変位関係がピーク後に大きく異なる原因についての考察はありますか。

◆回答：考察は、論文中の「4.2荷重-たわみ挙動」に記載しておりますが、実験桁の波形プレス加工時における塑性化に伴う、材料変性の影響、上下フランジとの溶接によって生じる残留応力と実験桁と解析モデルの詳細形状の違いが影響していると考えています。まず、波形桁のプレス加工による塑性ヒンジ点では、ひずみ硬化の影響により、ヒンジのない平板と比較して、材料の構成則が異なることが要因として挙げられます。しかし、この論文では、波形桁についても、平板と同じ構成則を用いています。残留応力の影響については、せん断座屈がウェブで発生していることから、最大荷重後の荷重-変形関係に差異が生じる主たる要因とは考えにくいです。また、実験桁とモデル化の細部形状の違いについて、実験桁は波形の折り曲げ点において、使用した板厚（3.2mm）の15倍程度の折り曲げ半径となるような曲面をもったパネルで形成されていますが、解析モデルでは曲面を考慮していません。実験桁の座屈はこの曲面部分が起点となって発生し、それが伝播していきます。ピーク後の荷重-変位関係の差異は、これらの複合的な要因で生じていると考えています。

論文題目：“高性能鋼材の塑性履歴特性と構成式”

著者：宮崎靖大，奈良敬，小野潔，三好崇夫，森省吾
掲載：Vol.53A, pp.25-32, 2007年3月

◆討議 [松村寿男 (瀧上工業(株))]

本研究で扱われている10%程度よりも非常に大きなひずみが生じた場合の構成モデルの検討はされていますか。

◆回答：道路橋示方書におけるレベル2地震動のような大きな荷重などが構造物に作用する場合には、10%を超えるような大ひずみ域での材料特性を調べておくことは有意義です。しかし、現状では構成モデルの検証を精度良く行う試験方法が難しいと考えています。

◆討議 [渡辺孝一 (名城大学)]

ステンレス鋼は溶接に対して様々な条件 (制約) があると思いますが、鋼構造物への適用に際しての課題を教えてください。

◆回答：ステンレス鋼の鋼種は多様であり、構造部材に利用されている鋼材としては、本研究で対象としたオーステナイト系ステンレス鋼SUS304, SUS304N2, SUS316などがあります。これらのオーステナイト系ステンレス鋼は、構造用炭素鋼材に比べて耐食性が優れ、溶接による熱影響での変態を伴わないため、予熱や後熱を必要としません。

論文題目：“構造物の三次元デジタル写真計測とそれを用いた三次元有限要素自由振動解析”

著者：松田浩，本郷真樹，鶴田聡，山下務，黄美，西村正三，出水亨
掲載：Vol.53A, pp.33-40, 2007年3月

◆討議 [水澤富作 (大同工業大学)]

1. スキャナー法からFEMのための節点 (または要素) の低減に伴って固有値が減少する理由はどうしてか。
2. 同一画像での節点 (要素) 数の低減方法は、どのような手法を用いているか。

◆回答：1. 固有振動数 f は剛性 K と質量 M により $\sqrt{K/M}$ の関数形で表せますので、固有振動数が減少するという事は、①剛性 K が小さくなる、②質量 M が大きくなる、③剛性も質量ともに変化し相対的に K/M が小さくなるのが原因と考えられます。

メッシュ分割 (要素数) により表面積と体積がどのように変化するかを調べてみましたところ、表に示す結果になりました。同表はスキャナ計測により得られた約56万要素を基準値として比較を行いました。括弧内の数値は基準値に対する比を示しています。メッシュ分割を小さくすると表面積も体積も減少します。単純に考えると、体積が小さくなるので、振動数は大きくなるように考えられますが、これでは説明が付きません。

本論文で取り上げた平和祈念像は、内部が空洞となっています。解析において厚さはメッシュ分割数にかかわらず同じ厚さとしました。その結果、体積は小さくなっているのに、厚さは変化していませんので、剛性も変化します。すなわち上記③の K/M が相対的に小さくなり、振動数が小さくなったものと推定されます。

板の場合、板厚 h と辺 a の比 h/a が小さくなると振動数は大きくなります¹⁾。本問題の場合には体積を小さく見積もり厚さを一定として解析していますので、 h が一定で a が小さくなることに相当し、 h/a は大きくなり、振動数は小さくなります。本問題の場合にも要素の低減に伴って振動数が小さくなることの説明は板の場合と同様に説明できるのではないかと考えられます。

なお、写真計測から得られた節点データ数は、スキャナ計測の場合に低減したデータ数と同程度で、この場合もスキャナ計測で低減した後の解析結果と同程度の振動数が得られています。したがって、空洞があるときに厚さを一定として解析する場合には、分割数を少なくすると振動数は小さくなることに注意を払う必要があると思います。

表 要素数と表面積および体積の関係

要素数	表面積 (m ²)	体積 (m ³)
560869	115.80 (1.00)	53.79 (1.00)
250778	115.73 (1.00)	53.76 (1.00)
125354	115.51 (1.00)	53.32 (0.99)
62840	114.91 (0.99)	52.77 (0.98)
31469	114.07 (0.99)	51.63 (0.96)
17389	113.45 (0.98)	49.48 (0.92)

2. 三次元スキャナでデジタル化した点群形状データは、3次元測定データ活用ソフトウェアに入力し、その中の点群データ低減機能を用いてAutomaticに低減しています。

参考文献

(1)T.Sakiyama, M.Huang, H.Matsuda and C.Morita : Free vi-

bration of orthotropic square hole, Journal of Sound and Vibration, 295(1), pp.63-80, 2003.

論文題目：“岩盤の水一応力連成挙動に関する基礎的研究”

著者：吉田秀典，山崎卓哉，井上純哉，周郷啓一，本多剛

掲載：Vol.53A, pp.41-48, 2007年3月

◆討議 [松田浩 (長崎大学)]

1. マッチング法は、デジタル画像相関法と同じと考えてよろしいでしょうか。
2. 載荷辺の拘束条件はどのようにされているのでしょうか。
3. 試験体の前に透明のアクリル板を介して実験を行われていますが、そのようにされた理由をご教示ください。

◆回答：1. ご指摘の通り、マッチング法と称しております手法はデジタル画像相関法の1つです。なお、この手法の開発当時(1992年)は、デジタルカメラやデジタルビデオなど対象物の画像をデジタル収録できる機器がほとんど無く、銀盤のカメラで撮影した画像をイメージスキャナーで取り込み、プログラミング分野で用いられる「パターンマッチング法」を用いてデータの比較を行ったことから、このような命名を行いました。

2. まず、論文にご指摘の点を記載しなかったことをお詫び申し上げます。さて、ご指摘の件ですが、供試体(ただし、メンブレンに包まれている)の上に載荷板を設置し、その板に対して垂直方向より載荷を行っております。供試体と載荷板の間には十分にグリースを塗布していることから、接線方向については、何ら変形を拘束しておりません。

3. 論文に記載がございましたが、供試体の画像を取得するために設けました。ただし、論文でも記載した通り、この観察窓(アクリル板)を通してメンブレンで覆われた供試体の変形の細部を観察することは困難であり、あくまでもマッチングをするために設けたものです。なお、供試体を包むメンブレンには、黒色のスプレーインクでランダム状に模様を打った後、載荷中、適当な間隔でデジタルカメラによる撮影を行い、取得したデジタル画像に対して、マッチング法により移動量を算出しております。

論文題目：“鋼製橋脚隅角部における一定せん断流パネルを用いた解析法の検討”

著者：木内耕治，玉越隆史，石尾真理

掲載：Vol.53A, pp.57-66, 2007年3月

◆討議 [渡辺孝一 (名城大学)]

1. 「キレット」が既に存在するディテールと理想化した解析モデルの比較をされていますが、今後の「キレット」発生、あるいは進展に対して有効な手法となり得るのでしょうか。
2. フィレットを取り付けるディテールは、実構造ではいろんな課題があります(現場溶接、溶け込みの確保など)。解析でモデル化したものとは、実荷重に対して大きく異なると思われます。新設に対しては、一つの目安となりますが、既設構造(補強)には、適用が難しいと思います。解決すべき課題について、検討されていることがあれば教えてください。

◆回答：1. 本解析手法は、新設の鋼製橋脚隅角部の設計を実務レベルでの適用を目的に検討を行ったものであり、亀裂の発生や進展のメカニズムを目的としてはいません。

2. 既設鋼製橋脚の隅角部の補強として、フィレットを接合する補強は、質問内容に記載されるように現場溶接の状況などによる応力の違いなどをとらえること、FEM解析においても精度良くとらえることは難しいと思われます。また、本手法は、基本的に隅角部の応力性状を設計段階として精度良く算出できる手法として位置づけていますので、溶接状況やとけ込み量の影響は考えおらず、良好な溶接状態を前提としています。補強構造としてもフィレット構造は新設橋脚、あて板構造を既設橋脚として考えて検討を行っています。これらの構造はともに解析モデル上三角形形状となり、一定せん断流パネル要素の原則である四角形要素でモデル化するには限界があり、部分的にはり要素を組み合わせることでモデル化を行っている。そのためフィレットやあて板自体の応力性状を精度良くとらえるには、要素分割を細分化する化などの処理が必要と考えら、今後の課題と思われます。

◆討議 [西村宣男 (大阪大学)]

1. 箱型断面部材同士の隅角部と箱型断面はり一鋼管柱の隅角部では、フランジの応力集中(箱ではフランジ力はすべて隅角ウェブのせん断応力として伝達される)特性が異なる。箱型断面部材同士の隅角に疲労亀裂が多発しているが、箱型一鋼管部材の隅角でも同様の疲労問題があるのでしょうか。
2. 箱型一鋼管の隅角部内側にフィレット補強をする場

合の接合方法（特に鋼管とフィレット）はどのような詳細になるのか。溶接も高力ボルトも難点が多いように思われる。

◆回答：1. 既往の鋼製橋脚隅角部においては、箱型断面部材同士と同様に箱型断面－鋼管柱においても疲労亀裂が報告されています。ただし、疲労亀裂の要因としては、発生応力だけでなく、その溶接品質にも影響を受けます。したがって、発生応力の大きさだけでは判断できないと思われます。

2. 製作方法や接合方法などは、本検討から外れますが、他方面（鋼橋メーカーなど）においては良質な溶接を確保を目的に製作基準などが規定されていますので、そちらの方を参考にされると良いと思われます。

論文題目：“高速列車走行による鉄道連続桁の動的応答性状に関する研究”

著者：宇野匡和，曾我部正道，谷村幸裕，金森真
掲載：Vol.53A, pp.67-76, 2007年3月

◆討議 [松田浩（長崎大学）]

橋脚をモデル化して解析に取り込む必要性はないでしょうか。

◆回答：本研究では、橋脚をモデル化する必要はないと判断致しましたが、ご指摘を踏まえ橋脚剛性、ゴム支承の剛性(線路方向および鉛直方向)を考慮したCASE1の解析を実施致しました。解析結果を表-1と図-3に示します。衝撃係数に及ぼす影響は小さく、本論で得られました結論に及ぼす影響は小さいと考えます。

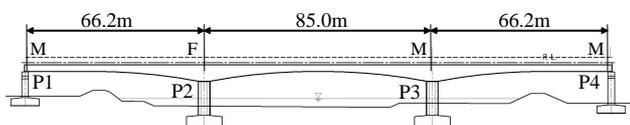


図-1 3径間連続PC箱形桁一般図 (CASE1)

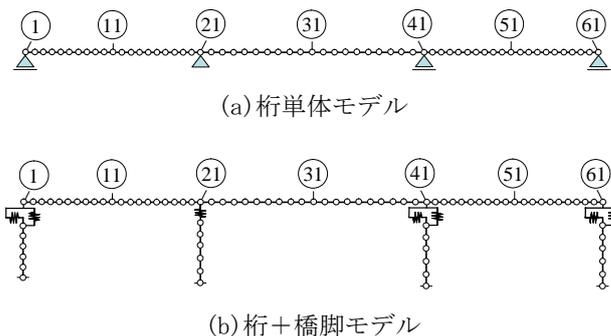


図-2 解析モデル (3径間連続桁)

表-1 CASE1の固有振動数

モード 次数	固有振動数(Hz)	
	桁単体 モデル	桁+橋脚 モデル
1	0.785	0.783
2	1.449	1.435
3	2.169	2.118
—	—	2.419
4	3.541	3.497
5	4.602	4.717

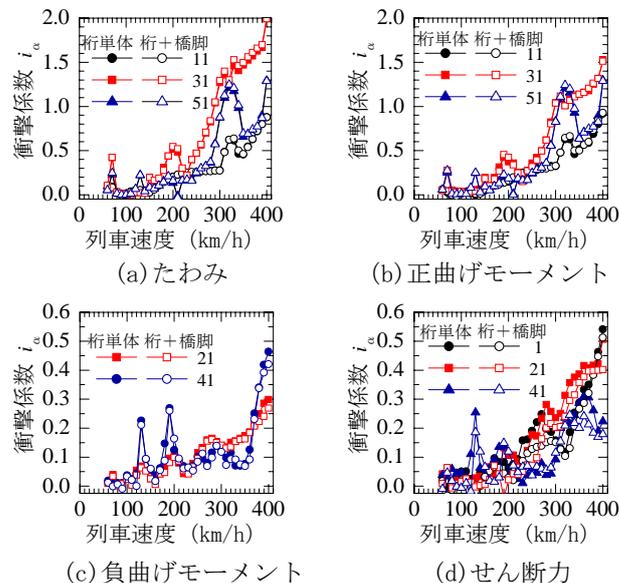


図-3 CASE1の列車速度と衝撃係数の関係 (PC箱形桁+橋脚モデル化)