

論文題目: “プレストレスを作用させた継手を有する集成材の曲げ試験と解析”

著者: 長谷部薫, 薄木征三, 佐藤亜希子
掲載: Vol.52A, pp.1179-1186, 2005年3月

討議 [渡辺 浩(熊本大学)]

プレストレスの導入により、はりが曲がったとき、はり中央部でPC鋼棒と木部材が接触しないですか? それをFEMでどう模擬しているのですか?

回答: プレストレスを導入する過程において、はり中央部で鋼棒と木部材は接触します。接触後は、接触部を変形体と変形体の接触部として接触解析を行っています。

論文題目: “集成材梁の横ねじれ座屈耐荷力”

著者: 千田知弘, 後藤文彦, 長谷部薫, 薄木征三
掲載: Vol.52A, pp.1187-1192, 2005年3月

討議 [渡辺 浩(熊本大学)]

完全弾塑性はモデル化しすぎではないですか? 今後どのように現象に合わせてチューンアップするのですか?

回答: 集成材の代表的な応力-ひずみ関係モデルとして、引張側が破断まで線形、圧縮側が降伏後に完全塑性というモデルは、参考文献4に示されたスギ材の圧縮・引張試験などを見る限りは、(鋼材を完全弾塑性でモデル化するのに比べれば)じゅうぶんに妥当なモデルではないかと考えました。もっとも、実際の集成材梁の挙動予測という意味では、統計的なばらつきを考慮した材料モデル(例えば参考文献12のような)の方が実際のだとは思っているので、現象に合わせたチューンナップという意味では、応力-ひずみ関係モデルは、単純なままとして、材料定数のばらつきを反映した結果を統計的な分布量として示すという方向性もあると考えています。

討議 [岩崎 英治(長岡技術科学大学)]

本論文の図表中の解析解や実験値と比べて数値解が異なった挙動を示しているように見受けられます。梁要素を用いて横ねじれ座屈解析を行う場合には3次元な有限回転の影響を正確に考慮した幾何学剛性を用いなければ正しい解がえられないことがあることが過去の研究で報告されていますが、本論文でのはり要素での幾何学剛性行列はどのような影響を考慮したものとなっていますでしょうか。

回答: 直線要素モデルでは、線形固有値解析から座屈点を求める際に、幾何剛性行列が3次元の有限回転を正確に考慮したものでないと正解を得ないという指摘だと思います。本解析では、弾塑性解析の場合は、3次元の有限回転をオイラー角で考慮した(変位と回転に関して非線形な)剛性方程式(式11)(参考文献1-3)の増分式として得られる接線剛性方程式(式12)を用いて、じゅうぶんに小さい荷重増分を累積させながら各荷重段階での接線剛性行列の負の固有値の数を監視し、それが0から1になる荷重段階を座屈荷重として判定しています(線形固有値解析は行っていません)。

式11を得るために局所座標系の実質変形を表す剛性方程式に用いたKは、線形の剛性行列で、線形化梁-柱理論の幾何剛性行列(文献5)は用いていません。接線剛性方程式を線形項と非線形項に適切に分解するなどすれば、そこから幾何剛性行列に相当する項を抽出できるのかも知れませんが、そのような考察は行っていません。なお、実験値は、細長比の大小に対して、本数値解とも解析解とも逆の傾向を示します。プレストレスを導入する過程において、はり中央部で鋼棒と木部材は接触します。接触後は、接触部を変形体と変形体の接触部として接触解析を行っています。

論文題目: “大断面集成材の鋼ジョイント近傍の応力集中との緩和法”

著者: 今井富士夫, 藤本英稔, 間瀬英男, 飯村豊, 中澤隆雄
掲載: Vol.52A, pp.1203-1210, 2005年3月

討議 [渡辺 浩(熊本大学)]

樹脂充填およびテーパの部分は、解析上どのように考慮されているのですか?

回答: 木橋の木部材を結合する鋼ジョイントでは、木部のボルト孔と鋼ボルトとの隙間に樹脂を充填するために、本論文の図-4に示すように、鋼板と木部材に隙間を設けての注入法が採用されているが、鋼板と木部材の接合面に充填された樹脂の接合(ずれ性状)に対する寄与の度合いは現在のところ明確ではない。よって、本解析では鋼板と木部材の接合面での樹脂の剛性は無視して、両者が接する面での互いの変位は独立としている。一方、鋼ボルトと鋼板や木部材との結合については、これらの隙間に樹脂が完全に充填されているものとして、その結合は剛結とした。これらの仮定は1204頁で箇条書きされた解析仮定に表現されており、模式的には図-5で示している。

後者のテーパ部については、図-16に示す木部空間部を忠実に解析に採り入れている。

論文題目：“中間横桁をもたない形鋼を主桁とする合成I桁橋の立体力学挙動に関する研究”

著者：高田晃子，長井正嗣，櫻井信彰，岩崎英治，藤本昌樹

掲載：Vol.52A，pp.1237-1246，2005年3月

討議 [中村 聖三 (長崎大学)]

偏載荷重に対して、床版上面の主鉄筋方向にはどの程度の引張応力が生じているのですか？ その引張応力でひび割れが発生する場合、荷重分配効果に変化はないのですか？

回答：偏載荷重に対して、床版上面の主鉄筋方向の引張応力レベルに関するご質問ですが、まず、ご質問はL荷重載荷時と解釈します。この場合、床版全体が下に凸となる変形をして(主桁上で負曲げが生じない、または小さい)、床版上面は圧縮状態となり引張は生じません。ひび割れと荷重分配の関係に関する質問は、別討議者に対する回答をご参照ください。

討議 [街道 浩 (川田工業(株))]

1. 有限要素解析において、床版はソリッド要素でモデル化されていますが、RC床版を対象とする場合は、コンクリートのひび割れ発生が前提となります。この評価方法をどのようになされていますか
2. コンクリートのひび割れを評価した場合、床版の荷重分配効果などが小さくなることは考えられませんか

回答：

(1) モデルではひび割れ現象(ひび割れのモデル化)を考慮していません。
(2) ひび割れの影響に対応するものとして、板厚変化を扱っていますが、比率で、1:0.75です。この程度の剛性変化では荷重分配係数の差異は小さいこと確認しています。さらに、比率を変えた計算を行う必要があるかと思いますが、コンクリート(圧縮側)と鉄筋(引張側)からなるモデルの曲げ剛性が実際に再現しているかは疑問があるところです。ひび割れが発生しているとしても、実際にどの程度の剛性になっているかを同定するのは難しい問題と考えます。

討議 [尾下 里治 ((株)横河ブリッジ)]

論文にある T 荷重による床版曲げモーメントと発表の図表の値とが違っています。

回答：ご指摘の通りで、論文中にあるモーメントはスパン L/2 点の値でなく L/4 点で値とわかり、発表時にはスパン L/2 点の値を示しました。訂正してお詫びします。この場合、スパン 15m モデル(主桁: H588x300x12x20)では、計算モーメントが道示の値より 25%、またスパン 25m モデル(主桁: H912x300x18x34)では 7%大きい値となることがわかりました。つまり、道示の値を用いて設計すると危険側となります。この理由は、横断面でみて、床版が下に凸に変形するためで、これによるモーメントが加算されるためです。因みに、スパン 15m モデルで、主桁サイズを H912x300x18x34

に変更すると、計算値が道示の値より多少大きくなる程度です。いずれにしても、このことを考慮した設計が必要となります。

討議 [北田 俊行 (大阪市立大学)]

以前に形鋼を用いた道路橋の損傷評価と補修に関係しました。この橋は、スパン 20m、75 度のスキュー、形鋼の高さは 65m で主桁間隔は 2.8m(?) で床版厚 18cm(?) と厳しい構造でした。1-0 で荷重分配がされていたので、主桁と横桁との取り付け部はせん断継手で、その部分が疲労クラックで切断されていました。この橋の活荷重たわみ制限は満足していなかった。このように、実際には横桁がないのと同じ構造になっているものもあり、床版の設計をしっかりとっておけば問題はないと思われます。

- (1) 活荷重のたわみ制限は満足していますか。
- (2) 既設橋の損傷や問題点などについて実績調査をしてみられてはどうですか。(コメントです)

回答：

(1) いずれもたわみ制限を満足することを前提としていません。
(2) ご指摘感謝します。

論文題目：“塑性域の鋼材特性が鋼-コンクリート合成桁の曲げ耐力の確率分布に及ぼす影響”

著者：荒木智，中村聖三，江頭克礎，高橋和雄，呉慶雄
掲載：Vol.52A，pp.1247-1255，2005年3月

討議 [立石 寧俊 (清水建設(株))]

確率分布に 2 つの山が見えますが、何を意味しているのですか。

回答：SS400 と SM490 の 2 鋼種に対して、図-1 には ξ ， E_{st} ，および ε_{st} を確率変数とした場合の、図-2 には ε_{st} のみを確率変数とし ξ ， E_{st} には平均値を用いた場合の曲げ耐力の確率分布を示します。いずれの図においても、曲げ耐力は全塑性モーメントで無次元化してあります。なお、図中には曲げ耐力が全塑性モーメントを下回る発生確率も併せて示しています。

ご指摘の通り、曲げ耐力の確率分布にはピークが 2 つ見られ、1 つは分布形の間近にて、もう 1 つは下限値付近にてピークが現れています。確率分布として取り扱った材料パラメータの分布形を対数正規分布としたため、前者のピークは納得がいく結果であると思われます。

ご質問の意図は、下限値付近のピークがなぜ現れるのかということであると思われますので、以下にこの点についてご説明いたします。

図-1，2 において曲げ耐力が全塑性モーメントを下回る確率を比較すると、SS400 では 2.65% と 2.63%，SM490 では 16.14% と 16.12% であり、極めて近い値となっています。両図の差はどのパラメータを確率変数として取り扱ったかの違いから生じるものであり、曲げ耐力が全塑性モーメントを下回る確率の支配因子はひずみ硬化開始点ひずみ ε_{st} の値の

大ききであると言えます。シミュレーションの結果を再確認すると、 ε_{st} の値がSS400では0.0298、SM490では0.0213（図-3参照）より大きくなると、 ξ および E_{st} の値が何であれ、曲げ耐力は必ず全塑性モーメントを下回っていました。このような事象が生じる確率は、図-3に示すようにSS400では2.49%、SM490では13.97%となります。 ε_{st} が先に挙げた値以下の場合でも、 ξ 、 E_{st} の組合せによっては十分なひずみ硬化が生じないため、曲げ耐力が全塑性モーメントを下回ることもありますから、その確率はSS400、SM490のそれぞれに対して、2.49%、13.97%を上回るようになります。

本解析では、下フランジの最下縁ファイバーがひずみ硬化開始点ひずみである場合、すなわちひずみ硬化が全く発生しない状態の場合、解析に用いた断面における曲げ耐力の下限値を与えると考えられますが、この時の無次元化された曲げ耐力は、SS400に対して0.998、SM490に対して0.996と計算されます。つまり、解析において発生する無次元化された曲げ耐力はSS400に対して0.998、SM490に対して0.996より小さくなることはありません。したがって、無次元化された曲げ耐力が0.99以上1.00未満の区間がSS400に対して2.49%、SM490に対して13.97%を超える確率を有することとなり、先述した後者のピークが出現したと言えます。

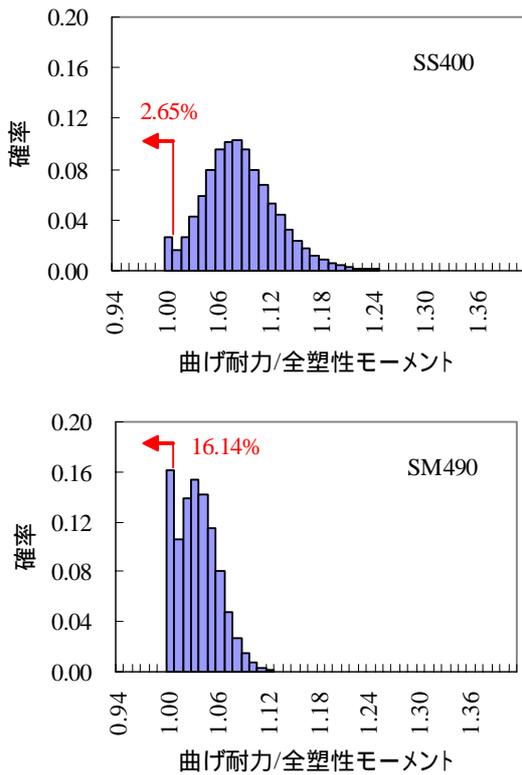


図-1 本報告で示した ξ 、 E_{st} 、および ε_{st} を確率変数とした場合の曲げ耐力の確率分布

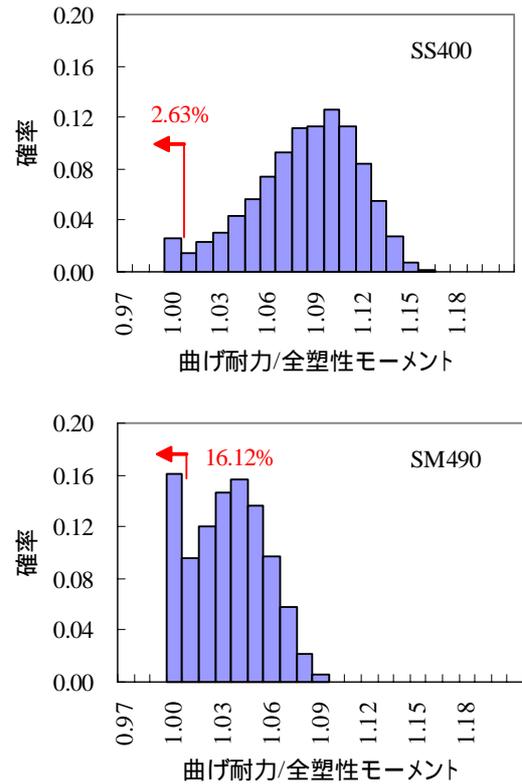


図-2 ε_{st} のみを確率変数とした場合の曲げ耐力の確率分布

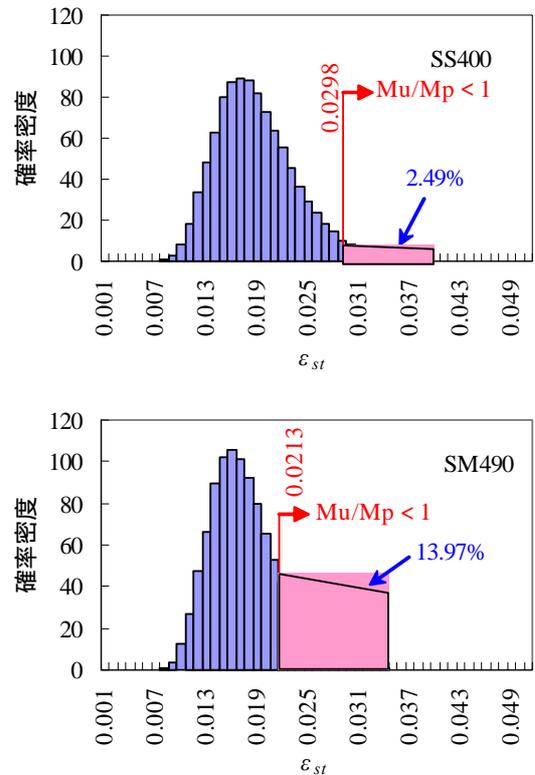


図-3 ひずみ硬化開始点ひずみ ε_{st} の確率密度関数

論文題目：“隅角部に疲労補修を施した鋼製ラーメン橋脚の地震時挙動”

著者：田辺篤史，佐々木栄一，三木千壽

掲載：Vol.52A，pp.1257-1266，2005年3月

討議 [奥井 義昭 (埼玉大学)]

計算例で示されたリブ補強のモデルは、実際のリブ補強で用いられるリブの寸法に比べて小さいのではないのでしょうか？活荷重に対しては、リブは大きい方がよいですが、地震時には、小さい方が影響が小さく好ましいものと思われれます。そのような見地からリブの寸法を検討されていたら、教えてください。

回答：本論文で使用したリブのサイズは、耐震よりも疲労に重点を置いて決定しております。疲労に対して有効なリブのサイズとしては、土木学会論文集 No.773, pp.137-148, 2004年10月の筆者らによる論文「既設箱形断面鋼製ラーメン橋脚隅角部のリブ取付による疲労強度向上」にて提案しているリブサイズを用いております。上記論文では有限要素法によるパラメータ解析により適切なリブのサイズを検討し、図-1に示す関係性を求めております。図より梁高さの10%以上では応力低減効果が飽和する傾向があること、また、耐震を考慮するとなるべく小さい方が好ましいことから、梁高さの10%を適切なリブのサイズとして提案し、実験によってその応力低減効果を検証しております。

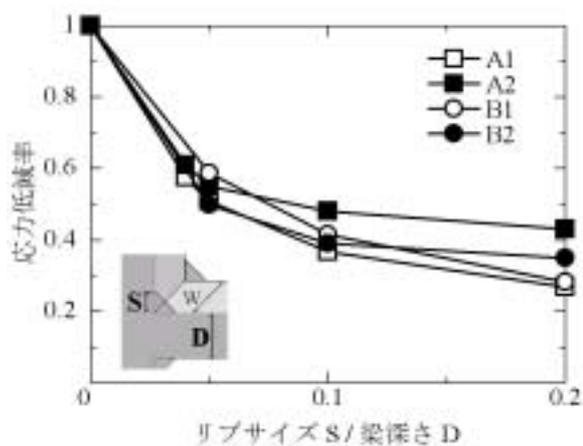


図 1 パラメータ解析結果

討議 [北田 俊行 (大阪市立大学)]

リブ補強により、低サイクル疲労が問題となるという結論になっています。その問題点は、自動車荷重による高サイクル疲労の問題はないのですか。

50

回答：本論文で使用したリブは、土木学会論文集 No.773, pp.137-148, 2004年10月の筆者らによる論文「既設箱形断面鋼製ラーメン橋脚隅角部のリブ取付による疲労強度向上」にて提案している手法(リブのサイズを梁高さの10%にする

)を用いております。上記論文では有限要素法によるパラメータ解析により適切なリブのサイズを検討後提案し、中型の疲労試験によってその応力低減効果と、疲労性能について確認しております。疲労試験の結果では、設計に使用される応力で評価した場合に、疲労強度がH等級程度からE等級程度まで3等級程度向上できております。

また、大コア施工を施した場合におきましても、大コア単体で疲労強度改善効果があることが示されております。

以上より、高サイクル疲労性能上は問題ないと判断しております。

論文題目：“Behavior of GFRP Pultruded I-600 Beam Under Static and Fatigue Loadings”

著者：S.HINO, B.ABDULLAH, R.DJAMALUDDIN, K.YAMAGUCHI

掲載：Vol.52A，pp.1267-1274，2005年3月

討議 [立石 寧俊 (清水建設(株))]

1. GFRP ビームの取り付け方は(床版と鋼材について)？
2. 実験写真のせん断座屈モードと異なるのはなぜですか？

回答：

1. GFRP ビームの取り付け方は(床版と鋼材について)？ Fig.1に示す実構造でのGFRP桁の施工手順について、以下のとおり示します。

既設RC床版下面の表面処理。

GFRP縦桁の既設床版下面への取り付け。縦桁の両端は既設の鋼対傾構または横桁への高力ボルト摩擦接合による取り付け。(GFRP縦桁の接合端部は、予め接合用鋼板の接着などの加工済み)

GFRP縦桁の3等分点で下側より主桁ウェブへのGFRP横桁の設置。

GFRP横桁を下側よりジャッキアップしてGFRP横桁端部の主桁ウェブへの接合。(GFRP横桁主桁ウェブの接合は、と同様)

GFRP縦桁RC床版下面の接合面に、エポキシ樹脂モルタルの充填。

2. 実験写真のせん断座屈モードと異なるのはなぜですか？ ご質問は、Fig.11とFig.13の比較についてかと理解し、以下のとおり回答します。

ご承知のように、GFRPの力学特性は、各方向の繊維の配列や量、またエポキシ樹脂との界面強度などによって強度特性が大きく影響される複雑な構成となっています。したがって、GFRP構造の破壊挙動を厳密に究明するにはこれらの構成特性をミクロに捉えた解析手法を適用する必要があると考えます。しかし、本研究では、GFRP部材を土木構造部材として実用設計することを目的とすることから、鋼材やコンクリートと同様に直交異方性を有する完全弾性材料としてマクロに取り扱うことが必要であると考え、ここではその適用性を検討したものであります。

Fig.11 は、GFRP はりの載荷点(スパン中心) 位置のウェブに初期の座屈現象が現れた状況であり、Fig.13 は変形がかなり明確に現れた時点のスパン半分の変形図を示したもので、細部についての差異はあっても、はり構造としての概ねの変形挙動は追跡できていると思われます。すなわち、上記のような仮定で、GFRP はり構造の曲げ・せん断挙動を終局に至るまで、概ねシミュレートできることが示されたと考えています。なお、より厳密な挙動追跡の解析についても今後の課題と考えています。

討議 [北田 俊行 (大阪市立大学)]

GFRP ビームの曲げ・せん断強度の検討をされていますか。このビームを鋼 I 桁の RC 床版の補強に使った場合、GFRP のヤング係数が小さく、ビームの剛性が小さいので、RC 床版のたわみ制限に用いるのは効果的ではなく、GFRP はコストも高いので、経済的でないと思います。また、太陽光線による強度低下もあり、実用性がかなり難しいと思います。これらの点に対するコメントをお願いします。

回答：GFRP ビームの曲げ・せん断強度の検討をされていますか。このビームを鋼 I 桁の RC 床版の補強に使った場合、GFRP のヤング係数が小さく、ビームの剛性が小さいので、RC 床版のたわみ制限に用いるのは効果的ではなく、GFRP はコストも高いので、経済的でないと思います。また、太陽光線による強度低下もあり、実用性がかなり難しいと思います。これらの点に対するコメントをお願いします。

使用した GFRP の力学特性は、Table 1 に示すとおりであります。また、これらの力学特性は、ガラス繊維の配列方向とその量、接着剤の特性などにより変動しますが、ご指摘のとおり、一般的には GFRP のヤング係数が鋼材や CFRP などに比べて小さいので、曲げ部材としての適用については必ずしも効果的とはいえないと思われます。

しかし、GFRP の特徴は、鋼材に比べて、引張・圧縮強度はほぼ同等で、かなり軽量であるため、本構造のような狭小な桁下空間での作業性に優れていることが最大の長所と考えます。また、炭素繊維 (CFRP) に比べれば、強度やヤング係数に劣るものの材料単価がきわめて安価であることが最大の長所です。したがって、活荷重に対して応力超過した既設床版の鉄筋応力度の低減を目的とした本適用のように、設定した補強レベルに対して検討した場合、他工法である炭素繊維シート接着工法に比べてもほぼ等価の見積りを得ています。

また、FRP の問題点として紫外線劣化が挙げられますが、適用個所が既設床版の下面であることから、その懸念はきわめて小さいと考えています。

論文題目：“溶接部を対象とした極低サイクル疲労強度予測モデル”

著者：館石和雄，判治剛，鬼頭和也，南邦明
掲載：Vol.52A，pp.1275-1281，2005 年 3 月

討議 [中村 聖三 (長崎大学)]

1. 亀裂の発生寿命と伝播寿命の比はどの程度ですか
2. 亀裂発生寿命で結果を整理した意図は何ですか
3. 今回の結果は、曲げ載荷ではなく軸方向載荷でも同様となるのですか

回答：

1. 亀裂の発生寿命と伝播寿命の比はどの程度ですか
き裂発生寿命 N_c とき裂進展寿命 N_p ($=N_f-N_c$, N_f : 破断寿命) の比はひずみ振幅や試験体の断面積の大きさにより異なりますが、今回の試験結果は、 N_c/N_f で申しますと 0.4 ~ 0.7 の範囲にばらついております。文献 1) によれば N_c/N_f は大略 0.4 ~ 0.6 の範囲にばらついていることが示されており、き裂発生寿命の定義や試験体サイズの相違はあるものの、今回の疲労試験もほぼ同様の割合となっております。

2. 亀裂発生寿命で結果を整理した意図は何ですか
低サイクル疲労試験結果をき裂発生寿命で整理することは、過去の研究事例から判断して最も素直なやり方であり、特別な意図はありません。なぜ破断寿命で整理しないのかという意味のご質問であれば、破断寿命は、試験体の大きさや、本試験で採用している曲げ載荷の影響を受けるため、一般的な結論を得ることが必ずしも容易ではないと判断したことによります。ただ 1. のご質問に対する答えにもありますように、結果として、それらの影響はあまり大きくはなかったものと推察されます。

3. 今回の結果は、曲げ載荷ではなく軸方向載荷でも同様となるのですか

今回用いた試験システムによる疲労試験結果と従来の軸方向載荷の試験結果の比較は既報 (本文中参考文献 (16)) に示してありますが、両者は非常によく一致しており、今回の結果は軸方向載荷時でも同様となると考えられます。

参考文献

- 1) 飯田国広：歪制御低サイクル疲労，溶接学会誌，Vol.37，No.6，pp.542-559，1968.