

7. 橋梁耐震

とりまとめ：葛 漢彬 (名城大学)

論文題目：“高強度構成材料を用いたRC柱の一軸圧縮特性と寸法効果”

著者：阿部諭史，秋山充良，鈴木基行
掲載：Vol.57A, pp.386-394, 2011年3月

◆討議 [葛 漢彬 (名城大学)]

$h/D=3$ にしていますが、それ以外の比のものに本研究の結果をどのように適用できるのでしょうか。

◆回答：著者らは、断面幅 D が一定で高さ h のみが異なるRC柱の一軸圧縮実験を行っており、 h/D が異なる場合でも、応力-塑性変位関係は変わらないことを確認している¹⁾。つまり、 h/D が異なる場合でも、本実験で得られた断面幅の変化に伴う各種実験結果はほぼ同じ傾向を示すことが予想される。

1) 秋山充良，渡邊正俊，阿部諭史，崔松濤，前田直己，鈴木基行：一軸圧縮を受ける高強度RC柱の破壊性状および力学的特性に関する研究，土木学会論文集E, Vol.62, No.3, pp.477-496, 2006.8.

◆討議 [高橋 良和 (京都大学)]

寸法効果のメカニズムを少し詳しく説明してください。

◆回答：一般に供試体寸法が大きいほど、横拘束筋を持たない無拘束供試体の圧縮強度は低下するとされている。無拘束供試体の圧縮強度の寸法効果について、直列モデルにおける最弱理論（そこに含まれるすべての要素の中で最も弱い要素強度で全体の耐力が決まる）を当てはめるとうまく説明できる。すなわち、最も弱い要素の強度は、供試体の寸法が大きいほど小さくなる可能性が高く、結果として、無拘束供試体の軸圧縮耐力は供試体寸法が大きいほど小さいものとなる。一方、コンファインドコンクリートの場合、横拘束筋の存在により、コンクリートの材料強度のばらつきの影響を受け難くなり、無拘束供試体のような最弱理論は成り立たないと推測される。

論文題目：“斜角を有する鉄筋コンクリート壁式橋脚の変形性能に関する実験的研究”

著者：京田英宏，三上隆，西弘明
掲載：Vol.57A, pp.395-404, 2011年3月

◆討議 [党 紀 (京都大学)]

- (1) 変位は橋脚のみの変位ですか。
- (2) 斜角の設定はどのように決めたのでしょうか。すなわち、 60° 方向に載荷する理由を教えてください。
- (3) 局所的な損傷は載荷方向の剛性とどのような関係があるのでしょうか。

◆回答：

- (1) 本研究における変位は、橋脚頭部と橋脚基部の相対変位であり、積層ゴム支承などの変位は含まれておりません。したがって、橋脚のみの変位です。
- (2) 道路橋示方書・同解説V耐震設計編では、橋脚の耐震設計において斜角 60° 以上の斜橋の場合には、計算の簡便さを考えて斜角 90° の直橋とみなして橋軸方向および橋軸直角方向の慣性力を求め、これをそれぞれの断面の主軸方向の慣性力とみなして別々に作用させてよいとされております。そこで、本研究では、直橋とみなして設計される最大の斜角である 60° を載荷方向に設定しました。
- (3) 斜め方向載荷の場合には、主軸方向載荷の場合よりも載荷方向に対する橋脚の剛性が高いため、躯体の曲げ変形が生じにくくなります。その結果、主軸方向載荷の場合よりも損傷が橋脚基部に局所化し、軸方向鉄筋の座屈長が短くなるものと考えられます。

論文題目：“柱外周面にのみ高靱性セメントを使用した耐震補強効果の検証”

著者：清水英樹，幸左賢二，合田寛基，小川敦久
掲載：Vol.57A, pp.405-417, 2011年3月

◆討議 [党 紀 (京都大学)]

- (1) 最大荷重点での変位を教えてください。
- (2) どのタイプの供試体の最大荷重時の変位は最も大きかったのでしょうか。
- (3) 終局の定義は何を基準にしているのでしょうか。

◆回答：

- (1) 載荷実験におけるNo. 1供試体の最大荷重時の変位は27mm, No. 2供試体が64mm, No. 3-1供試体が31mm, No. 3-3供試体が33mmとなっております。
- (2) 試算および載荷実験で最大荷重時の変位が最も大きかったのは、柱基部全域を高靱性セメントに置き換え新設橋脚を想定したNo. 2供試体でした。
- (3) 載荷実験における終局の定義は、最大水平荷重以降に初めて水平荷重が降伏荷重まで低下した点としております。

◆討議 [塩光 浩史 (三井造船鉄構工事㈱)]

- (1) 実施工時には既設RC脚の帯鉄筋を撤去し、スパイラル筋を巻くイメージでしょうか。
- (2) 旧コンクリートと新コンクリートの接着面は、何か特別な処理が必要でしょうか。

◆回答：

- (1) 実施工時には、既設RC橋脚の帯鉄筋が主鉄筋の外側に配

筋されていれば撤去し、内側に配筋されていれば、そのまま主鉄筋の外側にスパイラル鉄筋を巻くことを想定しております。

(2) 実施工では、かぶりコンクリートをはつり取りますので、特別な処理はせず新旧コンクリート接着面ははつり面となります。実験供試体作製時には、同接着面をチップング処理しております。

◆討議 [睦好 宏史 (埼玉大学)]

本補強法と他の補強法(鋼板巻き立て、繊維シート貼り付け)と比較して優れている点は何ですか。

◆回答: 本補強法が優位となる場合としては、既設コンクリートのかぶり部が中性化・塩害・凍害等で劣化しているときに、かぶり部の置き換えが必要となる場合を考えております。

論文題目: “ポスト形式橋脚のピボット支承の復元力モデルと簡易補強法”

著者: 芝寛, 吉田直人, 池田学, 高野幸宏, 齋藤聡, 工藤伸司

掲載: Vol.57A, pp.418-430, 2011年3月

◆討議 [党 紀 (京都大学)]

支承を補強して耐力が倍程度になっていますが、支承まわりや基礎部に過大な荷重がかかり壊れたりしないのでしょうか。

◆回答: ご指摘の通り、提案の補強法である「補強リング」を適用することで、ピボット支承まわりの曲げモーメントは増大します。ただし、曲げモーメントの増分は絶対値としては小さく、支承まわりへの影響は小さいと考えられます。

一番懸念される部位がポスト形式橋脚の端部(ピボット支承の取り付く部位)です。これについては、本論文図-28に示すように、補強リングにより曲げモーメントが増大して照査値(軸力および曲げモーメントの照査値)は増大する結果になります。しかしながら、その増分はわずかであり、照査結果にはほとんど影響を及ぼしません。また、ピボット支承の基礎についても、構造的に強固であるため、曲げモーメントの増分程度では問題になりません。

そのため、補強リングを適用しても、ピボット支承まわりの他部位への負担増は小さいものと考えられます。

論文題目: “Damage analysis of Xiaoyudong Bridge affected by Wenchuan Earthquake, China”

著者: Kenji Kosa, Zhongqi Shi, Jiandong Zhang and Hideki Shimizu

掲載: Vol.57A, pp.431-441, 2011年3月

◆討議 [党 紀 (京都大学)]

上下動の地震加速度の影響もあるのではないのでしょうか。

◆回答: The vertical seismic acceleration has noticeable effect on arch structure. However, the effect is not being considered in our present pushover analysis, but will be taken into consideration in the following dynamic analysis.

論文題目: “津波による橋梁への水平作用力に関する実験的検討”

著者: 幸左賢二, 秋吉秀一, 二井伸一, 木村吉郎

掲載: Vol.57A, pp.442-453, 2011年3月

◆討議 [香月 智 (防衛大学校)]

波力推定式において、Cdはどの程度の値を使用されていますか。

◆回答: 既往の研究によると、実験条件により抗力係数も変動することが指摘されておりますが、ここでは、一般的な値として道路橋示方書における照査法を準用して算出しております。

◆討議 [河西 良幸 (前橋工科大学)]

4月11日の土木学会の東日本大震災の報告会で、津波によって、ある橋梁の免震支承が直交方向に破断したという報告があったと聞いています。ご研究から、そのような破壊が生じると考えられる見解を聞かせてください。

本研究は前記被害の分析に役立つと思われるので、今後の研究を期待したいと思います。

◆回答: 津波作用力は方向によっては、橋梁の橋軸方向、橋軸直角方向のいずれにも作用すると考えられます。しかながら、橋軸方向には橋台があり、直接桁に作用する力が小さいこと、これに対して橋軸直角方向の桁抵抗力が小さいことから、橋軸直角方向への桁移動が支配的であると考えられます。このような橋軸直角の作用力により支承が破壊することが考えられます。

論文題目: “逆断層近傍における上路式鋼トラス橋の応答特性”

著者: 児玉喜秀, 原田隆典, 野中哲也, 中村真貴, 宇佐美勉

掲載: Vol.57A, pp.454-466, 2011年3月

◆討議 [党 紀 (京都大学)]

入力断層の波形には長周期成分を主としていますが、検討対象となる橋梁のような複雑なものに対して、高周波数成分の影響もあるのではないのでしょうか。

◆回答: 対象橋梁の固有周期等を表-1に示していますように、4次モードの固有振動数が2.47Hzとなっており有効質量比もこのモードまでが大きいので、地震時の主要なモードとして考えられます。そこで、地震波作成では2.5Hz以下の振動数を対象に作成しています。参考までに、岩手・宮城内陸地震では、圧倒的に10Hz程度の短周期の地震動が卓越して、

最大加速度3866galの加速度波形が記録されていますが、この波形を入力した橋梁の応答は大きくなく、主部材にはなんら損傷は受けないことがわかっています¹⁾。したがって、高周波数成分の影響は主部材にはないと考えられます。

- 1) 原田隆典, 野中哲也, 児玉喜秀, 中村真貴: 震源断層近傍の地震動上下成分の解析と上路式鋼アーチ橋の非線形応答挙動, 第13回日本地震工学シンポジウム論文集, CDROM, pp.4256-4263, 2010.

◆討議 [伊藤 義人 (名古屋大学)]

- (1) 台湾のJi-Ji地震のように、断層変位が大きくなると、この程度の解析の限界があると思われま。
- (2) 支承などで破断したり、弱点部で座屈したりすると思われまますが、それらはモデル化されていますか、あるいはその可能性をチェックしていますか。

◆回答:

- (1) 本論文では、震源断層パラメーターと地盤条件を与えることにより、橋梁の各支点での断層永久変位を含む入力地震動が作成でき、これを用いて応答解析をするという方法論と例題を示したものです。例題としての断層は、土木学会が「第三次提言」において、伏在断層に起因するM6.5程度の直下地震が起こる可能性を考慮し、この地震動をレベル2地震動の下限值としていることから、M6.5に設定しました。当然、大きなMを想定すれば、断層永久変位は大きくなり橋梁への影響はもっと大きくなるでしょう。解析は可能ですので、大きなMの活断層近傍にある橋梁を対象に応答挙動を調べることも可能です。
- (2) 各下部工位置での鉛直方向の断層相対変位より、支承によっては比較的大きなアップリフトが作用しているものもございま。ただし、本論文では入力地震動が橋梁主構造に与える影響を比較することを目的としているため、あえて支承の破壊については考慮しておりま。 (支承耐力が十分であることを想定) また、鋼部材の応答についても、材料非線形を考慮した上での塑性率による評価にとどめているため、鋼材座屈に対する評価は行っておりま。

論文題目: “スリット型ノックオフ支承を用いた既設アーチ橋の耐震補強”

著者: 杉岡弘一, 間嶋信博, 松下裕明, 姫野岳彦, 松村政秀
掲載: Vol.57A, pp.467-478, 2011年3月

◆討議 [宇佐美 勉 (名城大学)]

支承をレベル2地震動時に確実にノックオフさせるために、装置の強度と変形能に加え地震動のばらつきも考慮する必要があるかと思われまが、どのように考えられているのか、考えを聞かせてください。

◆回答: 本論文2.3(3)節に示すとおり、ノックオフ構造の破断強度に関する要求性能として、まず、下限値を検討対象橋梁のレベル1地震時水平力としま。次に、その上限値と

して制震デバイス(せん断パネル)が機能を発揮し始めるせん断パネルの降伏耐力としま。この様にノックオフ構造の破断強度に関する要求性能に上下限値を有する幅を持たせることにより、この間で装置の強度と変形能のばらつきをある程度吸収できるのではと考えておりま。

しかし、下限値であるレベル1地震時水平力は道路橋示方書¹⁾に基づく静的照査法で算出し、上限値であるせん断パネルの降伏耐力は本論文のシナリオ地震波による時刻歴応答解析で算出しているため、地震動のばらつきは考慮されておりま。地震動のばらつきについては、想定する地震動をどの様に選定するかを含め、今後の課題とと考えておりま。

- 1) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説V耐震設計編, 丸善, 2002.3

◆討議 [青木 徹彦 (愛知工業大学)]

実験は静的に行われているようですが、実地震は衝撃的な力が作用しま。動的影響を考慮していますか。載加速度が大きいと、抵抗力は増大すると思われま。

◆回答: ご指摘の通り、実験時に動的影響は考慮しておりま。しかし、本論文3.5節に示すとおり、地震時の動的な載荷の影響により破断荷重が約10%程度増加することを考慮しても、本橋のノックオフ部材がその要求性能を満足することを実験により確認しておりま。

論文題目: “完全溶け込み溶接部に未溶着を有する鋼厚肉部材の延性き裂発生・進展に関する実験的研究”

著者: 鈴木俊光, 葛 漢彬, 小野恵亮
掲載: Vol.57A, pp.479-489, 2011年3月

◆討議 [青木 徹彦 (愛知工業大学)]

- (1) 未溶着の分布データはないのでしょうか。
- (2) 未溶着がある構造物が10年、20年使われると、そこから高サイクル疲労き裂が生じるはずで、この影響についてどのように考えているのか、考えを聞かせてください。

◆回答:

- (1) 首都高速道路(株)の隅角部における柱およびはりフランジにおける溶け込み率と供用年度の関係について、以下の論文にデータの掲載があります。“三木千壽, 平林泰明: 施工の不具合を原因とする疲労損傷, 土木学会論文集A, Vol.63 No.3, 518-532, 2007.7”。なお、近年における隅角部内の溶接施工については特別管理部位としての厳しい検査と施工プロセス管理が義務付けられており、このような未溶着を有する隅角部は比較的古い時代に施工されたものであると考えられま。
- (2) 多くの鋼製橋脚における隅角部にこのような未溶着を起点とする部位からの高サイクル疲労き裂が多数確認され、き裂除去や当て板による補強工事が多数行われています。このことから常時であれば高サイクル疲労き裂が問題になることは明白です。一方、我々実験

においてはこのような高サイクル疲労損傷を受けた構造を想定しておりません。しかしながらご指摘の通り、実際の構造物においてももしも応力の高い隅角部（特に三線交差部）に未溶着が残存している場合には高サイクル疲労き裂の発生が懸念され、このような状態で強大な地震力が作用した場合には非常に危険であると推測されます。この点につきましては今後の検討課題として検討していく必要があると思いますが、実験的、解析的に未溶着の大きさを変化させる等の検討を行っておりますので、機会を改めてご報告させていただきたいと思っております。

論文題目：“2方向水平力と2軸曲げを受ける鋼製橋脚の限界状態と連続高架橋の耐震安全性の検討”

著者：後藤芳顯，海老澤健正，石川純平
掲載：Vol.57A, pp.490-499, 2011年3月

◆討議 [宇佐美 勉 (名城大学)]

- (1) 単一橋脚と多数の橋脚より構成される橋梁システムの終局限界を議論した論文と理解しました。
- (2) 一般にシステムの限界状態を議論する場合には、構成要素の損傷状態も、地震後の使用性の観点から、正しく理解しておく必要があるかと思っております。システムが終局限界に達した時の各橋脚の損傷はどの程度なのでしょう。
- (3) 力（断面力）のみで照査し、変形を全く考えない安全照査法で、橋梁システムの真の安全性を照査できるものなのでしょうか。強度の面で安全限界内でも変形が過度に大きくなり、地震後の使用性に支障を来す設計法になってしまわないでしょうか。また変形を求めておかないと、桁掛かり長などの変形（変位）に関する照査ができなくなります。

◆回答：

- (1) 4橋脚により構成される3径間連続橋を対象に高架橋全体系の終局限界状態と各橋脚の終局限界状態の関係について検討しました。
- (2) 高架橋全体系が終局限界状態に達した時の橋脚のおおよその変形状況としては、固定支承橋脚の橋脚基部において局部座屈による変形が多少見られる程度です。他の可動支承橋脚では、固定支承橋脚よりも局部座屈による変形は小さくなっています。本論文での復元力照査法は地震時の安全性照査を目的としており、地震後の使用性や修復性については別途、残留変位や残留ひずみを用いた要求性能に対する照査をおこなうこととなります。
- (3) 橋梁システム全体の安全性が支配される終局限界のうち、最も重要な高架橋全体系の安定限界に対する照査法として、ここでは、各橋脚頂部に作用する断面力（復元力）を用いた精度の良い照査法を提示しました。本方法は各橋脚の安定限界に対応する断面力（復元力）表示の限界曲線を用い、一つの橋脚の応答値がこの限界曲線に到達した状態を全体系の終局限界状態とする実用的な方法です。本手法により同定される終局限界

は正確に求めた高架橋全体系の安定限界に対して必ず安全側です。

本照査法における耐震解析では従来と同様の非線形動的解析を用いますので、塑性化や変形の影響は当然考慮されており出力もできます。地震後の使用性、修復性などについては、(2)にも述べましたが、非線形動解で得られた変位やひずみを用いて、別途、従来と同様な照査を行うことを前提としていますので、ご指摘の心配はありません。

◆討議 [青木 徹彦 (愛知工業大学)]

- (1) 現行示方書では、橋軸方向と橋軸直角方向で作用高さが異なるとしています。それとの違いはどうでしょうか。
- (2) 橋脚は局部座屈が生じると、地震のあとに撤去されてしまいます。局部座屈が生じる前に地震が終了するように設計されることが望ましいと思われませんが、ご提案の照査法ではどうでしょうか。

◆回答：

- (1) 橋軸方向と橋軸直角方向で独立に橋脚を照査する現行の示方書の場合、地震による水平力作用高さが橋軸方向と橋軸直角方向で異なっていますが、それぞれ、橋脚高さを近似的に地震力作用高さに等しいと考えることができるため、通常橋脚頂部への曲げモーメントの作用を考慮する必要がありません。しかしながら、同時に橋軸方向と橋軸直角方向に作用する水平力成分を考えると、少なくとも一方向には曲げモーメント成分が橋脚頂部に作用することになります。このため、曲げモーメントを考慮した限界曲線が必要になります。さらに、桁と橋脚が剛結された構造では、曲げモーメントがゼロとなる水平力作用高さは橋軸方向と橋軸直角方向で異なるとともに、時々刻々変化するので、作用高さをを用いる方法は非常に複雑ですし、その妥当性も明らかではありません。はじめから橋脚頂部へ作用する2方向水平力と2軸曲げを考えた限界曲線を用いた方が照査の正確さや容易さの観点からは明らかに合理的です。
- (2) この照査法は橋脚が終局限界状態へ到達していないことをチェックし、地震時の安全性を確保するためのものです。ご質問のような内容は、別途、残留変位や残留ひずみを用いておこなう地震後の使用性や修復性の照査が対応します。したがって、これらの照査にご指摘の内容を要求性能として含めるべきと考えます。なお、本論文での検討範囲において、橋脚の終局状態では基部に局部座屈による変形が多少見られる程度で損傷は限定的でした。

論文題目：“繰返し水平荷重を受ける鋼製剛結トラスの破壊実験と解析”

著者：宇佐美勉，齊藤直也，舟山淳起，野中哲也，廣住教士，菅付統一，渡辺孝一
掲載：Vol.57A, pp.500-513, 2011年3月

◆討議 [後藤 芳顯 (名古屋工業大学)]

はり要素を用いた複合非線形解析によりトラス構造の終局応答値を算定する手法を提案されていますが、現在、立体トラス構造では部材のねじり剛性が小さく、そのままでは十分な数値解析ができない場合が多いようです。提案されている手法の実用化に関して、数値解析の現状も考慮していただきたいと思えます。

◆回答：ご指摘の数値解析上の問題は、解析コードによっては生ずる場合があるようです。しかし、そのような場合でもモデル化あるいは入力データの工夫により回避できると考えています。研究あるいは業務から得た我々の経験は次のようです。なお、討議文中の「ねじり剛性」は「サンブナンのねじり剛性」と解釈します。

- (1) ファイバーモデル用いたアーチ橋やトラス橋の動的複合非線形解析に際し、横構、対傾構などの2次部材に対して、例えばH形鋼等の開断面部材を使用した場合、ねじり剛性の値が曲げ剛性、軸剛性と比較して非常に小さくなり、数値解析上、収束性が悪くなって解が得られないことが用いる解析コードによってはあります。なお、アーチリブや上下弦材などの主部材(多くは閉断面)に対しては、実際のねじり剛性を入力しても、そのようなことはありません。
- (2) 解が得られない場合でも、2次部材の両端を主部材に剛結し、一部材を複数の要素に分割して中間節点に質量を定義すれば、安定して解が得られることがあります。もし、実際のねじり剛性の値を入力して収束解が得られない場合には、対象構造物の応答に影響ない範囲で、実際の値より少し大きめのねじり剛性を入力することにより回避することが可能です。アーチ橋やトラス橋の地震応答解析では2次部材のねじりの影響が大きいとは考えられず、ねじり剛性の多少の増大は、応答値に大きな影響を及ぼすことはないと考えられます。なお、少し大きなねじり剛性の値を用いることは、実務での通常の数値解析で無視している「そりねじり剛性」を近似的にはあるが考慮すると解釈することも出来ます。従って、将来的には、特に開断面に対しては、そりねじりを考慮した解析を行うのがよいのかもかもしれません。

◆討議 [青木 徹彦 (愛知工業大学)]

ヨーロッパでは設計の単純化が強く言われています。複合非線形解析をすべての構造物の設計に行わせることがいいのか疑問です。

◆回答：これに対する回答は、次の鈴木氏の討議内容に的確に述べられていますのでそれを参照して頂くこととし、ここでは、本研究の背景と我々の主張について補足説明させていただきます。

- (1) 実務者との議論、あるいは学会での研究発表等により、我が国においては、レベル2地震動を受けるアーチ橋、トラス橋の2次部材(対傾構、横構等)の耐震照査は次のように行われているようです。即ち、2次部材を両端ピンのトラス部材あるいは両端剛結の梁-柱部材にモデル化し、レベル2地震動の地震応答解析から得

られた最大応答力を用い、レベル1地震動に対する照査式(例えば、道路橋示方書・同解説、II鋼橋編、式(4.3.1)～(4.3.7))と同じ照査式を用いて照査を行っているようです。但し、安全率については、1.0あるいはレベル1地震動に対する照査時に用いる許容応力度の割り増しを考慮したときの安全率(1.14程度)を用いているようです。

- (2) この方法は確かに安全ですが、レベル1地震動とレベル2地震動の大きさを比べてみれば明白のように、多くの場合、レベル2地震動に対しては照査式を満たさないこととなります。従って、既設橋梁の耐震補強にこの照査法を用いれば、制震構造(制震ダンパーあるいは免震デバイスを設置する構造)を採用しない限り、多くの場合、2次部材の補強(増厚等)を余儀なくさせられることとなります。
 - (3) 本論文は、比較的細長い部材(文献4)の実績調査によれば、実構造物における横構、対傾構の細長比の平均値は110程度で、本論文のB断面斜材程度)を斜材にもつ剛結トラス構造の場合には、隣接する健全な部材に囲まれた斜材の「後座屈効果」、あるいは「リダンダンシー効果」により、耐荷力は、(1)の方法で算出した耐荷力の3倍程度の大きさになるという実験結果を提示し、それらの効果を繰り返し荷重の元で評価できる数値解析モデルを提案したものです。
 - (4) 本提案手法は、「土木学会 鋼・合成構造標準示方書(2008)」4.2耐震性能照査(p.29)の「ひずみ照査法」を適用する際に用いられる構造物の「適切なモデル化」に対する提案を行ったものです。この手法では、非線形の動的解析が必要ですが、鈴木氏が指摘しているように、このような数値解析は、現在、通常的设计でも既に用いられています。
 - (5) 提案数値解析では、斜材の初期たわみ(L/1000)は考慮されていますが、残留応力は考慮されていません。この影響は静的解析では大きいのですが、準静的あるいは動的解析では、最初の1パスに影響を及ぼすのみで、その後は消滅するという事実¹⁾、および入力データが著しく煩雑になることから解析では考慮しておりません。実験との比較から、残留応力を無視しても十分正確な解析結果が得られています。
 - (6) それでも、残留応力の影響が心配な向きには、文献4)に用いられている、等価初期たわみあるいは等価初期横荷重(残留応力の影響を耐荷力が等しくなるように、初期たわみあるいは初期横荷重に加算する)を用い、残留応力を考慮しない解析方法が実用的であると考えられます。このような手法による骨組みの静的解析法はEurocode 3で採用されています²⁾。
- 1) Mamaghani, I. H. P., Usami, T. and Mizuno, E.: Inelastic Large Deflection Analysis of Steel Structural Members under Cyclic Loading, Engineering Structures, Vol. 18, No.9, pp.659-668, 1996.
 - 2) ECCS: Essentials of Eurocode 3, Design Manual for Steel Structures in Building No. 65, 1991.

◆討議 [鈴木 俊光 (三菱重工鉄構エンジニアリング(株))]

実際の設計において提案されている手法は現実的に難しいのではないかと青木先生のご質問に関連して意見を求められたので、私見を述べさせていただきます。

実務設計者の観点からすればもちろん簡易手法ですべて照査できることが望ましいですが、現在では立体ラーメン、連続高架橋などでも3次元動的解析が必要であり、ツールも発展しているため、むしろそれらのツールをうまく使って設計に適用する方法が与えられることが望ましいと考えます。あまり簡略化しすぎて実挙動を見誤ることも問題と考えます。

◆回答：実務設計者からの的確な回答に感謝致します。我々

もこれと同じような考えを持っています。「あまり簡略化しすぎて実挙動を見誤る」というのは重要な指摘であり、その結果、「過度に不経済な設計になる場合がある」というのが本論文の主張です。大学（あるいは企業）の研究者の責務は、現行設計示方書の考え方にとらわれず、設計者が実務で使える、より合理的かつ経済的な設計のツールを開発し提供することであろうかと思えます。本研究の主目的もそのような点にあります。