

8. 橋梁耐震

取りまとめ：北原武嗣（関東学院大学）

論文題目：“橋梁への津波作用力に関する実験的検討”著者：二井伸一，幸左賢二，庄司学，木村吉郎
掲載：Vol. 55A, pp. 471-482, 2009年3月

◆討議 [松田宏 (JIPテクノサイエンス)]

(1) 波力は、地震慣性力に対して概ねどの程度の比率になると考えてよろしいでしょうか。

(2) 揚力は、砕波がない場合で、死荷重に対してどの程度の比率に達すると考えればよろしいでしょうか。

◆回答：

(1) 波力は波高と桁の位置（静水面からどの程度の高さにあるか）の比により変化します。実験対象橋梁の架橋状況の場合、上部工重量に対して2倍の水平波力が作用します。地震慣性力に対応する比は2程度になります。

(2) 揚力も同様に波高と桁の位置（静水面からどの程度の高さにあるか）の比により変化します。また、作用する波で大きく変化します。今回、揚力を波力の比で評価し、最大で波力の3倍という結果になりました。安全側で評価すると、揚力は上部工重量の6倍となります。

◆討議 [山尾敏孝 (熊本大学)]

波力が桁に作用する位置は、砕波の有無により変化すると思われる。砕波の有無で、桁のどの位置で荷重が最大となるのか示してください。また、桁高方向の位置と波力の関係について、どのようになるのか示してください。

◆回答：波力は、砕波がある場合は波の峰の部分（桁の位置が静水面に近い場合）に大きくなる傾向がありそうです。砕波が無い場合は、波の頂点近傍以外では大きく変化がありません。

◆討議 [永田和寿 (名古屋工業大学)]

波力と揚力の関係について考察されておられますが、桁形状によって波力と揚力の関係は変化しないのでしょうか。ご検討されておられましたらお教え下さい。

◆回答：現在は桁形状の変化による実験を行っていませんので、正確な回答は出来ませんが、桁形状が変わると流体でいう抗力係数や被圧面積が変わるため、波力と揚力の関係が変化する可能性はあります。

論文題目：“津波波力による桁移動現象の解析的検討”著者：幸左賢二，二井伸一，庄司学，宮原健太
掲載：Vol. 55A, pp. 483-494, 2009年3月

◆討議 [伊津野和行 (立命館大学)]

(1) 実験では揚力が水平波力の3倍近く生じているのに対して、解析では揚力が生じにくい流れになっています。これらの整合性について説明していただけませんか。

(2) 水粒子をDEMでモデル化する際の、ばね定数や減衰定数は実験から同定されたのでしょうか。

◆回答：

(1) 実験で用いた波は孤立波と呼ばれる特殊な波で、波の形状を保つために波内部の水粒子は渦を巻いて進行していきます。一方、解析で用いた波は水の塊がパラバラ崩れるような波であり、上向きに進行しようとする水粒子はほとんど無いと考えています。解析モデルの波特性の違いが揚力を生じにくくしたのと考えます。

(2) 水が入ったコップを逆にする現象でMarin and Moyceの実験結果と計算結果を合せることと、平行平板間ポアズイユ流れの検討解析により、水のような動きをする定数を設定しました。

◆討議 [米田昌弘 (近畿大学)]

(1) 浮力は揚力成分に含まれているのでしょうか

(2) 桁の移動に対して、回転モーメントはどのくらい影響しているのでしょうか。

◆回答：

(1) 含まれていません。

(2) 回転モーメントは現在のところ検証できておりません。本解析モデルは水平力が支承バネの抵抗値以上になると桁が水平移動し、少しでも桁が浮上ると鉛直抵抗が無くなるといった簡易なモデルで解いています。また、動いてしまうとG1桁が橋座から滑り落ちてしまい、桁のバランスを失うため、正確なモーメントが検出できないと考えています。回転モーメントの検証には解析モデルの改良が必要と考えています。

論文題目：“内蔵型円柱部材により水平地震力を支持する固定支承の開発”著者：田中健司，合田裕一，完塚正美，小泉貴宏
掲載：Vol. 55A, pp. 495-505, 2009年3月

◆討議 [後藤芳顕 (名古屋工業大学)]

設計荷重に対して十分な耐力を持つということですが、この構造ではじめに損傷する部分はどこであると考えればよろしいでしょうか。ネジ部が地震荷重のような動的荷重で損傷する場合には、応力集中により脆性的な破壊につながる可能性もあります。損傷部分は十分に延性が期待できるようにする必要が有ると考えられますが、いかかがでしょうか。

◆回答：本支承の構造では、はじめに円柱部材（心棒）とベースプレートのねじ部が損傷します。実大模型を用いた載荷実験の結果（論文の図-6および図-7）から、降伏点を超えてすぐに水平荷重が低下することなく、それ以降も緩やかに水平荷重が増加していることが分かります。水平変位につきましても、降伏変位の3倍まで確認できていますので、十分な延性が期待できると考えています。

◆討議 [永田和寿 (名古屋工業大学)]

支承の単体試験で、許容耐力の2倍～3倍と相当大きな耐力が得られた理由は为什么呢。

◆回答：円柱部材（心棒）を鉛直上向きに引き上げる場合と異なり、水平力を作用させる場合には、ねじ山が変形しても直ちに円柱部材（心棒）がベースプレートから抜け出すことはありません。これは、円柱部材（心棒）とベースプレートの嵌め合いによる相互作用の影響によるものですが、大きな水平耐力が得られたのも、この円柱部材（心棒）とベースプレートの嵌め合いによる相互作用の影響と考えられます。

◆討議 [伊津野和行 (立命館大学)]

この支承は、常時の桁回転に対しどのように挙動するのでしょうか。円柱部材はその動きを阻害しないのでしょうか。特に、温度の影響等で初期位置がずれている場合、円柱部材が干渉する可能性があると思われます。

◆回答：本支承は、桁のたわみによる支点部の回転変位に追従できるように、上沓と円柱部材（心棒）の間に隙間を設けています。また、温度変化等による水平力が本支承に作用している（上沓と円柱部材（心棒）が接触している状態）ときに、支点部の回転が生じた場合を想定した繰り返し載荷実験を実施して、回転変位に対する耐久性を確認しています。

論文題目：“ノックオフ機能付き支承構造を用いた既設橋梁の耐震補強対策”

著者：本莊清司，横山和昭，前原直樹，田崎賢治，
姫野岳彦

掲載：Vol. 55A, pp. 506-514, 2009年3月

◆討議 [高橋良和 (京都大学)]

RC巻き立てと比べて、本工法による耐震補強は、どの程度費用が高くなるのでしょうか。

◆回答：本工法は施工条件の制約により、橋脚の巻立てが極めて困難な場合を対象としています。対象橋は国定公園内の池の中にあり常時の水位が高いため、巻立て補強の場合、仮栈橋や仮締切等の仮設工の工事費が高くなります。それを考慮しましたRC巻き立て費用と比較しますと、本工法の方が支承部のみで対策できるため、対象橋の条件の場合は安価になります。

◆討議 [米田昌弘 (近畿大学)]

(1) ノックオフ機能は“一種のヒューズ”と考えることもできますが、最新の耐震設計では“ヒューズ的な考え方”を導入しても良いことになっているのでしょうか。

(2) 交通振動やレベル1地震動などによる予期せぬ振動によって、ノックオフ機能が作動してしまうことはないのでしょうか。

◆回答：

(1) 本支承はご指摘のヒューズ的な考えではなく、レベル1地震動とレベル2地震動で支承条件を変更する構造であり、各々の支承部の要求性能を満足できる構造を考え検証したものです。また、現行の耐震設計においてもヒューズ的な考えはなく、各地震レベルの支承条件を確保する設計を行っています。

(2) 本支承のノックオフ構造はレベル1地震時の水平荷重以上、橋脚の保有水平耐力以下で破断するもので、レベル1地震動に対する固定機能は保持しています。また、レベル1地震動以上の水平荷重が作用すると、即破断するのではなく、破断するまで耐力にある程度の余裕があります。常時の交通振動等に対する振動に対しては、一般的な鋼製可動支承と同様な構造であり、鉛直および回転支持機能を有しています。

論文題目：“鋼上路式アーチ橋の耐震補強設計に関する検討”

著者：本莊清司，横山和昭，前原直樹，田崎賢治，
川神雅秀

掲載：Vol. 55A, pp. 515-524, 2009年3月

◆討議 [松田宏 (JIPテクノサイエンス)]

PC材の破断後に、A1, A2橋台への衝突は生じなかったのでしょうか。

◆回答：PC鋼材の破断後に橋台部へ衝突は生じますが、衝突を考慮できるモデル化で検討しています。PC鋼材の破断後はアーチ橋本体の長周期化により、衝突を考慮した場合においても地震応答が低減する結果が得られています。

◆討議 [宇佐美勉 (名城大学)]

アーチ橋の端支柱の対傾構をエネルギー吸収部材に取り替える工法において、上部の対傾構のみを取り替える例が示されていますが、これがエネルギー吸収部材の最適配置と考えるとよろしいでしょうか。

討議者の直感では、下部の対傾構の取り替えも必要のように思います。いずれにしても、制震ダンパーの最適配置に関する考察も必要に感じますがいかがでしょうか。

◆回答：エネルギー吸収部材の配置については、橋全体系の動的解析により、アーチリブ等の鋼部材および支承の応答に着目し、特にアーチリブ基部のピン支承の補強が必要なくなる設置箇所および設置個数のトライアル検討により、最適化を行った上で決定しています。

◆討議 [後藤芳顕 (名古屋工業大学)]

アーチ橋などの動的解析の応答は地震波によりかなりばらつく場合がありますが、本解析対象では個々の波による最大応答値は最大応答値の3波平均からどの程度ずれているでしょうか。仮に3波平均が許容値を満足し、ある波の応答値が大きく許容値をオーバーする場合にはどのように考えられますか。

◆回答：地震動によって非線形応答はかなりばらつきが生じますが、対象橋の場合、主部材はほぼ線形応答であり地震動によるばらつきは比較的小さい結果となっています。仮に3波平均が許容値を満足し、ある波の応答値が大きく許容値をオーバーする場合はその原因を考察するとともに、その最大応答に対して構造安全性、使用性の観点から照査を行い、問題となる場合は工法の見直しや許容値に対する余裕の確保などが考えられます。

論文題目：“一層目はり中央がせん断崩壊する鋼二層門型ラーメンのオンライン実験法による地震応答解析”

著者：酒造敏廣，山田宰，都築禎

掲載：Vol. 55A, pp. 525-536, 2009年3月

◆討議 [宇佐美勉 (名城大学)]

研究目的が実構造物の挙動を模擬するためであると、せん断崩壊する要素のモデル化を、もう少し厳密にする必要があるのではないのでしょうか。

◆回答：ご指摘のとおり、せん断崩壊するはり中央部については、腹板の実験模型で細かい点を再現するのは限界があります。本研究の範囲では、フランジ・プレートの局部変形が腹板の斜め張力場による耐力上昇に及ぼす影響について、考察が十分ではありません。論文で示したOS法によると、実験模型の部分構造を薄肉シェル有限要素でモデル化することは容易です。今後は、有限要素法等を利用した数値解析により、はり中央部のせん断崩壊挙動がラーメンの地震応答に及ぼす影響を調べていく所存です。

◆討議 [後藤芳顕 (名古屋工業大学)]

(1) 腹板の繰り返しせん断実験については有益な実験手法とともに貴重な実験結果が報告されていると思います。しかしながら、ラーメン橋脚の地震時挙動を検討するための擬似動的実験については、解析用の構造モデルは軸力変動の影響を無視した剛体ばねモデルであり、かなり近似的なモデルと考えます。実験により得られる腹板のせん断復元力と近似的な骨組モデルとでは精度的なバランスがとれていないように思いますが、いかがでしょうか。

(2) 腹板の低サイクル疲労による破壊以外は、精緻な構成則を用いたシェル要素で、腹板のみならずラーメン橋脚全体の繰り返しによる終局挙動が精度良く解析できます。このような手法で擬似動的実験の妥当性を検討することが必要ではないのでしょうか。

◆回答：

(1) 本研究の解析モデルは、一層目はり中央腹板のせん断座屈による耐力変動がラーメンの復元力に及ぼす影響を調べるためのものです。柱基部の弾塑性性状に及ぼす影響をクローズアップして確認・把握できる解析モデルになっていると思います。柱基部断面の塑性モーメントに及ぼす軸力変動の影響は小さいものと仮定して数値計算を行っています。軸力変動の問題も含めて、ラーメン全体のモデル化については、最終的には、全体模型を用いた実験による検証、あるいは、精巧な解析モデルによる数値解析的な検討も必要だと考えています。

(2) ラーメン全体の挙動については、最終的には、全体模型を用いた実験による検証、あるいは、ご指摘のようにシェル要素でモデル化する数値解析的な検討が必要だと思います。数値解析的な検討は、オンライン実験では考慮できなかった点について、必要に応じて実施していきたいと考えています。

論文題目：“Evaluation of seismic resistance for a multi-spans bridge in Vietnam by investigation of earthquake activity and dynamic response analysis”

著者：Tran Viet Hung, Osamu Kiyomiya and Tongxiang An
掲載：Vol. 55A, pp. 537-549, 2009年3月

◆討議 [葛漢彬 (名城大学)]

- (1) Is Level 2 earthquake necessary?
- (2) Is the bridge designed following to the seismic code?

◆回答：

(1) Although strong earthquake (Level 2) such as Kushirogawa record will not occur in Vietnam according to investigation of historical earthquake records in Vietnam, we want to investigate damage behavior of the bridge structure for strong earthquake motion in this study.

(2) This bridge has designed by Vietnam Specification for bridge. Namely, 22TCN-272-05 was established based on AASHTO LRFD 1998, officially applied in 2005. Seismic design of bridge is only a part of Vietnam Specifications for structures, mainly building. Vietnam does not have specified seismic code for bridge.

論文題目：“大規模地震時における長大吊橋の終局限界状態に関する解析的検討”

著者：遠藤和男, 福永勲, 家村浩和, 八田雅仁, 野中哲也
掲載：Vol. 55A, pp. 550-563, 2009年3月

◆討議 [米田昌弘 (近畿大学)]

タワートップのケーブルサドル部でメインケーブルが滑ると修復は不可能ですので、メインケーブルの滑りが終局状態とも考えられます。今回の解析で、メインケーブルは滑っていたのでしょうか。

◆回答：ご指摘の通り、ケース3 (サイト波の4倍) では、2P主塔右側塔柱上では主ケーブルの塔頂サドルに対する滑り安全率が14.18-14.48secの間で1を下回り、滑りが発生する可能性がございます。しかし本研究では、主にハンガーロープ切断、リンク支承破壊もしくは主塔の崩壊等による補剛桁の落下に着目しまして、その様な現象を再現できるようなモデル化は行いませんでした。なお、主ケーブルの滑りが想定される崩壊プロセス (図-22) へ及ぼす影響でございますが、14.18secには主要な破壊イベントは発生済みであること、安全率が1を下回るのは0.3秒間と僅かであること、照査に使用した摩擦係数 (設計値=0.15) は実測結果に対して低めに設定されていること、から小さいものと考えております。

◆討議 [古屋信明 (防衛大学校)]

(1) 明石海峡大橋は工事中に兵庫県南部地震を受け、主塔には初期変形も被りました。今回の解析では、どのように考慮されていますでしょうか。

(2) 現実的なタイプ2地震を考えると、明石海峡大橋には地震動よりも断層変位の方が深刻な影響を与えるような気もします。もう一度、兵庫県南部地震クラスの地震が発生し、同一方向同位置量の強制変位を受けた場合、明石海峡大橋の被害はどの程度になると予測されますか。

◆回答：

(1) ご指摘の通り、本橋は兵庫県南部地震に伴う地殻変動により基礎位置が移動し、形状が若干変化しました。しかし本研究では、若干の形状の違いが吊橋全体系の崩壊プロセスに及ぼす影響は小さいものと考えまして、形状の変化は考慮せず、地震前の形状による検討を実施しております。なお、実施工を伴う、本橋架橋地点で発生が予想される大規模地震動 (1倍のサイト波) に対する耐震補強設計では、形状の変化を考慮して実施しております。

(2) ご指摘の断層変位の影響でございますが、本橋でこれまでその様な検討を実施しておりませんので、今後の課題とさせていただきますと存じます。

◆討議 [後藤芳顯 (名古屋工業大学)]

いわゆる進行性破壊の解析で部材破壊を扱うと動的解析の収束性が非常に悪くなる場合が有りますが、本ケースではそのようなことはなかったのでしょうか。もしこのようなことを経験されたことがあるなら対策方法についてコメントをお願いします。収束基準を甘くすることは解析の性格上その後の解析精度を悪化させる可能性があるため避けなければならぬと考えています。

◆回答：ご指摘の通り、収束性の悪化が懸念されましたので、一般的な非線形動的解析の手順を一部変更しました。主な変更点は、①収束判定に荷重の残差ではなく、エネルギーの残差 (残差ベクトルが負担するエネルギー/構造系全体のエネルギー) で行うこと、②削除された部材に対応する要素の質量や減衰が変化するため、質量・減衰マトリックスの更新処理を時間ステップの繰り返し処理ループ内に移したことであります。これについては、本論文の参考文献6) に示しておりますのでご参照下さい。また、この手法を用いることにより、収束性が問題となるような事象は発生しませんでした。

論文題目：“上下部一体鋼ラーメン高架橋の耐震性能評価”

著者：垣内辰雄，葛西昭，稲垣冨城，藤原良憲，宇佐美勉
掲載：Vol. 55A, pp. 564-572, 2009年3月

◆討議 [酒造敏広 (大同大学)]

- (1) 隅角部ダイアフラムはどう入っていますでしょうか。
- (2) 隅角部腹板に斜めにダイアフラムが入っていますが、このために、ねじりや面外曲げによって腹板の面外変形を大きくしているのではないのでしょうか。

◆回答：

- (1) 図-1に示すダイアフラムが入っています。

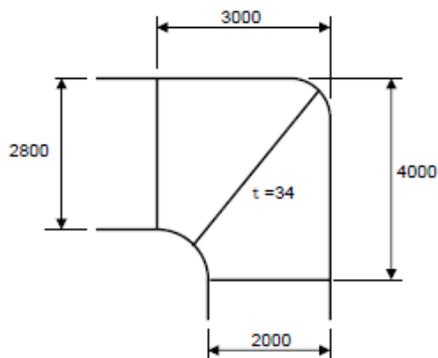


図-1 隅角部とダイアフラム (P2橋脚)

- (2) 隅角部のダイアフラムは、下記参考文献にあります設計方法を踏襲すべく、内側に出る面外変形を抑えることを目的に配置しています。これに伴って変形が大きくなっている可能性については、現状ではその検討をしていません。別途、検討を重ねご報告したいと考えております。

参考文献：(財)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物，pp.258-259, 2000.

◆討議 [山尾敏孝 (熊本大学)]

- (1) 従来から行われている骨組みのプッシュオーバー解析と損傷部の終局ひずみを組合せて終局変位を求める手法と比較した場合、提案手法を用いると精度は確かに高いと思われませんが、モデル作成から解析実行まで大変な作業とならないのか、提案手法の特徴を含めて説明してもらいたい。
- (2) 終局変位を求めるのに、もう少し簡便で正確な推定方法は考えられないでしょうか。

◆回答：

- (1) 本提案手法は、不静定次数の高い構造形式に対して、これまでの単柱での検討が主流であったPushover解析を適用する際の精度向上があげられます。従来の骨組みのPushover解析で検討する方法は、解析が容易ではありますが、1カ所の部材が終局となった後の解析結果に意味をな

さないものとなります。本提案手法は、対象構造がもつさらなる余剰耐力に期待するために実施した解析法です。ですが、複数箇所の終局後の挙動について、実験的な検証が不十分であるため、さらなる検討を要すことをここで述べておきたいと思います。

(2) 単柱形式の橋脚においては、はりモデルの解析を用いることで簡便に終局変位を推定することは可能です。今回対象とした鋼ラーメン高架橋の場合は、複数の部材セグメントで構成されている高次の不静定構造物であり、構造物全体系としての終局変位の算定には、数箇所の部材セグメントが終局を迎えた後の挙動を正確に評価することが必要であるため、今のところ簡便に精度よく推定することは難しいと考えています。

論文題目：“震源断層近傍における上路式鋼トラス橋の応答特性”

著者：原田隆典，野中哲也，王宏沢，岩村真樹，宇佐美勉
掲載：Vol. 55A, pp. 573-582, 2009年3月

◆討議 [松田宏 (JIPテクノサイエンス)]

- (1) 今回用いられた力学モデルでは、震源部から橋梁建設地点までの作用として、変位と加速度のどちらを用いられたのでしょうか。
- (2) 今回の設定ではM6.5相当とされているので断層部のギャップが1m未満となっていますが、M7クラス以上の場合でも同様な検討が出来るかと考えてもよろしいでしょうか。

◆回答：

- (1) 震源断層のモデルとして運動学的断層モデルを、地殻・地盤のモデルとして水平成層粘弾性体モデルを用いて、震源断層パラメータと地殻・地盤の各層の厚さと物性値を仮定して、橋梁の各橋脚地点における永久変位を含む地震動波形（変位波形と速度波形，加速度波形）を計算して求め、各橋脚下端への入力地震動としています。

構造物の運動方程式は、絶対変位での定式化を使っています。入力点の節点の質量は零としていますので、永久変位を含む地震動波形のうち加速度波形は使いません。永久変位を含む地震動波形のうち速度波形と変位波形を入力して非線形応答計算をしています。ただし、各橋脚下端の支持地盤は岩盤を仮定しているため基部固定の条件で計算しています（基礎と地盤との動的相互作用は小さいとして無視しています）。したがって、減衰係数と速度波形の積で決まる地震外力の大きさは、ばね係数と変位波形の積で決まる地震外力の大きさに比べ十分に小さいものとなっています。

- (2) M7クラス以上の場合でも同様な検討が出来ます。その理由は、「本手法の入力情報」としては「シナリオ地震情報」および「対象橋梁と震源の位置関係」の2つの入力情報のみであるからです。具体的にシナリオ地震情報の例で示すと以下のようになります。

マグニチュード等を設定することにより、論文に示す表2のような「巨視的断層パラメータ」を決めることができます。地震モーメントや断層の大きさ、地殻のせん断剛性（S波速度等の物性値）を決めれば、平均断層すべり量等を決定できます。当然、マグニチュードが大きいほどすべり量も大きくなる傾向があります。

詳細は、論文に示す参考文献(12), (13), (14)を参照してください。以下の文献には、断層パラメータの特性を技術者用にまとめたものが整理されています。

参考文献：震源断層から一貫して捉えた地盤・基礎・長大構造物系の応答評価とその予測法 原田隆典科学研究費補助金研究成果報告書、宮崎大学学術情報リポジトリ、<http://ir.lib.miyazaki-u.ac.jp/dspace/handle/10458/1054>

表-2 巨視的断層パラメータ

地震モーメント M_0	[$N \cdot m$]	1.04×10^{18}
立ち上がり時間 t	[s]	0.4
断層の長 L	[km]	10.1
断層の幅 W	[km]	5.1
断層破壊速度 V_r	[km/s]	2.52
断層の走行方向 ϕ	[$^\circ$]	0.0
断層面の傾斜角 δ	[$^\circ$]	90.0
すべり方向 λ	[$^\circ$]	0.0

論文題目：“断層変位を受ける中路的鋼アーチ橋の地震時挙動に関する研究”

著者：辻野慶恵，山尾敏孝，村上慎一，柚木浩一
掲載：Vol. 55A, pp. 583-592, 2009年3月

◆討議 [葛西昭 (名古屋大学)]

断層変位に相当する強制変位を与えた後に、地震応答解析を実施しています。強制変位により塑性化が生じた場合、その塑性化を引きずって、地震応答解析をすることになるかと思えます。地震時の実際の状況を再現することは非常に難しいかもしれませんが、断層変位に相当する強制変位と地震動に伴う入力加速度が同時に来た場合にはどのような状況になるのでしょうか。もし、比較検討されたいれば教えていただけますでしょうか。

◆回答：本論文では、①で静的強制変位解析、②で一様加速度入力での動的解析を、③で強制変位波形入力による動的解析を実施しました。この③の方法が御指摘の「断層変位に相当する強制変位と地震動に伴う入力加速度が同時に来た場合」に相当する解析結果だと思っています。ただし論文では、最終の断層変位差が1mしかありませんでしたので、図-15に示すように静的強制変位解析の結果に比べてほとんど差がありませんでした。断層変位と地震動に伴う解

析方法として妥当かどうか更に検討が必要と考えています。

論文題目：“断層変位を受ける鋼斜張橋の耐震安全性に関する研究”

著者：大塚久哲，中村壮，古川愛子
掲載：Vol. 55A, pp. 593-604, 2009年3月

◆討議 [宇佐美勉 (名城大学)]

断層変位が生じる地震波の作成が今後の課題ということですが、台湾の集集地震の観測地震波を理論的に発生させる研究成果は、現状ではまだ存在しないのでしょうか。

◆回答：討議者は、断層モデルからの地震波の作成をイメージされていると思いますが、集集地震に関してのそのような研究の有無については残念ながら承知しておりません。観測地震波は加速度の時刻歴波形ですが、積分方法によって永久変位の時刻歴は如何様にも変化させられるようです。加速度と変位の実際の時間関係が分かかっていませんので、幾つかの場合を想定して、パラメトリックに計算を行うことが必要だと考えます。

論文題目：“鋼製厚肉断面橋脚における延性き裂発生の評価に関する実験的および解析的研究”

著者：葛漢彬，津村康裕
掲載：Vol. 55A, pp. 605-616, 2009年3月

◆討議 [判治剛 (東京工業大学)]

表-6に示されている定数は参考文献(14)で提案されたものであり、この定数はひずみ振幅(著者らが用いているひずみ範囲の半分)と繰返し数(著者らとカウントの仕方が異なる)の関係として与えられたものです。一方、著者らはひずみ範囲と半サイクルを用いて実験結果を整理されており、文献(14)とは異なります。したがって、文献(14)で提案された定数をそのまま用いることには問題があるように思われます。この点につきまして、ご意見をお願いします。

◆回答：文献(14)の定義に従い検討いたしました。材料レベルでの実験結果に基づく提案式を鋼製橋脚のような構造レベルへそのまま適用できないことが判明したことから、本研究では文献(14)を参考に新たな提案式を試みております。本論文で提案した損傷度の式の形は、文献(14)と同じですが、ご質問にもありましたように、塑性ひずみ範囲の定義および繰返し数のカウントの仕方が異なっております。

2つの定数は、実験結果をもとに得られたもので、文献14)の定数をそのまま用いたことではありません。この式を導く過程においては、最初は文献14)の定数に非常に近い値となったのですが、種々検討の結果、あえて同じ値としました。このことが誤解を招いた原因かもしれません。

論文題目：“鋼構造物の延性き裂発生の評価法の実験データによる検証”

著者：葛漢彬，藤江渉，田島僚
掲載：Vol. 55A, pp. 617-628, 2009年3月

◆討議 [宇佐美勉 (名城大学)]

局部ひずみがnominalなひずみの3倍程度であるならば、損傷度Dはnominalなひずみで評価した値の1/10程度になるという研究成果が報告されているが、本論文もこの考え方を適用することは可能でしょうか。

◆回答：
大変参考になるヒントを与えていただき、ありがとうございます。本論文ではnominalなひずみで検討しておりませんので、適用できるかどうか分かりませんが、別途詳細な検討をしたいと思います。

◆討議 [北原武嗣 (関東学院大学)]

緻密な要素分割によるシェル要素で解析をされていますが、要素の大きさに比較して板厚がかなり大きいと思います。このような解析モデルで、十分にき裂の発生を評価することは可能なのでしょうか。

◆回答：本研究ではシェル要素による評価を試みており、提案した要素分割サイズおよび損傷度式の係数を用いれば実験結果（き裂発生点）を精度良く評価できております。

◆討議 [永田和寿 (名古屋工業大学)]

溶接の影響は小さいとのことですが、溶接による熱影響や残留応力を考慮された場合でも同様の結果が得られますでしょうか。

◆回答：本論文では溶接による熱影響や残留応力を考慮せずに損傷度評価式を提案しておりますが、これらの影響を考慮すれば、損傷度式の係数の値が若干異なってくると思います。

論文題目：“2方向地震動を受ける円形断面鋼製橋脚の限界値と動的耐震照査法に関する考察”

著者：後藤芳顕，村木正幸，海老澤健正
掲載：Vol. 55A, pp. 629-642, 2009年3月

◆討議 [宇佐美勉 (名城大学)]

(1) 限界状態での橋脚の損傷状況を示してください。
(2) 限界状態が局部座屈発生点にほぼ一致するのであれば、たとえば、ひずみ照査法でもほぼ同様な結論が得られると考えられないでしょうか。

◆回答：

(1) 動的応答解析での限界状態における、橋脚のおおよその変形状況は橋脚基部に局部座屈による変形が多少見られる程度です。論文で述べているように、繰り返し載荷状態では、限界状態における橋脚の変位やひずみの値にばらつきが大きく、これらの指標を用いて一概に述べることは困難です。なお、ばらつきの原因についてはすでにpp. 636-637に述べていますが、次の(2)でも説明しています。

(2) 塑性域では剛性が大きく低下します。これにより、繰り返し荷重下における降伏後の応力変動は小さいですが、ひずみは載荷履歴に影響を受け大きく変動します。このため、塑性化が進行し局部座屈が発生した限界点付近では、応力に比べひずみは大きくばらつく可能性があります。事実、動的応答解析の結果からも、ひずみの空間的な積分である水平変位を用いて限界値を表した場合、表7、図13、図14に示すように、Pushover解析による変位の限界曲線に対してランダムなばらつきが生じています。以上からわかるように、構造安全性の確保にひずみ照査法や変位照査法を用いる場合、復元力（断面力）による照査法に較べばらつきが大きくなります。

p. 642に述べているようにひずみ照査や変位照査は地震後の修復性の照査に主として用いるべきであると考えます。安全性の照査には復元力（断面力）照査を用いるのがより適当であるというのが本論文の主旨です。

◆討議 [北原武嗣 (関東学院大学)]

断面力照査の優位性や重要性に関しては理解できましたが、実現象の損傷が変位やひずみで決まるような場合を考えたと、変位照査も重要となるのではないのでしょうか。

◆回答：橋脚の耐震性能の照査では構造安全性の照査と地震後の使用性（修復性）の照査とが重要です。本論文で提案した復元力（断面力）照査は構造安全性のために用いる照査です。p. 642に述べているように損傷の程度を規定する変位照査やひずみ照査は別途、地震後の使用性（修復性）の照査に必要です。構造安全性の照査を変位照査やひずみ照査で行うとばらつきが大きくなるので、ばらつきの

少ない復元力（断面力）照査を用いるのが適当であるとい
うのが本論文の主張です。

論文題目：“ポスト型式橋脚を有する鋼鉄道橋の地震時挙
動に関する基礎的検討”

著者：黒田智也，池田学，杉館政雄，齋藤聡，工藤伸司
掲載：Vol. 55A, pp. 643-652, 2009年3月

◆討議 [北原武嗣 (関東学院大学)]

ポスト形式橋脚を有する鋼鉄道橋において，実際にはどの
程度の回転変形が可能な状況なのでしょう。

◆回答：ご質問の内容は，ポスト橋脚のピボット支承がど
の程度回転できるかということだと思います。図-11の復元
力モデルに示すように，最初は上沓が下沓の突起上面を回
転しますが， $\theta_{lim}=0.2rad$ において上沓が下沓に接触しま
す。今回の検討では，ピボット支承の限界荷重を， M_s （ピ
ボット支承上部の連結リベットの破壊）としていますが，
この時点の回転角は $0.2rad$ を若干超える程度です。

今回の検討の範囲では，対象構造のピボット支承の回転
変形の限界は $0.2rad$ 程度であり，これは桁上での変位量に
換算すると $75mm$ 程度となります。加えて，今回のモデルで
は考慮していませんが，実際の構造物では上沓と下沓間
にアンカーボルトを有するものもあり，今回の検討よりも
小さくなることも考えられます。ピボット支承の挙動につ
いては不明な点が多いため，今年度，ピボット支承部の限
界回転角を確認する載荷試験を実施して検討を行ってい
ますので，その結果については別途報告いたします。

論文題目：“高変形能低強度断面を有する鋼製橋脚に支持
された高架橋の耐震性能評価”

著者：松村政秀，内田諭，北田俊行
掲載：Vol. 55A, pp. 653-661, 2009年3月

◆討議 [葛漢彬 (名城大学)]

(1) EPSにすると損傷はその部分に集中するため，最大応
答変位や残留変位がCFTと比較して大きくなることはないで
しょうか。

(2) EPSを導入すると，コンクリート充填高さもCFTと比較
して低くなると思われそうですが，これを考慮した設計をされ
ていますでしょうか。

◆回答：

(1) ご指摘の通り，EPS鋼製橋脚ではEPS断面に塑性化が集
中しますので，最大応答変位や残留変位は従来型鋼製橋脚
と比較して，大きくなるのが考えられます。ただし，今

回の動的応答解析結果のうち橋軸直角方向のタイプⅡ地震
時では，中央径間付近の橋脚では，EPS鋼製橋脚の最大応
答変位が従来型鋼製橋脚に比べて応答値が小さい結果とな
っており，EPSにひずみを集中させることが，必ずしも最
大応答変位の増大に繋がるわけではありません。

(2) 本研究ではEPSの導入効果に着目するため，EPS鋼製
橋脚のコンクリート充填高さを，従来型鋼製橋脚と同じ高
さに設定しております。EPS鋼製橋脚ではEPS以外の断面に
大きな応力は作用しませんので，EPS鋼製橋脚におけるコ
ンクリート充填高さを，従来型鋼製橋脚に比べて，低くす
ることは可能です。

論文題目：“コンクリート充填スパイラル鋼管柱の正負交
番載荷実験とその耐震性能評価法に関する基礎的研究”

著者：秋山充良，内藤英樹，小野潔，山口恭平，鈴木基行
掲載：Vol. 55A, pp. 662-669, 2009年3月

◆討議 [後藤芳顕 (名古屋工業大学)]

(1) 縮小模型によって実験を行っておられますが，実際
にはどの程度の断面（径と板厚，鋼種）を有する部材に適
用されるのですか。

(2) 基部での充填コンクリートを拘束するために，通常
の部分充填鋼製橋脚の場合にはダイヤフラムを設け抑える
ことが重要です。スパイラル鋼管の供試体ではダイヤフラ
ムが設けられていませんがこれはスパイラルシームのずれ
止めとしての効果を期待しているからでしょうか？ 径の
関係からダイヤフラムの設置は難しいですか。

◆回答：

(1) スパイラル鋼管は，製作上の板厚の上限があり，ま
た，現場製作ではないため，その口径にも制約がありま
す。そのため，スパイラル鋼管を橋脚として用いることが
できるかどうかを上部工死荷重の大きさなどから判断し，
その上で，口径や板厚を決める必要があります。近年は，
道路構造令の改正により，一般の乗用車および小型の貨物
車のみが通行可能な「乗用車専用道路」の設計が可能にな
るなど，設計活荷重が小さな橋梁に適した上部工・下部工
の構造も模索されています。

また，上部工死荷重が大きい場合にも，数本の鋼管を組
み合わせた多柱式橋脚1)，2)，3)で対応できる可能性があ
り，そこにスパイラル鋼管を用いることを検討しておりま
す。コンクリート充填スパイラル鋼管柱を橋脚として適用
した具体的な橋梁例は，別に報告する予定です。

参考文献

1) 日野伸一，李重桓，太田俊昭，松田泰治，唐嘉琳：コン
クリート充填鋼管柱を用いた多柱式合成橋脚の耐震性能に
関する解析的検討，構造工学論文集，Vol. 47A, pp. 1423-
1432, 2001.

2) 松村政秀，北田俊行，陵城成樹，杉原尚志：鋼管を用い
た多柱式橋脚に関する一検討，第7回地震時保有水平耐力

法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp. 181-184, 2004.

3) 金治英貞, 鈴木英之, 野中哲也, 馬越一也: 履歴型ダンパー付き鋼管集成橋脚の損傷制御構造に関する基礎的研究, 構造工学論文集, Vol. 50A, pp. 559-566, 2001.

(2) ご指摘の通り, 道路橋示方書などでは, コンクリートを充填する場合に, ダイヤフラムを設ける規定となっております. しかし, スパイラル鋼管にダイヤフラムを設けることは難しく, 仮に設置できたとしてもそれはコスト増の一因となるため, 本研究では, ダイヤフラムを設けないことを前提に, スパイラル鋼管を用いたコンクリート充填鋼管柱の耐震性能を検討しました. なお, 充填コンクリートの圧縮ひずみの測定から, 本研究で与えたコンクリート充填高さがあれば, 柱基部でコンクリートと鋼管の一体化が図れることを実験的に確認しております(論文内図-5, 6をご参照ください).

論文題目: “RC柱部材のねじり剛性低下の定式化と動的解析への適用の研究”

著者: 大塚久哲, 宇山友理, 秦逸平

掲載: Vol. 55A, pp. 680-690, 2009年3月

◆討議 [内藤英樹 (東北大学)]

解析ケースによって, ねじり角が同じになる理由, ねじりモーメントが大きく異なる理由を教えてください.

◆回答: 主桁の橋軸方向曲率は3ケースとも大きな差がないため, 主桁の橋軸直角方向のたわみ角もほとんど同じと思われる. 主桁と橋脚の連結部において, 主桁の橋軸直角方向たわみ角が橋脚のねじり角になりますので, 橋脚のねじり角もほとんど差がない結果となったと思われます.

ねじりモーメントはねじり剛性にねじり率を掛けたものと定義されますが, 橋脚のねじり角が3ケースでほとんど同じでありますから, ねじり率もほとんど同じと考えられ, したがって, 橋脚のねじりモーメントはねじり剛性に比例した結果となったものと思われます.

結果的に, ラーメン橋ではねじり非線形の影響が小さいということが言えると思います.

◆討議 [高橋良和 (京都大学)]

本来, 曲げとねじりは連成していると思われます. このモデルによる解析では非連成ですが, この整合性に関してはどのように考えればよろしいでしょうか.

◆回答: 軸力と曲げモーメント, あるいは2軸曲げによる耐力低減効果の評価など, いわゆる相関の考慮は, 市販のソフトの一部で可能であります, ねじりと他の断面力(軸力・曲げ)との相関が考慮できるソフトは存在しないようであります. したがって, この問題を解決するには, 収束計算を行うなどして, 結果が相関曲線に適合しているか否かを吟味する必要があると考えています. そのような計算アルゴリズムによる計算については, 今後行っていく予定であり, 別途発表の機会を持ちたいと思います.

論文題目: “水平2方向地震動の強度評価と偏心RC橋脚の動的非線形応答特性”

著者: 青戸拓起, 吉川弘道

掲載: Vol. 55A, pp. 691-698, 2009年3月

◆討議 [高橋良和 (京都大学)]

(1) 曲げとねじりの連成については, どう考えればよろしいでしょうか.

(2) 応答が異なれば同じ地震動でも構造物に入力されるエネルギーは変わってきます. 比較する際には, 入力エネルギーを合わせた方が適切ではないでしょうか.

◆回答:

(1) このような解析対象においては, ねじり剛性に対する多成分の材料非線形性の影響を考慮することが望ましいと考えますが, ツールの制限上, 今回はこれを考慮しておりません.

今回用いた解析手法では, ファイバー要素を用いて断面を離散化しているため, セン断中心を逐次計算することが可能です. このせん断中心の移動を, 剛性マトリクスに反映すれば, ねじりに対する連成を考慮することが可能になります. 厳密には, 一般に0としているせん断成分とねじり成分の連成項を, 正しく反映させることになります.

過去に, セン断成分とねじり成分の連成を考慮した剛性マトリクスの構築は行いましたが, 材料非線形解析において収束解を得ることが困難であったため, 現在は中断しております.

(2) 今回は, 設計方向と直交軸に入力する地震動強さが与える影響に着目しましたので, 設計方向の地震動強さは道示の設計地震動と同じとし, 固定しました. したがって, 直交軸に入力する地震動強さを大きくすると, 構造物に入力されるエネルギーが大きくなることになり, それに伴い構造物の損傷が大きくなったとも捉えられます. 今後, ご指摘の観点からも, 検討させていただきたいと思います.