7. 橋梁耐震

とりまとめ：北原武嗣（関東学院大学）

論文題目：“ランダムな繰り返し荷重を受ける鋼製橋脚の延性き裂発生・進展挙動及び照査法の検証”

著者：葛漢彬，藤江渉，岩田勝成
掲載：Vol. 56A, pp. 342-355, 2010年3月

◆討議 [後藤芳顕（名古屋工業大学）]

直下型地震など衝撃的な荷重が作用し、数回の繰り返しで延性破壊が生じる場合も多いと思いますが、低サイクル疲労による方法は適用できるのでしょうか。

◆回答：これまでの実験および本研究での実験で種々の荷重パターン（漸増変位荷重、定振幅荷重およびランダム荷重）を用いて延性き裂の発生を調べてきました。この中で、数回の繰り返しで延性き裂が生じたケースも多く含まれています。著者らが提案した損傷度評価式は、これらの実験時の延性き裂発生点を概ね良い精度で評価できております。

◆討議 [宇佐美勉（名城大学）]

(1) 応力集中の影響を表す β の値は、どのように決めるのでしょうか。

(2) 溶接による熱影響部の低サイクル疲労強度の低下は、非常に大きいことが館石・判治らの研究で知られています。クラックがその部分に発生するのであれば、定数Cの値を検討される必要があるのではないのでしょうか。

◆回答：

(1) 各実験供試体についてシェルモデル解析とはりモデル解析を行い、それぞれの塑性ひずみ履歴を出力し、それらの比（塑性ひずみ範囲の比）を求めます。次に、実験における延性破壊点に相当する半サイクルまでの、塑性ひずみ範囲の比の平均値を応力集中の影響を表す係数として算出します。このように、全ての解析モデルから求めた値の平均をとったものを補正係数 β の値としました。

(2) 本解析では溶接による熱影響を考慮しておりません。これを今後課題としたいと思います。

◆討議 [青木徹彦（愛知工業大学）]

(1) ファイバーモデルで応力集中の影響は考慮出来ますか
(2) き裂が入る場所は溶接の熱影響を受けて材質が変化していると思われそうですが、それを解析では考慮していますでしょうか。

◆回答：

(1) ファイバーモデルで応力集中の影響を考慮することができません。そのために、シェルモデル解析も行い、シェルモデル解析とはりモデル解析より得られた塑性ひずみ範囲の比を求めて、応力集中の影響を表す補正係数を検討しております。

(2) 本解析では溶接による熱影響を考慮しておりません。これを今後課題としたいと思います。

論文題目：“高架橋システムにおける十字型補剛壁を有する鋼製橋脚の耐震性能照査”

著者：山尾敏孝，王占飛
掲載：Vol. 56A, pp. 356-366, 2010年3月

◆討議 [北原武嗣（関東学院大学）]

地盤種別をⅠ種、Ⅱ種、Ⅲ種として検討されていますが、それぞれの地盤毎に、対象橋脚は1次設計を再検討されていますでしょうか。

◆回答：本論文では地盤種別の地震波を解析に使用し、地震波による応答の相違を着目点にしました。そのため、それぞれの地盤毎に、対象橋脚の1次設計を再検討していません。

◆討議 [青木徹彦（愛知工業大学）]

十字型補剛壁を、橋軸および橋軸直角方向に入れて検討を行っていますが、実地震は任意方向から入力されます。斜め方向からの入力に対してはどうなりますか。

◆回答：本論文では、示方書での照査方法である地震波を橋軸および橋軸直角方向に入れて検討を行いません。斜め方向からの入力については検討していません。今後の検討課題としたいと思います。

論文題目：“正方形断面鋼製橋脚の水平2方向荷重ハイブリッド実験”

著者：党紀，中村太郎，青木徹彦，鈴木森晶
掲載：Vol. 56A, pp. 367-380, 2010年3月

◆討議 [後藤芳顕（名古屋工業大学）]

2方向ハイブリッド実験では、供試体基部の2方向の剛体回転の近似的な除去方法による誤差や変位計測や復元力計測での近似による誤差が時として応答値に大きな影響を与えるので、近似の影響の有無を十分検証をする必要があると考えます。この実験ではどのようにして近似の妥当性を検証されましたか。

◆回答：供試体基部の剛体回転および上部加力点平面の回転における補正を行っています。補正では、 $\sin(\theta)$ を θ とし、 $\cos(\theta)$ を1とした近似を用いています。本研究の水平2方向実験における各回転角 θ は小さく、最大値は0.1を下回っていました。したがって、この近似による誤差は0.17%

以下であり、実験結果に対する影響は微小で妥当であると
考えられます。

なお、変位計や復元力計測による誤差は、計測機器に依
存し、今回では、このような誤差を抑えるために、論文に
述べているように、精度0.01mmの高精度デジタル変位計
を用い、荷重計の精度は0.5kNです。

各1方向および2方向ハイブリッド実験を行う前に、入力
地震波を10%に縮小した弾性範囲内の実験を行ったところ、
すべての実験結果と弾性振動解析の結果は良好に一致
しており、最大誤差は約1%でした。以上のように、本実験
の前に、近似等の妥当性を検証しています。

◆討議 [宇佐美勉 (名城大学)]

(1) 実験供試体の力学的パラメータの値を明確にして下さ
い。

(2) 供試体は1次設計されているのでしょうか。されてい
るとすれば、鉛直荷重の大きさは決まるので、それを載せ
て実験を行うべきではないでしょうか。特に、Ⅲ種地盤の
場合は水平震度が大きいので鉛直荷重は小さくなると考え
られます。

◆回答：

(1) 本論文の表-1に記載したように、供試体の幅厚比パ
ラメータ R_r は0.517、 R_f は0.169、また、細長比パラメータ
 λ は0.344です。

(2) 本研究に対する大変有益な御助言ありがとうございます。
本研究で行ったハイブリッド実験では、異なる地震波
に対する橋脚の2方向応答と1方向応答の差を比較するた
めに、1次設計を行わずに、同一の上部工重量648kNと3種類
の地盤の代表的な地震波を用いた実験を行いました。

実橋脚は、御指摘のように、同じ断面でも断面降伏耐力
による1次設計を行うため、Ⅰ種、Ⅱ種、Ⅲ種地盤に対する
設計震度を用い、鉛直荷重は安全率 $\mu=1.0$ の場合それぞれ
1230 kN、980kN、817 kN、安全率 $\mu=1.14$ の場合それぞれ、
843kN、709 kN、609 kNとなりますが、本研究はこの面に
関する検討は触れていませんでした。今後は、1次設計など
の実務的な耐震設計を行って、水平2方向耐震性能を調べる
研究が必要と思われます。

論文題目：“鋼橋の耐震解析におけるブレース材のモデル 化”

著者：宇佐美勉，馬越一也，齊藤直也，野中哲也

掲載：Vol. 56A, pp. 381-392, 2010年3月

◆討議 [青木徹彦 (愛知工業大学)]

実際には、かかっている横荷重を考慮することは、モデル
化として妥当でしょうか。

◆回答：初期横荷重は、あくまでも初期たわみの代わりに
加える荷重です。この荷重の影響（例えば、これに加えた
ことによる早期の強度劣化）は、図-7に示してあるよう
に、ほとんど無く、初期たわみとを与えた時の結果と変わ
りません。すなわち、ここで考えている初期横荷重は、初
期たわみの代わりにする仮想の荷重と理解できます。両者
の違いは、文中にも詳述してあるように、横荷重の方が初

期たわみより解の収束性が良くなるということです。

論文題目：“東京港臨海大橋(仮称)の耐震設計法について”

著者：齊藤泰，清宮理，日下部治，下迫健一郎，川上泰司
掲載：Vol. 56A, pp. 393-406, 2010年3月

◆討議 [後藤芳顕 (名古屋工業大学)]

レベル2の耐震設計で、想定地震動の多方向成分を同時入力
した時刻歴応答解析による応答値を用いて安全性の照査を
されています。今後、地震動研究の進展により3方向地震動
成分が容易に予測されるようになった場合、このような手
法を標準的な手法とすべきとお考えでしょうか。

◆回答：一般的に考えれば地震動は3成分ありますので時刻
歴応答計算でこれら考慮するのが標準と考えています。重
要同が高い構造物、直下型地震のように鉛直成分が卓越す
る場合などでは3成分での検討が不可欠と考えています。し
かし表層地盤が軟弱な場合、長周期時震動入力などでは鉛
直成分の影響は一般的に小さく、また普通の橋梁構造物で
はそこまでなくても安全性は大方確保されていると考え
ていますので、将来の耐震設計法では3成分を考慮すべき場
合を明確にしていくことが重要と考えています。

◆討議 [横川英彰 (オイレス工業)]

(1) サイト地震波により検討されていますが、サイト近郊
で観測された観測波による結果と比較されていますか。

(2) すべり支承を用いられていると思います。面圧依存な
どの力学的特性を考慮した解析が行われていますでしょうか。

◆回答：

(1) サイト近傍で大きな地震動は取れていませんのでこの
意味では比較していません。しかし断層モデルから模擬地
震動を作成したときにサイトでの地震記録を参考にしてい
ます。

(2) 模型実験により力学性状の面圧依存性を検討していま
す。支承のモデル化をばねで行っていますがこのばねの入
力データとして考慮しています。ただ、時刻歴解析では振
動時に時々刻々変わる面圧とは対応してなくて平均的な
面圧として考慮しています。また、この面圧依存性をパラ
メータ解析で構造物の応答に影響する度合いを把握してい
ます。

◆討議 [宇佐美勉 (名城大学)]

トラス橋の圧縮部材は、座屈照査を行うとのことですが、
レベル2地震動に対する安全率はどの程度の値を採用され
ているのでしょうか？もし、安全率がレベル1とレベル2
地震動で同程度であれば、レベル1地震動で許容応力度設
計されたトラス橋圧縮部材は、レベル2地震動に対しては
多くの場合座屈照査は満足されないと思われます。

◆回答：今回の耐震設計ではレベル1とレベル2ともトラス
材に座屈しない設計としています。このためレベル1では余

裕あることになっています。海上橋梁であることから補修を極力避ける観点と臨海部の交通の要所となる重要構造物との観点から基本的には弾性設計（降伏と座屈応力度を超えない）としています。

論文題目：“橋梁地震被災度判定による被災度の推定精度に及ぼす地盤・基礎構造物および支承の特性の影響”

著者：堺淳一，運上茂樹
掲載：Vol. 56A, pp. 407-420, 2010年3月

◆討議 [北原武嗣 (関東学院大学)]

被災度の推定に用いるフィルターの周期は、どのように決定すればよろしいでしょうか。

◆回答：ゴム系の支承で支持された橋に対しては、橋脚の周期の変化およびこれに基づく被災度の推定において、フィルターを用いることが必要な場合があります。フィルターの遮断周期は橋梁条件によって異なるため、一概には言えませんが、初期固有周期、本手法で検出すべき応答塑性率の程度等から、長周期側の遮断周期を適切に設定する必要があることは本文中に示したとおりです。

◆討議 [横川英彰 (オイレス工業)]

支承側で荷重測定を行うと、支承や橋脚の両方に対して判定を行うことが可能となるのではないのでしょうか。

◆回答：本システムでは主たる損傷が生じる橋脚の損傷を、いかに簡便な手法で検出するかに主眼をおいた研究開発を行っています。このため、センサは橋脚天端のみに設置することとしています。本研究では、応答加速度を計測しており、荷重は測定していませんが、仮に加速度センサを地盤、橋脚天端、桁に設置することにより、各部位の応答変形量を推定することは可能であると考えられます。

◆討議 [党紀 (愛知工業大学)]

- (1) 図中のセンサは、どのような加速度計でしょうか。
- (2) 地震時の加速度データから、どのような解析を行うことで、被災度の推定を行うのでしょうか。

◆ 回答：
(1) プロトタイプของセンサには、計測精度を重視し、サーボ型加速度計を用いています。
(2) 被災度の推定手法については、2.2に示したとおりです。詳しくは参考文献3)に示していますので、ご参照ください。

論文題目：“振動台加振実験によるプレキャストPC橋脚の耐震設計法の開発”

著者：山野辺慎一，曾我部直樹，新井崇裕，運上茂樹，堺淳一
掲載：Vol. 56A, pp. 421-431, 2010年3月

◆討議 [後藤芳顕 (名古屋工業大学)]

加振実験での荷重-変位の履歴曲線(図-11)には、高次モードが現れています。提示されている1次モードのみ考慮した履歴モデルでは不十分ではないでしょうか。特に、セグメントを多く用いる高い橋脚ではこの傾向が顕著になると考えられます。

◆回答：図-11における慣性力は、加速度計で計測された絶対応答加速度に、上部構造の質量を乗じて算出したものです。また、絶対応答加速度には、フィルターによる処理などは行っておりません。そのため、履歴曲線に高次モードの影響を思わせるような特性が現れていると考えています。なお、実験では、フーチングと基部セグメントの境界が最も大きく目開き、一次モードが卓越するような変形形状を示していたことを確認しております。

一方、橋脚高さが高くなりセグメントを多く用いる場合には、ご指摘のように、高次モードの影響が現れることが考えられます。そのような場合には、本論文で提案した解析モデルは適用できないため、別途、検討が必要となります。

◆討議 [佐々木智大 (東京工業大学)]

今回製作されたプレキャストPC橋脚の破壊モードはどのようなモードでしょうか。

◆回答：試験体の破壊モードは、フーチングと橋脚基部での目開きが卓越するような曲げ破壊モードでした。実験では、フーチングと橋脚基部の境界やセグメント間で目開きが発生した後、橋脚基部のかぶりの圧壊、コアコンクリートへの圧壊の進展という破壊過程を示しました。基部から1段目と2段目のセグメント間の目開きや1段目のセグメントの曲げひび割れが、斜めせん断ひび割れへ移行していますが、同部分のひび割れ幅は小さく、せん断破壊を示すようなことはありませんでした。

論文題目：“RC橋脚の耐震補強に用いるFRP-鋼板接着接合部の付着挙動”

著者：張広峰，星隈順一，堺淳一
掲載：Vol. 56A, pp. 432-439, 2010年3月

◆討議 [佐々木智大 (東京工業大学)]

鋼板にひずみゲージは取り付けられていますでしょうか。鋼板が降伏していないかどうか確認されていますでしょうか。

◆回答：本研究では、CFRPが剥離するまでに鋼板が降伏しないように、厚さ25mm(鋼板の降伏耐力>CFRPの破断耐力)の鋼板を用いることとしました。実験結果の付着耐力を用いて鋼板に生じた応力を計算してみると、付着耐力が最大となったケースにおいても、鋼板の降伏が生じておらず、最大応力は降伏応力の公称値の50%程度であることが分かります。なお、実験では鋼板のひずみを計測していません。

◆討議 [横川英彰 (オイレス工業)]

CFRPを接着する際の接着材の塗布厚さが、強度に影響を及ぼすと考えられます。この研究では厚さ管理をどのようにされておりますか？また、実橋梁での管理についてもお考えがあれば教えてください。

◆回答：CFRPを用いる補強では、接着材の塗布厚さを直接に管理することが非常に困難です。実橋梁の補強現場では、一般に単位面積当たりの平均使用量を用いて接着材の塗布量を管理します。本研究では、現場で一般的に採用される方法と同様に、単位面積当たりの使用量を用いて接着樹脂の塗布量を管理することとしています。

論文題目：“スマトラ沖地震に伴う津波による橋梁の被害分析”

著者：幸左賢二，二井伸一，庄司学，宮原健太
掲載：Vol. 56A, pp. 454-463, 2010年3月

◆討議 [永田聖二 (電力中央研究所)]

津波による被害のランクは、どのような基準で判定されたのでしょうか。

◆回答：判定は橋梁の使用可否に着目して分類しております。上部工を例に判定基準を示すと以下ようになります。損傷ランクAは上部工が下部工から完全に離脱し使用不可能な橋梁、損傷ランクBは桁移動の発生は生じているが使用可能な橋梁、損傷ランクCは部分的な損傷である橋梁としてしています。

論文題目：“津波に対する道路橋の被害軽減に関する解析的検討”

著者：薄井稔弘，運上茂樹，杉本健
掲載：Vol. 56A, pp. 464-473, 2010年3月

◆討議 [佐々木智大 (東京工業大学)]

揚力に高振動成分がありますが、この原因は为什么呢か。

◆回答：図示した揚力の実験値に含まれる高振動のノイズは電源によるものです。これは、電源を商用電源から取ったことが原因であると判明しています。

論文題目：“津波形状の違いによる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. 56A, pp. 474-485, 2010年3月

◆討議 [山尾敏孝 (熊本大学)]

実験で再現されている津波は、通常の大きな高波と同様な波形となっています。この高波を継続して用いれば、大きな波力が作用する津波を再現していると考えて良いのでしょうか。

◆回答：津波を形として定義するのは困難と考えており、実験では津波の波の成分に対象を絞って実験をしております。今回、対象にした波は、津波の一波目やソリトン波のように短周期の波です。別の研究成果によれば、ソリトン波の2波目の衝撃力を最も大きいという知見もあり、それを踏まえて実験を行っています。

◆討議 [党紀 (愛知工業大学)]

- (1) 波力は、水平方向でしょうか。
- (2) 波力データのフィルタリングについて、どのようなフィルタを用いましたでしょうか。また、その際の周波数の設定基準はどのように決められたでしょうか。

◆回答：

(1) 実験では3分力計を使用しており、計測された力の成分で、水平方向の力を波力、鉛直方向を揚力と呼んで整理しております。

(2) 事前検討で、桁と分力計を繋ぐ治具の固有周期は30Hz程度であることを確認しております。計測値は1/1000秒であり、治具の共振影響が含まれている可能性があるため、共振影響を控除するようにデータ処理を行っております。データの処理方法は1/10秒移動平均法です。1/10秒移動平均法を用いた理由は、1/10秒移動平均法を処理したデータと治具の共振振動数30Hzの1/6である5Hz以上の振動をカット（ローパスフィルタ）したデータがほぼ同じであることを確認し、作業性からこの方法を用いています。