

15. 衝撃問題

とりまとめ：藤掛一典（防衛大学校）

論文題目：“繰返し衝撃荷重を受ける鉄筋コンクリート版の押抜きせん断抵抗性能評価に関する実験的研究”

著者：松林 卓，岩波光保，川端雄一郎，横田 弘
掲載：Vol. 58A, pp. 967-980, 2012年3月

◆討議 [榎谷 浩 (金沢大学)]

本研究で対象とする衝撃荷重の大きさと繰返し回数ほどの程度を考えているのでしょうか。

◆回答：衝撃荷重の大きさについて；衝撃荷重が繰返し作用する場合，衝突面の形状や衝突される部材の損傷の程度により衝撃荷重は変動するため，それらの荷重を評価し，性能評価に用いるのは難しいと考えています。そのため本論文では，衝突エネルギーを用いて性能評価を行うことを提案しています。現象としては，50t~80t程度の消波ブロックが，1m/s程度の速度で40~50cm程度の厚さを持つRC壁に衝突することを想定しています。

繰返し回数について；上記現象をモデル化した実験により，数回から数十回の衝突回数で部材が破壊に至るのを確認しており，その程度の繰返し回数を想定しています。

◆討議 [別府万寿博 (防衛大学校)]

設計式における鉄筋の影響に関する係数は1.0より小さい値となるのでしょうか。また，回帰分析の結果をみますと，鉄筋の影響がかなり大きいと解釈できますが，そのような理解でよろしいのでしょうか。

◆回答：論文中的式(6)における係数 α は，式を簡潔に表すために式(7)において係数Kの逆数に置き換えています。したがって，鉄筋の影響が大きくなると係数Kが1.0よりも大きくなり，それに伴い係数 α は1.0よりも小さくなると考えています。また，繰返し衝撃荷重を受けて押抜きせん断破壊に至るRC版の場合，鉄筋の存在が破壊の抑制に大きな影響を及ぼしていると考えています。

◆討議 [園田佳巨 (九州大学)]

繰返し衝撃荷重に対する耐荷性能を落錘式実験から評価する場合，リバウンド後の複数回衝突の影響が，条件が厳しくなるほど大きく作用すると思われませんが，そのように対応されているのでしょうか。

◆回答：ご指摘のとおりリバウンドの影響はあると思いますが，本実験の範囲ではその影響は小さいと考え，無視しています。

論文題目：“鉄筋コンクリート梁の動的せん断耐力に関する研究”

著者：藤掛一典，讃岐正太郎，福田貴志，宮川正樹，リー・ビン
掲載：Vol. 58A, pp. 981-990, 2012年3月

◆討議 [園田佳巨 (九州大学)]

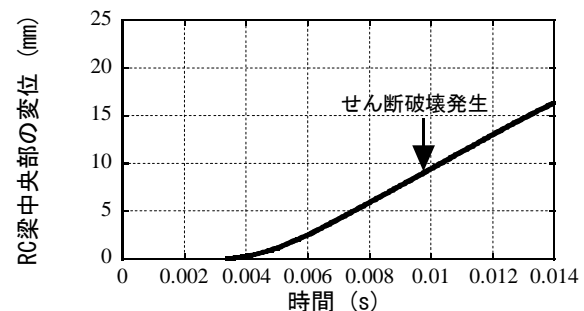
動的せん断耐力の評価に用いるひずみ速度効果の式は単軸応力場で計測したデータによるものでも大丈夫なのでしょうか。

◆回答：動的せん断耐力の評価モデルから導かれる計算結果と実験結果を比較しますと良い一致を示していますことから，動的せん断耐力の評価に用いるひずみ速度効果式は概ね妥当であると考えられます。

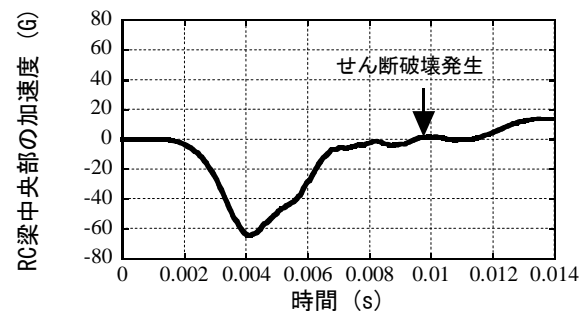
◆討議 [岸 徳光 (釧路高専)]

載荷盤の変位の時刻歴，あとは梁の載荷点近傍の加速度波形を示して頂きたい。また，載荷速度が一定になる前に梁が破壊に至ることはないかを教えて頂きたい。

◆回答：一例として，RC1S84Hで得られたRC梁中央部の変位ならびにRC梁中央部の加速度の時刻歴を図-1に示します。この図から，このケースでは等速度区間でせん断破壊が発生していることが分かります。一方，せん断補強筋がないケースでは，加速区間でせん断破壊するものもみられました。このように加速区間でせん断破壊するようなケースのせん断耐力の評価には，慣性力の評価を考慮することが重要となります。



(a) RC梁中央部の変位の時刻歴



(b) RC梁中央部の加速度の時刻歴

図-1 変位および加速度の時刻歴 (RC1S84H)

論文題目：“Fundamental study on evaluation of deflection of H-beam under impact load aimed for the performance based design”

著者：Kritsada SRIKHOW, Hiroshi MASUYA, Akira SATO and Sachio NAKAMURA
掲載：Vol. 58A, pp. 991-999, 2012年3月

◆討議 [香月 智 (防衛大学校)]

実験結果の打撃点の荷重と支点反力の値が約60 k Nでほぼ同じになっていますが、これは2つの支点反力の合計値が打撃点の荷重に等しいという単純梁における静的な力の釣り合い条件と同様であると理解してよろしいでしょうか。

◆回答：実際は、打撃点の荷重の最大値は120kN程度ですが、高周波成分の一つのピークにすぎません。支配的な荷重波形は緩やかな正弦波です。また、反力も比較的類似した緩やかな波形です。ご指摘のように両波形は同じ20ms程度でピーク値60kNに達していますので、ピーク時にはこの結果は静的とほぼ同じと考えています。

論文題目：“支持条件と版厚が鉄筋コンクリート版の衝撃耐荷挙動に及ぼす影響”

著者：岸 徳光，三上 浩，栗橋祐介
掲載：Vol. 58A, pp. 1000-1009, 2012年3月

◆討議 [香月 智 (防衛大学校)]

各実験における重錘衝撃力と支点反力の値をみますと、支点反力は重錘衝撃力の9割程度のように見受けられますが、①これらの値は、計測値の時刻歴応答の最大値ですか、②フィルタリング処理が衝突直後に生じる瞬間的荷重を除去されたのですか、③巨視的に眺めますと、打撃点に生じたPは時間遅れを生じますが、反力Rと釣り合う $P=R$ とする静的な釣り合い条件がほぼ成立するというのでしょうか。

◆回答：

- ① 各図の重錘衝撃力および支点反力は、各衝突速度における時刻歴応答の最大値を示しております。
- ② ご指摘の衝突直後に生じる瞬間的荷重は、特に重錘衝撃力で大きくなる傾向にあります。重錘衝撃力波形の波形処理は一切行っておりません。また、支点反力波形は波形処理を行っていますが、原波形の性状が大きく変わるものではないことを確認しております。
- ③ ご指摘のように、重錘衝撃力が最大となる時刻と支点反力が最大となる時刻は一致しません。また、一般的に時刻歴応答における支点反力の最大値は重錘衝撃力の最大値を多少下回る傾向にあります。この観点からは、大略 $P=R$ と考えることが可能と思われます。これは、RC版の低速度衝撃問題において見られる傾向であり、曲げ破壊型のRC梁などでは $P=R$ とはならないことが知られています。これには、今回のRC版を用いた低速度の衝撃載荷実験における破壊形式が、いずれの試験体でも押抜きせん断破壊であることが関連しているものと推察されます。

◆討議 [石丸和宏 (明石工業高等専門学校)]

図-3の応答波形を計測する際のフィルターはどのような設定にされているのでしょうか。

◆回答：当研究グループでは、なるべく波形処理を行わず、原波形を用いることにしております。重錘衝撃力波形および変位波形は原波形を用いております。

一方、支点反力波形には高周波のノイズが含まれているため、矩形移動平均法でノイズ処理のための平滑化を行っております。なお、移動平均の範囲は原波形の性状を変化させないように0.5ms (5word) としております。

論文題目：“衝撃緩衝機能を有する落橋防止連結板装置に関する実験的考察”

著者：玉井宏樹，和田直樹，園田佳巨，宗本 理
掲載：Vol. 58A, pp. 1010-1020, 2012年3月

◆討議 [結城洋一 (横河ブリッジホールディングス)]

実験において荷重の作用点、またピンの支持点の状態が、実際の橋梁に用いられる状態と異なっているのでしょうか。また、結果には問題ないのでしょうか。

◆回答：実現象では、地震動が生じると桁に取り付けている連結版とピンが直接衝突することが想定されます。本研究における実験では、単純ばり状態で固定したピンに通した連結版の頂部に重錘を衝突させており、想定される実現象を忠実に再現したものにはなっていません。使用する試験装置の制約が主要因であります。しかし、重錘衝突時に連結版に生じたひずみは数 μ ～十数 μ とかなり小さいことを確認しており、連結版頂部の衝撃力は連結版で緩衝されずにピンに作用していると考えられます。よって、実現象との大きな乖離はないものと判断し、実験を実施しました。また、本実験における支持状態を単純ばり状態とした理由は、本研究では基礎的な検討項目としてピンの曲げに着目したためであります。設計では、ピンの曲げ及びせん断に対する照査を行うべきと考えられるため、今後、せん断に対しても検討していくことが望ましいと考えております。

◆討議 [三上 浩 (三井住友建設)]

図-27の荷重-連結版移動量関係図の解釈の仕方を説明してください。静的と衝撃では同様の応答特性を示すということでしょうか。

◆回答：荷重-連結版移動量関係図には静的と動的による結果を併せて記述しています。静的における荷重-連結版移動量関係図は、載荷荷重とその際の緩衝ピンの変形量（押し込み量）を表しています。動的における荷重-連結版移動量関係図は、漸増載荷試験から得られた衝撃力-変位（押し込み量）関係の近似曲線（バイリニア型）を表しています。つまり、この荷重-連結版移動量関係図は緩衝ピンの静的および動的特性を表していると考えられます。この図を見ると、静的と動的では、降伏荷重（特性が変化する荷重）において若干動的のほうが大きくなるという傾向があるが、全体としては同様の特性を示していることが確認できました。つまり、静的条件下の緩衝ピンの特性を簡易な力学モデルに置換することができれば、それをもとに緩衝ピンの動的特性の把握が可能であることをこの結果は示しています。このような考え方を一般化し、緩衝ピンの動的設計を構築していくには、今後、更なる検討が必要であると考えています。

論文題目：“数値流体シミュレーションによる流体衝撃力評価に関する基礎的研究”

著者：浅井光輝，別府万寿博，石川信隆，眞鍋慶生，齊藤展，丹羽一邦

掲載：Vol. 58A, pp. 1021-1028, 2012年3月

◆討議 [金子明成 (個人)]

FDM, FEMは市販ソフトを用いていますが，粒子法モデルは自作し市販ソフトを用いなかったのは何故でしょうか。

◆回答：粒子法はまだ改良段階の方法であり，開発者によりその解析アルゴリズムに違いがあります。このため，ブラックボックス的に市販のソフトを使用することはせず，解析手法の中身を把握して，ある特定の条件・アルゴリズムでの数値解を示し，他の数値解および実験結果と比較検討することにしました。

◆討議 [香月 智 (防衛大学校)]

粒子法によって得られる壁面への流体衝撃力とは，壁面に接している粒子の有する水圧の面積分と理解してよろしいでしょうか。

◆回答：今回の流体力の評価は，壁面に作用する力，すなわち壁に接した粒子が有する圧力×粒子が担当する面積の総和で評価しております。なお，壁に設置した粒子も水の粒子と同様のアルゴリズムにて，圧力を評価しております。このため，壁粒子の圧力をそのまま積分することで流体力を評価できます。

論文題目：“重錘落下衝撃荷重を受ける1/2 スケールRC 製ロックシェッド模型に関する数値解析的検討”

著者：岸 徳光，牛渡裕二，今野久志，山口 悟，川瀬良司

掲載：Vol. 58A, pp. 1029-1040, 2012年3月

◆討議 [松林 卓 (前田建設工業)]

端部の変位が大きい等の結果が得られていますが，その結果の利用方法としては，端部の鉄筋を増やしたり断面を増やしたりすることになるのでしょうか。

◆回答：現段階では，ブロック間の連続性・接続性を考慮し，部材厚の変更は行わず，端部のみ鉄筋量で調整するか，或いは，端部の必要鉄筋量を全てに配筋するか，の何れかと考えております。

◆討議 [榎谷 浩 (金沢大学)]

ロックシェッド端部には一般に土砂囲い壁があり，その影響は大きいと考えられますが，本研究ではその影響を考慮しているのでしょうか。

◆回答：ご指摘の通り土砂囲い壁の影響は大きいと考えられます。しかしながら，殆どの場合で土砂囲い壁はシェッドの起終点端部のみ設置されておりますことと，シェッド延長は災害要因に対してある程度の余裕をもって決定しておりますので，土砂囲い壁のある端部への落石は確率的に非常に小さいものと推察されます。また，土砂囲い壁を考慮しないことで安全側の設計になりますので，ここでは考慮しないこととしております。

論文題目：“爆土圧を受ける鉄筋コンクリート版の破壊シミュレーション”

著者：別府万寿博，長坂悠司，片山雅英，伊東雅晴

掲載：Vol. 58A, pp. 1041-1050, 2012年3月

◆討議 [園田佳巨 (九州大学)]

爆源からの距離によって実験と解析で爆土圧の起き上がり時間に大きな相違がみられますが，この原因は何でしょうか。

◆回答：解析における爆薬の形状は直方体であり，実験で用いた爆薬の形状（円柱型）と異なること，また要素寸法が大きいことが原因と考えております。

◆討議 [玉井宏樹 (九州大学)]

解析においては，爆土圧の距離減衰を適切に再現できているとは言えませんが，この主な理由は何でしょうか。

◆回答：本モデルでは，せん断弾性係数と密度の関係を線形と仮定しております。距離減衰をより忠実に再現するためには，せん断弾性係数と密度に関して非線形性を考慮する必要があると考えております。

◆討議 [浅井光輝 (九州大学)]

地盤の構成則において，密度に応じてせん断剛性を変化させるモデルを用いていますが，解析途中で変化する密度分布に応じて場所ごとに異なる剛性を与えているという理解でよろしいでしょうか。詳しく教えて頂けませんでしょうか。

◆回答：ご質問のとおりで，爆発荷重を受けて空間的に密度分布が生じますが，その密度に応じてせん断弾性係数を変化させています。

論文題目：“敷砂緩衝材の緩衝特性に関する重錘落下衝撃実験”

著者：今野久志，岸 徳光，西 弘明，山口 悟，岡田伸之

掲載：Vol. 58A, pp. 1051-1063, 2012年3月

◆討議 [園田佳巨 (九州大学)]

伝達衝撃力の第2ピーク値の物理的意味(解釈)を設計や数値計算にどのように反映させるのか教えてください。

◆回答: 実験結果を数値計算によって精査する場合には、第2ピーク値までの全波形を入力荷重としなければ実験値と解析値が整合しないことが過去の検討結果により明らかになっております。ただし、現行設計と同様に静的解析により簡易に設計計算を実施する場合には、第1ピーク値(最大伝達衝撃力)のみが必要であり第2ピーク値は不要となります。また、2次元骨組みモデルを用いて動的解析により設計計算を実施する場合には、各種応答値が安全側に評価可能となるような入力荷重波形として三角形分布あるいは台形状分布等の簡易モデルを設定する方向で考えております。

◆討議 [別府万寿博 (防衛大学校)]

伝達荷重の第1ピークは波動による荷重と考察しておりますが、理論と整合するのでしょうか。

◆回答: 敷砂の静載荷実験における応力-ひずみ関係の初期勾配より弾性係数 E を算定し、密度 ρ より敷砂中の波動伝播速度 c を求め、一次元棒状態における波動伝播による応力値を $\sigma = \rho c v$ より算出し、実験結果の重錘落下点直下の伝達衝撃応力値と比較したところ、オーダー的には整合していますが実測値よりも小さな値となります。これは、伝達衝撃力が三次元的に分散分布することや重錘が貫入することによる影響があるためと推察しております。詳細については、今後の課題とさせていただきます。

◆討議 [榎谷 浩 (金沢大学)]

重錘衝撃力や伝達衝撃力の第1ピークは応力波の影響との記述があります。応力波の伝播を考えますと第2ピークがむしろその影響ではないかと考えます。その点を少し詳しく説明してください。

◆回答: 衝撃力の第1ピークは重錘衝突初期の重錘貫入量が小さい時点で発生しております。一方、伝達衝撃力のピーク値が重錘衝撃力のそれよりも大きな値を示すことから、伝達衝撃力には応力波の影響が含まれているものと推察しております。また、伝達衝撃力の第2ピーク値は重錘貫入量が最大となる時点近傍で発生していることから、その第2ピーク値は応力波によるものではなくて敷砂が重錘によって圧縮されることによって生ずる準静的なものと考えております。

論文題目: “連続衝撃荷重載荷時の実規模RC 桁に関する数値シミュレーション”

著者: 岸 徳光, 今野久志, 山口 悟, 三上 浩, 武田雅弘

掲載: Vol. 58A, pp. 1064-1075, 2012年3月

◆討議 [榎谷 浩 (金沢大学)]

本研究は、連続衝撃荷重を受けるロックシェッドのような剛な構造物や構造部材を対象としたものと思われませんが、連続衝撃荷重を想定した実務上の背景と今後の応用について基本的な考え方を教えてください。

◆回答: 通常、ロックシェッドの設計においては、1個の落石を想定して設計が行われております。一方、実現象では、1個の落石のみならず大きな岩塊が落下途中に地山と衝突して多数の岩塊となって落下する場合も想定されません。設計では、このような状況に対しても安全性が担保されるように設計されなければなりません。著者等は過去に落石が繰り返し発生する場合を想定したRC梁や版に関する実験的・数値解析検討を行っております。しかしながら、上述のように落石が連続して発生するような場合に対する検討は、緩衝材を設置していない状態に対しても未だ行われていないのが現状です。本研究では、このような観点から検討を行ったものでありますが、今後は緩衝材を設置した場合についての検討や、実規模ロックシェッドを対象とした場合の検討を行い、このような落石も考慮した簡易で合理的な設計手法の確立に向け検討したいと考えております。

◆討議 [藤掛一典 (防衛大学校)]

繰返しの時間2.5msecや5.0msecは、何かを考慮して決めているのでしょうか。

◆回答: 単一載荷時における重錘衝撃力の波動継続時間はほぼ5msであることより、この値を基本にして設定致しました。繰返しの時間間隔が長くなると単に繰返し載荷と同じ状況となり、各載荷時の挙動がお互いに干渉しない状態となります。本研究では、最も大きな応答値を示す状況を探るために、同時載荷も含め3ケースの時間間隔を設定致しました。

論文題目: “大型RC スラブ模型に関する衝撃応答解析手法の妥当性検討”

著者: 山口 悟, 岸 徳光, 西 弘明, 今野久志, 武田雅弘

掲載: Vol. 58A, pp. 1076-1083, 2012年3月

◆討議 [別府万寿博 (防衛大学校)]

解析結果で断面のせん断破壊の状態を確認していれば教えてください。

◆回答: 解析により求めた断面形状と同様のせん断破壊面が形成されていた記憶ですが、今後はせん断破壊の断面も掲載したいと思います。

◆討議 [玉井宏樹 (九州大学)]

本研究の成果を踏まえて、今後このような問題をモデル化するには、どのようにメッシュサイズを決定すれば良いか教えてください。

◆回答：FEM解析に用いるモデルとしては様々な要素分割長が考えられますが、今回の $4\text{m} \times 5\text{m} \times 0.5\text{m}$ の大型RCスラブの場合には、これまでの知見としては 35mm 前後のメッシュサイズが良いと考えられますが、本論文ではそれよりも小さいメッシュサイズの方がより実験結果に近い解析結果となりました。しかし、本論文の査読意見としては、モルタルと違って粗骨材を含むコンクリートの場合、要素長の設定にも適切な下限値があると思いますので、M8やM16のモデルには物性的な根拠が欠けていると考えられます。スラブの変位に関する実験結果との比較だけでなく、種々の観点から適切な要素長の決定方法について検討を期待します。とのご意見もあり、メッシュサイズについては、今後の研究により検討を進めていきたいと考えております。