

論文題目：“PE ネットを用いた簡易型落石防護柵の重錘衝突実験”

著者：前川幸次，田島与典，岩崎征夫
掲載：Vol.51A, pp.1615-1624, 2005 年 3 月

◆討議 [園田佳巨 (九州大学大学院)]

1. 経年劣化や耐摩耗性等について鋼製防護柵に比べると劣るような印象がありますが，通常用いられております防護柵の場合と比較検討しておりましたら，ご説明して頂きたい。

2. PE ネットの設計方法（特に落石の衝撃力・エネルギーの取り扱い）について教えて頂きたい。

◆回答：

1. 紫外線による劣化が懸念されるところですが，メーカー資料による PE ネットの強度保持率は，ゴルフネット（PE400dtex×36 本-φ1.8 mm の緑色）の 10.5 年使用時で 80%です。本 PE ネットは，PE440dtex×800 本-φ9 mm の黒色を採用しており，網糸径及び素線色の強度劣化率からもゴルフネットの強度保持率を上回ると判断しています。なお，鋼製防護柵では設置場所等の条件（海岸沿岸部）により経年劣化が激しく耐用年数が著しく低下している場合も見受けられ，このような条件下では耐水性・耐アルカリ性・耐酸性に優れている PE ネットに優位性があると思われます。PE ネットの経年劣化及び耐用年数検証のため，平成 15 年 11 月から福岡県大平村の斜面に植生を施した場合とネット単体とした 2 種類の供試体を設置しています。

2. PE ネットの設計方法は，性能照査型の性能設計として行います。本研究では，耐衝撃性能を確認するため PE ネットの実物モデルを用いた落錘衝撃載荷実験と PE ネット製簡易型落石防護柵の重錘衝突実験を行い，落石エネルギーに対する吸収可能エネルギーを決定しました。実験では PE ネット 1 枚当たり 110 kJ 程度の落石エネルギーを捕捉できたことから，PE ネット 1 枚設置の場合の吸収可能エネルギーは 100 kJ，2 枚設置の場合の吸収可能エネルギーを 200 kJ とし，対象となる落石のエネルギーを算出して設計します。ただし，落石防護柵全体としては，その構成部材（ロープ，緩衝装置等）による分担率（20～30 %）を実測していますが，これは安全側のため無視します。

◆討議 [岸 徳光 (室蘭工業大学)]

どのような場所への応用を考えているかについて，教えてください。

◆回答：PE ネットを用いた簡易型落石防護柵の応用として，鳥獣対策，土木建築構造物施工時の開口部対策，堆砂土対策，雪寒対策，越波対策，集水井工施工時の転落防止

対策，防護と景観に配慮するものとして斜面上露岩の崩落防止と植生工の緑化基盤材としての併用対策等を考えています。

論文題目：“積層繊維補強ゴムを用いた緩衝材の衝撃挙動に関する解析的考察”

著者：西本安志，玉井宏樹，園田佳巨，別府万寿博，彦坂 照
掲載：Vol.51A, pp.1625-1634, 2005 年 3 月

◆討議 [香月 智 (防衛大学校)]

1. 実験における荷重をどのようにして測定されたかについて，ご説明して頂きたい。

2. 解析値の立ち上がりが実験結果と対応していない理由をご説明して頂きたい。

◆回答：

1. 本実験における荷重は，図-1 の落錘式衝撃実験模式図に示すように，ロードセルにより供試体背面に発生した衝撃伝達荷重を計測した。図-1 より，本実験で得られた衝撃伝達荷重は，供試体を取り付けた鋼製の固定治具（厚さ 30mm）を介して，それと先端が円弧状のロードセルを点接触させて金属間の荷重の伝達を計測したものである。

2. 本研究では，いずれの実験条件においても，衝撃伝達荷重-時間関係が実験値と比較して解析における応答値の方が遅い立ち上がりを示しております。これは，解析では供試体底面における応力分布から底面全体に伝達される荷重を評価しているのに対し，落錘式衝撃実験における伝達荷重は，図-1 に示すように，供試体の下面に供試体を取り付ける鋼製の固定治具を介して，それと先端が円弧状のロードセルを点接触させて金属間の荷重伝達を計測していることなどが原因と考えられます。

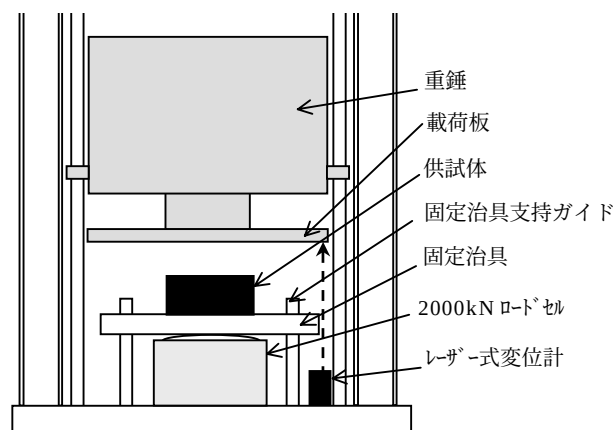


図-1 落錘式衝撃実験の模式図

◆討議 [梶田幸秀 (九州大学大学院)]

静的載荷実験に関するシミュレーション結果があれば、教えて頂きたい。

◆回答：基本的な力学特性と考えられる静荷重作用時のエネルギー吸収能力（静的荷重－変位関係）については、繊維各層の破断過程を安定して解くことが困難なため、本論文発表時では提示できなかった。（そのため、供試体レベルの静的載荷実験に基づく経験則を適用して繊維補強ゴムの諸元を決定しております。）

本研究は、現場の条件に適合した積層繊維補強ゴムの設計を理論的に行うことを目的として、衝撃緩衝材としての性能を数値計算により事前に評価することに主眼をおき、積層繊維補強ゴムを適用した際に発生する衝撃荷重や変形量の時刻歴応答とその最大値、埋設繊維の破断の有無を数値解析により予測したものです。

なお、その後の継続研究により、現時点では、新たな解析手法を用いて積層繊維補強ゴムの静的荷重－変位関係についてもシミュレーション可能となっていることを報告致します。

◆討議 [白石博文 (防衛大学校)]

1. 実橋梁に適用した場合に、どのような方法により損傷評価を行うかについて、ご説明頂きたい。

2. 重錘先端形状の応答への影響について、ご説明頂きたい。

◆回答：

1. 実橋梁における損傷度は、本論文で提案した解析手法を用い、積層繊維補強ゴム内部の損傷度（埋設繊維の破断の有無）を評価できると考えている。

また、実際に積層繊維補強ゴムに衝撃的な外力が作用した場合の損傷度は、外観検査により十分評価できるといえる。これは、積層繊維補強ゴムに外力が作用し、埋設繊維の破断が生じない弾性範囲内の変形であれば、ほぼ元の状態に復元するが、破断が生じるような変形が生じた場合は、除荷後に永久変形が生じるためである。

2. 本研究では、積層繊維補強ゴムの落橋防止システムへの適用を目的とした。そのため、重錘の衝突面の形状は、落橋防止システム用緩衝材として実際に設置された状況下において、上部構造の衝突面が平面であることを考慮し平面形状とした。

他の衝撃緩衝材として適用する場合には、想定される衝突物の先端形状が異なれば、その応答特性も異なると考えられる。例えば、衝突物の先端が円形状で、局所的に荷重が作用するような場合、積層繊維補強ゴムは繊維が積層埋設されているため、通常のゴム製緩衝材よりも荷重分散効果は大きいものと考えられる。したがって、実際の適用条件に応じた衝突物の先端形状による検討を、本研究で用いた解析手法で適切に評価する必要があると考える。

論文題目：“RC はりの衝撃挙動特性に関する DEM によるパラメトリック解析”

著者：山本満明，榎谷 浩，中村佳彦

掲載：Vol.51A, pp.1635-1644, 2005 年 3 月

◆討議 [別府 万寿博 (防衛大学校)]

1. DEM を用いて RC はりを解析する場合において、同様の手続きや入力データを用いて曲げ破壊とせん断破壊の両方ともシミュレーション可能かについて教えて頂きたい。

2. 最大衝撃力は高周波成分を除去した波形を用いて評価しているのかについて、教えて頂きたい。

◆回答：

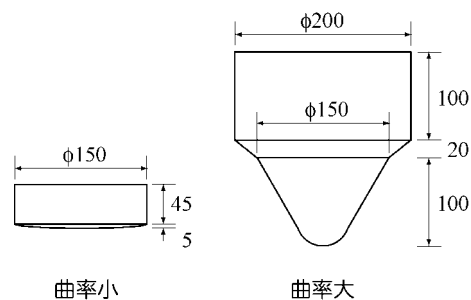
1. コンクリートについてはモールクーロンの破壊基準を用いており、鉄筋については弾塑性モデルを使用しているので、RC はりの曲げ破壊もせん断破壊も両方とも可能です。

2. 力積に影響を与えない範囲で、1,500 Hz 程度以上の高周波成分を除去した波形を用いて評価しています。

◆討議 [大野友則 (防衛大学校)]

重錘に関するデータとしては質量のみが考慮されておりますが、重錘先端形状の相違による影響に関して、先端が球状と平坦状の場合ではどのような差異が生じるかについて、本解析法で解析可能かどうかも含めて教えて頂きたい。

◆回答：下図のような重錘先端形状で実験を行った結果、重錘先端形状の曲率を大きくすると、最大荷重および最大変位で約 60%，最大支点反力で約 20%，力積で約 10%減少しております。また、破壊形状も大きく異なる結果となっております。解析でも重錘の形状を変化させることは可能です。



◆討議 [園田佳巨 (九州大学大学院)]

DEM による解析が実現象を正しく再現できていることを前提として考察されているように思いますが、DEM の計算結果をもとに作成した式の妥当性を具体的にご説明頂きたい。

◆回答：過去に行った重錘落下実験によって、P と V の関係等、各関係の傾向および式の妥当性を確認しております。

論文題目：“個別要素法によるコンクリート供試体の高速破壊挙動解析の試み”

著者：原木大輔，香月 智

掲載：Vol.51A, pp.1645-1652, 2005 年 3 月

◆討議 [岸 徳光 (室蘭工業大学)]

載荷底面における粒子の拘束効果について、拘束される場合と拘束されない場合の影響度合いについて、ご説明頂きたい。

◆回答：申し訳ありませんが、底面摩擦による拘束効果は、現在の解析では検討できておりません。現在の解析では、高摩擦によって、底面（上面）の要素は水平相互間で離れないとの仮定条件下で解析しております。参考までに、このような拘束条件を与える前には、縦割れが先行して実験とは全く異なった解析結果となっていたことを付言させていただきます。

論文題目：“小径高速飛翔体の斜め衝突に対するコンクリート板の局部破壊と粘弾性体による防護効果”

著者：田中信行，大野友則，別府万寿博

掲載：Vol.51A, pp.1653-1661, 2005 年 3 月

◆討議 [梶田幸秀 (九州大学大学院)]

何故、粘弾性体を設置しても表面破壊深さに関する効果がなかったのかについて、ご説明頂きたい。

◆回答：本実験結果では、2 種類の粘弾性体をコンクリート板に接触設置し、飛翔体 TYPE-B を衝突させた場合ではコンクリート板の表面破壊深さを減少することができたが、飛翔体 TYPE-A を衝突させた場合ではほとんど効果がなかった。この原因として考えられるのは、コンクリート板の表面破壊深さは、飛翔体の衝突速度が主要因であり、それぞれの飛翔体の粘弾性体による速度減衰率に差があるためと考えられる。つまり、粘弾性体は飛翔体のエネルギー減衰率が 10%程度になる厚みに設定したが、飛翔体の速度減衰率に換算すると飛翔体 TYPE-B は速度が 7%減衰することに対し、飛翔体 TYPE-A は 5%速度が減衰することとなる。よって、飛翔体 TYPE-B と比較して TYPE-A は速度の減衰率が低いため、粘弾性体を設置しない場合と比較して、効果が少なかったと考えられる。

◆討議 [白石博文 (防衛大学校)]

斜め衝突に関する検討を行った理由について、ご説明頂きたい。

◆回答：本研究は、爆破現象などで生じる爆発物の破片や、爆破された構造部材・材料の破片等が高速飛翔体となって、周囲に飛散・衝突する現象を対象としている。国内の既往の研究では最大で約 200 m/s の衝突速度で衝突体に正面から衝突する現象が考察されており、衝突角度を変化させた斜め衝突に関しては知見がほとんどないのが現状である。

また、現実の現象ではほとんどの場合、高速飛翔体は被衝突体に斜めに衝突すると考えられるため、本研究では飛翔体の被衝突体に対する斜め衝突を取り扱った。

◆討議 [園田佳巨 (九州大学大学院)]

任意の飛翔体に関しても適用可能かについて、ご説明頂きたい。

◆回答：本研究で用いた飛翔体と同じ材料で作製され、類似の先端形状、同程度の質量、同程度の衝突速度を持つ飛翔体であれば、本実験で提案した修正 NDRC 式と柔係数の組合せによって、コンクリート板の局部破壊の推察について適用可能と考える。しかし、これらの構成材料、先端形状、質量、衝突速度が変化すると、柔係数の変化が考えられるので、今後実験を行い、検討していきたい。

論文題目：“二層緩衝構造を設置した落石防護擁壁の地盤特性を考慮した転倒安定性に関する数値解析的検討”

著者：川瀬良司，岸 徳光，今野久志，石川博之

掲載：Vol.51A, pp.1663-1674, 2005 年 3 月

◆討議 [香月 智 (防衛大学校)]

伝達衝撃力に関して、それぞれの測定点における測定値と解析値との対応性について、ご説明頂きたい。

◆回答：伝達衝撃応力の時刻歴波形における各点の測定値と解析値との対応性に関しましては、実構造に適用する前に実施した幅 1.7 m、長さ 2.2 m の二層緩衝構造体模型に関する実験結果と数値解析結果の比較を構造工学論文集、Vol. 47A に発表しております。その結果、解析結果の各点に関する伝達衝撃応力の時刻歴分布は実験結果と比較的よく対応していることが明らかになっております。解析手法はこれらの解析時と同一でありますので、精度は確保されているものと確信しております。

また、本研究では、擁壁全体の安定性に関する検討に主眼をおいておりますことから各点における伝達衝撃応力波形には着目せずに、各点における伝達衝撃応力を時間毎に集積した伝達衝撃力波形のみを対象としております。

◆討議 [大野友則 (防衛大学校)]

擁壁の実際の長さはどの程度か？また、実際に転倒や滑動が生じるかについて、ご説明頂きたい。

◆回答：擁壁は、ブロック打設されております。その 1 ブロックの延長は、各設計指針や設計要領などから 10 m 程度で施工することとなっております。また、落石対策便覧では、実設計を行う場合に落石衝撃力に抵抗する擁壁の有効延長として、擁壁高の 4 倍または 1 ブロックの短い方の延長で安定計算を実施することとなっております。

本研究では、擁壁高さを実設計で一般的な 2 m を採用しております。よって、実験や解析の擁壁延長は、安定計算において安全側の評価が得られる擁壁高さ 2 m の 4 倍となる 8 m を採用しております。

擁壁の被災状況については、旧建設省土木研究所において、落石防護工の被害に関する実態調査を実施しております。その中で落石防護擁壁の被災状況が記述されておりますが、転倒の被害を受けたものは無く、滑動に関してもブロック間の小さい目地ずれ程度が数件発生している程度です。一方、落石衝突箇所近傍のコンクリートのひび割れや剥離は多く発生しております。その中には、コンクリートの剥落の被災も記述されております。

したがって、無筋コンクリート擁壁は、落石衝突時に剛体として挙動するものと仮定し設計されておりますが、実際は剛体として挙動を示す前に、落石衝突近傍のコンクリートにひび割れが発生したり、剥離・剥落が発生する可能性がありますので、設計時の仮定とは大きく異なるものと判断されます。

これに対して、二層緩衝構造を設置する場合には、無筋コンクリート擁壁の場合におきましても、コンクリートのひび割れや剥離・剥落の発生が大きく抑制されますので、転倒および滑動に関する安定性を検討しておくことは必須であると考えます。

◆討議 [西本安志 (シバタ工業株式会社)]

最大重錘衝撃力と衝突エネルギーの関係式において、衝突エネルギーが大きい領域では実験結果と振動便覧式による解との差が大きく示されておりますが、その要因についてご説明頂きたい。

◆回答：最大重錘衝撃力と衝突エネルギーの関係は、図-8 に示しております。図より、衝突エネルギーが大きくなるに従って実験結果が振動便覧式の値より小さくなる傾向を示しております。このことは、実験の観察結果から重錘の衝突エネルギーが増加するに従って RC 版の損傷も小さくなる傾向を示し、RC 版の損傷によるエネルギー吸収が生じることとなります。

一方、振動便覧式では、非衝突体の損傷は考慮されておられません。このことにより、実験結果は振動便覧式の値より小さくなる傾向を示すものと考えられます。

しかしながら、実設計を行う場合の最大重錘衝撃力は、振動便覧式を採用することにより安全側の評価を与えることとなりますので、工学的には妥当であるものと考えます。

論文題目：“ビニロン短繊維を混入した曲げ破壊型 RC 梁の耐衝撃挙動”

著者：岸 徳光，田口史雄，三上 浩，栗橋祐介
掲載：Vol.51A, pp.1675-1686, 2005 年 3 月

◆討議 [大野友則 (防衛大学校)]

1. 曲げ耐力を向上させるためには、主鉄筋量を多くする方法と短繊維混入量を多くする方法があると考えられますが、どちらがよいかについてご説明頂きたい。

2. 短繊維混入率が 1 % と 2 % の場合で大差がないように示されておりますが、最適短繊維混入率をどのようにお考えかについて、ご説明頂きたい。

◆ 回答：

1. 曲げ耐力の向上のためには、短繊維混入量を多くするよりも主鉄筋量を多くする方が簡易でコストの面からも効率的です。短繊維混入によりコンクリートの引張靱性を改善することの利点は、鉄筋の配置が困難な部位に適用することにあるものと考えております。例えば、版部材の押し抜きせん断耐力向上や過密配筋の解消をねらいとした適用が考えられます。また、この場合、曲げ耐力の向上も同時に期待できますので、本研究では短繊維混入による副次的な効果として、どの程度曲げ耐力を向上させることが可能なのかを検討致しました。

2. 短繊維混入率は適用目的や要求性能に応じて決定すべきであり、最適な短繊維混入率を一義的に決定することはできないものと考えております。一方、本実験では、短繊維の混入による RC 梁の耐衝撃性向上効果は見られるものの、短繊維混入率が 1 % の場合と 2 % の場合における違いは顕著には現れておりません。そのため、部材の形状寸法や配筋によっては耐衝撃性向上効果に上限があることが推察されます。この点に関しましては、今後の検討課題にさせていただきます。

◆討議 [別府 万寿博 (防衛大学校)]

リサイクルや解体を考えた場合には、ビニロン短繊維とコンクリートとの分離が困難であるものと推察されますが、検討例がありましたら教えて頂きたい。

◆回答：ご指摘の通り、短繊維とコンクリートとを分離することは困難な作業であります。方法としては、高温スチームで短繊維を溶融して加水分解させるか、熱を加えて炭化させる方法が考えられます。いずれの方法においても、自然環境に有害な物質は発生しませんが、現在のところその実績はなくメーカーを含めて検討中でございます。

論文題目：“損傷力学の概念を適用した衝撃応答解析に関する基礎的研究”

著者：園田佳巨，玉井宏樹
掲載：Vol.51A, pp.1687-1694, 2005 年 3 月

◆討議 [香月 智 (防衛大学校)]

損傷パラメータを用いることによって軟鋼の弾塑性挙動を表しておられますが、この延長として再硬化、最大応力、破断応力までを表現できるかどうかについて、その見通しについて教えて頂きたい。

◆回答：現状の手法では、弾塑性衝撃挙動を陽解法による増分形式で求めていることから、必要に応じて破壊した要素を削除するなどの手段を選択することは可能です。ただし、要素剛性を決定づける損傷変数については、 $0 \leq D < 1$ の範囲で非可逆な変化を仮定していますので、個々の要素内で変形とともに徐々に応力を解放するような軟化挙動は表現できないことになります（部材全体としての応答であれば、破壊基準に達した要素を、逐次削除することで表現可能だと考えております）。

◆討議 [大野友則 (防衛大学校)]

衝撃応答解析に損傷力学を導入した理由について、ご説明頂きたい。

◆回答：近い将来、耐衝撃性を要求される構造物も性能照査型の設計に移行する可能性を考えた場合、種々の要求性能に対する構造計算が必要になると考えられます。それにとともに、複数の異なる評価基準（耐荷性、耐久性、etc）を統合し、相互の関連を考慮した定量的な損傷度解析を行う必要があると考えております。損傷力学は、損傷変数の定義によって種々の要因による構造材料の機能低下を定量的に表現できる自由度を備えていることから、衝撃解析への適用を試みております。

◆討議 [山本満明 (金沢大学大学院自然科学研究科)]

最大応答変位等に関する解析結果と実験結果に差が生じたのは、支点治具を忠実にモデル化していないことと、コンクリートの引張破壊後に応力を解放していないことを理由として上げておりますが、どちらの要因が大きいと考えておりますか。

◆回答：最大応答変位等に関する解析結果と実験結果に差が生じたのは、コンクリート構成則の引張域の取り扱いに主要因があると考えています。現在のモデルでは、引張強度が圧縮強度の 1/10 と仮定し、それ以降の挙動については同様な取り扱いを行っており、ひび割れが生じた後も応力伝達能力を有するモデルを仮定しております。

引張軟化勾配が、最大応答変位や残留変位に与える影響は小さくないことは他の手法によるパラメトリックな計算で把握しておりますので、今後、本手法によるコンクリートの動的引張軟化勾配の取り扱いについて検討を行い、手法としての改良を行っていく予定であります。

論文題目：“衝撃荷重を受けた RC 梁のひび割れ補修前後における残存衝撃耐力”

著者：岸 徳光，今野久志，西 弘明，三上 浩
掲載：Vol.51A, pp.1695-1706, 2005 年 3 月

◆討議 [香月 智 (防衛大学校)]

補修後の梁は 2 % の限界においても見かけ上の破壊損傷は著しくないように見受けられますが、「2 % の限界」という定義についての再検討の余地はありませんか。

◆回答：本論文で示されておりますように、2 % 以上の残留変位がある場合においても静的耐力および衝撃耐力は確保されております。従って、本論文で設定しました 2 % 限界に関しましては、十分再考の余地があるものと考えます。

ただし、長期的な維持管理を考える場合には、1) コンクリートの経年劣化によるかぶりコンクリートの剥離・剥落の可能性も否定できないこと、2) 残留変位が大きい場合やひび割れの開口がある場合には人間の恐怖感等心理的な問題を考慮する必要があるもの、と判断されますので、使用限界的な制限は必要と考えます。

いずれにしても、この種の問題は委員会等で十分審議し決定して頂かなければならないものと考えます。

◆討議 [梶田幸秀 (九州大学大学院)]

エポキシ樹脂よりも硬い材料でひび割れ補修したときの梁の耐力は、エポキシ樹脂を用いて補修した場合よりも大きくなりますか。

◆回答：エポキシ樹脂の引張強度は基本的にコンクリートの引張強度よりも大きいです。従って、本研究程度の損傷を受けた RC 梁の耐力は、エポキシ樹脂よりも高強度の材料で補修した場合におきましても、エポキシ樹脂で補修した場合と同程度であるものと推察されます。

ただし、橋脚基部に塑性ヒンジが形成される程度に損傷している場合に対する補修に関しては、その限りではないと判断されます。

