

## (27) 鋼製ロックシェッドへの落石衝突実験について

金沢大学工学部 ○榎谷 浩  
 首都高速道路公団 御嶽 謙  
 金沢大学工学部 前川幸次

### 1. まえがき

ロックシェッドは、最終的に落石を阻止し道路に被害を与えないことを目的に建設されるものであり、最も信頼性を要求される重要な防護構造物といえる。落石発生の不確実性のため、ロックシェッドの落石による破壊事故なども後をたたないのが現状である。まれにしか発生しないような大規模な落石に対するロックシェッドの安全性や設計法に関する研究が必要と思われる。このような観点より、著者らは鋼製ロックシェッド屋根部の実物大モデルを用いた落石実験を行い、その基本的衝撃特性およびロックシェッドに伝達されるエネルギー量について検討し、ロックシェッドの設計をエネルギー分担といった観点から考えるための基礎資料を示している。

### 2. 落石衝突実験の概要

実験供試体は、図-1に示すような鋼製ロックシェッド屋根部に用いられる主桁2本を取り出し、実物大のモデルとしたものである。2本の主桁は両端を単純支持しスパン中央部の長さ3mに渡り主桁の上フランジにガセット接合したH形鋼（以後横ばりと呼ぶ。）11本によって主桁間隔が170cmとなるように結合されている。これらの横ばり上に3.2mm厚の鋼板を敷き、サンドクッションを充填するための3m×3m×1.2mの鋼製土槽を設けた。なお主桁のスパン長は8m、10m、12mの3種類について行った。

実験は、金沢大学落石実験場にて落石落下用の鉄塔の下に図-1に示した供試体を設置し、落石として鋼殻にコンクリートを充填した重錘を使用して、高さ1.0mより0.5mあるいは1.0mごとに順次上げて土槽中央部に自由落下させて行った。なお、落石として用いた重錘は質量が1000kgと3000kgの2種類であり、底面形状はどちらも球形のものである。また、用いたサンドクッションは著者らがいままでの落石実験に用いたものと同じ山砂であり、厚さは90cmである。衝突時には、図-1に示したサンドクッション底の土圧、主桁中央の変位、支点における反力のほか、重錘の加速度そして図-2に示す位置での主桁下フランジの軸方向ひずみを測定した。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 落石による作用衝撃力

図-3はコンクリート舗装上と主桁スパン10mの鋼製ロックシェッド上へ、質量1000kgの重錘を高さ10mよ

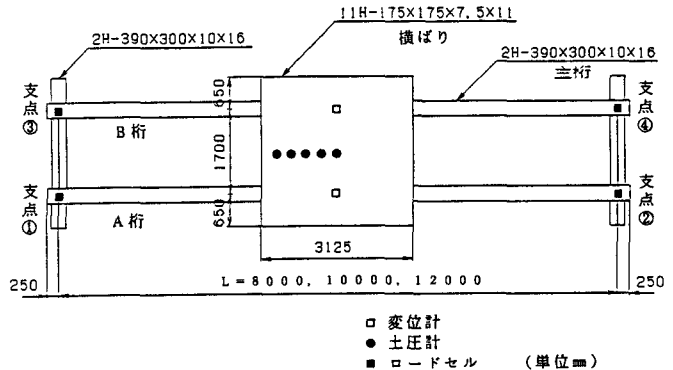


図-1 実験供試体

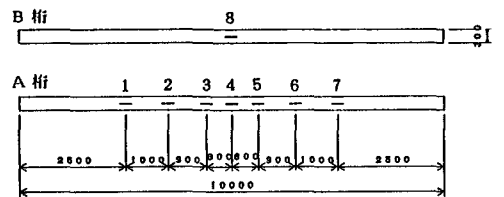
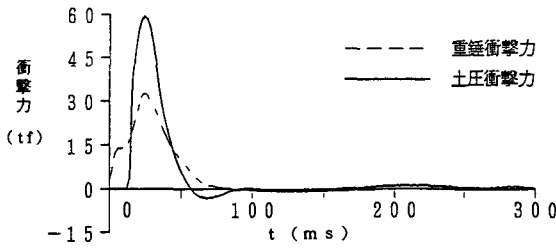
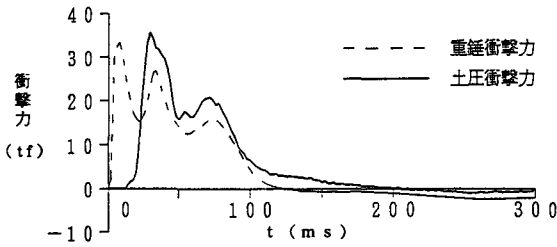


図-2 ひずみの測定位置

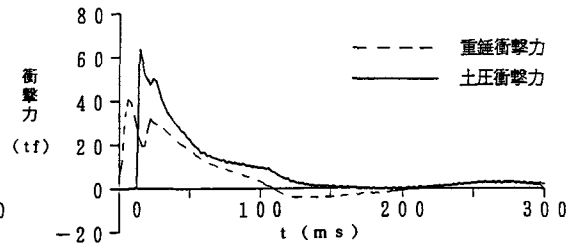


(a) コンクリート基礎上

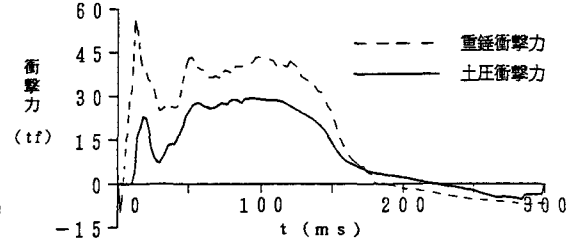


(b) 鋼製ロックシェッド上(L=10m)

図-3 衝撃力波形(1000kg重錘)



(a) コンクリート基礎上



(b) 鋼製ロックシェッド上(L=10m)

図-4 衝撃力波形(3000kg重錘)

り落下させた場合の衝撃力波形を示したものであり、図-4は、質量3000kgの重錘を高さ7mより落下させた場合の衝撃力波形を示したものである。図中に示した重錘衝撃力とは、重錘がサンドクッションに衝突する時に発生する重錘の加速度に重錘質量を乗じたもので、土圧衝撃力とは、サンドクッション底部の発生土圧をその作用域について積分したものである。どの場合においても土圧衝撃力は衝突後0.015s程度で発生し始めるがその波形形状はかなり異なる。コンクリート舗装のものはピークが一つの比較的単調な波形であるのに対し鋼製ロックシェッド上のもでは、大きなピークを2個有し、衝撃力の作用時間も長いことがわかる。その傾向は主桁スパンが長いほど顕著であることを確認している。過去に行った曲げ剛性が比較的大きいPCロックシェッド上への落石実験等では、コンクリート舗装上のものと有意な差異は認められていないので、これは鋼製ロックシェッドのたわみ性の影響と考えられる。また、重錘衝撃力の波形においても鋼製ロック

シェッド上の場合ピークが複数存在し、作用時間が長いことがわかる。土圧衝撃力と重錘衝撃力のどちらの場合においても重錘の質量が大きい3000kgの方が衝撃力の作用時間が長くなっている。

図-5は、質量3000kgの重錘をスパン10mの鋼製ロックシェッド上へ落下させた場合の落下高さとの土圧衝撃力の最大値の関係を示したものである。図中の実

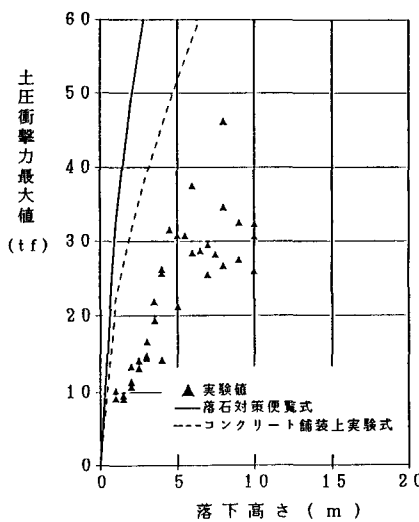


図-5 落下高さとの土圧衝撃力最大値

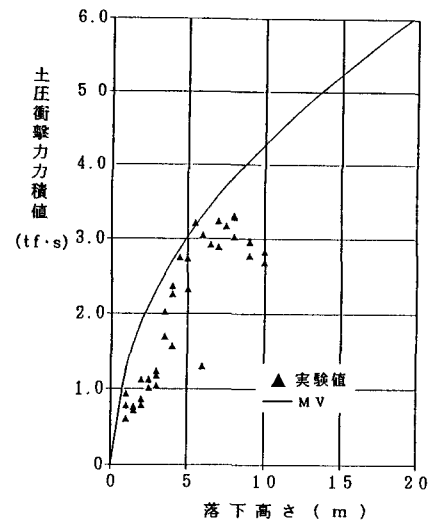


図-6 落下高さとの土圧衝撃力の力積値

線は一般にロックシェッドの設計に用いられている落石対策便覧式稀である。また、破線は著者らがコンクリート舗装上のサンドクッションを用いた実験結果より得た実験式である4。これより、土圧衝撃力の最大値は上述の2つの衝撃力推定式よりかなり小さく半分程度であることがわかる。また、落下高さが大きくなると衝撃力の最大値の増加割合が減少しているが、これは後述するように主桁に塑性変形が生ずるためと考えられる。

以上のように、鋼製ロックシェッド上への落石衝突の場合、衝撃力波形は大きく異なり、その最大値もコンクリート基礎上のものを単純に適用できないことがわかる。しかし、図-6に示すように土圧衝撃力の力積値を調べてみると質量Mの重錘が速度Vで運動しているときの運動量MVではぼその上限を押さえられることがわかる。

### 3. 2 主桁の応答とロックシェッドへのエネルギー伝達

図-7はスパン10mの供試体上に、質量1000kgの重錘を高さ10mより落下させた場合と質量3000kgの重錘を高さ10mより落下させた場合の主桁のひずみ分布の時間変化を示したものである。図-7(a)より、この場合、文献4において報告したように、桁中央部のひずみが最大値に達するころには、図-8に示す単純ばりに対する静的な曲げ理論を用いた曲げモーメント分布が近似的に使用できることがわかる。図-9はスパン10mの供試体上に、質量3000kgの重錘を高さ10mより落下させた場合の桁の応答波形を示したものである。たわみについては、弾性範囲内の実験に見られた鉛直上方への応答量が少なく、弾性範囲内の実験では10波程度観測された巨視的な自由減衰振動が数波で終わり最後には残留たわみが観測されている。スパン中央部のひずみ4は降伏ひずみに達した後、他の位置のひずみが減少しているのに対し、急激に増加していることより、スパン中央点において塑性ヒンジを形成しつつあることがわかる。これは図-7(b)に示した主桁のひずみ分布の時間変化からも確認できる。反力波形は、桁の降伏に伴い頭打ちとなり、フラットな波形形状

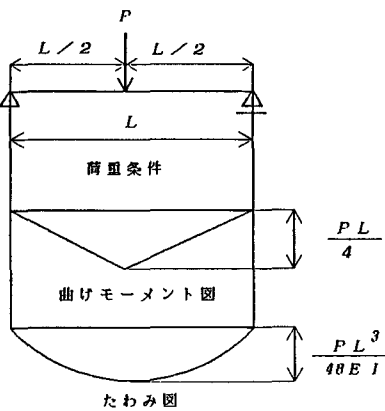


図-8 仮定した条件

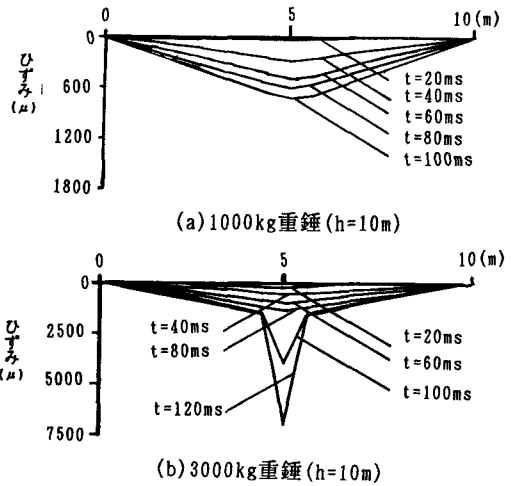
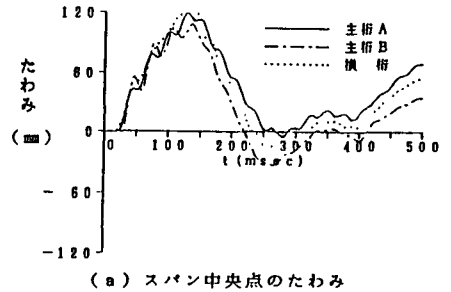
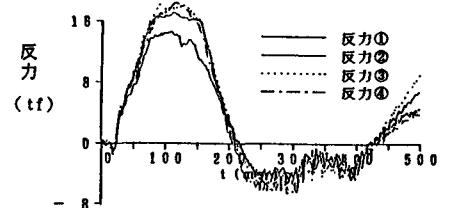


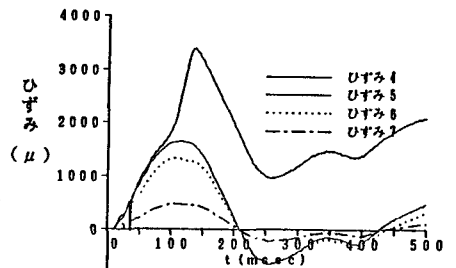
図-7 主桁のひずみ分布の時間変化



(a) スパン中央点のたわみ



(b) 支点反力



(c) スパン中央下縁のひずみ

図-9 応答波形

を示している。

図-8に示したように静的中央集中荷重を受ける単純ばりでは、任意の位置のひずみやたわみより荷重 $P$ を算定できる。このような仮定のもとで、スパン中央での最大たわみ $\delta$ より算出した荷重 $P = 48EI\delta/L$ と最大反力の関係を示したのが図-10である。重錘の質量が3000kgで変位が大きい場合すなわち塑性変形が大きく生ずる場合相関は悪くなるが、それ以外では、両者の相関がよいことがわかる。

質量3000kgの重錘について主桁のエネルギー分担率を示したのが図-11である。落下高さが低い場合つまり衝突速度が大きい場合エネルギー分担率はやや小さくなっている。また、落下高さが大きい場合は主桁のスパン中央部が降伏したため、見かけ上分担率が小さくなっており、ひずみによるエネルギー分担率においてより著しく表れている。しかし、その領域を除けば、ひずみによる算定ものでは10%程度、たわみによる算定では15%程度であることがわかる。なお、質量1000kgの重錘を用いた実験では、エネルギー分担率として、たわみから算定した場合には5%~8%、ひずみより算定した場合には4%~6%の値が得られている。これより、衝突する落石の質量が大きいほど主桁のエネルギー分担率が大きくなることがわかる。すなわち、エネルギー分担率には、落石の衝突速度のほかにロックシェッドの質量に対する落石の質量比も大きく関係していることがわかる。

#### 4. あとがき

本研究では、鋼製ロックシェッド屋根部の実物大モデルを用いて落石実験を行い、衝撃力特性、ロックシェッドへのエネルギー伝達を調べた。これより、落石の衝撃力は、本実験の範囲内ではコンクリート舗装上のものに比べ、その最大値は小さく、作用時間が長いことがわかった。また、落石により主桁に曲げによる塑性化が生ずるときの桁の応答特性を実験的に示した。さらに、静的に中央集中荷重を受けるはりとして測定応答変位、ひずみから求められるロックシェッドのエネルギー分担率は、ロックシェッドの構造特性のほか落石の衝突速度や落石質量にも関係することも示された。本実験では、質量3000kgに対し20%以下、質量1000kgに対しては10%以下であった。今後、落石による衝撃問題をエネルギー的に評価するには、落石、サンドクッション、ロックシェッドの関係を破壊の影響を含めてさらに明らかにしていく必要があると考えられる。本研究を進めるにあたり、金沢大学梶川康男教授には有益な御助言を頂いた。また、実験において、水木彰氏（川田工業株式会社）、戸水伸郎君（現・日本舗道株式会社）、戸田仁志君（現・株式会社熊谷組）に御協力を頂いた。ここに厚く感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 日経BP社：日経コンストラクション創刊号, pp. 28-34, 1989年8月
- 2) 園田佳巨, 佐藤紘志, 石川信隆：弾塑性吸収エネルギー量による鋼製ロックシェッドの安全性評価法に関する一考察, 土木学会第45回年次学術講演会講演概要集, 第1部門, pp. 492-493, 1990年9月.
- 3) 吉田博, 榎谷浩, 岡衛：落石覆工屋根上への落石による荷重特性について, 土木学会論文集, No. 362, pp. 461-470, 1985年10月.
- 4) 榎谷浩, 前川幸次, 水木彰, 吉田博：鋼製ロックシェッドの落石による衝撃力, 構造工学論文集, Vol. 36A, pp. 41-49, 1990年3月.
- 5) 日本道路協会：落石対策便覧, 丸善株式会社, pp. 18-19, 1983年7月.

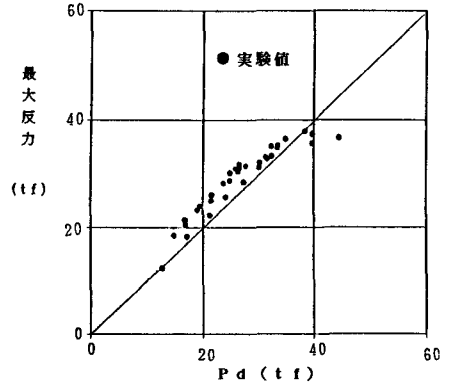


図-10 たわみより算定した荷重と最大反力

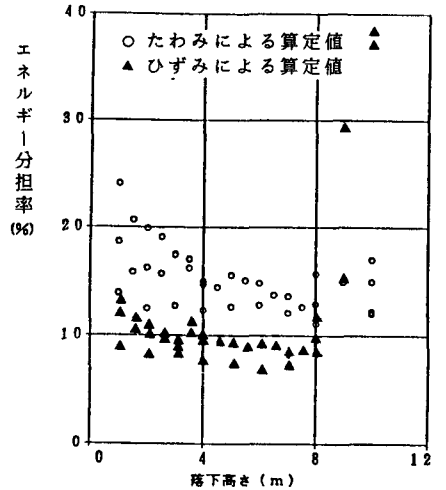


図-11 落下高さとエネルギー分担率