

(28) 衝撃を受けるH型鋼ばりの挙動特性と性能評価に関する一考察

A study concerning the characteristics of behavior
and the flexural performance evaluation of steel H-beam under impact action

山口 大輔*, 前田 達哉**, 榎谷 浩***, 佐藤 彰****, 中村佐智夫****
Daisuke Yamaguchi, Tatsuya Maeda, Hiroshi Masuya, Akira Satou, Sachio Nakamura

*金沢大学, 自然科学研究科社会基盤工学専攻 (〒920-1192 金沢市角間町)

**金沢大学, 工学部土木建設工学科 (〒920-1192 金沢市角間町)

***工博, 金沢大学教授, 理工研究域環境デザイン系 (〒920-1192 金沢市角間町)

****日本サミコン株式会社 技術部設計開発課 (〒950-0925 新潟市中央区弁天橋通 1-8-23)

Key Words: buffering effect, impact, performance-based design

キーワード: 緩衝効果, 衝撃力, 性能照査型設計

1. 序論

我が国では落石災害が多く発生しており, 衝撃分野の研究が昔から盛んに行われている。衝撃実験が多くの研究機関で行われており, 低速度の衝撃に対する信頼性の高い実験手法が発達してきた^{1) 2) 3) 4)}。

落石防護構造物は, 衝撃力の緩和などを目的として敷砂などの緩衝材を設置している場合が多く, その影響を考慮した耐衝撃性や性能の検討が必要である。

一方「土木・建築にかかる設計の基本」によれば, 構造物の設計は今後性能照査型設計の概念に基づいて実施される運びとなっている⁵⁾。したがって, 衝撃荷重を受ける構造物の信頼できる高い安全性を確保するためには, 特に性能照査型耐衝撃設計法に関する技術的な検討を行うことが急務とされている。国際的にもこの分野での設計概念が十分に構築されていないのが現状である⁶⁾。

そこで本研究では緩衝材を設置したH型鋼材はりの衝撃試験を行い, 衝撃荷重, 応答特性, エネルギー吸収について得られた知見を示し, 性能照査型設計法の確立のための基礎資料を提示することを目的とする。

2. 実験の実施

2.1 供試体

図-1に実験に使用した供試体の寸法を示す。また, 表-1には供試体の材料特性値を示す。断面の幅×高さが100mm×100mmのものをAタイプ, 125mm×125mm

のものをBタイプ, 150mm×150mmのものをCタイプと呼ぶことにする。スパン長はA断面のみ, 1000mm, 2000mm, 4000mmの3種でBタイプとCタイプは2000mmのみで実験を行った。

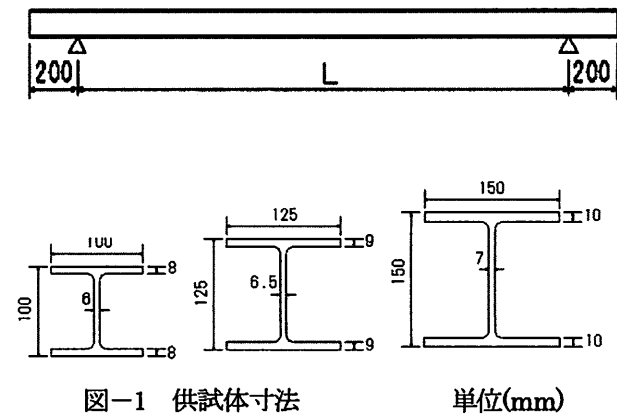


図-1 供試体寸法 単位(mm)

表-1 供試体特性値

供試体 タイプ	降伏荷重 P_y (kN)	曲げ剛性 EI (kN・m ²)	固有周期 T_o (ms)
A1	72.6	756	3.0
A2	33.3	756	11.9
A4	18.1	756	47.7
B2	31.8	1678	9.4
C2	50.3	3240	7.8

2.2 実験の概要

実験は静的及び動的の2種類行い、静的試験には油圧式実験装置を使用した。衝撃試験には図-2に表したような、金沢大学構造研究室所有の自由落下式衝撃実験装置を使用した。用いた重錘は、銅製の重錘の下にロードセルと曲率半径が565mmの先端部を取り付けたものであり、総重量は150kg、450kgの2種類で、高さを調整することで様々な衝突速度で落下させた。

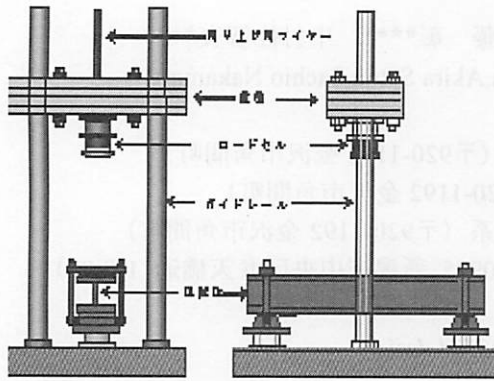


図-2 自由落下式衝撃実験装置

図-3には砂箱を設置した場合の設置状況および計測項目とその位置を示した。鋼製の砂箱はガイドレールに沿って上下移動できるようにし、ロードセルは砂箱の下に設置した。計測項目は、荷重・支点反力・変位そしてひずみである。使用した砂は珪砂7号(太平洋セメント(株))である。図-4には砂の粒度分布、図-5には砂の静的載荷試験を表す。

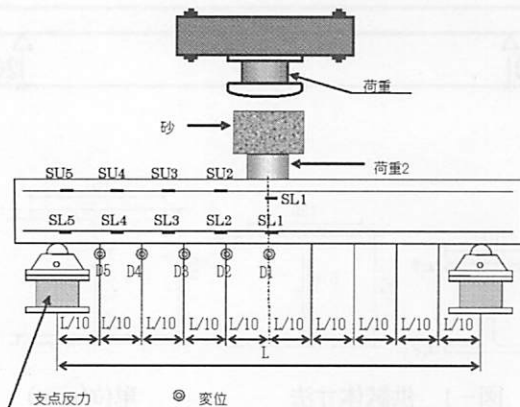


図-3 計測項目及び計測位置

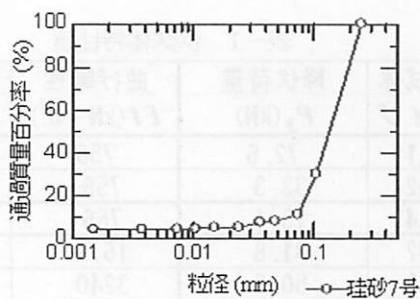


図-4 砂の粒度分布

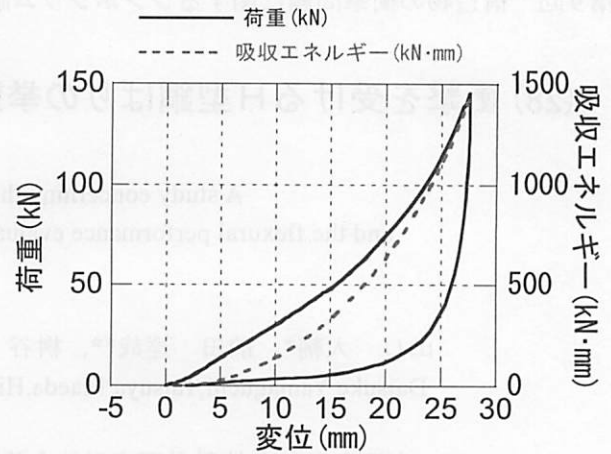


図-5 砂の静的試験結果

3. 衝撃実験

3.1 実験結果

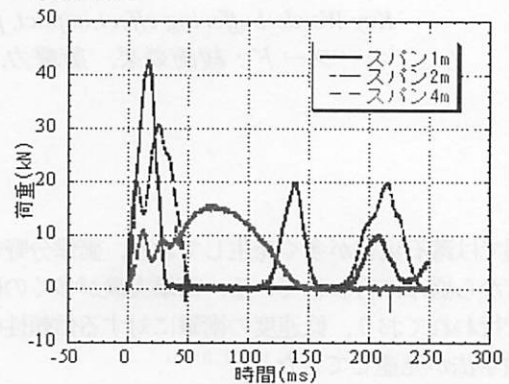


図-6 衝突速度 1m/s での荷重波形

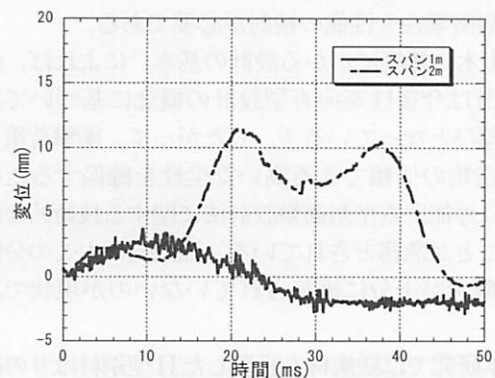


図-7 衝突速度 1m/s での変位波形

図-6に衝突速度 1m/s での荷重波形、図-7には衝突速度 1m/s での変位波形を示す。荷重波形、変位波形共にスパン長が長くなるにつれ、荷重継続時間が長くなっていることが分かる。また荷重、変位共にスパン長が長くなるにつれ最大荷重が低減していることが分かる。なおスパン 4m の変位波形については、レーザー変位計の測定範囲を超えてしまったためにデータが取れず、ここでは載せることができなかった。

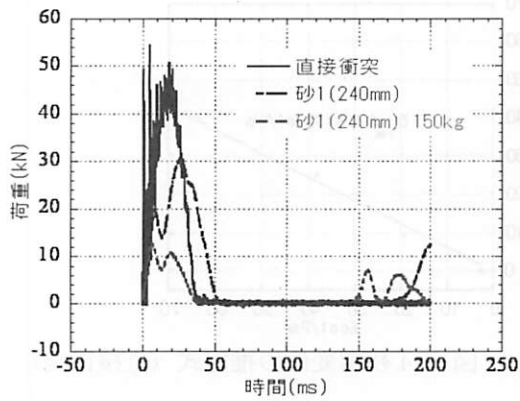


図-8 異なる载荷条件での荷重波形 (衝突速度 1m/s)

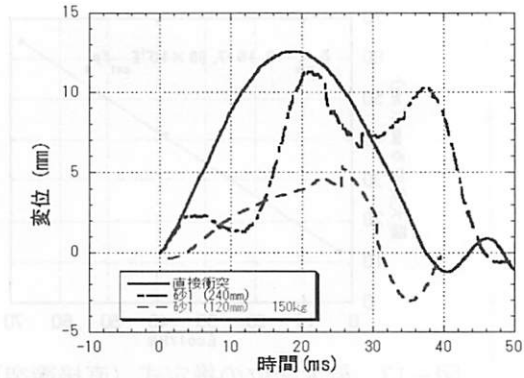


図-9 異なる载荷条件での変位波形 (衝突速度 1m/s)

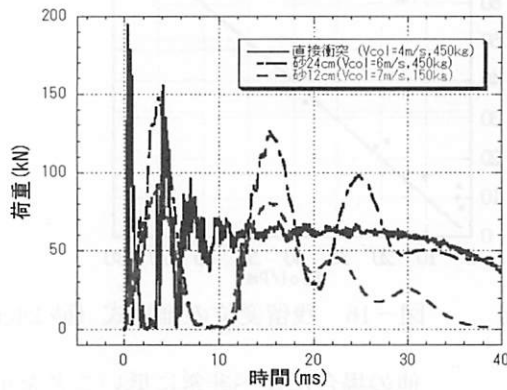


図-10 荷重波形

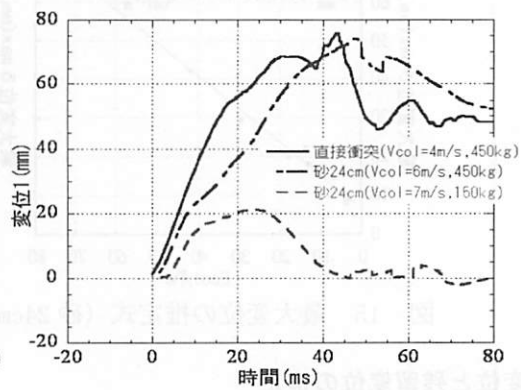


図-11 変位波形

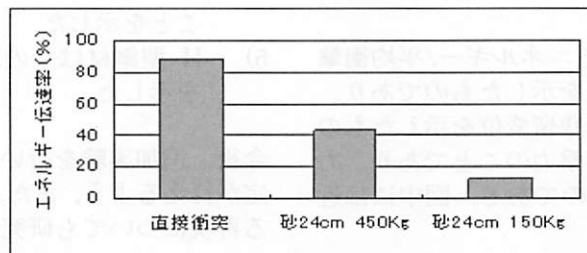


図-12 エネルギー伝達率

図-8と図-9は直接衝突と緩衝材を設置した場合、さらに重錘の質量を変えた場合の荷重波形、変位波形を比較したものである。荷重、変位共に緩衝材の設置により最大荷重、最大変位の低減と荷重継続時間が増加することがわかる。直接衝突と砂厚 24cmでの最大荷重は約 60%程度しかなく、砂による緩衝効果が大きいことが分かる。さらに直接衝突と砂を設置した場合ではその衝撃荷重の挙動が異なることがわかる。直接衝突の場合は初期の立ち上がりが非常に急激で、一度ピークを示した後に減少しているが、砂を設置した場合では、一度急激な立ち上がりを見せて減少し、さらにもう一度ピークを迎えていることが分かる。

図-11は緩衝材の有無による変位波形の違いを表したもので、図-10はそのときの荷重波形を表し

たものである。直接衝突は衝突速度 4m/s であるのに対し、砂厚 24cm は衝突速度 6m/s であるが、最大変位が同程度となっていることから砂による緩衝効果が認められた。

図-12は緩衝材と直接衝突とのエネルギー伝達率の比較である。エネルギー伝達率とは荷重-変位関係から求められるエネルギーを重錘の初期エネルギーで除したものである。やはりここでも砂による緩衝エネルギー伝達率の比較をしたもので衝効果が認められる。直接衝突の伝達エネルギーが 88.2%程度に対し、砂厚 24cm、重錘質量 450kg の場合は 42.8%程度と半分以下のエネルギーしか伝わっていない。また砂厚 24cm、重錘質量 150kg の場合は 12.8%程度であり、砂による緩衝効果と重錘質量の違いによる効果が確認できる。

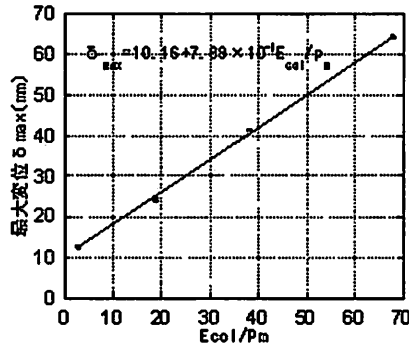


図-13 最大変位の推定式 (直接衝突)

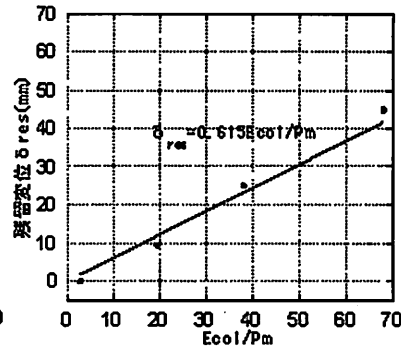


図-14 残留変位の推定式 (直接衝突)

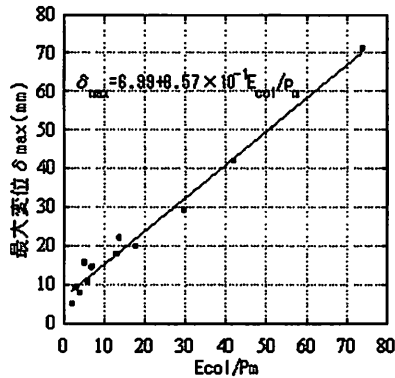


図-15 最大変位の推定式 (砂 24cm)

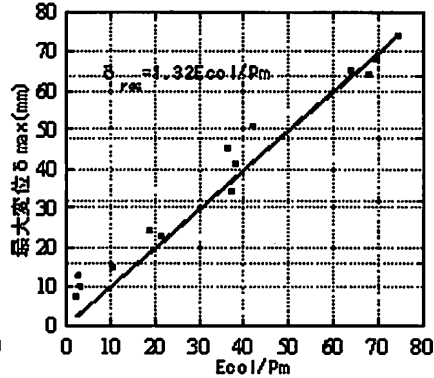


図-16 残留変位の推定式 (砂 24cm)

3.2 最大変位と残留変位の推定

性能照査形設計を行う場合、衝突条件が与えられた場合に構造の応答推定が行われることが必要である。

図-13 は直接衝突におけるエネルギー/平均衝撃力 E_{col}/P_m と最大変位の関係を示したものであり、図-14 には直接衝突における残留変位を示したものである。ここで P_m とは平均衝撃力のことであり、力積を荷重継続時間で除したものである。図中には近似式を示した。

同様に、図-15、図-16 には砂厚 24cm、スパン 2m における H 型鋼材はりのエネルギー/平均衝撃力 E_{col}/P_m と最大変位の関係を示したものとおよび残留変位の推定式を示す。図中には近似式を示した。

4. 結論

本研究では基本的な部材である H 型鋼材はりの衝撃実験を行い衝撃挙動について検討した。得られた結果は以下の通りである。

- 1) 緩衝材、またはスパン長の相違による荷重応答、変位応答について論じ、緩衝材と一体となった供試体の特性について示した。
- 2) 緩衝材の設置により最大荷重の低減と荷重継続時間が増加することがわかった。直接衝突と砂を設置した場合では挙動が異なることを実験的に示した。
- 3) 衝突条件とはりへのエネルギー伝達率の関係を示し、砂を用いた場合にエネルギー伝達率が

他の場合に比べ非常に低いことを示した。

- 4) 砂を設置した場合の荷重応答、変位応答、エネルギー伝達率より、砂の衝撃緩衝効果が大きいことを示した。
- 5) H 型鋼材はりの最大変位と残留変位の推定式を示した。

今後、追加実験を行いデータを蓄積し、よりよい推定が行えるよう、また、FEM などを用いた解析による再現についても研究を進める予定である。

参考文献

- 1) 衝撃実験・解析法の標準化に関する研究小委員会：衝撃実験・解析の基礎と応用，土木学会，構造工学シリーズ 15，2004。
- 2) 高橋芳彦，大野友則，太田俊昭，日野伸一：衝撃荷重を受ける鉄筋コンクリートはりの弾塑性挙動に及ぼす材料のひずみ速度効果，構造工学論文集，Vol.37A，pp.1567-1580，1991。
- 3) 藤井学，宮本文穂，森川英典：衝撃を受ける鉄筋コンクリートはりの力学的挙動に関する基礎的研究，土木学会論文集，No.360/V-3，pp.51-68，1985。
- 4) 中田吉彦，榎谷浩，梶川康男，熊谷貴秀：重錘衝突による鉄筋コンクリートはりの衝撃特性に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.46A，pp.1831-1842，2000。
- 5) 土木建築に関わる設計の基本検討委員会：土木・建築にかかる設計の基本，国土交通省，2000。
- 6) 榎谷浩：衝撃を受ける構造物の性能照査型包括設計コードについて，第 8 回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集，土木学会，pp.273-282，2006。