

敷砂緩衝材を設置した扁平 RC 梁の耐衝撃挙動

Impact resistant behavior of flattened RC beam with sand cushion

室蘭工業大学大学院 ○ 正会員 栗橋 祐介 (Yusuke Kurihashi)
 (独) 寒地土木研究所 正会員 今野 久志 (Hisashi Konno)
 (独) 寒地土木研究所 正会員 山澤 文雄 (Fumio Yamasawa)
 釧路工業高等専門学校 フェロー 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)

1. はじめに

近年、国内外において、地震や集中豪雨に起因する落石や土石流、強風や竜巻による飛来物被害などの災害の発生件数が増加しており、衝撃的な外力によって構造物が損傷する災害も多発している。このような災害から人命や財産を守るためには、想定される外力に対する構造物の耐衝撃挙動および耐衝撃性能を把握し、必要に応じて耐衝撃性向上等の対策を講じなければならない。

著者らはこれまで、最も基本的な構造要素である梁に着目し、その耐衝撃設計法の確立に向けた検討を行ってきた。その結果、衝撃力が直接的に部材に作用する場合には、入力エネルギーと梁のたわみ量が線形関係にあり、かつ断面毎に固有の増加勾配を有することを明らかにし、これらの関係を利用した耐衝撃設計法を提案している^{1),2)}。

一方、ロックシェッドなどの実構造物においては、衝撃荷重作用面に緩衝材が設置されている場合が多い。しかしながら、緩衝材と構造物が複合する場合のエネルギー吸収特性については、未だ解明されていないのが現状である。構造物の耐衝撃性は、緩衝材の設置により大きく改善されることから、緩衝材を設置した構造物の合理的な耐衝撃設計法を確立することは極めて重要であり、そのためには、衝撃実験などにより梁の耐衝撃挙動やエネルギー吸収特性を適切に把握することが肝要であるものと考えられる。

このような背景より、本研究では、ロックシェッド頂版部などの面部材を模擬した扁平 RC 梁の耐衝撃挙動に及ぼす敷砂緩衝材の影響を検討することを目的に、敷砂緩衝材設置の有無を変化させた扁平 RC 梁の静的および衝撃荷重実験を行った。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

表-1には、本実験に用いた試験体の一覧を示している。試験体数は緩衝材の有無および荷重方法を変化させた全11体である。本試験体は一般的なロックシェッドの頂版部を模擬しているため、緩衝材として敷砂を設置している。緩衝材の寸法は実規模ロックシェッドの寸法より相似則を用い、算定している。

本実験では静荷重実験および単一衝撃荷重実験を実施し、敷砂緩衝材の影響について検討を行っている。表中の試験体名の第1項目は敷砂緩衝材の有無(N: 無, S: 有)、第2項目は荷重方法(S: 静的, I: 単一)を示している。

図-1には、試験体の概要を示している。試験体は、断面寸法(幅×高さ)が450×150mmの扁平断面を有する

複鉄筋 RC 梁である。試験体の配筋は、一般的なロックシェッドの頂版部を模擬しているため、引張側鉄筋比は0.75%程度であり、圧縮側鉄筋比はその半分程度である。

鉄筋量が軸方向鉄筋の50%程度を目安に、上面がD10、下面がD13をいずれも120mm間隔で配置している。かぶり厚は、いずれの部材も鉄筋からの芯かぶりであり高さ方向40mm、幅方向45mmとしている。また、実験時におけるコンクリートの圧縮強度は25.2MPa、軸方向鉄筋の降伏強度はD10およびD13でそれぞれ375, 377MPaであった。

2.2 緩衝材概要

敷砂試験体においては、厚さ200mmの敷砂緩衝材を梁中央部の450mm四方の範囲に設置している。用いた緩

表-1 実験ケース

試験体名	緩衝材	荷重方法	設定落下高さ H (m)	実測衝突速度 (m/s)
N-S	無	静荷重	-	-
N-I		単一	0.1	1.24
			0.25	2.06
			0.5	2.98
			1.0	4.20
1.5	5.13			
S-I	有	0.5	2.95	
		1.0	4.20	
		2.0	5.92	
		3.0	7.25	
			4.0	8.41

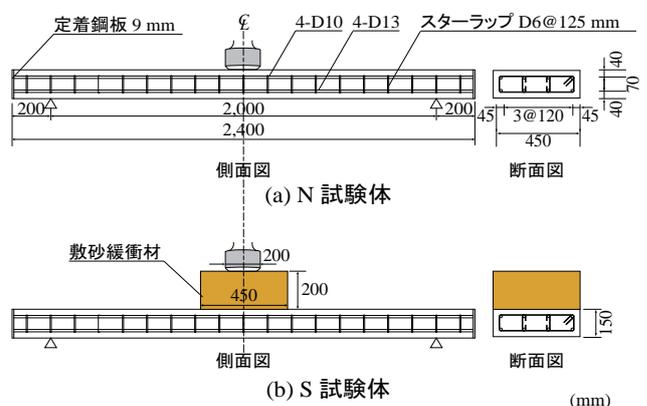


図-1 試験体図

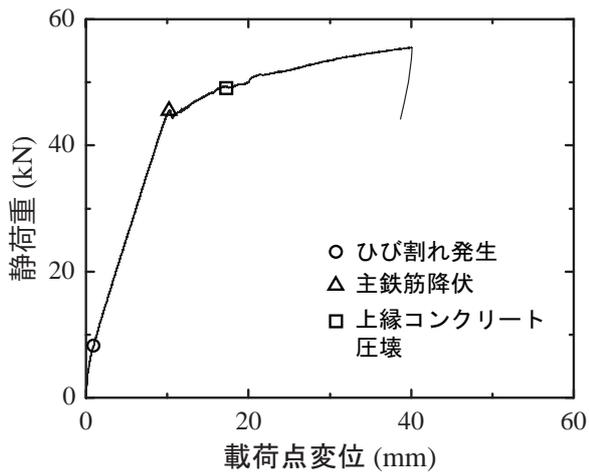


図-2 荷重-変位関係 (N-S 試験体)

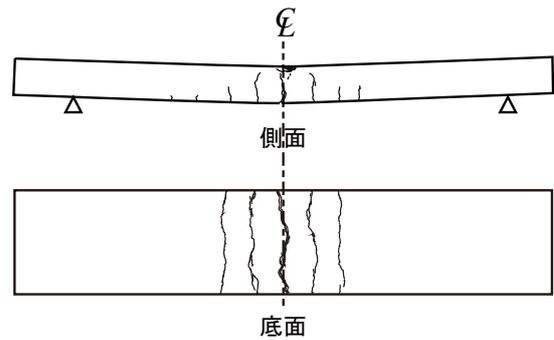
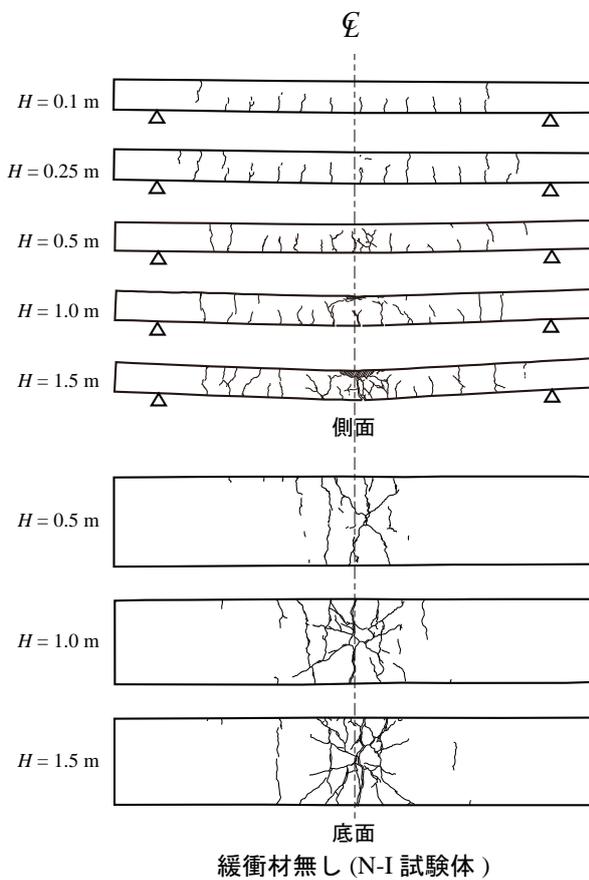
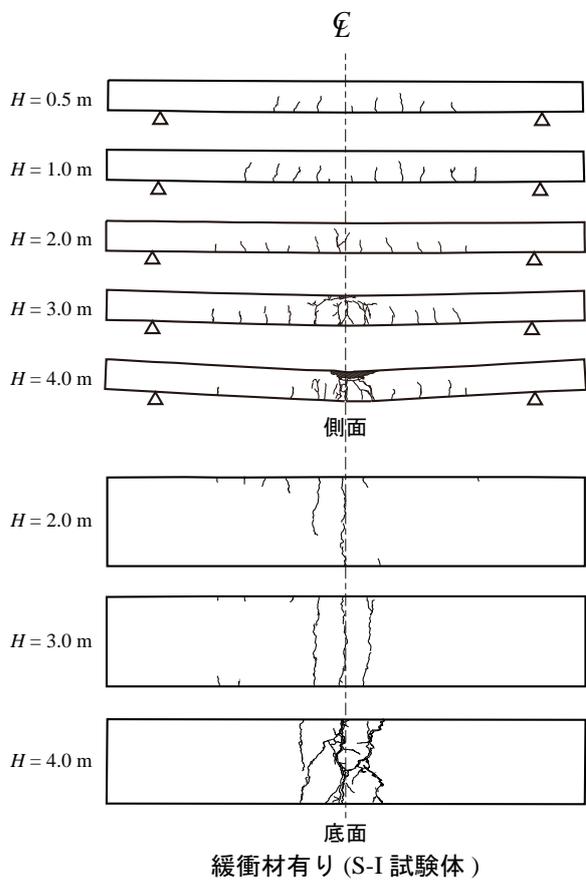


図-3 静載荷実験終了後のひび割れ性状 (N-S 試験体)



緩衝材無し (N-I 試験体)



緩衝材有り (S-I 試験体)

図-4 衝撃載荷実験終了後のひび割れ性状

衝材は北海道石狩市知津狩産で分類が細砂の敷砂であり、粗粒率、最大乾燥密度および最適含水比はそれぞれ 1.37, 1.516 g/cm³, 19% となっている。緩衝材は、鋼製枠を用いて設置した。締固めは、厚さ 100 mm ごとに足踏みによって行い、所定の厚さである 200 mm に成形した。実験時における敷砂の含水率は 9.9% であった。

2.3 実験方法および測定方法

静載荷実験は梁幅方向に 450 mm、梁長さ方向に 100mm の載荷板をスパン中央部に設置し、容量 500 kN の油圧

ジャッキを用いて載荷した。衝撃載荷実験は、質量 300 kg、先端直径 200 mm の鋼製重錘を所定の高さから RC 梁のスパン中央部に一回のみ自由落下させて行った。重錘底部は、2 mm のテーパを有する球面状となっている。RC 梁は、浮き上がり防止治具付きの支点上に設置しており、支点部の境界条件はピン支持に近い状態になっている。RC 梁の終局状態は、既往の研究と同様に残留変位量が純スパン長の 2% 程度に達した状態と定義している。

測定項目は重錘衝撃力 (静的の場合は載荷荷重) P 、両支

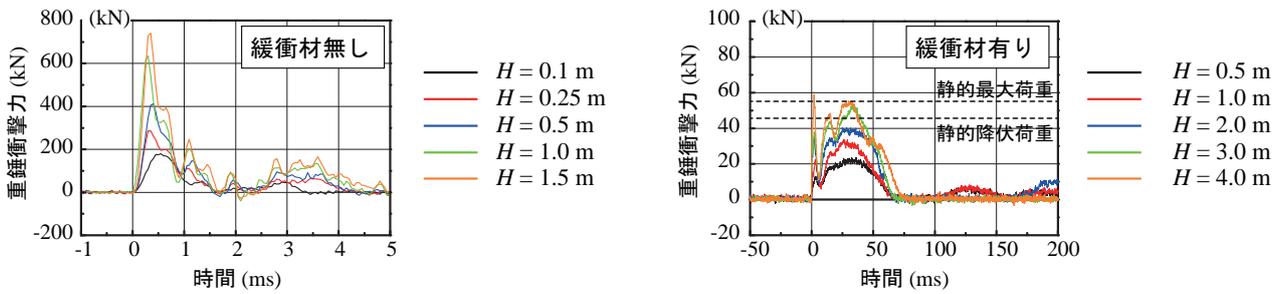


図-5 重錘衝撃力波形

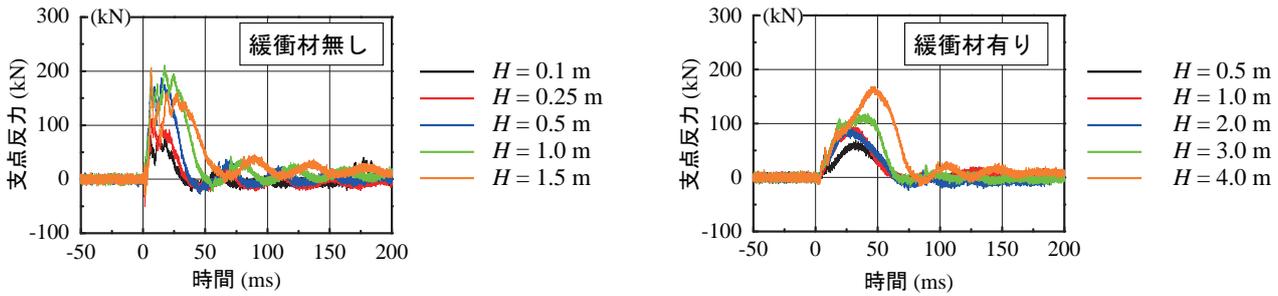


図-6 支点反力波形

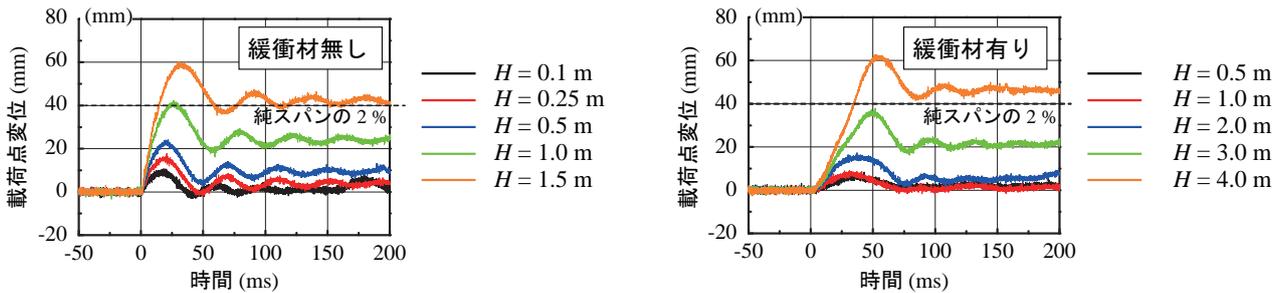


図-7 載荷点変位波形

点の合支点反力(以後、支点反力) R 、載荷点変位 δ 、重錘移動量 D である。なお、実験終了後には RC 梁を撮影し、ひび割れ性状を観察している。

3. 実験結果および考察

3.1 静載荷実験結果

図-2には、N-S 試験体における荷重-変位関係を示している。図より、主鉄筋が降伏する $P=45$ kN 程度までは荷重が概ね線形に増加するものの、その後は増加勾配が著しく低下し、変位が増大する傾向にある。実験では、載荷点変位が 40 mm に至った時点で除荷し実験を終了した。

図-3には、N-S 試験体の実験終了後における側面および底面のひび割れ性状を示している。図より、上縁コンクリートの圧壊や曲げひび割れが卓越する性状を示していることが分かる。また、底面には、部材軸直角方向のひび割れが発生している。これらのことから、一方向曲げが卓越した変形状を示していることが分かる。

3.2 衝撃載荷実験結果

(1) ひび割れ性状

図-4には、N/S-I 試験体の実験終了時における側面お

よび底面のひび割れ性状を示している。図より、緩衝材を設置していない N 試験体の側面には両支点付近まで広い範囲に曲げひび割れが発生していることが分かる。また、試験体底面には中央部から放射状に多くのひび割れが発生していることが分かる。一方、緩衝材を設置した S-I 試験体の側面の曲げひび割れは、N-I 試験体よりも少ないものの、スパン中央部において大きく開口している。これは、S-I 試験体の場合は敷砂緩衝材の設置により一方向曲げが卓越したことによるものと考えられる。また、底面のひび割れ分布は、前述の静載荷実験後の分布に類似していることが分かる。

(2) 時刻歴応答波形

図-5より、緩衝材無しの場合の重錘衝撃力波形は、継続時間 1 ms 程度の三角波に高周波成分が合成された性状を示している。また、落下高さ H の増加に伴って最大振幅が増大する傾向にあり、 $H=1.5$ m の場合において、700 kN 以上の衝撃力が発生している。これに対し、緩衝材有りの場合には、継続時間が 70 ms 程度の正弦半波が励起している。落下高さ H が大きい場合ほど、最大振幅が大きくなる傾向にあるものの、その最大値は 60 kN 程度である。これは、前述の静載荷実験における最大荷重と対

応していることから、緩衝材有りの場合には、重錘衝撃力は部材の曲げ耐力に大きく依存している可能性があるものと考えられる。

図-6より、支点反力波形において緩衝材無しと緩衝材有りの結果を比較すると、重錘衝突時における波形の立ち上がり勾配が異なるものの、最大振幅および主波動継続時間は概ね対応していることが分かる。また、図-7より、載荷点変位波形においても、緩衝材の有無の違いを比較すると、図-6の場合と同様に、重錘衝突時の立ち上がり勾配が異なるものの、最大振幅や主波動継続時間および残留変位は概ね対応している。

このことから、緩衝材の有無により、重錘衝撃力波形が大きく異なる場合においても、支点反力波形や載荷点変位波形は、緩衝材の有無によらず類似の性状を示すことが明らかになった。これは、重錘衝撃力はその最大値が衝突直後に発生するため、部材の剛性や耐力が及ぼす影響は小さいのに対し、支点反力や載荷点変位波形は部材の耐荷性能に依存する物理量であることによるものと考えられる。

なお、本実験における緩衝材有りの試験体に関する重錘衝撃力波形は、重錘衝突直後に継続時間の周期の短い第1波が励起した後、継続時間の長い第2波が発生している。また、第2波の継続時間は、支点反力や載荷点変位の場合と概ね対応している。従って、本実験において、緩衝材有りの場合には、入力および応答波形の周波数特性が類似していることから、静載荷に近い載荷条件となっているものと推察される。

4. まとめ

本研究では、ロックシェッド頂版部などの面部材を模

擬した扁平 RC 梁の耐衝撃挙動に及ぼす敷砂緩衝材の影響を検討することを目的に、敷砂緩衝材設置の有無を変化させた扁平 RC 梁の静的および衝撃荷重載荷実験を行った。本実験の範囲内で得られた結果をまとめると、以下の通りである。

- 1) 重錘衝撃力波形は、敷砂緩衝材を設置することにより、最大応答値が著しく小さくなり、主波動継続時間が長くなる。また、支点反力や載荷点変位の最大応答値も敷砂緩衝材の設置により小さくなるものの、主波動継続時間の長さは大きく変わらない。
- 2) 敷砂緩衝材を設置した場合の扁平 RC 梁の耐衝撃挙動やひび割れ分布は、静載荷時における耐荷性状やひび割れ分布と類似の性状を示す。
- 3) 2)のような傾向は、緩衝材の寸法や特性および衝突速度により変化する可能性があるため、今後種々のパラメータを変化させた実験を行う必要があるものと考えられる。

参考文献

- 1) 岸 徳光, 三上 浩: 衝撃荷重載荷時に曲げ破壊が卓越する RC 梁の性能照査型耐衝撃設計法に関する一提案, 構造工学論文集, 土木学会, Vol. 53A, pp. 1251-1260, 2007.3
- 2) 岸 徳光, 三上 浩, 栗橋祐介: 四辺支持 RC 版の耐衝撃性に及ぼすコンクリート強度の影響と耐衝撃設計法, 構造工学論文集, Vol. 57A, pp. 1239-1250, 2011.3