

鋼製重錘による衝撃荷重を受ける RC 版の耐衝撃性状に与える敷砂緩衝材の影響

Effects of sand cushion on impact resistant behavior of RC slabs under falling-weight impact test

室蘭工業大学
三井住友建設(株)
室蘭工業大学大学院
室蘭工業大学大学院
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

フェロー 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)
フェロー 三上 浩 (Hiroshi Mikami)
正会員 岡田 慎哉 (Shinya Okada)
○学生会員 吉田 宏彰 (Hiroaki Yoshida)
非会員 Kristian Schellenberg

1. はじめに

落石衝撃荷重を受けるロックシェッド頂版部には、RC 構造が用いられている場合が多い。著者らは過去に衝撃荷重を受ける RC 版部材に対する実験的な検討を行い、RC 版部材の耐衝撃挙動には载荷盤の直径(重錘先端直径)の影響が非常に大きいことが明らかとなっている¹⁾。これらの実験は RC 版中央部に重錘を直接衝突させる直接载荷により行っている。しかしながら、実際のロックシェッドには通常、緩衝工が設置されており、設計においてもその効果が見込まれている。そのため、既往の著者らの実験結果と、実際の緩衝材を有するロックシェッドに落石衝撃荷重が作用した場合とでは、衝撃挙動に差異が生じることが想定される。

そこで本研究では、RC 版の耐衝撃性状に与える敷砂緩

衝材の影響を明らかにすることを目的として、敷砂緩衝材を設置した 4 辺支持 RC 版を対象に直径の異なる 2 種類の载荷盤を用いた重錘落下衝撃実験を実施し、衝撃挙動を比較検討した。ここでは、RC 版の形状寸法、鉄筋比、支持条件は全て同一とし、敷砂緩衝材の設置の有無および、载荷盤直径(60 mm, 150 mm)の影響について比較、検討することとした。

表-1 実験ケース一覧

試験体名	敷砂厚 (mm)	载荷盤 直径 d (mm)	コンクリート 圧縮強度 (MPa)	衝突速度 V (m/s)
N6	0	60	37.4	6
S6	100		32.2	6
N15	0	150	26.3	6, 7, 8
S15	100		32.2	6, 7 ~ 10*

*単一 6 m/s 载荷後、繰り返し载荷

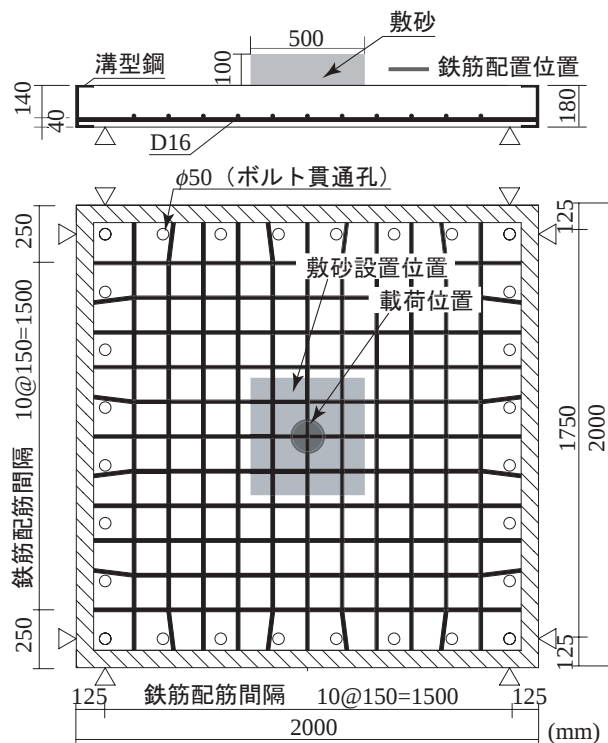


図-1 RC 版の形状寸法および配筋状況

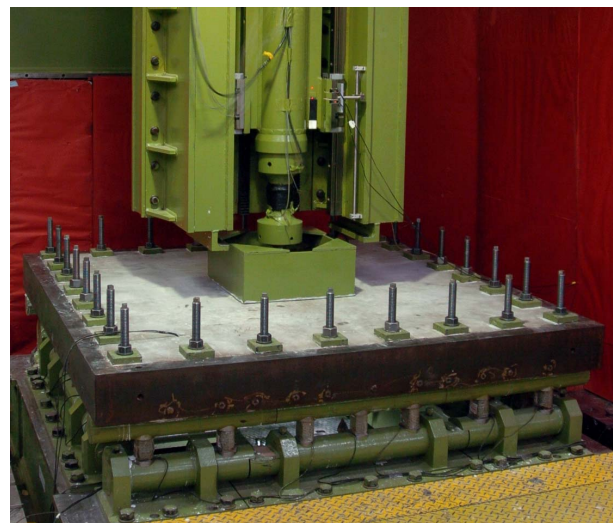


写真-1 実験状況

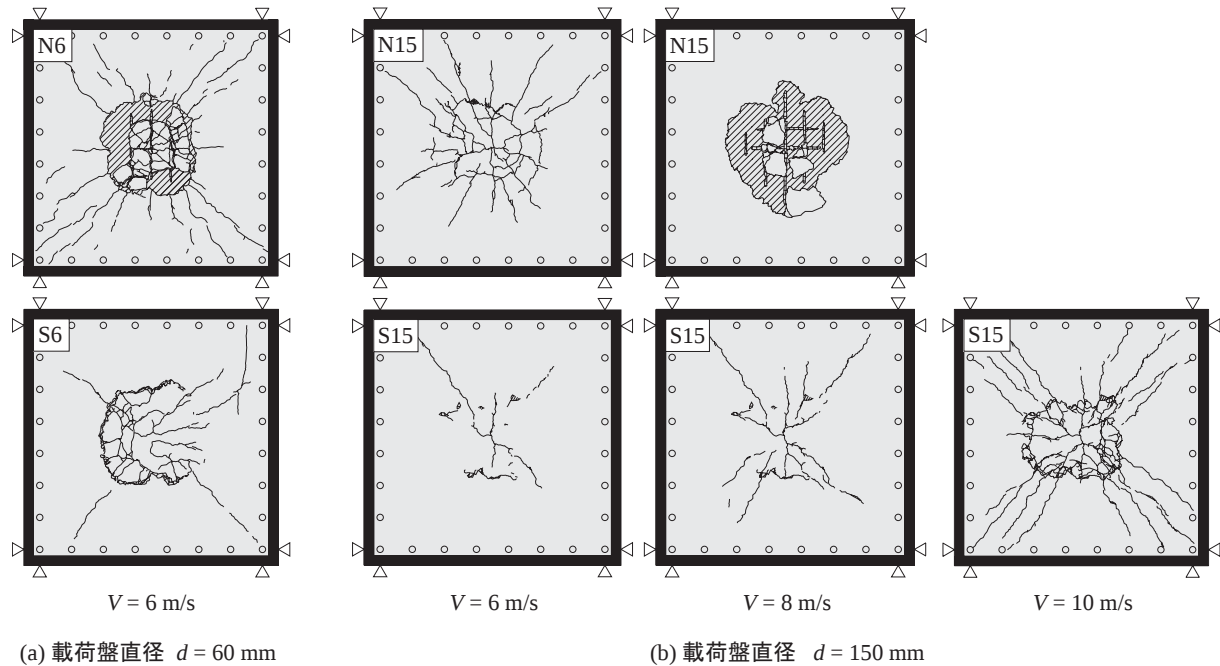


図-2 裏面におけるひび割れ分布性状

2. 実験概要

2.1 試験体の概要

図-1 には、本実験に用いた RC 版試験体の形状寸法を示している。試験体は、 $2000 \times 2000 \times 180 \text{ mm}$ 、有効高さが 140 mm となるように下端鉄筋を配筋した RC 版である。下端鉄筋には D16 を用い、版中央部より 150 mm 間隔で格子状に配筋している。なお、鉄筋の定着については RC 版の 4 辺に設置した溝型鋼に溶接し、定着を確保している。

表-1 には、本実験の実験ケースを一覧にして示している。表には敷砂緩衝材の有無、荷重盤直径、コンクリート圧縮強度、および衝突速度を示している。試験体名は、英文字が敷砂緩衝材の有無 (N: 敷砂無し, S: 敷砂有り) を示し、英文字に付随する数値は荷重盤の直径 (cm) を示している。なお、コンクリートの圧縮強度は、 $26.3 \sim 37.4 \text{ MPa}$ であり、鉄筋の降伏強度は S6 および S15 試験体で 376 MPa 、N15 試験体で 380 MPa 、N6 試験体で 423 MPa であった。荷重方法は、所定の衝突速度で 1 度だけ荷重する単一荷重法を採用した。ただし、S15 試験体は、 $V = 6 \text{ m/s}$ 荷重における損傷が小さかったため、 $V = 7 \text{ m/s}$ から増分速度を 1 m/s として押抜きせん断ひび割れが発生するまで漸増繰り返し荷重を行った。本実験に用いた試験体数は全 6 体である。

2.2 実験方法

写真-1 には、本実験の実験状況を示している。支持条件は四辺単純支持とし、支持間隔は 1.75 m としている。また、支点部は回転を許容し、かつ試験体の浮き上がりを拘束するピン支持に近い構造となっている。衝撃荷重荷重位置は RC 版中央とした。また、敷砂緩衝材を設置した S6 試験体および S15 試験体では、図-1 に示すように荷重位置を中心に $500 \times 500 \times 100 \text{ mm}$ の敷砂緩衝材を設置している。

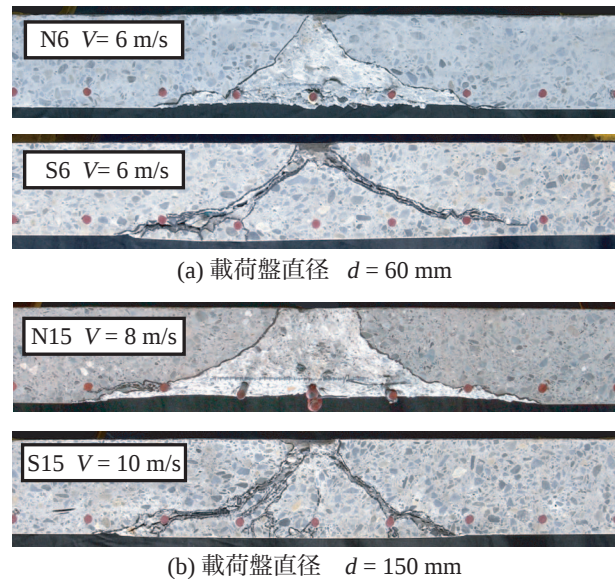
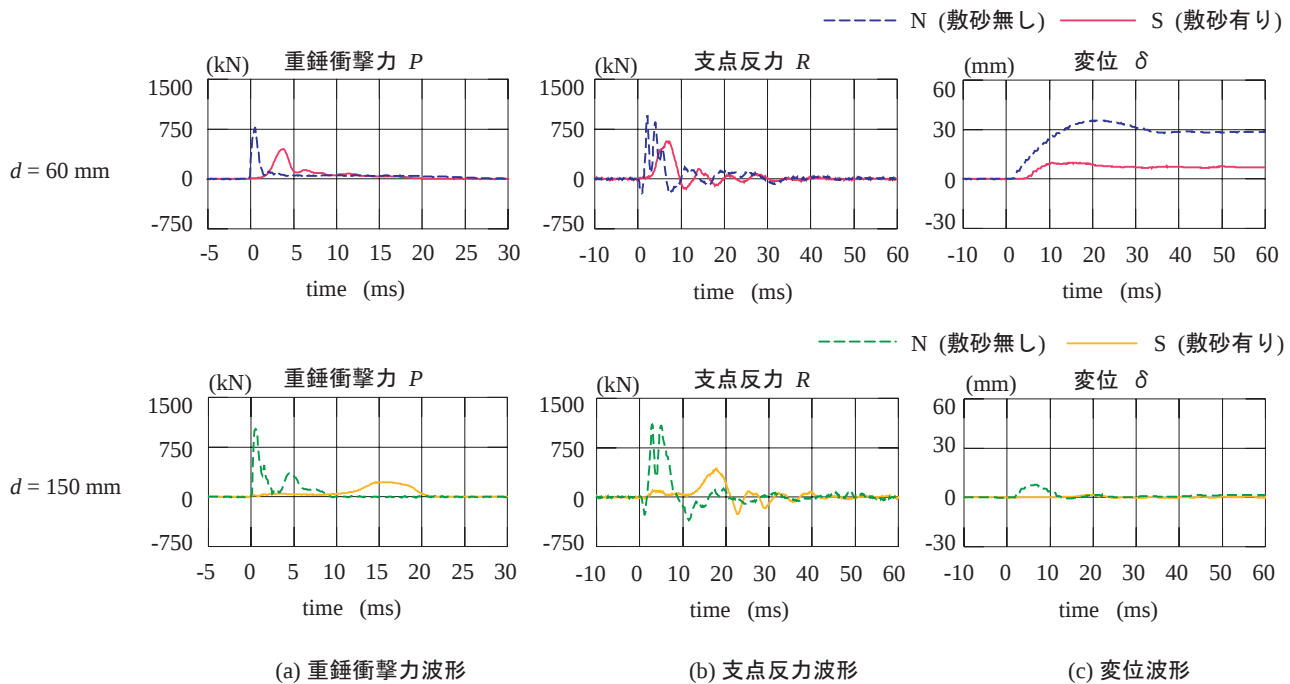


写真-2 切断面におけるひび割れ分布性状

本実験では、鋼製重錘の質量は荷重盤の直径にかかわらず 300 kg とし、衝突面は重錘の片当たりを防止するために 2 mm のテーパを有する球面状としている。

実験における測定項目は、重錘に設置したロードセルによる重錘衝撃力 P 、支点治具に設置した複数のロードセルによる合支点反力 R (以後、支点反力) および非接触式レーザ変位計による荷重点直下の変位 δ (以後、変位) である。また、実験終了後には、RC 版の裏面のひび割れ、および版中央部を主鉄筋方向に切断した切断面のひび割れを撮影し、破壊性状を観察した。

図-3 重錘衝撃力、支点反力および変位に関する応答波形 ($V = 6 \text{ m/s}$)

3. 実験結果および考察

3.1 破壊性状

図-2には、実験終了後における各RC版裏面のひび割れ分布性状を示している。図には、N6/S6試験体の $V = 6 \text{ m/s}$ およびN15/S15試験体の $V = 6 \text{ m/s}$ 、および $V = 8 \text{ m/s}$ 、S15試験体の $V = 10 \text{ m/s}$ 時の結果を示している。

また、写真-2には、N6/S6の $V = 6 \text{ m/s}$ 、S15の $V = 8 \text{ m/s}$ およびS15の $V = 10 \text{ m/s}$ の版中央部の結果切断面のひび割れ状況を示している。

図-2の荷重盤直径が60 mmのN6/S6試験体の結果より、敷砂の有無にかかわらず、円形の押抜きせん断ひび割れの形成が確認できる。またN6試験体では、押抜きせん断ひび割れ内部でコンクリートの剥落が見られ、対角線状の曲げひび割れも確認できる。一方、S6試験体では、押抜きせん断ひび割れは、N6試験体よりも若干大きく示されているものの、N6試験体のようなコンクリートの剥落は見られない。荷重盤直径が150 mmの試験体より、 $V = 6 \text{ m/s}$ のN15、S15試験体を見ると、N15試験体では円形の押抜きせん断ひび割れが確認できるものの、S15試験体では対角線状の曲げひび割れが若干確認できるのみである。

また、 $V = 8 \text{ m/s}$ では、N15試験体で明瞭な押抜きせん断ひび割れが発生し、コンクリートが剥落しているものの、緩衝材を設置したS15試験体では曲げひび割れが対角線状に確認できる程度である。また、S15試験体は、 $V = 10 \text{ m/s}$ で円形状の押抜きせん断ひび割れが確認できるものの、コンクリートの剥落は生じていない。以上より、荷重盤の直径にかかわらず敷砂緩衝材を設置することにより、押抜きせん断破壊のが抑制されることがわかる。また、損傷の状況から荷重盤直径の大きい場合でより緩衝効果が発揮されることが明らかになった。

3.2 RC版の押抜きせん断性状

写真-2には、実験終了後における各試験体の切断面を示している。写真-2より、N6、S6試験体を比較すると、N6試験体では荷重位置より 45° に近い角度で押抜きせん断面が形成され、S6試験体では、N6試験体のよりも緩やかな角度で押抜きせん断面が形成されていることが分かる。また、 $V = 6 \text{ m/s}$ のN15試験体では、荷重盤端部でほぼ鉛直にひび割れが生じ、その下部から斜めのせん断ひび割れが生じている。それに対して $V = 10 \text{ m/s}$ のS15試験体では荷重位置より約 45° の角度で押抜きせん断面が形成されていることが分かる。以上のことより、敷砂緩衝材を設置することで、押抜きせん断面の角度が緩やかになり、衝撃力をより広い面で受ける傾向にあることが分かる。

3.3 重錘衝撃力、支点反力および変位波形

図-3には、 $V = 6 \text{ m/s}$ における各試験体の重錘衝撃力 P 、支点反力 R および変位 δ に関する応答波形を荷重盤直径ごとに示している。なお、時間軸は重錘衝撃力が励起した時刻を0 msとして整理した。

図-3(a)より、重錘衝撃力波形 P は、N6試験体で衝突初期に励起する振幅が大きく周期の短い第1波と、その後の振幅が小さく周期が長い第2波で構成されている。これに対し、S6試験体は、衝突後約2 msで重錘衝撃力が増大し、周期が6 ms程度の振幅の大きい正弦半波状の第1波と周期が長く振幅の小さい第2波で構成されている。また、N15試験体は衝突初期に発生する振幅が大きく周期の短い波形が2度励起しているものの、全体的な性状はN6試験体と同様である。これに対し、S15試験体では、衝突後10 ms程度から重錘衝撃力が増大し、振幅が小さく周期の長い波形を示している。これより、敷砂緩衝材の設置により、衝撃力の発生時刻を遅延させ、発生する衝撃力が低減

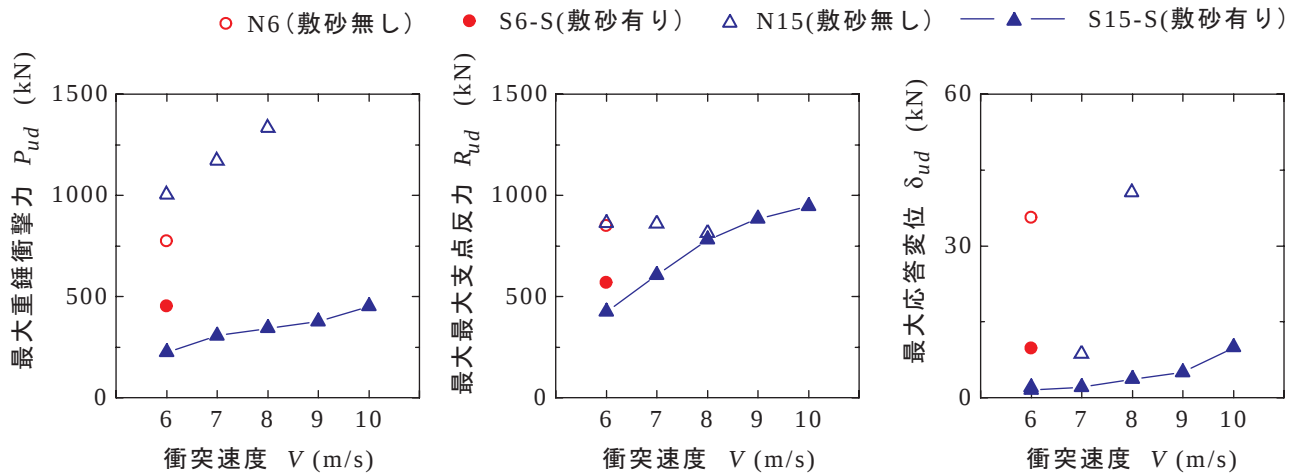


図-4 各最大応答値と衝突速度との関係

する傾向にあることが分かる。

図-3 (b) より、敷砂の無い N6, N15 試験体は最大応答値は異なるものの、ほぼ同様の性状を示している。すなわち、衝突初期に周期が 6～8 ms 程度の正弦半波および、それに後続する減衰波と、周期が 3～4 ms 程度の高周波成分が合成された性状を示している。それに対し、S6, S15 試験体は支点反力の増大する時刻は異なるものの、いずれも正弦半波状および後続する減衰波状を示している。これより、敷砂緩衝材により支点反力も励起する時刻が遅延し、最大応答値も小さくなる傾向にあることが分かる。

図-3 (c) より、N6, N15 試験体の変位波形は衝突初期より変位が増大し、正弦半波状の性状を示している。一方 S6, S15 試験体では若干遅延して変位が増大している。また、最大変位は S6, S15 試験体で各々 N6, N15 試験体よりも小さく示されている。

3.4 各最大応答値と衝突速度との関係

図-4 には、応答波形から得られる最大重錘衝撃力 P_{ud} 、最大支点反力 R_{ud} 、および最大応答変位 δ_{ud} 、と衝突速度との関係を示している。S6 試験体の最大重錘衝撃力は、 $V = 6$ m/s 時で N6 試験体の約 60 %、S15 試験体は N15 試験体の 25 % と敷砂緩衝材の効果が大きく表れている。また、速度の増加とともに最大重錘衝撃力はほぼ線形に増加している。

最大支点反力は、 $V = 6$ m/s 時で、S 試験体は N 試験体の 50～60 % 程度となっている。N15 試験体の最大支点反力は低下する傾向があるのに対し、S15 試験体は線形に増大

している。これは、敷砂緩衝材の設置によって衝撃力が分散し、鉄筋がより健全な状態にあることを示すものと考えられる。

N15 試験体と S15 試験体の最大応答変位を比較すると、 $V = 7$ m/s 以降で大きく異なっていることが分かる。これは、N15 試験体は押抜きせん断破壊により終局に至っているものの、S15 試験体ではより健全な状態であることが分かる。

4. まとめ

本研究では、重錘衝撃力による衝撃荷重を受ける RC 版の耐衝撃性状に与える敷砂緩衝材の影響の検討を目的に 2 種類の載荷盤直径を用いて敷砂緩衝材の有無に着目した RC 版の重錘落下衝撃実験を実施した。本研究の範囲内で明らかになったことをまとめると以上の通りである。

- (1) 重錘衝撃力を受ける RC 版に敷砂緩衝材を設置することにより、大きな緩衝効果が得られることが確認できた。重錘衝撃力、支点反力、変位の最大応答値は敷砂の無い場合に比して 20～60 % 程度となる。
- (2) 敷砂緩衝材の緩衝効果は載荷盤の直径が大きいほど大きく発揮される。

参考文献

- 1) 岸 徳光, 三上 浩, 今野 久志, 相良 光利, : RC 版の重錘落下衝撃挙動に及ぼす重錘直径の影響, 土木学会北海道支部論文報告集 第 64 号, A-36, 2007.2