

支持条件の異なるRC版の衝撃荷重載荷実験

Impact loading tests on RC slabs with various support conditions

室蘭工業大学大学院 ○学生会員 又坂 文章 (Fumiaki Matasaka)
室蘭工業大学大学院 フェロー 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)
三井住友建設(株) フェロー 三上 浩 (Hiroshi Mikami)
室蘭工業大学大学院 正会員 栗橋 祐介 (Yusuke Kurihashi)

1. はじめに

鉄筋コンクリート(RC)製の面材に静的かつ局所的に荷重が作用すると押抜きせん断破壊を示すことが知られている。そこで著者らは、これまで落石覆工頂版部などに用いられるRC版の耐衝撃性を検討するため、四辺支持RC版の静的および衝撃荷重載荷実験を行い、RC版の耐衝撃設計手法を提案している^{1),2)}。

しかしながら、これらの実験的研究は、実構造物を想定した種々の支持条件に関する検討には至っていないのが現状である。特に落石防護覆工頂版部は壁や柱で支持されるため、一対辺支持他対辺自由(以後、二辺支持)もしくは一辺支持+他対辺点支持となるのが一般的である。

このような背景より、著者らは、支持条件を四辺支持、

二辺支持および一辺支持+二隅角点支持の3種類に変化させた2m四方の2方向RC版の衝撃荷重載荷実験³⁾を実施した。その結果、1)版厚180mmの場合には支持条件の違いにかかわらず、RC版は押抜きせん断破壊すること、2)四辺支持の場合は押抜きせん断破壊が卓越するが、一辺+二隅角点支持の場合等では、最終的には押抜きせん断破壊するものの拘束度の減少とともに曲げ破壊の傾向が顕著に表れること、を明らかにした。

しかしながら、これらの知見は限定的な条件下における実験的研究により得られてものであることより、RC版の耐衝撃性に及ぼす支持条件の影響を明らかにするためにはRC版の形状寸法を変化させた実験研究等、さらなるデー

表-1 試験体一覧

試験体名	支持条件	コンクリート強度(MPa)	衝突速度(m/s)	計算押抜きせん断耐力 V_{pcd} (kN) (1)	実測押抜きせん断耐力 P_{us} (kN) (2)	(2)/(1)
S4-3.5	四辺支持	27.3	3.5	167.2	195.2	1.17
S4-4.0			4.0			
S4-4.5			4.5			
S2-4.0	二辺支持	29.4	4.0	173.5	186.0	1.07
S2-4.5			4.5			
S2-5.0			5.0			
S1-4.0	一辺+二隅角点支持	30.0	4.0	175.3	177.3	1.01
S1-4.5			4.5			
S1-5.0			5.0			

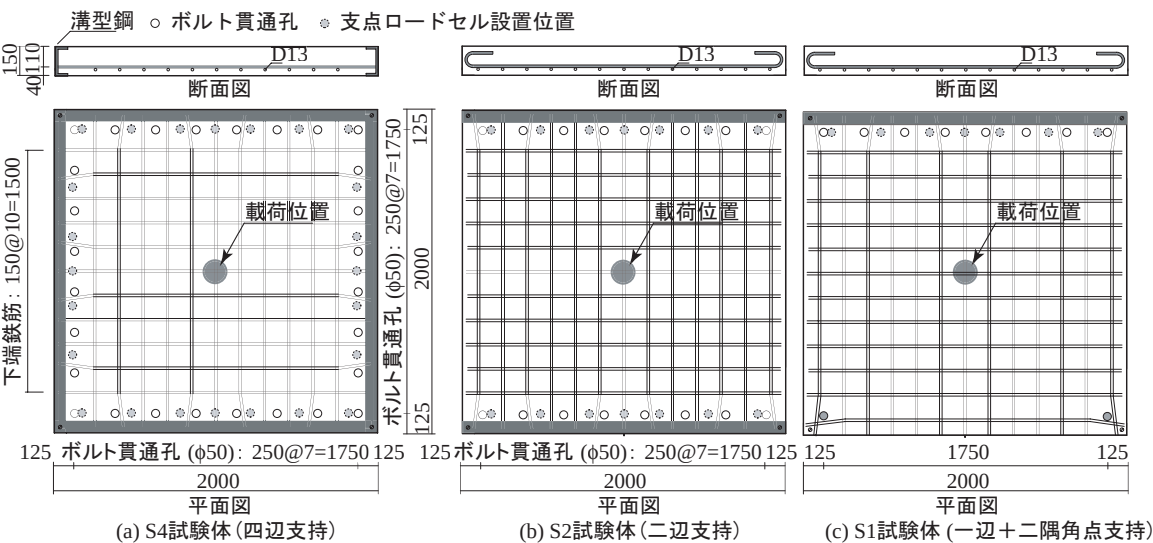


図-1 試験体の形状寸法および配筋状況

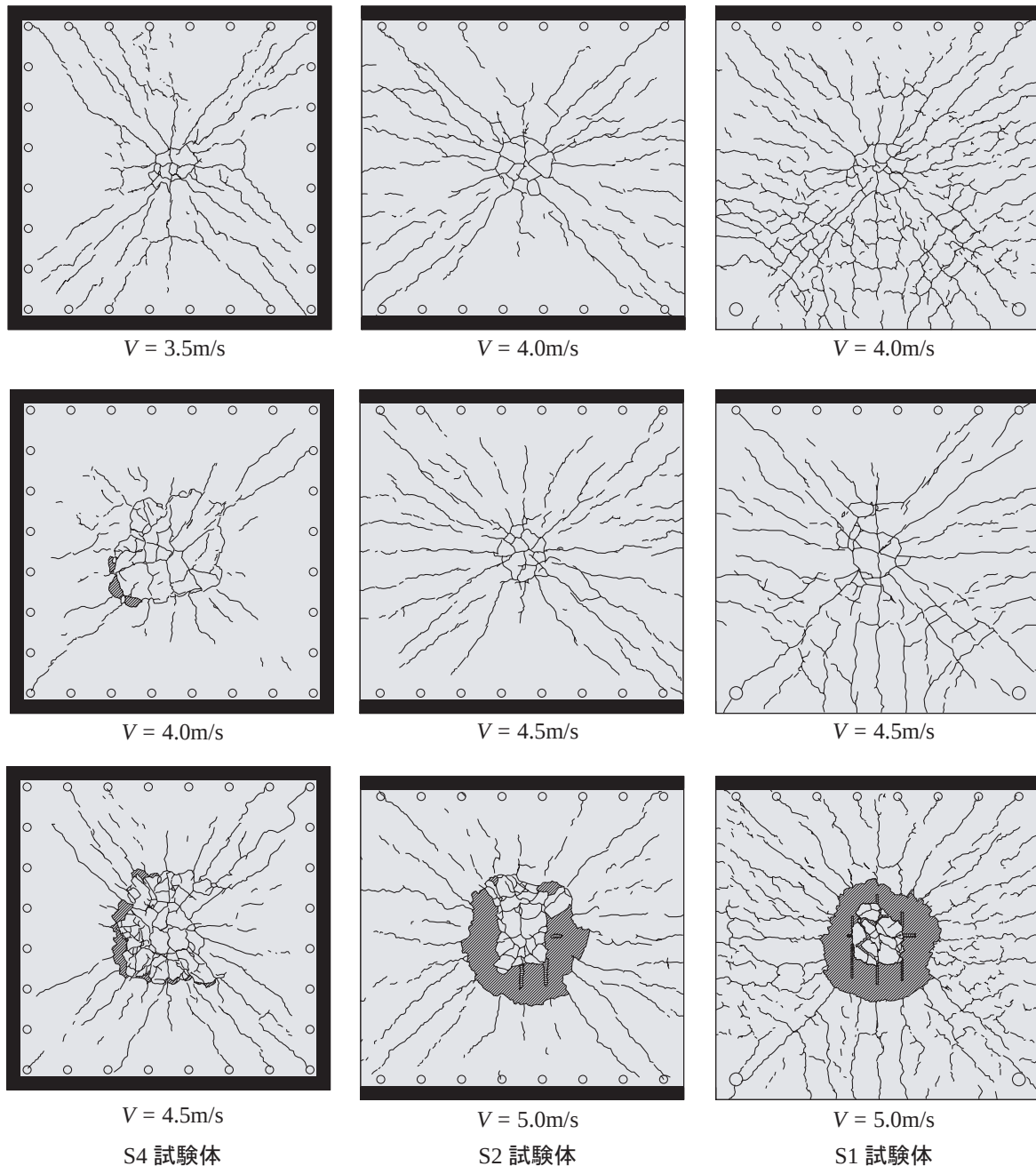


図-2 実験終了後におけるRC版裏面のひび割れ分布性状

タの蓄積が必要であるものと考えられる。特に、前述の既往の研究成果より版厚を小さくすることにより支持条件変化の影響がよって顕在化するものと考えられる。

このような観点より、本研究では、RC版の耐衝撃性に及ぼす支持条件の影響を明らかにすることを目的にRC版の重錘落下衝撃実験を行った。なお、版厚は既往の研究³⁾の場合よりも小さく設定した。

2. 実験概要

表-1には、本実験に用いたRC版の一覧を示している。また、別途実施した静載荷実験の結果も示している。なお、表中の計算押抜きせん断耐力 V_{pcd} は、コンクリート標準示方書[設計編]⁴⁾に準拠して算出したものである。試験体数は、支持条件を3種類に変化させた全9体である。表中の試験体名のうち、第一項目は支持条件(S4: 四辺支持, S2: 二辺支持, S1: 一辺+二隅角点支持)を示し、第二項目は落

下速度を示している。いずれの支持条件においても支点部は、回転を許容し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。衝撃荷重載荷位置はRC版の中央とし、質量300 kg、先端直径90 mmの鋼製重錘を所定の高さから一度だけ自由落下させる単一載荷により重錘落下衝撃実験を行った。なお、本実験では、押抜きせん断破壊によりRC版裏面のかぶりコンクリートの剥落が顕在化する状態を終局と定義した。実験では、S4試験体では衝突速度 $V = 4.5\text{ m/s}$ で、S2/S1試験体の場合にはともに $V = 5.0\text{ m/s}$ で終局に至った。

図-1には、試験体の形状寸法および配筋状況を支持条件ごとに示している。本実験に用いたRC版は、寸法が $2,000 \times 2,000 \times 150\text{ mm}$ の単鉄筋RC版である。鉄筋にはD13を用い、版中央部より150 mm間隔で格子状に配置した。なお、鉄筋の定着方法は支持条件によって異なっている。す

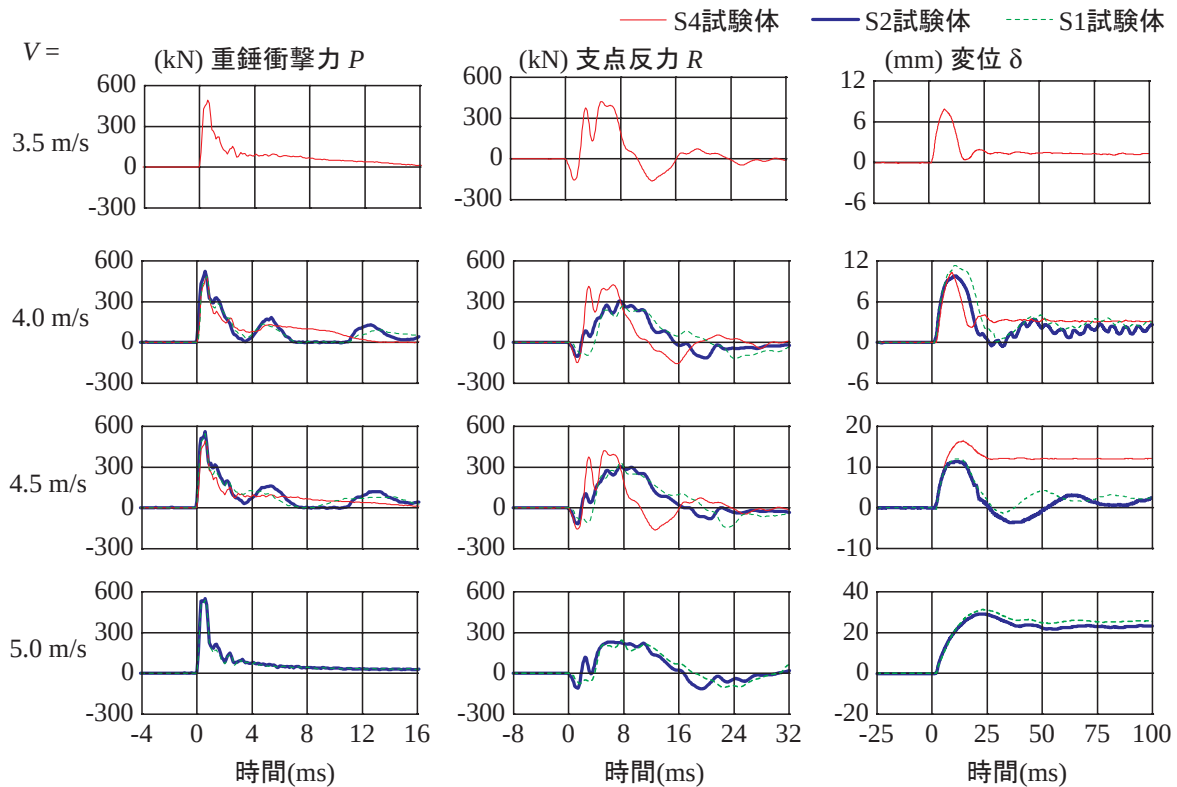


図-3 重錘衝撃力、支点反力および載荷点変位に関する応答波形

なわち、四辺支持の場合には、RC版の四辺に配置した溝型鋼に鉄筋を溶接固定している。また、二辺支持の場合には、RC版の両支点側の一对辺に溝型鋼を配置して鉄筋を溶接固定し、他対辺では鉄筋を折り曲げて定着させている。一辺+二隅角点支持の場合には、一辺支持側の一辺にのみ溝型鋼を配置し、他の三辺では鉄筋を折り曲げて定着を図っている。

実験時におけるコンクリートの圧縮強度は27.3～30.0 MPaであり、鉄筋の降伏強度は、393 MPaであった。測定項目は、重錘衝撃力 P 、合支点反力 R 、(以後、支点反力)および載荷点直下の変位 δ (以後、変位)である。また、実験終了後には、RC版の裏面を撮影し、ひび割れ性状を観察している。

3. 衝撃荷重実験結果

3.1 ひび割れ分布性状

図-2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。図より、S4試験体の場合には、ねじりモーメントに起因する放射状のひび割れの他、版中央部には押抜きせん断破壊に起因する円形状のひび割れが見られる。S2/I試験体の場合には、放射状のひび割れの他、自由端に直交する形で曲げひび割れが発生している。また、版中央部にはS4試験体と同様、円形状のひび割れが見られる。これらの傾向は、各RC版において衝突速度が大きい場合ほど顕著に現れることが分かる。

また、衝突速度 $V=4.5$ m/sでは、S4試験体はかぶりコンクリートが剥落しているのに対し、S2/I試験体ではこのような傾向は見られない。このことより単一載荷の場合、S2/I試験体がS4試験体よりも耐衝撃性に優れていると言える。

3.2 時刻歴応答波形

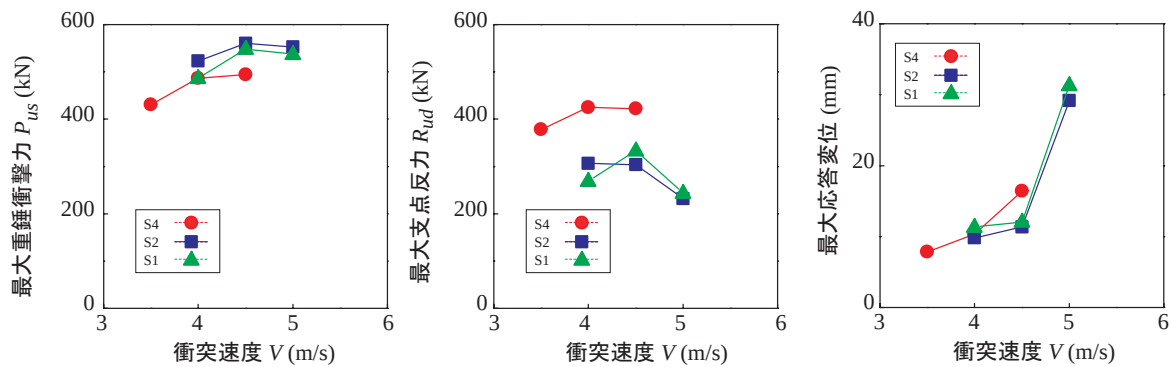
図-3には、各種時刻歴応答波形を示している。図より、

重錘衝撃力波形はS2/I試験体においてほぼ同様の性状を示していることがわかる。すなわち、衝突速度4、4.5 m/sでは、振幅が大きく継続時間が3 msec程度の第1波に振幅の小さい第2波および第3波が後続する性状を示している。また、衝突速度5 m/sにおいては、第2波目のピークが消失し第1波目に連続する波形となっている。これは、ひび割れ分布性状に見られたように、RC版が押抜きせん断破壊により抵抗力を失っていることを示すものである。一方、S4試験体の場合には、衝突速度 $V=3, 4, 5$ m/sにおいて前述したS2/I試験体の $V=5.0$ m/s時に類似した波形性状を示している。このことより、S4試験体は $V=3.5$ m/s時点において押抜きせん断破壊に近い損傷レベルに至っているものと推察される。

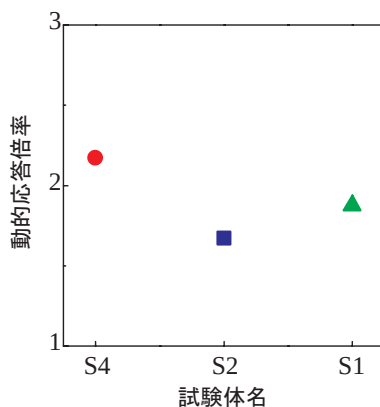
支点反力波形は、いずれのRC版も衝突速度 V によらず、継続時間の長い三角形波に高周波成分が合成された波形性状を示している。S4試験体の場合には、全般的にS2/I試験体に比較して支点反力が早期に励起し、その振幅は大きくかつ主波動の継続時間は短くなる傾向にある。これは、S4試験体の場合には、S2/I試験体に比較してたわみ剛性が高いことによるものと考えられる。

載荷点変位波形は、S2/I試験体の場合において類似の性状を示していることがわかる。すなわち、衝突速度 $V=4, 4.5$ m/sにおいては、衝突荷重載荷初期に正弦半波状の振幅の大きな波形が励起し、その後減衰自由振動を示している。ただし、 $V=4.5$ m/sでは、S2試験体がS1試験体に比較して大きく負の変位を示している。これは、S2試験体の変形モードがS1試験体の場合よりも一方向曲げの成分が卓越することによるものと考えられる。

また、 $V=5.0$ m/sにおいてはS2/I試験体ともに振幅の大きな第1波が励起した後、変位が残留している。これは、



図－４ 各種応答値



図－５ 動的応答倍率

RC版が完全に押抜きせん断破壊に至っていることによるものである。

一方、S4試験体の場合には、衝突速度によらず振幅の大きな第1波目が励起した後、変位が残留している。すなわち、S4試験体は $V=3.5$ m/sで押抜きせん断破壊に伴う損傷状態にあり、衝突速度の増加に伴って最大変位および残留変位が増大し $V=4.5$ m/sで著しい押抜きせん断破壊に至っている。

以上のことから、四辺支持の場合には剛性が高くかつ脆性的な耐衝撃性を示し、二辺支持および一辺＋二隅角点支持の場合には曲げ変形モードが顕在化し、四辺支持の場合よりもたわみ剛性の高い耐衝撃性を示すことが明らかになった。

3.3 各種応答値と衝突速度との関係

図－４には、重錘衝撃力 P_{ud} 、支点反力 R_{ud} および最大変位 δ_{ud} と衝突速度 V との関係を示している。図より、重錘衝撃力 P_{ud} は、衝突速度の増加に伴って増大する傾向にある。ただし、押抜きせん断破壊を生じたS4試験体の $V=4.5$ m/s、およびS2/1試験体の $V=5.0$ m/sでは、 P_{ud} が低下している。

支点反力 R_{ud} は、衝突速度 V によらず、S4試験体が最も大きな値を示し、S2/1試験体はほぼ類似の性状を示している。なお、 R_{ud} は重錘衝撃力 P_{ud} の場合と同様に押抜きせん断破壊を生じた時点で低下している。

最大応答変位 δ_{ud} は、衝突速度 V の増加に伴って大きくなる傾向を示している。また、衝突速度が同等の場合には、支持条件によらずほぼ同様の値を示している。なお、押抜きせん断破壊を生じた衝突速度において δ_{ud} が急激に増大

している。

3.4 動的応答倍率

図－５には今回の実験で得られた動的応答倍率を示している。本研究では動的応答倍率は最大支点反力を静的耐力で除して求めた。図より、S4試験体の場合には、2.2程度となっており、既往の研究と対応する結果となっていることがわかる。一方、S2/1試験体の場合には1.7程度とS4試験体よりも大幅に小さい。これは、S2/1試験体はS4試験体と静的耐力は同程度であるものの、曲げ変形が卓越する支持条件であるため、支持部に伝達される衝撃力(支点反力)が小さく、結果的に動的応答倍率の低下に至ったものと考えられる。

4. まとめ

本研究では、RC版の耐衝撃挙動に及ぼす支持条件と版厚の影響を検討することを目的に支持条件を三種類(四辺支持、二辺支持、一辺＋二隅角点支持)に変化させたRC版の衝撃荷重載荷実験を行った。本実験で得られた結果をまとめると以下の通りである。

- 1) RC版の耐衝撃性は、四辺支持の場合と二辺支持および一辺＋二隅角点支持の場合で大きく異なる。すなわち、四辺支持の場合には剛性が高くかつ脆性的な耐衝撃性を示し、二辺支持および一辺＋二隅角点支持の場合には曲げ変形モードが顕在化し、四辺支持の場合よりもたわみ剛性の高い耐衝撃挙動を示すことが明らかになった。
- 2) 動的応答倍率は、四辺支持の場合で2.2、二辺支持で1.7、一辺＋二隅角点支持で1.9であり、四辺支持の場合が最も大きい。

参考文献

- 1) 岸 徳光, 三上 浩, 栗橋祐介: 矩形RC版の衝撃耐荷挙動に及ぼす重錘直径の影響, 構造工学論文集, Vol.54A, pp.1034-1043, 2008.3
- 2) 岸 徳光, 三上 浩, 栗橋祐介: 低速度衝撃を受ける四辺単純支持RC版の耐衝撃設計法に関する一提案, 構造工学論文集, Vol.55A, pp.1327-1336, 2009.3
- 3) 岸 徳光, 三上 浩, 栗橋祐介: 支持条件の異なるRC版の静的および重錘荷重載荷実験, 構造工学論文集, Vol.56A, pp.1160-1168, 2010.3
- 4) 土木学会: コンクリート標準示方書[設計編], 2007年制定