

## 支持条件の異なる RC 版の静的および衝撃荷重載荷実験

Static and impact loading tests of RC slabs with various supporting conditions

岸 徳光\*, 三上 浩\*\*, 栗橋祐介\*\*\*

Norimitsu Kishi, Hiroshi Mikami and Yusuke Kurihashi

\*工博 室蘭工業大学大学院教授 社会基盤ユニット 暮らし環境系領域 (〒 050-8585 室蘭市水元町 27-1)

\*\*博 (工) 三井住友建設 (株) 技術開発センター 主席研究員 (〒 270-0132 千葉県流山市駒木 518-1)

\*\*\*博 (工) 室蘭工業大学大学院講師 社会基盤ユニット 暮らし環境系領域 (〒 050-8585 室蘭市水元町 27-1)

In this study, in order to investigate the affections of supporting conditions on impact resistant behavior of the RC slabs, falling-weight impact test and static loading test are conducted taking supporting conditions as variable. Here, the slabs with four edges simply supported, two opposite edges simply supported and the other two edges free, and one edge simply supported and resting on opposite two corner points with three edges free are investigated. From this study, following results are obtained: 1) static punching shear capacity of the RC slab may be almost the same in spite of supporting conditions; and 2) impact resistant capacity of the RC slabs may be almost the same in spite of the supporting conditions, even though crack patterns are different depending on the supporting conditions.

**Key Words** : RC slab, boundary condition, static loading test, impact loading test, impact resistance

**キーワード** : RC 版, 支持条件, 静載荷実験, 衝撃荷重載荷実験, 耐衝撃性

### 1. はじめに

近年の異常気象により豪雨や大型台風が多発し、岩盤斜面の崩落や落石災害が発生している。そのため、既設の落石防護構造物においては、設計時に想定した以上の落石規模に発展し、かつ限界耐力を越えるような事態に至る可能性もある。従って、今後既設の落石防護構造物を適切に維持管理するためには、その耐荷力あるいは耐衝撃性能を適切に評価可能な手法を確立することが肝要である。

このような背景より、著者らはこれまで落石覆工頂版部に用いられる RC 版の耐衝撃性を検討するために、四辺支持 RC 版の静的および衝撃荷重載荷実験を行い、RC 版の耐荷性能や耐衝撃挙動に及ぼす重錘直径、版厚、鉄筋比およびコンクリート強度等の影響について検討するとともに RC 版の耐衝撃設計手法を提案した<sup>1),2)</sup>。

しかしながら、これらの実験研究はいずれも支持条件が四辺支持の場合に限定されており、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。前述の落石防護構造物への適用を想定した検討を行うためには、頂版部のみを模擬した二辺支持 RC 版や、柱および壁に支持された落石防護覆工頂版部(写真-1)を模擬した支持条件下での検討を行う必要があるものと判断される。

このような観点より、本研究では、RC 版の耐衝撃挙



写真-1 落石覆工頂版部の例

動に及ぼす支持条件の影響を検討することを目的に、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種類の RC 版に関する衝撃荷重載荷実験を実施した。なお、本研究では、支持条件の異なる RC 版の基本的な耐荷性状を確認するため、静載荷実験も併せて実施した。また、衝撃荷重載荷実験については、支持条件が異なる場合に関する実験データが皆無であることより、漸増繰返し載荷法を採用し各 RC 版の耐衝撃挙動を詳細に検討するとともに、押抜きせん断破壊に至る衝突速度を検証することとした。

表-1 試験体一覧

| 試験体名 | 支持条件   | 荷重方法   | 衝突速度<br>V (m/s) |
|------|--------|--------|-----------------|
| S4-S | 四辺支持   | 静荷重    | -               |
| S4-I |        | 衝撃荷重荷重 | 1, 2, 3, 4, 4.5 |
| S2-S | 二辺支持   | 静荷重    | -               |
| S2-I |        | 衝撃荷重荷重 | 1, 2, 3, 4, 4.5 |
| S1-S | 一辺+    | 静荷重    | -               |
| S1-I | 二隅角点支持 | 衝撃荷重荷重 | 1, 2, 3, 4, 4.5 |

2. 実験概要

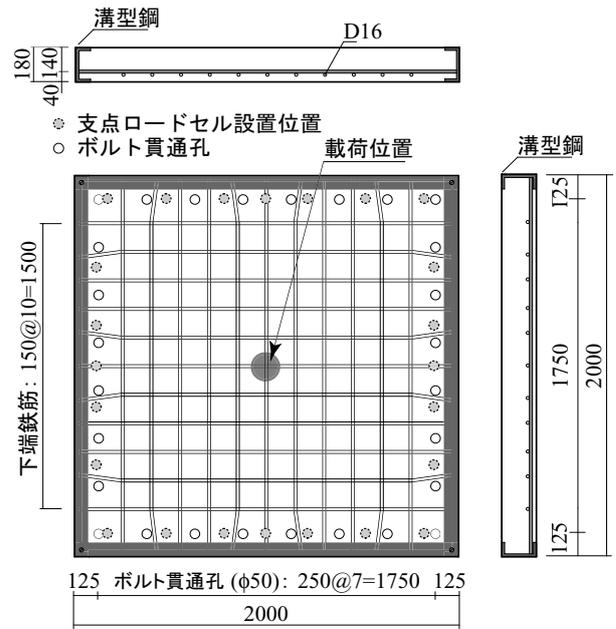
2.1 試験体の概要

表-1には、本実験に用いたRC版の一覧を示している。試験体数は、支持条件を3種類、荷重方法を2種類に変化させた全6体である。表中の試験体名の内、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、第二項目は荷重方法(S: 静荷重, I: 衝撃荷重荷重)を示している。本研究において、衝撃荷重荷重は、初回の衝突速度を1 m/s, その後の増分速度を1 m/s(最終のみ0.5 m/s)としてRC版が終局に至るまで繰返し荷重する漸増繰返し荷重法により行った。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、支持条件にかかわらずいずれのRC版も衝突速度V = 4.5 m/sで終局に至った。

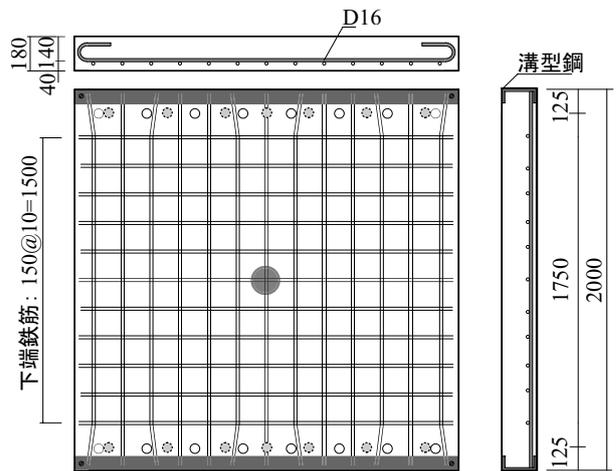
図-1には、試験体の形状寸法および配筋状況を支持条件毎に示している。本実験に用いたRC版は、寸法が2,000 × 2,000 × 180 mmの単鉄筋RC版である。鉄筋にはD16を用い、版中央部より150 mm間隔で格子状に配置している。なお、鉄筋の定着方法は支持条件によって異なっている。すなわち、四辺支持の場合には、RC版の四辺に配置した溝型鋼に鉄筋を溶接固定している。また、二辺支持の場合には、RC版の両支点側の一对辺に溝型鋼を配置して鉄筋を溶接固定し、他対辺では鉄筋を折り曲げて定着させている。一辺+二隅角点支持の場合には、一辺支持側の一辺にのみ溝型鋼を配置し、他の三辺では鉄筋を折り曲げて定着を図っている。実験時におけるコンクリートの圧縮強度は26.6 MPaであった。また、鉄筋の降伏強度は383 MPaであった。

2.2 実験方法

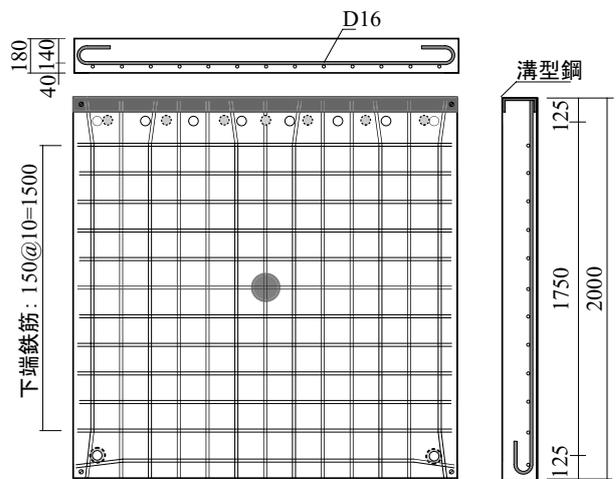
写真-2には、衝撃荷重荷重実験の状況を支持条件毎に示している。各支持部では、支持条件によらずRC版の浮き上がりを貫通ボルトとナットを用いて拘束し



(a) 四辺支持



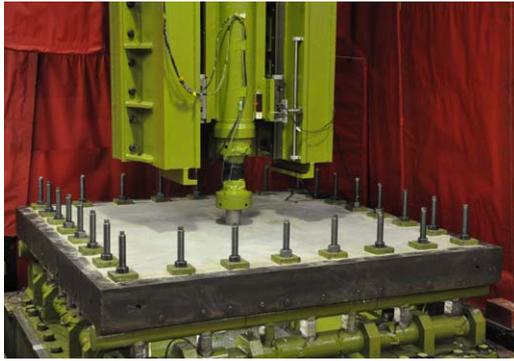
(b) 二辺支持



(c) 一辺+二隅角点支持

(mm)

図-1 試験体の形状寸法および配筋状況



(a) 四辺支持



(b) 二辺支持



(c) 一辺+二隅角点支持

写真-2 衝撃荷重載荷実験の状況

ている。また、各辺の支点間距離は、いずれの場合も 1.75 m となっている。載荷治具には直径 90 mm の鋼製円柱を用い、載荷点は RC 版の中央部とした。各辺の支持部は回転を許容するピン支持に近い境界条件となっている。また、一辺+二隅角点支持の場合における隅角点部の支持部は全方向に回転可能な構造となっている。

静荷重載荷実験は、容量 500 kN の油圧ジャッキを用いて実施した。載荷は、RC 版の耐力が十分に低下し、ほぼ一定の荷重レベルに収束するまで行った。衝撃荷重載荷実験は、所定の高さから 300 kg の鋼製重錘を自由落下させることにより行っている。落下高さは、実験前に衝突速度の検定を行い、所定の衝突速度となるように決定している。

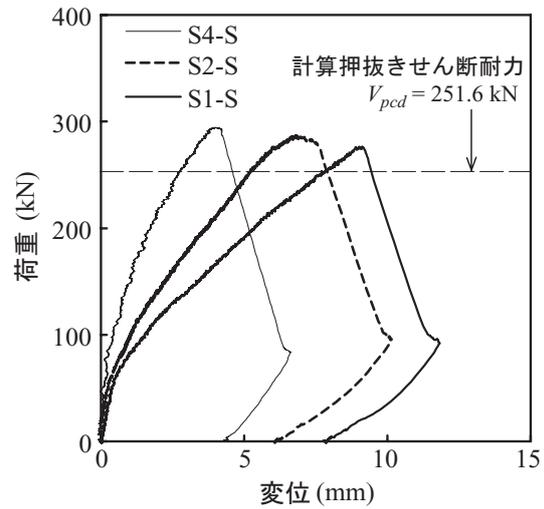


図-2 荷重-変位関係

### 2.3 測定項目

本実験の測定項目は、載荷荷重  $P$  (以後、静載荷実験の場合には静荷重、衝撃荷重載荷実験の場合には重錘衝撃力と呼ぶ)、合支点反力  $R$  (全支点反力の合算値、以後、単に支点反力と呼ぶ)、載荷点変位  $\delta$  (以後、単に変位と呼ぶ) の各応答波形である。実験終了後には、RC 版の裏面に発生したひび割れをトレースしてひび割れ分布図を作成している。また、RC 版を中心線に沿って切断し、版中央部における押抜きせん断ひび割れの発生状況を観察している。

静荷重の測定は、容量 500 kN の静載荷用ロードセルを用いて行った。重錘衝撃力の測定は、容量が 1,470 kN、応答周波数が DC ~ 4.0 kHz のロードセルを用いて行った。また、支点反力の測定は、容量が 300 kN、応答周波数が DC ~ 2.4 kHz のロードセルを用い、支点治具に内蔵する形で測定している。なお、一辺+二隅角点支持における隅角点の支持部には、容量が 500 kN、応答周波数が DC ~ 2.4 kHz のロードセルを用いている。変位は、容量 200 mm、応答周波数 915 Hz の非接触型レーザー式変位計を用いて RC 版の下面より測定した。

衝撃荷重載荷時における各センサーからの出力は、メモリレコーダを用いサンプリング周波数 20 kHz で収録した。また、重錘衝撃力波形の場合には高周波成分が卓越するため原波形を用いることとした。支点反力波形に関しては、低周波成分が卓越していることより、ノイズ処理のため矩形移動平均法により平滑化を施している。なお、移動平均は、原波形の性状をできる限り保持し効率良くノイズ処理を行うために 0.5 ms とした。変位波形は、上述の通りレーザー式変位計の応答周波数が 1 kHz 程度であることより、20 kHz で収録したデータを 20 words 毎に抽出して整理した。

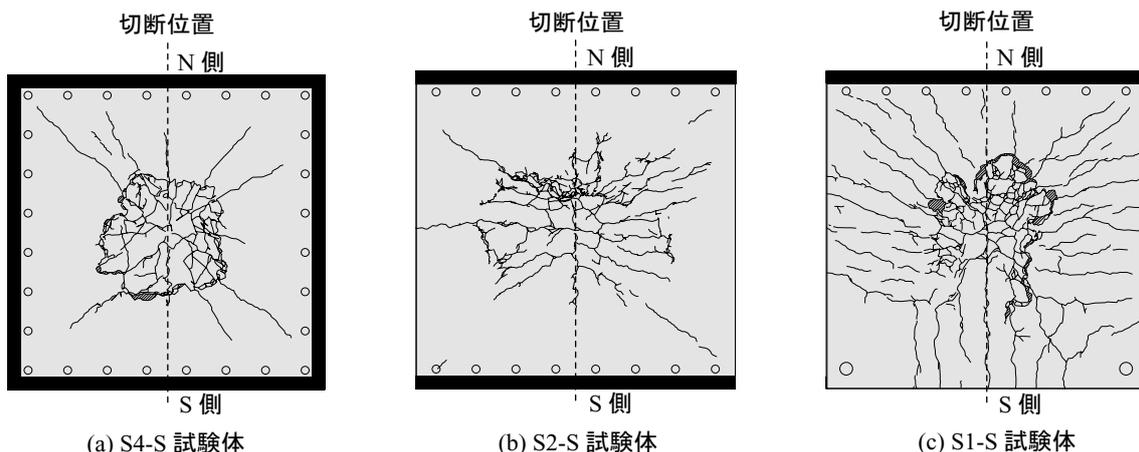


図-3 静載荷実験終了後におけるRC版裏面のひび割れ分布性状

表-2 実測最大荷重の一覧

| 試験体名 | 実測最大荷重 $P_{us}$ (kN) (1) | 計算押抜きせん断耐力 $V_{pcd}$ (kN) (2) | (1)/(2) |
|------|--------------------------|-------------------------------|---------|
| S4-S | 296.3                    | 251.6                         | 1.18    |
| S2-S | 292.2                    |                               | 1.16    |
| S1-S | 278.8                    |                               | 1.11    |

### 3. 静載荷実験結果

#### 3.1 荷重-変位関係

図-2には、各試験体の荷重-変位関係を比較して示している。図には、コンクリート標準示方書<sup>3)</sup>に準拠して算出した計算押抜きせん断耐力  $V_{pcd}$  を併記している。なお、部材係数  $\gamma_b = 1.0$  としている。また、表-2には、各試験体の実測最大荷重と計算押抜きせん断耐力およびそれらの比を一覧にして示している。

図より、いずれの試験体も荷重  $P = 70$  kN 程度までは、ほぼ同様の勾配で荷重が増加するものの、その後ひび割れの発生により剛性勾配が低下していることが分かる。その低下割合は、S1-S試験体の場合が最も大きく、次いでS2-S, S4-S試験体の順となっている。これは、RC版の支持辺の数に対応して版効果が発揮されることによるものと推察される。

また、いずれの試験体も計算押抜きせん断耐力  $V_{pcd}$  を上回った後、280~290 kN 程度で最大荷重に到達し、荷重が急激に低下している。これは、各試験体において耐荷性状や後述するひび割れ性状が異なるものの、最終的には押抜きせん断破壊により終局に至っているためと考えられる。表-2より、いずれの試験体も計算押抜きせん断耐力  $V_{pcd}$  の1.1~1.2倍の安全余裕度を有していることが分かる。

#### 3.2 ひび割れ分布性状

図-3には、静載荷実験終了後における各RC版裏

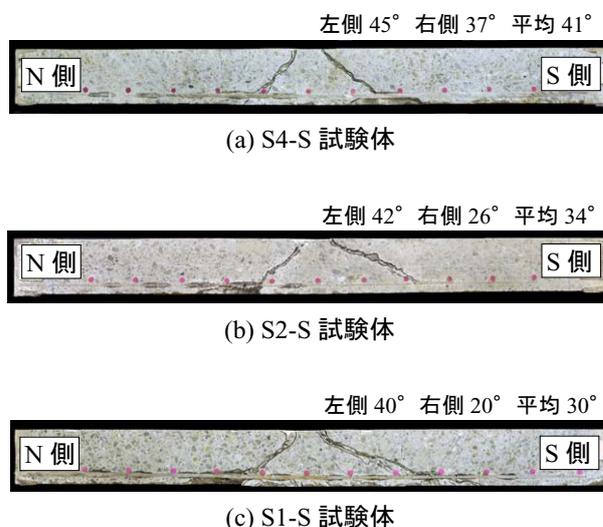


写真-3 静載荷実験終了後における中央部切断面のひび割れ分布性状

面のひび割れ分布性状を示している。図より、四辺支持のS4-S試験体の場合には、版中央部において円形状のひび割れが明瞭に発生していることが分かる。これは、押抜きせん断コーンの形成によるものである。また、ねじりモーメントによる対角線状のひび割れが発生していることが分かる。

二辺支持のS2-S試験体の場合には、支持部の二辺に平行したひび割れが多く発生していることが分かる。これは、単純梁のような曲げ変形が卓越していることによるものと考えられる。なお、版中央部には楕円形状のひび割れが形成されており、最終的には押抜きせん断破壊に至ったことが伺われる。

一辺+二隅角点支持のS1-S試験体の場合には、自由端部近傍においては、支点間の曲げ変形に起因するひび割れが発生し、一辺支持部近傍においては、ねじりモーメントに起因する対角線状のひび割れが発生している。また、版中央部には、押抜きせん断コーンの形成に伴う円形状のひび割れも見られる。

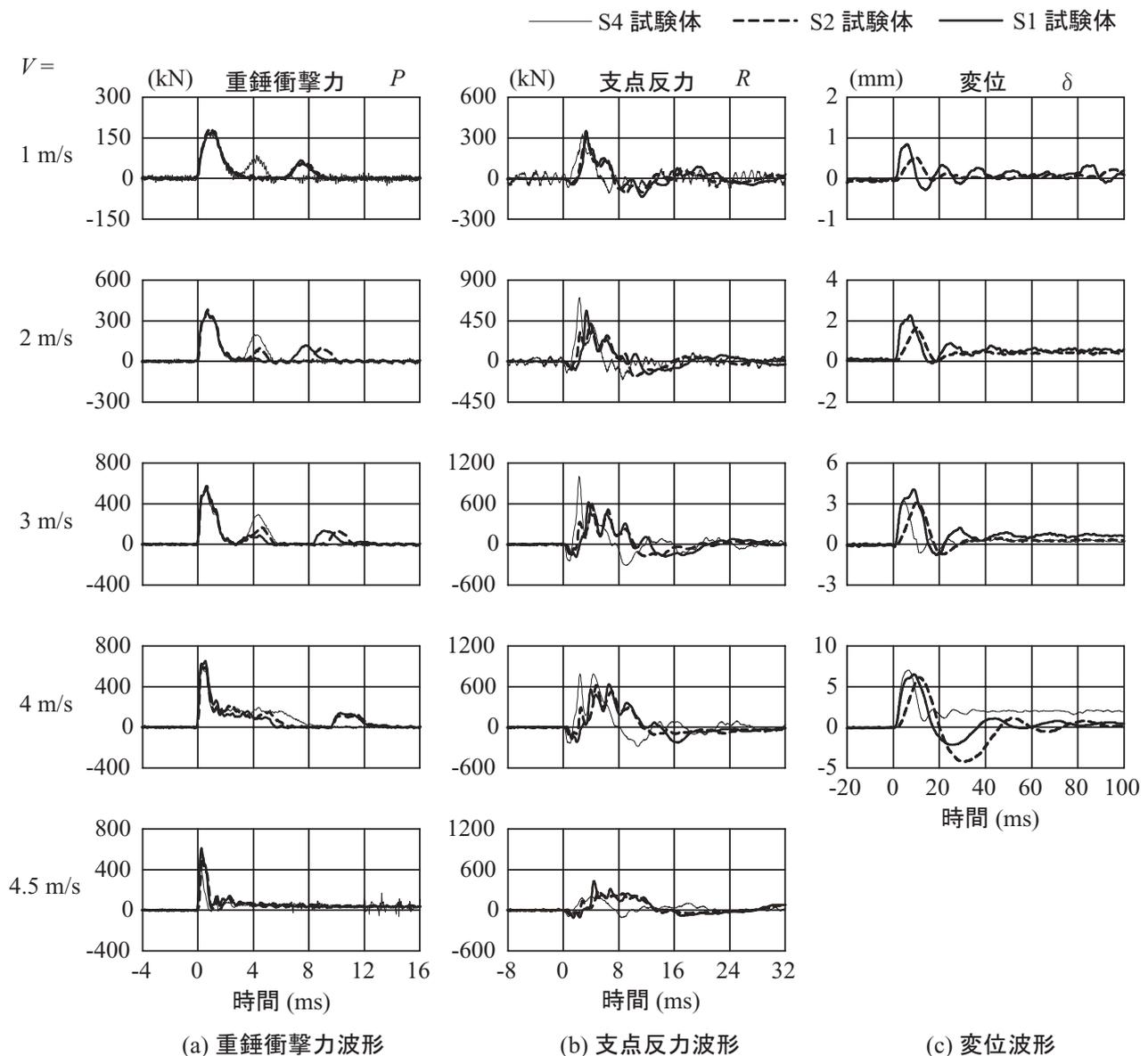


図-4 重錘衝撃力，支点反力および変位に関する応答波形

以上のことより，RC版の支持辺数が少ない場合ほど，曲げひび割れが多く発生しており，このことが前述の荷重-変位関係における剛性勾配の低下および最大変位に影響を及ぼしていることが明らかになった。

写真-3には，静載荷実験終了後における各RC版の中央部切断面のひび割れ状況を示している。なお，写真には，左右のスパンにおける有効高さ部分の斜めひび割れと部材軸のなす角度およびそれらの平均値を示している。写真より，いずれのRC版においても載荷点から両端部に向かって押抜きせん断ひび割れが発生し，大きく開口していることが分かる。有効高さ部分のひび割れの発生角度は，S4-S試験体の場合が最も大きく，次いでS2-S，S1-S試験体の順となっている。これは，RC版の拘束効果が大きい場合ほど，変位量が小さいことに関連するものと考えられる。

#### 4. 衝撃荷重実験結果

##### 4.1 時刻歴応答波形

図-4には，衝撃荷重実験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 $\delta$ に関する応答波形を衝突速度毎に示している。なお，S4-I試験体の衝突速度 $V = 1, 2$  m/sにおける変位波形は計測器不良につき，また各試験体の $V = 4.5$  m/sにおける変位波形は裏面のかぶりコンクリートの剥落により，測定不能であったため検討から除外している。

図-4(a)の重錘衝撃力波形は，いずれの試験体も衝突速度 $V = 3$  m/sまでは，振幅が大きく継続時間が3 ms程度の第1波に振幅が小さい第2波および第3波が後続する性状を示している。 $V = 4$  m/sでは，第1波目終了後完全に除荷に至らず第2波目と連続した波形性状を示している。

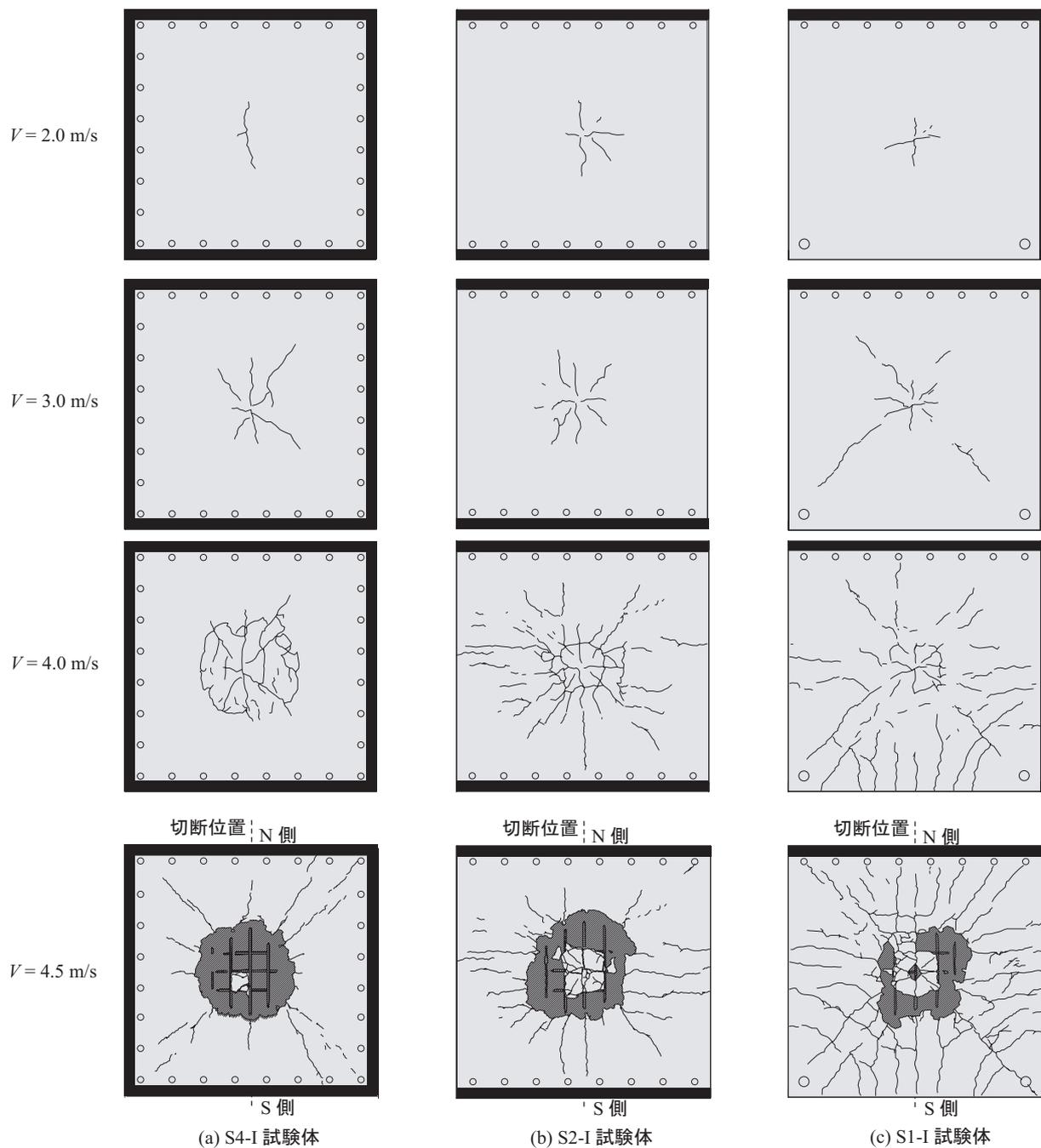


図-5 衝撃荷重実験終了後におけるRC版裏面のひび割れ分布性状

また、 $V = 4.5 \text{ m/s}$  では、いずれの試験体も  $V = 4 \text{ m/s}$  の場合に比較して、最大重錘衝撃力および第2波目以降の振幅が著しく低下している。このことから、RC版の剛性は、損傷の蓄積により著しく低下していることが推察される。

図-4(b)の支点反力波形は、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-I試験体の支点反力波形は、全般的にS2/I-I試験体に比較して早期に励起している。また、その振幅は大きくかつ主波の継続時間は短くなる傾向にある。これは、S4-I試験体の場合には、S2/I-I試験体に比較して版の拘束効

果が大きいことによるものと考えられる。なお、S2/I-I試験体は、衝突速度にかかわらず、ほぼ同様の波形性状を示している。

図-4(c)の載荷点変位波形は、衝突速度  $V = 3 \text{ m/s}$  までは、いずれの試験体も衝撃荷重初期に正弦半波状の波形が励起し、その後減衰自由振動状態に移している。S4-I試験体の場合には、主波の継続時間が他の試験体よりも短い。これは、支点反力の場合と同様、版の拘束効果が大きいことより固有振動数も大きくなるためと考えられる。

衝突速度  $V = 4 \text{ m/s}$  において、S4-I試験体の場合には、第1波が励起した後減衰自由振動を呈し、変位が

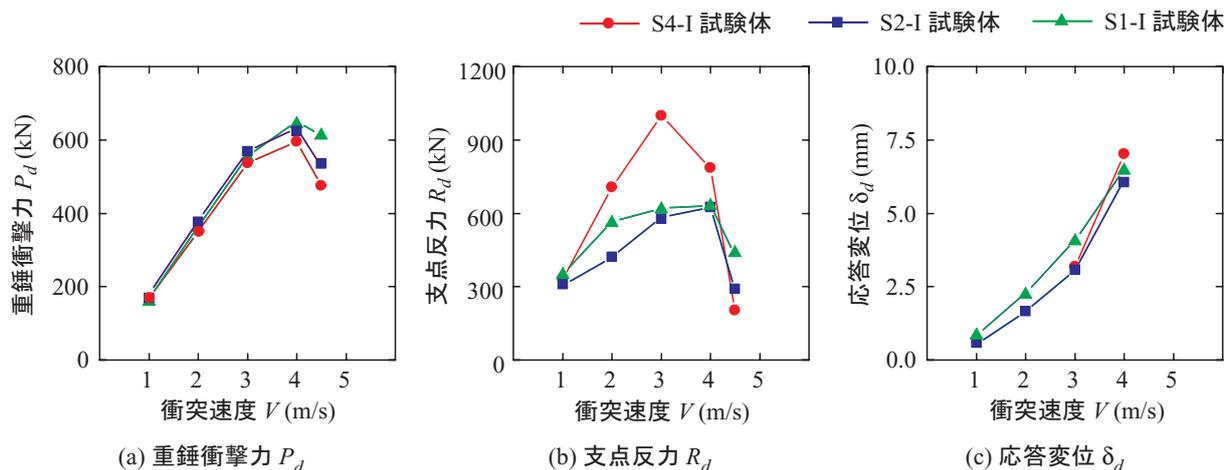


図-6 重錘衝撃力、支点反力および応答変位と衝突速度との関係

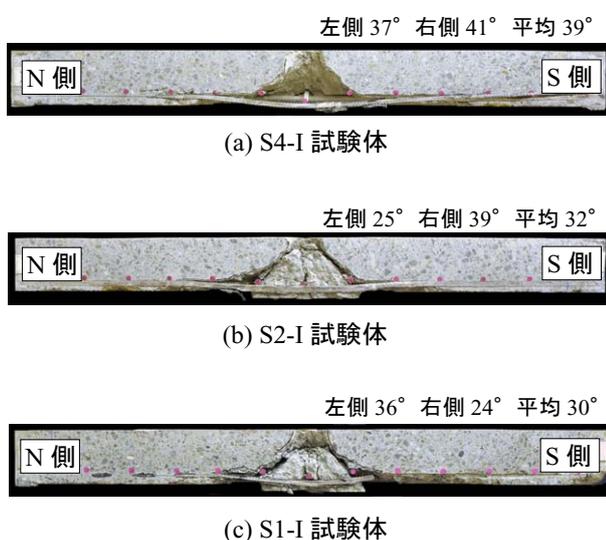


写真-4 衝撃荷重実験終了後における中央部切断面のひび割れ分布性状

残留する形で収束している。一方、S2/I-I 試験体の場合には、第1波が励起した後、正負に交番する減衰自由振動状態となっている。これは、S4-I 試験体の場合には版の拘束効果により押抜きせん断破壊的な損傷が卓越したことにより、急激に減衰し変位が残留したものと推察される。これに対して、S2/I-I 試験体の場合には、版の拘束効果がS4-I 試験体に比較して小さいため、押抜きせん断面が明瞭には形成されず曲げ破壊型の性状を示し減衰自由振動に推移したものと推察される。

なお、荷重点変位波形は、衝突速度  $V$  にかかわらず、S2-I 試験体の場合がS4/I-I 試験体の場合よりも緩やかに立ち上がる傾向にある。これは、S4/I-I 試験体の場合には、支持条件による版の拘束効果の影響により、曲げ変形のみならずねじり変形のモードも現れるのに対し、S2-I 試験体の場合には一方向の曲げ変形モードが卓越することによるものと考えられる。

#### 4.2 ひび割れ分布性状

図-5には、衝撃荷重実験終了後におけるRC版裏面のひび割れ性状を、ひび割れが確認された衝突速度  $V = 2 \text{ m/s}$  から最終衝突速度  $4.5 \text{ m/s}$  までについて示している。図より、いずれのRC版も衝突速度の増加に伴ってひび割れが増加していることが分かる。衝突速度  $V = 4 \text{ m/s}$  では、S4-I 試験体において版中央部に押抜きせん断コーンの形成に起因する円形状のひび割れが明瞭に見られる。一方、S2/I-I 試験体の場合には、曲げによるひび割れが卓越しているものの、円形状のひび割れも確認でき押抜きせん断破壊の兆候が認められる。 $V = 4.5 \text{ m/s}$  では、いずれのRC版も境界条件にかかわらず壊滅的な押抜きせん断破壊に至り、かぶりコンクリートが円形状に剥落し、鉄筋が露出していることが分かる。また、静載荷実験の場合と同様に、支持条件に対応した曲げひび割れの分布も確認できる。ただし、繰返し荷重によって荷重点近傍で曲げひび割れなどの損傷も蓄積されていることより、静載荷実験の結果と比較して、版中央部の下縁かぶりコンクリートは大きく剥落している。

写真-4には、実験終了後における中央部切断面のひび割れ分布性状を示している。なお、写真には、左右のスパンにおける有効高さ部分の斜めひび割れと部材軸のなす角度およびそれらの平均値を示している。写真より、いずれの試験体もスパン中央部に押抜きせん断コーンが明瞭に形成されていることが分かる。なお、S4-I 試験体の場合には、押抜きせん断コーンが完全に脱落している。また、斜めひび割れの角度は、S4-I 試験体の場合が最も大きく、次いでS2-I、S1-Iの順となっている。これは、静載荷実験の場合と同様に、版の拘束効果の大きさに対応してひび割れ角度が大きくなることと対応している。

#### 4.3 各種応答値と衝突速度との関係

図-6には、各試験体の (a) 重錘衝撃力  $P_d$ 、(b) 支点反力  $R_d$  および (c) 応答変位  $\delta_d$  と衝突速度  $V$  との関係

表-3 静載荷および衝撃荷重載荷実験結果の一覧

| 載荷方法   | 検討項目                                | S4 試験体   | S2 試験体 | S1 試験体 |
|--------|-------------------------------------|----------|--------|--------|
| 静載荷    | 最大荷重 $P_{us}$ (kN)                  | 296.3    | 292.2  | 278.8  |
|        | ひび割れ発生後の剛性勾配 $i$ (kN/mm)            | 67.3     | 36.8   | 24.5   |
|        | 破壊形式                                | 押抜きせん断破壊 |        |        |
| 衝撃荷重載荷 | 限界衝突速度 $V_{cr}$ (m/s)               | 3.0      |        |        |
|        | $V_{cr}$ 時の重錘衝撃力 $P_{crd}$ (kN)     | 536.8    | 569.9  | 556.1  |
|        | $V_{cr}$ 時の重錘衝撃力波形の主波動継続時間 (ms)     | 1.72     | 1.72   | 1.72   |
|        | $V_{cr}$ 時の支点反力 $R_{crd}$ (kN)      | 999.9    | 585.2  | 622.2  |
|        | $V_{cr}$ 時の支点反力波形の主波動継続時間 (ms)      | 6.82     | 10.2   | 9.80   |
|        | $V_{cr}$ 時の応答変位 $\delta_{crd}$ (mm) | 3.18     | 3.07   | 4.07   |
|        | $V_{cr}$ 時の応答変位波形の主波動継続時間 (ms)      | 10.4     | 17.7   | 15.2   |
|        | 破壊形式                                | 押抜きせん断破壊 |        |        |

を示している。

図-6(a)より、重錘衝撃力  $P_d$  は、支持条件によらずほぼ同様の分布性状を示していることが分かる。すなわち、 $V=3$  m/s までは  $V$  の増加に伴ってほぼ線形に増大し、 $V=4$  m/s で  $P_d$  の増加割合が若干低下し、 $V=4.5$  m/s において  $P_d$  が低下している。これは、衝突速度  $V=3$  m/s 程度までは支持条件の影響が小さく、RC 版の損傷が同程度であることを示唆している。 $V=4$  m/s 以後においては、押抜きせん断コーンの形成に伴って載荷点部が数 mm 陥没し、 $V=4.5$  m/s において完全に押し抜けたことと対応するものと考えられる。

図-6(b)の支点反力  $R_d$  に関しては、S4-I 試験体の場合には、衝突速度  $V=3$  m/s までは、ほぼ線形に増大している。その後、 $V=4$  m/s および  $4.5$  m/s において急激に低下している。これは、図-5のひび割れ分布性状に示されているように、 $V=4$  m/s において RC 版裏面に押抜きせん断コーンの形成に伴う円形状のひび割れが発生し、 $V=4.5$  m/s において押抜きせん断コーンが抜け落ちたことと対応している。S2/1-I 試験体の場合における支点反力  $R_d$  は、衝突速度  $V=2$  m/s の場合を除き類似の値を示している。また、 $V=4.5$  m/s では、S4-I 試験体の場合と同様に急激に低下していることより RC 版が完全に押し抜かれたことが分かる。

なお、衝突速度  $V=2\sim 4$  m/s において、S2/1-I 試験体の支点反力分布が S4-I 試験体に比較して大きく低減しているのは、前述のとおり載荷点近傍部の剛性低下は小さいものの、版の拘束効果が小さく曲げによる損傷が卓越することに起因しているものと推察される。

図-6(c)の応答変位  $\delta_d$  に関しては、衝突速度  $V=1\sim 3$  m/s において、いずれの場合もほぼ放物線状に増加しているが、 $V=4$  m/s では急激に増大している。この傾向は S4-I 試験体の場合で最も顕著である。これは、S4-I 試験体の場合において曲げによる寄与が最も小さ

く、押抜きせん断コーン内部のコンクリートが脱落したことに関連するものと考えられる。

#### 4.4 RC 版の耐衝撃性に及ぼす支持条件の影響

ここでは、前節までの実験結果に基づき、RC 版の耐荷性能および耐衝撃性能に及ぼす支持条件の影響について検討する。表-3には、静載荷実験および衝撃荷重載荷実験結果を一覧にして示している。表中の限界衝突速度  $V_{cr}$  は、RC 版に押抜きせん断コーンが形成される直前の衝突速度である。本実験では、いずれの試験体も  $V=4$  m/s において、1) 版裏面に円形状のひび割れが見られ、2) 支点反力  $R_d$  が低下するか、もしくは  $V=3$  m/s の場合と同程度であり、かつ 3) 応答変位  $\delta_d$  が急増する傾向にあることより、限界衝突速度  $V_{cr}$  は支持条件によらず  $3.0$  m/s と判断した。

表より、静載荷実験の場合には、支持条件によらず押抜きせん断破壊により終局に至っており、最大荷重  $P_{us}$  はほぼ同様であることが分かる。一方、ひび割れ発生後の剛性勾配  $i$  は支持辺の数が少ないほど小さくなる傾向にある。これらのことより、静載荷時に押抜きせん断破壊する条件下においては、RC 版の支持条件はひび割れ発生後の剛性勾配  $i$  に影響を及ぼすものの、最大荷重  $P_{us}$  には大きな影響を及ぼさないことが分かる。

衝撃荷重載荷実験の場合には、限界衝突速度  $V_{cr}$  における重錘衝撃力  $P_{crd}$  および応答変位  $\delta_{crd}$  は、支持条件によらずほぼ同様である。一方、支点反力  $R_{crd}$  は、S4-I 試験体の場合で最も大きな値を示し、S2/1-I 試験体はほぼ同様の値を示している。また、支点反力および応答変位波形の主波動継続時間は、S4-I 試験体の場合が最も小さな値を示し、S2/1-I 試験体は同程度の値を示している。

以上のことから、衝撃荷重載荷時に RC 版が押抜き

せん断破壊する条件下において、支持条件は限界衝突速度や変位量には大きな影響を及ぼさないものの、支点反力や応答波形の主波動継続時間には影響を及ぼすことが明らかになった。

## 5. まとめ

本研究では、著者らが四辺支持 RC 版の衝撃荷重実験結果に基づいて提案した耐衝撃設計法を、種々の実構造物に適用可能な汎用性の高い設計法に発展させるための基礎資料の収集を目的に、RC 版の耐衝撃挙動に及ぼす支持条件の影響について実験的な検討を行った。検討は、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 RC 版の衝撃荷重実験により行った。本実験により得られた結果をまとめると以下の通りである。

### 静載荷実験結果：

- 1) ひび割れ発生後の剛性勾配は、RC 版の支持辺の数が多い場合ほど大きい。すなわち、四辺支持の場合が最も大きく、次いで二辺支持、一辺+二隅角点支持の順である。
- 2) 支持条件によらず、いずれの RC 版も押抜きせん断破壊により終局に至ったため、最大荷重はほぼ同様である。また、それらの値はコンクリート標準示方書に準拠して算出した計算押抜きせん断耐力の 1.1～1.2 倍程度である。
- 3) 四辺支持の場合には、押抜きせん断破壊が卓越する破壊性状を示すのに対し、二辺支持および一辺+二隅角点支持の場合には、それぞれの支持条件による版の拘束効果に対応した曲げやねじりひび割れの発生を伴って押抜きせん断破壊により終局に至る。

### 衝撃荷重実験結果：

- 1) 各衝突速度における重錘衝撃力波形は、支持条件によらずほぼ同様である。
- 2) 支点反力および載荷点変位波形は、版の拘束効果が最も大きい四辺支持の場合に最も周期の短い波形性状を示す。
- 3)  $V = 4 \text{ m/s}$  では、四辺支持の場合には変位が残留するのに対し、二辺および一辺+二隅角点支持の場合には、正負に交番する減衰自由振動状態に至る。
- 4) 衝撃荷重載荷時に RC 版が押抜きせん断破壊する条件下において、支持条件は限界衝突速度や変位量には大きな影響を及ぼさないものの、支点反力や応答波形の主波動継続時間には影響を及ぼす。

なお、本研究では、漸増繰返し載荷法を採用しているため、RC 版の支持条件と耐衝撃性との関係を定性的に評価するに至っていない。従って、今後は所定の速度で一度だけ載荷する単一載荷実験を行い検討する必要がある。また、支持条件によって破壊形式が異なる場合についても検討する必要があるものと考えられる。

### 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
- 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) 土木学会：コンクリート標準示方書設計編，2007 年制定

(2009 年 9 月 24 日受付)