

# 論文 RC版の静的・衝撃押し抜きせん断性状に与える上端鉄筋の影響

三上 浩\*1・岸 徳光\*2・今野 久志\*3・岡田 慎哉\*4

**要旨：**本研究では、押し抜きせん断破壊するRC版の静的・衝撃耐荷性状に与える上端鉄筋の影響を検討するため、下端鉄筋を同一とし上端鉄筋の有無のみが異なるRC版の静載荷実験および重錘落下衝撃実験を行った。その結果、静載荷時にはRC版の耐荷性状に与える上端鉄筋の影響は顕著ではないこと、しかしながら、衝撃載荷時においては上端鉄筋の配置により重錘の貫入が抑制され、局所破壊から全体破壊に移行する傾向にあること、が明らかになった。

**キーワード：**RC版, 上端鉄筋, 静的・衝撃実験, 押し抜きせん断性状

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート (RC) 床版等のRC面部材の押し抜きせん断耐力は、コンクリート標準示方書<sup>1)</sup>(以後、示方書)における面部材の設計押し抜きせん断耐力の算定式を用いて評価するのが一般的である。この評価式では、**図-1**に示すように押し抜きせん断ひび割れが集中荷重載荷面の端部より下端鉄筋位置まで斜め45°下方に進展すると仮定し、そのひび割れの上面からの投影面積にコンクリートの引張強度や鉄筋比、有効高さなどの影響係数を乗じることにより耐力を算出している。すなわち、有効高さ部分のコンクリートのみが押し抜きせん断耐力に影響を与える。

一方、著者らの既往の研究<sup>2)</sup>より、帯鉄筋を配筋しないせん断破壊型RC梁の衝撃載荷時における終局入力エネルギーは、上端鉄筋の有無

によって異なり、上端鉄筋を配筋しない場合には、配筋した場合に比較して、より小さい入力エネルギーで終局に至ることを確認している。

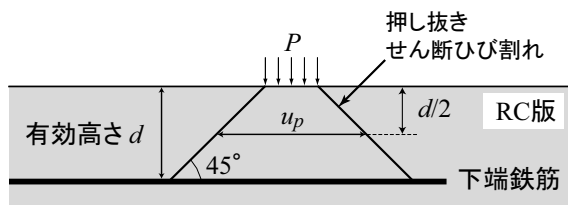
このような背景より、本研究では、押し抜きせん断破壊するRC版の静的・衝撃耐荷性状に与える上端鉄筋の影響を検討するため、下端鉄筋を同一とし上端鉄筋の有無のみが異なるRC版を用いて、静載荷実験および重錘落下衝撃実験を実施した。

## 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。試験体名は鉄筋の配置方法 (Single or Double) を示すSとDとしている。試験体数は、各々静載荷用試験体1体、衝撃載荷用試験

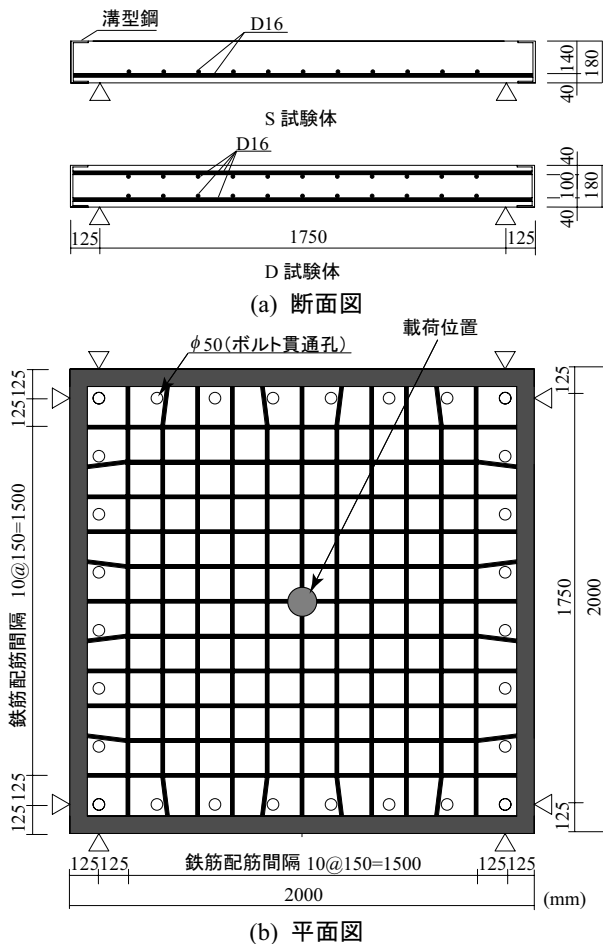
表-1 試験体の一覧



試験体名	上端鉄筋の有無	材齢 (日)	コンクリートの圧縮強度 (MPa)	衝突速度 V (m/s)
S	無	13	20.2	5, 6, 6.5, 7
D	有	29	24.9	6, 7, 7.5, 8

図-1 押し抜きせん断破壊のモデル

\*1 三井住友建設 (株) 技術研究所 主席研究員 博(工) (正会員)  
 \*2 室蘭工業大学 工学部建設システム工学科 教授 工博 (正会員)  
 \*3 寒地土木研究所 寒地構造チーム 主任研究員 博(工) (正会員)  
 \*4 寒地土木研究所 寒地構造チーム 研究員 修(工) (正会員)



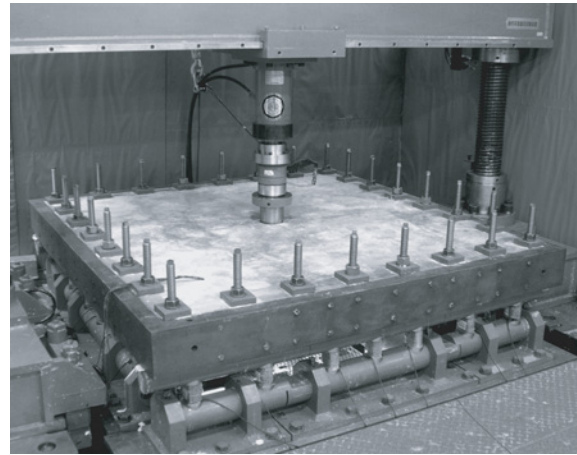
図－2 試験体の形状寸法および配筋状況

体4体の全10体である。

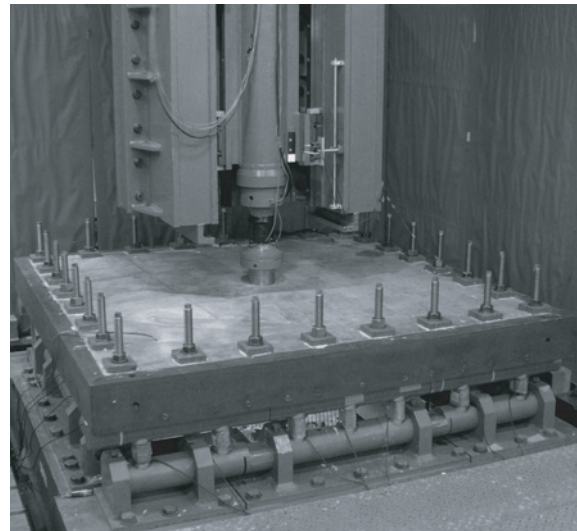
図－2には、本実験に用いたRC版の形状寸法および配筋状況を示している。RC版の寸法は $2,000 \times 2,000 \times 180$  mmである。鉄筋には上下端ともにD16を用い、版中央部より150 mm間隔で格子状に配置している。鉄筋はRC版の四辺に設置した溝型鋼に溶接して定着を確保することとした。なお、鉄筋の降伏強度は423 MPaであった。

## 2.2 実験方法

実験は、荷重方法にかかわらず支持条件を純スパン長1.75 mの四辺支持としている。支点部は試験体の浮き上がりを防止し、かつ回転のみを許容するピン支持に近い構造となっている。また、静荷重実験および重錘落下衝撃実験ともに、荷重治具には直径120 mmで底部に高さ2 mmのテーパがついた鋼製円柱を用い、荷重位置は、荷重治具直径に対する鉄筋間隔の影響が



写真－1 静荷重実験の状況



写真－2 重錘落下衝撃実験の状況

出現しないように、RC版中央部の鉄筋交差位置直上とした。

静荷重実験は、容量500 kNの油圧ジャッキを用いて実施した(写真－1参照)。荷重は、RC版の耐荷力が十分に低下し、ほぼ一定の荷重レベルに収束するまで行った。

衝撃荷重実験は、所定の高さから質量300 kgの鋼製重錘を一度だけ自由落下させる単一荷重法を採用した(写真－2参照)。なお、第1回目の落下高さは静荷重実験や過去の著者らによる衝撃実験結果を参考に決定し、第2回目以降はRC版の損傷状況を確認して決定することとした。

測定項目は、荷重荷重 $P$ (以後、静荷重実験の場合には静荷重、衝撃荷重実験の場合には重

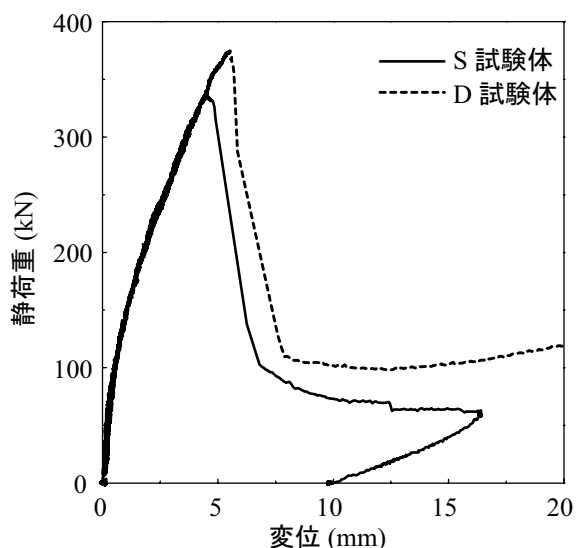


図-3 静荷重-変位関係

表-2 静荷重実験結果

試験体名	実測押し抜きせん断耐力 $P_{us}$ (kN)	計算押し抜きせん断耐力 $V_{pcd}$ (kN)	耐力比 $P_{us}/V_{pcd}$
S	336.2	253.3	1.33
D	374.8	281.3	1.33

錘衝撃力と呼ぶ)、合支点反力  $R$  (以後、支点反力)、荷重点変位  $\delta$  (以後、変位) および下端鉄筋に貼り付けたひずみゲージによるひずみである。実験終了後には、RC 版裏面のひび割れをスケッチし、版中央部を主鉄筋方向に切断することにより切断面を観察している。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 静荷重実験結果

##### (1) 静荷重-変位関係

図-3には、両試験体の静荷重-変位関係を示している。また、表-2には静荷重実験の結果をとりまとめている。表中の計算押し抜きせん断耐力  $V_{pcd}$  は、示方書に基づき部材係数  $\gamma_b$  を 1.0 として算定している。また、耐力比は実測押し抜きせん断耐力  $P_{us}$  を計算押し抜きせん断耐力  $V_{pcd}$  で除すことにより求めている。

図より、両試験体ともに最大荷重到達後、荷重が急激に低下していることから、押し抜きせん断破壊により終局に至っていることが分かる。

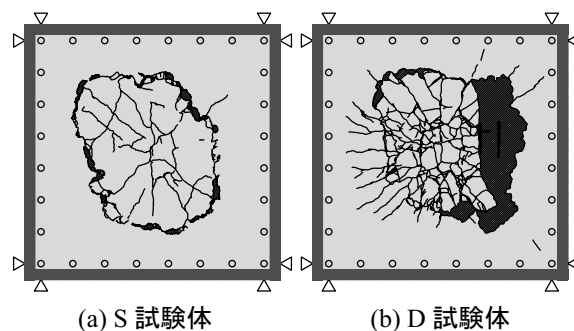


図-4 静荷重実験終了後における RC 版裏面のひび割れ分布

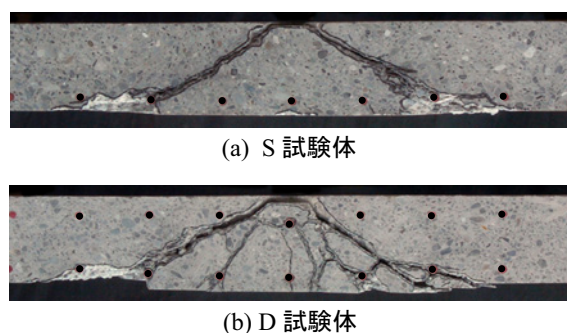


写真-3 静荷重実験終了後における中央部切断面のひび割れ分布

また、最大荷重が若干異なるものの、耐力比が両試験体ともに 1.33 であることより、最大荷重の差異は両試験体のコンクリート強度の差異によるものと考えられる。また、剛性勾配も両者に相違が見られないことより、静荷重実験の場合においては、上端鉄筋の有無にかかわらず RC 版の耐荷性状はほぼ同様であることが明らかになった。

##### (2) ひび割れ分布

図-4には、実験終了後における両 RC 版裏面のひび割れ分布を示している。図より、円形状のひび割れ発生範囲は両試験体ともほぼ同様であることが確認できる。また、その内側では、曲げひび割れと放射状のひび割れが混在し、亀甲状のひび割れ分布となっている。

写真-3には、RC 版中央部切断面のひび割れ状況を示している。写真より、両試験体ともに荷重点から支点側に向かって斜め下方に押し抜きせん断面が形成されていることが分かる。ま

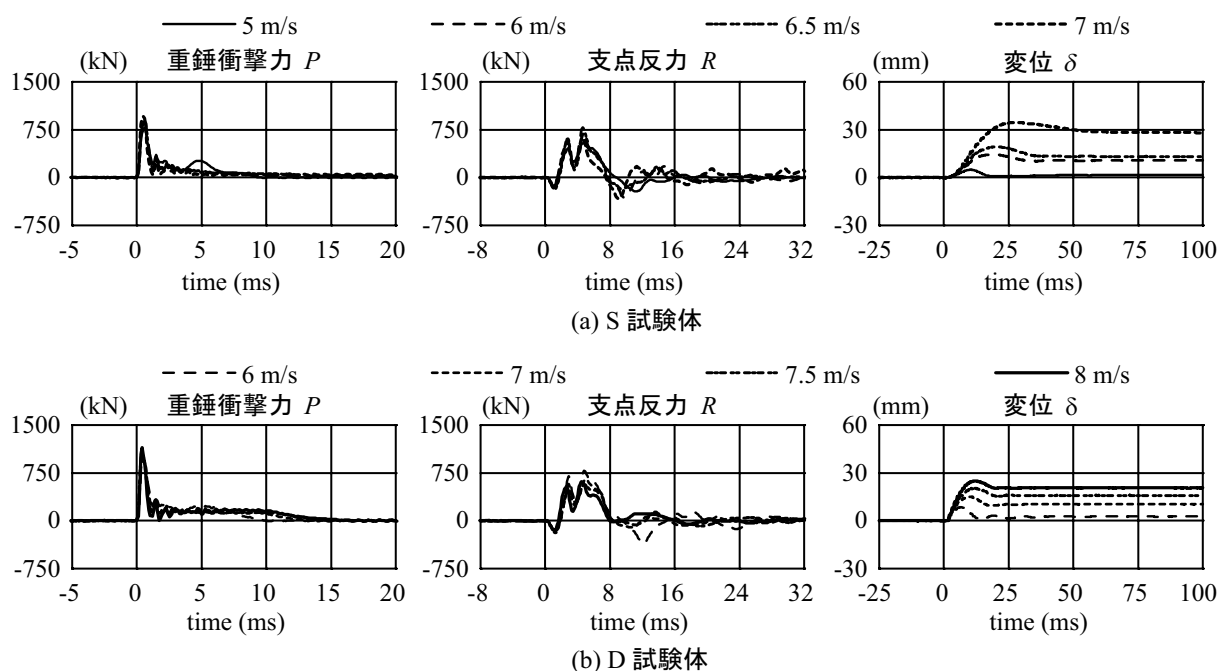


図-5 各種応答波形

た、D 試験体においては曲げひび割れが見られるが、両試験体の押し抜きせん断コーンの形状、大きさはほぼ同様である。

### 3.2 衝撃载荷実験結果

#### (1) 重錘衝撃力、支点反力および変位波形

図-5には、両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試験体ごとに示している。なお、時間軸は重錘衝撃力が励起した時刻を  $0 \text{ ms}$  として整理した。

重錘衝撃力波形  $P$  は、両試験体ともに衝突速度にかかわらず、载荷初期の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の長い第2波で構成されていることが分かる。なお、第2波の振幅および継続時間はD試験体で大きく、長くなる傾向にある。これは、D試験体ではS試験体に比べて損傷が局所化しにくいことを示すものと推察される。

支点反力波形  $R$  は、両試験体ともに衝突速度にかかわらず大略同様であり、周期が  $8 \text{ ms}$  程度の正弦半波に周期が  $2 \text{ ms}$  程度の高周波成分が合成された性状を示している。なお、正弦半波状波形に継続する波形は減衰自由振動を示しているが、この傾向は衝突速度が小さい試験体

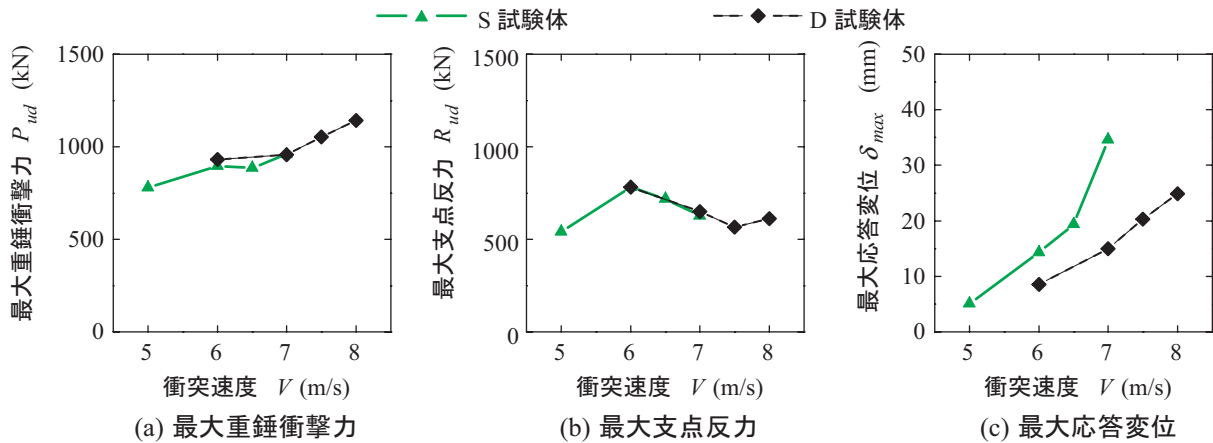
ほど顕著である。

変位波形  $\delta$  は、両試験体ともに衝撃初期に正弦半波状を示し、以後振動状態を呈していない。S試験体については、 $V = 5 \text{ m/s}$  での残留変位はわずかであるが、 $V = 6 \text{ m/s}$  以降では、 $V$  の増加とともに最大振幅が大きくなり、 $V = 7 \text{ m/s}$  では最大応答変位に近い変位が残留しているのが分かる。D試験体については、衝突速度の増加とともに最大振幅および残留変位が徐々に増大する傾向が認められる。

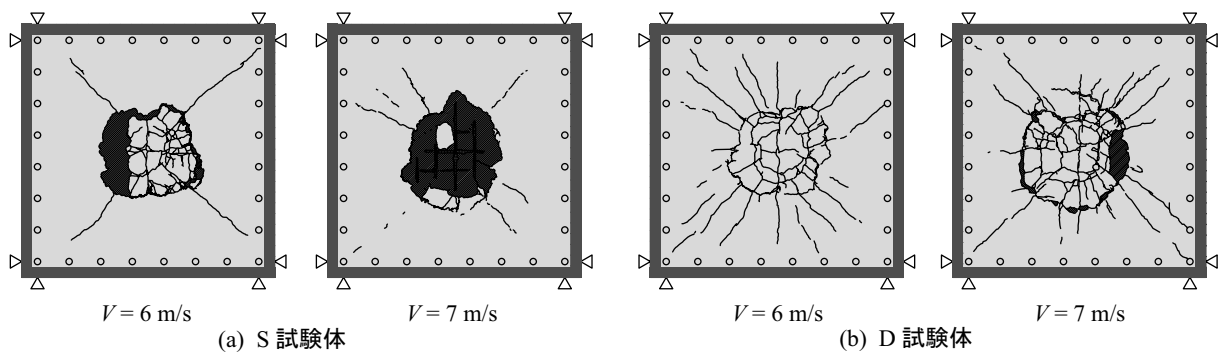
#### (2) 各種応答値の比較

図-6には、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  $\delta_{max}$  と衝突速度  $V$  との関係を示している。(a) 図より、最大重錘衝撃力  $P_{ud}$  は、両試験体とも衝突速度の増加に対応してほぼ線形に増大しているのが分かる。また、増加勾配もほぼ等しく、両試験体の  $V = 6 \text{ m/s}$  および  $V = 7 \text{ m/s}$  時の最大重錘衝撃力  $P_{ud}$  は同程度の値である。

(b) 図より、最大支点反力  $R_{ud}$  は重錘衝撃力  $P_{ud}$  と同じく、 $V = 6 \text{ m/s}$  および  $V = 7 \text{ m/s}$  時に両試験体で同等であることが分かる。最大支点反力は、両試験体ともに  $V = 6 \text{ m/s}$  载荷



図一 6 最大重錘衝撃力，最大支点反力および最大応答変位と衝突速度との関係



図一 7 衝撃载荷実験終了後における RC 版裏面のひび割れ分布

における 780 kN 程度であり，最大支点反力を動的耐力とすると静的耐力との比（応答倍率）は 2.1～2.3 程度である。

(c) 図より，最大応答変位  $\delta_{max}$  は D 試験体の方が全体的に小さいことが分かる。また，S 試験体では， $V = 7$  m/s 時において急激に変位が増加しているのに対して，D 試験体では  $V = 8$  m/s までほぼ線形な増加傾向を示している。

以上のことより，各衝突速度における最大重錘衝撃力  $P_{ud}$  および最大支点反力  $R_{ud}$  は，上端鉄筋の有無にかかわらず同程度であることが明らかとなった。また，上端鉄筋を配筋することにより，最大応答変位は抑制される傾向にある。

### (3) ひび割れ分布

図一 7 には，衝撃実験終了後における版裏面のひび割れ分布を示している。ここでは，両試験体で衝突速度が対応した  $V = 6, 7$  m/s 時の試験体のひび割れ分布を示している。

図より，両試験体ともに版中央を中心として

円形状にひび割れが発生していることより，押し抜きせん断破壊が生じているのが分かる。また，両試験体の円形状のひび割れの大きさは，各衝突速度においてほぼ同様であるが，曲げやねじり変形に起因する放射状のひび割れは S 試験体において少ないことが分かる。これは，S 試験体では局所的な衝撃力の作用に対して荷重面直下近傍のコンクリートのみが抵抗するのに対して，D 試験体では版全体で抵抗する傾向にあることを示すものと考えられる。

また，コンクリートの剥落範囲に着目すると，S 試験体の場合には両衝突速度において円形状のひび割れ内のかぶりコンクリートが大きく剥落しているのに対して，D 試験体の場合には， $V = 6$  m/s では剥落が見られず， $V = 7$  m/s においても一部でかぶりコンクリートの剥落が見られるものの，S 試験体に比較して剥落範囲は非常に小さいことが分かる。これは，上述した様に D 試験体は S 試験体に比べて版全体で衝撃力

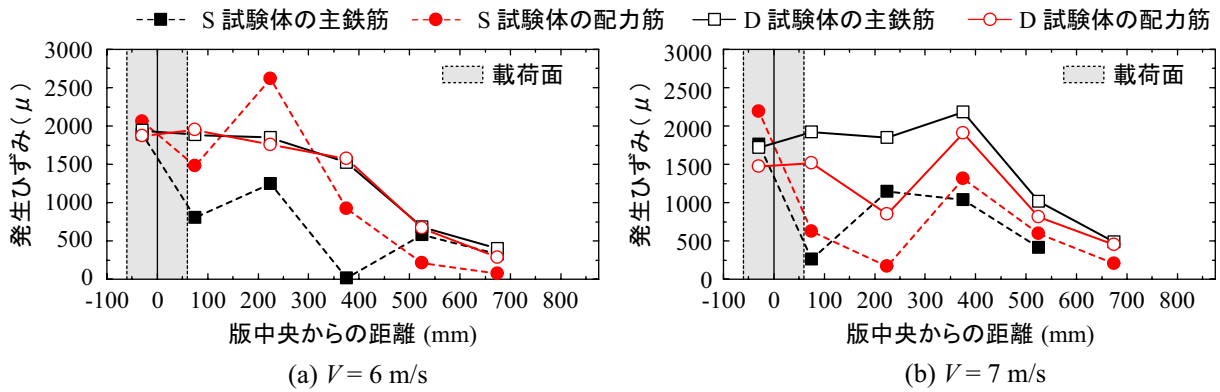


図-8 両試験体の鉄筋のひずみ分布 ( $V = 6, 7 \text{ m/s}$ )



(a) S 試験体



(b) D 試験体

写真-4 衝撃載荷実験終了後における中央部切断面のひび割れ分布 ( $V = 6 \text{ m/s}$ )

に抵抗するためと考えられる。

#### (4) 下端鉄筋のひずみ分布性状

図-8 には、 $V = 6, 7 \text{ m/s}$  載荷時の主鉄筋および配力筋のひずみ分布性状を示している。また、写真-4 には  $V = 6 \text{ m/s}$  載荷時の RC 版中央部切断面のひび割れ状況を示している。

図-8 より、S 試験体は D 試験体に比較して大ひずみ発生領域が狭く、全般的に値も小さく示される傾向にあることが分かる。また、写真-4 より S 試験体では、載荷面のコンクリートが圧壊し重錘が貫入した状態で押し抜きせん断ひび割れが発生しているのに対し、D 試験体では、載荷面のコンクリートの圧壊はほとんど見られず、上端鉄筋の位置より押し抜きせん断ひび割れが発生している。このことから、上端鉄筋の配置により重錘の貫入が抑制され局所的な破壊から版全体の破壊に移行する傾向にあることが明らかになった。

#### 4. まとめ

本研究では、上端鉄筋が RC 版の静的・衝撃耐荷性状に及ぼす影響の検討を目的とし、上端鉄筋の有無に着目して静載荷および衝撃載荷実験を実施した。本研究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) 静載荷実験では、上端鉄筋の有無にかかわらず押し抜きせん断耐力や変形性状は同等である。
- (2) 衝撃載荷実験では、上端鉄筋の有無にかかわらず、最大重錘衝撃力および最大支点反力はほぼ同等である。一方、最大応答変位は上端鉄筋を配筋することにより小さくなる。
- (3) 上記に関連して、衝撃載荷時の破壊形式は、上端鉄筋を配置することにより局所破壊から全体破壊に移行する傾向に有り、結果としてより大きな入力エネルギーに耐えることができる。

#### 参考文献

- 1) コンクリート標準示方書 (2002 年制定) 構造性能照査編, 土木学会, 2002.
- 2) 安藤智啓, 岸徳光, 三上浩, 松岡健一: 断面寸法の違いがせん断破壊型 RC 梁の耐衝撃性状に与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.2, pp.967-972, 2002