上端鉄筋を有する RC 版の耐衝撃性に関する実験的研究

Experimental study of an impact resistant behavior of double reinforced RC slabs

室蘭工業大学	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)
(独) 寒地土木研究所	正会員	西 弘明 (Hiroaki Nishi)
(株)ケイジーエンジニアリング	正会員	巽 治 (Osamu Tatsumi)
室蘭工業大学	〇学生員	伊勢谷 真樹 (Masaki Iseya)

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¹⁾(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、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²⁾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,上端鉄筋の配置の有無により異なり,上端鉄筋を配筋しない場合には,配筋した場合と比較して,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配置のみ 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 (Single or Double) を表すSとDと している. 試験体数は、それぞれ静載荷用試験体1体、衝 撃載荷用試験体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 × 2,000 × 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.なお、鉄筋は RC 版の四辺に設置した溝型鋼に溶接し、定着を確保する



図-1 押し抜きせん断破壊のモデル

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、支持条件を載荷方法にかかわらず純スパン長 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、静荷重および衝撃荷重載荷実験とも に、載荷治具には直径 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、載荷位置は RC 版の中央部と

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-2 試験体の形状寸法および配筋状況



試験 体名	実測押し抜き せん断耐力 <i>P_{us}</i> (kN)	計算押し抜き せん断耐力 V _{pcd} (kN)	耐力比 Pus/V _{pcd}
S	336.2	253.3	1.33
D	374.8	281.3	1.33

した.

静載荷実験は,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.

衝撃載荷実験は,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載荷法を採用した.なお, 実験は,静載荷実験や過去の著者らによる実験結果に基づ いて第1回目の衝突速度を決定し,第2回目以降の衝突速 度は 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,載荷荷重 P(以後,静載荷実験の場合には 静荷重,衝撃載荷実験の場合には重錘衝撃力と呼ぶ),合 支点反力 R(以後,支点反力)および載荷点変位 δ(以後, 変位)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 破断面を観察している.

3. 実験結果および考察

3.1 静載荷実験結果

(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には静載荷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 $\gamma_b = 1.0$ 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.また、最大



図-4 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



(a) S 試験体



(b) D 試験体 写真-1 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

荷重に違いが見られるが、これは耐力比が両試験体ともに 1.33 であることより、S 試験体とD 試験体のコンクリート の圧縮強度が異なるためであると考えられる.また、剛性 勾配も両者に相違が見られないことより、静載荷実験の場 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) ひび割れ分布性状

図-4には、実験終了後における両 RC 版裏面のひび割 れ分布性状を示している.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.

写真-1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,いずれの試験体においても載荷点か 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.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,大 きさはほぼ同様である.

3.2 衝撃載荷実験結果

(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 δ に関する応答波形を衝突速度ごとに示している. 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.

重錘衝撃力波形 Pは、S 試験体の V=5 m/s では、衝撃初 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のが分かる.また、 それ以外の波形においては、2波目がほぼ消失しているこ とが分かる.これは、RC 版に押し抜きせん断面が形成さ れ、塑性化が進行したことによるものと考えられる.

支点反力波形 R は、両試験体とも衝突速度にかかわらず、継続時間が 8 ms 程度の三角形波とそれに付随する正



図-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

弦減衰波および周期が2ms程度の波形が合成された性状 を示しているのがわかる.

変位波形 δ 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 m/s での残留変位はわずかであるが、V=6 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 m/sでは大きな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 δ_{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 m/s およ びV = 7 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 m/s およびV = 7 m/s 時において両試験体で同等で あり,V = 6 m/s 以降の衝突速度において最大支点反力 R_{ud} は減少しているが,その低下勾配も等しいことが分かる.

(c) 図より,最大応答変位 δ_{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、最大応答変位が抑制されることが 明らかになった.

(3) ひび割れ分布性状

図-7には、両試験体の衝撃実験終了後におけるひび割 れ分布性状を示している、ここでは、両試験体で衝突速度









が対応した試験体のひび割れを示している.図より,両試 験体ともに版中央を中心とした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発生範囲は,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 対して載荷面直下近傍のコンクリートのみが抵抗するのに 比べて,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.

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が分 かる.これに対して、D試験体の場合には、V=6m/sでは 剥落が生じておらず、V=7 m/s においてはかぶりコンク リートの剥落が見られるものの、S試験体に比べると範囲 は非常に小さい.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に抵抗するためと考えられる.

写真-2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、いずれの試験体においても載荷点か 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.S試験体の場合には、載荷点から 伸びるせん断ひび割れが曲線状になっていることが確認で きる.この曲線状のひび割れは、重錘衝撃力による下方へ の押し抜きとせん断破壊による斜め下方へのひび割れが合 成されたためと考えられる.また、D試験体の場合では、 上端鉄筋により下方への押し抜きが抑えられているため、 S試験体で見られた曲線状のひび割れは発生しておらず、 静載荷実験で見られたのと同様な押し抜きせん断性状を示 している.

4. **まとめ**

本研究では、上端鉄筋を配筋することによる RC 版の静 的・衝撃耐荷性状に及ぼす影響について検討することを目 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は以下の 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、上端鉄筋を配筋することにより、応答変位は小 さく抑制できる。
- (3) 以上のことから,静載荷時および衝撃載荷時において、上端鉄筋を配筋することが耐力に与える影響は顕著ではない.しかし、衝撃載荷時においては、上端鉄筋を配筋することにより、試験体の損傷を軽微に抑えることができる.

参考文献

- 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