

コンクリート強度の異なる4辺支持RC版の重錘落下衝撃実験

Falling-weight impact test of rectangular RC slabs with various compressive strength of concrete

室蘭工業大学
三井住友建設(株)
室蘭工業大学
室蘭工業大学大学院

フェロー 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)
フェロー 三上 浩 (Hiroshi Mikami)
正会員 栗橋 祐介 (Yusuke Kurihashi)
○学生会員 吉田 宏彰 (Hiroaki Yoshida)

1. はじめに

ロックシェッドの頂版などに見られる鉄筋コンクリート(RC)版などの面部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。著者らは既往の研究¹⁾で、RC版に載荷面直径の小さな重錘が比較的低速度(10 m/s程度以下)で衝突する場合も、衝突速度が大きくなると静載荷時と類似した押抜きせん断破壊で終局に至ることを明らかにしている。

また、著者らは、これまで主鉄筋比³⁾、版厚⁴⁾、載荷版/重錘直径⁵⁾が異なるRC版の静的および重錘落下衝撃実験を実施し、各パラメータがRC版の耐衝撃挙動に及ぼす影響を明らかにするとともに、RC版の動的押抜きせん断耐力が、静的押抜きせん断耐力の2.2~3.3倍程度になること等を明らかにしている。ただし、コンクリートの圧縮強度(以後、圧縮強度)が異なる場合については未検討であり、汎用性の高いRC版の動的押抜きせん断耐力算定式の確立には至っていない。

このような背景より、本研究では、RC版の動的押抜きせん断耐力算定式を提案するための基礎資料の収集を目的として、圧縮強度を変化させた4辺単純支持RC版の重錘落下衝撃実験を実施した。

2. 実験概要

図-1に本実験に用いたRC版試験体の概要を示す。RC版の寸法は、2000×2000×180 mmであり、有効高さ140 mmの位置に下端鉄筋を配筋している。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。写真-1に実験状況を示す。支持条件は、純スパン長1.75 mの4辺単純支持としている。なお、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衝撃載荷方式を採用している。

表-1に実験ケースの一覧を示す。表には、コンクリートの圧縮強度、衝突速度、示方書式を用いて算出した計算静的押抜きせん断耐力を示している。試験体名は、英文字Cに目標圧縮強度(MPa)を付して示している。なお、鉄筋の降伏強度は390 MPaであった。

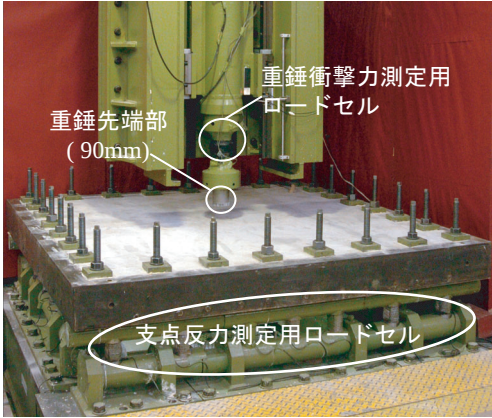
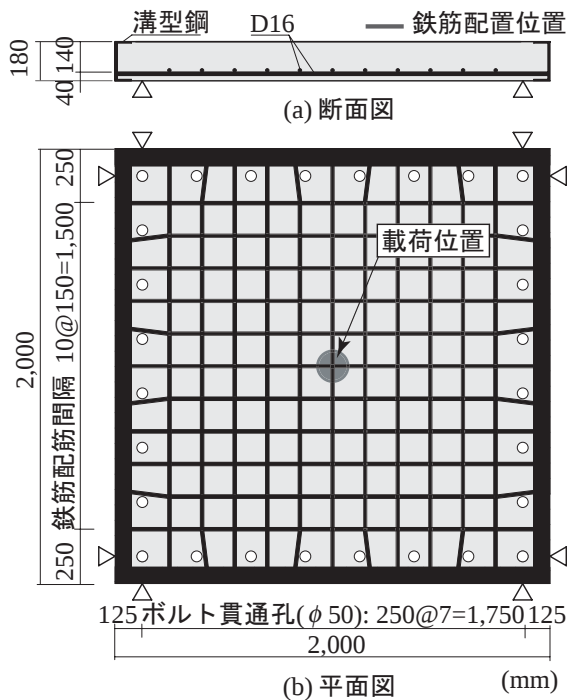


写真-1 実験状況

表-1 実験ケース一覧

試験体名	コンクリート 圧縮強度 MPa	衝突速度 V (m/s)	計算押抜き せん断耐力* V _{pcd} (kN)
C15	11.3	3, 3.5, 4, 4.5	174.6
C30	26.3	4, 4.5, 5, 5.5	266.2
C45	39.0	5.3, 5.7, 6, 6.3	311.7
C60	50.9	5, 5.5, 6, 6.5	311.7

* $\gamma_b = 1.0$

図-1 RC版の形状寸法および配筋状況

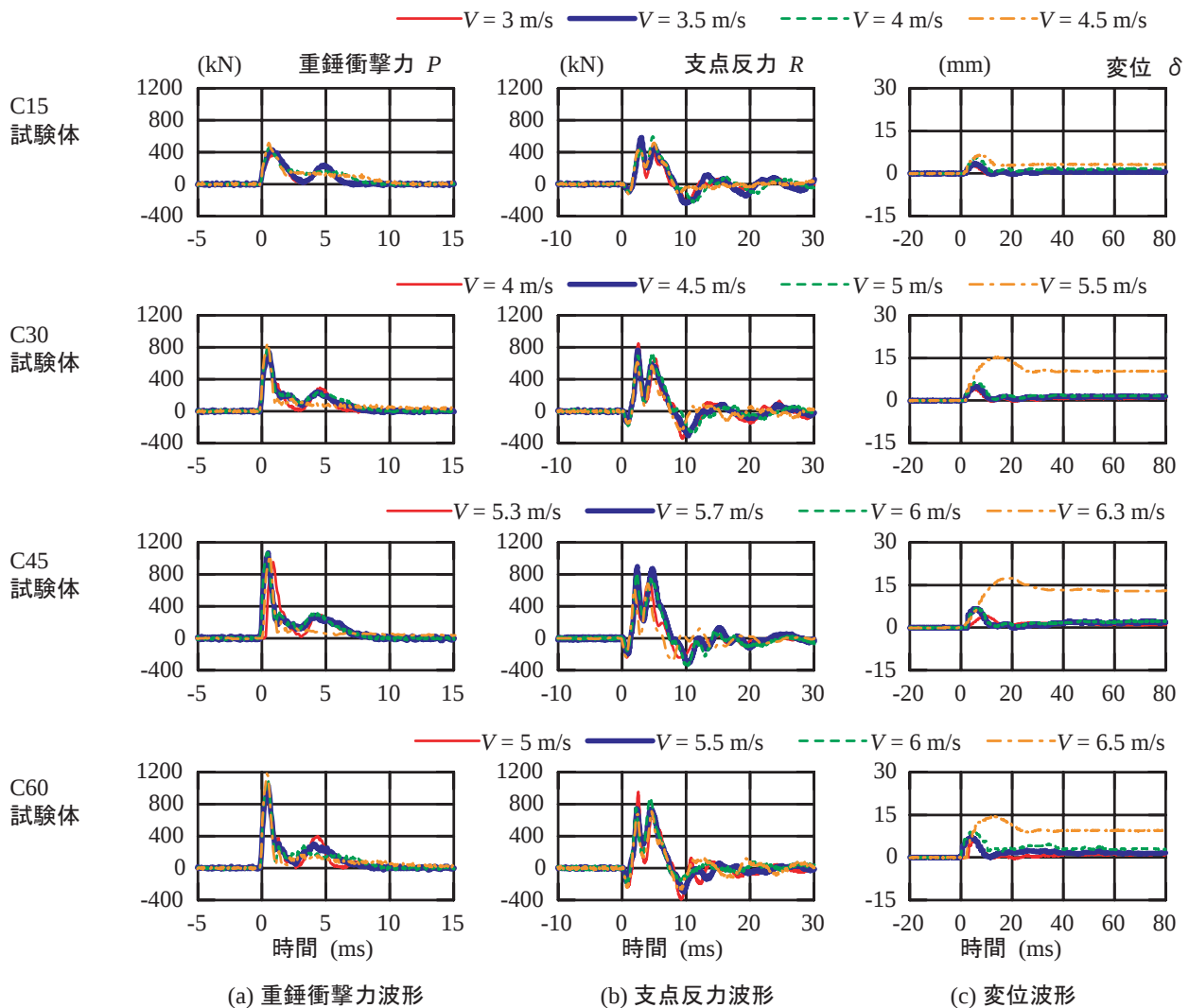


図-2 重錘衝撃力、支点反力および変位に関する応答波形

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版裏面を撮影し、ひび割れ性状を観察している。

3. 実験結果および考察

3.1 重錘衝撃力、支点反力および変位応答波形

図-2に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試験体ごとに示す。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-2(a)より、重錘衝撃力波形 P は、いずれの試験体も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の長い第2波で構成されていることが分かる。また、衝突速度の増大に伴って第2波目が消失する傾向にある。これは、衝突速度の増加に伴い版の塑性化が進行することによるものと考えられる。

図-2(b)より、支点反力波形 R は、衝突初期に周期が 10 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 ms 程度の高周波成分が合成された性状を示しており、いずれの試験体および衝突速度においても類似した波形性状を示していることが分かる。また、図-2(c)より、

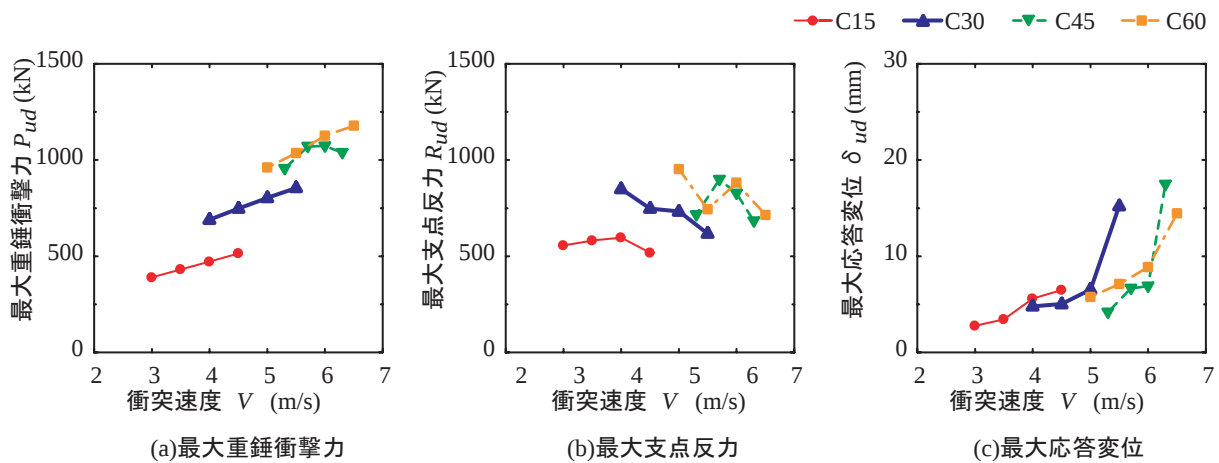
変位波形 δ は、衝撃荷重載荷初期に正弦半波状の波形性状を示していることが分かる。衝突速度 V が小さい場合には変位がほぼ零まで復元するものの、最終衝突速度においては残留変位を生じている。

3.2 各種応答値と衝突速度との関係

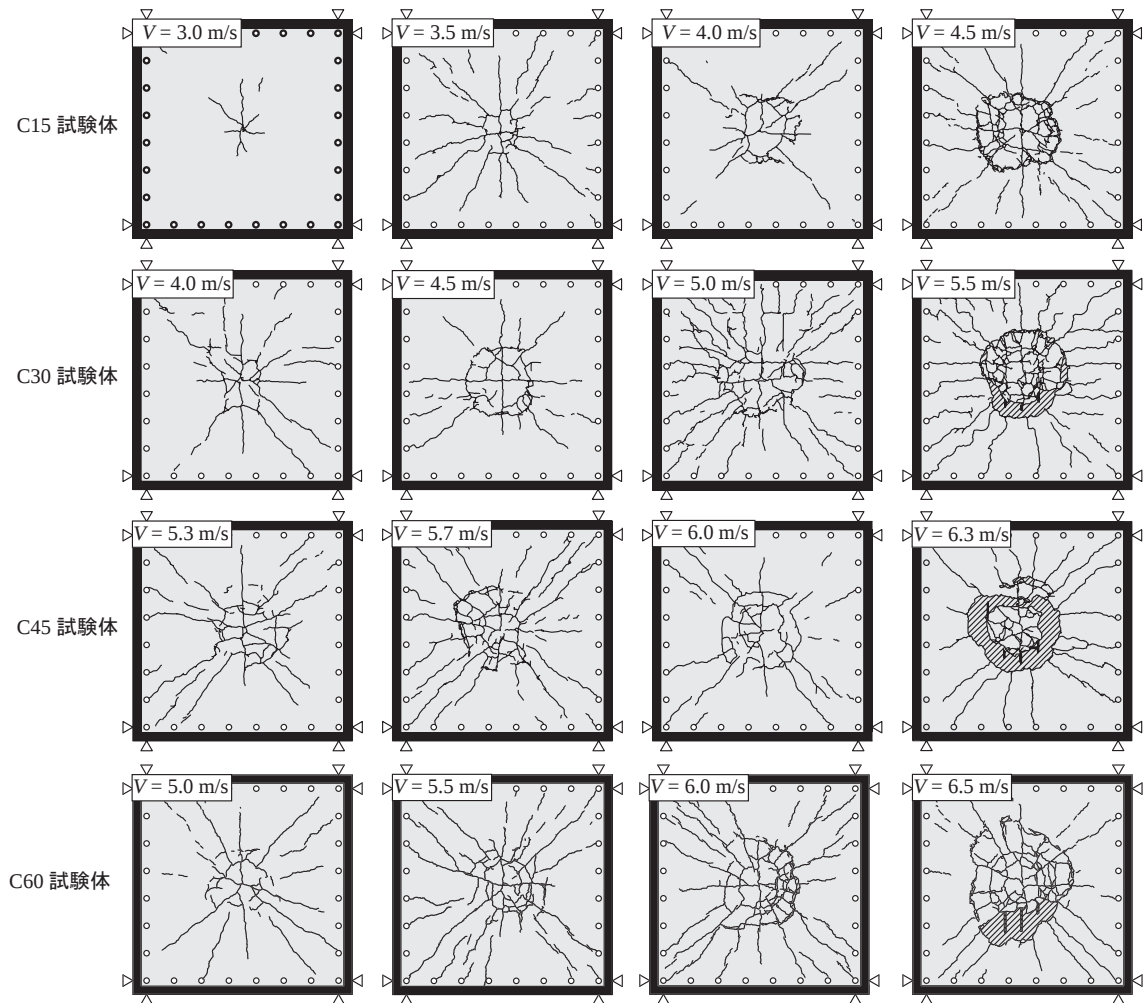
図-3に各試験体の (a) 最大重錘衝撃力 P_{ud} 、(b) 最大支点反力 R_{ud} および (c) 最大応答変位 δ_{ud} と衝突速度 V との関係を示す。

図-3(a)より、最大重錘衝撃力 P_{ud} はいずれの試験体においても、衝突速度 V の増加に伴って増大していることが分かる。また、図-3(b)より、各試験体の最大支点反力 R_{ud} は、既往の実験と同様にピーク到達後、低下する傾向にあることが分かる。なお、 P_{ud} 、 R_{ud} は、ともに圧縮強度が大きい試験体ほど大きくなる傾向にあるものの、C45、C60 試験体の差異は顕著ではない。

図-3(c)より、いずれの試験体においても衝突速度 V の増加にともなって最大応答変位 δ_{ud} が増大し、C15 試験体を除く全試験体の最終衝突速度時において δ_{ud} が急激に増大していることが分かる。これは、RC版に押し抜きせん断コーンが明瞭に形成されたことを示すものと考えられる。なお、 δ_{ud} が急増する衝突速度は、圧縮強度が大きい



図－3 各種応答値と衝突速度との関係



図－4 実験終了後における版裏面のひび割れ分布性状

試験体ほど大きくなる傾向にあるものの、C45、C60 試験体では大差がない。

3.3 ひび割れ性状

図－4 に実験終了後における版裏面のひび割れ分布性状を示す。図より、いずれの試験体においても、衝突速度 V の増加に伴って、放射状のひび割れが増加するとともに、版中央部には押し抜きせん断コーンの形成に起因する円形

状のひび割れが徐々に明瞭になっていることが分かる。最終衝突速度時においては、著しい押し抜きせん断破壊に至っており、特に C30、45、60 試験体では、下縁かぶりコンクリートが大きく剥落していることが分かる。

また、各試験体において、衝突速度 V が同等の場合には、圧縮強度が高い試験体ほど放射状や円形状のひび割れが軽微となり、より健全であることがうかがわれる。な

表-2 動的耐力および静的耐力一覧

試験 体名	終局 速度 V_{cr} (m/s)	動的 せん断耐力 R_{ud} (kN)	静的 せん断耐力 P_{us} (kN)	曲げ剛性 MNm	動的 応答倍率 R_{ud} / P_{us}
C15	4	597.3	212.9	16.83	2.81
C30	4	849.7	287.2	19.98	2.96
C45	5.7	898.6	415.1	23.49	2.16
C60	5	952.6	449.3	25.39	2.12

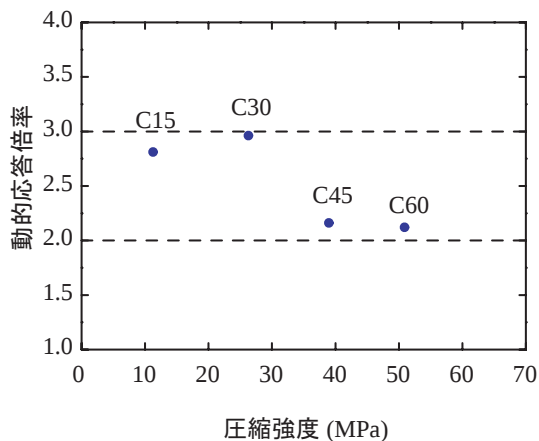


図-5 動的応答倍率と圧縮強度との関係

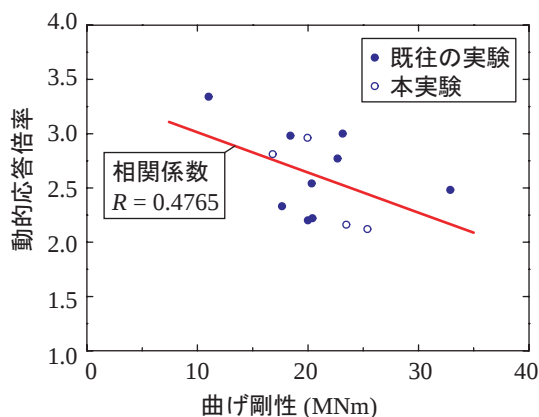


図-6 動的応答倍率と曲げ剛性との関係

お、C45 および C60 試験体のひび割れ性状にも大きな差異は認められない。この傾向は、前述の各種応答値と衝突速度の関係と良く対応している。

3.4 動的耐力および動的応答倍率

表-2 に本実験に用いた試験体の動的耐力および静的耐力を一覧にして示す。表には、終局速度 V_{cr} 、動的せん断耐力 R_{ud} 、別途実施した静載荷実験より得られた静的せん断耐力 P_{us} 、RC 版の単位幅あたりの曲げ剛性および、動的せん断耐力を静的せん断耐力で除した動的応答倍率を示している。なお、終局速度とは最大支点反力を示した衝突速度であり、動的せん断耐力は最大支点反力と同値であるものとして評価し、また曲げ剛性は引張側のコンクリートを無視して算出している。コンクリートのヤング係数は、示

方書の圧縮強度とヤング係数の関係を基に定めた。

図-5 には、表-2 における動的応答倍率と圧縮強度との関係を示している。図より、本実験における動的応答倍率は 2.0～3.0 程度であり、圧縮強度の増加とともに動的応答倍率が低下する傾向にあることが分かる。図-6 に RC 版の曲げ剛性と動的応答倍率との関係を示す。ここでは、著者らによる既往の実験結果も併せて示している。図より、動的応答倍率は、版の曲げ剛性が大きいほど低下する傾向にあることが分かる。なお、曲げ剛性が小さい試験体で動的応答倍率が大きくなるのは、曲げ剛性が小さい試験体ほど曲げ変形が卓越しやすいことに起因しているものと推察される。

以上のことから、RC 版の動的応答倍率（動的せん断耐力 / 静的せん断耐力）を版の曲げ剛性を基に規定することで、低速度の衝撃力が作用する RC 版の動的せん断耐力を計算静的せん断耐力に動的応答倍率を乗ずることで算定可能になるものと考えられる。

4. まとめ

本研究では、RC 版の動的せん断耐力算定式を提案するための基礎資料収集を目的に、配筋状況や支持条件を同一とし、圧縮強度を 4 種類に変化させた RC 版を対象に、重錘落下衝撃実験を実施した。本研究の範囲内で得られた結果を整理すると以下の通りである。

- (1) 圧縮強度が大きい試験体ほど最大重錘衝撃力および最大支点反力が大きくなる傾向にある。ただし、圧縮強度が 40 MPa 程度以上ではその差異が小さく、圧縮強度が最大重錘衝撃力や最大支点反力に及ぼす影響には上限があるものと考えられる。
- (2) 同一衝突速度における RC 版の損傷程度は、圧縮強度が大きくなるほど軽微になる傾向にある。ただし、圧縮強度が 40 MPa 程度以上ではその差異が小さく、この傾向は圧縮強度と最大重錘衝撃力および最大支点反力との関係と同様である。
- (3) 動的応答倍率は圧縮強度が大きいほど小さくなる傾向にある。また、動的応答倍率と版の曲げ剛性には比較的高い相関が認められる。これより、計算静的せん断耐力に曲げ剛性を基に規定した動的応答倍率を乗じることで動的せん断耐力の算定が可能となる。

参考文献

- 1) 栗橋祐介, 岸 徳光, 三上 浩, 竹本伸一, : PVA 短繊維を混入した軽量コンクリート製 RC 版の耐衝撃性に関する実験的研究, 構造工学論文集 Vol.53A, 2007.3
- 2) 土木学会: コンクリート標準示方書 (設計編), 2007
- 3) 三上 浩, 岸 徳光, 小澤 靖, : 鉄筋径の異なる 4 辺支持 RC 版の重錘落下衝撃実験, 土木学会北海道支部論文報告集 第 64 号, 2008.2
- 4) 岸 徳光, 三上 浩, 今野久志, 相良光利: 版厚の異なる 4 辺支持 RC 版の重錘落下衝撃実験, 土木学会北海道支部論文報告集 第 64 号, 2008.2
- 5) 岸 徳光, 三上 浩, 今野久志, 相良光利, : 四辺支持 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 63 号, 2007.2