

版厚の異なる4辺支持RC版の重錘落下衝撃実験

Falling-weight impact test of rectangular RC slabs in cases varying thickness

室蘭工業大学

三井住友建設(株)

寒地土木研究所

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 今野 久志 (Hisashi Konno)

○学生会員 相良 光利 (Mitsutoshi Sagara)

1. はじめに

鉄筋コンクリート(RC)床版などの面部材に集中荷重が静的かつ局所的に作用する場合、脆性的な破壊形式である押抜きせん断破壊によって終局に至ることが知られている。また、著者らは既往の研究¹⁾より、RC版に載荷面直径の小さな重錘が比較的低速度(ここでは、10 m/s程度以下)で衝突する場合も、入力エネルギー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。静載荷時におけるRC版の押抜きせん断耐力算定式はコンクリート標準示方書²⁾(以後、示方書)に示されているが、面部材の押抜きせん断耐力を理論的に求めることは困難であるため、多くの実験結果に基づいた経験式で構成されている。

図-1に押抜きせん断破壊の破壊モデル概要図を示す。押抜きせん断破壊は、図-1に示すように、押抜きせん断ひび割れが載荷面の端部から下端鉄筋位置まで斜め45°下方に進展すると仮定している。そのため押抜きせん断耐力は、押抜きせん断断面の平均周長(設計周長)に有効高さを乗じた押抜きせん断断面の表面積にコンクリートの強度や鉄筋比、有効高さおよび載荷面積の大きさに関する影響係数を乗じて算定している。著者らは既往の研究³⁾より、重錘落下衝撃荷重を受けるRC版の動的押抜きせん断耐力(ここでは、支点反力)が、静的押抜きせん断耐力の2.2~2.5倍程度になることを明らかにしている。しかしながら、低速度の衝撃荷重を受けるRC版の耐荷挙動に関する研究例は少なく、動的押抜きせん断耐力算定式の確立には至っていない。

そこで本研究では、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、有効高さを変化させた4辺単純支持RC版を対象に重錘落下衝撃実験を実施した。

2. 実験概要

図-2には、本実験に用いたRC版試験体の形状寸法を示している。試験体は、2000 mm四方のRC版であり、版厚を150, 180, 200 mmと変化した。下端鉄筋はいずれも下縁から平均芯かぶりを40 mmとしたため、有効高さは

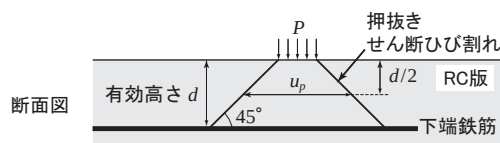


図-1 押抜きせん断破壊のモデル

は110, 140, 160 mmと変化している。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た。なお、鉄筋はRC版の4辺に設置した溝型鋼に溶接して定着を確保している。試験体数は別途実施した静載荷実験の

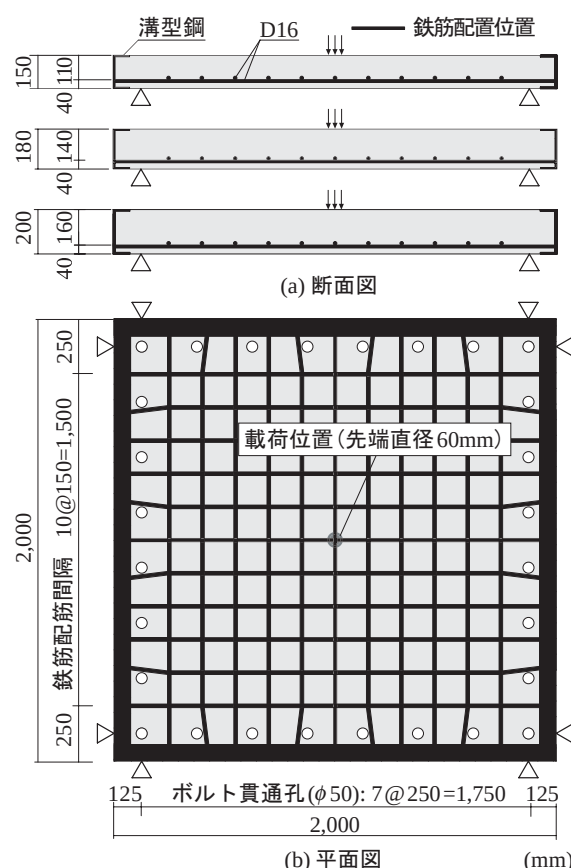


図-2 RC版の形状寸法および配筋状況

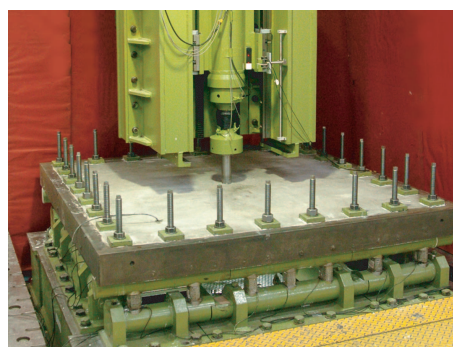


写真-1 実験状況 (H150 試験体)

表-1 実験ケース一覧

試験体名	版厚 h (mm)	有効高さ d (mm)	鉄筋比 ρ (%)	コンクリート 圧縮強度 f'_c (MPa)	衝突速度 V (m/s)	計算押抜き せん断耐力* V_{pcd} (kN)	実測押抜き せん断耐力 P_{us} (kN)
H150	150	110	1.4	32.2	3, 4, 5, 6	189.4	200.7
H180	180	140	1.1	37.4	4, 5, 5.5, 6	289.9	284.5
H200	200	160	1.0	34.1	5, 6, 6.5, 7	338.0	324.5

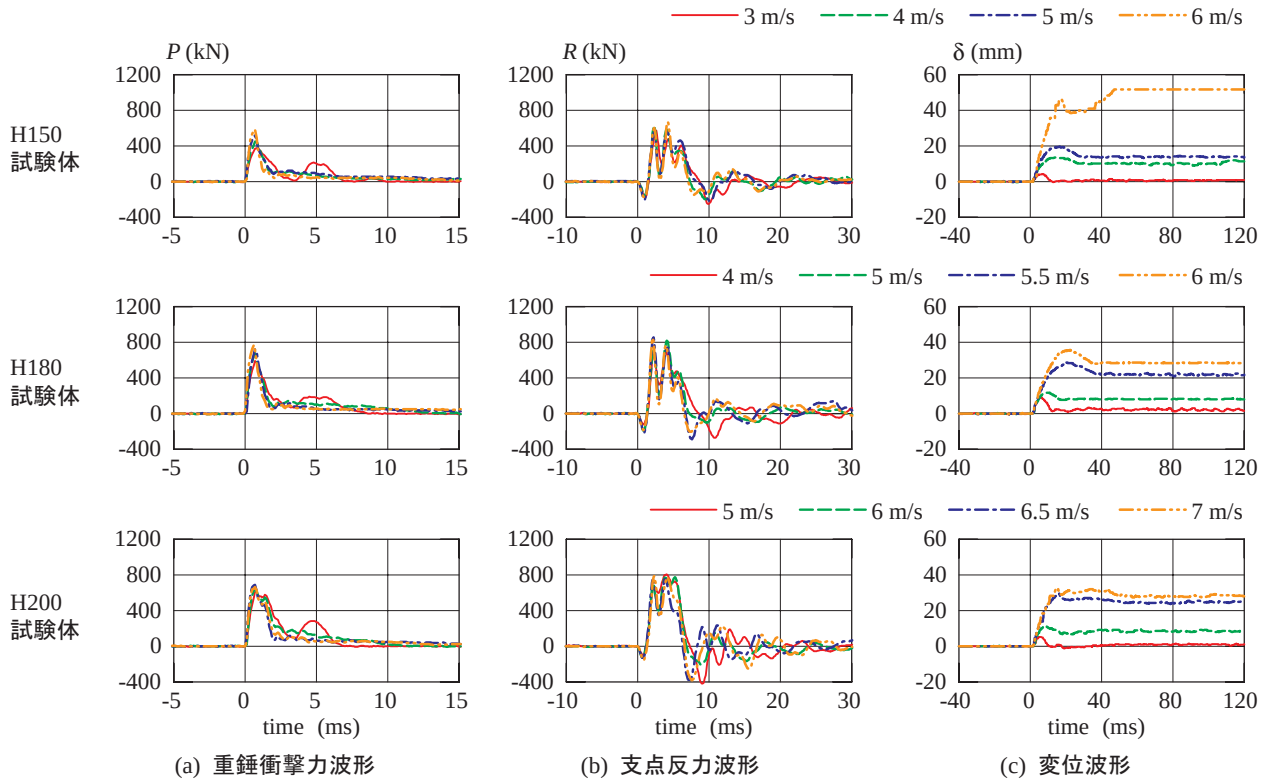
* $\gamma_b = 1.0$ 

図-3 重錘衝撃力、支点反力および変位に関する応答波形

試験体も含め全15体である。

写真-1には、本実験の実験状況を示している。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。また、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60 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には、本実験の実験ケースを一覧にして示している。表には、版厚および有効高さ、鉄筋比、コンクリートの圧縮強度、衝突速度の他、示方書式を用いて算出した計算静的押抜きせん断耐力および静載荷実験より得られた実測押抜きせん断耐力も併せて示している。本実験の試験体名は、英文字Hに版厚(mm)を付して示している。なお、コンクリートの圧縮強度は32～37 MPa程度となっている。また、鉄筋の降伏強度は380 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版の裏面のひび割れおよび版中

央部を主鉄筋方向に切断して切断面のひび割れを撮影し、破壊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-3には、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。

図-3(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。また、いずれの試験体も衝突速度が比較的大きくなると第2波目が消失する傾向にある。これは、入力エネルギーの増加にともない版の塑性化が進行するためと考えられる。なお、重錘衝撃力は全般的にH180試験体で大きい。

図-3(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

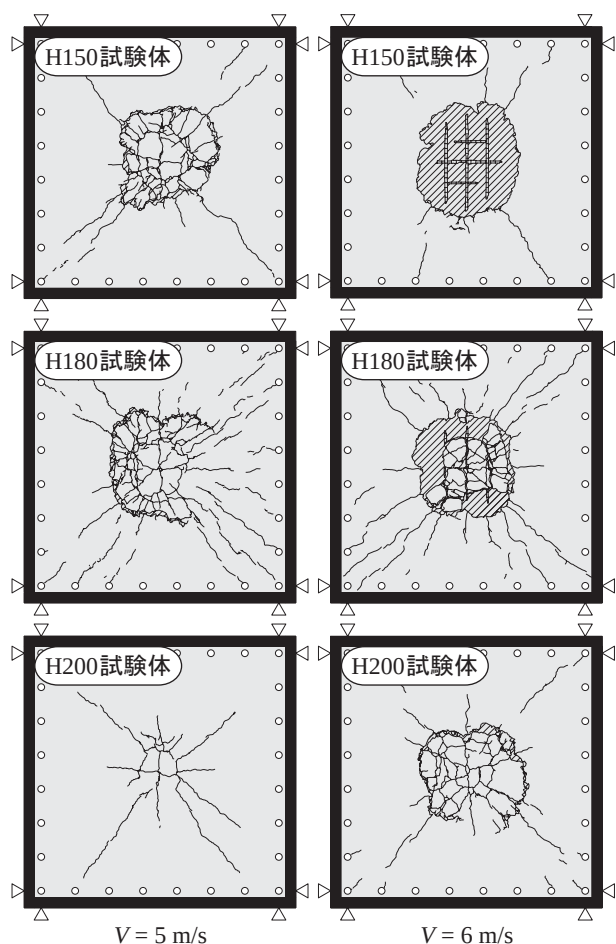


図-4 実験終了後における版裏面のひび割れ分布性状

形性状となっている。なお、支点反力も全般的に H180 試験体で大きい。

図-3(c)より、変位波形 δ は、各試験体ともに低衝突速度では正弦半波状を示した後に一定値を示している。また、衝突速度の増大とともに振動状態を呈しない性状となっている。なお、衝突速度の増加にともない残留変位が増大していることから、押抜きせん断コーンが明瞭に形成されていることがうかがわれる。

3.2 破壊性状

図-4には実験終了後における版裏面のひび割れ分布性状を示している。なお、図には同一衝突速度である $V=5$ m/s, 6 m/s の結果を示している。図-4より、衝突速度および版厚の違いにかかわらず、押抜きせん断コーンの大きさはほぼ一定であることが分かる。また、同一衝突速度の試験体を比較すると、版厚が大きいほど押抜きせん断コーンの形成が抑制され、損傷程度は軽微となっていることが分かる。

写真-2には、図-4で示した RC 版の中央部切断面におけるひび割れ分布性状を示している。写真-2より、いずれの試験体も押抜きせん断ひび割れは載荷面の端部より斜め下方に向かって進展しており大略類似した性状を示していることが分かる。しかしながら、その角度は版厚の増加にともない増大していることが分かる。これは、版厚が薄い場合には版の剛性が小さく、版がたわみ易いために押抜きせん断断面がフラットな角度で形成されているのに対し

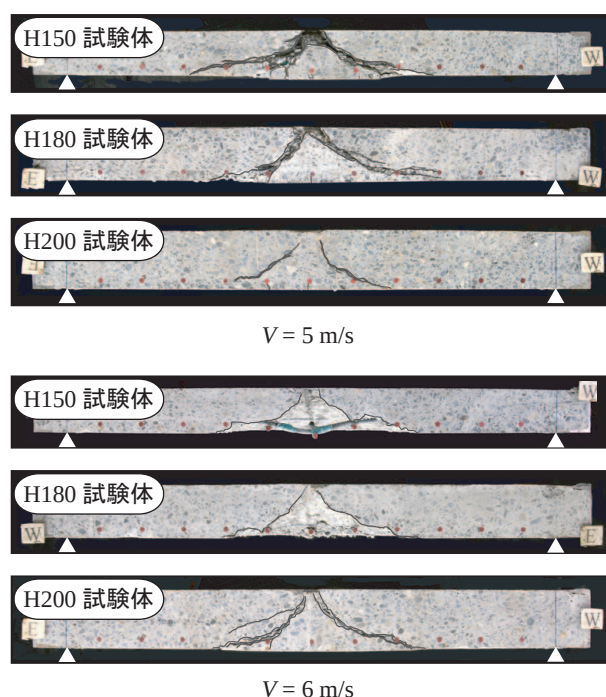


写真-2 版中央部切断面のひび割れ分布性状

て、版厚が大きい場合にはたわみが少なく、 45° に近い押抜きせん断断面が形成されるためと考えられる。

3.3 各種応答値と衝突速度との関係

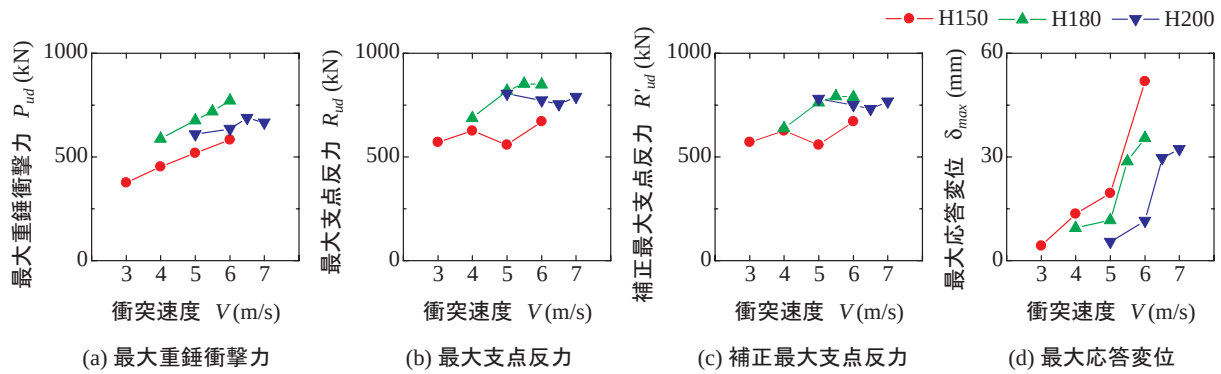
図-5には、各試験体の (a) 最大重錘衝撃力 P_{ud} , (b) 最大支点反力 R_{ud} , (c) 補正最大支点反力 R'_{ud} および (d) 最大応答変位 δ_{ud} と衝突速度 V との関係を示している。ここで、補正最大支点反力とは圧縮強度の差異による影響を取り除くため、最大支点反力 R_{ud} に $\sqrt{32.2/f'_c}$ を乗じることで補正した値である。ここで、32.2 は H150 試験体のコンクリート強度である。

図-5(a)より、最大重錘衝撃力は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増大していることが分かる。また同一衝突速度時を比較すると H180 試験体が最も大きくなっているが、これは圧縮強度の影響によるものと推察される。

図-5(b)より、各試験体の最大支点反力は、既往の実験と同様に衝突速度の増加にともない増大する傾向にあるものの、ピークを迎えた後は低下する傾向にあることが分かる。また、同一速度では H180 試験体で最も大きな支点反力が発生しているが、これには圧縮強度の影響が含まれているものと推察される。

図-5(c)には、コンクリート強度の影響を取り除いた補正最大支点反力を示している H150 試験体の補正最大支点反力は他の試験体に比較して小さく示されているが、H180, H200 試験体は同一速度ではほぼ同様の値を示している。これは図-4、写真-2から確認できるように、押抜きせん断コーンの大きさが H180 と H200 試験体では同程度となっていること、押抜きせん断ひび割れの角度が H150 試験体で最も緩やかであること、などに関連するものと考えられる。

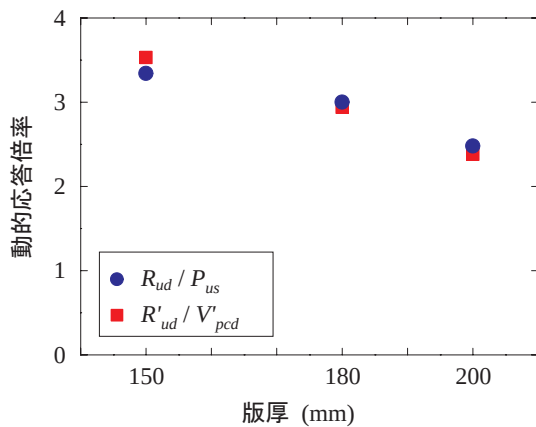
図-5(d)より、いずれの試験体においても衝突速度 V の増加にともなって最大応答変位が増大していることが分



図－5 各種応答値と衝突速度との関係

表－2 動的耐力および静的耐力一覧

試験体名	終局速度 V (m/s)	動的 せん断耐力 R_{ud} (kN)	補正動的 せん断耐力 R'_{ud} (kN)	静的 せん断耐力 P_{us} (kN)	計算静的 せん断耐力 V'_{pcd} (kN)	動的 応答倍率 R_{ud} / P_{us}	計算動的 応答倍率 R'_{ud} / V'_{pcd}
H150	6	671.3	671.3	200.7	189.4	3.34	3.54
H180	5.5	852.7	793.0	284.5	269.1	3.00	2.95
H200	5	804.4	780.3	324.5	328.1	2.48	2.38



図－6 動的応答倍率と版厚との関係

かる。また、押抜きせん断コーンが明瞭に形成される衝突速度で最大応答変位が急激に増大することが分かる。

3.4 動的耐力および動的応答倍率

表－2には、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している。表には、終局速度 V (最大支点反力が生じた衝突速度)、最大支点反力である動的せん断耐力 R_{ud} 、補正動的せん断耐力 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} 、設計圧縮強度 f'_{cd} を32.2(MPa)に設定して計算した計算静的せん断耐力 V'_{pcd} 、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および補正動的せん断耐力を計算静的せん断耐力で除した計算動的応答倍率をあわせて示している。

図－6には動的応答倍率と版厚との関係を示している。本実験結果より、実測値および計算値のどちらを用いた場合においても動的応答倍率は2.4～3.5程度であり、版厚の増加とともに動的応答倍率がほぼ線形に低下する傾向にあることが分かる。

以上のことから、版の剛性などを考慮した上で動的応答倍率を2.5～3.5程度に設定することでRC版部材の動的耐力を評価可能であると考えられる。

4. まとめ

本研究では重錘落下衝撃荷重を受けるRC版の動的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、有効高さを3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) 版厚にかかわらずRC版の各種応答波形の性状は大略類似している。一方、押抜きせん断面の形成角度は版厚の影響を顕著に受ける。
- (2) 版厚が大きいほど動的耐力(最大支点反力)は大きくなる傾向にあるが、180と200mmでは大差がない。一方、最大応答変位は全般的に版厚が大きいほど小さくなる傾向にある。
- (3) 動的応答倍率は、版厚の増加に対応してほぼ線形に低下する傾向にある。本研究の範囲内では、2.5～3.5程度であった。

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(2002年制定) 構造性能照査編, 2002.
- 3) 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, A-36, 2007.2