鉄筋径の異なる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 rebar diamiter

三井住友建設(株)	フェロー	〇三上 浩 (Hiroshi Mikami)
室蘭工業大学	フェロー	岸 徳光 (Norimitsu Kishi)
(株) KG エンジニアリング	正会員	小澤 靖 (Yasushi Ozawa)

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,下端鉄 筋径を変化させた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 × 2000 × 180 mm,有効高 さ140 mm の位置に下端鉄筋を配筋した RC 版である.下 端鉄筋には D13, D16, D19 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1.75m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



図ー2 RC版の形状寸法および配筋状況



写真-1 試験体設置状況 (D13 試験体 4 m/s 時)



表-1 実験ケース一覧 コンクリート

図-3 重錘衝撃力,支点反力および変位に関する応答波形

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、鉄筋径、鉄筋比、降伏強度、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、使用した異形鉄筋名をそのまま使用している.なお、コ ンクリートの圧縮強度は 27 ~ 37 MPa 程度となっている.

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同一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。

図-3(a)より,重錘衝撃力波形 *P*は,いずれの試験体お よび衝突速度においても,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、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D16試験体で大きい.

計算押抜き

実測押抜き

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3ms 程度の高周波成分が合成された性状を示している.

重錘衝撃力および支点反力波形は,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となっており,鉄 筋径の影響はほぼ無いといえる.なお,全般的に支点反力 も重錘衝撃力と同様にD16試験体で大きい.これは,D16 試験体のコンクリート強度が他に比べて1.2~1.4倍ほど 大きいためと考えられる.

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 されていることが伺われる.また,最終衝突速度における 残留変位は鉄筋径が小さいほど大きな値を示し,局部損傷 が激しくなっていることが伺われる.

3.2 破壊性状

図-4には実験終了後における版裏面と中央部切断面の



図-4 実験終了後におけるひび割れ分布性状

ひび割れ分布性状を示している. なお,図には同一衝突速 度の結果を示している. 図-4(a)より,裏面のひび割れ 分布性状は,4 m/s においては,いずれの試験体においても 曲げやねじりに起因する放射状のひび割れが卓越し押抜き せん断コーンの形成に伴う円形状のひび割れは,まだ発生 していないことが分かる.5 m/s,6 m/s においては,円形 状ひび割れが形成されており,その大きさは鉄筋径によら ず,ほぼ同程度となっている.また,6 m/s 時の試験体を 比較すると,鉄筋径が大きいほど載荷点直下のコンクリー ト剥離が軽減されていることが分かる.

図-4(b)より, RC版の中央部切断面におけるひび割れ 分布性状から,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.なお,いずれの試 験体も4m/s時には,押抜きせん断ひび割れが下縁かぶり 部に到達していないことが分かる.

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コンクリート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 $\sqrt{26.6/f'_c}$ を乗じる ことで補正した値である.ここで、26.6 は D13 試験体のコ ンクリート強度である.また、図(d)における白抜きは最 大支点反力発生時を示している. 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ほぼ線形に増大していることが分かる.また同一衝突速度で比較するとD16 試験体で最も大きいが,これはコンクリート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D16試験体で最も大きな支点反力 が発生しているが,これにはコンクリート強度の影響が含 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。いずれの試験体においても ほぼ同程度の値を示しており、支点反力を動的耐力として 評価する場合,鉄筋径が RC 版の動的耐力に及ぼす影響は 顕著ではないことが分かる。

図-5(d)より、5m/s時まで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最大応答変位がほぼ線 形に増大していることが分かる.一方、6m/s時では最大 応答変位が急激に増大しており、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.また、この傾向は鉄筋 径が小さいほど顕著である.すなわち、入力エネルギーが 大きくなると押抜きせん断面が明瞭に形成され、代わりに 鉄筋が衝撃力に抵抗することになるため、鉄筋径が小さい 場合には抵抗が小さく、応答変位量が大きくなったものと



表-2 動的耐力および静的耐力一覧

試験体名	終局速度	動的	補正動的	静的	計算静的	動的	計算動的
		せん断耐力	せん断耐力	せん断耐力	せん断耐力	応答倍率	応答倍率
	V (m/s)	R_{ud} (kN)	R'_{ud} (kN)	P_{us} (kN)	V_{pcd}' (kN)	R_{ud} / P_{us}	R'_{ud} / V'_{pcd}
D13	4.5	753.8	753.8	253.3	210.6	2.98	3.58
D16	5.5	852.7	716.2	284.5	244.7	3.00	2.93
D19	6	785.8	738.6	283.9	276.5	2.77	2.67



図-6 動的応答倍率と鉄筋径との関係

考えられる.

また D16 試験体での最大支点反力発生時における最大 変位は,他の試験体と比較して大きい.これは D16 試験体 でコンクリート強度が最も高く,コンクリートのせん断抵 抗が最も大きいものの,鉄筋径はさほど太くないため,押 抜きせん断面の形成と同時に変位が増大したためと考えら れる.

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26.6 (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鉄筋径との関係を示している. 本実験結果より,実測値を用いた場合の動的応答倍率は鉄 筋径にかかわらず3程度であり,鉄筋径が動的応答倍率に 与える影響は顕著で無いといえる.一方,計算値を用いた 場合には、D13 試験体のみが3.5 程度を示し、その他は3 程度以下である.これは、D13 試験体の補正動的せん断耐 力が他の試験体よりも大きく、計算静的せん断耐力が最も 小さいためである.ここで、D13 試験体の補正動的せん断 耐力が他の試験体よりも大きくなった理由として、静的せ ん断耐力の計算式に準拠してコンクリート強度の影響を補 正したことが考えられ、今後の検討課題である.

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,有効高さ や配筋間隔,支持条件を同一とし,下端鉄筋の径を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) 鉄筋径にかかわらず RC 版の各種応答波形の性状や押 抜きせん断コーンの大きさは大略類似している.
- (2) コンクリート強度の違いを考慮して補正した最大支点 反力(動的耐力)は,鉄筋径の違いにかかわらずほぼ 同程度である.一方,最大応答変位は鉄筋径の小さい ものほど大きくなる傾向にある。
- (3) 実測の動的応答倍率は鉄筋径の違いにかかわらずほぼ 一定であり、本実験の範囲内では、3 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.
- 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