

帯鉄筋の配置間隔を変化させたせん断破壊型 RC 梁の重錐落下衝撃実験

Falling-weight impact tests of shear-failure type RC beams with different arranging intervals of lateral tie

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)
室蘭工業大学	学生員	BHATTI ABDUL QADIR
室蘭工業大学	○学生員	伊勢谷 真樹 (Masaki Iseya)

1. はじめに

著者らは、RC梁の耐衝撃性に関する合理的な設計手法を確立することを目的として、静載荷時にせん断破壊が卓越する（以後、せん断破壊型）RC梁の耐衝撃性状に関する実験的・解析的研究を継続して行っている。その結果、帯鉄筋を有しないRC梁の耐衝撃性状に及ぼす、1) 主鉄筋比、2) せん断スパン比、3) コンクリート強度および4) 載荷方法（単一載荷と繰り返し載荷）の影響を明らかにしてきた¹⁾。

しかしながら、帯鉄筋を有するRC梁の耐衝撃性状に関しては実験的な検討事例が少なく未だ解明されていない部分が多く残されている。せん断破壊型RC梁においても曲げ破壊型RC梁の場合と同様、耐力やエネルギー収支関係に基づいた耐衝撃設計手法を確立するためには、帯鉄筋がRC梁の耐衝撃性状に及ぼす影響についても検討を行うことが必要であるものと判断される。

このような観点より、本研究ではせん断破壊型RC梁の帯鉄筋間隔（帯鉄筋量）がその耐衝撃性状に与える影響を検討することを目的として、帯鉄筋の配置間隔を変化させた4種類のRC梁に関する重錐落下衝撃実験を実施し、その影響について検討した。

2. 実験概要

2.1 RC梁の形状寸法および静的設計値

図-1には、本実験に用いたRC梁の形状寸法および配筋状況の一例を示している。本実験に用いた試験体の断面寸法（梁幅×梁高）は200×350 mmである。軸方向鉄筋にはD29を上下端に各3本配筋している。本研究では、帯鉄筋（D6）の配置間隔を有効高さ（d）の倍数とし1.0d（310mm）、0.75d（233mm）、0.5d（155mm）および帯鉄筋

を配置しない場合について実験を行った。

表-1には、各試験体の静的設計値および実測値の一覧を示している。試験体名は有効高さを表すDと帯鉄筋の配置間隔（有効高さの倍数）を組み合わせて示している。表中のせん断余裕度 α は計算静的曲げ耐力 P_{usc} に対する計算静的せん断耐力 V_{usc} の比として算出している。ここで、 P_{usc} 、 V_{usc} は土木学会コンクリート標準示方書²⁾（以後、示方書）に基づき算定している。別途実施した静載荷実験で得られた実測せん断耐力 P_{us} は、帯鉄筋を有しない試験体については計算せん断耐力 V_{usc} と同程度であり、帯鉄筋を有する試験体は V_{usc} の1.1～1.5倍となっている。また、 P_{us} を P_{usc} で除した実せん断余裕度 α' も合わせて示している。その結果、実せん断余裕度はD0.5梁を除いて1.0以下となり、それらは静的にはせん断破壊型のRC梁として評価される。なお、コンクリートの圧縮強度は30.6 MPa、鉄筋の降伏強度は411 MPaである。

2.2 実験方法

重錐落下衝撃実験は、リバウンド防止用治具付の支点治具上に設置したRC梁のスパン中央部に、所定の高さから一度だけ重錐を自由落下させる单一載荷法により実施している。なお、実験は、静載荷実験や過去の著者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梁の損傷状況を確認して決定することとした。治具全体は回転のみを許容するピン支持に近い構造である。重錐は質量500 kgで載荷点部直径が150 mmの円柱状鋼製重錐であり、その底部には片当たりを防止するために2 mmの球状のテープが施されている。測定項目は、重錐衝撃力 P 、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）波形である。実験終了後には、RC梁側面に生じたひび割れをスケッチしている。

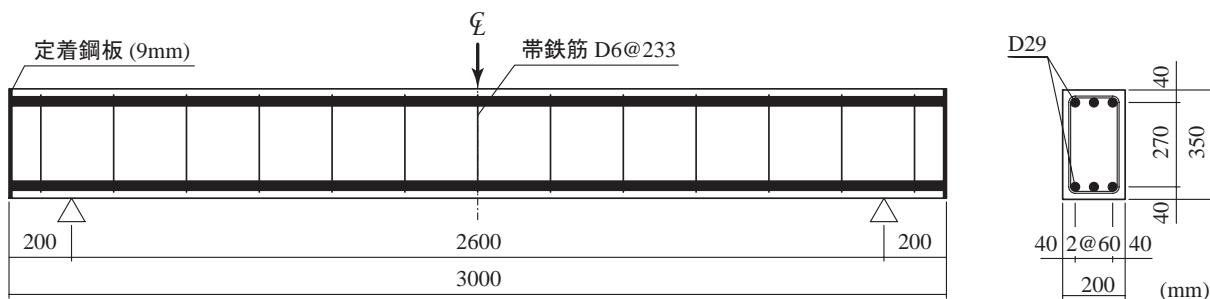


図-1 試験体概要図 (D0.75 梁)

表-1 試験体の静的設計値および実測値一覧

試験体名	帶鉄筋比 P_s (%)	帶鉄筋の 有無とその間隔 (mm)	主鉄筋比 P_t (%)	せん断 スパン比 a/d	静的 せん断耐力 V_{usc} (kN)	静的 曲げ耐力 P_{usc} (kN)	せん断 余裕度 α	実測 耐力 P_{us} (kN)	実せん断 余裕度 α'	衝突速度 V (m/s)
D0	0	無し	3.1	4.19	151.7	326.0	0.47	153.6	0.47	3.5, 3.75, 4, 4.25
D1.0	0.102	310			188.6		0.58	216.8	0.66	4.25, 4.5, 4.75, 5
D0.75	0.136	233			200.8		0.62	244.6	0.75	4.25, 4.5, 4.75, 5
D0.5	0.204	155			225.5		0.69	346.5	1.06	5.75, 6, 6.25, 6.5

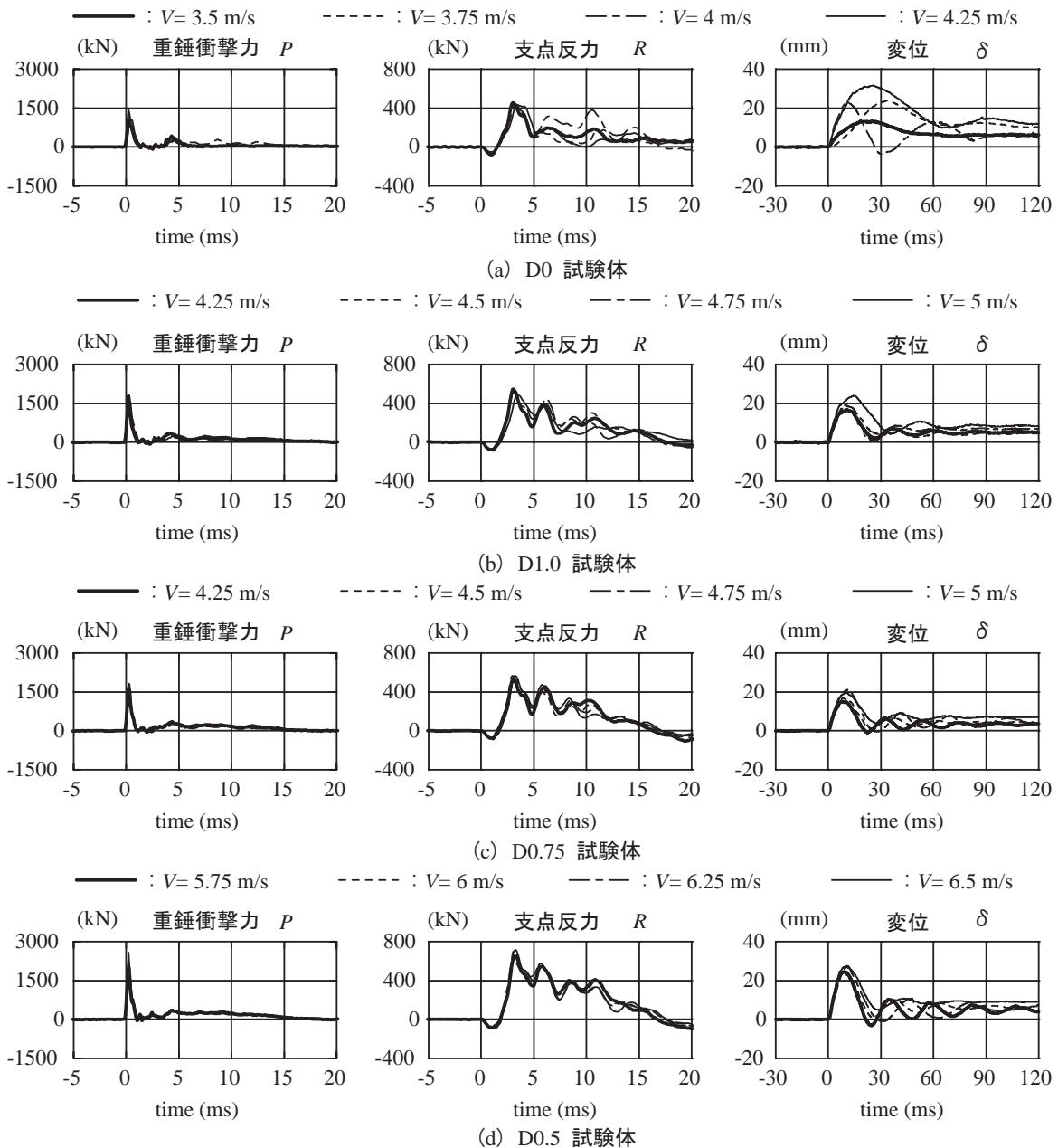


図-2 各種応答波形

3. 実験結果および考察

3.1 重錐衝撃力、支点反力および変位波形

図-2には、各RC梁の重錐衝撃力 P 、支点反力 R および変位 δ に関する各種応答波形を試験体ごとに示している。なお、時間軸は重錐衝撃力が発生した時刻を0 msとして整理している。

重錐衝撃力波形 P は、各梁とも衝突速度 V にかかわらず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波から構成されている。また、各波形の最大振幅は、帶鉄筋間隔が狭く、速度が増大するに伴い大きくなっている。

支点反力波形 R は、D0梁の $V = 3.75$ m/sと $V = 4.25$ m/sでは継続時間が5 ms程度の三角形波と後続の継続時間が10 ms程度の振幅の小さい低周波の波形で構成されている。D1.0 / 0.75 / 0.5梁では継続時間が約18 ms程度の三角形波と周期が2~3 ms程度の波形が合成された分布性状を示し

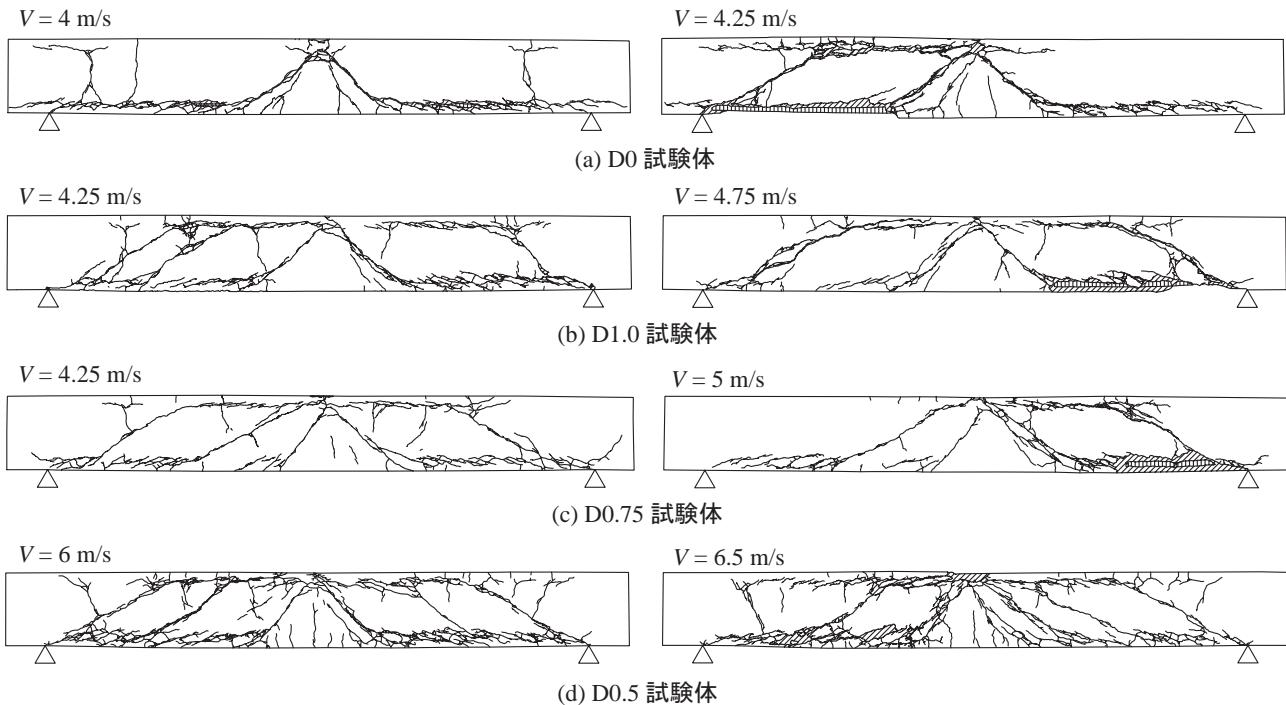


図-3 ひび割れ分布性状

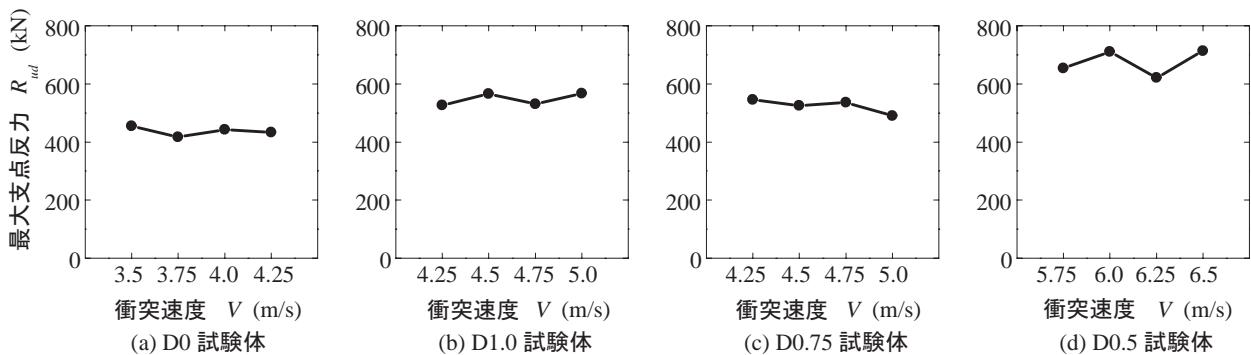


図-4 最大支点反力と衝突速度の関係

ている。なお、帶鉄筋を有する各梁の波形性状は帶鉄筋間隔によらずほぼ同様であるが、衝突速度が大きいD0.5梁の最大振幅はD0/1.0/0.75梁よりも大きく示されている。また、D1.0梁とD0.75梁では衝突速度 V も同様であることから、この二つの梁では塑性化の進行の程度がほぼ同様であることが分かる。

変位波形 δ から、D0梁では、衝突速度が $V=4\text{ m/s}$ における波形を除き、衝突速度の増大とともに最大変位も増加傾向を示し、除荷後急激に減衰していることが分かる。一方、衝突速度が $V=4\text{ m/s}$ の波形には、自由振動状態が見受けられるが、これは後述の図-3に示されるような上端鉄筋に沿う割裂ひび割れが発生せずに、載荷点近傍に発生する斜めひび割れと下端鉄筋に沿う割裂ひび割れの発生によって梁が上下に2分され、主鉄筋と下縁かぶりコンクリート部が自由振動状態に至ったことによるものと推察される。

帶鉄筋を有する梁の場合には、載荷時に周期の長い正弦半波状の波形を示し、その減衰自由振動状態に至っている。また、減衰自由振動状態における振動性状は、D0.5梁のように帶鉄筋の配置間隔が小さい方が大きい場合に比べ

て周期が短く、振幅が大きくなる傾向を示している。

3.2 ひび割れ分布性状

図-3には、各試験体の衝撃実験終了後のひび割れ分布性状を衝突速度 V 毎に示している。なお、図中の斜線部分はコンクリートの剥落部あるいはひび割れ開口部を示している。帶鉄筋を有しないD0梁の場合には、 $V=4\text{ m/s}$ については前述の通りである。 $V=4.25\text{ m/s}$ の場合には、下縁かぶりが剥落し、斜めひび割れの開口も大きくなり終局に至っていることが分かる。

一方、帶鉄筋を梁の有効高さの1/2の間隔に配筋したD0.5梁の場合には、載荷点近傍および支点近傍の他、中間部にも斜めひび割れが発生しており、帶鉄筋によるせん断補強効果を確認できる。D0.5梁の $V=6.5\text{ m/s}$ の場合には、主鉄筋に沿った割裂ひび割れが開口し、下縁かぶりが剥落して終局に至っていることが分かる。D1.0/0.75梁の場合のひび割れ分布は、D0梁の $V=4.25\text{ m/s}$ とD0.5梁の中間的な性状を示している。D1.0梁では $V=4.75\text{ m/s}$ 時点で、またD0.75梁では $V=5\text{ m/s}$ 時点で下縁かぶりが剥落して終局に至っており、帶鉄筋間隔が小さくなるに従い、せん断耐力が向上していることが確認できる。

表-2 各梁の静的・衝撃実験結果

試験体名	帯鉄筋比 P_s (%)	衝撃実験		静的実験		動的 応答倍率 R_{ud}/P_{us}	帯鉄筋の 動的 応答倍率 R_{sd}/P_{sd}
		動的耐力 R_{ud} (kN)	帯鉄筋の 分担耐力 R_{sd} (kN)	実測静的 せん断耐力 P_{us} (kN)	帯鉄筋の 分担耐力 P_{sd} (kN)		
D0	0	436.7	-	153.6	-	2.84	-
D1.0	0.102	524.0	87.3	216.8	63.2	2.42	1.38
D0.75	0.136	547.6	110.9	244.6	91	2.24	1.22
D0.5	0.204	675.1	238.4	346.5	192.9	1.95	1.24

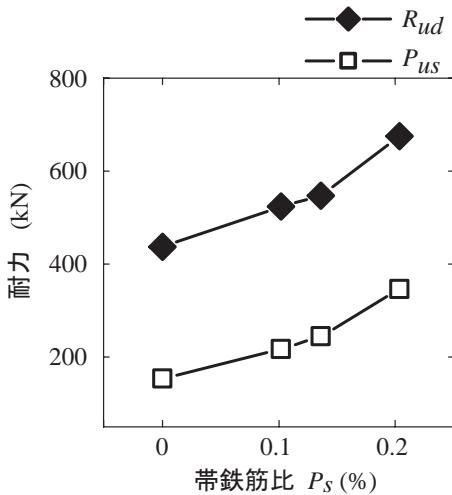


図-5 動的耐力および静的耐力と帯鉄筋比の関係

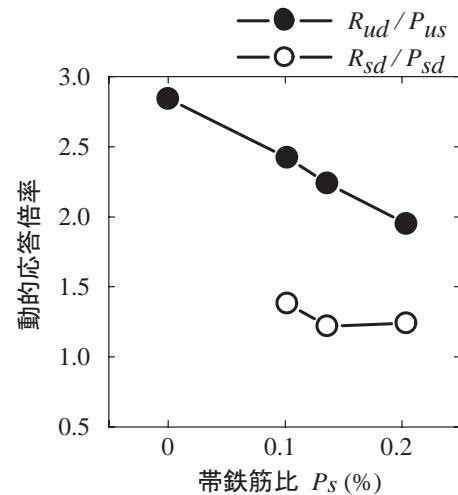


図-6 動的応答倍率と帯鉄筋比との関係

3.3 帯鉄筋による耐力向上効果の検討

図-4には、各試験体の動的耐力を検討するため、衝突速度 V 每に最大支点反力 R_{ud} を示している。図より、各試験体とともに衝突速度 V にかかわらず最大支点反力は類似の値を示していることが分かる。また、図-3におけるひび割れ図から、D0 梁および D1.0 梁、D0.75 梁、D0.5 梁において衝突速度がそれぞれ $V = 4.25 \text{ m/s}, 4.75 \text{ m/s}, 5 \text{ m/s}, 6.5 \text{ m/s}$ において下縁かぶりが剥離剥落していることから、終局に至っているものと判断される。以上より、せん断破壊で終局に至る場合の RC 梁の終局近傍の衝突速度における最大支点反力は損傷の多少の差異にかかわらず類似の値を示すことが明らかになった。これより、本論文では各試験体の各衝突速度の最大支点反力の平均値をその試験体に対する動的耐力として評価するものとする。

表-2 には、各試験体の動的耐力および別途実施した静載荷実験により得られた実測静的せん断耐力を示している。なお、D1.0/0.75/0.5 梁に関しては帶鉄筋による動的・静的分担耐力を併せて示している。ここで、実験結果の帶鉄筋の分担せん断耐力は、帶鉄筋有りの試験体の動的耐力から帶鉄筋無しの試験体 (D0 梁) の動的耐力を差し引くことにより評価している。また、図-5には、動的耐力 R_{ud} および実測静的せん断耐力 (以後、静的耐力) P_{us} とせん断補強筋比との関係を示している。図より、静的耐力および動的耐力ともに帶鉄筋比に対してほぼ線形な増加の傾向を示している。

3.4 動的応答倍率

図-6 には、各試験体の動的耐力 R_{ud} を静的耐力 P_{ud} で除した動的応答倍率と帯鉄筋比の関係を示している。図より、動的応答倍率は帯鉄筋比が増大すると小さくなる傾

向にあることが分かる。これは、帶鉄筋を配筋することにより、梁の破壊モードが曲げ破壊型に近づく傾向を示すことによるものと推察される。それに対して、帶鉄筋の分担耐力に関する動的応答倍率 R_{sd}/P_{sd} は帯鉄筋比にかかわらず、同程度の値を示している。

4. まとめ

本研究では、帶鉄筋の有無およびその配置間隔を変化させたせん断破壊型 RC 梁の耐衝撃性状について検討を行った。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) せん断破壊で終局に至る場合の RC 梁の終局近傍の衝突速度における最大支点反力は損傷の多少の差異にかかわらず類似の値を示す。
- (2) 静的耐力および動的耐力ともに帶鉄筋比に対してほぼ線形な増加の傾向を示す。
- (3) 帯鉄筋を有するせん断破壊型 RC 梁の動的応答倍率は 2 ~ 2.5 程度である。また、帶鉄筋の動的応答倍率は帯鉄筋比にかかわらずほぼ同様である。

参考文献

- 1) 安藤 智啓, 岸 徳光, 三上 浩, 松岡 健一, 蟹江 俊二: スターラップを有しないせん断破壊型 RC 梁の単一載荷衝撃実験, 構造工学論文集, Vol.46A, No.2, pp.1809-1818, 2000.
- 2) 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.