

矩形 RC 版の衝撃耐荷挙動に及ぼす重錘直径の影響

An influence of loading-ram diameter on impact response behavior of rectangular RC slabs

岸 徳光*, 三上 浩**, 栗橋祐介***

Norimitsu Kishi, Hiroshi Mikami, and Yusuke Kurihashi

*工博 室蘭工業大学理事・教授 工学部 建設システム工学科 (〒050-8585 室蘭市水元町 27-1)

**博 (工) 三井住友建設 (株) 技術研究所 主席研究員 (〒270-0132 千葉県流山市駒木 518-1)

***博 (工) 寒地土木研究所 研究員 耐寒材料チーム (〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1-3)

In order to investigate the influence of loading-ram diameter of falling-weight on impact resistance behavior of simply supported rectangular RC slabs, static and falling-weight impact tests were conducted by taking loading-ram diameter as variable with 60, 90, 120, 150 mm. Here, in case of impact loading test, single loading mode was applied using 300 kg heavy-weight. From this study, it is confirmed that; 1) an influence of loading-ram diameter on failure mode of RC slabs was not much, irrespective of loading mode for static and impact loading, 2) however deflection of the slabs was severely influenced by loading-ram diameter. So, the diameter of falling-weight should be considered for stipulating each limit state, 3) static and dynamic shear load carrying-capacities of RC slabs were increased corresponding to an increment in loading-ram diameter, 4) dynamic response amplitude of RC slabs was almost 2.2 to 2.5 irrespective of the magnitude of diameter of loading-ram.

Key Words : loading-ram diameter, rectangular RC slabs, impact response behavior

キーワード : 重錘直径, 矩形 RC 版, 衝撃耐荷挙動

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至ることが知られている。また, RC 版に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) で衝突する重錘落下衝撃の場合も, 入力エネルギーが大きくなると静荷重時と類似した押抜きせん断型の破壊に至ることが著者らの既往の研究¹⁾などで明らかになっている。静荷重時における RC 版の押抜きせん断耐力算定式は種々提案されているものの, 行政機関などで最も汎用的に使用されている式は, 土木学会のコンクリート標準示方書²⁾ (以後, 示方書) 式である。この算定式は, ディープビームやコーベルに比べてせん断スパンが比較的大き

な RC 梁のせん断耐力算定式を基本としたもので, 大きな違いは載荷版の直径 (載荷面の周長) の影響が考慮できるようになっていることである。

式 (1) に示方書の押抜きせん断耐力算定式を示す。

$$V_{pcd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_r \cdot f'_{cd} \cdot u_p \cdot d \quad (1)$$

ここに, $f'_{cd} = 0.20 \sqrt{f'_{cd}}$ (N/mm²),

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d : \text{m}),$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100p},$$

$$\beta_r = 1 + 1/(1 + 0.25u/d),$$

f'_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度 (N/mm²),

u : 載荷面の周長,

u_p : 設計断面の周長,

d および p : 有効高さおよび鉄筋比

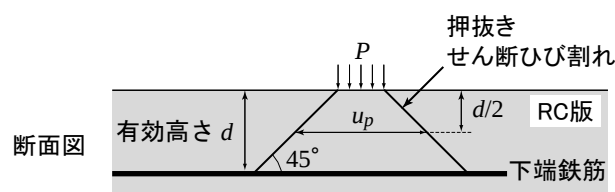


図-1 押抜きせん断破壊のモデル

また, 図-1 に押抜きせん断破壊のモデル図を示す。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, 押抜きせん断耐力は, 押抜きせん断面の平均周長 (設計断面の周長) 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,

表－１ 実験ケース一覧

試験体名	載荷方法	載荷面 直径 (mm)	載荷面 周長 (mm)	鉄筋比 (%)	コンクリート 圧縮強度 (MPa)	衝突速度 V(m/s)
P6	静的	60	188.5	1.09	27.2	-
	衝撃					3, 4, 4.5, 5
P9	静的	90	282.7		27.4	-
	衝撃					4, 5, 5.5, 6
P12	静的	120	377.0		20.2	-
	衝撃					5, 6, 6.5, 7
P15	静的	150	472.2		26.3	-
	衝撃					6, 6.5, 7, 8

有効高さおよび載荷版の大きさに関する影響係数を乗じて算定するものである。一方、著者らの既往の研究³⁾によれば、せん断破壊型を示す RC 梁が比較的低速度の重錘落下衝撃荷重を受ける場合の動的せん断耐力（ここでは、最大支点反力）は、静的せん断耐力の 2.5 ～ 3 倍程度になることが明らかになっている。

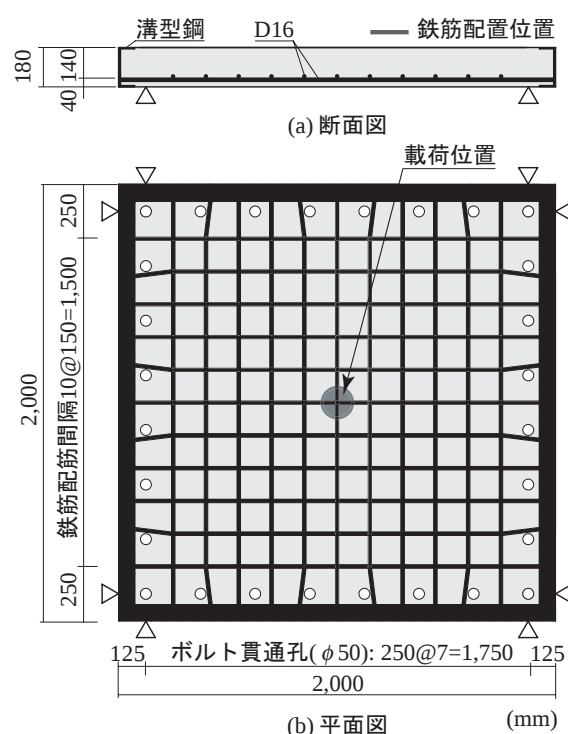
本研究では、これらの知見を基に比較的低速度の重錘落下衝撃荷重を受ける RC 版の動的押抜きせん断耐力算定式を性能照査型設計法に基づき提案するための基礎資料を得ることを目的として実験的検討を行った。著者らは既往の研究で RC 版の衝撃耐荷性状に関する基礎的な検討を実施してきたが、既往の研究では、(1) 繰返し衝撃載荷実験が多く、落石などの現象を考えると実挙動と合致しない側面があること、(2) RC 版に衝撃荷重載荷する場合は、衝突面の局所的な破壊が衝撃耐荷挙動に及ぼす影響が大きいと推察され、その意味でも単一衝撃載荷実験が望ましいこと、(3) 上記の局所破壊の観点から、衝撃載荷時の重錘の直径（載荷版の大きさ）は、RC 版の衝撃耐荷挙動に大きな影響を及ぼすものと考えられるが、これらに関する統一的な検討例はほとんどない⁴⁾のが現状である。

そこで本研究では、衝撃載荷時の重錘直径が RC 版の衝撃耐荷挙動に及ぼす影響を検討するため、4 種類の直径の重錘を用いて単一衝撃載荷実験を実施した。衝突速度は重錘の直径に対して適宜 4 種類を設定し、衝突速度の範囲は 3 m/s ～ 8 m/s である。用いた重錘の質量は直径にかかわらず 300 kg とし、RC 版の形状寸法、鉄筋比、支持条件は全て同一とした。用いた RC 版の総数は全 20 体である。

2. 実験概要

2.1 RC 版の形状寸法および実験方法

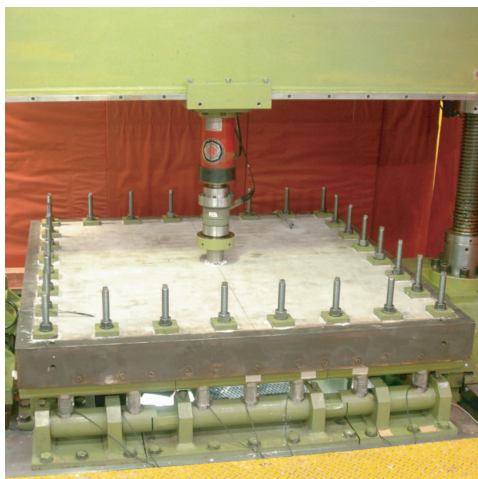
図－２には、本実験に用いた RC 版の形状寸法を示している。RC 版の形状寸法は、2,000 × 2,000 × 180



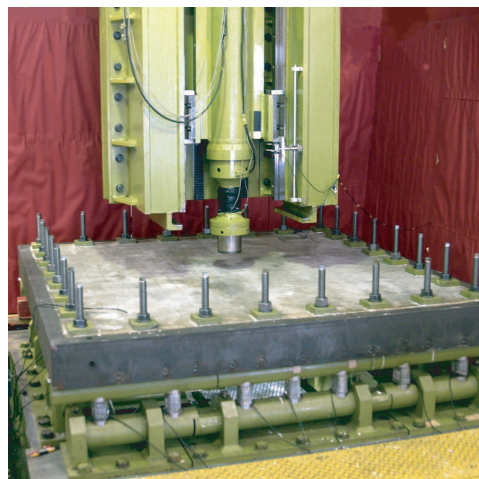
図－２ RC 版の形状寸法および配筋状況

mm、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 を使い、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、定着を確保している。

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、載荷方法、載荷面の直径および周長、鉄筋比、コンクリートの圧縮強度、衝突速度を示している。本実験の試験体名のうち、第一項目は英文字 P に重錘の直径 (cm) を組み合わせて示している。なお、コンクリートの圧縮強度は P12 試験体で 20.2 MPa と若干小さいものの、その他は 26 ～ 27 MPa 程度となっている。ここで、コンクリートの圧縮強度は 3 本の供試体による試験結果の平均値である。また、鉄筋の降伏強度は 423 MPa であった。



静載荷実験（P9試験体）



重錘落下衝撃実験（P12試験体）

写真－１ 実験状況

写真－１には、静載荷実験および重錘落下衝撃実験の状況を示している。支持条件は、載荷方法にかかわらず純スパン長 1.75 m の 4 辺支持としている。なお、支点となる 4 辺および隅角部で RC 版の浮き上がりを拘束している。また、静載荷実験および重錘落下衝撃実験ともに、載荷治具は先端部を直径 60, 90, 120, 150 mm の 4 種類の鋼製円柱に交換できるようになっており、載荷面は片当たりを防止するために 2 mm のテーパをつけた球面状となっている。

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。

重錘落下衝撃実験は、版中央部に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衝撃載荷方式を採用している。落下高さは、実験前に衝突速度の検定を行い、所定の衝突速度となるように決定している。

2.2 測定項目

本実験の測定項目は、載荷荷重 P （以後、静載荷実験の場合には静荷重、重錘落下衝撃実験の場合には重錘衝撃力と呼ぶ）、合支点反力 R （四辺の反力の合算値、以後単に支点反力と呼ぶ）、載荷点変位 δ （以後、単に変位と呼ぶ）の各応答波形である。なお、支点反力は合計 24 個のロードセルから得られた波形を合算したもので、各ロードセルの波形は、載荷点とロードセル設置位置の影響を受けるために必ずしも同様とはならない。しかし、載荷点に関して対称な位置に設置されたロードセルの波形は、ほぼ同様であることを確認している。

実験終了後には、RC 版の裏面に発生したひび割れをトレースしてひび割れ図を作成している。また、RC 版を中心線に沿って切断し、版中央部におけるひび割

れ性状を観察している。

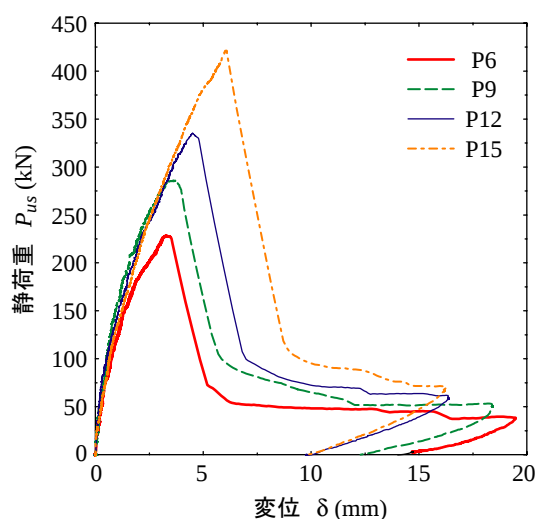
静荷重の測定は、容量 500 kN の静載荷用ロードセルを用いて行った。重錘衝撃力の測定は容量が 1,470 kN、応答周波数が DC ～ 4.0 kHz のロードセルを用いて行った。また、支点反力の測定は、容量が 980 kN、応答周波数が DC ～ 2.4 kHz のロードセルを 24 個使い、支点治具に内蔵する形で測定している。変位は容量 500 mm、応答周波数 915 Hz の非接触式レーザ変位計を用いて RC 版中央部を下面より測定した。

なお、重錘落下衝撃実験の場合には、各応答波形を広帯域用データレコーダで一括収録し、メモリレコーダを用いて最大 200 ms まで 0.1 ms/word で A/D 変換処理を行っている。また、重錘衝撃力波形の場合には高周波成分が卓越するため原波形を用いることとした。支点反力波形および変位波形に関しては、低周波成分が卓越していることより、ノイズ処理のため矩形移動平均法により平滑化を施している。なお、移動平均の範囲は、原波形の性状をできる限り変化させずに効率よいノイズ処理を可能とするため 0.5 ms (5 word) とした。

3. 静載荷実験結果および考察

3.1 荷重－変位関係および耐力比

図－３には、静荷重－版中央点変位の関係を 4 試験体を比較して示している。図－３より、載荷面直径の大きさにかかわらず、いずれの試験体もほぼ同様の初期剛性を示していることが分かる。P6 試験体では、約 150 kN で剛性勾配が低下し、最大荷重を示した後に急激な荷重低下をとまって終局に至っている。一方、P9, P12, P15 試験体では、280 kN 程度までほぼ同様の剛性勾配を保ち、最大荷重を示した後に急激に荷重が低下して終局に至っている。このことから、いずれの



図－3 静荷重－版中央変位の関係

表－2 実験結果の一覧

試験体名	最大荷重 P_{us} (kN)	最大荷重時変位 (mm)	貫入量 (mm)	計算押抜きせん断耐力* V_{pcd} (kN)	耐力比 P_{us} / V_{pcd}
P6	229.3	3.3	11.0	247.4	0.92
P9	287.5	3.6	11.5	271.9	1.06
P12	336.2	4.5	8.5	253.3	1.33
P15	422.2	6.2	7.5	311.4	1.36

* $\gamma_b = 1.0$

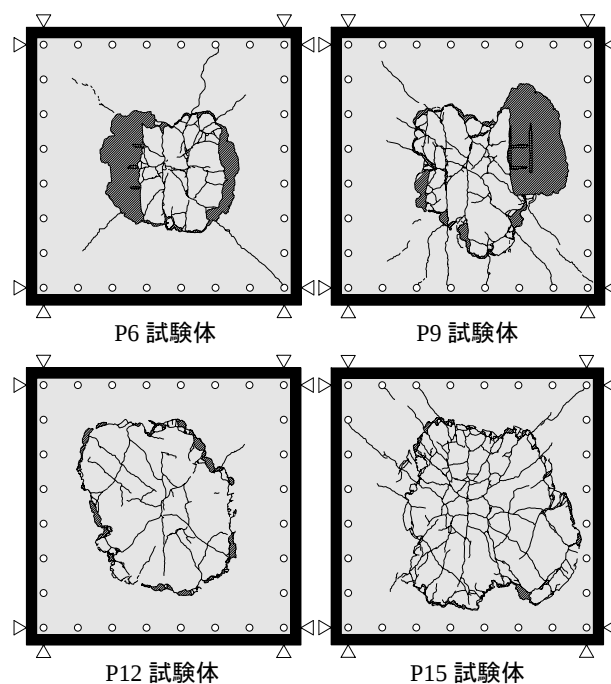
試験体も押抜きせん断破壊により終局に至ったことがわかる。

表－2 には、図－3 より得られる最大荷重、最大荷重時変位、示方書式に基づいて算出した計算押抜きせん断耐力、最大荷重を計算押抜きせん断耐力で除した耐力比を一覧にして示している。また、参考のため破壊時における載荷治具の RC 版内部への貫入量も併せて示した。なお、計算押抜きせん断耐力は前述した材料試験結果を用い、部材係数 γ_b を 1.0 として算出している。

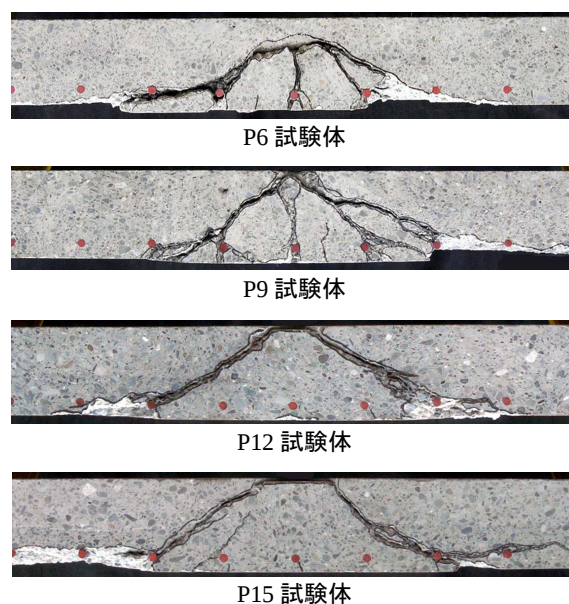
表－2 より、載荷面直径の増加とともに最大荷重および最大荷重時変位が大きく示される傾向にあることが分かる。また、耐力比は、P6, P9 試験体では 0.9 ～ 1.1 程度、P12, P15 試験体では 1.3 ～ 1.4 程度を示している。このことから、載荷面直径が小さい場合には示方書式によって押抜きせん断耐力をほぼ適切に評価できることが分かる。一方、載荷面直径が大きい場合には、押抜きせん断耐力をより安全側に評価する傾向にあることが明らかになった。

3.2 ひび割れ性状

図－4 には、実験終了後における RC 版裏面のひび割れ性状、写真－2 には、RC 版中央部切断面のひび割れ性状を示している。

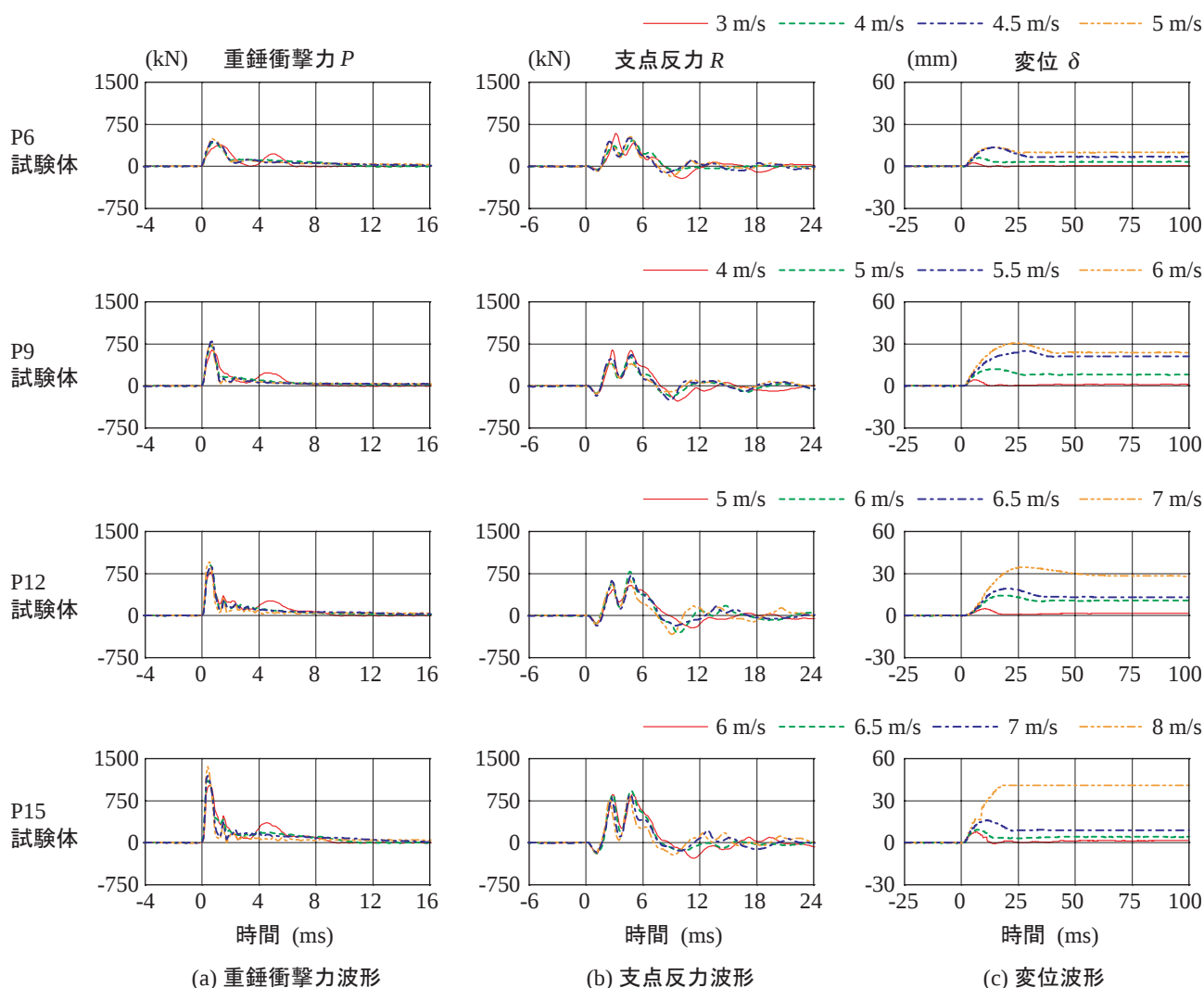


図－4 静載荷実験終了後の版裏面のひび割れ性状



写真－2 静載荷実験終了後の切断面のひび割れ性状

図－4 の RC 版裏面のひび割れ性状より、いずれの試験体も円形状のひび割れが発生し、押抜きせん断面が形成されていることが分かる。また、その大きさは、載荷面の直径が最も小さい P6 試験体で最も小さく、載荷面の直径が最も大きい P15 試験体で最も大きいことが分かる。これは、図－1 の破壊モデルに示されているように、載荷面の直径が大きいほど押抜きせん断ひび割れの発生位置が外側（支点方向）に移行し、押抜きせん断ひび割れで囲まれた円錐状のコンクリートブロック（以後、押抜きせん断コーンと称する）が拡大することに起因している。また、写真－2 の中央部切



図－5 重錘衝撃力、支点反力および変位波形

断面から、いずれの試験体も 図－1 と同様に、載荷面の端部より斜め約 45° 下方にせん断ひび割れが発生し、押抜きせん断コーンが載荷面直径の増加とともに拡大していることが分かる。なお、載荷面の直径が小さいほど押抜きせん断ひび割れが版上縁よりも浅部から形成され、見掛け上、有効高さが小さくなる傾向にある。これは、表－2 に示すように載荷面の直径が小さいほど、破壊時において載荷治具の版内部への貫入深さが深くなることに対応するものと考えられる。また、見掛け上、有効高さが小さくなるため、表－2 に示すように載荷面の直径が小さいほど耐力比が小さくなるものと推察される。

4. 衝撃載荷実験結果および考察

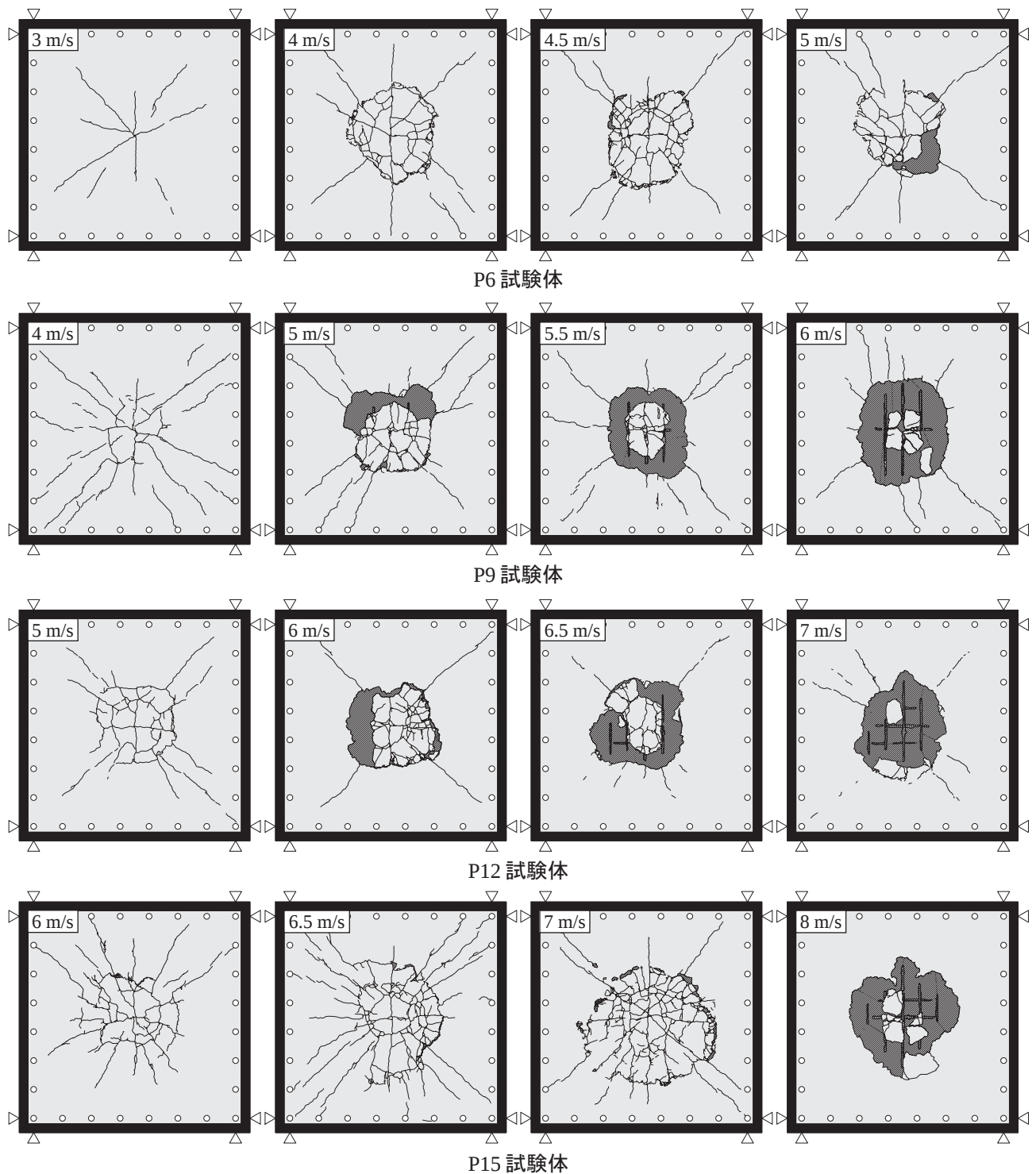
4.1 重錘衝撃力、支点反力および変位波形

図－5 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－5 (a) より、重錘衝撃力波形 P は、いずれの試験体も衝撃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。なお、第 1 波の継続時間は重錘直径が大きくなるほど短くなる傾向にある。また、いずれの試験体も最終衝突速度では第 2 波目が消失している。これは、RC 版に押抜きせん断断面が形成され、塑性化が一気に進展したためと考えられる。最大重錘衝撃力は、重錘の直径が同じ場合には衝突速度の増加に対応して増大し、一方で重錘の直径が大きくなるとともに最大重錘衝撃力は大きく示される傾向にある。

図－5 (b) より、支点反力波形 R は、周期が 10 ms 程度の正弦波に周期が 3 ms 程度の三角形の波形が合成された性状を呈している。また、重錘衝撃力と同様に重錘の直径が大きくなるほど最大支点反力は大きくなる傾向にある。なお、重錘の直径や衝突速度が支点反力波形の外観や振動周期に与える影響は軽微である。



図－6 衝撃実験終了後の版裏面のひび割れ性状

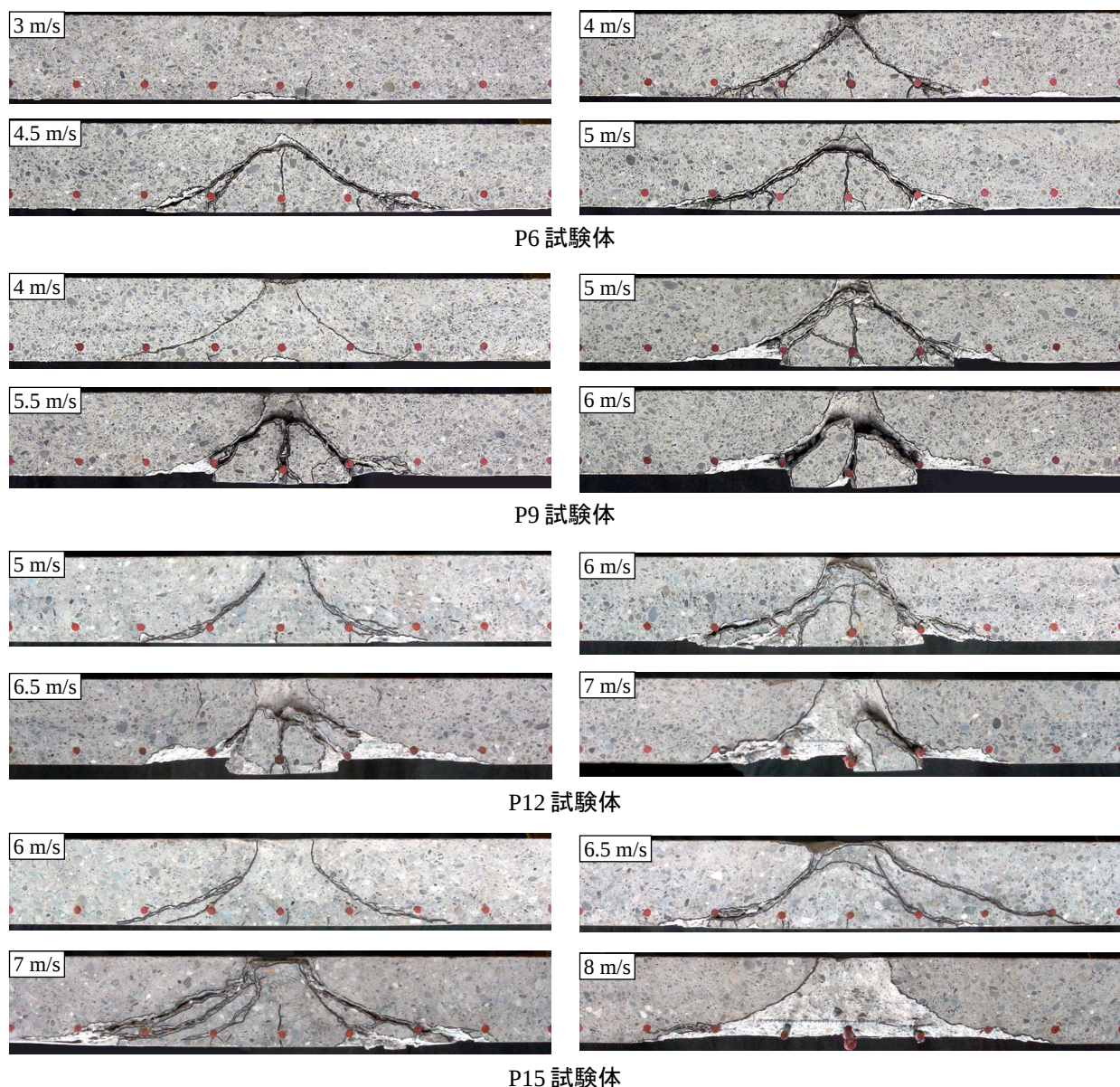
ことが分かる。

図－5 (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，衝突速度が増大するといほとんど振動状態を示さず，変位が大きく残留していることが分かる。これより，衝突速度の増大にともなって押抜きせん断面が明瞭に形成されたことがうかがわれる。以上のように，重錘落下衝撃荷重を受ける

RC 版の各種応答波形の性状は，重錘の直径にかかわらずほぼ同様であることが明らかとなった。

4.2 ひび割れ性状

図－6 の版裏面のひび割れ性状から，P15 試験体を除いて，重錘の直径や衝突速度にかかわらず，版裏面に形成される円形状のひび割れの大きさはほぼ同程度



写真－３ 衝撃実験終了後の切断面のひび割れ性状

であることが分かる。したがって、版内部に形成された押抜きせん断コーンの大きさも同等程度であるものと考えられる。なお、P15 試験体は重錘の直径が最も大きく、円形状のひび割れも他に比べて一回り大きい。一方、同一衝突速度の試験体を比較すると、重錘の直径が大きいほど、円形状のひび割れ形成やコンクリート片の剥離・剥落が抑制され、損傷程度は軽微となっていることが分かる。また、**写真－３**の切断面のひび割れ性状より、いずれの試験体も押抜きせん断ひび割れが載荷面の端部より斜め約 45° 下方に向かって進展しており、ひび割れ性状は大略類似していることが分かる。しかしながら、同一衝突速度における押抜きせん断ひび割れの開口幅は重錘の直径が小さいほど広がる傾向にあることが分かる。これは、同一衝突速度（入力エネルギー）に対して重錘の直径が小さいほど

載荷面積が小さく、衝撃荷重が集中して作用するためと考えられる。一方、押抜きせん断面は、同一の重錘直径（同一試験体）の場合は、衝突速度が大きくなるほど版上縁よりも浅部から形成される傾向にあることが分かる。この傾向は特に P6, P9 試験体で明瞭に示されている。これは、重錘の直径が小さい場合は、衝突速度が大きくなるほど重錘の版内部への貫入が大きくなることに対応するものと考えられる。なお、P12, P15 試験体では衝突速度にかかわらず載荷面の端部から押抜きせん断面が形成される傾向にある。以上のように、衝撃荷重を受ける RC 版切断面のひび割れ性状は、**写真－２**に示す静載荷時のひび割れ性状とよく合致している。すなわち、RC 版に明瞭な押抜きせん断面が形成される状況は、載荷方法にかかわらずほぼ同様であると考えられる。

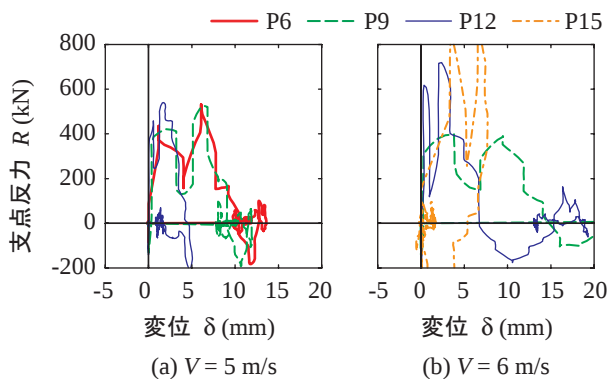


図-7 支点反力-版中央変位の関係

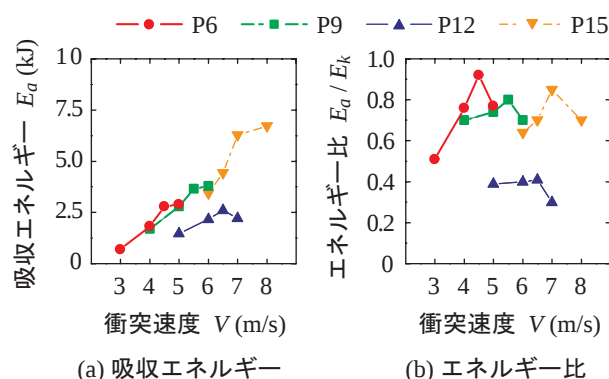


図-8 衝突速度と吸収エネルギーおよびエネルギー比の関係

4.3 吸収エネルギーおよびエネルギー比

図-7に支点反力と版中央変位関係の例を示す。また、図-8に衝突速度と吸収エネルギーおよびエネルギー比の関係を示す。吸収エネルギー E_a は図-7に示す正の支点反力と変位の関係を積分して求めた。また、エネルギー比は入力エネルギー E_k に対する吸収エネルギー E_a の割合である。図-8(a)より、P12試験体を除いて、各試験体の吸収エネルギーは重錘直径の違いにかかわらず衝突速度にほぼ比例して増加することが分かる。ここで、P12試験体の吸収エネルギーが他に比べて小さいのは、支点反力と変位のなす関係が図-7に示すように他の試験体と大きく異なることに起因している。すなわち、応答変位が負の支点反力下で増加し、吸収エネルギーとしては評価されないためである。これは、P12試験体のコンクリート強度が小さく、小さな応答変位で押抜きせん断面が一気に形成されたためと推察される。

図-8(b)より、各試験体のエネルギー比は、P12試験体およびP6試験体の $V = 3 \text{ m/s}$ 载荷を除いて重錘の直径や衝突速度にかかわらず $0.6 \sim 0.9$ 程度であることが分かる。ここで、P12試験体のエネルギー比が小さいのは、前述したように吸収エネルギーが他の試験体に比べて小さいためである。一方、P6試験体の $V = 3 \text{ m/s}$ 载荷では、入力エネルギーが小さく写真-3に示すように損傷が他の試験体に比べて軽微であり、未だ弾性に近い状態にあるためと考えられる。

以上のように、吸収エネルギーやエネルギー比は、コンクリート強度の影響を強く受けるものの重錘直径の影響は軽微であり、エネルギー比は大略 $0.6 \sim 0.9$ 程度である。

4.4 各種応答値と動的耐力比および動的応答倍率

図-9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} および (c) 最大応答変位 δ_{ud} と衝突速度 V との関係を示している。図-9(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する傾向にあることが分

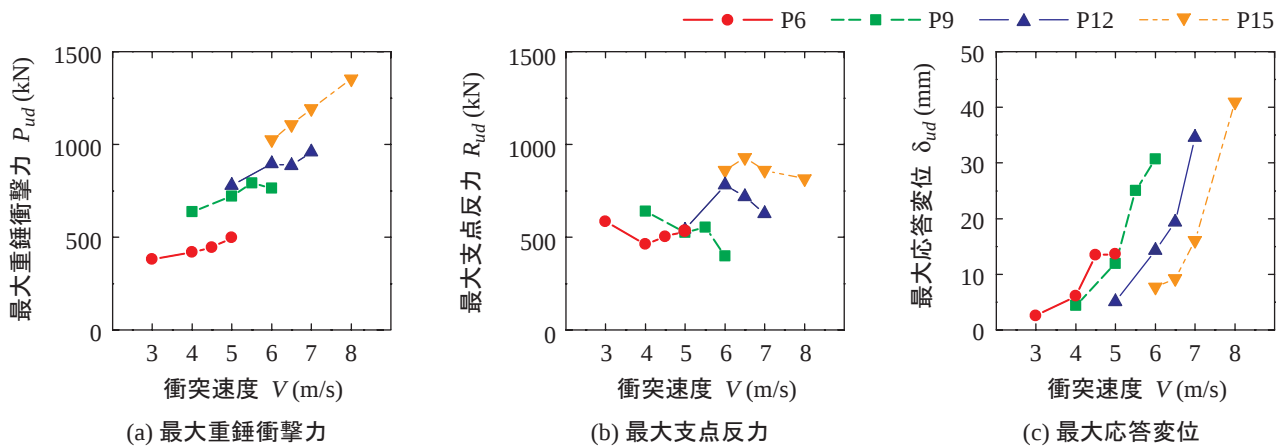
かる。また、同じ衝突速度で比較すると、 5 m/s および 6 m/s にかかわらず、重錘の直径が大きいほど最大重錘衝撃力が大きいことが分かる。

図-9(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、同一衝突速度で比較すると重錘の直径が大きいほど最大支点反力は大きくなる傾向にある。この傾向は特に $V = 6 \text{ m/s}$ 载荷で顕著である。

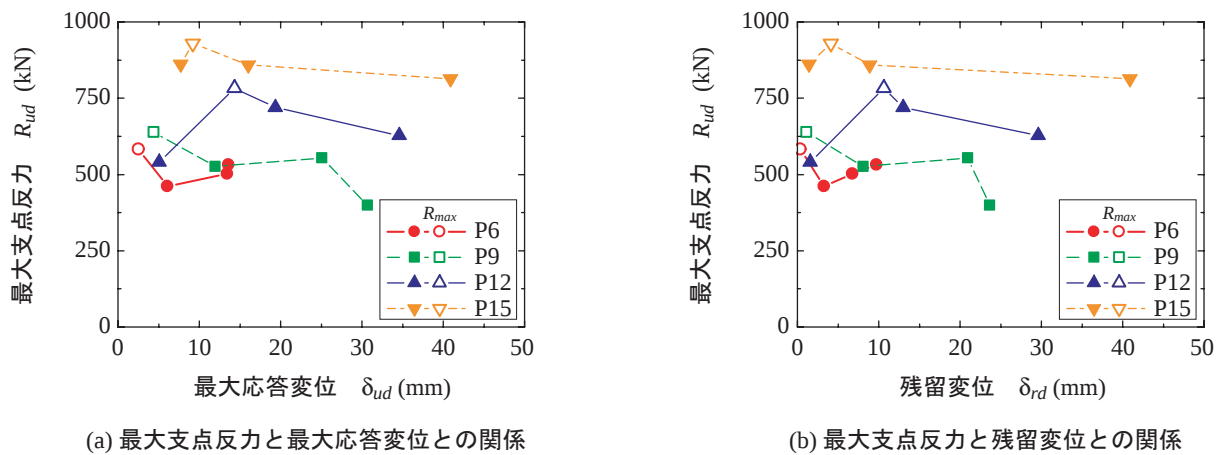
図-9(c)より、いずれの試験体においても衝突速度 V の増加にともなって最大応答変位が2次曲線的に増大していることが分かる。なお、写真-3から、最大応答変位が急増する衝突速度において、押抜きせん断面が明瞭に形成されるか、もしくは完全に押抜けていることが分かる。

図-10に、最大支点反力と変位（最大応答変位および残留変位）の関係を示す。図-10より、最大支点反力と最大応答変位および最大支点反力と残留変位の関係は、ほぼ同様な傾向を有していることが分かる。すなわち、重錘落下衝撃を受けるRC版の動的耐力式を変位に基づいて規定する場合、最大応答変位または残留変位のいずれを用いても良いものと判断される。なお、図-10で白抜きの点は、各試験体の最大支点反力を示す点であり、その時の残留変位は、試験体によってバラツキがあるものの最大で 10 mm 程度であり、版の純スパンの 0.6% 程度である。曲げ破壊型RC梁の終局時残留変位が、純スパンの 2% 程度と定義される⁵⁾ことが多いことを考えると、その3割程度と小さいことが分かる。

ここで、P6、P9試験体は、最大支点反力時の最大応答変位および残留変位がP12、P15試験体に比べて大幅に小さいことが分かる。これは、重錘の直径が小さいため、重錘がRC版内部に貫入しやすく、版としての全体挙動よりも局部損傷の影響が大きくなるためと推察される。すなわち、RC版の限界状態を変位で規定する際には、重錘直径の影響を考慮する必要がある



図－9 衝突速度と各種最大応答値の関係



図－10 最大支点反力と変位との関係

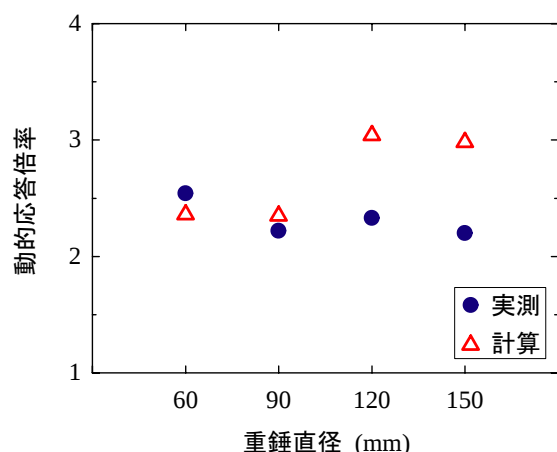
表－3 静的耐力および動的耐力一覧

試験体名	計算押抜き せん断耐力 V_{pcd} (kN) (i)	静的 せん断耐力 P_{us} (kN) (ii)	動的 せん断耐力 R_{ud} (kN) (iii)	動的 応答倍率 (iii) / (ii)	計算動的 応答倍率 (iii) / (i)
P6	247.4	229.3	583.1	2.54	2.36
P9	271.9	287.5	638.9	2.22	2.35
P12	253.3	336.2	782.7	2.33	3.09
P15	311.4	442.2	929.4	2.20	2.98

ものと考えられる。

表－3には、本実験に用いた試験体の静的耐力および動的耐力を一覧にして示している。静的耐力は、計算値と実測の押抜きせん断耐力の両方を示した。また、動的耐力（ここでは、最大支点反力）を静的耐力で除した動的応答倍率を併せて示した。なお、動的応答倍率は、実測の静的押抜きせん断耐力を用いた場合と計算値の静的押抜きせん断耐力を用いた場合の両方について示している。表－3より、動的せん断耐力も静的押抜きせん断耐力と同様に、重錘直径の増加に対応して増大する傾向にあることが分かる。

図－11には、動的応答倍率と重錘直径の関係を示している。動的応答倍率は、実測値の静的押抜きせん断耐力と計算値を用いた場合を併せて示した。図－11から、実測値の静的押抜きせん断耐力を用いた場合の動的応答倍率は、重錘の直径にかかわらず2.2～2.5程度であり、動的応答倍率を2程度と考えることで、RC版の動的押抜きせん断耐力を安全側に評価可能であることが分かる。一方、計算値の静的押抜きせん断耐力を用いた場合の動的応答倍率は、2.4～3.1程度であり、重錘の直径が大きいP12、P15試験体では3程度を示している。これは、静载荷時の耐力比が載荷版



図－11 動的応答倍率と重錘直径との関係

の直径が大きな P12, P15 試験体で、他の試験体よりも 1.3 ～ 1.4 倍程度大きいことに対応している。

すなわち、静载荷時の耐力比も計算値の押抜きせん断耐力を用いた動的応答倍率も载荷版（重錘）の直径が大きい場合に大きくなる傾向が認められる。これより、载荷版（重錘）の直径が静载荷時と重錘落下衝撃時の耐荷挙動、特に最大耐力に与える影響は、载荷方法にかかわらず同様に出現していることが分かる。

なお、本研究における衝突速度は最大で 8 m/s であり、ひずみ速度の影響は顕著でないものと推察される。また、動的応答倍率は 2.2 ～ 2.5 程度を示したが、全般的には重錘の直径が大きいほど小さくなる傾向にある。このように、RC 版の動的応答倍率は、既往の研究³⁾におけるせん断破壊型 RC 梁の動的応答倍率 2.5 ～ 3 程度に比べて多少小さい。これは、曲げ変形しにくい RC 版の方が、変形しやすい RC 梁に比べて動的応答倍率が小さくなるためと考えられる。また、重錘の直径が大きい場合には、見掛け上、版の剛性が大きく、変形しにくい状態となるため動的応答倍率は小さく示されるものと考えられる。

5. まとめ

本研究では、比較的低速度の重錘落下衝撃荷重を受ける RC 版の動的耐力算定式提案のための基礎資料の収集を目的として、同一の形状寸法、配筋、支持条件を有する RC 版を用いて、重錘の質量を同一として直径を 4 種類に変化させた単一衝撃载荷実験を行った。本研究の範囲内で得られた結論を以下に要約する。

1) RC 版の各種応答波形の性状は、重錘直径にかか

わらずほぼ同様である。

- 2) RC 版切断面のひび割れ性状は、载荷方法によらず同様であり、载荷版（重錘）の直径が小さいほど载荷治具が版内部に貫入し、押抜きせん断面が版上縁よりも浅部から形成される。
- 3) RC 版の吸収エネルギーやエネルギー比に与えるコンクリート強度の影響は顕著である。一方、重錘直径の影響は軽微であり、エネルギー比は重錘直径にかかわらず 0.6 ～ 0.9 程度である。
- 4) RC 版の限界状態を変位で規定する場合、重錘の直径が応答変位や残留変位に大きな影響を与えるため、重錘直径の影響を考慮する必要がある。なお、変位の規定は最大応答変位でも残留変位でも可能と考えられる。
- 5) 静的押抜きせん断耐力、動的耐力ともに、载荷版（重錘）直径の増加とともに増大する傾向にある。
- 6) 静的耐力比、計算値の押抜きせん断耐力を用いた動的応答倍率ともに、载荷版（重錘）の直径が大きい場合に大きくなる傾向にあり、その程度も载荷方法にかかわらず同程度である。
- 7) 実測の静的押抜きせん断耐力を用いた動的応答倍率は、载荷版の直径にかかわらず 2.2 ～ 2.5 程度であり、動的応答倍率を 2 程度と考えることで安全側の評価が可能である。

参考文献

- 1) 栗橋祐介, 岸 徳光, 三上 浩, 田口史雄: PVA 短繊維混入による 4 辺支持 RC 版の耐衝撃性向上効果に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.52A, pp.1249-1259, 2006.3
- 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, 張 広鋒, 東中邦夫: 帯鉄筋の鉄筋径が異なるせん断破壊型 RC 梁の耐衝撃性状, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 62 号, I-31 (CD-R), 2006.
- 4) 土木学会: 構造工学シリーズ 15 衝撃実験・解析の基礎と応用, 2004.
- 5) 岸 徳光, 三上 浩, 松岡健一, 安藤智啓: 静载荷時に曲げ破壊が卓越する RC 梁の耐衝撃設計法に関する一提案, 土木学会論文集, No.647/I-51, pp.177-190, 2000.4

(2007 年 9 月 18 日受付)