

せん断破壊型 RC 梁の耐衝撃挙動に与える断面寸法の影響

札幌市正員 長谷川 弘毅 室蘭工業大学 正員 岸 徳光
三井建設(株) フェロー 三上 浩 室蘭工業大学 正員 安藤 智啓

1. はじめに

衝撃荷重作用下における鉄筋コンクリート(RC)部材のせん断破壊性状は未だ明らかにされておらず、せん断破壊に対する RC 梁の耐衝撃設計法さえも確立されていないのが現状である。本研究では、静載荷時にせん断破壊型となる RC 梁の耐衝撃設計法を確立するために、断面寸法の異なる 2 種類のせん断破壊型 RC 梁に関する重錘落下衝撃実験を行い、せん断破壊型 RC 梁の耐衝撃挙動に与える断面寸法の影響に着目して検討を行った。

2. 実験概要

図 - 1 には、実験に用いた A, B 試験体の形状寸法および配筋状況を示している。A, B 試験体の断面寸法(梁幅×梁高)は、それぞれ 200×400mm, 300×300mm である。いずれの梁も純スパン長およびせん断補強筋間隔はそれぞれ 2,000mm, 150mm である。実験は、梁スパン中央部に質量 300 kg の円柱状鋼製重錘を所定の高さから自由落下させることにより行っている。載荷方法は初速度および増分速度を 1 m/s とし、梁が著しく損傷し実験の続行が不可能になるまで載荷を行う漸増繰り返し載荷(以後、繰り返し載荷)と、一試験体に対して一回のみ載荷を行う単一載荷実験の 2 実験法を採用している。支点用治具は支点反力測定用ロードセル、跳ね上がり防止用具付きで、回転のみを許容するピン支持に近い構造となっている。測定項目は、重錘衝撃力 P 、合支点反力 R (以後、支点反力)および載荷点変位 d (以後、変位)の各応答波形である。

表 - 1 には、用いた試験体の一覧を示している。なお、表には別途行った静載荷実験による静的耐力 P_{us} の値も合わせて示している。表中、衝突速度 V の括弧内は単一載荷実験における衝突速度を表している。また、静的せん断耐力 V_{usc} および静的曲げ耐力 P_{usc} の値は、土木学会コンクリート標準示方書に基づき算定している。せん断余裕度 α はこの V_{usc} を P_{usc} で除した値であり、本試験体の場合には <1.0 であることから静載荷時にせん断破壊することが予想される。なお、本研究では耐衝撃挙動に与える断面寸法の影響に限定して検討するため、 V_{usc} 、 P_{usc} および α を、A, B 試験体で大略等しい値となるように断面設計している。

3. 実験結果および考察

3.1 重錘衝撃力、支点反力および載荷点変位波形

図 - 2 には、A, B 試験体における重錘衝撃力 P 、支点反力 R および変位 d に関する各応答波形を示している。なお、紙面の都合により、ここでは単一載荷実験の衝突速度 $V = 7, 8, 9$ m/s の結果に着目して検討を行うこととする。図より、いずれの応答波形に関しても、A, B 試験体は衝突速度 V に関わらず良く対応した分布性状を示していることが分かる。すなわち、重錘衝撃力波形 P の場合には、衝撃初期に波動が急激に立ち上がり、最大応答値を示した後一旦急激に減少する。その後再度波動が増大し第 2 ピーク値を示した後徐々に除荷されている。支点反力波形 R の場合には、 P で見られた衝撃初期における第 1 波は現れていない。すなわち、時間に対してほぼ線形に増大し、最大応答値に

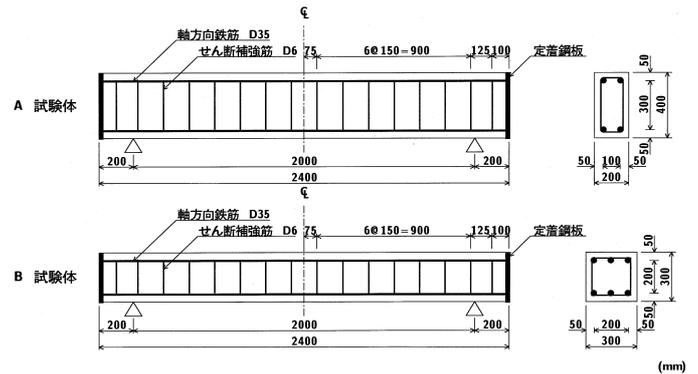


図 - 1 試験体の形状寸法および配筋状況

表 - 1 試験体の一覧

試験体名	衝突速度 V (m/s)	主鉄筋比 P_t	純スパン長 L (m)	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 ($= V_{usc}/P_{usc}$)	静的耐力の実験値 P_{us} (kN)
A	1~6 (6~10)	0.0273	2.0	2.86	261	449	0.58	401
B	1~7 (7~9)	0.0382	2.0	4.00	276	477	0.58	351

達した後は時間の経過とともに直線的に減少している。また、その分布形状は三角形の様相を呈している。変位波形 d について見ると、荷重載荷時には支点反力波形 R に対応した三角形の波形形状を示している。また、荷重除荷後には波動は微かに振動している。

3.2 重錘衝撃力、支点反力の変位に関する履歴曲線

図 - 3 には、重錘衝撃力および支点反力に関する $P-d$ 、 $R-d$ 履歴曲線を示している。なお、ここでも前節と同様に単一載荷実験における衝突速度 $V = 7, 8, 9$ m/s に着目して検討を行う。図より、 $P-d$ 曲線および $R-d$ 曲線の分布は、いずれの衝突速度 V においても、両試験体で比較的類似していることが分かる。すなわち、 $P-d$ 曲線の場合には、重錘衝撃力は変位がほぼ零の段階で最大応答値を示し、最大値程度の荷重が持続した状態で変位が増大している。その後、重錘衝撃力は一旦減少し再度増加した後再び減少に転じている。一方、 $R-d$ 曲線の場合には、重錘衝撃力が一旦零程度に低下した時点で支点反力が最大応答値に達している。最大支点反力発生後、支点反力は減少するものの変位は最大応答変位値まで単調に増大している。これは $P-d$ 曲線の第 2 ループの挙動に類似している。最大変位到達後は初期剛性と類似の剛性で除荷されている。

3.3 各種応答値と衝突速度の関係

図 - 4 には、最大重錘衝撃力 P_{ud} 、最大支点反力 R_{ud} および残留変位 d_r と衝突速度 V の関係を示している。図中、白抜き、印は繰り返し載荷、黒塗り、印は単一載荷の結果を示している。また、静載荷実験より得られた静的耐力値 P_{us} も合わせて示している。

図より、繰り返し載荷および単一載荷の場合ともに、両試験体の最大重錘衝撃力 P_{ud} および最大支点反力 R_{ud} は、衝突速度 V に関わらず非常に良く一致していることが分かる。詳細に見ると、繰り返し載荷における P_{ud} 、 R_{ud} は、静的耐力 P_{us} 程度まで V の増加とともにほぼ線形的に増大している。しかしながら、静的耐力 P_{us} を越える荷重レベルでは V の増加に対する増分が小さくなっている。これは、静的耐力を超える状態では載荷点近傍部コンクリートの劣化が進行し、衝突速度に比例した衝撃力が励起されないためと推察される。一方、単一載荷における P_{ud} 、 R_{ud} は、繰り返し載荷における P_{ud} 、 R_{ud} と衝突速度 V の分布線上に分布している。残留変位 d_r について見ると、いずれの衝突速度においても d_r は両試験体で非常に良く対応している。また、 d_r は V の増加とともに指数関数的に増大している傾向も読み取れる。以上より、断面寸法が異なる梁でも、 V_{usc} 、 P_{usc} が大略等しい場合には衝撃挙動も類似であることが明らかとなった。

4. まとめ

本研究では、断面寸法の違いがせん断破壊型 RC 梁の耐衝撃性におよぼす影響を検討するため、断面寸法は異なるが静的せん断耐力および静的曲げ耐力は大略等しい 2 種類の RC 梁に関する重錘落下衝撃実験を行った。実験結果より、断面寸法が異なる場合でも、静的せん断耐力、静的曲げ耐力が等しい RC 梁の耐衝撃挙動は類似であることが明らかとなった。これは、せん断破壊型 RC 梁の耐衝撃設計法確立の可能性を示唆しているものと判断される。

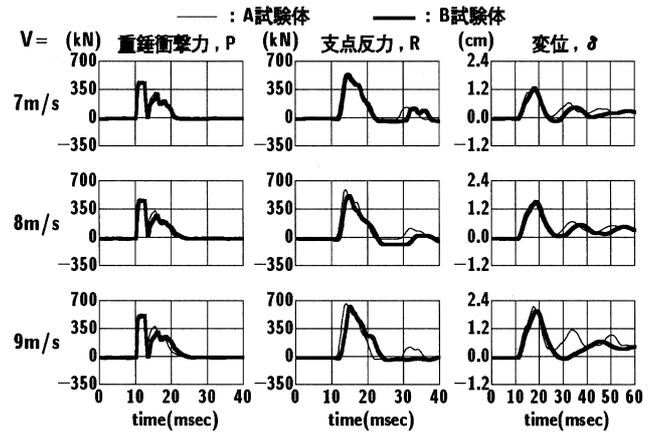


図 - 2 各応答波形

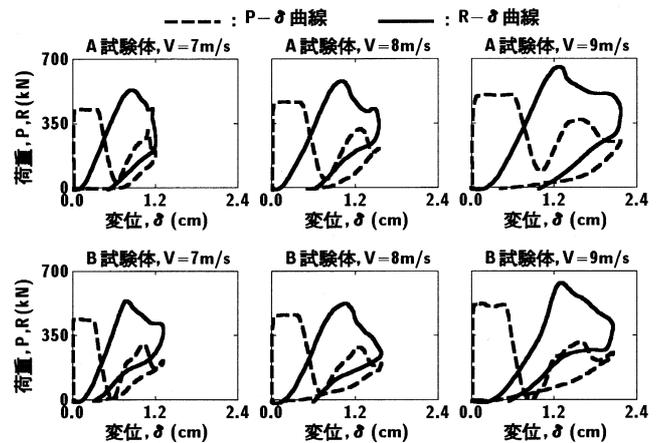


図 - 3 P-, R- 履歴曲線

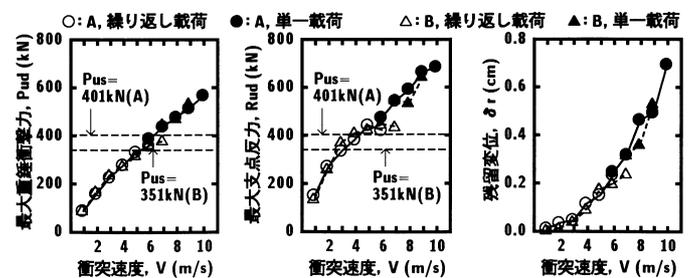


図 - 4 各種応答値と衝突速度の関係