

断面寸法の違いが高性能軽量コンクリートを用いた曲げ破壊型 RC 梁の耐衝撃性状に与える影響

Effects of Cross Sectional Dimensions on Impact Resistant Behavior of Flexural-Failure-Type RC Beams with HP-LWC

室蘭工業大学

防衛庁第4研究所

ドービー建設工業(株)

室蘭工業大学

正員 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)

○正員 安藤 智啓 (Tomohiro Ando)

正員 竹本 伸一 (Shin-ichi Takemoto)

フェロー 松岡 健一 (Ken-ichi Matsuoka)

1. はじめに

近年、道路橋や鉄道橋の上部構造の軽量化を図る試みの一つとして、粗骨材に高性能軽量骨材を用いたコンクリート（以後、高性能軽量コンクリート）を実橋に適用する方法が考えられ、一部実用化されている¹⁾。

著者らも、既に不慮の事故による車両衝突に対して安全性の確保が必要とされる高欄部等、耐衝撃用途構造部材への適用性に着目して、高性能軽量コンクリートを用いた曲げ破壊型 RC 梁の重錘落下衝撃実験を実施し、耐衝撃挙動に関する検討を行っている²⁾。その結果、重錘衝撃力、支点反力、変位に関する衝撃応答性状は、同程度の静的曲げ耐力を有する普通コンクリートを用いた場合の RC 梁とほぼ同様であること、従って高性能軽量コンクリートを用いた RC 梁は耐衝撃用途構造部材にも十分適応可能であることを明らかにしている。しかしながら、断面寸法や載荷条件（入力エネルギー一定条件の下、質量の異なる重錘を用いて載荷）等が、高性能軽量コンクリートを用いた RC 梁の耐衝撃挙動に与える影響に関しては、これまで検討されていない。

本研究では、静的曲げ耐力のほぼ等しい高性能軽量コンクリートを用いた曲げ破壊型 RC 梁を2種類製作し、これら RC 梁に関する重錘落下衝撃実験を実施した。

2. 実験概要

図-1 には、高性能軽量コンクリート (High-Performance and Light-Weight Concrete) を用いた RC 梁2種類の形状

寸法および配筋状況を示している。図より、各試験体の断面寸法は、各々 25×25 cm, 20×20 cm である。ここでは、前者断面を有する試験体を HL 25 梁、後者断面を有する試験体を HL 20 梁としている。全長は両梁とも 3.4 m である。また、軸方向鉄筋には HL 25 梁の場合で D19 を、HL 20 梁の場合で D25 を用いている。せん断補強筋には両梁とも D6 を用い、これを 15 cm 間隔に配筋している。

表-1 には、両梁の静的設計値の一覧を示している。表中、静的曲げ耐力 P_{usc} および静的せん断耐力 V_{usc} は、示方書³⁾に基づき算定している。このうち、 P_{usc} 値は両梁で大略等しくなるように設計時に配慮している。せん断余裕度 α は両梁とも $\alpha > 1.0$ であることより、両梁は設計的に静載荷時には曲げ型で破壊に至ることが予想される。また、別途実施した静載荷実験結果（図-2）から、両梁の静的曲げ耐力は同程度であることを確認している。なお、表-2 および表-3 には、実験時のコンクリートおよび鉄筋の力学的特性を示している。

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重錘を自由落下させることにより行っている（写真-1）。治具全体は RC 梁の回転のみを許容するピン支持に近い構造となっている。重錘には、質量 300 kg で載荷点部の直径が 15 cm の円柱状鋼製のものを用いている。また、重錘底部には衝突時の片当たりを防止するため、高さ 2 mm の球状のテーパが施されている。

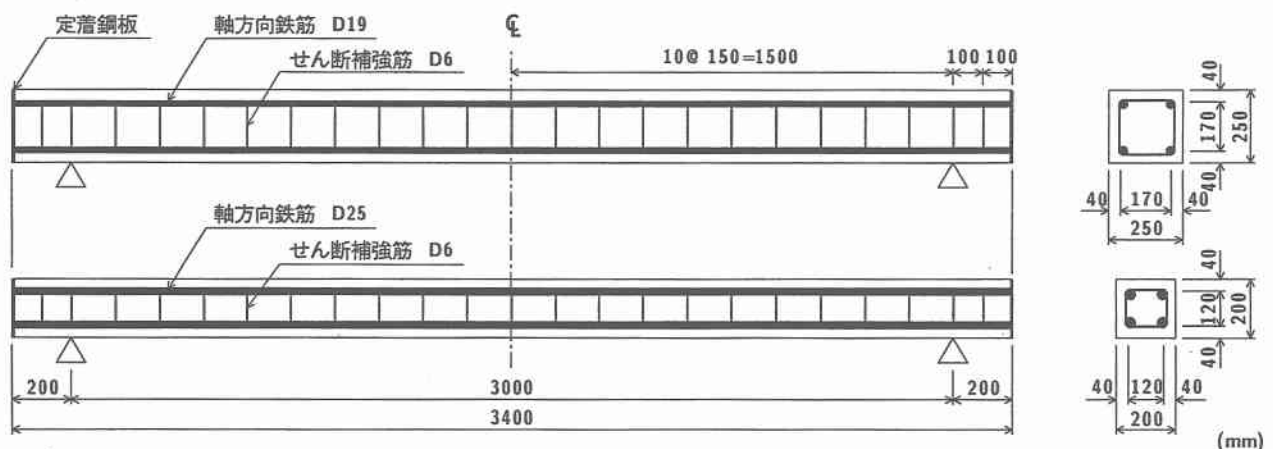


図-1 試験体の形状寸法および配筋状況 (HL25, HL20 試験体)

表－１ RC 梁の静的設計値一覧

試験 体名	曲げ耐力 P_{us} (kN)	せん断耐力 V_{us} (kN)	せん断余裕度 $\alpha (= V_{us}/P_{us})$	実測曲げ耐力 P_{us} (kN)
HL25	59.2	129.7	2.18	75.3
HL20	69.7	107.5	1.54	76.3

表－２ コンクリートの力学的特性

比重	圧縮強度 f'_c (MPa)	引張強度 f_t (MPa)	弾性係数 E_c (GPa)	ポアソン比 ν_c
1.20	37.6	2.37	21.9	0.21

表－３ 鉄筋の力学的特性

鉄筋名称	材質	降伏強度 σ_y (MPa)	弾性係数 E_s (GPa)	ポアソン比 ν_s
D25	SD345	383	206	0.3
D19	SD345	392		
D6	SD295A	376		

表－４ 実験ケース

試験体名	漸増繰返し載荷		単一載荷	
	試験 体数	衝突速度 V (m/s)	試験 体数	衝突速度 V (m/s)
HL25	1	1～5	2	5, 6
HL20	1	1～5	2	5, 6

表－４には実験ケースの一覧を示している。本実験では、載荷方法として漸増繰返し載荷（以後、単に繰返し載荷）と単一載荷の２種類を採用している。前者は、処女載荷の衝突速度および増分速度を 1 m/s に設定し、RC 梁が破壊に至るまで同一試験体に対して繰返し重錘を落下させる方法である。一方、後者は繰返し載荷の最終速度と同一速度およびその + 1 m/s で未使用の試験体に対して一度だけ重錘を落下させる方法である。ここでは、著者らの過去の研究に基づき⁴⁾、RC 梁の累積残留変位が純スパンの 2 % (6 cm) に達した時点をもって破壊と定義した。

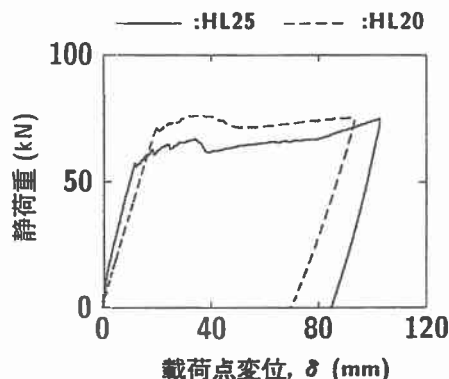
測定項目は、重錘衝撃力 P 、合支点反力 R （以後、支点反力）および載荷点変位 δ （以後、変位）の各応答波形である。また、実験終了後にはひび割れも記録している。

3. 実験結果および考察

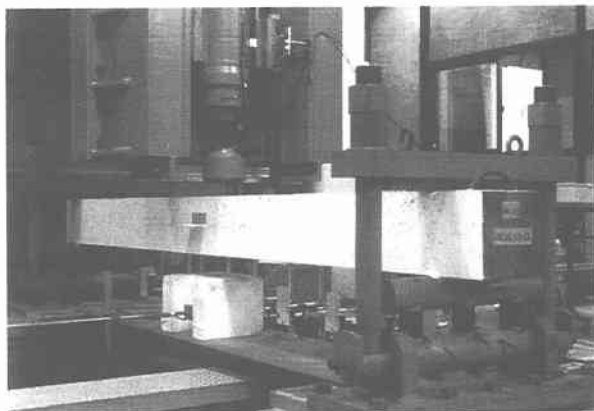
3.1 各種応答波形の比較

図－３には、繰返し載荷実験より得られた HL25 梁および HL20 梁の重錘衝撃力 P 、支点反力 R 、変位 δ に関する各応答波形を示している。図中、各波形は、重錘が RC 梁に衝突した時間を 0 ms とし、 P 、 R の場合には 45 ms、 δ の場合には 135 ms までの時間に対して整理している。

図より、重錘衝撃力 P に関して見ると、両梁の波動は、衝突速度に拘わらず立ち上がりから減衰に至るまで大略類似した分布となっていることが分かる。すなわち、両波動は衝撃初期に急激に立ち上がり、最大値を示した後一旦急激に零値まで減少する（第 1 波）。その後再度



図－２ 静荷重－変位曲線



写真－１ 重錘落下衝撃実験の状況

立ち上がり第 2 ピーク値を示した後、緩やかに減少している（第 2 波）。なお、最大衝撃力値および荷重の継続時間は、衝突速度の増加に伴い増大している。この傾向は、支点反力波形 R および変位波形 δ の場合にも同様に見られる。

一方、支点反力波形 R に関して見ると、両梁の波動は、重錘衝撃力波形 P の場合と同様に、衝突速度に拘わらず良く対応していることが分かる。しかしながら、波動の分布性状は P の場合とは異なり、第 1 波と第 2 波の明瞭な区分は見られず、周期の長い正弦半波と高周波成分が合成された性状を示している。変位波形 δ について見ると、ここでも両波動において、振幅や振動周期等の分布性状が良く対応していることが分かる。また、波動は、重錘衝撃力 P や支点反力 R に見られる高周波成分の含まれない正弦波状の分布となっている。

3.2 荷重－変位曲線の比較

図－４には、繰返し載荷実験より得られた HL25 梁と HL20 梁の重錘衝撃力－変位曲線（ P － δ 曲線）および支点反力－変位曲線（ R － δ 曲線）を衝突速度毎に比較して示している。

(a)図の P － δ 曲線より、両梁ともループの面積は衝突速度の増加に伴い増大していることが分かる。これは後述の R － δ 曲線においても同様に見られる。また、重錘衝撃力 P は、衝突速度に拘わらず、変位 δ のほとんど生じない初期の段階で最大値に達し、その後急激に減

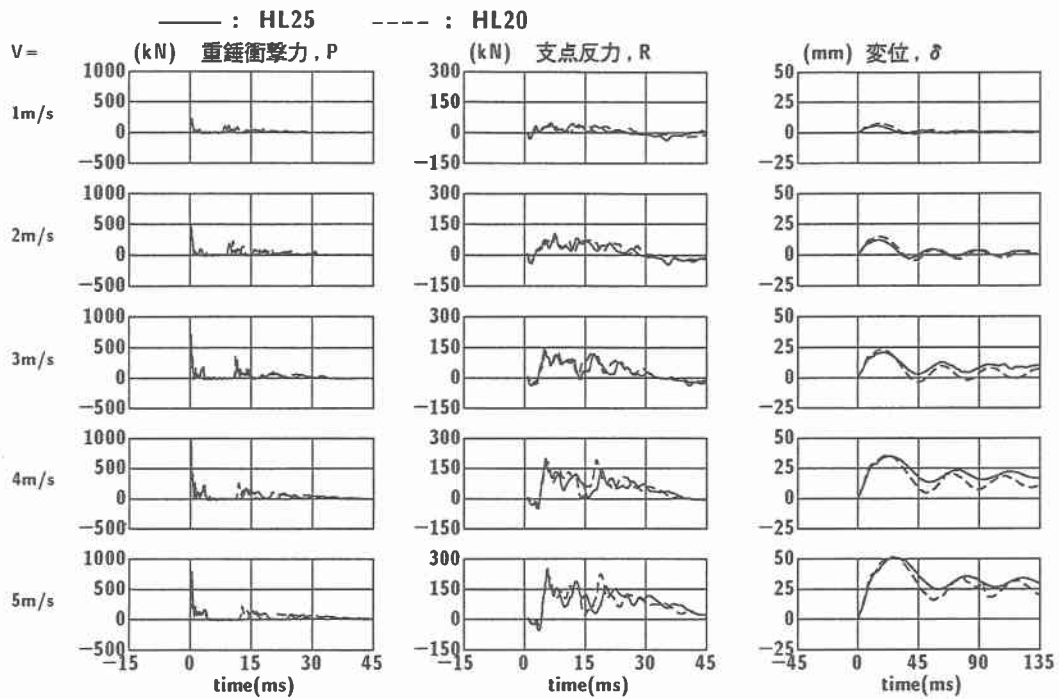
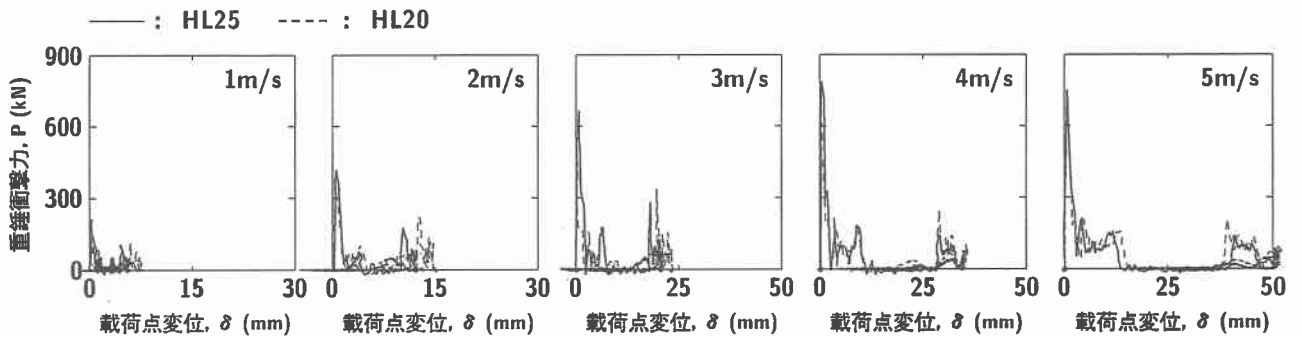
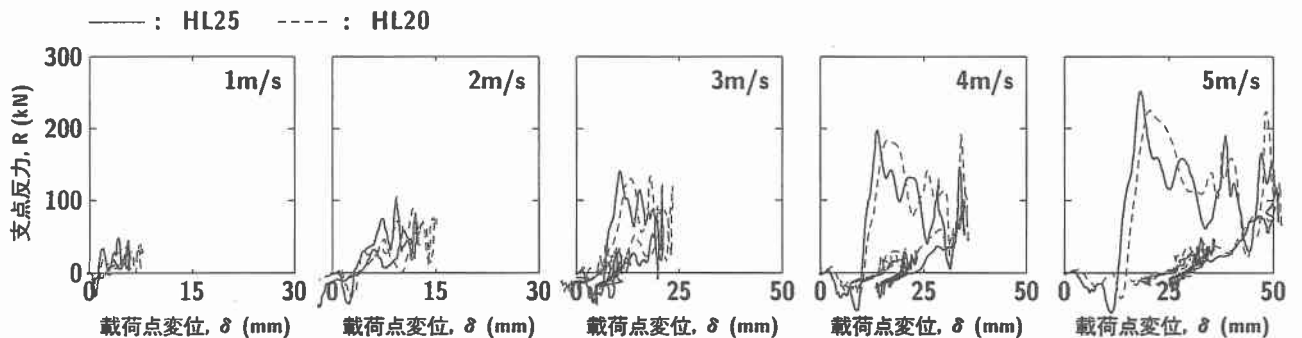


図-3 重錘衝撃力、支点反力および変位の応答波形（繰返し載荷）



(a) 重錘衝撃力—変位曲線



(b) 支点反力—変位曲線

図-4 荷重—変位曲線の比較（繰返し載荷）

少する両梁で類似の分布性状を示している。その後両梁において P は再度増大し、初期のループよりも小さい第2ループが形成されている。第1ループから第2ループへの推移も両梁で良く一致している。

一方、(b)図でも $R-\delta$ 曲線は、衝突速度に拘わらず両梁で類似した分布性状を示していることが確認できる。

すなわち、衝突速度が $V = 1, 2 \text{ m/s}$ ではループの囲まれる面積が非常に小さく示されており、梁が弾性的に挙動していることを同わせる分布となっている。 $V \geq 3 \text{ m/s}$ では、支点反力 R は若干変位の生じた時点で負載荷状態から載荷状態に移行し、 $P-\delta$ 曲線に比べると緩やかな勾配で最大値まで増加している。最大支点反力値に到

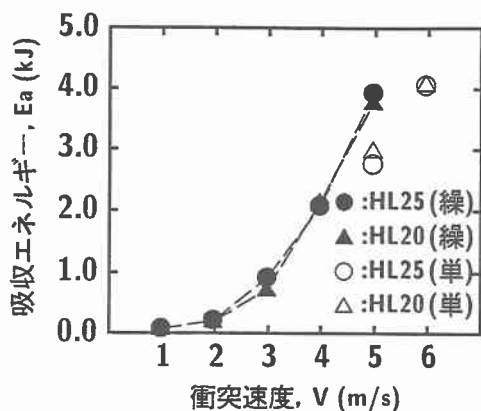


図-5 吸収エネルギーと衝突速度の関係

達後、 R は増減を繰り返して徐々に減少していくが、最大変位値近傍で R が再度最大値程度まで増大している。最大変位値到達後には、 R は初期よりは勾配の小さい剛性で除荷に至っている。

3.3 吸収エネルギーと衝突速度の関係の比較

図-5 には、HL25 梁および HL20 梁に関する吸収エネルギー E_a と衝突速度 V の関係を示している。ここで吸収エネルギー E_a は、前述した支点反力-変位曲線 ($R-\delta$ 曲線) で囲まれた面積より評価している。また、図中黒塗り●、▲印は繰り返し載荷の結果を、白抜き○、△印は単一載荷の結果を示している。

図より、吸収エネルギー E_a は、衝突速度 V の増加とともに二次放物線的に増大していることが分かる。また、各衝突速度における両梁の E_a 値は、繰り返し載荷および単一載荷の場合ともほぼ同様の値を示している。これは、高性能軽量コンクリートを用いた曲げ破壊型 RC 梁においても、静的曲げ耐力が同程度であればほぼ同様の耐衝撃性状を示すことを意味している。

一方、載荷方法の違いに着目すると、 $V = 5 \text{ m/s}$ における E_a 値は、繰り返し載荷の場合で若干大きく示されている。これは、繰り返し載荷の場合には梁が載荷履歴の影響を受けていることより、梁の剛性が若干低下し、梁がより多くのエネルギーを吸収したためと推察される。

3.4 ひび割れ分布の比較

図-6 には、HL25 梁と HL20 梁の破壊時 (衝突速度 $V = 5 \text{ m/s}$) における繰り返し載荷および単一載荷実験終了後のひび割れ分布を示している。

図より、HL25 梁と HL20 梁のひび割れ分布は、繰り返し載荷および単一載荷の場合とも、両者で良く類似していることが分かる。すなわち、梁下縁から進展する曲げひび割れがスパン全域に、載荷点部から約 45° の角度で梁下縁に進展する斜めひび割れがスパン中央部に発生している。また、載荷点近傍部ではコンクリートの剥落も生じている。

載荷方法の違いに着目すると、HL25 梁および HL20 梁の場合とも、繰り返し載荷の場合において載荷点部下

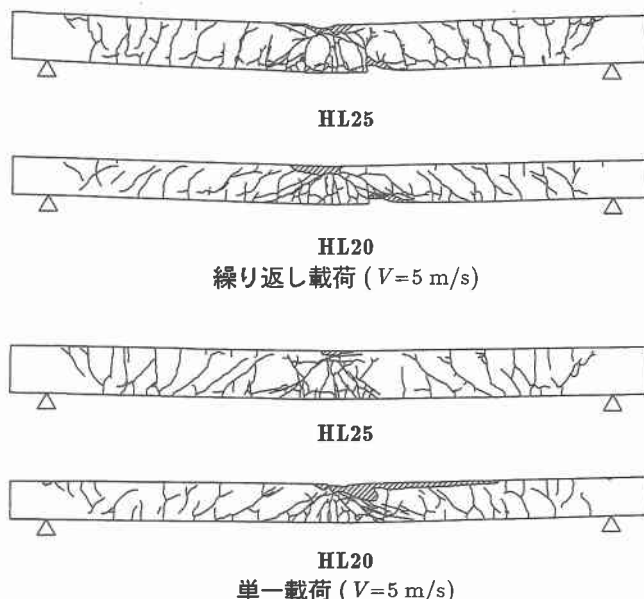


図-6 ひび割れ分布

縁のコンクリートのかぶりが剥落している点を除き、両者には顕著な性状の差異は見られない。

4. まとめ

本研究では、断面寸法の違いが高性能軽量コンクリートを用いた曲げ破壊型 RC 梁の耐衝撃挙動に与える影響に関して検討することを目的として、静的曲げ耐力のほぼ等しい高性能軽量コンクリートを用いた RC 梁を 2 種類製作し、これら RC 梁を用いた重錘落下衝撃実験を実施した。その結果、高性能軽量コンクリートを用いた RC 梁の断面寸法が異なる場合でも、静的曲げ耐力が同程度であれば、1) 重錘衝撃力、支点反力および変位に関する応答波形はほぼ同様となること、2) 重錘衝撃力-変位曲線および支点反力-変位曲線の分布性状もほぼ同様となり、かつループの面積として評価される吸収エネルギー量も一致すること、3) 実験終了後のひび割れ分布性状も大略同様となり、また載荷方法の違いによるひび割れ分布への影響は小さいこと、等が明らかになった。

参考文献

- 1) 岡本享久, 早野博幸, 柴田辰正: 超軽量コンクリート, コンクリート工学, Vol.36, No.1, 1998.1.
- 2) 竹本伸一, 岸 徳光, 安藤智啓, 松岡健一: 高性能軽量コンクリートを用いた曲げ破壊型 RC 梁の耐衝撃挙動, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.3, 2001.
- 3) コンクリート標準示方書 (平成 8 年度制定) 設計編, 土木学会, 1996.
- 4) 岸 徳光, 三上 浩, 松岡健一, 安藤智啓: 静載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 /I51, 177-190, 2000. 4