

軽量コンクリートを用いたせん断補強筋なし RC 梁の耐衝撃性に関する実験的研究

Experimental Study on an Impact Resistant Behavior of LW RC Beams without Shear-Rebar

室蘭工業大学

ドーピー建設工業(株)

(独)北海道開発土木研究所

三井建設(株)

○フェロー

正員

正員

フェロー

岸 徳光 (Norimitsu Kishi)

竹本 伸一 (Shin-ichi Takemoto)

今野 久志 (Hisashi Konno)

三上 浩 (Hiroshi Mikami)

1. はじめに

近年、道路橋や鉄道橋等の上部構造の軽量化を図ることを目的として、新しい構造形式の開発のみならず、新しい材料の開発やその適用性検討が盛んに行われている。新材料として期待されているものの一つに、粗骨材に焼成人工軽量骨材を用いたコンクリート¹⁾(以後、軽量コンクリート)がある。焼成人工軽量骨材(以後、軽量骨材)は、24時間吸水率が9～11%と小さく、比重が1.2～1.3と小さいにもかかわらず圧壊荷重が1,000 N以上あること、この骨材を用いて35～65 MPaの圧縮強度を有するコンクリートの製作が可能になること、有害化学物質を含まないことや、塩分を含まずアルカリ骨材反応が生じないこと等、従来の人工軽量骨材に比べて格段に品質が向上している。また、軽量コンクリートの特徴として耐凍結融解性や耐火・耐熱・水密性に優れ、コンクリート収縮やクリープが普通コンクリートとほぼ同等であることが挙げられる。

軽量コンクリートを用いた梁や柱部材の静的な曲げおよびせん断性状に関する実験的・解析的研究は、既に他機関で実施されている。その結果、1) 軽量コンクリートの引張強度および曲げ強度は、土木学会コンクリート標準示方書²⁾(以後、示方書)の普通コンクリート梁に対する算定法を用いて評価可能であること³⁾、2) 軽量コンクリート RC 梁の静的曲げ耐力は示方書の規定に基づき、普通コンクリート RC 梁の場合と同様の手法を用いて算定可能であること⁴⁾、等が明らかとなり、橋梁等の上部構造への適用の可能性が示されている。しかしながら、不慮の事故による車両衝突に対しても耐衝撃安全性が確保されなければならない壁高欄部等、耐衝撃用途構造部材への適用性に関しては、これまで検討された研究事例がない。また、軽量コンクリート RC 梁の衝撃荷重

に対する曲げおよびせん断耐力の規定は、いずれの示方書にも見当たらない。

このような観点より、本研究では構造部材の基本である梁部材に着目し、軽量コンクリートを用いた静載荷時にせん断破壊で終局に至る RC 梁の耐衝撃性を検討することを目的として、重錘落下衝撃実験を実施した。本研究では、軽量コンクリートを用いる場合の耐衝撃性を普通コンクリートを用いる場合と比較する形で検討を行うこととした。

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、軽量コンクリート(Light-Weight Concrete)を用いた RC 梁(以後、LW 梁)と普通コンクリート(Normal Concrete)を用いた RC 梁(以後、N 梁)の形状寸法および配筋状況を示している。ここでは、コンクリート材料の違いのみに着目してせん断破壊性状を比較するため、形状寸法および配筋は両梁で同様としている。すなわち、形状寸法(梁幅×梁高×純スパン長)は両梁ともに、200×300×2,000 mmの複鉄筋矩形 RC 梁としている。

表-1には、LW 梁および N 梁の静的設計値の一覧を示している。表中の静的曲げ耐力 P_{usc} および静的せん断耐力 V_{usc} は、示方書²⁾に基づき算定している。なお、LW 梁に関する V_{usc} 値は、示方書²⁾に基づき70%に低減して評価している。また、 P_{usc} 、 V_{usc} 算定時の部材係数は、真の耐荷性状を検討するために、 $\gamma=1.0$ としている。せん断余裕度 α は、いずれの梁も $\alpha<1.0$ であることより、設計的には静載荷時にせん断破壊で終局に至ることが予想される。また、表中には別途実施した静載荷実験より得られた実測静的耐力 P_{us} 、および P_{us} と P_{usc} を用いて算定した実せん断余裕度 α' も合わせて示している。

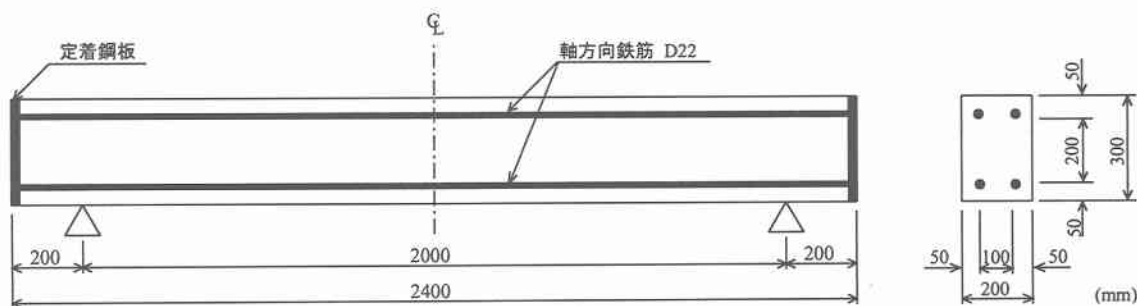


図-1 試験体概要図

表－１ 試験体の一覧

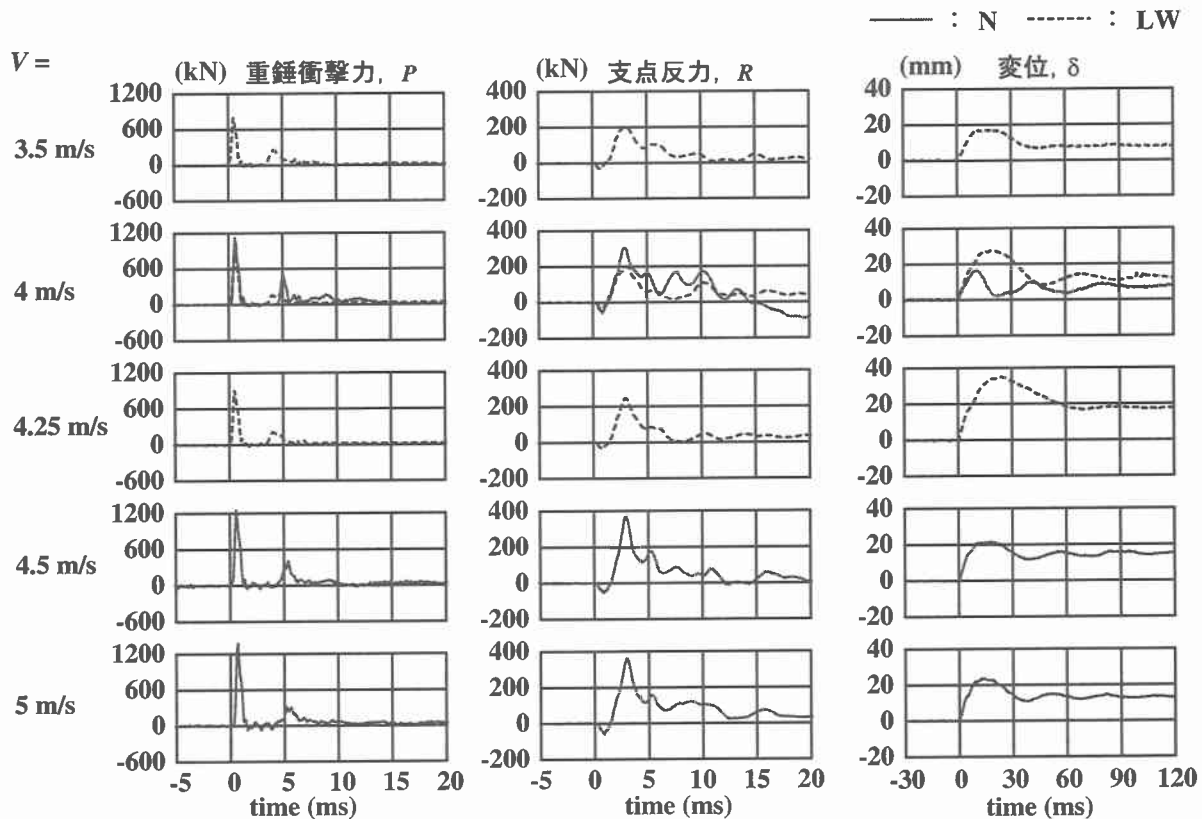
試験体名	主鉄筋比 P_t	せん断 スパン比 a/d	静的 せん断耐力 V_{usc} (kN)	静的 曲げ耐力 P_{usc} (kN)	せん断 余裕度 α	実測静的 せん断耐力 P_{us} (kN)	実せん断 余裕度 α'	衝突速度 V (m/s)
N	0.015	4.0	115.3	132.4	0.87	134.1	1.01	4, 4.5, 5, 5.25, 5.5
LW			80.7	131.3	0.61	101.7	0.75	3, 3.5, 3.75, 4, 4.25

表－２ コンクリートの力学的特性値

コンクリート	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
普通	2.33	44.8	3.50	29.8	0.21
軽量	1.86	41.8	2.53	21.1	0.21

表－３ 鉄筋の力学的特性値

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
D22	SD345	367	206	0.3



図－２ 各応答波形

表－２および表－３には、実験時のコンクリートと鉄筋の力学的特性値を示している。軽量コンクリートは、寸法 10～15 mm の軽量骨材（比重 1.2）を粗骨材として用いて製作している。その結果、軽量コンクリートの比重は普通コンクリートに比べて 20 % 程度小さくなっている。また、圧縮強度は両者ほぼ同等の値を示しているが、引張強度および弾性係数は普通コンクリートに比べてそれぞれ 25 %, 30 % 程度小さい。なお、鉄筋には両梁で力学的特性が同一のものを使用している。

2.2 実験方法

実験は、リバウンド防止用治具付の支点上に設置した RC 梁のスパン中央部に所定の高さから一度だけ重錘を自由落下させる単一載荷により実施している。支点治具全体は 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。用いた重錘は質量が 300 kg で載荷点部の直径が 150 mm の円柱状鋼製重錘であり、その底部には

衝突時の片当たりを防止するため高さ 2 mm のテーパが施されている。

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 δ （以後、変位）波形である。また、実験終了後には、RC 梁側面に生じたひび割れもスケッチしている。

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波形

図－２には、各衝突速度における重錘衝撃力 P 、支点反力 R および変位 δ に関する応答波形を示している。図中、時間軸は重錘衝撃力の立ち上がりを 0 ms と設定している。なお、紙面の都合上、各波形は衝突速度 3.5, 4, 4.25, 4.5, 5 m/s の場合のみを掲載している。

最初に、重錘衝撃力波形 P について見ると、両梁とも衝突速度の大きさにかかわらず、衝撃初期には継続時間

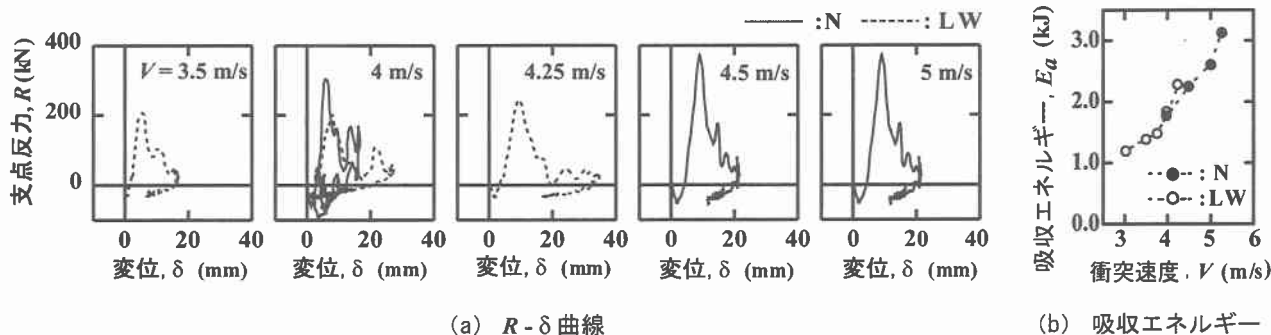


図-3 R - δ 曲線および吸収エネルギーと衝突速度の関係

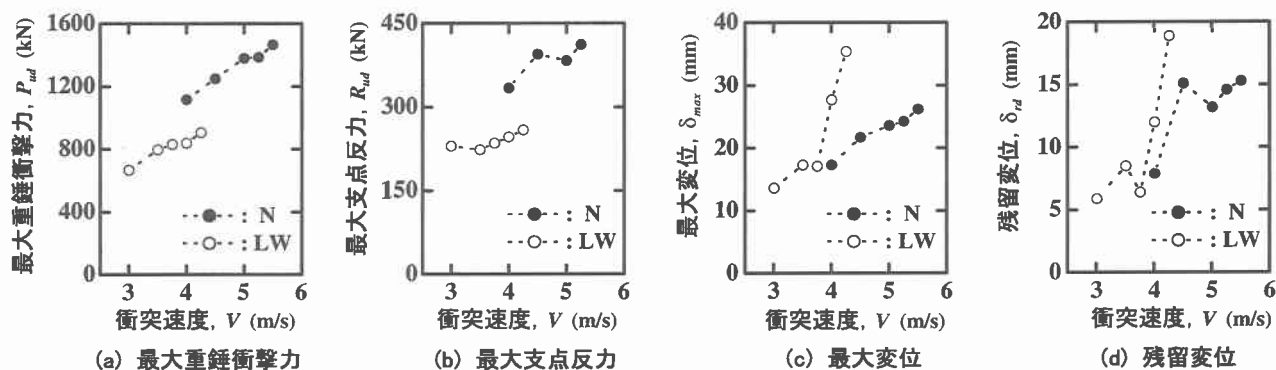


図-4 各種応答値

の短い正弦半波（第1波目）とその後の継続時間の長い正弦半波（第2波目）が連なった両者ではほぼ類似した分布性状を示していることが分かる。前者の波形は重錘の衝突によって初期に発生する波形であり、後者は重錘とその後に形成されるRC梁の低次振動との相互作用によって発生するものと推察される。詳細に見ると、LW梁の重錘衝撃力の振幅はN梁の場合よりも小さい傾向を示しており、両梁で発生する重錘衝撃力に差のあることが分かる。これは、重錘衝撃力は重錘とコンクリートの接触による相互作用によって発生する現象であることより、両コンクリートの弾性係数の差が大きく関与しているものと推察される。

次に、支点反力波形 R に着目すると、LW梁の場合には継続時間が7～10 ms程度の三角形波と周期が数 ms程度の波形が合成された波形を示しているが、N梁の場合には三角形波の継続時間が13～15 ms程度とLW梁に比較して長い。また、衝撃初期の最大支点反力発生時近傍の高周波成分の振幅は、N梁の場合がLW梁の場合より大きい。

変位波形 δ は、120 msまでの時間に対して整理しているが、両梁は正弦半波の分布性状を示した後、減衰自由振動に至っている。また、いずれの梁においても、衝突速度の増大に伴い、初期波形の振幅および周期が増大していることが分かる。LW梁とN梁を比較すると、LW梁はN梁に比べて衝突速度の増加に対する初期波動の継続時間が長くなる程度が大きく示され、損傷の進行度合いの大きいことが分かる。

3.2 支点反力-変位履歴曲線

図-3 (a) には各RC梁の支点反力-変位履歴曲線 (R - δ 曲線) を、図-3 (b) には R - δ 曲線のループで囲まれた

面積で評価される吸収エネルギー量 E_a を衝突速度 V 毎に示している。

(a) 図より、両梁とも三角形の履歴曲線を示しており、その面積が V の増大とともに増大していることがうかがえる。このような分布性状は、両試験体でほぼ同様である。しかしながら、LW梁の場合には $V = 4, 4.25$ m/s 時点で大きな残留変位が発生しているのに対して、N梁の場合には $V = 5$ m/s 時点でも残留変位が15 mm以下を示し、LW梁がN梁よりも耐衝撃的に劣ることが分かる。

(b) 図の吸収エネルギー量 E_a の分布から、LW梁とN梁の吸収エネルギー量は衝突速度に対応して類似の分布特性を示す傾向にあることが分かる。しかしながら、LW梁の吸収エネルギー量はN梁の2/3程度であることがうかがえる。

3.3 各最大応答値と衝突速度の関係

図-4 には、各RC梁の最大重錘衝撃力 P_{ud} 、最大支点反力 R_{ud} 、最大変位 δ_{max} および残留変位 δ_{rd} を衝突速度 V 毎に示している。

(a), (b) 図より、最大重錘衝撃力 P_{ud} 、最大支点反力 R_{ud} は共に、N梁とLW梁で差異が生じていることが確認できる。これは、前述のように、コンクリートの弾性係数の差が大きく影響しているものと推察される。

一方、(c), (d) 図の最大変位 δ_{max} および残留変位 δ_{rd} に着目すると、せん断破壊が著しい $V = 4, 4.25$ m/s におけるLW梁の結果を除くと、両梁の分布はほぼ線形に増加していることが分かる。これは、著しい破壊が生じるまでは、コンクリート材料にかかわらず、入力エネルギーに対応して、変位が励起されていることを意味している。また、LW梁の場合には、衝突速度 $V = 3.75$ m/s か

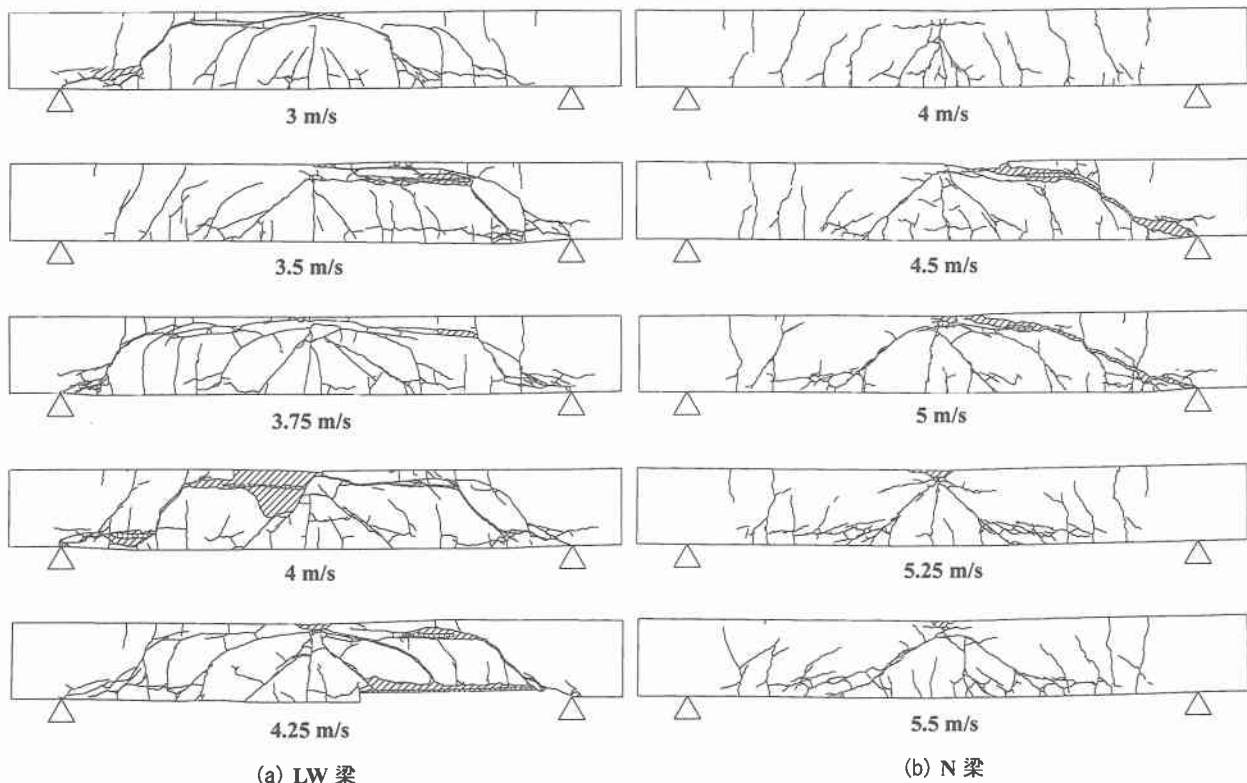


図-5 ひび割れ図

ら $V=4\text{ m/s}$ に増加させた時点で最大変位，残留変位が増加して終局に至っていることから，脆性的に終局に至ることが分かる。

3.4 ひび割れ分布

図-5には，LW梁とN梁における実験終了後のひび割れ分布を各衝突速度と合わせて示している。

(a) 図より，LW梁の場合には， $V=3\text{ m/s}$ 時から，載荷点から支点部へと進展するアーチ状のせん断ひび割れが発生している。このひび割れ分布性状は衝突速度が増加するにつれて顕在化し， $V=4, 4.25\text{ m/s}$ の場合は，載荷点近傍部のコンクリートブロックが剥落し，終局に至っている。従って，LW梁の場合には $V=3.5\sim 3.75\text{ m/s}$ 時の応答が限界状態であるものと推察される。

これに対して (b) 図のN梁の場合は， $V=4\text{ m/s}$ 時に曲げひび割れが卓越しており，LW梁の 4 m/s の場合とは異なっていることが分かる。これは，N梁の実せん断余裕度が1.0程度であることによるものと推察される。しかしながら， $V=4.5\sim 5\text{ m/s}$ 時には載荷点部に斜めひび割れが発生すると共に梁右側部にアーチ状のひび割れが発生しており，せん断破壊によって終局状態に至っていることをうかがわせる。さらに，衝突速度を増加させると，載荷点近傍部に発生する押し抜け型の斜めひび割れが卓越し，主鉄筋に沿う割裂ひび割れが支点に向かって進展している。なお，図-4より $V=4.5\sim 5.5\text{ m/s}$ までの最大支点反力 R_{ud} ，最大変位 δ_{max} ，残留変位 δ_d には大差のないことが分かる。これより，耐衝撃設計のための最大変位，残留変位は $V=4\text{ m/s}$ 時の値を用いて議論すべきであるものと判断される。

なお，LW梁とN梁のひび割れ分布図を比較すると，N梁の場合にはひび割れに丸味を帯びているに比べて，LW梁の場合には特に梁上縁近傍において鋭角な分布性

状を示している。これは脆性的にひび割れが発生していることを意味しており，LW梁のコンクリート強度や弾性係数が小さいことに起因しているものと推察される。

4. まとめ

本研究では，軽量コンクリートを用いたせん断破壊型RC梁の耐衝撃性状を明らかにするために，同断面を有する普通・軽量コンクリートRC梁の重錘落下衝撃実験を実施し，両者の実験結果を比較する形で衝撃耐荷性状に関する検討を行った。結果を要約すると，以下のとおりである。

- 1) 軽量コンクリートを用いたせん断破壊型RC梁の耐衝撃性は，同一断面の普通コンクリートRC梁に比べて劣ったものとなる。
- 2) 1)の理由として軽量コンクリートの弾性係数，引張強度の小さいことが挙げられる。

参考文献

- 1) 人工軽量骨材アサノライト，太平洋マテリアル（株）
- 2) コンクリート標準示方書（平成8年制定）設計編，土木学会，1996。
- 3) 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，pp.48-52，1998.1
- 4) 二羽淳一郎，岡本享久，前堀伸平：高品質軽量コンクリートの構造部材への適用，コンクリート工学，Vol.38，No.12，pp.3-9，2000.12