

凍結融解作用により劣化した RC 梁の重錘落下衝撃実験

Weight falling impact tests on RC beams damaged by freezing and thawing action

室蘭工業大学大学院	○ 学生員	勝見 悠太 (Yuta Katsumi)
寒地土木研究所	正 員	水田 真紀 (Maki Mizuta)
室蘭工業大学	正 員	栗橋 祐介 (Yusuke Kurihashi)
釧路工業高等専門学校	フェロー	岸 徳光 (Norimitu Kishi)

1. はじめに

北海道のような積雪寒冷地における鉄筋コンクリート (RC) 構造物は、凍結融解作用に伴う凍害劣化や凍害と塩害の複合劣化により、外観のみならず耐久性が著しく低下しているケースが少なくない。そのため、これまで諸研究機関では、コンクリートの耐凍害性向上法¹⁾や凍害劣化したコンクリートの補修方法²⁾等に関する検討が行われている。また、RC 床板や RC 壁高欄のような橋梁部材は複合劣化の影響を受けやすい構造物の 1 つとされ、その耐荷性能と劣化度の関係に着目した研究も近年進められている³⁾⁻⁵⁾。

また、壁高欄や重要建造物等のように、その耐衝撃性が重要な性能照査項目となる場合には、凍害劣化度と構造性能の関係を明確にする必要があるものと考えられる。しかしながら、RC 構造物の耐衝撃性に及ぼす凍害劣化度の影響については、検討されていないのが現状である。

このような背景より、本研究では、RC 部材の耐衝撃挙動に及ぼすコンクリートの凍害劣化の影響を検討することを目的に、気中凍結水中融解法により凍害劣化させた RC 梁の漸増繰返し衝撃荷重載荷実験を行った。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

図-1には、試験体の概要を示している。本実験に用いた試験体の形状寸法 (梁幅 × 梁高 × 純スパン長) は、60 × 100 × 900 mm である。軸方向鉄筋には、D6 を上下に 1 本ずつ用いており、芯かぶりは 30 mm とした。

図-2には、超音波伝播速度の測定位置を示している。測定点は全 19 点あり、基本的にスパン中央を基準として 100 mm 間隔ごとに設けてある。なお、試験体の相対動弾性係数は、全測定点の相対動弾性係数を平均したものをを用いている。

2.2 凍結融解試験概要

凍結融解試験は、コンクリート打設後 6 週間が経過した後開始した。凍結融解の条件は気中凍結水中融解とし、試験体内部の温度が -18℃ ~ 5℃ となるように制御しつつ、1 サイクル約 7 時間で行った。また、RC 梁の支点部が劣化損傷す

ると載荷実験ができなくなるため、RC 梁の両端は、劣化防止のためスタイロフォームをコーキング材で接着して保護することとした。

2.3 実験方法

表-1には、本実験に用いた試験体の一覧および耐力計算結果を示している。本実験に用いた試験体は、凍害劣化を全く与えていない健全状態の梁 (N 試験体) と、上述の凍結融解試験により凍害劣化を与えた梁 (D 試験体) の 2 種類を使用した。いずれの試験体も、せん断余裕度が 1.61 であり、破壊形式は曲げ破壊型である。

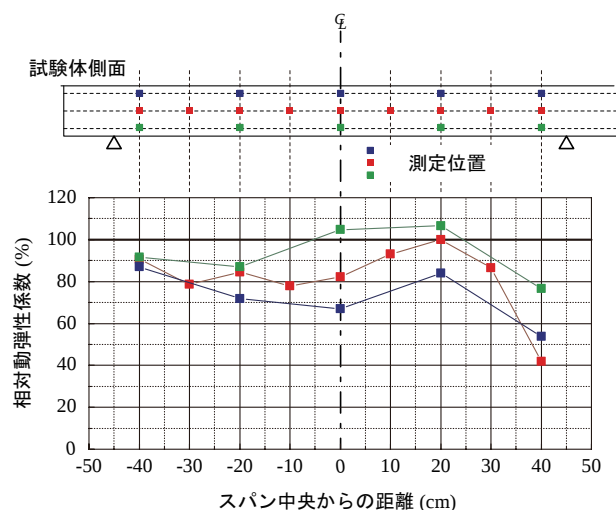


図-2 超音波伝播速度の測定位置

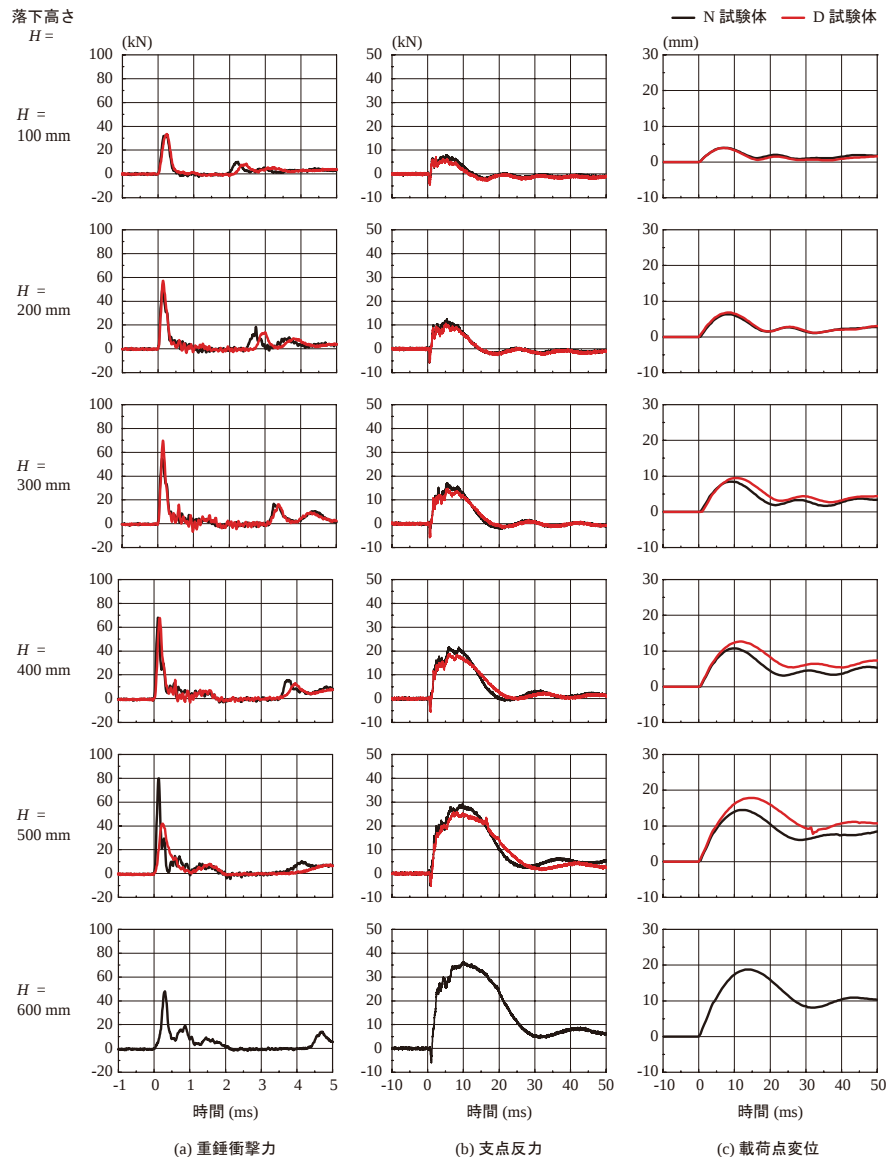


図-1 試験体概要

写真-1 実験装置

表－1 試験体一覧

試験体名	相対動弾性係数 (%)	計算曲げ耐力 (kN)	計算せん断耐力 (kN)	せん断余裕度	破壊形式
N	100	4.1	6.6	1.61	曲げ破壊型
D	82.6				



図－3 各種応答波形一覧

実験は写真－1に示す装置を使用し、質量 20 kg、先端直径 60 mm の鋼製重錘を繰り返し自由落下させる方法で行った。重錘の落下高さは初期および増分高さを 100 mm と設定した。なお、D 試験体は $H = 500$ mm、N 試験体は $H = 600$ mm において終局状態へ至ったため実験を終了した。重錘の落下位置は試験体のスパン中央部であり、試験体の両支点部は回転を許容し、浮き上がりを拘束するピン支持に近い構造となっている。

本実験の計測項目は、重錘衝撃力および支点反力であり、サンプリングタイムを 0.01 ms としデジタルデータレコーダーで一括収録している。また、荷点変位に関しては高速度カメラによって撮影された画像を用いて、試験体に貼付したターゲットマーカの移動量から算出した。なお、全ての実験終

了後、試験体のひび割れ性状をカメラにて撮影している。

3. 実験結果

3.1 各種応答波形

図－3には、本実験における (a) 重錘衝撃力、(b) 支点反力、(c) 荷点変位の時刻歴応答波形を示している。

図－3(a)より、重錘衝撃力波形は、試験体の種類によらず落下高さの増加に伴って、最大振幅が増加していることが分かる。また、D 試験体が終局に至る $H = 500$ mm より低い落下高さにおいては、両試験体ともに、同様の波形性状を示している。すなわち、重錘衝突後から波形が急激に立ち上がり継続時間が短い第1波と、振幅が小さい第2波により構成されていることが分かる。なお、第2波の立ち上がりは $H = 300$ mm を

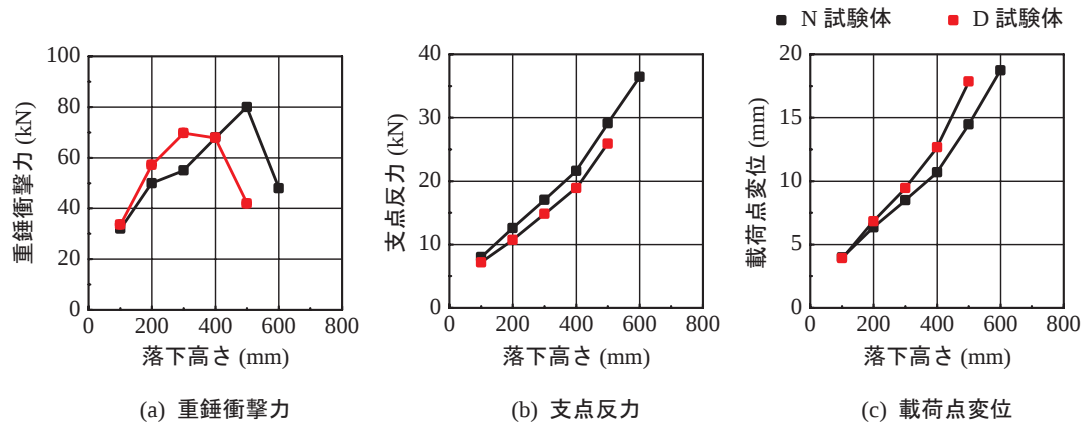


図-4 各種応答値と入力エネルギーの関係

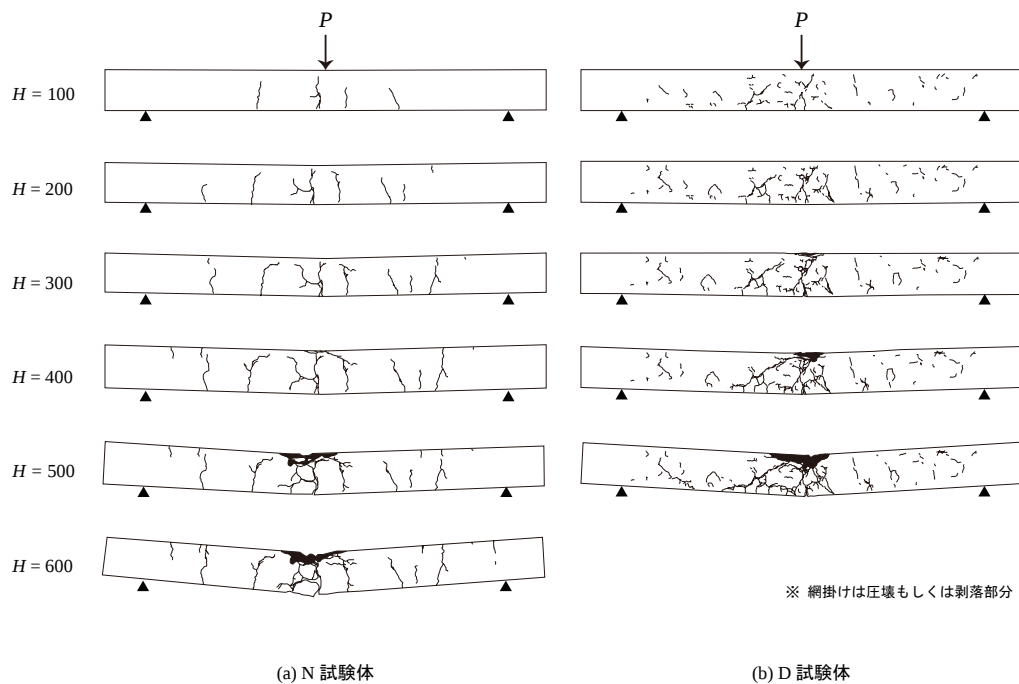


図-5 実験終了後のひび割れ性状

除いてN試験体よりもD試験体の方が緩やかになっている。

図-3(b)より、支点反力波形は正弦半波状の第1波に高周波成分が合成された波形性状を示している。また、重錘の落下高さの増加に伴って最大振幅および継続時間が増加していることが分かる。D試験体の最大振幅はN試験体の場合より小さく、波形継続時間はN試験体よりも長い。これは、D試験体の曲げ剛性がN試験体に比べて小さいことによるものと考えられる。

図-3(c)より、載荷点変位は、正弦半波状の波が最大値を示した後、減衰自由振動状態に至っていることが分かる。最大振幅は重錘の落下高さの増大に伴って大きくなり、第1波の継続時間も長くなっていることが分かる。また、各落下高さごとの変位波形の第1波は支点反力の主波動継続時間とほぼ対応している。

3.2 各種応答値と落下高さの関係

図-4には、(a) 重錘衝撃力、(b) 支点反力および(c) 載荷点変位の最大値と落下高さの関係を示している。

図-4(a)より、重錘衝撃力は落下高さ H の増加に伴って増大し、NおよびD試験体でそれぞれ $H = 300$ および 500 mm で最大値を示したのち、低下していることが分かる。

図-4(b)より、支点反力は、落下高さ H の増加に伴って単調に増加していることが分かる。また、N試験体の支点反力がD試験体の場合よりも大きい。これは、N試験体の動的耐力がD試験体の場合よりも大きいことを示しているものと推察される。

図-4(c)より、載荷点変位は、落下高さ H の増加に伴って増加していることが分かる。また、D試験体の変位がN試験体の場合よりも大きい。これは、D試験体の剛性が凍害劣化により低下していることを示唆しているものと考えられる。N/D試験体ともに $H = 500$ mm 以降において増加勾配が大きくなっている。これは、後述のひび割れ性状に見られるように、上縁コンクリートの圧壊が顕著に現れたことによるものと考えられる。

3.3 ひび割れ分布性状

図-5には、実験終了後におけるひび割れ性状を示している。図より、N試験体の場合は、 $H = 100$ mm においてスパン中央付近に曲げひび割れが数本発生し、その後、 $H = 300$ mm において曲げひび割れが試験体上面に到達している。その後、落下高さ H の増加に伴って、スパン中央部における上縁コンクリートの圧壊や、曲げひび割れ幅の拡大および下縁コンク

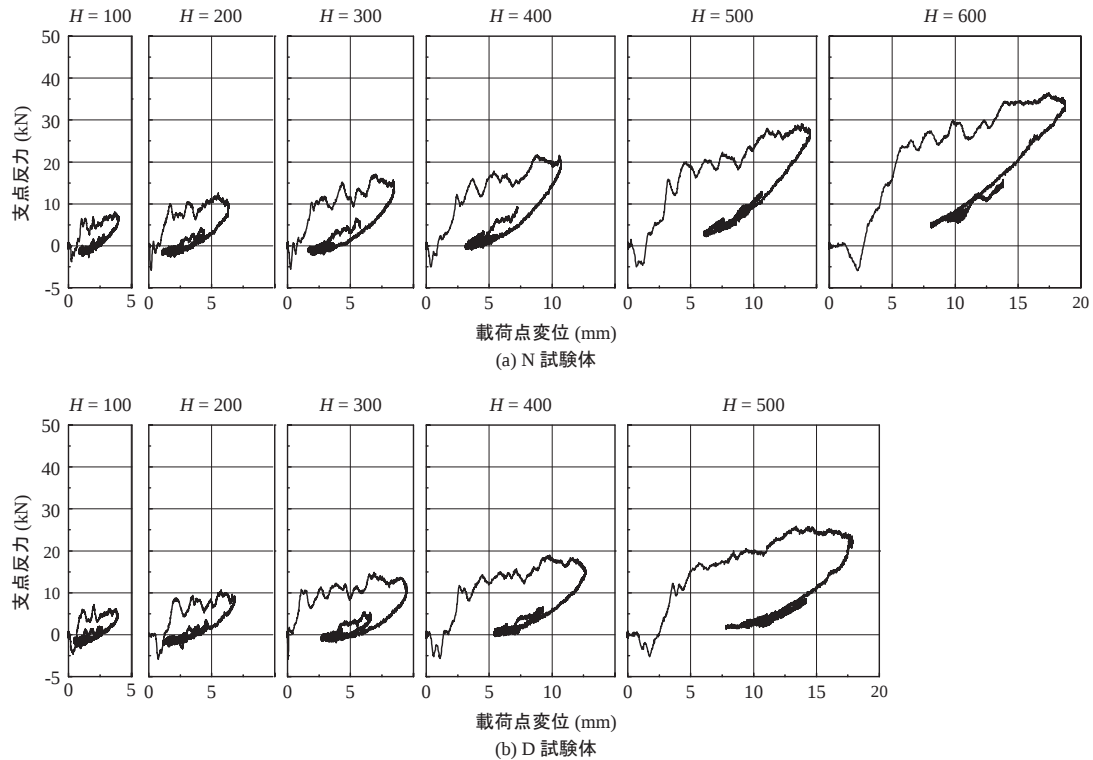


図-6 支点反力と荷点変位の関係

リートの剥離が進展して終局に至っている。

D試験体の場合は、 $H = 100$ mmにおいて荷点直下の曲げおよび斜めひび割れのほかに、梁全域に渡って微細なひび割れが多数発生している。これは、凍結融解作用により内在していたひび割れが衝撃力の作用により顕在化したことによるものと考えられる。その後、 $H = 300$ mmにおいて試験体中央付近に発生したひび割れが試験体上面に到達し、上面コンクリートの剥落が発生している。また、左側スパンには斜めひび割れ発生し開口している状況が見られる。その後、 $H = 500$ mmで終局に至るまで、上縁コンクリートが著しく圧壊するとともに、曲げひび割れの他、斜めひび割れも開口して終局に至っている。

3.4 支点反力と荷点変位の関係

図-6には、支点反力-荷点変位関係の履歴曲線を示している。図より、N/D試験体ともに、落下高さ H の増加に伴って大きなループ形状を示す傾向にあることが分かる。このことから、入力エネルギーが梁の曲げ変形により吸収されていることが分かる。

また、N/D試験体の履歴曲線を比較すると、 $H = 200$ mmまではほぼ同様の性状を示していることが分かる。しかしながら、 $H = 300$ mm以降ではD試験体の方が支点反力が小さく、かつ荷点変位が大きくなっている。これは、D試験体の場合には凍害劣化により、梁の曲げ剛性が低下したことを示唆しているものと考えられる。なお、このような傾向は、 H が大きい場合ほど大きく、前述のひび割れ性状と対応していることが分かる。

4. まとめ

本研究では、RC部材の耐衝撃挙動に及ぼすコンクリートの凍害劣化の影響を検討することを目的に、気中凍結水中融解

法により凍害劣化させたRC梁の漸増繰返し衝撃荷重載荷実験を行った。本研究により得られた知見をまとめると以下の通りである。

- 1) 凍害劣化を受けることによりRC梁の動的耐力が低下するとともに、応答変位が大きくなる。
- 2) 凍害劣化を受けたRC梁に衝撃荷重をさせることにより、数多くの微細なひび割れが顕在化する。

今後は、さらに劣化度合の著しい場合や、凍害劣化を受けたコンクリートの材料特性値との関係について検討を進める必要があるものと考えられる。

参考文献

- 1) 吉田行，嶋田久俊，水田真紀，田口史雄：耐凍害性への養生と評価手法の検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.35, No.1, pp.943-948, 2013
- 2) 田代恭平，佐藤あゆみ，新家一秀，六郷恵哲：凍害を受けたコンクリートを対象とした再劣化しにくい補修方法の提案，コンクリート工学年次論文集，Vol.35, No.1, pp.907-912, 2013
- 3) 水田真紀，野々村佳哲，嶋田久俊，田口史雄：積雪寒冷地のRC壁高欄の耐荷挙動に影響する各種要因の検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.35, No.1, pp.931-936, 2013,
- 4) 林田宏，佐藤靖彦：凍害劣化域の大きさと位置に着目したRCはり部材の破壊性状，コンクリート工学年次論文集，Vol.34, No.1, pp.922-927, 2012
- 5) 内藤英樹，山洞晃一，古賀秀幸，鈴木基行：凍結融解作用を受けた複鉄筋のないRCはりのせん断耐力，コンクリート工学年次論文集，Vol.34, No.1, pp.916-921, 2012