

ひび割れ補修後のRC梁の耐衝撃性に関する実験的研究

Experiment study on impact resistant behavior of RC beams after repairing cracks at 1st impacting

室蘭工業大学	○フェロー	岸 徳光	(Norimitsu Kishi)
北海道開発土木研究所	正 員	今野 久志	(Hisashi Konno)
三井住友建設(株)	フェロー	三上 浩	(Hiroshi Mikami)
室蘭工業大学	フェロー	松岡 健一	(Ken-ichi Matsuoka)

1. はじめに

道路の安全対策用施設構造物には落石防護構造物がある。この種の代表的な構造物にはロックシェッドや落石防護擁壁がある。ロックシェッドは頂版上に緩衝材を設置して衝撃力を緩和し弾性設計により断面設計が行われている。現在は、敷砂緩衝材の他、上層敷砂層、芯材RC版、下層発泡スチロール材から成る三層緩衝構造も実用化され、北海道開発局では三次元弾性衝撃応答解析結果に基づいた耐衝撃設計が実施されるに至っている。落石防護擁壁の場合には落石が直接擁壁に衝突する場合を想定しているが、小落石の衝突を前提に擁壁を剛体と仮定し無筋コンクリート型を前提に設計が行われている。しかしながら、現実には小落石によってひび割れやコンクリート版の剥離剥落が発生していることから、耐衝撃設計を目指してRC構造とする研究や簡易緩衝構造を設置した衝撃緩和法に関する研究推進されている。

このように、耐衝撃用途RC構造物に関する合理的な衝撃緩和法や設計法の開発に関する検討が行われている。しかしながら、このような状況下でも実際に衝撃荷重載荷によって損傷を受ける場合には、残存耐衝撃性や補修・補強後の耐衝撃性評価法が確立されていないことから人命尊重および安全性を考慮して補修・補強をせずに改築される場合が多い。これより、耐衝撃用途RC構造物の場合においても載荷履歴のある場合の残存耐衝撃性や補修補強後の耐衝撃評価法を確立することは、健全な社会資本整備の観点からも重要であるものと考えられる。

このような観点から、本論文では衝撃荷重載荷によって損傷を受けたRC梁のひび割れ補修前後の耐衝撃性を把握することを目的として、曲げ破壊型RC梁を用いて重錘落下衝撃実験を実施し、補修の有無の影響や補修効果に着目して検討を試みた。

2. 実験概要

2.1 試験体の概要

図-1には、本実験に用いたRC梁の断面寸法および配筋状況を示している。RC梁の形状寸法(梁幅×梁高×純スパン長)は200×250×3000mmである。軸方向鉄筋はD19を上下端に2本ずつ配筋した複鉄筋矩形配置とし、せん断補強鉄筋にはD10を100mm間隔で配筋している。また軸方向鉄筋は梁端面に設置した厚さ9mmの定着鋼板に溶接し、その定着長を節約している。

表-1には、RC梁の静的設計値および実測耐力一覧を示している。表中、静的曲げ耐力 P_{usc} および静的せん断耐力 V_{usc} は、コンクリート標準示方書¹⁾に基づき算定している。各試験体は、せん断余裕度 $\alpha(=V_{usc}/P_{usc}) > 1.0$ であることより、静載荷時は設計的に曲げ破壊型で終局に至ることが想定される。また、表中には、静載荷実験より得られた実測静的耐力 P_{us} 、および P_{us} を P_{usc} で除して算定した実せん断余裕度 α' も合わせて示している。別途実施した静載荷実験結果の、曲げ耐力に関しては、一点載荷であることより上縁コンクリートの最大圧縮ひずみが測定不可能であることや、載荷幅の拘束効果により鉄筋降伏後も増加する傾向にある。このため、本研究では梁の終局を便宜的に最大変位が純スパンの1%(30mm)に達した時点の評価することとした。表-2、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値を示している。

2.2 実験ケース

表-4には本実験ケースの一覧を示している。試験体名における第1項目は衝撃(impact)を表す“I”，数字は後述の1次載荷の衝突速度 V (m/s)を示した整数値を示し、第2項目は補修の有無(R:有, N:無)である。実験は、重錘をRC梁のスパン中央部に所定の高さから自由落下させる(以後、衝撃載荷)ことにより行っている。用

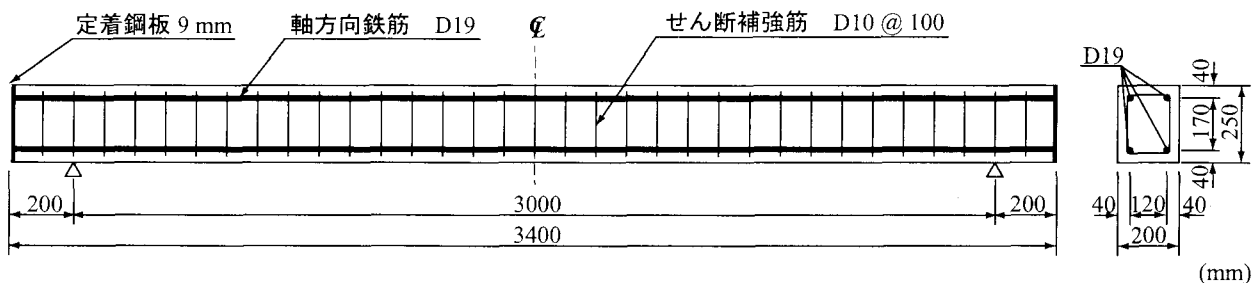


図-1 RC梁の形状寸法および配筋状況

表-1 静的設計値および実測耐力一覧

主鉄筋比	せん断 スパン比	計算 曲げ耐力	計算 せん断耐力	計算 せん断余裕度	実測* 曲げ耐力	実測 せん断余裕度
P_l	a/d	P_{usc} (kN)	V_{usc} (kN)	α	P_{us} (kN)	α'
0.011	7.14	57.2	289.5	5.06	65.2	4.44

*:終局の定義は変位が純スパン長の1% (30mm) に達したときとしている。

表-2 コンクリートの力学的特性値

材令 (日)	圧縮強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	ポアソン比
47	23.7	1.94	20.4	0.26

表-3 鉄筋の力学的特性一覧

鉄筋名称	材質	降伏強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	ポアソン比
D19	SD345	404	206	0.3
D10	SD295A	404	206	0.3

表-4 実験ケース一覧

試験体名	1次荷の 衝突速度 V (m/s)	補修の有無	2次荷の 衝突速度 V (m/s)
I4-R	4	有	6
I4-N		無	
I5-R	5	有	
I5-N		無	
I6-R	6	有	
I6-N		無	

表-5 補修材料特性値

材料名	圧縮強度 (MPa)	引張強度 (MPa)
エポキシ樹脂	60以上	30以上

いた重錘は、質量が300 kg、荷点部の直径が150 mmの円柱状鋼製重錘である。重錘底部は、衝突時の片当たりを防止するため、高さが2 mmのテーパを有する球面状となっている。

実験方法は、まず、健全な試験体に対して衝撃荷(以後、1次荷)を行い、その後、1次荷を受けた試験体に対してさらに2次衝撃荷(以後、2次荷)を行った。各試験体の衝突速度に関しては、別途実施した漸増繰り返し荷実験を行い、RC梁が破壊に至った衝突速度と同一および、-1、-2 m/sとした。ここで、漸増繰り返し荷実験とは、初速度および速度増分を1 m/sとして梁が終局に至るまで繰り返し衝撃荷実験を行う方法である。繰り返し荷実験時における梁の終局は、既往の研究²⁾より累積残留変位が純スパン長の2% (60 mm)程度とした。本実験での終局の衝突速度は累積残留変位が82.4 mmに達した $V=6$ m/sとした。2次荷の衝突速度に関しては、梁の終局である $V=6$ m/sとした。

本実験における測定項目は、重錘衝撃力 P 、合支点反

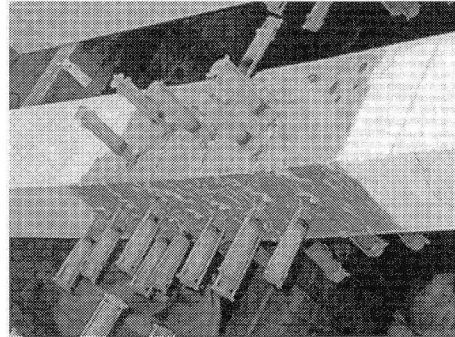


写真-1 ひび割れ発生部への樹脂注入状況

力 R (以後、支点反力)および荷点変位 δ (以後、変位)の各応答波形である。また、実験終了後には梁側面に生じたひび割れを記録している。

2.3 補修概要

補修を行う試験体は、補修前の損傷状況として、1次荷終了時のRC梁に発生したひび割れの開口幅が0.2 mm以上となっている部分にエポキシ系樹脂注入を行った。表-5には、補修に用いた材料の物性値を示している。写真-1には、ひび割れ発生部への樹脂注入の状況を示している。

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RC梁の重錘衝撃力 P 、支点反力 R および変位 δ に関する補修の有無および $V=6$ m/sとする1次荷時I6の各応答波形の比較を1次荷の衝突速度毎に示しており、図-3には、補修後の試験体間に関する各応答波形の比較を示している。図中、各波形は重錘衝突時を0 msとして整理している。

以下に、-R、-N試験体に着目した補修の有無の影響や、I4-R、I5-R、I6-Rに着目した補修効果の影響について考察する

(1) 補修の有無の影響

図-2より、重錘衝撃力波形 P について見ると、各試験体の波形性状は補修の有無にかかわらず良く一致しており、かつそれらは、I6の場合とも良く一致している。すなわち、衝撃初期に継続時間が短く振幅の大きい正弦半波(第1波)と後続の継続時間の比較的長く振幅の小さい正弦半波(第2波)から構成されている。これより、補修の有無の重錘衝撃力への影響や2次の繰り返し荷の影響の小さいことが明らかとなった。

支点反力波形 R について見ると、各試験体で波動の振幅や継続時間は多少異なるものの、波形性状は大略類似していることがわかる。すなわち、8 ms経過後に程度で最大値を示し、その後主波動が40~50 ms程度の正弦半

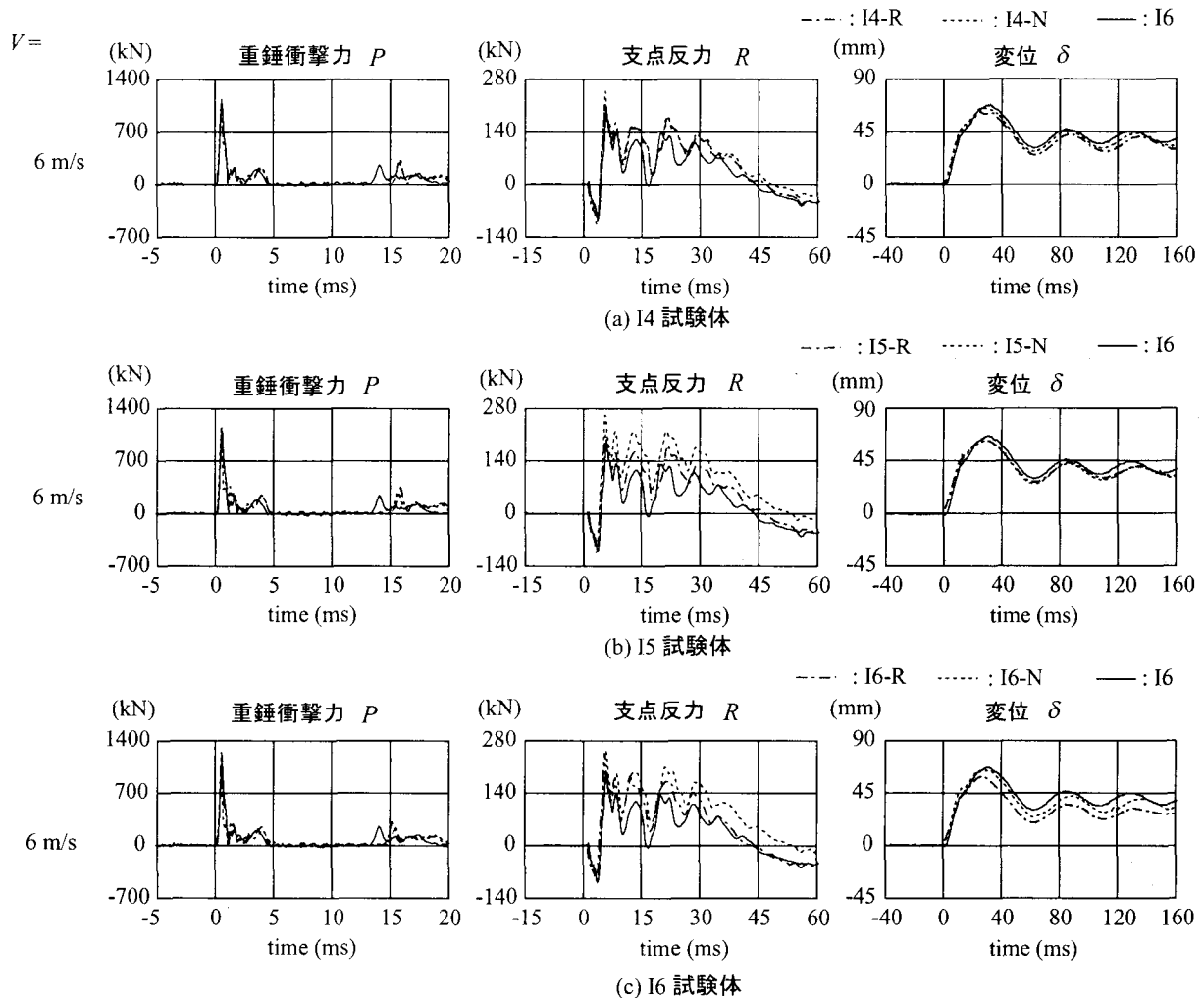


図-2 各種応答波形(補修の有無の影響)

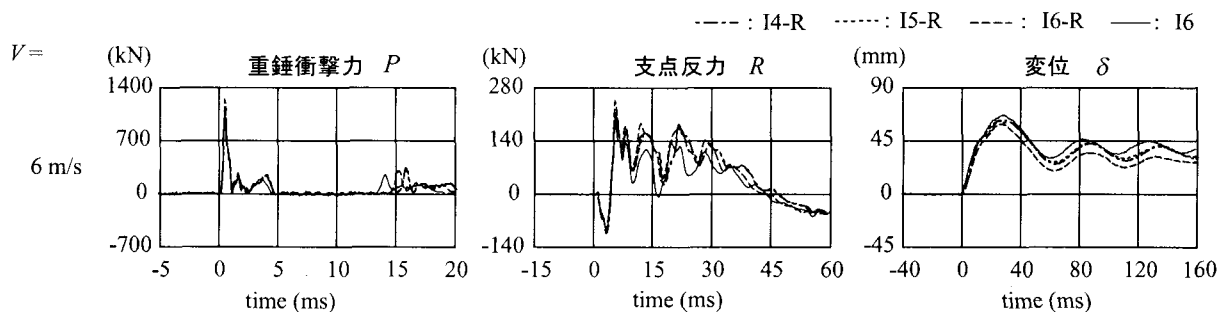


図-3 各種応答波形(補修効果の影響)

波状の分布を示していることが分かる。詳細に見ると、I4-R/N 試験体に関してはほぼ同様の波形を示していることより補修の影響は小さいことが推察される。しかしながら、I5, I6 試験体では、最大値からその後の振幅や継続時間が -N 試験体に比べて -R 試験体で若干小さく示されている。これは、-R 試験体の場合には、補修を施すことにより -N 試験体に比べて若干剛性が回復していることを暗示している。一方、I6-R/N の場合を $V=6\text{ m/s}$ の処女载荷 I6 における波形と比較すると波動の振動性状は I6 の場合の結果が若干振幅が小さくなっていることが分かる。これは、繰り返し载荷の場合には、载荷点部がより平滑化され、衝撃力が若干大きくなるものことによるものと推察される。

変位波形 δ について見ると、補修の有無にかかわらず

ほぼ同様の波形性状を示していることが分かる。すなわち、変位波形 δ は重錘衝撃力波形、支点反力のような高周波成分は見られず正弦波状の分布を示していることが分かる。詳細に見ると、いずれの場合も I6- 試験体の振幅が若干大きく示されているものの、波形の継続時間は変化していない。このことは、2 回以内の繰り返し载荷に限定して考えると、補修の有無にかかわらず、また、単一载荷、繰り返し载荷にかかわらず、同程度の曲げ剛性が確保されていることを示している。従って、曲げ剛性に関して補修による剛性の回復は期待できないことが分かる。

(2) 補修効果の影響

図-3 には、第 1 次载荷時の衝突速度が異なる各 RC 梁の補修後の各応答波形を $V=6\text{ m/s}$ とする 1 次载荷時

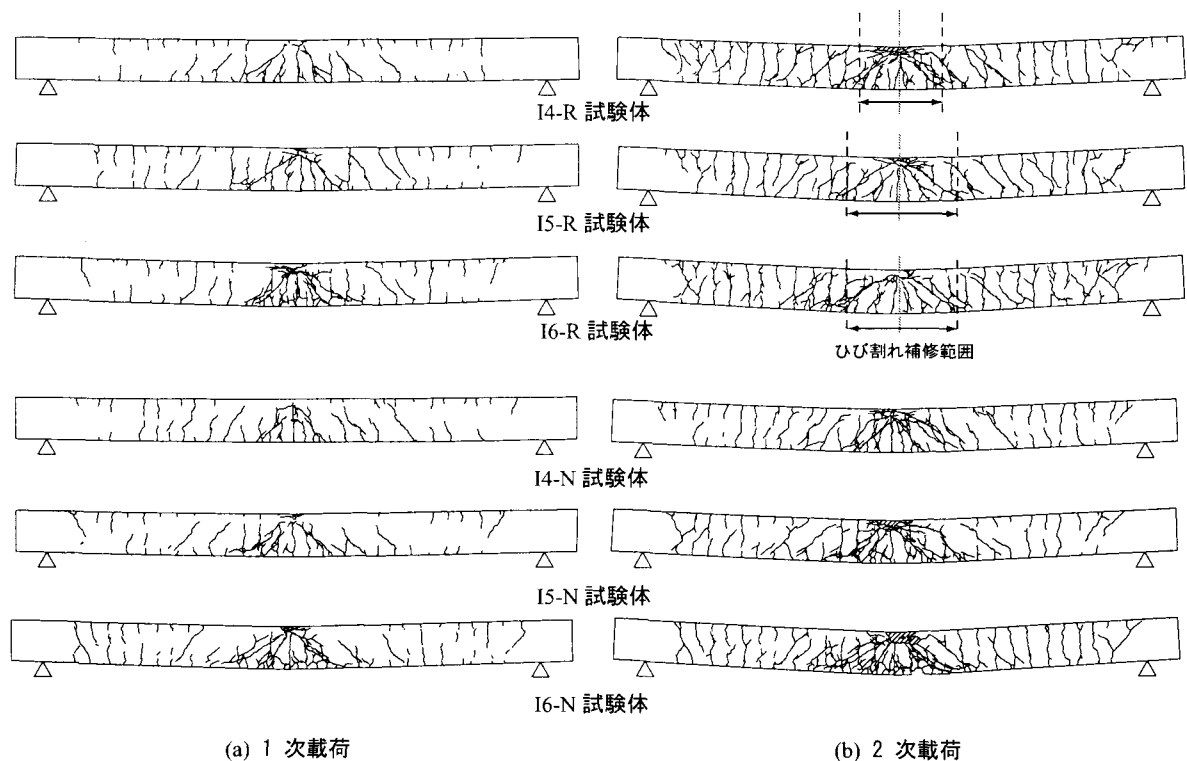


図-4 ひび割れ分布性状

I6の結果と比較して示している。図より、重錘衝撃力波形のリバウンド後の波形の発生時間に若干の差異があるものの、いずれの応答波形も、1次載荷時の衝突速度の大きにかかわらず、 $V=6\text{ m/s}$ とする1次載荷時の応答波形と大略類似していることが分かる。このことは、終局に至る衝突速度以内で衝突衝撃を受けたRC梁が、補修せずとも処女載荷時の剛性を保持しているものとして評価可能であることを意味している。ただし、繰り返し載荷時には累積残留変位が大きくなることは避けることはできない。

3.2 ひび割れ分布性状

図-4には、各試験体の衝撃実験終了後のひび割れ分布性状を示している。また、各試験体における1次載荷におけるひび割れ分布性状もあわせて示している。

(1) 補修の有無の影響

ひび割れ分布性状は、各試験体ともにスパン全域に渡って梁の上下縁から真っ直ぐに進展する曲げひび割れや、載荷点部近傍から梁下縁に約 45° の角度で進展する斜めひび割れが確認できる。

まず、補修の有無について見ると、I4-R/N試験体では補修の有無によらずほぼ同様のひび割れ分布性状を示していることより、損傷が小さい段階ではひび割れ発生に関する補修による効果の小さいことが分かる。I5-N試験体では、載荷点部にひび割れが集中しているのに対し、I5-R試験体では、分散して発生していることが分かる。これにより、補修を施すことにより第2次載荷時にはひび割れが分散する傾向のあることが分かる。さらに、I6試験体の場合には、-N試験体の場合に載荷点部におけるコンクリートの剥落が見られるのに対して、-R試験体では、そのような現象は現れていない。以上のことより、補修することにより、ひび割れの分散効果や、コンクリートの剥落は抑制できることが分かる。

(2) 補修効果の影響

まず、1次載荷についてみると、衝突速度の増加とともにひび割れの本数が増大していることがわかる。しかし、補修後の試験体と比較すると、1次載荷による損傷状態によらずほぼ同様のひび割れ分布性状を示していることが分かる。このことより、補修を行うことで衝突速度にかかわらず、1次載荷による損傷をある程度まで回復することができることが推察される。

4. まとめ

本研究では、衝撃荷重載荷によって、損傷を受けたRC梁のひび割れ補修後の耐衝撃性を把握することを目的として、曲げ破壊型RC梁を用いて重錘落下衝撃実験を実施し、補修の有無の影響や補修効果に着目して検討を試みた。本実験の範囲内で得られた結果をまとめると以下のとおりである。

- 1) 終局に至る衝突速度以内の1回みの載荷履歴がある場合には、補修の有無によらず各応答波形は同様であり、補修の有無によらず各応答波形・振幅は同様であり、補修の有無にかかわらず初期の曲げ耐力・剛性は確保されている。
- 2) ひび割れの補修はひび割れの分散やコンクリートの剥落防止効果がある。

参考文献

- 1) コンクリート標準示方書(2002年制定)構造性能照査編, 土木学会, 2002.
- 2) 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考案, 土木学会論文集, No.647/I-51, pp.177-190, 2000.