

ポリウレア樹脂吹付による RC 版の耐衝撃性向上効果に関する研究

Study on impact resistant improvement effect by spraying polyurea resin on the back surface of RC plates

島崎利孝*, 武者浩透**, 片岡新之介***, 別府万寿博****

Toshitaka Shimazaki, Hiroyuki Musya, Shinnosuke Kataoka, Masuhiro Beppu

*大成建設(株), 技術センター, 生産技術開発部(〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1)

** 修(工), 大成建設(株), 技術センター生産技術開発部(〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1)

***修(工), 防衛大学校, 理工学研究科後期課程(〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20)

****博(工), 防衛大学校教授, 建設環境工学科(〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20)

Key Words: Polyurea, Impact resistance performance, Collision experiment, Scabbing

キーワード: ポリウレア, 耐衝撃性能, 衝突実験, 裏面剥離

1. はじめに

近年, 竜巻による飛来物や火山噴石に対する耐衝撃性能に関する多くの研究がなされてきている¹⁾。これには, 電力設備や石油タンク等の重要構造物に高い耐衝撃性能が求められている背景がある。そのような中で, 構造物の耐衝撃補強において, ポリウレア樹脂(以下, ポリウレア)に関する研究が行われてきている^{例えば 2), 3)}。ポリウレアはポリイソシアネートとポリアミンの化学反応により生成するウレア結合を主体とした 2 液混合樹脂であり, 優れた伸び率, 引張強度を有している。日本では主に防水用途として工場の屋上や倉庫の床に使用されているが, 海外では耐衝撃補強としても用いられている。しかし, ポリウレアを吹付けた構造部材の耐衝撃性能に関する研究例は少なく, その有効性に関しては不明な点が多い。そこで, 本研究では, 構造部材に対するポリウレアの耐衝撃性向上効果の検討を目的として, RC 版単体とポリウレアを裏面に吹付けた RC 版(以下, ポリウレア吹付版)に対して, 65m/s~100m/s の範囲で飛翔体の衝突実験(以下, 衝突実験)を実施した。これにより, RC 版単体の破壊性状とポリウレア吹付版の破壊性状を比較することで, RC 版に対するポリウレアの耐衝撃性向上効果の検討を行った。

2. 実験概要

2.1 実験装置の概要

図-1 に衝突実験で用いた高圧空気式飛翔体発射装置の概要を示す。空気圧により質量 4~10kg の飛翔体

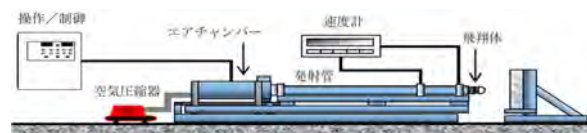


図-1 高圧空気式飛翔体発射装置の概要

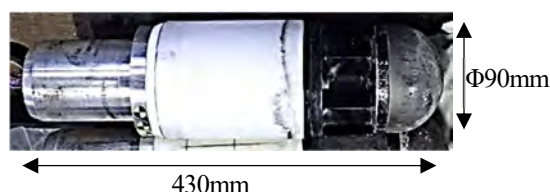


写真-1 鋼製飛翔体

表-1 実験水準

ケース名	RC版の厚さ(mm)	ポリウレアの吹付	衝突速度(m/s)
R150	150	無し	67(設定速度:70)
RP150	150	7.5mm吹付	71(設定速度:70)
R200	200	無し	96(設定速度:100)
RP200	200	7.5mm吹付	95(設定速度:100)

を速度 20~100m/s で発射することが可能である。飛翔体の衝突速度は, 試験体側面に設置した高速度カメラで衝突の瞬間を記録し, その映像を解析することで算出した。写真-1 に本実験で使用した鋼製飛翔体を示す。鋼製飛翔体の先端部は直径 90mm の半球型とし, 全長を 430mm とした。質量は竜巻飛来物等を想定して, 8.3kg とした。

表-1 に実験水準を示す。実験パラメータは RC 版厚と, ポリウレア吹付の有無および衝突速度とした。衝突速度は, RC 版の局部破壊評価式である電中研式⁴⁾に基づき, それぞれの版厚で破壊モードが裏面剥離限界から貫通限界となるように設定した(版厚 150mm :

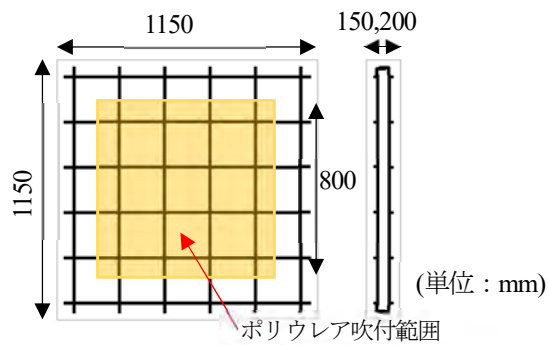


図-2 RC版配筋図

表-2 ポリウレアの物性

密度(g/cm ³)	引張強度(N/mm ²)	伸び率(%)	圧縮強度(N/mm ²)
ASTM D-1622	ASTM D-412	ASTM D-412	ASTM D-695
1.10~1.12	19.3~22.1	400~500	5.52

※メーカーの技術資料をもとに作成。



写真-2 ポリウレアの吹付状況

表-3 実験結果

ケース名	R150	RP150	R200	RP200
衝突面				
衝突裏面				
厚さ(mm)	150	150	200	200
衝突速度(m/s)	67	71	96	95
破壊状況	裏面剥離(貫通限界)	内部剥離	裏面剥離	内部剥離
貫入深さ(mm)	(貫通孔が生じ計測不可)	(貫通孔が生じ計測不可)	63.8	58.8
裏面損傷面積(mm ²)	241,000	371,000	303,000	352,000
裏面損傷面積割合(%)	18.2	28.1	22.9	26.6
ポリウレアの剥離面積(mm ²)		472,000		451,000
残留接着面積割合(%)		26.2		29.5

速度 70m/s, 版厚 200mm : 速度 100m/s). ただし, 発射装置の制約上, 設定速度と実速度に誤差が生じるが, 本研究の中では, 5%以内の誤差にとどまっている.

RC版の配筋図を図-2に示す. RC版は1150mm×1150mmの平板であり, 版厚は150mmおよび200mmとし, 鉄筋間隔を200mm, 純かぶりを30mmとした. 厚さ150mmのRC版ではD13を用い, 引張鉄筋比を0.42%, 厚さ200mmのRC版ではD16を用い引張鉄筋比0.50%とした. 実験時におけるRC版の圧縮強度は40.3N/mm²である.

2.2 ポリウレアの材料特性

表-2にポリウレアの物性を示す. ここで用いたポリウレアの伸び率は400~500%であり, 図-2に示すように, RC版の衝突裏面に800mm四方で吹き付けた. 試験体は上下二辺を支持具に固定した. その際, ポリウレアが鋼材に挟まれないようにするため, ポリウレアの衝突裏面全面への吹付を行わなかった. これにより, 衝突時に発生するポリウレアのRC版からの剥離は, ポリウレアとコンクリートの接着が切れることに

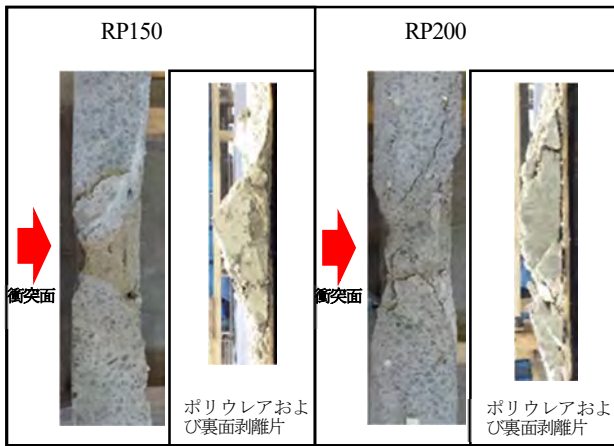


図-3 ポリウレタ吹付 RC 版の断面状況

よって生じることになる。ポリウレタの吹付状況を写真-2に示す。

ポリウレタの吹付に際しては、事前に吹付面をサンドペーパーで目荒しを行い、その上にプライマーを塗布した。その後、プライマーが含浸するよう一定時間おき、ポリウレタの吹付を実施した。ポリウレタの平均吹付厚さは7.5mmである。吹き付け厚さは、吹付後に超音波式膜厚計を用いて計測した。

3. 実験結果

3.1 破壊性状

表-3 に各ケースの実験結果を示す。貫入深さは衝突面に生じる表面破壊の深さを示す。裏面損傷面積は衝突裏面の剥離部分の面積を示し、ポリウレタ吹付版は試験後にポリウレタを剥がし、裏面損傷面積を計算した。裏面損傷面積割合はRC版裏面面積における裏面損傷面積の割合を計算したものである。ポリウレタの剥離面積は、衝突実験後にポリウレタ面を目視および打音検査を行うことでRC版から接着が切れている面積を算出したものである。残留接着面積割合はポリウレタ吹付面積におけるポリウレタとRC版の接着が保持されている面積の割合を計算したものである。

破壊状況に着目すると、RC版(R150, R200)には裏面剥離が生じ、衝突裏面で剥離片が激しく飛散した。一方で、ポリウレタ吹付版(RP150, RP200)は、外観上は裏面のポリウレタに膨らみが生じたが、剥離片の飛散は確認できなかった。この破壊性状に関しては、高速度(200~500m/s)で行われた既往の飛翔体衝突実験⁹⁾でも同じ結果が報告されている。図-3に示すポリウレタ吹付版の断面写真からわかるように、RC版部では剥離が生じており、ポリウレタが剥離片の飛散を抑制していたことが確認された。本研究では、このようにポリウレタの内側でRC版裏面の剥離が生じた破壊状況を内部剥離と呼ぶこととした。

試験体断面からRP150では貫通孔が確認され、R150



写真-3 ポリウレタの隆起状況

表-4 試験後のポリウレタの形状データ

ケース名	最大残留隆起高さ(mm)	衝突時の隆起高さ(mm)	最大残留伸び率(%)
RP150	21	約60	2
RP200	10	約25	2

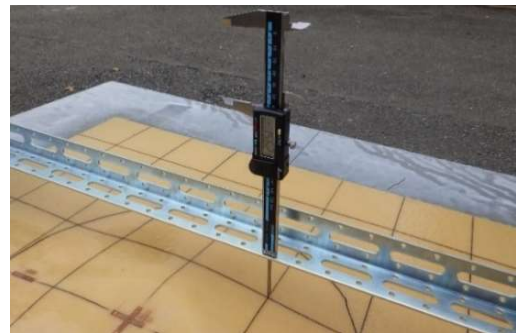


写真-4 残留隆起高さの計測状況

の貫通限界同様の破壊性状を示し、RP200に関しても内部剥離が生じていることからR200同様のRC版部の裏面が剥離する破壊性状を示していた。ゆえに、ポリウレタの衝突裏面への吹付は、裏面の剥離片飛散抑制が可能である一方で、局部破壊を低減する補強効果は小さいことが確認された。これは、ポリウレタは剛性が小さく、補強としての効果が小さいためと考えられる。

貫入深さに関してはR150, RP150は貫通孔が生じたため、計測ができなかった。一方で、R200は63.8mm、RP200は58.8mmであり、ポリウレタの吹付けによる貫入深さの大きな変化は確認されなかった。

残留接着面積割合は、RP150で26.2%、RP200で29.5%となり、この面積のポリウレタとRC版の接着により、ポリウレタ層の剥離が抑制され、裏面の剥離片の飛散が抑制されていた。

3.2 ポリウレタの衝突後形状

写真-3にRP150の側面写真を示す。衝突裏面中央部を中心にポリウレタが隆起しているのを確認することができる。

表-4に衝突実験後のポリウレタの形状データを示す。ここで、最大残留隆起高さは、写真-4に示すように、実験後にポリウレタの吹付面からの隆起している高さを一定高さからデジタルノギスで計測するこ

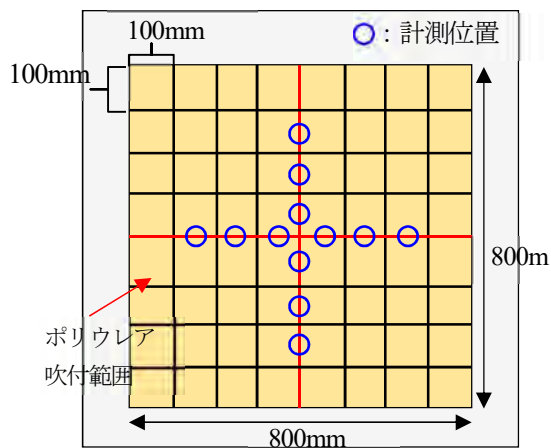


図-4 ポリウレア吹付版の伸び率計測位置

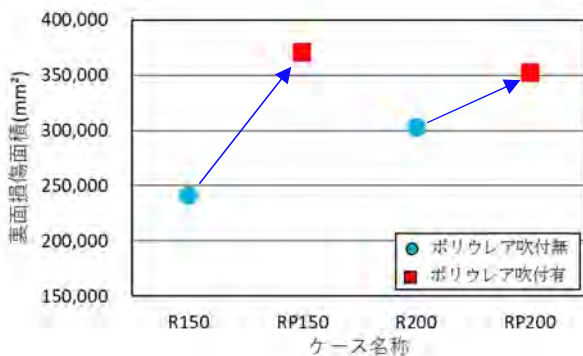


図-5 各試験ケースの裏面損傷面積

とで算出した。衝突時の隆起高さは衝突側面から撮影していた高速度カメラの映像から求めた。残留伸び率は、図-4に示すように、事前にポリウレアに100mm間隔のメッシュを描き、衝突実験後に中央部を交差する2直線状のメッシュ長さを計測し、次式を用いて各メッシュで算出した。

$$x = \frac{L_1 - 100}{L_0} \times 100 \quad (1)$$

ここに、 x は残留伸び率、 L_0 は衝突前のメッシュ長さ(100mm)、 L_1 は衝突後のメッシュ長さ(mm)である。最大残留伸び率は、算出した残留伸び率の中で最大のものを示す。

隆起高さに関しては、RP150がRP200に比べて大きな値を計測した。これは、RP150には貫通孔が生じ、RP200よりも損傷が激しかったためと考えられる。また、RP150とRP200で最大残留隆起高さが異なるものの、最大残留伸び率が同一であるのは、隆起形状が異なることと、最大残留隆起高さの大きいRP150は接着切れ面積もRP200より大きく、伸び率が分散されたためと考えられる。

図-5に各試験ケースの裏面損傷面積の比較を示す。厚さ150mm、200mmでの実験はいずれも、裏面損傷面積がポリウレアを吹付けたケースの方が大きかった。これは、ポリウレア吹付版に関しては衝突時に裏面の剥離片がポリウレアを隆起させ、ポリウレアと接着を保っていたRC版の剥離発生箇所端部の脆弱部がポリウレアの隆起とともに剥がれたためと考えられる。

4. まとめ

本研究は、RC版に対するポリウレアの耐衝撃性向上効果について衝突実験によって検討したものである。本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 同じ実験条件において、RC版では裏面剥離が生じた一方で、ポリウレア吹付版でもRC版部裏面では剥離が生じたが、ポリウレアによる剥離片の飛散抑制効果が認められた。
- 2) RC版と比較すると、ポリウレア吹付版は裏面の剥離片の飛散は抑制していたが、裏面損傷面積が大きい傾向にあった。
- 3) 本実験で実施した2体のポリウレア吹付版は、ポリウレア吹付面積における接着が保持されている面積の割合が、いずれも30%程度であり、この面積におけるポリウレアとRC版の接着により、ポリウレア層が剥離するのを抑制していた。

参考文献

- 1) 別府万寿博, 上野裕稔: 剛飛翔体の中速度衝突を受けるコンクリート板の損傷に関する基礎的考察, 防衛大学校理工学研究報告, 第52巻, 第2号, pp.21-30, 2015
- 2) 清敦俊, 清原千鶴, 別府万寿博, 小澤満津雄: 爆轟を受けた鉄筋コンクリート部材の耐久性評価に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol40, pp.555-560, 2018
- 3) 足立国明, 原木大輔, 香月智, 福井秀平: 樹脂補強コンクリート供試体の飛散片抑止効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, pp.847-852, 2008.
- 4) 電力中央研究所: 飛来物の衝突に対するコンクリート構造物の耐衝撃設計法, 電力中央研究所報告, 総合報告U24, 1991.
- 5) 三輪幸治: 剛飛翔体の高速衝突を受けるコンクリート板の裏面剥離の発生メカニズムと耐衝撃補強に関する研究, 防衛大学校理工学研究科後期課程卒業論文, p95-116, 2011.