

重錘の落下衝突に対するコンクリート表面の樹脂被覆による保護効果

The Protective Effect by Resin Coating on the Concrete Surface under Falling-Weight Impact

福井智大*, 黒田一郎**, 堀口俊行***, 福井秀平****

Tomohiro Fukui, Ichiro Kuroda, Toshiyuki Horiguchi, Shuhei Fukui

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

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

***博(工), 防衛大学校准教授, システム工学群建設環境工学科 (〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20)

****IMARI 株式会社 (〒848-0024 佐賀県伊万里市大川内町甲 984-3)

キーワード: 重錘落下衝突実験, 樹脂被覆, 衝撃特性, 保護効果

Keywords: Falling-weight impact test, Resin coating, Impact property, Protective effect

1. 序論

コンクリートダムや余水吐や砂防ダムのコンクリート基部では、越流状態において水流に礫や岩石の衝突が生起する。これらの衝突により、衝撃作用が繰り返されることで、コンクリート表面を損傷させて急速に体積減少を引き起こす現象が維持管理上の問題となっている。

この現象の把握のため、重錘の繰り返し落下衝突によるコンクリートの表面損傷に着目した研究がこれまでにいくつか行われている^{1)~4)}。一方で、この問題への対策として、鋼板やレジンモルタルによる保護などの手法が検討されてきた^{5)~6)}ものの、依然として体積を失った部位に新たにコンクリートを盛り付けるといった対症療法的処置も行われている。しかしながら、コンクリートダムや砂防ダムは山間部に建設されることが多く、鋼板やモルタル、コンクリートを用いた補修・補強は制約が大きい。

そこで本研究は、樹脂被覆による簡便な表面保護対策手法の確立を目指し、重錘落下衝突時の衝撃特性について検討するものである。本研究で着目したポリウレア樹脂は、2液の吹付と同時に硬化するため、混練する器材や型枠も不要であり、山間部での施工に適している。また、小さな弾性係数と大きな破断伸びが特徴であり、礫や岩石の衝突に対して保護材としての役割が期待される。本研究では、厚さ10mmおよび20mmのポリウレア樹脂で被覆されたコンクリート供試体に対して、重錘落下衝突実験を行い、樹脂で被覆されていないコンクリート供試体との比較により、重錘衝撃力やコンクリート内部のひずみを分析し、衝撃荷重が作用した際の衝撃特性に及ぼす樹脂被覆の影響について調べた。

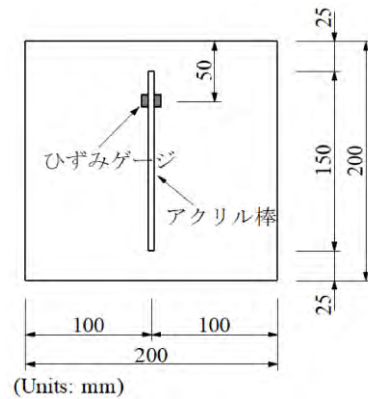


図-1 供試体諸元

表-1 配合条件

粗骨材 最大寸法	水セメント比 W/C	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)				
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	AE剤 A
20	60	3.0	175	292	680	1060	3.5

2. 実験概要

2.1 供試体

供試体諸元を図-1、コンクリートの配合条件を表-1に示す。実験で用いる供試体は、一辺が200mmの立方体の無筋コンクリートである。供試体平面中央には鉛直方向に長さ150mmの亚克力棒が埋め込まれており、それに貼付したひずみゲージによって、重錘衝突時の供試体の鉛直方向のひずみ履歴を測定した。亚克力棒は一辺4.5mmの正方形断面であり、全長にわたり高さ4

mm の突起を設けることでコンクリートとの付着の確保を図っている。ひずみゲージの貼付位置は重錘衝突面から下方 50mm の位置である。表-1 で示す配合の供試体を 9 体作製し、打設後 21 間の湿布養生の後に、気乾状態で乾燥させてから実験に供した。なお、材齢 28 日での圧縮強度は 34.8 N/mm² であった。

2.2 ポリウレア樹脂被覆

ポリウレア樹脂による被覆は、重錘衝突面のみに対して行い、コンクリートとの接着性を確保するためプライマー処理を行った後、コンクリート表面で重合させた。図-2 に示すように、樹脂被覆の無い U-0 供試体、厚さ 10 mm で被覆した U-10 供試体および 20 mm の U-20 供試体の計 3 種類、各 3 体を実験に供した。なお、コンクリートの樹脂被覆に関する既往の研究^{7,8)}においては、外部からの物質の浸透を防ぐことを目的として、被覆厚

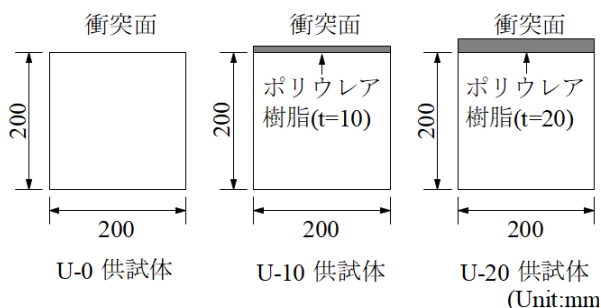


図-2 ポリウレア樹脂による被覆

さを 100 μm 単位とすることが一般的であったが、本研究では、樹脂による緩衝効果を期待するため被覆厚さを大きめに設定している。使用したポリウレア樹脂の材料特性は、強度 20 N/mm²、破断伸び 100-125%、ひずみが 0-7000 μm までの範囲で弾性係数 200 N/mm² である。

2.3 重錘落下衝突実験

使用した重錘は、質量 4.8 kg の鋼球である。床上に固定した供試体上面中央に、所定の高さから自由落下によって衝突させた。落下高さは 210 mm, 315 mm, 420 mm の 3 段階で、同じ条件で各 5 回落下衝突させた。この際、重錘の落下軌道を制御する機構によって、前後左右の変位とすべての軸回りの回転が拘束されるため、重錘は常に一定の姿勢で、同じ位置に衝突する。

測定項目は、重錘に取り付けた加速度計による重錘の鉛直方向の加速度履歴および上述のひずみゲージによるコンクリート内部の鉛直方向ひずみ履歴である。得られたデータは、サンプリング速度毎秒 10 万回で D/A 変換して記録し、高周波ノイズを除去するためにデジタルフィルタで処理した。

3. 実験結果

3.1 重錘衝撃力、ひずみ波形

図-3, 4 に、重錘落下高さ 420 mm の場合の U-0, U-10, U-20 供試体に対する重錘衝撃力およびコンクリート内部の鉛直方向ひずみの各応答波形の例を示す。なお、重錘衝撃力は、重錘の加速度に重錘質量を乗じて算出し

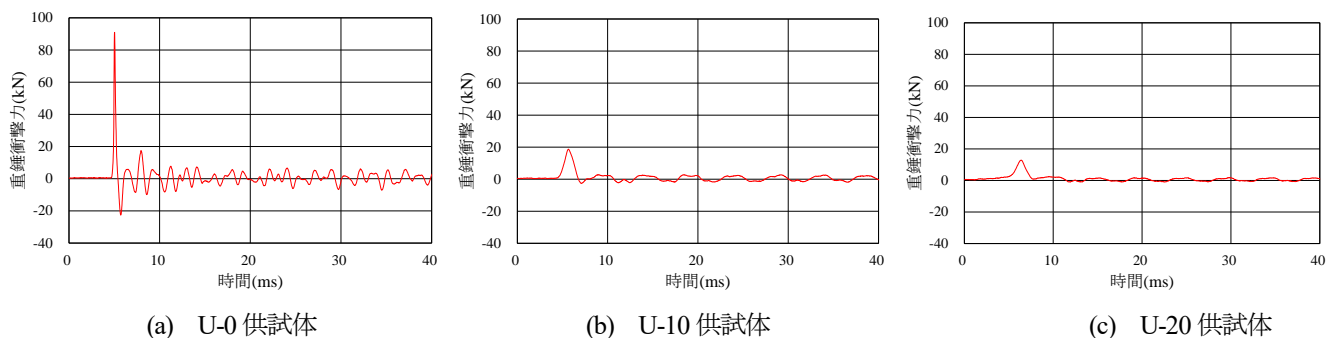


図-3 重錘衝撃力応答波形の例 (落下高さ : 420mm)

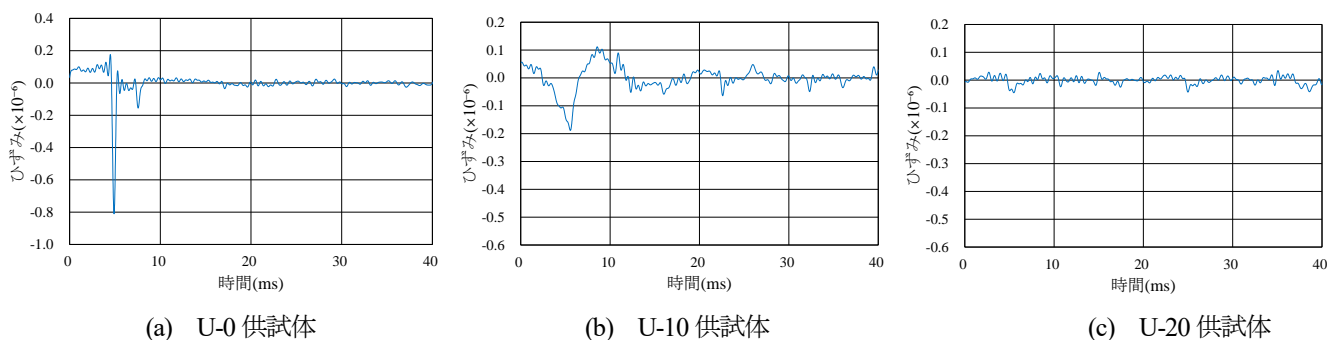


図-4 鉛直方向ひずみ応答波形の例 (落下高さ : 420mm)

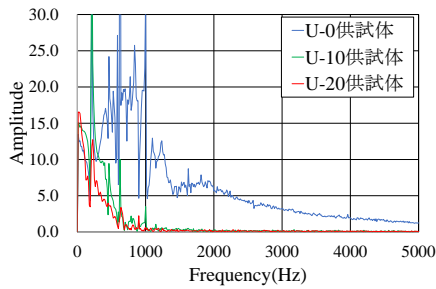


図-5 重錘衝撃力スペクトルの比較
(落下高さ 420mm)

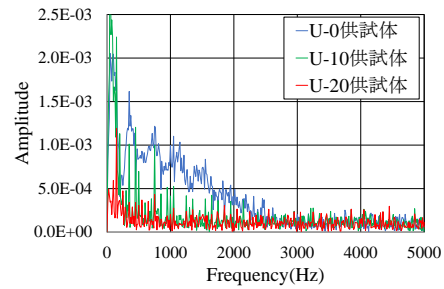


図-6 ひずみスペクトルの比較
(落下高さ 420mm)

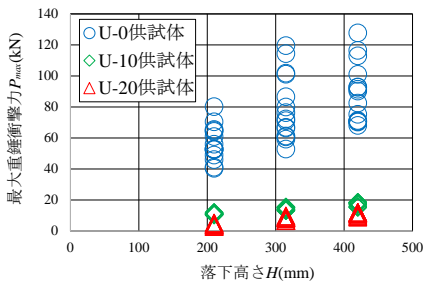


図-7 最大重錘衝撃力 P_{max}

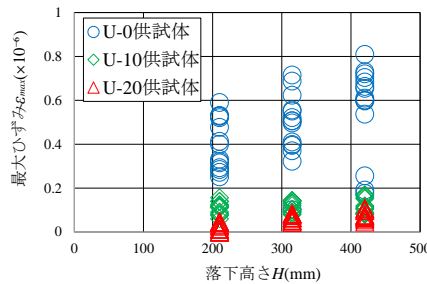


図-8 最大ひずみ ϵ_{max}

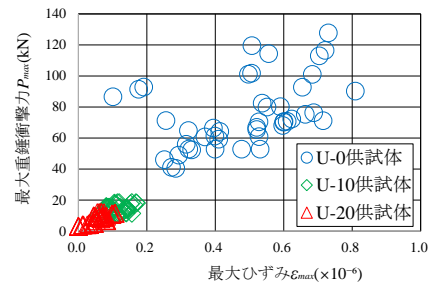


図-9 最大重錘衝撃力 P_{max} と
最大ひずみ ϵ_{max} の関係

た。図-3 より、重錘衝撃力はポリウレア樹脂被覆の無い U-0 供試体に比べて、被覆厚さ 10 mm の U-10 供試体ではピーク値が 2 割程度に抑制され且つ持続時間が長くなっていることがわかる。更に被覆厚さ 20 mm の U-20 供試体では U-10 供試体よりもわずかであるが衝撃力が抑制されていることが確認できる。図-4 より、ひずみは圧縮のひずみが発生しており、そのピーク値は重錘衝撃力と同様に、U-0 供試体に比べて、U-10、U-20 供試体では抑制されていることがわかった。

3.2 重錘衝撃力、ひずみスペクトル

前節では時刻歴波形を対象としたが、本節ではこれらをフーリエ変換し、重錘衝撃力およびひずみの周波数成分について検討する。

図-5、6 に各供試体における重錘衝撃力、ひずみスペクトルの比較を示す。スペクトルの周波数間隔は、各時刻歴波形をサンプル長さ (L_s) 80 ms で切断した後、フーリエ変換したため 12.5 Hz である。重錘衝撃力は時刻歴波形での結果と同様に、U-0 供試体に比べて、U-10、U-20 供試体のスペクトル振幅が小さくなっている。U-0 供試体は、周波数が大きくなるにつれて漸減して、5000 Hz においても、スペクトル振幅は下降傾向にあり、0~5000 Hz の広い周波数帯域の成分を有していることがわかる。一方で、U-10、U-20 供試体ともに 1000 Hz 弱でスペクトル振幅はほぼ 0 となり、1000 Hz 以上の周波数帯域の衝撃力成分が失われている。このことが、樹脂被覆により重錘衝撃力 (図-3) が著しく抑制される原因であると考え

られる。また、1000 Hz 以下の帯域では U-10 供試体に比べて U-20 供試体がよりスペクトル振幅が抑制されていることがわかる。ひずみも同様に、樹脂被覆によるスペクトル振幅の抑制を確認できる。特に、0~2000 Hz の範囲において樹脂被覆の有無による差は明らかである。また、U-10 供試体と U-20 供試体は、200 Hz 以下の低周波領域と一部のスパイク箇所を除き、ほぼ同じ形状であり、重錘衝撃力ほどの違いは認められなかった。

3.3 各データと落下高さの関係

図-7、8 に落下高さ毎の最大重錘衝撃力 P_{max} と最大ひずみ ϵ_{max} を示す。最大重錘衝撃力 P_{max} 、最大ひずみ ϵ_{max} ともに、落下高さが大きくなるほど増大していることがわかる。被覆樹脂のない U-0 供試体に比べて、U-10、U-20 供試体では最大重錘衝撃力 P_{max} 、最大ひずみ ϵ_{max} が大幅に低減されており、ポリウレア樹脂被覆によって、前節 3.2 で検討したスペクトル特性の変化と相まって、衝撃特性が大きく変化していると言える。これらの値は、U-0 供試体において同一条件でのばらつきが大きい、これは粗骨材を含むコンクリートの材料としての不均一性によるものと考えられる。

ここで、図-9 に最大重錘衝撃力 P_{max} と最大ひずみ ϵ_{max} の関係を示す。樹脂被覆された U-10、U-20 供試体では重錘衝撃力、ひずみとともに抑制されていることがわかる。

次に、図-10 に落下高さ毎の重錘衝撃力の持続時間 T_p を示す。なお、重錘衝撃力の衝撃時間は、衝撃力履歴の

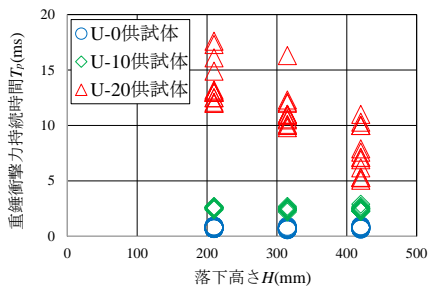


図-10 重錘衝撃力持続時間 T_p

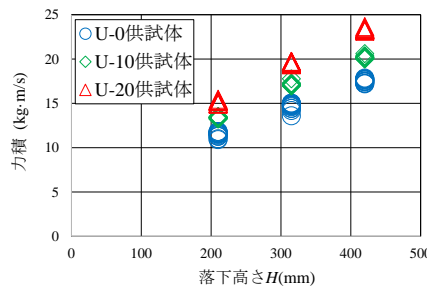


図-11 力積

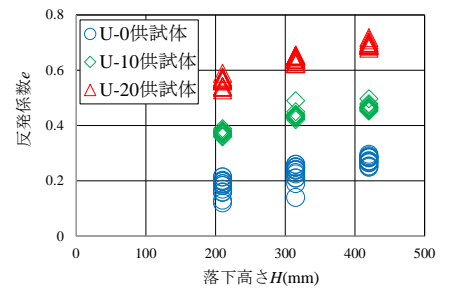


図-12 反発係数 e

立ち上がりから衝撃力がピークを越えてから最初に 0 kN まで低下するまでの所要時間として整理している。

U-10, U-20 供試体ともに, U-0 供試体より長くなっており, 特に U-20 供試体の持続時間の増大が著しい。

重錘の加速度履歴には, 供試体への衝突後にリバウンドして再び供試体に衝突した際の波形も記録されている (ただし, 図-3 に例示した重錘衝撃力の応答波形を出す際には, 時間軸を短い範囲に限定したため, 再衝突時の波形は示されていない)。最初の衝突から再衝突までの時間差からリバウンドで跳ね上がった高さを求めることができ, 翻っては最初の衝突時の力積と反発係数 e を算出することが可能である。図-11, 12 に落下高さ毎の力積と反発係数 e を示す。なお, 力積は衝突前後の重錘の運動量の変化量として求めている。重錘衝撃力 (図-7) の傾向とは反対に, U-0 供試体と比べて, U-10, U-20 供試体の方が力積と反発係数 e が増大していることがわかる。図-8 に示されたひずみの特性と併せて考察すると, この結果は, 樹脂被覆によって, コンクリート内部に発生するひずみを抑制しつつ, より高く重錘を跳ね上げる効果が生じることを示している。

4. 結論

本研究は, ポリウレア樹脂の被覆によるコンクリート表面の衝撃特性について, 鋼球重錘を用いた落下衝突実験によって調べたものである。

本研究では, コンクリート表面をポリウレア樹脂で被覆することによって, 重錘の衝撃力およびコンクリートに生じるひずみの高周波成分が抑制されることによってこれらの最大値が低減されることがわかった。また, 一方で, 重錘衝突時の力積および反発係数は大きくなるこ

とを確認した。

参考文献

- 1) 小柳洽, 六郷恵哲, 斎藤保則: コンクリートの衝撃摩耗におよぼす乾湿条件および衝撃角度について, コンクリート工学年次論文報告書, Vol. 11, No. 1, pp. 265-260, 1989.
- 2) 豊福俊泰, 宮川邦彦, 豊福俊英: コンクリートの衝撃摩耗特性に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 20, No. 2, pp. 835-840, 1998.
- 3) 豊福俊泰, 永松武則, 鶴窪廣洋, 豊福俊英, 中山慎也: コンクリートのすりへの進行予測に関する研究, 土木学会論文集 E2, Vol. 72, No. 4, pp. 380-399, 2016.
- 4) 柏井条介, 塚原千明, 高橋潤: 衝撃によるコンクリート損傷に関する基礎的検討, ダム技術, Vol. 167, pp. 55-62, 2000.
- 5) 伊藤義人, 片岡誠, 川口雅樹, 草田昭一: メタルライナー取付構造の耐衝撃性とエネルギー吸収能に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol. 40A, pp. 1517-1530, 1994.
- 6) 中村昭男, 佐藤正俊, 黒田一郎: レジンモルタル被覆による高強度コンクリートの耐衝撃性向上効果の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol. 36, No. 2, pp. 499-504, 2014.
- 7) 守分敦郎, 三浦成夫, 長滝重義, 大即信明: 既設コンクリート構造物に施工した表面塗料材料の耐久性評価, 土木学会論文集, No. 520/V-28, pp. 99-110, 1995.
- 8) 羽瀧貴士, 小林孝範, 土屋武史, 岩崎淳: 予防保全としての表面被覆が適用された栈橋上部工の耐久性と維持管理に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol. 28, No. 1, 2006.