

少薬量を用いた RC 壁の部分解体-込め物の効果-

Partial demolition of Reinforced Concrete (RC) wall by small blasting – Effect of Stemming -

西野佳奈*, 久保田士郎*, 和田有司*, 緒方雄二*, 伊藤農利夫**, 長野正幸**,
福田淳也***, 熊崎美枝子****

Kana Nishino, Shiro Kubota, Yuji Wada, Yuji Ogata, Norio Ito, Masayuki Nagano,
Atsuya Fukuda and Mieko Kumasaki

*独立行政法人産業技術総合研究所, 安全科学研究部門 (〒305-8569 つくば市小野川 16-1)

**株式会社相模工業 (〒252-0222 相模原市中央区由野台 1-3-12)

*** カヤク・ジャパン株式会社, 研究本部厚狭研究部 (〒757-8686 山口県山陽小野田市大字郡 2300)

****工博, 横浜国立大学准教授, 環境情報研究院 (〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7)

Key Words : (small blasting, RC wall, Partial demolition, Stemming)

キーワード: 少薬量, RC 壁, 部分解体, 込め物

1. はじめに

震災時に倒壊した鉄筋コンクリート構造物に残された要救助者を捜索・救助するため, その障害となる壁等を部分的に破砕することで消防隊員の進入口や要救助者の救助口を確保する技術をブリーチングという¹⁾。

ブリーチングは, まず RC 壁等にハンドドリルでサーチングホールといわれる貫通孔を開け, 壁の厚さや壁の裏側の状況を把握する。壁の裏側に要救助者が確認されると, 裏側に破片を飛ばさないように実施するクリーン・ブリーチングが適用される。一方, 壁の裏側に要救助者がいない場合には裏側の飛散物がある程度許容し, 迅速性を優先するダーティー・ブリーチングが適用される。壁等の障害物に対して要救助者を乗せた担架が通ることのできる空間を確保するため, 一辺が 900 mm の三角形をマーキングし, それに沿って破砕する。従来は, 削岩機や大型エンジンカッター等が使用されている。RC 壁に対して破砕能力が大きい機材は, 大型の駆動源や大量の水が必要であり, 機動性に欠ける。一方, 被災地では道路が寸断され, 動力源の確保も困難なため, 動力源の確保を含めて機動性が要求される。

我々は迅速, 安全かつ確実な新規ブリーチング手法として, RC 壁を対象とし, 火薬類等の高エネルギー物質を使用し, 小規模発破の技術を利用する²⁾ことで, 壁を効率よく破砕する技術の開発を行っている。

研究の目的は, 任意の壁厚の RC 壁に対し, 最適な装薬条件を示し, 迅速性と安全性を検証し, 本技術を実用化することである。爆発による二次災害を避けるために,

最少薬量で確実に破砕効果が得られる条件を見つける必要がある。本技術をブリーチングにおける一次破砕と位置づけ, ハンドブレイカーまたはハンマーと組み合わせることで, 従来のブリーチングより, 迅速・安全・確実に実施できる技術を開発する。

これまでに, 150 mm から 250 mm 厚の RC 壁をモデル化し, 室内モデル実験を行った。実験では, まず, 単一の装薬孔で実験を行い, 装薬条件と破砕効果との関係を調べることで, 最適な装薬条件を選定した。次に, 選定した装薬条件で部分的なパターン実験を行い, 本技術における装薬条件と破砕効果との関係性を明らかにした。さらに, 15 孔で一辺 900 mm の三角形の領域を破砕するフルパターン実験を行い, 周辺の爆発影響を計測し, 作業性の検討を行った。

本報では, 150 mm と 250 mm 厚の RC 壁を対象に, 単一の装薬孔で行った室内モデル実験について報告する。特に, 本技術のように, 孔当りの装薬量が少量の場合, 十分な強度をもつ込め物が必要³⁾であることから, 込め物の検討を行った。その結果について報告する。

2. 室内モデル実験

2.1 RC 壁サンプルと破砕デバイス

実験で使用した RC 壁サンプルの断面図を図-1 に示す。150 mm 厚壁のサンプルは, 一辺が 1000 mm であり, 鉄筋の太さが 13 mm のシングル配筋とした。鉄筋は壁厚の半分 75 mm に配筋した。一方, 250 mm 厚壁のサンプルは, 一辺が 750 mm であり, 鉄筋の太さは同じ 13 mm

とし、ダブル筋とした。鉄筋は壁の両表面から 50 mm に配筋した。

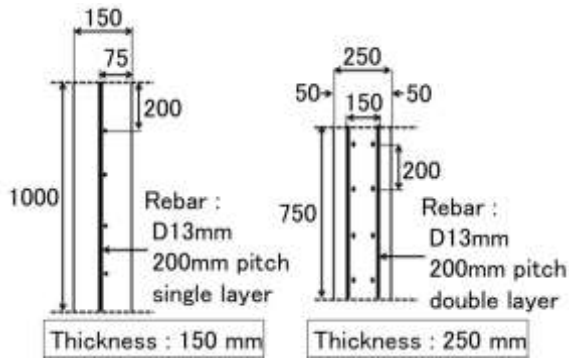


図-1 RC壁サンプルの断面 (単位: mm)

破碎対象となる壁の厚さは薄いため、破碎ディバイスは、込め物長を確保することを考慮した。そこで、高性能爆薬 Composition C4 と 6号電気雷管を外径 13 mm のポリカーボネート管に充填し、破碎ディバイスを試作した。雷管の添装薬 0.4 g を考慮し、装薬量とした。装薬量 3.0 g の破碎ディバイスでは、全長 60 mm となった。試作した破碎ディバイスのサイズを表-1 に示す。また、図-2 に試作した装薬量 4.0 g の破碎ディバイスを示す。

表-1 破碎ディバイスのサイズ

装薬量 [g]	全長 [mm]	薬長 [mm]
3.0	60	20
4.0	68	27
5.0	75	35
6.0	83	44
7.0	90	52
8.0	110	69



図-2 破碎ディバイス (装薬量 4.0 g)

2.2 装薬条件

RC 壁は二自由面であり、両面からの反射波が干渉し、破碎効果に影響を与える。したがって、従来の発破とは

異なり、従来の設計技術は適用できない。装薬条件には、穿孔径、穿孔長、穿孔角度、装薬量、込め物、装薬方法が考えられる。本技術では、できるだけ作業を単純化するため、穿孔径を 16 mm に固定し、孔間隔を 180 mm とし、15 孔で一辺 900 mm の三角形の領域を破碎する。図-3 に RC 壁における装薬パターンの例を示す。装薬条件のパラメータとして、穿孔長、穿孔角度、装薬量および込め物がある。本報では、込め物を粘土またはエポキシアクリレート樹脂とし、穿孔角度を壁に対して垂直 (90°) または 45° とした。穿孔角度の違いの例を図-4 に示す。破碎効果の違いを比較し、込め物の効果について検討した。

さらに、高速度撮影を行い、破碎がどのように完成するのかを確認した。



図-3 装薬パターン (穿孔径: 16 mm 孔間隔: 180 mm)

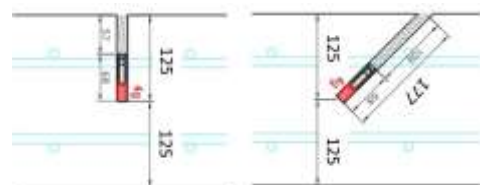


図-4 穿孔角度 90° と 45° の違い

2.3 破碎効果の評価

破碎効果の評価は、爆破破碎後にできるクレータサイズを指標とした。クレータサイズは、クレータ深さ、クレータの縦方向と横方向の長さを計測した。また、クレータ部分を撮影し、その画像データから、CAD 上で壁表面にできたクレータ面積相当の円を描き、クレータ直径と体積を見積もった。クレータの一例を図-5 に示す。

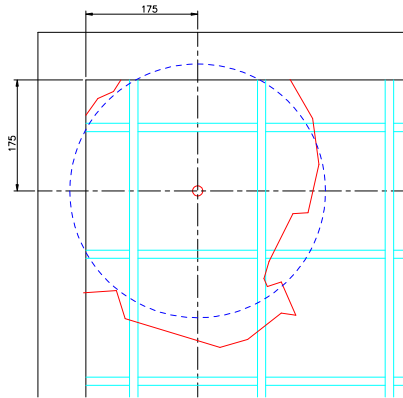


図-5 クレータの一例

3. 結果と考察

3.1 装薬条件と破碎効果

3.1.1 150 mm 厚壁における込め物の効果

150 mm 厚壁について、込め物の違いによるクレータ深さの関係を図-6 に示す。ただし、穿孔角度は 90° とした。穿孔深さ 75 mm では、込め物を粘土からさらに強度があるエポキシアクリレート樹脂に変化させたが、クレータ深さはほぼ変わらない結果となった。しかし、穿孔深さ 90 mm では、込め物をエポキシアクリレート樹脂に変化させると、約 1.4 倍クレータ深さが増加した。

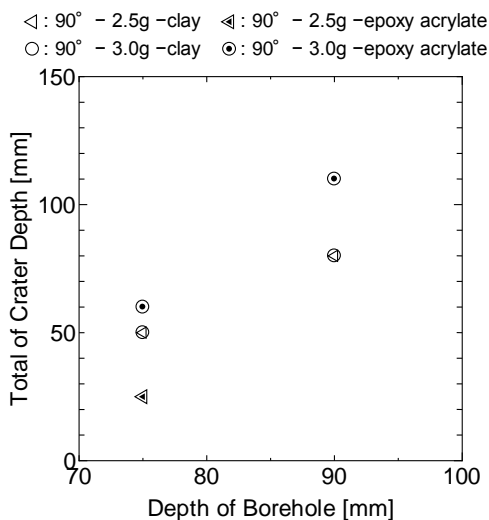


図-6 込め物とクレータ深さの関係（穿孔角度： 90° ）

この結果より、穿孔深さ 75 mm では、強度があるエポキシアクリレート樹脂を使用しても、込め物長が 15 mm と短いため、込め物の効果を得にくい。それに対し、穿孔深さ 90 mm では、込め物長が 30 mm と穿孔深さ 75 mm に比べ、2 倍になるため、込め物の強度があるエポキシアクリレート樹脂の効果が得られた。したがって、込め物の効果を有効に得るためには、ある程度の込め物長が必要であるといえる。込め物長とは穿孔深さから破碎デバイスの長さを引いたものである。

3.1.2 250 mm 厚壁における込め物の効果

次に、250 mm 厚壁について、穿孔角度 90° における込め物の違いによるクレータ深さの関係を図-7 に示す。

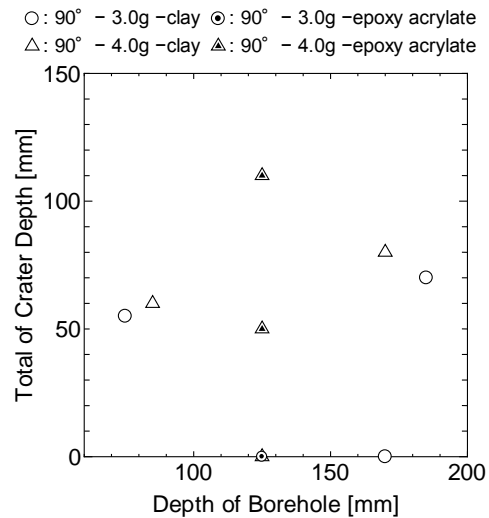


図-7 込め物とクレータ深さの関係（穿孔角度： 90° ）

穿孔深さ 125 mm では、込め物が粘土の場合、装薬量 4.0 g ではクレータが発生しなかった。これに対し、エポキシアクリレート樹脂を使用すると、装薬量 4.0 g で、クレータ深さが 110 mm まで増大した。エポキシアクリレート樹脂の強度の効果が得られたといえる。

さらに、込め物の効果を有効に得るため、150 mm 厚壁の結果より、込め物長を長くすればよいと考え、穿孔深さを変えず、穿孔角度を 45° にした。クレータ深さとの関係を図-8 に示す。

穿孔角度を 45° にすることにより、穿孔深さ 125 mm では、穿孔長が 177 mm と長くなる。穿孔深さと穿孔長の関係を表-2 に示す。

クレータ深さの結果を比較すると、込め物が粘土では、装薬量を 8.0 g に増やさないと総クレータ深さが 100 mm 以上にはならない。これに対し、エポキシアクリレート樹脂を使用すると、装薬量が半分の 4.0 g で総クレータ深さが 100 mm 以上になる。穿孔角度を 45° にし、穿孔長が長くなったことにより、さらに、エポキシアクリレート樹脂の強度が効果的に得られた。

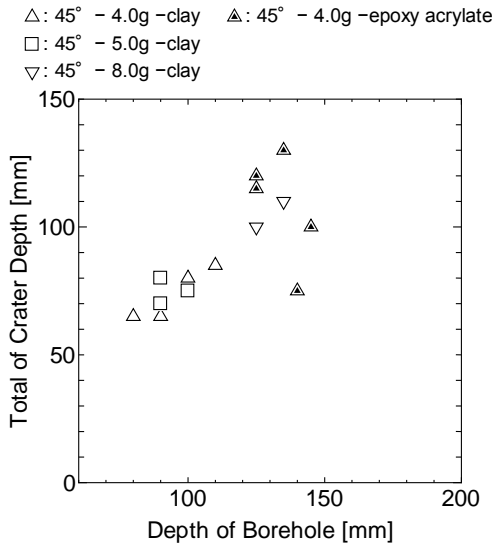


図-8 込め物とクレータ深さの関係(穿孔角度:45°)

表-2 穿孔角度の違いによる各長さの違い

装薬量	穿孔角度	穿孔深さ	穿孔長	込め物長
4.0 g	90°	125 mm	125 mm	57 mm
4.0 g	45°	125 mm	177 mm	109 mm
8.0 g	90°	125 mm	125 mm	27 mm
8.0 g	45°	125 mm	177 mm	67 mm

3.1.3 高速度撮影

実験結果より、込め物の効果は、込め物の材料の違い、込め物長の違いにより、破碎効果に影響があることがわかった。爆破によるコンクリート構造物の破碎は、装薬孔周辺のコンクリートが衝撃波の圧縮作用を受け放射状に亀裂が生じる。次いで、衝撃波は自由面で反射し引張作用により亀裂が形成される。これらの亀裂は爆発ガスの膨張により拡張し破碎が完成する。衝撃波の影響は、装薬量の違いである。装薬量と同じ場合、破碎効果をより効果的に得ようとするれば、爆発ガスをどれだけ長い時間閉じ込められるかが破碎効果に影響を与える。込め物の材料および込め物長を変化させることで、爆発ガスをより長い時間閉じ込めることができた。そこで、高速度撮影の結果を確認した。ここでは、250 mm 厚壁、穿孔深さ 125 mm、穿孔角度 45° の結果を比較する。

装薬条件が、装薬量 8.0 g、込め物粘土での 6 ms 後の結果を図-9 に示す。込め物の粘土が飛ばされ、ガスが噴き出ているのが確認できた。したがって、ガス膨張による亀裂の拡大が有効に得られず、破碎が完成した可能性がある。

次に、込め物がエポキシアクリレート樹脂での結果を図-10 に示す。装薬量 4.0 g である。装薬量が 8.0 g から 4.0 g に減少したが、総クレータ深さは 8.0 g に比べて大きい。ガスは 3 ms 後に漏れ出しているのが確認できたが、衝撃波によりできた亀裂から漏れだして、込め物の

エポキシアクリレート樹脂は吹き飛ばされていない。この画像は、30 ms 後であるが、込め物が飛ばされることなく、破碎しているのが確認できる。したがって、ガスがほぼ漏れ出すことなく、破碎が完成したといえる。込め物を強度なエポキシアクリレート樹脂にすることにより、込め物の効果が有効に得られた。



図-9 装薬量:8.0 g, 込め物:粘土(撮影速度:5,000 fps)



図-10 装薬量:4.0 g, 込め物:エポキシアクリレート樹脂(撮影速度:10,000 fps)

謝辞

本研究は、平成 24 年度および平成 25 年度消防防災科学技術研究推進制度により助成を受けて実施した。

参考文献

- 1) 総務省消防庁：救助技術の高度化等検討会報告書，2010。
- 2) E.K Lauritzen, J. Schneider, E. P. : The role of blasting techniques in the demolition industry, Explosives & Blasting Technique, Holmberg (ed.), pp. 377-382, 2000.
- 3) 橋爪功，ミニプラスチック工法，施工，No.281, pp. 58-61, 1989.