

静的破碎剤の有効利用に関する一考察

花崎紘一、堀川晋壱

Considerations of effective uses of nonexplosive demolition agent

Koichi HANASAKI and Shinichi HORIKAWA

Abstract : Where explosives prohibited to crush rock or concrete by law, the nonexplosive demolition agent is often employed. This paper describes a basic research on the demolish work of bedrock on the road shoulder or a concrete structure that became useless efficiently by using the nonexplosive demolition agent. That is, it has aimed to find the relation between the compressive or tensile strength of the material and pressure on the bore hole when a crack occurs.

1. はじめに

従来、岩盤やコンクリート構造物の破碎には火薬類や重機械が用いられてきたが、騒音・粉塵・振動等の公害が伴い、また、安全の確保の面からもこれらの工法が使用できない場合がある。このような場合、静的破碎剤を用いた岩盤やコンクリート構造物を破碎・解体する方法が注目されている¹⁾。この工法は破碎しようとする媒体に装薬孔を穿ち、破碎剤を充填してから水を注ぎ込むか、あるいは、あらかじめ水と練り合わせた破碎剤を流し込む。時間が経過するとともに破碎剤の主成分である生石灰が水との水和反応を起こし、進行と共に急激な発熱と膨張が生じ、最終的にこの体積膨張が図1に示すように岩盤やコンクリートなどの脆性材料を破壊する



図1 コンクリートブロックの破碎

というものである。この静的破碎剤は火薬や爆薬とは異なり、取り扱いに火薬類の法的規制を受けずに使用ができ、しかも、火薬類や重機類による破碎と比較すると、振動、騒音はほとんどない。飛礫、粉塵、有毒ガス、CO₂ ガスなどは発生しない無公害かつ安全な工法という利点がある^{2), 3), 4)}。また、この施工法においては破碎剤を注入する装薬孔の孔数、直径や配置を選択することにより、亀裂の方向を比較的自由に制御できることも特徴の一つである。

2. 研究目的

本論文は、静的破碎剤で亀裂を発生させるために必要な孔壁圧力と対象媒体の強度との関係を求めることを目的とする。この関係が判れば施工する場合に使用する静的破碎剤の特性（膨張圧力、発熱量）や量などの工事計画に必要なデータが正確に得られ、より効率の良い設計が可能となる。具体的には、亀裂が発生する時点で孔壁に発生する接線応力（亀裂応力）を供試体上面のひずみの測定値から計算し、亀裂応力と供試体強度（圧裂強度、圧縮強度）との関係を求めることを目的とする。

3. 研究方法

静的破砕剤によって供試体に亀裂が発生する時点の装薬孔壁面に発生する接線応力を求めるために、中空円柱供試体の表面のひずみを測定する。すなわち、図 1 に示すように、中心から r の位置でのひずみ ε_{θ} の値を測定し、装薬孔壁面に加わる圧力 P を肉厚円筒の内部に圧力が加わる場合の次の関係式を用いて計算する⁶⁾。

$$P = \frac{E(b^2 - a^2)r^2}{\{(1 - \nu)r^2 + (1 + \nu)b^2\}a^2} \varepsilon_{\theta} \quad (1)$$

ただし、ヤング率を E 、ポアソン比を ν 、モルタル試料の半径を b 、円孔の半径を a とする。すなわち、(1)式を用いて、ひずみ測定値から亀裂生成に必要な装薬孔壁面圧力（孔壁圧力）の大きさを求める。この亀裂発生時の孔壁圧力と供試体の圧裂強度および圧縮強度との関係を求めることができる。

4. 実験方法

4. 1 供試体

供試体の形状は図 2 に示されるような高さ 80 mm の中空円柱で、材質は無筋モルタルである。モルタルの配合比はセメントと砂の割合は変えずに、水の量だけを変化させて強度の異なる 6 種類のモルタルを用いた。供試体の作成は、所定の配合割合に混ぜ合わせたモルタルペーストを型枠に入れた後、中心部に装薬孔径と同じ外形を持つ円柱の棒を突き立て、養生開始後の適当な時間に引き抜き、

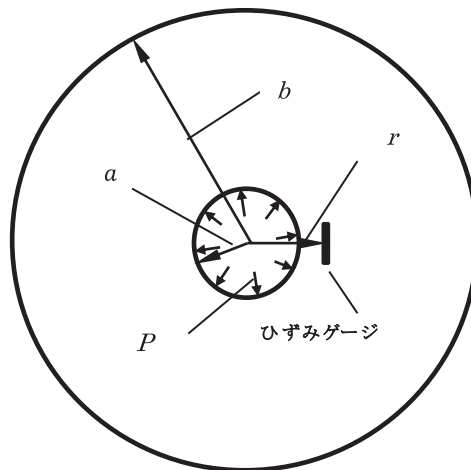


図 2 供試体寸法とひずみゲージ位置
 a : 装薬孔の半径 10, 12.5, 15 (mm)
 b : 供試体の半径 62.5 (mm)
 r : 中心からゲージ距離 $a + 10$ (mm)
 P : 孔壁にかかる圧力 (MPa)

実験の際に静的破砕剤の装薬孔として用いた。これらの材料試験の結果（圧縮強度、圧裂強度ヤング率およびポアソン比）の平均値を表 1 に示している。なお、表は圧裂強度の小さいものから大きいものへ順に表記しており、その順に供試体コードを I から VI としてある。この表から、圧縮強度と圧裂強度との比は約 10 であることがわかる。また、強度が大きいほどヤング率とポアソン比は大きくなる傾向にあるものの、測定結果に多少のばらつきが認められる。

表 1 材料試験と破砕試験の結果

供試体コード	材料試験				破砕試験			
	圧裂強度 (MPa)	圧縮強度 (MPa)	ヤング率 (MPa)	ポアソン比	装薬径 (mm)	亀裂時間 (hr.min.s)	亀裂ひずみ (μ)	孔壁圧力 (MPa)
I	1.53	24.3	14000	0.17	30	1:47:42	263	7.9
					25	3:08:00	356	12.6
					20	3:00:20	304	12.7
II	1.94	26.6	17000	0.20	30	2:02:00	275	10.3
					25	3:17:00	394	16.5
					20	4:07:20	184	10.0
III	2.81	32.8	15000	0.19	30	5:39:30	266	7.8
					25	9:21:00	298	11.2
					20	19:14:00	372	18.6
IV	2.83	35.0	21000	0.23	30	1:36:00	328	14.1
					25	2:28:30	273	13.9
					20	6:11:40	268	13.3
V	3.07	39.1	19000	0.22	30	6:16:00	374	15.3
					25	4:09:00	219	10.2
					20	8:19:00	364	22.5
VI	3.23	37.8	18000	0.21	30	4:09:30	445	15.9
					25	4:57:00	431	20.7
					20	13:47:40	330	18.6

4. 2 静的破砕剤

太平洋マテリアル株式会社の

『パワープライスターM（春・秋用）』の静的破砕剤を用いた⁵⁾。これは水と本剤を5：1の割合で混ぜあわせ、泥状にして装薬孔に充填するタイプである。これは小さな口径の装薬孔にも容易に充填でき、突発的な噴出もなく室内で実験が可能である。

4. 3 測定機器

図2に示すように供試体の上面にゲージ長が5mmのひずみゲージ（東京測器 FLA-5-11）を貼り付け、リモートスキャナー（N C E 三栄製 DC3100）とパソコンを用い、静的破砕剤を充填してから亀裂が発生するまでのひずみを連続測定した。さらに、供試体上面に亀裂が発生する様子をC C Dカメラ（コロナ電業TR1300C）で撮影し、DVDレコーダ（パナソニック DMR - XP15）で録画し、亀裂が発生する時間とひずみの変化の関係を把握した。

5. 実験結果

5. 1 映像記録の例

図3は強度および孔径が異なる9個の供試体を同時に測定した場合の経過状況をビデオ撮影した結果の一例である。静的破砕剤を装填後の経過時間は左から200分後、340分後及び1269分後の写真である。供試体の強度は上段から下段へ大きくなっていき、孔径は右列から左列へ大きくなっている。図3では孔径の大きい（薬量が大きい）列から亀裂が発生していくことがわかる。強度については、この図からははっきりしないが、概ね強度の小さい供試体から順に亀裂が発生していた。

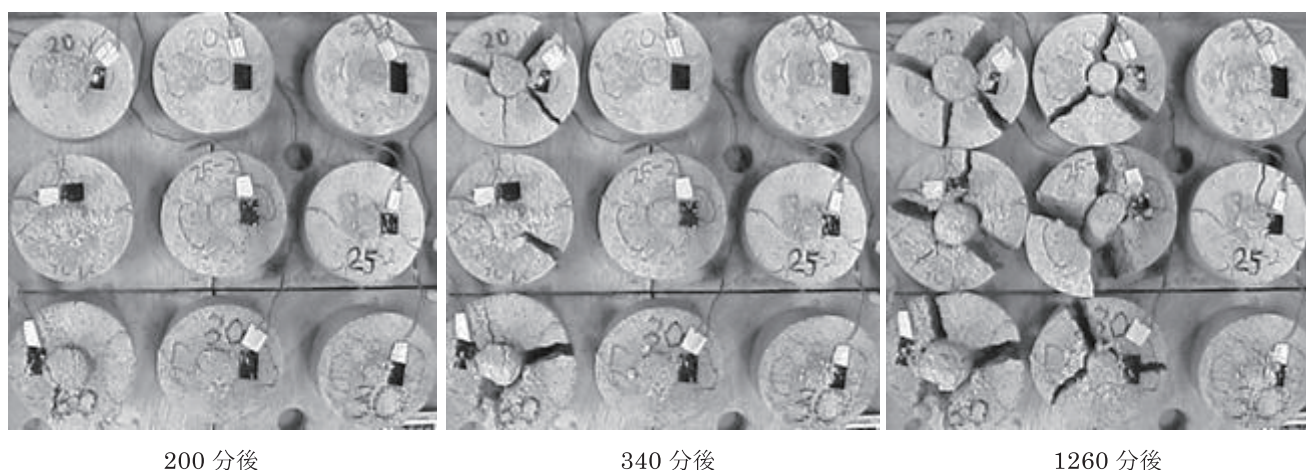


図3 破砕の状況（供試体コード：上段から下段へⅡ，Ⅳ，Ⅵ） 装薬孔径：左列から右列へ 32, 25, 18mm）

5. 2 ひずみ記録の例

図4は各供試体に亀裂が発生したと思われるまでのひずみ記録の挙動を示すグラフであり、横軸は経過時間（Hr）、縦軸はひずみを表している。これらの記録から、概ね孔径の大きいものから、強度の小さい供試体から亀裂が発生していくことが判る、

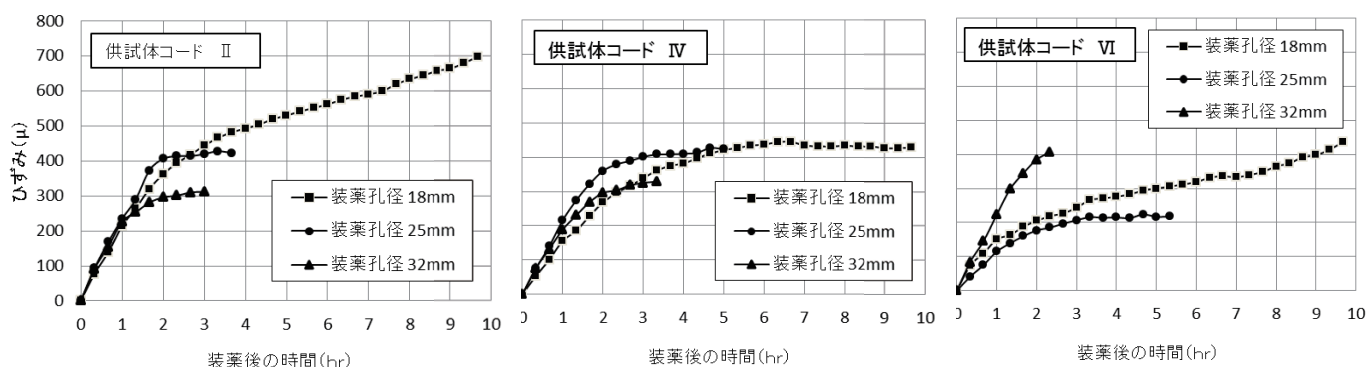


図4 装薬後のひずみ変化

6. 解析と考察

図4などの結果から亀裂が発生した時点でのひずみ値を読みとり、式(1)によって孔壁圧力を計算した結果を亀裂時間および亀裂ひずみとともに表1の右半分に示している。これらをもとに供試体の強度と孔壁圧力の値をグラフにまとめたものが図5と図6である。それぞれ縦軸は圧裂強度および圧縮強度で、横軸は共に孔壁圧力を示しており、図中の直線はそれぞれの関係を孔壁圧力の1次式で表したものである。これらの式の係数や表1の強度の値からもわかるように、この供試体の圧縮強度は圧裂強度の約9倍になっている。したがって、実際の破碎工事における静的破碎剤の選択には対象物の圧裂強度または圧縮強度が判れば十分である。

なお、表1の結果で一般に考えられる傾向と掛け離れた値が存在しており、図5、図6のデータからは除いてある。この理由としては、供試体作成時におけるモルタルの不均一性、装薬孔の作成に用いた円柱棒の抜き取り作業の不手際による孔径の不正確さ、さらに、破碎実験時における静的破碎剤の充填密度の過不足などが考えられる。

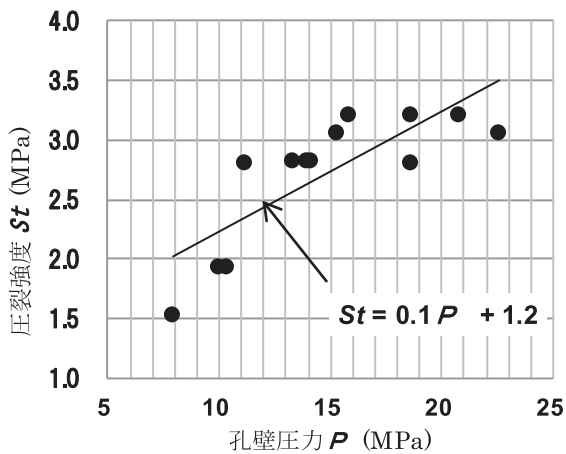


図5 圧裂強度と孔壁圧力との関係

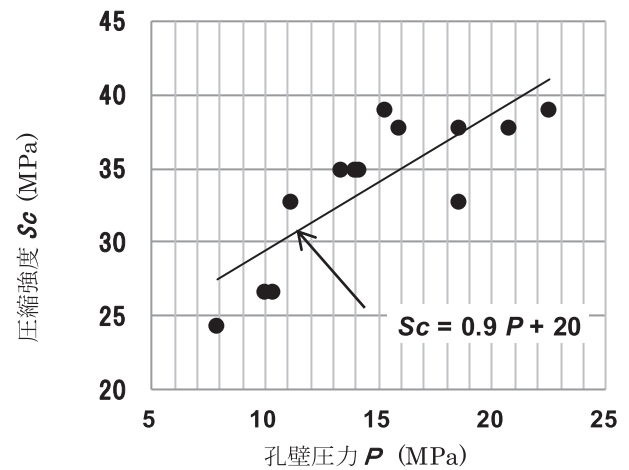


図6 圧縮強度と孔壁圧力との関係

7. おわりに

今回の破碎実験から求めた亀裂発生に要する孔壁圧力 P と材料実験で求めた圧裂強度 S_t および圧縮強度 S_c の関係は図5および図6の近似式を変形して、

$$P = 10.0 S_t - 12 \quad (2), \quad P = 1.1 S_c - 22 \quad (3)$$

となる。したがって破碎対象物の力学的強度が判れば式(2)または式(3)から亀裂発生に要する孔壁圧力が得られ、静的破碎剤の選定に有効なデータとなるものと思われる。

参考文献

- 1) 山崎之典：静的破碎剤について、火薬学会誌、48巻、6号、378頁、1987年
- 2) 福井久明他：静的破碎剤によるモルタル供試体破壊時のAE測定、火薬学会誌、65巻、1号、21～24頁、2004年
- 3) 福井久明：生石灰を主成分とする静的破碎剤（第1報）、57巻、2号、62頁、1996年
- 4) 大坂直哉：静的破碎剤によるモルタル破壊のAE測定、山口大学大学院修士論文、2003年
- 5) (株)太平洋マテリアル：静的破碎剤商品説明書、2007年
- 6) 鶴戸口英善他：材料力学、日本機械学会（現在裳華房）、1954、

(平成23年3月31日受理)