

応力波の形状が岩質材料の破断に与える影響

徳山高専 ○ 工 藤 洋三
徳山高専 橋本 聖一
山口大学工学部 中川 浩二

1. まえがき 発破などによる岩盤の破壊において、引張応力波の伝播による岩質材料の破壊はしばしば見られるところである。しかしながら、引張応力波による岩質材料の破壊の条件や破壊の機構はほとんど明らかにされていず、本研究は、岩質材料の引張波による破壊に関する基礎的資料を得る目的で、引張波の振幅や継続時間が材料の破壊に与える影響について実験を行なったものである。

まず本の実験は黄銅丸棒とシアノアクリレート系の接着材と接着して破断予定面とし、矩形波を入射させて引張応力波の伝播による接着部の破断とし、その時の応力波の形状から、波動の振幅および継続時間が破断に与える影響について推測を行なった。つぎにモルタル丸棒に矩形波を入射させ、同様に引張応力波による破断させて、黄銅棒の場合と同様に計測を行なった。

2. 実験 接着した黄銅丸棒の一端を、同材質同径で長さを変化させた黄銅棒を落下させて打撃し、棒中に打撃棒の2倍の長さをもつ矩形圧縮応力波を発生させる。この圧縮応力波は、棒中で伝播した後、自由端での反射により引張応力波となるが、引張応力波の振幅が接着部の強度を上回ると、この部分の接着面の一部あるいは全断面を破壊させることが出来る。この破断面前後のひずみの状況とそれより棒の中央にとりつけた電気抵抗型ひずみ計（ひずみゲージ）により検出し、これから破断時の応力状態を検討するものである。ひずみゲージにより検出された棒中のひずみは、動ひずみ計（三菱測器社 6M71型）を増幅した後、デジタル記録器（若狭通信社 DM-703）で記録し、XYレコーダーに出力した。

黄銅棒はそれぞれ、直径1 cm、長さ60 cmの丸棒で、動弾性係数は $1.66 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ である。実験時の接着強度の再現性を高めるため、接着作業は、温度 20°C 、湿度60%の養生室内で行ない、接着後30分と実験を行なった。

モルタル棒は直径2.5 cm、長さ60 cmであり、打撃棒としては10 cm、20 cmの2種類を用いた。材料は普通ポルトランドセメントと豊浦標準砂を用い、配合は重量比で、水：セメント：砂 = 0.53：1：2である。型枠として、内径2.5 cmの塩化ビニル管を長軸方向に切断したものを用い、端面を整形するため打撃棒側を底面として、直径2.5 cm、長さ5 cmのアルミ丸棒を入れた。 20°C の養生室内で28日養生の後自由端側を切断整形した。モルタル棒の動弾性係数は、 $2.54 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ である。

3. 実験結果と考察 黄銅棒実験により得られたひずみに黄銅棒の動弾性係数を乗じて応力を算出した。打撃棒の長さで20 cmの端部の最大圧縮応力と反射引張波の最大応力との関係を図1に示す。図中の実線は最大圧縮応力と最大引張応力が同じ値をもつ点を連ねたものであり、この実線上の×印は、破断した後の場合である。これによれば最大引張応力は入射波の振幅と大きくして、 500 kgf/cm^2 を上回ることではなく、また 200 kgf/cm^2 以下の引張応力で破断することもない。破断したときの棒の引張応力がこの範囲内に分布していることは、接着面の強度がこの範囲内にばらついているためと考えられる。

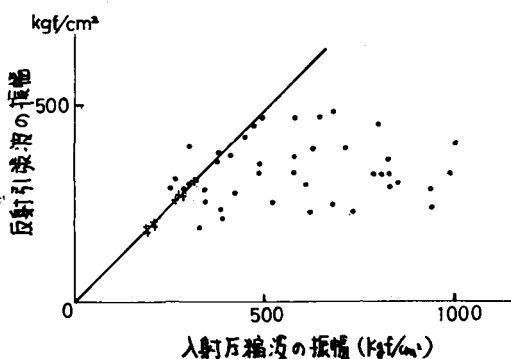


図 1

つぎに 20 cm の打撃棒による代表的なひずみ波形を 図2 (a) ~ d) に示す。破断した場合についてはいくつか便宜上 I 型, II 型, III 型と名づける。I 型は入射波の振幅が大きい場合を中心に多くのケースについて見られるもので、最大引張応力達成後に鋭く切れ落ちている、これに対し II 型は比較的低い落下高に対して見られるもので、応力の最大値を達成した後しばらくその値を保つ。その後破断するケースである。このことは、材料の引張強度と反射引張応力の値が同程度である場合は、荷重の継続時間が、材料の破断に影響を与えることを示唆している。II 型はまれな例ではあるが、数回の引張波の通過後に破断する例もある。

さらに、10 cm および 20 cm の打撃棒の長さに対して、材料の引張強度と反射引張波の最大応力と同程度と考えられる高さ (20 cm) から打撃した場合、すなわち同一振幅の入射波に対する破断状況を表 1 に示す。この結果から同一振幅であっても、入射波の継続時間が長いほど、破断しやすくなる傾向にあることがわかる。このことは、材料の破断という現象をいくつかの段階において考えなければならぬことを示している。すなわち、入射波の振幅が大きい場合は接着面の全ての位置で材料の引張強度をこえるが、入射波の振幅が、材料の引張強度と同程度の場合、接着面のある位置の引張応力が、その位置特有の引張強度をこえた段階でその部分に破断を生じるが、この部分的な破断から、断面全体の破断を生じるためには、ある程度の荷重の継続を必要とすること、そしてその継続時間を決定するのは破断面形成の伝播速度であり、この伝播速度が棒中で伝播する応力波の速度より遅く、波動の継続時間が短い場合は、破断が断面全体に伝わる前に波動が通過してしまう、と考えることにより、前にのべた現象を合理的に説明することができる。

入射波の振幅に対して、材料の強度が同程度の場合、部分的な破断を生いても、全体的な破断にはならない。このことは、材料が外見上破断を生いていなくても、実験的な抵抗力を失う、ということがある。応力波の通過による材料の引張強度を考える場合の重要な視点となる。

(モルタル構による実験結果省略)

<参考文献> J. W. Phillips; Int. J. Solid Structures, 1970, vol. 6, pp 1403-1412.

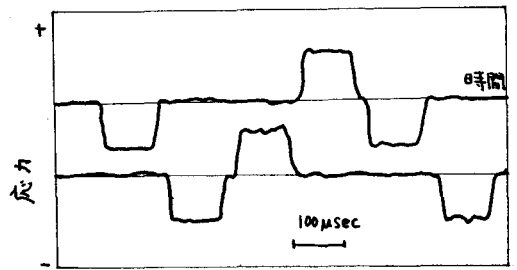


図2. a) 非破断時の応力波形

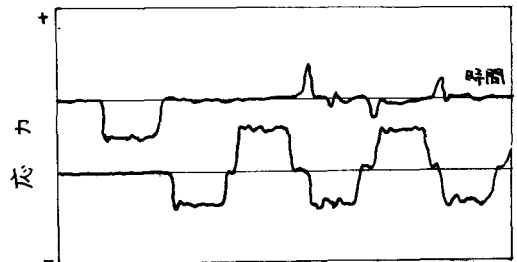


図2. b) 破断時の応力波形 (I 型)

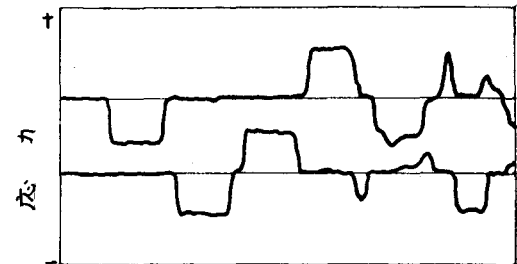


図2. c) 破断時の応力波形 (II 型)

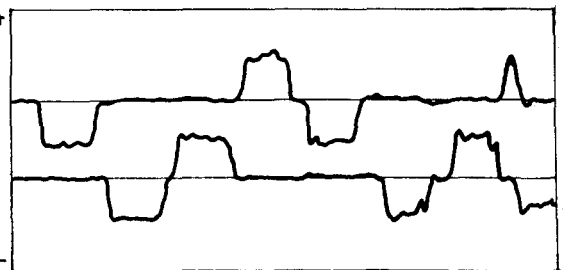


図2. d) 破断時の応力波形 (III 型)

打撃棒の長さ	10 cm	20 cm
破断状況	XXXXXX Δ○○○	XXXΔΔ ○○○○○

表 1