

## 含水爆薬から岩盤に作用する衝撃波の基礎研究

日本工機株式会社 正会員 村田健司

## 1. はじめに

現代の発破工法では2種類の含水爆薬「エマルジョン爆薬」と「スラリー爆薬」が、明かり発破ではANFO爆薬を起爆するための親ダイとして、トンネル発破では親ダイと増ダイとして使用されている。一部のトンネル発破ではANFO爆薬の機械装填も行われ、導火管付雷管と組み合わせることで親ダイとして使用されている。

近年の含水爆薬には、鋭感材や可燃材としてのアルミニウム粉が添加されて爆発威力の増大が図られており、発破効果の増大が認められる[1]との報告もあるが、岩盤へ作用する衝撃波と破砕効果、破砕されたずりの移動効果への影響については未解明な課題も多い。

含水爆薬が装薬孔周囲の岩盤にあたえる影響を定量化する方法として、装薬孔周囲の岩盤に作用する圧力や応力を計測することも考えられるが、現実には破砕対象の岩盤中に圧力センサーや歪センサーを配置するのは非常に困難である。小さく切り出した岩石でのモデル実験やコンクリート供試体に置き換えてのモデル実験が限度である。

爆薬や爆発現象の評価方法の一つに水中爆発試験法がある。水中爆発試験は、非圧縮性流体である水の特徴を生かし、所定の水深に沈めた爆薬を爆轟させ、周囲の水に伝搬する衝撃波の時間変化を圧力センサーで計測し、衝撃波を定量化する。また、爆轟生成ガスを、ガス球として水中に閉じ込めることで定量化する。[2] この方法によれば、岩盤を伝搬する衝撃波、装薬孔内充満する爆轟生成ガスを相対的に比較が可能なのではと考えた。

本報告では、含水爆薬の基礎研究としてエマルジョン爆薬を基準にアルミニウム粉を添加した爆薬の爆発挙動を水中爆発試験によって定量化し、岩盤に与える影響についての基礎研究結果を報告する。

## 2. 水中爆発試験

## 2.1 供試爆薬

含水爆薬用のベースエマルジョンは、硝酸アンモニウム 74.6wt.%、硝酸ヒドラジン 10.6wt.%、水 10.6wt.%、ワックスと乳化剤 4.2wt.%の組成である。表1に示す比率でグラスマイクロバルーン(GMB)と平均粒子直径 30 $\mu$ mの球状アルミニウム粉末を加え、爆轟反応速度が同程度のEMXとAL-EMX供試爆薬とした。

表1 2種類のエマルジョン爆薬EMXとAL-EMXの密度、爆轟反応速度、組成

Sample explosive	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Detonation velocity (m/s)	Composition (wt.%)		
			Base emulsion	GMB	Al powder
EMX	1.15	3390	98.9	1.1	0
AL-EMX	1.22	3360	82.4	0.92	16.7

## 2.2 水中爆発試験

水中爆発試験の試験配置を図1に示す。試験池の水深4(m)位置に起爆用の瞬発電気雷管を装着した0.1(kg)の供試爆薬を設置し、爆薬の表面を基準に距離R(m)の位置に水中爆発試験用圧力センサー[2]を配置し、起爆信号を基準に爆薬が周囲に伝搬させる衝撃波をデジタルオシロスコープで記録した。発破工法では装薬孔中の爆薬が雷管により起爆され爆轟すると、衝撃波が同心円状に広がりながら周囲の岩盤を破砕する。破砕理論[1]によれば、装薬孔内に密に装填された含水爆薬は、装薬孔を中心に数十センチメートルの範囲の岩盤を粉砕するといわれている。そのエリア内の衝撃波を計測できるように、距離Rは、0.05~1.0(m)の8点とした。爆薬の爆轟により発

キーワード：含水爆薬、衝撃波、トンネル発破

連絡先：日本工機(株) 白河製造所 製造部 0248-22-3114 E-mail: Kmurata@nippon-koki.co.jp

生じた高温高压の爆発生成ガスは周囲の水を押し広げながら急速に膨張しガス球を形成する。このガスのエネルギーは水の膨張収縮の運動挙動をバブルパルスにより計測し、水の運動方程式から求めた。

### 2.3 水中爆発試験結果

図2に、最も爆薬に近い位置 0.05 (m)での衝撃波の測定波形の比較結果を示す。2種類の含水爆薬とも、瞬時に圧力が 500(MPa)以上にまで上昇し急激に減衰する典型的な衝撃波を周囲に伝搬させている。

アルミニウム粉末を含有することで、アルミニウム粒子の酸化反応により爆轟温度が上昇し、爆轟波面では全量の酸化反応完了しなかったアルミニウム粒子は爆轟波面の背後でも酸化反応継続するので、アルミニウム粉末の添加によって衝撃波の圧力持続時間が増加している。

一般に衝撃波による物体の破壊現象は力積との相関関係が高い。そこで、測定した衝撃波の時間変化を式(1)に従い時間積分し、爆薬重量の立方根で除して正規化し、爆薬量が異なる場合の推定が可能な形にしてプロットした結果を図3に示す。爆薬の近傍から遠方までどの領域においても、アルミニウム粉末を添加することで、力積が大きくなっている。

水中のガス球の膨張収縮現象の計測から求めた爆薬が爆発により発生したガスもつエネルギーは、爆薬1 (kg)に換算すると、EMXが1.8 (MJ/kg)なのに対し、AL-EMXは3.0 (MJ/kg)と1.7倍大きかった。これは、アルミニウムの燃焼熱が大きく、爆発生成ガスがより高温であるためと考えられる。

### 3. 考察

アルミニウム微粉末を添加し含水爆薬の比エネルギーを増大させて発破掘削における原単位を減らす工法は、岩盤周辺に伝搬する衝撃波の作用時間を増大させ破壊効果が高くするとともに、爆発により生成するガスのエネルギーを高くし、亀裂の成長とズリの移動を助ける効果によるものと示唆された。岩盤と水では、音響インピーダンスが異なるため、衝撃波圧力の絶対値が異なると考えられるが、その伝搬や減衰傾向は同じであり、水中爆発試験により比較が可能と考えられる。

### 参考文献

- [1] 発破工学ハンドブック 社団法人火薬学会 発破専門部会編 (2001)
- [2] Murata, K. et al. "Precise measurements of underwater explosion phenomena by pressure sensor using fluoropolymer." J. Materials Processing Technology Vol. 85, p.p. 39 - 42. (1999)

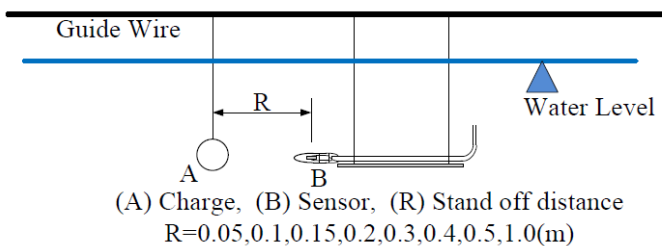


図1 爆薬と圧力センサーの配置

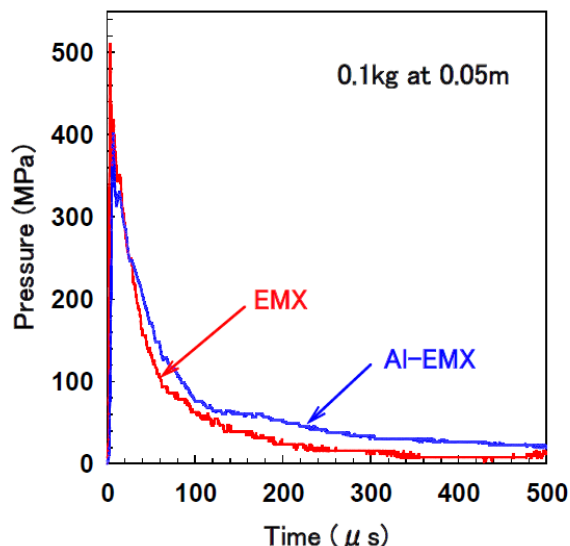


図2 衝撃波の測定波形の比較

$$I_s = \int_0^{80} P(t) dt \dots (1)$$

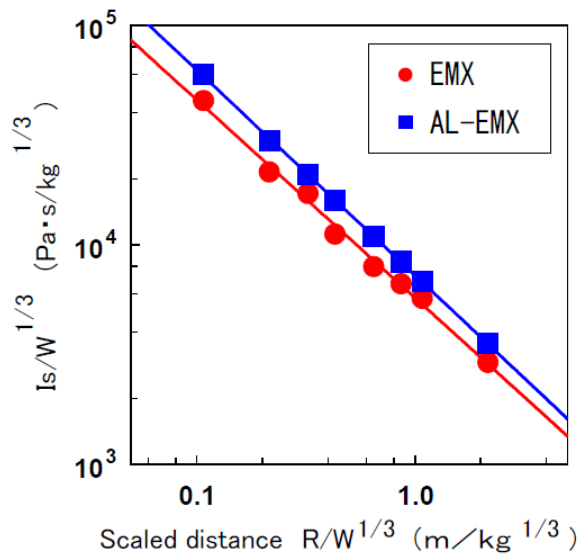


図3 換算力積と換算距離の関係