

含水爆薬の力学的性質に関する研究（第4報）

—含水爆薬の衝撃吸収特性—

背木章哲*, 安部隆幸*, 田中 満**, 鈴木明人**

福山郁生***, 小川輝繁***

密閉容器内に含水模擬薬を入れ、5 kg 落ついを落下させて模擬薬内を伝播する圧力波の測定を行ない、気泡成分（ガスバブルあるいはグラスマイクロバルーン（GMB））の種類、量による衝撃的圧力の吸収特性の変化傾向を調べた。

気泡成分の種類によらず量が多い程ピーク圧力値の低下傾向が強い。ピーク圧力値が比較的低い場合には、ほとんど気泡成分の種類による差はない。しかしピーク圧力値が 1000 kg/cm^2 程度以上の比較的高い場合には、ガスバブルを含有すると相対的に吸収しにくくなるが、一方 GMB を含有する場合には逆に吸収しやすくなり、ピーク圧力値は大きく低下する。これは GMB の破壊による衝撃的圧力の吸収効果が変わってくるためと考えられる。

1. 緒言

ウォーターゲルタイプの含水爆薬が発破時、隣接孔等からの衝撃的圧力波により起こす不発残留現象の解明を目的として、気泡成分として化学発泡剤によるガスバブルあるいは2種類のグラスマイクロバルーン（以下GMBと略す）を含有する模擬薬を用いて研究を進めてきた。

第1報では、適当な振動モデルを仮定し、その振動理論を用いて剛性率、減衰定数、弾性横波速度等の静的な力学的特性値を求め、含有する気泡成分の種類、量による特性値の変化傾向を調べた。第2報では、大小の衝撃的圧力が作用し、その圧力波が伝播してゆくとき含有する気泡成分の種類、量によってどのような距離減衰傾向を示すか調べた。さらに第3報では体積弾性率の考え方を適用して、静的および動的外力が作用した場合に含有する気泡成分の種類、量によってどのような体積変化傾向を示すかを調べた。

以上の研究の結果、含水爆薬にガスバブルあるいはGMBを添加したとき、その静的な力学的特性値の変化傾向は気泡剤の種類によって大きく異なることがわかり、また、比較的大きな衝撃圧力が作用するとガスバブルは断熱的な体積変化をするのに対して、GMBは破壊されて塑性変化をするため衝撃圧力の距離減衰が大きくなることがわかった。

そこで本報では、含水爆薬に衝撃的圧力が作用した場合に含有する気泡成分の種類、量によって、どのような外力の吸収特性の傾向を示すかをより詳しく調べるため、密閉容器内に含水模擬薬を入れ、その上部の可動ピストン上に落つい試験機の5 kg 落ついを落高を変えて落下させ、その時模擬薬内を伝播する圧力波の測定を行った。

2. 実験試料

実験に用いた試料は前報に示したように、総てウォーターゲルタイプの含水模擬薬である。気泡成分を何も添加していないものを基剤（記号BASE）とし、化学発泡剤によるガスバブル（記号G）あるいは、強度および密度の異なる2種類のGMB—B28/750（記号B）、C15/250（記号C）—を量を変えて添加して調整した。各試料の密度および気泡成分の種類、含有量をTable 1に示す。

3. 実験方法

実験はFig. 1に示す真鍮製密閉容器、ステンレス製ピストンおよび落つい試験機を用いて行った。密閉容器内底部に直径40mm、高さ30mm、体積約38ccの

昭和59年12月3日受理

*日本カーリット㈱保土ヶ谷工場
〒240 横浜市保土ヶ谷区仏向町 1625
TEL 045-331-3041

**大成建設㈱技術研究所
〒245 横浜市戸塚区名瀬町 344-1
TEL 045-812-1211

***横浜国立大学工学部
〒240 横浜市保土ヶ谷区常盤台 156
TEL 045-335-1451

Table 1 Density and contents of gss bubbles or GMB

Sample type	Density (G/CC)	Contents (vol %)	
		GAS bubbles	GMB
Base	1.46	—	—
G	1.37	6.2	—
	1.29	11.6	—
	1.10	24.7	—
	1.01	30.8	—
	0.86	41.1	—
B	1.40	—	5.1
	1.34	—	12.0
	1.26	—	16.9
	1.16	—	25.4
	1.01	—	38.1
C	1.35	—	8.4
	1.22	—	18.3
	1.05	—	31.3
	0.93	—	40.5
	0.73	—	55.7

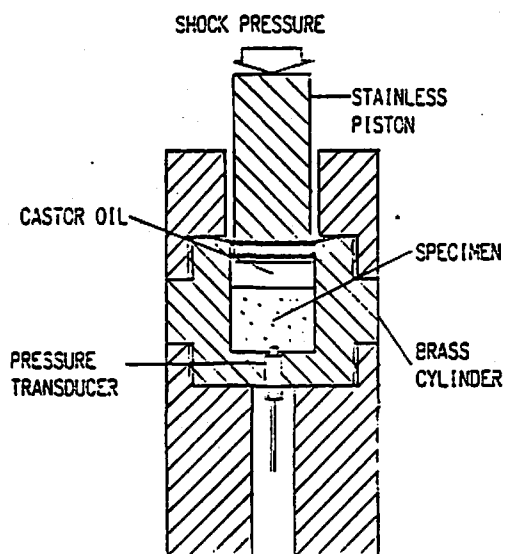


Fig. 1 Testing apparatus for shock pressure absorption property of water-gel explosives

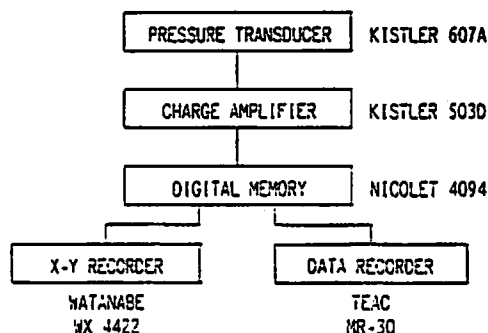


Fig. 2 Measuring system for shock pressure

を伝播してくる圧力波を測定、記録した。

実験にあたっては、試料を入れずにヒマシ油のみを用いて測定を行い、これをブランクとした。圧力測定には上記圧力変換器の他に、チャージアンプ (KISTLER 製、503 D 型)、デジタルメモリー (NICOLET 製、4094 型)、データレコーダー (TEAC 製、MR-30 型) および X-Y レコーダー (渡辺測器製、WX-4422 型) を用いた。測定系の概略を Fig. 2 に示す。

4. 実験結果及び考察

落高 20cm の場合についてブランクおよび各試料について得られた圧力波形例を Fig. 3 に示す。また測定された波形からピーク圧力値を読み取り、落高に対してプロットして、落高によるピーク圧力の変化傾向を

試料を圧力変換器 (KISTLER 製、607 A 型) 接するように入れた後、試料の上部をヒマシ油で満し、気泡が入らないように注意してピストンを置く、以上のようにして準備した密閉容器を落つい試験機のアンビル上に設置して、5 cm から 25 cm の間で落高を変えて 5 kg の落ついを落下させ、ヒマシ油および試料

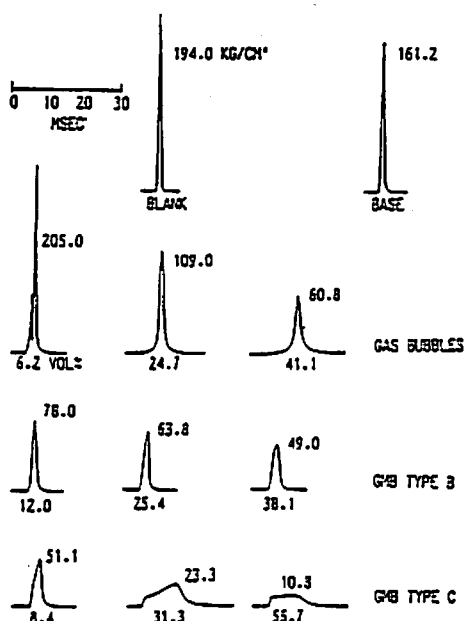


Fig. 3 Wave form of shock pressure
(Drop height=20 cm)

各試料について示したのが Fig. 4 である。

測定された圧力波形からピーク圧力値を各気泡成分の含有量に対してプロットし、含有する気泡成分の種類、量によるピーク圧力の変化傾向を示したのが Fig. 5 である。また、ピーク圧力値の吸収率を次式で定義し、これを算出してヒマシ油のみを用いたブランク試

験から得られた圧力波形のピーク圧力に対してプロットして、入射する圧力値による吸収率の変化傾向を示したのが Fig. 6 である。

$$\text{吸収率} = \frac{P_b - P_s}{P_b} \times 100 (\%)$$

P_b : ブランク試験のピーク圧力値

P_s : ブランク試験と同じ落高で得られた試料によるピーク圧力値

4. 1 気泡成分による衝撃的圧力吸収特性の相違

4. 1. 1 気泡成分含有量の効果

含有する気泡成分の量が衝撃的圧力の吸収特性に及ぼす効果は、Fig. 4 ~ Fig. 6 に明らかであるが、ガスバブルを含有する場合、GMB を含有する場合いずれについても含有量が多ければ多い程ピーク圧力の吸収率が大きくなることがわかった。なお、この時の圧力波形を見ると (Fig. 3)、ピーク圧力は低下しているが、その持続時間は若干長くなっているように見える。

4. 1. 2 気泡成分種類の効果

入射する衝撃的圧力波のピーク圧力が比較的低い場合には、気泡成分の種類によらずピーク圧力の吸収率はほぼ等しい (Fig. 6)。それに対してピーク圧力が約 100 kg/cm² 以上と比較的高くなると、ガスバブルを含有する場合には吸収率は大きく減少する (Fig. 6)。従って、入射する衝撃的圧力波を減衰させることなく伝播してゆく。それに対して GMB を含有する場合には、入射する衝撃的圧力波のピーク圧力が大きくなっても吸収率は減少せず、一定かあるいは若干増加する (Fig. 6)。従って、伝播して来る圧力波のピーク圧力

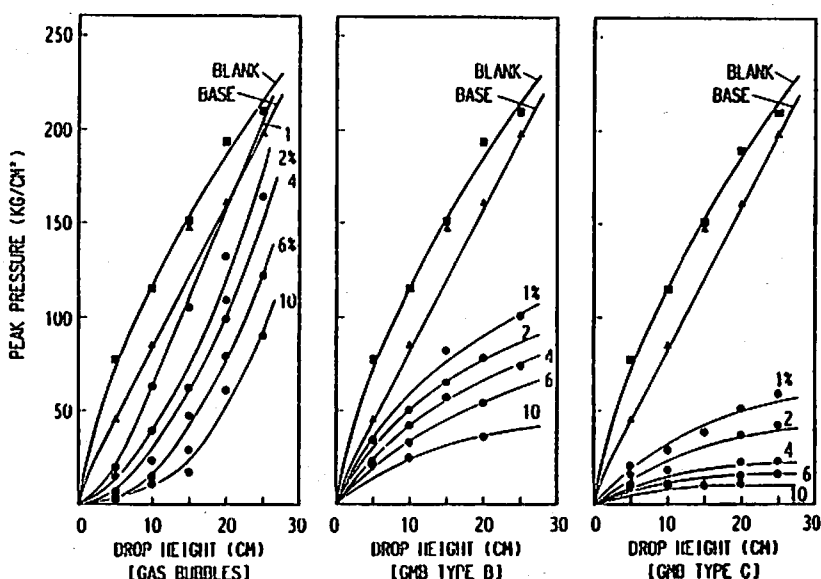


Fig. 4 Relation between peak pressure and drop height

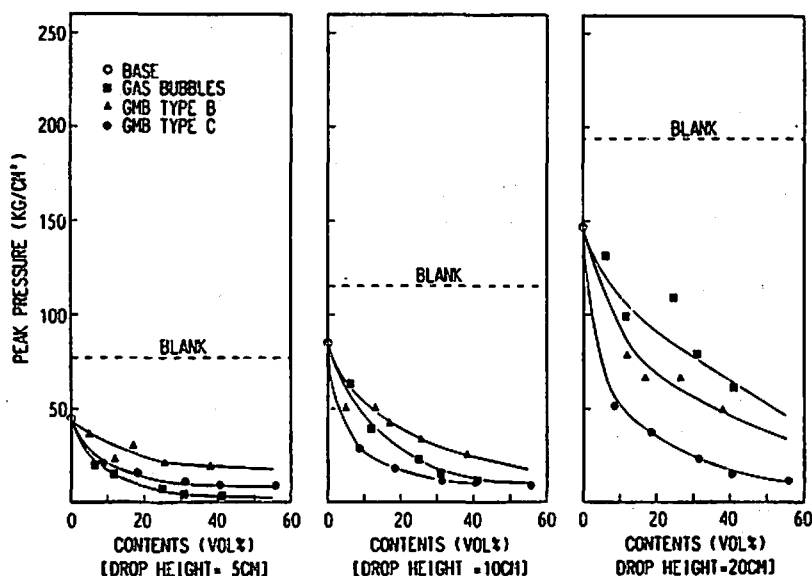


Fig. 5 Relation between peak pressure and contents of gas bubbles or GMB

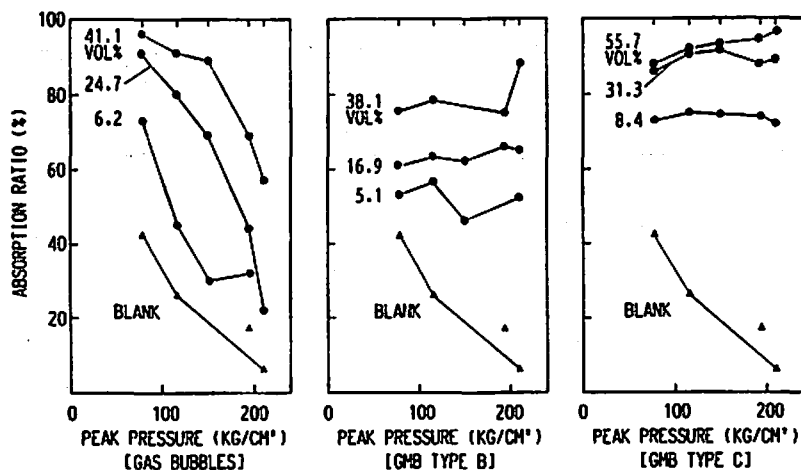


Fig. 6 Relation between absorption ratio and peak shock pressure

は GMB の含有量, 入射する衝撃的圧力波のピーク圧力によらずほぼ一定となる (Fig. 4 および 5)。

4.2 自由減衰および体積変化と衝撃的圧力の吸収特性

第 1 報では自由振動の減衰を扱うパラメータとして減衰定数が得られ, それによれば含有する気泡成分の種類によらず含有量に対して極値を持つことがわかってい。すなわち含有量が増加するのに従い, ガスバブルを含有する場合には減衰定数が減少から増加に転じ, GMB を含有する場合には増加から減少に転ずる。それに対して本報で得られた衝撃的圧力の吸収特性をみると, 気泡成分の種類によらず含有量が多くな

る程吸収率は大きい。この原因は第 1 報に於て予想されたとおり, 入射する衝撃的圧力が高圧力, 高周波数であるためと思われる。この傾向は第 2 報の衝撃的圧力の距離減衰に関する実験から得られた結果と同様である。

さらに第 3 報から得られた試料の体積変化傾向によって予想されたように, GMB を含有する場合にはその破壊, すなわち塑性変形により入射する衝撃的圧力が大きく吸収されたものと考えられる。従って強度の小さい C15/250 のほうが B28/750 よりも吸収効果が大きい。

4.3 隣接孔等からの衝撃圧力減の影響について

実際の発破の場合には、本報で試料に与えた衝撃的圧力と同等か、それ以上の高圧な衝撃的圧力が含水爆薬々包に作用する。そのような場合の挙動について本報で得られた結果から推定する。

このときガスバブルを含有すると入射した衝撃的圧力をほとんど減衰させることなしに内部に伝播させるから、薬包内の電気雷管は直ちに圧縮変形を受けるかあるいは致命的なダメージを受けると考えられる。また、含水爆薬中の衝撃波伝播速度は岩盤中のものよりかなり遅いために、見かけ上は薬包周囲から一様に圧縮された形となる。それに対して GMB を含有すると衝撃的圧力の吸収効果が大きいために電気雷管は変形等の影響は受けず、本来の起爆性能を維持するものと思われる。これには GMB の含有による衝撃圧力波伝播速度の高速化も良い効果を及ぼしている。

次に含水爆薬自体の感度について考察すると、ガスバブルを含有する場合には、入射した衝撃的圧力波に比べて内部を伝播する圧力波は持続時間が長くなるため、まだ圧縮された状態で電気雷管が起爆しても、その時見かけ上爆薬自体は非常に鈍感になっているため爆轟には至らない。また GMB を含有する場合には、入射した衝撃的圧力波によって薬包外周部の GMB は破壊されてしまうが、内部の GMB は破壊されずに残っており、電気雷管による被起爆能力は残っている。

以上から、ガスバブルを含有する含水爆薬は不発残留が起りやすく、GMB を含有する含水爆薬は起りにくいと推定される。

5. 結 言

密閉容器内に含水模擬爆薬を入れ、落ついによって衝撃的圧力を作用させて、含有する気泡成分の種類、量によってどのような衝撃的圧力の吸収特性の変化傾向を示すか調べた。その結果次のことが明らかになった。

- (1) 落ついの落下による衝撃的圧力が作用したときガスバブルを含有する場合には含有量が多い程吸収率は大きくなるが、入射する衝撃的圧力が高圧になる程吸収率が低下する。すなわち、高圧力の衝撃的圧力が入射したときには結果的にそれ程減衰しない。
- (2) GMB を含有する場合には含有量が多い程吸収率は大きく、入射する衝撃的圧力波が高圧力になっても吸収率の変化はない。すなわち、高圧力の衝撃的圧力が入射したときでもその破壊により大きく減衰させる。
- (3) 以上のことから、ガスバブルを含有する場合には不発残留現象が起りやすく、GMB を含有する場合には起りにくい。

今後は実際の発破により近い条件で実験を行い、検討を加える。

本研究にあたって大成建設㈱近藤昭二氏、鈿原御氏日本カーリット㈱木村靖氏のご協力をいただいた。記して感謝する。また実験では横浜国立大学生、色部厚、水野敬三、三浦寿人君の協力を得た。

本研究の一部は、火薬工業技術奨励会の研究助成金を受けて行ったものである。ここに記して厚く感謝の意を表する。

An experimental study on dynamic properties of
water-gel explosives (IV)

Shock absorption property

by Akinori AOKI*, Takayuki ABE*, Mitsuru TANAKA**, Aketo SUZUKI**,
Ikuo FUKUYAMA***, Terushige OGAWA***

A relatively large impact load was applied onto a dummy water-gel explosive in a confined vessel with a 5kg hammer of the drop hammer test apparatus.

The pressure wave propagating through the dummy explosive was measured and the shock pressure absorbing property of gas bubbles or glass micro balloons (GMB) was examined.

When induced pressure is rather low, the absorption property varies little both with gas bubbles and with GMB. However, in case pressure is rather high or higher than 100kg/cm^2 , the shock pressure is hard to be absorbed when the explosive contains gas bubbles. On the other hand, the shock pressure is easily absorbed with a resultant sharp drop in the peak when it contains GMB.

This phenomenon is thought to be attributable to the absorption effect which appears as a result of the collapse of GMB.

(*The Japan Carlit Co., Ltd. Hodogaya Plant. Bukko-cho
1625 Hodogaya-ku Yokohama

**Taisei Corporation Technical Research Institute,
Nasemachi 344-1 Totsuka-ku Yokohama

***Yokohama National University, Tokiwadai 156 Hodogaya-ku
Yokohama)