

る。

追記、本研究を行なうにあたり指導を賜った、九州工大、吉田、長田教授旭化成火薬技術部長、東島氏、雷管工場長、大久保氏、研究課長、鈴木氏に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) R. H. Linnell and W. A. Noyes, J. Am. Chem. Soc., 18, 1097 (1950)
- 2) A. F. Trotman-Dickenson and E. W. Steacie, J. Chem. Phys., 73, 3986 (1951)

Behaviours of Primary Explosives IX "Decomposition of Diazodinitrophenol in Acetone"

Kazumoto Yamamoto*

Decomposition of diazodinitrophenol was investigated in acetone. When diazodinitrophenol is dissolved in acetone and exposes to light, diazodinitrophenol is caused to react with acetone.

In the case of acetone of inferior quality, impurities contained in it serves to accelerate decomposition of diazodinitrophenol. Copper ions in its acetone solution also accelerate the decomposition rate of diazodinitrophenol.

The residue obtained by distilling acetone of inferior quality assumes yellow color, and is recognized to belong to fatty acid and possess conjugated double bond, $-\text{CH}_2$, $-\text{OH}$ radicals.

On photolysis, pure acetone affords formaldehyde, methyl alcohol, and the like, which all failed to react with diazodinitrophenol.

However they undergo coupling reaction with aromatic compounds, and quickly react with ketones of large molecular weights.

Photolysis of acetone of inferior quality results in the formation of such organic acids as formic acetic or oxalic acid. These acids cannot directly react with diazodinitrophenol.

(*Research Laboratory for the Department of Explosive, Asahi Chem. Ind. Co. Ltd., Tokyo, Japan)

発破震動による震害

名 和 小 太 郎*

1. 序 論

自然地震のつよさを構造物のそれによる破壊程度と関係づけたものに、さまざまな震度階がある。しかし、発破震動に対しては、この種の震度階が利用でき

ないのではないかという疑問が、これ迄、若干の発破技術者によって提出されてきた。Morris¹⁾, Fish²⁾, Leet³⁾などがこうした意見をのべている。しかし、これらの疑問は、いずれも単なる憶測にとどまり、確かな形をもつものではなかつた。こうした問題にこたえるために、一連の実験が実施された。実験の内容は次

昭和39年10月27日受理
* 旭化成工業技術研究所 (現坂ノ市工場)

のふたつにわかれる。すなわち、第一に、これ迄の震度階が利用できるか否かということであり、第二に、発破震動用の震度階をつくるとすればそれはどのようなものであるか、ということである。

2. 自然地震用震度階の適合性

通常、自然地震のつよさは、“震度”によって表示される。日本においては、気象庁震度階が規準となっている。これは、地震のつよさを、地震によってひきおこされるさまざまな震害と対応して、きめたものである。一方、この震度階は地震の最大加速度 u_{ii} と関係づけられることがわかっている。すなわち

$$u_{ii} = 0.45 \times 10^4 \quad (1)$$

である。したがって、われわれの問題は、発破震動のつよさとそれによる震害が、式(1)により、自然地震の場合と同様に、表示されるかどうかということである。このために、ふたつの大発破において測定が実施された。この種の発破において、破壊的な震動の生ずることが期待されたからである。

場合 1

この測定は、1961年10月に、岐阜県横山ダムの作業

場における大発破に際し、実施された。

測定にあたっては、3種類のピックアップが用意された。その規格を表1に示す。

表 1

型 式	測 定 量	固有振動数
A	粒 子 速 度	1c/s
B	加 速 度	3.5
C	加 速 度	?

なお、記録器には、2台の電磁オシロを使用した。

爆破法は坑道式大発破であり、装薬量は合計 $9.1 \times 10^4 \text{kg}$ 、これを4坑道にもうけられた15薬室に分配した。最小抵抗線は8~18mであつた。起爆は、各坑道を瞬発電気雷管で斉発することで実施した。同一坑道の薬室は導爆線でむすばれた。爆薬にはTNTが使用された。

測定結果は表2のとおりである。振巾は初動のそれである。

表 2

爆源距離	ピックアップ	成 分	振 巾	備 考
150m	型式 A	上下動	>2.5kine (188 gal)	波形ひずむ
200	" B	"	451gal	電氣的雑音かさなる
200	" B	水平動	?	"
250	" A	上下動	1.6kine (121 gal)	
250	" B	水平動	?	ふりきる
250	" C	"	174gal	

表中の振巾値で(…)内にしめされているものは、実測された粒子速度値から算出された加速度値である。この算出にあたっては、

$$u_{ii} = 2\pi f u_i \quad (2)$$

なる関係を利用した。ここで、 u_i は粒子速度の最大振巾、 u_{ii} は加速度の最大振巾、 f は振動数である。なお、ここでは、後述のように $f=2c/s$ であつた。

表2において、信頼しうる値は、爆源距離200mにおけるピックアップAおよびピックアップCによるものである。さて、この121gal または 174gal という値は、式(1)によれば、 $I=4.9$ または 5.2 となる。この値は気象庁震度階によれば、強震に対するものであり、“家屋の壁にキレツを生じ、墓石、石ドウロウなどがたおれ、レンガ煙突、土蔵に破損を生ずる”というものである。しかし、この場合、測定点周辺にはこれに相当する何等の震動も受けなかつた。

場合 2

この測定は、1962年1月に、香川県豊島採石場において、実施された。

測定器および記録器には、前例でしめたもののうちの一部を使用した。

爆破法も前例とひとしく坑道式大発破であつた。装薬量は合計 $10.8 \times 10^4 \text{kg}$ であり、これを2坑道中の10薬室に分配した。最小抵抗線は10~21mであつた。起爆は、各薬室に瞬発電気雷管を挿入し、これによつておこなつた。爆薬は、ここでもTNTを使用した。

測定結果は3表のとおりである。

ここでは、振巾として、表面波のそれをとつた。この波が卓越していたからである。表3の結果は、300mの爆源距離において、 $I=5.1$ の強震が発生していることをしめしている。しかし、ここでも前例とおなじく強震に相当する震害は発生しなかつた。ただ、爆源

表 3

爆源距離	ピックアップ	成分	振 巾	振 動 数	備 考
180m	型式 A	上下動	5.0 kine (409 gal)	13 c/s (?)	直接波かさなる
300 "	" A	"	2.9 kine (164 gal)	9 c/s	

から数 100m にある耕作地の軟弱な地盤が 1 個所ゆるんだのであつた。

以上のふたつの例は、発破地震動においては、自然地震におけるより、同一の発破振巾に対する震害の評価を相当にひくめてよいことをしめしている。この相違は、地震動特性のちがいによるものとかがえられる。すなわち、震動における振動数と継続時間の相違とかがえられる。

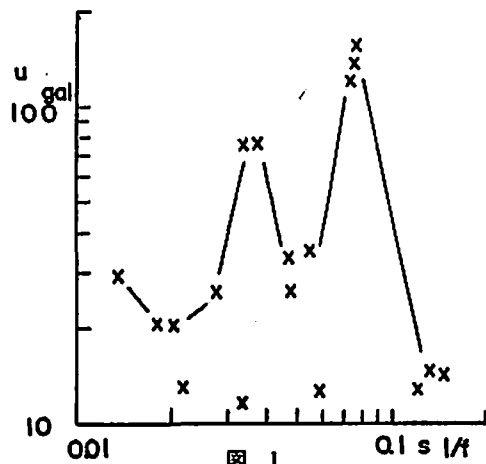


図 1

第一に、振動数の比較をすると次のようになる。Housner et al.⁴⁾ は自然地震に対する加速度スペクトルを数おおく計算しているが、それらの計算結果の中から強震記録に対するものを見ると、卓越周波数が 2~5c/s であることがわかる。一方、発破地震動の加速度スペクトルは、たとえば場合 1 における記録に対して計算すると図 1 のようになり、卓越周波数は 12c/s となることがわかる。実際に発破地震動による震害が問題となるのは、むしろ、小葉量近距離の場合であり、このような場合の卓越周波数はさらにたかまり、たとえば、3. に紹介する例においては 25c/s となる。ところで、Housner によれば地震波によつて構造物のうける影響は、0.4~10c/s の周波数成分の波によつてなされる。したがつて、自然地震の方が発破地震動より、構造物の破壊に対して有効な成分をふくんでいることがわかる。

第二に、継続時間の比較をすると次のようになる。一般に、強震程度の自然地震に対してはこれは 10⁻²s 以上の程度とかがえられるが、発破地震動においてはこれは非常に小さく、たとえば前例のいずれにおいても 10⁻¹s 以内でその主要な部分はおわつている。一般に材料はくりかえし荷重によつて破壊しやすくなる。したがつて、この点においても、自然地震の方が発破地震動より震害に対して大きい作用をもつていると推論できる。

以上のような理由により、自然地震による震度階を発破地震動に対して利用できないことがわかつた。

3. 発破地震動用震度階の決定

発破地震動のための震度階は、自然地震に対するそれとは独立に、これ迄、いくつかが発表されてきた。しかし、これらは、いずれも明確な方法論にささえられるものではなく、単なる便宜的な尺度として採用されてきたものである。表 4 にこれをまとめて引用する。

表 4

報 告 者	計 算 法	震害なし	震害あり
Crandell ⁵⁾	$(u_i/f)^2 u_i$	19 以下	39 以上
Edwards et al. ⁶⁾	u_i	—	11 以下
Fish ⁷⁾	u	0.04 以上	—
Koch ⁷⁾	u_i^2/f	100 以上	100 以上
Köhler ⁸⁾	u_i	0.5 以下	1 以下
Langefors et al. ⁹⁾	u_i	7 以下	11 以下
Morris ¹⁾	u	0.02 以上	—
Theonen et al. ¹⁰⁾	uu	98 以下	980 以上

表 4 において、 u , u_i , uu , f は変位、粒子速度、加速度、振動数をしめし、数値は CGS の単位によるものである。

さて、われわれの問題は、第一に、どのような物理量をもつて震害の尺度とするかということであり、第二に、その尺度にどのような数値を震害の臨界点としてあてはめたらよいかということである。

まず、尺度とすべき物理量の決定しよう。Neumann¹¹⁾によれば、地震記録と震害とを比較すると、震害は加速度と周期とに関係し、同一加速度でも高振動数の

ものは低振動数のものほど震害を生じない。しかも、震害の程度は粒子速度により決定される。この結論は、2.にのべたわれわれの実験結果をうらずけるものである。それゆえ、以下 Neumann にしたがって粒子速度をもつて尺度とすることにする。

次に、この尺度にどのような数値を目もるべきかをかんがえてみる。表4の結果は報告者により相当の異同があり、そのいずれをとるべきかは日本における実例と対比してきめる必要がある。これは、これらの報告が建築物の構造の日本とことなる外国において発表されたものであることから、必要とされる。このためには、実際に震害の生じた場合について、検討をおこなう必要がある。このような場合として、市街地近辺で実施されたトンネル発破の例をふたつ紹介することにする。

場合 3

この例は、1960年12月に、兵庫県某水道用トンネル工事においてえられたものである。

震害の生じた位置および震害の評価額を表5に示す。

表 5

家 屋	トンネルからの		被 害 高
	水平距離	高 度 差	
A	0m	45m	〒 474,000
B	0	57	455,000
C	0	22	189,000
D	20	26	72,000
E	40	70	56,000
F	35	55	22,000
G	67	48	21,000
H	35	55	18,000

表5における被害高は物理的に損害のみに対するものである。もちろん、別に生理的・心理的な損害もあった。なお、この地域の岩質は良質な花崗岩であった。

測定器としては、ピックアップに、出力が粒子速度の上下成分であり、固有振動数が 7.5c/s である動線輪型の換振器を、記録器に固有振動数 80c/s のガルバをもつ電磁オシロを使用した。

トンネルは断面積が 9.7m² であり、地表下 50~60 m の深度をはしついていた。発破方式としては、電気雷管による遅発発破がとられた。段差は 0.2~0.3s、段数は10であった。装薬量は合計 17kg、薬孔長は 1.6m、孔数は 18~19 とされた。爆薬には桐級の膠質ダイナマイトが使用された。

記録からよみとられた最大振巾を表6に示す。記

録の再現性は、測定点 IV の結果からみて、よいものとかがえられる。

表6は、この地域での発破震動の大きさが数 kine の程度であったことをしめしている。この結果は、この程度の震動が震害を生じさせるに十分の大きさをもつことを意味している。

表 6

測定点	発破点からの		振 巾	
	水 平 距離	高 度 差	地 表	屋 内
I	10m	55m	2.3 kine	—
II	80	62	2.1	—
III (家屋 E)	110	59	—	1.6 kine
IV (家屋 B)	160	57	1.0; 1.3	4.7; 4.4; 3.4
V (家屋 A)	180	45	2.3	2.9

床上の震動は地表のそれよりも大きい。これは屋内にいる人に対する心理的な苦情をたかめるものである。なお、地表の振巾を距離に対してプロットしてみると、かなりばらつき、明確な関係を見つけない。これは、この地域の地形が複雑なためとかがえられる。

場合 4

この測定は、1963年2月に、奈良県の某鉄道トンネル工事において、実施された。

被害地域はトンネル坑口の周辺にある住宅地であった。震害は、心理的なものが主であり、物理的なものはトンネルから 100m 以内に石垣の破壊されたものが 1 件あつたのみであった。

測定器としては、ピックアップに、固有振動数が 24c/s のものと、それが 1c/s のものを使用した。出力はいずれも粒子速度の上下動成分である。記録器には前例に使用した電磁オシロをもちいた。

測定は、発破点の直上からトンネルと直角方向に測線をもうけ、実施した。この測線は家屋の点在する住宅地をはしついていた。地形はかなり複雑であった。受震器はすべて表土の上におかれた。岩盤の露出部は、これを見とめることができなかった。

トンネルは、測定時には断面積 36m² で掘削されていた。全装薬量は 63.5kg であり、これが遅発発破により起爆された。段差は 0.1s である。段数は 10、また、薬孔長は 2.0m、孔数は 110 であった。爆薬は前例とおなじく桐級の膠質ダイナマイトであった。

記録からよみとられた最大振巾をしめすと表7のようになる。

表 7

発破点からの距離	振 巾
0m	3.4 kine
20	3.3
25	5.2
50	0.5
75	0.4
100	0.1
150	0.1
200	<0.1
400	<0.1
500	<0.1

なお、振巾の最大値は、測定ごとにことなる段において出現した。しかし、最大値は概して低段において発生した。表7の結果を近似式によって表示すると、

$$u_i = 1,800/d^2$$

となる。ただし、 u_i は粒子速度振巾を kine で、 d は距離を m でよみとるものとする。この結果から、この地域においては、トンネル直上の巾が致 10m の区域をのぞいては、震動は数 kine をこえることはないといえる。

この地域においては、前述のとおり、物理的な震害が生じたり生じなかつたりというような臨界的な振巾が生じたものとみられる。(トンネル直上の地域には工事用仮設家屋しかなかったため、考察の対象から除外する。) したがって震害は主として心理的・生理的なものであつた。振動に対する人体の感覚の臨界値は、Meister¹²⁾ によれば、0.3 kine である。これは、この地域における震度が、人体に対しては十分に認知しうる大きさをもつていたことをしめす。なお、Meisterの結果は変位に対してあらわされているので、振動数を 50c/s として粒子速度に換算した。Nakagawa¹³⁾ の結論を利用すれば、この値は心理的苦情をひきおこすに十分な大きさをもっている。

場合3と場合4との結果を比較すると、次のようになる。場合3では物理的に震害が生じ、場合4ではそれがほとんどみられない。場合3においては振巾が 2 kine 以上であるが、場合4においては 1 kine 以下である。

以上の比較から、発破震動による震害の発生は、振巾が 1~2 kine をこえた場合にみられる。と結論できる。

4. 結 論

(1) 発破震動は自然地震とその振動数、継続時間においてことなる。したがって、発破震動に対して、

自然地震用震度階を利用することはできない。

(2) 発破震動用震度階は、粒子速度振巾によつてくみだすべきである。

(3) 発破震動においては、それが 1~2 kine をこえた場合に震害を生ずる。

謝 辞

本論文の発表にあつては、東大の西村源六郎教授、疋田強教授、河角広教授、吉山良一教授、下村弥太郎教授の閲読をたまわつた。ここにふかく感謝したい。また、実験にあつては、岐阜大の村松郁栄助教授の助言をおおいだ。ここに感謝したい。さらに、この仕事に関して、間組、奥村組、大鉄工業、鹿島建設の関係者諸氏からあたたかい協力をうけた。感謝の意を表したい。(本論文は文献15)~19)と共に東大学位審査論文となるものである。)

文 献

- 1) G. Morris: Engineering, 190, 394;414 (1950)
- 2) B. G. Fish: M. & Q. Eng., 17, 111; 145; 189; 217, (1951)
- 3) L. D. Leet: Vibrations from Blasting Rock, Harvard, (1960)
- 4) G. W. Housner, R. R. Martel & J. L. Alford: Bull. Seismol. Soc. Am., 43, 97, (1953)
- 5) F. J. Crandell: 文献 3) に引用。
- 6) A. T. Edwards & T. D. Northwood, "Bull. Seismol. Soc. Am., 51, 191, (1961)"
- 7) H. W. Koch: Nobel Hefte, 24, 92, (1958).
- 8) R. Köhler: "Bohr-u. Sprengpraxis, 11, 204, (1958)" に引用。
- 9) U. Langefors, B. Kihlström & H. Westerberg: Water Power, 10, 335;390;421, (1958)
- 10) J. R. Theonen & S. L. Windes: USBM. Bull. 442, (1942)
- 11) F. Neumann: Proc. 2nd World Conf. Earthq. Eng., 849, (1960)
- 12) F. L. Meister: 文献 14) に引用。
- 13) 中川恭次: 建築雑誌, 69, 8, (1954)
- 14) 名和小太郎: 土木施工, 4, [6], 35, (1963)
- 15) 名和小太郎: 工火誌, 22, 156; 211; 272, (1961)
- 16) 名和小太郎: 工火誌, 23, 61, (1962); 24, 73, (1963)
- 17) 名和小太郎: 工火誌, 24, 281, (1963)
- 18) 名和小太郎: 工火誌, 25, 280, (1964)
- 19) 名和小太郎: 工火誌, 25, 322, (1964)

Vibrations Due to Blasting and Their Effects on Structures

by K. Nawa

The present paper deals with vibrations in blasting and their effects on structures. The results are as follows:

- (1) The frequency and the duration of vibrations in blasting differ from those of earthquake.
- (2) In blasting, earthquake damage scale is not applicable as damage-causing criteria of vibrations.
- (3) The effects of vibrations in damaging structures are determined by the amplitude of the particle velocity.
- (4) The damage of structures appears in case that the amplitude of vibrations is over 1-2 kine.

(Asahi Cematic Industry Co. Ltd., Sakanoichi Plant)

AN-FO 爆薬に関する研究(第2報)

性能試験結果について(その2)

吉田 正・赤羽 周作

田中 雅夫・松本 栄*

1. まえがき

先に鉾山保安局、鉾山局および軽工業局よりの依頼にもとづいて行なった、発火点をはじめとする6項目についての試験結果については、第1報¹⁾において報告した。AN-FO 爆薬については内外ともすでに極めて多くの研究報告が見られ、その利点を認めるとともに実施面でも急激に伸長の勢いを示している。しかしながら未だ多くの研究の余地が残されているものと思われる。とくに AN-FO 用のブリル硝安の製造については、わが国の歴史はいまだ浅いのが実状であり、製品の生産増加に従って急速に改良が進みつつあると見られる。一方装てん機についても今なお改良の過程にあるようであるが、われわれは新しく試作された各種装てん機についてのテストを行ない性能を比較する一方、高速度撮影によつて装てん状況の解析を試み

た。さらに AN-FO 爆薬の爆速については影響する因子が極めて多く、短時日にそのすべてを解析することは不可能であり、とくに前述のように硝安の性状がまだ必ずしも安定してない現状においては結論を求めることはできなかつたが、一応いくつかの因子を取り上げて検討を加えた。

また AN-FO 爆薬に導火線を用いたところが、立ち消えのおそれがあるとのことから導火線の耐油性についても検討を加えた。以上の3項目についての結果を報告する。

2. 実験試料

硝安は主としてS社の白色多孔質粒状のブリル硝安を用い、一部M社のブリル硝安を用いた。その粒度分布についての測定は、Table 1, Fig. 1 のとおりであり、同一会社の製品についても各ロットごと、各袋ごとに若干の相違が認められた。

燃料油は前報¹⁾と同じ成分の日本石油製ディーゼル

昭和39年11月4日受理

* 資源技術試験所 東京都北区浮間町