

電磁誘導起爆法による時間差発破について

谷口敬一郎*, 井上啓司*, 田中幹雄*

遠隔起爆法による水中での時間差発破はいままでのところ実用例はないが、将来この工法が多用されるようになると、このような必要性が生じてくるものと思われる。

電磁誘導起爆法では、その原理的な立脚点から比較的容易に段発ないしは時間差発破を行うことが可能と思われる。この報告では、時間差発破の方法、ならびに室内実験の結果について述べ、さらに、それ等の結果に基づいて実施した実際規模の野外実験の方法および成果について説明している。

実験の結果、励磁ループに流す電流の周波数を変えることにより、その周波数に同調した特定のブラスターのみが点火されるという選択的起爆法が可能となり、3種類の周波数による3段の点火実験に成功した。

1. 緒言

通常の有線起爆法の適用が困難な場合の水中発破に遠隔起爆法を採用するのは、きわめて有効な方法である。遠隔起爆法を用いた水中発破の実例としては、超音波法による本四連絡橋南備讃瀬戸大橋5P地点の海底掘削と、電磁誘導法による来島海峡コノ瀬の岩礁除去工事および南備讃瀬戸大橋6P地点の海底掘削とが挙げられる。これらはいずれも多数孔の斉発による施工であるが、将来このような工法が多用されるようなことになると、施工能率の上から段発ないしは時間差発破工法の要求度が高くなるものと予想される。

遠隔起爆法による段発はいままでのところ実用例がないが、電磁誘導現象を利用した起爆法では、その原理的な立脚点から比較的容易にその目的を達成することが可能と思われる。本報告ではその前段階的方法として電磁誘導起爆法による時間差発破の原理的方法、実験的研究の結果ならびに実際の規模のもとに実施した野外実験の成果等について述べるものである。

2. 時間差発破

電磁誘導起爆法では、Fig. 1の原理図で示されるように、励磁ループによって作られる交番磁界の中に、これと同調した受信コイルをもつブラスター（起爆素子）が設置され、コイルに誘起された起電力が点火エネルギーとして利用される。この同調周波数は550ヘルツ

が採用されているが、その根拠は便宜的なものであり、励磁電流と受信コイルの同調周波数が一致しているかぎり、多少の周波数の変更がなされても、原理的な不都合はない。ただし、周波数が低くなると、誘起電圧が低下し、高くなると、海水による電磁界の減衰が大きくなるということには留意すべきである。

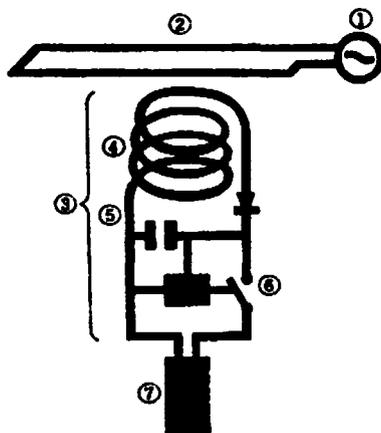


Fig. 1 Schematic diagram of the blaster

- ① Oscillator ② Exciting loop ③ Blaster
④ Pick up coil ⑤ Firing condenser
⑥ Electric switch ⑦ Cap

したがって、現用している550ヘルツ付近において、同調周波数の異なるブラスター F_1, F_2, \dots, F_n を設置しておき、励磁ループに各ブラスターに同調する電流を流せば、選択的にブラスターが作動することになる。

昭和55年9月11日受理

*関西大学工学部土木工学科

〒564 吹田市千里山東3丁目10-1

TEL 06-388-1121

このような方式を採用する場合、他の周波数の磁界に感応してプラスターが誤動作するという危険性に対しては、慎重な配慮が必要である。

選択的な点火の誤動作を避けるためには、それぞれの同調周波数の間隔を十分に大きくすれば問題がないが、一方では余り周波数が異ると、電源設備が大がかりとなったり、プラスターの製作技術上の困難さ等を伴うことになる。適当な同調周波数の間隔は実験的に決められることが望ましい。

3. プラスターの同調特性

同調周波数の決定には、それぞれのプラスター固有の同調特性が大きな要素となる。すなわち、帯域幅が狭く鋭い同調特性であれば、周波数の間隔は狭くてよく、これに反して、帯域幅が広ければ、間隔を十分大きくとる必要がある。

実験に供したプラスターは基本的に日本油脂㈱製のLB-4W型と同等のものであるが、とくにこの実験の目的に沿うよう、同調周波数 f_0 を400、550および750ヘルツとして3種類のプラスターを試作したもので、それぞれ、 F_1 、 F_2 および F_3 型とよぶことにする。この中、 F_2 型は標準仕様の550ヘルツである。各プラスターとも、直径7.6cm、長さ92cmの円筒型であり、同調コイルは5,500回巻きである。同調周波数の変化はコイルと並列にいられた同調コンデンサーの容量を変えることによって得られている。Fig. 2はその外観を示している。

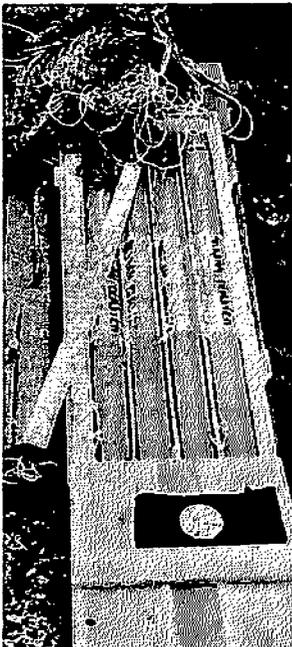


Fig. 2 External appearance of the blaster

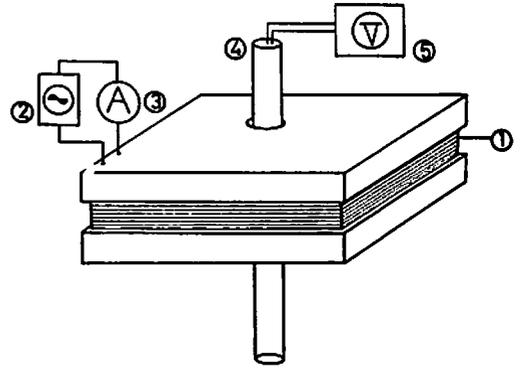


Fig. 3 Arrangement of laboratory experiment
① Exciting loop (1m x 1m, 30 turns) ② C-R oscillator ③ Ammeter ④ Blaster ⑤ Oscilloscope

各プラスターの同調特性を調べるための測定装置の概略がFig. 3に示されている。励磁ループは一辺が1mの正方形で、巻数は30である。励磁電流の電源としては、一般市販のCR型低周波発振器を用い、いずれの場合も励磁電流 I は一定値12mAとした。

この場合、励磁ループの中心に生ずる垂直磁界 H_{0z} は、

$$H_{0z} = \frac{I}{\pi} \cdot \frac{\sqrt{2}}{a} \cdot N = 0.45 \frac{NI}{a}$$

で与えられる³⁾。ただし、 N は励磁ループの巻数、 a は正方形ループの辺長の1/2である。これに上述の諸値を代入すると、

$$H_{0z} = 0.324 \text{ (AT/m)}$$

が得られる。

同調周波数付近の交流電流12mAを60秒間ループに通電した後、電流を遮断すると、プラスターの出力端子にパルス状の点火電流が流れる。このときの電圧ピーク値をシンクロ・スコープで観測し出力電圧とする。発振器の周波数を変えて以上の測定を繰り返し、周波数と出力電圧との関係を求めれば、プラスターの同調特性が得られる。

Fig. 4はこのようにして求めた各プラスターの同調特性をまとめて図示したものである。図から明らかなように、それぞれのプラスターは鋭い単峰性の同調特性を有しており、他のプラスターの同調周波数に感応して誘起される出力電圧はきわめて小さな値である。この結果において、相互影響が最も大きいのは、 F_2 のプラスターに同調した550ヘルツによって、 F_3 に出力電圧が生ずる場合であり、このときの値は0.8Vである。水中発破用の雷管EDX-2が標準仕様において点

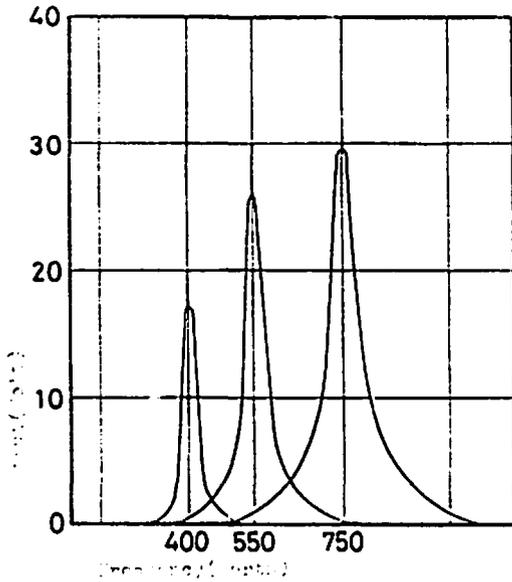


Fig. 4 Resonance curves of three blasters

火されるのに要するエネルギーは2.4m Jouleで、点火用コンデンサーの容量が $20\mu F$ であることから、必要最低電圧は約15.5Vとなる。したがって、この程度の出力電圧が生じたとしても、誤点火のおそれはない。 F_1 ならびに F_3 の同調周波数における他のブラスターへの影響は0に近く、全く問題とならないことが判る。

Fig. 3と同じ装置を用い、励磁ループの中心部に F_1 、 F_2 および F_3 の3本のブラスターを併立させてそれぞれに点火玉を接続し、まず、400ヘルツ、12mAの電流を60秒間通電して切ると、 F_1 に接続された点火玉のみが点火される。つぎに F_1 に新しく点火玉を付け換え、550ヘルツの電流を60秒通電すると、 F_2 の点火玉のみが点火される。750ヘルツに対して F_3 も同様である。このようにして、実験室内において、励磁電流の周波数を変えることにより、選択的に起爆しうることが確かめられた。ただし、この点火法では、ブラスターに点火エネルギーを十分に貯えるのに30~60秒を要するので、段差時間をこれ以下に短縮するのは困難である。

励磁ループに同時に数種類の周波数の電流を流して、順次切断することによる段発法も考えられるが、この問題については、なお検討すべき点があり、今後の課題と思われる。

4. 野外実験

実際の規模による電磁誘導起爆法の時間差点火の実験を香川県坂出市番ノ州埋立地において実施した。埋立地盤は砂質土からなり、地下水位は地表下1m、水質は海水に近い。

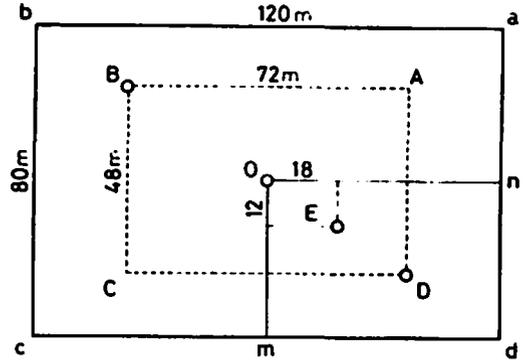


Fig. 5 Shape of exciting loop and positions of measuring points

励磁ループの大きさはFig. 5のabcdで示されるように、120m×80mの矩形で、 $14\text{mm}^2 \times 3$ 心のキャブタイヤ線を用い、3心を直列に接続してループの巻数 $N=3$ 、として使用した。ブラスターが設置される掘削範囲は72m×48mで、ABCDで示されている。B、O、E、Dの4点はボーリング孔の位置を表わし、その深さは30m、口径は90mmである。この孔中にブラスターを垂下して、ループ面下方における起爆の実験も行った。

(1) ブラスターの出力電圧

発電機によって励磁ループに550ヘルツ、29Aの交流を流し、ブラスターを地表上の各測点ならびにボーリング孔中に置き、通電60秒後の出力電圧を測定した。

Fig. 6は地表面における測線O-m、O-nに沿って測定した結果を示すものである。図において、○は実測値、実線はこの励磁ループが空气中に張られた場合の理論値、破線はループが導電性媒質(土地)の表面に張られた場合の理論値を表わしている。実測結果はループの中央部では土地の影響を考慮した計算結果と非常によく一致しているが、ループに近づくやや値がずれてくる。これはループ近傍での磁界の傾度が大きいために、わずかの位置誤差が大きな電圧変化となって現われるのが原因と考えられる。いずれの場合においても、掘削範囲内での出力電圧はほぼ一定の安定した値が得られている。

Fig. 7はボーリング孔内における出力電圧の変化状態を示すもので、○、実線、破線の変示はFig. 6と同様である。いずれもループ面より地中の方へ遠ざかるに従って、出力電圧は低下するが、ループ中心のO点では変化が少なく、周辺部に近いほど垂直位置における変化が大となる。

(2) 時間差点火の実験

実験はTable 1に示されるように、計8回にわたっ

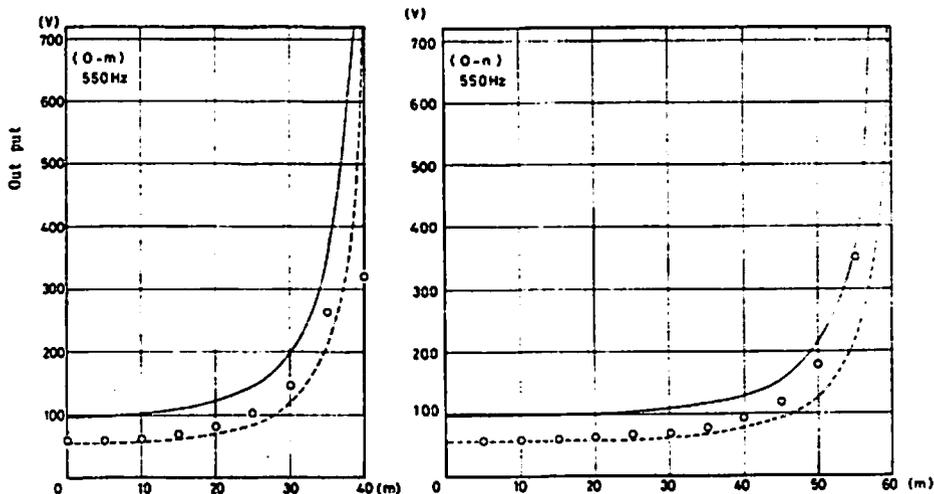


Fig. 6 Outputs at the surface
(a) along O-m
(b) along O-n

Table 1 Results of field experiments

		Ex. 1	Ex. 2	Ex. 3	Ex. 4	Ex. 5	Ex. 6	Ex. 7	Ex. 8	
Freq. of exciting current (Hertz)		550	750	400	400	551	750	550	400	
Exciting current (A)		28.7	25.0	32.5	32.5	29.5	27.0	29.6	32.5	
Boring holes	B	$h=15$ F_2 ○	$h=15$ F_2 ×	$h=15$ F_2 ×	$h=15$ F_3 ×	$h=15$ F_3 ×	$h=15$ F_3 ×	$h=15$ F_3 ○		
	O	$h=15$ F_2 ○	$h=15$ F_2 ×	$h=15$ F_2 ×	$h=15$ F_1 ○	$h=15$ F_1 ×	$h=15$ F_1 ×	$h=0$ F_1 ×	$h=0$ F_1 ○	
	E	$h=15$ F_3 ×	$h=15$ F_3 ○	$h=15$ F_3 ×	$h=15$ F_2 ×	$h=15$ F_2 ○			$h=15$ F_2 ○	
	D	$h=15$ F_1 ×	$h=15$ F_1 ×	$h=15$ F_1 ○	$h=15$ F_2 ×	$h=15$ F_2 ○				

○ : Fired, × : Non-fired, h : Depth of blaster (m),

F_1, F_2, F_3 : Type of blaster, resonance freq. is 400, 550 and 750 hertz respectively.

て実施されたが、その方法について Ex. 1 を例にとり説明することとする。使用したブラスターは室内実験において用いたのと同じもので、同調周波数が 400 ヘルツ (F_1)、550 (F_2)、750 (F_3) の 3 種類である。各ブラスターの出力端子に EDX-2 号雷管を接続し、B 孔ならびに O 孔に F_2 を、D 孔に F_1 を、E 孔に F_3 を、それぞれ地表から -15m の位置につり下げた。励磁ループに 550 ヘルツ、28.7A の交流を流し、60 秒後に切断すると、同時に B 孔および O 孔で雷管の爆音ならびに振動が認められ、D、E 孔では異常が認められなかった。確認のため、各ブラスターはボーリング孔から

引き上げられ、雷管の発火または不発火が検証された。この結果は表中に ○印または ×印で表わされている。実験の結果は予期通り、550 ヘルツの励磁電流に対して F_2 のみが作動し、 F_1 および F_3 は作動せず、選択的な点火を行うことができた。

Ex. 2 の実験は同様な方法で 750 ヘルツを通电し、Ex. 3 では 400 ヘルツを通电した。それらの結果は、それぞれの周波数に対応したブラスターのみが発火した。

Ex. 4~6 の実験はブラスターの配置を変更して、Ex. 1~3 と同様な実験をくり返したもので、結果は前

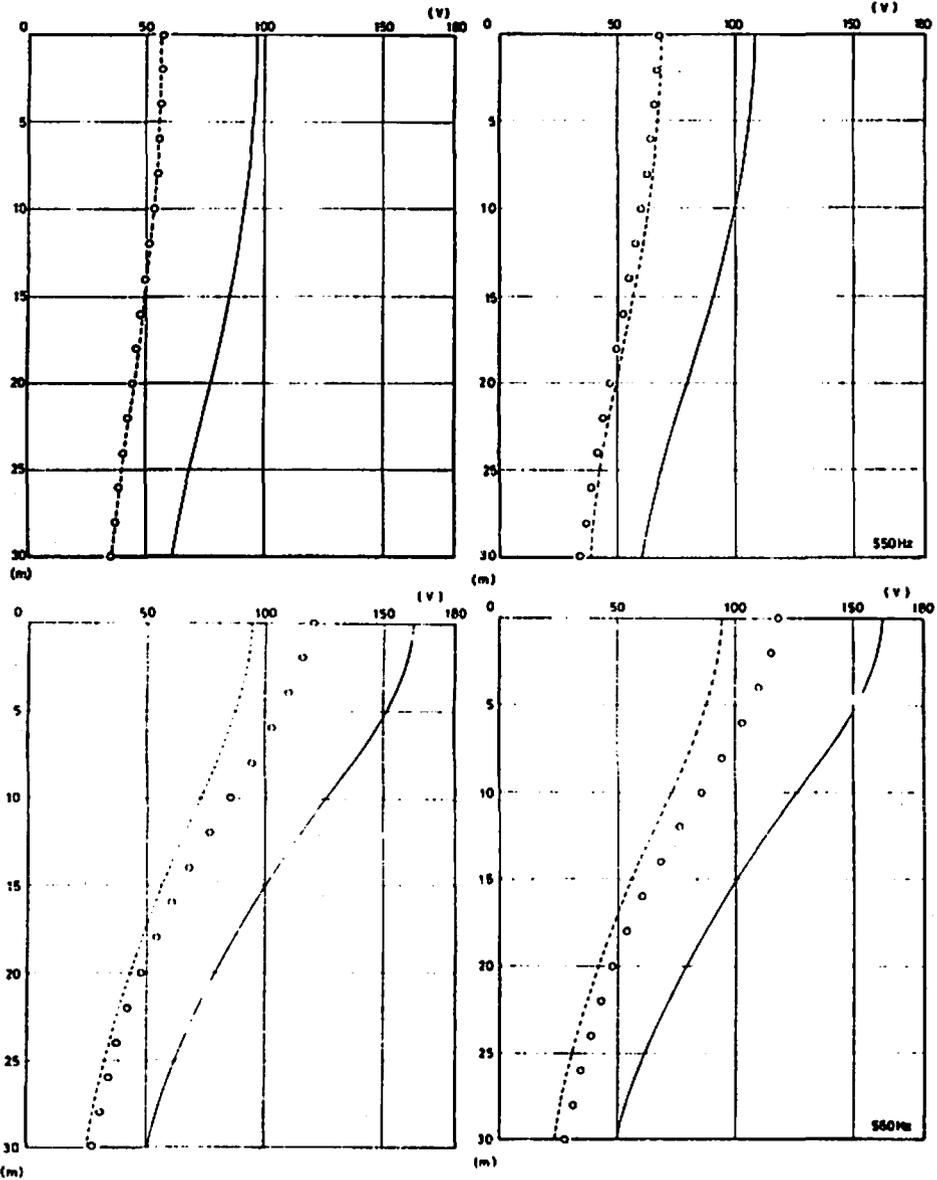


Fig.7 Outputs in the boring holes

と同様に選択的な発火が確かめられた。

Ex. 7~8の実験はプasterを地表において行ったもので、地中に較べて磁界強度がかなり大きくなってゐるが、発火に異常はなかった。

5. 結論

電磁誘導起爆法では励磁電流に同調した誘導起電力を点火エネルギーとすることから、周波数による選択的起爆方法を考えた。この原理に基づいて、室内および野外における諸実験を実施した結果、いずれの場合も予期通りの成果を収めることができた。ただ、これらの実験では、時間差が60秒以上必要で、いわゆる普

通の段発という概念からは遠い。1秒以下の段差に関しては、なお検討すべき問題があり、今後引き続いて研究を進める予定である。

これらの実験を行うに当っては、本州四国連絡橋公団坂出工事事務所の関係各位ならびに日本油脂㈱研究開発部の方々の多大な御援助を頂いた。ここに深甚の謝意を表する。

文 献

- 1) 植田武雄, 中野雅司 工業火薬協会誌, 35, 5, 211 (1974)
- 2) 谷口敬一郎, 工業火薬協会誌, 37, 3, 144 (1976)

- 3) 谷口敬一郎, 工業火薬協会誌, 38, 1, 3 (1977)
4) 谷口, 井上, 山川, 酒井, 工業火薬協会誌, 39, 5, 261 (1978)
5) 谷口, 井上, 酒井, 田中, 工業火薬協会誌, 40, 6,

408 (1979)

- 6) 谷口, 井上, 酒井, 田中, 工学と技術, 8, 4, 90 (1979)

Experimental Studies on Delay Blasting by Electromagnetic Firing Method

by Keiichiro TANIGUCHI*, Keiji INOUE* and Mikio TANAKA*

The delay blasting by the remote control blasting (R. C. B.) has not been used in the actual field, but it will become to be required in accordance with the development of the underwater blasting by R. C. B. In the electromagnetic firing method, the delay blasting seems to be a possible problem from the view of that standing.

The authors propose in this paper that the selective firing is satisfied by using the characteristic frequency resonance of the blaster. For this purpose three types of blaster were prepared of which resonant frequencies were 400, 550 and 750 hertz respectively. By taking exciting current to tune in one of the blasters, only this blaster was fired, and the others were done in the similar ways.

Some laboratory and field experiments were carried out and the their results were coincided with the expectations.

(*Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kansai University, 3, Senriyama-Higashi, Suita, Osaka.)

ニュース

事故情報—雷管工場爆発事故(Ⅱ)

インド, Hyderabad の IDL Chemicals 社の雷管製造工場で1980年10月30日午前1時30分爆発事故が起った。気象は, 温度26℃, 相対湿度66%, 降雨なしであった。計量・圧搾工室内に三方が厚さ40cmの強化コンクリート壁を有する小室を設け, その中にアジ化物-スチフニン酸塩-アルミニウム混合物を装入する計量装置(燐青銅製)を設置されていた。計量装置の機能不全のためグループリーダーが目視による装置の点検を行ない, 帰って来た時に爆発が

起った。薬量は上記混合物約1.2kgであった。原因は設備の上下装置が動かなくなったのに無理して引上げたためらしい。被害は, 重傷者1名, 軽傷者2名で, 建物, 土堤等に相当の被害があった。対策としては, 装置の機能不全の調査は管理者が, またはその管理と指示の下で行なうこと, 上下装置の設計の再検討を行なうことである。

出典: 国際火薬類事故情報交換会報告

Accident Report No. 369 (衣山太郎)