

探査事例の少ない爆弾の探査計画の立案について

日本物理探鑑株式会社 星野 勝重

1. はじめに

戦時中の空爆目標（軍事工場等）に近い場所は、不発弾が埋没している可能性がある。工事の際は、不発弾による事故を未然に防止するため、事前に不発弾探査を行うことが望ましい。その中で今回、探査事例の少ない爆弾の探査を実施する機会があり、その実施までの弾種選定やその探査範囲などの計画・立案についてご紹介する。

2. 不発弾探査とは

現在、爆弾そのものを発見する方法は皆無であるが、爆弾がその重量の約 50～80%が鉄であることに着目し、鉄類の有無を探査する方法が不発弾探査として有効性が高い。

鉄類を対象とした探査は電気探査・電磁探査・磁気探査とあるが、地下水（海水）の影響を受けない・強磁性体のみ反応する・磁気量の大きさを数値として測定できることから磁気探査が最適な手法である。

磁気探査はセンサから電磁波等を出力して計測しているものではなく、鉄類の横をセンサが移動（鉄類が持つ磁界内を通過）することでセンサ内のコイルに起電圧が発生し、これを測定することで磁気反応の有無を判定している。

3. 探査計画の立案

旧軍事施設付近で仮設棧橋設置に伴う H 鋼打設工事が発注された。当該地域での不発弾探査の必要性の検証と探査計画立案のため、資料調査及び設定事項の決定を行った。

(1) 資料調査

空爆目標付近の工事現場において、まず不発弾探査が必要であるかの検証を行う。これには米軍のミッションレポート、日本の空爆被害記録等の現在公開されている資料（表-1；参照）や終戦後米軍が撮影した航空写真等（図-1；参照）を調べることになる。

表-1 空爆資料整理結果¹⁾

| 日付 | 機種 | 投弾機数 | 弾種 | 投下量 | 投下数 | 投下高度 | 巡航速度 |
|----------|------|------|---------|-----|------|-------|---------|
| S20.1.9 | B-29 | 1 | 250kg爆弾 | 2t | ※約8発 | 9174m | 400km/h |
| S20.2.17 | TBM | 10 | 1t爆弾 | 10t | 10発 | 762m | 418km/h |
| | SB2C | 12 | 500kg爆弾 | 6t | 11発 | 609m | 475km/h |
| | | | 125kg爆弾 | 3t | 21発 | 609m | 475km/h |
| S20.7.24 | F6F | 16 | 250kg爆弾 | 6t | 25発 | 762m | 610km/h |
| S20.7.25 | F4U | 3 | 250kg爆弾 | 1t | 3発 | 914m | 695km/h |
| S20.7.28 | F4U | 9 | 250kg爆弾 | 1t | 2発 | 914m | 695km/h |
| S20.7.29 | TBM | 1 | 125kg爆弾 | 1t | 4発 | 762m | 418km/h |

※投下数について、※印が付いているものは投下量から爆弾重量を割り算出したため実際の数と異なる可能性がある



図-1 米軍による航空写真(1946年撮影)²⁾

これらの資料により、攻撃目標・投下された爆弾の種類および量・爆撃機の数・投下高度等が判明し、航空写真の爆発痕より攻撃目標からどの程度離れた範囲まで被害が及んでいるかおおよそわかる。

本現場においても資料整理の結果、不発弾探査の必要性が確認された。

(2) 探査対象(磁気量)の設定

各種爆弾の持つ磁気量の分布は、自社実験および実測データ（1951～1982）により、概ね判明している（図-2；参照）。資料調査により投下された弾種が判明することで、探査対象が決定され、解析しなければならぬ磁気量が決定される。この時、安全側に立ち、投下された爆弾の内、最も小さい爆弾の磁気量分布の最小値を採用する。

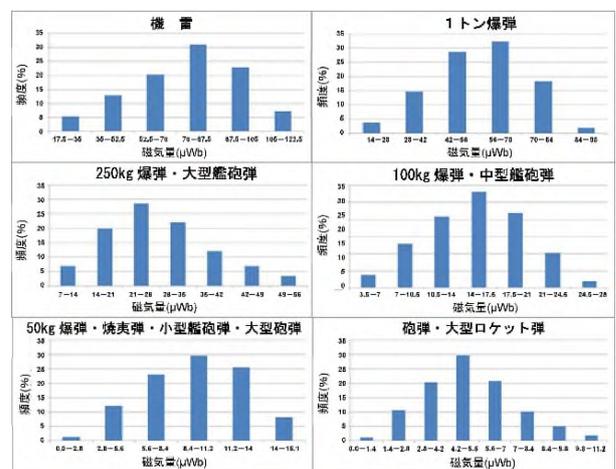


図-2 爆弾の持つ磁気量分布

本現場付近に投下された爆弾は表-1 のとおり 125kg, 250kg, 500kg, 1t 爆弾の 4 種類であった。このため、探査対象として、この中で最も小さい 125kg 爆弾を検出する必要がある。しかし、この 125kg 爆弾は探査事例が極めて少ない爆弾であったため、爆弾の持つ磁気量の分布は判明していない状況であった。そこで、磁気量分布の判明している爆弾で 125kg 爆弾より一回り小さいものである 100kg 爆弾の値を使用することとした。これは、基本的に同じ形状・材質の磁性体では、その大きさにより磁気量の大小が変わってくるためであり、125kg 爆弾と 100kg 爆弾の持つ磁気量を比較すると 100kg 爆弾の方が小さい値になることが予想されることから、100kg 爆弾の最小磁気量 3.5μWb (マイクロウェーブ) を採用することにした。

(3) 探査有効範囲の設定

探査有効範囲とは、探査対象が有する最小磁気量を磁気センサが検知できる範囲のことである。この探査有効範囲は、取得信号の S/N で決定される。S とは対象となる不発弾からの信号 (S) であり、N とは対象以外のノイズ (N) である。よって、検出すべき磁気量の値が大きい若しくはノイズ成分が少ない記録ほど探査有効範囲は広くなり、磁気量が小さい若しくはノイズが大きい記録ほど探査有効範囲は狭くなる。

前述のとおり、探査対象の最小磁気量値を 3.5μWb としたため、センサがこの値を検知できる距離が探査有効範囲となる。当社の実験・経験則によるデータより磁気量 3.5μWb の探査有効範囲は半径 1.2m である。よって、本現場の探査有効範囲を半径 1.2m とし、工事施工範囲を網羅するよう探査孔の位置を設定した。ただし、現場付近には既設護岸構造物があり、これが磁気影響物 (ノイズ源) となり、一部探査有効範囲が半径 0.4m となる範囲があった。

(4) 埋没深度(探査深度)の設定

高高度から投下された爆弾が地中内のどの深度まで埋没するかは運動方程式を解くことにより、求めることができる。

弾種・飛行高度・飛行速度より、投下された爆弾の地表面における突入速度・突入角度を求めることができ、この値と現場周辺の柱状図 (土質・N 値・層厚) より、投下された爆弾が埋没する最大深度が計算できる。また、柱状図や弾種・飛行条件が複数ある場合は、それぞれ計算を行い、計算結果が最も深い値を採用する。

尚、空中・地中での運動はあくまでも直線的に動くことを仮定したものである。実際には流体力学的な揚力・浮力等がかかり浅くなることが予想されるため、この計算結果まで探査を行えば十分であると言える。

本現場付近に投下された爆弾は前述のとおり 4 種類であるが飛行条件を考慮すると 7 通りのパターンとなり、それぞれの埋没深度を計算すると表-2 のとおりとなる。この中で最も深くまで埋没する条件は③となるため、この値を採用した。

表-2 埋没深度計算結果

| 条件 | 弾種 | 巡航速度 (km/h) | 飛行高度 (m) | 突入速度 (m/s) | 突入角度 (度) | 埋没深度 (GL, m) | 埋没標高 (TP, m) |
|----|-------|-------------|----------|------------|----------|--------------|--------------|
| ① | 125kg | 475 | 609 | 154.1 | 47.7 | -3.26 | -3.03 |
| ② | | 418 | 762 | 153.0 | 40.8 | -3.97 | -3.74 |
| ③ | 250kg | 400 | 9174 | 334.4 | 11.7 | -5.91 | -5.68 |
| ④ | | 610 | 762 | 183.7 | 51.2 | -4.63 | -4.40 |
| ⑤ | | 695 | 914 | 200.7 | 51.6 | -4.86 | -4.63 |
| ⑥ | 500kg | 475 | 609 | 157.8 | 48.2 | -4.49 | -4.26 |
| ⑦ | 1t | 418 | 762 | 159.3 | 42.0 | -5.06 | -4.83 |

この計算結果 (停弾深度) と工事の施工深度を比較し、施工深度が深ければ停弾深度を、浅ければ施工深度を探査深度として採用する。本現場では施工深度が停弾深度より深いので、探査深度は停弾深度を採用した。

4. まとめ

探査計画において採用する値は、常に安全側に立つ必要がある。探査対象にする磁気量については小さいものを、探査深度の設定においては深いもので設定する。

《引用・参考文献》

- 米軍資料：「Headquarters of XXI Bomber Command; Tactical Mission Reports」, 「THE AIR ATTACK IN THE PACIFIC 20TH AIR FORCE REPORT」, 「THE AIR ATTACKS IN THE PACIFIC Naval Air Force Report」, 「VB-17 (Hornet), Aircraft Action Report」, 「VT-17 (Hornet), Aircraft Action Report」, 「VF-17, VBF-17 (Hornet), Aircraft Action Report」, 「VF-1 (Bennington), Aircraft Action Report」, 「VBF-1 (Bennington), Aircraft Action Report」, 「VT (N)-91 (Bon Homme Richard), Aircraft Action Report」, 工藤洋三 (2018): 「アメリカ海軍艦載機の日本空襲」 工藤洋三 (※自費出版のため、出版社と著者が同じ) 平塚柁緒 (1995): 「米軍が記録した日本空襲」 草思社
- 国土地理院地形図 (に加筆), USA-M192-A-5-50