

磁気探査実施要領の解説

令和2年1月

沖 縄 県 土 木 建 築 部

はじめに

沖縄県土木建築部においては、工事を進めるにあたって、不発弾等による事故の未然防止を図るため、埋没不発弾等に対する磁気探査に取り組んできたところである。

磁気探査業務において、不発弾等の有無、埋没位置の把握を適切な技術水準にて実施するためには、機材・人材・仕様について以下の水準を確保する必要がある。

- ① 一定の性能を有した機材の使用
 - ・一定の性能を有した磁気探査機器を用いる必要があるため、磁気探査機器の検定を合格した機器を用いること。
- ② 一定の技術力を有した人材による監理
 - ・磁気探査業務において、一定の業務遂行能力を有した技術者が必要であるため、適切な資格を有する技術者であること。
- ③ 一定の作業水準を記した仕様に基づく探査
 - ・磁気探査の作業方法等を定め、一定の作業水準を確保する必要があるため、適切な実施要領に基づき作業を行うこと。

沖縄県土木建築部では、これらの技術水準の確保並びに維持、改善について継続的な対応を図り、公共事業を進めるにあたって不発弾等の爆発事故等から住民と作業者の安全の確保を図っていくこととしている。

その一環として今般、近年の磁気探査の実施状況等を踏まえ、「磁気探査実施要領」（以下、本要領と言う。）及び「磁気探査実施要領の解説」（以下、本解説と言う。）を制定した。

本解説は、磁気探査業務に携わる沖縄県土木建築部の発注者・受注者を対象として、不発弾等の有無、埋没位置の把握を適切に行う目的で定めたものであり、事前調査から資料解析等に至るまでの一連の必要事項について解説している。

なお、本解説は、現時点での実績・知見等を基に取りまとめたものであり、今後、新たな知見の蓄積により内容を随時改定していくこととしている。また、ここで記載している数値等は、あくまでも参考値であり、各現場においては、現場条件を勘案し現場にあった適切な磁気探査の実施に努められたい。

目 次

1 総 則	
1－1 目 的	1
1－2 適用範囲	1
1－3 用語の定義	1
1－3－1 磁気探査	1
1－3－2 不発弾、不発弾等	2
1－3－3 不発弾貫入深度	4
1－3－4 磁気量	7
2 探査計画	8
2－1 事前調査	8
2－2 探査計画全般	9
2－3 土木工事の工法等による探査方法の違い	11
3 探査方法	12
3－1 陸上水平探査	12
3－2 鉛直探査	17
3－3 経層探査	25
3－4 確認探査	28
3－5 その他の探査方法	31
4 解析及び成果等の整理	32
4－1 陸上水平探査	32
4－1－1 解析及び成果等の整理	32
4－1－2 陸上水平探査の解析作業フロー	33
4－2 鉛直探査	34
4－2－1 解析及び成果等の整理	34
4－2－2 鉛直探査の解析作業フロー	35
4－3 経層探査	36
4－3－1 解析及び成果等の整理	36
5 探査機器の精度管理	38
5－1 探査機器の精度管理	38
参考資料	45
参考－1 磁気探査機器の例	46
参考－2 解析理論	50
巻末資料	57
資料－1 埋没不発弾等の磁気探査要領の改訂について	58

1 総 則

1-1 目 的

本要領は、不発弾等探査において、不発弾等の有無、埋没位置の把握を適切に行う目的で定めるものであり、探査計画、探査方法、解析等の必要事項について取りまとめたものである。

【解 説】

磁気探査による不発弾等の探査は、直接不発弾等を検知する方法ではなく磁気の異常を検知する方法なので、他の磁化した鉄類も同様に検知される。このため他の磁化した鉄類と不発弾等との判別が難しい。また不発弾等は種類が多く、適切な方法で探査を行う必要がある。本要領は磁気探査を効率よく、かつ、正確に実施するための必要事項について取りまとめたものである。

1-2 適用範囲

本要領は、沖縄県土木建築部が発注する業務（工事と合わせて発注した場合を含む）で実施する磁気探査に適用する。

なお、本要領の第3章以降は、沖縄県内において最も多く使用されている両コイル型磁気傾度計を対象に取りまとめたものである。

【解 説】

本要領の適用範囲を定める。本解説は沖縄県内の資料を収集したものであり、他地域で実施されている磁気探査とは仕様が異なる。

1-3 用語の定義

本要領で定める用語の定義は、以下のとおりとする。

【解 説】

本要領に用いられる用語のうち、特殊用語について説明を加える。

1-3-1 磁気探査

磁気探査とは、不発弾等の有無、埋没位置の把握を目的として、不発弾等の危険物が主に鉄類で出来ていることを利用して、磁気変化を探査計で測定する不発弾等探査をいう。

磁気探査において、具体的な各種探査方法は次のとおり。

①陸上水平探査

平坦地などにおいて平面的に探査を実施した後、解析を行い不発弾等の有無、埋没位置の把握を行う方法。

②鉛直探査

ボーリング孔を用いて鉛直方向に探査を実施した後、解析を行い不発弾等の有無、埋没位置の把握を行う方法。

③経層探査

陸上水平探査後に地表面を掘削し、掘削面毎に水平探査を行うかたちで、必要な探査深度まで層毎の掘削と水平探査を繰り返し行う方法。

④確認探査

陸上水平探査等より明らかとなった磁気異常点が不発弾等か他の鉄類かを判断するため、磁気異常点まで掘削しその物を確認する発掘確認作業、撤去・回収作業(磁気異常点が不発弾等でなかった場合)、および磁気異常物が撤去・回収された後に磁気反応の有無を確認する一連の方法。

【解 説】

地球磁場内で鉄類が磁化して、鉄類の周囲に微弱な磁気異常が生じる。一般に磁気探査とは、この磁気変化を探査計で測定し、その磁気異常から地下の状況を解析する方法で主に鉱物資源調査に利用されている。

磁気探査では、磁気量、位置(深度、距離)等を明らかにする。磁気探査とは、磁気異常物体である不発弾等を探す1方法であるが、探査の結果得られる磁気異常点においては不発弾等以外の磁化物体も検知される。

地球磁場・・・地球磁場はコアの電磁流体现象により生じる磁場である。これは不発弾等の磁気量に比べ非常に強く約1,000倍である。不発弾等鉄類の磁気は地球磁場に感應した磁気であり、磁石が南北を指すのもこの影響である。日本列島の全磁力値は45～50 μ T(マイクロテスラ)である。

探査計・・・磁気探査に用いられる探査計は、作動原理の異なるいくつかの種類がある。このうち沖縄県内において不発弾等探査に用いられる主なものは次のとおりである。

①両コイル型磁気傾度計

②フラックスゲート型磁力計

鉄 類・・・鉄類とは、鉄、ニッケル、コバルト等の合金類が磁性を帯びるものをいい、稀に磁気を帯びた岩石や砂鉄が磁気探査で検知されることがある。

1-3-2 不発弾、不発弾等

不発弾とは、火砲から発射された砲弾や航空機から投下された爆弾等で、地上等に落下したが発火せず“不発”となったもの、あるいはその疑いのあるものをいう。

不発弾等とは、不発弾と爆弾、砲弾(艦砲弾、各種火砲弾及び迫撃砲弾をいう。)ロケット弾、地雷、機雷、手榴弾等の未使用の爆発物をいう。

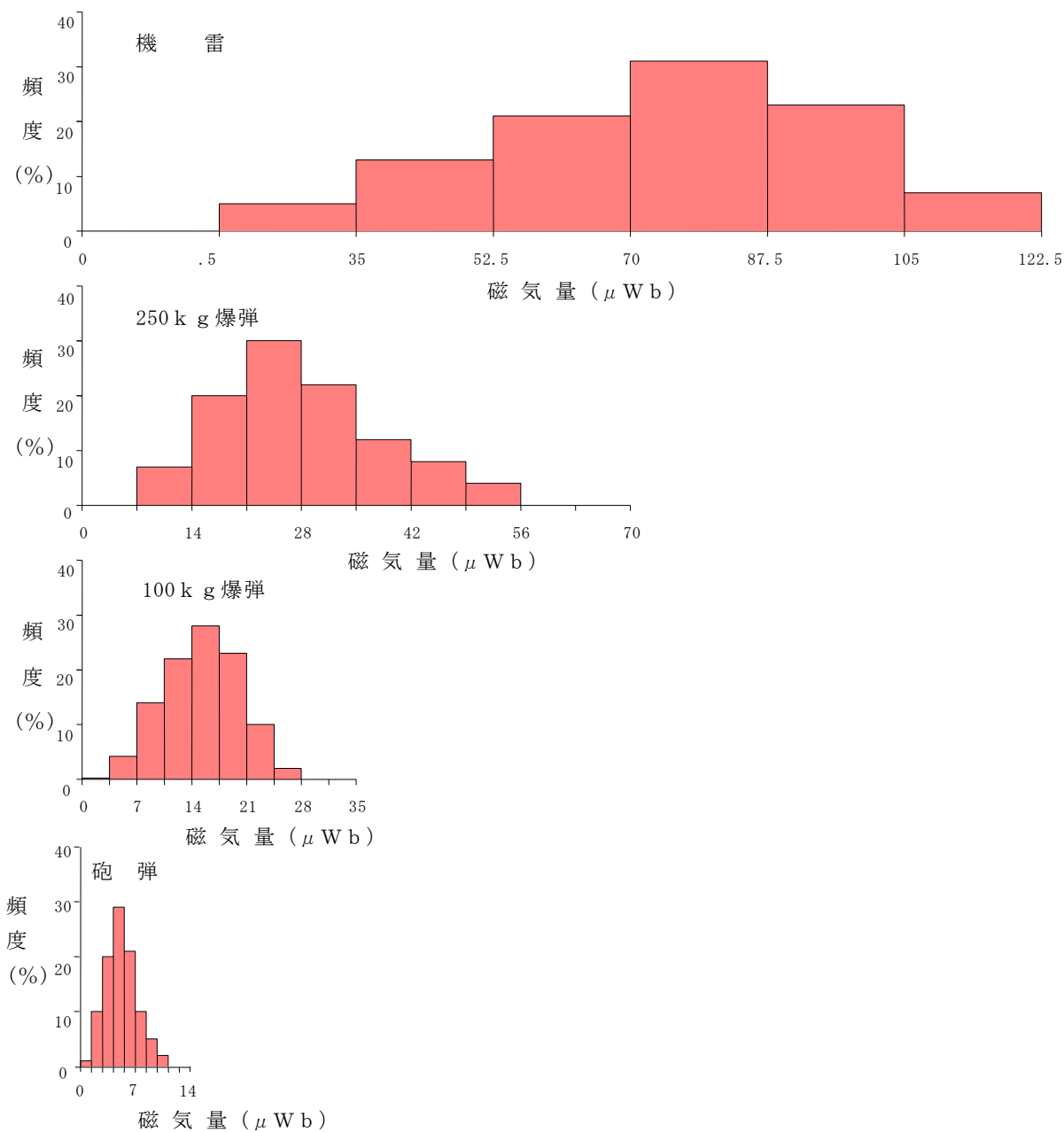
【解 説】

不発弾等の形状は多種類あり、専門家(自衛隊等)の鑑定によらなければならないが、以下に不発弾等と磁気量について記す。

不発弾等と磁気量の関係は、不発弾等の大きさや材質により異なる。また地中での不発弾等の向きや埋没時期等により同一不発弾等でも磁気量にばらつきがある。

各砲爆弾等における磁気量毎の頻度分布(N社データ)は、磁気量の大小と不発

弾等の大小が概ね比例することを整理したものである。不発弾等の磁気量はある幅の中に分布するが不発弾等の埋没条件は一様ではないため、図に示す磁気量より小さい磁気量で不発弾等が発見される可能性もある。



各砲爆弾等における磁気量毎の頻度分布(N社データ)

1-3-3 不発弾貫入深度

不発弾貫入深度とは、投下された爆弾や砲撃された砲弾等が爆発せずに地中をつらぬいて到達した深度をいう。

【解 説】

不発弾の埋没深度は、同一不発弾においても土質により相当異なる。一般的にN値が大きい時は浅く、N値が小さい時は深くなるので、地盤のN値分布を考慮した深度計算により不発弾の貫入深度を推定する。

計算式の考え方は、爆弾の運動方程式を解くことにより、地中での爆弾の速度が0となるまで、地表から停止位置までのN値に応じた貫入深度を累積し深度を求める方法である。この方程式を考案し利用した探査は、昭和52年の国鉄浜松駅連続立体高架工事に際してであり、考案者は渡辺 健氏(当時日本物理探査株式会社所属、理学博士・技術士)である。

(1) 落下方程式・空中の運動

飛行機から投下した時、爆弾は飛行機と同じ速度を持つと考えられる。その後の運動は『速度の2乗に比例する抵抗(空気抵抗)を受ける物体の運動』として、解くことができる。その運動方程式は次のとおりである。

座標原点を飛行機の投下位置として、X軸を飛行方向(+)
Z軸は鉛直で下方を(+)とする。

$$m \cdot \frac{d^2 X}{dt^2} = -k v^2 \cos \theta \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$m \cdot \frac{d^2 Z}{dt^2} = -k v^2 \sin \theta + m g \quad \dots \dots \dots (2)$$

v : 爆弾の速度(m/sec)
m : 爆弾の質量, 重量(kgf)÷9.8m/sec², (kg)
θ : 爆弾の進行方向の水平面(X軸)となす角度(deg)
g : 重力加速度(9.8m/sec²)
k : 抵抗係数=ρ・S・Cd/2
ρ : 空気の密度(約1.27kg/m³)
S : 爆弾などの断面積(m²)
Cd : 形状係数 砲・爆弾=0.7

$$v = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} \dots\dots\dots (3)$$

$$\tan \theta = \frac{dz}{dt} \div \frac{dx}{dt} \dots\dots\dots (4)$$

この式で着地速度を計算すると、
 250 kg 爆弾で、200～319m/sec
 100 kg 爆弾で、199～280m/sec となる。

(2) 貫入深度の計算

爆弾は着地速度を持って地中に貫入する。貫入中は固体摩擦抵抗と流体的な抵抗を受けて速度が遅くなり、やがて地中に停止する。この静止した深度を貫入深度とすると次の運動方程式を解けばよい。

$$m \cdot \frac{d^2Z}{dt^2} = mg - F - kv^2 = -F' - kv^2$$

$$v = \frac{dZ}{dt} \quad F' = F - mg$$

F : 固体摩擦抵抗 (kg・m/sec²)

k : 流体抵抗 (kg/m)

次に各々の地層での速度を地表から計算して停止深度を求める。
 速度の計算式は次のようになる。

$$V = \sqrt{\left(\frac{F'}{k} + V_o^2\right) \exp\left(\frac{2kZ}{m \cos \theta}\right) - \frac{F'}{k}}$$

F' = F - mg : 抵抗値 (kg・m/sec²)

V_o : 爆弾の着地速度 (m/sec)

θ : 着地角度 (deg)

Z : 地層の厚さ (m)

ρ : 密度 (kg/m³)

上式を地層ごとに繰り返して計算し、最後に次の式で停止深度を求める。

$$Z_{max} = \frac{m}{k} \ln \sqrt{1 + \frac{k}{F'} V_o^2}$$

1) 固体摩擦抵抗Fについて

爆弾の土中における固体摩擦抵抗は、既成杭のよる杭先端の静的貫入抵抗を推定する手法により近似させることができると考えられる。

静的貫入試験の結果を先端地盤での一種の載荷試験と考えれば、 q_c を先端地盤の貫入抵抗力と考えることができるので、杭先端部の静的貫入抵抗は、

$$R_p = q_c \cdot A_p \quad (\text{Meyerhof 式-1})$$

R_p : 杭の先端貫入抵抗 (t)

q_c : 杭先端地盤の平均円錐貫入抵抗 (t/m²)

A_p : 杭の先端面積 (m²)

で得られ、この式は砂質土にも粘性土にも適用できるとされている。

① 砂質地盤のF値

Meyerhofによれば、砂質地盤の場合、 q_c とN値の間に $q_c = 40N$ の関係が成り立つことから、N値より杭の先端支持力を推定する方法として、次式が提案されている。

$$R_p = 40 \cdot N \cdot A_s \quad (\text{Meyerhof 式-2})$$

このほかに杭に働く反力としては杭の周面摩擦抵抗が考えられるが、動的状態においては砂質地盤では周面摩擦抵抗は無視してよいと考えられる。

従って、砂質地盤の固体摩擦抵抗Fは、N値との関連において

$$F = 40 \cdot N \cdot A_s$$

により求めることができる。

F : 固体摩擦抵抗 (t)

N : 通過する層のN値

A_s : 運動体 (ここでは爆弾) の運動方向の投影断面積 (m²)

② 粘性土のF値

粘性土の場合、円錐貫入抵抗 q_c と地盤支持力 q_u の関係式として $q_c = 5 \cdot q_u$ を用いることにより、静的先端貫入抵抗はMeyerhofの式-1より得られる。また、静的状態よりかなり小さいものの、周辺摩擦抵抗についても考慮する必要があると思われるので、その10%を考慮することとすると、固体摩擦抵抗Fは次式のとおりとなる。

$$F = 5 \cdot q_u \cdot A_s + 0.1 \cdot q_u \cdot L_s \cdot \phi \div 2$$

q_u : 地盤支持力 (t/m²)

L_s : 爆弾の長さ (m)

ϕ : 爆弾の周長 (m)

(周面摩擦抵抗 $R_p = 1/2 \cdot q_u \cdot L_c \cdot \phi$)

q_u が測定されていない場合の q_u の推定方法としては、粘性土では一般に

$q_u = N/8$ (kg/cm²) 程度とされている。

一般に、沖積粘性土層では、 $N=4$ 未満という値が測定されていることが多いが、そのような地層でも1軸圧縮強さ q_u は2~6ton/m²程度の値を示すことがあるとされており、

沖積粘性土層の場合N値からその強度を推定することは難しいとされている。沖積層における1軸圧縮強度は深度Z (m) との関係から一般的に次式の程度であるとされているので、 q_u が測定されていない場合の推定方法として、これによるものとする。

$$q_u = 2 + 0.4 \cdot Z \quad (\text{t/m}^2)$$

q_u : 1軸圧縮強度 (t/m²)

Z : 地表面からの深さ (m)

1-3-4 磁気量

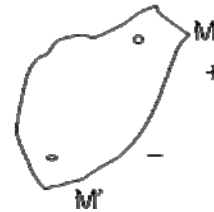
磁気量とは、探査で得られた磁気異常波形の解析から算出した磁極の強さをいう。磁気量の単位は**Wb**（ウェーバー：国際単位系）とする。従来用いていた単位：gauss（ガウス）・cm²からは次式を用い換算する。

$$0.7 \mu \text{ Wb} = 1 \text{ gauss} \cdot \text{cm}^2$$

【解 説】

(1) 磁気量

埋没鉄類に生じた磁極の帯磁の大きさを示す量をいう。細長い鉄類では、その両端付近に磁極が生じ、一方が(+)、他方が(-)の極となり、図のMが磁気量となる。



2 探 査 計 画

2-1 事前調査

磁気探査の実施については、「埋没不発弾等の磁気探査実施要領」等に基づき次の調査を行い、その結果、不発弾等が埋没している可能性を否定できない地域（箇所）においては、磁気探査を行うものとする。

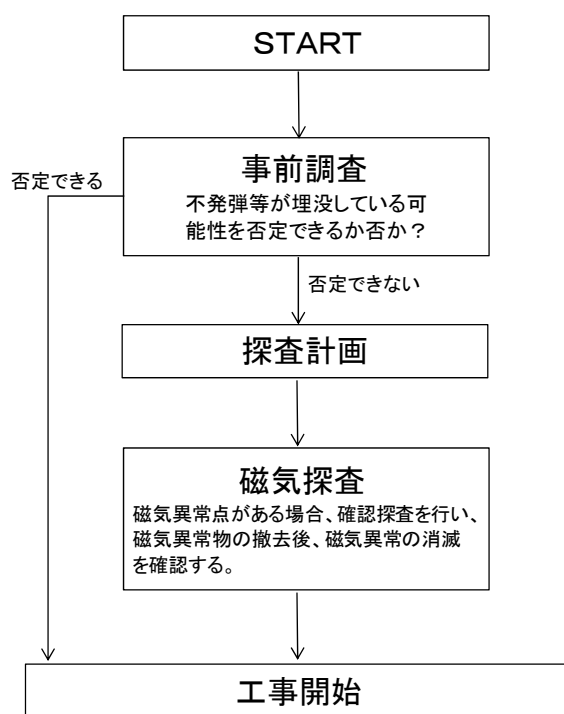
調査は、沖縄不発弾等事前調査データベースシステム（管理者：沖縄総合事務局開発建設部建設行政課）を利用し、下記項目について確認作業を行うものとする。システムで確認できない情報については、地域住民や関係市町村等への聞き取り調査等を実施し、補足するものとする。

- （ア）不発弾等の発見状況、磁気探査の実施状況、及び不発弾等の投棄の有無状況
- （イ）戦時中の交戦状況
- （ウ）戦後の地形変化及び改変状況
- （エ）既存資料に基づく地形、地質状況
（不発弾等の埋没状況または貫入深度を土質学的に検討する）

【解 説】

磁気探査の実施においては不発弾等の埋没予測が必要となる。適切な計画を立案しないと不発弾等の存在しない場所で探査を実施したり、不発弾等が探査深度より深い深度にあって思わぬ事故に遭遇する恐れもある。不発弾等は、爆弾から砲弾など大きさや埋没時の状況に一様性がない。また工事等の安全を確保する目的で磁気探査を計画することが多く、当該工事の特性を理解したうえで探査の条件を定めるため事前調査は重要である。

- （ア） これまでに探査予定地の近傍で発見された不発弾等の情報から探査深度等を推定できる。
- （イ） 戦時中の交戦の状況を把握することにより不発弾の種類を推定できる。
- （ウ） 戦後に埋立てや切土を行った場合、探査深度が変化する。
- （エ） 地形地質の把握により貫入深度計算の参考とする。



2-2 探査計画全般

事前調査の結果に基づき、不発弾等が埋没している可能性を否定できない地域（箇所）においては、磁気探査を実施する。

探査計画では、本工事の施工範囲における探査範囲、探査方法、作業工程、および探査の円滑な実施に必要な項目を検討する。探査の目的は工事の安全を確保する目的で実施することが多く、工事の施工計画と探査計画が合致しないとこの目的を達することができないことや、不要な費用がかかること等があるので合理的な計画を立案することが重要である。

（１）基本的な考え

- ① 探査区域が戦後の埋立地や盛土箇所や、以前磁気探査を実施した箇所においても、不発弾等などが発見された事例があるので、埋没している可能性を否定できない地域においては、必ず磁気探査を実施する。
- ② 探査範囲が面的に広く浅い深度までの探査の場合（例えば、道路改良工事）は、水平探査を採用し、探査範囲が面的に狭く深い深度までの探査の場合（例えば、杭打設等の工事）は、鉛直探査を採用する。探査方法の選定の際には、安価な方法を採用する。また、鉛直探査においては、土質を考慮して掘進方法を検討し、ジェットボーリングまたはロータリーボーリングを採用する。
- ③ 不発弾の貫入深度計算結果に合わせて必要探査深度を決める。不発弾を探知できる距離は不発弾の大きさに概ね比例する。想定した不発弾の種類が複数の場合は最も小さい不発弾の探知距離より測線間隔等を決定する。なお、鉛直探査の必要探査深度は、50kg爆弾より250kg爆弾の貫入深度計算結果が深くなることを考慮して計画する。
- ④ 隣接区域に構造物が近いと磁気探査を実施しても構造物の磁気影響により目的の不発弾等を探査出来ない場合があるので、隣接構造物の有無について留意した探査計画を作成する。
- ⑤ 矢板や鋼管杭の磁気量は不発弾等に比べ著しく大きく、その影響範囲内では不発弾等の異常が検出出来ず解析できない。よって予め矢板等の打設前にその影響範囲を探査しておく。
- ⑥ 確認探査は、不発弾等の可能性があるもの全てについて実施する。
補足：不発弾等の可能性がないものとしては、「着手前に把握した埋設物と長さが同等の連続した磁気異常点」（例えば、延長の長い埋設管）が考えられる。

（２）探査範囲の検討

① 将来計画を踏まえた範囲

探査範囲は施工区域を十分網羅して計画するが、将来、周辺での工事を行う場合も考慮して、構造物により探査不能区域が生じないよう探査区域を広げることも検討する。

② 探査孔配置

想定した不発弾の大きさにより探査可能範囲や貫入深度が異なる。想定した不発弾に対する探査有効範囲を考慮し、探査区域を隙間なく、無駄なく探査できるよう探査孔の配置を行う。

(3) 探査深度の検討

① 想定される不発弾

探査深度を決めるには、先ず、事前調査等（近隣での探査実績を含む）を参考に想定される不発弾を決める。

② 想定した不発弾の貫入深度

想定した不発弾の種類は複数の場合もあるが、想定した全ての不発弾の貫入深度計算を行う。

探査区域が戦後の埋立地や盛土の場合は、戦時中の地盤高を調べ、その高さから貫入深度の計算を行う。

③ 探査深度

探査深度は不発弾の貫入深度とするが本工事の施工深度がこれより浅い場合には、施工深度を探査深度とする。

小さい不発弾が貫入しない深度に達した場合には大型の不発弾を対象にして探査深度を検討する。

なお、想定した不発弾における探査の最大深度は次のとおりとする。

- ・ 5インチ砲弾仕様：最大深度 3.5m
- ・ 50 k g 爆弾仕様：最大深度 5.5m
- ・ 250 k g 爆弾仕様：最大深度 10.0m

(※上記の最大深度は参考値であり、実際のN値による貫入深度計算結果を考慮すること。ただし、5インチ砲弾の貫入深度計算については、知見等の蓄積が必要であるため、当面は、最大深度を参考に探査深度を設定するものとする。)

【解 説】

想定した不発弾に対する探査の仕様を定め、その仕様にに基づき一定の技術水準を確保し探査を実施する。

本要領では、大型の爆弾を代表するものとして250 k g 爆弾、中型の砲爆弾を代表するものとして50 k g 爆弾、小型の砲弾等を代表するものとして5インチ砲弾の仕様を定めている。

5インチ砲弾仕様としての探査は、5インチ砲弾より小さい砲弾等を見つけられないという訳ではない。近距離、向き、もしくは対象物の磁気量が強い場合、磁気異常として判別することが可能である。5インチ砲弾仕様として一定の技術力をもって探査を実施するが、5インチ砲弾を下限としている訳ではないので、誤解のないよう探査を実施する必要がある。

一方、5インチ砲弾仕様とした場合、全てを見つけることが可能であるという意味でもない。

磁気量が小さく磁気探査では探知することが困難な手榴弾等については、金属探知機等を用いた探査の検討が必要である。

2-3 土木工事の工法等による探査方法の違い

土木工事の工法等を考慮し、必要な磁気探査の方法（水平探査、鉛直探査等）を選択する。

代表的な例を次に示すが、個々の工事では探査方法が異なる場合があるので留意されたい。

- ① ベタ基礎：工事による掘削作業を伴うことから段階的に施工深度まで探査を行う経層探査を採用することが多い。ただし面積が小さい場合には鉛直探査の方が工事の待ち時間がなく効率的な場合がある。また土留めに鋼矢板を使用する場合には打設前に矢板打設箇所及び、矢板の磁気影響範囲について鉛直探査を行う必要がある。矢板の磁気影響範囲は通常 5～6m ある。
- ② 杭基礎：杭基礎の施工では杭打設の安全確認が目的となるが、杭打設後に独立基礎を構築するための掘削が伴うので基礎工事部分の探査を先行させる必要がある。
- ③ 管路：管路については施工深度が浅いものは水平探査、深いものは土留め矢板の打設法線に探査孔を配置する。この時掘削幅が探査有効範囲内の場合は、両側の矢板打設法線の中心に探査孔を設置する。矢板の形状による中心線からの出幅を考慮して探査孔配置を行う。
- ④ 地質調査：地質調査の試錐作業では、貫入深度までの下方安全確認（探査）が必要である。
(※下方安全確認（探査）とは、掘進時における安全確保のため、所定深度毎にセンサーにより孔底下方の磁気反応を確認する安全確認作業をいう)。

3 探 査 方 法

3-1 陸上水平探査

(1) 計画準備

1) 業務計画書を作成する。作成にあたっては、次の点を考慮する。

① 探査測線は原則として南北方向かつ直線となるよう計画し、測線間隔は次のとおりとする。

- ・ 5インチ砲弾仕様 : 0.5m間隔
- ・ 50 k g 爆弾仕様 : 1.0m間隔
- ・ 250 k g 爆弾仕様 : 1.0m間隔

② 探査深度が次の条件より深い場合は、経層探査を計画する。

- ・ 5インチ砲弾仕様 : 0.5m
- ・ 50 k g 爆弾仕様 : 1.0m
- ・ 250 k g 爆弾仕様 : 2.0m

③ 業務計画書には、探査概要、探査方法、解析方法、工程表、業務組織計画、成果品の内容・部数、連絡体制（緊急時含む）、使用機器の種類・名称・性能、現場での感度校正方法等を記載する。

④ 探査区域内に構造物があると、その周辺では探査不能になるので、事前に探査区域から除去するか近接構造物を考慮した探査計画を作成する。

⑤ 探査区域が広い場合には探査区域を50m×50m程度のブロックに分割する。探査測線の方法はブロックが変わっても同じ方向に設定する。

⑥ 確認探査の内容についても記載する。

2) 業務計画書を基に、探査方法、作業に支障のある現場状況とその対策等について調査(監督)職員と打合せを行う。また、使用する探査機器の検定書類を提出する。

3) 探査機器を整備し調整等を行う。

4) 着手前に探査区域における地下埋設物（ガス、水道等）の有無を調査する。

5) 必要に応じて、関係機関へ作業許可の申請等を行う。

(2) 磁気探査

1) センサーの移動がスムーズに行えるよう探査区域内の草木伐採や異物の撤去を行う。

2) 工事との位置を関連付けるため、工事と同一基準点を用いて探査区域の測量を行う。また、探査区域の外周や各ブロックの四隅に木杭を設け、探査記録と測線図を関連づける。木杭には座標を与える。

3) 探査測線は原則として南北方向かつ直線となるように設定し、測線間隔は所定の間隔とする。

4) 測線上を探査員2人で1組のセンサーを地面と平行に吊り下げ、測線の始点から終点間を歩行して測定する。測定中の歩行速度は1m/秒程度とし、一定速度でスムーズにセンサーを移動させる。地面の不陸を出来るだけなくし、地面からセンサー中心までの高さは原則10cm以内とし、センサーは地面から磁気ノイズを受けない範囲で地面に出来るだけ近づけて探査する。

5) 探査員は10m毎に合図をし、記録員は記録紙にマークを入れ、記録紙と現地を対比できるようにする。

6) センサーの移動速度や方向が大きく変化した時や、記録計の停止、ゼロ点の移動、または記録にノイズが発生した場合、記録は不採用とし再探査を行う。

7) 探査記録は、測定レンジを2種類以上設定し波形を記録する。

- 8) 記録紙には、現場で日時、ブロック名、測線番号、測線の間中間マーク（始点からの距離）、感度などを記入する。また地表に露出している異常物について、その品名・形状を記入する。磁気探査の記録紙は、磁気異常波形の振幅を記録出来るものを使用する（一般的に多く使用されているのは、記録紙有効幅 250mm）。

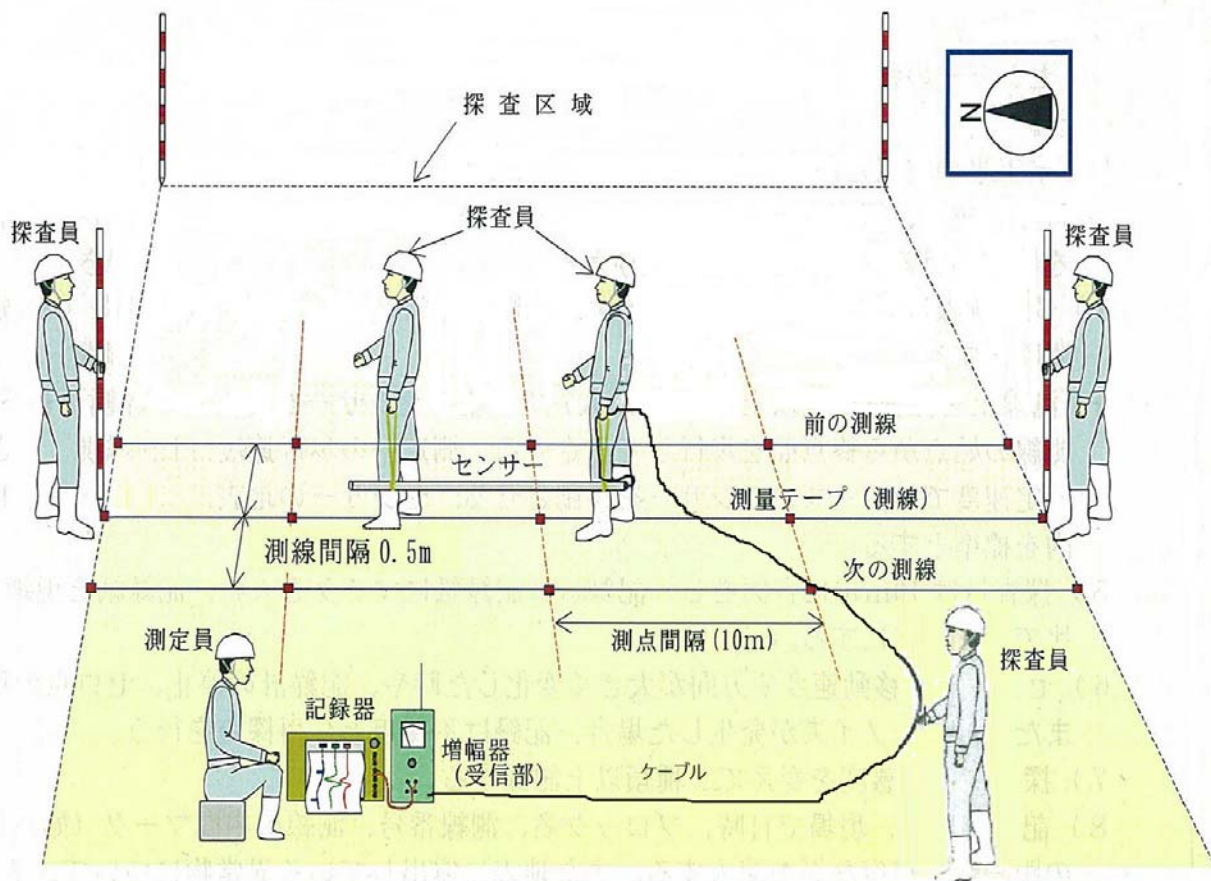
(3) 解 析

磁気記録の解析により、異常点の磁気量と埋没深度を計算し、測線配置図に異常点を記入して異常点分布図を作成する。これらを集約し、異常点位置図及び磁気測定値一覧表を作成する。

【解 説】

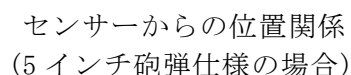
陸上水平探査とは、平坦地などにおいて平面的に探査を実施した後、解析を行い不発弾等の有無、埋没位置の把握を行う方法で、下図（陸上水平探査参考図）のように探査計を人力で移動させ磁気異常を検知するものである。

下図のように、探査員が探査計の前後を持ち、測線上を一定速度で移動して探査を行う。探査員は 10m 毎に笛などで記録係に測点の合図を送る。探査計を人力で移動するのはセンサーの動揺ノイズの軽減、地形追従性を良くする、樹木間など狭い箇所の歩行が可能等の理由によるものである。



陸上水平探査参考図
(5 インチ砲弾仕様の場合)

センサー中心は地面から 0.1m の位置とする。センサーから最も離れた位置は、測線間 (0.5m) の中間の鉛直下方向がセンサーから最も離れた位置となる。その位置はセンサーからの距離が 0.65m であり、実験結果の 0.7m 以内に収まっている。





測線設定状況

③ 陸上水平探査の方法

測線上を探査員 2 人で 1 組のセンサーを地面と平行に吊り下げ、測線の始点から終点間を歩行して測定する。測定中の歩行速度は 1m/秒程度とし、一定速度でスムーズにセンサーを移動させる。地面の不陸を出来るだけなくし、地面からセンサー中心までの高さは原則 10cm 以内とし、センサーは地面から磁気ノイズを受けない範囲で地面に出来るだけ近づけて探査する。



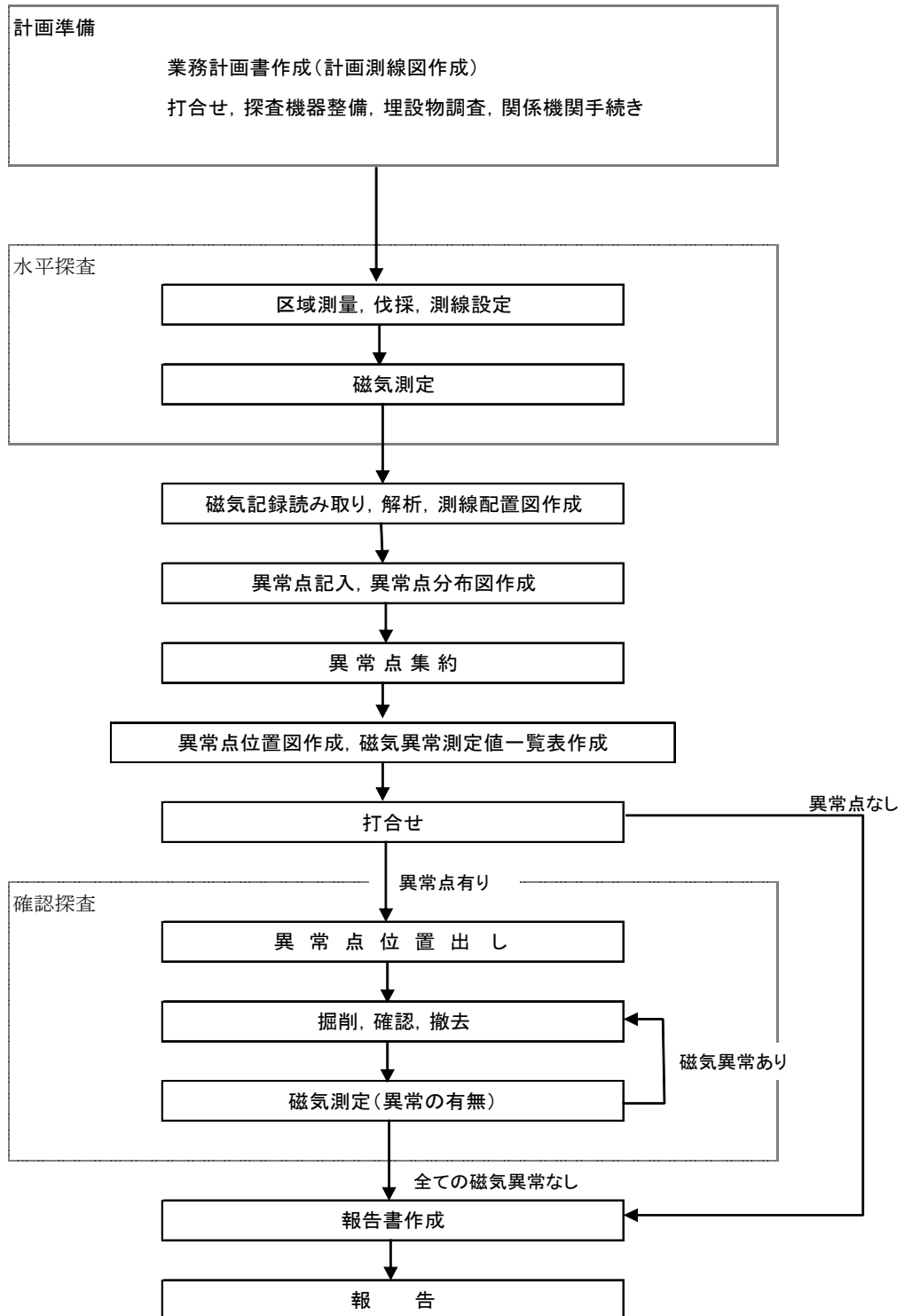
陸上水平探査状況
(経路探査 1m の例)



測定状況

(4) 陸上水平探査手順フロー

陸上水平探査の手順フローは次のとおりとする。



3-2 鉛直探査

(1) 計画準備

1) 業務計画書を作成する。作成にあたっては、次の点を考慮する。

① 想定した不発弾の大きさにより探査可能範囲や貫入深度が異なる。想定した不発弾に対する探査有効範囲を考慮し、探査区域を隙間なく、無駄なく探査できるよう探査孔の配置を行う。想定した不発弾に対する探査有効範囲は次のとおりとする。

- ・ 5インチ砲弾仕様：探査有効範囲 半径 0.5m
- ・ 50 k g 爆弾仕様：探査有効範囲 半径 1.0m
- ・ 250 k g 爆弾仕様：探査有効範囲 半径 2.0m

(※探査有効範囲とは、想定した不発弾に対し、センサーに対して垂直方向にセンサーから探査の有効性が及ぶ範囲をいい、センサーを中心に筒状の範囲となる)。

また、探査孔を千鳥状に配置し正三角形状にする場合、次の探査孔間隔を参考とするものとする。

- ・ 5インチ砲弾仕様：探査孔間隔 0.866m
- ・ 50 k g 爆弾仕様：探査孔間隔 1.732m
- ・ 250 k g 爆弾仕様：探査孔間隔 3.464m

② 探査区域内に構造物があると、その周辺で探査不能になるので、事前に探査区域から除去するか近接構造物を考慮した探査計画を作成する。

③ 業務計画書には、探査概要、探査方法、解析方法、工程表、業務組織計画、成果品の内容・部数、連絡体制（緊急時含む）、使用機器の種類・名称・性能、現場での感度校正方法等を記載する。

④ 確認探査の内容についても記載する。

2) 業務計画書を基に、探査方法、作業に支障のある現場状況とその対策等について調査(監督)職員と打合せを行う。また、使用する探査機器の検定書類を提出する。

3) 探査機器を整備し調整等を行う。

4) 着手前に探査区域における地下埋設物（ガス、水道等）の有無を調査する。

5) 必要に応じて、関係機関への作業許可の申請等を行う。

(2) ボーリング

1) ボーリング機械の設置の前に、機械設置の安全確認および掘進当初の安全確認のため、水平探査等を行う。

2) 探査孔は基準点測量を基に正確に設置する。また、孔口標高も測量する。

3) 工事との位置を関連付けるため、工事と同一基準点を用いて探査区域の測量を行う。

4) 探査孔の掘進は、軟弱地盤（N値が4以下程度）の場合、ジェットボーリングで掘進することを原則とし、これにより難しい時はロータリーボーリングで掘進する。

5) 掘進に伴い発生する泥水の処理は確実に行う。

6) ロータリーボーリングで掘進を行う場合は、一定深度毎に下方安全確認（探査）を行う。下方安全確認（探査）はセンサーを孔底で30cm程度上下させて、探査孔下方の磁気反応を確認することによって行う。その時、一定振幅以上感知される磁気異常がある場合は掘進を直ちに中止する。

- ・ 5インチ砲弾仕様：下方安全確認（探査）時の有効距離 0.3m
- ・ 50 k g 爆弾仕様：下方安全確認（探査）時の有効距離 0.5m
- ・ 250 k g 爆弾仕様：下方安全確認（探査）時の有効距離 1.0m

(※下方安全確認（探査）時の有効距離とは、下方安全確認（探査）時において、想定した不発弾に対し、センサーの軸方向にセンサーの先端から探査の有効性が及ぶ距離をいう)。

7) 下方安全確認を行い現場で磁気異常の位置などについて判定する。安全を確保して掘進する判定が出来ない場合には、掘進を中止し、近傍の探査孔に移動して探査孔

の掘進・探査を行い異常点位置の確定作業を行う。必要な場合は、追加探査孔を設置する。

(3) 磁気探査

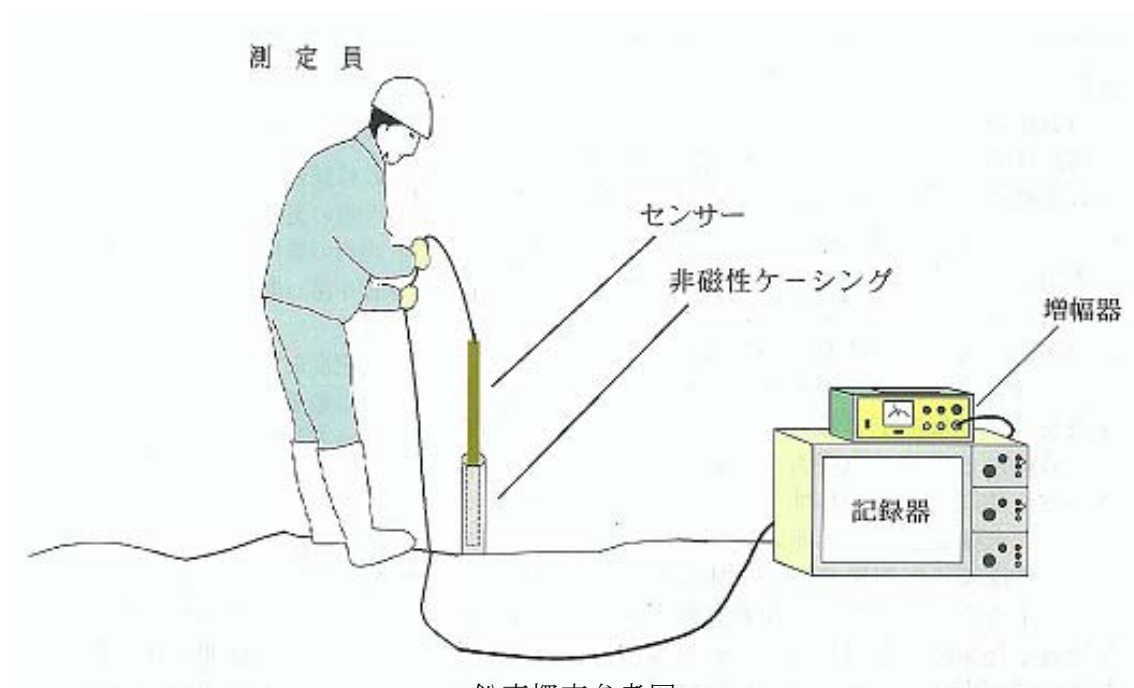
- 1) 規定深度までの掘進終了後、探査孔の孔口から孔底まで2回以上往復測定する。センサーの移動速度は1m/秒程度とし、一定速度でスムーズにセンサーを移動させる。この時、記録紙上に磁気記録と対応した深度マークを1m毎につける。
- 2) センサーの移動がスムーズに行えるよう探査孔には非磁性のケーシング（ステンレス、真鍮、アルミ、塩化ビニール管等）を用いて孔壁を保持する。
- 3) センサーの移動速度が大きく変化した時や、記録計の停止、ゼロ点の移動、または記録にノイズが発生した場合、記録は不採用とし再探査を行う。
- 4) 探査記録は、測定レンジを2種類以上設定し波形を記録する。
- 5) 記録紙には、日時、探査孔番号、深度、感度などを現場で記入する。また地表に露出している異常物について、その品名・形状を記入する。磁気探査の記録紙は、磁気異常波形の振幅を記録出来るものを使用する（一般的に多く使用されているのは、記録紙有効幅250mm）。
- 6) 探査終了後、探査孔の埋め戻しを行う。ただし、磁気異常点の検出された探査孔は磁気異常点の精査が終了するまで探査孔の埋め戻しは行わない。

(4) 解 析

磁気記録の解析により、異常点の磁気量と埋没深度を計算し、探査孔配置図に異常点を記入して異常点分布図を作成する。これらを集約し、異常点位置図（平面図、断面図）及び磁気測定値一覧表を作成する。

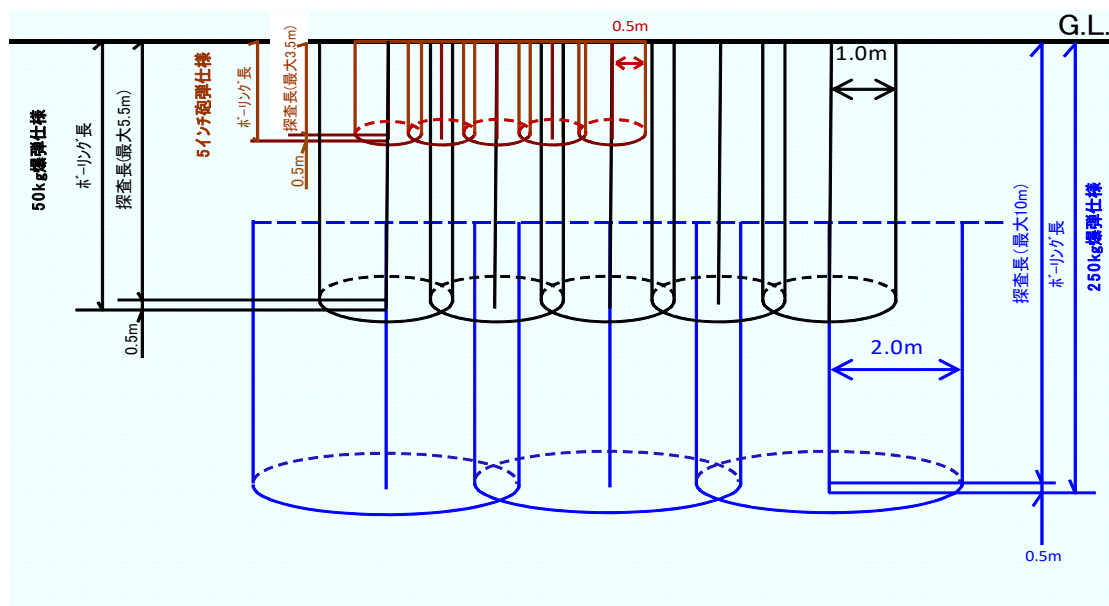
【解 説】

鉛直探査とは、ボーリング孔を用いて鉛直方向に探査を実施した後、解析を行い不発弾等の有無、埋没位置の把握を行う方法で、地下深い位置の不発弾等を探査することを目的としている。この探査の場合には探査孔の周囲が円筒状に探査出来る。このことから、橋梁下部工事等において、土留め矢板や杭の施工など比較的深く狭い範囲の時に鉛直探査を行う。

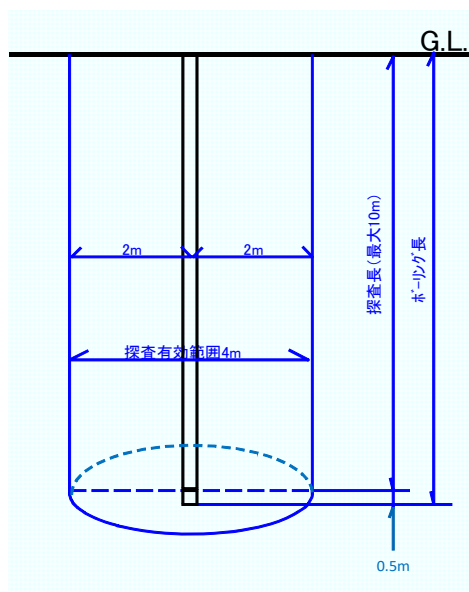


鉛直探査参考図

探査有効範囲の模式図、および詳細図は次のとおりである。両コイル型磁気傾度計における探査は、電磁誘導を利用しているためセンサーを動かし、コイルが磁束を通過することによって探知が行える。想定した各不発弾の探査長における水平範囲を確実に捉えるには、探査長をコイルが通過する必要がある。探査長をコイルが通過するには、0.5m程度必要なことから、ボーリング長は「探査長+0.5m」とする。

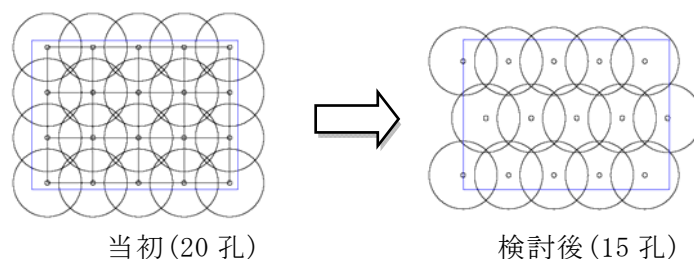


探査有効範囲の模式図



探査有効範囲の詳細図(250kg 爆弾仕様の場合)

探査孔配置の例を下図のとおり示す。当初は格子状の配置を予定していたが、千鳥状の配置に変えると効率的になることを示した例である。



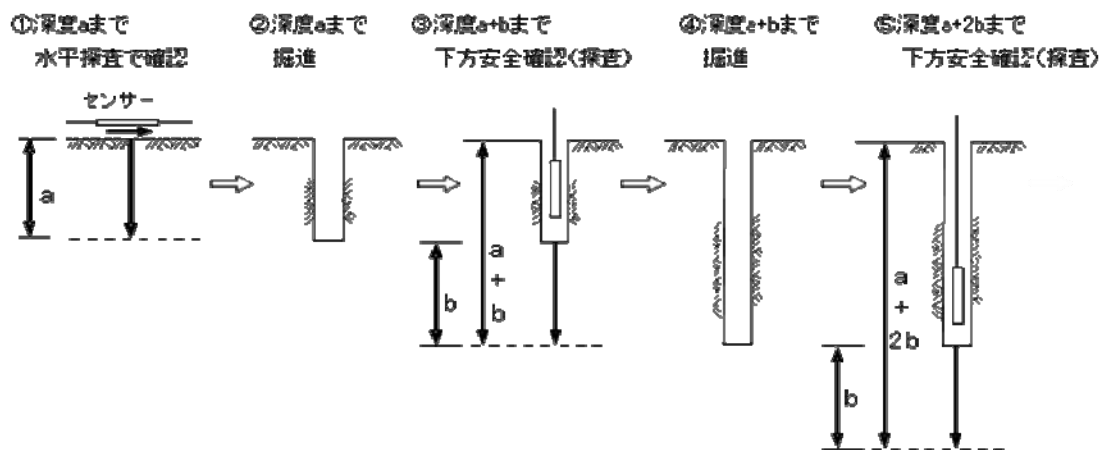
探査孔配置の例

軟弱地盤や河川、港湾の場合には足場を設置する。水深が深い場合には台船から掘進した孔を用いて探査を行う。

ジェットボーリングは水圧での掘進であるため、下方安全確認（探査）をせずに掘進できる。ただし、地盤の土質が砂礫を多く含む場合は掘進できない。砂礫などの場合はロータリーボーリングで掘進するため一定深度毎に下方安全確認（探査）を実施し、探査予定深度まで掘進する。

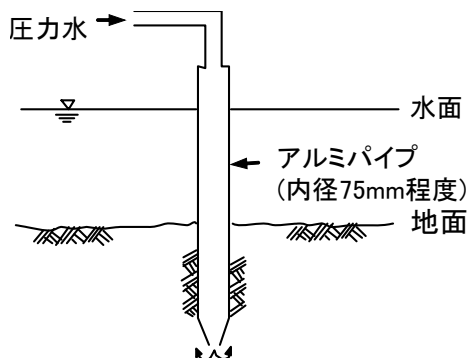
(1) ロータリーボーリングによる掘進方法

ロータリーボーリングによる掘進においては、下図のように一定深度毎に下方の安全を確認（探査）しながら掘進する。



(2) ジェットボーリングによる掘進方法

特に軟弱な場合に用いられる方法であり、下図のようにステンレス製やアルミニウムなどの非磁性パイプの先端より高圧送水噴射により掘進する。





測量状況（鉛直探査）



探査孔配置
(赤テープ位置)



ボーリングマシンによる掘進状況



鉛直探査状況



測定状況



残 尺



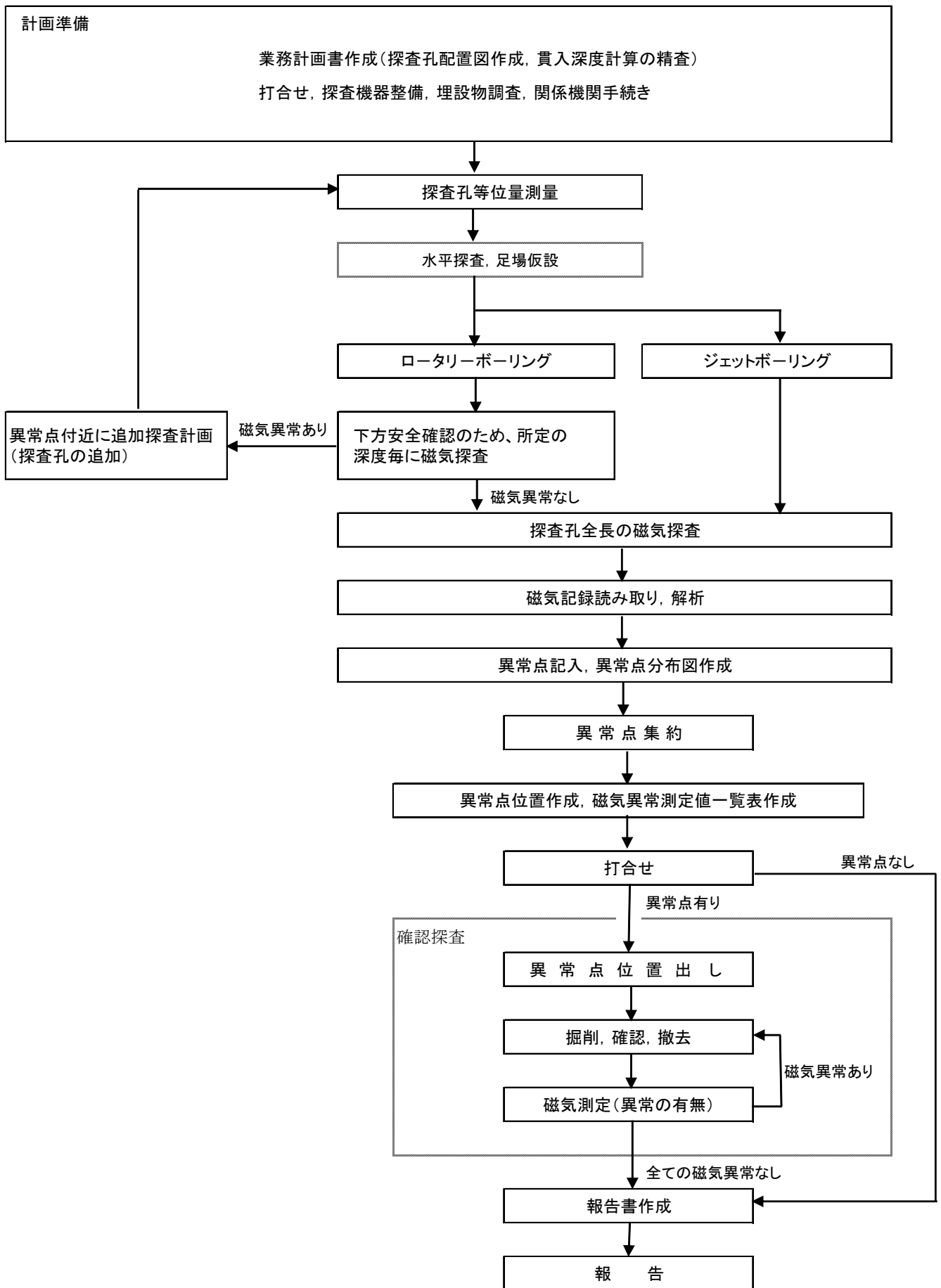
検 尺



探査孔の埋戻し

(5) 鉛直探査手順フロー

鉛直探査の手順フローは次のとおりとする。



3-3 経層探査

(1) 計画準備

- 1) 掘削工事との工程の調整を十分行い、業務計画書を作成する。作成にあたっては、次の点を考慮する。

- ① 探査測線は原則として南北方向かつ直線となるよう計画し、測線間隔は次のとおりとする。

- ・ 5インチ砲弾仕様：0.5m間隔
- ・ 50k g 爆弾仕様：1.0m間隔
- ・ 250k g 爆弾仕様：1.0m間隔

また、1回の掘り下げ厚は、次のとおりとする。

- ・ 5インチ砲弾仕様：0.5m
- ・ 50k g 爆弾仕様：1.0m
- ・ 250k g 爆弾仕様：2.0m

- ② 業務計画書には、探査概要、探査方法、解析方法、工程表、業務組織計画、成果品の内容・部数、連絡体制（緊急時含む）、使用機器の種類・名称・性能、現場での感度校正方法等を記載する。

- ③ 周囲に土留めとして矢板を使用する場合には、その周辺が矢板の磁気影響（5～6m以内）を受けて探査が不可能となるので、予め矢板打設前に鉛直探査等で影響範囲を探査しておく。

- ④ 探査区域内に構造物があると、その周辺で探査不能になるので、事前に探査区域から除去するか近接構造物を考慮した探査計画を作成する。

- ⑤ 探査区域が広い場合には、探査区域を幾つかのブロックに分割し、掘削工事と探査を並行に行う方法等について検討する。

- ⑥ 確認探査の内容についても記載する。

- 2) 業務計画書を基に、探査方法、作業に支障のある現場状況とその対策等について調査（監督）職員と打合せを行う。また、使用する探査機器の検定書類を提出する。

- 3) 探査機器を整備し調整等を行う。

- 4) 着手前に探査区域における地下埋設物（ガス、水道等）の有無を調査する。

- 5) 必要に応じて、関係機関への作業許可の申請等を行う。

(2) 磁気探査

- 1) 探査測線は原則として南北方向かつ直線となるように設定し、測線間隔は所定の間隔とする。

- 2) 測線上を探査員2人で1組の探査計を地面と平行に吊り下げ、測線の始点から終点間を歩行して測定する。測定中の歩行速度は1m/秒程度とし、一定速度でスムーズにセンサーを移動させる。地面の不陸を出来るだけなくし、地面からセンサー中心までの高さは原則10cm以内とし、センサーは地面から磁気ノイズを受けない範囲で地面に出来るだけ近づけて探査する。

- 3) 探査員は10m毎に合図をし、記録員は記録紙にマークを入れ、記録紙と現地を対比できるようにする。

- 4) センサーの移動速度や方向が大きく変化した時や、記録計の停止、ゼロ点の移動、または記録にノイズが発生した場合、記録は不採用とし再探査を行う。

- 5) 探査記録は、測定レンジを2種類以上設定し波形を記録する。

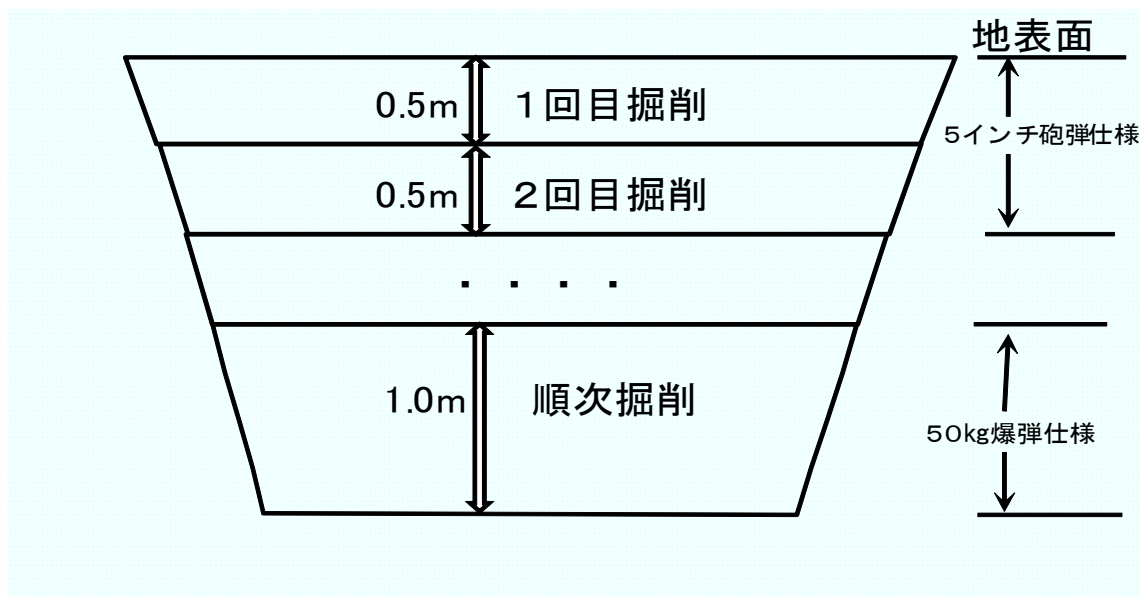
- 6) 記録紙には、現場で日時、ブロック名、測線番号、測線の間隔マーク（始点からの距離）、感度などを記入する。磁気探査の記録紙は、磁気異常波形の振幅を記録出来るものを使用する（一般的に多く使用されているのは、記録紙有効幅250mm）。

(3) 解 析

磁気記録の解析により、異常点の磁気量と埋没深度を計算し、測線配置図に異常点を記入して異常点分布図を作成する。これらを集約し、異常点位置図及び磁気測定値一覧表を作成する。

【解 説】

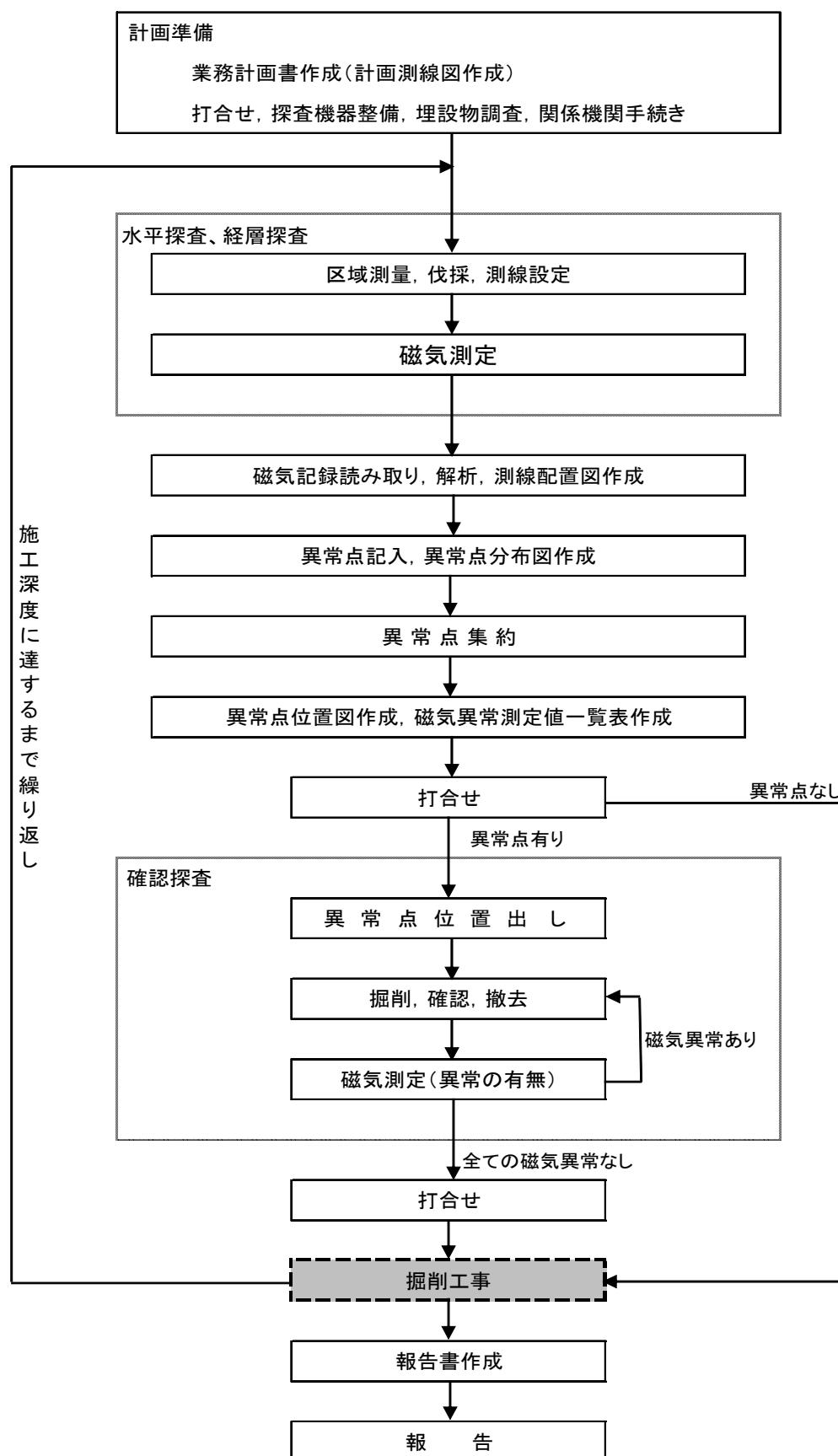
経層探査とは、陸上水平探査後に地表面を掘削し、掘削面毎に水平探査を行うかたちで、必要な探査深度まで層毎の掘削と水平探査を繰り返し行う方法である。



経層探査における順次掘削を行うイメージ図

(4) 経層探査手順フロー

経層探査の手順フローは次のとおりとする。



3-4 確認探査

(1) 計画準備

- 1) 当初提出の陸上水平探査等の業務計画書に確認探査の内容を記載しておくものとする。作成にあたっては、次の点を考慮する。
 - ① 磁気異常点の深度が深い場合は、土留めの矢板設置が必要になる。
 - ② 矢板の磁気影響を受けて、矢板の近傍は探査が不可能となるため、矢板の打設箇所からは5～6m以上の離隔が必要となる。
- 2) 探査機器を整備し調整等を行う。

(2) 探査

- 1) 磁気異常点の位置出しを行い、その付近を探査し異常点の位置を確認する。
- 2) 磁気異常点の周囲を人力や機械で少量ずつ掘削する。機械掘削の場合は、磁気反応のあった真上を掘削することなく、周辺から掘削して、磁気異常物に接触することがないように十分注意を払う。異常点の深度が浅い場合には、金属探知機等の簡易探知機を用い磁気異常物を確認し、危険物以外の異常物を撤去する。
- 3) 不発弾等の危険物が確認された場合には、危険物は移動しないようにし、周囲に立ち入り禁止の柵等を設け直ちに発注者及び警察等関係機関に連絡する。
- 4) 異常物を除去した後に、基本的に水平探査と同一の探査機器および方法で磁気反応の消滅の記録を取得する。このとき磁気反応がある場合には、再度確認探査を続行して撤去後に消滅を確認する。

(3) 取りまとめ

磁気異常物の写真と磁気異常物の形状等について整理した磁気異常物一覧表を作成するとともに、磁気異常の原因を整理する。

【解説】

確認探査は、磁気探査より明らかとなった磁気異常点の不発弾等か他の鉄類かを判断するため、磁気異常点を掘削してその物を確認する発掘確認作業、撤去・回収作業、および磁気異常物が撤去・回収された後に磁気反応の有無を確認する作業を合わせて確認探査と呼ぶ。



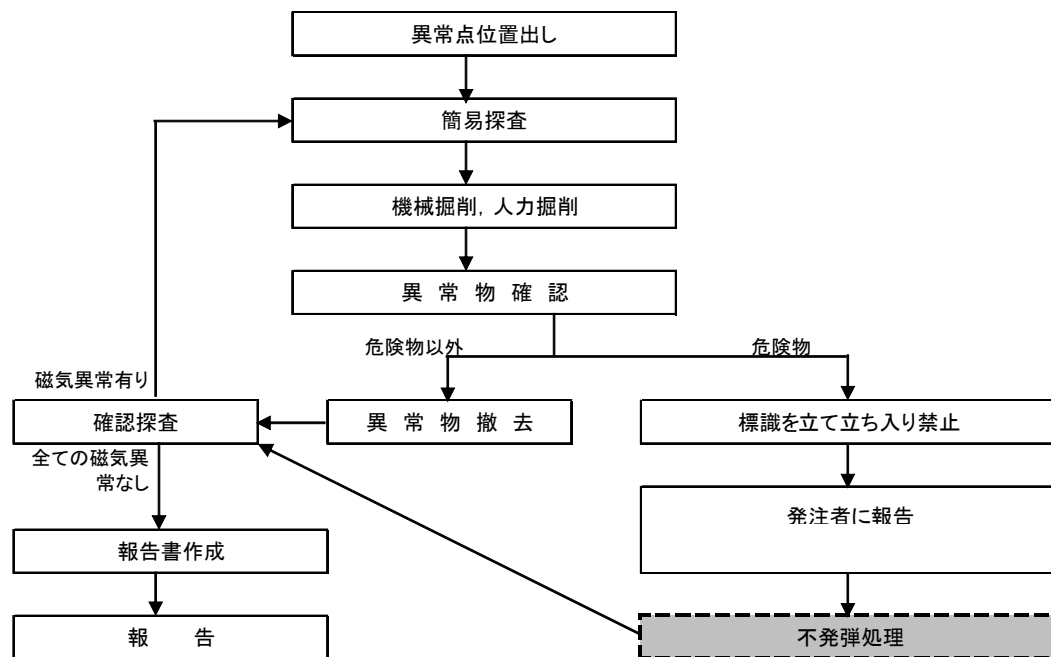
異常点の人力掘削状況



簡易探知機を用いた磁気異常点の確認

(4) 確認探査手順フロー

確認探査の手順フローは次のとおりとする。



3－5 その他の探査方法

通常の磁気探査では、有効な探査の実施が困難な場合（例えば、構造物の近傍、対象不発弾等が小さい、磁性岩や砂鉄がある等）においては、以下の機材・方法等を参考に現地
の状況を踏まえて検討し、調査(監督)職員と協議の上、探査等を実施する。

① 簡易探査

突き棒または簡易探知機（記録を取得しない）により土中の磁気異常点を探査し、
磁気異常物を確認する方法。

② 金属探知機による調査

金属探知機（全ての金属を感知する特徴がある）を用いて土中の金属物を探査し、
金属反応があった異常物を確認する方法。様々な機種があるが、市販されているもの
は探査可能な深度が40cm以内であることが多い。記録を取得することが可能な機種も
あるが、磁気量の算出や埋没深度の計算はできない。

③ 電磁探査

電気探査と同様に地下の比抵抗を測定する手法で、探査効率がよい、探査深度が
深いなどの特徴があり、土木関連調査の概査に用いられている。不発弾等探査で利用
する場合は磁化率や導電率のマッピングを行い、金属物の種別（磁性物、非磁性物）
を判断することも可能である。

④ 地中レーダ

地表より電磁波を発振・受振するアンテナを移動させながら地層境界面等で電磁
波が反射する伝搬時間を計測して地質構造や埋設管等を探査する手法。国内では路
面下の空洞調査に利用されている。金属物があると強い反射データが得られる特徴
がある。

⑤ ボアホールレーダ

ボーリング孔内でレーダ探査を実施する手法。

⑥ 3次元磁気測定（3軸磁気センサー）

地磁気の3成分（水平成分、偏角、鉛直）の連続測定が可能な3軸フラックスゲー
トを利用し、構造物近傍で探査が可能であることや、異常点埋没方向を確定すること
ができる手法と言われている。

⑦ 3次元電気探査

電気探査とは地表に設置した直線状、等間隔の電極で土中の比抵抗を計測して1
次元・2次元比抵抗断面を作成し、岩石や地層の分布、断層や地質構造を調査する
手法である。調査測線を格子状など平面的に配置して比抵抗を3次元でデータ取得・
解析することにより金属製の不発弾を発見した事例がある。

4 解析及び成果等の整理

4-1 陸上水平探査

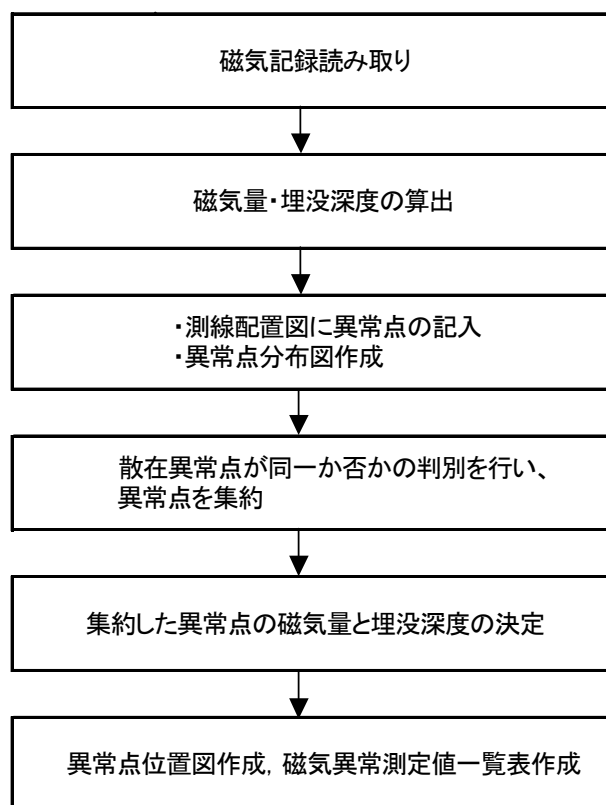
4-1-1 解析及び成果等の整理

- 1 調査(監督)職員と調整し、見やすい適度な縮尺の測線配置図を作成する。
- 2 磁気記録を整理して測線配置図と照合する。
- 3 磁気記録を確認して磁気異常を抽出する。このときに各異常波形についてノイズか異常かの判別を行う(センサーの動揺の影響等を考慮する)。磁気異常の判別後、各磁気異常に異常点番号をつける。
- 4 磁気記録の周期、振幅を読み取り、読み取り点を記録紙上に書き込む。
- 5 解析簿等に異常点番号、移動速度、測線上の位置、周期、振幅を記入し、磁気量と埋没深度を計算して記入する。
- 6 測線配置図に異常点番号と異常点を記入する。このとき異常点は磁気量の区分に応じて記号で表示する。
- 7 測線配置図上で磁気異常点の集約を行う。異常点の解析データについて確認を行い、集約した異常点の磁気量、埋没深度を決定する。
- 8 磁気異常点に異常点番号をつけ、磁気量、埋没深度、位置を記入した磁気異常測定値一覧表を作成する。
- 9 異常点位置図は、測線配置図と同一の縮尺で作成し、異常点は磁気量の区分に応じて記号で表示する。磁気異常が連続していたりして、個々の異常の解析が困難な点は、異常密集区域とし斜線などの表現で他の異常点と区別して表現する。なお、異常点位置図は本工事との位置関係が分かるようにする。
- 10 報告書では以下の項目について整理し、説明を行う。
 - 1) 探査の目的、数量、作業責任者氏名等
 - 2) 探査位置図、探査区域図
 - 3) 使用機器リスト
 - 4) 探査機器
 - 5) 測量方法
 - 6) 解析方法
 - 7) 探査結果
 - 8) 磁気異常測定値一覧表
 - 9) 測線配置図
 - 10) 異常点分布図
 - 11) 異常点位置図
 - 12) 現場写真

この他に測定記録、測量野帳等を提出する。

4－1－2 陸上水平探査の解析作業フロー

陸上水平探査の解析作業フローは次のとおりとする。



4－2 鉛直探査

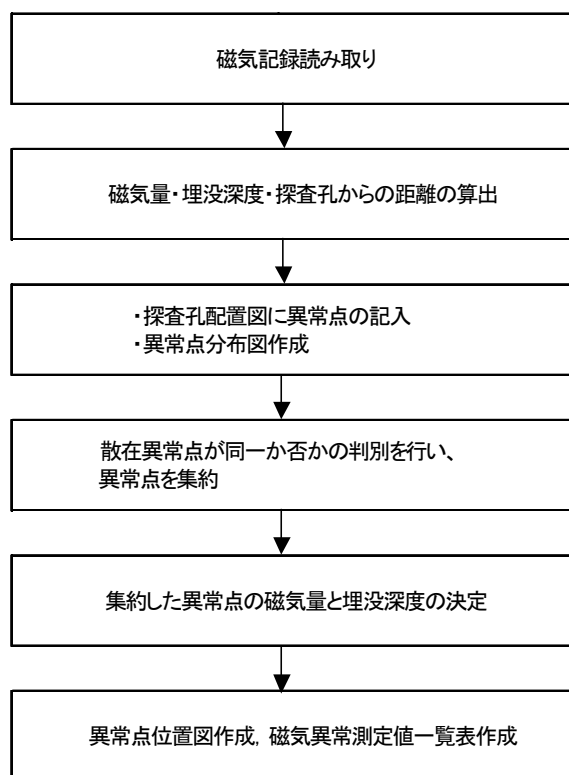
4－2－1 解析及び成果等の整理

- 1 探査孔配置図は、調査(監督)職員と調整し、見やすい適度な縮尺とし、施工平面図に探査孔と探査孔番号をつけ作成する。
- 2 磁気記録を整理して探査孔配置図と照合する。
- 3 磁気記録を整理して磁気異常を抽出する。このとき各異常波形についてノイズか、異常かの判別を行う(センサーの動揺の影響等を考慮する)。磁気異常の判別後、各磁気異常に異常点番号をつける。
- 4 波形の読み取り点を記録紙上に書き込み、周期、振幅を読み取り数値を書き込む。
- 5 解析簿等に異常点番号、移動速度、孔口からの位置、周期、振幅を記入し、磁気量、埋没深度及び探査孔からの距離を計算して記入する。
- 6 探査孔配置図、断面図に異常点番号と異常点を記入する。
- 7 探査孔配置図・断面図上で磁気異常点の集約を行う。異常点の解析データについて確認を行い、集約した異常点の磁気量、埋没深度を決定する。
- 8 磁気異常点に異常点番号をつけ、磁気量、埋没深度、位置を記入した磁気異常測定値一覧表を作成する。
- 9 異常点位置図の作成においては、磁気異常が連続していたりして、個々の異常の解析が困難な点は、異常密集区域とし斜線などの表現で他の異常点と区別して表現する。なお、異常点位置図は本工事との位置関係が分かるようにする。
- 10 報告書では以下の項目について整理し、説明を行う。
 - 1) 探査の目的、数量、作業責任者氏名等
 - 2) 探査位置図、探査区域図
 - 3) 使用機器リスト
 - 4) 探査機器
 - 5) 測量方法
 - 6) 解析方法
 - 7) 探査結果
 - 8) 磁気異常測定値一覧表
 - 9) 探査孔配置図
 - 10) 異常点位置図(平面図、断面図)
 - 11) 現場写真

この他に測定記録、測点計算簿等を提出する。

4－2－2 鉛直探査の解析作業フロー

鉛直探査の解析作業フローは次のとおりとする。



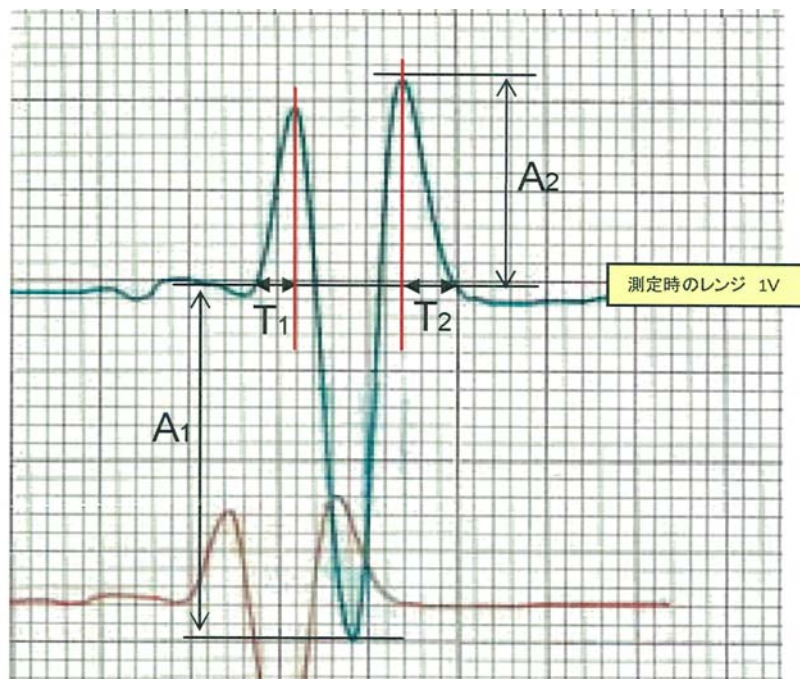
4-3 経層探査

4-3-1 解析及び成果等の整理

解析法は、陸上水平探査に準拠する。

【解 説】

(1) 解析波形の例を示す。



両コイル型磁気傾度計の解析式

距離D (m) : 第1周期T1,第2周期T2,速度Vと補正係数からなる関数

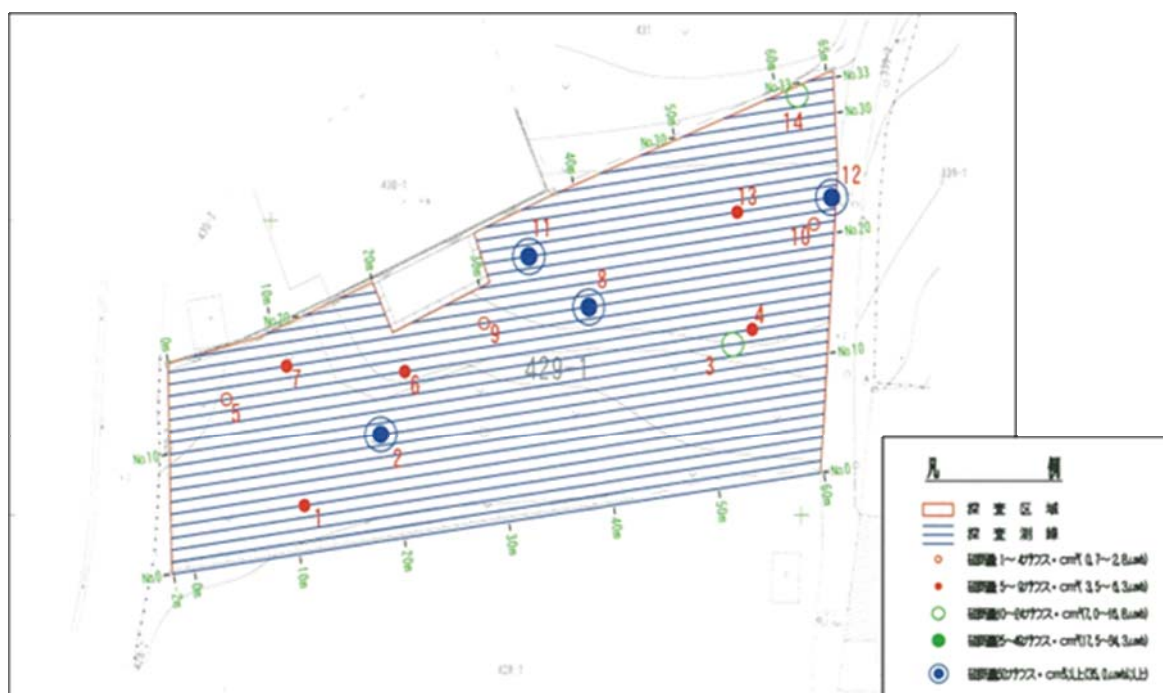
$$\text{磁気量} M' (\text{G} \cdot \text{cm}^2) = K \times A \times D^3 \div V \div F(D)$$

$$\text{磁気量} M (\mu \text{Wb}) = 0.7 \times M'$$

K:感度係数 A:振幅 $((A_1+A_2)/2)$ V:速度 D:距離 F(D):距離係数

解析波形

(2) 異常点位置図の例を示す。



異常点位置図

(3) 磁気異常測定値一覧表の例を示す。

磁気異常測定値一覧表					
異常点 番号	磁気量 ガウス・cm ²	埋没深度 (m)	位 置		備 考
			X座標(m)	Y座標(m)	
1	6	0.4	17,425.813	17,628.074	※長いもの
2	5	0.7	17,431.868	17,635.309	
3	2	0.3	17,439.524	17,668.571	

5 探査機器の精度管理

5-1 探査機器の精度管理

探査機器には、両コイル型磁気傾度計のほか、フラックスゲート型磁力計等がある。これら各種探査機器の性能の確保に関し、機器の精度管理の観点から、第三者機関等による年1回以上の検定または検定相当の較正を受けた機器を用いるものとする。

また、各現場における日々の高い測定精度の確保の観点から、各現場において使用前に感度較正を行うとともに、1回以上／週の頻度で感度較正を行うものとする。

ただし、較正が行えない機器等、上記対応が難しい機器については、製作したメーカーによる定期的な検定を受けるものとする。もしくは、性能テストを実施するものとする。

注) 較正：測定機器などが正しい結果を示すよう調整すること。

【解説】

(1) 較正方法の例

以下に両コイル型磁気傾度計の較正方法例を示す。

較正方法は、較正用コイル（図5-2参照）中にセンサー部を挿入し、0.8mA、0.3Hzの交流電流を通電した時、コイルから生じる磁界によりセンサーの出力が記録紙上で0.07V（±2%）あれば、感度係数 $k=1.0$ の基準を満たしたとして行う。

較正用コイルに流す電流と周波数は $17.5\mu\text{Wb}$ （ $=25\text{gauss}\cdot\text{cm}^2$ ）の磁気量のものが1m離れた時の磁気波形の周期と対応する。この方法を用いるのは磁気反応の振幅が距離に反比例し、周期が距離に比例することから、単に振幅のみの機器精度管理では不十分なためである。

機器検定はこのような較正装置により不発弾の磁気量と同じ磁界を発生させ、その振幅が記録紙上で基準値に達した場合、機器の性能が確保されていることを証明することが出来る。しかし、較正用コイルや較正装置の精度が不十分な場合には機器の精度管理が十分に出来ないので注意を要する。

1) 較正用装置の概要

較正用装置は両コイル型磁気傾度計の感度、振幅特性、周波数特性を把握できるものとなっている。

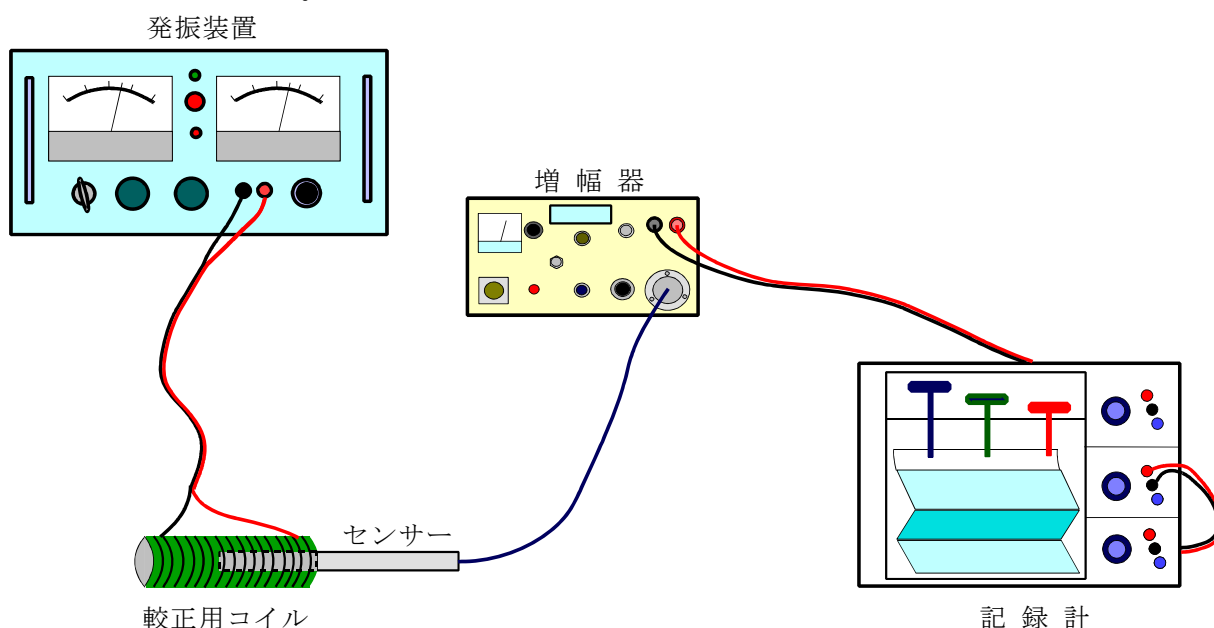


図5-1 較正用装置模式図

下図のように較正するセンサーの一端を較正用コイルの中央部に挿入する。なお、較正用コイルは長さ 1m の円筒型コイルで一端に巻線の両端がついており、コイルの表面はビニールのりで処理してある。コイルの巻数は 1cm 当り 4.78 回となっている。

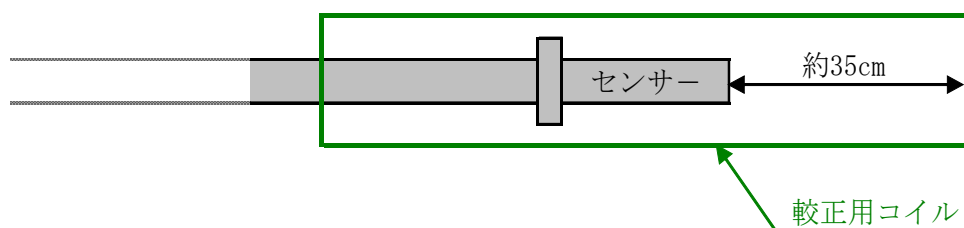


図 5-2 較正用コイル詳細図

2) 振幅特性

周波数を一定、各種の電流値に対応した振幅を読み取りグラフに描けば、振幅特性を把握できる。

3) 周波数特性

電流値を一定、各種の周波数に対応した振幅を読み取りグラフに描けば、周波数特性を把握できる。

(2) 感度確認用コイルによる感度較正の例

感度確認用コイルによる感度較正の例を以下に示す。

1) 機材構成

機材構成は次のとおりである。

① 発振装置

② 感度確認用コイル

円筒型コイルの中心にパーマロイがあり、これを耐水容器（塩ビ製）に入れている。長さ約 37cm、直径 5.6cm で現場での取扱いが容易となっている。

③ 両コイル型磁気傾度計

④ 増幅器

⑤ 記録計

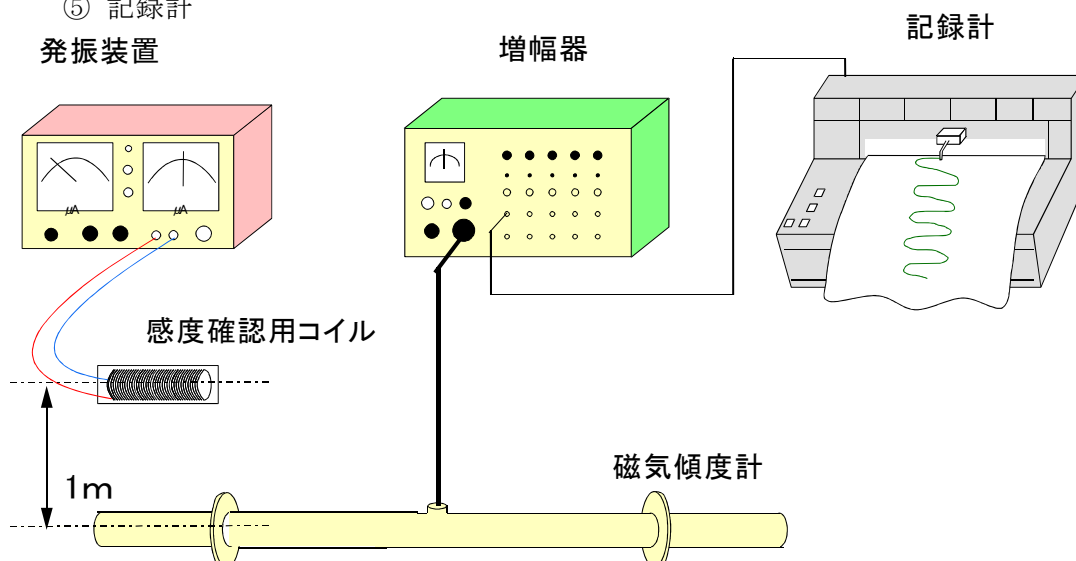


図 5-3 感度確認用コイルでの感度較正

感度試験対象のセンサーの一端（コイルのほぼ中心）と感度確認用コイルの中心とが一致するよう 1m の離隔で平行に配置する。発振装置より一定の周波数（0.3Hz）、一定の電流を流した時、Sin 型波形記録の最大振幅を読み取ることにより、センサーが正しい感度を保っているか判断する。

2) 感度確認用コイルの特性

感度確認用コイルに 0.3Hz の交流電流 1.0(mA) を通した時、軸と直角方向 1m の軸方向成分の磁場の時間変化を実測することにより感度確認用コイルの特性を求めることができる。感度の判明している感度確認用コイルによる磁場の時間変化を実測した結果を次表に示す。

表 5－1 感度確認用コイルの電流に対する振幅の関係（記録紙有効幅 250mm の場合）

電流 (mA)	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4
振幅 (mm)	9.9	8.9	7.6	6.4	5.3	4.2
レンジ 2 V	(19.8)	(17.5)	(15.1)	(13.0)	(10.8)	(8.4)
1 V	20.4	17.5	15.1	13.0	10.8	8.5
5 0 0 m V	40.6 (20.3)	34.8 (17.4)	31.0 (15.5)	26.2 (13.1)	21.5 (10.75)	17.5 (8.75)

* () 内は、1 V レンジに換算した振幅
基準磁気傾度計の感度 k は 1V レンジで 27.48 γ /sec/mm である。

感度確認用コイルから 1m 離れたところの磁場の変化 $\frac{d x}{d t}$ (γ /sec) は、

$$\frac{d x}{d t} = k A = 27.48 \times A \quad A : \text{振幅 (m/m)}$$

より求められる。これを計算すると次表のようになる。

表 5－2 感度確認用コイルによる磁場の変化 $\frac{d x}{d t}$ (γ /sec)

電流 (mA)	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4
レンジ 2 V	544.10	489.14	417.07	351.74	291.29	230.83
1 V	549.06	480.09	414.95	357.24	296.78	233.58
5 0 0 m V	557.84	478.15	425.94	359.99	295.41	231.94
平 均	550.51	482.73	419.53	356.32	294.49	232.12

この表から電流と磁場の変化との関係とを求めると、一次式の近似値が得られる。

表 5－3 電流と磁場の関係

電流 (mA)	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4
$\frac{d x}{d t} / I$	611.68	603.41	599.33	593.87	588.98	580.03

いま、上記の値を平均すると、596.26 となるから

$$\frac{d x}{d t} = k A = 596.26 \times I$$

と表される。したがって、感度 $k = \gamma / \text{sec/mm}$ と振幅及び電流との関係式は、

$$k = 596.26 \times \frac{I}{A}$$

となる。これより、各電流値について振幅と感度との関係を求めると、次表（表 5－4）及び次図（図 5－4）のようになる。

表 5 - 4 振幅・感度 ($\gamma/\text{sec}/\text{mm}$) の対比表

I mA 振幅A (mm)	1.0 mA	0.9 mA	0.8 mA	0.7 mA	0.6 mA	0.5 mA	0.4 mA
2	298.13	268.32	238.50	208.69	178.88	149.07	119.25
3	198.75	178.88	159.00	139.13	119.25	99.38	79.05
4	149.01	134.11	119.21	104.31	89.41	74.51	59.63
5	119.25	107.33	95.04	83.48	71.55	59.63	47.07
6	99.38	89.44	79.50	69.57	59.63	49.69	39.75
7	85.18	76.66	68.14	59.63	51.11	42.59	34.07
8	74.53	67.08	59.63	52.17	44.72	37.27	29.81
9	66.25	59.63	53.00	46.38	39.75	33.13	26.05
10	59.63	53.67	47.70	41.74	35.78	29.82	23.85
11	54.21	48.79	43.37	37.95	32.53	27.11	21.68
12	49.69	44.72	39.75	34.78	29.81	24.85	19.88
13	45.87	41.28	36.70	32.11	27.52	22.94	18.35
14	42.59	38.33	34.07	29.81	25.55	21.30	17.04
15	39.75	35.78	31.08	27.83	23.85	19.88	15.09
16	37.27	33.54	29.82	26.09	22.36	18.64	14.91
18	33.13	29.82	26.50	23.19	19.88	16.57	13.25
20	29.81	26.83	23.85	20.87	17.89	14.91	11.92
22	27.10	24.39	21.68	18.97	16.26	13.55	10.84
24	24.84	22.36	19.87	17.39	14.90	12.42	9.94
26	22.93	20.64	18.34	16.05	13.76	11.47	9.17
28	21.30	19.17	17.04	14.91	12.78	10.65	8.52
30	19.88	17.89	15.90	13.92	11.93	9.94	7.95
32	18.63	16.77	14.90	13.04	11.18	9.32	7.45
34	17.54	15.79	14.03	12.28	10.52	8.77	7.02
36	16.56	14.90	13.25	11.59	9.94	8.28	6.62
38	15.69	14.12	12.55	10.98	9.41	7.85	6.28
40	14.91	13.42	11.93	10.44	8.95	7.46	5.96
42	14.20	12.78	11.36	9.94	8.52	7.10	5.68
44	13.55	12.20	10.84	9.49	8.13	6.78	5.42
46	12.96	11.66	10.37	9.07	7.78	6.48	5.18
48	12.42	11.18	9.94	8.69	7.45	6.21	4.97
50	11.93	10.74	9.54	8.35	7.16	5.97	4.77

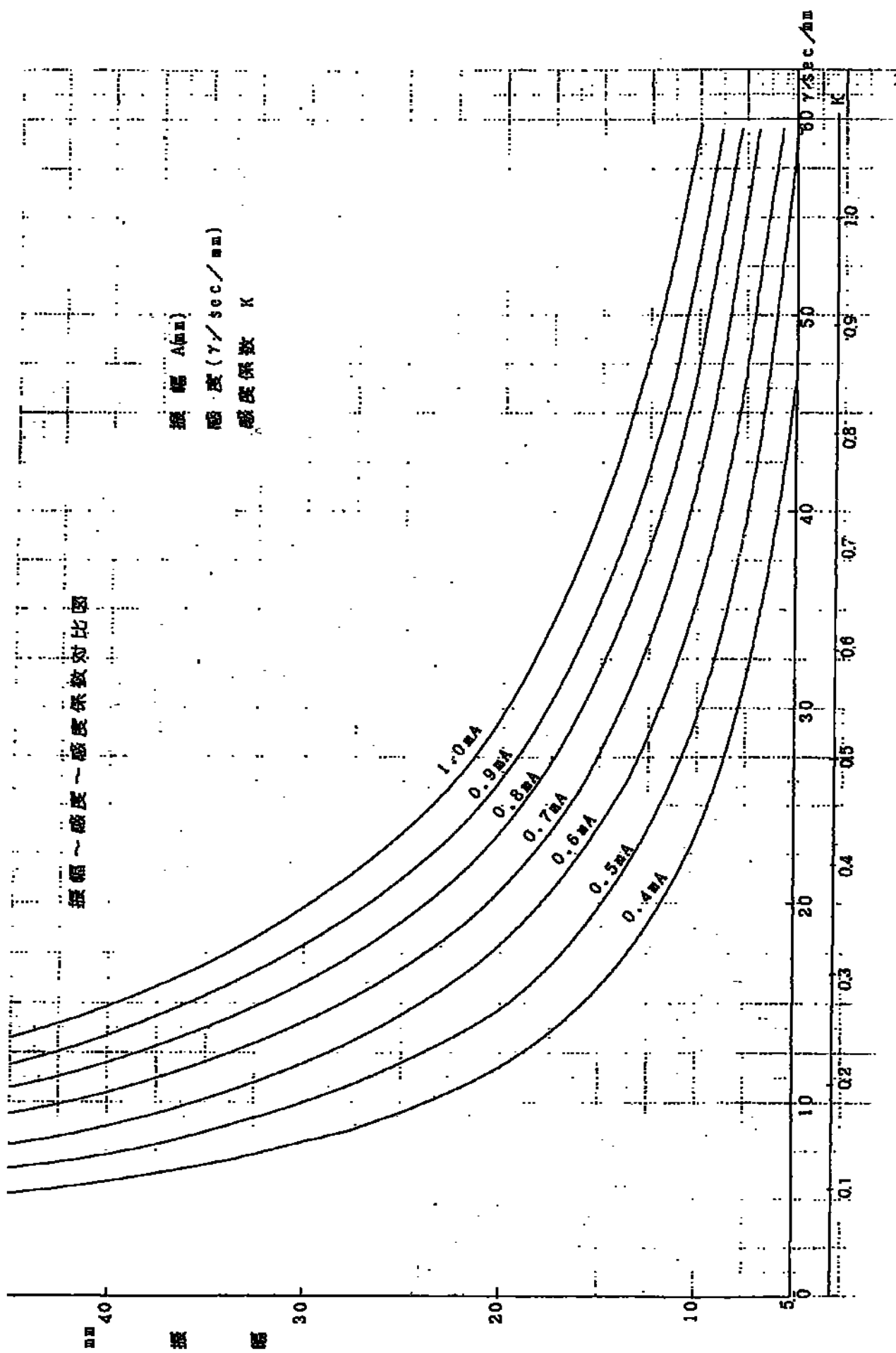


図 5 - 4 振幅・感度・感度係数の対比図

(3) 現場での感度確認用コイルによる感度校正の例

現場において探査前に実施できる感度校正の例を以下に示す。

- ① 現場確認試験用コイルと試験を実施する両コイル型磁気傾度計を平行に 1.0m の距離を取り地面に配置する。
- ② ファンクションジェネレータから 0.3Hz を出力し、電流値は直流電流計の指示値が $\pm 0.8\text{mA}$ になるようにそれぞれ調整する。
- ③ 現場における感度決定において、記録紙有効幅 250mm、測定レンジ 1V ($k = 0.5$) である場合、振幅 17.5mm の $\pm 2\%$ すなわち $\pm 0.35\text{mm}$ を許容誤差とする。



現場での感度校正

参 考 資 料

参考－ 1． 磁気探査機器の例

参考－ 2． 解析理論

参考－1. 磁気探査機器の例

(1) 陸上水平探査機器

両コイル型磁気傾度計（コイル間隔：2m（大型センサー））

直流増幅器

記録器（ペンレコーダー）



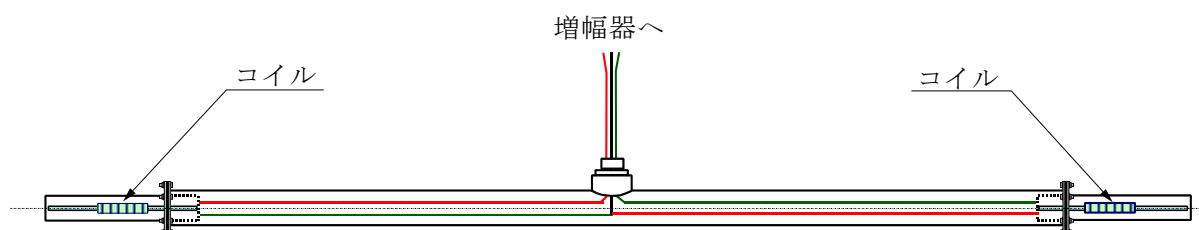
1) 両コイル型磁気傾度計（大型センサー）

磁気傾度計は、フラックスメーター方式を用いている。 $\phi 53\text{mm} \times 300\text{mm}$ のコイルボビンに $\phi 0.2\text{mm}$ のエナメル線を数万回巻き、鉄心（コア）には P C パーマロイを使用している。この感知用コイルを 2.0m 間隔で同軸上に配置し、2 個の感知用コイルが互いに逆巻きとなっている。これにより地球磁場を相殺することができる。

（※フラックスメーター方式とは、コイルの断面を横切る磁力線の変化に比例して生じる誘導起電圧を測定する方式）。

【仕様】

- | | |
|------------|-----------------------|
| ① エナメル線 | $\phi = 0.2\text{mm}$ |
| ② 巻数 | 数万回 |
| ③ 使用鉄心（コア） | P C パーマロイ |
| ④ 外形寸法 | $L = 2,600\text{mm}$ |
| ⑤ 保護用パイプ | アルミパイプ |
| ⑥ コイル間隔 | 2m |



参考図：両コイル型磁気傾度計

2) 直流増幅器（送信・受信1セット、1成分、テレメーター方式）

磁気傾度計が感知して発生する磁気異常による微小な電気信号を増幅し、記録器に送信する機器である。

【仕様】

① 回路方式	差動増幅回路	⑤ 増幅度	43 d B
② 入力端子	3P ジャック	⑥ 周波数特性	0～1,000Hz
③ 入力インピーダンス	50 k Ω	⑦ バランスコントロール	1 k Ω
④ 出力端子	3P ジャック	⑧ オフセットコントロール	10 k Ω

(送信増幅器)

(受信増幅器)



3) 記録器

増幅器で得られた電気信号を記録紙に記録する。

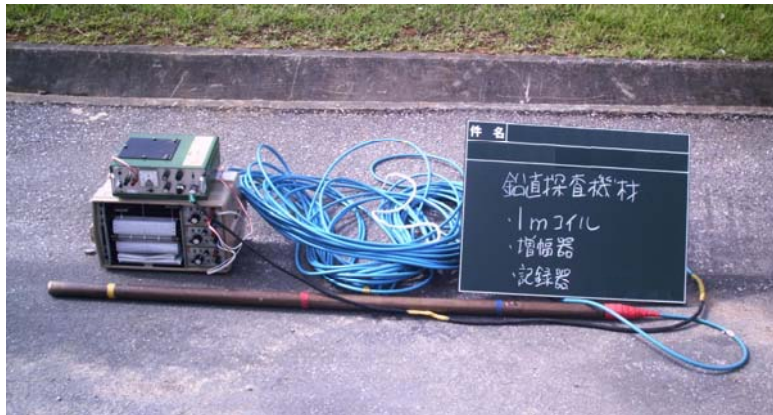
【仕様】

① 有効記録幅	250mm
② チャンネル数	3ch
③ 電圧測定範囲	DC 1mmV～200V 17レンジ
④ 記録紙速度	10～60mm cm/min mm cm/h 23速
⑤ 電源	AC100. 115. 200. 220. 240V $\pm 10\%$ 50/60Hz
⑥ 外形寸法	W=430 H=170 D=410mm
⑦ 重量	11kg



(2) 鉛直探査機器

両コイル型磁気傾度計 (コイル間隔: 1m (小型センサー))
直流増幅器
記録器 (ペンレコーダー)



1) 両コイル型磁気傾度計 (小型センサー)

【仕様】

- | | |
|-------------|-----------------------|
| ① エナメル線 | $\phi = 0.2\text{mm}$ |
| ② 巻数 | 数万回 |
| ③ 使用鉄心 (コア) | PC パーマロイ |
| ④ 外形寸法 | $L = 1,400\text{mm}$ |
| ⑤ 保護用パイプ | 真鍮パイプ |
| ⑥ コイル間隔 | 1m |



2) 直流増幅器

微少な電気信号を増幅し、記録器に送信する機器である。

【仕様】

- | | |
|--------|------------------|
| ① 回路方式 | 平衡入力型 |
| ② 増幅度 | 40 d B |
| ③ 電源 | D C 12 V |
| ④ 寸法 | 235×255×103 (mm) |
| ⑤ 重量 | 2.5 k g |



3) 記録器

増幅器で得られた電気信号を記録紙に記録する。

【仕様】

- | | |
|----------|---|
| ① 有効記録幅 | 250mm |
| ② チャンネル数 | 3ch |
| ③ 電圧測定範囲 | DC 1mmV～200V 17レンジ |
| ④ 記録紙速度 | 10～60mm cm/min mm cm/h 23速 |
| ⑤ 電源 | AC100. 115. 200. 220. 240V ±10% 50/60Hz |
| ⑥ 外形寸法 | W=430 H=170 D=410mm |
| ⑦ 重量 | 11kg |



参考－２． 解析理論(両コイル型磁気傾度計)

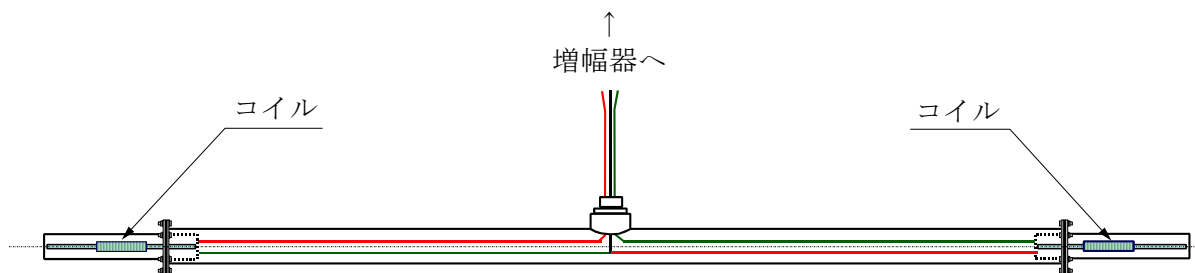


図 1 両コイル型磁気傾度計構成図

(解析方法)

単極モデルによる理論式

磁性体の帯磁は複雑で正確に捕らえることは難しいが、爆弾、砲弾のような形状のものはN S 2 極に帯磁していると考えられている。

今、磁極の一つがセンサーから距離 Z に埋没しているものとし、単極モデルを図2に示す。

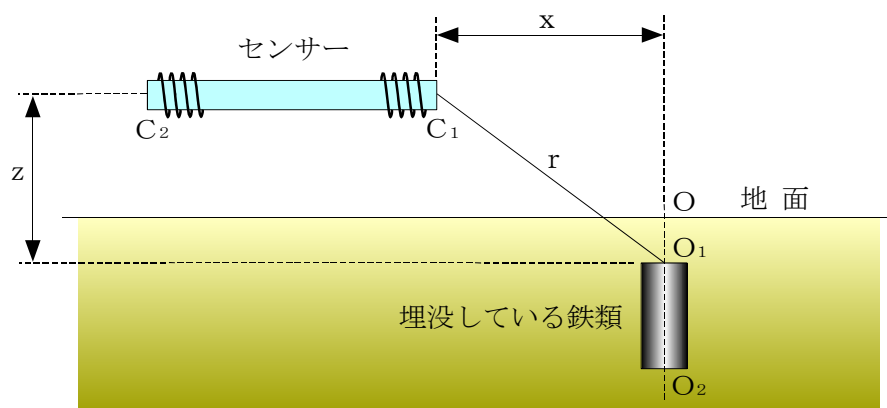


図 2 単極モデルによる理論式

この鉄類 O_1 、 O_2 の上をコイル C_1 、 C_2 を持つ検知器が地表に平行に移動する場合を考える。今、 M を磁性体の一端 O_1 の磁気量とし、 C_1 、 O_1 間の距離を r とすると、検知器の一端に働く磁場の強さ P は

$$P = \frac{M}{r^2} \dots \dots \dots (1)$$

と表せる。

この強さ P は、 $O_1 C_1$ 方向間に働くものであるから、これを X 方向すなわち水平成分にすると、図3から

$$\frac{X}{P} = \frac{C_1 O}{C_1 O_1} = \frac{x}{r}$$

ゆえに

$$X = \frac{P \cdot x}{r} \dots \dots \dots (2)$$

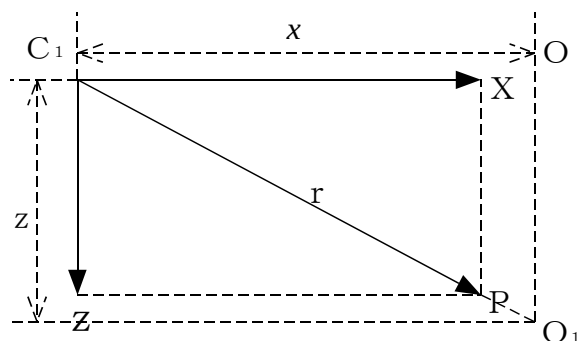


図3 ベクトル図

(1)式を(2)式に代入すれば磁場の強さの水平成分 X は、

$$X = \frac{M \cdot x}{r^3} \dots \dots \dots (3)$$

となる。また、両コイル型磁気傾度計の検知器で測定されるのは、コイルの移動により生じる磁場の変化による起電力(E)であるから

$$E = \frac{dX}{dt} = \frac{dX}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} \dots \dots \dots (4)$$

ここで $\frac{dX}{dx}$ は場所による磁力の変化、 $\frac{dx}{dt} = V$ はセンサーの移動速度

である。(3)式及び速度 V を(4)に代入すれば、

$$E = \frac{d}{dx} \left(\frac{M \cdot x}{r^3} \right) \cdot V = V \cdot M \cdot \frac{d}{dx} \left(\frac{x}{r^3} \right) \dots \dots \dots (5)$$

また、図 3 より $r = \sqrt{x^2 + z^2}$ であるから、これを (5) 式に代入して微分すれば

$$E = V \cdot M \cdot \frac{d}{dx} \left(\frac{x}{r^3} \right) = V \cdot M \cdot \frac{z^2 - 2x^2}{r^5} \quad \dots \dots \dots (6)$$

となる。(6) 式を変形して (7) 式となる。

$$\frac{E}{V} = M \cdot \frac{z^2 - 2x^2}{r^5} \quad \dots \dots \dots (7)$$

場所による磁力の変化 $\frac{dX}{dx} = \frac{E}{V}$ を縦軸に、図 3 の水平距離 x を横軸にとって
グラフにすると図 4 になる。

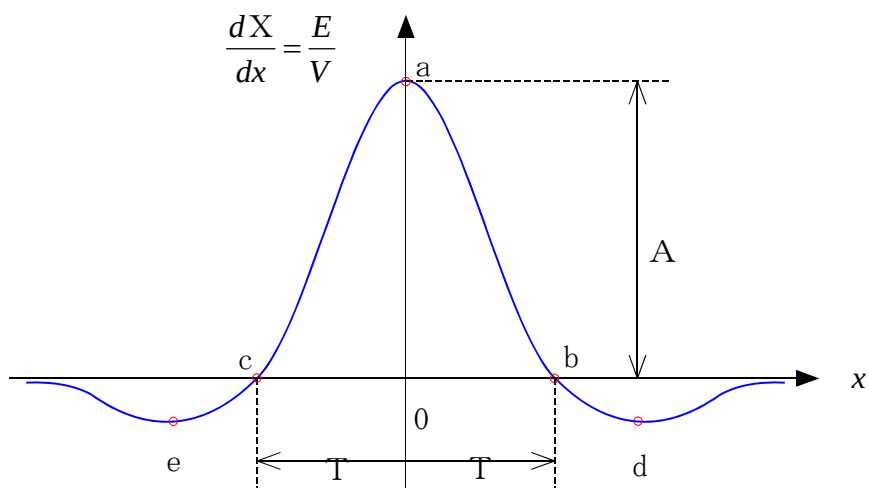


図 4 検知器一端のコイルによる単極の波形

図 4 より x と $\frac{dX}{dx} = \frac{E}{V}$ の関係を求める。点 b, c は (6) 式の $E = 0$ のときであるから、

$$z^2 - 2x^2 = 0 \quad \text{すなわち} \quad x = \pm \sqrt{\frac{1}{2}} \cdot z \quad \dots \dots \dots (8)$$

点 a, d, e については、 $\frac{dE}{dx} = 0$ すなわち $\frac{d^2X}{dx^2} = 0$ のときであるから

$$\frac{d^2}{dx^2} X = M \frac{d}{dx} \left(\frac{z^2 - 2x^2}{r^5} \right) = M \frac{6x^3 - 9xz^2}{r^7} = M \frac{6x(x - \sqrt{3/2}z)(x + \sqrt{3/2}z)}{r^7}$$

ゆえに

$$\text{点 a では、} x = 0 \text{ で } \frac{dX}{dx} = M \frac{z^2}{r^5} = \frac{M}{z^3} \quad \dots \dots \dots (9)$$

$$\text{点 d, e では } x = \pm \sqrt{\frac{3}{2}}z \text{ で } \frac{dX}{dx} = -M \frac{z^2 - 2(\sqrt{3/2}z)^2}{(z^2 + (\sqrt{3/2}z)^2)^{5/2}} \approx -0.202 \frac{M}{z^3} \dots \dots (10)$$

である。以上の計算結果から記録の周期 $T = ob = oc = \sqrt{\frac{1}{2}} \cdot z$ であり、周期は深さ（センサーと磁極との距離）に比例する。

したがって、周期を読み取ればセンサーからの距離 z が計算できる。この場合、記録紙の横方向の長さを実際の距離に換算する必要がある。

両コイル型磁気傾度計では、コイルを 2m 間隔に 2 個使用しているので、記録紙上の磁気波形は、2m 相当に離れて極性が逆向きに現れる。すなわち、図 5 の記録紙上の長さ L が 2m に相当する。

図4のTは距離に換算すれば

$$\frac{2T}{L} \text{ となる。即ち } \frac{2T}{L} = x$$

センサーと鉄類の距離 z を D とすれば

(8)式は、

$$x = \frac{2T}{L} = \sqrt{\frac{1}{2}} \cdot z = \sqrt{\frac{1}{2}} \cdot D$$

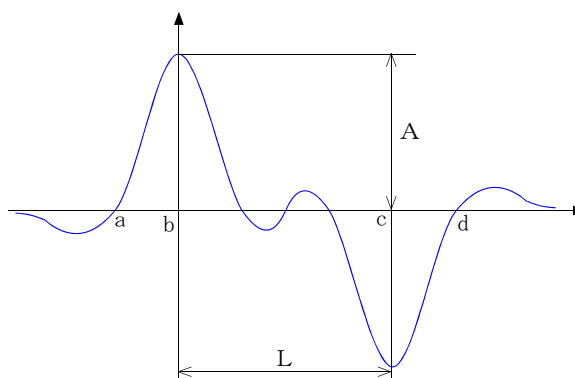


図5 傾度計による単極の波形

ゆえに

$$D = \sqrt{2} \cdot \frac{2T}{L} \dots\dots\dots (11)$$

となる

また、図5の $\frac{dX}{dx} = A$ から、 A が最大の際は $x = 0$ の時で、 $r = z$ となり、

(9)式は、

$$\frac{dX}{dx} = M \left(\frac{z^2}{r^5} \right) = \frac{M}{z^3} \quad \therefore M = z^3 \left(\frac{dX}{dx} \right) \dots\dots\dots (12)$$

となる。

すなわち、振幅 $\frac{dX}{dx} = A$ は磁気量に比例する。

探査記録の解析に用いる計算式

一般には、センサーのコイルが2個あって、N、Sの2極があるので測定記録は、図6の C_1O_1 、 C_2O_2 、 C_2O_1 、 C_1O_2 の4個の合成波形となる。

しかし、実際の波形は埋没鉄類の埋没状況が鉛直・傾斜などさまざまで、長さや形がいろいろと変化しているので測定波形に変化が出る。機雷や爆弾をモデルに、周期とセンサーまでの距離が、どのような関係にあるかをモデル缶体の形態別にコンピューターを使用したモデル計算を行い、機雷や、爆弾の模擬缶体測定実験と対比して、次頁 図7の波形を想定して、距離 z 、磁気量 M の解析式を導いた。

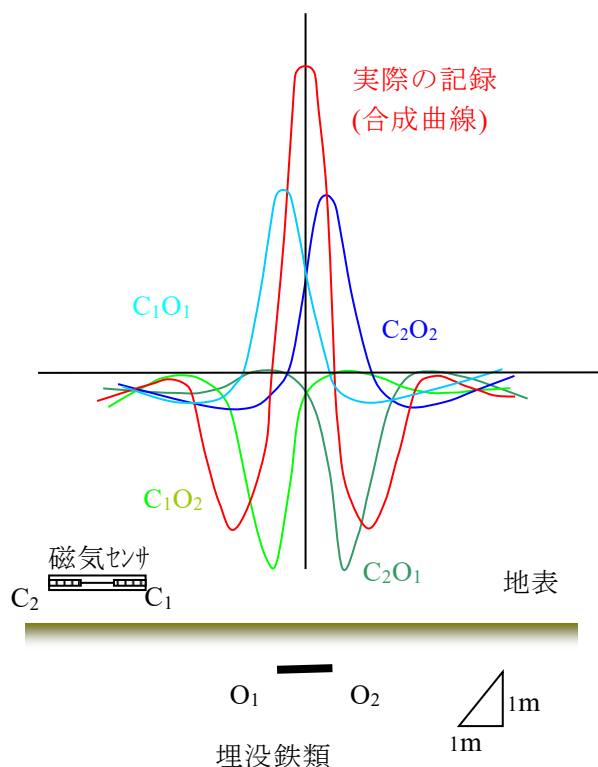


図6 合成波形

すなわち、距離を単極型と双極型に大きく分け、それぞれ T_1 、 T_2 、振幅 A_1 、 A_2 を読み取る。ここで T は最大振幅 A_1 と第2振幅 A_2 の半周期から、

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2} \dots \dots \dots (13)$$

とする。

深度 D は、

$$\left. \begin{aligned} D &= \frac{2T}{L} \times 1.485 && \text{ただし} && \frac{T}{L} < 0.4 \\ D &= \frac{2T}{L} \times 2.161 - 0.528 && \text{ただし} && \frac{T}{L} \geq 0.4 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (14)$$

となる。

磁気量の算出は次の振幅 A を用いるものとして次の計算式で行う。

$$M = K \times A \times D^3 \div V \div F(D) \dots \dots \dots (15)$$

$$A = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

ここで、 K は記録紙の振幅の比率（増幅率）を示す感度係数、 $F(D)$ は磁気量を補正する距離係数（ T が距離の増大と共に理論式より長くなることの補正）。

感度係数は、距離 $D=1\text{m}$ 、速度 $V=1\text{m/sec}$ 、磁気量が $1\text{gauss} \cdot \text{cm}^2$ で振幅が 1mm になるとき、 $K=1$ とする。

(15)式で $F(D)=1$ として振幅 A を求めると、

$$A = \frac{1}{K} \cdot M \times V \div D^3 \quad \dots \dots \dots (16)$$

ここで $V=100\text{cm/sec}$ 、 $D=100\text{cm}$ 、
 $M=1\text{gauss} \cdot \text{cm}^2$ で [日本物理探鑛(株)(N. G. P.)単位] とすると

$$A = \frac{1}{K} \times 1 \times 100 \div 100^3 = \frac{1}{K} \times 10^{-4} \quad (\text{gauss/sec}) \quad \dots \dots \dots (17)$$

となる。電磁単位では、 $1\text{gauss}=10^5 \gamma$ であるから(17)式は、

$$A = \frac{1}{K} \times 10 \quad (\gamma/sec) \quad (\text{N. G. P. 単位})$$

となる。これを c. g. s. 電磁単位で測定した結果と対比すると、

$$A = \frac{1}{K} \times 55 \quad (\gamma/sec) \quad (\text{c. g. s. 単位}) \quad \dots \dots \dots (18)$$

が得られており、N. G. P. 単位と、c. g. s. 電磁単位とは 10 : 55 の比率になっている。

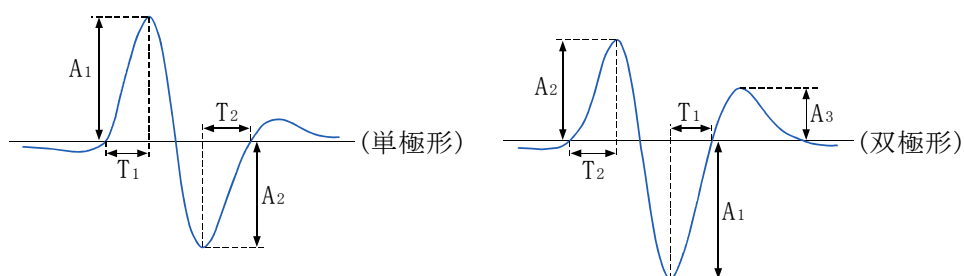


図7 記録の読み取り

巻 末 資 料

資料－１ 埋没不発弾等の磁気探査要領の改訂について

沖 不 発 第 1 号
平 成 2 1 年 4 月 1 日

沖縄県
土木建築部長 殿

沖縄不発弾等対策協議会長
沖縄総合事務局次長 森田 悦三



埋没不発弾等の磁気探査要領の改訂について

標記について、別添のとおり改訂したので通知する。



昭和49年5月13日
改訂平成21年4月 1日
沖縄不発弾等対策協議会決定

埋没不発弾等の磁気探査要領

沖縄不発弾等対策協議会を構成する公共事業等を行う事業者は、住民の安全と作業者の安全を守るため、埋没不発弾等の事前発見に積極的に取り組むものとする。このため、事業の実施に当たり、各事業者は、以下の事前調査を必ず実施し、その結果、不発弾等が埋没している可能性を否定できない地域（箇所）においては、磁気探査を行うものとする。

1. 事前調査

(1) 「沖縄不発弾等事前調査データベースシステム」により、下記項目について確認作業を行うものとする。

- ・ 不発弾の発見状況及び磁気探査等の状況
- ・ 戦時中の交戦状況
- ・ 戦後の地形の変化及び改変状況

なお、システムで確認できない情報については、地域住民に聞き取り調査等を実施し、補足するものとする。

(2) 既存資料に基づく地形、地質状況の確認

(不発弾等の埋没又は貫入の可能性に関する土質学的検討)

2. 受注者への周知

各事業者は、工事を発注する際、事前調査及び磁気探査の結果を工事の仕様書等に記載し、受注者に対して周知しなければならない。

3. 磁気探査

各事業者は、別紙「磁気探査指針」に留意し、磁気探査の実施に当たっては、各事業者が別途実施要領を作成するものとする。

磁気探査指針

○目的

不発弾等磁気探査において、不発弾等の有無、埋没位置等の把握を適正に行う目的で定めるものであり、事前調査、探査計画の策定、探査の実施、資料解析等の必要事項を定め磁気探査調査の指針とする。

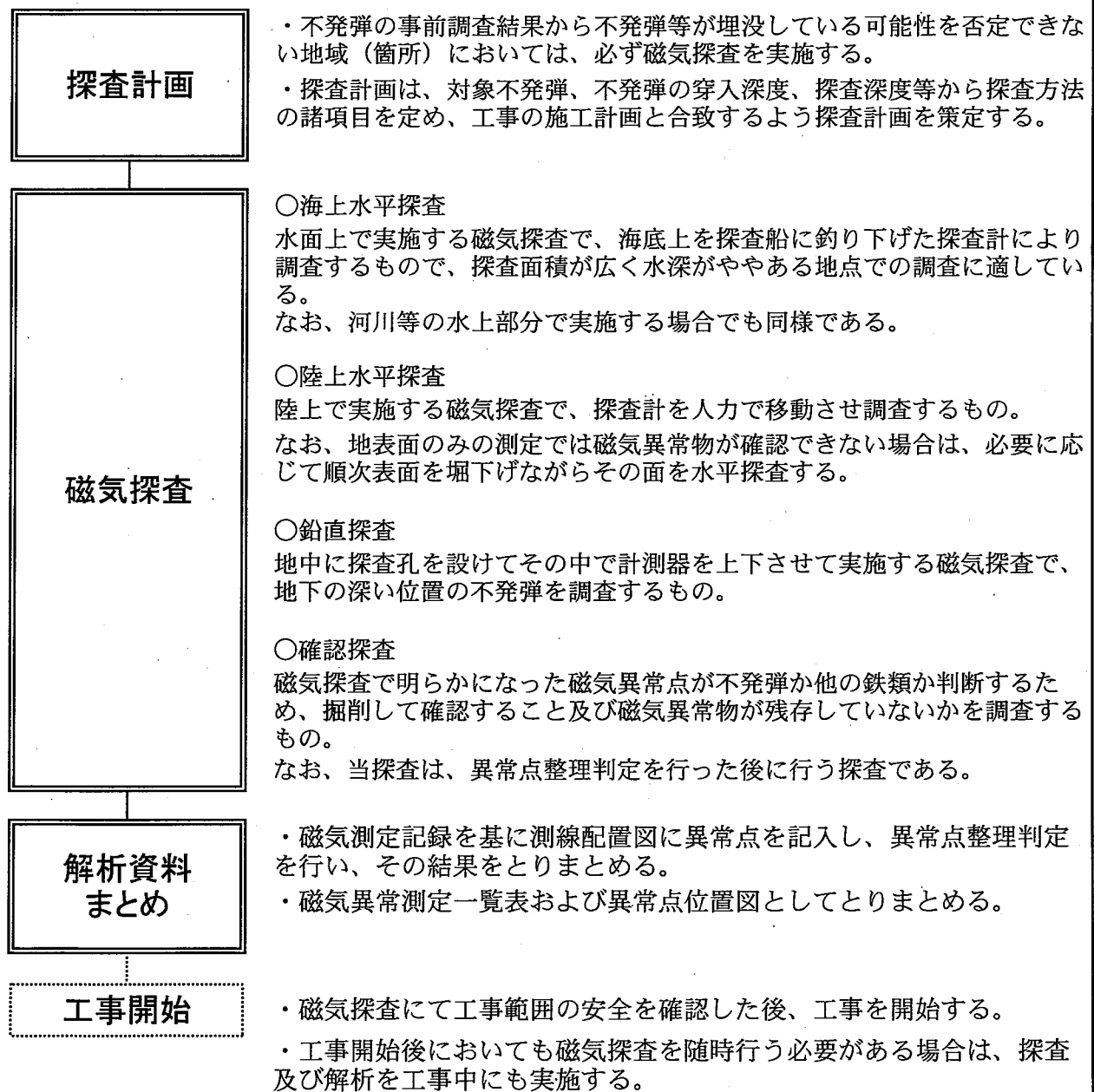
○事前調査とは

埋没不発弾等の磁気探査要領による事前調査（１）から（２）のことである。

○磁気探査とは

地球磁場内で鉄類が磁化して、鉄類の周囲に微弱な磁気異常が生じる。この磁気変化を探査計で測定し、その磁気異常から地下構造を解析する方法で、不発弾等が鉄類で出来ていることを利用して、磁気探査による不発弾等探査を行う方法を磁気探査と称し、探査により磁気量、位置、等を明らかにするものである。

○磁気探査実施の手順



要領改訂のポイント

現行の要領は、埋没不発弾等の事前調査等について曖昧で分かりづらいとの意見が多くあり、公共事業者等が的確に判断出来るよう、以下の点を明記し、改正案（別紙）を作成した。

- ① 本要領は「沖縄不発弾等対策協議会」決定し、発出するものである。
- ② 表題「埋没不発弾等の事前探査要領」を「埋没不発弾等の磁気探査要領」に名称を改め、（暫定）は削除した。

（趣旨）

- ③ 公共事業等において、住民と作業者の安全を守るため、埋没不発弾等の事前発見に積極的に取り組むこと。

（適用範囲）

- ④ 協議会を構成する公共事業等を行う事業者を対象とすること。

（義務付け）

- ⑤ 事業の実施に当たり事前調査を必ず実施すること。
- ⑥ 不発弾等が埋没している可能性を否定できない地域（箇所）においては、磁気探査を行うものとする。
- ⑦ 事前調査及び磁気探査の結果を工事仕様書等に記載し受注者に対し周知すること。
- ⑧ 磁気探査の実施に当たっては、各事業者が実施要領を作成するものとする。

昭和 49 年 5 月 13 日

改訂 平成 21 年 4 月 1 日

沖縄不発弾等対策協議会決定

~~埋没不発弾等の事前探査磁気探査要領（暫定）~~

~~公共事業の安全かつ円滑な推進を図るため、当分の間、発注者の判断により、事業の実施のあたり、埋没不発弾等の有無の探査および確認等の事前探査を次により行う。~~

沖縄不発弾等対策協議会を構成する公共事業等を行う事業者は、住民の安全と作業者の安全を守るため、埋没不発弾等の事前発見に積極的に取り組むものとする。このため、事業の実施に当たり、各事業者は、以下の事前調査を必ず実施し、その結果、不発弾等が埋没している可能性を否定できない地域（箇所）においては、磁気探査を行うものとする。

1. ~~事前探査概要~~

~~(1) 不発弾埋没状況調査による不発弾等の埋没可能性区域の調査結果を参考とするとともに、各事業の施工箇所ごとに、2. の予備調査を行う。~~

~~(2) 2. 予備調査をもとに、発注者が不発弾等の埋没可能性について、その程度を判断し、磁気探査を行う。~~

~~2. 1. 予備事前調査~~

~~予備調査は、地域住民からの聞き取り、および関係市町村等の協力を得て(2)～(4)の情報および資料を入手するとともに、(5)の調査を行う。~~

(1) 「沖縄不発弾等事前調査データベースシステム」により、下記項目について確認作業を行うものとする。

・ 不発弾の発見状況及び磁気探査等の状況

~~(1)(2) 戦時中の交戦の状況~~

~~(2) 不発弾(3) 戦後の地形の変化及び改変状況~~

~~(3) 等の発見の状況および投棄の有無~~

なお、システムで確認できない情報については、地域住民に聞き取り調査等を実施し、補足するものとする。

(2) 既存資料に基づく地形、地質の概要状況の確認

(不発弾等の埋没または又は、貫入の可能性)に関する土質学的アプローチ検討)

2. 受注者への周知

各事業者は、工事を発注する際、事前調査及び磁気探査の結果を工事の仕様書等に記載し、受注者に対して周知をしなければならない。

3. 磁気探査

各事業者は、別紙「磁気探査指針」に留意し、磁気探査の実施に当たっては、各事業者が別途実施要領を作成するものとする。

特記仕様書記載例（案）

2. 受注者への周知

発注者は ～ 受注者に対して周知をしなければならない。

【周知例】（案）

- ・工事の特記仕様書へ施工条件明示する。

第〇〇章 施工条件明示

第〇条 磁気探査

(A) ・ 本工事の施工範囲で、別添に示す箇所について事前調査を行い
その結果、事前に磁気探査を実施している。

①事前調査の結果を別紙に示す。また、磁気探査を実施した結果、
磁気異常点は確認されていない。

又は

②事前調査の結果を別紙に示す。また、磁気探査を実施した結果、
別添に示すとおり磁気異常点が確認されていることから、確認
された磁気異常地点において確認探査を実施すること。

又は

(B) ・ 本工事の施工範囲で、別添に示す箇所について事前調査を行い
その結果を別紙に示す。また、事前調査の結果、現在、磁気探
査を実施しており、その受注者と十分打ち合わせを行い、磁気
異常点が確認された地点においては確認探査を実施すること。
なお、磁気探査の完了は〇月〇日を予定している。

※ (A) ① → 工事と別件業務で事前に磁気探査を実施し、磁気異常点
が確認されなかった場合。

(A) ② → 工事と別件業務で事前に磁気探査を実施し、磁気異常点
が確認された場合。

(B) → 工事と別件業務で磁気探査を実施しているが、工事契約
時においても磁気探査を継続実施している場合。