

VI-120

電磁波による地中情報伝送システム（EM-MWD）

石油公団 石油開発技術センター 正員 梶 修
 正員 伊原 広明
 正員 奥村 直士

1. はじめに

石油井掘削において、坑底での計測データを連続的に地表へ伝送する情報化施工システムとしてMWD (Measurement While Drilling) がある。泥水圧力波を情報伝送手段としたMWDは実用化され、掘削の安全性、経済性の向上が認められている。しかし、最近の掘削が海洋・大深度・高傾斜等、難しい状況下におかれることが多くなるに伴い、より多くのデータを確実に高頻度で収集する必要性が高まっている。このような要求に応えるためには泥水圧力波による伝送方式には限界があるため、電磁波を伝送方式に用いるEM-MWD (Electro Magnetic-MWD)の研究開発を行っている。

地中での電磁波の減衰は非常に大きく、周波数が高いほど著しく、MWDは伝送距離が5000mにも達するため、数10Hzという極超長波長電磁波(ELF)を用いる必要がある。このELFの地中伝送特性を把握し、EM-MWD技術確立のために、データの地中伝送について電界解析シミュレーションを実施した。ここでは、その結果について報告する。

2. 解析プログラム

対象とするモデルは、極めて細長い構造であり、またドリルストリングスや地層を考慮した解析を行うため、手法としては有限要素法と境界要素法を組合せた方法を用いた。解析法の概要は次に示すとおりである。

- (1) 基本方程式：複素変数の軸対象ラプラス方程式
- (2) 解析領域：無限遠を含めた全空間
- (3) 境界条件：1) 電極間の電位差 $=\Delta V$
 2) 総電荷量 $=0$
 3) 無限遠における電位 $=0$
- (4) 離散化手法：FEMとBEMのハイブリッド法
 FEM領域 電極、ドリルストリングスおよび坑口元地表付近を対象
 BEM領域 無限遠を含むFEM領域以外の領域（地層、大気層）

以上の手法をもとに、シミュレーションプログラムを作成した。

シミュレーションプログラムの妥当性を評価するために、直径1.9m高さ2.3mの円筒形水槽を用いて電界放射の実験を行った。実験結果で求めた電界ベクトルと実験で測定した電界ベクトルはかなり一致し、シミュレーションの妥当性が確かめられた。

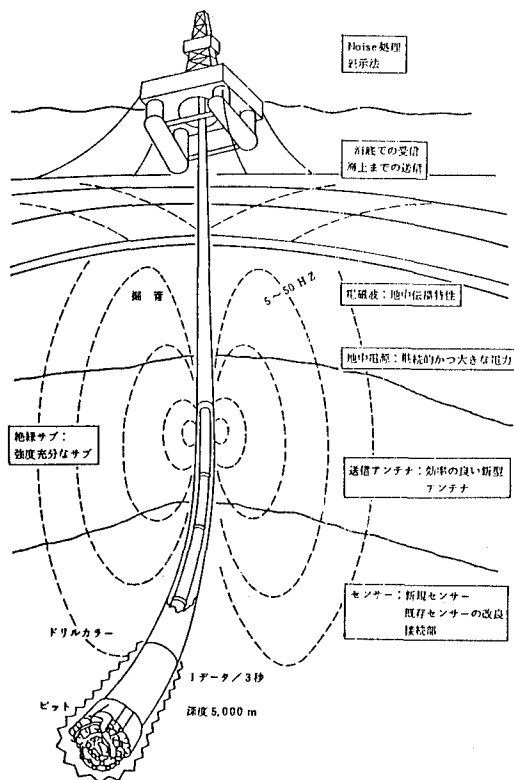


図-1 EM-MWD概念図

3. 解析結果

本シミュレーションプログラムを使用して、地中における電磁波の伝播特性についての地層、ドリルストリングスの影響、送信電力、電界分布を求めることを目的として解析を行った。

その結果、次のことが判明した。

- (1) ドリルストリングスの影響は非常に大きく、地表付近の電界はダイポール型送信器と比較して、著しく増大している。
- (2) ケーシングおよびマッドを考慮すると、地表付近の電界強度と送信電力は大きくなる。
- (3) 地層が均質の場合、送信器への印加電圧が一定であれば、消費電力は地層の導電率にほぼ比例する。
- (4) ドリルストリング長が500mの場合、地層の導電率が 0.1 s/m で送信アンテナへ実効値70V印加すると地表付近での電界強度は約 1 mV/m 以上で、その向きは地表と平行でドリルストリングスの中心から放射方向であり、送信電圧は約1kwである。
- (5) ドリルストリング長が3000mの場合、500mの場合と比較して、地表付近の電界強度は約 $1/10$ の 0.1 mV/m となるが、送信電力は約1.1kwであり大差がない。

4. まとめ

坑底送信アンテナに1kwの電力を供給すれば、地層の導電率が 10 s/m であっても、深度500mの坑井では $100 \mu\text{V/m}$ 、3000mでは $10 \mu\text{V/m}$ であり、深度3000mでも信号処理が可能なS/N (30dB) で坑底からの信号が得られると考えられる。

これらは、あくまでも数値シミュレーションを中心とした検討結果であり、今後は坑井における電磁波伝送実験を実施し、検証する予定である。

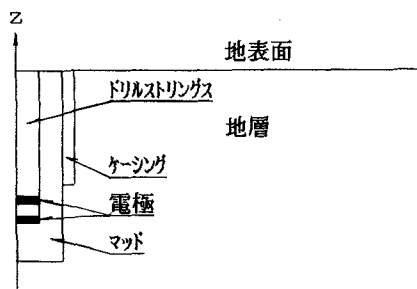


図-2 解析モデル

表-1 解析ケース

	深度(m)	ドリルストリングス	ケーシング, マッド	地層
A	500	無	無	均質
B	500	有	無	均質
C	500	有	有	均質
D	500	有	有	三層
E	3000	有	無	均質

表-2 解析結果

	地表付近の電界強度	送信電力
A	$6.77 \times 10^{-8} \text{ V/m}$	442 w
B	1.23×10^{-3}	835
C	1.45×10^{-3}	1007
D	3.24×10^{-3}	1004
E	1.12×10^{-4}	1113

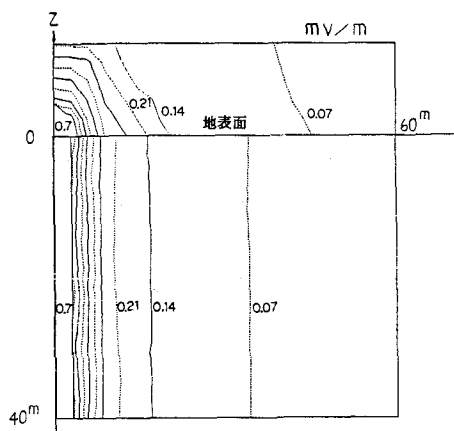


図-3 電界強度分布図(3000m)