

特殊三軸磁気センサーの実験結果報告書

平成 14 年 10 月

日本ジタン株式会社

1．実験の目的

橋脚の基礎付近にある鉄製構造物（鋼管杭、鋼矢板等）の存在を、特殊三軸磁気センサー（以下三軸センサー）で検知できるかどうかを実験により確認すること。

2．三軸センサーの仕様

測定対象：直流磁界

有効測定範囲： $\pm 200.0 \mu\text{T}$

最小分解能： $0.1 \mu\text{T}$ (最小読取値 $0.01 \mu\text{T}$)

外径寸法：本体 250(W) × 99(H) × 300(D) mm

センサープローブ 79() × 600(L) mm

ケーブル長 50m

電源：AC100V または 12V バッテリー



3．実験内容

- 1) 三軸センサーの精度を確認するため、三軸センサーを固定し、所定の距離にある帯磁物の位置が特定できるかを検証する。
- 2) 三軸センサープローブ（以下プローブ）を鉛直方向に移動させて、帯磁物の磁界を測定し、鉛直方向の位置及び平面位置が特定できるかを検証する。

4．実験方法

- 1) 3 - 1) については、垂直に立てた長さ 1m の帯磁物の高さと同じになるよう、プローブの 1 号センサーを地表 1m の高さに垂直に設置し、距離と方向を変えて、磁界を測定した。
- 2) 3 - 2) については、まず、プローブを鉛直方向に移動させるため、やぐらを組み、塩ビ管を利用してガイドレールを設置し、プローブの回転がないようにした。実際の測定では、帯磁物をクレーンで吊り下げ所定の位置にセットし、小型ウインチでプローブを昇降させ、磁界測定を行った。（添付写真参照）

今回実施した磁界測定は次の 3 ケースである。

- 1．短い帯磁物が測定区間内にある場合の磁界測定(45 度及び 315 度での距離を変えての測定)
- 2．長い帯磁物の端部が測定区間にあり、その途中までの磁界測定 (0 度, 45 度及び 90 度での距離を変えての測定)
- 3．短い帯磁物を X 軸に対して平行に位置を変化させた場合の測定結果

今回実験に使用した帯磁物の形状寸法は次のとおりである。

品名：鉄パイプ

形状寸法：240() × 1000(L), 12(T) mm

5 . 測定結果

次ページ以降に、今回の測定結果,及び結果記録を示す。

結果記録に記載している項目としては

- ・ select
試料深度を読み取る際に X 成分、Y 成分のどちらのデータを用いたか
- ・ distance
波形より読み取った試料深度

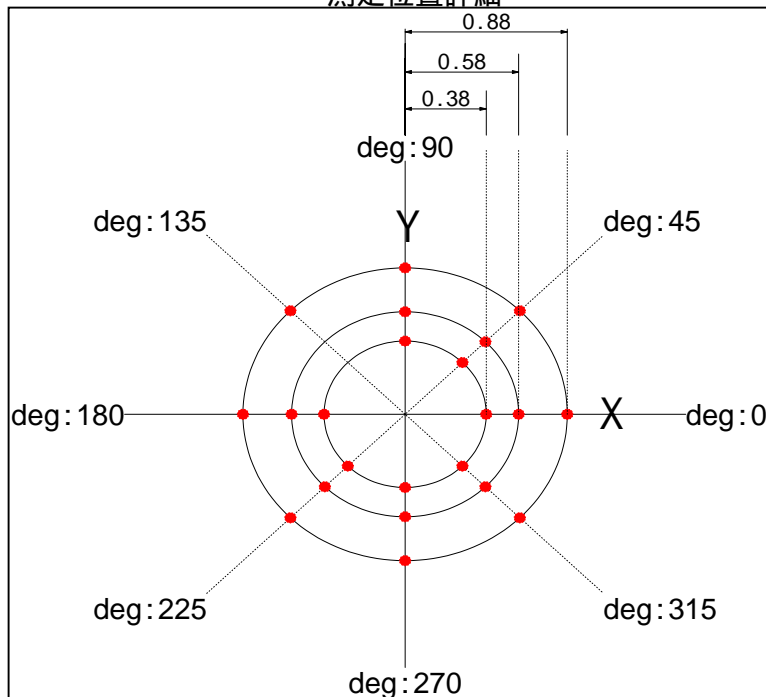
また計算結果として、試料までの水平距離、X 軸を 0 度とした試料方向を記載している。

測定結果

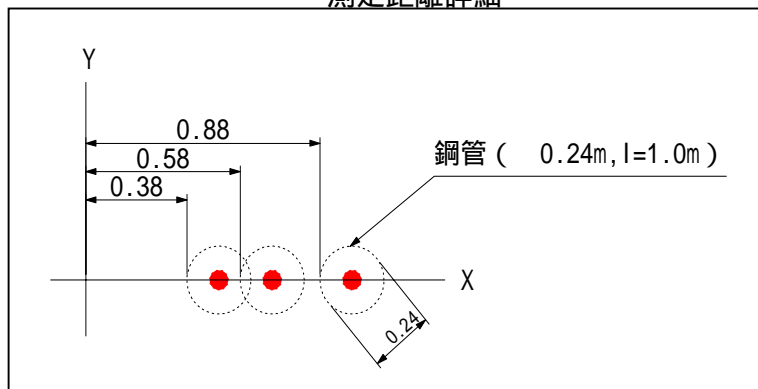
測定角度 度	距離 (cm)		方向 (度)		距離 (cm)		方向 (度)		距離 (cm)		方向 (度)	
	38.0	差	計算値	差	58.0	差	計算値	差	88.0	差	計算値	差
0	32.6	-5.4	0.9	0.9	54.9	-3.1	-2.1	-2.1	81.7	-6.3	-9.2	-9.2
45	32.1	-5.9	44.3	-0.7	63.7	5.7	38.0	-7.0	80.7	-7.3	34.2	-10.8
90	32.5	-5.5	86.8	-3.2	58.9	0.9	84.2	-5.8	84.7	-3.3	85.7	-4.3
135	33.6	-4.4	140.5	5.5	53.7	-4.3	133.6	-1.4	79.5	-8.5	125.5	-9.5
180	32.6	-5.4	177.6	-2.4	55.2	-2.8	178.9	-1.1	85.4	-2.6	185.2	5.2
225	33.0	-5.0	223.0	-2.0	57.8	-0.2	226.2	1.2	83.0	-5.0	229.8	4.8
270	35.2	-2.8	269.3	-0.7	51.8	-6.2	274.4	4.4	83.8	-4.2	276.4	6.4
315	-	-	-	-	-	-	-	-	84.7	-3.3	319.5	4.5

*315度(38,58cm)については、測定台設置のため測定していない

~測定位置詳細~



~測定距離詳細~



deg:0 r=0.38

測定回数	X1	Y1	Z1	Total1	X2	Y2	Z2	Total2
1	-73.30	26.01	-39.34	87.16	-49.32	26.41	-17.82	58.72
2	-73.35	26.03	-39.33	87.20	-49.30	26.36	-17.79	58.67
3	-73.30	26.06	-39.31	87.16	-49.33	26.41	-17.81	58.72
4	-73.28	26.07	-39.31	87.15	-49.34	26.42	-17.82	58.74
5	-73.27	26.03	-39.33	87.14	-49.33	26.42	-17.82	58.73
6	-73.27	26.05	-39.33	87.14	-49.34	26.42	-17.80	58.73
7	-73.36	26.06	-39.32	87.22	-49.29	26.38	-17.79	58.67
8	-73.33	26.03	-39.33	87.19	-49.34	26.42	-17.79	58.73
9	-73.30	26.01	-39.32	87.15	-49.31	26.41	-17.80	58.70
10	-73.30	26.03	-39.32	87.16	-49.33	26.42	-17.79	58.72
11	-73.29	26.03	-39.33	87.15	-49.34	26.42	-17.82	58.74
12	-73.29	26.04	-39.33	87.16	-49.32	26.43	-17.80	58.72
13	-73.33	26.06	-39.34	87.20	-49.31	26.41	-17.79	58.70
14	-73.32	26.03	-39.33	87.18	-49.29	26.43	-17.77	58.68
15	-73.30	26.06	-39.33	87.17	-49.30	26.45	-17.79	58.71
16	-73.29	26.06	-39.32	87.16	-49.31	26.42	-17.78	58.70
17	-73.33	26.03	-39.35	87.20	-49.32	26.40	-17.83	58.71
18	-73.34	26.02	-39.33	87.19	-49.32	26.45	-17.81	58.73
19	-73.32	26.03	-39.34	87.18	-49.34	26.42	-17.81	58.73
20	-73.28	26.05	-39.33	87.15	-49.31	26.42	-17.80	58.71
average	-73.31	26.04	-39.33	87.17	-49.32	26.42	-17.80	58.71

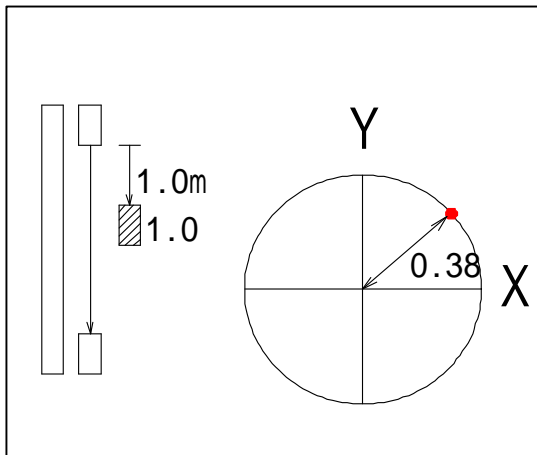
F1

32.23

距離 角度

32.64 0.90

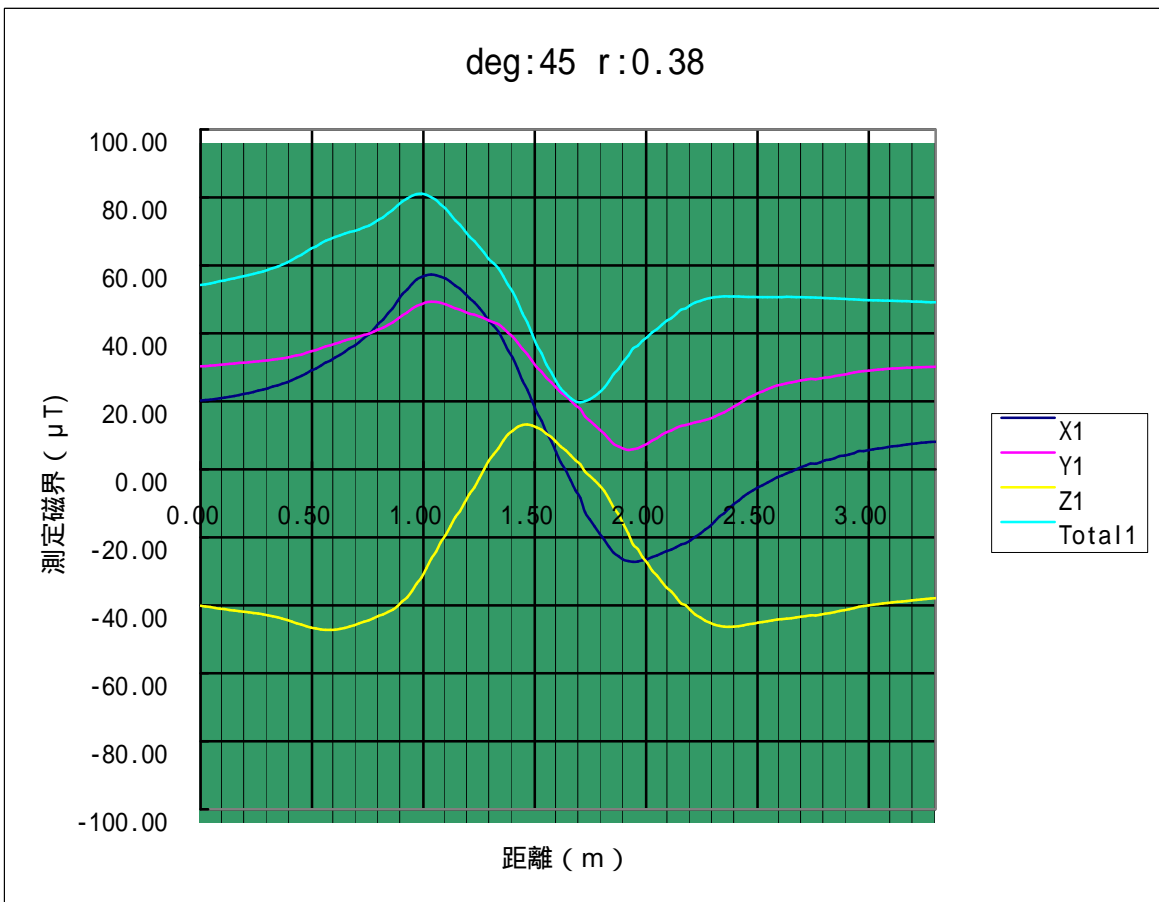
() deg:45 r:0.38



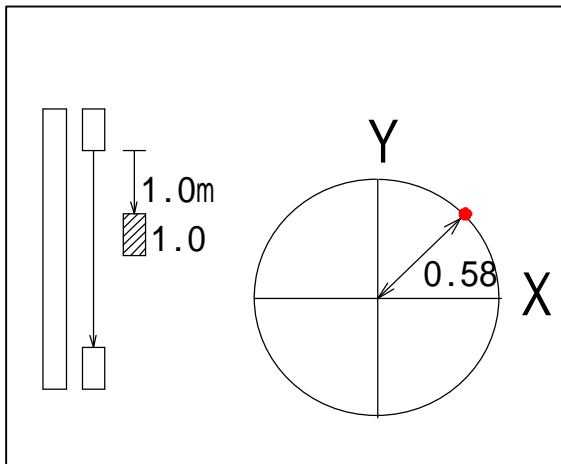
select: X
distance: 1.04

	X	Y	Z	Total
H1	57.31	49.31	-26.31	80.05
H2	42.45	42.95	-44.98	75.30
H1-H2	14.86	6.36	18.67	24.69

計算結果
距離 (cm) 方向 (度)
37.4 23.2



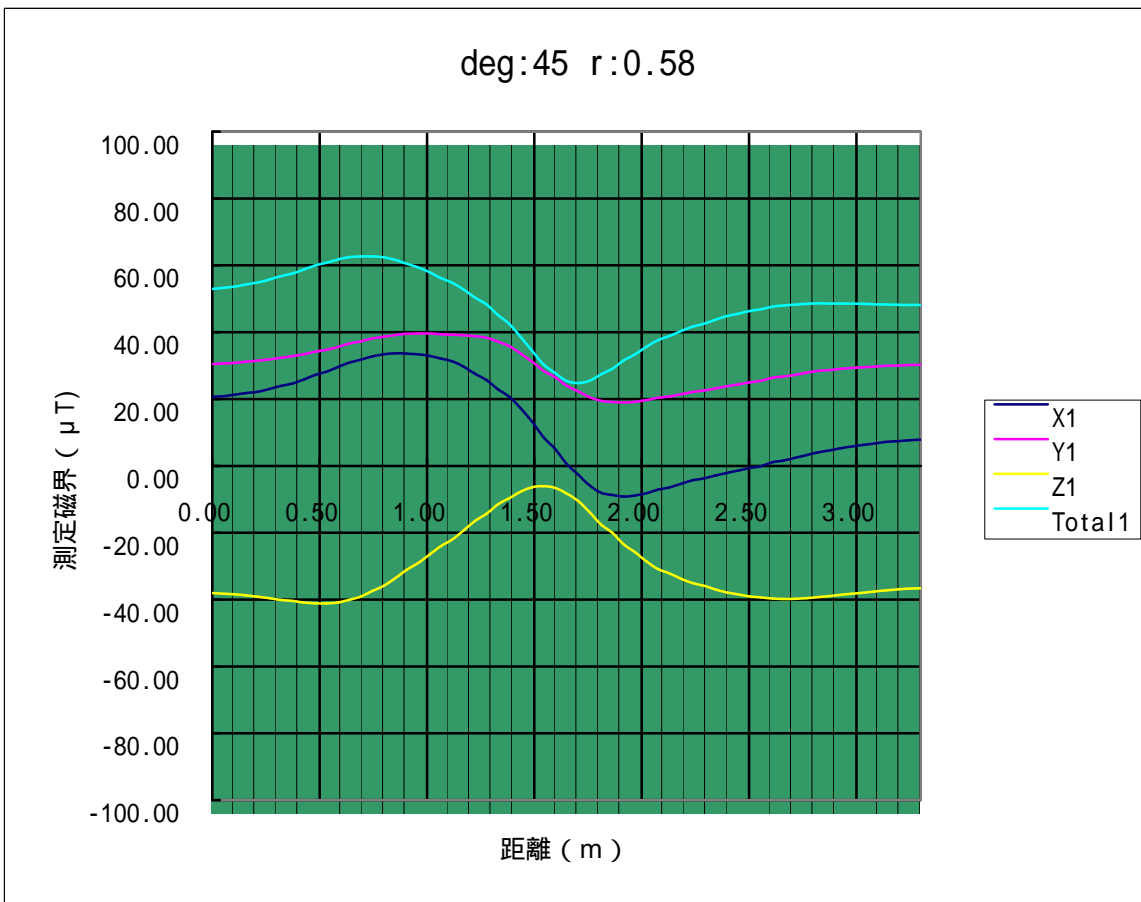
() deg:45 r:0.58



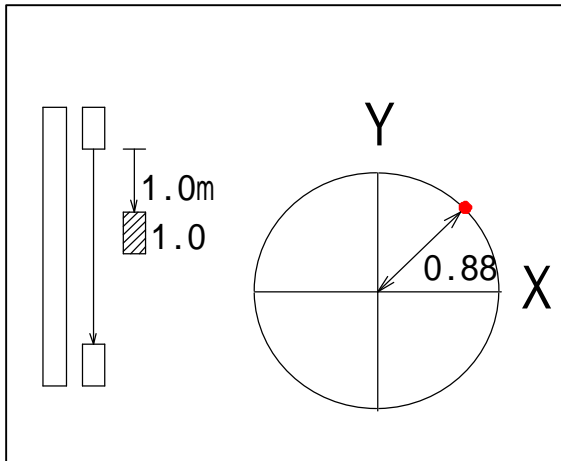
select: X
distance: 0.96

	X	Y	Z	Total
H1	33.39	39.63	-29.08	59.42
H2	29.05	37.47	-37.05	60.17
H1-H2	4.34	2.16	7.97	9.33

計算結果
距離 (cm) 57.9
方向 (度) 26.5



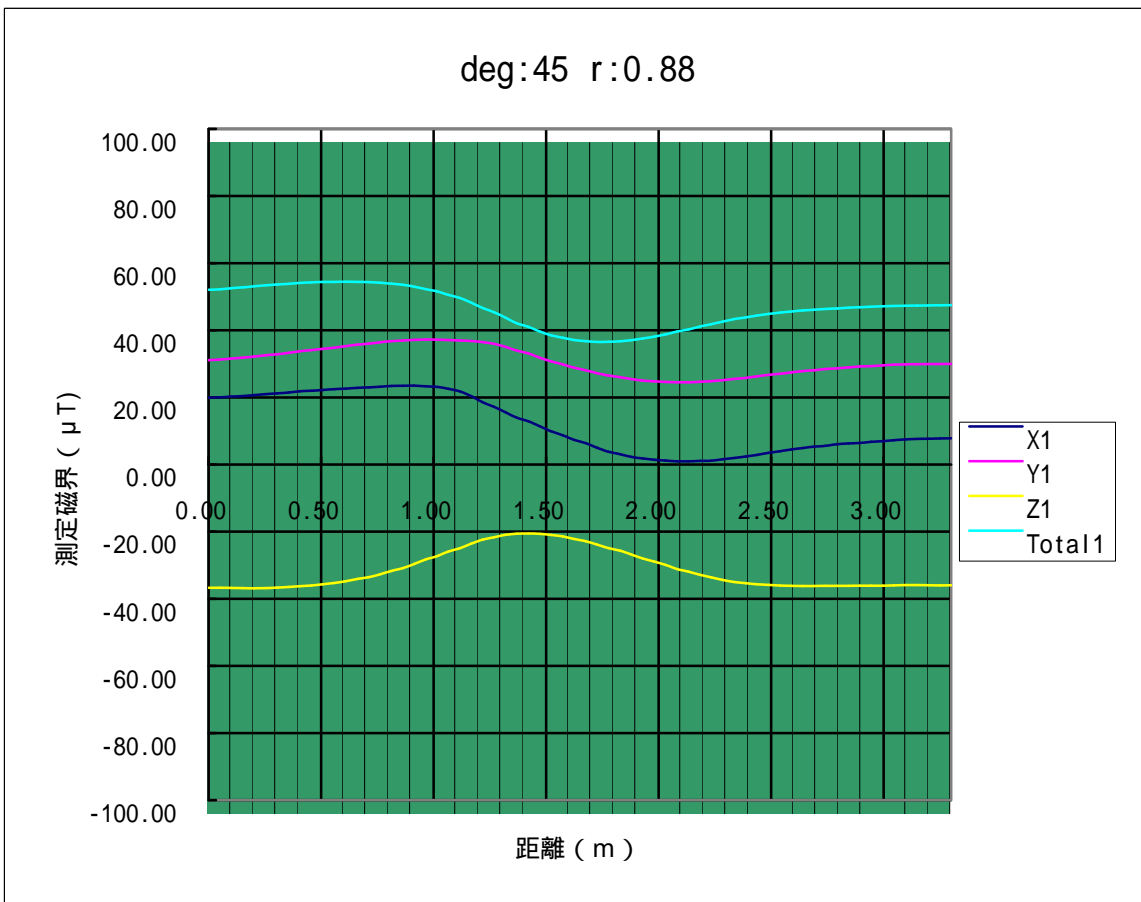
() deg:45 r:0.88



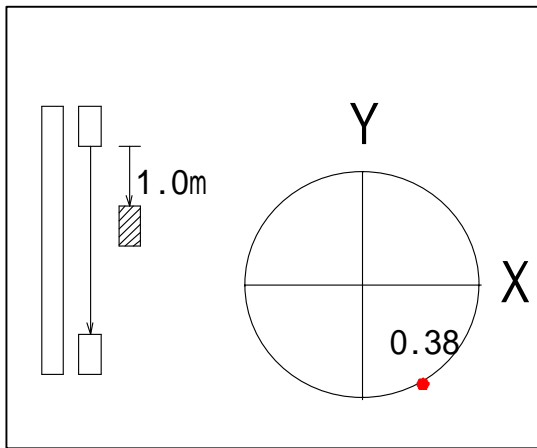
select: X
distance: 0.91

	X	Y	Z	Total
H1	23.49	37.14	-29.63	53.00
H2	22.53	36.18	-33.63	54.54
H1-H2	0.96	0.96	4.00	4.22

計算結果
距離 (cm) 方向 (度)
85.0 45.0



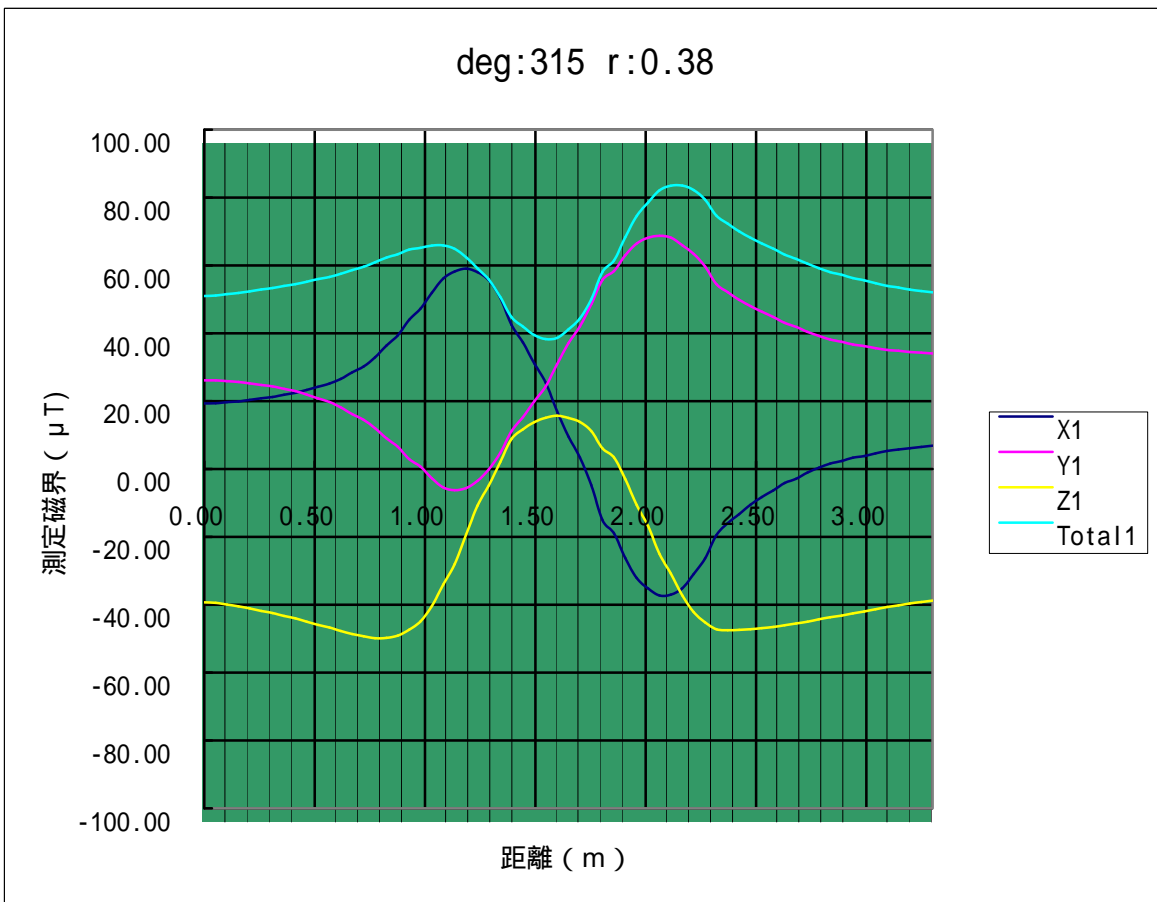
() deg:315 r:0.38



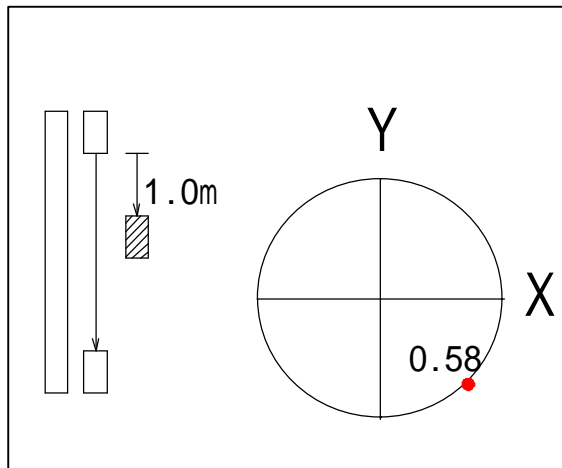
select: X
distance: 1.19

	X	Y	Z	Total
H1	59.06	-5.59	-19.33	62.39
H2	45.20	5.34	-43.72	64.39
H1-H2	13.86	-10.93	24.39	30.11

計算結果
距離 (cm) 25.9
方向 (度) -38.3



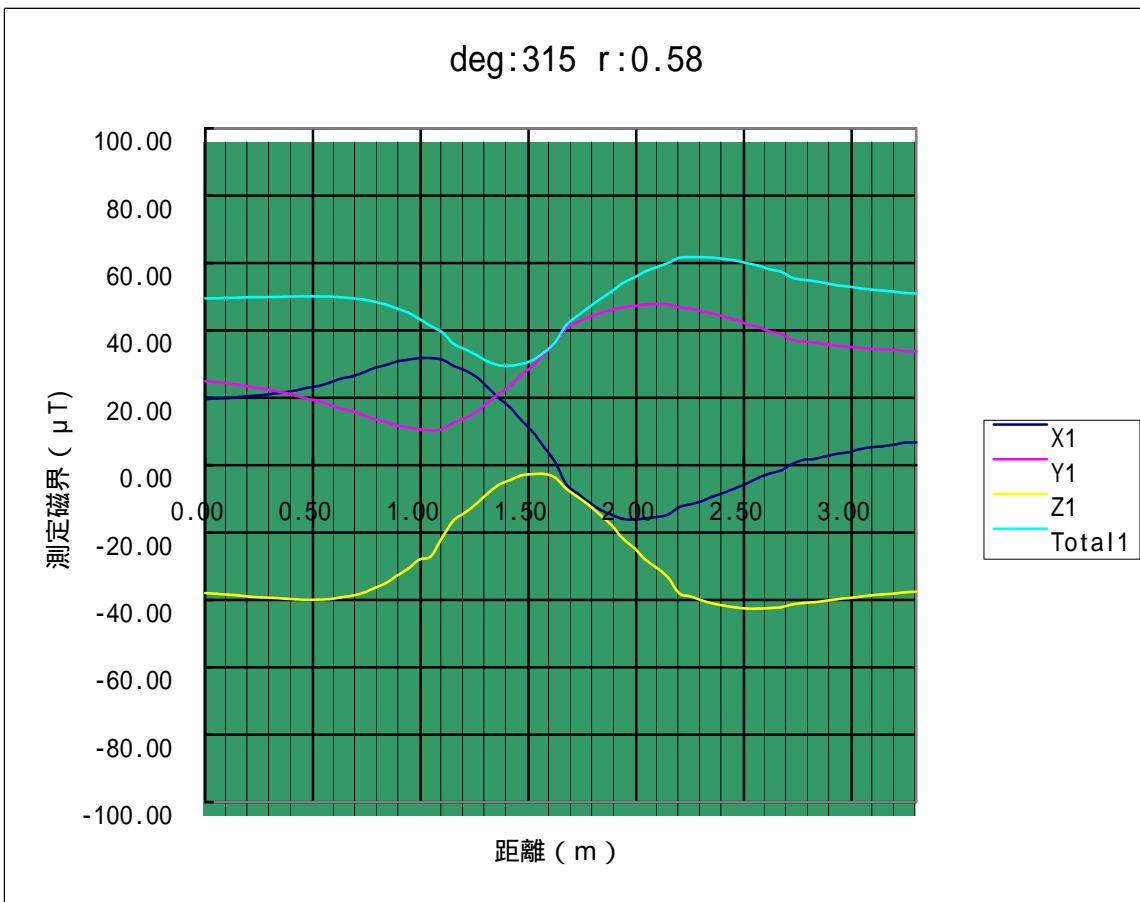
() deg:315 r:0.58



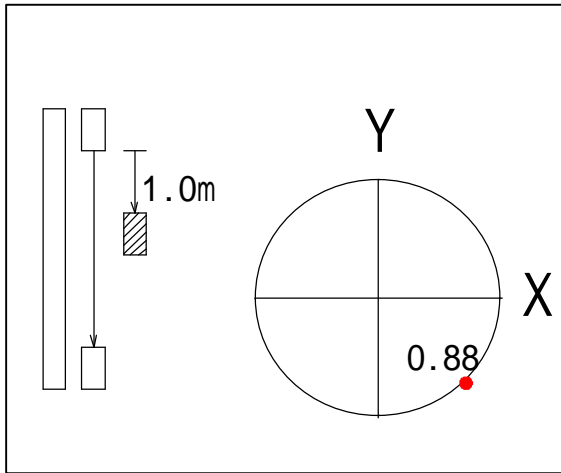
select: X
distance: 1.05

	X	Y	Z	Total
H1	31.78	10.37	-27.05	41.26
H2	28.25	14.04	-34.30	48.13
H1-H2	3.53	-3.67	7.25	8.86

計算結果
距離 (cm) 47.8
方向 (度) -46.1



() deg:315 r:0.88

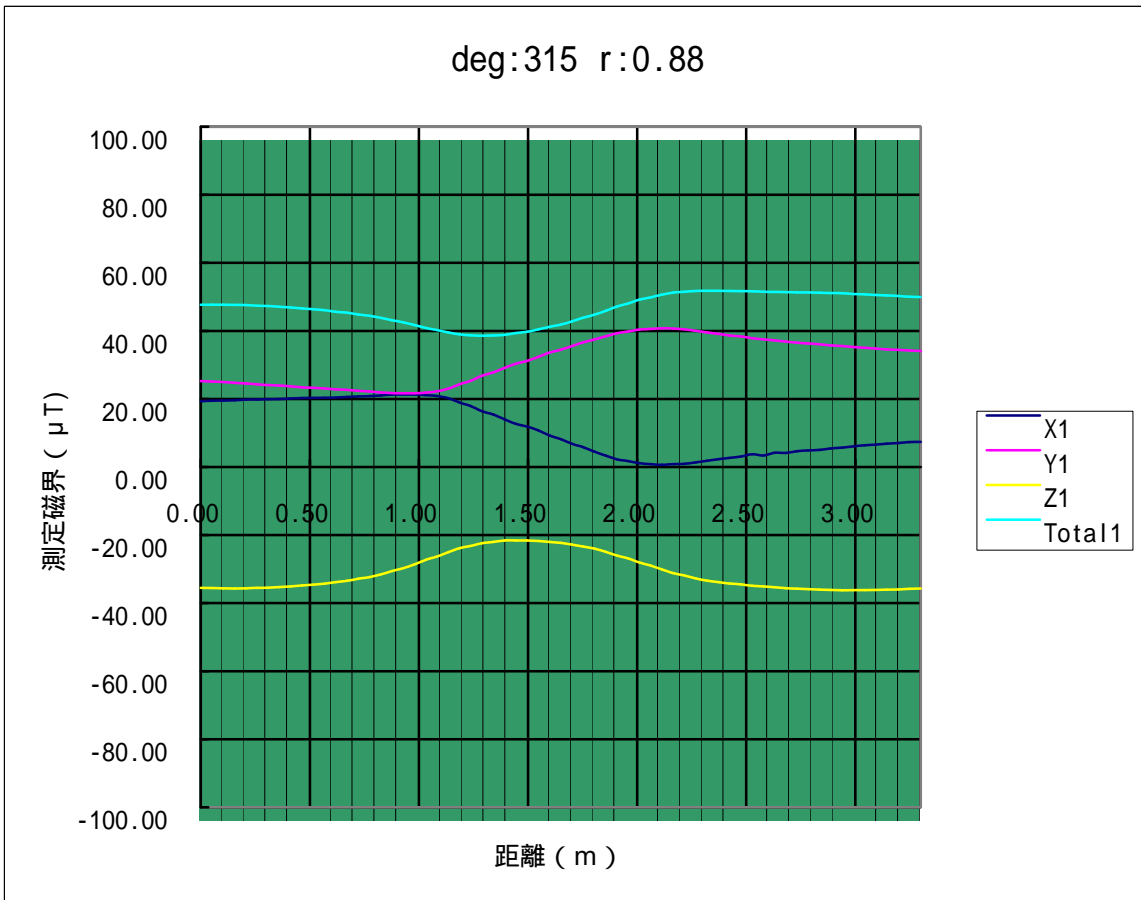


select: X
distance: 0.93

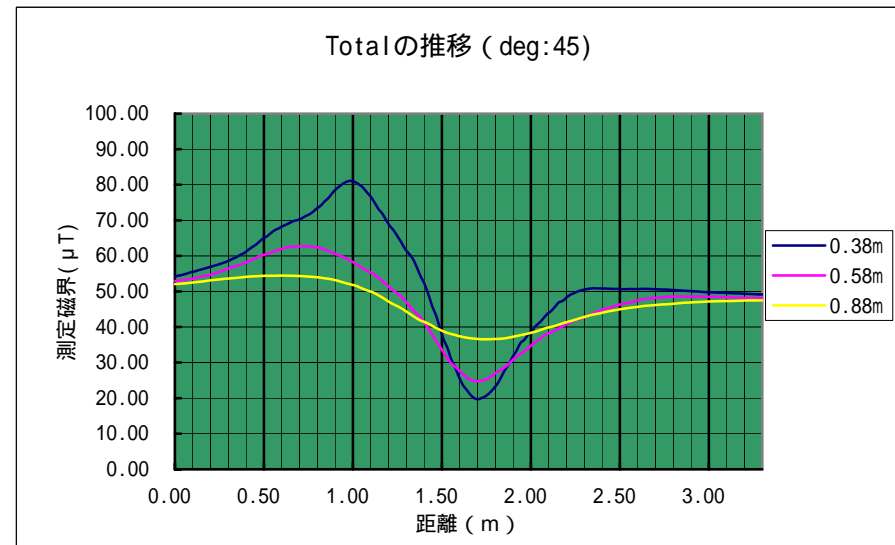
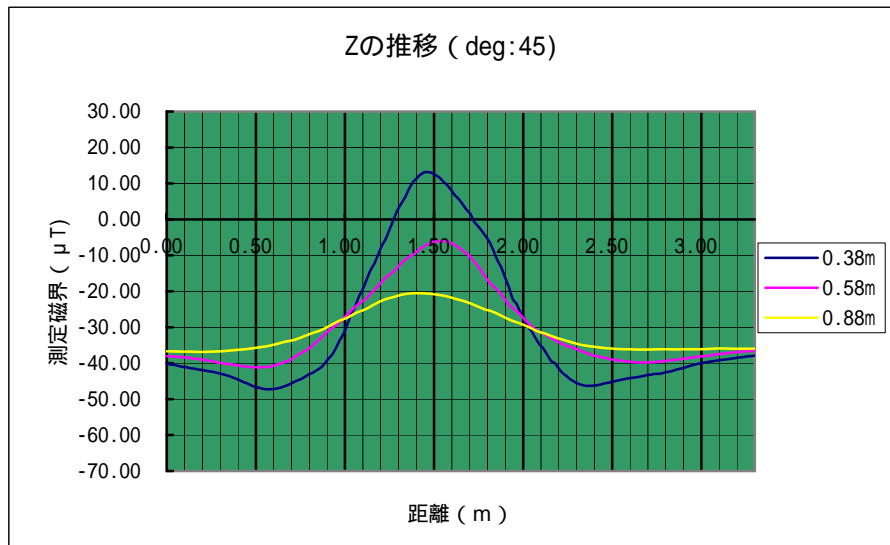
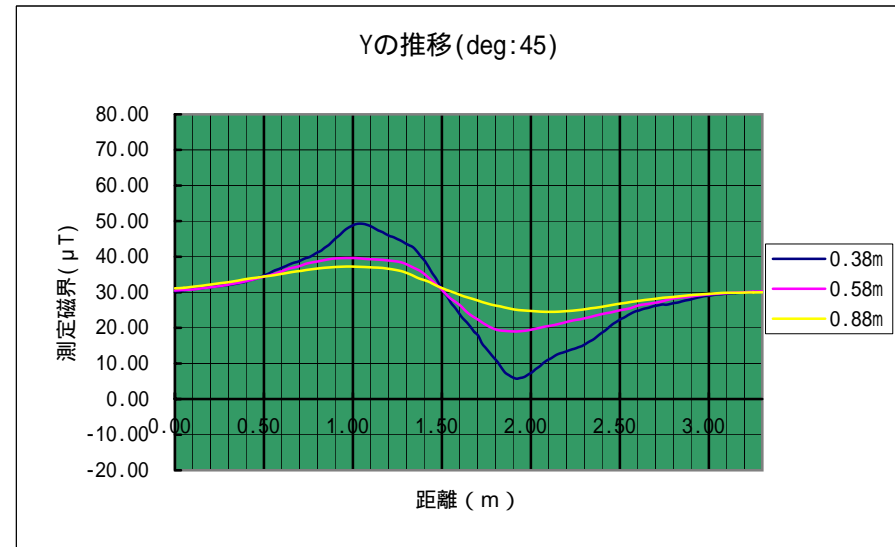
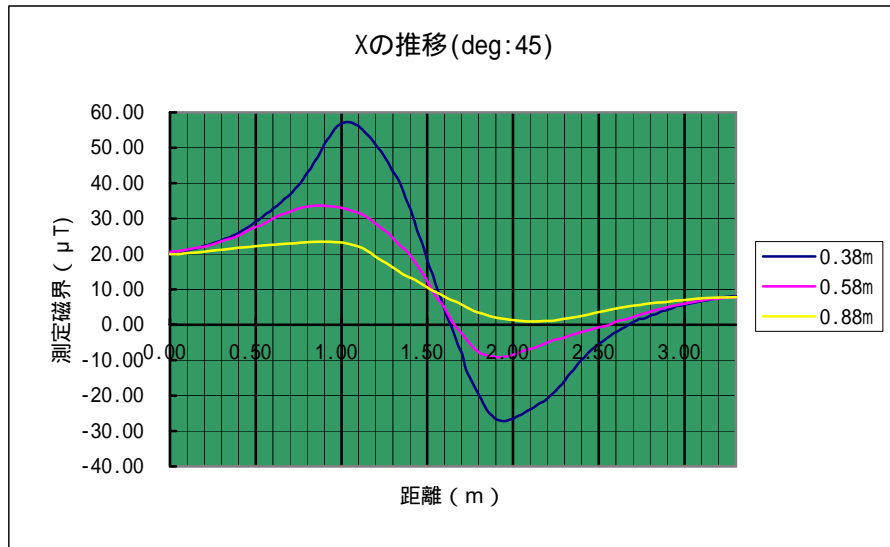
	X	Y	Z	Total
H1	21.31	21.69	-29.75	42.54
H2	20.42	22.63	-33.20	45.40
H1-H2	0.89	-0.94	3.45	3.68

計算結果

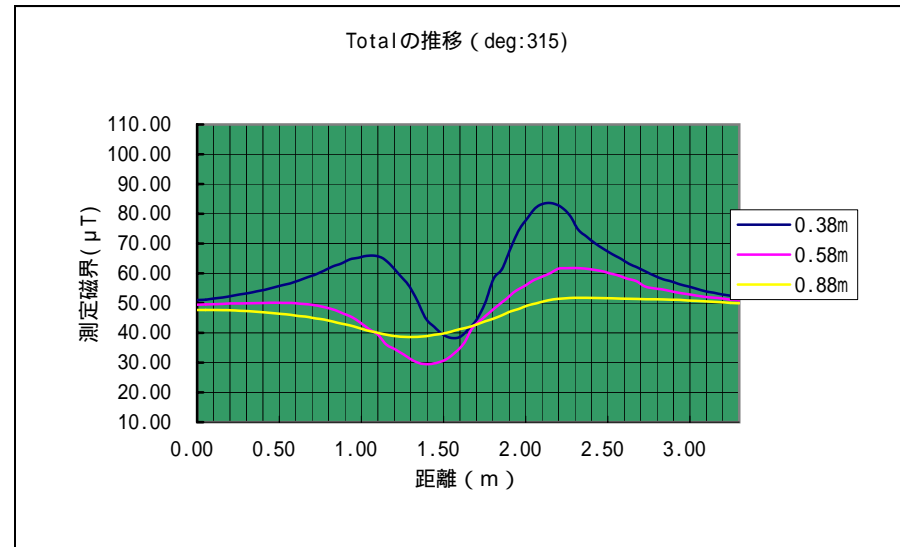
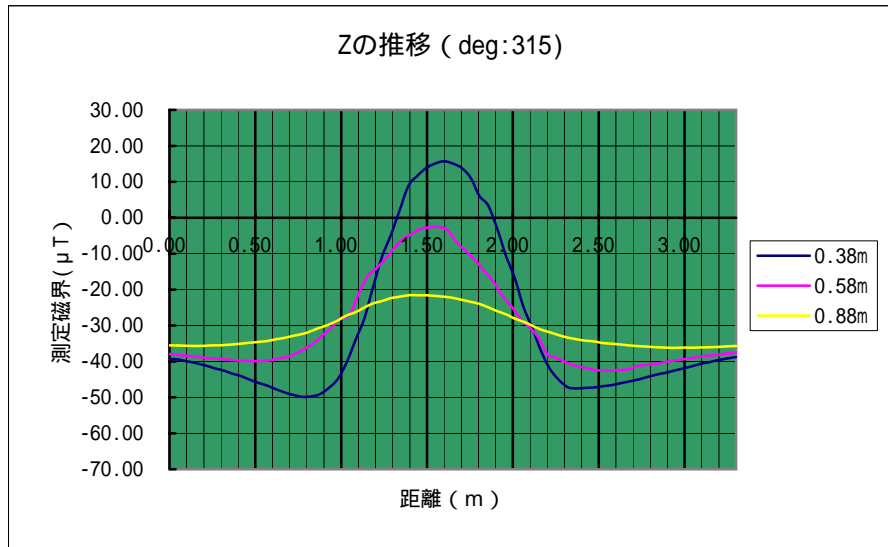
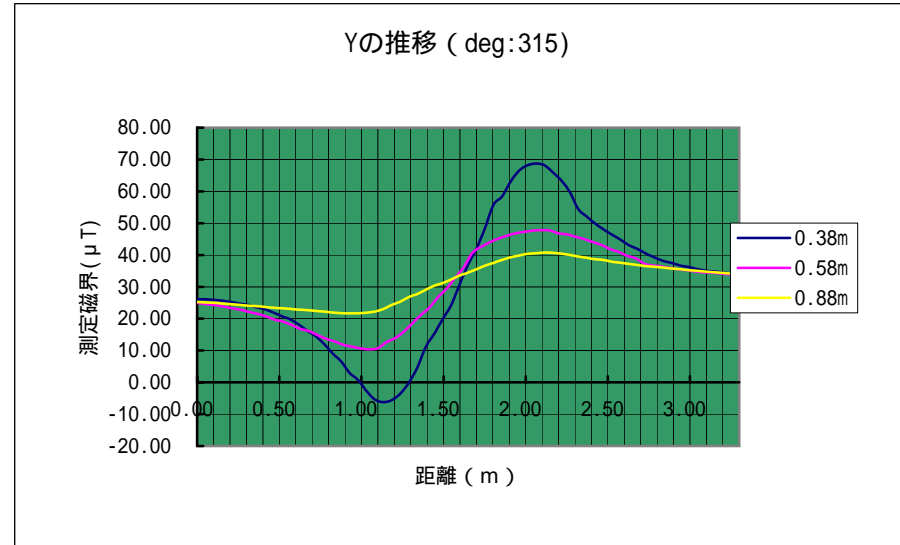
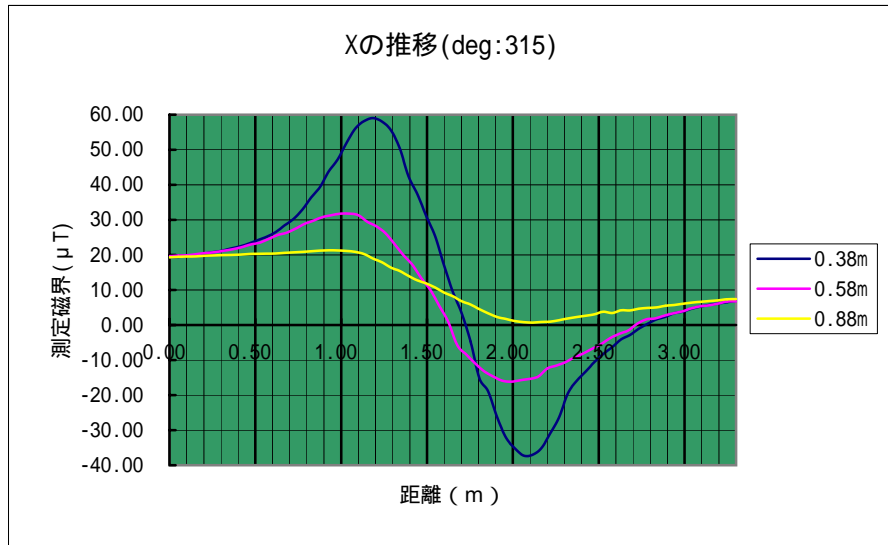
距離 (cm) 方向 (度)
81.2 -46.6



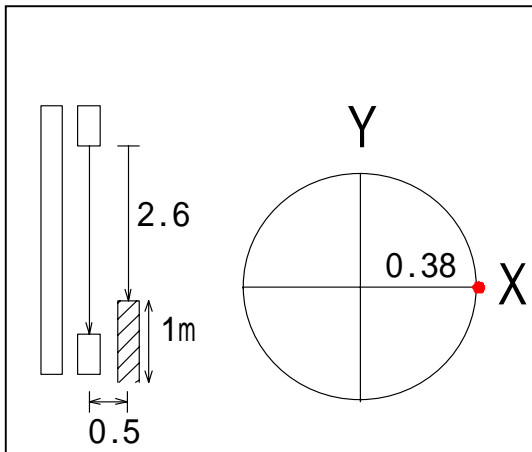
異常物までの距離による各成分の推移 (deg:45)



異常物までの距離による各成分の推移 (deg:315)



() r:0.38 deg:0



select: X
distance: 2.74

	X	Y	Z	Total
H1	83.24	46.45	-17.73	96.96
H2	55.87	44.32	-42.76	87.25
H1-H2	27.37	2.13	25.03	37.15

計算結果

距離

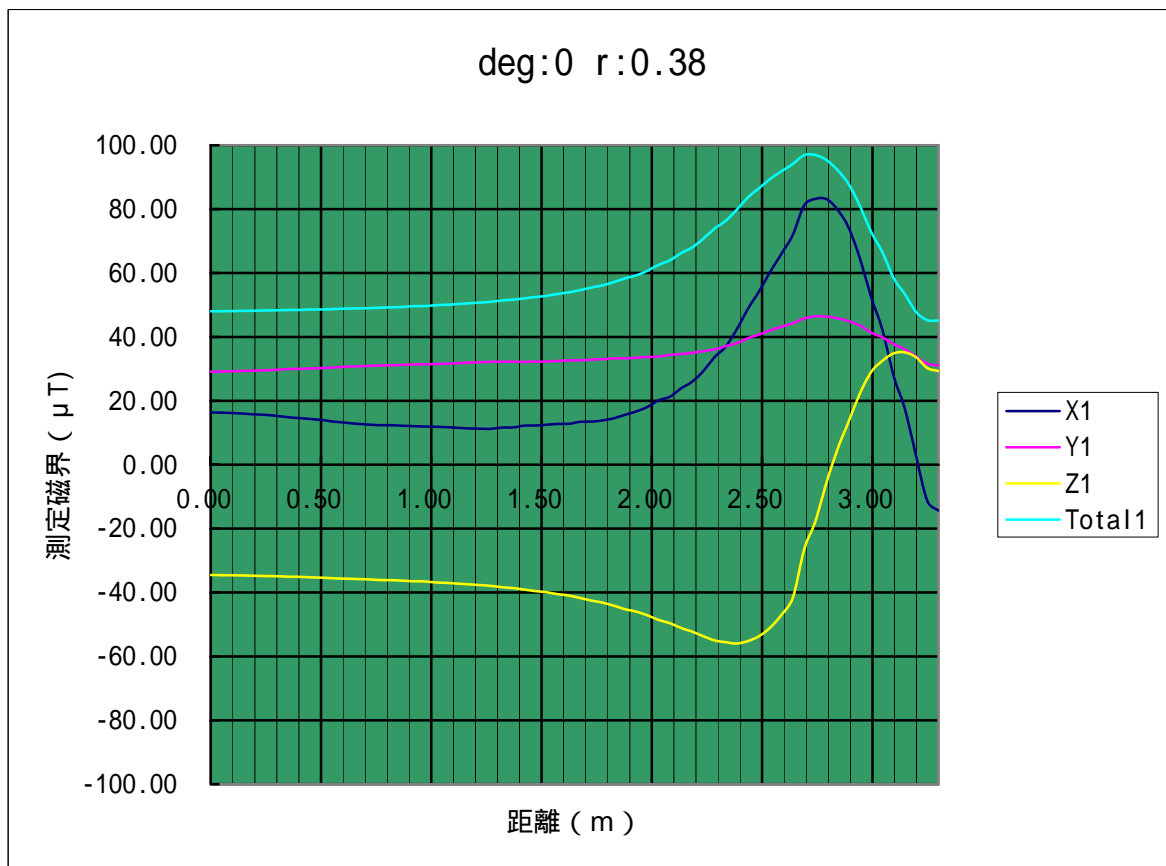
(cm)

31.7

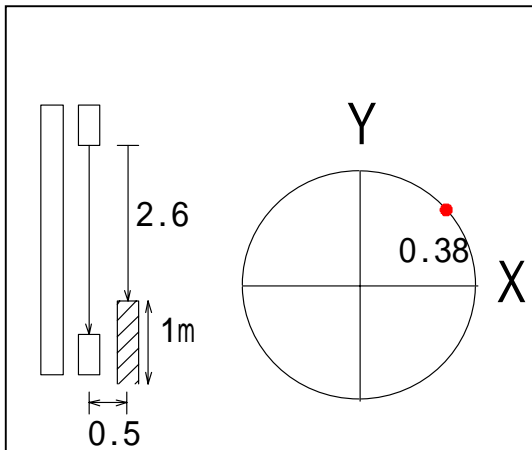
方向

(度)

4.5



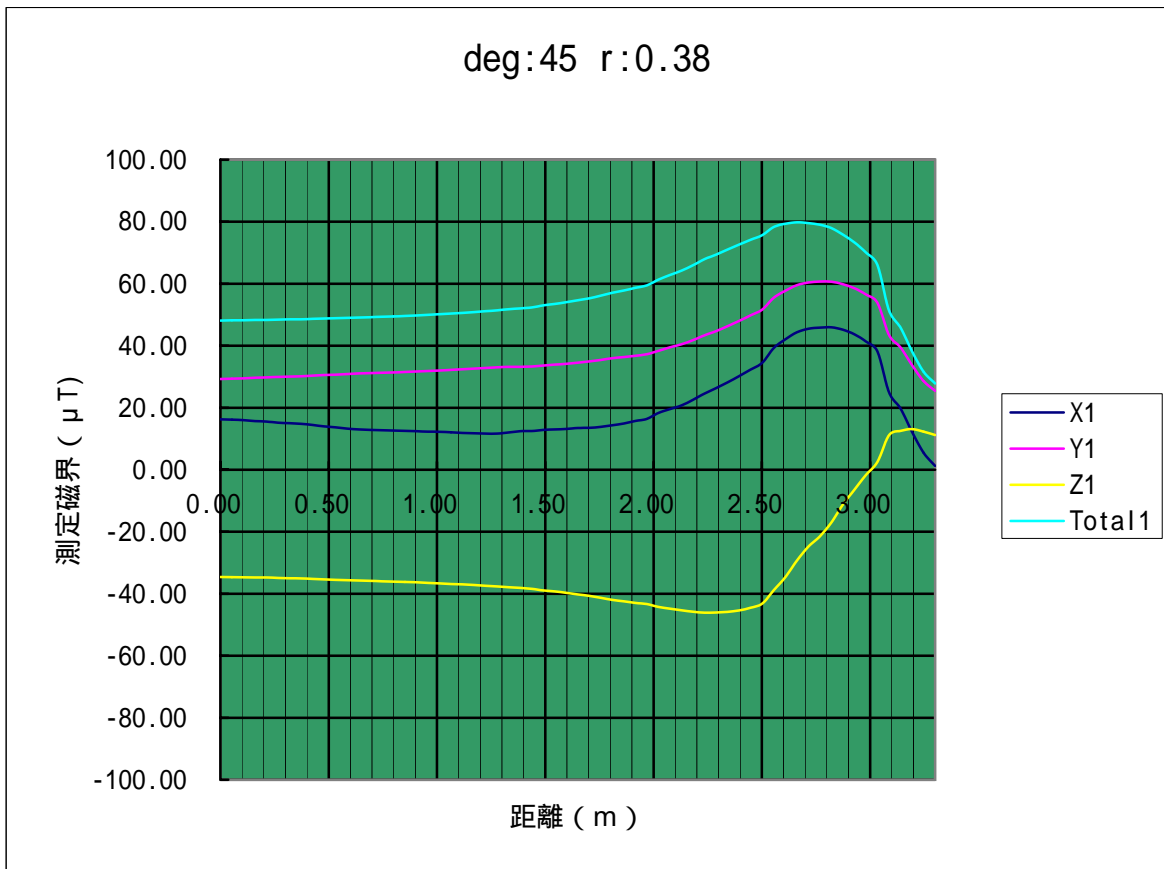
() r:0.38 deg:45



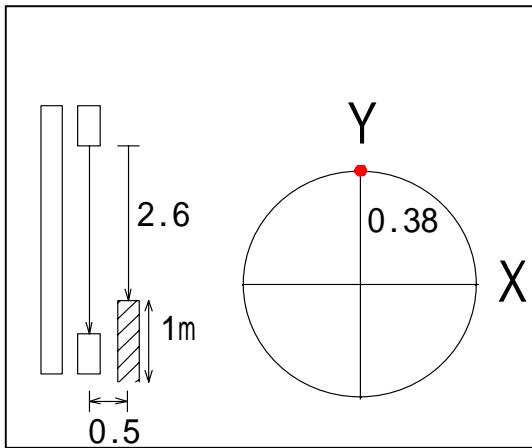
select: X
distance: 2.77

k	X	Y	Z	Total
H1	45.94	60.66	-17.01	77.97
H2	38.01	53.55	-40.02	77.60
H1-H2	7.93	7.11	23.01	25.36

計算結果
距離 (cm) 36.0
方向 (度) 41.9



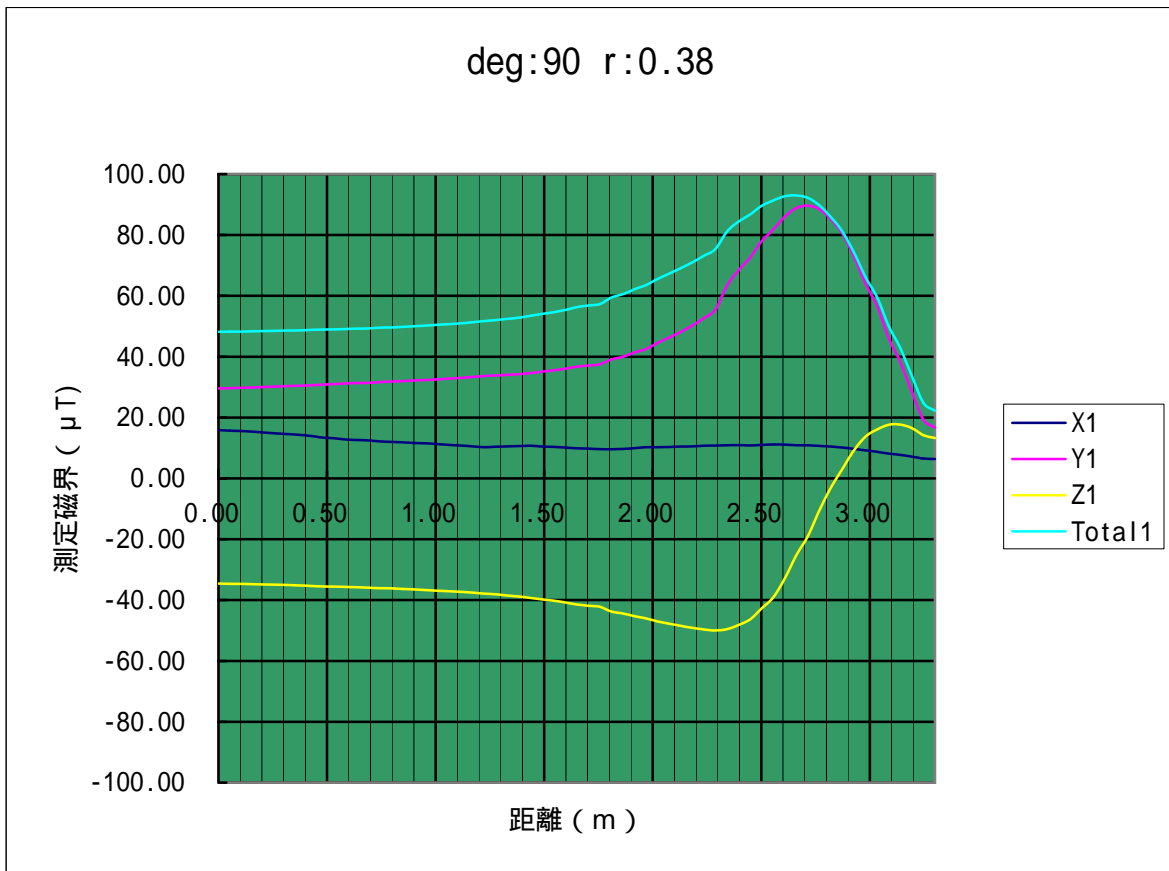
() r:0.38 deg:90



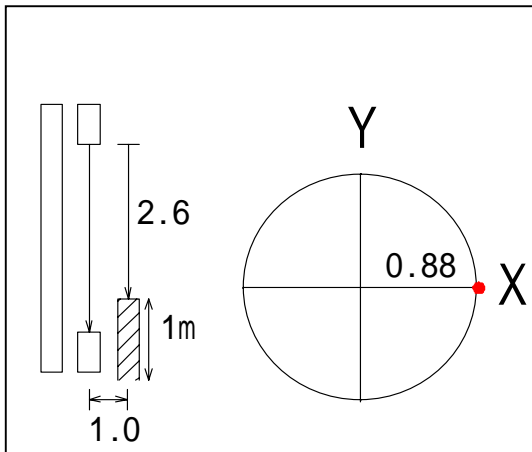
select: X
distance: 2.55

	X	Y	Z	Total
H1	10.88	89.63	-18.95	92.23
H2	10.84	73.82	-45.50	87.39
H1-H2	0.04	15.81	26.55	30.90

計算結果
距離 (cm) 35.2
方向 (度) 89.9



() r:0.88 deg:0



select: X
distance: 2.67

	X	Y	Z	Total
H1	23.96	31.15	-28.53	48.56
H2	22.40	31.21	-32.40	51.17
H1-H2	1.56	-0.06	3.87	4.17

計算結果

距離

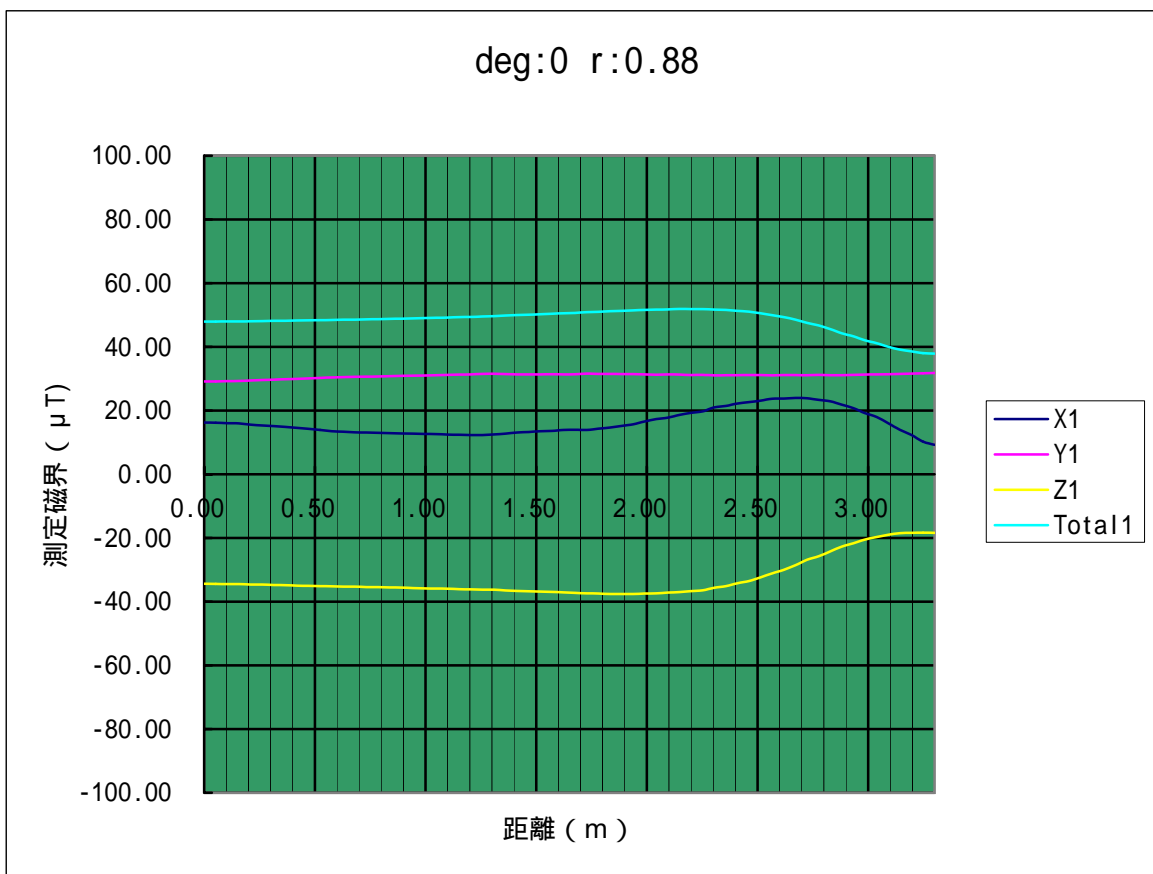
(cm)

81.5

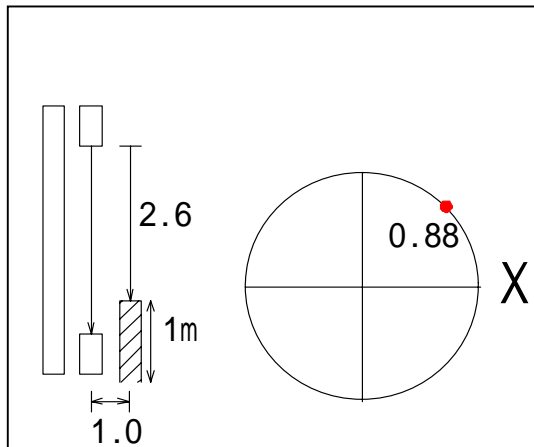
方向

(度)

-2.2



() r:0.88 deg:45



select: Y
distance: 2.68

	X	Y	Z	Total
H1	18.40	41.01	-28.76	53.36
H2	17.69	40.29	-33.50	55.16
H1-H2	0.71	0.72	4.74	4.85

計算結果

距離

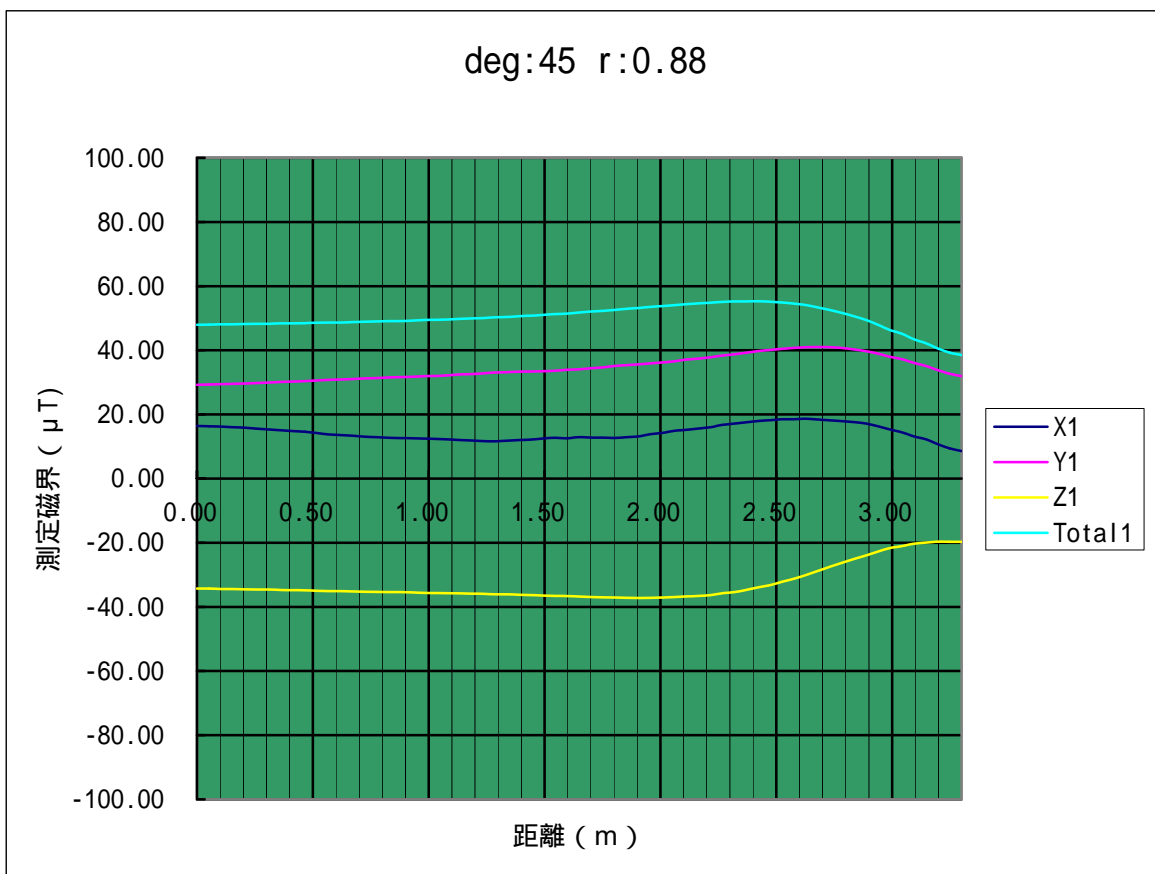
(cm)

79.1

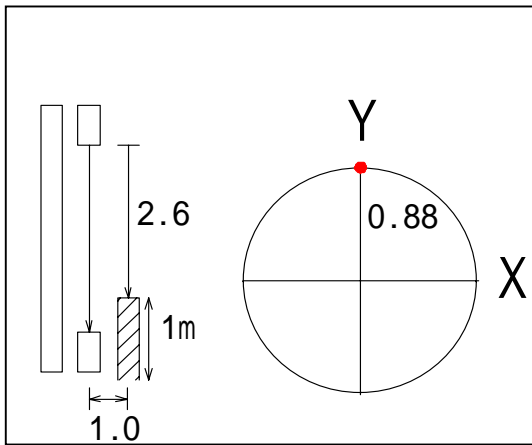
方向

(度)

45.4



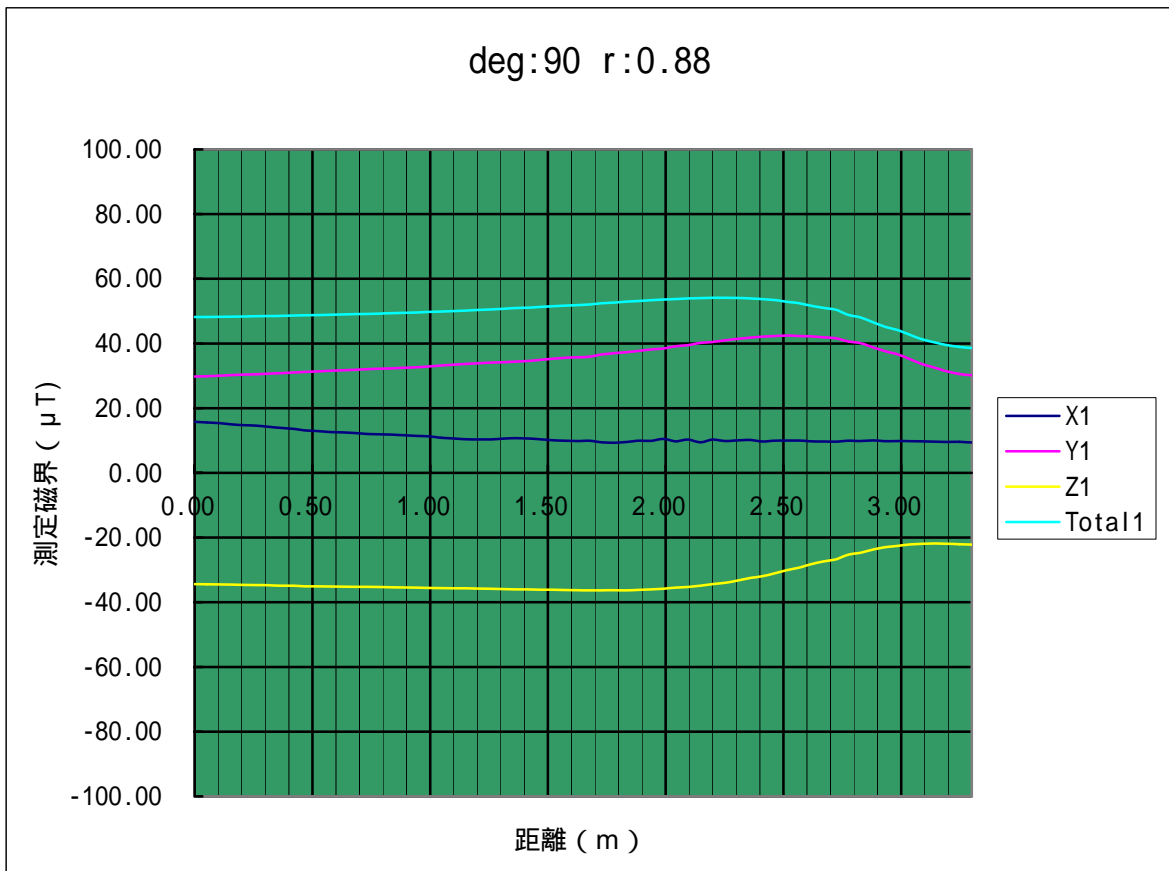
() r:0.88 deg:90



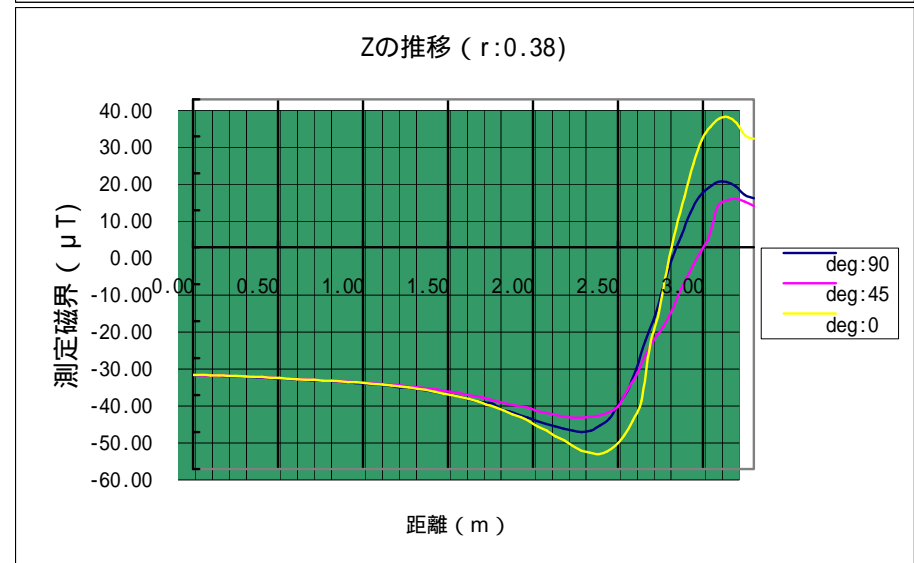
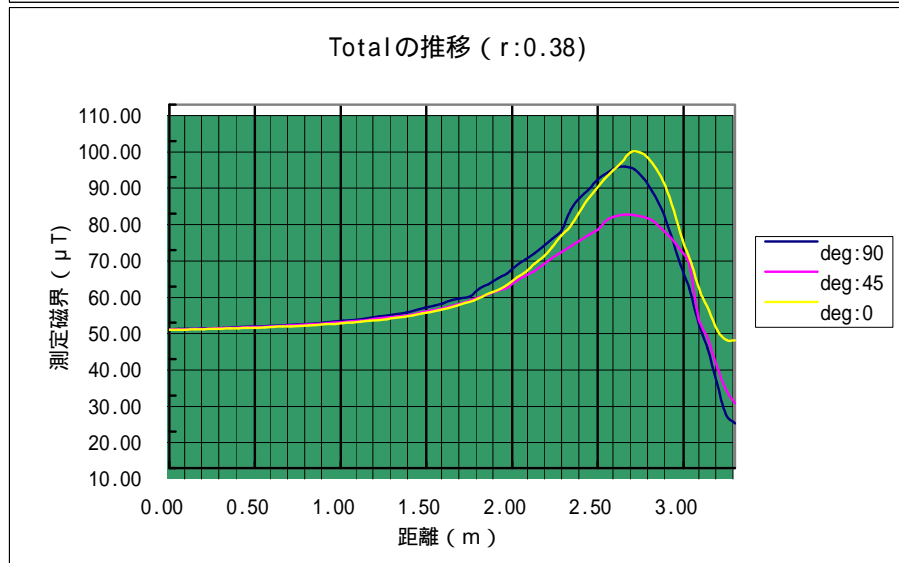
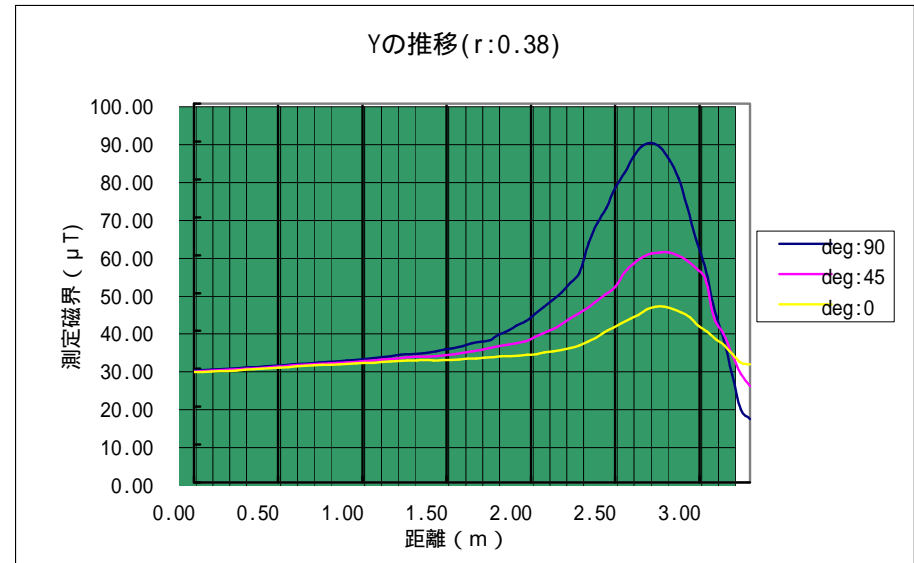
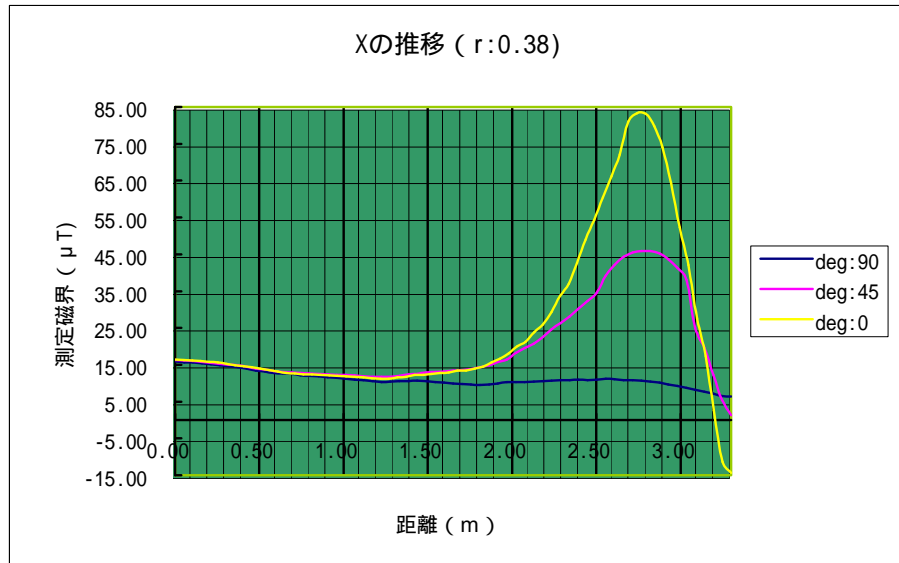
select: Y
distance: 2.51

	X	Y	Z	Total
H1	9.99	42.45	-30.09	52.91
H2	9.93	41.20	-33.47	54.00
H1-H2	0.06	1.25	3.38	3.60

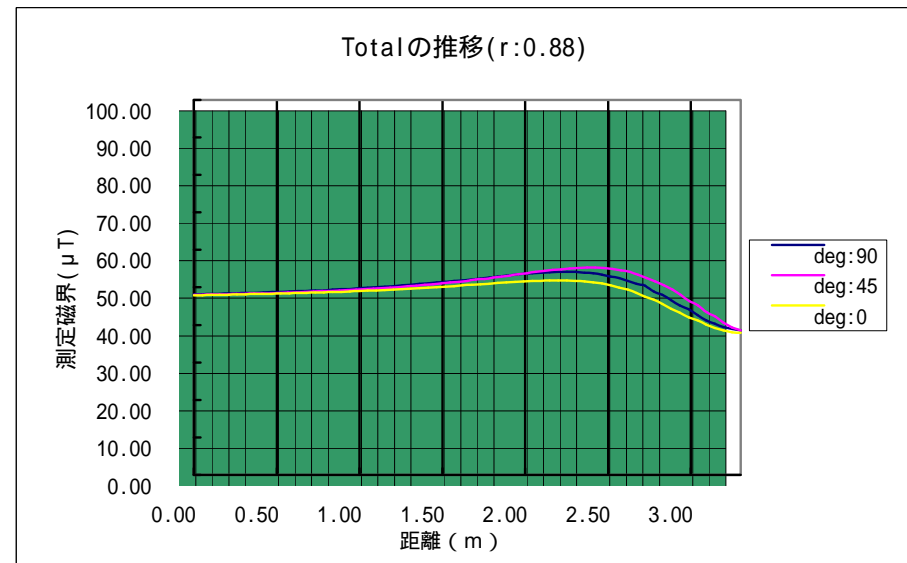
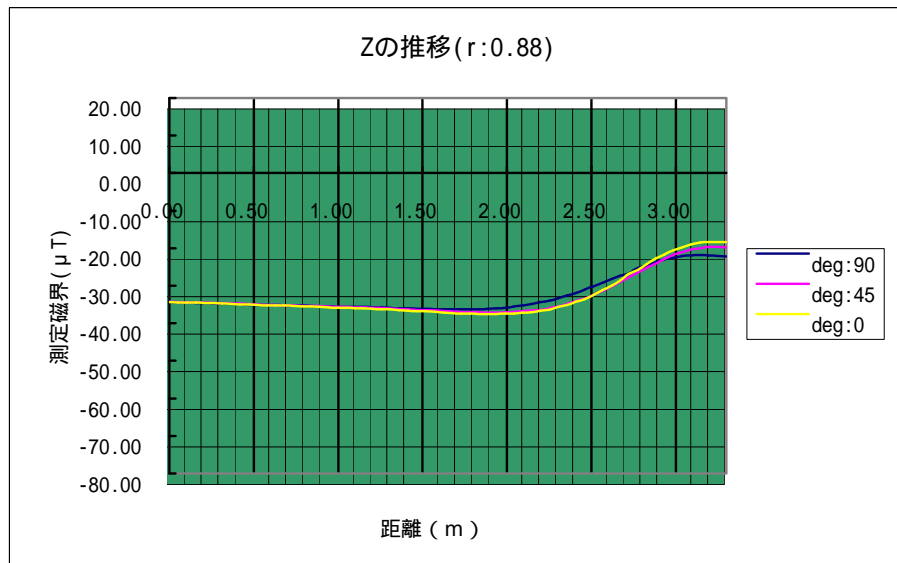
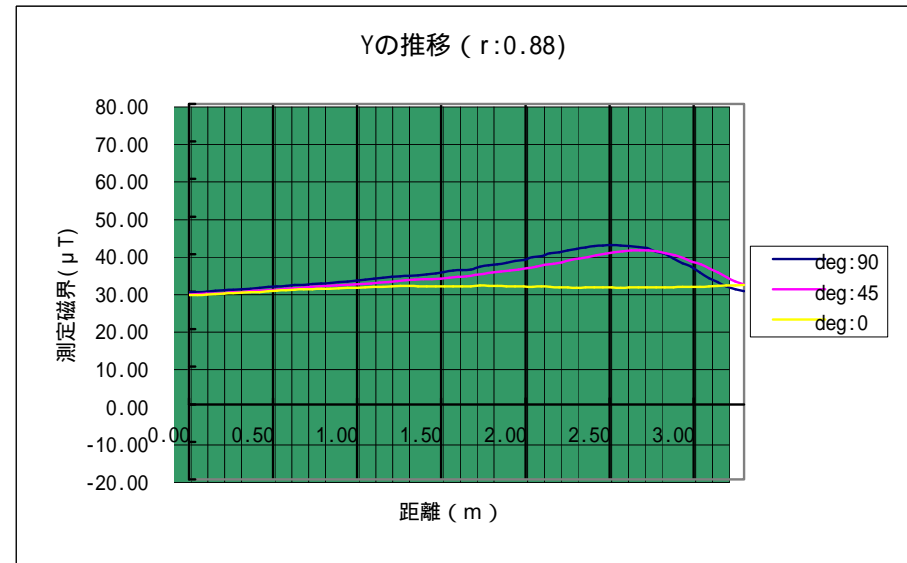
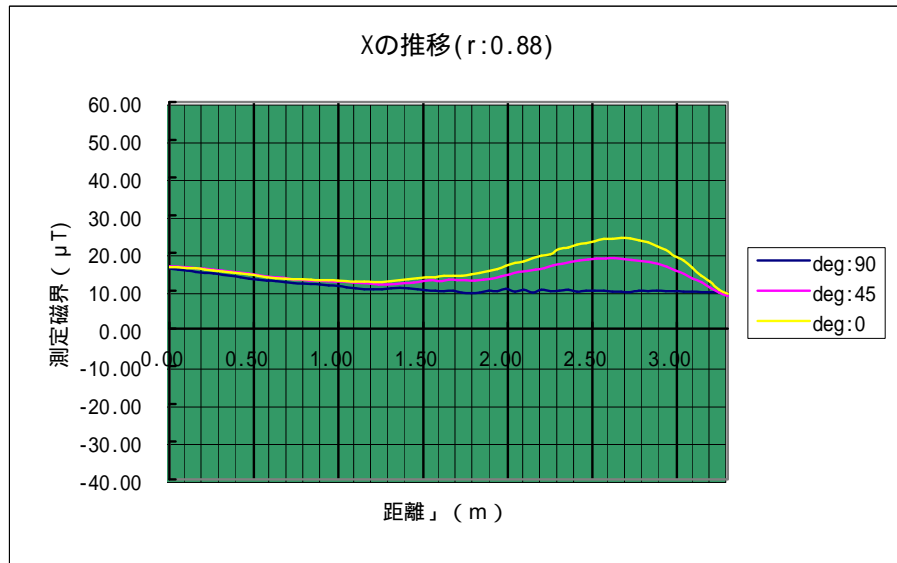
計算結果
距離 (cm) 方向 (度)
92.5 87.3



磁気異常物の位置による各成分の推移 (r:0.38)

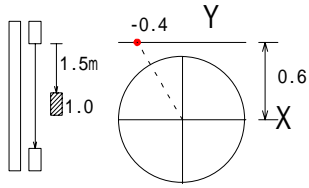


磁気異常物の位置による各成分の推移 (r:0.88)



X軸に対して平行に位置を変化させた場合

()

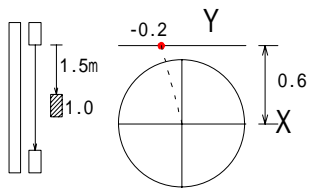


Sift: -0.4m
select: Y
distance: 1.48

	X	Y	Z	Total
H1	-7.09	57.33	-26.60	63.60
H2	-3.25	53.14	-35.40	63.93
H1-H2	-3.84	4.19	8.80	10.48

計算結果 距離(cm) 方向(度)
56.3 132.5
(62cm) (120度)

()

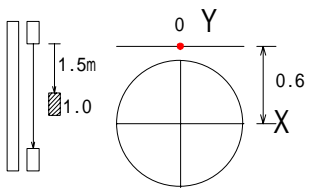


Sift: -0.2m
select: Y
distance: 1.47

	X	Y	Z	Total
H1	-3.03	61.42	-22.52	65.49
H2	0.17	56.32	-35.23	66.43
H1-H2	-3.20	5.10	12.71	14.06

計算結果 距離(cm) 方向(度)
47.8 122.1
(52cm) (106度)

()

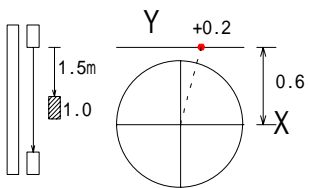


Sift: ± 0 m
select: Y
distance: 1.51

	X	Y	Z	Total
H1	2.89	72.45	-27.22	77.45
H2	6.37	60.79	-39.50	72.78
H1-H2	-3.48	11.66	12.28	17.29

計算結果 距離(cm) 方向(度)
46.6 106.6
(48cm) (90度)

()

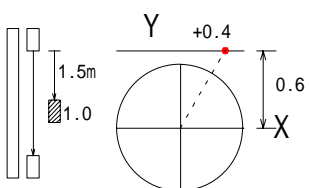


Sift: +0.2m
select: Y
distance: 1.53

	X	Y	Z	Total
H1	16.90	64.54	-24.07	70.93
H2	15.93	59.14	-35.28	70.68
H1-H2	0.97	5.40	11.21	12.48

計算結果 距離(cm) 方向(度)
54.1 79.8
(52cm) (74度)

()

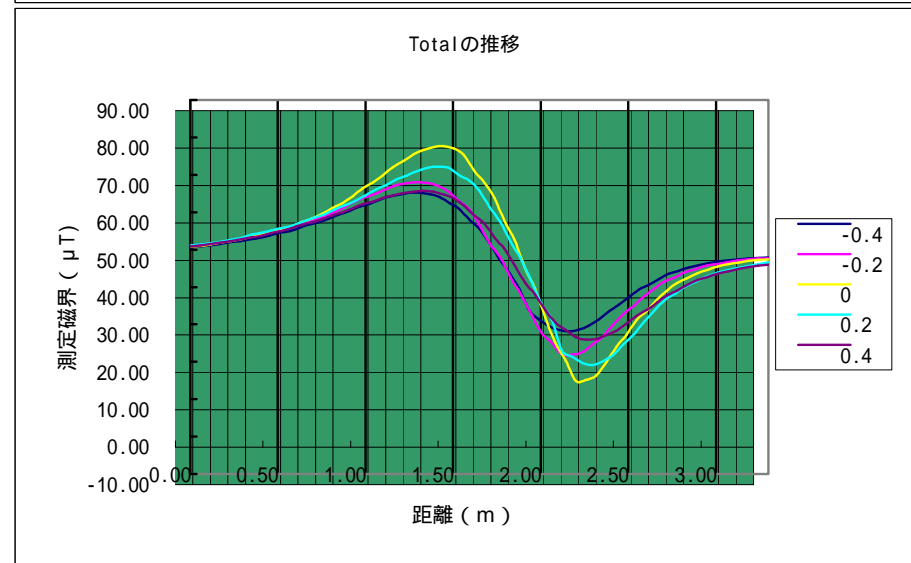
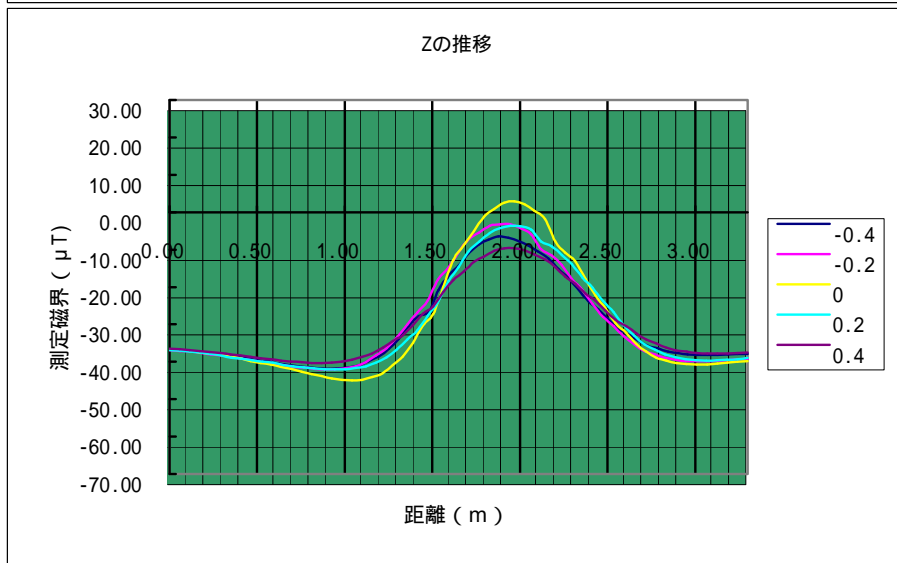
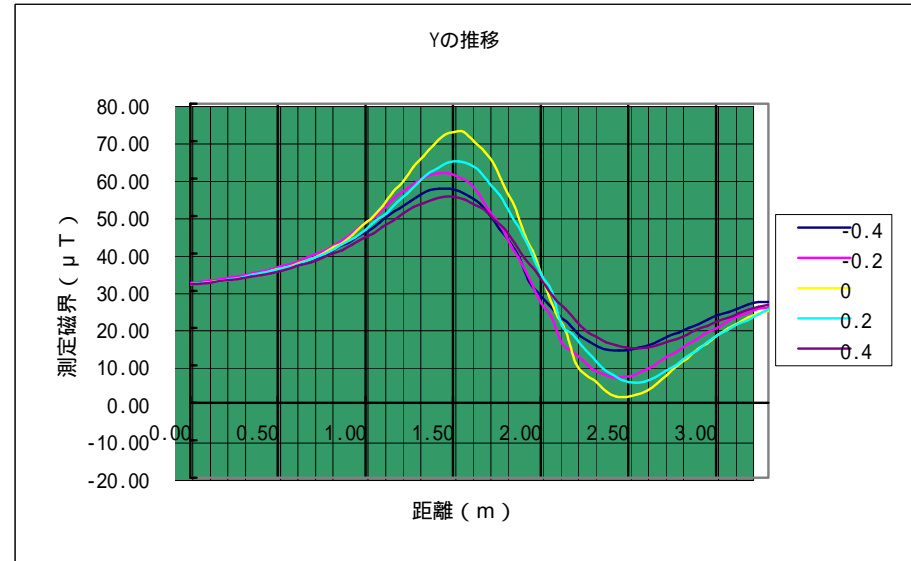
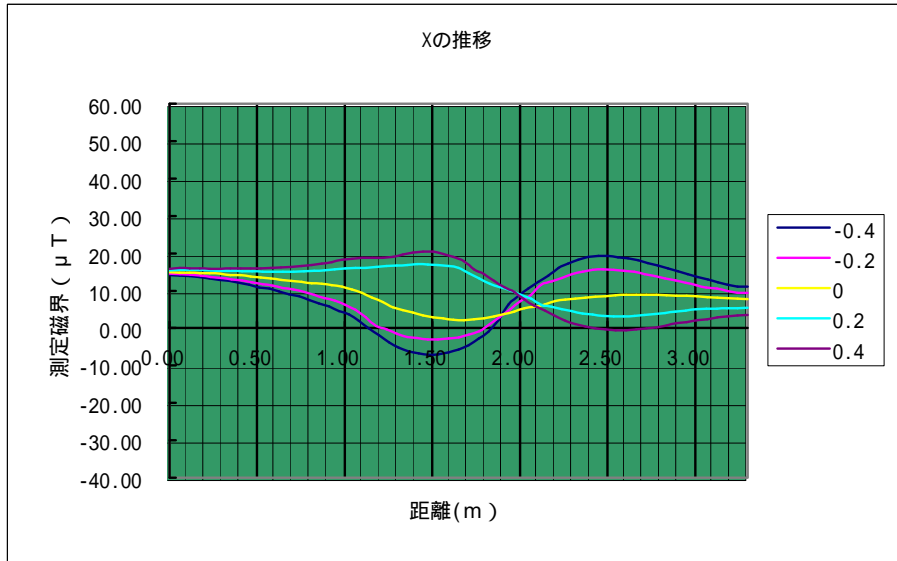


Sift: +0.4m
select: Y
distance: 1.51

	X	Y	Z	Total
H1	20.41	55.08	-25.26	63.94
H2	19.23	51.50	-35.76	65.58
H1-H2	1.18	3.58	10.50	11.16

計算結果 距離(cm) 方向(度)
54.4 71.8
(62cm) (60度)

磁気異常物に対する距離による各成分の推移



6. 実験結果の考察

1) 測定原理

通常、鋼管杭（鋼矢板）等の強磁性体（帯磁物）は長軸方向に磁化されており、その磁界を測定する場合、測定位置から帯磁物の極のいずれかまでの距離が帯磁物の長さに対して短い場合、磁気単極として捉えるのが一般的である。

今、磁気量 m なる帯磁物から r cm 離れた地点での磁界の強さ H は次式で与えられる。

$$H = m / 4 \pi r^2$$

今回使用した三軸センサープローブ内には、25cm 離れた 2 個のセンサーが設置されており、ある 1 点とそこから鉛直方向に 25cm 離れた点の X, Y, Z 方向の磁界の強さを同時に測定できる。

$$H_1 = m / 4 \pi r^2$$

$$H_2 = m / 4 \pi (r^2 + 25^2)$$

ただし、

$$H_1 = (X^2 + Y^2 + Z^2)^{1/2} \quad , \quad H_2 = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$$

X, Y, Z : 1号センサーの 3 軸方向の磁界の強さ

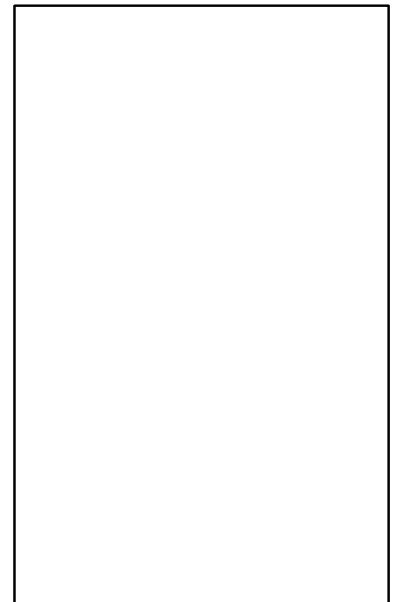
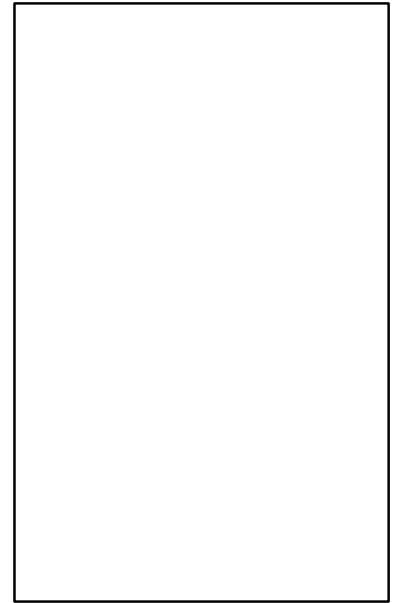
x, y, z : 2号センサーの 3 軸方向の磁界の強さ

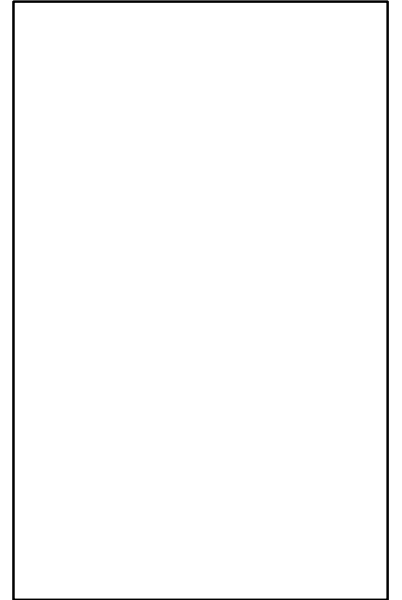
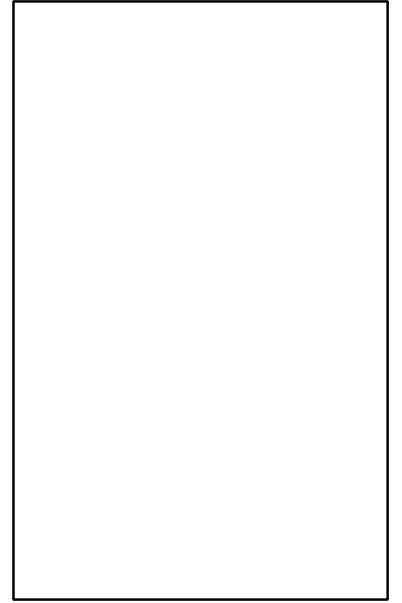
2) 考察

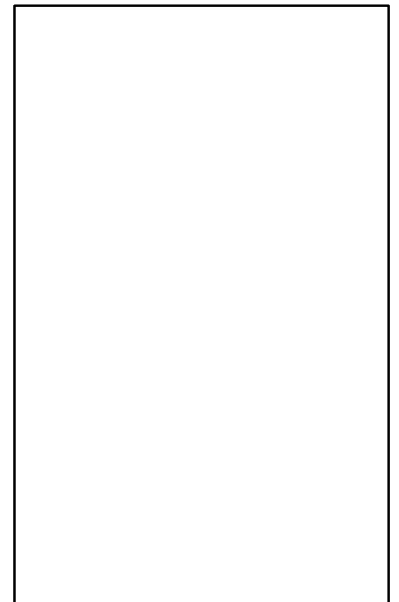
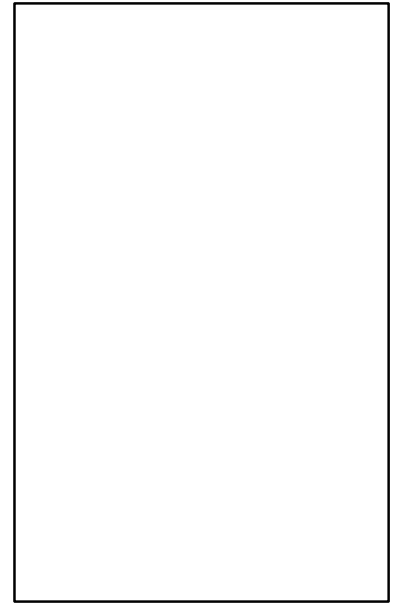
実験結果の一部に 10cm を超えるデータもあるが、帯磁物をクレーンで吊り下げて測定した状況（風で帯磁物が揺れていた）を考えると、三軸センサーの鉛直方向及び平面的な位置誤差は、10cm 以内であると考えられる。

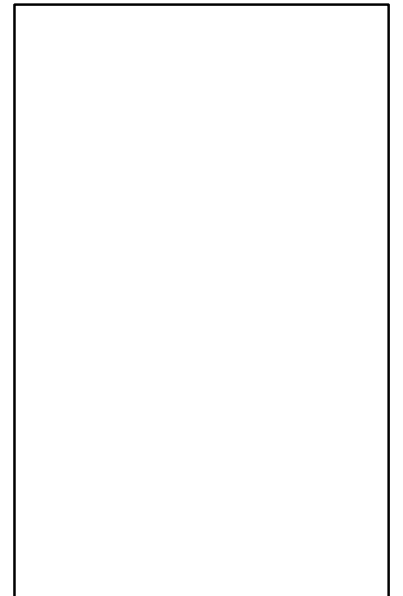
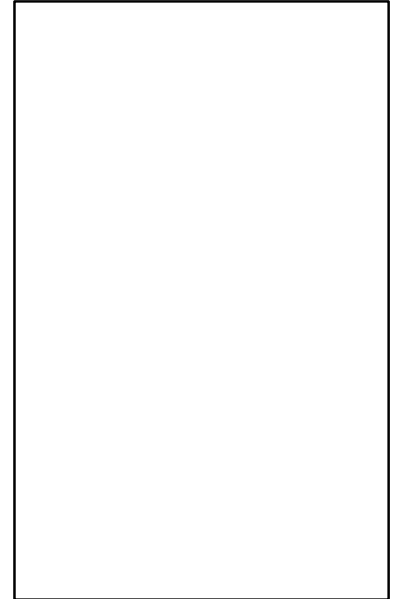
今回の実験は、鋼管杭を想定したものであるが、三軸センサーでは 1m 離れると特定は、困難であると思われる。使用した試料の直径が 240mm であるから、通常使用されている鋼管杭よりは小さいため、直径 400mm のものであれば 1m 程度でも特定できるのではないかと考える。

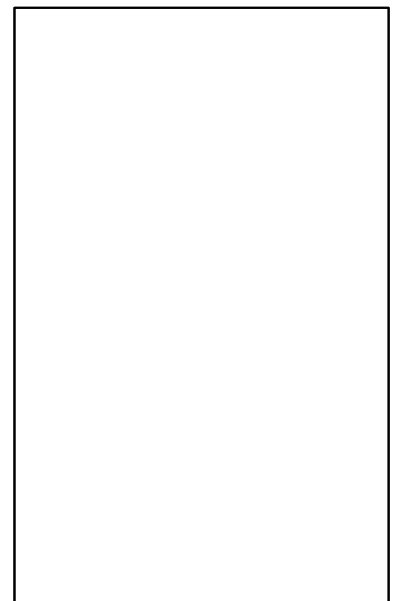
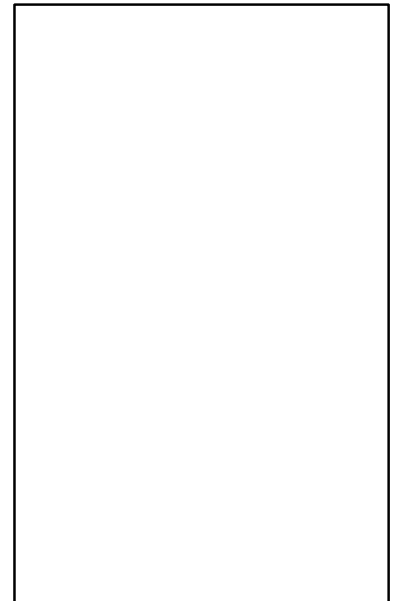
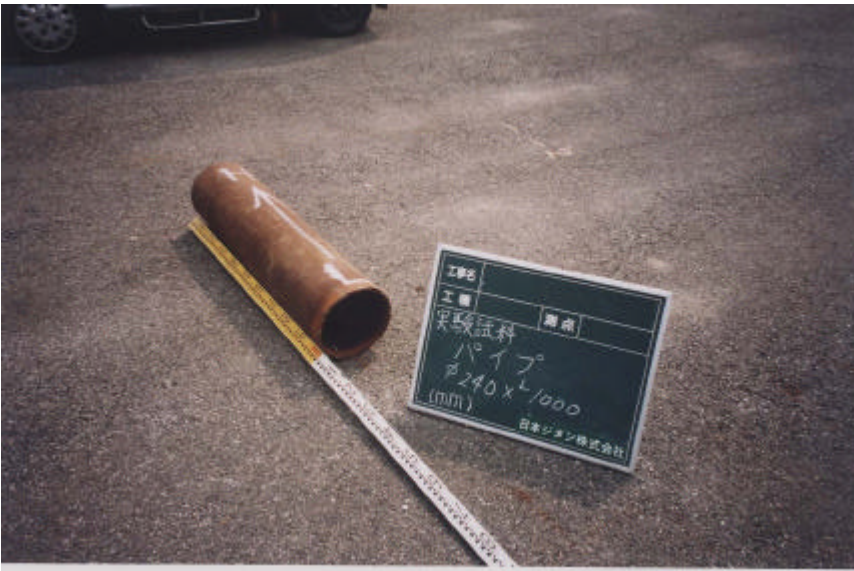
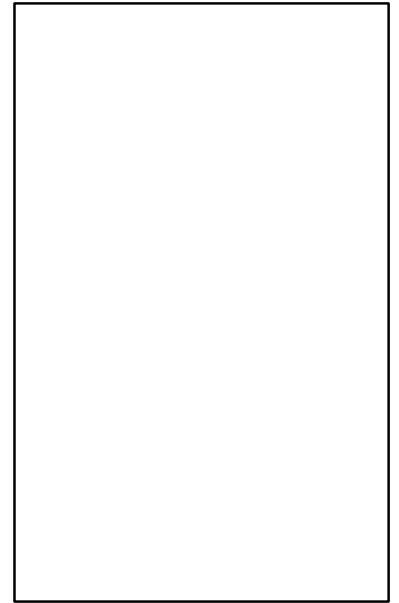
なお、今回鋼矢板の実験をすべく、実験場（実際に鋼矢板を打設してある場所）を捜したが、良い場所がなく、実験できなかった。











“管内傾斜計” 検証報告書

同一の測定管を用い、挿入式傾斜計と管内傾斜計で測定し、それぞれの測定データを比較し、管内傾斜計の精度確認をおこなった。

挿入式傾斜計での測定は測定管の形状の把握を目的とする。

1. 機器仕様

測定管 - 地中水平変位測定用アルミガイド管 (L=11.5m)

挿入式傾斜計 - デジタル Q ティルト [分解能: 10 秒以下]

管内傾斜計 - 埋設型傾斜計 [分解能: 10 秒以下]

2. 測定結果

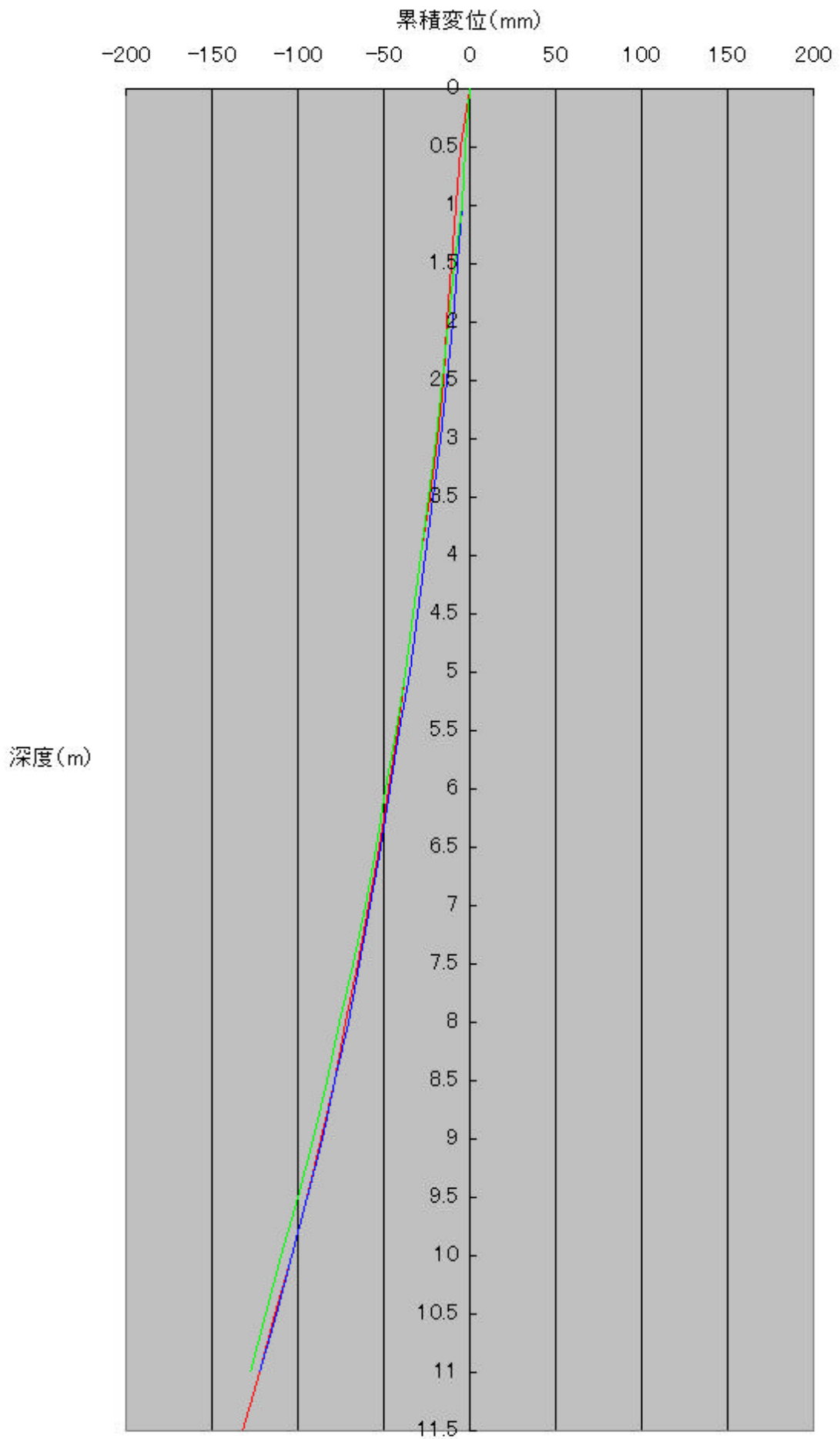
深度(m)	挿入式傾斜計(mm)	管内傾斜計(@1.0m)	管内傾斜計(@2.0m)
0.0	0.00	0.00	0.00
0.5	-5.52		
1.0	-8.18	-4.84	-4.84
1.5	-10.78		
2.0	-13.19	-9.63	
2.5	-15.60		
3.0	-19.18	-16.95	-19.48
3.5	-23.51		
4.0	-28.24	-26.26	
4.5	-32.97		
5.0	-37.51	-35.17	-37.30
5.5	-41.87		
6.0	-47.26	-46.24	
6.5	-53.10		
7.0	-59.13	-57.91	-60.62
7.5	-65.32		
8.0	-71.98	-70.92	
8.5	-78.94		
9.0	-86.68	-86.07	-90.90
9.5	-95.05		
10.0	-103.96	-103.61	
10.5	-113.06		
11.0	-122.44	-122.14	-127.97
11.5	-132.33		

次頁に“変位分布図”を示す。

3. まとめ

今回の検証においては、管内傾斜計の測定ピッチを“1m毎”“2m毎”の2通りの測定をおこなったが、それぞれの測定においてほぼ測定管の形状をトレースしていることが確認できた。(最大誤差は6mm程度である)

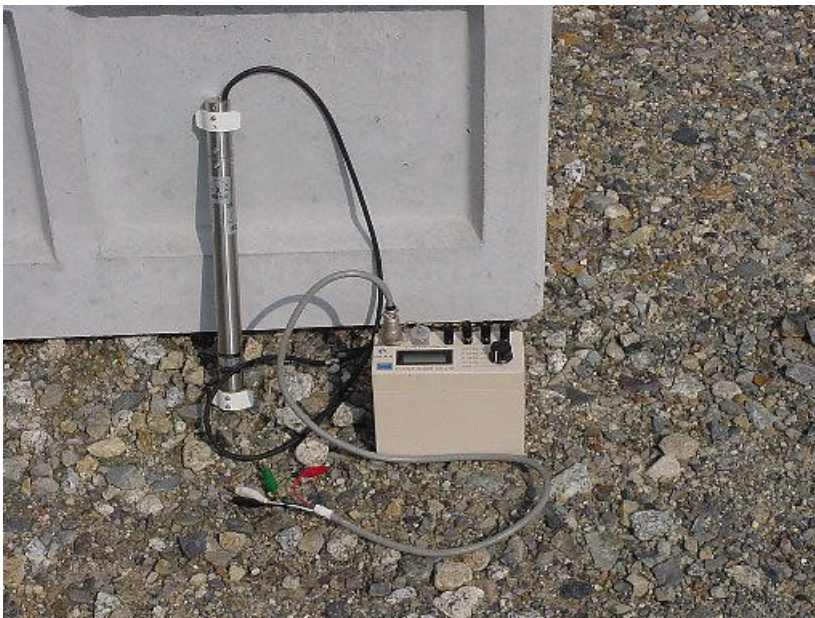
今回の結果から“管内傾斜計”での鉛直管の形状測定は、十分実用に耐えうるものであると考える。



— 挿入式傾斜計 — 管内傾斜計@1m — 管内傾斜計(@2m)



挿入式傾斜計



管内傾斜計
デジタル測定器



挿入式傾斜計
測定状況



管内傾斜計

測定状況