

磁気層別沈下計の開発とその適用性に関する研究

A DEVELOPMENT OF SETTLEMENT MEASURING SYSTEM USING MAGNETIC SENSOR AND ITS APPLICATION

谷口敬一郎*・楠見晴重**・木村宏一***・辻本勝彦****

By Keiichiro TANIGUCHI, Harushige KUSUMI, Kouichi KIMURA and Katsuhiko TSUZIMOTO

The new method of measuring settlement using one bore hole which has enable the increase of measuring points during observation were developed. The principle of this method is based on two unique points, one of which is application of a permanent magnet as an indicator of settlement, and the other is the exploitation of semi-conductor magneto-resistance elements for detecting the magnetic fields. In advance of the observation, the magnets are forced into the earth penetrating the VINYL CHLORIDE casing of bore hole by the oil jack at suitable depths and intervals, and the small sized magneto-resistance element is much use of realization of this idea.

In this paper, the principles of this method, measuring procedure, the special characteristics and potential of this system and the results of field trials are described.

Keywords: measuring settlement system, magneto-resistance elements, permanent magnet

1. ま え が き

近年の臨海地域における埋立てや人工島の建設は、多様化する種々の需要に応えるべく大規模化し、かつ大水深の地点に及ぶことが多くなってきている。一般に沿岸域の海底地盤は基盤岩類の上に第三紀層、洪積層、沖積層の順に堆積しているのが模式的な地質構造であり、このような自然地盤の上に巨大な人工的な地盤が盛り立てられることになる。水深が浅い場合には、盛土荷重による圧密沈下の影響が及ぶのは、ほとんど沖積層内に限られるとして、大きな誤りはないとされてきているが、盛土の厚さが、20 mを越すような大きな荷重が自然地盤に加えられると、圧密沈下の現象は単に沖積層のみにとどまらず、洪積層の相当な深度にまで及び、また地表面の沈下期間も10年以上にもわたるものと考えられる^{1),2)}。

このような沈下現象の予測はきわめて重要な問題であるが、特に洪積粘土の工学的特性が十分解明されていない

く、かつ多層地盤の沈下予測手法が確立されていない現状においては、あまり満足すべき結果を与えていないように思われる。このために、圧密沈下の影響が洪積粘土層まで及ぶと予想される大水深、大規模の埋立地盤等では、洪積層、沖積層、埋立土層等の各層別に関する沈下特性を知る必要がある。

多層地盤の沈下現象を工学的に解明するためには、その沈下現象を単に地表面における沈下量としてとらえるのではなく、各地層または各深度別の沈下量を把握して地層別の圧縮、圧密特性を求めることが重要である。このような目的のために、二重管式（固定ロッド式）、アンカー式、水圧式等の層別沈下計が考案されているが、これらは同一地点における深度別の測点数に制限がありまた設置方法、経済性、精度等についても問題があるように思われる。

そこで谷口³⁾らは、1孔のボーリング孔を利用して同一地点において同時多点式の深度別沈下量の測定を目的として、さきに電磁誘導式沈下計を開発し、すでに実用に供しており、相当な成果を挙げている。しかしこの沈下計は、一度、沈下素子を地盤中に設置すると、新たに沈下素子を設けることは構造上困難であり、また故障に対する対策が皆無である。これらのことは、他の層別沈下計においても同様であり、大きな問題点として残され

* 正会員 工博 関西大学工学部長
(〒564 吹田市山手町 3-3-35)

** 正会員 工博 関西大学専任講師 工学部土木工学科
(同上)

*** 正会員 工博 (株)機動技術研究所代表取締役
(〒658 神戸市東灘区住吉南町 3-902-2)

**** 正会員 (株)東京ソイルリサーチ大阪事務所技術課主任
(〒564 吹田市垂水町 3-27-10)

ている。

本論文は、以上のような問題点を解決するために、永久磁石片を沈下素子として、磁気センサーを利用した磁気深度別沈下計の研究開発に関して考察したものである。本沈下計は海底下においても長期間の観測に耐え、なおかつ沈下素子の設置に際しては、同一測定孔において実用上深度別測定数は無制限であり、測定期間中においても測点を増設することが可能であるという特長を有している。

さらに本沈下計をある埋立地盤に適用し、一応の成果を挙げるに至ったので、試験地の地質特性ならびに各地層の沈下特性についても検討を行ったものである。

2. 原理ならびに測定器

本沈下計の原理は、永久磁石片を沈下素子としてボーリング孔内より地層中に挿入し、地層の圧縮とともに変位する素子の位置を磁氣的に測定することにより、各地層または各深度ごとの変形量を求めようとするものである。磁気の測定に関しては、従来、磁針型、飽和鉄心型、核磁気共鳴型等が広く用いられているが⁴⁾、孔径の小さなボーリング孔内に適用するには困難であったために、上述のような発想を実現するには至らなかった。最近になって、ホール効果を利用した半導体型のきわめて高感度の磁気抵抗素子が開発され、これを利用することによって、この方法を具体化するための研究に着手することができるようになった。

(1) 磁気センサー

永久磁石片による磁場を検出する磁気センサーとしてはSONY DM 209を用いている。その外形はFig. 1に示されるように、約5 mm角程度のきわめて小さな本体に脚線が付けられたものである。この素子の内部構造は、Fig. 2に示されるように、4つの同特性の磁気抵抗素子 R_a, R_b, R_c, R_d がブリッジに組まれている。これらの裏側にはバイアス・マグネットが付加されているので、外部磁界の変化に対して直線的な抵抗変化が得られる。

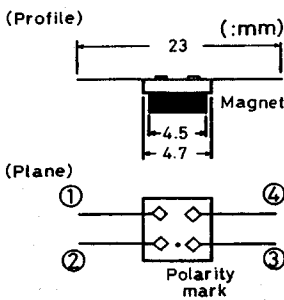


Fig. 1 External shape of the magnetic sensor.

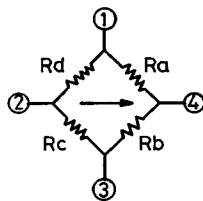


Fig. 2 Internal circuit of the magnetic sensor.

Fig. 1 に示されている極性マークは、このマークの辺に対して直角の方向に外部磁界を加えた場合に、最も高い感度を与えるという意味のもので、たとえば Fig. 3 のようにブリッジ回路を組んで永久磁石片を図の矢印の方向に動かせば、ブリッジの電流 I_G はセンサーの中心においてピーク値をもつ単峯性の曲線を示す。このブリッジに生ずる電流 I_G を不平衡電流とよぶことにする。

(2) 磁石

地層中に挿入される磁石が作る磁界の強さは Fig. 4 に示される座標系を用いれば、棒磁石の中央から距離 r の点 P における磁界の強さは次式で与えられる⁵⁾。

$$H_r = \frac{m}{4\pi\mu_0} \left[\frac{r - (l/2)\cos\theta}{\{r^2 + (l/2)^2 - rl\cos\theta\}^{3/2}} - \frac{r + (l/2)\cos\theta}{\{r^2 + (l/2)^2 + rl\cos\theta\}^{3/2}} \right] \dots\dots\dots (1)$$

$$H_\theta = \frac{m}{4\pi\mu_0} \frac{l}{2} \sin\theta \left[\frac{1}{\{r^2 + (l/2)^2 - rl\cos\theta\}^{3/2}} + \frac{1}{\{r^2 + (l/2)^2 + rl\cos\theta\}^{3/2}} \right] \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 l は棒磁石の磁極間の長さ (m)、 m は磁極の強さ (wb)、 μ_0 は真空中の透磁率で、 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ (henry/m) である。実際の測定においては、磁石の長さ l に対して r は、はるかに大きいことより、

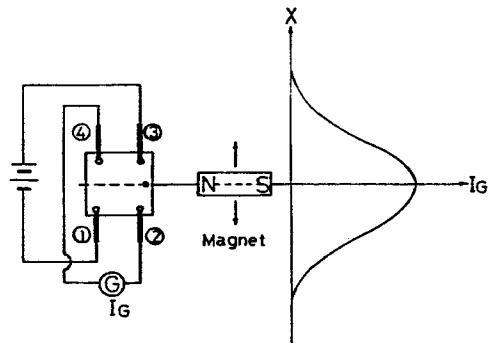


Fig. 3 Change of unbalanced current which the magnetic sensor is produced by permanent magnet.

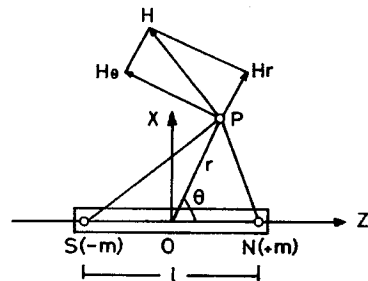


Fig. 4 Co-ordinates of the magnetic and component of it's field.

いま、 $r \gg l$ とし、また、 l が小さいときは ml は磁気双極子の磁気能率を表わし、これを $M = ml$ とおけば式 (1) および (2) は、

$$H_r = 2M \cos \theta / 4 \pi \mu_0 r^3 \dots \dots \dots (3)$$

$$H_\theta = M \sin \theta / 4 \pi \mu_0 r^3 \dots \dots \dots (4)$$

となる。このときの M は磁石の磁気能率である。合成磁界 H は、

$$H = \sqrt{H_r^2 + H_\theta^2} = M \sqrt{1 + 3 \cos^2 \theta} / 4 \pi \mu_0 r^3 \dots \dots (5)$$

で表わされる。

Fig. 4 のような配置の場合は z 軸上 ($\theta = 0$) において、 $H_\theta = 0$ となり、 H_r 成分のみが作用し、

$$H_r = H_z = M / 2 \pi \mu_0 r^3 \dots \dots \dots (6)$$

となる。このことから、センサーに作用する磁界の強さは M の強さに比例し、磁石中心からの距離 r の 3 乗に逆比例することがわかる。

x 軸からの距離が h であり、 z 軸に対して垂直な直線 x_n 上の H_z 成分は、

$$H_z = H \cos \theta = M \sqrt{1 + 3 \cos^2 \theta} / 4 \pi \mu_0 r^3 \dots \dots (7)$$

となる。

沈下素子として用いる磁石片には、Fe-Cr-Co 系の CKSP 磁石を用い、長さ 20 mm、直径 10 mm の銃弾型に加工している。Fig. 5 は、磁石片の磁気能率を求めるために実施した実験方法および結果について示したものである。図中内に示すように、磁石の長軸方向を z とし、ガウスメーターのプローブを磁石より h (cm) 離れた線上を移動させ、そのときの磁界の強さを計測した。この結果より、沈下素子として用いるこの磁石の磁気能率 M は式 (7) から求めると約 1.0×10^8 wb であり、この磁石を沈下素子として、位置の検出に利用するうに

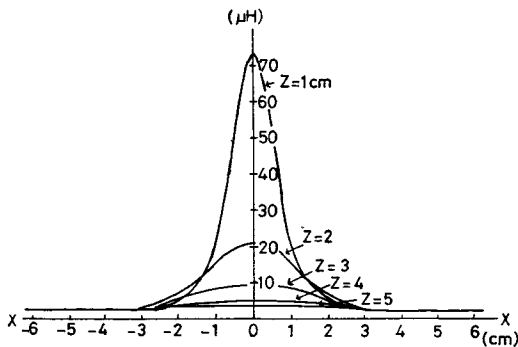
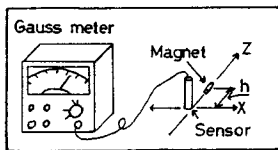


Fig. 5 Variation of magnetic field.

において、十分な磁界の強さを得ることができた。なお、永久磁石の安定性に関しては、熱的、磁氣的、機械的な外部攪乱を加えないかぎり、かなり長期的に安定なものであり、2年間にわたる観測経過中において磁界の変化はほとんど認められていない。

(3) 測定器

測定器はプローブと磁気検出器とから成っている。プローブは磁気センサーをボーリング孔内に垂下して沈下素子の位置を測定する目的のもので、磁気抵抗素子、導線およびスチールテープの一端をアクリル円筒の中に樹脂で封入したものである。ただし磁気センサー1個のブリッジによる不平衡電流は Fig. 3 のようなピーク値付近では、ゆるやかな変化を示すので、ピーク位置を求める場合に高い精度を望むことが困難である。この解決方法として Fig. 6 に示されるように2個のセンサーを逆方向に接続し、零位法とすることにより精度を高めた。この

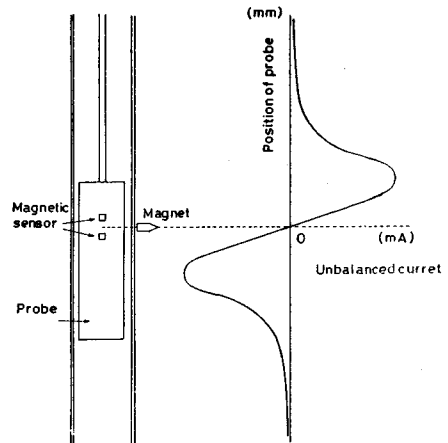


Fig. 6 Change of unbalanced current in null method.

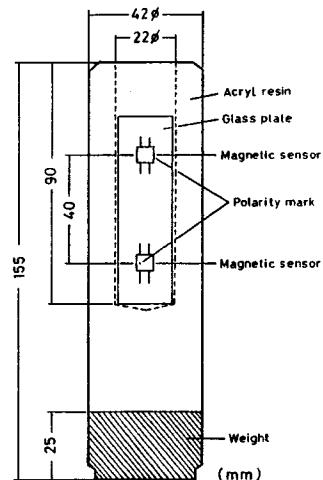


Fig. 7 Dimension of probe.

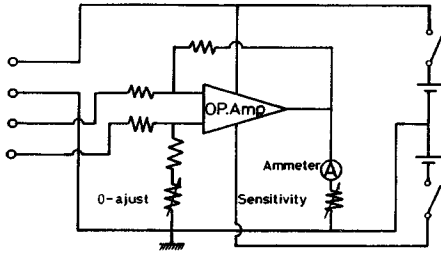


Fig. 8 Circuit diagram of the balancing device.

場合の沈下素子の位置決定精度は、1 mm 以内となった。

Fig. 7は磁気センサー2個を封じたプローブの構造、寸法の一例を示したものである。ここでプローブ下部に取り付けるおもりの大きさは、スチールテープの標準張力および地下水による浮力の影響等を考慮して決定した。

磁気検出器はプローブにおいて生じた不平衡電流をオペアンプによって直流増幅し、検流計によって磁石の位置を求めるようにした。Fig. 8はその回路図で、零調整、検流計の感度切換等を備えている。

3. 沈下素子の設置法

この方法の重要な問題点は、沈下素子である永久磁石片を、限られた空間内であるボーリング孔内より地層中に、いかに安定した状態で設置するかにある。すなわちこの手法を確立することによって施工能率が向上し、かつ計測期間中における沈下素子の増設も可能となる。この目的のために、手動式油圧ジャッキ、油圧ホース、単動式油圧シリンダーおよび磁石打込み部から成る磁石打込み装置を開発した。

Fig. 9は磁石打込み装置の概略を示す原理図である。図においてピストンAは油圧シリンダーに直結されており、鉛直方向の動きをベアリングを介してピストンBの動きを水平方向の動きに変換するために、先端部はくさび型となっている。ピストンBの頭部に磁石をセットすれば、ボーリングの保孔管（塩化ビニールパイプ）を打ち抜き、地中に挿入されることになる。この際、先端抵抗を軽減するために磁石片の頭部を尖らせて弾丸状の形にしてある。また、磁石が保孔管から縁切れして、完全に地層中に打ち込まれるように、磁石とピストンBの間には非磁性体である2個の真ちゅう製スペーサーa、bを用いている。沈下素子である磁石片は保孔管から、できるだけ離すことが望ましいと思われるが、スペーサーa、bは磁石片を保孔管から約15 mm程度離れた地層中に設置する役割も有している。現時点では、保孔管と磁石との距離は、約15 mmであるが、打込み装置を改良することによって、さらに距離を延ばすことが可能と考えられる。磁石が保孔管を破って地層中に打ち込ま

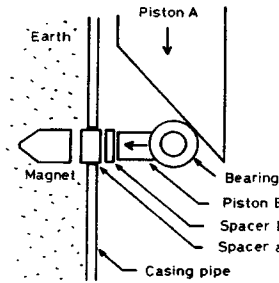


Fig. 9 Mechanical diagram of the insertion of the magnet.

れた後、スペーサーaは打ち抜いた孔をふさぐ状態とどまり、スペーサーbは孔底に落下する。したがって保孔管内壁には、プローブの上下動に対して妨げとなるような突起物は存在しない。

4. 測定方法

Fig. 10は測定方法の概略を示す図で、これに従って以下に説明する。

① ボーリング

沈下を観測しようとする地点において、不動層と考えられる深度に達するまでボーリングを行い、孔壁の崩壊を防ぐために塩化ビニールパイプの保孔管を挿入する。塩化ビニールパイプは磁石設置装置の外径の関係から、VP 65 もしくは VP 75 を用いるのが好ましい。

② 磁石の設置

保孔管の挿入後、保孔管周囲に土が自然に寄ってきて、孔壁と保孔管とのすき間が閉じるまで数日間の猶予をおく。3. で述べた磁石打込み装置を保孔管内に垂下し、沈下測定を実施したい深度に沈下素子である磁石を打ち込む。沈下素子の間隔は最低20 cmあれば十分に識別できるので、観測を欲する位置にほとんど無制限に設置することができる。

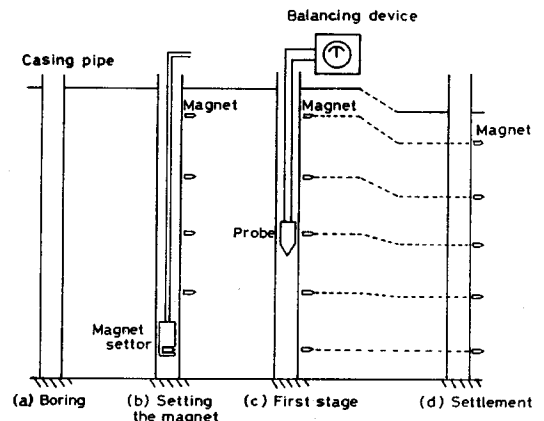


Fig. 10 Measurement procedure.

③ 基準測定

測定プローブを保孔管内に下降させていき、磁気検出器の検流計によって Fig. 6 に示される不平衡電流 I の点を求め、保孔管管頭を基準として各沈下素子までの深度を、プローブに付属しているスチールテープによって読み取る。それぞれの深度測定値は各素子の初期値として扱われる。なお、磁石に対する反応が低い場合は、プローブを回転させて高い反応を示す位置を見出す必要があるが、基本的に上述したボーリング孔での測定においては、プローブと磁石の位置に関係なく高い反応特性が得られている。

④ 観測

地層の収縮とともに素子も沈下するので、適当日数間隔で③と同様な測定を繰り返し、初期値と比較することにより各素子の変位量が求められる。

⑤ 沈下素子の増設

沈下の測定期間中、計測地点を増設したい場合には、②の方法によって容易に実施することができる。

ボーリング孔が不動層に達していない場合は、保孔管自体も沈下する可能性があるが、各沈下素子間の間隔の変化によって深度ごとの圧縮量は正確に求めることができる。それぞれの圧縮量の総和が測定区間の沈下量を与えることになるが、絶対沈下量を求めるためには、測定ごとに保孔管管頭の水準測量を行う必要がある。

5. 現場計測の一例

(1) 現場状況

計測現場は神戸市東部の臨海埋立地に位置し、埋立完了後数年が経過している。この埋立層厚さは約 20 m と厚く、また事前に沖積粘土層等に対して人工的な地盤改良が施されていないことより、現在もお沈下が続行しているものと考えられる。Fig. 11 は測定を開始した時点の観測孔の地質柱状図を示したもので、この観測孔の深度は 120 m となっている。図から明らかなように、上部からまき土を主体とした材料から成る埋立て土層（層厚約 21.5 m）、沖積粘土層（11.4 m）、上部洪積互層（43.2 m）、洪積粘土層（19.9 m）、下部洪積互層より成っている。

観測孔の掘削完了後、Fig. 10 に示した順序に従って作業を実施した。ケーシングパイプ（VP 65：内径 68 mm、肉厚 4 mm、VP 75：内径 76 mm、肉厚 6 mm）挿入後、周囲の土がパイプに確実に密着するよう、約 1 週間放置した後、沈下素子打込み装置を用いて、Fig. 11 に示されるように、各地層境界ならびに各地層中に合計 16 個の沈下素子を打ち込んだ。これらは P-1～P-4 が埋立土層に、P-4～P-6 が沖積粘土層に、P-6～P-12 が上部洪積互層に、P-12～P-15 が洪積粘土層にそれぞれ

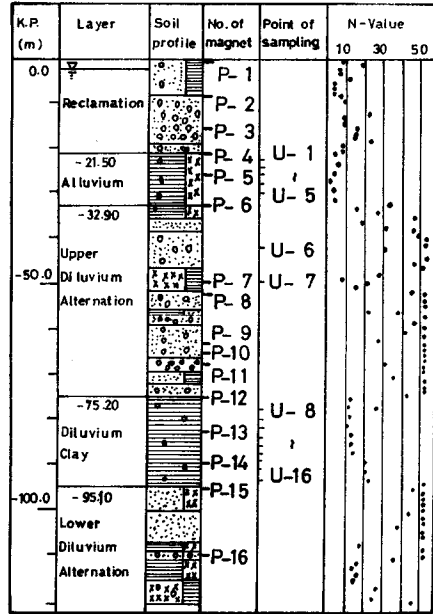


Fig. 11 Geological profile at observation site.

れ相当している。また P-16 は深度約 110 m 地点の下部洪積互層中における N 値 30 以上の砂礫層に打ち込んでおり、これを不動点とした。また Fig. 11 に示されている U-1～U-16 は不攪乱試料採取位置である。

(2) 計測現場の土質特性

Fig. 12 は採取した不攪乱試料の土質試験結果を示したものである。図より沖積粘土のコンシステンシーの深さ方向の変化は弓状に変化している。また間隙比は中心部ほど高く、一軸圧縮強度は中心部ほど低い値となっている。これらのことより、沖積層は、ボーリング掘削した時点においても、なお両面排水状態における圧密が進行中であることが認められる。上部洪積互層中の粘土は、一試料のみであるが、沖積、洪積粘土に比べてコンシステンシーは全体的に低い値を示し、一軸圧縮強度は、沖

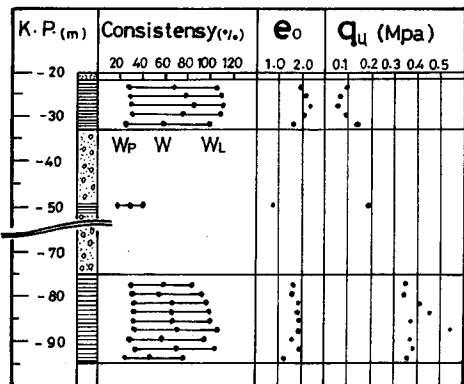


Fig. 12 Index properties of undisturbed samples tested.

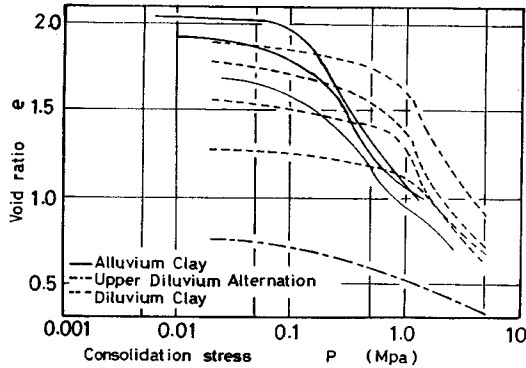


Fig. 13 e-log P curves.

積、洪積粘土の中間的な値を示している。洪積粘土は沖積粘土と同様、かなりの高塑性を呈しているが、深さ方向の変化に対しては、沖積粘土層のような弓状の分布を示していない。また一軸圧縮強度は0.34~0.54 MPaとかなり大きいことが認められる。

Fig. 13は各粘土層の不攪乱試料による代表的なe-log P曲線を示したものである。この図と他の不攪乱試料による試験結果より、沖積粘土層の圧縮指数 C_c は0.79~1.14の範囲に分布しており、層の中心部ほど C_c は大きな値を示している。洪積粘土層の C_c は約0.87~1.30の値となっており、場所によっては高い圧縮性を示す地点が存在するものと思われる。図中の上部洪積互層中の粘土層の C_c は0.27と大変低い値となっている。しかし圧密降伏応力と土かぶり圧とから判断して、この層は、過圧密状態下にあると考えられる。

(3) 沈下観測結果

Fig. 14は沈下素子P-16を基準とした場合の各沈下素子の初期値からの変位量をとって表わした曲線である。計測日数は752日である。この図より、P-1~P-4の変位が大きく、またこれらの素子はほぼ平行に変位していることより、P-4からP-5地点の圧縮が最も著しいものと思われる。P-4~P-5は沖積粘土層の上部から中間部の範囲であり、先の不攪乱試料による土質試験結果とほぼ一致するような沈下傾向が認められていることより、本測定結果の有効性が実証されているものと考えられる。

Fig. 15は各地層ごとの圧縮量の経時変化を示したものである。この図より埋立てが完了した時点より数年を経た現在では、埋立土層の圧縮はほとんど終了しているものとみなされる。これは計測現場付近の埋立材料が主に透水性の良いまき土が使用されているためと考えられる。その下部の沖積粘土層の圧縮は、計測期間中約186 mmと他の層に比べて最も大きい圧縮量を示し、現在も圧密沈下が進行しており、現時点において1か月当たり

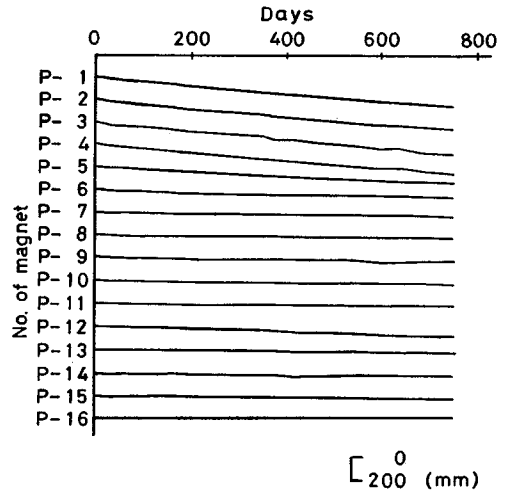


Fig. 14 Settlement curve of each measured point.

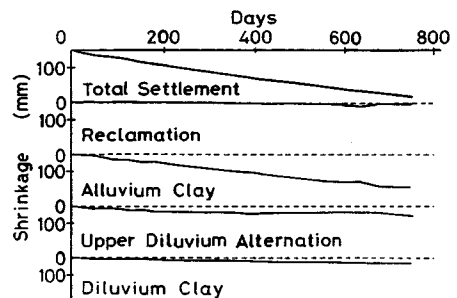


Fig. 15 Shrinkage in each layer.

約7~8 mm程度の圧密沈下速度となっている。Table 1は各地層を分割した場合の圧縮量および圧縮ひずみを表わしている。この表より沖積粘土層は沈下素子の設置位置から、ほぼ半分は上部層と下部層とに分けられるが、圧縮量、圧縮ひずみともに上部層の方が高い値を示しているのが認められる。

上部洪積互層は同期間内において約58 mm圧縮しており、1か月当たり、約2~3 mm程度の沈下速度となっている。Table 1より上部洪積互層は沈下素子P-6~P-8、P-8~P-12の2層に分割している。圧縮量はP-6~P-8の層が大きな値を示しているが圧縮ひずみはP-8~P-12の層が大きくなっている。ここでこれらの圧縮の大部分が互層中の粘性土層と腐植土層によるものと仮定すれば、P-6~P-8層中の計測開始時における粘性土層と腐植土層の総和は4.7 m、P-8~P-12層中では2.0 mとなり、それぞれの圧縮ひずみは、 7.02×10^{-3} 、 1.25×10^{-2} である。このことよりP-8~P-12層中の粘性土層と腐植土層には沖積粘土層と同等程度の圧密特性を有する層が含まれているものと推測される。しかし実際には砂礫層も若干沈下していると思われることから、

Table 1 Shrinkage quantity and strain in each layer.

Layer Division	Division	Initial thickness of layer (m)	Shrinkage quantity (mm)		Shrinkage strain ($\times 10^{-3}$)	
Alluvium Clay	P-4 ~ P-5	5.351	110	186	20.6	16.5
	P-5 ~ P-6	5.952	76		12.8	
Upper Diluvium Alternation	P-6 ~ P-8	16.852	34	54	2.0	1.6
	P-8 ~ P-12	17.457	20		1.1	
Diluvium Clay	P-12 ~ P-16	27.971	26		0.93	

同層の粘土層の沈下特性は沖積粘土と洪積粘土の中間的な特性を示すものと思われる。

洪積粘土層は同期間内において約 26 mm 圧縮しており、1 か月当たり、約 1 mm 程度の沈下速度を呈している。洪積粘土層には沈下素子を 4 か所に設置して、4 つの層に分割できるようにしているが、各層とも、ほぼ同様な圧縮傾向を示しており、圧縮ひずみは約 1.2×10^{-3} ~ 1.4×10^{-3} 程度の値となり、平均は約 1.3×10^{-3} である。これは上部洪積互層の圧縮ひずみよりも若干低い値となっている。このことより、洪積粘土層の圧縮は、ほぼ落ち着いてきているものと考えられる。

以上、各層の沈下測定結果について論じたが、この計測地点の表面沈下は、測定期間内において 273 mm が観測されており、1 か月当たり約 11~12 mm の沈下速度となっている。また表面沈下は各層の圧縮の総和として計測されるものであるが、この計測地点においては沖積粘土層は総沈下量に占める割合は約 68 % であり、以下上部洪積互層が約 21 %、洪積粘土層が約 10 %、埋立土層は約 1 % となっており、沖積粘土層の沈下は全層の 2/3 近くを占めていることが認められた。

(4) 沖積層における計算値と実測値との比較

本沈下計の有効性について検討を行うために、一般的によく利用され、正規圧密粘性土に対しては、比較的信頼性の高いテルツァギーの圧密理論を沖積層を対象として適用し、得られた沈下曲線と実測値による沈下曲線との比較検討を行った。なお圧密沈下計算に用いる沖積層の土質定数は、この計測孔付近において埋立前に実施された不攪乱試料による試験結果で得られた数値を用いた。また圧密度の算定に際しては盛土荷重は漸増荷重によって荷重させ、沖積層を上層、下層に分割し、それぞれに対して沈下計算を実施した。上層、下層は Fig. 11 に示した沖積層に挿入されている沈下素子と同一の地点によって分割した。すなわち、P-4~P-5 を上層、P-5~P-6 を下層とした。計算の結果、沖積層の最終沈下量は 3758 mm となった。

Fig. 16 は埋立開始日からの圧密度 U の経時変化を示したものである。この図より盛土完了日において圧密度は約 43 %、沈下の計測開始日には圧密度は約 61 % と

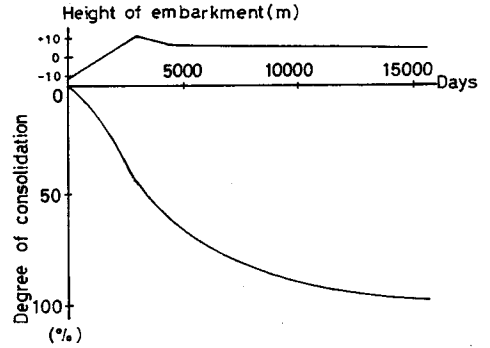


Fig. 16 Time-degree of consolidation curve.

なっている。そして圧密がほぼ終了すると考えられている圧密度 95 % に達するには沈下の計測開始後、約 18 年を要することから、沈下計測期間中ならびにそれ以後においても圧密は進行するものと考えられる。

Fig. 17 は沈下測定開始日を起点とした場合の沖積層

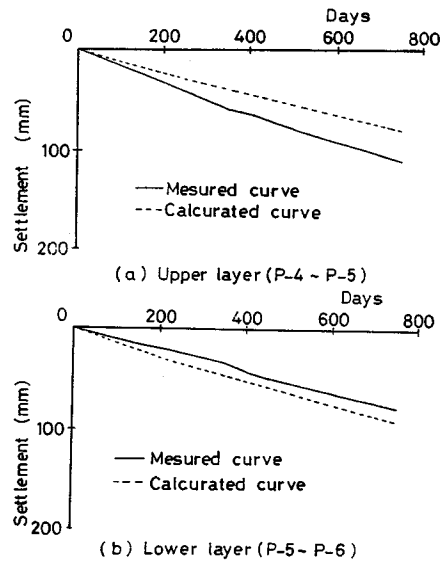


Fig. 17 Comparison of measured settlement curve with calculated one for upper and lower layer of Alluvium clay respectively.

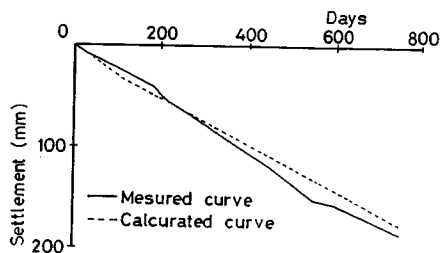


Fig. 18 Comparison of measured settlement curve with calculated one for Alluvium clay.

の上層、下層それぞれにおける磁気沈下計を用いて計測された沈下曲線と計算によって求めた沈下曲線を示したものである。この図より、実測値と計算値の沈下曲線を比較すると、上層においては実測値と計算値とは、多少の開きがみられ計算値よりも実測値の方が大きい沈下を示している。下層においては実測値と計算値は、ほぼ似かよった沈下曲線となっている。Fig. 18は沖積層を単一層とした場合の実測値と計算値との沈下曲線を示したものであるが、若干の差異が認められる。この差異は結果的には上層部の差異が現われているものと考えられる。これらのことより、上層部における実測値と計算値の相異は沈下計によって現われた誤差であるか、上層部の圧縮特性は圧密現象と他の外的要因が加わって生じたものなのか、もしくは、上層の沈下計算に用いた土質諸定数に問題があるのかは判断できない。また下層においては計算値と実測値とは比較的一致した沈下曲線を描いている。さらに沖積層全体を一層とした場合、計算値と実測値の誤差は最大10%程度であることより、本沈下計によって測定された沈下量は、大きな矛盾はないものと考えられる。

6. 結 論

本研究は、磁気センサーを用いて地盤内になじみやすい小さな磁石片を沈下素子とする、高精度の沈下計の開発ならびに実際の地盤への適用性について考察を行ったものである。開発された磁気沈下計は以下のような特徴を有している⁵⁾。

(1) 本沈下計は沈下素子の間隔が約20 cm以上離れておれば、いくつでも沈下測点を設けることができ、すべて確実に検出できる。

(2) 測定期間中において、新たに地下測点が必要と

なった場合でも、沈下素子を簡単に増設することができる。

(3) 沈下測定精度は1 mm以内である。

(4) 測定時間は、1素子当たり約1~2分以内であり、測定者の技術的な熟練度を必要としない。

(5) 多数の測定孔が存在しても設置型でないため磁気沈下計のプロープ、磁気検出器は1台あればすべてを兼ねることができるので、経済的である。

(6) 沈下素子として永久磁石を用いているので、半永久的な測定が可能である。

(7) 磁気検出器の電源としては、9 Vの乾電池のみで作動するために、通常の交流電源を必要としない。

この沈下計を用いて、ある埋立地盤で試験計測を実施したが、沈下素子の設置、沈下の計測ともになんの支障もなく順調に実施され、その計測結果も妥当な値が得られ、本沈下計の有効性が実証された。今後は、さらに多くの計測現場で使用し、より詳細な層別沈下観測手法の確立をめざす予定である。

参 考 文 献

- 1) 渡辺嘉道・水間収三・田中伸佳：神戸港の洪積層について、土と基礎，Vol. 31, No. 6, pp. 45~49, 1983.
- 2) 三笠正人：埋立地盤の土質工学的諸問題，土木学会誌，Annual '78, pp. 50~52, 1978.
- 3) 谷口敬一郎・楠見晴重・中島志郎・斉藤長太郎：電磁誘導式深度別沈下計の開発とその応用について，土と基礎，Vol. 30, No. 12, pp. 49~53, 1982.
- 4) 菅野 充：電磁気計測，コロナ社，1971.
- 5) 谷口敬一郎・楠見晴重・坂本 健・木村宏一：磁気式深度別沈下計による大阪湾海底地盤の沈下計測について，海底地盤に関するシンポジウム論文集，土質工学会関西支部，pp. 163~168, 1986.

(1989. 3. 3・受付)