

磁気伝送水圧式沈下計による大規模埋立地の沈下計測

埋立地盤、沈下、現場計測

関西国際空港用地造成株式会社	正 会 員	藤井 敦
関西国際空港株式会社	正 会 員	鈴木慎也
関西国際空港株式会社	国際会員	○森川嘉之
坂田電機株式会社	正 会 員	中山 淳

1. はじめに

関西国際空港は、急速に進むグローバル化を背景とした国際ハブ空港および国内拠点空港の要望を受け、また、地域社会との共存共栄を目指し、我が国初の24時間運用可能な本格的国際空港として平成6年9月4日に開港した。

その後、滑走路1本では年間離発着回数が近い将来、限界に達することが予想された。事実、現在も朝夕のラッシュ時や便利な時間帯においては滑走路が非常に混雑している状況である。この課題を解決し、将来においても我が国の国際ハブ空港および国内拠点空港としての役割を担うとともに、今後の増大する航空輸送需要に適切に対応すべく、平成11年7月、2本目の滑走路を備える2期空港島用地造成工事に着手した。

関西国際空港の1期島は、航空機騒音が居住地域に与える影響を極力避けるため、泉州沖5kmの海域に建設された。このため、大水深で軟弱な海底地盤を埋立てる、かつて例を見ない大規模な用地造成工事を短期間で行なうという課題に直面し、様々な施工上の工夫や技術開発などでこれを克服した。2期空港島は、1期空港島よりもさらに沖合いに建設されるため、自然条件や規模、工期など1期工事以上にきびしい条件下の施工となり、多くの技術課題を克服しながらの施工となっている。そのため、1期工事での経験を十分に活かし、最新の技術をいち早く導入して、円滑かつ効率的に工事を進めている。

545haを埋立てる関西国際空港2期島用地造成工事では、供用開始後の不同沈下をできるだけ小さくするために、施工履歴の差をできるだけ小さくし、均一な層厚の埋立地盤を造成している。埋立地盤の層厚を適切に管理するためには、工事中の沈下を精度よく計測することが必要である。当工事では磁気伝送水圧式沈下計（以下、磁気伝送式沈下計）と呼ばれる沈下計を採用した。磁気伝送式沈下計は、水圧を計測する埋設型の沈下計である。沈下量は、水圧と島外の潮位を基に沈下計の標高の変化として算出される。磁気伝送式沈下計の設置に当たっては、データの伝送方法、設置方法など詳細な検討を実施した。また、埋立工事によって陸化が進行すると、島外の潮位が磁気伝送式沈下計の位置の地下水位とずれるため、計測誤差が大きくなることが懸念された。そこで、陸化した地点の磁気伝送式沈下計の付近で地下水位を計測した。本論文では、磁気伝送式沈

下計設置に当たって実施した検討、および地下水位計測結果について報告する。

2. 磁気伝送式沈下計の概要

2. 1 従来の沈下計測

従来、海中埋立工事に伴う地盤沈下測定には鋼製沈下板（以下、沈下板）が多く用いられてきた。沈下板は地盤改良後の海底地盤上に設置される。沈下板の構造は、直立した数本の鋼管を底板の上に取付けたものとなっており（図1）、鋼管はチェックボーリング時にケーシングのガイドとしても使用される。海底地盤およびその沈下は沈下板の鋼管頭部の標高と鋼管の長さから算出される。したがって、沈下計測のためには鋼管が常に埋立地盤上に突出している必要がある。このため、沈下板周辺では、土運船からの直接投入ではなく、ガット船などによって注意深く埋立てる必要がある。さらに、沈下板の鋼管は作業船舶の航行の障害物となるため、当初から必要な長さのものを取り付けておくことができず、沈下板の鋼管は埋立工事の進捗に応じて継足していかなければならない。また、埋立地が陸化する前は、鋼管は海中に没しており、沈下計測には海中作業が必要となる。

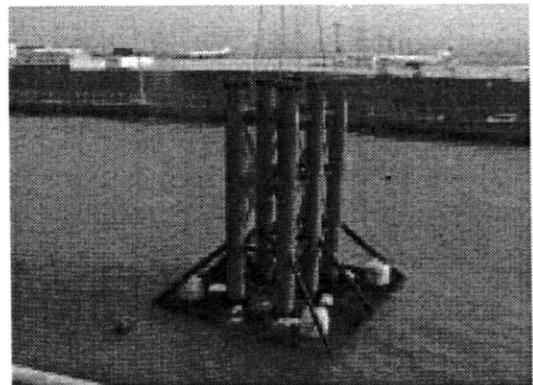
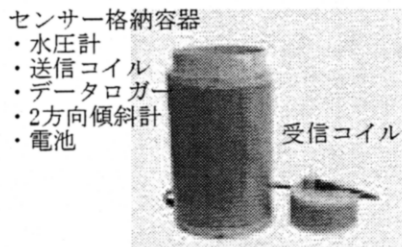


図1 鋼製沈下板

Settlement Measurement Using Magnetic-Transmission Type Water Pressure Gauge: A. Fujii (Kansai International Airport Land Development Co., Ltd.), S. Suzuki, Y. Morikawa (Kansai International Airport Co., Ltd.) and J. Nakayama (Sakata Denki Co., Ltd.)



(a) 海上、地上部



(b) 地中部

図2 磁気伝送式沈下計

2. 2 磁気伝送式沈下計と計測システム

上記のような沈下板の課題を解決するため、2期島用地造成工事では、海底地盤の沈下計測に磁気伝送式沈下計を採用し、大規模埋め立て工事に伴う沈下測定の合理化を計った。磁気伝送式沈下計およびその計測システムの特長は次の通りである。

- ・水圧計を海底に埋設し、データを無線伝送する。
- ・データの伝送方法は音響周波数帯域の低周波磁界を搬送波とする新しい通信方式であり、海水中、地盤中、空气中を問わず通信可能である。
- ・沈下計の直上付近の海上または陸上の受信機でデータを収集できるため、計測のための海中作業が不要である。また、沈下板の鋼管継ぎ足しのような埋立の進捗に伴う作業も発生しない。
- ・海中に障害物が無く、土運船による作業効率が改善されるため、設置箇所の制約がない。したがって、沈下板よりも高密度に配置することが可能である。
- ・データロガーにデータを蓄積できるため(99個)、任意の時点において、現在および過去の測定データを収集できる。
- ・受信機が持運び可能なため、空港完成後においても滑走路など施設に支障なく沈下測定が可能である。
- ・内蔵電池により、長期間の計測が可能である。

磁気伝送式沈下計は地上部と地中部に分けられる。図2に磁気伝送式沈下計を示す。地中部には水圧計が内蔵されており、測定データはデータロガーに収録される。収録されたデータは、地中部の受信コイルが海上あるいは地上の送受信制御装置から送られるデータ送信指令信号を受信すると、低周波搬送波に変換されて送信される。海上(地上)の受信コイルで受信した信号は、データ処理コンピュ

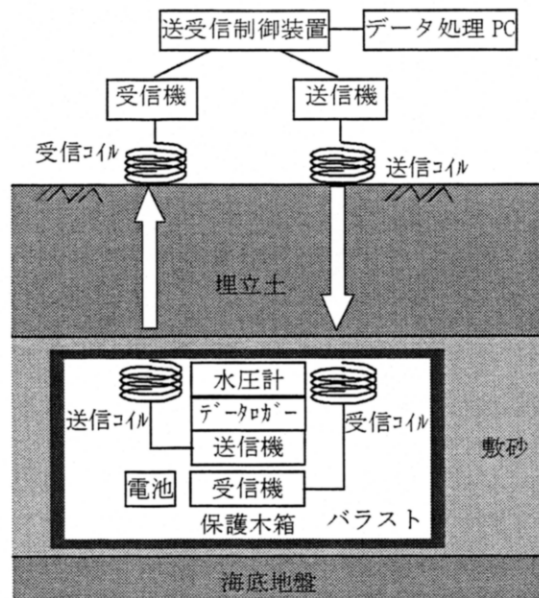


図3 磁気伝送式沈下計の計測システム

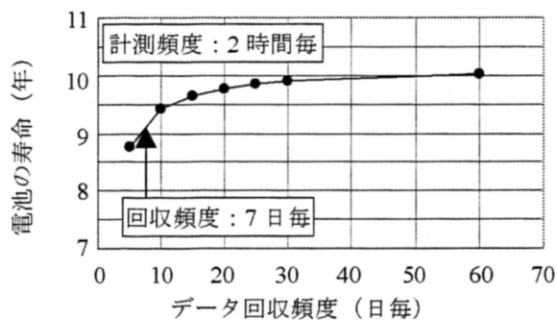


図4 データの回収頻度と電池寿命の関係

ータに送られ、気圧・潮位補正の後、各測点の水頭に変換され沈下量が算出される。計測システムの概念図を図3に示す。なお、データ送信指令信号には各磁気伝送式沈下計を特定するIDコードが含まれており、このIDコードに一致した沈下計のみがデータを送信している。

磁気伝送式沈下計が電力を消費するのは、主にデータ計測時、データ回収(送信)時である。したがって、データ計測頻度とデータ回収頻度が、内蔵電池の寿命を左右する。現在、計測頻度は2時間毎に設定されている。内蔵データロガーが蓄積できる個数が99個となっているため、データ回収頻度は、1週間に1回である。図4に、2時間毎に計測した場合のデータ回収頻度と電池寿命の関係を示す。現在の設定(7日毎)では、電池寿命が約9~10年であることがわかる。用地造成完了後、沈下速度の変化に応じて、データ回収頻度を下げるなど対応をとることで、さらなる長期計測も可能である。またその後は、2期空港島の埋立土の圧縮が収束していると考えられるため、沈下計測は天端計測で充分対応可能であると判断される。

磁気伝送式沈下計の設置検討時には、この新しい通信方式および大水深の埋立地盤中の水圧データと水面標高から沈下を求める沈下測定法ともに実施例が少なかった。そ

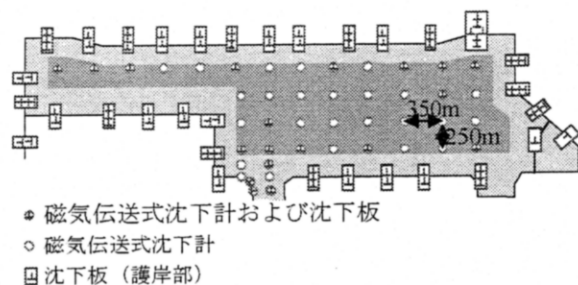


図5 2期島における沈下計測機器の配置

ここで、設置に先立って、護岸工区内に設定した先行確認部において各種試験を実施し、信頼性、実用性を確認した。2期空港島用地造成工事では、埋立部全域に約350m×約250m間隔で37基の磁気伝送式沈下計を設置した。図5に磁気伝送式沈下計の配置を示す。なお、2期空港島用地造成工事では、工事の進捗に伴い、地盤強度確認のためのチェックボーリングを実施している。このため、ボーリング予定地点に限定して鋼製の沈下板も設置している。図5には沈下板の配置も合わせて示している。

3. 磁気伝送式沈下計の信頼性、実用性の検証

前述したように、磁気伝送式沈下計の適用に当たって、事前に信頼性、実用性確認のための検討を実施した¹⁾。具体的には、データ受信強度確認、大型土運船での土砂投下試験、測定精度検証、データ処理方法の検討などである。本節では、これらの試験結果について述べる。

3.1 磁気伝送システムの伝送距離

磁気伝送式沈下計のデータ伝送方式は、音響周波数帯域の低周波磁界を搬送波とする通信方式で、搬送波の波長より十分短い距離では導電率の高い媒質中でも通信手段として用いることができるものである。データは、受信電圧の大きさではなく、搬送波の位相で表現される。このため、搬送波の減衰によって値は変化しない。

この伝送方式において伝送効率（送信電圧に対する受信電圧の比）は、伝送距離の三乗に反比例して小さくなり、周波数および媒質の導電率が高いほど小さくなる²⁾。媒質については、空気中の伝送効率が最も高く、地盤、海水の順に低くなる。図6に媒質別の伝送距離と受信電圧の関係を示す。実用的な受信電圧から求められる海水中での伝送可能距離は約45m程度である。これを地盤の伝送距離に換算すると約90mに相当する。用地造成工事では埋立工事の進行により伝送距離が増大するが、これは用地造成工事で埋立てる層厚を大きく上回る値である。

海水は埋立工事によって導電率の低い土砂に置き換わる。導電率の異なる互層の媒質や海水で飽和した透水性の高い土砂の伝送特性については未知であった。このため、護岸工区内の先行確認部に設置した磁気伝送式沈下計の

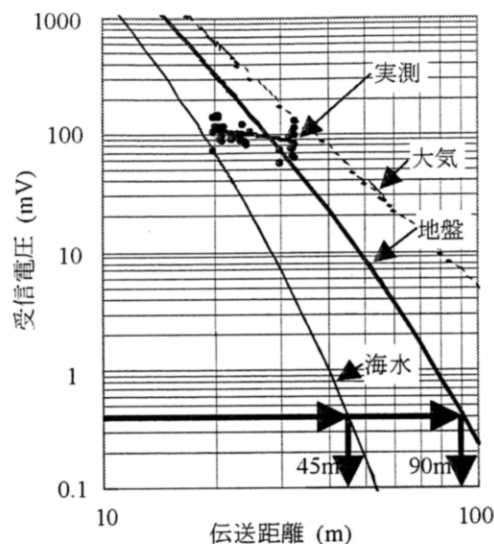


図6 磁気伝送式沈下計測システムの
受信電圧と伝送距離の関係

受信レベルと伝送距離を確認した。図6には磁気伝送式沈下計の設置時から護岸完成までの受信信号電圧の実測結果確認結果も示している。沈下計設置時の伝送距離は約19mであった。（水深に相当）。その後、土砂投入に伴って、海水が土砂に置き換えられるとともに沈下が進行し、護岸完成時の伝送距離は約31mであった。護岸完成時には全深度が地盤である場合の受信電圧に近い伝送効率を示すことが確認された。

3.2 磁気伝送式沈下計の設置方法

磁気伝送式沈下計設置後、埋立工事は底開式の大型土運船で土砂を直接投入する工法で行われる。埋立部の任意の地点に多数の磁気伝送式沈下計を設置するためには、通常の方法（土砂の直接投入）で埋立を実施しても、沈下計や計測データに支障が発生しないように沈下計を設置する必要がある。そこで、沈下計の耐久性を室内衝撃試験によって確認する一方、護岸工区の先行確認部において、土砂の直接投入による沈下計の傾斜とデータ伝送効率への影響等を調査した。

調査においては、沈下計の設置方法による、土砂投入の影響の違いについて検討した。検討した設置方法は

- ①：沈下計を土のうで保護し、地盤改良で海底地盤上に敷設した敷砂上に設置
- ②：①に加え、土砂投入前に周囲5mの範囲に保護盛土を施工
- ③：沈下計を木製容器に収納し、敷砂に埋設

である。検討の結果、①は、②③に比べて土砂投入による沈下計の傾斜が大きく、約40度であった。②は傾斜が小さかったものの、保護盛土によって周辺よりも沈下が先行することが確認された。これらのことから、③の設置方法を採用することとした。埋設深さは、敷砂の天端と水圧計

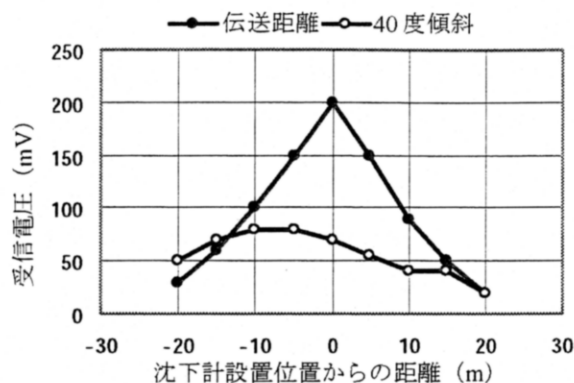


図7 沈下計の傾斜が受信電圧に及ぼす影響

受圧面が一致するように設定した。また、計器を収納した木製容器全体の単位体積重量を敷砂材料と一致させることによって計器養生中の計器の沈下、浮上を防止した。

沈下計の傾斜のデータ伝送効率への影響について、調査結果を図7に示す。図7は沈下計の傾斜によってどの程度受信電圧が低下するかを示している。沈下計が40度傾斜した場合、傾斜のない場合に対して受信電圧が40%程度に低下減少していたが、これは実用上問題のない受信電圧である。

3.3 気圧、海水比重の影響

磁気伝送式沈下計は設置位置（海底面）の水圧を計測する。この水圧から基準水面（CDL）に対する沈下計の標高、沈下量を算出する。ただし、磁気伝送式沈下計の水圧計は絶対圧を計測するため、計測される水圧は大気圧の影響を受ける。また、海面高さは潮位によって変動している。このため、基準水面からの沈下計の標高は、潮位および大気圧を用いて次式から求められる。

$$H = \frac{(p_r - p_a) \times 10^3}{98.0665 \times \rho_w} - h_t, \quad (1)$$

ここで、

- H : 水圧計受圧部から基準水面までの高さ(cm),
- p_r : 測定値(kPa),
- p_a : 大気圧(kPa),
- ρ_w : 海水の密度(g/cm³),
- h_t : 潮位(cm),

である。なお、潮位、および大気圧は島外に設けたMT局（工事海域の気象海象観測施設）の観測データを用いている。

海水の密度は海水の温度分布や潮の干満、潮流などによる変化の可能性があるので、一年間に亘って海水を採取して実測調査した。海水の採取には先端に重錘とワイヤをつけた内径12mmのチューブを用い、海底まで沈めたチューブの手許を閉じ、先端ワイヤを引き上げることによって海面から海底まで全深度の海水を採取し、チューブ内の海水

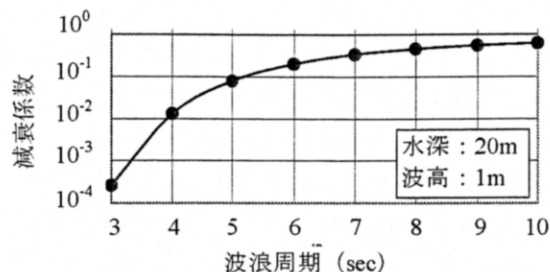


図8 水圧変動の減衰係数と波浪周期の関係

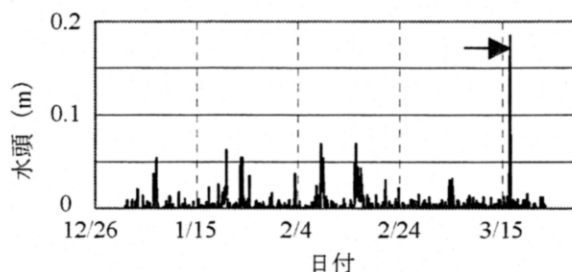


図9 波浪の影響

を攪拌することによって海面から海底までの平均比重と平均水温を求めた。調査の結果、2000年～2002年48回測定の実測値は1.0238 g/cm³、標準偏差0.0012 g/cm³であり、1年を通じて1.024 g/cm³を採用することとした。

3.4 波浪の影響

磁気伝送式沈下計の計測値（水圧）は波浪の影響を受ける。波浪が測定精度に悪影響を与えるとすると、影響を除去するためには、予想される波浪1周期中に水圧を連続計測し、平均化する手順が必要になる。このような操作は電池の寿命を低下させるため、磁気伝送式沈下計埋設前の設定に考慮しなければならない。このため、磁気伝送式沈下計の計測値に波浪が及ぼす影響を事前に検討した。

波浪が水圧に及ぼす影響は、水深が小さいほど、波の周期が大きいほど影響が大きい。水深を20m、波高1mとした場合、波浪による水圧変動の減衰係数と周期の関係は図8のようになる。現在、測定値の許容誤差を10cm未満としている。図より、周期5秒以下の場合、減衰係数が0.1よりも小さくなるため、波高1mの波浪に対して、その影響が許容範囲内になることが分かる。さらに、MT局で観測された1995年から5年間の波浪25万ケースを調べたところ、10cm以上の誤差を発生させる波浪の発生回数は全ケースの0.25%に過ぎないことがわかった。このことから、磁気伝送式沈下計の計測値は、各測定時点の瞬時値を採用しても波浪の影響はほとんど受けないと判断した。

また、図9は試験期間中の1999年1月～3月の波浪の整理結果である。横軸は時間経過、縦軸はそれぞれの時点で発生した波浪から計算した水圧変動を水頭換算した量である。図9からわかるとおり、試験期間中に10cmを越

した波浪の発生は1回であった。なお、この波浪の発生時刻は磁気伝送式沈下計の測定時刻を外れていたため、波浪の影響を受けた沈下データは無かった。

3. 5 データ処理方法の検討（計測頻度と平均効果）

潮位、気圧、波浪以外のデータのばらつきの要因として、

①：陸化後の磁気伝送式沈下計設置位置の水頭と潮位の誤差

②：計測を指令する磁気伝送式沈下計の内部時計の誤差が考えられる。①、②による計測誤差は、ともに潮位変動と関連して周期的に変化するとと思われる。①は式(1)中の h_t に磁気伝送式沈下計設置位置の地下水位ではなく、島外で観測される潮位を用いているために発生する誤差である。図10に測定頻度12回/日で得られた測定値を気圧および潮位で補正したデータを示す。図で示した磁気伝送式沈下計周辺は、2002年9～10月に陸化し、その後、海水域からの距離が増加している。図を見ると、陸化1ヶ月後の2002年11月頃から誤差が発生し始め、周期的に変化しながら増大していることがわかる。周期は約半月であることから、この誤差は主に潮位変動と関連があると思われる。

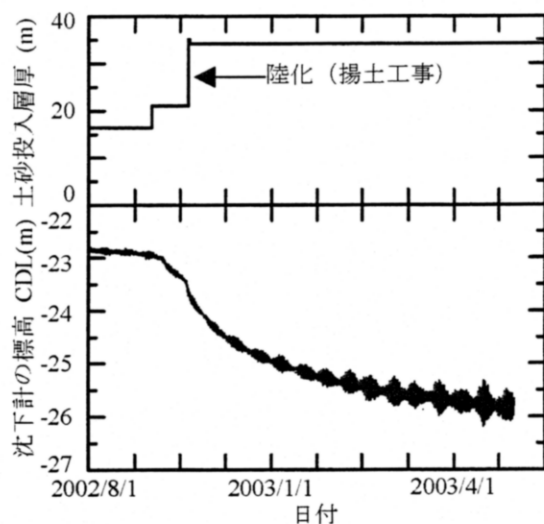


図10 磁気伝送式沈下計のデータ（潮位、大気圧補正後）

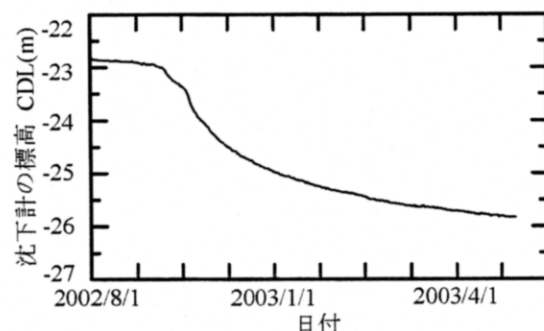


図11 磁気伝送式沈下計のデータ（潮位、大気圧補正後）
（2時間ピッチ、1日平均）

図10にみられる誤差はある期間のデータを平均することによって除去することができると思われる。しかし、平均期間を長くすると土砂投入による地盤の圧縮のような早い現象を見落とすことになる。そこで、平均期間が1日を超えないように、実用上誤差分を無視できる測定頻度として2時間ピッチで測定することとした。図11は図10の補正結果を平均長1日で平均した結果を示している。図より、土砂投入によって潮位と沈下計設置位置の水頭に差が生じて測定値が潮位の日変動波形を表すだけの頻度を持っていれば平均長1日で潮位差成分を除去することができることが分かる。

また、②の内部時計の誤差については、現在データロガーの時刻誤差は20分内外であり、1日平均値に対して誤差が生じる量ではないと判断している。なお、潮位の変動が最も激しい大潮において20分間の潮位変動は約10cmである。また、各装置の測定時刻はデータ収集時に知ることができ、潮位の測定時刻が高頻度(1分)であるため、時計の累積誤差が大きくなった場合には、データロガーの測定時刻に合わせた潮位を採用して補正することが可能である。

3. 6 従来式沈下板との比較

護岸工区の先行確認部には、磁気伝送式沈下計に隣接して従来型の沈下板も設置している。前節で述べたように、磁気伝送式沈下計のデータは12回/日の頻度で計測したデータを平均化したが、この値を検証するために従来型の鋼製沈下板で計測された値と比較した。両者の沈下量の比較を図12に示す。図12から、磁気伝送式沈下計と従来の鋼製沈下板の計測結果には、実用上差がないと判断した。

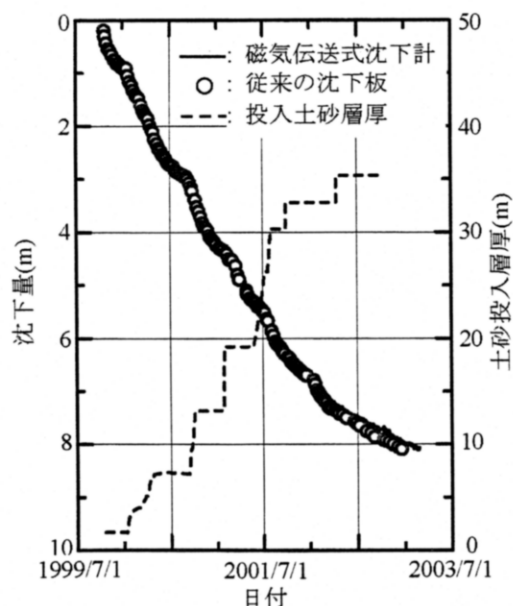


図12 磁気伝送式沈下計と
従来沈下板の計測結果の比較

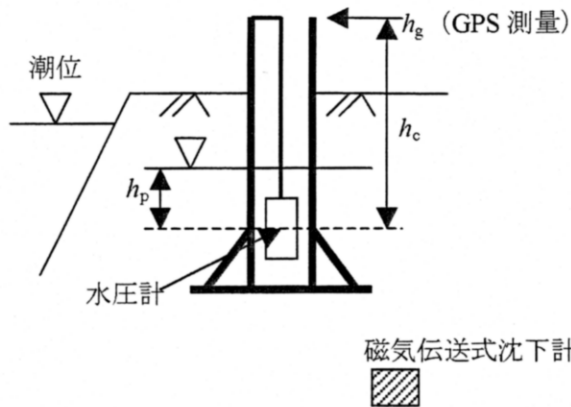


図 1 3 地下水位測定システム

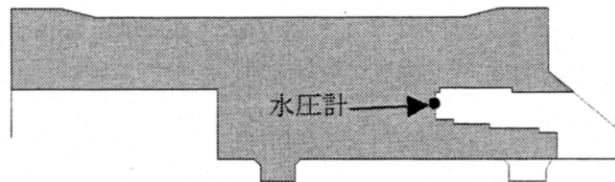


図 1 4 水圧計設置位置と設置時の陸化状況

4. 地下水位観測試験

2 期空港島の施工が進行し、沈下計によっては海水域から数 100m の距離に達するものも出てきた。海水域からの距離が大きくなるにつれて、潮位と磁気伝送式沈下計設置位置の水頭との間の差が大きくなると考えられたことから、1 日 12 回計測のデータの平均値を詳細に検討した。その結果、1 月齢期間に 1 回、水深が数 cm 減少傾向を示す期間がみられた。これは海底面が隆起することを意味し不合理である。そこで、磁気伝送式沈下計埋設地点の地下水位と磁気伝送式沈下計の計測値および潮位の三者を比較して沈下測定信頼性を検討した。

4. 1 観測の概要

地下水位は、磁気伝送式沈下計の設置地点付近の沈下板の鋼管内の水位を計測した。ただし、この計測で使用した沈下板は、構造は前述した沈下板と同じだが、海底地盤の沈下ではなく、埋立地盤の圧縮などを調べるためのものである。そのため、海底地盤上ではなく、埋立地盤中に設置されている。図 1 3 に計測方法の概要、図 1 4 には水圧計設置位置と設置時の陸化状況を示す。鋼管中に水圧計を懸架し、測定した水圧をデータロガーに収録し、携帯電話を使用して遠隔地に伝送する。伝送データは携帯電話などで受信して解析する。沈下板鋼管は地盤沈下に追従して沈下するので、鋼管頭部を GPS を用いて測量し、基準水面 CDL からの高さを求める。基準水面からの地下水位の高さ (h) は次式で求められる。

$$h = h_g - h_c + h_p \quad (2)$$

ここで、

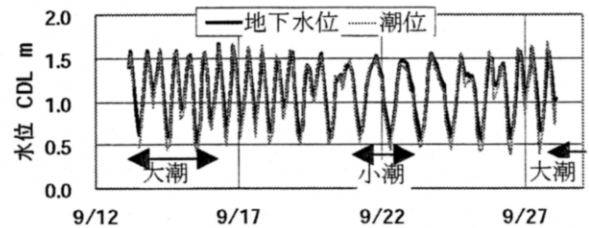
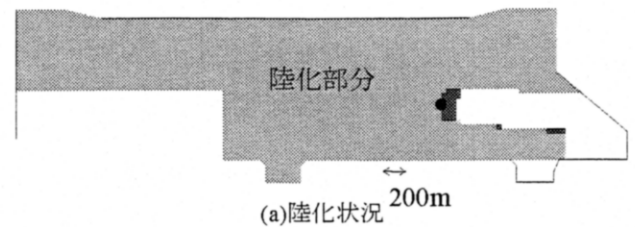
- h : 基準水面からの地下水位の高さ(cm),
- h_g : 基準水面からの沈下板の鋼管頭部の高さ(cm),
- h_c : 沈下板の鋼管頭部から水圧計までの高さ(cm),
- h_p : 水圧計位置から地下水位までの高さ(cm),

である。

4. 2 観測結果

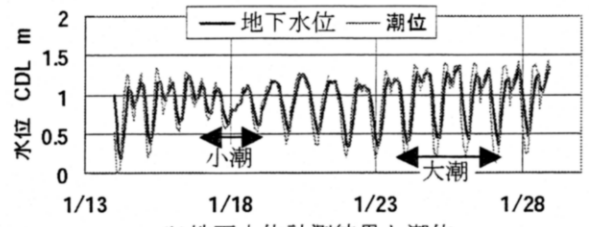
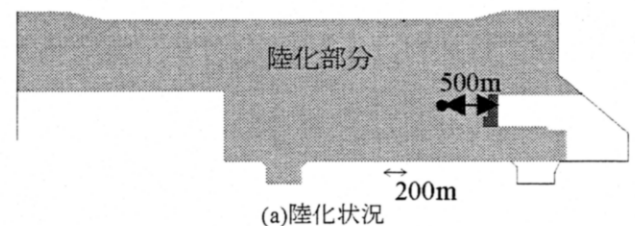
図 1 5 ~ 1 7 に地下水位計測結果と潮位の比較を示す。図には合わせて各月の陸化状況を示している。2004 年 9 月頃は 200m 未満だった計測地点から海水域までの距離が、2005 年 1 ~ 3 月では、約 500m に増大している。

地下水位と潮位の比較図を見ると、2004 年 9 月頃にはほとんど位相差や減衰が見られないのに対して、2005 年 1



(b)地下水位計測結果と潮位

図 1 5 2004 年 9 月の陸化状況と地下水位計測結果



(b)地下水位計測結果と潮位

図 1 6 2005 年 1 月の陸化状況と地下水位計測結果

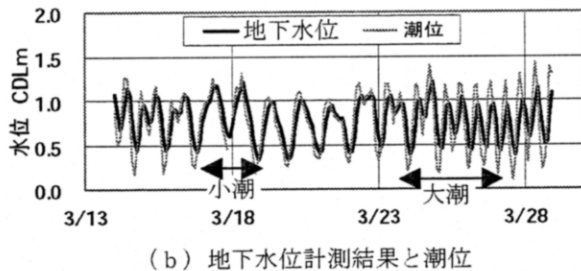
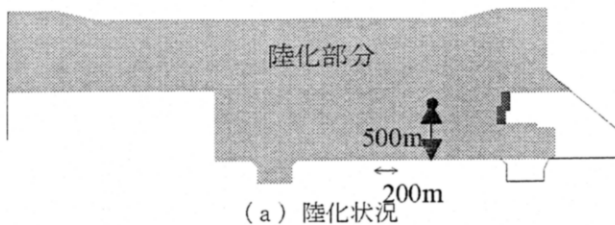


図 17 2005 年 3 月の陸化状況と地下水位計測結果

月や 3 月には地下水位に潮位に対する遅れや減衰が見られ、陸化が進行することにより差が大きくなることがわかる。また、2005 年 1 月や 3 月のデータを見ると、地下水位と潮位の差は、大潮の時期に大きくなっていることがわかる。これは、大潮の時期の潮位変動の周期が小潮の時期のおよそ二分の一であることと対応している。大潮の時期は潮位変動が大きく、かつその周期が短いため、地下水位の潮位に対する遅れや元帥が大きくなるものと思われる。

地下水位と潮位の関係を回帰係数および相関係数で比較すると図 18 のようになる。埋立工事の進捗により、2004 年 9 月下旬には潮位振幅の減衰が始まっているが、相関係数の減少は軽微である。2005 年 1 月、3 月には大潮時の相関係数および回帰係数の減少が顕著となる。これらの状況から、地下水位変化の潮位との相違は潮位の周期が主要因であることが分かる。

4. 3 潮位補正への影響

磁気伝送式沈下計の計測値（水圧）から沈下量を求める際、島外で観測している潮位を用いた場合と、沈下計近傍の地下水位を用いた場合の比較を図 19 に示す。図から潮位を用いて求めた沈下量が、多少変動しているものの当初計画の許容精度 10cm の範囲に入っていることがわかる。

また、全体的には、地下水位を用いた場合がほぼ直線状の沈下傾向を示すのに対して、潮位を用いた場合は、大潮時に地下水位を用いた場合との差が大きくなっている。さらに、2 月 10 日過ぎから 1 週間ほどの間、沈下が減少傾向に転じていることがわかる。これは、大潮時から小潮時にかけて地下水位と潮位の相関が高まるためであると考えられる。

以上のことから、沈下量の精度をさらに向上させる必要が生じた場合には、地下水位と潮位の差の少ない小潮の時期の沈下量のみを採用して沈下曲線を描くことで対応が

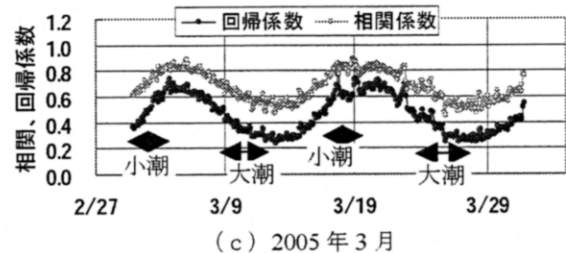
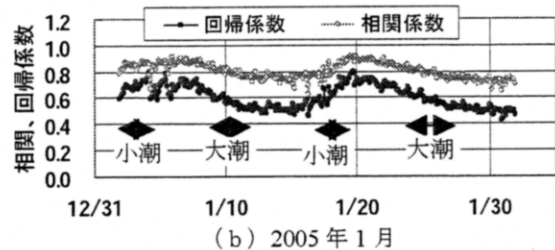
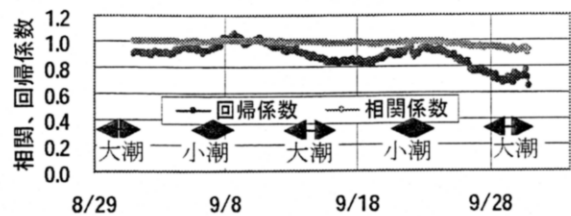


図 18 1 日毎の地下水位と潮位の相関、回帰係数

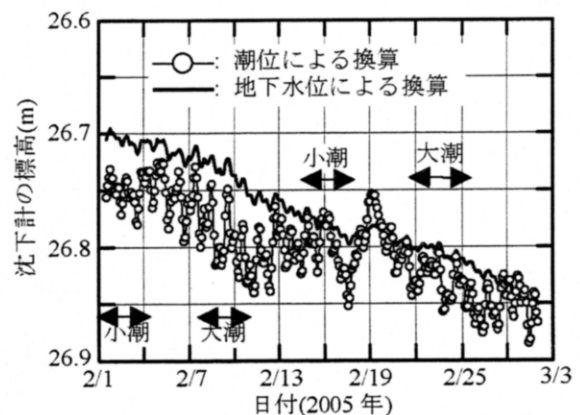


図 19 潮位と地下水位から求めた沈下量の比較

可能であり、各磁気伝送式沈下計の位置で地下水位を計測する必要はないと思われる。

5. おわりに

関西国際空港 2 期空港島用地造成工事は、545ha という大規模埋立工事である。用地造成に当たっては、供用開始後の不同沈下をできるだけ小さくするため、埋立地盤の層厚管理を実施している。この層厚管理を精度のよいものとするために、磁気伝送式沈下計を採用し、2 期空港島埋立部全域に設置した。設置に当たっては、新しい通信方式お

よび沈下測定法ともに実施例が少なかつたため、綿密な事前検討を実施し、次のような結果を得た。

- ・データ送信時の伝送効率を確認し、データ送信の信頼性を確認した。
- ・施工方法に影響を与えない設置方法を採用し、さらに、埋立土砂の直接投入によって沈下計が傾斜した場合の信頼性を確認した。
- ・計測データの精度を確保するため、海水比重や波浪を長期間にわたって測定し、変動がほとんどないことを確認した。
- ・陸化後の潮位と沈下計位置の地下水位のずれを考慮し、データ処理方法を検討し、計測頻度を1日12回とし、その平均を取るものとした。この値は、隣接した沈下板による沈下量と整合するものであった。

上記の諸検討・実用化試験の結果から、関西国際空港2期空港島造成工事に磁気伝送式沈下計を適用して十分な沈下測定精度が得られることが確認できた。そこで、埋立区域において、従来の沈下板に替えて磁気伝送水圧式沈下計を測点37箇所の海底面上に設置して沈下計測を実施し

ている。その結果、作業船の運航状況を配慮した計測空白域を設けることなく、埋立地全域の沈下状況を把握できた。

さらに、空港島の陸化後、沈下計近傍の地下水位と潮位を比較することで、データ処理方法の検証を実施した。その結果、磁気伝送式沈下計によって海底盛土工事の沈下を効率よく高精度で測定できることを実証することができた。目標総合精度10cmを下回る量ではあるが、測定結果に隆起現象のような不合理なデータが見られたことについては、誤差の発生が大潮の期間に生じることが確認されているので、測定データのスムージングや小潮時のデータを判断要素にするなどによって沈下測定結果をなお一層高精度化する見通しが得られた。

参考文献

- 1) 田端竹千穂，水上純一，森川嘉之，浅香智昭：大規模埋立地における磁気伝送水圧式沈下計による沈下測定，海洋開発論文集，第19巻，pp.171-176。
- 2) 松本欣司：電波工学入門，pp83～84，1978，朝倉書店