

港湾技研資料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 399 Dec. 1981

沿岸波浪観測テレメータの信号伝送方式

佐々木 弘
高橋 智 晴
菅原 一 晃

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. ま え が き	3
2. 沿岸波浪観測とテレメータ	4
2.1 テレメータ系の構成と方式	5
2.2 テレメータの伝送方式	7
2.3 直送式による伝送	8
2.4 無線テレメータの利用	10
2.5 無線テレメータ利用上の検討事項	10
3. 無線テレメータ伝送方式	13
3.1 パルス周波数方式アナログテレメータ	13
3.2 超音波式波高計用PPM方式	17
3.3 PCM方式デジタルテレメータ	23
3.4 PPM・PCM混合方式	29
4. 遠隔地点間データ伝送とテレメータ	31
4.1 データ伝送路	32
4.2 データ伝送システム	33
4.3 データ伝送回線	34
4.4 信号伝送方式	36
4.5 伝送実験による手法の検討	37
4.6 遠隔有線テレメータ	41
5. 現地観測導入実施例	43
5.1 島礁を観測局とした無線テレメータの例	43
5.2 PPM多重化テレメータの使用例	45
5.3 PPM・PCM混合テレメータの使用例	47
5.4 遠隔地点間有線テレメータの使用例	51
5.5 無線および有線テレメータの混成使用例	54
5.6 多局間テレメータによる観測例	58
6. あ と が き	60
参 考 文 献	61

Signal Transmitting System of the Telemeter for Coastal Wave Observation

Hiroshi SASAKI*
Tomoharu TAKAHASHI**
Kazuteru SUGAHARA***

Synopsis

In this note, the contents and the application of the telemeter for coastal wave observation in ports and harbours are presented. The telemetering system, in which the transmission line is used, is classified into the straight forward system, the radio carrier system, and the wire carrier system. All the systems are practically used in ports and harbours at the present. The signal transmitting system of the telemeter, based on the carrier system, is taken up here.

In the radio telemeter, a specific pulse-position modulation system, is developed in order to transmit the observation data from the ultrasonic-wave wavemeter, so called an inverted echosounder, and then the mixed system of both analogue and digital signals is applied to the system. At the present, the pulse frequency modulation system and the pulse-code modulation system are used in addition to the above-mentioned system.

In the wire telemeter, on the other hand, the system in which a specific communication circuit is utilized, is developed for the purposes of data transmission and its control to a distant station from an observation site. The pulse-code modulation system and the pulse frequency transmitting system, based on the frequency shift modulation, are adopted for the signal transmitting system.

* Senior Research Engineer, Hydraulic Engineering Division

** Chief of the Coastal Observation Laboratory, Hydraulic Engineering Division

*** Member of the Storm Surge and Tsunami Laboratory, Hydraulic Engineering Division

沿岸波浪観測テレメータの信号伝送方式

佐々木 弘 *
高橋 智晴 **
菅原 一 晃 ***

要 旨

測定の対象を海上におく沿岸波浪観測では、現象の測定手法としてテレメータの手法が多用されている。本資料は、港湾関係で使用されている沿岸波浪観測テレメータの信号伝送方式について、その内容と観測への適用方法について述べている。

テレメータの方式には、伝送回線によって分類される直送式、無線搬送式、有線搬送式がある。ここでは搬送式テレメータの信号伝送方式についてとりあげている。

無線テレメータの方式では、超音波式波高計の測定値伝送用として特殊なパルス位置変調方式と、その応用機種であるアナログ・デジタル混合方式を開発し、現地観測に導入した。現在このほかに、パルス周波数伝送FS変調方式、パルス符号変調方式によるものが使用されている。

また有線搬送式では、観測局と監視局が遠隔地にある場合のデータ伝送・機器制御を目的として、電電公社回線を利用した有線テレメータを実用化し、現地観測に導入した。信号伝送方式としては、パルス符号伝送方式とパルス周波数伝送方式が採用されている。

1. ま え が き

海上を対象とする沿岸波浪観測における諸現象の測定は、ほとんどの場合遠隔地によって行われている。この例外としては一部に利用されている可搬形計器やブイ式自記計器による観測、海上観測塔や栈橋、ジャケットなど海上構造物をベースとした固定計器による観測、あるいは有人観測などが挙げられる程度である。

波浪の遠隔測定法には、光学的手法あるいは電磁波を応用して対象点または対象海域を直接・間接的に視準、探査あるいは撮影する直接測定、間接測定、映像化測定など一般に遠隔探査、リモートセンシングなどと呼ばれる方法もあり¹⁾一部に実用されている。しかし、定常化された観測では、一般に対象とする測定点の海中または海面付近に波高計、波向計、長周期波計、津波計、波圧計等々の検出器を設置して現象を測定し、被測定量を電気信号に変換して有線または無線によって陸上または海上観測塔に設けられた観測所に伝送し、処理・記録するテレメータ (telemetry, telemetry などとも呼ばれる) の方法が用いられている。

上述のように沿岸波浪観測テレメータの一般的な手法は、

波高計などにより測定・取得された観測データである現象の測定量を、適当な形式の電気信号に変換して所定の場所に伝送し、処理・記録する系によって行われている。言い換えれば、テレメータ系は大きく分けて計測、伝送、処理の三つの部分より構成されている。

ここで波浪観測においては、現象の測定には伝送方式に関係なく既往の観測計器の内から観測の目的・条件に応じて適当な機種が選択使用されている。また取得されたデータの処理・記録方式も、次後のデータ活用方策に応じて決められているのが普通である。したがって、その中間に位置する伝送系としては使用条件、周囲条件に応じて伝送回線を選定し、計測系、処理系との結合を含めた全体系としての機能、性能など技術条件と経済的条件を勘案して方式を決めることが必要となる。

テレメータの伝送回線は伝送路の形式により有線方式と無線方式に、信号伝送方式から直送式と搬送式に大別される。沿岸波浪観測計器では、従来より伝送路として専用の海底ケーブルを使用した直送式による測定が多用されてきた。

直送式は、測定量を電気信号に変換してその電気エネルギーを実線を通して直接伝送するもので、伝送に特別な装置を要しないため簡単であるという特長がある。し

* 水工部 主任研究官
** 水工部 海象観測研究室長
*** 水工部 高潮津波研究室

かし、その方式から伝送損失の変動が直接に誤差の原因となるため伝送距離に制約を受け、その施工および事後維持・補修も技術的に困難を伴い、経済的にも多額の経費を必要とするなどの欠点が指摘される。またこのような制約から、データを受信する観測所も測定点に近い海岸、あるいは海上観測塔などに設けられた無人観測所であることが多く、このため観測の実施面で円滑性に、情報の利用面で即応性に欠けるなどの短所も指摘される。

これに対し、近年における港湾建設、沿岸防災を始めとする各種臨海事業計画の大規模、広域化は、一方においてこれら事業計画の遂行上必要とする沿岸波浪観測データの取得、処理方法に大きな変化をもたらす原因となっている。例えば、データ取得のための観測点は多点、広範囲に展開されるようになり、その対象海域も大水深化しつつある。このことは必然的に観測点の離岸距離の増大、観測点と観測所間あるいは観測所と監視所間の遠距離・遠隔化を生じ、その結果これまで測定値の伝送に多用されてきた直送式の利用は、困難または不可能となる場合が多くなってきつつある。

一方、船舶の航行などに関連してリアル情報の要求が、あるいは波浪理論の進歩に伴いデータの質的向上の要求が高まりつつあり、取得データのリアルタイム処理・表示、統一技術基準によるデータの取得、処理、解析などの必要性が生じている。このような現状に対処するため筆者等は、波高計、波向計など観測計器の開発・改良と並行して、測定データの伝送方式と取得データの処理・表示・集録方式など波浪観測テレメータシステムの開発・実用化の研究を進め、その成果を現地観測に導入してきた。本資料ではこのうち測定信号の伝送方式について述べる。

テレメータの手法はいろいろな分野で実用化されており、そこで用いられている信号伝送の基本的手法は汎用技術として一応は確立している。しかし、波浪観測への導入に当ってはこれを無条件で取り入れれば良いというものではなく、システムとして計測系、処理系との結合を含めた機器装置の技術的検討を始めとし、設置・運用から情報利用までを含めた観測をとり巻く諸条件を検討し、そこで提起される問題点を考慮して方式を選定することが必要である。そこで本文では、テレメータの方式を現地波浪観測に使用する場合にその適用内容・条件が異なる無線テレメータと有線テレメータに大別し、考慮すべき事項とその検討内容については各々の方式の中で述べている。

また、一般にテレメータの方式は伝送に用いる信号の変調形式によって分類される。波浪観測テレメータでは

観測の実態に合せて各種の方式が使用されているが、その内容と適用方法については主として無線テレメータのところで説明する。

無線テレメータの方式では、波浪観測用として超音波式波高計測定値伝送用の特殊なパルス位置変調方式²⁾と、その応用機種であるアナログ・デジタル混合方式のテレメータを開発し、現地観測に導入した³⁾。また有線テレメータとして電電公社回線を利用した遠隔地点間データ伝送・機器制御用のテレメータを実用化し、現地観測に導入した⁴⁾。

最後に現地観測におけるテレメータの導入実施例について紹介する。

2. 沿岸波浪観測とテレメータ

沿岸波浪観測におけるテレメータの利用は、1.でも述べたように対象とする測定点が陸岸から離れた海上であるところから必然的な要求として導入された。観測の目的・対象・期間あるいは立地条件などによっては可搬型の自記計器による観測や有人観測が行われることもある。しかし、一般にデータの解析あるいは活用面からの要求として、高質度の連続的データを長期間にわたって確実かつ迅速に取得することが望まれるところから、これらの方法では観測点の特殊性と相まって荒天時の観測が困難であること、データ取得の確実性、情報利用の即応性に欠けることなどの理由から、定常化された観測ではテレメータシステムの利用は不可欠となっている。

沿岸波浪観測で使用されているテレメータシステムは、在来より行われてきた波浪観測の多くがデータを必要とする個々の事業内容に応じてその都度、計画・実施されてきたこともあって、観測の規模・内容が測定点の選定や取得データの処理を含めて種々様々であるところから、個々の観測事情に応じたテレメータ方式がとられてきた。しかし、定常的に実施される観測の増加につれて規格の統一、方式の一元化の必要が生じ、港湾関係では運輸省港湾局を中心に標準化が進められた。

運輸省港湾局においては昭和43年10月に“波浪に関する拠点観測実施要領”を策定し、これにもとづき港湾局、港湾建設局、北海道開発局、港湾技術研究所の相互協力体制により組織化された波浪観測が開始され⁵⁾(その後、沖縄開発庁を加え、昭和55年度より“沿岸波浪観測体制”として継続的に実施中)、昭和56年3月現在、全国沿岸35港の観測指定港、準指定港において沿岸波浪の定常観測が実施されている。この体制では観測方法、使用測器、データの収録および処理・解析方法などについて標準化

が図られており、各地で測定された波形データは一定の方式でカートリッジ式磁気テープにデジタル記録して港湾技術研究所に送付され、電子計算機により集中的に処理・解析されている。なお、港湾関係では上記の観測指定港以外で行われている観測についてもこれに準じた方法で観測が行われている。

ここでテレメータの伝送方式については、観測点の展開、地理的条件、関連現象を含めた多項目の同時観測・同時伝送の必要性などについての個々の観測事情を無視して、これを特定の規格・方式にすることは技術的にも経済的にも得策でないことから、いくつかの手法の中からそれぞれの観測の実情に即した方式が選定されている。以下、港湾関係で使用されているテレメータ方式を中心に述べる。

2.1 テレメータ系の構成と方式

(1) 伝送系の構成

テレメータの伝送系は基本的には図-2.1に示す方式がとられる。図-2.1の(a)は、一つの観測送信局（以下単に観測局という）と一つの監視制御局（以下単に監視局という）で構成され、相互を専用の伝送回線に結合したもので、1:1対応方式と呼ばれる。回線構成の都合で回線の途中に中継局が設けられる場合もある。

図-2.1の(b)の方式は、複数の観測局と一つの監視局で構成されるもので、回線の構成とデータの収集方法によってさらに二つの方式に分けられる。その一つは監視局と個々の観測局間に個別の伝送回線を用い、全観測局のデータを同時に収集可能とする方法で、(a)の1:1対応方式を複数集合した形式であるところから(1:1)×N方式と呼ばれる。ほかの一つはすべての観測局と監視局間に共通の伝送回線を用い、監視局からの制御により各観測局を順番に、または任意の観測局を個別に呼び出し

てデータを収集する選択呼出し方式で、1:N方式と呼ばれる。

沿岸波浪観測はこれまで局地的に実施されることが多かったため、ほとんどの場合(a)の1:1方式がとられてきたけれども、観測の広域化にともない(b)の方式も利用されている。ここで(b)の方式による場合、波浪観測ではあらかじめ決められた時刻に観測を行い、データを実時間で伝送する方式がとられるところから(1:1)×N方式によって行われている。

(2) テレメータの方式

テレメータを伝送回線によって分類すると

- 1) 直送式
- 2) 無線搬送式
- 3) 有線搬送式

の3方式で大別される。ここで直送式は伝送に通信的手段を用いないとの理由でテレメータの範囲外とする見解もあるけれども、沿岸波浪観測では測定点に設置された検出器の測定出力信号をそのままケーブルを通して海上観測塔または陸上観測局に伝送して記録する場合、あるいは搬送式テレメータの入力とする場合の遠隔測定手法として有効であり、基本的な手法として多用されているので、ここでは検討の対象としてとりあげることにする。

無線搬送式は地理的条件や場所的な制約でケーブルの布設・維持が困難で有線方式が利用できない場合、長距離伝送や多要素の同時伝送など直送式の適用が技術的・経済的に困難な場合などに使用されている。通常、測定点の近くに設けられた観測塔、ブイあるいは附近の島礁を観測局とし、検出器の測定出力信号を直送式で観測局に伝送し、陸上の観測局または中継局に無線伝送する方式がとられる。このほか陸上の観測局または中継局と監視局間の伝送にも使用されている。無線回線はVHF(超短波)70MHz帯、UHF(極超短波)400MHz帯であるが、最近では電波の輻奏の関係でほとんどが400MHz帯の気象援助業務用バンドとなっている。

有線搬送式では音声周波数帯域の電話伝送路によるものが陸上の観測局あるいは中継局と監視局間の伝送に使用されている。通信回線としては自営のものではなく、すべて電電公社回線を利用している。

テレメータの計測方式には

- 1) アナログ式
- 2) デジタル式

がある。沿岸波浪観測ではいずれの方式も実用されている。両方式を比較した場合、一般にデジタル式は構成が複雑であり、周波数レスポンスも低い、伝送路上での雑音やひずみの影響を受けにくく精度・安定度に基づく

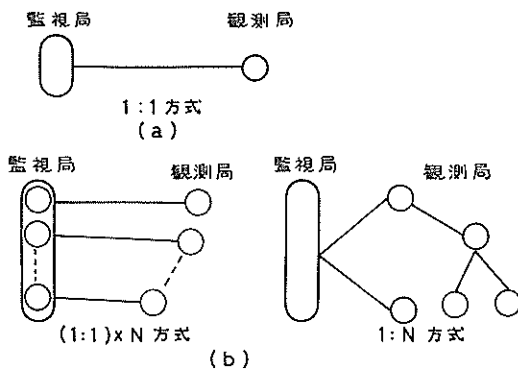


図-2.1 テレメータ系の構成

れており、またデータ処理上で記憶・数字表示・演算などに向いていること、テレコントロールなどに多い2元信号の同時伝送が容易であることなど多くの特長があることなどから、最近ではデジタル方式が多用されている。

テレメータを観測および伝送の制御方式によって分類すると

- 1) 制御時伝送方式
 - a) 定時発信方式(観測局タイマー式)
 - b) 呼び出し方式(コール式、ポーリング式)
- 2) 常時伝送方式

に分けられる。上記の方式はすべて実用しているが、沿岸波浪の定常観測が標準的に2時間間隔で20分間の観測を繰返し行う方法によって実施されていること、観測局電源の設備容量に制約があることなどから制御時伝送方式がとられることが多い。常時伝送方式は商用交流が利用できる陸上観測局の一部で行われている。

港湾関係で行われている沿岸波浪の定常観測における無線および有線搬送式テレメータの利用状況を表-2.1(1)、(2)に示す。表には昭和42年以降導入されたものについて現在廃局されているものを含めて記載した。

表-2.1(1) 波浪等観測システムにおける無線テレメータの導入場所(港湾関係)

1. アナログFS方式(パルス周波数方式)

導入場所	所管	導入年月	無線回線	計測項目数	制御方式	その他
鹿島港(北)	二建	48.4	UHF400MHz帯	波高1CH	呼び出し方式	陸上テレメータ
鹿島港(南)	二建	46.3	UHF70MHz帯	波高1CH(3CHに改竄)	呼び出し方式	陸上テレメータ
東京湾木更津沖	二建	45.	UHF70MHz帯	波高・風向・風速3CH	呼び出し方式	廃局
東京湾金谷沖	二建	46.10	UHF70MHz帯	波高・風向・風速3CH	呼び出し方式	木更津沖を移設廃局
東京湾アシカ島	港研	42.3	UHF70MHz帯	波高・潮位・風向・風速4CH	呼び出し方式	廃局
神戸港	三建	42.3	UHF70MHz帯	波高・風向・風速3CH	呼び出し方式	PPM・PCMに変更
和歌山港	三建	45.2	UHF70MHz帯	波高・風向・風速3CH	呼び出し方式	海上観測塔

2. アナログPPM方式

導入場所	所管	導入年月	無線回線	計測項目数	制御方式	その他
小名浜港	二建	46.3	VHF70MHz帯	波高1CH	定時発信方式	機体上
東京湾アシカ島	港研	44.9	UHF400MHz帯	波高1CH	定時発信方式	廃局
浜田港	三建	48.3	UHF400MHz帯	波高1CH	呼び出し方式	有線との混成使用
四日市港	五建	49.7	UHF400MHz帯	波高1CH	呼び出し方式	機体上
清水港	五建	49.9	UHF400MHz帯	波高1CH	呼び出し方式	海上観測塔
御前崎港	静岡県	46.5	UHF400MHz帯	波高・波向X・Y3CH	定時発信方式	廃局
志布志湾	鹿児島県	46.5	UHF400MHz帯	波高1CH	定時発信方式	廃局

3. デジタルPCM方式

導入場所	所管	導入年月	無線回線	計測項目数	制御方式	その他
仙台港	二建	53.12	UHF400MHz帯	波高・波向X・Y3CH	呼び出し方式	陸上テレメータ
東京湾第二海堡	二建	54.11	UHF400MHz帯	波高・風向・風速3CH	呼び出し方式	島礁
大阪湾(泉南沖)	三建	52.3	UHF400MHz帯	波高・波向・風等22CH	呼び出し方式	海上観測塔
高知港沖	三建	53.3	UHF400MHz帯	波高・風向・風速3CH	呼び出し方式	ブイ観測塔
玄界灘	四建	55.7	UHF400MHz帯	波高・波向・風等13CH	呼び出し方式	ブイ方式観測塔
菊田港	四建	54.5	UHF400MHz帯	波高1CH	呼び出し方式	海上観測塔
志布志港	四建	55.2	UHF400MHz帯	波高1CH	呼び出し方式	島礁

4. アナログ・デジタル混合(PPM・PCM)方式

導入方式	所管	導入年月	無線回線	計測項目数	制御方式	その他
秋田湾	一建	46.10	UHF400MHz帯	波高・波向等3CH	呼び出し方式	ブイ方式観測局、廃局
神戸港	三建	48.3	UHF400MHz帯	波高・風等5CH	呼び出し方式	海上観測塔
小松島港	三建	48.3	UHF400MHz帯	波高・風等5CH	呼び出し方式	海上観測塔

表-2.1(2) 波浪等観測システムにおける有線テレメータの導入場所(港湾関係)

1. デジタルPCM方式

導入場所	所管	導入年月	回線規格	計測項目数	制御方式	その他
新潟東(空港沖)	一建	54.4	200bit/s	波高 1CH	常時伝送方式	無線テレメータとの混成使用 多局間テレメータ
佐渡 弾崎	一建	53.11	D-1	波高・風向・風速等4CH	呼び出し方式	
大島 波浮港	二建	48.11	200bit/s	波高 1CH	呼び出し方式	
浜田 港	三建	48.3	200bit/s	波高 1CH	呼び出し方式	
関西空港調査	三建	52.3	D-1	風向・風速・気温等4CH	呼び出し方式	
油津 港	四建	50.2	200bit/s	波高 1CH	呼び出し方式	
奄美大島(東)	四建	55.2	D-1	波高 1CH	呼び出し方式	
玄界灘観測	四建	55.7	D-1	波高・波向・風等 13CH	呼び出し方式	
苫小牧 港	北海局	53.7	D-1	波高・風・潮位等 9CH	呼び出し方式	9CHの内5CHサブコミ

2. アナログFS方式(パルス周波数方式)

導入場所	所管	導入年月	回線規格	計測項目数	制御方式	その他
網走 港	北海局	51.1	D-1	波高・潮位 2CH	常時伝送方式	
網走 港	北海局	52.8	D-1	波高・風向・風速 3CH	常時伝送方式	
松前 港	北海局	52.7	D-1	波高・風向・風速 3CH	常時伝送方式	
留萌 港	北海局	52.3	D-1	波高 1CH	常時伝送方式	
苫小牧 港	北海局	52.1	D-1	波高 1CH	常時伝送方式	
石狩 港	北海局	53.5	D-1	波高 1CH	常時伝送方式	
十勝 港	北海局	54.8	D-1	波高 1CH	常時伝送方式	
紋 港	北海局	54.3	D-1	波高 1CH	常時伝送方式	
石垣 港	沖縄局	53.3	D-1	波高 1CH	常時伝送方式	
能代 港	秋田県	54.3	D-1	波高 1CH	常時伝送方式	

2.2 テレメータの伝送方式

(1) 信号伝送方式

テレメータでは現象の変化量を検出器(一次変換器, センサ, ピック・アップなどとも呼ばれる)によって検出し, 電気信号に変換して伝送する。直送式は測定量の振幅を電圧・電流などの電気量に変換してそのまま伝送するが, 搬送式は検出器の測定出力信号をその大きさに比例した別の電気信号, すなわち伝送に適した信号に変換(変調)し, この伝送信号(被変調信号)で搬送波を変調して伝送する方法がとられる。

伝送信号の変調形式には, 周波数信号など時間的に連続な信号波に変換するものと, 断続的な信号であるパルス波に変換するものがあり, 一般にテレメータは伝送に用いる変調形式によって分類されている。

連続波の変調形式には無線周波の変調などでよく知られているように, 振幅変調(AM), 周波数変調(FM)位相変調(PM)の3種類がある。これらの変調形式は伝送信号としての副搬送波の変調にも使用できるが, テレメータでは測定値に直流分を含むことが多いので, 直流分の伝送が困難な位相変調は使用されない。また振幅変調

は伝送路の非直線ひずみによる信号のひずみが, 直接に測定精度に影響するため余り使用されない。

パルス変調は直流の周期的なパルスの振幅・周期・幅などを入力信号(変調信号)の振幅に応じて変化(変調)するもので, パルス振幅変調(PAM), パルス幅変調(PWM), パルス位置変調(PPM), パルス間隔変調(PDM), パルス数変調(PNM), パルス符号変調(PCM), 定差変調(DM)などがよく知られている。しかしテレメータでは, 伝送損失の変動あるいは伝送路の非直線ひずみによる信号のひずみなどが直接に測定精度に影響しない信号方法であることが要求されるところから, 信号出力を信号の振幅変化ではなく時間の変化に変換する信号方法がとられる。このほか伝送路での雑音の影響, 伝送帯域幅, 回路の複雑さなどを考慮して, テレメータの伝送信号としては一般に図-2.2に示す形式のものが使用されている。

沿岸波浪観測テレメータでは, 周波数変調の一種であるパルス周波数伝送方式, パルス位置変調方式, パルス符号変調方式が多用されている。これらの方式については無線テレメータ伝送方式の項で説明する。

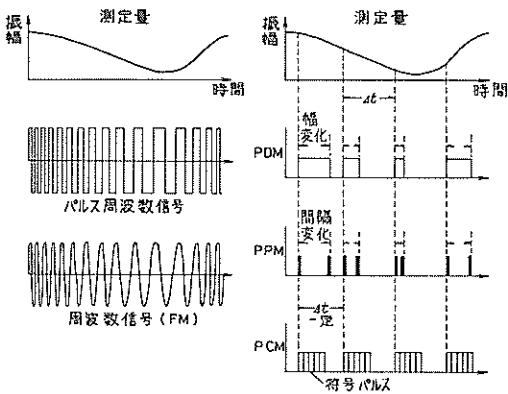


図-2.2 テレメータの伝送信号⁶⁾

(2) 多重化法

同時に得られた多数の情報信号を単一の伝送回線によって伝送する方法を多重化といい、その方法はテレメータを利用する上で重要である。

沿岸波浪観測テレメータではほとんどの場合、信号の伝送路として音声周波数帯域の電話伝送路を用い、無線回線あるいは有線回線を利用して伝送を行っている。ここで多数の情報に対して各信号チャンネル別に伝送回線を用いることは、回線からみても機器装置からみても技術的・経済的に有効な方法ではなく、非実際的であるといえる。そこで伝送路の帯域の全部または一部を多重化利用して、多チャンネルの信号を一つの回線で伝送する方法がとられる。

現用されている多重化の方法には、周波数分割多重化と呼ばれる方法と時分割多重化と呼ばれる方法がある。一般的に言って前者は連続波の変調形式に対するものであり、後者はパルス波の変調形式に対するものである。波浪観測テレメータにおいても変調形式に応じて両方式が使用されている。

周波数分割多重化の方法は複数の信号を時間的に同時に伝送するもので、伝送路の周波数帯域を適当な周波数幅で分割していくつかの副搬送波とし、各情報信号に対し別々の搬送波を割当てて変調し、各被変調副搬送波を直線的に混合して同時伝送する。

時分割多重化の方法は一つの伝送路の一つの周波数帯域(周波数帯域の全部または一部)を利用して、複数の信号を時間的に順番に伝送するものである。すなわちパルスの伝送では信号と信号の間に空時間があるので、この空時間を利用して複数の信号を順番に伝送する方法がとられる。

多重化できるチャンネル数は、信号の周波数レスポンス

と変調によって生じる信号のひずみの許容度に関係し、多重化によって生じるチャンネル間の漏話という形の雑音によって制限を受けることになる。多重化の方法については各テレメータ方式のところで説明する。

2.3 直送式による伝送

沿岸波浪観測では遠隔測定の手法として、従来より専用の海底ケーブルを使用した直送式が多用されている。また、測定点と観測局間の信号伝送は、一般に伝送経路の大半が海中であるという立地条件から、中間に中継局を置かない2点間伝送によって行われている。

直送式は検出器により被測定量を電気量に変換し、その電気的エネルギーを実線を通して受信計器に直接伝送するもので、各種の変換方式が実用されている。波浪観測では、測定量の振幅変化に比例した電圧変化に変換して伝送し、受端で電圧変化を指示・記録する電圧法、受端の計器に自動平衡形計器を使用して伝送線を通る電流をほぼ零にすることにより、線路の状態による信号の変動を押さえた電圧平衡法などが多用されている。

また超音波式波高計では、超音波パルスを断続的に海面に向けて発射し、海面水位を発信パルスと海面反射パルスの時間間隔として直接検出して伝送し、受端においてこのパルスを電圧レベルで検出してパルス間の時間差を求め、これを電圧に変換する動作を繰返し行うことにより海面波形を測定する方法がとられている。この方法は波高計を含めた全体系はパルス時変調による搬送式測定法であるといえるけれども、信号の伝送は電圧パルス直送式である。

直送式は伝送に特別な装置を必要としないため構造が簡単で、取扱い、保守等が容易であるという特長があり、波浪観測計器では基本的な手法として多用されている。反面、性能的にみて電圧法は、信号の性質から伝送路の状態による影響を受けやすく、伝送線の絶縁抵抗の低下・線路インピーダンスとその変動・誘導雑音などによる信号の減衰・伝送損失の変動・波形ひずみ等が直接に測定値に影響して誤差となる欠点が指摘される。

電圧法による波高計の測定回路の一例を図-2.3に等価回路で示す。波高計の出力は直流的な信号であるところから直流回路として考え、伝送線の抵抗を無限大と仮定すれば、受端計器で測定される電圧 V_i は次式で示される。

$$V_i = V_o / \left(1 + \frac{R_o + R_i}{R_i} \right) \quad (1)$$

ここで、 V_o : 検出器出力電圧

R_o : 検出器出力抵抗

R_i : 受信計器入力抵抗

R_t : 伝送線の往復抵抗

厳密には信号の周波数，線路のインピーダンス，線間アドミッタンスを考慮して計算されるが，ここでは簡単に示した。

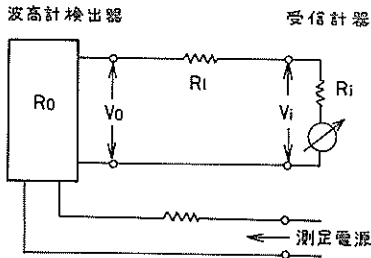


図-2.3 電圧直送式波高計測定回路

式(1)において $V_i \approx V_0$ であるためには， $(R_i + R_1) \ll R_0$ であることが条件となる。しかし， $V_i \neq V_0$ であっても伝送損失が一定であれば，計算または増幅器等によって伝送損失を補償することにより V_0 を求めることができる。ただし伝送損失に変動がある場合は，これを補償することは実際上の問題として不可能であり，測定誤差となって表われる。

伝送損失の変動要因としては，伝送線抵抗の温度による変化，絶縁抵抗の低下・変動があげられる。これらは同時に受信側より供給する測定補助電源を変動させ，見掛け上伝送損失の変動となって表われる。また誘導雑音による信号のひずみも誤差となる。このようなことから所要精度との兼ねて伝送距離に制約を生じ，一般に近距離の伝送に使用される。

電圧平衡法は，電圧法に比べて伝送路のインピーダンスの影響が小であるため誤差が軽減され，伝送距離を延すことができる。しかし，線路の状態が測定精度に影響することは避けられない。また電圧法を含めて，信号として交流電圧を用いる場合は線路のアドミッタンスが大きくなること，誘導雑音による影響を受けやすいことなどから，一般に直流に比べて距離は制約される。

また，超音波式波高計のように測定量の振幅を信号の時間的変化に変換する搬送式測定法による信号を直送する方式では，受端の信号レベルが受信回路の信号検知レベル以上であることが条件となる。したがって，伝送距離は線路での信号減衰度により制約される。また受信信号レベルが検知レベルより十分大きければ信号の減衰，損失の変動による誤差は極めて小さいけれども，伝送上の

SN比(信号対雑音比)の低下や信号波形のひずみは誤差または誤測を生じることがあり，伝送距離はこの面からの制約も受ける。

要約すれば，性能的にみた場合の直送式による伝送距離は，伝送方式あるいは信号形式とそれに対する伝送路すなわち伝送ケーブルの特性に関係し，信号の減衰と誤差の許容度によって決まるといえる。これらのことを考慮した場合，沿岸波浪観測における現用の機器・方式では，一般的な精度(数%程度)を確保するための伝送距離すなわち使用ケーブルの長さは約3~5 km 以下に制限される。

上述のように直送式は使用するケーブルの長さには制約がある。いま，ケーブルの特性は別として単にその長さによる信号の減衰と損失の変動が問題であるとすれば，測定量の振幅をこれに比例した周波数またはパルスの時間変化信号に変換して直送するか，あるいはこの信号で搬送波を変調して伝送する有線搬送式を用い，必要に応じて伝送路の中間に中継増幅器を挿入して信号の減衰を補償すれば，伝送距離を延ばすことは可能である。

しかし沿岸部，特に港湾区域でのケーブルの使用は，距離上の制約とは別に地理・地形条件，場所的制約などからケーブルの布設，維持が困難であることが多く，有線方式の利用はこの面からの制約が大きい。利用上の障害となるおもな事項として次のようなことが挙げられる。

- ① ケーブル布設経路の水深が総じて浅いためケーブルが波浪，流れ等の直接的外力，あるいはそれによる海底地形の変動に伴う外力を受けやすいこと。
- ② 測定系の配置の関係でケーブル陸揚げ地点として地形，底質，外力条件等が良好な場所を得ることが難しいこと。
- ③ 底引き漁業，沿岸養殖，海岸保全事業，港湾区域での船舶の投錨・走錨，航路浚渫などケーブルに損傷を与える機会・要因が多いこと。

またその対策として，

- ④ ケーブル構造の強化，防護管または埋設による保護を必要とし，次後の維持・補修を含めて伝送路の建設に多額の経費を必要とすること。
- などがあげられる。

このようなことから，有線方式の利用が困難な場合の伝送方式として，伝送路に無線周波(電波)を利用した無線テレメータの導入が検討され，促進された。

2.4 無線テレメータの利用

波浪観測に無線テレメータが利用された当初の形式は、小型の漂流式ブイや係留式ブイを利用した波高計のテレメータである。この形式はブイの利用形態からみて次の二つの方式に大別される。

その一つは、波高の検出器を含めてテレメータ装置一式をブイに搭載するもので、波高の測定方法として波によるブイの上下動加速度を測定してこれを2回積分して変位を求める方法と、海面の昇降をブイに固定したステップ式水位測定桿の浸水位として測定する方法がとられている。ブイの形式としては前者は波に対する応答性の良いものが、後者は波によって動揺しない安定性の良いものが要求される。ブイ形式としては、漂流式、係留式の両方式が利用される。

ほかの一つは、波高計の検出器をブイとは別に海中に固定設置し、ブイにはアンテナ、無線機、電源などを搭載して送信ベースと利用する方式で、係留式ブイが使用される。

ブイ式テレメータでは、ブイの規模は搭載機器、波高測定方法、設置・使用条件などを総合的に検討して決めることが必要であるけれども、一般には比較的小形のものであることが多い。このため送信アンテナの高さを十分大きくとることができず、加えて波によるブイの動揺によってその実効高が変動・減少することから遠距離伝送が困難である。我が国では内海湾における観測、あるいは短期間の実験的に使用されることが多かった。この方式によるものとしては、昭和39年に函館港でステップ式波高計による例⁹⁾が、昭和41年に小名浜港で水圧式波高計による実施例⁹⁾が報告されている。その後、現在までいくつかの形式のものが使用されているが、その大半は加速度計を使用した方式である。テレメータの伝送方式として、函館港の場合はPDM-FM方式の時分割多重方式が使用されているが、大半はFM-FM方式である。

海上観測塔あるいは島礁など固定ベースに観測局を置く方式としては、昭和42年に港湾技術研究所久里浜港沖アシカ島観測所および第三港湾建設局神戸港沖波浪観測塔において、波浪等の定常観測に使用された海象等観測用無線テレメータがあげられる^{10,11)}。ここではVHF70MHz帯の回線を使用したパルス周波数伝送FS変調方式が採用された。この方式のテレメータは、当時は装置も大形で消費電力も大きかったことから、大形の観測塔や島礁を観測局とした多要素の観測用テレメータとして導入された。

その後、昭和44年に観測テレメータ装置の小形・省電力化を図ったパルス位置変調方式(PPM-FM)による超

音波式波高計測定値伝送用テレメータ²⁾を、昭和46年にその応用機種であるアナログ・デジタル混合方式によるPPM-PCM-FM方式の多重化テレメータを開発して現地観測に導入した⁸⁾。

現在このほかに気象・海象等多チャンネル観測用として、パルス符号変調(PCM)方式の多重化テレメータが使用されている。

2.5 無線テレメータ利用上の検討事項

テレメータ装置を設計する場合、事前に与えられなければならない事項として

- ① 使用する伝送回線
- ② 伝送距離および地形
- ③ 同時に計測する項目
- ④ 各項目の計測範囲
- ⑤ 使用する検出器と出力信号の形式
- ⑥ 各信号の変化速度(周波数レスポンス)
- ⑦ 許容差およびS/N(精度・分解能など)
- ⑧ 使用条件(環境条件・使用時間など)
- ⑨ 制御方式(起動方法・計測項目の選択制御など)
- ⑩ 電源方式
- ⑪ 記録および処理方式
- ⑫ テレ・コントロールおよび監視項目

などがあげられる。設計者はこれらにもとづいて最適な機器設計・回線設計をするわけであるけれども、当然のことながらこれらの事項はテレメータを計画する側から提示されるべきものであり、設計者との調整をはかって最終的に結論される

計画使用する立場からはこのほかに経済性、機器の信頼性、故障時の対応策、省力化・無人化、災害対策、電波の輻奏と混信、電波の割当、無線従事者の要否といったことも問題であり、事前に解決しておかなければならない。しかし何といたっても無線テレメータを利用する場合の最大の障害は、データの取得場所である測定点が海上であるという沿岸波浪観測の特殊性に起因する問題であろう。これについては次のようなことが挙げられる。

- (1) 伝送可能距離
- (2) 観測局基地の確保
- (3) 観測局電源の確保
- (4) 環境・使用条件

またこれらの問題は単独としてではなく、前述の検討事項を含めて相互に関連をもった事項として提起されるものであり、計画実施に当たってはほかの項目との関連で解決して行かなければならない。

- (1) 伝送可能距離

無線テレメータを計画する場合にまず考えるのは、一

一般的な伝送可能距離はどの程度で、また予定する地点間に適用することが可能であろうかといったことであろう。この問題は一見単純そうに見えるが、専門外の者にとっては意外に苦慮するところである。また、ここでは簡単に述べるけれども、テレメータを設計する上ではほかの事項との関連において重要な事項となるものである。

テレメータの伝送可能距離は使用する電波の伝播特性と伝播損失に関係し、送信機出力と受信可能最小信号入力によって求められる。ここで伝播損失には自由空間伝播損失と、伝播地形・大気の状態などによるフェージング損失(直視距離内のVHF・UHF波の伝播において、自由空間伝播損失以外の伝播損失をいう)がある。このほかの損失としては送・受信アンテナのフィーダ損失がある。これらの損失に送・受信アンテナの利得を加えたもの、すなわち送信機出力と受信機入力の比をスパン損失という。また、受信可能最小信号入力は受信機の性能(帯域幅・雑音指数など)とテレメータの変調方式によって決まるものである。

テレメータの設計上は伝送距離と地形、電波の周波数、使用アンテナ及びフィーダの種類などをもとにしてスパン損失を計算し、所要の受信入力に対する送信出力を求める方法がとられる¹²⁾。しかしテレメータを計画する最初の段階では、これでは困るのもっと大まかではあっても一義的に求められる方法が望まれる。このような場合次のように考えることができる。

沿岸部での波浪観測テレメータに無線回線を使用する場合に割当てられる電波は、通常VHF 70MHz帯か、UHF 400MHz帯のいずれかであるけれども、最近では電波の輻射の関係からの後者の400MHz帯の気象援助業務用バンドが使用されている。

UHFでは対流圏伝播による見通し外通信も可能であるけれども、波形の伝送などを対象とするテレメータでは安定な通信を必要とするため、地上波による可視距離内通信すなわち見通し区間内での通信を利用するのが普通である。したがってこれによれば、伝送可能距離は送・受信アンテナの高さに関係して求められる。

図-2.4に示すように地上高 h_1 と h_2 を有するアンテナ間の見通し距離 d は、 h_1 および h_2 が地球の半径 r_0 に比べて極めて小さいとみることができるところから、見通し線上にある地上距離 \widehat{ABC} を

$$\widehat{ABC} \cong \widehat{TBR} = d$$

とみなすことにより、近似的に次式によって求められる¹³⁾

$$d = \sqrt{2r_0}(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad (2)$$

式(2)による見通し距離 d の計算例を図-2.5に示す。図は観測局としてブイまたは観測塔を想定し、そのアンテナ高さ h_2 をパラメータとし、監視局のアンテナ高さ h_1 と見通し距離 d の関係を示すものである。図-2.5において d_0 は光学的な見通し距離を示すものであり、また、 d_k は標準大気における電波の屈折を考慮して地球の半径 r_0 のかわりに、実効等価半径 $K \cdot r_0$ を用い $K = 4/3$ として計

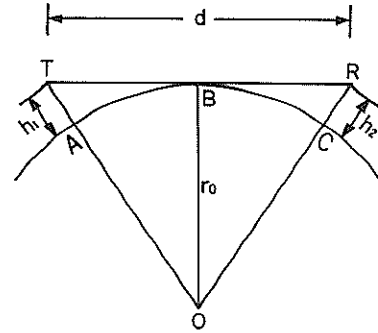


図-2.4 見通し距離説明図

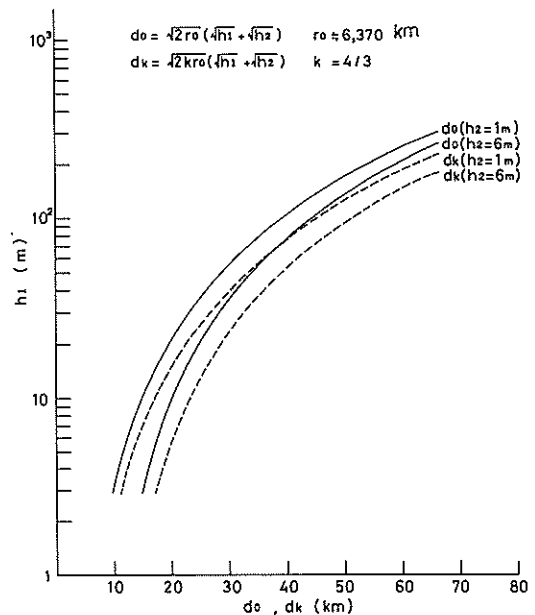


図-2.5 見通し距離

算した電波の見通し距離である。これより海上のブイまたは観測塔と、一般に低標高な海岸線に立てられたアンテナ間でも 20~25 km 程度の見通し距離が得られることが解る。

一方、波浪観測を対象として我が国沿岸の代表的な70地点について海図を用いて水深-50mの測定点を選定し、その離岸距離を求めてみると表-2.2のように求められる。最大は約35kmであるが25kmを超えるのは4~5点であり、残りの大半は約15km以下である。したがって見通し距離からみた場合には、測定点の近くに適当なアンテナを設けることができれば、水深-50m程度の沿岸海域における波浪観測に無線テレメータを利用することは2点間伝送によっても可能であるといえる。

この方法は極めて大まかなものであり、実際には地形・地物の影響、波による海面高さの変動による影響、都市雑音などを考慮して、余裕をみて考えることが必要である。また、計画の段階での一つの目安として用いるのが妥当である。

(2) 観測局基地の確保

無線テレメータの利用は、観測送信局装置の設置ベースと電源の面からの制約が大きい。通常、観測局ベース

表-2.2 測定点(-50m)の離岸距離

地点名	距離 (km)	地点名	距離 (km)	地点名	距離 (km)
松前	2~3	田子の浦	1~2	端島	2~5
瀬棚	3	御前崎	7~10	五島	4~10
余別	2~3	遠州灘	6~8	唐津	20~30
留萌	9~12	伊勢湾口	10~20	博多沖	10~16
稚内	7~15	長島	5~8	秋	4~6
紋別	10	潮ノ岬	2	浜田	2~3
花咲	10~15	田辺	5~7	出雲	5~6
鋼路	7~9	大阪湾	—	境	3
襟裳岬	7~10	由岐	3~4	隠岐島	2~3
苫小牧	7~12	室津	3	田後	3
恵山	2~3	高知	7~10	経岬	2~3
八戸	5~10	上佐清水	2~3	若狭湾	2~5
宮古	3~5	三崎	1~4	金沢	8~9
大船渡	3	周防灘	10~35	輪島	3~4
仙台湾	35	細島	4~7	富山	3~4
相馬	20~25	宮崎	14	直江津	7~8
小名浜	7~11	志布志	2~10	二見	3
鹿島	15~16	湯泊	2	新潟	6~8
九十九里	25	大島	1~4	酒田	6~7
野島岬	3~4	沖繩東	2~7	秋田	12~15
東京湾口	3~5	佐島群島	2~7	能代	8
波浮	2~3	沖繩西	2~7	深浦	3
八丈島	1~2	枕崎	2~3		
石廊崎	2~3	川内	7~9		

には測定点またはその近くに置かれ観測塔、ブイあるいは附近の島礁が利用される。

島礁の利用は施設面からは有効な手段であるといえるが、計測面からは島礁による波の反射・回折などが測定上の障害となる欠点が指摘される。また、島礁が都合よく存在することはまれであり、一般的な方法とはいえない。

水深-20m程度までの海域では、各種の形式の観測塔が利用されることが多いけれども、大規模なものは技術的には可能であっても経済的な制約を受けることから一般には小規模なものが多い。したがって機器および電源の設置スペースが問題となる。水深がより深くなり-50mにも及ぶ海域では、技術的にも経済的にも困難な問題が多く、単に波浪観測だけの用途としては現状では実現の可能性は乏しいといえる。したがって、何等かの施設たとえば石油掘削施設などを利用することになるが、島礁の場合と同じようにその存在はほとんど期待できない。

ブイ装置については、内海湾など比較的波の穏やかな海域での近距離テレメータでは、小規模なブイを利用することで実現できるところから実用されている。しかし激浪の来襲する外洋に面した沿岸海域で、長期間にわたる定常観測に適用できるような大規模なブイについては、経済性の点でやや難点がある。この方式としては、玄海灘における耐波性直立ブイを使用した観測（第四港湾建設局による）と、高知沖における円盤形ブイを利用した観測（第三港湾建設局による）が挙げられる。

このように海上と陸上間の無線テレメータは、観測局ベースの確保がその成否の鍵であり、その確保が先決であるといえる。

(3) 観測局電源の確保

観測用電源としては、陸上では一般に安定した商用交流を得ることが容易であり多用されているけれども、海上観測局ではほとんど期待できない。したがって、一般に発動発電機を始め各種発電機、一次・二次電池、太陽電池、燃料電池といったものの中から観測局の規模、負荷の容量と特性、維持・補給などを考慮して適当なものを選択し、単独または併用することになる。

一般に観測局の電源方式としては、

- ① 各種の発電機と二次電池の組合せ方式
- ② 一次電池と二次電池の組合せ方式
- ③ 一次電池または二次電池の単用方式

などの方法が用いられる。

①の方法は、発電機で発生した電力を二次電池に充電し、二次電池より負荷に電力を供給するもので、一般に

大形の観測塔や島礁で利用される。発電機としては発動発電機、波浪発電機、風力発電機、燃焼（熱）発電機、太陽電池などが挙げられるが、現状では保守の容易な太陽電池の利用が多い。

②の方式は、容積・重量効率は高いが一度に流せる電流が小さい一次電池を主電源とし、反対に容積・重量効率は低い一度に大きな電流を流すことができる二次電池を従電源として組合せて用い、大容量の一次電池で小容量の二次電池を充電しながら、二次電池より負荷に電力を供給する方法である。大形のブイや観測塔で利用されている方法で、負荷電流が一次電池の許容放電電流を超える場合に使用される。

③の方式では、最近では一次電池が使用されることが多い。その理由として一次電池は容積効率が高いので限られた設置スペースを有効に利用できること、自己放電が小さいので長期間の観測に適していることが挙げられる。ブイや観測塔で①の方式が適用できない場合に使用されており、電池としては積層形のマンガン電池、空気湿電池が使用されている。

しかし、いずれの方式を採用するにしても大形の観測塔や島礁はともかく通常一般に利用されている観測塔やブイなどでは、その規模からみて大容量の電源を設備することは無理である。また電源の補給も一般に困難な場合が多く、観測の運用上の障害となる。たとえば日本海側では、11月～3月にかけては冬期風浪が激しいため電源の交換・補給は極めて困難であり、この期間は無保守で運用されることが望まれる。

こうしたことから観測局テレメータシステムには、小形・省電力の装置・方式が要求される。最近では電動部品のIC化によってテレメータ装置も省電力化されているが、波浪観測テレメータはほかの分野のそれと比べて観測時間と伝送データ量が大きく、また観測塔やブイを利用する場合は保安のための標識灯の利用が不可欠であることなどから、なお検討されねばならないことである。

(4) 環境・使用条件に対する配慮

テレメータ装置に要求される基本的な条件として安定度が良いこと、誤差が少ないこと、信号の伝送伝送路の状態による影響を受けないことなどが挙げられる。これらは基本的にはテレメータの方式と回路設計によって決まることであるけれども、設置場所の環境条件や使用条件に対する配慮が十分でない場合には、使用部品や回路の絶縁の劣化や導通不良を招き、当初の性能を保持することができなくなる。

したがってテレメータの導入に当たっては、環境・使用

条件を十分把握して対策を施しておくことが必要である。波浪観測テレメータでは特に観測局装置について、波による衝撃・振動に対する耐振性、温度・湿度・塩害等に対する耐環境性の高いものが要求される。また電源電圧の幅広い変動に反応できる回路方式であることも重要である。

このほか、波高計など観測計器と信号伝送装置の信号の受渡しについても、観測局側には最低限必要な検出器のみを置く方法を考え、信号変換の重複による精度の低下防止、回路の簡素化と装置の小形・省電力化を図ることが望ましい。

3. 無線テレメータ伝送方式

港湾関係で行われている観測では、アナログ方式ではパルス周波数伝送FS変調方式が利用されている。また、超音波式波高計を使用した観測では、その測定信号伝送用として開発した特殊なPPM方式が単独、またはデジタルPCM方式との混合方式による多重化テレメータとして用いられている。デジタル方式はPCM方式であり、時分割多重化により多項目の観測に使用されている。

ここでは港湾関係で使用されているおもな方式について述べる。

3.1 パルス周波数方式アナログテレメータ

検出器の測定出力を矩形波パルス（直流パルス）の周波数に変換し、この信号で音声周波数帯域の副搬送波を変調して無線回線により伝送する方式である。

この方式は観測塔や島礁など固定ベースを観測局とした波浪等の観測用として導入された¹⁰⁾構成の一例を図-3.1に示す。一般にこの種の観測では複数項目の同時観測が行われるところから、音声周波数帯域の電話伝送路を周波数分割多重化して利用し、多チャンネルの信号を同時伝送する方式が採用されている。無線回線にはVHF 70 MHz帯が使用されており、主搬送波の変調にはFMが採用されている。

(1) 基本構成

伝送系の基本構成を図-3.2に示す。波高・波向・潮位・風などの測定量はおおのこの検出器より電圧信号で出力される。この電圧は次の送量変換器（二次変換器）の入力に見合った基準化された出力として得られる。波浪観測機器では測定範囲を0～1V、0～±1Vとすることが多いがこのテレメータでは次のテレメータ送量器において必要な増幅を行うものとし、検出器出力を0～10mVとする方法が採用された。

送量変換器は入力電圧をそれに比例したマーク・スパー

ス比1の矩形波パルスの周波数に変換する。ここで入力
 の0~100%に対応するパルスの周波数 $f_{min} \sim f_{max}$ の値は、
 測定信号の周波数特性、送・受量変換器の直線性やパルス
 発振器の安定度、伝送精度などを考慮して選定される。

いま、伝送すべき測定信号の最高周波数成分を f_c とし、

測定誤差の許容差をフルスケールの $\pm \epsilon\%$ とすると、伝送す
 べき情報容量 C_s は次式で表わされる¹⁴⁾。

$$C_s = 2f_c \log_2 \left(1 + \frac{100}{2\epsilon} \right) \text{ [bit/s]} \quad (3)$$

また、周波数の範囲が $(f_{max} - f_{min})$ である周波数信号

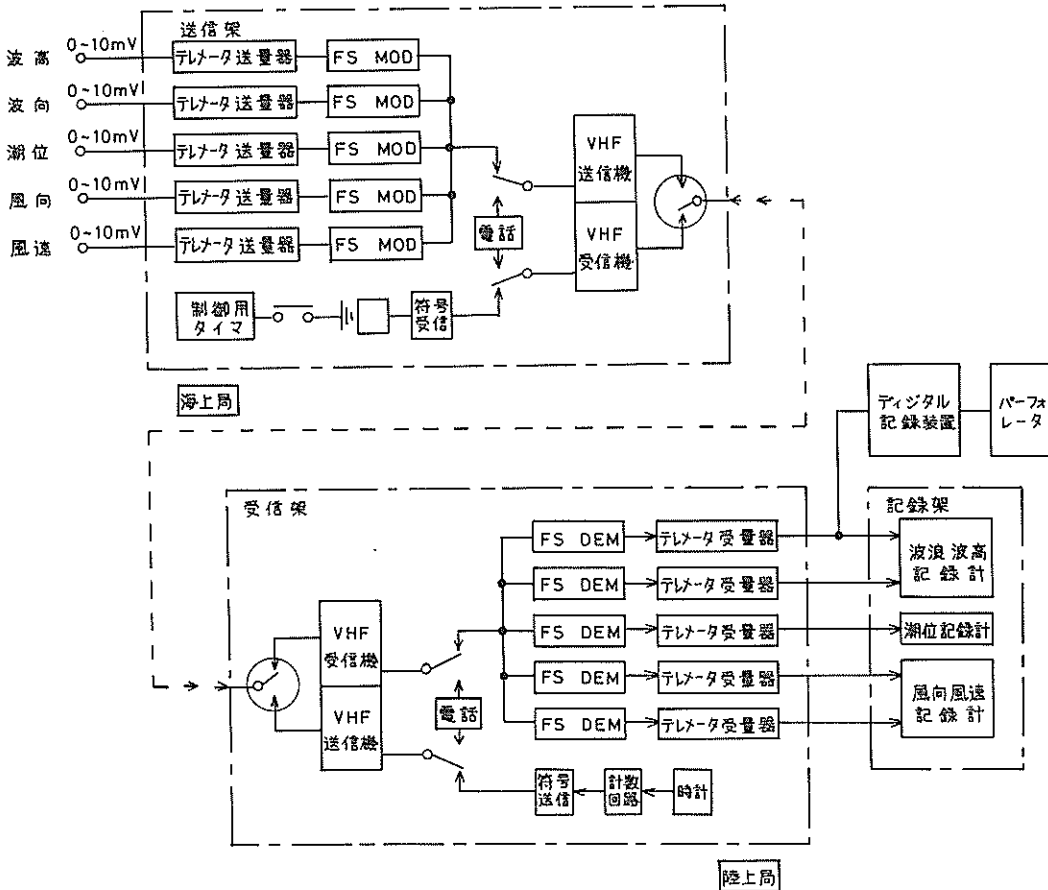


図-3.1 海象等観測テレメータの構成例

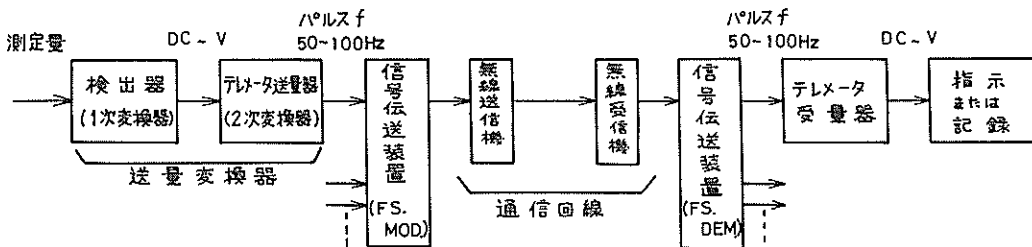


図-3.2 パルス周波数方式の基本構成

のもつ情報容量 C_f は

$$C_f = 2(f_{\max} - f_{\min}) \text{ [bit/s]} \quad (4)$$

で表わされる。式(3)と(4)から $C_f \geq C_s$ が条件となるが、一般には伝送精度を考慮して $C_f > C_s$ としている。しかし C_s に比べて C_f をあまり大きくしても無意味であり、変調に要する伝送路の占有周波数帯域幅を広く必要とし、伝送路の多重化チャネル数が減少するだけ無駄である¹⁾。

ちなみに FM-FM 方式の無線テレメータでは、表-3.1 に示すように $(f_{\max} - f_{\min})$ を信号の周波数レスポンス f_c に対して約10倍にとる IRIG (Inter-Range Instrumentation Group) の標準が使用されている。

波浪観測テレメータでは、現象の変化速度からみて卓越成分を測定の対象とする場合はあまり高い周波数レスポンスを必要としないけれども、波形観測では波圧の立上りのように比較的早い変化も含まれるところから汎

表-3.1 FM-FM方式の副搬送波周波数(IRIG の標準方式)

チャネル号	中心周波数 [c/s]	周波数下限 [c/s]	周波数上限 [c/s]	周波数偏移 [%]	周波数レスポンス [c/s]
1	400	370	430	±7.5	6
2	560	518	602	7.5	8
3	730	675	785	7.5	11
4	960	888	1 032	7.5	14
5	1 300	1 202	1 398	7.5	20
6	1 700	1 572	1 828	7.5	25
7	2 300	2 127	2 473	7.5	35
8	3 000	2 775	3 225	7.5	45
9	3 900	3 607	4 193	7.5	60
10	5 400	4 995	5 805	7.5	80
11	7 350	6 799	7 901	7.5	100
12	10 500	9 712	11 288	7.5	160
13	14 500	13 412	15 588	7.5	220
14	22 000	20 350	23 650	7.5	330
15	30 000	27 750	32 250	7.5	450
16	40 000	37 000	43 000	7.5	600
17	52 500	48 560	56 440	7.5	790
18	70 000	64 750	75 250	7.5	1 050
A	22 000	18 700	25 800	±15	600
B	30 000	25 500	34 500	15	900
C	40 000	34 000	46 000	15	1 200
D	52 500	44 620	60 380	15	1 600
E	70 000	59 500	80 500	15	2 100

注) A-Eのチャネルを使用するときは隣接のチャネルを除くこと。たとえばCチャネルを使用するときは15および16のチャネルは使用しないこと。

用性を考慮して入力0~100%を50~100 Hzとしている。

この f_{\min} 50 Hz という値は入力の変調とパルス信号の漸を区別するためのベース周波数である。したがって1%が0.5 Hzに相当し、ベース周波数と100%に相当する周波数の比は2となっている。理論的にはこの比が大きい程精度は良いがベース周波数の選定を含め、発振器の安定度・精度、伝送帯域、伝送速度、誤差率などを勘案して上記の値をとっている。

このようにして得られた各送量器の出力パルス周波数は、信号伝送装置に送られ各チャネル毎の副搬送波を変調する。このテレメータでは300~3400 Hzの音声周波数帯域を

$$\begin{aligned} \text{中心周波数} &= 800 + 400(n-1) \text{ [Hz]} \\ n &= 1 \sim 6 \end{aligned} \quad (5)$$

で区分して得られる所要のチャネル数の副搬送波を用い、各々対応するチャネルのパルス周波数信号で変調し、各被変調副搬送波を直線的に混合して一つの複合信号とすることにより、周波数分割多重化して最大6チャネルの信号を同時伝送している。

副搬送波の変調形式は周波数偏移変調(FS変調)である。この方式は入力パルス波のマークとスペースに応じた副搬送波の周波数を中心周波数 f_0 から一定の値 Δf だけ偏移するもので、ここでは $\Delta f = \pm 100 \text{ Hz}$ としている。FS変調はFMの一種であるけれども、FMが変調波の振幅に応じて副搬送波の周波数を連続的に変化させるのに対し、FS変調では副搬送波の周波数偏移が

$$f_1 = f_0 + \Delta f, \quad f_2 = f_0 - \Delta f$$

の2つの周波数になるだけなのでこう呼ばれている。

また方形波による周波数変調であるから、変調によって副搬送波の中心周波数の両側に信号周波数の奇数倍の間隔で無限の側波帯を伴うことになる。そこで帯域フィルタを通して帯域幅を制限したのち混合する方法がとられる。ここでは信号の周波数 ($f_{\max} = 100 \text{ Hz}$ に対応) に対して320 Hzとしている。

信号伝送装置の通信速度は200 ボー (baud)* である。この単位ボーは変調速度を表すもので、伝送単位符号の時間長を秒で表わしたものの逆数をいう。この例ではパルス周波数信号の最高周波数は100 Hzで、変調はパルスのマークとスペースに応じて行われる。したがって単位符号であるパルスのマークまたはスペースの最短時間長は5 ms となり、所要の通信速度は200 ボーとなる。

信号伝送装置で得られた各被変調副搬送波を混合した

* たとえばパルス周波数を信号波で変調する場合、変調は個々のパルスを単位として行われる。この単位パルス1個の秒単位の時間長(変調の有意間隔)の逆数をいう。

複合信号は、無線送信機に入力され無線周波(主搬送波)を変調して空中線より送出される。

受信側の監視局では電波を空中線で捉え、無線受信機において主搬送波を復調して複合信号を取り出し、次の信号伝送装置において帯域フィルタを通して各チャンネル毎の変調副搬送波に分離したのち復調し、各測定項目に対応したパルス周波数信号に変換する。この信号は各チャンネルごとにテレメータ受量器により元の情報である測定量に比例したアナログ電圧に変換し、それぞれの利用目的、次後の処理内容に応じてペン書記録計、デジタル記録計、データ・ロガー等で記録・処理される。

この伝送方式は伝送途中で受ける外部擾乱に強いという特長があり、電力・ガス・水道などのテレメータで広く利用されている。伝送路としてはここで利用している無線の電話伝送路によるほか、有線、ケーブル搬送、電力搬送などの電話伝送路が利用されている。

(2) 制御方式

測定および伝送の制御方法としては、無線テレメータでは観測局電源の制約から制御時伝送方式がとられるのが普通である。制御時伝送の制御方法には観測局の時計により制御するものと、監視局より制御信号を送って制御するものがある。通常、前者をタイマー式、後者をコール式またはポーリング式(多局で構成されるテレメータ系で、特定の観測局に対しポーリング信号と呼ばれるその観測局特定の呼び出し信号を送出して選択起動させる方式)と呼んでいる。

タイマー式は無線機として1対の送・受信機があればすむが、コール式はデータ伝送用の他に制御用として逆方向の通信路をもつもう1対の送・受信機を必要とし、その方式上観測局の制御信号用受信機は常に電源を投入して待機している必要がある。したがって消費電力、価格、保守などからはタイマー式が有利である。これに対し、コール式は異常波浪時などに随時または連続的にデータを取得したい場合に、監視局の手動操作により任意時刻にそれが可能である利点がある。また、待機時に両方向の無線機を利用してプレストーク方式による電話に利用できるという便利さがある。

コール式の制御方法には次の2方式がある。

① 監視局より起動のための指令信号を送り、観測局ではこれを受けてタイマーを起動させ、あらかじめ定められたプログラムにしたがって一定時間測定・伝送を行ったのち自動停止する方式。

② 監視局より起動および停止の信号を個別に送って制御する方式。

前者はデータの伝送用と制御用に同一周波数の回線を使

用できる。これに対し、後者では同一周波数を利用する場合の回路の複雑さを避けるため、それぞれの回線に異なった周波数の電波を用いるのが普通である。しかし通常は電波の割当て上で2波の使用が許可されることが難しいため、一般に前者の方法がとられる。

制御内容には上述の観測局起動制御のほか、複数の観測項目あるいは方法の内から特定の項目・方法を選択して測定を行うための制御、充電用発電機など付帯機器の動作制御などがある。また、多局のテレメータ系では前述のポーリング信号により特定の局を選択起動する方法がとられる。

ここで制御信号の方法としては、対象とする観測局あるいは機器・方法に応じた特定周波数の制御用トーン信号を監視局より送出し、観測局では受信した信号が自局に対するものであるか否か、またその内容を判別するためリードセレクトなどの周波数検出素子で検知し、該当する場合にはその内容に応じてプログラム・タイマーまたはリレーを動作させ、機器・回路を動作させる方法がとられる。

トーン周波数信号の方法には、単一周波数を用いる方法と2周波数を組合せて用いる方法がある。前者の方法は簡単であるけれども、回線の状態によっては雑音あるいはほかからの混信によって誤動作しやすいという欠点がある。その対策としてトーン信号の継続時間を多少長めにとるなどの工夫が必要である。後者の方法は前者に比べてやや複雑ではあるが確実性は高い。しかしこの方法も信号の組合せ方法によって生じる短所があり、利用に際しては制御内容と合せて検討が必要である。

2周波以上の周波数を組合せ使用する場合は信号送出方法には、2以上の信号を混合して同時に送出する並列周波数方式と時間的に間隔をおいて1周波ずつ順番に送出する並列周波数方式がある。並列方式は送出時間が信号の数に関係なく一定であるところから所要時間が短くてすむという特長がある。反面、多周波信号を同時に送出するため個々の信号レベルが低くなり、また混変調のため不要波が発生することなどの欠点がある。このため回線のS/Nの低下によっては不動作あるいは誤動作の危険がある。これに比べて直列方式は送出時間が長くなるけれども、上述のような欠点はない。

一般に広域多局のテレメータ系では多周波の直列方式がとられている。しかし、波浪観測テレメータでは比較的近距離の1:1方式のテレメータであることが多いので、簡単な単一周波数方式と2周波以上の並列方式が採用されている。

制御方式としていずれの方法を用いるかは、システム

の目的・規模、制御内容等を勘案して決められる。一例としてアシカ島観測所の場合は、定常観測のほかに機器の開発・改良、海象特性の研究など多目的な実験・研究的利用を考慮して、専用の制御用無線回線を用いて監視局から任意に起動・停止ならびに制御項目の選択が可能なコール方式が採用された。制御信号としては6周波のトーン信号を備え、制御内容に応じて2~4周波を混合して送出する並列方式が採用された。また神戸港波浪観測塔では監視局より起動信号を送出して観測局タイマーを動作させ、一定時間測定・伝送を行って自動停止するコール式が採用された。

(3) 性能および規格

海象等観測用として導入されたテレメータの性能および規格を示す仕様(アシカ島観測所、神戸港等)を次に示す。

- a) 測定項目
波高、波向、潮位、風その他
- b) 入力
標準10mV、入力インピーダンス10k Ω 以上
- c) 応答速度
0~90%で1秒以内
- d) 誤差(送・受信側共)
直線性誤差: 0.5%以下
温度による誤差(0~40℃): 1%以下
電源電圧変動による誤差($\pm 10\%$): 0.1%以下
- e) 情報伝送
伝送容量: 周波数分割多重化により5量以内同時伝送
変調方式: 音声周波数帯域内FS変調、偏移幅 ± 100 Hz
副搬送波: $800+400(n-1)$ Hz, $n=1\sim 6$
通信速度: 200 ボー
- f) 無線回線
周波数: VHF 70MHz帯
変調方式: FM
送信出力: 1W, 3W, 10Wを標準とする
占有帯域幅: 26kHz
最大周波数偏移: ± 10 kHz 以内
- g) 測定および機器制御
コール式: 自動(監視局時計による毎時又は2時間毎)
手動(任意時刻に指令可能)
タイマー式: 観測局定時発信方式
機器制御: コール式の場合可能
- h) 出力および記録

テレメータ出力: 0~1Vアナログ電圧

アナログ記録: ペン書きレコーダによる連続および打点記録

デジタル記録: 純2進8ビット, 8単位紙テープ記録

観測局の電源としてはアシカ島観測所、神戸港波浪観測塔のいずれも観測機器・保安機器を含めた消費電力が大であったため、発動発電機、自動充電器、鉛蓄電池の組合せを用い監視局からの指令により自動充電する方式が採用された。

監視局の記録計には波高計主記録装置として当時別途開発した紙テープさん孔方式のデジタル記録計が使用され、ペン書きアナログ記録をモニター用として同時記録する方法が採用された。

3.2 超音波式波高計用PPM方式

波浪観測用テレメータとして前節のパルス周波数方式を使用した場合の観測局消費電力は、当時汎用的に用いられていた水圧式波高計摺動抵抗型あるいはストレーンゲージ型の波高検出器が0.5W以下の極くわずかの消費電力で波形信号を出力することから、保安機器を除けばそのほとんどは無線テレメータ伝送装置によって占められていた。

これに対し、昭和39年度に筆者等が開発し沿岸波浪観測に導入した超音波式波高計²⁾(以下、略称に従ってUSWという)は、その測定方式から波形信号を得るために電気—音響変換回路、時間—電気信号変換回路を始めとする多段の変換・増幅回路を必要とし、真空管を使用して製作された装置(USW-I, II型)の消費電力は約200Wであった。その後昭和44年に全回路をトランジスタ化(USW-III型)することにより消費電力は約1/10に低減したが、無線テレメータを使用した汎用装置としてはなお一層の低減が望まれるところから信号伝送方式を含めて検討を加え、無線テレメータ用USW-V型およびその測定値伝送用パルス位置変調(PPM)方式無線テレメータを開発して現地波浪観測に導入した。

(1) USWと無線テレメータ

USWは測定点の海中に設置された超音波送受波器より鉛直上方の海面に向けて超音波パルスを発射し、このパルスが海面空気との境界層で反射して送受波器に帰来するまでの時間、すなわちパルスの発射からエコーの受信までの時間と超音波の海中伝播速度の関係から送受波器と海面間の距離を測定し、これを電圧に変換する動作を短時間間隔で繰返し行うことにより海面波形をアナログ電圧信号の変化として得るものである。USW-III型の回路構成を図-3.3に、回路の動作波形を図-3.4に

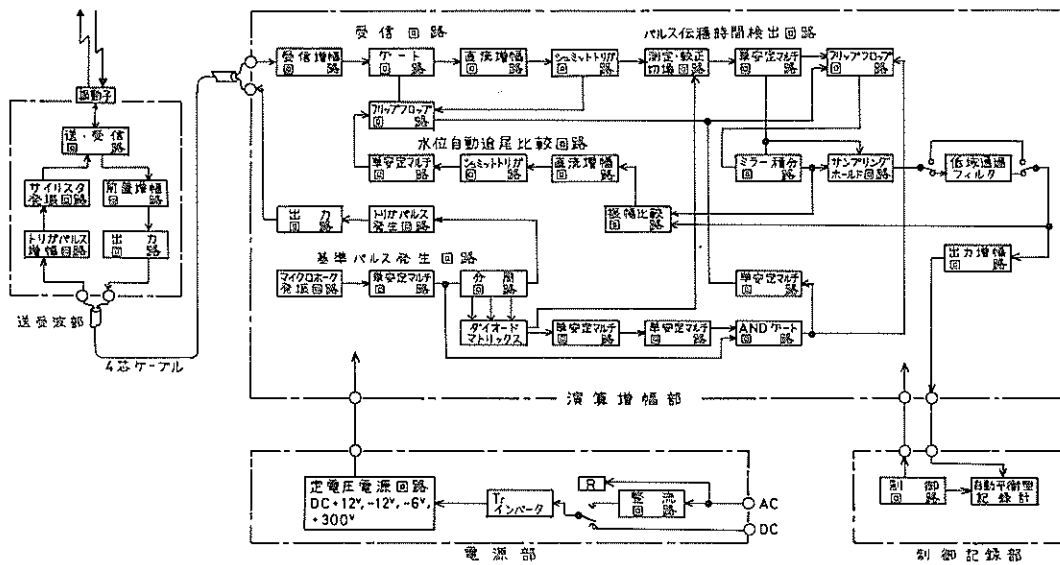


図-3.3 USW-III型の基本構成

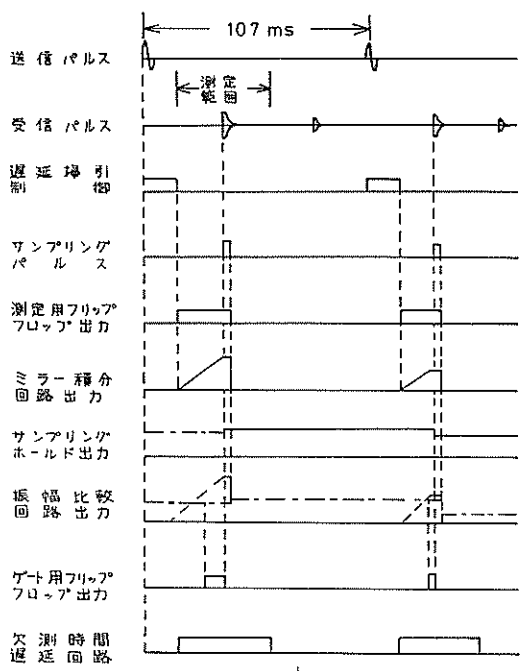


図-3.4 USWの動作波形図

示す。

いま、このUSW-III型による測定に前節のパルス周波数方式の無線テレメータを適用すると、図-3.5の(a)のように観測局にUSW-III型の全回路を置く構成となり、観測局消費電力の増大と装置の大形化を招くことになる。この欠点を回避する手段として考えられたのが図-3.5の(b)に示す方法であり、これにもとづいて開発されたのがUSW-V型とその測定値伝送用PPM方式無線テレメータである。この方法によれば観測局には水位検出器であ

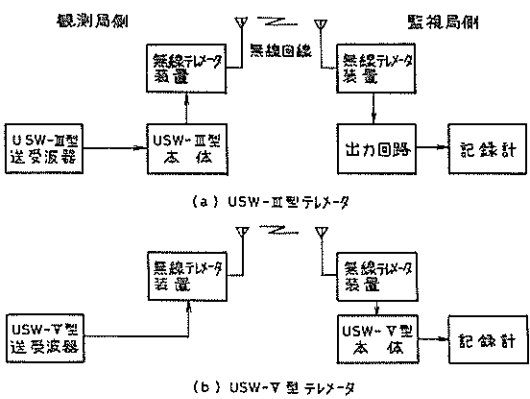


図-3.5 USWと無線テレメータ

る送受波器部のみが置かれ、消費電力の大半を占めるUSWの信号変換部は監視局側に置く構成となる。

USW-V型の基本回路はⅢ型とほとんど同じであるけれども、測定のため送受波器より一定の時間間隔で発射する超音波パルスの発信同期信号(トリガーパルス)がⅢ型では信号変換部からケーブルを通して与えられるのに対し、V型では送受波器部の自励発振回路により自動的に行われ、信号変換部にはトリガーパルスに同期した発信基準パルスと海面エコーパルスが1対として与えられるという違いがある。したがってV型の回路は図-3.6として構成される。

(2) パルス位置変調による伝送

パルス変調の形式には2.2(1)で述べたように各種の方法がある。USW-V型テレメータではこのうちパルス位

置変調(PPM)方式が用いられている。

PPMはパルスの振幅および幅は変調によって変化せず一定で、パルスの立上り時間位置を入力信号に応じて連続的に変化するもので、アナログ変調方式である。またパルスの時間パラメータを変化させる方式であるからパルス時変調(PTM, パルスの時間パラメータを変化させる変調方式の総称)に属する。

PPMの方法にも各種のものがあるけれども、ここでは一般的な方法として測定量の振幅を基準パルスに対する測定パルスの時間的位置に変換する方法がとられている。ここで基準パルスの繰返し周期は一定で、変調信号に応じて測定パルスの位置だけが変化する。

USW-V型による無線テレメータの伝送系は図-3.7で構成される。送受波器より信号伝送装置に入力される信

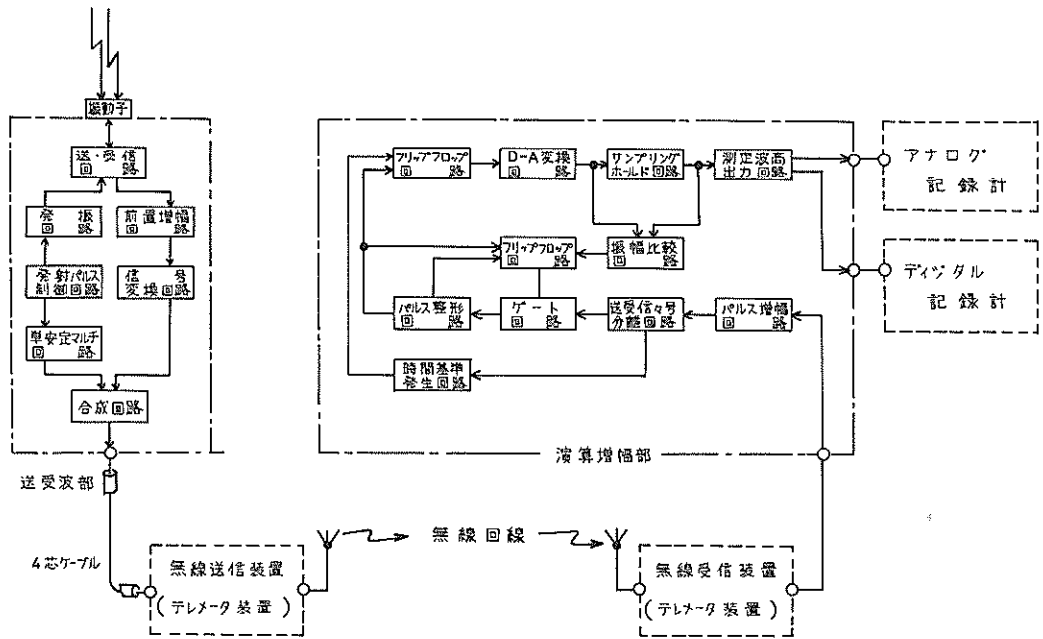


図-3.6 USW-V型の回路構成

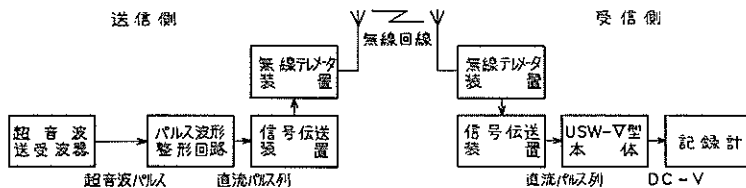


図-3.7 USW-V型無線テレメータの基本構成

号は、海面を時間軸でサンプリングして得られた送受波器から海面までの距離に比例した時間間隔を持つパルス列として図-3.8の形で受渡される。この信号は一定周期で発射される超音波パルスを基準とした海面エコーパルスの位置変化信号、いかえれば海面形によりパルスを位置変調したものであるといえる。したがってこのパルス列によって搬送波を変調して伝送し、監視局において元のパルス列に復調してUSW-V型の信号交換部に入力すれば、Ⅲ型と同様な動作によって海面波形を得ることができる。

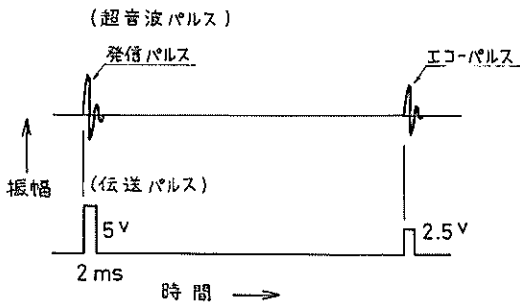


図-3.8 USWのPPMパルス

図-3.7において信号は次の変換を経て伝送される。送受波器では海面をサンプリングして得られた超音波周波数の発信パルスと海面エコーパルスを、波形整形回路でパルス幅一定(USWでは2msとしている)の<矩形>パルスに変換し、信号伝送装置に出力する。この際、発信パルスとエコーパルスは識別のため振幅に差異を与えて設定(たとえば、振幅を2:1として5Vと2.5V)される。

ここで発信パルスの繰返し周期すなわち海面波形のサンプリング周期は、基本的には測定対象である海面波の最高周波数成分によって決められるものであるけれども、USWでは超音波の海中伝播速度と伝播距離、回路の信号処理時間などの関係で通常は100~200msの間で一定の値がとられている。また発信パルスとエコーパルスの時間間隔は、超音波の海中伝播速度(USWでは1500m/s一定として設計している)と送受波器から海面までの距離に応じて変化し、その予想される最大時間と最小時間の差が測定範囲として設定される。

信号伝送装置は入力されたパルス列を入力制御器によりレベル判別して発信パルスを検出し、これを同期信号として送受波器設置水深に応じた一定時間遅延した位置より測定範囲に相当するゲート信号を作り、ゲート内

に到来したパルスを有効な測定パルスとして発信パルスとともに無線送信機に出力する。

送信機は入力パルス列によって搬送波を変調し、空中線より送出する。

監視局では受信機で被変調搬送波を復調して入力パルス列に対応した交流パルスを取り出し、信号伝送装置に入力して出力制御器によりパルス幅一定の直流パルスに変換する。次にゲート回路により同期信号を検出して発信パルスとエコーパルスを弁出し、5Vと2.5Vに振幅を設定して元のパルス列として出力する。USWの信号交換部は入力されたパルス列からレベル判別によって発信パルスを取り出し、これを基準にしてPPM化されたパルス信号をアナログ電圧に変換して海面波形を得ている。

(3) USW用テレメータ装置の性能・規格

テレメータ装置の性能および規格を示す仕様の1例を次に示す。

a) 信号伝送

変調形式 : PPM方式

PPM信号 : パルス幅, 2ms

信号レベル, 基準パルス5V, 測定パルス2.5V

PPM繰返 : 160ms

PPM範囲 : 26±7ms(送受波器設置水深20m, 波高測定範囲±5mの場合)

b) 無線回線

周波数 : UHF 400MHz帯の1波

変調形式 : FM方式

送信電力 : 0.1W, 0.3Wを標準とする

占有帯域幅 : 16kHz

c) その他

送信局電源 : 18V, 450mA(送信時)

周囲条件 : 温度, -10℃~50℃

湿度, 30~90%

寸法・重量 : 520W×300D×200H(mm)
8.8kg

PPM範囲は、送受波器の設置水深と波高測定範囲に応じて変更される。現用USWでは設置水深は最大約50m、測定範囲は±15mである。

変調形式はPPM-FMである。一般にPPMの場合には主搬送波の変調形式をAMとしたPPM-AMが用いられる。これはPPM-FMがパルスの有無に関係なく連続して電力を送るのに対し、PPM-AMではパルスの存在している時間だけ送ればよいため余分な電力消費がないこと、PPM-FMでは伝送に広い帯域を使用することなどがその理由とされている。しかし、ここでは後述のPC

M-FM方式と組合せたPPM・PCM混合方式を想定して手法の統一をはかるためFMを採用している。

制御方式としては3.1(2)で述べたいずれの方法も可能である。しかし、観測局の省電力化を目的とした本方式では、観測局の時計とタイマーによる定時発信方式が適当であるといえる。また、省電力化されたことにより電源として重量・容積に対する容量効率が大で自己放電の小さい一次電池の利用が、海上観測塔などをベースとする場合には太陽電池、波浪発電機の利用が容易となり運用・保守の面で技術的・経済的に有効な手段となる。

(4) PPMによる場合の特長

各種の変調方式の中からUSWのテレメータとしてPPMを採用した理由は、USWの送受波器で取得される信号が既にPPM化された形のパルスであることも一つの理由であるが、最も大きな理由は次に述べるUSWの特長とする測定障害除去のための回路が、ほかの方式では有効に活用できないためである。

USWによる測定では、送受波器と海面を往來する超音波パルスの伝播経路に魚類、浮遊物、そのほか音響インピーダンスの異なる境界層が存在すると、音波はそこで反射して測定系に不正信号として入力される。この場合、送受波器部で得られる信号は図-3.9で示すように、発信パルスと海面エコーパルス間に不正反射による雑音パルスが介在する形となる。この雑音パルスが海面エコーパルスを検知するトリガーレベルを超えて入力されると、回路はこれを海面エコーと誤認して測定された海面波形は不正なものとなる。USWではこのような雑音パルスによる誤動作を防ぐ手段として、ゲート回路で構成される雑音パルス除去回路を備えており、雑音パルスが入力された場合でも正常な海面波形が得られるようになっている。

この不正信号除去のためのノイズ・ゲート回路は2種類あり、いずれもUSWの信号変換部に組込まれている。その一つは、ある限定された水深域内（送受波器と予想される最低水位面の間）からの反射信号の影響を除去するもので、図-3.4の動作波形図に示す掃引遅延ゲートがこれに相当する。これは発信パルスと海面エコーパルスの時間間隔に比例した直流電圧を得るためのミラー積分回路の立上り時点を、上記の限定された水深域内の超音波伝播時間に相当する一定時間だけ遅延掃引させるゲート回路である。これによって限定水深域内の反射信号は動作上すべて無視される。

ほかの一つは、測定された水位に自動的に追尾して比較を行い、その都度ゲートの動作時点を覚えて機能するゲート回路である。その機能は繰返し発信・受信される

超音波パルスによる測定水位を基準にして、その前後にあらかじめ設定された水位差に相当する時間幅を持ったゲートを測定繰返しの都度設定し、次の発信パルスによる反射信号をこのゲート回路を通して検知し、そのゲート時間内に受信された反射信号のみを有効とするものである。

図-3.10は上記2種のノイズ・ゲート回路の動作を説明するもので、aはUSWの測定範囲（可測最大水位偏差）、bは前者のゲートによる信号除去範囲、cは後者のゲートにより設定される可測範囲で、この範囲内に入力された反射信号のみが有効なものとして検出される。

USWのPPMテレメータでは、bの範囲を設定するゲートに相当するものは組込まれているが、それ以外の範囲からの反射信号は雑音パルスを含めてすべて監視局に伝送し、USWの信号変換部において上記のノイズ・ゲートにより雑音パルスの影響を排除している。

しかるに、ほかの変調形式では発信パルスと海面エコーパルスの時間間隔を、これに比例した周波数の変化（FMやパルス周波数方式）、パルスの振幅（PAM）、パ

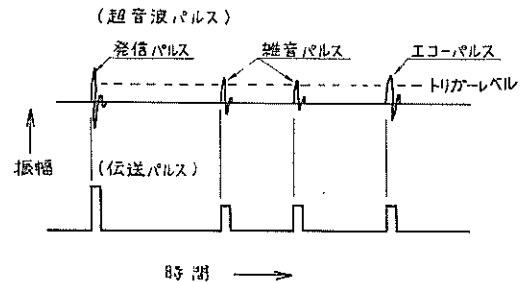


図-3.9 雑音パルスを含むUSWのPPMパルス

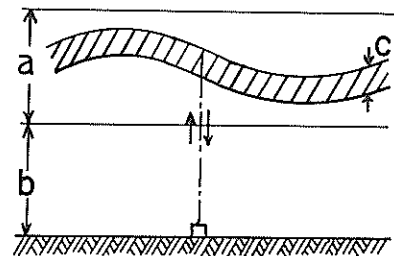


図-3.10 ノイズゲート動作説明図

パルス幅 (PDM) あるいは符号 (PCM) などに交換して伝送するため、トリガレベルを超える雑音パルスが存在すると誤った変換が行われる。このため変調に先立って海面エコーパルスと雑音パルスの弁別を必要とする。このことは機能的にみて雑音パルス除去回路を含む USW の信号変換部と同時機能を観測局側に要求するものであり、結果として当初の目的が達成されないことになる。

(5) PPM による多重化伝送

PPM などパルスの変調形式では、信号が時間的に不連続なので信号と信号の間の空時間を利用し多重伝送する時分割多重化が行われる。

時分割多重化は基本的に次のようにして行われる。図-3.11において各チャンネルの測定信号はコムテータと呼ばれる切換器 (マルチプレクサ、スキャナなどともいう) によって周期的に順番にサンプリングされ、パルス変調器によって各チャンネルのサンプリングされた信号の大きさに対応した被変調パルス列が作られる。伝送はこの直流のパルス列によって搬送波を変調して交流のパルスに変換して送られる。すなわち一つの伝送路の一つの周波数帯域を利用して、各チャンネルの測定信号が循環的に送られる。

受信側では交流パルスを復調して直流のパルスに変換したのち、送信側のコムテータと同期したコムテータによりそれぞれのチャンネルを分離し、各チャンネルごとに被変調パルス列を取り出し、変調に応じた復調器により元の測定信号に変換して出力する。

USW の PPM テレメータでは、送受波器部が送信側のパルス変調器に、USW の信号変換部が受信側のパルス復調器に相当する。すなわちコムテータで切換えられる前に既に PPM 化されており、通常のパルス変調と異なっている。

各チャンネルを切換えるコムテータの1周をフレームといい、送信側と受信側のコムテータの同期は、フレームごと同期用信号パルスを測定信号パルスと共に時分割多重化伝送して行うのが普通である。したがって1フレームは複数の測定チャンネルと最低1個の同期チャンネルより構成される。

上述のように時分割多重化は信号間の空時間を利用するものであるから、PPM による場合の多重化チャンネル数は、変調の繰返し周期と変調によるパルスの偏移時間幅によって制限される。ここで変調の繰返し周期は測定信号のサンプリング周期であり、よく知られているようにサンプリング定理にもとずき信号に含まれる最高周波数成分 f_c に対してサンプリング周期 Δt は

$$\Delta t \leq 1/2f_c \text{ [s]} \quad (6)$$

にとられるが、USW の PPM テレメータでは測定方式上サンプリングの操作は USW で行われ、その周期も USW での信号処理に関連して決定される。USW の測定繰返し周期は標準的に 100~200 ms とされている。

また、変調によるパルスの偏移時間幅すなわち変調時間は、測定出力のフルスケールと所要の伝送精度によって決められるのが普通である。しかし、USW では予想される最大波高時における送受波器と海面までの距離と超音波の海中伝播速度との関係により一義的に決定される。

いま、サンプリング周期 Δt を同じくする複数の信号を送るものとし、その最大変調時間を t_m とすると理論的に可能な多重化チャンネル数 N' は

$$N' = \frac{\Delta t}{t_m} \quad (\text{小数点以下切捨て}) \quad (7)$$

となる。このうち測定パルスを送るのに利用できるチャ

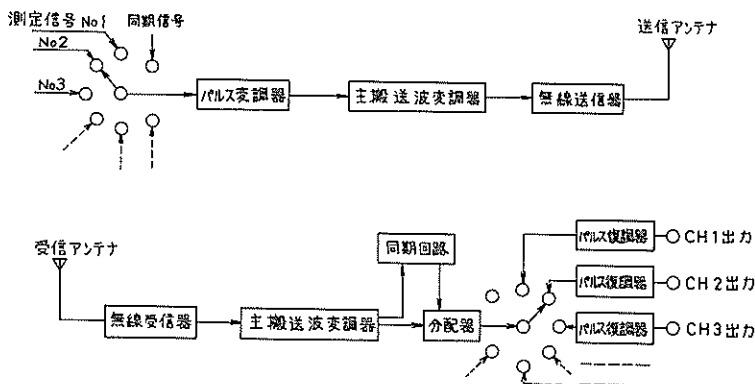


図-3.11 時分割多重化説明図

ネル数 N は、フレーム同期用パルスを送るためのチャンネル数を差引いたものであり、最大で

$$N = (N' - 1) = \frac{dt}{t_m} - 1 \quad (8)$$

となる。

USWのPPMテレメータでは、 dt に対して変調の占有時間が長いいため多重化できるチャンネル数は小さい。いま、USWの送受波器を基準とした海面の平均水位を、+50 m、波高測定範囲を潮位変化を含めて±15 mとすると、超音波の海中伝播速度を1500 m/sとして発信パルスと海面エコーパルスの時間間隔は、最小47 ms、最大87 msとなる。これにチャンネル間分離のために、最大水位時の海面エコーパルスと隣接チャンネルとの間に5 msの余裕時間をとると、 t_m に相当する変調の占有時間は92 msとなり、 dt を200 msとすると式(8)より $N=1$ となつて多重化は不可能となる。

ここでUSWの測定範囲すなわち実効的なPPM範囲が87-47=40 msであるところから、基準パルスに遅延をかけて実効的なPPM範囲だけを送るものとする、その後後に5 msずつ10 msの余裕時間をとったとして $t_m=50$ msとなる。したがって N は $(200/50)-1=3$ となり、伝送可能なチャンネル数は t_m と dt がUSWと同等以

下の情報として、USWを含めて最大3量となる。

3.3 PCM方式デジタルテレメータ

連続的な信号たとえば波高計などの検出器測定出力であるアナログ電圧信号を、所定の時間間隔で標本化(サンプリング)し、その時々々の信号の振幅をいくつかの段階で量子化(デジタル化)して、これをいくつかのパルスのオンとオフの組合せで表現される符号に変換することを、パルス符号変調(PCM)といい、その伝送方法をパルス符号伝送という。

PCM方式のテレメータは、連続的な信号が標本化と量子化の操作によって離散的な信号として伝送されることから、デジタル式という。

多重化の方式としてはほかのパルス変調方式と同様、時分割多重化が行われる。時分割多重化において、送信側でクロック・パルスにしたがって所定の順番で測定チャンネルを切換えて、循環的に情報を伝送する方式をサイクリック式といい、一般にPCMテレメータはこの方式がとられる。この方式はサイクリック・デジタルテレメータと呼ばれている。

(1) 基本構成

PCM方式テレメータの構成を図-3.12に示す。波高計などの検出器の測定値がアナログ電圧信号で出力され

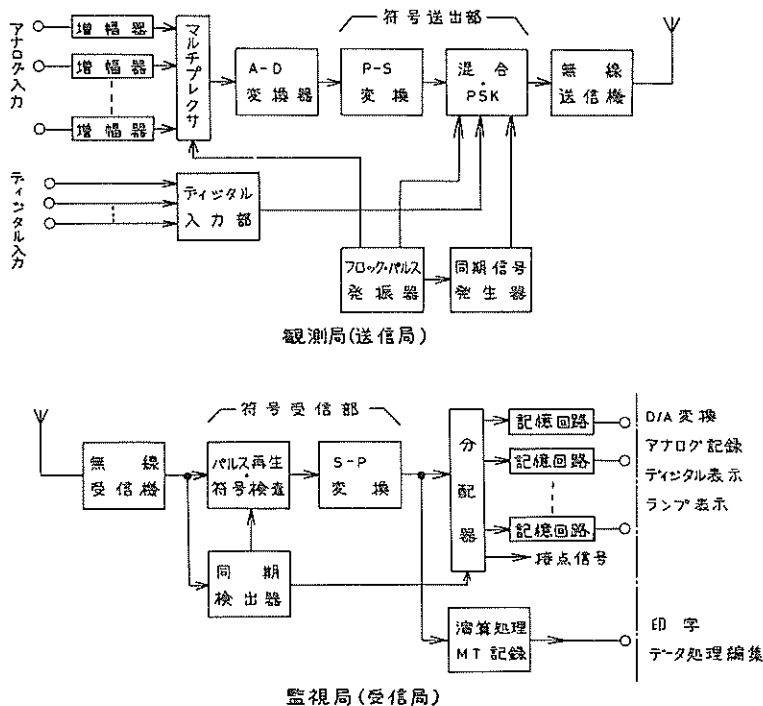


図-3.12 PCM無線テレメータの構成

る場合には、図-3.12において伝送は一般に次のように行われる。

各検出器に対してそれぞれ所定のチャンネルが割当てられる。種々のレベルを有する各検出器の出力は、各チャンネルごとに設けられた前置増幅器により基準化された所定のレベルに変換される。マルチプレクサはクロックパルスに同期して各チャンネルを周期的に切換えて順次走査し、アナログ電圧をサンプリングして符号器であるA-D変換器に入力する。A-D変換器(analog-to-digital converter)は入力されたアナログ値をデジタル化し、2進、2進10進(BCD)などの符号に変換し、一般に並列符号の形で出力する。

符号の伝送方法には、符号を構成する各ビットを順次送出する直列伝送と同時に伝送する並列伝送があるけれども、一般には直列伝送が行われている。したがって符号送出部ではA-D変換器出力を、P-S(並列-直列)変換して直列パルスの形式にする操作が行われる。

テレメータ装置に入力されるデータは、アナログ信号だけの場合もあるけれども、最初からデジタル信号になったデータあるいはパルスのオンとオフで表現される2値の信号もある。この場合は別に設けられたデジタル入力部を通して、伝送フォーマットに適合するよう処理を加えて符号送出部に出力され、アナログ信号によるPCM信号と混合される。

符号送出部では、このようにして得られたデータに伝送フォーマットに合わせてチャンネルアドレス符号、データアドレス符号、誤り検査符号、フレーム同期符号などのパルスを加え、伝送方式と伝送路の通信速度に適合したパルス形式とパルス幅をもつパルス列に変換する。

次に、このパルス列によって副搬送波を変調し、主搬送波を変調して無線回線により伝送する。副搬送波の変調にはFSK(周波数偏移)またはPSK(位相偏移)が、主搬送波の変調にはFMまたはPMが採用されている。

受信側では無線周波を復調して主搬送波を分離し、被変調副搬送を符号受信部に送り復調器により直流の直列パルスに変換する。このパルス列はS-P(直列-並列)変換したのち伝送単位ごとに中間記憶され、検査符号による誤り検査などを行い、誤りがあれば棄却またはフラグビットを付してその旨を表示し、分配器によって各チャンネルごとに区分してメモリに記憶する。こうして得られ各チャンネルごとのデータは、目的に応じてD-A変換器によりアナログ信号に変換して記録したり、10進値あるいは2値信号として表示器やプリンタなどに出力する。また、S-P変換したデータをそのままデジタル値として磁気テープに記録したり、データ・ロガーや電子計

算機に入力して直接処理することもある。

(2) パルス符号伝送の方法

連続的に変化する測定信号をPCMによって伝送する場合の情報は、図-3.13に示すように入力信号をサンプリングして得られた離散的な標本値(アナログ量)を、さらに量子化の操作によりいくつかの段階の値(デジタル値)に変換して、それを符号化した完全に離散的な情報として伝送される。受信側では符号を復号の操作により標本値に相当するパルスの振幅に戻し、これをフィルタを通して元のアナログ信号の形に変換する操作が行われる。

したがってPCMによって伝送される情報容量は、サンプリングと量子化の間隔と、それによって得られたデータを符号化する符号の形式によって決まり、伝送路としてはこの情報を伝送できる情報容量(伝送速度)をもつものが必要となる。

a) 標本化・量子化と情報容量

サンプリングの操作はPCMに限らずほかのパルス変

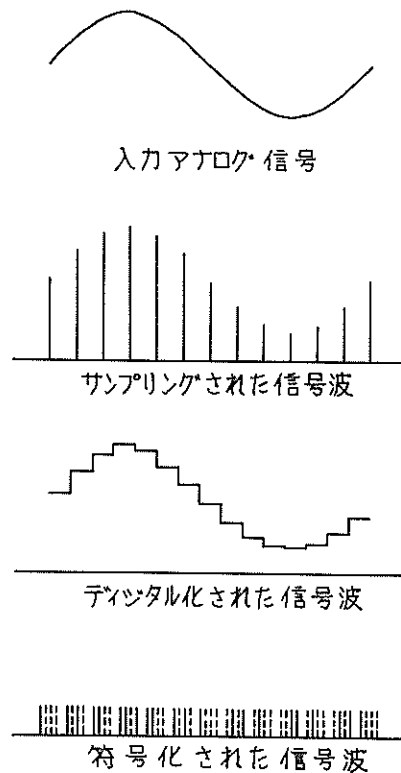


図-3.13 PCMの信号波

調でも行われるが、連続して変化する信号をサンプリングすれば、そこに含まれている情報のうちのある部分は失われてしまう。その連続信号が時間の関数であれば、サンプリングの間隔によって決まるある周波数より高い周波数成分は捉えられないということになる。そこで高周波数成分まで捉えるためにはサンプリング間隔を小さくすることが必要となる。この間隔を決める根拠がサンプリングの定理である。

周知のようにサンプリング定理によれば、連続的な時間関数 $f(t)$ の周波数スペクトル(フーリエ変換)が $0 \sim f_c$ の範囲内であって f_c 以上の成分を含まなければ、 $f(t)$ を

$$\Delta t = \frac{1}{2f_c} \quad [\text{s}] \quad (9)$$

の間隔でサンプリングし、得られたサンプル値の系列を遮断周波数 f_c の理想低域フィルタを通して平滑すれば、もとの連続的な時間関数に再現される。ここで遮断周波数 f_c の理想低域フィルタは図-3.14に示す特性のものであり、実際にはこのような理想フィルタは得られないし、また現象の周波数成分も有限ではない。そこで一般には帯域通過フィルタによって入力信号の周波数帯域を制限したり、また入力信号の周波数成分を考慮して f_c を定め、 Δt としては一般に式(9)の値より小さめにとられる。パルス変調テレメータでは一般に

$$\Delta t \leq \frac{1}{2.5f_c} \quad [\text{s}] \quad (10)$$

として選定している¹⁵⁾。

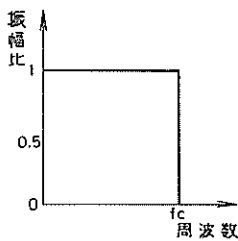


図-3.14 理想低域フィルタ

波浪観測データでは、サンプル値を量子化して得られたデジタル直系列を直接またはD-A変換器で波形信号に変換して、波形のピーク値(振幅、時間について)を読み取って処理することが多い。このような場合には入力波形信号の振幅・周期と量子化レベルを考慮して、 Δt を波形信号の卓越成分(たとえば有義波高)の周期の

$1/10 \sim 1/20$ にとることが提案されている¹⁶⁾。もっとも、波形のピーク値を前後3点のデータから放物線のあてはめで推定する場合には、 Δt を卓越周期の $1/7 \sim 1/10$ にとることができる³⁴⁾。

このようにして得られたサンプリング値は次に量子化される。この量子化に伴ってひずみと雑音(量子化ひずみ・雑音)を伴い誤差となって表われるが、量子化レベル数を増せば実用上さしつかえない。たとえば信号のフルスケールを10ビットで量子化すればその誤差は約0.1%であり、アナログ測定による誤差に比べてほとんど問題ない。ただし、信号の平均的な振幅が小さい場合には相対誤差が問題となるので注意が必要であり、波浪データのピーク値処理においても Δt を含めて検討する必要がある¹⁶⁾。

量子化された値は符号パルスに変換されて伝送される。いま測定信号のフルスケールを n 分割し、これをパルスのオンとオフを1と0に対応させた2進符号で送るものとする、符号を構成するパルスの個数 m は

$$m = \log_2 n \quad [\text{bit}] \quad \text{小数位以下切上げ} \quad (11)$$

となり、サンプリング周期を Δt (s) とすれば PCM 信号の情報容量 C は次式で表わされる。

$$C = \frac{1}{\Delta t} \cdot m \quad [\text{bit/s}] \quad (12)$$

また符号を構成するパルスの個数 m は、個々のサンプリング値の量子化誤差の許容値を信号のフルスケールの $\pm \epsilon$ % とすれば、次式によって求められる¹⁷⁾。

$$m = \log_2 \left(1 + \frac{100}{2\epsilon} \right) \quad [\text{bit}] \quad (13)$$

(小数位以下切上げ)

ここで、サンプリング周期 Δt を同じくする N チャンネルの情報多重伝送するものとし、フレーム同期のためのチャンネル数を1とすると、伝送すべき情報容量 C_N は次式の値となる。

$$\begin{aligned} C_N &= (N+1) \frac{1}{\Delta t} \cdot m \\ &= (N+1) \log_2 \left(1 + \frac{100}{2\epsilon} \right) \quad [\text{bit/s}] \quad (14) \end{aligned}$$

したがって、伝送路の所要通信速度は理論的に最低 C_N となるが、実際の伝送ではデータのチャンネル・アドレスや伝送誤まりの検査符号等を構成するパルスを同時に送るため、冗長性をもたせる必要があり C_N より早い速度を必要とする。

b) スーパー・サブコムミュテーション

伝送路の通信容量は変調形式によって異なり、伝送路

の帯域幅と信号対雑音比に関係する。一般的にいて高速なものほど広い帯域を必要とする。多重伝送を行う場合の実際上の問題として、種々の測定対象の中には変動の早いものも遅いものもある。いま伝送しようとするすべてのチャンネルの測定信号をその内の最高周波数成分をもつ信号に応じた周期でサンプリングすることは、情報量が必要以上に多くなるだけでなく伝送路として高速なものを要求し、回線利用の面で得策でない。

このような場合サイクリック・デジタルテレメータでは、変動の早い測定信号に対しては1フレームの内に等間隔に配置した複数個のチャンネルを割当て、1フレームの内に数回走査する方法が、逆に変動の遅いものはこれを一まとめにして1～数个のチャンネルを割当て、複数フレームごとに1回ずつ走査して伝送する方法がとられる。前者をスーパー・コムテーション、後者をサブ・コムテーションという。

テレメータを利用したシステムでは、観測局を構成する機器あるいは施設の状態を検知し、その状態を監視局に伝送して表示・警報する遠隔監視を必要とすることが多い。たとえば観測塔の保安用灯標の点・不点、電源ヒューズの熔断の有・無、観測計器の動作制御スイッチのON・OFF、観測室扉の開・閉などがあげられる。

このような2値で表現できる状態を遠隔表示する方法として、監視信号を一つの共通伝送路を利用して短時間間隔で次々と切換えて、すなわち多重化して伝送する方法がある。この遠隔監視表示の方法はスーパービジョンと呼ばれ、アナログ量を伝送するテレメータとは別な分野として行われてきた¹³⁾

しかしこのような2値状態の監視信号(以下略してSV信号と呼ぶ)は、パルスのオンとオフといった1ビットで表現できるところから、デジタルテレメータでは測定信号とSV信号を一元化して伝送する方法がとられる。手法的にはデータ・ワードの中の適当な空パルスを利用したり、1ワードを構成する各ビットをSV信号に割当てる方法、1チャンネルを使用してサブ・コムテーションを施してさらに多数のSV信号を切換えて伝送する方法がとられる。

c) 伝送符号形式

伝送に用いる符号形式としては、自然2進符号と2進化10進符号が用いられることが多い。このほかにも単位距離性符号(交番2進符号など)、 s_0C_2 符号などが用いられている。どの符号を用いるかはシステムの方式、データの種類、データ量あるいは桁数、受信データの処理方法などを考慮して決めることが必要である。

沿岸波浪観測テレメータでは、多量の波形データを直

接伝送して記録・処理するところから、自然2進符号と2進化10進符号が利用されている。伝送効率の点からは所要のデジタル値を最小のビット数で表現できる自然2進符号が有利であるが、伝送データを直接10進値で表示・印字する場合には2進化10進符号が有利であるといえる。一般に波高計などで得られた波形データの伝送には自然2進が、多要素・多形式のデータを伝送する場合には2進化10進が使用されている。

符号はその形式に応じていくつかのビット(2進パルス)で表現される。このビットの伝送方法には、符号の各ビットを時間的に順次伝送する直列伝送と、伝送帯域をいくつかのサブチャンネルに分け、各チャンネルに符号の各ビットを割当てて同時に伝送する並列伝送の方式がある。一般に直列伝送によるものが多く、波浪観測テレメータも全て直列伝送方式である。

符号ビットの“1”、“0”は、パルスの状態によって表現されるが、その表現形式にも種々の方法がある。代表的なものとしてビットの“1”、“0”をパルスの“長”“短”に対応させる長短符号、パルスの“あり”、“なし”に対応させる等長符号がある。また、そのパルス形式にも符号パルス間に間隔を置かないNRZ(non return-to-zero)符号と、間隔を置くRZ(return-to-zero)符号がある。この組合せによる表現の1例を図-3.15に示す。

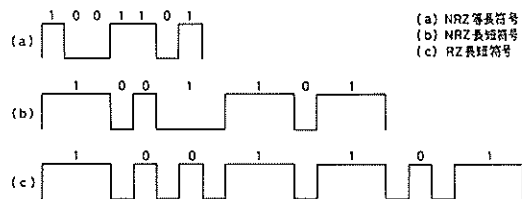


図-3.15 符号ビットの表現形式の例

伝送効率の点からは伝送時間が短くてすむNRZ等長符号が有利である。また、RZ等長符号は伝送上の符号ひずみ(符号パルスの時間幅の変動)によるビット誤り率を減少させる点で優れている。波浪観測テレメータは伝送効率の点からNRZ等長符号が用いられている。伝送データ量の少ないほかの分野のテレメータでは、RZまたはNRZ長短符号が用いられているものも多い。

d) 誤りの検出と訂正

PCMの特長の一つとして伝送路上での雑音の影響を

受けにくいと誤差が少ないことがあげられる。これは受信側では伝送されてきたパルスの有無のみを検出するだけでよく、これが別な符号に誤る確率（ビット誤り率）が小さいことがその理由である。しかし、誤りが発生すると、そのビット位置によっては大きな誤差を生じることになる。このため一般に伝送路と符号に冗長度を持たせ、誤り検出と訂正を行う方法がとられる。

誤り検出方式としては、伝送符号群に誤り検出機能を持たせた冗長ビット（検査ビット）を加えて伝送し、受信側において符号群の状態を調べるパリティチェック（奇・偶検査）方式、同一の符号または符号パルスの1と0を反転した相補性のデータを2回送って、同一性または相補性を検定する連送照合（または反転連送照合）方式、受信された符号を送信側に送り返して誤りを検定する返送照合方式などが使用されている。

パリティチェックは、キャラ送信側でパリティ符号群ごとに符号のマーク（パルスの有の状態）数が常に奇数（または偶数）になるように、送信側でパリティ符号をマークまたはスペースとして加え、受信側で奇数（偶数性）を検定するもので垂直パリティ、水平パリティ、水平垂直パリティなどの方法がある。

実際の伝送では各方式が単独または適宜組合せて用いられる。波浪観測テレメータではキャラクタごとの垂直パリティチェック、ブロックごとの水平垂直パリティチェック、反転連送照合方式が用いられている。返送照合方式は波形の実時間伝送では使用されていない。

検出した誤りの訂正方式として、伝送データ量が少ないテレメータでは時間的に余裕があるので、受信側からの要求によって同じデータを再送する方式を採用することが多い。しかし、波形信号を実時間伝送するテレメータには再送方式は不適当であり採用されない。このような場合一般に誤りデータは棄てられる。

このようにPCM方式は複雑であり、装置もまた高価である。しかし、伝送上量子化あるいは符号化したのちの送信信号と受信された数値化された信号の間には、伝送路の状態によって確率的に発生するビット誤りを除いて誤差が介入しないという測定上の特長があり、その誤り率も誤り検定によって減らすことができる。また、デジタル処理にも向いているなどの特長がある。

(3) PCMテレメータの例

PCM無線テレメータの使用例として関西国際空港調査におけるMT局（大阪湾泉州沖海上観測塔局）がある。ここでは400MHz帯の無線回線を使用して、海上観測塔で観測された23量の計測データと41項目のSV信号

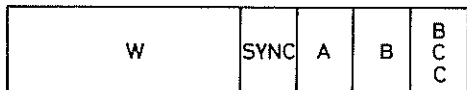
をサイクリック・デジタル方式で伝送している。また、観測の目的と状況に応じて陸上監視局からの制御により観測項目と観測時間を選択する方式がとられている。

テレメータ装置の規格・性能の要目を次に示す。

伝送回線	400MHz帯の1波
通信方式	半2重通信方式
テレメータ方式	PCM サイクリック・デジタル方式
信号伝送	
変調方式	PSK, 4相差動位相変調
副搬送波	1800 Hz
通信速度	2400 bit/s
符号形式	NRZ等長符号
同期方式	独立同期式
符号単位	16単位(16ビット/1ワード)
符号検定	水平、垂直パリティチェック
伝送制御	
起動制御	監視局ポーリング方式
選択制御	制御1ワードによるビット・ポジション対応制御
選択内容	観測時間選択：2項目 観測項目選択：12項目 保守項目選択：2項目
計測データ伝送	
チャンネル	構成：サブコンピューターション アナログ入力：24 CH(実装23 CH) 接点入力：45 CH(実装41 CH)
入力信号	アナログ入力：0～1V/F.Sおよび0～±1V/F.S 接点入力：無電圧a接点
データ内容	アナログ入力：計測データ(0.1秒サンプリング10量、1秒サンプリング5量、5秒サンプリング11量) 接点入力：SV信号、41量
符号構成	計測データ：BCD3桁、1ワード/1データ、パリティ・オーバースケール・フラグの各ビット付 SV信号：パリティ付16ビット/1データ、各ビットポジション対応

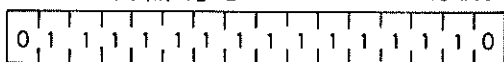
a) 制御方式

観測局での計測およびデータの伝送は監視局からの呼出しで行われ、観測の方法と時間についての制御内容と観測項目が指定される。呼出し信号は図-3.16に示す符号で構成されており、局番符号により観測局が指定され、制御符号を構成する1ワード16ビットのうちパリティビットを除く15ビットの各ビットポジションに対応し

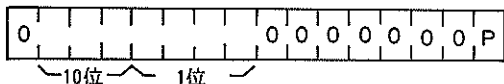


W : 予熱(長スペース) 約 0.4 秒

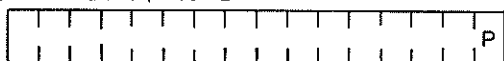
SYNC : 同期信号 16 bit



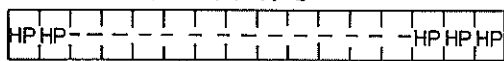
A : 局識別符号



B : 制御符号



BCC : フロックチェック符号



HP : 水平パリティチェックビット

図-3.16 呼び出し符号の構成(例)

た15項目の制御内容が単独あるいは組合せて指定される。

b) 計測・監視データの伝送

計測データとSV信号は、1フレームを1ブロックとして図-3.17に示す符号構成で送出している。

計測・監視データTEXTは、伝送データの内容と量に応じてスーパーあるいはサブコンピュータを施して適当な長さに選ばれる。ここでは計測データ24項目が高速サンプリングデータ(0.1秒サンプリング)10項目、中速サンプリングデータ(1秒サンプリング)2項目、低速サンプリングデータ(5秒サンプリング)12項目に区分されるところから、図-3.18に示すように1フレを12チャンネルとし、その内10チャンネルで高速データを残りの2チャンネルにサブ・コンピュータを施して中・低データとSV信号を送出している。全データを送出する1サイクルは50フレームである。

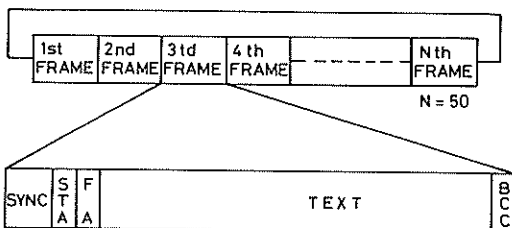
計測データは各チャンネルの1データを16ビット/1ワー

ドとし、BCD(2進化10進)3桁で表現している。またSV信号には3ワードが割当てられ、各ビットポジションに対応した45項目が低速データのサンプリング周期に合わせてサブコンピュータチャンネルで送出される。

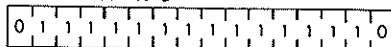
1フレームの送出時間は1フレームを構成する符号ビットの総数とデータ伝送速度(ビット/秒)によって決まる。しかし、データを実時間伝送する方式のテレメータでは、1つのチャンネルについて必要とする伝送繰返し周期すなわちデータのサンプリング周期に等しい時間であることが条件となる。したがって、伝送路の通信速度はこれを満足するものが必要となる。ここでは1フレームは図-3.18のように240ビットで構成されており、1チャンネルについてサンプリング周期の最小値は0.1秒であるから通信速度は2400ビット/秒となっている。

c) データ誤りの検査

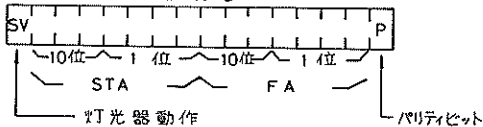
伝送回線上での符号誤りについては、各データワードごとにパリティ検査ビットを付して垂直パリティチェック



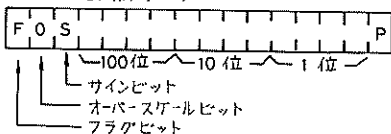
SYNC : 同期符号



STA/FA : 局識別符号



TEXT : 計測データ



BCC : フロックチェック符号

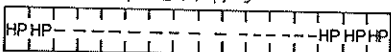


図-3.17 計測データの構成(例)

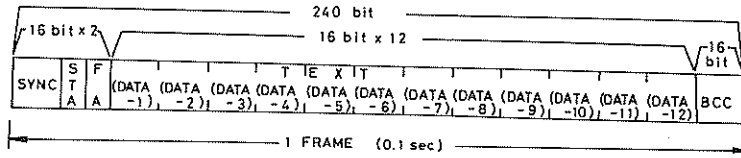


図-3.18 フレーム構成(例)

クを、1ブロックごとにブロックチェック符号により水平パリティチェックを行っている。

また、各フレームごとにBCD2桁で表現される局番符号とフレームアドレスを1ワードとして送出し、監視局において照合を行っている。そのほか各計測データに計測器が保守中であることを示すフラグビット、測定範囲を超えた測定電圧が入力されたことを示すオーバースケール表示ビットなどを付し、受信データの可・否を判定している。

3.4 PPM・PCM混合方式

多項目の同時観測テレメータでは、回線コストの低減を含め伝送回線の効率的利用の見地から多重化伝送方式がとられる。しかしながら、USWによる波浪観測を含むシステムにおいて、USW測定値の伝送にPPM方式を利用する場合は3.2で述べたように多重化の密度が大きくとれないため余り多くの情報を送ることができない。このような場合の対策手法として開発されたのがPPM・PCM混合方式による無線テレメータである。

(1) 基本的手法

PPMとPCMは共にパルスの変調形式であり、多重化の方式も同じ時分割の方法がとられる。したがって、USWのPPM信号の繰返しの空時間を利用してPCMを行えば、同一の伝送路を使用して多数の情報を伝送することが可能であり、PCM符号パルスとPPMパルスの幅を同じにすることによりその混合は容易に実現され、PPMの伝送帯域を使用して伝送することができる。

たとえば、1台のUSWの測定値を含むいくつかのデータを伝送するものとし、USMはPPMで、そのほかのデータはPCMによるものとすれば次のように考えられる。

USWの設置水深を50m、波高測定範囲を±15m、測定の繰返しを5回/秒、信号パルスの幅を2msとすると、超音波の海中伝播速度を1500m/sとしてUSW測定伝送のためのPPM信号の占有時間は、最大波高時の水深50+15=65mにおいて200msごとに約87msとなる。ここで伝送を実効的なPPM範囲であるUSWの測定範囲±15mに限定すれば、PPM時間は約40msとなるので空時間は200-40=160msとなり、この時間がPCMに

使用できる。

一方、PCMによる伝送データの符号構成をサインビット+10ビットとし、各データごとに4ビットのデータアドレスと1ビットのパリティ検査ビットを付加するものとする、情報ワードは16ビット構成となる。これをワード単位で伝送するものとし、1ビットを構成するパルスの幅をPPMと同じ2msとするとPCM情報の1ワードは16×2=32msとなり、160msの空時間に5チャンネルのPCM情報チャンネルを置くことができる。実際には1フレームごとにフレーム同期のためのワードが必要であるから、1フレームはPPM1チャンネルとPCM4チャンネルとなる。また伝送する測定値の中に応答の遅い現象が多数含まれる場合には、これを一まとめにしてPCM1チャンネルにサブコミュニケーションを施して伝送すれば、より多くの伝送が可能となる。

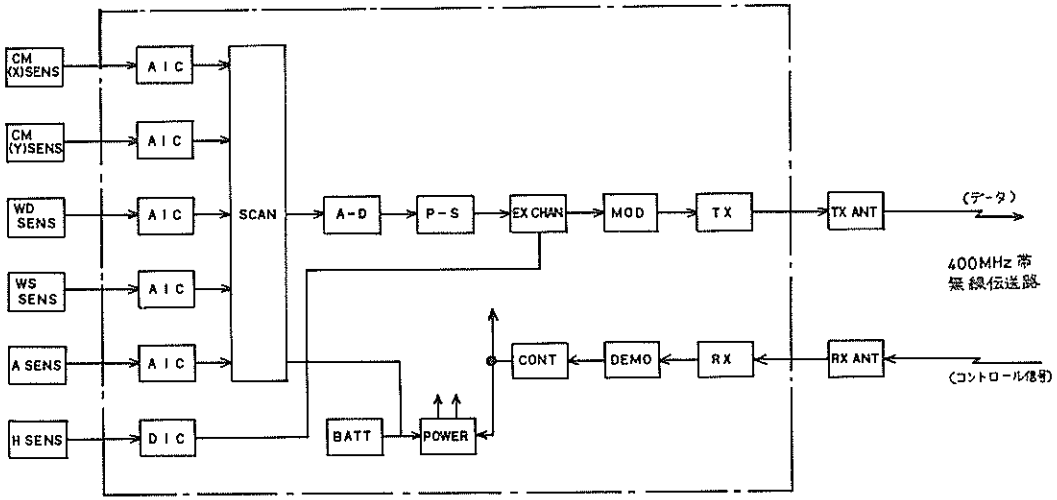
上述の検討は、USWの測定範囲を±15mとした場合であるけれども、測定範囲がこれ以下の場合にはそれに応じて空時間が長くなりPCMチャンネルの増加が見込まれる。また、パルス幅は2msとしたが伝送回線上ではこれを1.25ms程度(約800BPI)にして伝送することも可能であり、これによりPPMの余裕時間とPCMチャンネルの増を見込むことができる。

(2) PPM・PCM方式テレメータの例

この検討内容を現地波浪観測に適用し、USWの測定信号にPPM1チャンネル、波向計の2成分出力にPCM2チャンネルを割当て、潮位・風向・風速・予備の4項目をPCM1チャンネルにサブ・コミュニケーションを施して伝送するものとする、図-3.19(a),(b)の回路構成と図-3.20の伝送フォーマットが考えられる。

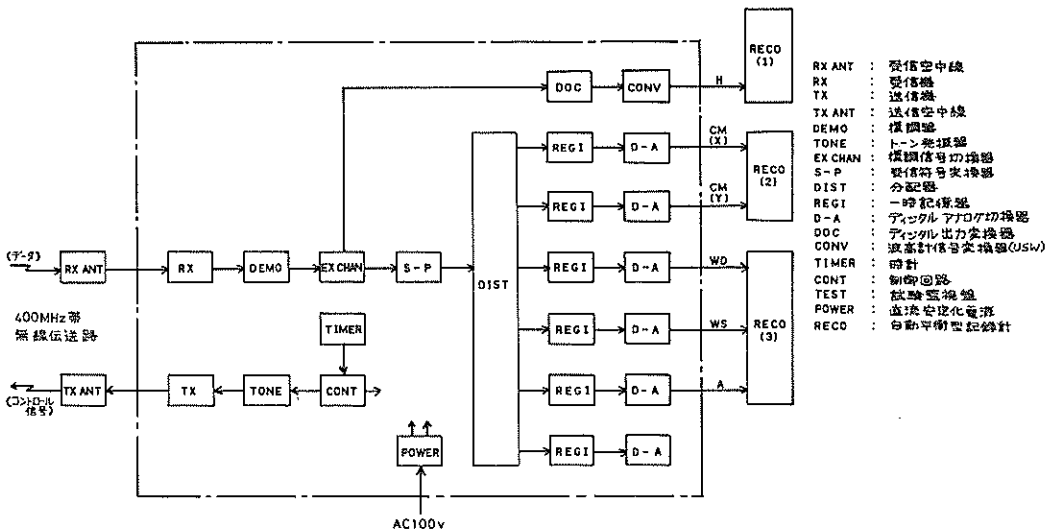
この例では、伝送上PPM情報は波高測定範囲を伝送するようになっている。このためUSWの信号の伝送は測定基準パルスから一定時間遅延した位置から行われる。ここでは図-3.20のフレーム構成に示すようにUSWの測定水深に応じて伝送位置を変え、その前のフレーム同期ワードあるいはPCMデータの伝送時間内に基準パルスを置くようになっている。またSV信号を伝送する場合は、予備チャンネル1ワードのデータビットを使用して11

項目の伝送が可能となる。



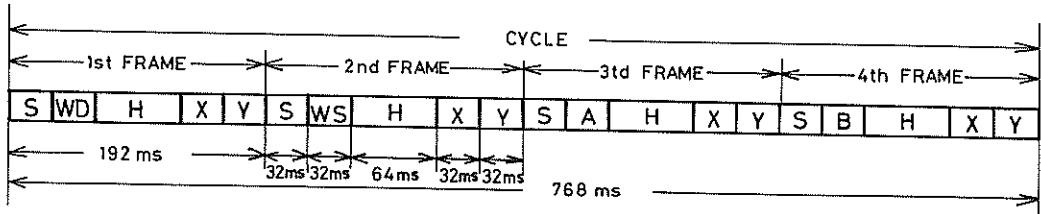
- | | |
|------------------------|-----------------|
| CM(X)SENS : 流速 X成分センサー | RX ANT : 受信空中線 |
| CM(Y)SENS : 流速 Y成分センサー | RX : 400MHz帯受信機 |
| WD SENS : 風向センサー | DEMO : 復調器 |
| WS SENS : 風速センサー | CONT : 制御回路 |
| A SENS : 予備センサー | TEST : 試験監視盤 |
| H SENS : 波高センサー | BATT : 電池 |
| AIC : アナログ入力変換器 | POWER : 直流安定化電源 |
| DIC : デジタル入力変換器 | |
| SCAN : 走査器 | |
| A-D : アナログデジタル変換器 | |
| P-S : 送信符号変換器 | |
| EX CHAN : 変調信号変換器 | |
| MOD : 変調器 | |
| TX : 400MHz帯送信機 | |
| TX ANT : 送信空中線 | |

図 - 3. 19(a) PPM・PCM混合方式の回路構成例 (観測局)

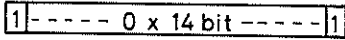


- | |
|----------------------|
| RX ANT : 受信空中線 |
| RX : 受信機 |
| TX : 送信機 |
| TX ANT : 送信空中線 |
| DEMO : 復調器 |
| EX CHAN : 復調信号の増幅器 |
| S-P : 送信符号変換器 |
| DIST : 分配器 |
| REG1 : 一時記憶器 |
| D-A : デジタルアナログ変換器 |
| DOC : デジタル出力変換器 |
| CONV : 波高計信号変換器(USW) |
| TIMER : 時計 |
| CONT : 制御回路 |
| TEST : 試験監視盤 |
| POWER : 直流安定化電源 |
| RECO : 自動平衡型記録計 |

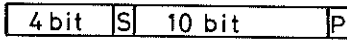
図 - 3. 19(b) PPM・PCM混合方式の回路構成例 (監視局)



S : 同期ワード

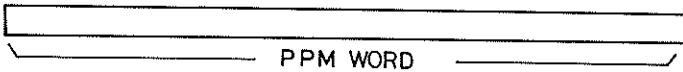


WD, X, Y : データワード



ADDRESS DATA

H : 波高データワード



フレーム構成

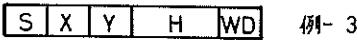
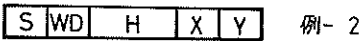


図-3.20 PPM・PCM混合方式の伝送フォーマットの例

4. 遠隔地点間データ伝送とテレメータ

沿岸波浪観測におけるテレメータリングは、まえがきおよび本文中でも述べたように、伝送方式上の技術的制約と伝送路の確保といった理由から、伝送距離が数 km から 10 数 km の比較的近距离の測定に適用されてきた。

しかし、近年のように観測の広域化、多様化に伴い測定点が多点・広範囲に展開されるようになると、観測局と監視局間の距離も増大し、これまで一般に行われてきたテレメータによる信号伝送範囲を超えて数 10 乃至数 100 km といった遠隔伝送・機器制御を必要とする場合がある。また、遠隔多点の観測局を 1 つの観測局で集中制御して、データを取得・収集する必要性も生じてくる。一方、情報利用の立場からはデータの即時的利用の要求が増大しており、これに対処するため遠隔地点の観測データをオンラインで収集し、処理・解析して活用を図る必要性も生じてくる。

このような遠隔・多地点間にわたるテレメータリングでは、これまで沿岸波浪観測とられてきた手法をそのまま適用することは困難または不可能であることが多く、これに替る遠隔データ伝送の導入が要求される。また、情報の即時活用を考慮した場合には、測定データの収集から解析・処理および処理された情報の伝送までを含めた、電子計算機とのオンラインシステムであるデータ通信の導入が要求される。

ここでは、これらの要求に添って実用化を進め、現地観測への導入を図ってきた遠隔地点間無線テレメータとその基本的技術であるデータ伝送について述べる。ここで、データ伝送とは“機械により処理されるべき、あるいは処理された情報の伝送”という定義がなされている（CCIT、国際電信電話諮問委員会の提案による）。したがって、テレメータもデータ伝送の内に含まれる。

また、データ伝送という言葉に対して、最近ではデータ通信、あるいはデータ通信システムという言葉が広く使われている。これは電子計算機と通信回線の結合から

生れた概念で、遠隔地点に分散しておかれた端末を、通信回線により中央の電子計算機に集約して接続したオンラインシステムにおいて、データの伝送、交換、処理を行うものとして、データ伝送を含めたより広い範囲の意味で使われているけれども、ここでは通信回線を利用して情報を伝送する狭い意味でのデータ伝送の技術について述べる。

4.1 データ伝送路

遠隔地点間にわたる信号の伝送は、技術的には無線テレメータのところで述べた搬送通信の技術を応用することで可能であり、通信方式、信号伝送方式、制御方式なども、使用する伝送路の特質による制約を除いて全く同様の方法を用いることができる。したがって、当然のことながら伝送路としては有線、無線あるいはそれを混合した通信回線を利用することができる。しかし、遠隔地点間にわたるデータ伝送が技術的には可能であるとしても、実際の問題として数10～数100 kmにもおよぶ伝送路を建設するには莫大な経費を必要とし、さらに建設用地の確保、建設後の維持管理の労力と経費などを考えた場合現状の沿岸波浪観測体制においてこのような遠距離伝送路を自前で建設・維持することは不可能であるといえる。

また、たとえその距離が数10 km以下であっても、伝送路が山岳地帯や市街地を経由する場合には、無線による場合はともかくとしても有線による場合は相当困難であり、実現の可能性は極めて少ないといえる。したがって、遠隔地点間のデータ伝送・機器制御を行うためには自前の伝送路に替わる一般的に利用可能な伝送路の確保が必要、不可欠な要件となる。

現在、我が国において全国的な規模で一般的に利用可能なデータ伝送のための通信回線としては、日本電信電話公社（以下、電電公社と略す）がデータ通信用として一般にサービスを提供（電電公社ではこう表現している）している通信回線がある¹⁹⁾。

(1) 通信回線の種類

電電公社の通信回線は、昭和46年9月の公衆電気通信法の一部改正により新たにその使用が一般に開放されたものである。電電公社が提供するこの通信回線サービスには、公衆通信回線サービスと特定通信回線サービスと呼ぶ種類があり、いずれも電電公社との使用契約によって定められた基準の範囲内で使用できるデータ通信用の回線であり、利用者がその端末に電子計算機等（計算機本体、入出力装置、その他の機器）を設置して利用できるものである。しかし、その内容は次のように異なる。

a) 公衆通信回線

加入電話交換網（一般の電話回線）や加入電信交換網

（テレックスなどの回線）の回線をデータ伝送の伝送路に使用するもので、通信路の途中に交換機（網）が介入するため、通信に際してダイヤル接続により端末装置を回線に接続して利用する方法がとられる。このため回線の経由ルートは不定であり、したがってその品質も一定しない。

b) 特定通信回線

利用者が指定した区間に設けられる直通のデータ通信回線で、回線の端末に利用者が電子計算機等を接続してオンラインで回線を専有して利用できるものである。

沿岸波浪観測テレメータのように、一定の時間間隔で定められた時刻に観測を行い、測定信号を実時間伝送する方式では、回線内容からみて特定通信回線が利用されることになる。

特定通信回線には回線規格によって区分されたいくつかの種類があり、その線路構成も様々であるが、基本的構造は一般の電話回線と同じである。周知のように、我が国の電話回線は全国的に敷設されており、沿岸波浪観測にこれを利用することは比較的容易であるといえる。

(2) 特定通信回線の種類

特定通信回線の種類は回線規格によって区分されており、開放当初はA～D、I、Jの6規格、8種別であったが53年3月の改正により帯域品目と符号品目に区分され、それぞれ伝送可能な周波数帯域幅とデータ符号の伝送速度（データ信号速度）によって、表-4.1に示す規格、種別のものが提供されている。

符号品目は、もっぱらデータの伝送に使用する場合に限り提供されるものである。データの伝送は50 bit/sの回線を使用した特殊な直流方式による場合を除いて、伝送路上では交流信号（周波数信号）として伝送される。

帯域品目は、2以上の通信形式の混合使用が可能な回線として提供されるもので、たとえば、データの伝送と通話を同一回線で行う場合などに使用される。混合使用の方法には次の二つの方法がある。

① それぞれの規格に応じた伝送可能な周波数帯域を分割して、2以上の通信形式を同時に使用する方法。

② 2以上の通信形式を交互に切替えて使用する方法。

D-1、D-1s、I-1およびJ-1の各種別は、①の同時使用と②の切替え使用のいずれの方法も可能な回線である。また、D-5、D-7、D-9、D-13およびI-3の各種別は、②の切替え使用のみが可能な回線である。

(3) 特定通信回線の特性

特定通信回線の特性については、電電公社より“特定通信回線利用のための技術参考資料²²⁾”が発刊されており、回線形態、回線構成、伝送特性、電気的特性、インター

フェースなど特定通信回線の技術的内容が示されている。開放当時の提供種別について、その一部を要約したものを表-4.2に示す²⁰⁾。

表-4.1 特定通信回線の種類

区分	品名		内容
	規格	種別	
帯域製品	D規格 (3.4キロヘルツ)	D-1 (帯域使用)	通常0.3キロヘルツから3.4キロヘルツまでの周波数帯域を伝送することが可能なもの。
		D-1S (帯域使用・特)	通常0.3キロヘルツから3.4キロヘルツまでの周波数帯域を伝送することが可能なものであって、伝送特性に関する補正をしたもの。
		D-5 (1,200ビット/秒符号伝送)	1,200ビット/秒以下のデータ伝送が可能なもの。
		D-7 (2,400ビット/秒符号伝送)	2,400ビット/秒のデータ伝送が可能なもの。
		D-9 (4,800ビット/秒符号伝送)	4,800ビット/秒のデータ伝送が可能なもの。
		D-13 (9,600ビット/秒符号伝送)	9,600ビット/秒のデータ伝送が可能なもの。
目	I規格 (48キロヘルツ)	I-1 (帯域使用)	通常60キロヘルツから108キロヘルツまでの周波数帯域を伝送することが可能なもの。
		I-3 (48キロビット/秒符号伝送)	48キロビット/秒のデータ伝送が可能なもの。
	J規格 (240キロヘルツ)	J-1 (帯域使用)	通常312キロヘルツから552キロヘルツまでの周波数帯域を伝送することが可能なもの。

区分	品名		内容
	規格	種別	
符号製品	50 b/s	50ビット/秒以下のデータ伝送が可能なもの。	
		100 b/s	100ビット/秒以下のデータ伝送が可能なもの。
		200 b/s	200ビット/秒以下のデータ伝送が可能なもの。
		1,200 b/s	1,200ビット/秒以下のデータ伝送が可能なもの。
		2,400 b/s	2,400ビット/秒のデータ伝送が可能なもの。
		4,800 b/s	4,800ビット/秒のデータ伝送が可能なもの。
		9,600 b/s	9,600ビット/秒のデータ伝送が可能なもの。
目	48 K b/s	48キロビット/秒のデータ伝送が可能なもの。	

表-4.2 特定通信回線の技術的内容²⁰⁾

項目	A-1	B-1	C-2	D-1	D-5	D-7
通信速度、周波数帯域	50 b/s 以下	100 b/s 以下	200 b/s 以下	300~3400 Hz	1200 b/s 以下	2399.76 b/s 以上 2400.24 b/s 以下
誤り率	1×10^{-4} 程度 (誤字)	1×10^{-4} 程度 (誤字)	1×10^{-5} 程度 (ビット)	なし	1×10^{-5} 程度 (ビット)	1×10^{-5} 程度 (ビット)
最大チャネル接続回数	3回	3回	2回	6回	2回	1回
最大分岐回線数	1回線	1回線	5回線	5回線	5回線	5回線
MODEMの自営、直営区分	—	—	直営	自営	直営	直営
回線保護装置の設置の有無	有	有	無	有	無	無

(4) 特定回線の選択基準

表-4.1に示すように特定通信回線の規格、種別は、伝送可能な帯域幅とデータ信号速度で区分されている。したがって、その選択は最終的には単位時間当たりの伝送符号量、あるいは測定信号の周波数レスポンスによって決められる。また、品目については(2)で述べたように実施される通信の方法に応じて決められる。

しかし、これらのことは一義的に決められるものではなく、システムの構成、通信方式、伝送方式、制御方式、誤り制御方式などに関連して決められるものであり、選択に当たってはこれらを総合的に検討して所要の通信機能、回線構成に適合した回線を決めることが必要である。このほか、システムの信頼性、設備費や回線使用料将来への拡張性なども考慮の対象となる。

4.2 データ伝送システム

(1) 基本構成

データ伝送システムは、基本的には図-4.1に示す構成となる。ここで端末は、オンラインシステムでは一方が電子計算機を設置したセンターであり、他方がデータ端末となる。オフラインシステムでは両方がデータ端末であるといえる。テレメータシステムにはオンラインとオフラインのシステムがあるが、一方が観測局、子局などと呼ばれる送信端末、他方が監視局、親局などと呼ばれる受信端末またはセンターということになる。

(2) 構成機器

a) 端末装置

端末装置は、伝送路に対するデータ信号の入・出力装置であり、入力データを伝送に適合したパルスなどの電気信号に変換したり、その逆に、伝送されてきた電気信号を元のデータに変換して出力する装置である。

システムに応じて各種のものが使用されているが、テレメータシステムでは検出器、テレメータ送・受量装置、符号変換器、記録計などがこれに相当する。

b) データ伝送装置

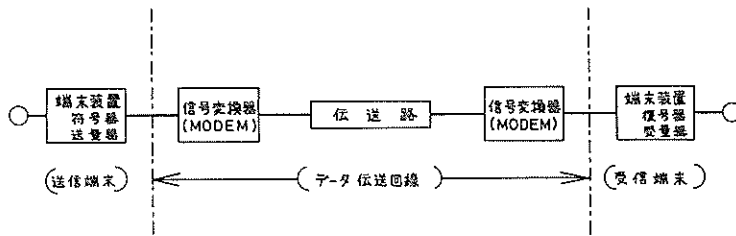


図-4.1 データ伝送システムの基本構成

信号変換器と呼ばれることもあり、端末装置からの信号を伝送路に適合した信号形式に変換して出力するもので、符号伝送において電話伝送路のように伝送路上で交流信号(周波数信号)を用いる場合は、モデム(MODEM)と呼ばれる変復調装置がこれに相当する。テレメータでは一般に信号伝送装置と呼んでいる。

c) センター機器

大別して①通信制御装置、②中央処理装置、③その周辺装置に分けられる。

①の通信制御装置は、通信回線と中央処理装置の間においてデータの送・受、回線制御など端末との通信制御を行うものである。

②および③については、ランダムアクセス・ファイル装置やシステム・コンソールなど、データ通信システムを効率よく運用するための機能・装置が付加されたものが使用される。

4.3 データ伝送回線

(1) 回線構成

端末装置間を結んでデータ伝送を行うための通信回線をデータ伝送回線と呼ぶ。その基本的な回線構成を図-4.2に示す。このうち交換回線は公衆通信回線の場合であり、特定通信や自営の専用線の場合には直通通線と分岐回線の方式がとられる。

a) 直通通線方式

端末間をデータ伝送回線で直接結ぶもので、サイクリックテレメータではこの方式がとられる。センターと複数端末で構成されるシステムでは、センターから各端末ごとに個別の回線で結ばれる。テレメータシステム的方式でいえば前者は1:1対向方式、後者は(1:1)×N方式である。いずれも即時性を必要とするテレメータに適している。

b) 分岐方式

この方式は同一回線に複数の端末を分岐接続したもので、システムの効率利用による通信コストの低減を図ったものである。一般に通信量の小さい端末を集合したシ

ステムで利用される。しかし、通信量が大きて伝送が時間的に不定なシステムでは、通信の集中により端末に接続待ちの状態が生じやすいのであまり適当とはいえない。

特定通信回線では分岐できる端末の数は回線の種類によって異なり、表-4.2に示すように一般には最大約5分岐である。

伝送の制御方式としては、各端末の通信が重複することのないようにする必要から、センターからのポーリング方式(選択起動方式)がとられる。これは、センターより端末に対してポーリング信号を順次送出して順番を割当て、各端末ごとに順番にデータ伝送を行うものである。

テレメータ方式でいえば分岐方式は1:N方式であり、データ量が小さて即時性を必要としないテレメータに適している。

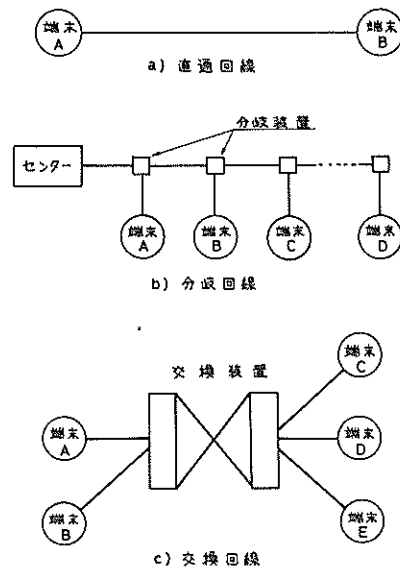


図-4.2 回線構成

上述の基本構成のほかに、システム構成からみた方式として集信回線方式、サブセンタ方式といったものがある。

(2) 通信方式

通信回線を使用してデータを伝送する場合の通信方式は、回線上のデータの流れによって図-4.3に示す単方向通信、半二重通信、全二重通信の3方式に分類される。

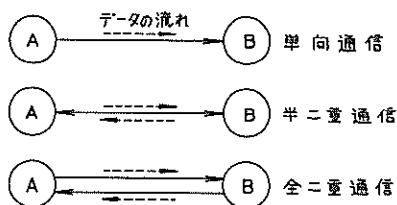


図-4.3 通信方式

① 単方向通信

データを送ることができるのが一定方向だけの方式で、その逆方向には送ることができないものである。

無線回線を使用したテレメータでは使用されるが、一般のデータ伝送ではあまり使用されない。

② 半二重通信

データは両方向に送ることができるが、同時に両方向に送ることはできず、端末で切換えることにより交互にデータを送ることができるものである。

コール式、ポーリング式のテレメータはこの方式である。

③ 全二重通信

同時に両方向にデータを送ることができるものである。

全二重通信を行うためには、データ伝送装置自体が、送・受信を同時に行うことができる機能をもつと同時に、回線も両方向に伝送可能なものでなければならない。

上記の通信方式のうちいずれを用いるかは、システムにおけるデータの流れによって決まることが多い。テレメータでは観測局は大抵の場合無人であり、監視局からのデータ返送を必要としないため、回線として全二重通信が可能であっても、システムとしては単方向通信あるいは半二重通信で充分であることが多い。

通信方式を回線の側からみた場合は、システムの運用条件から選択する場合と異なり、回線の種類(伝送路の構成による分類)と通信速度によってとり得る通信方式が決められる。

(3) 回線の種類

回線の種類は、伝送路を構成する線(wire)の数によって2線式回線と4線式回線に分けられる。公社回線では端末区間(データ伝送取扱い局と端末の間)の構成が、1対2線によるものを2線式、2対4線によるものを4線式とっており、回線区間とデータ信号速度によって決められている。

a) 2線式回線

図-4.4に示すように、一般に市内回線と呼ばれる普通のケーブルのみの構成される回線と、ケーブルのほかに同軸、マイクロウェブ等を含む伝送路で構成される市外または搬送回線と市内回線をハイブリット・コイルで接続して構成された回線がある。後者の場合、市外および搬送回線の区間は、互いに逆方向の伝送路を組合せた両方向伝送路として構成されている。

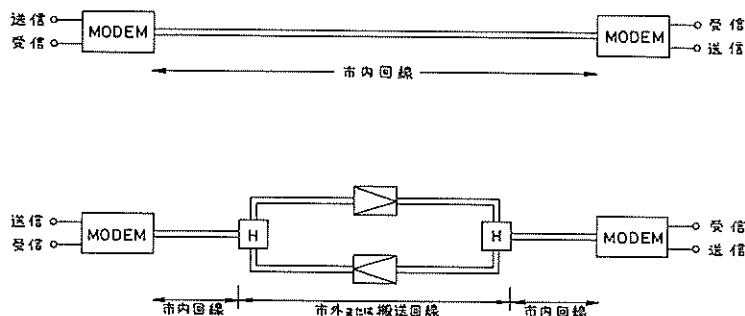


図-4.4 2線式回線

特定通信回線はI, J規格のような広帯域伝送路を使用するものを除き, 300~3,400 Hzの伝送周波数帯域をもつ一般の電話伝送路で構成されており, 現行のデータ伝送の大部分はこの帯域を利用している。

電話伝送路を使用して2線式回線でデータ伝送を行う場合, 200 bit/sまたはそれ以下の通信速度では, 伝送周波数帯域を分割して送・受それぞれに1周波を割当てると

により全二重通信が可能である。しかし, 1200 bit/s程度の通信速度では, 伝送周波数帯域の大部分を必要とするためこれを分割して伝送することはできず, 半二重通信が行われる²⁾。

b) 4線式回線

図-4.5に示すように, 送・受それぞれが完全に分離した伝送路で構成される回線である。

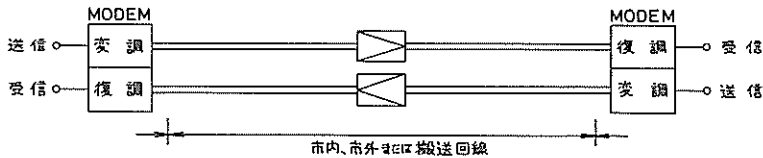


図-4.5 4線式回線

4線式回線では, 各々の伝送路の伝送周波数帯域幅で可能な最高通信速まで, 全二重通信を行うことができる。特定通信回線ではD規格で9600 bit/sが実用されている¹⁹⁾。

(4) 通信速度

データ伝送では, 通信回線を通して単位時間当りに伝送される情報量を表現する場合に通信速度を用いており, これをデータ信号速度, データ伝送速度, 変調速度の三つで表わしている。

① データ信号速度

情報をビットで表わしたとき, 単位時間に伝送できるビット数を示す。単位は bit/s である。

② データ伝送速度

単位時間に伝送できる情報の平均値で表わした速度をいい, bit/s, 字/秒, ブロック/分などの単位で表わす。

③ 変調速度

秒を単位とした変調の最小有意間隔(単位パルス1個の時間長)の逆数で示した値をいい, 単位はボー(baud)である。

データ信号速度と変調速度は, 2進の等長パルスを直列伝送する場合は bit/s とボーは同じ数値となるが, 単位パルス1個で複数ビットを表現する多値信号の変調では変調速度はデータ信号速度より低くなる。データ伝送では, 1回の変調でとり得るレベル数が多い多相変調や多値変調を用いて, データ信号速度を速くして伝送路の効率利用を図っている。

4.4 信号伝送方式

データ伝送制御装置や端末装置あるいは電子計算機などデータ伝送の諸装置では, 全ての情報はパルス信号の

形で取扱われる。このようなことから一般にデータ伝送では, 信号伝送方式としてパルス符号伝送(単に符号伝送と呼ばれることが多い)が行われる。

特定通信回線を利用したテレメータでは, パルス符号伝送であるデジタルPCM方式が使用されることが多い。このほかD-1規格など帯域使用が可能な回線ではアナログ方式も使用される。波浪観測テレメータではアナログ方式として3.1で述べたパルス周波数伝送方式が多用されている。したがって多重化テレメータの方式も時分割多重化あるいは周波数分割多重化が行われる。

符号伝送による場合の符号形式としては, 数値伝送を目的とするテレメータでは3.3のPCM方式で述べたように自然2進や2進化10進符号などが使用されるが, 文字や記号の伝送を含むデータ伝送では, 情報交換用符号として制定されたJIS 7単位符号が使用されている。この規格は国際規格(ISO規格)に基づいている。

符号としてどれを採用するかはシステムの内容・方式, データの種類・量, データの処理方法, 他システムとの互換性などを考慮して決めることが必要である。広域システムあるいは他システムとのデータ交換を行うシステムでは, データの交換性は重要であり今後の発展性を含めて検討・考慮する必要がある。

符号を表現するパルスの形式としては一般にNRZ等長パルスが, 符号の送出方法としては直列伝送方式が使用されることが多い。また, プッシュホン電話など並列トーン信号による並列伝送方式も使用されている。沿岸波浪観測テレメータではNRZ等長符号を用いた直列伝送が用いられている。

符号伝送では伝送路のインパルス性雑音、回線の瞬断等によって符号誤りが発生する。誤りの発生状況は回線の種別・構成、通信速度、変復調方式などによって異なる。誤りの発生状況からはあらゆるビット誤りが前後のビットとは無関係に独立して誤るランダム誤りと、誤りが発生すると引続いて集中的に誤りが発生するバースト誤りがあり、これが単独または混合された誤りとして発生する。

雑音としては伝送回線の平均雑音のほかに、交換機等によるインパルス性雑音があり、実際の伝送ではこのインパルス性雑音によって妨害を受けることが多い。現実の問題としてこのような雑音は、電線の接続不良・接続端子の締付け不良等による接触不良などでも発生する。これに対し公社回線では平均的な雑音を規定しており、雑音の測定もこれにしたがって行われる。このため、インパルス雑音の発生を検知できない場合があり、注意が必要である。

回線の瞬断もいろいろな原因で発生する。たとえばマイクロウェーブや無線回線のドロップアウトがある。瞬断時間は一般に数ms以下であるが、伝送パルスの幅が狭い場合、たとえば1200ビット/秒の伝送では数エレメントの誤りが発生する。

誤り制御の方式としては3.3のPCM方式で述べた方法がとられる。実時間伝送のテレメータと異なり、データ伝送では返送照合方式、再送方式などによる誤り検出・訂正の方法がとられる。

データ伝送における伝送制御は、情報交換用標準符号であるJIS 7単位符号に定められた制御符号を使用して行うのが普通である。JIS 7単位符号を表-4.3に示す。

4.5 伝送実験による手法の検討

遠隔地点間伝送のための伝送路としては、通信回線の開放により電電公社の特定通回線が利用できることになり、確保の見通しがついた。しかし開放され当時、回線の特性、信頼性などの実態がどのようなものであるか判然とせず、また、波浪観測データのような連続データを継続して伝送する場合どのような問題があるか、伝送方法としてどのような形式をとるのが最も効率的で信頼性があるか、といったことについては過去において実例がなく全く不明であった。

そこで、波浪観測への導入に先立って方式の検討と問題点を把握するため、特定通信回線を使用した伝送実験を現地スケールで実施した。

(1) 実験の概要

実験は使用機器装置の準備の都合で、波形データの伝送に関する手法の検討と問題点を把握するための第1次実験、取得データのオンライン・リアルタイム処理に関する問題点の把握を含めた第2次実験の2回に分けて行った。実験は昭和46年度に実施した。

第1次実験は、茨城県鹿島町の第二港湾建設局鹿島港工事事務所を観測局、横須賀市長瀬の港湾技術研究所を監視局とし、図-4.6に示す構成により観測局に端末装置を、監視局に中央装置を置き、この間を特定通信回線

表-4.3 JIS 7単位符号

b7 b6 b5 b4 b3 b2 b1							0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1															
							0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1															
							0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1															
							(シフト・イン側)															
							(シフト・アウト側)															
							NUL DLE Space 0 @ P , p 間隔 ー タ ミ															
							0 0 0 1 SOH DC ₁ ! 1 A Q a q ー ア チ ム															
							0 0 1 0 STX DC ₂ " 2 B R b r 「 イ ツ メ															
							0 0 1 1 ETX DC ₃ # 3 C S c s 」 ウ テ モ															
							0 1 0 0 EOT DC ₄ \$ 4 D T d t , エ ト ヤ															
							0 1 0 1 ENQ NAK % 5 E U e u , オ ナ ヌ															
							0 1 1 0 ACK SYN & 6 F V f v フ カ ニ ヨ															
							0 1 1 1 BEL ETB . 7 G W g w フ キ ス ラ															
							1 0 0 0 BS CAN (8 H X h x イ ク ネ リ															
							1 0 0 1 HT EM) 9 I Y i y ウ ケ ノ ル															
							1 0 1 0 LF SUB * : J Z j z エ コ ハ レ															
							1 0 1 1 VT ESC + ; K (k (オ サ ヒ ロ															
							1 1 0 0 FF FS . < L ¥ l l ヤ シ フ ワ															
							1 1 0 1 CR GS - = M) m) ュ ス ヘ ン															
							1 1 1 0 SO RS . > N - n ー ヨ セ ホ *															
							1 1 1 1 SI US / ? O ー o DEL ツ ソ マ ー 抹消															

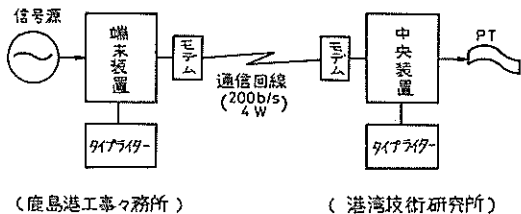


図 - 4.6 実験システムの構成 (第1次実験)

で結んで約3か月間にわたって行った。特定通信回線はC-2規格(現在の200ビット/秒の符号品目に相当)を使用した。

第2次実験は、港湾技術研究所に設置した観測局端末装置と、東京都港区の東京芝浦電気(株)東京計算センターのTOSBAC-5400モデル30電子計算機システムを第1次実験と同様C-2規格の特定通信回線で結んで行った。実験システムの構成を図-4.7に示す。

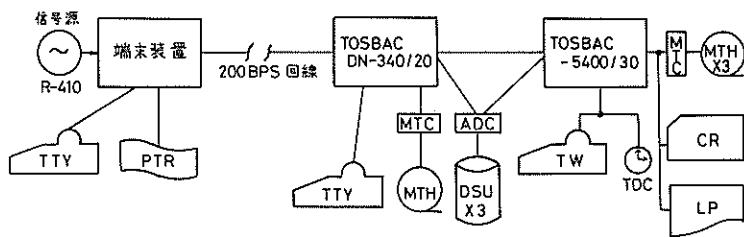


図 - 4.7 実験システムの構成 (第2次実験)

実験に使用したシステムでは、データの取得、変換、伝送、処理、返送など全ての制御は、実験の途中での変更を想定してその変更が容易なソフトウェアによるプログラム方式を採用した。

実験に使用した機器の内容のあらましを表-4.4に示す。使用機器は準備の都合により保有する機器の内から所要の機能を満たすものを選んで使用した。このため中には本実験では不要、過大な機能を持っているものも含まれているが、実験上はこの機能が有利に働かないよう配慮した。

(2) 第1次実験の方法

実験におけるデータの取得・伝送は、沿岸波浪における定常観測を想定して、通常は2時間毎に20分間のデータ伝送を自動的に行う方法によった。この制御は監視局の中央装置によるプログラム方式とし、観測局に対して起動・停止のメッセージを送出して制御する方式とした。このほか、状況に応じてタイプライタから任意に指示することが可能であるようにした。

また、実験は3台の波浪観測計器で測定された波形データの同時伝送を想定し、入力アナログ信号を順次巡環的に切替えてサンプリングした上、デジタル値に変換して符号伝送する方法とした。

伝送データは10進3桁で表現するものとし、符号には使用機器の都合で情報交換用のJIS7単位符号を採用した。したがって1データワードは3キャラクタで構成され

表 - 4.4 実験機器の内容

1. 第1次実験	
(1) 端末局装置	
制御部	プログラム制御方式 コアメモリ 8 kB
A-D変換器	入力チャンネル数 16CH 変換速度 200 μ s
通信制御部	通信速度 50~1200 BPS 同期方式 調歩同期 コード単位 5~8単位
タイプライタ	10字
紙テープ読取器	250字/秒
(2) 中央装置	
制御部	プログラム制御方式 コアメモリ 16kB
通信制御部	端末局に同じ
タイプライタ	端末局に同じ
紙テープ読取器	端末局に同じ
紙テープ穿孔器	60字/秒
2. 第2次実験	
(1) 端末局装置	第1次実験に同じ
(2) 中央装置	
通信処理装置	プログラム制御方式 メモリ 32kW(18bit/1W) サイクルタイム 1.4 μ s
中央処理装置	TOSBAC-5400-30 メモリ 32kW(24bit/1W) サイクルタイム 2.7 μ s
磁気ディスク装置	7.6 Mc/ユニット 平均アクセスタイム 85ms
磁気テープ装置	記録密度 800 BPI 転送速度 60 kc/s
ラインプリンタ	1200行/分

る。また、伝送は30データを1ブロックとした単位で伝送する方法とした。伝送上のキャラクタとブロックのフォーマットを図-4.8に示す。

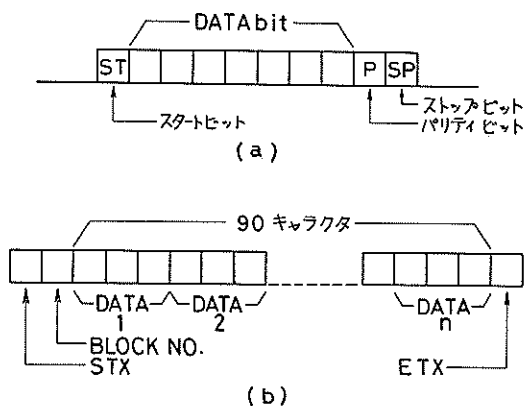


図-4.8 キャラクタ(a)とブロック(b)のフォーマット

この方法による場合、データの取得と伝送の時間関係は次のようになる。

図-4.8に示すように、1キャラクタはデータを表現する7ビットに、誤り検出のための垂直パリティビット、同期用のスタート・ストップの各ビットを加えた10ビットで構成される。また、1ブロックはデータ90キャラクタに、ブロック判定するためのブロック・シーケンス番号、ブロックの始めと終りを示す制御文字STXとETXを加えた93キャラクタで構成される。したがって、1ブロックのビット数は930ビットになる。これを2進パルス

(NRZ)により200ビット/秒の伝送速度でビット直列に伝送すると、1ブロックの伝送時間は約4.65秒となる。

また、1ブロックを構成する30データは信号3チャンネル分であるから、1チャンネルにつき10データということになる。ここで、量子化のための波形信号のサンプリング周期を0.5秒と仮定(沿岸波浪観測では一般にこの周期がとられている)すると、1ブロック分のデータは約5秒で取得される。

上述のように、1ブロック分のデータ取得時間5秒に対して伝送時間は4.65秒であるから、次に送る1ブロック分のデータを取込んでいる時間の内に、当該ブロックは伝送を完了することになり、伝送は時間的に可能となる。

この実験でのデータの流れを図-4.9に示す。伝送はこの流れ図に添って次のように行われる。

観測局端末装置では、入力された3チャンネルのアナログ信号を各々0.5秒周期でサンプリングし、A/D変換器でデジタル値に変換してメモリーに蓄積する。ここでメモリーは、1ブロックのデータ30個を蓄積できる容量のものが2組用意されており、最初にデータを一方のメモリーに蓄え、それが満杯になるともう一方のメモリーに切換えて蓄積する。一方、切換えと同時に満杯になったメモリーの内容は、所定の形式によりブロックとして構成されて送信される。送信が終るとメモリーは次の蓄積に備えて待機する。この動作を交互に繰返すことによりデータを順次取得し伝送する。

監視局の中央装置では、受信されたデータに伝送上の誤りがないかどうかを最初に調べ、誤りが検出された場合にはその旨のメッセージをタイプライタに出力する。ここで誤りの判定は次の条件で行った。

- ① キャラクタごとのパリティチェックに異常があった

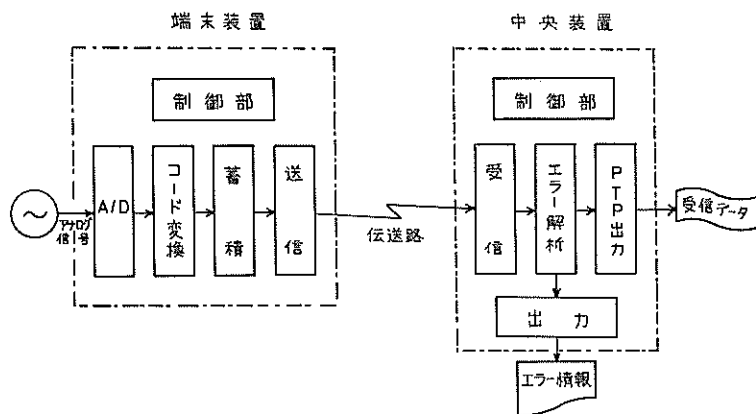


図-4.9 実験におけるデータの流れ(第1次実験)

場合

- ② ブロックの始めと終りを示す制御キャラクタが正しくない場合
- ③ ブロック・シーケンス番号が正しくない場合
- ④ ブロックを構成するキャラクタ数が規定値でない場合

以上の誤りチェックが済むとデータは紙テープに記録される。また、装置の起動・停止の日時、伝送データの誤りとその内容、送・受信ブロック数、回線の断など伝送経過はタイプライタで記録した。

(3) 第2次実験の方法

第2次実験におけるデータの取得・伝送は、第1次実験の場合とほぼ同一の方法で行った。ただし、入力データは波浪データ3チャンネルに風向、風速、潮位を加えた6チャンネルとし、新たに加えたデータは観測時間中の各20サンプル分をメモリーに蓄積し、伝送の最後に1ブロックとして送信する方法とした。

第2次実験におけるデータの流れを図-4.10に示す。センタ側における受信データの処理は、オンラインの電子計算機によるリアルタイム処理で行われ、波浪データの平均波法処理による平均波、有義波、1/10最大波、最高波の算出、そのほかのデータの平均値処理、原始データの磁気テープファイル、計算結果の磁気テープ台帳ファイルの作成などを行った。また、計算結果は直ちに端末局に返送してタイプライタに出力した。この場合計算結果の返送は、波形データの伝送と異なり伝送上時間的に十分な余裕がとれるところから、端末局で伝送上の誤り検定を行い、伝送誤りがあった場合は最高10回まで再送する方法を試みた。

(4) 実験により抽出された問題点

約5か月間にわたって行った第1次および第2次実験によって、当初予期したもの、予期しなかったものを含めて、いくつかの不具合あるいは不都合な点が指摘された。

以下、そのおもなものについてとりまとめて述べる。

a) 伝送に関する問題

伝送に関する問題点としては、伝送上において発生するデータ誤りがあげられる。これについては、電電公社の“特定通信回線利用のための技術参考資料”によればC-2規格の伝送特性として回線のビット誤り率(参考値)は 1×10^{-5} 程度とされている²²⁾。なお、このビット誤り率にはデータ通信路の時々断、雑音、障害などにより300ms以上継続してデータ伝送ができなくなった場合、および不測の事故による障害の結果として生ずる通信の断は含まないとされている。

実験の結果からみて、ビット誤りの発生頻度は予想以上に少ないことが確認された。実験では、2時間毎20分間行われる1観測に伝送されるビットの総数は約 2×10^5 ビットである。したがって、上記のビット誤り率で考えれば毎回1~2回の誤りが発生する可能性がある。これに対し第1次実験中に発生した伝送誤りの頻度は、10日間に1~2回の割合であり、そのほとんどはキャリア(搬送波)の瞬断によるバースト誤りと推定された。しかし、このような誤りは1度発生するとそれによって受ける影響は以外に大きく、少ない場合でも1ブロック分30データを失い、最悪の場合にはその観測時間帯における以後のデータをすべて失ってしまうことがあった。

このことは、回線における障害がその引き金となる原

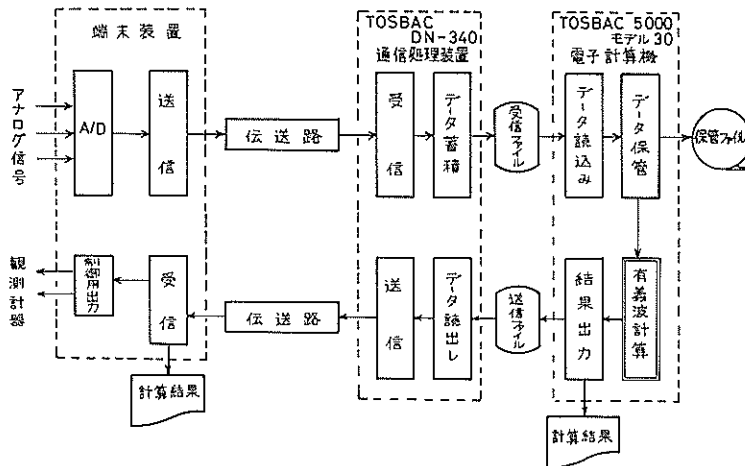


図-4.10 実験におけるデータの流れ(第2次実験)

因であるが、同時に伝送方式上の問題として提起されることでもある。すなわち、この実験では30データを1ブロックとした単位で伝送が行われているため、回線断が発生した場合には確実にそのブロックを失うことになり、さらにブロック間の空時間が少なすぎるため機器の内部でその影響が次のブロックに及び、これが次々に波及した結果によるものと判断される。

この問題を解決するためには、次のような方法をとることが必要と考えられる。

- ① 伝送データ量が少ない場合には、伝送をブロック単位でなく1データずつ伝送する方法により、データの消失範囲を小さくする。
- ② 伝送するデータ量を勘案してもっと早い伝送速度の回線を利用して伝送上の余裕時間をとる。
- ③ 符号形式を目的に合わせてもっと効率の良いものにする。たとえば、テレメータのような数値データを送るものでは自然2進符号、BCD符号などを利用して1データ当りのビット数を少なくする。
- ④ テレメータでは、現象の周波数レスポンスに合わせてスーパーまたはサブコミュニケーションを施して伝送時間に余裕をとる。
- ⑤ ブロック単位で伝送する場合には、符号形式の検討と合せて1ブロックのビット数とデータ数を小さくする。

b) 制御に関する問題

実験中にプログラムの誤りによって端末装置の機能が停止するという事故が発生した。また、その発生時刻が定常観測の時間帯であったため、観測装置は端末装置を経由して監視局からの起動信号を受けて動作中であった。しかしこの事故のため、観測装置は監視局からの停止信号を受けることができず、動作は継続して実行された。

このような状態は、機器の故障だけでなく伝送回線が不通になった場合にも生じる。もしこのような事故が実際の観測で起った場合、観測装置がバッテリーを電源としているものであれば、バッテリーは短時間のうちに消耗することになる。また、観測局において伝送データのバックアップ・データを記録しているときには、記録紙がすぐに消耗してしまい、目的とする効果が得られないことになる。このような事故に対処するためには、観測局にも制御装置を置き、事故が発生した場合には自動的にこれに切り換えて観測を正常に続行するような、バックアップ機能を付加することが必要である。

また、実際の観測では観測局は無人であることが多い。したがって観測局あるいは回線上で発生した事故については、これを監視局で検知して対処することが必要とな

る。実験では2時間ごとに1回、監視局から制御して伝送を行う方法をとったため、この間に発生した事故については次の観測まで検知されなかった。実際の観測ではデータの欠測を最小限に留めるために速やかな検知が望まれる。このためには観測局に各種の事故検知機能を付加して機器等の状態を監視し、その状態監視信号(SV信号)を監視局に伝送する方法が有効である。この場合、通信方式として半二重または全二重通信方式がとられる。

このほか、ソフトウェアによるプログラム方式では停電あるいは誤操作、誤動作によるプログラムの消滅の問題がある。一般に停電時の保護機能は付加されていることが多い。しかし、何等かの原因によってメモリー内のプログラムが消滅すると、次にプログラムがロードされるまでシステムが動作せず、前述した機器の暴走、データの欠測といった事態を引き起す。今回の実験でも幾度かあったが、観測員が常駐している場合はともかく、そうでない場合には十分な対策を講ずる必要がある。方法としては不揮発性メモリーの使用、カセット磁気テープ等による自動再書き込み方式の採用、ハードウェアへの置換えといったようなことが考えられる。

c) データ処理に関する問題

オンライン・リアルタイム処理については、今回の実験では特に問題は生じなかった。これは、実験の規模に比べて使用した電子計算機システムが大容量、高性能であったこと、使用したプログラムも制御用の一部を除いて既に大型計算機で一般的に使用されているものを利用したことによる結果と考えられる。したがって、導入に際しては電算機の機能を含めて検討する必要がある。

4.6 遠隔有線テレメータ

有線搬送方式による沿岸波浪観測テレメータは、遠隔地点間に置かれた観測局あるいは中継局と監視局間のデータ伝送および機器制御用として導入された。

(1) テレメータの方式と伝送路

伝送路には前に述べた電々社の特定通信回線が使用されており、波高計等で測定された1要素の波形データを伝送する1チャンネルのものと、波形データを含む複数個のデータを同時伝送する多チャンネルのものが使用されている。

テレメータの方式としてはアナログ式とデジタル式の両方式があり、信号伝送方式はアナログ式ではパルス周波数伝送FS変調方式が、デジタル式ではパルス符号変調(PCM)方式が採用されている。また、多重化の方式も変調方式に応じて周波数分割多重化と時分割多重化が行われている。

特定通信回線はテレメータの内容に応じて適当なもの

が選択使用されており、主として符号品目の200ビット/秒の規格(旧C-2規格)と帯域品目のD-1規格が利用されている。アナログ方式では周波数信号の伝送が可能なD-1規格が使用されており、デジタル方式では使用する通信形式あるいは所要の伝送速度によって、200ビット/秒の符号品目とD-1規格が使い分けられている。たとえば、打合せ電話との混合使用ではD-1規格が使用される。

制御方式としては常時伝送と制御時伝送の両方式が行われている。いずれの方法をとるかは無線テレメータと同じように、観測用電源の制約によって決まるといえる。しかし、陸上に置かれるところから商用電源の利用など電源に余裕がある場合は、装置が簡単になるので常時伝送が行われることも多い。

また、制御時伝送の制御方法として、全二重通信方式では監視局から起動、停止の指令信号を送出して制御する方式が、半二重通信方式では監視局から起動信号を送出し、観測局ではこれを受けてタイマーを起動させ、一定時間動作して自動停止する方法がとられている。

PCMにおける符号誤りの検出方法としては、キャラクタごとの垂直パリティチェック、ブロックごとの水平パリティチェック、二重送照合方式が適宜使い分けられている。また、検出された誤りに対する訂正は一般に行われておらず、誤りデータは棄てられている。

(2) PCM 1チャンネルテレメータ

このテレメータは、波高計等で測定された波形信号を一定時間間隔でサンプリングしてデジタル値に変換して伝送し、受信側において元の波形信号に復調して出力する方式である。その規格・性能を表-4.5に示す。

信号の伝送は、入力信号のフルスケールを2進10ビット、サンプリング周期200msでデジタル値に変換し、1データ/1ワードを単位として図-4.11に示すフォーマットにより、200ビット/秒の伝送速度でサンプリング周期に同期した実時間で伝送している。ここで、符号を表現するパルスにはNRZ等長パルスが用いられており、1ワードは16ビットで構成されている。したがって、信号は図-4.11に示すように200msごとに80msだけ送られる。このように各ワード間に大きな空時間があるので、伝送の同期は各ワードの先頭に1ビットのスタートビットを置いて、各ワードごと同期をとる方式となっている。

(3) PCM多重テレメータ

複数個の測定量をデジタル値に変換して、サイクリック方式により時分割多重化して伝送する方式である。信号伝送方式は使用する通信回線の特性に関係する事

項を除いて、3.3のPCM無線テレメータと同じである。特定通信回線の種類、符号形式、伝送データの構成、伝送フォーマット、コミューション、伝送速度、誤り制御、伝送制御などの方法は、テレメータの内容と規模に応じて適宜決められる。一例としてD-1規格を利用したテレメータの回線使用条件を表-4.6に示す。

表-4.5 有線テレメータの規格(PCM・1CH)

1) 信号入・出力部	
入力信号	アナログ電圧, $\pm 1V$, DC
入力抵抗	10k Ω 以上
出力信号	アナログ電圧, $\pm 1V$, DC
許容負荷抵抗	1k Ω 以上
総合精度	0.2% F.S.以上
2) 信号伝送	
伝送符号	純2進
符号形式	NRZ等長符号
変調速度	200ボー
同期方式	独立同期方式
符号ひずみ	出力符号ひずみ, 2%以下 受信装置ひずみ許容度, 45%以上
符号構成	16ビット/1ワード, データ10ビット, スタートビット及びパリティビット各 1ビット付
伝送方法	ワード伝送周期 200ms ワード伝送時間 80ms
3) 伝送回線	
回線規格	電々公社特定通信回線 200bit/s符号品目またはD-1 規格
伝送速度	200bit/s
通信方式	全二重通信方式

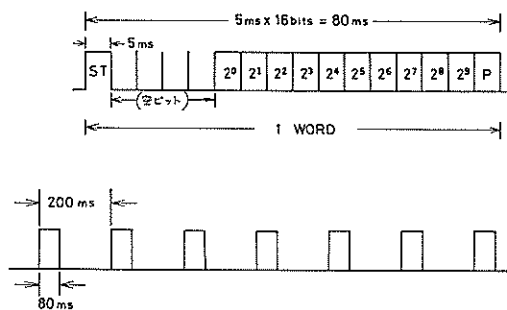


図-4.11 有線テレメータの伝送フォーマット (PCM・1CH)

表-4.6 有線テレメータの回線使用条件の一例

項目	内容
通信情報	周波数分割方式により下記の2種類を伝送 (1) 音声 (2) テレメータ信号
通信方式	音声……全2重通信方式 テレメータ信号……単方向通信方式 (サイクリックデジタル方式)
通信速度	200 bit/sec
通信線	2線式
通信符号	符号単位……16ビット (奇数パリティビットを含む) 符号形式……NRZ等長
誤り検出方式	水平、垂直パリティチェック
変調方式	FS変調方式 2400±100Hz
音声周波数帯域	300～2100Hz

(4) アナログ多重テレメータ

測定量の振幅をこれに比例したパルス周波数信号に変換して、この信号で搬送波をFS変調して伝送する方式のテレメータである。伝送路として特定通信回線を使用する以外は3.1の無線テレメータと同じである。

特定通信回線は帯域品目のD-1規格を使用しており、多重化チャンネルの構成は、波浪観測テレメータでは標準的に次のようになっている。

チャンネル数：最大6チャンネル

チャンネル構成：中心周波数 $800 + 400(n-1)$ Hz

$n = 1 \sim 6$

周波数偏移幅±100Hz

また、回線を電話と共用する場合には、周波数帯域を次のように区分して使用している。

信号伝送帯域：2400±100Hz

電話用帯域：300～2100Hz

5. 現地観測導入実施例

港湾関係では表-2.1で示した各地の定常波浪観測でその実態に合わせて各種の方式の搬送式テレメータが使用されている。既にアシカ島、神戸港および関西空港調査MT局のテレメータを紹介したが、このほかおもな方式について特徴的な観測事例を紹介する。なお、この中には既に廃局となったものも含まれているが、今後の導入計画の参考事例として掲載した。

5.1 島礁を観測局とした無線テレメータの例

観測送信局の設置場所として島礁を利用した例として東京湾口アシカ島、東京湾第二海堡、浜田港、志布志湾

枇榔島などの観測がある。

上記のうち浜田港では遠隔有線テレメータとの混成使用の方法がとられている。また、東京湾第二海堡を除いたそのほかの観測では、USWの測定値伝送用として開発されたPPM方式が採用されている。東京湾第二海堡と新型USWを使用した現行の志布志湾観測ではPCM方式が使用されている。

(1) 東京湾口アシカ島(港湾技術研究所)

アシカ島は久里浜港沖約2.2kmの東京湾口に位置した岩礁島で、昭和37年に港湾技術研究所により観測所が設置され、波浪・潮汐・風等の定常観測が実施されてきた²³⁾。アシカ島観測所の外観を写真-5.1に示す。



写真-5.1 アシカ島観測所

当初の観測はアシカ島で日記記録する方法により行われた。その後、昭和42年パルス周波数方式のアナログ無線テレメータが導入され、図-5.1の施設配置に示すようにアシカ島を観測局、港湾技術研究所を監視局としてテレメータ方式により観測が続けられた。また、この観測を足場として観測機器の開発・改良を進め、昭和44年にUSW測定値伝送用PPM方式無線テレメータを開発し、波高観測に導入した。なお、現在は廃局されている。

PPM方式無線テレメータによる観測は、図-5.2に示す機器構成により行われた。USWの波高検出器である超音波送受波器は、図-5.1に示す水深-21mの地点の海中に設置されており、ケーブルにより観測局装置に接続されている。信号の伝送は送受波器で得られたPPM化された超音波パルスをケーブルにより観測局に直送し、ここからUHF無線回線により監視局に伝送し、アナログ波形信号に変換する方法がとられている。テレメータの規格・性能は3.2で述べたものと同じである。監視局装置の外観を写真-5.2に示す。

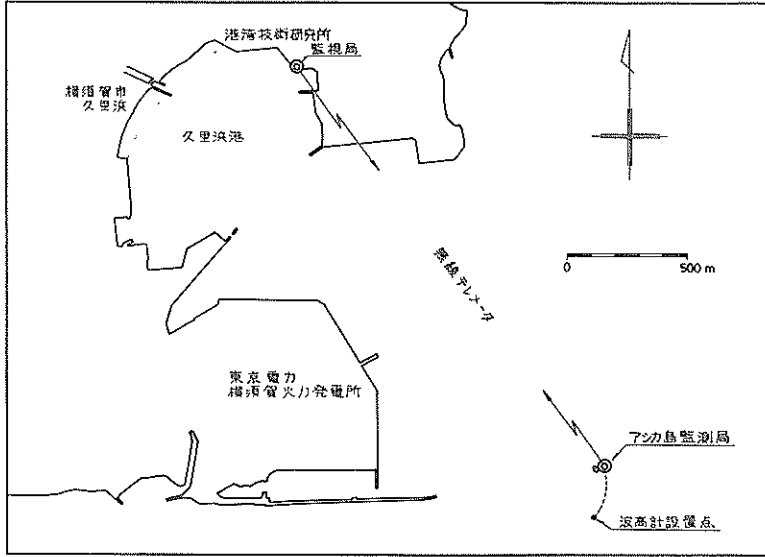


図-5.1 アシカ島・観測施設の配置(港湾技術研究所)

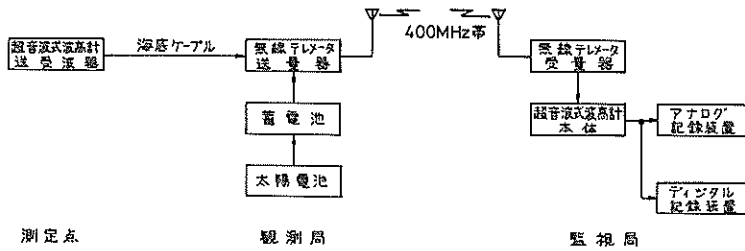


図-5.2 アシカ島・観測装置の構成(港湾技術研究所)

ここでは観測局と監視局間の信号の伝送は、距離的にはケーブルによる直送式の適用が可能である。しかしケーブルによる場合は布設経路が航路・泊地を横切するため船舶の投錨・走錨あるいは航路浚渫などによるケーブルの損傷事故が予想され、またその対策を含めて考えた場合、経済的にも無線方式が有利であるところから無線テレメータ方式が採用された。

制御方式は観測局電源を節減する意味で、観測局時計とタイマーによる定時自動発信方式がとられている。また、観測局電源には太陽電池と蓄電池の組合せ方式が採用(アシカ島では他装置との共用電源となっている)された。

太陽電池を利用する場合その容量と組合せ使用する蓄

電池の容量は、負荷の電力消費条件と使用場所の日照条件により左右されるが、省電力化された本テレメータでは比較的小型のもので十分である。本テレメータ用に設計された太陽電池電源の要目を表-5.1に、太陽電池の外観を写真-5.3に示す。

(2) 志布志湾枇榔島²¹⁾(鹿児島県, 第四港湾建設局)

志布志湾では図-5.3に示す施設配置によりUSWによる波高の観測が実施されている。当初は伝送距離の関係でケーブルを使用した直送式により、枇榔島に設けられた観測所で記録する方法が採用された。その後、昭和46年度に無線テレメータが導入され、志布志町に監視局を置いて観測局の測定信号をUHF無線回線に伝送する方式に変更された。使用したPPM無線テレメータの

送量装置の外観を写真－5.4に示す。

ここでは、測定点の離岸距離（測定点～志布志町）が直送式USWの適用限界（最大約5km）を超えるため、この方式が採用された。なお、昭和54年度より新型USW³⁰⁾を使用したデジタルPCM方式無線テレメータにより観測が行われている。



写真－5.2 監視局装置（アシカ島観測）



写真－5.3 太陽電池架

表－5.1 太陽電池電源の要目（PPM・1CH無線テレメータ用）

1. 負荷条件	
(1) テレメータ装置 (USW用 PPM-FM)	
待期時	3mA, 20時間/日
送信時	440mA, 4時間/日
(2) 標識灯	
ランプ	12V - 10W (0.833A)
	6秒1閃光(0.5秒)
	脈流係数 1.11
	点灯時間 14時間/日
日光弁点滅器	0.1W常時
2. 太陽電池電源	
(1) 太陽電池架	
公称出力	12V - 18.7W
寸法	面積 440 × 920mm
(2) アルカリ蓄電池	
公称電圧	12V
公称容量	120AH



写真－5.4 PPM方式無線テレメータ送量装置

5.2 PPM多重化テレメータの使用例

PPM時分割多重化テレメータの使用例として、御前崎港における波高と波向の観測があげられる²⁵⁾。この観測は昭和46年度に開始されたが、現在は廃局になっている。ここでは図－5.4に示す施設設置により、海上観測塔を観測局としてUSWによる波高と定置式波向計ストレーンゲージ型³¹⁾による波向の測定を行い、各測器の測定出力をPPM時分割多重化方式により監視局（御前崎港工事事務所）に無線伝送して記録する方法がとられた。

観測装置の仕様を表－5.2に、その構成を図－5.5に示す。測定は波高と波向の2項目であるが、波向計はX・

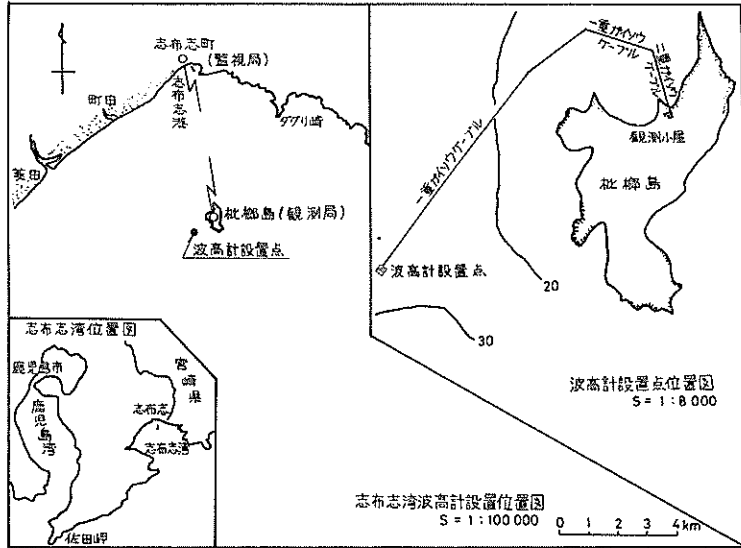


図 - 5.3 志布志湾・観測施設の配置 (鹿児島県・第四港湾建設局)

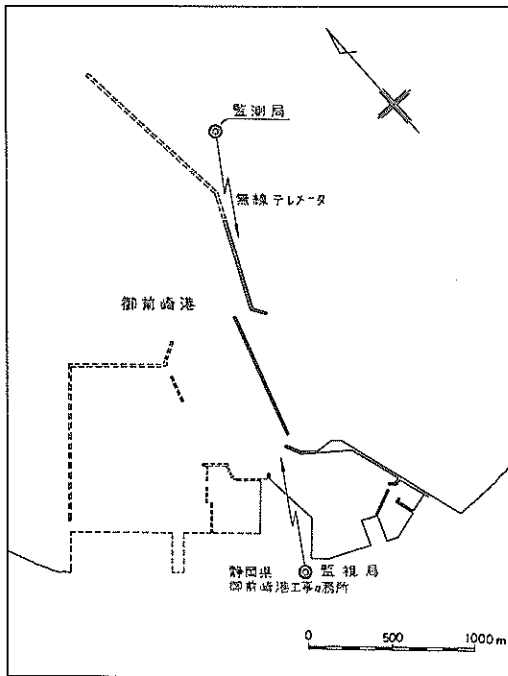


図 - 5.4 御前崎港・観測施設の配置 (静岡県)

表 - 5.2 観測装置の仕様 (御前崎港)

1) 観測項目・機種	
波高	超音波式波高計
波向	定置式波向計SG型
2) テレメタ装置	
伝送方式	PPM時分割多重化
チャンネル数	3 CH
PPM信号	測定パルスの幅: 約2 ms 同期パルスの幅: 約10ms 伝送繰返し周期: 160ms 各チャンネル占有時間: 40ms
伝送回線	400 MHz 帯, PPM-F1
送信出力	0.1 W
送信時間	2時間ごととに25分間
3) 標識灯	
ランプ	12V, 5W
動作	3秒1閃光, 日光弁付
4) 電源装置	
電池	アルカリ蓄電池, 1.2V×12個, 15V 200AH
波力発電装置	型式: 空気タービン式 発電機: AC, 3φ12V 60W, 5000 r.p.m. 波力導入部: ポリエチレンパイプ, 下部0.6φ×3m, 上部0.3×8m
5) 消費電力	
テレメタ装置	待受時: 約2.1W 観測送信時: 約8.85W
標識灯	消灯時: 約0.075W 点灯時: 約6.3W
安定化電源	0.3W
総合消費電量	常用約8.18 AH/day

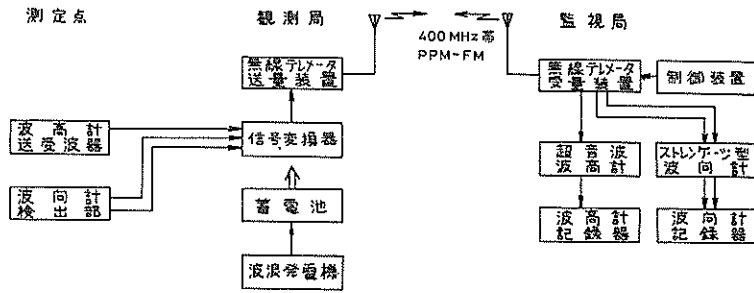


図-5.5 御前崎港・観測装置の構成(静岡県)

Y 2 方向の成分として出力されるためテレメータは 3 チャンネルである。観測局テレメータ装置の外観を写真-5.5 に示す。

信号の伝送は、波向計の X・Y 2 成分のアナログ出力を PPM 信号に変換し、USW の送受波器で得られた PPM 化された信号と直列的に混合し、同期パルスを加えて図-5.6 に示すフォーマットにより、160ms の繰り返し周期で連続的に伝送している。

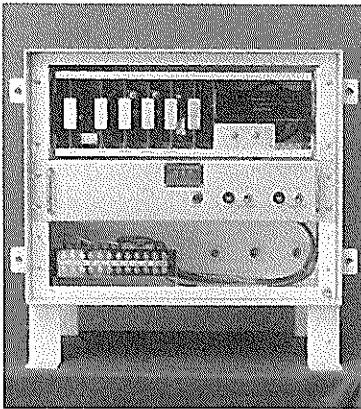


写真-5.5 PPM 時分割多重無線テレメータ送量装置

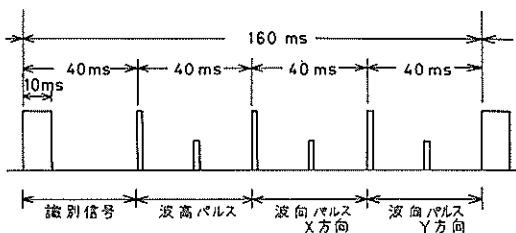


図-5.6 PPM 多重化テレメータ伝送フォーマット(御前崎港の例)

監視局では受信された信号から同期パルスを検出し、これを基準にして各チャンネルの信号をゲート回路で弁別し、USW の PPM パルスは USW の信号変換部により、波向計の X・Y 信号パルスはそれぞれのパルス復調回路によりアナログ波形信号に変換している。

このシステムのもう 1 つの特徴として観測局の電源方式があげられる。この海域では通年して定常的に波があるところから、観測塔に波浪発電機を取付けその発生電力を蓄電池に充電する方式が採用されている。表-5.2 に示すように観測局装置が省電力化されたこともあって平均的に消費電力を上廻る電力が得られ、蓄電池は常時 100% に近い容量が保持されていたとのことである。

5.3 PPM・PCM 混合テレメータの使用例

変調形式として USW の PPM とデジタル PCM を交互に行い伝送する PPM・PCM 混合方式の無線テレメータは、その特長を生かして観測塔やブイを観測局とした多項目の観測に使用されている。その実施例として秋田湾、神戸港および小松島港における波浪等の観測があげられる(写真-5.6 ~ 5.8)。

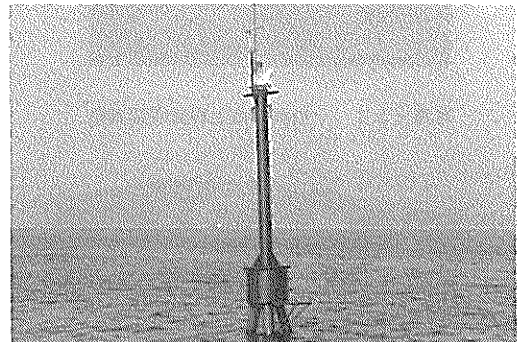


写真-5.6 秋田湾ブイ方式観測局

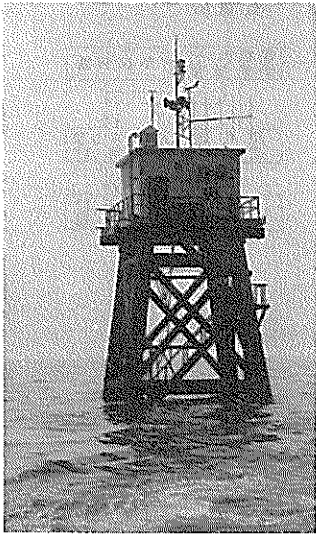


写真 - 5.7 神戸港海上観測塔観測局



写真 - 5.8 小松島港海上観測塔観測局

下記項目の観測を行い、各測器の測定出力を UHF 無線回線により監視局（秋田港工事事務所）に伝送して記録する方法がとられた。（現在は廃局されている）観測局テレメータ装置の外観を写真 - 5.9 に示す。

測定項目・信号チャンネル数

波 高 : USW, 1 CH

流 れ : 超音波式流速計, X・Y の 2 CH

テレメータによる伝送は、USW の測定信号を PPM で、流速計の測定信号 2 CH を PCM により伝送してい

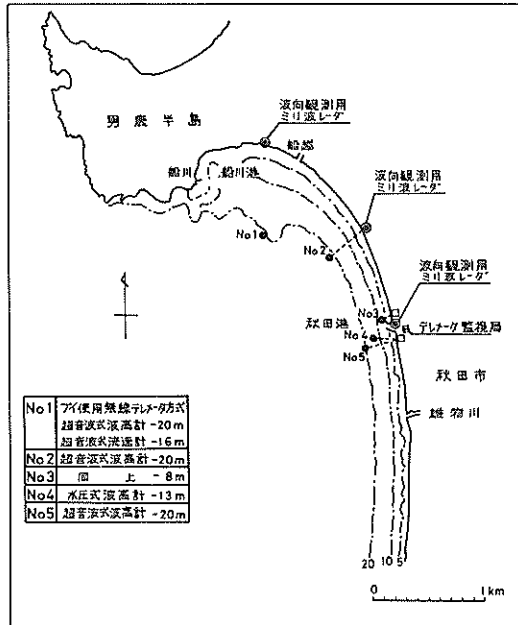


図 - 5.7 秋田湾・観測施設の配置
（第一港湾建設局）

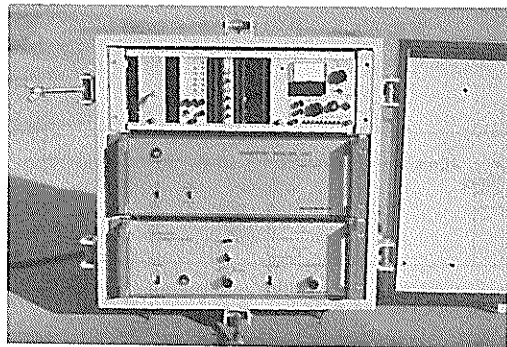


写真 - 5.9 無線テレメータ送電装置部（秋田湾）

(1) 秋田湾の観測²⁶⁾ (昭和 46 年度, 第一港湾建設局)

秋田湾では地域開発計画のためのプロジェクト調査が実施され、その一環として図 - 5.7 に示す施設配置により波浪等の観測が実施された。

無線テレメータは No.1 の観測に使用されており、測定点に設置されたブイ（耐波性直立ブイ）³²⁾ を観測局として

る。PCM チャンネルは4 CHであるが実装は2 CHで残りの2 CHは予備となっており、内1 CHにはサブ・コミュニケーションが施こされている。伝送フォーマットを図-5.8に示す。テレメータの規格は次に述べる小松島港と同じである(表-5.3参照)。

観測および伝送の制御は監視局からの呼出し方式により、通常は2時間ごとに20分間の観測が行われる。観測局の電源は空気湿電池で、18V 2,250 AHの容量を搭載して、約6か月間の定常観測が可能ないように設計された。

(2) 小松島港²⁸⁾(昭和48年度、第三港湾建設局)

小松島港と神戸港では、海上観測塔を利用してテレメータにより波浪と気象の観測が行われている。両港の観測システムは観測塔の形式を除いて同一であり、ここでは小松島を例にとって紹介する。

小松島港では図-5.9に示す施設配置により観測塔を観測局として下記項目の観測を行い、各測器の測定出力をUHF無線回線により陸上の監視局(小松島港工事事務所)に伝送し、処理・記録する方法がとられている。

測定項目・チャンネル数・測定範囲

- 波 高 : USW, 1 CH, 0 ~ 15 m
- 風向・風速 : プロベラ式, 2 CH, 風向0 ~ 360°
風速0 ~ 60 m/s
- 気 温 : 白金抵抗線式, 1 CH, -20 ~ +40°C
- 気 圧 : ベロース式, 1 CH, 920 ~ 1040 mb

観測装置の構成を図-5.10に、無線テレメータの規格を表-5.3に示す。

テレメータによる伝送は、USWの測定信号をPPM、他の4項目をPCMにより伝送している。伝送フォーマットは図-5.8に示す秋田港の場合とはほぼ同じであるが、サブ・コミュニケーションは施されていない。

監視局はデータロガーを使用した処理システムを中心に構成されており、伝送されてきたデータはアナログ波形信号に変換されて各項目ごとにアナログ記録すると同時に、データロガーにより定められたプログラムに従い平均値処理を行い、演算結果をタイプライタにより印字出力して、日報台帳の作成を行っている。観測および伝送の制御は監視局よりの呼出し方式である。

観測局テレメータ装置の外観を写真-5.10に、監視局装置の一部を写真-5.11に示す。

観測局の電源には太陽電池と蓄電池の組み合わせ方式が、また、監視局の電源には整流器・インバータ・蓄電池を合わせた無停電電源装置が使用されている。無停電電源の方式は、常時は商用交流を整流して得られた直流により蓄電池をフローティング充電すると同時に、インバータを駆動して交流電源に変換して各装置に電力を供給し、商用交流停電時には蓄電池を電源としてインバータを駆動する常時インバータ方式が採用されている。

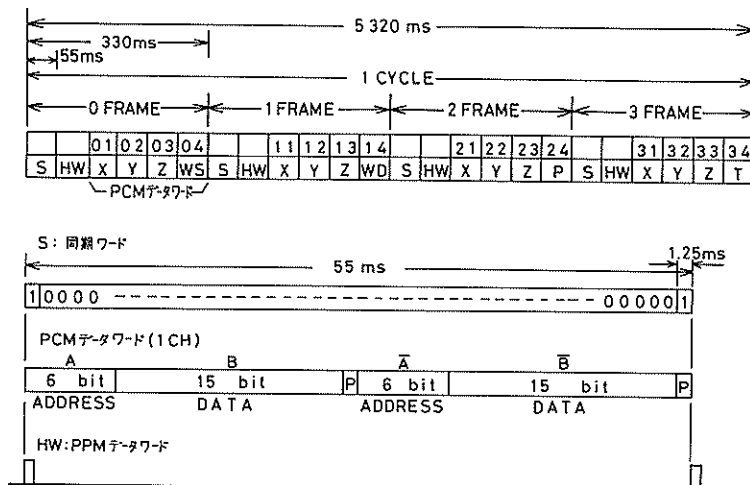


図-5.8 PPM・PCM混合方式伝送フォーマット (秋田港の例)

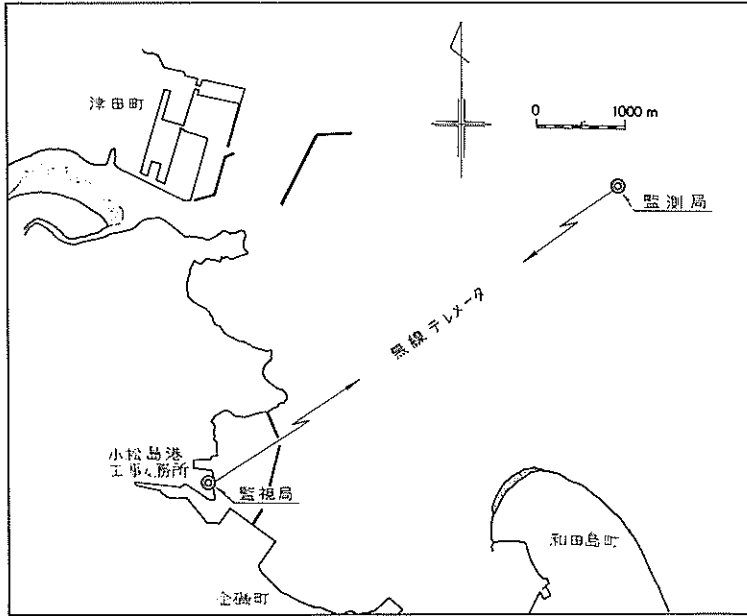


図 - 5.9 小松島港・観測施設の配置
(第三港湾建設局)

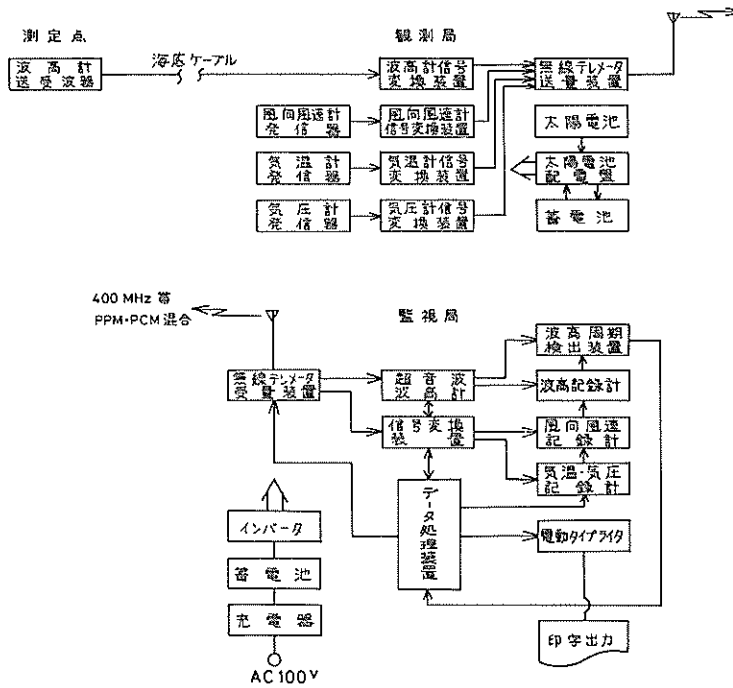


図 - 5.10 小松島港・観測装置の構成
(第三港湾建設局)

表-5.3 PPM・PCM混合方式無線テレメータの規格(小松島港)

1) 伝送回線	400MHz帯, F_2, F_3
2) 通信方式	半二重通信方式
3) テレメータ方式	アナログ・デジタル混合サイクリック方式
4) 信号伝送	
伝送方式	時分割多重PPM・PCMサイクリック伝送
チャンネル数	PPM 1CH, PCM 4CH
伝送速度	800 bit/s
符号伝送方式	変調方式 PSK
	符号形式 NRZ等長符号
	伝送単位 44ビット/1ワード
	誤り検定 奇・偶数パリティ, 反転連送照合
同期方式	フレーム同期
伝送周期	1フレーム 330ms
5) PCMデータ	
データ符号	純2進 15 bit(最大)
データアドレス	純2進 6 bit(最大)
パリティビット	1ビット
6) PPMデータ	
パルス幅	約2ms
パルス間隔	最小5ms, 最大35ms(但し波高測定範囲15mとして)
	隣接チャンネルとの間隔 5ms
PPM繰返し	約3 Hz
7) 伝送制御	
起動制御	コール式
呼出し信号	800Hz シングルトーン
送出方法	外部タイマまたは手動
観測制御	観測局タイマによるプログラム制御, オープンコレクタ出力
8) 無線回線	
周波数	402.1~412 MHzの内1波
送信出力	1W(標準)
最高変調周波数	3kHz
占有帯域幅	16 kHz
最大周波数	
偏 移	± 5 kHz以内



写真-5.10 観測局テレメータ装置(小松島港)

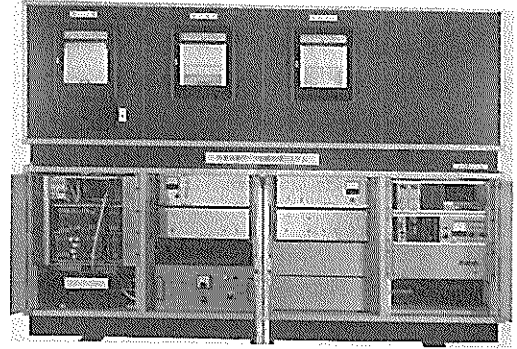


写真-5.11 監視局テレメータ装置(小松島港)

5.4 遠隔地点間有線テレメータの使用例

電電公社の特定通信回線を利用した有線搬送方式により遠隔地点間テレメータの代表的な例として、伊豆大島波浮港沖、浜田港沖、佐渡弾崎沖の各波浪観測があげられる。有線搬送式はこのほかにも表-2.1(b)に示す各地の観測で使用されており、必ずしも遠距離ばかりでなく市街地を経由する場合などでは比較的近距离のテレメータにも使用されている。

(1) 波浮港²⁷⁾(昭和48年度, 第二港湾建設局)

伊豆大島波浮港では図-5.11に示す施設配置により、USWによる波高の観測が行われている。観測装置の構成を図-5.12に示す。

測定点と観測局はケーブルを使用した直送式により観測が行われており、観測局においてアナログ波形信号に変換して記録すると同時に、テレメータ用として出力している。

特定通信回線を使用した有線テレメータは観測局(波浮港内, 東京都水産試験場大島分場構内)と監視局(港湾技術研究所)間のデータ伝送に使用されている。伝送は観測局で取得された波形信号をA-D変換してデジタル値に変換し、符号処理を行ったうえ200 bit/sの特定通信回線により約64 km離れた監視局に伝送している。有線テレメータ装置は4.8(2)で述べたPCM 1チャンネルのものが使用されている。

観測および伝送の制御は、全二重通信方式を採用して監視局から観測局への回線を制御回線とし、監視局から起動・停止の信号を送出して制御する呼び出し方式がとられている。また、観測局は独自の制御装置を持っており、監視局または回線に事故があった場合には自動的にこれに切替えて単独で観測が続行されるようになっている。

(2) 佐渡弾崎²⁶⁾(昭和53年度, 第一港湾建設局)

佐渡弾崎では弾崎灯台構内に観測所を設け, 弾崎沖水深-50mの地点にUSWを設置して波高の観測が行われている。また, 観測所では波向観測用レーダによる波向観測と, 風向・風速の観測が行われている。このうち波高・風向・風速の3項目は, 弾崎観測所を観測局として特定通信回線を使用した有線テレメータにより, 監視局(第一港湾建設局新潟調査設計事務所)に伝送されている。

観測施設の配置を図-5.13に, 観測装置の構成を図-5.14に示す。

テレメータによる伝送は, 観測局で測定された波高・風向および風速の3チャンネルのアナログ信号を, デジタル値に変換して符号処理を行い, 8項目のSV信号(2値の監視信号)と共にPCM時分割多重・サイクリック方式により, 図-5.15の伝送フォーマットで伝送している。

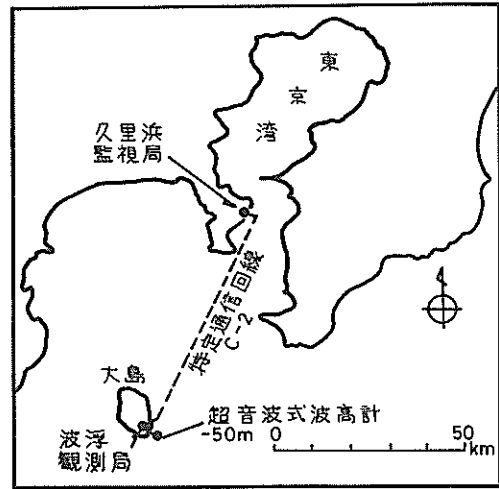


図-5.11 波浮港・観測施設の配置(第二港湾建設局)

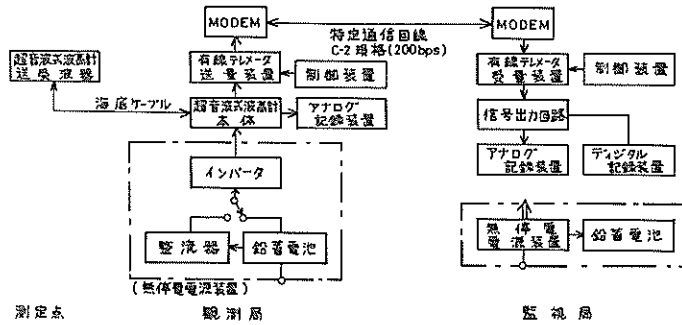


図-5.12 波浮港・観測施設の配置(第二港湾建設局)

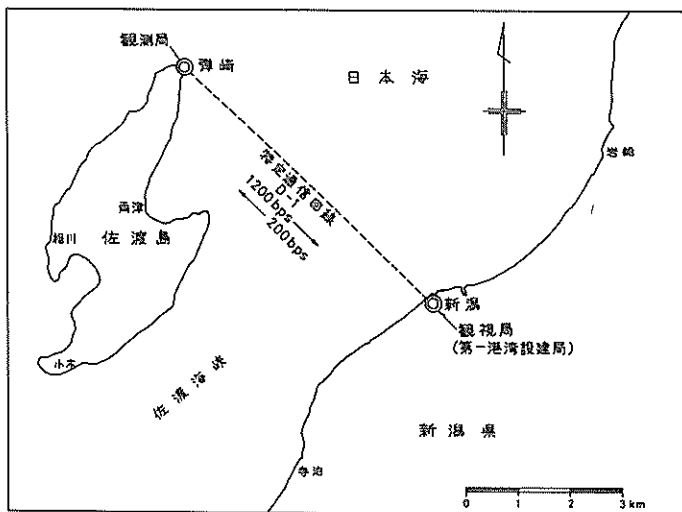


図-5.13 佐渡弾崎・観測施設の配置(第一港湾建設局)

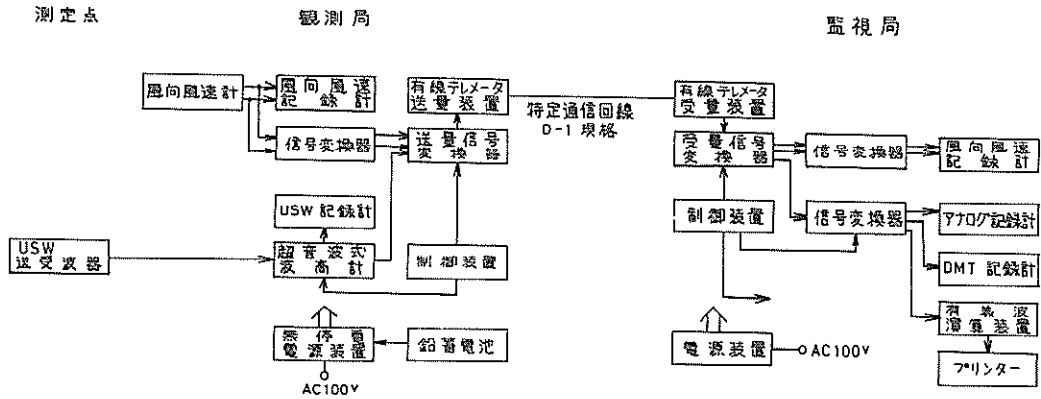
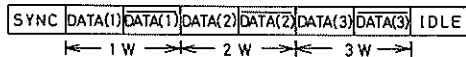


図-5.14 佐渡弾崎・観測装置の構成(第一港湾建設局)

受量部 → 送量部

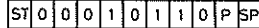


送量部 → 受量部



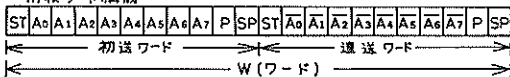
ワード詳細

同期ワード構成



ST:スタートビット, SP:ストップビット, P:パリティビット

情報ワード構成



ST:スタートビット, SP:ストップビット, P:パリティビット
A0-A7:情報ビット, A0-A7:A0-A7の反転ビット

図-5.15 伝送フォーマット(佐渡弾崎の例)

テレメータ装置の規格を表-5.4に、観測局テレメータ送量部の外観を写真-5.12に示す。

特定通信回線はD-1規格で、観測局～監視局間を1200 bit/sのデータ伝送用回線、監視局～観測局を200 bit/sの制御回線とする全二重通信方式を採用している。

観測データは10進3桁をBCD符号で表現し、図-5.16に示すデータ・フォーマットにより伝送している。伝送データ量は各チャンネルとも約4量/秒である。

制御方式は監視局よりの呼び出し方式であるが、通常は常時伝送方式がとられている。また、監視局または回線に事故があった際には、自動的に観測局独自の制御装置に切替えてアナログ記録方式により観測が継続される方法がとられている。

表-5.4 有線テレメータ装置の規格(佐渡弾崎)

1) 伝送回線	電々公社特定通信回線 D-1規格, 2線式
2) 通信方式	全二重通信方式
3) 通信速度	送量部～受量部 1200 bit/s 受量部～送量部 200 bit/s
4) テレメータ方式	デジタル・サイクリック方式
5) 信号伝送	伝送方式 PCM時分割多重サイクリック伝送 チャンネル数 送量部～受量部 計測データ 3CH SV信号 8CH 受量部～送量部 SV信号 2CH (SV信号チャンネルには呼出し信号1CHを含む)
伝送符号	データ BCD符号3桁 SV信号 ビット対応
符号形式	NZR等長符号
伝送単位	11ビット/1ワード
同期方式	調歩同期
データ構成	4ワード/1データ(データ・アドレス, 連続ワードを含む)
誤り検定方式	ワード毎のパリティチェック・反転 連続照合併用
伝送周期	送量部～受量部 計測データ 231ms SV信号 77ms 受量部～送量部 SV信号 240ms
変調方式	周波数偏移変調
変調速度	送量部～受量部 1200ボー 受量部～送量部 200ボー

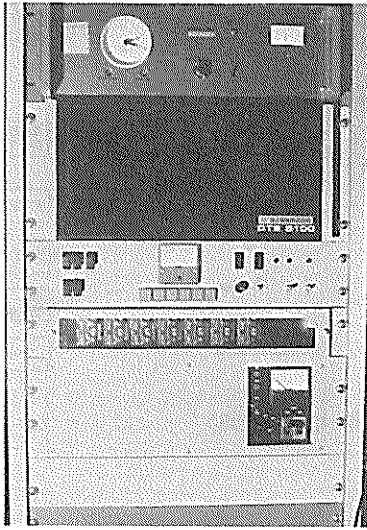


写真-5.12 有線テレメータ送量装置 (佐渡弾崎)



図-5.17(a) 浜田港・観測施設の配置
測定点～観測局 (第三港湾建設局)

送量部 → 受量部 (1st.W, 2nd.Wは連結にて送信)

(1st.W)																	
ST	アドレス	計	100位	P	SP	ST	アドレス	計	100位	P	SP						
	4	2	1	S	8	4	2	1									
(2nd.W)																	
ST	10位	計	1位	P	SP	ST	10位	計	1位	P	SP						
	8	4	2	1		8	4	2	1								
(3rd.W)																	
ST	SV						P	SP	ST	SV						P	SP
	1	2	3	4	5	6	7	TEL		1	2	3	4	5	6	7	TEL

受量部 → 送量部

(1W)																	
ST	STANETU						P	SP	ST	STANETU						P	SP

STA: 起動信号, TEL: 電話呼出し信号

図-5.16 データワードの構成 (佐渡弾崎の例)

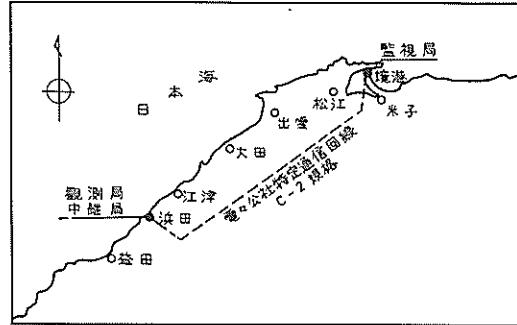


図-5.17(b) 浜田港・観測施設の配置
観測局～監視局 (第三港湾建設局)

5.5 無線および有線テレメータの混成使用例

無線テレメータ回線と有線テレメータ回線を直列的に接続して利用している混成使用の実施例として、浜田港における観測と玄界灘における観測があげられる。前者は波高1チャンネルの観測であり、後者は波高を含む多チャンネルの観測である。

(1) 浜田港²⁸⁾ (昭和47年度, 第三港湾建設局)

浜田港の観測では、観測場所と観測を管理する事務所が遠隔地に所在すること、測定点と陸上の間にケーブルを布設する適当な経路が得られないこと、という2つの理由から有線搬送式と無線搬送式が混成使用されている。

観測施設の配置を図-5.17(a) .(b)に、観測装置の構成を図-5.18に示す。

ここでは、測定信号は専用の海底ケーブルによる直送式、無線テレメータ回線、公社回線を使用した有線テレメータ回線の3方式の伝送路を経て監視局に伝送されている。

測定点は浜田港沖水深-50mの地点にあり、観測点に設置されたUSW送受波器で得られたPPM化された超音波パルスは、ケーブルにより浜田港沖の無人島に設置された中継局 (写真-5.13) に直送され、ここで直流パルスに変換され、PPM方式無線テレメータで浜田港長浜にある観測局 (浜田港湾合同庁舎構内) に伝送されている。

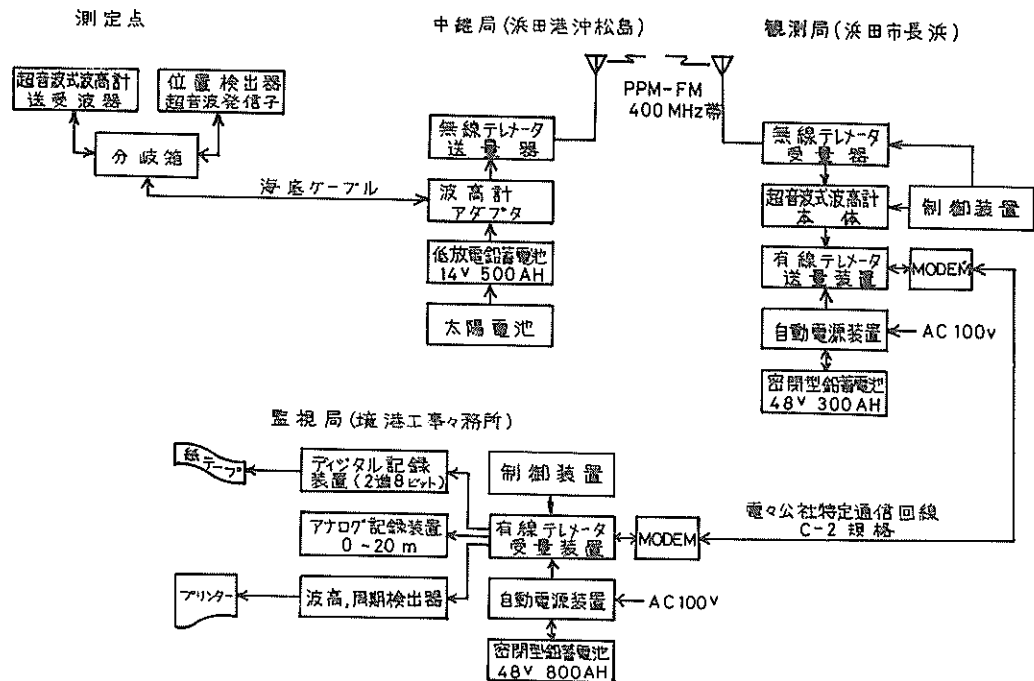


図 - 5.18 浜田港・観測装置の構成(第三港湾建設局)



写真 - 5.13 中継局施設(浜田港)

観測局では受信信号をアナログ波形信号に変換して記録すると同時に、デジタル符号信号に変換して特定通信回線を使用した遠隔有線テレメータにより約 130 km 離れた監視局(境港工事事務所)に伝送し、波形信号に変換して記録している。

測定点より監視局に至るテレメータ回線は直線的に接続されており、観測および伝送の制御は監視局からの呼び出し信号により行われるが、監視局または特定通信回

線に事故があった場合には観測局で独自に観測を行う方法がとられている。

無線テレメータにはUSW用 PPM方式が、有線テレメータには 200 bit/s の伝送速度の PCM 1 チャネルテレメータが使用されている。

中継局と観測局は無人方式で、中継局電源には太陽電池と低放電鉛蓄電池の組合せ方式が採用されている。また中継局の電源は蓄電池・整流器・インバータを組合せた無停電電源となっている。

(2) 玄界灘における観測²⁹⁾(昭和 55 年度, 第四港湾建設局)

玄界灘では図 - 5.19 に示す施設配置により、測定点に設置された耐波性直立ブイ³⁰⁾を観測局(写真 - 5.14)として、テレメータによる波浪・気象等の観測が行われている。観測項目を表 - 5.5 に示す。

ここでは、地形の関係で観測局と監視局(博多港工事事務所)間に見通し回線を構成することができないため、間に中継局を置いて観測局～中継局間を無線回線で、中継局～監視局間を特定通信回線を使用した有線搬送回線で構成するテレメータが行われている。中継局は博多港ポート・タワーを利用して空中線を取付け、タワー足下に設置した中継局舎にフィードを引込んでいる。

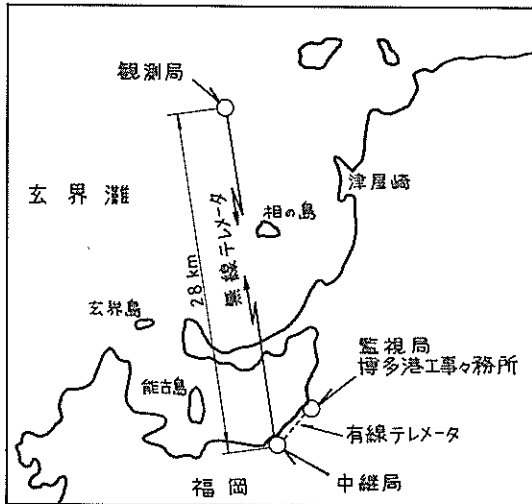


図 - 5.19 玄界灘・観測施設の配置(第四港湾建設局)

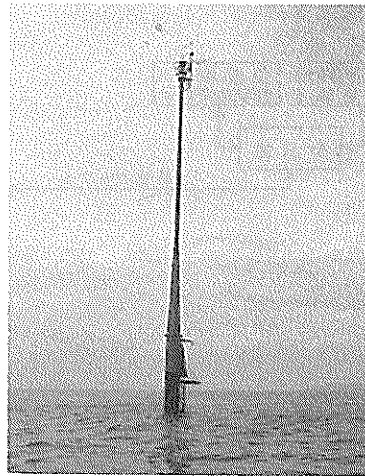


写真 - 5.14 玄界灘ブイ式観測局

表 - 5.5 観測項目(玄海灘の観測)

(1) 観測項目

観測項目	測定器	測定チャンネル数	記録・演算処理
風	超音波風速計	X・Y成分 2CH	AR: X・Y成分 風向・風速 演算: 平均風向・風速
波高・周期	超音波式波高計	1 CH	AR: 表面波形 DMT: 表面波形 演算: 有義波高(E _{1/10} バリュウ) 平均周期(ゼロアップクロス) 波数(ゼロアップクロス)
波向	2成分加速度計	X・Y成分 2CH	AR: X・Y成分 DMT: X・Y成分

(2) 監視項目

項目	測定器	伝送信号	記録・演算・表示
係留ワイヤ張力 及び各部応力	ストレインゲージ	張力 6 CH 応力 9 CH	AR: 連続張力・応力 演算: 階級別発生頻度
ブイの傾斜	自記傾斜計	接点信号 1 CH	ランプ及び印字表示
ブイの変位	2成分加速度計	波向用を利用	ランプ及び印字表示
灯 光 器	フォトセル 予備電球状況	点滅信号 1 CH	ランプ及び印字表示
		接点信号 1 CH	
電池室浸水	電極式水位検知器	接点信号 1 CH	ランプ及び印字表示
ハッチ開閉	ドアスイッチ	接点信号 1 CH	ランプ及び印字表示
電池電圧		電圧信号 1 CH	アナログ記録・印字表示

AR: アナログペン書き記録計

DMT: カートリッジ式デジタル磁気テープ記録計

テレメータによる信号の伝送は、PCM時分割多重サイクリック方式により1200 bit/sの伝送速度で、図-5.20に示すフォーマットで伝送している。1フレームは13ワードで構成されており、計測データ12量を1データ1ワード(22ビット)としてBCD3桁で伝送している。またSV信号(2値の監視信号)5量をまとめて1ワードで伝送している。

観測局から監視局までのデータの流れを示す系統図を図-5.21に示す。データの流れ図に示すように中継ではUSWによる波高のアナログ記録と、適宜選択された4項目のデータが4チャンネルのペン・レコーダで記録されている。

また監視局では波高・風向・風速が専用レコーダで、選択された10項目のデータが4チャンネルと6チャンネルのペンレコーダで記録されているほか、波高と加速度計のX・Y2成分のデータがカートリッジ式のデジタル磁気テープ(DMT)で記録されている。またすべてのデータはマイクロCPUを使用した演算装置により平均値処理され、監視信号の内容とともに印字出力している。

制御方式は監視局からの呼出し方式が、観測局電源には積層乾電池(12V、5.060AH)、中継局と監視局の電源には常時インバータ方式の無停電電源装置が採用されている。

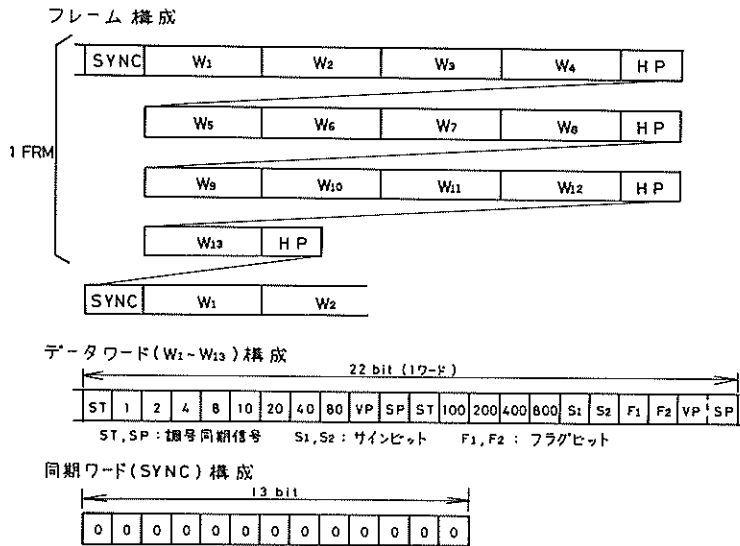


図-5.20 伝送フォーマット(玄界灘観測の例)

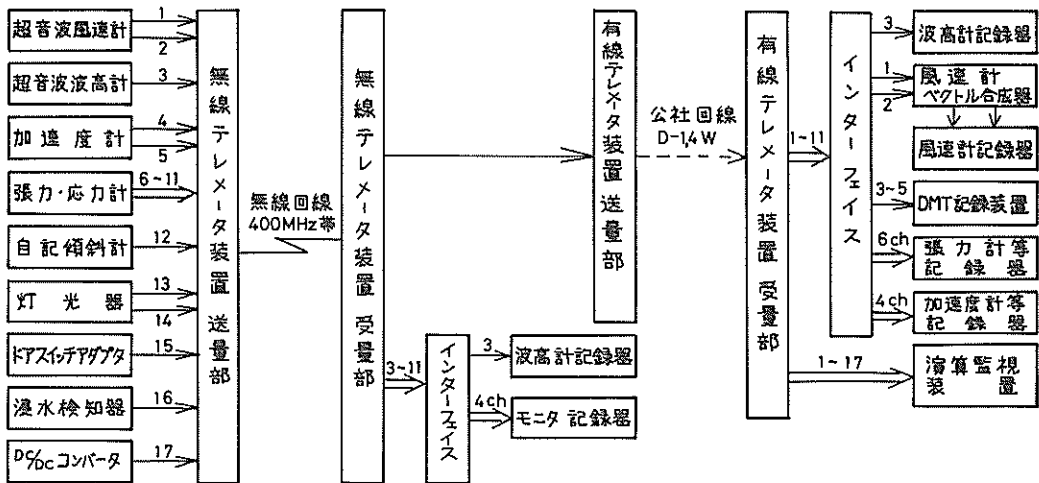


図-5.21 観測データの流れ(玄界灘の観測)

5.6 多局間テレメータによる観測例

関西国際空港についての環境アセスメントのための調査では、図-5.22に示す施設配置により気象・海象の観測が行われている²⁸⁾(昭和51年度、第三港湾建設局)。ここではテレメータシステムとして、1つの監視局で複数の観測局を制御してデータを収集する(1:1)×N方式によるテレメータが採用されている。

観測は図-5.22に示すC局を主陸上観測局・監視局、L-1・L-2局を副陸上観測局として陸上での気象観測を行っている。また泉州海岸沖約6kmの海上に設置した観測塔をMT局を海上観測局(写真-5.15)として気

象と海象の観測を実施している。各局での観測項目とその内容を表-5.6に示す。

テレメータシステムは図-5.23に示すように、C局をセンターとする電子計算機とのオンライン・システムで構成されており、MT・L-1・L-2局の観測データをテレメータで収集し、リアルタイムで統計処理を行い台帳形式で出力している。

L-1・L-2局とC局間のテレメータには、特定通信回線D-1規格を使用した有線テレメータが使用されており、いずれも表-5.6に示す3項目4要素の観測が行われている。テレメータによる信号の伝送は、各測器の出力ア

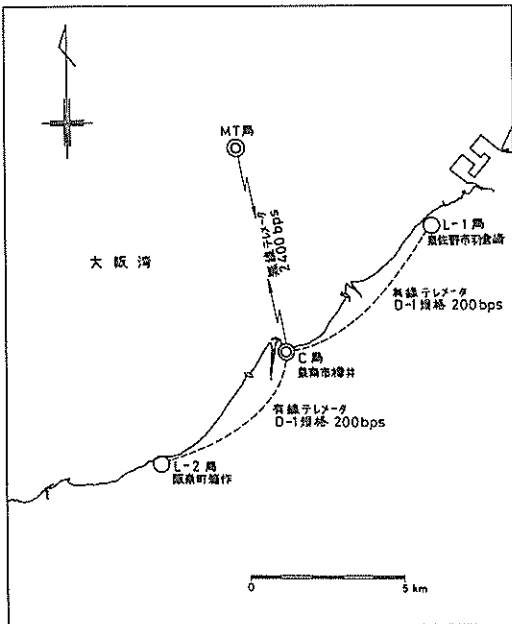


図-5.22 関西空港調査・観測施設の配置
(第三港湾建設局)

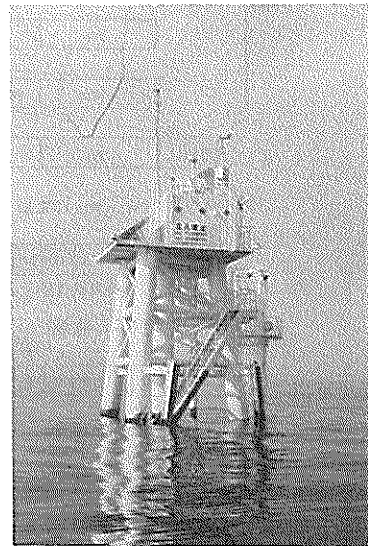


写真-5.15 大阪湾海上観測塔・MT局

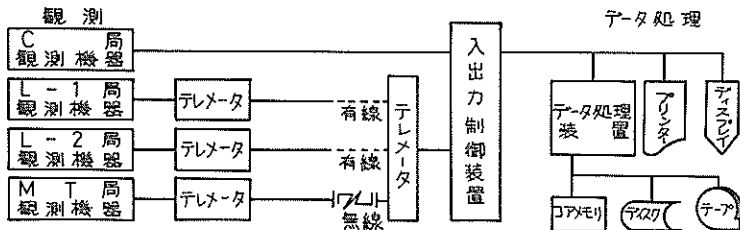


図-5.23 関西空港調査・観測システムの構成
(第三港湾建設局)

表-5.6 観測項目とその内容(関西空港調査)

● C局

観測項目	測定器	位 置	観測データ
地上風	風車型風向風速計	地上10m	毎時の平均風速・最多方位
接地板風	風車型風向風速計	地上20m	毎時の平均風速・最多方位
	風車型風向風速計	地上40m	毎時の平均風速・最多方位
	風車型風向風速計	地上100m	毎時の平均風速・最多方位
	超音波風速計	地上100m	毎時の平均風向・風速・鉛直方向風速
地上気温	温度湿度計	地上1.5m	毎時値
地上湿度	温度湿度計	地上1.5m	毎時値
接地板気温	温度湿度計	地上1.5・10・20・40・100m	毎時値
気圧	気圧計	室内	毎時値
降水量	雨量計	露場	毎1時間積算値
全天日射量	日射計	建物	毎1時間積算値
放射収支量	放射収支計	露場	毎1時間積算値

● L-1局・L-2局

地上風	風車型風向風速計	地上20m	毎時の平均風速最多方位
地上気温	温度湿度計	地上1.5m	毎時値
地上湿度	温度湿度計	地上1.5m	毎時値

● MT局

海上風	風車型風向風速計	海面以上15m	毎時の平均風速・最多方位
	超音波風速計	海面以上15m	毎時の平均風向・風速・鉛直方向風速
海上気温	温度湿度計	塔観測台	毎時値
海上湿度	温度湿度計	塔観測台	毎時値
潮流	超音波流速計	表層 - 3m	毎時の平均風向・流速
		中層 - 9m	
		下層 - 16m	
波浪 (波高・周期)	超音波流速計	表層・中層	毎時の波高・周期・波向
		海底	
		ステップ式波高計	
潮位	フース型換潮儀	塔体	毎時の平均潮位
水温	水温塩分計	表層・中層・下層	毎時値
塩分	水温塩分計	表層・中層・下層	毎時値

ナログ信号をデジタル値に変換し、8項目のSV信号とともに図-5.24に示す符号構成により200bit/sの伝送速度でサイクリックに伝送している。テレメータの回線使用条件は4.6(2)の表-4.5に示した方法がとられている。

MT局とC局間のテレメータにはPCM時分割多重サイクリック方式の無線テレメータが使用されており、表-5.6に示す23要素のデータが伝送されている。伝送フォーマットおよびテレメータ装置の規格は3.3(4)に例示したものである。

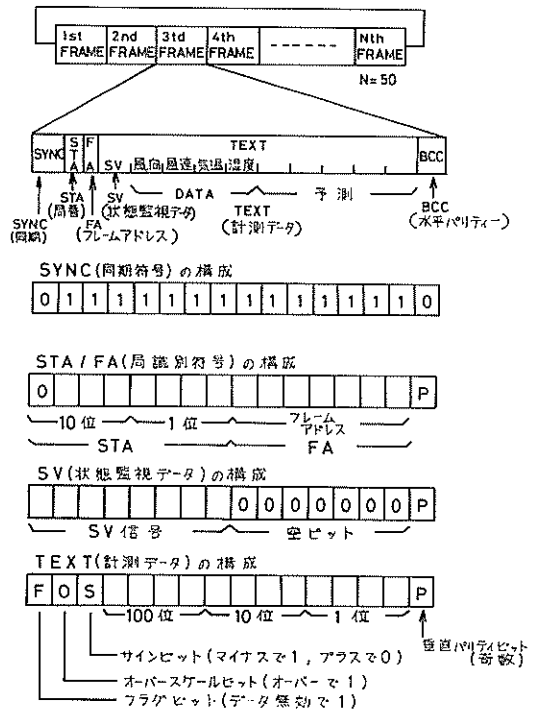


図-5.24 L-1・L-2局～C局伝送フォーマット (関西空港調査)

6. あとがき

これまで述べてきたように、沿岸波浪観測では種々の方式のテレメータが使用されている。これにはテレメータ技術の発達という歴史的な背景もあるが、それなりに完成した技術として実用化され、使用されてきたものであるといえる。

これに対して定常観測という立場からは、観測の手法あるいは取得データの技術的基準の統一を図る意味から、テレメータシステムの規格の統一と方式の一元化が望まれる。しかし波浪観測の手法が流動的な現時点で、これを特定の規格・方式にすることは困難であり、また得策とはいえない。

たとえば、現在各地で行われている観測の実態を見ても解るように、その内容は関連項目の観測を含めて観測計器の種類や観測方法、取得データの記録・処理方法がまちまちであるばかりでなく、その規模、運用方法、地理的条件なども観測の体制と場所によって種々様々である。また当然のことながらそこで使用されているシステムは、これらの特質を考慮して設計され導入されてきたものである。したがって、これらのすべてを満足するような最大公約数的な形で規格・方式を特定することは、技術的にも経済的にも得策とはいえない。現時点では規格・方式にある程度幅を持たせて、観測の実状に合わせて選択する余地を残して置くことが必要であろう。

また、テレメータ技術の発達は、計測技術と取得データに対する理論面および活用面からの要求、あるいは観測条件とそこから提起される様々な要求と問題点などを背景として、それを一つ一つ解決することによって発展してきたものであるといえる。これらの要求はある意味で流動的なものであり、関連技術の進歩と共に変化して行くものである。これをある時点で凍結してしまうような方法は好ましいとはいえない。

上述のようなことを念頭において、現在使用されているテレメータの伝送方式について、現地観測への適応性と将来への対応を考えると次のように考察される。

テレメータの伝送回線からみた場合、

① 直送式は基本的な手法として測定点に設置された検出器から観測局までの信号伝送に、あるいは搬送式テレメータの前置変換器として使用されるであろう。また海上テレメータとしての無線搬送式が、海上観測局ベースの確保の点で汎用性に欠ける現在、重要な方式であるといえる。

しかし、信号の伝送方法については観測計器の開発・

改良と合わせてより長距離伝送が可能な信号の方法の採用、ケーブル構造の開発あるいは中継増幅器の開発が必要である。

② 無線搬送式は伝送路の確保、伝送路建設の経済性といったことから海上テレメータとして有効な方法である。しかし海上テレメータとしては観測送信局ベースの確保が最大の問題であり、その解決が先決であるといえる。

海上テレメータのほか、自営または電々公社線の利用が困難な場合の陸上テレメータとしても有効な方法である。

③ 有線搬送式は遠隔地点間の陸上テレメータとして、現在行われている電々公社の特定通信回線を利用した方法が最も適当であり、観測の広域化とともにその利用が増加するであろう。

この方式については、電子計算機とのオンラインシステムであるデータ通信の方法を含めて、伝送方式をある程度一元化しておくことが必要であろう。

また伝送方式からみた場合、

④ アナログテレメータ方式では無線、有線いずれの場合も、現時点ではパルス周波数伝送法が最も有力であろう。しかし多要素、多項目の伝送あるいは二値状態の監視信号の伝送を含めて考えた場合、デジタルPCM方式に統一する方向が望まれる。

⑤ 超音波式波高計測定値伝送用PPM方式およびその応用機種であるPPM・PCM混合方式は、測定回路の改良による新型超音波式波高計³⁰⁾ではその適用が困難となり、また目的とした効果が得られないため新しい対応策が必要である。

⑥ PCM方式は無線、有線とも現時点では最も有力な方法といえる。しかし符号形式と伝送フォーマットについては、現状のようなまちまちの方法でなくある程度統一をはかって置くことが必要であろう。

以上、沿岸波浪観測テレメータの信号伝送方式について、港湾関係で使用されている方式を例にしてテレメータを導入・利用する立場からその内容を説明した。本稿がこれから沿岸波浪観測にテレメータを導入する場合の一助になれば幸いである。

なお、本稿を執筆するに当たり多くの書籍・文献を参照させていただいた。執筆者各位に対しここに厚くお礼申しあげる。

また、超音波式波高用PPM方式の開発に協力いただいた海上電機(株)第一技術部の諸氏、テレメータの設計・製作、現地観測への導入に当たられた関係各位の協力と努力に深く感謝する次第である。

最後に、本稿の図面の作成には水工部海象観測研究室の立花裕二技官と宮川昭一君の手を煩わせた。ここに記して感謝する次第である。(1981年9月30日受付)

参 考 文 献

- 1) 高橋智晴：リモートセンシングの応用。港湾，第55巻第10号，1978，pp. 43～53
- 2) 高橋智晴・佐々木弘・菅原一晃・鈴木禧実：超音波式波高計について，港湾技術研究所報告，第12巻第1号，1973. 3. pp. 59～82
- 3) 高橋智晴：海洋波浪の調査研究に関する現況報告書・第3編・第4章波浪観測施設，ECOR日本委員会，1976. 2. pp. 225～252
- 4) 高橋智晴・佐々木弘・副島毅・金子大二郎：沿岸大水深海域(-50m)における波浪観測の一例について，第21回海岸工学講演会論文集，1974. 11. pp. 267～272
- 5) 高橋智晴・副島毅・中井徹也・佐々木弘・菅原一晃：波浪に関する拠点観測年報(昭和45年)，港湾技研資料，No. 137，1972. 3. 276 p.
- 6) 石橋誠一：テレメータリングにおける情報伝送，計装，第10巻第10号，1967. p. 12
- 7) 石橋誠一：テレメータリングの実際，電気書院，1966. p. 26
- 8) 川島利兵衛：海岸附近の波高及び波向の遠隔測定装置について，沿岸海洋研究ノート，第5巻第1号，1966. pp. 1～9
- 9) 内田則夫・斉藤幸義・東条貞義・進藤勉：小名浜港の風波について，第14回海岸工学講演会講演集，1967. pp. 68～78
- 10) 今泉巽・安岡護・豊原亞洲：海象観測用テレメータシステム，三菱電機技報，Vol. 43, No. 8, 1969. pp. 1105～1111
- 11) 第三港湾建設局神戸港工事事務所：神戸港波浪観測塔(設置機器および付属設備)，神戸港資料41-No. 2, 1966
- 12) たとえば，吉田武彦：無線テレメータの設計，オーム社，1956. pp. 97～100
- 13) 電波振興会：多重無線設備取扱法，電波振興会，1966. pp. 227～228
- 14) 前出文献 7)，p. 14
- 15) たとえば前出文献 7) p. 16
- 16) 高橋智晴・鈴木禧実・佐々木弘・副島毅・菅原一晃・中井徹也：波浪データの集中処理方式について，港湾技術研究所報告，第10巻第1号，1971. 3. pp. 43～76
- 17) 前出文献 7) p. 17
- 18) 石橋誠一：広域システムにおけるテレオペレーションの発展とその課題，計装，第16巻第4号，1973. pp. 6～11
- 19) 日本電信電話公社告示第62号，データ通利用規定
- 20) 谷山昇一：データ伝送の技術と動向，計装，第16巻第4号，1973. p. 24
- 21) 山本巖：データ通信，(株)産報，1971. p. 21
- 22) 日本電信電話公社：特定通信回線利用のための技術参考資料 第1版，電気通信協会，1972. 8. 50 p.
- 23) 佐々木弘・菅原一晃・佐々木徹也・広瀬宗一・金子大二郎・高橋智晴・夷塚葉子：港研構内およびアシカ島における気象・海象観測，港湾技研資料，No. 314, 1976. 3. 130 p.
- 24) 第四港湾建設局：管内波浪観測施設台帳，運輸省第四港湾建設局，1970
- 25) 静岡県港湾課提供資料
- 26) 運輸省第一港湾建設局提供資料
- 27) 運輸省第二港湾建設局提供資料
- 28) 運輸省第三港湾建設局提供資料
- 29) 運輸省第四港湾建設局提供資料
- 30) 高橋智晴・佐々木弘・岩田邦彦・斉藤清：超音波式波高計測定回路の改良と効果，第25回海岸工学講演会講演集，1978. 11. pp. 55～59
- 31) 高橋智晴・鈴木禧実・佐々木弘：定置式波向計(抵抗歪線型)の開発，港湾技術研究所報告，Vol. 9, No. 1, 1970. 3. pp. 151～177
- 32) 新技術開発事業団・港湾技術研究所・海上電機(株)：「CPOS」開発実施報告書，新技術開発事業団，1974. 8
- 33) 第四港湾建設局：沿岸波浪観測施設(玄界灘)一耐波性直立ブイ一調査報告書，第四港湾建設局，1978. 3. 292 p.
- 34) 合田良実・永井康平：波浪の統計的性質に関する調査・解析，港湾技術研究所報告，Vol. 13, No. 1, 1974. 3. pp. 3～37

港湾技研資料 No.399

1981・12

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 日青工業株式会社

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.