

津波・高潮防災ステーションの現状と課題

仲谷 善雄*・上田 雅章†・中田 雅文†

1. はじめに

災害の多い2004年だったが、12月に発生したスマトラ島沖地震は、津波の被害者が20万人以上（2005年1月現在）にも及び、津波の映像とともに世界を驚かせた。日本でも昔から津波被害が続いており、1983年の日本海中部地震では死者・行方不明者104名中17名、1993年の北海道南西沖地震では奥尻島を中心に230名を出している。2003年の十勝沖地震、2004年の紀伊半島南東沖地震でも津波が発生し、TVなどによる情報確認行動に終始して避難しない住民が80%に上ることが話題となった。今後30年間でそれぞれ60%、50%の発生確率が想定される東南海・南海地震では、高知県や和歌山県を中心に各地で10mを越す巨大津波の被害が予想されている。

このような津波対策として、わが国では、津波防波堤を始めとするハードウェアの整備と、ナウキャスト津波情報システムによる津波観測・情報提供などのソフトウェア対策が平行して進められてきた。特に近年では、災害を完全に防ぐことの難しさが再認識され、予想される被害を最小限に抑える「減災」の考え方にのっとり、ソフトウェア対策が重視されるようになってきた[1,2,3]。その一環として、津波が到来する前に沿岸や河口付近の水門などを遠隔で閉鎖することを主目的とする津波・高潮防災ステーションの整備が進められている。本稿では、津波・高潮防災ステーションの現状を紹介し、課題を整理する。なお津波・高潮防災ステーションは、高潮対策としても整備が行われているが、本稿では紙面の関係で津波にテーマを絞ることにする。

2. 津波の発生メカニズム

津波は地震で発生する。地震には大きく分けて、地球表面を覆うプレートが別のプレートにもぐりこむ海溝付近で発生するプレート型地震と、活断層の活動によって発生する直下型地震の2種類がある。津波は、マグニチュード(M)6以上、震源の深さが海底から120kmより浅いプレート型地震において、地震に伴う海底の上下運動により海水が上下に動くことによって発生する現象

である。日本近海の地震による近地津波と、太平洋などを越えて来る遠地津波がある。近地津波でも、プレートがゆっくりとすべる津波地震では、マグニチュードは小さいが大きな津波が発生する可能性がある。

津波の速さは、津波が通過している地点の深さだけで決まる。その関係は、

$$\text{速さ [m/秒]} = \sqrt{9.8 \times (\text{水深 [m]})} \quad (1)$$

という式で表せる。深さが4000mの深海の海上では時速約710km、水深200mの大陸棚の海上では時速約160km、海岸付近でも時速36km程度の速さがある。

外洋では、波長が数十～数百kmと長く（1960年のチリ地震津波では波長700km）、相対的に波高が低いので、船に乗っていても気づくことはない。海岸に近づくにつれて波高が高くなる¹。これは、遅くなる先行の波を速い後続の波が追いつき、押し上げることによる。海岸に防波堤がない場合には、陸を駆け上がってさらに高くまで到達する。経験的に、津波の高さの倍の標高まで地上を駆け上がる。北海道南西沖地震の奥尻島では、波高15mの波が谷筋を30.6mの高さにまで上がっている。

津波は、海の深さが急に变化したり島や岬があると、反射や回折現象が起こる。リアス式海岸などV字状の湾では、波の高さが急激に高まり、陸上を駆けのぼることがある。また、遠浅の海岸も津波を成長させる。海岸では津波到来前に、大きく海岸線が前進する引き波が観測されることがあるが、これは様々な条件によるもので、引き波が見られない地域や場合も多い。

湾口に津波防波堤を作れば、津波が最大水位で20%から30%低減できる。津波の波高は構造物に当たると瞬間的に1.3～1.8倍になるので、5mの津波に対応するには6.5m以上の防波堤が必要となる。一方で、津波防波堤は湾の閉鎖性を高めるため、湾内環境の悪化の可能性もある。

津波は河川を遡上する。2003年十勝沖地震では河口から11km遡上したことが確認されている。河川に入った津波は、短周期化による加速度の増大と地形的な収束のため、外力としての危険度を高める。河川堤防を越流したり破壊して、内水域に氾濫する例が見られる。都市

¹津波の高さは標準水面からの高さを表す。一般的な波の高さは、波の最低点と最高点の差を表す。

* 立命館大学 情報理工学部

† 三菱電機(株)社会eソリューション事業所

Key Words: tsunami, tsunami disaster reduction station, disaster mitigation system, surveillance and control.

ではビル地下階，地下街，地下鉄などに被害が出る可能性がある。河川防災とのリンクが必要不可欠である。

M8程度の地震では，津波は数10分間隔で，5，6回以上押し寄せる。第1波がもっとも高いとは限らず，第2波以後の波が高い場合もある。

膨大なエネルギーを持つ津波は，波高が2mを越えると木造家屋の全壊や犠牲者が出る。波高が50cmでも，津波には勢いがあるため，大人でも動くことが難しい。津波に巻き込まれないことが最大の対策となる。

3. 津波対策の問題点

3.1 津波到来時に必要とする情報

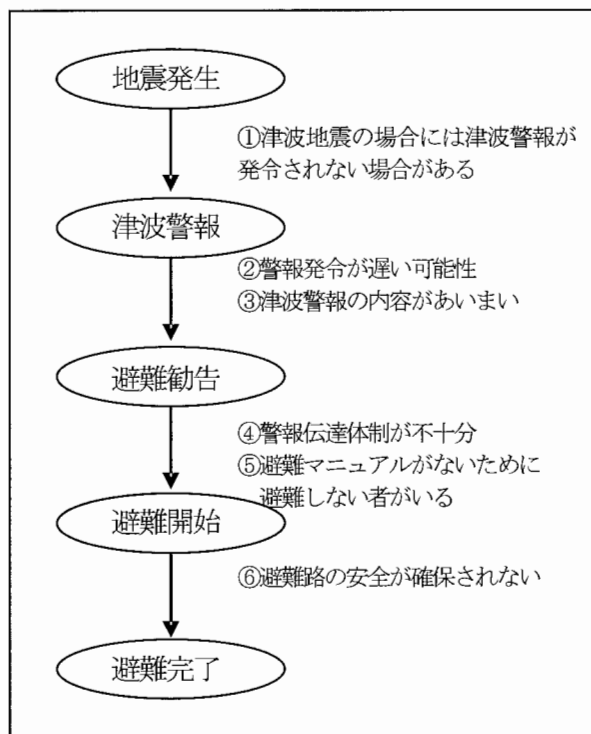
津波が予想されるときに必要なとされる情報について，以下に整理する。

- ① 避難を判断するための情報：避難のための動因となる具体的・詳細な情報が必要である。たとえば，津波が満潮と重なるのか，そのときにはどの程度の高さになるのか，それはどの程度危険なのか，浸水危険地域などの情報が必要である。
- ② 地域ごとの情報：津波被害は地域特性に大きく左右されるうえ，住民は自分が住む地域の危険度についての関心が高い。したがって地域特性を考慮した地域ごとの危険度が提供されなければならない。
- ③ 時間に関する情報：危険がどの程度継続するのか，いつ頃までに避難すればよいのか，浸水すれば水が引くのに何日かかるのか，などの時間に関する情報が必要である。
- ④ 具体的行動に関する情報：何をしなければならないかをできるだけ具体的に指示する必要がある。限られた時間内で被害を最小限にできる対策を，具体的，簡潔に指示する必要がある。

3.2 津波対策の問題点

上記の必要情報と比較して，現状の津波情報に関する課題を，以下に整理する（第1図）。

- ① 現在の津波予報は震源の深さ，震源の距離，地震の規模により判断されているため，津波地震時には津波警報が発令されない場合がある。
- ② 現在の津波予報体制では，地震発生後から予報の発令までに必要な時間は約3分である。これでは間に合わない場合が出てくる。
- ③ 津波予報の内容が地域特性を考慮した具体的なものでないため，いたずらに危機感をあおったり，間違った安心感を与えたりする。
- ④ 多くの自治体では警報伝達体制にも不備がある。情報インフラの整備も不十分である。
- ⑤ その場合，住民の自主避難に期待することになるが，自主避難を想定した避難マニュアルは存在しない。したがって，避難しない住民が多い。
- ⑥ 多くの場合，避難場所は設定されていても，避難経路の安全性の確保までは行われていない。



第1図 津波予警報の問題点

4. 津波・高潮防災ステーションシステム

4.1 システムの概要

津波防災ステーションは，東海，東南海，南海地震などの海洋性大規模地震による津波から港湾施設やその後背地を守ることを目的としたシステムである。河川に設置された水門や樋門，道路を閉鎖する陸閘（こう）を，監視制御室（防災センター）から遠隔制御にて閉鎖することが一義的な目的である。このような機能を前章との関連でいえば，避難警報が何らかの影響で届かなかったり，情報確認行動などのために避難していない住民がいる場合に，上記の管理対象施設をいち早く閉鎖することにより，避難の必要性を広報して避難の時間を確保するとともに，避難しなかった住民の生命や財産を守る。最近では，より発生頻度の高い高潮への適用も考慮して津波・高潮防災ステーションという呼び名で整備されることが増えている。この場合には湾内の排水機場が制御対象に含まれる。排水機場は，高潮の河川への逆流および河川堤防の決壊防止のため，水門を全閉して逆流を防ぐとともに，河川の水をポンプにより排水（内水排除）するものであり，水門閉鎖とポンプ運転が制御対象となる。

津波（・高潮）防災ステーションはまだ設置数が少なく（2004年時点で8箇所），その設計は試行錯誤的に行われてきた。しかし2003年十勝沖地震において浜中町のシステムが津波防災ステーションとして初めて稼働してその効果が認められたことから，今後は設置数が増えると予想される。津波・高潮防災ステーションは，運用にヒューマンファクタが占める割合が多く，人命にかかわるシステムであるだけに，信頼性，操作性が何より優

先される。そのため、システム構成は比較的簡明であるが、運用面を含めて難しい設計判断を要求される。

4.2 システムの機能と管理すべき情報

津波・高潮防災ステーションシステムの管理すべき情報を以下に示す。

- ① 観測・計測情報
津波・高潮観測、計測に係る気象情報、波高情報、風向・風速情報、潮位情報。
- ② 施設の監視・制御情報
港内周辺に配備されている排水機場、水門、陸閘などの管理施設の監視・制御を行うための情報。
- ③ 音声情報
周辺の住民に対する情報の周知、警報、また職員通話に供する情報。
- ④ 映像情報
港湾管理上の重要な拠点の状況の映像監視を行うための情報。

津波・高潮防災ステーションの機能について、防災センターの機能を第1表、現場機器の機能を第2表に示す。

4.3 システム構成

高潮・津波防災ステーションは、管理対象施設を遠隔で監視制御する監視・制御系システム、カメラによる映像監視を行う映像系システム、音声伝達を行う音声系システムからなる（第2図）。以下に、各システムの構成の考え方について説明する。

(1) 監視・制御系システム

防災センターでは、収集される施設管理情報・監視情報等を一元管理し、管理・運用の効率化と情報の共有化を目的とした中枢設備として位置づけることができる。機能には、次のようなものがあげられる。

- 情報収集機能
- 施設の遠方監視制御機能
- 情報処理機能
- 映像監視
- 情報通報機能

これらの機能を実現するために、一般的には以下のサブシステムにより構成する。

- ① 監視・制御系システムは、監視制御サブシステム、災害情報サブシステム、情報配信サブシステムにより構成する。
- ② 監視制御サブシステムは、防災センターで管轄する全施設の安全な運用の実現を主目的とし、現場における機器の状態信号や故障情報などの施設情報を取得して、操作員の迅速な判断を支援し、確実な監視・操作を可能とする。
- ③ 災害情報サブシステムは、災害発生時の迅速・適確な対応を目的とし、他機関を含む災害関連情報の収集および連絡を可能とする。
- ④ 情報配信サブシステムは、他サブシステムと有機

的連携を行うことにより、センター内外部への的確な情報配信を行う。技術進歩が著しい技術分野のため、最新技術を用いつつ、信頼性、拡張性を考慮する必要がある。

(2) 映像系システム

映像系システムは、映像情報の利便性、システムの拡張性を考慮し、デジタル映像情報を扱うことが望ましい。現場からのカメラ映像は、管理施設に接続されたMPEG2エンコーダにより、マルチキャスト配信され、任意のMPEG2デコーダで受信して映像出力されるシステムが最近の傾向である。出力映像は、MPEG4エンコーダでカタログ画像として生成され、管理サーバにLAN経由で取り込まれ、Webサーバ機能により、カタログ映像として関係諸機関の担当者のパソコンに配信される。

(3) 音声系システム

音声系システムは、音声情報の再利用性、システムの拡張性を考慮すれば、デジタル化が望ましい。VoIPの場合、音声のゆらぎ、伝送遅延などの課題があり、QoS (Quality of Service) などを適用していく必要がある。

通話系システムとして音声インタフェースをもったアクセスルータを導入し、管理施設の電話機どうし、または事務所PBX配下の電話機との間で通話ができることを考慮する必要がある。

4.4 通信ネットワーク

防災センターと管理対象施設は、有線回線（光ファイバ専用線）で接続され、バックアップとして無線（単一无線、多重無線など）が併用される。ここでは、いくつかの観点から、ネットワークへの要求事項を整理する。

(1) 防災拠点としての管理施設におけるネットワーク

防災センターは防災上の重要拠点であるため、ネットワークは対災害性の高い通信回線で接続する必要がある。また、制御信号は確実に伝送される必要がある。したがって有線回線については、一般的なIPだけでなく、SDHやRPR (Resilient Packet Ring) などが使用される。また管理対象施設が広域に広がる場合には、小さな地域ごとに中間的な管理施設である集約局を設けて、負荷分散や通信の信頼性向上を図ることがある。

(2) 港湾管理としての管理施設におけるネットワーク

港湾の管理対象施設は膨大な数となり、将来的に増設される可能性がある。また画像などの多様で伝送量の大きな情報が伝送される。さらに、地域や施設によって過去の経緯により多様なネットワーク環境が既設として整備されていることがある。したがって、既設回線を有効に利用しながら、光ファイバ、単一无線、多重無線など、現場の状況に応じて有線、無線を組み合わせたネットワークを構築する必要がある。

第1表 防災センターの機能

項目	内容	
監視制御 サーバ機能	監視・計測データ受信機能	子局装置から一定周期で監視計測データを受信し、Webサーバへ転送。
	制御データ送信機能	Webサーバからの制御指令を受信し、該当の子局装置へ制御データを送信。
	監視・計測データ蓄積機能	受信した監視・計測データの蓄積。
	施設操作記録データ蓄積機能	子局装置から送信される監視・計測データから施設操作の内容、操作時刻を検出し、施設操作記録として蓄積。
	施設故障記録データ蓄積機能	子局装置から送信される監視・計測データから設備の故障の内容、発生時刻を検出し、施設故障記録として蓄積。
	日報・月報データ算出・蓄積機能	子局装置から送信される計測データから日報データおよび月報データを算出し、日報および月報として蓄積。
	蓄積データ Webサーバ送信機能	Webサーバからの要求により蓄積されている記録、日報、月報を検索し、送信。
画像 サーバ機能	画像データ受信機能	子局装置から送信されるカメラの画像データの受信。
	画像データ蓄積機能	受信した画像データの蓄積。
	画像データ配信機能	画像データをWebサーバへ配信。
Web サーバ機能	Webコンテンツ監視データ表示機能	Webコンテンツとして各子局の監視・計測データおよび監視制御サーバでの蓄積データから監視データを表示。
	Webコンテンツ画像表示機能	各子局のカメラから送信される画像データをWebコンテンツとして画面への表示およびカメラ関連機器操作を実施。
	Webコンテンツ施設操作機能	Webコンテンツにより各子局の施設操作画面を表示し、操作を実施。

第2表 現場機器の機能

機器名称	内容
開閉装置	ゲートを開閉するための装置（モータ等）
機側操作盤	ゲートの現場操作またはセンターからの遠隔操作によりゲートの制御（電動動作）を実施。
被遠隔監視制御装置	ゲート設備の状態等のデータをセンターに収集、またセンターからの操作信号等を現場のゲートに伝送。
スピーカ	ゲート開閉操作に伴う人的事故を未然に防止するために、ゲート動作時に音声による放送を行い、注意喚起。
集音マイク	スピーカ放送音や現場の音をセンターへ送信。
サイレン	スピーカと同様に、聴覚的に注意喚起。
回転灯	ゲート開閉操作に伴う人的事故を未然に防止するために、ゲート動作時等に回転灯の点滅を行い、注意喚起。
情報表示板	文字や数値情報の表示により、視覚的に注意喚起。
監視カメラ	ゲート操作時の安全確認や現場の状況確認をセンターから目視により実施。
受電設備	電力会社より電力を受け、各種設備に電源を分配。
UPS	停電、瞬時電圧低下、周波数変動などの異常が生じて、定電圧・定周波の安定した交流電源を供給。
予備発電機	商用電源停電時に起動し、各種設備に電源を供給。

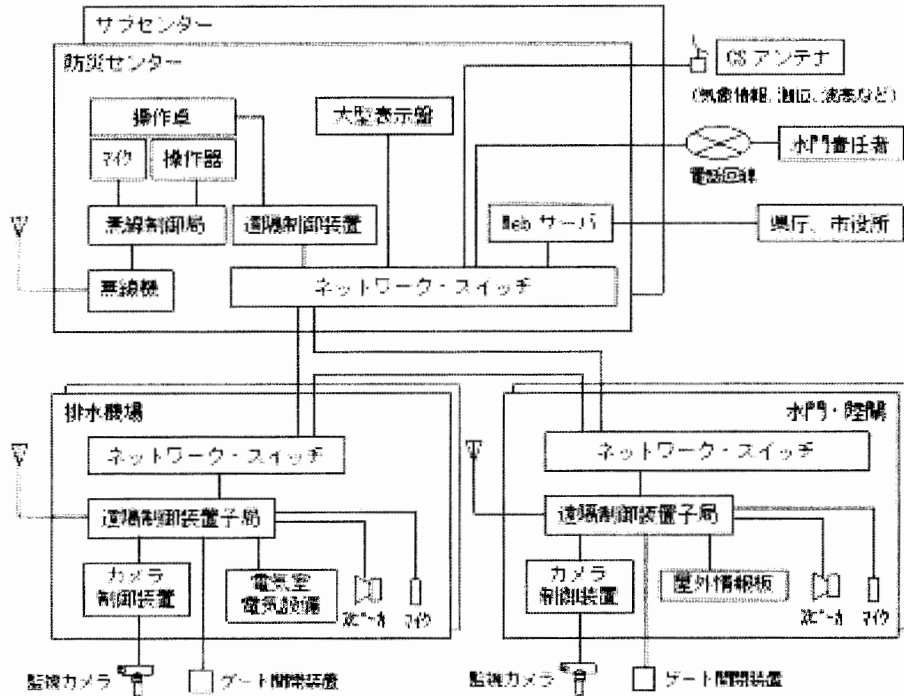
4.5 津波・高潮防災ステーションの運用

津波・高潮防災ステーションは、防災センターを中心として、水門、陸閘の管理を行う。

防災センターでは、排水機場・水門・陸閘の動作状況を常時把握し、緊急時に防災センターから遠隔操作を可能とするため、24時間常駐管理が必要となる。そのため、消防が管理運用するシステムもある。水門や陸閘の操作は、水防団などの現場職員に委託されている。確実なゲート操作のためには、現状と同様に現場職員による操作が原則となる。システムによる遠隔操作は、多くの

場合には緊急時のバックアップとの位置づけである。ただし、地震発生後数分で津波が到来するような地区では、人による閉鎖作業は間に合わないため、地震計を備えた水門や陸閘が自動的に閉鎖するシステムもある。

遠隔操作によって開状態にある水門・陸閘を全閉操作するには、1ゲート当たり最低5分を要する。津波到達までの限られた時間で全閉操作を行うためには、全局一斉制御、あるいはグループ化して制御する機能を具備する必要がある。操作の確実性と安全性を確保するため、あくまでも操作員が介在する半自動操作とする。



第2図 津波・高潮防災ステーションの一般的なシステム構成

津波・高潮防災ステーションの管理運用は、平常時、機器の異常発生時、地震発生時の三つに分類できる（「台風発生時」は本稿では除く）。以下でそれぞれの場合の運用の概要を示す。

(1) 平常時

平常時、防災センターでは、陸閘ゲート、水門ゲートの状態監視、遠隔での巡回パトロール、システム機器の状態監視、ゲート周辺の異常監視を、データ（子局装置の稼働、通信回線の状態、カメラの状態）と映像（ゲート周辺の異常監視）により行う。

水門・陸閘のデータや映像は、防災センターに送信され、操作卓、大型表示装置、警報表示盤などに表示される。また、職員がパトロールで外出している際には、職員の携帯電話に通知される。ゲート周辺で発生した音声は、マイクで集音し、防災センターに伝達され、モニタースピーカーを通して聴取する。

(2) 機器の異常発生時

ゲート盤などの機器異常が発生した際には、子局装置から異常警報が発信される。操作卓のブザーが鳴動し、操作卓のPC上と大型表示盤、プラズマディスプレイ上に警報内容が表示されると共に、職員携帯電話へ異常メールが送信される。防災センターおよび外出先職員が異常内容を把握し、対応の検討、対応指示、業者による修理を行い、機器の異常を復旧する。

(3) 地震発生時

防災センターでは、地震計から地震発生を受信すると、操作卓や警報表示盤のブザー鳴動、携帯電話へのメール通知、PC上での状態表示や津波情報の表示などが行わ

れる。震度が規程震度以上の場合、カメラとデータで安全確認を行いながら、半自動モードで水門・陸閘に対し全閉制御信号が出力され、ゲートの全閉動作が行われる。震度が規程震度以下だがゲートを閉じる必要がある場合、手動によりゲートの全閉動作を行う。これらの操作中には現場に対して、スピーカによる警告放送、現場音声集音、現場表示盤への警告表示を行う。

ゲートの全閉確認後には、カメラ映像による津波発生状況、ゲートの破損状況などの監視を行う。津波到達時には、監視カメラやデータにより津波の越波状況や津波の到達エリア周辺の被害状況の確認を行う。

津波による危険がないことが確認された時には、手動操作で操作卓からゲートの全開操作を行う。

第3図に津波防災ステーションの操作端末と陸閘の例を示す。



第3図 津波防災ステーション操作端末と陸閘の例

4.6 実稼働事例

2003年9月26日に北海道で発生した十勝沖地震で初めて津波防災ステーションが実稼働した[4]。地震は朝4時50分にM8.0（最大震度6弱）の本震が発生。4時56分に津波警報が発令され、5時18分に浜中町に第1波が

到着した。町では2001年に津波防災ステーションを設置し、4基の水門と5基の陸閘を、役場敷地内のステーション庁舎から遠隔で閉鎖できるようにしていた(第3図)。当日は地震発生7分後の4時57分に水門班職員がステーション庁舎に登庁し、安全を確認しながら4時58分に閉鎖開始、8分間で閉鎖を完了している。津波は閉鎖完了の12分後に到着している。浜中町霧多布港では海岸地帯の1400世帯4500人に避難勧告が出されたが、町内12箇所の避難所に避難した人は1200人であった。水門・陸閘閉鎖が遅れていれば被害が出ていた可能性がある。

4.7 津波・高潮防災ステーションの課題

津波・高潮防災ステーションの課題を整理する。

- ① 津波発生時の迅速な対応が可能か否かが最大の課題である。たとえば、津波発生時に職員が防災ステーションにいない場合、職員が地震後に短時間で登庁できるか(家を出るまでに時間を要する)、ステーションの近くに住む土木部職員などに代替できるか、などが課題となる。
- ② 水門・陸閘の開閉運用では、水門・陸閘をすべて閉鎖できるか、液状化などにより水門・陸閘が閉鎖できなかった場合の対応をどうするか、水防団などの現場職員への閉鎖指示の連絡方法は確保できるか、現場職員を支援できるモバイル情報環境があるか、閉鎖指示の連絡が伝わらなかった場合の対応はどのように行うべきかなどの具体的な対応方法を規定しておく必要がある。
- ③ 水門・陸閘閉鎖方法の選択方法や遠隔制御の位置付けの明確化(遠隔制御主体/現場職員による閉鎖優先)、遠制方法の明確化(自動閉鎖/手動遠隔制御、個別/一斉/グループ化)、遠制対象(電動化)とする水門・陸閘の選定とそれ以外の水門・陸閘の運用方法の検討、などが必要である。
- ④ 津波が水門・陸閘を超えて排水機場の施設が水に浸かると、稼働できない。内水排水ができなかったり、引き波を逃がす方法がないと2次災害が発生する。越波時の対応策の検討が必要である。
- ⑤ 職員の安全対策では、現場で水門・陸閘を手動閉鎖した職員の安全な避難方法や連絡体制、住民への連絡手段なども検討しておく必要がある。

5. おわりに

津波・高潮防災ステーションは、津波対策、地震対策の一部を構成するものであり、他の対策と有機的にリンクすることが不可欠である。防災対策は地域によって条件

が異なり、全国一律のシステムはありえない。したがって、現地の条件を十分に検討整理し、最適なシステムのあり方を整理し、運用なども含めて住民と合意したうえで、システムを構築する必要がある。

(2005年2月1日受付)

参考文献

- [1] 仲谷：大規模災害に対する減災情報システム(前編)；情報処理, Vol. 45, No. 11, pp. 1164-1174 (2004)
- [2] 仲谷：大規模災害に対する減災情報システム(後編)；情報処理, Vol. 45, No. 12, pp. 1255-1265 (2004)
- [3] 仲谷：津波防災におけるヒューマンインタフェースの課題；ヒューマンインタフェース論文誌, Vol. 5, No. 1, pp. 37-46 (2003)
- [4] 杉沢：浜中町の津波防災対策の取り組み；海岸, Vol. 43, No. 2, pp. 22-25 (2004)

著者略歴

仲谷 善雄



1958年7月24日生。1981年大阪大学人間科学部卒業。同年三菱電機(株)入社。中央研究所、産業システム研究所にて人工知能、ヒューマンインタフェース技術などの研究開発に従事。1991~92年米国スタンフォード大学言語情報研究センター客員研究員。1998年(株)ドーシスに転出、2001年に転出解除の後、2004年4月より立命館大学情報理工学部教授。学術博士。情報処理学会、計測自動制御学会、人工知能学会、ヒューマンインタフェース学会などの会誌・論文編集委員を歴任。

上田 雅章



1958年8月30日生。1981年神戸大学工学部システム工学科卒業。同年三菱電機(株)入社。入社後、映像情報システム、大規模施設セキュリティシステム、防災情報システムなどのシステムエンジニアリングに従事。

中田 雅文



1969年5月25日生。1993年武蔵工業大学工学部経営工学科卒業。同年三菱電機(株)入社。入社後、防災監視システム、空港セキュリティシステム、防災情報システムなどのシステムエンジニアリングに従事。