

平成21年度（財）港湾空港建設技術サービス センター研究開発助成報告書

助成番号：平成22年 2月 2日付 第09— 6号

研究開発項目：（指定番号②）「港湾・空港のアセットマネジメント
に関する研究」に関するもの

IC タグ，センサネットワーク，PDA を用いた点検モニタリングデータの 維持管理への高度利用に関する研究

平成23年4月28日

大阪大学

矢吹 信喜

第1章 はじめに

1. 1 背景

我が国では、高度経済成長期に大量に建造された構造物群の更新時期がそれほど遠くない将来に迫っている。大量の構造物を一時期に更新することは、逼迫する財政や大量の廃棄物の処理などの問題から困難である。従って、点検や維持管理、補修などにより構造物を長寿命化するとともに、受け入れ可能なロジックによって、更新あるいは大規模補修工事を実施すべき構造物の選択と優先順位付け、実施時期などを決定するアセットマネジメント手法を確立することが必要だと考えられる。

老朽化する港湾・空港設備の維持管理およびアセットマネジメントによる更新時期・方法の意思決定を円滑に実施するためには、点検およびモニタリングが重要である。従来、港湾施設の点検は点検員や技術者による目視による方法が主である。従って、点検技術は、経験や勘に頼るところが大きい。また、港湾・空港設備は大規模であるとともに複雑であることから、広範囲における空間軸・時間軸での把握と理解をするためには、長期間の経験と知識が必要である。熟練者でなければ、構造物のおかれる環境は多種多様であり、点検作業に関しては、図面、仕様書や過去の点検データなど多くの資料を携帯しなければならないが、実際はそんなに大量の資料を携行したならば、現場で移動するのが大変であり、現実的ではない。もし資料を携行したとしても、実際は見落としや気付かないことが多いと想定される。

そもそも、点検に際して、ほとんどの現場では、紙のシートに記入する方式に頼っており、携帯型のパソコンや PDA（携帯情報端末）などの IT 機器を使用して、データベース化しているケースは少ない。これでは、紙の点検データばかりが大量にストックされるだけで、検索や比較、グラフによる可視化などといった能動的なデータ検討を行うことは時間と労力がかかり、大変である。

昨今は、熟練技術者らが大量に定年を迎えたにも関わらず、新たに大量に採用されることがなくなったことも加わり、点検技術や構造物に関する知識が若年層へ継承されにくいという問題が関係各方面から指摘されている。

従って、過去の点検データの履歴や、熟練者の点検技術、構造物に関する知識を、現場において手元で参照・利用でき、さらに軽装備で容易に点検データや気付いたことなどを記入し、それらのデータをデータベース化できる点検支援システムを構築し、利用することが必要だと考えられる。

また、港湾構造物において、構造物の構造上、目視による点検が困難な個所や特にデータとして即時に知る必要がある、あるいは記録として常にデータを残しておく必要がある場合は、センサー等を用いて加速度、振動、水圧、気温、水温等の計測（モニタリング）を実施していることが多い。こうしたセンサーによるモニタリングデータは、台風などの災害時における即時判断や事故や事件が発生した後の検証などの目的では有効に利活用されていると考えられる。しかし、通常の維持管理においては、モニタリングデータがアセットマネジメントにおける意思決定に効果的に利活用されているということはほとんど聞かれない。

1. 2 研究目的

上記の課題を解決するためには、現状の紙ベースの図面、書類、点検データシートといった情報や2次元CAD図面データや文字と数値のみのデータに代表される現状の情報技術によるアウトプットから、オブジェクト指向技術に基づく3次元のプロダクトモデルをベースに、種々のアプリケーションと連動し、ICタグやセンサネットワークにより現実の港湾・空港設備とを統合化した新しいアプローチを考案し、適用する必要がある。

本研究では、矢吹が提案している「国土基盤モデル」を港湾・空港施設のアセットマネジメントに応用することにより、死蔵されている点検・モニタリングデータと構造物の維持管理情報を統合化し、機能維持、突発的事象に対応し、資産価値の向上にも資することを目的とする。

第2章 既往の研究のレビュー

2. 1 水力発電所の水圧鉄管の点検情報システム

矢吹ら¹⁾は、2000年に、水圧鉄管を対象として、3次元プロダクトモデルを作成し、現場にICタグを設置し、3次元プロダクトモデルとリンクさせた点検情報システムに関する研究開発を実施した。この研究は、現場検査支援システムと本部情報管理システムによって構成されている。前者のシステムにより、点検員は、PDAとICタグを用いて、点検を効率化し、後者のシステムにより、点検データと3次元プロダクトモデルをリンクさせることにより、3次元CADシステム、GISおよび属性表示システムとデータの相互運用が行えるようにしている。このシステムは、当時としては画期的なものであったが、水圧鉄管の実際の現場に実務として利用されるには至らなかった。

2. 2 ダムの巡視点検支援システム

前述の点検情報システムは、その後、水圧鉄管ではなく沖縄の羽地ダムで実際に適用されることになり、実務での利用に耐えられるようシステム開発を実施した。詳細は、論文²⁾を参照されたい。

この研究では、第一に個人の保有する技術を世代を超えて「引き継ぐ」、第二に「使い続ける」という点に着目し、速い情報獲得、検索および照合、安い価格、良い操作性、及び情報管理を基本として点検支援システムに必要な性能であると述べている。要求性能に基づいて、ICタグと小型かつ軽量のPDAを組み合わせ、汎用的なリレーショナルデータベースを有するPCと連携させた点検支援システムを構築した(図2.1)。

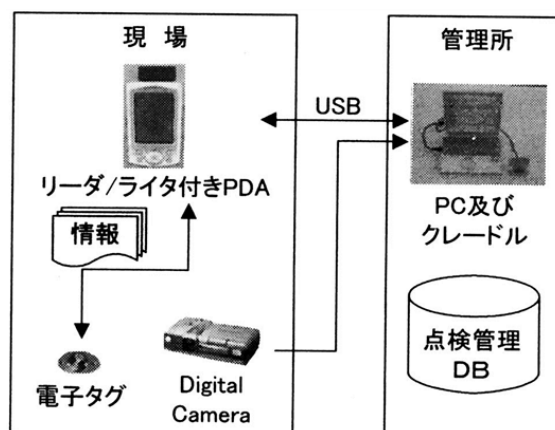


図 2.1 点検支援システムの構成図

本システムは、ICタグ、リーダー・ライター、情報端末機器（Personal Digital Assistant）、パソコンからなる。ICタグは「電子ベンチマーク」として有効である。点検時に留意すべき点検箇所としてのベンチマークであり、経験や勘による点検作業の暗黙知を形式知に変換することができる。また現場にデータを保管できることから災害時にも即座に前回のデータとの比較が可能である。

具体的には、ダムの河川水位計や水質、取水塔、水平・鉛直測量、洪水吐ゲート等など、定期的に点検（日点検、週点検、月点検）する箇所に、電子タグを設置した。PDA内には

点検項目と箇所ごとの点検方法を保存した．そして電子タグには点検日時，目視点検結果（○△×）ならびに次回点検時に必要だと考えられる計測データを保存した．また現場の状況や，以前発見されなかった異常等を記録するために，デジタルカメラを用いて写真撮影をした．PDA に保存された今回の点検データを USB を経由して管理所の PC の点検管理 DB に転送する．また新しく撮影した写真データも管理所の PC の点検管理 DB に蓄積する．これにより今後のデータ活用を想定した点検支援システムを構築した．この研究では，点検業務の効率化を図り，点検技術を使い続けるための巡視点検支援システムの構築を行った．

2. 3 港湾施設の点検およびアセットマネジメント

2. 3. 1 高橋らの研究

港湾設備について，高橋ら³⁾は具体的地区を想定して，アセットマネジメントの試行を行い，優先順位の設定，一定予算制約下での事業計画を策定している．港湾施設は，多種多様な施設が存在し，水域施設，外郭施設，係留施設，臨港交通施設で構成される．その中で港湾の係留施設は船舶が港湾で停泊する施設で，例に挙げる，栈橋式係船岸，その他に重力式係船岸，矢板式係船岸等と細分化される．栈橋式係船岸は床板と梁を主体とする上部工と鋼管杭を主体とする下部工に区分される．栈橋式係船岸の構成を図 2.2 に示す．上部工，下部工の劣化状況を図 2.3～図 2.5 に示す．

こうした構造物の定期点検では，一次点検と二次点検に分けられる．一次点検では，目視調査などを主体に，構造物の部材ごとに点検・評価を行う．頻度は，1～2年ごとで，部材ごとに，a, b, c, d で評価する（表 2.1）．二次点検では，潜水土，機器などを活用して目視困難な部材の劣化の進行等を詳細に点検・評価する．頻度は，必要に応じて一次点検の補完として行う（表 2.2）．これらの点検の後，部材ごとの評価結果をもとに，構造物全体の機能・安全性を総合的に評価する．施設の評価は，A, B, C, D で行う．

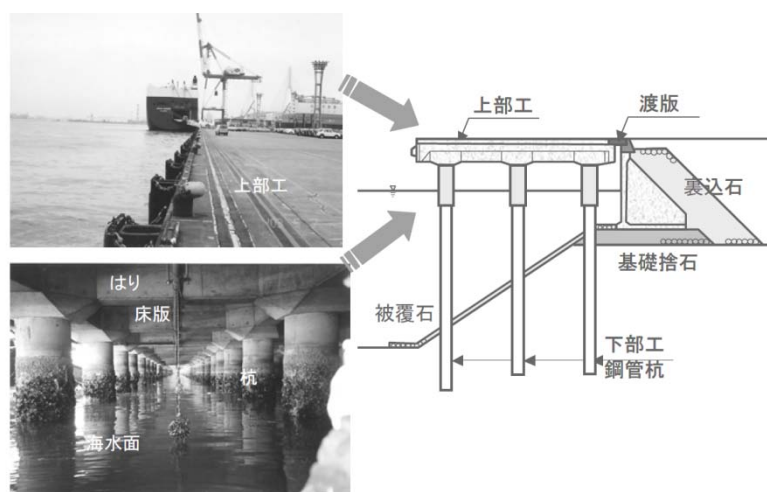


図 2.2 栈橋式係船岸の構成³⁾



図 2.3 栈橋上部工下面の調査状況³⁾



図 2.4 上部工床版下面（左）と梁下面（右）の劣化状況³⁾

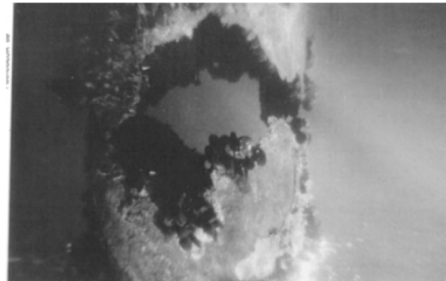


図 2.5 下部工鋼管杭の劣化状況³⁾

表 2.1 栈橋の一次点検診断表³⁾

点検項目		点検方法	判定基準
上部工	コンクリートのひび割れ (下面)	目視 ・ひび割れの発生方向 ・ひび割れの本数・長さ と幅	スラブ： ☐ 網目状のひび割れが部材表面の50%以上見られる ☐ かぶりのはく落がある ☐ 鉄筋が破断している はり： a ☐ 軸方向の幅3mm以上のひび割れが見られる ☐ かぶりのはく落がある ハンチ： ☐ 蜘蛛の巣状または鉛直方向の幅2mm以上のひび割れが見られる ☐ かぶりのはく落がある
			b ☐ スラブ：網目状のひび割れが部材表面の50%未満で見られる ☐ はり：軸方向の幅3mm未満のひび割れがある ☐ ハンチ：幅2mm未満のひび割れが全体的に広がっている
			c ☐ スラブ：一方向のひび割れもしくは帯状または線状のゲル吐出物が見られる ☐ はり：軸と直角な方向のひび割れのみが見られる ☐ ハンチ：幅2mm未満のひび割れが部分的に見られる
			d ☐ 変状なし
鋼管杭	鋼材の腐食、 亀裂、損傷	目視 ・穴あきの有無 ・水面上の鋼材の腐食 ・表面の傷の有無	a ☐ 腐食による開孔や変形、損傷が見られる
			b ☐ MSWL付近～LWL付近、あるいは全体的に赤橙色の発錆が著しい
			c ☐ 部分的に黒または赤褐色の発錆が見られる
			d ☐ 付着物が見られるが、発錆、開孔、損傷は見られない

表 2.2 栈橋上部工の二次点検項目および点検方法³⁾

点検項目	点検方法
コンクリート強度	コアサンプリング、反発度法
コンクリートのひび割れ深さ	超音波法等
かぶり厚さ	電磁波法、はつり試験等
鉄筋の腐食状況	自然電位測定、分極抵抗測定等
コンクリートの分析	塩化物イオン含有量測定、中性化深さ測定等

2. 3. 2 「港湾の施設の維持管理計画書作成の手引き」から

わが国の港湾構造物はアセットマネジメントによって事後保全から予防保全を導入した戦略的な維持管理への転換が図られている。国土交通省港湾局の指導に基づき財団法人港湾空港建設技術サービスセンターより、「港湾の施設の維持管理計画書作成の手引き」⁴⁾が発行されており、代表的な構造形式の施設についての記載や検討事項、配慮事項が述べられている。この中から、国が推進している港湾施設の点検方法について、係留施設（栈橋式係船岸）を対象に具体的に紹介する。

対象物の状況を把握するための点検診断は複数存在する。点検によって点検項目と頻度は異なる。手引き⁴⁾によると点検診断の種類と概要は以下のとおりである。

- | | |
|-----------|--|
| ①初回点検 | 建設直後の竣工段階において、栈橋全体のみならず各部材及び附帯設備において維持管理の初期状態の把握を行う。なお、建設直後においては、竣工時の品質検査や出来形検査などの結果を元に、初期状態の把握を行ってもよい。 |
| ②日常点検 | 日常の巡回で点検が可能な箇所について、変状の有無や程度の把握を行う。 |
| ③定期点検診断 | 日常点検で把握しがたい構造物あるいは部材の細部を含めて、変状の有無や程度の把握を目的に定期的に行う。この定期点検診断は、比較的短い間隔で海面上を対象にした目視調査または簡易計測を主体とする一般定期点検診断と、比較的長い間隔で、一般定期点検診断では点検診断が困難な部分を含めて高度な方法により実施する詳細定期点検診断に区分される。 |
| ④一般臨時点検診断 | 地震時や荒天時の異常時の直後のできるだけ早い段階で、目視調査または簡易計測を主体として変状の有無や程度の把握を行う。 |
| ⑤詳細臨時点検診断 | 定期点検診断又は一般臨時点検診断の結果、特段の異常が確認された場合、あるいは想定外の異常が確認された場合に実施する。 |

次に、点検の種類と位置付けを図 2.6 に示す。この図のうち、管轄する港湾の行政職員が行う日常点検は、日常の巡回で点検可能な場所に対して変状の有無や程度の把握を行うものである。頻度は週に 1 回から年 1 回であり、管理主体によって頻度の差がある。点検方法は目視が主体であり、徒歩もしくは車両で点検を行う。点検対象は、目視で点検できる陸上部および海上部であり、港湾施設の主要部材である上部工と、その他の部材及び附帯設備に対して行う。下部工及び土留護岸に対する実質的な日常点検は困難であることから、監督測量船で全面を航行した場合に限り、特段の異常や着棧等の施設での利用上の障害となるものを取り除く。

点検時の日常点検報告書様式を表 2.3 に示す。点検時にはこの様式やそれに準ずる用紙を携帯し、異常があればブロック No やその異常の箇所（座標）、異常項目、異常の状態、判定及び処理について記入する。点検を終えると、管理事務所にて甚だしい異常や現場で対処できなかった問題に対して、処置等を決定する。報告書は点検日誌として、ファイリングし、次回点検時に役立てる。

したがって、港湾施設においても、現在点検は紙媒体で行っており、データの電子化や蓄積したデータの有効利用が進んでいるとは読み取れない。

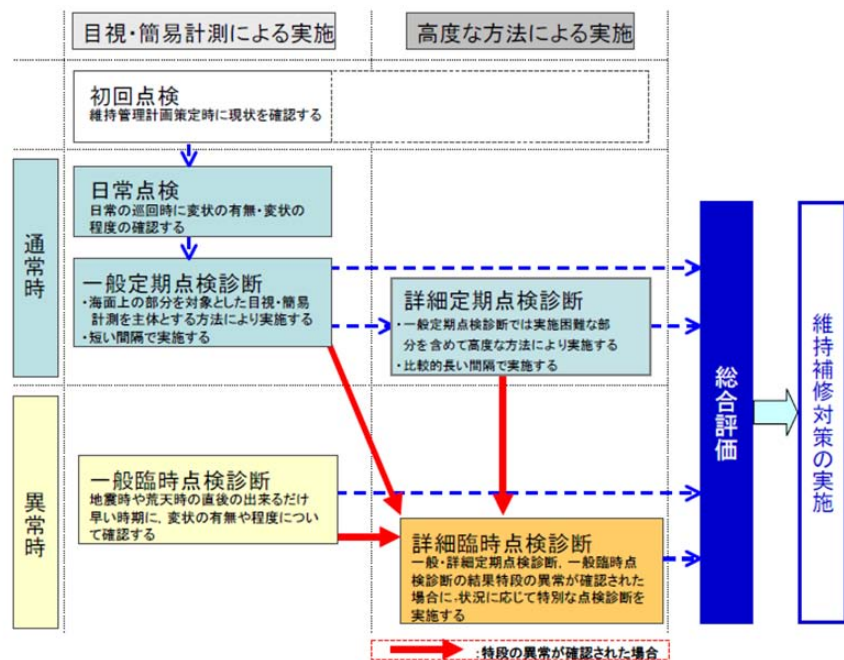


図 2.6 点検の種類と位置付け⁴⁾

表 2.3 日常点検報告書書式⁴⁾

日常点検報告書		ブロックNo. 日付□□□□年□□月□□日		点検者 ○○ ○○	
点検項目 上部工の上面 ①当初の想定供用状態が守られているか。 ②特に重量の大きい車両の通行はないか。 ③船舶等からの過大な衝撃を受けた形跡、報告はないか。 ④枕木の法線の変状、目地のズレはないか。 ⑤異常な音や振動は確認されないか。					
ブロックNo.	点検時刻	座標	異常項目	異常の状態	判定および処理
第1ブロック	□□:□□	1 S11	①	重量物が置かれている。	撤去
状況スケッチ					

2. 4 国土基盤モデル

国土基盤モデル⁵⁾は、矢吹が唱えている情報インフラと実際の社会インフラを統合したものである。そのコンセプトは、以下の通りである。

3次元プロダクトモデルを開発することにより、測量、計画、設計、解析、積算、工程計画、施工計画、維持管理等で利用される各種情報システム（CAD、CG、FEM、GIS、データベース、プロジェクトマネジメントなど）間で、データを共有化することが可能になり、インターネットを介して、遠方であってもプロジェクトに数多くの技術者や関係者が参加できるような情報基盤すなわち「サイバーインフラストラクチャ」を形成することができる。一方、土木構造物等の社会基盤施設は現実世界のもの、すなわち実社会基盤であるから、サイバーインフラストラクチャが現実から遊離したものでは意味がない。そこで、測量、センサネットワークや IC タグ（RFID）等によって、情報基盤と実社会基盤を融合することが重要だと考えられる。さらに、情報基盤から実社会基盤の人々や機器類等に指令や支援といった各種情報を与えることにより、全体として安全・安心で快適な社会や経済発展につながり、実社会基盤がその価値を向上あるいは創造することが可能になる新しいモデル「国土基盤モデル」（図 2.7）を構築することが、将来のために重要な課題だと考えられる。国土基盤モデルは、サイバーな情報基盤と実社会基盤を情報により統合化した国土の基盤となり得るモデルといえる。

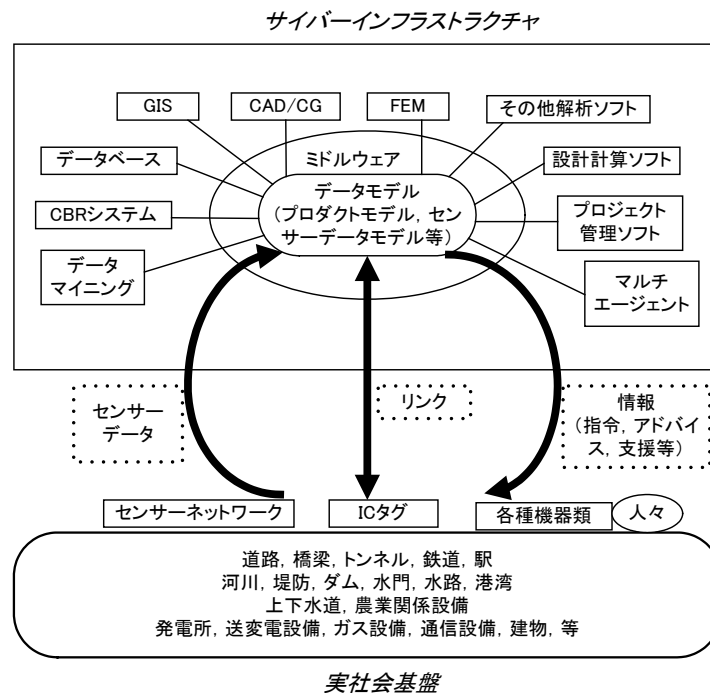


図 2.7 国土基盤モデル

第3章 長期的に開発中の維持管理支援システムの全体像 と本研究の目的

現状の構造物に関する幾何学的な情報は2次元の図面によって表現されており，例えばCADで図面を作成しても，結局はコンピュータで，構造や部材の検索を行ったり，位置を特定したり，解析の入力データとして直接的に利用することはできない．すなわち，2次元の図面しか使っていない限り，図面を判読できる技術者が構造物に関する記憶を持ち続け，アナログデータとして利用せざるを得ないのである．

そこで，まず対象となる構造物の部材などをひとつずつオブジェクト指向に基づいて表現可能な3次元プロダクトモデルを構築することが重要である．なぜなら，そうすることによって，コンピュータに構造物の位置，寸法，諸元，属性などを理解しているように振る舞わせることができるからである．プロダクトモデルは，一種のデータベースの仕様であるから，仕様に則った各種ソフトウェアは，プロダクトモデルによって表現された構造物データと互換性を有することになる．

プロダクトモデルについては，機械や造船などの分野では早くから開発が進み，一部は，ISO 10303（略称：STEP: Standard for the Exchange of Product data）として国際標準となっている．建築分野では，民間の団体であるIAI（International Alliance for Interoperability：現在は，buildingSMART Internationalに名称を変更）が建物の3次元プロダクトモデルであるIFC（Industry Foundation Classes）を構築し，至近年度にISOの国際標準になる予定である．しかし，港湾を含む土木分野では，3次元プロダクトモデルの構築は遅れている．2000年頃から矢吹らは，プレストレスト建設業協会やフランスのCSTB（国立建築土木研究所）などと協力して，橋梁のプロダクトモデルIFC-BRIDGEを開発している．また，矢吹らは，シールドトンネルなどの地下構造物のプロダクトモデルの開発も行っている．

本研究においても，長期的な視点で，港湾構造物の3次元プロダクトモデルを開発し，国土基盤モデルの考え方に従い，センサーデータを計測データベースに蓄え，RFIDタグを利用しながら点検データを点検データベースに蓄え，それらのデータは3次元プロダクトモデルデータと直接，自動的にリンクされるようにする．そのため，互換性のある3次元モデルデータのビューワーソフトウェアや3次元CADシステムで，構造物の劣化状態や計測データの変化などを可視化できる．また，3次元プロダクトモデルのデータは，構造解析，水理計算などの解析やシミュレーションシステムともデータの互換性を有するため，ストレスフリーにシミュレーションを実施し，各種の技術的な判断に役立てることができる．さらに，積算ソフトウェアともリンクしており，更新や維持修繕などにかかるコストを短時間に計算することが可能となる．こうした総合的な環境の中で，3次元プロダクトモデルと連動させつつ，アセットマネジメントシステムを稼働させるものが，図3.1に示す長期的な視点で開発している維持管理支援システムの全体像である．

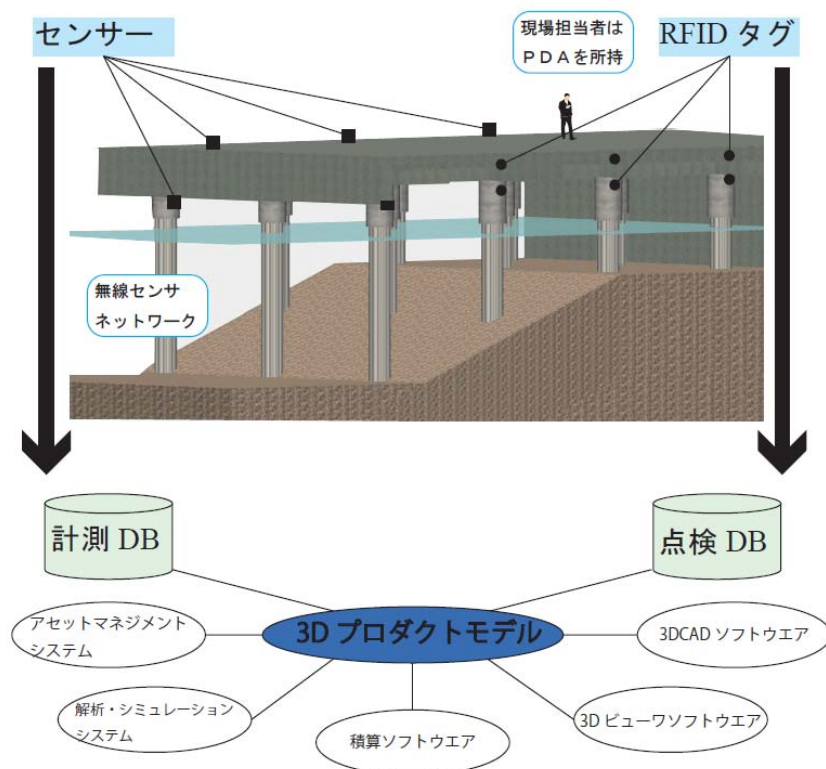


図 3.1 長期的視点で開発中の維持管理支援システム

本研究では、この長期的視点で開発中の維持管理支援システムのうち、主に、港湾構造物に RFID タグを貼り付け、PDA を用いて点検支援を行うシステムを開発すること、センサーネットワークの利用に関する検討、港湾構造物の 3 次元プロダクトモデルに関する基礎的検討を行い、点検モニタリングデータの維持管理およびアセットマネジメントへの高度利用に資することを目的とした。

第4章 RFID と PDA を用いた現場点検支援システムの開発

4. 1 現場点検支援システムの概要

本研究ではRFIDタグとPDAを用いて現場から点検データを収集する現場点検支援システムを構築する。RFIDタグを点検施設の一定範囲ごとに設置し、点検結果をPDA上で入力し現場から点検データを収集する。PDAには点検項目や、その結果の入力欄や点検現場の状況に対する処置等が記入できる。また、RFIDタグには、点検漏れを防ぐため、前回の点検員名や、点検日、点検時の天候を書き込む機能を有する。現場点検支援システムの構成図を図4.1に示す。また、図4.2に従来と本システム導入後の点検フローの相違を示す。

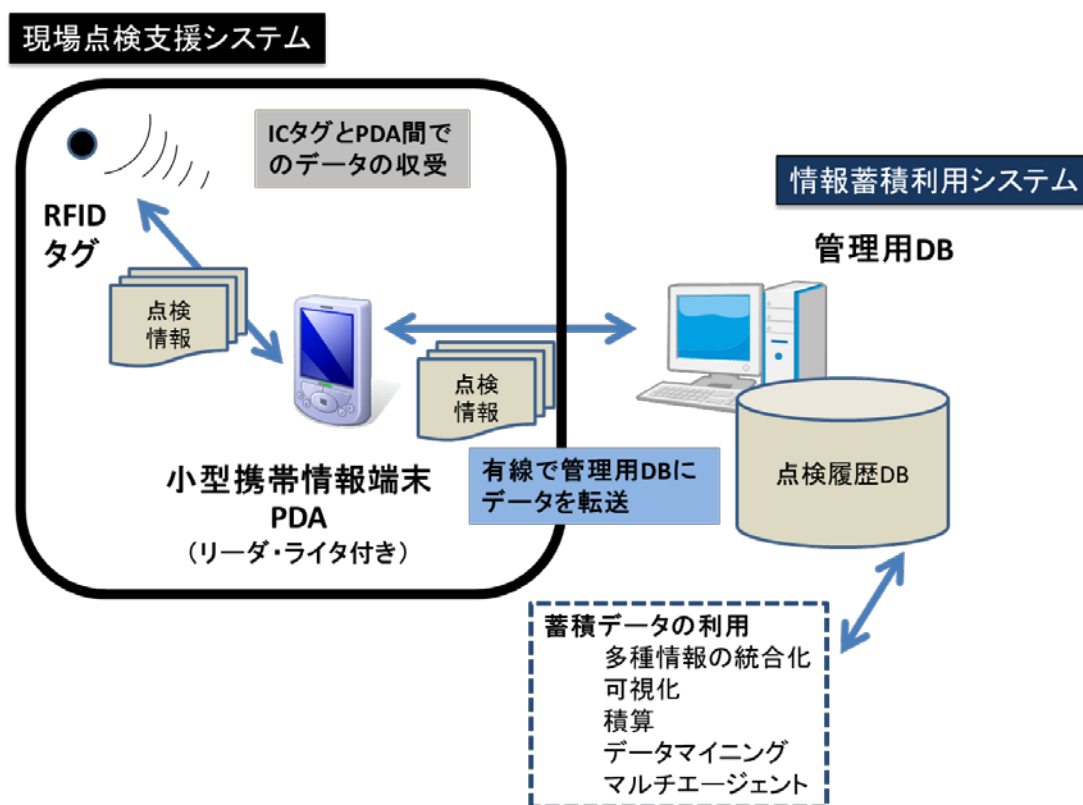


図 4.1 本研究で構築した現場点検支援システムの概要図

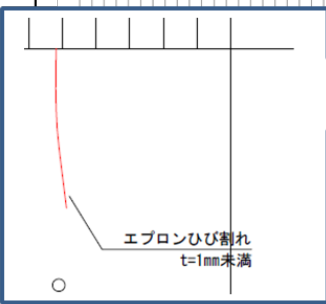
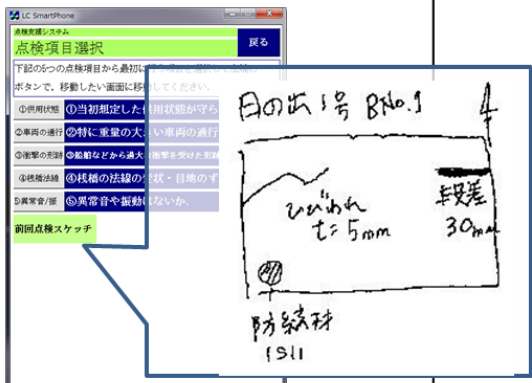
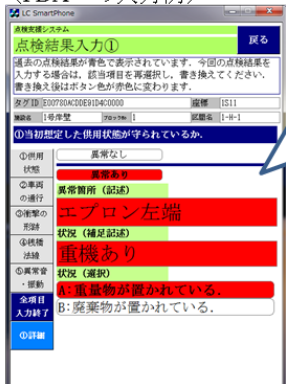
	従来	現場点検支援システム導入後
事務所 現場	点検前の携行品	
	- 資料（前回点検結果） - カメラ	- リーダライタ付きPDA - カメラ
	現場の点検対象のブロックにて	
	該当ブロックの過去の点検報告書を探す 	ICタグを読み取る 
	前回報告や図示を元に巡回及び点検 （点検対象）上部工 ①当初の想定の使用状態が守られているか ②特に重量の大きい車両の通行はないか ③船舶等から過大な衝撃を受けた形跡・報告はないか ④栈橋の法線の変状、目地のずれはないか ⑤異常な音や振動は確認されないか （点検対象）渡版、防眩材、車止めのとき 変状があれば内容や規模を記入及び入力	
	前回の変状箇所の前回報告書を参照 	前回の変状箇所をPDA上で表示 
	変状の記入 変状の大きさ・幅の計測 撮影等 （用紙への記入例） 	変状の記入 変状の大きさ・幅の計測 撮影等 （PDAへの入力例）  ①について 変状の位置 状況 処置（記述） 処置（選択） ②～⑤についても同様
	次のブロックへ移動	

図 4.2 従来と本システム導入後の点検フローの相違

4. 2 現場点検支援システムの開発環境

4. 2. 1 構成要素

(1) RFID タグ

ア) RFID の概要

RFID (Radio Frequency Identification : 電波による個体識別) とは無線に反応するチップ (記憶メモリ) により人やモノを識別・管理する仕組み・技術を指す。主な特徴としては非接触で認識対象物の認証が行えること、非接触認証を複数の対象に対して同時に行えること、書き込みが可能なことである。RFID は技術の総称であり、リーダライタ (認識装置) を用いて、電波で IC チップ (認識対象) に書き込まれているデータを読み取ることが可能である (図 4.3)。なお、認識対象単体は、IC チップを利用するという性質や形状的な特性から「無線 IC」「IC タグ」「RFID タグ」などと様々な名称で呼ばれるが、本論文では「RFID」タグで統一する。

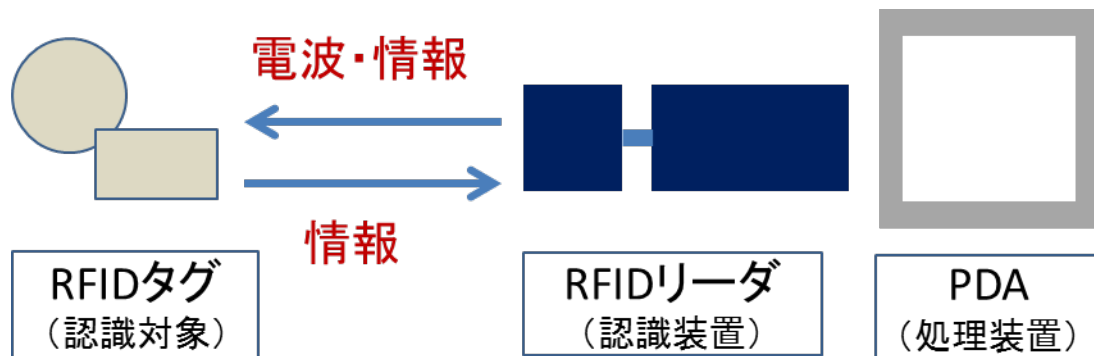


図 4.3 RFID タグの概要

(富士通研究所:「IC タグシステムってなんだろう」を基に筆者作成)

イ) RFID タグの選定

港湾施設は、高い波を受けたり、厳しい気象条件にさらされるなど、外部環境が厳しい。また、港湾施設は供用年数が非常に長い。従って RFID タグは耐久性があり長期間にわたってデータをタグ内に保持できることが望ましい。さらに維持管理の対象は多数あることから RFID タグのコストも重視する必要がある。

RFID タグにはアクティブタグとパッシブタグの 2 種類ある。アクティブタグは通信距離が長く自ら電源を持ち、リーダライタに向かって、所持するデータを送信することが可能である。しかしながら電池に寿命が存在する上にコストが高い。パッシブタグはタグに向かって飛ばす電磁波が電源となりデータを送信するので、タグ自体は無電源でランニングコストはかからない。大量に環境中に設置することを考慮した結果、本研究のシステム構築にはパッシブタグを採用することとした。

本研究では、RFID タグには、Texas Instruments 社製の Tag-it HF-I を使用した。本製品は 13.56MHz 帯のパッシブタグである。表 4.1 に仕様を示す。図 4.4 に外観を示す。

表 4.1 Tag-it HF-I の仕様

項目	仕様
準拠規格プロセッサ	ISO/IEC 15693-2,-3 11mA
動作周波数(+25℃)	13.56 MHz+/-250kHz
読取り 最大要求電界強度 (+25℃)	112 dB μ A/m
書込み 標準要求電界強度 (+25℃)	115 dB μ A/m
固有識別子 (番号)	64Bit
ユーザメモリサイズ	2,048 ビット (64 ブロック x 32 ビット)
書込み回数 (+25℃)	100,000 回
データ保持期間 (+55℃)	> 10 年
同時読取り (アンチコリジョン)	50 タグ/秒 (リーダ/アンテナの性能に依存)
タグのサイズ	直径 22+/-0.2 x 3 mm+/-0.2 mm
重量	1.6+/-0.3 g
プラスチック材料	PPS ブラック
IP	IP 68 (water pressure 45 bar,10 H)
動作温度範囲	-25℃ to +90℃
保存温度範囲	-25℃ to +120℃ +160℃ , トータル 50 時間 +220℃ , トータル 30 秒
強度	-軸方向強度 : 1000N -放射方向強度 : 500N



図 4.4 Tag-it HF-I の外観

(2) PDA

情報端末機器は本来データの表示，画像の表示，文字入力，手書き入力，さらにはデータの送受信等が可能である．本研究では，現場に携帯可能で小型で，さらにアプリケーション開発が可能な機能性，拡張性に優れた情報端末機器が必要であると判断し，製品にはヒューレット・パッカード社製の，PDA (Personal Digital Assistant : 小型情報端末) である iPAQ212 を使用した．この製品には，通信スロットとして，CF カードスロットが付属している．表 4.2 に仕様を示す．図 4.5 に外観を示す．

表 4.2 iPAQ212 の仕様

項目	仕様
OS	Microsoft® Windows Mobile® 6 Classic 日本語版
プロセッサ	11mA
RAM メモリ	Marvell® PXA310 624MHz プロセッサ 3.3V/5V
ROM メモリ	128MB SDRAM (87MB 使用可能)
	256MB Flash ROM(150MB 使用可能, iPAQ File Store
ディスプレイ	領域として 24MB 使用可能)
通信スロット	4 インチ半透過型カラーTFT 液晶 (タッチスクリーン, 輝度センサ搭載, 可変 LED バックライト付き)
	SD カードスロット (SDHC/SDIO/MMC 対応), Compact Flash (CF)カードスロット



図 4.5 iPAQ212 の外観

(3) RFID リーダ

RFID リーダには, SocketMobile 社の RF5400-542 を使用した. この製品は ISO-15693 に準拠しており, ソケットを PocketPC の CF カードスロットに挿入することで, 13.56MHz の RFID タグの読み取りと書き込みが可能である. RFID リーダには SocketScan キーボードウェッジソフトウェアがついているために, RFID 内の情報を今回構築したアプリケーションにも送ることができる. このリーダーは Tag-it HF-I を読むことが可能である. 表 4.3 に仕様を示す. またに図 4.6 に外観, 図 4.7 に RFID リーダを装着した PDA を示す.

表 4.3 F5400-542 の仕様

項目	仕様
RE	Type I
消費電流：待機時	11mA
：動作時	52mA (@3.3V)
動作電圧	3.3V/5V
サポート RFID タグ (ISO15693)	ICODE SLI/SL2 LRI512 my-d Tag-it HF-I
アンチコリジョン	対応
サポート OS	Windows Mobile 2003/2003SE, Windows Mobile5.0
周波数	13.56MHz
交信距離	6.35cm
キーボードエミュレータ	付属
SDK エラー! 参照元が見つかりません。	SDK は「デベロッパーズキット」の一部として提供
リーダ部：サイズ	45 × 49 × 21 mm
重さ	34g
動作温度	-10℃ ～ +50℃
保存温度	-40℃ ～ +70℃
湿度	5-95% RH (結露なきこと)



図 4.6 RF5400-542 の外観



図 4.7 RFID リーダを装着した PDA と RFID タグ

4. 2. 2 開発環境

点検支援システムは、ユーザーインタフェース開発環境、実行環境、データベースが一体となった統合開発環境である「ル・クローン」上で行う。アプリケーションシステム開発環境 (Developer) と実行環境 (Agent) から構成され、デスクトップパソコンの Windows でアプリケーションの作成とテスト実行を行い、携帯端末である前項で述べた PDA 上で実際にアプリケーションの運用を行った。ル・クローンはマルチプラットフォームであり Windows, UNIX, Linux, 携帯電話, PDA をはじめ専用端末、情報家電、通信機器などの組み込みシステムに至るまで実行環境を選ぶことが可能である。本研究では、ル・クローンを用いて現場点検支援システムを構築し、先に述べた PDA 上で実行させる。

4. 3 本システムの特徴的な機能

4. 3. 1 ID 読み取り機能

RFID タグ自体が固有の ID を持っており (例: E00780ACDDE90000), RFID リーダが、タグに書き込まれている ID と、それにリンクされた情報を呼び出し、PDA の画面上に表示させることができる。図 4.8 に IC タグと PDA 間の ID 読み取り機能の概念図と図 4.9 に RFID タグ検出時の PDA 上での表示を示す。

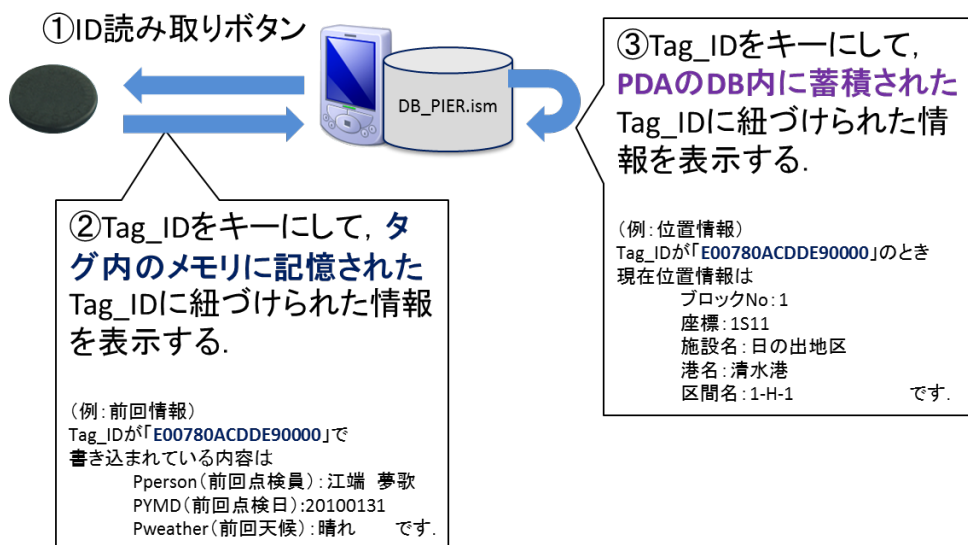


図 4.8 ID 読み取り機能の概念図

図 4.9 RFID タグ検出時の PDA 上での表示

4. 3. 2 点検結果入力機能

表示された点検項目や点検方法によって点検を進めていくことができる。スイッチボタンやドロップリストによる選択やパレットによる入力で、容易に点検結果を入力できる。結果を入力した際には前回点検結果と混同しないようにボタンや枠の背景色を赤色で表示するようにした（図 4.10）。

図 4.10 点検結果入力機能

4. 3. 3 前回履歴表示機能

PDA 上で点検項目を表示させたときには、前回の点検結果が入力された状態であり、前回の点検結果は今回入力する値と混同しないように、入力済みのボタンや枠の背景色を青色で表示するようにした（図 4.11）。

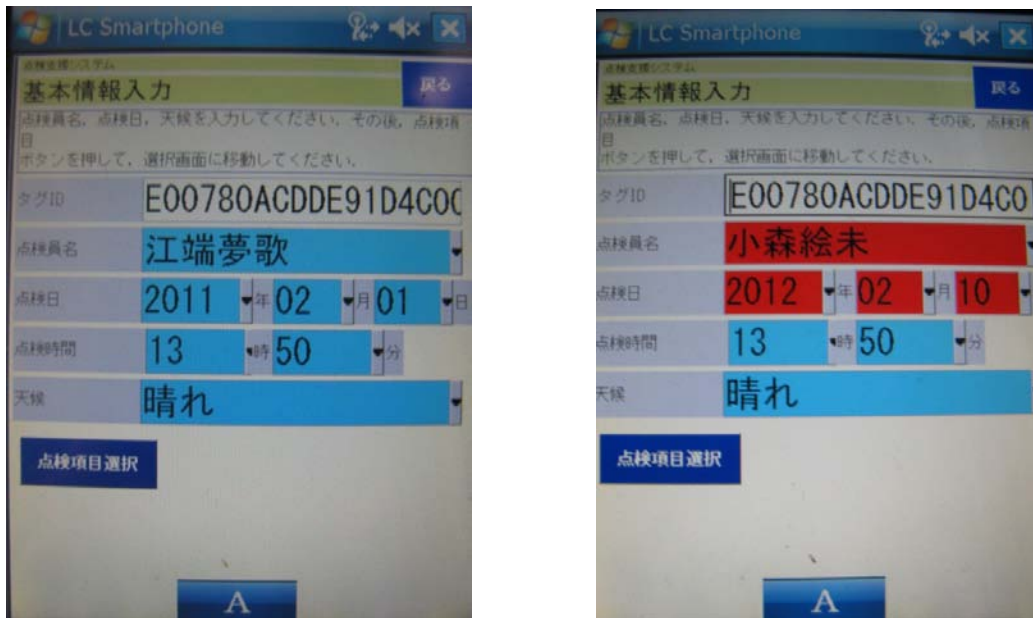


図 4.11 前回履歴表示機能

4. 3. 4 手書きメモ機能

PDA 自体に手書きメモ入力ソフトを取り込み、点検システムにて点検時の変状の位置確認の際に参照したり、ペンタブで図やメモなどの自由記述ができるようにした（図 4.12）。

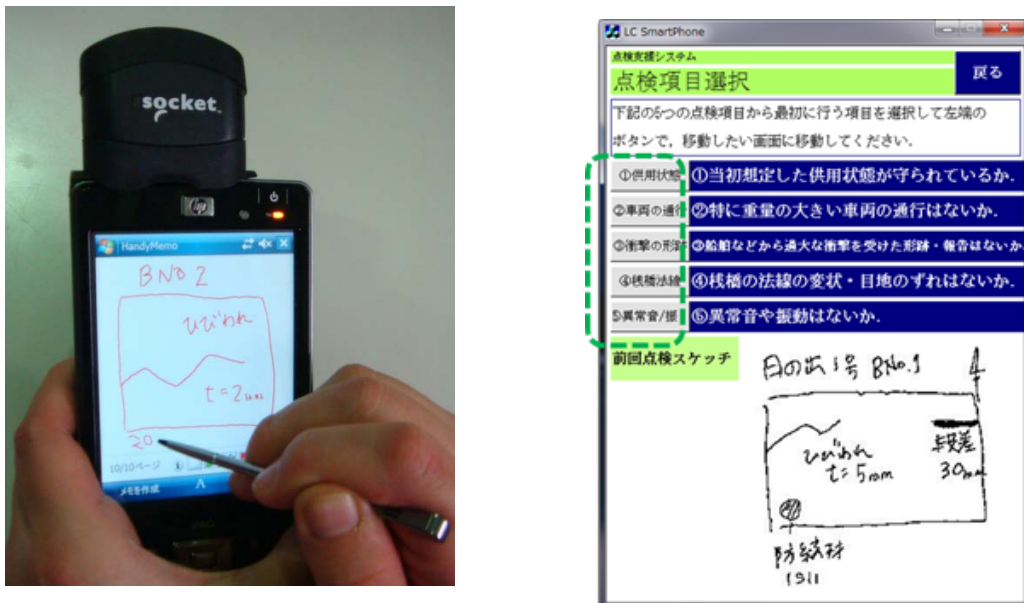


図 4.12 手書きメモ機能

4. 4 現場点検支援システムの利用手順

4. 4. 1 港湾施設での利用

開発した現場点検支援システムは、港湾の係留施設の日常点検に用いることを想定している。日常点検の目的は変状の有無と程度の把握であり、国の作成した維持管理計画の手引き⁴⁾では、点検の頻度は定められていない。そこで週1回の巡回から、年1回の点検まで広く汎用性があり、なおかつ自治体の技術職員が容易に点検・計測結果を収集できる現場点検支援システムの利用を想定することとした。

点検項目は上部工に対しては次の5点の項目がある。

- ①当初の想定の使用状態が守られているか
- ②特に重量の大きい車両の通行はないか
- ③船舶等から過大な衝撃を受けた形跡・報告はないか
- ④栈橋の法線の変状、目地のずれはないか
- ⑤異常な音や振動は確認されないか

これらの項目に留意して点検し記録する。また、渡版、防舷材、車止め、係船柱及び、その周辺に関しては変状があれば内容や規模を記録する。

次に現場に設置するRFIDタグについて検討する。係留施設は単一の部材の集合で構成されている。その中で1ブロックは、単一部材の連続体であり、補修や修繕を検討する際にはそのグループで評価される。その評価の際にも、ブロックごとに整理した点検情報が有用だと考えられるため、RFIDタグ設置間隔を1ブロック単位とした。RFIDタグの設置参考例として静岡県清水港日の出1号岸壁の平面図を示す(図4.13)。

点線の範囲が1ブロックであり、1つのRFIDタグが管理する点検範囲である。次に1ブロック内で、RFIDタグの設置位置を検討する。青い星印(陸側の倉庫の壁)又は黄色い星印(海側の車止めの下部)のいずれかにRFIDを設置する。エプロン舗装部は大型の車両の通行が多いため、タグの設置は難しいと判断したためである。そのため、山側の倉庫の壁、もしくは海側の車止めの下部への設置を想定している。

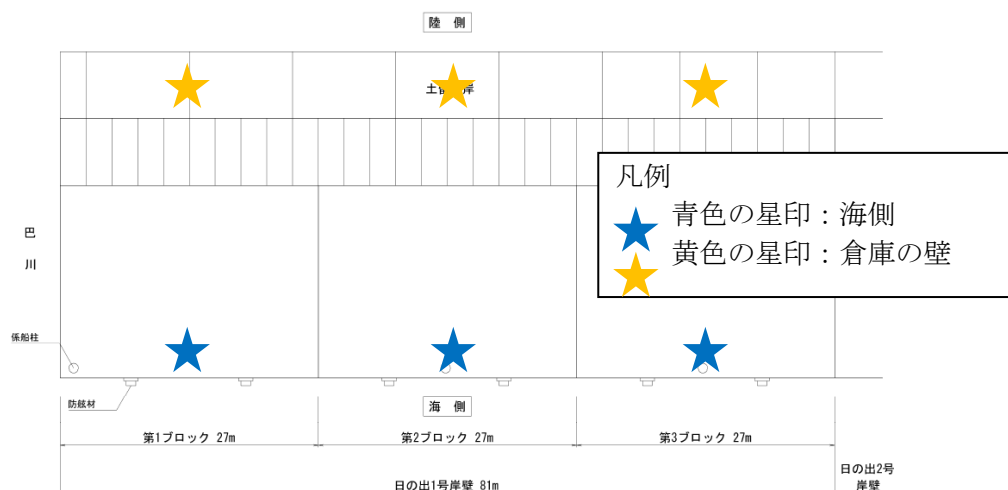


図 4.13 静岡県清水港日の出1号岸壁

4. 4. 2 利用手順と画面遷移図

本項では点検現場支援システムの利用フローと PDA の画面遷移の内容について示す。PDA の画面構成は、ル・クローンをを用いて開発した。画面構成の一覧について表 4.4 に示し、現場点検支援システムの利用手順と PDA の画面遷移図をそれぞれ図 4.14、図 4.15 に示す。

表 4.4 画面構成の一覧

利用フロー 番号 (図 4.14)	画面の項目	画面の内容
(2)	A) RFID タグ検出	RFID の ID と書き込まれている内容を読み取る
(3)	B) 基本情報入力	点検日や点検員名等の基本情報を入力する
(4)	C) 点検項目選択	点検項目を選択する
(5)	D)-1 点検項目入力	点検項目①供用状態について入力
(5)	D)-2 詳細入力	点検項目①供用状態について入力
(5)	E)-1 点検項目入力	点検項目②重量車両について入力
(5)	E)-2 詳細入力	点検項目②重量車両について入力
(5)	F)-1 点検項目入力	点検項目③船舶からの過大な衝撃について入力
(5)	F)-2 詳細入力	点検項目③船舶からの過大な衝撃について入力
(5)	G)-1 点検項目入力	点検項目④栈橋の法線について入力
(5)	G)-2 詳細入力	点検項目④栈橋の法線について入力
(5)	H)-1 点検項目入力	点検項目⑤異常な音や振動について入力
(5)	H)-2 詳細入力	点検項目⑤異常な音や振動について入力
(6)	I) RFID タグ書き出し	RFID タグへ入力した項目の一部を書き出す

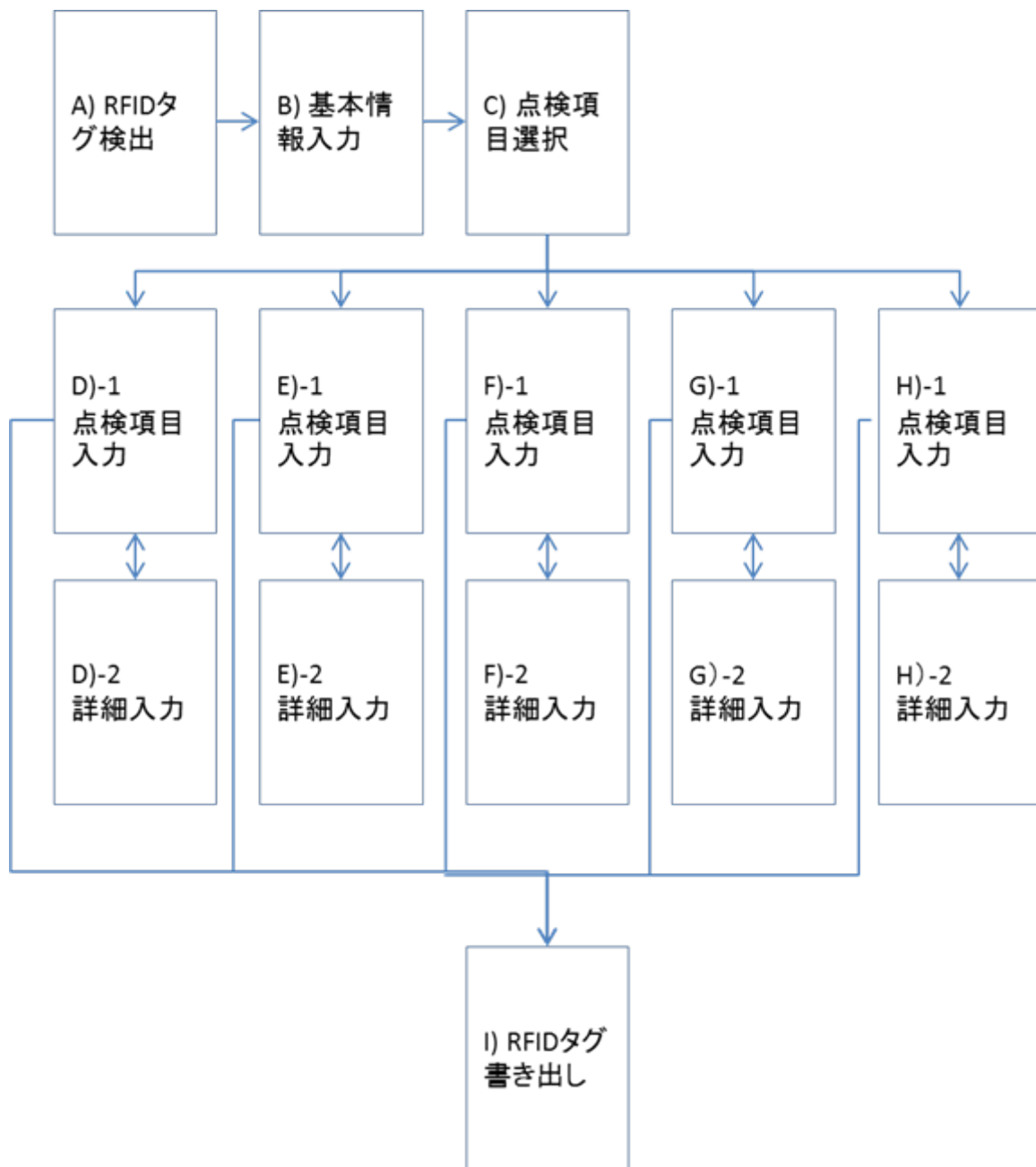


図 4.15 画面遷移図

これから，図 4-14，図 4-15 に従って点検システムの利用手順の詳細を記述する．

(1) 目視点検作業準備

PDA 内に入っているデータが前回データのものであるかを確認したり，現場に出向くために点検場所の図面やカメラ等の準備を行う．

(2) RFID タグ検出画面

RFID タグの ID 読み取りを行う。以下に機能を示す。また PDA 画面を図 4-16 に示す。

- 設置されている RFID に RFID リーダを接触させ、ID 読み取りボタンを押すことで、ID にリンクした情報、例えば位置登録情報（ブロック No, 地区名, 座標, 施設名, 港名, 区間名）が PDA 内のデータベースから呼び出され、画面上に表示される。
- 同時に同じ ID で登録された前回データが（前回点検者, 前回点検日, 前回天候）自動的に表示される。

LC SmartPhone

点検支援システム

ICタグ検出画面 終了

点検基点のタグIDを読み込んでください。
PDAのリーダ・ライタ部をタグに接触させ読み取りボタンを押す。
その後、新規登録又は過去の結果閲覧を選んでください。

TagID: E00780ACDDE91D4C0000

ID読み取り

RFIDカード初期設定不良

位置登録情報

ブロックNo	1	地区名	日の出地
座標	1S11	施設名	1号岸壁
港名	清水港	区間名	1-H-1

前回データ

前回点検者	江端夢歌
前回点検日	20100131
前回天候	晴れ

前回データの表示

基本情報入力へ

図 4.16 RFID タグ検出画面

(3) 基本情報入力画面

点検員名，点検日，点検時間，天候を入力する．以下に機能を示す．また，PDA 画面を図 4.17 に示す．

- それぞれの項目でドロップリスト形式になっており，枠の右端のタブを押すことで選択肢から選択ができる．（選択後の値が入った様子）

LC SmartPhone

点検支援システム

基本情報入力 戻る

点検員名，点検日，天候を入力してください．その後，点検項目ボタンを押して，選択画面に移動してください．

タグID E00780ACDDE91D4C00

点検員名 菊重有輝

点検日 2011 年 02 月 01 日

点検時間 14 時 30 分

天候 晴れ

点検項目選択

図 4.17 基本情報入力画面

(4) 点検項目選択

点検項目選択画面であり、5つの点検項目の中から選択する。以下に機能を示す。またPDA画面を図4.18に示す。

- 5つの点検項目を選択できるボタンが左端に並んでいる。5つのうちから選択する。
 - ①当初の想定の使用状態が守られているか
 - ②特に重量の大きい車両の通行はないか
 - ③船舶等から過大な衝撃を受けた形跡・報告はないか
 - ④栈橋の法線の変状、目地のずれはないか
 - ⑤異常な音や振動は確認されないか
- 選択することでその項目について入力できる画面に遷移する。
- 画面中央下部の前回点検スケッチは、前回の点検時に手書きメモ入力でスケッチしたブロック内の変状の様子が示されている。これにより、該当ブロック内の変状の位置を参照する。

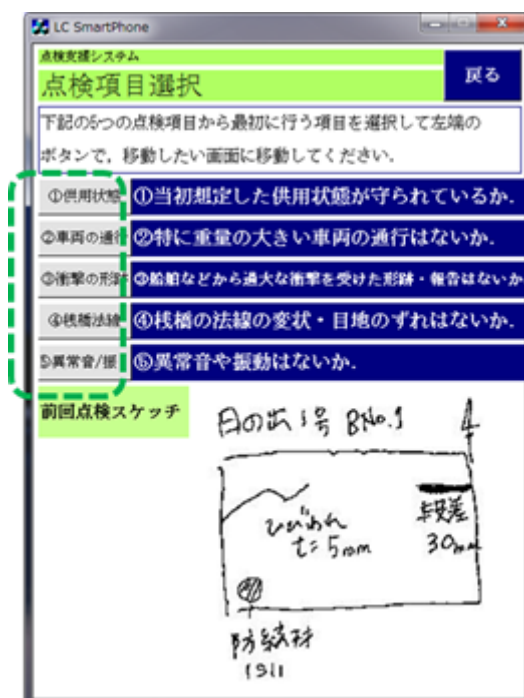


図 4.18 点検項目選択画面

(5) D)-1 供用状態について結果入力

点検項目①について結果を入力する。以下に機能を示す。また PDA 画面を図 4.19 に示す。

- 該当ブロックの異常のあり・なしを判断し、ある場合は記述又は入力を行う。
- まず異常なし・異常ありを選択し、異常がある場合は異常箇所・異常状況を選択・または記述する。記述は補足として用いる。

LC SmartPhone

点検記録システム

点検結果入力①

過去の点検結果が青色で表示されています。今回の点検結果を入力する場合は、該当項目を再選択し、書き換えてください。書き換え後はボタン色が赤色に変わります。

タグID [E00780ACDCE91D4C0000] 座標 [1511]

測点名 [1号岸壁] フロップ名 [1-8-1]

①当初想定した供用状態が守られているか。

①供用状態

異常なし

異常あり

②車両の通行

異常箇所(記述)

③衝撃の測定

エプロン左端

状況(補足記述)

④状態の検出

重機あり

⑤異常音・振動

状況(選択)

A: 重量物が置かれている。

B: 廃棄物が置かれている。

全項目入力終了

①詳細

図 4.19 供用状態について結果入力

(6) D)-2 供用状態について詳細入力

点検項目①の詳細について結果を入力する。以下に機能を示す。また PDA 画面を図 4.20 に示す。

- 詳細では主に状況に対する処理について入力する。記述は補足として用いる。
- 担当者は処置を担当するものを選択する。

LC SmartPhone

点検記録システム

点検結果入力①詳細

過去の点検結果の詳細が表示されています。書き換え後はボタン色が赤色に変わります。戻るを押すと前入力ページに戻ります。

タグID E00780ACD0E91D4C0009 座標 1511

建設区 1号序壁 707778 試験区 1-11-1

①当初想定した供用状態が守られているか。

担当者 菊重有輝

処置 (記述) 本部に報告。撤去依頼。

処置 (選択) 1:緊急措置 (コメント記入)
2:経過観察
3:何もしない

図 4.20 供用状態について詳細入力

なお、点検項目②～⑤についても①と同様の形式の画面であり、入力する内容によって、少し、入力ボックスが、スイッチボタンであったり、ペンタブでの入力方式だったり、ドロップリストによる選択方式など数種異なるだけである。したがって、以下の 8 つの画面遷移図は省略する。

- (5) E)-1 車両の通行状態について結果入力
- (5) E)-2 車両の通行状態について詳細入力
- (5) F)-1 船舶の衝突の影響について結果入力
- (5) F)-2 船舶の衝突の影響について詳細入力
- (5) G)-1 栈橋法線のずれについて結果入力
- (5) G)-2 栈橋法線のずれについて詳細入力
- (5) H)-1 異常音・振動について結果入力
- (5) H)-2 異常音・振動について詳細入力

(7) RFID タグ書き出し

RFID タグへ入力したデータの書き出しを行う。以下に機能を示す。また PDA 画面を図 4-21 に示す。

- RFID タグへ書き出しというボタンを押すことで、RFID タグに点検員名、点検日、点検時の天候を書き出すことができる。
- これにより、現場に点検を行ったことの証拠を残すことができ、点検漏れの防止につながる。

The screenshot shows a PDA screen titled 'LC SmartPhone' with a green header bar containing '点検記録システム' and 'ICタグ書き出し'. Below the header, a blue button labeled '戻る' is visible. A text box explains: '点検結果の入力が完了しました。下記の項目をICタグに書き出します。点検箇所を変えて点検を続ける場合は、スタート画面に移動します。' Below this, several data fields are displayed: 'タグID' (E00780ACDDE91D4C0), '点検員名' (菊重有輝), '点検日' (2011年02月01日), '点検時間' (14時30分), and '天候' (晴れ). At the bottom, there are two buttons: 'ICタグへ書き出し' (blue) and 'スタートページへ' (green).

図 4.21 RFID タグ書き出し

(8) 事務所へ帰還

(9) PDA 内データ確認

(10) データベースに今回データを登録

上述した流れで RFID タグを用いた点検を行い、PDA に点検データを収集する。(9)については次節で詳述する。

4. 5 情報蓄積利用システムの基本設計

情報蓄積利用システムとは、収集した点検データを過去履歴データに追加・蓄積し、その点検 DB の有効利用を促進するシステムである。本研究では、情報蓄積利用システムの基本設計のみを実施した(図 4.22)。

具体的には現場点検システムにより現場のデータを収集した後、現場から事務所に持ち帰って、情報蓄積利用システムにより、情報を蓄積する。蓄積されたデータは多種情報の統合化、可視化、積算、データマイニング、マルチエージェント等での利用が可能となる。点検 DB にはリレーショナルデータベースマネジメントシステム(RDBMS)である MySQL を検討した。データ蓄積手順を図 4.23 に示す。

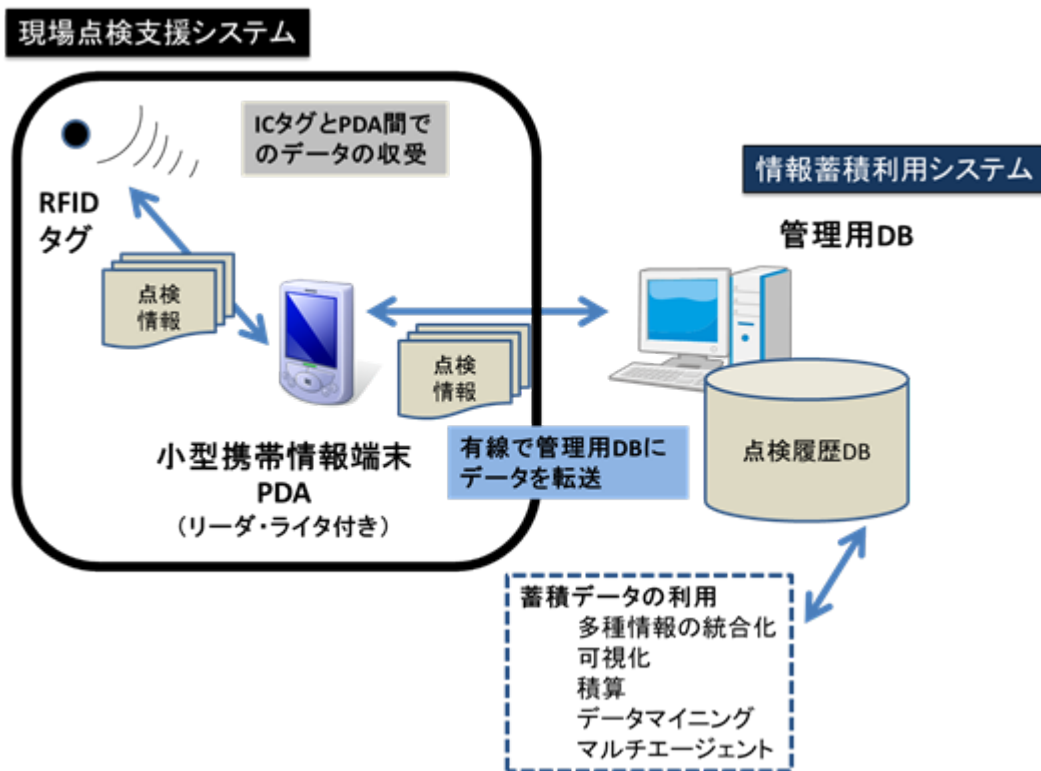


図 4.22 データ蓄積作業の位置付け

以下に PDA に収取した点検データが管理事務所の PC を通して、MySQL に挿入される手順を示した図である。1～6 において、PDA 内に存在する DB で、PDA 独自の拡張子の付いた DB_PIER.ism を、MySQL に取り込み可能な形式である CSV 形式に変換する。そして A～C において MySQL に CSV 形式のファイルを取り込む。これにより PDA に蓄積された点検データを MySQL 内に移動させることができるのである。ひとたび MySQL に取り込めば、DB の特徴を生かした検索や並び替え、データの追加が可能になると考えられる。

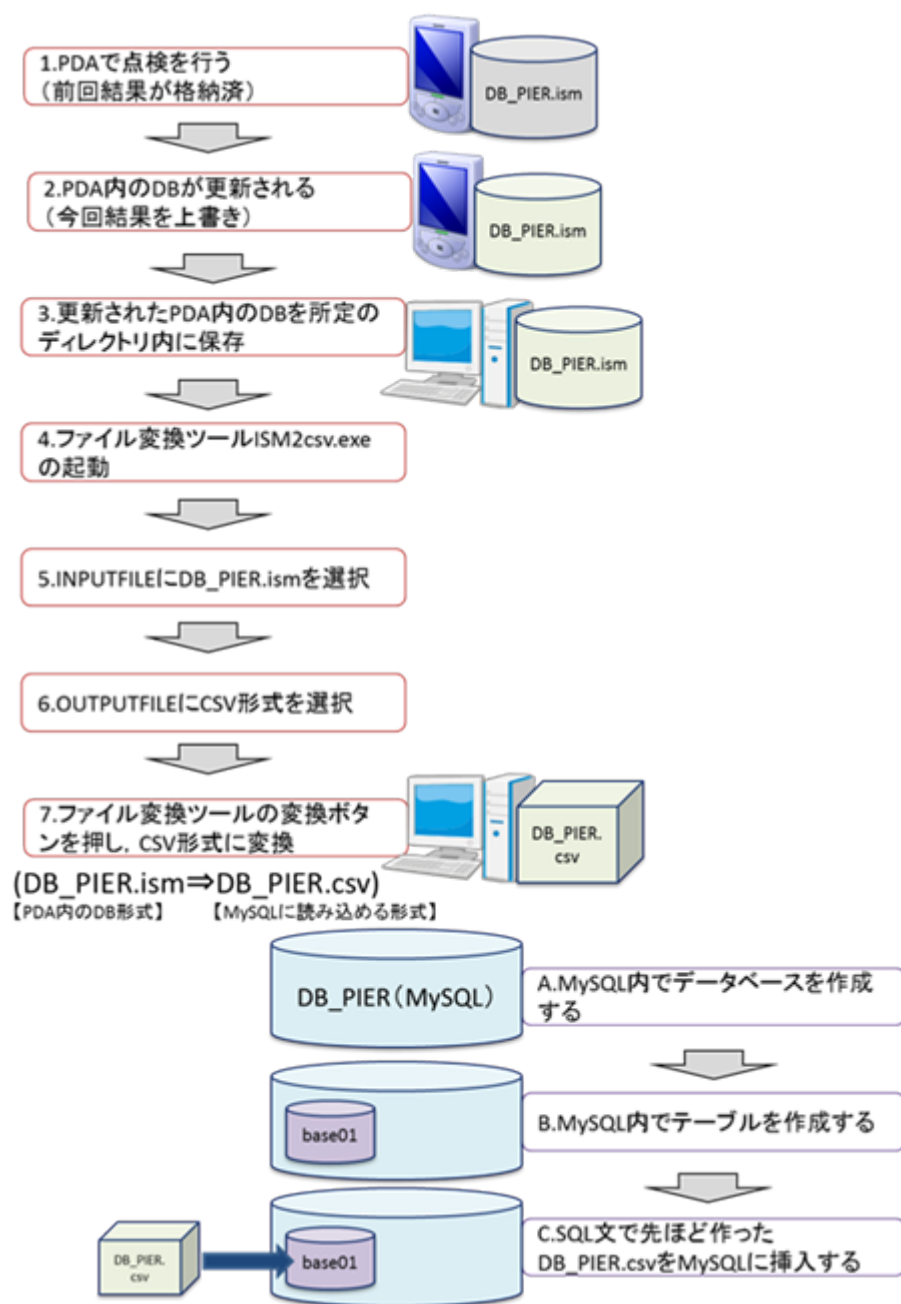


図 4.23 データ蓄積手順

第5章 現場点検支援システムの検証と評価

5. 1 検証方法

検証方法は、構築した現場点検支援システムの動作確認後、実際の港湾整備関係者に対してシステムを提示し、ヒアリング調査にて実施した。本研究では、静岡県清水港を訪問して実施した。同時に港湾施設の概略を把握し、RFID タグの設置場所等も検討した。調査の行程と主な内容を表 5.1 に示す。

表 5.1 ヒアリング調査の行程

時間	場所	内容
2011 年 2 月 1 日 13:30～	清水港 港湾会館 日の出センター	・研究概要と本ヒアリング調査の位置付けについて説明 ・RFID タグと PDA の使い方についてデモンストレーション ・点検業務やデータの蓄積について (1) 点検の種類と内容 (2) 蓄積した点検結果の利用方法 ・現場点検支援システムに対する評価 改善すべき点や必要な機能
14:30～	清水港 日の出 1 号岸壁	港湾施設の視察 ・日の出 1 号岸壁で発見される変状とその位置を徒歩で回り確認した ・RFID タグを設置する場所の検討
17:00	解散	

5. 2 ヒアリング結果

静岡県交通基盤部港湾局港湾整備課港湾工事班班長代理の望月弘之氏に点検の実態や現場点検支援システムの評価をヒアリングした。

5. 2. 1 点検業務やデータの蓄積について

現場点検支援システムを設計する際、維持管理計画書の手引きを参考に本システムの利用想定例を作成した。維持管理計画書の手引きは、主要な構造形式の港湾施設の点検から、考えられうる変状の原因やデータの整理方法、詳細点検の内容等が詳述されている。しかしながら、現実の環境条件などの違いから、国の奨励する方法と、実際に対応する管理主体の行う方法、両者の維持管理方法には少なからず乖離があることが認められた。その違いを把握し、さらに現場の事情に対応したシステムを構築するために、実際に静岡県清水港での点検業務について、以下の 2 つの項目 (1) 点検の種類と内容、(2) 蓄積した点検結果の利用方法について確認した。

(1) 点検の種類と内容

点検の種類と内容について表 5.2 に示す。

表 5.2 点検の種類と内容

区分	点検員	頻度	点検内容
パトロール (巡回)	県庁職員	週 1	目的：変状の有無・程度の把握 対象：目視できる範囲 -上部工，エプロン，渡版，付帯設備 内容：変状があれば確認
日常 点検	県庁職員 (施設及び船舶の 管理者が 同乗)	年 1	目的：変状の有無・程度の把握 対象：目視できる範囲 -上部工(上面・側面)，エプロン，渡版，付帯設備 内容：①～⑤の点検項目に沿って点検 -①当初の想定の供用状態が守られているか -②特に重量の大きい車両の通行はないか -③船舶等から過大な衝撃を受けた形跡・報告はないか -④栈橋の法線の変状，目地のずれはないか -⑤異常な音や振動は確認されないか -港湾施設が適切に使われているか -船舶（ヨットやクルーザ）が届出通り停泊しているか -電位差測定
詳細 点検	県が専門 業者に委託	5 ～ 10 年	目的：一般的定期診断では困難な箇所を中心に点検 対象：目視及び海上及び海中 -上部工（上面・側面・下面），鋼管杭，エプロン，渡版， 付帯設備 内容：潜水調査，破壊調査 -鋼材の劣化・損傷を目視 -電位測定 -鋼管杭肉厚測定 -杭の発生モーメント -自然抵抗・分極抵抗測定（床版・梁） -コンクリーコア（床版・梁）採集塩化物イオン濃度測定

(2) 蓄積した点検結果の利用方法

パトロールの際には記入する用紙はなく，変状等が見つければその場で確認し，現場対処不可能なものは管理事務所に戻って，解決策を検討する．次に，日常点検に関しては国の維持管理の手引きに準ずる点検報告書の形式で，点検時に変状など見つければ随時記入し，点検日誌として事務所に保管する．一定期間が過ぎると日誌は処分する．詳細点検に関しては，専門業者が逐一報告書にまとめ，その結果を自治体が保管管理している．

現在の港湾施設の点検作業は，総じて紙媒体で行われている．しかし今後新たに，維持管理計画書を策定するにあたり，過去の点検履歴と現在のデータの比較や，検索の向上のためにも，静岡県は点検データの電子化，データベース化を前向きに検討していくように見受けられた．

5. 2. 2 港湾整備関係者の現場点検支援システムへのコメント

港湾整備関係者の現場点検支援システムに対する評価を表 5.3 に記す。

表 5.3 港湾整備関係者の現場点検支援システムに対する評価

フォームの問題	1) 文字の記入時にパレットのせいで文字が隠れてしまう。
	2) 読み書きをもっとしやすくする（文字の大きさや入力の方法）。
	3) 点検時に確認された変状の処置は、現場で判断できないものについては事務所で検討するため、処置の記入は PDA から DB に転送後に、追加で DB に書き込めることが望ましい。
	4) 履歴データが 2, 3 回前のもの見ることができるとよい。点検員が視覚的に用いる事が可能なものがよい（点検項目①～⑤などと変状の場所がリンクしたもの）。
	5) 同一事項を入力する場合は、一度入力した事項が他の場所の点検にも反映される方がよい。
今後の展望	6) 広い場所を管理する事を考えると、RFID タグの読み取りは数少ない方がよい。
	7) 岸壁、防舷材の破損に対して、監視システム等があれば原因の特定につながる。

5. 3 考察

ヒアリングの結果、管理主体が進める点検業務は、国が奨励するものとは大きな開きがあり、管理対象によって点検の内容や頻度にも自由度があることが分かった。国は日常点検として、日常的に点検報告書に記入する点検を定めているが、清水港では、その頻度は 1 年ごとであった。点検項目は、国が定めるものと同様のものを用いていたので、他の管理主体でも点検頻度は違うとはいえ、類似した点検項目で点検を行っていると予想される。また、週や月レベルで行っている点検と年 1 回の点検では両者の結果を相互的に、点検時に閲覧できることがよりよいデータの蓄積につながると考えられる。したがって、現場点検支援システムを構築するにあたっては、週や月レベルの点検から年 1 回の点検まで汎用的に利用できるシステムの構築を目指すことが必要だと考えられる。例えば、週や月レベルの点検と年 1 回の点検では、後者がより詳細な点検になるが、点検項目に合わせた画面構成を検討することで、同じシステム上で異なる種類の点検に対応が可能である。

次に、システムに対する評価について考察する。コメント 1) 2) に対しては、点検現場にて使うシステムであることを踏まえ、屋外でもよく文字を認識できて、点検結果をより容易に入力できる必要がある。

コメント 3) に対しては、PDA からデータベースにデータを送信後、データベースに書き加えるという、情報蓄積支援システム側での機能であり、実運用を想定して、開発を検討する必要がある。

コメント 4) は、現状の現場点検支援システムでは、過去の履歴は前回分のデータしか参照することができなかったことに起因する。清水港での点検頻度は小さいため、一年前だけのデータではなく複数データが集約された経年変化を確認し、現状を判断することは重要だと考えられる。その点では、RFID タグを RFID リーダで読み取り、PDA 内で処理を行うというコンセプトは変わらず、画面遷移の構造を変更する必要があると考えられた。また、点検項目と、実際に変状のあった箇所を視覚的に同時表示させることについては、操作性の向上につながるが、本研究で用いたル・クロンと他のアプリケーションソフト

(手書きメモ入力ソフト等)と組み合わせる必要があり、今後検討していかなければならない課題である。

コメント 5) は本研究が RFID のタグごとに、点検結果を入力する方式であったことに問題がある。表にもあるよう A) から I) までの画面をたどる必要があり、点検日、点検員名、点検時間、点検日天候は毎回入力せねばならなかった。それは非常に点検の効率を下げることであったため、改善策を検討した。ブロック単位で点検を行うことはすでに述べたが、仮に変状のない場合は、PDA の最初の画面で「異常なし」を選択し、すぐさま RFID 書き出しへと経路回避できるようにした。その後、最初の画面で RFID タグを読み取り、別のブロックの点検に進むことができる。訂正後の画面遷移図を図 5.1 に、また改善後の PDA の最初の画面構成を図 5.2 に示す。なお変状がある場合は、5 つの点検項目に従って入力する方式としており図で示した構成と変わらない。

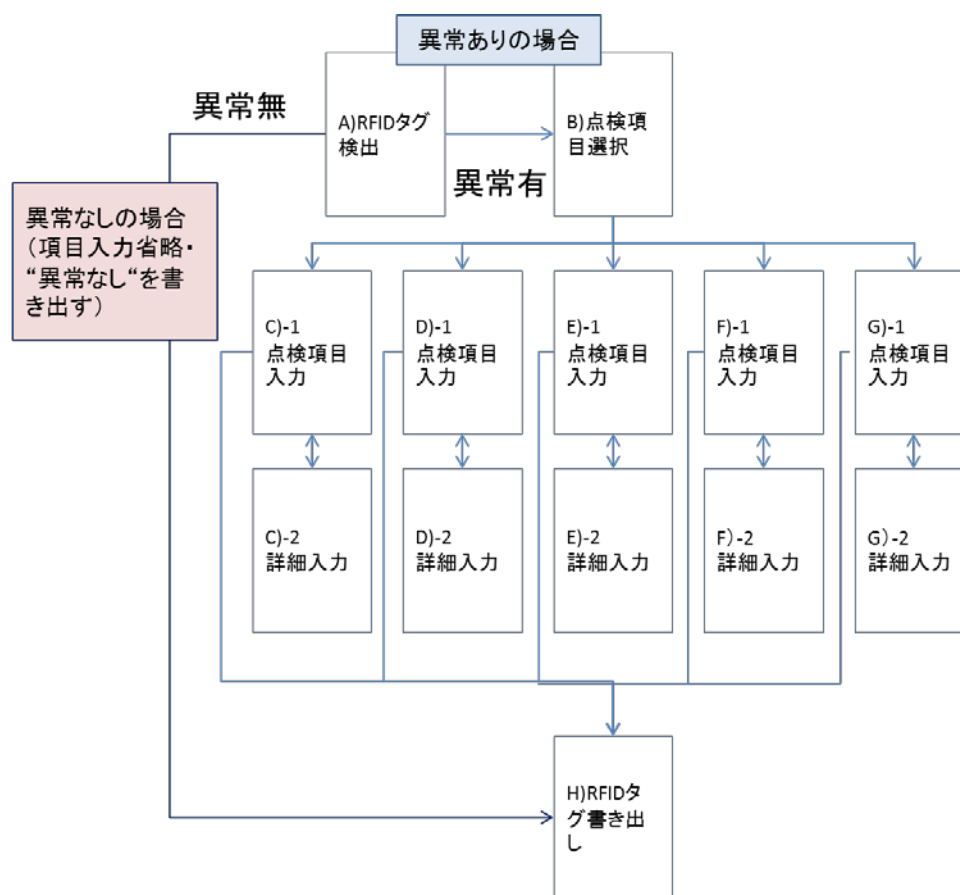


図 5.1 改善後の画面遷移図

点検支援システム

ICタグ検出画面 終了

点検基点のタグIDを読み込んでください。
PDAのリーダー・ライタ部をタグに接触させ読み取りボタンを押す。
その後、新規登録又は過去の結果閲覧を選んでください。

日付 y1 年 m1 月 d1 日 時間 h1 時 mi 分

TagID : TagID

Response

ID読み取り **タグ書き出し**

異常なし
異常あり (状況入力)
下はボタン

位置登録情報

ブロックNo	BlockNo	地区名	District
座標	Point	施設名	Facility
港名	Port	区間名	Section

図 5.2 改善後の最初の画面構成

コメント 6) に対しては、点検すべき範囲が広大であり、ひとたび点検を行うにも時間がかかるため、タグの読み取り回数が少ない方がよいとの指摘を受けた。これには、RFID タグの設置間隔を変更することと、RFID タグの種類を変更することが一つの改善策になると考えられた。本研究で開発したシステムは、RFID タグの設置間隔を 1 ブロックごととしていたが、設置間隔を広げることでタグの読み取り回数を減らし、点検員の労力を軽減できる。点検範囲が広がり、蓄積する情報が増えるので、タグ内のメモリをより大きくし、図面以外での点検時の現在位置を把握する方法を検討する必要がある。次に、RFID タグの種類の変更は、パッシブタグからアクティブタグへの変更を検討する。アクティブタグは、RFID タグ自体が電源を持ち、自身の持つ情報を RFID リーダーへ送信してくるために、車上から過去履歴を閲覧でき、さらに今回の結果を書き込むことも可能になると考えられる。自ら電源を持ち電池の消耗もありコストが高いことが難点であり、本研究では導入を見送った。しかし、施設中に大量に設置することで導入価格は減らすことができると考えられる。したがって、RFID タグの設置間隔や種類を見直し、それに対応した画面構成を検討すれば、より現場に対応した点検支援システムの構築が可能である。

コメント 7) は、監視と点検システムとは一線を画しているため、検討しなかった。

以上に本研究で構築したシステムの検証に対する考察を記した。

第6章 無線センサーネットワークシステムの検討

本研究室で所有している無線センサーネットワークシステムは，屋内での利用を前提とした仕様になっているため，屋外の港湾設備では利用できないが，研究室内で使用してみ，今後の検討のための基本的なデータを得ることとした．計測は，大阪大学吹田キャンパス S4 棟 5 階 5 2 1 号室にて行った（図 6.1）．計測期間は 2011 年 1 月 17 日～同年 2 月 3 日までの 18 日間であり，センサのサンプリングレートは 1 分間に 1 回とした．計測装置には Crossbow 社の EcoWizard（表 6.1～表 6.3，図 6.2）を使用し，図 6.3 の星印で示した 9 カ所と，図 6.4 で示した 3 カ所の計 12 カ所に温湿度・照度センサノード（以下，環境センサ）を設置し，各センサノードを用いて温度，相対湿度，照度の計測を行った．環境センサノード 10580 と 10590 は高さ約 3 m の中空 2 カ所にビニル紐を用いて吊るした（図 6.5，図 6.6），加えて，図 6.3 に示す分電盤に電流センサを設置し，電流の計測を行った（図 6.7）．対象空間の右半分は 6 階までの吹き抜け部分となっており，また 6 階の廊下に環境センサノード 10720 を設置し，同建物の屋上にも外気の計測のための環境センサノード 10710 を設置した（図 6.8）．

観測データの一部を図 6.9 と図 6.10 に示す．データは，無線でサーバーに送られ，自動的にデータベースに蓄積される．また，サーバーにアクセスすることにより，データをどのコンピュータからでも閲覧したり，ダウンロードあるいはデータ解析などの処理を行うことができる．



図 6.1 （左）大阪大学 S4 棟の外観， （右） 5 階 5 2 1 号室

表 6.1 センサノードの共通仕様

動作周囲温度	-10℃～45℃
動作周囲湿度	30%～80%(結露なきこと)

表 6.2 温湿度・照度センサノード仕様

温度モニタ	温度センサ種類	半導体型
	測定範囲	-10℃～45℃
	測定精度	±1.5℃
	測定分解能	0.01℃標準
	測定応答時間	30sec以下
湿度モニタ	湿度センサ種類	半導体型
	測定範囲	30%～80%RH(結露なきこと)
	測定精度	±5%RH
	測定分解能	0.05%RH標準
	測定応答時間	8sec以下
照度モニタ	照度センサ種類	半導体型
	測定範囲	0～65, 535 Lux
	測定精度	±(10% of rdg. + 10 Lux)
	測定分解能	1 Lux 標準
	測定応答時間	180msec以下

表 6.3 電流センサノード仕様

測定範囲	0～50A
許容最大電流	50A
測定精度	許容最大電流の±6%

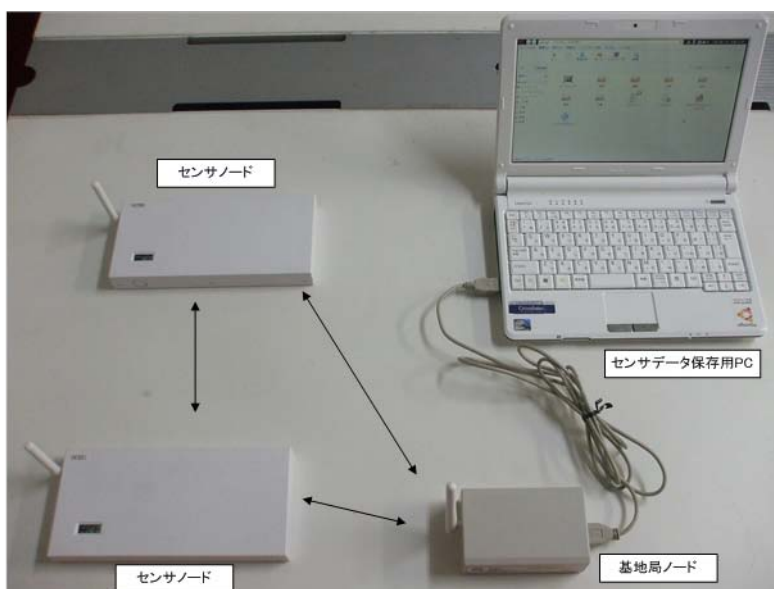


図 6.2 計測装置

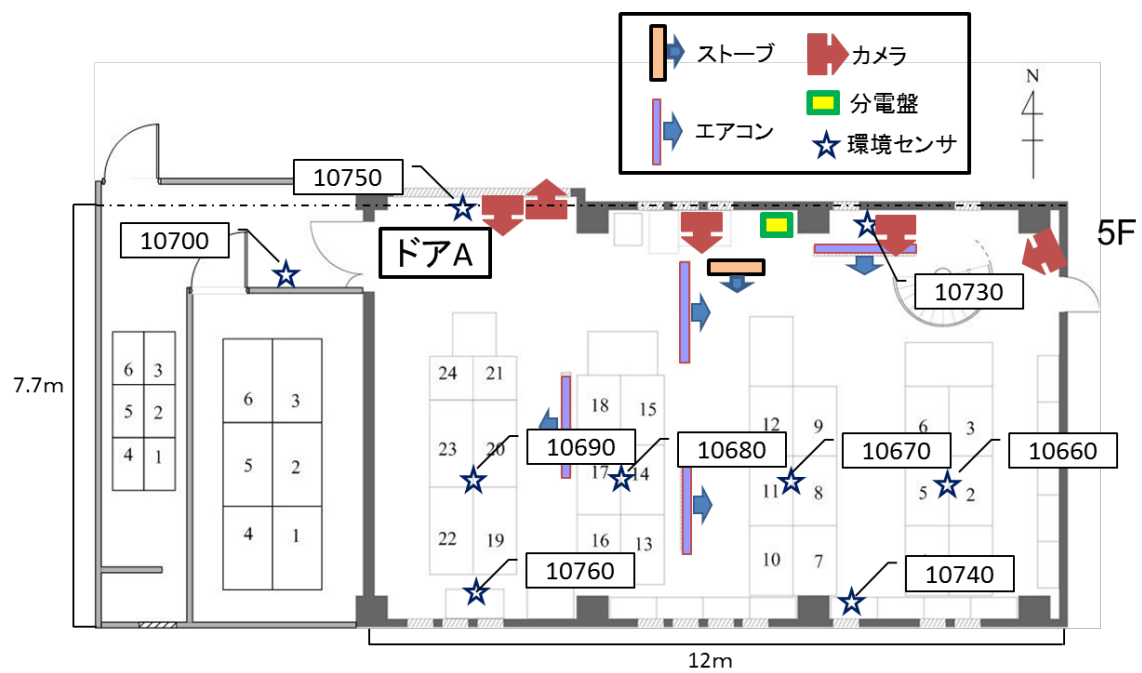


図 6.3 対象空間の平面図（5F）

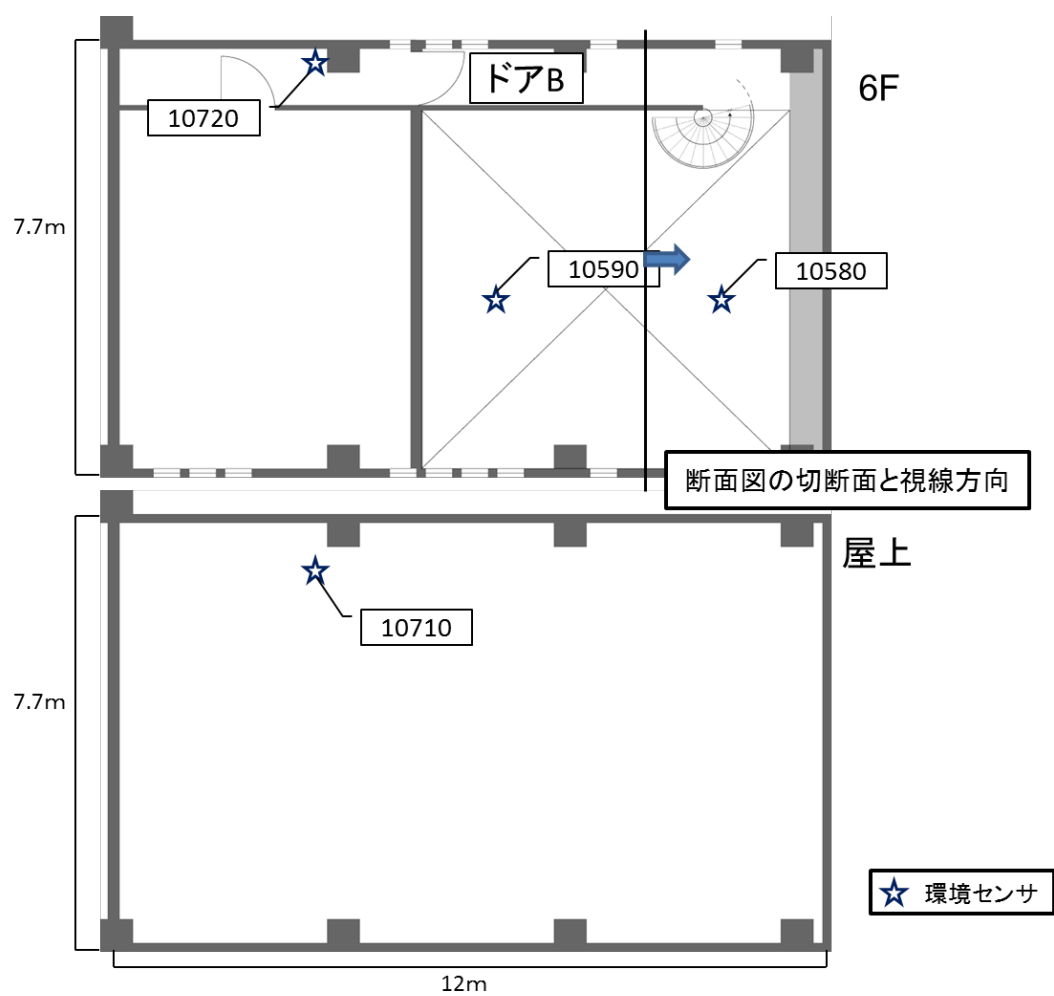


図 6.4 対象空間の平面図（上：6F，下：屋上）

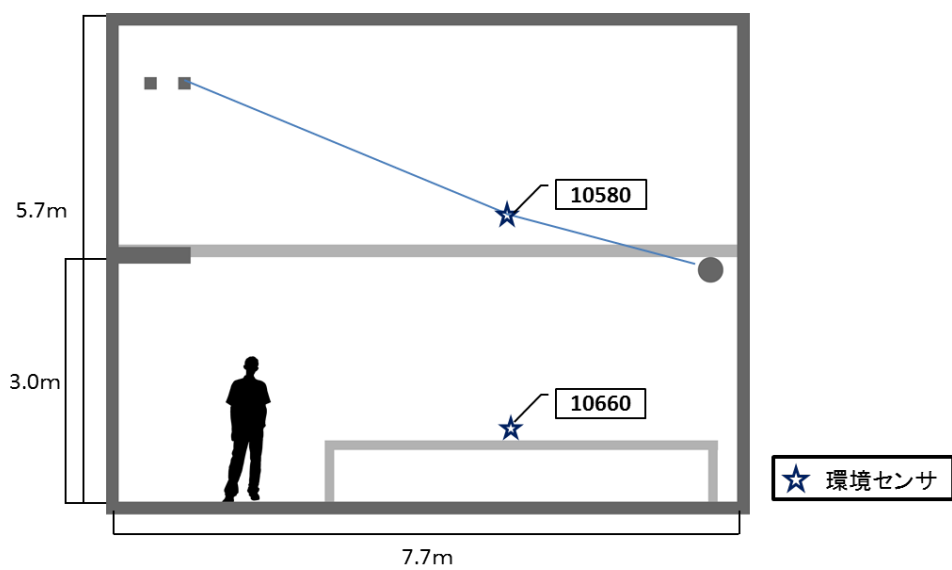


図 6.5 対象空間の断面図

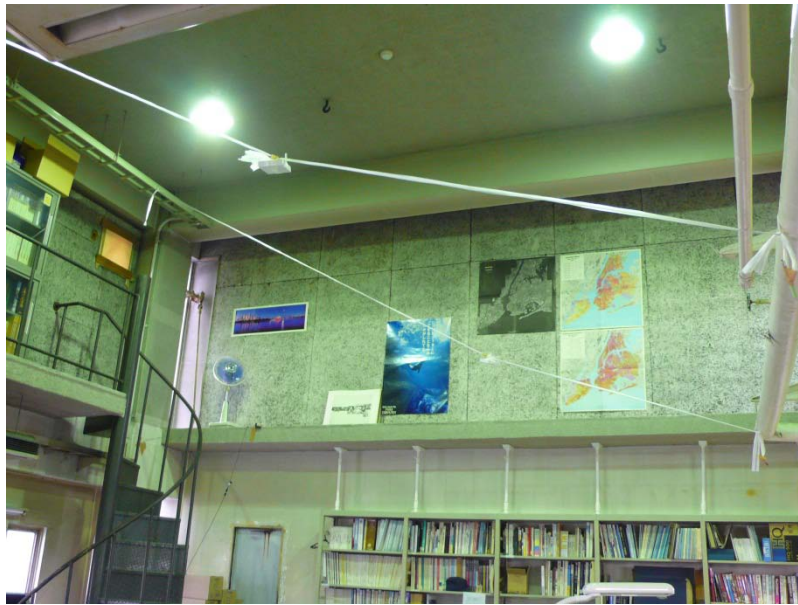


図 6.6 吹き抜け部分の中空に吊るしたセンサ

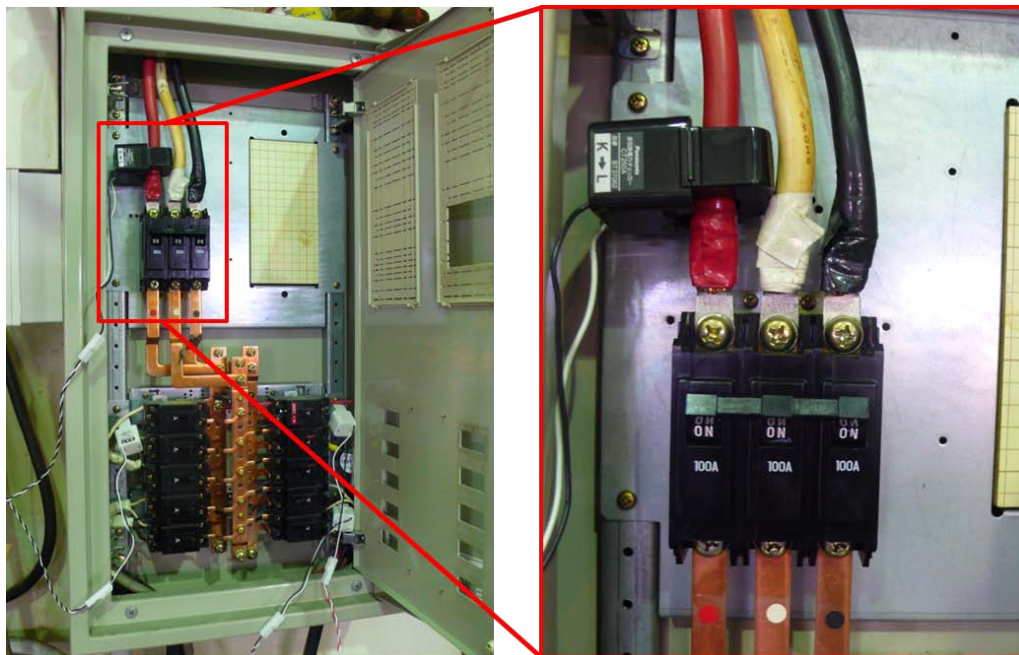


図 6.7 (a) S4 棟 5 2 1 号室の分電盤 (b) 分電盤の様子 (拡大)



図 6.8 屋上に設置した無線センサ（ノード番号 10710）

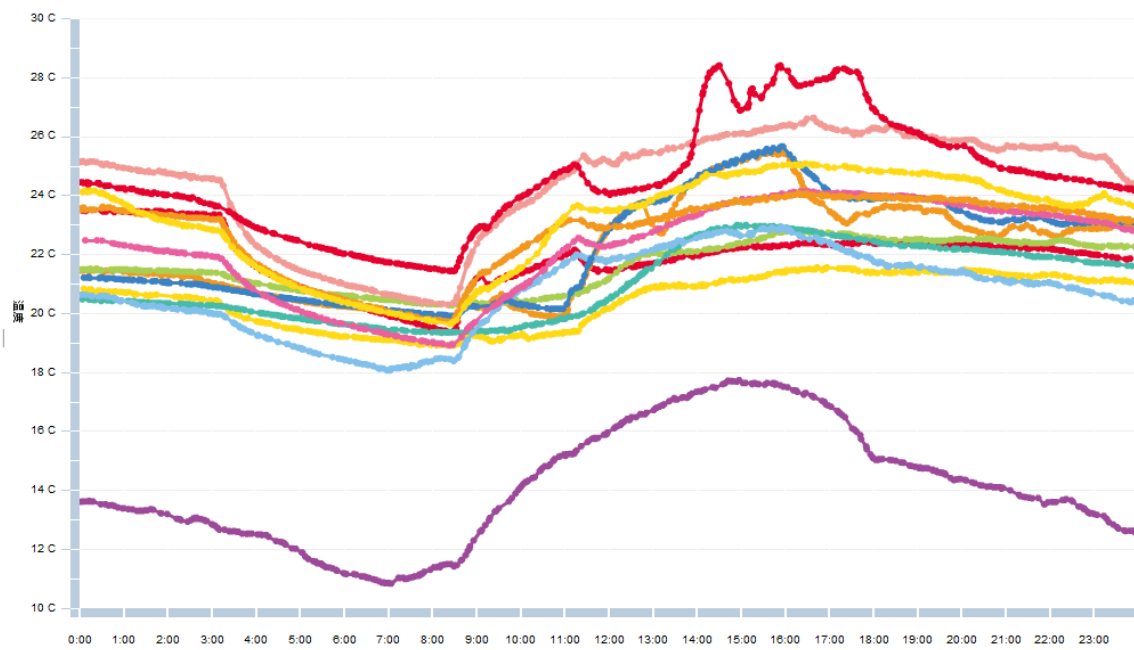


図 6.9 研究室内の 13 ヲ所における気温のモニタリングデータ（大阪大学 S4 棟 521 号）

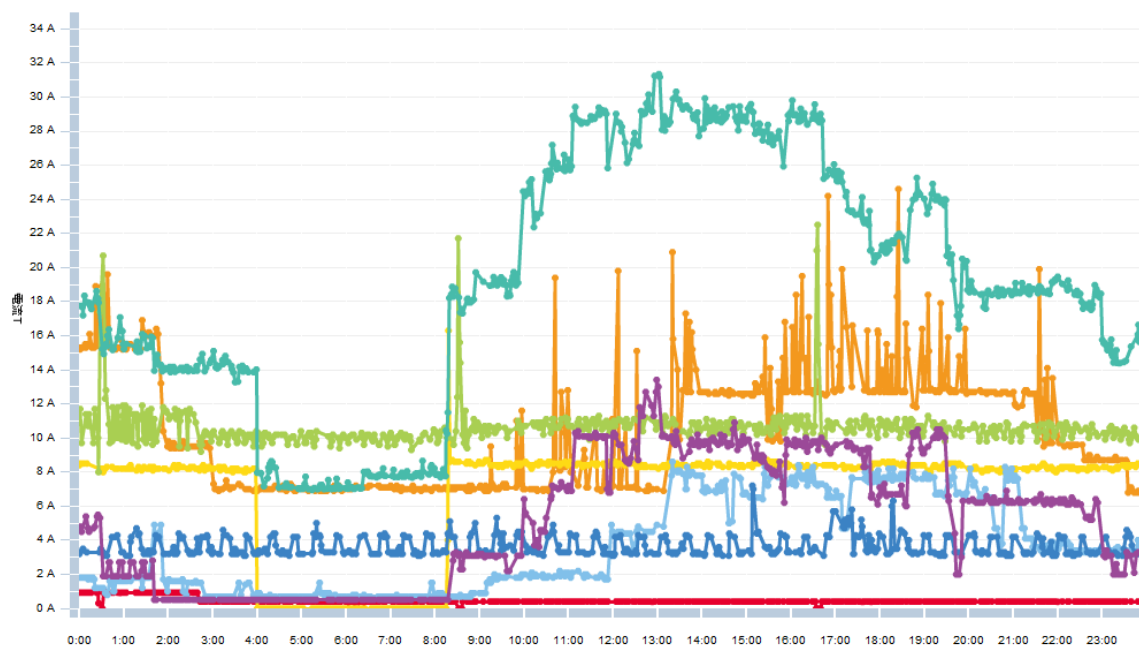


図 6.10 研究室内の 8 ヲ所における用途別電流のモニタリングデータ (大阪大学 S4 棟 5 2 1 号)

第7章 3次元プロダクトモデルの検討

前述のように，我々は橋梁やトンネルのプロダクトモデルの開発を行ってきたが，港湾施設のモデル化はまだ途上であり，膨大な作業量を要することから，本研究の範囲に入れず，既に開発が進み，一部は実際に利用されつつある建築分野のプロダクトモデルである IFC を利用して，港湾構造物を仮に表現する試みを行った．仮に，というのは，栈橋のスラブや鋼管杭などをモデル化するのではなく，IFC の中にある建物を表現するための床 (IfcSlab) や柱 (IfcColumn)，梁 (IfcBeam) などのエンティティ (部材モデル) の港湾構造部材に読み替える，という手法を採用したという意味である．IFC と互換性のある建築用の 3 次元 CAD システムである Graphisoft 社の ArchiCAD を使用して，代表的な港湾構造物の 3 次元モデルを作成した．それらのモデルを図 7.1～図 7.7 に示す．

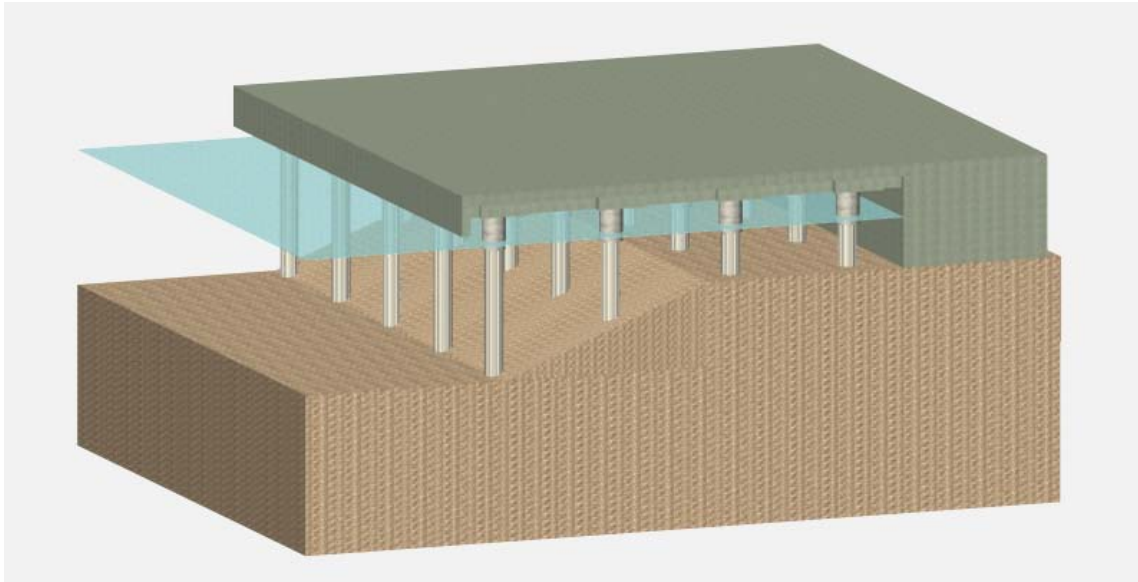


図 7.1 栈橋式係船岸 (1)

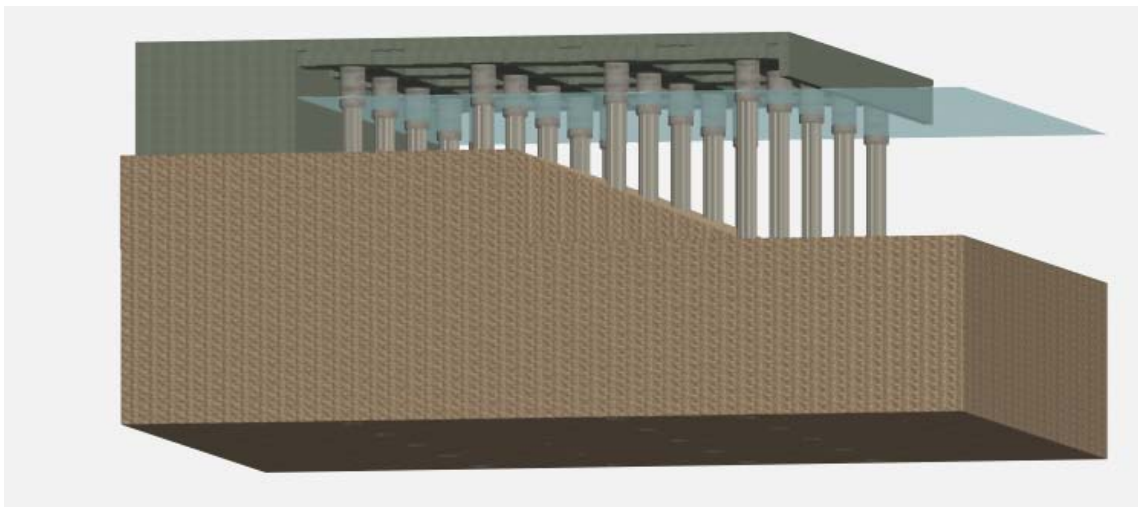


図 7.2 栈橋式係船岸 (2)

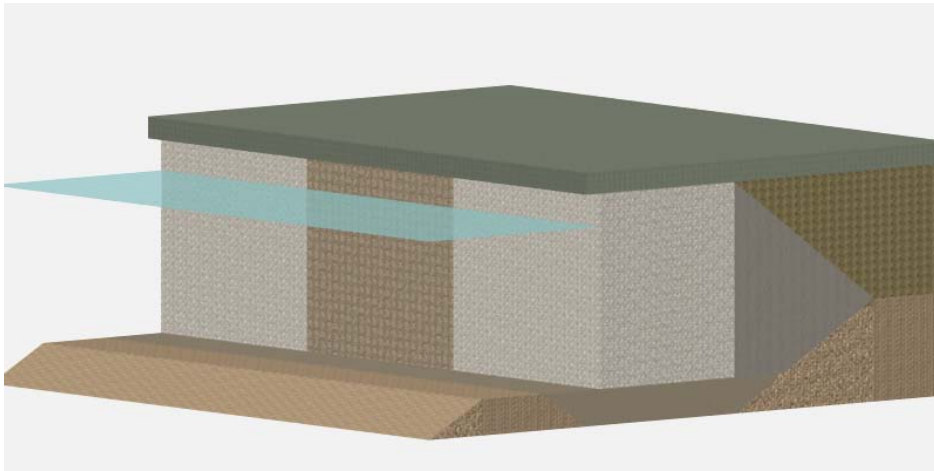


图 7.3 重力式係船岸

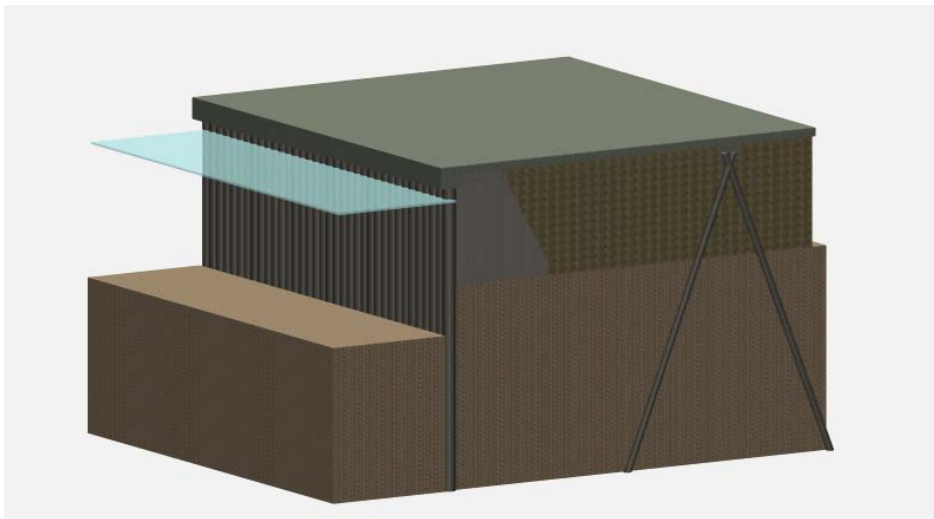


图 7.4 矢板式係船岸 (1)

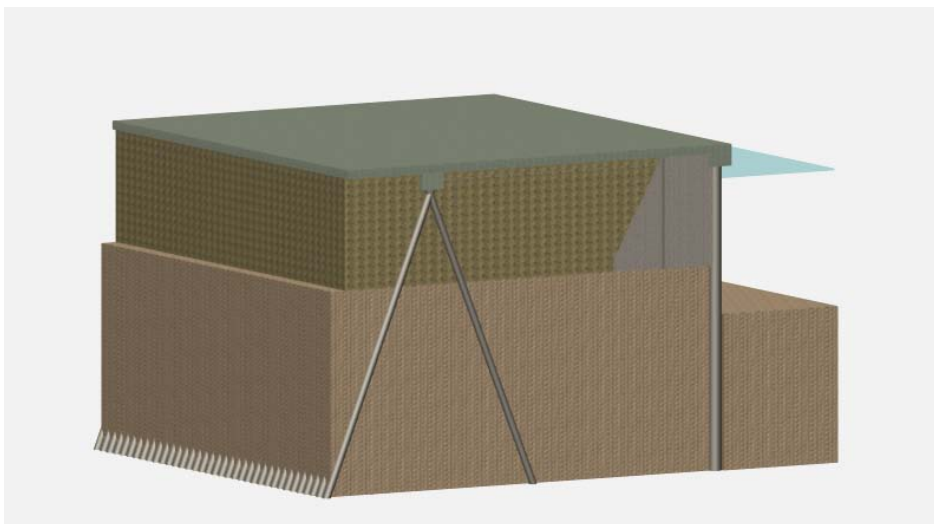


图 7.5 矢板式係船岸 (2)

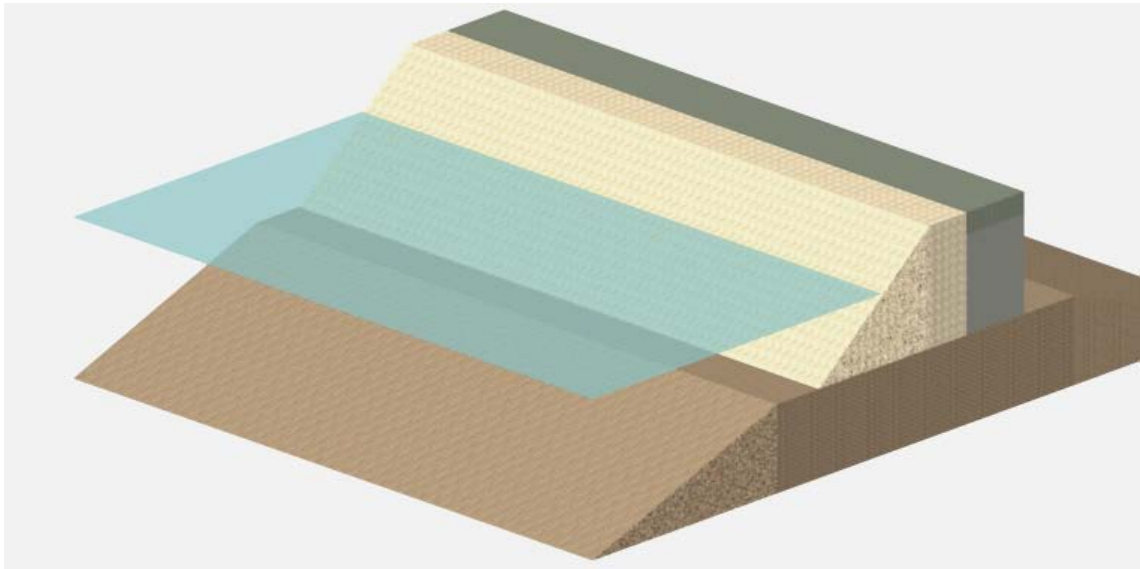


图 7.6 重力式防波堤（1）

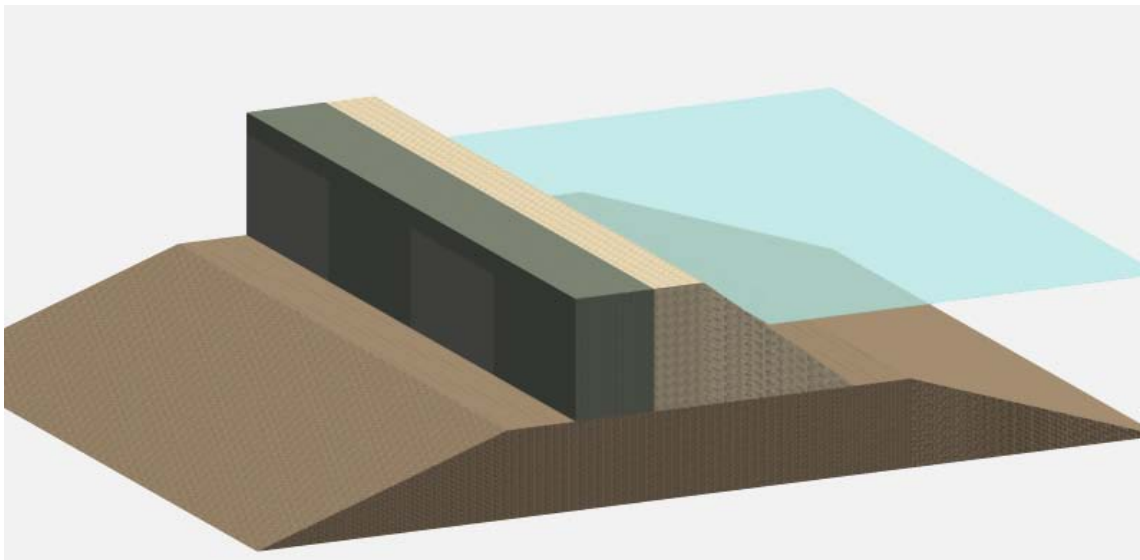


图 7.7 重力式防波堤（2）

第8章 結論

オブジェクト指向技術に基づいた、構造物の3次元プロダクトモデルを開発し、構造物の点検結果やセンサによるモニタリングデータをデータベース化しながら、各種ソフトウェアとの間でデータを相互に運用して、短時間で各種シミュレーションを行い実構造物の維持管理などを実施する「国土基盤モデル」に基づく維持管理支援システムを構築することが長期的な視点に立った研究の目標であるが、本研究では、その中で、主に現場における巡視点検や定期点検が紙ベースで記録がなされていることを指摘し、RFID タグや PDA と関係データベースといった情報通信技術を駆使して、現場から情報を収集し蓄積する「現場点検支援システム」を、港湾構造物を対象として構築した。また、PDA に蓄積したデータをデータベースに蓄積する「情報蓄積利用システム」の基本設計を行った。さらに、無線センサネットワークの試用と港湾構造物の3次元プロダクトモデルに関する基礎的な検討を実施した。以下に、本研究の成果を列挙する。

- 社会資本全般で注目されており、なおかつ変状甚だしい環境にある港湾施設のアセットマネジメントには、維持管理の上流部分である、点検・計測の基礎データの蓄積が重要であることを述べた。
- 従来の紙媒体での点検に対して、RFID タグ、PDA を用いることで、点検の電子化が実現し、さらに点検結果のデータとしての保管が可能であることを示した。
- 清水港でのヒアリング調査によりシステムの改善の評価を受けたが、ICT を用いた現場点検支援システムを提案することで、点検の電子化やデータの一元的な管理を検討する一助となった。

次に、本研究の今後の課題を記す。

- 本研究で構築した現場点検支援システムは、港湾施設の点検データを収集し、それを点検データベースとして蓄積し、(情報蓄積システム) アセットマネジメント検討の際に、有用となる形で表現する(3次元可視化システム)、一連の「維持管理支援システム」の上流部分に位置づけられるシステムであった。本研究では、現場点検システムにとどまったが、最終的なアセットマネジメント検討に有用なシステムを構築するために、情報蓄積システムと3次元可視化システムの構築に対しても取組み、一連のシステムを完成させる必要がある。
- 点検データだけでなく、波浪計等でモニタリングしたデータを含めて、3次元プロダクトモデル上に統合させ、多種のデータを一元的に表示させることが、アセットマネジメントの検討に有用だと考えられる。
- 3次元モデル上に、経年的に位置や規模の変動する変状を表示させる方法を検討する。また変化の位置情報をどのように、3次元モデルとリンクさせるのかを検討する。

謝辞

本研究を遂行するに当たり、静岡県交通基盤部港湾局港湾整備課の方々から多大なるご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 矢吹信喜，齊藤大輔：3次元プロダクトモデルと電子タグによる水圧鉄管の点検情報システム，土木情報システム論文集 Vol.10，pp.113-120，2001.
- 2) 嶋田善多，矢吹信喜，坂田智己：土木設備の維持管理体系における巡視点検とICタグの活用 土木学会論文集，No.777/VI-65，161-173，2004.
- 3) 高橋宏直，横田弘，岩波光保：港湾施設のアセットマネジメントに関する研究—構造性能の低下予測とアセットマネジメントの試行例，ISSN 1346-7301，国総研研究報告第49号，平成18年9月
- 4) 財団法人港湾空港建設技術サービスセンター：港湾の施設の維持管理計画書作成の手引き，2008.12
- 5) 矢吹信喜：サイバーインフラストラクチャ構築による価値創造に向けて，土木学会論文集，No.805/VI-69，pp.1-13，2005.