

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

大阪大学 大学院工学研究科
環境・エネルギー工学専攻 教授
矢吹信喜

Nobuyoshi Yabuki 2011

1

OUTLINE

1. はじめに
2. 既往の研究のレビュー
3. 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
4. RFIDとPDAを用いた現場点検支援システムの開発
5. 現場点検支援システムの検証と評価
6. 無線センサーネットワークシステムの検討
7. 3次元プロダクトモデルの検討
8. 結論

Nobuyoshi Yabuki 2011

2

1. はじめに

- ・我が国では、大量の構造物が更新時期を迎える。
- ・財政逼迫などから、長寿命化、優先順位付けなどアセットマネジメントが重要。
- ・老朽化する港湾・空港設備の維持管理とアセットマネジメントのためには、点検とモニタリングが重要。
- ・従来、港湾施設の点検は目視が中心。広大な施設を空間軸・時間軸で把握するには長期の経験と知識が必要。図面や資料は携行しにくい。経験と勘頼り。
- ・大量の熟練技術者の定年退職。若年層への技術継承困難。
- ・過去の点検データや構造物の知識を現場で参照でき、点検データや気づきを容易に記入しデータベース化できる点検支援システムが必要。
- ・センサーなどによるモニタリングデータは、災害時に対応などには有効だが、通常の維持管理やアセットマネジメントには効果的に活用されていないようだ。

Nobuyoshi Yabuki 2011

3

研究目的

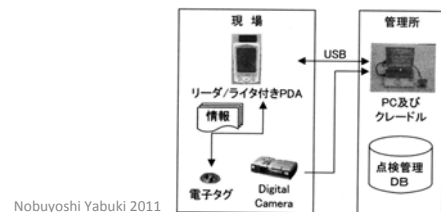
- ・現状の紙ベースの図面、書類、点検データシートといった情報や2次元CAD図面データや文字と数値のみのデータに代表される現状の情報技術によるアウトプットから、オブジェクト指向技術に基づく3次元のプロダクトモデルをベースに、種々のアプリケーションと連動し、ICタグやセンサネットワークにより現実の港湾・空港設備とを統合化した新しいアプローチを考案し、適用する必要がある。
- ・本研究では、矢吹が提案している「国土基盤モデル」を港湾・空港施設のアセットマネジメントに応用することにより、死蔵されている点検・モニタリングデータと構造物の維持管理情報を統合化し、機能維持、突発的事象に対応し、資産価値の向上にも資することを目的とする。

Nobuyoshi Yabuki 2011

4

2. 既往の研究のレビュー

- 水力発電所の水圧鉄管の点検情報システム(矢吹ら, 2000)
 - 3次元プロダクトモデル, ICタグ, PDA, 3次元CAD, GIS
- ダムの巡視点検支援システム(嶋田・矢吹, 2004)
 - ICタグ, PDA, データベース

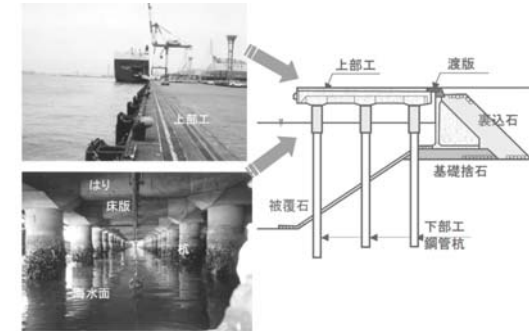


Nobuyoshi Yabuki 2011

5

港湾施設の点検とアセットマネジメント(高橋ら, 2006)

- 港湾設備について, 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



棧橋式係船岸の構成

Nobuyoshi Yabuki 2011

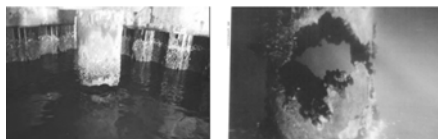
6



棧橋上部工下面の調査状況



上部工床版下面(左)と梁下面(右)の劣化状況



下部工鋼管杭の劣化状況

Nobuyoshi Yabuki 2011

7

港湾構造物の定期点検: 一次点検と二次点検

- 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
 - 部材ごとに, a, b, c, dで評価
- 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
- 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.

Nobuyoshi Yabuki 2011

8

点検項目		点検方法	判定基準
上部分工	コンクリートのひび割れ(下図)	目視	スラブ ○網目状のひび割れが部材表面の50%以上見られる ○かぶりのほくほくがある ○経路が断続している はり ○軸方向の幅3mm以上のひび割れが見られる ○かぶりのほくほくがある ハンチ ○縦絡の露状または縦方向の幅2mm以上のひび割れが見られる ○かぶりのほくほくがある a ○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 b ○スラブ、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、一方面のひび割れもしくは露状または線状のゲル状の露が見られる ○スラブ、軸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 ○露状なし
		目視	○露状による陥凹や変形、縦絡が見られる ○隅隅付近へ風付流、あるいは全体的に赤褐色の発色が著しい ○部分的に露状または赤褐色の発色が見られる ○計測結果は露状または、変形、陥凹、縦絡は見られない
		目視	○露状による陥凹や変形、縦絡が見られる ○隅隅付近へ風付流、あるいは全体的に赤褐色の発色が著しい ○部分的に露状または、変形、陥凹、縦絡は見られない
		目視	○露状による陥凹や変形、縦絡が見られる ○隅隅付近へ風付流、あるいは全体的に赤褐色の発色が著しい ○部分的に露状または、変形、陥凹、縦絡は見られない
		目視	○露状による陥凹や変形、縦絡が見られる ○隅隅付近へ風付流、あるいは全体的に赤褐色の発色が著しい ○部分的に露状または、変形、陥凹、縦絡は見られない
		目視	○露状による陥凹や変形、縦絡が見られる ○隅隅付近へ風付流、あるいは全体的に赤褐色の発色が著しい ○部分的に露状または、変形、陥凹、縦絡は見られない
		目視	○露状による陥凹や変形、縦絡が見られる ○隅隅付近へ風付流、あるいは全体的に赤褐色の発色が著しい ○部分的に露状または、変形、陥凹、縦絡は見られない
		目視	○露状による陥凹や変形、縦絡が見られる ○隅隅付近へ風付流、あるいは全体的に赤褐色の発色が著しい ○部分的に露状または、変形、陥凹、縦絡は見られない
		目視	○露状による陥凹や変形、縦絡が見られる ○隅隅付近へ風付流、あるいは全体的に赤褐色の発色が著しい ○部分的に露状または、変形、陥凹、縦絡は見られない
		目視	○露状による陥凹や変形、縦絡が見られる ○隅隅付近へ風付流、あるいは全体的に赤褐色の発色が著しい ○部分的に露状または、変形、陥凹、縦絡は見られない
鋼管杭	鋼材の腐食、縦絡	目視	○露状による陥凹や変形、縦絡が見られる ○隅隅付近へ風付流、あるいは全体的に赤褐色の発色が著しい ○部分的に露状または、変形、陥凹、縦絡は見られない
		目視	○露状による陥凹や変形、縦絡が見られる ○隅隅付近へ風付流、あるいは全体的に赤褐色の発色が著しい ○部分的に露状または、変形、陥凹、縦絡は見られない

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

9

- ・ 財団法人港湾空港建設技術サービスセンター
- ・ 点検診断の種類と概要

Nobuyoshi Yabuki 2011

10

The flowchart illustrates the maintenance and repair strategy for the Nishikawa River Bridge, categorized by the degree of damage (通常時 - Normal, 異常時 - Abnormal) and the inspection method (目視・簡易計測による実施 - Implementation by visual/simple measurement, 高度な方法による実施 - Implementation by advanced methods).

通常時 (Normal Time)

- 目視・簡易計測による実施 (Implementation by visual/simple measurement):**
 - 初回点検 (First inspection):** 維持管理計画策定時に現状を確認する (Check the current status when formulating the maintenance management plan).
 - 日常点検 (Daily inspection):** 日常の巡回時に変状の有無・変状の程度の確認する (Check for the presence/absence and degree of damage during daily patrols).
 - 一般定期点検診断 (General regular inspection diagnosis):**
 - ・海面上の部分を対象とした目視・簡易計測を主体とする方法により実施する (Implemented by a method mainly using visual/simple measurement targeting the part above the water surface).
 - ・短い間隔で実施する (Implemented at short intervals).
- 高度な方法による実施 (Implementation by advanced methods):**
 - 詳細定期点検診断 (Detailed regular inspection diagnosis):**
 - ・一般定期点検診断では実施困難な部分を含めて高度な方法により実施する (Implemented by advanced methods including parts that are difficult to implement with general regular inspection diagnosis).
 - ・比較的高い間隔で実施する (Implemented at relatively long intervals).

異常時 (Abnormal Time)

- 目視・簡易計測による実施 (Implementation by visual/simple measurement):**
 - 一般臨時点検診断 (General temporary inspection diagnosis):** 地震時や荒天時の直後の出来のだけ早い時期に、変状の有無や程度について確認する (Check for the presence/absence and degree of damage as early as possible after an earthquake or bad weather).
- 高度な方法による実施 (Implementation by advanced methods):**
 - 詳細臨時点検診断 (Detailed temporary inspection diagnosis):**
 - ・一般・詳細定期点検診断、一般臨時点検診断の結果特徴的な異常が確認された場合に、状況に応じて特別な点検診断を実施する (When a characteristic abnormality is confirmed as a result of general/detailed regular inspection diagnosis, general temporary inspection diagnosis, or when a characteristic abnormality is confirmed as a result of general temporary inspection diagnosis, special inspection diagnosis is implemented according to the situation).

総合評価 (Overall Evaluation)

The flowchart leads to a final evaluation stage, which then leads to the implementation of the maintenance and repair strategy (維持補修対策の実施).

特徴的な異常が確認された場合 (When a characteristic abnormality is confirmed)

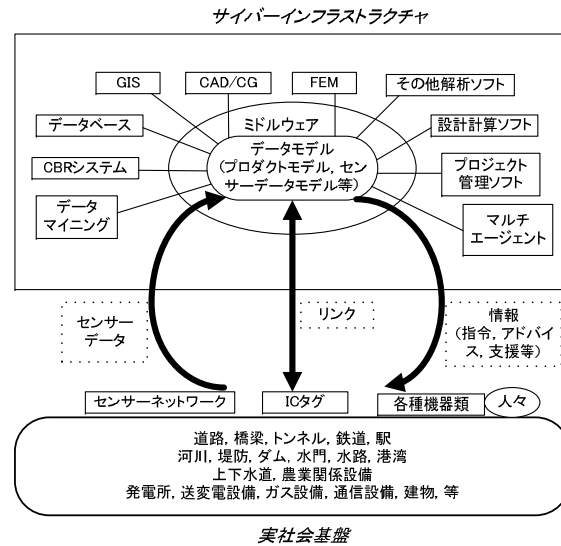
This stage is highlighted with a red arrow, indicating a specific condition where a detailed temporary inspection diagnosis is required.

11

Nobuyoshi Yabuki 2011

12

国土基盤モデル(矢吹, 2005)



Nobuyoshi Yabuki 2011

13

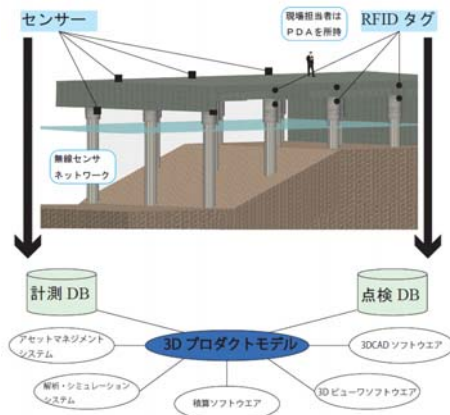
3. 長期的に開発中の維持管理支援システムの全体像と本研究の目的

- 3次元プロダクトモデル
 - 形状だけでなく、部品、部材の関係、属性、製造・建設過程など、製品や構造物に関するあらゆる情報を標準化し、テキストファイルで表現
- ISO 10303 (略称: STEP: Standard for the Exchange of Product data) として主に機械分野で整備。
- 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
- 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。
- 矢吹らは、シールドトンネルのプロダクトモデルIFC-ShieldTunnelを開発。
- さらに、開削トンネルのプロダクトモデルも開発。

Nobuyoshi Yabuki 2011

14

研究の長期的な目的と本研究の目的

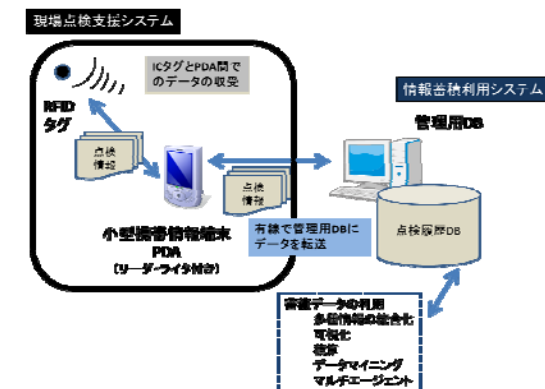


本研究では、この長期的視点で開発中の維持管理支援システムのうち、主に、港湾構造物に RFID タグを貼り付け、PDA を用いて点検支援を行うシステムを開発すること、センサーネットワークの利用に関する検討、港湾構造物の3次元プロダクトモデルに関する基礎的検討を行い、点検モニタリングデータの維持管理およびアセットマネジメントへの高度利用に資することを目的とした。

Nobuyoshi Yabuki 2011

15

4. RFIDとPDAを用いた現場点検支援システムの開発



本研究で構築した現場点検支援システムの概要図

Nobuyoshi Yabuki 2011

16

従来と本システム導入後の点検フローの相違



Nobuyoshi Yabuki 2011

17

構成要素-1

現場点検支援システムの開発

- RFID (Radio Frequency Identification)
- RFID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・管理する技術。
- RFIDタグが固有のIDを持ち、RFIDリーダーでそのIDを認識する。認識したデータをPDA上に表示させる。
- RFIDタグの種類



種類	バッテリー	動作	長・短所
アクティブタグ	内臓	自ら電源を持ち、RFIDリーダーにタグに書き込まれたデータの発信が可能。	電源に寿命があり、コストが高い。
パッシブタグ	なし	RFIDリーダーからの電磁波によって、タグが電源を得て、固有のIDがリーダーへ送信。	タグ自体は無電源でタグ代のみで運用可。コストが低い。

大量に施設中に設置することから導入を想定するタグはパッシブタグを選択

- RFIDタグの選定
- Tag-it HF-1 (パッシブタグ)を使用
- 周波数: 13.56MHz
- メモリサイズ: 2048bit



18

構成要素-2

現場点検支援システムの開発

- 開発に利用した機器の選定
- ✓ PDA: ヒューレット・パッカード社製のiPAQ212
- ✓ RFIDリーダー: SocketMobile社のRF5400-542
- 開発環境
- ソア・システムズの業務アプリケーション開発ツール「ル・クローン」



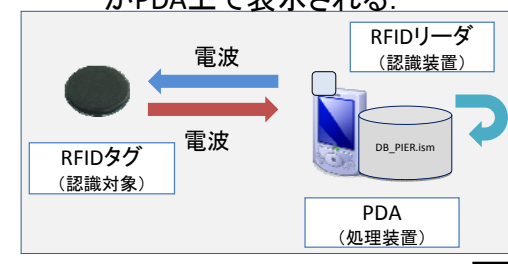
PDAにRFIDリーダーを装着した写真

システムの特徴的な機能-1

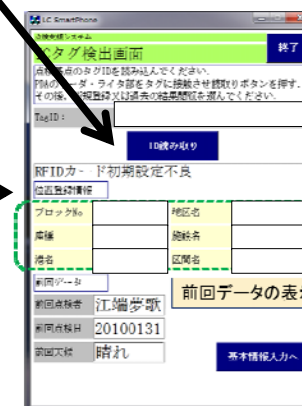
現場点検支援システムの開発

1. ID読み取り機能

- PDA上でID読み取りボタンを押すと、RFIDリーダーが、タグを認証し、タグIDがPDA上に表示される。



- 次に、タグIDにリンクされた情報が抽出され、PDA上に表示される。



20

システムの特徴的な機能-2

2. 点検結果入力機能

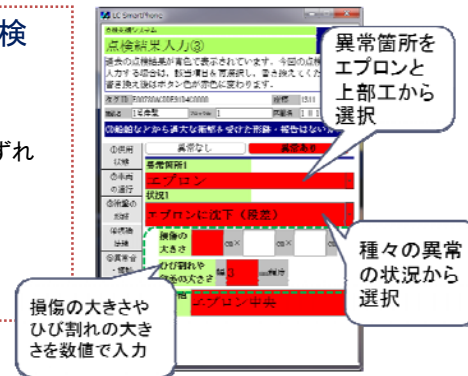
点検項目に沿って、**変状の内容やその規模等の結果を入力**

□ 上部工: 下記5項目を点検

- ① 供用状態の遵守
- ② 特に重量の大きい車両
- ③ 船舶等からの過大な衝撃
- ④ 栈橋の法線の変状、目地のずれ
- ⑤ 異常音や振動

□ その他の部材

(渡版、付帯設備等):
変状の内容や規模の記録

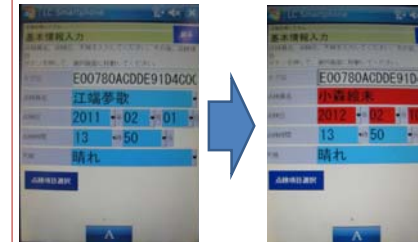


21

システムの特徴的な機能-3

3. 前回履歴表示機能

- ✓ 前回入力時と今回入力時の背景色の変化



4. 手書きメモ機能

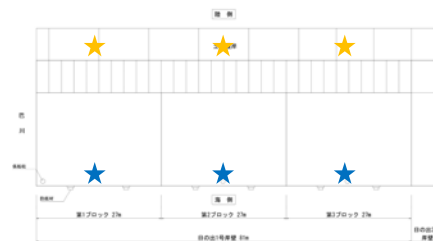
- ✓ タッチペンでの記入
- ✓ 自由記述保存可能



22

システムの利用手順-1

- ・ 週1回の巡回から、年1回の点検まで汎用性
- ・ 自治体などの技術職員が容易に利用
- ・ 上部工であれば、点検項目は
 1. 当初の想定 of 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
- ・ 静岡県清水港日の出1号岸壁でのRFIDタグ設置(想定)



Nobuyoshi Yabuki 2011

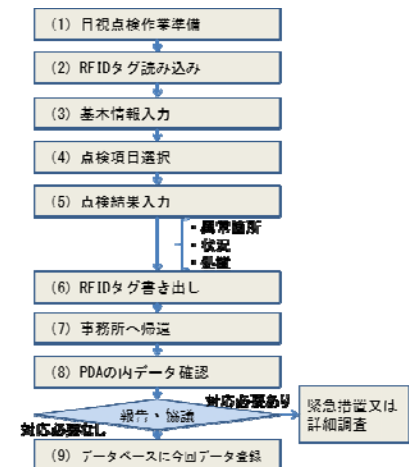
23

システムの利用手順-2

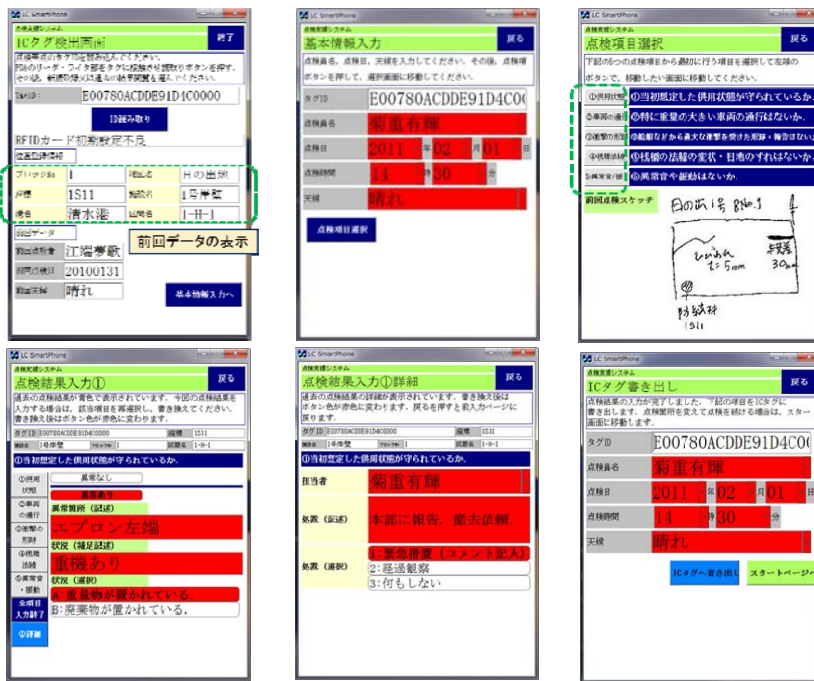
- 現場(港湾施設)へのRFIDタグ設置
- ・ 設置間隔: 単一の部材の集合で構成された1ブロック毎(約27m)
- ・ 1ブロック内: エプロン舗装部を避けた陸側もしくは海側



- RFIDを利用した点検システムの利用想定フロー



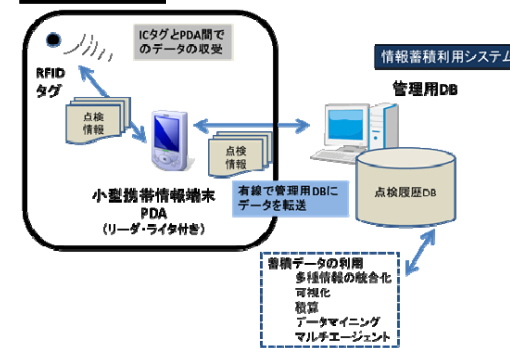
24



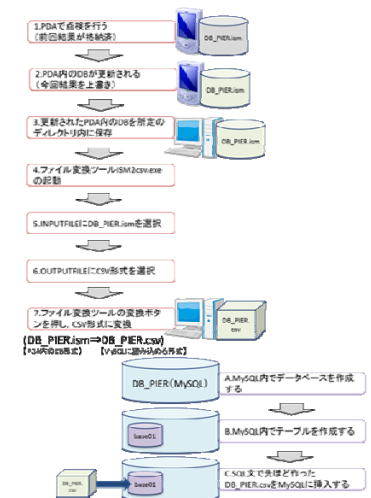
25

情報蓄積利用システム

現場点検支援システム



Nobuyoshi Yabuki 2011



26

5. 現場点検支援システムの検証と評価

- 2011年2月1日、清水港港湾会館および日の出1号岸壁にて、静岡県交通基盤部港湾局港湾整備課港湾工事班長代理の望月弘之氏に、システムのデモンストレーションおよび実際に現場で試用して頂き、ヒアリングをした。
- こういうシステムがあれば便利だと思ふとの一定の評価を得た。
- コメントは以下の通り。

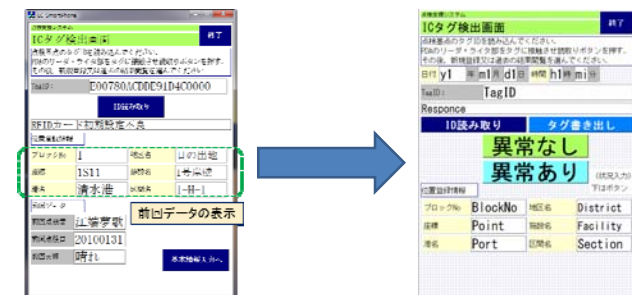
フォームの問題	1) 文字の記入時にパレットのせいで文字が隠れてしまう。 2) 読み書きをもっとしやすくする (文字の大きさや入力仕方)。 3) 点検時に確認された変状の処置は、現場で判断できないものについては事務所で検討するため、処置の記入はPDAからDBに転送後に、追加でDBに書き込めることが望ましい。 4) 履歴データが2, 3回前のもの見ることができるとよい。点検員が視覚的に用いる事が可能なものがよい (点検項目①～⑤などと変状の場所がリンクしたもの)。 5) 同一事項を入力する場合は、一度入力した事項が他の場所の点検にも反映される方がよい。
今後の展望	6) 広い場所を管理する事を考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

Nobuyoshi Yabuki 2011

27

ヒアリング内容に基づいて、システムの改善を実施した。

例) 最初の画面のデザインを変更した。



Nobuyoshi Yabuki 2011

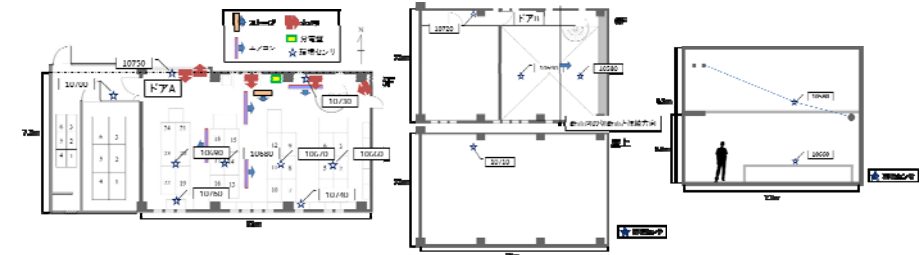
28

6. 無線センサーネットワークシステムの検討

- 当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、屋内仕様のため、屋外の港湾での利用はできないため、研究室内での利用結果について報告。
- 別の研究で、モニタリングデータからデータマイニングにより、知識発見を行う方法を検討している。
- Crossbow社のEcoWizard。
- 気温、相対(絶対)湿度、照度、電流などが計測可能。

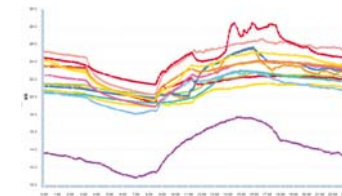


研究室内のセンサー設置箇所



13か所における気温のモニタリングデータ(24時間)

8か所の用途別電流のモニタリングデータ(24時間)



Nobuyoshi Yabuki 2011

30

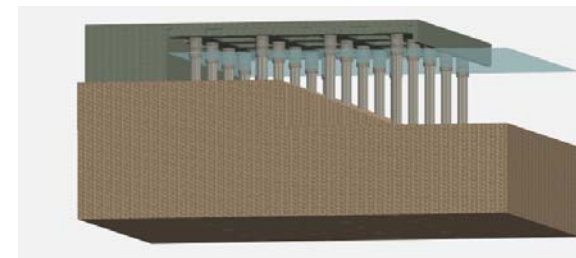
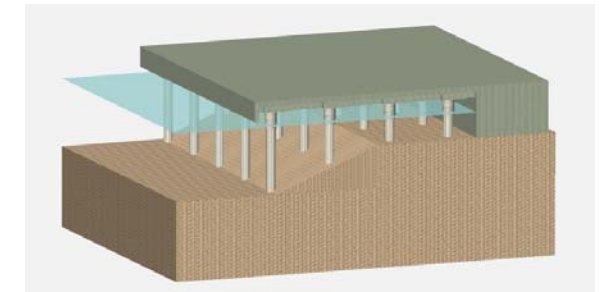
7. 3次元プロダクトモデルの検討

- 我々は、橋梁やトンネルのプロダクトモデルの開発は行ったが、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、既の開発が進み、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の中にある建物表現のための床(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

Nobuyoshi Yabuki 2011

31

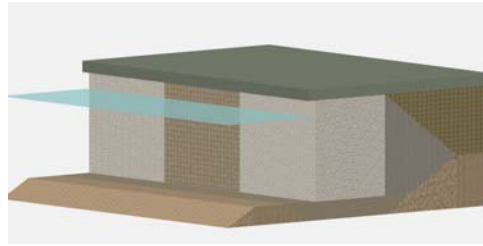
栈橋式係船岸



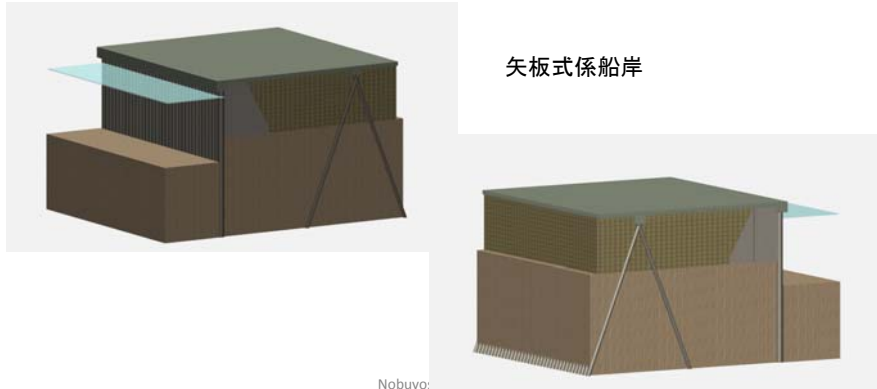
Nobuyoshi Yabuki 2011

32

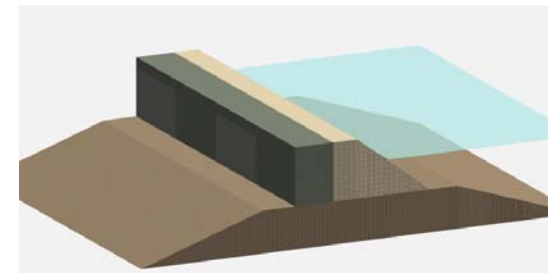
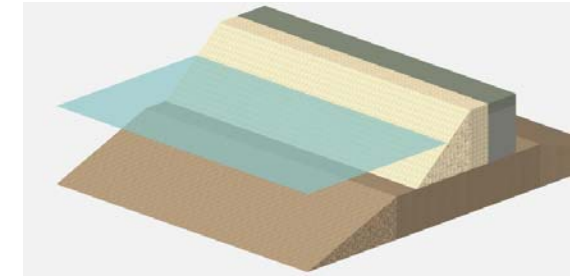
重力式係船岸



矢板式係船岸



重力式防波堤



8. 結論

- 長期的な研究目標である「国土基盤モデル」に基づく維持管理支援システムのうち、本研究では、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。

• 本研究の成果

- 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。

- 今後の課題

- 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。

ご清聴ありがとうございました。