

土木分野における Web 技術を用いた電子情報の
交換と共有に関する研究

2004年 3月

熊本大学大学院自然科学研究科
山 本 一 浩

目 次

第1章 序論	1
第2章 外部共有サーバによる建設情報の利用	3
2. 1 はじめに	3
2. 2 建設 CALS/EC	4
2.2.1 CALS の歴史と定義	4
2.2.2 建設 CALS/EC の概要	4
2.2.3 建設 CALS/EC 導入における公共事業の変化	6
2. 3 事務所レベルにおける情報化の現状	8
2.3.1 各段階における情報化の現状と課題	8
2.3.2 電子データ運用の理想型と現状	10
2. 4 外部共有サーバと情報の標準化に関する考察	13
2.4.1 情報の電子化と共有サーバ	13
2.4.2 外部共有サーバ	15
2.4.3 建設情報の共有形態	16
<参考文献>	19
第3章 文書データの協同作業による電子情報の交換と共有	20
3. 1 はじめに	20
3. 2 電子データと共有サーバについて	20
3.2.1 電子データ交換技術	20
3.2.2 建設 CALS/EC における電子データの標準化	21
3.2.3 共有サーバのあり方	22
3. 3 構成ウェブ技術の概要	24
3.3.1 外部共有サーバ	24
3.3.2 文書データ交換	24
3.3.3 写真データ交換	25

3. 4	適用事例	25
3. 4. 1	文書データに関する適用事例	26
3. 4. 2	写真データに関する適用事例	29
3. 4. 3	考察	30
3. 5	まとめ	31
3. 6	謝辞	32
	<参考文献>	33
第4章	写真データの信憑性向上による電子情報の交換と共有	34
4. 1	はじめに	34
4. 2	工事写真の電子化	35
4. 2. 1	工事写真の役割	35
4. 2. 2	工事写真の流れ	35
4. 2. 3	システムの提案	36
4. 3	システムの概要と構成技術	37
4. 3. 1	写真撮影と位置情報取得	37
4. 3. 2	外部共有サーバでの処理	40
4. 4	適用事例	40
4. 4. 1	工事現場における処理	41
4. 4. 2	外部共有サーバにおける処理	42
4. 4. 3	ウェブ上における工事検査の実施	45
4. 4. 4	考察	45
4. 5	まとめ	46
4. 6	謝辞	47
	<参考文献>	47

第5章 河川プロジェクトモデルによる電子情報の交換と共有	48
5. 1 はじめに	48
5. 2 河川プロジェクトモデルの提案	48
5.2.1 河川事業と関係図面	48
5.2.2 建設関連情報のモデル化	49
5.2.3 河川プロジェクトモデルの概要	51
5.2.4 情報共有とプロジェクトモデル処理技術	54
5. 3 適用事例	54
5.3.1 地形測量モデルのデータ処理	55
5.3.2 河川測量モデルのデータ処理	56
5.3.3 構造物モデルのデータ処理	57
5.3.4 考察	57
5. 4 まとめ	59
<参考文献>	60
第6章 河川測量モデルと河川横断補間システム	61
6. 1 はじめに	61
6. 2 河川測量モデルの構築	62
6.2.1 河川測量モデルの提案	62
6.2.2 平面測量モデル	63
6.2.3 横断面測量モデル	64
6. 3 補間アルゴリズム	65
6.3.1 平面境界点の決定	65
6.3.2 補間断面線・仮想断面線の決定	66
6.3.3 補間断面の分割点の算出	67
6.3.4 各分割点の高さの補間	68

6. 4 適用事例	68
6.4.1 適用河川	68
6.4.2 補間プログラム	68
6.4.3 補間プログラムの検証	70
6.4.4 考察	71
6. 5 まとめ	72
<参考文献>	72
第7章 河川プロジェクトモデルを利用した意見集約型工程計画システム	73
7. 1 はじめに	73
7. 2 意見集約型工程計画システム概要	73
7.2.1 システム構成要素	73
7.2.2 システムフロー	75
7. 3 可視化ブロックの構築	75
7.3.1 VR技術の選定	76
7.3.2 可視化システムの構築	76
7. 4 実証フィールド模擬実験	80
7.4.1 適用事例	80
7.4.2 システムの運用環境	81
7.4.3 施工シミュレーション専用HPの構成	81
7.4.4 考察	84
7. 5 まとめ	85
<参考文献>	86
第8章 結論	88

第 1 章 序論

本論文は、現在、国土交通省が中心となって推進している建設 CALS/EC における電子情報の交換・共有について、既存の Web 技術を用いた最適なシステムに関し、研究を行ったものを取りまとめたものである。

国土交通省(旧建設省)は、1995 年より公共土木事業に関する情報を、標準に基づいて電子化し、情報機器をネットワークに接続することにより、特定の機器、システムに縛られることなく、組織を越えて情報の伝達、共有、処理、加工、検索、連携を可能とする環境の整備を行うとした「公共事業支援統合情報システム(建設 CALS/EC)」の検討を進めている。この建設 CALS/EC 構想についての詳細は後述することとするが、この構想を推進するにあたり電子情報の交換や共有といった点において幾つかの問題点が発生している。

本研究では、このような問題点に対し、公共土木事業の調査・計画、設計、施工、維持管理といった各段階で取り扱われる情報のうち、①文書情報、②写真情報、③図面情報の 3 つの情報に着目し、これらの電子情報の交換・共有のあり方を論ずると共に、抽出された問題点の解決策として、既存の Web 技術を用いたシステムの提案及び構築を行う。そして、構築したシステムにより実証フィールド実験を行い、その結果を通して明らかとなった有効性や課題について考察をするものである。なお、本論文の構成は以下の通りである。

第 2 章では、2.1 で公共土木事業における情報化の現状について述べ、2.2 では、国土交通省が中心となって推進している建設 CALS/EC 構想の概要を説明する。2.3 では、建設 CALS/EC に対する、事務所レベルにおける情報化の現状を整理し問題点を抽出する。2.4 では、前節で抽出した問題点の解決策として、公正な情報交換・共有の為に第三者機関が管理する外部共有サーバの必要性を述べる。

第 3 章では、文書データの協同作業による電子情報の交換と共有について検討を行う。3.2 においては、電子データの標準化、共有サーバと第三者認証について述べ、外部共有サーバの導入を提案する。3.3 においては、システム構築に必要となる外部共有サーバと既存のウェブ技術について紹介する。3.4 においては、実証フィールド実験として、大戸川ダム建設事業における設計業務と佐敷大橋(仮称)建設工事の 2 つを紹介し、適用により明らかとなったシステムの有効性や問題点などについて考察を加える。

第4章では、写真データの信憑性向上による電子情報の交換と共有について検討を行う。4.2 においては、工事における工事写真の役割および納品・検査までの流れと、写真データに必要な要素について述べ、それらの要素を満たすためのシステムの提案をする。4.3 においては、GPS 情報との連携によるシステム構築に必要となる技術について紹介する。4.4 においては、実際に構築したシステムを使用した橋梁工事を対象とする実証フィールド実験を紹介し、その実験により明らかとなったシステムの有効性や問題点などについて考察を加える。

第5章では、河川プロジェクトモデルによる電子情報の交換と共有について検討を行う。5.2 においては、河川事業におけるプロジェクトモデルの提案と、外部共有サーバにおけるプロジェクトモデル処理技術について紹介する。5.3 においては、河川縦横断測量、航空レーザ計測及び樋門詳細設計の業務において共有サーバに登録されたプロジェクトモデルを利用した実証実験を紹介し、提案した河川プロジェクトモデルの有効性や問題点について考察を加える。

第6章では、河川プロジェクトモデルのうち、河川測量モデルと河川横断補間システムについて検討を行う。なお、河川測量モデルとは、前章で提案した河川プロジェクトモデルの1つである。6.2 においては、河川測量モデルについて平面に関するデータが記述される平面測量モデルと、横断面に関するデータが記述される横断測量モデルに大別し、その記述方法について述べる。6.3 においては、2次元データとしての河川測量モデルから3次元測量モデルを作成する断面補間のアルゴリズムについて述べる。6.4 においては、補間プログラムの適用事例として福井県の代表河川である九頭竜川における3次元測量モデル化を紹介し、作成されたモデルの補間断面について検証を行い補間プログラムの有効性や問題点について考察を加える。

第7章では、河川プロジェクトモデルを利用した意見集約型工程計画システムについて検討を行う。7.2 においては、最適化ブロック、可視化ブロック及び意見集約ブロックの3つのブロックからなる本システムの概要を述べる。7.3 においては、3次元のVRに時間軸を加えた、4D-VRの利用を提案し、工程に関するデータベースと3次元CGをリンクさせVR上で表示するための可視化エンジンの構成要素について述べる。7.4 においては、4D-VRを用いた施工シミュレーションのプロトタイプの構築を目的とした、実証フィールド模擬実験について紹介し、さらに実験を通したシステムの改善点などを述べる。

第2章 外部共有サーバによる建設情報の利用

2.1 はじめに

公共土木事業では、工事の品質確保と建設費の縮減が常に求められる。工事の品質を確保するためには、企業情報や技術者情報に基づく優良な業者の選定や事業執行の各段階で発生する多量の技術情報の的確な管理・活用が重要であり、データベースを中心とした情報システムの構築が必要となる。同様に建設費の縮減を図るためには、工程管理の合理化、設計書・報告書作成等の作業の省力化により生産性の向上を図ることが重要であり、発注者・受注者双方の情報化が有効な手段となる。

また、WTO（World Trade Organization：世界貿易機関）の新たな政府調達協定の発効に象徴されるように、建設市場の国際化が進展する中で、海外からの情報アクセスの向上、行政情報の高度利用や行政サービスの高度化、建設産業における企業体質の強化等の観点からも情報化が必要となっている¹⁾。

公共土木事業においては、コンピュータのパーソナル化及び高性能化やインターネットに代表される情報ネットワークの進展に伴い（表 2-1）、行政機関や建設会社においても設計や施工の各段階で、業務の高度化や効率化が進めら

表 2-1 コンピュータとインターネットの歴史²⁾

年代	コンピュータ	インターネット	
	ハード・ソフトの推移	通信ネットワークのあゆみ	世界のインターネット接続ホスト数
1944	IBM・ハーバード大学、 「Mark I」を完成		
1946	ENIACが開発される		
1953	IBM、最初の「磁気テープ装置」を発表		
1968	Intel社 創立		
1969		アメリカ国防総省がARPAにネットワークの研究をするように指示し、ARPANETが設立	4
1971		大学や研究所がARPANETにつながる	23
1973		ARPANETがノルウェーや英国ともつながり、はじめての国際接続となる	35
1975	Microsoft社 設立		
1976	Apple社 設立		
1981	卓上型コンピュータ[IBMシステム/23]を発表	アメリカの大学と研究機関をIBM社のホストコンピュータで接続したネットワークBITNETがはじまる	213
1992	Windows3.1 発売		
1993		WWWブラウザのMosaicが登場	2,000,000
1994		WWWブラウザのNetscapeが登場	3,500,000
1995	Windows95 発売	Windows95の登場により、個人のインターネット利用が増えるきっかけとなる WWWブラウザのInternet Explorerが登場	8,200,000

れてきた。しかし、システム相互間の情報交換が不完全であることや、業務プロセスが情報技術の活用を前提としていないことなどにより、所期の効果が必ずしも得られていない課題がある。このような課題を踏まえて共通のルールづくりを進めようとする動きが、国土交通省が中心となって推進している建設 CALS/EC である。

2.2 建設 CALS/EC

2.2.1 CALS の歴史と定義

CALS の誕生した直接的なきっかけは、1980 年代半ばから展開されたアメリカ国防総省における「ペーパーレス運動」である。家電製品にマニュアルがあるように、当然兵器にもマニュアルが存在する。そして、あらゆる兵器の高性能化は膨大なマニュアルの山を生み出すこととなる。膨らみ続ける兵器の情報が書かれた文書を、人間が検索する作業は限界を迎えていた。そこで、アメリカ国防総省は、文書を電子情報に置き換え、スペースの節約と、迅速な情報検索を目指すこととなった。これが「CALS」のはじまりである。当時のアメリカ国防総省が考えた CALS とは、①品質の向上、②コスト削減、③リードタイムの短縮、の 3 つであり、公共土木事業が直面している課題をほぼカバーしていた。この時期の CALS の定義としては、Computer-aided Acquisition and Logistics Support（コンピュータによる調達と戦略の支援）であったが、アメリカ国防総省が始めた CALS は全産業へと広がりを見せ、1993 年には CALS の定義が改訂され、その名前から防衛産業を連想させる「Logistics Support」が消え、CALS の定義は、Continuous Acquisition and Life-cycle Support（継続的な調達とライフサイクルの支援）と変化した³⁾。

2.2.2 建設 CALS/EC の概要

国土交通省（旧建設省）は、2.2.1 における CALS の概念と、さらに、「ネットワーク上で電子化された商取引」の意味を持つ EC（Electronic Commerce：電子商取引）の概念を導入したシステム構築のため、1995 年 5 月に公共事業支援統合情報システム研究会（建設 CALS/EC 研究会）を設置し、公共土木事業の調査・計画、設計、施工及び維持管理の各段階で発生する各種情報を、事業の各段階における関係者間での効率的な情報の交換・共有・連携の環境を創出する、建設 CALS/EC（公共事業支援統合情報システム）の検討を開始した（図 2-1）。

建設 CALS/EC は、発注者、受注者、国民等、公共事業の関係者がオープンな通信ネットワークで連携し、計画から調査、設計、施工、維持管理までの事業のライフサイクル全体にわたって情報を連携することを表す概念である。その実現に向けては、①様々な関係者間における交換情報を「標準化」すること、②情報を一貫して管理する「統合データベース」を構築すること、③「業務プロセスの見直し」により事業のコストを縮減すること、が必要であり、情報の全てを電子化することを基本としている。

また、建設 CALS/EC の整備の方向性を示すものとして、1996 年 4 月に 2010 年までにわが国の公共事業分野において CALS/EC を実現させることを目的とした建設 CALS 整備基本構想を策定し、その基本構想を基に実際に整備すべき具体的な内容を明らかにした建設 CALS/EC アクションプログラムを策定した（表 2-2）。

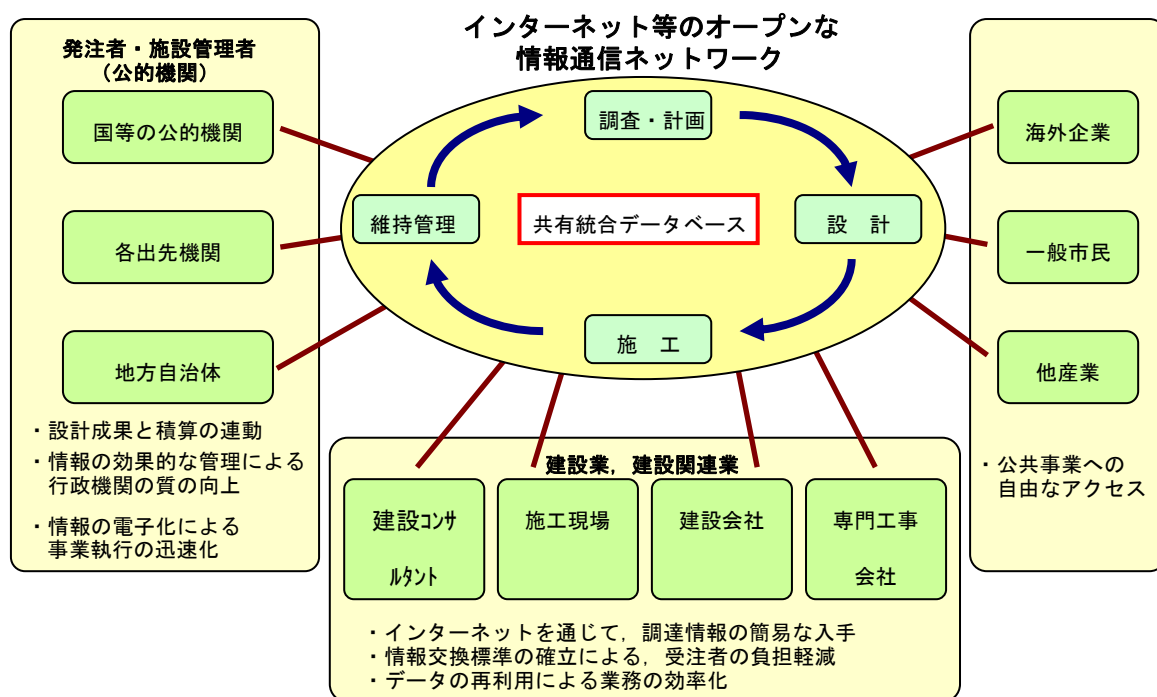


図 2-1 建設 CALS/EC の全体イメージ

表 2-2 建設 CALS/EC アクションプログラム (要約)

	フェーズ 1 1996～1998年度	フェーズ 2 1999～2001年度	フェーズ 3 2002～2004年度
整備目標	建設省全機関において電子データの受発信体制の構築	一定規模の工事等に電子調達システムを導入	建設省直轄事業の調査・計画、設計、施工、管理に至る全てのプロセスにおいて、電子データの交換、共有、連携を実現
実現内容	・事業に関する情報の伝達・交換を電子メール化 ・電子媒体、または電子メールによる申請・届出 ・調達関連情報のホームページ掲載 ・調達情報に関するクリアリングハウスの構築	・電子調達システムの導入 ・事業に関する情報の伝達・交換の電子メール化 (認証あり) ・電子媒体、または電子メールによる申請・届出 (認証あり) ・資格審査申請のオンライン化・ネットワーク型自動積算システムの導入 ・電子データ成果の再利用・加工・統合によるデータの有効活用	・全ての事業に電子調達を活用 ・EDIによる契約事務の執行 ・全ての公共事業執行に係る申請・届出のオンライン化 ・GISを利用した情報の連携・統合 ・STEPの活用による施設のライフサイクルサポート
実現のために不可欠な措置・技術	・インターネットの利用環境の整備 ・実証フィールド実験の推進 ・電子調達に必要な技術の開発 ・電子データ標準化に関する研究	・国際標準に基づく電子データの基準化 ・電子認証システムの導入 ・電子データによる成果納品の実施	・既存システムとの連携 ・STEPの一部国際標準化 ・電子データによる契約事務の標準化
情報インフラの整備 (光ファイバー網等、空間データ基盤)			

2.2.3 建設 CALS/EC 導入における公共事業の変化

それでは、建設 CALS/EC が公共事業に導入された場合、現場はどのように変化して行くのか。

2.2.2 のアクションプログラムの整備目標を基に、以下にまとめた。

① 調達段階～電子入札による事務の簡素化等

電子入札はインターネットを利用して公共事業の入札ができるようにするシステムで、インターネット上でのやり取りを安全に実施するために、「電子認証」を利用したシステムである。電子入札を導入することにより下記の効果が期待されるとしている。

- 1) 競争性の向上
 - ・情報が入手しやすくなり、競争性が量的に増加する。
 - ・海外も含めた多彩な技術提案を得やすくなり、競争性が向上する。
- 2) コスト縮減
 - ・競争参加者の人件費、移動コストが減少する。
- 3) 事務の迅速化
 - ・自動処理が可能となり、重複入力等による事務負担が軽減される。
- 4) その他
 - ・紙資源や人・物の移動によるエネルギー消費が軽減される。

国土交通省では、電子入札を 2001 年 10 月より一部直轄事業で開始し、2003 年度からは全面的に導入した。

なお、電子入札に利用されている電子認証とは、インターネット上で電子入札を実施する

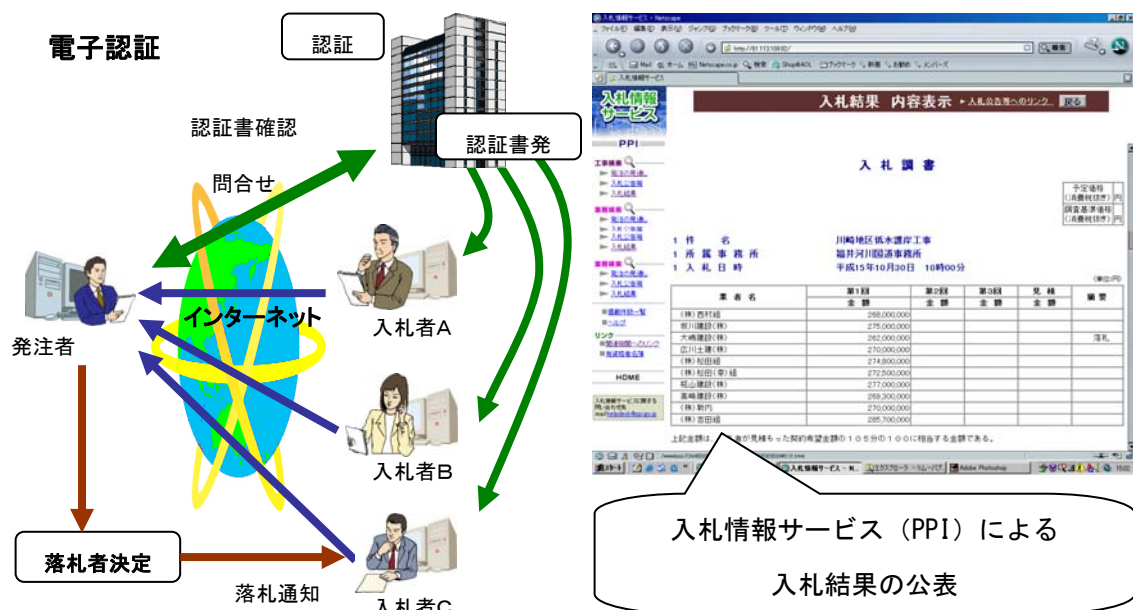


図 2-2 電子入札と入札情報サービス

上でのセキュリティを確保することを目的としたものであり、その方法は予め電子認証書を発行、入札書に添付する電子署名が確かに本人からのものであることを確認できる仕組みを電子認証局が提供するというものである。また、電子入札と合わせて、発注予定情報、発注情報、入札結果を、一箇所のホームページで提供する入札情報サービス（PPI：Public works Procurement Information service）により、入札参加者はもとより国民は、一元的に調達情報を入手・検索することが可能となる（図 2-2）。

② 設計・積算段階～CAD データからの自動積算

積算に必要な数量(土量、鉄筋量等)情報は、設計段階で納品された CAD データから、積算システムにダイレクトに入力され、発注者は画面上で確認するだけで積算業務が完了する。建設 CALS/EC により、積算業務が飛躍的に効率化・迅速化するとともに、数量拾い出しのミスも防ぐことができる。

③ 工事施工段階～工事関係情報の電子的交換・共有による統合的な施工管理

受発注者間でやり取りされる情報を電子化・標準化することにより、ペーパーレスを実現する。またプロジェクトマネジメント(PM：Project Management)を導入し、品質・工程・コスト等を統合的にマネジメントする。建設 CALS/EC により、発注者は工事関係書類を効率的に管理できるとともに、省スペース化が可能となる。また、複数工事などの広範囲な情報の共有が容易であり、タイムリーで効率的な監督業務が行える。受注者は、書類作成や提出などに関わる移動等のコスト縮減が図られるとともに、人員、コスト等の効率的な配分が行える（図 2-3）。

④ 維持管理段階～点検データの現場入力・管理

維持管理業務等に携帯端末や維持管理データベースを活用してペーパーレスな維持管理業務を実現する。建設 CALS/EC により、点検現場から直接事務所のデータベースに情報を蓄積することで、台帳整理などの作業が効率化するとともに、維持管理情報が一元的に蓄積され、

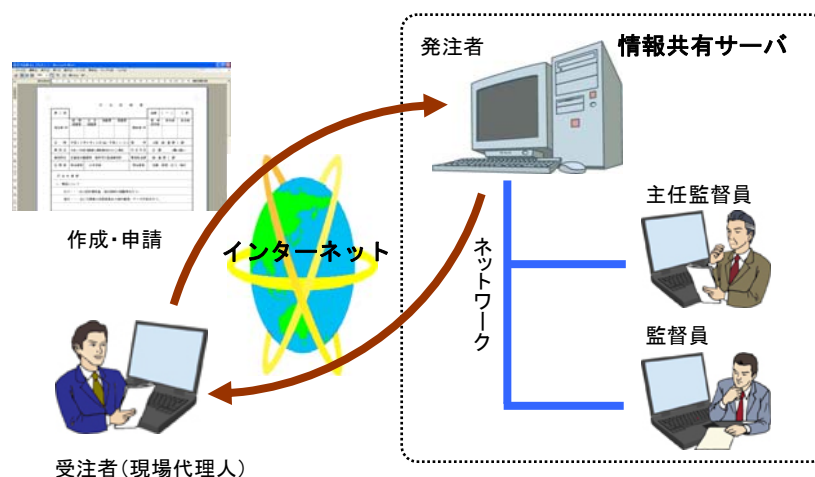


図 2-3 情報共有の概要

維持補修計画が効率化、最適化できる⁴⁾。

以上のように、建設 CALS/EC の導入が完了した場合、各段階において省スペース化、効率化、最適化、迅速化といったキーワードに代表されるように、そのメリットは大きなものであることが理解できる。しかし、上記の公共事業にもたらす効果は、あくまで建設 CALS/EC がアクションプログラムに沿った、全ての段階において整備が順調に推進された場合の効果である。

それでは、実際の現状はどのようなになっているのか。事務所レベルからの視点で、以下に整理した。

2.3 事務所レベルにおける情報化の現状

2.3.1 各段階における情報化の現状と課題

2.2 では、建設 CALS/EC 構想について国土交通省の動きと、建設 CALS/EC の導入による公共事業に対する効果について述べた。ここでは建設 CALS/EC 導入の効果について、事務所レベルにおける情報化の現状を各段階で整理し、現状における問題点を抽出する。

① 電子入札

電子入札に参加するには、国土交通省が指定した認定認証局である（株）帝国データバンクが発行する電子認証書（有料）が必要となるため、中小建設業ではその手続きが出来ていない場合もあり、現時点では電子入札と直接入札が混在した形となっている。また、入札時に必要となる見積価格算定のための図面や数量等は国土交通省の外郭団体である、（社）建設協会に直接出向いて購入しなければならないが、事務の簡素化とはなっていないのが現状である。

② CAD データからの自動積算

現状の建設分野では2次元図面データ（SXF：Scadec eXchange Format 仕様レベル2）の利用を基本としているため、現時点において数量自動拾いを行うことはできない。今後、数量などの属性情報や3次元情報も含めたCADデータが利用されていくとともに、それら付加情報の標準化が必要となる。

③ 情報共有と電子納品の現状

情報共有の第一歩は、電子メールの活用である。しかし、電子メールでは、業務が一定の規模以上になり、それに携わる人の数が増えると、全ての書類を電子メールで管理することは困難となる。その解決のための方法として、情報共有サーバを用いた情報共有がある。これにより、情報の所在が明確になり、最新情報がどれであるかがすぐに分かるといったメリットがある。現時点では、発注者が保有するサーバを利用する場合と、ASP（Application Service Provider）と呼ばれる iDC（Internet Data Center）等を用いたアウトソーシング・サービスを利用する場合の2つがある。また、成果品を電子化し適切に管理するためには、

様式等を統一（標準化）する必要がある。これによって、複数の情報を同時に取り扱うことや、初めての情報であっても内容が容易に理解できるようになる。また、電子納品されたデータは情報共有サーバ等を活用することにより、一元的に管理することができ、発注者・受注者それぞれの立場で必要な時間に必要なデータだけ取り出すことが可能となる⁵⁾。標準化のルールとして表 2-3 に示す要領・基準及びガイドラインが策定されており、現在は、この基準により電子納品することとなっている。

表 2-3 要領・基準及びガイドライン（案）

要領・基準	制定・改訂
土木設計業務等の電子納品要領(案)	2001.8 改訂
工事完成図書の電子納品要領(案)	2001.8 改訂
測量成果電子納品要領(案)	2002.7 制定
デジタル写真管理情報基準(案)	2002.7 制定
CAD製図基準(案)	2002.7 制定
地質調査資料整理要領(案)	2002.7 制定
ガイドライン	制定・改訂
電子納品運用ガイドライン(案)	2001.3 制定
現場における電子納品に関する事前協議ガイドライン[土木設計業務編](案)	2002.2 改訂
現場における電子納品に関する事前協議ガイドライン[土木工事編](案)	2002.2 改訂

なお、2002 年度の CALS/EC に対する実施状況や対策について、全国からも以下のような課題・対策等が報告されている⁶⁾。

a) 図面情報の有効活用

仙台河川国道事務所では、電子納品された設計図を利用して工事の発注、変更、完成までの一連の設計図作成業務に CAD を導入し電子化された設計図等を現場と事務所間で共有化を図ることを検討目的として、CAD の導入後の環境整備及び職員への CAD 研修の拡大を図ることとしている。

b) 電子納品保管管理システム

北陸地方整備局では、電子納品保管管理システムの導入を行い、平成 16 年度より本格的に保管管理システムを活用し、電子納品成果物(CD-R)の登録を行い利活用を図ることとしている。しかし、これまで試行してきた結果から、以下の課題により保管管理システムへの登録がスムーズに行われないことが明らかとなっている。

- 1). 登録するためのサーバを管理する技術事務所が全事務所の登録の全てを行うため、大きな負担が生じること。
- 2). 試験的に電子納品成果物(CD-R)を収集したところ、エラーが非常に多かったこと。
- 3). 電子納品の意義やその効果が十分に認識されていないこと。

c) 情報共有サーバの利用

北海道開発局では、情報共有サーバを利用し工事期間中における電子データの共有を試みている。これまでの試行の結果を踏まえて、3つの改善点を上げ、取り組みを強化することとしている。

- 1) 情報共有システムの機能・操作性の改善。
- 2) CAD や写真等の大容量の交換を可能とする通信回線環境の改善整備。
- 3) 情報共有サーバ内データの電子納品との連携を考慮したシステムの機能改良を進め、さらなる情報共有サーバの効果的な利活用の検討。

2.3.2 電子データ運用の理想型と現状

前述したような、課題や問題点について、図面データを例として具体的な電子データの運用を図2-4にまとめた。この図において、理想型では国際標準としてのSXF仕様レベル2ファイルが設計から工事竣工まで円滑に流れているのがわかる。一方、現状においては、SXFファイル、DXFファイル及び紙図面といった3種類の情報が混在し、業務の流れをより一層複雑にしている。このことは、受発注者の担当者は従来の業務運営に加えて電子データによる業務が増えたことで、業務の効率化とは逆の結果となっている。この原因は、①契約図面には押印が必要である、②発注者側にSXF対応のCADソフトがインストールされていない、③あるルールにしたがって標準化されている電子データは事実上図面データのみである、といった課題が原因の1つであると筆者は考える。このような現状を踏まえると、本来のCALS/EC実現にはほど遠いものであると言わざるを得ない。

1つ目の原因である「契約図面には押印が必要である」について、工事請負契約書第1条5では、「この契約書に定める請求、通知、報告、申出、承諾及び解除は、書面により行わなければならない。」と記されており、現時点において契約書並びにそれに付随する設計図書、特に図面に押印が必要であることは事実である。しかし、押印の問題については、2001年4月から施行されている「電子署名及び認証業務に関する法律⁸⁾」（以下、電子署名法）を利用することで押印問題については解決できると判断できる。なぜなら、電子署名法の目的が「電子署名に押印と同等の効力を持たせることにより、電子商取引を活性化し、結果として経済も活性化させること」と解釈できるからである。電子データにより全ての業務を行うという行為、つまりペーパーレス化は、電子署名法という法律の下、既に実用化されている電子入札や電子認証に加えて「電子契約」という新たな方式を全面導入し、業務や工事の完成までにおける押印は「電子決裁」を採用することで可能であると考ええる。なお、電子契約や電子決裁の実現には、入札・契約・申請・届け出といったプロセスにおける標準化や、新たな業務執行プロセスの確立が必要である。

2つ目の原因の「発注者側にSXF対応のCADソフトがインストールされていない」は、発注者

側の CALS/EC に対する「意識の低さ」と言わざるを得ない。

3つ目の原因の「あるルールにしたがって標準化されている電子データは事実上図面データのみである」については、打ち合わせ記録簿・指示書・伺い書といった図面以外の書類について、新たなルール（標準化）による電子化と情報共有の方法について策定する必要がある。

以上のような現状に加えて、現時点における情報共有サーバ利用による情報共有と電子納品との関係も問題であるとする（図 2-5）。この図からも CALS/EC の目的である「情報の高度利用」が行えないシステムであることは明らかである。また、他の段階である調査・計画，設計，維持管理といった段階では CD-R による電子納品が行われているものの、情報共有サーバを利用するといった業務プロセスではなく、単に紙ベースの報告書が電子媒体（CD-R）に変更されただけである。

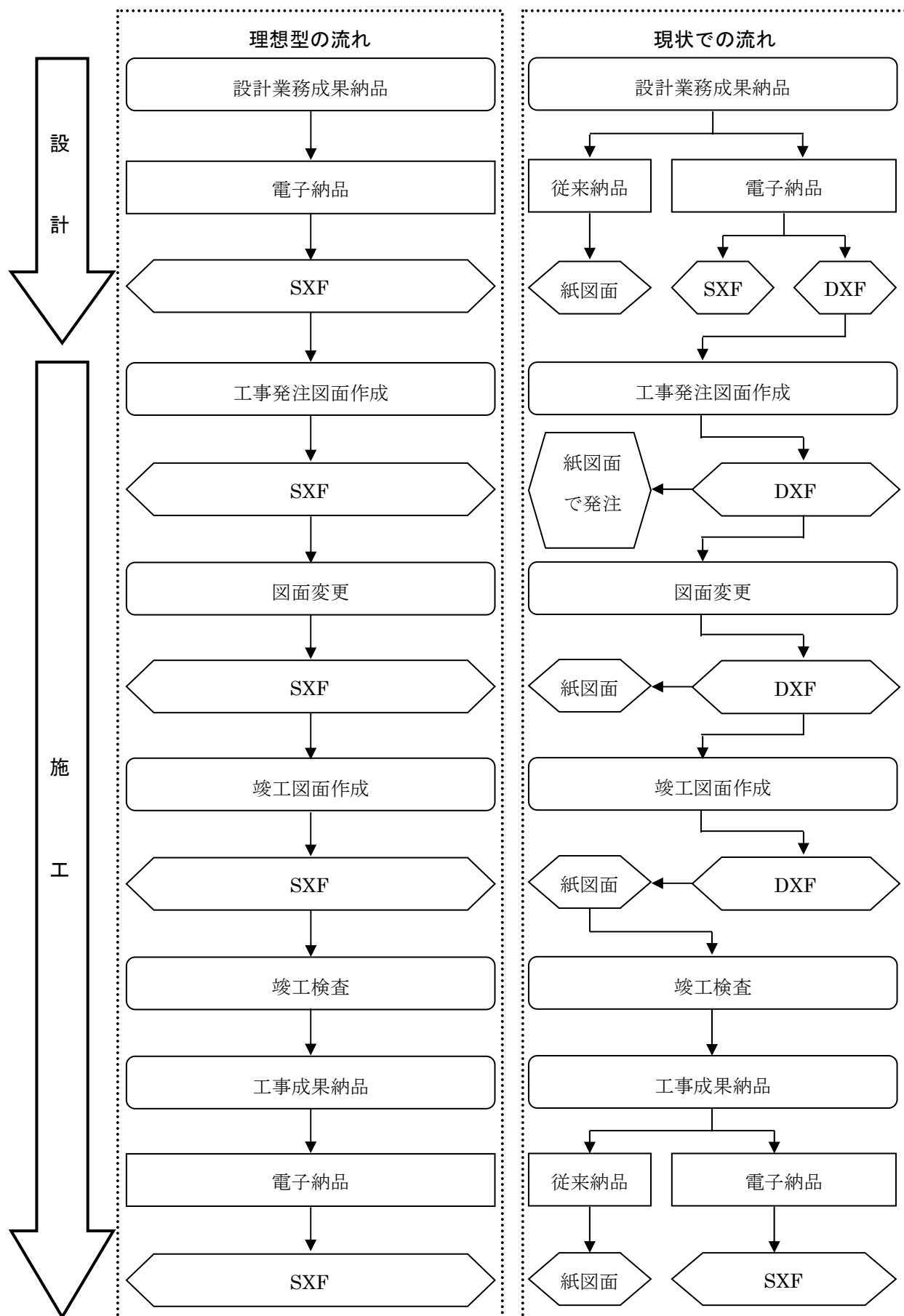


図 2-4 電子データ運用の理想型と現状

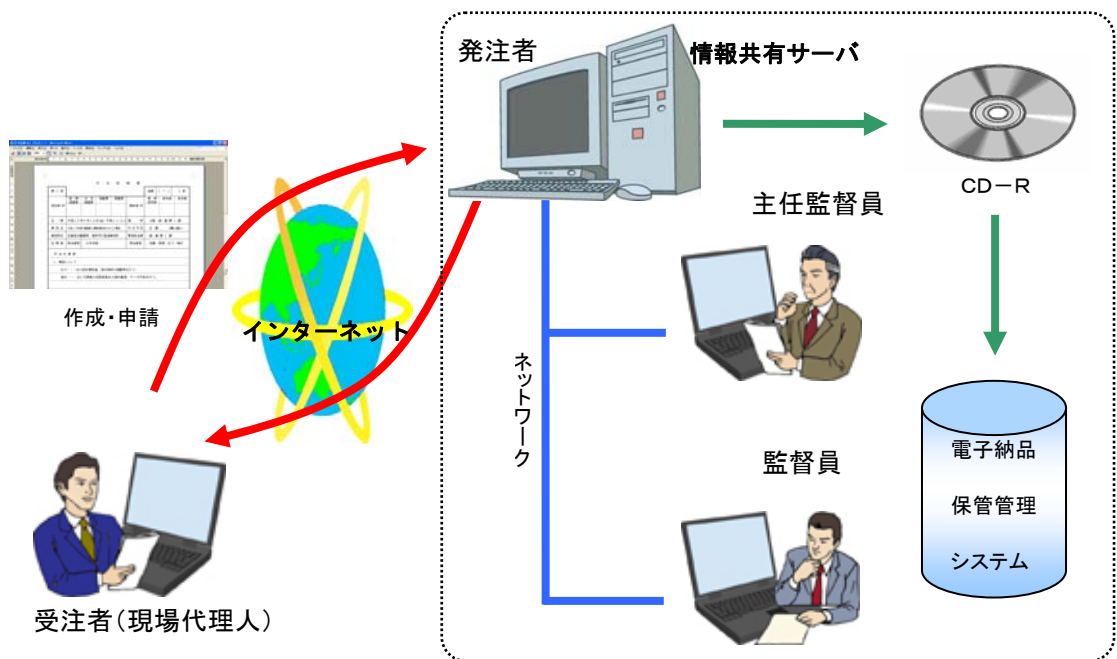


図 2-5 情報共有と電子納品の関係

2.4 外部共有サーバと情報の標準化に関する考察

2.3.1 では事務所レベルにおける情報化の現状を整理し、現状の課題や問題点を抽出した。しかし、このような課題や問題点の解決なしに、現在、推進している CALS/EC は達成し得ないと筆者は考える。このような課題や問題点の解決策の 1 つとして、本論文では外部共有サーバによる建設情報の利用を提案し、建設情報として公共事業のライフサイクル全般にわたって数多く交換される、文書データ、写真データ及び図面データを取り上げ、情報共有と電子納品のあり方について論ずる。

2.4.1 情報の電子化と共有サーバ

2.3.2 でも述べたが、情報を電子化し成果品を納品するための要領・基準及びガイドラインが策定され、全ての業務・工事等で CD-R といった電子媒体による電子納品が行われている（図 2-6）。

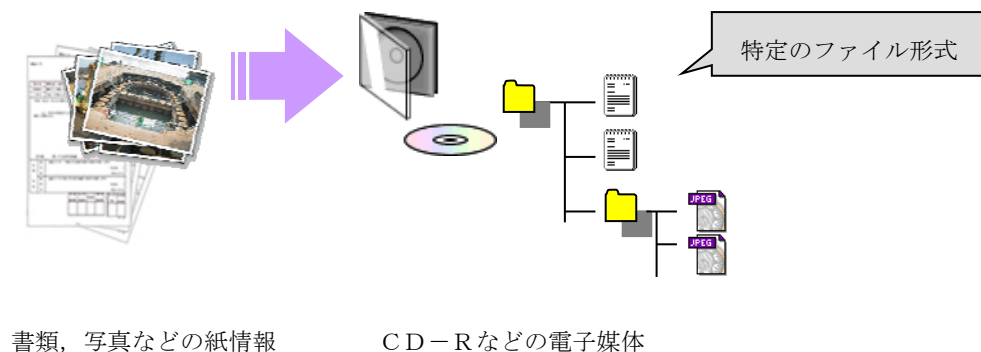


図 2-6 電子納品の形態

しかし、この電子納品の方法は、納品物を電子化したに過ぎず、ライフサイクル全般にわたっての利用が大幅に改善されたとは言いがたい。本来の情報の電子化とは、施工段階を例にした場合、完成品だけでなく、施工中の情報を電子化し、施工中での利用を可能にするシステムが必要となる。また、納品後、他の段階での再利用や、情報共有を考えると、データベースとして利用する場合、ネットワークを利用したシステムが必要となる。このシステムの核となるものが共有サーバであり、それらをつなぐ手段の代表がインターネットである。共有サーバを利用した情報共有を考える場合、電子データの形態として **CD-R** を使用することは非効率的である。情報の電子化と合わせて共有サーバを利用することで、全ての建設情報を電子情報として施工中、施工後に利用することが可能となる。情報を電子化し、ウェブ上で情報を共有するということは、ただ単に、提出媒体が **CD-R** に変化しただけとは違い、**CALS/EC** の概念である「オープンな通信ネットワークで連携し、計画から調査、設計、施工、維持管理までの事業のライフサイクル全体にわたって情報を連携すること」が可能となる。

それでは、ウェブ上で行われる情報共有の特徴とはどのようなものか。ウェブの特徴を大きく2つに分類すると、①地理的、時間的な制約がない、②情報の公開性による正確性と信頼性、に分けられる。この2つの特徴をまとめると以下のことが考えられる。

① 地理的、時間的な制約がない

WWW (World Wide Web) の世界はそこにつなげる通信手段さえあれば、いつでも、どこからでもアクセスが可能である。1度ウェブ上に置かれた情報は様々な人々が昼夜を問わず利用可能となる。好きな時間に仕事ができ、遠隔地の人間との共同作業も可能である。建設業界で言えば設計、施工、管理それに関わる人々の動きや考え方にも影響があると考えられる。例えば、ウェブ上での会議が可能となれば関係者はある時間にある場所へ集合する必要がなく、これまで移動に費やしていた時間や費用をその他のことに利用できる。また、日本中、世界中の建設事業の情報をリアルタイムに入手することも可能となる (図 2-7)。

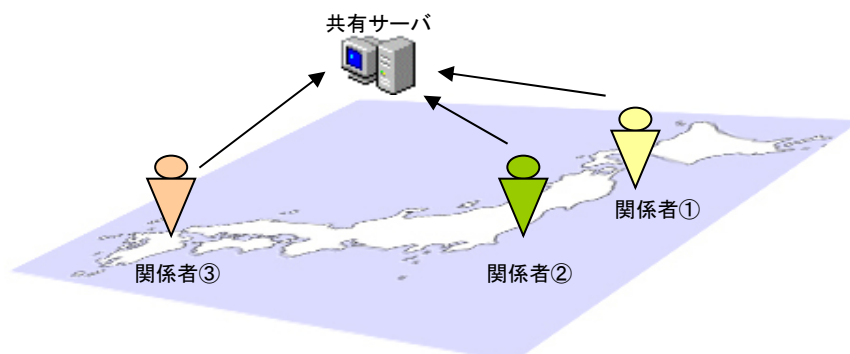


図 2-7 情報電子化の特徴 (共有性)

② 情報の公開性による正確性と信頼性

ウェブ上に置かれる情報は基本的に公開されることと同一である。工事や業務といった情報に対する信用は自らの組織、個人の信用に大きく関る。ウェブ上に情報を置き、それが自ら置いたものだという認証がなされた場合、その情報は自らの信用において正確であるとの証明と等しい。つまり、個人レベルでなく、組織や企業の出す情報は正確で信用のおけるものになると考える。これにより、責任の所在が明確化され、公開に対してあいまいな情報が許されなくなる。建設業界において情報の正確性や、信用性の向上はその情報の品質の向上であり、それを利用して構築される構造物自体の品質の向上につながると考える（図 2-8）。

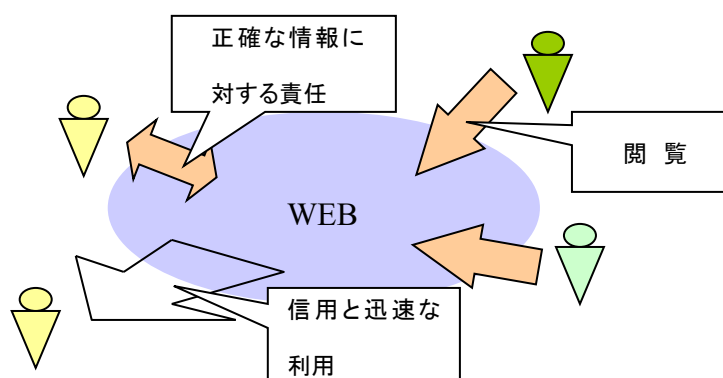


図 2-8 情報電子化の特徴（信頼性）

2.4.2 外部共有サーバ

現在の共有サーバの運用方法について、国土交通省等の発注者側主導で行われる CALS/EC では、①発注者機関が所有しているサーバを共有サーバとする、②ASP を使用する、の 2 つの選択がある。しかし、①の場合には共有サーバが発注者側の管理下にあることで、受発注者双方が対等な立場を維持することが難しく、提出情報の「改竄」、「なりすまし」、「しらばくれ」といった不正行為が行われる可能性がある。また、受注者側に設置した場合でも、共同企業体（JV）などのような企業間での情報の交換・共有において、情報セキュリティや所有権などの問題も存在している。また、②の場合は ASP ベンダとの契約が必要となり、受注者にサーバやソフトウェアの使用料が必要となる。また、成果品の電子化に対する要領等は既に策定されているものの、共有サーバを使用した情報共有の運用方法が標準化されていない段階においては、ASP ベンダが扱うソフトウェアが統一されておらず、工事や業務の期間内における情報共有といった点で、問題が生じる可能性は否定できない。

以上のような問題を解決する方法として、共有サーバを受発注者以外の外部に設置するとともに、サーバ管理を非営利団体（NPO：Non Profit Organizations）等、第三者的立場の組織に委託する

といったことや、情報共有の標準となるルールを策定することで、受発注者双方の対等な立場の維持、期間内における情報共有が可能となる。そして、建設情報を広く公開することで、不正行為を防止し、その情報に対する責任や、信頼が確保されると考える（図 2-9）。

また、ウェブ上での情報共有は、これまで実際に足を運ばなければならなかった仕事の一部を地理的、時間的な制限を受けずに進行させることを可能とし、サーバ内の情報はデータベースとなることで、全ての段階において情報利用ができることとなる（図 2-10）。

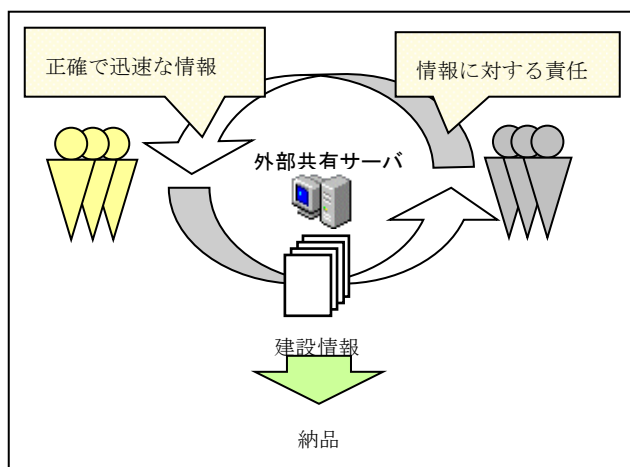


図 2-9 外部共有サーバの特徴①

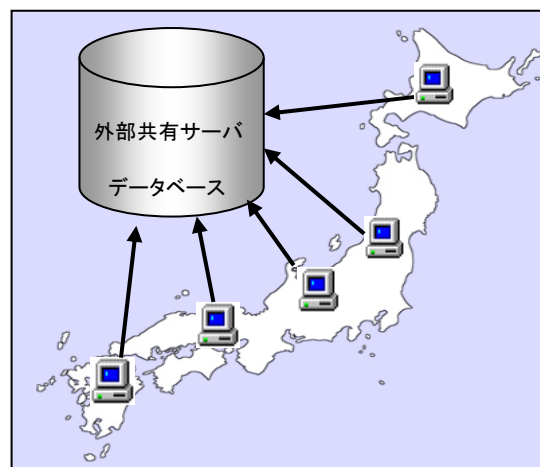


図 2-10 外部共有サーバの特徴②

2.4.3 建設情報の共有形態

多様な建設情報を外部共有サーバで処理する場合、可能な限り単純化する必要がある。そこで電子納品要領（案）より、建設情報は以下に示す5種類の納品ファイルに分類できる。以下にそれぞれの納品ファイルの説明を記した。

① 業務管理ファイルおよび報告書管理ファイル

- ・業務管理ファイル：「業務管理項目」 成果品の電子データファイルを検索、参照、再利用するなど活用するための業務の属性項目を電子化したファイル。XML形式で記述される。
- ・報告書管理ファイル：「報告書管理項目」 成果品の電子データファイルを検索、参照、再利用するなど活用するための業務の属性項目を電子化したファイル。XML形式で記入される。

② 報告書ファイル（文書ファイル）

設計図書に規定する成果品のうち数量計算、概算工事費、施工計画書等の文章、表、図で構成される電子データファイルである。PDF形式に変換される。

③ 図面ファイル

土木設計業務の成果図面，土木工事の発注図および完成図のこと．説明部分を XML，CAD ファイルは STEP 仕様となる．

④ 写真ファイル

工事写真等（工事・測量・調査・地質・広報・設計）の原本を電子媒体で提出する場合の属性情報等の標準仕様を定めたもの．説明部分を XML，写真は JPEG 形式となる．

⑤ 地質データファイルおよび測量データファイル

報告書，土質ボーリング柱状図・岩盤ボーリング柱状図，地質平面図，土質断面図・地質断面図，コア写真，各種試験結果，現場写真からなる．

また，これらの納品ファイルは，いくつかのファイル形式で保存され，納品されることになっている（表 2-4）．

表 2-4 納品ファイルのファイル形式

ファイル名	XML	PDF	JPEG	STEP
業務管理，報告書管理	○	×	×	×
報告書(文書)	×	○	×	×
図面	○	×	×	○
写真	○	×	○	×
地質データ，測量データ	○	○	○	○

以下に建設 CALS/EC で標準化されようとしているファイル形式の説明を行う．

① XML (eXtensible Markup Language : 拡張型構造化記述言語)

文字列をタグと呼ばれる<>で括った記号で囲み，文書の整形や他文書へのリンクを記述する．文書の構造を DTD と呼ばれるファイルに定義することで表現方法の指定や文書中の文字列に意味を付加する独自のタグを拡張できることに特徴がある．

② PDF (Portable Document Format)

米 Adobe System 社が開発したドキュメント・ビューア・ソフト Acrobat で，表示・印刷できるファイル形式．Acrobat は，ドキュメントを作成した環境と別の環境（異なる機種，OS）との間におけるドキュメント交換を可能にする．

③ JPEG (Joint Photographics Experts Group)

国連の機関である国際標準化機構 (ISO : International Organization for Standardization) と国際電信電話諮問機関 (CCITT : Comite Consultatif International Telegraphique et Telephonique，現在は ITU : International Telecommunication Union) が共同でまとめたもので，静止画像を保存する世界共通の規格．

ファイルサイズの大きい静止画の圧縮方式である。

④ STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data)

製品のライフサイクルを通じ、個々の独立したシステムに依存しない形式で情報の共有、交換を可能とする標準のインターフェイスを提供する規格。AP201（2次元製図）、AP202（製品モデルと図面表現）、AP203（構成管理設計）といった主に形状モデルを対象にした規格の他、各産業毎に製品モデルを交換するための規格からなる。多様な種類のCADソフトに対応する中間ファイルである。

上記に示すように、建設CALS/ECで標準化されるのは主にファイル形式であるが、将来の電子データの利用形態を考慮した場合、共有すべきものは中身のデータであって特定のファイルではない。外部共有サーバを利用して、多様な種類の建設情報をもっとも有効な形態で共有するためには、電子データをもっとも単純で利用しやすい形態で管理することが必要となる。この4つのファイル形式を、その記述方法により、それぞれ「文字データ」「画像データ」「数値データ」の3つのデータに分類することができ、前述した5つの納品ファイルは、この3つのデータで網羅できる(表2-5)。

表 2-5 納品ファイルのデータパターン

	業務管理, 報告書管理	報告書ファイル (文書ファイル)	図 面	写 真	地質, 測量データ
文字データ	○	○	○	○	○
画像データ	×	○	×	○	○
数値データ	○	○	○	×	○

このことから、本研究では、外部共有サーバに納品すべき情報の見直しという観点から、文書や図面といったファイルの納品ではなく上記の3つのデータ形式で納品することを前提とする。これにより、最も効率的な形で情報共有が可能になると考えられる。つまり、全ての建設情報は1) 文字データ、2) 画像データ、3) 数値データの3つのデータに分けることが可能であり、文書、写真、図面といった公共事業のライフサイクル全般にわたり数多く交換される3つの書類を対象に、外部共有サーバによる各データの納品方法を提案するとともに実証実験を行い考察を加え、さらに、3データの分類によって可能となるデータ管理や施工管理への応用事例を紹介する。なお、本論文の構成について、①提案する処理方法、②取り扱うデータ、③応用事例と各章との関連付けを整理すると図2-11のようなフロー図となる。また、本論文の第3章以降で「処理方法の提案と実証実験による考察を行う」としているが、このことを本論文では「プロトタイプシステムの構築及びモデルの有効性の検討」と呼ぶこととする。

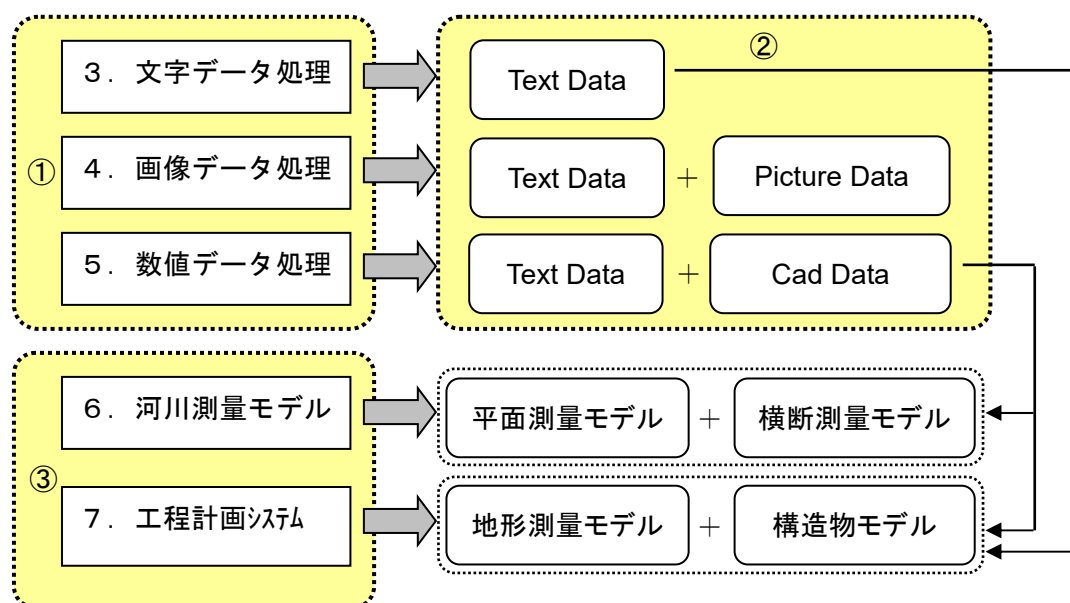


図 2-11 本論文の構成フロー

なお、2.3.2 で提起した、業務や工事の期間内における押印の代替である電子契約や電子決裁も、既存の電子認証・電子署名といった技術を外部共有サーバと併用することで可能であると考えられる。ただし、本研究は共有されるべき建設情報の交換方法に重点をおいているため、電子契約と電子決裁については、今後の研究に委ねることとした。

<参考文献>

- 1) 建設省大臣官房技術調査室他：建設 CALS/EC の導入による公共土木事業の効率化，第 53 回建設省技術研究会報告，pp.21-1～21-24，1999.11
- 2) インターネットの歴史とインターネット歴史年表：
<http://terakoya.yomiuri.co.jp/shiro/rekishi/nenpyo/>，2003.11 現在
- 3) 石黒憲彦他：CALS 米国情報ネットワークの脅威，日刊工業新聞社，pp.9～12，1995.2
- 4) 建設 CALS/EC で公共事業はこう変わる！：
<http://www.rcals.com/cals/question/question2.html>，2003.11 現在
- 5) (財) 日本建設情報総合センター：工事施工中における受発注者間の情報共有システム，2003.9.16
- 6) 国土交通省大臣官房技術調査課他：電子納品情報を活用した業務改善に関する研究，第 57 回国土交通省技術研究会報告，2003.11
- 7) 近畿地方整備局：土木請負工事必携，pp.1-6，2002.4
- 8) 三省堂：電子署名及び認証業務に関する法律，模範六法 2004，pp.1062，2003.11

第3章 文書データの協同作業による電子情報の交換と共有

3. 1 はじめに

建設 CALS/EC¹⁾の実現に向け、必要不可欠な技術的問題として挙げられるのが、各種電子データの標準化である。これまで建設各社は、独自にOA化・情報化を進め、多くの情報を電子化し、業務を効率的なものにしようと努力してきた。しかし、各社で使用するコンピュータの機種やソフトウェアの種類が異なるために、電子データの互換性・汎用性といった点で大きな障害となっている。現状の建設 CALS/ECにおいても、このような問題を踏まえた共通のルールづくりを進めている。しかし、データ交換技術全体の枠組みに対して十分に考察されているとはいえない。特に、データ交換において重要な役割を演じる共有サーバの設置場所は、運用・保守管理や費用の負担の程度、あるいは、データのセキュリティや信頼性の問題に大きな影響を与える。また、受・発注者間の関係性を考察する上でも、重要な示唆を与えると考えられる。以上の問題を踏まえ、本章では既存のウェブ技術を用いることで、コンピュータの機種やソフトウェアの種類に依存しないシステムの構築を試みる^{2),3)}。

本章は、まず3.2で電子データの標準化、共有サーバと第三者認証⁴⁾について述べる。3.3では、システム構築に必要な既存のウェブ技術について紹介する。3.4では、実証フィールド実験として、大戸川ダム建設事業における設計業務と佐敷大橋（仮称）建設工事の2つを紹介し、適用により明らかとなったシステムの有効性や問題点などについて考察を加える。なお、本研究では、熊本大学工学部内にあるウェブ・サーバを第三者機関のサーバと見なして使用した。

3. 2 電子データと共有サーバについて

3.2.1 電子データ交換技術

インターネットにおけるデータ交換技術として、現在では以下の技術が主流となっている。

1) SMTP(Simple Mail Transfer Protocol)

メールの配送の際にサーバ間及びメーラーとサーバの間で使用される。

2) FTP(File Transfer Protocol)

IP接続されたインターネットで、最も古く、かつベーシックなプロトコルアプリケーションである。あるマシンから別のマシンにファイルを転送する。

3) HTTP(Hyper Text Transfer Protocol)

WWW(World Wide Web)システムの基本となるプロトコルで、WWWクライアントソフトウェアとサーバの間で使われる。通常、ウェブ技術と呼ばれている。

SMTP や FTP では、1 対 1 のデータ交換が基本となるが、HTTP によれば受・発注者の関係者すべてがデータを共有する事が可能となる。よって、本章では HTTP によるデータ交換（ウェブ技術）を採用した。次項に述べるように、建設 CALS/EC においてもデータ交換技術としてウェブ技術を採用しており、基本的な方向で一致している。

3.2.2 建設 CALS/EC における電子データの標準化

現在、建設 CALS/EC の実現に向けて最大の問題とされているのが、各種電子データの「標準化」である。その「標準化」は、特に技術的に新しいことが必要ではなく、現時点でも十分に実現可能だと考えられている。しかし、建設各社がすでに独自の方法によって、OA 化・情報化を進めている状況に加え、多くのソフトウェアベンダが自由競争の中で独自性を発揮しようと開発を進め、自社製ソフトウェアのシェアの拡大を努力している中、この動きに「標準化」が対応できていないのが現状である。このような状況が組織や会社の枠を超えたオープンな電子データの交換・共有を目指す建設 CALS/EC の実現において、電子データの互換性・汎用性といった点で大きな問題となっている。

建設 CALS/EC ではこのような問題を解決するために、コンピュータの機種やソフトウェアの種類に依存しない共通の標準的なルール作りを進めている。各種電子データの標準化への動きについて、工事規模の大小を問わず交換・共有されるであろうデータとして、① 文書データ、② 写真データの 2 つに着目し、以下にまとめる。

1) 文書データ標準化の現状

建設省が 2000 年 3 月に発表した「電子納品要領（案）」の中では、業務の属性情報（業務名称、受注者名など）を管理項目として XML（eXtensible Markup Language）で記述することとなっている⁵⁾。XML とは、HTML（Hyper Text Markup Language）と同じくインターネット上での利用を目的とした記述言語で、階層と属性を規定することで文書を構造化することができる⁵⁾。その他にも、XML は別途策定されている「デジタル写真管理情報基準（案）」や「CAD 製図基準（案）」などでも採用されている。

同じく「電子納品要領（案）」の中で、業務報告書の本文の電子ファイル形式として PDF（Portable Document Format）形式が採用されている。PDF とは、アドビシステムズ社が開発したデータ形式のことである⁶⁾。Adobe Acrobat を使用することで、ほとんどのファイル形式を PDF 形式に変換し、元の書類のデザインやレイアウトをそのまま再現することが可能となる。ここで最大の利点として挙げられるのは、PDF ファイルは無償で配布されている Acrobat Reader を利用して閲覧・印刷することが可能だということである。このことから、業務報告

書のような加工・修正することが少なく、閲覧・印刷のみ可能であれば良い場合などでの利用が考えられる。この場合、報告書のオリジナルファイルもあわせて提出する必要がある。

2) 写真データ標準化の現状

建設業界においてもデジタルカメラはここ数年で急速に普及し、デジタルカメラによる工事写真の撮影および電子媒体による編集・整理が定着しつつある。デジタルカメラを導入することにより、現像コストの削減やアルバム作成作業の省力化、保管スペースの縮小といった効果を得ることができる。それに合わせるように、複数のソフトウェアベンダが開発した写真管理ソフトが発売されているが、それらの規格が異なるため、文書データ同様に互換性・汎用性の問題が生じ、利便性が損なわれているのが現状である。

そこで、建設省は 1999 年 3 月に建設省が発注する土木工事・建築工事の一部を対象として工事写真を電子媒体で提出する場合の仕様をまとめた「デジタル写真管理情報基準（案）」を発表した。これには、ある一定のガイドラインを設定することで、それに基づいてソフトウェアベンダが写真管理ソフトを開発できるようにとの意図が含まれている。

現在の建設 CALS/EC におけるデータ交換のひとつの方法として、作成したワープロファイルを共有サーバにアップロードし、さらにそこからダウンロードする方法をウェブ技術を利用して行っている。この場合、作成された文書が、サーバ及び受・発注者クライアント両者において計 3 つのファイルとして存在することになる。同一のデータが複数のファイルで存在することは、非効率であると同時に、改竄などの可能性も生じるため、信頼性の上で問題となる。

そこで、本章では建設 CALS/EC の標準化の動向とは若干異なる視点から以下の点に留意し、コンピュータの機種やソフトウェアの種類に依存しない効率的なシステムの構築を試みることにする。

- ① 文書の作成ツールとして一般的なワープロソフトを使用しない
- ② デジタル工事写真の編集・整理用として市販されている工事写真管理ソフトを使用しない
- ③ 既存のウェブ技術を用いる

3.2.3 共有サーバのあり方

受・発注者間の情報の蓄積・交換・共有の実現に必要不可欠なのが共有サーバである。ここでは、発注者および受注者の管理下に共有サーバがある場合の問題点を指摘し、それらを踏まえて、第三者機関によって管理される外部共有サーバの導入を提案する⁴⁾。

1) 受・発注者どちらかの管理下にある場合 (図 3-1)

建設省などの発注者側主導で行われる建設 CALS/EC 実証フィールド実験では、主に発注者機関が所有しているサーバを共有サーバとして、受・発注者間での情報の交換・共有に使用する場合が多いが、ここでは受注者側にある場合も含めて検討する。

データの蓄積・交換・共有を行う共有サーバを既存のネットワーク内に設置する場合、共有しないデータへのセキュリティを

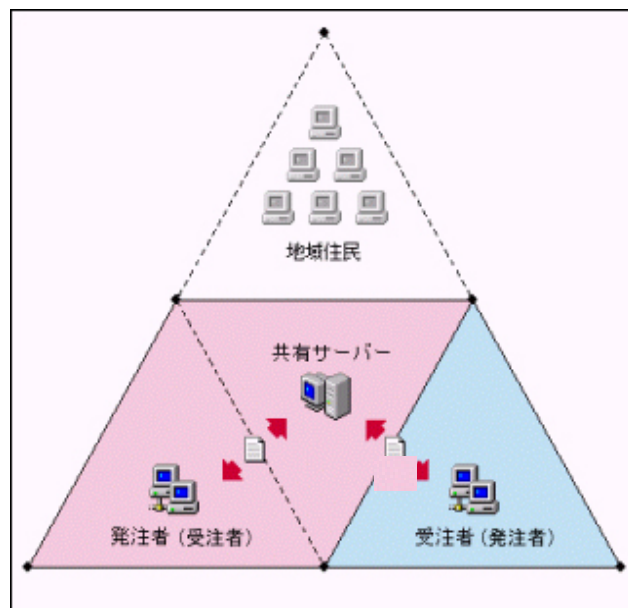


図 3-1 受・発注者どちらかの管理下にある場合

確保する必要が生じる。同時に、他組織が蓄積されたデータを工事終了後に再利用することが困難となる。一方、既存のネットワーク外に設置する場合には、工事毎に専門職員を配置する必要があるため、運用・保守管理、それにかかる費用の負担も大きくなる。また、受注者側の管理下に置かれる場合には、工事現場の特性から、共同企業体 (JV) などのような企業間での情報の交換・共有において、情報セキュリティや所有権などの問題が存在する。

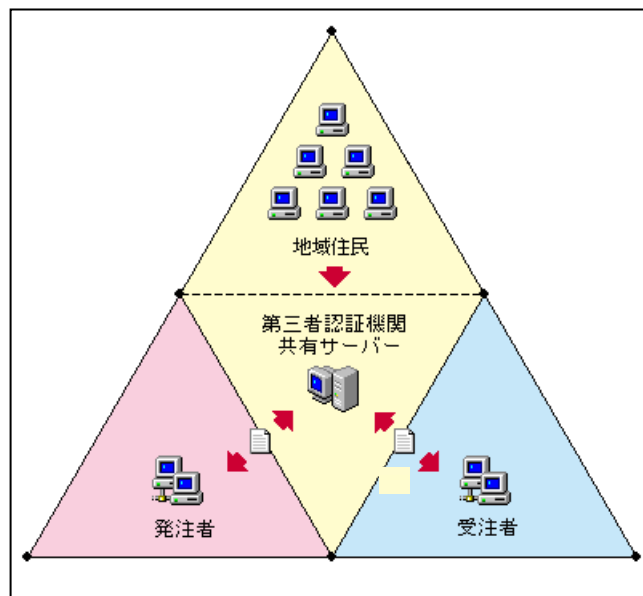


図 3-2 第三者機関に委託する場合

さらに、共有サーバがどちらかの管理下に置かれる場合は、受・発注者双方が対等な立場を維持することが難しく、提出情報の「改竄」、「なりすまし」、「しらばくれ」といった不正行為が行われる可能性が生じ、情報管理の信頼性が問題となる。

2) 第三者機関に委託する場合 (図 3-2)

前述した問題点を考慮し、ここでは、第三者機関に共有サーバの管理を委託することを提案する。この外部共有サーバを導入することで、サーバを一ヶ所に集約することが可能となり、運用・保守管理、それにかかる費用の負担を軽減することができる。また、システムやアプリ

ケーションの一元管理ができるため、工事毎に異なったシステムやアプリケーションを使用することによる弊害が避けられると同時に、クライアント側のシステムへの負荷が格段に減少する。

さらに、この外部共有サーバの導入によって、受・発注者双方の立場が対等なものとなり、情報管理の相互信頼を維持することが可能となる。また、地域住民への情報公開（アカウントビリティ）への対応も、1）の場合と比較し、スムーズに行えるものとする。

この他にも、現場事務所の事情によっては、現場事務所のサーバに置くべき情報の代替サーバとして外部共有サーバを利用することも可能であろう。

以上より、受・発注者双方に負担のかからないシステム構築には、第三者機関を採用することが最適であると考えられる。

3. 3 構成ウェブ技術の概要

電子データの標準化において、使用するコンピュータの機種やソフトウェアを限定することが出来ないといった問題点がある。そのため、システム構築に際して、クライアント側のパソコンには、無償で配布されている Internet Explorer や Netscape Communicator などのブラウザ・ソフトのみでシステムに参加出来ることを前提とした。そのための外部共有サーバ、文書データ及び写真データの交換に必要となるウェブ技術やソフトウェアの機能は、以下の通りである。

3.3.1 外部共有サーバ

本章で提案している第三者機関の管理する外部共有サーバとして、Windows NT Server 4.0 をサーバ OS として採用した⁷⁾。この中の NTFS (NT File System) により、ファイルやフォルダに対してアクセス権を設定することが可能となり、受・発注者の関係者やサーバ管理者など、それぞれに異なったアクセス権を設定することが出来る。

3.3.2 文書データ交換

システム構築において、文書作成ツールとしてワープロソフトを使用しないことを前提としているため、受・発注者側からはブラウザ上で必要項目を入力し、送信することになる。そのため送信されたデータはサーバ側で受け取り、データベース格納や目的に応じた HTML でクライアントに返すサーバサイドスクリプト技術が必要となる。そのスクリプト技術に今回は ASP (Active Server Pages) を採用した。

ASP は、Windows NT Server 4.0 に標準搭載されたインターネットサーバである IIS (Internet Information Server) で動作可能なアドオンモジュールで、一般的に使用されている CGI (Common

Gateway Interface) と同等の動作をすること、Webサービスと同一メモリ空間で高速動作すること、Web-Scriptとして親しまれているVBScript, Java-Scriptをサーバ上で実行させることが可能であること等の利点があり^{8)~11)}、今回の実証フィールド実験のような問題点を抽出し、迅速に修正し反映させる目的に対して、最適なスクリプト技術であると考える。

3.3.3 写真データ交換

写真データの交換にはASPと併せて、画像配送システムとしてOpen Pix Image Igniterを採用した。Open Pix Image Igniterとは、ヒューレット・パッカード社によって開発されたサーバ・ソフトウェアのことで、インターネット対応のイメージ配送システムである。表示クライアントとの通信には、標準プロトコルであるIIP (Internet Imaging Protocol) を採用している。動作環境としては、Windows NT Server 4.0 上のIISにインストールすることができる¹²⁾。

現在では、インターネット上でイメージ・ファイルを使用したウェブ・ページは当たり前となっているが、ネットワーク回線や通信インフラなどの問題によって、データ量の大きなイメージ・ファイルや大量のイメージ・ファイルを同時に表示させるには、ダウンロードに時間がかかったり、サーバに大きな負荷を与えたりと実用的ではない。しかし、サーバ側のパソコンに Open Pix Image Igniter を導入することで、クライアント側のパソコンには Internet Explorer や Netscape Communicator などの一般的なブラウザ・ソフトのみで、ウェブ・ページ上のイメージ・ファイルと高い対話性を得ることができる。

Open Pix Image Igniter は、その HTML 標準のイメージ・タグに新しい属性を追加することができる。それらの属性についての必須項目には、以下の項目がある。

- ① ソース属性および Open Pix ソース属性
- ② タイプ属性
- ③ ビューアの幅属性およびビューアの長さ属性
- ④ スタイル属性

3. 4 適用事例

本節では、システムの実証フィールド実験として、文書データおよび写真データの2つの適用事例を紹介する。また、適用事例を通して明らかになった有効性や問題点について考察を加える。なお、今回の実験では、熊本大学工学部附属工学研究機器センター5階「画像データ解析機器室」に設置した実験用サーバ (CPU: Pentium III 400Hz, HDD: 13GB, RAM: 523MB) を使用し、第三者機関機能を持たせた。

3.4.1 文書データに関する適用事例

文書データについての適用事例としては、滋賀県大津市で行われている大戸川ダム建設事業での設計業務¹³⁾をとりあげた。期間は、平成11年1月から平成11年3月までの3ヶ月間で、発注者である建設省近畿地方建設局大戸川ダム工事事務所と、受注者であるコンサルタントとの間で、打ち合わせ業務が行われた。使用した文書は、設計段階において受・発注者間で頻繁に交換される「打合せ記録簿」である。建設省近畿地方建設局が採用している様式に基づいてウェブ・ページ上に再現した。受・発注者はそれぞれウェブ・ページにアクセスしブラウザ画面を通じて、必要な情報の入・出力および参照を行う。以下に、実際の文書の作成および交換手順について図を用いて説明する。

a) 「打合せ記録簿」新規作成手順（図3-3）

① 発議者

この項目は、新規「打合せ記録簿」の作成者を、発注者と受注者のどちらかいずれかからチェックする単数選択（ラジオボタン）の入力形式である。

② 発議年月日

この項目は、新規「打合せ記録簿」の作成年月日を記入するテキスト入力フィールドである。ここでは、作成時の日付が自動的に入力されるようになっている。また、業務期間中での「打合せ記録簿」の追加・補足分の差替えにも対応できるようになっている。

③ 発議事項

この項目は、「指示」、「協議」、「通知」、「承諾」、「提出」、「報告」、「届出」、「その他」のいずれかをチェックする単数選択（ラジオボタン）の入力形式である。「その他」を選択した場合には、補足説明を追記できるテキスト入力フィールドが準備されている。

④ 業務名

この項目は、業務名を記入する1行

図3-3 「打合せ記録簿」新規作成画面

のテキスト入力フィールドである。ここでは、今回の業務名が自動的に入力されるようになっている。

⑤ 内容

この項目は、「打合せ記録簿」の本文（内容）を記入する複数行のテキスト入力フィールドである。ここでは、テキスト入力フィールド内での改行が反映されるようになっている。

⑥ 添付図書

この項目は、「打合せ記録簿」といっしょに送信したい添付図書の部数を記入するテキスト入力フィールドである。今回の実験では、「打合せ記録簿」1部につき、添付図書5部（1～5）までの送信が可能ないように設定している。また、添付図書が無い場合でも、0（ゼロ）と入力する必要がある（この場合のみ、次項のb) 添付図書ファイル送信手順 が省略される）。

⑦ 削除用パスワード

この項目では、送信後、上記内容を削除する場合に必要なパスワードを設定することができる。それぞれウェブ・ページにログインした際の（ドメインユーザーマネージャに登録している）パスワードが自動的に入力される。パスワードは画面上では表示されず、伏せ字になるようになっている。

⑧ 送信ボタンおよび取消ボタン

上記の項目をすべて記入し、最後に送信ボタンをクリックすることで、上記内容がサーバに送信され、データベースに格納される。また、取消ボタンをクリックすることで、入力されたすべての項目をリセットすることができる。

b) 添付図書ファイル送信手順（図 3-4）

⑨ ファイル選択

添付図書として「打合せ記録簿」と一緒に送信したいファイルを選択するフィールドである。前項 a) ⑥で記入した部数分のフィールドが自動的に表示されるようになっている。「参照」ボタンをクリックすることで、ファイルの選択ダイアログが開く。

⑩ 送信ボタンおよび取消ボタン

上記の項目をすべて記入し、最後に

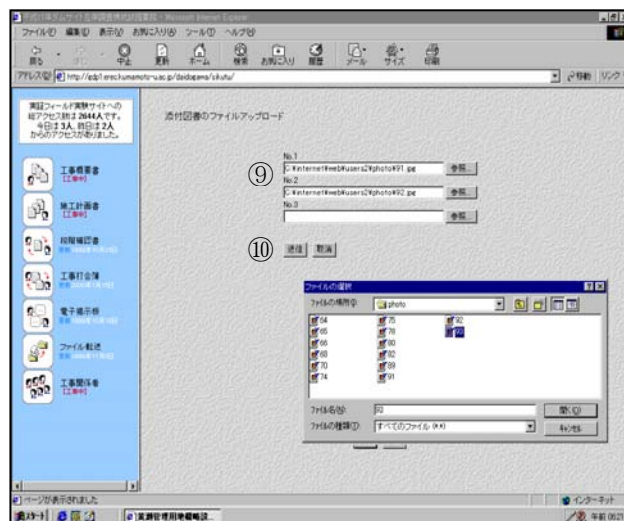


図 3-4 添付図書ファイル送信画面

送信ボタンをクリックすることで、上記のファイルがサーバに送信され、データベースに格納される。また、取消ボタンをクリックすることで、入力されたすべての項目をリセットすることができる。

c) 「打合せ記録簿」処理・回答手順（図3-5）

⑪ 追記

a) ⑤の内容に追記する場合に内容を記入する複数行のテキスト入力フィールドである。追記が無い場合は空欄のままで省略して良い。

⑫ 添付図書

b) ⑨で「打合せ記録簿」と一緒に送信された添付図書は、それぞれのアイコンをクリックすることで別ウィンドウを開き、表示・閲覧することが可能である。

⑬ 処理・回答事項

この項目は、「指示（了解）」、「承諾（協議）」、「協議（提出）」、「通知（報告）」、「受理（届出）」、「その他」の中から処理・回答事項をチェックする単数選択（ラジオボタン）の入力形式である。ここでは、受・発注者それぞれに対して処理・回答事項が異なっている。また a) ③と同様に、「その他」を選択した場合には、補足説明を追記できるテキスト入力フィールドが準備されている。

⑭ 処理・回答年月日

この項目は、「打合せ記録簿」に対する処理・回答年月日を記入するテキスト入力フィールドである。ここでも、a) ②と同様に、処理・回答時の日付が自動的に入力されるようになっている。

⑮ 送信ボタンおよび取消ボタン

上記の項目をすべて記入し、最後に送信ボタンをクリックすることで、上記内容がサーバに送信され、データベースに格納される。また、取消ボタンをクリックすることで、入力されたすべての項目をリセットすることができる。

図3-5 「打合せ記録簿」処理・回答画面

以上の作業手順を踏むことで、1枚の「打合せ記録簿」が完成し、打合せ業務が成立したことになる。

3.4.2 写真データに関する適用事例

写真データは、熊本県芦北郡芦北町で行われている佐敷大橋（仮称）建設工事¹⁴⁾へ適用した。発注者である熊本県と、受注者である三社共同企業体（佐敷 JV）との間で、本システムを用いて実証フィールド実験を行った¹⁵⁾。

構築したシステムは、Open Pix Image Igniter の最適化配送機能と ASP のファイルアップロード機能とを組み合わせた工事写真管理用アルバムである。JV 職員によってデジタルカメラで撮影された工事写真を、現場事務所のパソコンから直接ウェブ・ページにアクセスし、ブラウザ画面を通してサーバにファイル送信することで、発注者および受注者の本社や支店などのパソコンから工事関係者が自由に表示・閲覧することができる仕組みである。

工事写真をファイル送信および表示・閲覧する場合の作業手順について説明する。

a) 工事写真のファイル送信手順（図 3-6）

- ① 送信者氏名
- ② 撮影年月日
- ③ ファイル選択
- ④ ファイル説明
- ⑤ 送信ボタンおよび取消ボタン

上記の項目をすべて記入し、最後に送信ボタンをクリックすることで、上記内容と工事写真ファイルがサーバに送信され、データベースに格納される。また、取消ボタンをクリックすることで、入力されたすべての項目をリセットすることができる。

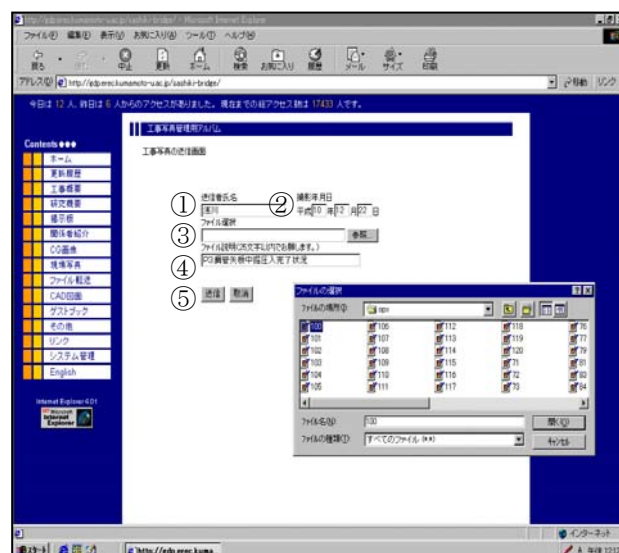


図 3-6 工事写真のファイル送信画面

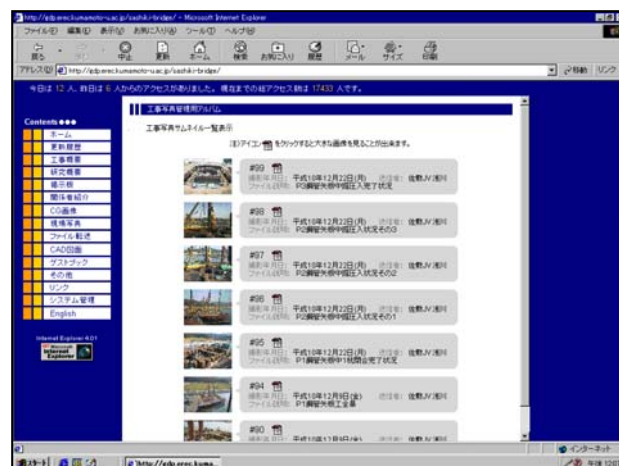


図 3-7 工事写真の一覧表示画面

b) 工事写真サムネイル一覧表示（図 3-7）

送信された工事写真ファイルが、降順でソートされて一覧表示される。その際に、テキスト形式の工事写真管理項目の属性情報と一緒に、送信された工事写真をOpen Pix Image Igniterで自動的にダウンサイジングし、サムネイル・イメージ形式に変換してから表示するように設定している（ここでは、幅80ピクセル×高さ60ピクセルに設定）。

そのサムネイル・イメージ上で右クリックすることで、コマンド・ダイアログが表示され、ズーム・イン、ズーム・アウト、パン、領域選択、初期画面、保存、印刷、ヘルプといった各種コマンドが実行できる。また、アイコンをクリックすることで、サーバに格納されている原寸大の工事写真を表示することができる。

3.4.3 考察

2つの実証フィールド実験を通して、明らかになったシステムの有効性や問題点について、以下に文書データと写真データそれぞれについてまとめる。

1) 文書データ

- ① 「打合せ記録簿」の文書作成において、できるだけ選択式の項目や自動的に入力される項目を増やすことによって、記入ミス・記入漏れなどの防止や操作性の向上といったデータの入力支援ができた。
- ② サーバのドメインユーザーマネージャで登録しているユーザー名やパスワードといった個人情報がそのままウェブ・ページ内でも使用することが可能となった。そのため、ユーザー、つまり「打合せ記録簿」の文書作成者の特定が可能となり、「改竄」「なりすまし」「しらばくれ」といった不正行為を防ぐことができる。
- ③ 添付図書のファイル送信に関しては、今回は同時に複数部の添付図書を送信可能なように設定していたが、ファイルサイズの大きな場合にタイムアウトなどのエラーが発生することがあった。また、添付図書の有無や部数によってファイル選択するためのフィールドの数も決定されるため、記入ミス・記入漏れなどの防止ができた。
- ④ 本システムでは電子メールを補助的手段として使用し、新規の「打合せ記録簿」がサーバに送信されたのと同時に、受・発注者双方に電子メールで同内容が送信されるように設定しているため、より迅速な情報の共有・交換が行えた。
- ⑤ 現段階の建設 CALS/EC 実証フィールド実験では、従来型の業務と併行での実証フィールド実験となることが多いため、業務終了時の検査での文書への押印行為は必要不可欠な作業である。そのため、今回の業務でも紙面としての提出が義務付けられたが、ブラ

ウザ画面からすべての「打合せ記録簿」を直接印刷することで、この問題には十分対応することが可能であった。

2) 写真データ

- ① 文書データの場合と同様に、工事写真のファイル送信において、できるだけ選択式の項目や自動的に入力される項目を増やすことによって、記入ミス・記入漏れなどの防止や操作性の向上といったデータの入力支援ができた。
- ② 工事写真管理項目の属性情報は、一緒にサムネイル・イメージ形式の工事写真を表示することによって、今回の実証フィールド実験で設定したような、送信者氏名、撮影年月日、ファイル名、ファイル説明コメントといった必要最小限の項目で効率的な工事写真管理の支援が行えた。
- ③ 工事写真の整理・編集方法に関して、今回の実証フィールド実験では、全ての工事写真がサーバ上の同一のフォルダに保存・格納されるように設定した。これは、フォルダを階層化して整理することによる検索作業の複雑化を防ぐためであり、ここではファイル名を一定のルールに従って付けてさえいれば、工種別や撮影年月日別などのフォルダの作成作業も必要なくなり、また工事終了後での再利用といった観点でも、非常に効率的な工事写真管理が行えた。

3. 5 まとめ

本章では、共有サーバの在り方についての提案を行った。更に、電子データの「標準化」について問題提起を行い、その解決のため、文書データと写真データの2つの側面からアプローチを試みた。以下に本章で明らかとなったことをまとめる。

- 1) 3.2 では、建設業界の情報化として現在、建設省を中心に導入・推進が検討されている建設 CALS/EC について、その概要と具体的な活動状況を述べた。その中で、受・発注者双方の管理下にある場合の共有サーバを導入することによる情報管理上の問題点を指摘し、その代替案として第三者機関に管理を委託する外部共有サーバの導入を提案し、その必要性を述べた。
- 2) 3.3 では、建設 CALS/EC における各種電子データの標準化の問題点を踏まえて、コンピュータの機種やソフトウェアの種類に依存しないシステムの構築に必要な既存のウェブ技術について、その機能や設定方法など具体的に説明を加えた。それらの既存

のウェブ技術は、すべてサーバ側のパソコンでインストールおよび設定を行うことによって、クライアント側のパソコンには無償で配布されている Internet Explorer や Netscape Communicator などの一般的なブラウザ・ソフトのみで参加可能にするシステムの構築を実現した。

- 3) 3.4 では、既存のウェブ技術によって構築したシステムの実証フィールド実験として 2 つの適用事例を紹介した。大戸川ダム建設事業への適用では文書データについて、佐敷大橋（仮称）建設工事への適用では写真データについてそれぞれ着目し、これらの実証フィールド実験を通して、構築したシステムが実業務に十分に耐えうることを確認した。

なお、文書データの交換に関する実証実験は今後も継続して行う予定である。現場事務所等のパソコンでは、長時間にわたりメールチェックや実験用サイトへのアクセスができないことが予想される。そのような場合において、携帯電話メールによる通知は、電源が入っていること、電波の届く範囲にいることを前提とした場合、実験関係者はパソコン以外の場所であってもデータ登録の有無やその内容を知ることができる。そのためのシステムとして、パソコンと携帯電話の併用システムを現在検討中であり、今後の課題としたい。

3. 6 謝辞

本章で使用したウェブ・サーバ（Net Server LH3）はヒューレット・パッカード社に提供して頂きました。また、大戸川ダム建設事業における設計業務と佐敷大橋（仮称）工事の関係各位には、ご多忙の中ご協力を頂きました。記して謝辞を表します。

<参考文献>

- 1) 公共事業支援統合情報システム（建設 CALS/EC）：<http://www.moc.go.jp/tec/cals/index.htm>
- 2) 山本一浩，小林一郎，緒方正剛，関宏一郎：Web 技術を用いた CALS/EC 実証フィールド実験，第 54 回年次学術講演会講演概要集第 6 部，pp.294-295，1999.9
- 3) 松永正大，山本一浩，小林一郎，関宏一郎：建設 CALS/EC 実証フィールド実験を支援するウェブ技術について，平成 11 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，2000.3.
- 4) 吉村真一，山本一浩，小林一郎，関宏一郎：ウェブ技術を用いた第三者工事確認システム，平成 11 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，2000.3.
- 5) 例えば，日経デジケン 1999vol.3：見えた！建設 CALS，pp.68-91，1999.9.
- 6) アドビシステムズ株式会社：<http://www.adobe.co.jp/>
- 7) マイクロソフト株式会社：<http://www.microsoft.com/japan/>
- 8) 寺田祐司，知北直宏，中島一慶：Windows NT 4.0 インターネットサーバ構築ガイド，ソフトバンク株式会社，1998.3.
- 9) 山田祥寛：今日からつかえる Active Server Pages 2.0 実用サンプル集，株式会社 秀和システム，1998.12.
- 10) 升屋正人：Active Server Pages 構築術－Windows Web サーバ構築ガイド 活用編－，ソフトバンクパブリッシング株式会社，1998.9.
- 11) BASP21 コンポーネント：<http://www.hi-ho.ne.jp/babaq>
- 12) 日本ヒューレット・パカード株式会社：
<http://www.jpn.hp.com/Corp/pressreleases/FY1998/EAO10PIX.html>
- 13) 建設省近畿地方建設局大戸川ダム工事事務所：大戸川ダム建設事業概要，1999.6.
- 14) 熊本県芦北事務所：明日へつなぐオレンジベルト ORANGE BELT（芦北地区・芦北 2 期地区 広域営農団地農道整備事業），1997.4.
- 15) 平井裕二郎，小林一郎，星野裕司，福地良彦：ウェブ技術を用いた施工管理支援システムの構築とその運用，土木情報システムシンポジウム論文集，VOL8，pp.49-56，1999.10.

第4章 写真データの信憑性向上による電子情報の交換と共有

4.1 はじめに

現在、国土交通省を中心に建設業界の情報化として建設 CALS/EC の導入が推進されている。建設 CALS/EC では、その目標として、公共事業に関する情報を標準に基づいて電子化し、情報機器をネットワークに接続することにより、特定の機器、システムに縛られることなく、組織を超えて情報の伝達、共有、処理、加工、検索、連携を可能とする環境を実現するとしている。その電子化されたデータの交換、共有、連携を実現するためのインフラとして、共有サーバは必要不可欠であり、公共工事に建設 CALS/EC を適用することによる効果と問題点を把握することを目的として、1996 年より現在に至るまで多くの共有サーバを用いた実証実験が行われている。特に北陸地方整備局や東北地方整備局等では、記憶媒体による納品から共有サーバを利用したシステムによる実証実験や、サーバへの直接格納への移行も検討されている^{1), 2)}。

このような共有サーバを利用した電子納品システムによる実証実験や検討が行われている中、筆者もこれまで、受・発注者双方さらには地域住民間の情報における立場を対等にし、情報管理の相互信頼と効率的な共有を維持するため、第三者機関が管理する外部共有サーバ（図 4-1）を利用したシステムを提案・構築し、文書データにおいて外部共有サーバ内におけるデータの取り扱いについて研究を行ってきた^{3), 4)}。

外部共有サーバで扱う電子データには、①文書データの他に②図面および③工事写真があるが、工事写真は、作成したものが変更されことなく納品されるものであること、現場において作成(撮影)されるものであることなど、文書データの扱いとは異なるものである。そのため、工事写真については、新たなシステムが必要であると考え、外部共有サーバにデータを納品するまでの過程に注目し、GPS 情報と連携することによる写真データの信憑性の向上と、効率的なデータ納品および検査のためのシステムの提案を行う。

本章では、まず 4.2 で工事における工事写真の役割および納品・検査までの流れと、写真データに必要な要素について述べ、それらの要素を満たすためのシステムの提案をする。4.3 では、GPS 情報との連携によるシステム構築に必要な技術について紹介する。4.4 では実際に構築したシステムを使用した橋梁工事を対象とする実証フィールド実験を紹介し、その実験により明らかとなったシステムの有効性や問題点などについて考察を加える。な

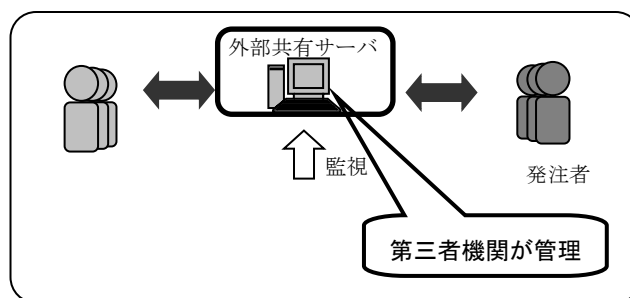


図 4-1 外部共有サーバの概念

お、本研究では、写真データの送信には東芝製の PDA を、外部共有サーバには熊本大学工学部内のサーバを使用した。

4. 2 工事写真の電子化

4.2.1 工事写真の役割

土木工事は、完成するまでに数多くの異なる建設資材を使用して、工種ごとにそれらを組み合わせながら工事を進めていくものである。そのため、完成後にほとんどの部分が隠れて、見る事ができなくなる場合が多い。また、工事の施工は設計図書（設計図、仕様書など）に基づいて行われるものであり、工事施工者はこれらの定めにしたがって施工したことを証明することが必要となる。その証明となる資料として、代表的なものが工事写真であり、施工状況の確認や工事完成後に明視できない部分の出来形確認など、工事の良否の判定と品質の確保には欠かせない重要な資料としての役割とともに、事後の重要な証明書類としての役割を担っている⁵⁾。

工事写真の撮影の時期および対象となるものについて以下にまとめた。

- ① 工事着手前と完成(既済部分含む)後の現地状況の記録
- ② 工事の施工を設計図書に基づいて施工していることを証明する施工状況の写真
- ③ 工事における保安施設などの配置状況や安全確保のための対策などの写真
- ④ 工事に使用される主要材料のうち、工事完成後確認できない材料の記録
- ⑤ 品質特性値(強度、密度など)を試験機械などで測定している試験実施状況の記録
- ⑥ 構造物の数量、寸法など出来形の記録
- ⑦ 工事施工中に発生した、災害および工事に起因する公衆災害などの記録
- ⑧ その他

以上のように、工事写真は、それぞれの目的を達成することができるよう細心の注意を払って撮影、整理しておく必要がある。

4.2.2 工事写真の流れ

工事写真の撮影から納品までに渡る一連の流れを、(a)デジタル化以前、(b)現段階における建設 CALS/EC 導入後について表 4-1 にまとめた。また、図 4-2 には、(a)デジタル化以前、(b)現段階における建設 CALS/EC 導入後、(c)提案システムの3つについてまとめた。このことから、写真が電子化されることで様々な利点が生じるといえる。しかし、(a)デジタル化以前と(b)建設 CALS/EC 導入後において、撮影から納品後の保管にいたる一連の流れについては基本的に変わっていないことがわかる。

なお、現在の工事完成図書電子納品要領（案）では、電子媒体による電子納品までとなっている

表 4-1 工事写真の撮影から納品までの流れの比較

段階	(a)デジタル化以前	(b)建設 CALS/EC 導入後	デジタル化によるメリット
撮 影	フィルムカメラにより撮影	デジタルカメラによる撮影	撮影した写真の確認が即座にできることで、撮り損ないの防止につながる
現 像	フィルムを現像所に出す	直接データをパソコンで処理する	コストおよび時間の削減が図られる
写真帳作成	写真を手作業で写真帳と編集して編集	編集ソフトとパソコンで編集し、編集されたデータをCD-R等に収める	編集にかかる人的、時間的費用の削減
検査時の使用	写真そのものを見て検査を行う	パソコン上で閲覧ソフトを用いて電子データを見て検査を行う	検索が可能となり検査の能率がアップする
納 品	写真帳とネガを提出	CD-R等で提出	省スペース化が図られる

一方、そのデータをサーバ登録し、情報の共有、検索性の向上、再利用の促進を図る「電子納品・保管管理システム」が開発

され、プロトタイプにおける実証フィールド実験が四国地方整備局及び中部地方整備局で行われている⁶⁾ (図 4-3)。

4.2.3 システムの提案

先にも述べたように、工事写真は品質の確保には欠かせない資料であり、また、工事完成後の証拠書類であることから、資料として重要な役割を担っている。まず、工事写真が証拠的役割を果たすためには「情報の信憑性」が求められる。しかし、図 4-2 (b)の現時点における建設 CALS/EC 導入後のように、現在の流れで

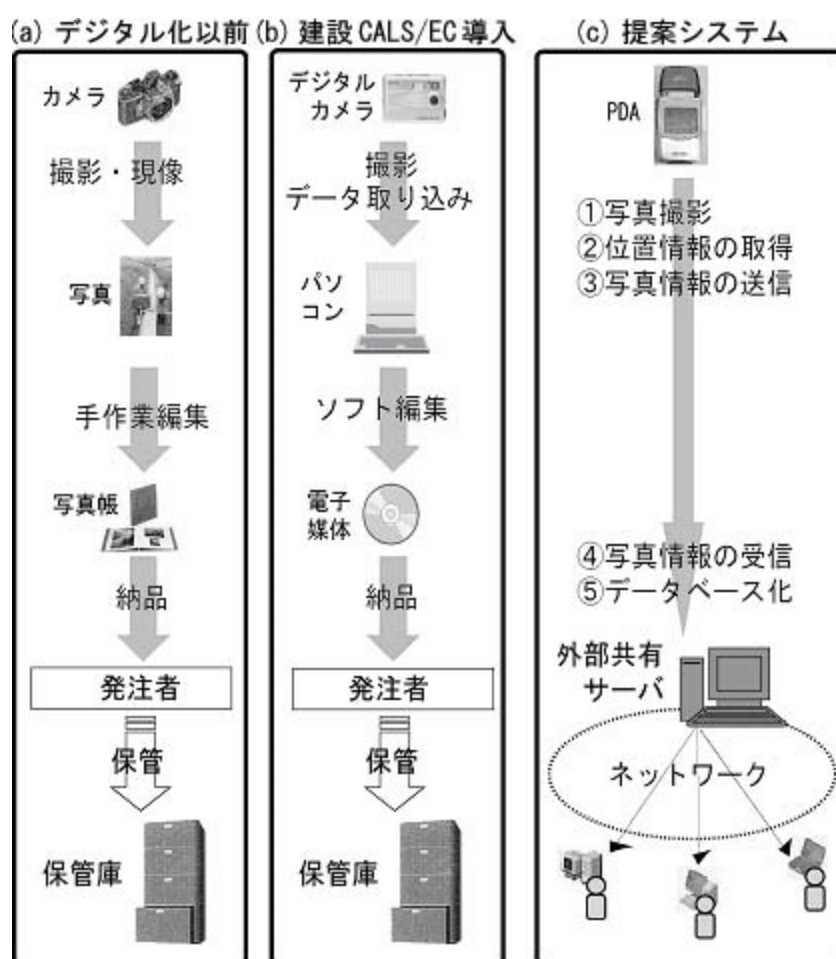


図 4-2 工事写真の流れ

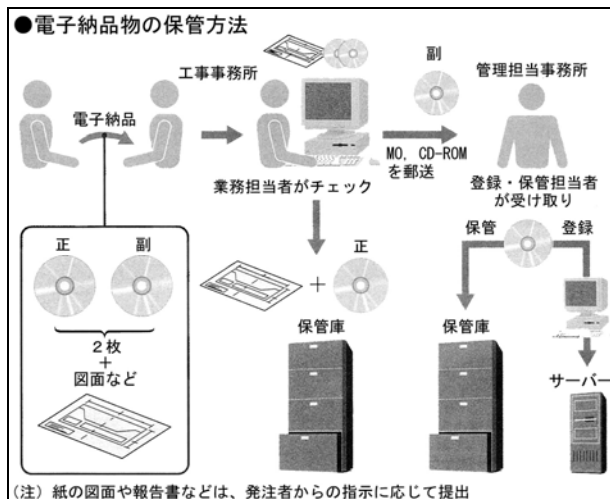


図 4-3 電子納品・保管管理システム

は、パソコンへの取り込み時や、パソコンによる編集時において、データそのものの改竄と写真データに付随する撮影時間や撮影場所といった情報の改竄の可能性も否定できない。また、現在の「電子納品・保管管理システム」は、発注者のみが利用できるネットワークシステムとなっており、建設 CALS/EC の目標である組織を越えた情報の伝達、共有、処理、加工、検索、連携を実現する為には、本システムが受注者はもとより一般国民を対象としたネットワー

クシステムとなる必要があると筆者は考える。(c) 提案システムが実現することで、写真データは直接サーバに保管され、サーバ上で検査されることとなる。加えて、複数の共有サーバ間のネットワークが構築されれば、基本的な電子データはすべて利用可能な状態で各サーバに保存されることとなる。著者が提案する方法は、前述した建設 CALS/EC の目標に沿ったものであり、「建設関連情報の電子化」からさらに、前進し、「電子情報の共有・共同利用」を直接的に実現するものである。

そこで、「情報の信憑性の確保」や「電子情報の共有・共同利用」を実現し、併せて工事写真が納品されるまでの流れの「簡素化」も含めたシステムとして、デジタルカメラで撮影されると同時に GPS 衛星から得られた位置情報と工事写真撮影時刻を関連付け、即座に外部共有サーバに送信、登録されるシステムの構築を試みた。

4. 3 システムの概要と構成技術

既存研究である文書データの場合と同じように本研究においてもシステム構築に際して、クライアント側のパソコンには無償で配布されている、Internet Explorer や Netscape Communicator などのブラウザソフトのみでデータ納品、検査ができることを前提とした。そのための写真データ納品や検査に必要な構成技術とハードウェアの機能について以下に示す。

4.3.1 写真撮影と位置情報取得 (図 4-2(c), ①～③)

本研究で提案している「写真データと位置情報の関連付け」の実現のためには、デジタルカメラと GPS 機能が一体となっていることが理想である。そのためのハードウェアとして東芝製の PDA を採用した (図 4-4 PNV500MC)。この PDA は GPS 機能、デジタルカメラ機能、通信機能が一体となっており、それぞれの機能を脱着なしで操作できるという点が特徴である。しかし、採用し

た PDA は今回のシステムのために製作されたものではないため、写真撮影からデータ送信までの新たな機能として、本研究のための機能の開発が必要である。その新たに開発した機能の内容について以下にまとめた。

1) 写真情報と位置情報との関連付け

写真データに位置情報を付加する方法として、撮影と同時に位置情報が付加されるシステムが理想である。しかし、今回使用した PDA には写真データと位置情報を直接関連付ける機能がない。そのため、今回は写真データの撮影時刻に基づいて位置情報を検索する方法を用いた（図 4-5）。

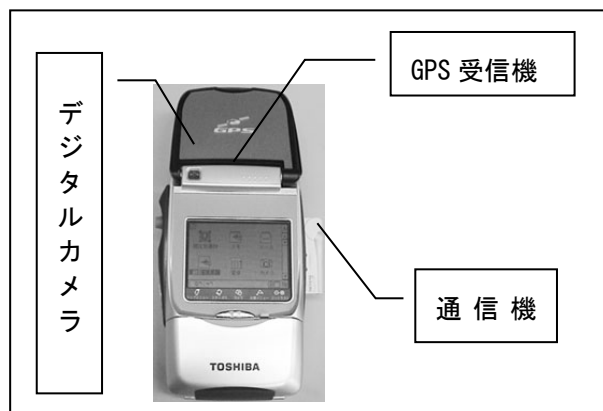


図 4-4 東芝製の PDA (PNV500MC)

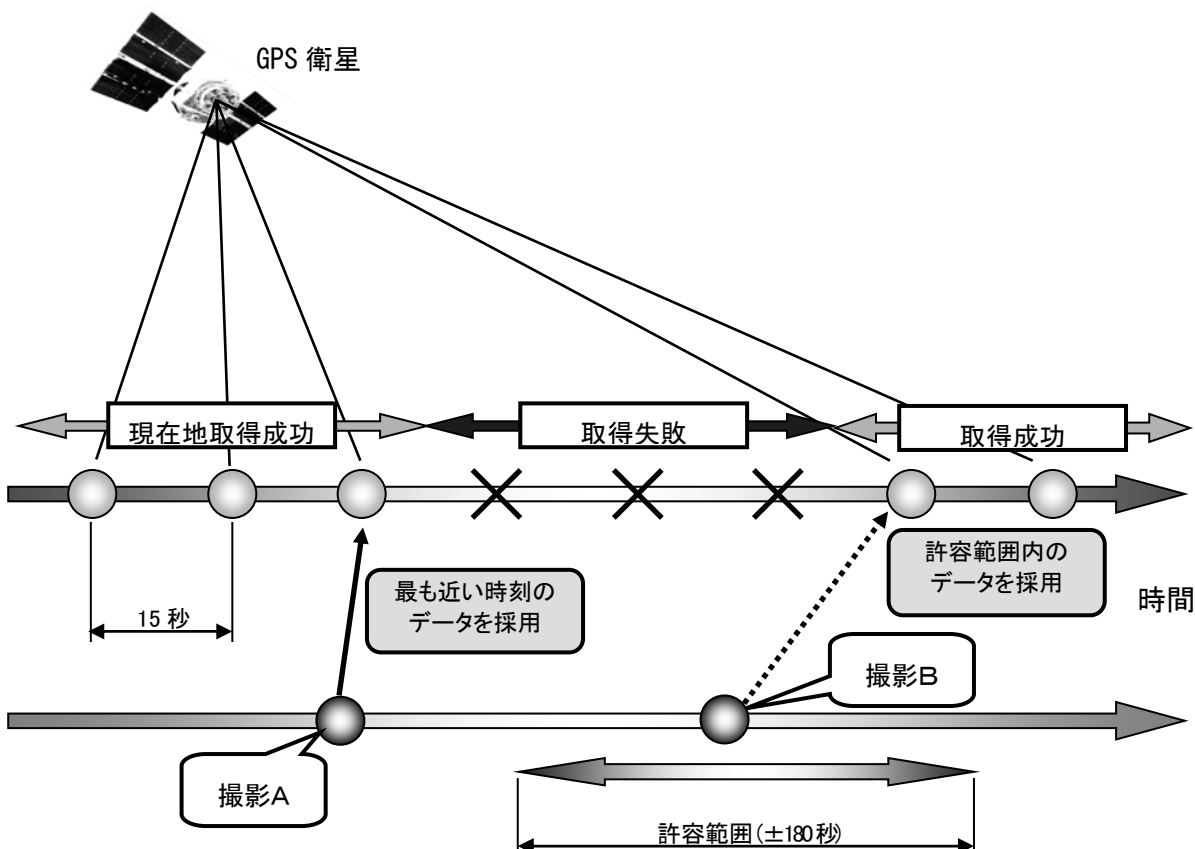


図 4-5 位置情報の取得方法

i) 位置情報の記録方法

GPS による位置情報の取得方法は 15 秒周期で以下の処理を繰り返し、位置情報を取得して行くシステムとなっている。

- ① GPS にアクセスし現在地データ（緯度，経度，高度，時刻）を取得。
- ② 現在地を測定履歴ファイルに記録する。

測定履歴は，後で述べる写真撮影時間と関連付けるため，一定期間の記録を常時確保しておく必要がある。そのため，当然のことながらファイルサイズは増加を続け，そのままではファイルシステムを食いつぶしてしまうこととなる。そこで，一定期間の記録を確保しながら周期的に古いデータを削除する処理を設定する。しかし，新しいデータを追加して同時に古いデータを削除するという処理を 1 個のファイルで実現することは困難である。そこで，今回はファイルを 2 個設定し，データ保存は常に一方のファイルにのみ行い，一定量のデータに達した時点でファイル内容をもう一つのファイルに移動した上で元のファイルの内容を削除する。この方法によりファイル 1 個分の記録は常時確保されていることとなる。

ii) 位置情報の検索

写真の撮影時刻は写真データの作成時刻として保存されている。その作成時刻を前述した位置情報の測定履歴ファイルの先頭から順に検索していき，位置情報の測定時刻と写真データの作成時刻を比較し，作成時刻に最も近い測定記録を含む位置情報を撮影場所の座標とする。しかし，現在地取得のタスクが正常に動作していても，GPS 衛星の電波が受信できないなどの理由で位置情報の取得ができないこともあり得る。この取得に失敗した時間帯に写真が撮影されると，写真データに対応する位置情報が存在しないこととなる。この場合の対処方法として，作成時刻と測定時刻の差が許容範囲以内の場合に，撮影場所の座標として採用することとした。なお，今回は許容範囲の時間設定を±180 秒（±3 分）とした。

2) 写真情報の送信

次の段階として，1) で位置情報を関連付けした写真情報をサーバに送信することになるが，位置情報以外の情報も付加して送信する機能とした。そのため，外部共有サーバでの処理内容が削減され，受信から納品（承認）までの時間短縮が図られることとなる。

i) 工事情報の選択

工事情報には，①工事完成まで変化しない情報と，②工事施工段階毎に変化する情報の

表 4-2 工事情報の種類

①変化しない情報	②変化する情報
工事番号	写真区分
工事名称	工事区分
工事箇所	工 種
発注者	種 別
請負者	細 別

表 4-3 送信されるデータの内容

件 名	工事番号	工事の特定
本 文	画像ファイル数	添付ファイル数の特定
添付ファイル1	写真情報1	画像ファイル名, 位置情報等
添付ファイル2	写真情報2	写真・工種区分等
添付ファイル3	画像ファイル1	jpg ファイル
～	～	～
添付ファイル7	画像ファイル5	jpg ファイル

2つの情報が存在する。(表 4-2) ①の情報については工事完成まで変化しないことから、PDA における処理ではなく、サーバ内で行うこととした。②の情報については、施工段階毎に変化していくことから、PDA において選択方式により選択し、写真情報に付加する方法とした。

ii) 写真ファイルおよび情報の送信

写真ファイルに撮影時間、撮影位置、工事施工段階情報等が関連付けされると、その情報は外部共有サーバに送信される。送信する方法としては、①FTP(File Transfer Protocol)、②HTTP(Hyper Text Transfer Protocol)による File Up load、③E-mail の3つが考えられるが、今回は、工事現場の監督を行いながらの作業ということもあり、一番手軽な方法である E-mail による方法とした。なお、送信されるメールの内容は表 4-3 のとおりである。

4.3.2 外部共有サーバでの処理 (図 4-2(c), ④⑤)

PDA よりメールで送信された工事写真情報は外部共有サーバのメールサーバに納められる。そのメールの内容から、それぞれ件名、本文、添付ファイルに振り分け、ウェブサーバの各フォルダに納めると同時に必要な項目をデータベースに格納する。このように登録されたデータを基に、監督員および検査官はブラウザを通して確認・検査等を行うことになる。

4. 4 適用事例

本節では、システムの実証フィールド実験として、適用事例を紹介する。また、実証フィールド実験によって明らかとなった有効性や問題点について考察を加える。

今回の適用事例は、橋梁工事の橋台工において実証フィールド実験を行った。この工事は、国土交通省近畿地方整備局福井工事事務所が行っている九頭竜川水系日野川改修引堤事業に伴い、架け

替えが必要となった県道橋を、河川管理者である福井工事事務所と道路管理者である福井県福井土木事務所が共同で施工するものである。

4.4.1 工事現場における処理

工事現場における処理として、橋台工事を受注した建設会社の現場代理人が PDA を使用して、写真撮影、写真情報の関連付けを行い、外部共有サーバにメール送信する作業を行うこととなる。以下に、メール送信までの処理について、図を用いて説明する（図 4-6）。



図 4-6 PDA における処理

- ① 工事写真管理メニューをタップし、データ送信処理機能を起動する。
- ② 撮影した写真データを選択し、送信用フォルダに保存する。この時点で、あらかじめ記録されている GPS 情報の時間と写真データの撮影時間を基に位置情報を関連付ける（図 4-7）。
- ③ 次に、写真区分や工事区分等を選択する。この工事区分の選択の際に、自動的に PDA の



図 4-7 GPS 情報の記録情報

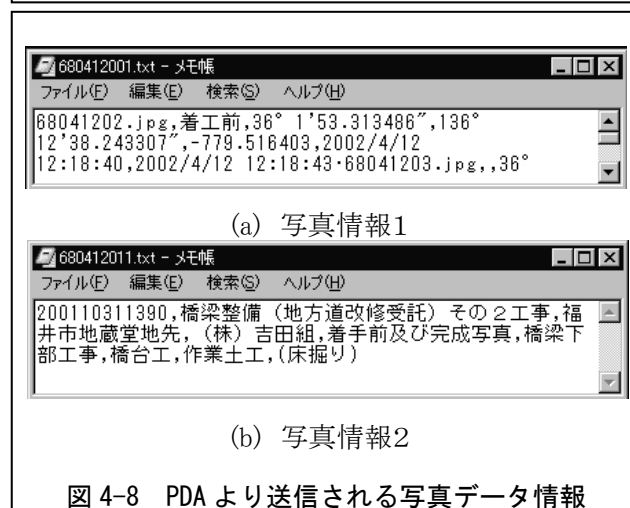


図 4-8 PDA より送信される写真データ情報

ハードディスクに登録されている、工種、種別、細別が選択項目に反映される。

- ④ メールを送信できる状態となった時点で、メール内容のウインドウが開き、送信内容を確認できる。この時点で間違いがあれば、前の処理に戻り変更できる。
- ⑤ 内容確認の結果、問題がなければメール送信を実行する。

以上の一連の処理により、写真情報 1 (txt ファイル, 図 4-8(a)), 写真情報 2 (txt ファイル, 図 4-8(b)), 写真データ (jpg ファイル) が、外部共有サーバに送信される。この処理が現場における PDA を使用した作業であり、工事完成まで、同じ手順で繰り返し行われる。なお、PDA で処理されるデータの送信前における改竄防止の対策として、PDA にアクセス制限を設定しデータの改竄が行われない対策を講じた。

4.4.2 外部共有サーバにおける処理

4.4.1 の処理により工事現場から送信されたデータは外部共有サーバのメールサーバに格納される。格納されたデータはメールデータの状態であるため、そのデータから必要な部分を抽出し、デ

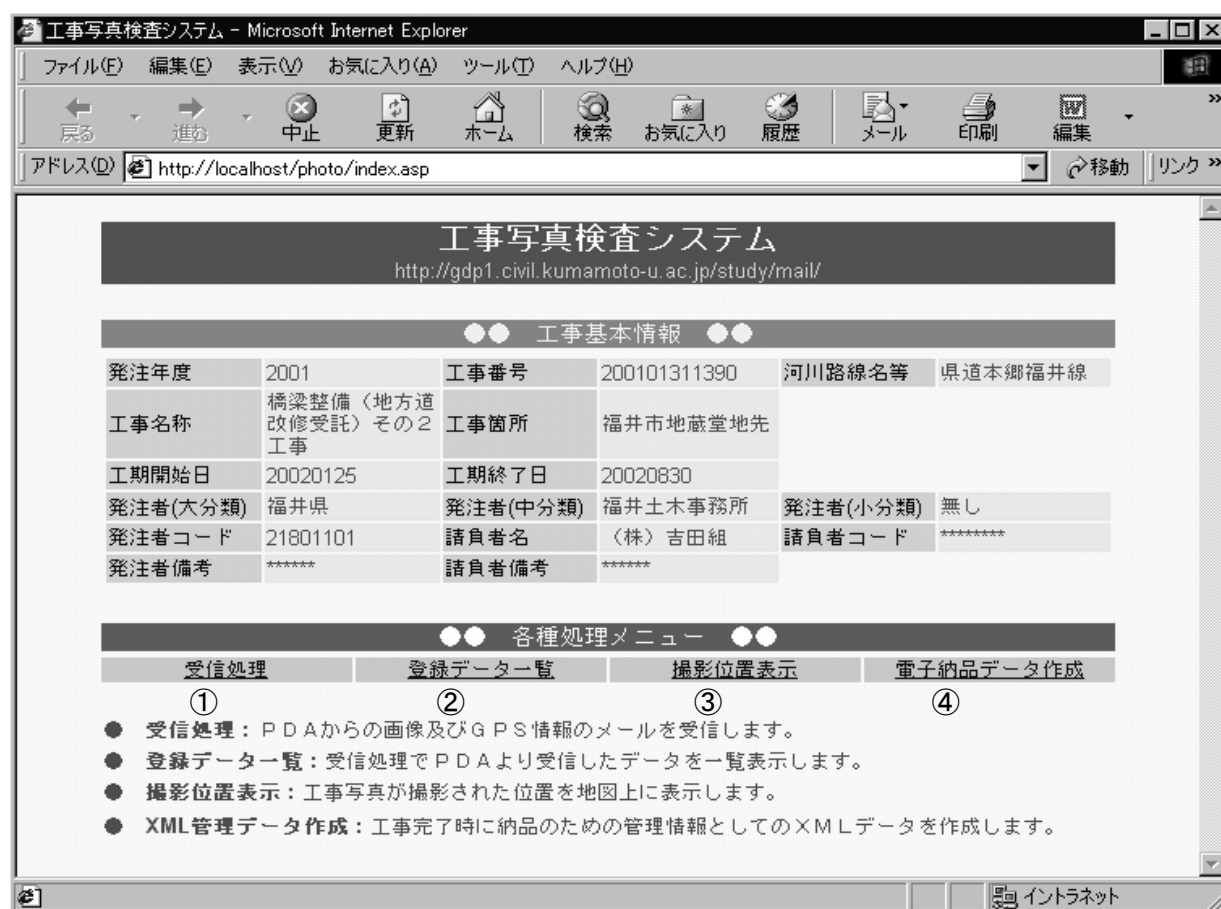


図 4-9 工事写真検査システム

データベース化する必要がある。今回は、その処理を全てウェブ上で行うシステムとした。したがって、この処理はインターネットにアクセスできる環境が整っている場所であれば、どこでも処理することができる。以下に、外部共有サーバにおける処理の流れについて説明する。

工事写真検査システムの URL にアクセスすると図 4-9 の画面が表示される。

① 受信処理

受信処理では、PDA より送信されたメールを件名、日時、添付ファイルに分割し、その添付ファイルの内容から各種情報を抽出しデータベースに格納する(図 4-10)。

② 登録データ一覧

データベースに登録されたデータを一覧表示する。メール受信処理直後は、情報登録欄に「未登録」と表示されており、PDA で登録していない請負者説明文および発注者説明文をウェブ上で登録する。この時点で写真データに関する全ての情報が登録されたこととなり、最後に写真データ登録の「承認」を行う。この「承認」行為は、発注者の監督員命令を受けた者のみがこの権限を有している。なお、サムネイル表示された画像をクリックすることで、「未登録」、「登録済み」、「未承認」、「承認済み」といった、各処理時点の写真データ詳細情報を見ることができる(図 4-11)。

③ 撮影位置表示

前述しているように、今回の写真データには撮影位置情報が GPS 衛星より付加されている。そのため、写真データがどの位置で撮影されたものなのかを確認することが可能である。しかし、緯度・経度といった数値情報のみの場合、迅速かつ正確な撮影位置の判断は困難である。したがって、本システムでは、SVG(Scalable Vector Graphics)⁷⁾技術を使用し地図上において撮影位置を表示できるものとした(図 4-12(a))。もし、この撮影位置表示画面上の工事エリア内に、表示されていない IDNo.があれば、それは、この工事のエリア外で撮影されたものとなり、虚偽のデータと判断され、承認行為は行われない。なお、撮影位置表示は、メール受信処理を行うと同時に反映される。

④ 電子納品データ作成

本論文では、GPS 衛星による位置情報と外部共有サーバを用いた電子納品を提案しているが、



図 4-10 受信処理



図 4-11 登録データ一覧

現時点における電子納品は、電子媒体（CD-R 等）による納品が義務づけられているため、デジタル写真管理情報基準（案）⁸⁾に従った、データ作成機能をシステムに加えた（図 4-12 (b)）。

図 4-12 撮影位置表示・電子納品データ作成

4.4.3 ウェブ上における工事検査の実施

工事検査時において、これまで写真帳で確認をしていた検査方法から、監督員が直接ウェブ上において工事写真を確認する検査方法を試みた。この検査は段階検査といわれるもので、各工種の段階毎に検査を実施するものである。通常は監督員が、直接工事現場に行き設計図書どおりに施工されているかの確認をするが、場合によっては、現場に行けないこともある。この場合において、本システムを使用しウェブ上による検査を行った。

4.4.4 考察

以上の実証フィールド実験を通じて、明らかとなったシステムの有効性や問題点について、以下に PDA による現場における処理および外部共有サーバでの処理についてそれぞれまとめた。

1) PDA による現場における処理

- ① PDA を使用したことで、写真データのパソコンでの処理が無くなり、現場サイドにおける作業量の削減が図られた。また、PDA から直接送信することで、画像データの改竄を防ぐことができることを確認した。
- ② 写真データの撮影時間と GPS 衛星から得られた位置および時間情報を関連付けすることで、工事工程における適切な時期の写真であるか、当該工事現場における写真データであるかなど、データの「信憑性」の確保ができた。
- ③ 写真撮影からデータ送信までの必要な情報を選択方式としたことで、送信までの作業の簡素化を可能とし、迅速な写真データの送信ができた。
- ④ 実証実験の行われた工事現場は、比較的上空が開けている場所であったが、場合によって GPS 衛星からの受信が正常に行われない場合があり、同じ写真区分の作業において撮影およびデータ送信を、何回か繰り返す必要があった。
- ⑤ 今回、写真データ撮影および送信に使用した PDA のデジタルカメラは、約 35 万画素とデジタル写真管理情報基準（案）に記載されている 80 万画素以上をクリアしていない。なお、この問題に対しては、今後の技術開発により問題解決を図ることとしている。

2) 外部共有サーバの処理

- ① 送信されたデータの受信処理、必要事項の入力および承認といった行為の全てを、サーバサイドアプリケーションで行ったことによって、クライアント側ではブラウザのみで処理・閲覧が可能となり、ウェブ上での工事写真の管理や検査を可能とした。これにより、受・発注者の関係者が場所や時間に制限されずに工事写真の納品、管理および検査ができることとなる。対象の工事における段階検査は 13 回行われたが、この段階検

査全てにおいて本システムを使用して検査を行った。その結果、監督員の職場と工事現場の移動時間（約 40 分）が削減されると同時に、検査願いから検査終了までの時間が短縮された。

- ② デジタル写真管理情報基準（案）に沿った電子納品(CD-R 等)に対応するための電子納品データ作成機能により、納品データ作成の時間短縮が図られた。
- ③ インターネットを利用したデータ交換により工事写真の「公開性」が確保され、公開されることで工事関係者は品質管理や安全管理に対する意識向上が図られた。

4. 5 まとめ

本章では、工事写真の果たす役割を述べ、PDA と外部共有サーバを用いた工事写真検査システムの提案を行い、システム構築と実証フィールド実験により考察を行った。以下に本章の内容をまとめる。

- 1) 4.2 では、公共工事における工事写真の役割と、建設 CALS/EC 前後における工事写真の一連の流れを示し、工事写真が資料的役割を果たすための要素として「公開性」が求められること、証拠的役割を果たすためには「情報の信憑性」が求められることを述べた。その役割を確保し、併せて工事写真が納品されるまでの流れの簡素化も含めたシステムの提案を行った。
- 2) 4.3 では工事写真の役割を十分に果たすためのシステムとして、PDA と外部共有サーバを用いることを述べ、システム構築に必要となる構成技術について、データ送信側である PDA と受信側である外部共有サーバにおいて、機能や方法について具体的に説明を加えた。特に、写真データの「情報の信憑性」の確保に関し、GPS 情報と写真情報を関連付ける方法を提案し、システムの構築を実現した。
- 3) 4.4 では実際に構築したシステムについて、実証フィールド実験を行い、適用事例として紹介した。写真データ送信側の処理では PDA による現場サイドの処理方法について、写真データ受信側の処理では外部共有サーバにおける処理方法について説明し、実証フィールド実験により明らかとなった有効性や問題点について考察を行った。

なお、今回のシステムではデータ送信に電子メールを使用した。電子メールでは盗聴というセキュリティ上の問題があるが、電子署名等により盗聴防止の対策は可能である。しかし、写真デー

タや文書データなどの，工事期間中，頻繁にやり取りされるデータ交換における電子認証は迅速に行われる必要があり，この問題については今後の課題としたい．

また，河川 GIS の整備が現在進行中⁹⁾であるが，工事写真に位置情報を関連付け，データベース化することにより，河川 GIS との連携も可能となると同時に，施工段階から維持管理段階に移行する際に，改めてデータベースの整備をする必要がなく，効率的な情報利用が可能となると考える．

4. 6 謝辞

本研究で橋梁工事の施工主体である福井県福井土木事務所の関係各位および橋台工事の請負者である（株）吉田組の関係各位には，ご多忙の中ご協力を頂きました．記して謝辞を表します．

＜参考文献＞

- 1) 国土交通省 CALS/EC 公共事業支援統合情報システム：<http://www.mlit.go.jp/tec/cals/index.htm>，2002 年 4 月現在．
- 2) 日経コンストラクション 特別編集版 電子納品ガイドブック，22 頁，2002.4.
- 3) 山本他：建設 CALS/EC 実証フィールド実験のためのデータ交換技術について，土木情報システム論文集，第 9 巻，土木学会，1～10 頁，2000.10.
- 4) 馬場他：電子認証技術を用いた工事打合せに関する一提案，年次学術講演会講演概要集第 6 部 CD-ROM 版，2001.9.
- 5) 土木工事写真管理研究会編：新版土木工事写真の手引き—デジタル写真にも対応—，（社）全日本建設技術協会，平成 12 年 3 月．
- 6) 立花他：成果物電子納品・保管管理システムの開発，（財）日本建設情報総合センター建設情報研究所 第 3 回建設情報研究所研究発表会，2001.11.：<http://www.jacic.or.jp/kenkyu/>
- 7) Scalable Vector Graphics (SVG) 1.0 Specification W3C Recommendation 04 September 2001：<http://www.w3.org/TR/SVG/>.
- 8) デジタル写真管理情報基準（案）：国土交通省，平成 14 年 3 月．
- 9) 河川基盤地図ガイドライン（案）：国土交通省，平成 13 年 12 月

第5章 河川プロジェクトモデルによる電子情報の交換と共有

5. 1 はじめに

建設分野では、調査・計画から維持管理までのプロセスの中で、多くの関係者とのコミュニケーション（情報伝達）とコラボレーション（協同作業）を繰り返す。そのためのデータ（書類）として文書、図面、写真などが活用されるが、このような建設関係情報が、国土交通省による建設 CALS/EC の推進により電子化、標準化され組織間における情報交換の円滑化を実現してきた。特に建設事業の受発注者間における図面データの交換においては、特定の CAD ソフトに依存しないデータ交換を行うための技術的検討が行われ、国際基準である ISO/STEP AP202 という規格に準拠した SXF (Scadec eXchange Format)仕様レベル 2 によるデータ交換が実現し設計業務などの成果納品において電子納品が行われている^{1),2)}。この SXF 仕様レベル 2 は、2 次元製図データが再利用性を持って交換できる仕様であり 2 次元の紙図面を電子化したものである。しかし、この標準化は国土交通省への納品や効率的な管理といった面においては有効であるが、高度なデータ運用が難しいのが現状である。この問題を解決する 1 つの動きのとして SXF 仕様レベル 4 の開発が 2002 年度から検討が開始され、2004 年度には一部で実証実験が行われる予定となっている。この SXF 仕様レベル 4 とは、単に CAD データを 3 次元化し納品するというものでなく、ある建設物が施工されるための必要な属性データであるプロダクトモデルを交換・共有するというものである³⁾。筆者がこれまで行ってきた外部共有サーバを利用した電子納品・情報共有の研究では、文書データ及び写真データの交換・共有を取り上げ、電子納品のあり方について提案してきた^{4),5)}。このようなプロダクトモデルの交換・共有の動向が見られる中で河川事業における交換・共有されるべきモデルとは何かを考察した。

本章では、まず 5.2 で河川事業におけるプロジェクトモデルの提案と、外部共有サーバにおけるプロジェクトモデル処理技術について紹介する。5.3 では、河川縦横断測量、航空レーザ計測及び樋門詳細設計の業務において共有サーバに登録されたプロジェクトモデルを利用した実証実験を紹介し、提案した河川プロジェクトモデルの有効性や問題点について考察を加える。なお、本研究では外部共有サーバに熊本大学工学部内のサーバを、ソフトウェアとしてデータ送信に Internet Explorer を、データ検証用に Autodesk Land Desktop（以下：LDT）を使用した。

5. 2 河川プロジェクトモデルの提案

5.2.1 河川事業と関連図面

河川事業の基本方針策定は、過去の主要な洪水のデータに基づいて、目標となる安全度を設定し、今後起こるであろう洪水に備えた計画を作成する。この過去の洪水を把握するためには水系全体、

表 5-1 河川計画に必要な図面類

検討項目	検討内容	必要となる図面
過去の災害の検証	降雨特性	流域全体の地形図
	氾濫実績	氾濫原となった範囲の地形図
	流下能力	河川横断測量図
基本方針策定	基本高水設定	流域全体の地形図、河川横断測量図
	計画高水設定	河川横断測量図、計画改修断面図、洪水調節施設等構造図
中長期計画策定	目標流量決定	河川横断測量図
	氾濫解析検証	想定氾濫区域の地形図
	改修方法検討	河川横断測量図、計画改修断面図
具体的整備計画策定	河道内整備	河川横断測量図、計画改修断面図
	構造物による整備	構造図
	調査・測量	地形図、縦横断面図
	設計	地形図、縦横断面図、構造図

若しくは流域全体を視野に入れる必要がある。そして、治水計画の目標が決定すれば具体的な整備計画を策定し、まず中長期的な計画案が設定され次に個々の箇所における改修のための調査・設計を経て工事が行われる。そして次の段階として維持管理に渡されていくが、その前段に個々の工事における目標に対する検証が行われ「整備率」といった形で評価し、場合によっては中長期計画の見直しも行われる。この繰り返しで目標に近づいて行く。これが河川事業である。以上のようなプロセスで使われている資料、特に図面に焦点を当てて整理したものが表 5-1 であり、大きく分類すると地形図、横断図、構造図に分けられる。

5.2.2 建設関連情報のモデル化

現在、建設関連情報のモデル化が行われている。モデル化とは統一的な仕様を策定し、その仕様に基づき図面や文書として取り扱われている構造物や、国土に関する情報を記述することである。このモデル化の動きとしてプロダクトモデルの研究・開発が行われている。プロダクトモデルとは、3次元形状情報を基本として材質、単価など構造物がもつ固有の情報を XML (Extensible Markup Language) 形式により記述したもので、計画・調査・設計・工事・維持管理に至るライフサイクルでの2次利用を目的としている。XML は特定アプリケーションに依存しないため、各業務プロセスでの異なるシステムにおいて、データの相互運用が可能である。橋梁プロダクトモデルの既存研究では、設計照査、積算、施工管理、維持管理などの様々なシステム間でのデータ運用を IAI(International Alliance for Interoperability)が推進する、ifcXML の考え方を取り入れ建設分野での適用が検討されている^{6),7)}。

また、地形改変を伴う建設事業に関連のある情報のモデル化も行われており、その代表例として LandXML がある。海外では、建設関連情報のうち測量点や座標系などの測量情報や道路線形データ、3次元道路形状データなどの道路情報のモデル化として LandXML を採用し、既に実用化がな

表 5-2 河川プロジェクトモデルの構成

地形モデル	不変地形 (I3)	河川プロジェクトにおいて改変を伴わない地形
	可変地形 (I1, I2)	掘削、盛土などにより改変を伴う地形
構造物モデル	既存構造物 (S3)	河川プロジェクト以前から存在する構造物
	施工構造物 (S1, S2)	河川プロジェクトによって新たに創りだされる構造物

されている⁸⁾。

河川事業も地形改変を伴う事業であり、既に実用化されている道路事業と同じように地形情報をモデル化することは、データの統一という点において有効である。しかし、同じ土木事業である河川と道路の2つの事業では、自然地形の扱い方などでモデル化の考え方に違いがある。道路事業は自然地形の上に帯状の構造物を作る。

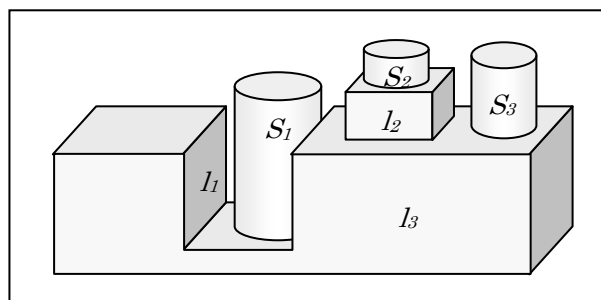


図 5-1 河川プロジェクトモデルの構成の模式図

その情報として、道路とそれに関連した一部の地形情報で十分であるため、モデルはプロダクトモデルと考えても良い。一方、河川事業は流域全体を考慮した長期に渡る総合的な計画で行われるため、局所的な情報を扱うのではなく、流域全体における情報をいかに扱うかが工事やその後の河川管理においても重要であると考えられる。さらに、河川事業は単に、現況のみを考慮して、計画・設計・管理を行うものであってはならない。少なくとも河道や周辺の土地利用の変遷を100年くらいの時間経過で蓄積しておく必要がある。幸いにも、これらのデータは、明治以来、平面図、横断面図、縦断面図といった紙データとして、蓄積されてきている。これらのデータを切り捨てることなく、将来の理想型である3次元測量を基盤としたルールをも包含したモデルを提案することが肝要である。以上のことから、河川におけるモデルはプロダクトモデルではなく、プロジェクトモデルと呼ぶべきであろう。

河川プロジェクトモデルは、①地形モデルと②構造物モデルの2つからなり、データの各建設プロジェクトでの扱われ方から表 5-2 に示すように分類される(図 5-1 に模式図を示す)。また、地形モデルは流域全体を対象とした地形測量モデルと河道内を対象とした河川測量モデルで構成される。それぞれの情報をモデル化することで、河川事業の計画・調査・設計・工事・維持管理の各プロセス内でのデータのやり取りや、プロセス間でのデータの再利用が可能となり、工事計画終了後のデータを別の工事計画に利用することも可能となる。なお、今回の河川事業におけるプロジェクトモデルの利用フローとして図 5-2 にまとめた。

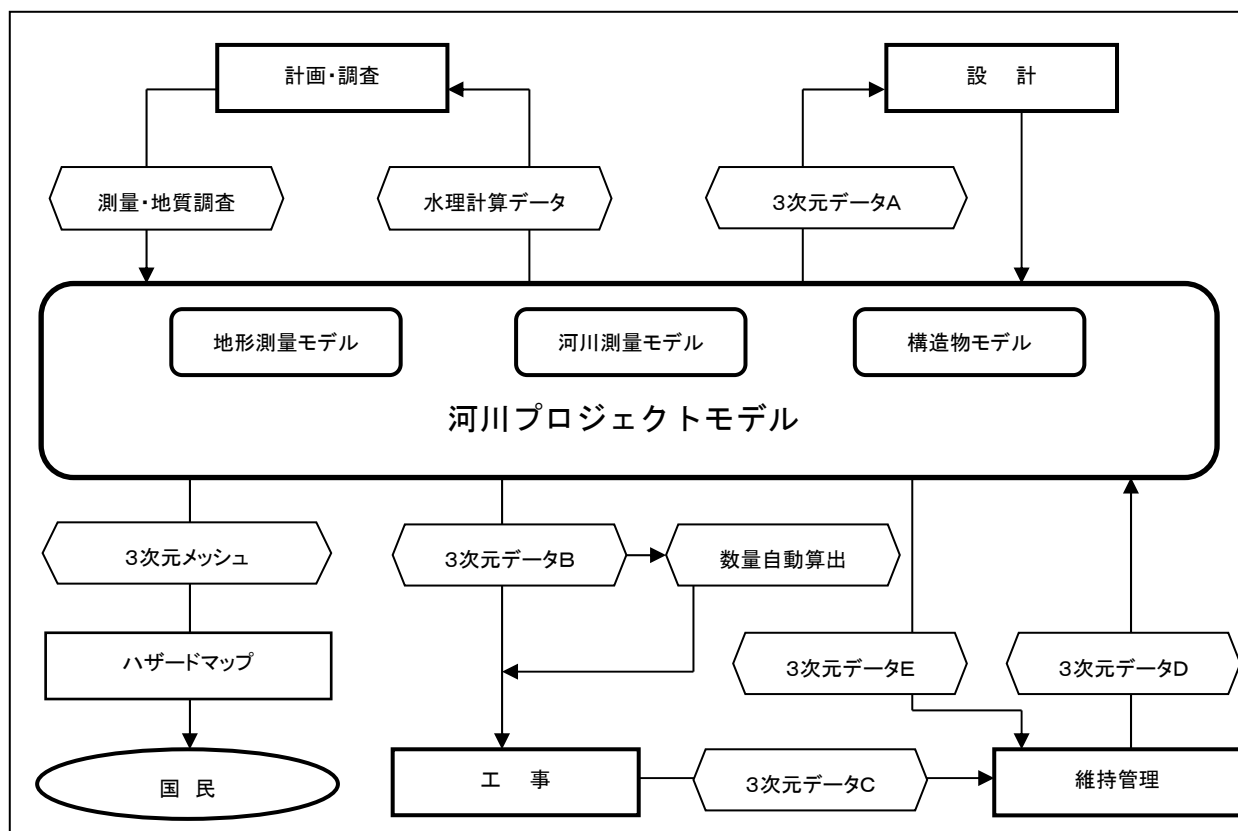


図 5-2 河川プロジェクトモデル利用フロー

5.2.3 河川プロジェクトモデルの概要

1) 地形測量モデル

河川事業は前述しているように流域全体を考慮し進めていくものであり、河川のみを対象とするのではなく、その河川の流域全体を対象としなければならない。また、個々の事業においても河川以外の範囲の地形も必要とする。そのためのモデルとして地形測量モデルを提案する。

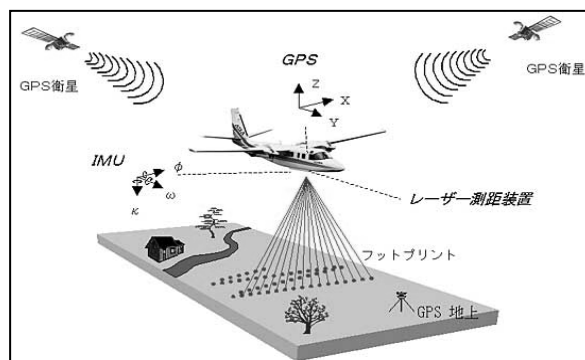


図 5-3 航空レーザ計測概念図⁹⁾

流域全体や河川周辺情報の取得方法としては地形測量と航空測量による方法がある。近年、測量技術の発展に伴い航空機からレーザを連続照射することにより 3 次元データを取得することができる、レーザ計測を用いた航空測量が行われるようになった (図 5-3)。この航空レーザ計測とは、航空機の空間位置と地表までの距離を地上に向けてレーザ光を照射し、反射して返ってくるレーザ光を検知し、その往復の時間を測定することにより求めるものである。この距離データと GPS (Global Positioning System) /IMU (Inertial Measurement System) によ

表 5-3 河川測量モデルの記述内容

基礎情報	河川名、測量年度、発注者、受注者、納品年月日		
	計画洪水位、計画堤防高、計画高水敷高、計画河床高		
	低水路断面積、余裕高、河川幅員、平水位		
	最深河床高、左岸現況堤防高、右岸現況堤防高		
距離標 No.0～n	距離標情報	左岸座標、左岸杭頭高	
		右岸座標、右岸杭頭高	
	現況断面情報	断面ポイント情報	断面ポイント数
			左岸距離標id
			右岸距離標id
		平面境界構成点情報	構成点 id=1～12
	改修計画断面情報	分割ポイント情報	分割ポイント id=1～n
		断面ポイント情報	断面ポイント数
			構成点 id=1～12
			分割ポイント id=1～n

る航空機の空間位置と姿勢に関するデータを処理することで、パルス1回ごとの地上測点（フットプリント）に位置座標（緯度・経度・標高）を与えることができる。これにより樹木や地表面などの対象物の3次元的な計測が可能で、計測結果をデジタルデータで取得できる。本研究では、この航空レーザ計測で得られた3次元ランダムデータを地形測量モデルとして LandXML によりサーバ登録する。

2) 河川測量モデル

前述の地形測量モデルは流域及び河川周辺である地形データを航空レーザ計測で取得しサーバ登録することを提案した。しかし、航空レーザ計測ではレーザビームを用いて地形を計測するため水面のような鏡面反射を起こす場所においては水面下までレーザビームが到達しないため、河床のような水面以下の部分についてはレーザ計測での3次元データ取得は期待できない。そのため、河道内においてはこれまでの2次元測量データ(200m間隔)を、ある仕様に基づき XML 形式で記述しサーバに登録する(表 5-3)。これを本研究では河川測量モデル (RiverSXML : River Survey XML) とし、このデータも地形測量モデルと同じようにサーバに登録する。その登録されたプロジェクトモデルを使用し、クライアントのニーズに応える形で、サーバサイドスクリプトによる2次元データ SXF 仕様レベル2ファイル及び3次元地形データ LandXML ファイルを自動生成しクライアントに返すシステムを構築する。なお、3次元地形データ生成システムは、補間システムと自動 TIN 生成システムにより LandXML ファイルを生成するものである。

3) 構造物モデル

構造物においても、形状情報、工程情報、構造物種別等を XML 形式で記述し構造物モデル

表 5-4 構造物モデルの記述内容

プロジェクト名	ハヶ川樋門改築工事	
モデリング技法	押し出し法	
構造物ID	03	
構造物種別	樋門 BOX部(川表3m部分)	
工期区分	前工種ID	遮水矢板,02
	後工種ID	BOX部 中央部,04
	工期	11
単位	m	
設置座標	下流右岸下座標	x 16243.681
		y 14907.553
		z 2.000
	下流左岸下座標	x 16245.386
		y 14888.630
		z 2.000
	上流右岸下座標	x 16246.669
		y 14907.822
		z 2.000
	上流左岸下座標	x 16248.374
		y 14888.900
		z 2.000
土工	掘削控幅	1.000
	正面掘削勾配	—
	裏面掘削勾配	—
	右側面掘削勾配	1:1.0
	左側面掘削勾配	1:1.0
本体	幅	19.000
	高さ	6.600
	長さ	3.000
	BOX幅	5.600
	BOX高さ	5.200
	BOXハンチ	0.300
	頂版厚	0.700
	側壁厚	0.600
	内壁厚	0.500
	底版厚	0.700
	均しコン厚	0.100
	止水板取付部分ハンチ	0.350
	止水板取付部分奥行	0.170
	止水板取付部分高さ	0.080
種別1	コンクリート	
規格1	36-8-25	
種別2	均しコンクリート	
規格2	18-8-40	

```

106 919 1 0

body $1 $2 $-1 $-1 #

ref vt-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $0 $3 $4 #

lump $5 $-1 $6 $0 #

refinement $-1 0 0 0 0 242.98695373535156 30 0

4 0 0 #

vertex template $-1 3 0 1 8 #

ref vt-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $2 $3 $4 #

shell $7 $-1 $-1 $8 $2 #

ref vt-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $6 $3 $4 #

```

図 5-4 ACIS ファイルの内容

StructureXML としてサーバに登録することを提案する(表 5-4)。しかし、建設分野における動向の中で、一部で国際標準を目的とした XML 記述による試みがされているものの確立されたものとはなっていないのが現状である。そのため、本研究では登録された構造物モデルを製造分野の一部で使用されている ACIS ファイルに変換するシステムを構築することとした(図 5-4)。ACIS ファイルとは、米国スペイシャルテクノロジー社(STI)を中心とするベンチャー企業のグループによって開発されている形状モデリングのためのソフトウェアコンポーネ

ントである。STI は、ACIS の外部データフォーマット仕様をインターネット上で公開しており、データ変換やいろいろな周辺技術との統合の可能性がある。なお、ACIS ファイルを確認するものとして、STI のサイトよりビューアソフト(HOOPS 3D Viewer for ACIS v7.0)を無償でダウンロードできる¹⁰⁾。

以上の3つのプロジェクトモデルにより、使用目的に応じてサーバに要求し目的のデータを得ることで、ライフサイクルの各段階において効率的なデータの有効利用が可能となると考える。

表 5-5 生成ファイルフォーマット

プロジェクトモデル	生成データ	ファイルフォーマット
河川測量モデル	2次元CADデータ	sfcファイル
	3次元地形モデル	LandXMLファイル
構造物モデル	2次元CADデータ	sfcファイル
	3次元構造モデル	satファイル

5.2.4 情報共有とプロジェクトモデル処理技術

前述した地形測量、河川測量及び構造物それぞれ3つのプロジェクトモデルを効率よく情報共有をするためのシステム構築として、既存研究と同じように外部共有サーバを利用した、クライアントに負担をかけないシステム構築を試みた。そのための処理技術について、サーバ登録処理と登録データ処理の2つに分けて説明する。

1) サーバ登録処理

それぞれの業務で作成されたプロジェクトモデルのサーバ登録は、メールによるデータ送信ではなく、サーバサイドスクリプトを使用し、ブラウザから直接サーバ登録できるシステムとした。

2) 登録データ処理

地形測量モデルは、登録されたデータをそのままダウンロードし直接 CAD で処理することとした。

河川測量モデル及び構造物モデルは、登録データ（RiverSXML, StructureXML）をサーバサイドスクリプトにより、2次元 CAD データ生成と3次元地形データ生成の2つのデータを得るシステムとした。なお、このシステムで得られるデータフォーマットは表 5-5 のとおりである。

5.3 適用事例

ここでは、構築したシステムによる実証実験として、適用事例を紹介する。また実証実験により明らかとなった有効性や問題点について考察を加える。

今回の適用事例は、福井県の代表河川である九頭竜川本川で施工されている八ヶ川樋門改築工事箇所を中心としたフィールドを選定し実験を行った。この工事は、福井県が管理する九頭竜川の支川八ヶ川の改修に伴い、古くなった樋門を改築するもので平成14年度より実施され平成17年度完成予定の工事である。

```

<?xml version="1.0" encoding="iso-8859-1" ?>

-<LandXML xmlns=http://www.landxml.org/schema/LandXML-1.0 xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:schemaLocation="http://www.landxml.org/schema/LandXML-1.0 http://www.landxml.org/schema/landxml-1.0/LandXML-1.0.xsd" version="1.0" date="2003-02-27" time="12:00:26">

-<Units>

<Metric areaUnit="squareMeter" linearUnit="meter" volumeUnit="cubicMeter" temperatureUnit="celsius"
pressureUnit="HPA"/>

</Units>

<Application name="InRoads" manufacturer="Bentley Systems, Inc." version="08.04.00.00" />

-<Surfaces>

-<Surface name="area 2 (ground)" desc="LS random data, ground, area2" state="proposed">

-<SourceData>

```

図 5-5 レーザ計測の LandXML

5.3.1 地形測量モデルのデータ処理

地形データの取得は航空レーザ計測で取得する。取得データには非常に高い高度の点または低い点といった不自然なデータが含まれているため、全体のデータとの整合を考慮した上でノイズ除去処理を行う必要がある。この処理により加工されたデータが DSM (Digital Surface Model : 建物や樹木などの地物の高さを含んだデータ) である。今回はこの DSM データを樋門付近を中心とした東西方向 560m、南北方向 410m の範囲について LandXML でブラウザを介して外部共有サーバに登録する (図 5-5)。登録されたデータはブラウザよりダウンロードし直接 CAD に読み込み、LDT の機能を使用しサーフェスモデルを作成する (図 5-6)。

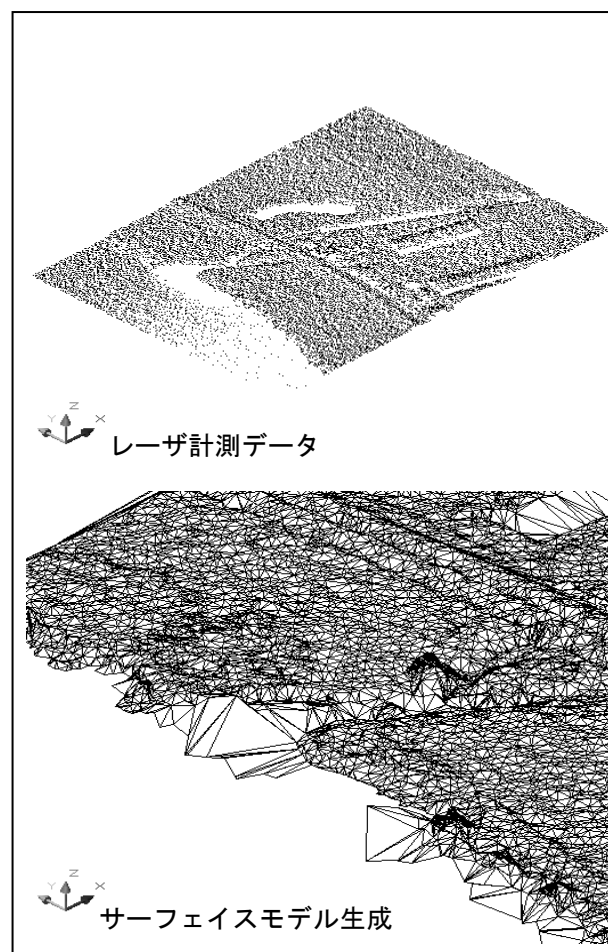


図 5-6 プロジェクトモデルデータ処理 (地形測量)

```

<?xml version="1.0" encoding="shift_jis" ?>
- <河川測量モデル>
- <横断測量情報>
- <基礎情報>
  <河川名>九頭竜川</河川名>
  <測量年度>2002</測量年度>
  <発注者>国土交通省近畿地方整備局福井工事事務所</発注者>
  <受注者>光進企画調査株式会社</受注者>
  <納品年月日>20030325</納品年月日>
</基礎情報>
- <距離標 no="11.8k">
  <計画洪水位>6.851</計画洪水位>

```

図 5-7 河川縦横断測量の RiverSXML

```

<?xml version="1.0" encoding="shift_jis" ?>
- <構造物モデル>
- <基礎情報>
  <河川_道路名>九頭竜川水系日野川</河川_道路名>
  <設計年度>2002</設計年度>
  <発注者>国土交通省近畿地方整備局福井工事事務所</発注者>
  <受注者>ジビル調査設計（株）</受注者>
  <納品年月日>20030320</納品年月日>
</基礎情報>
  <プロジェクト名>ハヶ川樋門改築工事</プロジェクト名>
  <モデリング技法>押し出し法</モデリング技法>
  <構造物 ID>03</構造物 ID>

```

図 5-9 樋門詳細設計 (BOX 部) の StructureXML

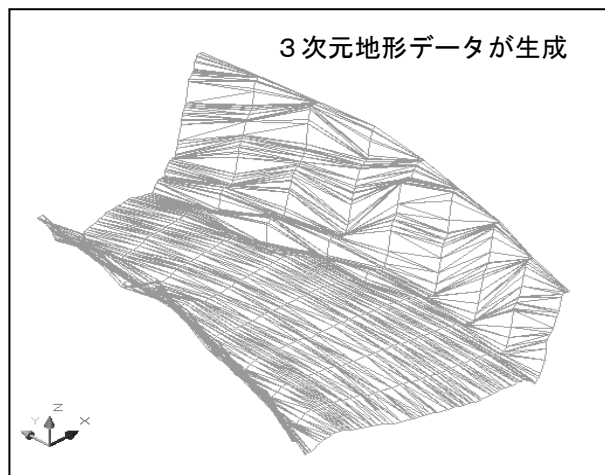


図 5-8 プロジェクトモデルデータ処理（河川測量）

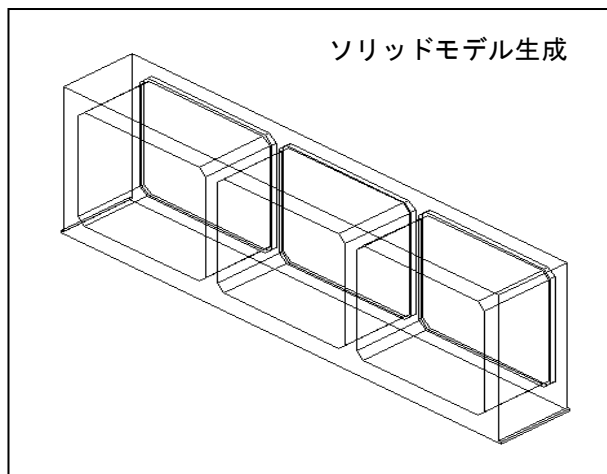


図 5-10 プロジェクトモデルデータ処理（構造物）

5.3.2 河川測量モデルのデータ処理

定期的実施される河川縦横断測量において、地形データと同じように樋門付近を中心とした上下流3断面の横断図について5.2で述べた RiverSXML で記述しサーバに登録する（図 5-7）。登録されたデータは、以下のシステムにより SXF 仕様レベル2による2次元 CAD データと LandXML による3次元地形データが生成される（図 5-8）。

1) SXF データ生成システム

RiverSXML から sfc ファイル作成に必要なデータを抽出し、SXF ファイルを生成する。

2) LandXML データ生成システム

RiverSXML の各断面のポイントデータを抽出しサーフェイスモデル (Triangulated Irregular Network : TIN) により LandXML ファイルを生成する。

5.3.3 構造物モデルのデータ処理

構造物モデルは八ヶ川樋門本体の BOX 部分について 5.2 で述べた StructureXML で記述しサーバに登録する (図 5-9)。登録されたデータは、StructureXML から寸法データを抽出しソリッドモデルとして ACIS ファイルを生成する (図 5-10)。

5.3.1, 5.3.2, 5.3.3 のデータ処理により XML データとしてサーバ登録された各プロジェクトモデルについては XML 記述チェックシステムにより、規定の法則で記述されているかをチェックすることができる。

5.3.4 考察

以上の実証実験を通じて、明らかとなったシステムの有効性や問題点について、以下にそれぞれのプロジェクトモデルごとにまとめた。

1) 地形測量モデル

- ① 従来の航空測量によるデータ納品は成果物が図面であったため、CAD データとして電子納品がなされていた。しかし、今回はレーザ計測という新しいデータ取得方法であったこともあり、納品されるべきデータはポイントデータのみであった。そのデータを LandXML での納品を試みた結果、そのデータを LandXML 対応の CAD ソフトを使用することで、変換なしで読み込みが可能であることがわかった。この結果から、LandXML による電子納品が 3 次元地形データに関する標準化の 1 つの方法であることを確信した。
- ② 一方、海外においては実用化されている LandXML であるが、日本国内において LandXML を扱える CAD ベンダが 2 社のみであり、3 次元地形データの標準化については、これからの課題であると考ええる。

2) 河川測量モデル

- ① 2次元 CAD による横断情報を、提案した RiverSXML 記述とし、そのデータを利用して LandXML ファイルを生成し他のデータと結合することができた。また、河川横断データは過去からのデータが蓄積されており、その蓄積されたデータを RiverSXML 化することで、河川における河床変動などの経年変化を探り、今後の河川事業に役立てることが可能となる。

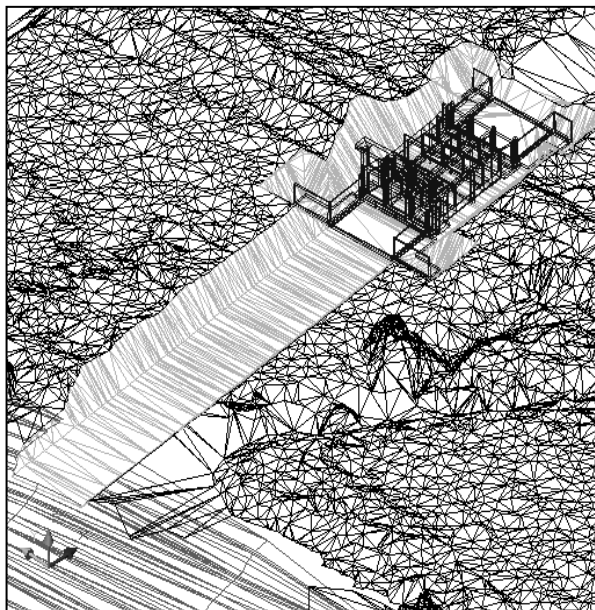


図 5-11 地形モデルとの結合

- ② CAD での納品から RiverSXML にしたことによる測量作業から納品までの過程の中で、省略できた CAD 化に要する時間は約 3 時間/枚であった。しかし、RiverSXML 化に要する時間も初めての経験であることもあり、約 2 時間/枚と期待のできる結果とはならなかった。今後は、測量による基礎データから RiverSXML に自動変換されるシステムの開発が必要である。

3) 構造物モデル

- ① 今回は樋門の一部 (BOX 部) を提案した StructureXML 記述とし、そのデータを使用して ACIS ファイルを生成した。この部分の 3 次元モデリングに必要とする時間は、約 2 時間であったのに対し、StructureXML 化は扱うデータ量が少ないこともあり、約 15 分と期待できる結果となった。また、ACIS ファイルは製造分野における 3 次元ソリッドモデルであるが、座標系を統一することで、地形データとの統合ができた (図 5-11)。
- ② ただし、複雑な構造物の StructureXML 記述は、ソリッドモデル A とソリッドモデル B を結合させたり差し引いたりといったことを考慮して記述する必要があり、作業時間も今回以上に要することが考えられる。構造物モデルについては複雑な構造に対する記述方法の検討がこれからの課題である。

5. 4 まとめ

本章では、河川事業におけるプロジェクトモデルについて提案し、外部共有サーバを利用したシステムを構築し、実証実験を通じて考察を行った。以下に本章の内容をまとめる。

- 1) 5.2 では、建設関連情報のモデル化が行われている中で、河川事業におけるモデル化について考察しプロジェクトモデルの提案と、構成される地形測量モデル、河川測量モデル、構造物モデルのそれぞれについて提案した。また、外部共有サーバにおけるプロジェクトモデル処理について紹介しシステム構築のための処理技術について述べた。
- 2) 5.3 では、河川縦横断測量、航空レーザ計測及び樋門詳細設計の業務において外部共有サーバに登録されたプロジェクトモデルを利用した実証実験を紹介し、提案した河川プロジェクトモデルの有効性や問題点について考察を加えた。

なお、本章では河川測量モデルに **RiverSXML** を、構造物モデルに **StructureXML** をそれぞれ提案したが、両者とも独自の記述方式であり、必ずしも国際標準といった規格に沿ったものではない。今後は、他の分野におけるモデル化の動向も踏まえ、土木分野におけるデータ統一に繋がる研究をしていきたいと考えている。

<参考文献>

- 1) CAD データ交換標準開発コンソーシアム (SCADEC) :
<http://www.cad.jacic.or.jp/cadconso/index.html>, 2003.8 現在
- 2) CALS/EC 公共事業支援統合情報システム : <http://www.mlit.go.jp/tec/cals/>, 2003.8 現在
- 3) 寺川陽: CALS/EC の推進－業務プロセスをまたぐデータの有効活用に向けて, JACIC 情報 68,
Vol.17 No.4 pp.62-66, 2002.11.
- 4) 山本一浩他: 建設 CALS/EC 実証フィールド実験のためのデータ交換技術について, 土木情報システム論文集, VOL.9, pp.1-10, 2000.10.
- 5) 山本一浩他: 外部共有サーバを用いた工事写真検査システム, 土木情報システム論文集, VOL.11,
pp.55-65, 2002.10.
- 6) 高木孝頼: 建設情報の相互運用(Interoperability)を目指した IAI の取組み, JACIC 情報 68,
VOL.17 No.4 pp45-51, 2002.11.
- 7) 矢吹信善他: IFC に基づいた PC 中空床版橋の 3 次元プロダクトモデルの開発, 土木情報システム論文集, VOL.11, pp.35-44, 2002.10.
- 8) IHSDM(Interactive Highway Safety Design Model) : <http://www.tfhr.gov/safety/ihsdm/ihsdm.htm>,
2003.8 現在
- 9) アジア航測 (株) レーザプロファイラ原理特徴 :
http://www.ajiko.co.jp/gyomu/laser/bird_02.html, 2003.8 現在
- 10) 米国スペイシャルテクノロジー社(STI) : <http://www.spatial.com/>, 2003.8 現在

第6章 河川測量モデルと河川横断補間システム

6. 1 はじめに

国土交通省は CALS/EC アクションプログラムの一環として、プロダクトデータによる電子納品を予定している^{1), 2)}。プロダクトデータとは、構造物がもつ 3 次元の形状や材質といった情報を XML(eXtensible Markup Language)形式³⁾で記述するプロダクトモデルに則ったデータであり、設計、解析、積算、施工管理といった一連の業務プロセスにおいてデータの再利用が可能である。現在、橋梁、道路といった構造物のプロダクトモデルの研究・開発が進められている^{2), 4)}。

筆者は、河川に関するプロダクトモデルの構築を検討しているが、流域ごとに行われる河川行政全般を一つのプロジェクトと考え、(a)広範囲にわたる流域の地形モデル、(b)河道内の地形モデル、(c)構造物モデル(河川関連の構造物)から構成されるモデルを、河川プロジェクトモデルと呼ぶことを提案した⁵⁾。(a)については、現在の測量技術の発展に伴い、レーザを用いた測量により、従来とは比べものにならないほど簡易的に 3 次元データを得ることができるようになった。これらのデータについては LandXML⁶⁾の記述法に従う。(b)の河川測量に関しても同様の試みがなされているが、本論文では、2 次元の河川測量データのモデル化を提案する。その理由として、河道内においては以下の 1), 2)のような問題点が挙げられるからである。さらに、河川の計画・設計・施工・維持管理において 2 次元データが必要な理由として 3), 4)などがある。

- 1) 現在の航空測量では、水面下を詳細に測量することは技術的に困難であるため、河床部の詳細なデータが必要である河川の地形モデルの構築ができない。
- 2) 上記 1)の解決策として、小型船舶による河床のレーザ測量等が試みられ、一応の成果をあげているが、船舶が航行できない河川も少なくない。
- 3) 河川は、100 年くらいの時間変化を考慮しつつ計画を考える必要があり、明治期以降にストックされた平面図、横断面図等の 2 次元データは今後も情報資産として利用されるべきである。
- 4) 受発注者を含め、河川プロジェクト関係者が現場を理解するのは図面を通してであり、当面は図面データを容易に取り出せる形式で残しておく必要がある。ただし、このことは、図面あるいは CAD ファイルを保存するという事ではない。

上記 1)~4)を考慮すると、2 次元の河川測量データを効率よく利用するためのモデル化は、極めて重要なことである。

既往の河川測量には横断面図作成のための横断面測量・深淺測量、平面図作成のための平面測量

がある．これらを XML で記述したものを河川測量モデルと呼ぶこととし，データ利用の中心に位置づける．河川測量モデルは，平面測量モデルと横断面測量モデルからなる．横断面測量モデルは，測定断面数を J とすれば J 組存在する．従って，1 河川について $J+1$ 組の XML ファイルが必要となる．

図 6-1 に本論文で提案する河川測量モデル利用の概念図を示した．本モデルを用いれば，直接，②2 次元 CAD データが取得でき，③平面図・横断面図が作図される．一方，既存の図面(歴史的なものを含む)の利活用という点では，③→②→①の流れを担保しておく必要がある．基本的に今後の測量の成果はすべて XML 形式で直接納品すれば良い．また，④補間プログラムを介し，⑤3 次元 CAD データを生成することで，洪水解析，景観設計，施工管理等への CAD の利用の可能性が広がるであろう．

ここで，重要なことは，LandXML タイプの 3 次元データに基盤をおいた標準化が行われても，河川測量モデルは，長期的に必要なものであるという点にある．たとえば，将来も 1 断面のみの横断面測量はあり得る．このデータをもとに，補間プログラムを用いて既存データの改訂(隣接する横断面のスムージング)を 3 次元的に行うことは可能である．

6. 2 河川測量モデルの構築

6.2.1 河川測量モデルの提案

河川測量モデルのデータ構成は基礎情報と形状情報とに分けられる．基礎情報には，既往の測量成果の納品時に必要となる河川名や測量年月日が記述される．形状情報には平面，横断面に関する 2 次元データが記述される．

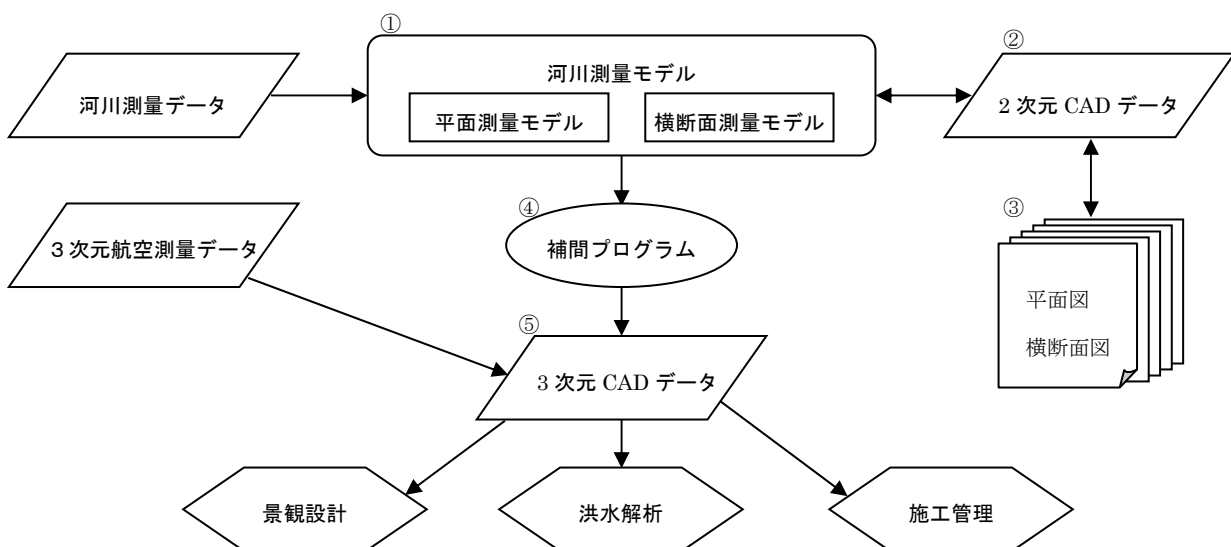


図 6-1 本論文の提案概念図

河川測量モデルの形状情報である 2 次元データから補間プログラムを用いることによりデータの 3 次元化が可能となり，地形モデルが構築可能となる．河川測量モデルには以下のような利点もある．

- ① 過去の 2 次元測量データの利用も可能であるため，河川管理において重要となってくる河道形状の経年変化を把握することが可能である．
- ② 基礎情報と形状情報を併せて用いることで，現場における情報伝達の媒体として欠かすことができない図面への流れも担保できる．
- ③ これまでの測量業務をそのままのかたちで活かすことができるため，スムーズな導入を図ることができる．

河川測量モデルは，平面に関するデータなどが記述される平面測量モデル，横断面に関するデータなどが記述される横断面測量モデルに大別される．

6.2.2 平面測量モデル

平面測量モデルのデータ構成は，表 6-1 に示すように，基礎情報と形状情報に分けられる．表中の平面境界線と横断面線は，図 6-2 に示す

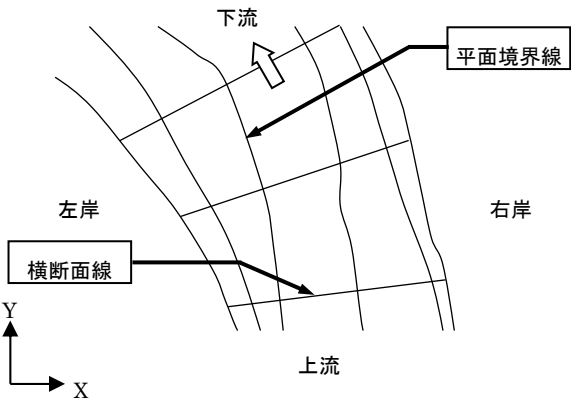


図 6-2 平面境界線と横断面線

```
<?xml version="1.0" ?>
<平面測量モデル>
  <基礎情報>
    <河川名>九頭竜川</河川名>
    <測量年月日>20020328</測量年月日>
    .....中略.....
  </基礎情報>
  <形状情報>
    <横断面線 name="11.8K">
      <左岸側距離標>16009,14583</左岸側距離標>
      <右岸側距離標>16478,14769</右岸側距離標>
    </横断面線>
    <横断面線 name="12.0K">
      .....中略.....
    </横断面線>
    .....中略.....
    <平面境界線 id="1">
      <座標>15997,14578</座標>
      <座標>16010,14554</座標>
      <座標>16020,14529</座標>
      .....中略.....
    </平面境界線>
    <平面境界線 id="2">
      .....中略.....
    </平面境界線>
    .....中略.....
  </形状情報>
</平面測量モデル>
```

図 6-3 平面測量モデル

表 6-1 平面測量モデルの記述内容

構成	内容	備考
基礎情報	河川名	測量対象河川名
	測量年月日	測量を実施した年月日
	納品年月日	測量成果の納品年月日
	発注者	測量業務の発注者名
	受注者	測量業務の受注者名
	測量範囲	平面測量の対象範囲
形状情報	横断面線	兩岸の同一距離標を通る直線
	平面境界線	堤防敷、高水敷、低水路等の境界を表す線

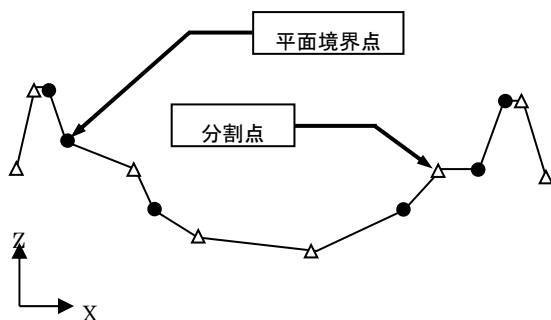


図 6-4 分割点と平面境界点

```
<?xml version="1.0"?>
<横断面測量モデル>
  <基礎情報>
    <河川名>九頭竜川</河川名>
    <距離標>11.8K</距離標>
    <測量年月日>20021021</測量年月日>
    <納品年月日>20030217</納品年月日>
    .....中略.....
  </基礎情報>
  <形状情報>
    <分割点 id="1">115.0,383.6</分割点>
    <分割点 id="2">120.0,383.6</分割点>
    <分割点 id="2">126.3,381.2</分割点>
    .....中略.....
    <分割点 id="15">145.0,432.2</分割点>
    .....中略.....
    <平面境界点 id="1">1</平面境界点>
    <平面境界点 id="2">15</平面境界点>
    .....中略.....
  </形状情報>
</横断面測量モデル>
```

図 6-5 横断面測量モデル

通りである。なお、本文中、河川は紙面上方を下流として図を含め記述する。

図 6-3 のように、平面測量モデルを提案する。データが XML で記述されていることを示す XML 宣言<?xml version="1.0"?>を最上段におき、二段目以降の全体内容を<平面測量モデル></平面測量モデル>で囲み、その中を<基礎情報>と<形状情報>に分け、階層的にデータ構成を行った。たとえば、距離標 11.8K の横断面線に関するデータは<横断面線 name="11.8K"></横断面線>でくくり、左岸側の距離標と右岸側の距離標の XY 座標データをそれぞれ<左岸側距離標></左岸側距離標>、<右岸側距離標></右岸側距離標>の中に記述した。<平面境界線 id="1"></平面境界線>の中には最も左岸寄りの平面境界線に関するデータを記述した。平面境界線の id は左岸側より id=1, 2, 3 とする。<座標></座標>の中に記述される XY 座標データを順次つなぐことによって平面境界線が形成される。なお、長さの単位には m を用いる。

6.2.3 横断面測量モデル

表 6-2 に、横断面測量モデルのデータ構成を基礎情報と形状情報に分けて示した。形状情報のうち図 6-4 に分割点と平面境界点を示す。横断面上に配置された全ての点を分割点と呼ぶが、図 6-2 で定義した平面境界線と横断面線の交点は、特に平面境界点と呼ぶ。

図 6-5 の横断面測量モデルは平面測量モデルと同じように、XML 宣言を最上段に、二段目以降の全体内容を<横断面測量モデル></横断面測量モデル>で囲む。形状情報には横断面に関する 2 次元データである<分割点>、<平面境界点>のデータが記述される。<分割点 id="1"></分割点>の中のデータは最も左岸寄りの分割点の XZ 座標データが記述される。分割点、平面境界点の id は左岸側より id=1, 2, 3 とする。<平面境界点 id="2"></平面境界点>でくくられた 15 は<分割点 id="15">の 15 に対応している。つまり、左岸側より 15 番目の分割点が左岸から 2 番目

表 6-2 横断面測量モデルの記述内容

構成	内容	備考
基礎情報	河川名	測量対象河川名
	測量年月日	測量を実施した年月日
	納品年月日	測量成果の納品年月日
	発注者	測量業務の発注者名
	受注者	測量業務の受注者名
	距離標	測量対象となった横断面の距離標の値
	計画洪水水位	洪水を安全に流下させるための基準となる水位
	計画堤防高	計画高水位に余裕高を加えた高さ
	計画高水敷高	洪水を安全に流下させるための基準となる高水敷の高さ
	計画河床高	河道計画上必要になる河床の高さ
	低水路断面積	低水路の断面積
	余裕高	一時的水位上昇に対する堤防高の余裕
	河川幅員	河川の幅
	平水位	1年のうち185日はこれを超える水位
	最深河床高	河床の最も深い地点の標高
形状情報	左岸現況堤防高	現況における左岸側の堤防の高さ
	右岸現況堤防高	現況における右岸側の堤防の高さ
	分割点	横断面上の地形の変化点
	平面境界点	分割点の中で平面境界線に対応する横断面上の点

の平面境界点と一致する。

平面境界点の座標値に関しては、平面測量モデルでは XY 座標値が、横断面測量モデルには XZ 座標値が記述されている。

測量を個々に再発注できるのが本提案の利点の1つであるが、上記の同一分割点の X 座標の値が平面測量モデルと横断面測量モデルで異なる可能性がある。その場合には、横断面の測量データを正とし、常に平面測量モデルのデータを修正しておくものとする。特に第 6.3 節で述べる断面補間においては、河川測量モデルのデータをすべて用いるため、重複データの数値を一致させておくことが望ましい。

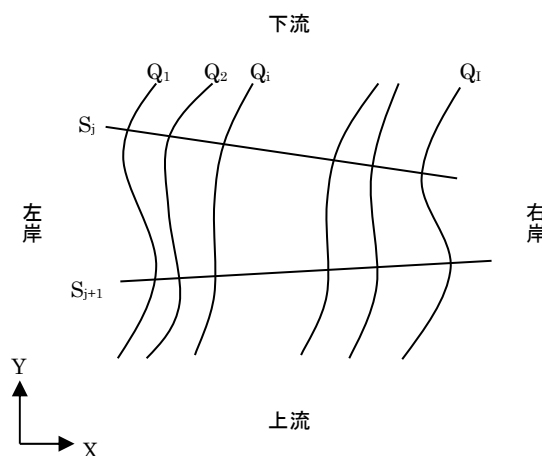


図 6-6 平面の入力パラメータ

6. 3 補間アルゴリズム

6.3.1 平面境界点の決定

2次元河川測量モデルから3次元測量モデルを作成する断面補間のアルゴリズムについて述べる。一般に河川の横断面図は距離標の設置箇所に準じて、ある一定の距離間隔で存在するため、中間の横断面データは存在しないことが多い。詳細な3次元データを得るために、既知の横断面データと平面データを利用して断面補間を行う補間プログラムを作成する。図 6-6 は図 6-2 と同様のもので、上方を下流とする。平面境界線を左岸から順に $Q_i (i=1, 2, \dots, I)$ 、横断面線を下流から順に

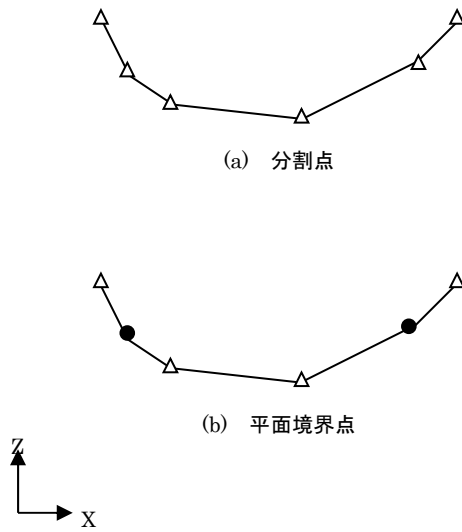


図 6-7 横断面の入力パラメータ

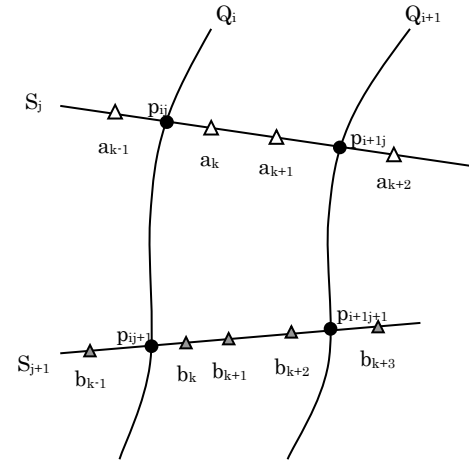


図 6-8 交点の決定

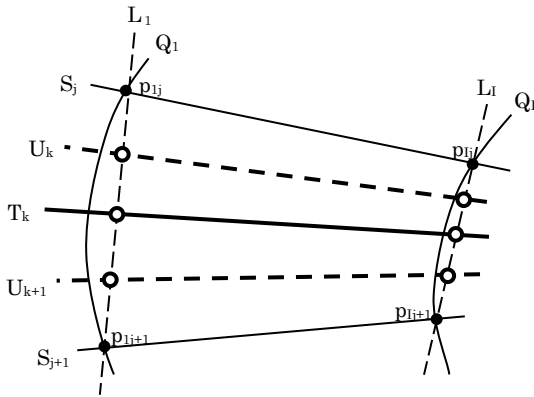


図 6-9 補間断面線と仮想断面線

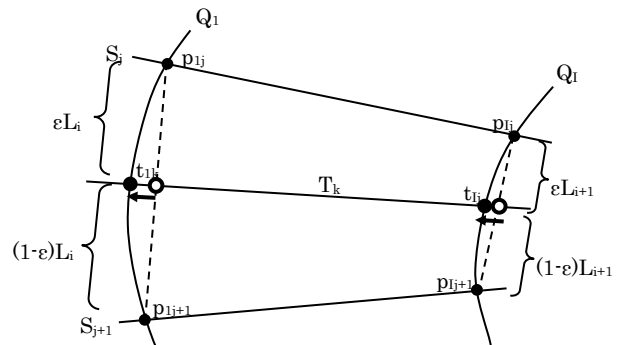


図 6-10 補間断面線の決定

$S_j(j=1, 2, \dots, J)$ とする．すべての交点が平面境界点である．図 6-7 に任意の横断面(S_j)における点データを示す．すべての点が△印の分割点(図 6-7(a))であるが，特に図 6-6 の平面境界点は●印で表す(図 6-7(b))．図 6-8 に平面図上での交点の配置を示す． $p_{ij}(i=1, 2, \dots, I, j=1, 2, \dots, J)$ が平面境界点であり，隣り合う横断面 S_j と S_{j+1} の平面境界点以外の分割点をそれぞれ $a_k(k=1, 2, \dots, K_a)$, $b_k(k=1, 2, \dots, K_b)$ とする．

6.3.2 補間断面線・仮想断面線の決定

図 6-9 に示す，隣り合う横断面 S_j , S_{j+1} の間に実線で示す M 個の補間断面 $T_k(k=1, 2, \dots, M)$ と点線で示す N 個の仮想断面 $U_k(k=1, 2, \dots, N)$ の分割点を補間する．なお， U_k は計算上は T_k と同一のアルゴリズムにより求められるが，3. 4 で後述する T_k の補間分割点の高さ(Z 座標)を求める際に必要となる．補間はまず， XY 座標について行う．図 6-9 のように最左端の平面境界線 Q_1 と S_j , S_{j+1} の交点 p_{1j} , p_{1j+1} を結ぶ線分を L_1 ，同様に最右端の平面境界線 Q_I と S_j , S_{j+1} の交点 p_{Ij} ,

p_{ij+1} を結ぶ線分を L_i とする. L_1, L_i をそれぞれ ε ($0 < \varepsilon < 1$) で内分し, それぞれの内分点を結んだ直線を補間断面線 T_k とする. $\varepsilon = k/(M+1)$ とする. つまり L_1 と L_i の線分を $M+1$ 等分した点を結ぶことで T_k が求められる. U_k も同様に $N+1$ 等分すればよい.

点 p_{ij}, p_{ij+1} の XY 座標をそれぞれ $(x_{p_{ij}}, y_{p_{ij}}), (x_{p_{ij+1}}, y_{p_{ij+1}})$ とすると t_{ik} の座標は次の(1), (2)式により求められる.

$$x_{t_{ik}} = x_{p_{ij}} + \varepsilon(x_{p_{ij+1}} - x_{p_{ij}}) \quad (1)$$

$$y_{t_{ik}} = y_{p_{ij}} + \varepsilon(y_{p_{ij+1}} - y_{p_{ij}}) \quad (2)$$

ただし, このようにして求められるのは, 図 6-10 の T_k 線上の○印の 2 点である. この 2 点は, 平面境界点であり, Q_1, Q_i 上(図中●印の 2 点)になければならない. このようにして T_k の両端の 2 点 t_{1k}, t_{ik} を決定する. さらに, $Q_2 \sim Q_{i-1}$ 上の平面境界点と T_k の交点もまた, T_k 上の平面境界点として決定する.

6.3.3 補間断面の分割点の算出

図 6-10 により直線 T_k が確定するので分割点の補間を行う. ここでは説明を簡略化し, 隣り合う平面境界線 $Q_i \sim Q_{i+1}$ 間についてのみ述べる.

いま, 図 6-11 のように横断面 S_j 上の Q_i, Q_{i+1} の間に $p_{ij}, a_1, a_2, p_{i+1j}$ の 4 つの分割点があり, S_{j+1} 上に $p_{ij+1}, b_1, b_2, b_3, p_{i+1j+1}$ の 5 つの分割点がそれぞれあったとする. 両方のデータ数が同じであれば問題ないが, 異なる場合は S_j と T_k , あるいは S_{j+1} と T_k の間で TIN (Triangulated Irregular Network) データが構築されない恐れがある.

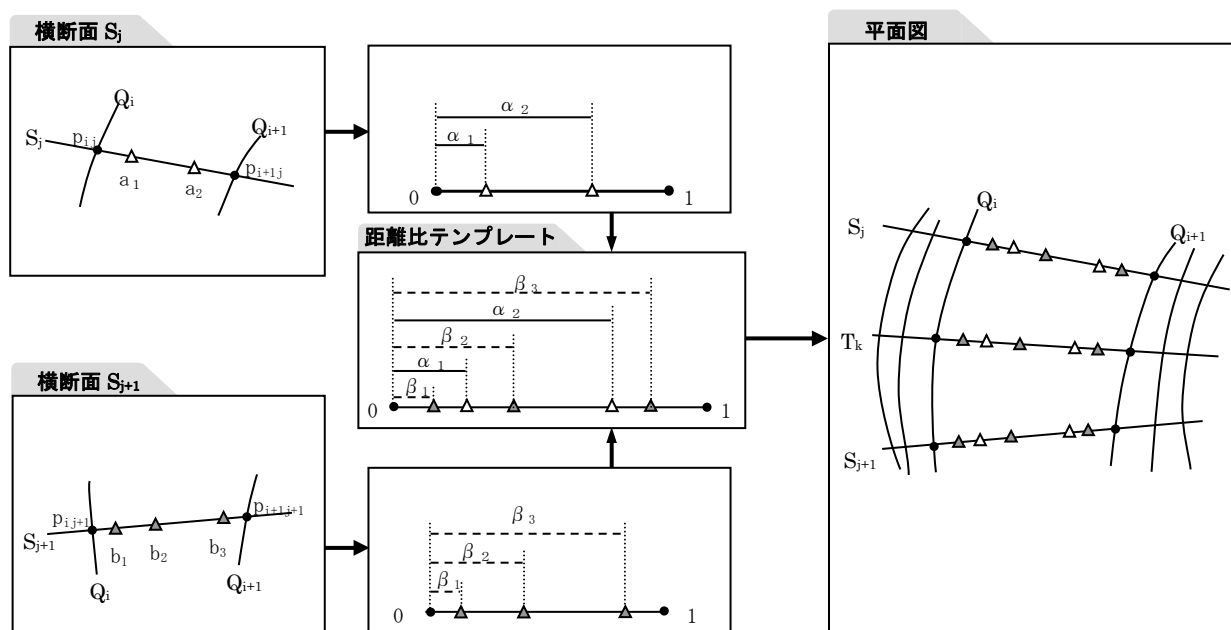


図 6-11 分割点の配置

そこで、アルゴリズムでは S_j 上に b_1' , b_2' , b_3' の点を、 S_{j+1} 上に a_1' , a_2' の点を新たに発生させ、両線分とも 7 つの分割点を持たせるものとする。具体的には、両横断面線に配置されたそれぞれの分割点 a_i , b_i を距離比 α_i , β_i ($0 < \alpha_i < 1$, $0 < \beta_i < 1$) を維持したまま S_j , S_{j+1} にも分割点を配置する。これを距離比テンプレートと呼ぶが、これを用い T_k 上にも分割点を配置する。

T_k 上の XY 座標は次の(3)～(6)式により求められる。

$$x_{t_{ik}} = \begin{cases} x_{p_{ik}} + \alpha_i (x_{p_{i+1k}} - x_{p_{ik}}) & (3) \\ x_{p_{ik}} + \beta_i (x_{p_{i+1k}} - x_{p_{ik}}) & (4) \end{cases}$$

$$y_{t_{ik}} = \begin{cases} y_{p_{ik}} + \alpha_i (y_{p_{i+1k}} - y_{p_{ik}}) & (5) \\ y_{p_{ik}} + \beta_i (y_{p_{i+1k}} - y_{p_{ik}}) & (6) \end{cases}$$

同様にして仮想断面線 U_k の分割点も求める。

以上の作業をすべての断面線で実行することで分割点の XY 座標値を決定する。

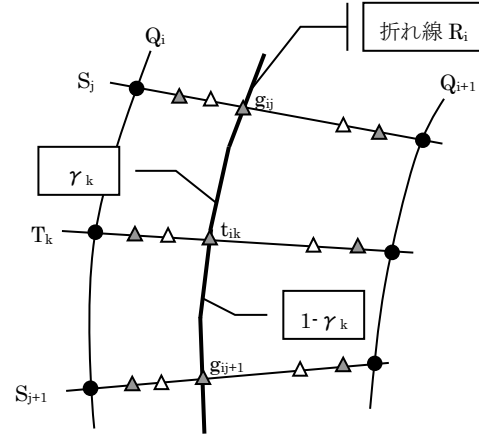


図 6-12 分割点の配置

6.3.4 各分割点の高さの補間

分割点の高さ(Z 座標)は次のようにして求める。 T_k と U_k を含むすべての分割点を配慮し、距離比の対応する分割点をつなぐと図 6-12 のような平面境界線と類似した折れ線ができる。折れ線と断面線 T_k の交点を t_{ik} とする。同じ折れ線と S_j , S_{j+1} との交点をそれぞれ g_{ij} , g_{ij+1} とする。 R_i の g_{ij} , g_{ij+1} の間の折れ線の距離の総和を求め g_{ij} , t_{ik} , g_{ij+1} の距離の比を γ_k , $1-\gamma_k$ とする。 t_{ik} , g_{ij} , g_{ij+1} の Z 座標をそれぞれ Z_{ik} , Z_{ij} , Z_{ij+1} とすれば、(7)式により Z 座標が求められる。

$$Z_{ik} = \gamma_k * Z_{ij+1} + (1-\gamma_k) * Z_{ij} \quad (7)$$

6. 4 適用事例

6.4.1 適用河川

福井県を貫流する九頭竜川を適用事例に、補間プログラムを用い、データの 3 次元化を行った。適用範囲は下流側より距離標 11.8k 地点から 13.8k までの 2000m 区間である。適用区間 200m 毎の 11 断面分の横断面データと平面データのあわせて 12 組のデータを用いた。

6.4.2 補間プログラム

補間プログラムは C++ 言語で作成し、CAD アプリケーションに実装した。CAD アプリケーションには、Autodesk 社の Land Desktop 3(以後 LDT3 と呼ぶ)を使用した。LDT3 の特徴としては

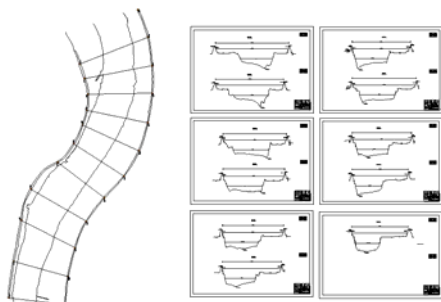


図 6-13 入力データの CAD 図面

LandXML 対応であること、TIN 構築が可能であることなどである。

CAD アプリケーション上で動作するプログラムとしたのは以下の理由による。

- ① 図 6-1 に示すように、現時点では紙図面→CAD データ→XML ファイルの順にデータが作られるため、CAD 上で平面境界線をつなぐなどの作業が必要となる。
- ② 図 6-10 で示した平面境界線の移動も CAD 上で確認しつつ実行する方がデータ管理しやすい。
- ③ アルゴリズムの検証においては、数値的かつ図形的に検証可能な環境が適当である。

このような理由から CAD アプリケーション実装としている。

表 6-3 平面入力データ構成

データ名		ポイント数
横断面線	11.8k-13.8k	22(2points*11lines)
平面境界線	左岸側堤外地堤防法肩線	84
	左岸側堤外地堤防法尻線	116
	左岸側水面境界線	340
	右岸側水面境界線	230
	右岸側堤外地堤防法尻線	100
	右岸側堤外地堤防法肩線	68

表 6-4 横断面入力データ構成

データ名		ポイント数
分割点(うち平面境界点)	11.8k	123(6)
	12.0k	138(6)
	12.2k	102(6)
	12.4k	94(6)
	12.6k	87(6)
	12.8k	93(6)
	13.0k	103(6)
	13.2k	107(6)
	13.4k	102(6)
	13.6k	95(6)
	13.8k	106(6)

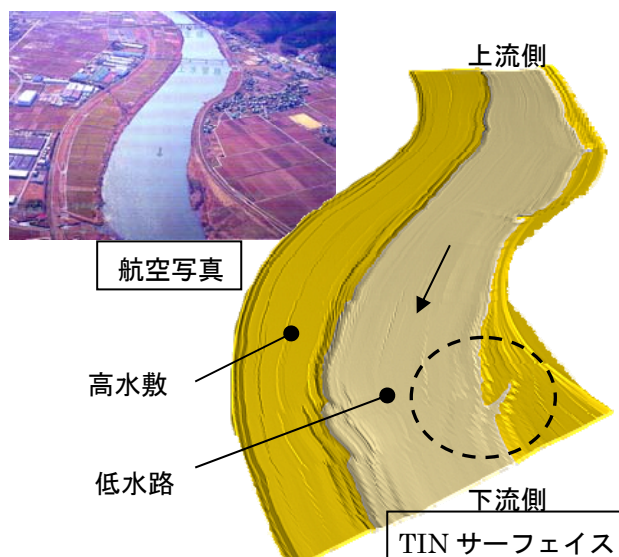


図 6-14 補間断面による TIN 構築後データ

1) 入力データ

入力データは平面測量モデル、横断面測量モデルの形状情報を用いる。データは、平面 1 組及び横断面 11 組の計 12 組であり、CAD 上での図面データを図 6-13 に、構成の詳細を表 6-3、4 に示す。

2) 計算結果

補間における条件設定は補間断面数 $M=3$ 、仮想断面数 $N=8$ とした。補間後、現況断面及び補間断面は 3 次元空間に配置されることで LDT3 上で TIN 構築まで可能である(図 6-14: サー

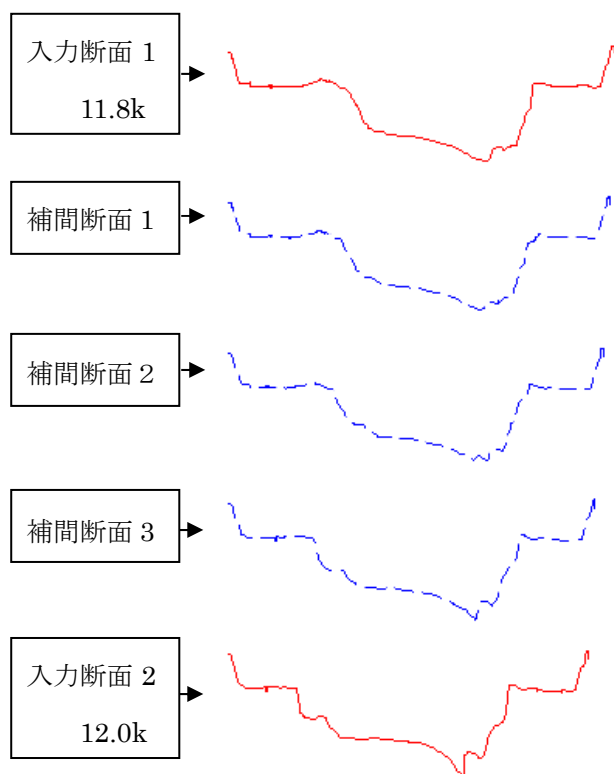


図 6-15 入力断面及び補間断面 (11.8k-12.0k 区)

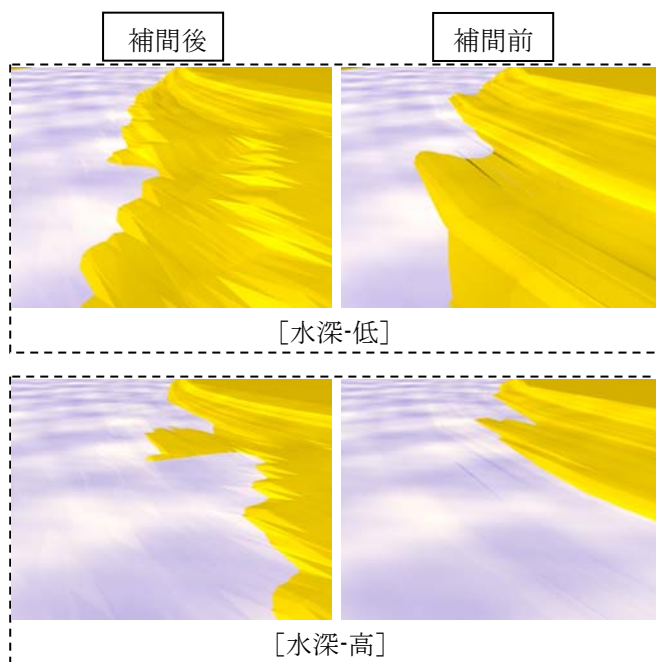


図 6-16 水面形の変化

フェイス表示).

また、一区分分(11.8k-12.0k)の入力断面(2断面)と補間断面(3断面)を取り出したものを図 6-15 に示す. これより、2 入力断面間で漸次断面形状が変化している様子が分かる.

また、補間前と補間後の断面をそれぞれ 3 次元空間に配置した地形データから TIN を構築したものを図 6-16 に示す(図 6-14 の破線で囲んだ箇所). これらに、水面を想定し水深を変動させたところ、補間によって得られた地形データでは水面境界線が地形に沿って変化していることから、詳細地形となったことが分かる.

6.4.3 補間プログラムの検証

補間後の断面と既存断面を比較し、補間プログラムの精度検証を行った. 検証方法として既存断面を利用した以下のような比較を行うこととした.

精度が最も低くなる条件($M=1$, $N=0$)で補間を行うこととし、補間断面が既存断面と一致するように入力断面を選定する. 例えば 11.8K-12.2K の断面を入力し、得られた 12.0K の補間断面と既存断面を比較する. 入力断面間隔は既存断面が 200m 間隔であることから、400m(比較対象 8 断面)及び 800m(比較対象 6 断面)とした. 図 6-17 のように既存断面と補間断面を X 方向にそれぞれ 100 等分し、その各点の Z 値の残差 2 乗和を用いた.

分割数を 100 としたのは、11 断面にける分割ポイント数が平均で約 100 個程度であったためである. 400m 及び 800m 間隔での各断面での残差 2 乗和のグラフを図 6-18 に示す.

また、図 6-18 のグラフより特徴的な断面比較を図 6-19 に示す。

6.4.4 考察

補間プログラムの検証で、入力断面の間隔を変えて 2 通りの断面補間を行った。図 6-18 で示した特徴的な 3 断面 a, b, c について、図 6-19 に既存断面と補間断面を比較した。a 断面は 400m 間隔の補間で最も精度が低かったもので、その原因としては入力断面に対して補間位置の既存断面が窪地となっており地形の急変箇所で精度が低くなることが分かった。b・c 断面は 400m・800m 間隔ともに最も精度が高かった箇所で c 断面での平均残差±0.26m となった。

また、図 6-18 から分かるように 400m 間隔の補間断面は、800m 間隔の場合に比べ、その精度が向上していることが分かる。それぞれの平均残差は、400m 間隔では約±0.46m、800m 間隔では約±0.96m となった。このことから実際に断面補間を行う 200m 間隔の断面補間においては、それ以上の精度が得られるものとなる。なお、200m 間隔での平均残差の推測値は約±0.33m と算出された。また、これは精度が低くなる条件下での平均残差であり、実際はこれよりも高い精度になると考えられる。

地形図をデジタル化したデジタルマップにおける標高点精度は、詳細設計で用いられる 1/250, 1/500 レベルでは±0.25m、予備設計で用いられる 1/1000 では±0.33m とされている。このことから、補間プログラムによって得られる地形データは、1/1000 相当以上の精度があり予備設計に十分対応が可能であることが言える。

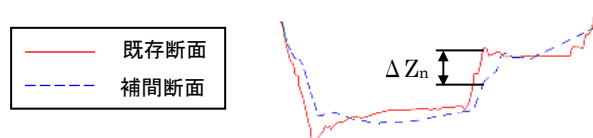


図 6-17 補間プログラムの精度検証方法

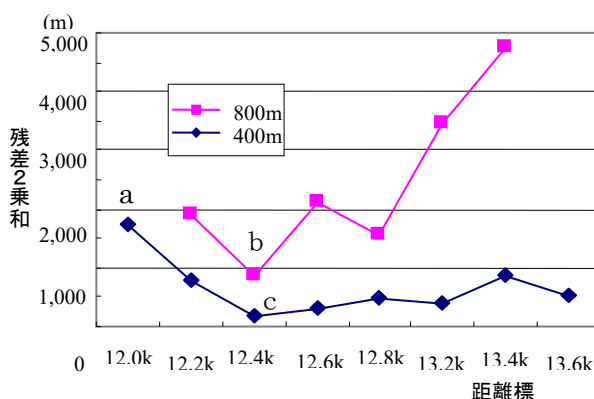


図 6-18 各横断面における残差 2 乗和

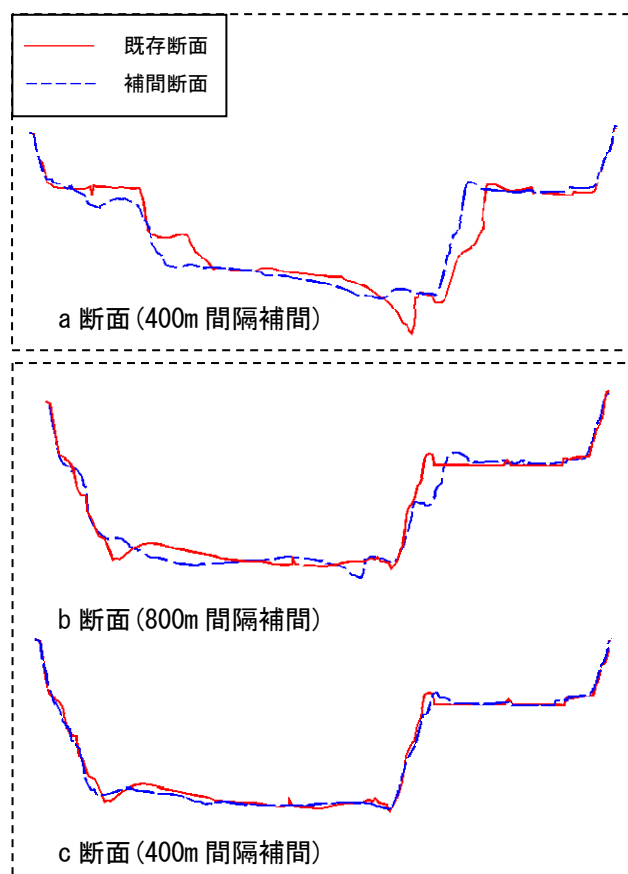


図 6-19 既存断面と補間断面の比較

6. 5 まとめ

- 1) 河川に関するプロダクトモデルとして、河川測量モデルを提案した。また、河川測量モデルの利点を述べデータの流れの概念を示した。
- 2) 河川測量モデルを、平面測量モデル及び横断面測量モデルの 2 つのモデルからなるものとし、それぞれの XML 記述法を示した。
- 3) 河川測量モデルの 2 次元データから河道内の地形モデルを作成するための断面補間法を考案し、そのアルゴリズムを示した。
- 4) 補間アルゴリズムに基づきプログラムを作成し、補間断面と実断面との比較で良好な結果を得られ、アルゴリズムの有効性を確認した。

<参考文献>

- 1) 国土交通省公共事業支援統合情報システム：<http://www.mlit.go.jp/tec/cals/>，2003 年 5 月現在
- 2) 財団法人日本建設情報総合センター：<http://www.jacic.or.jp/>，2003 年 5 月現在
- 3) 河内，村上他：建設業界のための XML，工学社，2002。
- 4) 矢吹信喜他：IFC に基づいた PC 中空床版橋の 3 次元プロダクトモデルの開発，平成 14 年度土木情報システム論文集，pp.35-44，2002。
- 5) 山本一浩他：河川におけるプロジェクトモデルに関する一提案，第 28 回情報利用技術論文集，pp.33-42，2003。
- 6) LandXMLorganization：<http://www.landxml.org/>，2003 年 5 月現在
- 7) 国土交通省河川局：<http://www.mlit.go.jp/river/>，2003 年 5 月現在

第7章 河川プロジェクトモデルを利用した意見集約型工程計画システム

7. 1 はじめに

筆者は、物理模型の代わりに、バーチャルリアリティ(Virtual Reality : VR)技術を用いた電子模型を利用することを提案し、これをバーチャルモデル(Virtual Model : VM)と称して、ダム工事の工程可視化システムなどへの適用事例を示した^{1),2)}。また、Web 技術を利用した、非同期分散型の協働作業システムに関して一連の研究^{3),4)}を行ってきた。本章は、上記の2つの研究の延長線上に位置し、非同期分散型の合意形成システムとVM 工程可視化システムを併用し、工程の最適化を図るシステムを提案する。

本来、工程表は、PERT/CPM に代表されるように、数理最適手法を用いて解の探索が行われるが⁵⁾、それぞれの建設現場は独自性が強く、天候の急変や資材調達の時間的な制約などさまざまな要因によって、与条件そのものが変動する。また、現場の判断や、遠隔地の経験豊かな専門家の意見は、数理最適化解の近傍にあるとしても、解そのものであることはむしろ稀であろう。本章では、①最適化手法を用いた工程の最適化(最適化ブロック)、②それに基づく、全工程の可視化とホームページ(以下HP)での公開(可視化ブロック)、③関係者によるHP上での意見交換による与条件の確認(意見集約ブロック)の3ブロックをスパイラル状にくり返すことで、工程表の当初案を現場の状況にあったものに改訂したり、建設中の天候異変や事故などの緊急事態による工程表の改良をスムーズに行うためのシステムを提案する。

本システムはVR 技術を用いた全工程シミュレーションの可視化ブロックを内蔵しているので(4D-VR)、工事関係者が事前の設計図面チェックの代わりに用いたり(図面そのものや工作物の干渉チェックにも使用可能)、工事中は現況の工事写真と併用し、工事打ち合わせに使用することもできる。さらに、可視化ブロックのみを一般公開すれば、全工程シミュレーションを住民などに公開することも可能である。

なお、本システムの3つのブロックにおけるデータ処理には、それぞれ市販のソフトを用いた。これは、各工事事務所レベルで容易にシステムを構築できることが重要であると考えたためである。ただし、最適化ブロックと可視化ブロックをつなぐ可視化エンジンは人力によるデータ変換の手間をはぶくよう独自にプログラム開発を行った。

7. 2 意見集約型工程計画システム概要

7.2.1 システム構成要素

図7-1に示すように本システムは3つのブロックにより構成されている。

1) 最適化ブロック

本システムでは設計完了時点で、数値的に最適な工程計画を立てる必要がある。たとえば、ダムのリフトスケジュールのように、各社で独自に開発された工程表作成システムでもよい。ここでは、Microsoft 社の Ms-Project98 を用いた。Ms-Project は、PERT/CPM が基本となっており、アクティビティや PERT での 3 点見積もりなどの制約条件の設定を行い、多くの作業の中から CPM 上の作業を区別して表示することが可能である。

2) 可視化ブロック

施工シミュレーションを行うブロックで、4D-VRとは、M.Fischerらにより提案された4D-CAD^{6),7)}と同じく、3次元構造物オブジェクトデータ（3D立体モデル）と工程情報を統合したものであるが、VR技術を利用する点で異なる。これにより、プロジェクト関係者が各自、工程内容の評価、検討を行うことができる。4D-VRを利用すれば、数百枚の図面に及ぶ施工情報（各構造物の形・相対的な大きさ・位置関係など）に対して包括的理解が可能となり、構造物の干渉など図面の不具合がチェックできるようになる。

3) 意見集約ブロック

このブロックでは、Web 上での対話によりプロジェクト関係者全体から知識や経験を集め、意見交換を行い、その現場に固有な条件に配慮した最適な解（工程表）を得るために、意見集

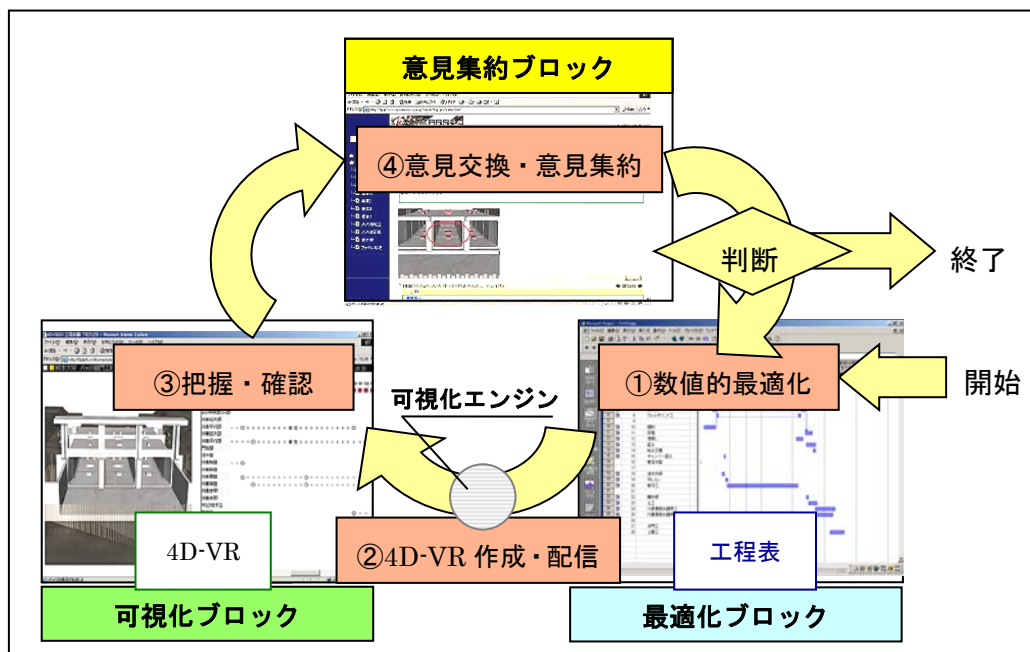


図 7-1 意見集約型工程計画システム構成図

約を行う⁸⁾。具体的には、資材の変更・遅延や、予測し得ない自然条件の問題など、現場特有の問題を Web を介してリアルタイムに報告し、意見交換、意見集約することで、工程に反映させることができる。このように現場からの意見を工程に反映させることは、施工段階においても、工程に関する議論などを進める上で有効であると考ええる。本システムは、関係者の意見交換を行うものであり、自由な視点から現場状況を見ることが重要で、VR を用いるのが必須条件である。また、非同期分散型であるため、地理的に分散する遠隔地の関係者でも工程に関する議論が活発に行える場の構築が可能である。

7.2.2 システムフロー

本システムにおけるサイクルフローを以下に示す。なお、①～④は図 7-1 の番号と一致している。

- ① 計画書の制約条件下において数値的最適化し、工程を算出する（最適化ブロック）。
- ② 数値的最適工程データを反映させた、4D-VR の作成およびウェブ公開を行う（可視化エンジン）。
- ③ HP 上に公開された 4D-VR を関係者各自が観察する（可視化ブロック）。
- ④ プロジェクト関係者間で、発見された問題に対して知識や意見を交換し論議を行う。そして、問題に関する意見を集約し解決を図り、計画書に反映する（意見交換ブロック）。

システムサイクルは、「開始」から始まり①～③を経て、④で計画に問題があったか論議を行い、最終的判断を下す。問題がなければ「終了」、最適工程計画の完成だが、問題があれば計画書に変更を反映し再び①へ戻る。計画立案においてはこれで終了だが、実施工程段階においてもシステムはその効果を発揮すると考える。工事写真と組み合わせることで計画と実施工程との比較や確認が容易に行える。また、施工時において発生する資材の遅延や施工法の再検討などの問題を、システムの掲示板で発注者・受注者を交えて報告・論議することができ、計画変更の了承に有する時間を短縮することができる。さらに、全工事関係者に施工情報を提供することができ意識の向上にも繋がるものとする。

7. 3 可視化ブロックの構築

本システムにおいて、最適化ブロックと意見集約ブロック（HP 上の掲示板）は既存のソフトや技術を用いることで十分実用化できる。しかし、可視化ブロックでは前述の通り VR 技術を利用する必要がある。しかも HP 上での描画速度や操作性において実用に耐えられるものでなければならない。

また、工程表を自動的に 4D-VR の入力データとして利用するためには自ら可視化エンジンを構築しなければならない。以下にその概要を述べる。

7.3.1 VR 技術の選定

本章において 4D-VR に求められる 3D 立体モデル構築の条件として次の 4 つをあげる。

- ① データの格納先はクライアントではなくサーバであること。
- ② ウェブ配信，つまり HP 上で閲覧できること。
- ③ TIN (Triangulated Irregular Network) による地形モデルなど複雑なモデル構築が行えること。
- ④ 可視化エンジンを開発するためのプログラム言語をサポートしていること。

本システムでは，リアルタイムに現場を支援するため，常に最新の施工情報を供給しつづける必要がある。このため，常に最新のデータを現場に提供できるオンディマンド形式をとり，①，②に示すようにデータはサーバに格納し，HP 上で公開するものとする。③に関しては，建設業における最大の特徴である地形の改変がその背景にある。4D-VR には，単純な構造物以外にも複雑な地形を表現できることが求められる。

以上の条件下において現在の主要な VR 技術について調査し，Cult3D を採用することとした。Cult3D とは，スウェーデンの Cycore⁹⁾が開発し，ヨーロッパを中心にアメリカ，日本で普及している VR 技術である。国内の家電や自動車の主要メーカーで，自社 HP 上で導入され，商品説明などに利用されている。

Cult3D の主な特徴として以下の 8 つがあげられる。

- a) HP 上において一般的なブラウザソフトを使用し VR を閲覧できる。
- b) データが非常に軽い (1 MB 程度)。
- c) データが軽い割に操作性，表現能力が高く，複雑なモデルデータにも対応している。
- d) オブジェクトのアクション，アニメーションを作成できる。
- e) URL，サウンドへのリンクができる。
- f) Mac，Windows の OS に対応している。
- g) ハイエンド PC 以外でも高品質の VR が閲覧できる。
- h) Java を完全にサポートし，JavaScript にも対応している。

以上の特徴から検証を行ったところ特徴 a)，b) により条件①，②を満たし，特徴 c) より条件③を満たすことが明らかになった。さらに特徴 h) より条件④を満たし，4D-VR 開発に必要な可視化エンジンの開発も行えると考えた。

7.3.2 可視化エンジンの構築

データベースを参照し，3D の立体モデルとリンクして 4D-VR を表示するためのエンジンを可視化エンジン (図 7-2) と呼ぶこととする。可視化エンジンは主に次の 4 つの要素により構成され

ている。

1) 3D 立体モデル

3D 立体モデルとは，建設プロジェクトに関連する構造物，地形などの 3 次元データである．3 次元 CAD で現場状況を正確に表現するためには，4 種類のモデル（オブジェクト）に分類しておくのが便利である．これらは，既存の地形・地物で施工の

対象とはならないが，現場を把握するには必要なもの（非施工モデル），実際に施工の対象となるもの（施工モデル）の 2 つに大別され，最終的に次の 4 つに整理できる．

非施工モデル

I) 地形・地物モデル

施工モデル

II) 本施工モデル（構造物，盛土など）

III) 掘削処理モデル（切土など）

IV) 仮設施工モデル（足場・型枠など）

2) テンプレート

テンプレートは，上記 I) ～IV) の分類にもとづき，工程日時と 4D-VR 空間における 3D 立体モデル存在期間の関係を一つの模式図で示したものである（図 7-3）．工程のテンプレート化においては，プロジェクトの着工から竣工までの時間軸（横軸）と，4D-VR 空間内における各モデルの完成度を示す軸（縦軸）を設定する．工程表に表示される期間はテンプレートの傾き部分（上り下り両方）となる．また，4D-VR 空間において完成モデルが存在する期間は，黒色線で示すテンプレートの完成度が 1 の部分である（黒色立体）．点線のテンプレートが 0 の部分は，4D-VR 空間においてモデルが存在していないことを示している（点線立体）．灰色線のテンプレートが傾いている部分は施工中 3D 立体モデルの表示がなされる期間を示す（灰色立体）．1 つのテンプレートで工程表における工程期間と，4D-VR 空間において必要な 3D 立体モデル存在期間の 2 つを表していることになる．施工現場では I ～IV のテンプレートを考慮するだけで，それぞれのパターンに対しての工程表の工程期間と 4D-VR 空間での 3D 立体モデル存在期間を扱うことができる．このように，モデルのデータ構造をパターン別に分析しておくことで，データ処理が容易になる．

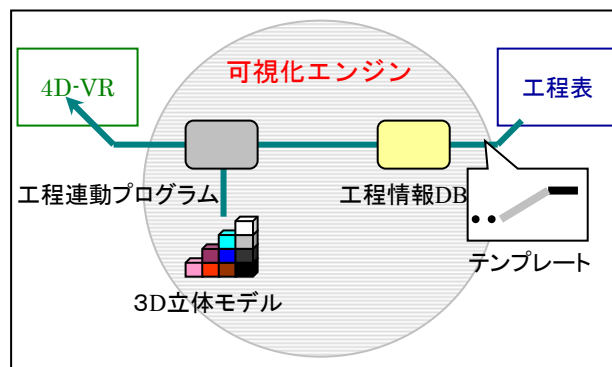


図 7-2 可視化エンジン構成図

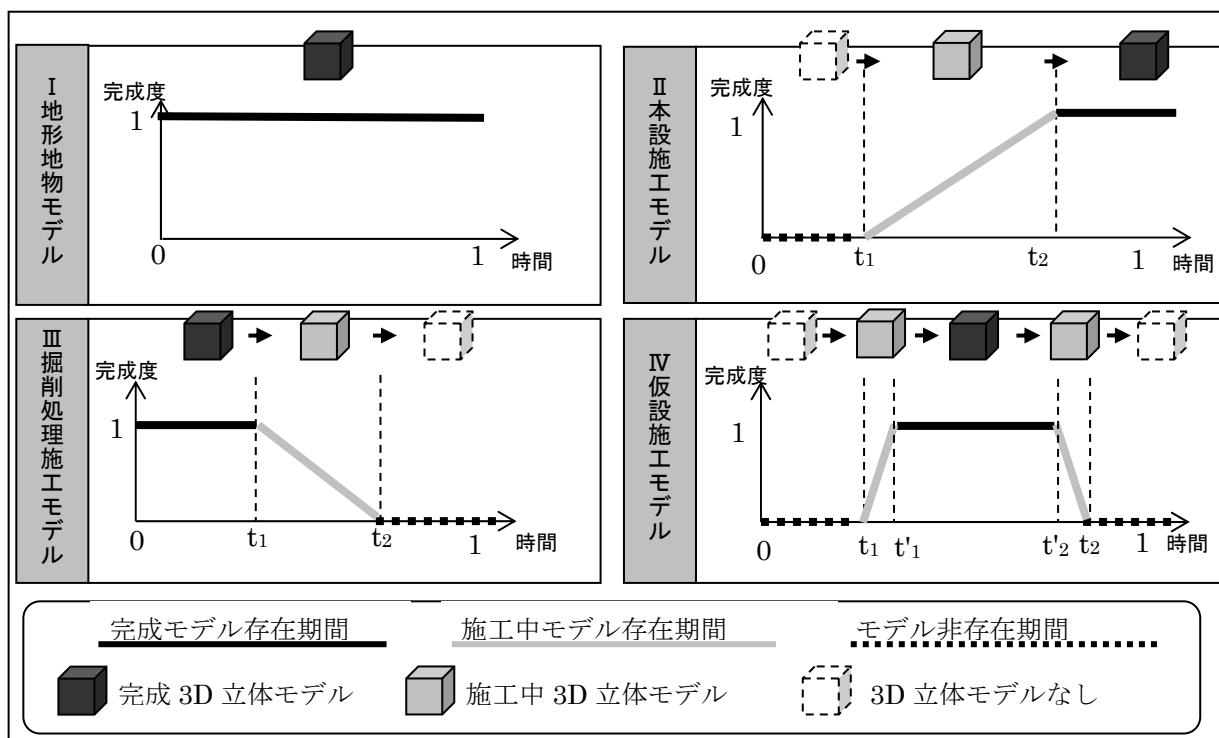


図 7-3 対象モデル別によるテンプレートの分類

3) 工程情報 DB

4D-VR では工程情報と 3D 立体モデルデータを分離し別々に管理し、ウェブ配信時に連動させ HP 上で公開するデータベース管理型オンライン実行方式を採用している。データベース(工程情報)で 3D 立体モデルを管理し、HP 上で実行(シミュレート)する。工程情報自体はデータベース化しサーバに格納しており、この工程情報のデータベースを工程情報 DB と呼ぶ。また、3D 立体モデルデータ自体もサーバに格納する。クライアントはサーバにアクセス、つまり HP を開くことで 3D 立体モデルデータと工程情報をダウンロードする。次に HP 上で常に最新の 4D-VR を操作し、現場状況の検証を行う。工程情報 DB の利点については以下にまとめた通りである。

- ① HP 上で 4D-VR が閲覧できる。一般的ブラウザソフトでよい。
- ② 3D 立体モデル、工程情報 DB 共に格納場所、及び計算処理はサーバが請負っており、クライアントの負担が少ない。
- ③ 3D 立体モデル、工程情報はサーバから WWW サービスを通して送られるので、クライアントは常に最新のデータを閲覧することができる。
- ④ 上記により旧データ、最新データなどのデータのバージョンをめぐる食い違いが起きない。
- ⑤ 工程変更がある場合、工程情報 DB を更新するだけでよい。

このデータベース構築においては Microsoft 社 Access を使用した。Access を採用している理

由は、実験用サーバ OS が Microsoft 社 Windows NT Server 4.0 であることと、WWW サービスに ASP (Active Server Pages) を利用していることがあげられる。また、Access 自体が VBA (Visual Basic for Applications Edition) をサポートしておりデータ入力についても作業が楽に行えることがある。VBA とは Microsoft 社が自社アプリケーションである Office97 のために開発したプログラミング言語のことで、基本的な言語使用は Visual Basic にもとづいている¹⁰⁾。工程情報 DB では、4D-VR 空間における 3D 立体モデル構造物の完成度に着目し、完成度別に「0」「0.5」「1」の 3 タイプの数値に置き換え、次のルールに従って工程情報 DB に入力する。

- a) 3D 立体モデル構造物完成度 0 の状態を「0」とデータベースに入力
- b) 施工中の状態、つまり完成度が 0 より大きく 1 より小さい状態（テンプレート傾き時）を「0.5」と入力
- c) 4D-VR 空間における 3D 立体モデル構造物の完成度 1 の状態を「1」とデータベースに入力

一方、4D-VR 空間における 3D 立体モデル構造物の状態は 3 形態をとっており、非表示、施工中表示、完成表示がそれにあたる。図 7-4 を用いて構造物が建設される例で説明すると、時間軸 0 から施工開始までの期間は、工程情報 DB では「0」と入力される非表示期間であり、3D 立体モデルは非表示の状態である。次に、施工開始から施工終了までの間は、工程情報 DB では「0.5」と入力される施工期間であり、施工中を示す 3D 立体モデル（灰色立体）が表示される。施工終了以降は、工程情報 DB では「1」と入力される表示期間であり、完成を示す 3D 立体モデル（黒色立体）が表示される。

このように、4D-VR 空間における 3D 立体モデルの状態をテンプレートから読み取り、非表示、施工中、表示の 3 形態に分類し、それを「0」、「0.5」、「1」の数列のデータベースに関連付けることで、任意の施工日における各 3D 立体モデル構造物の状態を表すことができる。工程情報 DB の 3D 立体モデル状態を示す数列から、任意の施工日の数値を拾うことで、現場状況を再現した 4D-VR 空間を表現できるようになる。

4) 工程連動プログラム

Cult3Dで作成した3D立体モデルを、工程

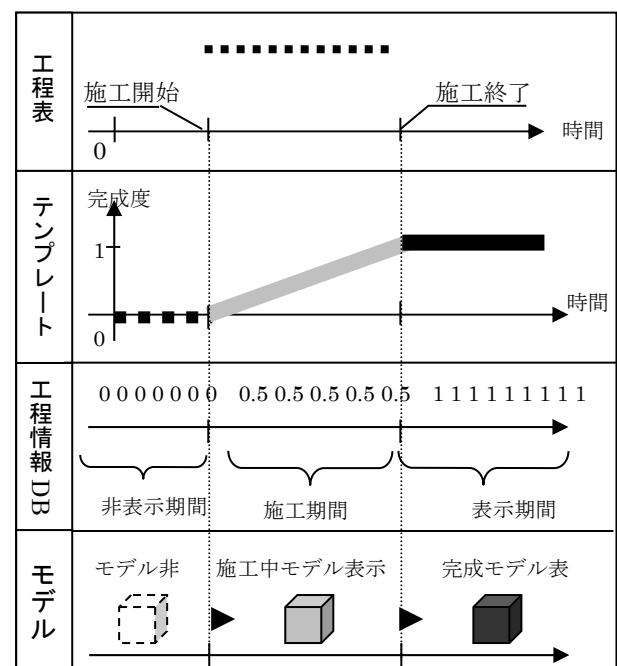


図 7-4 テンプレートと工程情報 DB の関連

情報DBでWWWサービス上において管理し、4D-VRを構築する工程連動プログラムの概要を述べる。

工程連動プログラムは、工程情報DBに入力されている数値情報を実際に3D立体モデルへ反映させるものである。クライアントからサーバに対して4D-VR閲覧の要求があると、サーバ内の工程連動プログラムが3D立体モデルデータと工程情報DBから4D-VRの作成を行い、ウェブ配信を行う。4D-VRは一般ブラウザソフト上で起動するので、クライアントは単に4D-VR専用のHPを開くだけで、いつでもどこからでも現場状況の観察ができるのである。このようにHPを介して4D-VRを公開することにより、全員が常に最新のデータを共有することができる。

一方、現場からの意見により工程表に変更があった場合は、工程情報DBを更新するだけでなく、現場へ最新の4D-VRを迅速に供給できる。このリアルタイム性を考慮してプログラムは、ASPと呼ばれるアドオンモジュールをWWWサーバに組み込み、JavaScript¹⁾及びVBScriptを用いて構築している。プログラムの構造は、JavaScriptによるCult3Dアクション実行と、VBScriptを用いた工程情報DBの読み込みの大きく2つの過程から成り立っている。

7. 4 実証フィールド模擬実験

7.4.1 適用事例

実証実験を予定した現場は、福井県九頭竜川と八ヶ川の合流部に建設予定の八ヶ川樋門工事である（図7-5、図7-6）。発注者は国交省交通省近畿地方整備局福井工事事務所である。平成15年2月の時点では、工事は始まっておらず、本報告は、準備段階での試行実験としての運用をおこなった。対象の工種は、樋門工事における遮水矢板設置、均しコン、躯体工であり、対象の全工期は163日間である。実証フィールド実験の目的は、施工シミュレーションのプロトタイプの構築と、4D-VR、可視化エンジンの実用性などを確認することである。

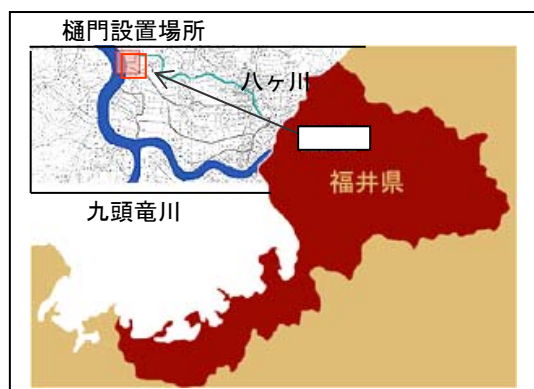


図 7-5 八ヶ川樋門設置場所

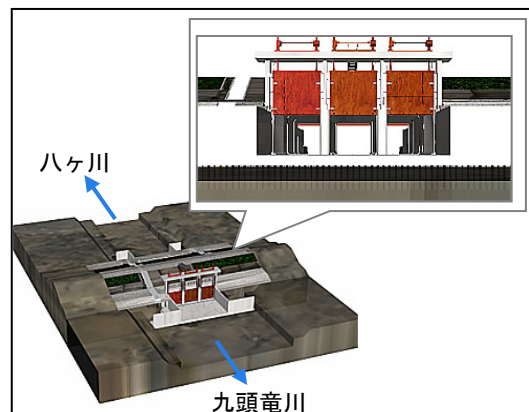


図 7-6 VRによる完成予定図

7.4.2 システムの運用環境

熊本大学工学部施設設計研究室内に設置された実験用サーバを使用し、受発注者は福井県内からこれを使用した。4D-VR公開用のHPを開設した（URL：<http://gdp1.civil.kumamoto-u.ac.jp/project8/>）。仕様はOS：Windows NT Server 4.0 SP6a, WWWサービス構築にはIIS（Internet Information Server）4.0を使用している。クライアントのブラウザソフトは、IE5.5sp2（Internet Explorer 5.5sp2）以降を使用している。なお、その他のブラウザソフト、例えばNetscape Communicator,Operaでも動作において問題はないが、実証フィールド実験では使用していない。クライアントが4D-VRを見る場合、Cult3Dプラグインをブラウザにインストールする必要がある（1MB程度）。プラグインのダウンロード先は、URL：<http://www.ddweb.ne.jp/cult3d/download/download.asp>であり無償で公開されている。4D-VRを閲覧する際のクライアントPCの仕様についてだが、ビデオメモリ8MB程度のグラフィックスパフォーマンスで十分対応できる。

7.4.3 施工シミュレーション専用 HP の構成

施工シミュレーション構築において立ち上げた専用HPについての紹介を行う。HPは、1) 4D-VR表示画面と、2) 工程情報DBを再利用し、ウェブ上における工程計画を表示したウェブ工程表、4D-VRを時間軸において制御するための 3) TS（Time Schedule）ボタン、4) アドバイザーとの意見交換に使用するウェブ掲示板の4つから構成されている。

1) 4D-VR 表示画面

図7-7は4D-VRの画面である。左半分がVR画面で、右半分に工程表を示した。操作方法としてはマウス、キーボード、PC用コントローラのいずれかを用いる。しかし、マウスでの微妙な操作は難しく、主にキーボードでの操作を行った。4D-VRのキーボード操作のためのボタン配置はHPに紹介している。また、PC用コントローラが用意できるのであれば、キーボードのボタンをそれぞれコントローラに割り当てることで、コントローラによる操作も可能である。PC用コントローラを用いればより実現感が高まる。

今回使用した4D-VR空間における3D立体モデルは、施工状況に合わせて施工中（赤色）、コンクリート養生中（青色）、完成（白色）の3段階に分けて表示している（図7-8）。これにより任意の施工日における現場の具体的状況が、視覚的に理解できる。

このような4D-VRの利用により、構造物同士の干渉の様子など図面自体が抱える内在的なミスなども発見できる。例えば、佐敷大橋実証フィールド実験¹²⁾では、VRにより鉄筋の干渉部分を施工前段階で数箇所発見することができ、その後の施工に大きく貢献できた。また、今回の実証フィールド実験で使用した3D立体モデルは、地形3D立体モデルと構造物3D立体モ

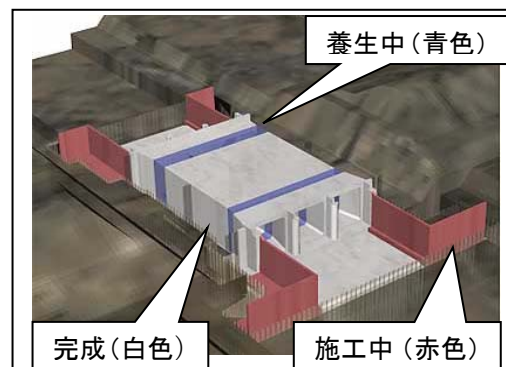


図 7-7 4D-VR 専用 HP 構成

2) ウェブ工程表

このように従来の工程表を見ながら、任意の現場状況や視点からの施工進捗状況を同時に把握することにより、正確かつ迅速に施工内容を包括的に理解することができる。

3) Time Schedule (TS) ボタン

図 7-10 は、TS ボタンにより、4D-VR 空間において工程が進む様子を連続的に表示させたものである。上段の 4D-VR は正面（九頭竜川から八ヶ川方向）左斜め上方向からの視点であり、下段は背面（八ヶ川から九頭竜川方向）からの視点である。1 つ

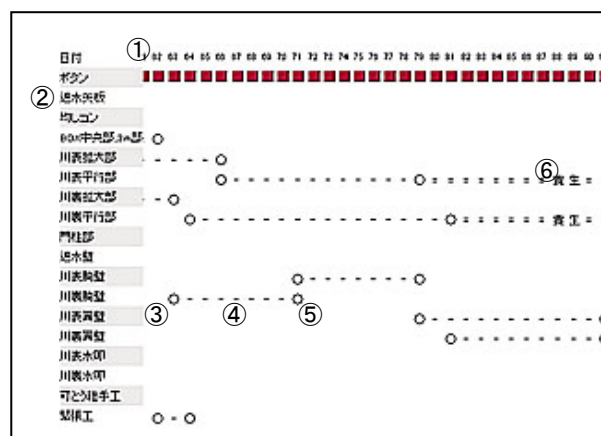


図 7-9 ウェブ工程表説明画面

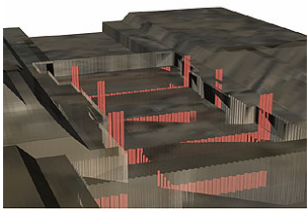
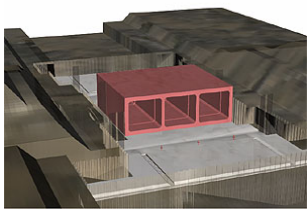
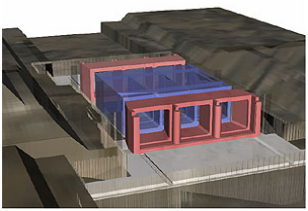
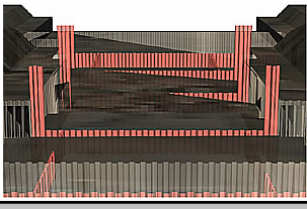
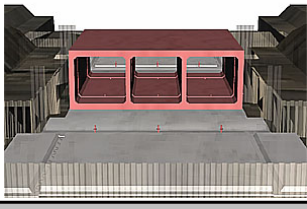
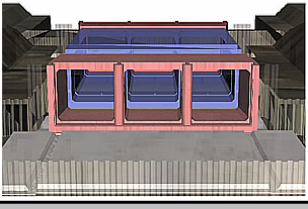
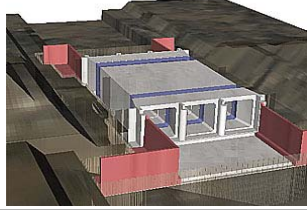
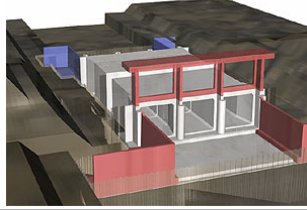
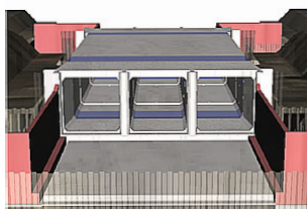
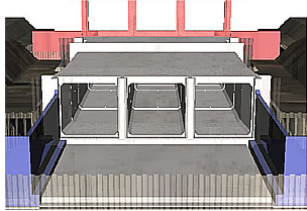
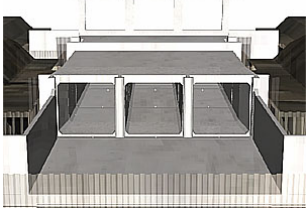
	施工開始日	躯体工 30 日目	躯体工 60 日目
九頭竜川側から見る			
ハケ川側から見る			
	躯体工 90 日目	躯体工 120 日目	施工終了日
九頭竜川側から見る			
ハケ川側から見る			

図 7-10 4D-VR による施工の進捗状況

の視点から各施工日の状況を連続的に観察できるよう、施工日を変更した際、4D-VR 空間における視点変更は行われないようにしてある。このように、4D-VR では、施工が進行する様子を視覚的に把握できるため、工程計画の立案だけでなく、施工管理にもその効果は期待できると考えている。ボタン自体は、工程連動プログラムと同様、JavaScript と VBScript により作られている。最初に HP を開いた際、全 3D 立体モデルオブジェクトがダウンロードされる。このデータを工程表に従い表示・非表示させる原理となっているので、施工日を変えるたびに再び 3D 立体モデルデータをダウンロードすることはない。従って施工日変更による 3D 立体モデルの変化に対するレスポンスが早いという特徴を持つ。

4) ウェブ掲示板

構造物や工程表の不具合、4D-VR やシステム自体の問題の指摘や改善を図る目的で、ウェブ掲示板を設置した。本システムのプロトタイプ構築以前から構築に関する意見交換や、プロト

タイプ製作後もシステム自体に関する論議を頻繁に行い、実証フィールド実験のコミュニケーション手段として大いに貢献している。

7.4.4 考察

1) 4D-VR の改善

機能性、操作性などHP上での使用に関しては十分実用に供することがわかった。一方、フィールド実験開始当初は、完成構造物の表示、非表示の2通りしか用意していなかったが、VR空間内で、施工開始や施工中を視覚的に捉えにくいことがわかった。そこで、施工中を示す赤色のVRオブジェクトと、コンクリート養生中を示す青色のオブジェクトを追加した。

2) 4D-VR について

上記の3D立体モデルオブジェクトの改善後すぐに、コンクリート養生期間に対する疑問点が見つかった。均しコン・翼壁・拡大部・遮水壁・水叩き部分において養生期間が不足しているというものであった。当初は工程情報DB中のデータのミスの可能性を検討したが、工程計画の元データの単純なミスであったことが判明した。

コンクリートの養生期間を表示したことで、直後に問題点が浮き彫りになった。当初から想定はしていたが、4D-VRは設計図面や工程表そのものの完成度の照査に威力を発揮することを確認した。

3) 可視化エンジンについて

2)で述べた養生期間の不足に対して、工程情報DBの更新と4D-VRへの反映は、スムーズに行えた。工程変更の要求に対して迅速に対処すると共に、現場へ施工情報を速やかに供給できるシステムとなっていることが示された。

しかし、現時点では、工程情報DBへの数値入力の際、施工の開始日と終了日を工程表から自動的に検索できるようになっていない。4D-VRの作成自体は自動化されたものの、情報の入力作業は未だ、なされていない。工程表から自動的に工程情報DBへ数値が入力されるプログラムの開発は今後の課題としたい。

4) システムの使用法

本システムは、計画段階と施工段階で下記のような利用法が考えられる。

a) 計画段階における利用

① 図面のチェック

VR 画面内で、視点を移動させつつ構造物の部材間の取り合いや他の構造物との距離を確認できる。更に構造物を上空の視点から見れば、平面図と同じものなので、図面イメージでの確認も可能である。正面図、側面図なども同様である。

② 施工空間の把握

等身大の人物模型を挿入すれば、施工空間内に入り込んだときの周囲のスケール感がわかり、事前にかなり正確に現場の様子を確認できる。施工時の部材間の干渉チェックや構造物のクリアランスなども確認可能である。住民への工事説明用としても住民各自の興味ある視点（我が家からどう見えるかなど）がその場で提供できる。

③ 工程の把握

工程表と連動しているので、工程シミュレーションができる。特に、部材の施工前後の日程（コンクリートの打設や養生の時間など）を詳細に確認できる。

b) 施工段階における利用

① 施工と計画の比較

施工開始後は、現在の施工状況と計画上の工程とを比較、確認することで、現場の細部の把握や工程の変更などに役立てることができる。

② 作業の確認

今後の作業の段取りなどを、遠隔地から確認したり、現場では、作業チーム全員で工程を確認することで、今後の作業の意思統一に利用できる。

③ 施工情報の公開

ビューアーは無償でダウンロードできるので、情報公開も可能である。一般市民にとっては、施工シミュレーションは珍しいものであるばかりでなく、自由に視点を移動しながら VR 内の施工空間に入っていける。

7. 5 まとめ

本章は、建設プロジェクトの効率的運用のための情報化の流れを踏まえ、意見集約型工程計画システムの提案を行ったが、その内容は、以下の通りである。

- 1) 7.2 では、①最適化ブロック、②可視化ブロック、③意見集約ブロックからなる本システムの概要を示し、現場だけでなく、遠隔地に分散するプロジェクト関係者の意見を集約した工程計画システムを提案した。

- 2) 7.3 では、3次元のVRに時間軸を加えた、4D-VRの利用を提案し、工程表から得られた工程に関するデータベースと3次元のCGデータをリンクしVR上で表示するための可視化エンジンの構成要素について詳述した。
- 3) 7.4 では、4D-VRを用いた施工シミュレーションのプロトタイプの構築を目的とした、実証フィールド模擬実験について紹介し、さらに実験を通じたシステムの改善点などを述べた。

現在、建設CALS/ECは、次世代CALS/ECの段階に入りつつあるが^{13), 14)}、情報の共有、高度利用に関する具体的な研究はその緒についたところである。本章で提案した4D-VRを用いた施工シミュレーションは、工程計画における建設情報の高度利用の一例として位置付けることができると考える。今後は、策定されたデータの仕様との連携、例えばプロダクトモデル¹⁵⁾からの3D立体モデルデータの構築方法などの研究を進める必要があると考えている。

＜参考文献＞

- 1) 緒方, 小林他: 建設プロジェクトにおける合意形成のためのバーチャルモデルの利用, 土木情報システム論文集, 第7巻, pp.81-88, 1998.10.
- 2) 緒方, 小林他: VMを用いた工程可視化システムの構築に関する研究, 土木情報システム論文集, 第8巻, pp.1-8, 1999.10.
- 3) 平井, 小林他: ウェブ技術を用いた施工管理支援システムの構築とその運用, 土木情報システム論文集, 第8巻, pp.49-56, 1999.10
- 4) 小林, 邵他: ウェブ技術を用いたコラボレーション型授業による3次元道路設計演習, 土木学会, 土木情報システム論文集, 11巻, 東京, pp.103-112, 2002.10.
- 5) 国島, 庄子他: 建設マネジメント原論 山海堂 1994.
- 6) Bonsang Koo and Martin Fischer : Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction, CIFE Technical Report #118, 1998.
- 7) Florian, B.A, Martin, A.F, and John, C.K. : AEC 4D Production Model: Definition and Automated Generation, CIFE Working Paper #52, 1998.9.
- 8) 野中郁次郎他: 知識創造企業, 東洋経済新報社, 1996.
- 9) CYCORE Cult3D ホームページ: <http://www.cult3d.com/>
- 10) 北山洋幸: Visual Basic システムプログラミング入門, 技術評論社 1999.
- 11) 宮坂: JavaScriptハンドブック 応用編 SOFTBANK 2000.

- 12) 前掲3)
- 13) 国土交通省ホームページ : <http://www.mlit.go.jp/>
- 14) JACIC CALS/ECホームページ : <http://www.cals.jacic.or.jp/>
- 15) たとえば, 矢吹他 : IFCに基づいたPC中空床版橋の3次元プロダクトモデルの開発, 土木情報システム論文集, VOL.11, pp.35-44, 2002.10.

第8章 結論

本研究は、現在、国土交通省が中心となって推進している建設 CALS/EC における電子情報の交換・共有について、既存の Web 技術を用いた最適なシステムに関する提案を行うとともに、提案されたシステムを構築し実証フィールド実験により、その有効性について考察したものである。本研究で得られた結論をまとめると以下の通りとなる。

第1章は序論であり本論文の概要をとりまとめた。

第2章では、公共土木事業における情報化の現状と、国土交通省が中心となって推進している建設 CALS/EC 構想に対する、事務所レベルにおける情報化の現状を整理し、本研究の位置づけと方向性を明らかにした。

第3章では、共有サーバの在り方についての提案を行った。更に、電子データの「標準化」について問題提起を行い、その解決のため、文書データと写真データの2つの側面からアプローチを試みた。3.2 では、建設業界の情報化として現在、建設省を中心に導入・推進が検討されている建設 CALS/EC について、その概要と具体的な活動状況を述べた。その中で、受・発注者双方の管理下にある場合の共有サーバを導入することによる情報管理上の問題点を指摘し、その代替案として第三者機関に管理を委託する外部共有サーバの導入を提案し、その必要性を述べた。3.3 では、建設 CALS/EC における各種電子データの標準化の問題点を踏まえて、コンピュータの機種やソフトウェアの種類に依存しないシステムの構築に必要となる既存のウェブ技術について、その機能や設定方法など具体的に説明を加えた。それらの既存のウェブ技術は、すべてサーバ側のパソコンでインストールおよび設定を行うことによって、クライアント側のパソコンには無償で配布されている Internet Explorer や Netscape Communicator などの一般的なブラウザ・ソフトのみで参加可能にするシステムの構築を実現した。3.4 では、既存のウェブ技術によって構築したシステムの実証フィールド実験として2つの適用事例を紹介した。大戸川ダム建設事業への適用では文書データについて、佐敷大橋（仮称）建設工事への適用では写真データについてそれぞれ着目し、これらの実証フィールド実験を通して、構築したシステムが実業務に十分に耐えうることを確認した。

第4章では、工事写真の果たす役割を述べ、PDA と外部共有サーバを用いた工事写真検査システムの提案を行い、システム構築と実証フィールド実験により考察を行った。4.2 では、公共工事における工事写真の役割と、建設 CALS/EC 前後における工事写真の一連の流れを示し、工事写真が

資料的役割を果たすための要素として「公開性」が求められること、証拠的役割を果たすためには「情報の信憑性」が求められることを述べた。その役割を確保し、併せて工事写真が納品されるまでの流れの簡素化も含めたシステムの提案を行った。4.3 では工事写真の役割を十分に果たすためのシステムとして、PDA と外部共有サーバを用いることを述べ、システム構築に必要な構成技術について、データ送信側である PDA と受信側である外部共有サーバにおいて、機能や方法について具体的に説明を加えた。特に、写真データの「情報の信憑性」の確保に関し、GPS 情報と写真情報を連携付ける方法を提案し、システムの構築を実現した。4.4 では実際に構築したシステムについて、実証フィールド実験を行い、適用事例として紹介した。写真データ送信側の処理では PDA による現場サイドの処理方法について、写真データ受信側の処理では外部共有サーバにおける処理方法について説明し、実証フィールド実験により明らかとなった有効性や問題点について考察を行った。

第5章では、河川事業におけるプロジェクトモデルについて提案し、外部共有サーバを利用したシステムを構築し、実証実験を通じて考察を行った。5.2 では、建設関連情報のモデル化が行われている中で、河川事業におけるモデル化について考察しプロジェクトモデルの提案と、構成される地形測量モデル、河川測量モデル、構造物モデルのそれぞれについて提案した。また、外部共有サーバにおけるプロジェクトモデル処理について紹介しシステム構築のための処理技術について述べた。5.3 では、河川縦横断測量、航空レーザ計測及び樋門詳細設計の業務において外部共有サーバに登録されたプロジェクトモデルを利用した実証実験を紹介し、提案した河川プロジェクトモデルの有効性や問題点について考察を加えた。

第6章では、河川に関するプロダクトモデルとして、河川測量モデルを提案した。また、河川測量モデルの利点を述べデータの流れの概念を示した。河川測量モデルを、平面測量モデル及び横断面測量モデルの2つのモデルからなるものとし、それぞれのXML記述法を示した。河川測量モデルの2次元データから河道内の3次元地形モデルを作成するための断面補間法を考案し、そのアルゴリズムを示した。補間アルゴリズムに基づきプログラムを作成し、補間断面と実断面との比較を行った。その結果からアルゴリズムの有効性を確認した。

第7章では、建設プロジェクトの効率的運用のための情報化の流れを踏まえ、意見集約型工程計画システムの提案を行った。7.2 では、①最適化ブロック、②可視化ブロック、③意見集約ブロックからなる本システムの概要を示し、現場だけでなく、遠隔地に分散するプロジェクト関係者の意見を集約した工程計画システムを提案した。7.3 では、3次元のVRに時間軸を加えた、4D-VRの

利用を提案し、工程表から得られた工程に関するデータベースと3次元のCGデータをリンクしVR上で表示するための可視化エンジンの構成要素について詳述した。7.4では、4D・VRを用いた施工シミュレーションのプロトタイプの構築を目的とした、実証フィールド模擬実験について紹介し、さらに実験を通じたシステムの改善点などを述べた。

現在、建設CALS/ECは、次世代CALS/ECの段階に入りつつあるが、情報の共有、高度利用に関する具体的な研究はその緒についたところである。第7章で提案した4D・VRを用いた施工シミュレーションは、工程計画における建設情報の高度利用の一例として位置付けることができると考える。今後は、策定されたデータの仕様との連携、例えばプロダクトモデルからの3D立体モデルデータの構築方法などの研究を進める必要があると考えている。

謝

辞

本研究は熊本大学工学部環境システム工学科施設設計工学研究室，小林一郎教授のご指導のもとにとりまとめたものです。小林先生には研究成果を本論文にまとめる際に終始暖かく丁寧なご指導，ご鞭撻を賜りました。心から深く感謝いたします。

熊本大学工学部環境システム工学科両角光男教授，桜田一之教授，溝上章志教授，同数理情報システム工学科内村圭一教授には，本論文に対して貴重なご指導いただきました。深く感謝いたします。また，熊本大学工学部環境システム工学科星野裕司助手には，本研究に対し広い視野から貴重なご助言を頂きましたことを心より感謝いたします。

さらに，著者に対して，熊本大学大学院自然科学研究科への入学と本研究の機会を与えて下さった国土交通省近畿地方整備局大戸川ダム工事事務所調査設計課，福井河川国道事務所調査第一課の職員の皆様にこの場をお借りしてお礼申し上げます。特に，同研究科入学に当たりご尽力頂きました猪名川河川事務所山本清美工務課長，本研究に対しご理解とご支援を賜りました淀川河川事務所松山文丸工事施工管理官，福井河川国道事務所阪口繁調査第一課長には深く感謝いたします。

本研究は熊本大学工学部環境システム工学科施設設計工学研究室の優秀な大学院生・学生諸君の協力に負うところは多大であります。特に，大学院自然科学研究科の院生であった緒方正剛君，大村祐司君，関宏一郎君，平田誠君，難波正幸君，松永正大君，増田敦彦君，日高建児君，馬場健君，また現在院生である本田泰寛君，邵兵君，指宿晃典君，渡辺健介君たちには，本論文を執筆するに当たり多大な協力をいただきました。ここに，深く感謝するとともに，彼らの頑張りに敬意を表します。

本論文は他にも多くの方々のご援助を得て，はじめてまとめることが出来たものであり，心からお礼申し上げます。また，本論文の完成に至るまで迷惑を掛けた妻と子供達には感謝に絶えません。最後に，本論文を著者の両親と妻の両親に捧げます。

山 本 一 浩