

システムトラスにおける設計・加工・施工情報に関する研究

DESIGN, FABRICATION AND CONSTRUCTION INFORMATION OF SYSTEM TRUSS

岩田 衛*, 藤田正則**, 米田雅子***, 和田 章****

Mamoru IWATA, Masanori FUJITA, Masako YONEDA and Akira WADA

System truss is suitable for various type of large span structures. When an architect designs system truss having a curved surface, the sorts of members and joints vary so greatly. This paper focused on the information flow and product implementation.

Production information which is transmitted into the factory, is used to fabricate components which then become unnecessary at the next step. Product information into the site is as well, we examine quantitatively how soft information is transformed into a hard object such as structural element, or structure. Soft information plays a more important role than a hard object in the systematized production process. Computer technologies enable the production of structural components of many sizes in small lots economically and efficiently.

Keywords: system truss, soft information, hard object, computer, information flow, product implementation

システムトラス, ソフト情報, ハード, コンピュータ, 情報の流れ, モノの実現

1. はじめに

最近、建設業界ではコンピュータを利用した建築生産情報の統合化への動きが盛んになりつつある^{1, 2)}。建物を造る際に、プロジェクト情報を一元化された共通データベースに基づいて、管理していこうというものである。これは、設計、構造、設備、施工の各担当者が同じデータを共有することにより、各分野のデータの整合性をとり、業務の並列進行を可能にしていくことをめざしている。現段階では、設計から施工までを全て一貫させるのは難しいため、実施設計と施工の情報の整合性をとる努力がなされている。具体的には、各分野において、個別CADデータ入力を行わずに、躯体CADデータをもとに各種施工図を作成する統合化CADシステムの開発が進められている。CAD情報により生産情報の流れを確立しようという動きといえる³⁾。

生産情報の統合化を進める前提条件として、設計から施工において、最初から最後まで共有化されるべきデー

タ、部門間をつなぐデータ、特定の作業のためだけに必要なデータを把握する必要がある。しかし、一般の建物は、部材や設備の種類や数が多く、生産情報は複雑である。また、一品受注生産であるため、情報の洗い出しを行うことも容易ではない。

本論文では、システムトラスにおける生産情報を取りあげる。システムトラスは標準化した部品により構成され、設計から、加工、施工までをコンピュータによって統合化することができる建築生産物の一つである⁴⁾。設計段階で、加工、施工に必要な情報がほとんど決められるという生産設計が行われている。このシステムトラスを対象として、設計、加工、施工の各段階での生産情報に注目する⁵⁾。一つの情報が生成されてから、各工程へ伝達されて使用されるまでの過程で、情報の付加や変換によって、その情報の形が変わったり、不要になって消去される変遷を、情報の種類と量の観点から分析する。これは、ソフトである情報がハードとしての部品、さら

* 新日本製鐵株式会社 室長・工博

** 新日本製鐵株式会社 掛長・工修

*** ジェム 代表

**** 東京工業大学 教授・工博

Nippon Steel Corporation, Dept. Manager, Dr. Eng.

Nippon Steel Corporation, Manager, M. Eng.

President of GEM Ltd.

Prof., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

にはシステムトラス構造物に実現化していく生産の過程でもある。ここから生産情報における一般的特徴を拾い出すと共に、建築生産の統合化の流れの中でソフトとしての情報の重要性が増していることを明らかにし、情報のあり方について考える。さらに、分析過程で、システム化した建築の特徴であるプレエンジニアリング段階での情報化、部品化、コンピュータ利用についても考察する。

2. システムトラスにおける生産情報

ここで取り上げるシステムトラスとは、図1に示すような、パイプ部材（パイプ+エンドコーン）、ノード、ボルト、ワッシャからなる構成部品を、図2のように、立体的に組み、任意形状の大スパン構造物を形成するものである。標準化した部品、及びその施工方法が確立しており、建物の要求条件に対して明確な構法が提示できるようになっている^{6) 7)}。その設計は大半においてコンピュータを利用し、全ての部品の生産は工業化している。システムトラスでは、既に、設計、加工、施工の生産プロセスにおいて、生産情報の統合化を実現している（図3）。

通常、システムトラスは建物の屋根または壁構造に用いられることが多く、タワーに使われる場合もある⁸⁾。システムトラスの生産プロセスは、意匠設計者が建物全体の図面を作成した後に始まる。この生産プロセスは設

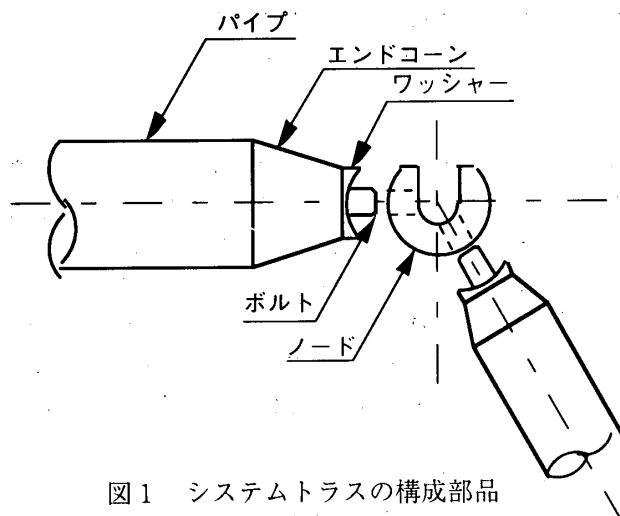


図1 システムトラスの構成部品

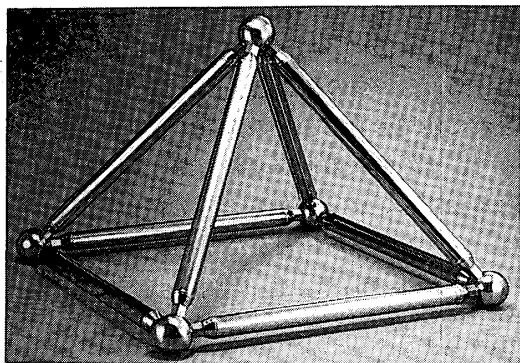


図2 四角錐グリッド

計、加工、施工から成り立っている。以下に、各プロセスについて述べる。

2. 1 設計情報

2. 1. 1 設計プロセスの流れ

図4に示す設計フローに従って情報の流れについて述べる。システムトラスの設計者は、意匠設計者から与えられた形状及び仕様情報から、構造計画を立て、点情報と線情報で構成するシステムトラスのワイヤーフレームを作成する。次に、ワイヤーフレームの情報に、局所座標、通り芯等の位置情報を追加入力して、形状図を完成させ、境界情報を定め、各グリッド面積に対し節点に集中荷重が作用するものとして荷重を作成する。

さらに、部品選定のための構造解析及び部品算定を行う。パイプ部材の算定にあたっては、支点部や仕上げ材との変形追随性や、システムトラス全体の力学的性状を満足するように、収斂計算を行う。ノードは最大軸力と軸力分布情報により耐力を算定し、パイプ部材とノードの各サイズの意匠的な釣り合いを考慮しながら集約する。部品の施工上の納まり検討として、部品干渉のチェックも行う。部品の干渉には、ノードに取り付くパイプ部材、ボルトの組合せについて各々の競り合い角、進入角、加工穴角に関するチェックを行う。これらの部品の算定及び干渉チェックには設計データベースを用い、設計ノウハウを駆使して部品を選択し、決定する。

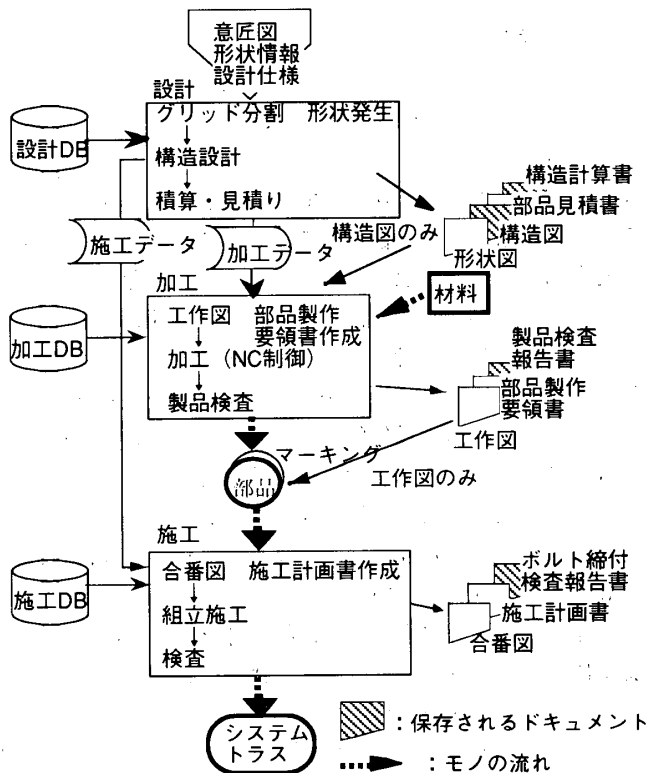


図3 システムトラスにおける情報とモノの流れ

システムトラスを構成する部品が全て決定された後に、意匠図と照合して、構造図を作成する。ここで、加工、施工段階で実現化していくハード（部品、構造物）の情報が確定する。

2. 1. 2 設計情報の詳細

システムトラスを構造設計するためには、必要な入力情報として意匠図と設計仕様がある。出力情報として構造図、構造計算書、積算書、見積書がある。システムトラスの建方完成後、構造図は竣工図として、構造計算書は設計図書として保管される。これらのうち、構造図は加工情報を作成する際に参照する情報である。

1) 構造計算書

構造計算書は、設計が終了したときに、最終的に保管するドキュメントである。設計入力情報とコンピュータで自動生成した変換情報から構成されている。変換情報には、次に述べる情報があり、各プロジェクト固有に存在するものである。

- (1) 形状情報
- (2) 荷重及び境界情報
- (3) 法線ベクトル情報
- (4) 軸力・耐力・変形情報

2) 加工データ

各ノードの法線ベクトルと部品形状によって規定する平面角、立面角、加工穴角とパイプ長、キャンパー値、部品発注リストから構成される。

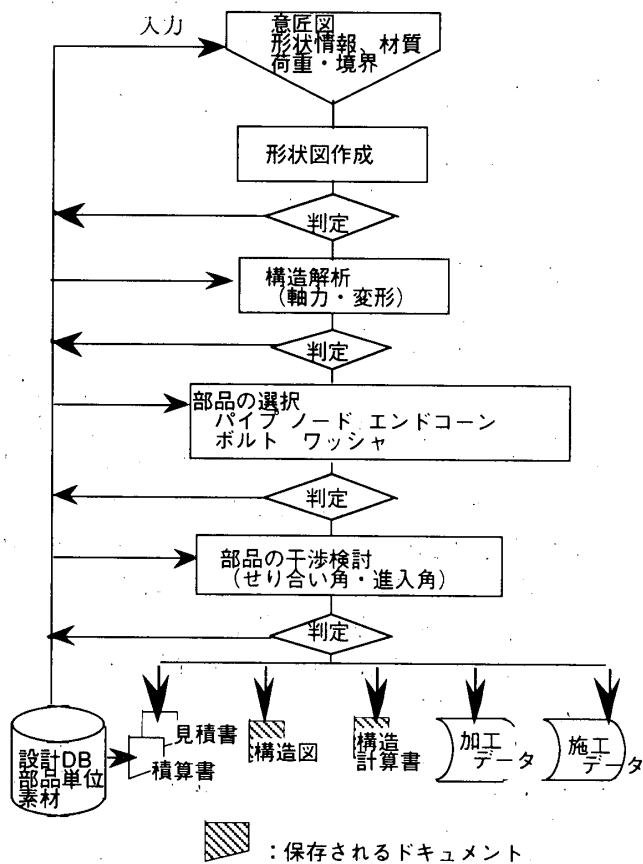


図4 設計における情報の流れ

3) 施工データ

建方時の各ノードの施工変形、反力、パイプのキャンパー値から構成される。施工法を選定した後に、最終的に決定する。

4) 積算書・見積書

積算情報は形状情報と最終決定した部品情報から部品の重量、長さ、面積、員数等を集計したものである。これに各部品のコストに関する情報を追加すると、見積書が作成できる。

5) 構造図

形状情報と最終決定した部品情報から部品の記号を図面化した情報である。意匠図を照合しつつ、通り芯、局所寸法等を追加して作成する。

2. 2 加工情報

2. 2. 1 加工プロセスの流れ

システムトラスの生産者は2. 1で述べた設計情報が与えられると、それに基づき部品製作計画を立て、材料を搬入し、部品を製作する(図5)。これらの部品は、多品種少量生産でありながら高精度でスピーディな生産が要求されるために、NC制御により生産される。ここで、設計情報はハードとしての個々の部品に受け継がれていく。

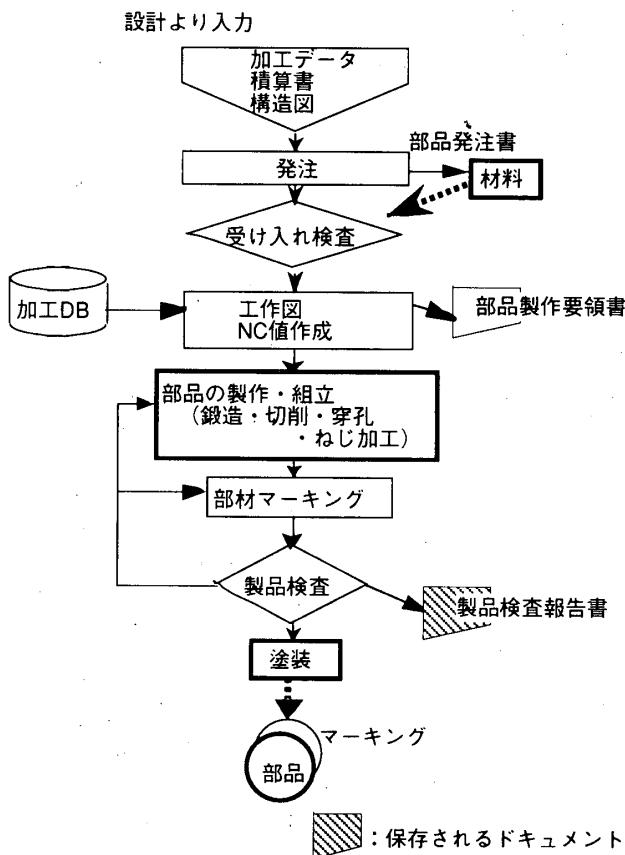


図5 加工における情報とモノの流れ

1) パイプの製作

材料受け入れ検査にて所定の形状及びミルシートを照合した後、製造しようとする部品のサイズに見合った径の材料を切断する。切断が終了すると開先加工を行い、開先角度、ルート面、ルート間隔、裏当て等のチェックを行う。

2) エンドコーンの製作

材料受け入れ検査にて所定の形状及びミルシートを照合した後、製造しようとする部品のサイズに見合った径の丸鋼を所定の長さに切断し、鍛造する。次に、開先部及びワッシャ接触面の切削加工、孔明け加工、ねじ加工を行う。

3) パイプ部材の製作：パイプとエンドコーンの溶接

開先加工後のパイプと機械加工後のエンドコーンとの溶接を行う。溶接条件は品質の確保と溶接後の部材長さ精度の確保のために、室温、パイプ形状、溶接材料等のパラメータに対して溶接縮み代を予測して決める。各パイプ部材には工作図と同じ部品記号を刻印する。

4) ノードの製作

エンドコーンと同様に、丸鋼を所定の長さに切断し、鍛造成形する。次に、各ノードの切削、穿孔、ねじ加工を順次行う。ノードの穿孔位置は任意形状への対応を可能とするために、任意の位置に設定できるようになっている。加工情報として各ノードの球面上の位置を穿孔情報として与える。各ノードの穿孔とねじ加工が終了すると、ノードにはノードの種類、位置、方向を判別するための部品記号を刻印する。

5) ボルトの製造

材料受け入れ検査で所定の形状及びミルシートを照合

した後、鍛造にて頭部を成形するとともに、ねじ下絞りまたはねじ下切削を行う。次に、転造または切削によって、ねじ加工する。ねじ加工が終了すると、材料種別ごとに焼き入れ温度及び焼き戻し温度の条件を満足するように制御し、熱処理を行う。

6) 検査

検査には外観検査、寸法検査、溶接検査がある。検査を経て、はじめて加工プロセスの最終アウトプットである部品が完成する。

2. 2. 2 加工情報の詳細

設計から伝達される情報には図面情報としての構造図、形状図と、文字情報としての角度情報、積算情報がある。角度情報は各ノードの球面上の位置を穿孔するための情報であり、積算情報は材料調達と見積をするために必要な情報である。これらの情報から加工管理者は部品製作計画書、工作図、部品発注リストの情報を作成する。

1) 工作図

工作図は、加工用の部品符号図及び部品加工リストに関する変換情報から構成されている。これらの情報は、設計から伝達されるとともに、部品製作のための加工データベースから自動生成される。

2) 部品発注リスト

部品発注リストは各部品加工のための素材の発注を行うものである。パイプ用の円形鋼管と、ノードとエンドコーン用の丸鋼、そしてボルトから構成されている。

3) 部品製作要領書

部品製作要領書は部品製作のための加工指示書であり、加工の各段階で使用される情報や設計からの伝達情報と加工データベースで構成されている。

2. 3 施工情報

2. 3. 1 施工プロセスの流れ

施工者は、図6に示す流れによって、施工計画を立てて施工する。施工計画を立てるのに必要な入力情報は意匠図、構造図、建物建設の全体工程等であり、これらを基に施工管理者は施工計画書、合番図の作成を行う。現場において、まず、施工管理者は現場に搬入されたシステムトラス部品と部品リストとを照合し、所定の種類と数量等の受け入れ検査を行う。次に、受け入れ検査終了後、施工計画書と合番図に基づき、部品の組立てを開始する。組立ては合番図と現品に刻印された部品記号と照合しながら、順次所定の位置に配置し、ボルトで締め付ける。ここで初めて、全ての生産情報が最終アウトプットであるハードとしてのシステムトラス構造物に移ったことになる。最後に、パイプ部材のボルトの締め付け状況はエンドコーンの検査孔により肌隙のないことを確認してストッパーで止める。全て部品の組立が終了すると、ジ

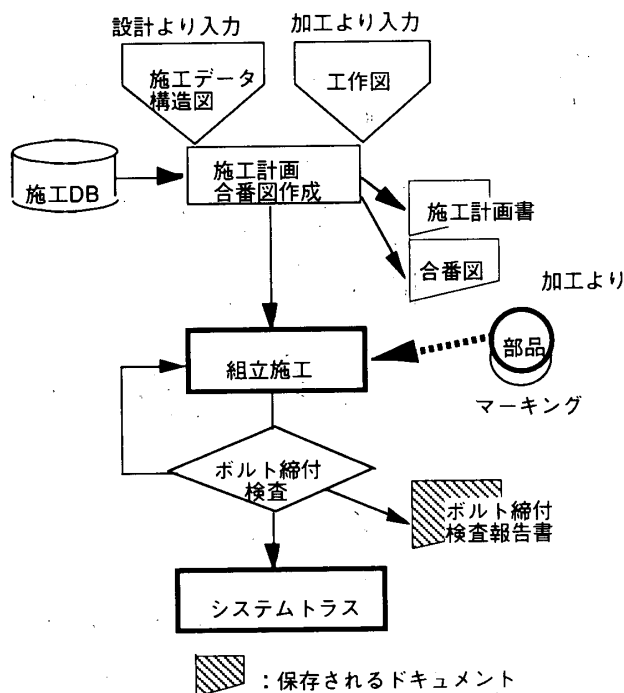


図6 施工における情報とモノの流れ

チャッキダウンし、支点のはらみや中央部の変形等を確認して組立を終了する。

2. 3. 2 施工情報の詳細

施工情報には設計から伝達される図面情報としての意匠図、構造図と、文字情報としての施工データがあり、加工から伝達される情報としてマーキングされたシステムトラス部品、工作図がある。これらの情報から、施工管理者は、ドキュメント情報として施工計画書と合番図の施工情報を作成する。

1) 施工計画書

施工計画書は、部品の搬入、ストック、建方順序、建方工程、建方精度等の情報から構成されており、施工データベースと施工管理者の経験に基づくノウハウが集約されている。

2) 合番図

合番図は、部品位置、部品建方順序、部品数、種類を示すもので、施工法を選定すると、設計情報から自動生成される。合番図は、部品に刻印された部品記号と照合するための組立て情報で、施工管理者や組立工が利用する。

3) 部品組立情報

施工計画書と合番図に基づいてシステムトラス部品を組立てる。部品組立時には、支点といくつかの位置情報を確認しておく。これにより、システムトラス全体としては精度よく組上げることができる。システムトラス組立が全て終了した後に、ボルト締付検査報告書を文書情報として保管する。

3. 生産情報の定量的把握

システムトラスにおける生産情報を定量的に把握し、情報の流れを考察する。

3. 1 定量的把握のルール

1) 文字情報の定量的把握方法

- (1) 点、ベクトル、記号、数値は、各々1個の情報として計上する。このとき、点とベクトルの3方向成分は1個と見なしている。
- (2) 点で構成される線分は2個の情報として計上する。
- (3) 生産プロセスの中では、情報はほとんどインデックス化されており、そのインデックスの数で計上する。
- (4) データベース、ノウハウは、各生産プロセスにおいて繰り返し使用することやエンジニアリング判断があ

表1 図面情報数

	構造図	工作図	合番図
点	2 m	3 m	3 m
線分	7 n	7 n	5 n

m: ノード数 n: パイプ数

るため、情報量の計上には含まない。ただし、データベースを使用して生成する情報は含む。

(5) 情報生成の作業量は、実際に建設した類似プロジェクトの平均で計上する。

2) ドキュメントの定量的把握方法

- (1) ドキュメント情報は、頁数によって計上する。
 - (2) 議事録、確認書、納品書、発送書等の生産フローの中間段階で作成される情報は計上せず、生産プロセス各段階で最終的に保管する情報量を計上する。
 - (3) 加工、施工段階で作成する検査に関する情報は、最終的には文書化するので検査報告書の頁数として計上する。
 - (4) 図面情報は、点情報と線分情報のみを情報数として計上する(表1)。
 - (5) 設計、加工、施工の各工程で作成する詳細図は情報数の計上に含めない。
- #### 3) ハードとしての部品、建物の定量的把握
- (1) 部品1つを1個と計上する。
 - (2) 部品につけられたマークは生産情報として1個の情報として計上する。
 - (3) 最終完成物である建物は1個と計上する。

4) データベース

データベースは、設計、加工、施工の各フローでプロジェクトに共通に使用するものである。設計データベースは、各部品の耐力、許容せり合い角度、許容進入角度、許容加工穴角度、部品コスト、部品重量、材質、部品形状、部品塗装面積等の情報から構成されている。加工データベースは加工の各フロー段階の部品製造(部品形状等)のための情報である。施工データベースは、施工歩掛り、施工コスト等から構成される。

3. 2 部品情報

システムトラスを構成するパイプ部材(パイプ+エンドコーン)、ノード、ボルト、ワッシャの部品が持つ情報には大きく分けて形状、重量、コスト、材質がある。これらの内、重量、コスト、材質の情報量は各部品に対して1個として計上する。パイプの部材長さは任意であるが、他はデータベース化している。設計において部品

表2 部品情報数

	形状	インデックス	重量	コスト	材質
パイプ	4	3	1	1	1
エンドコーン	15	2	1	1	1
ノード	49	33	1	1	1
ボルト	17	2	1	1	1
ワッシャ	5	3	1	1	1

情報はインデックス化しているが、加工における部品情報はJIS規格によって規定されており、1個あたりの情報量は多く、データベースとして格納されている(表2)。

1) 設計インデックス

パイプは長さ、径、板厚の計3個の情報で表現する。エンドコーンはボルト記号とパイプ記号の計2個で表現する。ノードはノード記号、ボルト径、かみあい長さ、締め付け法、角度(1個あたり8個のボルトが存在する)の計33個の情報で表現する。ボルトはボルト記号、かみ合い長さの計2個、ワッシャはエンドコーン記号、ノード記号、ボルト記号の計3個で表現する。

2) 設計情報における計上例

(1) 荷重条件の入力情報は固定、積載、積雪、風、地震、温度の計6個とする。
 (2) 境界条件の入力情報はシステムトラス各支点(点情報)に対して拘束方法(ピン、ローラー等)の計2個とする。
 (3) その他の設計に使用する入力情報はスパン及びグリッド(X、Yの各2個)、デプス、勾配、材質、塗装仕様である。

(4) 法線ベクトル、変形、荷重は各点情報に対して、それぞれ計2個の情報とみなす。

(5) 軸力及び耐力情報は各部品に対して各荷重の組合せとし、計2個とする。

(6) 積算情報(重量、塗装面積、コスト)は各部品に対して1個とする。

3) 加工情報における計上例

(1) 受け入れ検査情報は各材料に対して材料記号、ミルシート、材料形状の計3個とする。

(2) 切断情報は部品記号、部品長さ、幅、角度の計4個とする。

(3) 鍛造情報は各部品形状の情報に、部品記号、温度の2個を加えたものとする。

(4) 切削情報は各部品形状の情報に、部品記号1個を加えたものとする。

(5) 開先情報は開先角度、ルート面、ルート間隔、裏当て段差、パイプ肉厚、パイプ記号、エンドコーン記号の計7個とする。

(6) 溶接情報は脚長、溶接長、パイプ記号、エンドコーン記号の計4個とする。

(7) 部品1個あたりの穿孔情報は各設計インデックスの数で計上する。

(8) 部品1個あたりのねじ加工情報は各設計インデックスに部品形状情報(ノードは49×8個、エンドコーンは15個、ボルトは17個)を加えたものとする。

(9) 熱処理情報はボルト記号、焼き入れ温度、焼き戻し温度の計3個とする。

(10) 塗装は各部品の塗装量、膜厚、塗り回数計3個

とする。

(11) その他の検査として、溶接検査、塗装膜厚検査、外観検査、溶接目視検査、組み立て検査があるが、検査情報は各部品に対して1個とする。

(12) 製品検査情報は各部品形状に対して計上する。パイプ4個(部品記号、長さ、径、肉厚)、エンドコーン15個(部品記号、端部外径、開先ルート、ボルト穴長、ボルト穴径、ねじ精度、開先精度等)、ノード49個(部品記号、外径、肉厚、高さ、開口径、ボルト穴径、ボルト穴位置、ねじ精度等)、ボルト17個(部品記号、各部寸法、首下丸み、座面R、ねじ精度等)、ワッシャ5個(部品記号、肉厚、径、ボルト径、ノードR)である。

4) 施工情報における計上例

(1) パイプ部材(パイプ、エンドコーン、ボルト、ワッシャを含む)、ノードはマーキングを加えて各々2個とする。

(2) 仮設用の支柱情報は各支柱(点情報)に対して部品記号、変形、反力の計4個とする。

(3) ボルト締め検査情報は各ボルトに対して1個とする。

4. ケーススタディ

4.1 対象モデルの設定

3. で述べたように、ここでは、システムトラスの部品はたとえ同じものが複数あっても全て一つずつ生産情報を計上している。それゆえ、部品数が同じであれば、任意形状のシステムトラスであろうと平板形状のものであろうと情報量の差異はほとんどない。実際、平板形状と任意形状の両方のシステムトラスについて生産情報を定量的に把握してみると、任意形状のもつ複雑さは、設計段階で入力する情報、境界情報、仮設足場等の情報量に若干の差異を与えるが、これは生産情報全体の1%以下にすぎない。

また、情報量はシステムトラス規模の大小にかかわらず部品数に比例する。つまり、情報量はシステムトラスのスパン、桁長、面積、グリッド長等により変化するが、部品数が同じであれば情報量は同じである。さらに、部品数が増減しても設計・加工・施工における生産情報の間の比例関係は変わらない。

以上のことから、本論文ではシステムトラスの生産情報量を一般化して算定する際の生産情報のケーススタディとして、図7に示す平板形状モデルを選定する。グリッド長とデプスはスパンと荷重条件から適切な数値を設定する。等グリッド長に分割しても、各パイプ部材長さはキャンバーをとるために数mm単位で変化している。システムトラス周辺上の支点は全て下部構造により支持されるものとする。このモデルによってなされる分析は前述した理由により、一般的なシステムトラスに適用できると考える。

- ・形状 : 平板形状
- ・施工法 : 総足場工法
- ・スパン×桁長 : 42×42m²
- ・面積 : 1,764m²
- ・グリッド長 : 3m×3m
- ・デプス : 2.1m
- ・グリッド数 : 196個
- ・部品数 : 11,397個

部品が決定したあと、生産プロセスで生成される情報は部品数で決まるため、次のようにシステムトラスの情報量を計上できる(表3、4、5)。

システムトラスの情報量 = $\sum (i \text{ 部品のもつデータ量} \times i \text{ 部品の数})$

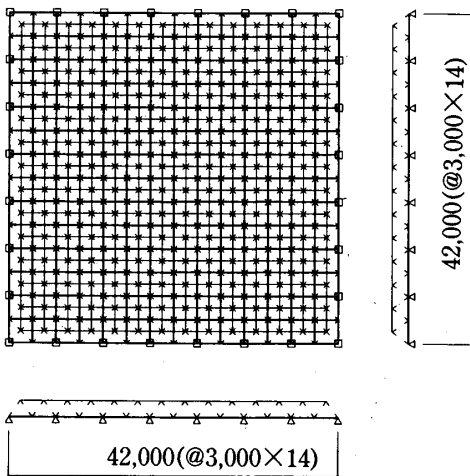


図7 平板形状システムトラス

4.2 設計情報の定量的把握

設計情報は意匠設計者、設計者、CADオペレータの数人が利用する。コンピュータを利用して自動生成するため、生成に必要な作業量の占める割合は少ない。すなわち、情報処理時間は情報量とリニアの関係ではなく、情報のシステム化とコンピュータの性能、容量に依存していると考えられる。一方、設計では各部品の干渉や部品製作の可否までを検討しており、生産に必要な情報のほとんどの部分が作成できる。

以下に設計情報の特徴を設計全体の情報量に対する割合で定量的に述べる(図8)。

(1) 手入力する情報は、スパン、桁長、グリッド形状等であり、設計で生成する情報量の約1%である。設計では入力データはわずか71個にすぎないが、データベースやコンピュータの利用により、505,996個のデータが生成される。入力情報に対する出力情報の割合は約7,000倍である。

(2) 出力される図面は、形状図、構造図、設計仕様等で、図面5枚(A1サイズ)である。文書情報は、見積

表3 設計情報量

設計情報	生成	加工伝達	施工伝達
線分	3,136	—	—
座標	421	—	—
荷重 12case	10,104	—	—
法線ベクトル	842	—	—
部材長	6,272	—	—
変形	10,104	—	—
部品軸力	155,580	—	—
部品耐力	11,397	—	—
絞り合い角	200,704	—	—
平面角・立面角	6,736	6,736	—
加工穴角・径	842	842	—
キャンバー	6,272	6,272	6,272
施工時軸力	12,965	—	12,965
施工時変形	421	—	421
部品積算	34,191	34,191	—
素材積算	34,191	34,191	—
構造図	11,818	11,818	11,818
小計1	505,996	94,050	31,476

表4 加工情報量

加工情報	生成	施工伝達
材料切断	45,588	—
部品鍛造	134,367	—
部品切削数	146,490	—
部品開先	10,976	—
部材溶接	6,272	—
穿孔	29,573	—
ねじ加工	291,821	—
熱処理	9,408	—
塗装	34,191	—
材料受入検査	34,191	—
製品検査	142,933	—
その他の検査	19,658	—
部品記号	11,397	11,397
工作図	12,239	12,239
小計2	929,104	23,636

表5 施工情報量

施工情報	生成
仮設用支柱	24
ボルト締付検査	3,136
合番図	9,103
小計3	12,263

書と構造計算書であり、各々5頁と約150頁である。図面作成に使用する情報量は、3. で述べた算出法によると、約2%であり、文書作成に使われる情報量は約98%である。

(3) 設計から加工に伝達される情報は、積算、構造図、加工データで、設計情報量の約18%である。

(4) 設計から施工に伝達される情報は施工時変形、反力、キャンパー、構造図で、設計情報量の約6%である。

4.3 加工情報の定量的把握

加工情報は多くの加工者が利用するため、加工の各工程に伝達する情報の種類と量は異なっている。

以下に加工情報の特徴を加工全体の情報量に対する割合で定量的に述べる(図9)。

- (1) コンピュータを利用して生成する情報は約77%であり、手動で生成する情報は部品記号及び検査情報で、情報量は約23%である。
- (2) 出力される情報は、工作図の図面5枚(詳細図を除く)、部品製作要領書の文書30頁である。図面作成に使用する情報は、3.で述べた算出法によると約1%であり、文書作成に使用する情報量は約21%である。
- (3) 加工する部品は11,397個で、そのために使われる情報量は929,104個にもなり、約82倍の情報が必要である。
- (4) 加工において、生産情報の約78%は、システムトラスの加工が終了すると必要がなくなる。これは生産情報がハードとしての部品に転移していくことを示している。加工終了後、多大な負荷を伴う検査業務を経て、初めて施工に伝達する部品となる。

4.4 施工情報の定量的把握

施工情報には施工管理者を始め、組立工、材料調達、

運搬業者等の多くの利用者が関与するため、加工情報と同様に情報の伝達、確認の重要度が増してくる。

以下に施工情報の特徴を施工全体の情報量に対する割合で定量的に述べる(図10)。

- (1) コンピュータ利用により生成する情報は合番図であり、約75%である。
- (2) 文書情報はボルト締付検査書であり、作成に使われる情報量は約25%である。
- (3) 生産情報の約75%は、システムトラスの施工が終了すると同時に必要がなくなる。これは、これらの情報がハードとしてのシステムトラス構造物に転移し、残りの25%の情報が、施工の終了とともにドキュメントとして残されることを示している。施工したトラスは最終的に1個となる。

5. 考察

4. で示したケーススタディから生産情報の種類を生成、伝達、転移に分類して考察する。ここでは下記のように定義する。

- ・情報の生成：生産プロセスにおいて新規に作成するもの
 - ・情報の伝達：情報が以降のプロセスの情報の生成のために使用するもの
 - ・情報の転移：情報が以降のプロセスで不要となるもの
- システムトラスの生産情報量の推移を図11に示す。以下に述べる数値は、システムトラスの生産情報量に対する

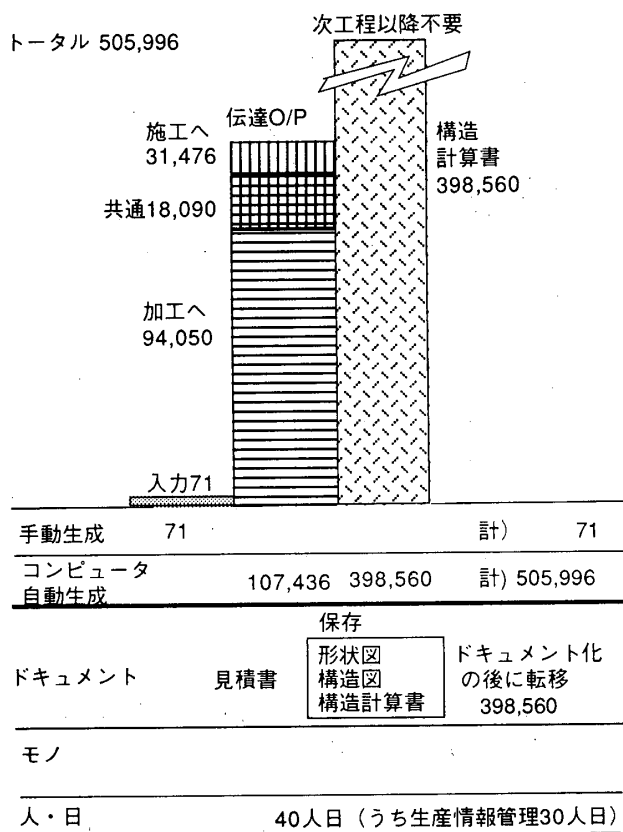


図8 設計生産情報

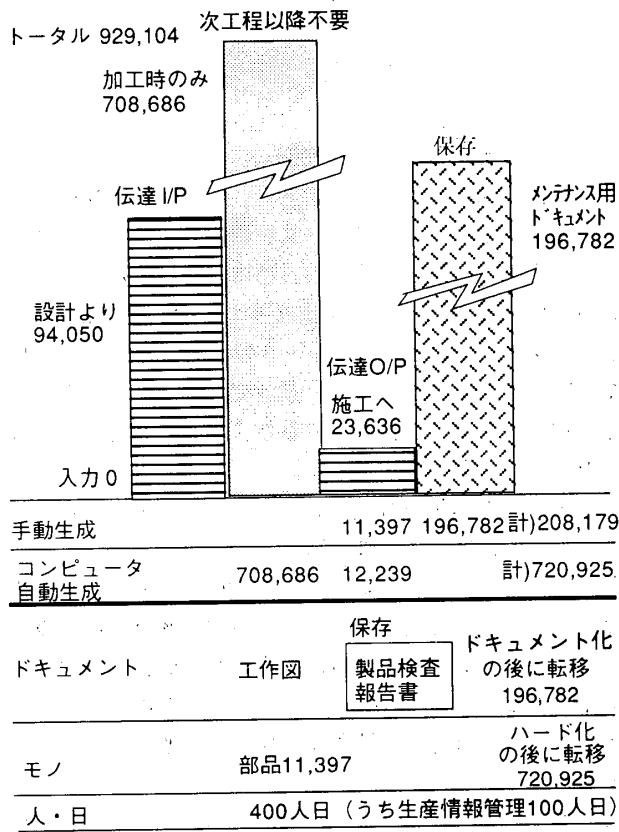


図9 加工生産情報

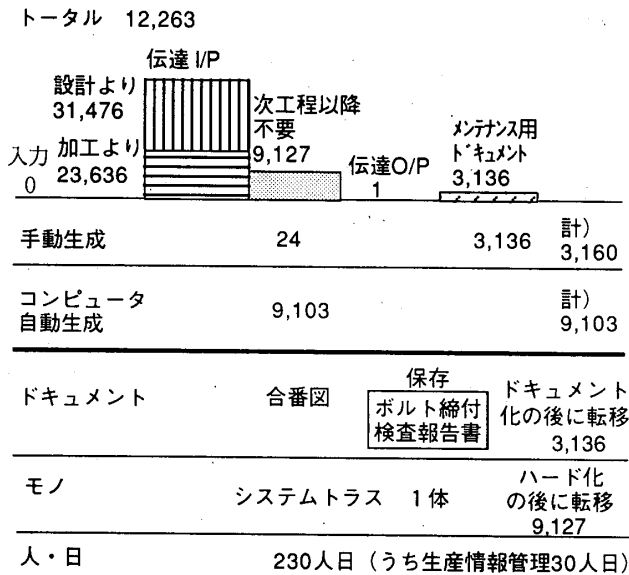


図 10 施工生産情報

る割合を示す。

5. 1 情報の生成と作業量

(1) システムトラスの生産を行う場合には多くの生産情報を必要とする (図12)。設計に必要な入力情報は71個であるが、設計、加工、施工で生成する情報量は1,447,363個で約20,000倍にもなる。

(2) システムトラス生産情報の中では加工で生成する情報が約64%と一番多い。設計、施工で生成するものは、

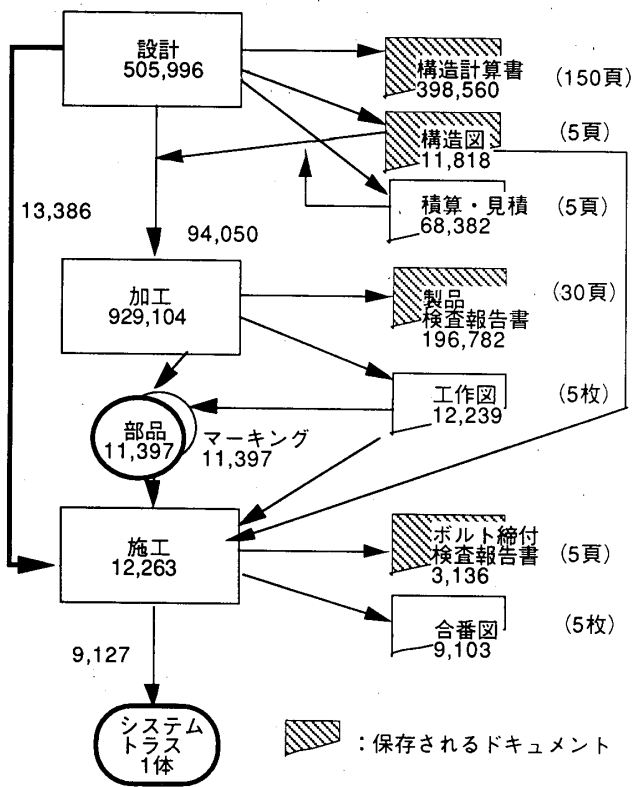


図 11 生産情報の推移

それぞれ約35%と約1%である (図13)。

(3) 生産設計を行うため、エンジニアリング判断が加わる情報は設計が最も多く、生産に必要な情報の大部分は設計で決定できる。

(4) コンピュータ利用による自動生成の比率は、設計で最も大きく、加工、施工の順に少なくなる。

(5) 人が情報の生成に必要なとする作業量は設計では40人日、加工では400人日、施工では230人日であり、加工が最も多く、施工、設計の順となる。また、時間と作業量は加工、施工で多い。

5. 2 情報の伝達

生産プロセスに対して、生産情報の伝達は主にドキュメントまたは文字情報によるものである。

(1) システムトラスの構造設計に伝達する情報は、生産情報量の0.1%も満たない。

(2) 設計から加工に伝達する情報は、積算、構造図、加工データで、生産情報量の約7%である。

(3) 設計から施工に伝達する情報は、施工時変形、反力、キャンパー、構造図で、生産情報量の約2%と少ない。

手動生成量と自動生成量の割合

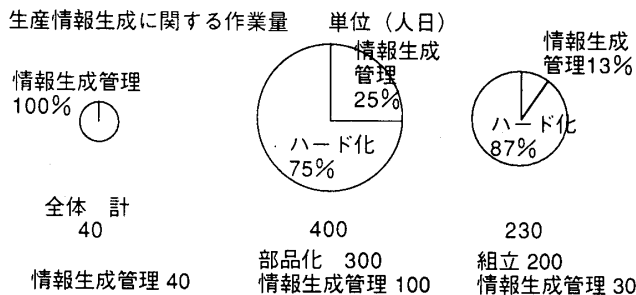
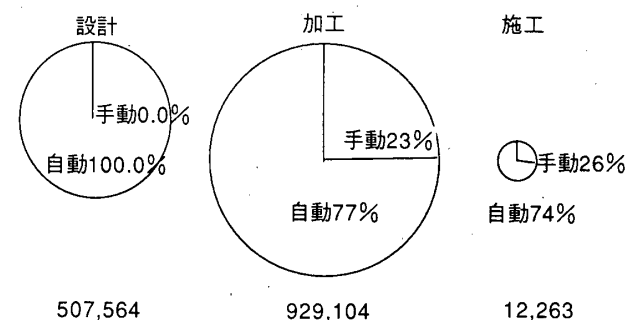


図 12 情報の生成と作業量

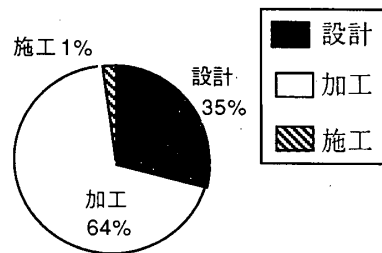


図 13 システムトラスの情報生成量

- (4) 加工から施工に伝達される情報は、システムトラス部品記号と工作図で、生産情報量の約2%と少ない。
- (5) 設計から加工、施工へ共通に伝達するデータは、キャンパーのみで、生産情報に占める割合は非常に少ない。
- (6) 設計、加工、施工の順に情報の伝達量は少なくなる。

5. 3 ドキュメント化と情報の転移

- (1) 設計で生成する情報のうち、約81%が、図面5枚、文書150頁に変換され、構造図、形状図、構造計算書として保管される。構造計算書は次工程には伝達されずに転移する。
- (2) 加工では、出力されるドキュメントとして、工作図5枚、部品製作要領書30頁、製品検査報告書30頁である。部品検査報告書及び製品製作要領書に関する情報はシステムトラスの施工が終了するとともに転移する。
- (3) 施工では、出力されるドキュメントが、合番図5枚、施工計画書15頁、ボルト締付検査報告書5頁である。施工計画書及び合番図は、システムトラスを組立てるためのドキュメントであり、システムトラスの組立が終わると転移する。

5. 4 ハード化と情報の転移

- (1) 加工の段階でパイプ(1,568個)、エンドコーン(3,136個)、ノード(421個)、ボルト(3,136個)、ワッシャ(3,136個)のマーキングした情報を保有して部品(計11,397個)を生成する。加工で生成される情報の約78%の情報をハード化に使用し、11,397個の部品となる。加工が終了するとこれらの情報は転移する。これらのほとんどはNC制御機械に使用する情報である。
- (2) 施工が終了するとシステムトラス部品の組立に使用した情報はハードへ転移される。

6. 結論

システムトラスの生産情報に関して、次のようなことが明らかになった。

- (1) 新規の情報はほとんど設計段階において入力、決定され、加工、施工のための生産情報が確定する。プレエンジニアリング段階における生産設計がシステムトラスの特徴であるといえる。
- (2) 部品の情報をデータベースに登録しておけば、少ない情報(要求仕様)から、膨大な生産情報が生成できる。ここでは、生産プロセスにおける情報の変遷を定量的に分析し、これを検証した。
- (3) 設計から加工、施工まで共通に使用できる情報は非常に少ない。システムトラスにおいては、各生産プロセスで使用できる共通データベースを持つ必要はなく、データの流れを重視して各工程のデータを作成する方が適切である。

(4) 設計、加工、施工において、ほとんどの生産情報はドキュメント化の後に転移し、次工程にはひきつがれない。特に、設計における生産情報の多くを、人間が行う検討のために生成している。

(5) 各生産プロセスにおけるコンピュータ利用度は、設計、加工、施工の順に低くなり、情報量は加工、設計、施工の順に少なくなる。情報量の減少は、ドキュメント化やハード化によるものである。

(6) 各工程において情報生成に必要とされる人間の作業量を比較すると、機械化の遅れている検査業務においては、情報量の増大が人間の作業量の増大を生む。しかし、システム化の進んだ分野では情報量の増大と人間の作業量は無関係である。

以上、システムトラスにおいて、設計から、加工、施工までの流れの中で、ソフトの持つ情報がハードとしてのモノの形へ、変遷していく過程を定量的に分析した。この過程を経て、意匠設計者の頭の中に浮かんだイメージは、ソフト情報を集約して作ったモノとなり、実際のシステムトラスとして、世の中に現れることになる。

参考文献

- 1) 峰政克義：建設産業の生産情報の生成・展開の現状と将来への展望、第4回 建築生産と管理技術・生産設計をめぐる諸問題、1993年
- 2) 北丈夫：建築CIMを目指した統合CADシステム、第6回 建築施工ロボットシンポジウム、1992年1月
- 3) 岩田衛：システム構造体による建設生産システムの変革、第21回 建設業情報システム研究会、1993年2月
- 4) 岩田衛、藤田正則他：システム構造体に於ける建築生産情報の統合化、第15回 情報・システム・利用・技術シンポジウム、1992年12月
- 5) 和田章、岩田衛他：Computer application in design and construction of space frame、IABSE、1980年9月
- 6) 川合廣樹、岩田衛他：システムトラス構法計画成立に関する論証、日本建築学会計画系論文報告集、1988年8月
- 7) 岩田衛、和田章他：部品構成された鋼管立体トラスの接合部の回転性能に関する研究、日本建築学会構造系論文報告集、1988年9月
- 8) 岩田衛、和田章他：システムトラスによる中国大連タワーの構造設計と技術開発、日本建築学会構造系論文報告集、1992年4月
- 9) 寺井達夫：施工の自動化における生産情報の統合化、第5回 建築施工ロボットシンポジウム、1991年2月
- 10) 建設省総合技術開発プロジェクト・エレクトロニクス利用による建設技術高度化システムの開発報告書、第3巻、1989年12月

(1993年10月8日原稿受理、1994年3月17日採用決定)