

IV-6 設計工学に関する一考察(2)

群馬高専 土木工学科 正員 平田恭久

1. まえがき

前回の発表では、設計工学、設計方法論などの名称で呼ばれているものの重要性について述べ、設計方法論を土木工学の分野で具体化していくことが急務であると強調したが、今回の発表では、その中でも特に設計プロセスについて触れることにする。設計方法が設計問題の解決に対しかなりの影響を持っているのは確かであるが、その設計方法について論じている設計方法論において最も基本的なテーマは設計プロセスの解明である。設計プロセスの解明のためには設計者自身の内面にまで立ち入らねばならないような場合もあり、設計方法論の中では最もむずかしいテーマであるが、ここでは、設計プロセスを考えていく上で特に関係の深いと思われるものについて、設計に計算機を利用していくという前提の下で考察を加えた。

2. 設計プロセスとは何か

1) 設計プロセスの定義

設計プロセスの定義としてはいろいろあるが、非常に大まかに考えると、ある設計問題が与えられたとき、問題から解答までを結びつける筋道、別の表現をすれば、問題から解答に至るまでの過程を言っている。設計プロセスの個々の段階をより詳細に眺めると、多くの場合、それらは作業的に結ばれた手順となっている。この問題から解答に至る過程が厳密な意味でのプロセスであるとする、この過程は具体的に表現することができ、かつ、これに沿って実行が可能であるようなものでなければならない。しかしながら、実際の設計においては、このような意味でのプロセスとして看做しうる例は少なく、設計問題が分解されてかなり具体的な形をなしてきたとき、すなわち、設計手順として表現しうる段階に達したときに初めて厳密な意味でのプロセスとして把握することができるのである。これとて、その手順は理路整然としたものではなく、場当りのであったり、設計が済んだ後からでないといふ説明がつかないような場合もあったりするのである。設計の全過程を合理的な行動として記述できるプロセスを見い出すことは困難なことであるので、以上のようなプロセスとしての曖昧さを含んだ形で設計の過程を設計プロセスと称している。

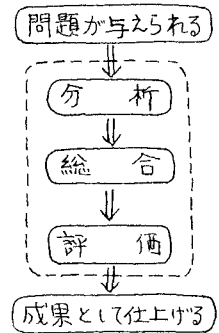
2) 設計者の直感と設計プロセス

設計プロセスにおいて最も扱いにくいものは設計者の直感である。直感は興味ではあるが設計者の直感を無視しては設計が成り立たないのは事実であり、設計過程の初期の段階では直感の占める位置は非常に大きいものである。直感自体は設計者の頭の中で行われるものであつてプロセスとは言いがたく、直感が生じてくる過程について合理的な説明を加えることはできない。このため、合理的な行動としての設計プロセスを求めるとは不可能となってしまう。設計者の持つ直感や想像力が大きく作用している段階が設計において最も創造的で且つ価値があり、設計方法論からみても大いに興味のあるものであるが、設計プロセスとして解明することは最も困難なものとなっている。これに対し、詳細設計のようにルーチンワークとなっている設計手順の場合には、直感の働く部分が少なくなつていて、プロセスとしての表現が比較的容易にできるので、設計方法論としては手の付けやすい範囲である。

3) 設計プロセスのモデル

設計プロセスのモデルとしては種々のモデルが提唱されているが、最も一般的な形のものを図示しておく。問題が与えられた段階で問題の確認、認識が行われる。実線で囲まれた部分“分析・総合・評価”の三段階が設計

プロセスの基本となっており、図には示されていないがフィードバックループを含んでいる。この一連の操作は一回で終了するとは限らず、設計の段階に応じてこの一連の操作が繰り返され、設計が概念的なものから具体的なものへと進展していく。"分析"の段階では、問題を探る範囲が広げられて分析が行われる。"統合"の段階では、案が作られるが最も創造的な段階である。"評価"の段階では、幾つかの案の中から最終的な解を導き出す。最後の段階として、得られた解を設計成果の形に直していく。このモデルは設計プロセスの基本的な枠組みを示したものであって、計画、設計などにおける問題解決のための行動の順序を表わしている。一方、現実に見られる設計の過程は個々の設計対象に大きく依存しているため、このようなモデルだけではうまく説明できないのが普通である。従って、実際の設計例に基づいて設計プロセスを明らかにしていこうとすると、設計プロセスの基本的な枠組みについての考察と設計対象の仕組みについての分析との両方からアプローチしていかなければならないのである。



3. 設計対象と設計プロセスとの関係

1) システムの表現

具体的な形で現われてくる設計手順は設計対象と密接な関係があるのが普通である。特に詳細設計の段階ではこの傾向が顕著である。設計手順と設計対象との関係を調べるには、先ず、両者をどのような形で表現できるのかを考えてみる必要がある。設計手順、設計対象ともシステムとして捕えることができるが、システムを表現する場合、システムを構成している要素間のつながりとして表現する場合と、システムの処理過程に着目してフローの形で表現する場合とがある。設計手順と設計対象との関係について言えば、前者はフローとして扱われたものであり、ある設計手順に入力データが与えられると処理が行われ、設計成果と呼ばれるものが出力される。これに対し、後者はフローとしてではなく構成している要素間のつながりとして記述されるものである。

2) 設計における変数

設計対象を構成している要素(鋼橋を例にとれば、主げた、床版、横構等)について設計操作に関係のある因子(支間、けた高、材質、応力度等)に着目してみる。これらは設計操作によって変化するものなので変数と呼べば、この変数で設計対象を表現することが考えられる。この変数は力学的関係、幾何学的関係などによりお互いに関係があり、変数間のつながりを変数関連図のような形で表現してみることができる。この変数を分類してみると、荷重条件、断面寸法、使用材質などのように主として設計者が与えて設計対象を形作るものと、重量、曲げモーメント、応力度、たわみなどのように前者が与えられたときの設計対象の挙動を示すものと二種類の変数がある。前者を設計変数、後者を状態変数と呼ぶこともある。設計変数には設計者の自由になるものと他から与えられるものがあり、状態変数にも設計者が操作しようとしている変数と操作に伴って付随的に生じてくる変数とがある。このように変数の分類には処理手順としての考え方が入ってきているが、フローとしての考え方をより一層強めると、入力変数、出力変数のような分け方となる。また、変数には変数の存在域が定められているものが多く、この存在域は制限条件(制約条件)とも言われている。

3) 設計対象と処理手順との関係

上記のように設計における変数を取り上げてみると、構成要素間のつながりに着目した場合と処理過程に着目した場合との両方について、この変数によりシステムの表現が可能となるので、この変数を媒介として設計対象とプロセスである設計手順とを結びつけることができる。詳細設計のように具体的な形を持っているものについてはシステムの表現が比較的容易なので、設計対象についての変数間の関連図を作り、この変数関連図に適当な修正を加えて設計手順に変換していくことができるのではないかと。これらの作業を通じて、設計手順がどのようにして組み立てられているかを明らかにすることができよう。

4. 設計プロセスにおける決定

1) 任意の決定

設計行為は決定(又は選択、判断)の連続であるとも言える。この決定の中でも、設計方法論からみて特に問題となるのは任意に行われる決定に関するものである。ある設計問題の定義、制約条件などからその設計問題の解の存在領域が規制されてくるが、一般には、これらの制約条件を満足する解は無数に存在することになり、解の存在領域内ならまったく任意の決定が可能となる。この解を確定させるためには、最適化されるべき目的関数(通常はコストに関するものである)を定めて唯一の最適解を求めねばならない。このような付加的な要求がない場合は、“設計者の好み”のような恣意的なものにより選択がなされてしまう恐れがあり、通常は、この種の任意の決定に対して経験的な判定基準を設けることにより処理している例が多い。現実の設計では、設計者に自由裁量の余地が少なく殆ど自動的に解が確定していく例もかなりあるが、これは、設計問題の解の存在領域が真又は事実上真に近い場合である。また、この任意の決定の部分を設計の自由度として活用して、細かい付随的な設計要求を取り込んでいくための余地として残しておく場合もある。

2) 決定と設計手順のアルゴリズム

この任意の決定は、設計手順のアルゴリズムを考えると(例えば自動設計のプログラム)には扱いにくい問題となるので、任意の決定に対する何らかの処理方法が導入されねばならない。アプローチとして考えられるものの一つに最適化手法の適用がある。設計における決定だけに着目して最適化手法を用いると、設計対象全体についての最適化とはなにくく部分最適化の段階に留まるので、最適設計法の消極的な用い方とでも言えよう。このような数学的手法を用いなくとも、好ましい解の状態が経験的に分かっている場合には、経験値を整理して標準的な処理方法や判断基準を導き出すことが可能であり、これらはアルゴリズムの形に整理することができる。鋼橋の詳細設計では示方書類で多くの設計基準が示されているが、これは、個々の設計者に代わって示方書類が判断を代行していると言える。以上の議論は、設計手順のアルゴリズムを明確にする場合に必要となることであつて、豊かな経験を持った設計者の存在を否定するためのものではないことを付け加えておく。

5. 設計プロセスと計算機

1) 設計プロセスと計算機とのかわりあい

これからの設計を考えていく上で、計算機の実在を無視した設計プロセスはありえないであらう。計算機と設計プロセスとのかわりあいからみると、計算機はあらかじめ組まれた一連の命令(プログラム)によって動かされねばならないので、設計に計算機を用いる場合は必然的に設計プロセスをプログラム化しうるといった論理的な手順に変換しなければならなくなる。このことが、計算機の利用を前提として設計プロセスを考えていく場合に設計プロセスを論理的に明確にしていかなければならない大きな理由となっている。しかしながら、実際の設計面では設計者による感覚的な判断が重要な役割を果たしているので、一連のプロセス全部をプログラム化することは不可能である。このため、計算機による処理の途中に設計者の判断が入ってくる対話型のシステムが必要となってくる。

2) 設計システムのあり方

計算機を用いることにより、設計が着しく能率化、高度化してくるのは事実であるが、設計は設計者が自分の持つ知識、経験、想像力を活用して対象となる設計問題を繰返し過程を伴いながら解いていくものであつて、計算機が主体となった設計システムは設計本来の姿ではないであらう。このことから、計算機により完全に自動化された設計システムは可能であつたとしても不適当なものと言えよう。計算機は設計者に取って代わるべきものではなく、設計者を援助し拡大するものである。ここから Computer Aided Design の考え方が生まれてくる。また、計算機を用いた設計システムは、固定化した設計に役立っただけでなく、設計操作のない範囲をカバーできる柔軟性のあるシステムでなければならない。

6. 設計における変数相互間のつながりと設計手順

1) 変数相互間のつながり

自動設計や最適設計を考えた場合は、通常の手計算による設計手順とは異なった手順が必要となってくるが、この手順をどのようにして見つけたらよいだろうか。このためには、先ず、設計対象についての設計における主要な変数を選び出し、これら変数相互間の関係性を把握して見る必要がある。また、どの変数(ファクター)が影響度合いの高いものであるかを分析することは、設計の方法を考えていく上で重要なことである。変数相互間の関係性を分析する方法としてはネットワークの考え方をを用いることができる。変数間のつながりはネットワーク状になっており、お互いに結合しあっている変数間では一つの変数の値はそれが関連する他のすべての変数の値に影響を及ぼしている。変数相互間の関係性はグラフとして表現できるが、変数は点(nodes)で表わされ、変数と変数とのつながりは枝(branches)で表わされる。この図を仮に変数関連図と呼んでおく。この枝は変数と変数とのつながりを示しているが、変数間の関係(影響度合いを示す係数、関係を表わす数式、変換手順など)をこの枝に付加することができる。ルーチンワークとなっている設計、例えば合板製の橋の設計のように設計方法が示す書類でかなり明確に示されているものについては、これら変数相互間の関係性の数式、変換手順などの形で示しうる場合が多い。変数関連図は、ある設計対象についてある設計計算法の下での変数相互間の状態を示したものであって、設計対象や設計計算法が変化すればこの変数関連図も変化する。

2) 設計手順への組替え

設計からみた設計対象のシステムと設計成果を得るための処理手順とは明らかに別のものであるが、通常の設計計算例などでは両者の区別をあまり意識しないで取り扱われている。ここでは、先ず最初に、設計対象を表現するために変数相互間のつながりをネットワークの形で表現してみたが、次の段階として、変数と変数とも結ぶ枝に方向(設計計算での順序を頭に浮かべて)を考え、必要に応じて枝を束ねて変数と変数との間に変換手順を挿入していくと、フローとしての形態を帯びてくる。このような作業によって変数関連図が組み直されていくと、ネットワークの形を残した処理手順ができて上がる。これについて全体からみた処理の方向も考えて配列し直すと、通常の設計手順の形となってくる。

3) このような作業から得られるもの

抽象化した設計プロセスは非常に理解しがたい所があるので、設計プロセスについての具体的な理解を得るため、"3. 設計対象と設計プロセスとの関係"で述べたことをベースにして、設計手順がどのような組立てとなっているかを合板製の橋の設計を例にとって調べてみた。上記では概念的な操作について述べてあるが、具体的な作業となると簡単ではなく、変数関連図を作りこれから設計手順を導き出すことは容易なことではない。しかしながら、このような作業を試みていく過程で設計プロセスについての具体的な理解が深まり、設計方法論を考えていく上で有益となる多くの題材が得られてくるのである。例えば、ネットワークの形を残した処理手順を通常の設計手順へと配列し直すときに基本となるものは次のようなものである。設計の過程は修正のためのループを含んだ反復操作であるが、大きなフィードバックループはなるべく少なくした方がプロセスとしてはすっきりし、作業の効率が向上するので、設計操作が荒い調整から細かい調整へと移行できるよう、影響度合いの最も大きい部分から手を付けていく形に設計手順が組み立てられている。

7. おわりに

以前から設計方法論に取り組んできたが、設計方法論の中でも主要なテーマである設計プロセスについて、何らかのシミュレーションができないうちと考えて手を付け始めたが、また構想の段階から抜け出せないでいる。もっと具体的なものと発展させ、設計方法の改善に寄与したいと考えている。最後に主な参考文献に触れておく。

J. Christopher Jones 池辺陽叔 デザインの手法 丸善

Gary T. Moore 編 環境デザイン研究会訳 新しい建築・都市環境デザインの方法 鹿島出版会