I-121　骨組構造物の分割設計法に関する研究

京都大学　正　員　小西一郎
京都大学　正　員　白石成人
京都大学　学生員○古田　均

1. まえがき

最適設計を実際の構造物に適用する場合、いくつかの問題点に直面する。これらは最適設計の基盤となっている構造解析、数理計画法に起因している。構造物の巨大化、複雑化が進むと、その解析には多大の計算時間が必要となり、構造解析を反復過程に使用する構造設計ではより一層の計算時間が費されると考えられる。また、そのような構造物では決定されるべき設計パラメーターの数は非常に多くなり、その最適解への収束性は劣化すると思われる。以上の問題点は設計変数の増加に伴い生じると考えられるので、これらの欠点を補うためには設計変数の減少を図ることが要求される。このことは構造物に荷せられる対称性や、その他の条件を考慮することにより若干は行なわれ、また断面形状などを独立に取り扱うとか、ある近似式でいくつかの設計変数を関連づけることにより次元の降下が期待できる。しかし、これだけではまだ多くの独立な変数が存在し、それ以上の変数の減少は期待できない。そこで本研究では構造解析における Kron の方法の概念を設計問題に応用とし、構造物の分割設計を行なうことにより設計変数の減少化を試みている。

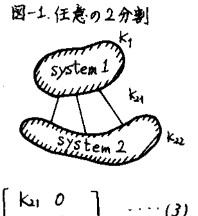
2. Kron の方法の設計問題への応用

G. H. Kron は構造解析における計算時間の短縮、計算機容量の縮小を図るために分割解析法を提案している。この方法では与えられた構造系は任意の subsystem に分割され、個々の独立な subsystem について解析がされ、その後、Interconnecting を行なって全体の解が求められる。この分割は構造物のもつ Network-topology の性質に注目することにより容易に行なえる。本研究ではその内の Branch node incidence matrix A に注目をし、分割への指示は A を部分行列に分けることで与えられる。例えばある系を任意の2つに分割する場合には次のようになる。

$$A = \begin{bmatrix} A_1 & A_{12} \\ 0 & A_2 \end{bmatrix} \quad \cdots\cdots (1)$$

Suffix 1, 2 は subsystem の番号を示し、12は両 system 間を結合する部材を示す。

図-1. 任意の2分割



そして他の物理量はこの A に対応させればよく、その構造解析の基本式は次の(2)式のようになる。

$$P = A^t K A u = \left\{ \begin{bmatrix} A_1^t K_1 A_1 & 0 \\ 0 & A_2^t K_2 A_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ A_2^t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{12}, 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A_{12}^t \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{12} & A_2 \end{bmatrix} \right\} u \quad \cdots (2)$$

ここで P；節点荷重、u；節点変位、K；primitive stiffness matrix

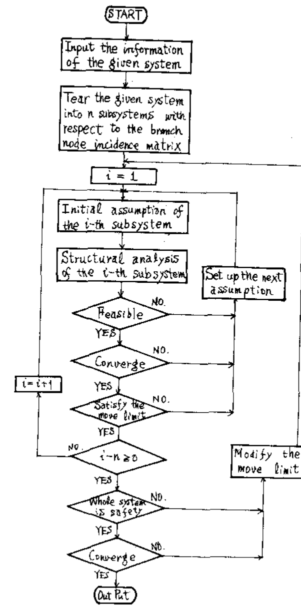
$$K_2 = \begin{bmatrix} K_{21} & 0 \\ 0 & K_{22} \end{bmatrix} \quad \cdots (3)$$

また(3)式の K_{21}, K_{22} は system 2 で system 1 に関連する部材と関連しない部材をそれぞれ表わす。ここで設計問題は上式における各剛性行列 K_1, K_{21}, K_{22} の最も効果的な組合せをそれぞれ得ることに帰着をする。しかし、設計問題に Kron の方法を応用する場合、Interconnecting の過程で重要な障害が現われる。構造解析では各部材の剛性は確定的なものとして与えられており、各 subsystem 間の影響を考慮する Interconnecting は(4)式の Householder の公式を適用することにより容易に行なえる。

$$(F + GHK)^{-1} = F^{-1} - F^{-1}G(KF^{-1}G + H^{-1})^{-1}KF^{-1} \quad \cdots\cdots (4)$$

ところが設計問題では各部材の K_i を決定することが目的であり、これは各設計段階で変化をする。(2)式で明らかなように右辺第1項の各 subsystem を独立に決定することは容易であるが、第2項以下の相互間の影響を伝達する部材は独立に扱うことはできず、subsystem 1 で決定された解は subsystem 2 での最適化の影響を受ける。そしてその影響は system 2 に直接関連しない部材にも及ぶと考えられる。そこで設計問題ではただ単に Householderの公式を適用するだけでは各subsystem間の相互の影響を考慮することができないので、各設計段階における相互影響の変化に対応しうる柔軟性をもったある特別な取り扱いが必要とされる。本研究ではこれを数値的に考慮することとし、各subsystem間の独立性を制限するために、各設計変数にmove limitというべきものを与え、全構造系の安全性をcheckすることと合せて、安全側より最適解に接近さすことを考えている。

図-2 FLOW CHART



3. 分割設計法

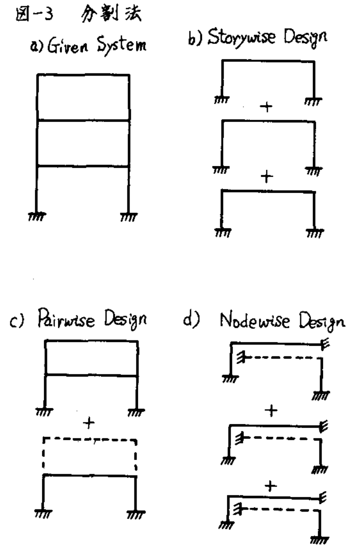
ここでは2.3の分割法を挙げその特質を述べる。(図-3参照)

i) Storywise Design：与えられた構造系を層ごとに分割し、その各層を基本単位と考え、上層より下層に向って設計を行なう。一層を基本単位ととることはそれ自体独立性の高いもので、簡単な構造形式をもち、高層建築では同じ構造をもつことが多いという利点をもつ。またその各subsystem間のつながりも簡明であるのでInterconnecting Procedureは非常に容易と考えられる。この時、上層よりの外力の影響はその内力を下層に外力として加えることにより考慮される。

ii) Pairwise Design：2層を基本単位として個々の設計を行なう。この分割は全体の剛性行列を見れば明らかなように、隣接する層の影響を考慮することにより全体の系に非常に近い挙動を表わすと考えられる。よって個々の設計では変数が増え、(i)の方法より多くの時間が必要であるが、そのInter-connectingは容易となると思われる。

iii) Nodewise Design：この方法は構造系の最小単位、ultimate blockと考えられる節点に注目するもので、各subsystemは唯一の節点しか有さないので、その構造解析、設計は非常に容易と思われるが、その後のInterconnecting Procedureで多大の労力が必要とされることが予想される。

図-3 分割法



4. 半剛性の考え方による近似設計法

上に述べた数値的に各subsystem間の影響を考慮する方法では、その判定基準の取り方を厳しくすると、理論的に厳密に求めたものに一致するという保証は得られるが、それに反して非常に多くの計算時間が必要となる。
ここでは多変数問題の最適解の収束性の悪さを考え、反復過程を用いずに近似的に全体の設計を得ることを試みる。分割した系ともとの全体系では当然その状態、状況というものは異なる。そこでその違いを考慮するために半剛性という考え方を導入する。これは剛性行列を修正することにより行なわれる。

$\bar{K} = K + \alpha K$ …… (5)　$\bar{K}$：修正された剛性行列　α：定数で数値的にいろいろの場合を考え、あらかじめ求めておかれるものである。

5. 考察及びあとがき

分割法というKronの概念の設計問題への適用により設計変数の数は減少し、計算時間の短縮、収束性の改善が期待できると思われる。またKronの分割解析法を各設計段階の構造解析に応用すると計算時間の短縮が可能であると思われる。そして、より一層の成果を期待するには反復過程の改善、いろいろな場合におけるαの妥当な値を求めることが必要である。このためには半剛性だけでなく各subsystem間の結合状態のmodel化が重要となると思われる。　(数値結果は当日発表の予定)