I－520　離散的最小重量設計法の効率性に関する一考察

九州共立大学工学部　正　員○三　原　徹治
アルファコンサルタント(株)　正　員　千々岩　浩巳

1．緒　言　最適構造設計法を実構造設計で活用する際の課題のひとつとして離散化、すなわち既製形鋼などを用いる設計のように設計変数を離散変数として取扱う必要がある場合への適用がある[1)]。代表的な最適構造設計法である最小重量(費用)設計法について石川ら[2)]や杉本ら[3)]により従来の連続的最適化手法に離散値データの情報を巧みに取込む形で離散最適解を求める解法が提案されている。著者らはこれらの研究と観点を異にして、最小重量設計基本式が一般に複雑な制約条件と簡単な目的関数とから構成され、しかも離散最適解の目的関数値が連続最適解のそれより小さくないという性質を有することに着目し、限定列挙法と名付けた一連の解法アルゴリズムを提案し、その妥当性と効率性について検討してきた[4,5,6)]。

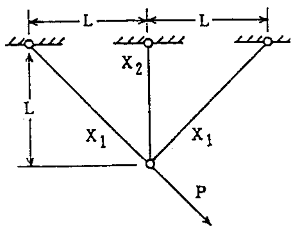
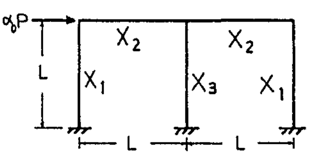
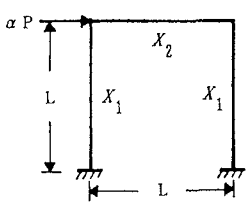
本報では限定列挙法の適用範囲を主として効率性の面から明らかにすることを目的とし、構造物の挙動を弾性，塑性，弾塑性に仮定する4種の最小重量(費用)設計問題を列挙法，限定列挙法および一部は分枝限定法によって解くという数値実験を行い、問題タイプと解法の適合性について言及する。

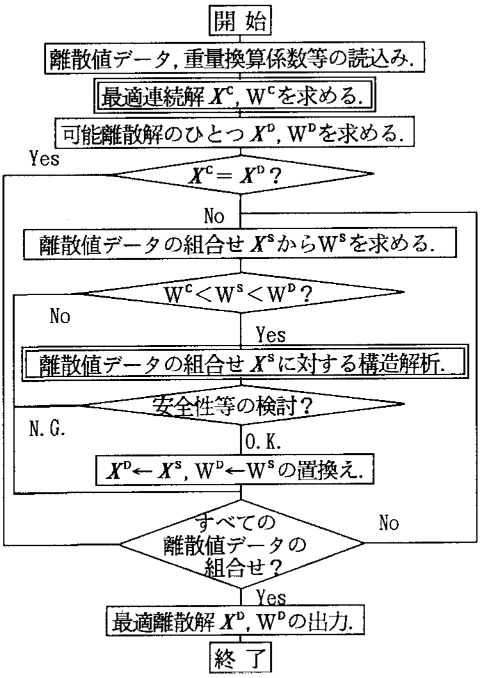
2．限定列挙法　限定列挙法は本質的には列挙法に基づく解法であり、そのアルゴリズムの概略を図-1に示す。当初、最適連続解と可能離散解のひとつを求めることにより以下の離散解の安全性等の検討の必要性を計算が簡単な目的関数値のみにより判定する点に特徴があり、構造解析は図-1中二重線で示される部分でのみ要求される。

3．数値実験に用いた計算例　表-1に数値実験に使用した4種の計算例の概要を示す。その特色は次のようである。

①計算例1　3部材トラスの弾性設計：部材挙動を弾性に仮定した応力制約のみによる最も基本的なNLP問題．②計算例2　円柱式橋脚の鋼管杭基礎の設計：文献2)では分枝限定法に基づく離散型線形計画法によって解かれているNLP問題．ある杭径Dに対する肉厚tは2～4種類であり離散値データ間に相関がある．杭間隔dは本来連続量でありオリジナルには混合型問題で

表－1　数値実験に用いた計算例

計算例番号	構造・載荷形式	設計変数(個数)	離散値データの個数	計算パラメータ
1		断面積（2）	各設計変数について 40	P＝10～50tf (10tf刻み)
2	円柱式橋脚の鋼管杭基礎[2)]	杭径D 肉圧t 杭間隔d （3）	D，tについて　62 dについて　3，001	
3	 P＝10tf，L＝4.0m	全塑性モーメント（3）	各設計変数について 70	α_0＝1.4～2.1 (0.1刻み)
4	 P＝10tf，L＝4.0m	全塑性モーメント（2）	各設計変数について 22	最大節点変位の許容値 u_a＝3.8～5.0cm (0.2cm刻み)



図－１ 限定列挙法の解法アルゴリズム

ある．このため列挙法，限定列挙法の適用には杭間隔dの離散値データ化が必要．③計算例３ １層２スパンラーメンの塑性設計:部材挙動を剛塑性に仮定すると連続的問題がＬＰ問題に定式化される設計問題．④計算例４ 門型ラーメンの弾塑性設計:部材挙動を完全弾塑性に仮定し、２種類の構造解析（塑性解析とホロノミック弾塑性解析）を必要とするＮＬＰ問題．

４．数値実験結果　表-1に示す計算例を列挙法および限定列挙法により解いた。計算例2,3については分枝限定法も適用した。いずれの計算例においても得られた離散最適解は解法によらず一致した。効率性の目安として必要とした構造解析回数を表-2に示す。表-2から以下のことがわかる。①限定列挙法は列挙法より全般に非常に効率的であるが、離散値データ個数が少ない計算例４のように他の計算例に比較して効果が小さい場合もある．②計算例３のように設計変数個数が増えると列挙法に基礎をおく限定列挙法の計算量も大きくなる．③計算例３の塑性設計は基本式がＬＰであるため分枝限定法のほうが効率的である．④計算例２では限定列挙法が最も効率的という結果が示されているが、このような混合型問題では連続量を離散値データ化する必要があり、設計変数に連続量が多い場合への適用には配慮を要する．

表－２ 構造解析回数による計算効率比較

計算例番号	計算パラメータ	構造解析の種類	構造解析回数 列挙法	構造解析回数 分枝限定法*	構造解析回数 限定列挙法
1	P＝10tf	弾性解析	1,600(100)		8(0.500×10^{-2})
	P＝20tf				47(2.938×10^{-2})
	P＝30tf				6(0.375×10^{-2})
	P＝40tf				3(0.188×10^{-2})
	P＝50tf				12(0.938×10^{-2})
2		弾性解析	186,062(100)	268(0.144)	50(0.269×10^{-3})
3	α_o＝1.4	塑性解析	343,000(100)	17(0.495×10^{-4})	850(0.248×10^{-2})
	α_o＝1.5			27(0.787×10^{-4})	461(0.134×10^{-2})
	α_o＝1.6			35(1.020×10^{-4})	1,015(0.296×10^{-2})
	α_o＝1.7			15(0.437×10^{-4})	656(0.191×10^{-2})
	α_o＝1.8			29(0.845×10^{-4})	1,546(0.451×10^{-2})
	α_o＝1.9			37(1.078×10^{-4})	1,730(0.504×10^{-2})
	α_o＝2.0			43(1.253×10^{-4})	1,866(0.544×10^{-2})
	α_o＝2.1			15(0.437×10^{-4})	1,660(0.484×10^{-2})
4	u_a＝3.8cm	塑性解析	484(100)		42(8.7)
	u_a＝4.0cm				50(10.3)
	u_a＝4.2cm				47(9.7)
	u_a＝4.4cm				28(5.8)
	u_a＝4.6cm				8(1.7)
	u_a＝4.8cm				9(1.9)
	u_a＝5.0cm				9(1.9)
	u_a＝3.8cm	ホロノミック弾塑性解析	318(100)		33(10.4)
	u_a＝4.0cm				39(12.3)
	u_a＝4.2cm				39(12.3)
	u_a＝4.4cm				28(8.8)
	u_a＝4.6cm				8(2.5)
	u_a＝4.8cm				9(2.8)
	u_a＝5.0cm				9(2.8)

＊ 計算例２では離散型非線形計画法[2]を適用

参考文献1)構造工学委員会構造システム最適化研究小委員会:構造システムの最適化の現状と将来, 土木学会論文集, No. 450/Ⅰ-20, 1992. 7. 2)石川ら:離散型非線形計画法による鋼管杭基礎の最適設計, 構造工学における数値解析法シンポジウム論文集, 第12巻, 1988. 7. 3)杉本ら:近似の概念を利用したトラス構造物の離散的最適設計法に関する研究, 土木学会論文集, No. 432/Ⅰ-16, 1991. 7. 4)三原ら:離散変数による最小重量設計の一解法, 土木学会西部支部研究発表会, 1992. 3. 5)三原ら:鋼管杭基礎の離散的最小費用設計法, 土木学会西部支部研究発表会, 1993. 3. 6)三原ら:骨組構造の離散的最適弾塑性設計法, 土木学会西部支部研究発表会, 1993. 3.