

シミュレーション最適化技術

Simulation Optimization Technology

① はじめに

最適化は、勘や経験に頼らず合理的に最適条件を導出する技術として、開発、設計、製造、操業など多くの場面で活用されています。特に、数値解析と組み合わせた“シミュレーション最適化”は、実験や試験での利用に比べ、時間やコストを抑えられる場合が多く、有用な技術です。

本稿では、最適化の概要と自在継手を例としたシミュレーション最適化について紹介します。

② 最適化の概念と探索方法

図1は最適化の概念図です。最適化では、一般的に変更可能な条件やパラメータを“設計変数”，設計変数が取り得る範囲の応答を“解空間”または“目的関数”と呼び、主に解空間上で最小値(または、最大値)をとる設計変数を“最適解”として探索します。

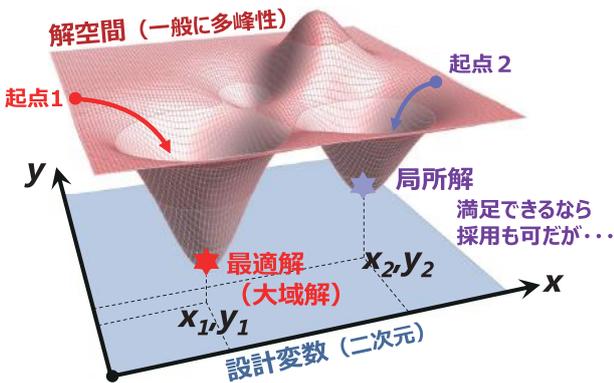


図1 最適化概念図(解空間)

探索方法は、大別して2つあります。

1つ目の方法は、解空間を“定式化する方法”です。実験計画法等に従って数値解析を行い、収集したデータから作成した解空間の近似式を用いて最適解を探します(図2 左図)。

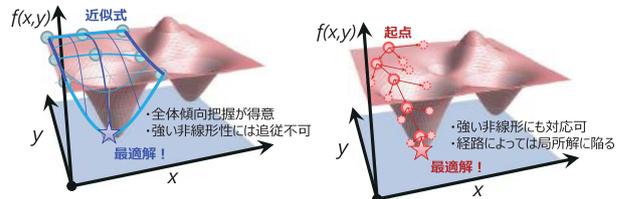


図2 探索イメージ(左：定式化する，右：定式化しない)

2つ目の方法は、解空間を“定式化しない方法”です。一定のロジックで設計変数を変更しつつ、数値解析を繰り返して最適解を探します(図2 右図)。

ここでは、“定式化する方法”を用いた事例を紹介します。

③ 自在継手の寸法最適化

最適化の対象は、4部品からなる自在継手です。部品間の摺動(接触)を考慮し、端部にトルクを負荷します(図3)。この時の発生応力を最小化する各部の寸法を探索します。

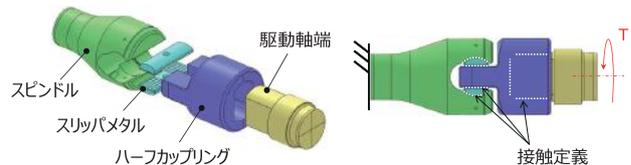


図3 解析モデルと境界条件

3.1 目的関数

図4は、初期寸法での解析結果です。各部に高い応力が発生しており、最大値は283MPaです。これらの応力に着目し目的関数とします。

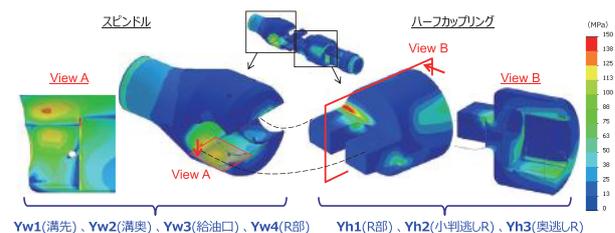


図4 発生応力(目的関数)

3.2 設計変数

設計変数は、図5に示す5寸法とします。解析結果などから構造特性を分析し、応力への影響が大きい寸法を見極める必要があります。

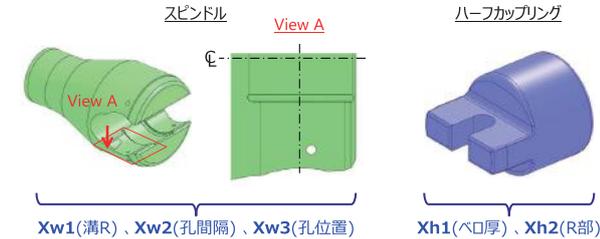


図5 設計変数

3.3 定式化する方法による最適化

まず、設計変数である各寸法に大中小の3水準を設定し、数値解析を実施します。5寸法3水準の場合、総当たりでは243(=3⁵)ケースとなりますが、実験計画法(決定的スクリーニング計画)の利用により、17ケースで近似式作成に必要なデータを収集できます。表1が17ケースの寸法の組み合わせと解析結果(応力値)です。

表1 ケース表(決定的スクリーニング計画)と解析結果

設計変数	解析ケース																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Xh1 mm	67.5	85	50	85	50	85	50	85	50	67.5	50	85	85	67.5	50	50	
Xh2 mm	10	5	15	15	5	15	10	15	5	5	5	5	5	15	15	10	15
Xw1 mm	6.5	3	3	3	3	10	10	10	10	10	3	10	6.5	3	10	3	6.5
Xw2 mm	140	140	180	180	180	100	180	140	100	180	100	100	180	100	180	100	100
Xw3 mm	12.5	25	25	0	0	25	0	0	12.5	0	25	25	12.5	25	25	0	0
Yh1 MPa	190	194	245	117	392	117	141	245	193	390	260	393	193	117	159	296	244
Yh2 MPa	128	125	129	125	130	126	128	129	125	129	128	130	126	127	130	128	128
Yh3 MPa	97	94	99	94	102	94	93	99	95	102	97	101	94	92	96	99	99
Yw1 MPa	185	210	89	200	91	277	272	139	250	138	140	142	303	205	207	94	123
Yw2 MPa	144	166	138	167	142	143	144	130	138	132	157	133	143	170	145	141	132
Yw3 MPa	189	242	67	289	119	187	295	170	245	88	183	94	144	205	103	98	129
Yw4 MPa	128	212	81	207	80	222	221	89	220	86	128	86	210	213	129	82	83

次に収集した解析結果から重回帰により各応力に関する近似式を作成します。下式は一例ですが、各寸法の2次項、1次項、交互作用項および定数項からなる多項式になります。また、応力への影響が小さい項(Xw2, Xw3 他)は無視しています。

$$Yw2 = -0.0184Xh1^2 + 0.0183Xh1 \cdot Xh2 - 0.0658Xh1 \cdot Xw1 + 3.24Xh1 - 1.05Xh2 + 0.494Xw1^2 - 4.35Xw1 + 44.6 \quad \dots(1)$$

作成した近似式を用いて、各部の応力を最小化する寸法の組み合わせを探索します。近似式には誤差が含まれるため、確認解析が必須です。図6は、近似式で求めた最適解と確認解析結果の比較です。

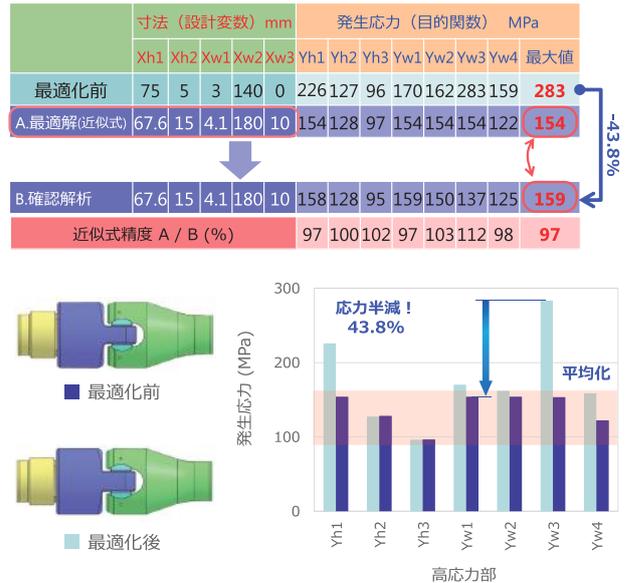


図6 近似式による最適寸法と確認解析結果

図6より、近似式精度は各応力100%前後となり概ね良好と判断できます。最大応力は、半減近い159MPa(-43.8%)まで軽減され、大きな効果が得られています。また、各部の応力が100~150 MPa程度に平均化されている点も最適化の効果といえます。

4 おわりに

シミュレーション最適化を活用した最適設計について紹介しました。今回は構造解析との組合せでしたが、振動、熱、流体解析等との組合せや設計以外の製造、操業の条件改善等への適用も可能です。

お問い合わせ先
 デジタルトランスフォーメーションセンター
 CAEソリューション部
 TEL(093)588-7234