

建築構造教育アプリケーションに対する各種最適化手法の適用性検討

Optimization method for Educational Application of Structural Engineering

鈴木 琢也^{*1}
Takuya Suzuki

井口 圭一^{*2}
Keiichi Iguchi

木下 拓也^{*1}
Takuya Kinoshita

石川 明洋^{*2}
Akihiro Ishikawa

^{*1} 竹中工務店
Takenaka Corporation

^{*2} HEROZ
HEROZ

The purpose of this paper is to confirm an applicability of some optimization methods to an application for architectural structural education. First, the outline of the developed application is explained. This application takes advantage of the features of smart devices as to anyone from adults to children can enjoy it. Secondary, the detail of three optimization method is explained. And then, by each method, optimization analyses are conducted for 50 stages. Finally, the optimization results are compared, and the applicability of these optimization methods is examined.

1. はじめに

建築物の安全性を支える構造に関する技術の理解には、高度な専門的技術・知識を必要とする。そのため、一般の人々から理解されにくいものとなっている。しかし、技術者が構造解析の結果や意味をよりわかりやすく伝えることができれば、一般の人々はより正しく「安全」を理解し、今以上に「安心」を得ることができると考えられる。「いかにわかりやすく伝えるか」は、建築技術者にとって重要な課題といえる。

一方で、近年スマートフォンやタブレット端末といった高性能な携帯型情報端末(以下、「スマートデバイス」という)が広く普及している。スマートデバイスは、タッチパネルによる直感的なインターフェースや、各種センサーを内蔵することにより、これまでとは異なる計算機と人との関わり方を可能にしている。

このような背景から、著者の一人は、構造解析をよりわかりやすくするためのツールとしての可能性をスマートデバイスに見出し、これまでに、スマートデバイスの特徴を活かした建築構造解析アプリケーションに関する調査研究を行ってきた[鈴木 2017]。

本報では、新たにタッチで出来る構造最適化アプリケーションの対戦版を提案し、そこで利用する対戦コンピュータの戦略ロジックを決定するために実施した、各種最適化手法の適用性検討結果を報告する。

2. 開発するアプリケーションの概要

タッチで出来る構造最適化アプリケーションであるStartOPT[鈴木 2017]を対戦型に改良したものである。

図1にはゲーム画面を示す。ボールを支えるのに不要と思われる部分をタッチで消した後、残ったブロックのみで変形解析が行われる。2人のプレイヤーがブロック(最大10個、パスも可)を交互に消していき、先にボールを規定ラインよりも下に落としたプレイヤーが負けとなる。その点では、子どもの遊びである砂山崩しに近い。ただし、両者がパスした場合には、その時点で、より多くのブロックを消したプレイヤーの勝ちとなる。

様々な荷重条件、境界条件下における強い形を数多く試すことを通して、効率的な構造を直感的に理解するとともに、建築構造の基礎である「力の流れ」を、老若男女問わず楽しく理解することができる。

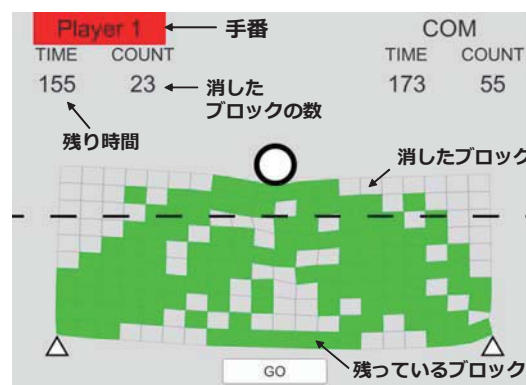


図1 ゲーム画面

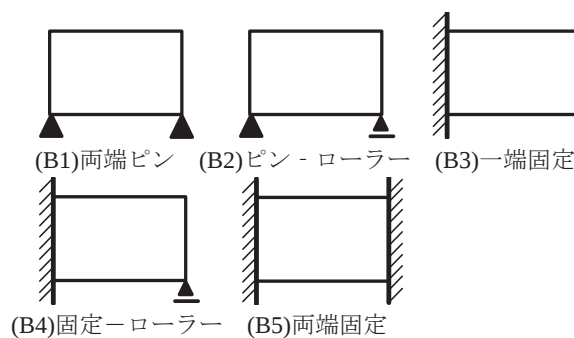


図2 境界条件

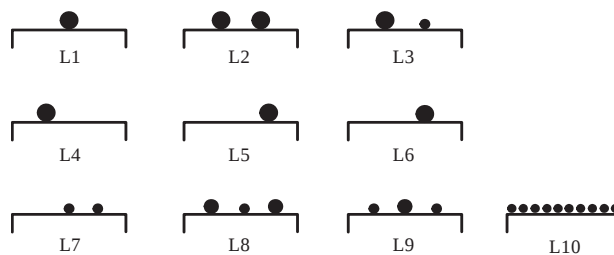


図3 荷重条件

各ステージは、ブロックの境界条件(どこが支えられているか)、および荷重条件(ボールの位置、個数、重さ)が変化する。

境界条件は、図 2 に示す建築構造で基本となる 5 パターン、荷重条件は図 3 に示す 10 パターン用意し、これらを組み合わせた計 50 種のステージが用意されている。これらの境界条件、荷重条件に応じて、最適な形状も様々に変化することになり、多くのステージをプレイすることで、プレイヤーの理解度も深まっていく。

3. 検討する最適化手法

前章で紹介したアプリケーションのコンピュータープレイヤーの構築には、ボールを規定ラインよりも落とさないための、最も有効なブロックを選択するロジックを作成する必要がある。その嚆矢として本報においては、「ボールを規定ラインよりも落とさない条件で、最も多くのブロックが消去された状態」を、3 つの最適化手法を用いて計算し、この構造最適化問題における適用性を検討する。比較する手法は表 1 に示す、貪欲法、反復局所探索法(Iterated Local Search (ILS)、密度法の 3 種の方法である。それぞれの詳細について以降で説明する。

貪欲法は、入力条件を変更させた結果、出力がどのように変化するかを確認した上で、消去するブロックを選択する。具体的には、ある状態において残っているブロックのうち、一つだけを抜いた場合の解析を、全ブロックに対して実施する。その後、最も影響の小さい(ボールの鉛直変位増分が小さい)ブロック 1 つを消去する。この操作をボールがクリアラインを越えるまで繰り返してブロックを一つずつ消去していき、消去できるブロックの最大個数を算出する。なお、計算回数の低減を図るために、感度計算の途中で「消去することでクリアラインを越えると判定されたブロック」は、以降の消去候補としないこととしている。

反復局所探索法(Iterated Local Search (ILS))は組合せ最適化問題を解くのに使われる手法で、その名の通り局所探索を繰り返す手法である。反復局所探索法では、まず、ブロックを一つずつ除いていく局所探索を行う。そして、どのブロックを除いてもボールがクリアラインを越えてしまう状態になれば、ランダムにいくつかのブロックを復活させて再び局所探索を行うという操作を制限時間まで何度も繰り返す。制限時間が来れば探索したすべての解の中で最も多くブロックを除いた解を出力して終了する。なお、復活させるブロックの数は削除済みブロックの半数以下とし、制限時間は 10 分とした。

密度法は、トポロジー最適化手法の一つで、材料のヤング率が密度のべき乗となるよう問題を緩和して最適解を求める手法である[Bensoe 2002]。本報では、支持構造全体の体積の制約条件の下で、静的コンプライアンス(外力仕事)を最小化するような要素密度分布を求める問題とした。このような問題設定を行うことで、目的関数及び制約条件の感度を一度の変形解析後の既知量から陽に算定することができ、計算効率が大幅に向上する。ここでは、密度のべき乗数 $p=4$ とし、体積制約をある程度大きい値から始めて、体積制約値を徐々に減らしながら複数回の最適化を行った。最適解の変形量が制限値を超えたとき、それまでに最もブロックを消したケースを出力して終了とした。なお、最適要素密度は実数で出力されるため、各最適化試行後に全要素をブロック有り/無しのいずれかに 2 値化させる処理を施している。

表 2 検討結果

STAGE		貪欲法	ILS	密度法
Boundary	Load			
B1	L1	165	178	178
	L2	160	170	170
	L3	156	165	160
	L4	148	170	165
	L5	148	170	164
	L6	140	165	160
	L7	142	159	158
	L8	145	158	160
	L9	143	159	160
	L10	140	158	150
B2	L1	129	132	132
	L2	146	152	150
	L3	119	143	138
	L4	134	142	137
	L5	128	141	135
	L6	132	141	138
	L7	120	139	134
	L8	123	134	137
	L9	117	128	136
	L10	133	132	134
B3	L1	165	158	165
	L2	132	127	128
	L3	148	145	146
	L4	186	181	189
	L5	83	81	83
	L6	111	107	108
	L7	125	120	119
	L8	113	107	106
	L9	125	124	114
	L10	98	102	91
B4	L1	143	171	179
	L2	154	163	167
	L3	161	162	167
	L4	182	180	185
	L5	146	161	166
	L6	153	155	165
	L7	148	158	159
	L8	149	156	161
	L9	152	154	161
	L10	157	154	156
B5	L1	153	162	179
	L2	172	164	178
	L3	146	164	179
	L4	150	170	188
	L5	150	171	188
	L6	156	163	179
	L7	148	156	162
	L8	156	158	168
	L9	141	156	168
	L10	152	152	158
合計		7123	7518	7658
Best Score の回数		9	16	30

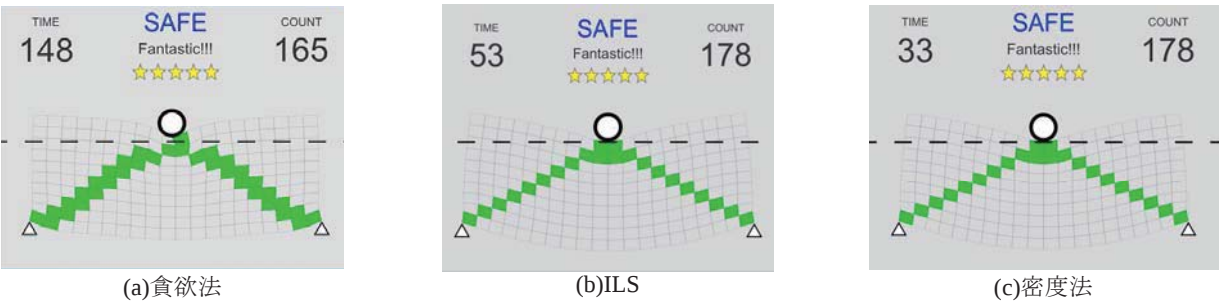


図 2 算出された最適解 (B1, L1)



図 3 算出された最適解 (B1, L6)

		境界条件				
		B1	B2	B3	B4	B5
荷重条件	L1					
	L2					
	L3					
	L4					
	L5					
	L6					
	L7					
	L8					
	L9					
	L10					

貪欲法

ILS

密度法

図 4 最小解を算出した最適化手法

図 2, 図 3 には一例として, 境界条件 B1(両端ピン)における最も基本的な荷重条件である L1 と, 3 者の評価に最も差がついた L6 のケースにおいて, 得られた最適形状の解析結果を示す。図 2 より, それぞれの最適化手法から算定された形は, 概ね同傾向にあり, 密度法と ILS による方法はほぼ同じ形を算出した。これらと比較すると, 貪欲法によって得られた解には, まだ削ることができるブロックが残されていることがわかる。一方, 図 3 においては, 算出された形に差異がみられた。探索ルートが異なった結果, 異なる最適化形状に至る一例と言える。

図 4 には, 各ステージにおいて最適な解を算出できた手法を荷重条件, 境界条件によって整理したものを示す。図より, 条件によって最適形状を算出できる手法は様々に変化することがわかる。今回の検討範囲では, 荷重条件よりは, 境界条件によって最適形状を算出できる手法が変化する傾向があり, B1, B2 においては ILS, B3 においては貪欲法, B4, B5 においては密度法がより適切な解を算出する傾向が確認できる。

4. 検討結果

表 2 には, 各手法によって算出された消去できるブロックの最大の数の一覧を示す。大きな値が算出できるほど効率的な形を導出できたと判断する。各条件において最も多くのブロックを消すことができた手法は網掛け表示としている。

表より, 境界条件, 荷重条件によって, 最適形状を算出できる最適化手法は異なることがわかる。三者による算定手法の差が最も小さいのは「B3, L5」のケース, 最も大きいのは「B5, L4」および「B5, L5」のケースであった。

また, 表には, 全 50 ステージで算出された最大ブロック消去数の合計値, 最大ブロック消去数を算出できたステージ数も併せて示す。表より平均的な観点では, 密度法による方法が, 合計値 7658, ステージ数 30 となり, 最も有効であった。なお, ILS による方法も, 合計値は 7518 と密度法との差は僅かであった。

5. まとめ

本報では, タッチで出来る構造最適化アプリケーションの対戦版を提案し, そこで利用する対戦コンピューターの戦略ロジックとして, 適切な最適化手法について検討を行った。

その結果, 密度法による方法が, 平均的に最適な形状を見つけやすい結果となった。ただし, 荷重条件によっては他の方法の方が優れている場合もあるため, 最適化手法を採用する際には, 十分な事前検討が必要と考えられる。

参考文献

[鈴木 2017] 鈴木琢也ほか:スマートデバイスの特徴を活かした教育用構造解析アプリケーションの開発と展開, 日本建築学会学術講演会梗概集, 教育, pp. 47-48, 2017.7

[Bensoe 2002] Bensoe, M.P., Sigmund, O.: Topology Optimization; Theory, Methods, and Applications, Springer, 2002.