

複数地震動の時刻歴応答包絡一様化のためのフレームモデルの効率的な部材断面選定方法 その2 遺伝的アルゴリズムによる部材選定

正会員 ○永淵飛鳥* 同 堤 千春*
同 鈴木光雄* 同 橋本直央*

遺伝的アルゴリズム 層剛性 フレームモデル
鉄骨部材

1. はじめに

フレームモデルの応答一様化を実現するために、その1で、質点モデルに置き換えた検討を行い、目標とする層剛性の設定を行った。

その2では、フレームモデルの部材選定を行う。通常の設計では、地震時に発生する応力に対し部材設計を行うことになるが、ここでは応力条件に加え、目標層剛性となるように部材選定を行う必要がある。鉄骨を例にすれば、応力だけの条件の場合は、ある仮定断面を決めた後、同じ柱径や同じ梁せい、あるいは近傍の寸法内で板厚を増減させて調整を行うことが一般的である。このため、層剛性は初期に決めた部材断面に大きく依存するものと言える。目標層剛性を考える場合は、初期の仮定断面を決める段階で断面を如何に設定するかが重要となり、このための部材選定法の知見は少ないものと考えられるため、最適化手法を取り入れて検討を行う。

2. フレームモデルの概要

その1で述べた通り、平面フレームモデルは5層の鉄骨造とする。部材選定での境界条件は1FLの節点をピン支持で検討する。

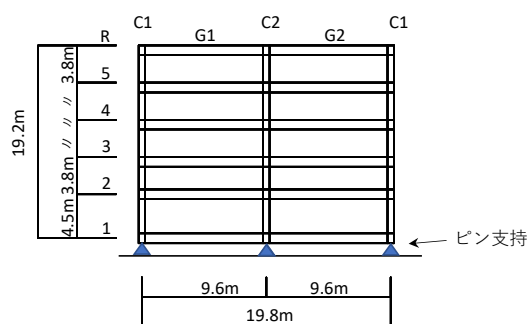


図1 ピン支持モデル

長期荷重は、梁の等分布荷重として考慮し表1のように設定する。地震時の層せん断力は質点モデルの応答結果より設定する。地震時層せん断力と目標層剛性を表2に示す。長期荷重時および地震荷重時の応力解析を行い、長期、短期の部材断面検定を行う。また、層剛性は、地震荷重時の各層の層せん断力と層間変位より求める方針とする。

フレームモデルの柱符号は、C1,C2の2種類、梁符号はG1の1種類とする。柱、梁の候補となる部材リストは表3の通りとし、柱27種類、梁88種類を用意した。5層（1FL梁を除く）について、梁リスト88種類、柱リスト27種類を考えると、組合せは約 1.1×10^{24} 通りとなる。この膨大な組み合わせの全てを、逐一応力解析を行いながら検討することは不可能である。

このため、効率的に部材選定を行うために、最適化手法を取り入れる。ここで、柱梁の部材は部材リストから選択するものとする。各部材の断面性能は不連続なリストとなることから、最適化手法のうち発見的な手法である遺伝的アルゴリズムを用いるものとする。

表1 長期荷重

FL	長期荷重 梁等分布荷重(kN/m)
R	50.0
5	40.0
4	40.0
3	40.0
2	40.0
1	60.0

表2 地震層せん断力と目標剛性

階	層せん断力 (kN)	目標剛性 $t_g k$ (kN/mm)
5	365.8	29.4
4	488.5	39.2
3	558.4	44.8
2	629.9	50.6
1	651.9	44.3

表3 部材選定リスト

柱 [mm]					大梁 [mm]				
タイプ	B	D	t	種別	H	B	tw	tf	種別
□	{ 300,	{ 300,	{ 9,	BCR295 27種類	600	200	11	17	細幅H 1種類
	350,	350,	12,		588	300	12	20	中幅H 4種類
	400,	400,	14,						
	450,	450,	16,						
	500,	500,	19,						
	550 }	550 }	22 }		{ 600, 650, 700, 750, 800, 850, 900 }	{ 200, 250, 300, 350 }	{ 12, 14, 16, 19 }	{ 19, 22, 25, 28, 32 }	外法一定H 83種類

3. 目的関数の設定

部材選定後、応力解析を行い、部材の応力検定および、層剛性の算出を行う。

ここでの目的は、 n 層建物の各層の層剛性 k_j を目標層剛性 $t_g k_j$ に近くなるように部材を選定することである。この際、部材応力は許容応力度以内の条件を課すものとする。このための評価関数 $f_e(x_i)$ として下式を設定する。

$$f_e(x_i) = (1 + f(x_i)) \cdot p_{e_l}(x_i) \cdot p_{e_s}(x_i) \quad (1)$$

$$f(x_i) = \sum_{j=1}^n |k_j(x_i) - t_g k_j| / t_g k_j \quad (2)$$

$$p_e(x_i) = \left(\sum_{j=1}^{n_m} a_j(x_i) \right) / n_m \quad (3)$$

$$a_j(x_i) = \begin{cases} 1.0 & (e_j \leq 1.0) \\ 10 e_j^2 & (e_j > 1.0) \end{cases}$$

ここで、 x_i はリストから選択される部材の性能からなるベクトルを示す。 f で各層の剛性と目標剛性の誤差の合計を評価する。また、制約条件として部材が許容応力度以内とするため、許容応力度を超えた場合にペナルティーを課す目的で $p_e(x_i)$ を設定している。 n_m は部材数、 e_j は検定値を示す。ここで、長期検定の場合に対し $p_{e_l}(x_i)$ 、短期検定の場合に対し $p_{e_s}(x_i)$ と表示し、両者をかけ合わせる形で(1)式に適用している。

4. 部材選定結果

$f_e(x_i)$ を目的関数として、 $f_e(x_i)$ が最小となる x_i を遺伝的アルゴリズムにより求める。層剛性はオープンソースのOpenSees⁵⁾を用いた解析結果から算出する。遺伝的アルゴリズムはRhinoCeros/Grasshopperの標準コンポーネントGalapagosを利用する。ここでは、OpenSeesとRhinoCeros/Grasshopperを連携させて効率的な検討を行うため、北九州市立大学藤田研究室で公開されているOpenSees for Grasshopper⁶⁾を利用している。

遺伝的アルゴリズムの世代ごとの個体数を50(第0世代は50×3)として検討した目的関数の推移を下図に示す。50世代連続して $f_e(x_i)$ の最小値が同値となった時点で収束したとみなし、反復計算を終了している。

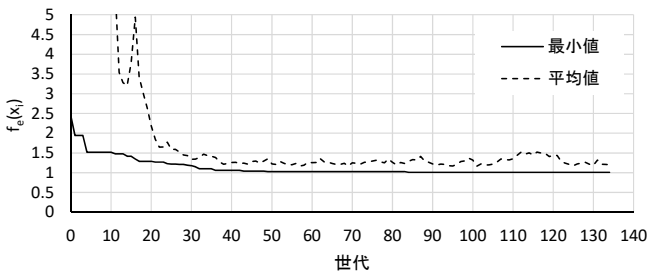


図2 目的関数の推移

剛性の分布を表4に示す。精度よく目標剛性に適合する結果となっている。また、選定された部材を表5に示す。

表4 層剛性の適合結果

階	目標層剛性 $t_g k$ (kN/mm)	部材選定後 フレーム層剛性 $r_{sit} k$ (kN/mm)	$r_{sit} k / t_g k$
5	29.42	29.31	0.9964
4	39.23	39.47	1.0062
3	44.81	44.75	0.9987
2	50.60	50.76	1.0032
1	44.26	44.26	1.0000

表5 最適解部材リスト

柱断面リスト			梁断面リスト	
階	C1	C2	FL	G1
5	□-450*450*9	□-300*300*12	R	H-800*300*14*25
4	□-400*400*19	□-350*350*19	5	H-800*250*16*28
3	□-400*400*22	□-400*400*16	4	H-700*350*16*32
2	□-400*400*19	□-450*450*19	3	H-750*350*14*25
1	□-450*450*19	□-400*400*19	2	H-750*300*16*32
			1	H-1000*400*19*32

表5では、柱リストで柱径、板厚が下階で小さくなる部材が選ばれる結果となっている。このため、下式のペナルティー関数 $p_c(x_i)$ を(1)式に足し合わせて評価する。

$$f_{ec}(x_i) = (1 + f(x_i)) \cdot p_{e_l}(x_i) \cdot p_{e_s}(x_i) + p_c(x_i) \quad (4)$$

$$p_c(x_i) = n_{pc}^2 \quad (5)$$

n_{pc} : [下層の柱径, 厚み < 上層の柱径, 厚み]
となる箇所数

この結果について図3に目的関数の推移を、表6、7に層剛性の適合結果と部材断面を示す。世代の収束性を $f_e(x_i)$ 、 $f_{ec}(x_i)$ と比較すると、両者15世代目以降は類似した推移を示しており、 $p_c(x_i)$ の収束性への影響は小さいと思われる。最終的な部材断面の柱リストは意図通りの結果であり、層剛性の適合度も良好である。

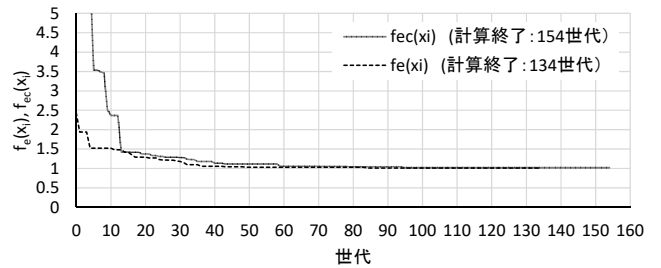


図3 目的関数の推移 ($f_e(x_i)$ 、 $f_{ec}(x_i)$ 比較)

表6 層剛性の適合結果 ($f_{ec}(x_i)$ による評価)

階	目標層剛性 $t_g k$ (kN/mm)	部材選定後 フレーム層剛性 $r_{sit} k$ (kN/mm)	$r_{sit} k / t_g k$
5	29.42	29.58	1.0056
4	39.23	39.51	1.0071
3	44.81	44.89	1.0018
2	50.60	50.40	0.9961
1	44.26	44.33	1.0016

表7 最適解部材リスト ($f_{ec}(x_i)$ による評価)

柱断面リスト			梁断面リスト	
階	C1	C2	FL	G1
5	□-450*450*9	□-300*300*12	R	H-750*300*16*28
4	□-450*450*9	□-450*450*12	5	H-800*250*16*28
3	□-450*450*12	□-450*450*14	4	H-750*300*14*25
2	□-450*450*14	□-450*450*14	3	H-750*300*16*32
1	□-450*450*16	□-450*450*14	2	H-800*300*16*32
			1	H-1000*400*19*32

5. まとめ

遺伝的アルゴリズムにより、目標層剛性に適合するフレームモデルの部材選定を行い、良好な結果を得た。

参考文献はその3にまとめて示す。

*山下設計

* Yamashita Sekkei Inc.