

鋼部材設計支援システムに関する研究
(単純支持梁の設計システムの構築と考察)正会員 ○ 原田幸一¹, 同 山浦秀行²,
同 松尾伯方³, 同 山成 實⁴

1. はじめに

建築構造設計システムは、科学技術向け数値演算に焦点を当てたプログラミング言語 Fortran の誕生、また計算機性能の発展と共に数多くの開発が進められてきた。今日では一貫構造設計システムが多くの設計事務所に導入・駆使され設計処理時間を短縮している。このような設計システムの発達の中で、構造設計者は設計システムの処理内容を具体的に知らずに、もしくは理解半途のままで設計作業を進めていく状況にあることは、以下の問題点を生みだしていると考えられる。

- (1) 設計システムの高機能化に伴うシステム自体のブラックボックス化による設計者の設計技量向上の期待が乏しいこと。
- (2) 設計者がシステム構築に参加できず、設計者の職務領域に合ったシステムへの改良はソフトウェア開発者の仕事の完了を待たなければならないこと。

本研究は、上記の問題を解消し、設計者自身がシステム自体を理解し、またシステムの記述・変更が許される柔軟な設計環境を創出するための基礎的研究である。

設計者が設計システムの記述に参加できる概念を提唱しているのは長澤等^[1]であり、それを機械設計分野で一部成功した事例がある^[2]。一方、建築構造設計分野においては現時点で皆無であり、その実現の要請が望まれている。著者等はこの点に着目し文献[3]で鉄骨骨組の構造設計に上記の概念の導入を試みている。本論では鉄骨骨組の1部材の断面算定システムを例に論じるものである。

2. 鉄骨小梁の設計

図1は小梁の概念図である。小梁は複数の集中荷重 (P_1, P_2, \dots, P_n) と等分布荷重 (w) を受けており、これらの荷重は床荷重などを代表している。梁は単純支持されるのが一般的である。

図中の L, I_x および E はそれぞれ小梁の材長、断面2次モーメントおよびヤング係数である。

図2は構築した小梁の断面算定システムである。ユーザ・インタフェースの優れている Excel2000 を設計画面とし、ワークシート上部の網掛け部のセルに設計条件を入力することで、設計解が得られる。これを見る限りすべての処理をワークシート関数もしくは VBA (Visual Basic for Applications) で記述しているように見えるが、設計処理は後述する設計言語 DSP^[6] で記述されており、Excel2000 から OLE (Object Linking and Embedding) オートメーションによって実行する。

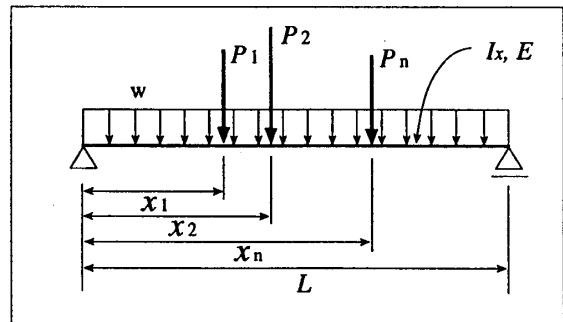


図1 単純支持梁

文献[4]に見られる設計要件と著者等が付加した要件を要約を以下に示す。なお、付加した要件とは最大たわみの絶対量を規定したことである。

- (1) 小梁に作用する荷重に対して最も大きい曲げ応力度に対して鋼種の許容応力を超えない。
- (2) 最大たわみが材長の 1/300 を超えない。かつ、最大たわみが 2 cm を超えない。

ここで、最大たわみが生ずる位置は荷重の作用する場所によって変化する。

これらは基本的制約であるが、本システムでは設計者の設計方針に基づいて変化させることができ、設計解に直ちに反映させることができる。

3. データフロー言語による設計知識の記述

これまでの多くのソフトウェア開発言語は手続処理言語である。手続処理言語は Fortran や BASIC といっ

1 原田建築設計事務所, 2 熊本大学大学院生, 3 伯建築事務所・工修, 4 熊本大学・助教授・工博

集中荷重と等分布荷重を受けるH形鋼単純梁の断面算定 ヘルプ

符号	B1
鋼材種類	SS400
支点間距離	L = 12 m
座屈長さ	Lb = 12 m
集中荷重個数	3 個
分布荷重の形	等分布荷重
荷重位置	Xn (m) = 3 6 9
集中荷重	Pn (kN) = 20 20 20
単位重量	Wo = 5 kN/m ²
負担幅	Ly = 2 m
分布荷重	W = 10 kN/m
余裕度 (上限)	≤ 0.8
(下限)	≥ 0.1
たわみ制限値	δ/L ≤ 1/300
	δ max ≤ 2 cm

簡易操作手順
 1. 色つきセルに入力情報を入力する。
 2. 長期,または短期設計ボタンを押す。
 3. 設計解とする断面を決め,その断面の番号の書かれているセルをダブルクリックする。

入力情報

設計詳細の参照 設計図書を初期化

断面算定の詳細結果を表示

設計可能解

長期荷重時	設計可能断面数	14					
左端せん断力	90 kN	最大曲げモーメント	Mmax = 300 kNm				
右端せん断力	-90 kN	最大せん断力	Qmax = 90 kN				
No.	断面寸法 (H×B×t1×t2)	Ix (cm ⁴)	Zx (cm ³)	fy (kN/cm ²)	σ/fy	δ max (cm)	δ max/L
23	1 428×407×20.0×35	119000	5570	15.67	0.34	1.81	1 / 663
24	2 458×417×30.0×50	187000	8170	15.67	0.23	1.15	1 / 1043
25	3 498×432×45.0×70	298000	12000	15.67	0.16	0.72	1 / 1667
26	4 594×302×14.0×23	134000	4500	8.66	0.77	1.61	1 / 745
27	5 700×300×13.0×24	197000	5640	7.61	0.70	1.09	1 / 1101
28	6 708×302×15.0×28	233000	6590	8.84	0.51	0.92	1 / 1304
29	7 792×300×14.0×22	248000	6270	6.17	0.78	0.87	1 / 1379
30	8 800×300×14.0×26	286000	7160	7.22	0.58	0.75	1 / 1600
31	9 808×302×16.0×30	334000	8270	8.30	0.44	0.64	1 / 1875
32	10 816×303×17.0×34	378000	9270	9.35	0.35	0.57	1 / 2105

図2 設計計算言語を用いたH形鋼小梁設計システム

た逐次処理を行い、プログラマは処理の手順を気遣わなければならない。一方、データフロー言語は対象とするデータの処理そのものに注目するため、プログラム・コードの記述順序は余り意味を持たない。Prolog 言語がその代表例である。これに着目して構造設計に Prolog 言語を適用した一人が Kumar^[5]である。

設計規準書に見られる表現は、設計式の後に式に含まれる記号の説明が続くのが通例である。これを手続処理言語でコーディングする場合、記述順序は逆転する。

図3は小梁の断面算定のプログラム・コードである。用いた言語は長澤等が開発した設計言語 DSP^[6]である。同図に見られるように記述が明快であり、設計技術者が容易に記述に取組める。すなわちドメイン(職能領域)に特化した者のプログラミングを容易にすることで、システムの理解と保守管理の労力が削減できる。

4. 生成検証法より得られる複数設計解の取得

本論で強調したい事項の一つに「複数の設計解の取得」がある。前項で述べた DSP を用いることで、設計解を1つの設計処理で同時に複数得ることができるのである。これは他言語でも実現可能である。しかしながら手続処理言語であれば、処理ループを記述すれば良いが、問題は繰返す処理を囲むための慎重な記述が要求される。上級プログラマであれば別であるが、ドメインの設計者にそれを要求すれば、プログラムの改良に多くの労力を強いることになるのは明らかであろう。

図3中には繰返し処理を記述した行と if-then 構文は見られない。このプログラムでは計算対象となる断面情報をカタログから発生(function文)させ、設計可否の判定(test文)することで複数の解を得ることができるのである。これを長澤等は生成検証法としてる。

このように設計解を同時に複数取得できるようになれば、設計者はより多くの情報を基に効率よく適正な設計解を求めることができよう。図4は暗闇の部屋の中で捜し物していき様子を示している。一方の人(従来の設計者)はペンライトのように照らす幅が狭い明りで探し、他方の人(これからの設計者)は広く照らす懐中電動で探している様子である。設計可能解とする情報を取得した方がより効率良く捜し物を見いだすことができる。ここで、ライトで得られた情報を設計可能空間と呼ぶことにする。

説明	変数	型	式
単純支持梁の構造解析を行い、一般化応力とたわみを求める。	-	state	call(P:simple_beam_stress2,{L*100,Nload,Loads,W,Ix,E},{Mmax,Qmax,_δmax,Qleft,Qright})
材種に対応した許容応力度(kN/cm ²)を求め、	F	real	case(材種='SS400'→23.5, 材種='SS490'→27.4, 材種='SS540'→37.2, 材種='SM400'→23.5, 材種='SM490'→32.3, 材種='SM520'→35.3, 材種='SN400'→23.5, 材種='SN490'→27.4)
- カタログより断面寸法を抽出し、	-	state	catalog(h_kawatetsu, {}, {H,B,T1,T2,Ix,Zx})
応力と変形の検討を行う。	-	state	function(h_kawatetsu2, {Number}, {H,B,T1,T2,Ix,Zx})
ただし、検討は長期荷重時のみ行う。	Number	integer	for(1,85,1)
曲げモーメントの検討は、余裕度が指定範囲内の断面を可とする。	-	state	test(Cmin<_M/Z/_fb and _M/Z/_fb<Cmax)
長期許容曲げ応力度(kN/cm ²)は、以下の2式の大きい方の値とする。	_fb	real	max(_fb1, _fb2)
・fb1(kN/cm ²)	_fb1	real	(1-0.4*((Lb*100)/I)^2/_Λ^2)*(F/1.5)
・fb2(kN/cm ²)	_fb2	real	min(((1/1.5)*(0.65*E)/((Lb*100)*(H/10)/Af)), F/1.5)
fbより余裕度を求める。	_M/Z/_fb	real	Mmax/Zx/_fb
・(cm)	I	real	(If/(Af+Aw/6))^0.5
・限界細長比(Λ)	_Λ	real	sqrt(3.14^2*E/0.6/F)
・フランジの断面積(cm ²)	Af	real	T2*B/100
・ウェブの断面積(cm ²)	Aw	real	T1*(H-T2*2)/100
・Y軸に関するフランジの断面2次モーメント(cm ⁴)	If	real	T2*B^3/12/10000
せん断力の検討は、次式で行う。	-	state	test(_τ < _fs)
・せん断応力度τ(kN/cm ²)	_τ	real	Qmax/Aw
・許容せん断応力度fs(kN/cm ²)	_fs	real	F/(1.5*sqrt(3))
スパンに対する最大たわみの比と	-	state	test(_δ/L=<1/_たわみ制限)
最大たわみ量によって変形の検討を行う。	-	state	test(_δmax=<_たわみ制限値)
・スパンに対する最大たわみの比	_δ/L	real	_δmax/(L*100)

図3 H形鋼小梁の設計プログラム記述

5. スプレッド・シートによる設計システム

以上は新しい概念を紹介し、それに適切と思われる開発環境を用意して小梁の設計システムの構築を試みた例を示した。

この処理系を Excel2000 のみで記述した例を示す。図5がそれであり、一見してそれは図2と似通っている。この相違点はすべて Excel2000 のワークシート関数で記述されていることである。同図に見られるように幾つかのワークシートを用いワークシート間のセル・データを駆使して処理を実現している。

6. 検討

鋼小梁の設計システムを2つの開発アプローチで構築してみた結果、以下のことが分った。

(1) 設計計算言語 DSP で記述した設計システム (A) の

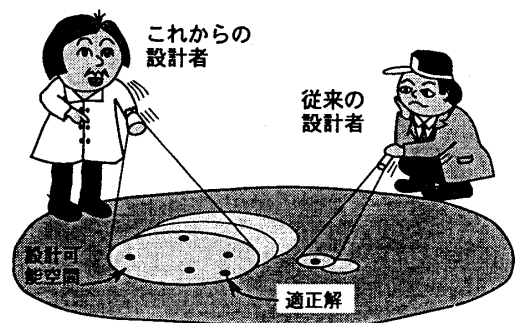


図4 設計解の探索概念

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	集中荷重および分布荷重を受けるH形鋼単純梁の断面算定										
2											
3			梁符号		BF			荷重種別(長期、短期)	長期		
4			鋼材種類		SS400			梁自重は別に考慮?	しない		
5			支点間距離	L=	12.00	m		基準強度	F=	235.4	N/mm ²
6			座屈長さ	Lb=	12.00	m		ヤング率	E=	205.9	kN/mm ²
7		等間隔集中荷重	集中荷重個数	n=	3	個		限界細長比	λ=	119.95	
8				P=	20	kN/個					
9		分布荷重	等分布荷重	Wo=	5	kN/m ²		設計曲げ	Mmax=	300.00	kN·m
10			負担幅	h=	2.00	m		設計せん断	Q=	90.00	kN
11		選択範囲	応力 (σb/fb)	≤	0.8			たわみ	δ ≤	20	mm
12				≥	0.1			制限値	δ/L ≤ 1/	300	
13								※ 色付きのセル部分が入力出来るデータです			
14			設計可能断面数=	14 個							
15	No.	符号	H形鋼 (H × B × t1 × t2)	単位重量 W (kg/m)	Ix (cm ⁴)	Zx (cm ³)	fb (N/mm ²)	σb/fb	δ (mm)	δ/L	
17	1	HM18	594 × 302 × 14 × 23	170.42	133,561	4,497	86.01	0.78	16.04	1/748	
18	2	HM20	700 × 300 × 13 × 24	181.76	197,491	5,643	75.65	0.70	10.85	1/1106	
19	3	HM21	708 × 302 × 15 × 28	211.72	233,143	6,586	87.84	0.52	9.19	1/1306	
20	4	HM22	792 × 300 × 14 × 22	188.01	248,344	6,271	61.29	0.78	8.62	1/1391	
21	5	HM23	800 × 300 × 14 × 26	206.85	286,361	7,159	71.71	0.58	7.48	1/1604	
22	6	HM24	808 × 302 × 16 × 30	238.37	333,938	8,266	82.47	0.44	6.41	1/1871	
23	7	HM25	816 × 303 × 17 × 34	263.75	378,291	9,272	92.86	0.35	5.66	1/2119	
24	8	HM26	890 × 299 × 15 × 23	209.53	338,540	7,608	56.83	0.69	6.33	1/1897	
25	9	HM27	900 × 300 × 16 × 28	240.07	404,492	8,989	68.65	0.49	5.30	1/2266	
26	10	HM28	912 × 302 × 18 × 34	282.65	491,011	10,768	82.81	0.34	4.36	1/2751	
27	11	HM29	918 × 303 × 19 × 37	304.08	535,384	11,664	89.82	0.29	4.00	1/3000	
28	12	HM26	428 × 407 × 20 × 35	283.11	119,204	5,570	156.93	0.34	17.97	1/668	
29	13	HM27	458 × 417 × 30 × 50	414.92	187,138	8,172	156.93	0.23	11.45	1/1048	
30	14	HM28	498 × 432 × 45 × 70	604.49	297,910	11,964	156.93	0.16	7.19	1/1669	
31	入出力/設計シート/H形鋼データ/										

図5 ワークシート関数のみで記述したH形鋼小梁の設計システム

保守は Excel2000 のワークシート関数で記述したシステム (B) より容易であり、機能強化の容易さが明らかになった。

- (2) 小梁の設計のような小規模システムでは (B) の方が処理時間が短い。これはワークシート関数の優れた点である。反面、陽な設計式が与えられない問題では (A) が有利である。計算処理に時間がかかる問題ではむしろバックグラウンド処理を行わせて処理結果の確認ができるようにする方が望ましいであろう。

7. おわりに

建築構造設計に新しい概念の導入するために、1本の構造部材の設計システムの構築を試みた結果、設計者がカスタマイズ可能で設計理解を深める仕組みを実現できた。今後、構造物全体としての設計システムを構築する上で、組合わせ問題の規模の制限と計算時間の短縮が課題である。しかしながら、昨今の計算機の記憶容量と処理速度の高速化は目を見張る勢いがあり、これらの課題も近い将来解決されるものと推察する。

参考文献

[1] 廣田豊彦, 橋本正明, 長澤勲, 応用ドメインに特化した概念モデル記述言語に関する一考察, 情報処理学会誌, Vol. 36, No. 5, pp.1151-1162, 1995年5月
 [2] 小島崇司, 長澤勲, 樋口達治, 望月雅光, 梅田政信, 章志華, 機械系のばらつき設計を中心としたカメラの鏡枠ユニットの設計支援システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 38, No. 1, pp. 131-145, 1997年1月
 [3] 山浦秀行, 山成 實, 建築鋼骨組の構造設計における設計可能空間の取得法に関する研究, 第23回情報システム・利用・技術シンポジウム論文集, pp.193-198, 2000年12月
 [4] 日本建築学会, 鋼構造設計規準, 1973年5月
 [5] B. Kumar, Knowledge Processing for Structural Design, Topics in Engineering Vol.25, Computational Mechanics Publications, 1995
 [6] 梅田政信, 長澤勲, 樋口達治, 永田良人, 設計計算のプログラム書法, 信学技報, AI91-60, pp. 25-32, 1991年