

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：24506

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24656326

研究課題名(和文)協創的構造設計法による新しい設計支援システム

研究課題名(英文)New design support system with collaborative-creative structural design method

## 研究代表者

永野 康行 (Nagano, Yasuyuki)

兵庫県立大学・シミュレーション学研究所・教授

研究者番号：00410374

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、構造設計のさまざまな場面(フェーズ)における構造設計者の意思決定を真の意味で支援し、構造設計される架構のいっそうの高性能化をはかるための「協創的構造設計法」を構築することを最終目的としている。構造設計者が構造計画時にどのようなことを考えているのかという思考についての調査を行い、調査結果から構造計画時の思考の傾向を見つけることができた。本調査結果を元に、設計者の意思決定が必要となるさまざまな場面において、設計支援システムがその都度、設計者に対して種々の有用な情報を提供し、あたかもアドバイザーのように振る舞うことができるようになり得る。

研究成果の概要(英文)：The present study, "co-creative structural design method for the decision-making of the structural designer to assist in the true sense, to achieve the higher performance of frames are structural design in a variety of situations of structural design (phase) it is a final purpose is to construct a ". And we conducted a survey of about thinking of whether structural designer is thinking what it at the time of construction planning, it was possible to find a trend of thinking of the time structure plan from the survey results. Based on the findings, in various situations the designer decisions are required, each design support system that, it provides a variety of useful information to the designer, it behaves as if advisors You may be able to.

研究分野：建築構造学

キーワード：意志決定 構造設計

1. 研究開始当初の背景

実際の建物性能との関わりを最重視した構造設計という「人間の行為」における論理化を大きな目的としている。ここでは、設計者の判断という従来では説明のされてこなかった部分も含まれている。本研究は、構造設計のさまざまな場面(フェーズ)における構造設計者の意思決定を真の意味で支援し、構造設計される架構のいっそうの高性能化をはかるための「協創的構造設計法」を構築することを目的としている。ここで「協創」とは、構造設計者(人)と設計支援システム(計算機)が「協力して創生する」ことを意味している。

2. 研究の目的

申請者は、実際の建物性能との関わりを最重視した構造設計という「人間の行為」における論理化を大きな目的としている。本研究は、この中で特に重要であると考えられる以下の課題の解決を図る意味においてオリジナリティーがある。設計者の意志決定プロセスを調査・分析することにより、今まで明らかにされてこなかった「人間の判断」領域に対する解明を行う。

3. 研究の方法

複数の構造設計事務所に所属する構造設計者に対して、構造設計時に自らが意志決定している事項に対するプロセスに対するアンケートを実施し、回答してもらう。その結果を分析することにより、構造設計者が「如何に考え」「どのように判断し」「結果として構造設計をまとめているか」を総合的に分析する。

効果的な結果を得るためには、実施するアンケートが重要であると考ええる。そのため、実施に先立ち、アンケート内容に対するヒアリングを一般社団法人日本建築構造技術者協会関西支部(以下 JSCA 関西)に対して実施した。この協会は、構造設計を業とする設計者の集団であり、日本における構造設計の概要を把握するには有効であると判断している。

先の調査結果および分析をふまえ、さらに再度アンケートを実施した。ここではアンケート調査対象を一般社団法人関西建築構造設計事務所協会(以下 KSE)とした。それらを通じて、設計者の意志決定プロセスの詳細な分析を実施した。

4. 研究成果

(1) 調査対象者と調査方法

JSCA 関西では四役会に所属する6社の方々に各年代(20代、30代、40代)に対して1名ずつなるようお願いした。調査実施期間は2014年7月14日から2014年8月8日までとした。

KSE では70社をお願いした。調査実施期間は2014年11月26日から2014年12月10日

までとした。

調査票は協会所属の方を通じてメールでの送信を行っていただいた。

(2) 調査票

実施した調査票の内容について以下に示す。図1に示す鋼構造建築骨組(用途:貸事務所)に対して、回答していただいた。

1. 鉄骨量がどの程度になるかご回答ください。
2. 柱梁接合部、柱絞り部、柱脚部の中でそれぞれ自分が好きな納まりに該当するものご回答ください。

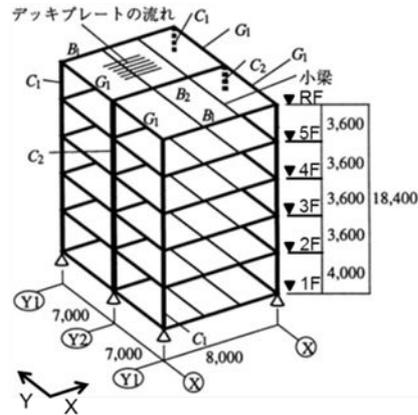


図1 思考調査に用いた建物

条件: 1. ラーメン構造。ただし、基礎・基礎梁は RC 造とする。2. 施主の意向として「建築基準法・各種規定基準を満足すれば、設計者の判断で最も良い(合理的)と考える構造設計を目指してほしい」3. 敷地には余裕がある。工期にも余裕がある。を条件とした。

(3) 回答結果

思考調査回答数は JSCA 関西では6社21、KSE では5社7である。図2に JSCA 関西の回答者の年齢と構造設計歴を示す。図3に KSE の回答者の年齢と構造設計歴を示す。

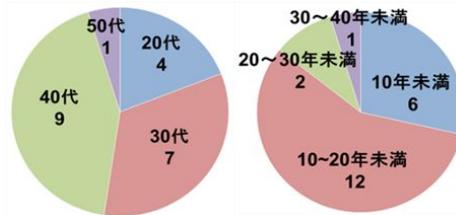


図2 JSCA 関西の回答者の年齢と構造設計歴

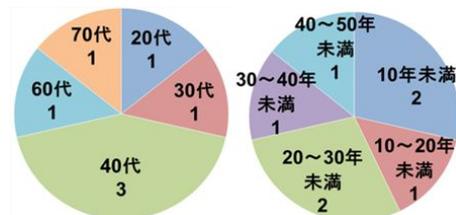


図3 KSE の回答者の年齢と構造設計歴

鉄骨量がどの程度になるのか、S/A を回答していただいた。ここでの S は柱・大梁の鉄骨重量 (kg)、A は延床面積 (560m<sup>2</sup>) とする。今回の回答結果は構造設計者が構造計算を行って求めた値ではなく、予測した値である。

図 4 に回答結果を示す。S/A の平均値は 105kg/m<sup>2</sup> である。最小値は 75 kg/m<sup>2</sup>、最大値は 150kg/m<sup>2</sup> である。90 から 99 kg/m<sup>2</sup> を予測した方の 9 人が最も多い回答である。

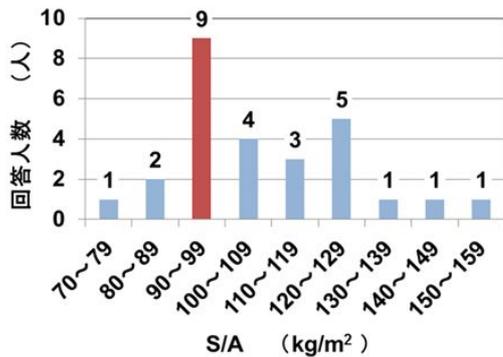


図 4 鉄骨量についての回答結果

図 5 に構造設計歴と S/A の散布図を示す。構造設計歴と S/A の相関係数は  $r=-0.26$  である。相関関係の強さは負の弱い相関である。

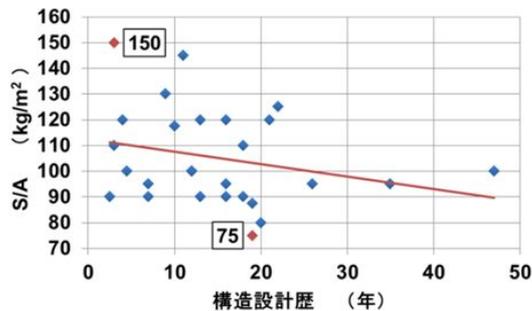


図 5 構造設計歴と S/A

柱梁接合部について 通しダイアフラム、内ダイアフラム、通しダイアフラム (ハンチ付) 通しダイアフラムだが梁段差なしの中から選択していただいた。

図 6 に回答結果を示す。梁段差あり 23 人、梁段差なし 5 人である。

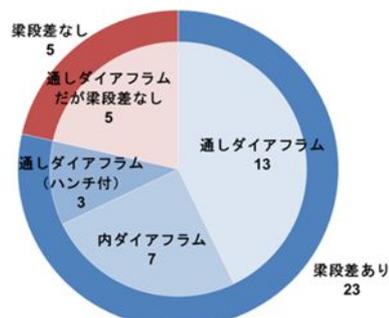


図 6 柱梁接合部の回答結果

柱絞り部について 溶接組立箱形断面テーパコラム 陸立ち 柱絞りなしの中から選択していただいた。

図 7 に回答結果を示す。柱絞りあり 15 人、柱絞りなし 13 人である。

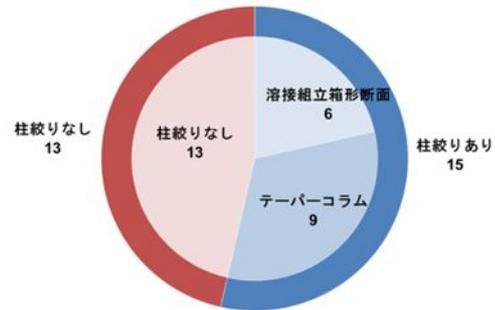


図 7 柱絞りの回答結果

柱脚部について 露出柱脚 根巻き柱脚 埋込み柱脚の中から選択していただいた。

図 8 に回答結果を示す。露出柱脚 24 人、根巻き柱脚 2 人、埋込み柱脚 2 人である。

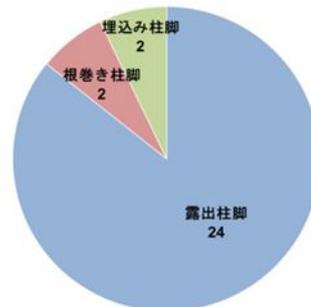


図 8 柱脚部の回答結果

接合部と柱脚部についてまとめた結果について、柱脚部を露出柱脚と回答の場合は回転バネ、根巻き柱脚と埋込み柱脚と回答の場合は固定とする。

図 9 に回答結果を示す。最も多い回答は 23 人中 13 人の梁段差あり、柱絞りあり、回転バネである。

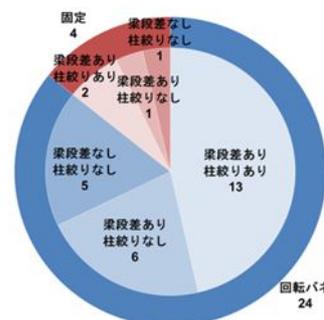


図 9 接合部と柱脚部の回答結果

(4) 思考調査結果を用いた最小重量設計  
最小重量設計に用いた建物および条件は図 1 に示したのと同じである。柱は角形鋼管 (BCP235) 大梁は (SS400) の JIS 規格の

リストより選択を行った。

思考調査で用いた接合部と柱脚部の条件を基に梁段差と柱脚の納まりのケースを作成した。表1に接合部と柱脚部のケースについて示す。今回は4つのケースをモデルに与える。

表1 接合部と柱脚部のケース

	梁段差	柱脚
ケースA	あり	固定
ケースB	なし	
ケースC	あり	回転バネ
ケースD	なし	

表2と表3に設計荷重を示す。CMQと地震荷重を求めてモデルに+X方向、+Y方向荷重を行った。長期荷重時、短期荷重(短期=長期+EX、長期=+EY)の設計を行う。

表2 設計荷重(固定荷重)

事務所	スラブ	t=125mm	3,000 N/m <sup>2</sup>
	デッキプレート 仕上げ(OAフロアー)		t=100mm
計			4,200 N/m <sup>2</sup>
屋根	スラブ	t=125mm	3,000 N/m <sup>2</sup>
	デッキプレート 仕上げ(アスファルト防水の上 押さえコンクリート)		200 2,600 N/m <sup>2</sup>
	計		

表3 設計荷重(積載荷重)

	床用(N/m <sup>2</sup> )	架構用(N/m <sup>2</sup> )	地震用(N/m <sup>2</sup> )
事務所	2,900	1,800	800
屋根	2,900	1,800	800

基礎梁は設計変数として扱わないが、基礎梁の降伏しないように曲げ耐力を設定する(500×1000(mm)、鉄筋比0.7%の鉄筋コンクリート基礎梁)。

最適化条件は以下の設定とした。

- (1) 目的関数：柱と大梁の総鋼材量
- (2) 設計変数：柱の幅Dと板厚tは共に設計変数とする。大梁のせいH、幅B、板厚tw、tfを設計変数とする。
- (3) 長期荷重時の解析モデルの柱軸剛性を十分に大きな値(1000倍)として設定する。
- (4) S造梁とRC床との合成梁効果を考慮する。(梁の剛比は梁の両端にスラブがある場合は=2.0、梁の片側にスラブがある場合=1.5とする。)
- (5) 長期の荷重作用支点は節点モーメント、短期はフェイスモーメントとする。
- (6) 柱梁パネル耐力比については、柱の耐力和が梁耐力和の1.5倍とパネル耐力1.3倍のうち小さい方より大きくなるよう条件を

考慮する。

(7) 梁段差なしの場合は通しダイアフラム2枚とする。梁段差ありの場合は通しダイアフラム2枚と内ダイアフラム1枚とする。

(8) 柱と大梁の部材の幅厚比による構造ランクはFCランクまで許容を行った。

(9) 応力度比は式1に示す。MyをY方向の曲げモーメント、fbを許容曲げ応力度、ZyをY方向の断面係数、MxをX方向の曲げモーメント、ZxをX方向の断面係数、Nを軸方向力、fcを許容圧縮力、Aを断面積とする。

$$|My/(fb \times Zy)| + |Mx/(fb \times Zx)| + |N/(fc \times A)| \leq 1.0 \quad (1)$$

(10) 層間変形角は式2に示す。を層間変位、hを階高とする。

$$\Delta/h \leq 1/200 \quad (2)$$

表4と表5にそれぞれにケースAの最小重量設計解の梁と柱を、表6にケースAと各ケースで異なる部材断面、表7に各ケースの鋼材重量を示す。回転バネ定数は63,121kN・m/radである。梁段差と考える場合はR階のG1の部材断面が異なる。柱脚を回転バネにするか固定にするかで2階のB1の部材断面が異なる。それ以外の部材断面は同じため、どのケースの総鋼材重量は約343kNとなった。

表4 ケースAの最小重量設計解(梁)

階	梁	H(mm)	B(mm)	tw(mm)	tf(mm)
1	G1	1,000	500	基礎梁(RC)	
	B1				
	B2				
2	G1	496	199	9	14
	B1	500	200	10	16
	B2	488	300	11	18
3	G1	496	199	9	14
	B1	500	200	10	16
	B2	488	300	11	18
4	G1	446	199	8	12
	B1	450	200	9	14
	B2	440	300	11	18
5	G1	396	199	7	11
	B1	400	200	8	13
	B2	390	300	10	16
R	G1	200	200	8	12
	B1	400	200	8	13
	B2	390	300	10	16

表5 ケースAの最小重量設計解(柱)

階	柱	B(mm)	t(mm)
1	C1	400	12
	C2	400	16
2	C1	400	12
	C2	400	12
3	C1	400	12
	C2	400	12
4	C1	400	12
	C2	400	12
5	C1	400	12
	C2	400	12

表6 ケースAと各ケースで異なる部材断面

ケースB	R階のG1	H-399×199×7×9
ケースC	2階のB1	H-506×201×11×19
ケースD	R階のG1	H-399×199×7×9
	2階のB1	H-506×201×11×19

表7 各ケースの鋼材重量

	大梁 (t)	柱 (t)	総鋼材重量 (t)
ケースA	184.94	158.55	343.48
ケースB	186.53	158.09	344.62
ケースC	186.93	158.55	345.48
ケースD	188.52	158.09	346.61

図11に各ケースの層間変形角、図12に構造設計者の場合と最小重量設計解の場合の鋼材重量比較について示す。

層間変形角は梁段差ありの時と柱脚を回転バネとした時に大きな値となる。構造設計者の予想した鋼材重量と最小重量設計解には差がある。

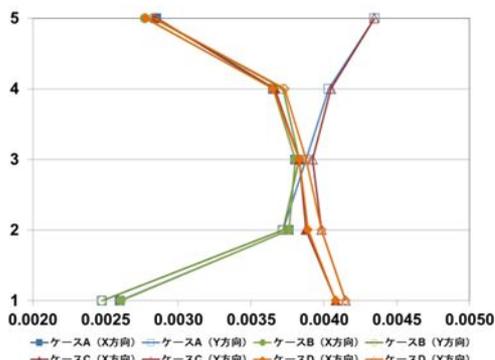


図11 各ケースの層間変形角

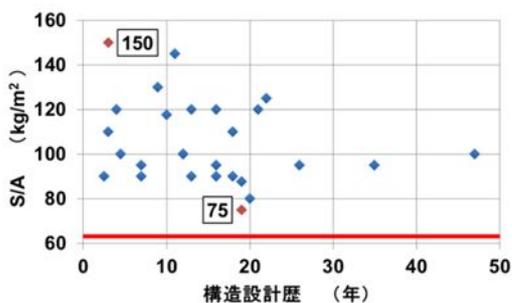


図12 構造設計者の場合と最小重量設計解の場合の鋼材重量比較(参考)

(5)まとめ

最小重量設計解はどのケースも構造設計者が予測した値よりも鋼材重量が少ない。最小重量設計解を構造設計者に教えることは有益であると考えられる。構造設計者の好きな接合部と柱脚部の納まりは梁段差あり、柱絞りあり、回転バネである。構造設計者は性能とコスト以外に思考している部分がある。

本調研究成果を元に、設計者の意思決定が

必要となるさまざまな場面において、設計支援システムがその都度、設計者に対して種々の有用な情報を提供し、あたかもアドバイザーのように振る舞うことができるようになり得る。

参考文献

永野康行, 安部貴則, 李有震: 鋼構造建物の実務者設計による設計解と最適設計解, 鋼構造年次論文集 第16巻, pp.445-452, 2008.

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計3件)

村石一明, 永野康行: 構造計画時の構造設計者の思考に関する調査, 日本建築学会大会(関東)学術講演会, 2015.9.6, 東海大学湘南キャンパス(神奈川県・平塚市)

村石一明, 永野康行: 構造設計者の思考調査結果を利用した鋼構造建物の最小重量設計解, 日本建築学会(関東)建築デザイン発表会, 2015.9.5, 東海大学湘南キャンパス(神奈川県・平塚市)

村石一明, 永野康行: 構造設計者の思考調査結果を利用した鋼構造建物の最小重量設計会, 日本建築学会近畿支部研究発表会, 2015.6.28, 大阪工業技術専門学校(大阪府・大阪市)

6. 研究組織

(1)研究代表者

永野 康行 (NAGANO, Yasuyuki)

兵庫県立大学・大学院シミュレーション学研究所・教授

研究者番号: 00410374