610 コンクリート 2 次製品用鋼製型枠の強度設計および軽量化に関する研究

Study on an intensity design and weight saving of the steel form for secondary concrete products

正 新谷 真功(福井大) 〇学 奥野 遼司(福井大院)
田中 允忠(有限会社ティシィディ)

MASANORI SHINTANI, Graduate School of Engineering, University of Fukui
RYOJI OKUNO, Graduate Student School of Engineering, University of Fukui
YOSHITADA TANAKA, TCD Ltd.

This paper deals with strength design and motional analysis of a machine structure by 3D Computer Aided Design (3DCAD) and Computer Aided Engineering (CAE). Cost, rigidity, etc. are raised as a point that should be taken into consideration in designing a machine structure. Holding down productive energy and cost low relates to earth environment in that resources are utilized effectively. This research examines the improved model using 3DCAD and motional analysis.

Key Words: 3DCAD, CAE, Steel form, Finite element method

A1. 緒言

本研究の対象は、図 A1 に示すコンクリート 2 次製品用鋼製型枠であり、型枠は長年使い続けられることで、型枠の負担となり耐用年数に達する。また、現在は過去の経験測で型枠の設計を行っているため、合理的な設計でなく、軽量化の余地がある。そこで、本研究の目的は、コンクリート製品製造時に生じる変位量・相当応力の低減できる新構造の提案を行うことで耐用年数向上を図り、同時に重量 20%低減することである。まず、型枠の 3D 解析モデルを作成し、CAE 解析を行っている。次に、従来型枠にて製品製造時の変位量・相当応力などの測定実験を行い、解析結果と実験結果の比較を行うことで、解析モデルの有効性を検討している。そして、新構造の解析モデルを作成し、現モデルとの比較を行うことで、新構造モデルの有効性を検討している。

A2. 解析および実験

本研究の解析対象となる鋼製型枠のモデルを作成した。その組立てモデルを図 A2 に示す。本解析では、コンクリート製品製造時に型枠に生じる変位量・相当応力の解析を行った。解析モデルの有効性を示すために、実際の鋼製型枠にコンクリートを流し込む実験を行った。まず、鋼製型枠に生コンクリートを流し込んだ状態にて、ひずみ測定を行い、応力を求めた。また、生コンクリート流し込み完了後に、ダイヤルゲージにて変位量を読み取った。表 A1 より解析と実験結果はほぼ一致しており、解析モデルの有効性を示した。

A3. 改善案モデルの検討

従来型枠は下部のベースを 150mm と 200mm の C 型チャンネルで構成しているのに対し、新構造型枠は 250×250mm の角パイプで構成している。また、従来型枠の主強度鋼材のベースは L 鋼で構成しているのに対し、新構造型枠は 200×100mm の角パイプで構成している。さらに、従来型枠は主強度鋼材を補強するリブを多用しているのに対し、新構造型枠は角パイプの使用により主強度鋼材の強度

向上が見込まれるため、リブの数が少ない。これら従来型枠からの設計変更により、最大変位量は 1.21mm から 1.07mm、相当応力は 182MPa から 60.5MPa、重量は 3100kg から 2440kg(22%低減)に低減していることが確認できた。

A4. 結言

- 1) 型枠の 3D 解析モデルを作成し、CAE 解析を行った。
- 2) 解析結果と実験結果はほぼ一致しており、鋼製型枠の解析モデルは有効であると思われる。
- 3) 実験を行い、ひずみ・変位量を測定した。
- 4) 従来型枠と新構造型枠の解析結果の比較から、新構造型枠は変位量・相当応力の低減および重量 20%低減を達成できた。

Fig.A1 Steel form

Fig.A2 Model figure

Table A1 Comparison between experimental results and analytical results

	Measurement location number	Experimental result	Analytical result
Displacement (mm)	A	1.83	1.50
	B	0.80	0.80
	C	0.08	0.10
Von mises stress (MPa)	①	6.70	7.57
	⑥	6.05	5.00
	⑪	7.45	5.20

1. 緒言

現在、コンクリート 2 次製品用鋼製型枠は、コンクリート 2 次製品メーカーにおいて、道路・擁壁・河川・鉄道・下水道などのコンクリート製品製造用として使用されている。型枠の形状、寸法などは、その使用目的により多種多岐にわたっており、のべ数万種類にものぼっている。本研究の対象となるのは、道路工事に用いられている道路用 L 型擁壁を製造するための鋼製型枠である。擁壁は、鋼製型枠に生コンクリートを流し込み、加振器で振動を与えながら成型され製造されている。その時発生する生コンクリートによる圧力や、加振器による加振力が、長年型枠に加え続けられることで、型枠の負担となっている。また、現在は過去の経験測で型枠の設計を行っているため、合理的な設計でなく、軽量化の余地がある。

そこで本研究は、生コンクリートによる圧力や、加振器による加振力によって型枠に生じる変位量・相当応力の低減できる新構造の提案を行い、同時に重量 20% 低減を目的としている。しかし、型枠の負担低減と軽量化について検討する場合、実際に新構造の型枠を製作し、その有効性を示す方法では、時間とコストが莫大にかかり、実現が困難であると考えられる。そこで、3DCAD ソフト SolidWorks 及び CAE ソフト ANSYS DesignSpace を用いて、生コンクリートを流し込んだ際に型枠に生じる変位量・相当応力の状態を再現し、その解析値と実際に測定した実験値とを比較・検討し、解析の有効性を示すことにより、3DCAD・CAE を用いて新構造の検討を行っている。道路用 L 型擁壁を図 1 に、本研究の対象鋼製型枠を図 2 に示す。

Fig.1 L type wall for roads

Fig.2 Steel form

2. 鋼製型枠の CAE 解析

本研究の解析対象となる鋼製型枠のモデルを作成した。その組立てモデルを図 3 に示す。本解析では、鋼製型枠に生コンクリートを流し込んだ際に生じる変位量・相当応力の解析を行った。解析条件は、モデルの基礎下部を固定し、生コンクリートにより鋼製型枠に生じる圧力を計算により求め、解析を行った。変位量の解析結果を図 4、相当応力の解析結果を図 5 に示す。また、3 章の 3.2 で実験結果と解析結果の比較・考察を示している。

Fig.3 Model figure

Fig.4 Analytical result of steel (Deformation)

Fig.5 Analytical result of steel form (A,B,C,D)

3. 実験

3.1. 実験方法 解析モデルの有効性を示すために、実際の鋼製型枠にコンクリートを流し込む実験を行った。まず、鋼製型枠に生コンクリートを 2500mm (流し込み完了) の高さまで流し込んだ状態にて、それぞれひずみを解析位置と同様の位置で測定を行い、相当応力を求めた。また、生コンクリート流し込み完了後に、予め取り付けおいたダイヤルゲージの変位量 (3 ヶ所) を読み取った。測定位置を図 6 に示す。

(A) Arm side cover

(B) Main part

(C)End plate (D)End plate
Fig.6 Displacement, Von mises stress measuring point
(A,B,C,D)

3.2. 実験結果と解析結果の比較 変位量と相当応力についての実験結果と解析結果の比較を行った。その比較を表1に示す。表1に示す実験結果は、解析と条件を一致させるため、鋼製型枠に生コンクリートを高さ 2500mm（流し込み完了）まで流し込んだ状態の実験結果を示している。表1より、実験結果と解析結果の変位量・相当応力はほぼ一致している。よって、3DCAD・CAEを用いることで、生コンクリートを流し込んだ際に鋼製型枠に生じる変位量・相当応力の状態を再現することができ、本解析は有効であると思われる。

Table1 Comparison between experimental results
and analytical results

	Measurement location number	Experimental result	Analytical result
Displacement (mm)	A	1.83	1.50
	B	0.80	0.80
	C	0.08	0.10
Von mises stress (MPa)	①	6.70	7.57
	②	14.2	11.0
	⑥	6.05	5.00
	⑧	6.91	5.02
	⑨	16.1	11.2
	⑩	12.1	9.84
	⑪	7.45	5.20
	⑬	13.2	8.81
	⑳	5.93	5.42

4. 新構造型枠の CAE 解析

4.1. 従来型枠と新構造型枠の構造比較 従来型枠と新構造型枠の断面図を図7に示す。従来型枠は下部のベースを150mmと200mmのC型钢で構成しているのに対し、新構造型枠は250×250mmの角パイプで構成している。また、従来型枠の主強度鋼材のベースはL鋼で構成しているのに対し、新構造型枠は200×100mmの角パイプで構成している。さらに、従来型枠は主強度鋼材を補強するリブを多用しているのに対し、新構造型枠は角パイプの使用により主強度鋼材の強度向上が見込まれるため、リブの数が少ない。これら従来型枠からの設計変更により、新構造型枠の部品

点数は従来型枠の3分の2と少なく、型枠の溶接組立て作業の時間短縮にも繋がると考えられる。

(A)The conventional steel form (B)New steel form
Fig.7 Sectional drawing (A,B)

4.2. 従来型枠と新構造型枠の解析結果の比較 新構造型枠の解析を行い、従来型枠の変位量・相当応力・重量について比較を行うことで、新構造型枠の有効性を検討した。解析条件は2章と同様とする。新構造型枠の解析結果を図8に示し、従来型枠と新構造型枠の解析結果の比較を表2に示す。表2より、従来型枠と新構造型枠を比較すると、変位量は1.21mmから1.07mm、相当応力は182MPaから60.5MPa、重量は3100kgから2440kg(22%低減)に低減している。よってこの新構造型枠は変位量・相当応力の低減および重量20%低減という研究目的を達成しており、有効だと考えられる。

(A)Deformation

(B)Von mises stress

Fig.8 Analytical result of new steel form (A,B)

Table2 Comparison between analytical results

	Analytical result	
	The conventional steel form	New steel form
Max Displacement (mm)	1.21	1.07
Max Von mises stress (MPa)	182	60.5
Weight (kg)	3100	2440

5. 鋼製型枠の周波数応答解析

5.1. 鋼製型枠の総組立てでの周波数応答解析と測定 コンクリート製品は、その製造時に型枠に取り付けた加振器を加振させながら生コンクリートを流し込む。しかし、現在加振器の取り付け位置は、過去の経験則だけで決めているため、有効な取り付け位置とは言えず、型枠全体に有効に振動が伝わっているか分かっていない。そこで周波数応答解析結果と実験による周波数測定結果とを比較・検討することで、加振器の有効な取り付け位置の検討を行うこととした。本研究対象となっている型枠は、本体内部に左右1個ずつ計2個の加振器を取り付け、120Hzで加振されるものである。解析位置および測定位置を図9に示す。まず、コンクリート製品製造時における周波数解析モデルを作成し、図9の位置A,B,C,Dにおいて周波数応答解析を行った。そして、周波数測定実験を解析同様の位置で行い、比較・検討を行った。尚、本解析は型枠に50Hzから500Hzまでの周波数を、10段階に分割し、各周波数でどのような振幅が得られるかを解析している。

Fig.9 Analysis and a measurement positions

5.2. 周波数応答解析結果と実験結果の比較 解析結果を図10、測定結果を図11に示す。図10の解析結果のいずれも、100Hzで卓越した周波数となっていることから、100Hz付近での加振が大きな振幅が得られる有効な周波数と言える。つまり、現在の120Hzでの加振は有効な加振方法であると言える。さらに、図11の測定結果のいずれも110Hz近傍で卓越した周波数となっている。これは、加振時の周波数120Hzとほぼ同一数値である。つまり、現在の加振時の周波数が型枠の各部に良く伝わっていると思われる。こ

れらのことから、現在の加振時の周波数は型枠の各部に良く伝わっており、さらに、現在の120Hzでの加振は大きな振幅が得られる有効な加振方法であることが分かった。

(A) Position A

(B) Position B

(C) Position C

(D) Position D

Fig.10 Analysis result

(A) Position A

(B) Position B

(C) Position C

(D) Position D

Fig.11 Measurement result

6. 結言

- 1) 3DCADにて鋼製型枠の解析モデルを作成した。
- 2) 生コンクリートを流し込んだ際に鋼製型枠に生じる圧力を計算し、解析を行った。
- 3) 実験を行い、生コンクリートを流し込んだ際に鋼製型枠に生じる相当応力と変位量の測定を行った。
- 4) 解析結果と実験結果はほぼ一致しており、鋼製型枠の解析モデルは有効であると思われる。
- 5) 解析モデルの有効性より、3DCAD・CAEを用いた解析は、コンクリートを流し込んだ際に鋼製型枠に生じる変位量・相当応力の状態を再現することができたとと言える。
- 6) 鋼製型枠の負担低減と軽量化を検討する場合、角パイプを使用することは有効だと考えられる。
- 7) 従来型枠と新構造型枠の解析結果の比較から、新構造型枠は変位量・相当応力の低減および重量20%低減しており、有効だと考えられる。
- 8) 加振器の取り付け位置検討のために、解析モデルを作成し、周波数応答解析を行った。
- 9) 解析の有効性を示すため、型枠に伝わる周波数の測定実験を行った。
- 10) 測定結果と解析結果の比較から、現在の加振時の周波数は型枠の各部に良く伝わっており、現在の120Hzでの加振は有効な加振方法であることが分かった。
- 11) 現在の加振器の位置は、型枠の振動モードの腹部分であり、振動が大きく伝達すると思われる。

文 献

- 1) Tsumura T, Onishi K, The machine design drafting manual based on JIS, Rikogakusha Pubrishing Co.,Ltd., (1955)
- 2) Kadowaki S, Three dimensional CAD by SolidWorks Jikkyo Pubrishing Co.,Ltd.,(2008)
- 3) Kishi S, Kuriyama H, Date M, Illustration SolidWorks training-three-dimensional-CAD full master, Morikita Pubrishing Co.,Ltd., (2007)