

〔技術報告〕

回転式コンクリート型枠の改良について

井川 秀信^{*1}

Improvement of the Rotary Concrete Molding Machine

Hidenobu IGAWA^{*1}

Abstract

Weight reduction is required to improve the functionality of molds used to produce cylindrical concrete products that are used in roadside gutters. To achieve weight reduction, it is necessary to reduce the size of the molding machine. In this study, a stress analysis based on a finite element method was performed on a rotary concrete molding machine. The results show that the size of the molding machine can be significantly reduced while maintaining its strength. An example of the improved machine is shown.

Key Words : Rotary concrete molding machine, Weight reduction, Improvement of functionality, Finite element method

1. はじめに

道路側溝に使用するコンクリート筒型製品を作る型枠では、機能性向上のために軽量化が求められている。また作業環境において型枠の寸法を縮小し、作業効率を高めることも要求される。

コンクリート製品の製造過程においては、型枠に注入したコンクリートを蒸気窯に入れて長時間保持し硬化させる必要がある。今回の技術相談では、蒸気窯の大きさに制限があるため、コンクリート型枠をコンパクト化させて現有の窯に合わせたコンクリート型枠の寸法縮小が求められた。

本研究では、図1に示した回転式コンクリート型枠について有限要素法（FEM）⁽¹⁾⁽²⁾による応力解析を行い、設定された負荷に耐えうるよう製品の強度を保持しながらコンパクト化を検討した。また、本研究の成果として改良された製

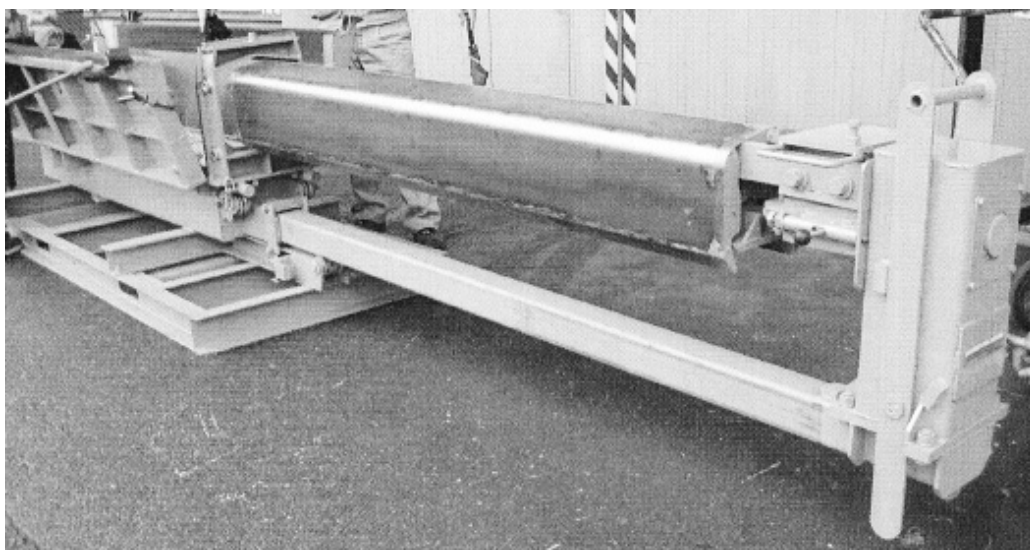


Fig. 1 回転式コンクリート型枠

^{*1} 交通機械工学科
令和元年10月15日受理

品の実例を示す。

2. 設計（改良）の指針

図2は現在製品化されている回転式コンクリート型枠の概略と寸法を示したものである。

実際に使用されている蒸気養生室（コンクリートを固める蒸気室）では、現型枠の寸法が大きく室内に設置できないといった問題点がある。また、コンクリート型枠に機能性を持たせるために中子部分を回転できるようにしているが、コンパクト化することで製品の強度と剛性の低下が心配される。

これまでの、上記問題点を解決するため製品を試行錯誤しながら開発を進めてきたが、強度面を確認する手法が無く開発を断念していた。

本研究では、製品のコンパクト化と軽量化を実現するためにCAEと試作・実験による設計を提案した。その手順は以下の通りである。

- (1) 現状の製品をCADでモデル化し、所定の負荷を与えて有限要素法による応力解析を行う。
- (2) コンパクト化したモデルを試行錯誤し、現状の製品と比較検討する。
- (3) 改良モデルを提案し、製品の試作と実験による検証を行う。

表1は、コンクリート型枠に使用されている鋼材S25Cの材料特性である。なお、解析は全て弾性問題として行った。

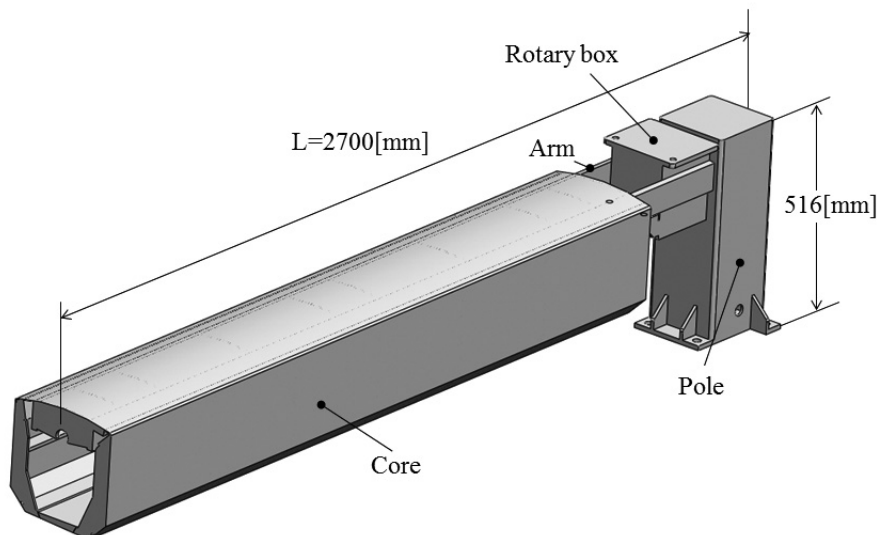


Fig.2 コンクリート型枠（現製品）

Table 1 使用材料と材料特性

Material	Yield stress	Tensile strength	Young's modulus	Poisson's ratio
S25C	283[MPa]	425[MPa]	205[GPa]	0.29

3. 改良モデルの検討

図2に示したように現在のコンクリート型枠の全長は2700[mm]であり、これを2500[mm]以下に短縮する。製造するコンクリート筒型製品の全長は2000[mm]であり、構造上、寸法を短縮できるのは支柱と中子を支える回転軸部品の一部に限定される。

コンクリート型枠の全長を200[mm]以上短縮するため、図3および図4に示すように支柱断面の長さ方向寸法を100[mm]、中子を持するアーム回転式部を100[mm]まで短縮し、全体で291[mm]の短縮を行う。

型枠の寸法を短縮したことにより、支柱とアーム式回転部品の取り付け箇所に曲げモーメントに対する支柱軸受部分の反力増大が予想される。そこで、支柱の寸法短縮による軸受部分に生ずる反力を減らすため、支柱に円板を設け、アーム

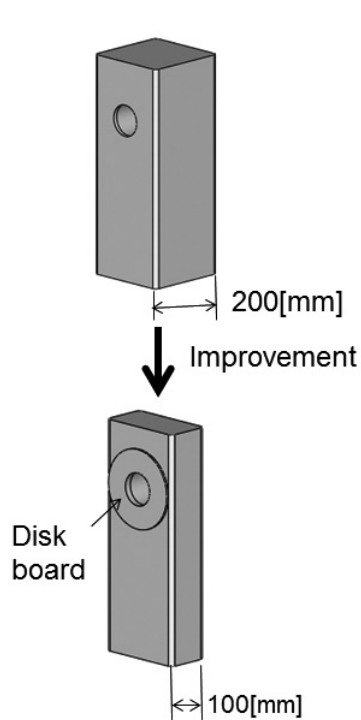


Fig. 3 支柱の改良

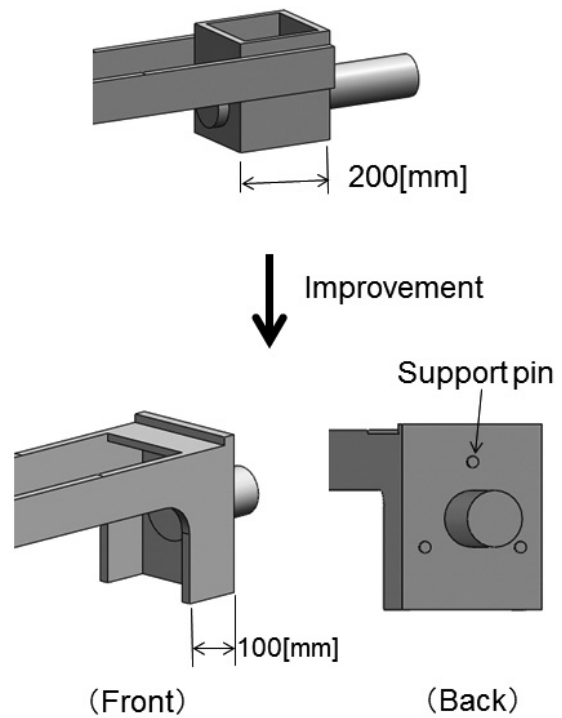


Fig. 4 回転軸部分の改良

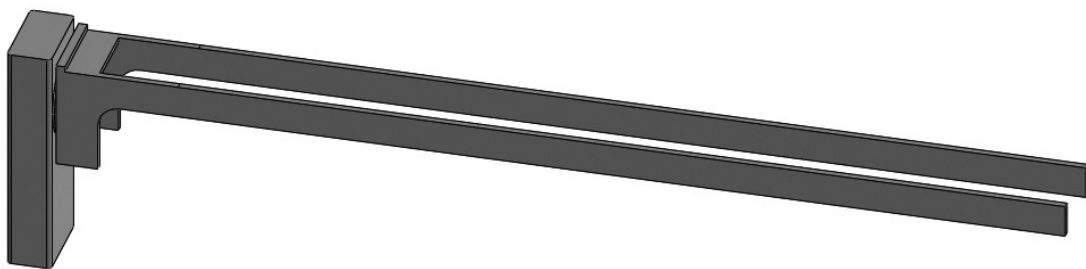


Fig. 5 改良モデル（支柱とアーム式回転部分）

ム式回転部品を支持ピンで支柱側の円盤と接触させて軸受の負荷を減らす方法を取った。応力解析の段階では、支持ピンとして計算したが、実際の試作品では、支持ピンを回転式のローラーに変更し、軸の回転を滑らかにしている。

図5に示した改良モデルから有限要素法による応力解析を行って各部分の応力と変形を確認する。

4. 解析結果および考察

図6は、改良モデルに中子総重量の半分 $P=1.717[\text{kN}]$ を加えたときの von Mises 応力を示したものである。なお、

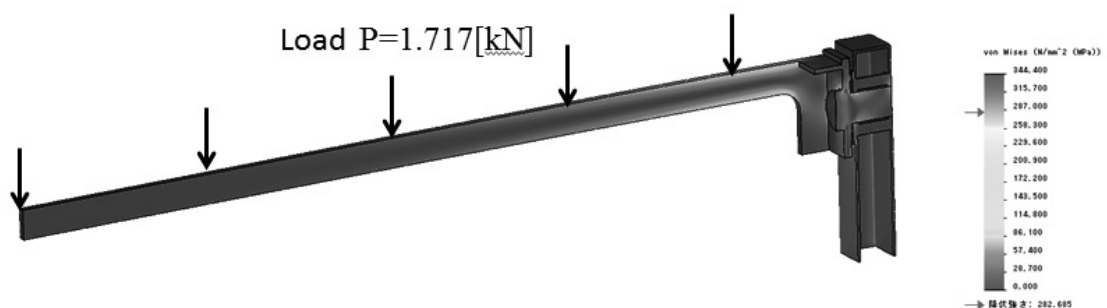


Fig. 6 FEM 応力解析結果

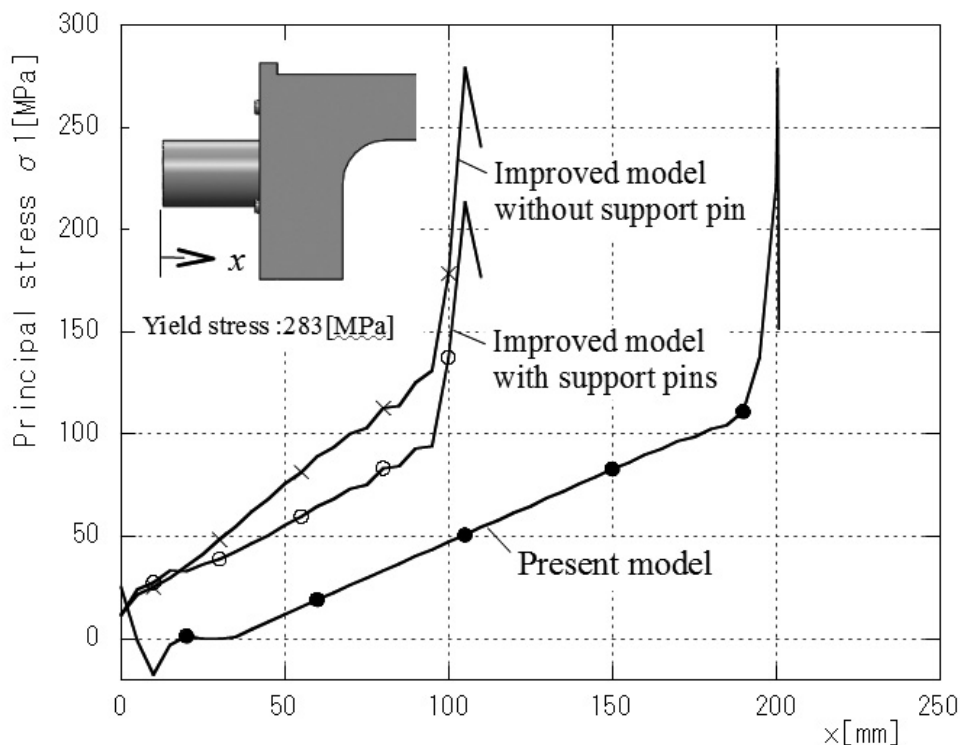


Fig. 7 回転軸の応力分布

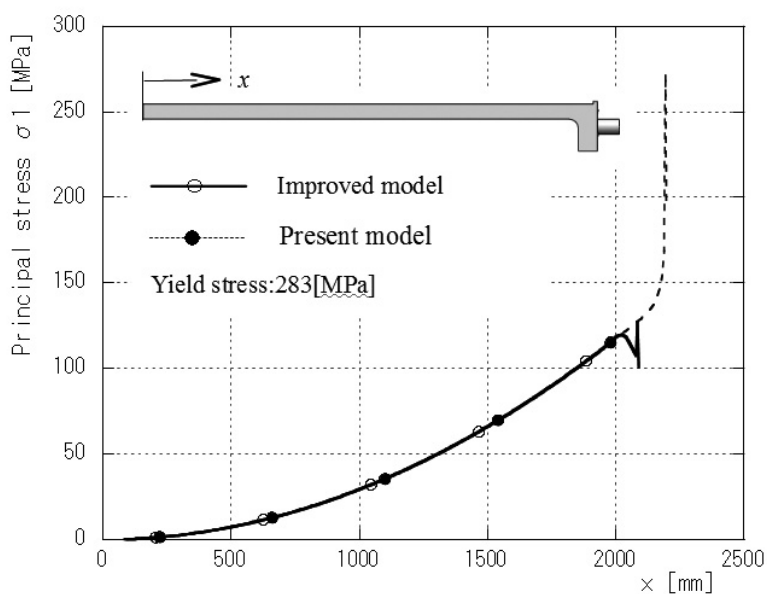


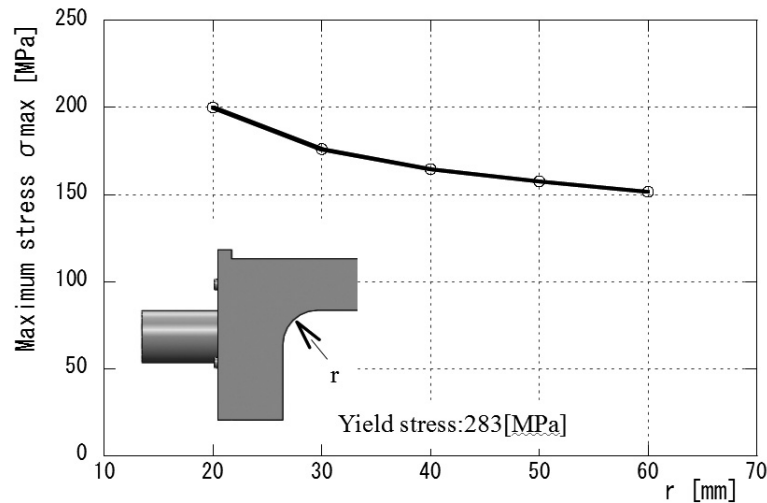
Fig. 8 中子受けアーム部分の応力分布

解析は応力状態の対称性を考慮して1/2モデルで行った。

同図より現状モデルと同様に支柱上部軸受け付近および中子を支えるアーム付け根付近に応力集中が見られる。

図7は、現状モデルと改良モデルの回転軸の応力を示したものである。なお、縦軸に主応力 σ_1 、横軸に軸方向の距離 x をとっている。改良モデルは、アーム軸の掴み部分が短く、曲げ応力が現状モデルより大きくなる。この対策としてFig. 4に示した回転部分にピンによる支持箇所を設けた。その結果、図7に示すように曲げ応力が減少する。

図8は、現状モデルと改良モデルの中子受けアームの主応力を示したものである。なお、縦軸に主応力 σ_1 、横軸にアーム長さ方向の距離 x をとっている。改良モデル、現状モデル共にほぼ同じ応力値であり、付根付近は改良モデルの応力が幾分小さい。

Fig. 9 アーム付根の円弧半径 r と最大応力

改良モデルでは、図4に示すようにアーム付け根付近の角部に応力集中を生じやすい構造となっている。この部分に円弧を設けて応力集中を軽減させた。このとき、適当な円弧半径を求めるため、Fig. 9に示すような半径 r と最大応力の関係を調べた。同図より材料の降伏応力と許容応力（約200[MPa]）を考慮して半径 r を50[mm]とした。

5. 改良モデルの実験的検証

改良モデルの強度と剛性を検証するため、改良モデルを試作した。試作品の所要箇所にひずみゲージを貼り所定の負荷を与えて実験結果と有限要素法（FEM）の解析結果を比較検討した。なお、参考のため現状モデルについても同様の検証を行った。図10は、実験の様子を示したものである。

図11は、アーム部分付根付近のひずみを測定し有限要素法による解析結果と比較したものである。実線が改良モデル、破線が現状モデルのFEM解析による中子受けアーム部分のひずみ分布である。図中の×印が改良モデルに対する $x=2070$ [mm]の位置のひずみ値、◆印が現状モデルに対する $x=2100$ [mm]の位置のひずみ値である。なお中子の質量は252[kg]である。現状モデルでは、すでに中子を取り付けてあり、ジャッキでアーム先端を引き上げることで荷重を加えたため、片持ちはり先端に集中荷重（1.236[kN]、中子総重量の半分）を加える状態で実験を行った。

FEMによる解析結果に比べ、実験結果は幾分か大きい。改良モデル、現状モデル共にほぼ一致している。よってFEM



Fig. 10 実験による検証

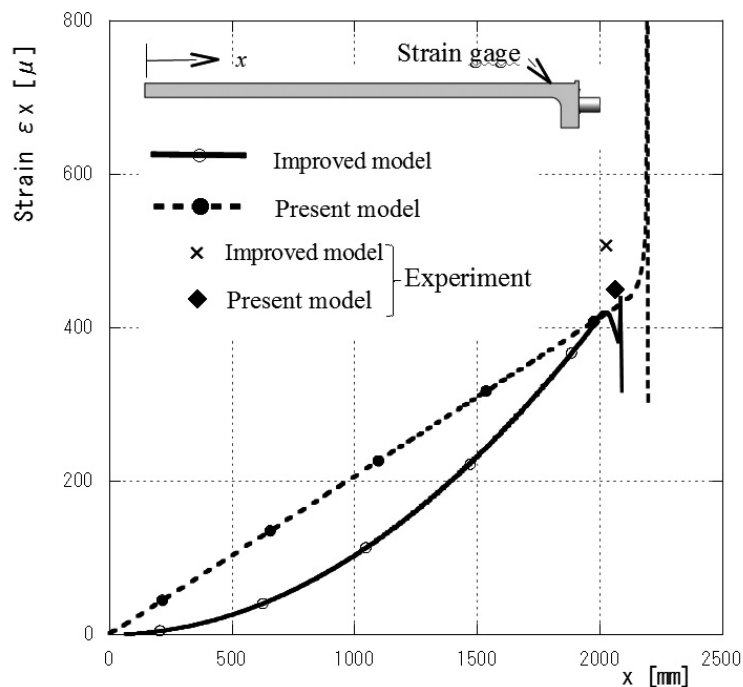


Fig. 11 実験結果（アーム部のひずみ）

の解析結果をもとに設計を行っても良い結果が得られることが検証できた。

6. 中子の軽量化

中子を軽量化するためリブの板厚を 6 [mm] から 4.5 [mm] に変更した。図12は、中子の表面に内厚 $p=100$ [kPa] を加えたときの FEM 応力解析による von Mises 応力を示したものである。今回、中子の軽量化について十分な検討を行うことができなかったが、Fig. 12に示すように FEM による応力解析を併用して最適設計を行うことができる。

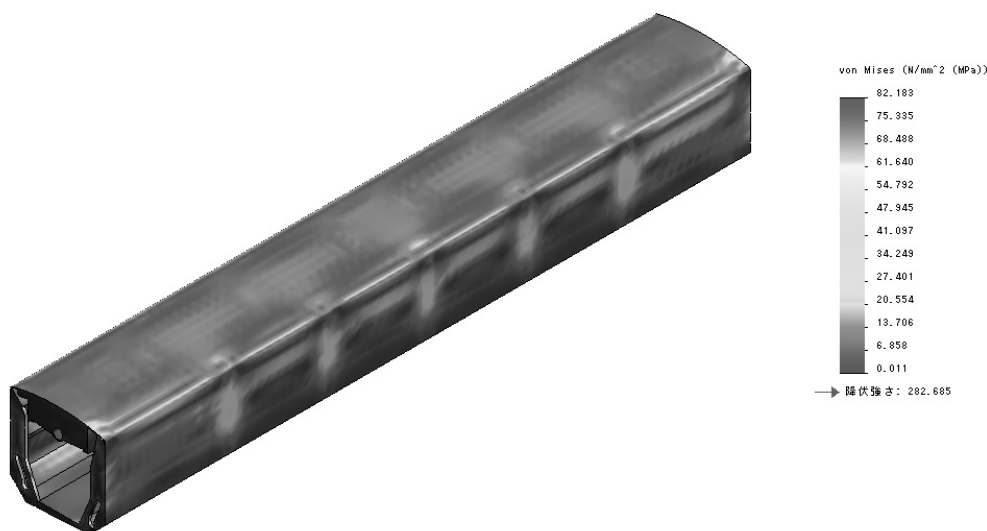


Fig. 12 中子の FEM 応力解析

7. 改良モデルの評価

表 2 に現状モデルと改良モデルの全長、最大応力、たわみ、質量の解析結果を示す。全長では中子を支えるアーム部

品を含めて291[mm](全長で2409[mm])の短縮が可能である。質量においては、改良モデルが23[%]軽くなっており、軽量化が実現できている。また、改良モデルでは、アーム軸部分とボールの組み付けが悪く、中子を取付けた状態での最大変位(たわみ)が幾分大きくなる。この問題点を解決すれば改良モデルは現状モデルとほぼ同程度の強度・剛性を有する製品にできると思われる。

Table 2 解析結果と評価

項目	現状モデル(FEM)	(実験値)	改良モデル(FEM)	(実験値)	評価	備項
軸の最大応力	280[MPa]		220[MPa]		○	降伏応力 283[MPa]
ひずみ(アーム部)	430[μ]	440[μ]	420[μ]	470[μ]	—	
最大変位(たわみ)	21.8[mm]	20.1[mm]	19.1[mm]	40.5[mm]	▲	
寸法(短縮量)	—		291[mm]		◎	全長で2500[mm]以内
質量(アーム, ボール)	34.2[kg]		23.7[kg]		◎	23%OFF
質量(中子)	178.3[kg]		176.9[kg]		—	リブ板厚4.5[mm]に変更

(評価) ◎:非常に良い ○:良い ▲:悪い

8. 改良された製品の実例

図13は、本研究結果を基に最終的に提案した推奨モデルを示したものである。

森山工業では、推奨モデルにさらなる変更を行い、2017年から製造・販売している。図14および15は実際に製品化された回転式コンクリート型枠である。実例に示すように、本研究に基づきアームの回転支持部分がアーム部の円盤をベアリングのローラーで支持している。これにより、コンクリート型枠のコンパクト化(軽量化と全長の短縮化)が実現できている。

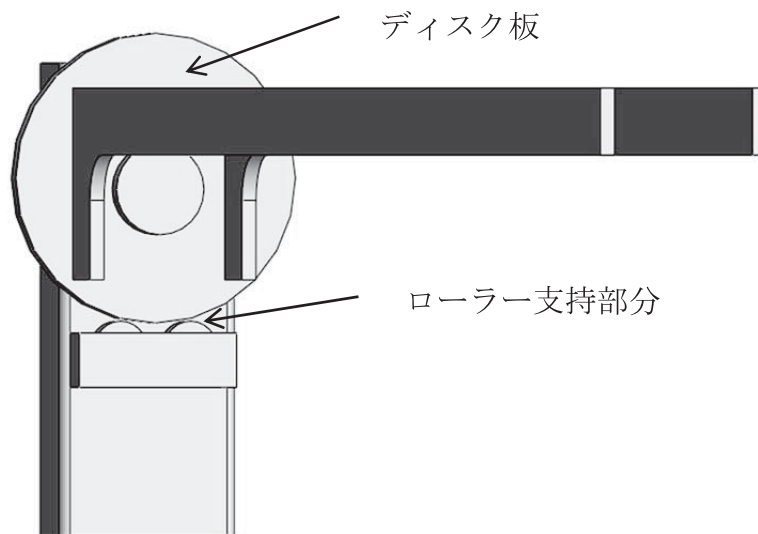


Fig. 13 推奨モデル

9. まとめ

- (1) 現状モデルの全長を200[mm]短縮するため、支柱断面の長さ方向寸法を100[mm]短縮、中子を保持するアーム回転式部品を291[mm]短縮した改良モデル(全長で2409[mm])を提案し、FEM 応力解析と行って強度・剛性の確認を行った。
- (2) 改良モデルを試作し、ひずみゲージを用いて主要箇所のひずみ測定を行った。実験結果と有限要素法による解析結果はほぼ一致することが確認できた。
- (3) 改良モデルは、中子を支えるアーム部品を含めて全長で291[mm]の短縮が可能であり、質量では現状モデルより23[%]軽くできる。



Fig. 14 改良されたコンクリート型枠

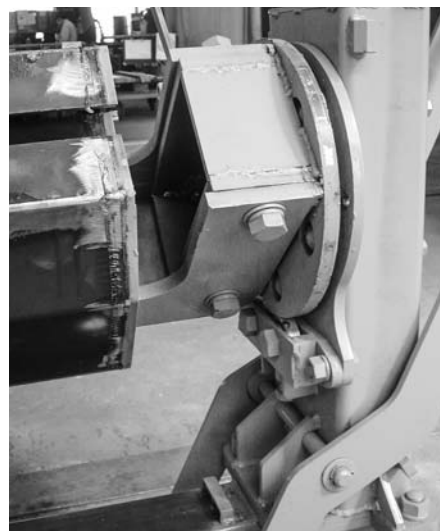


Fig. 15 回転部（拡大写真）

- (4) 改良モデルでは、アーム軸部分とボールの組み付けが悪く、中子を取付けた状態でのたわみが幾分大きくなる。この問題点を解決すれば改良モデルは現状モデルとほぼ同程度の強度・剛性を有する製品にできると思われる。
- (5) 今回の研究でコンクリート型枠のコンパクト化が実現できることが確認でき、新製品開発に役立つ資料が得られた。
- (6) 研究結果を基に推奨モデルを提案し、それを参考に改良された回転式コンクリート型枠の実例を示した。

参考文献

- (1) 鷺津久一郎・宮本博・山川喜昭・山本善之・川井忠彦,「有限要素法ハンドブック I・II」, 培風館, 1981.
- (2) 岸正彦,「構造解析のための有限要素法実践ハンドブック」, 非線形 CAE 協会, 2006.