

研究成果報告書

研 究 題 目		開口部を有する鉄筋コンクリート煙突の補強方法に関する研究	実 施 年 度
			平成 29・30 年度
代 表 研 究 者	所 属	徳山工業高等専門学校土木建築工学科・教授	
	氏 名	原 隆	印

1. 研究の目的・背景

研究の学術的背景・特色

鉄筋コンクリート（RC）煙突は、発電施設や工場の排煙、排熱に欠かせない。また、排煙のために、開口部を有するコンクリート構造となり、開口部の補強が必要な構造物である。これは、連続体の不連続箇所の補強という大きな構造問題のひとつである。しかも、円形断面の煙突では曲線の鉄筋の配置が必要となり、施工上の問題も多く指摘されている。煙突は CICIND(EuroCode)、ACI307、日本建築学会の規定、指針で設計されている。開口部の設計も記述されているが、施工上、開口部のある曲面構造の複鉄筋配筋が困難なうえに曲線の斜筋の配筋が必要である。そこで補強筋の配筋の改善法が議論されている。

本研究の目的

図-1 に示す現行の開口部を有する円筒シェル（煙突）の補強に関して、ICCT2016 ロッテルダムにおいて、煙突の開口部の斜め補強筋が、曲面で複鉄筋のため、作業性に問題があり、設計どおりの配筋が困難であることが報告された。このため、**煙突の耐久性、耐震性に懸念があり、CICIND(工業用煙突の国際委員会)が、配筋方法を変更する必要性を指摘した。**そこで本研究では、斜め筋に相当する鉄筋を子午線方向、周方向の鉄筋に付加し(図-2)、斜め筋相当の補強効果が得られることを数値的に分析し、実験的に検証する。そして、**異なる配筋法で従来の配筋法と同等の補強効果が得られることを検証する。**本研究で得られた結果は国内外の会議で報告する。また、日本建築学会で、チルトアップ壁構造や開口のあるシェル構造の配筋法として報告する。

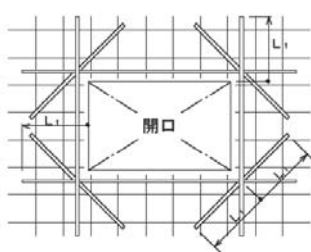


図-1 現行の開口補強配筋

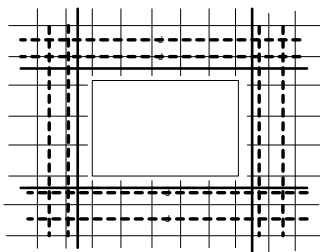


図-2 提案の開口補強配筋

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

解析的分析

開口部を有する煙突に関して後述の実験解析を考慮して、円筒パネルでモデル化する。図-3に開口部を有する円筒パネルと配筋法を示す。図-4に円筒パネルの寸法を示す。パネルは投影

面で子午線方向 900mm 周方向 920.11mm である。厚さは 40mm 開角は 90.04° である。開口部はパネル中央で幅 264mm 高さ 240mm である。また、モデルは(a)開口のないもの(b)従来型の斜め配筋を行ったもの(c)斜め

筋を子午線、周方向筋に置換した改良型の各配筋法を採用し比較した（図-5 参照）。数値解析において、パネルが円筒の一部であることから、風上方向に開口がある場合は軸引張り、風下方向の場合には軸圧縮力を

載荷した。また、風荷重に関しては面外曲げ載荷を考慮した。数値計算による荷重変位図を図-6 に示す。計測点は開口部上縁子午線方向で下向きを負とする（図中●）。剛性については開口部を有するモデルは開口部のないものより小さい。また、従来型と改良型では剛性は等しく、改良型のほうが耐力が大きく示されている。引張載荷では耐力に差はなく、曲げについては、その耐力は支持方法に大きく依存した。

実験的解析

数値解析結果を検証するために数値モデルと同じ試験体（図-4.5）を作製し、軸圧縮荷重の下で載荷実験を行った(図-7 参照)。開口部周辺にひずみゲージを貼付し、5 連ジャッキで 5 点集中載荷を行った。コンクリートひずみの評価より、開口部補強（図 5(b)(c)）は同様の応力再分配を示したが、載荷点の局部破壊が生じ、耐力の比較はできなかった。

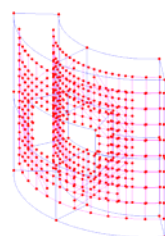


図-3 配筋図

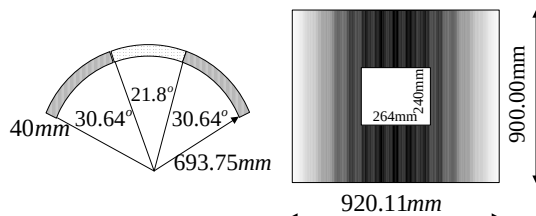
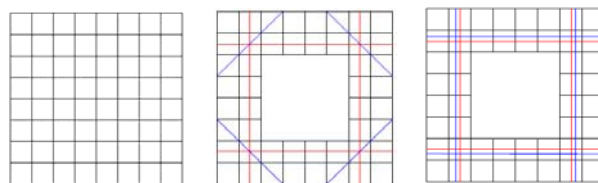


図-4 供試体寸法



(a)穴なし

(b)従来型

(c)改良型

図-5 配筋法

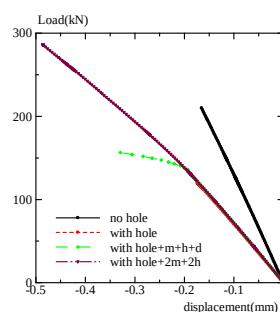


図-6 荷重変位関係

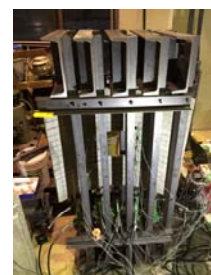


図-7 載荷試験

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

1 年目

当初の計画では(a)鋼製型枠の製作または(b)既存型枠の改造を計画していたが、(a)は製作金額と納期が折り合わず、(b)は曲率の相違により断念し、1 年目は木製型枠で試験体を作製した。試験体は研究成果に示した。穴なし、従来型、改良型に加え、開口あり補強なしの 4 タイプについて計 8 体製作した。型枠製作においてはベントパネルの返りが大きく、FRP 棒や鉄筋で補強した。シェル躯体はマイクロコンクリートと溶接金網で作成した。

実験にはシェルの局面を考慮して鋼製の載荷ジグ、装置を設計し、製作した。試験体にはひずみゲージを貼付し、開口部の応力再分配を測定し、破壊まで載荷した。

数値解析では所有している解析ソフトウェアを使用し、変形、耐力を求めた。

解析結果は日本建築学会大会で発表した。

2 年目

1 年目に引き続き、型枠を再作成し、4 体の試験体を作成し、載荷試験を行った。

数値解析では汎用解析ソフトウェアをレンタルし、変形、耐力を求めた。

実験解析の結果分析を行う過程で木製型枠では小型試験体の製作精度が低いため、初期不整の影響が懸念されたため、鋼製型枠を設計し、製作した。製作完了が 3 月末となったため、鋼製型枠による実験は行っていない。

解析結果は日本建築学会大会で発表した。

また、分析結果については、5 月には構造工学に関する国際会議で発表。10 月にはシェルの国際会議で思惟と解析と実験の 2 報を発表予定である。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

今後の発展性

- ① 数値解析においては初期の目標を達成できており、鉄筋量、載荷方法の組み合わせなど、数多くのケーススタディーを実行する予定である。
- ② 数値解析において地震動のような動的荷重に対して分析をする必要がある。
- ③ 併せて実験的解析を進め、国内外に公表することにより、指針の改定へとつなげてゆきたい。実験は緒に就いたところであり、継続的に実施したい。
- ④ 開口部補強の手法は、煙突以外の曲面構造や壁構造への適用を考えたい。

実用化の見込み

実用化（設計指針への改定、編入）は計画当初では 10 年程度と記述したが、国外の研究も進んでおり、もう少し早い段階で行われるかもしれない。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

1. 原 隆 開口部を有する R/C 円筒パネルの耐荷力特性 2017 年日本建築学会大会学術講演梗概集（中国） pp 761-762 2017.8.31.

2. 原 隆 軸圧縮を受け開口部を有する R/C 円筒パネル 2018 年日本建築学会大会学術講演梗概集（東北） pp 789-790 2018.9.4.

3. 原 隆 開口部を有する R/C 円筒パネルの耐荷特性 2019 年日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸） 2019.9.4.

4. Takashi Hara Improvement of Reinforcement Method of R/C cylindrical shell with Opening, Interdependence between Structural Engineering and Construction Management(ISEC-10) pp1-6 2019

5.. Takashi HARA Reinforcements of the Cylindrical Panel with Opening, Proceedings of the IASS Annual Symposium 2019 – Structural Membranes 2019 Form and Force7 – 10 October 2019, Barcelona, Spain

7.. Naoki GOROUMARU, Takashi HARA Experimental Research on the Reinforcement of Cylindrical Concrete Shell with Opening, Proceedings of the IASS Annual Symposium 2019 – Structural Membranes 2019 Form and Force7 – 10 October 2019, Barcelona, Spain