

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：55503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420573

研究課題名(和文)鉄筋コンクリートシェルの耐荷力と縁ばりの効果に関する研究

研究課題名(英文)The effect of edge beam to the ultimate strength of reinforced concrete shell

研究代表者

原 隆 (HARA, TAKASHI)

徳山工業高等専門学校・土木建築工学科・教授

研究者番号：50124102

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：鉄筋コンクリート(以下R/C)シェルは建築物の屋根構造やタンク、サイロなどの産業構造物に用いられる。境界部が切り取られ、連続体の特性が損なわれたR/Cシェルに対して局所的な曲げが卓越して崩壊することを防止し、構造特性の優位性を保つことが必要である。そこで、R/Cシェルの設計指針策定に必要な基礎資料とするため、設置する縁ばりの形状や配置法を分析した。分析の結果、補強のために必要な補講ばりは最適な寸法が存在し、はりの上部とシェルの中立軸を接合することで補強の効果が発揮できることを示した。

研究成果の概要(英文)：Reinforced concrete (R/C) shells have been used for roof structures of the buildings and industrial structures, such as tanks and silos. For R/C shells that lose their characteristics of continuity due to the constructional reasons, it is important to prevent the collapse of the structure due to the local bending and to maintain the structural advantages. In this research, the size and the application details of induced edge beams were analyzed. The results presented the fundamental data to make the design recommendation of R/C shell. From the analyses, following results were obtained: a) the edge beam had the optimum size. b) It was effective to join between the top of the beam and the shell neutral surface.

研究分野：工学

キーワード：鉄筋コンクリート シェル 縁ばり 補強 耐荷力 非線形挙動

1. 研究開始当初の背景

鉄筋コンクリート(以下 R/C)シェルは面内力に対する構造特性の優位性に期待した連続体構造であり、また、局所破壊が全体破壊に至りにくい性質を持っている。しかし、実際には、境界部が切り取られ、連続体の特性が損なわれ、局所的な曲げが卓越して崩壊することが知られている。このため、境界部に縁ばりを設置し、局所破壊を防ぐことが推奨されているが、従来の設計指針には縁ばりの設置のみが明記され、具体的な寸法や配置法は明示されていない。

ACI 設計基準(ACI318)においても配置することは定められているが、幾何形状や接合方法の規定はしておらず[1]、ASCE - ACI334 では設計例の提示を準備中である。また、建築学会においても R/C シェルの設計例を準備している段階である。

2. 研究の目的

本研究課題は R/C 円筒シェル構造に対して、縁ばりの形状寸法と配置方法に注目し、終局耐力と崩壊特性を分析し、耐力特性を明らかにすることにより、R/C シェルの構造特性を有効に利用した設計法確立のための基礎資料を提示することである。

3. 研究の方法

はじめに、円筒シェルに縁ばりを設置した場合の横荷重に対する荷重変形挙動と終局耐力を数値解析によりパラメトリックに分析し、縁ばりの最適な形状を求めた。

次に、補剛ばりが R/C 円筒シェルの耐力に対して及ぼす影響について分析を行った。円筒シェル子午線方向の縁ばりと周方向の縁ばりを対象とした。この時、縁ばりの配置をシェル中立軸に対して接合位置を変化させ、耐力の変化を分析した。分析は主として数値解析により行った。また、実験解析を行い、数値解析結果の検証を行った。

分析に用いた R/C 円筒シェルを図-1に示す。平面形状は 960x960mm、厚さ 10mm 半径 688mm の円筒シェルであり、中立面に外径 0.75mm、ピッチ 5mm のステンレスメッシュで補強している。補剛ばりの鉄筋量はすべて 2% とした。図は子午線方向の補剛ばりを配置した状況を示す。シェルは 4 隅点をピン支持とした。

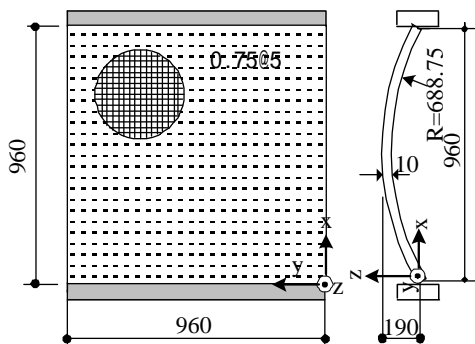


図-1 子午線方向補強された R/C シェル

数値解析のパラメータとしては縁ばりの形状、鉄筋量とした。また、荷重は円筒シェル全体に上下方向に分布荷重を作用させる(全載荷)と圧力載荷を想定した法線方向荷重(圧力載荷)を考慮した。縁ばりについては図-2に示すように R/C シェルとの接合位置を対称配置、上部接合、下部接合とした。

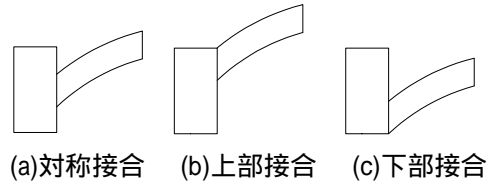


図-2 補剛ばりの接合状況

4. 研究成果

(1) 補剛ばりの寸法の決定

図-1 に示す補剛ばりの厚さを 20mm とし、補剛ばりの高さを変化させた場合のはり高と耐力(総荷重)の関係を図-3 に示す。耐力は、はり高 35mm よりほぼ一定であり、はり高増加による補剛シェル全体質量の増加を抑えるため、はり高を 40mm とした。これより、最適な補剛ばりの形状寸法が存在することを示すことができた。

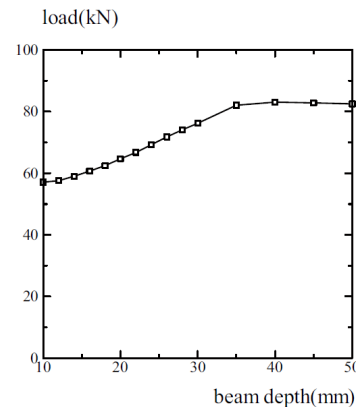


図-3 補剛はり高さ と耐力

(2) 全載化による子午線縁ばりを有する R/C シェルの挙動

上記(1)で得られた最適な縁ばり(幅 20mm x 高さ 40mm)について耐力を評価した。

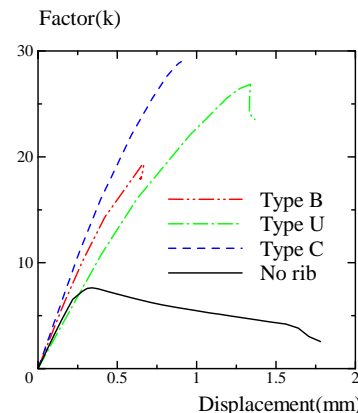


図-4 縁ばり配置と耐力(全載荷)

図-4は図-2に示す3種の縁ばり配置に対するR/Cシェルの総荷重と中央の変形の状況を示す。図-4より、図-2の(a)対称接合(図-4ではTypeC)の剛性が最も高く、耐荷力が最大であるので最適であること結論付けることができる。また、子午線方向の補剛ばりの上部を接合した場合(図4ではTypeU)も高い耐荷力の改善を示した。

図-5に補剛ばりが対称配置の場合の変形図とひび割れ図を示す。赤四角形はひび割れ面を示す。R/Cシェル面や補剛ばりの座屈はなく、曲げが卓越した破壊形態となっている。

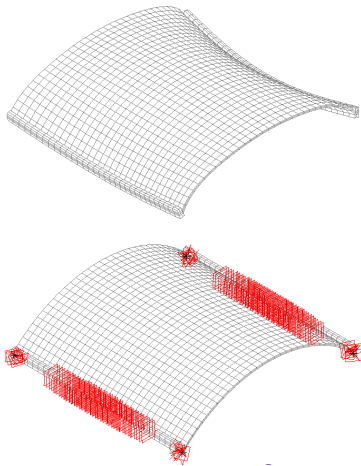


図-5 変形図(上)とひび割れ図(下)

(3) 圧力載化による子午線縁ばりを有するR/Cシェルの挙動

図-1のモデルに対して水圧や土圧などのシェル面の法線方向に分布荷重が作用した場合(圧力載荷)に、補剛ばりの接続位置の相違による耐荷力の変化を分析した。図-6に分析結果を示す。

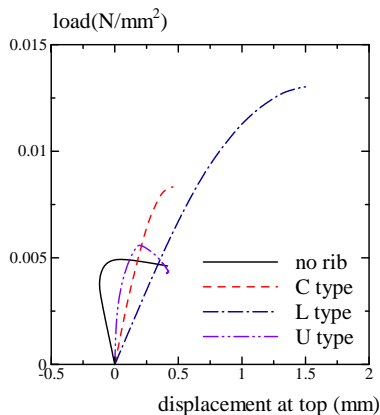


図-6 縁ばり配置と耐荷力(圧力載荷)

縦軸は分布荷重であり横軸はシェル中央点の鉛直変位を示す。補剛材のないシェル(図中no rib)では一度中央綿が上昇し、下方に沈下し、破壊した。図より、図-2(a)対称配置(図-6Ctype)は剛性は高いが、図-2(b)上部接合(図-6 Ltype)の耐荷力が大きい。補剛していない場合(図中no rib)に比べて約2.2倍の耐荷力の向上が得られた。

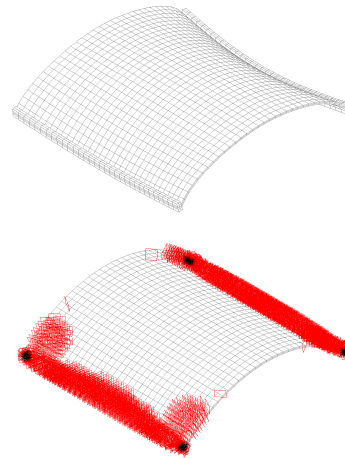


図-7変形(上)とひび割れ(下)
(補剛材対称配置)

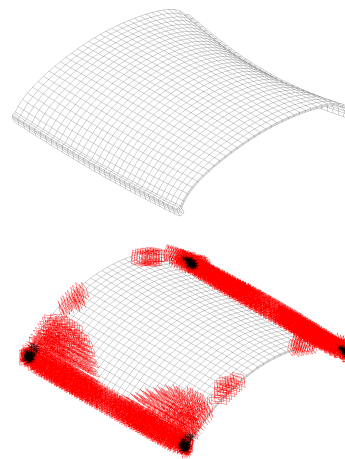


図-8変形(上)とひび割れ(下)
(補剛材上部接合)

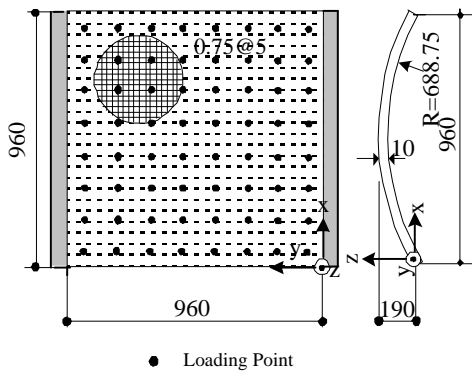
圧力載化の場合の終局時の変形状態とひび割れの分布を図-7および図-8に示す。図-7は補剛材をR/Cシェル面に対称に配置(対象配置)、図-8に補剛材の上端をシェル面に接合(上部接合)した場合の状況を示す。これらより、変形パターンはほぼ同様であるが、はり上端を接合した場合のほうが対称配置の場合よりひび割れが多い。はり上端を接合した場合に応力分布がスムーズに行われている。

(4) 全載化による周方向縁ばりを有するR/Cシェルの挙動

周方向補剛ばりについて分析を行い、縁ばりの配置をシェル中立軸に対して接合位置を変化させ、耐力の変化を分析した。分析は主として数値解析により行った。縁ばりの寸法は、子午線方向と同様に幅20mm高さ40mmとした。

図-9は解析モデルを示す。R/Cシェルは子午線方向にピン支持され、周方向に縁ばりで補強されている。縁ばりの接合方法は子午線方向縁ばりの場合と同様に図-2に示す3種類の接合法とした。

数値解析により得られた総荷重とR/Cシェル中央のたわみの関係を図-10に示す。いずれの補剛状態に対しても剛性並びに終局強度の



● Loading Point
図-9周方向補剛されたR/Cシェル

向上がみられる。図-2(b)上部接合(type L)による補強が最大の耐荷力を示したが、他の補強法との比較では顕著な差異が認められない。

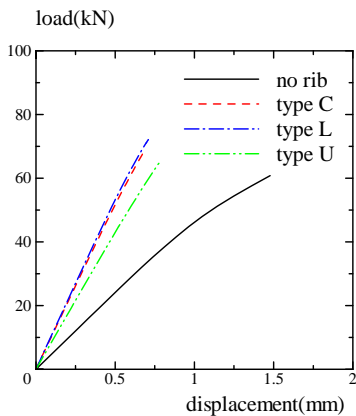


図-10 縁ばり配置と耐荷力(全載荷)

図-11に、最大耐力における変形図を示す。周方向の補剛が無い場合(図-11(a))に、子午線がピン支持されているため、構造が安定しており、中央の子午線に沿った変形が卓越している。一方で周方向が補剛された場合(図-11(b)、上部接合)では子午線線方向に沿った変形は生じることなく、R/Cシェル全体の変形により破壊に至っている。

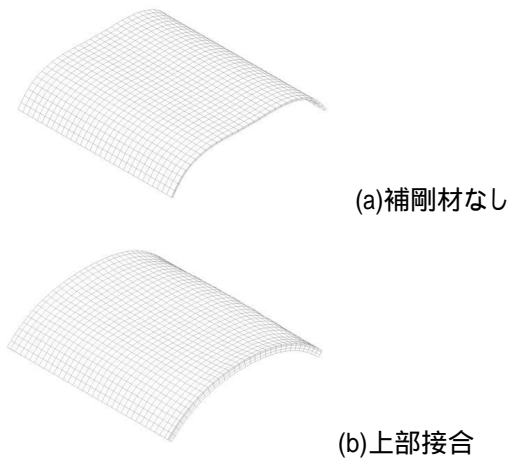


図-11 R/Cシェル変形

図-12に周方向縁ばりの上部をR/Cシェルに接合した(上縁接合)場合の最大耐力時のひび割れ状況を示す。シェル全体にひび割れが進展している状況が見られる。

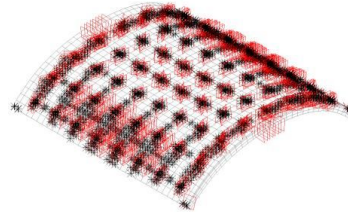


図-12周方向補剛材上部接合のひび割れ

(5)圧力載化による周方向縁ばりを有するR/Cシェルの挙動

図-9 のモデルに対して水圧や土圧などのシェル面の法線方向に分布荷重が作用した場合(圧力載荷)に、周方向の補剛ばりの接続位置の相違による耐荷力の変化を分析した。図-13に分析結果を示す。縦軸は分布荷重であり横軸はシェル中央点の鉛直変位を示す。圧力載化に関しては、周方向補剛材の接合法による剛性の変化は大きくなく、補剛していないR/Cシェル(図-13、no rib)に比べて、いずれも耐荷力は1.8倍に増加した。接合については図-2(b)上部接合が最大耐力を示した。

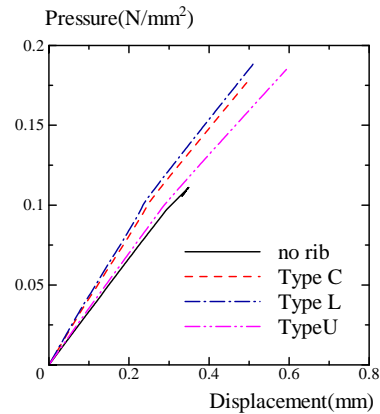


図-13 縁ばり配置と耐荷力(圧力載荷)

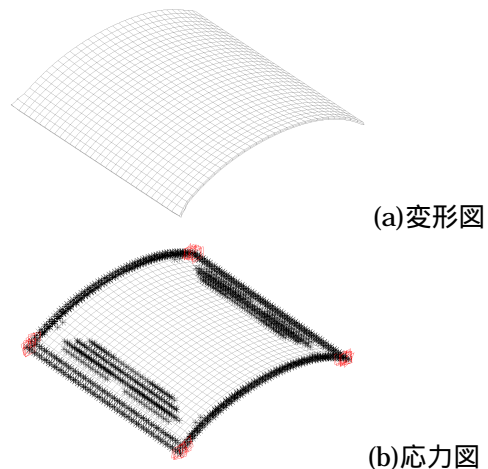


図-14 変形図と応力図(補剛材なし)

図-14 に周方向を補剛しない場合の変形図およびコンクリート圧壊点 (×印) を示す。圧壊は周方向の辺上および子午線に平行に生じている。また、ひび割れ (赤の四角形) は支点部に集中している。

図-15 に周方向を補剛 (上部接続) した場合の変形図およびコンクリート圧壊点 (×印) を示す。圧壊は周方向の辺上中央部および子午線上に生じている。

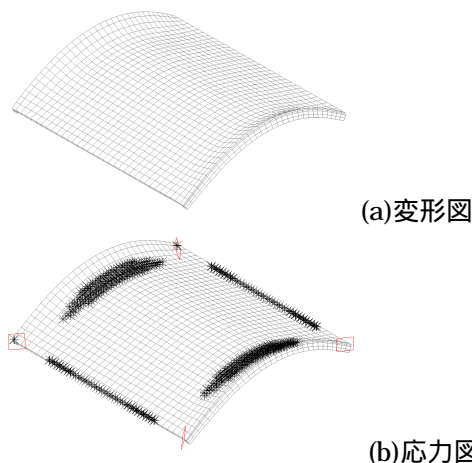


図-15(左)変形図と応力図 (補剛材上部接合)

(6)本研究で明らかになった事柄

R/Cシェルに接合する補剛材の寸法は構造全体の質量の増加を抑えることより、最適な会場寸法が存在する。

円筒シェルを補剛する場合には子午線方向、周方向のいずれの補強に対しても、補剛ばりの上縁とシェル中立面を接合することが最適である。ここで、子午線方向周方向に補強する場合には、鉛直荷重を受け、子午線方向に補強された場合は最適ではないが、最大耐力に近似できる耐荷力を示したことを付記する。

(7)研究の展望

実験解析に関しては、シェル厚さが薄く、接合部が完全に形成されず、耐荷力の向上を認めたと、定性的な結果を得ることができず継続的な研究が必要である。

既存の指針等ではシェルの座屈をもとにした構造設計がなされている[2]が、ひび割れや鉄筋降伏を考慮した解析では座屈現象は生じなかった。しかし、R/Cアーチにおいては数値解析および実験解析においてもスナップ座屈を確認できたので、詳細な分析を続ける必要がある。

<引用文献>

- [1]ACI318: ACI Building Code 318. 2012
 [2]IASS, Recommendations for Reinforced Concrete Shell and Folded Plates. IASS, Madrid, 1979,

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

Takashi Hara, Behavior of Reinforced Concrete Cooling Tower Shell under Lateral Load on Nonuniform Foundation, *Heat Transfer Engineering*, 38(11-12), pp. 1127-1134, 2017 査読有

DOI: 10.1080/01457632.2016.1217060

Takashi Hara, Numerical analysis of R/C cylindrical shell with hoop edge beams, *Procedia Engineering*, (171), pp.789-796, 2016 査読有

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Takashi Hara, Structural Behavior of Reinforced Concrete Shell with Stiffener under Pressure, *International Journal of Civil and Structural Engineering*, 3(2), pp. 27-30, 2016 査読有

doi: 10.15224/ 978-1-63248-088-0-23

Takashi Hara, Behaviour of R/C Cooling Tower Shell under Uneven Foundation Settlement, *Journal of IASS*, 57(1), pp. 59-66, 2016 査読有

DOI:<http://dx.doi.org/10.20898/j.iass.2016.187.775>

〔学会発表〕(計 4 件)

Takashi Hara, Numerical Analysis of R/C Cylindrical Shell with Hoop Edge Beams under External Pressure, *Proceedings of ACSM2017*, pp 13-16, Bangkok, Thailand, 2017. 査読有

DOI: 10.15224/978-1-63248-118-4-26

Takashi Hara, Numerical analysis of R/C cylindrical shell with hoop edge beams, *Proc of SCESCM 2016*, pp.1-8, Proc of SCESCM, Bali, Indonesia 2016 査読有

<http://conference.tsipil.ugm.ac.id/scescm/>

Takashi Hara, Structural Behavior of Reinforced Concrete Shell with Stiffener under Pressure, *Proc. of The Fifth Intl. Conf. On Advances in Civil and Structural Engineering – CSE*, Kuala Lumpur, Malaysia, pp.13-16, 2016 査読有

<http://journals.theired.org/en-ijcse.html>

TAKASHI HARA, STRUCTURAL BEHAVIOR OF R/C SHELL CONSIDERING THE POSITION OF EDGE BEAM, *Proceedings of ISEC-8*, Sydney, Australia, pp. 299-304, 2015. 査読有

doi: 10.14455/ISEC.res.2015.102

6. 研究組織

(1)研究代表者

原 隆 (HATA Takashi)

徳山工業高等専門学校・

土木建築工学科・教授

研究者番号: 50124102