

課題情報シート

テーマ名 :	コンクリートシェル構造物の施工計画と施工管理				
担当指導員名 :	徳富 肇	実施年度 :	23 年度		
施設名 :	関東職業能力開発大学校				
課程名 :	応用課程	訓練科名 :	建築施工システム技術科		
課題の区分 :	開発課題	学生数 :	6	時間 :	38 単位 (684h)

課題制作・開発のポイント

【開発（制作）のポイント】

建築施工システム技術科は、施工管理技術者の育成を目指しています。施工管理とは、設計図書を理解した上で施工計画を立案し、施工図を作成し、施工を行うという PDCA の繰り返しです。施工管理の過程においては、常に「次の次」、さらに「次の次の次」まで見越して問題点を抽出し、予め対策を施しておくことが必要です。通常のラーメン構造では発生しない種々の課題に直面するという点で、無筋シェル構造に取り組むことは意義があります。

【訓練（指導）のポイント】

シェル構造は、膜理論によれば比較的容易に設計することができます。ただし、球面型枠の制作、傾斜が急な部分のコンクリート打設方法、そのための足場の架設計画など、実用的とも言える 6m のスパンを無筋で実現するには、越えなければならない幾つかの問題点があります。

課題に関する問い合わせ先

施設名 : 関東職業能力開発大学校
住所 : 〒323-0813 栃木県小山市横倉三竹 612-1
電話番号 : 0285-31-1711 (代表)
施設 Web アドレス : <http://www3.jeed.or.jp/tochigi/college/>

課題制作・開発の「予稿」および「テーマ設定シート」

次のページ以降に、本課題の「予稿」および「テーマ設定シート」を掲載しています。

コンクリートシェル構造物の施工計画と施工管理

グループ 10 建築施工システム技術科 影山貴之 ○菊池靖成 佐々木勝弥
佐藤広樹 鳥潟美生 福永 光

1. 背景・目的

建築物の施工とは、設計図書を理解し、施工管理を行うことである。建物の規模が大きくなり、あるいは施工の難易度が高くなると、事前に設計図書を充分理解し、設計者の意図を実現できるような施工計画を立案することの重要性が増してくる。施工計画の不備から建物の性能が要求基準を満たさなかったり、コストの増大を招いたり、さらには施工中の重大な災害などを起こす可能性があるため、施工計画の段階で、細部にわたって充分に検討する必要がある。

今回は、コンクリート造による球形シェル構造物の設計および施工計画を立案し、施工・施工管理を行い、シェル構造についての理解と施工管理について学ぶことを目的とする。

2. シェルの応力の算定と構造解析概要

2.1. 基本設計

膜理論によれば、開角 51.8° 以内では、面内応力は圧縮力のみとされ、シェル厚が、曲率半径の $1/20$ 以下の時に成り立つとされている。

今回は施工性や費用を考慮し、半径 3m、開角を 45° 、シェル厚 50mm の無筋コンクリートシェル構造物を設計する。

2.2. シェルの設計荷重

設計用シェル厚は 100mm とし、水平荷重は考慮しないものとする。

設計荷重：シェル自重（固定荷重）	2 [kN/m ²]
積載荷重（積雪 1 cm）	0.02 [kN/m ²]
合計	2.02 [kN/m ²]

2.3. シェルの応力の算定

経線方向の応力 $N_\phi \max$ -4.56 [N/mm²]（圧縮）

緯線方向の応力 $N_\theta \max$ -3.89 [N/mm²]（圧縮）

シェル部分応力として、最大圧縮応力の 4.56 [N/mm²] を採用した。コンクリートの設計基準強度は 9N/mm² とした。

2.4. 裾リングの応力の算定

シェル底周部では、外側へ広がろうとする水平力が作用するため、この引張力を負担する裾リングを設置する。

裾リングの応力 N_{ring} 8.86 [N/mm²]（引張）

D13 SD295A の鉄筋の許容引張応力が 180 N/mm² なので D13 の鉄筋を 1 本配筋した。

2.5. 基礎の設計

基礎は布基礎とし、壁厚は 200mm、16 角形とした。また、基礎部分には壁配筋（D10@200）を行った。シェル打設後の型枠搬出の為、開口部を 2 か所設けた。

2.6. 設計図

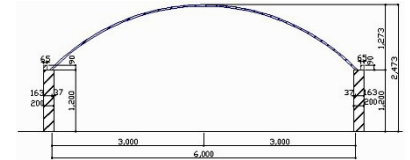
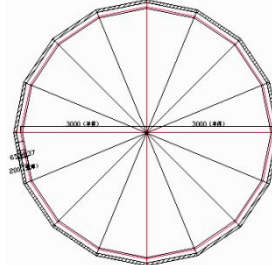


図1. 基礎平面図

図2. 基礎及びシェル部断面図

3. 施工計画

3.1. シェル型枠

球面型枠の施工は難しい為、球面シェルに内接する多面体で、型枠を制作することとした。施工性等を考慮した結果、底面を正 16 角形とする型枠を設計した。

3.2. シェルの傾斜部分の施工

3.2.1. コンクリートスランプ値

シェル部のコンクリートは、流出することが予測されるので、コンクリート圧送車の能力の負担をかけない程度の 15 cm で打設することとした。

3.2.2. 傾斜打設試験

打設の際にコンクリートがはらむ恐れがあるため、事前に傾斜 5° 15° 25° 35° 45° の供試体を作成し、試験を行った。結果、傾斜 45° で最大 7mm のはらみが見られた。また、実際のシェル打設を考慮すると、 35° 傾斜のコンクリートの自重が 45° 傾斜部分にかかるので更にはらむことが予測された。



写真1 傾斜打設試験

写真2 45° 傾斜 2 時間後

3.2.3. リブラスの採用

上記の実験より、全ねじセパと薄型ナットで固定したリブラスでコンクリートの流出を防ぐ方法を考え、再実験を行った。結果として、流出を抑えることが可能と判断され、更にコンクリートの充填性を考え、粗骨材は、豆砂利 10 mm を使用した。

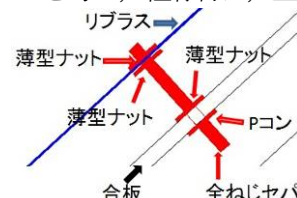


図3 固定方法



写真3 傾斜打設試験

3.3. 外部足場・支保工計画

外部足場は、シェル部の型枠組立及びコンクリート打設を考慮し、円周上に配置し、頂上部付近は梁枠を使い、足場板を設置した。支保工は、シェルの荷重が均等にかかるように、円周上に配置した。

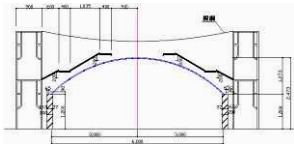


図4. 足場断面計画図

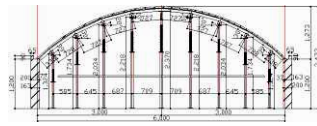


図5. シェル部支保工計画図

3.4. コンクリート天端

シェル部のコンクリート天端は、合板を使用して原寸定規を作成し、天端出しを行った。

4. コンクリートの発注

- ・設計基準強度 $F_c=9N/mm^2$
- ・打設後 28 日までの予想気温による補正值 $6 N/mm^2$
- ・構造体コンクリートと供試体コンクリートの差を考慮した割増 $3 N/mm^2$
- ・寒中コンクリート対策 $3N/mm^2$

以上を考慮し、呼び強度は $21 N/mm^2$ 、スランプ値は 3.2.1 より 15 cm、粗骨材は 3.2.3 より 10 mm でコンクリートの発注を行った。

5. 施工手順及び施工計画・施工管理

表1. 施工手順及び施工計画・施工管理

施工手順	施工管理
1 通り芯・返り芯の墨出しを行う。	図面とBM、逃墨との確認。
2 基礎の墨出し、及び型枠の位置の墨出しを行う。	図面とBM、逃墨との確認。
3 ベンチマークから地盤高さ調整を行う。	図面とBMとの確認。
4 型枠を作成し、鉄筋加工を行う。	受け入れ検査後、施工図による寸法確認。
5 基礎の内側の型枠を一式所設置し、内側と移動用の足場を組む。その後、残りの型枠を組む。	足場の水平を確認・図面・基礎墨との確認。
6 打設で駐車場が汚れないようにシートを敷き、鉄筋を配筋を行う。	図面との確認。
7 外側の型枠を組んだ後、締固めを行い、隙間をバックアップ材で埋める。	締固めの確認・型枠作成の施工誤差による隙間をバックアップ材で埋める。
8 基礎部コンクリート打設を行う。	数量(5.00m ³)・呼び強度21・スランプ値15cm・粗骨材最大寸法20mm 伝票とスランプ試験での確認。
9 内側の型枠を解体し、掘リングの型枠を設置する。	養生7日後型枠解体、梁部は4週経過後解体、面との確認。
10 掘リング部コンクリート打設を行う。	数量(0.1m ³)・呼び強度21・スランプ値15cm・粗骨材最大寸法20mm スランプ試験での確認。
11 掘リング部の型枠解体後、足場を組む。	安全面を考慮し、足場組立を行う。手摺位置85cm
12 支保工組立を行う。	図面との確認。
13 支保工に一定の角度の付いた楔をかませて、大引きを設置する。	図面との確認・水平の確認。
14 根太と型枠用合板を並行して設置する。	型枠作成の施工誤差による隙間をトタン板で埋める。図面との確認。
15 リブラス・ボルトを加工し設置する。	安全面を考慮し、手袋・保護眼鏡を着用。
16 シェル部分コンクリート打設を行う。	ボルトにシェルの天端の印をつけ、印に合わせて打設を行う。
17 支保工・型枠の解体を行う。	コンクリート強度の発現を確認後、安全面を考慮し、解体を行う。
18 足場の解体を行う。	安全面を考慮し、解体を行う。
19 性能評価を行い、建築物の解体を行う。	各項目について、比較・検討を行う。

6. 実施工程表

表2. 工程表

	6月		7月		8月		9月		10月		11月		12月		1月		2月			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
実施設計	■	■	■	■																
構造計算																				
施工計画																				
施工図作成																				
積算・発注																				
型枠作成																				
型枠現場組立																				
支保工設置																				
コンクリート打設																				
養生																				
掘リング																				
型枠現場組立																				
コンクリート打設																				
養生																				
支保工設置																				
型枠現場組立																				
コンクリート打設																				
養生																				
型枠・支保工撤去																				
性能評価																				
まとめ																				

7. 施工写真



写真4 型枠組立完了



写真5 竣工

8. 性能評価

以下の項目について性能評価を行った。

① 圧縮試験

シェル部分のコンクリートは、2週強度の圧縮試験の時点で結果が平均 $19.4 N/mm^2$ となり、設計強度 $9N/mm^2$ を十分満足したので予定していた支保工解体日より早く解体することができた。

② 出来形の確認

型枠脱型後、各部分高さ・シェルの厚さを設計値と実測値の比較を行った。

各部分の高さの計測結果は、14mm から 92mm 設計高さより高くなっている。シェルの設計厚の 50 mm は確保していることを確認した。

また、今回のシェルは半径 4,273mm の球の一部であり、設計した半径と施工したシェルの半径を比較すると、誤差が最大で 1.38% となった。以上の結果から、球形シェル構造体として成り立っていると考えられる。

② 支保工の解体

支保工のジャッキダウンは、中心点から円周上の外側に、荷重の偏りが無くなるように対称に行い、シェルが変形することなく解体することが出来た。また、支保工解体の前後で、シェルの頂点の変位が 0 であったことを確認した。

9. 考察

今回、無筋コンクリートシェル構造物について、設計から施工・施工管理及び性能評価を行った。

膜理論による無筋シェルの設計等を手計算で行い、型枠の設計も、CAD を使用し設計することができた。

施工に関しては、多少工程が遅れた部分もあったが、適切な施工手順と安全管理を行い、大きな変形や事故を起こすことなく無筋コンクリートシェル構造物を完成させることができた。また、性能評価においても、意図した構造体を施工できたことが確認できた。

無筋コンクリートシェル構造物という、実社会ではあまり経験できない構造体だが、計画図や施工図の段階で想定される事項を予測し、検討することにより、問題の解決策を講じておくことが可能であることが分かった。

参考文献：桑村仁 著

建築の力学—弾性論とその応用—

公共建築協会 著

公共建築工事標準仕様書 平成 22 年度版

開発課題実習「テーマ設定シート」

作成日： 9月22日

科名：建築施工システム技術科

教科の科目		実習テーマ名	
施工・施工管理実習 (総合施工・施工管理総合実習/G10)		コンクリートシェル構造物の施工計画と施工管理	
担当教員		担当学生	
○建築施工システム技術科 徳富 肇		○佐藤広樹	影山貴之
		菊池靖成	佐々木勝弥
		鳥潟美生	福永 光
課題実習の技能・技術習得目標			
コンクリートシェル構造物の施工計画と施工管理をテーマとします。「シェル構造物を設計・施工するために必要な技術は何か」を修得することを目指します。			
実習テーマの設定背景・取組目標			
実習テーマの設定背景			
建築物の施工管理技術者を目指す者として、施工計画を立案することの重要性を認識することが必要です。 木造、RC造、鉄骨造の基本的な構造体は、ラーメン構造やトラス構造ですが、シェル構造は今までに学んでこなかった構造体であるため、独自の施工計画を考案し、施工管理を行う必要があります。どのようにしたら、目的の構造物ができるのか、自ら問題点を把握し、解決してゆくプロセスを修得することが目標となります。			
実習テーマの特徴・概要			
シェル構造物を施工するにあたって、構造設計から始める必要があります。有限要素法などの解析方法を使わず、手計算で解析するために、膜理論の範囲で解が得られるものを製作します。さらに、球面型枠の作成方法、支保工の計画、足場計画、コンクリート打設計画など、解決しなければならない問題点が多々あります。			
No	取組目標		
①	3次元的な広がりをもつ構造体の形状を、数値で表現するための考え方を修得します。		
②	膜理論によるEPシェル工作物の構造設計を修得します。		
③	構造解析ソフトの利用法を学び、膜理論との整合性を検証します。		
④	シェル構造物に必要な、裾リングの設計を修得します。		
⑤	シェル構造物の、型枠と支保工の設計方法について習得します。		
⑥	曲面を含む積算の手法を修得します。		
⑦	コンクリートの効率的な打設方法について、習得します。		
⑧	安全管理について、学びます。		
⑨			
⑩			