

課題情報シート

テーマ名 :	アーチ構造物の施工と施工管理 ～S造とRC造の二つの構造種別～		
担当指導員名 :	徳富 肇	実施年度 :	27 年度
施設名 :	九州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 :	総合施工・施工管理実習	学生数 :	8 人
		時間 :	26 単位 (468h)

課題制作・開発のポイント

【開発（制作）のポイント】

施工管理とは、品質・工程・安全・原価の管理を行うことです。施工計画の良し悪しは、これらの4つの管理項目に直結するため、非常に重要性が高いといえます。本課題は、先を見越した施工計画を策定する能力や、問題を解決するための技術の育成を狙ったものです。

【訓練（指導）のポイント】

アーチ構造は、美しい構造体ですが、その形状を実現するには予め解決しておかなければならない幾つかの問題点があります。当然ですが、RC造とS造ではそれぞれ異なること、さらに、重要性の順位まで考慮する必要があります。

課題に関する問い合わせ先

施設名 : 九州職業能力開発大学校
 住所 : 〒802-0985 福岡県北九州市小倉南区志井 1665-1
 電話番号 : 093-963-0125 (代表)
 施設 Web アドレス : <http://www3.jeed.or.jp/fukuoka/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。

アーチ構造物の施工と施工管理

～S造とRC造の二つの構造種別～

指導教官：徳富 肇

1. はじめに

アーチ構造は、世界遺産に登録されているフランスのポン・デュ・ガール水道橋のように、完成後 2000 年を過ぎて今なお現役で使われているものも多く、すぐれた構造体として古くから利用されている。しかしながら、アーチ構造は「躯体が構築された瞬間に初めて安定した構造体として完結する」という特性をもっているため、裏返せば「完成するまでは極めて不安定な構造体である」と言える。これは、施工的な難易度の高さを意味し、建設にかかわる技術者を悩ませてきたが、一方で、竣工させることは技術力の高さを証明する実証物としての意味を持つ。ここでは、同規模のS造とRC造のアーチ構造物を並行して施工し、施工ならびに施工管理の観点から、二つの構造体について比較と考察を行うことを目的とする。

2. 基本設計

共通の基本設計仕様として、スパンは桁行方向 2m×梁間方向 3mとし、梁間方向に直径 3mの半円アーチを架け、最大高さは約 3mとする。基礎から柱・梁までの構造はRC造とする。半円アーチ屋根部分は、S造並びにRC造として個別に設計・施工する。積載荷重については、積雪荷重 200N/m²を共通とし、固定荷重は各々の構造体の固定荷重を考慮する。水平荷重は考慮しないものとする。

2-1 設計概要

- ・名称 開発課題 アーチ構造物
- ・建設地 九州職業能力開発大学校 M棟南側
- ・建築面積 約 30m²
- ・着工平成 27年 9月 ・竣工平成 28年 3月

図1と図2に敷地配置図及び立面図をそれぞれ示す。

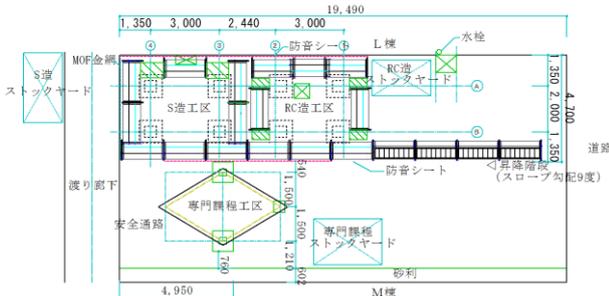


図1 立面図・断面図

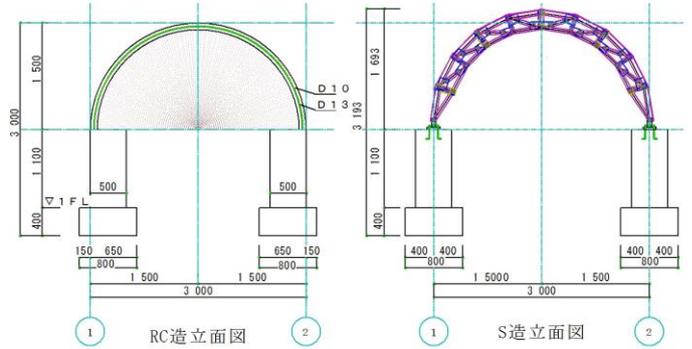


図2. 立面図

3. 施工管理全般

3-1 工程管理

S造、RC造班それぞれの実施工程として表1に示す。

表1. 工程表

	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
S造	基本設計			▽着工(9/10)						▽竣工(3月予定)
	施工計画			▽鉄骨加工				▽建方(11/12)	▽本締め(2/9)	
RC造	基本設計			▽着工(9/10)						▽竣工(3月予定)
	施工計画			▽捨コン打設(9/18)						
				▽基礎打設(10/8)		▽柱・梁打設(11/5)		▽アーチ打設(12/21)		

3-2 安全管理

日々の作業前のラジオ体操、KY活動、作業後の安全日誌を作成する。作業中の現場の整理整頓に心がける。すぐ隣が教室なので防音シートの取り付け、安全標識の設置を行う。また、本開発課題の現場が専門課程の卒業研究の製作と重なったので、定期的に全体工程会議を開き、施工日程、安全面での配慮に努めた。

3-3 品質管理

工程ごとに記録写真を撮り、一日の施工記録日誌を作成し、品質管理結果を記録する。

4. S造アーチの設計・施工概要

4-1 S造アーチ部分の構造計算

今回設計した、S造アーチの構造形式はトラス構造である。そのため節点数が多く、計算が複雑になるため有限要素法を用いた構造計算ソフトを利用して計算を行った。

計算はスパン方向・桁行方向の2つに分けて考え、スパン方向はアーチ単体としての計算、桁行方向は梁を含めたアーチ全体の計算とする。

4-1.1 荷重の算定と組合せ

構造計算に用いる垂直方向の荷重は、積雪時の短期荷重を使い、積載荷重は考えないとし、200N/m²の雪がアーチ屋根に乗ることを想定した。

固定荷重

スパン方向・・・1000N 桁行方向・・・6700N

4-1.2 部材の条件

次の①～④に部材の条件を示す。

①使用鋼材

品名	寸法	断面積 (mm ²)	断面係数 (mm ³)	断面二次モーメント (mm ⁴)
等辺山形鋼	SN400 75×75×6	872	8470	461000
不等辺山形鋼	SN400 125×75×7	1362	26100	2190000
平鋼	SN400 50×6	300	2500	62500
平鋼	SN400 75×6	450	5630	211000
平鋼	SN400 100×6	600	6000	500000
平鋼	SN400 125×6	750	7500	977000

②基準強度F値：235N/mm²

③許容応力度

長期許容応力度

圧縮・引張・曲げ：157N/mm²

せん断：91N/mm²

短期許容応力度

圧縮・引張・曲げ：235N/mm²

せん断：137N/mm²

④ボルト等

高力ボルト：M16、首下長さ 75, 60, 50, 45

アンカーボルト：M12、長さ 250mm

4-1.4 断面算定

次に構造計算を行った結果を示す。

最大圧縮応力度 $1.7 \times 10^{-7} \text{N/mm}^2 \leq 157 \text{N/mm}^2$

最大引張応力度 $1.5 \times 10^{-6} \text{N/mm}^2 \leq 157 \text{N/mm}^2$

最大曲げ応力度 $7.4 \times 10^{-7} \text{N/mm}^2 \leq 157 \text{N/mm}^2$

最大せん断応力度 $7.8 \times 10^{-5} \text{N/mm}^2 \leq 91 \text{N/mm}^2$

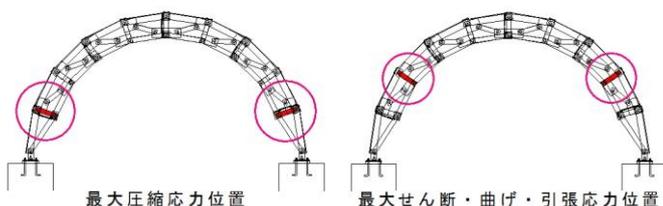


図3 解析結果

4-2 施工計画

トラス構造は本締めを行うまでは、不安定構造物であるため、各施工段階における計画が必要となる。

① 墨出し

トランシットを据え付けるため作業スペースの確保が難しいため、下げ振りを用いて地墨より墨出しを行う。

② 足場・支保工計画

足場上部に通した単管にレバーハンドルを取り付け、鉄骨を吊るすことで施工性と安全性を配慮する。

現場での高力ボルトの本締め・防錆塗装時において、作業性を考慮し躯体の間に脚立・布板、合板を用いてステージ足場を設ける。

支保工計画のポイントを以下にまとめる。

- ・梁間方向に図面より求めた高さで単管を通す。
- ・レバーハンドル二つでアーチ中央部を吊る。
- ・アーチ片側部を単管とレバーハンドルを用いて支えながら柱脚部のピンを固定する。
- ・高さを微調整しながら中央部と接合する。
- ・L棟側から以上の順番で施工を行う。
- ・アーチ間の梁材も同様の施工法で行う。

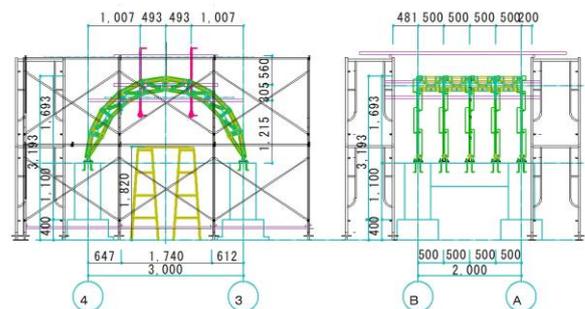


図4 足場計画図

③ 鉄骨

等辺山形鋼、不等辺山形鋼および幅の異なる5種類の平鋼を使用する。

④ 高力ボルト

部材の納まり上、トルシア型効力ボルトを使用できないため、JIS型高力ボルトを使用する。

4-3 施工及び施工管理

① アンカーボルト

コンクリート打設時にアンカーボルトが移動しないよう合板と栈木を使用し固定、養生を行う。この際、打設後にベースプレートの高さ調整が出来る様に考慮する。



写真1 取り付け



写真2 養生

② 鉄骨加工

けがき、孔あけ、ボルト接合部のグラインダーがけ、切断を行う。

③ 仮組みおよび防錆塗装

ひずみおよび加工不良の確認するため原寸墨出しを行い、仮組を行った。

鉄骨の錆を防ぐため接合部を除いた箇所への防錆塗装を行った。その後、1次締め作業および運搬を考慮し、それぞれのアーチを大きく3つの部位に分けて解体した。



写真3 仮組み



写真4 防錆塗装

④ 鉄骨建方

柱脚部を仮設の単管パイプに預けた後、中央部をレバーハンドルで揚重し、仮ボルトを挿入する。



写真5 鉄骨建方

⑤ 1次締め、マーキング、本締め

仮ボルトの取替えを行った後、トルクレンチを使用し、1次締め、マーキング、本締めを行った。

ボルト M16 を使用したので 100N で一次締めを行う。その後、全数箇所マーキング、本締めを行う。今回 JIS 型高力ボルトを使用したためナット回転法により回転角 120 度とする。本締めの際、供廻りが発生した場合はボルトを取り換え始めからやり直す。



写真6 マーキング



写真7 防錆塗装

4-4 S造アーチ部分まとめ

S造のアーチ構造物は当初の計画通り、無事施工できた。本研究は、まだ規模が小さいが、大規模になるほど計画が重要になると改めて感じた。

5. RC造設計・施工概要

今回設計したRC造アーチの構造計算は、手計算により行った。アーチ部分は梁として考え、梁の断面算定図表を用いて算出した。

5-1 荷重の算定

構造計算に用いる垂直方向の荷重は等分布荷重とし、積雪時の短期荷重と固定荷重を足したものとした。積雪荷重は 200N/m² を想定し、固定荷重は 3120 N/m² となり、垂直方向の荷重は 3320 N/m² として計算を行った。

5-2 RC造アーチ部分の構造計算

① 基礎部分

地面に不陸があったため 1000×1000、高さ 50mm の捨てコンを打設した。転倒を考慮し、RC・S造の基礎は 800×800、高さ 400mm とした。

② 柱

RC・S造のアーチ部分の荷重を考慮し、500角とした。主筋は 8-D16、帯筋は D10@100 とした。

③ 梁

RC・S造のアーチ部分の荷重を考慮し、300×450、上筋 2-D19、下筋 3-D19、あばら筋 D10@150 とした。

⑤ RCアーチ部分

アーチは梁として考えているので、梁の断面算定図表の短期許容応力度設計より、D10@40 とした。さらに補強筋としてアーチの端部は D13 を使用した。差し筋はアーチの鉄筋と同様に D10@40 とし、端部には D13 を使用した。アーチと梁の接合部分は、重ね継ぎ手長さ 35d (350mm) とした。コンクリートの設計基準強度は 24N/mm² とした。

5-3 施工計画

① 墨出し

アーチ構造の施工にあたり正確な座標と高さが必要となるため、柱、梁にアーチ型枠の墨出しと、パイプサポート位置の墨出しを行う。

② 支保工

パイプサポートはアーチ型枠の変形を防止するため、栈木と大引き受けを用い、そして根がらみで振れ止めを行う。

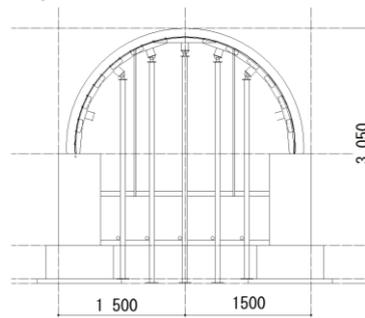


図5 支保工計画図

③ 足場

コンクリート打設の際に一輪車による運搬を考慮し、スロープを設ける。

屋根部分の作業性と安全性の向上を図るため、外部足場のほかに浮かし桟橋を設ける。

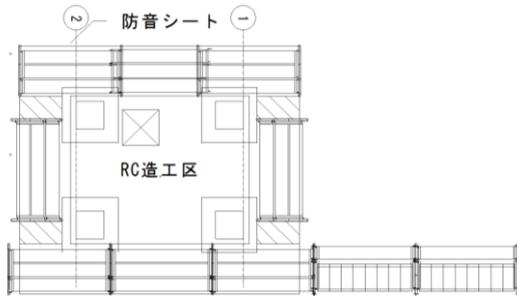


図6 足場計画図

⑥ スペーサーの設計

高さ 40mm のコンクリートスペーサー製作し、鉄筋が滑り落ちないように工夫した。

⑦ コンクリート打設計画

幅 13cm の狭い箇所には打設をするため、スランプ値は 18cm(設計基準強度 24N/mm²)とする。

5-4 施工及び施工管理

① 支保工の作成及び施工

アーチ部分を施工する際、せき板に鉄板を使用する計画をしていた。支保工には、施工性を考慮し栈木と合板を使用しアーチを形成した。また、コンクリートの重みにより支保工が変形することを防ぐためチェーンを用い締固めを行った。



写真8 根太作成



写真9 アール状鉄板

② 蓋型枠の作製

曲面形状に対応するため、型枠は鉄板 $t=0.12$ とする。事前の施工実験の結果、傾斜 30° 以上の箇所に蓋を設けることとした。蓋型枠には鉄板を使い、コンクリートの充填が確認しやすいように 3 つに分ける工夫を行った。



写真10 蓋型枠現場確認



写真11 型枠施工後

③ コンクリート打設

蓋型枠を使用する箇所はコンクリートが充填されにくいと考え、バイブレーターや木槌を使用した。

しかし、2 枚目以降の蓋型枠を取り付ける際、セパレータの移動、蓋型枠の端部やセパレータのねじ山にコンクリートが付着し施工が困難になった。



写真12 打設



写真13 施工

④ 型枠解体および仕上げモルタルの施工

コンクリート打設から 28 日後、型枠の解体を行った。アーチの蓋型枠の解体の際、コンクリートにジャンカが見られた。また、蓋型枠の押え込みが不十分だったためアーチの厚さにばらつきが発生した。そのため、ジャンカが発生した箇所をはつり、防水モルタルを使用しアーチの修正を行った。



写真14 施工不良



写真15 防水モルタル塗

5-5 RC造アーチ部分まとめ

今回の半円アーチ製作において、最も困難であったことは蓋型枠の計画であると考え。計画段階において、施工不良を防ぐ計画をしていたが、予想していたよりも難しく、ジャンカの発生やアーチの変形が生じた。原因としては、アーチの側圧に耐えられなかった蓋型枠の強度不足、バイブレーターやたたきが十分に行えない蓋型枠の強度不足などがあげられる。型枠の強度不足による施工不良が主な原因として考えられる。対策として蓋型枠の垂直方向に、支保工で用いた栈木と合板を組み合わせたリブを入れる事で、アーチの側圧にもバイブレーターやたたきの問題も解決できたのではないかと考える。また、急な傾斜となる蓋型枠の部分のセパレータの間隔を狭くすることで、アーチの側圧にも耐えることが出来ると考える。

参考文献

- 1) わかりやすい鉄骨の構造設計 第四版社団法人日本鋼構造協会編 技報堂出版
- 2) Excel で解く構造計算

課題実習「テーマ設定シート」

作成日： 9月11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	
総合施工・施工管理課題実習 (開発課題実習)		アーチ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			
課題実習の技能・技術習得目標			
建築物の施工では、適切な施工計画の策定と施工管理が必要ですが、特殊な構造体においては、その重要性はさらに高くなります。本年度は、アーチ構造物について、計画と管理のプロセスを検証してゆくことを目的とします。			
実習テーマの設定背景・取組目標			
実習テーマの設定背景			
アーチ構造は、古来より石橋などに採用されてきたように、構造形式としては、新しいものではありません。しかし、実際に施工する段階になると、建物はひとつひとつ施工条件が異なるため、そのつど施工計画や管理方法を検討し、最適なアプローチを決定する必要があります。これらの問題は、施工図の作成や施工計画を立案する段階で予め予測し、かつ、全て解決策を講じておかなければなりません。これは、実社会においても絶対に必要となる技術や技能であり、学生のうちにトレーニングをすることは、たいへん意義深いことと言えます。			
実習テーマの特徴・概要			
アーチ構造については、設計から施工にいたるまで「曲面を如何にして実現するか」が最大のテーマとなります。ただし、躯体を鉄骨造とするのか鉄筋コンクリート造とするのかによって、注目する内容と重要性が異なります。今年度は、鉄骨造と鉄筋コンクリート造の、2種類のアーチ構造形式の設計と施工を行い、それぞれにおいて、どのような問題点がありどのように解決してゆくのかを比較検討し、幅広い視点から物事を考える力を養います。			
No	取組目標		
①	アーチ構造の特徴を理解します。		
②	鉄骨造と鉄筋コンクリート造の2種類のアーチ構造物の設計（意匠・構造）を行います。		
③	施工に必要な施工図を作成します。		
④	施工計画を立案します。		
⑤	必要な材料を積算し、発注書を作成します。		
⑥	品質管理計画を策定します。		
⑦	5S（整理、整頓、清掃、清潔、躰）の実現に努め、安全衛生活動を行います。		
⑧	安全に施工を行い、適切な施工管理を行います。		
⑨	施工した2種類の構造体について、性能評価と施工管理方法の比較検討を行います。		
⑩	成果のまとめとプレゼンテーションを行い、報告書を作成します。		