

VI-189 空気膜と吹付けコンクリートを用いたドーム施工手順の有限要素法解析

(株)フジタ 正会員 ○岡野 幹雄, 角 広幸, 本間 俊雄

1. はじめに

空気膜と吹付けコンクリートを用いることで仮設費の削減や工期の短縮を可能にしたドーム及びカルバートの新構築法が考えられている¹⁾。この工法では吹付け作業時の空気膜変形制御がコンクリートの性能及び出来形を確保する上で重要な問題となる。このため施工手順に対応した空気膜の変形解析を行い、最適な施工手順及びコンクリートの吹付け領域を決定する必要が生じる。本報告では、有限要素法によりコンクリート硬化後の性能を確保する吹付け手順を決定するための施工手順に対応した解析方法を示す。

2. 施工手順と変形制御

通常、コンクリート吹付け作業は何層かに分けて行われる。2層目以降の吹付けは下層になるコンクリート硬化後に実施されるため、特に1層目の吹付け作業時の変形が問題となる。この時の変形を制御する方法には、膜のある部分領域に対してコンクリートを吹付け、内圧を制御し、その部分領域のコンクリート硬化後、他の部分領域に対して吹付けを実施するという繰返しの作業から膜の変形を小さくする方法がある。ここでは、この過程を数値解析によって再現し、図1に示す形状の空気膜の最適な1層目吹付け手順を決定した例を示す。ただし、上述の部分的な領域のコンクリートを硬化させる吹付け方法を施工手順に取り入れるには、硬化コンクリートが他の部分領域吹付け時に生じる応力に耐えることが前提となる。また、空気膜はケーブル補強されるためサグが生じる。生じたサグはコンクリートの出来形に大きく影響する。従って、決定した吹付け手順により応力並びにサグの面からも構造的に問題がないことを確認する。なお、図1のD、H、Rはそれぞれスパン、高さ、曲率半径を表す。

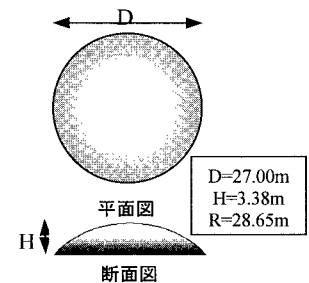


図1 解析形状

表1 物性値

材料名称	弾性係数 (KN/mm ²)	ポアソン比	厚み (mm)	断面積 (mm ²)	比重
膜材	48	0.2	0.01	—	1.0
ケーブル	200	0.3	—	78.54	4.64
コンクリート	20	0.18	20	—	2.5

3. 解析条件

上述の内容を数値解析で取扱う際の仮定は以下の通りである。

- ・解析モデルは連続条件を考慮した1/4モデルとする。
- ・膜材及びコンクリートは厚肉シェル要素を用いる。
- ・膜材は曲げ剛性の影響を無視できるよう厚みを薄くしそれに応じた弾性係数を設定する。
- ・ケーブルはトラス要素を用い膜と一体として扱い滑りは生じないものとする。
- ・ケーブルに圧縮力が生じた時のケーブル剛性は0とする。
- ・全ての要素の幾何学的非線形性は考慮する。

解析で用いた物性値は表1の通りとする。図2には要素分割図を示す。モデル端部の境界条件は固定とする。膜に初期張力は与えない。ケーブル及び膜自重は解析に反映させる。1層目吹付け作業は図3に示すようにA1→A2→A3の順に3回に分け、吹付け厚20mmと想定した自重を膜に作用させる。ある段階で任意の領域を硬化コンクリートとして扱い変形が小さくなるような吹付け手順を探し出す。

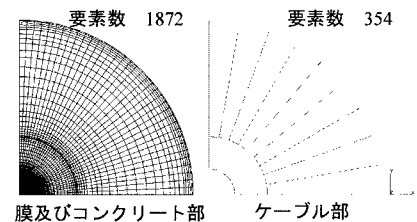


図2 要素分割図

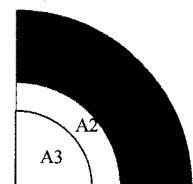


図3 吹付け順序

空気膜型枠, 吹付けコンクリート, 変形制御, 施工手順, 有限要素法

〒224-0027 横浜市都筑区大柵 74 TEL 045-591-3911 FAX045-591-3923

mokano@fujita.co.jp

4. 施工手順と数値解析の対応

吹付け領域を変化させた数回の数値解析により決定した施工手順の一例を表3に示す。施工手順と数値解析の対応は図4に従うものとする。なお、膜とコンクリートは二重要素で構成する。Step1 ではモデルを構成する膜以外の要素機能を停止し、施工手順に応じた荷重を作用させる。Step2 以降は図に従い所定の要素を再機能させる。Step7 では領域 A1, A2 を硬化コンクリートとして扱うため、硬化する領域のコンクリート要素を再機能させ、硬化領域における膜要素及びケーブル要素の機能を停止する。

5. 施工手順の妥当性

図5に表3の施工手順を採用した場合に生じる吹付け前後(Step3～Step7)の変形量を示す。グラフはモデルの対称性から図中に示す位置の結果を描いており、比較のため Step7 において A1, A2 を硬化させない場合の結果を併せて示している。決定した吹付け方法により膜頂部の変形を低減できることが分かる。

ケーブル間におけるサグの変化を図6に示す。吹付け前(Step3)に生じているサグは吹付け実施後最大で約5mmとなる。

図7にドーム経線方向の硬化コンクリートの応力状態を示す。解析モデルは膜とコンクリートを二重要素としているため、膜の変形によりコンクリートに引張り、境界 C' 付近には曲げが発生している。実際には、膜とコンクリートは一体ではないため、境界 C' 付近の応力はほぼ 0N/mm^2 を推移するものと考えられる。この影響については膜とコンクリートの付着を考慮したモデルを作成することで解消できると考えている。

6. まとめ

本報告では有限要素法により硬化コンクリートの性能を確保する吹付け手順を決定するための施工手順に対応した解析が可能であることを確認した。今後、更に実状に則した解析モデルを作成し、解析精度を向上させていきたい。

【参考文献】

- (1) 神田亨, 湊寿馬, 青景平昌, 岡野幹雄: 空気膜と吹付けコンクリートを用いたドームやカルバートの構築法, 土木学会第52回年次学術講演会, 1997, VI-236, pp.472～473

表3 施工手順

Step1	空気膜を内圧 130mmAq ($\times 10^{-1}\text{N/m}^2$) でインフレート
Step2	メインリングとケーブルを配置し内圧を 147mmAq まで上昇
Step3	上部ケーブルを配置し内圧を 167mmAq まで上昇
Step4	領域 A1 に部分吹付けを実施
Step5	内圧を 186mmAq まで上昇
Step6	領域 A2 に部分吹付けを実施
Step7	領域 A1, A2 を硬化させ、領域 A3 に吹付けを実施し終了

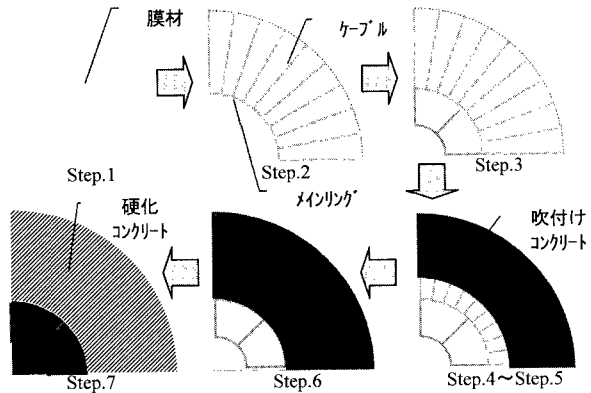


図4 施工手順

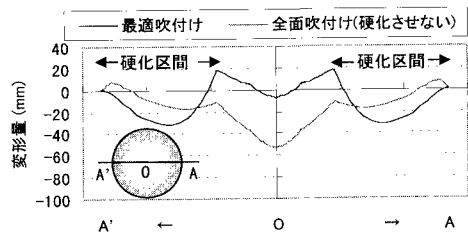


図5 吹付け前後の変形

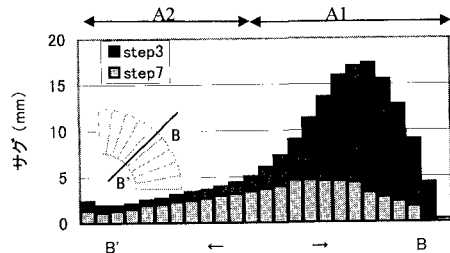


図6 サグの変化

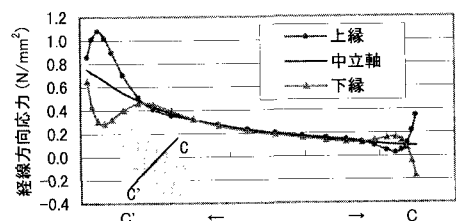


図7 硬化コンクリートの応力