

論文 没入型多面ディスプレイを用いた3次元RCひび割れ解析結果の ビジュアライゼーション

高橋敏樹^{*1}・前川宏一^{*2}

要旨：3次元構造解析の高度化に伴って、入力データの作成及び出力結果の処理を行う前処理及び後処理ツールの重要性が増している。本研究では後処理に着目し、CABIN と呼ばれる全天周没入型多面ディスプレイを用い、有限要素法による3次元RCひび割れ構造解析結果をバーチャルリアリティー空間内でコンピュータグラフィックスの立体映像として視覚化する手法を提示する。RC ラーメン高架橋の動的解析応答のアニメーション及び多方向せん断力を受けるRC柱内でのひび割れの3次元分布を主な視覚化対象として扱う。

キーワード：構造解析、ひび割れ、視覚化、仮想現実、CABIN

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物を設計するに当たり、その性能照査手法として構造解析プログラムの重要性は増している。RC構造の有限要素解析の研究は2次元解析から始まり、適応対象は3次元解析へと移りつつある^[1]。これは、複雑な構造形状ならびに荷重条件を持つ様々な構造物をそのまま忠実にモデル化することができる利点を有する。入出力データは2次元解析においては前処理、後処理共にGUIを用いた操作が可能であるのに対し、3次元解析ではコンソールアプリケーションによる入力データの作成、また出力データの評価が行われている。膨大な入力データの作成、また多次元的な出力データの評価をグラフィックスなしで行うのは難しい状況になりつつある。

本研究ではRC構造3次元有限要素解析プログラム「COM3」^[1]のポストプロセッシングに主眼を置き、視覚化を主とした没入型多面ディスプレイを用いたポストプロセッサの開発を行った。対象構造物は、3次元動的解析（はり要素使用）の応答のアニメーション表示と、固体要素、ならびに板要素内の導入ひび割れの立体表示を主な対象に選定した。

多次元的な広がりを持つグラフィックスを有効に表示するためのデバイスとして、CABIN

と呼ばれる全天周没入型多面ディスプレイ^[2]を用いる。この小部屋は、体験者がその内部で立体映像により構成されるバーチャルリアリティー空間を体験することが出来るというものである。本研究ではポストプロセッサを開発し、それにより構造解析の入出力データをVRMLグラフィックデータフォーマットに変換して、CABIN内で立体映像として表示することにより得られる、効果的な後処理について考察する。

2. 視覚化に用いるツールの概要

2.1 CABIN

CABINとは、東京大学 Intelligent Modeling Laboratory (IML) に備えられている全天周没入型多面ディスプレイのことであり^[2]、この装置により立体映像の仮想現実空間が体験できる。CABINのシステム設計と開発は、東京大学大学院機械系研究科広瀬研究室により行われた^[2]。

CABINの概観は図-1にあるように、上下、左右、正面の5面をスクリーンで囲まれた、一辺2.5mの立方体の小部屋である。CABINシステムの構成は図-2のようであり、各スクリーンにはそれぞれ各プロジェクターから映像を背面投影する。各プロジェクターには一台のグラフィックワークステーションが各々接続されており、各プロ

^{*1} 東京大学大学院修士課程 工学系研究科社会基盤工学専攻, (正会員)

^{*2} 東京大学教授 工学系研究科社会基盤工学専攻, 工博 (正会員)

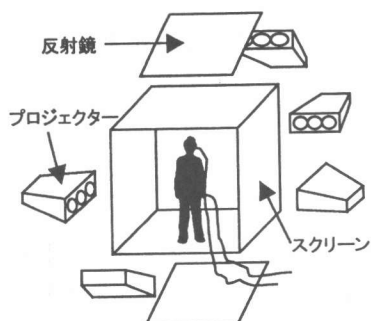


図-1 CABINの概観

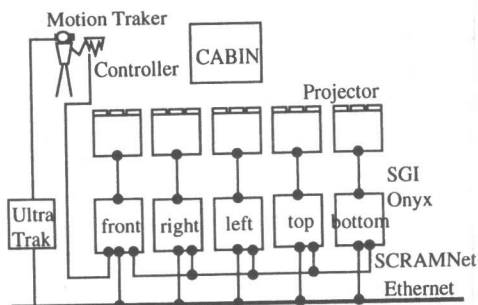


図-2 CABINの構成

ジェクターの映像を制御している。CABIN の大きな特徴の一つとして、CABIN 内で体験者が自由に3次元移動して、視点の位置、向きを変えられることが挙げられる。立体視のために体験者は液晶シャッター眼鏡を、仮想空間内を移動するためにコントローラーを、また体験者の位置と向いている方向を把握し、それに応じて映像を作り出すために位置センサーが液晶シャッター眼鏡に取り付けられている。

CABIN には一度に3人の体験者が入ることが可能であるが、完全な立体映像を体験できるのは位置センサー付き液晶シャッター眼鏡の装着者のみである。しかし、位置センサーの非装着者が極端にセンサー装着者と離れるなどの場合を除けば、非装着者でも十分な精度の立体映像を体験できる。

2.2 Virtual Reality Modeling Language (VRML)

CABIN 内でグラフィックスを表示する場合、OpenGL グラフィックスライブラリを用いたC言語によるデータと、仮想現実空間記述のために開発されたグラフィックスデータフォーマットである VRML データとを用いることができる。前者の方は個々のコンテンツに細かな設定や特殊な操作などを加えることができるが、プログラミングに要する時間は長くなる。それに対し、後者は比較的簡単にデータを作成することができ、また、複数のグラフィックスを連続的に表示してアニメーション化できる事などから、様々な構造解析結果をポストプロセッサにより即座に作成したいという本研究の目的に合致するため、後者の手法をここでは採用している。

VRML(Virtual Reality Modeling Language)はそれまで HTML を軸とした2次元コンテンツが中心であった Web ブラウザー上で、3次元の仮想現実空間を記述する必要性から開発された仮想現実空間記述のための構造化言語であり、1994 年の秋に VRML1.0 が発表された。本研究におけるポストプロセッサの開発においては、CABIN 以外の VRML ビューアとして、シリコングラフィックス社の VRML ビューアアプリケーションを使用した。

CABIN では複数の VRML ファイルを連続的に表示することができ、構造解析のアニメーション表示が可能である。また、アニメーション表示すると同時に、CABIN 内の体験者は視点の移動が可能であり、様々な角度から動いているオブジェクトを観察することができる。当然、構造物部材の中にまで仮想空間を旅することができる点に従来の2次元グラフィックスとの根本的な違いがあるのである。

3 ポストプロセッサ

3.1 ポストプロセッサの概要

本研究におけるソフト開発の中心は、構造解析プログラムの入出力データ及び簡単な設定ファイルから VRML ファイルを自動作成するポストプロセッサを作り上げることである(図-3)。設定ファイルでは、構造物を表現するポリゴンや線分の色、また、VRML ファイルを作成する解析の計算ステップを選択できる。CABIN でグラフィックスを表示する場合にはグラフィックス中で用いられている総ポリゴン数に制限がある。ア