

3. 2. 2 大規模数値解析結果の先端可視化技術の開発

(1) 業務の内容

(a) 業務の目的

地震被害評価は大規模数値解析の計算結果に基づくが、これには膨大な量の計算結果を効率的に可視化することが必須となる。3次元視とマルチスケールが可能な可視化を開発するとともに、応急評価に使えるよう高速処理も併せて実現する。

(b) 平成 26 年度業務目的

前年度までに開発された都市地震被害の先端可視化技術の実用性の検討を行う。社会基盤構造物への拡張など、構造物モデルの高度化を進める。サブプロジェクト③と連携して、火災を含めた、災害対応能力の向上に有効な可視化の方法についての検討を継続する。

(c) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
東京工業大学情報理工学研究科	教授	廣瀬 壮一	
東京工業大学総合理工学研究科	教授	盛川 仁	
東京工業大学総合理工学研究科	教授	山中 浩明	
東京工業大学理工学研究科	教授	坂田 弘安	
東京工業大学応用セラミックス研究所	教授	山田 哲	
東京工業大学総合理工学研究科	助教	石田 孝徳	
東京工業大学理工学研究科	助教	山崎 義弘	
東京工業大学情報理工学研究科	研究員	飯山かほり	

(2) 平成 26 年度の成果

(a) 業務の要約

- 1) 前年度までに開発された都市地震被害の先端可視化技術の実用性の検討を行った。
- 2) 社会基盤構造物への拡張など、構造物モデルの高度化を進めた。
- 3) サブプロジェクト③と連携して、火災を含めた、災害対応能力の向上に有効な可視化の方法についての検討を継続した。

(b) 業務の成果

1) 都市地震被害の先端可視化技術の実用化

地震時の都市の様子を理解するためには、都市全体の地震時挙動だけではなく、街区単位で一棟一棟の地震時挙動までをシームレスに可視化する必要がある。首都圏には数百万オードの構造物があり、通常の可視化手法では、この地震時挙動を可視化することは難しい。そのため、このような可視化実現のための先端可視化技術の開発を行っている。また、開発した手法が陳腐化しないよう、実務でも使用可能な汎用可視化ソフトにプラグインす

るという実装も行っている。

昨年度までに建物 200 万棟の時刻歴変位数万ステップを高速に可視化するシステムを構築している。これは、都市全体の地震時挙動の可視化では、三次元 GIS 建物形状データから変換して構築した簡便なモデルを用いた可視化であり、街区単位での建物一棟一棟の地震時挙動の可視化では、三次元 GIS 建物形状データから変換して構築した詳細なモデルを用いた可視化である。建物一棟一棟の簡便なモデルと詳細なモデルを使った二つの可視化を視点座標に応じて自動的に切り替えることで、都市全体から構造物単体までのシームレスな可視化を実現している。このようなシステム構築には、以下に示す大規模メモリが搭載された Linux マシンを用いて開発が行われてきた。

CPU : Intel (R) Xeon (R) CPU E5-2680 2.7 GHz (8 コア)×2

OS : RedHat Enterprise Linux 6.2 (x86_64)

メモリ : 128GByte

グラフィックス : Nvidia Quadro 6000

ソフトウェア : AVS/Express Version 8.1 (Linux_64_el6)

しかし、可視化技術の実用的な活用を考えたときに、常に上記のような高性能な Linux マシンが利用できる環境があるとは限らない。例えば、実際の可視化システムのユーザとしては、行政担当者や住民などが想定されるが、通常、上記のような Linux マシンは利用できないと思われる。そこで、本年度は、これまで開発がなされてきた Linux 上での可視化システムを、一般的に普及している Windows マシンにおいても利用できるように機能の改良を行い、可視化システムの可搬性を実現した。作業に用いた Windows の計算機は以下の性能を持つノート PC である。

CPU: Intel 互換 CPU

OS: Windows7 (x64)

メモリ : 8GByte 以上

グラフィックス : NVIDIA GeForce または Quadro 相当

ソフトウェア : AVS/Express Developer Version 8.2

ただし、ノート PC 上で動作させるため、23 区全体表示ではなく、区単位で表示し、回転や拡大の表示ができるようにした (図 1)。さらに、区内の部分地区 (タイル) を選択して表示できるようにした (図 2)。その際、区全体を表示のときは構造物を矩形で表示し、タイルを表示のときは多角形で表示し、表示の切り替えを行って可視化の効率性を向上させた。なお、Linux マシン用に開発されている高速なレンダリングモジュールについては、AVS/Express 標準のレンダリングモジュールで置き換えた。このため、表示速度は多少遅いが、建物の時系列変位のアニメーションの表示も可能となっている。

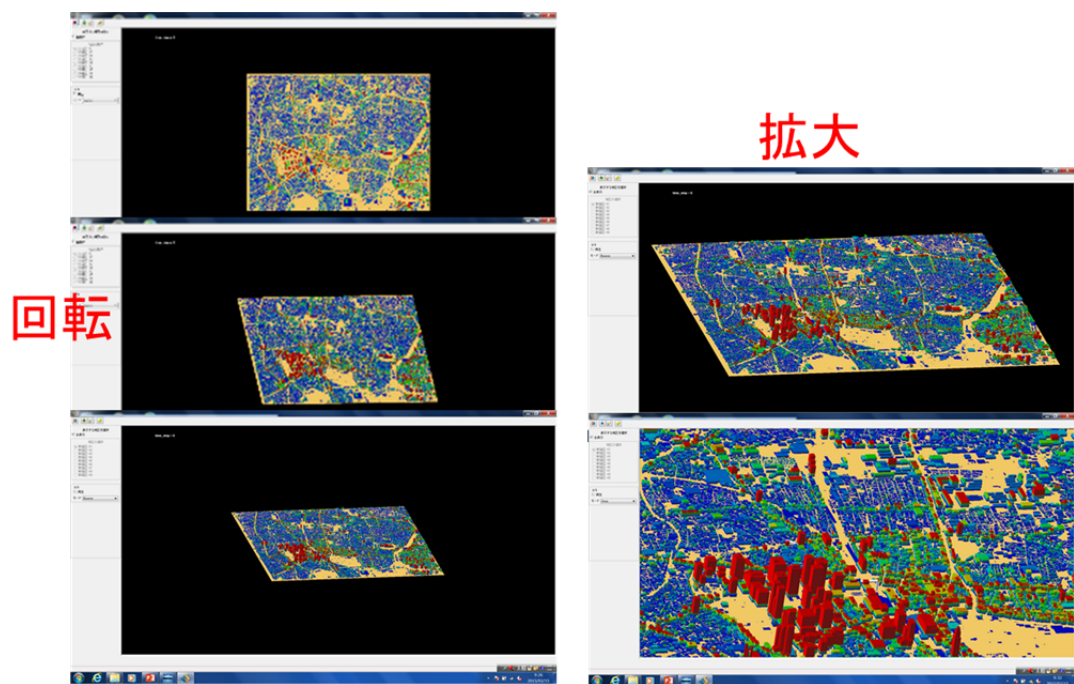


図 1 Windows のノート PC 上での可視化の例。新宿区全体を回転及び拡大表示している。

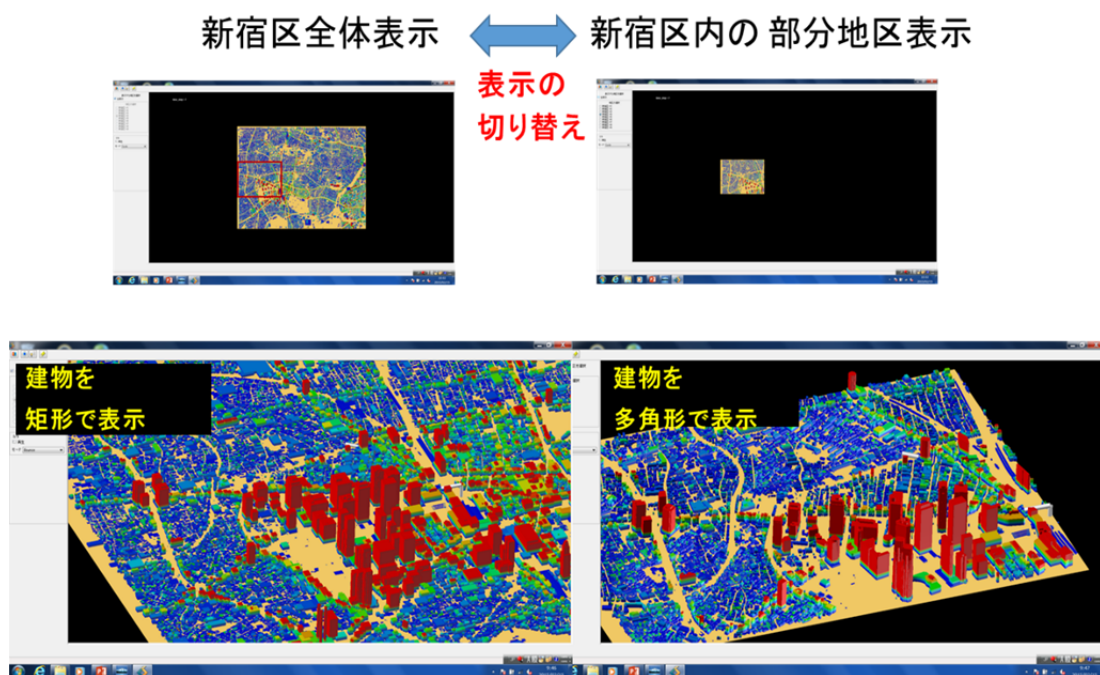


図 2 区全体と部分地区（タイル）の表示の切り替え。区全体表示時は、構造物を矩形で表示、タイル表示時は多角形で表示する。

2) 構造物モデルの高度化 — 社会基盤構造物の可視化の検討

本年度は、これまでの多角形で表示していた建物に加えて、新たに社会基盤構造物を可視化する機能をこのシステムに組み込み、建物及び社会基盤構造物からなる都市に対し、都市全体の地震時挙動から街区単位の詳細な地震時挙動までをシームレスに可視化するシステムを構築することを試みた。

可視化という観点からは、社会基盤構造物は、大きく、「建築建物より複雑な幾何形状を持ち、モデルを簡便化してもラインのような単純な object に置換することができない構造物」と「寸法は大きいものの、建築建物と同様、モデルを簡便化するとほぼラインのような単純な object に置換することができる構造物」に分けられる。本年度構築したシステムでは、この両者を可視化することができる。前者の例として橋梁を、後者の例としてライフラインを取り上げる。また、本システムの可視化に利用するデータは、以下の 3 種類である。

a) 全体、または、街区単位で作成された社会基盤構造物データ

構造物の表面が三角形要素で構成され、各節点上に float 型の変位量が設定される。時系列で値が変わるのは変位量のみ。三角形要素を構成する節点数、要素数、接続情報は時系列で変わらない。

b) 全体、または、街区単位で作成された建物データ

建物の表面が三角形要素で構成され、各節点上に float 型の変位量が設定される。時系列で値が変わるのは変位ベクトルのみ。三角形要素を構成する節点数、要素数、接続情報は時系列で変わらない。GIS タイル単位で作成されており、全データを読み込むと 23 区全体を示す建物データとなる。

c) 全体、または、街区単位で作成された地形データ

三角形要素で構成され、各節点上に float 型の標高データ(スカラー)が設定される。本データは時系列で変わらない。GIS タイル単位で作成されており、全データを読み込むと 23 区を示す地形データとなる。

これらのデータのうち、a)及び b)については、前述のように、都市全体での地震時挙動可視化のために上記の入力データから変換して簡便なモデルを構築する必要がある。特に b)については、構築手法を昨年度開発済みである。本年度は a)の簡便モデル構築手法を開発した。この a)のデータが、前述の、「建築建物より複雑な幾何形状を持ち、モデルを簡便化してもラインのような単純な object に置換することができない構造物」と「寸法は大きいものの、建築建物と同様、モデルを簡便化するとほぼラインのような単純な object に置換することができる構造物」に分けられる。

「建築建物より複雑な幾何形状を持ち、モデルを簡便化してもラインのような単純な object に置換することができない構造物」に対して、入力された三角形要素の隣り合う面の角度を計算し、その角度により境界線の作成有無を制御する。図 3 に隣接三角形面の角度 5.0 度で構築された簡便モデルを、図 4 に角度 60.0 度で構築された簡便モデルを示す。隣接三角形面の角度が大きくなるにつれ、となり合う三角形要素間の線分が削除され、より簡便な(節点数や線分数が少なく可視化コストが小さい)モデルが構築されていることが分かる。以降の例では、角度 5.0 度を用いて可視化することとしている。

一方で、簡便モデルは都市全体の可視化に用いるため、各構造物は相対的に小さく可視化されることになる。そのため、隣接三角形面の角度 60.0 度で構築された簡便モデルを用いても実用上問題はない。今後、より多くの社会基盤構造物を可視化することとなり、より可視化コストの小さい簡便なモデルが必要となった場合に備え、隣接三角形面の角度を変えることができるようにした。

次に後者の「寸法は大きいものの、建築建物と同様、モデルを簡便化するとほぼラインのような単純な object に置換することができる構造物」の簡便モデルの設定について説明する。機能上は、前者の簡便モデル構築手法により後者の簡便モデルも構築可能ではあるが、ほぼラインに置換可能な構造物の割には三角形要素が大量に生成されてしまい、簡便モデルといえども可視化コストが高くなってしまう。例えば、図3の橋脚のようになり、可視化コストは高く、効率性が損なわれることになる。これを避けるため、ほぼラインに置換可能な構造物については、線分に置き換えた簡便モデルを構築し、ライン object で可視化することとした。

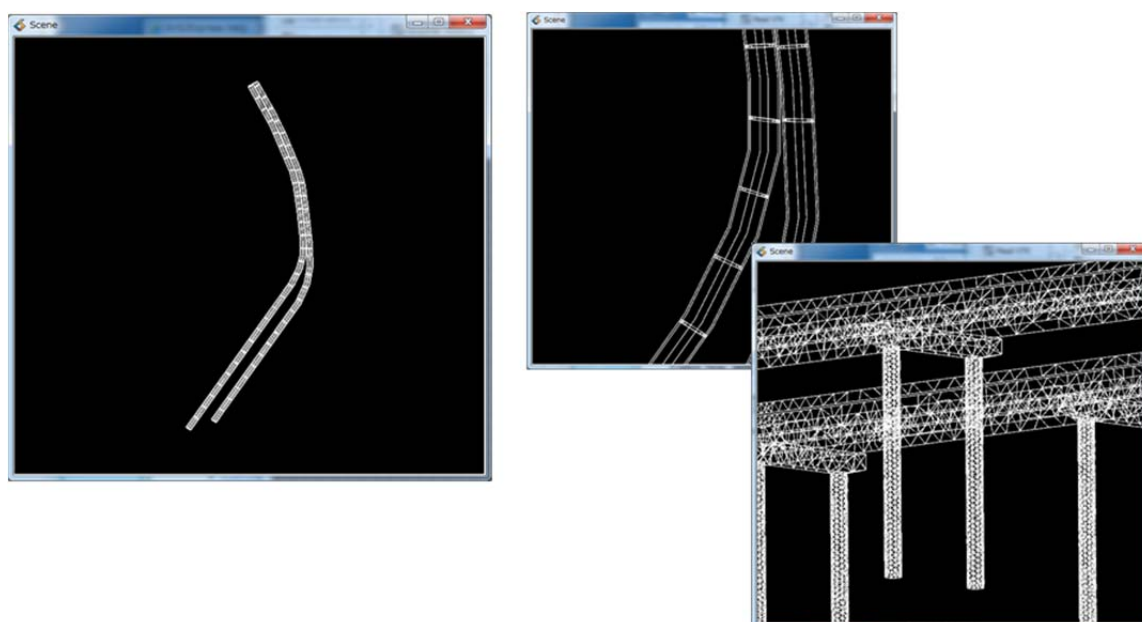


図3 角度5.0度で構築された簡便モデル。道路部分の平らな部分はかなり境界線が削減される。足の部分は丸みがあるので、ほとんど境界線が残る。

図5に千代田区近傍を可視化した例を示す。都市全体の可視化であり、建物群、橋梁（中央下）、ライフライン（中央下、橋梁の左）を簡便モデルにより可視化している。図6に図5の橋梁近傍を、図7に図5のライフライン近傍を拡大したものを示す。都市全体の可視化では粗さが目立たないが、拡大してみると、簡便モデルによる粗い可視化が目立っている。都市全体で見ると問題ない、このような可視化コストを抑えた粗い可視化を行うことで、都市全体での可視化を可能としている。なお、本システムでは、このような拡大した状態では簡便モデルを用いず、オリジナルの詳細モデルを用いる。本システムによる橋梁近傍の可視化を図8に、ライフライン近傍の可視化を図9に示す。詳細モデルを用いた可視化を行っているため、各構造物の細かな地震時挙動まで詳細に可視化出来ていることが分かる。本システムでは、図5に示す都市全体の地震時挙動可視化と図8、9に示す街区レベルの地震時挙動可視化を、視点座標の遠近により自動的に切り替えることで、シームレスにつないでいる。そのため、都市全体と街区レベルの相当分解能の異なる地震時挙動を、使用者はストレスを感じることなく切り替えながら理解することが可能となっている。

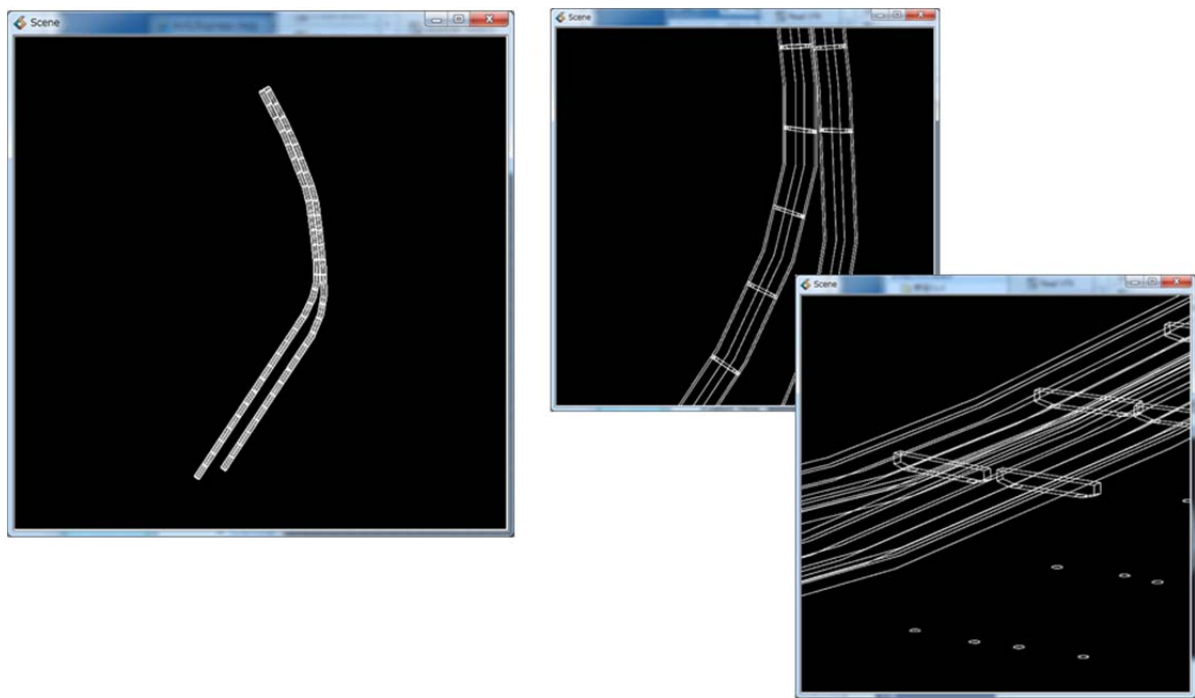


図 4 角度 60.0 度で構築された簡便モデル。道路部分の平らな部分は角度 5.0 度とほぼ同じに線分が削減されているが、角度を大きくしすぎたため、足の部分がほとんど消えている。（都市全体で俯瞰してみる場合には影響ない。可視化コストが大きい場合にはこのように角度を大きくすることで可視化コストを抑えることができる）。

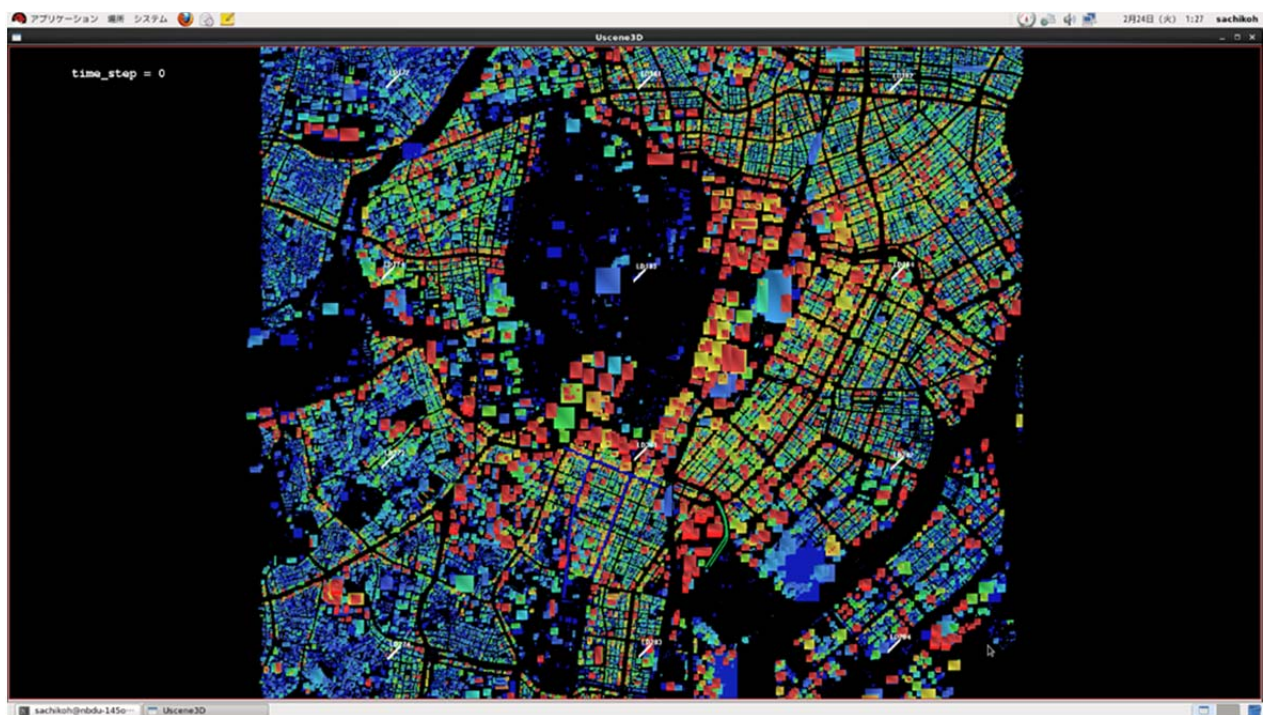


図 5 千代田区近傍の GIS タイルを 12 タイル表示した例。社会基盤構造物及び建物は簡便化モデルで可視化している。都市レベルで見える場合、簡便化モデルによる可視化で問題ないことが分かる。

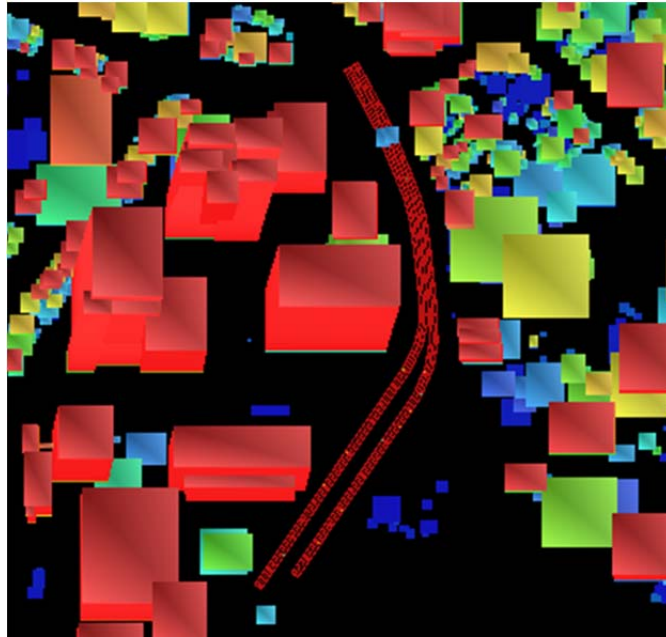


図 6 図 5 の社会基盤構造物（橋梁）近傍の拡大図。社会基盤構造物及び建物が簡便モデルにより可視化されており、粗い可視化となっていることが分かる。開発した可視化システムでは、この距離では図 8 に示す詳細モデルによる可視化に切り替わり、詳細な可視化がなされる。

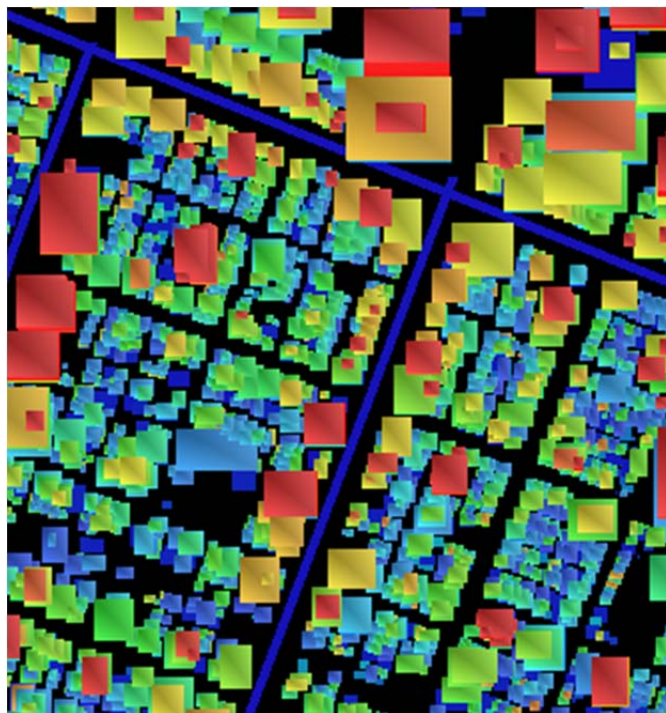


図 7 図 5 の社会基盤構造物（ライフライン）近傍の拡大図。社会基盤構造物及び建物が簡便モデルにより可視化されており、粗い可視化となっていることが分かる。開発した可視化システムでは、この距離では図 9 に示す詳細モデルによる可視化に切り替わり、詳細な可視化がなされる。

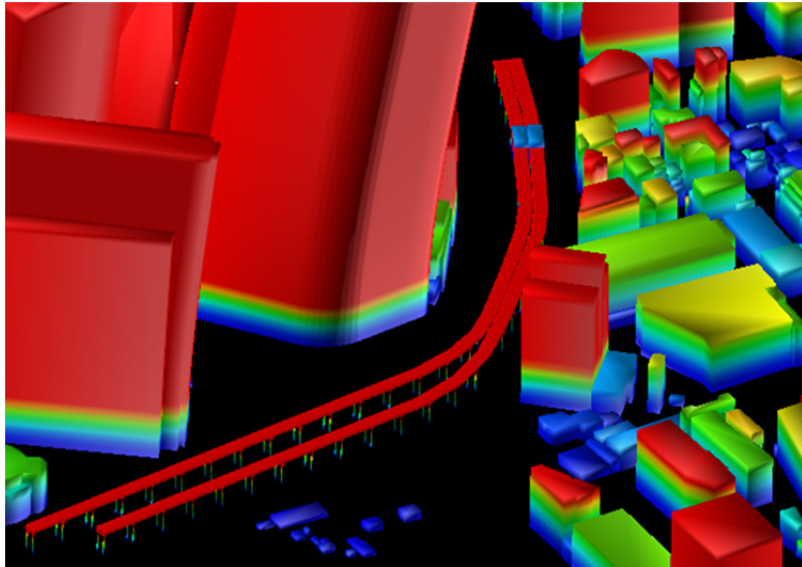


図 8 本システムによる橋梁近傍の可視化結果。詳細モデルにより可視化しているため、複雑な形状をふまえた詳細な可視化が可能となっている。

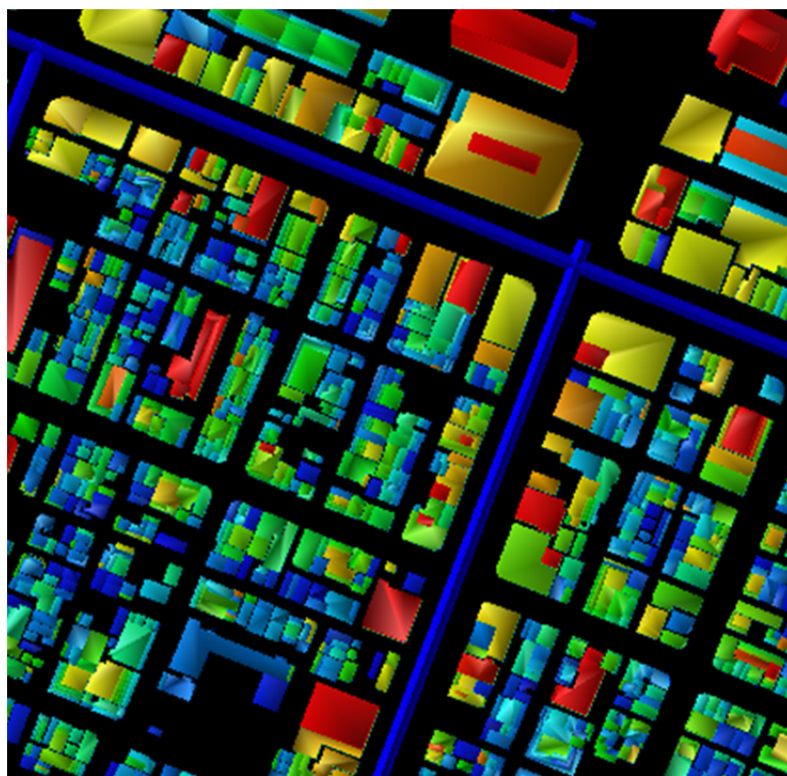


図 9 本システムによるライフライン近傍の可視化結果。詳細モデルにより可視化しているため、複雑な形状をふまえた詳細な可視化が可能となっている。

3) サブプロジェクト③との連携

地震被害評価技術では、大規模数値解析結果を有効に利用するための、可視化技術の開発に取り組んでいる。この可視化技術は、空間 3 次元、時間 1 次元の 4 次元の数値解析結

果を処理するものであるため、対象とするデジタルデータのサイズは、ギガ～ペタバイトとなる。このデジタルデータを2次元ないし3次元の動画としてディスプレイに出力する。可視化に際しては都市災害の特性として、10km オーダの都市全体レベル、1km オーダの都市地区レベル、そして100m オーダの街区レベル、というマルチスケールでの可視化が必須となっている。大規模データとマルチスケール可視化は開発されており、地震動・地震応答の可視化が可能となっている。3次元動画には特殊な装置が必要であるため、実際には作成されていないが、このような装置があれば解析結果を可視化することは十分可能となっている。

サブプロジェクト③とサブプロジェクト①はさまざまな連携が可能であるが、具体的な連携として、サブプロジェクト③の火災シミュレーションにサブプロジェクト①で開発した可視化技術を適用することを、昨年度に引き続き、本年度も検討してきた。原理的には全てのシミュレーションのデジタルデータを可視化することは可能であるが、これを実現することは決して容易ではない。シミュレーションで出力されるデジタルデータは、各々、固有のフォーマットで作成されているからである。シミュレーションの出力のフォーマットを分析し、可視化技術で開発されたアプリケーションの入力データとなるよう、デジタルデータを変換することが必要となる。このデータ変換には高い堅牢性が要求されることは当然であるが、火災シミュレーション自体が多数あることを考えると、柔軟性・拡張性もデータ変換に要求される。

サブプロジェクト③とサブプロジェクト①の連携が可能な火災シミュレーションには、1)街区単位の火災延焼シミュレーションと2)構造物内の火災発生・伝搬シミュレーションの二つがある。前者は地盤を対象とした地震動シミュレーションや構造物群を対象とした地震応答シミュレーションに対応する。後者は精密な解析が必要とされる重要構造物単体の地震応答シミュレーションと対応する。対象範囲は異なるものの、街区単位の火災延焼シミュレーションの空間分解能は粗く、また、時間分解能も異なるため、出力ファイルの容量は必ずしも火災延焼シミュレーションが大きいとは限らない。また、出力ファイルのフォーマットは異なる。火災延焼シミュレーションは火元が確率的に発生する設定となっているため、モンテカルロシミュレーションないしアンサンブルコンピューティングが必要とされる。

以上の分析を基に、堅牢性と柔軟性・拡張性が高い、火災シミュレーションのデータ変換を行うモジュール（プログラム）を開発することが必要となる。オブジェクト指向とアスペクト指向のモジュールとする。このため、開発作業として、1)出力ファイルのフォーマットの分析、2)堅牢性を重視したモジュールのオブジェクトの考案、3)柔軟性・拡張性を重視したオブジェクトの抽象化、が必要である。オブジェクトの考案では、出力ファイルの情報に対応した、継承が容易なオブジェクトを考案する。オブジェクトの抽象化では、アスペクト指向に基づき、テンプレートを多用することでアルゴリズムを統一する。

(c) 結論ならびに今後の課題

本年度は、まず、これまで開発がなされてきたLinux 上での可視化システムを、一般的に普及しているWindows のノートPCにおいても利用できるように機能の改良を行い、可

視化システムの可搬性を実現した。

次に、社会基盤構造物の地震応答に対し、先端可視化手法が適用できるよう、データ変換のモジュールを開発した。寸法の大きい社会基盤構造物は解析モデル並びに可視化用モデルも大規模となるが、データ変換は支障なく実行することが確認された。今後、可視化に供することができる社会基盤構造物の種類を増やすことが重要である。必要に応じて、データ変換モジュールの性能（速度・容量や冗長性・堅牢性）を引き上げることも必要となる。また、地震応答解析とその結果の可視化を行うために、社会基盤構造物の実データの入手を検討することも必要となる。

最後に、サブプロジェクト③と連携して、多数ある火災シミュレーションに対する可視化の方法について検討した。今後、堅牢性と柔軟性・拡張性が高い、火災シミュレーションのデータ変換を行うモジュール（プログラム）を開発する予定である。

(d) 引用文献

なし

(e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表

なし

学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

マスコミ等における報道・掲載

なし

(f) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

名称	機能
可視化システムの Windows 化	Linux 上での可視化システムを Windows ノート PC 上でも作動するように機能改良。
社会基盤構造物の可視化	社会基盤構造物の可視化のための、データ変換モジュール。

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 27 年度業務計画案

大規模数値解析法によって様々な都市地震被害データを準備し、それらを前年度までに開発された先端可視化技術を用いて表示することによって、地震被害の可視化の実用性の確認を行う。また、地震被害の可視化のみならず、サブプロジェクト③において得られた火災被害の解析結果の可視化を行い、開発した可視化技術を高機能化して応用展開を図る。