

歴史的建造物の3Dデジタルイメージ化と弾塑性地震応答解析

長崎大学大学院 学生会員 ○本郷真樹
長崎大学工学部 正会員 松田浩

(株)計測リサーチコンサルタント 正会員 西村正三
長崎大学工学部 正会員 森田千尋

1. 目的

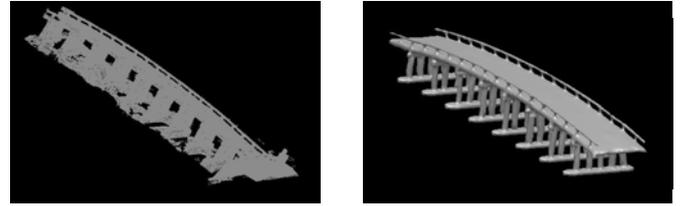
近年、文化財保護に関する法律の一部改正(1996年)に伴い文化財登録制度が導入されるようになった。このような背景に伴い、歴史的および産業遺産建造物の補修・補強工事が増加しつつあるが、レンガ造や石造建造物の調査・診断・補修・補強技術については、未だ十分な研究がなされていない。また、調査・診断方法については、外観を損なうことなく、遺構を残したままにするという前提があるため、コア供試体の採取やはつり作業が許されていない場合が多い。そのため、非接触による診断技術の適用性に関する検討が強く望まれている。また、近年頻発している大地震に対する耐震性能評価は不可避な課題である。そこで、本研究では、熊本県天草市の祇園橋の三次元形状計測を行い、その計測データを基に作成したFEMモデルを用いて三次元弾塑性地震応答解析を実施する。

2. 計測概要およびFEMモデル作成

高精度の計測が可能である3Dレーザスキャナを用いて熊本県天草市祇園橋(図-1)の三次元形状計測を行った。3Dスキャナでは見えている範囲しか計測を行うことができない。そのため、複数の方向から三次元計測を行い、それらをつなぎ合わせることで祇園橋全体の3Dデジタルデータを取得できる。3Dレーザスキャナで直接計測された点は周囲の護岸を含めて329190点である(図-2(a))。汎用の三次元処理ツールを用いてノイズと思われる点、重なり合った点などを消去し、祇園橋のみの点群データを作成し、ワイヤフレームへと変換し、作成したサーフェイスモデルを図-2(b)に示す。



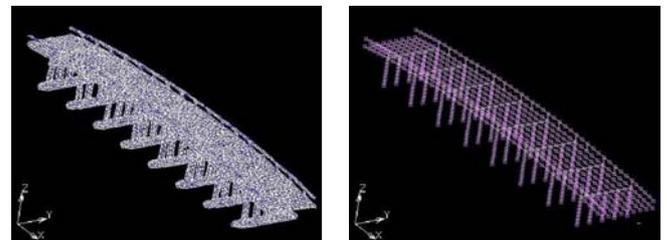
図-1 祇園橋



(a) 計測結果 (b) サーフェイスモデル

図-2 計測結果

FEMで利用するためには、作成したサーフェイスモデルをstlファイル(Stereolithography Interface Format)へ変換することで、容易にプリポストへ入力できる。しかし、作成したサーフェイスモデルは、表面のみのデータであるため、密実なsolidデータを作成する必要がある。そこで、内部にテトラ要素を適用することによってsolidモデルを作成した(図-3(a))。また、三次元形状計測データから直接モデル化したモデルの妥当性、有用性の検討を行うことを目的として、形状計測結果をもとに寸法体積を求め、2接点のbeam要素によりモデルを作成した(図-3(b))。



(a) solid要素 (b) beam要素

図-3 FEMモデル

3. FEMモデル照査

祇園橋は重要文化財のためコア採取やはつり作業、振動実験を実施することは不可能なため、実際の祇園橋の応答と比較することはできない。そこで、三次元形状計測をもとに作成したFEMモデル(solid要素)と既往の研究を参考に、部材一つ一つを2節点のbeam要素でモデル化したFEMモデルの応答と比較を行った。両者とも境界条件を基礎部および橋台部を完全固定とし、自由振動解析およびメキシコ地震波を用いて三次元弾性地震応答解析を行った。その結果、両者とも非常に一致する結果を得ることができた。

キーワード 三次元形状計測 歴史的建造物 三次元地震応答解析 3Dレーザスキャナ

〒852-8521 長崎県長崎市文教町1番14号 TEL:095-819-2590 FAX:095-819-2590

4. 三次元弾塑性地震応答解析

4. 1 解析概要

祇園橋を直接モデル化したものは、手すり部分が先に降伏してしまい構造物全体の挙動をシミュレートすることができない。そこで、手すりを取り除き、手すり部分の質量のみを考慮したモデルを用いて三次元弾塑性地震応答解析を行った。境界条件は基礎部を完全固定、橋台部をピン支持とした。また、本解析では降伏箇所の特定を目的としているため、材料非線形を考慮した構成則(図-4)を設定し、石橋に用いられる一般的な材料定数(弾性係数: 75GPa, ポアソン比: 0.25, 引張強度: 4.2GPa, 単位体積重量: 2620kg/m³)を用いた。

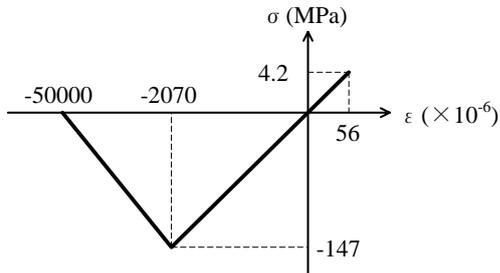


図-4 構成則

解析手法としては、直接積分法である Newmark の β 法($\beta=1/4$)を用い、積分区間は 0.01 秒とする。入力地震波は道路橋標準示方書に基づく I 種地盤用のタイプ II (T211,T212,T213) の標準形を用い、地域補正係数(熊本県天草市: $C_z=0.7$)で振幅補正を行う。また、入力方向としては橋軸方向(x 方向)および橋軸直角方向(y 方向)へ作用させ、減衰は Rayleigh 減衰を用いた。

4. 2 解析結果

以下に I 種地盤用のタイプ II (T212) を作用させた場合の解析結果を示す。y 方向に作用させた場合、基礎付近からひび割れが発生し、最終的に 3.01 秒で降伏した(図-5)。しかし、x 方向へ作用させた場合、ひび割れ箇所や降伏箇所を確認することはできなかった。図-6, 7 はそのときの応力ひずみ曲線および時刻歴応答変位である。

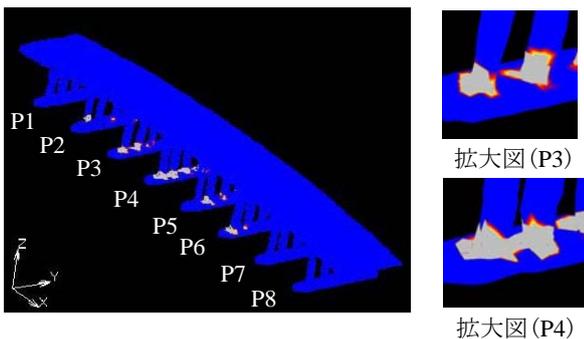


図-5 ひび割れ図および拡大図

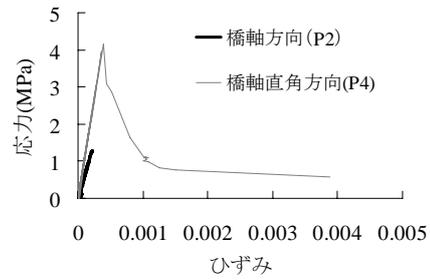


図-6 応力ひずみ曲線

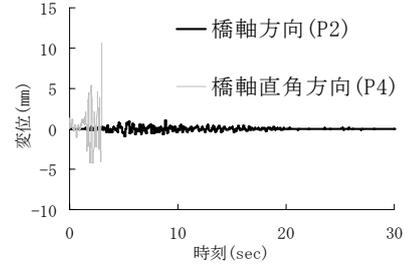


図-7 時刻歴応答変位

三次元弾塑性地震応答解析を行った結果、そのほかの地震(T211,T213)においても、地震波を y 軸方向へ作用させた場合には、中央付近の橋脚である P4 橋脚の基礎付近でひび割れが発生し、その後降伏した。一方、x 軸方向へ作用させた場合においては、ひび割れ発生箇所や降伏箇所を特定することはできなかった。

5. まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す。

- 3D レーザスキャナを用いることで祇園橋のような歴史的建造物の三次元形状計測を行うことができ、計測結果をもとに 3D デジタルイメージを構築することができた。
- 三次元形状計測手法を利用することで、詳細な FEM モデルを作成でき、作成した FEM モデルは三次元弾塑性地震応答解析等の FEM 解析へ適用可能であることが確認できた。
- 三次元弾塑性地震応答解析を実施することで、祇園橋の耐震性能やひび割れ箇所、降伏位置の特定を行うことができ、時刻歴による変位や加速度等をシミュレーションすることができた。

参考文献

1. 古田陽久, 古田真美: 世界遺産ガイド-産業・技術編-シンクタンクせとうち総合研究機構, 2001
2. 大塚久哲: 実践耐震工学, 共立出版株式会社, 2004
3. 社団法人 日本道路協会: 道路橋示方書(V耐震設計編)・同解説, 丸善株式会社, 平成 14 年