

左官シェル実大棟解体に伴う構造調査報告

Report of the Structural Survey for the Real Scale Model of SAKAN Shell Structure

小澤 雄樹・山本 直彦

Yuki OZAWA, Naohiko YAMAMOTO

1. はじめに

大地震などの災害発生時には、家をなくした人々のために迅速かつ大量の仮設住宅を供給する必要が出てくる。一般的にはプレハブ型の災害仮設住宅が用いられるが、これらは周辺景観に適應したものであるとは言い難く、また建設には専門業者が介在する必要があるため、多くの地域に迅速に供給することが困難であると言うデメリットがある。特に京都のような歴史的建造物が多く残る地域では、仮設住宅の意匠や構法も、周辺景観や地域性に配慮したものとする必要がある不可欠である。

そこで本研究では、京都を代表とする歴史都市が被災した場合には、災害仮設住宅の建設用地として社寺境内を活用する可能性があるのではないかと考え、素材、意匠、技術といった面から歴史都市の環境に相応しい災害仮設住宅を開発することを目的としている。具体的には、伝統的な左官技術を活用するために、型枠として空気膜を用いることによって、薄肉楕円体シェル構造（以下、「左官シェル」）を実現する。また、本仮設住宅の構造形式としては、シェル構造を利用している。災害発生時には、交通システムが麻痺し、十分な量の物資が行き渡らない可能性が高い。シェル構造は少ない材料で大きな空間を被うことができる非常に合理的な構造システムである。本来、大空間を覆うための技術であるシェル構造を、仮設住宅のような狭小空間に利用することで、少量の材料ストックで多くの居住空間を供給できる可能性がある。

筆者らはこれまで、左官材料の材料実験に始まって、1/3 縮小試験体による載荷実験及び振動実験などを通じ、最終的には実物大の左官シェル構造を 2 棟建設することにより提案工法が実現可能であることを確認している。1 棟は建設後直ちに解体されたが、もう 1 棟は建設後 2 年間に渡り保存され、定期的に経年変化の調査等を行ってきた。2009 年 5 月、この残る 1 棟の実大棟の解体に伴い、ひび割れ目視調査や固有振動数計測を実施した。本報ではこの結果について報告する。

2. 実大棟と研究の概要

本実大棟は 2007 年 3 月に建設された。型枠としての空気膜を設置後、構造体としてのモルタルをその表面に左官により塗りつけ、硬化後に空気膜を除去して構造体が完成している。外部面の仕上げとしては水硬性石灰の漆喰塗り、内部は和紙の紙貼りとした。構造体は 3 月 10 日に施工され、4 日後の 14 日に仕上げの漆喰工事、5 月に紙貼り及び屋根面の防水補修などが実施されている。左官塗りの主要な部分は専門の左官職人により行われたが、その補助を含め建設作

業の大部分は学生など専門的技術を有さない非専門家の参加により施工されている。

完成後 2 年以上を経た 2009 年 5 月 30 日に本実大棟は解体される運びとなった。その解体作業に伴い以下の調査・実大実験を実施した。

- ①経年劣化及びひび割れ目視調査(仕上げ有、仕上げ無)
- ②固有振動数計測(仕上げ有、仕上げ無)
- ③崩壊時の挙動確認

仕上げの漆喰の有無が構造挙動に剛性・重量の面で構造挙動に大きな影響を与えることが予想されるので、ひび割れ目視調査及び固有振動数計測に関しては仕上げのある状態、仕上げを剥離させた後の構造体のみ状態それぞれに対して実施することとした。最後に人力で水平方向に加力することにより崩壊させ、破壊時の挙動確認を行っている。

3. 経年劣化及びひび割れ目視調査

本構造体は完成後 2 年間に渡り、屋外に暴露された状態であったので、最初に経年劣化の状況を目視確認した。所々に雨漏りの後などがみられたが、全体としては全くメンテナンス等を実施していなかったにも関わらず、大きな劣化・損傷等は確認されなかった。何箇所かで構造体から仕上げの漆喰が分離している箇所も見られたが、この状態は建設完了時に既に確認されていたので、その大部分は経年劣化によるものではないと考えられる。

次にひび割れ目視調査を実施した。構造体モルタルの厚みは最下部(脚部)で 30mm、最上部(頂部)で 15mm を目標として施工されており、仕上げ漆喰は全体に渡って均等に 5mm～10mm 程度である。最初に仕上げの上からひび割れを目視で確認してマーキング後記録し、その後漆喰を剥離して(写真 1)構造体のひび割れを観測することとした。ひび割れは、目視により明確に確認可能な幅 0.1mm 以上のものについて記録している(図 1)。幅 0.1mm 以下のひび割れは、仕上げ・構造体とも全面に渡って無数に発生していた。

構造体と仕上げの漆喰の接着状況としては、①始めから分離している箇所、②はつり作業により比較的容易に剥がせる箇所、③構造体と漆喰が密着していて最後まで剥がれない箇所、の 3 つに分けることが出来る。③の箇所に関しては、構造体のひび割れを直接確認することは出来なかったが、漆喰と構造体が一体化しているので仕上げのひび割れと対応していると考えられる。



写真 1 仕上げはつり状況

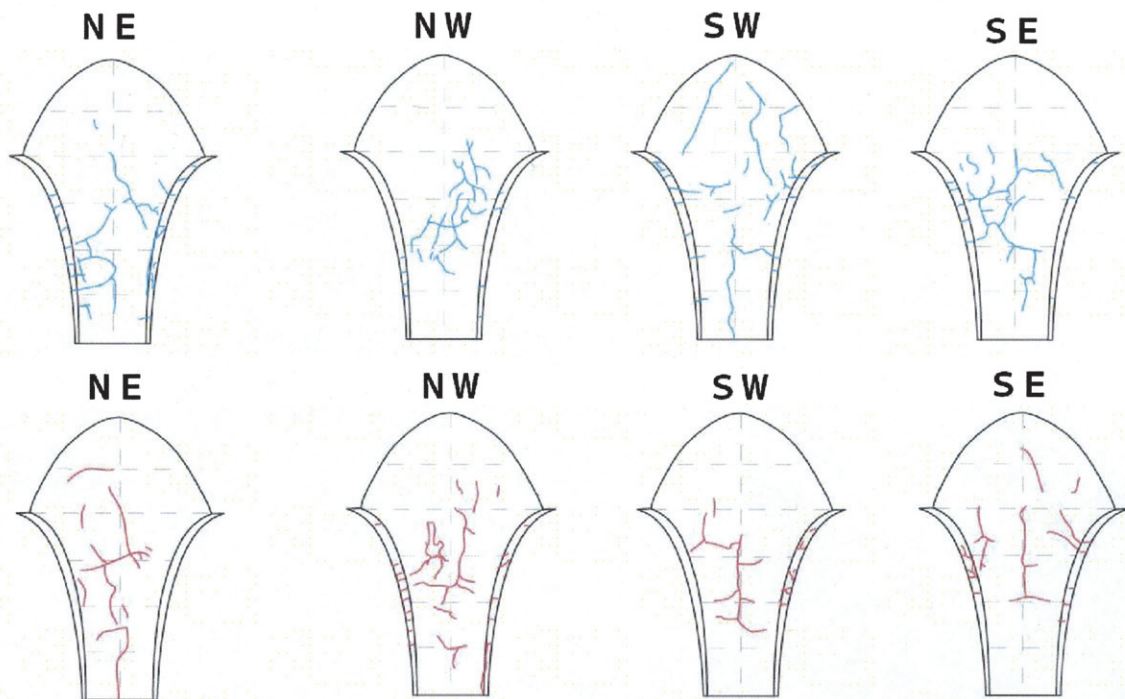


図1 クラック目視調査結果(上:仕上げ有、下:仕上げ無)

全体的に①の箇所は構造体と仕上げのひび割れが対応しておらず、②に関しては発生状況が良く一致している傾向が見られた。またひび割れの発生原因については完成時の記録がないため確認は出来ないが、経年劣化と言うよりは完成直後にモルタルが乾燥収縮することにより生じた収縮ひび割れが大部分であると考えられる。

4. 固有振動数計測

実大棟の最上部(頂部)に加速度計を取り付け、自由振動波形を記録することにより固有数を計測した。+X(西)、+Y(南)、+45°(南西)、-45°(北西)の4方向に対して、人力で衝撃を与えることにより加振を行っている(図2)。加速度計はX、Y、Zの3方向に設置し、仕上げ有の状態、漆喰剥離後の仕上げ無の状態それぞれに対して計測を実施した。加速度計は共和電業 AS-1GB、データロガーにはテック技販製 DLR2100を使用した。

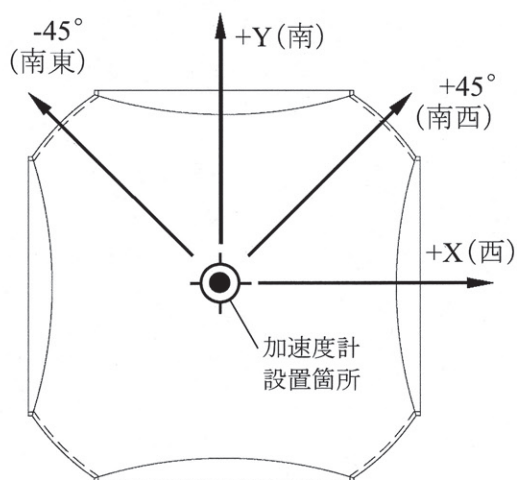


図2 加速度計設置位置及び加振方向

本シェル構造は下部が開口により挟られて水平剛性が大きく低下している一方、上部はシェル構造として機能するため高い剛性を有しており、全体としてはほぼ完全な1質点系として挙動することが予想される。得られた加速度波形データをフーリエ変換することにより、加速度フーリエスペクトルを求め、固有振動数の抽出を試みた。+X 方向の仕上げ有、+45°方向の仕上げ有・無それぞれの加速度波形及びフーリエスペクトルデータを図3に示す。

+X 方向、+Y 方向については剛性が高いためか生じた加速度の絶対値が小さく、固有振動数を求めることが出来なかった。一方、+45°、-45°方向加振時の水平方向についてはかなり明瞭なピークを有しており、1次固有振動数を確認することが出来た。固有振動数は仕上げ有で6.2[Hz]、仕上げ無しで5.4[Hz]となっており、仕上げ有の方が大きくなっている。漆喰が単純に重量として作用している場合は、軽くなることで振動数が上昇する。今回は仕上げの漆喰が構造体と密着し構造の一部として機能することで全体的な剛性が増し、この効果が重量増大の影響を上まわったためと考えられる。

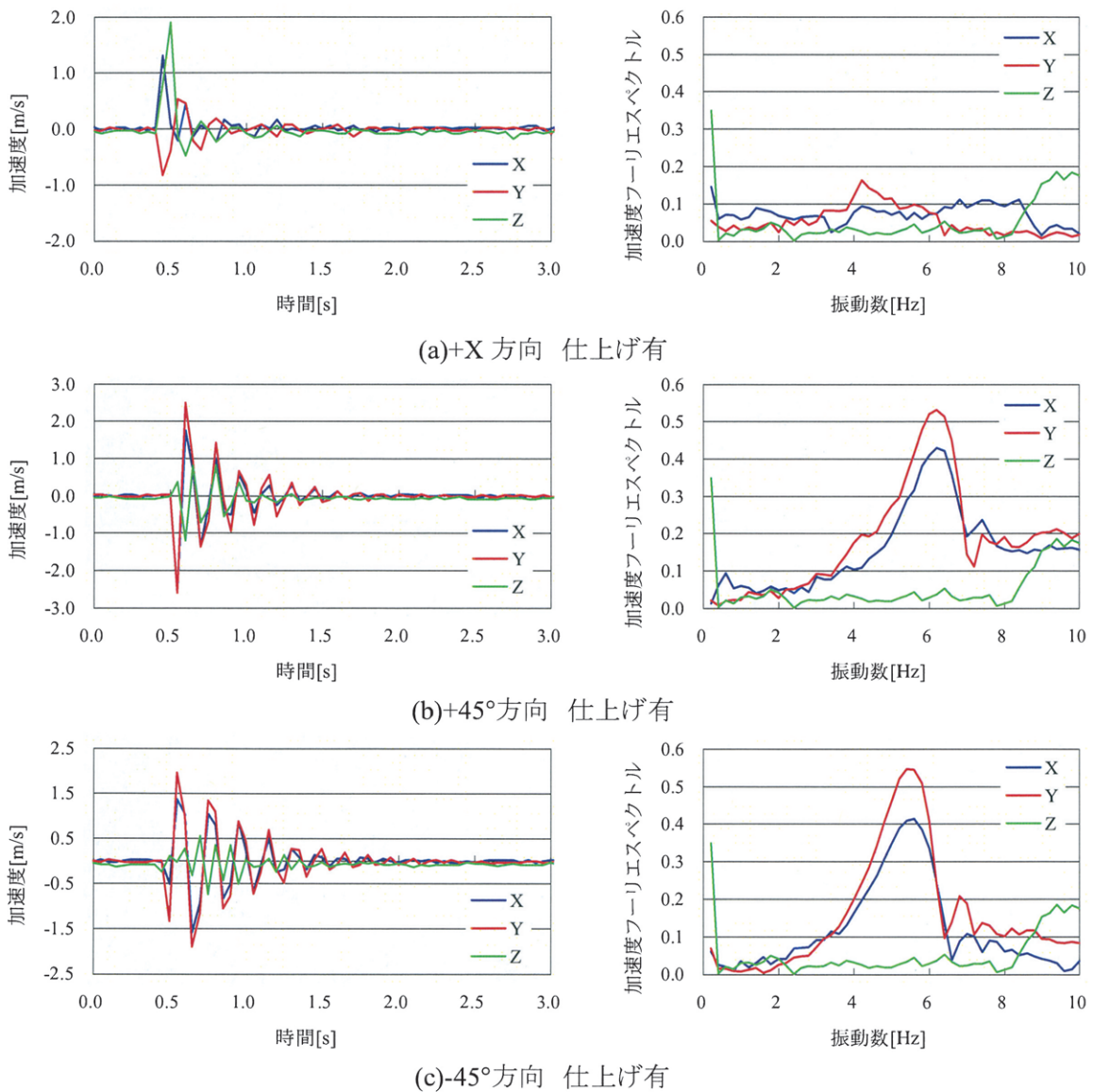


図3 加速度波形(左)及びフーリエスペクトル(右)

本実大棟は、設計時には一般的な地震動の卓越振動数である 0.5~10[Hz]で共振させないために、固有振動数が 10~20[Hz]となるようにシェルの厚み等が設定されていたが、今回の実測値はこれを大きく下回るものであった。原因としては、前節の目視調査により確認された構造体上のひび割れが剛性低下を引き起こし、固有振動数を下降させたことが考えられる。

5. 崩壊時の挙動確認

最後に、人力加振することにより構造体を崩壊させることで、破壊時の構造挙動を確認した。加力の第 1 段階として、20 歳台の男性 4 人が、剛性の最も低いと考えられる+45°方向に静的に加力することで載荷したが、全力で押してもシェルは崩壊に至らなかった。次に構造物の固有振動数に合わせて前後に揺らす事により共振させたところ、徐々に変形が増大し最終的には崩壊に至った。崩壊時の様子を写真 2 に示す。一般的にシェル構造は突発的・脆性的な破壊性状を示すが、今回のシェル構造は崩壊に至るまでにかかなりの靱性を示し、その粘り強さは予想を上回るものであった。靱性を発揮した要因としては、一つは下地の麻布がシェル割裂後の分離を防いだこと、もう一つは開口周りが型枠を兼ねた木製アーチで補剛されており、このアーチがシェル脚部が崩落した後も屋根面の支持能力を保持したことが考えられる。



写真 2 崩壊時の構造挙動

6. まとめと今後の展開

本報告書では、2年前に建設された左官シェル実大棟解体に伴う調査結果について報告した。目視調査の結果、本シェル構造の構造体には乾燥収縮によるものと思われる無数のひび割れが観測され、これが構造物全体の剛性に大きな影響を及ぼしていることが考えられる。自由振動より計測された固有振動数も予想を下回るものであった。一方、崩壊実験においてはかなりの靱性的な挙動を示した。ひび割れの発生を抑制して計画時に想定した構造性能を発揮するためには、材料の調合や施工方法等について更なる検討が必要である。

参考文献

左官技術を利用したシェル構造ユニットによる災害仮設住宅の建設技術開発：概要と縮小モデルによる実験、小澤雄樹・山本直彦 他4名、日本建築学会技術報告集、Vol.14、No.27、pp.7-12

謝辞

本調査を実施するに当っては、奈良女子大学の学生の皆さんに多大なる協力を頂きました。また、滋賀県立大学環境科学部環境建築デザイン学科 小林正実先生には、加速度計やデータロガー等の計測機器一式をお借りしました。本研究に欠くことのできない貴重なご協力を賜りましたことに感謝し、謝辞としてここに記して御礼を申し上げます。