

## 左官技術を活用した災害仮設住宅の建設技術開発に関する研究

A Study on Development of Construction Technique for Temporary Housing After a Disaster  
by Making Use of Plaster Skills

山本直彦<sup>1</sup>・小澤雄樹<sup>2</sup>・平尾和洋<sup>3</sup>・井上真澄<sup>4</sup>・柳沢究<sup>5</sup>・石塚祐至<sup>6</sup>

Naohiko Yamamoto, Yuki Ozawa, Kazuhiro Hirao, Masumi Inoue, Kiwamu Yanagisawa,  
Yuji Ishizuka

<sup>1</sup>奈良女子大学准教授 生活環境学部住環境学科 (〒630-8305 奈良市北魚屋西町)

Associate Professor, Nara Women's University, Dept. of Residential Environment and Design

<sup>2</sup>立命館大学講師 理工学部建築都市デザイン学科 (〒522-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Lecturer, Ritsumeikan University, Dept. of Architecture and Urban Design

<sup>3</sup>立命館大学准教授 理工学部建築都市デザイン学科 (〒522-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Associate Professor, Ritsumeikan University, Dept. of Architecture and Urban Design

<sup>4</sup>立命館大学助教 理工学部建築都市デザイン学科 (〒522-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Assistant Professor, Ritsumeikan University, Dept. of Architecture and Urban Design

<sup>5</sup>神戸芸術工科大学助手 大学院芸術工学研究科 (〒651-2196 神戸市西区学園西町8-1-1)

Assistant Professor, Kobe Design University, Graduate Course of Art and Engineering

<sup>6</sup>立命館大学大学院生 (〒522-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Graduate Student, Ritsumeikan University, Dept. of Architecture and Urban Design

This paper aims to develop the new construction technique for the temporary housing by making use of traditional plastering skill, which enables the victims of the disaster to build their shelters in self-aid manner. The structure of the temporary housing is supported by shell structure made of mortar. The structural strength was examined by the load tests with 1/3 scale models. The thickness of the shell is determined by the results of horizontal load tests so that the structure would survive the severe earthquakes such as Great Hanshin-Awaji Earthquake. For the method of construction, air-dome was used for formwork to build full-scale shell structure to realize completion in several hours.

**Key Words :** *Plastering Skill, Temporary Housing after a disaster, Thin Shell Structure, Air Balloon Framework*

### 1. はじめに

本研究は、主として地震による家屋倒壊を想定し、災害発生後に居住者が伝統的な左官技術を用いた自助建設により、薄肉シェル構造の簡易な仮設住宅を建設するための技術開発を行うことを目的としている。仮設住宅は特に京都型として考える。京都では、応仁の乱後の山辺の門前集落、戦国時代の法華宗寺院を核とした上京・下京集落など、緊急時には町衆は社寺をよりどころに生活してきた歴史がある。現代でも災害時には社寺境内が、積極的に被災者の救済に活用される可能性を念頭に置き、建設用地は京都一円の社寺境内を想定する。そのため、伝統的な技術を用いて意匠的にも社寺仏閣に相応しい仮設住宅の開発・提示を行う。

従来の仮設住宅のほとんどは、プレファブ化された乾式工法による。これに対して本研究で湿式工法を用いるのは、非熟練労働者でも安全に施工することが可能だからである。さらに、本研究のもう一つの要は、

構造体の薄肉シェルを、空気膜を型枠として建設することである。シェル構造を実現するために、空気膜型枠工法を用いることができれば、施工プロセスは時間的にも技術的にも、大幅に簡略化できる。本研究は、大きく以下に述べるプロセスによって、その技術開発と提案を行った。①薄肉シェルの形態の決定、②力学的性能の予測、②材料実験、③1/3縮小モデル試験体を制作、④鉛直載荷実験（長期荷重）、⑤水平振動実験（短期荷重）、⑥空気膜型枠工法とその施工性の検証、⑦平面計画および詳細部の検討、⑧実大棟の建設。

## 2. 薄肉シェルと空気膜型枠工法の概要

### (1) 薄肉シェルの形態

図1は、薄肉シェルのユニットの平面図と立面図である。平面は、直径3600mmの円形を、中心を共有して重なる3000mmの正方形によって四面を切り落としたものになっている。立面の高さは、その頂部で3000mmとした。断面は、長軸6000mm、短軸3600mmの楕円を短軸で二分した形状をとっている。薄肉シェルは、立体的に見ると、この二分された楕円の回転体となっている。

薄肉シェルの断面を楕円に決定した理由は、内部空間の広さ確保と躯体制作を行うときの施工性のバランスである。単純に内部空間を広くとるためには、円筒形のシリンダーとして壁面を垂直に立ち上げるのがよいが、垂直面にモルタルを塗ることになり、モルタルが落ちてしまう可能性がある。施工上の観点からは、シェル面は外側に向かって凸となる曲率を与えたほうが、モルタルが乗りやすく有利になる。内部空間と施工性のバランスからは、シェルの地面からの立ち上がり、なるべく垂直に近くなるほうが有利である。楕円を短軸で二分した断面を採用すれば、地面の高さでは、曲面の接線はちょうど垂直となる。

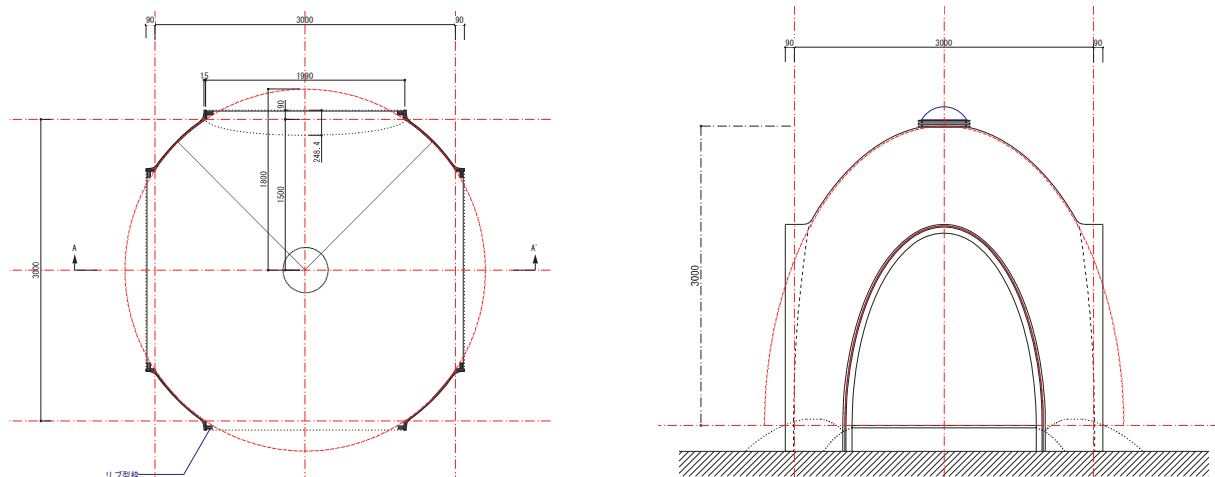


図1 薄肉シェル・ユニットの平面図（左）・立面図（右）

### (2) 空気膜型枠工法の概要

左官工事による薄肉シェルの空気膜型枠工法の概要を図2に示した。膨らませた膜型枠に、まず下地として、麻製ネットをかける（STEP1～2）。次にこの上に躯体モルタルを施工する。その際に重要となるのは、空気膜型枠がモルタルの荷重によって均等に变形するように、なるべく前後左右に対称にモルタルを塗っていくことである（STEP3）。シェル構造は一般的に、上部は圧縮力のみで持つが、脚部は、上部の重量を圧縮力によって支えると同時に部分的に引張力がかかるので、モルタルを重ね塗りする（STEP4）。その後、適度に散水して躯体養生を行い、モルタルが硬化後に、空気膜型枠を外す（STEP5～6）。

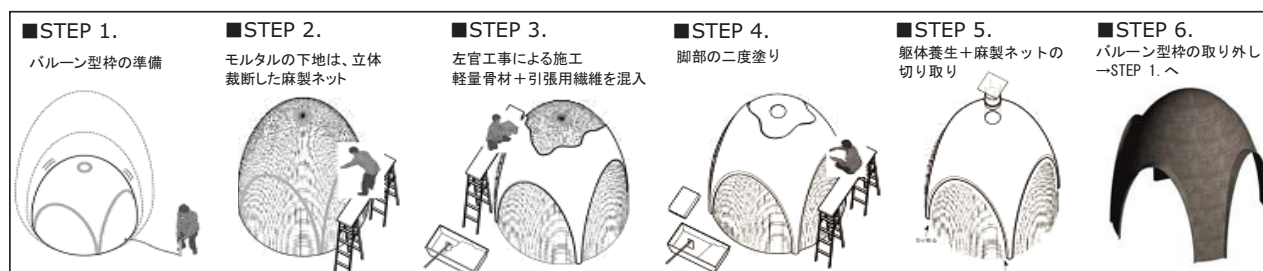


図2 空気膜型枠工法の手順

### 3. 力学的性能の予測

最初に、シェルの力学的特性を概観するために、有限要素法解析プログラム Midas/Gen を用いて、数値解析を行った。シェル厚のおおよその目安について判断を得るためである。一般にドームやシェル型の構造は、自重によって頂部が沈み、これに追従した下部は外側へ膨らもうとすることが知られる。この変形に抵抗する水平の緯線方向の力をフープ力というが、これは頂部では圧縮力、下部では引張力になる。その結果として下部にクラックが入ることがある。薄肉シェル構造も、圧縮力には強いが引張力には弱い。

そこで、①鉛直荷重（長期荷重）、②鉛直荷重＋水平地震動（短期荷重）の両パターンについて数値解析したところ、①、②両方の場合において、開口部まわりに引張応力が集中することが分かった。

数値解析の際のモルタルの許容応力度は、この時点では何らかの引張抵抗を加えたものとして考え、長期が圧縮 10.0 引張 2.0、短期はその2倍の圧縮 20.0 引張 4.0（単位は、いずれも  $\text{N/mm}^2$ 。以下、同様）と設定し、シェル厚を徐々に厚くしながら、再び何回かの解析を行った。その結果、頂部 10～15mm、脚部 20mm の場合に最大主応力が、許容応力度を下回る結果が得られた。表 1 に解析結果による主応力値の一覧を示した。最大圧縮応力度は、長期、短期とも大きく許容応力度を下回っている。問題となる最大引張応力度について、長期荷重による応力分布を示したのが図 3、短期荷重による応力分布を示したのが図 4 である。長期荷重では、外側で開口部アーチの中程より少し下の高さ、内側ではアーチ頂部に、ともに 1.50 程度の最大引張応力がかかる解析結果が出た。また、短期荷重による解析結果は、最大引張応力度はシェルの外側で長期と同じ部位に 3.50、シェルの内側ではリブとシェル本体の接合部で 2.63 となった。以上の数値は、短期、長期のいずれにおいても、許容応力度内におさまる結果である。

表 1 許容応力度の設定と数値解析の結果

	圧縮		引張	
	外側	内側	外側	内側
長期最大応力度	2.60	2.60	1.50	1.50
長期許容応力度	<10.0		<2.0	
短期最大応力度	7.1	7.04	3.5	2.63
短期許容応力度	<20.0		<4.0	

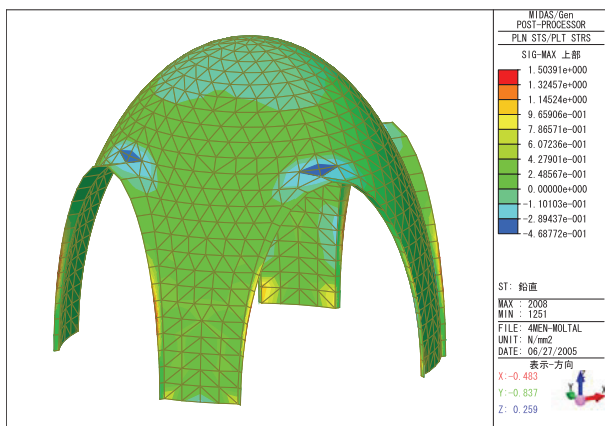


図 3 長期引張応力分布（左）

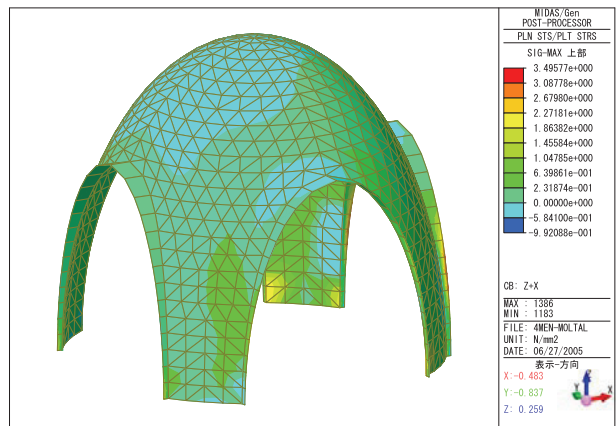


図 4 短期引張応力分布（右）

### 4. 材料実験

1/3縮小モデルを作成するにあたり、材料の配合や強度などの特性を知る必要がある。このため、フレッシュモルタルを用いて、①フロー試験、②空気量試験を行い、作成した試験体を用いて、③1軸圧縮試験、④曲げ試験を行った。その結果より、ヤング係数、圧縮強度、曲げ強度といった材料強度を調べた。

#### （1）材料の選定

使用材料は、一般的な左官工事に用いられるものを使用することを大きな前提とした。被災時には、材料入手の容易さが重要だからである。今回使用した薄肉シェル用のモルタルは、普通ポルトランドセメントに、骨材としては「パーライト」と呼ばれる比重0.25～0.5程度の軽量骨材を混入したものである（図 5）。これは左官工事で軽量塗り壁に用いられる骨材である。さらに、引張力に対する抵抗を増すために、左官工事で土壁のひび割れ防止のために混入する市販のガラス系繊維材料を混入した（図 6）。

## (2) 材料配合と試験体の作成

セメントに対するパーライト、ガラス系繊維材料の配合割合は、市販品で指定された混入量を基本とした。しかし、ガラス系繊維材料については、表2に示したように指定の混入量(材料1)に加えて、25%増し(材料2)、50%増し(材料3)の合計3種類の配合を行った。セメントに加える水量は、「材料1」の配合のモルタルを実際に練りながら左官工事を念頭にワーカビリティを考慮して決定した。水セメント比を一定とした場合、ガラス系繊維材料を増すと、フレッシュモルタルの粘性も増し、「材料3」は、ほぼ平滑な面を施工するのに、鏝の滑りが限界であった。

以上の3種類の配合で、次の試験体を作成した。  
①円柱供試体：1軸圧縮試験により、ヤング係数と圧縮強度を得る。JIS規格のサミットモールドを使用。  
②角柱供試体：JISで定められたセメントの物理試験に使用し、曲げ強度・圧縮強度を得る。JIS規格のモルタル供試体成型用3連型枠を使用。

## (3) フロー試験と空気量試験

表3に各実験の結果を示した。フロー試験では、通常、広がったモルタルの直径を、160~200mmの間で管理する。実験結果は、いずれの材料もこの範囲内に収まっているが、材料3で最もフロー値が小さくなった。空気量試験では、AEコンクリートの場合、コンクリート容積の4~7%の間で管理する。左官工事に適した材料の練り具合で配合を決定したが、実験結果も、ほぼこの管理幅に収まった。

## (4) 1軸圧縮試験と曲げ試験

材齢1、2、7、28日で各々1軸圧縮試験、曲げ試験を行い、表4に1軸圧縮試験の結果を示した。圧縮強度は、同じ配合の3体の平均値をとった。



図5 パーライト



図6 ガラス系繊維材料

表2 試験体の材料配合

	セメント	軽量骨材	繊維材料	水	水セメント比
	ポルトランドセメント	パーライト	ガラス繊維		
材料1	8300	1075	40	5484	66.07%
材料2	8300	1075	50	5484	66.07%
材料3	8300	1075	60	5484	66.07%

表3 フロー試験と空気量試験の結果

ガラス系繊維 混入量(g)		フロー試験		空気量試験 空気量(%)
		フロー値(mm)	平均値	
40g	a	186	186.5	6.4
	b	187		
50g	a	189	188.0	7.7
	b	187		
60g	a	181	179.0	7.2
	b	177		

表4 円柱供試体の1軸圧縮試験の結果

ガラス系繊維 混入量(g)		曲げ強度(N/mm <sup>2</sup> )			
		1日目	2日目	7日目	28日目
40g	a	1.57	2.65	3.17	4.47
	b	1.55	2.27	3.19	5.15
	c	1.56	2.11	4.11	4.57
	平均	1.56	2.34	3.49	4.73
50g	a	1.60	-	3.71	4.61
	b	1.88	2.64	3.31	5.36
	c	1.79	2.48	3.85	6.37
	平均	1.76	2.56	3.62	5.45
60g	a	2.07	2.91	3.61	5.59
	b	2.25	3.28	3.63	4.79
	c	2.03	3.21	3.94	4.98
	平均	2.12	3.13	3.73	5.12

※-印は測定不可

表5 角柱供試体の曲げ試験の結果

ガラス系繊維 混入量(g)		ヤング係数(N/mm <sup>2</sup> )				圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )			
		1日目	2日目	7日目	28日目	1日目	2日目	7日目	28日目
40g	a	2779	3892	6779	7234	4.31	6.47	12.98	13.98
	b	1900	4312	6644	8040	4.26	7.36	13.55	17.97
	c	2970	3378	6472	8383	4.27	7.01	13.45	14.97
	平均	2550	3861	6632	7886	4.28	6.95	13.33	15.64
50g	a	2749	4579	6644	8193	3.99	6.74	13.48	19.96
	b	2590	3401	5779	8001	3.99	6.78	11.92	18.97
	c	2852	-	6308	7942	4.96	6.80	13.98	20.96
	平均	2730	3990	6244	8045	4.31	6.77	13.13	19.96
60g	a	2622	-	6611	8162	4.49	7.78	12.48	22.33
	b	3981	3938	6896	8213	5.17	6.74	13.48	15.97
	c	2916	3862	-	7962	4.24	7.08	14.89	18.97
	平均	3173	3900	6754	8112	4.63	7.20	13.62	19.09

※-印は、ひずみゲージ不具合により測定不可



材齢1、2、7日目においては、配合の違いで圧縮強度に大きな違いは見られない。28日目には材料1のみ小さな値を示したが、その他は、 $19\text{N}/\text{mm}^2$ 程度を示した。

表5に、角柱供試体の曲げ試験の結果を示した。同様に曲げ強度は、3体の平均値とした。材料1は、材料2と3に対して明らかに曲げ強度が小さい。材料2と3では、1、2日目では、材料3が有利だが、7日目以降においては、材料2と3は同程度の曲げ強度を持つと考えられる。

## 5. 1/3縮小モデルの試験体作成と破壊実験

### (1) 試験体の作成

図7はスタイロフォームの型枠に和紙の下地を取り付け、左官工事によるモルタルの施工を行っている1/3縮小モデルの試験体の状態である。材料実験の結果とワーカビリティを考慮し、最もバランスのよい材料2(50g)を試験体の材料配合として採用した。また、薄肉シェルの厚さは、鉛直裁荷実験で100kg重程度の裁荷で崩壊に至らせることを想定して、頂部から脚部まで全体に4mm厚とした。



図7 1/3縮小モデルの作成



図9 分割トーナメントを取り付けた試験体

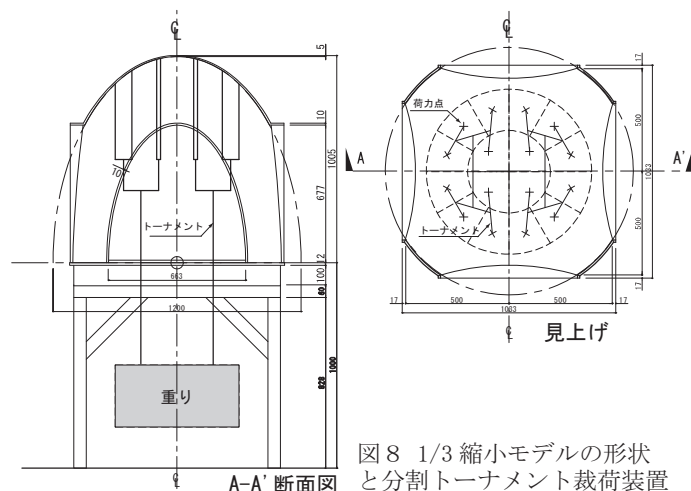


図8 1/3縮小モデルの形状と分割トーナメント裁荷装置

### (2) 鉛直裁荷実験<sup>1)</sup>

鉛直荷重による破壊実験は、4週間強度に合わせて、施工後、28日目に実施した。試験体形状、寸法を図8

に示した。薄肉シェルの平面形状は1000mm×1000mmの4点支持で、ライズは1005mmである。木製の土台に設けた溝にシェルの足元を落とし込んで、支点の水平移動を拘束した。シェルの表面20箇所に2方向歪ゲージを貼り、経線方向と緯線方向の歪を記録した。歪ゲージの位置は、(A)シェル頂部と開口頂部の中間高さ×4カ所(図11のAV, AH:Vは経線、Hは緯線方向)、(B)開口頂部×4カ所(同BV, BH)、(C)隣接する開口頂部間の中点×4カ所(同CV, CH)、(D)脚部中間の高さで開口部付近×8カ所である(同DV, DH)。

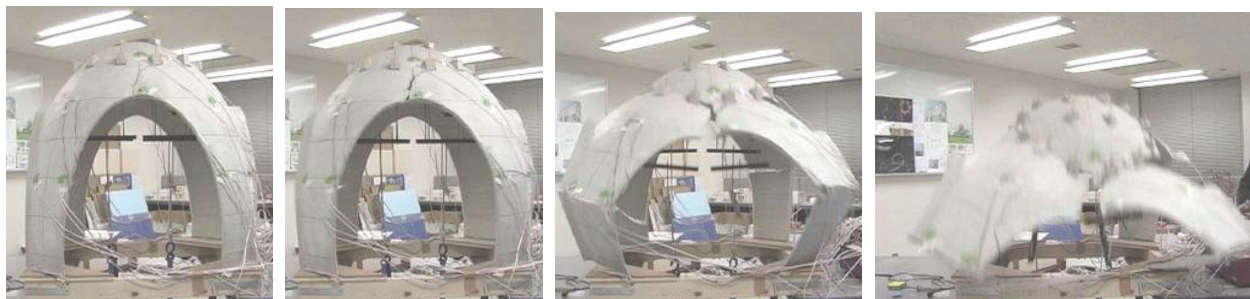


図10 試験体No.2の崩壊時の連続写真

分割トーナメント方式の載荷装置を用い、シェル上部に設けた16点(図8見上げ図の+印)の荷力点を鉛直方向下向きに単調載荷した。トーナメント最下部に吊るしたケースに砂を流し込み、載荷増分2kg重でシェルが崩壊に至るまで荷重を増大させた(図9)。崩壊時の荷重は、85~95kg重程度であった(表6)。

図10は、1/6秒間隔で撮影した試験体No.2の崩壊の様子である。楕円体形状をしているので、スラスト力を足元まで伝えきれず全体の高さ1/3付近で大きな曲げモーメントが発生する。このモーメント力に耐え切れずに足元が先行して曲げ破壊し、次に開口頂部に亀裂が生じて一瞬で全体崩壊に至った。

試験体No.2において観測されたクラックの発生状況を図11に、主要な歪データを図12に示す。(A)では、歪の値は比較的小さく、相対的に応力の影響が小さい。(B)では垂直・水平方向にマイナスの歪の値が出

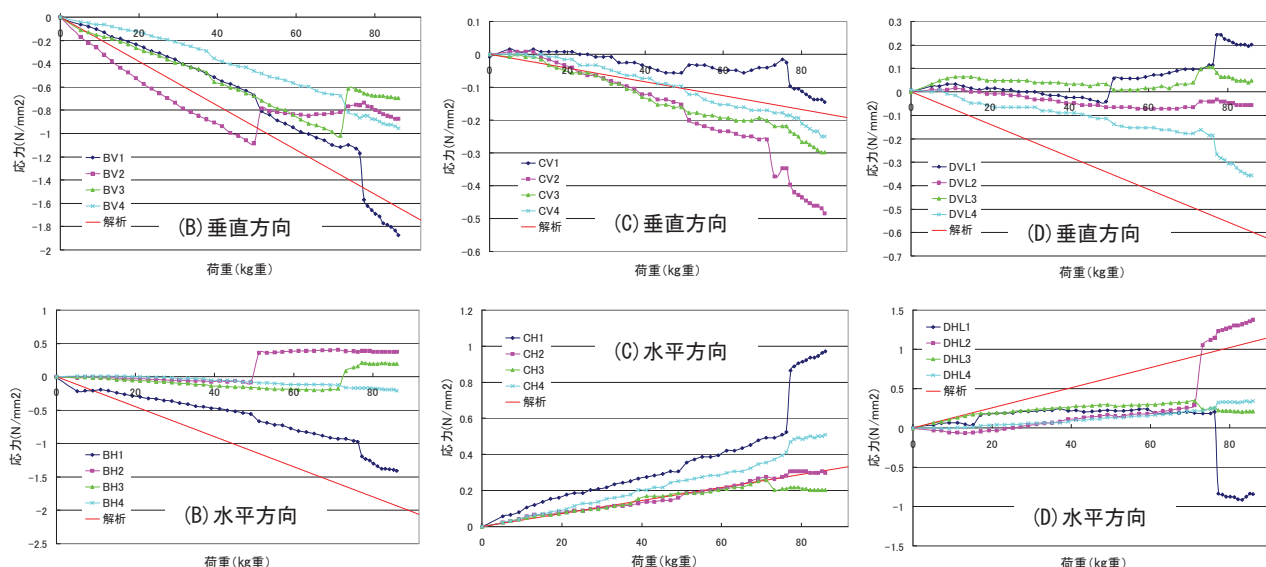


図 12 試験体 No. 2 の主要な応力の推移

表 6 鉛直裁荷実験の最大耐力

	最大耐力	
	[kg 重]	[N]
試験体 No. 1	84.9	832.0
試験体 No. 2	94.7	928.1

ており、開口頂部付近は、垂直・水平方向の両方向に引張応力が存在することが分かった。図11右下では、開口頂部付近に2本の斜めのクラックが出現しているが、この引張応力のためと考えられる。ひび割れの影響を受けにくい

(C) に関しては、77kg重前後まではほぼ荷重と比例する関係が得られているが、そこを境に急激に応力が変化している。これは図12を見ると、76.9kg重で大きなひび割れが発生しており、シェル内の応力が再配分され主応力の流れが変化した為と考えられる。(D) では、歪データは複雑な応答を示している。開口周りに集中的に生じたひび割れにより応力の流れが乱されているためである。

以上から、開口部頂部付近と高さ1/3付近の脚部が構造的補強ポイントであることが分かる。

### (3) 水平振動実験

振動台に設置した試験体に、まず人力で開口頂部付近に衝撃を与え、自由振動波形を測定した。No.2試験体の自由振動波形と、フーリエ解析を行って求めたスペクトル図を図13に示す。本試験体は7.8Hz付近に明瞭な卓越振動数のピークを有し、ほぼ完全な1質点系としての挙動を示す。

次に地震波を用いた加振試験を行った。地震波には J M A 神戸 N S 成分 (1方向) を採用し、時間軸は試験体の縮尺 (1/3) を考慮し 1/1.73 に短縮した。最大加速度は、0.2倍、0.5倍、1倍の3種類とした。加速度計は振動台上と試験体頂部付近の2Ch、歪は試験体表面計14Chに歪ゲージを貼り測定した (図14)。試験体は2体作成し、頂部には、仕上げ荷重 (15kg重/m<sup>2</sup>) を想定し計15kg重の錘を取り付けた。0.2倍加振時は2体の試験体ともひび割れは観測されなかった。次の0.5倍加振時には、ひび割れ音が発生したが、崩壊はしなかった。1倍加振時は両試験体とも本震の初期段階で一瞬で崩壊した。

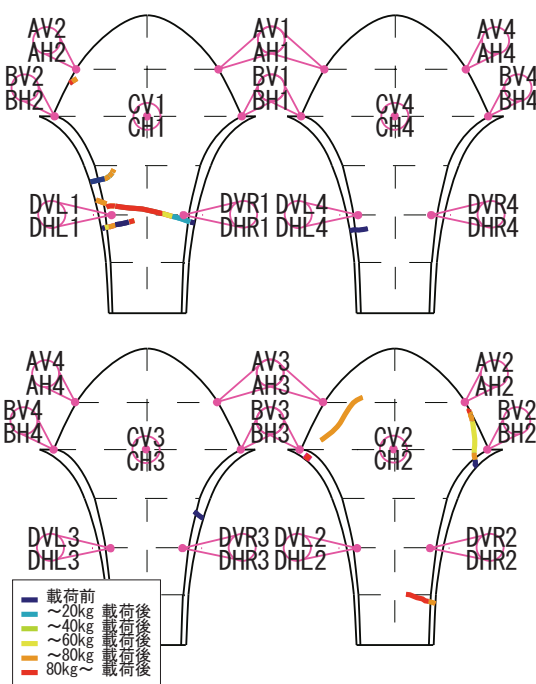
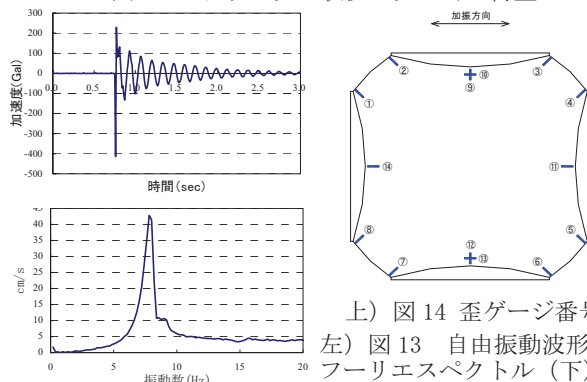


図 11 クラック発生状況と発生時の荷重



上) 図 14 歪ゲージ番号

左) 図 13 自由振動波形 (上) フーリエスペクトル (下)

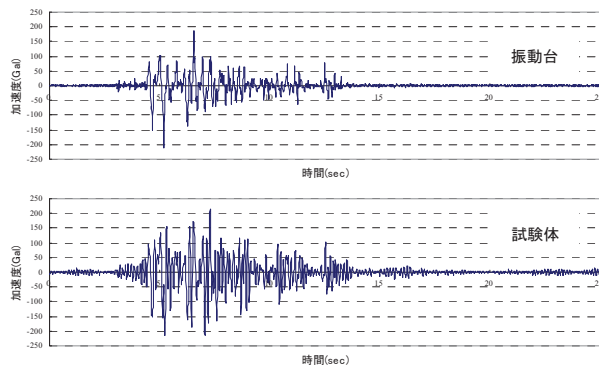


図 15 0.2 倍加振時波形

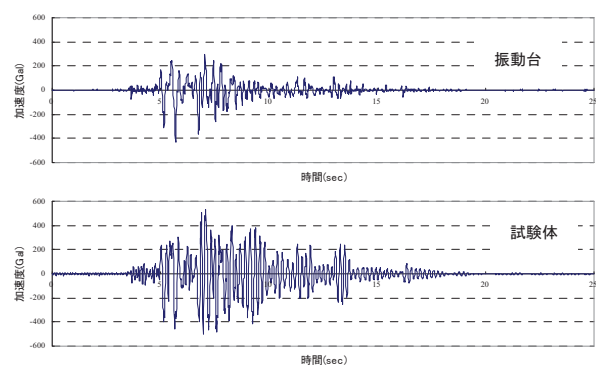


図 17 0.5 倍加振時波形

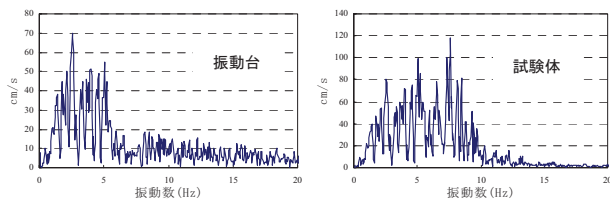


図 16 0.2 倍加振時フーリエスペクトル

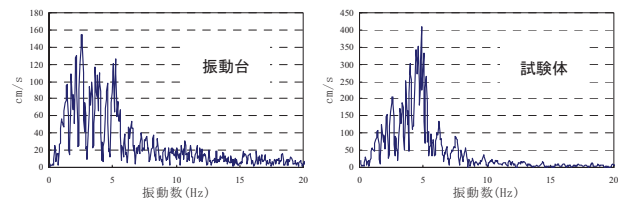


図 18 0.5 倍加振時フーリエスペクトル

振動台及び試験体の振動波形を図15、17に示す。1倍加振時は振動初期で試験体が崩壊したため、No.2試験体の0.2倍、0.5倍加振時の結果のみ示している。これらの波形のフーリエスペクトルを図16、18に示す。

0.2倍加振時、0.5倍加振時の試験体波形を比較すると、0.5倍加振時の方が振動の増幅率が大きく、また全体的に長周期でゆったりと振動している。これは試験体のスペクトル図を見るとより明らかであり、0.2倍加振時は2～10Hzの範囲に渡って卓越振動数が広く分布する一方で、0.5倍加振時では5Hz付近の成分が大きく卓越している。振動台波形のフーリエスペクトルによれば、本入力波は1～6Hz付近に卓越振動数を有する。試験体の固有振動数は7.8Hzなので、このままでは大きく共振することはない（0.2倍加振時）。しかし、試験体に損傷が蓄積されると剛性が低下して固有周期が長周期化する。0.5倍加振時では、振動初期段階に試験体が損傷して固有振動数が5Hz程度まで低下し、入力地震動との共振成分が大きくなったと考えられる。

#### （4）固有振動数を踏まえたシェル厚の再検討

1/3試験体のシェル厚は施工誤差を含め平均で約5mmであった。実物大では平均15mmのシェル厚に相当するが、振動実験で確認されたとおり兵庫県南部地震クラスの振動には耐えることが出来ない。近年、余震時にも本震と同程度の振動が観測されており、本震相当の振動にも耐える強度を確保することが望ましい。振動実験結果が示すように、1/3試験体は約7～8Hzの固有振動数を有する。入力波の時間軸の短縮を考慮すれば、実物大の固有振動数は1/1.73倍になり、4～5Hzに相当する。振動特性はほぼ完全な1質点系としての挙動を示し、固有振動数は脚部の剛性に大きく依存している。地震動の卓越振動数は0.5～10Hz前後が多く、構造物の卓越固有振動数はこの範囲を極力避けることが望ましい。本シェル構造の弱点は、4本足の脚部である。まず脚部のシェル厚を増して部材耐力を増し、さらに剛性を高めて10Hzを上回る固有振動数とすることが有効である。そこで実大棟は、開口上端までのシェル厚を現行の2倍の30mm、そこから上へ徐々に薄くし頂部で15mm程度とした。脚部面材は厚みが2倍になれば部材耐力は4倍になる。さらに面外方向の剛性が8倍になるので、構造物全体の固有振動数は、11～13Hzとなり、地震動の卓越振動数をやや上回る。

## 6. 空気膜型枠の形状決定と数値解析および実大棟の建設

### （1）気室の分割と施工性

空気膜型枠は、気室分割型と1気室型の両者を検討した。気室分割型は、シェル型の気室内部に、接地面を作るためにチューブ状の小気室を配置するものである。1気室型の場合は、接地面部分は開放面で、接地面円周部の膜端部をベースプレートを通じて地面に圧着し密閉性を確保する。気室分割型の場合、空気膜が閉じていることが有利だが、足下の形状はチューブの曲率で内側に回りこみ、正確に再現できない（図19）。逆に1気室型の場合、シェルの形状は足下まで正確に再現できるが、十分な気密性を確保できるかが問題で



ある(図20)。両者は、形状の再現性と気密性で、相反する長所・短所を持つが、最終的に形状の再現を優先し、1気室型で次の内圧の数値解析を進めた。

## (2) 空気膜型枠の内圧と変形の数値解析による検討

左官工事で鏝を当てるのに十分な膜の内圧は、150mmAq程度に想定した。空気膜には、モルタルの自重と部分的に打ち消しながらも、内圧により外側に膨らんだ変形が生じる。シェルの脚部の膨らみによる変形を防ぐため、地面から開口部上端を超える高さまで、300mm間隔で7本のテンションテープを膜面に取り付けた。図21は、水平振動実験の結果を踏まえ決定したシェル厚に、モルタル自重をかけた上で、空気膜の内圧を150mmAqとした場合の変形の数値解析結果である。シェル頂部で垂直方向に54mm上方への変形と最上部のテンションテープの上部に若干の膨らみが発生するが、拘束されたシェルの脚部は、ほぼ変形がない結果となった。解析結果からは、このとき、空気膜の接地部分に、上方へ93kg重/mの支点反力がかかることが分かった。この支点反力は、空気膜を取り付ける木製のベースプレート上に、土嚢を載せて押さえることとした。

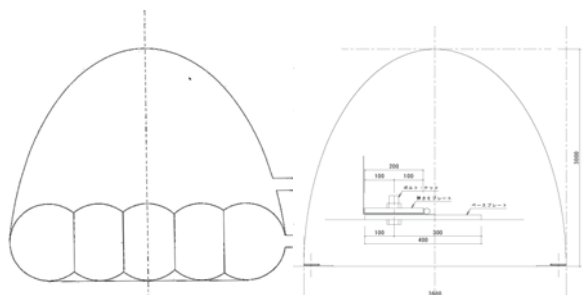


図 19 気室分割型空気膜型枠

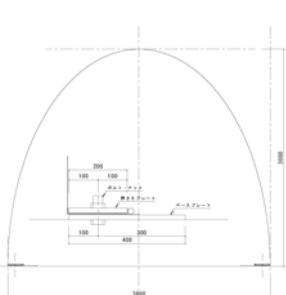


図 20 1気室型空気膜型枠

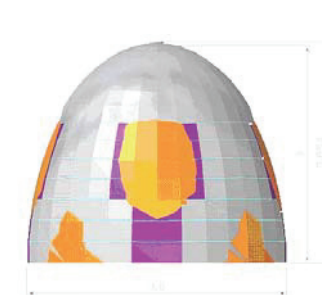


図 21 空気膜型枠の数値解析



図 22 完成した実大棟

## (3) 実大棟の建設

以上を踏まえ、実大棟の建設(図22)を行った。施工時には差圧計を用いて、160~180mmAq程度に収まるように内圧の管理を行った。躯体の施工が完全に終わった時点から、48時間後に空気膜型枠への送風を停止し、空気膜を外した。施工時間は、二人の熟練した左官職人で、材料練りの時間を除くと、ほぼ4時間程度であった。シェルの仕上げ材料には、水硬性石灰を原料とした漆喰を用いた。通常の漆喰に用いる石灰は、二酸化炭素と反応して硬化する気硬性であるが、水硬性石灰は、文字通り水を結晶化して硬化する。このため、気硬性石灰を用いた漆喰は、通常の漆喰と比較して雨水等に曝露されても劣化しにくい性質を持つ。

## 7. まとめ

本研究では、左官技術による空気膜型枠を用いた薄肉シェル構造の仮設住宅の実現のための建設技術開発を行い、最終的に実大棟の建設を行った。その要点は次のようである。

- ①薄肉シェル構造の形状は、施工性と内部空間のバランスから、楕円の回転体を二分したものとした。
- ②ワーカビリティと材料実験から、材料配合上、ガラス系繊維材の混入料は、規定の25%増しが適当である。
- ③本研究の薄肉シェルの形状においては、地面から開口部上部の高さまでの躯体のモルタル厚を30mmとすることにより、固有振動数を大規模な地震の本震の振動数からずらして、耐震性能を得る可能性を示した。
- ④空気膜型枠の形状は、気室分割型と1気室型を検討した結果、後者を採用した。懸念された気密性については、実大棟の施工によって、左官工事を行うのに十分な内圧を確保できることを検証することができた。

**謝辞**；本研究の空気膜型枠の制作には立命館大学COEプログラムの研究援助を受けた。実大棟の仕上げに用いた水硬性石灰は、日本NHL委員会から提供していただいた。空気膜型枠の数値解析と制作は、(株)小川テックとの協同である。左官工事の施工は久住鴻輔氏が行った。以上を、ここに記して御礼申し上げます。なお、本研究の原案は、森田一弥、柳沢究、山田協太による第13回タキロン国際設計競技応募案(2等入選)である。

## 参考文献

- 1) 石塚祐至・小澤雄樹ほか4名、伝統的左官技術を用いた薄肉楕円体シェル構造の開発ーシェルの概要と鉛直荷重載荷実験、日本建築学会大会梗概集、構造系B-1分冊、p.6, 2006.