

姫路城大天守における土壁のせん断試験

- 種別：材料試験 [木材・煉瓦・鉄・コンクリート・その他]、重量測定、
要素試験 [接合部・軸組・壁・水平構面 (床・天井・小屋組・屋根)・非構造部材・その他]、
補強性能試験 [接合部・軸組・壁・水平構面 (床・天井・小屋組・屋根)・非構造部材・その他]

●基本情報

文化財名称：姫路城大天守

文化財種別 (指定年月日)：重要文化財 (昭和6年1月19日)

国宝 (昭和26年6月9日)

所在地：兵庫県姫路市本町

所有者 (管理団体)：文部科学省 (姫路市)

構造形式：五重六階、地下一階付、本瓦葺

建築年：慶長13 (1608)

事業名称：国宝 姫路城大天守保存修理工事

事業期間：平成18年6月ー平成21年3月

工事種別：調査工事

事業者：姫路市

設計監理：公益財団法人文化財建造物保存技術協会

実験計画者：公益財団法人文化財建造物保存技術協会

実験機関：武蔵工業大学工学部建築学科大橋研究室

実験年月日：平成19年4月8日ー平成19年12月22日

引用・参考文献：国宝 姫路城大天守保存修理工事に伴う構造調査委託 平成19年度成果品 (平成20年3月31日)

●実験に至る経緯と目的

姫路城は大天守完成後、約400年の歴史を刻み、その間天災、戦災に遭うことなく、現在に至っている。木造の天守閣が現在まで残っている例は極めて稀であり、貴重な文化財として国宝・重要文化財、世界遺産に指定されている。

近年、木造の耐震性に関しては様々な研究が重ねられてきているが、城郭のような大規模な木造の耐震性能は、いまだ不明な点が多い。また、その耐震性能は、土壁の性能が担うところが大きい。

そこで本実験は、大径の部材を用いた土壁の加力試験を行って、姫路城の耐震診断のための資料を得ることを目的としている。

●姿図・寸法

試験体の製作にあたっては、昭和31年より8か年計画で行われた解体修理工事時の修理工事報告書に基づき、可能な限り同じ材料、工法を採用する事とした。

【使用材料】

大壁試験体 軸組・壁下地仕様

部位	使用材料	寸法 (mm)	強度区分	産地
柱	ベイヒバ集成材	300×300×3300 (ほぞ含む)	E95-F300	秋田
間柱	ベイヒバ集成材	210×210×3300 (ほぞ含む)	E95-F300	秋田
土台	ベイヒバ集成材	300×600×3200	E95-F300	秋田
梁	ベイヒバ集成材	300×600×3200	E95-F300	秋田
貫	ベイヒバムク材	240×70×2300	—	京都
木舞	ヒノキ	48×21×3 面(側面含む)@303	—	姫路
そだ	カシ枝	15φ～25φ	—	姫路山中
楔	ヒノキ	H=30	—	京都
込み栓	丸鋼	30φ	—	—
釘	ステンレス	N-65	—	—
木舞縄	稲藁	機械ない縄 2分5厘	—	京都

真壁試験体 軸組・壁下地仕様

部位	使用材料	寸法 (mm)	強度区分	産地
柱	ベイヒバ集成材	300×300×3300 (ほぞ含む)	E95-F300	秋田
間柱	—	—	—	—
土台	ベイヒバ集成材	300×400×3200	E95-F300	秋田
梁	ベイヒバ集成材	300×400×3200	E95-F300	秋田
貫	ベイヒバムク材	240×70×2900	—	京都
木舞	ヒノキ	60×24×1 面@372.5	—	姫路
そだ	カシ枝	15φ～25φ	—	姫路山中
楔	ヒノキ	H=30	—	京都
込み栓	丸鋼	30φ	—	—
釘	ステンレス	N-65	—	—
木舞縄	稲藁	機械ない縄 2分	—	京都

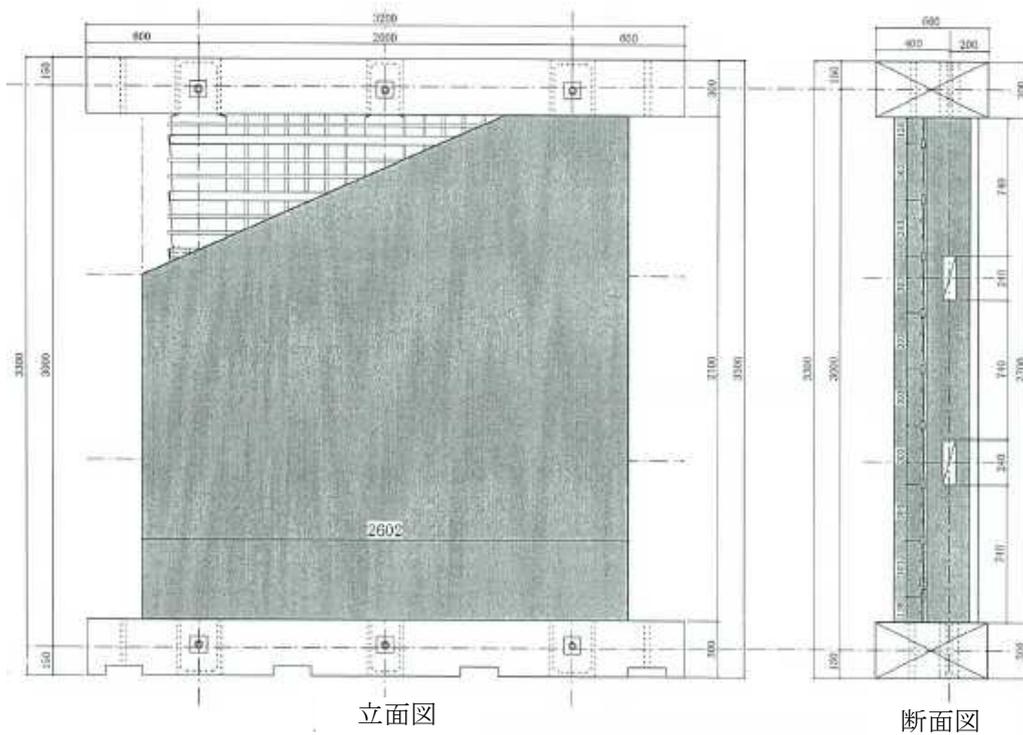
壁の仕様については以下の通り

- ・新土：御国野の山土・ 漆喰用川砂：兵庫県赤穂一千種川河川敷のもの
- ・角又海藻：银杏草 ・石灰：土佐産石灰 ・貝灰：上貝灰

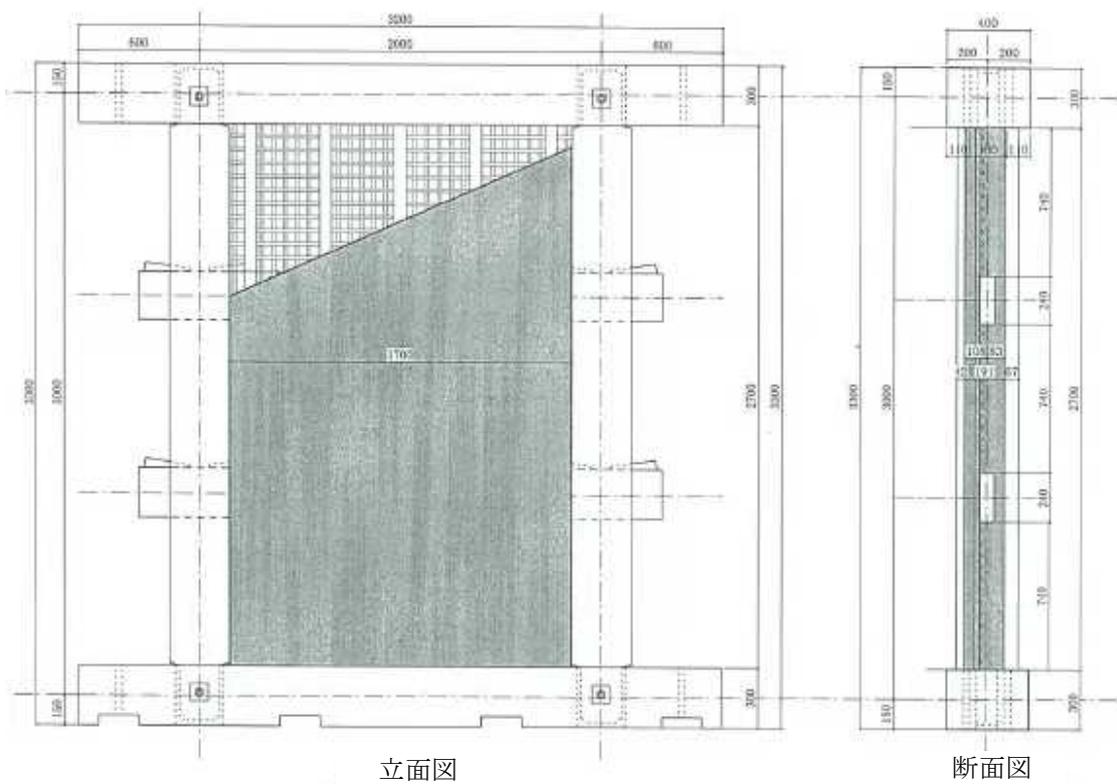
【試験体寸法】

以下の4試験体共、幅2000mm(芯々)×高さ3300mm

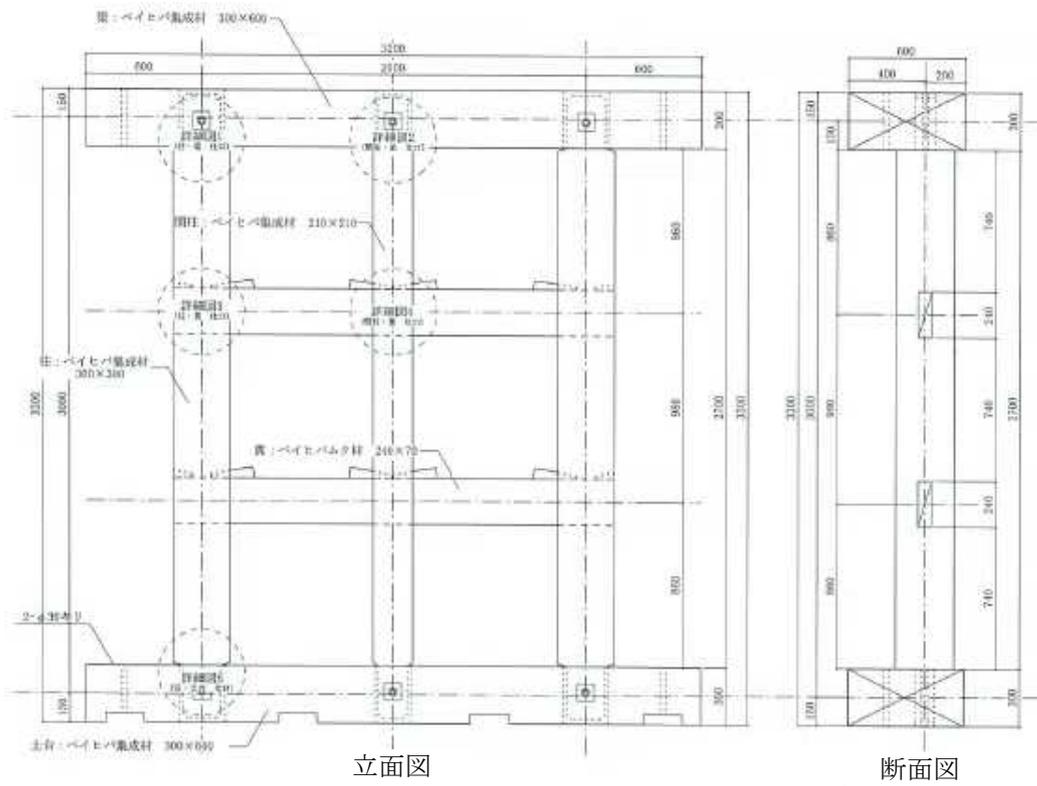
- ・大壁試験体(軸組+大壁土壁コーナー付き)(OWW)
- ・真壁試験体(軸組+真壁大壁)(SWW)
- ・大壁軸組試験体(軸組のみ)(OWF)
- ・真壁軸組試験体(軸組のみ)(SWF)



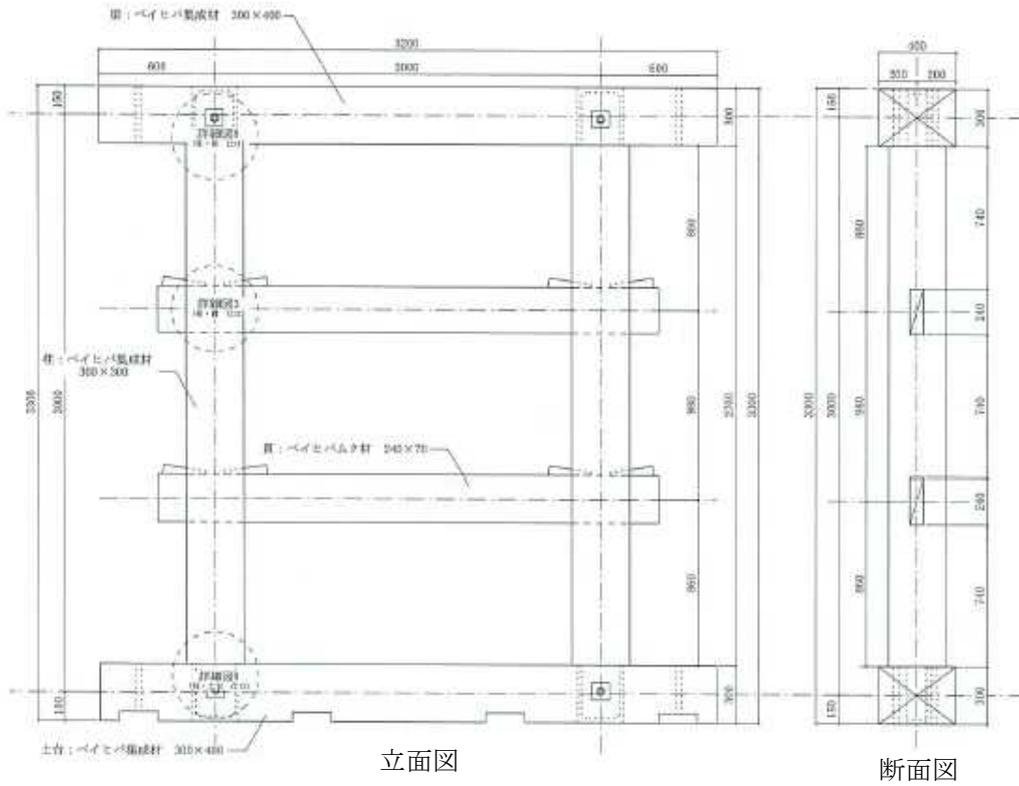
大壁試験体(軸組+大壁土壁コーナー付き)(OWW)



真壁試験体(軸組+真壁大壁)(SWW)



大壁軸組試験体(軸組のみ) (OWF)



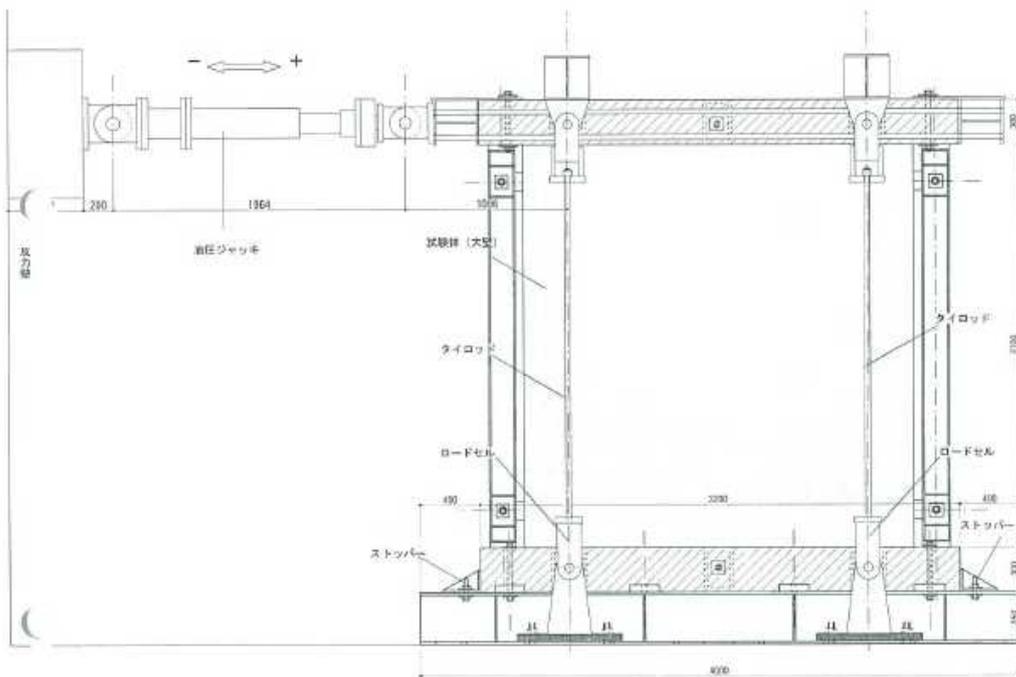
真壁軸組試験体(軸組のみ) (SWF)

●概要

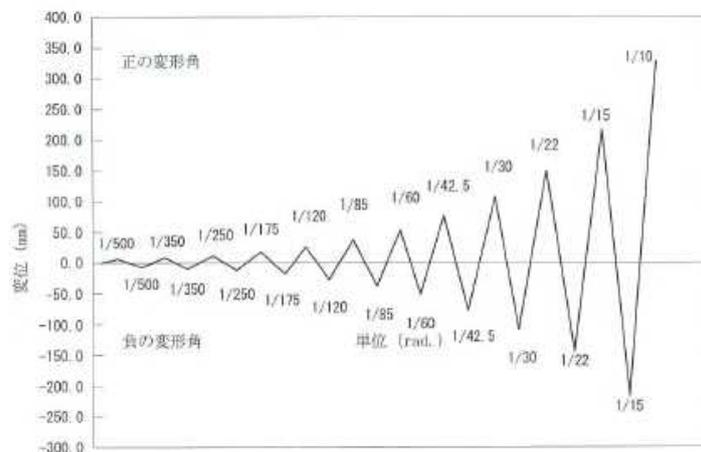
姫路城大天守の土壁の水平力に対する性能を確認するため、実大の壁体せん断試験を行った。試験体は、大壁仕様(壁体の回転を抑制するコーナー付き)のものと真壁仕様のもの、比較のための軸組のみの大壁軸組試験体と真壁軸組試験体で計4体用意した。

●実験方法

載荷方法はタイロッド方式を採用した。加力方法は押し引き交番繰り返し載荷とし、水平荷重および水平変位は以下の加力状態立面図で右を正、左を負とした。回転角は時計回りを正の方向とする。加力サイクル以下の図に示す通り。最終変計角は+1/10rad.とした。



加力状態立面図



加力サイクル

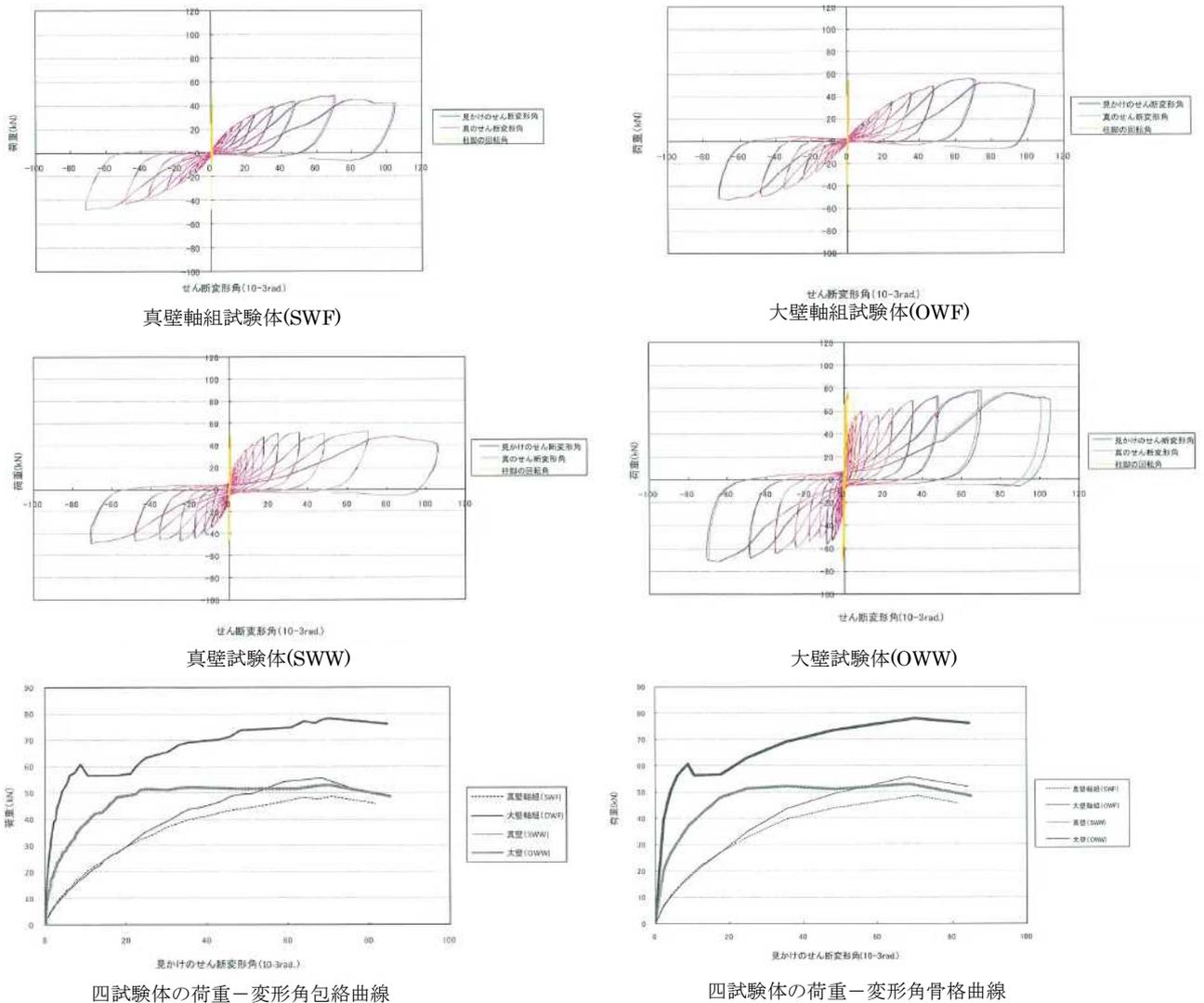
●特性値

表に示す通り。

見かけの 変形角(rad)	真壁軸組(SWF)		大壁軸組(CWF)		真壁(SWW)		大壁(OWW)	
	変位 (10 ⁻³ rad)	荷重 (kN)						
1/500	2.11	6.95	2.12	6.37	2.08	20.32	2.11	38.93
1/350	3.08	8.79	3.12	8.56	3.11	23.72	3.04	44.78
1/250	4.28	11.19	4.32	10.49	4.28	27.11	4.22	50.60
1/175	6.08	14.04	6.14	13.59	6.01	30.94	6.00	56.38
1/120	8.86	17.98	8.83	17.30	8.84	37.09	8.77	60.82
1/85	12.31	22.25	12.22	21.58	12.33	41.85	10.57	56.54
1/60	17.48	27.11	17.62	27.10	17.56	48.19	17.54	56.65
1/42.5	24.70	33.05	24.84	35.16	24.82	51.46	24.75	63.11
1/30	35.60	39.92	35.51	43.82	35.76	52.24	35.28	69.18
1/22	48.01	43.89	48.25	49.53	48.36	51.26	48.02	73.48
1/15	70.77	48.70	68.29	55.85	68.69	53.00	69.90	78.13
1/10	81.42	45.89	84.12	52.10	84.95	48.64	84.55	76.11

●荷重変形

図に示す通り。



●破壊形状

①真壁軸組試験体(SWF)

1/250rad.で左柱脚の浮きが、-1/250rad.で楔の浮きやめり込みが、1/30rad.で楔の割れが生じた。1/10rad.では楔の割れや浮き、貫のめりこみが顕著に生じた。試験後に解体すると、ほぞに割れがみられた。右柱柱頭ほぞではせん断破壊の様相が確認でき、引張力を受けたと考えられる。



SWF 1/10rad.時



SWF 1/10rad.時の左柱脚の浮き



SWF 1/10rad.時の楔の割れ



SWF 1/10rad.時の楔の浮き



SWF 1/10rad.時の貫のめりこみ



SWF 1/10rad.時のほぞ(右柱頭)の割れ

②大壁軸組試験体(OWF)

1/175rad.で左柱脚の浮きや楔のめりこみが、1/30rad.で楔の割れが生じた。1/10rad.では楔の割れや浮き、貫のめりこみが顕著に生じた。試験後に解体するとほぞに割れがみられた。



OWF 1/10rad.時



OWF 1/10rad.時の左柱脚の浮き



OWF 1/10rad.時の楔の割れ



OWF 1/10rad.時の楔の浮き



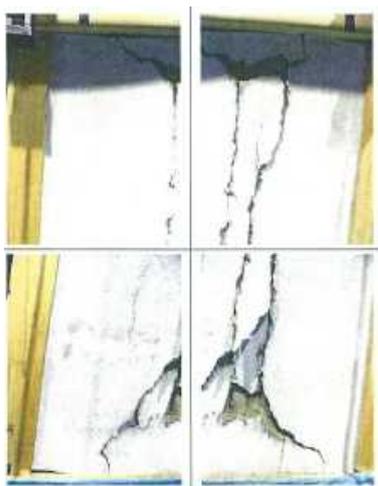
OWF 1/10rad.時の貫のめりこみ



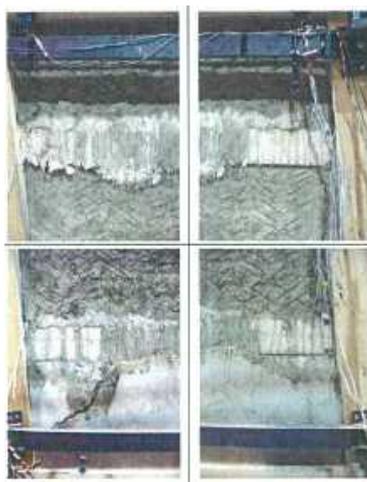
OWF 1/10rad.時のほぞ(右柱頭)の割れ

③真壁試験体(SWW)

-1/350rad.で正面左柱頭柱脚付近、右柱頭付近と裏面左柱脚付近、右柱頭付近に最初のひびが入り、1/250rad.で裏面左柱頭付近、右柱脚付近に漆喰の面外浮き上がりが生じた。1/175rad.で裏面壁中央部にひびが入り、1/120rad.で正面壁中央部に斜めひび割れが生じた。漆喰の面外浮き上がりが大きくなったため-1/30rad.で漆喰をすべて撤去した。試験後に解体するとほぞに割れがみられた。



SWW 1/10rad.時の正面破壊性状



SWW 1/10rad.時の裏面破壊性状

④大壁試験体(OWW)

-1/350rad.で裏面右柱頭付近に最初のひびが入った後、正面左柱脚付近にひび割れが、中央部に斜めひび割れが生じた。1/250rad.正面右柱脚付近にひび割れが、中央部に斜めひび割れが、裏面も同様のひび割れが生じた。-1/175rad.で裏面中央部で漆喰面外浮き上がりが生じ、1/85rad.で正面中央部の漆喰面外浮き上がりが生じた。漆喰の面外浮き上がりが大きくなったため-1/42.5rad.で正面の漆喰を一部、-1/30rad.で全部撤去した。試験後に解体すると、ほぞに割れがみられた。



OWW 1/10rad.時の正面破壊性状



OWW 1/10rad.時の裏面破壊性状

●理論式

—

●モデル化

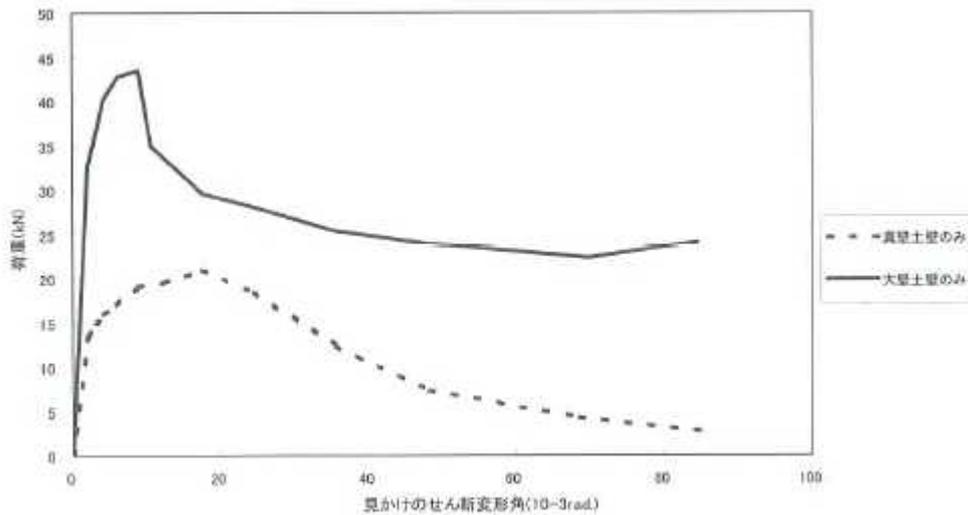
—

●考察

真壁試験体(SWW)および大壁試験体(OWW)それぞれの荷重変形曲線から、軸組のみの試験体の耐力を差し引き、土壁のみの耐力としたものを以下の図に示す。

真壁土壁のみは、1/60rad.で 21kN をピークに急激に負担強度が低下し、1/20rad.では 7kN まで低下した。一方大壁土壁のみは、1/120rad.で 44kN をピークに急激に負担強度が低下し、1/30rad.で 25kN まで低下した。大変形領域においては、真壁がほとんど荷重を負担していないのに対し、大壁は土壁が大きな荷重を負担している。

ただし、軸組のみの試験体は加工直前に楔を締め直しているのに対し、土壁試験体は土壁施工前の状態のままである。土壁の乾燥と共に楔も乾燥することにより、土壁試験体における軸組体力は、軸組単独の場合の耐力と異なる可能性がある。



土壁のみの荷重—変形角曲線