

吹付け発泡断熱材による在来軸組木造住宅の耐震補強効果

正会員 ○ 永井 拓斗* 同 花井 勉**
同 小林 博一*** 同 井戸田秀樹****
同 北川 啓介***** 同 北川 珠美*****

発泡断熱材 吹付け硬質ウレタンフォーム
耐震改修 面内せん断試験 耐力壁

1. 序

既存不適格木造住宅の再生利活用を考える場合、耐震および断熱改修は不可欠である。本研究は、一般的な断熱材として用いられる現場吹付けの硬質ウレタンフォーム（以後発泡剤と呼ぶ）による耐震補強効果を実験的に明らかにし、木造住宅のより合理的な耐震・断熱同時改修の可能性について検討することを目的としている。

耐震要素としての発泡剤の可能性については、その材料特性や壁体内に充填させた際の力学特性などが報告されている¹⁾²⁾。これらでは、発泡剤の破壊性状や耐力について実験に基づいた知見が報告されている。一方、既存不適格木造住宅の耐震改修に発泡剤を用いる場合、既存部分の壁体内表面の状況や納まり、あるいは床・天井等の仕上げ材との干渉等、発泡剤と既存構造躯体との境界条件が建物ごとに異なるため、現場施工の合理性も十分考慮したルールを設けることが、実用性を確保する上で重要である。

そこで、本研究では耐震改修における発泡剤の耐震要素としての活用に焦点を当て、合理性・実用性の観点から耐震・断熱同時改修に向けた発泡剤耐力壁の力学的特性について実験的な検討を行った。

2. 発泡剤吹付け壁の繰り返し載荷試験

2.1 試験体概要

試験体概要を図1に示す。試験体I1シリーズは、既存壁が土壁であり、土壁・天井・床をすべて撤去せずに発泡剤を吹き付けることを想定した試験体である。I1-1は発泡剤の四辺を十分拘束するように柱に半割の角材（45×90）を釘で取り付け、天井と床位置にも柱間に横架材を設置した。真壁のチリは15mmを想定しており、付加した当材と合わせて60mmの厚さで発泡剤を拘束している。I1-2は上下の横架材を省略した仕様、I1-3は上下桢材は設置するが、桢材と発泡剤との接着をなくした仕様である。I2は乾式の真壁と大壁を想定し、既存の柱と土台で厚さ60mmの発泡剤が拘束できる仕様である。I3、I4は天井と床は撤去し、土台から梁まで発泡剤が充填できる場合を想定したもので、I3は湿式の土壁、I4は乾式の真壁を想定している。

2.2 実験方法

土台を鋼製基礎にアンカーボルトで固定し、梁に水平荷重を作用させた。梁には面外方向への変形を防ぐ拘束材を取り付け、載荷は見かけのせん断変形による変位制御とした。変形角が1/200、1/100、1/75、1/50radの順に正負3回ずつ（引張を正）、1/30、1/15、1/10radの順に1回ずつ、負方向は1/50rad以降繰り返し1回ずつ行った。その後、耐力が最大耐力の80%以下まで低下もしくは、油圧ジャッキのストロークが限界に達するまで引ききった。

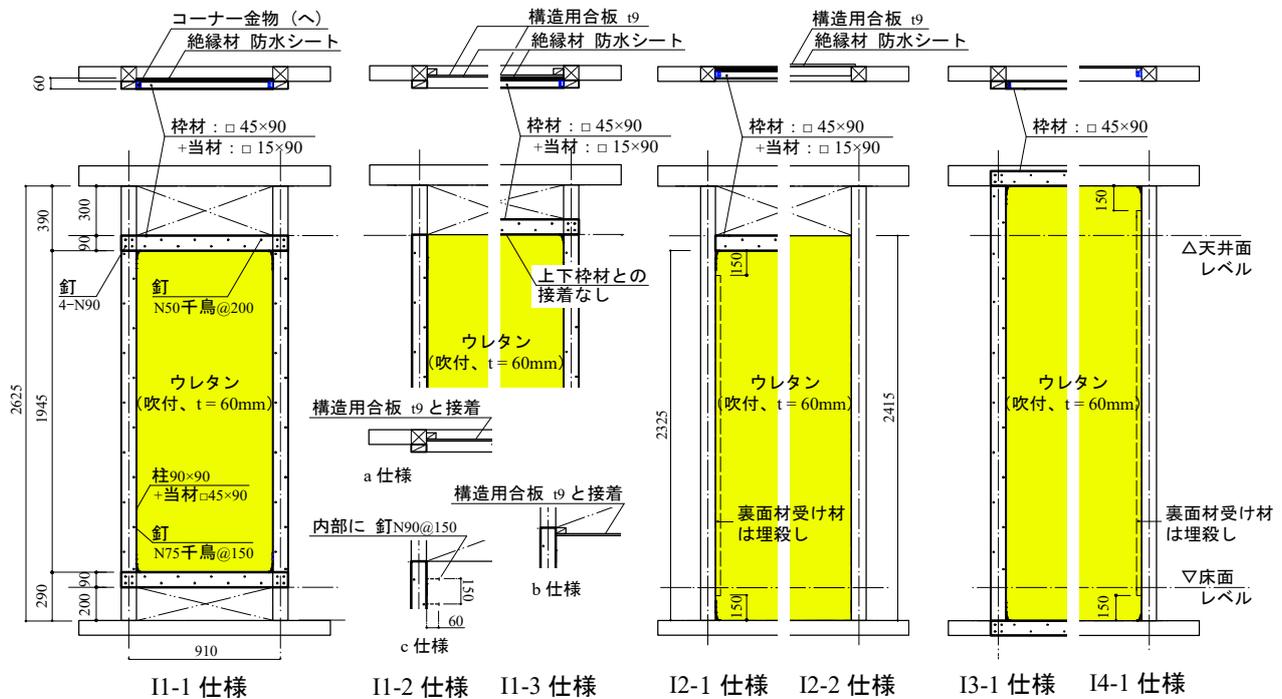


図1 試験体図 (mm)

3. 実験結果と考察

3.1 荷重変形関係と破壊性状

実験で得られた荷重変形関係を図2に示す。試験体はどれもスリップ型の履歴特性を示し、破壊時には発泡剤による接着が軸組、柱当材、または上下枠材から剥離することによる急激な耐力低下が見られた。また、上下枠材と接着させた仕様の試験体の一部は、上記の剥離と同時に発泡剤に斜め方向の亀裂が入るせん断破壊も起こった。

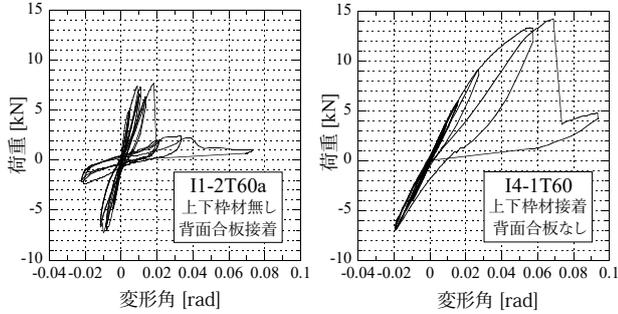


図2 荷重変形関係

3.2 試験体の特性値

荷重変形関係から包絡線を作成し、完全弾塑性モデルから算出した各試験体の特性値を表1に示す。短期基準せん断耐力 P_0 はいずれも $0.2P_u/D_s$ の値もしくは $1/120\text{rad}$ 時の耐力で決定され、壁基準耐力 F_w は $2\sim 4\text{kN}$ 程度となった。同一試験体については、算出したばらつき係数を乗じた。

3.3 上下枠材による影響の考察

算出した特性値から各試験体における仮想降伏点変位 δ_v と終局変位 δ_u を比較する。発泡剤と上下枠材が接着した試験体は白 (□△○等)、背面に合板が釘6本留めされた試験体は黒 (■▲等) の記号とした。

図3を見ると、上下枠材が接着された試験体は、そうでない試験体に比べて δ_v が大きく、 δ_v から δ_u までの変形の伸びも大きくなる傾向が分かる。これは、上下枠材と発泡剤との接着力が、発泡剤が柱枠材から剥離する方向の力に抵抗できたためと考えられる。

3.4 最大耐力決定時の破壊性状の考察

図4は、接着された上下枠材をもつ I1,2,3,4-1 仕様の試験体における δ_u と、破壊性状との関係を示した図である。ここから、せん断破壊をした試験体は剥離破壊した試験体と比べ δ_u が大きい傾向が読み取れる。

これは、剥離破壊した試験体は、充填された発泡剤高さが高いほど同一変形時における枠組隅部の発泡剤ひずみが大きくなるため変形性能が小さくなったと考えられる。

一方、柱に裏面材受け材が設置された試験体はせん断破壊を起こしている。これは、裏面材受け材により発泡剤との接着面積が大きくなり既存構造躯体との境界での接着力が増すことで、変形性能が大きくなったと考えられる。

【参考文献】1) 曾田 五月也, 宮田 遼太郎, 飯田 健一郎: 発泡性硬質ウレタンフォームの構造材としての利用に関する実験的研究 その1. 発泡性硬質ウレタンフォーム素材の性能評価試験, 部材性能 (I) 構造 III, 2013 年度日本建築学会大会 (北海道) 学術講演会・建築デザイン発表会, p.67-68, 2013.08 2) 小池 奨, 陳 昕岩, 多幾山 法子: 静的加力実験に基づく硬質ウレタンフォームを充填した木造平面壁の力学特性の解明, 日本建築学会関東支部研究報告集, p.349-352, 2020.03

* 名古屋工業大学大学院工学専攻 博士前期過程
 ** (株) えびす建築研究所 代表取締役・博士 (工学)
 *** (株) えびす建築研究所
 **** 名古屋工業大学大学院工学専攻 教授・工学博士
 ***** 名古屋工業大学大学院工学専攻 教授・博士 (工学)
 ***** 名古屋工業大学研究員

表1 特性値と壁基準耐力

試験体名	P_{max}/L	K	δ_v	δ_u	P_0	F_w	記号	
	(kN/m)	(kN/rad)	(rad)	(rad)	(kN/m)	(kN/m)		
▼ T60, T90 - 吹付け厚さ (単位 mm) R - 内部にラス配置 a - 裏合板接着 b - 上下合板 c - 釘ダボ								
I2-2T60	10.333	419	0.020	0.036	2.966	2.966	▲	
I2-2T90	11.410	609	0.015	0.039	4.140	4.140		
I2-2T60R	9.580	867	0.008	0.032	4.064	4.064		
I1-2T60a	8.503	1438	0.005	0.018	3.823	3.823	■	
I1-2T60b	8.073	641	0.010	0.019	2.362	2.362		
I1-2T60c	7.320	516	0.011	0.023	2.271	2.271		
I1-3T60a6	10.549	1671	0.005	0.016	4.271	4.271	▲	
I1-3T60c4	9.687	585	0.014	0.026	2.953	2.953		
I1-3T60c6	9.580	597	0.011	0.062	4.727	4.727		
▼ B - 背面合板 (非接着) 入隅 - 入隅仕様 間柱 - 間柱仕様 □○ - 穴あき形状 2P - 一間仕様 中柱覆 - 中柱を覆う吹付け								
I1-1T60B	13.024	416	0.024	0.049	3.870	3.870	□	
I1-1T60-	-1	11.733	285	0.034	0.064	3.390		3.434
	-2	10.656	287	0.030	0.054	2.972		2.958
	-3	11.410	324	0.028	0.051	3.155	3.140	
I1-1T60入隅	12.055	302	0.032	0.052	3.204	3.204	△	
I2-1T60	13.240	316	0.034	0.055	3.227	3.544		
I2-1T90	10.333	400	0.020	0.030	2.481	2.481		
I2-1T60間柱	12.486	249	0.039	0.072	2.671	3.515	▽	
I3-1T60-	-1	11.729	364	0.029	0.037	2.850		2.810
	-2	12.628	333	0.032	0.044	3.092		3.049
	-3	12.680	314	0.033	0.049	3.031	3.153	
I4-1T60	15.608	362	0.035	0.070	3.856	4.816	○	
I1-1T60□	6.135	289	0.016	0.118	2.712	3.746		
I1-1T60○	9.707	299	0.027	0.042	2.559	2.559		
I1-1T60-2P	9.049	525	0.028	0.043	2.323	2.323	◇	
I1-1T60-2P中柱覆	9.790	538	0.029	0.047	2.584	2.584		

【備考】1) P_{max} : 最大耐力 2) K : 初期剛性 3) δ_v : 仮想降伏点変位 4) δ_u : 終局変位
 5) P_0 : 短期基準せん断耐力 6) L : 壁長さ 7) F_w : 壁基準耐力

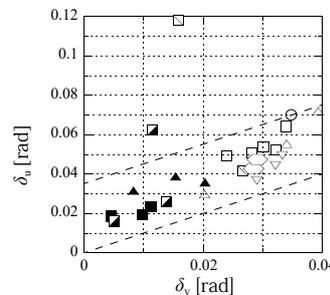


図3 δ_u と δ_v の比較

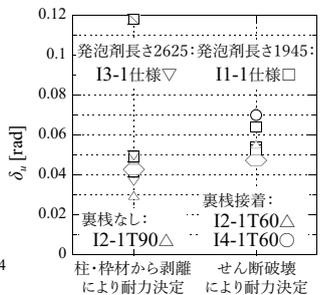


図4 δ_u と破壊性状の比較

4. 結論

- 1) 壁体内に発泡剤を吹付けることで、壁基準耐力 F_w が $2\sim 4\text{kN}$ 程度の耐力壁とすることができる。
- 2) 発泡剤吹付け壁は、発泡剤の柱・枠組みからの剥離または斜め方向のせん断破壊によって最大耐力が決まる。
- 3) 柱、梁、枠材等で発泡剤を拘束することで、より高い耐力と変形性能が確保できる。