

旧函館区公会堂における木摺漆喰天井の現状及び補強の引張試験

- 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：旧函館区公会堂

文化財種別（指定年月日）：重要文化財（昭和 49 年 5 月 21 日）

所在地：北海道函館市元町 11 番 33 号

所有者（管理団体）：函館市

構造形式：木造、建築面積 886.3 m²、二階建、棧瓦葺

建築年：明治 43 年(1910 年)

事業名称：旧函館公会堂保存修理工事

事業期間：平成 30 年 10 月～令和 3 年 4 月

工事種別：保存修理

事業者：函館市

設計監理：(公財)文化財建造物保存技術協会

実験計画者：(公財)文化財建造物保存技術協会

実験機関：(公財)文化財建造物保存技術協会

実験年月日：平成 30 年（2018）12 月、平成 31 年（2019）1 月、令和元年（2019）10 月、
12 月

引用・参考文献：

●実験に至る経緯と目的

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震で一般建築物の天井材の落下により人的被害が生じ、非構造部材である天井材についても構造的検討が必要とされるようになっていく。文化財建造物においても、大地震時に近代建築物の木摺漆喰天井の漆喰剥落の被害が多く見られ、地震時の漆喰剥落対策等の必要性が指摘されている。旧函館公会堂においても木摺漆喰天井が用いられているが、一般に公開されることから、漆喰剥落の対策を検討することとなった。そのため、漆喰の付着性能及び補強方法の性能確認のための試験を実施した。

● 姿図・寸法

【使用材料】

試験①、②：建物内の木摺漆喰天井

(木摺：幅 50mm 内外×厚 9~12mm 木摺り間隔 5~12mm 樹種 スギ)

試験③：部分模型試験体

(木摺：幅 45mm×厚 9mm 木摺り間隔 10mm 樹種 スギ)

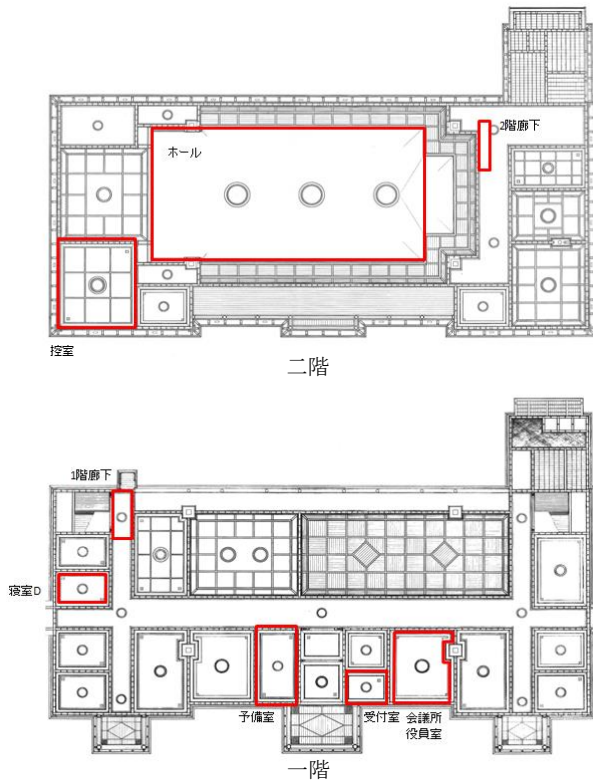
【試験体寸法】

対象の天井漆喰面に、10cm×30cm、10cm×10cm の鉄板(t=12mm)を貼り付け、以下に示す 3 種類の引張試験を実施した。

<試験① (現状の漆喰試験) >

試験①では、現状の漆喰天井面に雨漏り跡やひび割れ箇所が多く見られたことから、漆喰の状況を目視にて確認し、ひび割れ等がなく比較的健全な部分、ひび割れのある部分、雨染みのある部分を選定し、各部分での付着性能を確認した。また、当初の漆喰箇所と、昭和修理時に塗り直した漆喰の箇所を選別した。試験を実施した部屋と各漆喰の状況を以下図表に示す。

また、当初と昭和修理時の木摺漆喰の仕様について、試験後観察結果から確認した内容も含め以下に示す。



試験体 No.	部屋	漆喰の状態	鉄板サイズ		切れ目寸	
			cm	cm	cm	cm
1	1F予備室外側	新 ひびまたぎ	10	× 30	10	× 30
2	1F予備室内側	新 健全	10	× 30	10	× 30
3	2F控え左	新	10	× 30	10	× 30
4	2F控え右	当初	10	× 30	10	× 30
5	1F受付室外側	新 雨じみの中	10	× 30	10	× 30
6	1F受付室内側	新 健全	10	× 30	10	× 30
7	2F中央右	新 雨じみの中	10	× 30	10	× 30
8	2F中央左	新 健全	10	× 30	10	× 30
9	1F受付室外側	新 雨じみの中	10	× 30	10	× 30
10	1F受付室内側	新 雨じみの中	10	× 30	10	× 30
11	1F受付室外側	新 雨じみの中	10	× 10	30	× 30
2-2	1F予備室内側	新 健全	10	× 10	10	× 10
12	1F寝室D	当初健全	10	× 30	10	× 30
13	1F廊下(南側)	当初健全	10	× 30	10	× 30
13-2	1F廊下(南側)	当初健全	10	× 30	10	× 30
14	会議所役員室	新 健全	10	× 30	10	× 30
14-2	会議所役員室	新 健全	10	× 30	10	× 30
15	2F廊下	新 健全	10	× 30	10	× 30

「新」は昭和修理時に塗り直した箇所

図 試験体①の試験を実施した部屋と試験体寸法

当初：

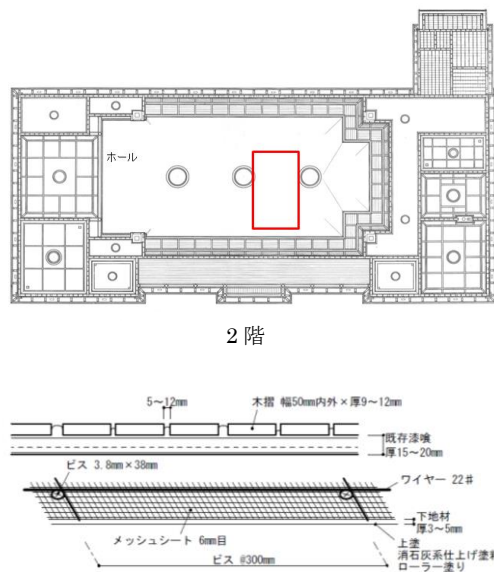
- ・ 下げ苧：本麻
- ・ 下塗：漆喰、厚さ 1～3mm 程度、木摺に摺り付けながら下げ苧を塗り込む
- ・ 斑直し～中塗：砂漆喰、層の分かれ目が不明、厚さ 10mm 程度
- ・ 上塗：漆喰、厚さ 1～1.5mm 程度
- ・ 木摺からの総厚さ 15mm 程度で仕上げている

昭和修理：

- ・ 下げ苧：マニラ麻、当初よりも密度を高めて下塗と斑直しの 2 回に分けて伏せている
- ・ 下塗：漆喰、厚さ 1～3mm 程度、木摺に摺り付けながら下げ苧を塗り込む
- ・ 斑直し：砂漆喰、厚さ 7～10mm 程度、層の分かれ目はないが、報告書では 2 回に分けて塗ったとある。下げ苧はおそらく斑直しの 1 回目に伏せ込んでいる
- ・ 鹿子摺：砂漆喰、厚さは薄く摺り付ける程度（1mm もない程度）
- ・ 中塗：砂漆喰、厚さ 6～9mm 程度
- ・ 上塗：漆喰、厚さ 1～2mm 程度
- ・ 木摺からの総厚さ 15～21mm 程度
- ・ 木摺への食い込みは、当初よりもしっかりと押し込んでいるところが多かった

< 試験②（補強材検討試験） >

2 階大広間の天井面において、既存の漆喰面（上塗面）に以下に示す仕様、手順で補強材を施し、試験を実施した。



試験体 No.	部屋	漆喰の状態と補強仕様	鉄板サイズ		切れ目寸	
			cm	cm	cm	cm
A1-1	2階ホール	新 砂漆喰+カチオン糊	10	× 30	100	× 100
A1-2	2階ホール	新 砂漆喰+カチオン糊	10	× 30	10	× 30
A2-1	2階ホール	新 砂漆喰+カチオン糊	10	× 10	40	× 40
B1-1	2階ホール	新 カチオンタイ	10	× 30	100	× 100
B1-2	2階ホール	新 カチオンタイ	10	× 30	10	× 30
B2-1	2階ホール	新 カチオンタイ	10	× 10	40	× 40
B2-2	2階ホール	新 カチオンタイ	10	× 10	40	× 40
C1-1	2階ホール	新 ショートファイラー	10	× 30	10	× 30
C1-2	2階ホール	新 ショートファイラー	10	× 30	10	× 30
C2-1	2階ホール	新 ショートファイラー	10	× 10	40	× 40
C2-2	2階ホール	新 ショートファイラー	10	× 10	40	× 40

図 試験体②の試験を実施した部屋と試験体寸法及び仕様

補強材仕様及び施工手順：

- ①既存漆喰面清掃
- ②（既存漆喰面プライマー）*実施において行い試験時は行わなかった。
- ③下地材の下こすり（下地材の仕様は試験体ごとに⑦と同様）
- ④メッシュシート貼付（6mm 目）
- ⑤皿頭ステンレスビス（ $\phi 3.8 \times L38\text{mm}$ ）@300mm
- ⑥ビス頭にステンレスワイヤー（#22）を巻き付け碁盤目状に張り渡す。
- ⑦下地材：

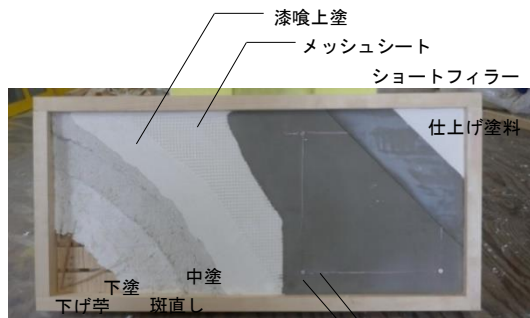
試験体 A	砂漆喰+カチオン糊
試験体 B	カチオンタイト
試験体 C	ショートファイラー

- ⑧漆喰仕上げ 厚さ 2~3mm
（実施では消石灰系仕上げ塗料をローラー仕上げ）

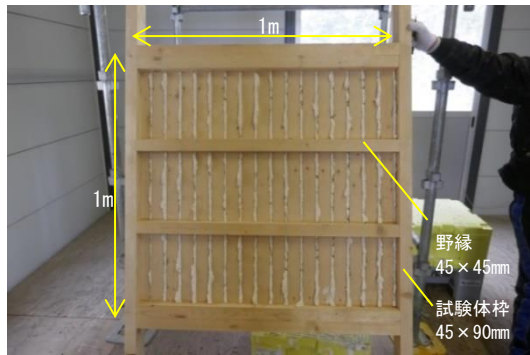
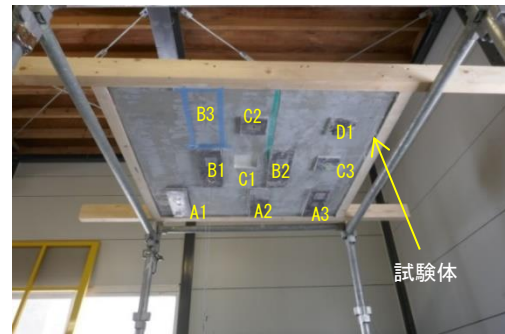
<試験③>

1m 角の試験体を作製し、補強材の効果を検証した。試験体作製時の左官作業は、単管サポート足場に試験体の木摺を上面にして設置し、立ちながら下向きで施工した。

試験体は、鉄板の大きさ、加力面と野縁との関係をパラメータにした。また、加力する鉄板面の周囲にある漆喰が加力面に引き連れられてくるかどうかを確認する試験（試験体 D1）も実施した。加力面と野縁との関係の試験では、野縁によって木摺への漆喰の喰いつき量が変わると考えられることから、野縁と野縁の間に鉄板を設置したものと、野縁に鉄板が重なるように設置したものの 2 種類を確認した。



ステンレスワイヤー
ステンレスビスφ3.8mm, L=38mm



試験体 No.	試験体大きさ	試験位置	鉄板サイズ		切れ目寸	
			cm	cm	cm	cm
A1	10X30cm角	野縁間の中央	10	30	10	30
A2	10X30cm角	野縁間の中央	10	30	10	30
A3	10X30cm角	野縁間の中央	10	30	10	30
B1	10X30cm角	野縁に重なる	10	30	10	30
B2	10X30cm角	野縁に重なる	10	30	10	30
B3-1	10X30cm角	野縁に重なる	10	30	10	30
B3-2	10X30cm角	野縁に重なる	10	30	10	30
C1	10X10cm角	野縁間の中央	10	10	10	10
C2	10X10cm角	野縁間の中央	10	10	10	10
C3	10X10cm角	野縁間の中央	10	10	10	10
D1	10X10cm角	野縁間の中央 (40cm周囲含む)	10	10	40	40

図 試験体③の試験体寸法及び仕様

●概要

旧函館公会堂の木摺漆喰天井の既存の構造性能を把握し、漆喰剥落防止のための補強方法を考案するために、以下の試験を実施した。いずれも、引張試験前（加力用鉄板を貼り付ける前）に、打診棒による打音検査及び硬度試験器による非破壊試験を実施し、非破壊試験方法についてのデータを収集した。ここでは①から③の引張試験結果を示す。

試験①（現状の漆喰試験）：

現状の木摺漆喰天井の木摺に対する漆喰の付着性能を確認するために、当初の漆喰、昭和修理にて塗り直した漆喰を対象とした漆喰の引張試験

試験②（補強材検討試験）：

2階大広間にて、漆喰落下防止のために行う補強材仕様ごとの構造性能を比較検討するために、補強材を追加した木摺漆喰天井面の漆喰の引張試験

試験③（実施補強材確認試験）：

実際に用いた補強材の構造性能を確認するために、部分模型による補強材を追加した木摺漆喰天井の漆喰の引張試験

●実験方法

いずれの試験でも、対象の天井漆喰面に 10cm×30cm、10cm×10cm の鉄板 (t=12mm) を貼り付け、水タンクを吊るし、漆喰が剥落するまでタンクに水を注入し、落下時点での水の重量を計測し載荷荷重とした。また、試験内容は、鉄板の大きさに漆喰面に切れ目を入れ周囲の漆喰と縁を切り、鉄板面の大きさでの性能を確認するものと、鉄板の大きさよりも大きな面 (30cm 角、40cm 角、1m 角) で漆喰面に切れ目を入れ、鉄板で直接荷重がかかる面以外の周囲の漆喰が引き連れられて剥落するかどうかを確認するものを実施した。



試験①



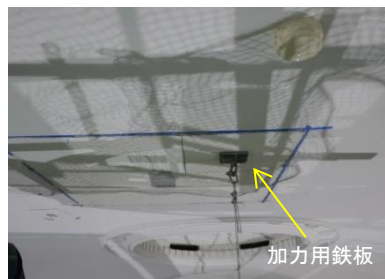
試験①（錘用水タンク）



試験①
(足場及び載荷状況)



試験②



試験②



試験③

2314 旧函館区公会堂における木摺漆喰天井の現状及び補強の引張試験
文化財建造物構造実験データ集

●特性値

表 試験結果（試験①（現状の漆喰試験））

試験体 No.	部屋	漆喰の状態	鉄板サイズ		切れ目枠		鉄板面積 cm ²	切れ目面積 cm ²	載荷荷重		応力度 (荷重/切れ目面積) N/mm ²	備考		
			cm	cm	cm	cm			kgf	kN				
1	1F予備室外側	新 ひびまたぎ	10	×	30	10	×	30	300	300	0.0	0.00	0.0000	
2	1F予備室内側	新 健全	10	×	30	10	×	30	300	300	0.0	0.00	0.0000	
3	2F控え左	新	10	×	30	10	×	30	300	300	19.0	0.19	0.0063	
4	2F控え右	当初	10	×	30	10	×	30	300	300	0.0	0.00	0.0000	
5	1F受付室外側	新 雨じみの中	10	×	30	10	×	30	300	300	0.0	0.00	0.0000	
6	1F受付室内側	新 健全	10	×	30	10	×	30	300	300	18.9	0.19	0.0062	木摺と平行で貼り付けていた
7	2F中央右	新 雨じみの中	10	×	30	10	×	30	300	300	0.0	0.00	0.0000	
8	2F中央左	新 健全	10	×	30	10	×	30	300	300	6.2	0.06	0.0020	
9	1F受付室外側	新 雨じみの中	10	×	30	10	×	30	300	300	0.0	0.00	0.0000	
10	1F受付室内側	新 雨じみの中	10	×	30	10	×	30	300	300	11.3	0.11	0.0037	
11	1F受付室外側	新 雨じみの中	10	×	10	30	×	30	300	900	6.5	0.06	0.0021	
2-2	1F予備室内側	新 健全	10	×	10	10	×	10	100	100	7.8	0.08	0.0077	中塗に追加で貼付
12	1F寝室D	当初 健全	10	×	30	10	×	30	300	300	12.5	0.12	0.0041	
13	1F廊下(南側)	当初 健全	10	×	30	10	×	30	300	300	0.0	0.00	0.0000	上面のペンキで外れた
13-2	1F廊下(南側)	当初 健全	10	×	30	10	×	30	300	300	26.9	0.27	0.0088	ペンキで外れた後に再試験
14	会議所役員室	新 健全	10	×	30	10	×	30	300	300	0.0	0.00	0.0000	中塗で水加力前に剥離
14-2	会議所役員室	新 健全	10	×	30	10	×	30	300	300	24.0	0.24	0.0079	中塗で落下後、中塗面で再試験
15	2F廊下	新 健全	10	×	30	10	×	30	300	300	4.8	0.05	0.0016	

「新」は昭和修理時に塗り直した箇所

0(kgf)は鉄板重量で(水加力前に)落下

表 試験結果（試験②（補強材検討試験））

試験体 No.	部屋	漆喰の状態と補強仕様	鉄板サイズ		切れ目枠		鉄板面積 cm ²	切れ目面積 cm ²	合計重量		応力度 N/mm ²	備考		
			cm	cm	cm	cm			kgf	kN				
A1-1	2階ホール	新 砂漆喰+カチオン糊	10	×	30	100	×	100	300	10000	93	0.9	0.0009	1m角の切目で剥落せず
A1-2	2階ホール	新 砂漆喰+カチオン糊	10	×	30	10	×	30	300	300	13	0.1	0.0042	A1-1が落下しなかったため10×30cm角で再試験
A2-1	2階ホール	新 砂漆喰+カチオン糊	10	×	10	40	×	40	100	1600	69	0.7	0.0043	補強ネットの界面で約10cm角剥落
B1-1	2階ホール	新 カチオンタイト	10	×	30	100	×	100	300	10000	39	0.4	0.0004	補強材の上面で落下
B1-2	2階ホール	新 カチオンタイト	10	×	30	10	×	30	300	300	6	0.1	0.0020	B1-1の剥落面を利用して再試験
B2-1	2階ホール	新 カチオンタイト	10	×	10	40	×	40	100	1600	45	0.4	0.0027	補強材の上面で落下
B2-2	2階ホール	新 カチオンタイト	10	×	10	40	×	40	100	1600	46	0.5	0.0028	B2-1の剥落面を利用して再試験
C1-1	2階ホール	新 ショートファイラー	10	×	30	10	×	30	300	300	0	0.0	0.0000	切り込み途中に接着面で落下
C1-2	2階ホール	新 ショートファイラー	10	×	30	10	×	30	300	300	16	0.2	0.0051	C1-1が試験前落下のため再試験
C2-1	2階ホール	新 ショートファイラー	10	×	10	40	×	40	100	1600	50	0.5	0.0031	表面で剥落
C2-2	2階ホール	新 ショートファイラー	10	×	10	40	×	40	100	1600	96	0.9	0.0059	C2-1が表面で剥落したため再試験

表 試験結果（試験③（実施補強材確認試験））

試験体 No.	試験体大きさ	試験位置	鉄板サイズ		切れ目枠		鉄板面積		切れ目面積		合計重量		応力度 (重量/切れ目面積) N/mm ²	備考
			cm	cm	cm	cm	cm ²	cm ²	kgf	kN				
A1	10X30cm角	野線間の中央	10	× 30	10	× 30	300	300	11	0.11	0.0036	木摺面＋生漆喰の後の斑直して剥落		
A2	10X30cm角	野線間の中央	10	× 30	10	× 30	300	300	17	0.17	0.0055	木摺面＋生漆喰の後の斑直して剥落		
A3	10X30cm角	野線間の中央	10	× 30	10	× 30	300	300	19	0.18	0.0062	生漆喰の後の斑直して剥落		
B1	10X30cm角	野線に重なる	10	× 30	10	× 30	300	300	7	0.07	0.0023	木摺面＋生漆喰の後の斑直して剥落		
B2	10X30cm角	野線に重なる	10	× 30	10	× 30	300	300	35	0.34	0.0115	ワイヤーを留めるビスが鉄板を抑えていた		
B3-1	10X30cm角	野線に重なる	10	× 30	10	× 30	300	300	9	0.09	0.0031	B3-1ビスワイヤーで鉄板が残ったため、 B3-2として続けて載荷した		
B3-2	10X30cm角	野線に重なる	10	× 30	10	× 30	300	300	31	0.30	0.0101	B3-1で残った後に載荷		
C1	10X10cm角	野線間の中央	10	× 10	10	× 10	100	100	-	-	-	切り込み途中に接着面で落下		
C2	10X10cm角	野線間の中央	10	× 10	10	× 10	100	100	4	0.04	0.0037	木摺間の漆喰が2本抜け落ちた		
C3	10X10cm角	野線間の中央	10	× 10	10	× 10	100	100	10	0.10	0.0100	木摺間の漆喰が2本抜け落ちた		
D1	10X10cm角	野線間の中央 (40cm周囲含む)	10	× 10	40	× 40	100	1600	109	1.07	(※)0.0067	※応力度は切目に隣接試験体の鉄板が少し重なったため参考値		

●荷重変形

—

●破壊形状

試験①（現状の漆喰試験）

雨染みの中で実施した試験では、健全部分と比較し、全体的に付着応力度が低い傾向が見られた。しかし、健全部分でも一部の試験箇所では加力前に鉄板で剥離する箇所も見られた。昭和修理時に塗り直した部分は、中塗で剥離するものが多く見られ、試験後に漆喰の状況を確認すると、中塗で剥離している層が確認された。雨漏りなどで下塗の喰いつきが悪くなったと考えられる箇所でも、この中塗の層で剥落するものも見られた。

一方で、当初の漆喰には、昭和修理時に比べると中塗で剥離している層は少なかった。破壊モードも、昭和修理時の化粧直し塗料で剥がれたものもあったが、その後の再加力では木摺との界面で剥落が生じた。

試験②（補強材検討試験）

試験体 A では 10cm×30cm 角の加力面に対して 1m 各の切れ目を入れたものは、約 100kgf を載荷しても落下しなかったため、10cm×30cm の大きさで切れ目を入れて再加力した。

10cm×30cm 角の試験体では、載荷荷重は試験体 B, A, C の順で高くなった。

10cm×10cm（40cm 角の切れ目）角の試験体では、載荷荷重は試験体 B, A, C の順で高くなった。試験体 A は 10cm 角で補強材上の表面の部分で剥落し、試験体 B は、約 40cm 角で剥落し加力面の周囲の漆喰を引き連れて剥落した。試験体 C も加力面の周囲の漆喰を引き連れて下塗界面で剥がれ鉄板が落下したが、ビスで留められている箇所は、下塗層が

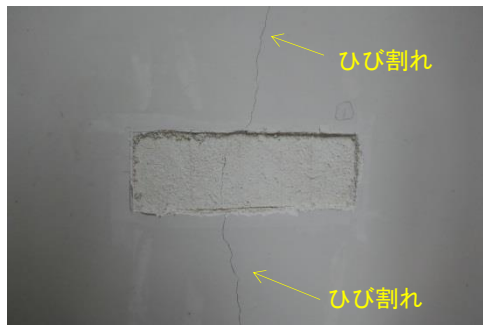
ら層厚全体でビスを貫通することはなく、木摺面から完全に漆喰面全体が剥落するものはなかった。

試験③（実施補強材確認試験）

木摺面＋下塗漆喰の後の斑直しで剥落が確認された。

10cm×30cm 角の試験では、木摺面と下塗漆喰の後の斑直し面が混在しての破壊モードが見られたが、10cm×10cm 角の試験では、木摺面のみで破壊しており、破壊モードに違いが見られた。

加力面の周囲が引き連れられてくるかどうかの試験（試験体 D1）では、最終的には、鉄板が表面の仕上げ面で剥落し、メッシュシートと中塗の界面が約 40cm 角で剥がれ、10cm 角の鉄板が貼られた箇所のみ中塗表層が剥離した。ビスは抜け落ちることなく、木摺と一体になっている漆喰面に残り、剥離した層はステンレスワイヤーで残った層と繋がった状態で、完全に下へ落下することはなかった。



試験体 1（加力後）



試験体 2（中塗りで剥離後、中塗面にて再試験した後の様子）



試験体 3（加力後の天井面）



試験体 5（加力後）

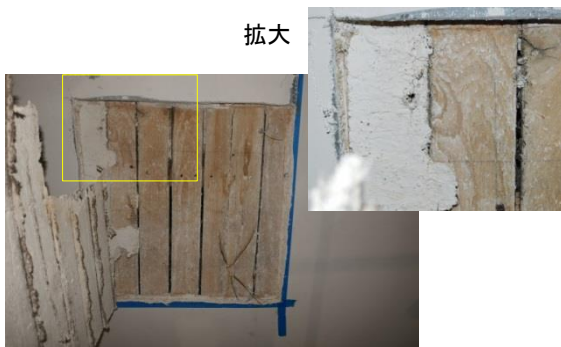




試験体 A2-1 (剥落後)



試験体 A2-1 (剥落後鉄板側)



試験体 B2-2 (剥落後)



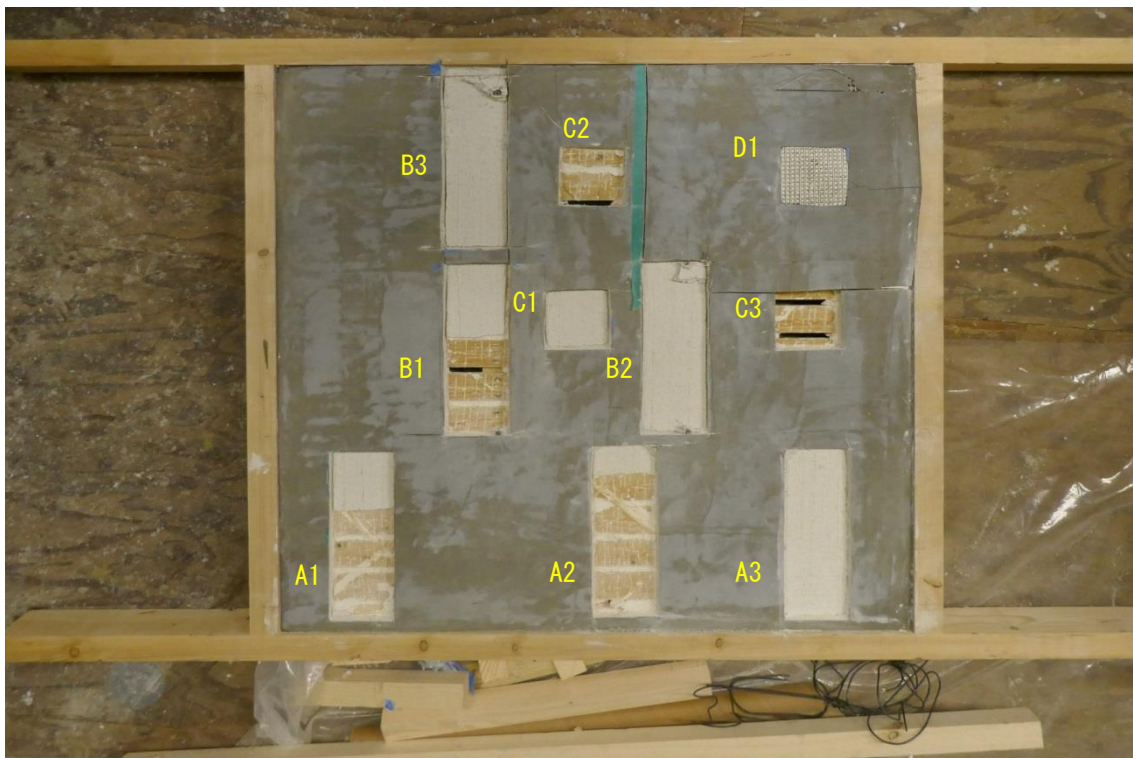
試験体 C1-2 (剥落後)



試験体 C2-1 (剥落後)



試験体 C2-1 (剥落後ビスの様子)



試験体全体（剥落后）



試験体 B1（剥落后）



試験体 C3（剥落后鉄板側）



試験体 D1（剥落后）



試験体 D1（剥落后ビスの様子）

●理論式

—

●モデル化

—

●考察

試験①（現状の漆喰試験）：

木摺間は 5～12mm と木摺間隔が少ない箇所もあり、木摺裏側の漆喰は多少飛び出すか飛び出ない程度で、木摺への漆喰の喰いつきは十分ではなかったと考えられる。そのため、木摺と漆喰下塗面の界面で剥離するものが多かったと思われる。

試験②（補強材検討試験）

いずれの試験体も斑直しと下塗の界面で剥落した。ネット部分はビス留め部分がないところだったため、ネットごと一体となり、一番弱い界面で剥落したと見られる。

試験③（実施補強材確認試験）：

同じ破壊モード（木摺面＋下塗漆喰の後の斑直しで剥落したもの）での耐力を比較すると、野縁間の中央で重なった試験体の方が耐力が低くなる傾向が見られた。野縁によって木摺裏側への喰いつきが減ることが影響していると考えられる。

今回の試験では、試験体が 1 体のみであることや、引張力のみを加えた試験であり地震時の破壊モードと異なる可能性はあるが、ビスは木摺まで留められており、ビスが木摺から抜けなければ、ステンレスワイヤーとメッシュシートは漆喰剥落防止に一定の効果があると考えられる。