

茅勾配と改質処理を施した茅部材の含水特性とカビ劣化性状の評価

茅素材 カビ 吸水率 腐食

野村奈緒^{*1}, 田村雅紀^{*2}, 後藤治^{*3}, 山本博一^{*4}

1. はじめに

日本の伝統建築として自然材料を利用して建てられてきた茅葺き建築は、現在後継者不足や良質な材料の減少などの多くの問題を抱えている。茅葺き屋根の寿命は 10~30 年と言われているが、傷んだ部分には部分的に葺き替える方法が取られている。しかし、茅葺きの葺き替えには多くの費用と手間がかかる。

2011 年 3 月 11 日に発生した、東日本大震災によってもたらされた最大の被害である津波により、東北地方の茅場に多くの被害が出たと言われている。そこで研究 1 では、震災の被害を受けた茅(ヨシ)の産地(石巻市)の調査を行った。今後の茅素材の安定した供給体制への被害が生じており、本研究では限られた量が供給された状況における茅素材の様々な劣化抵抗を向上させるための動機ともなってくる。既往の研究²⁾³⁾では、茅葺き建築の腐食に関して勾配の違いによる降雨時の内部温湿度変化についての研究が行われた。本研究ではそこで得られた結果をもとに、温湿度変化によるカビの繁殖と茅素材との関係性(研究 2, 研究 3)について実験を通して研究を行う。また、研究 3 では茅素材が湿度・角度・改質処理によってどのような含水特性が生じるのか実験を行い、数式モデルから係数を求め実際の数式を導く。本研究の目的として、茅葺き建築の茅がどのような条件下で腐食するのかということを実験から評価し、様々な観点から茅葺き屋根の長期耐用化を目指す。

2. 研究概要

2.1 東日本大震災による石巻市被害状況の調査(研究 1)

宮城県石巻市は日本で有数のヨシの原産地である。2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災による沿岸部地域は津波により多くの被害が出た。宮城県だけで死者は 9000 人以上にもものぼり、石巻市ではそのうちの 3 分の 1 のおよそ 3000 人もの方々が亡くなられた。そこで、実際に被災地に足を運び、宮城県石巻市北上町橋浦にある茅葺き材生産業が保有するヨシ原の調査とその周辺(石巻市内)の調査を行った。写真 a), b) は、北上川のすぐそばにある石巻市福地(ふくじ)という場所で見た茅葺き建築である。今回の震災による津波で流されてきたものである。建物は全壊していたが、屋根部分は残っていた。茅(ヨシ)の屋根の内側の部分の変化はなかったが、先の 5 cm 程度は白くなっていた。この茅をデジタルマイクロスコップで観察を行ったところ、表 2 のような結果が見られた。左写真の白い部分は海水による塩分であると考えられる。

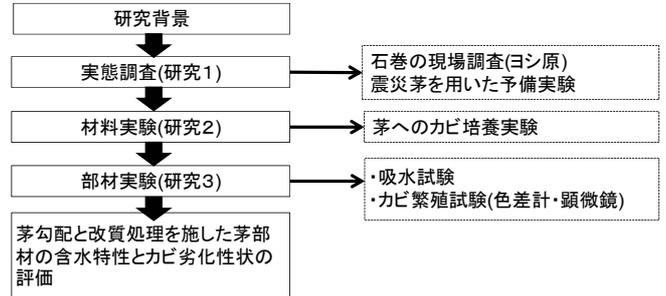


図 1 研究の流れ

表 1 被災地の被害調査概要

項目	内容
調査実施	2011 年 8 月 10 日(水)(震災後 5 か月)
場所	宮城県石巻市福地
目的	茅素材の安定供給が懸念されている生産地域における課題を抽出する
調査対象	全国の茅素材の原料拠点である北上川沿いのヨシ原(その他震災・津波による被害と思われるもの)
<p>a) 津波の被害を受けた茅葺き屋根 b) 写真 a) のヨシ側面</p>	

表 2 震災被害を受けたヨシの顕微鏡による観察画像と今後の課題

写真	観察画像	
詳細	屋根表面の、白くなっていたヨシ。観察したところ塩の結晶のようなものが見られた。(×200)	上の写真と同じヨシで白くなっていない黒い模様が見られた。(×200)
課題	塩分浸透した茅古材や新材の腐食劣化抵抗性を、温湿度、勾配、銅素材の付与等による改質対策による効果検証	

表 3 使用材料

材料	記号	内容
ススキ	S	宮城県石巻市(冬季刈取り) 平均密度(g/cm ³): 乾燥時 0.31, 湿潤時 0.51
ヨシ	Y	宮城県石巻市(冬季刈取り) 平均密度(g/cm ³): 乾燥時 0.22, 湿潤時 0.49
銅網	a・n	0.28mm×16mm メッシュ(改質処理)

(備考) 平均密度は乾燥時と湿潤時の空隙を含めたかさ密度で、参考文献³⁾より引用

表 4 吸水試験(研究 3)の実験要因と水準

要因	水準
茅角度	90°, 45°
温度環境	25°C(±2°C)
湿度環境	90%, 50%
改質処理	銅網有り, 銅網無し

(備考) 例) 記号は Y90 n 90→ヨシ/湿度 90%/網無し/角度 90° とする。

*1 工学院大学建築系学科・学部生 *2 工学院大学建築学部・准教授 *3 工学院大学建築学部教授 *4 東京大学教授

2.2 茅素材へのカビ培養実験(研究2)

2.2.1 カビの基礎的性質

カビとは、酵母、キノコを含めて真菌と呼ばれる微生物の一群である。カビは従属栄養微生物であり葉緑体を持っておらず、炭素源を有機物から獲得するためセルロース、ヘミルロースなど繊維質や糖質及びタンパク質を分解し、利用(資化)する。現在、カビは80,000種以上確認されている。⁴⁾カビの育成環境条件としては、①水分(湿度)、②温度(25~28℃)、③栄養(繊維質、糖質、タンパク質)、④酸素、⑤pHが挙げられる。本研究の実験では、湿度に注目して実験を行う。

2.2.2 カビ培養実験

茅葺き屋根建築は植物材料であるため、カビが好む栄養質をもともと備えている。試験方法は、JIS Z 2911に基づいて行う。ここでは、茅素材に対してカビ生えるのか、またどのように繁殖するのかということについて検討を行う。まずPDA培地をエアサンプラーに設置し、屋外で250Lの空気を採取した。次に、そのPDA培地を室内(温度26℃、湿度40%)で5日間培養を行った。5日間培養したものに滅菌希釈液を入れカビを採取し、そのカビを綿棒でY・Sそれぞれに移し、恒温槽(25℃)で2週間培養を行った。2週間、恒温槽で培養を行った結果、Y・Sにカビが生えることが確認できた。塩を付着させたYには健全なY・Sに比べて、カビの繁殖が少ない。この実験結果を基に、研究3を行う。

2.3 茅素材を用いた吸水特性(研究3)

2.3.1 吸水試験と結果

実際の茅葺き屋根を部材モデルで再現することで吸水試験を行った。まず、YとSを長さ約100mm、直径55mmにそれぞれ束ねたもの(図2a)を水(1cm程度)を入れた容器に設置する。その際、YとSの束からそれぞれ断面が大・中・小の3段階のものを3本ずつ無作為に選び出し、印を付けておく。1時間ごとに束の重量と1本ずつ重量をそれぞれ量る。茅葺き屋根には、吸湿性に優れているという利点があり、Y・S共に多くの水を吸収する。実験結果ではYに比べてSの方が吸水率が高い。これは、Yの茎には燈心がなく空洞な筒状構造に対してSの茎にはスポンジ状の白い海面組織(燈心)があるという構造であることから言える。表7では、実験結果から導き出したa・b・c・d値と、実験値と理論値との相関係数(R²)を示している。実験結果の代表例として、ヨシ90%網無し90°の長期と短期をグラフ化したものを図3で示している。そして、a)短期(6h)、b)長期(150h)それぞれの吸水結果を図4で示す。ただし、ロジスティック成長率の関数⁵⁾をモデルとした吸水特性評価式が実験値とよい対応を示していることが確認できたため、図4では理論値のみをグラフ化したものを記載する。また比較対象として4つのデータを太線で示している。これにより、降雨が生じた特定の湿度環境における茅素材の含水

表5 実験の項目と方法

項目	方法	
研究2	カビ種類: クラドスポリウム, フザリウム 他	
	使用培地: PDA 培地 (ポテトデキストロース寒天培地)	
	培養条件: 培養期間: 2週間, 温度: 25±2℃ カビ発生評価: 目視, 顕微鏡	
研究3	吸水試験	束にした茅を水につけて一時間ごとに重さを測定
	カビ繁殖試験	吸水試験後, 15日間カビの繁殖を観察する。ただし, 環境条件等は吸水試験と同様である。
	色彩値測定 (JIS Z8730)	色差計により茅素材表面のL*a*b*値を測定

表6 吸水モデル式のパラメーター説明

項目	内容
a 値 (有効限界吸水率(%))	茅素材の種類, 勾配, 湿度, 一定期間により決定される有効限界値
b 値 (吸水分固定化係数)	茅素材が成長する過程で組織に固定される吸水分 (備考) 伐採し乾燥させた状態を1とする
c 値 (長期吸水速度係数)	降雨中期又は長期における単位時間当たりの吸水率に及ぼす係数
d 値 (初期吸水速度係数)	降雨初期における単位時間当たりの吸水率に及ぼす係数 (反比例: 大きい程, 吸水速度は遅い)

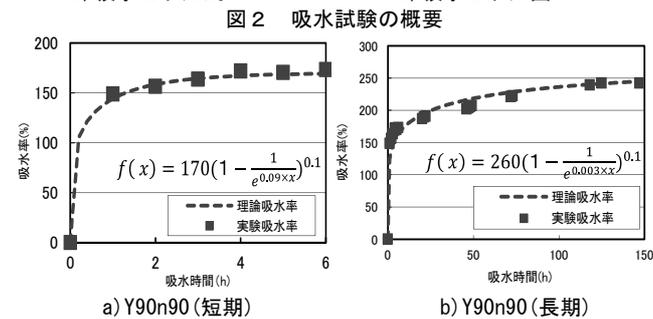
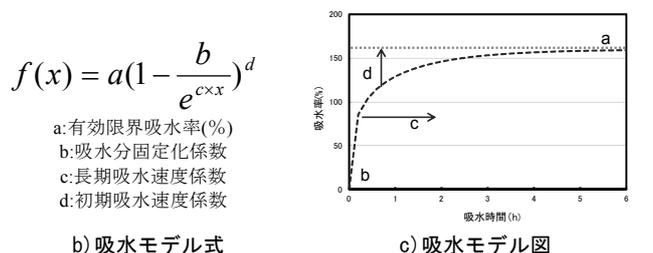
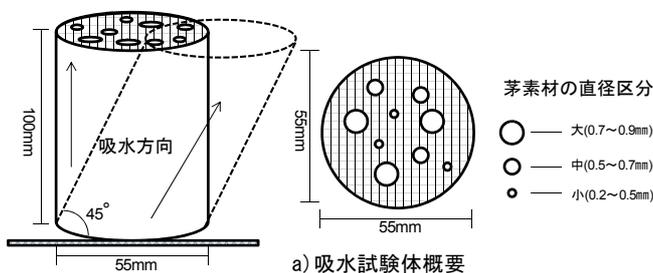
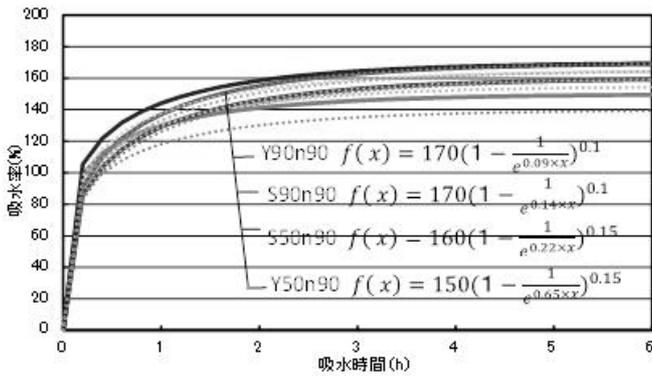


図2 吸水試験の概要

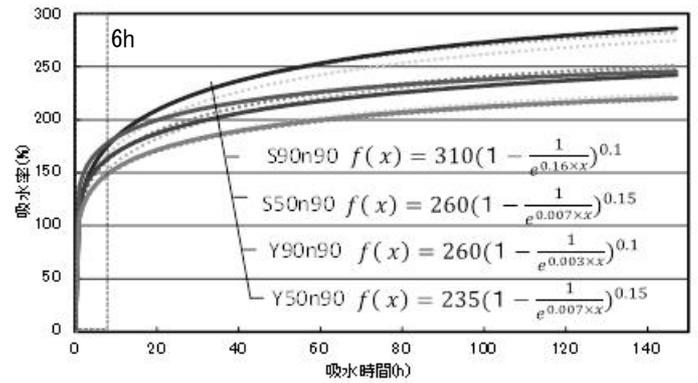
ヨシ (Y)	Y50a90		Y50n90		Y90a45		Y90n45		Y90a90		Y90n90	
	長期	短期										
a 値	240	150	235	150	270	165	270	165	270	170	260	170
c 値	0.030	0.320	0.007	0.650	0.001	0.110	0.002	0.230	0.006	0.110	0.003	0.090
d 値	0.15	0.15	0.15	0.15	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
R ²	0.996	0.999	0.997	1.000	0.992	0.999	0.970	1.000	0.991	0.999	0.993	1.000
ススキ (S)	S50a90		S50n90		S90a45		S90n45		S90a90		S90n90	
	長期	短期										
a 値	300	170	260	160	300	160	300	160	310	170	310	170
c 値	0.003	0.640	0.007	0.220	0.007	0.320	0.002	0.300	0.002	0.180	0.160	0.140
d 値	0.20	0.20	0.15	0.15	0.20	0.20	0.15	0.15	0.15	0.15	0.10	0.10
R ²	0.977	0.999	0.997	0.999	0.995	0.998	0.994	1.000	0.990	1.000	0.999	0.999

備考) b 値は実験の結果より全て1.0とし、短期吸水(0~6時間)、長期吸水(0~150時間)とする。また、R²値は相関係数とする。

表7 吸水試験結果に基づく理論式のパラメーター結果



a) ヨシ・スキの短期吸水率変化 (6h)



b) ヨシ・スキの長期吸水率変化 (150h)

図4 湿度・角度の違いによる茅部材の吸水率推定式

特性を予測することが可能となる。また、図5では図4の結果を基にa・c・d値それぞれにおける湿度と角度による影響の違いを長期・短期共に示している。降雨後、どのくらいの時間が経過した後どれくらいの吸水状態であるのかを推測する必要があることから、吸水量の予測を行う。なお、本試験においてはカビの繁殖の程度の予測にも繋がる。

2.3.2 カビ劣化制御のための吸水量予測

茅葺屋根が痛む原因の一つとして降雨によって茅に水が浸透することが考えられる。そこで実際の降雨が生じた場合の茅材(Y・S)が茅葺きの角度により、どのように吸水性状が違うのかということ、長期的に予測する必要がある。そのために茅材の吸水性状が茅の寸法特性と時間に依存した特性をもつことを踏まえて、短期及び長期における吸水率を予測できるようにする。一般的に、植生をはじめとする有機体(カビを含む)が増殖する数式モデルは指数関数的成長モデルによる既往式で表現されるが空間や大きさに制限がある場合、時間的な限界範囲が存在する。そのことを踏まえ、最終的に限界量で平衡に達する場合の吸水性状を評価するためには、吸水量という個体数量が時間により制約を受ける関数で表現する必要があるため、既往モデルであるロジスティック成長率の関数をもとに図2のb)式のモデル式を基本式とした。図2のc)はb)式をグラフ化しモデル図としたものである。

2.4 茅勾配と改質処理によるカビ繁殖特性(研究3)

2.4.1 カビ繁殖実験

2.3の吸水試験を行った試験体を吸水試験終了後(平衡状態)、吸水試験時の温度・湿度を保った状態で15日間カビを繁殖させ、観察を行った。カビによる腐食の計測方法は、色差計による色の変化の計測と顕微鏡によるカビの観察、また目視による3つの方法で行った。試験体を十分に乾燥させた後、束のY・Sをそれぞれ解き、断面の大・中・小のものに分け、1本ずつを縦半分に分断し並べたもの(図6b))を色差計(図6a))により色を計った。また比較対象と

して、健全なY・Sにおいても同様の計測を行った。

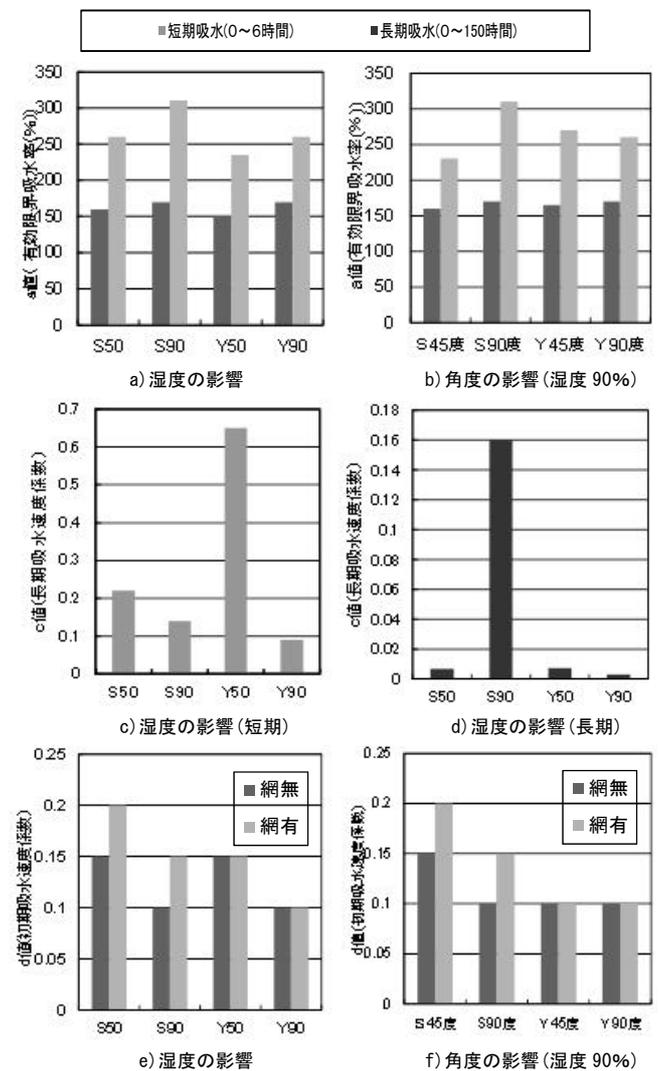


図5 吸水試験結果による理論式定数の特性(b値は1で一定)

2.4.2 色差計による茅素材の腐食度評価

色差計の結果の評価はJIS Z 8730「色の表示方法—物体色差」に基づいて行った。色差計による計測の結果については、茅断面の大きさごとによるL*値の比較として、吸水水面上部10cm, 6cm, 2cmの3か所を比較対象とし、図7で

示している。健全な Y・S の L*値を 100% とし、それに対してカビ繁殖後の Y・S の L*値が何% であるかを数値化したものを図中に示している。健全な部材に比べて、吸水試験後の L*は、全体的に低下する傾向にあるが、Y より S の方が低下度は大きくなる。つまり、吸水率と L*値の関係はカビ繁殖に関係しているといえる。

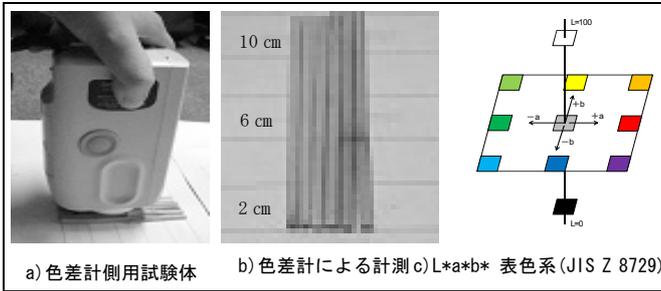


図6 腐食によるカビ劣化性状の評価

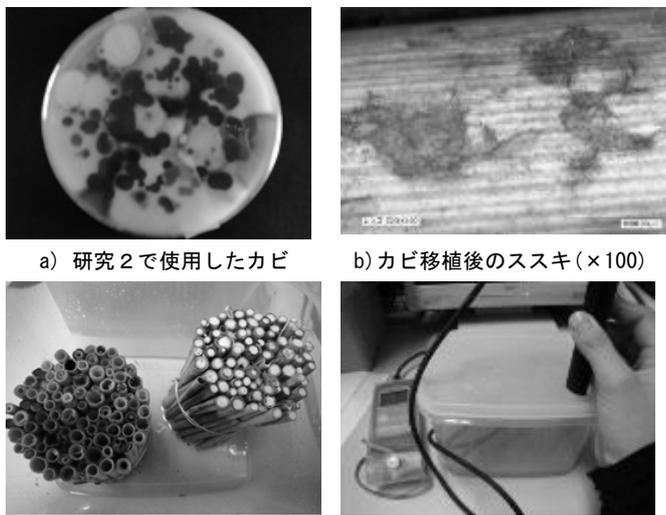


写真1 カビ培養実験と吸水試験

3. まとめ

- 1) 吸水試験の結果としては、短期では有効限界吸水率の違いは見られない。Y は角度による影響が見られず、S は 45 度 のとき初期吸水速度は小さく有効限界吸水率も小さい傾向にある。湿度が高いと有効限界吸水率が高く、初期吸水速度は大きい傾向。また有効限界吸水率は短期に比べ長期の方が明確な差が見られた。
- 2) カビ繁殖は目視の結果では、湿度 90% 角度 90°、90% 45°、50% 90° の順でカビやすい。湿度 90% では試験体の周囲、湿度 50% では試験体の内部に多くのカビが見られたことが特徴的である。
- 3) 色差計測結果(カビ劣化状況)
L*値はY より S の方が下がったため劣化が大きい傾向にあることが分かった。
- 4) 吸水率が高くなるほど、L*値が低くなることからカビ繁殖の可能性が大きくなる。

参考文献

- 1) 安藤邦博, 民家造, 学芸出版社, 2009
- 2) 石川, 草葺き屋根層内部の雨水の浸透特性に関する実験 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2001 年
- 3) 石塚裕実他, 茅勾配を変化させた伝統的茅葺き屋根の内部温湿度分布と乾燥状態の評価, 日本建築士学会論文, 2011
- 4) 文部科学省, カビ対策マニュアル基礎編
- 5) 赤尾健一, 地球環境と環境経済学, 成文堂, 1997 年

謝辞

本研究の実施にあたり、国立科学保健院関係各位、工学院大学建築学部柳宇教授、後藤治教授、熊谷産業各位、田揚裕子氏に助力を得た。また本研究は、工学院大学 UDM・PJ 研究、H23 年度科研費(基盤 A) 文化的価値のある伝統的木造建築を維持するための植物性資材確保の基礎的要件の解明(代表: 山本博一東京大学教授)の一部である。

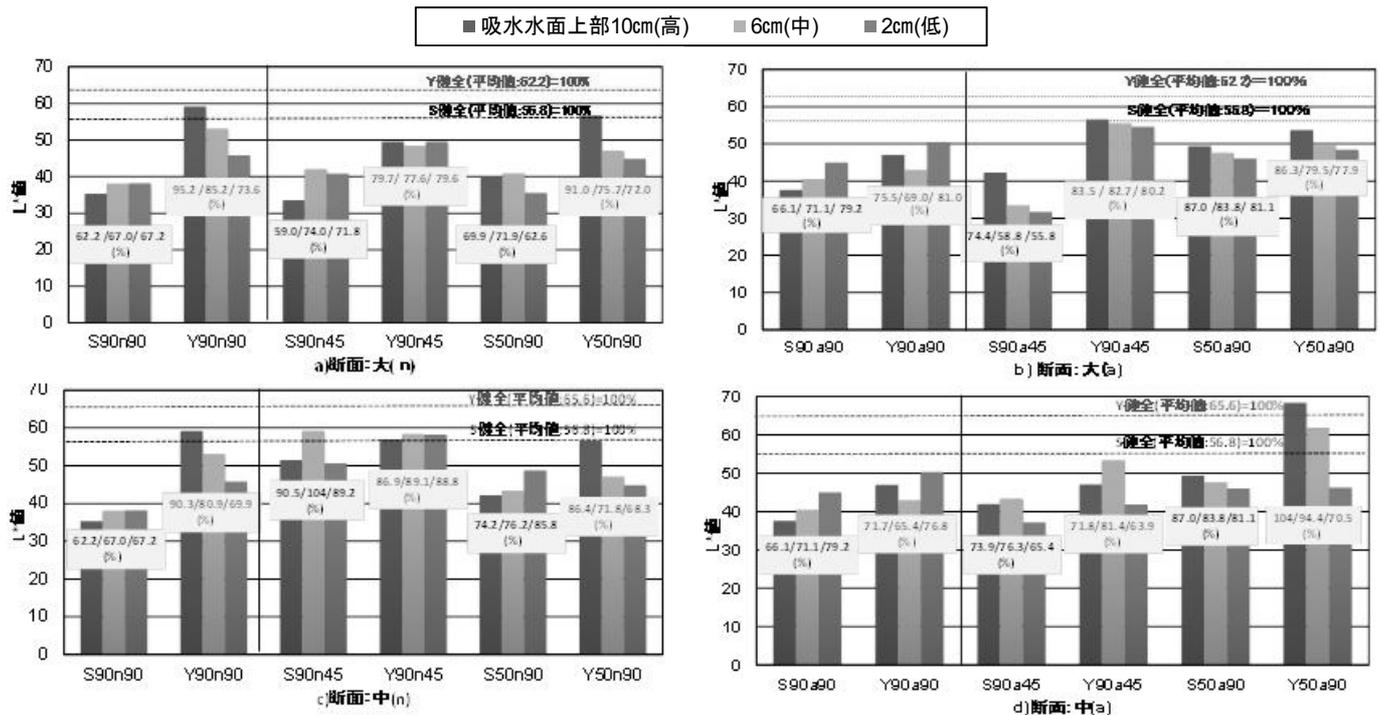


図7 カビ劣化による茅断面大きさごとによる L*値の比較(棒グラフ値は健全 100% に対する L*低下度を示す)