平成８年度　農林水産省補助事業
調査・技術指導事業

調　査　事　業　報　告　書

〈軸組構造体の変形挙動調査報告書〉

平成９年３月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

調査・研究要綱

1　目　的

近年、木造住宅に使用される構造材における人工乾燥材の使用量は、工期の短縮化、大工技能者の減少、プレカット材の普及等から多少は伸びてきているものの、その普及状況は極めて低位にある。これは、乾燥コストの問題もさることながら、乾燥材を実際に使用した場合の構造上のメリットについてのデータ・情報が少ないことも一因になっていると思われる。

そこで、ここでは乾燥材と未乾燥材の構造体としての実用上の比較を行うため、実際に構造体を組み、乾燥にともなう構造体の変形挙動を把握することを目的とした試験を行うことする。

2　組　織

調査・研究は以下の委員構成により実施した。

委員長　有　馬　孝　禮（東京大学大学院大学農業生命科学研究科　教授）
委　員　五十田　　博　（信州大学工学部）
〃　　武　田　孝　志（信州大学農学部）
〃　　中　島　史　郎（建設省建築研究所第２研究部　研究員）
〃　　久　田　卓　興（森林総合研究所木材利用部　加工技術科長）

4　結果の概要（要約、キーワード）

本研究では、軸組構造体のクリープ変形挙動における乾燥材と未乾燥材の差を明らかにするため、「乾燥材のみ」と「未乾燥材のみ」からなる軸組構造体２体について、長期設計加重相当の積載加重による曲げクリープ試験を行った。また、クリープ試験終了後、水平火力試験、鉛直加力試験を行った。その結果次のことが明らかになった。
①除加直前（８７８日）の中央たわみ比、未乾燥材は乾燥材の1.6 倍、②クリープたわみにおける積載１年以降の乾燥材と未乾燥材の差は温度に対して直線関係、③水平加力に対するせん断性能は乾燥材と未乾燥材の差は小さい、④鉛直加力に対する梁と通し柱の接合部の変形は乾燥材の方が小さかった。

＜キーワード＞
軸組構造体、クリープ試験、乾燥材、未乾燥材、水平加力試験、鉛直加力試験、中央たわみ比、温湿度変化

この調査は、株式会社中国木材の手厚いご支援と三栄ハウス株式会社のご協力をいただいて実現したものです。ここに両社に対し心から謝意を表する次第です。

軸組構造体の変形挙動調査報告書　目次

1　はじめに…… 1

2　軸組構造体の変形挙動…… 3
2．1　中央たわみ比の推移…… 3
2．2　対照試験体の含水率、重量及び縦振動E…… 5
2．3　背割り寸法の変化…… 6
2．4　中央たわみ比に及ぼす温湿度変化の影響…… 10

2．5　補正中央たわみ比…… 15

3　水平加力試験…… 29
3．1　試験方法…… 29
3．2　軸組の変形…… 29
3．3　力の伝達…… 30

4　鉛直加力試験…… 36

4．1　試験方法…… 36
4．2　試験結果…… 36
4．3　試験結果乾燥材と未乾燥材の比較…… 37

5　まとめ…… 48

資料1　軸組構造体のクリープ変形挙動…… 50

資料2　軸組構造体のクリープ変形挙動（Ⅱ）
季節間のクリープたわみの変動…… 52

資料3　軸組構造体のクリープ変形挙動（Ⅲ）
接合部のクリープたわみに及ぼす影響…… 54

軸組構造体の変形挙動調査事業報告書（平成８年度）

１．はじめに

住宅の横架材に未乾燥材を使用する場合，クリープたわみに加え，梁背の乾燥収縮によって床面のひずみなどの支障が生じることがある。これまで，部材のクリープ変形挙動についての研究は数多く行われてきているが，軸組構造体のクリープ変形挙動について人工乾燥材と未乾燥材を比較した例は極めて少ない。

そこで，軸組構造体のクリープ変形挙動における乾燥材と未乾燥材の差異を明らかにするため，「乾燥材のみ」と「未乾燥材のみ」からなる軸組構造体の計２体について，長期設計荷重相当の積載荷重による曲げクリープ試験を行った。

なお，本実験の経過の詳細については，平成６年度及び７年度の「農林水産省補助事業，調査・技術指導事業」の「軸組構造体の変形挙動調査報告書」においてすでに報告されているので，本報告では平成８年度の成果を中心に述べる。

実験の経過は以下のとおりである。

＜経過＞

平成６年８月２３日	部材測定（寸法，重量，縦振動Ｅ等），三栄ハウス工場
８月２９日	クリープ試験開始（載荷）
平成９年１月２３日	除荷
３月　５日	測定終了
１２日	水平加力試験
１３日	鉛直加力試験

ここで，水平加力試験と鉛直加力試験は，クリープ試験後における接合部の変形能について検証するために行った。水平加力試験は試験体２体を緊結して互いに水平方向に静的加力を加えた試験であり，鉛直加力試験は地面を反力にして上向きに梁に対して静的加力を加えた試験である。

また，軸組構造体の試験体を図１に示す。

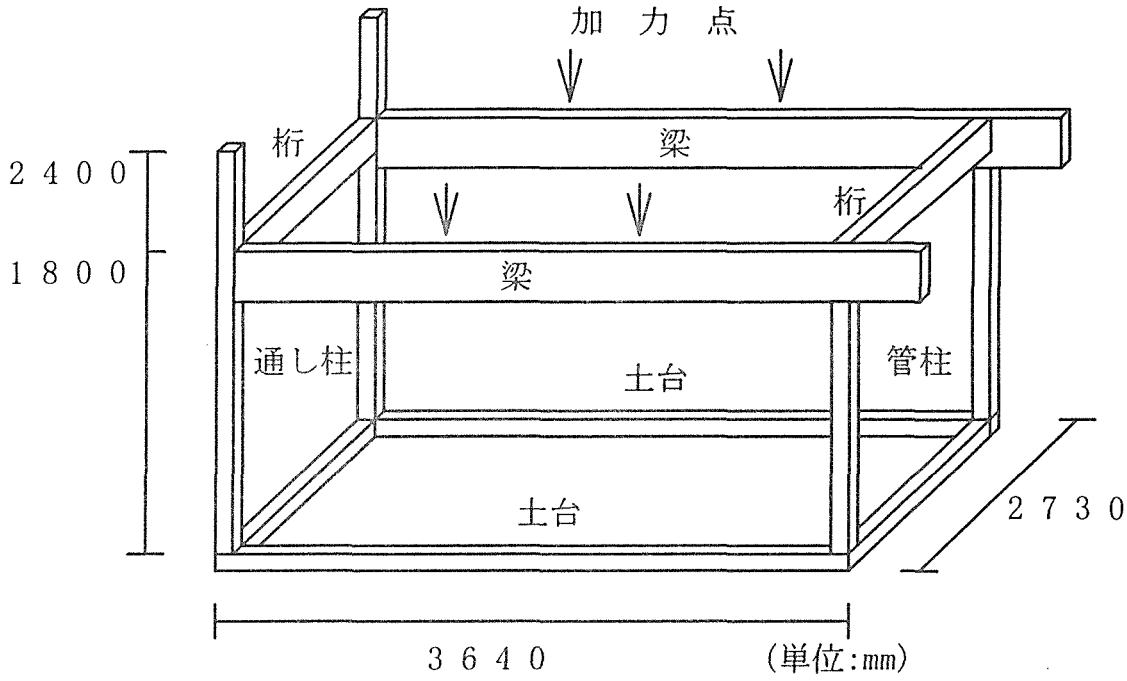


図１　　試験体図

２．軸組構造体のクリープ変形挙動

２．１　中央たわみ比の推移

中央たわみ比の推移を図２に示す。あわせて，温度及び湿度変化を図３に示す。ここで，中央たわみ比とは梁中央上面の垂直変位を載荷直後の垂直変位で割った値を指し，初期たわみ比を表す。住宅建設の実用的な見地，例えば，梁背の異なる場合に床面にゆがみが生じる場合を想定して，梁の上面の変位を用いたことにより，この垂直変位には，梁背の乾燥収縮，接合部の変形もこの変形に含まれていることになる。

図から明らかなように，クリープ試験全期間にわたって未乾燥材の中央たわみ比は乾燥材と比較して非常に大きな値を示した。また，載荷の翌年の梅雨期には，乾燥材，未乾燥材とも中央たわみ比は減少し，その後著しい増加傾向がみられた。しかし，その次の年の梅雨期には，中央たわみ比の減少傾向はみられなかったがその後両者とも増加傾向を示した。

乾燥材と未乾燥材の中央たわみ比を表１に示す。表に示すとおり，乾燥材の中央たわみ比のピークは２．４３であったのに対して，未乾燥材の中央たわみ比のピークは３．９８にも達した。除荷後ではそれぞれほぼ一定の値を示した。

乾燥材と未乾燥材のクリープ変形を比較すると，乾燥材は１．４３（＝２．４３－１）に対して未乾燥材は２．９８（＝３．９８－１）となり，未乾燥材は乾燥材の約２倍となった。載荷直前におけるクリープ変形は乾燥材で１．２６（＝２．２６－１），未乾燥材で２．７５（＝３．７５－１）で未乾燥材は乾燥材の約２倍に相当する。また，除荷直後の中央たわみ比を比較すると，乾燥材は１．５０，未乾燥材は３．０４であり，未乾燥材は乾燥材の約２倍となった。クリープ変形の弾性成分は除荷直前と直後の中央たわみ比の差を求めて比較すると，乾燥材で０．７６（＝１．７６－１），未乾燥材で０．７１（＝３．７５－３．０４）でほぼ等しくなった。

表１　乾燥材と未乾燥材の中央たわみ比の比較

載荷後の経過	乾燥材	未乾燥材
載荷後１００日	１．６９	２．８４
ピーク時	２．４３ （６４９日）	３．９８ （６４９日）
除荷直前（８７８日）	２．２６	３．７５
除荷直後（８７８日）	１．５０	３．０４

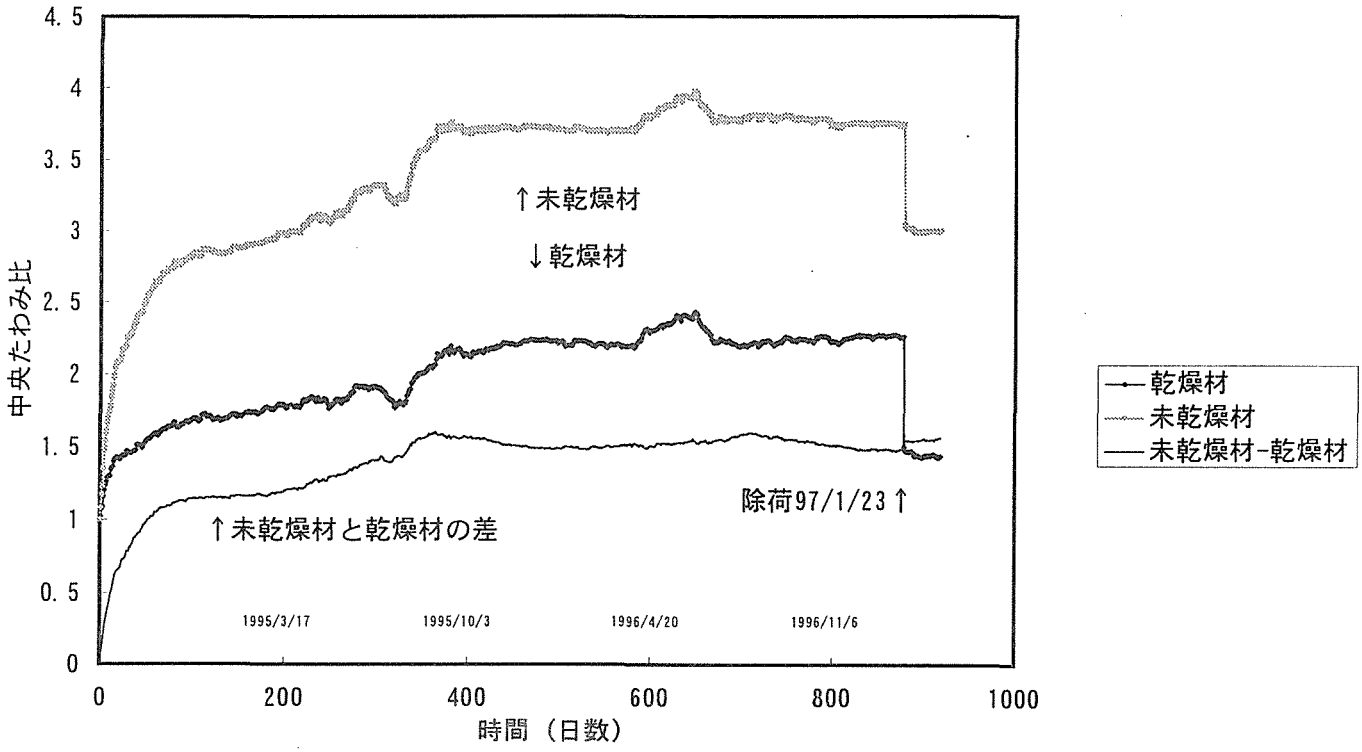


図２　中央たわみ比の推移

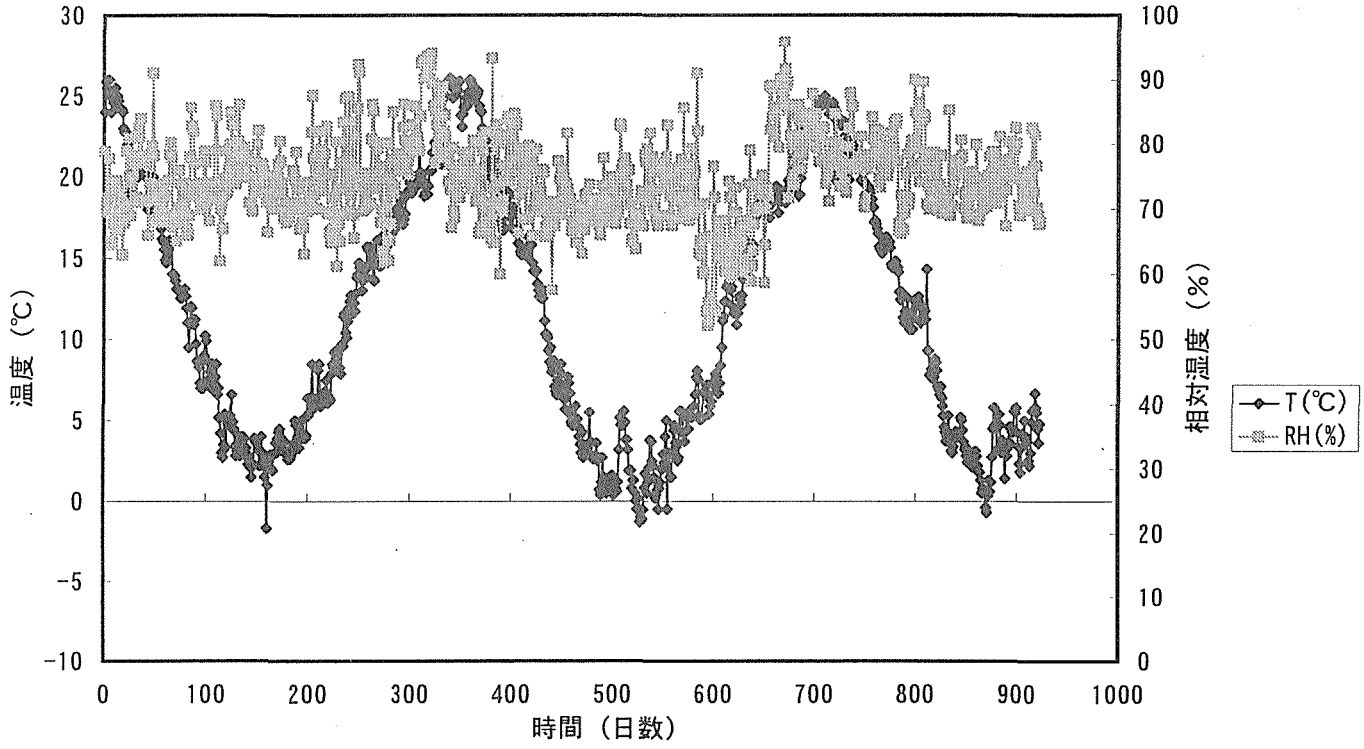


図３　温湿度変化

２．２　対照試験体の含水率，重量及び縦振動Ｅ

軸組試験体で使用した梁材と同寸法の材を乾燥材と未乾燥材の計２体対照試験体として用意し，，これの含水率，重量及び縦振動Ｅの測定を約１週間間隔で測定を行った。

含水率については，高周波型含水率計（モコＨＭ－５２０）を用いて，対照試験体の中央４面の含水率を測定し，この４面の平均値を求めた。この時の温度設定は「ａｕｔｏ」，厚さ設定は「４０㎜」，比重設定は「０．５１」とした。

重量は，最大容量１００ｋｇ，最小目盛０．０１ｋｇ（ＡＮＤ　ＦＷ－１００Ｋ）の重量計を用いて測定を行った。

縦振動Ｅは，通常の縦振動法により，試験体中央を発泡スチロール板で支持し，プラスチック製ハンマーで打撃し，この打撃音をマイクロホン（リオンＮＫ－５０）で採取して，ＦＦＴスペクトルアナライザー（リオンＳＡ７７）によって打撃音のスペクトル解析を行い，共振振動数を求めた。重量から比重を算出して共振振動数から縦振動Ｅを以下の式から求めた。

$$E = (2fL)^2 \times \rho / 1000 / g \qquad (1)$$

ここで，Ｅ：縦振動Ｅ（ｋｇｆ／ｃｍ^2），ｆ：共振振動数（Hz），Ｌ：材長（㎝），ρ：比重，ｇ：重力加速度（９８０㎝／ｓｅｃ^2）である。

また，同時に寸法測定も行った。

・含水率

対照試験体の含水率変化を図４に示す。図に示すとおり，春から夏にかけて含水率は上昇傾向，秋から冬にかけて低下傾向を示しており，また，各測定点間の変動幅は大きい。初期段階においては，未乾燥材の含水率の低下傾向が顕著であるのに対して，乾燥材の含水率についてははっきりした傾向はみられなかった。高周波型含水率計を用いて測定する場合，試験体の比較的表面の含水率を測定していると考えられることから，この含水率測定値は相対湿度変化に敏感であると考えられる。

・重量

重量変化を図５に示す。図に示すとおり，載荷後約１００日程度（９４年１２月７日）までの初期段階においては乾燥材と未乾燥材両者とも著しい重量減少傾向を示し，この間の未乾燥材の減少重量は乾燥材と比較して約３倍であった。その後は乾燥材と未乾燥材両者とも載荷後約３００日まで徐々に減少した。載荷後約３００日（９５年６月２５日）から重量は増加し，その後減少し，載荷後約３５０日（９５年８月１４日）以降はほぼ一定の値で推移した。次年になって，載荷後約６５０日（９６年６月９日）に再び増加し，その後はほぼ一定の値を示した。

梅雨期には重量が一時的に増加する傾向がみられるほかは，載荷後１００日以降の重量変化は乾燥材と未乾燥材両者とも小さく，また，隣接する各測定点間の変動幅は，含水率と比較して重量の変動幅は小さい傾向がみられた。

・縦振動Ｅ

縦振動Ｅの変化を図６に示す。初期段階では重量減少に対応して乾燥材と未乾燥材両者ともＥ値は増加しており，その増加傾向は未乾燥材の方がより顕著である。その後，乾燥材と未乾燥材両者とも，Ｅ値は春まで増加し，春から梅雨期にかけて減少傾向を示した。この周期的な傾向は次の年も同様であった。重量変化（図５）においては梅雨期を除くと変動幅は小さかったのに対して，縦振動Ｅにおいては，サイクリックな変動傾向が顕著である。また，軸組試験体の中央たわみ比の推移（図２）をみると載荷後１年以降は梅雨期前後を除いて変動幅が小さく，対照試験体の縦振動Ｅの変化パターンと異なっている。

この縦振動Ｅの変動パターンにおいて，乾燥材と未乾燥材で異なるかどうかをみるために，横軸に乾燥材の縦振動Ｅ，縦軸に未乾燥材の縦振動Ｅをとってプロットしたものが，図７である。図から明らかなように，載荷後約１００日までに相当する箇所（乾燥材の縦振動Ｅが約１３８以下，未乾燥材の縦振動Ｅが約１３５以下）とそれ以降に相当する箇所でそれぞれの直線関係の傾きが異なっており，載荷後約１００日までの傾きは載荷後１００日以降の傾きより大きくなっている。これは，未乾燥材の方が乾燥材と比較して乾燥速度が大きいためと考えられる。載荷後１００日から除荷までの期間を対象としたこの乾燥材と未乾燥材の縦振動Ｅの関係の一次回帰直線式は以下のとおりである。

$$E_G = 0.92E_D + 6.86 \quad (\text{相関係数} = 0.86) \qquad (2)$$

ここで，E_D，E_G はそれぞれ乾燥材と未乾燥材のＥ（$\times 10^3$ kgf/cm^2）である。

縦振動Ｅに及ぼす乾燥の進み具合の影響をみるため，重量と縦振動Ｅの関係を図８に示す。重量の変化は試験体の平均含水率の変化を表しているとすれば，乾燥材と未乾燥材とも重量の減少に伴って縦振動Ｅの上昇の傾向がみられるので，含水率低下に伴って縦振動Ｅが上昇していることが傾向として認められる。詳細にみると，乾燥材では縦振動Ｅが約１３８以下において，未乾燥材では縦振動Ｅが約１３５以下においてほぼ完全に直線関係を示したが，この領域以外では，重量変化に起因しない縦振動Ｅの変動がみられることから，載荷後約１００日以降では縦振動Ｅ変動の要因は単純に試験体全体の平均含水率変化のみではないと考えられる。

２．３　背割り寸法変化

軸組試験体に用いた柱は，管柱，通し柱とも背割りがあり，この背割り寸法を約１週間ごとに測定を行った。背割りの測定方法は，各柱材の中央１箇所で背割りの幅（内法）をノギスで測定した。各試験体の４本の柱についての背割り寸法変化（初期値との差）の平均値を図９に示す。

積載直後は，乾燥材と未乾燥材の両者とも背割りの寸法は著しく増加した。その後，乾燥材については著しく減少した後梅雨期までほぼ一定であったが，未乾燥材については梅雨期まで徐々に減少する傾向がみられた。梅雨期には著しく減少したあと，増加する傾向がみられた。その後，次年の梅雨期まで大きな変動はなく，梅雨期に大きく減少した後徐々に戻る傾向がみられた。

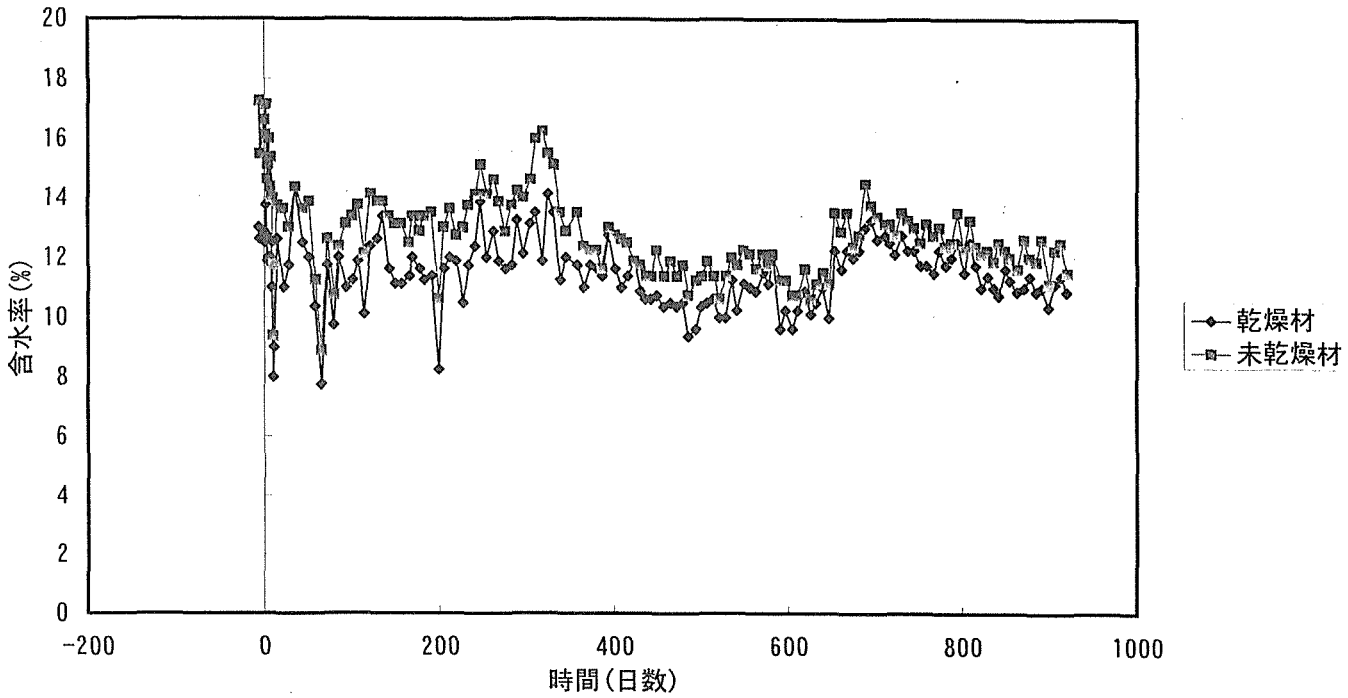


図４　対照試験体の含水率変化

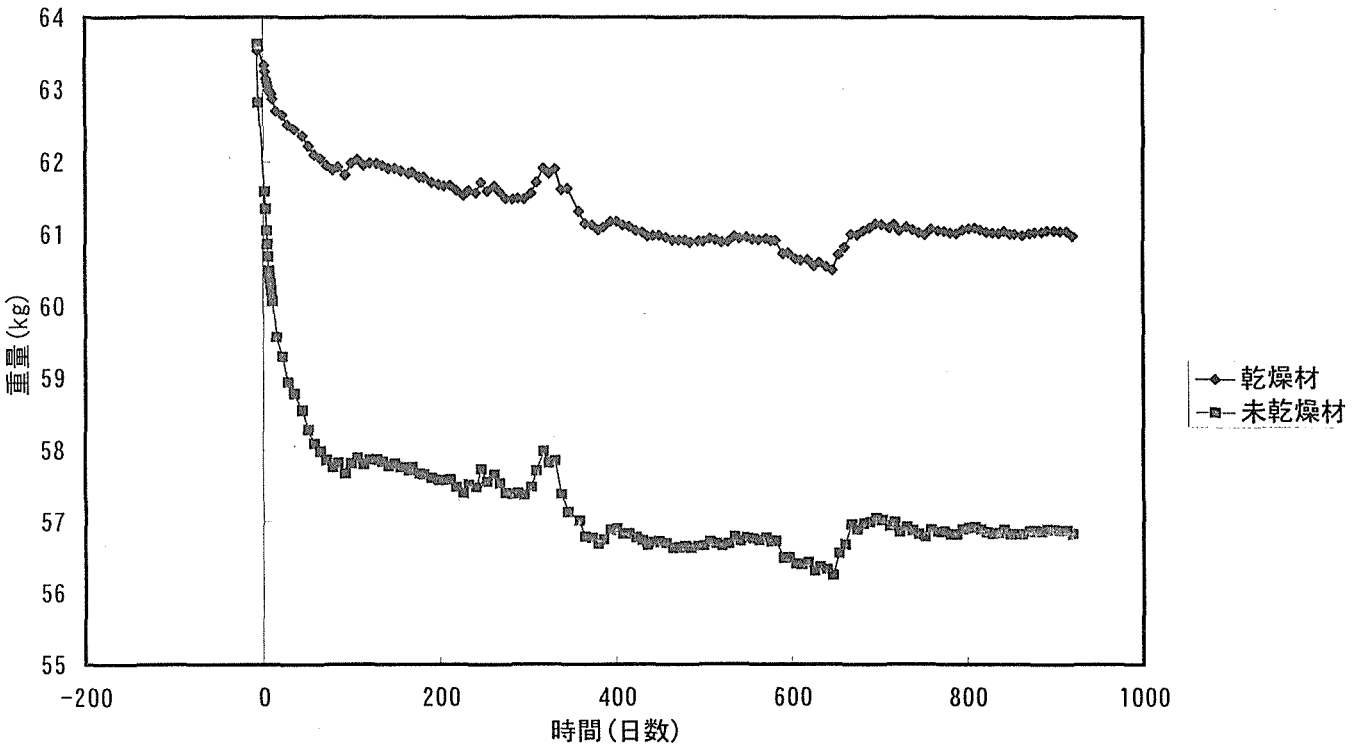


図５　対照試験体の重量変化

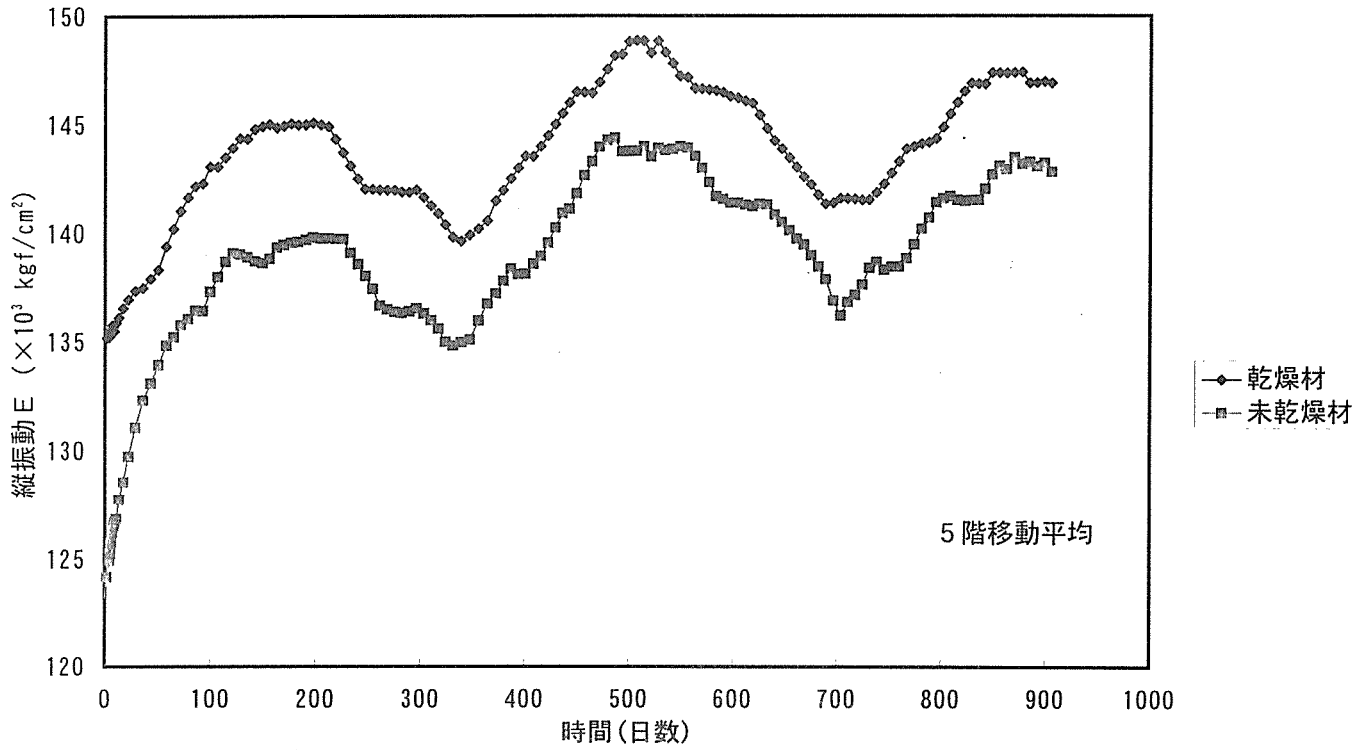


図６　対照試験体の縦振動Ｅ変化

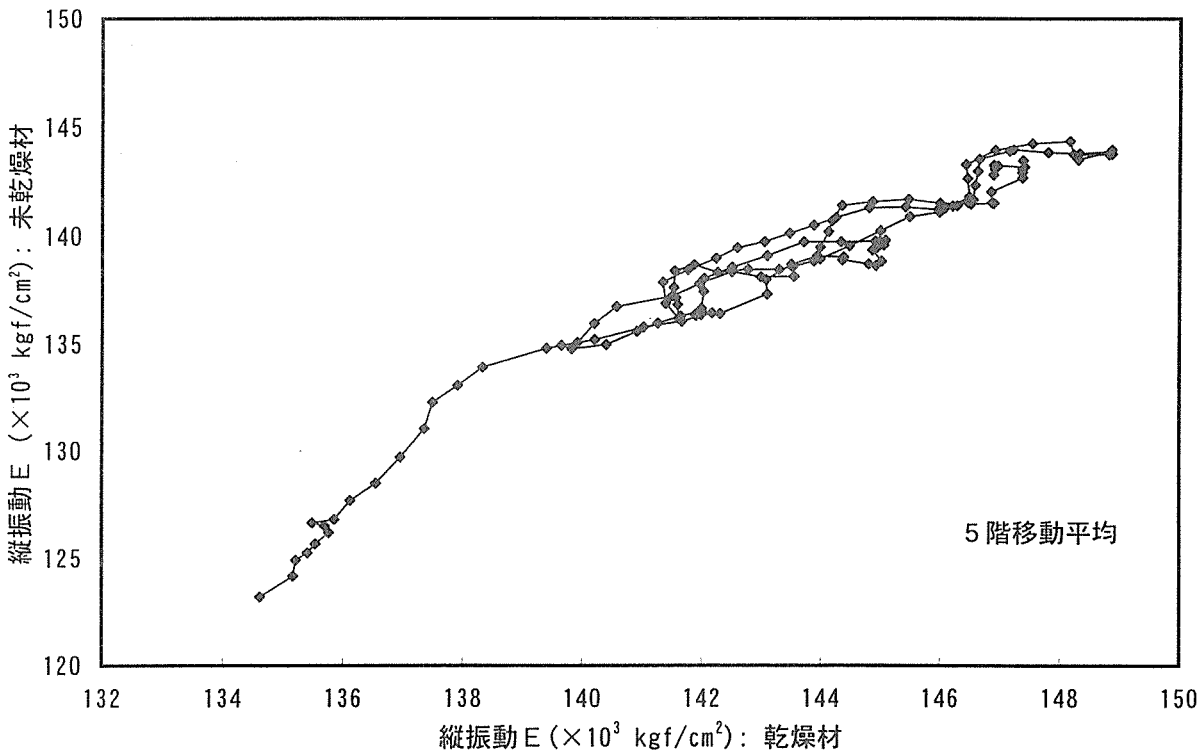


図７　縦振動Ｅにおける乾燥材と未乾燥材の関係

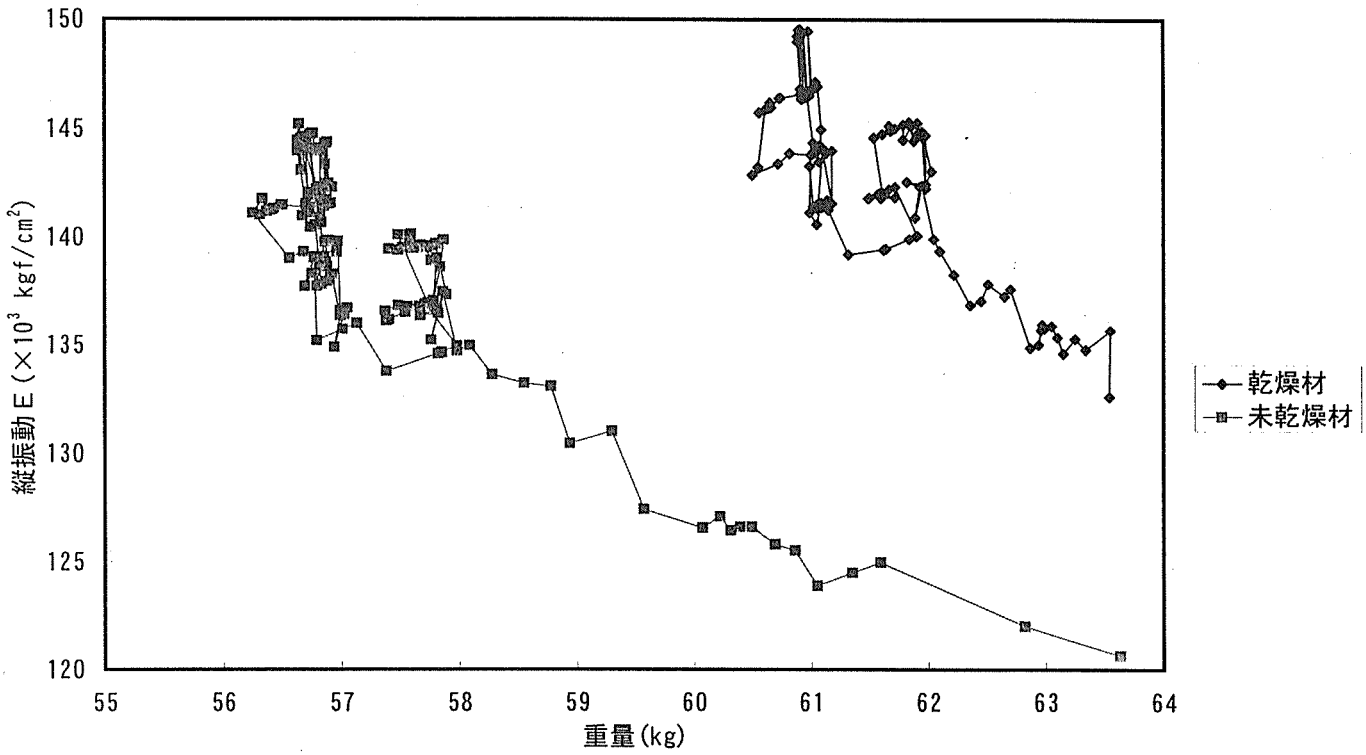


図８　重量変化と縦振動Ｅの関係（対照試験体）

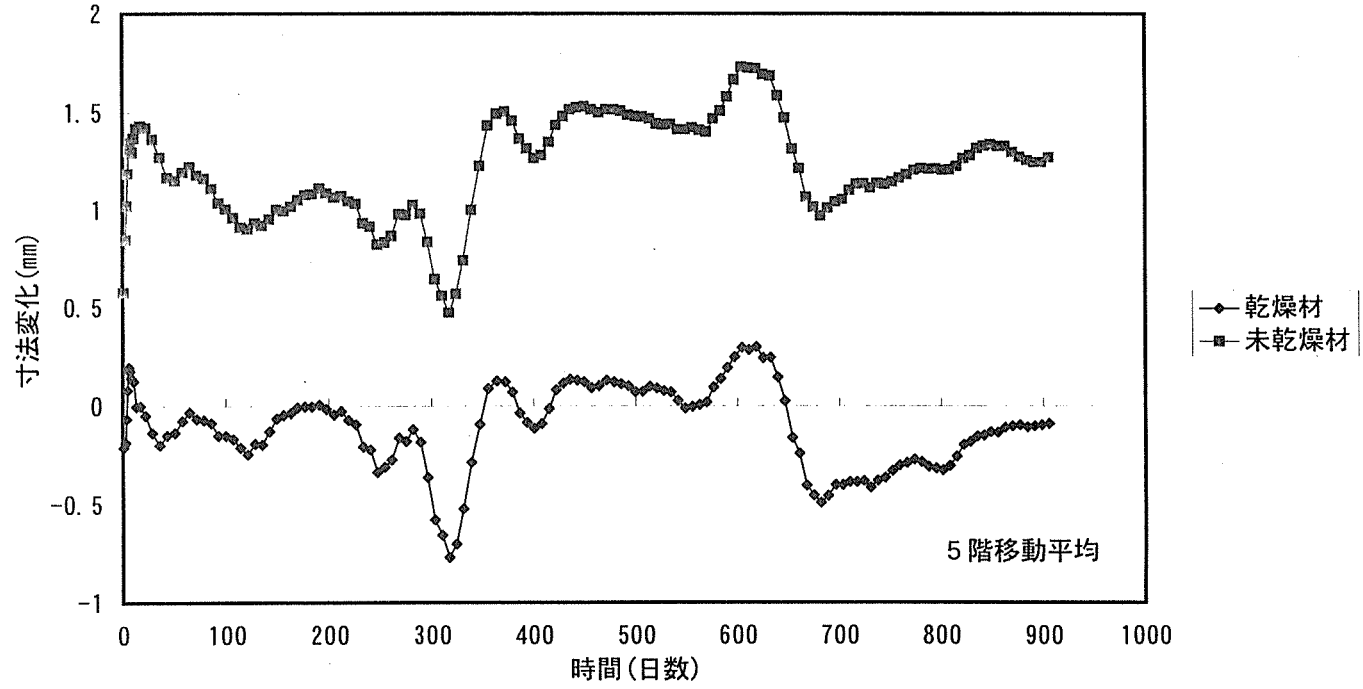


図９　背割り寸法変化

２．４　中央たわみ比に及ぼす温湿度変化の影響

負荷下における木材の挙動に及ぼす含水率変化の内部作用については，古くから「メカノ・ソープティブ効果」として知られ，これは，力学的影響と含水率変動が組み合わさった反応を簡潔に表すための用語である。

このメカノ・ソープティブ効果の特徴として，①時間独立性，②含水率低下と同様に上昇によるたわみの増加，③「凍った」変形，④含水率サイクル後の回復，⑤水分移動に起因しない，⑥寸法変化を伴う，⑦異なる荷重モード，⑧第１ステップと後続ステップの差異，等が指摘されている。一方，実大材のクリープ変形については，夏期と冬期のクリープ挙動の差から示される「温度効果」の重要性が指摘されていることから，クリープ変形に及ぼす温度及び相対湿度の影響を検討した。

まず，試験期間間の温度と相対湿度の関係は図１０に示すとおりであり，温度が５℃以下では相対湿度の変動幅が若干小さくなる傾向がみられるものの，全体的に温度と相対湿度の一定の関係は見出せない。

次に，相対湿度と平衡含水率の関係を図１１に示す。

平衡含水率は，シンプソンによる温度・湿度と木材の平衡含水率の関係についての予測式を用いて計算した。予測式を以下に示す。

$$m = [K_1 K_2 h/(1+K_1 K_2 h) + K_2 h/(1-K_2 h)] \times 1800/W \qquad (3)$$

$$K_1 = 3.730 + 0.03642\,T - 0.0001547\,T^2$$
$$K_2 = 0.6740 + 0.001053\,T - 0.000001714\,T^2$$
$$W = 216.9 + 0.01961\,T - 0.005720\,T^2$$

（Ｔ＝９／５Ｃ＋３２：Ｃ摂氏，Ｔ華氏）

ここで，Ｔは華氏温度（°Ｆ），ｈは相対蒸気圧（＝相対湿度／１００）である。

図に示すとおり，右上がりの曲線上に全てのプロットが並んでおり，試験期間中の温度変動範囲内においては，この予測式から計算される平衡含水率は相対湿度とほぼ直線関係にあるといえる。従って，クリープ変形挙動に及ぼす温湿度変化の影響を調べるためにクリープ曲線を予め経過時間の累乗関数で近似して，この累乗関数と測定値との差を相対湿度変化による影響と仮定する場合，この相対湿度を平衡含水率と読みかえることはある程度妥当性があると思われる。しかし，ここでは乾燥の進み具合が時間経過とともに変化するので中央たわみ比の変化を時間に対する累乗関数を仮定しないで，単純に中央たわみ比と温度，相対湿度，平衡含水率の関係を比較した。

・温度変化

温度と中央たわみ比の関係を図１２に示す。なお，時間の経過は，図中の線の下側から上側に推移している。乾燥材と未乾燥材の両者に共通する傾向としては，

① 載荷直後から載荷後約１５０日：温度低下に伴って中央たわみ比が増加

② 載荷後約１５０日から載荷後約３５０日：温度上昇に伴って中央たわみ比が増加

③ 載荷後３５０日頃：温度一定で中央たわみ比が増加

④　その後除荷まで：温度変化にかかわらずほぼ一定

であり，時間の経過に伴って温度変化の中央たわみ比に及ぼす影響が変化している傾向がみられた。重量変化の推移（図５）と比較すると，①の期間は重量が急激に減少する期間，②は重量が徐々に減少する期間，③は重量が増加した後急激に減少する期間，④は重量がほぼ一定の期間であり，重量変化すなわち材の平均的な含水率変化にほぼ対応していると考えられる。

・相対湿度変化

相対湿度と中央たわみ比の関係を図１３に示す。図に示すとおり，相対湿度と中央たわみ比に一定の傾向はみられない。

・平衡含水率変化

平衡含水率と中央たわみ比の関係を図１４に示す。相対湿度の場合（図１３）と同様に，両者間に一定の傾向はみられない。

以上に示したように，相対湿度と平衡含水率のように隣接する各測定点間の変動幅が大きい場合には，中央たわみ比の推移はこれらと比較して隣接する各測定点間の変動は小さいので，両者の関係は明瞭とはいえない。これに対して，温度変化の場合は，１年間サイクルの変動パターンを示すので，試験の初期段階とそれ以外での傾向の差異が明瞭な形で表される。特に，上述の②～④の期間では，乾燥材と未乾燥材の中央たわみ比は近い傾向を示している。

そこで，載荷後約１５０日以降の期間を対象にして，乾燥材と未乾燥材の中央たわみ比の差と温度の関係を検討した。この差は，図１５に示すとおり，載荷後１５７日から載荷後１年まで温度上昇に伴って増加し，載荷後１年以降は直線関係となった。載荷後１年以降の温度とこの差の一次回帰直線式を以下に示す。

$$Y_G - Y_D = 0.004T + 1.48 \quad (r^2 = 0.8819) \qquad (4)$$

ここで，Y_G とY_D はそれぞれ未乾燥材と乾燥材の中央たわみ比であり，Ｔは温度（℃），r^2 は決定係数である。

式(4)から明らかなように，未乾燥材と乾燥材の中央たわみ比の差は載荷後１年以降は温度に対して直線関係にあり，温度が１０℃上昇するとこの差は約０．０４増加する。しかし，中央たわみ比のピーク値と比較すると，乾燥材で２．４３，未乾燥材で３．９８なので，温度変化は両者の差はこれに対して大きな影響を及ぼしているとはいえない。

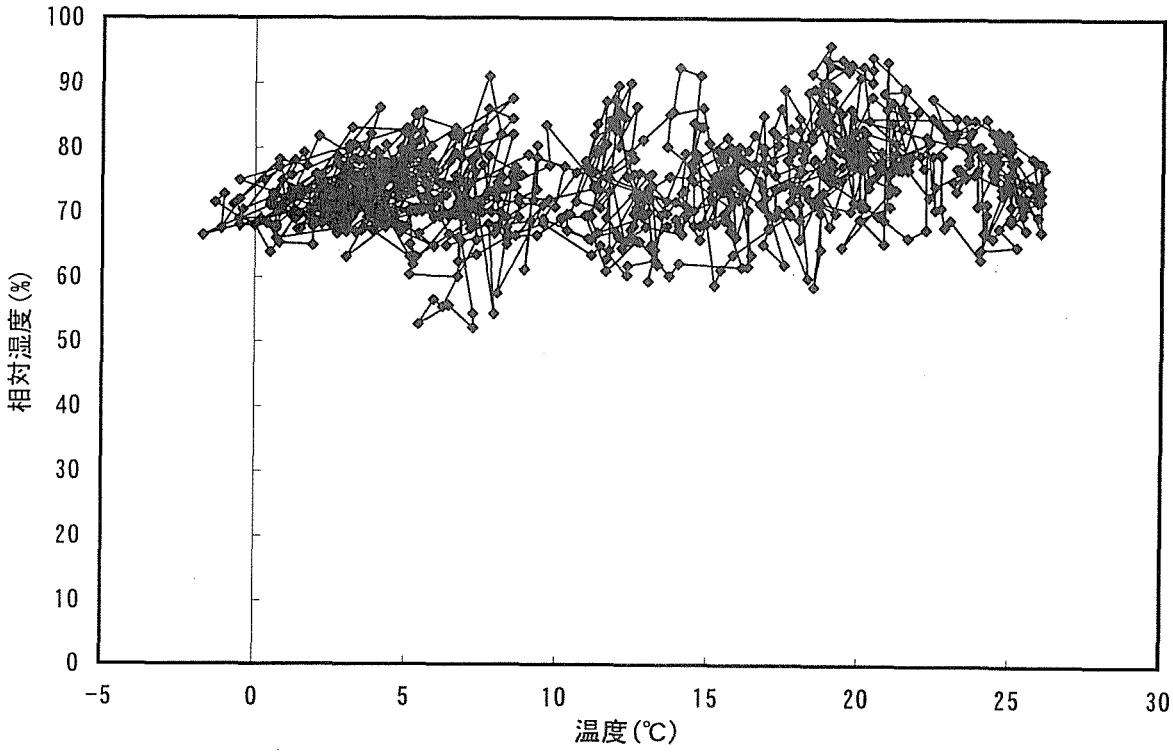


図１０　温度と相対湿度の関係

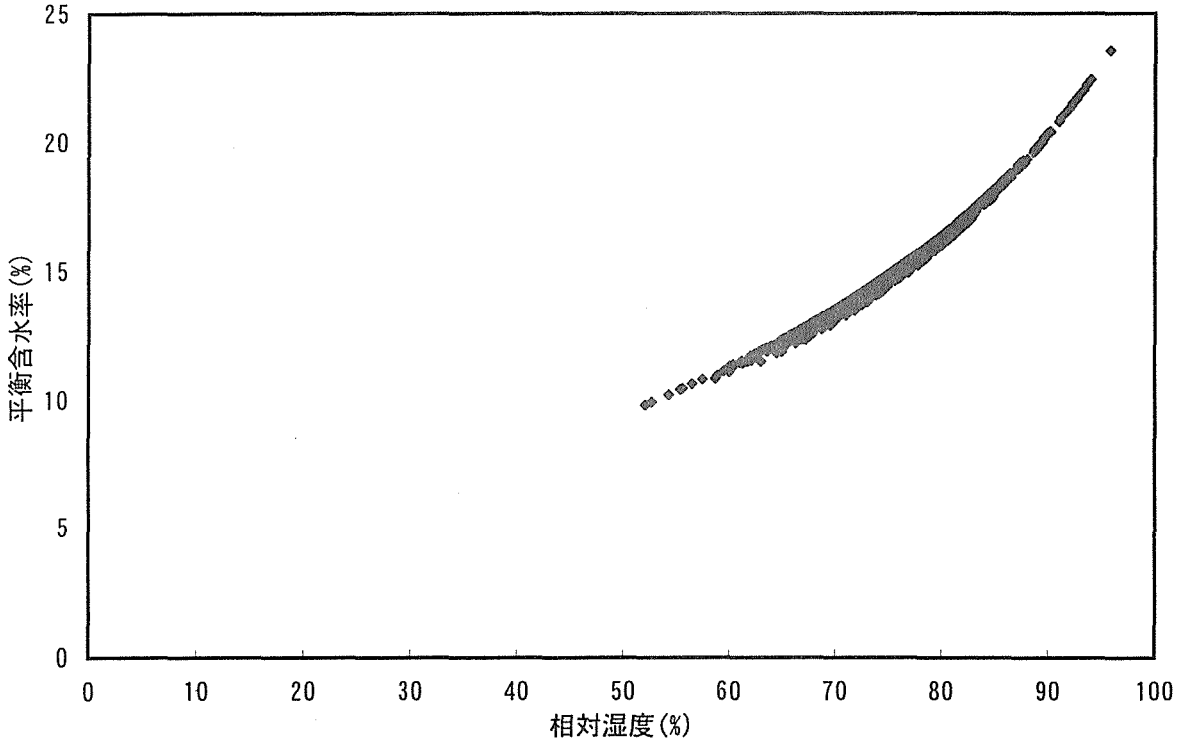


図１１　相対湿度と平衡含水率計算値の関係

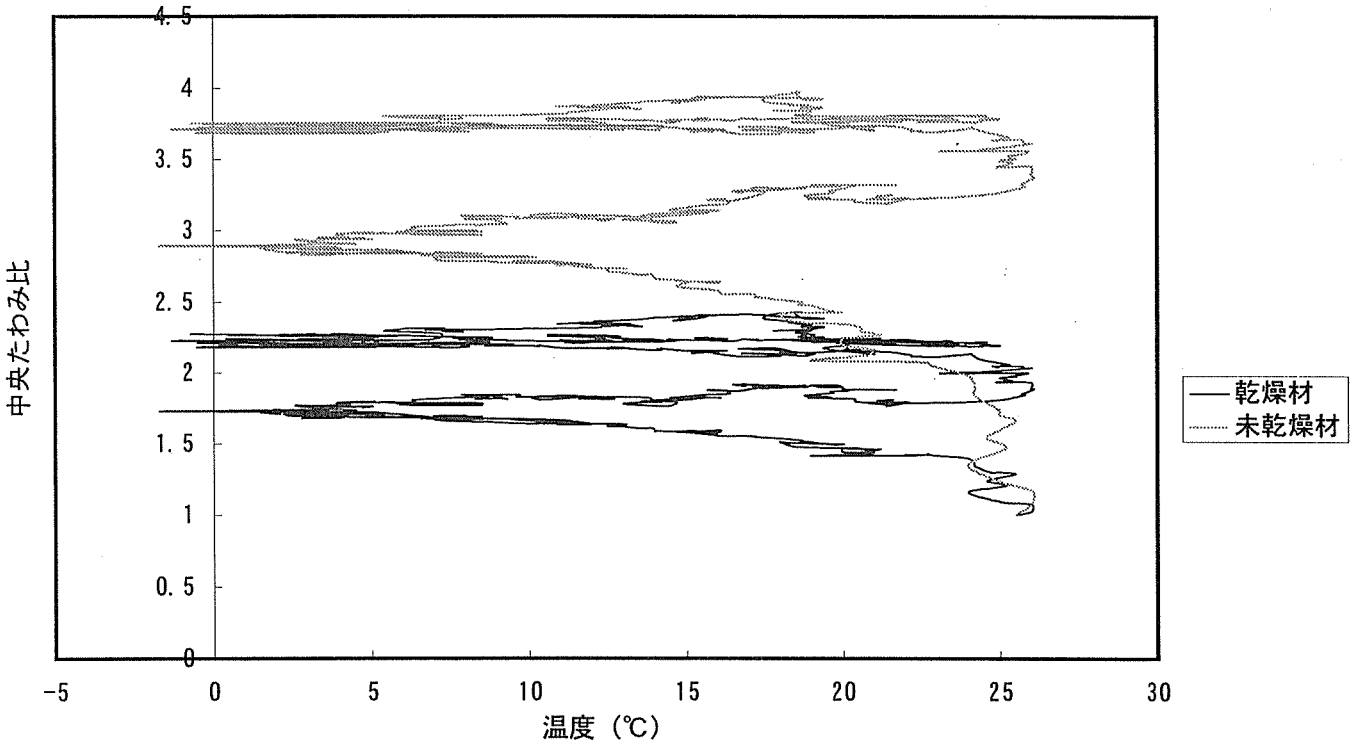


図１２　温度の影響

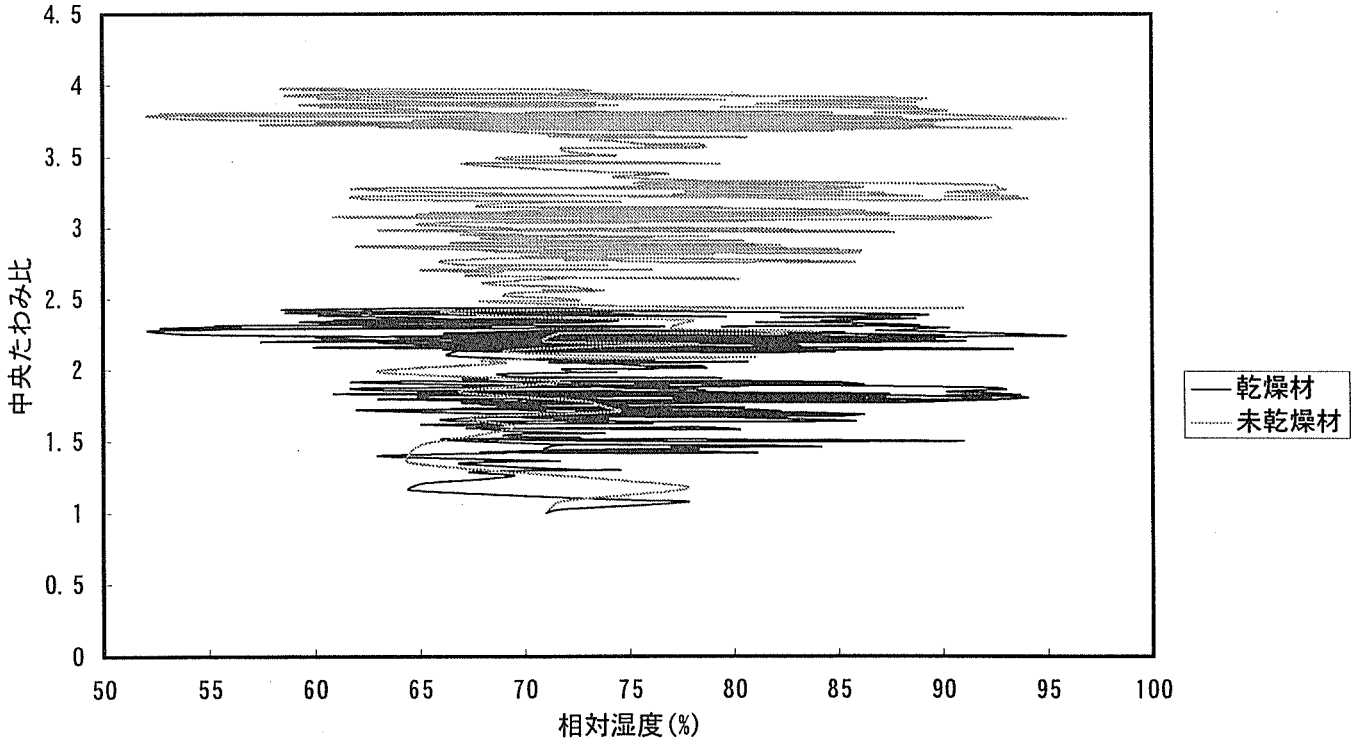


図１３　相対湿度の影響

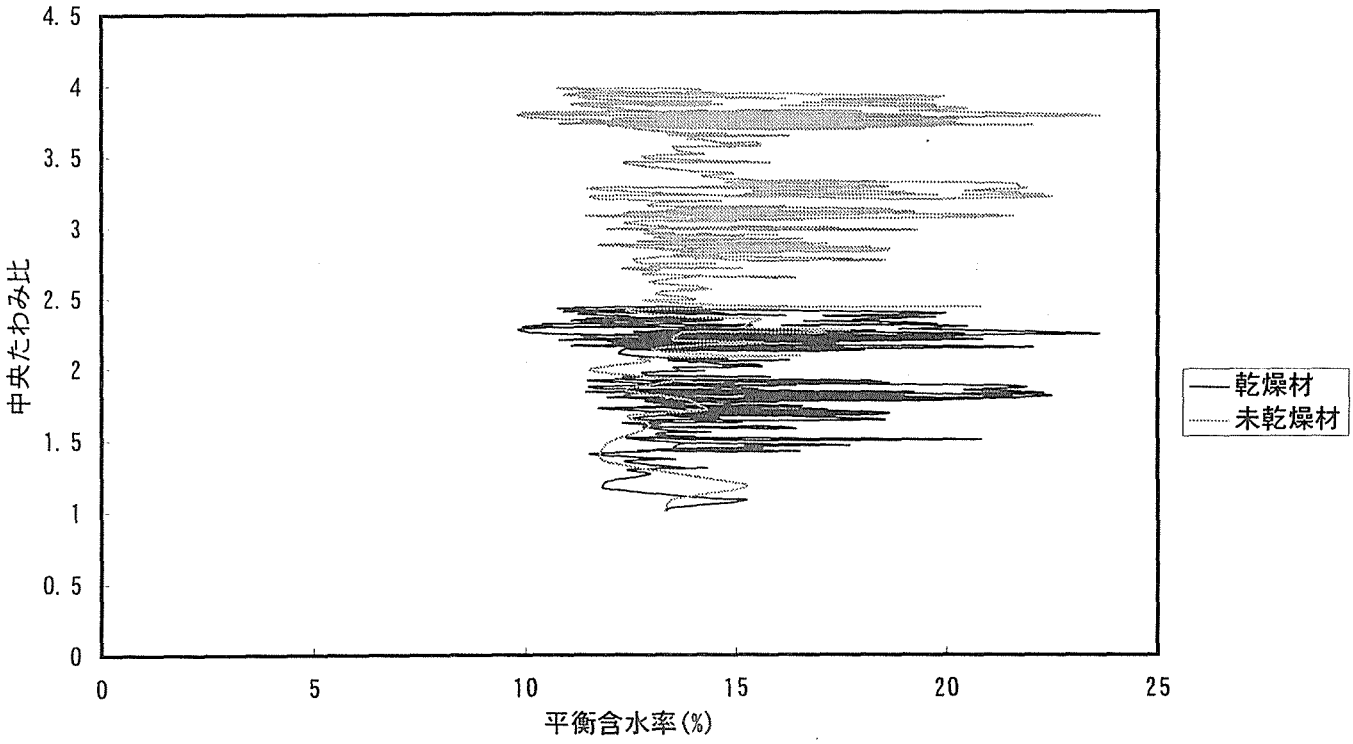


図１４　平衡含水率の影響

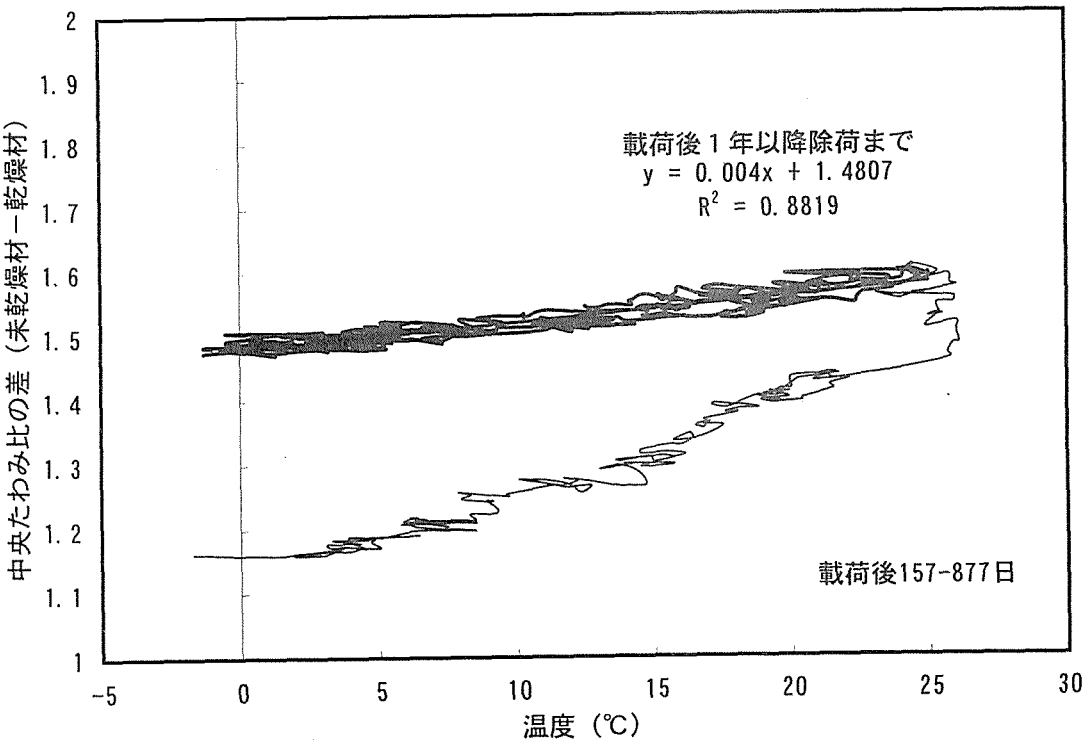


図１５　中央たわみ比の差に及ぼす温度の影響

２．５　補正中央たわみ比

軸組試験体の中央たわみ比について，対照試験体で測定した含水率，重量及び縦振動Ｅのデータを用いて検討を行った。

このため，まず，対照試験体の特性の変化，すなわち，含水率，重要及び縦振動Ｅに及ぼす温湿度変化の影響を検討し，次に，この特性と中央たわみ比の関係を調べた。これらの結果をもとに，縦振動Ｅによる中央たわみ比の補正を行って，温湿度の影響について検討した。

２．５．１　対照試験体の特性に及ぼす温湿度変化の影響

中央たわみ比の推移は，相対湿度及び平衡含水率と比較して温度との関係において経過時間に対応した傾向が明瞭だったので，対照試験体で測定した含水率，重量及び縦振動Ｅについても温度・湿度との関係を検討した。

・含水率

含水率と温度の関係を図１６に，含水率と相対湿度の関係を図１７に示す。乾燥材と未乾燥材両者とも温度が高いと含水率が高くなる傾向はみられるものの顕著ではなく，これと比較すると相対湿度と含水率の関係の方がより強い直線関係を示している。

・重量

重量と温度の関係を図１８に，重量と相対湿度の関係を図１９に示す。乾燥材と未乾燥材の両者とも載荷直後の著しい重量減少の期間を除けば，温度及び相対湿度変化の影響は小さいことを示している。

・縦振動Ｅ

縦振動Ｅと温度の関係を図２０に示す。載荷直後の著しい縦振動Ｅの増加の期間を除けば，温度が高くなると縦振動Ｅが減少する傾向が乾燥材と未乾燥材両者についてみられ，縦振動Ｅの季節的な変動パターンを示していると考えられる。これに対して，図２１に示すとおり，縦振動Ｅと相対湿度の関係は明瞭な傾向はみられなかった。

２．５．２　対照試験体の特性と中央たわみ比の関係

対照試験体の特性と中央たわみ比の関係について，乾燥材と未乾燥材の中央たわみ比とそれぞれに対応する対照試験体の特性に加え，未乾燥材の乾燥が十分進んだ後にも乾燥材との差異があるのかをみるため，対照試験体の特性及び中央たわみ比について乾燥材と未乾燥材の差を求めて検討した。

・含水率

含水率と中央たわみ比の関係を図２２に示す。乾燥材と未乾燥材両者とも含水率変化と中央たわみ比は明瞭でなく，図２３に示すとおり，乾燥材と未乾燥材の差における含水率と中央たわみ比の関係も一定の傾向はみられなかった。

・重量

重量と中央たわみ比の関係を図２４に示す。乾燥材と未乾燥材のそれぞれについて，重量減少に伴って中央たわみ比が増加する傾向がみられた。特に，初期段階の重量減少に対しては，直線的に中央たわみ比が増加した。また，重量と中央たわみ比について乾燥材と未乾燥材の差でみると，図２５に示すとおり，載荷後１００日までは，重量の差の増加に伴って直線的に中央たわみ比が増加する傾向がみられた。載荷後１００日以降では重量の差はほぼ一定であったのに対して中央たわみ比の差は増加する傾向がみられた。

・縦振動Ｅ

縦振動Ｅと中央たわみ比の関係を図２６に示す。初期段階においては，乾燥材と未乾燥材両者とも縦振動Ｅの増加に対して中央たわみ比が増加する傾向が見られたが，その後は一定の傾向はみられない。また，縦振動Ｅと中央たわみ比について乾燥材と未乾燥材の差は，図２７に示すとおり，初期段階では縦振動Ｅの差の減少に対して中央たわみ比の差が大きくなる傾向がみられるが，その後は一定の傾向を示さなかった。

２．５．３　縦振動Ｅを用いた中央たわみ比の補正

以上に示したように，重量については中央たわみ比と直線関係を示したのに対して，含水率及び縦振動Ｅについては初期段階を除くと一定の傾向を示さなかった。

梁材のクリープたわみは，仮にその材のヤング係数が増加した場合に減少すると考えられることから，ヤング係数の変化による影響を除いたクリープたわみ変化を求めるため，以下の式によって中央たわみの補正を試みた。

$$Y_{Ai} = Y_i \times E_i / E_0 \qquad (5)$$

ここで，Y_{Ai}は載荷後ｉ日の補正中央たわみ比，Y_i は載荷後ｉ日の中央たわみ比，E_i は載荷後ｉ日の縦振動Ｅ，E_0 は載荷直後の縦振動Ｅである。また，補正中央たわみ比は乾燥材と未乾燥材それぞれについて行った。

補正中央たわみ比の推移を図２８に示す。図に示すとおり，載荷後約１００日までの中央たわみ比の増加は著しく，その後は時間経過に伴って徐々に増加する傾向がみられた。

中央たわみ比（図２）とこの補正中央たわみ比を比較すると，中央たわみ比では載荷後約４００日以降では夏期を除くと乾燥材と未乾燥材それぞれ一定の値を示す傾向がみられたのに対して，補正中央たわみ比でみると経過時間に対して増加する傾向がみられた。

重量と中央たわみ比は直線的な関係を示したので（図２４），重量の変化速度（＝重量変化／この間の日数）の推移を求めると，図２９に示すとおり，載荷後１００日以降は夏期に変動がみられるもののほぼ一定の値を示した。このことから，載荷後１００日以降について載荷後の経過日数に対して補正中央たわみ比の１次回帰直線式を求めた。

$$Y_G = 0.0016\ t + 3.21 \quad (r = 0.85) \qquad (6)$$

$$Y_D = 0.0009\ t + 1.78 \quad (r = 0.85) \qquad (7)$$

ここで，Y_G と Y_D はそれぞれ未乾燥材と乾燥材の中央たわみ比であり，ｔは載荷後経過日数，ｒは相関係数である。

この式の係数を比較すると，未乾燥材の０．００１６に対して乾燥材は０．０００９であり，未乾燥材は乾燥材の約１．７倍となった。載荷後約１００日以降においても乾燥材と未乾燥材の潜在的なクリープ変形の増加傾向は異なると考えられる。

次に，乾燥材と未乾燥材の関係について，中央たわみ比は図３０に，補正中央たわみ比は図３１に示す。また，図中に，載荷後１００日前後で区分して，乾燥材と未乾燥材の１次回帰直線式を示した。図３０と図３１を比較すると，プロット範囲は異なるが，乾燥材と未乾燥材の関係は同様の傾向を示した。中央たわみ比の補正は乾燥材と未乾燥材の関係に影響を及ぼさないと考えられる。

・補正中央たわみ比の残差

補正中央たわみ比と上記回帰直線式との差（補正中央たわみ比残差）の推移を図３２に示す。図から明らかなように，載荷後１００日以降の期間については，乾燥材と未乾燥材でほぼ同様の傾向を示した。

補正中央たわみ比の残差と温度の関係を図３３に示す。初期段階の期間を除いて温度変化に対して乾燥材と未乾燥材はほぼ同じ経路をたどる傾向を示した。

この傾向を詳細にみるため，載荷後１００日から５００日の期間については図３４，載荷後５００日から除荷までの期間については図３５に示す。図３４に示すように，温度上昇に対して残差はほぼ一定の値を示したあと，温度のピーク時（約２５℃）に増加して，その後の温度低下に対してほぼ一定の値を示した。これに対して，載荷後５００日以降では，残差はほぼ一定の値を示したが，温度のピーク時以前に減少して，その後は温度低下に対してほぼ一定の値を示した。いずれの場合も，乾燥材と未乾燥材でほぼ同様な推移傾向を示した。

同様に，残差と相対湿度の関係を図３６に，残差と平衡含水率の関係を図３７に示す。両者とも残差と温度の関係と比較して，明瞭な傾向はみられなかった。

以上に示したように，クリープ変形に対して季節変動の影響が顕著であることから，クリープ変形の長期予測に温度を指標として用いる方が相対湿度を用いるより優れている可能性が示唆された。しかし，縦振動Ｅの周期的な変動パターンの中央たわみ比に及ぼす影響及び中央たわみ比における乾燥材と未乾燥材の差異については不明な点が多く，単純な累乗近似式にかわる推定方法は残された課題である。

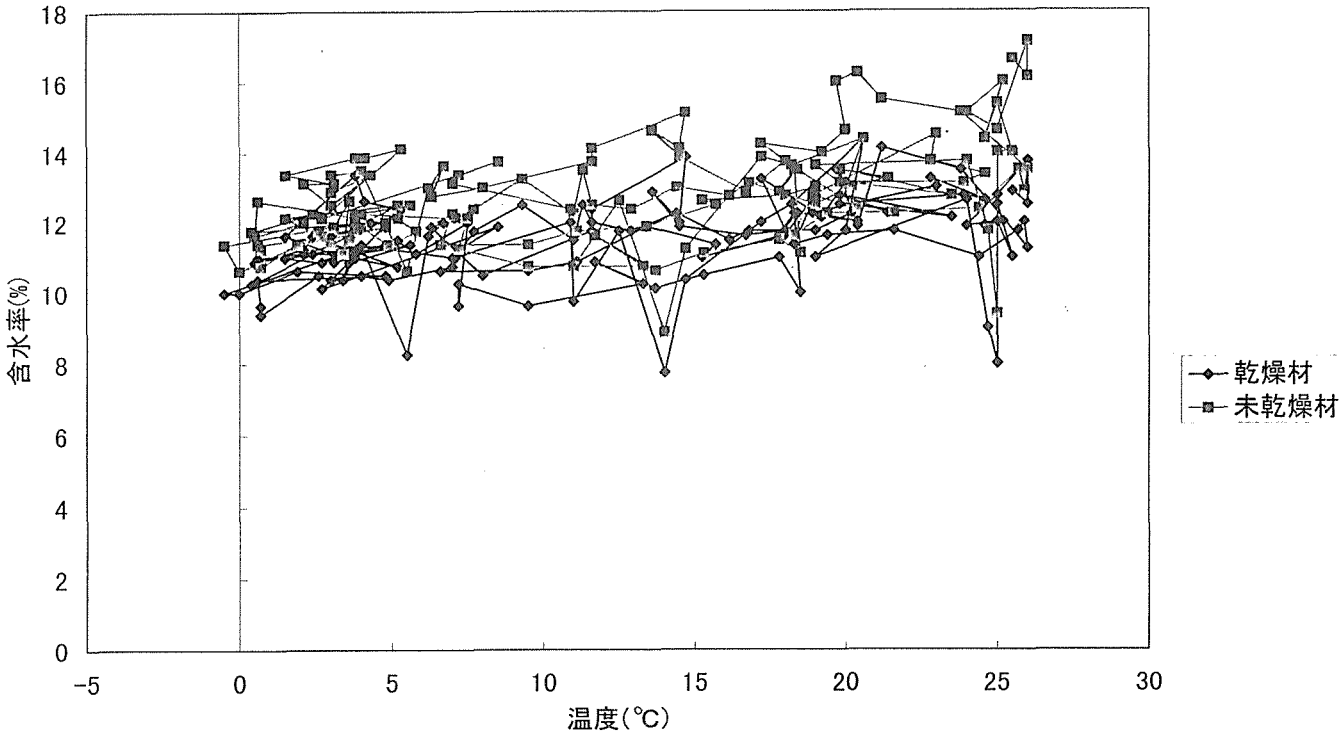


図16　含水率と温度の関係

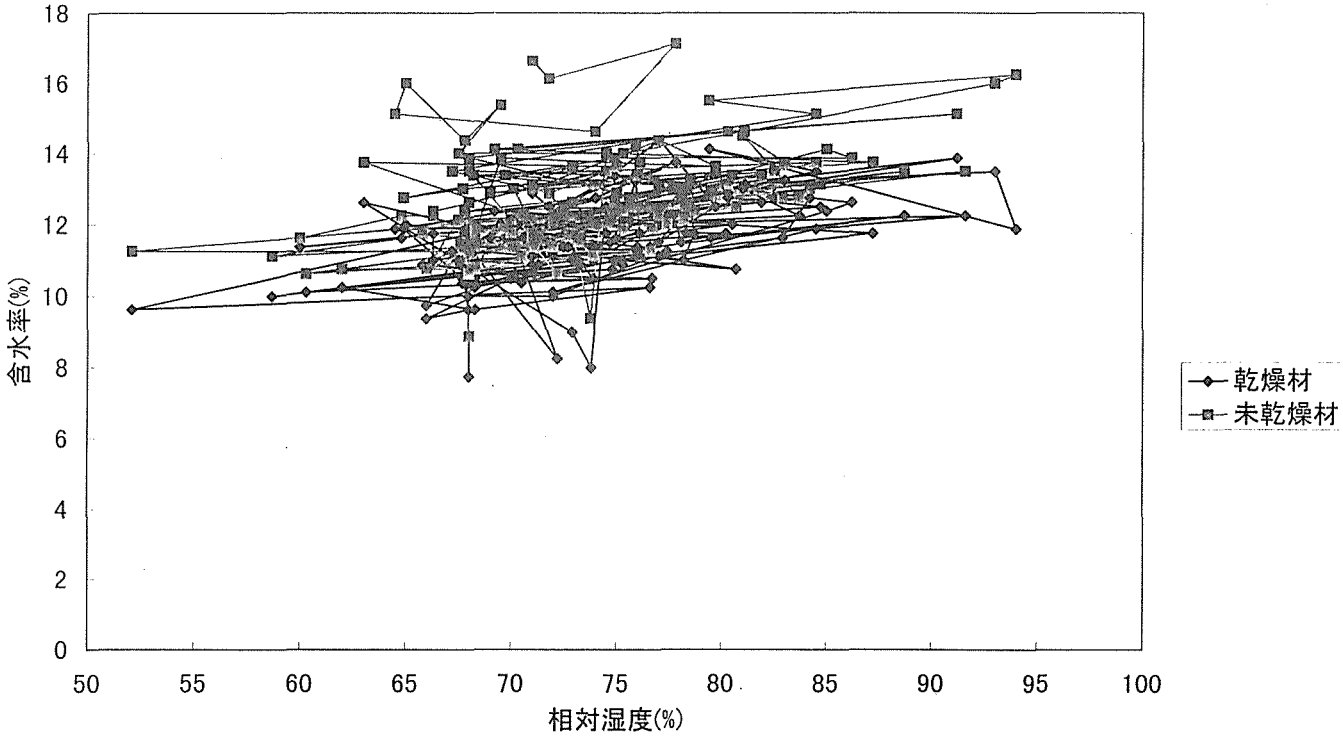


図17　含水率と相対湿度の関係

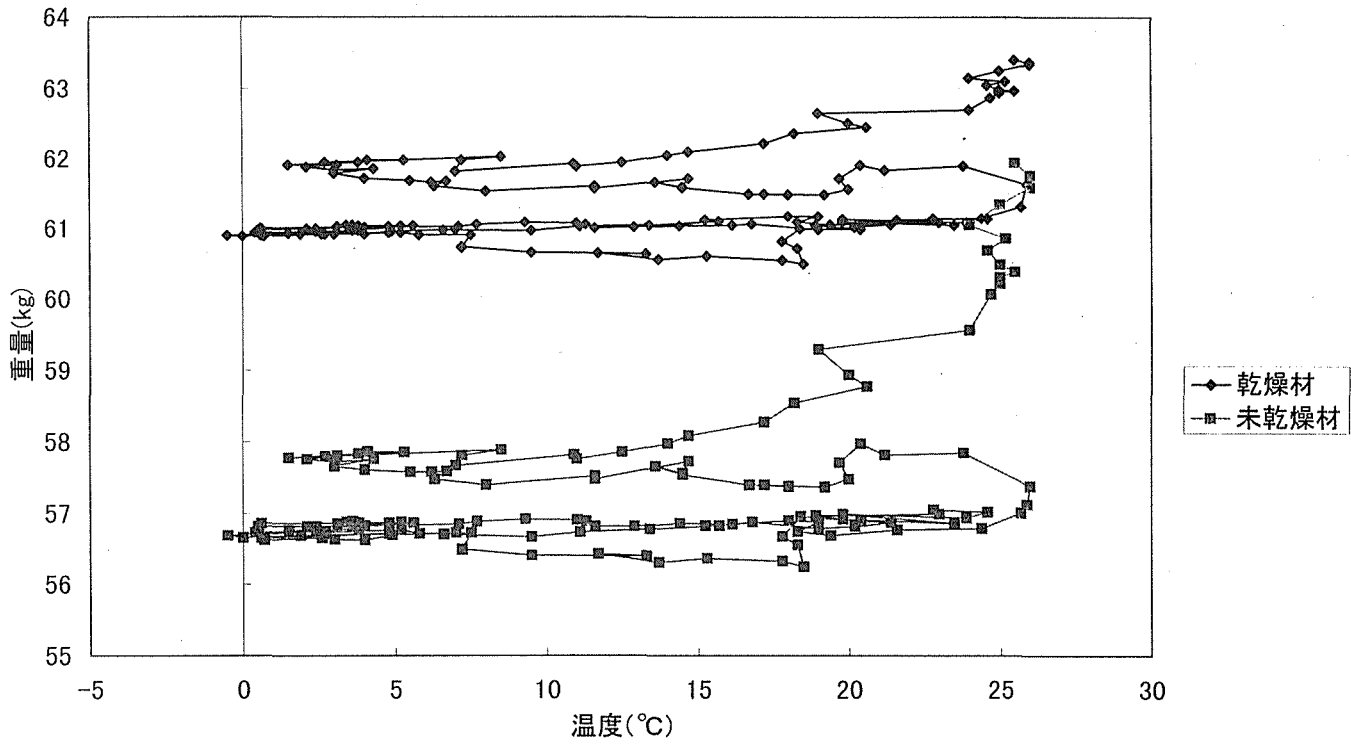


図18　重量変化と温度の関係

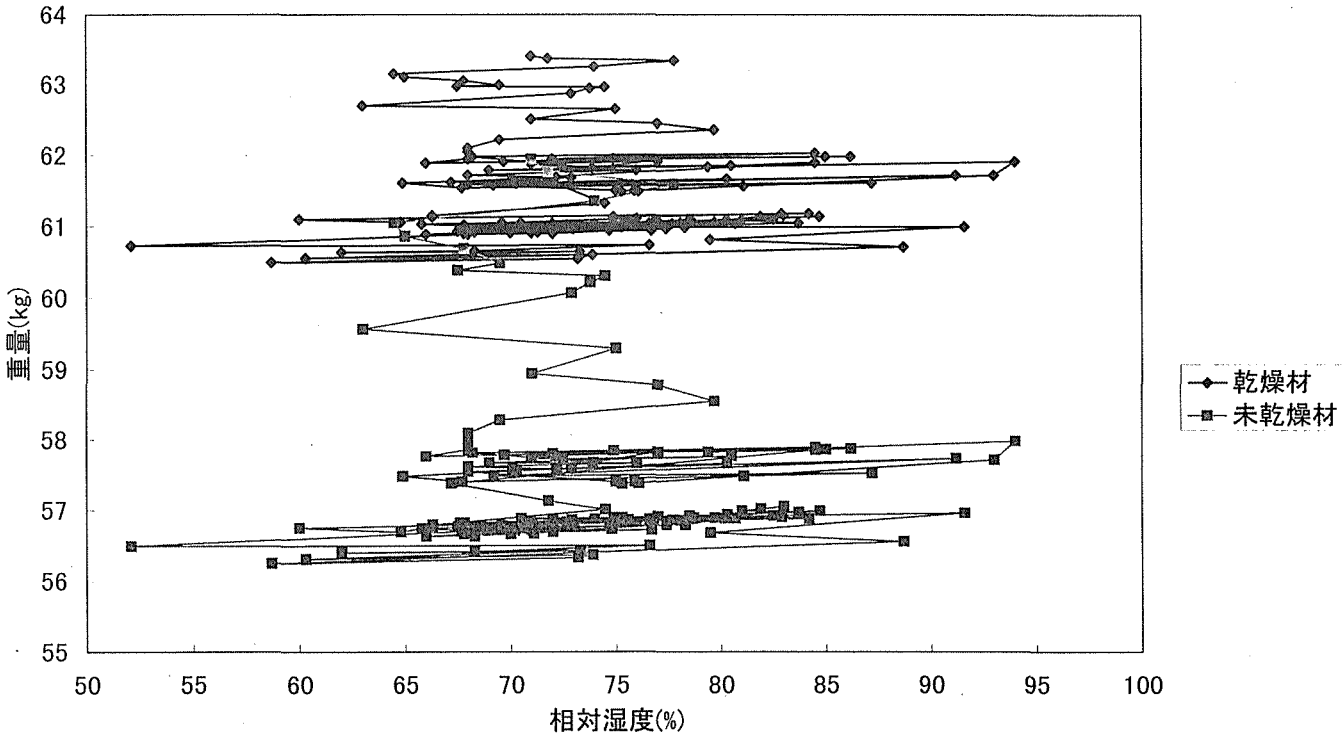


図19　重量変化と相対湿度の関係

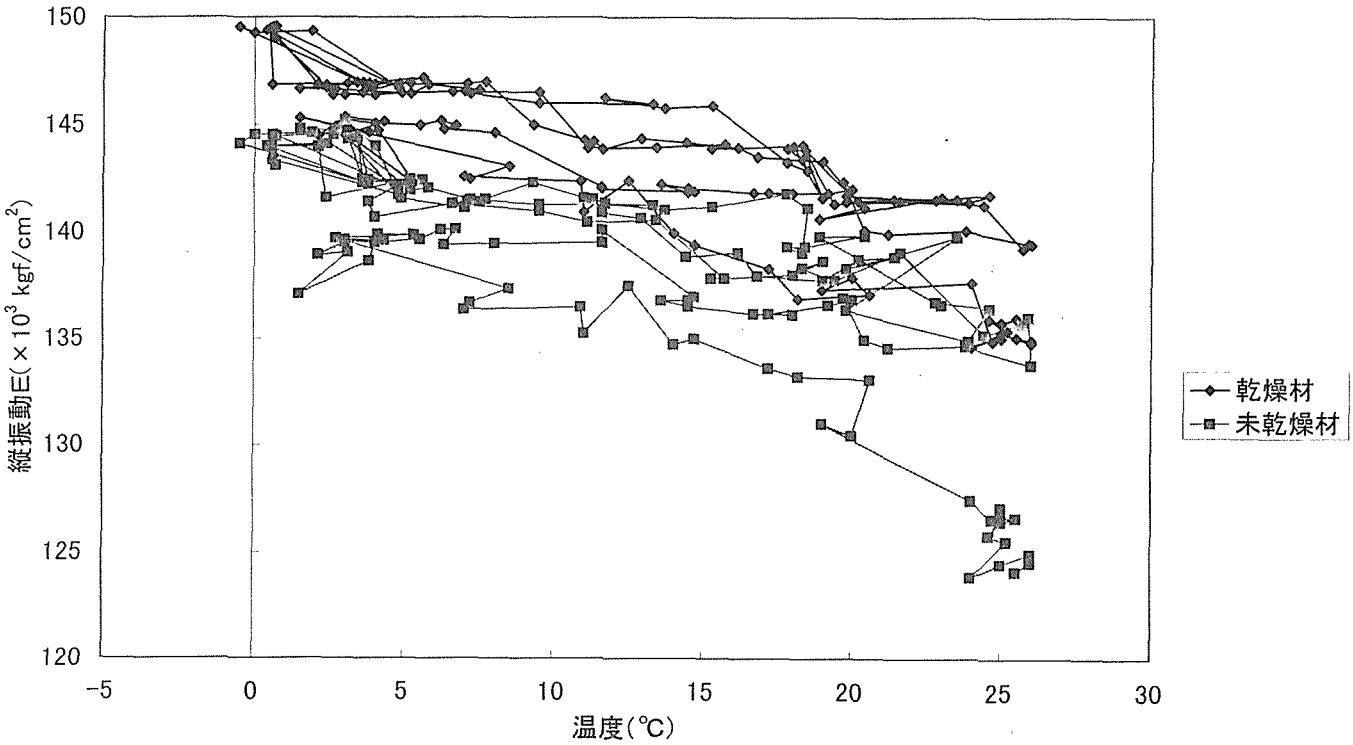


図20　縦振動Eと温度の関係

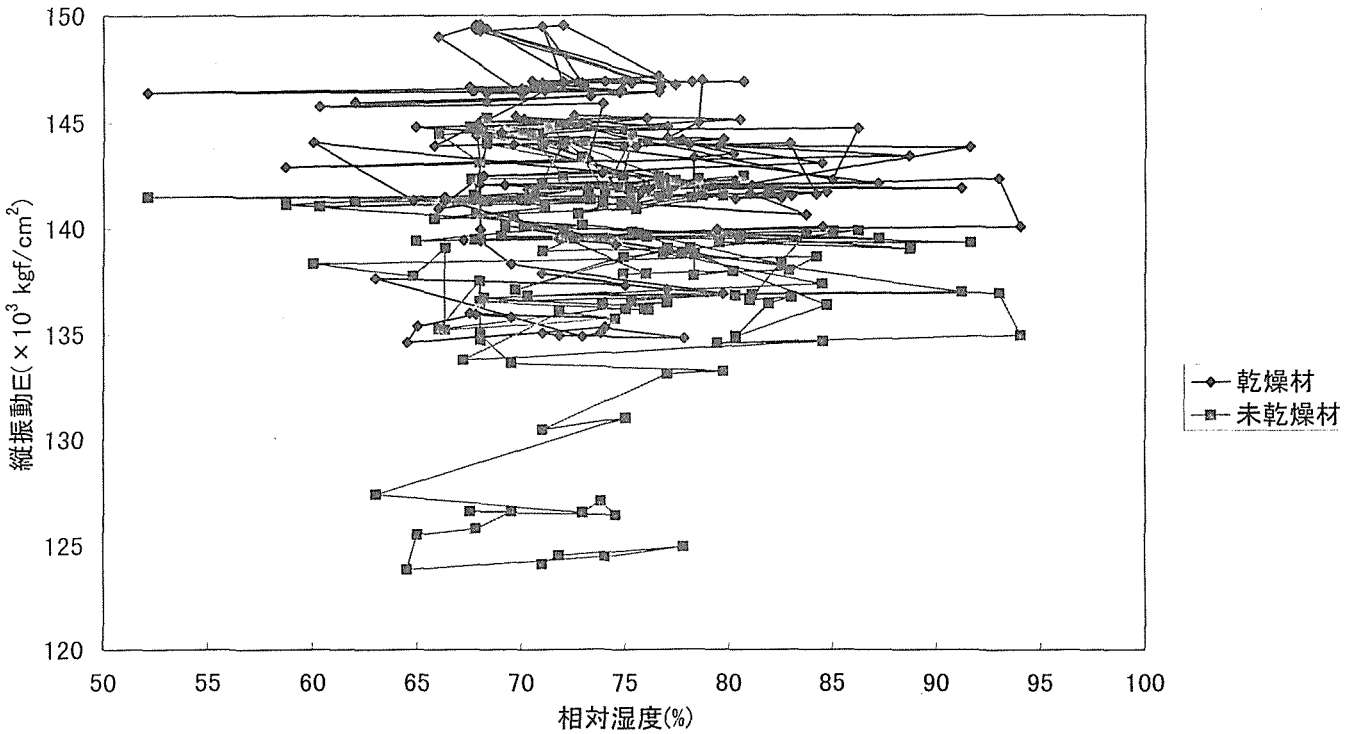


図21　縦振動Eと相対湿度の関係

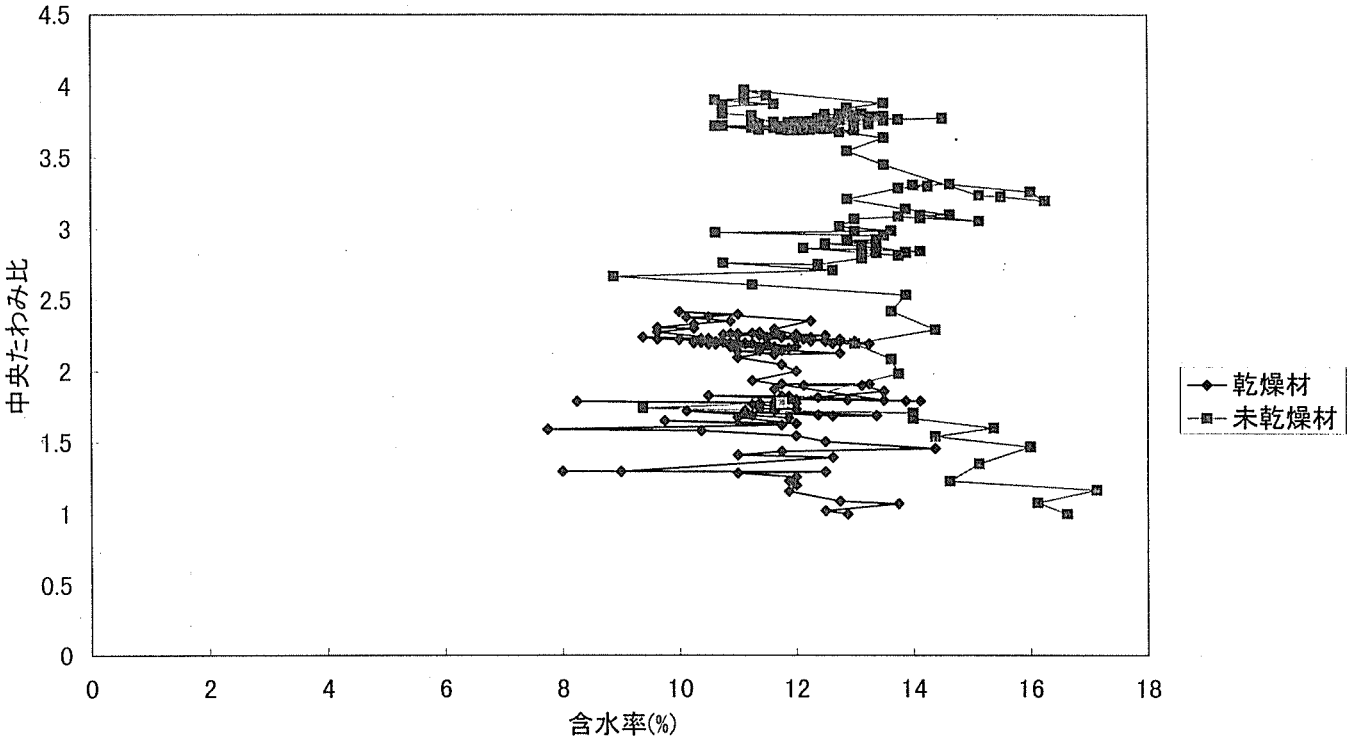


図22　含水率と中央たわみ比の関係

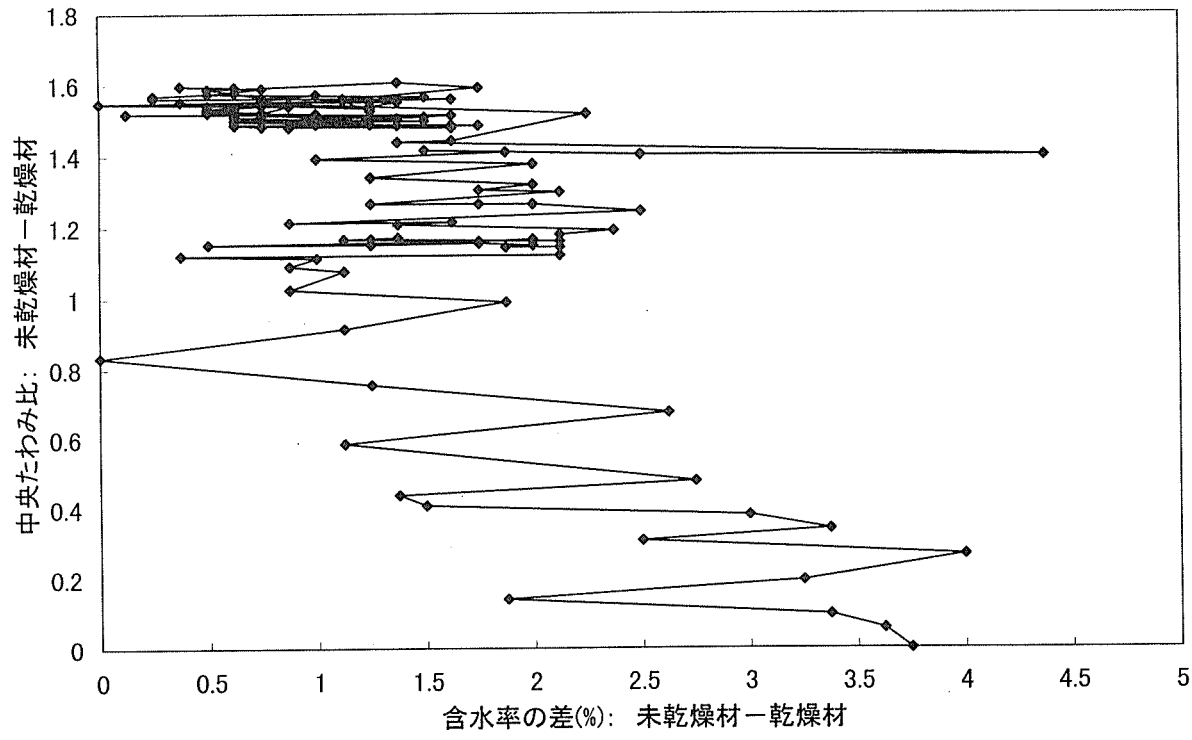


図23　含水率の差と中央たわみ比の差の関係

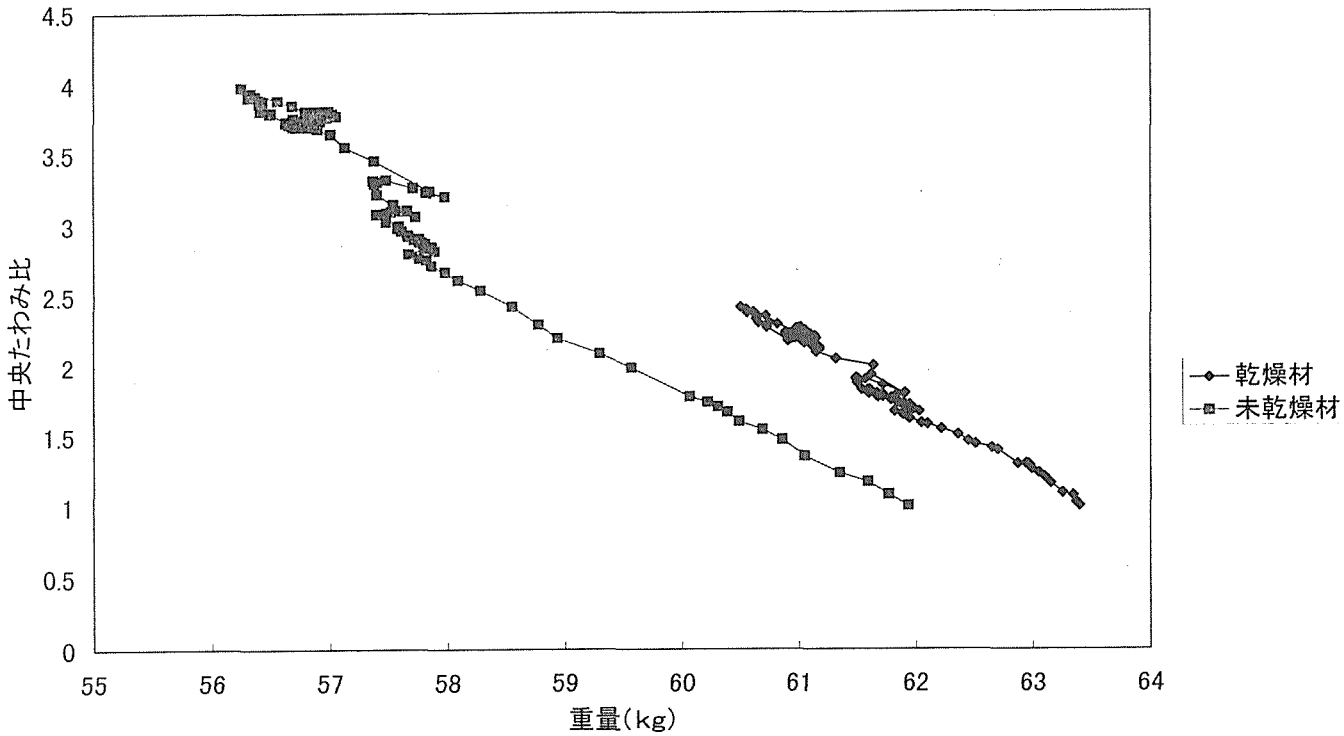


図24　重量変化と中央たわみ比の関係

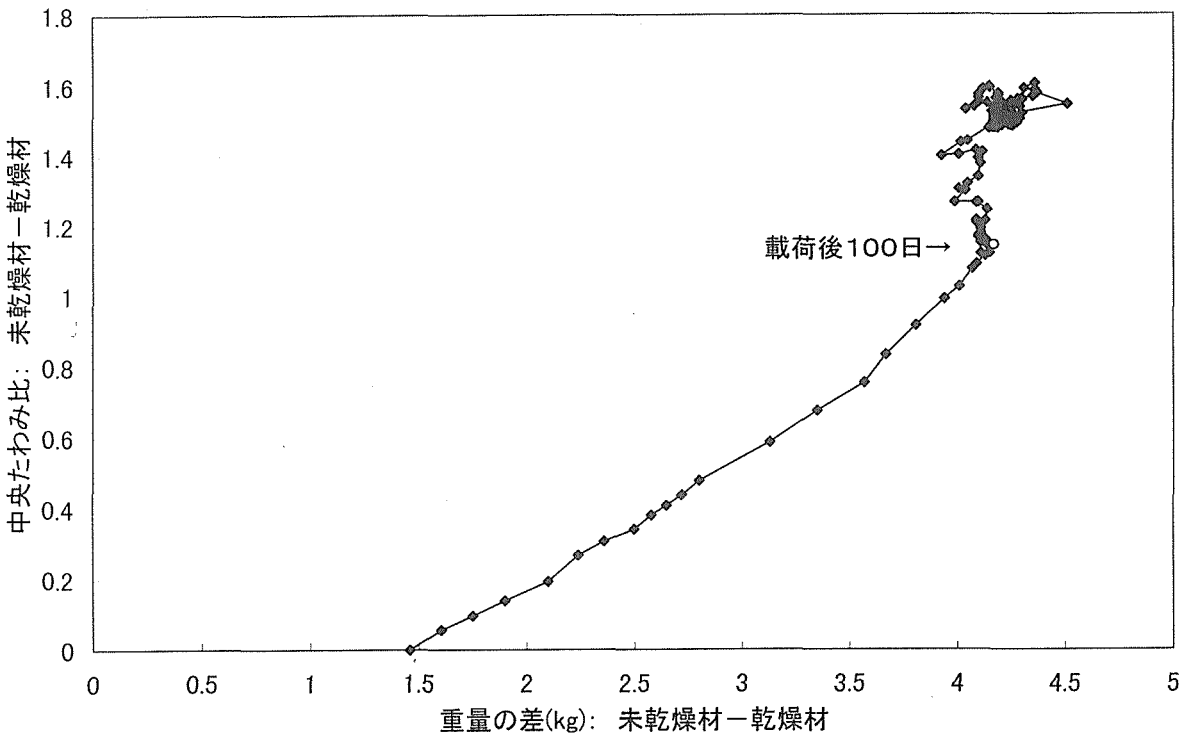


図25　重量の差と中央たわみ比の差の関係

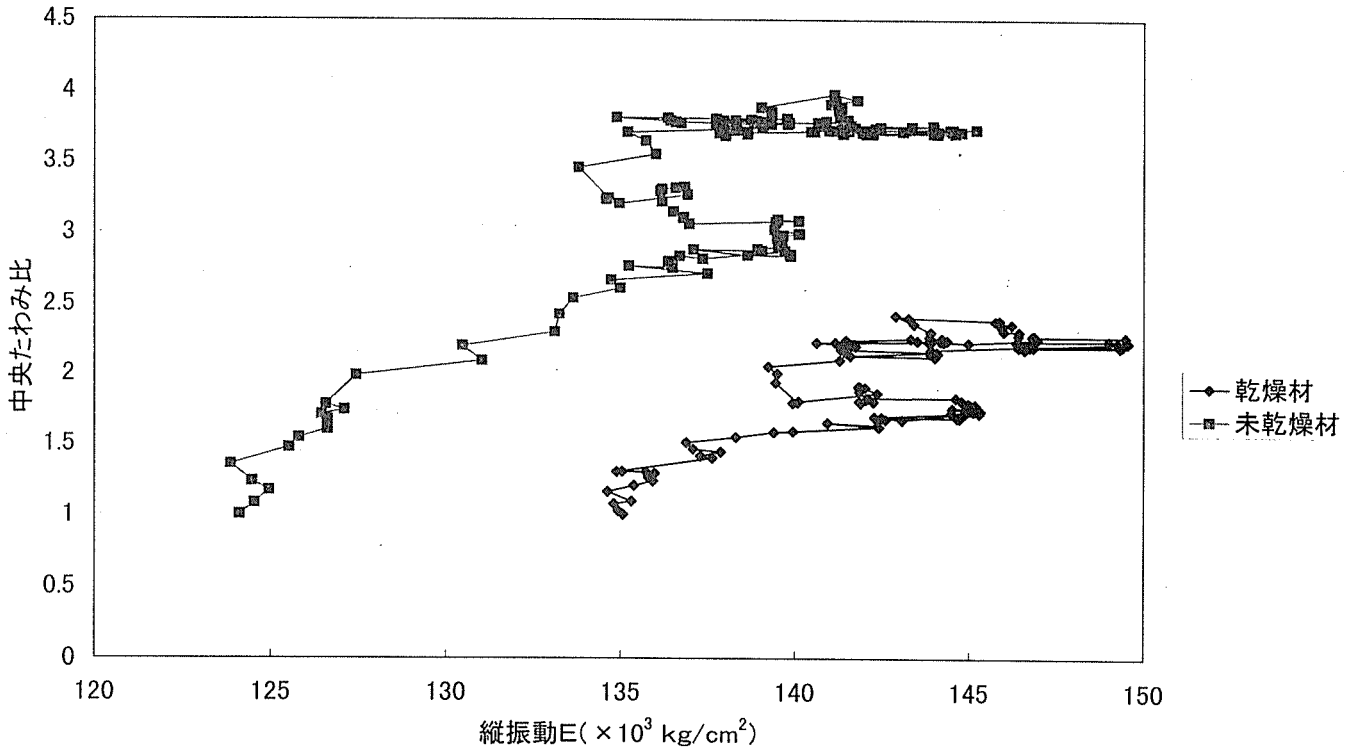


図26　縦振動Eと中央たわみ比の関係

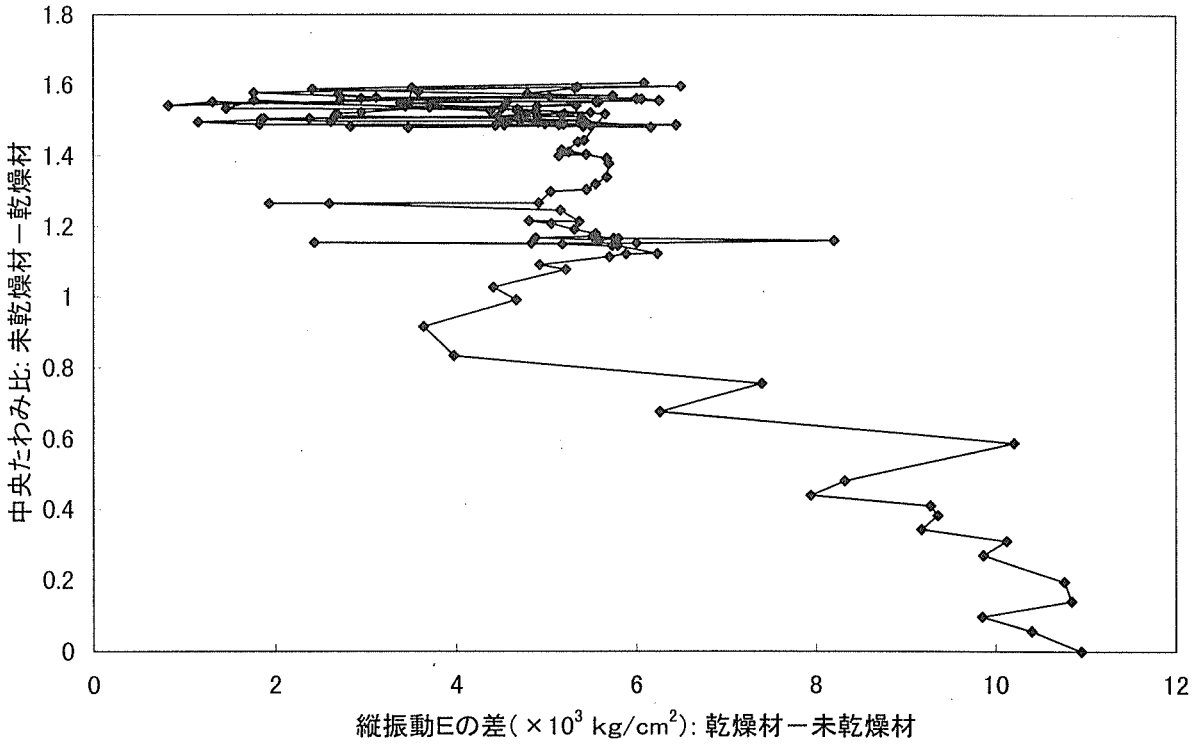


図27　縦振動Eの差と中央たわみ比の差の関係

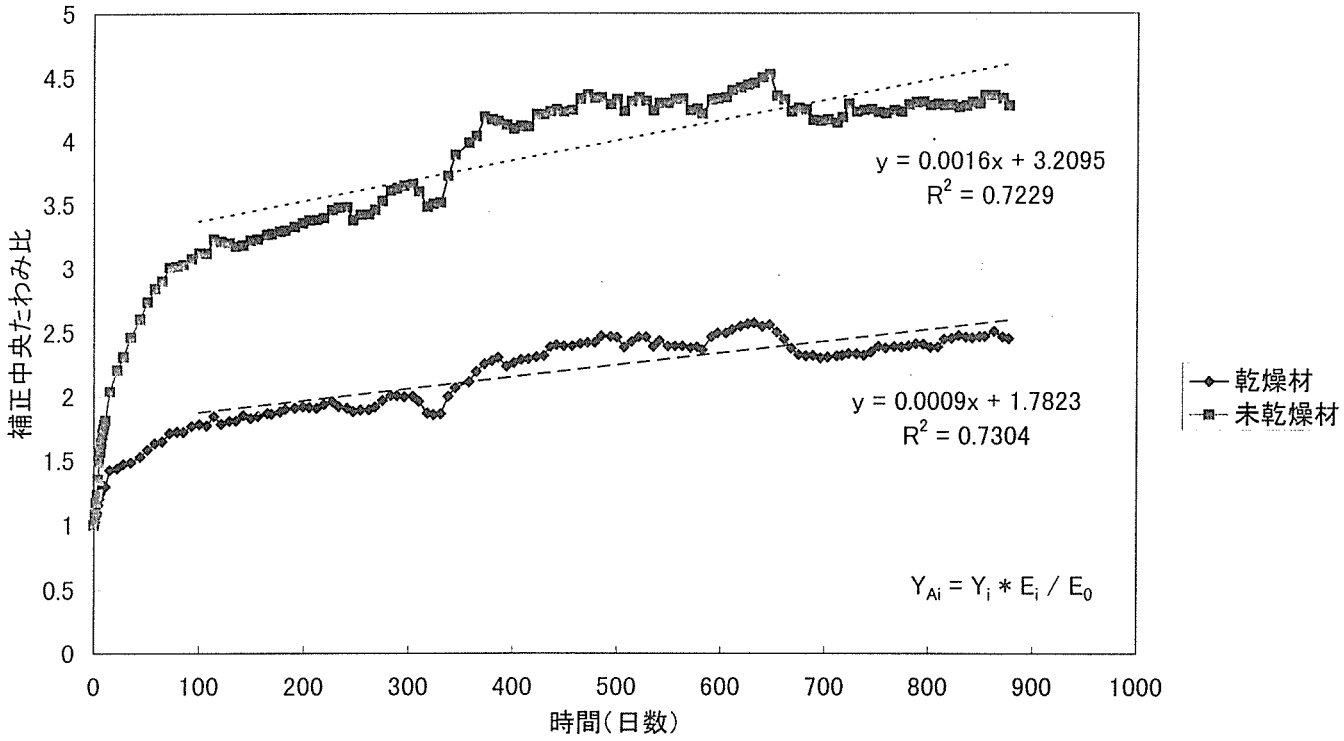


図28 補正中央たわみ比の推移

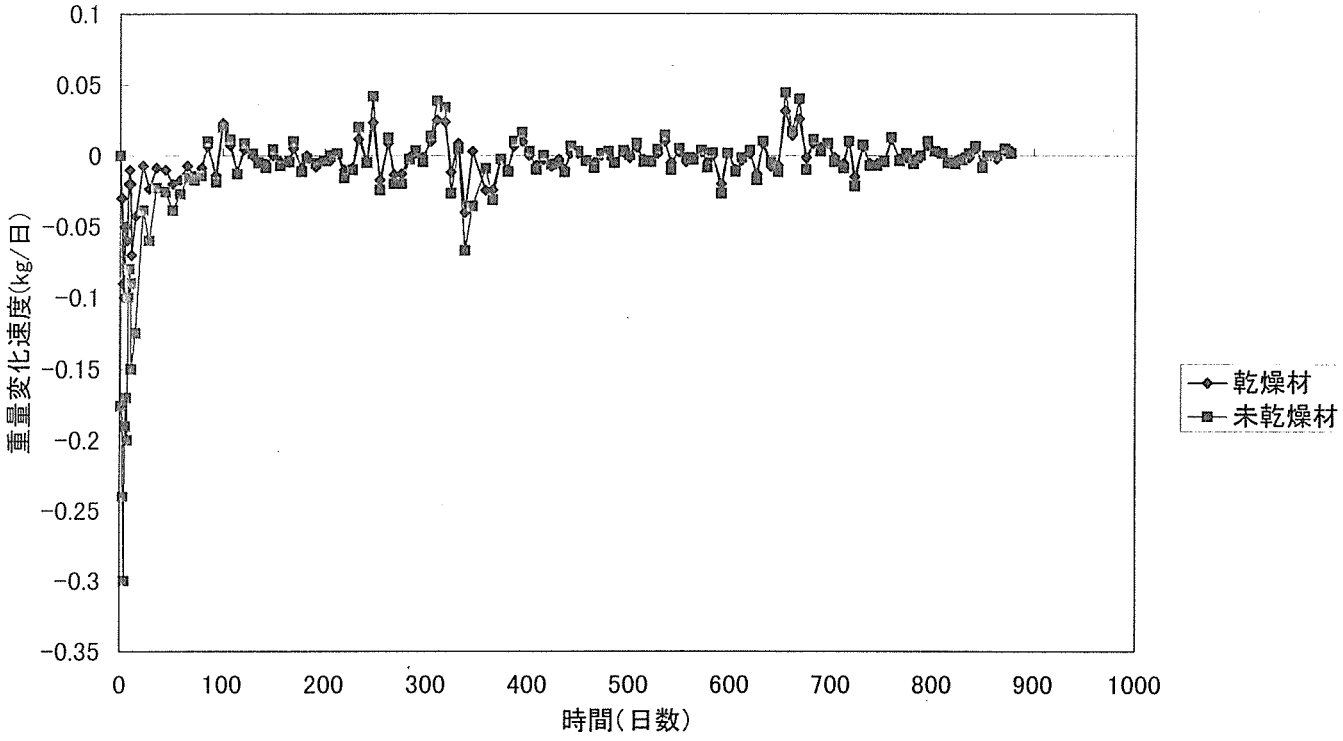


図29 重量変化速度の推移

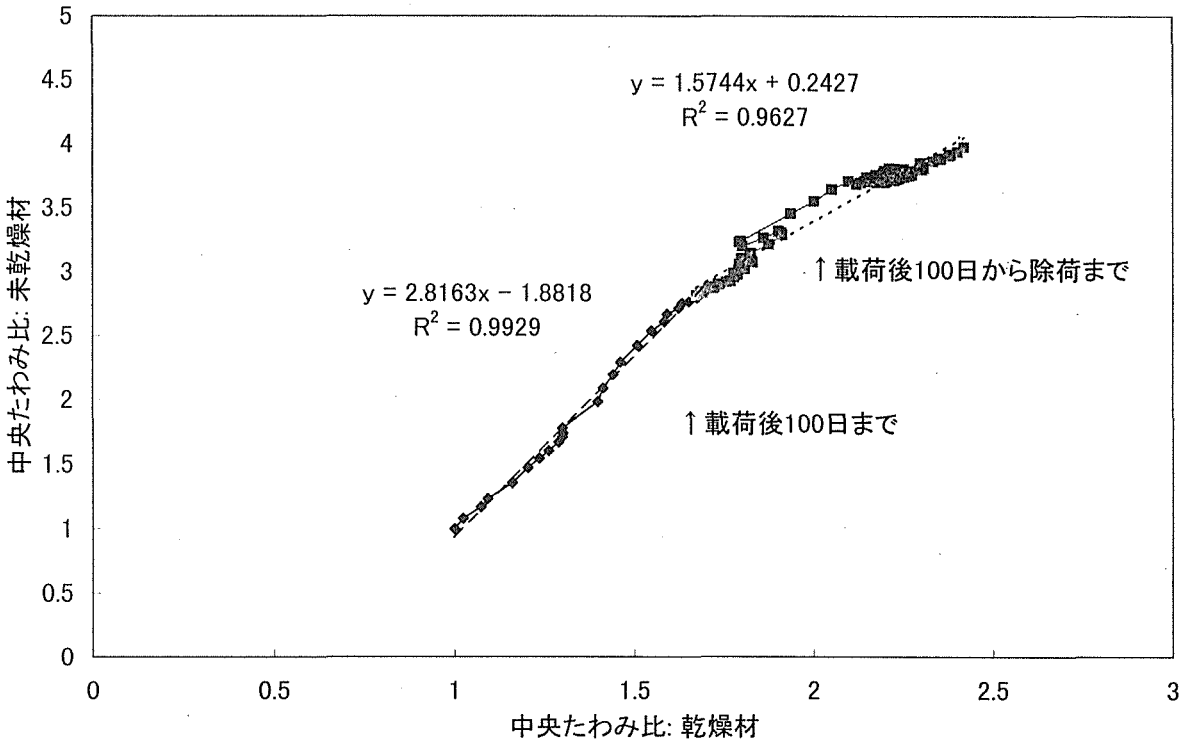


図30　乾燥材と未乾燥材の関係: 中央たわみ比

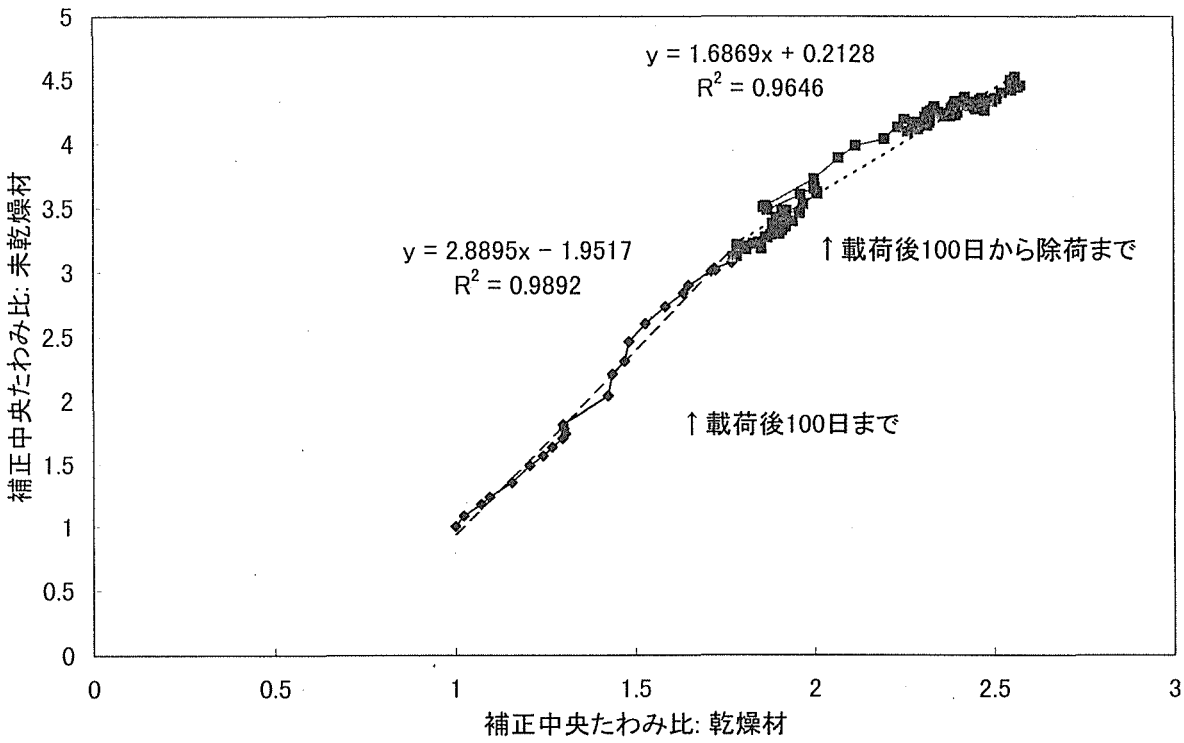


図31　乾燥材と未乾燥材の関係:補正中央たわみ比

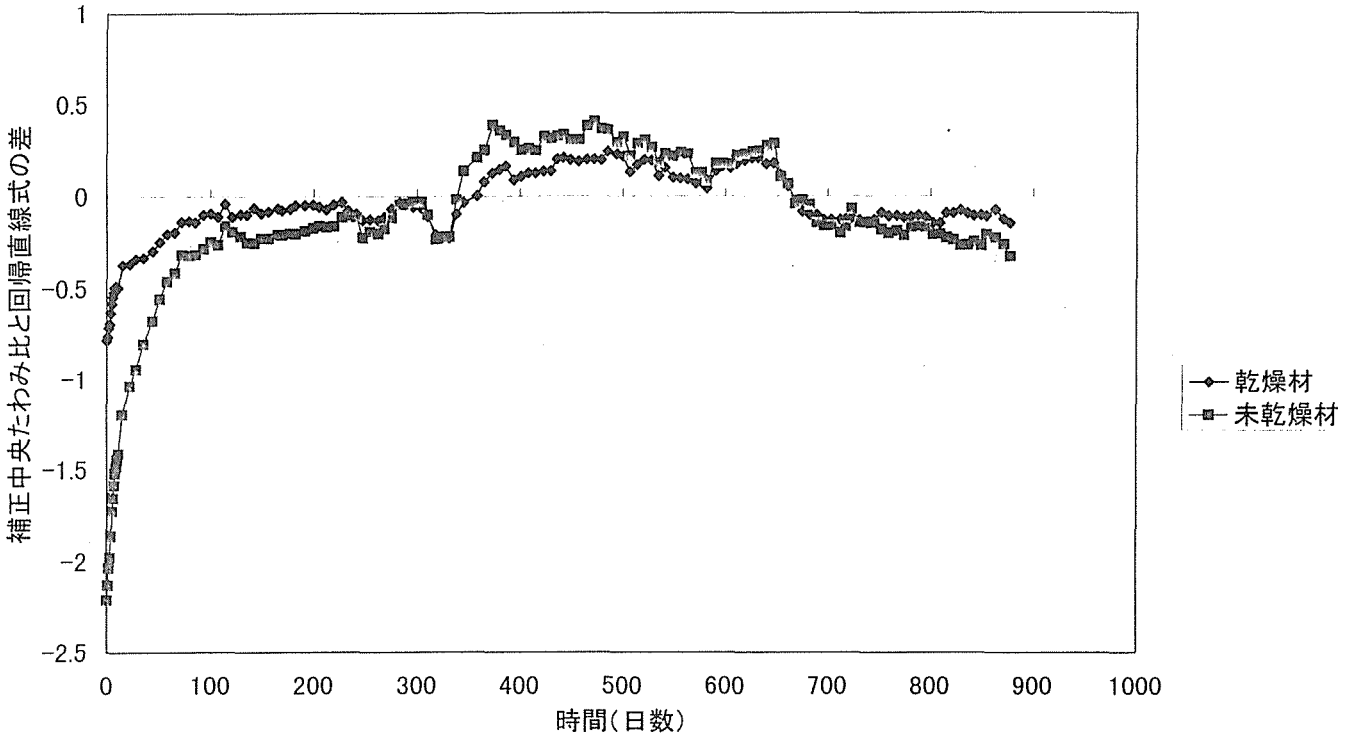


図32 補正中央たわみ比と回帰直線式の差の推移

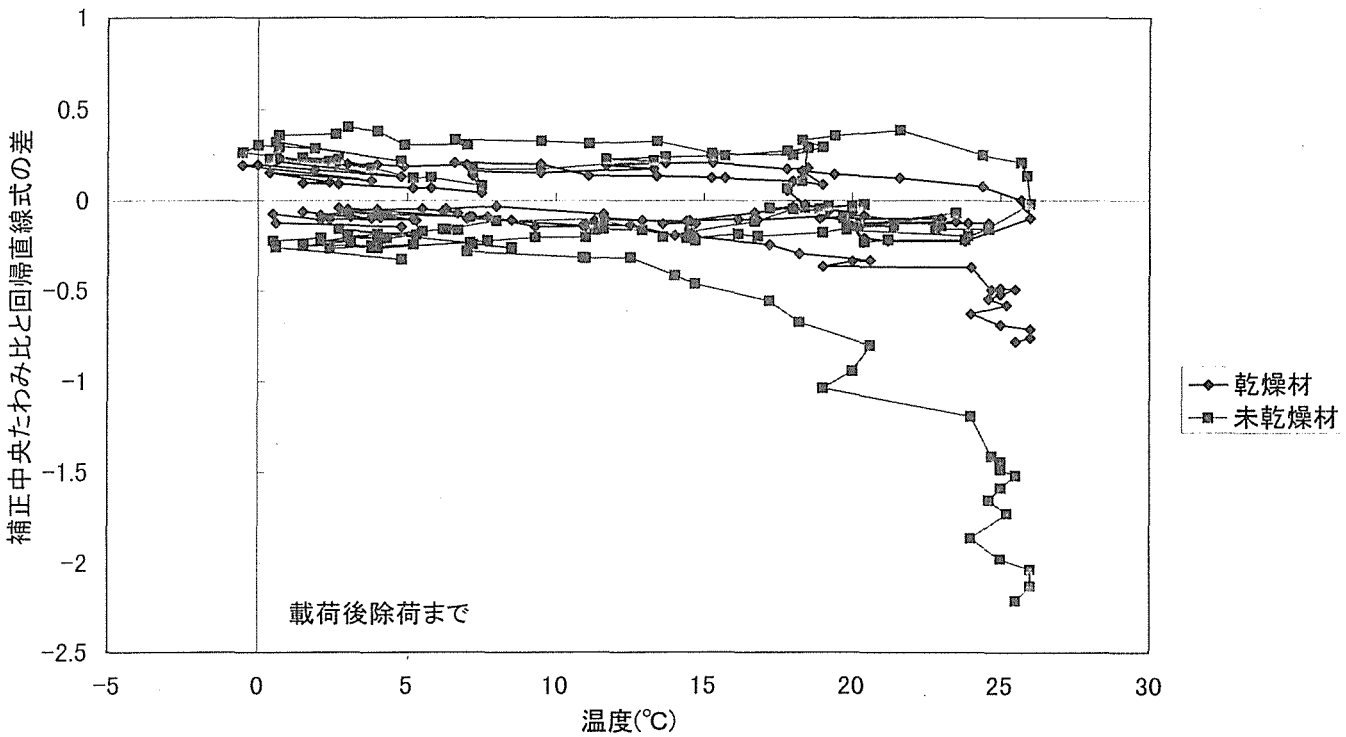


図33 補正中央たわみ比と回帰直線式の差の推移

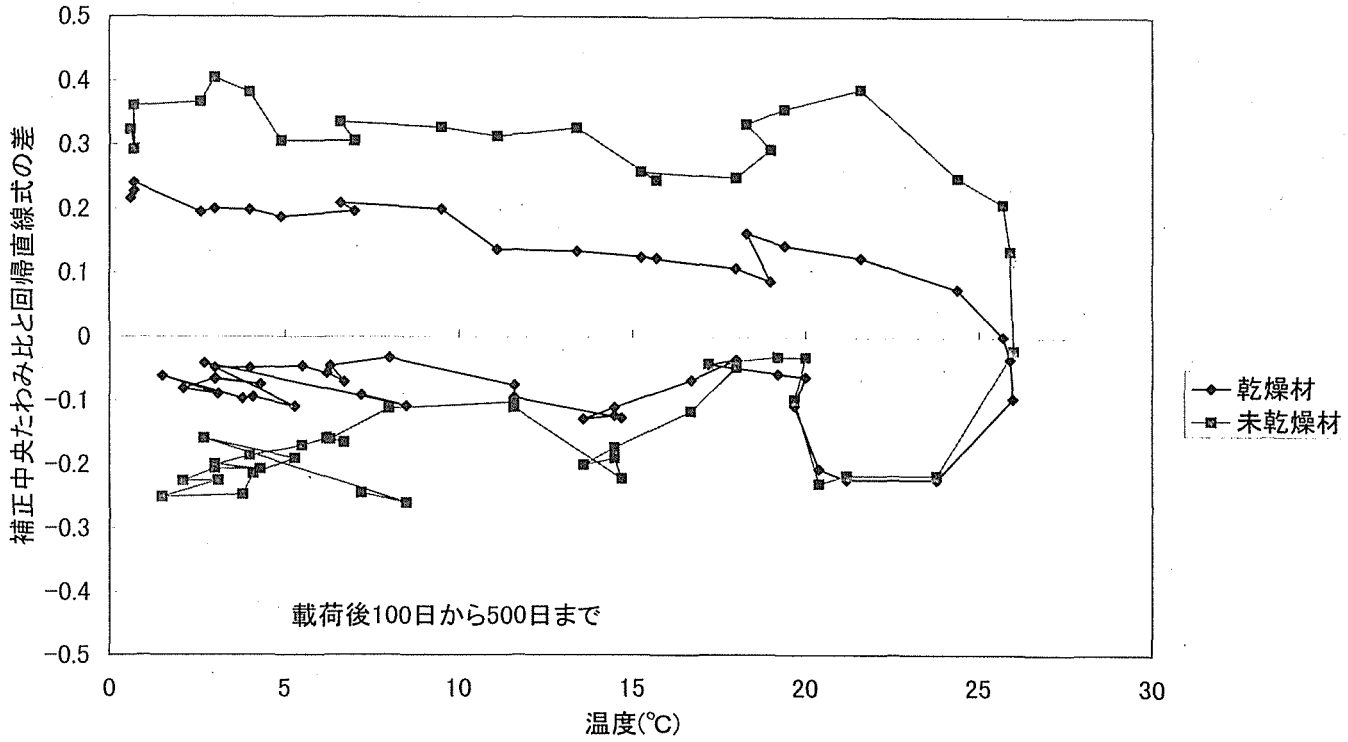


図34 補正中央たわみ比と回帰直線式の差の推移

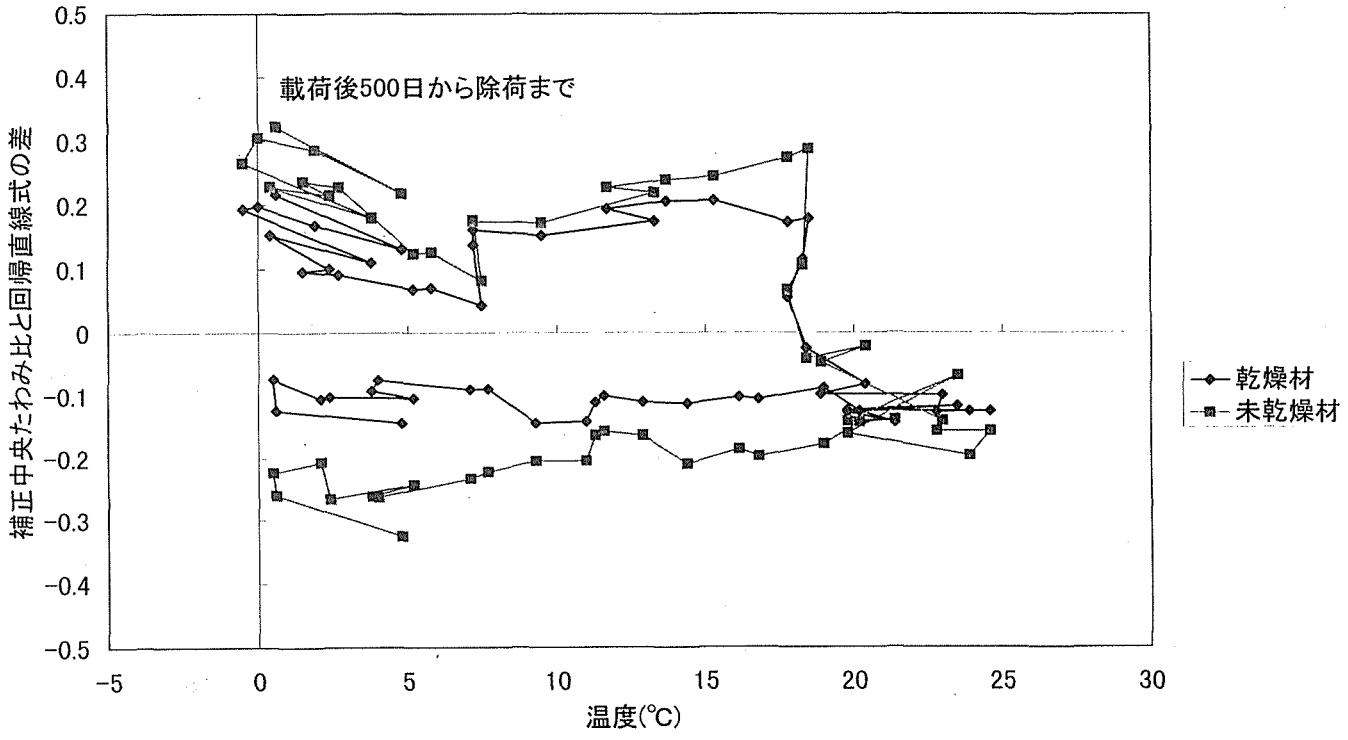


図35 補正中央たわみ比と回帰直線式の差の推移

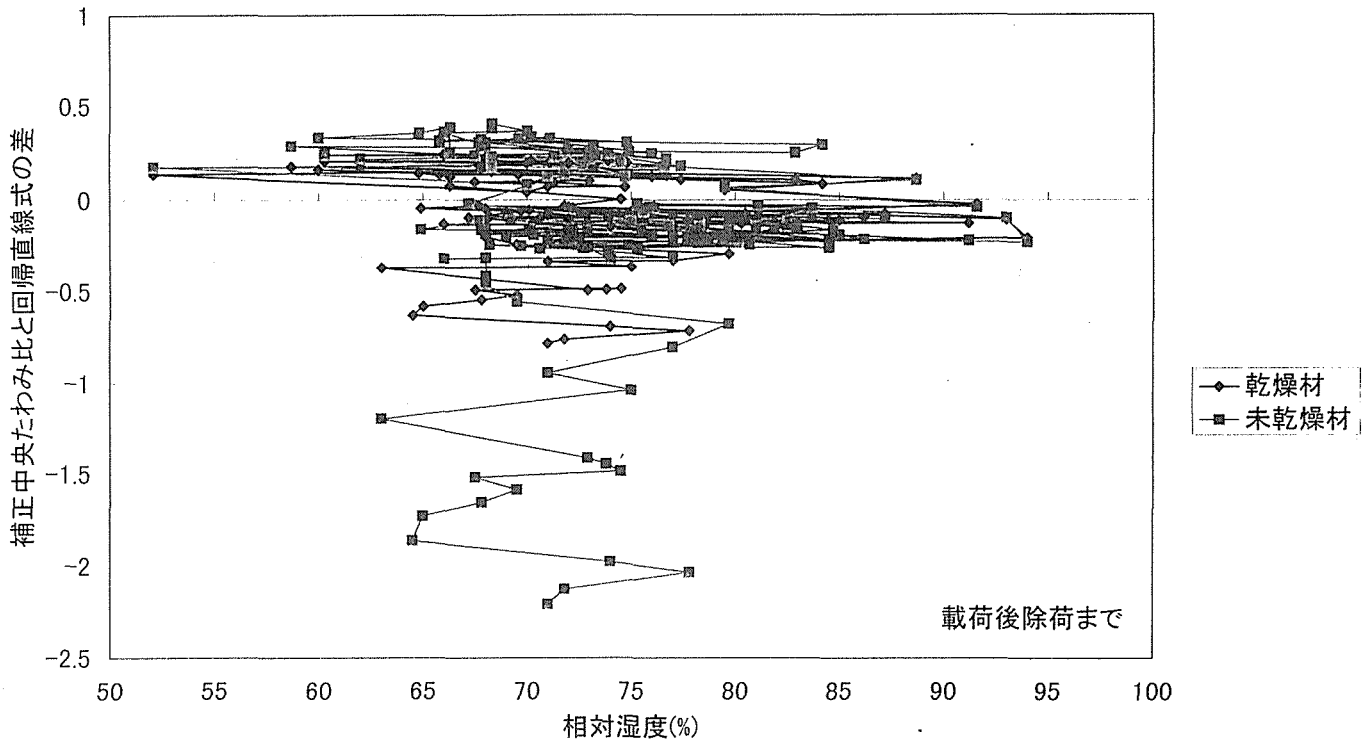


図36 補正中央たわみ比残差と相対湿度の関係

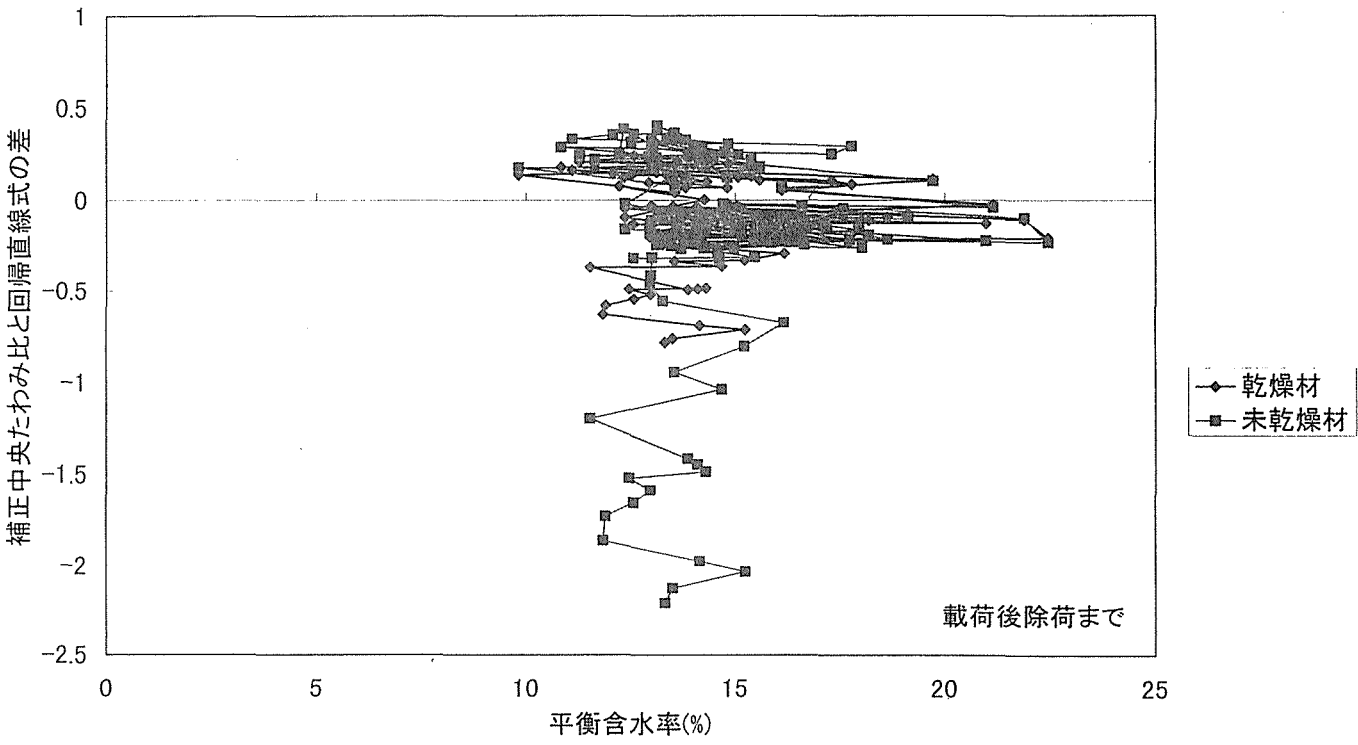


図37 補正中央たわみ比残差と平衡含水率の関係

３．水平加力試験

クリープ試験終了後に，柱・梁接合部の性能が乾燥材と未乾燥材で異なるかを検証するため，静的加力試験を行った。

３．１　試験方法

水平加力試験は，図３８に示すように，乾燥材と未乾燥材の軸組試験体を向かいあわせにして互いに引っ張る方法とした。両者の土台の間には柱材をはさみ，この柱材の側面と土台の側面を板材の釘打ちによって補強した。加力方法は，ウィンチを乾燥材試験体の桁にボルトでとめて，ロードセルを介して未乾燥材試験体の桁にワイヤーを結んで行った。水平荷重は約２５０ｋｇｆまで加えた。変位計の設定箇所は図に示すとおりである。

３．２　軸組の変形

水平加力試験の結果は，乾燥材と未乾燥材別，または，各梁材ごとに示した。各梁材の表記方法は，

乾燥材：　Ｄ１（ＤＡ），Ｄ２（ＤＢ）

未乾燥材：Ｇ１（ＧＢ），Ｇ２（ＧＡ）

であり，Ｄ１，Ｄ２，Ｇ１，Ｇ２は各材の墨付けの表示の「い１」側の梁材をＤ１，Ｇ１とし，他方をＤ２，Ｇ２と表記したものであり，ＤＡ，ＤＢとＧＡ，ＧＢは，載荷の順にＡ，Ｂと表記している。

・加力点水平変位

加力点の水平変位を図３９に示す。図から明らかなように，未乾燥材試験体の方がわずかにせん断性能が高い傾向がみられた。

・通し柱の引き抜け量

梁下側に固定した変位計（図３８：変位計⑦）の測定値と荷重の関係を図４０に示す。Ｇ２を除いてほとんど同様の傾向を示したが，乾燥材，未乾燥材の平均値でみると，未乾燥材の方が乾燥材より梁の通し柱に対する引き抜け量は大きいと考えられる。

・管柱及び通し柱の変形

各柱の上部と下部の水平変位の差をこの距離で割ってせん断変形角を求めた。管柱の変形は図４１，通し柱の変形は図４２に示す。管柱と通し柱のいずれも未乾燥材の方が乾燥材よりせん断変形角が小さく，また，乾燥材と未乾燥材別に管柱と通し柱を比較すると，通し柱のせん断変形各の方が小さい傾向がみられた。

・梁の水平変位

梁の水平変位と荷重の関係を図４３に示す。未乾燥材の方が乾燥材と比較して梁の水平変位が小さいことが認められる。

・管柱と梁のずれ

梁の水平変位と管柱上部の水平変位の差から管柱と梁のずれを求めると，図４４に示すとおり，乾燥材の方が未乾燥材より大きなずれを生じた。

・羽子板ボルトひずみ

羽子板ボルトのひずみを図４５に示す。載荷順別に比較すると，乾燥材のＤＡとＤＢではＤＡが未乾燥材のＧＡとＧＢではＧＡのひずみが大きく，先に載荷した方の梁を接合している羽子板ボルトのひずみの方が大きくなっている。また，ＤＡとＧＡ，ＤＢとＧＢを比較するといずれも乾燥材の方がひずみが大きい。乾燥材の方が未乾燥材と比較して羽子板ボルトが有効に機能していると考えられる。

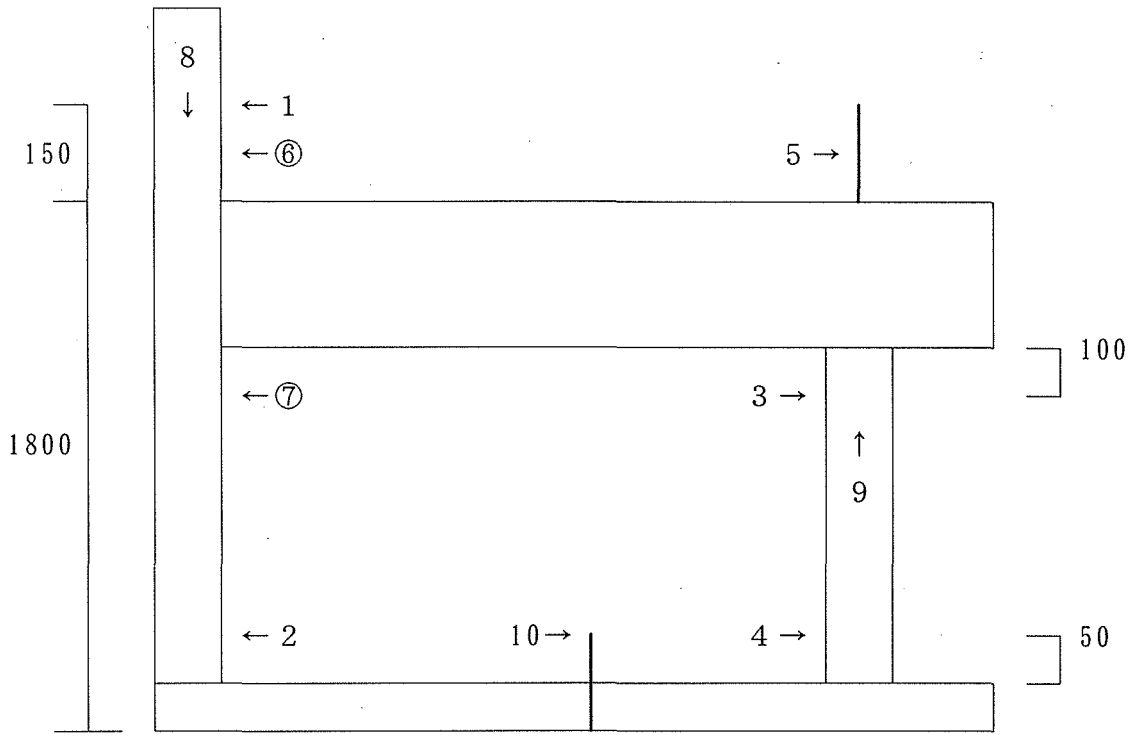
３．３　力の伝達

以上に示したように，未乾燥材の方が乾燥材と比較して若干変形が小さい傾向がみられた。しかし，乾燥に伴う材のねじれ・狂い等によって軸組に対して内部応力が発生している可能性は未乾燥材の方が高いと考えられることから，軸組の性能の一つの評価方法として，加力点の水平変位がどの程度通し柱まで伝達されているかを検討した。通し柱の水平変位を加力点の水平変位で割って荷重との関係を求めた。

図４６に示すとおり，加力点水平変位に対する通し柱上部の水平変位の比は乾燥材の方が高く，乾燥材の方がよく力を伝達していると考えられる。

＜クリープ試験体の水平加力試験＞

・変位計設置箇所



全て圧縮側を＋（正）　⑥と⑦は相対変位

・平面図

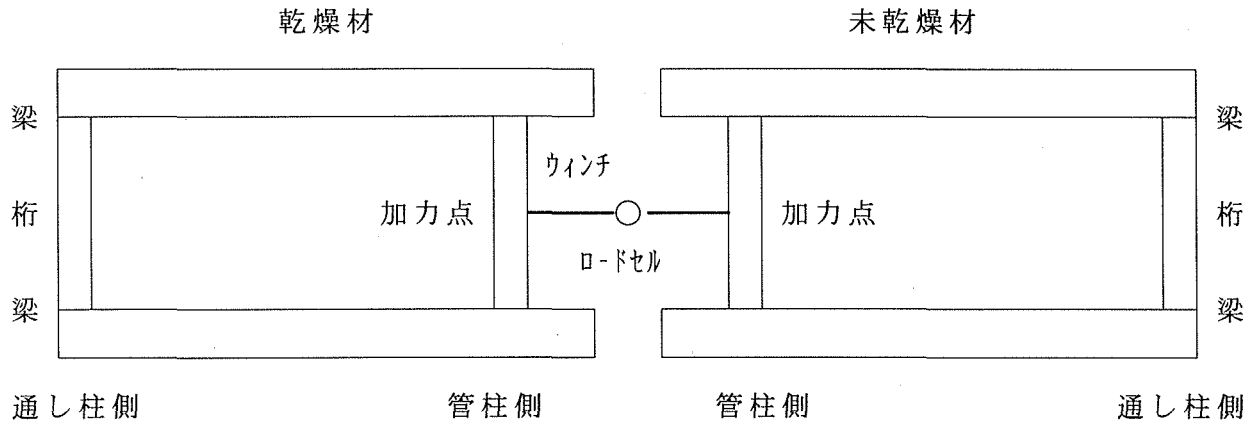


図３８　水平加力試験の方法

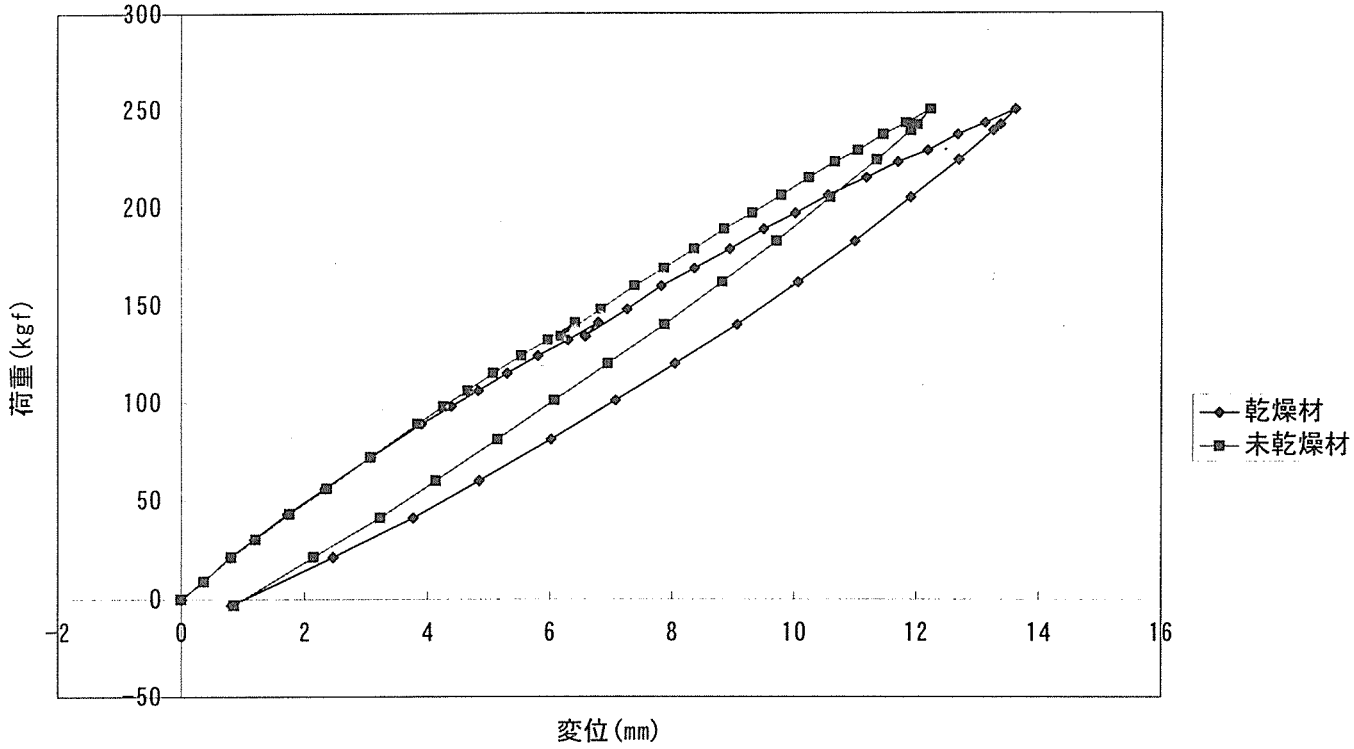


図３９　荷重－加力点水平変位

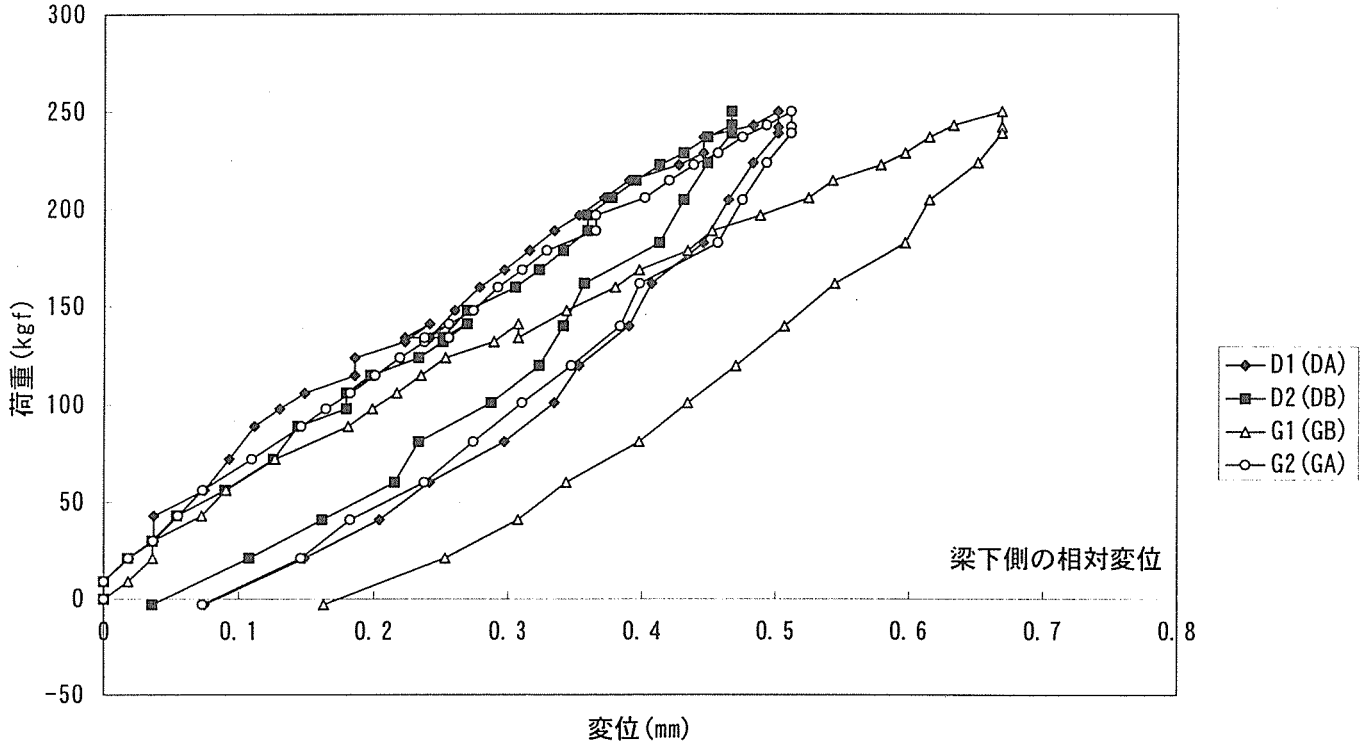


図４０　梁の通し柱に対する引き抜き量

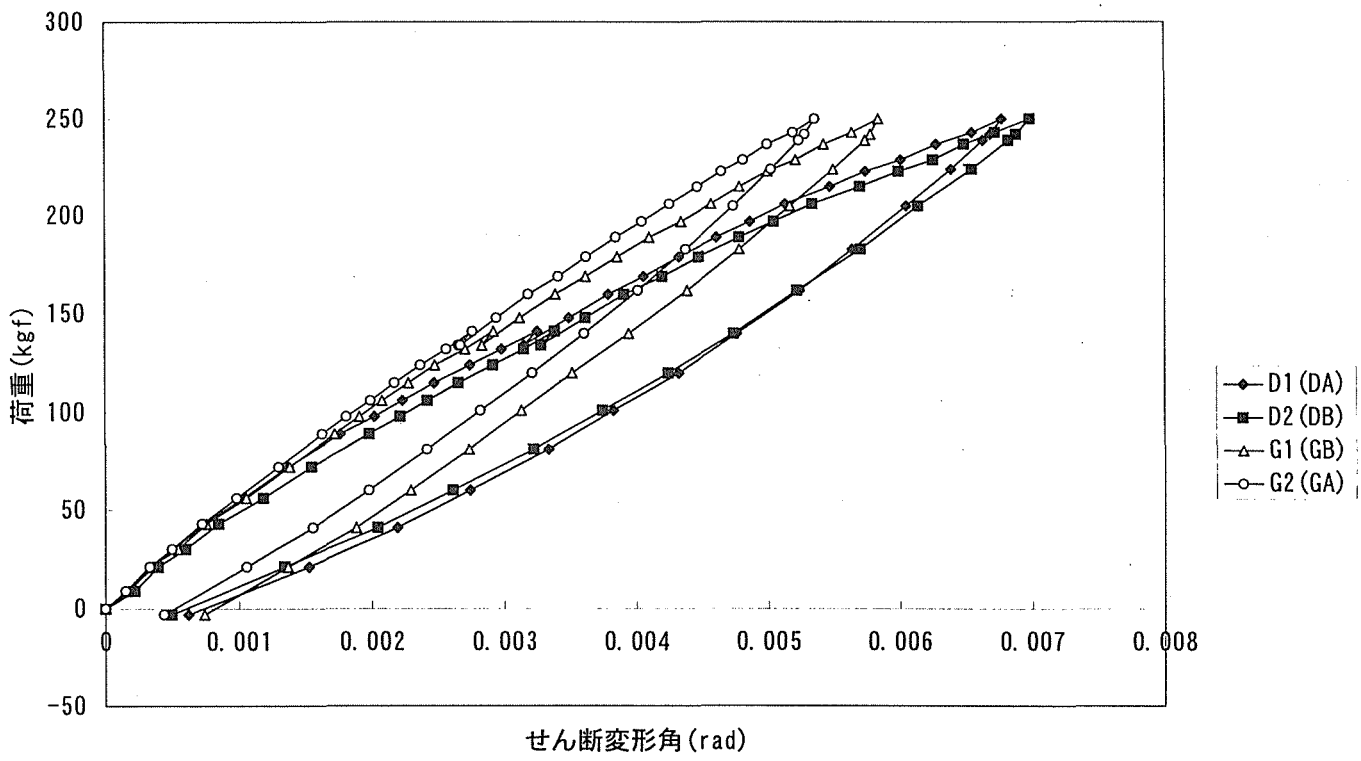


図４１　管柱の変形

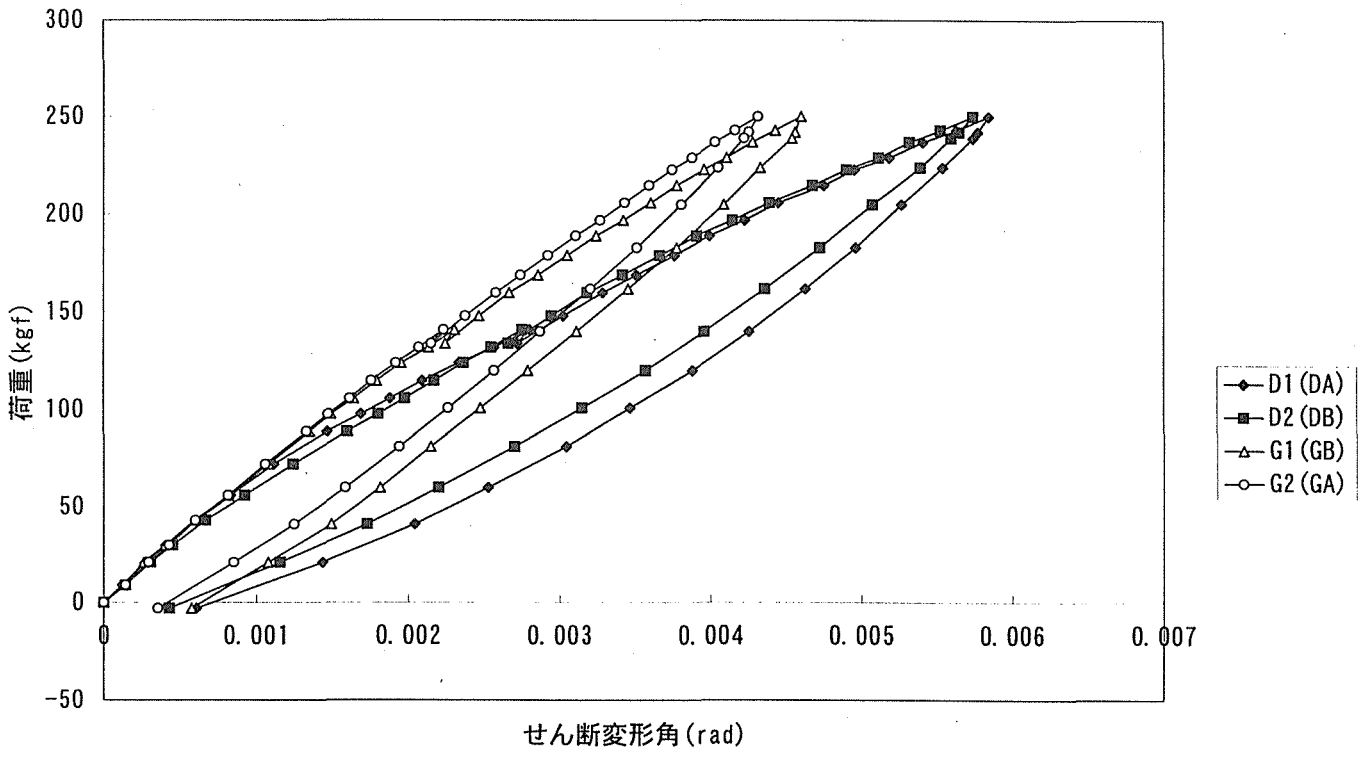


図４２　通し柱の変形

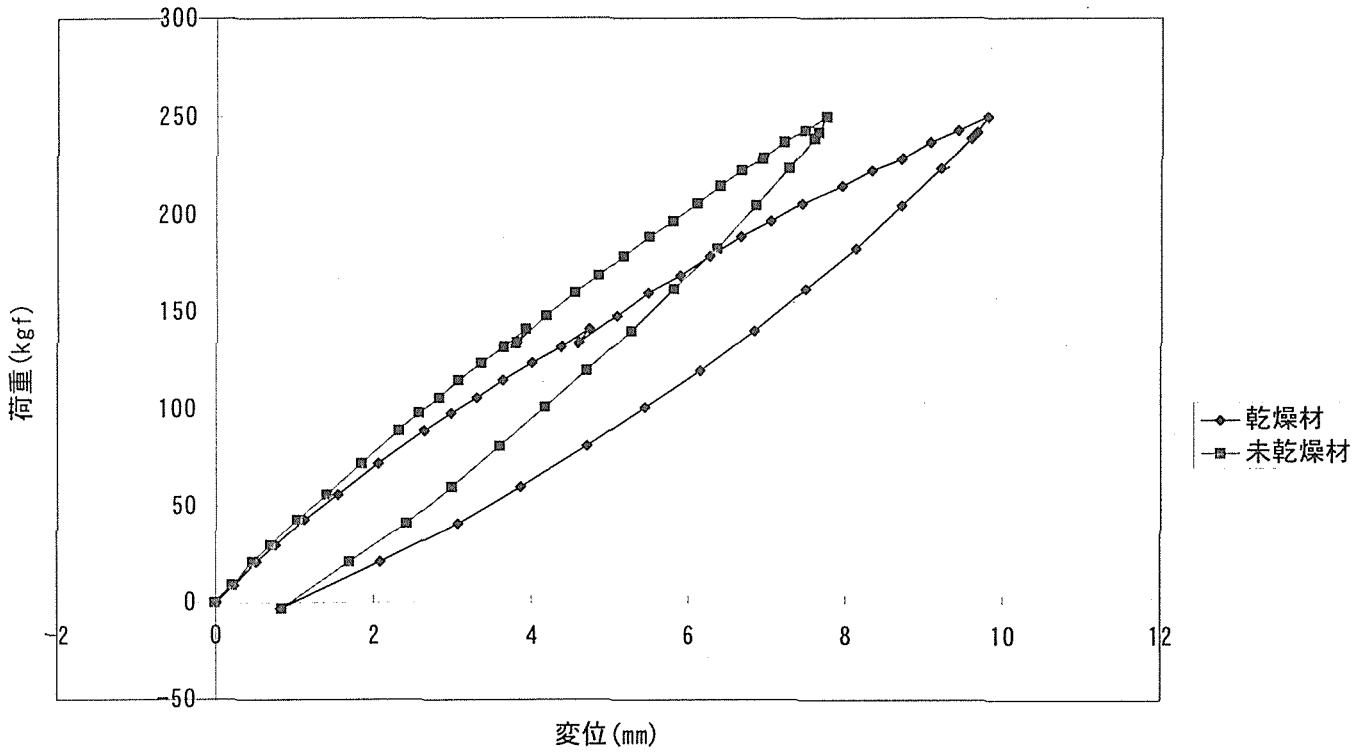


図４３　梁の水平変位

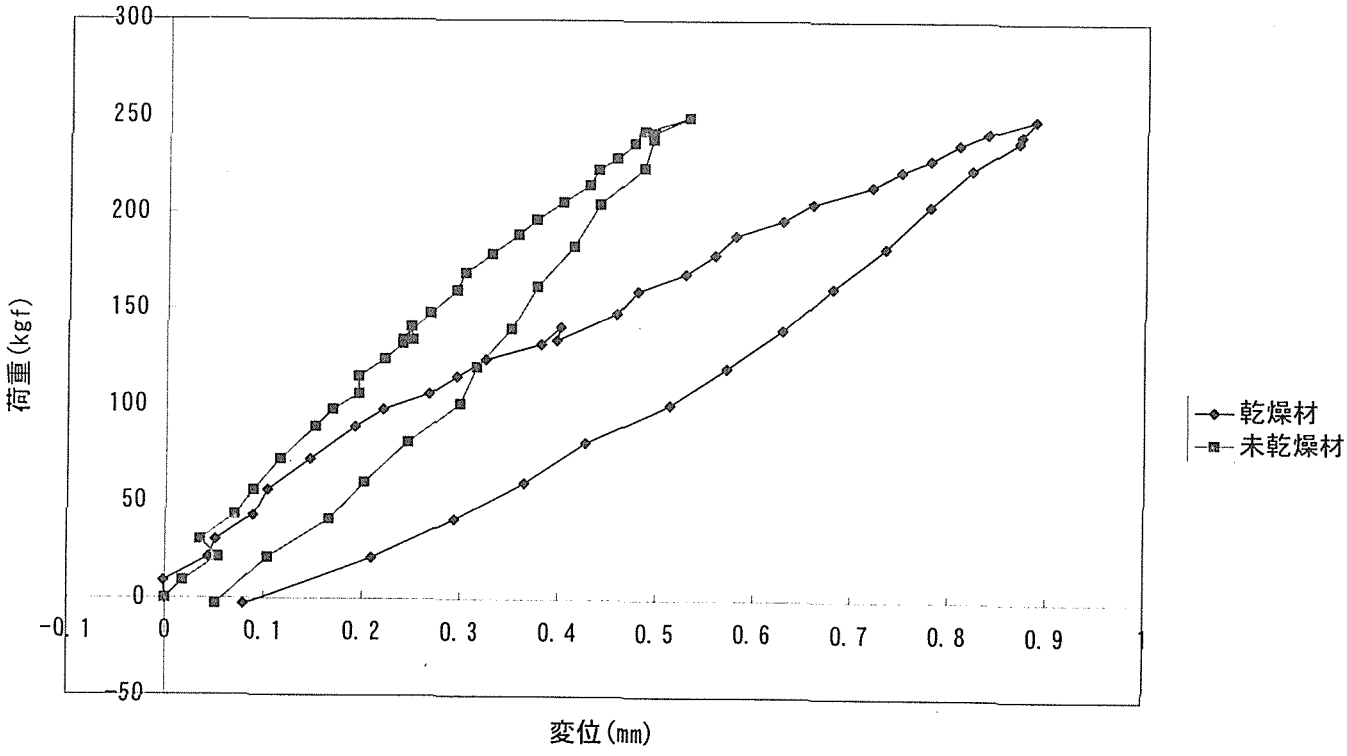


図４４　管柱と梁のずれ

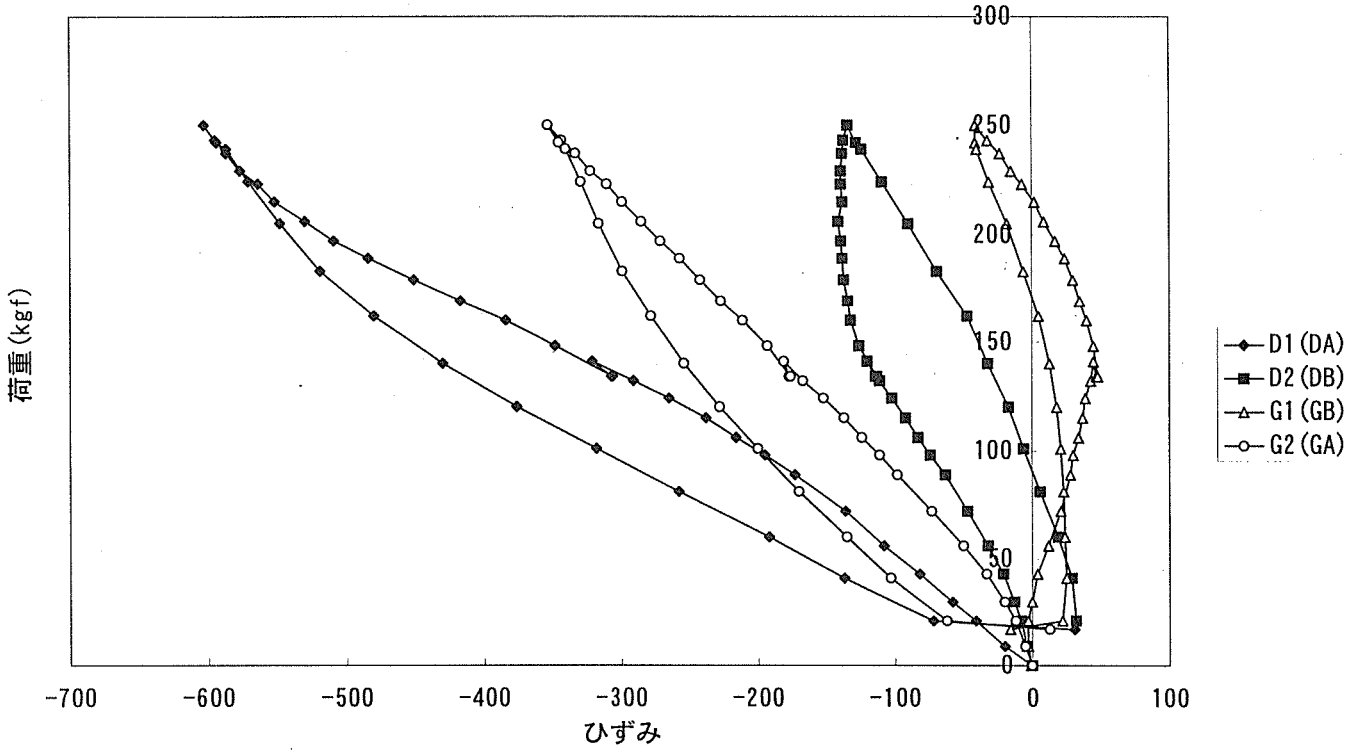


図４５　荷重-羽子板ボルトひずみ

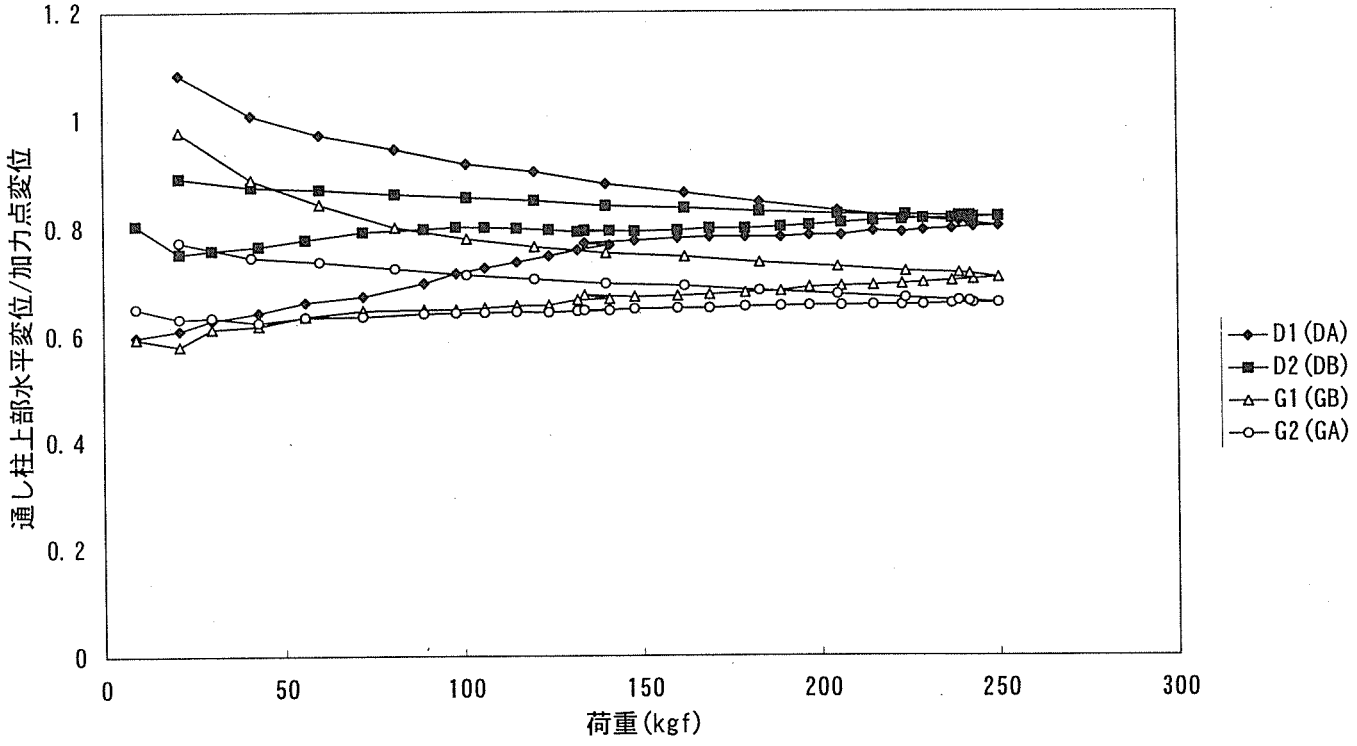


図４６　力の伝達(通し柱上部水平変位/加力点変位)

４．鉛直加力試験

水平加力試験結果から，乾燥材と未乾燥材のせん断変形性能はほとんど差異が認められなかったので，水平加力試験終了後に梁を突き上げる方向に鉛直加力を加え，通し柱と梁の接合部の性能を調べるため静的加力試験を行った。

４．１　試験方法

鉛直加力の方法は，クリープ試験の荷重として用いた鋼矢板が土台をまたぐ足台の上に設置されていたので，この鋼矢板の上にジャッキ（通常自家用車で用いているようなジャッキ）を置いてロード・セルを介して梁材を加力した。予備試験において，加力していると軸組全体が浮き上がってきたので，以降の試験においては，土台と足台の間に鋼板等を挿入して土台が浮き上がらないように固定した。

加力の条件は以下に示す４種類で，各梁について条件１から条件４まで順序に従って加力試験を行った。条件１の試験終了後に通し柱と梁の接合部に用いたＬ金物を外した。

条件１：加力点－スパン中央（通し柱から１８２０㎜），Ｌ金物有
条件２：　　〃　　，Ｌ金物無
条件３：加力点－スパン 1/4（通し柱から　９１０㎜），Ｌ金物無
条件４：加力点－スパン 1/6（通し柱から　６０７㎜），Ｌ金物無

以上の条件に従って，鉛直荷重が約５００ｋｇｆになるまで約１００ｋｇｆごとに変位の測定を行った。変位計の設置箇所を図４７に示す。

各試験体の乾燥材１，乾燥材２，未乾燥材１，未乾燥材２の表記は前述の水平加力試験と同様である。

４．２　試験結果

荷重と垂直変位の関係について，各条件ごとに，乾燥材１は図４８－１～４，乾燥材２は図４９－１～４，未乾燥材１は図５０－１～４，未乾燥材２は図５１－１～４に示す。作図については，垂直変位の差を図から読み取りやすくするため荷重を横軸に変位を縦軸にとった。また，図中のＤ１とＤ２はそれぞれ図４７に示した変位計１と変位計２の垂直変位である。

試験を行っている間，荷重が増加しても垂直変位があまり増加しない局面の後に荷重が少し増加するだけで垂直変位が増加する局面がみられるケースが多く，これは，柱と梁の接合部における摩擦力等によるものと考えられる。特に，荷重が１００～３００ｋｇｆ以下の範囲で垂直変位が非常に小さいケースが多いが，荷重が４００ｋｇｆ以上では全ての試験体において梁と土台の垂直変位の差は明らかに認められる。

このため，４００ｋｇｆ以上の一定荷重時の垂直変位を乾燥材と未乾燥材の平均値で比較する方法によって，乾燥材と未乾燥材の比較を行った。

４．３　乾燥材と未乾燥材の比較

梁と通し柱の接合部の性能を乾燥材と未乾燥材で比較するため，梁と土台の垂直変位の差及び梁と柱の垂直変位の差を求めた。梁の垂直変位は図４７の変位計１，同様に，土台は変位計２，柱は変位計８の測定値を用いた。また，鉛直加力５００ｋｇｆ時の垂直変位に換算するため，垂直変位の差を荷重測定値で割った値に５００ｋｇｆをかけて求めた。また，乾燥材，未乾燥材別に各条件について平均値を求めた。

鉛直加力５００ｋｇｆ時の垂直変位について，梁と土台の相対変位は図５２－１，梁と柱の相対変位を図５２―２に示す。両者とも，条件１と２では乾燥材と未乾燥材の差異は小さく，条件３と４では未乾燥材の方が乾燥材より大きな垂直変位を示した。

これは，通し柱のほぞ穴の上部のすきが乾燥材の方が未乾燥材より小さいことに起因していると考えられる。

＜クリープ試験体の鉛直加力試験＞

・加力点：梁下側から鉛直方向上向きに加力（反力は，矢板（おもり））

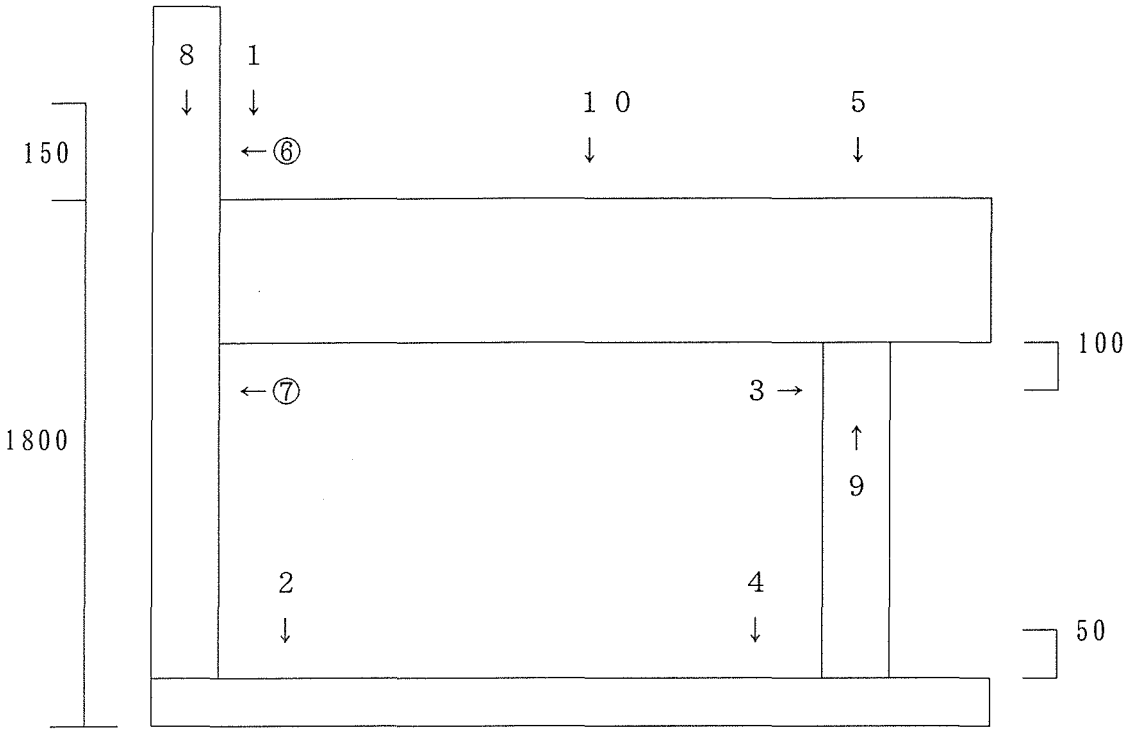
条件１：スパン中央，Ｌ金物有

条件２：スパン中央，Ｌ金物無（以下，Ｌ金物無）

条件３：１／４スパン（通し柱から９１０㎜）

条件４：１／６スパン（通し柱から６０７㎜）

・変位計設置箇所



全て圧縮側を＋（正）　⑥と⑦は相対変位

図４７　鉛直加力試験の方法

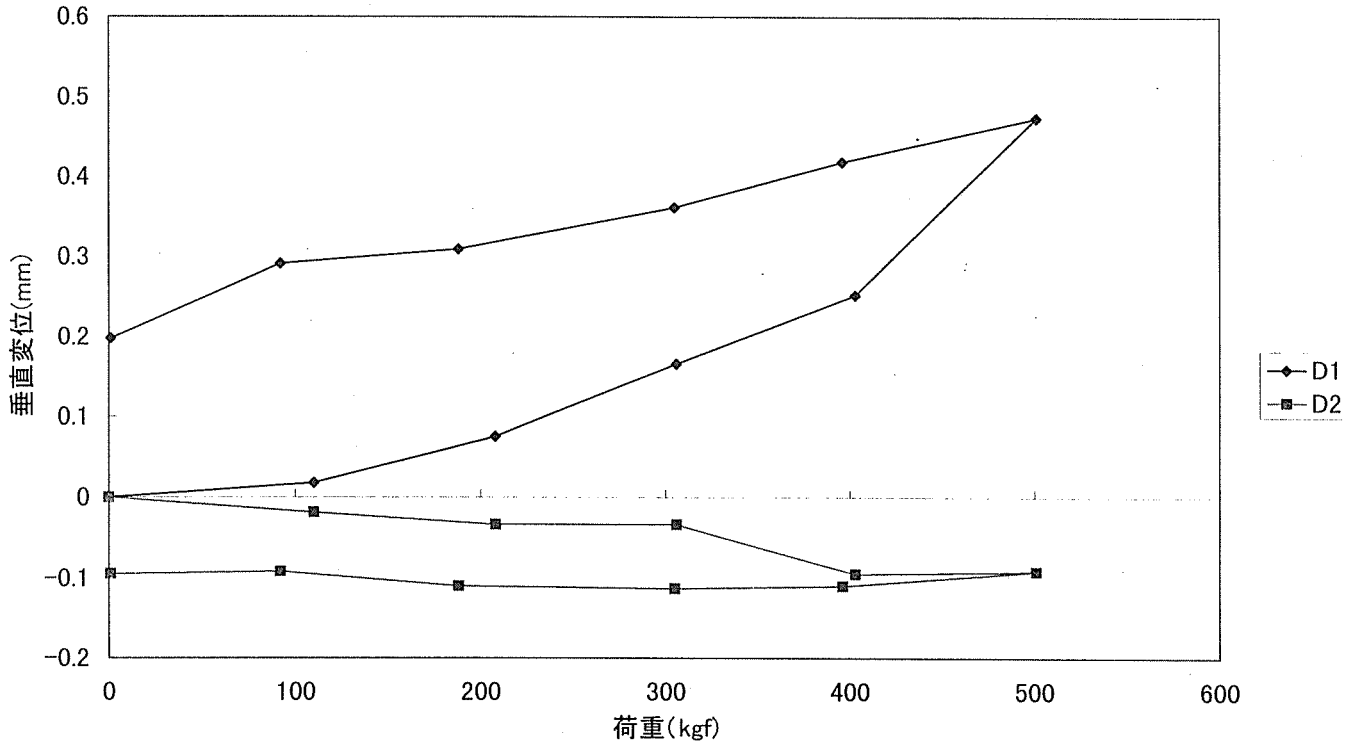


図48－1　荷重－垂直変位(乾燥材1):条件1

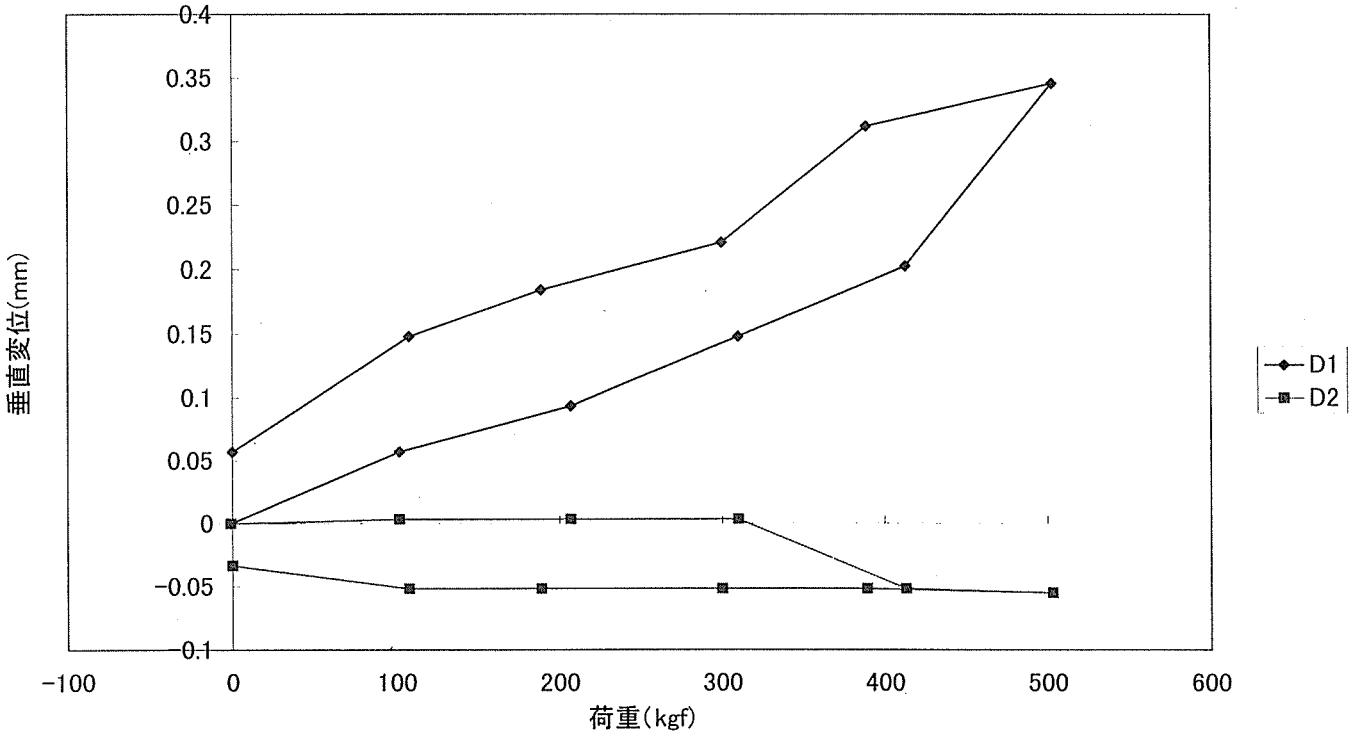


図48－2　荷重－垂直変位(乾燥材1):条件2

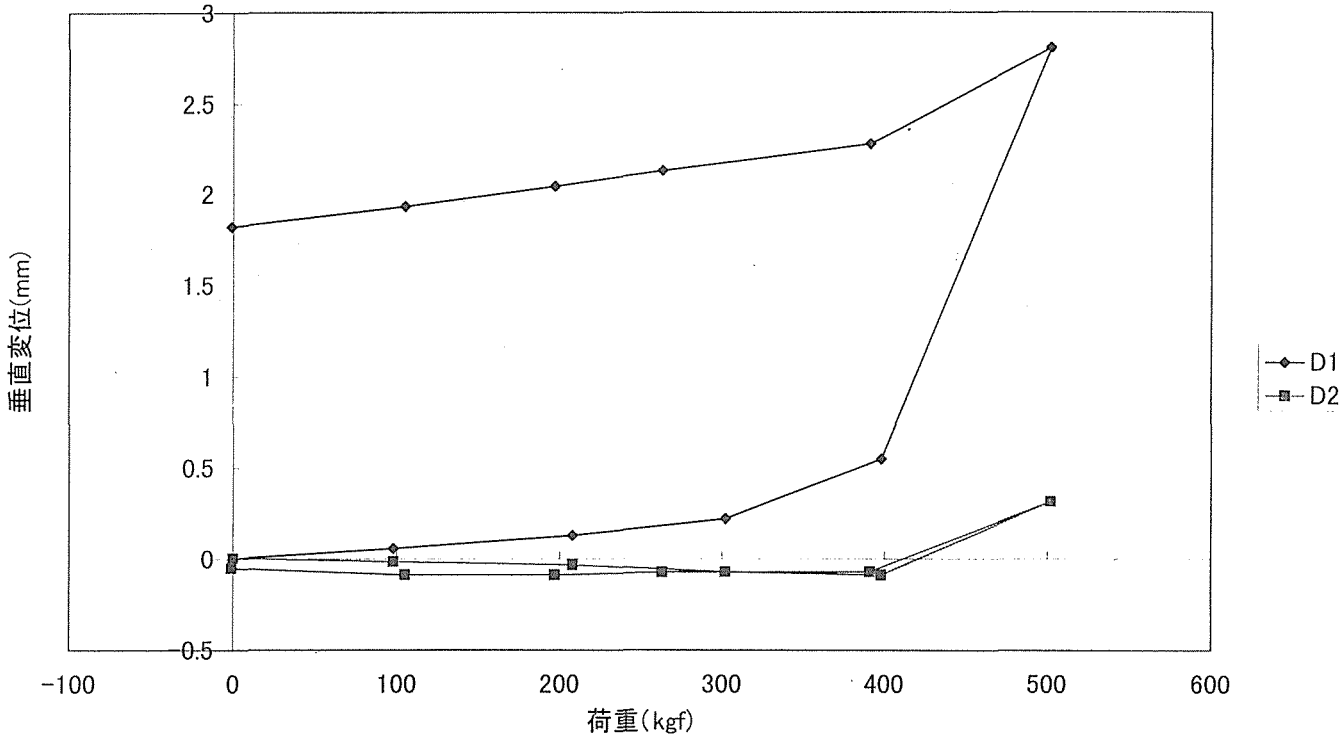


図48－3　荷重－垂直変位(乾燥材1):条件3

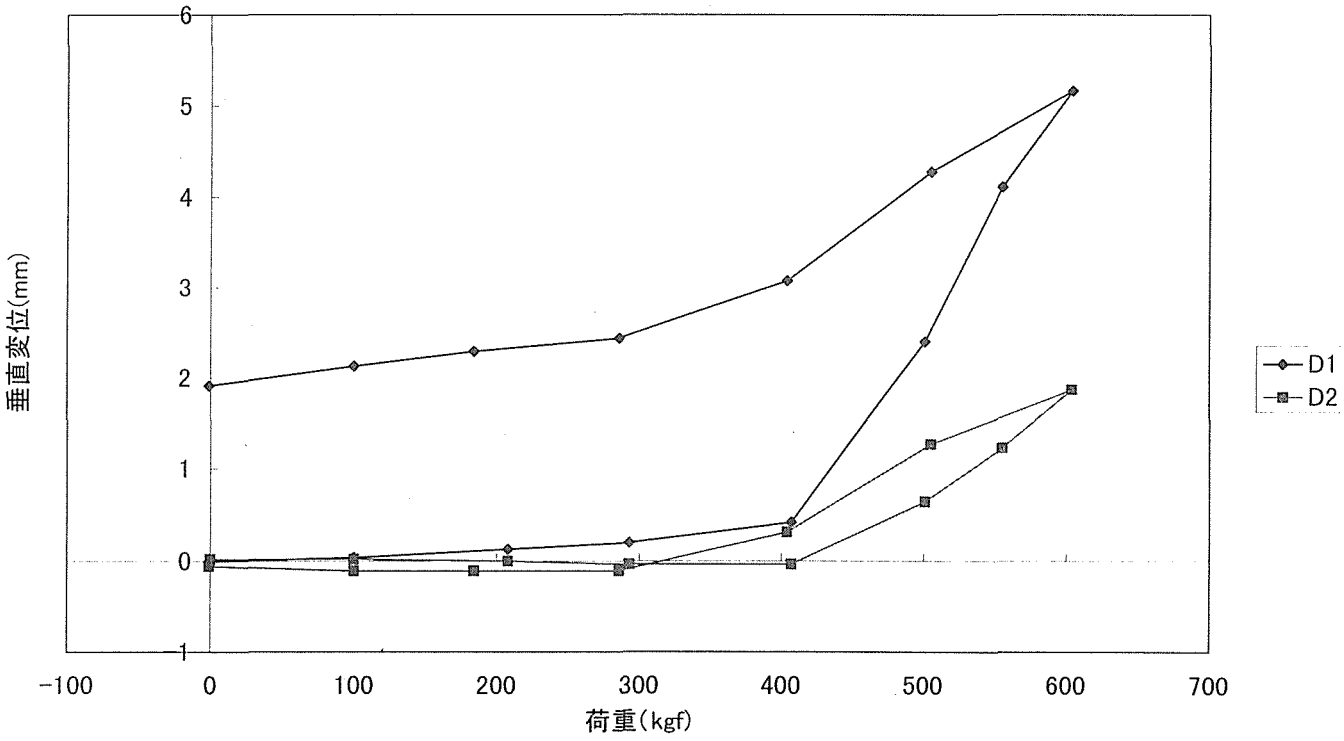


図48－4　荷重－垂直変位(乾燥材1):条件4

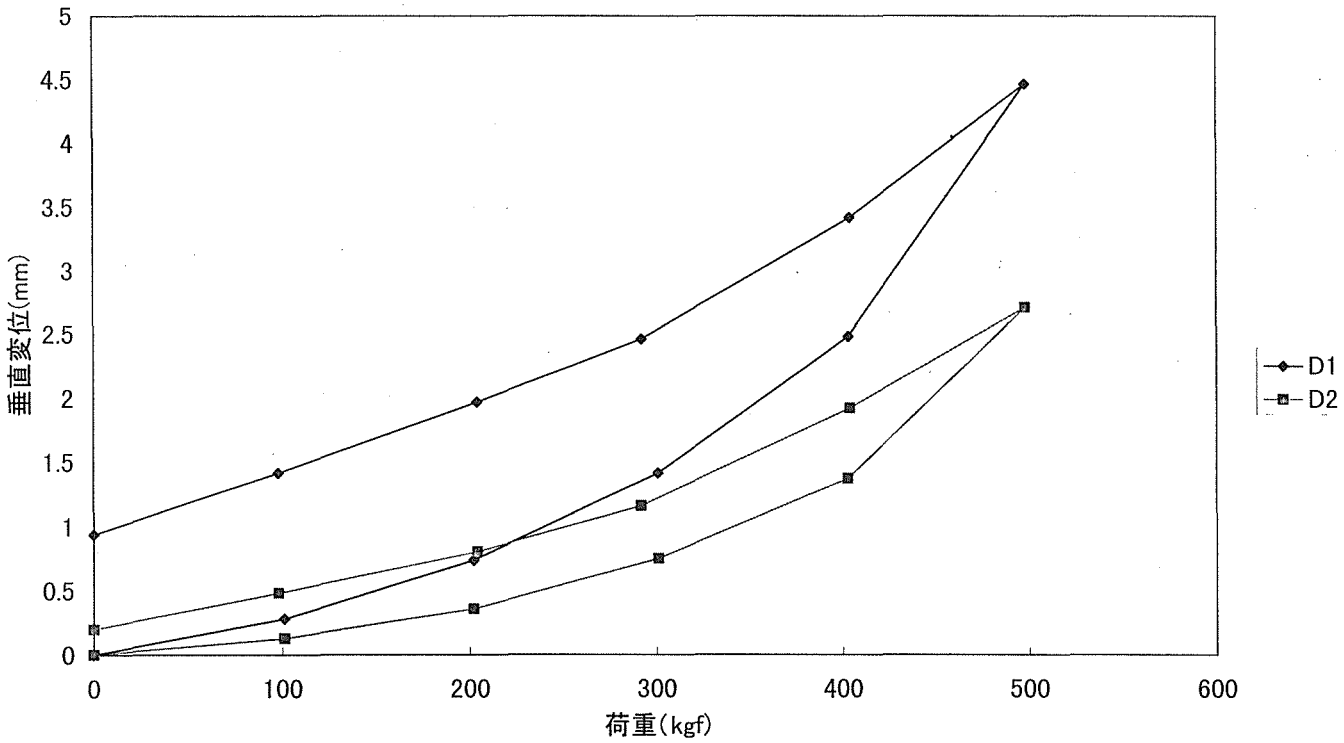


図49－1　荷重－垂直変位(乾燥材2):条件1

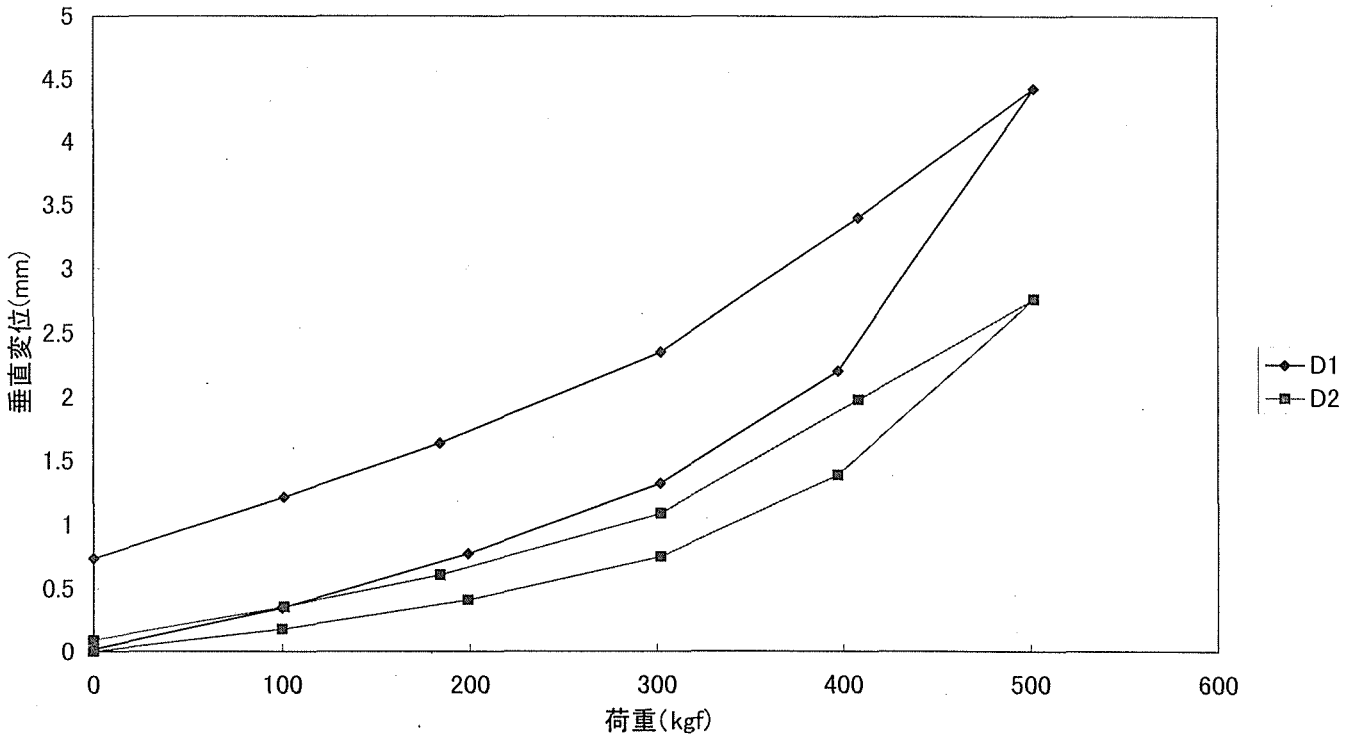


図49－2　荷重－垂直変位(乾燥材2):条件2

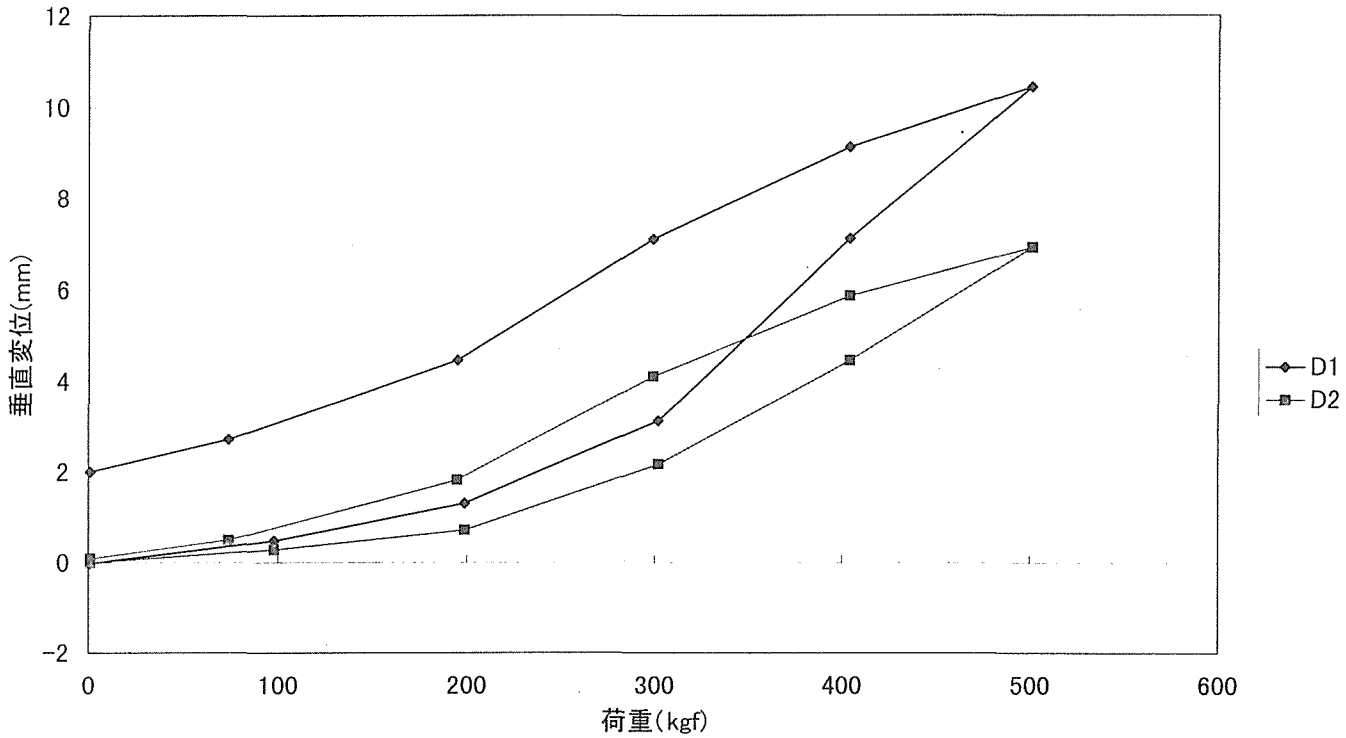


図49－3 荷重－垂直変位(乾燥材2):条件3

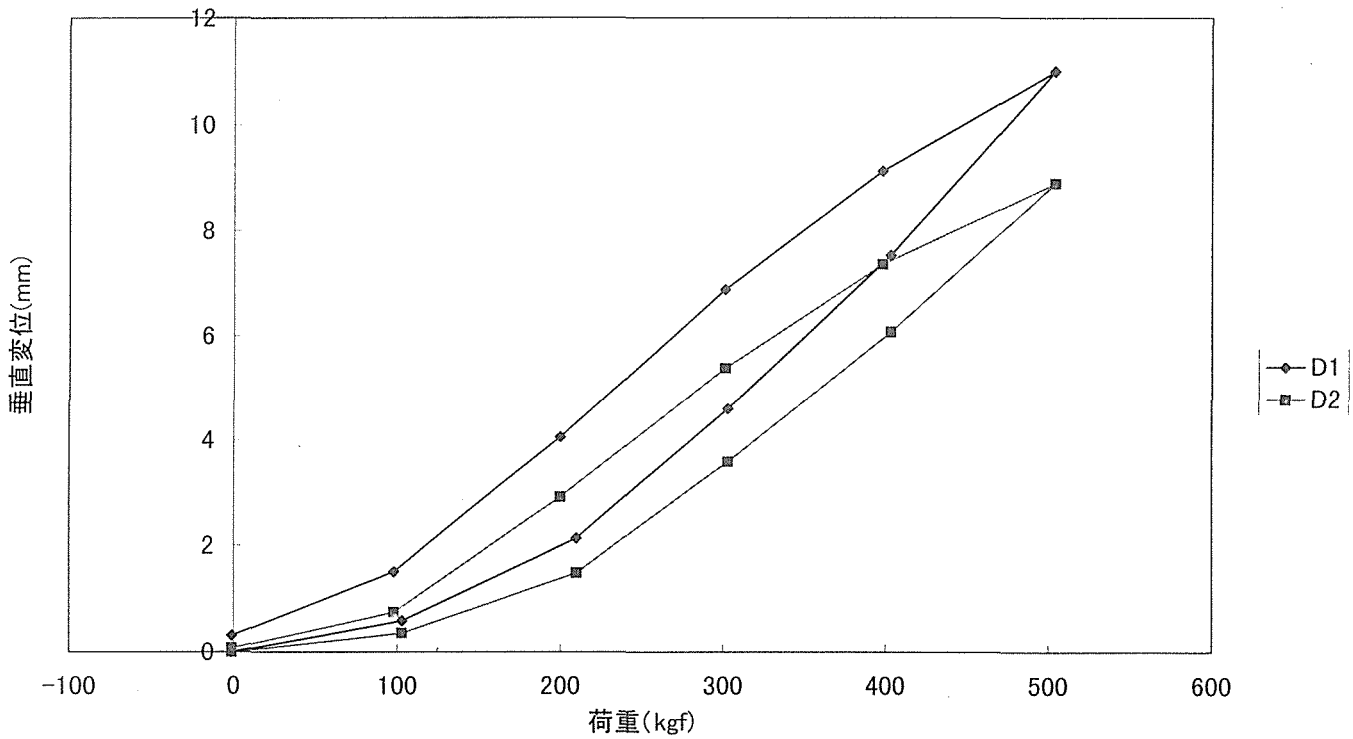


図49－4 荷重－垂直変位(乾燥材2):条件4

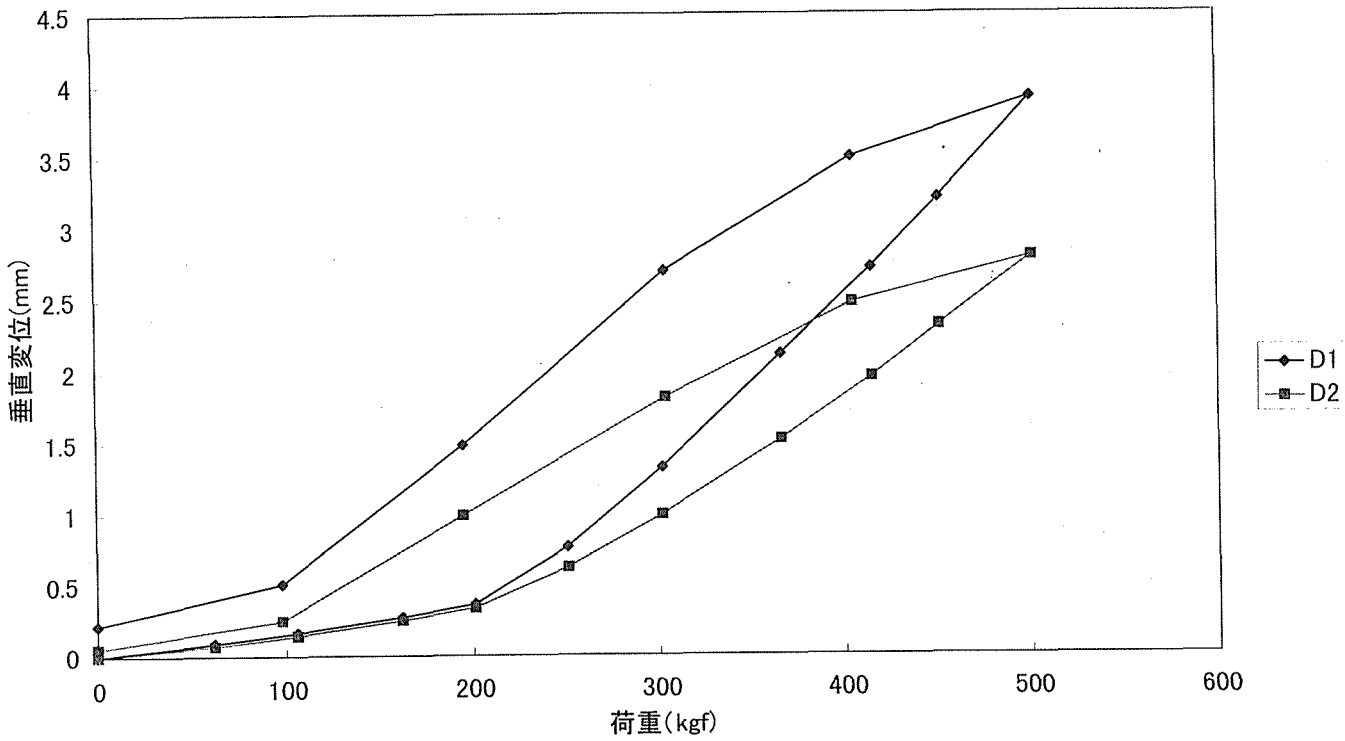


図50－1　荷重－垂直変位(未乾燥材1):条件1

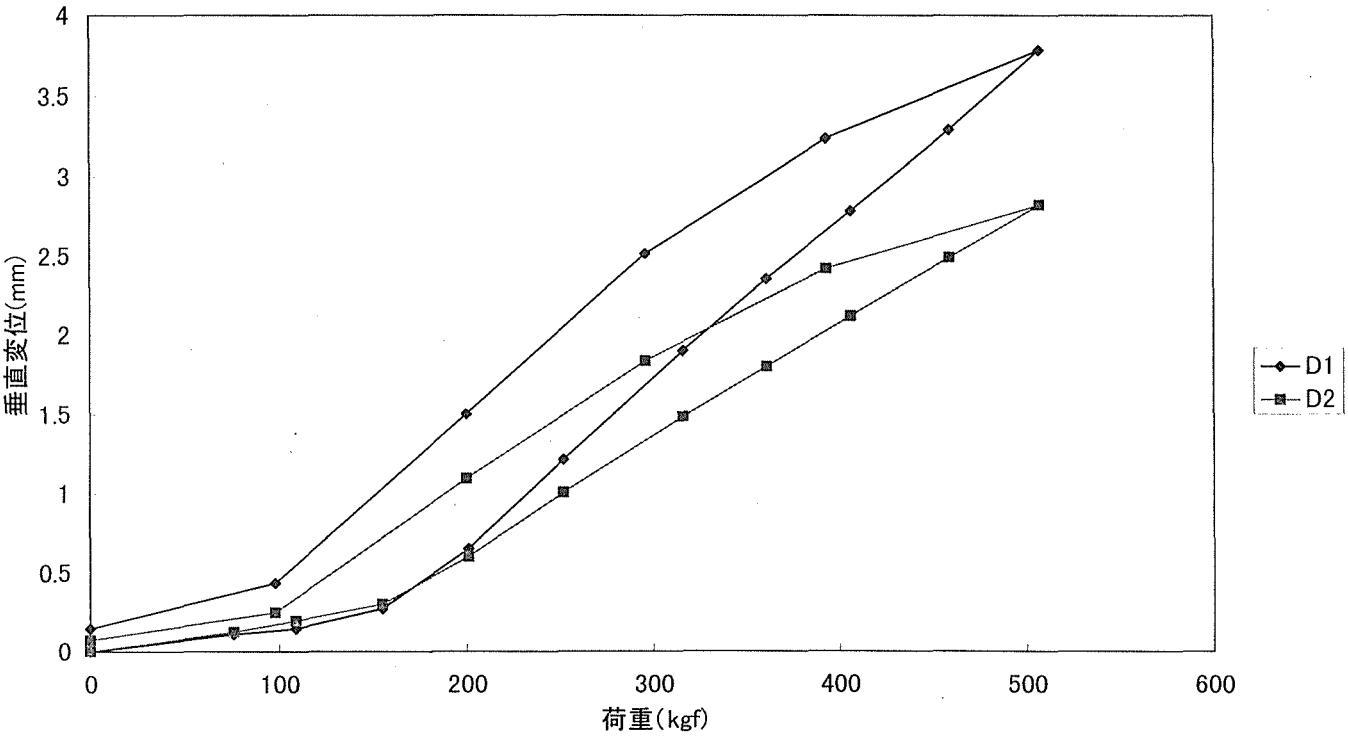


図50－2　荷重－垂直変位(未乾燥材1):条件2

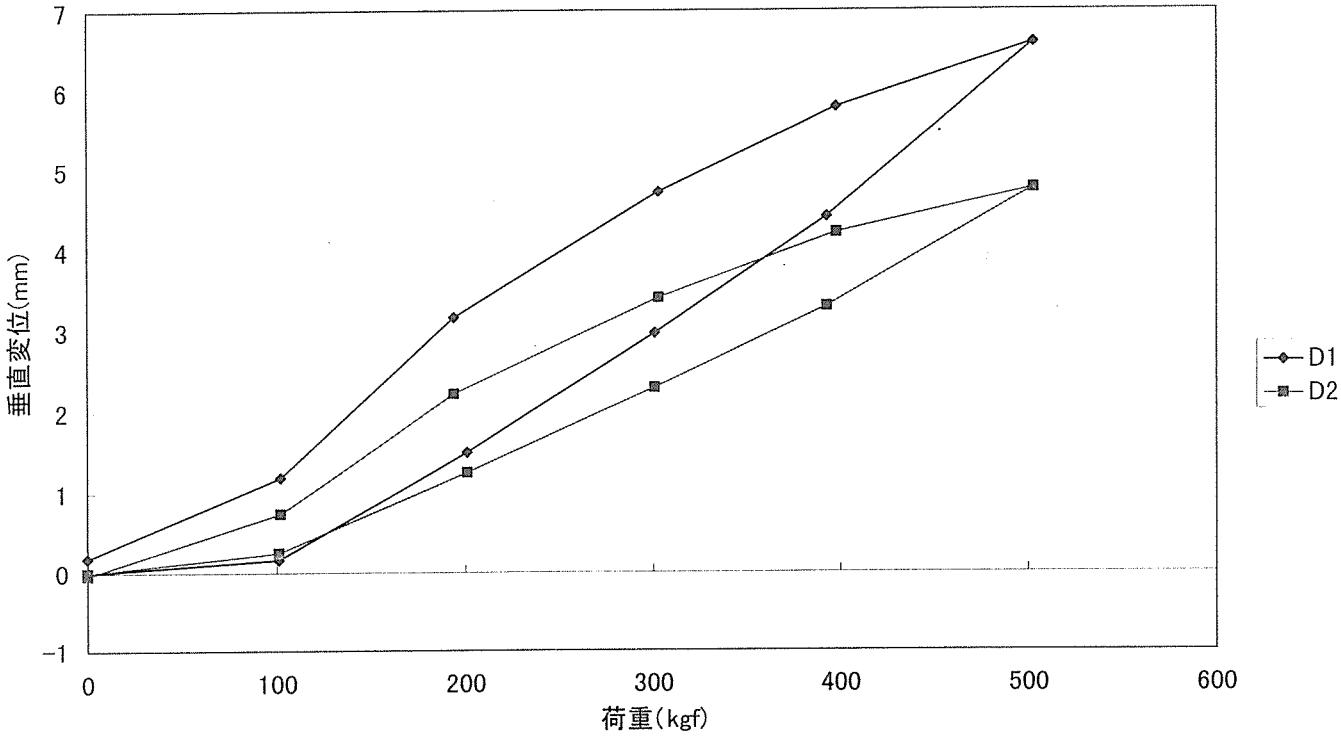


図50－3 荷重－垂直変位(未乾燥材1):条件3

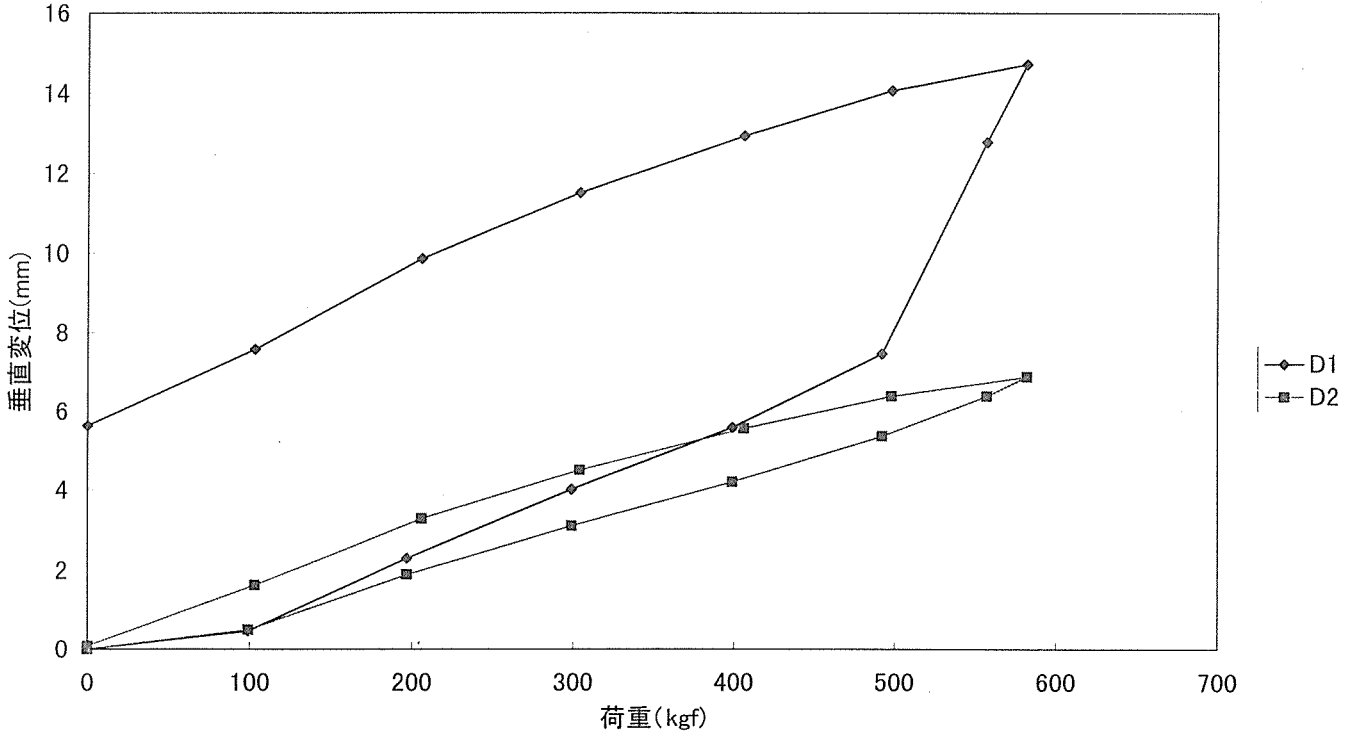


図50－4 荷重－垂直変位(未乾燥材1):条件4

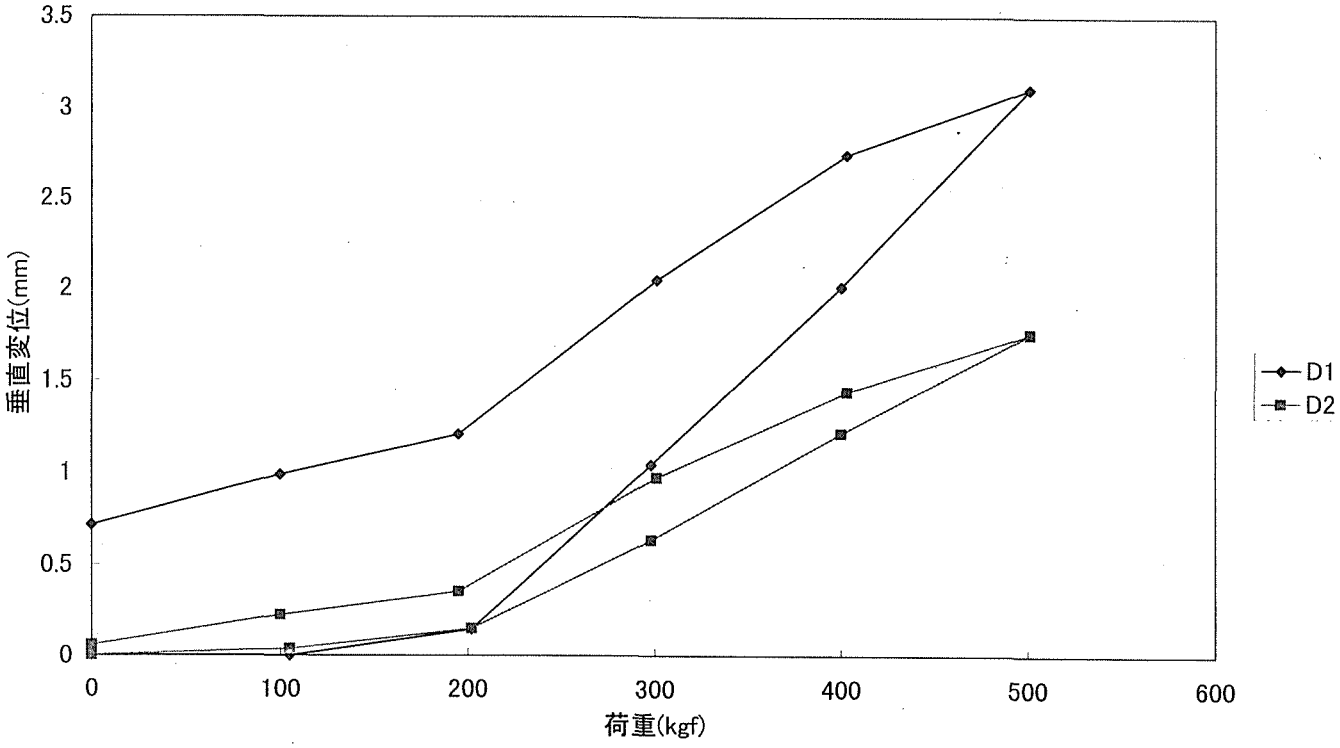


図51－1　荷重－垂直変位(未乾燥材2):条件1

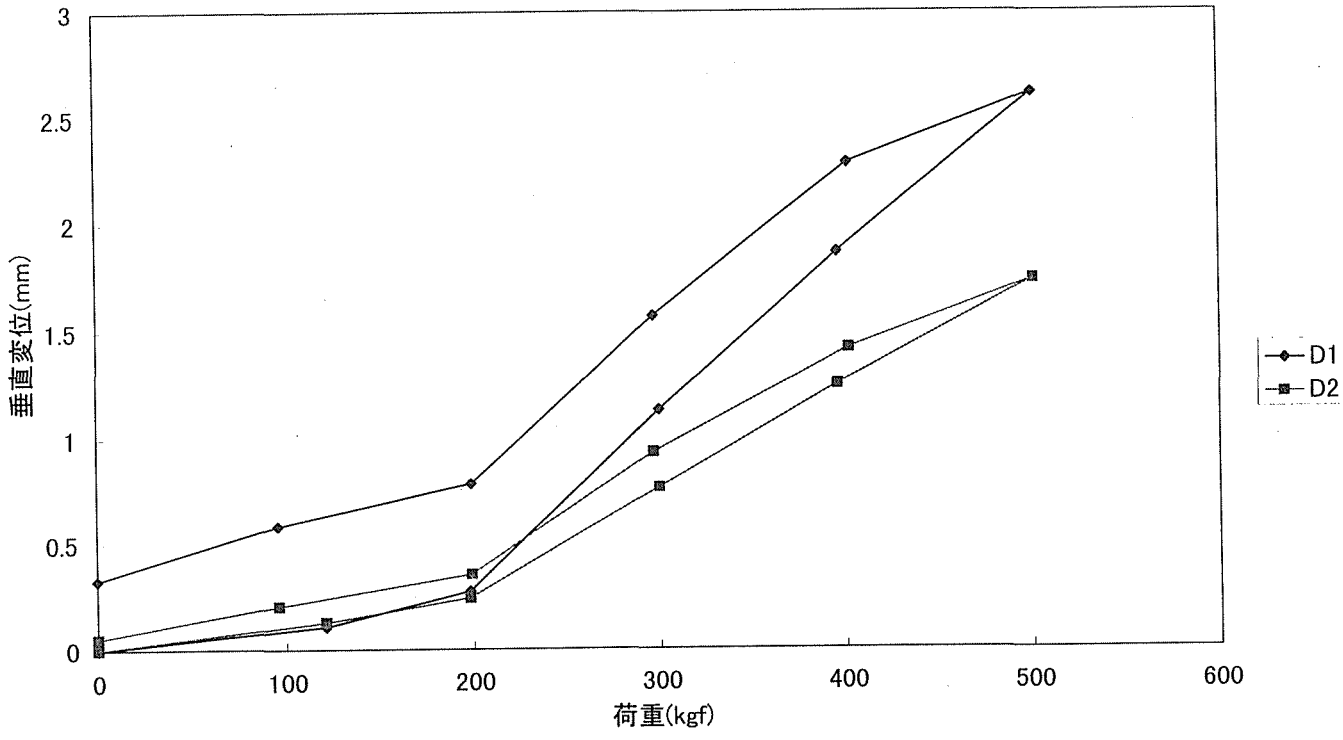


図51－2　荷重－垂直変位(未乾燥材2):条件2

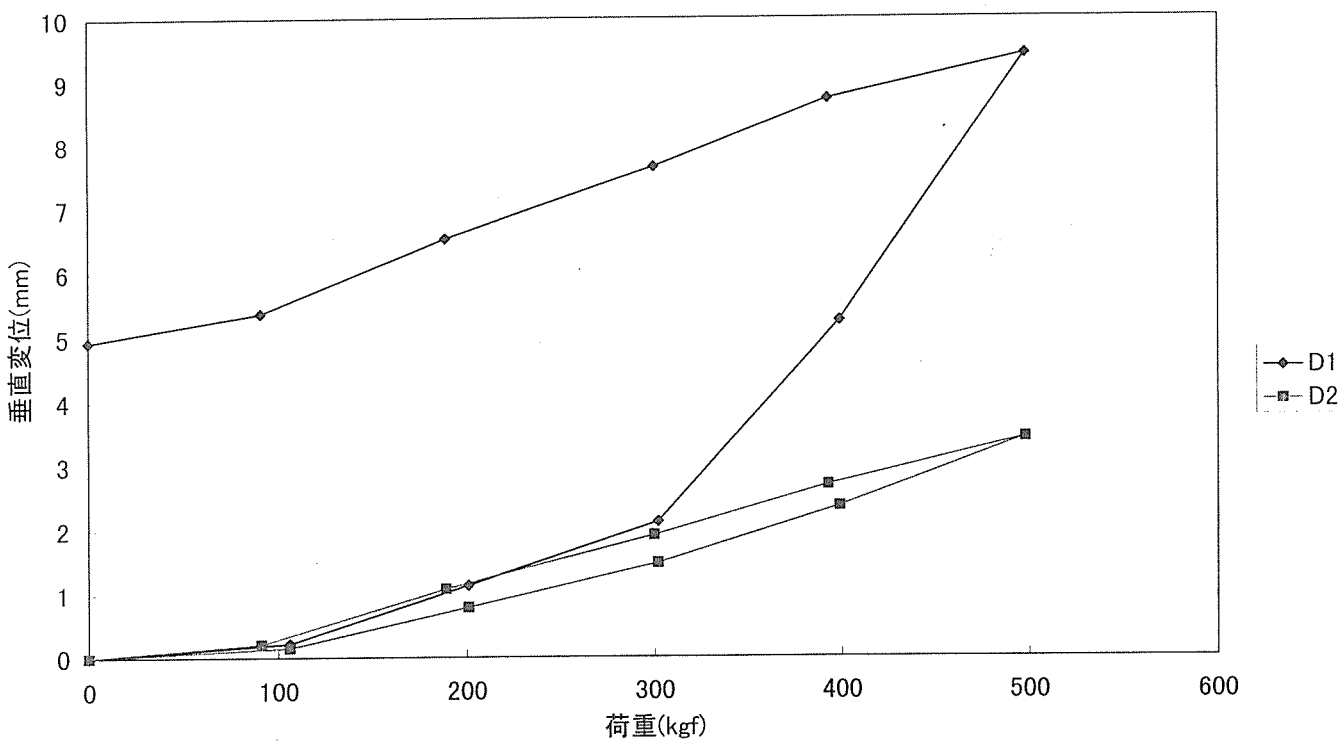


図51－3　荷重－垂直変位(未乾燥材2):条件3

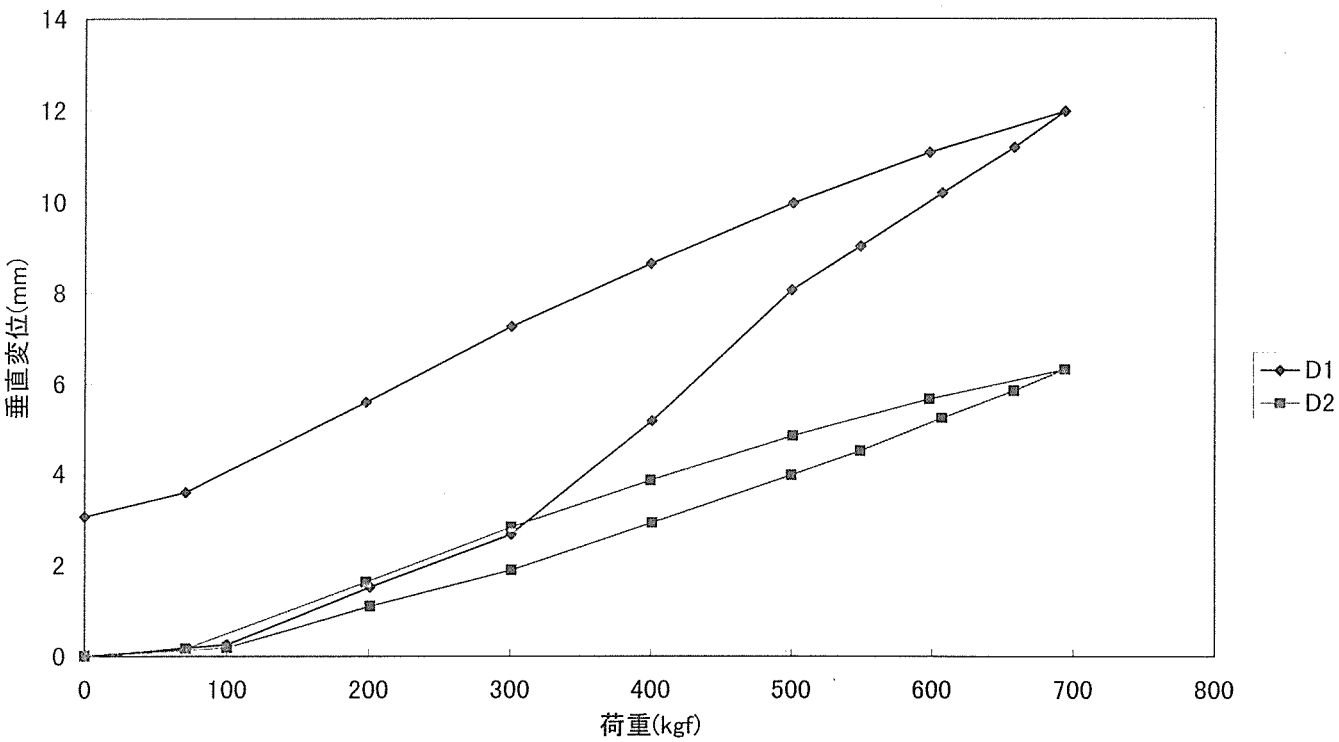


図51－4　荷重－垂直変位(未乾燥材2):条件4

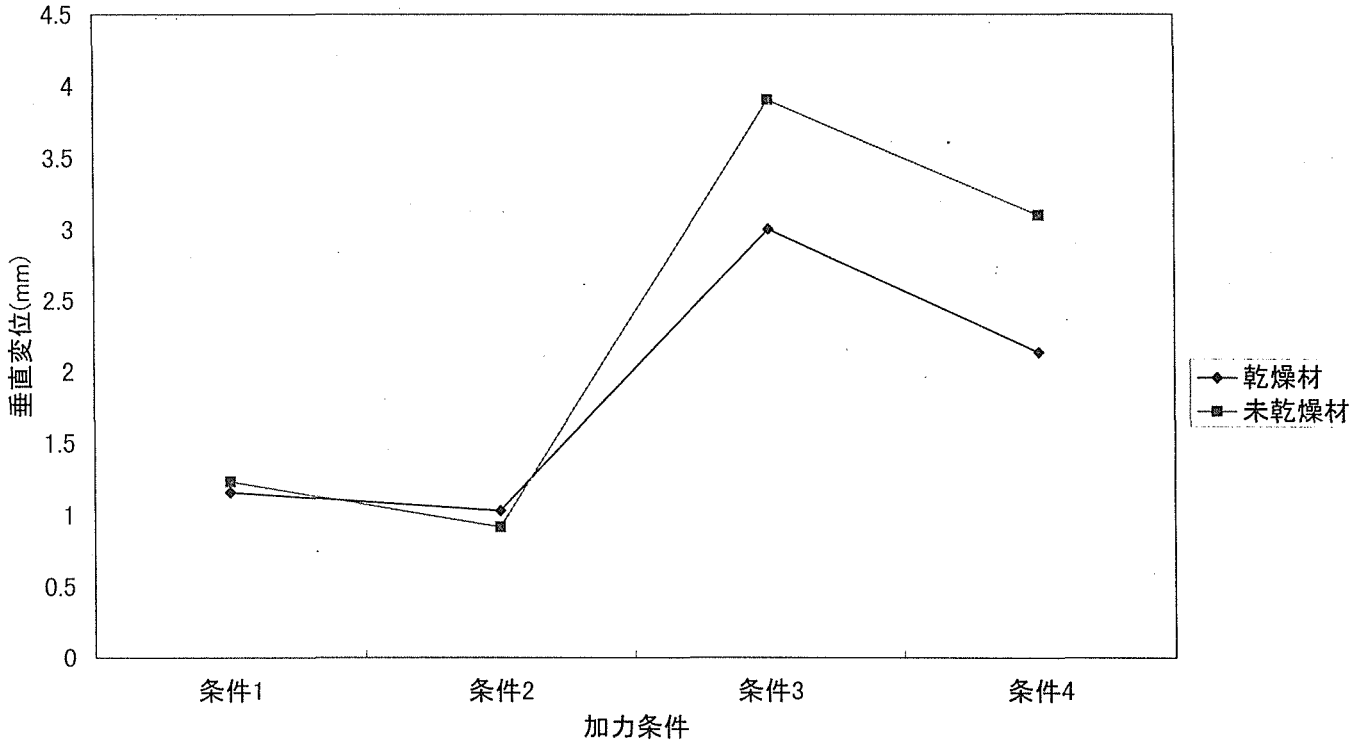


図52－1　鉛直加力500kgf時の垂直変位: 梁と土台の相対変位

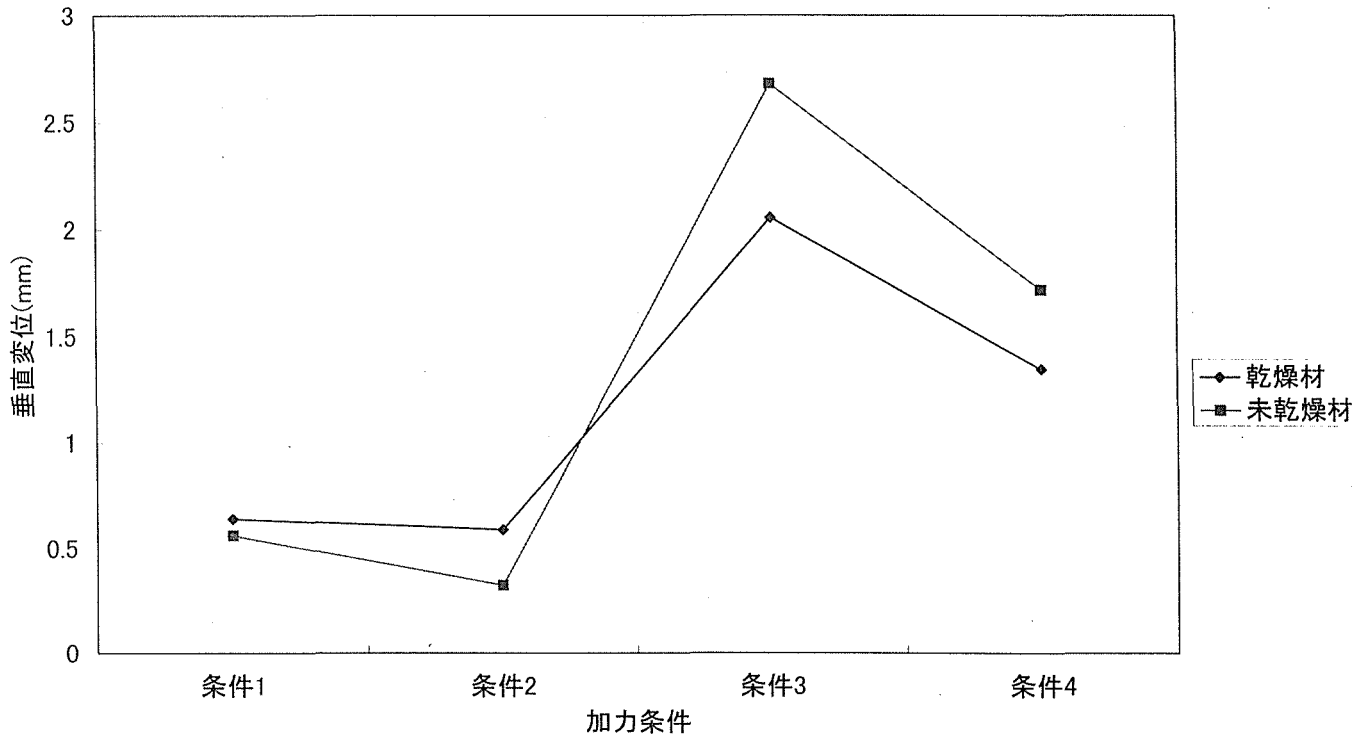


図52－2　鉛直加力500kgf時の垂直変位: 梁と柱の相対変位

５．まとめ

軸組構造体のクリープ変形挙動における乾燥材と未乾燥材の差異を明らかにするため，「乾燥材のみ」と「未乾燥材のみ」からなる軸組構造体について，長期設計荷重相当の積載荷重により曲げクリープ試験を約２年半行った。また，クリープ試験終了後に，柱・梁接合部の性能の及ぼす影響について検討するため，静的加力試験を行った。

本年度の成果の概要を，軸組構造体のクリープ変形挙動，水平加力試験，鉛直加力試験の項目別に示す。本試験の関連事項については，資料１～３を参照されたい。

Ａ．軸組構造体のクリープ変形挙動

クリープ試験期間中における乾燥材の中央たわみ比の最大値は，２．４３であったのに対して，未乾燥材では３．９８になった。また，乾燥材と未乾燥材の中央たわみ比の差をみると温度に対してほぼ直線的な関係を示した。また，クリープ変形において季節間の変動が認められることが明らかになった。

除荷後の回復挙動については，乾燥材，未乾燥材ともそれぞれほぼ一定の値を示した。除荷直前の未乾燥材と乾燥材の中央たわみ比の差は，１．４９，除荷直後の中央たわみ比の差は，１．５４となり，除荷前後で両者の差はほぼ等しくなった。除荷後の中央たわみ比は，乾燥材，未乾燥材でそれぞれ１．５０と３．０４となった。この値から初期弾性たわみ比の１を引いて永久変形に相当するたわみ比を求めると，０．５０と２．０４となり，未乾燥材は乾燥材の約４倍のたわみ比に相当する変形を固定したと考えられる。

Ｂ．水平加力試験

クリープ試験終了後に水平加力試験を行った。この結果，水平加力試験では，乾燥材と未乾燥材の差異は小さかったが，梁の通し柱に対する引き抜け量をみると，未乾燥材の方が若干大きい結果を示した。また，水平力の伝達について，通し柱上部水平変位／加力点変位でみると乾燥材の方が高い値を示した。

Ｃ．鉛直加力試験

水平加力試験終了後に，

条件１：加力点－中央，Ｌ金物あり

条件２：加力点－中央，Ｌ金物なし（以下，Ｌ金物なし）

条件３：加力点－スパン 1/4

条件４：加力点－スパン 1/6

の４条件で鉛直加力試験を行った。

条件１と２では，乾燥材と未乾燥材の差はほとんどなかったのに対して，条件３と４では，未乾燥材の方が梁と土台の相対垂直変位が大きくなった。これは，通し柱のほぞ穴の上部のすきの差に起因よるものと考えられる。

＜試験結果の概要＞

① 軸組構造体のクリープ変形挙動は，未乾燥材の方が乾燥材より大きい。
② 接合部の変形挙動は，梁の沈み量でみると，梁背の乾燥収縮の影響が大きい。
③ 温湿度変化のクリープ変形に及ぼす影響は，一定期間後は両者の傾向は近い。
④ 施工上の問題点については，乾燥材では大幅に工期短縮が図れると考えられる。
⑤ クリープ変形の季節変動を表す指標として温度が考えられる。
⑥ 回復挙動は，両者ともほぼ同様の傾向を示した。しかし，永久変形については未乾燥材は乾燥材の約４倍と考えられる。
⑦ クリープ試験終了後の接合部の変形能でみると，水平加力試験結果では乾燥材と未乾燥材の差異は小さいが，鉛直加力試験結果からは，接合部のゆるみは未乾燥材の方が大きいと考えられる。

＜謝辞＞
本実験を行うに当たって扇レン（当時学生）をはじめとする研究室のメンバー並びに部材の提供等でご協力いただきました中国木材株式会社及び三栄ハウス株式会社の皆様に深く感謝致します。

22047

日本建築学会大会学術講演梗概集
（北 海 道） １９９５ 年 ８ 月

軸組構造体のクリープ変形挙動（Ｉ）

－人工乾燥材と未乾燥材との比較－

X3. 載荷試験, Y1. 木材, Z6. 収縮

正会員 ○武田孝志[1)]
同 有馬孝禮[2)]
同 五十田博[3)]

＜１．はじめに＞

住宅の横架材に未乾燥材を使用する場合，クリープたわみに加え，梁背の乾燥収縮によって床面の歪みなどの支障が生じることがある。これまで，部材のクリープ変形挙動についての研究は数多く行われてきているが，軸組構造体のクリープ変形挙動について人工乾燥材と未乾燥材を比較した例は極めて少ない。

本研究では，軸組構造体のクリープ変形挙動における乾燥材と未乾燥材の差異を明らかにするため，「乾燥材のみ」と「未乾燥材のみ」からなる軸組構造体計２体について，長期設計荷重相当の積載荷重による曲げクリープ試験を行った。なお，本報告におけるクリープ変形挙動については，実用上の観点から材の乾燥収縮を含むクリープ変形挙動を対象とし，実験は，外気の出入りの自由な開放された実験室内で行い，1994年８月29日に載荷開始して現在継続中である。

＜２．試験体＞

試験体の概要を図１に示す。使用した部材の樹種及び断面は次のとおりである。

・柱： ヒノキ， 12.0×12.0cm（通し柱を想定）
　　ヒノキ， 10.5×10.5cm（管柱を想定）
・梁： ベイマツ，10.5×30.0cm（長手方向）
・桁： ベイマツ，10.5×21.0cm（短手方向）
・土台：ベイマツ，10.5×10.5cm

これらは，乾燥材及び未乾燥材ともプレカット加工を行う段階での寸法である。試験体の部材とは別に，乾燥収縮の程度を検討する目的で，梁材と同寸法のものを乾燥材（２本），未乾燥材（１本），対照試験体として用意した。

＜３．試験方法＞

軸組試験体は，各部材の寸法，重量，含水率（高周波型含水率計），縦振動法によるＭＯＥの４項目を測定した後，組み立てた。組立後は，寸法，含水率を継続的に測定を行っている。対照試験体は，上記４項目について継続的に測定を行っている。

変位は，梁材の上面に５箇所（中央，加力点，支点），下面に１箇所（中央）で測定し，このほか通し柱（鉛直方向），管柱（鉛直方向），通し柱に対する梁材の回転（水平方向２箇所）について変位計により測定している。

積載荷重は，各梁に鋼矢板を必要枚数重ねた３等分点荷重とし，住居用の長期設計荷重 130kg／m^2に相当する約1.3tとした。

＜４．結果及び考察＞

載荷直後の梁材の中央たわみは，乾燥材試験体は 4.9mm，4.1mm，未乾燥材は 5.3mm，4.0 mmとなった。経時変位の比較では，部材剛性及び加工精度の影響を排除するため，この初期たわみで中央たわみを除した中央たわみ比を用いた。

図２に載荷後 180日後までの中央たわみ比の時間経を，図３に温湿度変化を示す。図２から，乾燥材，未乾燥材とも100 日以後のクリープ変形はほぼ安定していることがめられる。

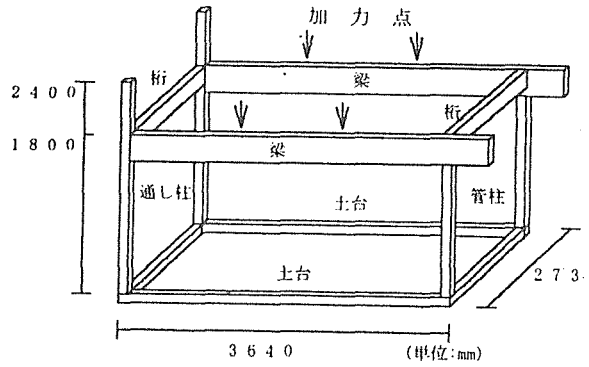


図１ 試験体図

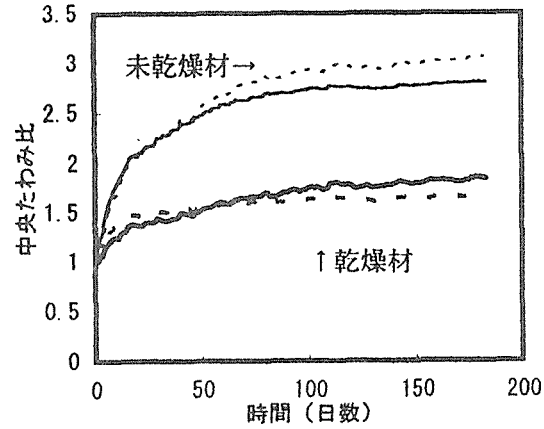


図２ 中央たわみ比

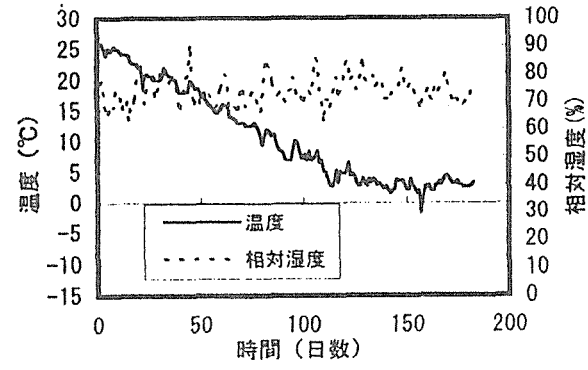


図３ 温湿度変化

Creep Behavior of Post and Beam Structure(Ｉ)
－ Comparison between kiln-dried beams and green beams－

TAKEDA Takashi, ARIMA Takanori and ISODA Hiroshi

180 日後の中央たわみ比の平均値（乾燥材：1.78，未乾燥材：2.94）から，未乾燥材のクリープ変形は乾燥材の 2.5倍となった。また，温度が上昇し，湿度が低下するときにクリープ変形が増加する傾向がみられた。

梁背の収縮量と柱に対する梁の沈み量を図４に示す。図中の(D) は乾燥材，(G) は未乾燥材である。梁背の収縮量とは，梁中央の上面と下面の変位の差であり，柱に対する梁の沈みの「通し柱」とは梁材の接合部上面と通し柱の鉛直変位の差，「管柱」とは梁材の上面と管柱の鉛直変位の差であり，乾燥材，未乾燥材とも各２本の平均値を示している。載荷直後の梁背の収縮量は未乾燥材と乾燥材で大きな差がないのに対して，180 日後では未乾燥材は乾燥材の約３倍となっており，沈み量についても同様の傾向がみられた。

温湿度変化のクリープ変形に及ぼす影響をみるため，シンプソンの平衡含水率予測式を用いて温度と湿度の測定値から平衡含水率を求めた。

$$m = (A+B) \times 1800 / w$$
$$A = (k_1 \cdot k_2 \cdot h / (1 + k_1 \cdot k_2 \cdot h)$$
$$B = (k_2 \cdot h / (1 - k_2 \cdot h)$$
$$k_1 = 3.730 + 0.03642T - 0.0001547T^2$$
$$k_2 = 0.6740 + 0.001053T - 0.000001714T^2$$
$$w = 216.9 + 0.01961T + 0.005720T^2$$

T：温度（華氏）

h：相対蒸気圧（相対湿度／100 ）

これにより求めた平衡含水率と１日当たりの中央たわみ比の変化量との関係を図５に示す。ここでは，試験体の含水率変化及び対照試験体の重量変化を参考にして，載荷後の期間を３つ（載荷後１－１４日，１５－１００日，１０１－１８０日）に区分した。これらの期間をそれぞれ初期，中間期，安定期とすれば，初期段階において未乾燥材と乾燥材両者とも平衡含水率とは一定の傾向がみられず，また，それぞれの平衡含水率において未乾燥材は乾燥材と比較して大きい。これに対して安定期では，未乾燥材と乾燥材はほぼ同様の傾向を示し，平衡含水率と負の傾きをもっている。中間期は，初期から安定期へ移行段階にある。クリープ変形に対する温湿度変化の影響は，未乾燥材の乾燥の進行に伴い一定期間後は乾燥材と同様の傾向を示している。

＜５．まとめ＞

(1) 未乾燥材のクリープたわみは，乾燥材と比較して２．５倍大きい。

(2) 未乾燥材は乾燥材より梁の柱に対する沈み量は大きく，これは主として梁背の収縮量に依存する。

(3) 一定期間後のクリープ変形に対する温湿度変化の影響につ いては，乾燥材と未乾燥材の差異が小さくなる傾向にある。

謝　辞：本実験を行うに当たって，扇レン（当時学生）をはじめとする研究室のメンバー並びに，ご助言いただきました森林総合研究所の久田卓興氏，部材の提供等でご協力いただいた中国木材株式会社及び三栄ハウス株式会社の皆様に深く感謝いたします。

参考文献 (1)W. T. Simpson:Equilibrium Moisture Content Prediction for Wood, F. P. J. Vol. 21, No. 5, 1971

(2)杉下貫之ほか３名：信州産からまつを用いた集成材の曲げクリープ性状に関する実験的研究，日本建築学会大会講演梗概集，pp. 919-920, 1993 年

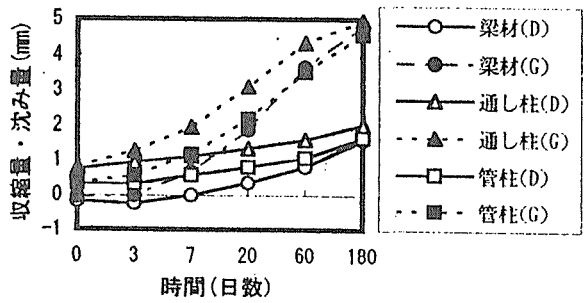


図４　梁背の収縮と柱に対する梁の沈み

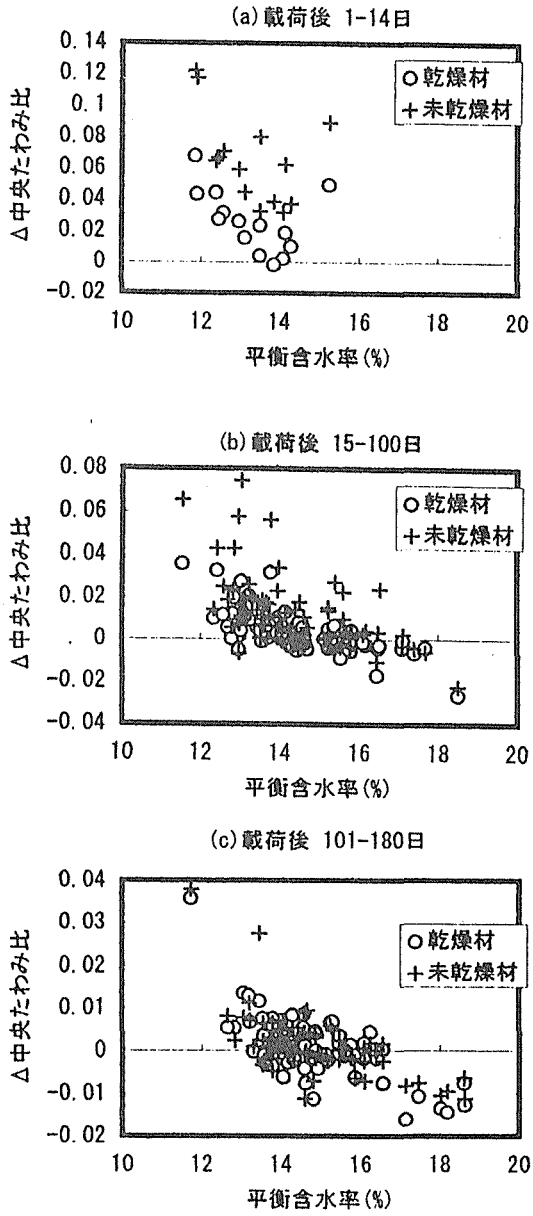


図５　温湿度変化と中央たわみ比の関係

1)信州大学農学部　助手・農修　Assoc. Researcher, Faculty of Agriculture, Shinsyu Univ.
2)東京大学農学部　助教授・農博　Assoc. Prof., Faculty of Agriculture, Univ. of Tokyo, Dr. Agr.
3)信州大学工学部　助手・工修　Assoc. Researcher, Faculty of Engineering, Shinsyu Univ.

22014

日本建築学会大会学術講演梗概集
（近　畿）１９９６年９月

軸組構造体のクリープ変形挙動（II）
季節間のクリープたわみの変動

正会員　○武田孝志[1)]
同　　有馬孝禮[2)]
同　　五十田博[3)]

１．はじめに

前報[1)]において，軸組構造体のクリープ変形挙動は，乾燥材と比較して未乾燥材が大きいこと，クリープ変形に及ぼす温湿度変化の影響は載荷後約３ヵ月以降において乾燥材と未乾燥材の差が小さくなる傾向にあることを報告した。

ここでは，軸組構造体のクリープ変形の季節変動及びクリープ変形挙動に及ぼす温度の影響について検討を行った。

２．試験体及び試験方法

軸組構造試験体は，乾燥材と未乾燥材各１体，計２体とし，3640mm（梁間方向）×2730mm（桁行方向）の広さをもち，梁上面までの高さが1800mmのものである。荷重は住居用の長期設計荷重130kg/m²に相当する約1.3tとし，各試験体の２本の梁にそれぞれ載荷した。載荷開始日は1994年８月29日で，以下，この日を経過日数０とした。また，以下で用いる中央たわみ比は次式で求め，さらに乾燥材，未乾燥材別に平均値を求めた。

$$r_i = d_i / d_0 \qquad (1)$$

ここで，r_i は中央たわみ比（初期たわみ比），d_0，d_i はそれぞれ載荷直後，載荷後ｉ日の梁中央部のたわみである。

対照試験体は，軸組構造試験体に用いた梁材と同寸法のものを用いて，寸法，重量，高周波型含水率計による含水率，縦振動法によるヤング係数の測定を約１週間間隔で行った。

３．結果及び考察

３．１　クリープたわみの季節変動

載荷後５４９日までの中央たわみ比の時間経過を図１に示す。未乾燥材は乾燥材と比較して中央たわみ比は大きい。また，乾燥材と未乾燥材の中央たわみ比は両者とも，載荷直後の経時変化は大きく，載荷後１００日から２００日にかけて安定的に推移した後，載荷後１年まで増加して以降は安定している。中央たわみ比の未乾燥材と乾燥材の差は，載荷後１００日まで増加し，１００日から２００日まで安定した後徐々に増加して載荷後１年をピークとして減少している。

春（３～５月），夏（６～８月），秋（９～11月），冬（12月～２月）の季節区分ごとに中央たわみ比の変化を乾燥材は図２，未乾燥材は図３にそれぞれ示す。この図では，載荷後半年以降の春，夏，秋，冬のそれぞれの季節の期首を０日として経時変化を示した。

乾燥材は，夏以外の季節のクリープたわみ比の変動幅が小さく，夏は，梅雨時期に減少した後著しく増加する傾向がみられた。未乾燥材は，乾燥材と同様の傾向を示したが，春の期間を通じての増加傾向が乾燥材と比較して顕著であった。

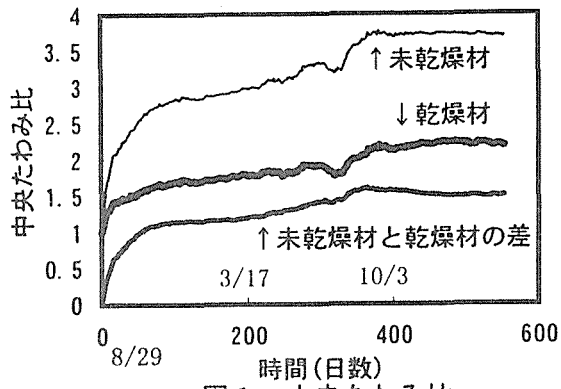


図１　中央たわみ比

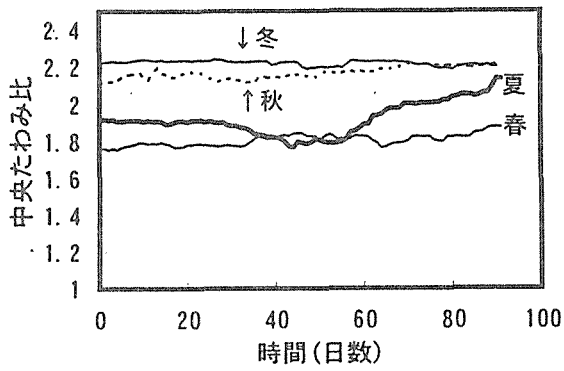


図２　中央たわみ比の季節変動(乾燥材)

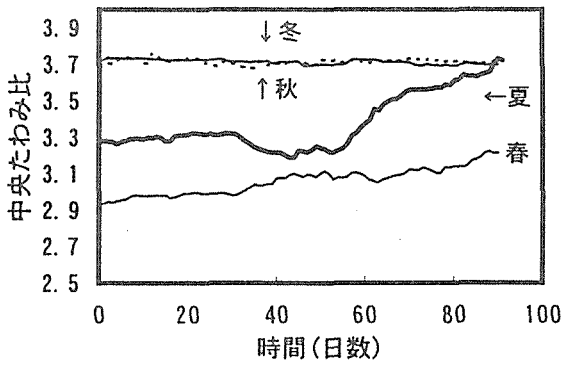


図３　中央たわみ比の季節変動(未乾燥材)

Creep Behavior of Post and Beam Structure(II)
－Variation of Creep Deflection between seasons－

TAKEDA Takashi, ARIMA Takanori and ISODA Hiroshi

3．2　中央たわみ比の乾燥材と未乾燥材の差

中央たわみ比と対照試験体の減少重量（載荷時の重量と載荷後の重量の差）の関係を図４に示す。乾燥材と未乾燥材両者とも載荷後１００日程度まで中央たわみ比と減少重量は直線関係にあり，ほぼ重なっている。このことから，クリープ変形の初期段階は実大材の場合，材全体の平均的な含水率変化との関係が強く，中央たわみ比の乾燥材と未乾燥材の差は主に含水率変化の差に起因していると考えられる。

載荷後１２０日以降における中央たわみ比の乾燥材と未乾燥材の差と温度の関係を図５に示す。乾燥材と未乾燥材の差の長期的な推移をみると，温度上昇期は増加傾向，温度下降期にわずかな減少傾向がみられた。

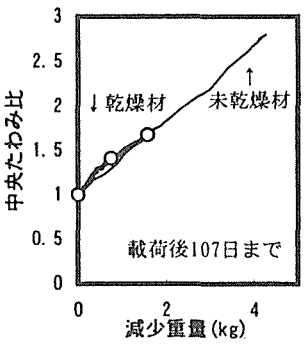


図４　中央たわみ比と減少重量の関係

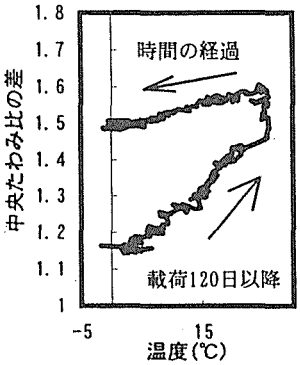


図５　温度のクリープ変形に及ぼす影響

3．3　縦振動Ｅによる補正

縦振動Ｅ（縦振動法によるヤング係数）変化の長期的な推移をみるために５階の移動平均値を求め，この経時変化を図６に示す。縦振動Ｅは，載荷後半年間は増加傾向にあり，以後載荷後１年まで減少した後再び増加傾向を示した。

中央たわみ比がヤング係数の変動に影響を受けると仮定すると含水率変化によってヤング係数が増加する場合は実質のクリープ変形を低く評価することになると考えられる。そこで，縦振動Ｅの変動による中央たわみ比の補正を次式によって行った。

$$r_i' = r_i \times (E_i / E_0) \qquad (2)$$

ここで，r_i' は載荷後ｉ日の補正中央たわみ比，r_i は載荷後ｉ日の中央たわみ比，E_0 と E_i はそれぞれ載荷直後，載荷後ｉ日の縦振動Ｅである。

これによって求めた補正中央たわみ比を図７に示す。図から乾燥材，未乾燥材両者とも載荷後１００日から約１年までの間ほぼ直線的に増加する傾向がみられたので，載荷後９３日から３３８日の期間の中央たわみ比の時間に対する１次回帰直線を求めた。

この回帰直線による推定値と中央たわみ比の実験値との差と温度の関係を図８に示す。初期段階においては，未乾燥材の方が乾燥材と比較して大きな変化を示しているが，徐々に未乾燥材と乾燥材の差異が小さくなる傾向がみられた。また，温度上昇局面から下降局面に移行する時に測定値と推定値の差は，乾燥材，未乾燥材ともに増加する傾向がみられた。

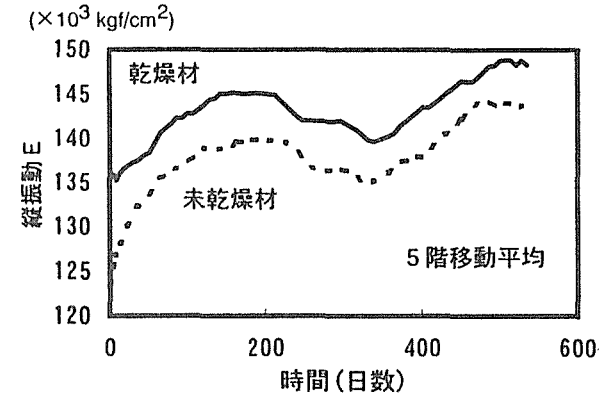


図６　対照試験体の縦振動Ｅ

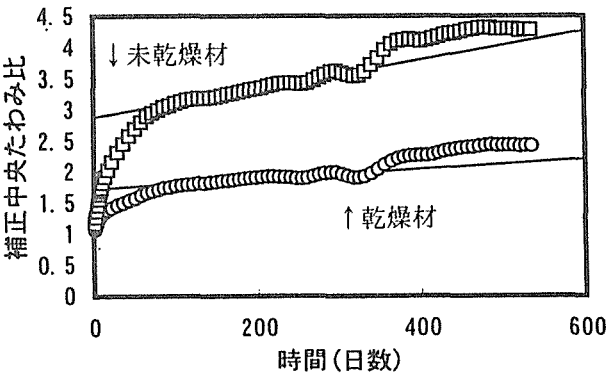


図７　縦振動Ｅによる中央たわみ比の補正

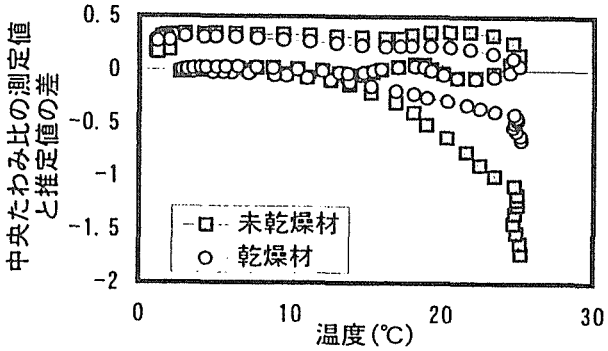


図８　中央たわみ比の変動に及ぼす温度の影響

４．まとめ

(1) クリープたわみは，乾燥材，未乾燥材ともに梅雨期に減少し，その後増加する傾向がみられた。

(2) クリープ初期段階においては，乾燥材，未乾燥材ともに中央たわみ比は重量変化に対して直線的に増加する傾向がみられた。

(3) 中央たわみ比の乾燥材と未乾燥材の差は温度上昇局面で増加し，温度下降局面では減少する傾向がみられた。また，クリープ変形の長期的変動の推定のための指標として温度を用いることの可能性が示唆された。

参考文献：1) 武田孝志他２名：軸組構造体のクリープ変形挙動（Ｉ），日本建築学会大会講演梗概集，pp.93-94, 1995 年

1)信州大学農学部　助手・農修　Assoc. Researcher, Faculty of Agriculture, Shinshu Univ.
2)東京大学農学部　助教授・農博　Assoc. Prof., Faculty of Agriculture, Univ.of Tokyo, Dr. Agr.
3)信州大学工学部　助手・工修　Assoc. Reseacrher, Faculty of Engineering, Shinshu Univ.

資料３

22016

日本建築学会大会学術講演梗概集
（関　東）１９９７年９月

軸組構造体のクリープ変形挙動（Ⅲ）
接合部のクリープたわみに及ぼす影響

正会員　○武田孝志[1)]
同　　有馬孝禮[2)]
同　　五十田博[3)]

１．はじめに

前報[1)2)]に示したとおり、軸組構造体のクリープ変形挙動について乾燥材と未乾燥材、それぞれの試験体を用いてクリープ試験を行ってきた。

ここでは、クリープ変形挙動における温度の影響を検討するとともに、クリープ試験終了後に静的加力試験を行い、柱・梁接合部の性能の及ぼす影響について検討を行った。

２．クリープ試験

２．１　クリープ試験の概要

軸組構造試験体は、乾燥材と未乾燥材各１体、計２体であり、ここでいう乾燥材とは人工乾燥した材を意味しており、未乾燥材は人工乾燥を行わなかった材である。試験は、温度、湿度無調整の室内で行った。積載荷重は約 1.3t であり、各試験体の２本の梁にそれぞれ載荷した。

載荷開始日は 1994 年８月 29 日で、この日を経過日数０とし、1997 年１月 23 日に除荷した。以降約１カ月間回復挙動を測定した。

２．２　中央たわみ比の時間経過

中央たわみ比は、梁中央の垂直変位を載荷直後の垂直変位で割った値であり、初期たわみ比を表す。中央たわみ比の時間経過を図１に示す。図から明らかなように、クリープ試験全期間にわたって未乾燥材の中央たわみ比は乾燥材に対して非常に大きい。また、温湿度変化(図２)と対応させると、夏期に増加する傾向がみられた。また、表１に示すとおり、未乾燥材の中央たわみ比は最大 3.98 にも達した。

２．３　中央たわみ比と温度の関係

載荷１年以降除荷までの期間について、未乾燥材と乾燥材の中央たわみ比の差を求め、この差と温度との関係を図３に示す。図から明らかなように、この差は、温度に対してほぼ直線的な関係にあった。

表１　乾燥材と未乾燥材の中央たわみ比の比較

載荷後の経過	乾燥材	未乾燥材
載荷後 100 日	１．６９	２．８４
ピーク時	２．４３ 載荷後 649 日	３．９８ 載荷後 647 日
除荷直前(878 日)	２．２６	３．７５
除荷直後(〃)	１．５０	３．０４

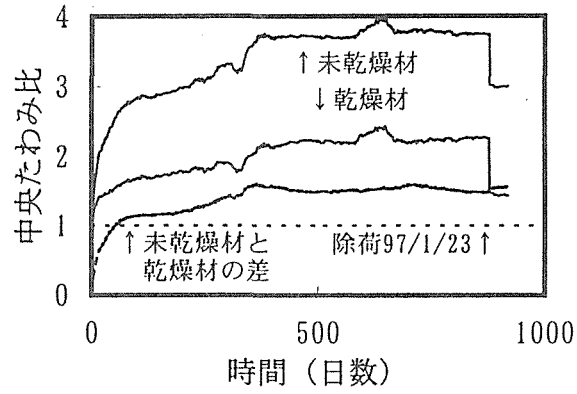


図１　中央たわみ比

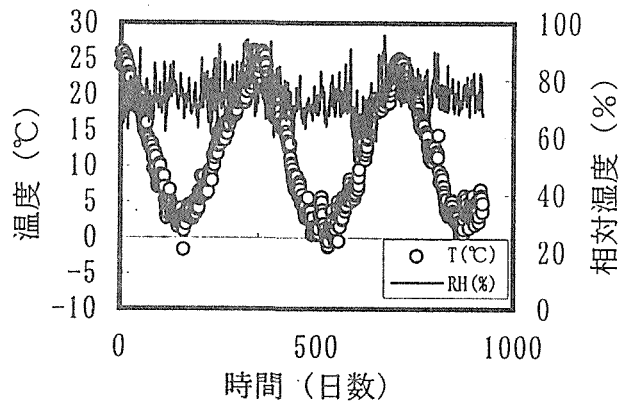


図２　温湿度変化

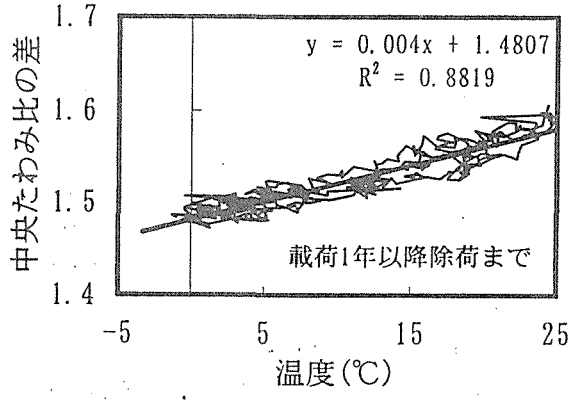


図３　中央たわみ比の差と温度の関係

Creep Behavior of Post and Beam Structure(Ⅲ)
－ Effects of the Joints on Creep Deflection －

TAKEDA Takashi, ARIMA Takanori and ISODA Hiroshi

3．水平加力試験

クリープ試験終了後に、図４に示すとおり、管柱側桁中央に水平荷重を約 250kgf まで加えて、加力点及び通し柱と梁の水平方向の相対変位を測定した。加力方法は、未乾燥材試験体と乾燥材試験体を向かい合わせた状態で土台を緊結して、ワイヤーを介して両試験体を同時にウィンチを用いて引っ張った。

試験結果を図５に示す。荷重と加力点の水平変位の関係をみると、未乾燥材試験体の方がわずかにせん断性能が高いことが認められる。これに対して、通し柱に対する梁上部の引き抜け量でみると、乾燥材試験体の方が小さく、この差異は梁の乾燥収縮に伴う接合部のゆるみの影響によるものと考えられる。

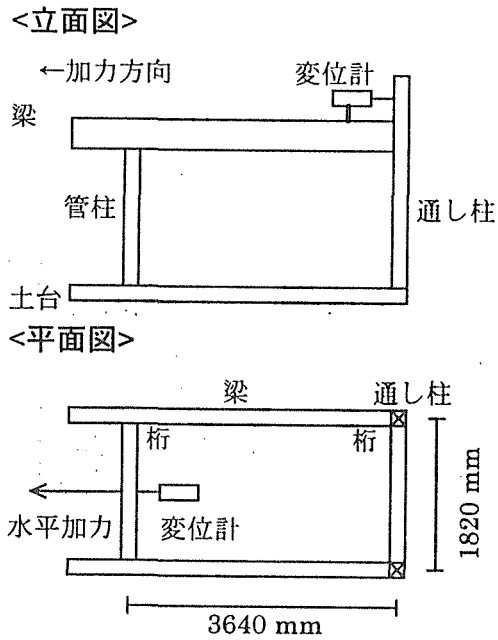


図４　水平加力試験の方法

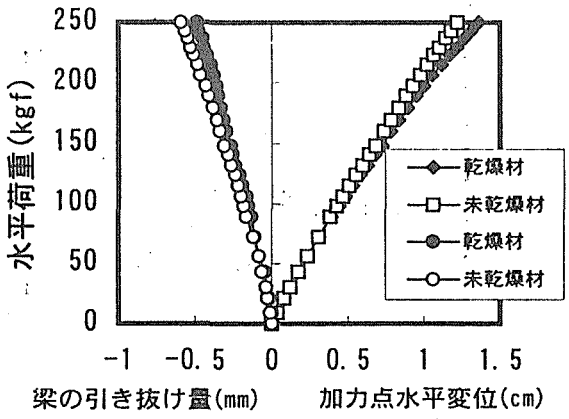


図５　加力点水平変位と梁の引き抜け量

4．鉛直加力試験

水平加力試験終了後に、図６に示すとおり、梁に鉛直荷重を約 500kgf まで加えて、梁と土台の垂直変位の差を計測した。荷重条件は４種類であり、条件１と条件２の加力点は梁のスパン中央で条件２では通し柱と梁の接合金物（Ｌ金物）を外した。条件３と条件４の加力点は通し柱中心からの距離がそれぞれ 910、607 mm とした。

図７に示すとおり、条件３及び４では、乾燥材試験体の変形は未乾燥材試験体より小さく、これは、通し柱のほぞ穴の上部のすきが乾燥材試験体の方が狭いことに起因していると考えられる。

5．まとめ

(1) クリープたわみにおける載荷１年以降の乾燥材と未乾燥材の差は温度に対して直線関係にあった。

(2) クリープ試験終了後の水平加力に対するせん断性能は乾燥材と未乾燥材の差異は小さかった。

(3) クリープ試験終了後の鉛直加力に対する梁と通し柱の接合部の変形は乾燥材のほうが小さかった。

<参考文献>

1) 武田孝志他２名：軸組構造体のクリープ変形挙動（Ｉ），日本建築学会大会講演梗概集、pp. 93-94、1995 年

2) 武田孝志他２名：軸組構造体のクリープ変形挙動（II），日本建築学会大会講演梗概集、pp. 27-28、1996 年

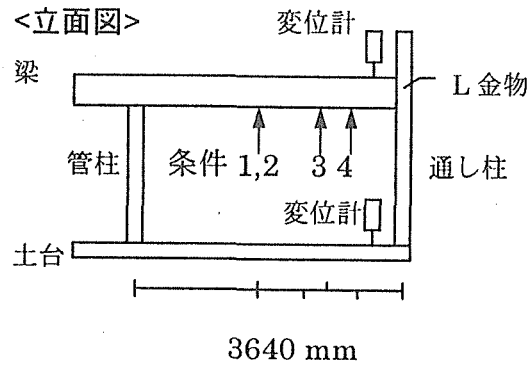


図6　鉛直加力試験の方法

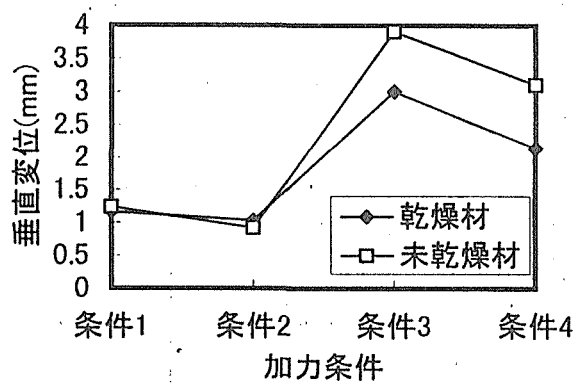


図7　鉛直荷重500kgf時の垂直変位

1)信州大学農学部　助手・農修　Assoc. Researcher, Faculty of Agriculture, Shinshu Univ.

2)東京大学農学部　教授・農博　Prof., Faculty of Agriculture, Univ.of Tokyo, Dr. Agr.

3)建設省建築研究所　研究員・工博　Reseacrher, Building Reaearch Institute, Dr. Eng.

付表１　軸組部材の寸法等（1994年8月23日測定）

部材		幅 (cm)	厚さ (cm)	長さ (cm)	重量 (kg)	比重	共振振動数 (Hz)	縦振動E (kgf/cm^2)
乾燥材	D1	10.5	10.5	150.0	8.74	0.528	1602.0	124,561
	D2	10.5	10.5	150.0	8.54	0.516	1450.0	99,710
	D3	11.9	11.9	240.0	14.05	0.413	912.5	80,927
	D4	12.0	11.9	240.0	17.89	0.522	862.5	91,295
	D5	10.4	30.0	396.4	60.27	0.487	625.0	122,088
	D6	10.5	30.0	396.4	62.31	0.499	600.0	115,217
	D7	10.5	10.6	394.0	18.84	0.430	550.0	82,346
	D8	10.5	10.5	394.0	18.23	0.420	612.5	99,759
	D9	10.5	20.9	269.4	29.42	0.498	931.2	127,828
	D10	10.5	21.0	267.8	27.07	0.458	856.2	98,373
	D11	10.5	10.5	269.4	19.19	0.646	1025.0	201,083
	D12	10.5	10.5	269.4	17.14	0.577	962.5	158,367
未乾燥材	G1	10.7	10.8	150.0	10.12	0.584	1425.0	108,875
	G2	10.7	10.8	150.0	9.03	0.521	1337.0	85,520
	G3	12.2	12.3	240.0	19.27	0.535	768.7	74,332
	G4	12.4	12.4	240.0	19.06	0.516	831.2	83,895
	G5	10.4	29.9	396.4	67.81	0.550	543.7	104,298
	G6	10.5	30.0	396.4	80.18	0.642	606.2	151,340
	G7	10.5	10.5	394.0	25.08	0.577	512.5	96,087
	G8	10.5	10.5	394.0	23.84	0.549	650.0	146,921
	G9	10.6	20.9	269.4	33.98	0.569	781.2	102,926
	G10	10.4	20.9	267.8	29.53	0.507	918.7	125,336
	G11	10.5	10.5	269.4	14.51	0.489	750.0	81,403
	G12	10.5	10.4	269.4	17.44	0.593	837.5	123,176

付表２　軸組部材の寸法等（1997年3月17日測定）

部材		幅 (cm)	厚さ (cm)	長さ (cm)	重量 (kg)	比重	共振振動数 (Hz)	縦振動E (kgf/cm^2)
乾燥材	D1	10.4	10.3	150.0	8.54	0.531	1743.7	148,408
	D2	10.4	10.4	150.0	8.33	0.513	1518.7	108,755
	D3	11.8	11.9	240.0	13.85	0.411	937.5	84,920
	D4	11.8	11.8	240.0	17.34	0.519	887.5	96,088
	D5	10.3	29.5	396.4	58.10	0.482	662.5	135,786
	D6	10.3	29.5	396.3	59.22	0.492	637.5	128,123
	D7	10.5	10.5	394.0	18.90	0.435	562.5	87,228
	D8	10.5	10.4	394.0	18.00	0.418	656.2	114,144
	D9	10.4	20.8	269.4	28.45	0.488	981.2	139,230
	D10	10.5	20.8	267.8	26.37	0.451	906.2	108,380
	D11	10.3	10.4	269.4	18.53	0.642	1068.7	217,244
	D12	10.4	10.4	269.4	16.88	0.579	1006.2	173,742
未乾燥材	G1	10.5	10.6	149.9	9.25	0.554	1568.7	125,130
	G2	10.5	10.6	149.9	8.20	0.491	1487.5	99,740
	G3	12.0	12.0	239.9	17.67	0.511	843.7	85,529
	G4	12.1	12.2	239.8	17.43	0.492	881.2	89,740
	G5	10.0	29.4	396.0	57.75	0.496	625.0	124,021
	G6	10.1	29.4	396.2	67.26	0.572	687.5	173,134
	G7	10.3	10.3	393.8	22.53	0.539	568.7	110,398
	G8	10.3	10.3	394.0	21.78	0.521	712.5	167,604
	G9	10.3	20.5	269.3	26.42	0.465	937.5	120,880
	G10	10.1	20.5	267.8	26.50	0.478	1018.7	145,180
	G11	10.4	10.3	269.3	12.60	0.437	850.0	93,413
	G12	10.4	10.2	269.4	15.29	0.535	980.0	152,215

付表３　軸組部材の寸法等の試験前に対する試験後の変化率

部材		幅 (%)	厚さ (%)	長さ (%)	重量 (%)	比重 (%)	共振振動数 (%)	縦振動E (%)
乾燥材	D1	-1.0	-1.9	0.0	-2.3	0.6	8.8	19.1
	D2	-1.0	-1.0	0.0	-2.5	-0.6	4.7	9.1
	D3	-0.8	0.0	0.0	-1.4	-0.6	2.7	4.9
	D4	-1.7	-0.8	0.0	-3.1	-0.6	2.9	5.2
	D5	-1.0	-1.7	0.0	-3.6	-1.0	6.0	11.2
	D6	-1.9	-1.7	0.0	-5.0	-1.4	6.3	11.2
	D7	0.0	-0.9	0.0	0.3	1.3	2.3	5.9
	D8	0.0	-1.0	0.0	-1.3	-0.3	7.1	14.4
	D9	-1.0	-0.5	0.0	-3.3	-1.9	5.4	8.9
	D10	0.0	-1.0	0.0	-2.6	-1.6	5.8	10.2
	D11	-1.9	-1.0	0.0	-3.4	-0.6	4.3	8.0
	D12	-1.0	-1.0	0.0	-1.5	0.4	4.5	9.7
未乾燥材	G1	-1.9	-1.9	-0.1	-8.6	-5.0	10.1	14.9
	G2	-1.9	-1.9	-0.1	-9.2	-5.7	11.3	16.6
	G3	-1.6	-2.4	0.0	-8.3	-4.4	9.8	15.1
	G4	-2.4	-1.6	-0.1	-8.6	-4.7	6.0	7.0
	G5	-3.8	-1.7	-0.1	-14.8	-9.8	15.0	18.9
	G6	-3.8	-2.0	-0.1	-16.1	-11.0	13.4	14.4
	G7	-1.9	-1.9	-0.1	-10.2	-6.6	11.0	14.9
	G8	-1.9	-1.9	0.0	-8.6	-5.1	9.6	14.1
	G9	-2.8	-1.9	0.0	-22.2	-18.4	20.0	17.4
	G10	-2.9	-1.9	0.0	-10.3	-5.8	10.9	15.8
	G11	-1.0	-1.9	0.0	-13.2	-10.6	13.3	14.8
	G12	-1.0	-1.9	0.0	-12.3	-9.7	17.0	23.6
乾燥材平均		-0.9	-1.0	0.0	-2.5	-0.5	5.1	9.8
未乾燥材平均		-2.2	-1.9	0.0	-11.9	-8.1	12.3	15.6