

平成7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8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、その普及状況は極めて低位である。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と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、実際に軸組構造体を組み、乾燥に伴う構造体の変形挙動等を把握することを目的とした試験を行うこととする。

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	(東京大学農学部助教授)
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	(建築研究所研究員)
〃	久田卓興	(森林総合研究所室長)

3 試験の方法(概要)

通常住宅で使用されている軸組を想定して、土台(ベイマツ)、柱(管柱と通し柱:ヒノキ)、梁・桁(ベイマツ)からなる軸組構造試験体を作製した。接合部をプレカットした部材をZ金物を用いて組み立てた。これと別に重量測定等のため、梁材と同寸法の材を対照試験体として用意した。

軸組構造試験体の梁に3等分点荷重により載荷した。梁のたわみ等は継続的にデータロガーを用いて測定を行い、1週間間隔で各部材の含水率を高周波型含水率計を用いて測定した。対照試験体については、同様に、寸法、含水率、重量、縦振動法によるMOEの測定を行った。

4 試験の概要（要約、キーワード）

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を生じることがある。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。載荷後180日の梁のたわみの大きさは、未乾燥材は乾燥材の約2.5倍になった。

また、温度と湿度から求めた平衡含水率と中央たわみ比（梁中央における初期変形に対するたわみの比）の1日当たりの変化量の関係から、温湿度変化のクリープ変形に及ぼす影響は、未乾燥材は乾燥材と比較して大きいことが明らかになった。いずれも、乾燥が進む場合にクリープ変形が進行し、吸湿する場
合に戻る傾向がみられた。但し、時間経過とともに、乾燥材と未乾燥材の差異は小さくなる傾向にある。

クリープ変形挙動の季節変動については、乾燥材、未乾燥材とも夏期に中央たわみ比が減少した後、急増する傾向がみられた。この季節変動の予測に対して温度変化を指標をして用いることの可能性が示唆された。

キーワード

軸組構造体、クリープ試験、人工乾燥材、未乾燥材、乾燥収縮

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。

<目次>

第1章 試験の概要

1 はじめに.....	1
2 試験体.....	1
3 試験方法.....	1
4 結果及び考察.....	2
5 まとめ.....	3

第2章 試験体及び試験方法

1 試験体用部材.....	7
1. 1 軸組構造試験体.....	7
1. 2 対照試験体.....	11
2 軸組構造試験体の組立方法.....	12
2. 1 設置条件.....	12
2. 2 接合金具類.....	12
2. 3 治具.....	12
2. 4 載荷用材料.....	12
2. 5 試験体の組立方法.....	14
3 積載荷重.....	16
3. 1 積載荷重の設定.....	16
3. 2 水平力に対する抵抗力.....	17
3. 3 初期たわみの予測値.....	19
3. 4 載荷方法.....	19
4 試験方法.....	20
4. 1 軸組構造試験体の試験項目.....	20
4. 1. 1 寸法.....	20

4. 1. 2	含水率	20
4. 1. 3	背割り寸法	20
4. 1. 4	クリープ変形	21
4. 1. 5	温湿度	21
4. 1. 6	静的曲げ試験	23
4. 1. 7	重量	23
4. 1. 8	振動試験	23
4. 2	対照試験体の試験項目	23
4. 2. 1	寸法	23
4. 2. 2	含水率	23
4. 2. 3	重量	24
4. 2. 4	振動試験	24
4. 2. 5	静的曲げ試験	24
4. 3	試験経過	25

第3章 結果及び考察

1	軸組構造試験体	26
1. 1	寸法変化	26
1. 2	含水率変化	26
1. 3	背割り寸法変化	28
2	対照試験体	35
2. 1	寸法変化	35
2. 2	含水率変化	35
2. 3	重量変化	35
2. 4	縦振動MOE	36
3	軸組構造試験体の変形挙動	41
3. 1	梁のクリープ変形挙動	41
3. 1. 1	梁材の変形	41
3. 1. 2	梁材の中央たわみ	45
3. 1. 3	曲げによる梁材の中央たわみ	47
3. 2	接合部の変形挙動	49
3. 2. 1	梁の柱に対する沈み	49

3. 2. 2	梁の通し柱に対する回転.....	52
3. 3	温湿度変化のクリープ変形挙動に及ぼす影響.....	55
3. 3. 1	短期的なクリープ変形挙動.....	55
3. 3. 2	長期的なクリープ変形挙動.....	55
3. 3. 3	梁中央たわみ比の推定.....	63
3. 4	施工上の問題点.....	69
3. 5	クリープ変形の季節変動.....	72
3. 5. 1	中央たわみ比の季節変動.....	72
3. 5. 2	Δ 中央たわみ比に対する温湿度変化の影響.....	77
3. 5. 3	梁背寸法変化の影響.....	83
3. 5. 4	含水率変化の影響.....	94
3. 5. 5	温度変化との関係.....	102
4	総括.....	107
参考文献.....		109
付表・付図.....		111
概要版（一般向け）.....		139

第1章 試験の概要

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1-1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M O E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 $130\text{kg}/\text{m}^2$ 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1-2に載荷後180日後までの中央たわみ比の時間経を、図1-3に温湿度変化を示す。図1-2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。

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1-4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1-5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

- 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。
- 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。
- 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、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

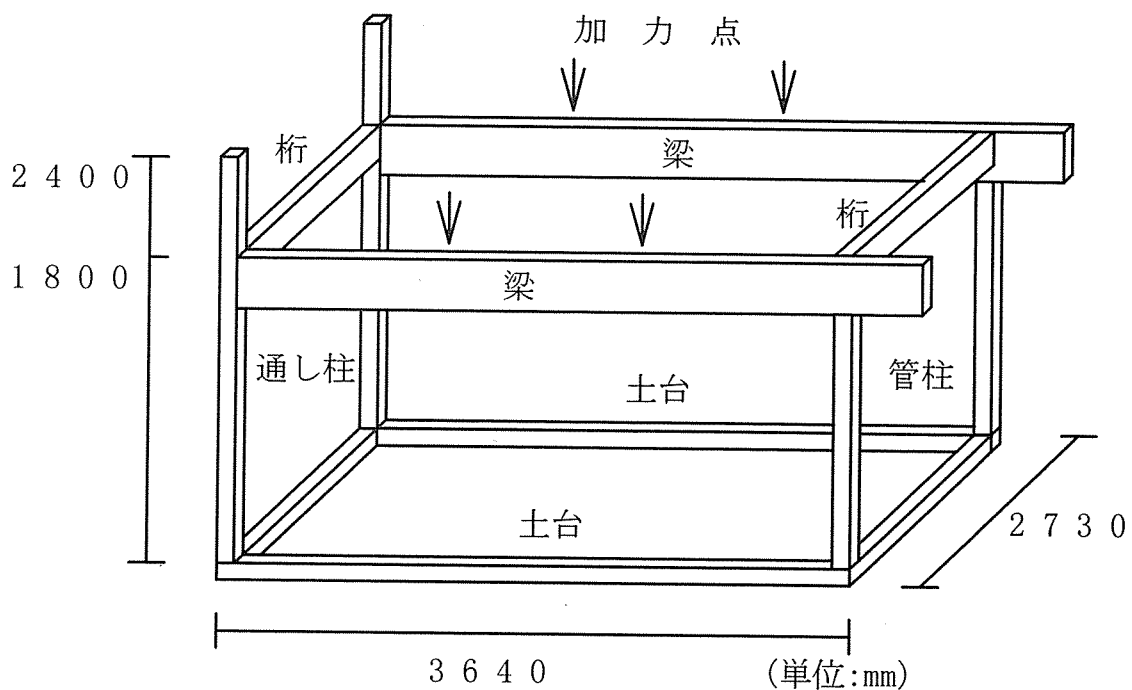


図 1-1 試験体図

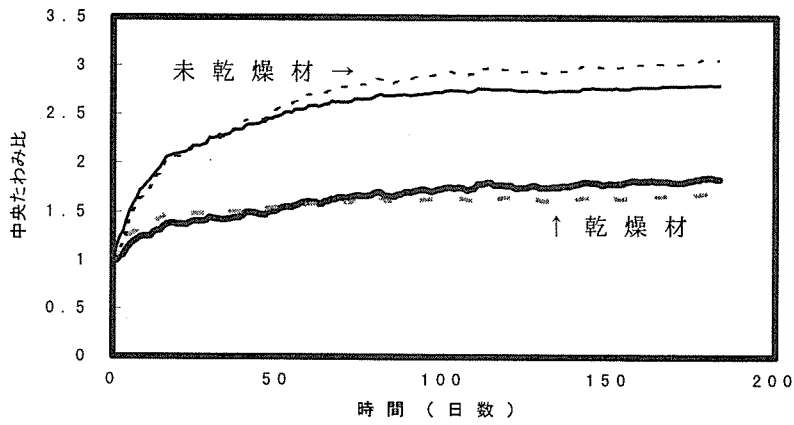


図 1 - 2 中央たわみ比

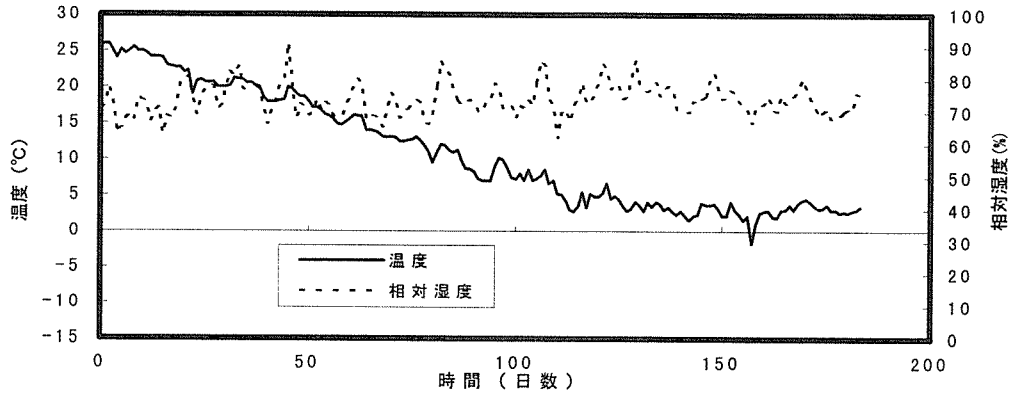


図 1 - 3 温湿度変化

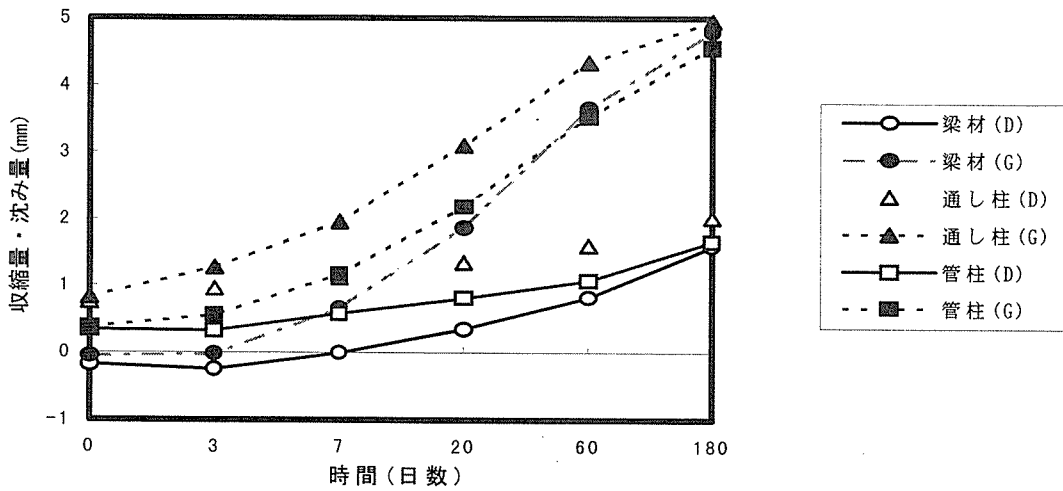


図 1 - 4 梁背の収縮と柱に対する梁の沈み

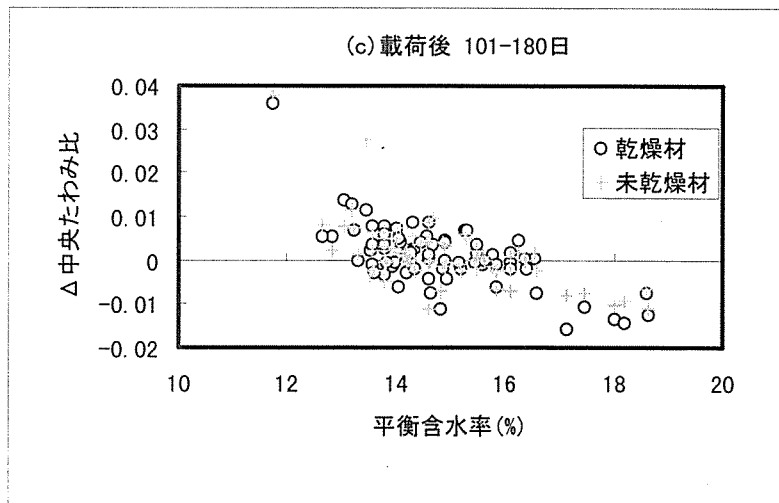
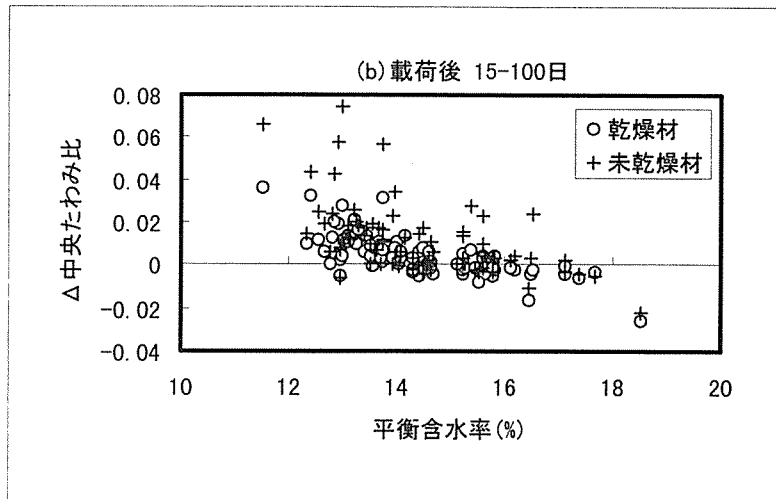
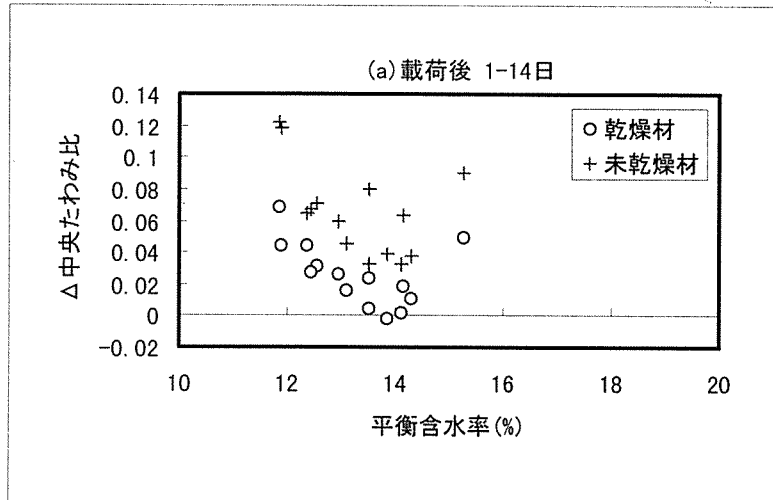


図 1 - 5 温湿度変化と中央たわみ比の関係

<試験結果の補足>

前述のとおり、クリープ変形挙動については以下に示す3段階に区分することが妥当と考えられる。但し、区分した日数については厳密なものではない。

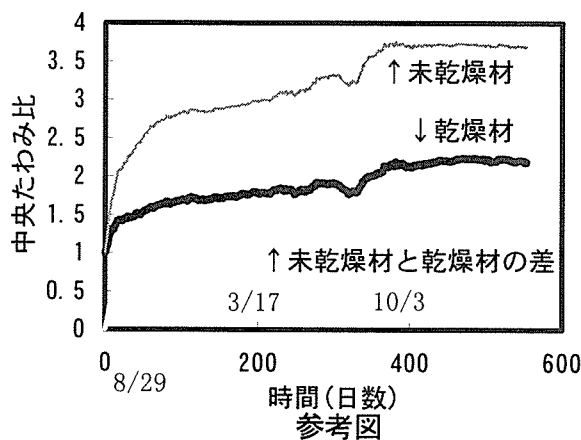
- a) 初期：载荷後1-14日
- b) 中間期：载荷後15-100日
- c) 安定期：载荷後101日以降

ここで初期段階というのは、载荷後2週間程度まで急速にクリープたわみが増加する期間を指す。第3章で述べるように、重量が急速に減少する期間で、材の乾燥によるクリープ変形の増加に対する影響は大きい(いわゆるメカノ・ソープティブ・クリープ)。

一方、安定期では、初期段階と比較するとクリープたわみの時間当たりの変化量は小さく、クリープ変形は温湿度変化が主な要因と考えられる。また、下図に示すように安定期のクリープたわみに季節変動がみられる。中間期は、初期から安定期への移行期間となっている。

このため、クリープ変形挙動については次の2点に分けて試験結果をまとめた。

- ・初期から安定期への推移
- ・季節間変動



第2章 試験体及び試験方法

1 試験体用部材

試験体の部材は、通常の住宅で使用される部材（製材）を用いた。試験体は、クリープ変形を測定するための実大の軸組構造試験体とこの軸組構造試験体では測定できない重量変化等を測定するために、これと別に、軸組構造試験体に用いた梁材と同寸法の梁材を対照試験体として用意した。

以下、特にことわりのない場合には、「試験体」は軸組構造試験体をさすことにする。

1. 1 軸組構造試験体

軸組構造試験体図を図2-1に示す。図に示すように、土台、柱、梁及び桁から構成されている。試験体は、乾燥材と未乾燥材の2種類、各1体であり、それぞれの構成する部材の樹種及びプレカット加工前の寸法は、次のとおりである。

・柱材：ヒノキ，	10.5×10.5×300.0(cm)	2本	
	12.0×12.0×400.0(cm)	2本	
・梁材：ベイマツ，	30.0×10.5×400.0(cm)	2本	
・桁材：ベイマツ，	21.0×10.5×400.0(cm)	2本	
・土台：ベイマツ，	10.5×10.5×300.0(cm)	2本	
	10.5×10.5×400.0(cm)	2本	
	乾燥材，未乾燥材	各 12本	合計24本

乾燥材と未乾燥材合わせて計24本で、表2-1にプレカット加工後の寸法と重量を示す。測定日は1994年8月24日である。なお、試験体名称は、乾燥材をD、未乾燥材をGで表しており、番号は各部材ごとに乾燥材と未乾燥材で対応している。各部材の配置及び梁材の名称を図2-2に示す。

各部材の接合部は、次のように仕口をプレカット加工を行った。

- ・土台－土台：腰掛け蟻継ぎ（短手；雄）
- ・土台－柱：短ほぞ
- ・管柱－梁：短ほぞ
- ・梁－桁：腰掛け蟻継ぎ（桁；雄）
- ・通し柱－梁，通し柱－桁：胴付ほぞ

概略図

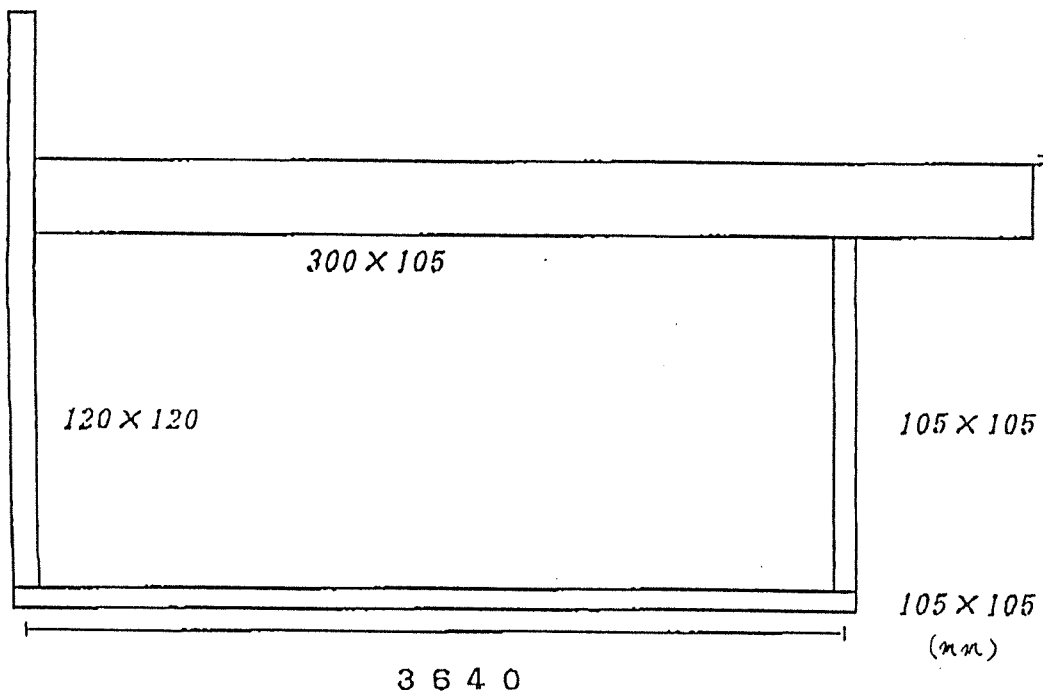
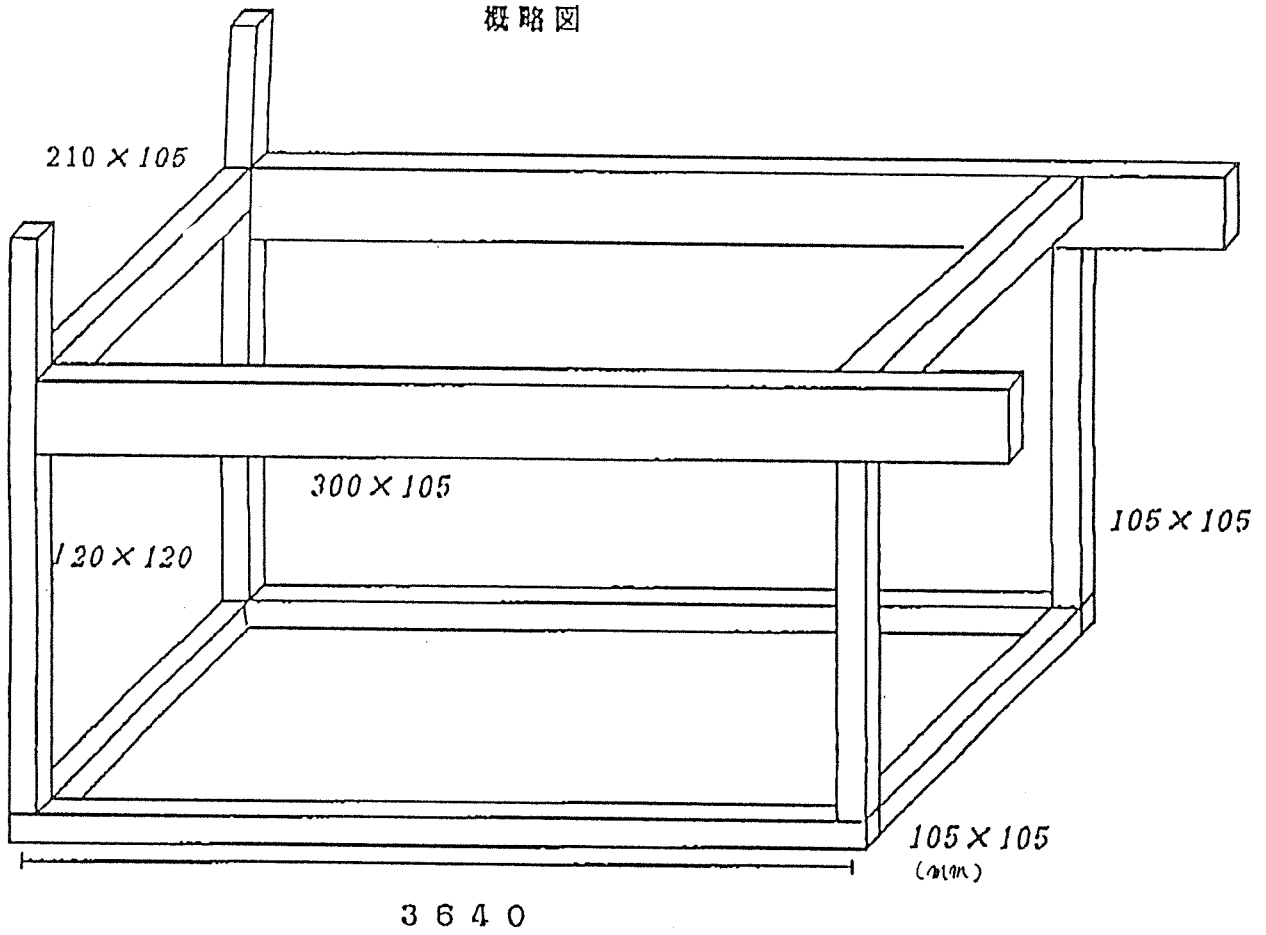
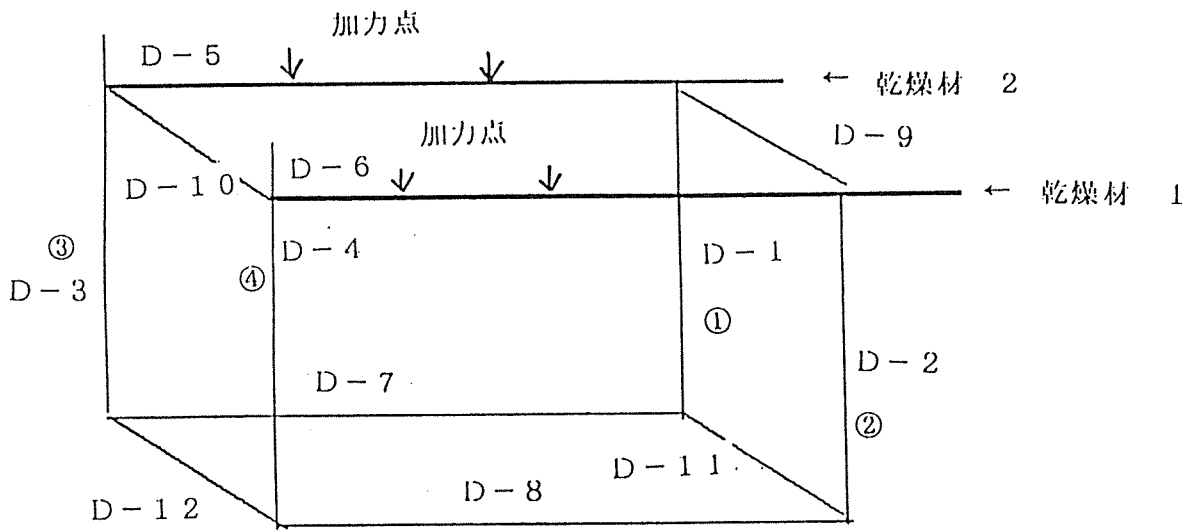


図2-1 軸組構造試験体図 (全体, 梁方向)

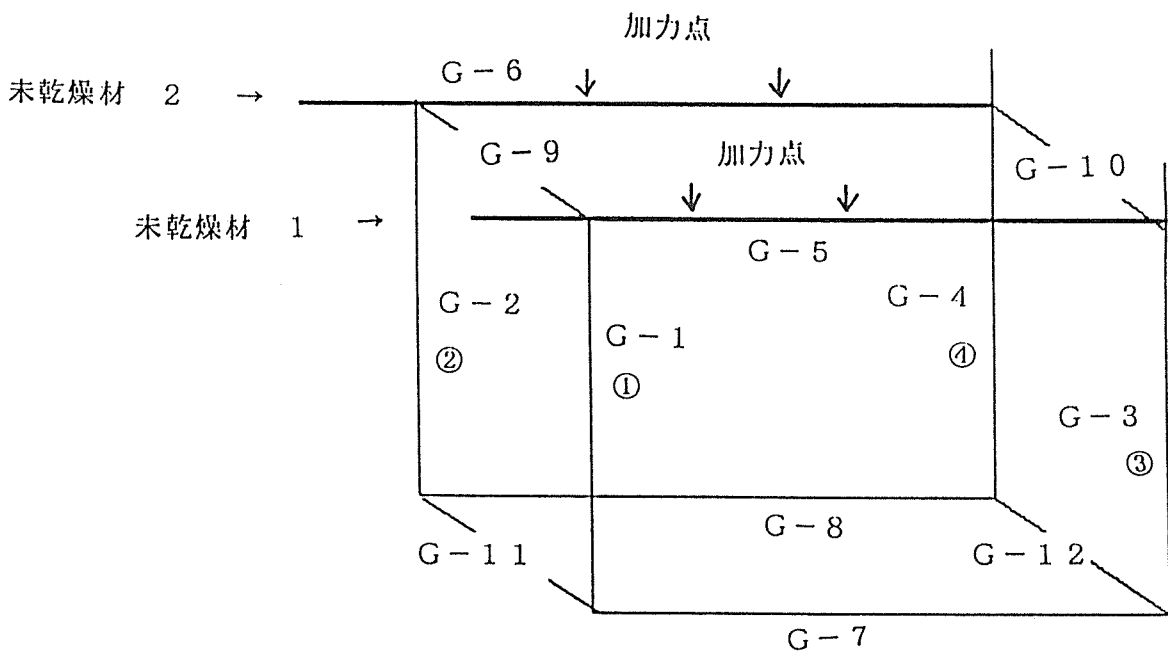
表 2-1 軸組構造試験体 プレカット後の部材特徴表

名称	樹種	用途	b (cm)	h (cm)	l (cm)	重量 (kg)	
乾燥材							
D 1	ヒノキ	柱	10.50	10.50	150.00	8.69	管柱を想定
D 2	ヒノキ	柱	10.50	10.50	150.00	8.50	管柱を想定
D 3	ヒノキ	柱	11.90	11.95	240.00	13.96	通柱を想定
D 4	ヒノキ	柱	11.90	12.00	240.00	17.74	通柱を想定
D 5	ベイマツ	梁	10.50	30.00	396.40	60.26	スパン2間の梁を想定
D 6	ベイマツ	梁	10.45	30.25	396.40	62.26	スパン2間の梁を想定
D 7	ベイマツ	土台	10.50	10.55	396.30	18.79	
D 8	ベイマツ	土台	10.55	10.50	394.00	18.19	
D 9	ベイマツ	桁	10.50	21.00	269.40	29.43	スパン1間半の桁を想定
D 1 0	ベイマツ	桁	10.50	20.95	267.80	27.04	スパン1間半の桁を想定
D 1 1	ベイマツ	土台	10.50	10.50	269.40	19.12	
D 1 2	ベイマツ	土台	10.50	10.55	269.40	17.09	
未乾燥材							
G 1	ヒノキ	柱	10.70	10.80	150.00	9.95	管柱を想定
G 2	ヒノキ	柱	10.70	10.70	150.00	8.80	管柱を想定
G 3	ヒノキ	柱	12.20	12.20	240.00	18.85	通柱を想定
G 4	ヒノキ	柱	12.40	12.40	240.00	18.62	通柱を想定
G 5	ベイマツ	梁	10.35	29.80	396.40	66.03	スパン2間の梁を想定
G 6	ベイマツ	梁	10.45	30.00	396.40	78.46	スパン2間の梁を想定
G 7	ベイマツ	土台	10.50	10.40	394.00	24.74	
G 8	ベイマツ	土台	10.50	10.50	394.00	23.58	
G 9	ベイマツ	桁	10.60	20.90	269.40	33.07	スパン1間半の桁を想定
G 1 0	ベイマツ	桁	10.40	20.50	267.80	29.20	スパン1間半の桁を想定
G 1 1	ベイマツ	土台	10.50	10.50	269.40	14.10	
G 1 2	ベイマツ	土台	10.50	10.35	269.40	17.05	



①～④ 背割り番号

< 乾燥材 >



< 未乾燥材 >

図2-2 軸組構造試験体図 (各部材の配置)

1. 2 対照試験体

対照試験体として、軸組構造試験体の梁材と同寸法・同樹種のもので、乾燥材2本、未乾燥材1本用意した。試験体名称は軸組構造試験体と同様である。表2-2に軸組構造試験体部材と同日に測定した寸法・重量を示す。

表2-2 対照試験体の寸法及び重量

	幅 (cm)	厚さ (cm)	長さ (cm)	重量 (kg)
乾燥材 (D13)	10.60	29.90	400.20	63.55
(D14)	10.55	30.00	400.50	64.01
未乾燥材 (G13)	10.30	29.90	390.60	62.82

2 軸組構造試験体の組立方法

軸組構造試験体は、在来軸組構造住宅に実際に使用されている軸組を想定して、その一部を切り出す形とし、試験体は、梁間2間、桁行1間半の6畳の広さとした。但し、柱の高さについては計測上の利点等を考慮して実際より低く設定している。また、接合部における挙動の違いを検討するために、各梁材についてそれぞれ管柱と通し柱に接合することにした。これにより、全ての梁材について打撃法による固有振動数の計測が可能である。

2.1 設置条件

試験体は、信州大学農学部木材加工実習室内に設置した。この実習室は温湿度管理を行っていないため、夜間では、温湿度とも安定しており、日中では、製材機等の使用または実習などでシャッターを開ける場合に外気の流入によって温湿度が変化することがある。住宅の実際使用を考慮して、試験に際して特に換気時間等は定めなかった。

試験体の土台は、実習室のコンクリート・スラブ床に直に置き、アンカー・ボルトは使用しなかった。

2.2 接合金具類

試験体の組立に使用した接合金具はいずれもZ金物を用いた。かど金物(CP・L, CP・T)の釘にはZN65を用い、羽子板ボルト(SB・E)のボルト部の締めつけには、円形の座金、スプリング及びナットを用いた。合板等の釘打ちにはN65を用いた。

2.3 治具

載荷用の治具を図2-3に示す。治具の構造は、梁材に乗せるH型鋼の受け材にターンバックルを介して載荷時用フックのついたH型鋼を釣り、これと重りに乗せるH型鋼をM12のボルトでつないだものである。

2.4 載荷用材料

載荷用の荷重として、通常市販されている鋼矢板を用いた。これは1枚当たり長さ約3m、重量35.5kg/mで、必要重量に相当する枚数を重ねて使用することにした。

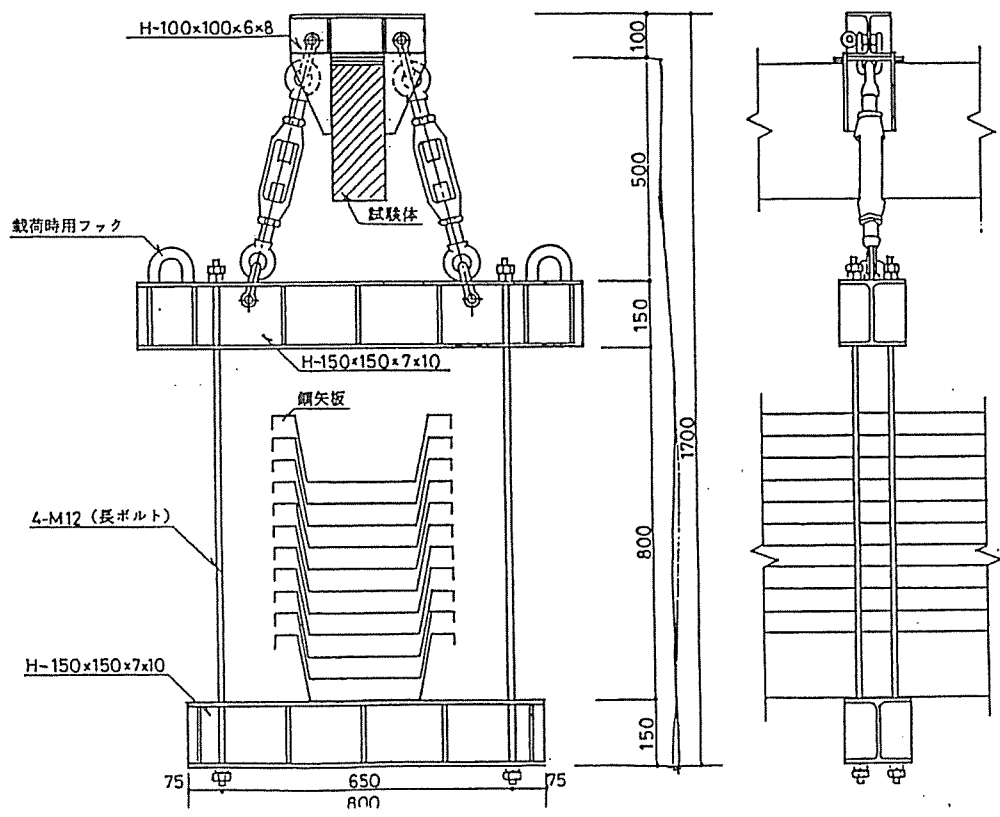
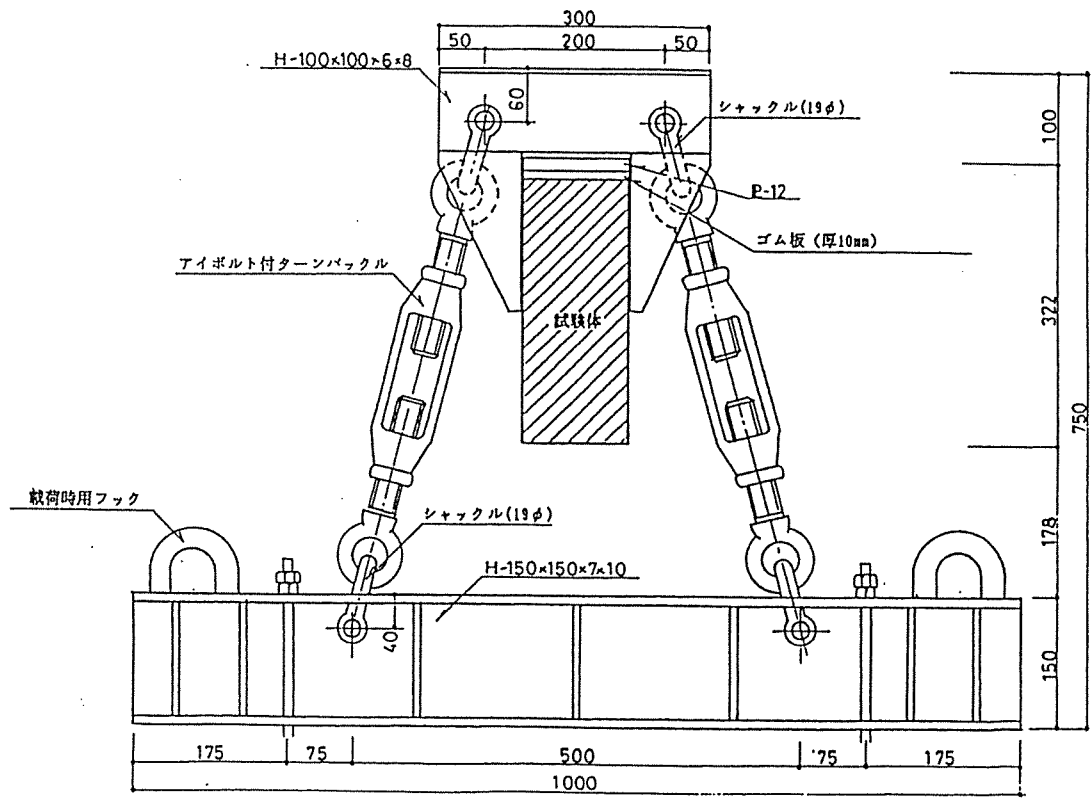


図 2 - 3 載荷用治具

2. 5 試験体の組立方法

- 1) まず、試験体の土台の設置箇所を外法でチョークでしるす。
- 2) 次に、土台の部材（乾燥材：D 7→D11→D 8→D12，未乾燥材：G 7→G11→G 8→G12）を所定の位置で組む。
- 3) 次に土台の上に柱を立てる。各部材の組合せは、土台D 7に管柱D 1と通し柱D 3，土台D 8に管柱D 2と通し柱D 4とし、管柱はD11側，通し柱はD12側とした。以下，未乾燥材も同様である。
- 4) 通し柱間の桁を挟む。部材の組合せは，D 3とD 4を桁D10で繋ぎ，これは土台D12に対応している。
- 5) 梁を管柱の上に乗せて叩き込んだ後，通し柱に差し込む。組合せは，管柱D 1と通し柱D 3をD 5で，同様にD 2とD 4をD 6で結ぶ。従って，D 5とD 7，D 6とD 8が上下で対応している。
- 6) 軸組の最後に，桁を管柱側の梁に叩き入れる。桁D10と土台D12は対応している。
- 7) 次に2. 2で述べた接合金具を使って各部材を緊結した。羽子板ボルトは，全てトルク 200 kgf・cmで締めつけた。但し，ボルトとナットの間にはスプリングを介している。柱の鉛直を下げ振で補正して仮筋かいを釘打ちする。
- 8) 軸組のみでは，水平方向の抵抗力に乏しいので，図2-4に示すとおり，壁面を合板を用いて補強した。カラマツの間柱を45cm間隔で入れ，構造用合板（厚さ9mm）をN65，10cm間隔で釘打ちした。梁側の壁面は，柱脚部に合板ガセット（構造用合板厚さ9mm）をN65，10cm間隔で釘打ちした。

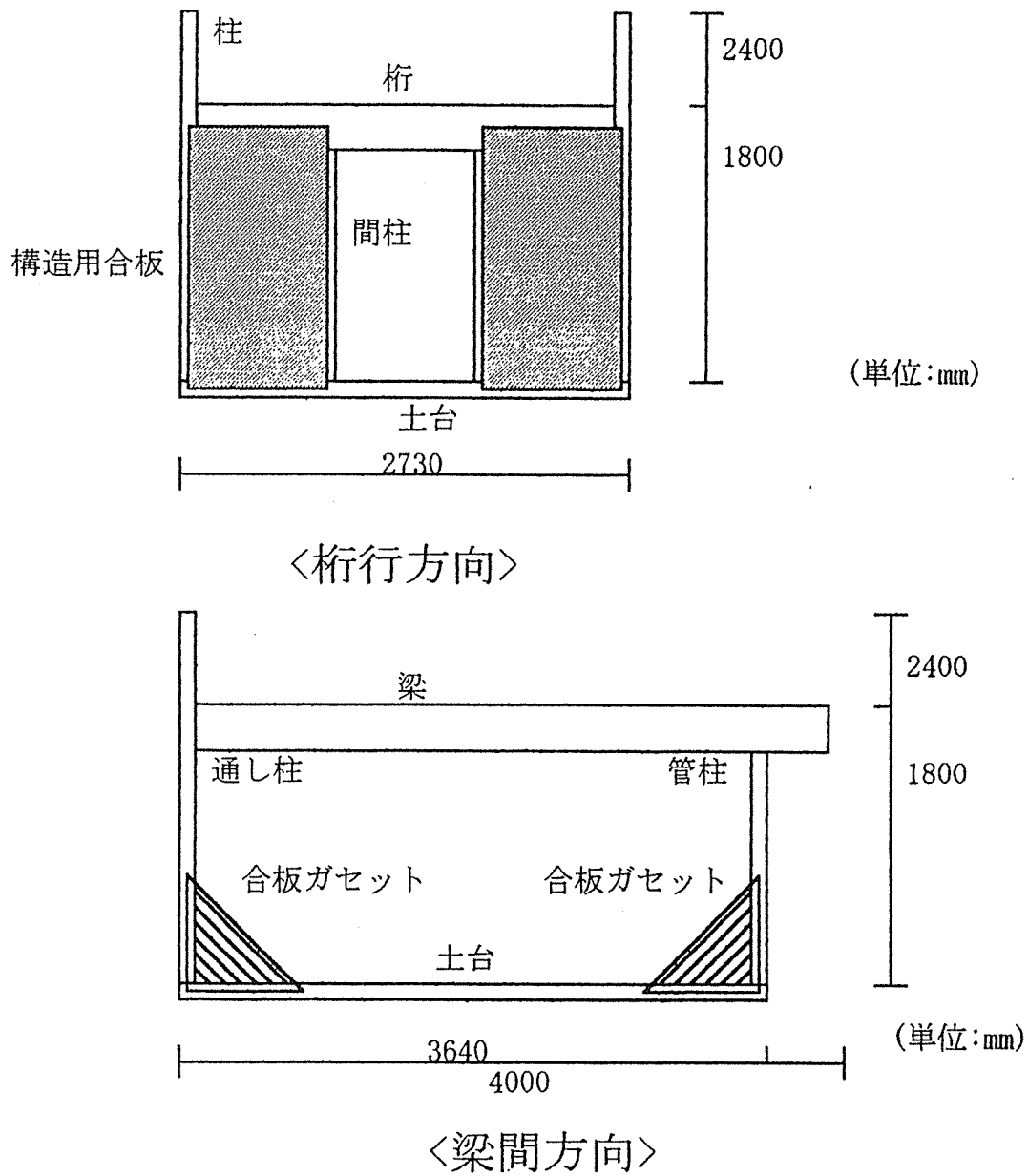


図 2 - 4 軸組構造試験体の補強方法

3 積載荷重

3.1 積載荷重の設定

通常梁材のクリープ試験を行う場合、使用する梁材の強度（ σ_0 ）に対する応力比（例：1/3, 1/2 等）から積載荷重を設定することが多い。しかし、本実験では住宅における実際使用の点から、建築基準法（施行令第85条）に定められている長期荷重を積載荷重として使用することにした。クリープ変形に温湿度変化の及ぼす影響は、応力比に依存することがこれまで報告されており、この点から、より実用性の高いデータの収集に寄与すると考えている。

基準法で定められている積載荷重の一覧を表2-3に示す。表中の住宅の居室における大ばり、柱又は基礎の構造計算をする場合の130kg/m²を用いて積載荷重を求めた。

$$130\text{kg/m}^2 \times 3.64\text{m} \times 2.73\text{m} = 1292\text{kg}$$

ここで、各試験体の梁は2本であるが、連続した構造体の一部を切り出した形を想定しているため、各梁の分担する荷重はそれぞれ1292kgを目安とした。

表2-3 積載荷重の一覧（建築基準法施行令第85条）

象	構造計算の対象	床の構造計算をする場合	大ばり、柱又は基礎の構造計算をする場合	地震力を計算する場合
室の種類				
	住宅の居室、住宅以外の建築物における寝室又は病室	180	130	60
	事務室	300	180	80
	教室	230	210	110
	百貨店又は店舗の売り場	300	240	130

(単位：kg/m²)

3. 2 水平力に対する抵抗力

本実験の試験期間が長期間にわたるものなので、試験体の構造安全性について若干の検討を行った。

試験体の軸組は、全ての接合部は実際上ピン接合として扱う必要があるので、軸組を補強しない場合には不安定構造物となる。このため、壁面の補強を行ったが、軸組の梁のクリープ変形を阻害する要因をなるべく排除するため、梁側の壁面では、柱脚部を合板ガセット釘打ちによる補強にとどめ、桁側の壁面は合板釘打ちによる耐力壁を挿入することにした。

○ 水平力の算出

水平力を算出するため、まず、固定荷重と積載荷重を求める。なお、固定荷重に、柱、土台、耐力壁の重量を含めないことにした。

・固定荷重（梁材と桁材の重量）

乾燥材試験体 梁 $60.26 + 62.26 = 122.52$ (kg)

桁 $29.43 + 27.04 = 56.47$ (kg)

未乾燥材試験体 梁 $66.03 + 78.43 = 144.49$ (kg)

桁 $33.07 + 29.02 = 62.27$ (kg)

・積載荷重

乾燥材試験体 $1254.57 + 1251.91 = 2506.48$ (kg)

未乾燥材試験体 $1253.15 + 1247.04 = 2500.19$ (kg)

・固定荷重+積載荷重

乾燥材試験体 $122.52 + 56.47 + 2506.48 = 2685.47$ (kg)

未乾燥材試験体 $144.49 + 62.27 + 2500.19 = 2706.95$ (kg)

ここで、未乾燥材試験体の荷重は、乾燥材試験体の荷重より大きいので、以下では未乾燥材試験体の荷重について検討を行う。

水平力Qを次式により求める。

$$\begin{aligned} Q &= d_i \times A_i \times C_i \times W \\ &= 1.0 \times 1.0 \times 0.2 \times 2706.95 \\ &= 541.39 \text{ (kg)} \end{aligned}$$

○ 水平力と壁面の抵抗力の比較

・桁方向については、

$$Q = 541.39 < 1170 = 130 \text{ (kg/m)} \times 2.5 \text{ (壁倍率)} \times 0.9 \text{ (m)} \times 4 \text{ (枚)}$$

となり、安全側にある。

・梁方向については、

まず、水平力Qにより生じる柱脚部のモーメントについて、柱1本当たりの負担すべきモーメント (M) を求める。

$$\begin{aligned} M &= W \times h \text{ (cm)} / 4 \\ &= 541.39 \times 150 \text{ (cm)} / 4 \\ &= 20,302 \text{ (kg} \cdot \text{cm)} \end{aligned}$$

ここで、釘1本当たりの許容応力度を50kgとすれば、

$$\Sigma 50 \text{ (kg)} \times h_i \text{ (cm)} = 50 \times 223 = 11,150 \text{ (kg} \cdot \text{cm)}$$

となり、水平力の55% (= 11,150 / 20,302) を柱脚部のモーメント抵抗により負担すると考えられる。

試験体の土台を床面と固定していないこと及び梁方向の耐力が十分ではないことから、この試験体は水平力に対して十分に安全とはいえないが、梁方向については重りと梁が固定されていないこと及び直交壁が十分に入っていることから、現在実験を行う上での支障は生じないと考えている。

3. 3 初期たわみの予測値

試験に先立ち、変位計のキャパシティー等に問題が生じないかという点から、载荷直後の梁の中央点の初期たわみについて検討を行った。初期たわみの計算は、通常の曲げの公式から求めた。従って、接合部のめりこみ等は含まれていない。

- ・ 梁断面積 $A = 10.5(b) \times 30.0(h) = 315.0 \text{ (cm}^2\text{)}$
- ・ 断面2次モーメント $I = b h^3 / 12 = 23625 \text{ (cm}^4\text{)}$
- ・ スパン $l = 364 \text{ (cm)}$
- ・ ヤング係数 $E = 1.1 \times 10^5 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
- ・ 初期たわみ $y = 0.428\text{cm} = 4.3\text{mm}$

計算結果から初期たわみの予測値は、4.3mmとなった。

本試験に先立ち、試験体寸法が1/2スケール、部材断面5cm角カラマツ製材、接合部は相欠きした材を木ねじでとめた試験体を用いて予備試験を行った。荷重は、本試験と同等の応力比になるように設定した。この予備試験の初期たわみ(1.286mm)と最大たわみ(3.529mm)の比(=2.744)を用いて本試験の最大たわみを推定すると11.7mmとなった。また、未乾燥材の乾燥に伴う収縮率が2%(=0.2(半径方向収縮率; %/%) $\times 10$ (含水率変化量; %))とすれば、収縮量は6mm程度と推定される。従って、梁の中央点における最大たわみは、両者を加えて2cm程度と予測した。

3. 4 载荷方法

軸組構造試験体の载荷方法は3等分点荷重とした。本章3.1に述べた積载荷重を目安に本章2.4に述べた鋼矢板を各梁ごとに10枚载荷することにした。各梁に積载荷重を表2-4に示す。鋼矢板の長さのばらつきのため梁ごとに若干荷重が異なるが、重量の最大のものとの最小のものとの差は0.6%(対積載重量)程度でほぼ一致している。

表2-4 積載荷重(梁別)

	治具重量(kg)	鋼矢板重量(kg)	計(kg)
乾燥材 (D5)	174.96	1079.61	1254.57
(D6)	175.36	1076.55	1251.91
未乾燥材(G5)	175.45	1077.70	1253.15
(G6)	175.31	1071.73	1247.04

4 試験方法

4.1 軸組構造試験体の試験項目

4.1.1 寸法

軸組構造試験体の各部材（D 1～D12，G 1～G12，計24本）について，部材中央部の幅と厚さ各1箇所，さし金を用いて測定した。試験体組立前の寸法は前出の表2-1に示したとおりである。試験体組立後の寸法についても，寸法がほぼ安定するまで週1度の間隔で継続的に測定を行った。

4.1.2 含水率

軸組構造試験体の各部材（D 1～D12，G 1～G12，計24本）について，表面含水率を高周波型含水率計（モコHM-520）を用いて測定した。測定箇所は，各部材の中央部の4面とし，番号を1から4までふった。一部，測定箇所が5箇所の部材があるが，これは，心材部と辺材部が同一面にある場合に，両者の含水率を比較する目的で測定箇所を増やしたものである。なお，柱材は，背割りのある面は測定を行わなかったため，測定箇所は3箇所である。

含水率計の測定条件は，厚さ：40mm，温度：自動，比重：ヒノキ（含水率計の自動設定項目の「ヒノキ」），ベイマツ（比重0.51）とした。含水率計の特徴として，比重による補正を行うことにより，同一の材であっても部位ごとの比重の違いにより測定結果が異なる場合がある。但し，本試験においては，実用上の観点から，それぞれの樹種の平均的な比重を基準とすることにし，部材ごとあるいは部材内の部位ごとの比重の違いによる補正は行わないことにした。

試験体組立後の測定箇所については，土台（D 7，8，11，12，G 7，8，11，12）は，床面に接している面，柱材（D 1～4，G 1～4）は，合板の釘打ちによる覆われている桁方向の面の測定を行っていないので，土台は3箇所，柱は2箇所測定を行った。測定は，週1度の間隔で行っている。

4.1.3 背割り寸法

試験体の柱材（D 1～4，G 1～4，計8本）については，背割り寸法の測定を週1度の間隔で行っている。測定箇所は柱材の中央部1箇所とし，背割りの内法をノギスを用いて測定した。なお，背割りは全て梁方向の壁面側に配置している。本試験では背割りの内法の測定のみを行ったが，柱材全体の幅と背割りから外面の幅2箇所計3箇所を測定して背割り寸法を求める方法のほうがより正確な値が得られたのではないかと考えている。いずれにせよ，柱材は全て心持ち材のため，背割りのある面からみた場合，乾燥に伴って外

側に開くように変形しており，その変形を数値的に評価することは非常に困難である。

4. 1. 4 クリープ変形

試験体の梁の曲げクリープ変形については，電気式変位計，バネ式ダイヤルゲージを用いて測定を行っている。変位計及びダイヤルゲージの測定箇所を図2-5に示す。梁の上面に鉛直方向に設置した変位計番号1～5により梁の変形の測定，同6と7により梁の通し柱に対する回転，同8と9はそれぞれ通し柱と管柱の鉛直変位，梁の上面に鉛直方向に設置した同10は同3の変位計との差から梁背の収縮について測定を行っている。電気式変位計による測定については，各梁ごとの測定箇所は10箇所であり，乾燥材，未乾燥材各2本ずつ計4本の梁について測定を行っているので，計40箇所である。

さらに，変位計番号7近傍にある羽子板ボルトの軸にストレイン・ゲージを貼り，ボルトの軸方向ひずみの測定を行っている。各ゲージ貼り付け箇所は，羽子板ボルトの中央部水平方向2箇所ですべて平均した軸方向ひずみを測定している。各ボルトについてひずみ測定は1箇所ずつであり，計4箇所となる。

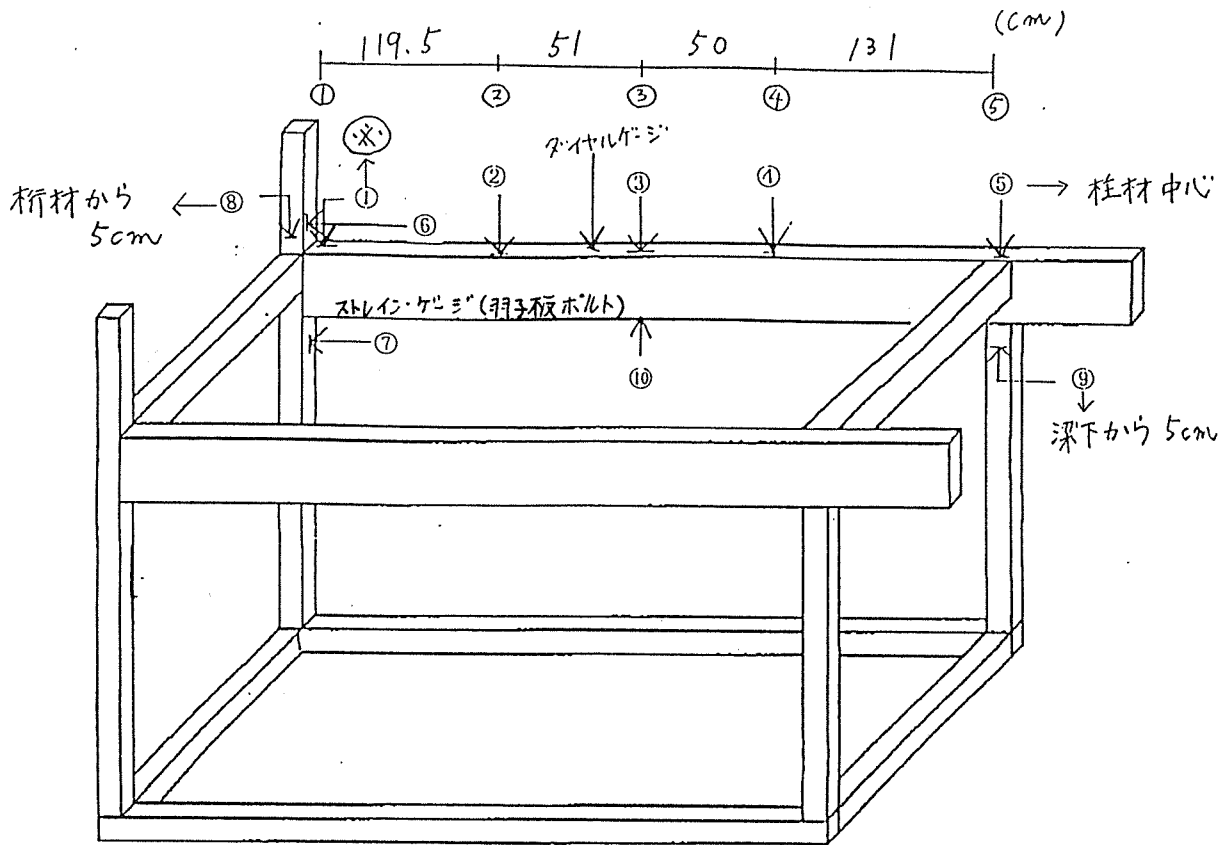
電気式変位計とストレイン・ゲージについては，それぞれデータロガー（共和電業製：UCAM-10A）に接続して，1時間間隔で測定を行っている。データロガーで計測されたデータは印字するとともに，GP-IBケーブルを介してパーソナル・コンピュータ（NEC:PC-9801VM）に転送してテキスト形式でフロッピー・ディスクに書き込んでいる。なお，各測定日の変位計の計測値の代表値としては，温度・湿度の安定している夜中の0時とした。

なお，バネ式ダイヤルゲージについては，週1度の間隔で測定を行っている。

4. 1. 5 温湿度

温湿度測定には，自記記録計（佐藤計量器：シグマII，クォーツ式N）を用いた。温湿度計は，試験体近傍に設置して連続的に計測を行っている。

この記録計は，温度はバイメタル方式，湿度は特殊処理した毛髪方式で記録紙にカートリッジ・ペンで連続的に記録する。温度及び湿度は，この記録紙から読み取り，原則として1時間間隔のデータをパーソナル・コンピュータでフロッピー・ディスクに記録している。記録紙交換の間隔は週1度である。



⊗: ① は 柱材から 5cm, ② は 3等分点より内 5cm

⑥ - ⑦ 詳細図

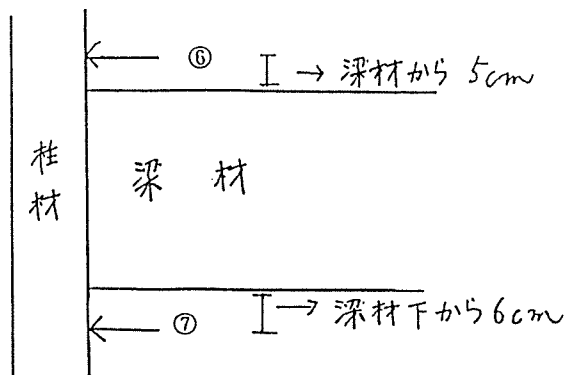


図 2-5 変位計の設置箇所

4. 1. 6 静的曲げ試験

試験体の組立を行う前に、各部材（D 1～12，G 1～12）計24本の静的曲げ試験を行った。静的曲げ試験は3点荷重（中央集中荷重）で、小荷重における曲げたわみ測定により静的MOEを測定した。

支持点は、鉄製支持台とし、たわみの測定は電気式変位計を用いてデータロガーに印字させた。試験に用いた荷重は部材寸法に応じて異なり、それぞれの重りを名称と重量は次のとおりである。

- ・トラクター用 19.68 / 19.33 / 19.44 / 19.24 (kg)
- ・ダンベル用（1個当たり） 20.00 (kg)
- ・実験用（1個当たり） 0.40 (kg)

柱材（D 1～4，G 1～4）に対してはトラクター用、長手方向の土台（D11，12，G 11，12）は実験用、その他の部材はダンベル用の重りを使用した。

4. 1. 7 重量

試験体の組立を行う前に、各部材の重量の測定を行った。測定方法の詳細は4. 2. 3に示す。

4. 1. 8 振動試験

試験体の組立を行う前に、各部材の振動試験を行った。試験方法の詳細は4. 2. 4に示す。

4. 2 対照試験体の試験項目

4. 2. 1 寸法

対照試験体は、乾燥材（D13, 14）と未乾燥材（G13）の計3本であり、軸組構造試験体の近傍に設置している。この試験体の寸法は、試験体中央の幅と高さの2箇所をさし金を用いて、週1度の間隔で測定を行う。

4. 2. 2 含水率

軸組構造試験体と同様に、試験体中央部の4面の含水率を高周波型含水率計を用いて、週1度の間隔で測定を行う。

4. 2. 3 重量

重量測定に、最大重量 100kg、最小目盛り0.01kgの重量計（AND FW-100K）を用いた。対照試験体の重量は、週 1 度の間隔で測定を行う。また、軸組構造試験体の各部材については、組立前に測定を行った。

4. 2. 4 振動試験

対照試験体について、重量測定を行う時に併せて振動試験を行った。試験方法は、通常の縦振動法であり、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をした。共振振動数の測定は、マイクロホン（リオン NK-50）で打撃音を採取し、FFTスペクトルアナライザー（リオン SA-77）によりスペクトル解析を行って共振振動数を求めた。なお、この振動数は、5回の打撃のスペクトラムの平均値から求めた。

軸組構造試験体の各部材については、組立前に測定を行った。なお、一部の部材については、たわみ振動試験もあわせて行った。

4. 2. 5 静的曲げ試験

軸組構造試験体（4. 1. 6）と同様に静的曲げ試験を行い、静的MOEを求めた。

4. 3 試験経過

各測定項目の実施日（経過日数）と場所は次に示すとおりである。なお、载荷開始日を経過日数0日とした。

94年

- ・ 8月23日（-6日） 寸法，含水率，背割り寸法，振動試験，重量
：プレカット工場（静岡）
- ・ 8月24日（-5日） 寸法，含水率，曲げ試験（一部25，26日実施），振動試験
：信州大学農学部（以下，同様）
- ・ 8月25日（-4日） 軸組構造試験体組立開始（同日軸組組立完了）
振動試験
（小委員会開催）
- ・ 8月26日（-3日） 軸組構造試験体組立完了（合板釘打ち等）
- ・ 8月27日（-2日） 無载荷状態での変位データ測定開始（開始時刻 20：48）
- ・ 8月29日（0日） 载荷開始
各梁ごとの载荷開始時刻
 - ・ G 6 15：00
 - ・ G 5 16：26
 - ・ D 6 18：00
 - ・ G 5 20：40
- ・ 8月30日（1日） 寸法，含水率，背割り寸法，重量，振動試験
↓ ※以後，重量及び振動試験は，対照試験体のみ
- ・ 9月9日（11日） この間，毎日測定
- ・ 9月13日（15日） 寸法，含水率，背割り寸法，重量，振動試験
↓ この間，週1回測定
測定日 9月20日（22），26日（28）
10月3日（35），12日（44），19日（51），26日（58）
11月2日（65），9日（72），16日（79），22日（85），30日（93）
- ・ 12月7日（100日） 但し，軸組構造試験体の寸法は，10月26日まで。
以後，継続中

第3章 結果及び考察

1 軸組構造試験体

1.1 寸法変化

軸組構造試験体の各部材は、全般にわたって乾燥材は未乾燥材と比較して寸法変化が小さい。また、反りや割れの発生によって正確な測定を行うことが困難な場合があった。特に土台は、縦反りによって測定箇所がコンクリート床面から浮いている場合に測定が困難であった。

全体的な傾向をみるため、各部材の寸法変化量の平均値を求めた。図3-1(a)に梁及び桁の厚さ寸法の経時的変化を示す。ここで、寸法変化量とは、8月23日の測定値と各測定日の測定値と差を寸法変化量とした。図中の乾燥材は、D5, 6, 9, 10の梁背の変化量の平均値であり、未乾燥材は、G5, 6, 9, 10の梁背の変化量の平均値である。100日経過後の寸法変化量は、未乾燥材は約3mm、乾燥材の約1mmであり、未乾燥材は乾燥材の約3倍の寸法変化が生じている。

柱材の寸法の経時的変化について、梁・桁材と同様に平均値を求めた(図3-1(b))。乾燥材はD1~4、未乾燥材はG1~4の背割りを含まない各2面の寸法変化の平均値である。100日経過後の寸法変化量は、未乾燥材は乾燥材の約4倍となった。梁及び桁の寸法変化量と比較して柱の変化量が小さいのは、背割りの影響と考えられる。

1.2 含水率変化

各部材各測定箇所ごとの含水率変化は、後段の資料の項に示す。全般的には、測定箇所の違いによる含水率の値の差は小さいものの、部材によっては、測定箇所ごとの含水率が異なる場合がある。これは、高周波型含水率計の特性として、比重によって表示される含水率の値が異なるので、同一の部材であっても、例えば心材と辺材の違いによって計測される含水率が異なるためと考えられる。しかし、含水率変動のパターンについては、ほぼ同様の傾向を示している。

含水率変化における乾燥材と未乾燥材の差異をみるため、乾燥材、未乾燥材ごとに梁、桁、柱、土台の平均含水率を求め、含水率の経時的変化についてそれぞれ、図3-2(a)、図3-2(b)、図3-3(a)、図3-3(b)に示す。各部材と平均した面数を以下に示す。

梁：乾燥材(D5, 6)、未乾燥材(G5, 6)、各4面、

桁：乾燥材（D 9， 10）， 未乾燥材（G 9， 10）， 各 4 面，
柱：乾燥材（D 1～4）， 未乾燥材（G 1～4）， 各 2 面，
土台：乾燥材（D 7， 8， 11， 12）， 未乾燥材（G 7， 8， 11， 12）， 各 3 面
図から、各部材共通して、乾燥材は、測定開始から含水率がほぼ一定の傾向を示しているのに対して、未乾燥材は 2 週間経過後まで含水率が減少し、以降も常に乾燥材より高い含水率にあることが明らかになった。

含水率安定後の乾燥材と未乾燥材の含水率の差について検討を行う。後述する対照試験体において、乾燥材と未乾燥材両者とも約 3 ヶ月間重量減少していることから、内部水分は表面へ継続的に移動していることが明らかである。高周波型含水率計で計測される含水率は、比較的表面の含水率（含水率計設定値 = 4 cm）なので、材内部の水分傾斜の違いが測定された含水率の差異として表れると考えられる。この水分傾斜は、内部に保持している水分量に依存すると仮定して、ここでは、乾燥材と未乾燥材の含水率差に及ぼす部材体積の影響をみとめる。

図 3-4 (a) に、梁・桁・土台（いずれもベイマツ）の乾燥材と未乾燥材の含水率差をそれぞれ厚さ（梁背）で割って求めた厚さ 1 cm 当たりの含水率差の経時変化を示す。初期段階では桁の含水率差が梁、土台と比較して大きいですが、10 日以降は 3 者ともほぼ同様の傾向を示している。従って、乾燥材と未乾燥材の含水率の差は、厚さに依存していると考えられる。

同様に、柱（ヒノキ）について図 3-4 (b) に示す。管柱（10.5cm 角）は、10 日以降は乾燥材と未乾燥材の含水率差はほぼ 0 を中心にしてほぼ安定しているのに対して、通し柱（12.0cm 角）では 10 日以降も一定の含水率差が生じている。いずれの柱も梁・桁・土台と比較して含水率差が一定になるまでの経過時間が短い。これは、背割りがあるので柱は乾燥速度が速いためと考えられる。通し柱で含水率差が生じるのは、管柱と比較して材面に表れる辺材の割合が高いためと思われる。

乾燥材、未乾燥材それぞれについて、梁及び桁の寸法と含水率の経時変化を図 3-5 に示す。乾燥材（図 3-5 (a)）と未乾燥材（図 3-5 (b)）のいずれも、含水率がほぼ一定になった後も寸法が減少する傾向がみられる。未乾燥材の場合、载荷後約 2 週間までが減率乾燥第 1 段、以降が第 2 段と考えられる。また、乾燥材についても、含水率測定値が一定であっても、乾燥が進んでいることが認められる。

1. 3 背割り寸法変化

各部材の背割りの寸法変化は後段の資料の項に示し、ここでは、乾燥材、未乾燥材それぞれ4本の平均値を図3-6(a)に示す。乾燥材はほぼ一定の傾向が、未乾燥材は載荷後2週間程度まで増加して以降減少する傾向がみられる。背割りの初期値が各柱ごとに異なるので、乾燥材、未乾燥材それぞれの背割りの平均値の初期値に対する比を求め、さらにこの比の時間に関する3階の移動平均を求めた。図3-6(b)に示すとおり、乾燥材では載荷後1週間前後、未乾燥材では載荷後2週間前後にピークがあり、以降はなだらかに減少する傾向がみられる。また、未乾燥材は乾燥材と比較してピークの値が大きい。

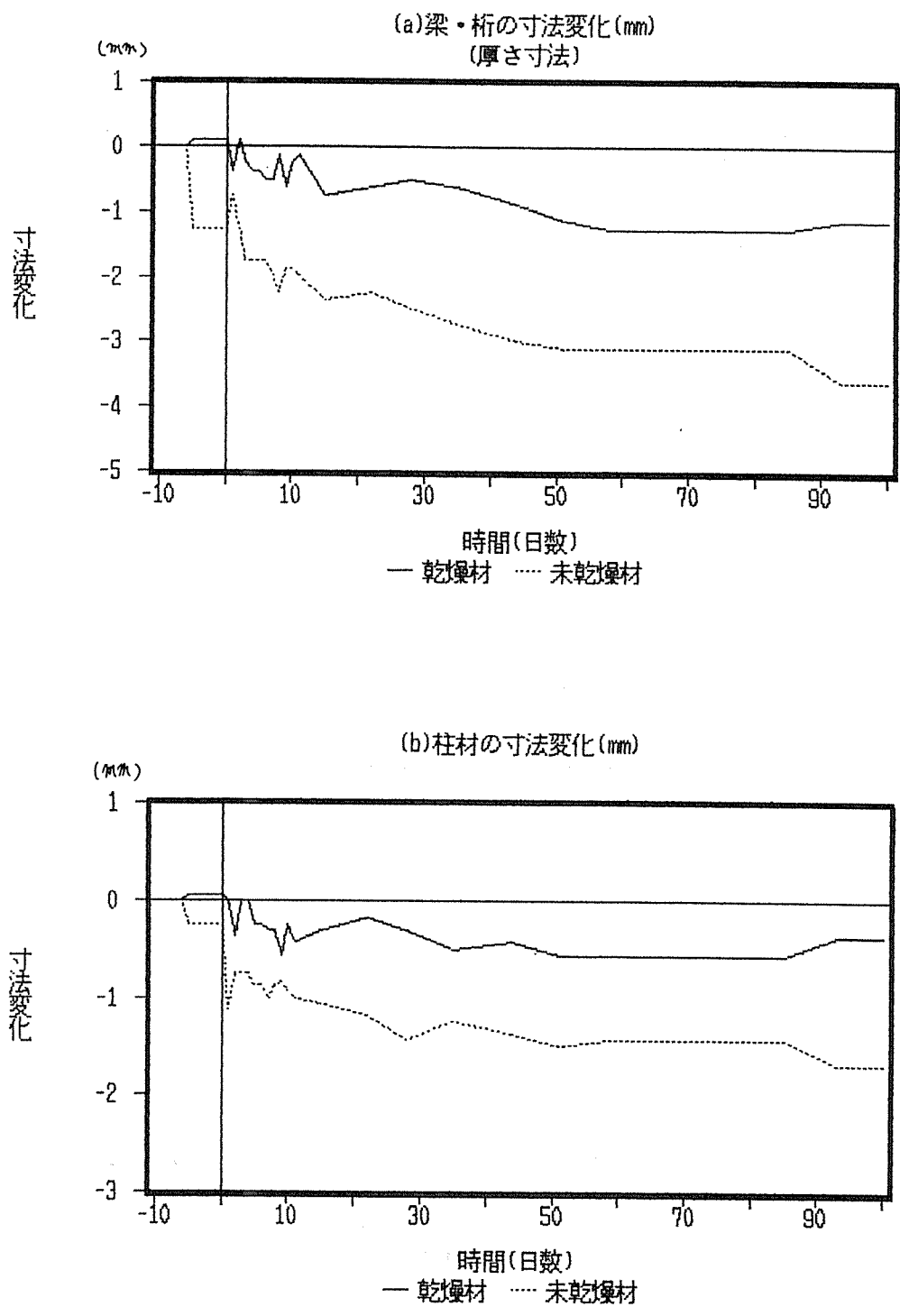


図 3-1 部材の寸法変化 (軸組構造試験体)

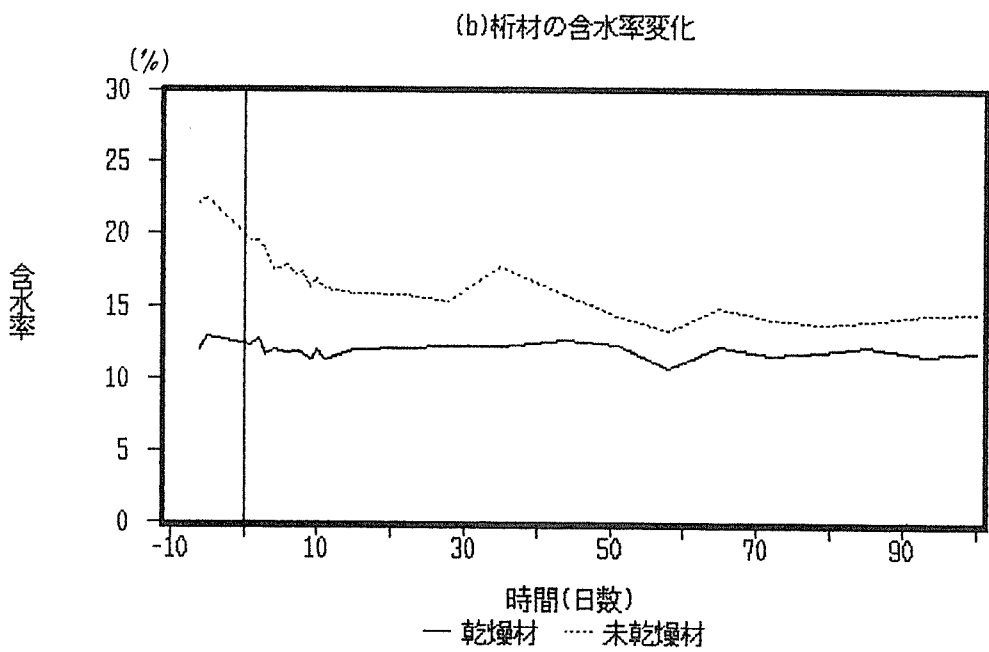
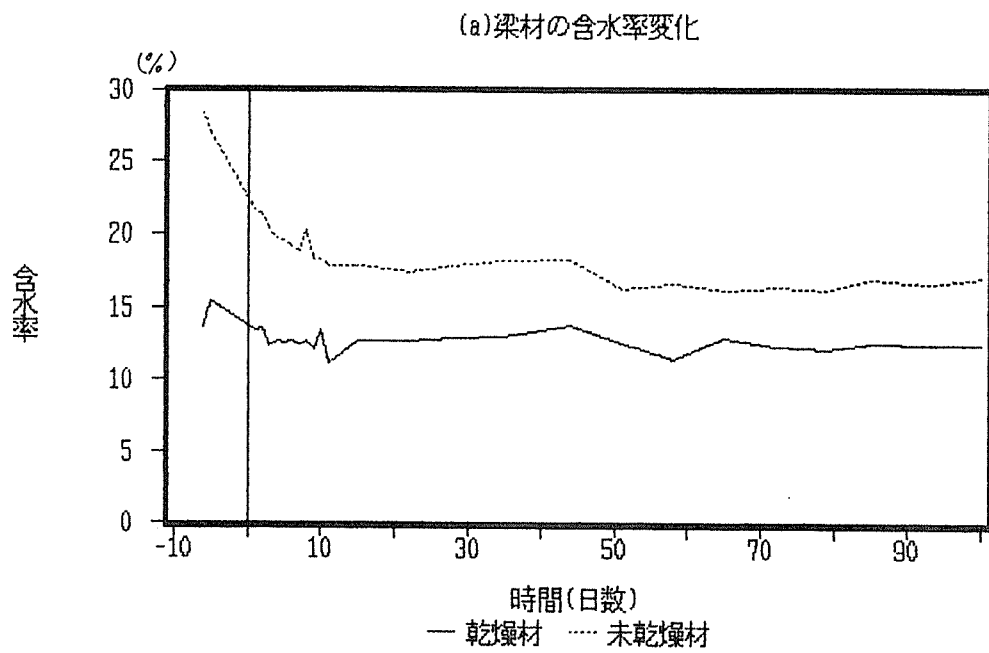


図3-2 部材の含水率変化の関係 (軸組構造試験体：梁，桁)

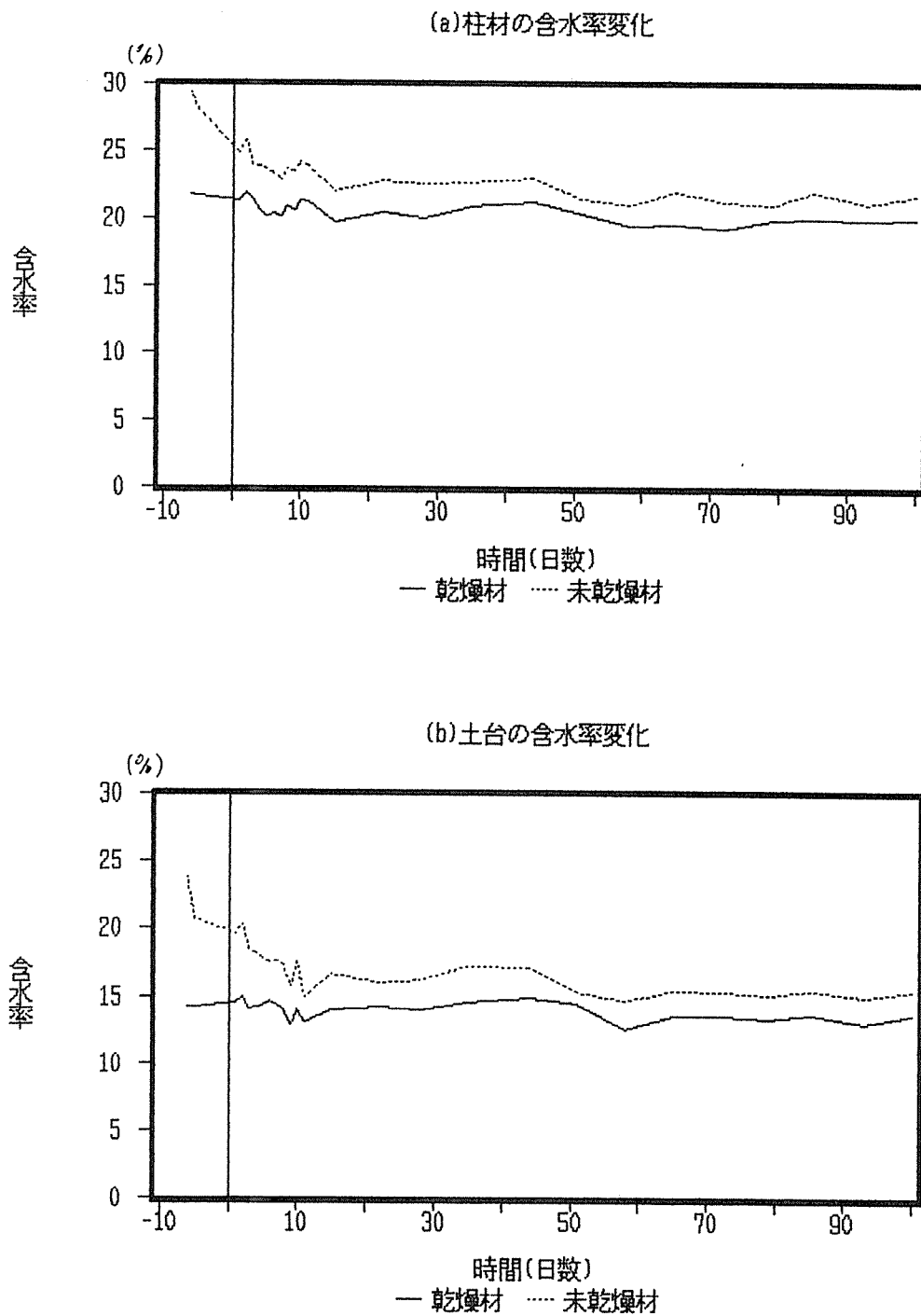


図 3 - 3 部材の含水率変化の関係 (軸組構造試験体：柱，土台)

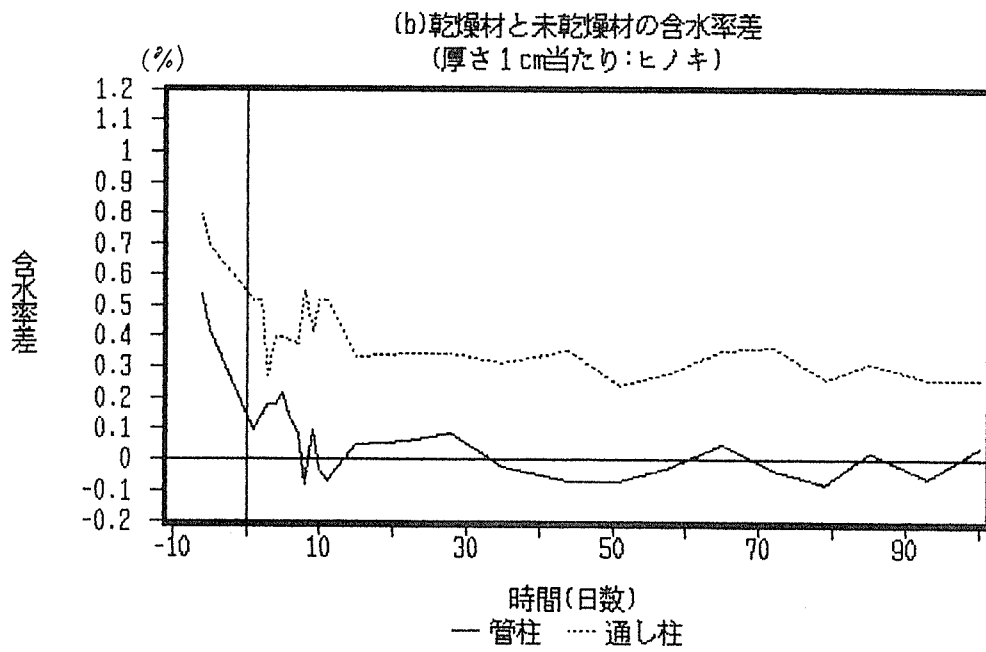
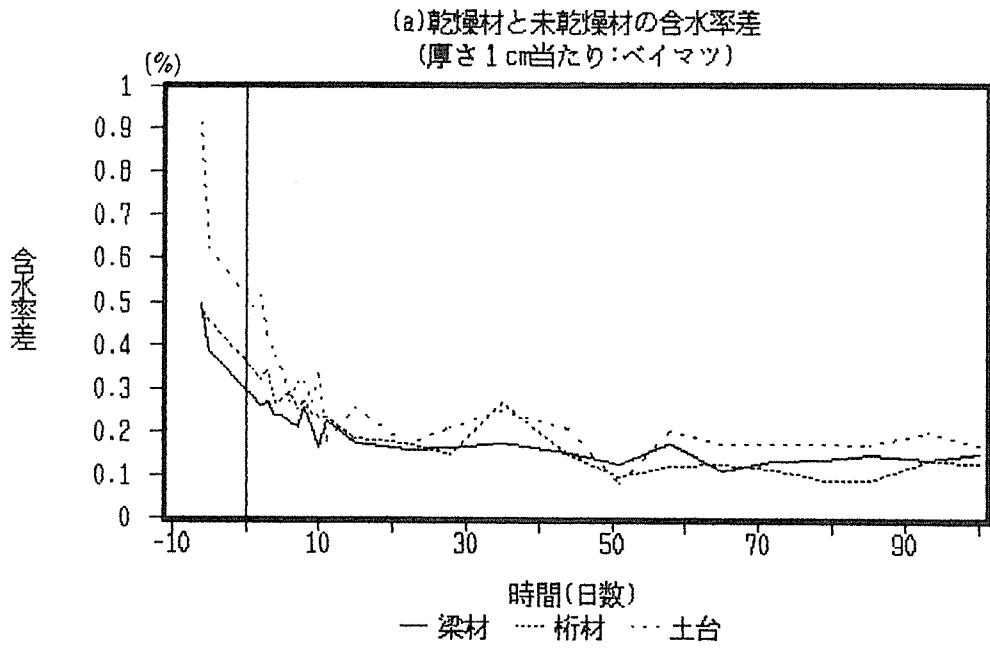


図 3-4 乾燥材と未乾燥材の含水率差 (軸組構造試験体)

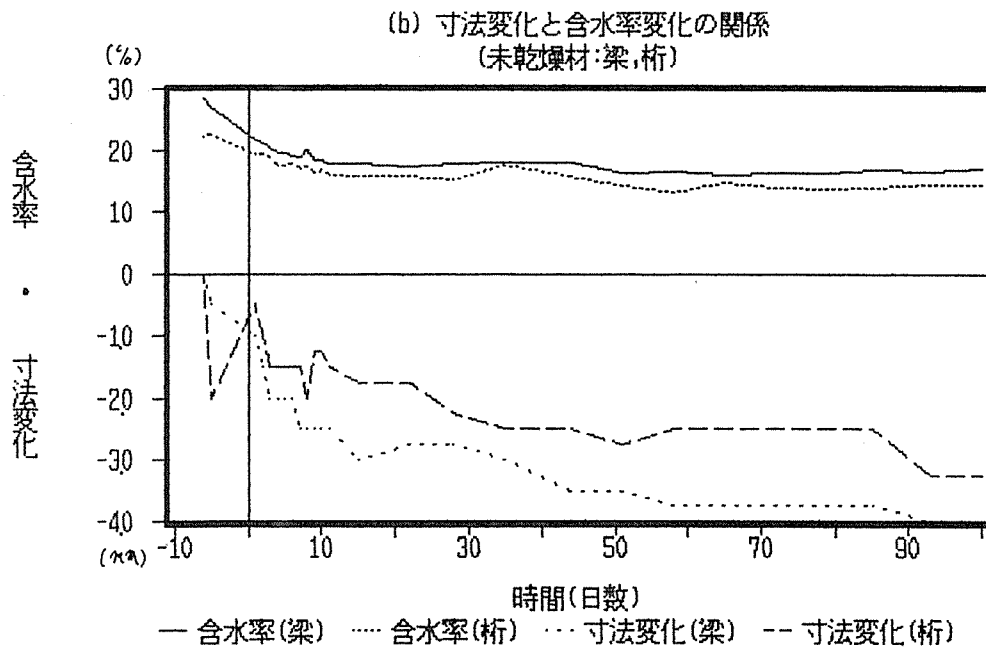
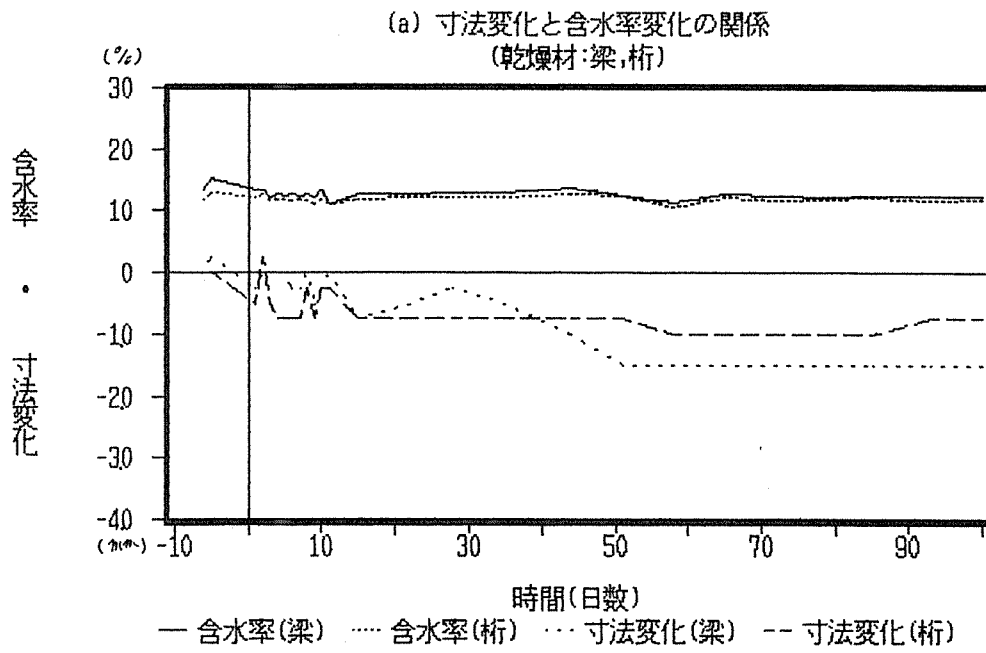


図 3-5 寸法変化と含水率変化の関係 (軸組構造試験体)

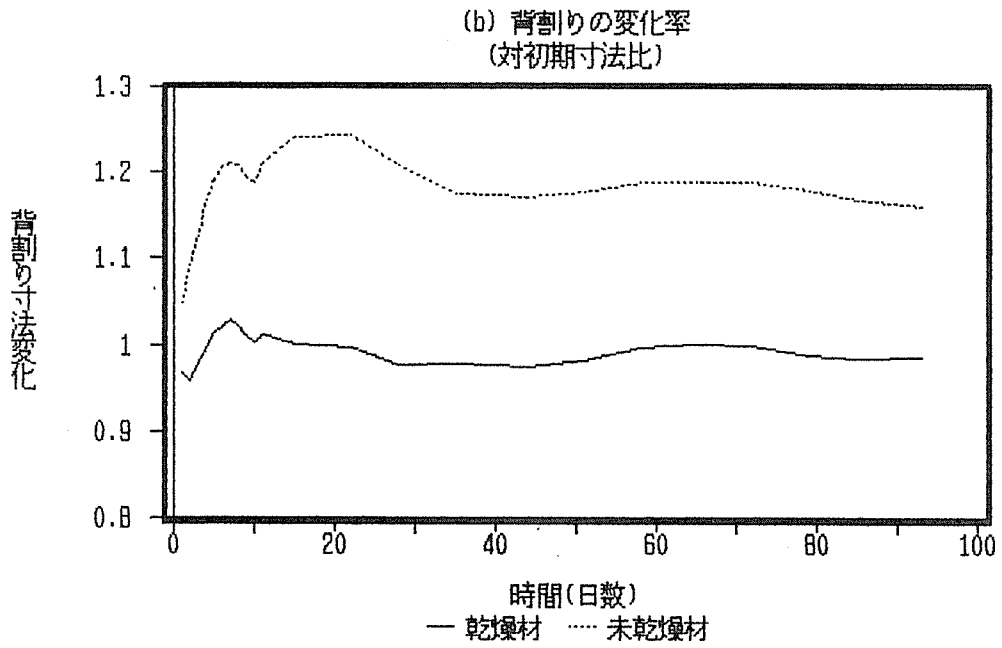
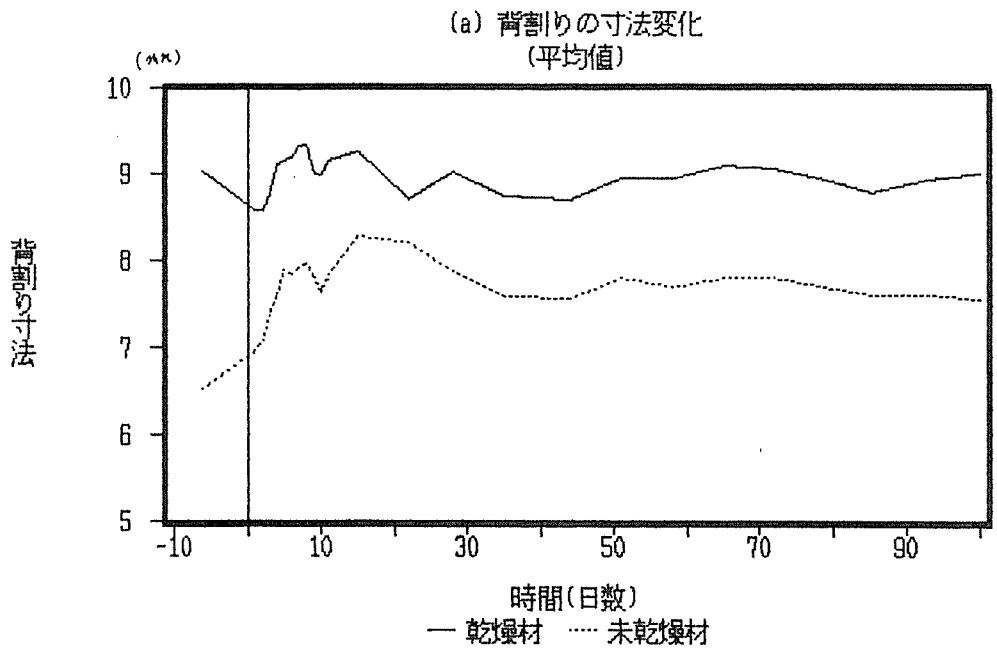


図3-6 背割りの寸法変化 (軸組構造試験体)

2 対照試験体

2. 1 寸法変化

対照試験体の梁背（厚さ）の経時的変化を図3-7(a)に示す。図から、乾燥材、未乾燥材とも載荷後約2ヵ月まで寸法の減少し、以降はほぼ一定の値を示すことがみとめられる。また、未乾燥材の寸法変化量は、乾燥材の約2倍となった。減少した重量と寸法の関係を見ると、図3-7(b)に示すとおり、乾燥材、未乾燥材いずれも重量の減少に対応して直線的に寸法が減少している。また、乾燥材と未乾燥材とほぼ同一の直線上にあることから重量変化は寸法変化と対応しており、材全体の含水率の変化を表していると考えられる。

2. 2 含水率変化

対照試験体の含水率の経時的変化を図3-8(a)に示す。各点は各試験体4面の含水率の平均値である。載荷後1週間以降は、乾燥材と未乾燥材はほぼ同様の傾向を示しており、いずれも軸組構造試験体の梁材の含水率と比較して低い値となっている。

重量の減少と含水率との関係を図3-8(b)に示す。図から、未乾燥材は、乾燥材と比較して含水率が高いことが明らかである。また、含水率のバラツキが大きくなっている。

2. 3 重量変化

対照試験体の重量の経時的変化を図3-9(a)に示す。未乾燥材は、乾燥材と比較して重量減少が大きいですが、いずれも載荷後3ヶ月まで減少する傾向がみられる。乾燥する速度を表すため、重量測定値に対する初期重量の比から重量比とし、これの1日当たりの変化率を3階の移動平均で表したのが、図3-9(b)である。この図から明らかなように、乾燥材は、1日当たりの重量減少率は載荷後3ヶ月までなだらかに減少している。一方、未乾燥材については、載荷後1週間まで1日当たりの重量減少率は著しく低下し、以降は載荷後3ヶ月までなだらかに減少している。

2. 4 縦振動MOE

対照試験体の縦振動法によるMOEの経時的変化を図3-10(a)に示す。未乾燥材は、乾燥材と比較してMOE上昇が顕著である。重量変化との関係をみると、重量変化に対して直線的にMOEが増加する傾向がみられる(図3-10(b))。

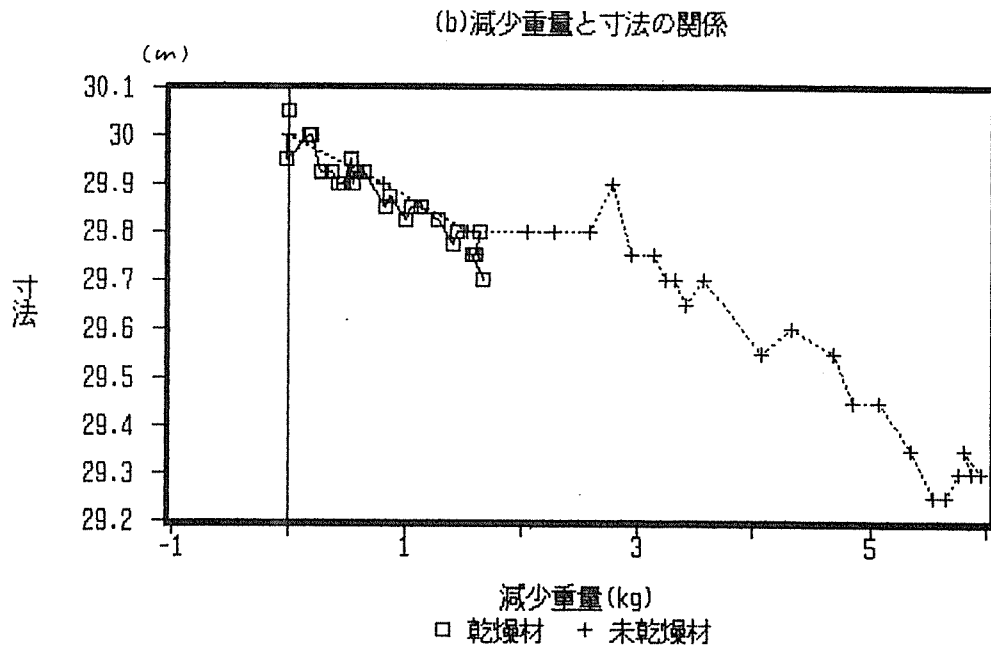
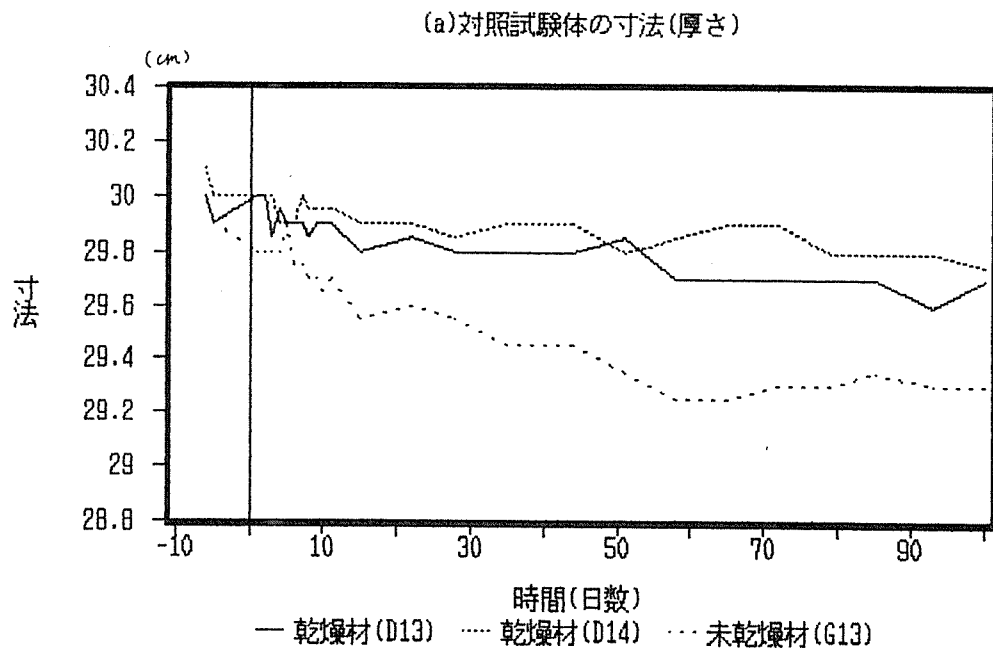


図3-7 対照試験体の寸法変化

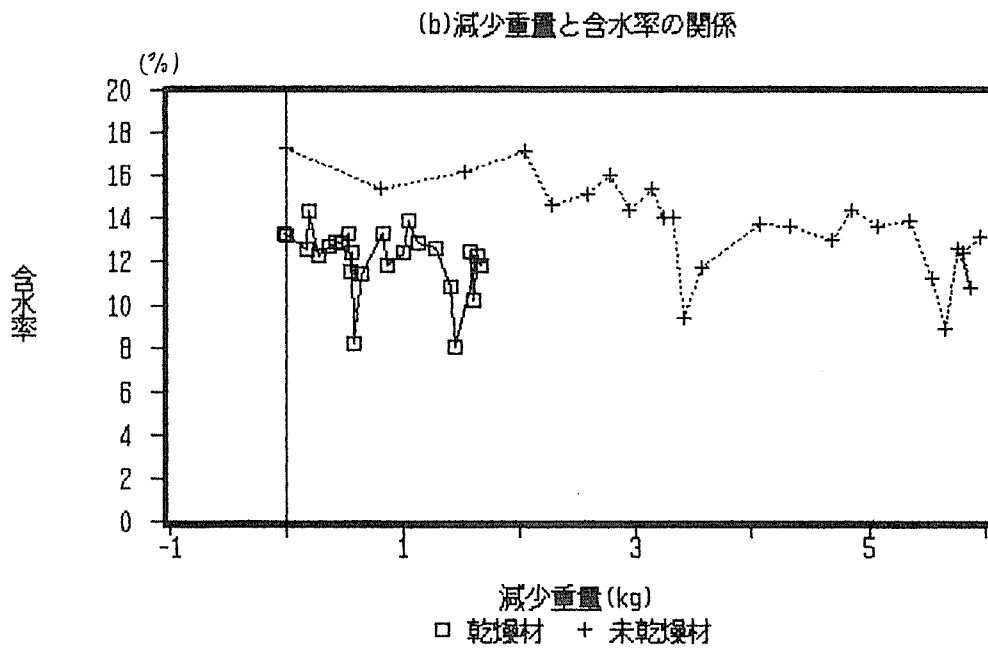
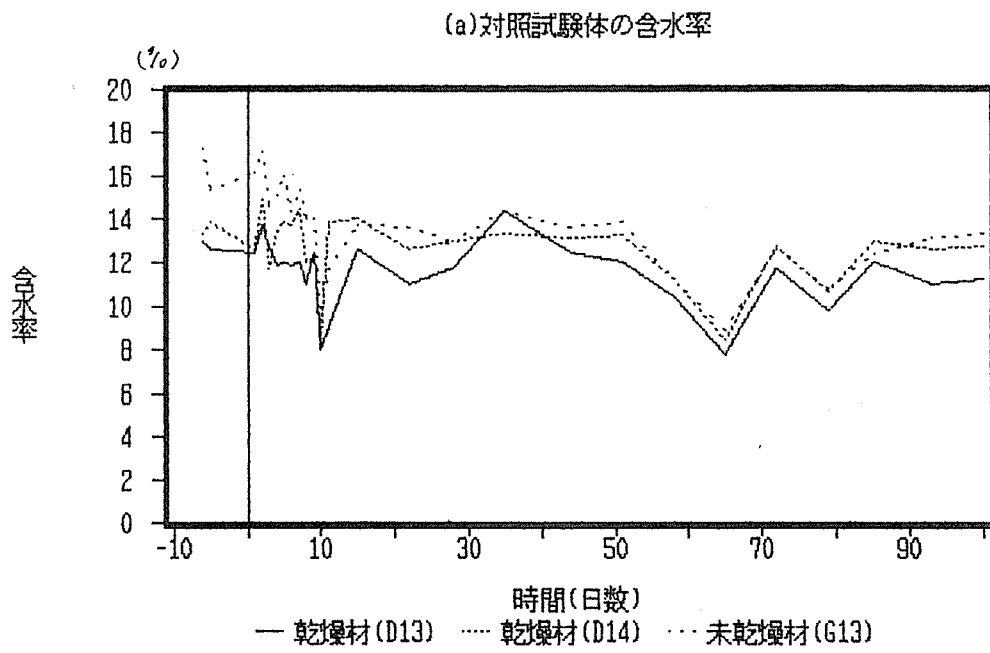


図 3 - 8 対照試験体の含水率変化

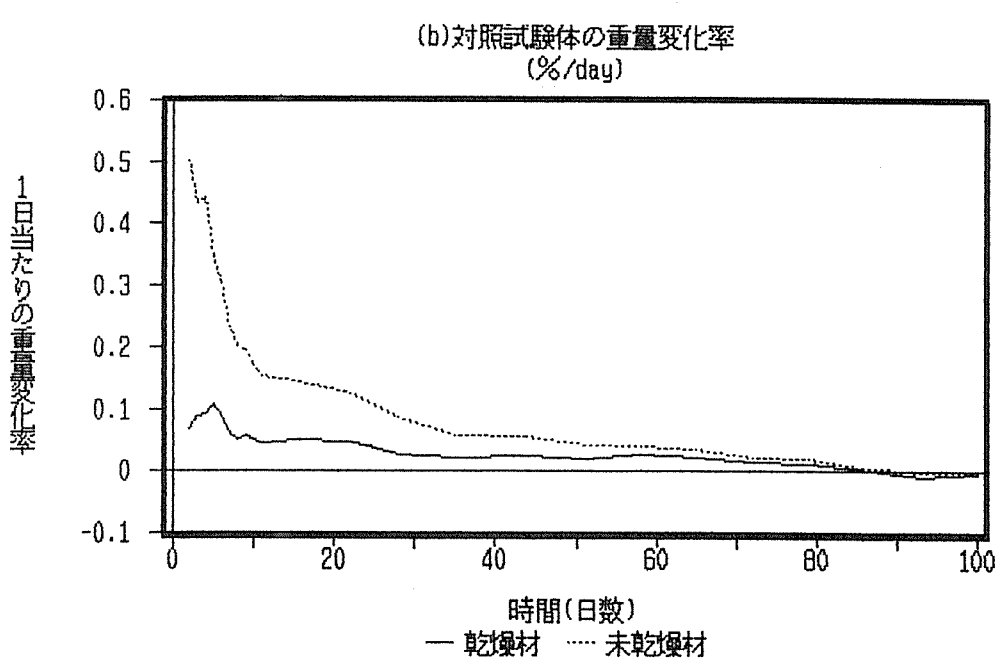
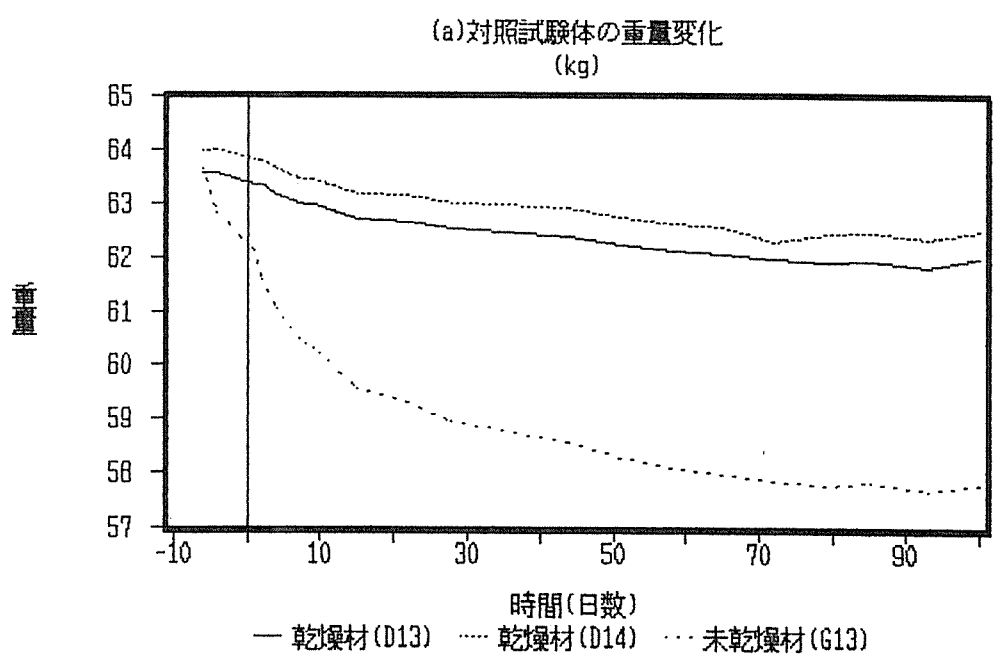


図3-9 対照試験体の重量変化

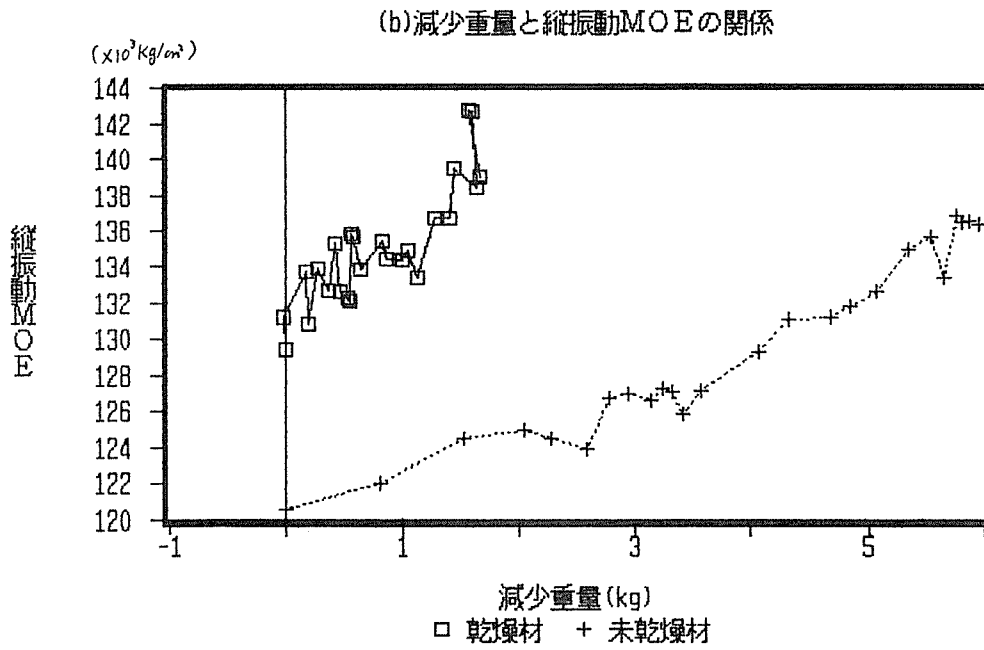
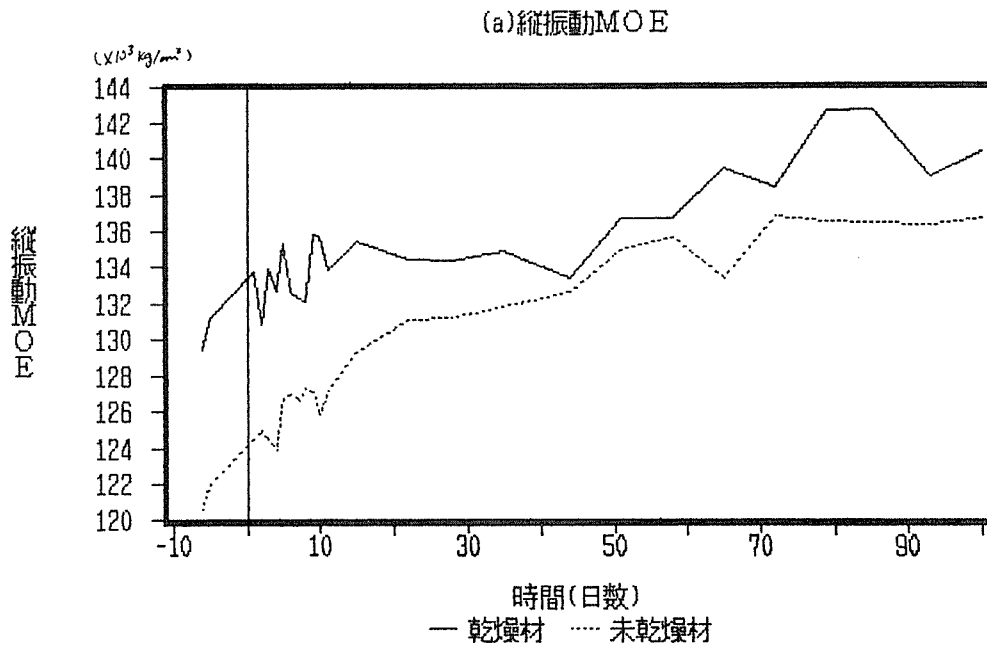


図3-10 対照試験体の縦振動法によるMOEの変化

3 軸組構造試験体の変形挙動

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。この観点から、軸組構造試験体のクリープ変形挙動の解析に当たっては、梁のクリープ変形挙動を中心に考察を行った。特に、床面に影響する梁材の上面について検討を行った。

図3-11に示すように、梁材の変形については中央たわみを対象とし、梁材の移動については、管柱に対する沈み量、通し柱に対する沈み量を対象とした。いずれも梁材上面の鉛直変位をデータとして用いている。従って、このデータには、乾燥に伴う梁背の収縮量が含まれているので、梁材上面を基準にすると梁全体が鉛直下向きに移動していることになり、解析上これを支点（梁と管柱または通し柱との接合部）の移動とした。

梁背（厚さ）については、前述のとおり、さし金による寸法の計測を行っているが、より詳細な経時的変化をみるため、以下の項では、変位計による計測データ（梁材中央の上面と下面の鉛直変位の差）から収縮量を求めている。

各梁について、簡便のため、载荷の順序に従って以下のように略称することにした。

<载荷順序>

未乾燥材	G 6 → G A
	G 5 → G B
乾燥材	D 5 → D A
	D 6 → D B

また、特に断りのない場合、梁材のクリープ変形については梁背の乾燥収縮を含めて、以下の検討を行っている。

3. 1 梁のクリープ変形挙動

3. 1. 1 梁材の変形

载荷直後、载荷3日後、10日後、30日後、100日後の梁の変形挙動について、それぞれ図3-12に乾燥材、図3-13に未乾燥材の試験結果を示す。いずれも梁材の上面の鉛直変位データである。図から、未乾燥材は、乾燥材と比較して中央点のたわみ量（移動量を含む）が大きいこと、特に、载荷後の時間の経過に伴う増加が著しいことが明らかである。また、支点（梁と管柱または通し柱との接合部）の移動量については、未乾燥材は乾燥材と比較して、载荷後の増加が顕著である。

未乾燥材の支点移動については、乾燥材と比較して梁背の乾燥収縮による部分が大きいと考えられる。

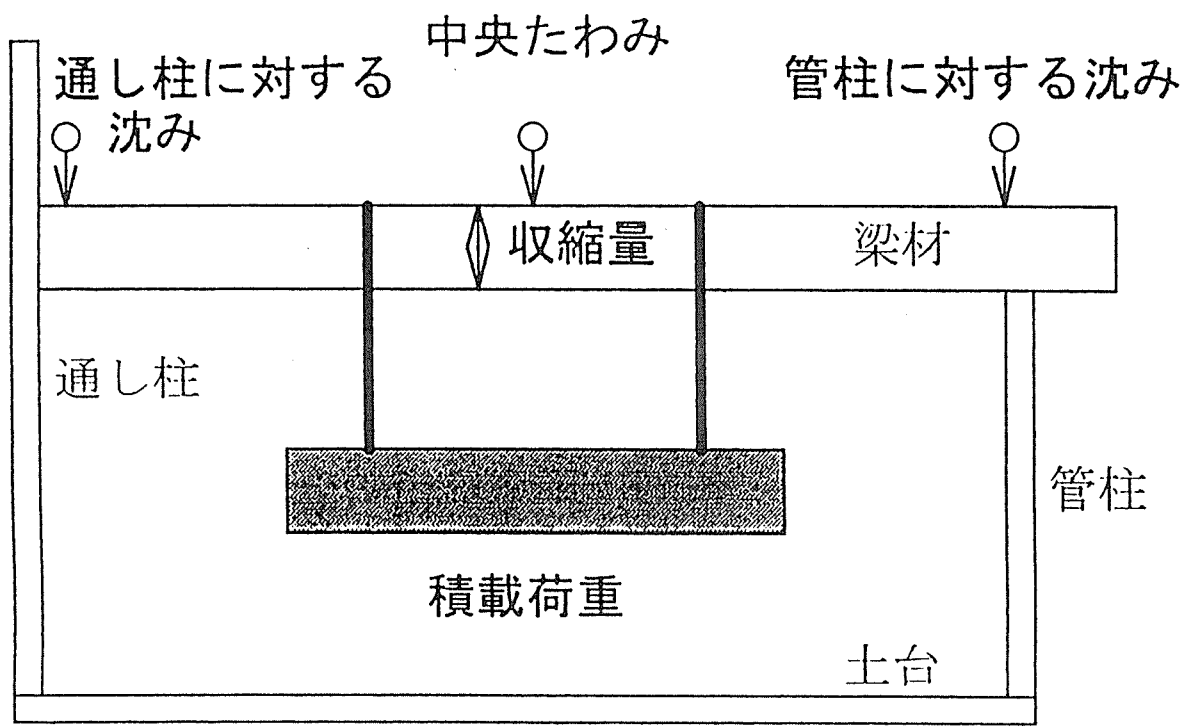


図 3-11 主な測定項目

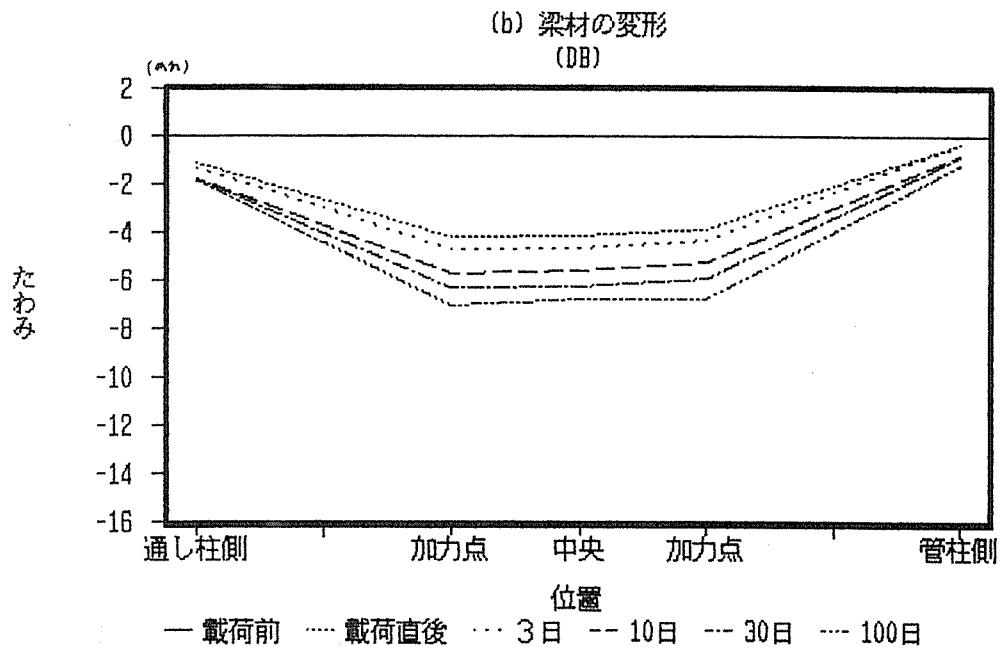
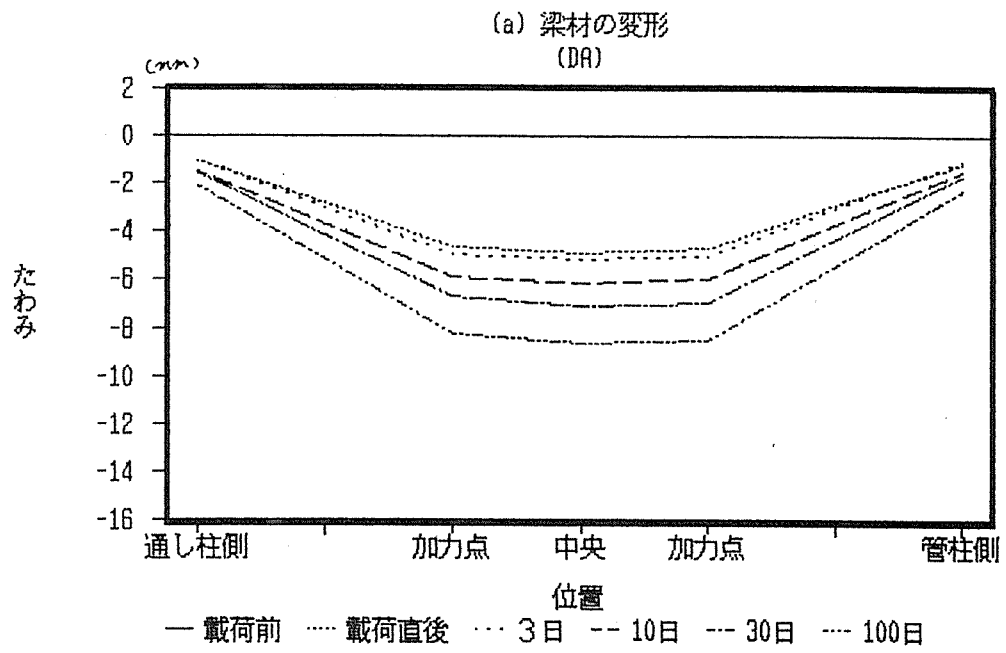


図3-12 梁材の変形 (乾燥材)

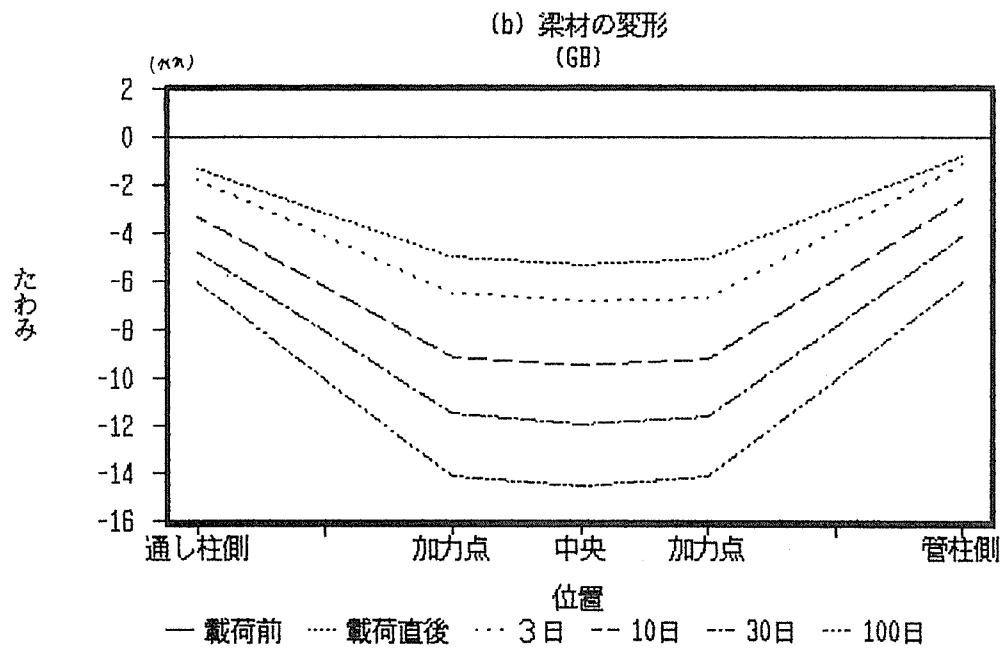
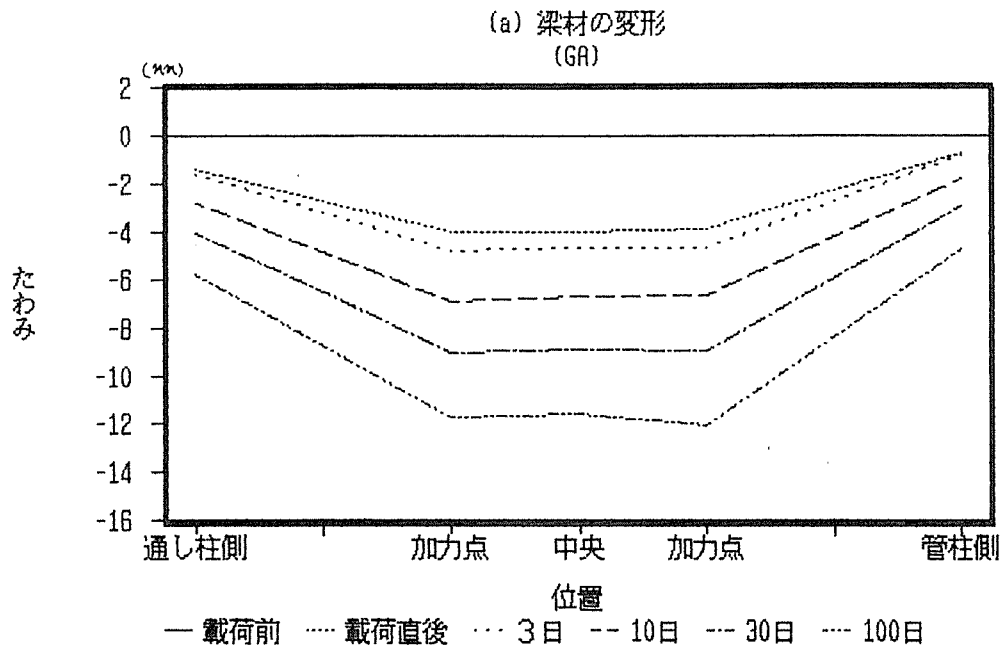


図3-13 梁材の変形 (未乾燥材)

3. 1. 2 梁材の中央たわみ

梁材の中央たわみ（梁の中央点上面の鉛直変位）の経時的変化について、図3-14(a)に示す。100日経過後の中央たわみは、未乾燥材のGB（14.6mm）が最大で、以下、GA（11.6mm）、DA（8.6mm）、DB（6.7mm）の順になった。未乾燥材、乾燥材それぞれの中央たわみの平均値で比較すると、未乾燥材は乾燥材の1.7倍となった。

初期たわみ（載荷直後のたわみ）は、

・乾燥材：DA（4.9mm）、DB（4.1mm）－平均 4.5 mm

・未乾燥材：GA（4.0mm）、GB（5.3mm）－平均 4.6 mm

であり、乾燥材と未乾燥材の差は小さい。100日経過後の中央たわみの乾燥材と未乾燥材の差は、梁背の乾燥収縮を含む載荷後の乾燥過程のクリープたわみの大きさに依存している。未乾燥材は、特に載荷後2週間までの中央たわみの増加が著しく、これは、前述のとおり、未乾燥材では載荷後2週間までの含水率の減少が著しいことに起因していると考えられる。

梁材の中央たわみには、梁材のヤング率の差及び接合部の加工精度が影響するので、下式により、中央たわみの初期たわみに対する比（中央たわみ比）で表したのが、図3-14(b)である。

$$r_i = d_i / d_0$$

r_i ：載荷後*i*日の中央たわみ比

d_i ：載荷後*i*日の中央たわみ

d_0 ：載荷直後の中央たわみ

100日経過後の中央たわみ比は、GAが最大で、以下、GB、DA、DBの順になり、乾燥材、未乾燥材それぞれよく一致している。100日経過後の中央たわみ比の平均値を求めると、乾燥材は1.69、未乾燥材は2.84となり、載荷後のたわみ比の増加分を比較すると未乾燥材は乾燥材の2.7倍となった。

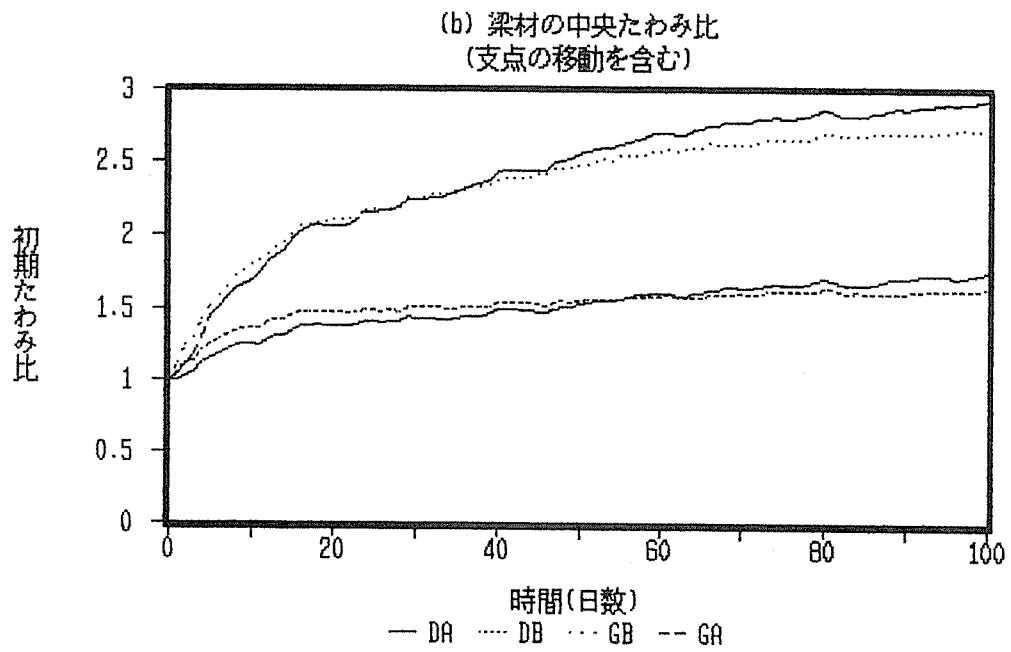
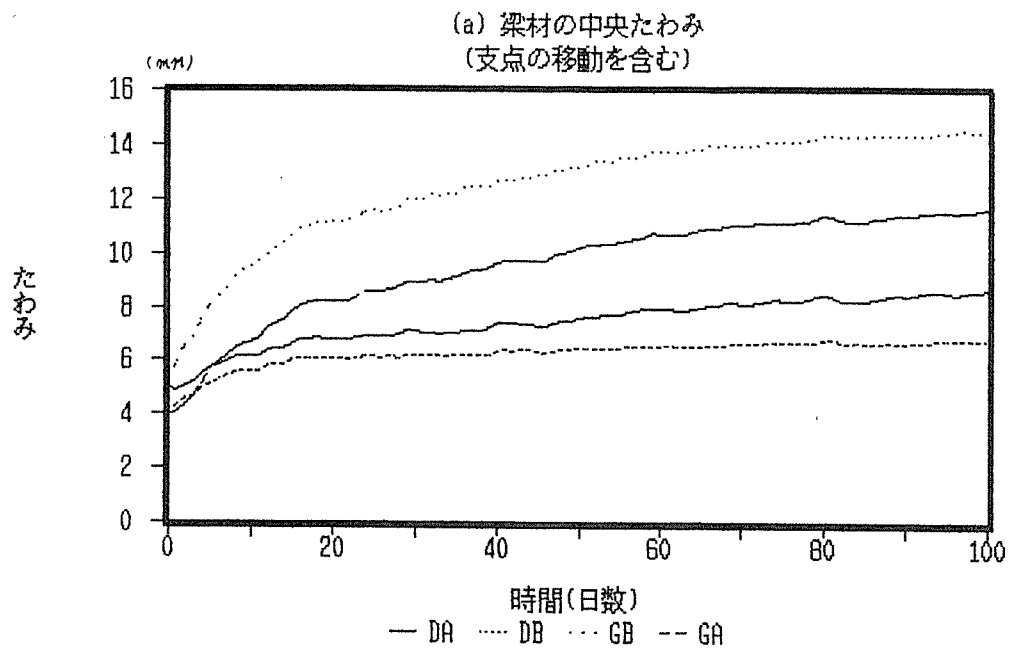


図3-14 梁材の中央たわみ

3. 1. 3 曲げによる梁材の中央たわみ

前項では、支点の移動を含む中央たわみについて検討を行ったが、この中央たわみには、梁背の乾燥収縮量が加算されている。ここでは、乾燥収縮の影響を除くため、梁材の支点の移動（管柱及び通し柱近傍の梁材の鉛直変位）を中央たわみから引いて、曲げによる梁材の中央たわみを求めた。

曲げによる梁材の中央たわみの経時的変化について、図3-15(a)に示す。100日経過後の中央たわみは、未乾燥材のGB（8.5mm）が最大で、以下、DA（6.40mm）、GA（6.36mm）、DB（5.2mm）の順になった。

また、初期たわみ（載荷直後のたわみ）は、

- ・乾燥材 : DA（3.8mm）、DB（3.4mm）—平均 3.6 mm
- ・未乾燥材 : GA（2.9mm）、GB（4.2mm）—平均 3.6 mm

となった。静的曲げ試験から得られたヤング率から求めたたわみは、乾燥材の平均値は、4.0 mm、未乾燥材の平均値は、3.8 mm、それぞれに対する試験結果の比は、0.89、0.93となった。

梁材の中央たわみには、梁材のヤング率の差及び接合部の加工精度が影響するので、前項と同様に、中央たわみ比で表したのが、図3-15(b)である。

100日経過後の中央たわみ比は、GAが最大で、以下、GB、DA、DBの順になり、乾燥材、未乾燥材それぞれよく一致している。100日経過後の中央たわみ比の平均値を求めると、乾燥材は1.60、未乾燥材は2.10となり、載荷後の曲げによるたわみ比の増加分を比較すると未乾燥材は乾燥材の1.8倍となった。梁背の乾燥収縮を含む中央たわみ比の増加の比率2.7倍と比較して小さい値になった。

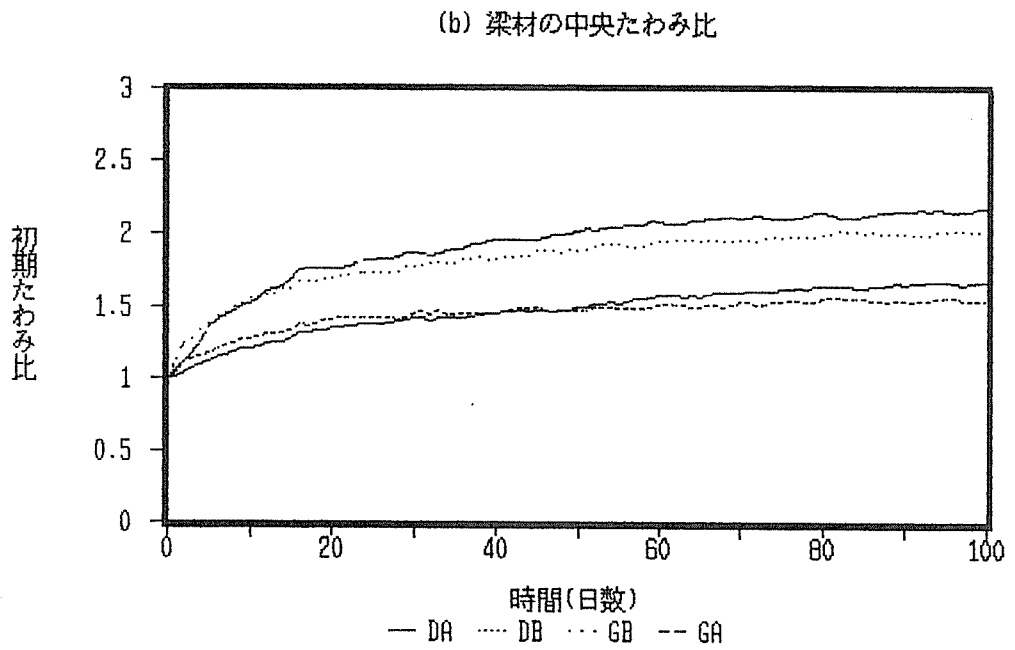
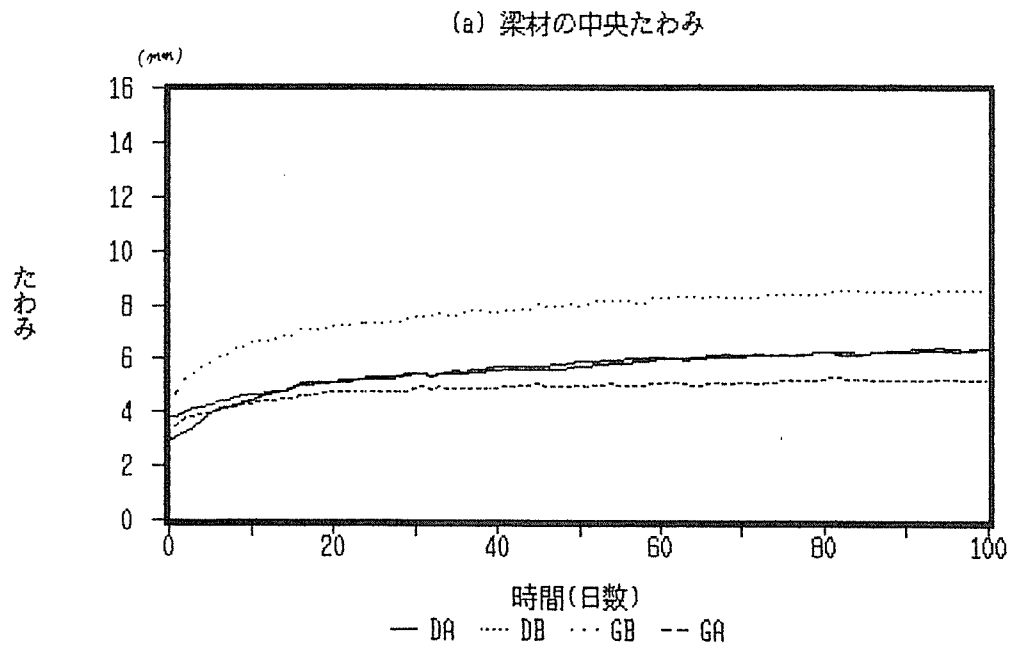


図3-15 曲げによる梁材の中央たわみ

3. 2 接合部の変形挙動

3. 2. 1 梁の柱に対する沈み

梁のクリープ変形挙動には、梁材の曲げによるたわみに加え、接合部における梁と柱の変形が含まれる。すなわち、梁材上面を基準とした場合、梁と柱の接合部は支点とみなすことができ、梁の中央たわみは、支点の移動と支点における回転の影響を受ける。

この場合、接合部の鉛直方向の移動量（支点の移動量）は、梁の柱に対する沈み量で表される。第2章図2-5に示すように、柱と梁の接合部における梁の鉛直変位と柱の鉛直変位を変位計で測定を行い、この差を梁の柱に対する沈み量とした。各梁について、梁材の管柱に対する沈み量（変位計5, 9）と梁材の通し柱に対する沈み量（変位計1, 8）で表すことにした。

図3-16(a)に梁材の管柱に対する沈み量、図3-16(b)に梁材の通し柱に対する沈み量の経時的变化を示す。載荷直後の管柱に対する沈み量は、乾燥材と未乾燥材の差は小さいが、100日後の沈み量の平均値は、乾燥材で1.09mm、未乾燥材で3.74mmであり、未乾燥材は乾燥材の3.4倍になっている。通し柱に対する沈み量についても同様に載荷直後の沈み量において乾燥材と未乾燥材の差は小さいが、100日後の沈み量の平均値は、乾燥材で1.06mm、未乾燥材で3.99mmであり、未乾燥材は乾燥材の3.8倍になっている。

この沈み量には、梁背の乾燥収縮が含まれているので、梁中央部上面と下面の鉛直変位の差から求めた梁背の収縮量の経時的变化を図3-17(a)に示す。100日後の梁背の収縮量の平均値は、乾燥材で1.36mm、未乾燥材で4.39mmであり、未乾燥材は乾燥材の3.2倍になっている。

次に、梁材の柱に対する沈み量に対する梁背の乾燥収縮の影響をみるため、載荷後100日におけるこの沈み量と収縮量を比較したのが、図3-17(b)である。図中の管柱、通し柱はそれぞれ梁材の管柱、通し柱に対する沈み量であり、梁せいは、梁背の乾燥収縮量である。図から明らかなように、梁材の柱に対する沈み量は主として梁背の乾燥収縮によるものと考えられる。

試験体別にみると、DA、GAは、沈み量と収縮量は同程度であり、DBは沈み量に対して収縮量が小さく、GBは通し柱に対する沈み量が、管柱に対する沈み量及び収縮量と比較して大きい。この差異の原因として、接合部に関しては、梁と管柱の接合における柱に対する梁材のめり込みと梁材の柱に対する回転による梁材の浮き、梁と通し柱の接合における仕口部分の鉛直方向のめり込みと梁の通し柱に対する回転が考えられる。また、梁背の収縮量測定における梁材の乾燥に伴う割れと反りの影響も考えられる。

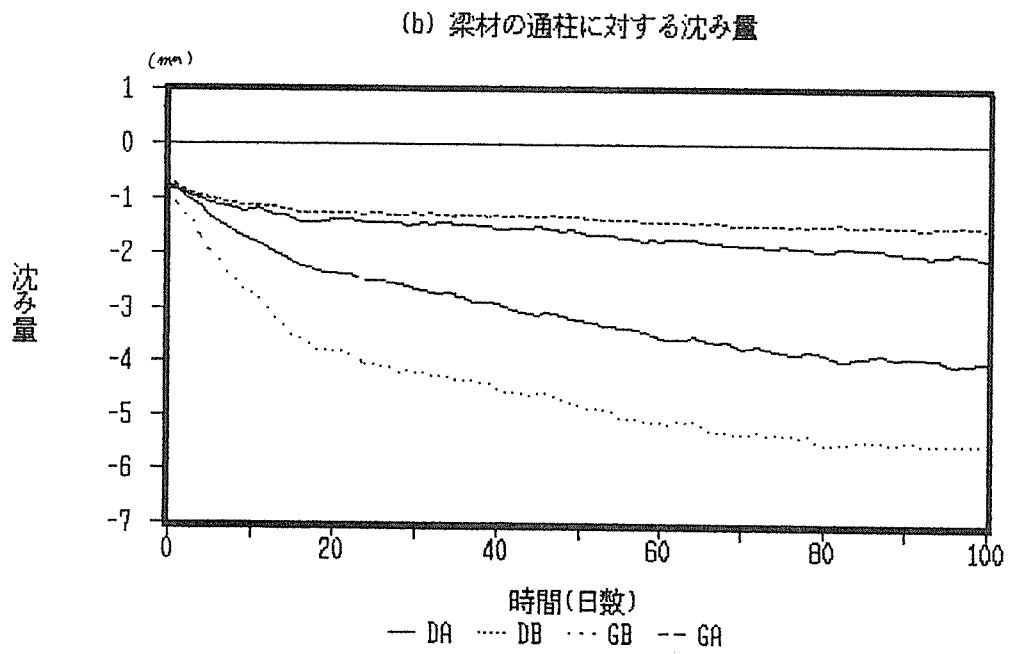
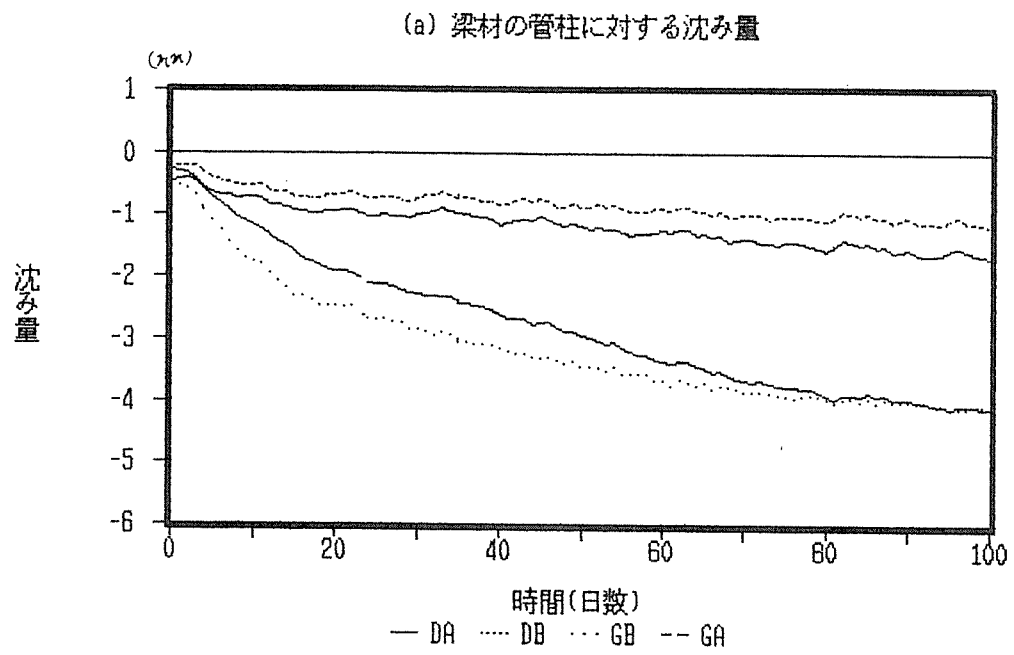


図3-16 梁材の柱に対する沈み

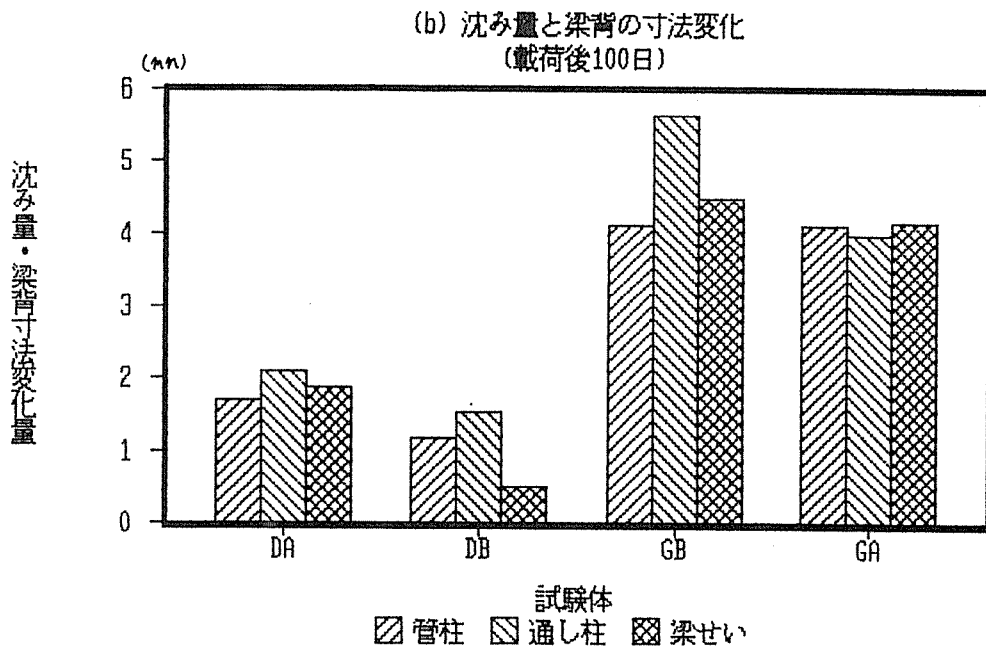
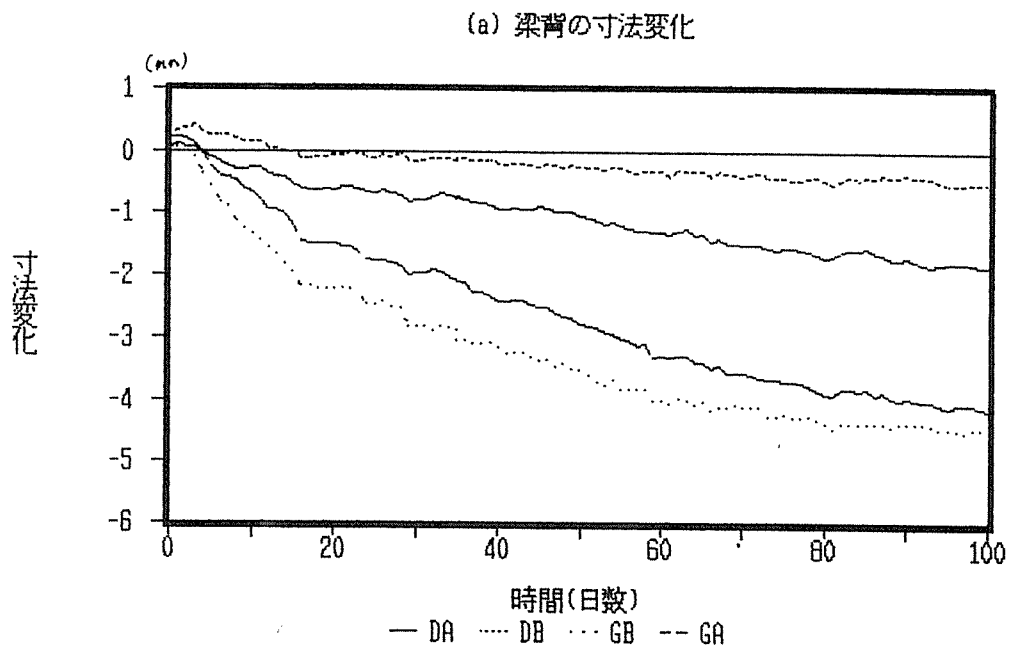


図3-17 梁材の収縮と柱に対する沈み

3. 2. 2 梁の通し柱に対する回転

梁材の通し柱に対する回転角の経時的变化を図3-18(a)に示す。この回転角は、梁の上面と下面に水平方向に設置した変位計により計測された通し柱内面の相対変位から求めた。従って、これは梁の通し柱に対する相対角度である。また、梁が下向きにたわむ方向を正(+)とした。

図に示すように乾燥材のDAとDB、未乾燥材のGAとGBはそれぞれ載荷直後の回転角はほぼ等しく、接合部における梁の変形は下向きである。また、乾燥材のほうが未乾燥材より回転角は大きい。時間の経過とともに、DA、GAは回転角は減少し、DB、GBは増加している。この違いは、載荷の順序によって梁材の初期変形が異なるため、梁が引き込む場合と押す場合の違いが生じているのではないかと現在考えている。

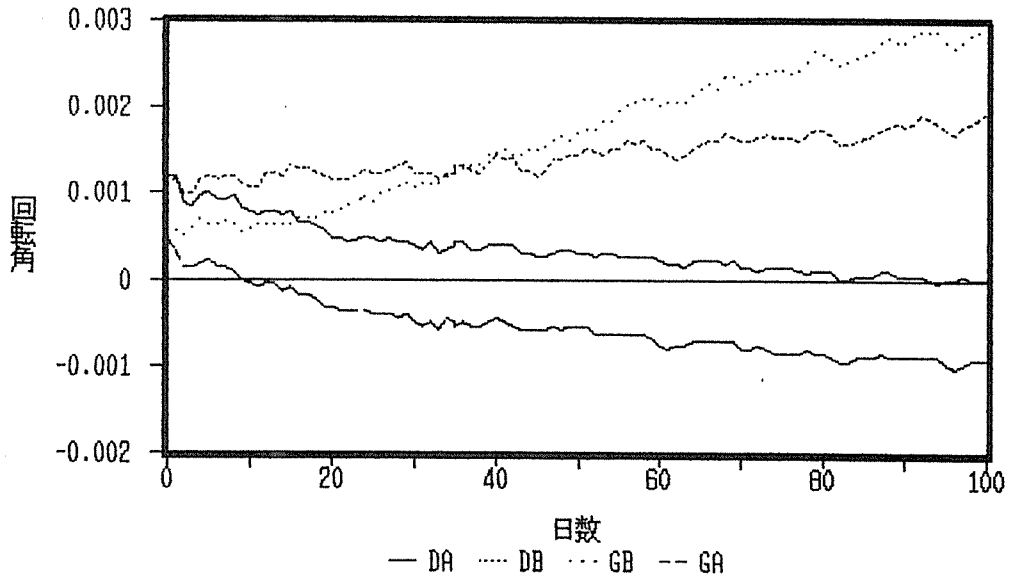
回転角の経時的变化について、回転角の増加分または減少分の初期変形角に対する比から求めた回転角の変化率の経時的变化を図3-18(b)に示す。乾燥材、未乾燥材いずれも先に載荷したDA、GAの回転角は減少し、一方、乾燥材、未乾燥材いずれも後に載荷したDB、GBの回転角は増加している。また、乾燥材、未乾燥材それぞれ正負方向に対してほぼ対称となっている。梁材の通し柱に対する回転角については、載荷後の変化の大きさは乾燥材より未乾燥材が大きくなっている。

梁材の通し柱に対する回転角の経時的变化を測定するとともに、梁材下面の通し柱と接合している羽子板ボルトのひずみの測定を行っている。これは、回転角の経時的变化に梁材と通し柱の接合部に作用する力の影響を調べるためである。ひずみゲージによる測定はボルトの軸力に対応している。図3-19(a)に羽子板ボルトひずみの経時的变化を示す。ひずみは、引張を正(+), 圧縮を負(-)としている。

図から、DAの羽子板ボルトのひずみは、載荷直後から20日まで増加して、以降は安定しており、GAも増加の傾向がみられる。これに対してDB、GBは載荷後のほぼ一定の値を示しており、GBの羽子板ボルトに軸力が作用していない。いずれも載荷順序が先の場合に梁と柱を緊結するという意味においてボルトが機能していると考えられ、このため接合部の変形挙動が異なっているといえる。

梁材の通し柱に対する回転角への羽子板ボルトのひずみの影響をみるため、回転角を経過日数で除した平均回転角(rad/day)を図3-19(b)に示す。図から、DA、DB、GAの平均回転角は時間経過とともに0に近づいており、これはボルトひずみが一定の値を示しているようにボルトの軸力が作用しているためと考えられる。これに対してGBの平均変形角はほぼ一定で、ボルト軸力が作用していないためと考えられる。

(a) 梁材の通柱に対する回転(rad)



(b) 梁材の通柱に対する回転角の変化

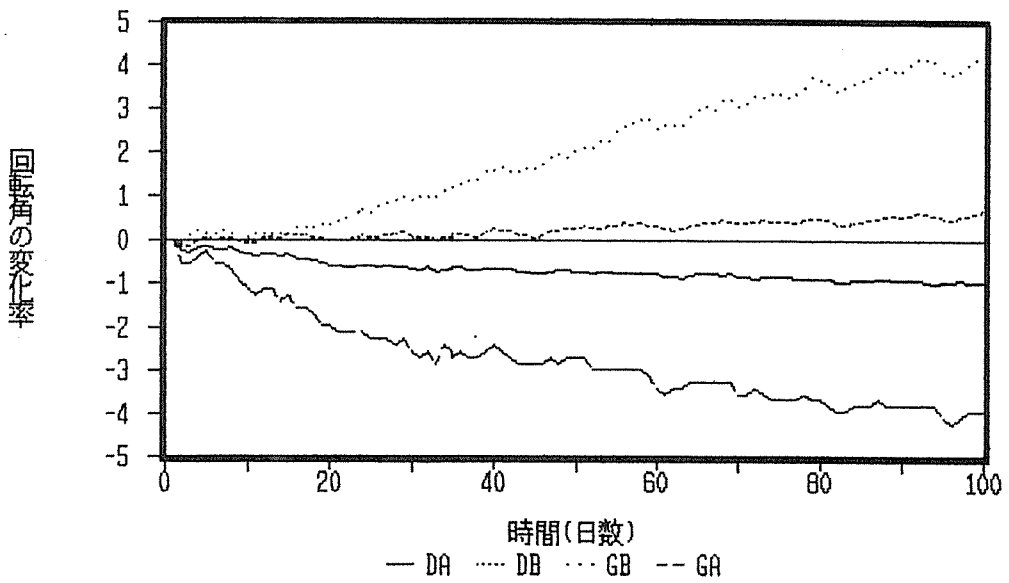


図3-18 梁材の柱に対する回転

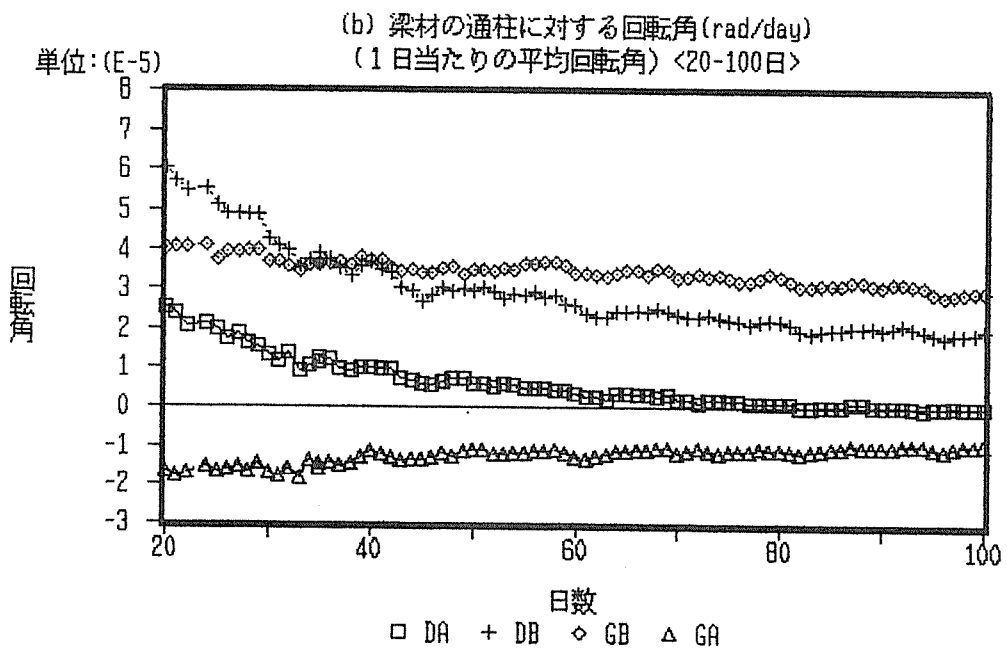
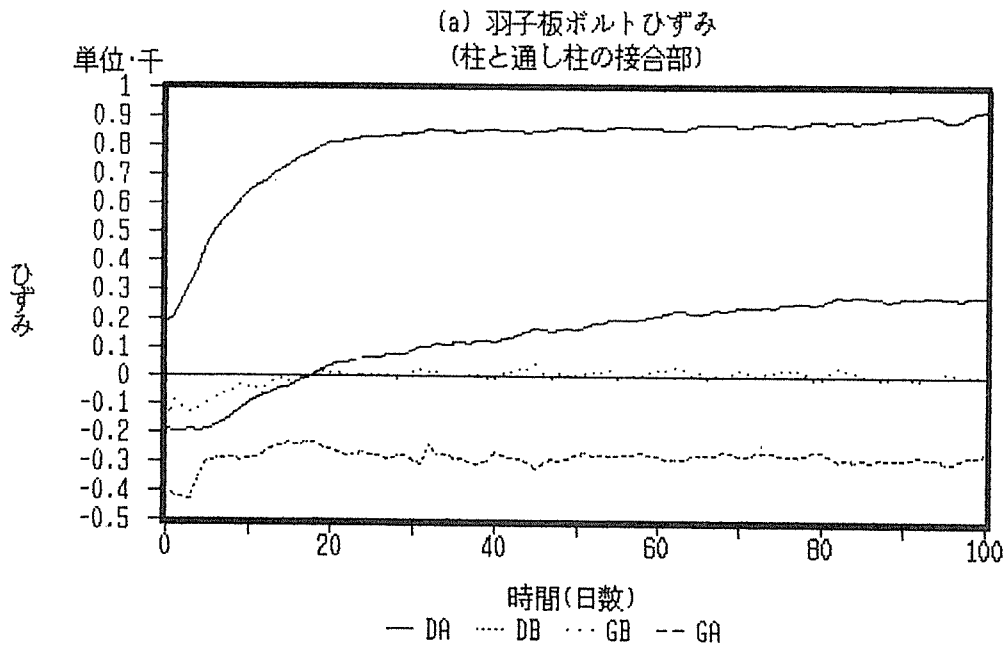


図3-19 羽子板ボルトひずみ

3. 3 温湿度変化のクリープ変形挙動に及ぼす影響

3. 3. 1 短期的なクリープ変形挙動

木材のクリープ変形に対して温度及び湿度変化が影響することはよく知られている。まず、短期的な温湿度変化に対するクリープ変形挙動について検討を行った。

試験体載荷後1週間の梁中央たわみと温湿度変化を図3-20(a)に示す。温度変化の1日のパターンは、明け方午前6～8時が最低温度で、以後徐々に上昇して午後1～3時に最高となり、以後明け方まで徐々に低下している。相対湿度は、温度上昇過程に減少し、午後6時以降は再び上昇して以降比較的安定している。実験室シャッターを開放した場合に相対湿度が急激に減少することがある。このような温湿度のサイクルに対して、梁材中央たわみは、温度が上昇し、相対湿度が低下する場合に、増加することが認められる。このたわみの急激な増加は、経過時間が、ほぼ70, 95, 120, 145 (時間)に生じており、これは、1日のサイクルで見ると午後2時頃に相当する。

乾燥材と未乾燥材の温湿度変化に対するクリープ変形挙動の違いをみるために、8月30日午前0時の梁の中央たわみに対する比の経時的变化を図3-20(b)に示す。図から明らかのように、未乾燥材は、乾燥材と比較してたわみ比の増加が大きく、また、未乾燥材、乾燥材それぞれについてはほぼ一致している。温湿度変化に対して未乾燥材のほうがより大きく影響を受けている。

3. 3. 2 長期的なクリープ変形挙動

梁中央たわみにおけるクリープ変形挙動において、温湿度変化の短期的な影響は乾燥材と比較した場合未乾燥材の方が大きいこと、また、梁の初期たわみ比を用いると乾燥材と未乾燥材の差異が明確になることから、長期的なスパンにおける温湿度変化の影響における適合性についてこの中央たわみ比を使用して検討を行った。

通常、クリープ変形に及ぼす温湿度変化の影響をみる場合に、実験値に対して一定のクリープ変形式をフィットさせて、その関数と実験値の差異を温湿度変化の影響とする場合が多い。通常、次式がクリープ変形式によく用いられている。

$$\delta(t) = \delta_0 + \delta_c(t) \quad (3.1)$$

ここで、 $\delta_c(t) = A t^n$ (A, n : 定数)

式(3.1)はクリープたわみの式なので、両辺を δ_0 で除して次式を得る。この式を載荷後100日までの梁の中央たわみ比に対してフィットを試みた。

$$r(t) = 1 + r_c(t) \quad (3.2)$$

ここで、 $r_c(t) = A' t^n$ (A' , n : 定数)

フィットさせた結果を乾燥材について図3-21に、未乾燥材について図3-22に示す。乾燥材、未乾燥材両者について、梁の中央たわみ比の実験値とフィット関数から求めた計算値の関係をみると、載荷後20日前後に実験値と計算値の乖離のピークがあり、また、載荷後60日以降は、実験値と計算値の乖離は増加傾向にあることが認められる。このクリープ変形式では、乾燥材、未乾燥材いずれも載荷後20日前後までのクリープ変形を過少評価し、載荷後60日以降については、過大評価していることになる。これは、本章1.2 含水率変化で述べたように、含水率の変化の影響と考えられる。

そこで、含水率変化及び寸法変化を参考にして、フィット関数を2段階に分けて適合することにした。乾燥材については、載荷後1~7日と8~100日、未乾燥材については、載荷後1~14日と15~100日の区間に分け、それぞれについて式(3.2)をフィットした。

梁の中央たわみ比の実験値とフィット関数から求めた推定値について、それぞれ乾燥材は図3-23に、未乾燥材は図3-24に示す。乾燥材、未乾燥材いずれの場合も、全期間にフィットした推定値と比較すると、2段階の区間に分けてフィットした場合の方がよりよくその変形挙動を表している。

このクリープ変形式を用いて、梁の中央たわみ比に対する温湿度変化の及ぼす影響をみるため、温湿度変化の影響を木材の平衡含水率により表すことにした。各プロットにおける平衡含水率を次式により温度と湿度から求めた。

$$u = A - B(100 - H)^{1/2} \quad (3.3)$$

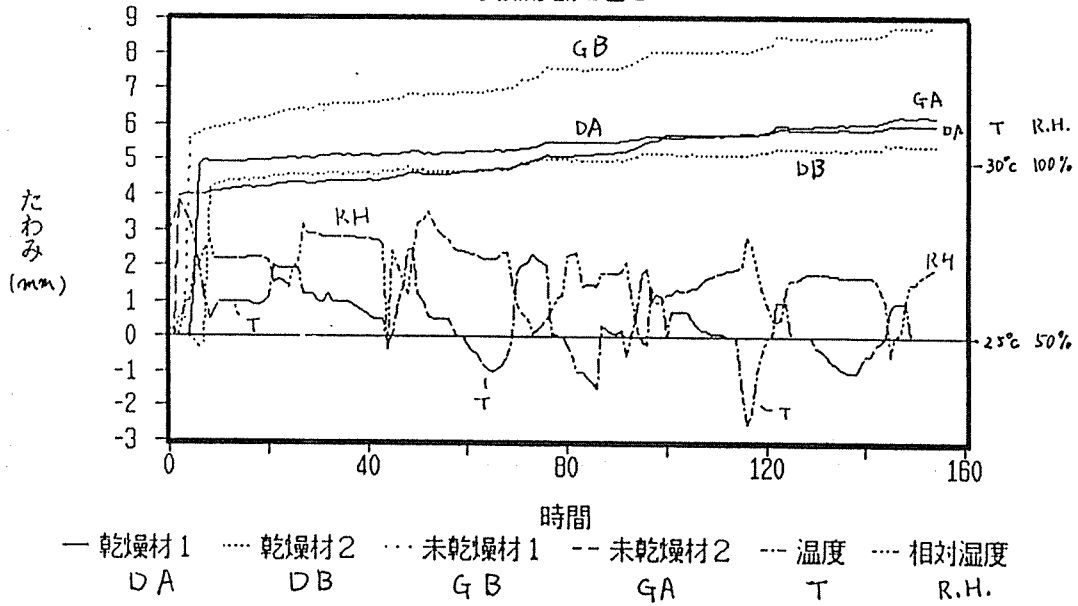
ここで、 $A = A_0 - a\theta$, $B = B_0 - b\theta$

但し、各定数は、ヒノキの定数 ($A_0=36.0$, $a=0.19$, $B_0=3.05$, $b=0.009$) で代用している。この式から求められた平衡含水率 (E. M. C.) と梁材の中央たわみ比の実験値と推定値の差の関係を図3-25に示す。

図に示すとおり、平衡含水率推定値と中央たわみ比の実験値と推定値の差について、乾燥材、未乾燥材両者について負の関係が認められる。また、乾燥材と比較した場合、未乾燥材では、より平衡含水率の影響を強く受けている。従って、平衡含水率の低い場合、すなわち乾燥がより進行する場合に、両者ともたわみ比は増加し、そのたわみ比の増加量は未乾燥材の方が乾燥材より大きいことが認められる。

しかし、図に示すとおり、クリープ変形式を適用した場合の実験値と推定値との差から求めた温湿度変化の影響は明瞭な直線関係にあるとはいいがたい。これは、フィットした関数自身に温湿度変化が組み込まれているためと考えられる。

梁材中央たわみと温湿度変化の関係
(支点移動を含む)



梁材中央たわみ比と温湿度変化の関係
(支点移動を含む)

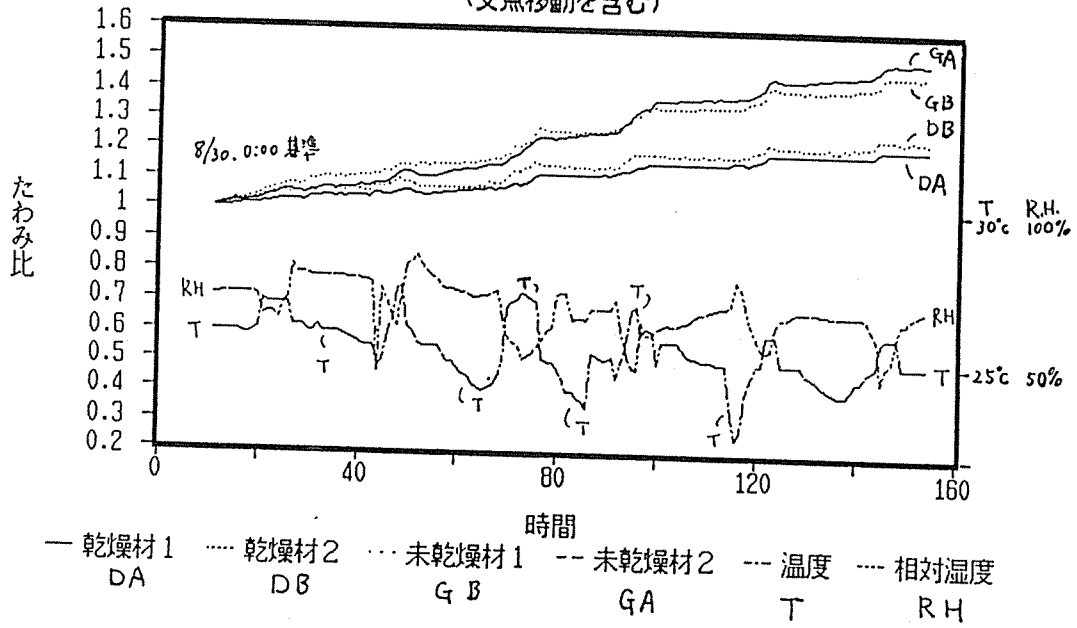


図3-20 短期的な梁材中央たわみと温湿度変化の関係

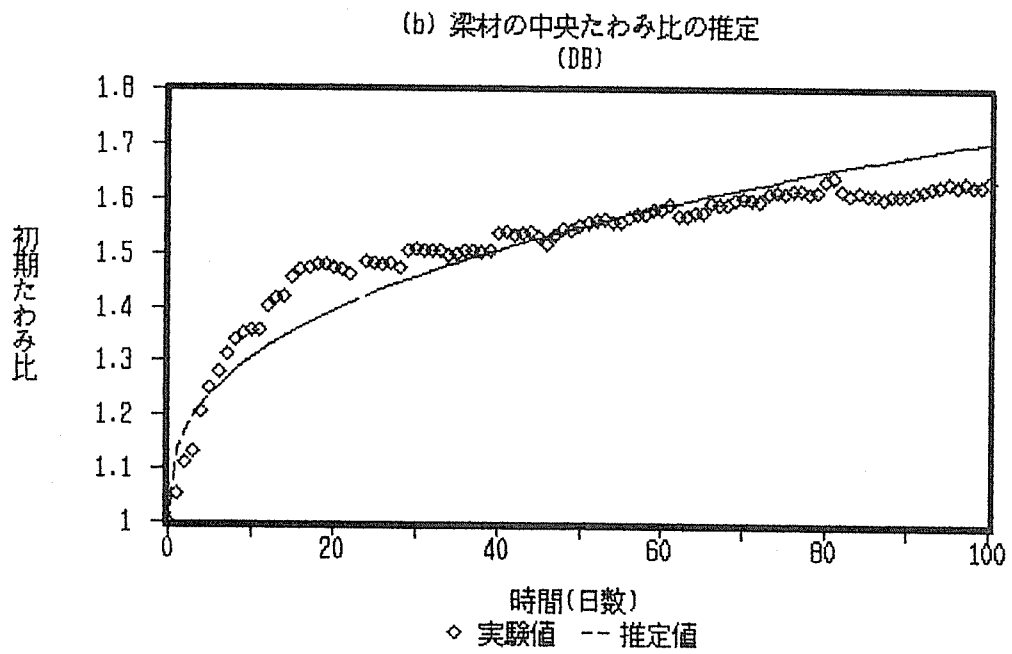
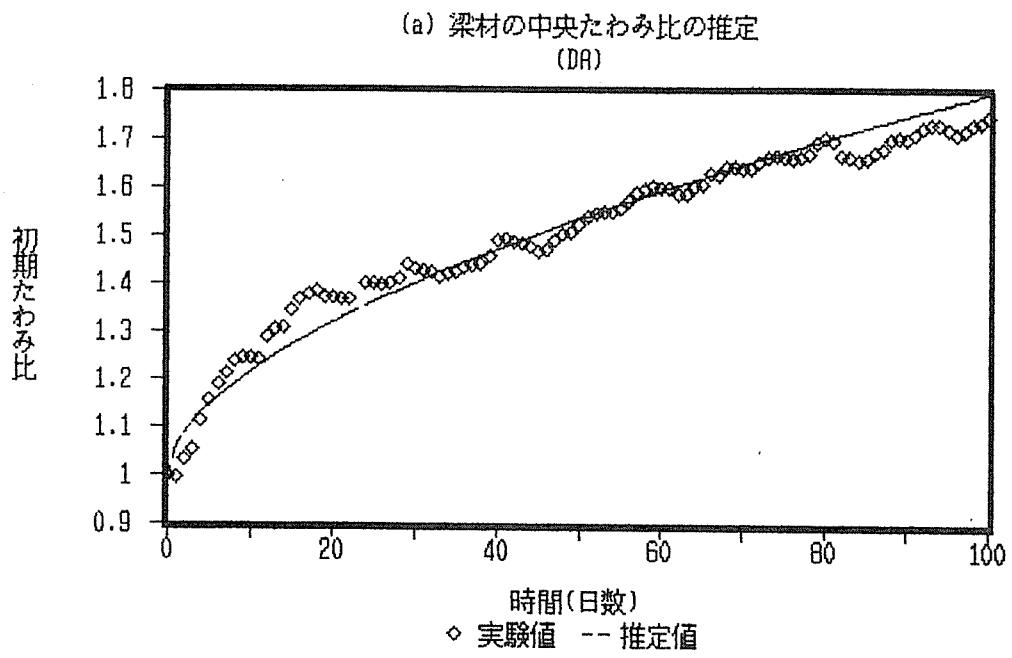


図3-21 梁材中央たわみ比の推定 (乾燥材)

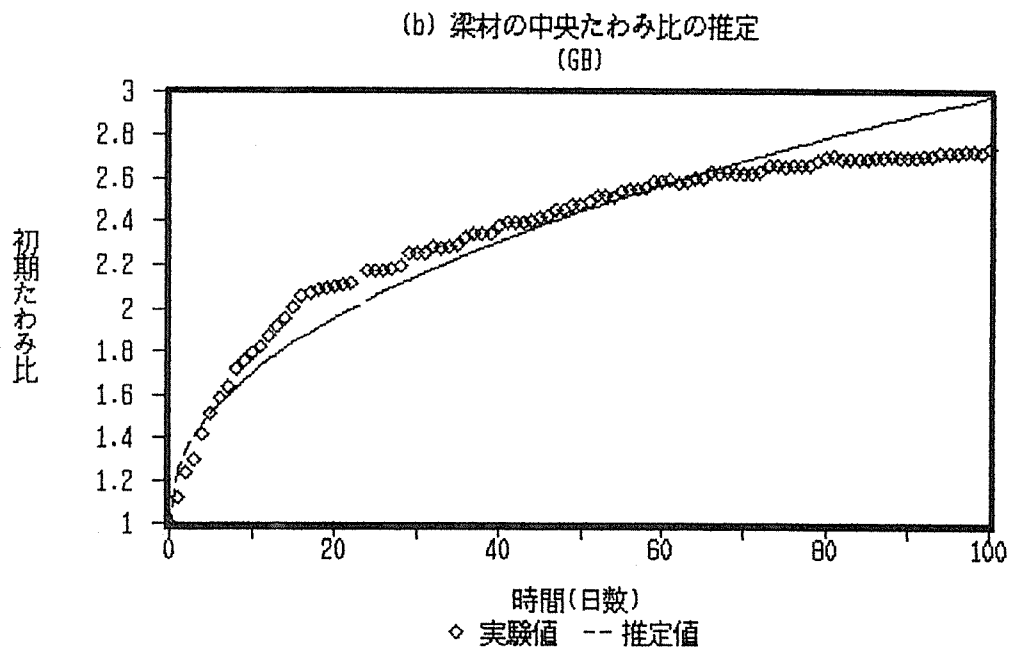
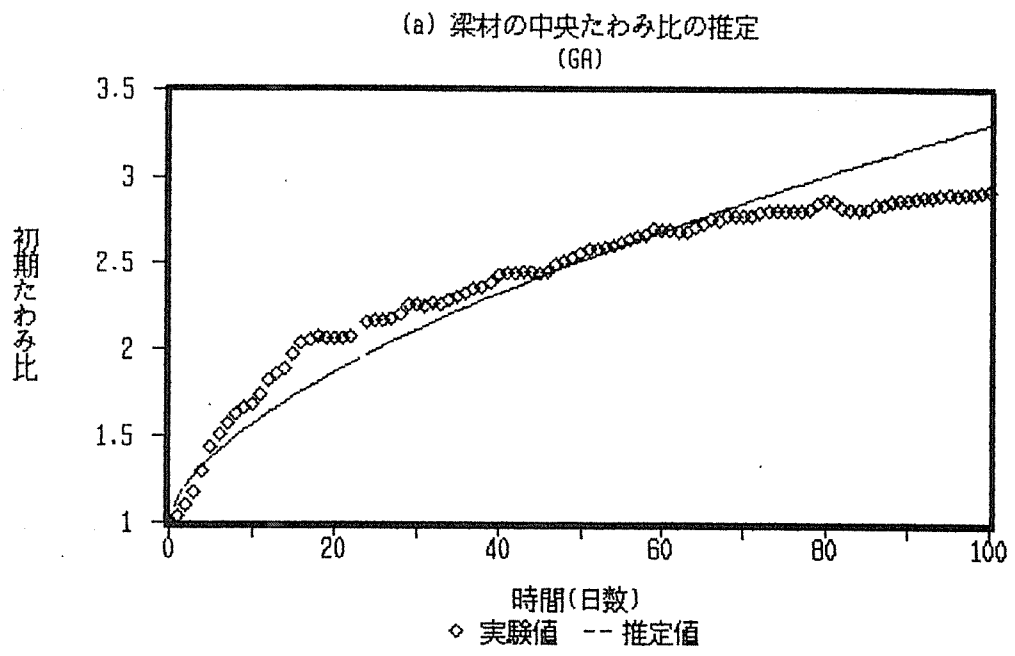


図3-22 梁材中央たわみ比の推定 (未乾燥材)

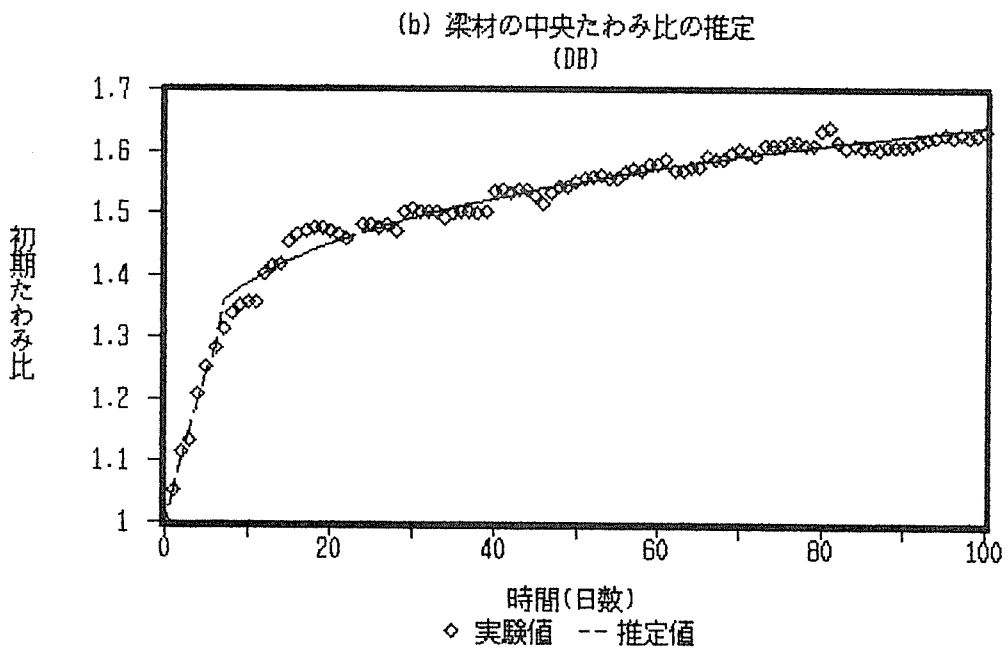
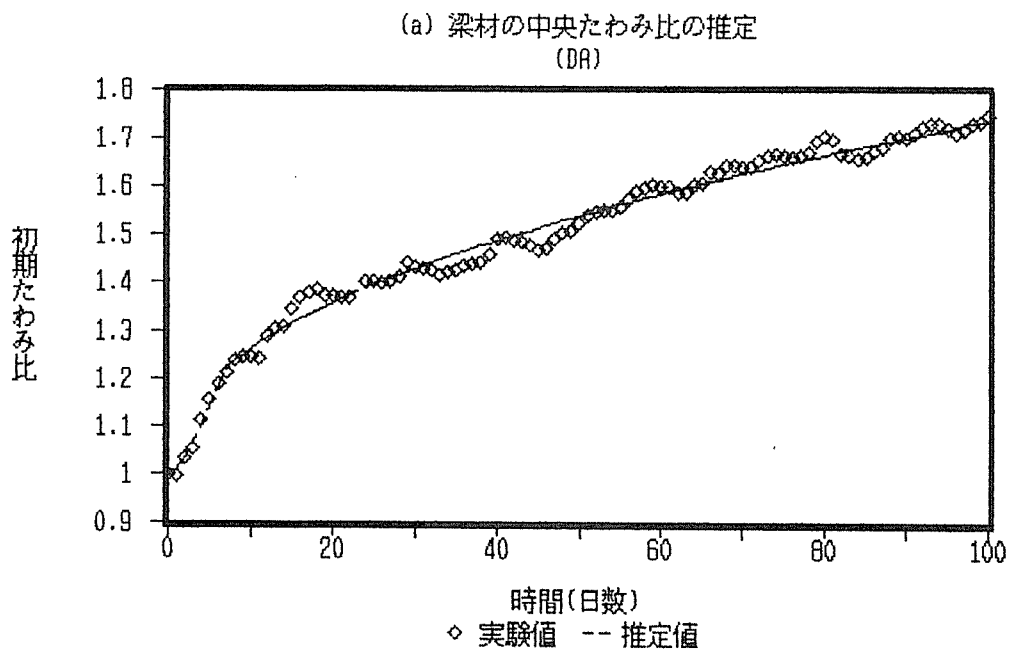
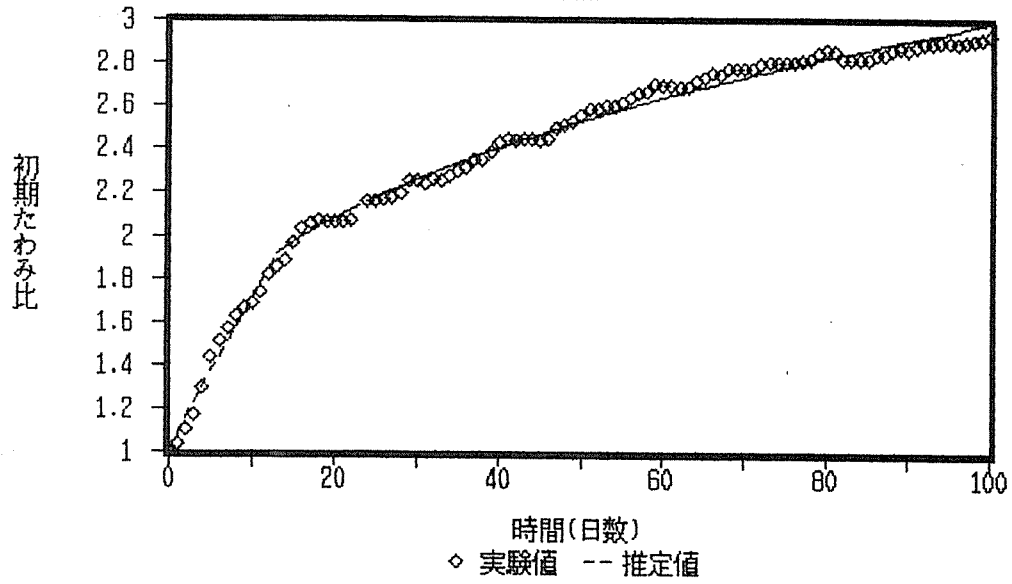


図3-23 梁材中央たわみ比の推定 (乾燥材: 2区間)

(a) 梁材の中央たわみ比の推定
(GA)



(b) 梁材の中央たわみ比の推定
(GB)

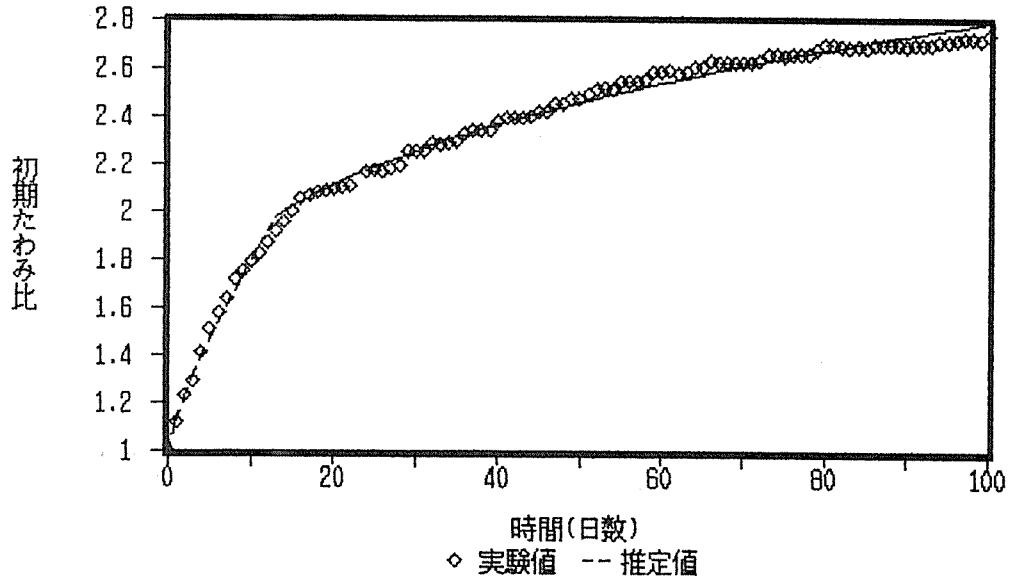


図3-24 梁材中央たわみ比の推定 (未乾燥材: 2区間)

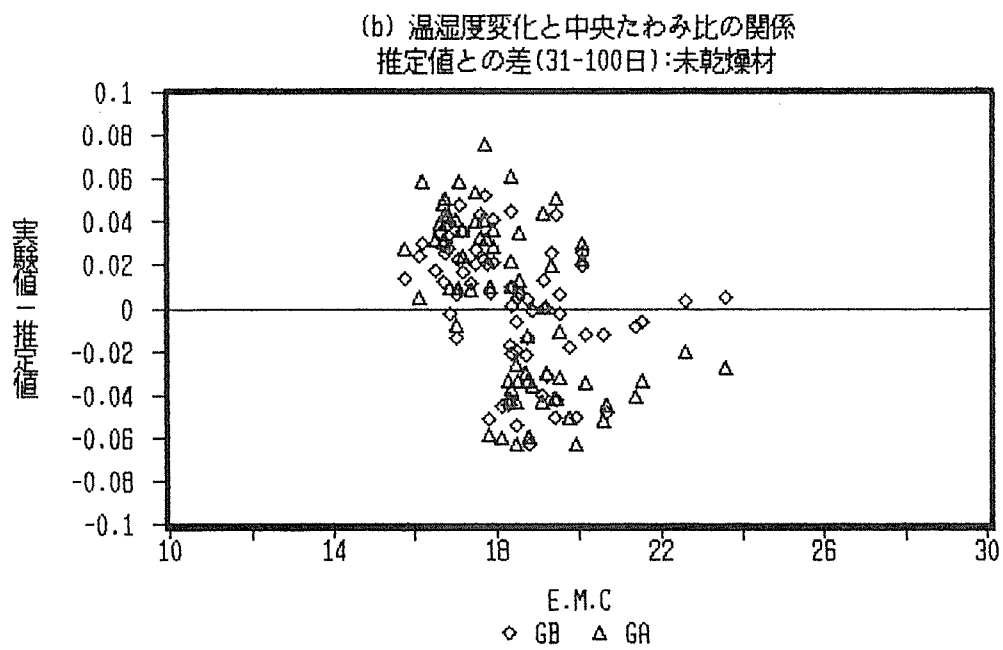
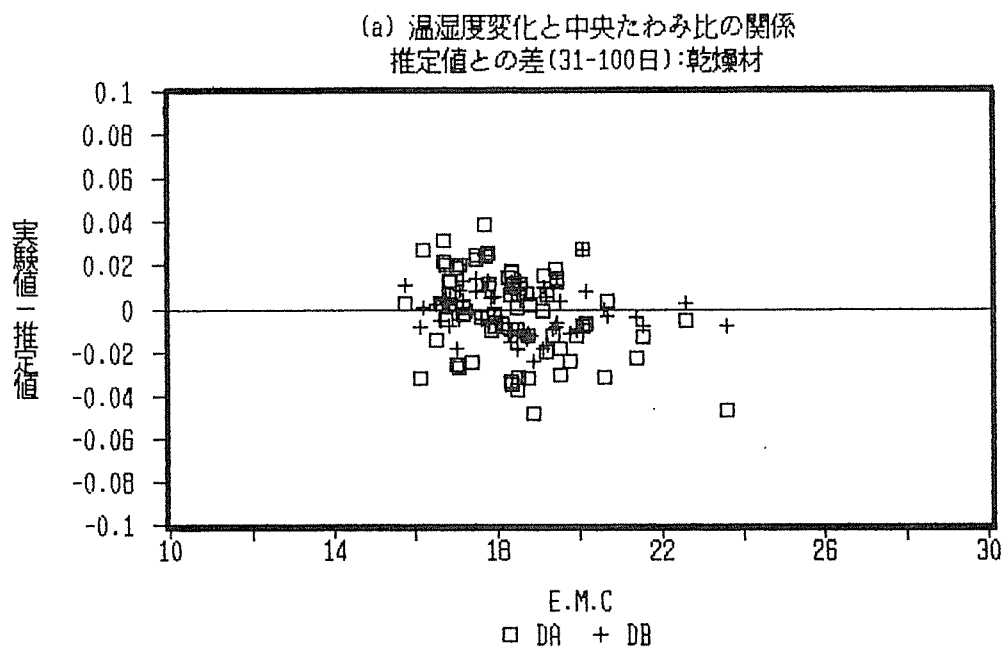


図3-25 平衡含水率と中央たわみ比の関係

3. 3. 3 梁中央たわみ比の推定

梁の中央たわみ比の推定に当たって、クリープ変形式を実験値に適用して得られたクリープ曲線と実験値との差を温湿度変化の影響とみなす方法は、フィットした関数自身に温湿度変化が組み込まれていることから、別の方法を試みた。

推定の対象とした梁材のクリープ変形の経過については、図3-26(a)に荷重直後から150日までの中央たわみ比（初期たわみ比）の試験結果を示す。

クリープ関数は時間の関数であるが、一定期間に区分すればその期間内について時間の影響する部分は定数に近似することが有効ではないかと考えた。荷重後約1ヶ月までのクリープ変形の1日当たりの進行が急速であるのに対して、1ヶ月以降は比較的減速している。このため、梁の中央たわみ比について荷重後31～100日までの試験結果から、荷重後101～150日までのクリープ変形挙動を推定することにした。

推定の方法は、時間の関数である式(3.2)の代わりに、図3-26(b)に示す1日当たりの梁材の中央たわみ比の増分 Δr_i を温湿度変化の関数として扱うことにした。

$$\Delta r_i = a \cdot u_i + b \quad (3.4)$$

ここで、

$\Delta r_i = r_i - r_{i-1}$: 梁中央たわみ比増分（1日当たり）

u_i : 荷重後*i*日の平衡含水率

(E. M. C. : 式(3.3)を用いて温度と湿度から求めた値)

a, b : 定数

但し、

r_i : 荷重後*i*日の梁中央たわみ比

($= d_i / d_0$: $=$ 荷重後*i*日の梁中央たわみ/荷重直後の梁中央たわみ)

この式の定数 a, b は、本来時間の関数であるが定数として近似的に扱っている。これは、荷重後一定の時間が経過した場合、クリープ変形は安定期に移行して時間経過に対して変形の増減がない、あるいは、小さいという仮定に基づいている。

また、木材の含水率変化はヒステリシスに従うので、平衡含水率が上昇する場合と減少する場合に分けて、梁中央たわみ比増分と平衡含水率の関係を乾燥材は図3-27に未乾燥材は図3-28に示す。図に示すように、平衡含水率が高い場合に Δ たわみ比は小さく、平衡含水率が低い場合に Δ たわみ比は増加する。前出の図3-25と比較すると、クリープ変形の進行について平衡含水率との直線関係はより明瞭となっている。

平衡含水率が上昇する場合と減少する場合に分けてそれぞれ一次回帰を行った結果を以下に各試験体についてそれぞれの定数及び括弧内に相関係数を示す。

<平衡含水率が増加する場合>

(相関係数)

$$DA : a = -0.00477, \quad b = 0.09098, \quad (0.72)$$

$$DB : a = -0.00335, \quad b = 0.06528, \quad (0.58)$$

$$GA : a = -0.00573, \quad b = 0.11398, \quad (0.27)$$

$$GB : a = -0.00215, \quad b = 0.04630, \quad (0.62)$$

<平衡含水率が減少する場合>

$$DA : a = -0.00514, \quad b = 0.10025, \quad (0.74)$$

$$DB : a = -0.00271, \quad b = 0.04997, \quad (0.47)$$

$$GA : a = -0.00706, \quad b = 0.14015, \quad (0.35)$$

$$GB : a = -0.00277, \quad b = 0.05767, \quad (0.67)$$

以上の一次回帰から求めた定数の一覧を図3-29(a)に示す。なお、作図上定数aは、-20倍した数値で表示している。なお、凡例のa(+)は、平衡含水率が増加する場合の定数a、a(-)は、平衡含水率が減少する場合の定数aであり、定数bについても同様である。図から、各定数について、DAよりDB、GAよりGBの値が小さくなっており、载荷の順序が先であったものの方が温湿度変化の影響を強く受ける傾向がみられる。

これらの定数の相互関係をみるために、横軸に定数a、縦軸に定数bとして各試験体をプロットしたのが、図3-29(b)である。定数aは、平衡含水率1%変動する場合の Δ たわみ比の増分(Δ たわみ比/E.M.C.)であり、定数bは、含水率0%時の Δ たわみ比(仮想的なたわみ比の基準値)に対応している。図中の凡例の Δ E.M.C > 0は、平衡含水率が増加する場合、 Δ E.M.C < 0は、平衡含水率が減少する場合を表している。

図から、各プロットはほぼ0点を通る右下がりの直線上にあることから、この直線の一次回帰を行った。この回帰直線の傾きは $-b/a$ であり、これから、 Δ たわみ比が0の時の平衡含水率 b/a を求めた。この平衡含水率は19.5%となった。

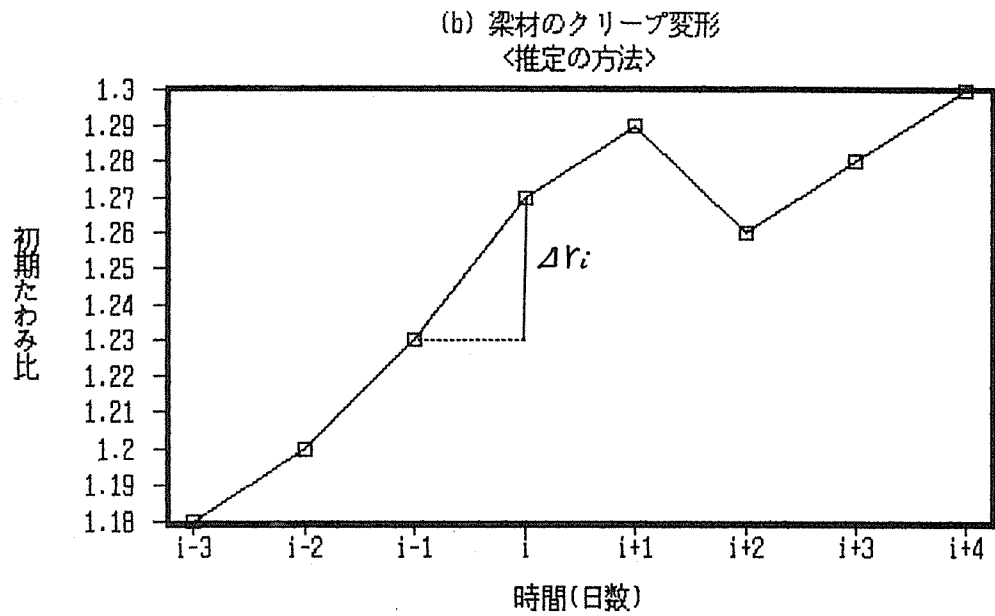
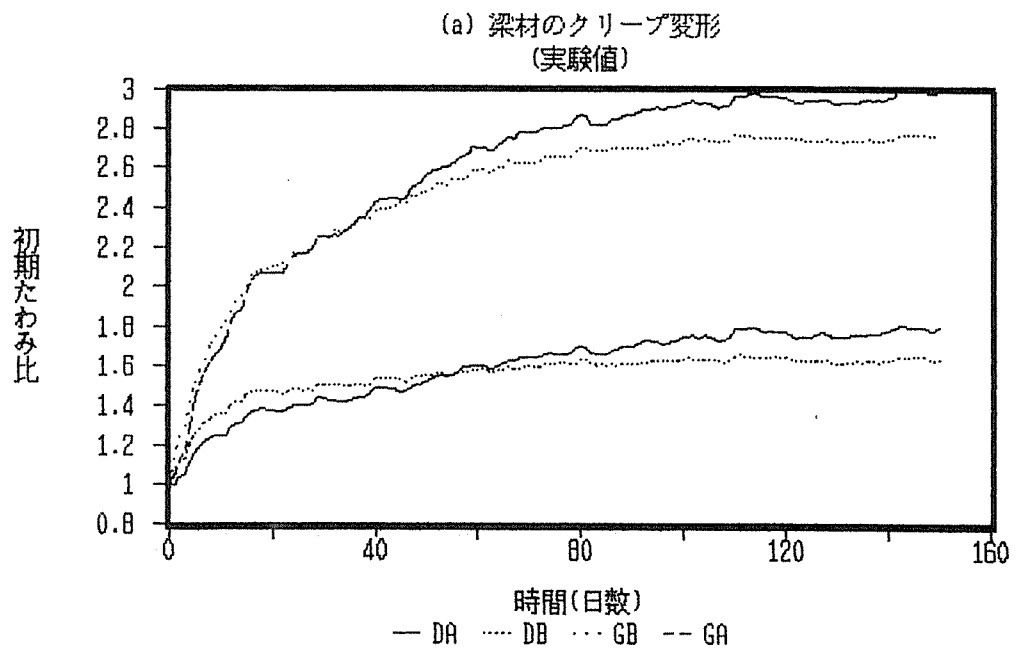


図3-26 クリープ変形の実験値と推定方法

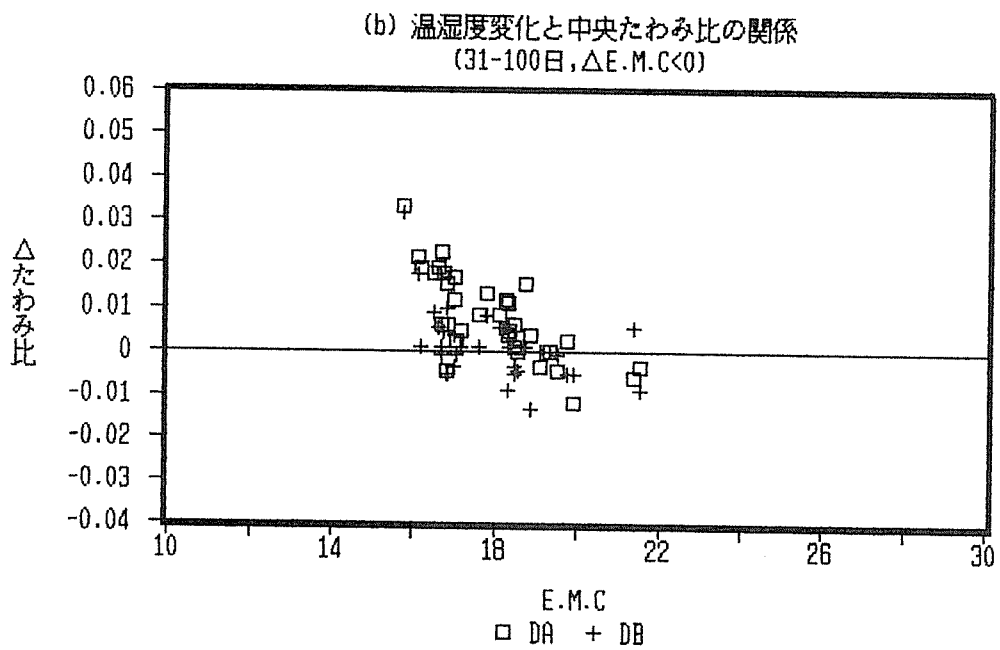
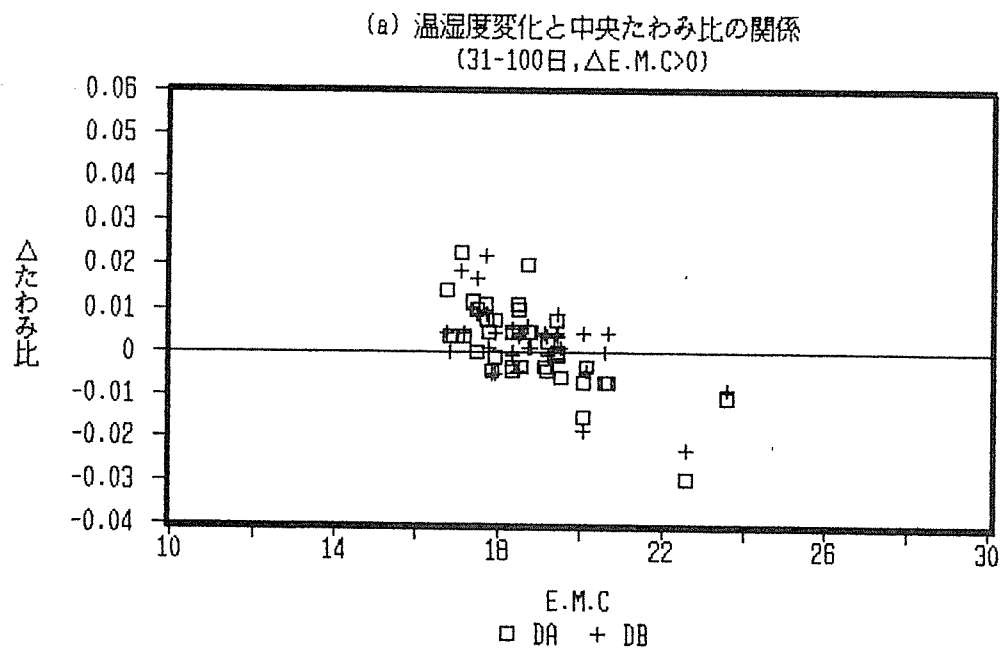
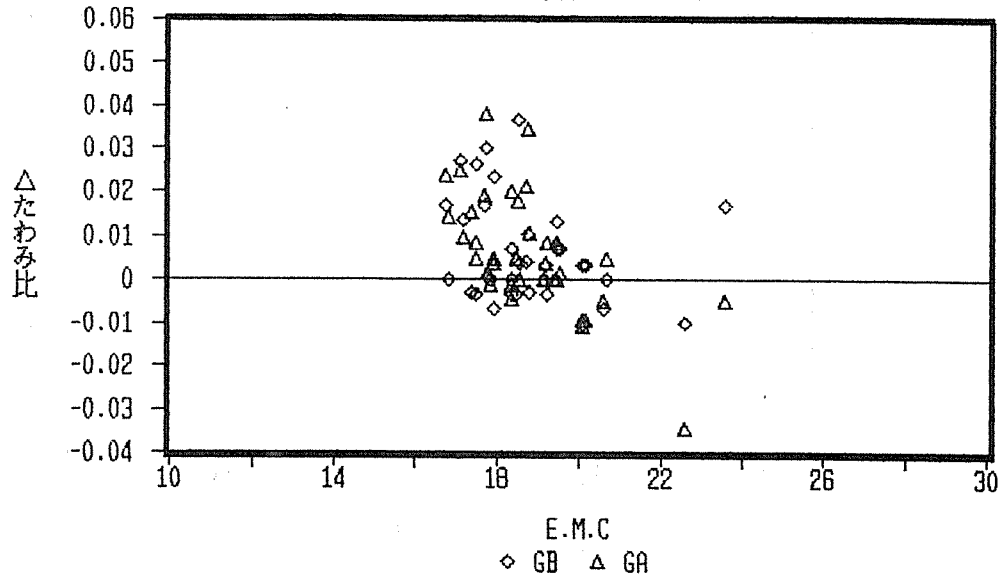


図3-27 温湿度変化と中央たわみ比の関係 (乾燥材)

(a) 温湿度変化と中央たわみ比の関係
(31-100日, $\Delta E.M.C > 0$)



(b) 温湿度変化と中央たわみ比の関係
(31-100日, $\Delta E.M.C < 0$)

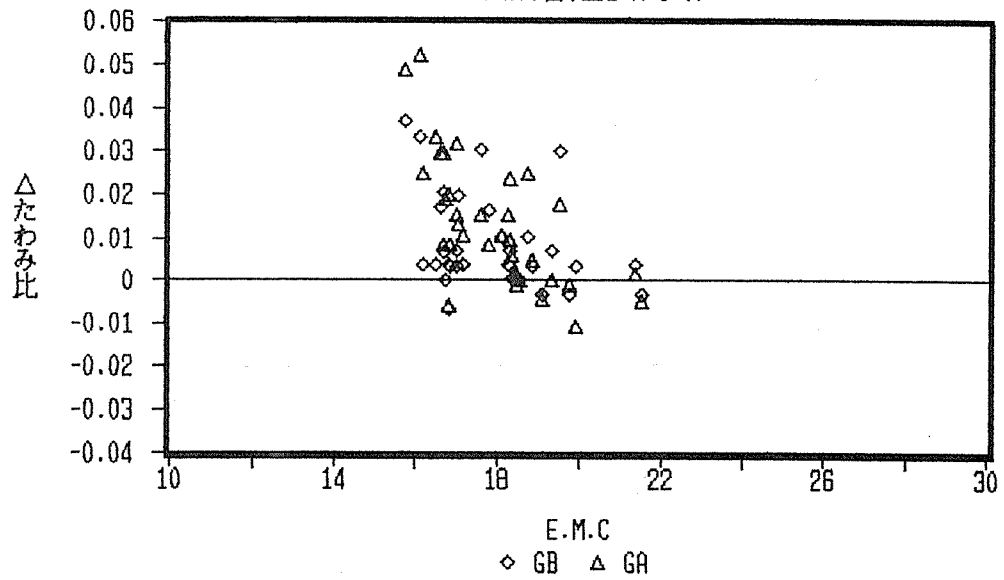
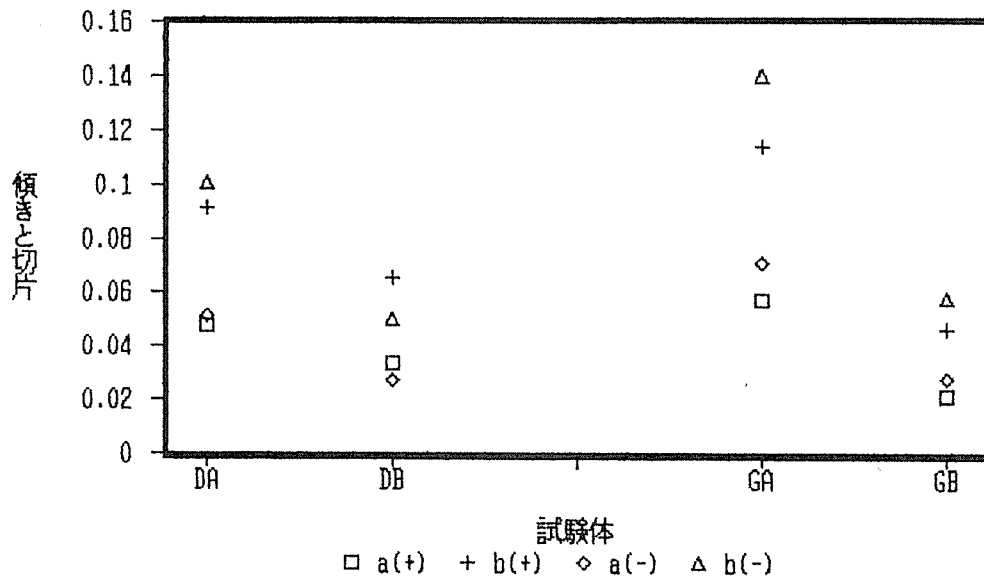


図3-28 温湿度変化と中央たわみ比の関係 (未乾燥材)

(a) 回帰係数一覧



(b) 係数相互の関係

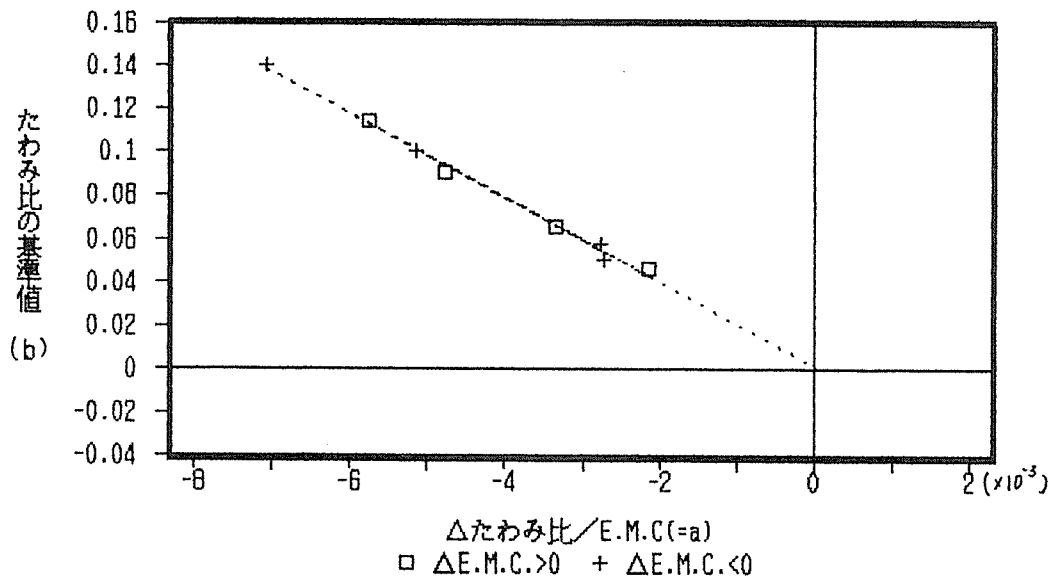


図 3-29 温湿度変化と中央たわみ比の関係 (回帰分析結果)

以上の一次回帰によって得られた係数を用いて、載荷後 100日以降の初期たわみ比の推定を行った。図 3-30に乾燥材、図 3-31に未乾燥材の推定結果を示す。但し、時間の影響を考慮して、1日当たりのたわみ比増分の計算する際、試験体ごとに定数を加えている(DA:0.007, DB:0.005, GA:0, GB:0.005)。推定値は、初期たわみ比の増減を傾向をよく表していると思われる。

3.4 施工上の問題点

木造住宅建設における施工事例をもとに、未乾燥材を梁等に使用した場合に生じる支障に関連づけて、収縮を含めた梁材のクリープ変形の影響について検討を行う。参考にした事例は、木造2階建て、建築床面積 148.5m² (45坪)、施工期間 120日である。

未乾燥材を使用することによる支障発生箇所为例としては、2階胴差では、吊り束と鴨居の下がりによる障子の開閉、2階梁では、2階床面のひずみ及び天井の下がり・波打ち等がある。

ここでは、上記の支障箇所等に関連する工事の施工時期と試験結果から得られた経時的なクリープ変形挙動との関係から、施工上の問題点における乾燥材と未乾燥材の違いについて検討する。

載荷直後から載荷後 120日までの梁中央たわみの増加は、乾燥材、未乾燥材それぞれ平均値で、3.2 mm, 8.6 mmとなった。載荷後日数とたわみ変化量の関係を表 3-1 に示す。乾燥材では、梁中央たわみの増加量が 2mm以下になるのは、載荷後 8日であるのに対して未乾燥材では、載荷後 41日となった。

工事工程表によると、各種工事の施工時期は、窓取付け工事：建方から 15日、床取付け工事：20日、押入れ取付け工事：30日、天井取付け工事：50日である。

仮に梁のたわみ増加量の許容限度が 2mmとすれば、未乾燥材では天井取付け工事のみが許容範囲内にあるのに対して、乾燥材は以上の工事全て許容範囲内にあることになる。

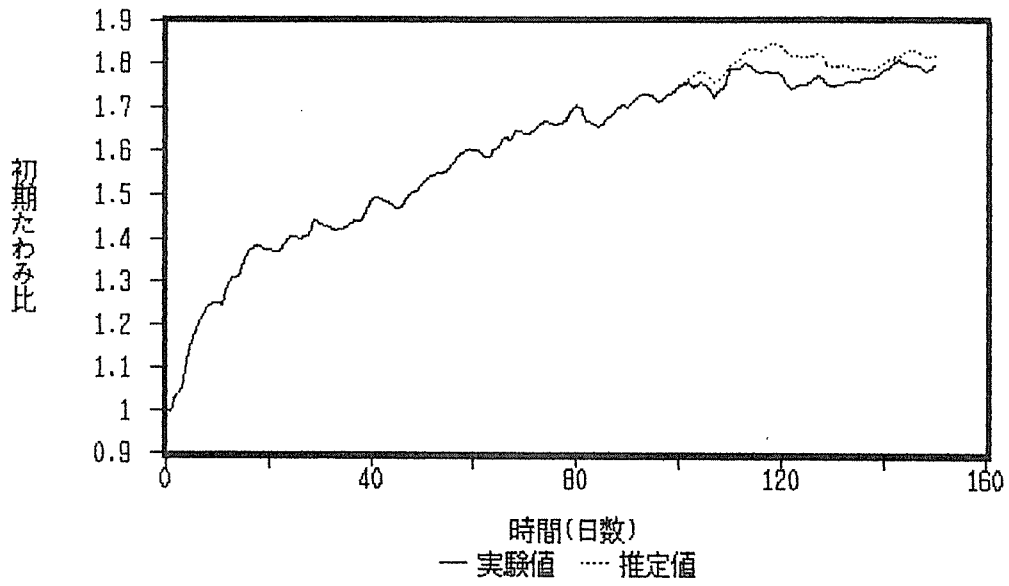
また、羽子板ボルトの梁上面のボルトについて、載荷後 240日に観察したところ、未乾燥材では、ナットとワッシャーの隙間が、3.8 mm, 4.1mmであったのに対して、乾燥材では隙間はなく手で回すことができなかった。

表 3-1 梁中央たわみの載荷後120日までの変化量

(単位:mm)

載荷後日数	0	2	8	40	59
乾燥材	3.24	2.92	1.95	0.92	0.54
未乾燥材	8.55	7.72	5.41	2.04	0.93

(a) 梁材の中央たわみ比の推定(101-150日)
(DA)



(b) 梁材の中央たわみ比の推定(101-150日)
(DB)

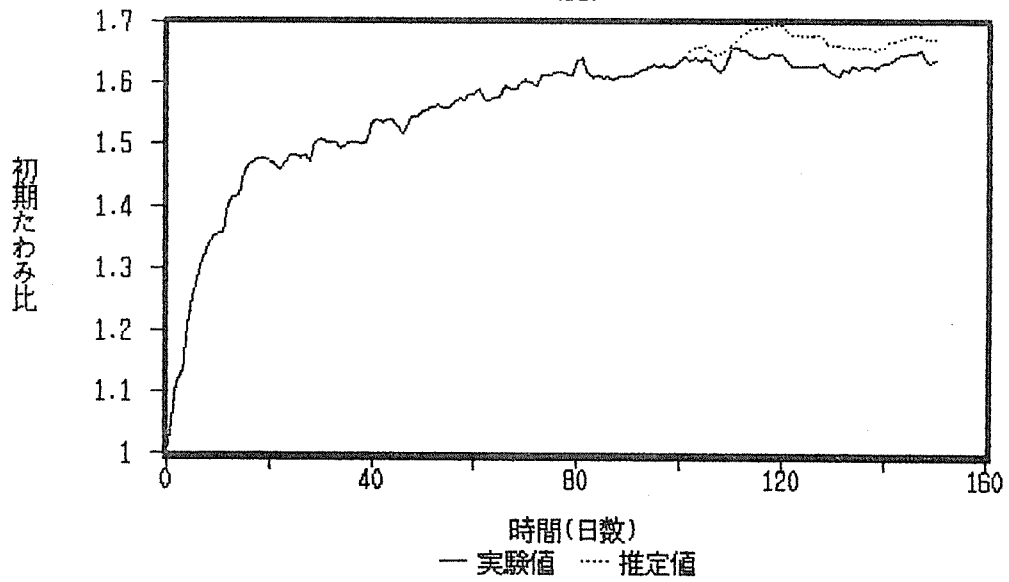


図3-30 梁材のクリープ変形の推定(乾燥材)

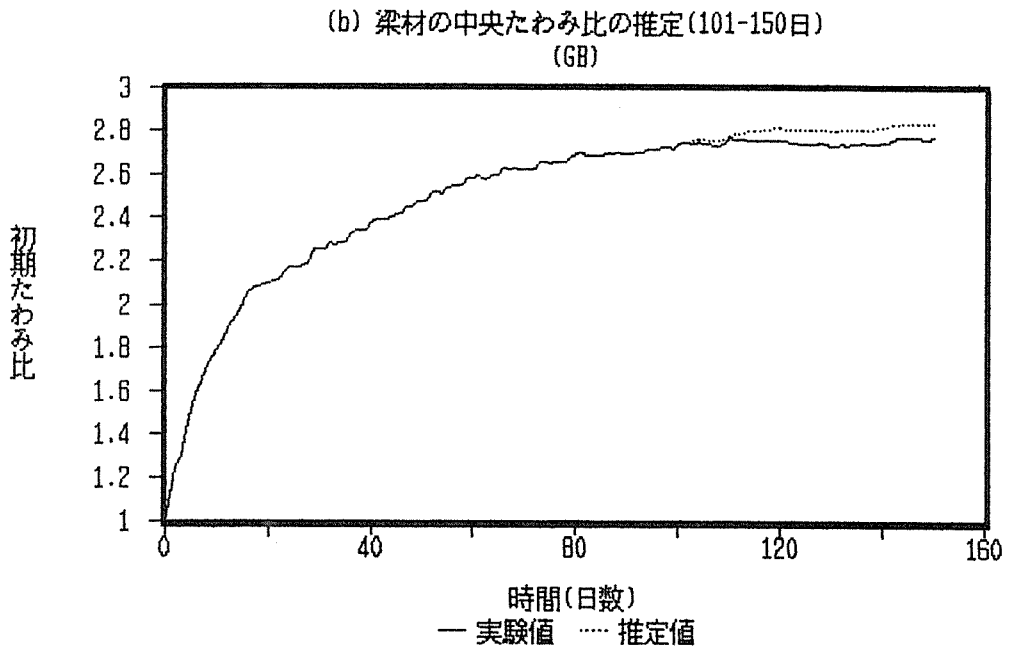
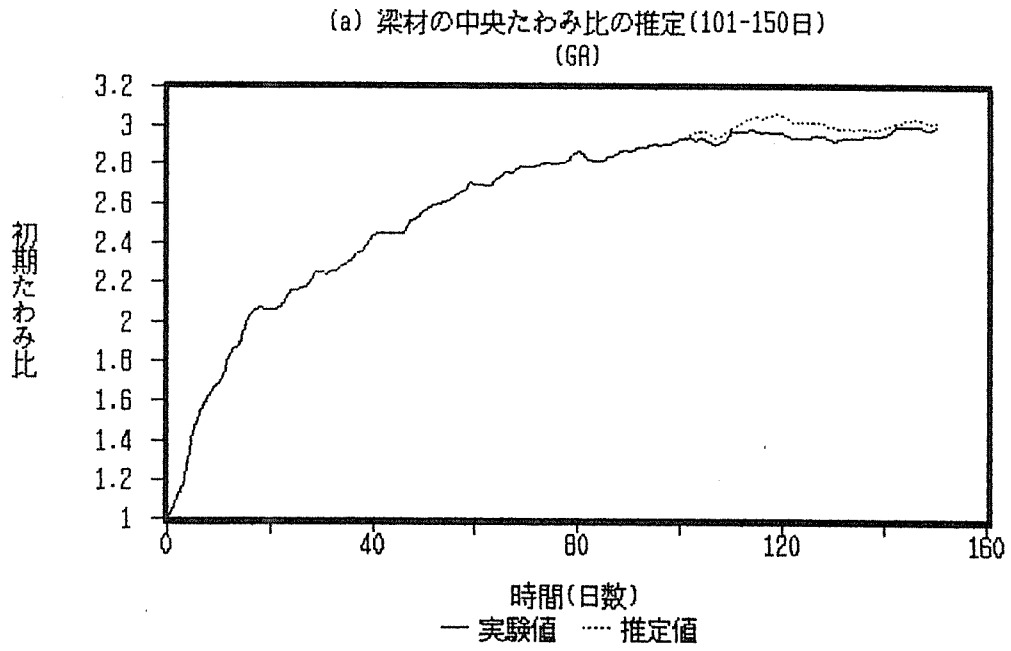


図3-31 梁材のクリープ変形の推定(未乾燥材)

3. 5 クリープ変形の季節変動

第3章のこれまで述べてきたように、載荷後半年後までの軸組構造試験体のクリープ変形挙動については、載荷直後が最も変形の進む速度が大きく、以降徐々にその速度は低下することが確かめられた。また、未乾燥材と比較すると乾燥材のクリープ変形量は小さいことが確かめられた。

しかし、住宅に乾燥材または未乾燥材を使用する場合、使用期間が長期にわたるため実際のクリープ変形に対して温度及び湿度の季節変動が影響を及ぼすと考えられる。

以下では、クリープ変形の季節変動について、主として乾燥材と未乾燥材の比較を行いながら、その要因について検討を行う。また、クリープ変形の季節変動に対して温度を指標として用いることの可能性について検討を行う。

3. 5. 1 中央たわみ比の季節変動

本試験の開始は1994年8月29日で晩夏の季節であり、以後季節的には、秋、冬、春、夏、秋、冬と載荷直後のクリープ変形の進む速度の最も著しい時期を除いて、四季を経過したことになる。

この間の中央たわみ比の経時的変化は、図3-32に示すとおり、梅雨期に減少した後、急激に増加して以降はほぼ一定の値で推移している。図中のDAとDBは乾燥材、GAとGBは未乾燥材を示し、乾燥材のDAは先にDBは後に載荷した梁を表し、未乾燥材も同様である。

乾燥材、未乾燥材ともほぼ同様の傾向を示していたのでそれぞれの平均値を求め、この平均値を用いて乾燥材と未乾燥材の中央たわみ比の差を求めた。図3-33に示すとおり、未乾燥材と乾燥材の差は、載荷後100日程度まで徐々に変化速度を低下させながら増加しており、この期間の変化量は最も大きい。載荷後100日以降では、この差は春から夏にかけて漸増し8月にピークがあった後漸減する傾向がみられた。図3-9(a)に示したように、重量変化の推移から載荷後約3ヶ月でほぼ水分平衡状態に達したと仮定すると、その後の乾燥材と未乾燥材の差は一定の値を示すことが予想される。しかし、この差に変化が生じたことから、クリープ変形に対して載荷直後の水分状態と載荷期間の水分状態の履歴が影響を及ぼしているものと考えられる。この現象については温度変化との関係から3.5.5の項で後述する。

次に、中央たわみ比における乾燥材と未乾燥材の関係について、図3-34に示す。図中の直線は両者の1次回帰直線である。両者の相関は高く（決定係数=0.9581）、回帰直線の傾きから未乾燥材は乾燥材の約2倍の変形を生じていることになる。図に示すとおり、載荷直後は両者とも1であり、未乾燥材は乾燥材の約3倍の変化率で回帰直線に漸近してゆき、載荷約1ヵ月以降はほぼこの回帰直線上で推移している。その後夏期においてこの回帰直線より上にシフトして秋に再び回帰直線上に復帰する傾向がみられる。

季節別の中央たわみ比の経時的变化について、載荷後約6ヵ月までの推移を図3-35-1に示す。以降の季節の区分は次に示すとおりである。

春：3-5月

夏：6-8月

秋：9-11月

冬：12-2月

図に示すとおり、載荷直後の中央たわみ比の変化は乾燥材、未乾燥材とも大きく、中央たわみ比の変化量で見ると未乾燥材は乾燥材の約3倍となったのに対して、冬の期間は両者とも変化が小さい。

その後の中央たわみ比の変化を乾燥材は図3-35-2に未乾燥材は図3-35-3に示す。乾燥材、未乾燥材とも夏の期間では中央たわみ比が減少した後増加する傾向がみられた。これに対して、秋と冬の期間はほとんど変化を示さない。春は両者とも漸増する傾向がみられたが未乾燥材の方がより大きな変化を示した。

夏の期間の変化パターンをみると梅雨期に減少してその後急激に増加しており、この期間が試験体の水分状態の変化の点からも年間を通じて最も激しいことによると考えられる。

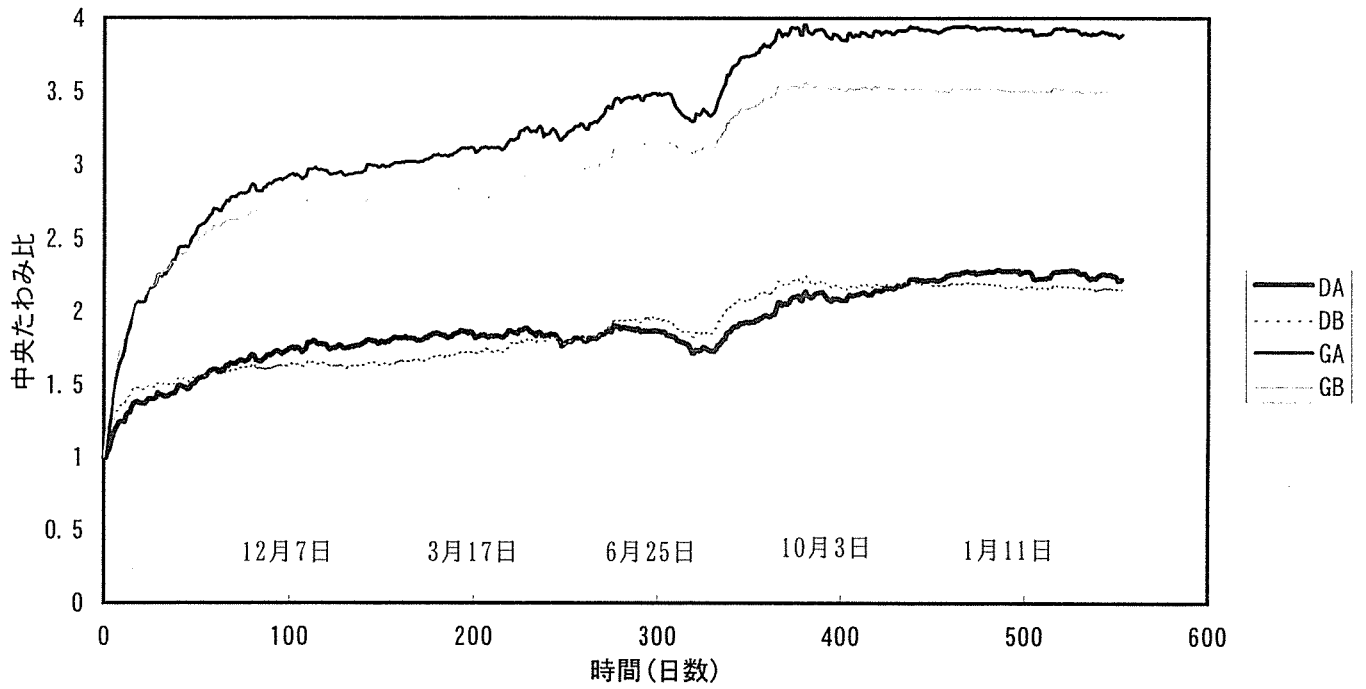


図3-32 中央たわみ比

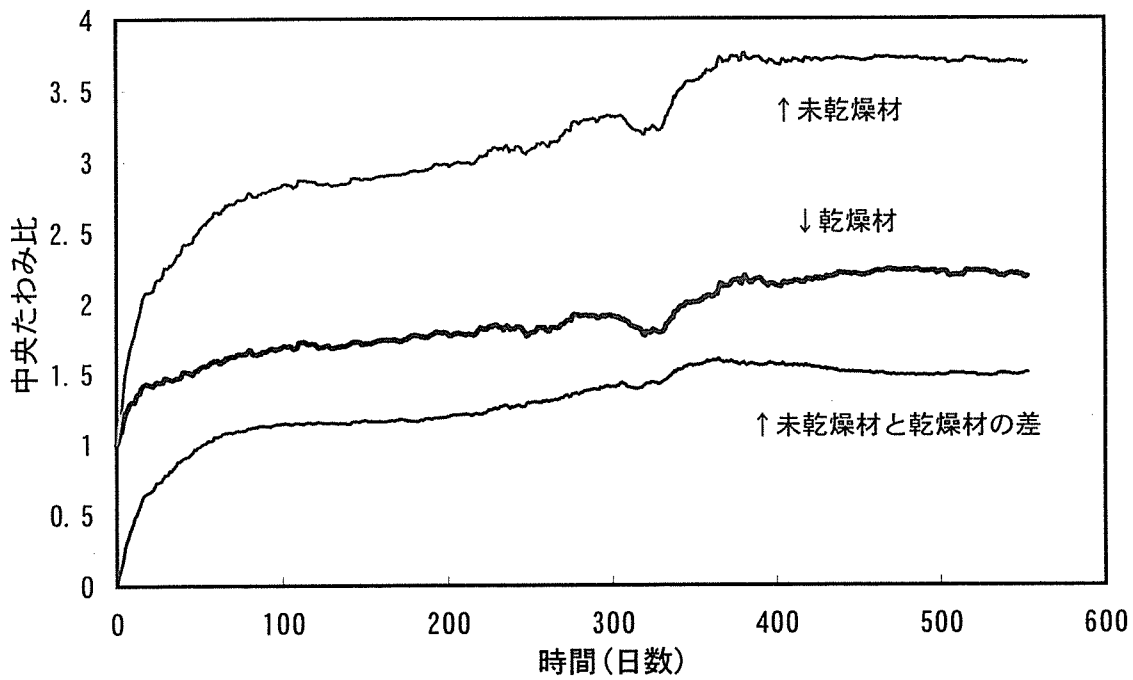


図3-33 中央たわみ比(平均値)

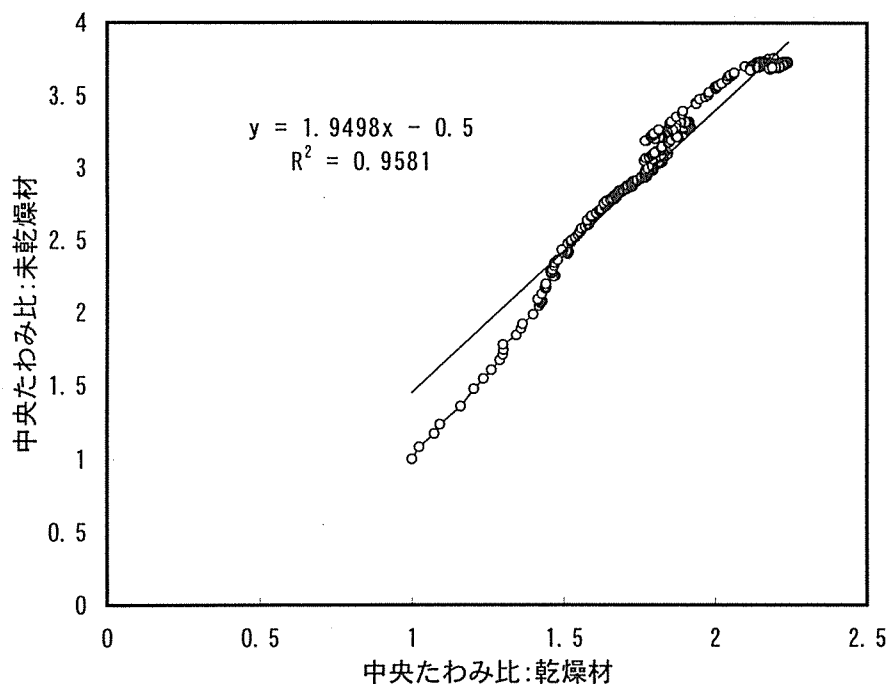


図3-34 乾燥材と未乾燥材の関係(中央たわみ比)

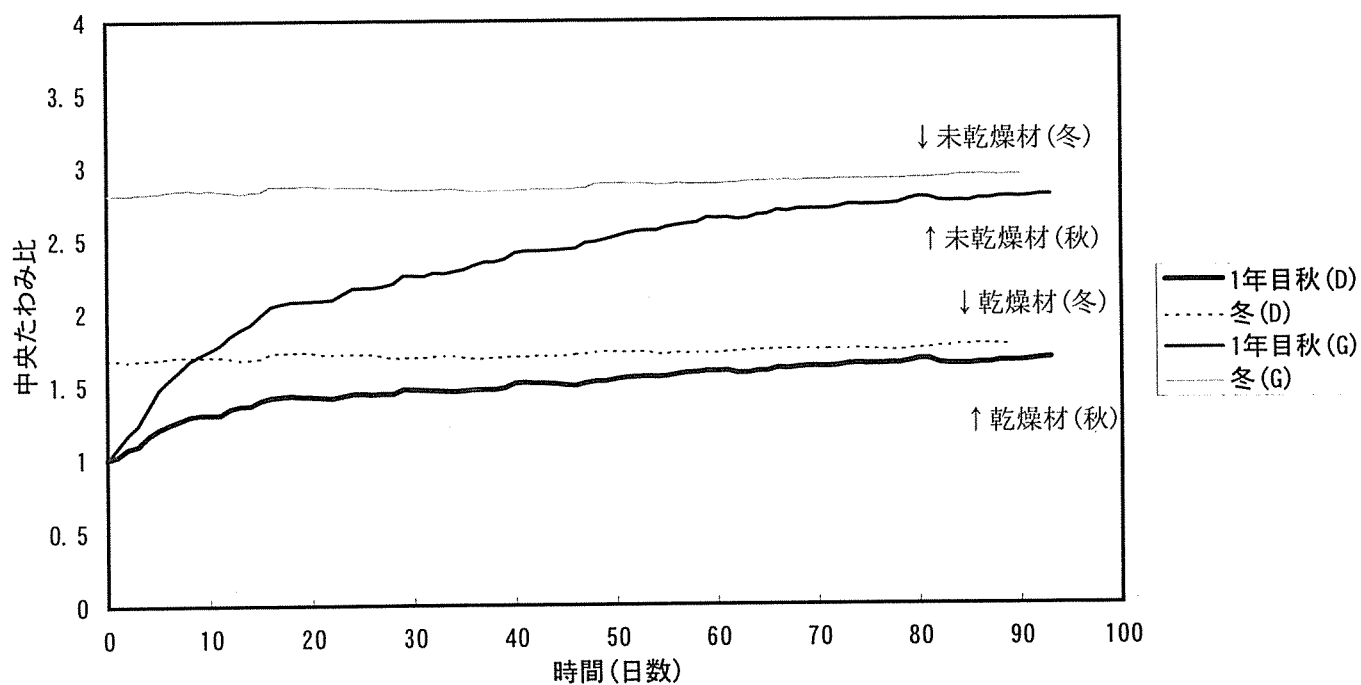


図3-35-1 中央たわみ比の季節変動(載荷後6カ月まで)

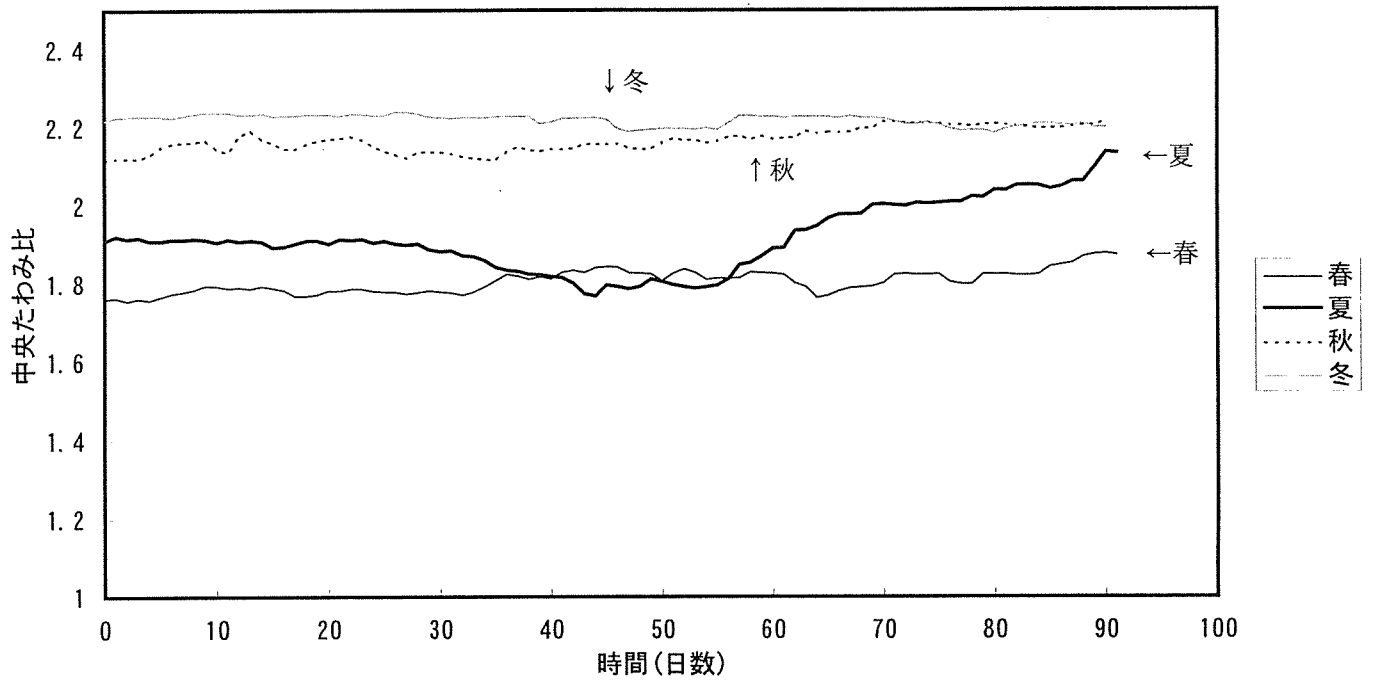


図3-35-2 中央たわみ比の季節変動(乾燥材)

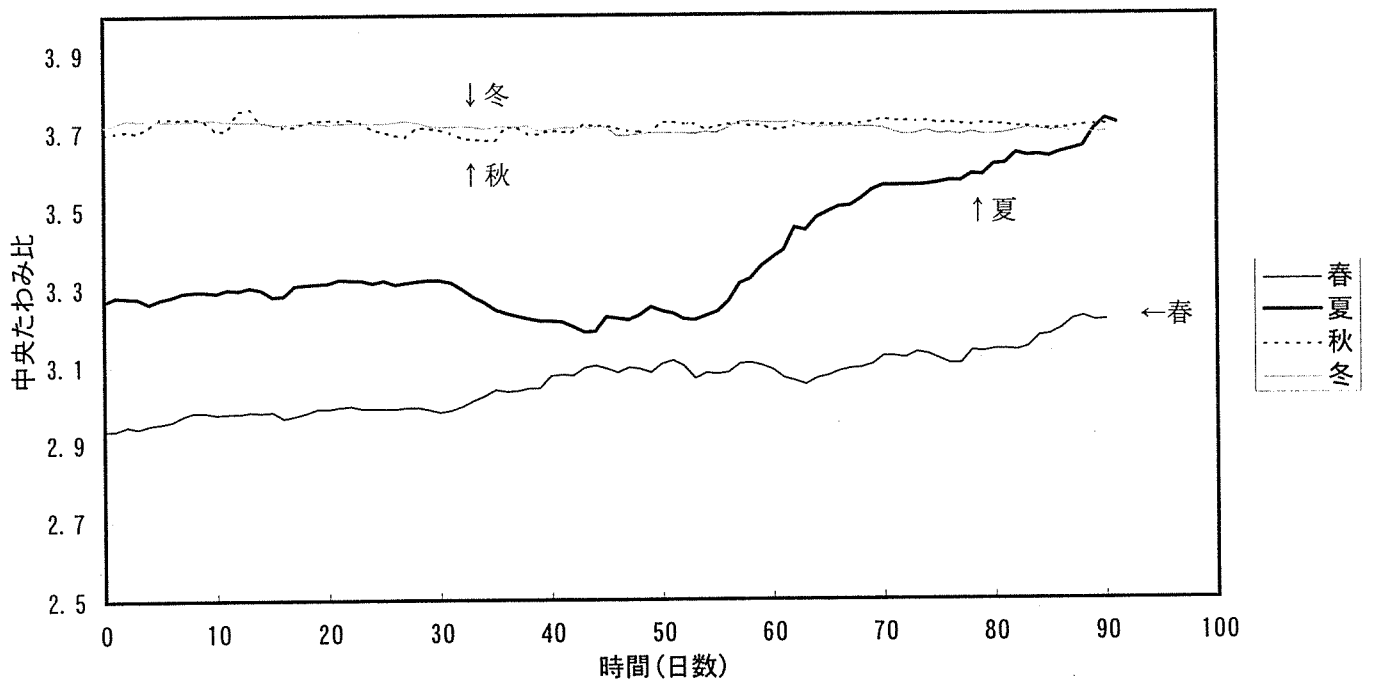


図3-35-3 中央たわみ比の季節変動(未乾燥材)

3. 5. 2 Δ中央たわみ比に対する温湿度変化の影響

載荷後半年までのクリープ変形に対する温湿度変化の影響については、第1章に述べたとおり、シンプソンの平衡含水率予測式によって室温と相対湿度から求めた平衡含水率とΔ中央たわみ比（1日当たりの中央たわみ比の変化量）の関係は、載荷後100日以降乾燥材と未乾燥材はほぼ同様に、平衡含水率が高くなるとΔ中央たわみ比は減少する傾向がみられた。ここでは第1章と同様に、クリープ変形の季節変動に対する温湿度変化の影響についてΔ中央たわみ比と平衡含水率の関係について検討を行う。

載荷後約1年半までの温度変化及び相対湿度変化をそれぞれ図3-36、図3-37に示す。図に示すとおり、温度変化については年周期的な変化がみられるが、相対湿度変化は梅雨期を除いて変動が非常に大きい。経験的に実験室を開放すると急激に相対湿度が低下することからも温度変化と比較して季節変動が顕著ではないといえる。

次に、季節区分ごとの平衡含水率とΔ中央たわみ比の関係を図3-38-1~6に示す。両者の関係は載荷後94日以降、どの季節も乾燥材と未乾燥材はほぼ同様の傾向を示した。この中では、夏期はばらつきが大きく、未乾燥材の方が乾燥材より高めの値を示した。

季節区分ごとの乾燥材と未乾燥材の平衡含水率とΔ中央たわみ比の関係についての一次回帰分析結果を表3-2に示す。表中の平衡含水率計算値は、回帰直線の傾きとy切片から求めたΔたわみ比が0となる平衡含水率の計算値である。

表3-2 平衡含水率とΔ中央たわみ比の関係（一次回帰分析結果）

季節	載荷後日数	傾き	y切片	決定係数	平衡含水率 計算値(%)
晩夏-秋	1 - 93	-0.0057	0.0882	0.3893	15.5
		-0.0087	0.1435	0.2600	16.5
冬	94 - 183	-0.0035	0.0535	0.4544	15.3
		-0.0032	0.0494	0.3740	15.4
春	184 - 275	-0.0028	0.0422	0.3446	15.1
		-0.0037	0.0575	0.4622	15.5
夏	276 - 367	-0.0028	0.0483	0.3551	17.3
		-0.0039	0.0693	0.4476	17.8
秋	386 - 458	-0.0037	0.0551	0.4336	14.9
		-0.0041	0.0593	0.4127	14.5
冬	459 - 549	-0.0027	0.0371	0.2544	13.7
		-0.0022	0.0299	0.2185	13.6

(注) 上段：乾燥材、下段：未乾燥材

表3-2によると、載荷後半年以降の回帰直線の傾きをみると、乾燥材、未乾燥材とも秋が最も高くなっており、平衡含水率計算値では両者とも夏が最も高くなっている。これは、夏の梅雨期に吸湿した梁材がその後乾燥することの影響が考えられる。

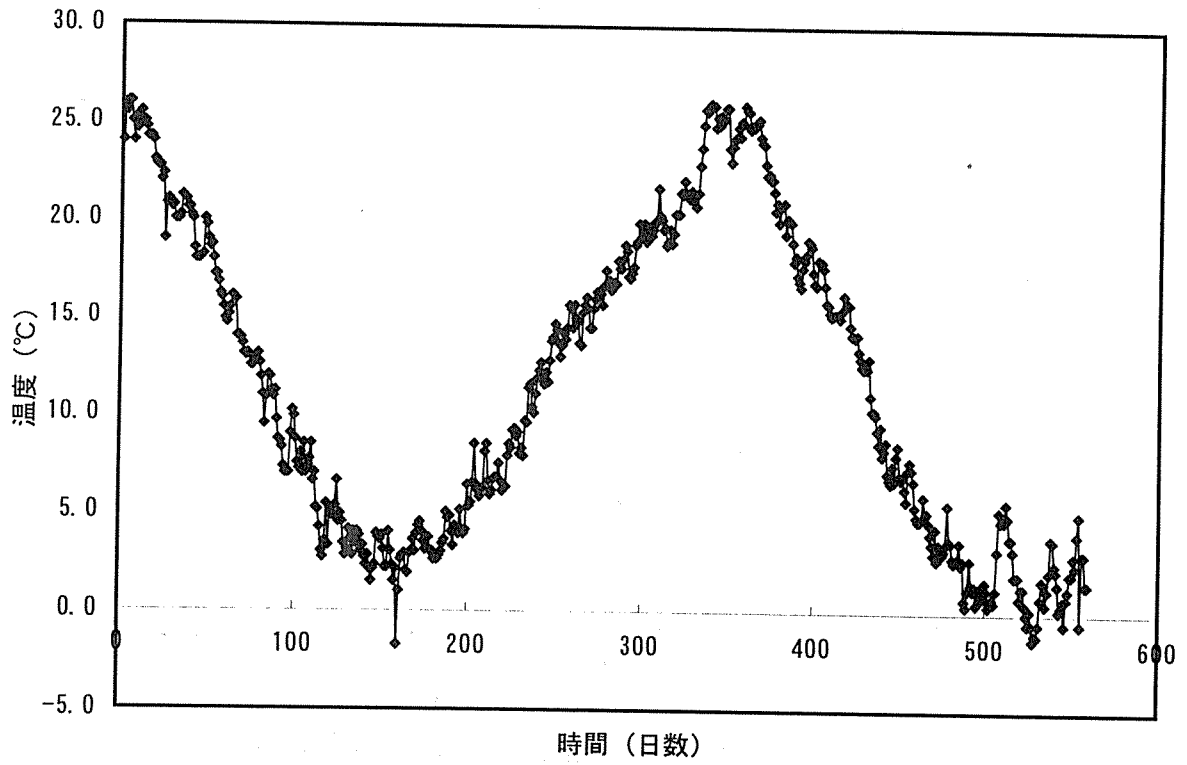


图3-36 温度变化

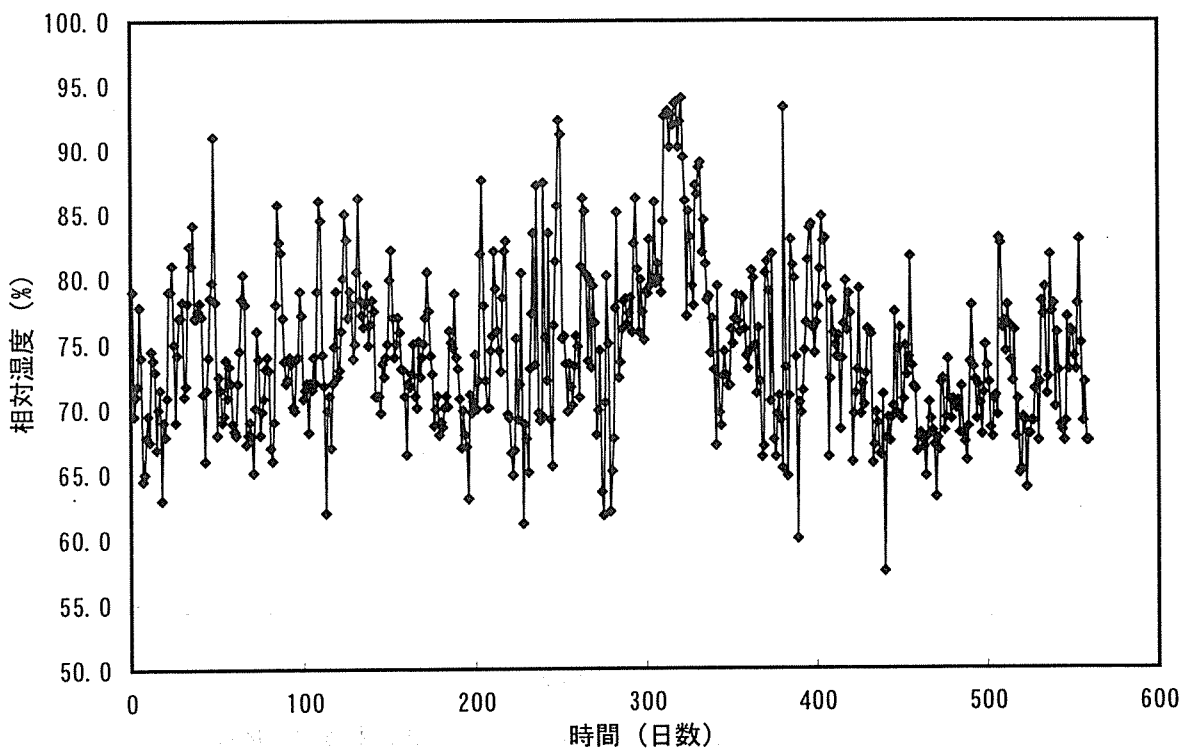


图3-37 相对湿度变化

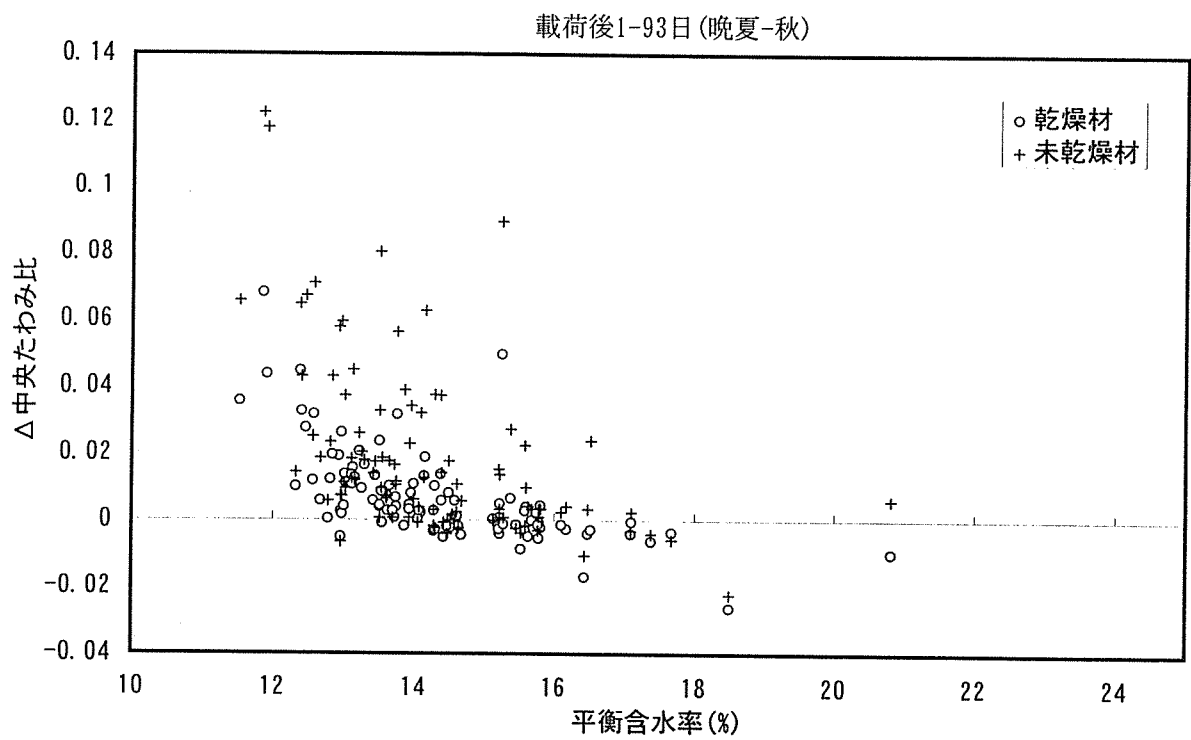


図3-38-1 温湿度変化と中央たわみ比の関係

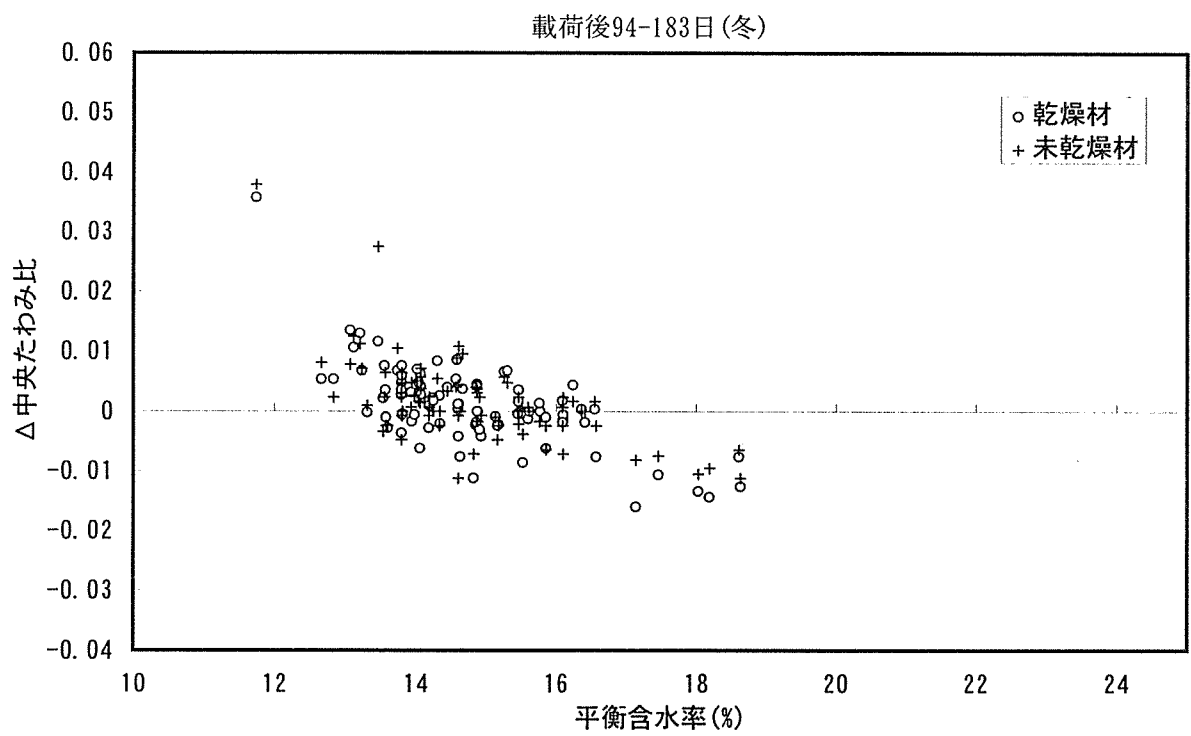


図3-38-2 温湿度変化と中央たわみ比の関係

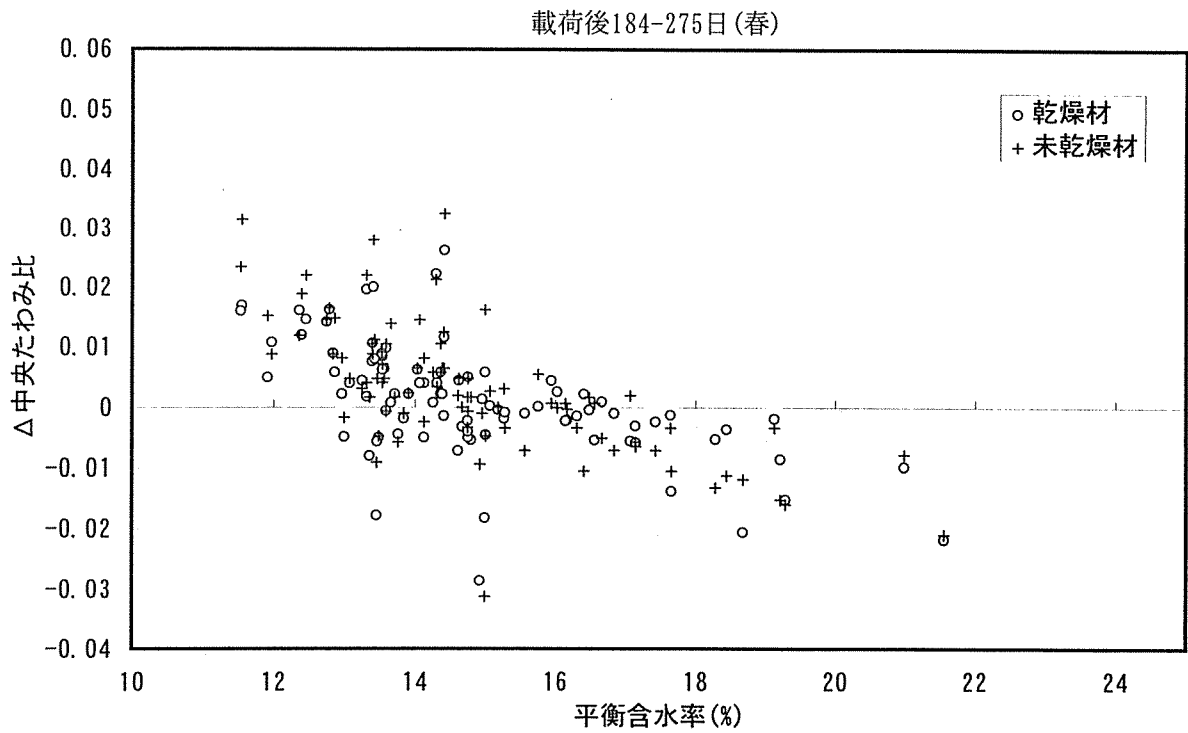


図3-38-3 温湿度変化と中央たわみ比の関係

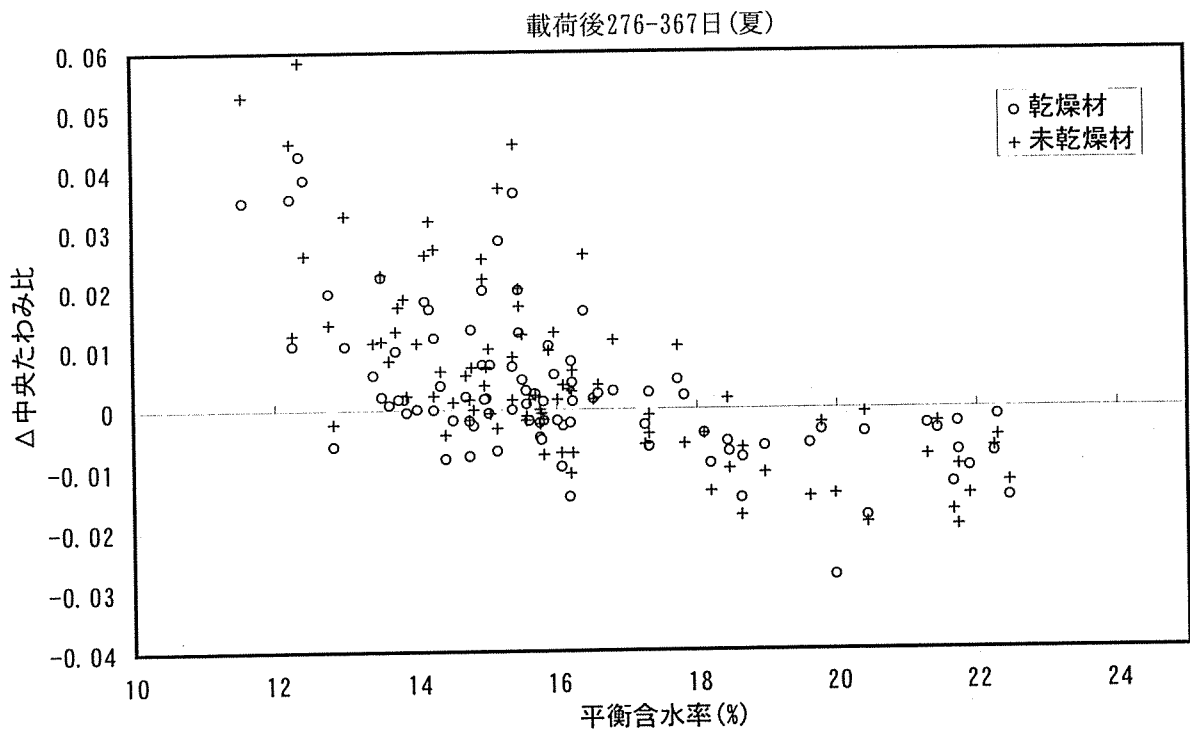


図3-38-4 温湿度変化と中央たわみ比の関係

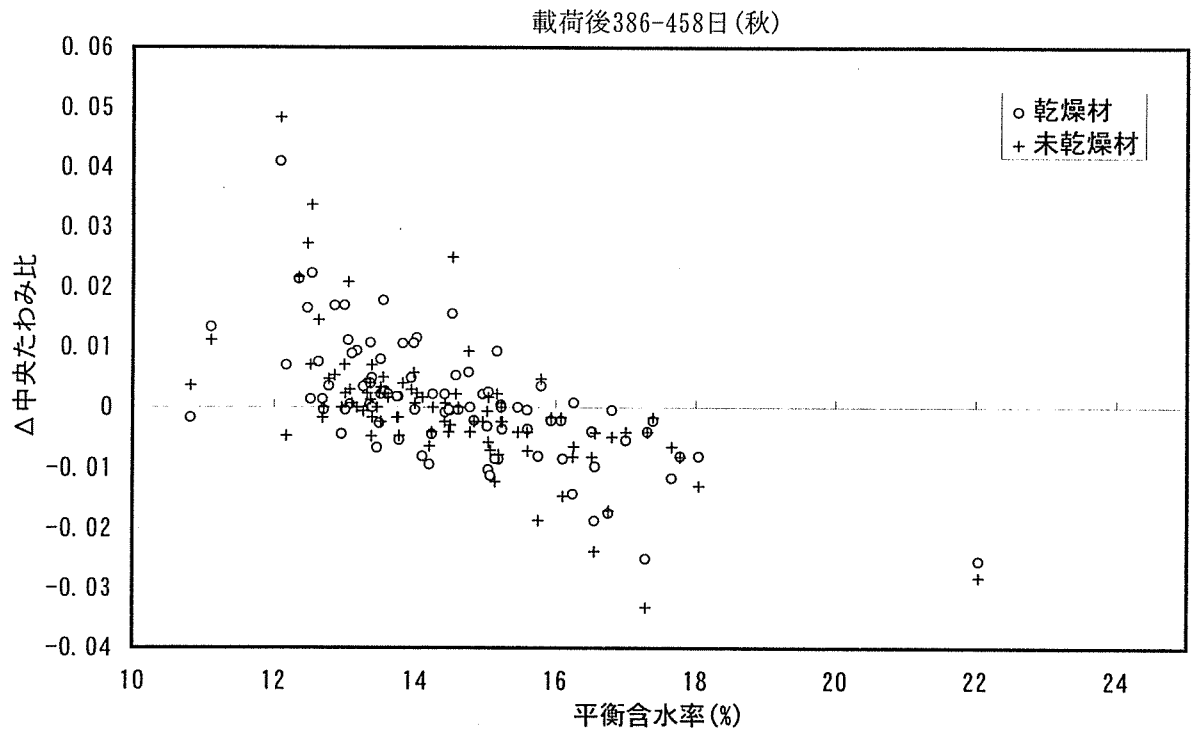


図3-38-5 温湿度変化と中央たわみ比の関係

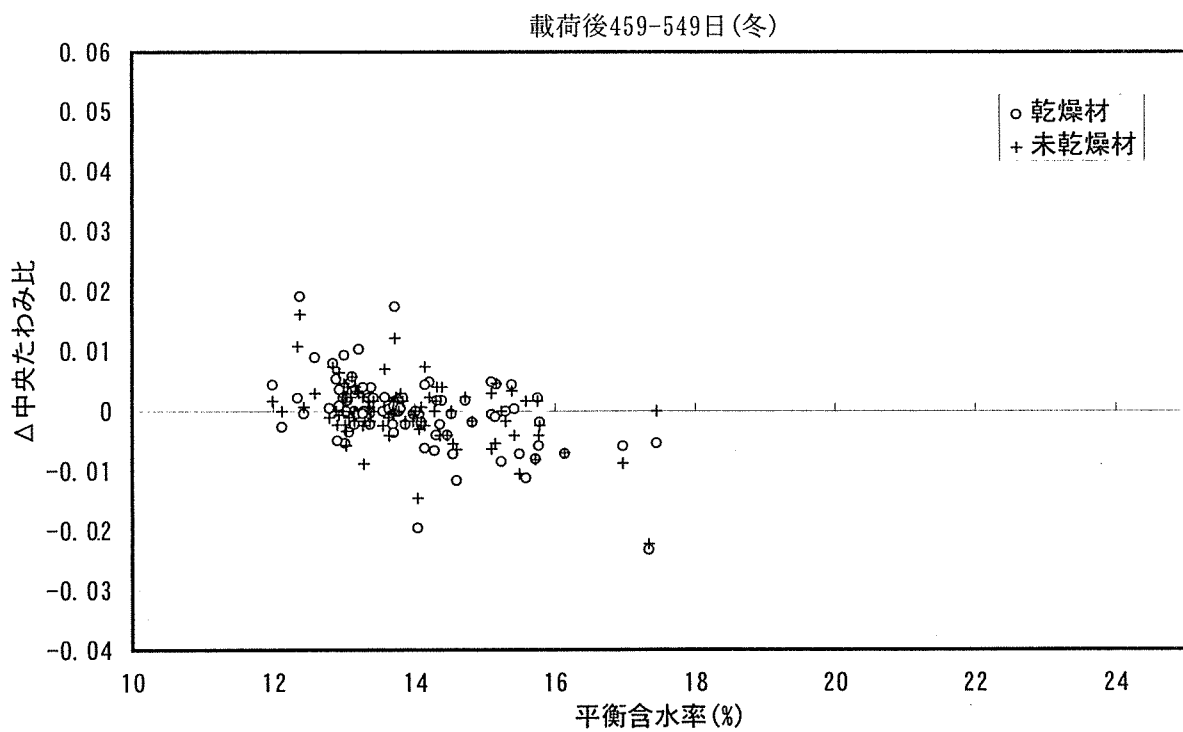


図3-38-6 温湿度変化と中央たわみ比の関係

3. 5. 3 梁背寸法変化の影響

以上に述べたように、中央たわみ比の季節変動は夏期において変化が著しく、また、温湿度から計算した平衡含水率に対して一定の傾向が認められた。木材は温湿度変化に伴って膨潤収縮を生じることから、中央たわみ比はこの寸法変化の影響を受けるため、ここでは、クリープ変形挙動に及ぼす影響を梁背の寸法変化を中心に検討する。

(1) 中央たわみの経時的変化

中央たわみ（梁中央部上面の垂直変位）の経時的変化を乾燥材、未乾燥材それぞれ2本の梁の平均について図3-39-1に示す。中央たわみ比の結果と同様に、未乾燥材と比較して乾燥材のクリープ変形は小さく、また、両者とも夏期において減少した後急増する傾向が認められる。

中央たわみ（支点の移動を除く）の経時的変化を乾燥材、未乾燥材それぞれ2本の梁の平均について図3-39-2に示す。ここでいう「支点」とは梁材の柱に対する接合部を指し、梁材の曲げによるたわみを求めるため、具体的には、管柱との接合部の梁材の上面の垂直変位と梁の通し柱に最も近い部分の上面の垂直変位を平均したものを支点の移動とし、これを中央たわみから引いて求めた。図に示すとおり、中央たわみ比の経時的変化と異なり、夏期における減少及びその後の急増する傾向はみられなかった。

(2) 梁背の収縮

梁中央の上面と下面の垂直変位の差から求めた梁背の変化量の経時的変化を図3-40に示す。未乾燥材の方が乾燥材と比較して大きく収縮しており、夏期において膨潤した後、収縮が進む傾向がみられる。

(3) 柱（管柱、通し柱）に対する沈み

管柱の垂直変位と梁の上面の垂直変位の差から求めた梁の管柱に対する沈みの経時的変化を図3-41に、同様に通し柱に対する沈みを図3-42に示す。両者とも梁背の収縮と同様の傾向を示したが、载荷直後の沈み量は通し柱の方が管柱より大きい。

(4) 羽子板ボルトのひずみ

梁と通し柱の接合に用いた（梁の下面側）羽子板ボルトのひずみの経時的変化を図3-43に示す。いずれも载荷後100日以降はほぼ一定の値を示しているが、GB以外は夏期において変化がみられる。また、先に载荷したもの（DAとGA）と後に载荷したもの（DBとGB）では異なる傾向を示し、いずれも絶対値は未乾燥材の方が乾燥材より小さい。乾燥材の方が未乾燥材と比較して羽子板ボルトが機能していると考えられる。

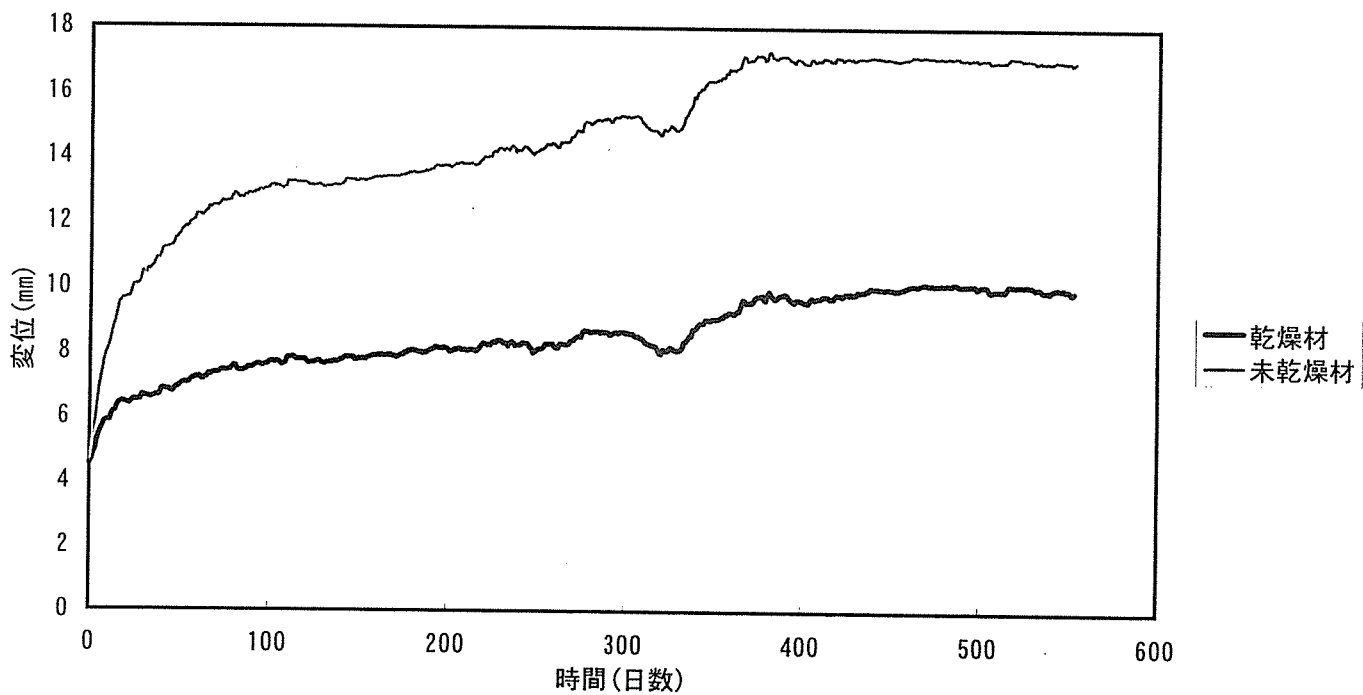


図3-39-1 中央たわみ

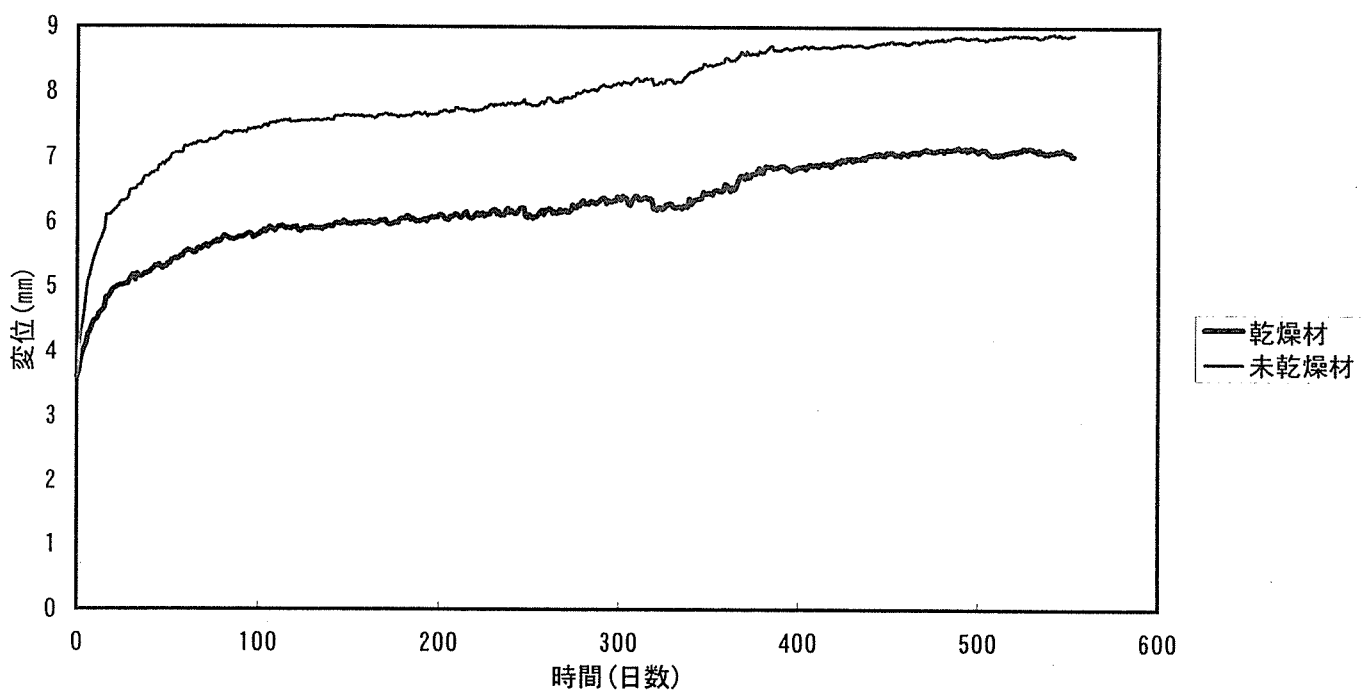


図3-39-2 中央たわみ(支点の移動を除く)

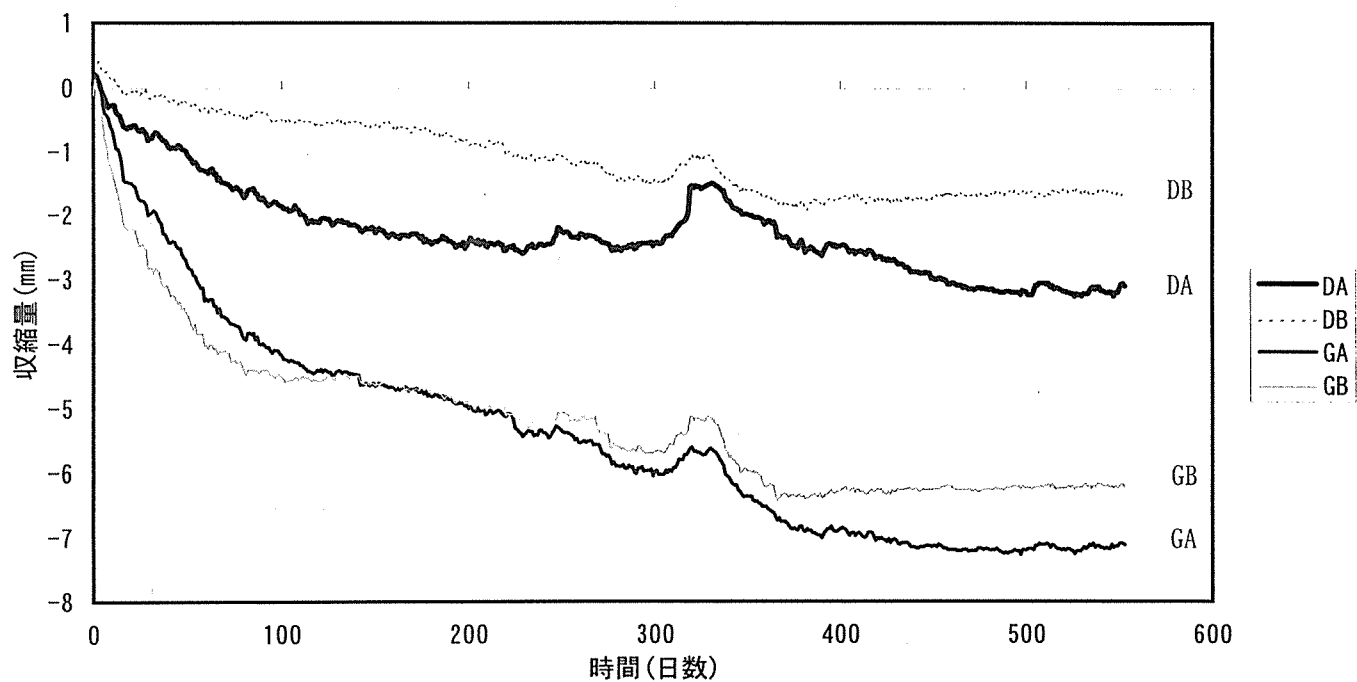


図3-40 梁背の収縮

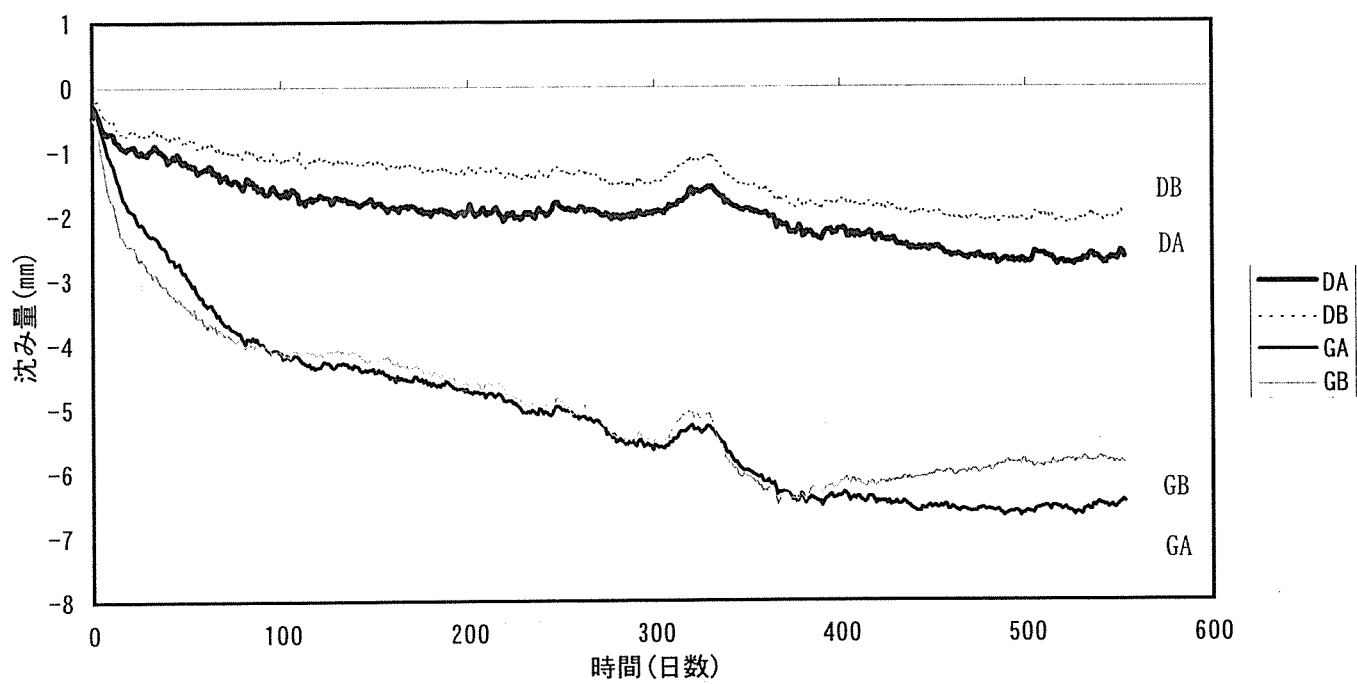


図3-41 梁の管柱に対する沈み

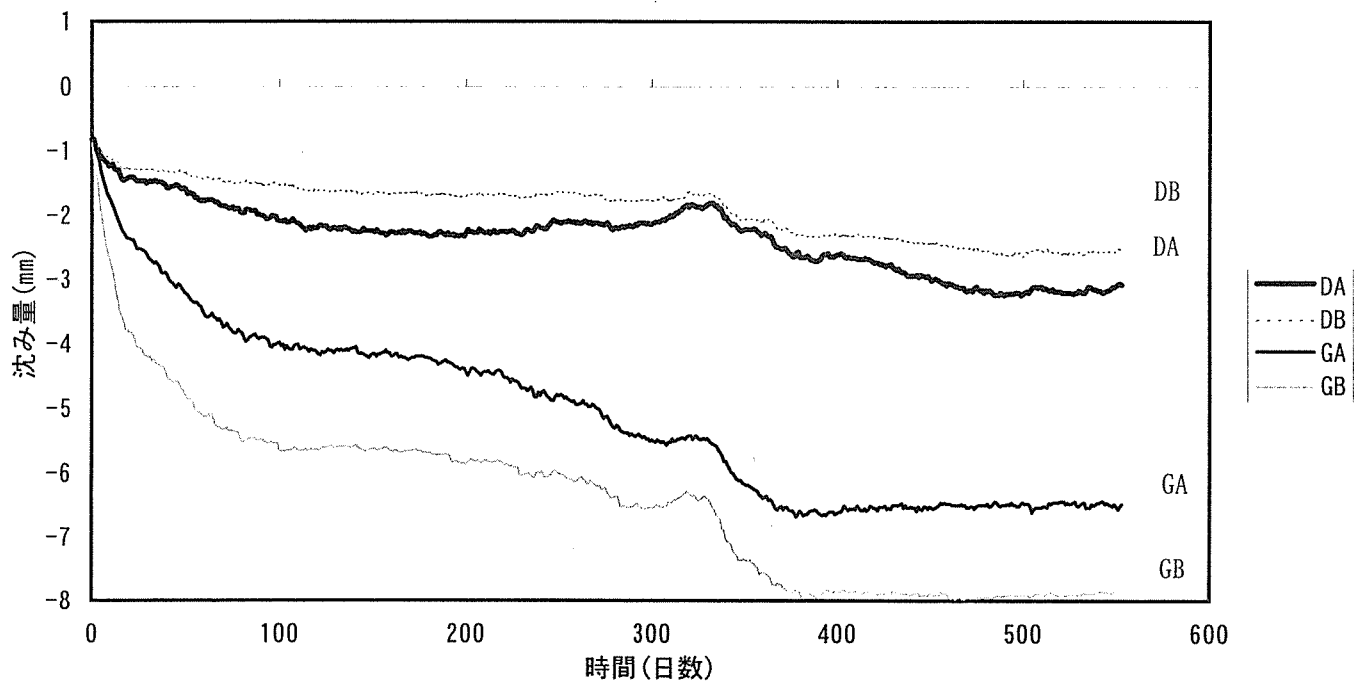


図3-42 梁の通し柱に対する沈み

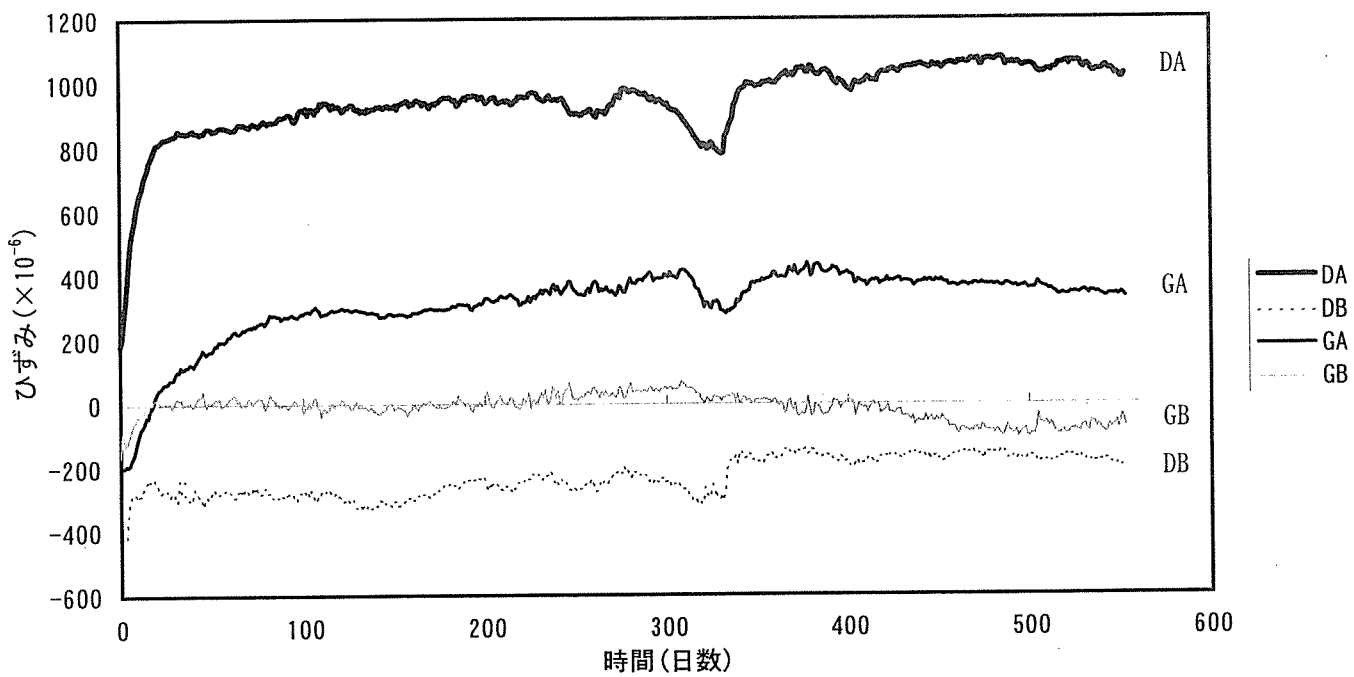


図3-43 羽子板ボルトひずみ

(5) 梁と通し柱の接合部の変形

羽子板ボルトのひずみは梁と通し柱の接合部の変形に影響を及ぼすと考えられることから、梁の通し柱に対する水平変位及び回転について経時的变化を求めた。この水平変位は梁上面と下面に固定している変位計により計測した水平方向の変位の平均から求め、回転については、その差から求めた。

梁の通し柱に対する水平変位の経時的变化を図3-44-1に示す。水平変位の大きさは、先に荷重したもの(DAとGA)と後に荷重したもの(DBとGB)では異なり、先に荷重したものの方が大きい値を示した。荷重後100日以降の推移をみると、乾燥材(DAとDB)は同様な経時的变化を示し、未乾燥材(GAとGB)のパターンとは明らかに異なる傾向を示した。乾燥材と未乾燥材の比較をするため、荷重の順別に乾燥材と未乾燥材の差を求めた。この結果を図3-44-2に示す。先に荷重したもの(DA-GA)は、荷重後2週間まで水平変位の差がほぼ一定のままひずみの差が大きくなっており、以後は逆にひずみの差の変化より大きく水平変位の差が増加している。後に荷重したものの(GB-DB)は、ひずみの差の変化は小さく、水平変位の差が減少した後、荷重後333日以降は、ひずみと水平変位両者ともその差が0に近づく傾向がみられた。

梁の通し柱に対する回転量の経時的变化を図3-45-1に示す。荷重直後の回転量は、乾燥材、未乾燥材とも各々でほぼ等しくなったが、先に荷重したものは減少傾向、後に荷重したものは増加傾向を示し、対照的な傾向を示した。乾燥材と未乾燥材の比較を水平変位の場合と同様に比較すると、図3-45-2に示すとおり、先に荷重したものの(DA-GA)は、荷重後2週間まで回転量の差がほぼ一定のままひずみの差が大きくなっており、後に荷重したものの(GB-DB)は、ひずみの差がほぼ一定のまま回転量の差が増加した後、ひずみの差が減少するに従って回転量の差が増加する傾向がみられた。

梁の通し柱に対する水平変位及び回転について経時的变化からは、先に荷重したものと後に荷重したものでは傾向が異なっていたが、いずれも荷重後1年半経過時点では、乾燥材の方がクリープ変形を抑制する方向に変形していると考えられる。

(6) 背割り寸法変化

背割り寸法の経時的变化を図3-46-1に示す。図に示すとおり、未乾燥材の方が大きい値を示しており、荷重後1ヵ月以降はほぼ同様に変化している。背割り寸法の季節変動をみるため、上記データの5階移動平均を求めた。図3-46-2に示すとおり、荷重直後は増加した後減少する傾向がみられる。その後、乾燥材、未乾燥材とも夏期に大きく減少した後急増する傾向がみられた。

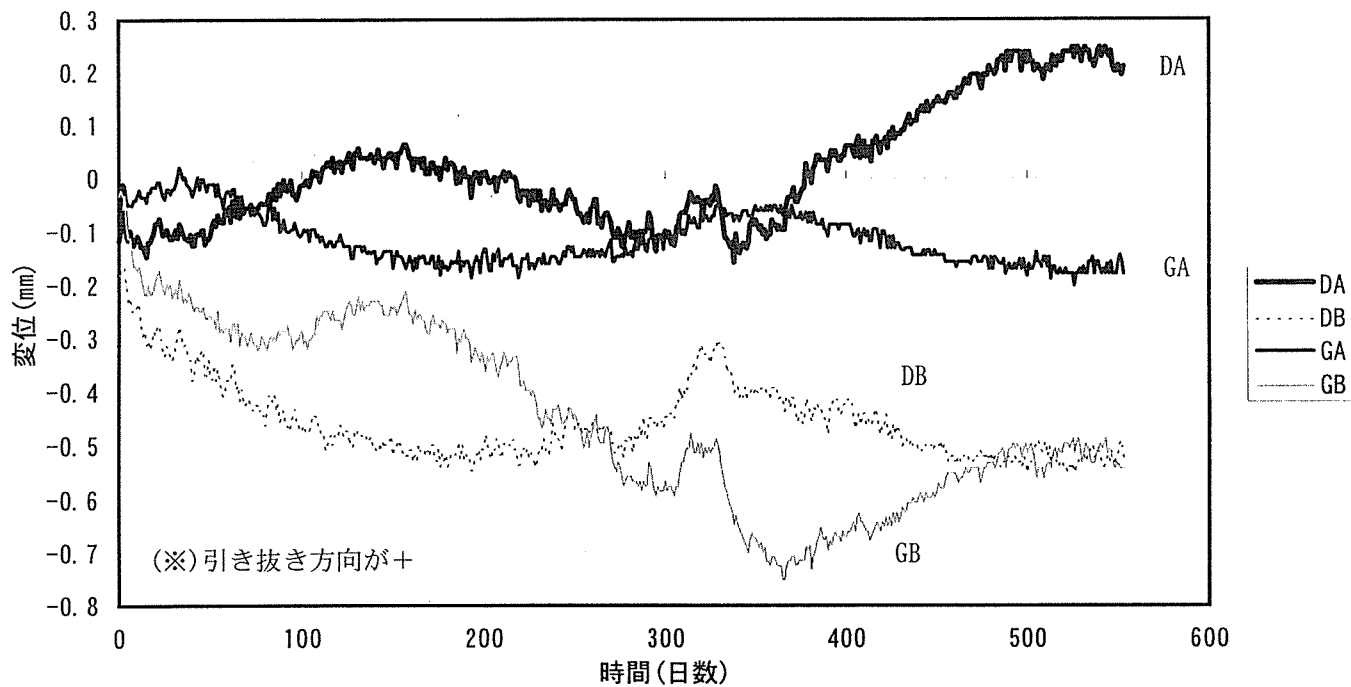


図3-44-1 梁の通し柱に対する水平変位

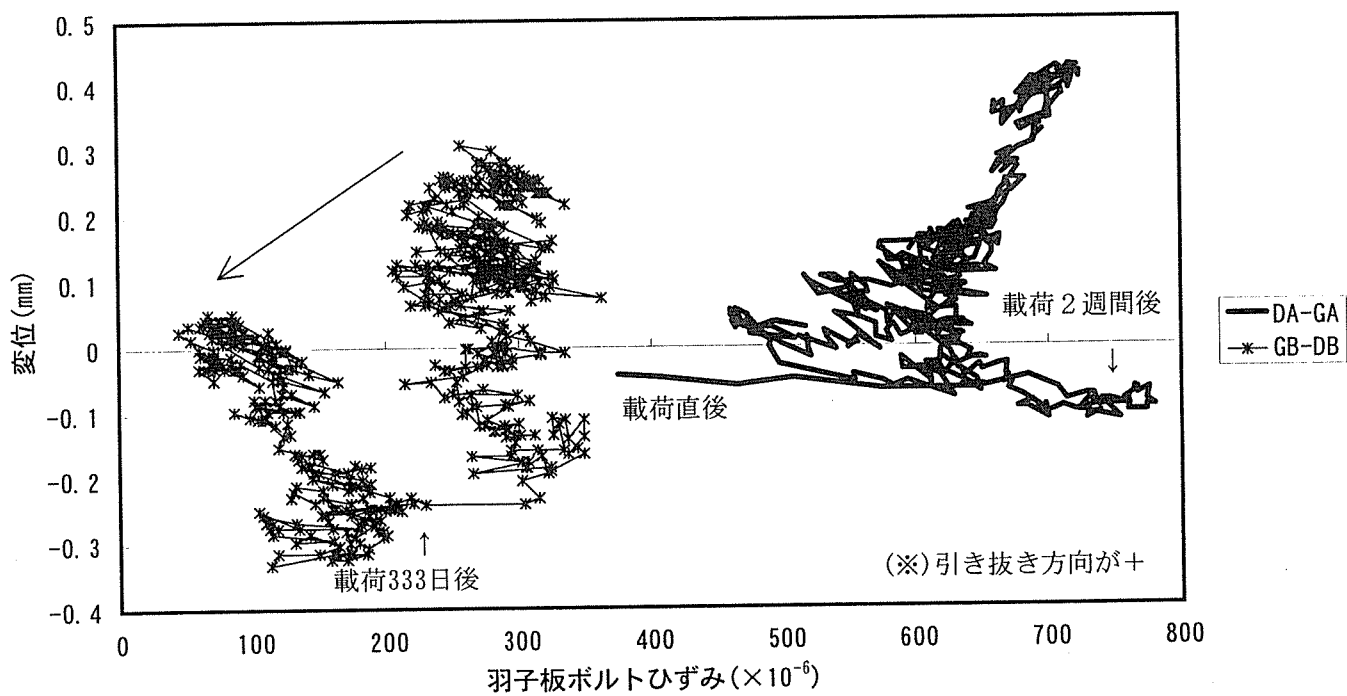


図3-44-2 水平変位と羽子板ボルトひずみの関係

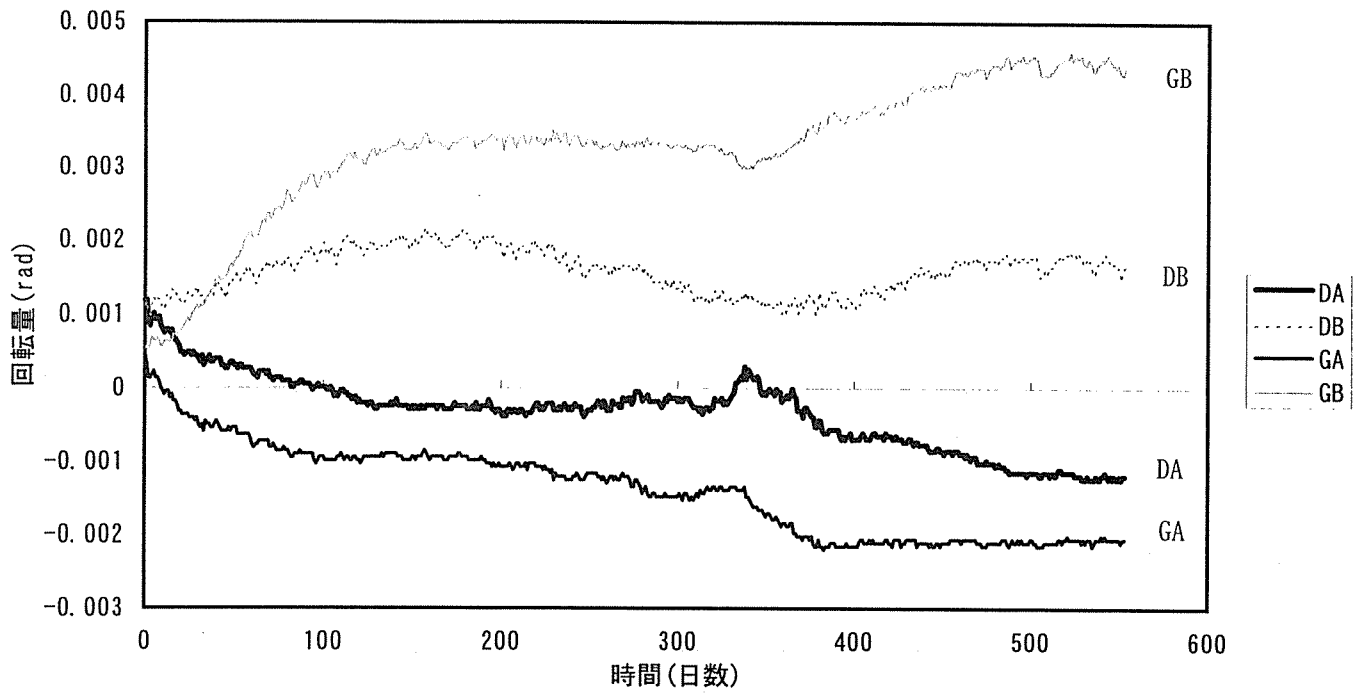


図3-45-1 梁の通し柱に対する回転

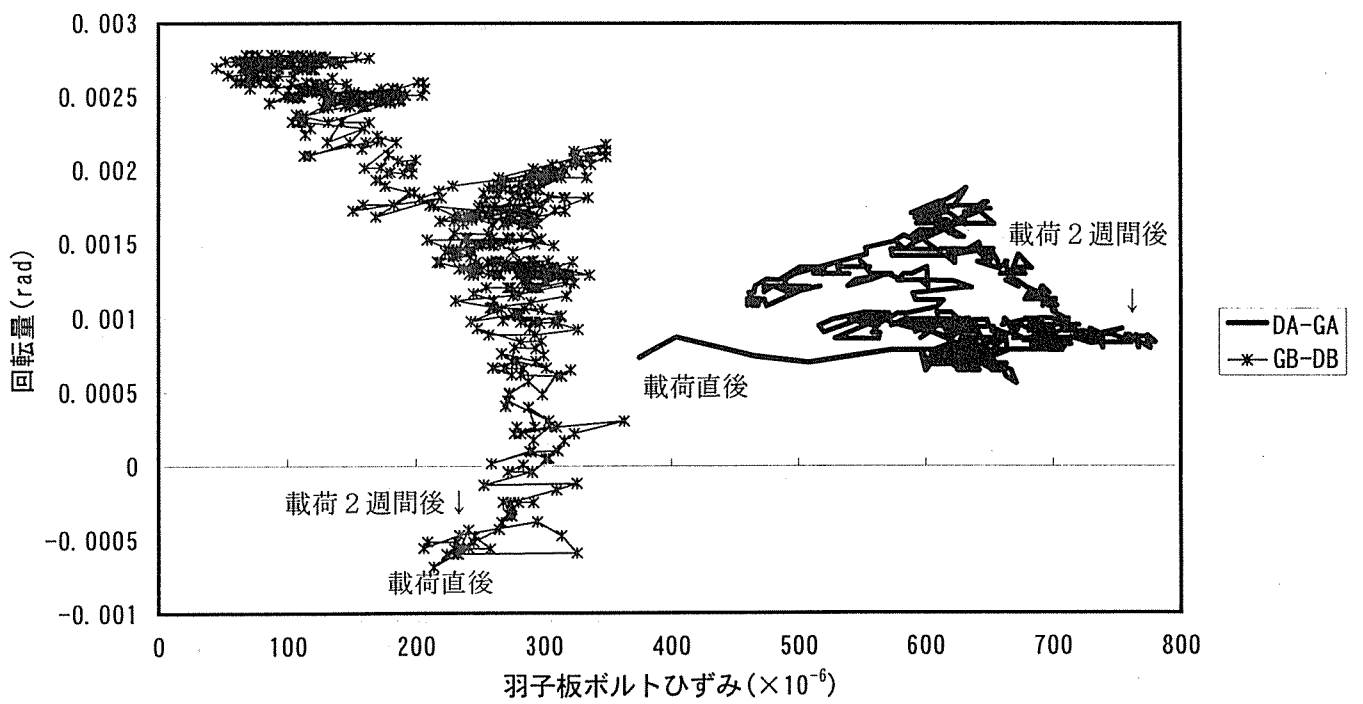


図3-45-2 回転と羽子板ボルトひずみの関係

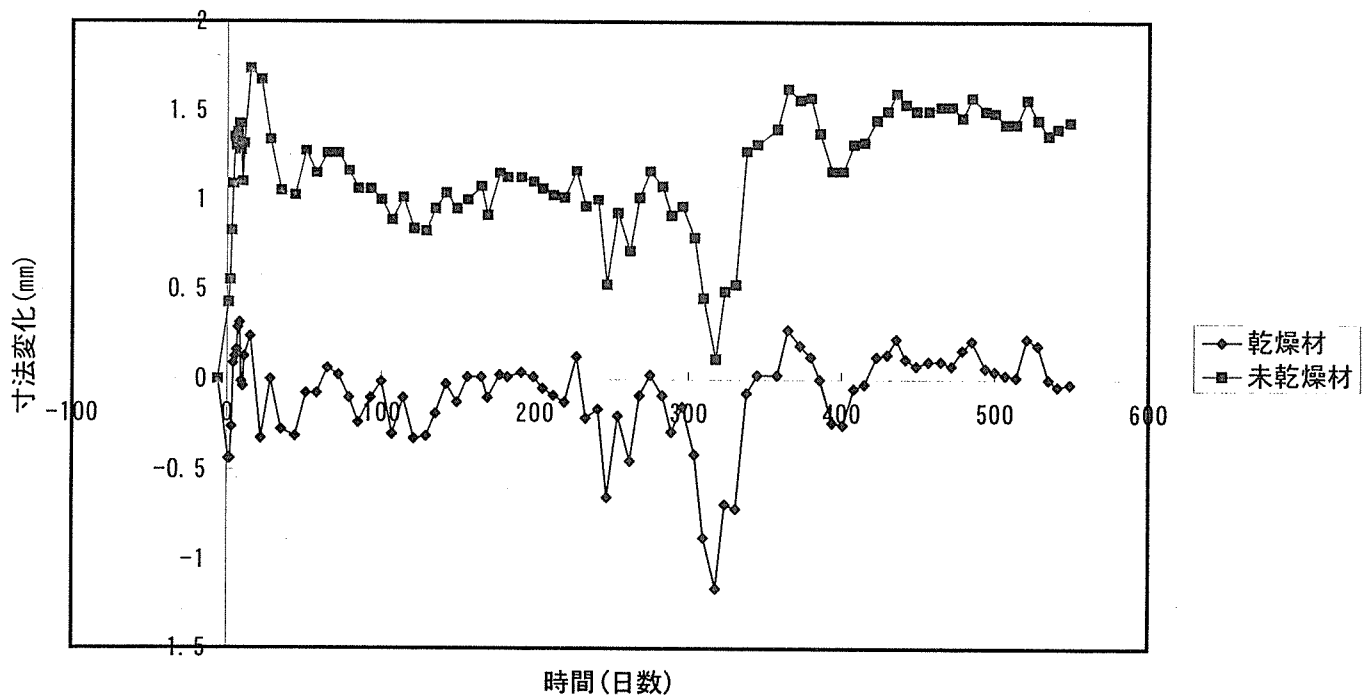


図3-46-1 背割り寸法変化

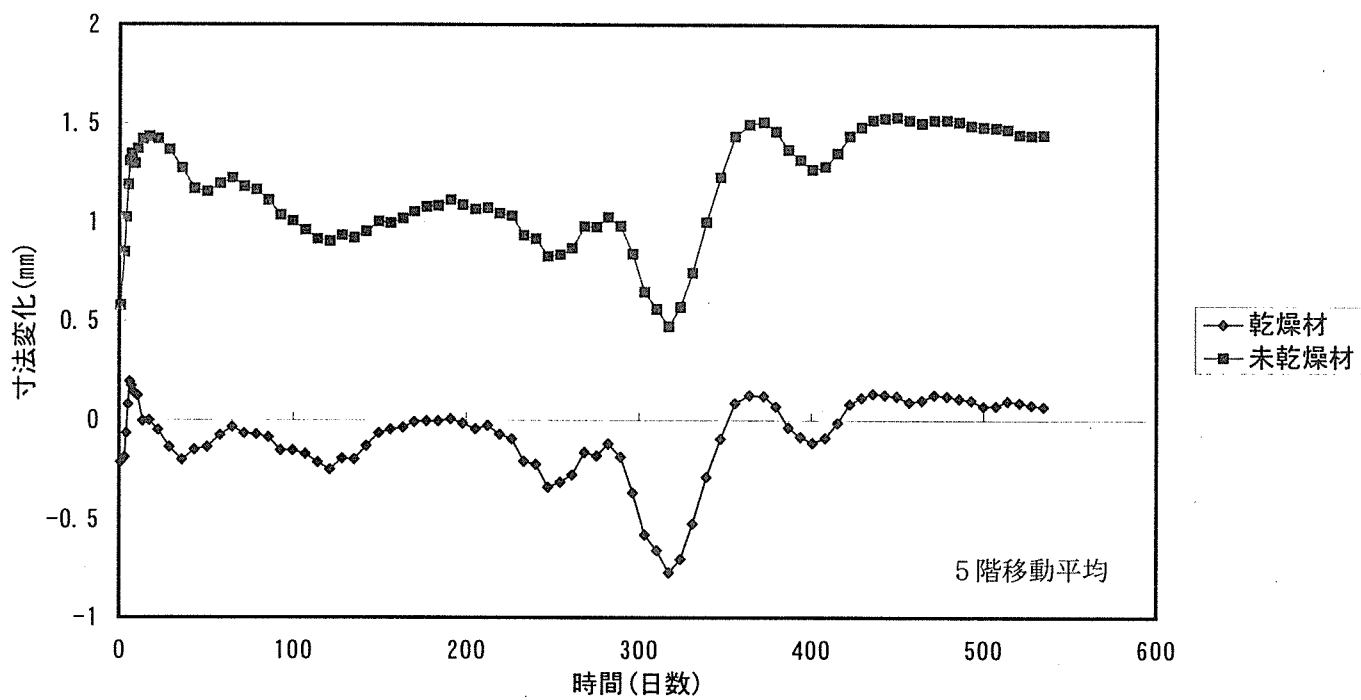


図3-46-2 背割り寸法変化

(7) 梁背寸法変化の中央たわみに及ぼす影響

中央たわみの大きさは、曲げによるたわみ、梁背寸法変化、柱梁の接合部の変形の影響を受ける。既に述べたように、柱に対する梁の沈み量の多くは梁背の収縮によることから、ここでは、曲げによるたわみと梁背寸法変化がそれぞれの程度中央たわみに寄与しているか検討を行った。

まず、乾燥材と未乾燥材について、曲げによるたわみ(図3-39-2)と梁背寸法変化(図3-40)を加算したプロットと中央たわみ(図3-39-1)の比較を行った。乾燥材は図3-47-1、未乾燥材は図3-47-2にそれぞれ示す。図から明らかのように、乾燥材については、曲げによるたわみと梁背の収縮を加算するとほぼ中央たわみの推移と一致している。これに対して、未乾燥材は中央たわみの推移はほぼ同様の傾向を示しているが、若干中央たわみの方が大きい値を示している。この図からは、夏期における中央たわみの変動はほとんど梁背寸法変化に起因しているようにみえる。

次に、中央たわみに対する曲げによるたわみ、梁背寸法変化の寄与度をみるため、横軸に中央たわみ、縦軸を変位(梁背は収縮量)にして、曲げによるたわみ及び梁背寸法変化(収縮を+、載荷直後を0とした)をプロットした。乾燥材は、図3-48-1、未乾燥材は図3-48-2に示す。

図に示すとおり、乾燥材では曲げによるたわみと梁背寸法変化両者ともほぼ直線関係にあり、曲げによるたわみのプロットの方が高い位置にある。これから、中央たわみに占める曲げによるたわみに起因する割合は、梁背寸法変化より大きいことが認められた。また、未乾燥材についても同様の傾向がみられた。一次回帰直線の傾きから求めた乾燥材、未乾燥材それぞれの中央たわみの変化量に与える曲げ及び収縮の影響の割合を表3-3に示す。表に示すとおり、未乾燥材の方が乾燥材と比較して梁背寸法変化の影響が大きい。また、乾燥材では、両者の合計が100%を超えているが、実際の中央たわみは両者の合計値より大きいことから、中央たわみを抑制する他の要因が考えられる。

表3-3 中央たわみ変化に及ぼす要因

要因	曲げによるたわみ	梁背寸法変化
乾燥材	55%	50%
未乾燥材	35%	60%

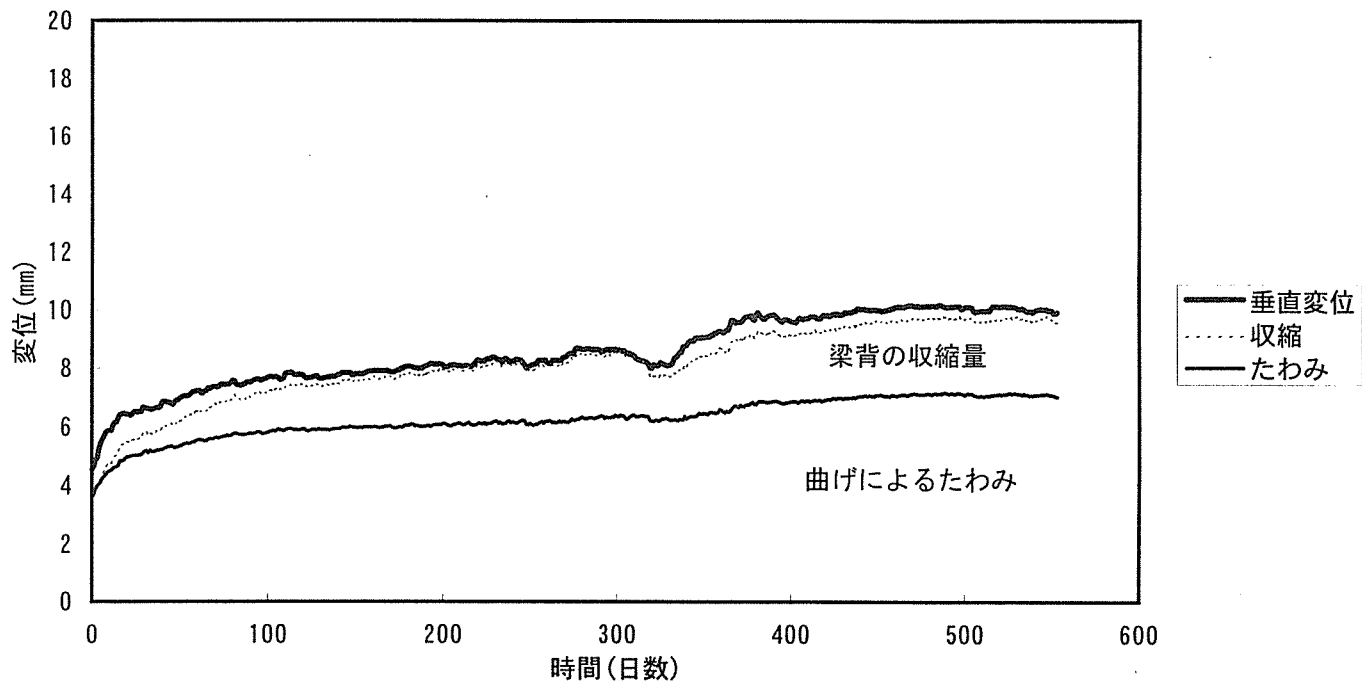


図3-47-1 梁中央の垂直変位(乾燥材平均値)

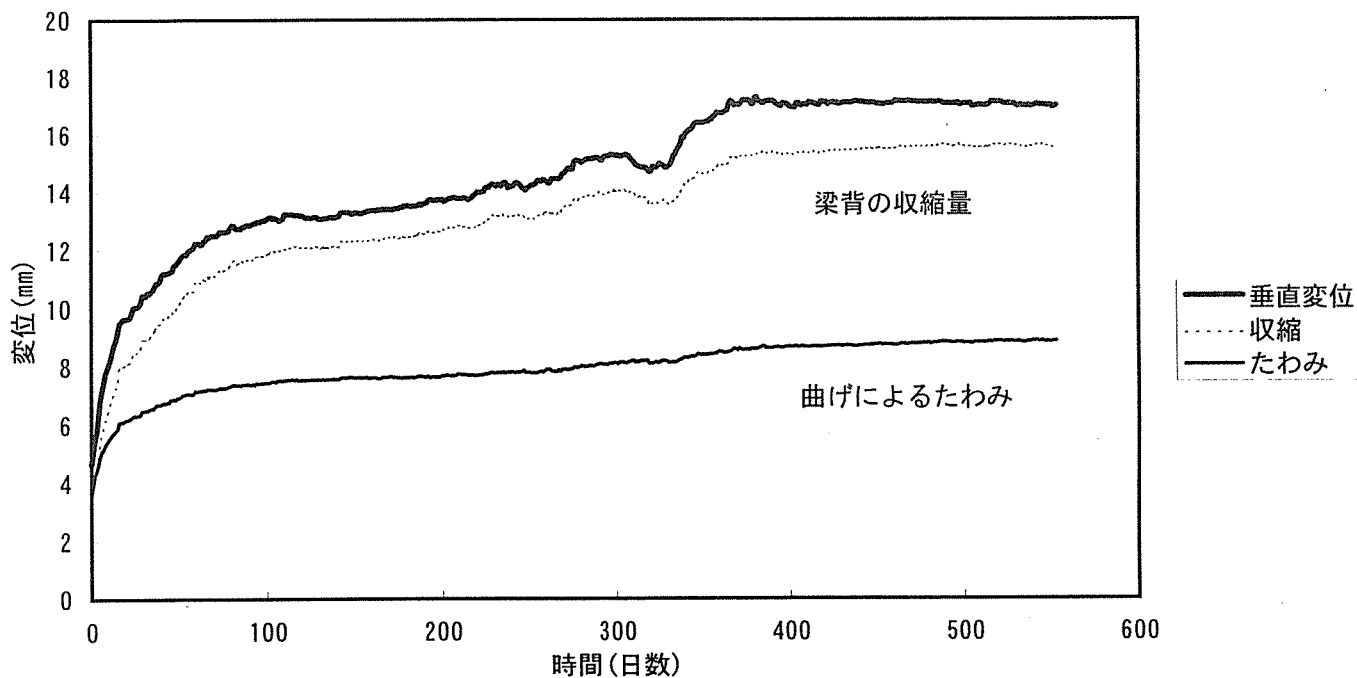


図3-47-2 梁中央の垂直変位(未乾燥材平均値)

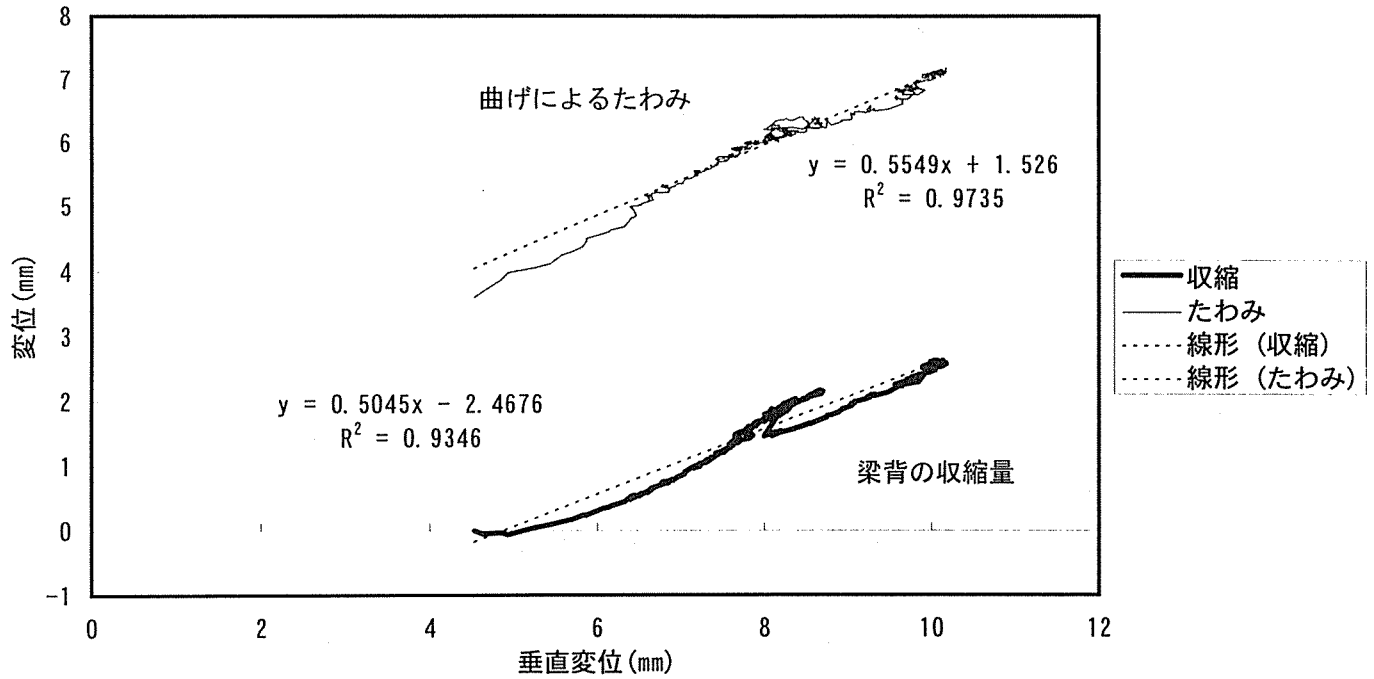


図3-48-1 中央たわみと収縮の関係(乾燥材)

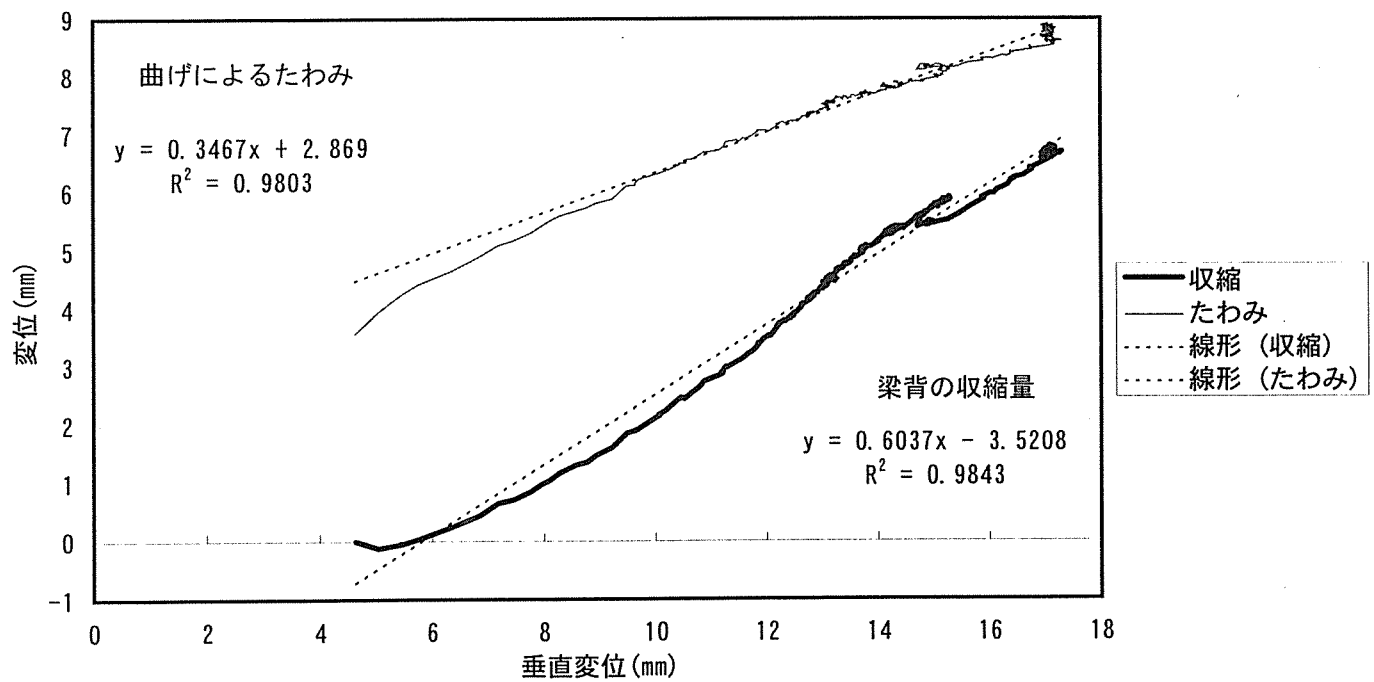


図3-48-2 中央たわみと収縮の関係(未乾燥材)

3. 5. 4 含水率変化の影響

木材のクリープ変形に対して含水率変化の影響は大きく、いわゆるメカノ・ソープティブ・クリープの現象がよく知られている。ここでは、対照試験体の含水率変化のクリープ変形に及ぼす影響を中心に検討を行った。

(1) 対照試験体の含水率、重量、寸法、縦振動 E

対照試験体の含水率、重量、寸法、縦振動 E の経時的变化をそれぞれ図 3-49、図 3-50、図 3-51、図 3-52 に示す。これらの測定はほぼ 1 週間間隔で行った。また、含水率は前述のとおり高周波型含水率計による測定値の平均値であり、寸法変化は梁背を表している。

含水率変化は温湿度変化の影響が大きいため変動が大きく、梅雨期に高めの値になる傾向がみられた。重量変化については、载荷直後の減少率が著しく、その減少速度を緩めながら载荷後 100 日ごろまで減少し、以降は梅雨期を除いて大きな変動はない。寸法変化は重量変化と同様の傾向を示した。縦振動 E はこれらと異なり、载荷後 200 日頃まで増加し、以後反転して载荷後 1 年まで減少し、再び増加する傾向がみられた。

本試験のように断面の比較的大きい木材のクリープ変形では、断面内の水分分布が一様でないと考えられることから、表層近傍の含水率変化と試験体全体の平均的な含水率とは異なる傾向を示すといえる。

従って、クリープ変形に及ぼす含水率変化の影響を考える場合、試験体全体の含水率変化または表層に近い部分の含水率変化のいずれが要因としてより強く作用するかを明らかにする必要があると考えられる。

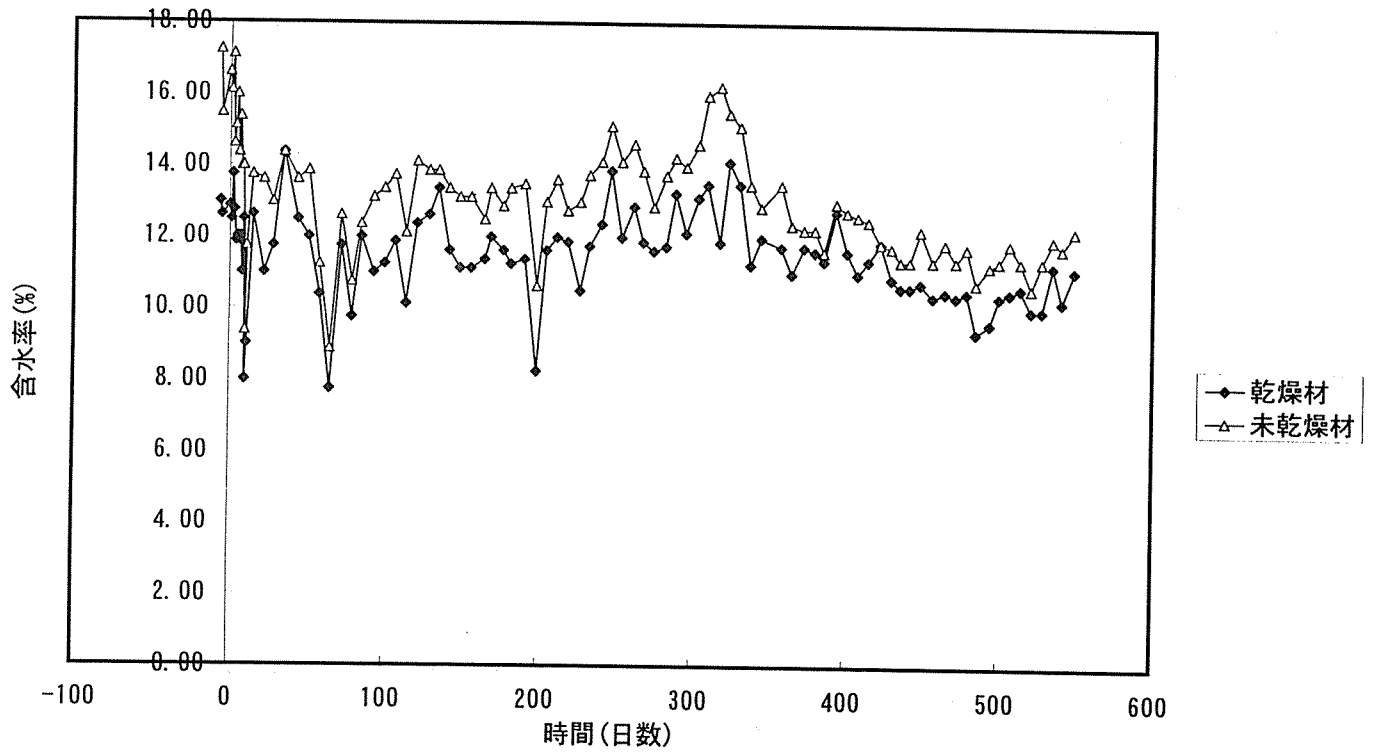


図3-49 対照試験体の含水率変化

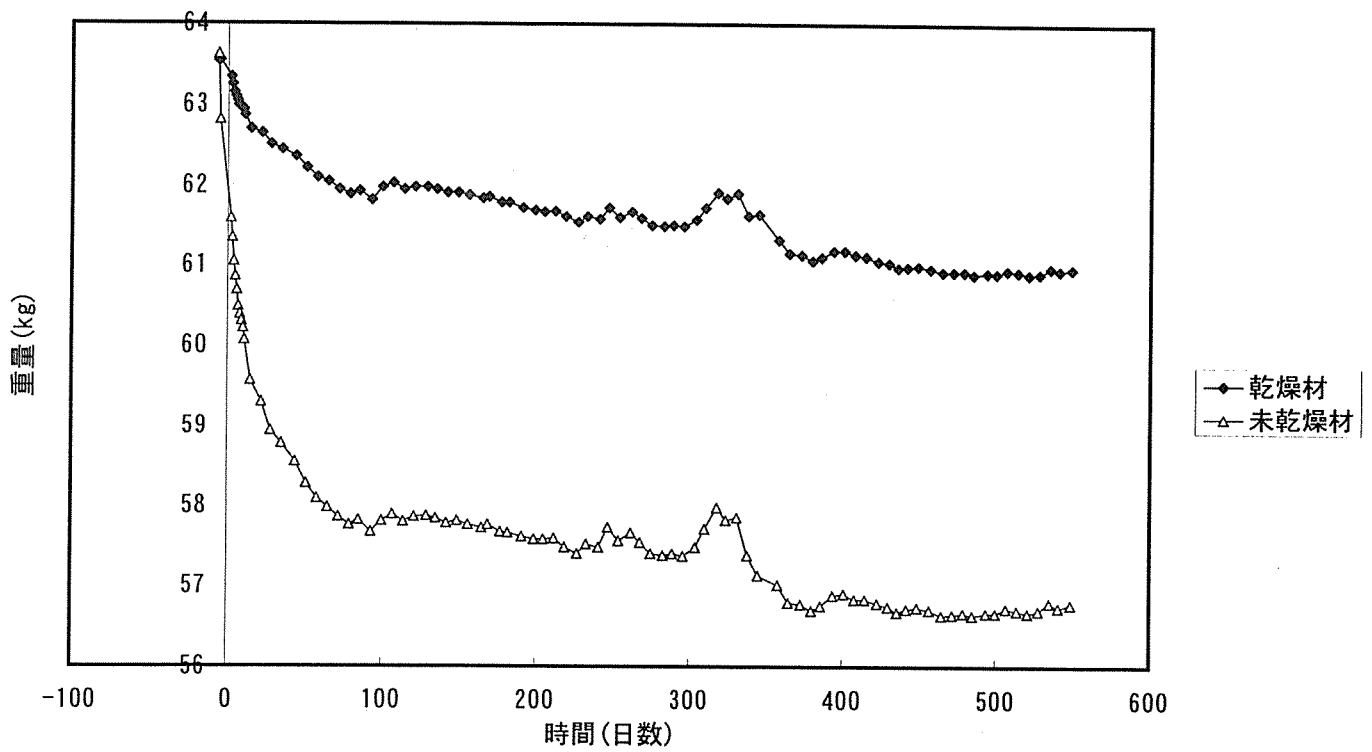


図3-50 対照試験体の重量変化

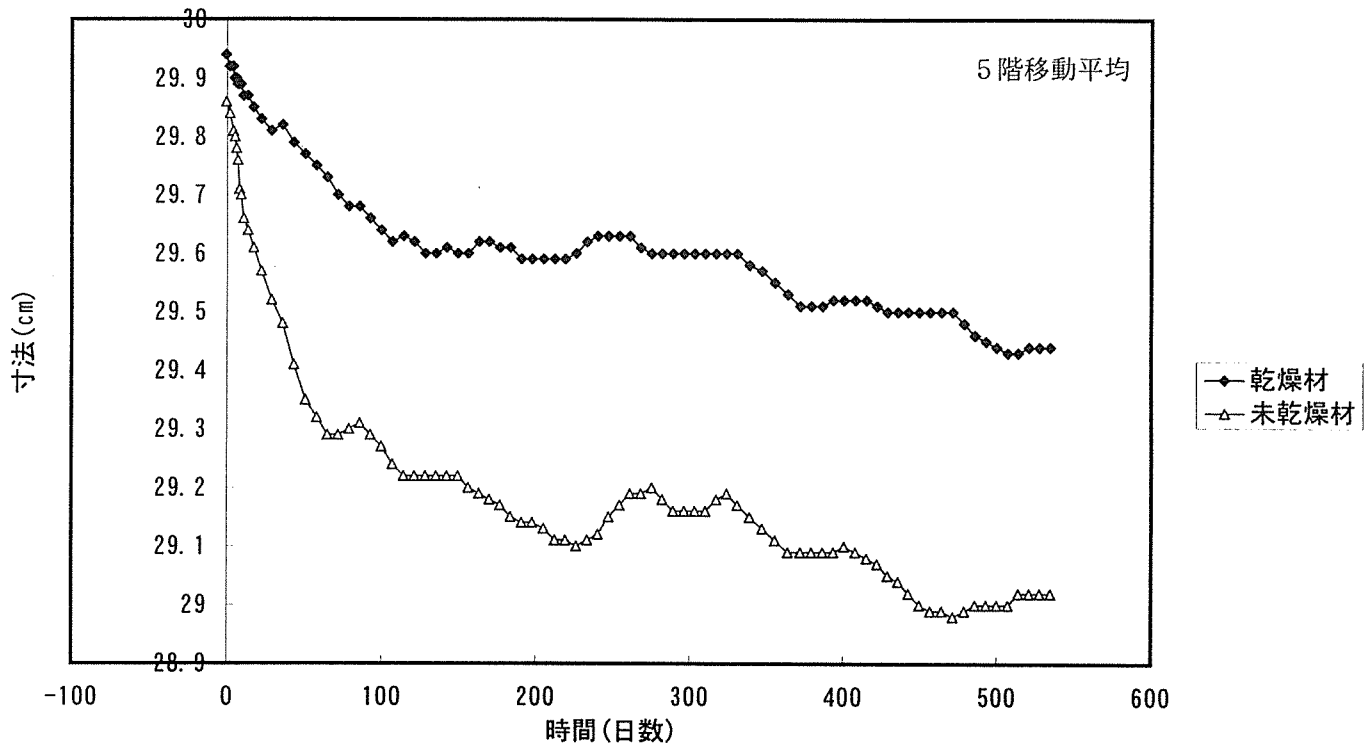


図3-51 対照試験体の寸法変化：h

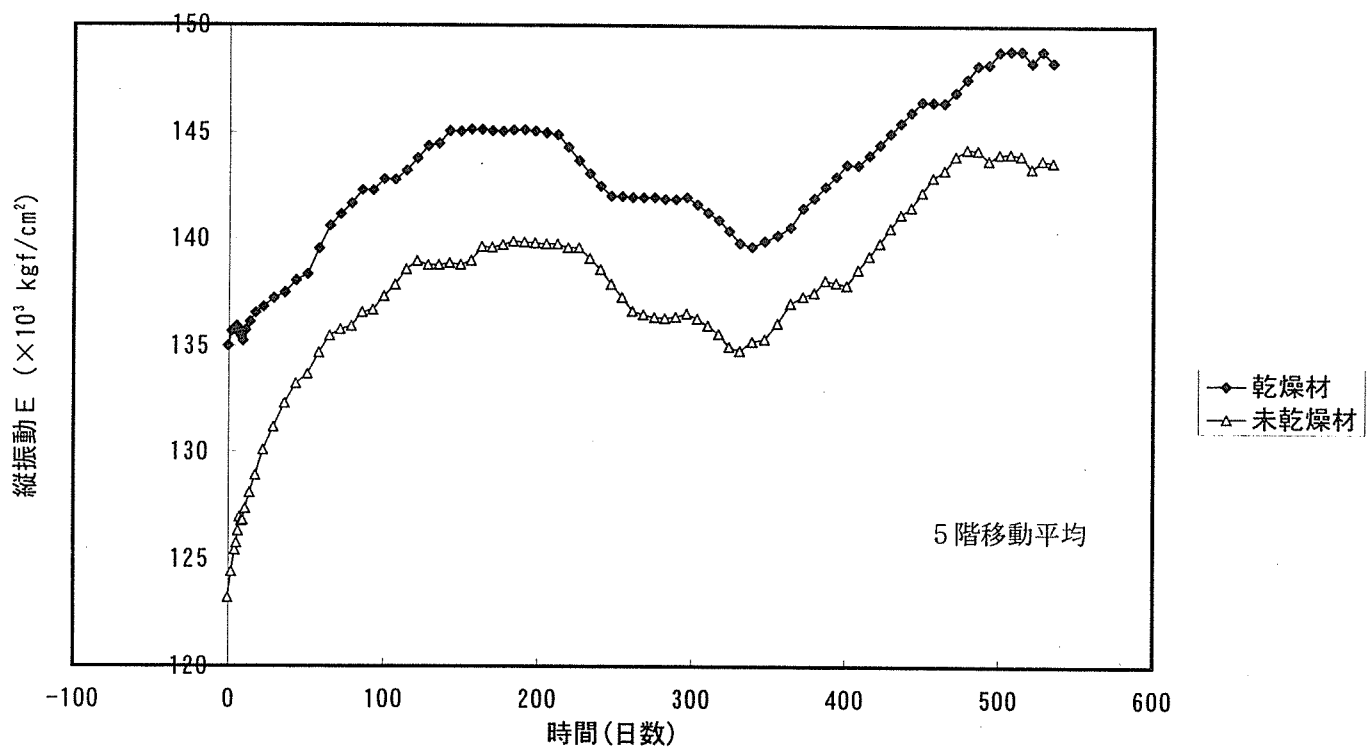


図3-52 対照試験体の縦振動E変化

(2) 乾燥材と未乾燥材の関係

含水率変化における乾燥材と未乾燥材の差異をみるため、含水率、減少重量、縦振動Eについて両者の関係を図示した。

含水率変化における乾燥材と未乾燥材の関係を図3-53-1に示す。プロットをみると、図中に示した $y = x$ の直線とほぼ平行な直線上に分布している。既に図3-49に示したように、未乾燥材の含水率は載荷後1週間までは乾燥材と比較して大きく減少しているが、以降は乾燥材と同様の傾向を示していることから、載荷後1週間以降についてみると、未乾燥材の含水率値の方が少し高い状態で乾燥材と同様の変化を示すといえる。換言すれば、試験体表層近くの含水率変化は載荷後ほぼ1週間で未乾燥材と乾燥材の差が小さくなることが明らかである。

これに対して、重量変化では、図3-52-2に示すとおり、載荷後3ヵ月頃まで未乾燥材の減少重量が乾燥材より大きく、その後、未乾燥材と乾燥材の重量変化はほぼ同様の傾向を示した。重量変化が試験体断面全体の平均的な含水率を表しているとするならば、未乾燥材と乾燥材の水分状態の差異が小さくなるまでに約3ヵ月の期間が必要といえる。

縦振動Eにおける乾燥材と未乾燥材の関係を図3-53-3に示す。載荷後約1ヵ月までは未乾燥材の縦振動Eの増加率は乾燥材と比較して大きく、その後は乾燥材と未乾燥材の縦振動Eの増減は、図に示すとおり $y = x$ の直線に対して平行な直線上にプロットが分布していることから明らかなように両者は同様の傾向を示した。軸組のクリープ変形に対して梁材のヤング係数の変化は影響を及ぼすと考えられ、これについては3.5.5において後述する。

これらの結果をまとめると、乾燥材と未乾燥材がほぼ一致した変化傾向を示すまでに要する期間はおおよそ以下とおりである。

- ・ 含水率 ----- 1週間 (高周波型含水率計による測定値)
- ・ 縦振動E ---- 1ヵ月
- ・ 重量変化 ---- 3ヵ月

※) 期間は本試験における載荷後の経過時間を基準としている。

(3) 中央たわみ比に対する含水率、重量変化、縦振動E変化の影響

乾燥材と未乾燥材それぞれの中央たわみ比と含水率の関係について図3-54に示す。図に示すとおり、含水率の変動幅が大きいため、季節変動パターンはみられない。

次に、中央たわみ比と減少重量の関係を図3-55に示す。乾燥材、未乾燥材両者とも載荷後約3ヵ月まではほぼ一致した直線上にあり、この期間の中央たわみ比の増加は減少重量でトレースすることができる。また、未乾燥材の方が減少重量が大きいため、中央たわみ比の増加は大きくなっている。その後、この直線関係は上方にシフトする傾向がみられる。載荷後3ヵ月頃までは、梁材全体の平均的な含水率変動がクリープ変形を生じさせていると考えられる。

中央たわみ比と縦振動Eの関係は、図3-56に示すとおり、載荷直後は乾燥材、未乾燥材とも縦振動Eと中央たわみ比の増加がみられ、その後縦振動Eが減少傾向から増加傾向に反転する局面で中央たわみ比が大きく増加している。また、中央たわみ比の増加量は、縦振動Eの増加局面でほぼ一定の値を示し、逆に減少局面では増加する傾向がみられる。これは、ヤング係数の増加によって中央たわみ比の増加傾向が抑制されることが原因ではないかと考えられる。

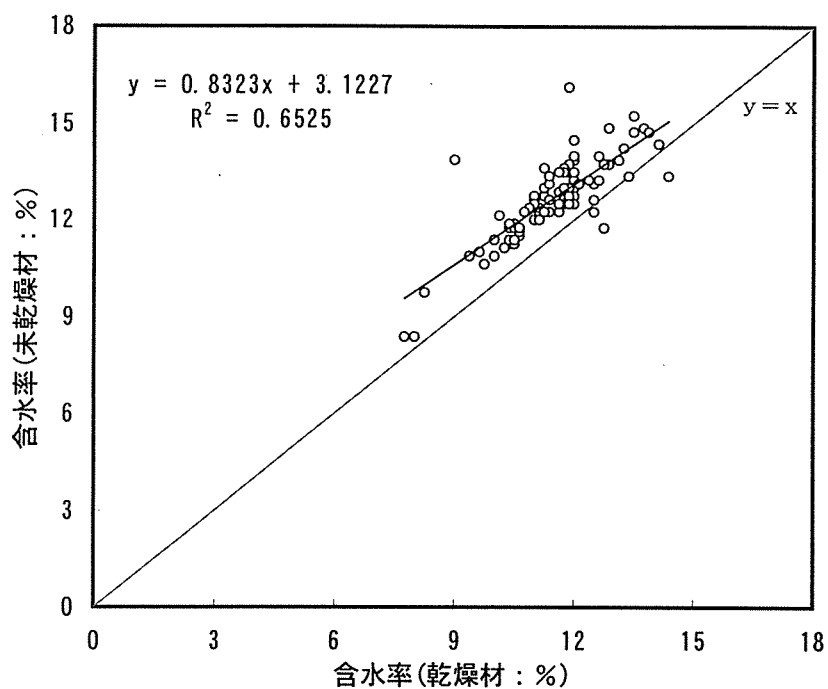


図3-53-1 乾燥材と未乾燥材の関係(含水率)

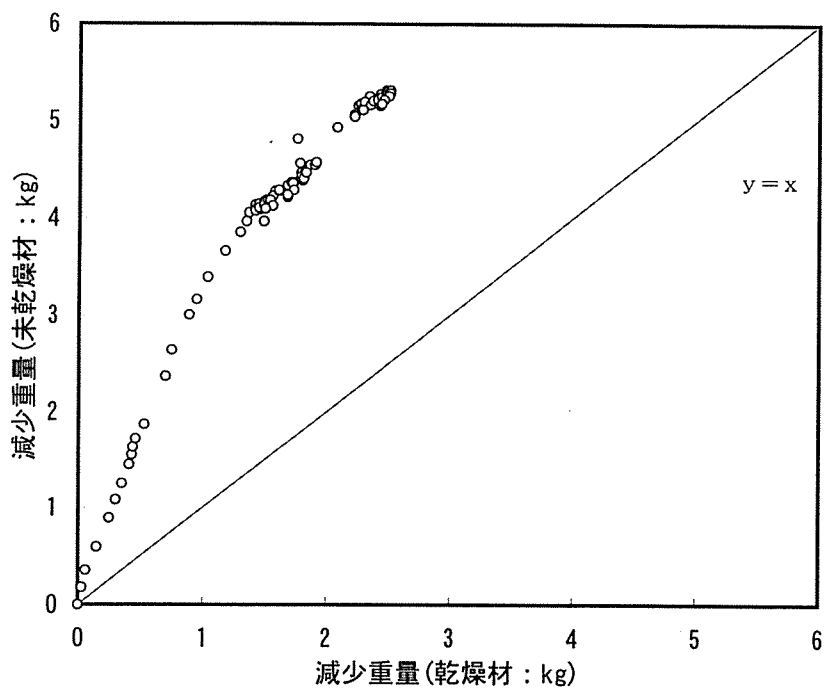


図3-53-2 乾燥材と未乾燥材の関係(減少重量)

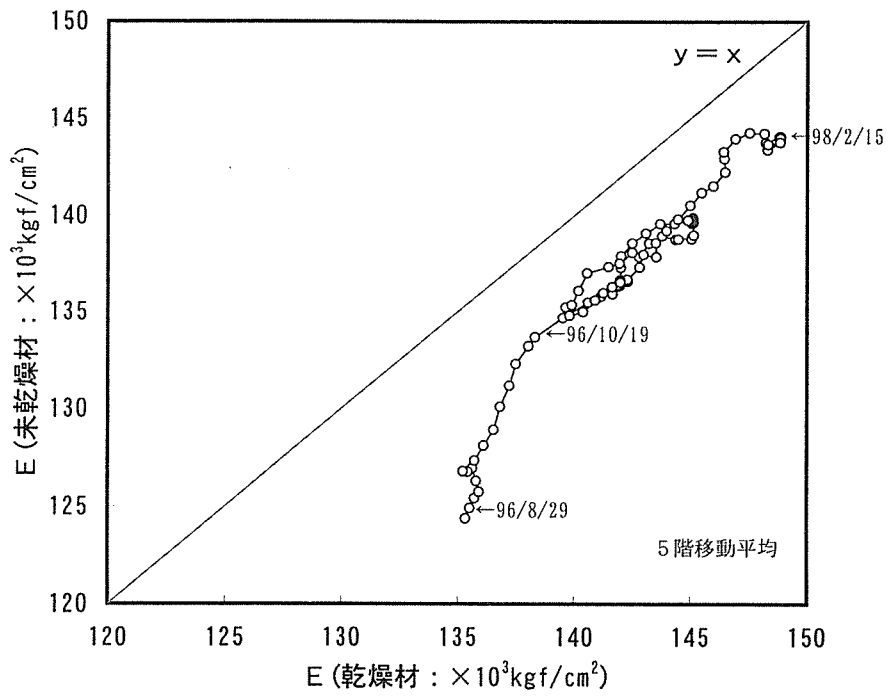


図3-53-3 乾燥材と未乾燥材の関係(縦振動E)

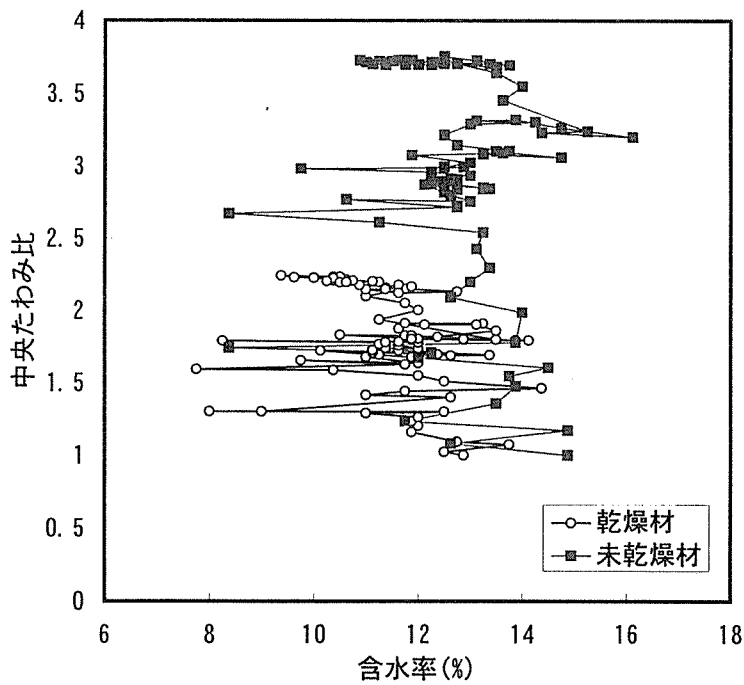


図3-54 中央たわみ比と含水率の関係

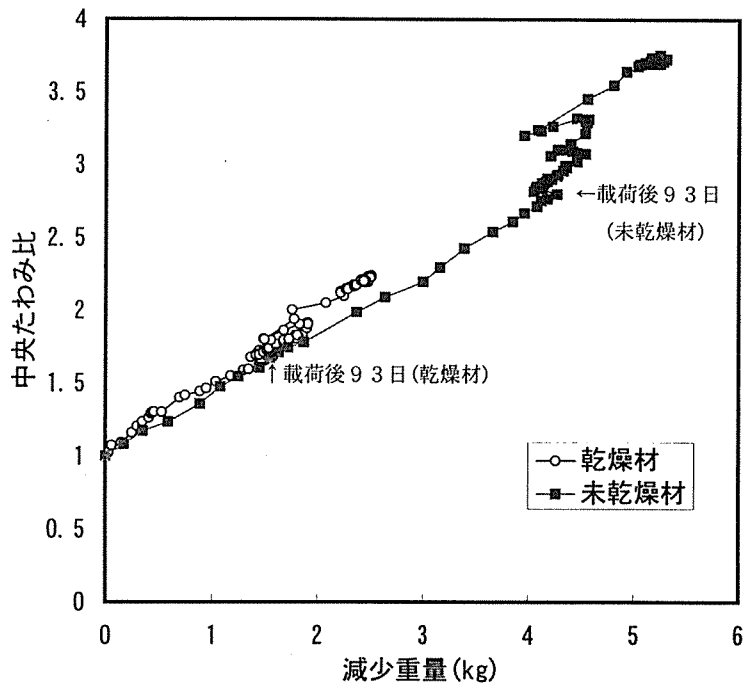


図3-55 中央たわみ比と減少重量の関係

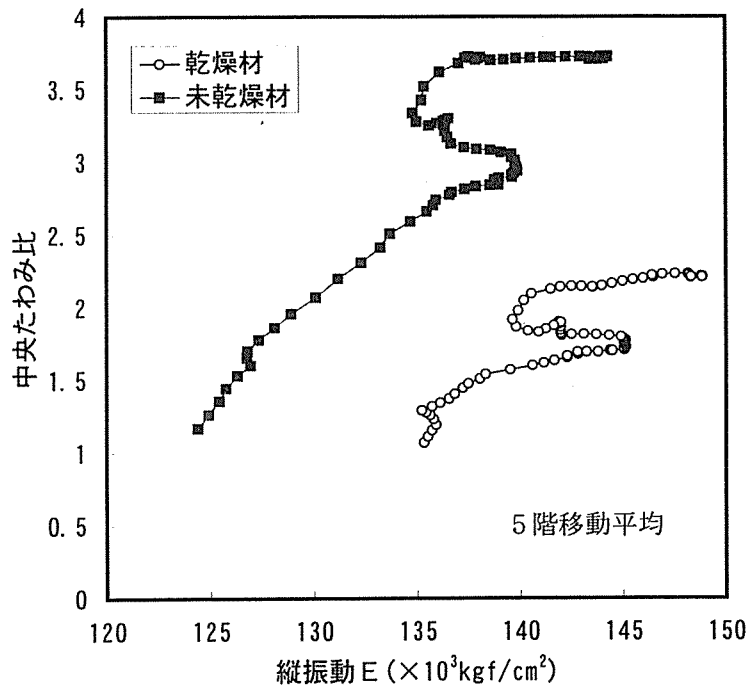


図3-56 中央たわみ比と縦振動 E の関係

3. 5. 5 温度変化との関係

(1) 中央たわみ比の乾燥材と未乾燥材の差と温度変化の関係

軸組構造体のクリープ変形の季節変動における乾燥材と未乾燥材の差（図3-33）は夏期において増加し以降減少する傾向がみられた。これは、乾燥材と未乾燥材がそれぞれ何らかの形で水分履歴を記憶しているためと考えられる。この記憶現象に及ぼす要因として水分状態の変化が考えられるが、前述したように、高周波型含水率計により測定した含水率は変動が大きく、季節変動を表すための直接的な指標とはなりえないことが明らかになった。そこで、クリープ変形の季節変動を表す指標として温度を用いることの可能性について検討をおこなった。

中央たわみ比の乾燥材と未乾燥材の差の経時的変化と温度変化の関係を図3-57-1に示す。載荷直後から載荷後120日頃までこの差が大きく増加しており、この間の温度は減少している。3.5.4に述べたように、載荷後3ヵ月頃まで梁材全体の平均的な含水率変動によってクリープ変形が進行すると考えられることから、載荷後120日以降の中央たわみ比の差と温度変化の関係を図3-57-2に示す。この差の長期的な推移をみると、温度上昇期には増加傾向、温度下降期には減少傾向がみられた。季節変動のような長期的変化に対して温度は乾燥材と未乾燥材の差に対して直接的な指標となりえると考えられる。

(2) 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）の季節変動の中央たわみ比に及ぼす影響をみるため、まず縦振動Eの5階移動平均値を求めた（図3-56）。この値を用いて以下の式により補正中央たわみ比を求めた。

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

ここで、 r_i' は補正中央たわみ比、 r_i は中央たわみ比、 E_i 、 E_0 は縦振動Eであり、添字の*i*、*0*はそれぞれ載荷後の経過日数を表している。

この補正は、ヤング係数が増加した場合クリープたわみは抑制されると仮定して、ヤング係数が一定の時のクリープたわみを求めることを意図している。

図5-58に補正中央たわみ比の経時的変化を示す。中央たわみ比の経時的変化（図3-33）の傾向と異なり夏期における減少幅は小さい。この補正中央たわみ比は、載荷後約3ヵ月以降1年までほぼ直線的に推移していることから、この間について一次回帰を行った。回帰直線の傾きからは、未乾燥材は乾燥材の約3倍の速度でこの補正中央たわみ比は進行しているといえる。

この回帰直線と補正中央たわみ比との乖離と温度の関係を図3-59に示す。ここでは、補正中央たわみ比をヤング係数が一定であった場合の中央たわみ比の測定値とし、これと回帰直線による推定値との差を求めた。

この測定値と推定値の差と温度の関係は図に示すとおり、载荷後徐々に漸近する傾向がみられ、以降はほぼ同様の傾向を示した。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、未乾燥材とも急増する傾向がみられた。

(3) 指標としての温度変化

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、中央たわみ比の長期的な変化を推定するために、縦振動Eにより補正した値の測定値と推定値の差でみると、温度上昇局面から下降局面に移行する時に急増する傾向がみられた。クリープ変形の季節変動に対して温度を指標として用いることの可能性が示唆された。

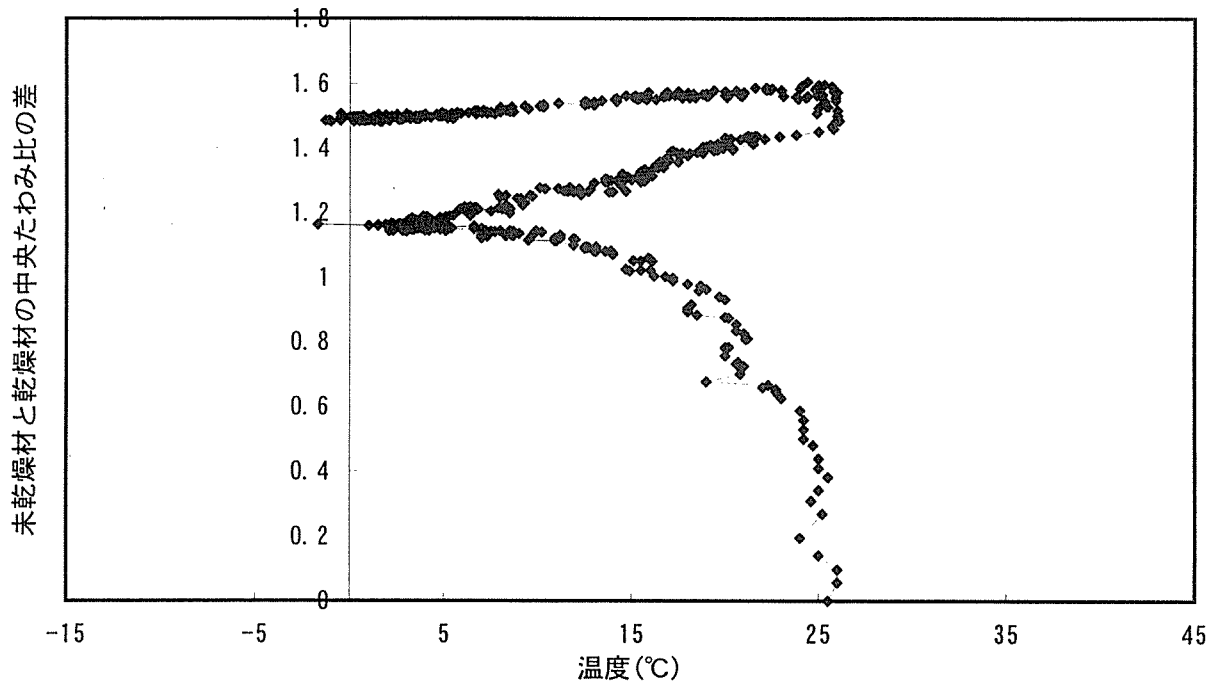


図3-57-1 温度のクリープ変形に及ぼす影響

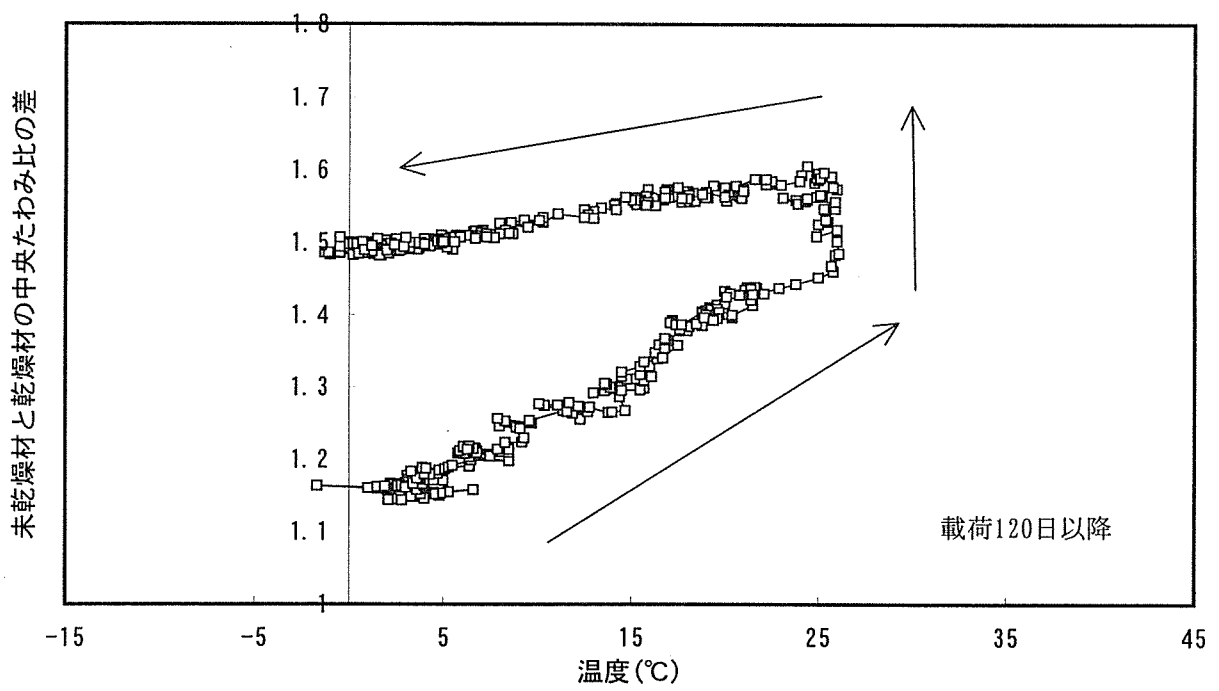


図3-57-2 温度のクリープ変形に及ぼす影響

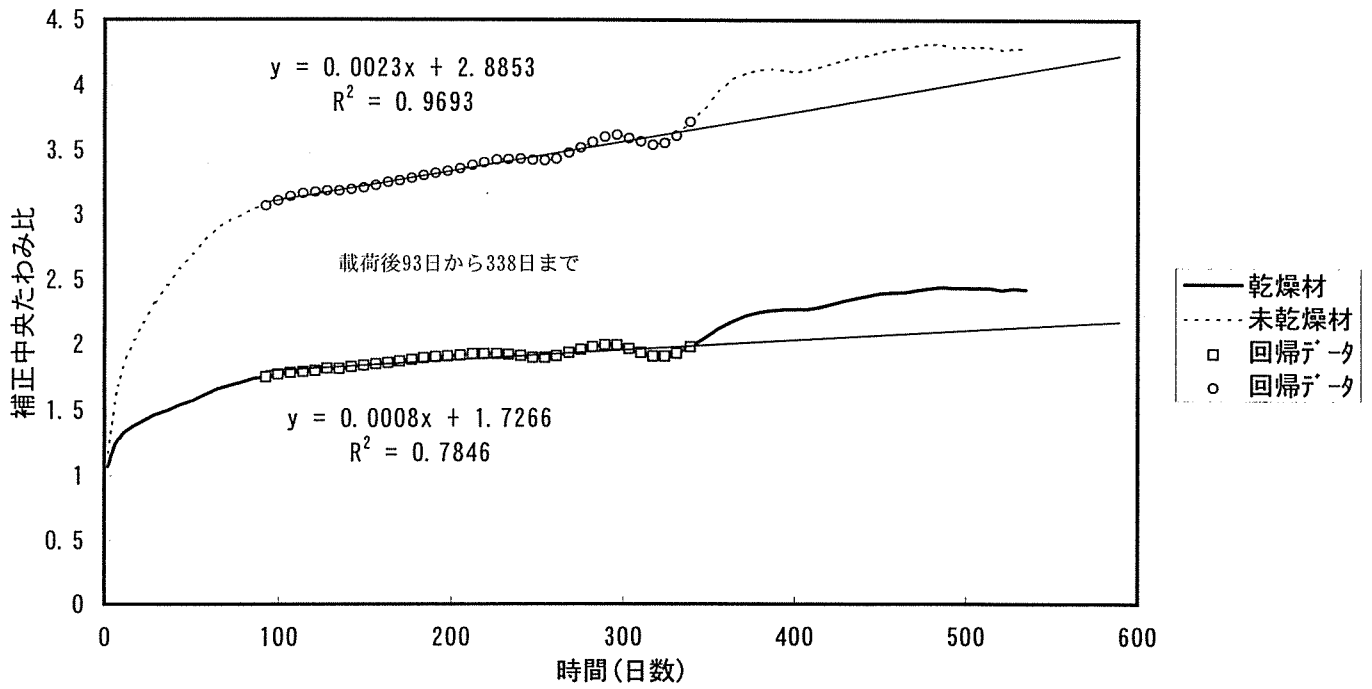


図3-58 縦振動Eによる中央たわみ比の補正

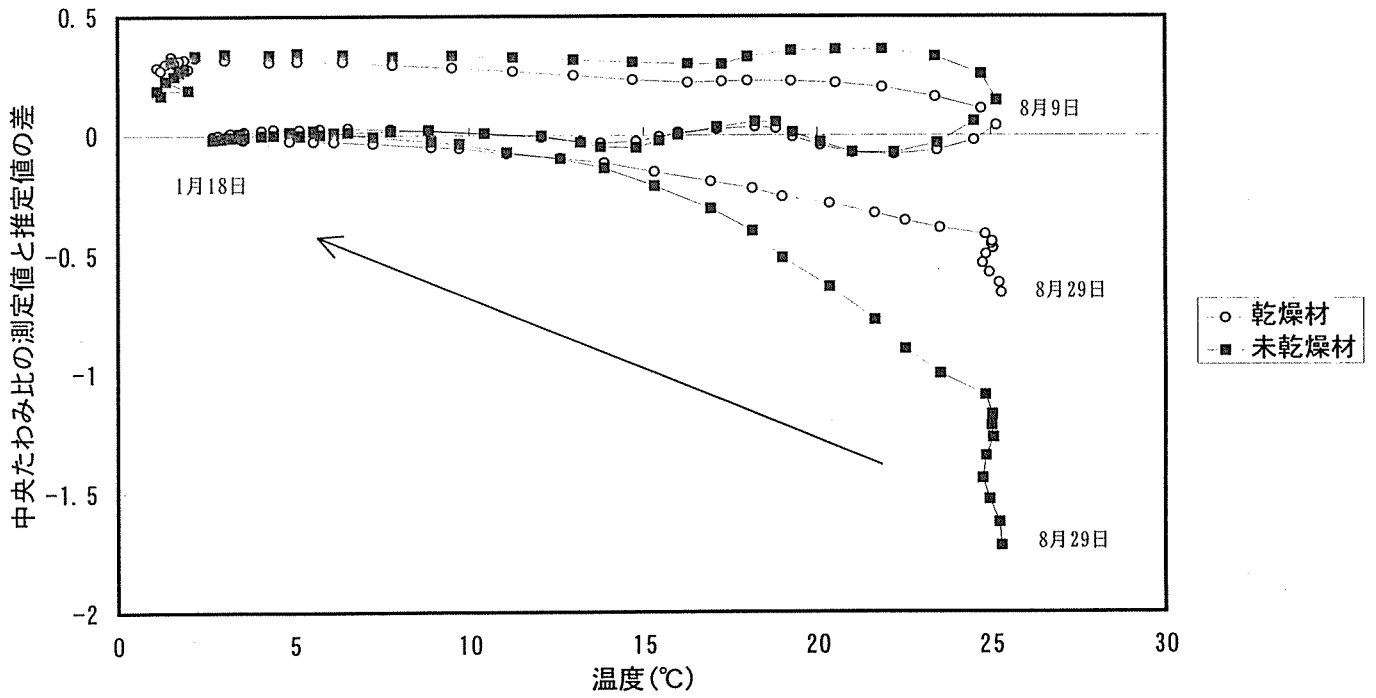


図3-59 中央たわみ比の変動に及ぼす温度の影響

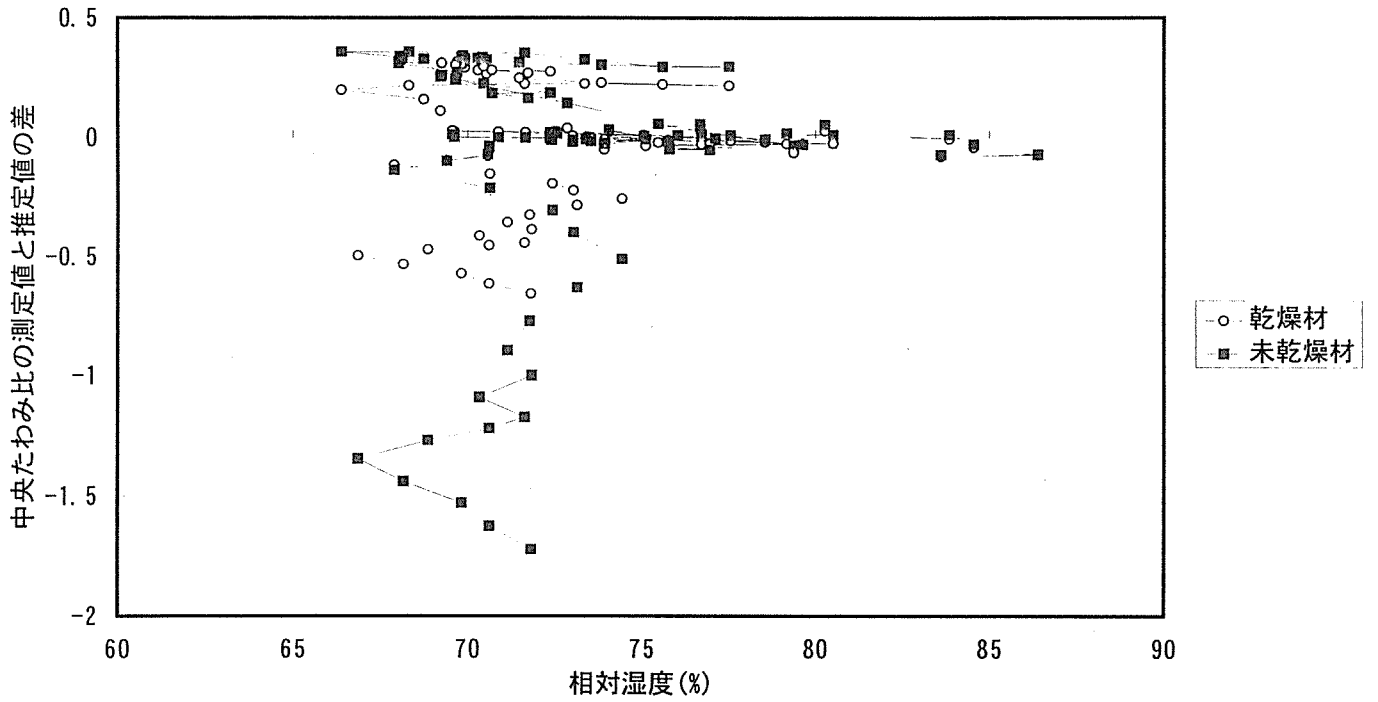


図3-60 中央たわみ比の変動に及ぼす相対湿度の影響

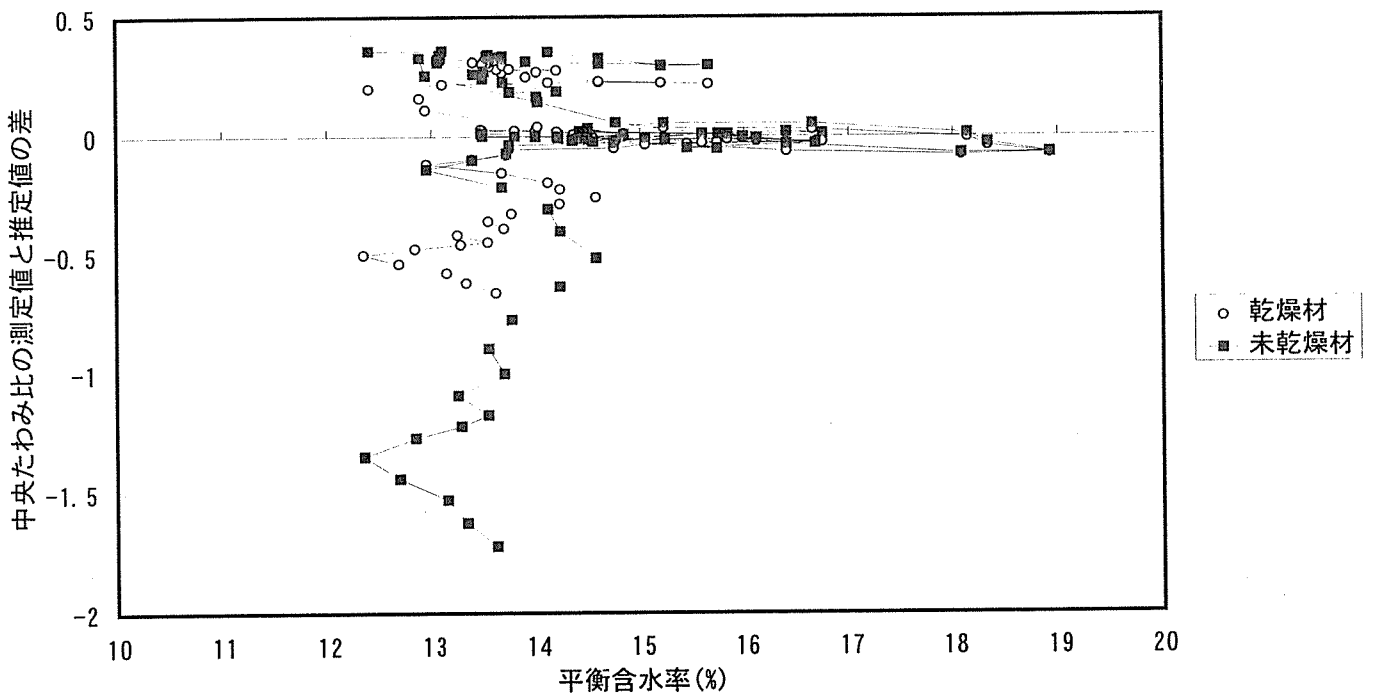


図3-61 中央たわみ比の変動に及ぼす平衡含水率の影響

4 総括

軸組構造試験体のクリープ変形挙動について乾燥材と未乾燥材の差異を中心に検討を行った。初期段階のクリープ変形とクリープ変形の季節変動の2点に区分してまとめた試験結果を以下に列挙する。

A. 初期段階のクリープ変形

(1) 中央たわみ比

梁のクリープたわみについては、梁中央のたわみの初期たわみに対する比（中央たわみ比）でみると、載荷後100日時点で乾燥材は1.69、未乾燥材は2.84となり、載荷後のたわみ比の増分では、未乾燥材は乾燥材の2.7倍となった。

(2) 温湿度変化の影響

クリープ変形に対する温湿度変化の影響については、載荷後31～100日まで中央たわみ比の1日当たりの増分と温度・湿度から計算した平衡含水率との関係から、未乾燥材は乾燥材より温湿度変化の影響を強く受けることが明らかになった。

(3) 梁背の収縮

梁材の乾燥に伴う収縮及び柱に対する沈み量は、いずれも未乾燥材は乾燥材より大きい。

＜乾燥材に対する未乾燥材の比（載荷後100日）＞

梁背の収縮量： 3.2倍

通し柱に対する沈み量： 3.8倍

管柱に対する沈み量： 3.4倍

(4) 含水率、寸法、重量

高周波型含水率計により測定した含水率については、未乾燥材の方が乾燥材より高く、未乾燥材と乾燥材の含水率差は梁、桁、土台において厚さ依存性がある。寸法変化については、対照試験体では含水率より重量変化との相関が高い。

(5) 施工上の問題点

仮に梁のクリープたわみ許容限度を2mmとして、施工工期を120日とした場合、試験結果によれば、建方以後乾燥材では8日、未乾燥材では41日まで、他の各種工事を開始することができないことになる。

また、羽子板ボルトについては、乾燥材に緩みがないのに対して、未乾燥材では梁背の乾燥収縮に伴い、ナットが浮いている状態である。

B. クリープ変形の季節変動

(1) クリープ変形の季節変動

クリープ変形の季節変動については、中央たわみ比（梁中央の初期たわみ比）でみると、乾燥材、未乾燥材とも夏期において減少した後、急増する傾向がみられた。また、両者の差は、温度変化を指標としてみると温度上昇局面で増加し下降局面で減少する傾向がみられた。

(2) 中央たわみ比の縦振動Eによる補正

載荷後3ヵ月までの中央たわみ比の増加は、減少重量に対して乾燥材、未乾燥材ともほぼ同一の直線関係にあった。中央たわみ比を縦振動Eにより補正して測定値と回帰直線による推定値の差をみた場合、乾燥材と未乾燥材はほぼ一致した傾向を示し、温度上昇局面から下降局面に反転する時にこの差は上方へシフトした。

C. まとめ

以上の結果から、軸組構造体を構成するためには乾燥材の方が未乾燥材より優れている点が多いことが明らかになった。しかし、乾燥材と未乾燥材の差異及び温湿度変化のクリープ変形挙動に及ぼす影響について検討課題として残された点は多く、また、クリープ変形の季節変動に対して温度を指標として用いることの可能性も興味深いと考えている。

<謝辞>

最後に、試験の開始に当たっての当農学部の扇レン氏（当時学生）、徳本教授、高橋助教授のご尽力及び試験継続上お世話になった中野教授、門脇太郎氏（現在大学院生）、また、株式会社中国木材の手厚いご支援及び三栄ハウス株式会社のご協力に対して心から謝意を表します。

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, 笹川明, 五十田博, 田中宏明: 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
- (3) 武田孝志, 有馬孝禮, 五十田博: 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-, 日本建築学会大会講演梗概集, pp. 93-94, 1995年
- (4) 寺沢真, 鷺見博史: わが国における木材の平衡含水率に関する研究, 林業試験場研究報告第227号, 1970年3月
- (5) 荒武志郎, 有馬孝禮: 湿度変動過程におけるスギ大断面材のクリープ, 木材学会誌, Vol. 41, No. 4, p359-366, 1995

付表・付図

付表A：静的MOE一覧表

付表B：縦振動MOE一覧表

付表C：測定No. と変位計No. の対比表

付図 軸組構造試験体

変位計データ (No. 1~10)

ダイヤルゲージ測定値 (乾燥材, 未乾燥材)

通し柱に対する梁の位置 (乾燥材, 未乾燥材)

含水率変化 (D1-12, G1-12)

対照試験体

対照試験体の寸法変化 (b, h)

含水率変化 (D13, 14, G13)

対照試験体の重量変化

対照試験体の固有振動数変化

対照試験体の縦振動E変化

付表A 静的MOE一覧表

試験体	幅 (cm)	厚さ (cm)	長さ (cm)	重量 (kg)	比重	スパン (cm)	E
乾燥材							(kg/cm ²)
D 1	10.50	10.50	150.0	8.69	0.525	140	84,568
D 2	10.50	10.50	150.0	8.5	0.514	140	90,204
D 3	11.90	11.95	240.0	13.96	0.409	230	76,525
D 4	11.90	12.00	240.0	17.74	0.518	230	73,845
D 5	10.50	30.00	396.4	60.26	0.483	380	99,643
D 6	10.45	30.05	396.4	62.26	0.500	380	90,467
D 7	10.50	10.55	394.0	18.79	0.431	384	77,638
D 8	10.55	10.50	394.0	18.19	0.417	384	97,191
D 9	10.50	21.00	269.4	29.43	0.495	250	97,088
D 1 0	10.50	20.95	267.8	27.04	0.459	250	77,420
D 1 1	10.50	10.50	269.4	19.12	0.644	252.5	85,246
D 1 2	10.50	10.55	269.4	17.09	0.573	252.5	76,111
D 1 3	10.60	29.90	400.2	63.55	0.501	380	111,507
D 1 4	10.55	30.00	400.5	64.01	0.505	380	94,562
未乾燥材							
G 1	10.70	10.80	150.0	9.95	0.574	140	97,182
G 2	10.70	10.70	150.0	8.8	0.512	140	77,237
G 3	12.20	12.20	240.0	18.85	0.528	230	70,754
G 4	12.40	12.40	240.0	18.62	0.505	230	64,228
G 5	10.35	29.80	396.4	66.03	0.540	380	86,514
G 6	10.45	30.00	396.4	78.46	0.631	380	112,252
G 7	10.50	10.40	394.0	24.74	0.575	384	95,243
G 8	10.50	10.50	394.0	23.58	0.543	384	134,839
G 9	10.60	20.90	269.4	33.07	0.554	250	79,304
G 1 0	10.40	20.50	267.8	29.2	0.511	250	86,631
G 1 1	10.50	10.50	269.4	14.1	0.475	252.5	71,766
G 1 2	10.50	10.35	269.4	17.05	0.582	252.5	108,488
G 1 3	10.30	29.90	390.6	62.82	0.522	380	93,021

付表 B 縦振動 M O E 一覧表

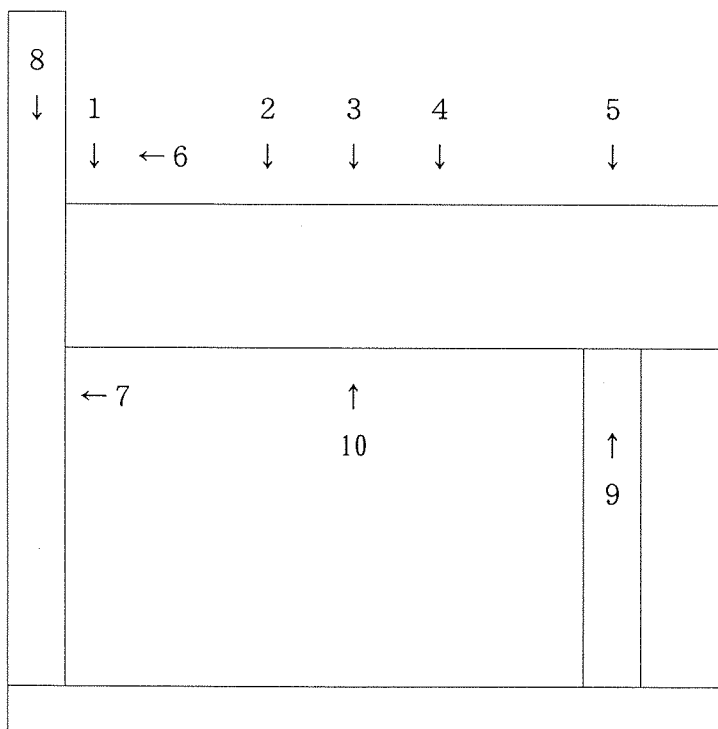
乾燥材	幅 (cm)	厚さ (cm)	長さ (cm)	重量 (kg)	共振振動数 (Hz)	比重	E (kg/cm ²)
D 1	10.5	10.5	150.0	8.74	1,602.0	0.528	124,561
D 2	10.5	10.5	150.0	8.54	1,450.0	0.516	99,710
D 3	11.9	11.9	240.0	14.05	912.5	0.413	80,927
D 4	12.0	11.9	240.0	17.89	862.5	0.522	91,295
D 5	10.4	30.0	396.4	60.27	625.0	0.485	121,504
D 6	10.5	30.0	396.4	62.31	600.0	0.499	115,217
D 7	10.5	10.6	394.0	18.84	550.0	0.430	82,346
D 8	10.5	10.5	394.0	18.23	612.5	0.420	99,759
D 9	10.5	20.9	269.4	29.42	931.2	0.496	127,522
D 1 0	10.5	21.0	267.8	27.07	856.2	0.458	98,373
D 1 1	10.5	10.5	269.4	19.19	1,025.0	0.646	201,083
D 1 2	10.5	10.6	269.4	17.14	962.5	0.574	157,617
未乾燥材							
G 1	10.7	10.8	150.0	10.12	1,425.0	0.584	108,875
G 2	10.7	10.8	150.0	9.03	1,337.0	0.521	85,520
G 3	12.2	12.3	240.0	19.27	768.7	0.535	74,332
G 4	12.4	12.4	240.0	19.06	831.2	0.516	83,895
G 5	10.4	29.9	396.4	67.81	543.7	0.550	104,298
G 6	10.5	30.0	396.4	80.18	606.2	0.642	151,340
G 7	10.5	10.5	394.0	25.08	512.5	0.577	96,087
G 8	10.5	10.5	394.0	23.84	650.0	0.549	146,921
G 9	10.6	20.9	269.4	33.98	781.2	0.569	102,926
G 1 0	10.4	20.9	267.8	29.53	918.7	0.506	125,037
G 1 1	10.5	10.5	269.4	14.51	750.0	0.489	81,403
G 1 2	10.5	10.4	269.4	17.44	837.5	0.593	123,176

(8月23日測定)

付表C 測定No.と変位計No.の対比表

データ種類		変位計	DA	DB	GB	GA
送信データ		1	7-0	17-10	27-20	37-30
		2	8-1	18-11	28-21	38-31
1	年	3	9-2	19-12	29-22	39-32
2	月	4	10-3	20-13	30-23	40-33
3	日	5	11-4	21-14	31-24	41-34
4	時	6	12-5	22-15	32-25	42-35
5	分	7	13-6	23-16	33-26	43-36
6	秒	8	14-7	24-17	34-27	44-37
		9	15-8	25-18	35-28	45-38
		10	16-9	26-19	36-29	46-39
		ひずみ ゲージ	49-42	50-43	47-40	48-41

送信データNo.-変位計No. (UCAM)



全て圧縮側を+ (正)

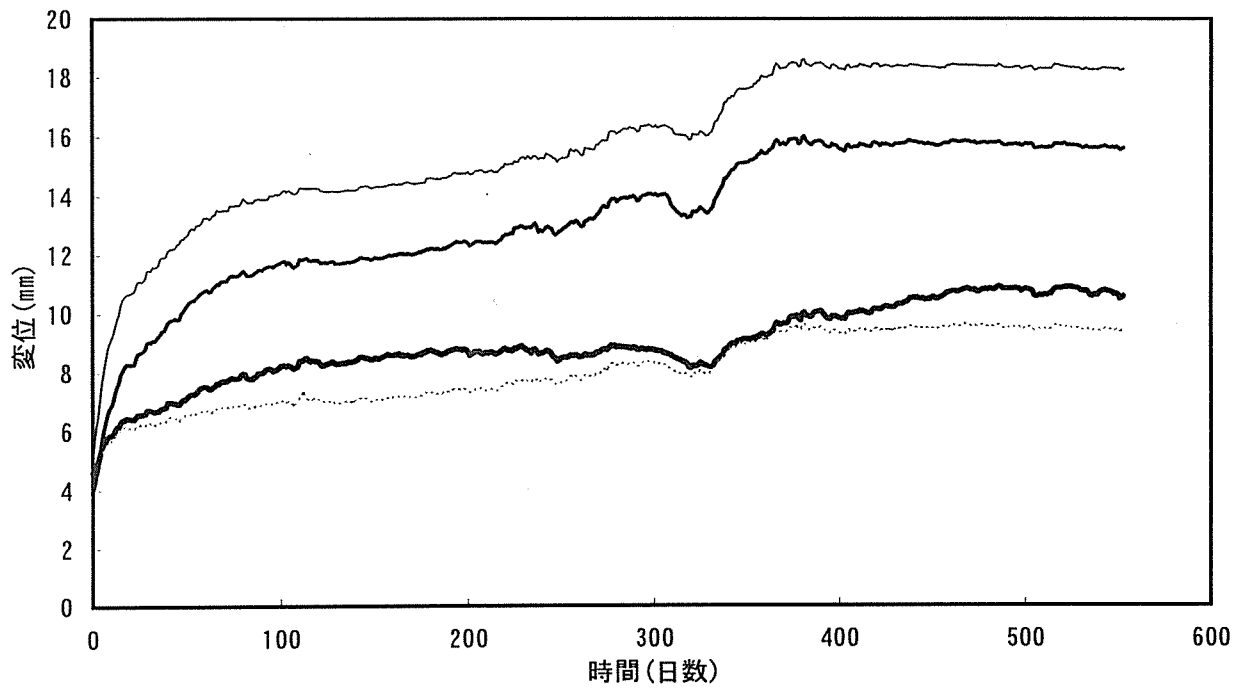


図 変位計データ (No. 2)

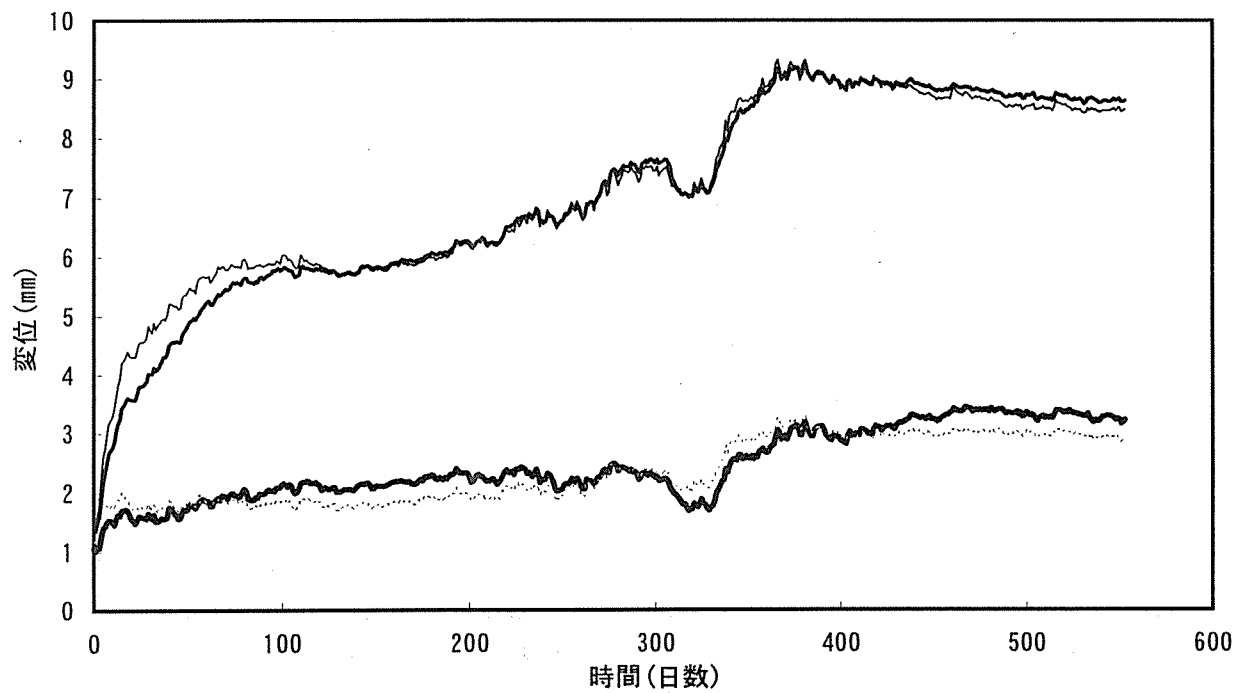


図 変位計データ (No. 1)

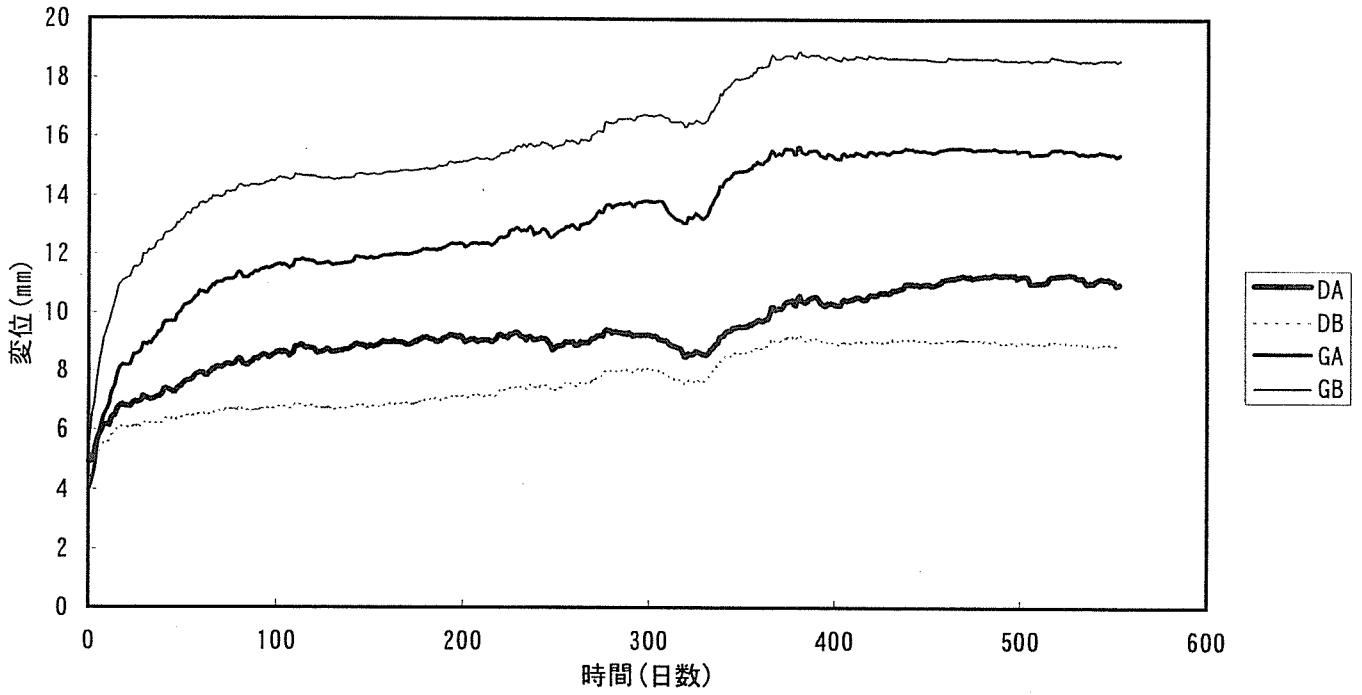


図 変位計データ (No. 3)

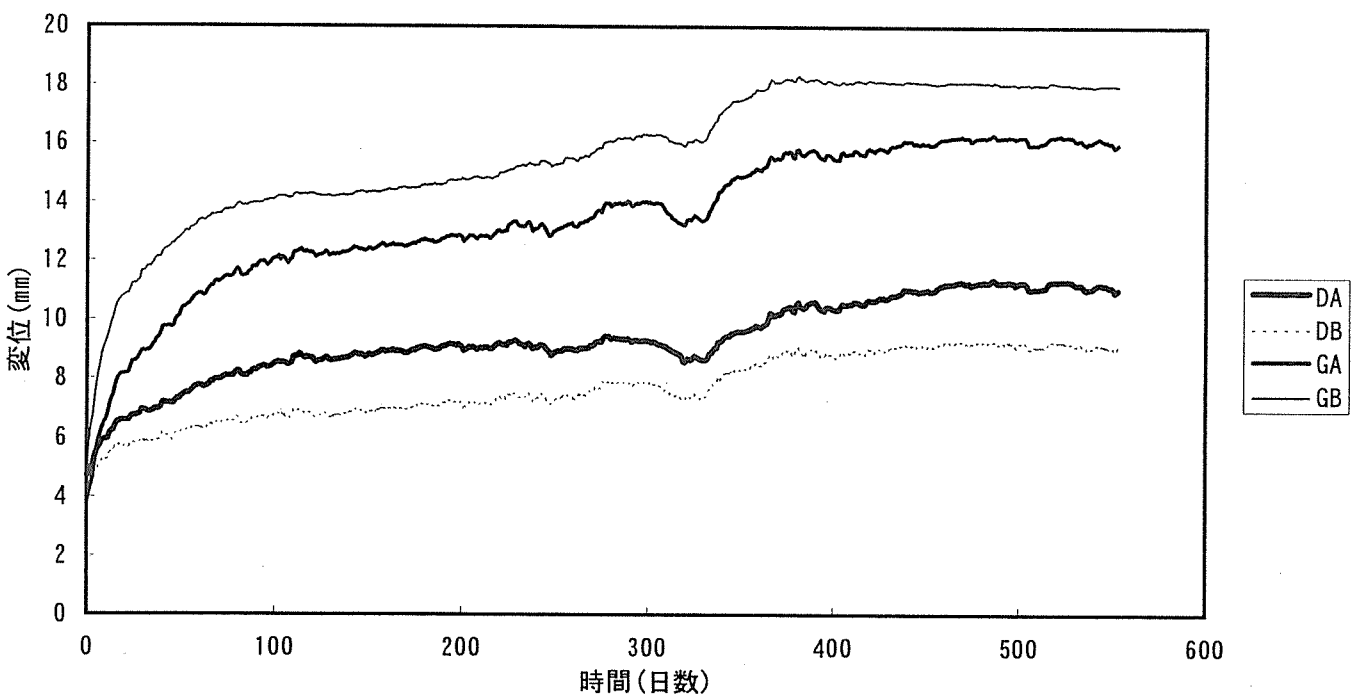


図 変位計データ (No. 4)

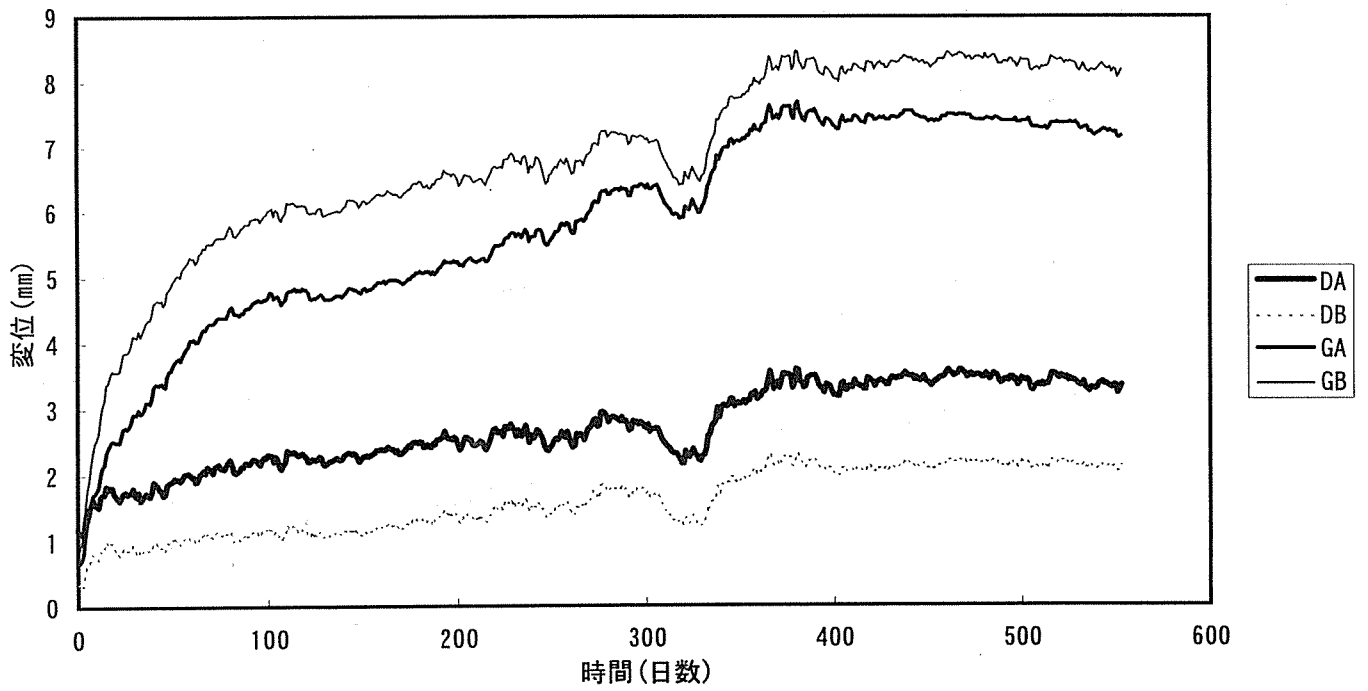


図 変位計データ (No. 5)

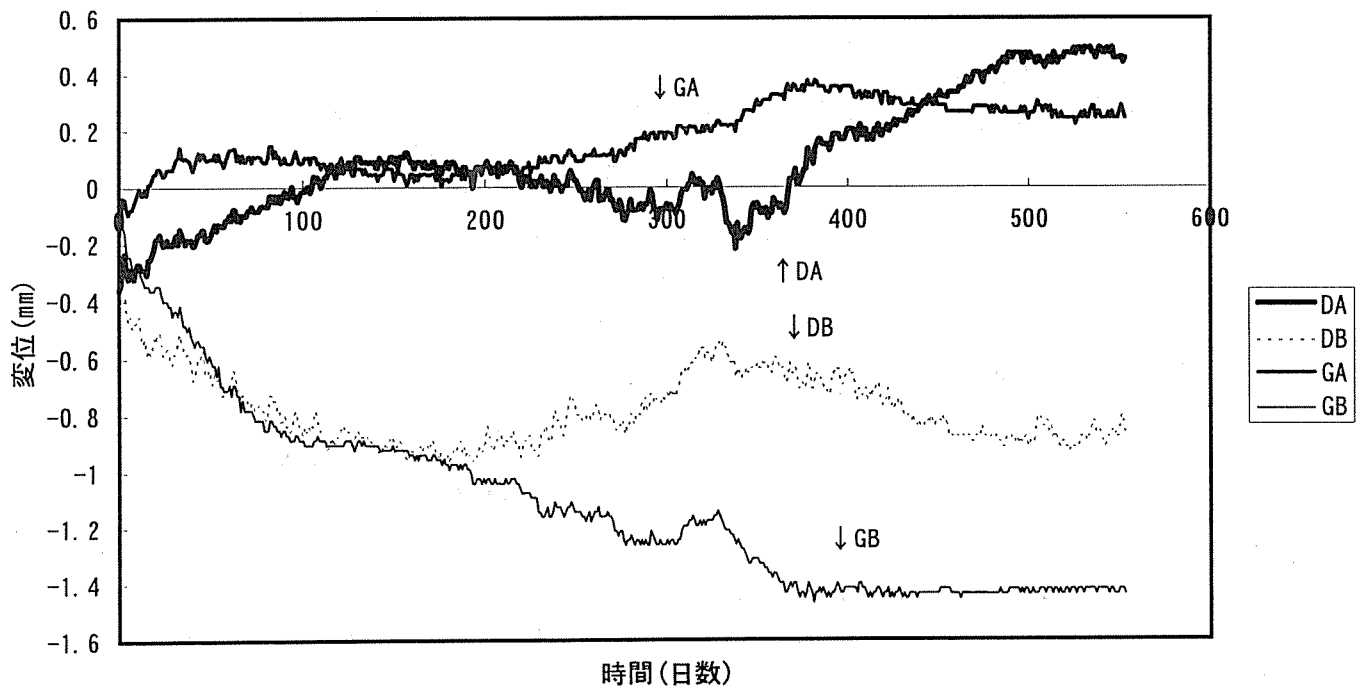


図 変位計データ (No. 6)

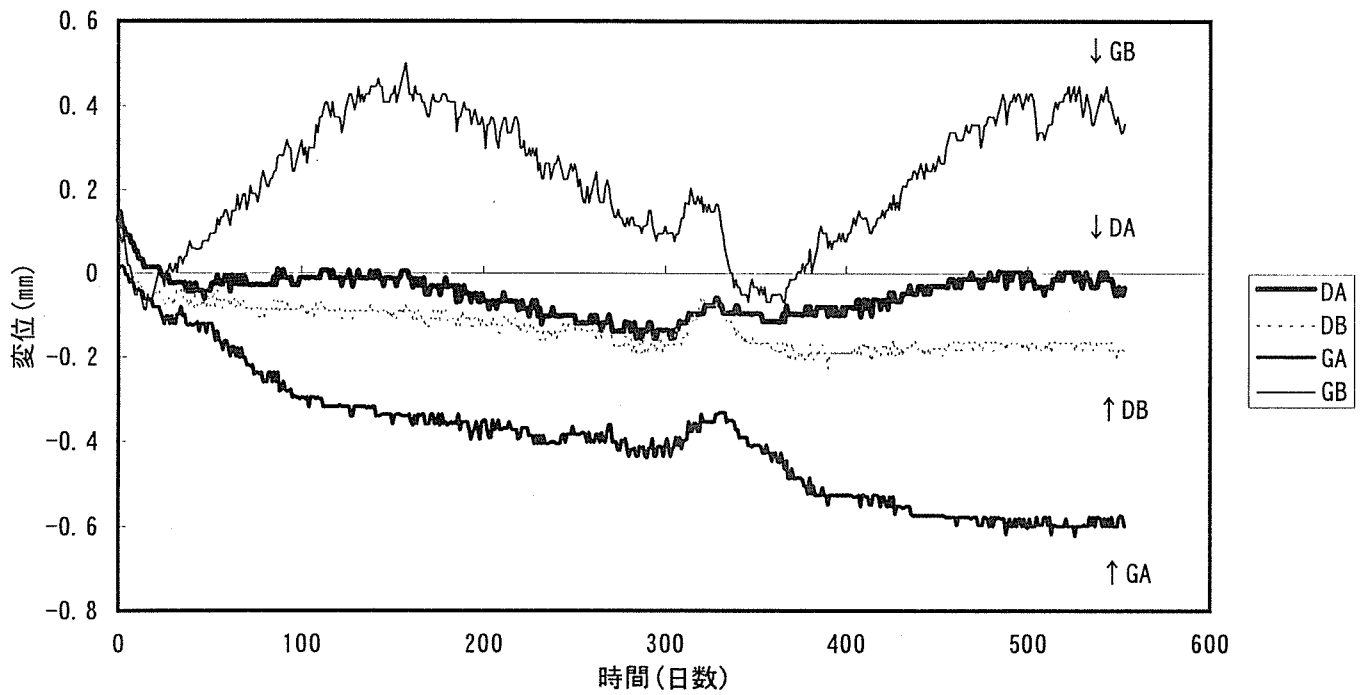


図 変位計データ (No. 7)

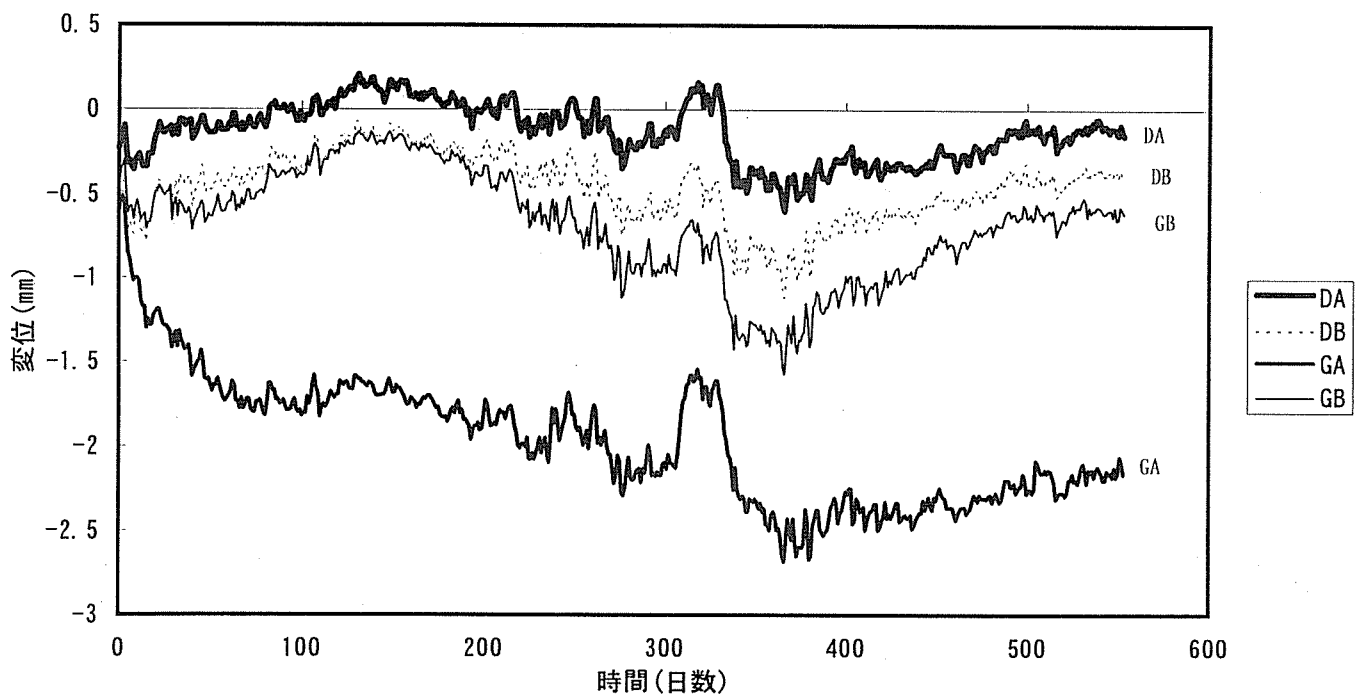


図 変位計データ (No. 8)

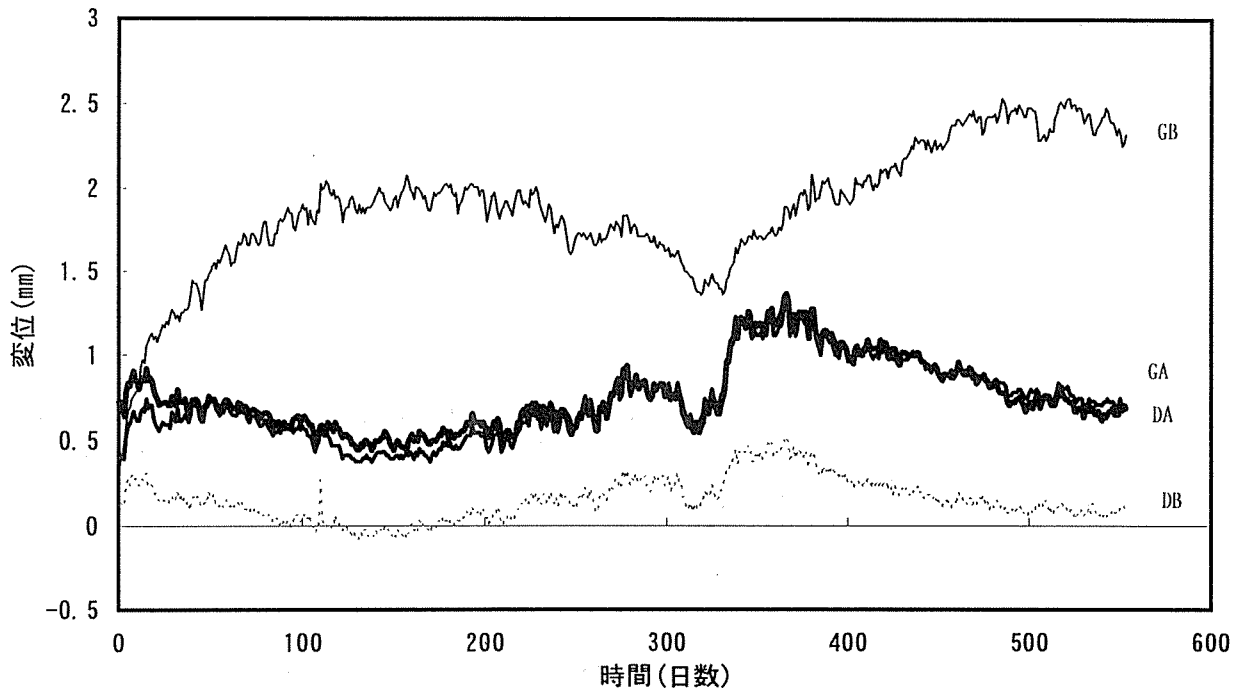


図 変位計データ (No. 9)

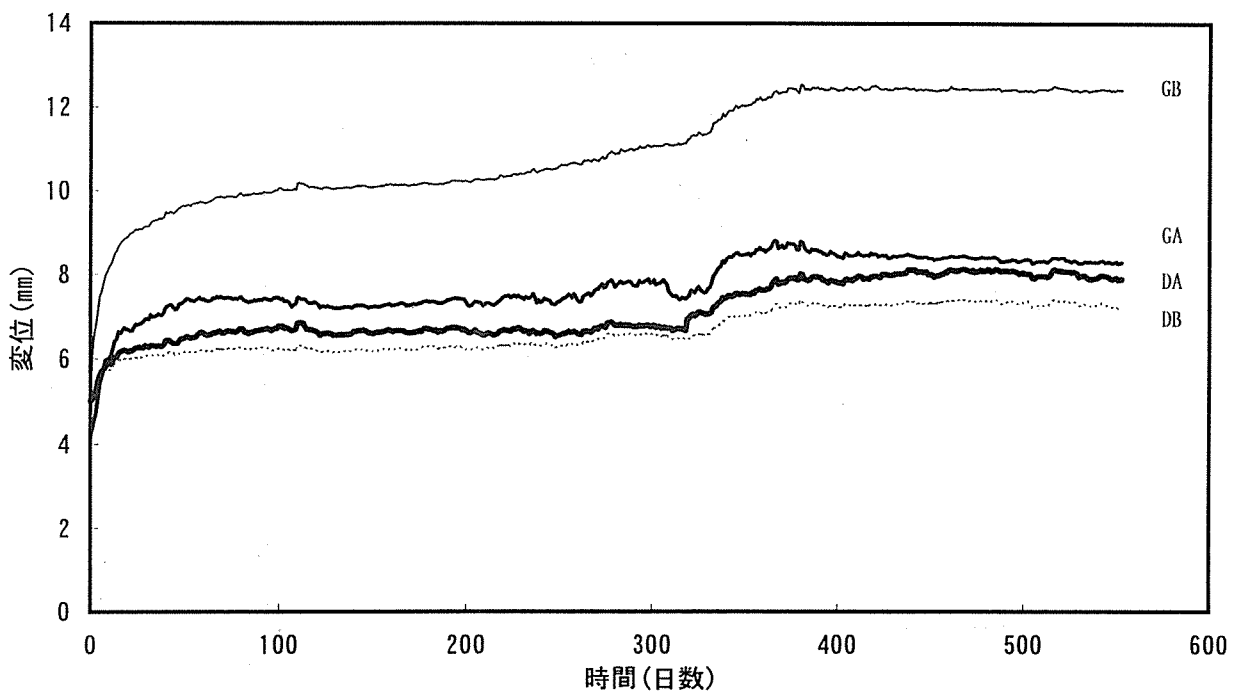


図 変位計データ (No. 10)

ダイヤル

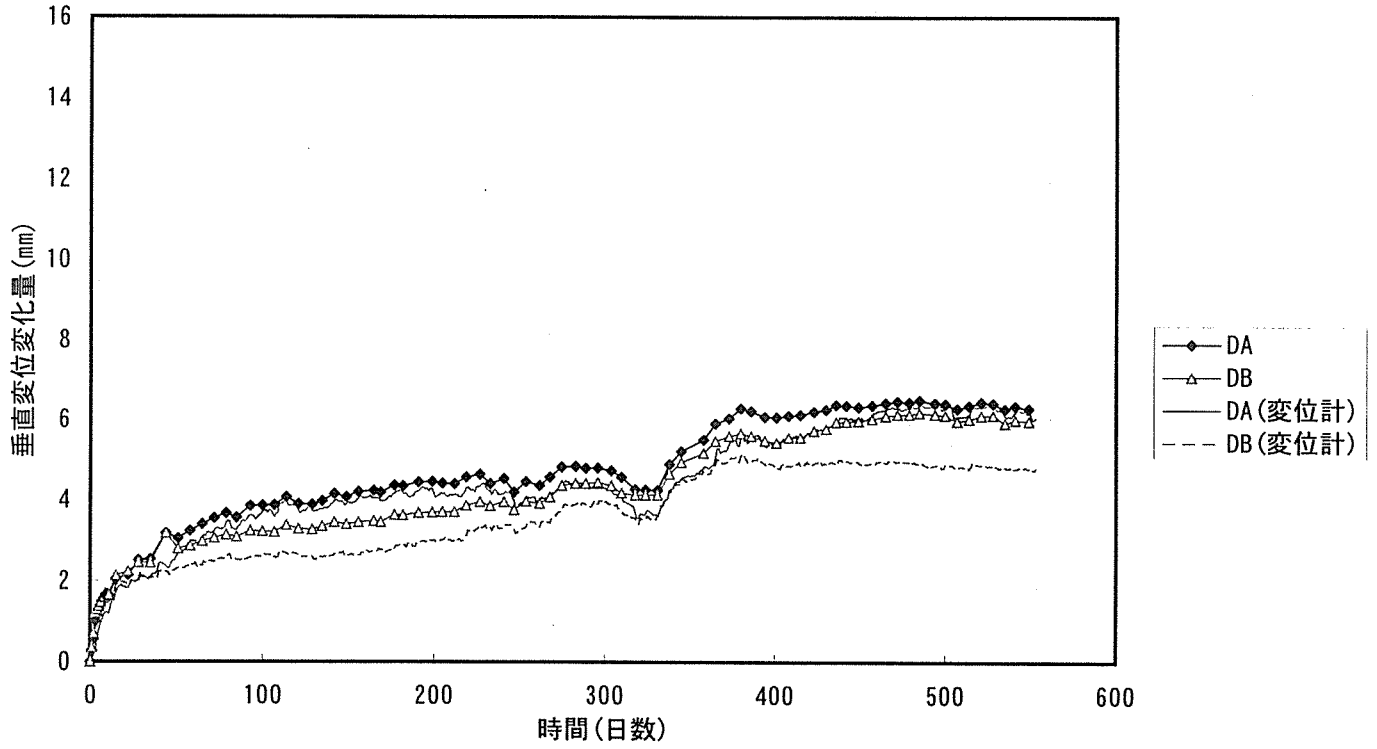


図 ダイヤル・ゲージ 測定値(乾燥材)

測定値. XLS

ダイヤル (2)

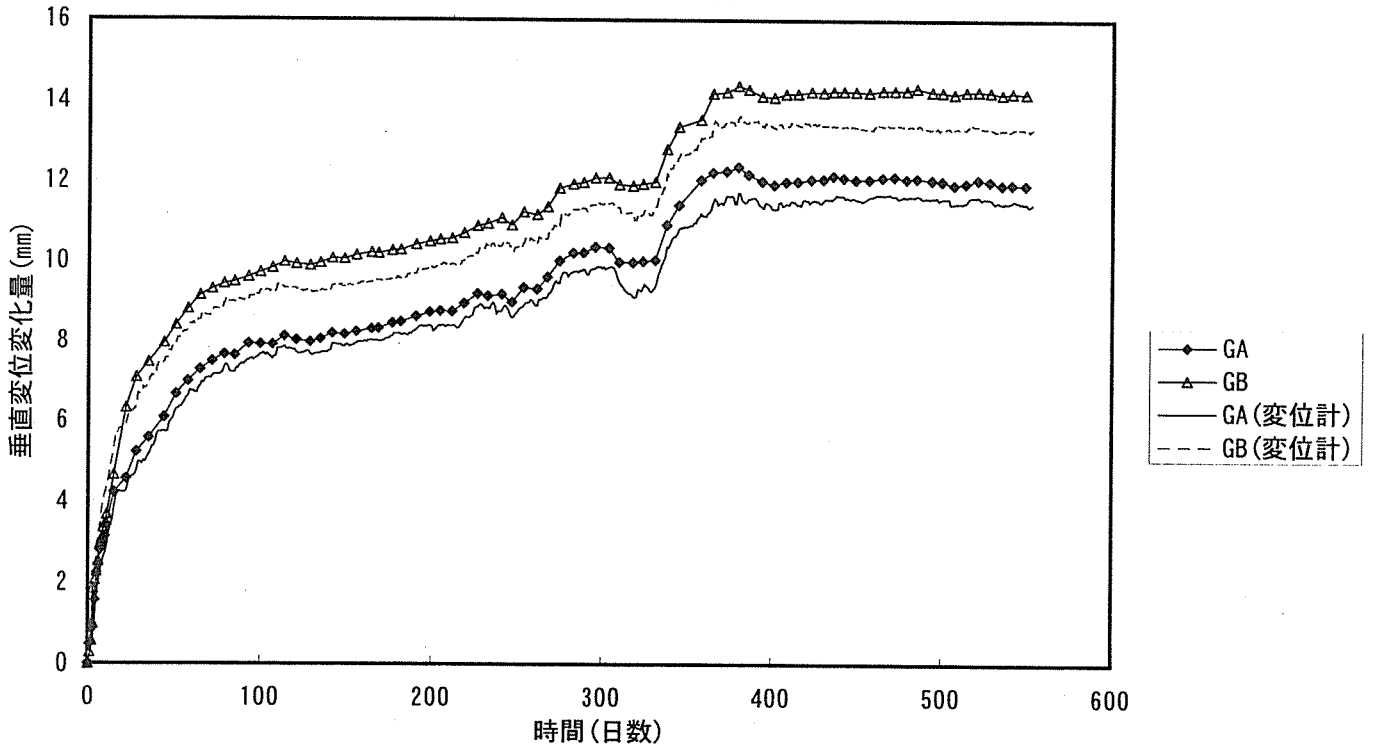
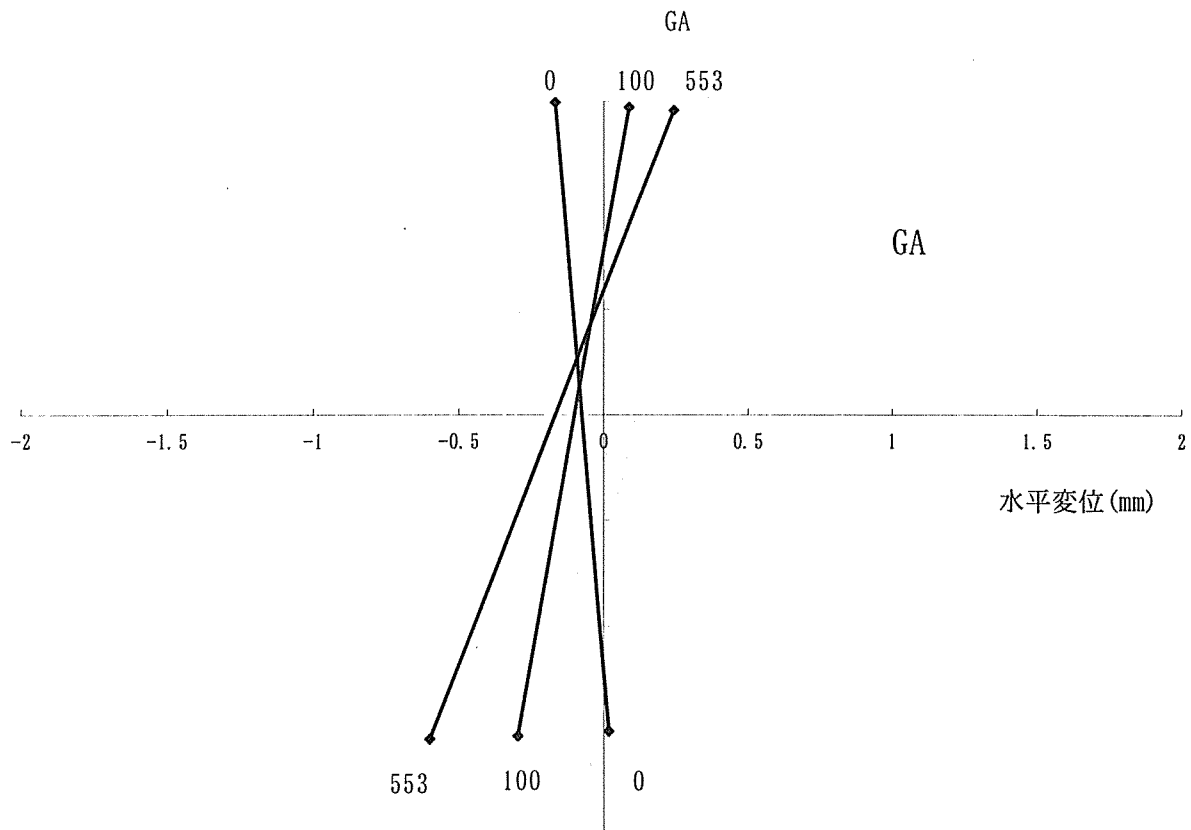


図 ダイヤル・ゲージ 測定値(未乾燥材)

測定値. XLS



D5-R. XLS

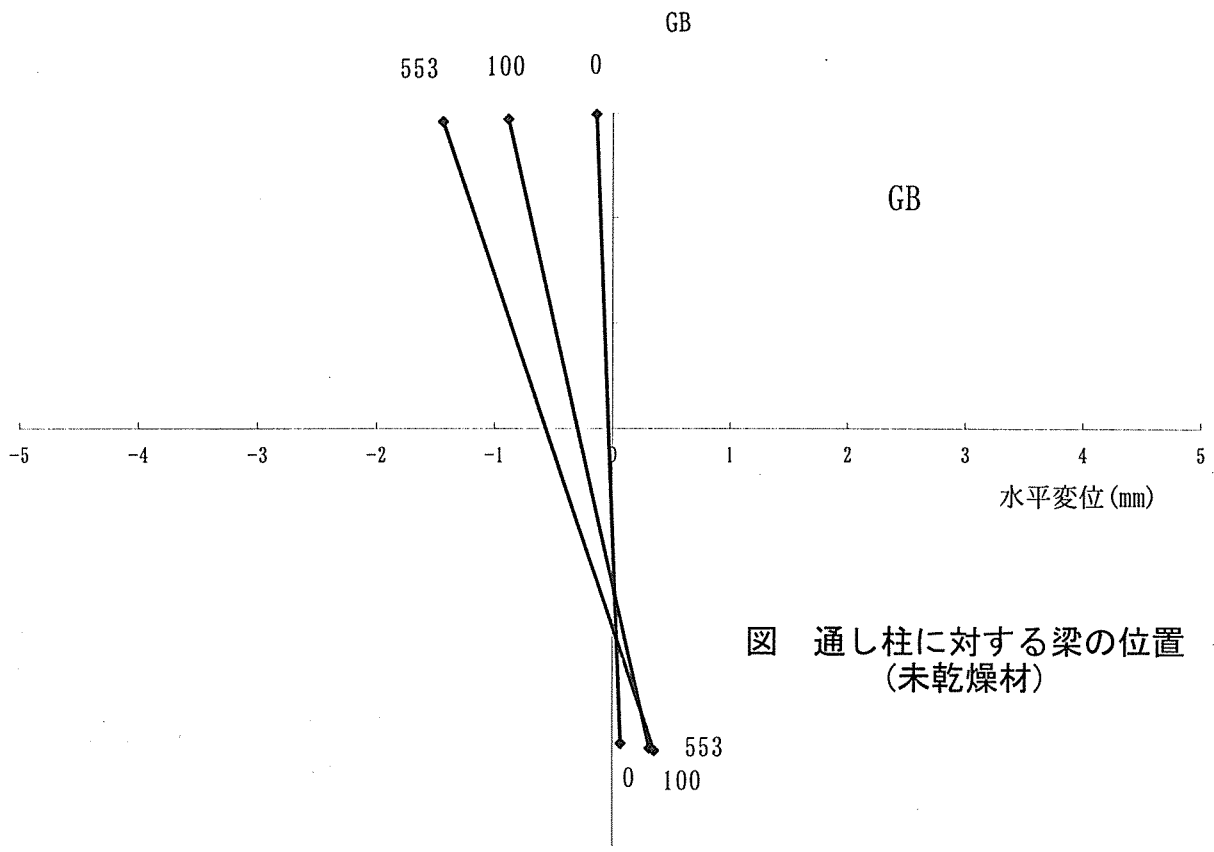
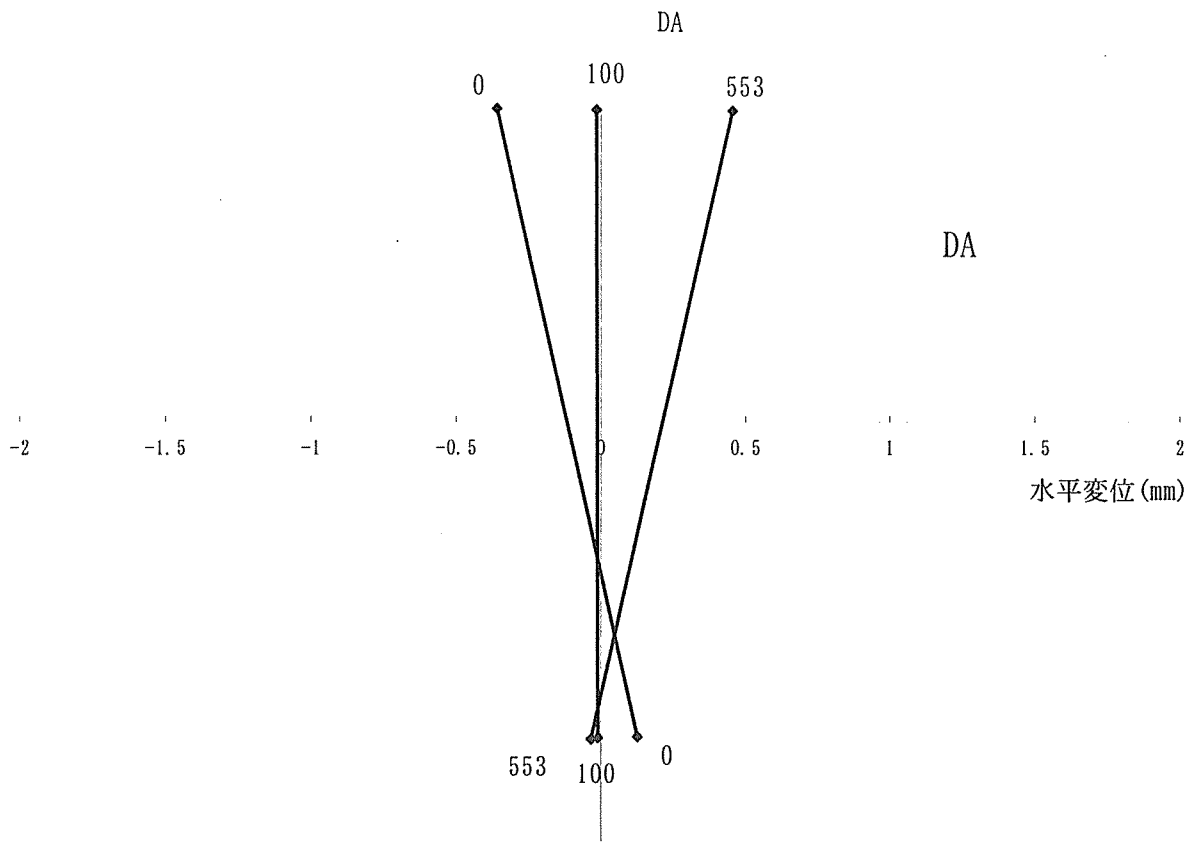


図 通し柱に対する梁の位置
(未乾燥材)

D5-R. XLS



D5-R. XLS

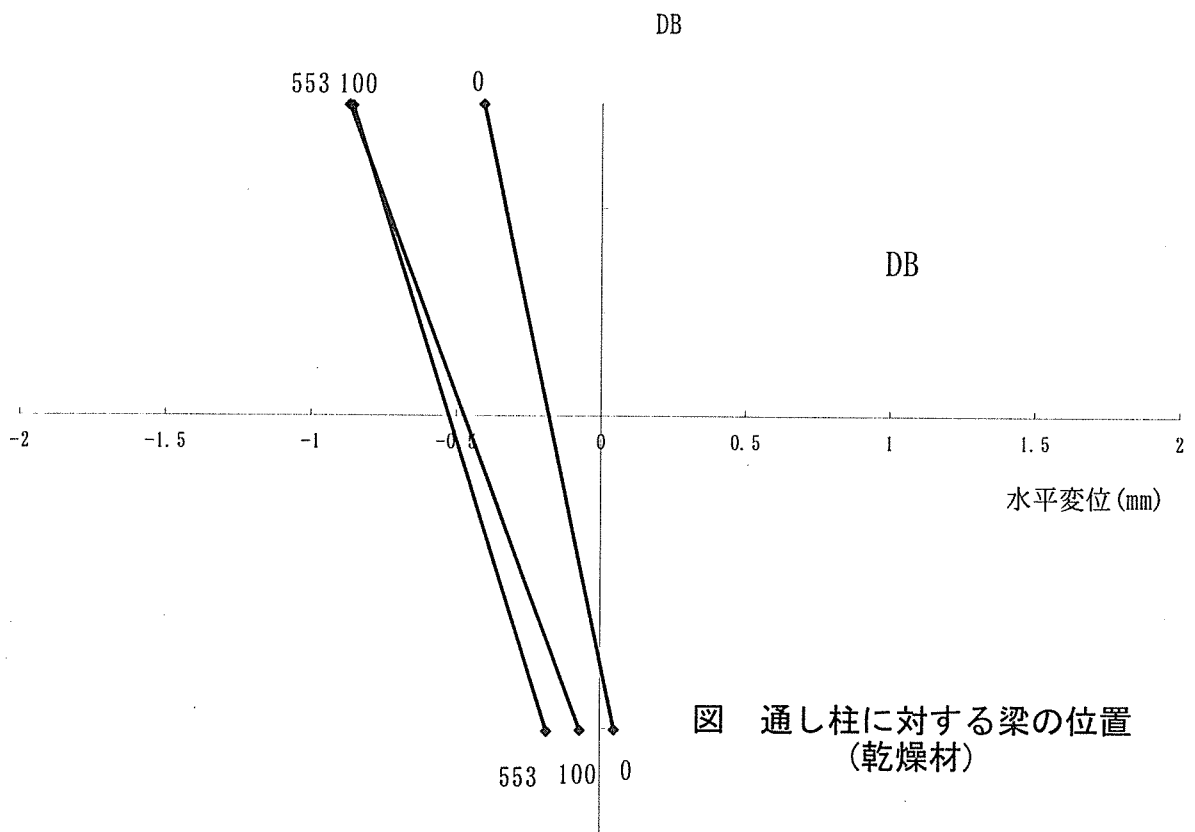


図 通し柱に対する梁の位置
(乾燥材)

D5-R. XLS

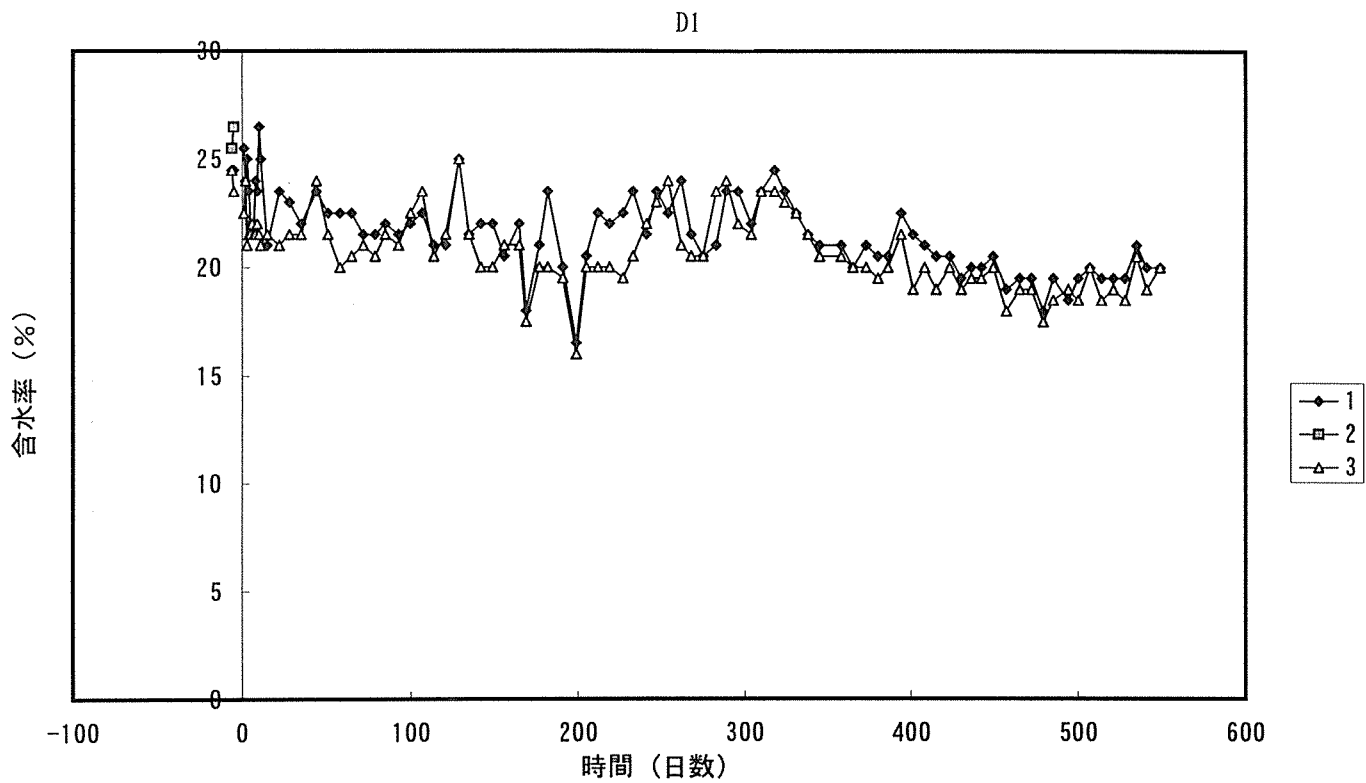


図 含水率変化

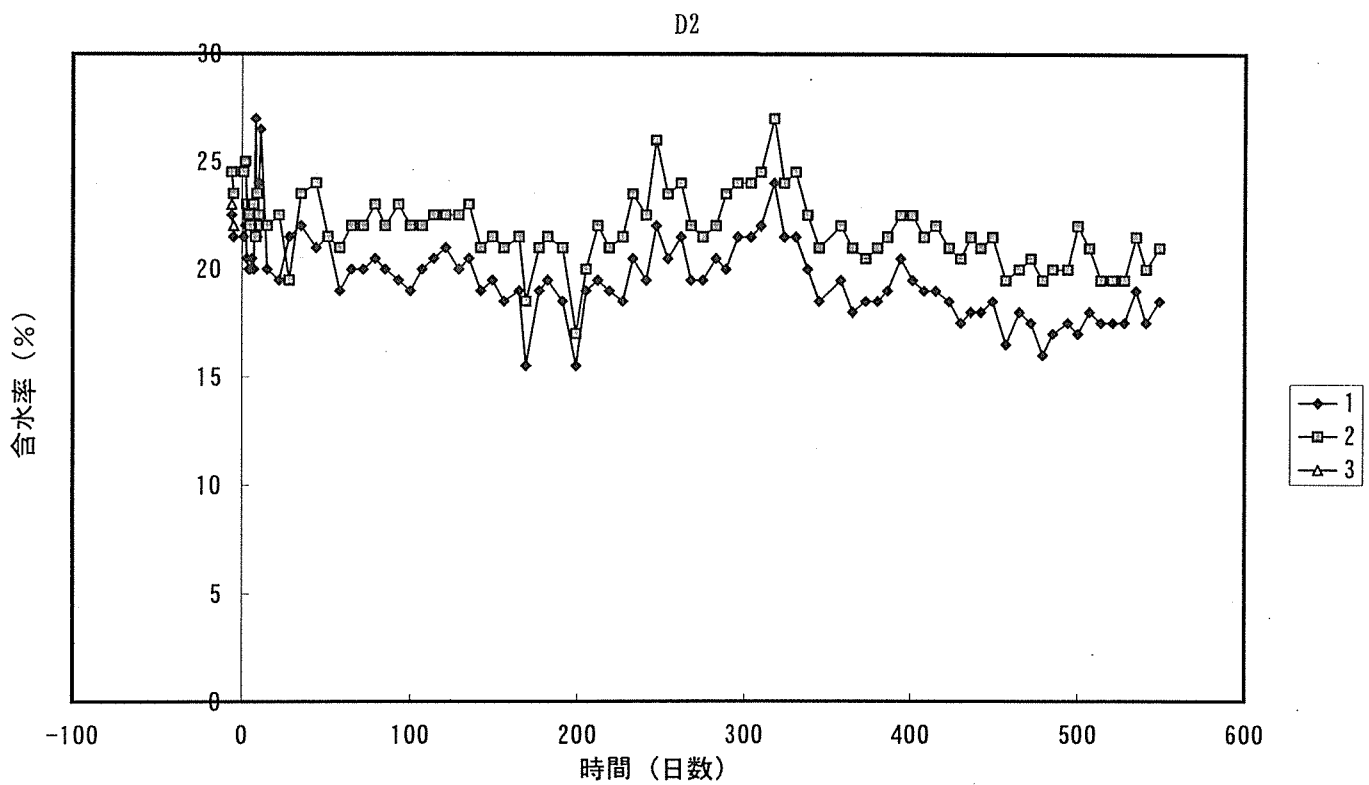


図 含水率変化

D3

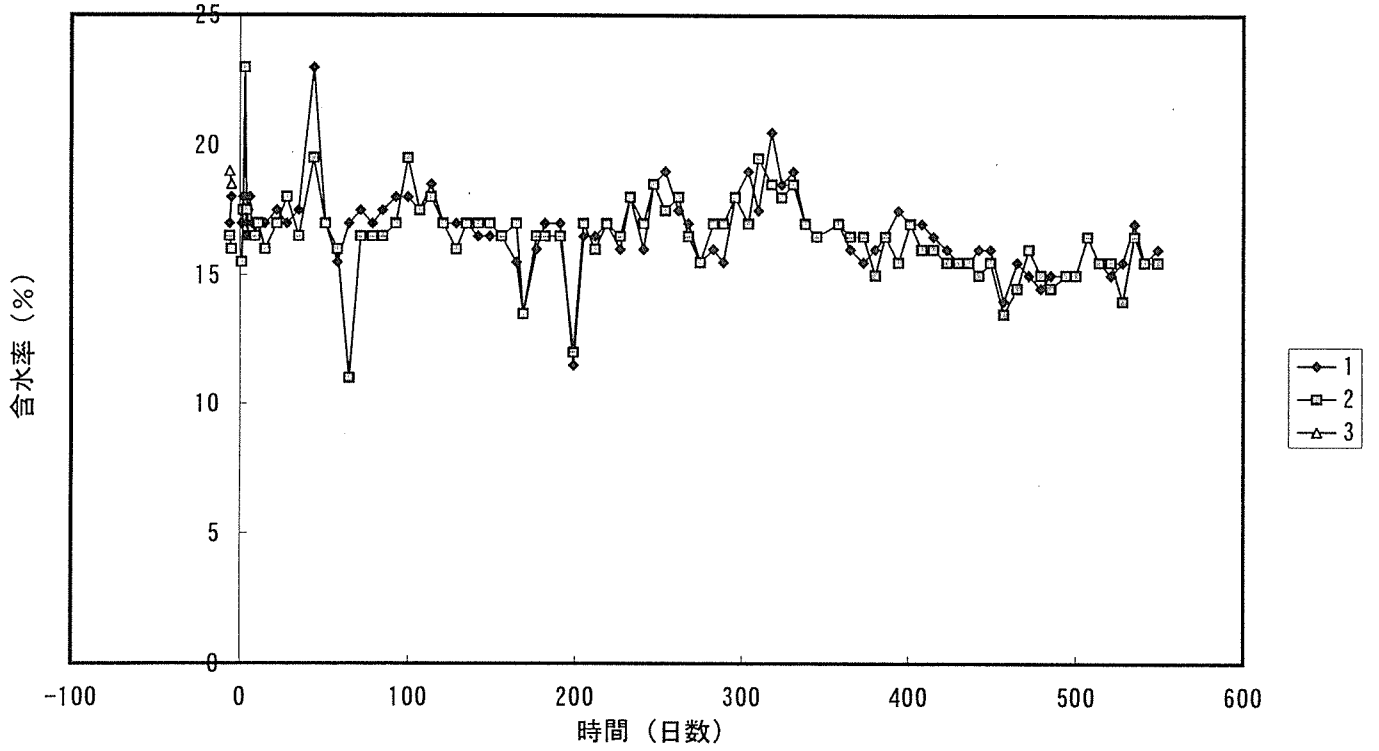


図 含水率変化

D4

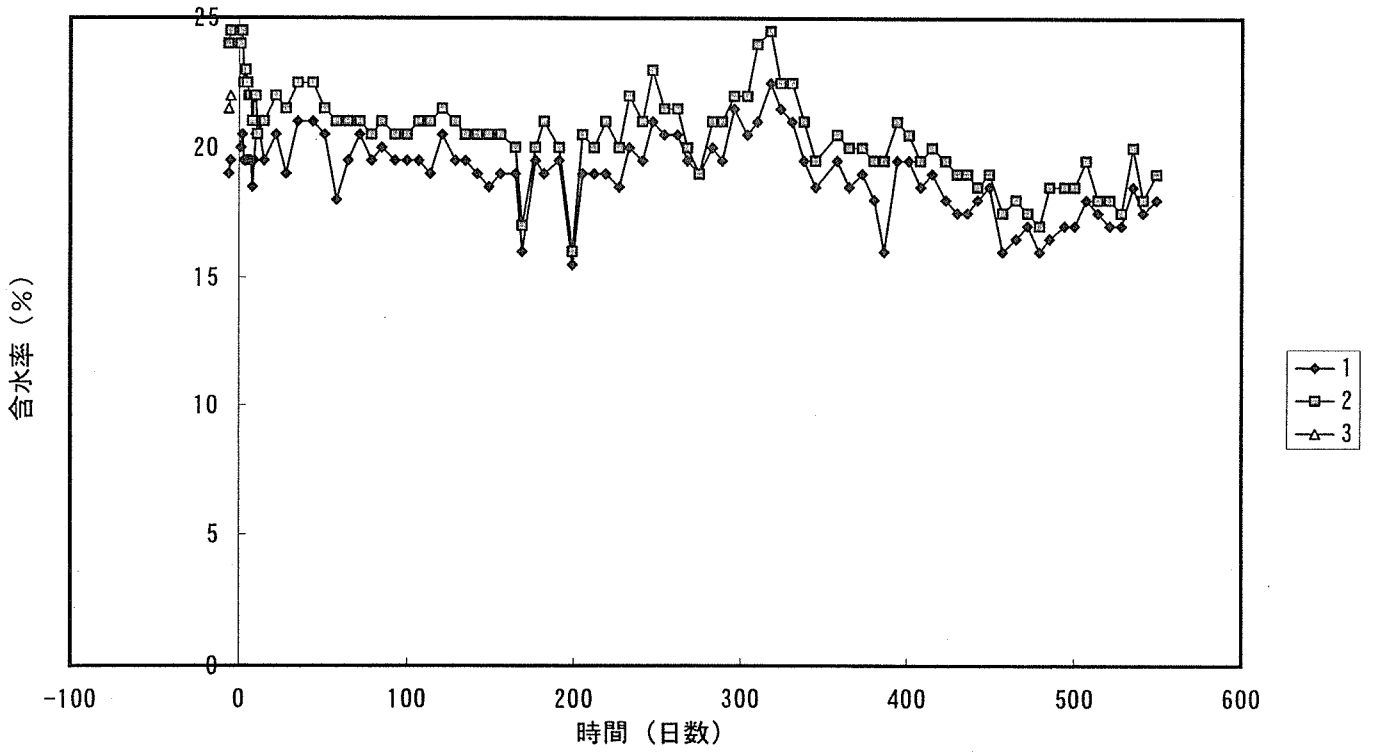


図 含水率変化

D5

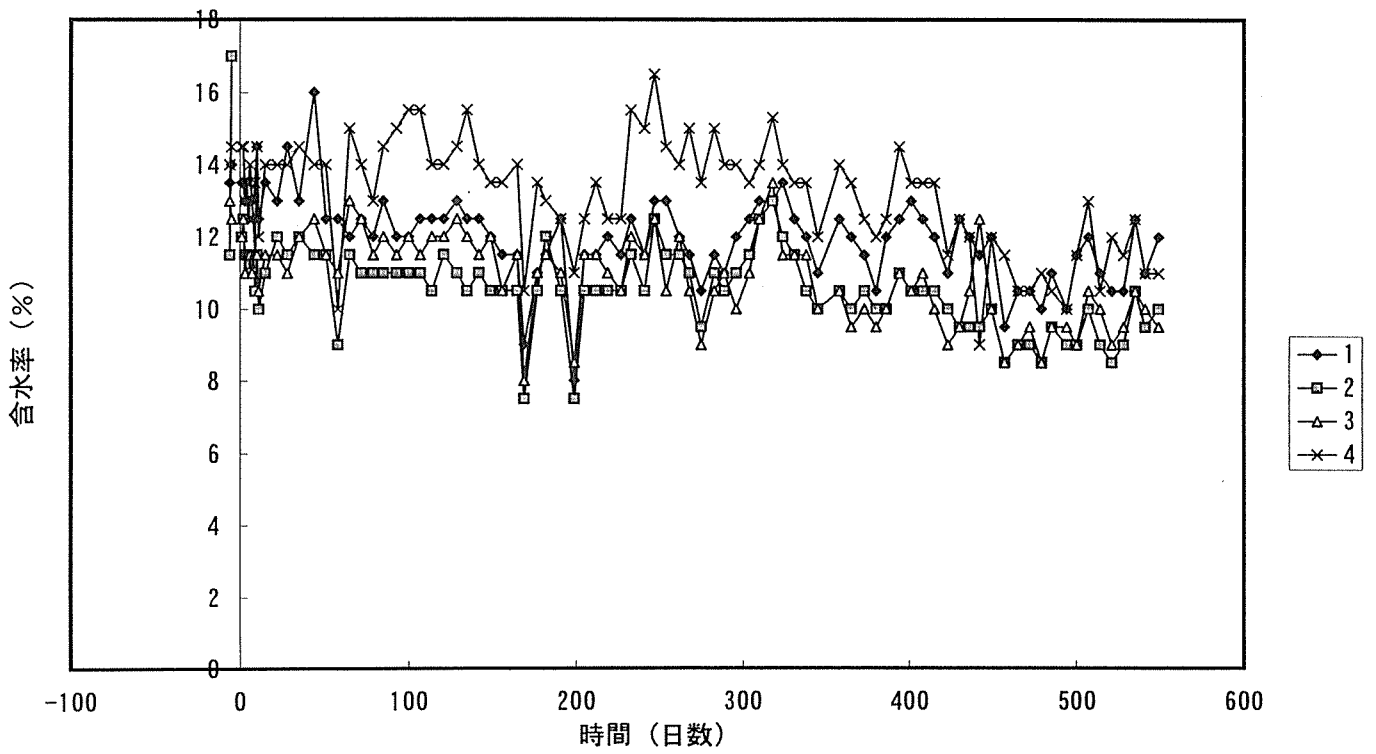


図 含水率変化

D6

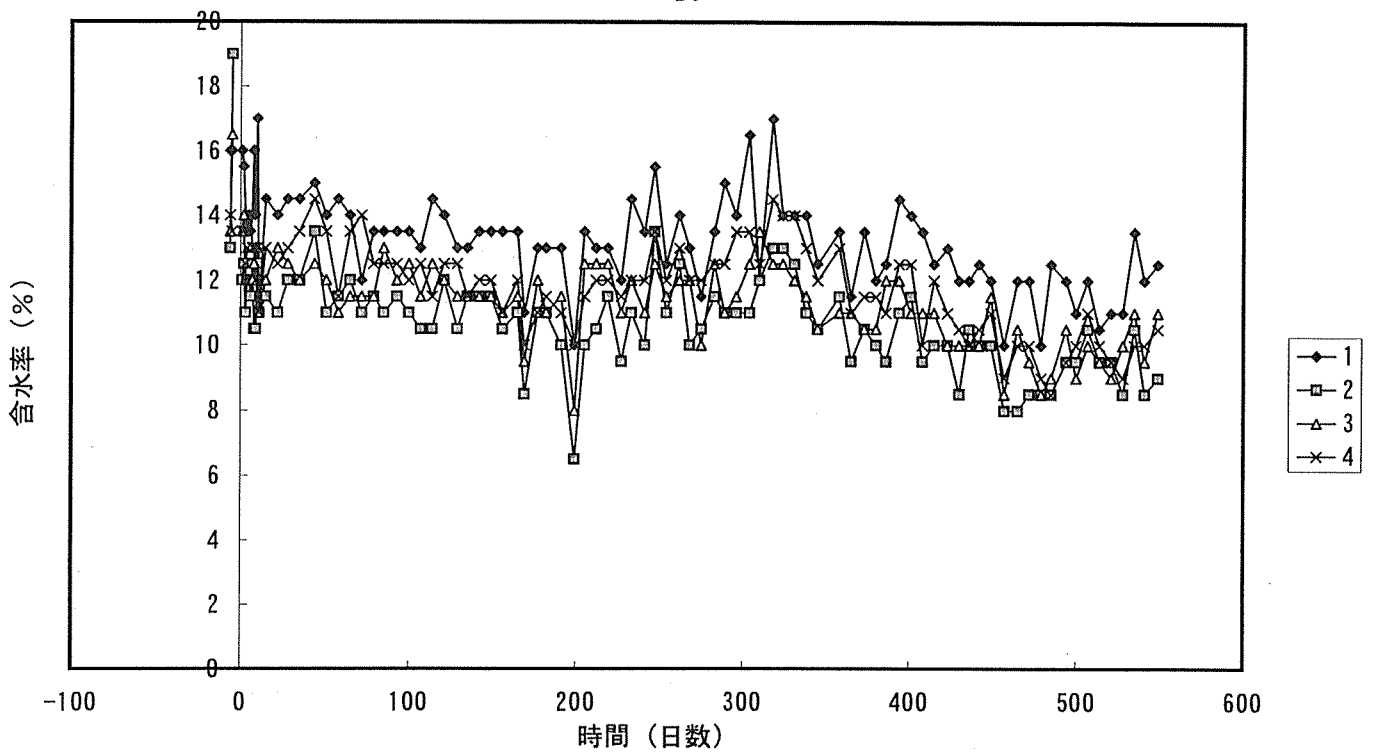


図 含水率変化

D7

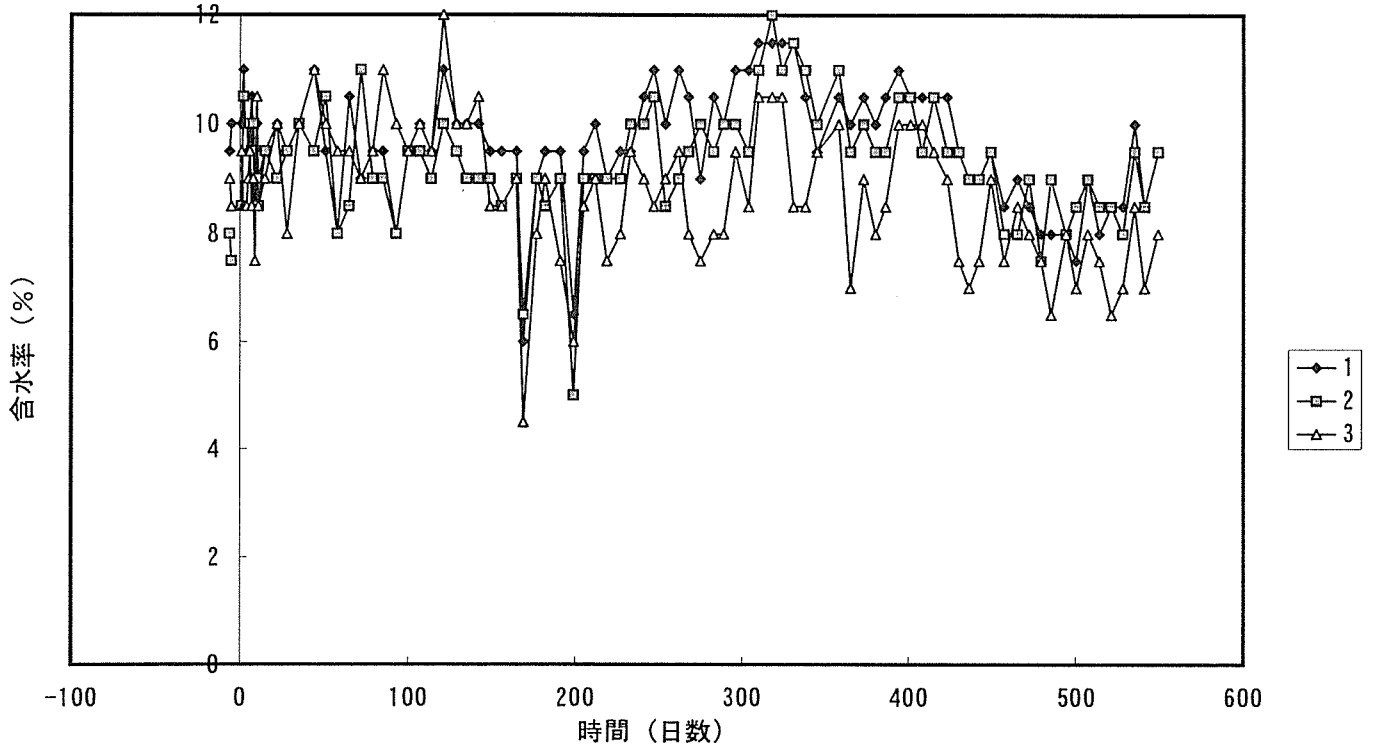


図 含水率変化

D8

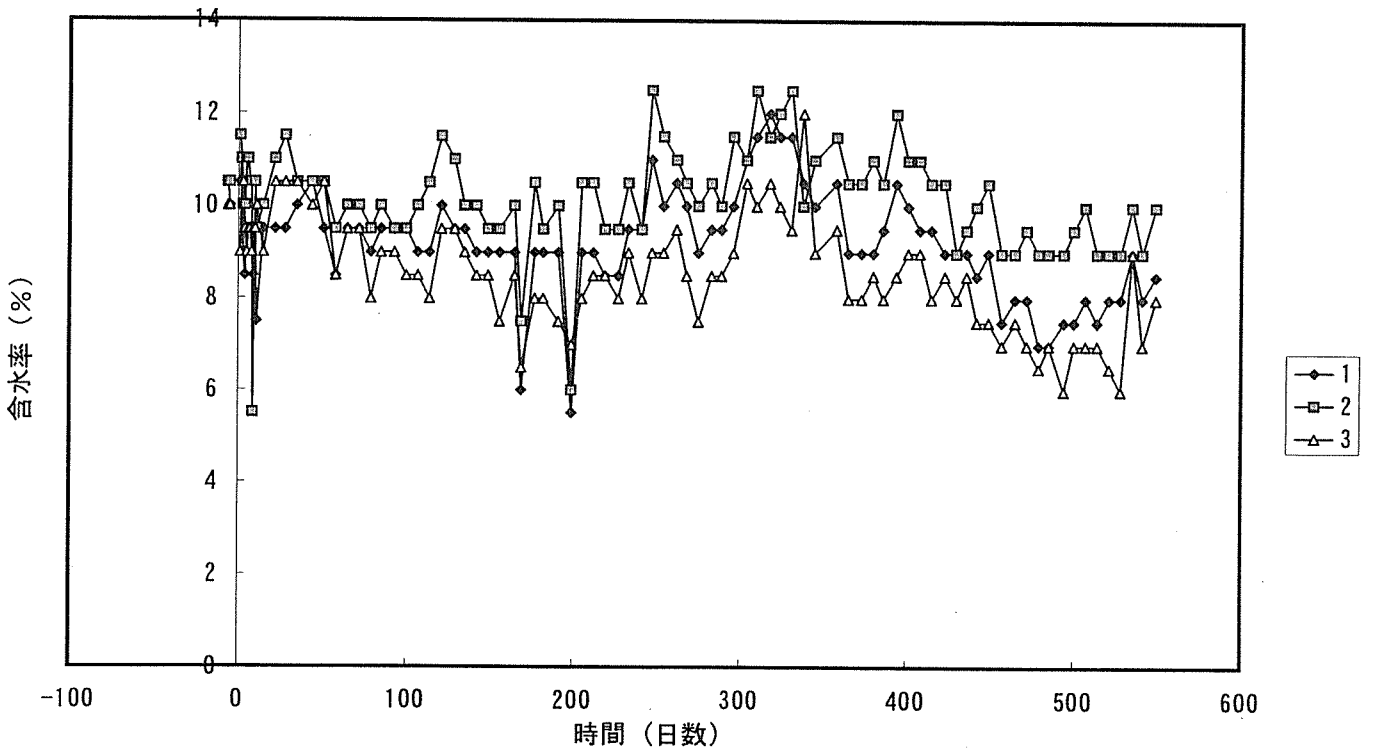


図 含水率変化

D9

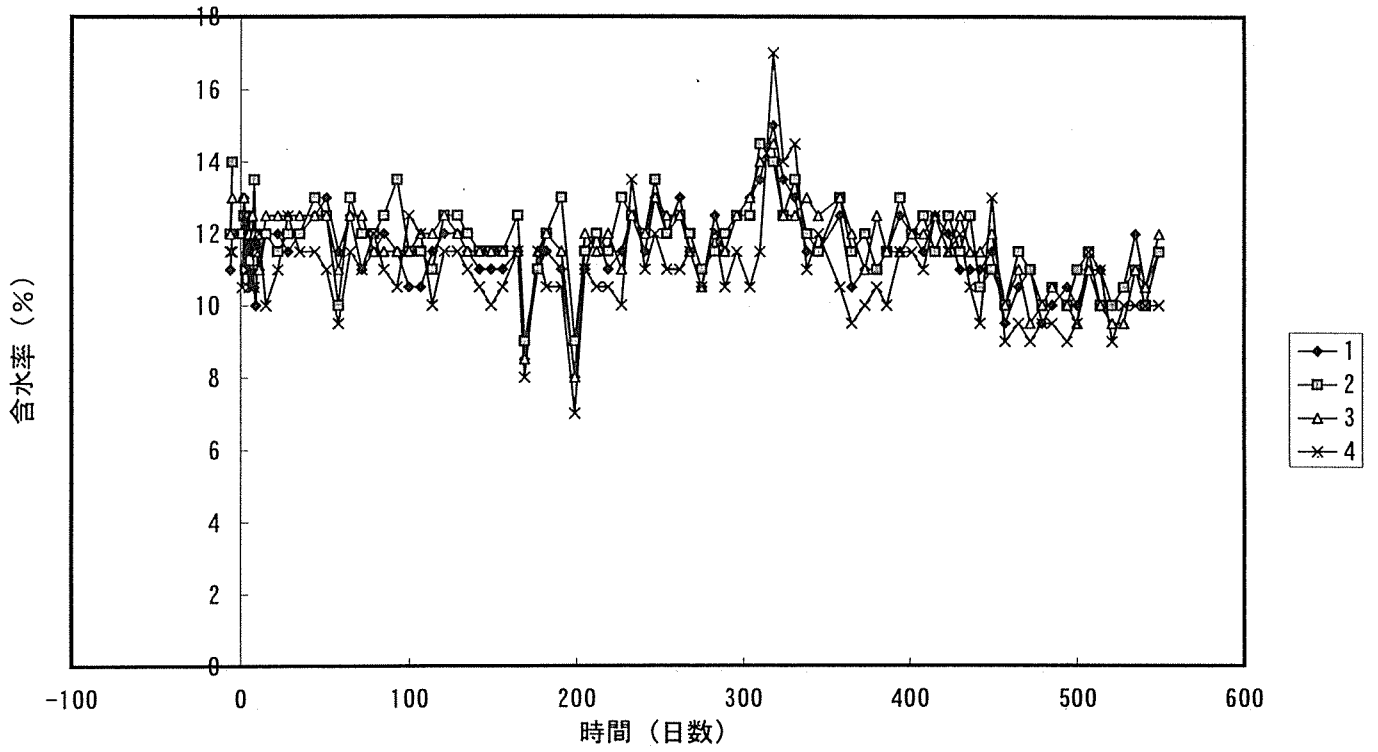


図 含水率変化

D10

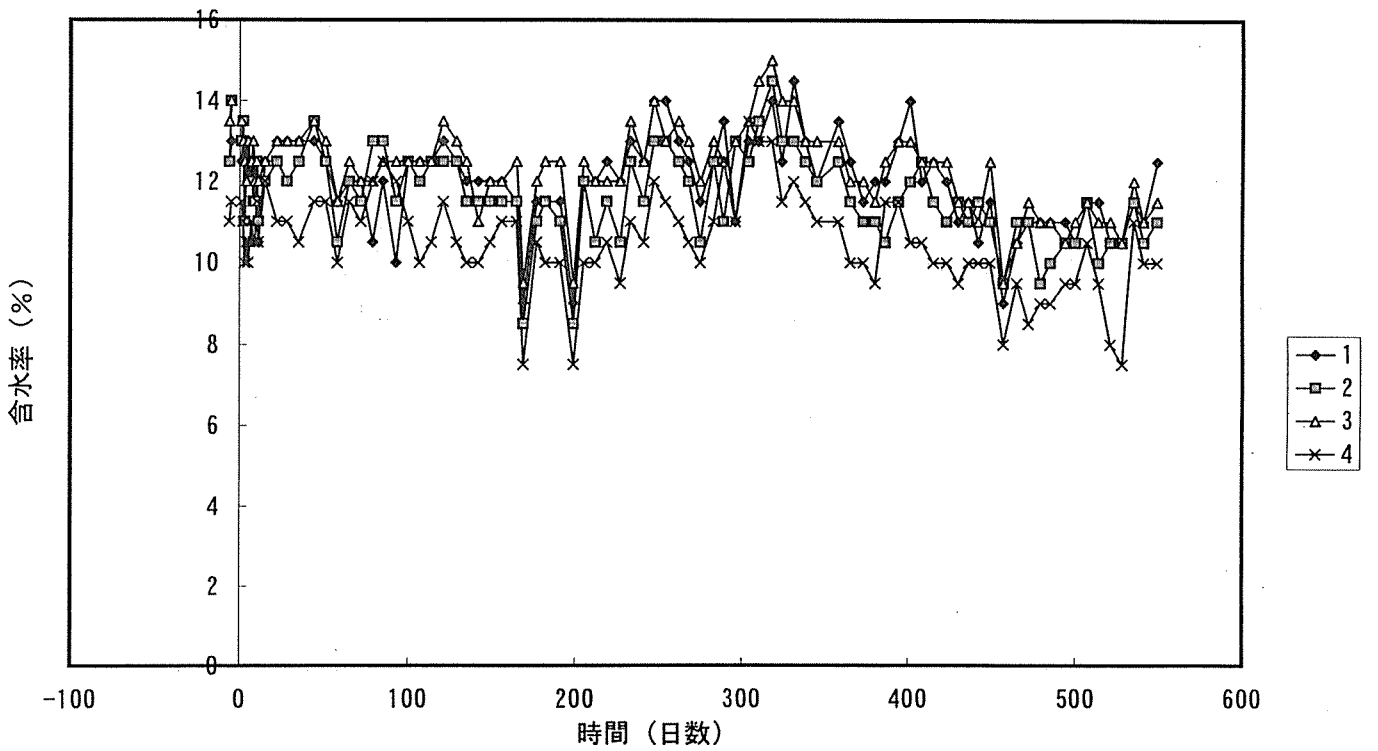


図 含水率変化

D11

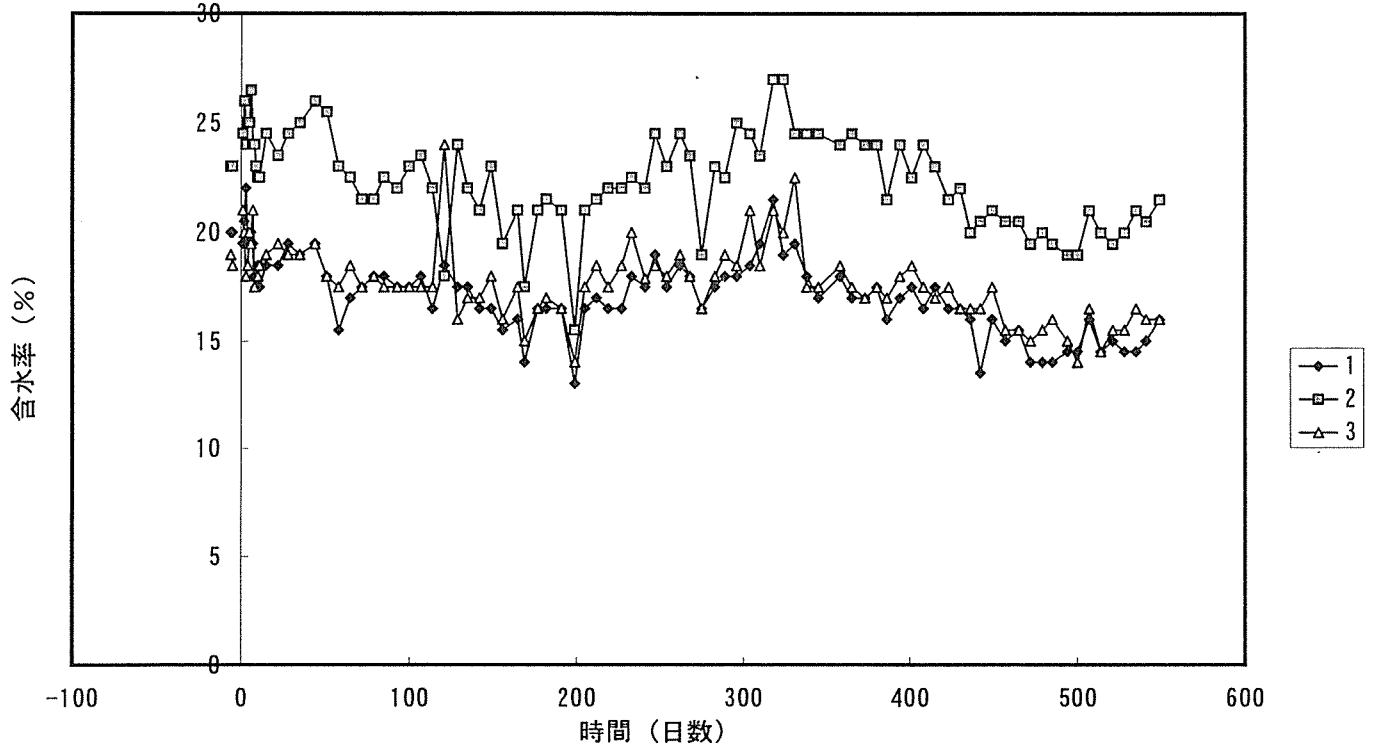


図 含水率変化

D12

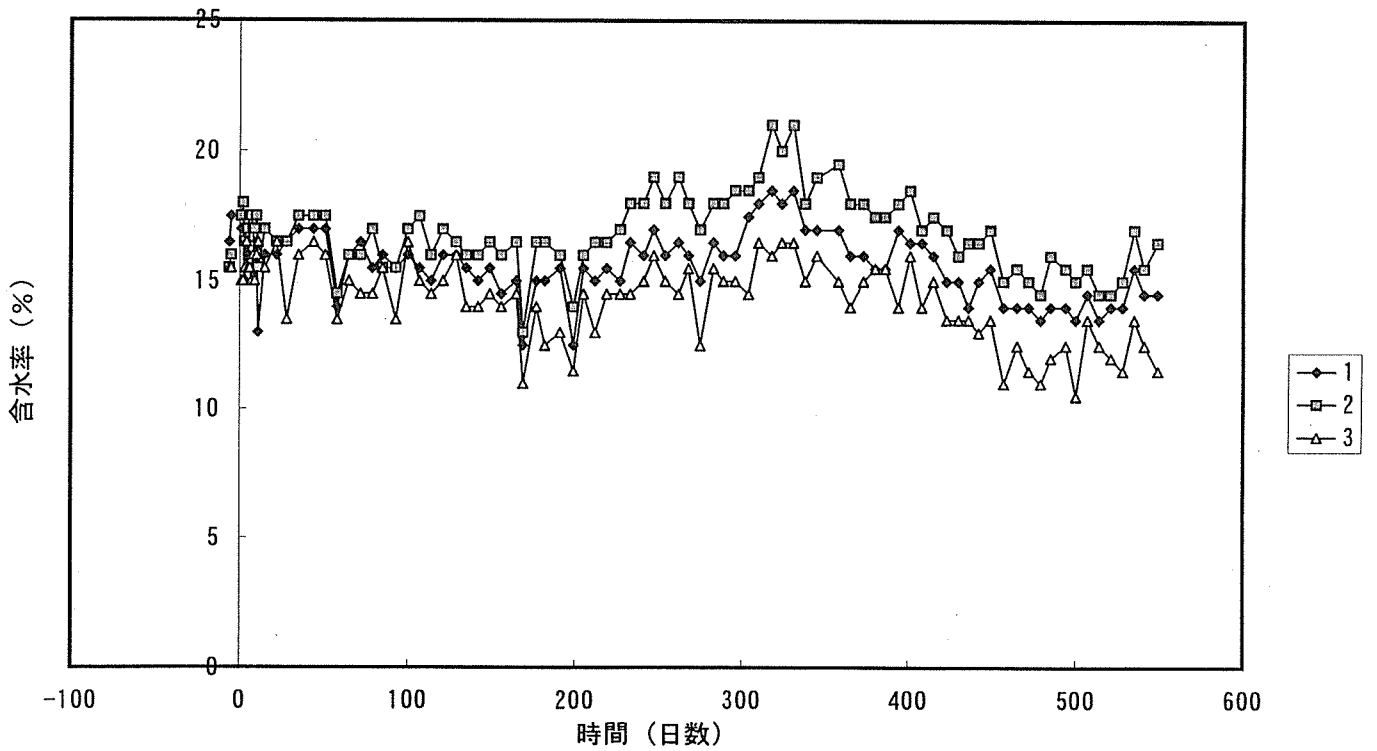


図 含水率変化

G1

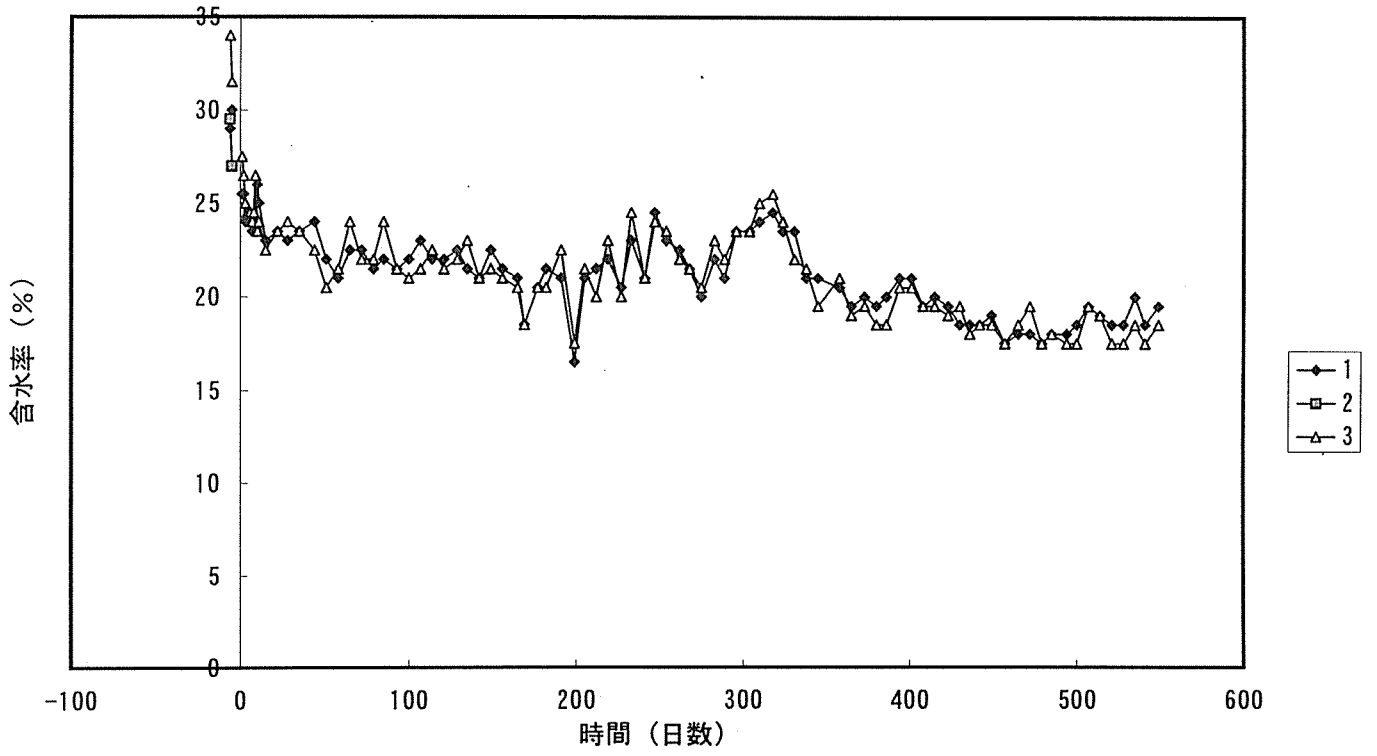


図 含水率変化

G2

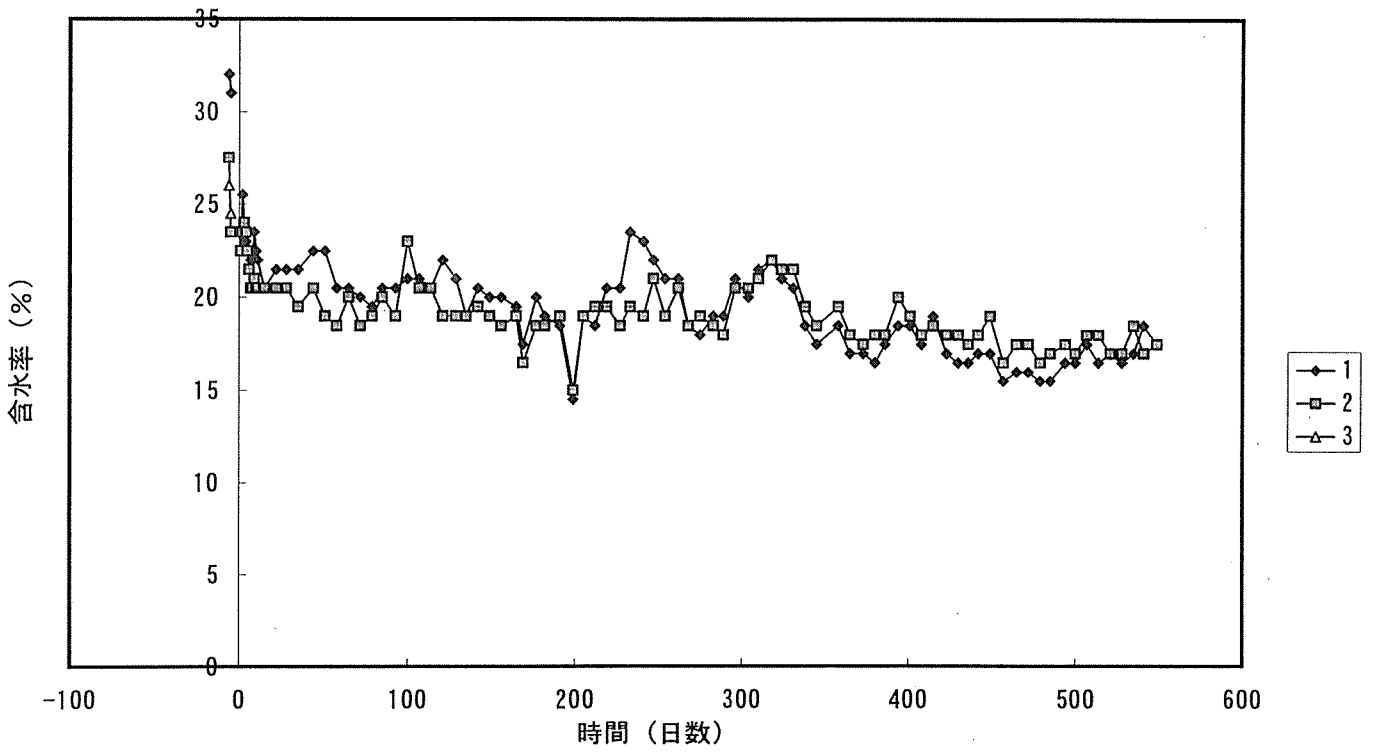


図 含水率変化

G3

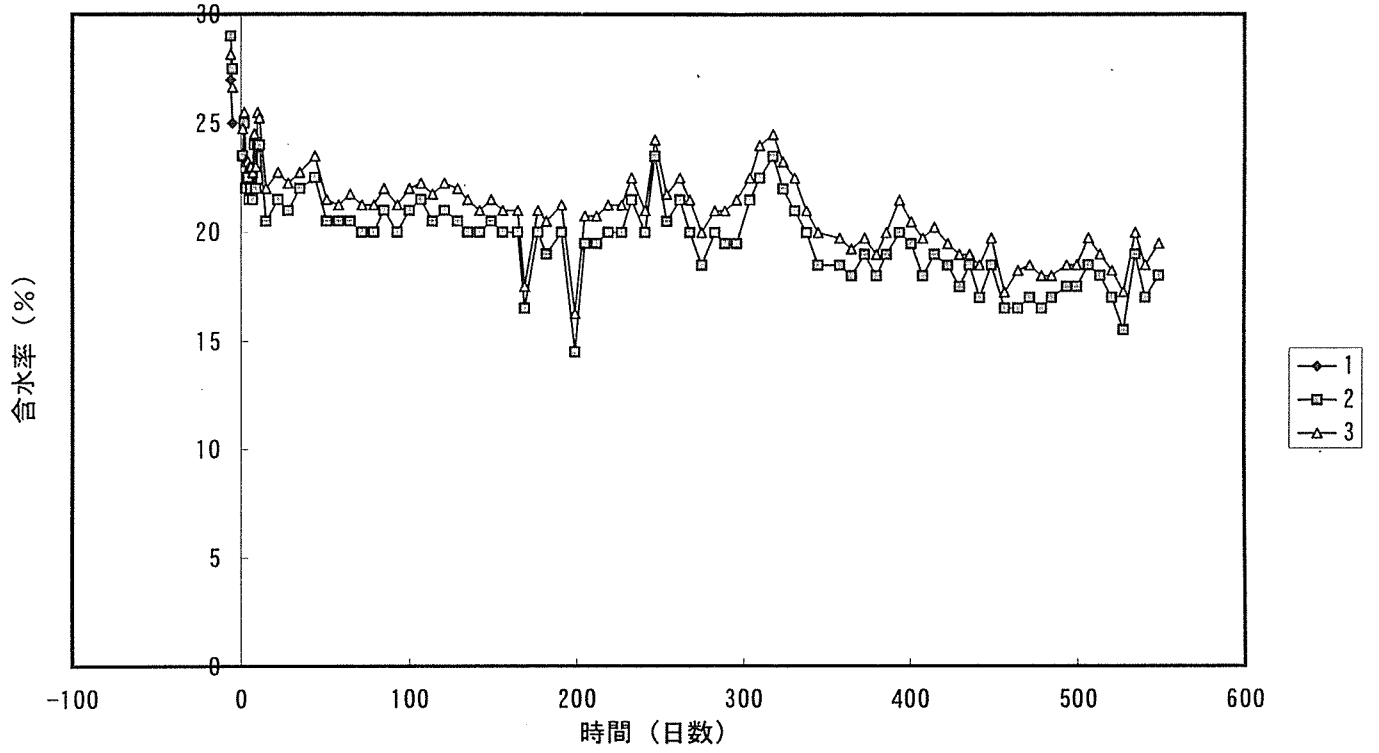


図 含水率変化

G4

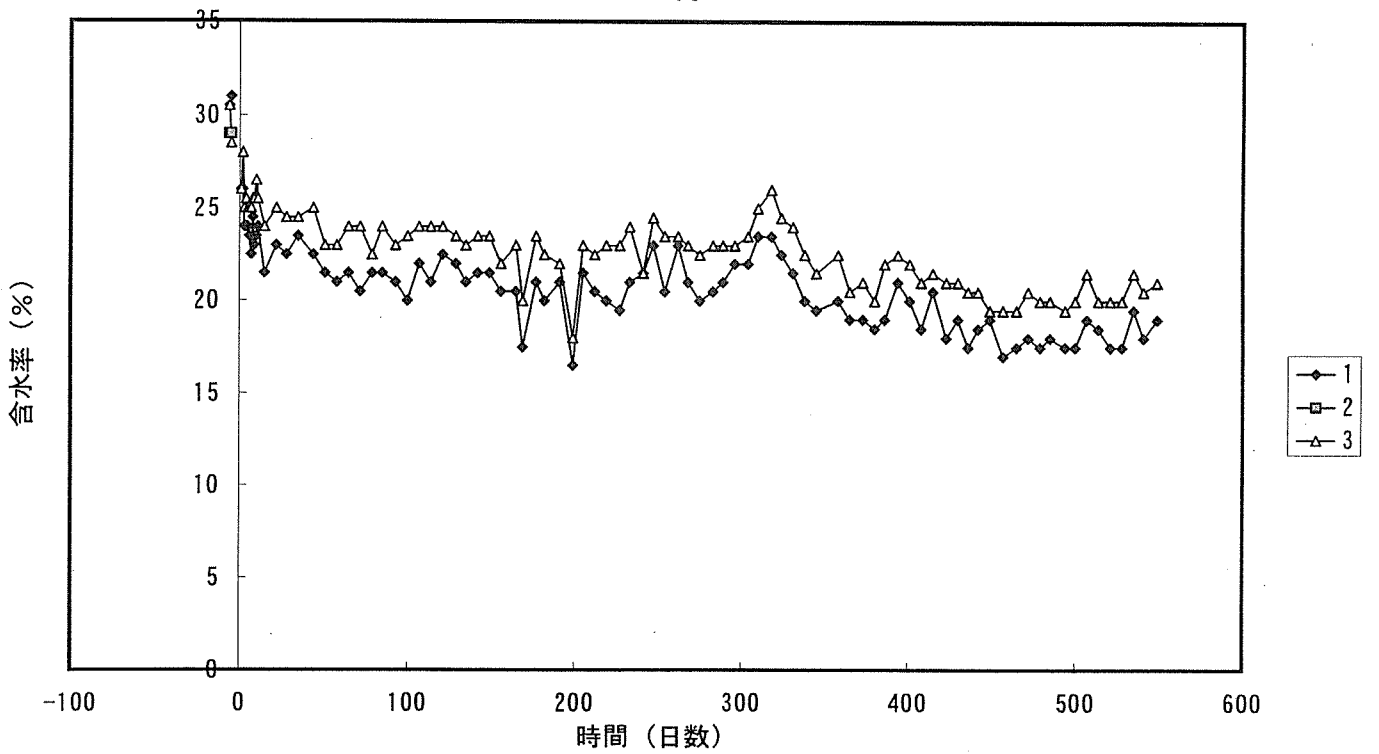


図 含水率変化

G5

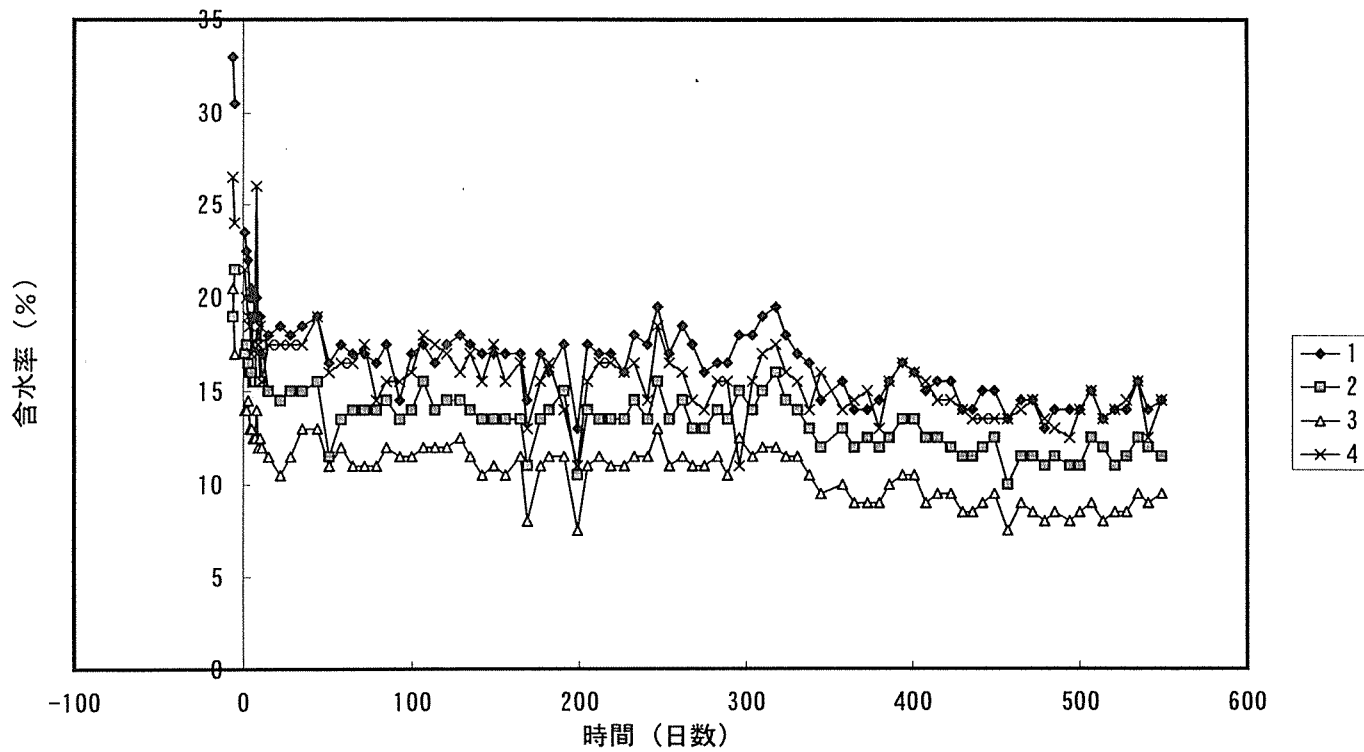


図 含水率変化

G6

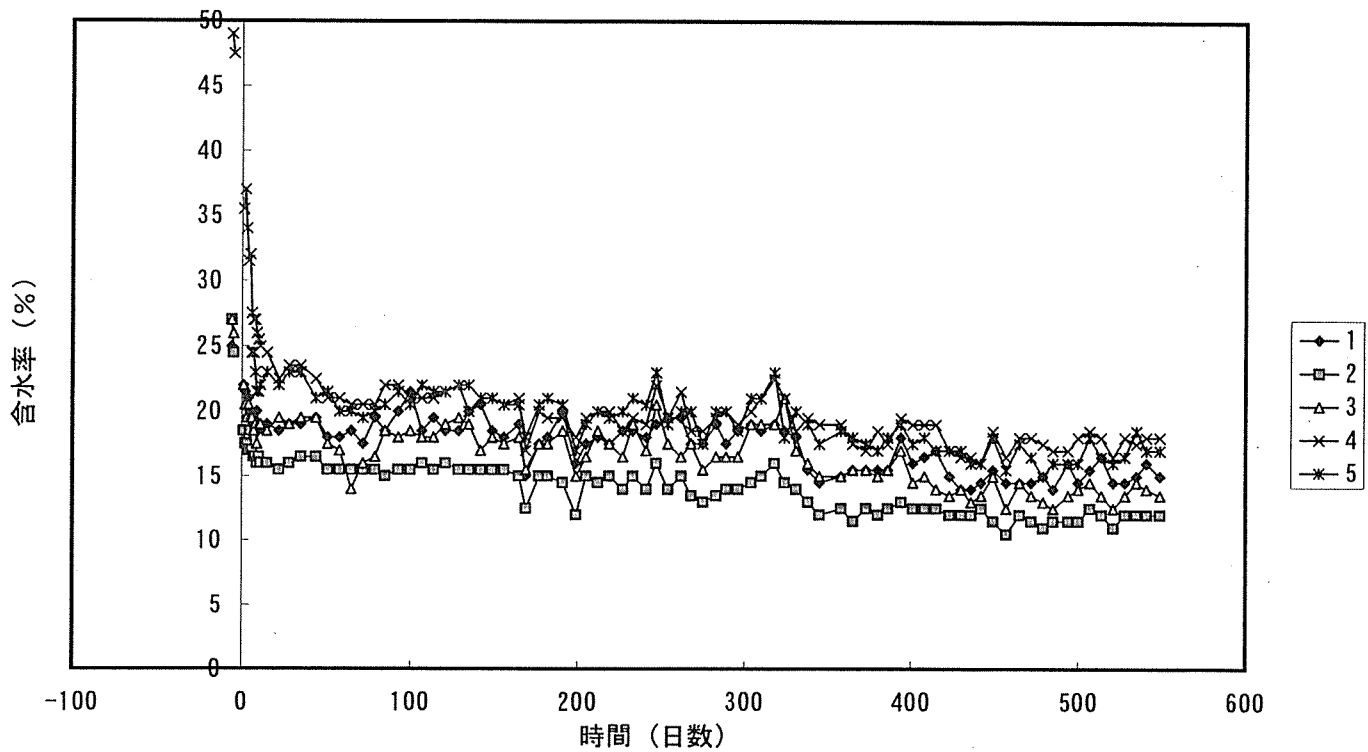


図 含水率変化

G7

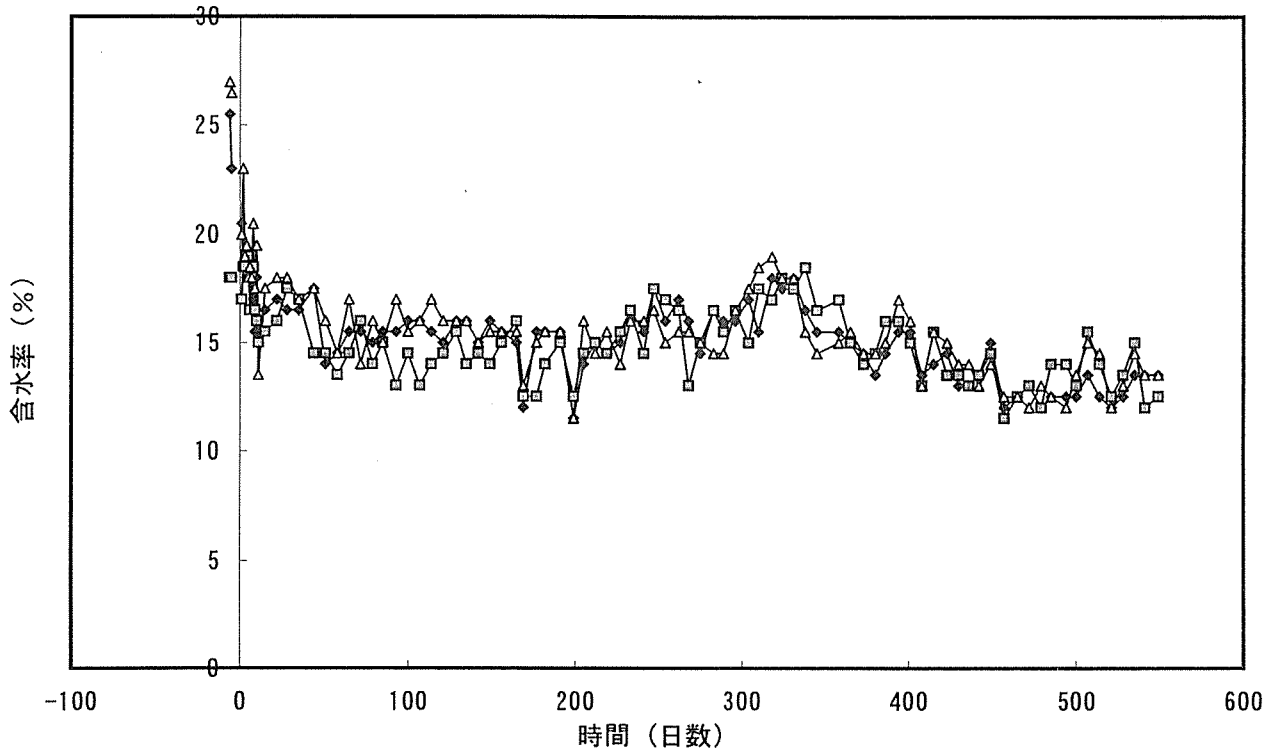


図 含水率変化

G8

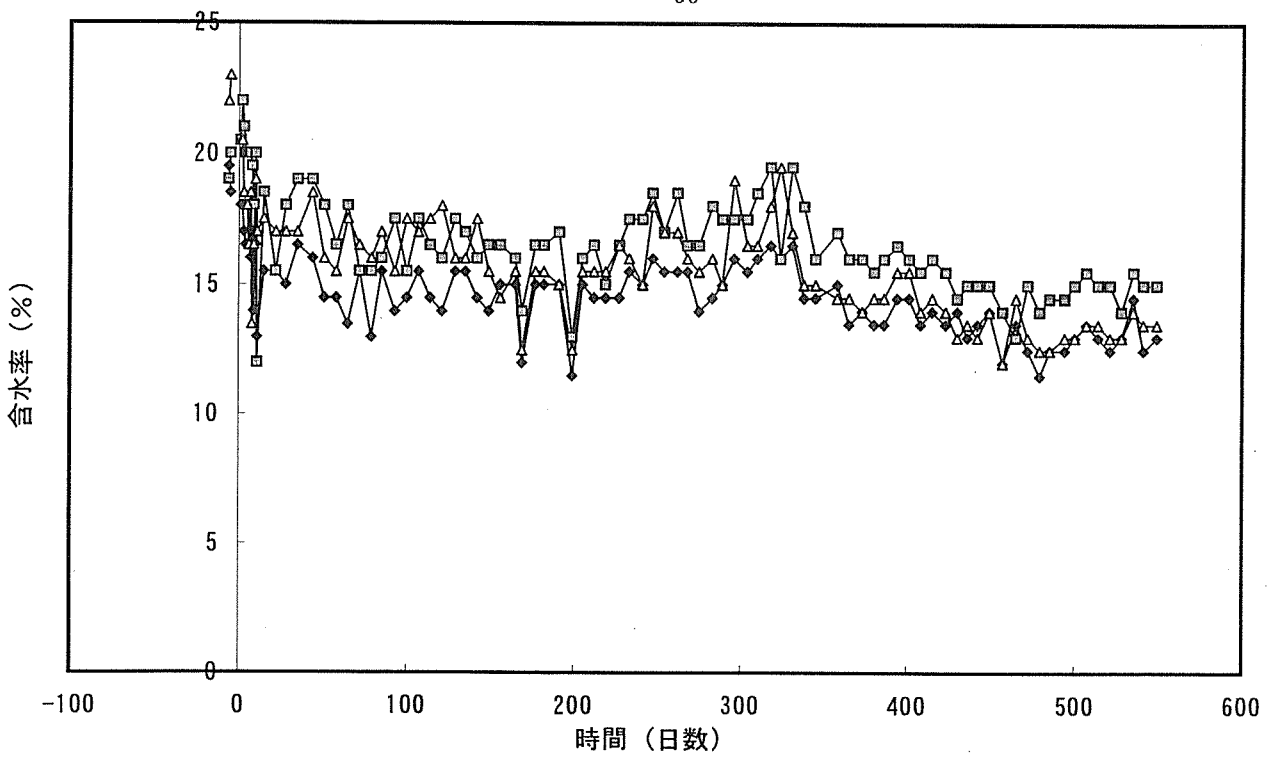


図 含水率変化

G9

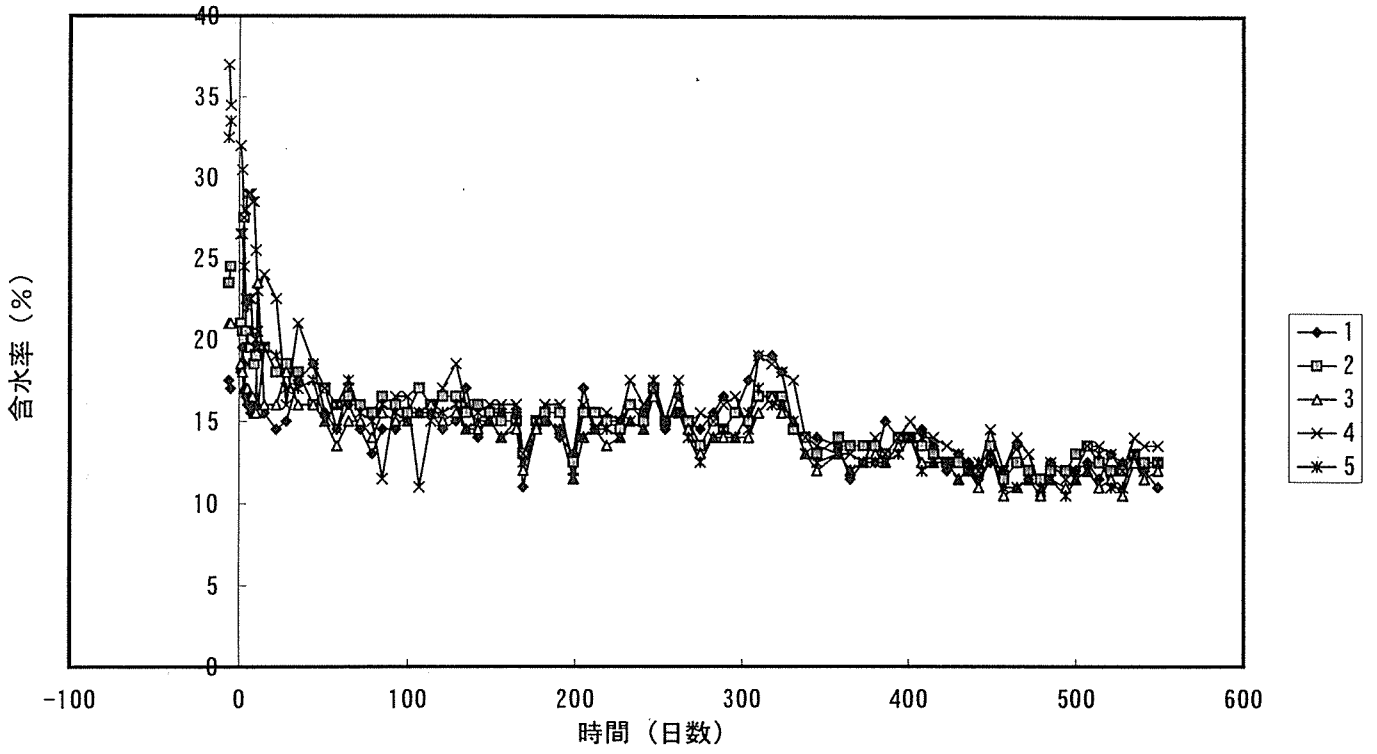


図 含水率変化

G10

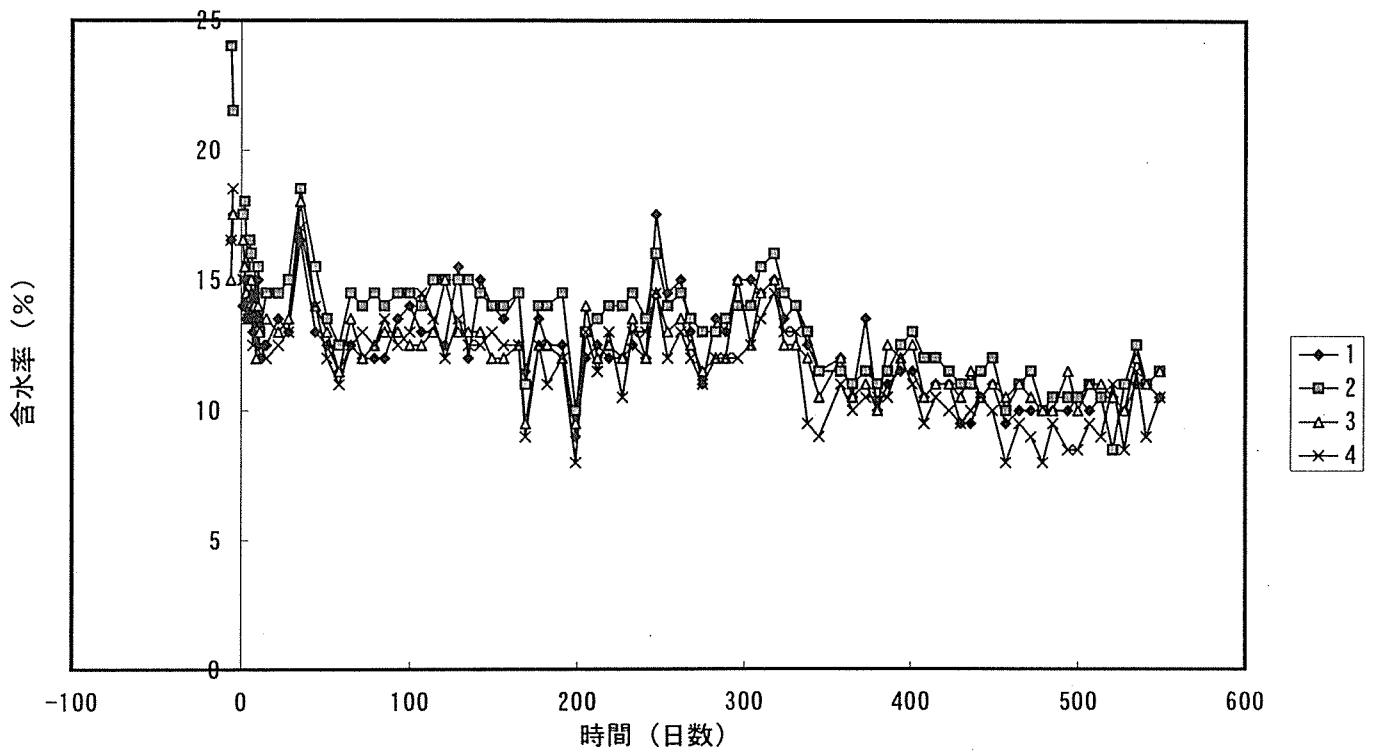


図 含水率変化

G11

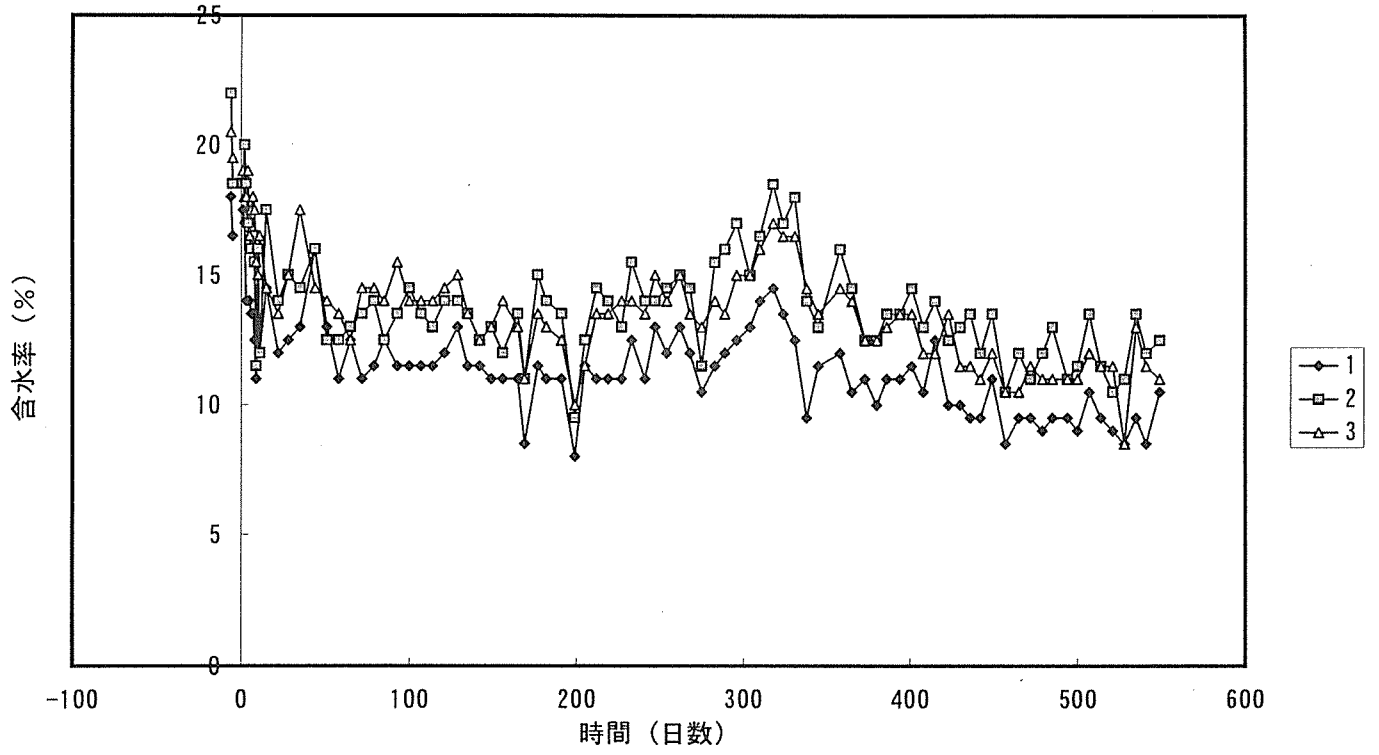


図 含水率変化

G12

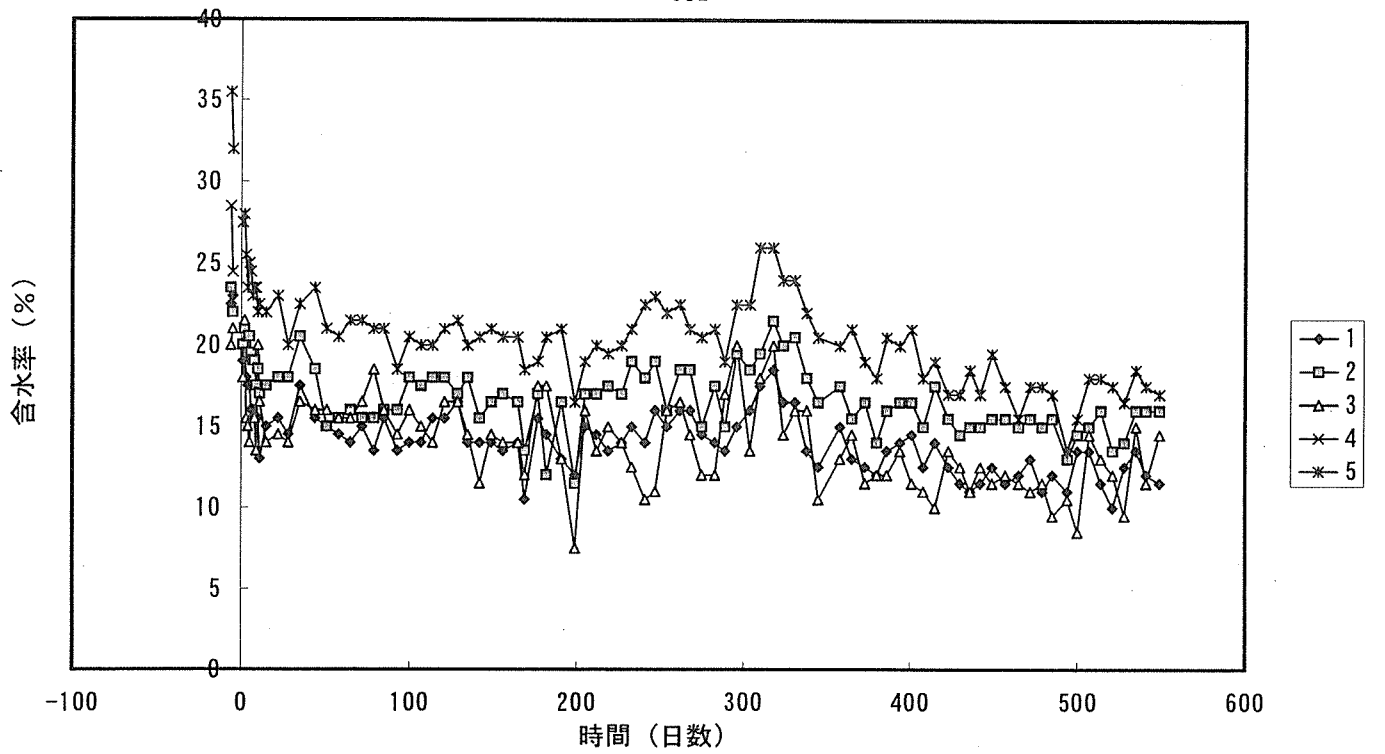


図 含水率変化

sam-b

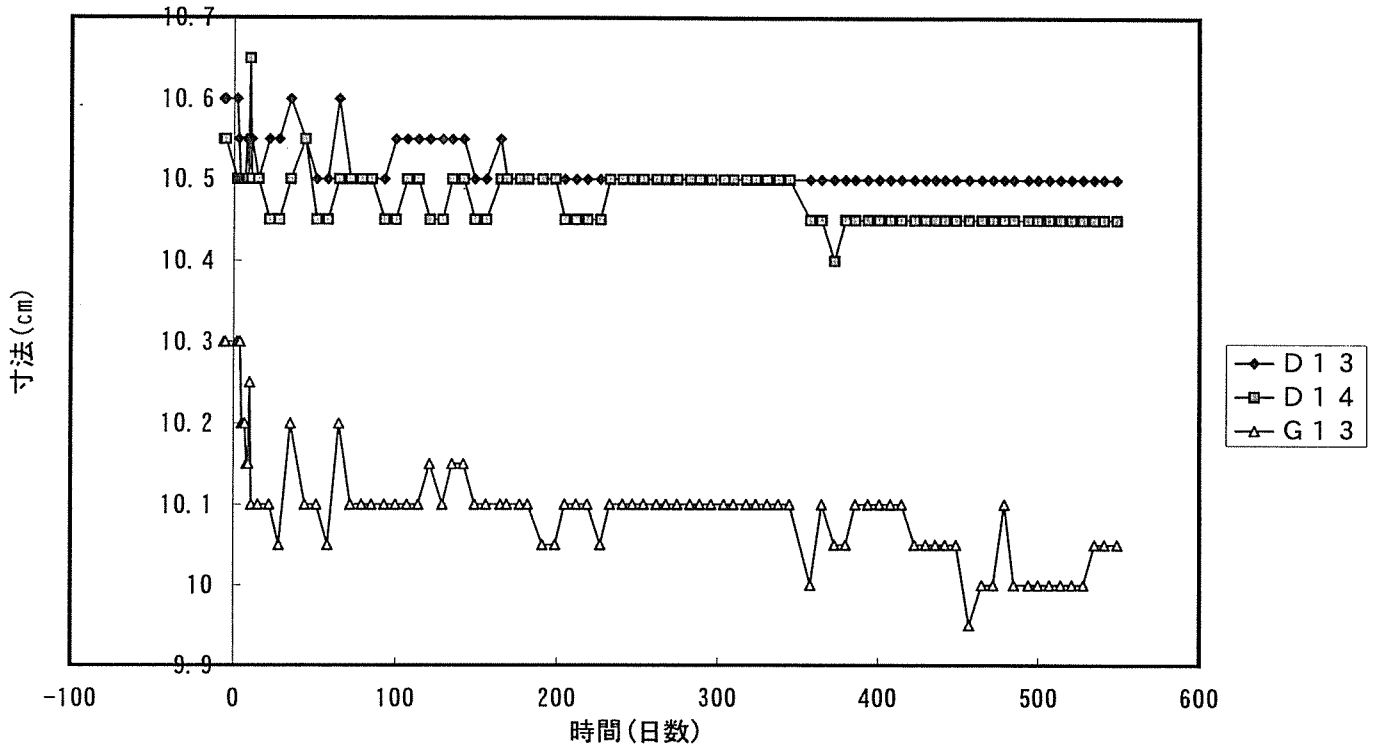


図 対照試験体の寸法変化 : b

sam-h

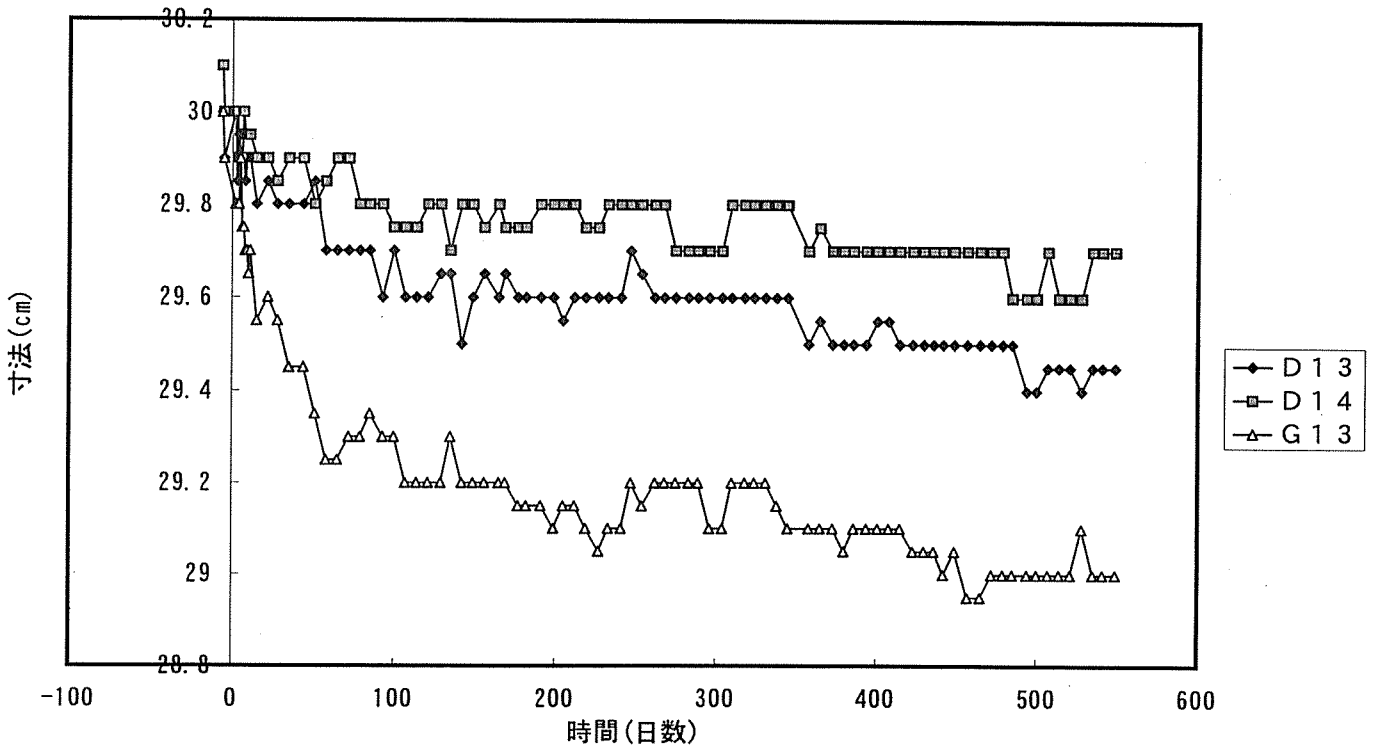


図 対照試験体の寸法変化 : h

D13

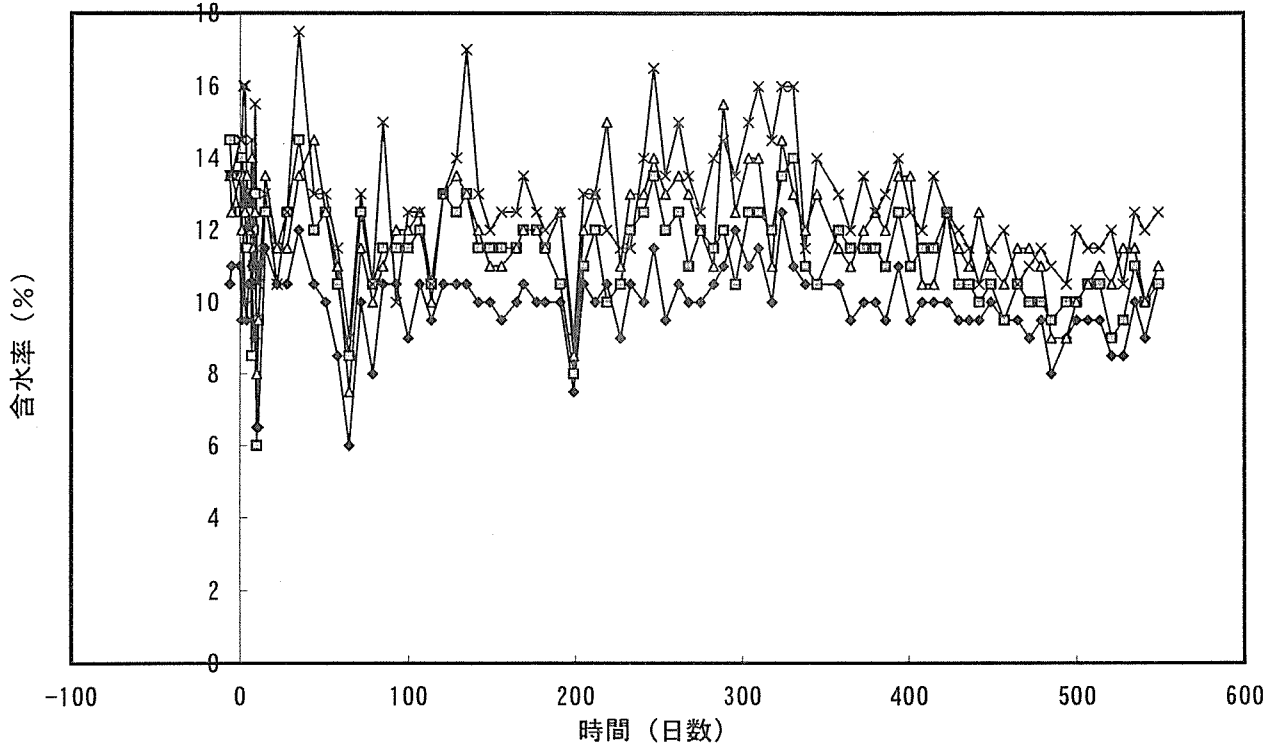


図 含水率変化

D14

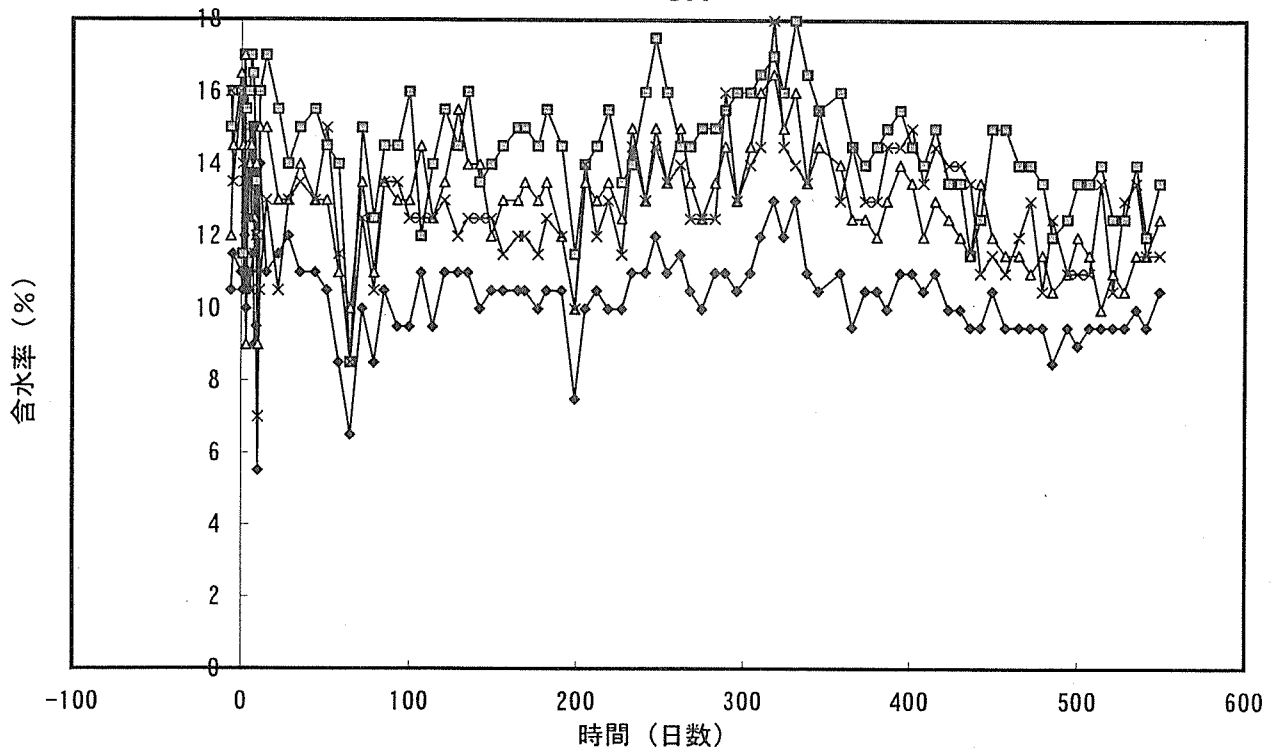


図 含水率変化

G13

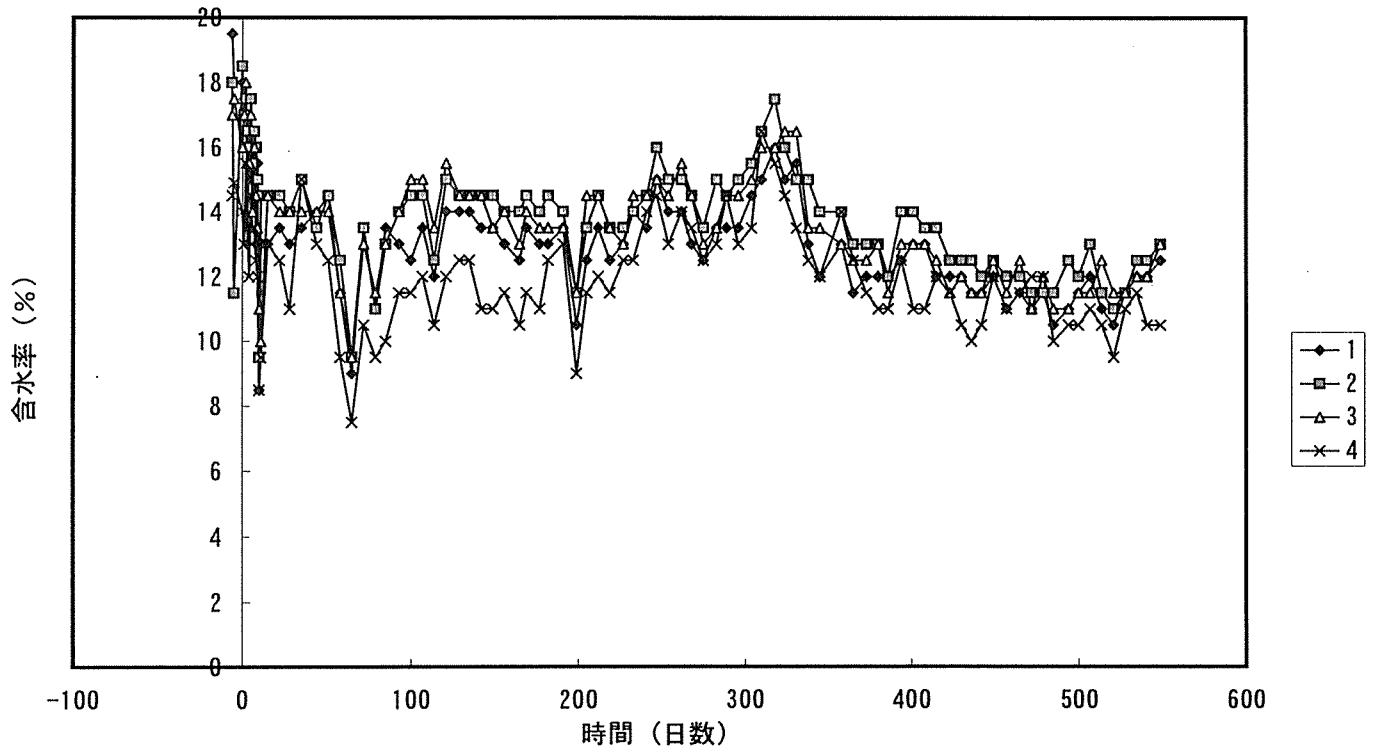


図 含水率変化

sam-w

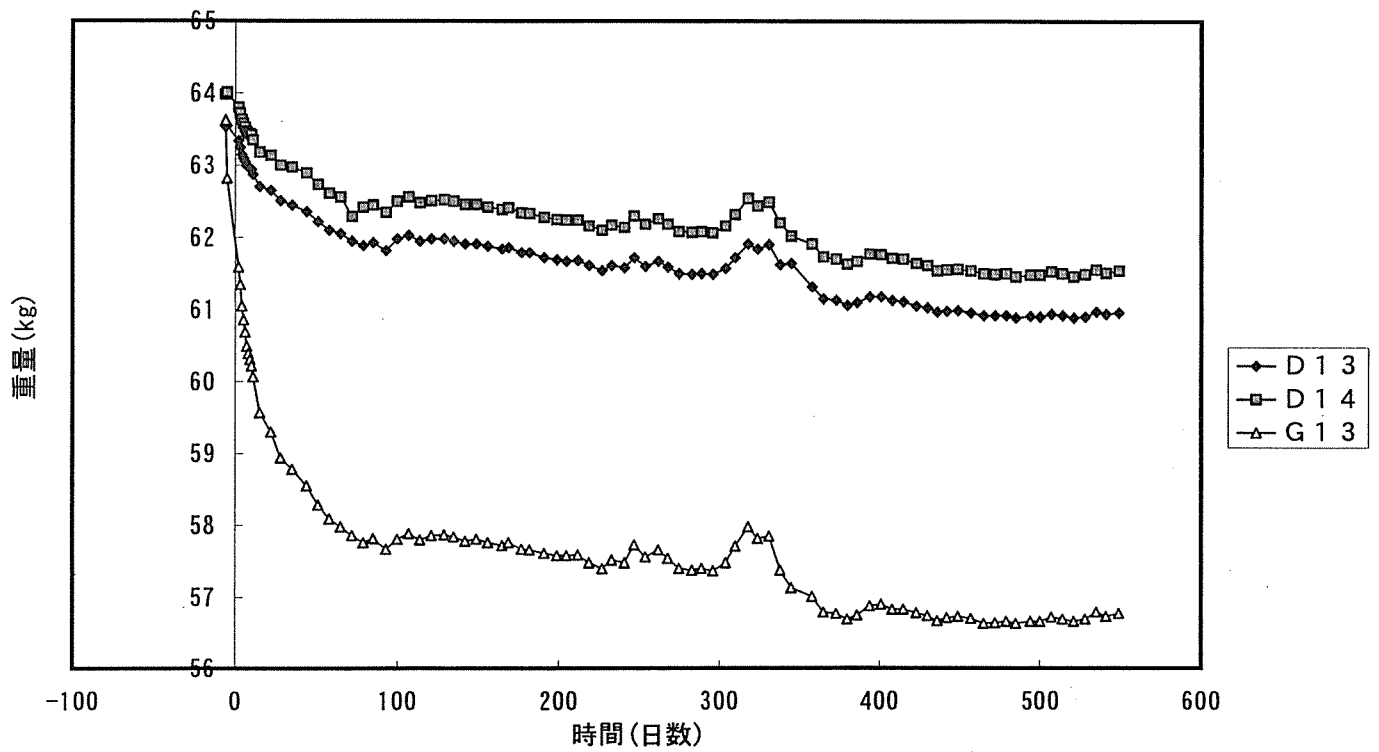


図 対照試験体の重量変化

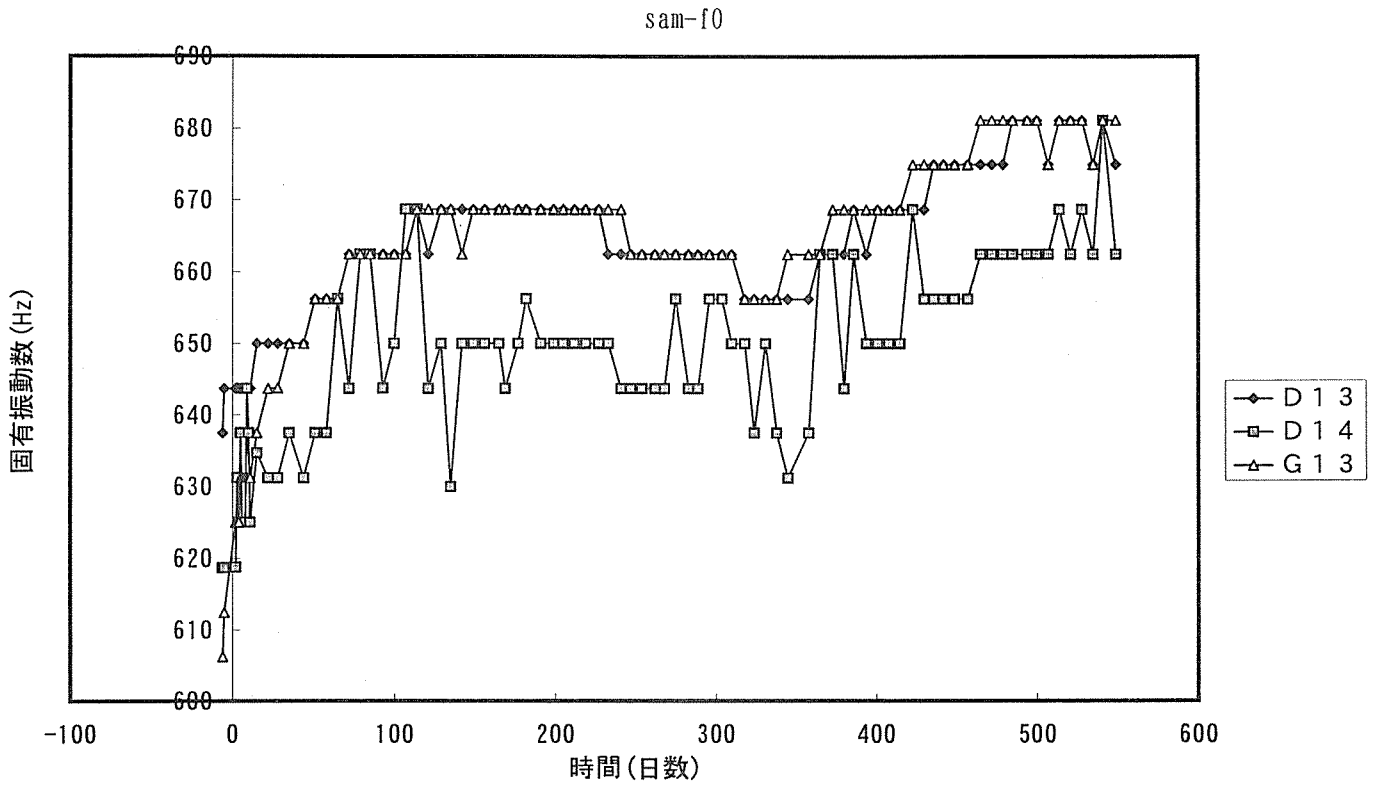


図 対照試験体の固有振動数変化

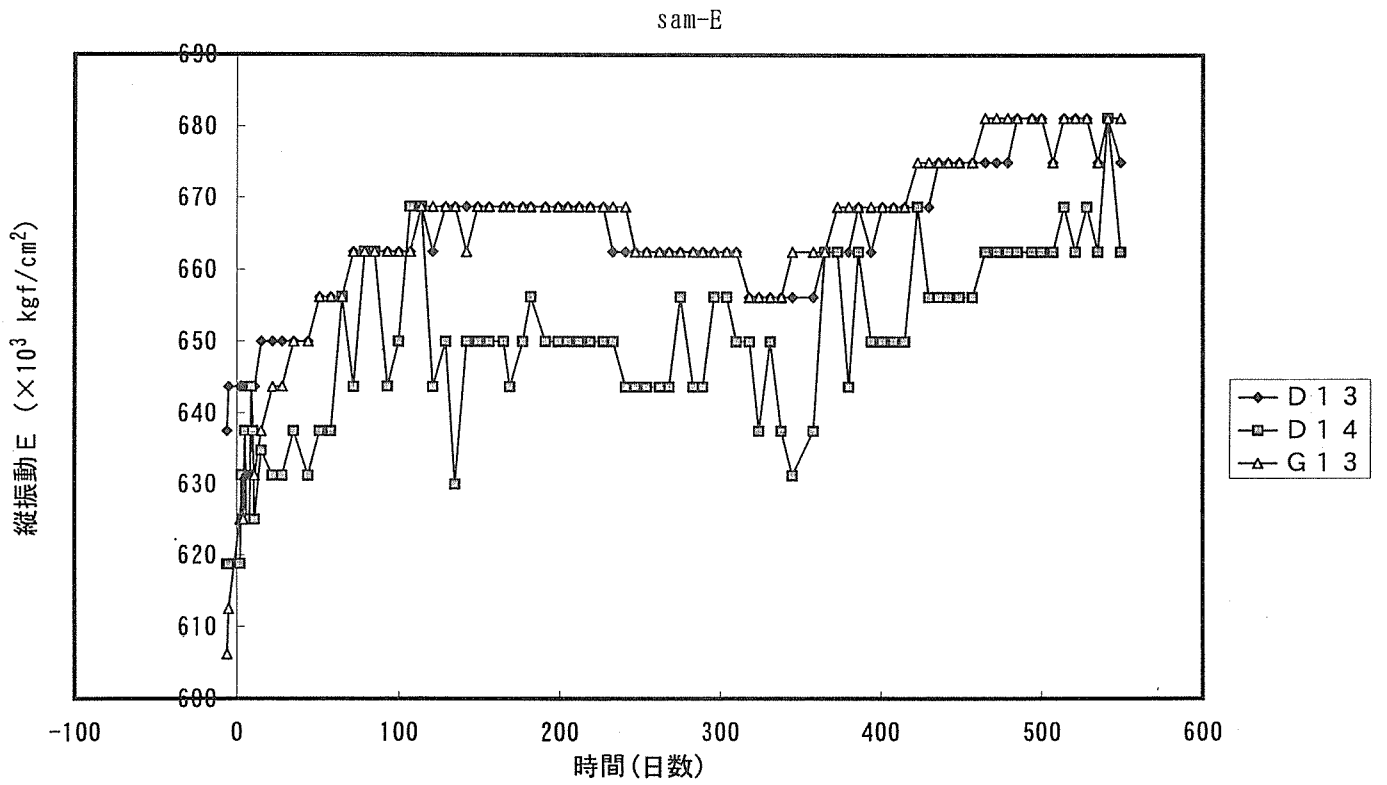


図 対照試験体の縦振動 E 変化

概要版(一般向け)

軸組構造体の環境変化に対する変形挙動

— 乾燥材と未乾燥材の比較 —

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ります。人工乾燥材を使用した場合には、この変形は小さくなると考えられます。

そこで、乾燥材と未乾燥材のクリープ変形挙動の違いをみるため、図1に示すような実大の軸組構造試験体を「乾燥材」と「未乾燥材」の計2体作製しました。これに長期設計荷重相当の重りを乗せて変形挙動の測定を行いました。

※クリープ：物体に一定の荷重をのせておくと、時間の経過とともに変形が増大する現象
クリープ変形（図2）

梁の中央部におけるたわみの変化を中央たわみ比（初期たわみに対する比）で見ますと、未乾燥材は乾燥材と比較して大きく変形しました。特に、経過日数が100日になるまでの変形量が大きい。

梁背の収縮（図3）

梁背（梁の断面の高さ）の収縮量は、乾燥材と比較して未乾燥材が大きく、また、梁の柱に対する沈み量は梁背の収縮の影響が大きい。

施工上の問題点（図4）

中央たわみの変形量から軸組組立後内装工事にとりかかるまでに必要な日数を推定すると、載荷後120日を基準とした中央たわみの許容変化量が2mmの場合、未乾燥材で41日間、乾燥材で8日間となりました。

また、未乾燥材では接合金物のゆるみが観測されました。

まとめ

以上の結果から、住宅建設の工期が限られているときは、人工乾燥材を使用することが望ましいといえます。

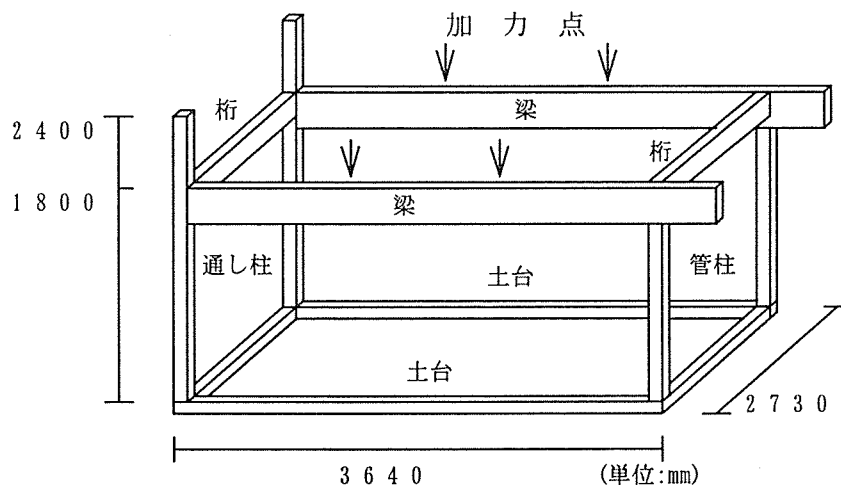


図1 試験体図

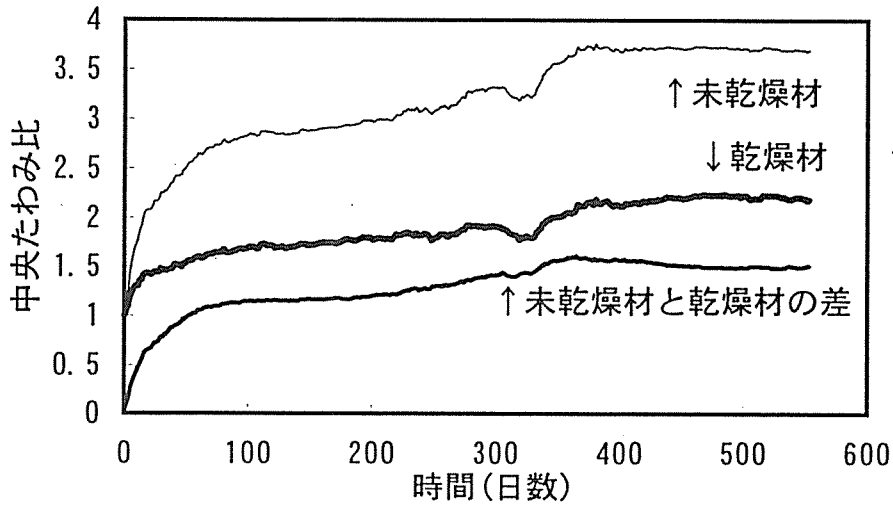


図2 中央たわみ比

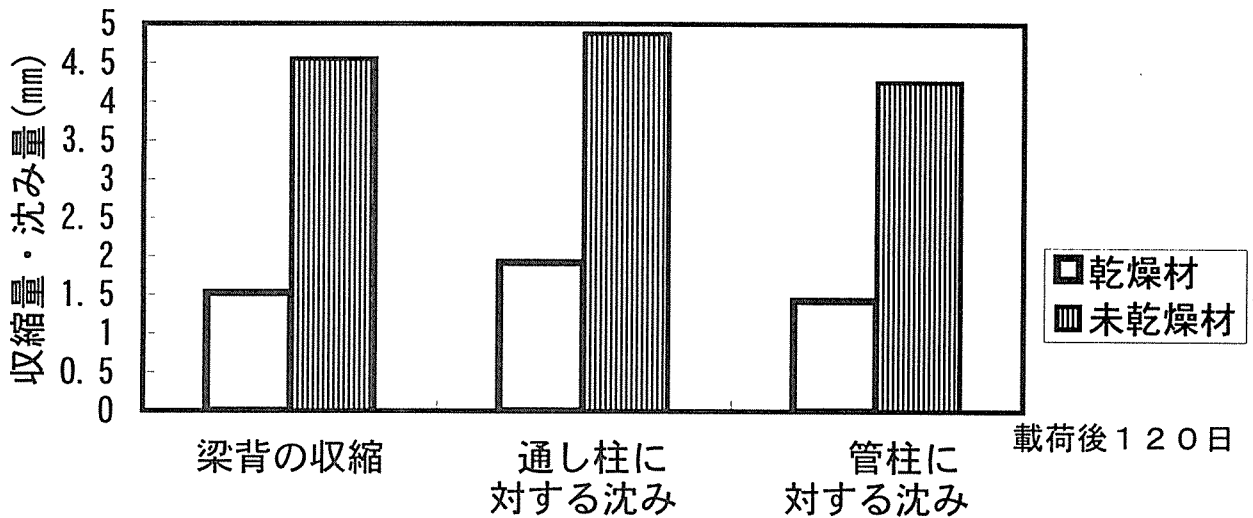


図3 梁の収縮量と沈み量

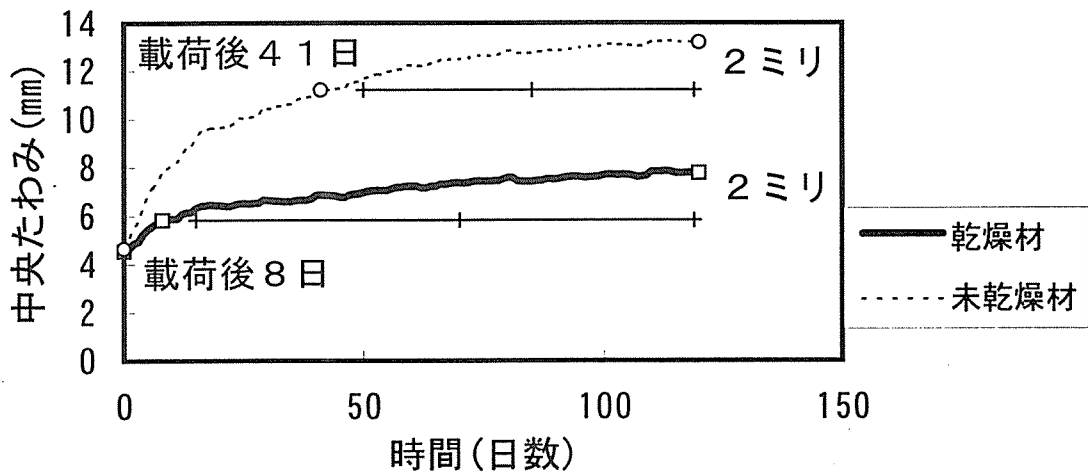


図4 載荷後120日までのクリープ変形