

平成11年度 農林水産省補助事業
住宅資材性能規定化対策事業

木造軸組住宅資材性能把握事業

(カウンターウェイト調査報告書)

平成12年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

まえがき

建築基準法の一部改正により性能規定化される中で、地域材の需要の多くを占める木造軸組構法住宅においては、構造材として使用される部材の強度、構造体等の強度を正確に把握することが必要になる。すなわち、住宅資材や構造要素などの有する性能を求め、得られた強度データから構造体としての性能を把握する手法を明らかにすることが必要とされている。

本事業は、以上のような観点から住宅資材や構造体等の性能試験の方法を明らかにするとともに住宅の構造体等の強度性能を把握することを目的として行ってきた。

本報告書は、この事業の一つとして実施したカウンターウェイトに関する解体家屋の実験・調査をまとめたものである。カウンターウェイトとは住宅が地震等の水平力を受けた場合に浮き上がろうとする挙動を、上から押さえ込む効果のことを呼んでおり、構造体の強度性能を正確に把握する上では重要な要素である。

忙しい中、精力的に検討・執筆していただいた委員及び関係者の皆様のご尽力に対し厚くお礼申し上げます。

平成12年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター
理事長 岡 勝 男

目 次

序章	1
1章 実験目的	
1.1 柱カウンターウェイト	2
1.2 現行設計法の考え方と問題点	3
1.3 実体に即した柱カウンターウェイトの考え方	6
2章 実験概要	
2.1 調査概要	7
2.2 試験体	7
2.3 実験における作業手順	17
2.4 実験方法	
(1) 柱カウンターウェイトと耐力壁の耐力との関係解説	41
(2) 実験の手法	43
3章 実験結果	
3.1 測定地点の説明と測定値についての考察	44
3.2 柱カウンターウェイトの負担面積のモデル化	55
3.3 柱カウンターウェイトの負担面積の算定	58
3.4 柱カウンターウェイトの負担面積についての考察	68
結章	70
付録	
・測定番号 (No. 1, No. 2, No. 9) 以外の測定地点データ	74
・常時微動計測データ	81

序章

木造住宅等の建物が地震力等の水平力を受けた場合、その建物にある壁面の剛性および耐力から浮き上がろうとする力が発生する。その浮き上がろうとする力は、柱を引き抜いて建物を転倒させる力となる。

1995年1月17日の阪神淡路大震災においても、前記のような破壊状況で倒壊したと思われる住宅の被害が学会とうで発表されている。

しかし、一方で、破壊せずに残った建物を見ると、浮き上がった形跡のない住宅も見受けられている。このことは浮き上がりが生じるほどの水平力が入力されなかったからなのか、あるいは壁体の剛性や耐力により浮き上がりが生じなかったからなのかは一概に言えないが、いずれにせよ上からの押さえ込み荷重が卓越していた結果と予想される。

木造住宅の特長は、ある一定の長さの横架材（梁・桁）を柱で受け、床・屋根をかける構法である。これは、鉄筋コンクリート造や鉄骨造と違い、建物の横架材を一体化した抵抗は難しい。

横架材の部材長間には、直交梁および上部階の柱等が取り付いている。その部材長の下階にある耐力壁が水平力を受けた場合、耐力壁の取り付く柱が浮き上がろうとすると、その柱の上部横架材の材長間荷重が押さえ込もうとする力、すなわちカウンターウェイトと呼ばれる押さえ込み効果を発揮する。

本報告書では、柱の浮き上がりに対して抵抗しようとする柱カウンターウェイトについての解説と、解体家屋を用いた静的加力実験により柱カウンターウェイトの実態についての調査結果を報告する。

1章 実験目的

平成7年11月28日～12月28日に香川県仲多度郡多度津町で行われた木造住宅実大振動実験結果から建物に地震力を与えられた時、4隅（隅角部）の柱に大きな力が加わることが明らかとなったが、実験の結果から柱には浮き上がる力だけでなく、それらを押しえ込もうとする力が生じていると考えられる。

この押しえこむ力を以降「柱カウンターウェイト」と呼ぶことにするが、この力は建物の終局耐力に大きな影響を与えるため、木造住宅構造体の耐力性能を把握する上では、これを正しく評価することが必要である。

そこで本実験では、地震に対してとくに影響のある1階の柱を対象として行った。柱カウンターウェイトをモデル化しやすいよう、なるべく屋根荷重（直上の梁位置、柱位置など）や2階外壁モルタル、その他の抵抗要素の複雑な影響を受けにくいと思われるポイントに絞って行うこととし、柱カウンターウェイトを特定できるように配慮した。

1.1 柱カウンターウェイトとは

水平力が加わると、耐力壁の剛体回転によって、耐力壁の両端の柱の片方は上向きに浮き上がろうとし、もう片方は下向きにめり込もうとする。

この浮きあがりに抵抗する要素について、横架材と柱を金物で緊結している場合と金物がついていない場合について以下述べる。

・横架材と柱の接合に金物がついていない場合

柱が浮き上がれば浮き上がるほど、上からの押しえ込みである荷重による抵抗は大きくなり、押しえ込み効果を発揮する。しかし倒壊限界変形角を超えると逆に、 $P-\Delta$ 効果によって、この力が倒壊させようとする力となると考えられる。

・横架材と柱を金物で緊結している場合

柱脚金物等の浮き上がり抵抗金物を用いた場合は上記の荷重抵抗効果にその接合されている金物の耐力が加算された抵抗力となる。この場合、初期変位においては金物による抵抗が大きいですが、金物の降伏後は上からの押しえ込みである荷重の抵抗力が増大していくと考えられる。

阪神大震災のような強い地震力に対しては、柱脚金物等を用いて水平力に抵抗させることは有効な手段であるが、序章で述べた通り、阪神大震災の際に倒壊していない住宅が存在することから、上からの押しえ込み荷重抵抗効果があったと考えられる。このように、耐力壁の剛体回転による浮き上がり力に対し、上から押しえつけようとする荷重抵抗効果として、柱の上部にある横架材の荷重による上から押しえ込もうとする力が生じる。この力を柱カウンターウェイトと呼ぶ。

1.2 現行設計法の考え方と問題点

現在、木造住宅における設計手法として用いられているのは、(財)日本住宅・木材技術センターから発行されている「3階建て木造住宅の構造設計と防火設計の手引き」である。

この手引き書では、柱カウンターウェイトという浮き上がり力に抵抗する考え方を、梁の曲げ戻し効果などの β と長期軸力の2つの抵抗要素を考慮して引き抜き力を算出しており、その引き抜き力に対応した必要金物耐力を決定している。梁の曲げ戻し効果 β については、梁の端部では $\beta=0.8$ 、梁の中央部では $\beta=0.5$ としている。

しかし、長期軸力は柱間の中央で囲まれた負担面積から算出される荷重としているが、1.1で述べた通り、それ以上の荷重抵抗(柱カウンターウェイト)が作用するのである。

この妥当性の検証についてはまだ学会等において充分証明されていなく、特に4m程度の一本の梁の直下にある耐力壁の柱が浮き上がる場合、長期軸力ではなく梁部材長や建物全体架構で考える必要がある。

現在の木造3階建て住宅における設計の手引き書等で書かれている引き抜き力は、下記のように算出される。

$$\text{引き抜き力} = \text{浮き上がり力} \times \beta - \text{長期軸力}$$

この引き抜き力に対応した緊結力の金物が必要となっている。

柱カウンターウェイトの値によってその終局せん断耐力の値は左右され、微小変形領域における弾性範囲内においても同様にその影響があるものと思われる。

しかし、終局時のせん断耐力算定はもとより、現在の木造3階建住宅における設計法(弾性範囲内)においても許容耐力算定時に正確に含まなければならないに、この影響は正確に考慮されていない。故に、実際の柱カウンターウェイトよりも浮き上がり抵抗力が少なく算定されており、必要以上の金物が算出されるのが現況である。

次頁に「木造3階建住宅における設計法における引き抜き力の検討」の抜粋を添付する

引抜き力の検討

各階の柱の引抜き力は式 (A) , (B) によって求めることができる。

$$V = (Q \times h) / \ell \times \beta - V_L \quad (A)$$

V : 耐力壁の柱の軸力 (kgまたは t)

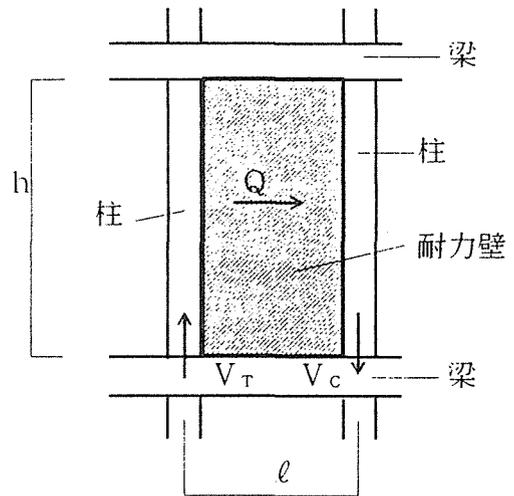
Q : ある階に働く層せん断力で、地震力 $E Q$ 、
風圧力 $w Q$ にうち大きい方 (kgまたは t)

h : 耐力壁の柱の支点間距離 (m)

ℓ : 耐力壁の柱間距離 (m)

V_L : 柱の軸力 柱の長期鉛直荷重
(kgまたは t)

β : 耐力壁の位置による押さえ効果の係数



$$V_T = \Sigma V_s \times \beta - V_L \leq \text{接合金物の耐力} \quad (B)$$

V_T : 柱の短期応力による引抜き力 (kgまたは t)

$$V_T = \Sigma (Q_i / \ell_i)$$

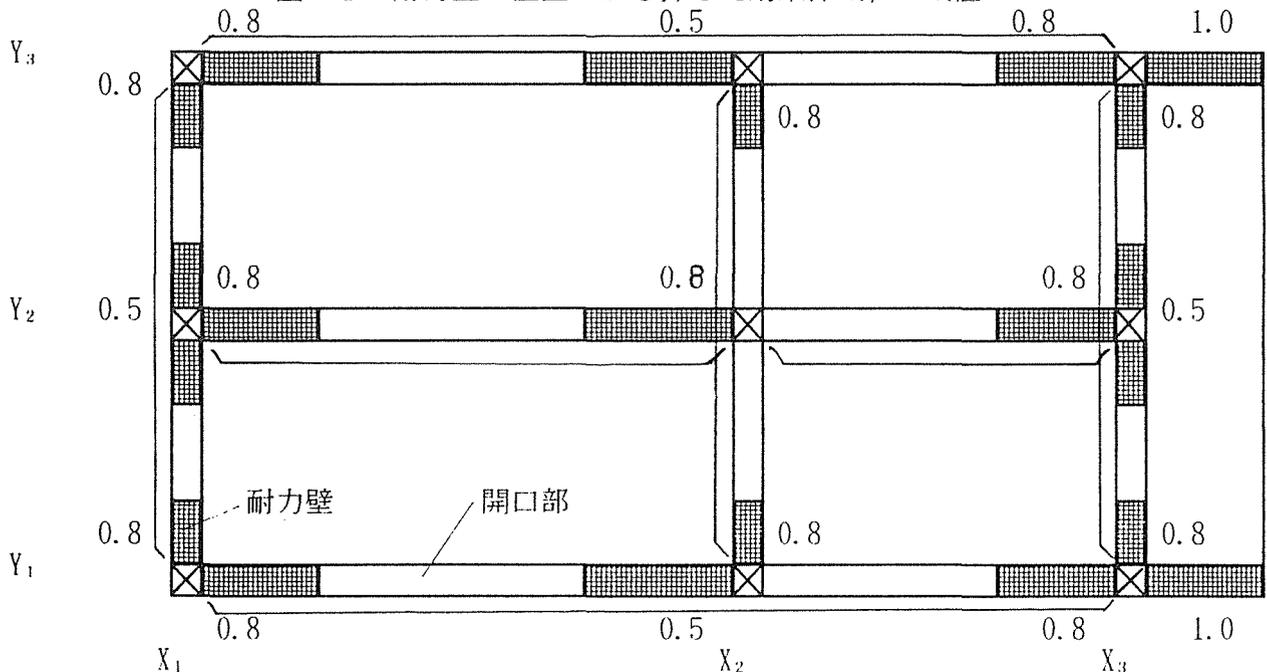
ΣV_s : 水平力によって生じる柱の軸力 (kgまたは t) の合計

β : 耐力壁の位置による押さえ効果係数(0.5~1.0)

V_L : 柱の長期鉛直荷重 (kgまたは t)

なお、 β は 0.5~1.0 の範囲の数値を図-1 に示すように用いることが提案されている。これは、実際の建物の実験などから、水平力が加わっても耐力壁には計算値ほどの大きい負担は生じないことから β は一つの目安として定めた値 (押さえ効果係数) である。

図-1 耐力壁の位置による押さえ効果係数 β の数値



このような考え方で、3階建住宅等は設計されており、確認申請等の許認可図書には多くの金物が図示されているが、実際の施工ではその金物が取り付いていないものが往々にしてある。

現実に実務においては、職人たちの意見では、『できるならば金物は使いたくないし、使っても木材が割裂したり、やせたりするので使う意味がないと思う。だが現実には、金融公庫などの検査があるため、適当に使っているんだよ。』といった具合が一般的である。

また、仕様規定として金物の存在が絶対視されるならば、金物が付いていない=欠陥住宅とみなされ、盲目的に金物がついてなければ「耐震的に安全な住宅」ではないという風潮になると思われる。

さらに、耐震診断や耐震補強等においても、金物がない場合の診断法や補強方法はいまだ提案されていなく、伝統的構法の木造住宅が金物なしの設計が成り立たなくなっている。

もし、日本の木造建築を文化として考えるならば、金物等の仕様規定は文化そのものの価値観をも変えてしまう恐れがある。故に、金物がついていないならば、ついていないなりのせん断抵抗を実体に即して示し、金物がついているならば、柱カウンターウェイト+金物耐力の抵抗力を示す必要がある。

以上より、早期に、実体に即した柱カウンターウェイトの算定法の確立が重要であると思われる。

1. 3 実体に即した柱カウンターウェイトの考え方

現在の柱カウンターウェイトの算出法としては、屋根・2階床及び外壁と内壁の仕様から定まる「単位重量」と柱の「負担面積」との積、つまり柱の長期軸力という考え方から求められているが、「負担面積」については、梁の掛かり方等を考慮して上記の構造計算の手引き書から算定しているが、その計算方法の検証は皆無である。

1. 2で述べた通り4m程度の長さの梁の下にある耐力壁の耐力を算定する場合には、実際の各柱のカウンターウェイトについては各柱の長期軸力だけではなく、梁の長さ部分にかかる荷重の押さえ込み効果が加わるはずである。

これより、柱カウンターウェイトの算定手法としては、対象となる柱の直上横架材に掛かる影響荷重を精密に求めることが重要となる。

以上により実体に即した柱カウンターウェイトの算定法を確立するために、解体家屋を用いた現場検証実験を行い、柱長期軸力と柱カウンターウェイトの実測値とを比較する。

更に実験結果から、柱カウンターウェイトの負担面積の算定法について検討する。

※注意点として、建物形態としては、総2F建ての場合や、下屋付きの場合も検証しなければ建物全体として、柱カウンターウェイトとしてどのように作用するのか解明できないと思われる。

また、外壁等に剛性の高いラスモルタル等がある場合には、その抵抗要素が、かなりの割合で抵抗するため、架構体と切り離し、影響を排除した形で実験する必要があると考えられる。(今回の検証実験ではモルタルの効果についても調べるため、壁をそのまま残した場合と、モルタルを軸組み要素から切り離した場合の2通りについて行う)

さらに、内部床構面に吹き抜けがある場合には直交梁の効果がなく、階段室においても同様なことがいえるので、建物の実体を考慮した検証実験が必要である。

2章 実験概要

本実験は解体予定の木造軸組構法 2 階建専用住宅を用い、上記で述べたように柱カウンターウェイトの実体を調査する目的で行うものである。以下に調査および実験概要について示す。

2. 1 調査概要

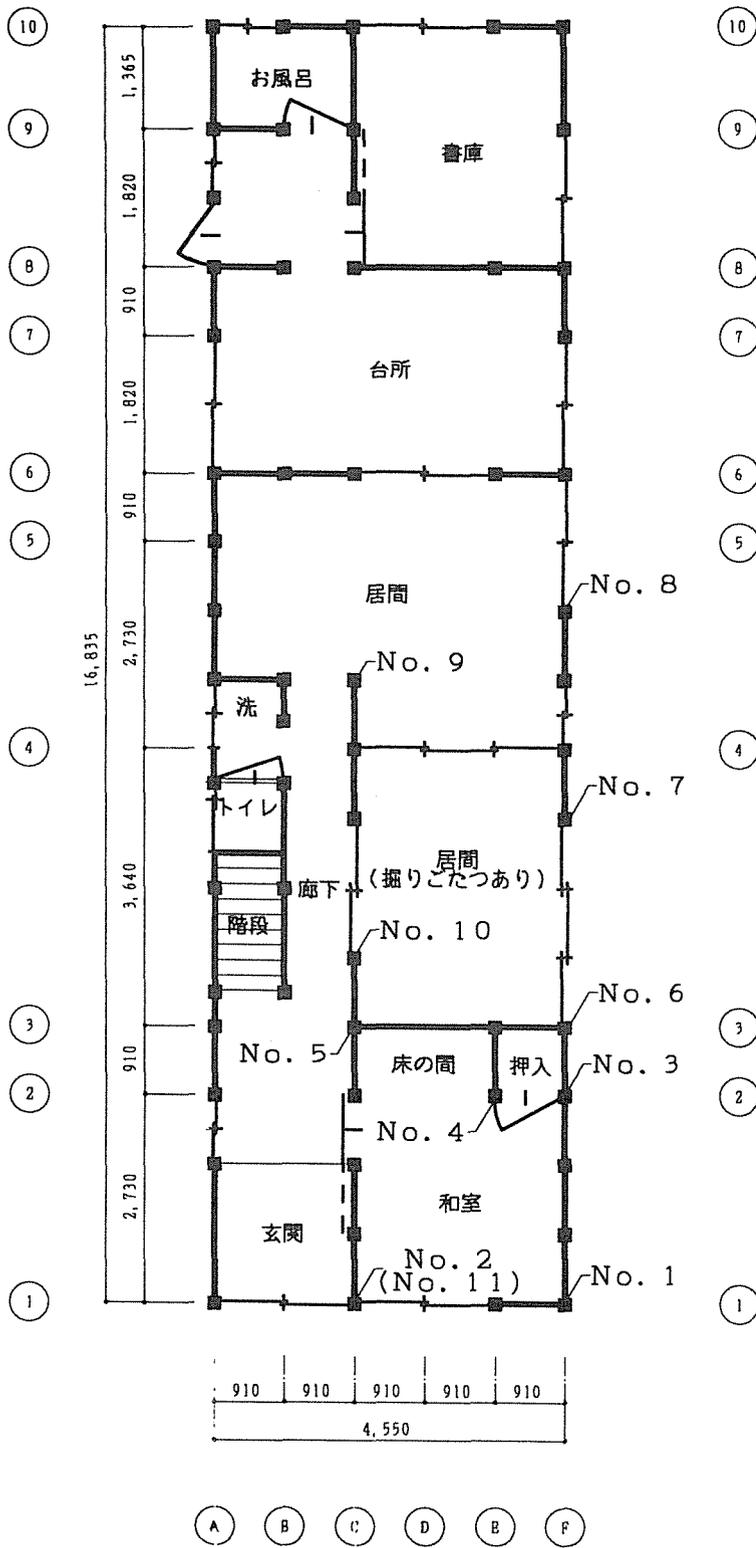
- ・ 実施日 1999 年 5 月 6～7 日
- ・ 柱カウンターウェイト検証実験
 - 助言監修 近畿大学工学部建築学科 村上雅英助教授
 - 実施者 田原建築設計事務所 田原 賢
村田幸子
鈴木 律
井澤祐子
 - 協力者 新協建設工業（株）大阪支店
- ・ 常時微動計測
 - 助言監修 金沢工業大学工学部建築学科 後藤正美講師
 - 実施者 近畿大学工学部建築学科大学院生 清水秀丸
金沢工業大学工学部建築学科大学院生 須田 達
- ・ 実験場所 堺市鳳

2. 2 試験体

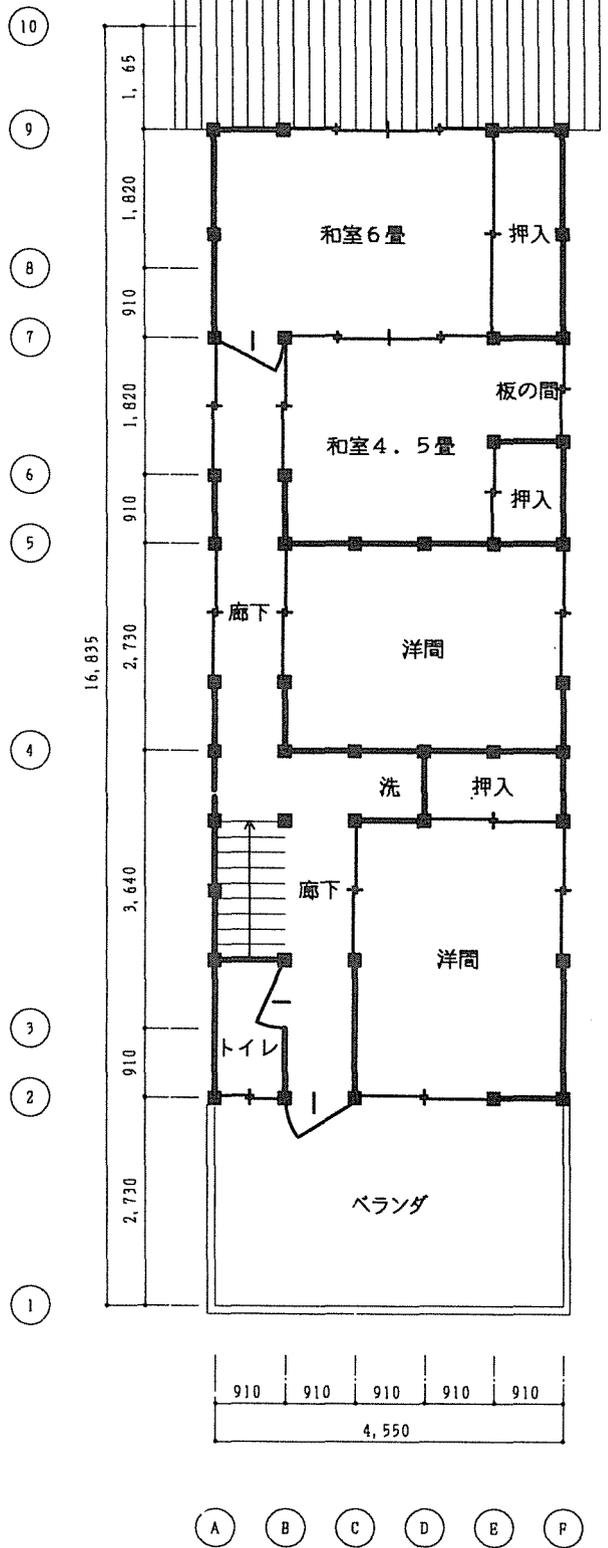
- ・ 試験体 専用住宅／木造軸組構法 2 階建ベランダ付き（狭小間口 2.5 間）
- ・ 仕上げ
 - 屋根 土葺き瓦
 - 外壁 ラスモルタル
 - 内壁 せっこうボード上クロス仕上げ
(一部ラスボード上モルタル+ジュラク仕上げ)
 - 2 階床 コンパネ(厚 12mm)上フローリング張り(一部畳敷き)
- ・ 築年数 28 年（増改築 2 回あり---施主からの聞き取り調査より確認）
- ・ 特殊荷重 ベランダ（コンクリート厚 80mm）

◇試験体の建物平面図、2F 梁伏図を図 2-1、図 2-2 に示す。

◇試験体の外観・仕上げなど、写真 1～写真 14 を参照。

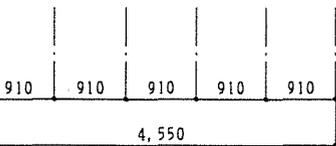
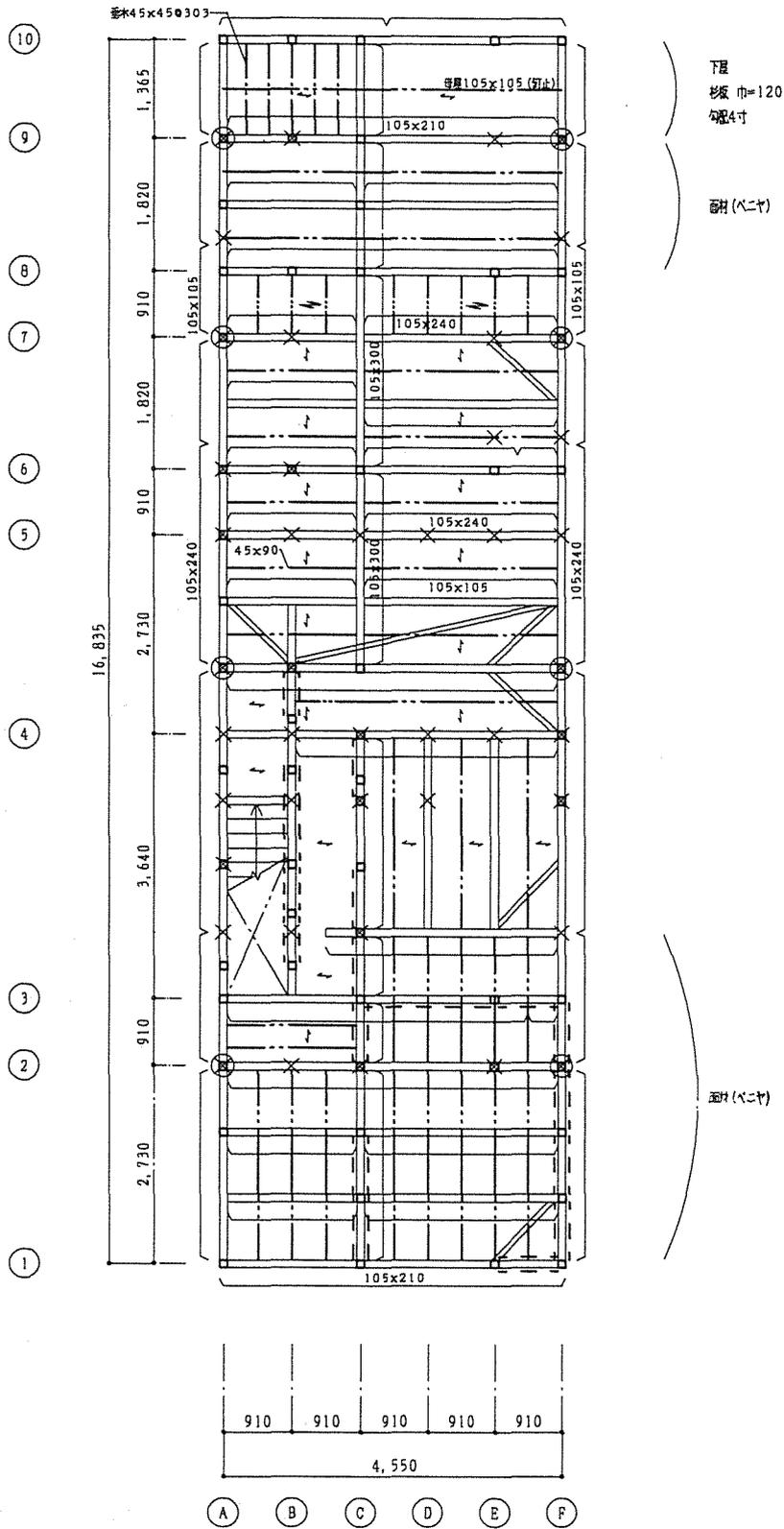


1階平面図 1/100



2階平面図 1/100

図2-1 解体家屋平面図と測定位置



1階柱・2階梁伏図 1/100

図2-2 解体家屋2F 梁伏図

注意事項	
梁	表示なきものは105×150 仕口：羽子板ボルト締め (H=150以上)
柱	⊙：透柱 105×105 □：管柱 105×105
	2階柱位置を示す
	根太：表示なきものは105×105
床	杉板 仕上厚12 幅120 →：板流れ方向を示す
	杉板 仕上厚12 幅270 ↗：板流れ方向を示す
	表示のない部分の床については面材 (ベニヤ)
火打ち	105角材 / 仕口：釘3本止め
壁	両面真壁 (ボード下地) 片面真壁 (ボード下地) 印ないもの 両面大壁 (ボード下地)



写真 1



写真 2

外観

調査対象の本建物は専用住宅であり、都市型の狭小間口であり、このような間口スパンの 2.5 間程度の狭い住宅は、日本の都市住宅においてはかなりの比率を占めるものである。

本建物の外観写真 1, 2 よりわかるとおり、外壁はラスモルタルで、屋根は土葺き瓦というようになっている。正面の基礎のみが高低差があるため高基礎となっているが、他の 3 面については地盤面よりの一般的な基礎形態となっている。

正面のベランダ部分が特殊荷重としているが、他の条件は極一般的な仕様で構成されている。



写真 3

玄関アプローチ部分高基礎

玄関アプローチ部分の高低差は、当初ガレージであったが、増築されて高基礎となっている。



写真 4

玄関部分

玄関ポーチ部分レベルと 1FL の高低差は約 40cm の段差がある。狭小間口タイプなのでこのように内部構面は 1 面だけであり、居室と廊下との界壁がそれに当たる。

つまり、間口スパンが 2.5 間程度の狭小間口では 1 階内部構面は、1 構面以上あることは殆どないのである。

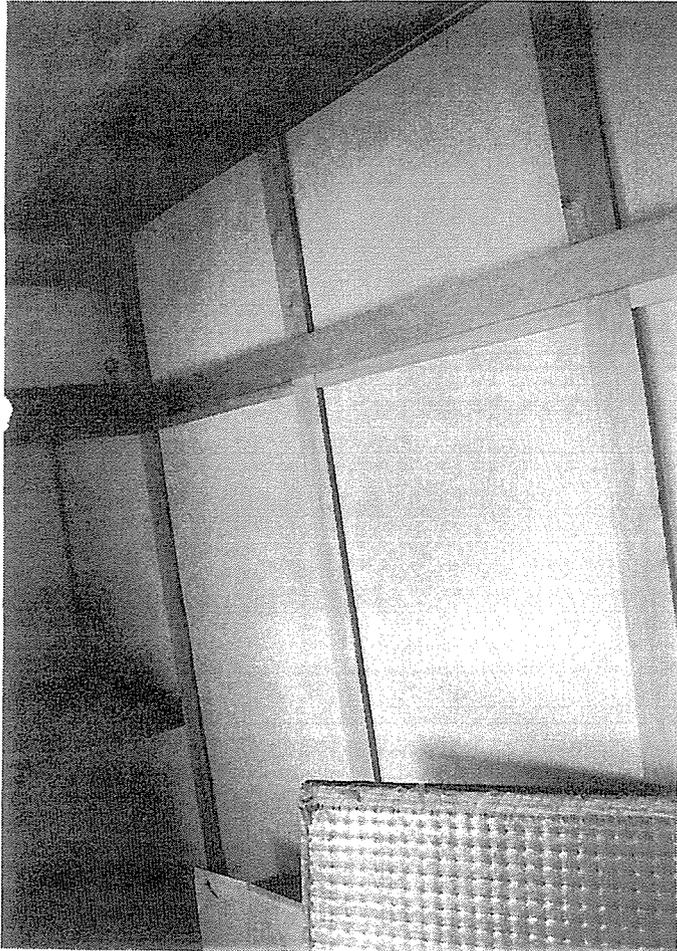


写真 5

2階和室部分

2階の和室はラスボードの上漆喰等が塗られていて、ほとんど真壁造となっていた。

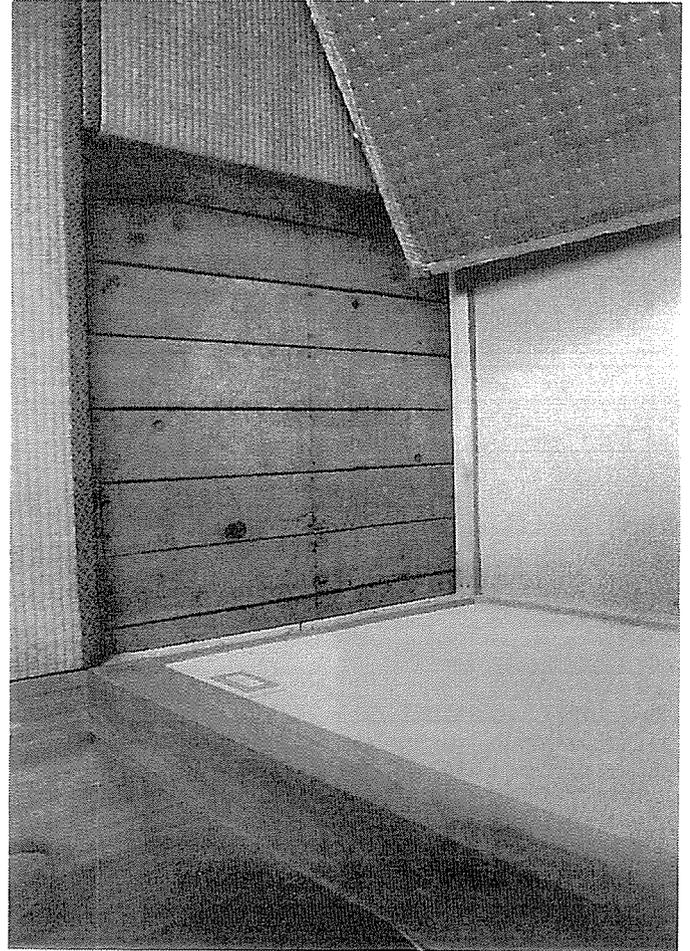


写真 6

2階の畳下床板部分

2階の床板は和室部分のみ板張りとなっていて、洋室部分では合板張りとなっていた。

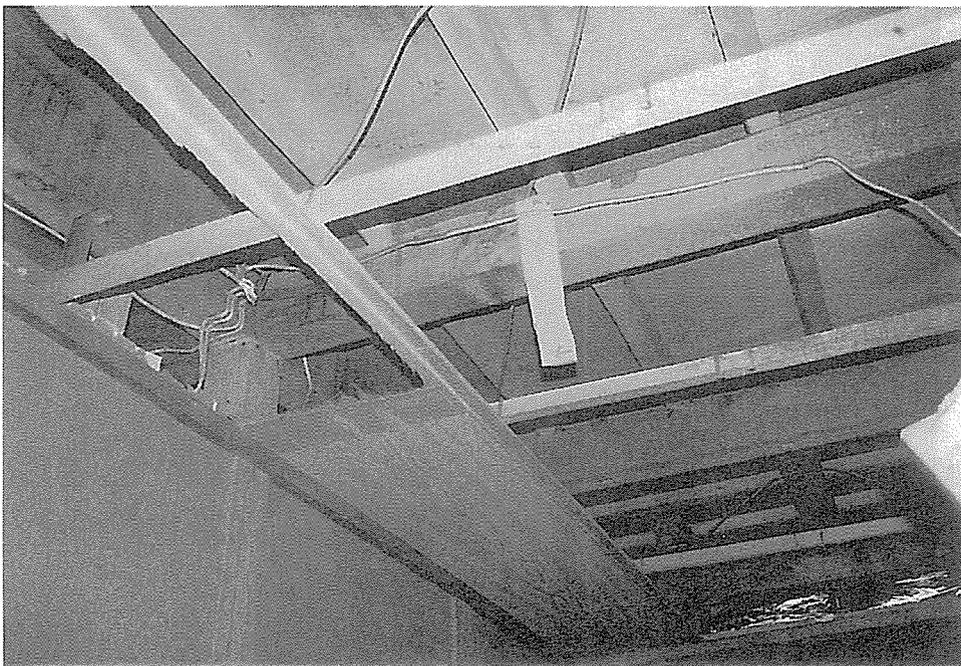


写真7 1階玄関部分天井

1階玄関及び和室周りは、ラスボードの上ジュラク塗りとなっていて、梁までは達してなく天井面で終わっていた。

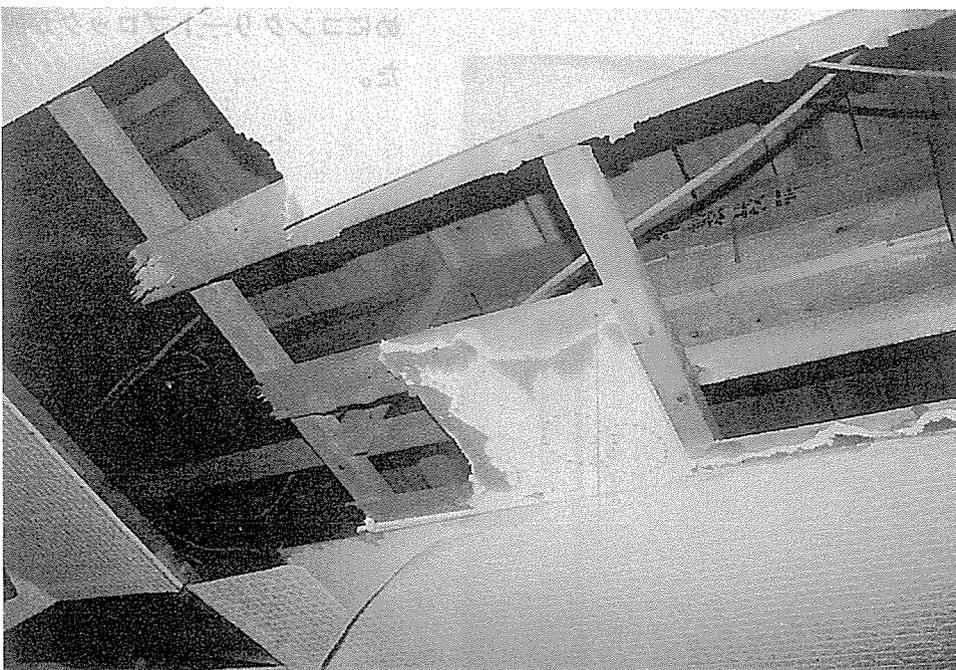


写真8 1階居間部分天井

居間部分の天井は模様替え等をされており、古い石膏ボードの上に吸音化粧ボード等が張られていた。



写真9 1階居間部分床

1階床はフローリング張りとなっており、一般的な床組で構成されていた。基礎は布基礎で構成されており、束を受けるためにコンクリートブロックが設置されていた。

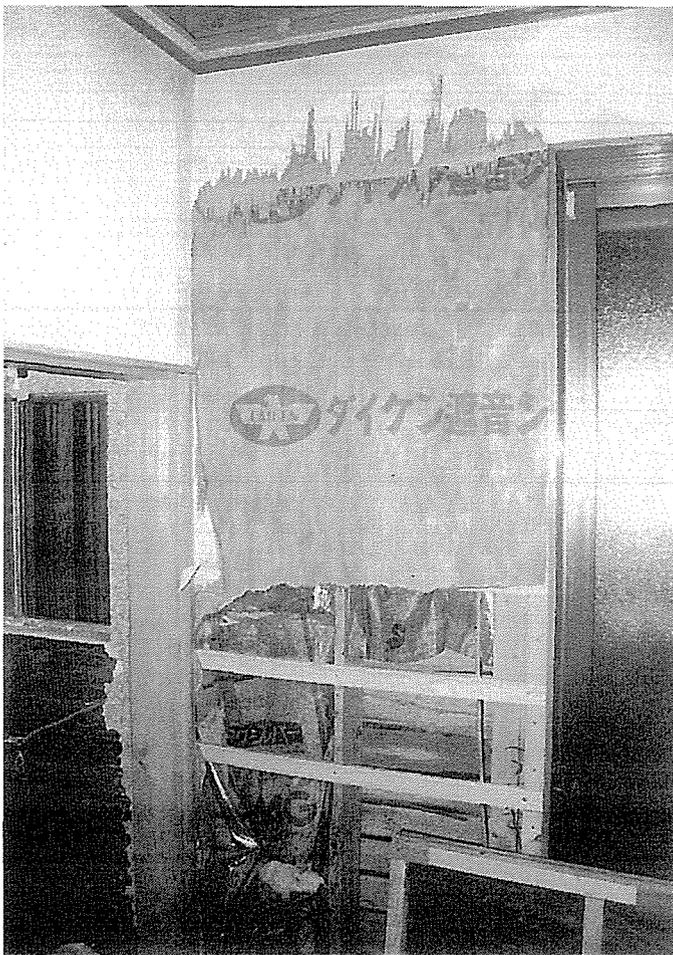


写真10 1階居間部分内壁

居間部分の内壁においては、胴縁の上に遮音シートが張られており、その上にベニヤ、そしてクロスが張られていた。

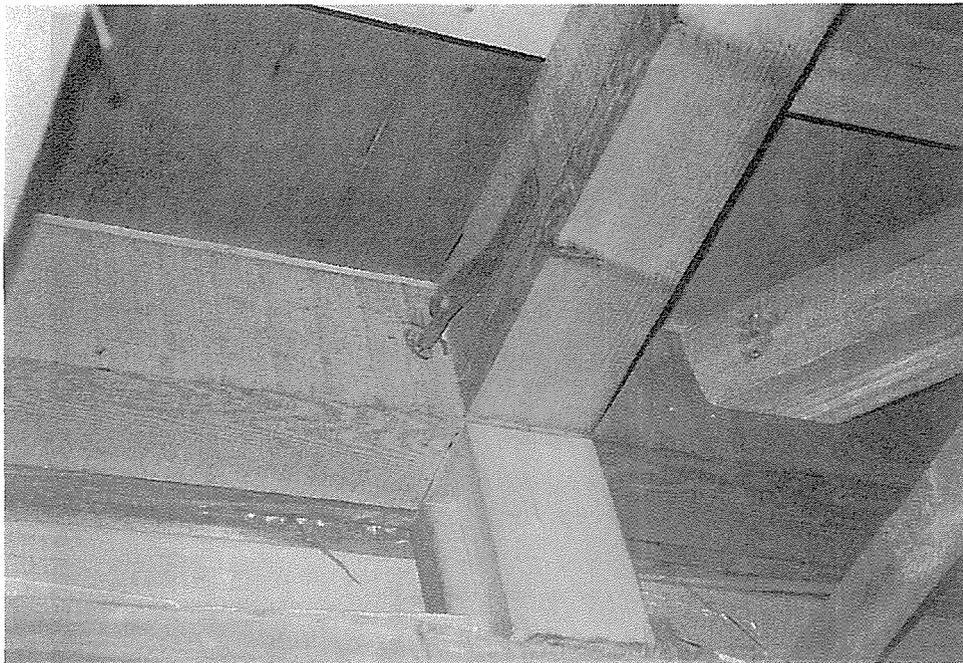


写真11 2階床梁仕口接合部分

本建物の、2階床梁は仕口で羽子板ボルトが使われており、現在のようなボルト止めではなく、昔の釘止めタイプである。なお、火打ち梁は居間、台所等のコーナーに写真のように釘3本止めで接合されていた。

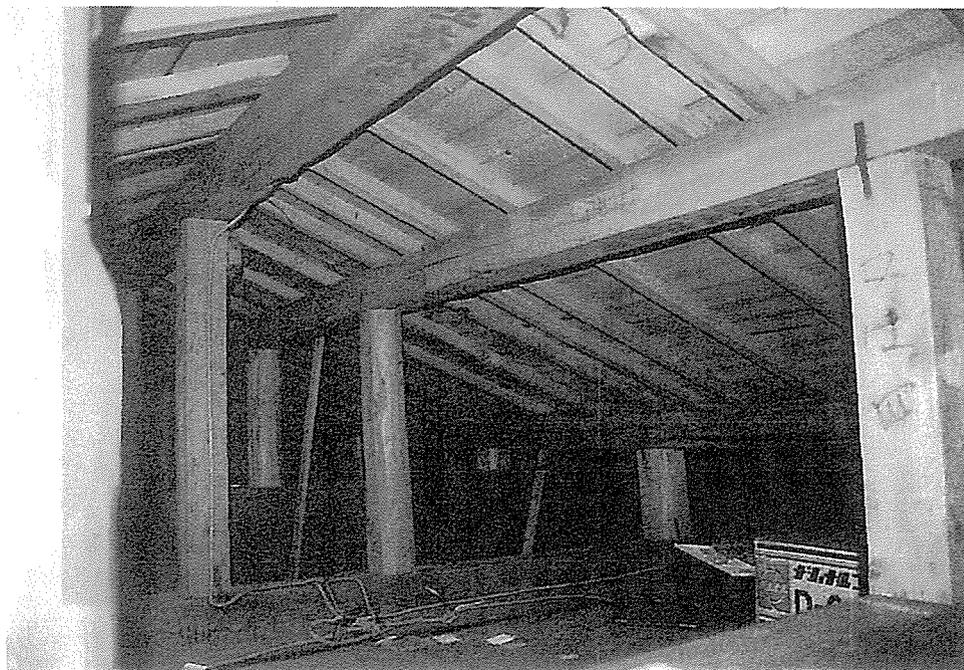


写真12 小屋裏部分

小屋裏部分は雲筋違がなく、束と母屋等で構成されていた。小屋束と横架材はかすがいで止められているのみである。

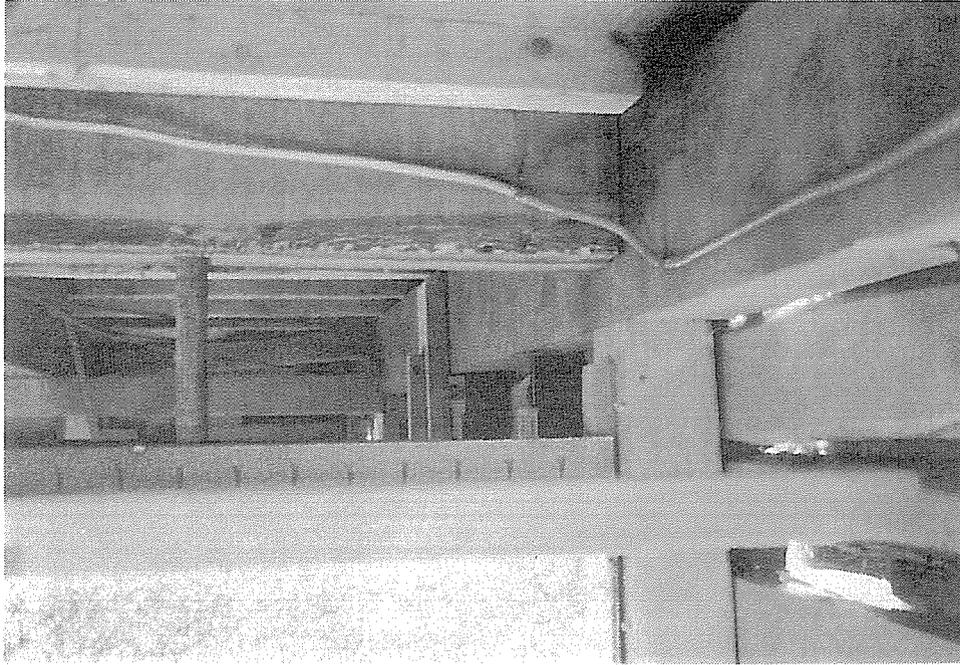


写真13 2階床梁継手位置の確認

天井面が取り外された天井を見上げて、梁伏せ図を作成し、継手仕口の位置を確認する。つまり、梁成と梁スパンの情報を記録していくことが必要である。

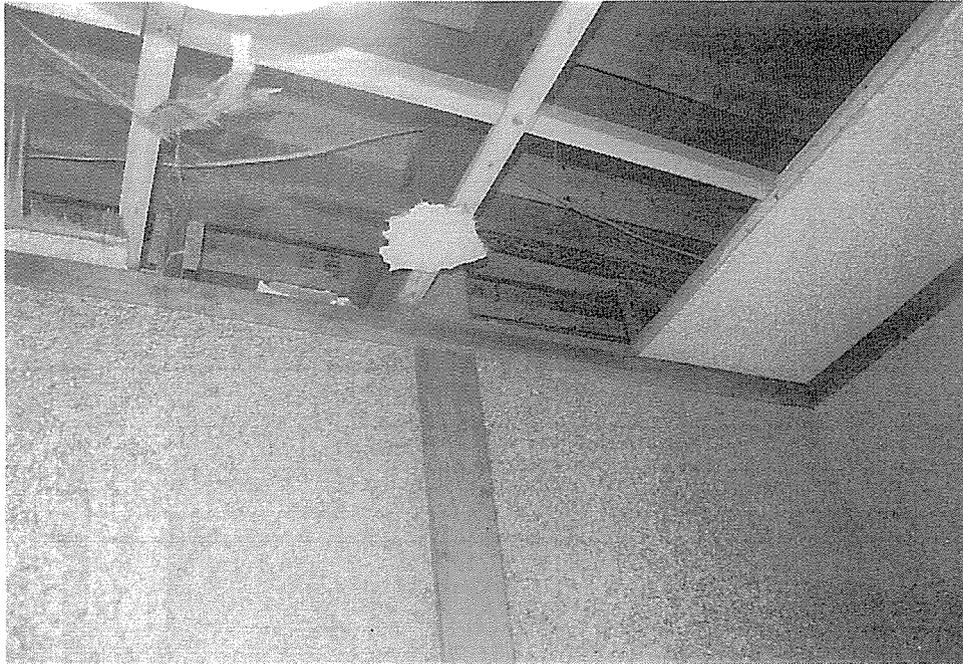


写真14 梁接合部分

2階床梁の柱位置での仕口や梁のかかっている優先方向を確認する。

このことは、カウンターウェイトの調査においてかなり重要なウェイトをしめるので、きちんと優先梁の方向や、仕口の金物情報を明記する必要がある

2.3 実験における作業手順

以下、今回の実験の手順について述べる。(写真 15～写真 46 を参照)

(1) 施主との挨拶、及び建物の築年代・設計図書等の資料の有無についての聞き取り調査

1-1 設計図書がない場合は建物の平面及び高さ関係の実測調査を行う。今回は設計図書が残されていたので、資料に基づき調査を行うものとする。

1-2 増改築の有無について、施主に確認する。

(2) 調査対象の建物の外観および仕上げ等の目視調査 (写真 1、写真 2 参照)

2-1 屋根まわり部分について調査する。瓦の状態、吹き抜けなどの有無の確認。

2-2 外壁の仕上げの調査をする。全体が同じ仕上げであるのか、一部仕上げが異なるのかどうかの確認。

2-3 開口部がどのような形(掃き出し窓か小窓か)で連続しているのかを調査する。一般的な建物であるのか特殊な建物であるのかの判別。

2-4 特殊荷重の有無について調査する。

2-5 混構造であるのかを調査する。風呂まわり・ガレージが高基礎になっているのかを確認。

(3) 調査対象の建物の内部の目視調査 (写真 5、写真 6 参照)

3-1 設計図書等の資料から現状の仕上げ等に変更がないかどうかを調査する。

3-2 解体撤去建物であるため、積載荷重の偏在の有無を確認する。

3-3 床構面の仕上げおよび床の構造の構成について調査する。

(写真 6, 写真 9 参照)

(4) 構造躯体調査

4-1 1 階および 2 階の天井が無くなっているため、伏図等を作成する。

(写真 7、写真 8 参照)

4-2 4-1 で作成した伏図に継手・仕口の位置を記入する。

4-3 柱-梁の接合金物の位置および種類を伏図に記入する。

4-4 筋交いの位置を確認し、伏図に記入する。

4-5 今回モルタルあり・なしの 2 通りの実験を行うので、モルタルをカットする(重量算定には入れるが、構造体と完全に縁を切る)部分について確認する。

(写真 17, 写真 48 参照)

(5) 柱カウンターウェイト検証実験の測定位置の選定

5-1 柱カウンターウェイトの測定箇所として建物隅角部で測定しやすい部分を選定する。
(測定番号 No.1・写真 15~写真 21)

5-2 建物内部についても同様に選定する。

5-3 持ち上げる柱を選定した後、柱に油圧ジャッキを設置するために、ホールダウン金物を取り付ける。
(写真 28, 写真 29)

5-4 梁の持ち上がり量を測定するために、持ち上げる柱に取り付く梁の X 軸・Y 軸方向にそれぞれ 1 個あるいは 2 個の変位計を取り付け、測定間距離を決める。

(写真 19～写真 20 参照)

5-5 柱を持ち上げる際に床がめり込むことを考慮し、反力がとれるところ、つまり土台にとりつけるようにする。

(写真 31 参照)

☆注意事項として、変位計を床面に置き床面から計測をした場合、床面がジャッキ反力の影響を受け沈下する恐れがあるので、必ず床面に穴を開け土間コンクリートは地盤面よりの計測をすること。

(6) 面としての効果が予想されるベランダ構面を支える隅柱の柱カウンターウェイトの調査

6-1 モルタルや木ずり、内壁の仕上げ材が軸組みと取り付いていることによる直交壁の効果をみる。

(写真 15～写真 16 参照)

6-2 6-1 の要素を軸組みと切り離し 6-1 との比較を行う。(写真 17～写真 18 参照)

(7) 2 階部分の影響の調査のため、建物内部の柱を選定

7-1 2 階の影響を調べるため、直上に柱がのっていない 1 階部分の柱を選定する。

(測定番号 No.9 ・写真 40～写真 43 参照)

7-2 変位計取り付けの際、広範囲にわたって測定する必要があるので半間～1 間半ほどの間隔をとり、X 軸方向・Y 軸方向にそれぞれ 1 個あるいは 2 個の変位計を取り付ける

(8) 移動荷重による柱カウンターウェイトへの影響の調査

8-1 ベランダのコーナー部分に約 150kg になるように人を載せ、30cm ピッチで移動させ、移動荷重によるカウンターウェイトへの影響をみる。

◇今回は (8) の移動荷重による影響がほとんど確認されなかった。このことは 150kg 程度の重量ではベランダ床面積に均すとほとんど分散されてしまうと考えられ、コンクリートスラブの厚みが多いことによるベランダの版の面外曲げ剛性など（ベランダ床面積全体で抵抗）を考慮すると、さらに大きな 500kg 程度の重量を移動荷重としなければ移動荷重の影響を測定することはできないと考えられる。このことは今後の課題とする。

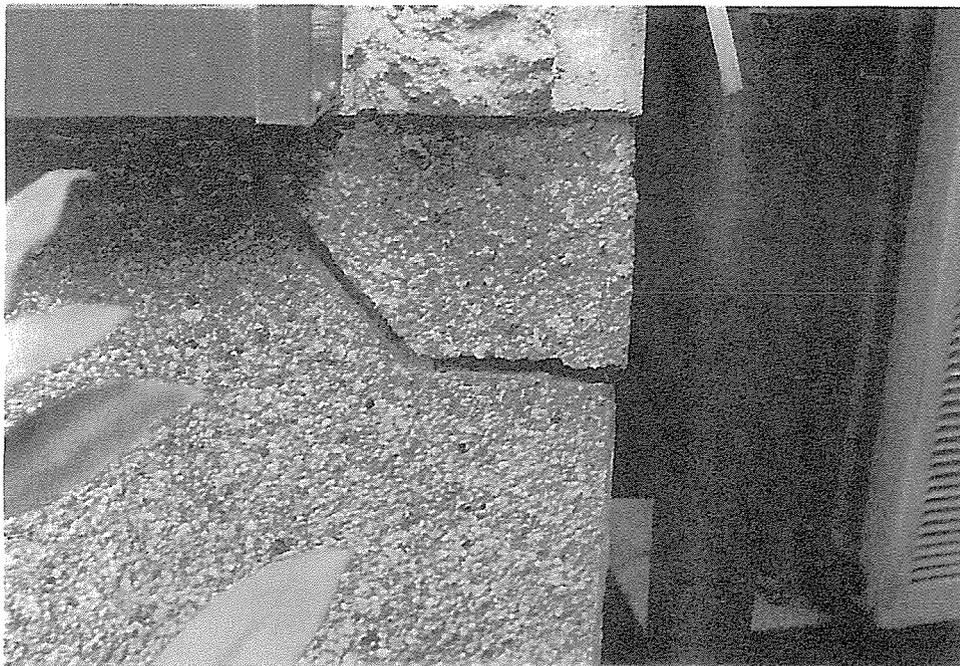


写真15 No.1測点和室道路側コーナー部分

No.1測点においてモルタルがくっついた時点でのカウンターウェイトを調べると、モルタルの効果は予想以上に大きく、写真のように土台と基礎の間で大きなクラックが発生した。また、ジャッキ反力の圧縮力により、基礎表面についているモルタルにもクラックが入った。



写真16 No.1 測点和室道路側コーナー部分

和室コーナーにある雨戸の戸袋部分にあるモルタル壁と、土台部分の境にあるラインに水平的なせん断亀裂が見られた。



写真17 No.1測点和室コーナー部分

つぎに、ラスモルタルの影響をなくすために直交方向の壁をカットし、軸材との影響をなくして実験をした。

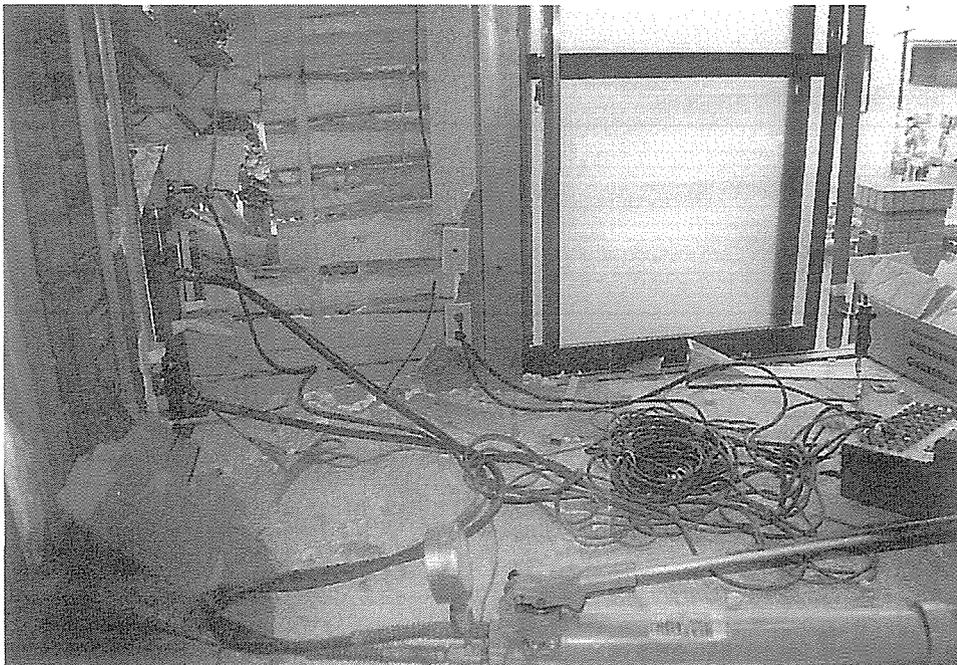


写真18 No.1 測点和室コーナー部分

モルタルの影響を排除してどこまでその影響がなくなるのかを調べるため、コーナー柱から1間程度離れたところに変位計を取り付け、調べた。

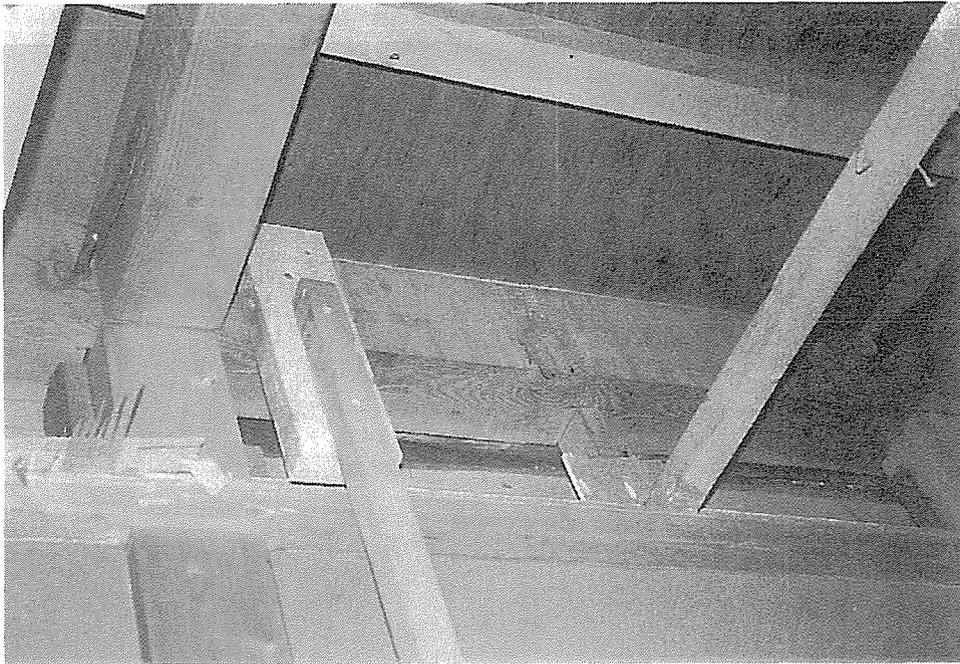


写真19 No.1測点和室コーナー部分

変位計を取り付ける箇所は、計測対象の柱が持ち上がろうとするので、その柱にとりつく壁でなく、写真のように柱にとりついている2階床梁の側面等に受け材を設置し、その受け材に垂直に角材を床レベルまでおろし、今回は1階床で浮き上がり量を計測したが、できるだけ1階床仕上げを取り外し、G.L.面からの計測が必要である。

1階床レベルで計測する場合は、床が持ち上がったり沈み込んだりする場合があるので注意が必要である。

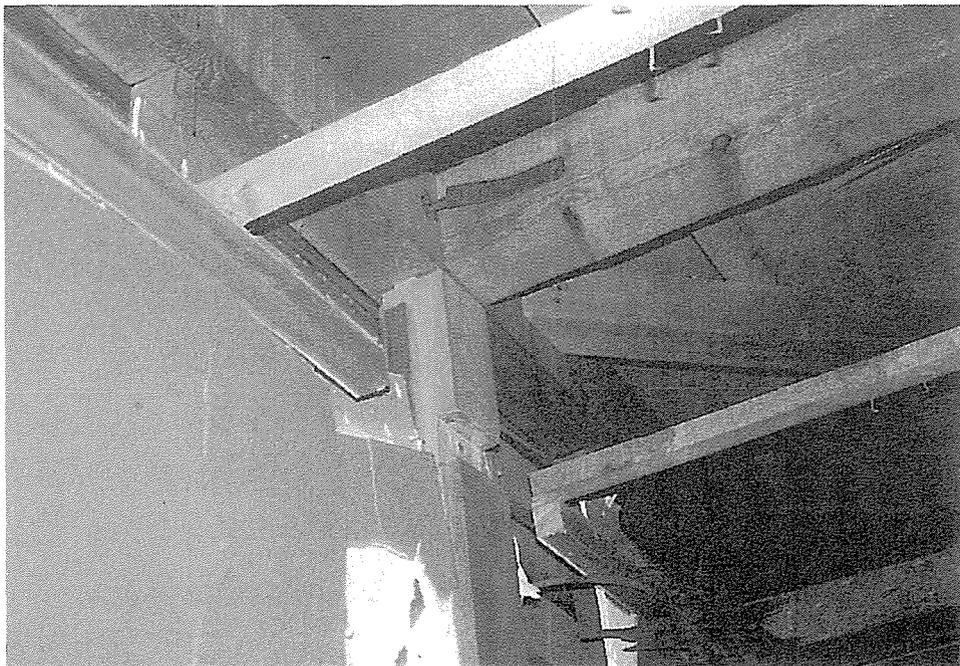


写真20 No.1 測点和室コーナー部分

優先梁は梁成の大きな間口方向の梁成21cmの材であり、その下の柱を持ち上げるので間口方向の梁だけではなく、その間口方向の梁に直交にとりつく写真の梁(梁成150mm程度)と一緒に持ち上がっているのがわかる。(柱のほそが抜けかかっている)

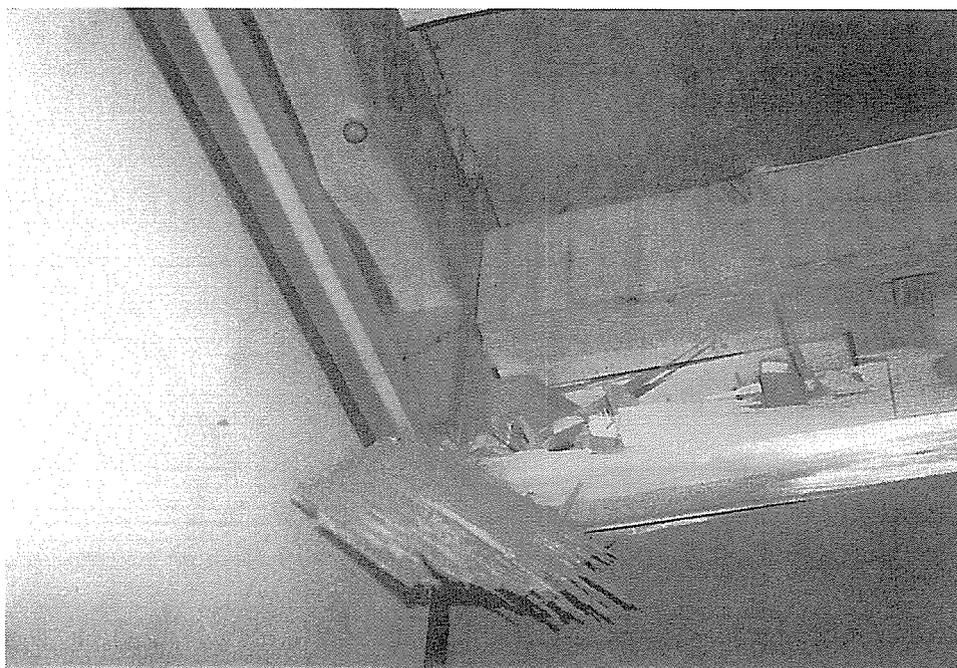


写真21 No.1測点和室コーナー部分

No.1測点を30mm程度持ち上げると、計測点No.1からNo.3間の梁が持ち上がり、特に30mm持ち上がった点では計測点No.3の通し柱の仕口までの影響がはっきりと確認できる。



写真 22

No.2 測点

玄関と和室の界壁の柱部分であり、モルタルが取り付いてる状態での計測である。

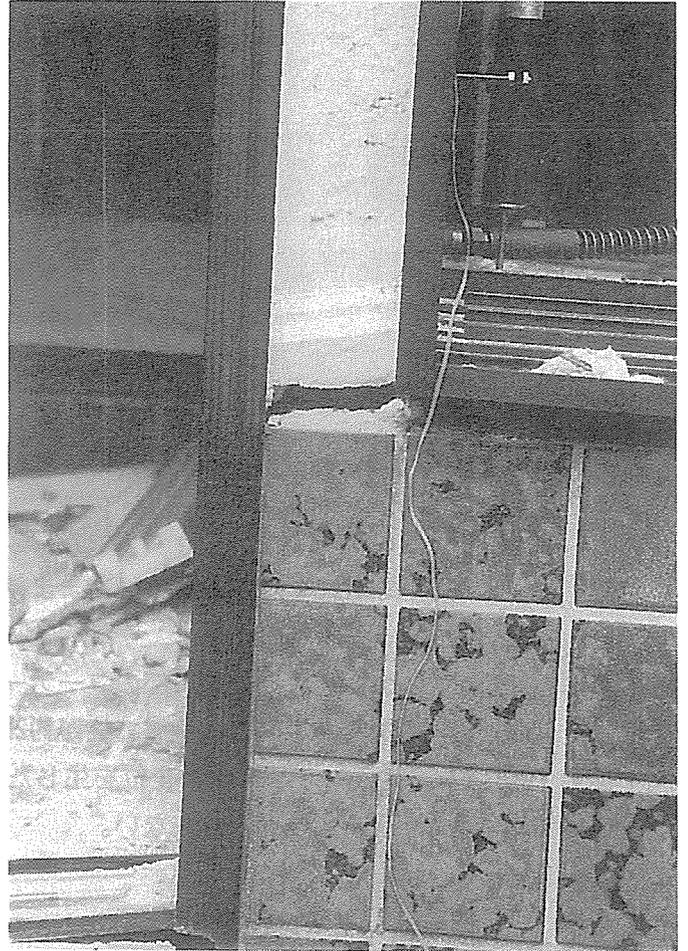


写真 23

No.2 測点

柱が浮き上がった状態で外部より見てみると柱の取り付いているモルタル部分が、基礎より剥離しているのがはっきりとわかる。



写真24 No.2測点

No.2測点でラスモルタルがついたまま持ち上げるとモルタルの影響で非常に耐力が出ることがわかった。

写真でわかるとおり、開口部のコーナーから柱の持ち上がりによるせん断クラックがはっきりと確認できる。この状態で柱が約20mm程度浮き上がった状態だが、耐力壁長さを91cmとするならば、 $1/46\text{rad}$ の変位を生じた外壁となるが、モルタル壁部分には、際だって大きなクラックは見受けられない。

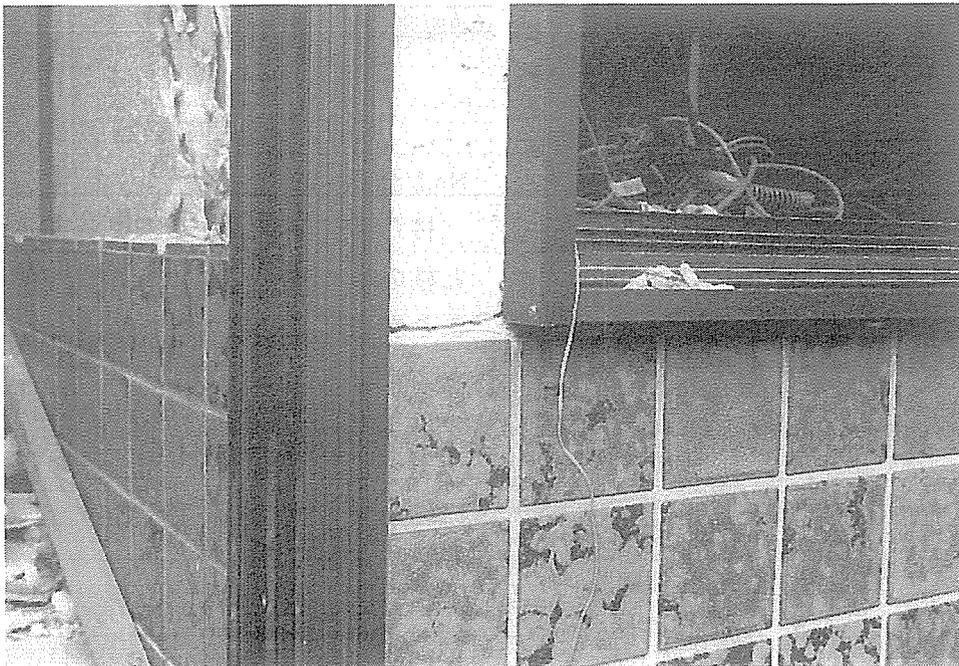


写真25 No.2 測点

計測対象柱の柱脚部分であるが、浮き上がりが 10mm 程度で、タイルとモルタル部分にクラックが発生した。



写真26 No.3, 4測点

No.3とNo.4の計測のためのホールダウン金物を取り付けた状態。

No.3は直接土台の上からジャッキアップができるようにしたが、No.4の計測点においては床に構造用合板を敷き、ジャッキアップをしたため、床が沈み込みNo.4は正確なデータが得られなかった。

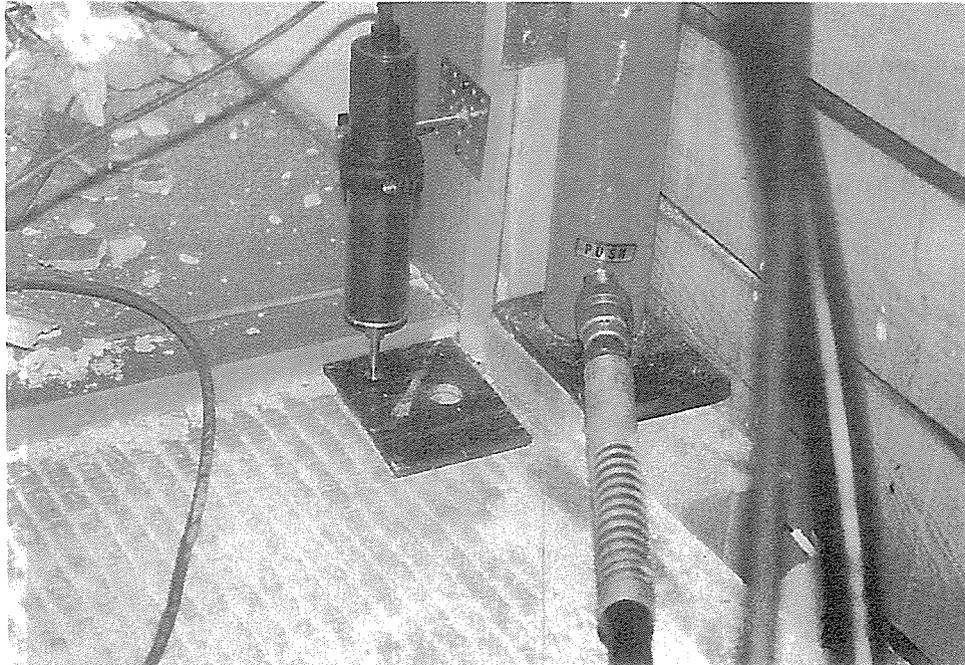


写真27 No.3 測点

No.3 のジャッキアップ反力は直接土台よりとるためベイマツのパッキン材を土台の上にセットし、加力したが、柱の変位を計測する対象を床の畳レベルとしたため、ジャッキアップの加力により柱が持ち上がると同時に畳も若干持ち上がって正確なデータが得られたとはいえない。(だから床仕上げ面を取り除き G.L.からの計測対象とすることが大事である)

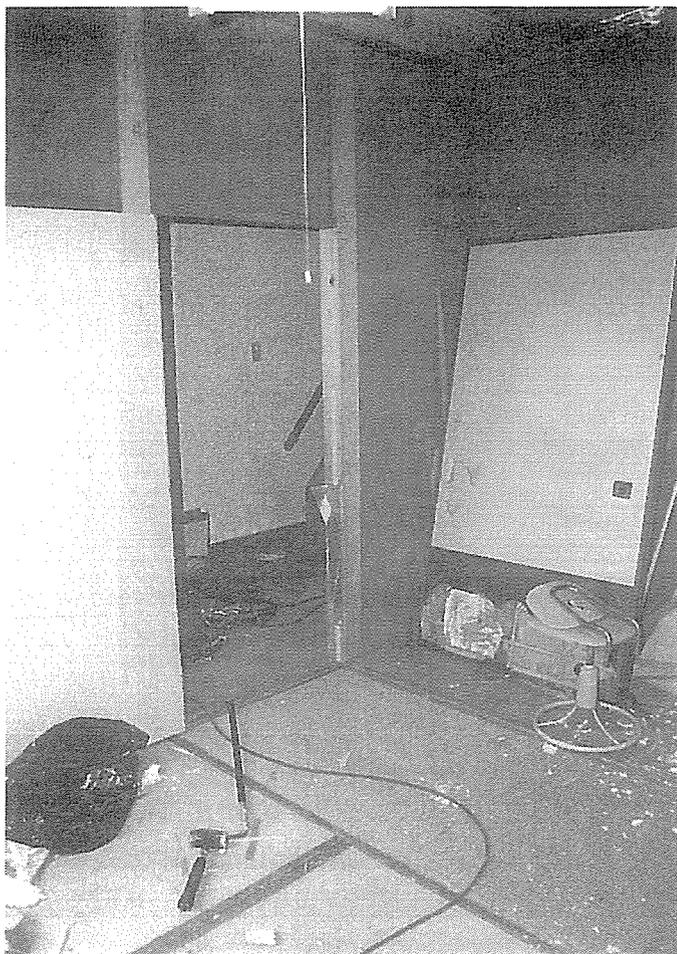


写真 28 No.5 測点

No.5 も No.4 と同様に直接床より反力をとるように敷居の上にジャッキを置き、加力する事とした。

ここは、廊下と居室との界壁で開口部の端部の柱であり、直交壁はないが、垂れ壁があり、垂れ壁の曲げ剛性もカウンターウエイトとして計測されると思われる。

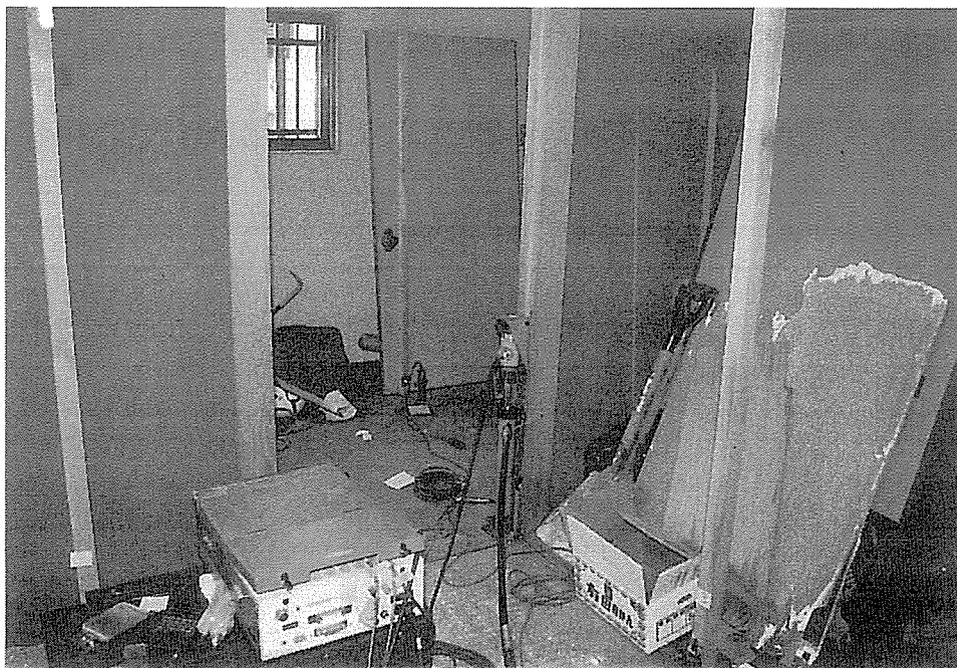


写真 29 No.5 測点

敷居に直接ジャッキ反力の座金を起き、ジャッキをセットして計測することとした。(このように床からのジャッキアップが思わぬ事態を発生させることとなった。)



写真30 No.5測点

No.5測点のジャッキを徐々に加力していくと、耐力はでているが、変位置が各測点においてほとんど発生していない状況となった。



写真31 No.5 測点

ジャッキの加力を4トン程度加えたところで現状を見ると敷居が陥没し、計測不能状況となっていた。(このようなことのないように既設建物のジャッキアップによる反力は、基礎の上よりとるべきであると痛感した)



写真32 No.6測点

No.6測点はまずはモルタルが取り付いたままのジャッキアップとした。no.6の測点形態は内壁の直交壁があり、その一部をカットし、土台にジャッキを取り付け加力するもので、外壁のラスモルタルの効果と内壁の面材による直交壁の効果が顕著に現れ、変位量は少ないが、大きな耐力が計測された。

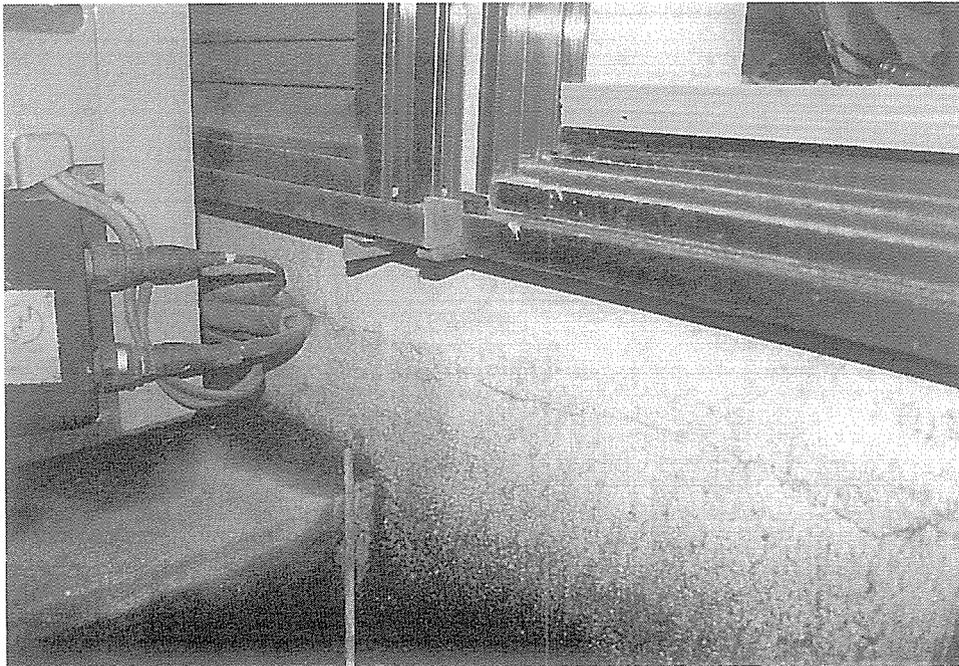


写真33 No.6 測点

計測対象柱の浮き上がり量が 10mm を越えたあたりで、土台に取り付く外部モルタルに水平方向にクラックが発生した。



写真 34 No.7 測点

No.7 測点は居間の掃き出し窓コーナー柱で写真の通り、内壁は遮音シートの上ベニヤとクロス仕上げで構成されており、外壁との間には断熱材が設置されていた。なお、外壁の下地は木ずりであり、近年に増改築されており、壁体内の蟻害腐朽は見られない。



写真 35 No.7 測点

No.7 測点においては 2m 以上の掃き出し窓があり、2 階胴差しも 4m 以上の長さでかかっており、そのため計測点を広くとることにした。

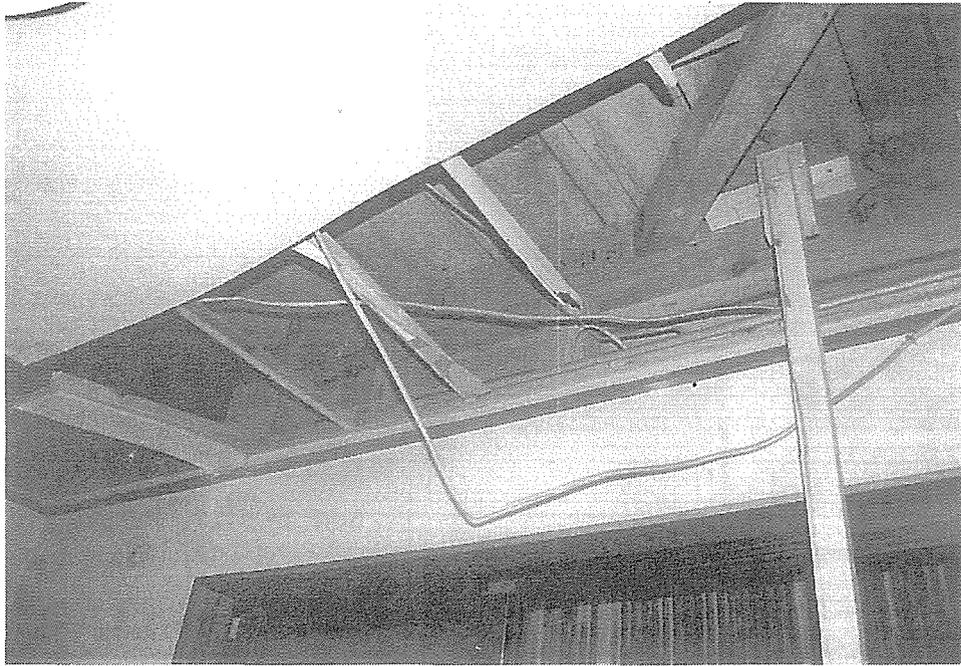


写真36 No.7測点

No.7の計測対象柱にかかる胴差しは、4m以上あり なおかつ床火打ちとかの障害物があるので、計測地点は計測対象柱より約2m程度となった。

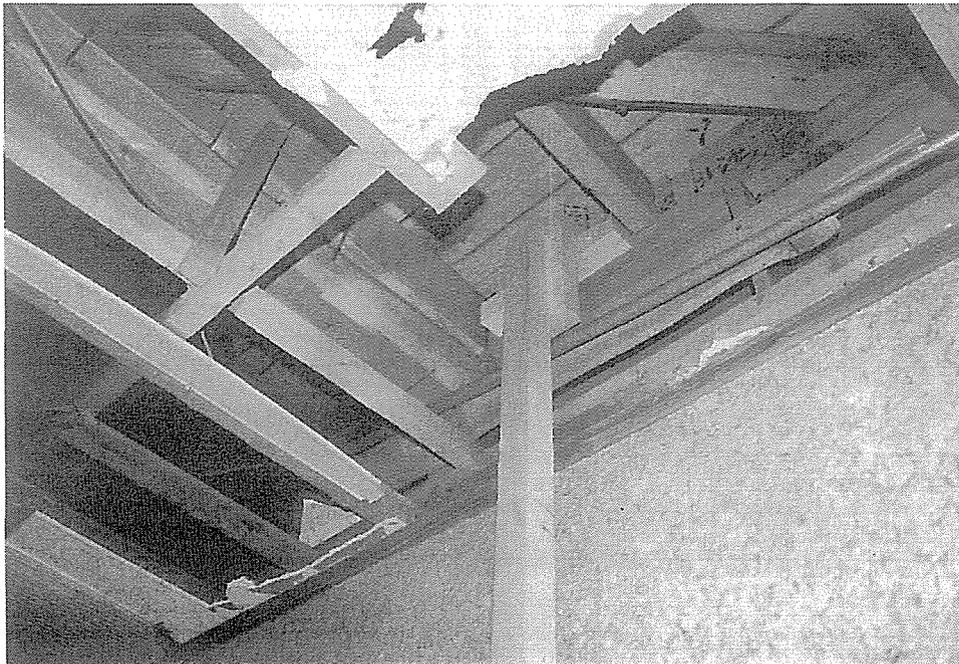


写真37 No.7 測点

測定する胴差しのスパンが居間の二部屋にわたってかかっており、その影響を調べるため梁の端部の近くで計測することにした。



写真38 No.7測点

No.7の2部屋にまたがってかかる胴差しに対し直交の2階床張りがかかっており、その直交梁の浮き上がりを調べるために、計測点を設けた。

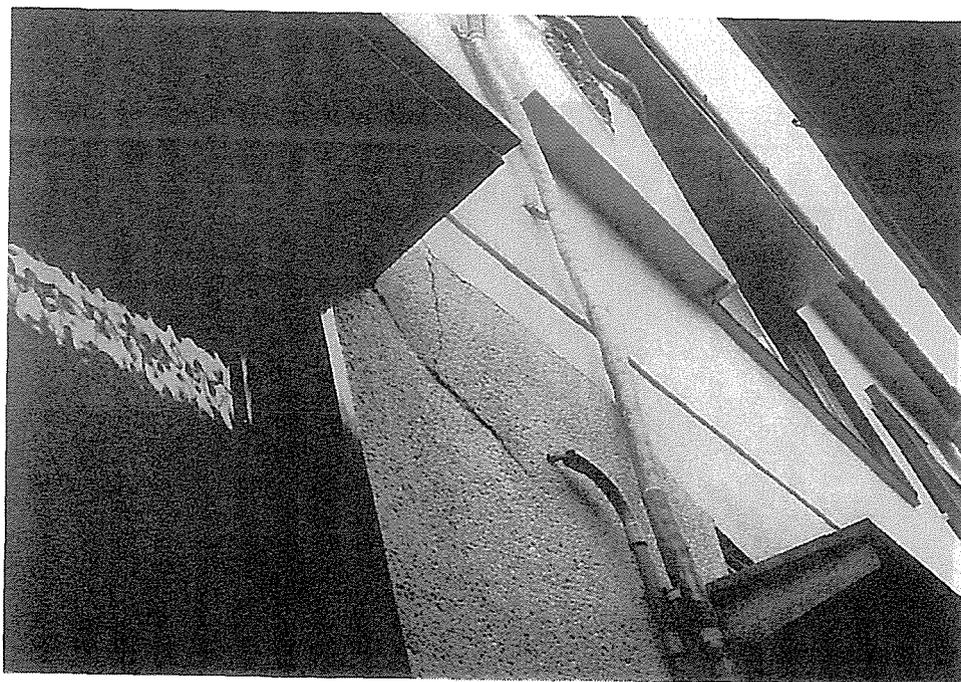


写真39 No.7 測点

No.7のモルタルつきカウンターウェイトを調べ、その状況を写した。

これは浮き上がり量が30mm程度の地点での状況で、外壁に大きなクラックが発生し、一部胴差しのあたりで剥離しているのが確認できる。

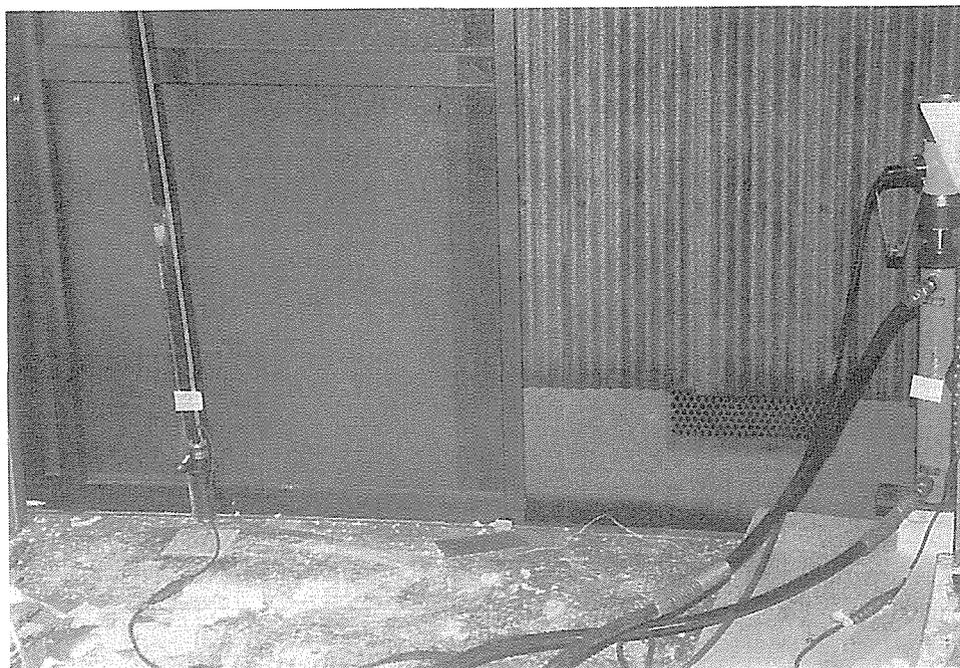


写真40 No.8測点

No.8測点は居間の掃き出し開口の端部にあり、ジャッキアップのための反力点は、床の仕上げ材が取れず構造用合板をひいた上で計測することとした。ここをNo.5等と同様に床が沈み正しいデータは得られなかった。



写真41 No.8 測点

No.8 の計測対象となる梁は X,Y 各方向に影響していたので複雑な計測点となった。



写真 42 No.9 測点

No.9 測点は内壁構面の中柱を測定した。
No.9 の測定点の柱は 2 階和室の床梁を支えており直上階の柱は乗っていない。

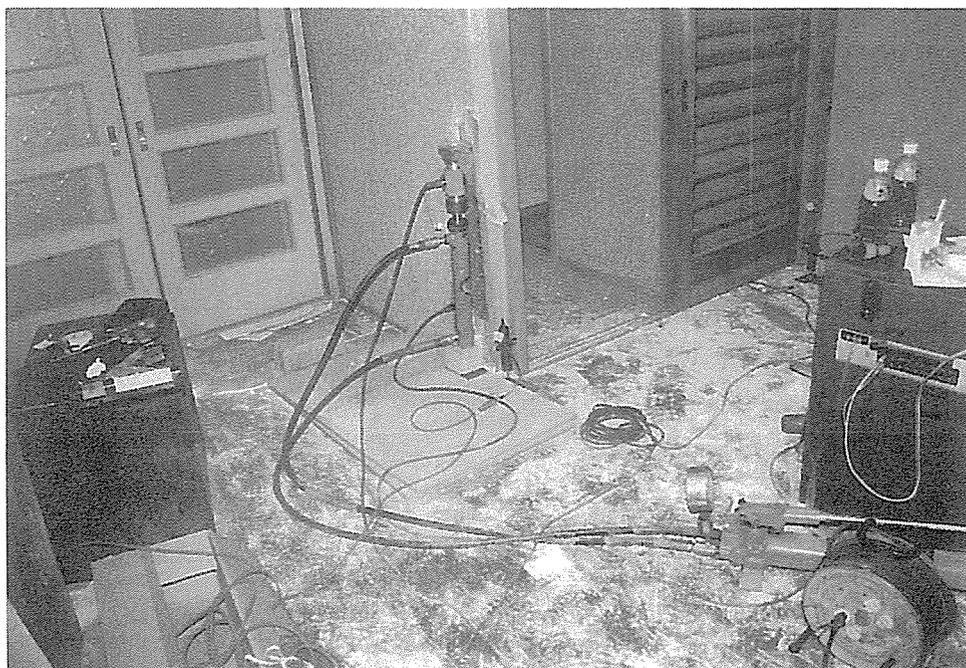


写真 43 No.9 測点

この柱のカウンターウェイトとしての実験をやるため、1 階居間の床（フローリング）面に構造合板を敷きそして計測することとした。



写真 44 No.9 測点

この計測も、床面に反力をとったため、ごらんのように床が陥没し、正しい計測データは得られなかった。(既設の住宅をこのように実験する場合は、天井面のみならず床面の仕上げも取り除くべきである。)



写真 45 No.9 測点

2 回目の計測は床面の仕上げを取り除き、基礎と土台があるところに反力をとるようにし、計測した。



写真 46 No.11 測点

No.11 測点は No.2 測点のところと同じで、この No.11 測点の特徴としては、外壁のラスモルタルをほとんど撤去し、パラベットのモルタルをも取り除いている点にある。また、玄関の建具と建具枠をも抵抗要素として取り除いている点も特徴としている。

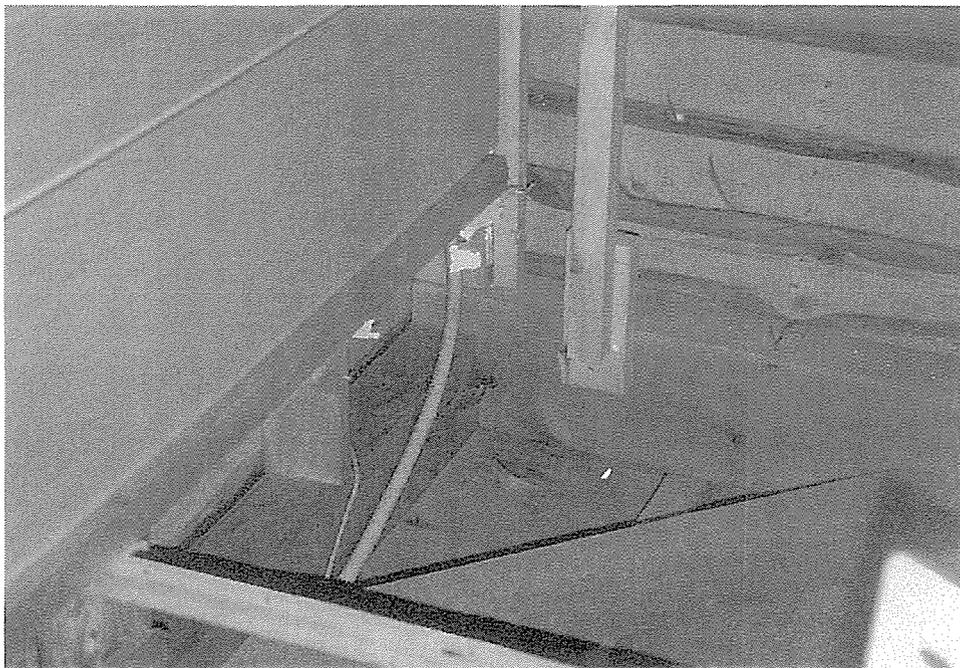


写真 47 No.11 測点

No.11 測点の玄関脇のコーナー部分における計測状況を示す。間口方向の玄関部分胴差し材は梁成 21cm であり、この材が、コーナーの柱に優先してかかり桁行の胴差し(梁成 15cm)が取り付けられているのでその部分は外壁のラスモルタルが、隣地との影響もあり、カッター切りしていないのでこの直交材へは計測点を設けなかった。コーナー柱のほぞが梁から抜けかかっているのが確認できる。



写真48 外壁モルタルのカット面及び取り外し面を示す

ラスモルタルが軸組に取り付いた状態でのカウンターウェイトはその影響が非常に大きく浮き上がり量が10mm以内でも非常に大きな耐力を示し、モルタルが抵抗しないでただくっついている状態でのカウンターウェイトに比べかなり違いがあるので、このようにダイヤモンドカッターでラスモルタルをカットし、軸組と縁を切った。

また、一部は木ずりが軸組に取り付いているので、その木ずりのラスモルタルおもたたいて脱落させた。



写真 49 常時微動測定
一回廊下部分の常時微動の測定

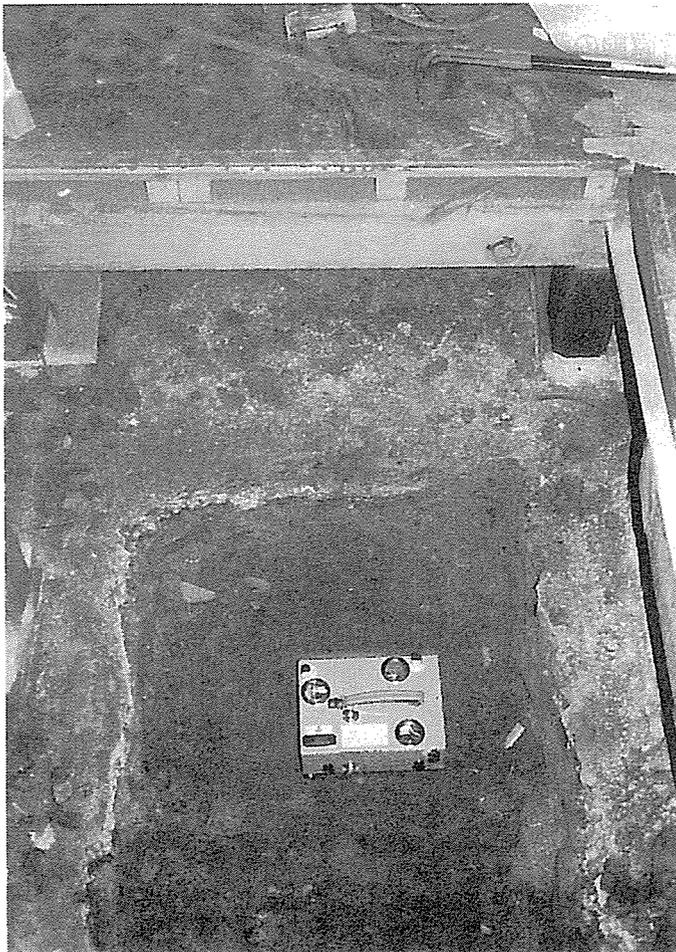


写真 50
建物中央部の 1 階居間の掘こたつ下部
G.L.面における常時微動測定



写真51 小屋裏部分による常時微動の測定

2. 4 実験方法

(1) 柱カウンターウェイトと耐力壁の耐力の関係解説

建物に水平力が加わると、耐力壁はせん断変形や曲げ変形や剛体回転をしようとする。柱カウンターウェイトは耐力壁の剛体回転による柱の浮き上がりに対する抵抗力である。

耐力壁のせん断耐力が小さいと、剛体的な挙動による浮き上がりはほとんど発生しないで耐力壁の変形で抵抗するが、耐力壁のせん断耐力が大きいと、剛体的な挙動が大きくなり耐力壁にとりついている柱の引き抜き力が発生する。この剛体的な挙動が大きくなる場合に柱カウンターウェイトの効果が期待される。以下に、終局状態における 2 通りの破壊形式から柱カウンターウェイトの効果について述べる。

《耐力壁の終局状態の破壊形式について》

※耐震要素を「面材大壁」に例として以下述べる

耐力壁が回転角 R となるときの抵抗モーメントを M とすると、耐力壁の縁に生じる鉛直せん断力は式①で与えられる。

$$V = M / W \text{-----} \textcircled{1}$$

W : 面材の幅

耐震要素(面材)に水平力が左から右に作用したとき、柱に生じる引っ張り軸力 V (上向きの力) は、以下のように算出される。(図 2-4)

$$V = V_T - V_C = Q_{UR} \times H / W - Q_{UL} \times H / W \text{-----} \textcircled{2}$$

Q_{UR} : 柱の右側にある耐震要素の終局せん断耐力の和

V_T : 柱の右側にある耐震要素により柱に作用する上向きの鉛直せん断力の総和

Q_{UL} : 柱の左側にある耐震要素の終局せん断耐力の和

V_C : 柱の左側にある耐震要素により柱に作用する上向きの鉛直せん断力の総和

H : 階高

建物内部に組み込まれた鉛直構面に水平力が作用し、柱に上向きの力 V が生じるときの力の釣り合いにより、破壊形式は以下のように分類できる。

i) 耐力壁の耐震要素自体が壊れる場合（柱は引き抜けない）

$$V_w \leq N + R \text{ ----- ③}$$

- V_w : 耐震要素自体が破壊するときに柱に生じる引っ張り力
 N : 柱頭に作用する下向きの力（ \gg 柱の長期軸力）
 R : 柱脚に作用する下向きの力（柱脚金物の終局耐力或いは基礎の抵抗力）

N は横架材を剛と仮定して、壁の上部の横架材（継ぎ手位置まで）全体を持ち上げるのに必要な力であり、柱頭が引っ張りとなる柱と横架材に取り付いた金物の抵抗力や、直交する梁に取り付く柱の柱頭、柱脚の金物の抵抗力や、直交する梁に取り付く壁の浮き上がりに対する抵抗力、及び、上階の壁により生じる転倒モーメントを考慮して、力の釣り合いから求められる。

この破壊形式の場合、柱の左右に取り付く耐震要素の耐力は、耐震要素の保有する耐力に等しい。柱の左右に取り付く耐震要素の変形能力は、耐震要素の限界変形角に等しい。

ii) 柱脚金物の耐力或いは基礎の浮き上がりで破壊する場合（柱は引き抜かれる）

$$V' = N + R \text{ ----- ④}$$

- R : 柱脚金物の終局耐力或いは基礎の抵抗力（柱脚金物がない場合は、 $R=0$ ）

この破壊形式の場合、i) と比べると、柱の引き抜けに対する抵抗力（柱カウンターウェイト）は $\Delta V = V_w - V'$ だけ不足していることになる。

柱カウンターウェイトの不足分 ΔV によって、柱の右側の耐震要素により生じる上向きの力が $V_T' = V_T - \Delta V$ に低減される。そのため、柱の右側の耐震要素の終局せん断耐力は $Q_{UR}' = V_T \times W / H < Q_{UR}$ となる。従って、柱 1 本に浮き上がりが生じる場合、浮きがない場合の耐力よりも $Q_{UR} = \Delta V \times W / H$ だけ耐力が低下することになる。

(2) 実験の手法

計測対象となる隅角部・外側柱・内部柱等の柱の柱脚部より 1m程度の高さの位置に、ホールダウン金物（HDN2.5t用）を逆に取り付け、その下に荷重計と油圧ジャッキを設置し、持ち上げる。

変位計は持ち上げる柱（変位計 1）と持ち上げる柱に取り付く X 方向梁・Y 方向梁の半間～1間半程度の範囲に設置する（変位計 2～変位計 4）。柱を徐々に持ち上げ、その時の荷重と柱の持ち上がり変位、及び持ち上げる柱に取り付く X 方向梁・Y 方向梁の浮き上がり量（梁と床との相対変位）を測定する。

この荷重は、柱を持ち上げる際の上からの押さえ込み荷重抵抗であるので、これが柱カウンターウェイトとなる。

実験から得られた荷重（実際の柱カウンターウェイト）と算定した長期軸力との比較を行う。

このとき、柱の持ち上がり変位と荷重を 2.5mm、5mm、10mm、20mm、30mm の各測定点における負担面積の移り変わりについて検証する。

3章 実験結果

以下ベランダ下隅柱 (No.1)、ベランダ下側柱 (No.2)、内部柱 (No.9) の 3 つの測定位置について、実験結果より得られた柱カウンターウェイト (測定値) とモデル化した負担面積より得られた柱カウンターウェイト (算定値) について述べる。

3.1 測定地点の説明と測定値についての考察

以下に、測定番号 No.1, No.2, No.9 について、長期軸力とした場合の柱カウンターウェイトの値と測定結果を示す。また次頁より、測定地点の測定状況を示す。(図 3-1~図 3-11 参照)

表 3-1 柱カウンターウェイトの算定 (長期軸力とした場合)

■仮定荷重 (kg/m ²)		■柱カウンターウェイト	
ベランダ	205		単位面積×荷重 (kg)
外壁(モルタルなし)	40	測定番号No.1	$205 \times 0.455 \times 0.455 + 40 \times 0.91 \times 3 + 135 \times 0.91 \times 0.6 = 225.35$
パラペット	135	測定番号No.2	$205 \times 1.82 \times 0.455 + 40 \times 1.82 \times 1 + 45 \times 0.455 \times 2.4 + 135 \times 1.82 \times 0.6 = 439.12$
内壁	45	測定番号No.9	$120 \times (1.82 \times 1.82 + 0.455 \times 0.91) + 45 \times 0.455 \times 2.4 = 496.31$
2F床	120		
屋根	170		

※仮定荷重値の根拠については次頁を参照とする。

表 3-2 測定番号 No. 1, No. 2, No. 9 の測定結果 (壁なしの場合) からの柱カウンターウェイトと長期軸力として算定した柱カウンターウェイトの比較

	持ち上げた柱 変位計1(mm)	変位計2 (mm)	変位計3 (mm)	変位計4 (mm)	測定値からの 柱カウンターウェイト(t)	長期軸力とした 柱カウンターウェイト(t)
測定番号 No.1	2.5	0.26	0.00	-	0.76	0.23
	5	0.94	0.00	-	1.05	
	10	2.72	0.35	-	1.57	
	20	6.20	1.00	-	2.69	
	30	10.30	2.02	-	3.19	
測定番号 No.2	2.5	0.35	0.00	1.50	0.82	0.44
	5	0.83	0.13	2.84	1.23	
	10	2.93	0.83	6.31	1.92	
	20	8.49	2.59	12.91	2.97	
	25	15.88	3.86	17.48	3.37	
測定番号 No.9	2.5	0.20	0.00	1.00	0.97	0.50
	5	0.40	-0.03	2.10	1.60	
	10	1.12	-0.09	4.64	2.97	
	15	1.70	-0.40	7.10	4.28	

仮定荷重値の根拠)

単位：kg、kg/m²

- ・ 屋根

田原建築設計事務所が住・木センターに提出した
「木造住宅における仕様及び形状を考慮した建物重量算出法」より
3. 各部位における基本となる詳細荷重 (P. 7) の重たい屋根と普通屋根の
中間の値と現場にて確認でき、軒の出が約450mm程度だったので (P.15)
より平均値として 170kg/m² とした。

・ ベランダ

コンクリート t=80	160	
アスファルト防水	5	
床組 (コンパネ+根太)	20	
梁等	20	
	<hr/>	
	205	kg/m ²

・ 2階床

畳	20	
床板	10	
根太	10	
梁等	20	
積載荷重 (地震用)	60	
	<hr/>	
	120	kg/m ²

・ 外壁

ラスモルタル	45	
木ずり	15	
軸組	15	
内壁側ラスボード	10	
モルタル	20	
	<hr/>	
	105	kg/m ²

しかし、今回はラスモルタルと内壁側モルタルが撤去されたので 40kg/m² とした。
(※モルタルの抵抗を反映させないため)

・ 内壁

石膏ボード (両面貼り)	25	
軸組	15	
	<hr/>	
	40	kg/m ²

・ パラペット

ラスモルタル (両面)	90	
木ずり (両面)	30	
軸組	15	
	<hr/>	
	135	kg/m ²

《ベランダ下隅柱（測定番号 No.1）の測定地点と測定状況》

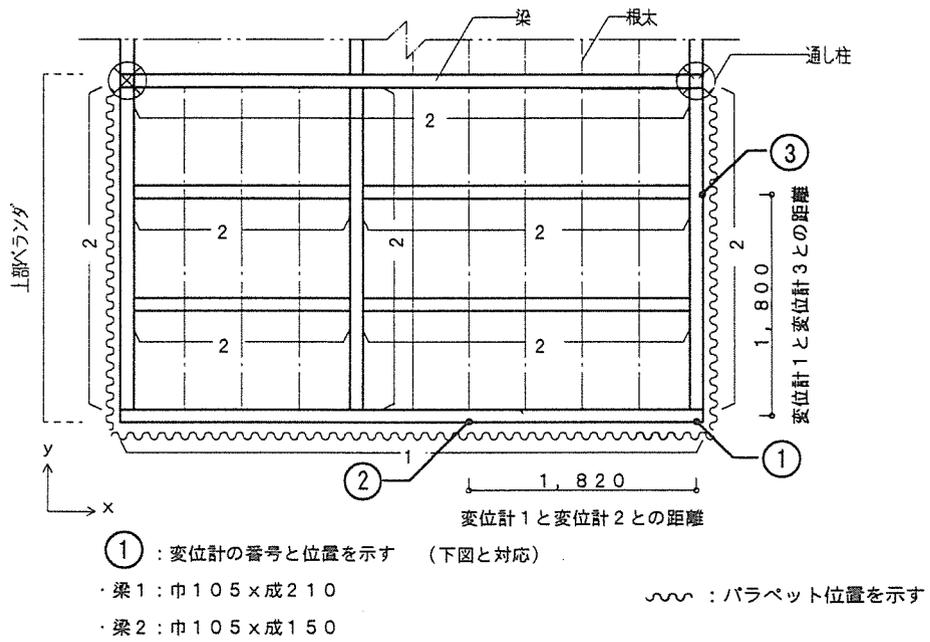
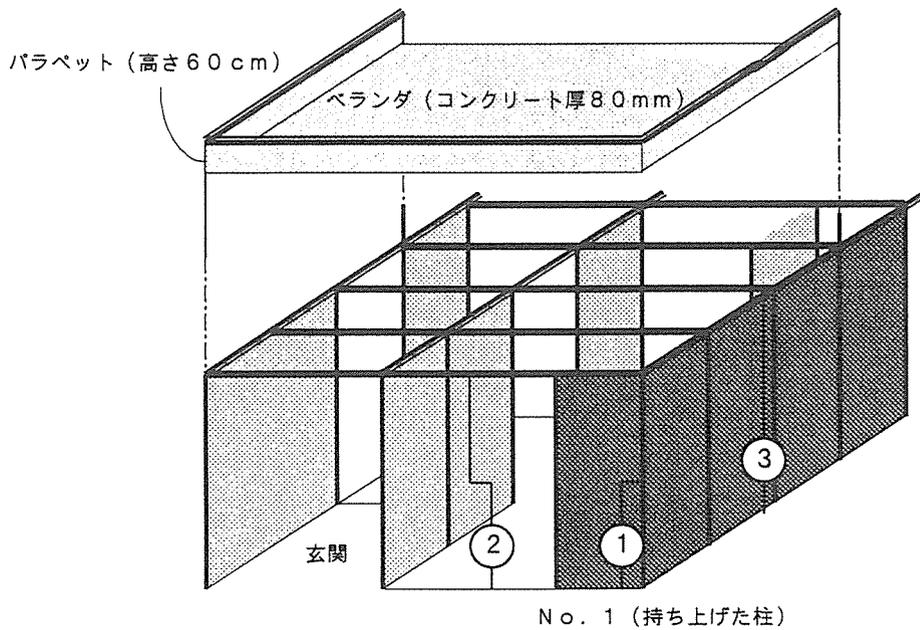


図3-1 梁の優先順位と寸法



◇網掛部分は壁。濃い網掛部分の壁あり（モルタル付き）と壁なし（木ずり・モルタルを軸組みから切り離した）についての測定結果の比較を行った。

図3-2 測定番号No. 1の柱の測定位置（変位計1～3）

《ベランダ下隅柱（測定番号 No.1）を持ち上げたときの測定結果》

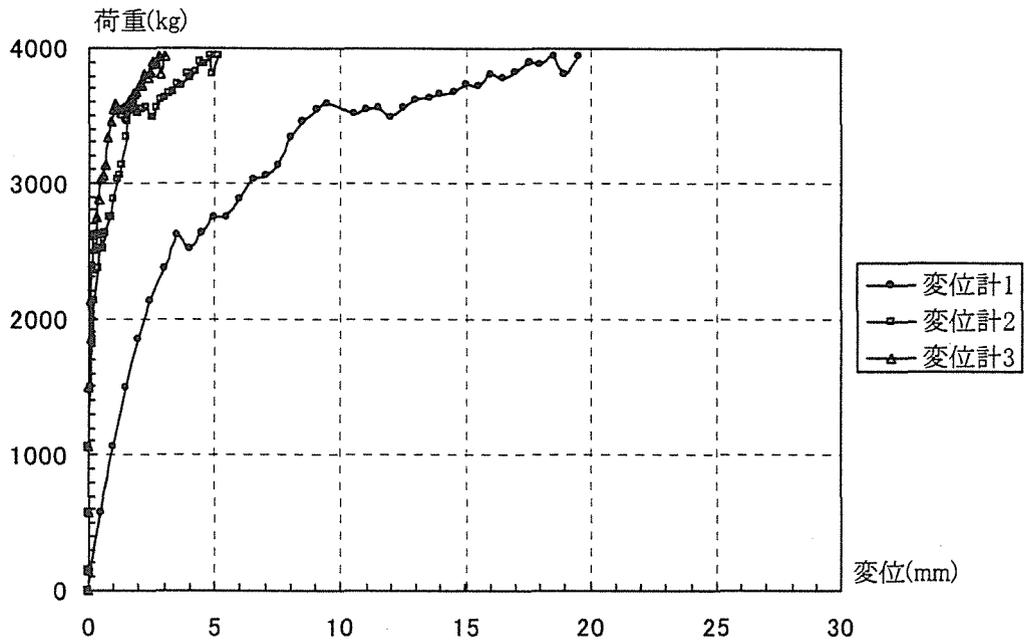


図3-3 測定番号No.1のL字型に壁あり（モルタル付き）のときの変位-荷重関係

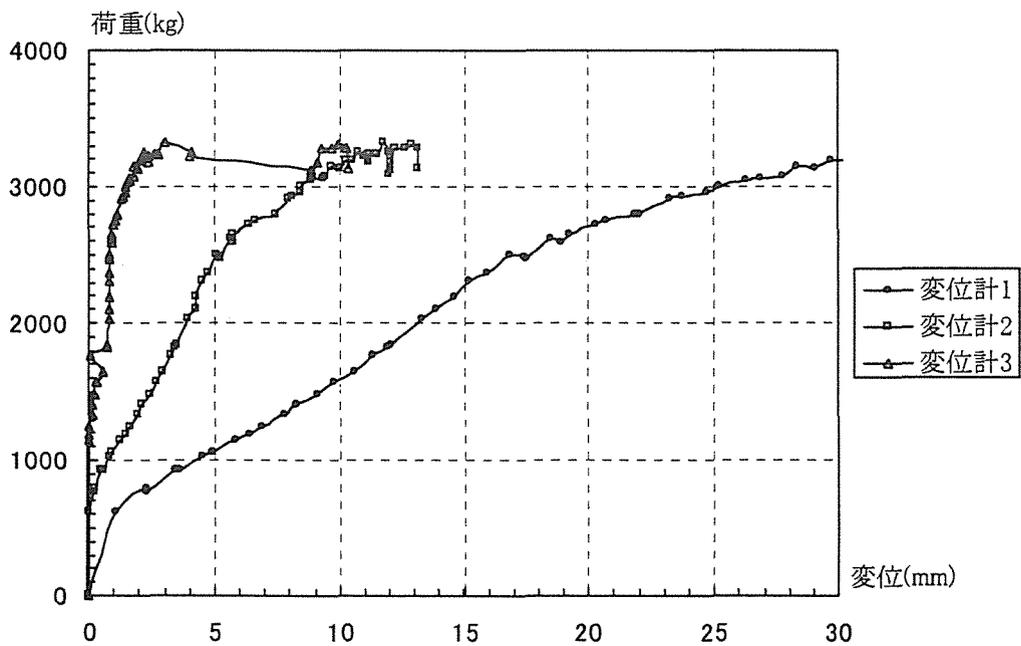


図3-4 測定番号No.1のL字型に壁なしのときの変位-荷重関係

《ベランダ下柱（測定番号 No.2）の測定地点と測定状況》

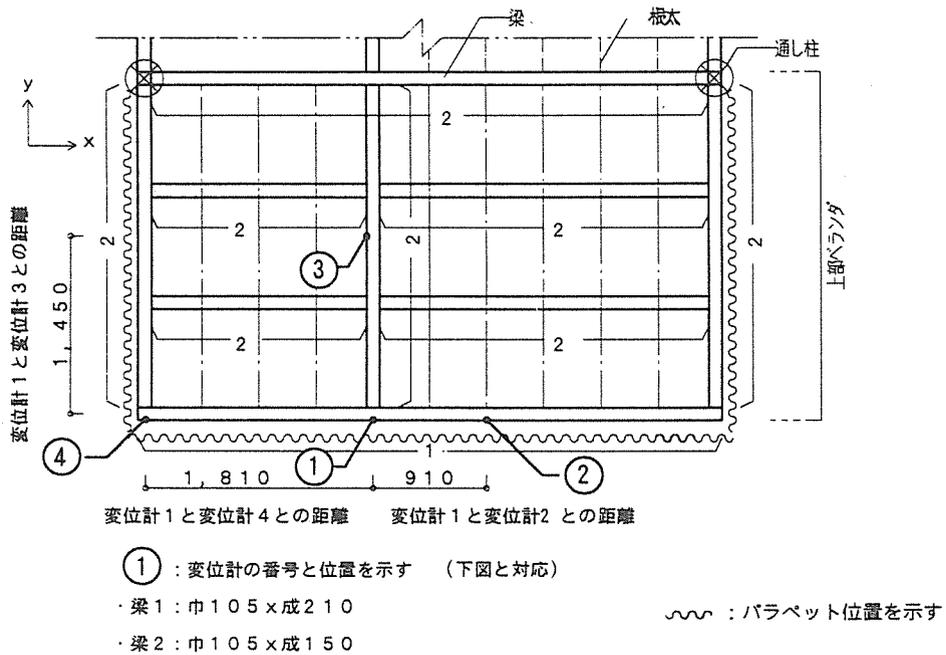


図3-5 梁の優先順位と寸法

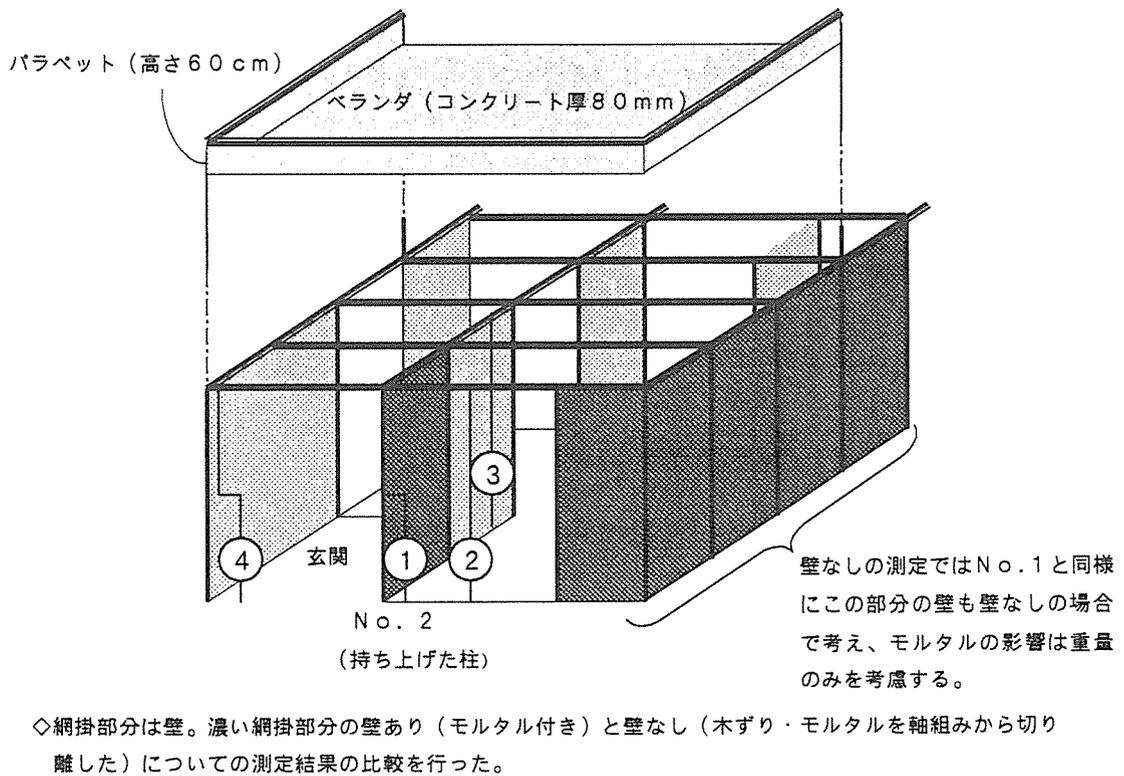


図3-6 測定番号No. 2の柱の測定位置（変位計1～4）

《ベランダ下柱（測定番号 No.2）を持ち上げたときの測定結果》

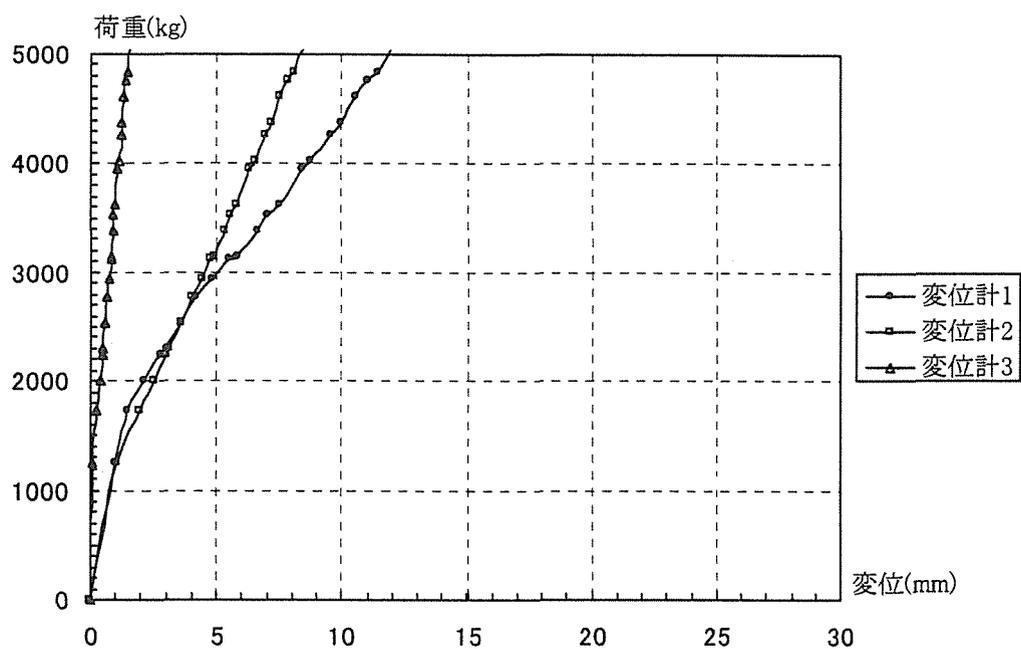


図3-7 測定番号No. 2の壁あり（モルタル付き）のときの変位-荷重関係

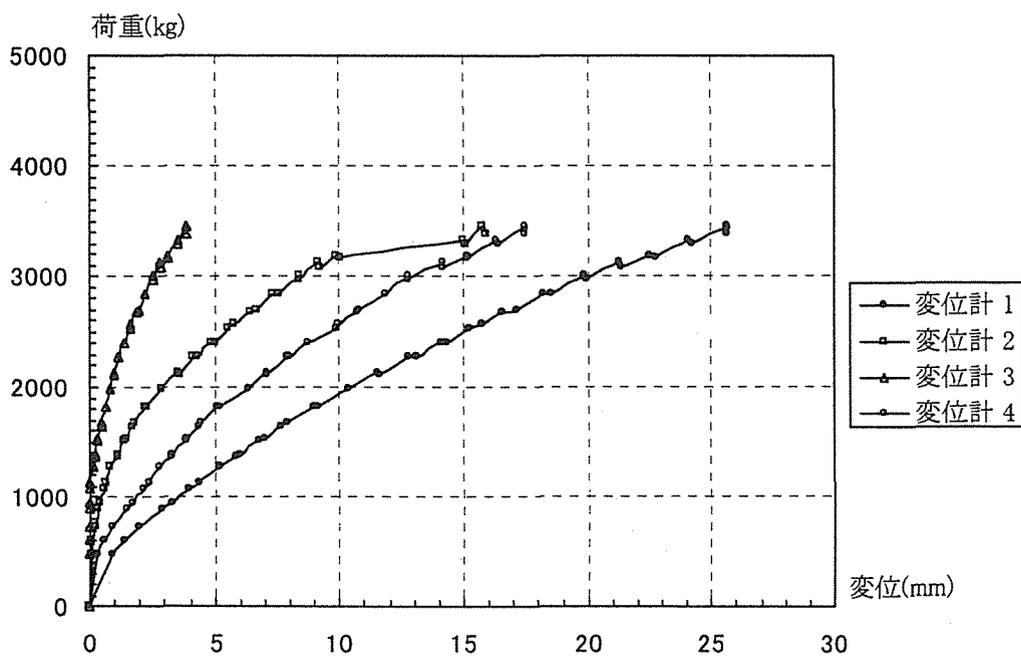


図3-8 測定番号No. 2の壁なしのときの変位-荷重関係

《測定番号 No.9 を持ち上げたときの測定結果》

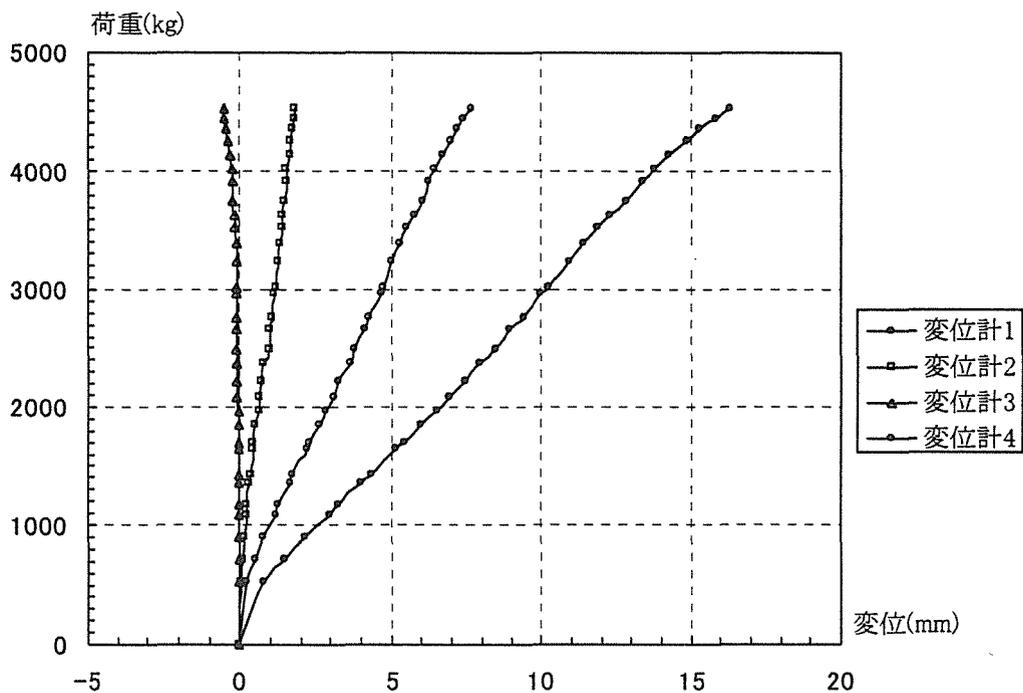


図3-1-1 測定番号No. 9の壁なしのときの変位-荷重関係

《測定番号 No.1, No.2, No.9 のグラフの考察》

□ベランダ下隅柱(測定番号 No.1)について

壁ありのときの測定については、今回用いた荷重計の最大値が 5t 程度であったため、荷重 4t 程度で測定を中止している。

よって最大荷重については測定できなかったが、変位－荷重関係の壁ありの場合と壁なしの場合の比較より、モルタルが軸組と密着している場合、耐力壁に作用する力に対する抵抗要素としてモルタルが効いていることが確認できた。(写真 15, 16)

第 1 折れ点をみると、壁なしでは 0.6t 程度であるのに対し、壁ありではその 4 倍ほどの約 2.6t まで達している。また、壁ありと比べると、壁なしでは変位計 2 と変位計 3 の値に差がはっきりと読み取れる。(図 3-3, 3-4)

これは、変位計 2 をとりつけた梁は優先梁（柱の上に直接緊結している）であり、柱を持ち上げた際にまず優先梁が持ち上がろうとし、次に優先梁に取り付いている梁が持ち上がろうとすることが考えられる。(図 3-1)

□ベランダ下側柱（測定番号 No.2）について

測定番号 No.1 と同様、壁ありの場合はモルタルの効果が大きく、最大荷重については測定できなかった。これは玄関脇の外壁のモルタルがカットされずに構造体に取り付いていた為と思われる。

測定番号 No.1 と比べると、優先梁に取り付けた変位計 2 の変位が大きく、柱の持ち上がりと共に梁も持ち上がっていることがわかる。これは優先梁にはほとんど壁が取り付けられていないことが影響していると考えられる。(図 3-5, 3-7, 3-8)

□内部柱（測定番号 No.9）について

壁ありの測定については柱を持ち上げようとする、反対に荷重計がめり込む結果となり正確な値を測定できなかった。壁なしの場合にはこのことを考慮して土台部分に荷重計を設置して測定を行った。（写真4 2～4 5）

グラフより変位計 1 に続き、変位計 4 の変位が最も大きく、変位計 3 については負方向に変位が進んでいることが読み取れる。変位計 4 の値が最も大きいのは優先梁に取付けられていることと、2F 部分の真上付近に柱がないことが考えられる。（図3-11）

変位計 2 が変位計 4 に比べて変位が小さいのは、変位計 2 を取り付けている梁（Y方向梁）と交差する方向に上部柱が並んでおり、変位計 2 の直上付近に柱が位置することが影響していると考えられる。（図3-9）

また変位計 3 については、変位計 4 と同様の梁に取付けられており、以下の図のような効果により梁が下向きに変位したと考えられる。

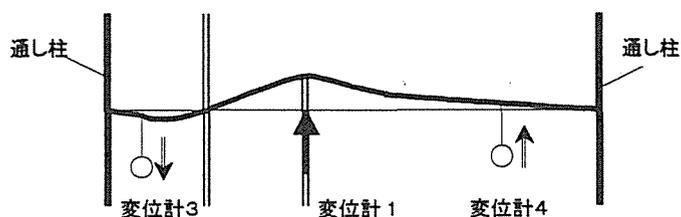


図3-12 測定番号No.9の優先梁の変形

上図のような変形が生じた理由として梁 H=150 と小さい為、梁の曲げ剛性が低かったことに起因するものと考えられる。

□ベランダ下の柱（No.1, No.2）と内部柱（No.9）との比較

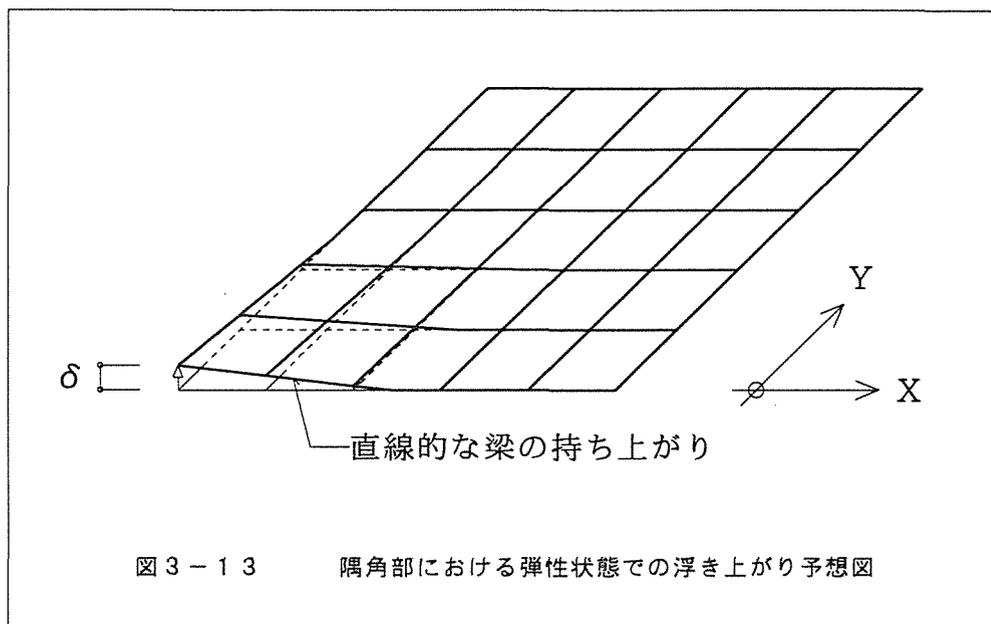
持ち上げた柱に取り付けた変位計 1 の変位が 2.5mm、5mm、10mm のときの荷重を比較してみると、ベランダ下の柱よりも内部柱の荷重（柱カウンターウェイト）の方が大きく、変位が大きくなるに従いその比率も大きくなっている。

内部柱の近くにはあまり壁はなく、真上にも柱がなかったが内部柱に取り付いている梁に、屋根や 2 階部分の内壁の重量が 2 階部分の柱を通して伝わり、それが浮き上がりを押さえ込む力となったと考えられる。また、上部から流れてくる押さえ込む力は変位が大きくなるに従い大きくなると考えられる。

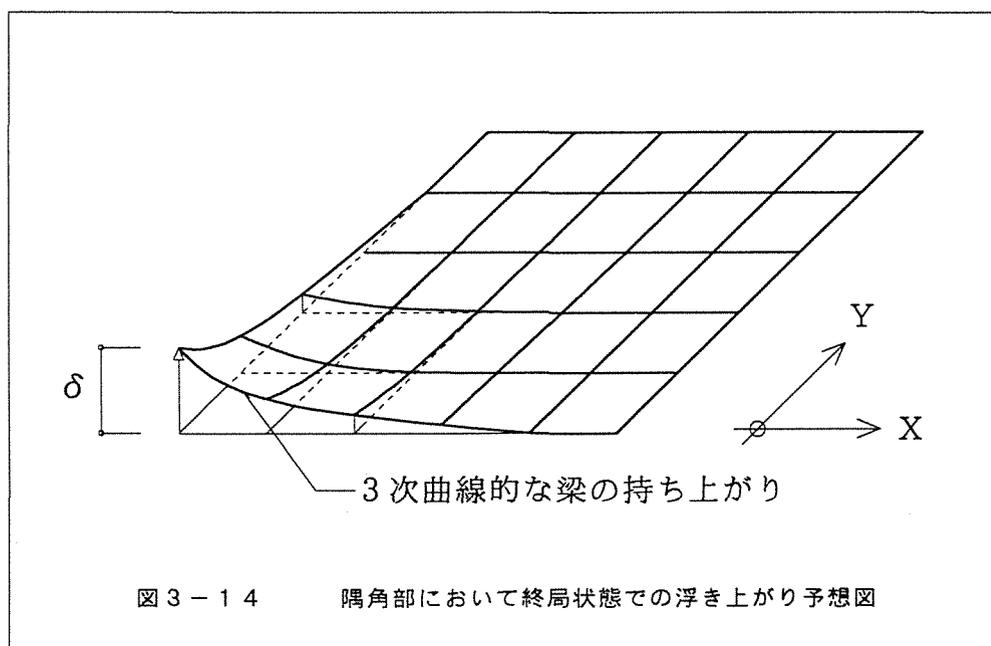
壁なし(モルタルを軸組みと切り離れた)の場合には、いずれの場合でも持ち上げる柱に取り付いてる壁はほとんど面的な抵抗要素として考えられなかったが、測定値の柱カウンターウェイト（荷重）が柱長期軸力として求めた柱カウンターウェイトより大きかったことから、実際に梁の押さえ込み効果が無視できないことが確認できた。

3. 2 柱カウンターウェイトの負担面積のモデル化

柱浮き上がりによる梁及び床の持ち上がりは、実験結果から以下のような状況が推測される。



- ・柱の浮き上がりすなわち、梁を持ち上げようとする力が梁の曲げ剛性に比べてまだ小さいので梁が直線的な変位を示すと考えられる。



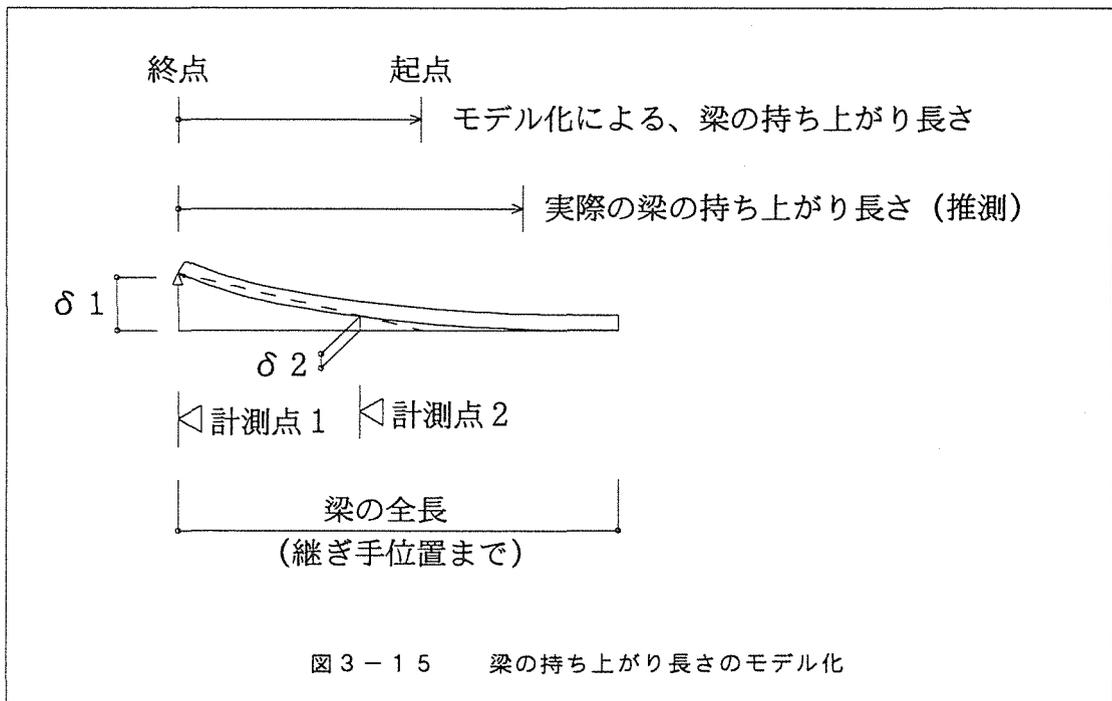
- ・終局状態になると柱の浮き上がりが大きくなり、梁の曲げ剛性が相対的に小さくなるので3次曲線的な変位を示すと考えられる。

柱の浮き上がりにより、梁の持ち上がっている部分に作用する荷重がその柱を押しえ込む力となると考えられる。

ここではこの実験より得られたデータから、下記のように梁の持ち上がり長さ及びその長さから、平面としての柱カウンターウェイトの負担面積のモデル化を提案する。

以下、隅角部柱を対象にモデル化を行う。

・梁の持ち上がり長さ



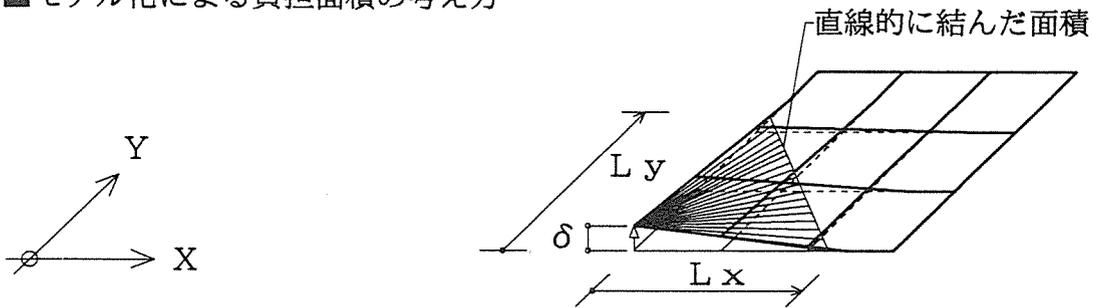
- ①ジャッキアップした柱を計測点1とし、梁の持ち上がりの終点とする。
 梁の持ち上がり起点は計測点1での変位 $\delta 1$ と持ち上がる梁に取り付けた計測点2での変位 $\delta 2$ をつないで延長させた点とする。

柱の浮き上がり変位 $\delta 1$ 及び $\delta 2$ が大きくなればなるほど、起点が伸びて梁の持ち上がる部分が長くなる。ただし、梁の全長（梁の継ぎ手位置まで）が最大値となる。

- $\delta 1 = 2.5 \sim 5 \text{ mm}$ 程度の弾性範囲内の変位で有れば梁の持ち上がりは直線的なものであるとして、梁の持ち上がり起点は $\delta 1$ と $\delta 2$ の直線で延長した点とする。
 □ $\delta 1 = 10 \text{ mm}$ 以上の弾性範囲を超え、終局状態に近づくにつれて梁の持ち上がり起点は片持ち梁のたわみ曲線のように3次曲線的に持ち上がるとして、梁の浮き上がり起点は計測点1と計測点2の2点間距離と $\delta 1$ と $\delta 2$ から求まる3次曲線の原点とする。

・負担面積

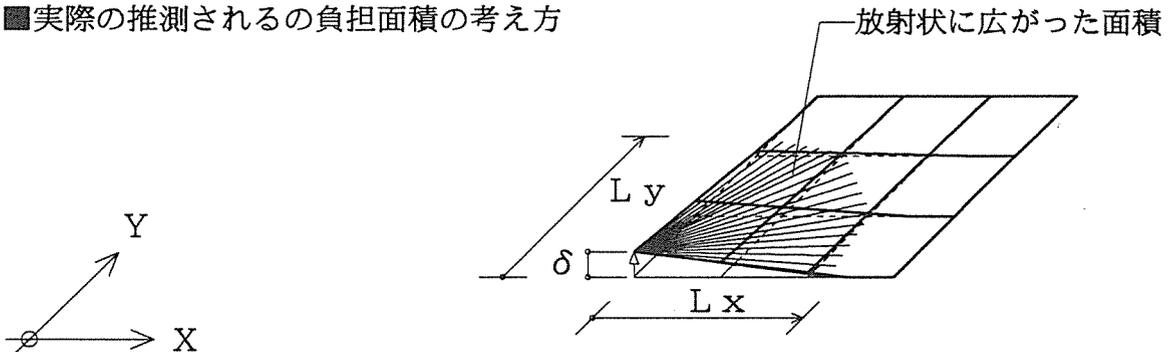
■モデル化による負担面積の考え方



L_x : モデル化による、X方向の梁の持ち上がり長さ

L_y : モデル化による、Y方向の梁の持ち上がり長さ

■実際の推測されるの負担面積の考え方



L_x : モデル化による、X方向の梁の持ち上がり長さ

L_y : モデル化による、Y方向の梁の持ち上がり長さ

図3-16 柱カウンターウェイトの負担面積のモデル化

②浮き上がった柱を起点にX、Y両方向の梁の持ち上がった長さが放射状に広がった範囲が負担面積と考えられるが、モデル化に際してはさらに簡略化し、各方向の起点を結んだ3角形の面積を負担面積とした。

□ここでは隅柱の持ち上がりに対して、梁の持ち上がり長さをモデル化し、さらに負担面積についてのモデル化を行った。

側柱・内部柱についてはこの考え方をを用い、側柱については持ち上げた柱に取り付く3方向の梁について梁の持ち上がり起点を求め、3点を結んだ面積を負担面積と考える。

同様に内部柱については持ち上げた柱に取り付く4方向の梁について梁の持ち上がり起点を求め、4点を結んだ面積を負担面積と考える。

以下実験の変位を用いて、上記のモデル化により得られた各柱の負担面積の結果を次項に添付する。

3.3 柱カウンターウェイトの負担面積算出法

壁なしの場合の変位計 1, 変位計 2, 変位計 3, 変位計 4 の変位の測定結果を用いて、3.2 の柱カウンターウェイトの負担面積のモデル化の考え方から測定番号 No.1, No.2, No.9 の柱カウンターウェイトの負担面積を求め、負担面積に含まれる床や壁などの重量から求めた柱カウンターウェイトの算定値と測定値との比較を行う。

負担面積については以下の 2 通りより梁の持ち上がり起点を求め、起点を結んだ面積として算定している。

1. 梁が直線的に持ち上がると考えた場合
2. 梁が 3 次曲線的に持ち上がると考えた場合

(1) ベランダ下部分の柱に取り付けた測定番号 No.1, No.2 の柱カウンターウェイトの負担面積の考え方

柱カウンターウェイトの負担面積の算定において、No.1, No.2 では、梁が持ち上がるのは梁の継手位置までの長さということと、ベランダ部分のコンクリート床が一体となって持ち上がることを考慮して、梁の持ち上がり起点がベランダ床面積の一辺よりも長くなった場合には下図のように考えた。

柱カウンターウェイトとして考慮できる負担面積はベランダ床面積全体までで、ベランダ床面積内に含まれる床や壁などの重量や、壁の曲げ剛性などが柱カウンターウェイトとなると考えた。

測定番号 No.1 の場合)

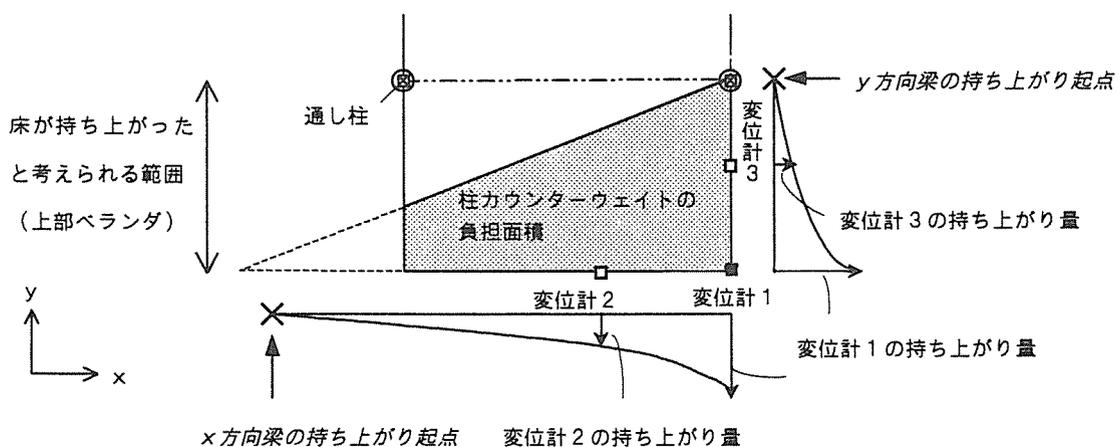


図 3-17 ベランダ下部分の柱カウンターウェイトの負担面積の考え方

□測定番号 No.1 の測定値と負担面積から求めた柱カウンターウェイトについての比較

柱カウンターウェイトの負担面積については図 3-18～図 3-20 参照。

下記に算定値と測定値の比較データを示す。

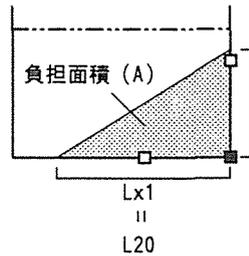
■下記の表の記号について

L20、L30 は変位計 2 (x 方向梁)

または変位計 3 (y 方向梁) を取り付けた梁の持ち上がり起点と変位計 1 の測定位置との距離。

Lx1、Ly1、Ly2 は負担面積の一边を示す。

《梁が直線的に持ち上がると考えた場合》



《梁が3次曲線的に持ち上がると考えた場合》

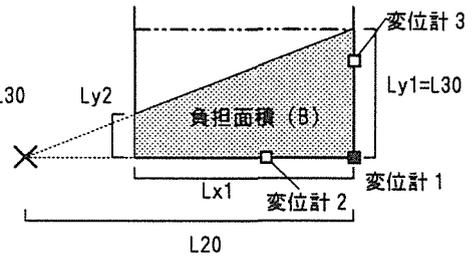


表 3-3 測定番号 No.1 の柱カウンターウェイト算定値と測定値の比較

変位計1の持ち上がり変位 mm	変位計1と変位計2の2点間距離 mm	変位計2の持ち上がり変位 mm	変位計1と変位計3の2点間距離 mm	変位計3の持ち上がり変位 mm
2.5	1820	0.26	1800	0.00
5	1820	0.94	1800	0.00
10	1820	2.72	1800	0.35
20	1820	6.20	1800	1.00
30	1820	10.30	1800	2.02

《①梁が直線的に持ち上がっていると考えた場合》										
変位計1	L20	L30	Lx1	Ly1		負担面積(A)	柱カウンターウェイト	算定値	測定値	測定値/算定値
mm	mm	mm	m	m		m ²	kg	t	t	
2.5	2.03	0.47	2.03	0.47		0.47	509.4	0.51	0.77	1.51
5	2.24	0.93	2.24	0.93		1.05	745.8	0.75	1.06	1.42
10	2.50	1.87	2.50	1.87		2.33	1228.2	1.23	1.58	1.29
20	2.64	1.89	2.64	1.89		2.50	1285.1	1.29	2.70	2.10
30	2.77	1.93	2.77	1.93		2.67	1347.5	1.35	3.19	2.37
《②梁が3次曲線的に持ち上がっていると考えた場合》										
変位計1	L20	L30	Lx1	Ly1	Ly2	負担面積(B)	柱カウンターウェイト	算定値	測定値	測定値/算定値
mm	mm	mm	m	m		m ²	kg	t	t	
2.5	3.44	0.67	3.44	0.67	0.00	1.15	873.2	0.87	0.77	0.88
5	4.26	1.34	4.26	1.34	0.00	2.85	1488.9	1.49	1.06	0.71
10	5.17	2.67	4.55	2.67	0.32	6.80	2701.5	2.70	1.58	0.58
20	5.63	2.73	4.55	2.73	0.52	7.40	2866.9	2.87	2.70	0.94
30	6.07	2.73	4.55	2.73	0.68	7.77	2963.7	2.96	3.19	1.08

弾性域

塑性域から終局状態

※負担面積A・Bについては次頁以降参照

《 測定番号No. 1 (隅柱の場合) の柱カウンターウェイトの負担面積の移り変わり ① 》
 — 直線的に梁が持ち上がると考えた場合 —

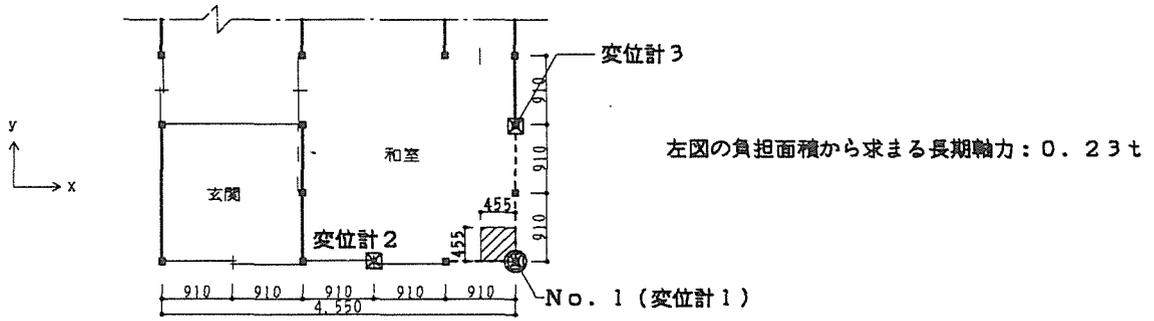
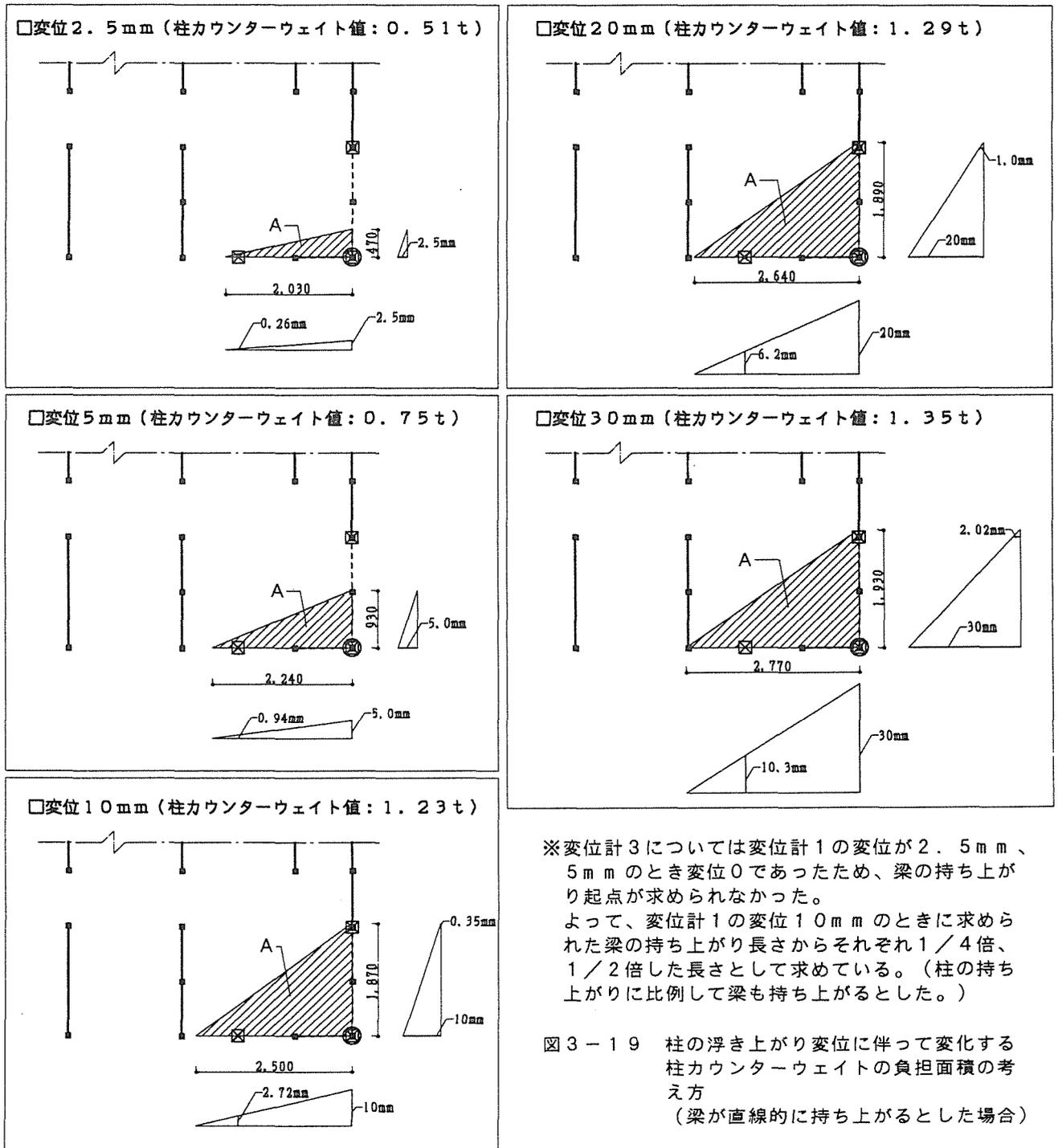


図 3-18 長期軸力の負担面積



《 測定番号No. 1 (隅柱の場合) の柱カウンターウェイトの負担面積の移り 変わり ② 》
 - 3 次曲線的に梁が持ち上がると考えた場合 -

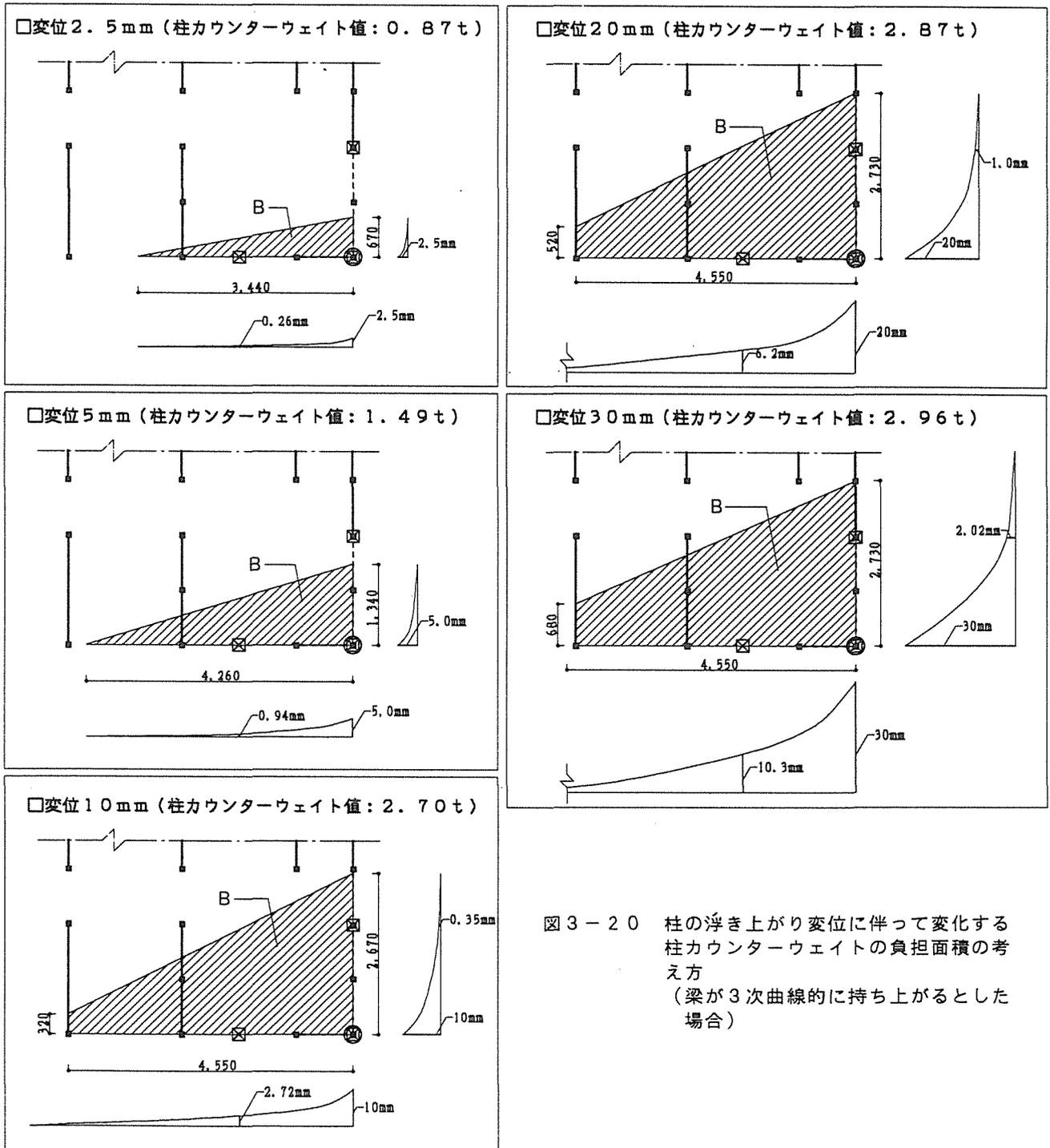


図 3-20 柱の浮き上がり変位に伴って変化する柱カウンターウェイトの負担面積の考え方 (梁が3次曲線的に持ち上がるとした場合)

□測定番号 No.2 の測定値と負担面積から求めた柱カウンターウェイトについての比較

柱カウンターウェイトの負担面積については図 3-21～図 3-23 参照

下記に算定値と測定値の比較データを示す。

■下記の表の記号について

L20、L40、L30は変位計2・

変位計4(x方向梁)または
変位計3(y方向梁)を取り付
けた梁の持ち上がり起点と変
位計1の測定位置とを結んだ
長さ。

Lx1、Lx2、Ly1、Ly2は負担
面積の一辺を示す。

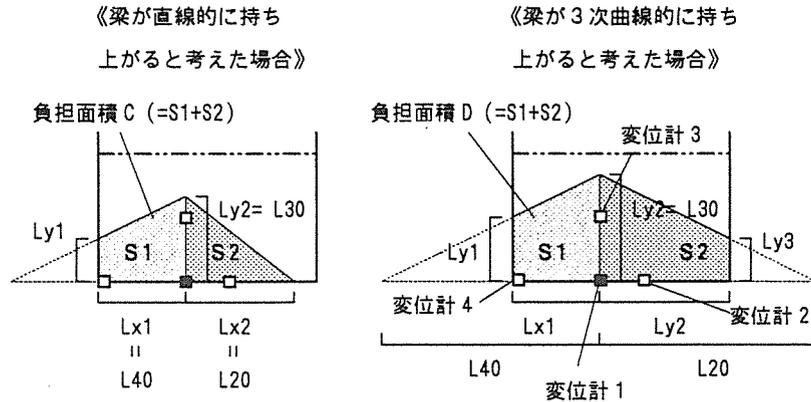


表 3-4 測定番号 No.2 の柱カウンターウェイト算定値と測定値の比較

変位計1の 持ち上がり変位	変位計1と変位計2 の2点間距離	変位計2の 持ち上がり変位	変位計1と変位計3 の2点間距離	変位計3の 持ち上がり変位	変位計1と変位計4 の2点間距離	変位計4の 持ち上がり変位
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
2.5	910	0.35	1450	0.00	1810	1.50
5	910	0.83	1450	0.13	1810	2.84
10	910	2.93	1450	0.83	1810	6.31
20	910	8.49	1450	2.59	1810	12.91
25	910	15.88	1450	3.86	1810	17.48

《①梁が直線的に持ち上がっていると考えた場合》

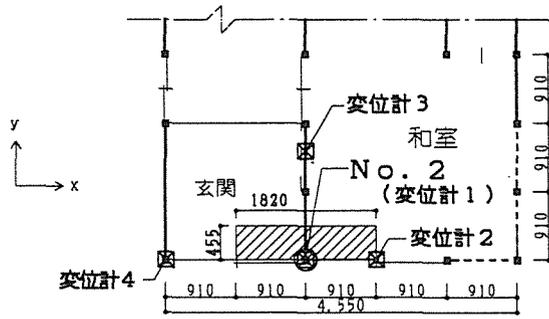
変位計1	L20	L30	L40	Lx1	Lx2	Ly1	Ly2	S1	S2	負担面積(C)	柱カウンターウェイト	算定値	測定値	測定値/算定値
mm	mm	mm	mm	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	kg	t	t	
2.5	1.06	0.74	4.53	1.82	1.06	0.44	0.74	1.08	0.39	1.48	767.3	0.77	0.82	1.07
5	1.09	1.49	4.19	1.82	1.09	0.84	1.49	2.12	0.81	2.93	1182.5	1.18	1.24	1.05
10	1.29	1.58	4.91	1.82	1.29	0.99	1.58	2.34	1.02	3.36	1316.4	1.32	1.93	1.47
20	1.58	1.67	5.11	1.82	1.58	1.07	1.67	2.49	1.32	3.81	1459.0	1.46	2.97	2.04
25	2.49	1.71	6.02	1.82	2.49	1.20	1.71	2.65	2.14	4.79	1839.6	1.84	3.38	1.84

《②梁が3次曲線的に持ち上がっていると考えた場合》

変位計1	L20	L30	L40	Lx1	Lx2	Ly1	Ly2	Ly3	S1	S2	負担面積(D)	柱カウンターウェイト	算定値	測定値	測定値/算定値
mm	mm	mm	mm	m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	kg	t	t	
2.5	1.89	1.03	4.53	1.82	1.06	0.62	1.03	0.00	1.50	0.54	2.04	928.1	0.93	0.82	0.88
5	2.02	2.06	4.19	1.82	1.09	1.17	2.06	0.00	2.93	1.12	4.06	1505.5	1.51	1.24	0.82
10	2.71	2.57	4.91	1.82	1.29	1.62	2.57	0.00	3.81	1.65	5.46	1918.0	1.92	1.93	1.01
20	2.94	2.73	5.11	1.82	2.73	1.89	2.73	0.69	4.21	4.67	8.88	2949.2	2.95	2.97	1.01
25	3.13	2.73	6.02	1.82	2.73	2.18	2.73	1.57	4.47	5.87	10.34	3448.1	3.45	3.38	0.98

※負担面積C・Dについては次頁以降参照

《 測定番号No. 2 (側柱の場合) の柱カウンターウェイトの負担面積の移り変わり①》
 — 直線的に梁が持ち上がるとした場合 —



左図の負担面積から求まる長期軸力: 0.44 t

図3-21 長期軸力の負担面積

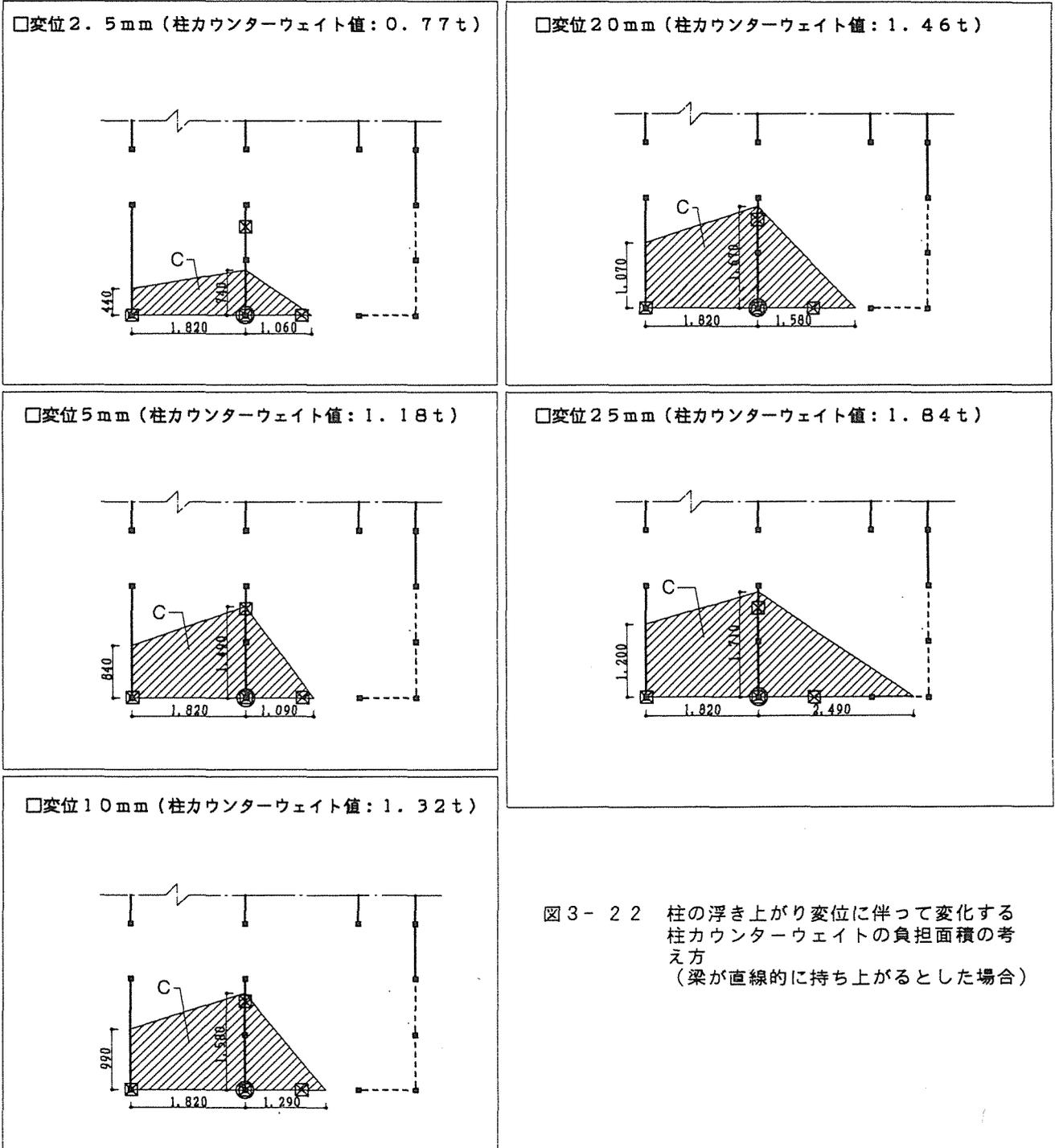


図3-22 柱の浮き上がり変位に伴って変化する柱カウンターウェイトの負担面積の考え方 (梁が直線的に持ち上がるとした場合)

《 測定番号No. 2 (側柱の場合) の柱カウンターウェイトの負担面積の移り変わり②》
 - 3次曲線的に梁が持ち上がるとした場合 -

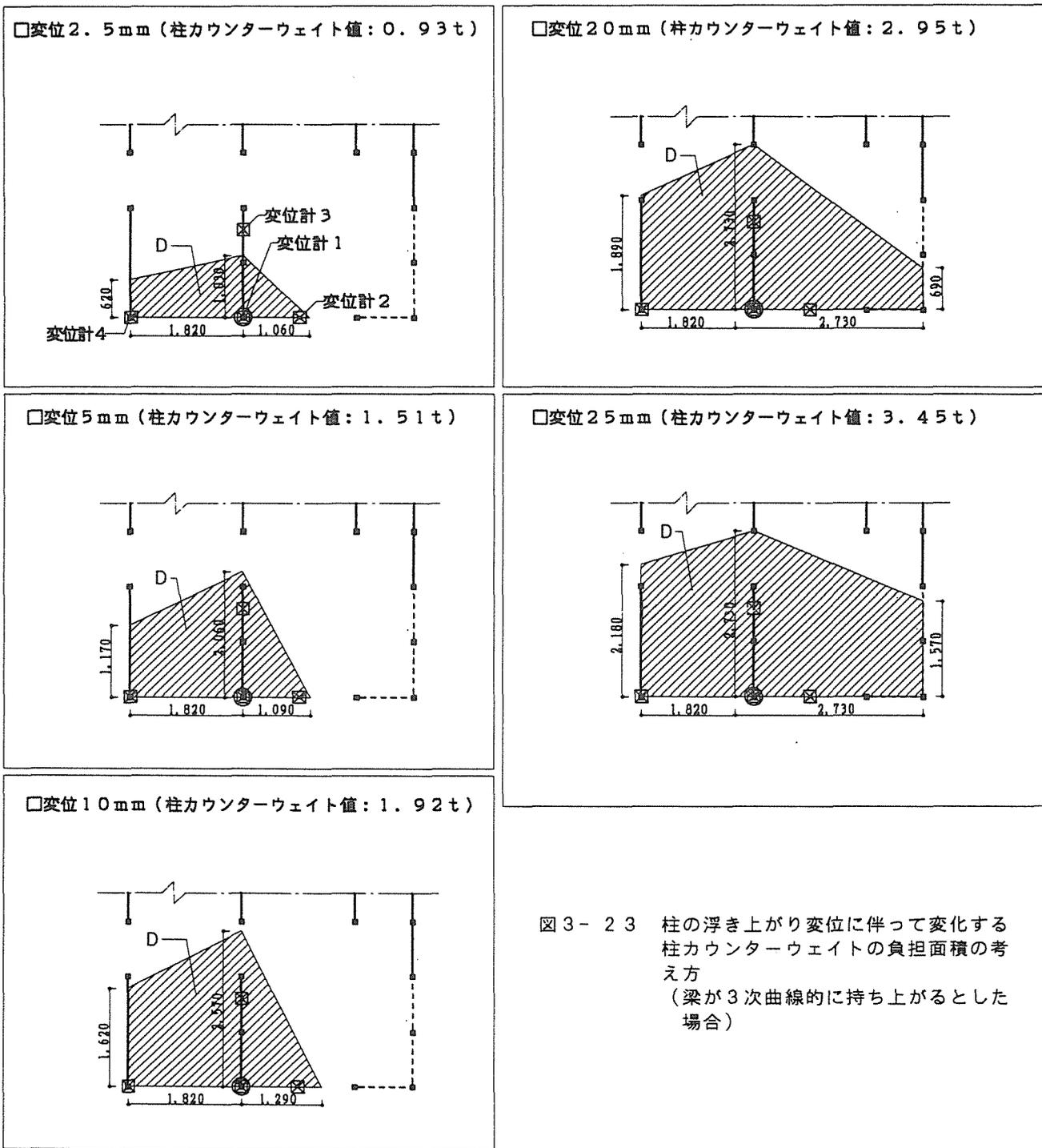
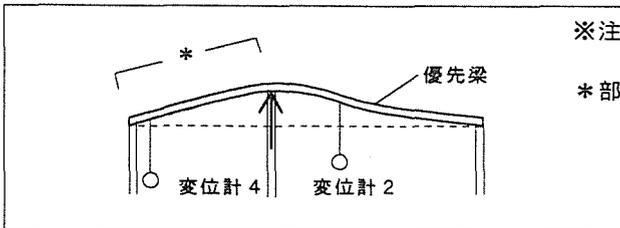


図3-23 柱の浮き上がり変位に伴って変化する柱カウンターウェイトの負担面積の考え方 (梁が3次曲線的に持ち上がるとした場合)



※注意事項として

*部分について

この部分はスパンが短いので、梁の持ち上がり方は3次曲線的ではなく直線的に持ち上がることより、前頁と同様、直線的に持ち上がる考え方で梁の持ち上がり起点を求めた。

(2) 内部柱（測定番号 No.9）の柱カウンターウェイト負担面積の考え方

測定番号 No.9 については内部柱ということもあり、2F部分の重量や屋根重量、壁の曲げ剛性などの影響を考慮すると、ベランダ下部分の柱のように柱カウンターウェイト負担面積を求めることは難しいと考えられる。

ここでは上部柱の位置と、No.9(変位計 1)を取り付けた柱に取り付いている梁の継手位置などを考慮して、負担面積を算定した。

No.9 を取り付けた柱を持ち上げたときに影響する 2F床面積は、梁の継手位置までの長さや上部柱の位置から下図の範囲であると想定する。

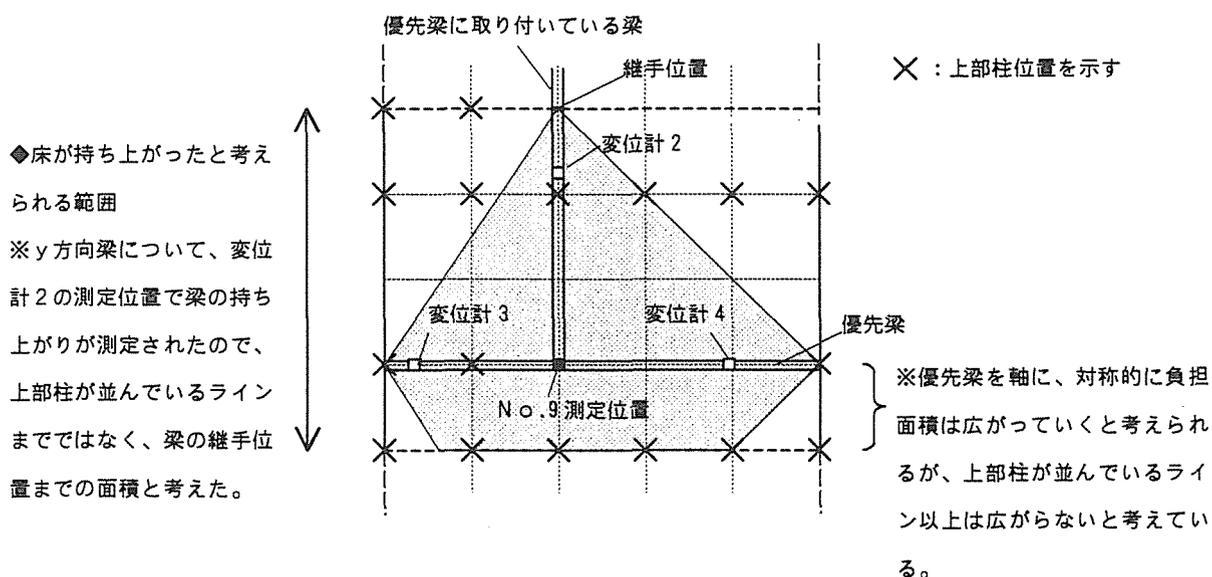


図3-24 内部柱の柱カウンターウェイトの負担面積の考え方

また屋根重量についても、同様の負担面積分の屋根重量が柱などを介して、柱カウンターウェイトとなると考えた。

□測定番号 No.9 の測定値と負担面積から求めた柱カウンターウェイトについての比較

柱カウンターウェイトの負担面積については図 3-24～図 3-25 参照

下記に算定値と測定値の比較データを示す。

負担面積から求められる柱カウンターウェイトについて、上部柱を介して伝わる荷重が（2F部分の内壁や屋根重量など）負担面積の移り変わりに伴い、どれほど影響がでるのかわからなかったため、柱カウンターウェイトを以下の2通りについて算定している。

1. 1F部分の内壁重量と2F床重量のみとした場合
2. 上記の重量に上部重量（屋根重量+2F内壁重量）を加えた場合

■下記の表の記号については
左図の記号に一致する。

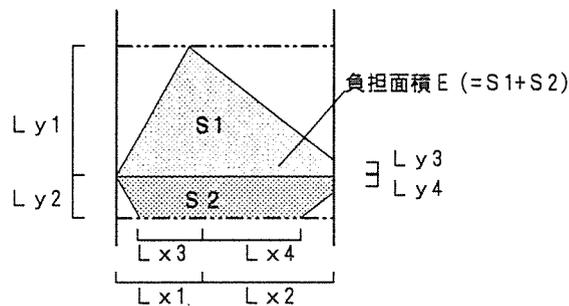


表 3-5 測定番号 No.9 の柱カウンターウェイト算定値と測定値の比較

変位計1の 持ち上がり変位 mm	変位計1と変位計2 の2点間距離 mm	変位計2の 持ち上がり変位 mm	変位計1と変位計3 の2点間距離 mm	変位計3の 持ち上がり変位 mm	変位計1と変位計4 の2点間距離 mm	変位計4の 持ち上がり変位 mm
2.5	2000	0.20	1500	0.00	1800	1.00
5	2000	0.40	1500	-0.03	1800	2.10
10	2000	1.12	1500	-0.09	1800	4.64
15	2000	1.70	1500	-0.40	1800	7.10

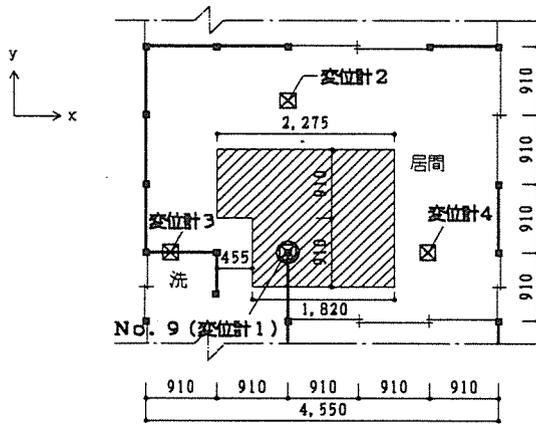
《上部重量を加えないで算定した柱カウンターウェイト》

変位計1 mm	Lx1 m	Lx2 m	Lx3 m	Lx4 m	Ly1 m	Ly2 m	Ly3 m	Ly4 m	S1 m ²	S2 m ²	面積(E) m ²	柱カウンターウェイト kg	算定値 t	測定値 t	測定値/算定値
2.5	0.91	2.73	0.52	1.75	2.17	0.46	0.20	0.04	4.22	2.79	7.01	890.3	0.89	0.98	1.10
5	0.91	2.73	0.53	1.80	2.17	0.46	0.26	0.05	4.31	2.84	7.15	907.1	0.91	1.60	1.76
10	0.91	2.73	0.61	2.23	2.73	0.46	0.51	0.09	5.66	3.08	8.74	1245.4	1.25	2.97	2.38
15	1.82	2.73	1.21	2.28	2.73	0.91	0.55	0.18	6.96	3.78	10.74	1583.6	1.58	4.29	2.71

《上部重量を加えて算定した柱カウンターウェイト》

変位計1 mm	Lx1 m	Lx2 m	Lx3 m	Lx4 m	Ly1 m	Ly2 m	Ly3 m	Ly4 m	S1 m ²	S2 m ²	面積(E) m ²	柱カウンターウェイト kg	算定値 t	測定値 t	測定値/算定値
2.5	0.91	2.73	0.52	1.75	2.17	0.46	0.20	0.04	4.22	2.79	7.01	2502.6	2.50	0.98	0.39
5	0.91	2.73	0.53	1.80	2.17	0.46	0.26	0.05	4.31	2.84	7.15	2551.6	2.55	1.60	0.63
10	0.91	2.73	0.61	2.23	2.73	0.46	0.51	0.09	5.66	3.08	8.74	3255.6	3.26	2.97	0.91
15	1.82	2.73	1.21	2.28	2.73	0.91	0.55	0.18	6.96	3.78	10.74	4053.8	4.05	4.29	1.06

《 測定番号No. 9 (内部柱の場合) の柱カウンターウェイトの負担面積の移り 変わり 》



左図の負担面積から求まる長期軸力：0.50t

図3-25 長期軸力の負担面積

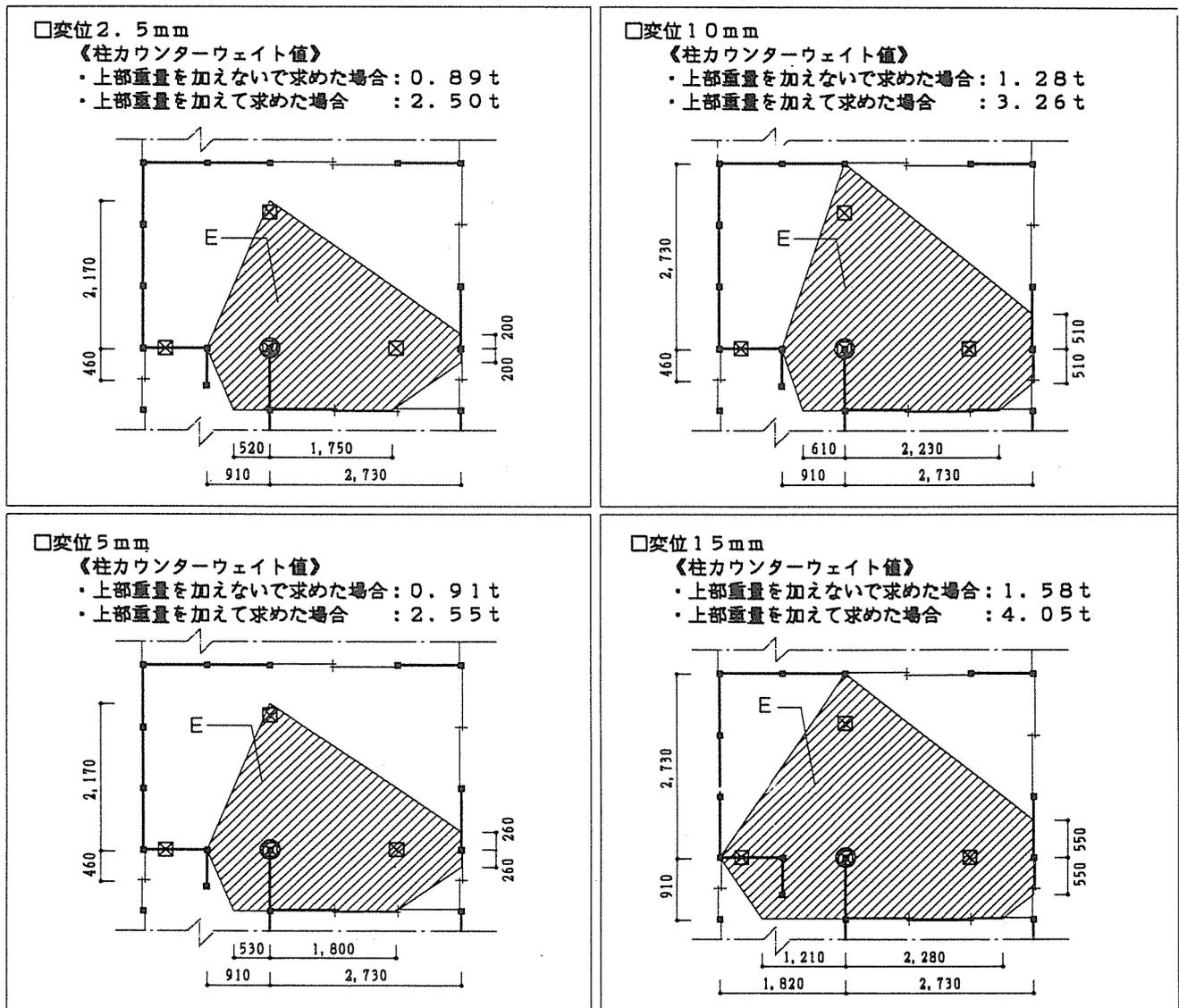


図3-26 柱の浮き上がり変位に伴って変化する柱カウンターウェイトの負担面積の考え方

3. 4 柱カウンターウェイトの負担面積についての考察

(1) ベランダ下部分の柱に取り付けた隅柱 (No.1) について

(表 3-3 参照)

No.1 においては、柱の持ち上がり変位 2.5mm~5mm のとき直線的に梁が持ち上がったと考えた場合、測定値が直線算定値の 1.5 倍ほどあり、変位 10mm を超えては測定値と直線算定値の差がますます大きくなる。

弾性域を越えてからは直線的な持ち上がり方で負担面積をモデル化してしまうと、柱カウンターウェイトは少なく算定してしまうので、弾性域を超えていると推測される変位 10mm 以上は曲線的な面積算定をする必要がある。

柱の持ち上がり変位 2.5mm~5mm の場合における 1.5 倍の誤差については、変位計 3 の変位=0 ということから、柱の持ち上がり長さに比例して X 方向梁も Y 方向梁も持ち上がると仮定して、柱の持ち上がり変位 10mm のときの梁の持ち上がり長さからそれぞれ 1/4 倍、1/2 倍して、変位 2.5mm~5mm についても梁の持ち上がり長さを求めていることも影響していると考えられる。

(NO. 2 の測定地点の測定結果をみると、ここで仮定したように柱の持ち上がり長さと梁の持ち上がり長さは必ずしも比例していないのであるが、この実験結果のみにて推測することは困難であったので、仮定として上記のように算定値を求めた。)

(2) ベランダ下部分の柱に取り付けた側柱 (No. 2) について

(表 3-4 参照)

No.2 においても柱の持ち上がり変位 2.5mm~5mm のとき梁が直線的に持ち上がったとして負担面積を算定した場合、直線算定値と測定値がかなり近い値となっている。

10mm を超えた場合も同じく、梁が 3 次曲線的に持ち上がると考えた算定値と測定値が近くなっている。

No. 1, No.2 の計測地点では、ベランダのコンクリート版厚が大きくコンクリート床版全体で浮き上がりに対して抵抗しようとするので、柱カウンターウェイトの負担面積はベランダ床面積の範囲内で考えられ、それ以上は広がらないと考えられる。

柱の持ち上がり変位が 2.5mm~5mm では、柱カウンターウェイトの測定値の変化が大きく、算定した負担面積は浮き上がり変位に比例している。ただし、X 方向梁の持ち上がった長さ・Y 方向梁の持ち上がった長さは浮き上がり変位には比例せず、壁の配置などが影響していると考えられる。

(3) 直上に柱がない1階内部柱 (NO.9) について

(表 3-5 参照)

NO.9 においては、負担面積における梁の持ち上りを3次曲線的モデル化にて算出をするとX・Y方向とも梁の持ち上がり起点が継ぎ手位置及び梁の全長を大きく超えてしまい、柱カウンターウエイトの値が大きくなりすぎたので、直線的なモデル化のみにて負担面積を算出した。

NO.9 においては、2階床面を持ち上げる形態となった。NO.1, NO.2 と違い、2階床面の構成は転ばし根太の上、板張りとなっていたが、NO.1, NO.2 と同じく床面全体で浮き上がりに抵抗する挙動となった。

さらに近接する2階管柱・壁等により、その上の屋根荷重が浮き上がり抵抗力となって変位がさほど上がらずとも、荷重が増大する結果となった。

柱の持ち上がり変位が2.5mm～5mmでは、上部重量（屋根荷重+2F内壁重量）を加えると測定値にくらべて算定値がかなり大きくなっている。しかし、10mm以上の変位では、上部重量を加えないで求めた算定値は測定値よりもかなり小さく、上部重量を加えた場合では、算定値と測定値が近くなっている。

この現象は、変位が小さい範囲では柱カウンターウエイト自体がさほど大きくないので上部重量まで抵抗力として含まれないが、変位が大きくなっていくにつれ柱カウンターウエイトも大きくなり、徐々に上部重量まで抵抗力として影響すると推測される。

(ただし、上部重量については床均し荷重にて算出しており、上部重量についても同様の負担面積の重量として算出している。また、NO.9の測定位置の選択において、測定柱直上に2F柱がないことと、周囲に位置する柱も半間以上離れているということを考慮したので、このような結果となったと考えられるが、直上に柱が存在したり、周囲半間以内に柱が存在する場合には、柱の持ち上がり変位が小さい範囲であっても、上部重量も抵抗要素として含まれる可能性がある。)

今回の実験を結果を見る限りにおいては、梁の方向性や根太の方向性といった床組みの方向性の違いで、モデル化置換面積における差異は生じないものと思われる。

結章

今回の実験では、水平力により耐力壁に取り付いている柱に浮き上がりが生じるときの上からの押さえ込み力は柱長期軸力のような柱一本当たりの負担面積では考えられなく、柱の上部に渡っている X 方向・Y 方向の梁の持ち上がり長さ分の大きな面積全体で浮き上がりを押さえようとするということが確認でき、柱長期軸力以上の柱カウンターウエイトの効果が期待できることが確認できた。

また、柱の浮き上がり変位が 30mm 程度までは、その変位が大きくなるほど柱カウンターウエイトも追随して大きな値となる。このことは柱カウンターウエイトの値の大小によって耐力壁の耐力が左右されるという関係から、より柱カウンターウエイトの値を正しく評価することの重要性が再確認できた。

これまでの柱長期軸力では、隅柱においては負担面積の値が小さくなり柱カウンターウエイトの値がかなり少なく算定されているが、今回の測定結果をみると浮き上がり量が 2.5mm 程度であっても長期軸力に対し 3.5 倍程度、NO. 2 の側柱では 2 倍程度そして NO. 9 の内部柱でも 2 倍程度であった。

さらに、20mm 程度の浮き上がり変位では NO. 1 の隅角部柱の長期軸力において 1 倍程度、NO. 2 の側柱では 7 倍程度そして NO. 9 の内部柱でも 10 倍程度であった。

このことは建物全ての柱においてあてはまることと推測され、どのような柱であっても、4m 程度の梁があれば上からの押さえ込み力が期待できると思われる。

また、今回の検証目的ではないが、NO. 1, NO. 2, NO. 9 以外の地点については床が下がる（上部柱や壁による抵抗が大きく、柱が持ち上がらないで反作用として床の方が下がっていく）という状況が生じ、上手く測定できない地点もあった。付録として測定データを添付する。（NO. 4, NO. 11 については測定不可）

今回、モルタル壁ありの場合とモルタル壁なしの場合について実験の比較より、浮き上がりに対してモルタルがかなり抵抗していることが確認できた。

この実験は静的加力実験ということから、大きな地震でのモルタルが脆性的な破壊を生じるような場合には適用できないが、モルタルが軸組みと密着している場合には水平力に対する抵抗要素として考慮できるといえる。

この実験では終局状態である 30mm程度（変形角でいうと、 $1/30$ rad程度）まで柱を持ち上げて柱カウンターウェイトの影響を調査し、かなり大きな柱カウンターウェイト値を測定できていることは上記でも述べているが、このことは終局状態においても柱の浮き上がりに対して金物のみで抵抗させるのではなく、柱カウンターウェイトの効果も考慮できるということが証明されたのである。

柱カウンターウェイトという抵抗力を考慮することにより、日本古来の伝統構法の建物についても、耐震補強において金物で緊結する抵抗機構としなくても、ある程度は浮き上がろうとする力が発生するが、柱カウンターウェイトにより倒壊は免れるということが考えられるのである。

今回、この検証実験をするにあたり、今改正中の性能規定に有効に活用されることを望むものであり、1995年1月17日に起きた阪神・淡路大震災後、建物の浮き上がりに抵抗するものとして、金物補強による抵抗という考え方が一般的になりつつあるが、柱カウンターウェイトという抵抗力を軽視してはならないことの重要性を強調したい。

□今回の実験結果のまとめ

- ・浮き上がりに対し、柱を押さえ込もうとする力を柱長期軸力で算定すると、実際の柱カウンターウェイトよりもかなり小さい値で算定される。
- ・梁の持ち上がり方は、まず優先梁が持ち上がり、続いて優先梁に取り付いた梁が持ち上がる。
故に柱カウンターウェイトの負担面積は梁の取り付け方によって大きく左右される。
- ・浮き上がり量の少ない弾性範囲内の変形では、梁の持ち上がり方が直線的であると考えられる。
- ・梁の浮き上がりが大きくなり弾性範囲を超えてしまうと、梁の持ち上がり方は3次曲線的になると考えられる。

□今回の実験を次回の実験へ繋げるために

- ・負担面積の影響が広範囲にわたるということが確認できたので、変位計の数を増やすことが必要であると考えられる。
特に内部柱については、隅角部柱にかかる変位計の数に対して2～3倍が必要となる。
- ・梁の持ち上がり起点をより正しく推測するためにも、梁への変位計は浮き上がる柱からなるべく近距離（半間程度）に設ける。
- ・梁の持ち上がりによる男木女木等の継ぎ手の影響を検証する必要がある。
- ・直交梁と床面がない場合（吹き抜けや階段室等）において柱カウンターウェイトを検証する必要がある。
- ・垂木と母屋等で構成された下屋の勾配構面による柱カウンターウェイトの影響を検証する必要がある。

以上のことが検証できれば、建物全体レベルでより詳細な柱カウンターウェイトを確認することができ、今後の設計法（特に終局強度設計法）には特に有益だと思われる。

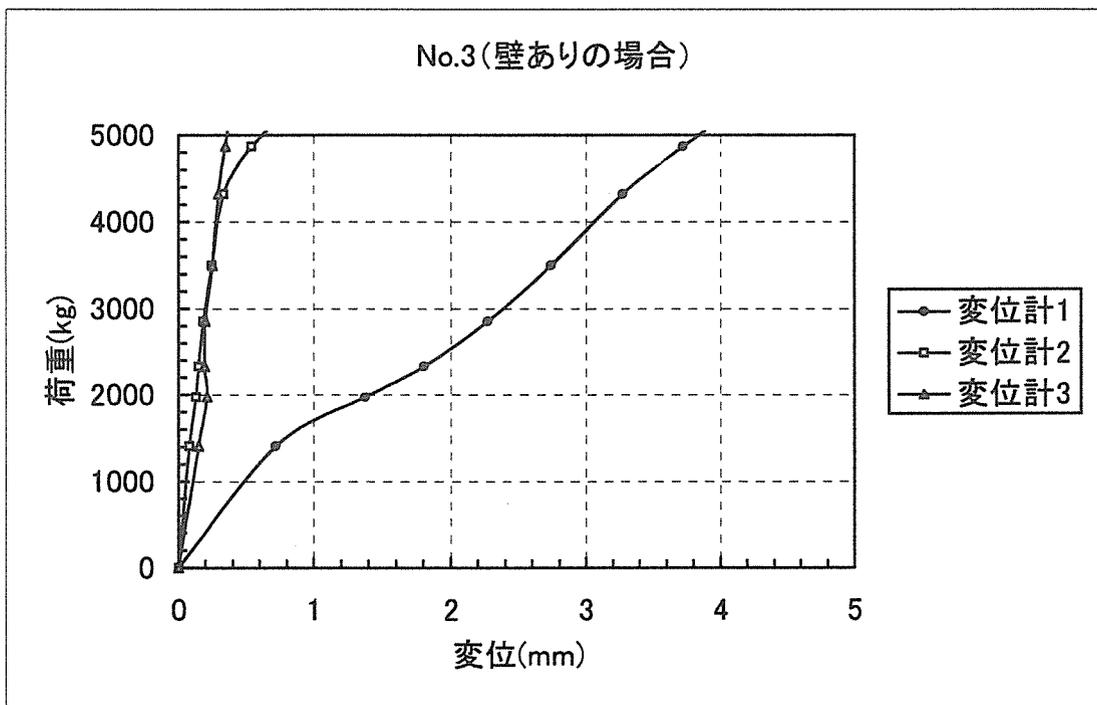
付録

次頁より、参考資料として以下のデータを添付する。

- ・測定番号No.1, No.2, No.9以外の測定地点データ
- ・常時微動計測データ

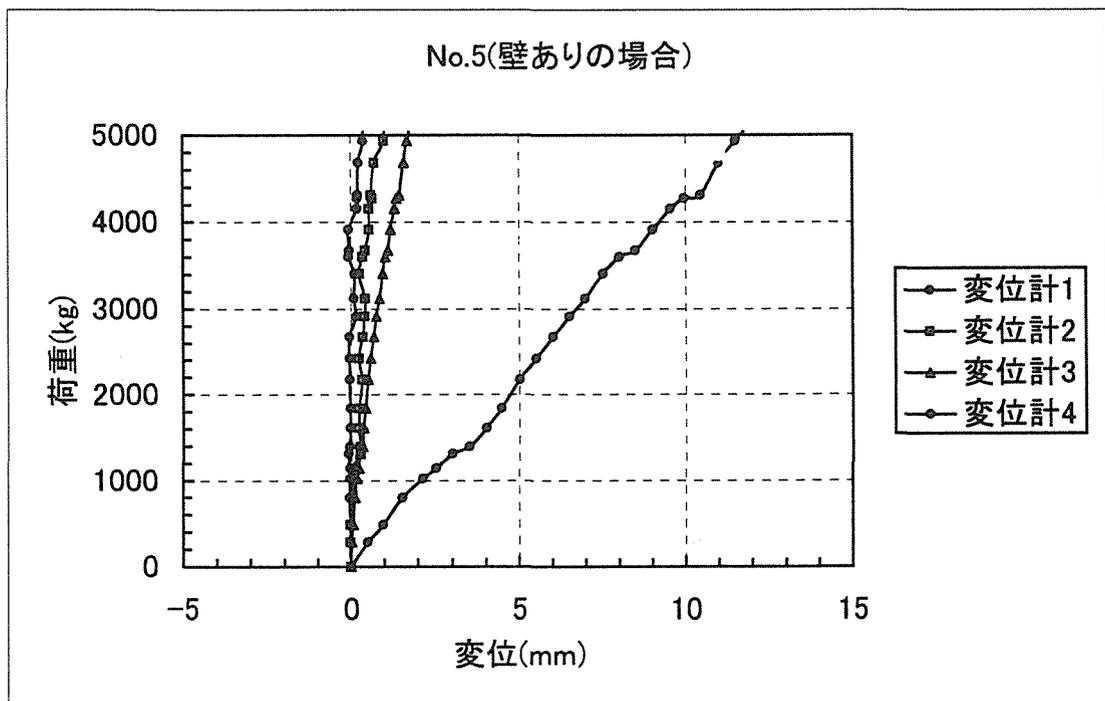
■測定地点No.3(壁ありの場合)データ

荷重 kg	変位計1 mm	変位計2 mm	変位計3 mm
0	0.00	0.00	0.00
1,410	0.72	0.08	0.15
1,968	1.38	0.13	0.21
2,330	1.81	0.15	0.20
2,855	2.27	0.19	0.20
3,494	2.74	0.25	0.25
4,316	3.28	0.34	0.30
4,865	3.72	0.54	0.35



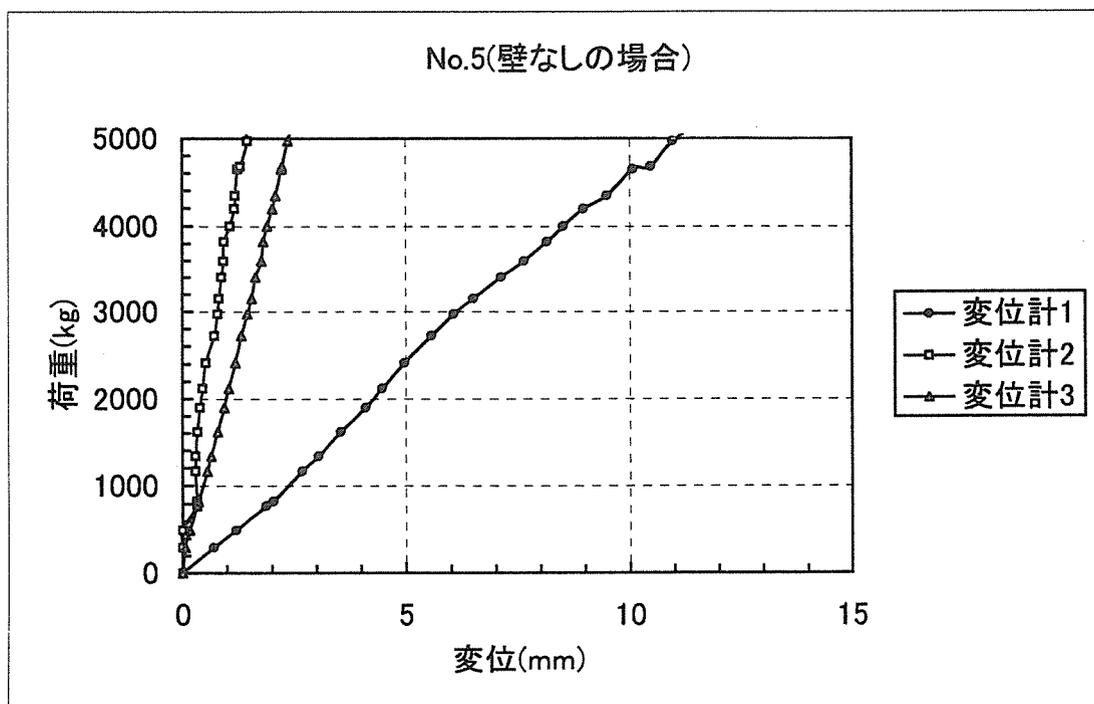
■測定地点No.5(壁ありの場合)データ

荷重 kg	変位計1 mm	変位計2 mm	変位計3 mm	変位計4 mm
0	0.00	0.00	0.00	0.00
282	0.49	-0.02	0.01	-0.02
485	0.96	-0.03	0.06	-0.02
795	1.53	0.06	0.11	-0.03
1,022	2.16	0.06	0.17	-0.02
1,140	2.54	0.06	0.23	-0.02
1,307	3.01	0.27	0.26	-0.08
1,391	3.51	0.27	0.33	-0.05
1,610	4.03	0.23	0.38	-0.03
1,836	4.47	0.24	0.42	-0.03
2,172	5.03	0.33	0.51	-0.03
2,415	5.50	0.24	0.58	-0.03
2,673	6.03	0.35	0.69	-0.04
2,910	6.51	0.42	0.76	0.16
3,120	6.97	0.44	0.85	0.10
3,411	7.51	0.25	0.96	0.12
3,600	8.01	0.35	1.04	-0.06
3,674	8.50	0.42	1.11	-0.05
3,911	9.02	0.55	1.19	-0.05
4,149	9.56	0.55	1.31	0.20
4,271	9.97	0.64	1.37	0.21
4,310	10.44	0.61	1.46	0.22
4,682	11.00	0.71	1.58	0.24
4,932	11.50	0.99	1.69	0.37



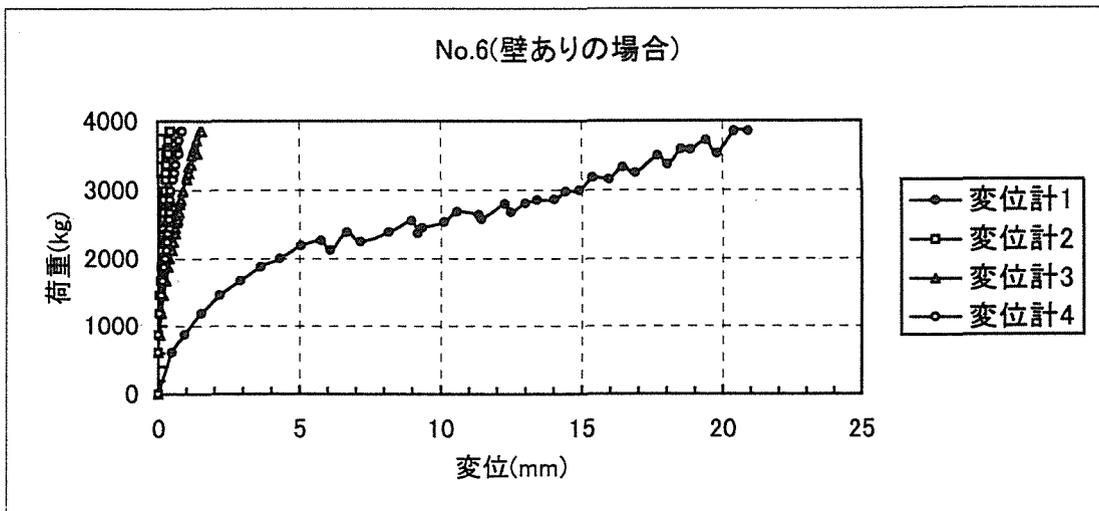
■測定地点No.5(壁なしの場合)データ

荷重 kg	変位計1 mm	変位計2 mm	変位計3 mm
0.0	0.00	0.00	0.00
298.5	0.71	-0.01	0.06
490.5	1.21	0.01	0.16
774.0	1.87	0.32	0.32
829.5	2.04	0.32	0.35
1,162.5	2.68	0.29	0.56
1,332.0	3.05	0.29	0.64
1,612.5	3.55	0.34	0.79
1,897.5	4.10	0.40	0.94
2,113.5	4.47	0.46	1.04
2,412.0	4.97	0.53	1.19
2,722.5	5.57	0.72	1.33
2,974.5	6.07	0.79	1.45
3,148.5	6.51	0.82	1.55
3,400.5	7.12	0.88	1.65
3,594.0	7.63	0.92	1.78
3,822.0	8.15	0.94	1.82
3,999.0	8.51	1.07	1.91
4,192.5	8.97	1.17	2.02
4,347.0	9.50	1.18	2.09
4,642.5	10.08	1.25	2.22
4,678.5	10.48	1.31	2.24
4,972.5	10.98	1.47	2.38



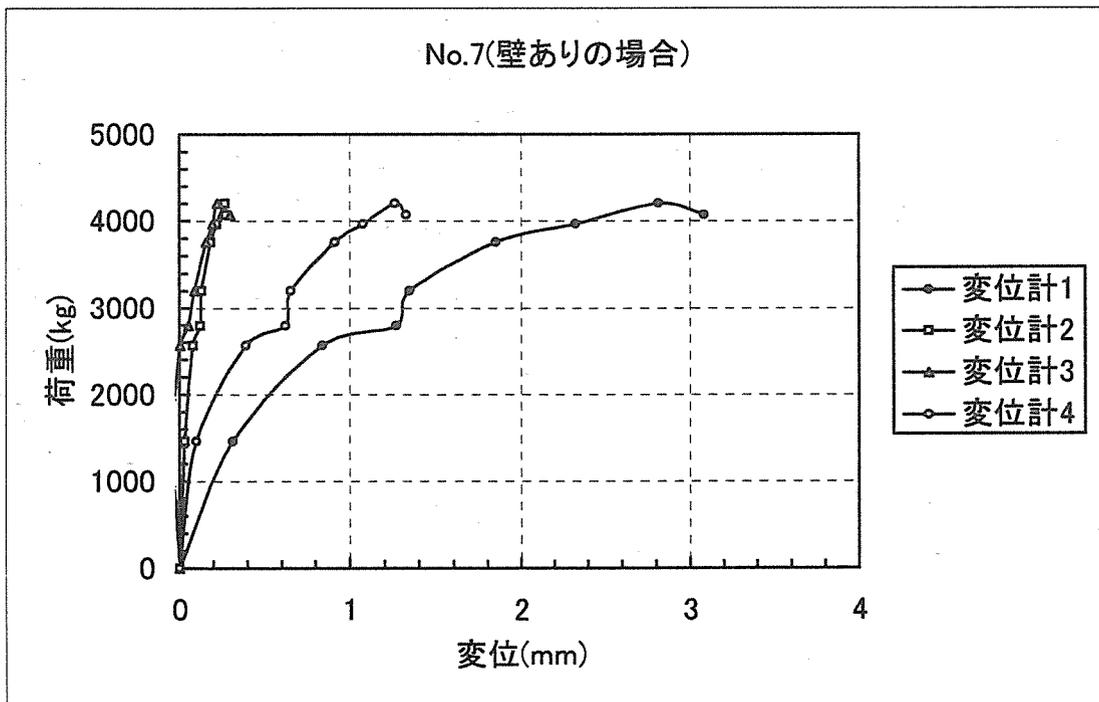
■測定地点No.6(壁ありの場合)データ

荷重 kg	変位1 mm	変位2 mm	変位3 mm	変位4 mm
0	0	0	0	0
612	0.49	-0.01	0.01	-0.01
873	0.92	0.01	0.04	0
1,187	1.54	0.04	0.11	0.05
1,455	2.18	0.06	0.19	0.11
1,673	2.92	0.09	0.27	0.16
1,881	3.64	0.12	0.35	0.22
1,998	4.31	0.13	0.41	0.25
2,184	5.04	0.14	0.44	0.28
2,265	5.78	0.15	0.48	0.29
2,120	6.10	0.15	0.48	0.30
2,382	6.67	0.19	0.53	0.32
2,246	7.17	0.19	0.53	0.32
2,387	8.16	0.19	0.58	0.34
2,556	8.98	0.19	0.61	0.35
2,363	9.18	0.19	0.60	0.35
2,447	9.34	0.19	0.62	0.41
2,537	10.11	0.20	0.65	0.41
2,679	10.57	0.20	0.69	0.40
2,633	11.34	0.20	0.71	0.40
2,573	11.45	0.20	0.69	0.40
2,790	12.29	0.22	0.76	0.42
2,669	12.48	0.22	0.75	0.42
2,808	13.00	0.22	0.78	0.42
2,855	13.42	0.22	0.80	0.42
2,862	14.03	0.22	0.83	0.43
2,969	14.42	0.22	0.85	0.44
2,987	14.91	0.25	0.88	0.45
3,176	15.40	0.28	0.99	0.52
3,150	15.97	0.29	1.03	0.54
3,330	16.47	0.30	1.09	0.58
3,240	16.92	0.31	1.12	0.60
3,495	17.70	0.34	1.21	0.65
3,368	18.04	0.34	1.22	0.65
3,585	18.54	0.35	1.29	0.70
3,584	18.86	0.37	1.32	0.72
3,719	19.42	0.40	1.40	0.76
3,527	19.82	0.40	1.41	0.77
3,852	20.42	0.45	1.52	0.84
3,851	20.93	0.47	1.59	0.88



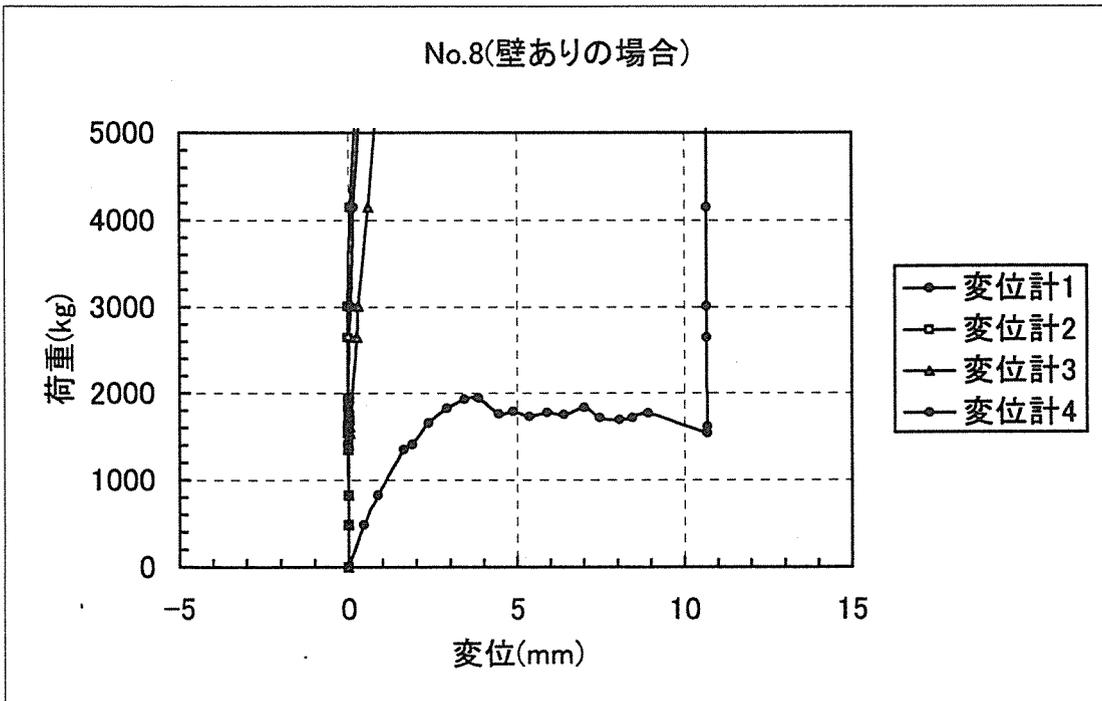
■測定地点No.7(壁ありの場合)データ

荷重 kg	変位計1 mm	変位計2 mm	変位計3 mm	変位計4 mm
0	0.00	0.00	0.00	0.00
1463	0.32	0.03	-0.04	0.10
2562	0.84	0.08	0.01	0.40
2790	1.27	0.13	0.06	0.63
3201	1.35	0.13	0.09	0.66
3755	1.85	0.19	0.16	0.92
3960	2.33	0.22	0.20	1.08
4203	2.82	0.27	0.23	1.26
4065	3.09	0.28	0.30	1.33



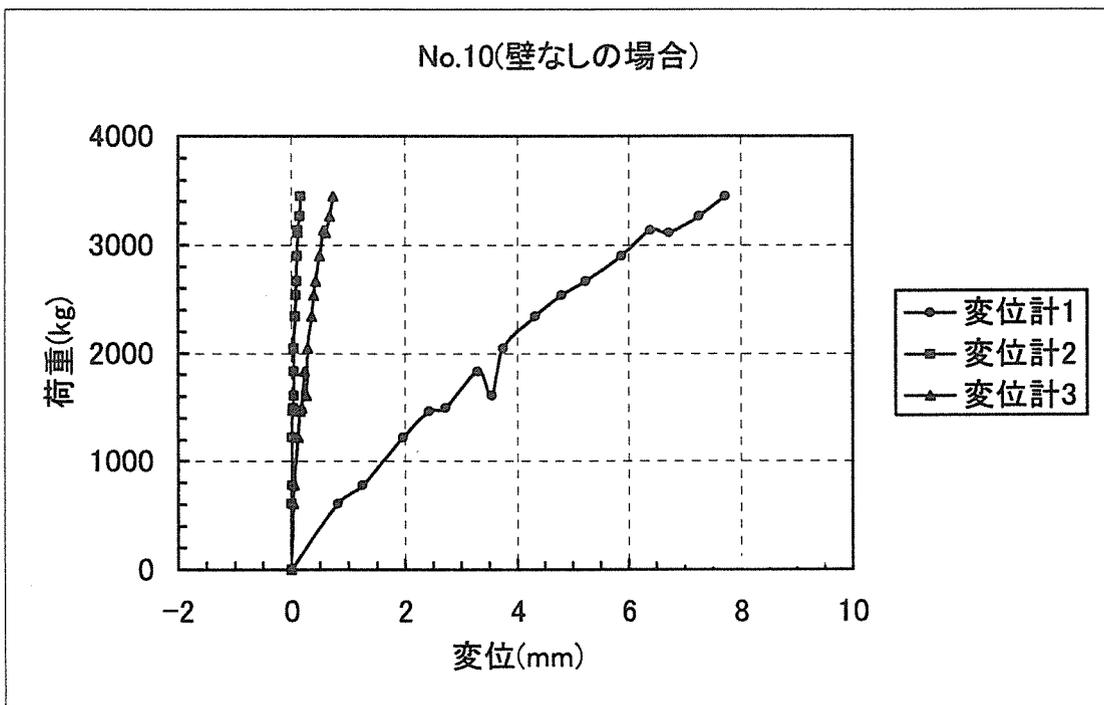
■測定地点No.8(壁ありの場合)データ

荷重 kg	変位計1 mm	変位計2 mm	変位計3 mm	変位計4 mm
0	0.00	0.00	0.00	0.00
485	0.44	0.00	0.00	0.00
824	0.87	0.00	0.00	-0.01
1,346	1.63	0.01	-0.01	-0.01
1,409	1.88	0.01	-0.01	-0.01
1,649	2.37	0.01	-0.01	-0.01
1,821	2.91	0.01	0.00	-0.01
1,928	3.44	0.00	0.01	-0.02
1,944	3.86	0.01	0.01	0.04
1,757	4.46	0.01	0.03	-0.01
1,787	4.89	0.01	0.03	-0.01
1,728	5.38	0.01	0.03	0.01
1,769	5.89	0.01	0.03	0.01
1,749	6.42	0.00	0.03	0.01
1,833	7.01	0.00	0.03	0.01
1,709	7.48	-0.01	0.03	0.01
1,689	8.07	-0.01	0.03	0.01
1,712	8.46	-0.01	0.03	0.01
1,766	8.94	-0.01	0.03	0.01
1,535	10.68	-0.02	0.04	0.01
1,605	10.68	-0.01	0.04	0.01
2,643	10.67	-0.02	0.25	0.01
3,008	10.67	-0.01	0.29	0.08
4,149	10.67	0.05	0.59	0.16



■測定地点No.10(壁なしの場合)データ

荷重 kg	変位計1 mm	変位計2 mm	変位計3 mm
0	0.00	0.00	0.00
603	0.82	0.00	0.03
774	1.25	0.01	0.05
1,223	1.96	0.02	0.12
1,463	2.43	0.03	0.16
1,496	2.72	0.03	0.18
1,832	3.29	0.05	0.24
1,607	3.55	0.05	0.27
2,045	3.75	0.05	0.29
2,342	4.33	0.07	0.36
2,534	4.80	0.08	0.40
2,664	5.23	0.09	0.44
2,898	5.88	0.11	0.50
3,132	6.40	0.12	0.57
3,111	6.72	0.12	0.61
3,267	7.26	0.15	0.68
3,449	7.72	0.17	0.73



f: 振動数

X軸	Y軸	地盤		1F		2F		RF		ch9	ch8/ch1	ch9/ch2
		ch1	ch2	ch3	ch4	ch5	ch6	ch7	ch8			
0	1.08E-05	1.01E-05	8.40E-05	5.30E-06	4.89E-06	4.48E-06	4.31E-06	3.92E-06	4.17E-06	3.64E-01	4.14E-01	
0.0976562	8.26E-06	8.71E-06	1.58E-07	4.57E-06	4.70E-06	8.79E-07	1.65E-06	2.04E-06	1.25E-06	2.47E-01	1.43E-01	
0.195312	9.67E-06	9.92E-06	1.14E-07	5.61E-06	5.16E-06	9.18E-07	1.93E-06	2.26E-06	1.31E-06	2.34E-01	1.32E-01	
0.292969	1.13E-05	1.06E-05	9.03E-08	6.60E-06	5.53E-06	9.57E-07	2.26E-06	2.75E-06	1.33E-06	2.44E-01	1.25E-01	
0.390625	1.50E-05	1.43E-05	7.79E-08	9.17E-06	7.18E-06	1.15E-06	3.17E-06	3.34E-06	1.55E-06	2.22E-01	1.08E-01	
0.488281	3.05E-05	2.50E-05	6.19E-08	1.91E-05	1.28E-05	1.59E-06	6.82E-06	6.69E-06	2.00E-06	2.20E-01	7.99E-02	
0.585937	3.73E-05	3.63E-05	6.42E-08	2.24E-05	1.85E-05	1.95E-06	8.00E-06	7.72E-06	2.30E-06	2.07E-01	6.34E-02	
0.683594	4.70E-05	4.55E-05	5.91E-08	2.72E-05	2.20E-05	2.67E-06	1.01E-05	9.97E-06	3.08E-06	2.12E-01	6.77E-02	
0.78125	4.22E-05	4.92E-05	5.24E-08	2.30E-05	2.34E-05	2.73E-06	8.67E-06	8.55E-06	3.04E-06	2.03E-01	6.18E-02	
0.878906	4.39E-05	4.58E-05	5.12E-08	2.27E-05	2.12E-05	2.46E-06	9.16E-06	9.13E-06	2.73E-06	2.08E-01	5.96E-02	
0.976562	3.75E-05	4.27E-05	4.69E-08	1.83E-05	1.97E-05	2.42E-06	7.70E-06	7.55E-06	2.64E-06	2.01E-01	6.18E-02	
1.07422	3.03E-05	3.68E-05	4.28E-08	1.47E-05	1.73E-05	2.06E-06	6.21E-06	6.27E-06	2.27E-06	2.07E-01	6.18E-02	
1.17188	3.47E-05	4.87E-05	3.90E-08	1.66E-05	2.18E-05	2.65E-06	6.89E-06	6.90E-06	2.82E-06	1.99E-01	5.79E-02	
1.26953	3.80E-05	4.24E-05	4.18E-08	1.79E-05	1.87E-05	2.44E-06	7.74E-06	7.72E-06	2.63E-06	2.03E-01	6.20E-02	
1.36719	3.78E-05	3.46E-05	4.27E-08	1.80E-05	1.62E-05	2.13E-06	7.79E-06	7.81E-06	2.45E-06	2.07E-01	7.08E-02	
1.46484	3.94E-05	3.50E-05	4.17E-08	1.88E-05	1.61E-05	2.29E-06	8.07E-06	8.03E-06	2.56E-06	2.04E-01	7.32E-02	
1.5625	4.63E-05	4.04E-05	4.14E-08	2.22E-05	1.90E-05	2.73E-06	9.77E-06	9.61E-06	3.14E-06	2.07E-01	7.78E-02	
1.66016	5.09E-05	4.89E-05	3.90E-08	2.46E-05	2.28E-05	3.05E-06	1.05E-05	1.08E-05	3.42E-06	2.12E-01	6.98E-02	
1.75781	6.49E-05	6.95E-05	4.21E-08	3.09E-05	3.28E-05	4.23E-06	1.37E-05	1.35E-05	4.49E-06	2.08E-01	6.47E-02	
1.85547	0.00011493	0.00016006	5.03E-08	5.41E-05	7.47E-05	9.49E-06	2.42E-05	2.39E-05	9.68E-06	2.08E-01	6.05E-02	
1.95312	7.39E-05	7.25E-05	4.30E-08	3.57E-05	3.46E-05	4.58E-06	1.59E-05	1.59E-05	4.90E-06	2.15E-01	6.76E-02	
2.05078	6.05E-05	6.78E-05	3.74E-08	2.98E-05	3.23E-05	4.72E-06	1.37E-05	1.36E-05	5.37E-06	2.25E-01	7.92E-02	
2.14844	8.26E-05	7.21E-05	4.17E-08	4.05E-05	3.48E-05	5.16E-06	1.83E-05	1.77E-05	5.81E-06	2.15E-01	8.06E-02	
2.24609	7.81E-05	7.13E-05	4.73E-08	3.83E-05	3.42E-05	5.48E-06	1.81E-05	1.74E-05	6.37E-06	2.23E-01	8.93E-02	
2.34375	9.04E-05	9.67E-05	3.69E-08	4.56E-05	4.75E-05	7.42E-06	2.04E-05	2.09E-05	8.52E-06	2.31E-01	8.81E-02	
2.44141	9.10E-05	0.00010245	4.54E-08	4.57E-05	5.04E-05	8.11E-06	2.16E-05	2.18E-05	9.44E-06	2.40E-01	9.21E-02	
2.53906	0.00010943	9.36E-05	4.41E-08	5.49E-05	4.57E-05	8.03E-06	2.58E-05	2.54E-05	9.62E-06	2.32E-01	1.03E-01	
2.63672	0.00011817	0.00012477	4.48E-08	5.97E-05	6.17E-05	1.13E-05	2.90E-05	2.93E-05	1.36E-05	2.48E-01	1.09E-01	
2.73437	0.00012821	0.00013047	5.35E-08	6.45E-05	6.52E-05	1.25E-05	3.11E-05	3.12E-05	1.52E-05	2.43E-01	1.17E-01	
2.83203	0.00017048	0.0001296	5.63E-08	8.68E-05	6.54E-05	1.41E-05	4.30E-05	4.44E-05	1.75E-05	2.60E-01	1.35E-01	
2.92969	0.00016755	0.0001525	6.11E-08	8.54E-05	7.72E-05	1.66E-05	4.21E-05	4.36E-05	2.07E-05	2.60E-01	1.36E-01	
3.02734	0.0001319	0.00014371	4.90E-08	6.77E-05	7.31E-05	1.79E-05	3.47E-05	3.68E-05	2.33E-05	2.79E-01	1.62E-01	
3.125	0.00012902	0.00015679	4.75E-08	6.56E-05	7.90E-05	2.03E-05	3.16E-05	3.32E-05	2.61E-05	2.57E-01	1.67E-01	
3.22266	0.00015078	0.00012153	5.62E-08	7.86E-05	6.20E-05	1.89E-05	3.93E-05	3.97E-05	2.54E-05	2.63E-01	2.09E-01	
3.32031	0.00013495	0.00012468	4.21E-08	6.95E-05	6.41E-05	2.11E-05	3.50E-05	3.71E-05	2.86E-05	2.75E-01	2.30E-01	
3.41797	9.77E-05	0.00011796	4.62E-08	5.07E-05	6.15E-05	2.39E-05	2.66E-05	2.82E-05	3.31E-05	2.89E-01	2.80E-01	
3.51562	0.0001144	9.95E-05	4.61E-08	6.06E-05	5.25E-05	2.48E-05	3.22E-05	3.44E-05	3.53E-05	3.01E-01	3.55E-01	
3.61328	0.00010212	7.69E-05	4.77E-08	5.32E-05	4.16E-05	2.57E-05	2.78E-05	3.02E-05	3.75E-05	2.96E-01	4.88E-01	
3.71094	8.30E-05	7.28E-05	3.89E-08	4.35E-05	4.07E-05	3.10E-05	2.41E-05	2.68E-05	4.55E-05	3.23E-01	6.25E-01	
3.80859	7.30E-05	6.37E-05	3.88E-08	3.80E-05	3.72E-05	3.91E-05	2.09E-05	2.31E-05	5.75E-05	3.17E-01	9.03E-01	
3.90625	6.21E-05	7.02E-05	3.27E-08	3.26E-05	4.22E-05	6.63E-05	2.14E-05	2.26E-05	9.90E-05	3.63E-01	1.41E+00	
4.00391	6.20E-05	5.57E-05	3.58E-08	3.27E-05	3.28E-05	8.53E-05	2.14E-05	2.13E-05	0.00012925	3.43E-01	2.32E+00	
4.10156	6.15E-05	5.03E-05	3.40E-08	3.31E-05	2.31E-05	4.81E-05	2.00E-05	2.20E-05	7.44E-05	3.58E-01	1.48E+00	
4.19922	5.50E-05	4.52E-05	3.36E-08	2.91E-05	2.10E-05	2.97E-05	1.68E-05	1.84E-05	4.64E-05	3.35E-01	1.03E+00	
4.29687	5.12E-05	4.81E-05	3.34E-08	2.72E-05	2.19E-05	2.05E-05	1.56E-05	1.83E-05	3.24E-05	3.58E-01	6.73E-01	
4.39453	3.91E-05	4.37E-05	3.58E-08	2.14E-05	2.05E-05	1.36E-05	1.29E-05	1.60E-05	2.16E-05	4.09E-01	4.95E-01	
4.49219	3.95E-05	3.57E-05	3.37E-08	2.15E-05	1.78E-05	1.02E-05	1.31E-05	1.62E-05	1.65E-05	4.09E-01	4.63E-01	
4.58984	3.61E-05	3.56E-05	3.03E-08	1.93E-05	1.79E-05	8.27E-06	1.24E-05	1.55E-05	1.31E-05	4.29E-01	3.68E-01	
4.6875	3.35E-05	2.92E-05	3.23E-08	1.81E-05	1.47E-05	6.45E-06	1.11E-05	1.39E-05	1.07E-05	4.13E-01	3.67E-01	
4.78516	3.64E-05	3.55E-05	3.30E-08	1.96E-05	1.71E-05	6.53E-06	1.26E-05	1.60E-05	1.09E-05	4.40E-01	3.08E-01	
4.88281	3.69E-05	2.83E-05	2.97E-08	2.01E-05	1.41E-05	5.02E-06	1.20E-05	1.47E-05	8.15E-06	3.99E-01	2.89E-01	
4.98047	3.05E-05	2.69E-05	3.13E-08	1.64E-05	1.30E-05	4.49E-06	9.62E-06	1.17E-05	7.58E-06	3.82E-01	2.82E-01	
5.07812	2.73E-05	2.40E-05	2.73E-08	1.43E-05	1.17E-05	3.44E-06	8.23E-06	1.05E-05	5.77E-06	3.85E-01	2.40E-01	
5.17578	2.29E-05	2.21E-05	2.88E-08	1.24E-05	1.09E-05	3.07E-06	7.73E-06	1.02E-05	5.23E-06	4.45E-01	2.37E-01	
5.27344	2.23E-05	2.17E-05	2.88E-08	1.22E-05	1.06E-05	3.17E-06	7.66E-06	1.01E-05	5.52E-06	4.54E-01	2.54E-01	
5.37109	2.29E-05	2.00E-05	3.14E-08	1.26E-05	1.01E-05	2.86E-06	8.56E-06	1.12E-05	4.86E-06	4.89E-01	2.44E-01	
5.46875	2.37E-05	2.02E-05	3.02E-08	1.29E-05	1.03E-05	2.58E-06	8.73E-06	1.17E-05	4.45E-06	4.96E-01	2.20E-01	
5.56641	2.46E-05	1.85E-05	3.05E-08	1.39E-05	9.17E-06	2.25E-06	9.61E-06	1.29E-05	3.82E-06	5.27E-01	2.07E-01	
5.66406	1.91E-05	1.88E-05	2.78E-08	1.09E-05	9.54E-06	2.32E-06	7.47E-06	1.03E-05	3.96E-06	5.41E-01	2.11E-01	
5.76172	1.77E-05	1.45E-05	3.09E-08	9.75E-06	7.43E-06	2.38E-06	6.53E-06	8.98E-06	4.10E-06	5.09E-01	2.83E-01	
5.85937	1.71E-05	1.63E-05	3.23E-08	9.54E-06	8.27E-06	2.50E-06	7.38E-06	1.03E-05	4.42E-06	6.03E-01	2.70E-01	
5.95703	1.73E-05	1.55E-05	3.11E-08	9.64E-06	8.51E-06	2.76E-06	7.14E-06	1.04E-05	4.88E-06	6.04E-01	3.14E-01	
6.05469	1.88E-05	2.46E-05	3.24E-08	1.05E-05	1.31E-05	3.74E-06	7.68E-06	1.16E-05	6.71E-06	6.14E-01	2.72E-01	
6.15234	1.66E-05	1.49E-05	2.94E-08	9.50E-06	7.41E-06	2.39E-06	7.67E-06	1.12E-05	4.30E-06	6.77E-01	2.88E-01	
6.25	1.60E-05	1.53E-05	2.91E-08	9.23E-06	7.99E-06	1.71E-06	7.06E-06	1.05E-05	2.95E-06	6.55E-01	1.93E-01	
6.34766	1.42E-05	1.31E-05	2.92E-08	8.16E-06	7.35E-06	1.44E-06	6.38E-06	9.63E-06	2.55E-06	6.79E-01	1.95E-01	
6.44531	1.58E-05	1.40E-05	3.07E-08	8.87E-06	7.62E-06	1.42E-06	6.93E-06	1.05E-05	2.54E-06	6.65E-01	1.81E-01	

