

2003年十勝沖地震による釧路空港ターミナルビル 天井落下再現実験

中本 康* 仁科雄太郎** 白都 滋*** 豊嶋 学***

要約: 2003年十勝沖地震により、釧路空港ターミナルビルの出発ロビー吹抜部において天井材が落下した。空港付近の震度は5とされており空港の構造部材には目立った損傷は確認されておらず、落下原因について不明な部分が多い。本論では、天井落下の原因を究明し復旧対策を検討することを目的とし、天井の一部を模擬した試験体を製作し振動台を用いて天井材の落下再現実験を行った。また、加振結果を基に数値解析を行う場合のモデル化について検討し、天井落下のメカニズムおよび部材の動的挙動について解析的な検討を加えた。

その結果、振動台実験においては天井落下現象を再現することに成功し、天井の段差部における剛性の不連続が落下の主たる原因であることを突き止めた。さらに実験結果を分析した結果、吊り材の偏心を考慮した解析モデルを用いることにより試験体の挙動を正確にシミュレートできることを示した。

キーワード: 2003年十勝沖地震、天井下地、振動台実験、振動特性、固有周期、クリップ、すべり

<p>目次:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1. はじめに 2. 天井材落下の被害状況 3. 振動台実験 4. 実験結果 5. 数値解析モデルの評価 	<ul style="list-style-type: none"> 6. 部分モデルによる偏心の影響の把握 7. 偏心の全体挙動への影響 8. 動的解析の概要 9. 解析結果の妥当性検証 10. まとめ
--	---

1. はじめに

平成15年9月26日午前4時50分に、十勝沖を震源とする気象庁マグニチュード(Mjma)8.0の地震が発生した。地震による主な被害の1つとして、釧路空港ターミナルビルの出発ロビー吹抜部における、天井材の落下があげられる。空港付近の震度は5強とされており、構造部材に目立った損傷は確認されておらず、落下原因について不明な部分が多い。

そこで、振動台を用いて天井材の落下を再現することにより、その原因を究明するとともに天井材落下を防止するための復旧対策を検討することを目的として行った実験の方法と結果および数値解析の検討結果を報告する。

2. 天井材落下の被害状況

2.1 構造および天井の概要

図1～図2に構造概要を示す。建物は高さ19.6mで中央部に吹抜を持つ鉄骨造3階建である。2階吹抜部分は東西18m、南北36mの吹抜の出発ロビーとなっている。東西方向は9mの2スパン、南北方向は9mの4スパンで、角形鋼管柱が吹抜部分を取り囲んで配置されており、東西方向はR階がブレース構造、南北方向はラーメン構造となっている。吹抜部分の屋根は、鋼製の折板屋根で、南北方向に緩やかな曲面を形成している。吹抜部分の天井は鋼製下地を用いた在来工法により構成されており、西側から約3mの部分で450mm折り上げられた段差のある天井となっている。

天井下地材を吊っているボルト(M9:以下吊りボルト)は0.9m×1.1mグリッドで配置され、3.6m×4.4mグリッドで両方向に1対の水平変形を抑制するためのブレースが設置されている(図3参照)。図4に示すように段差部分には段差補強材が設置されており、段差上部ではブレースと斜材が構造体に接続されている。なお、地震の多発地帯であることを考慮しブレース材は圧縮材としても機能できる大きさの断面の部材を採用している。

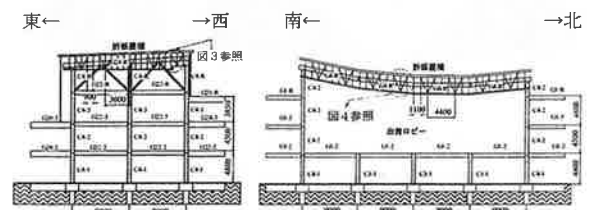


図1 4通り構造概要
(通り番号は図.9 参照)

図2 D通り構造概要

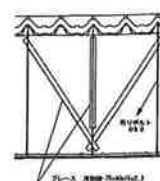


図3 ブレース取り付け図

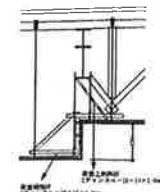


図4 段差部分詳細

2.2 天井の仕様

写真1～写真3に用いられていた天井の構成と各部位を接続する金物を示す。上から折板用インサート金物、吊りボルト、ハンガー、野縁受け、クリップ、野縁の順に取り付けられている。天井面を構成するボードは野縁にビスで下から固定されており、野縁はクリップによって直行方向に伸びている野縁受けに接続されている。折板インサート金物は折板に嵌合され、吊りボルトを介して野縁受けを抱えているハンガーを吊っている。振れ止めのブレースは吊りボルトに溶接されている。

2.3 被害状況

図5は天井が落下した部分を平面にマッピングしたものである。吹抜部分の天井650m²のうち、40%に当たる約270m²の天井材及び野縁が落下し、段差部分を境にして落下範囲は東側に伸びていく印象を受ける。一方、西側の一段高くなった天井部分での落下は見られなかった。

写真4～写真7に主な被害写真を示す。段差部分より東側の低い天井付近において天井落下が最も顕著であった。天井の東端部では、カーテンウォールを支持する柱の仕上げ材に損傷が残っており、天井材が衝突して落下したものと考えられる。

また、個々の部位については一部の野縁にはクリップが滑った跡や野縁自体の変形が見られ、クリップは、野縁受けを掴むツメの部分が開いた状態のものも多く見られた。

2.4 天井材落下原因の推定

図6～図7に釧路空港敷地内の基盤（工学的基盤に相当）において観測された加速度記録から一次元波動論により求めた、ターミナルビル位置での地表面加速度波形および加速度応答スペクトルを示す。建物の固有周期は

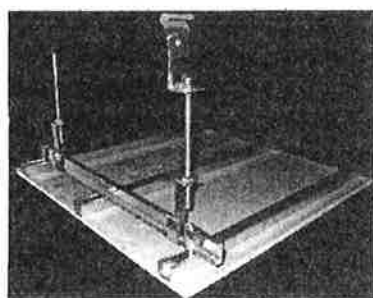


写真1 天井在来工法



写真2 ハンガー



写真3 クリップ

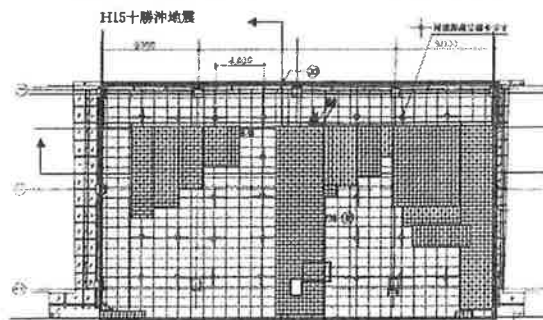


図5 天井落下範囲

約0.6秒とされており、応答加速度は地表面加速度の約4倍の800cm/s²に増幅している。

天井部分の固有周期は振れ止めのブレースを設置することにより、振り子の周期から建物の周期に近づくと思われる、そのた



写真4 段差部分



写真5 東端回廊部

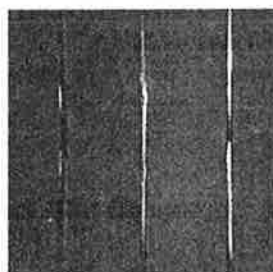


写真6 野縁の変形



写真7 クリップの変形

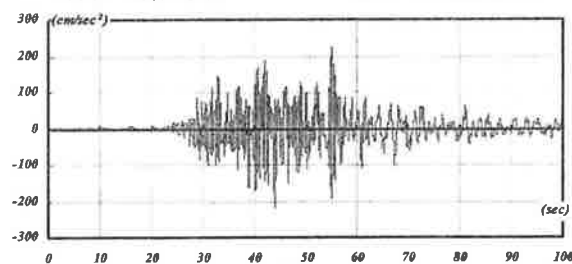


図6 地表面加速度

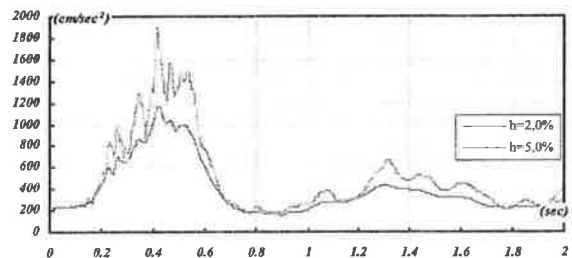


図7 地表面加速度応答スペクトル

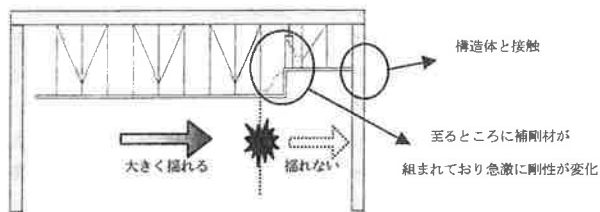


図8 落下原因推定図

め天井部分の揺れが大きくなったと考えられる。天井の揺れが大きくなると、クリップが野縁の溝を滑り出し、ブレースが水平剛性に対し寄与しなくなるため、天井はさらに大きく揺れる。しかし、図8に示すように段差付近では各種補剛材が多数配置され、また西端部では構造材に接しており段差部分において水平剛性が急激に増大すると考えられる。よって段差部分近傍に局部的な力が作用しこの力によりクリップが破損し、段差部分を起点として連鎖的に東側の天井が落下したと考えられる。

3. 振動台実験

3.1 再現試験体

3.1.1 再現範囲

図9に再現試験体の範囲を示す。最も被害が顕著であった西側の段差部分を含み、南北方向にほぼフラットで振れ止めのブレースが1対となる東西方向3.6m×南北方向4.4mグリッドを試験体範囲として選んだ。

3.1.2 試験体概要

図10に試験体寸法を示す。振動台の加振テーブルのサイズにより、幅(南北方向)3000mm×奥行き(東西方向)3000mmに鋼製下地材を再配置した試験体を作製した。加振方向は野縁材軸方向とする。なお、試験体が非対称であることによって局所的な振れ振動を生じないように、幅方向に対称なものとしている。

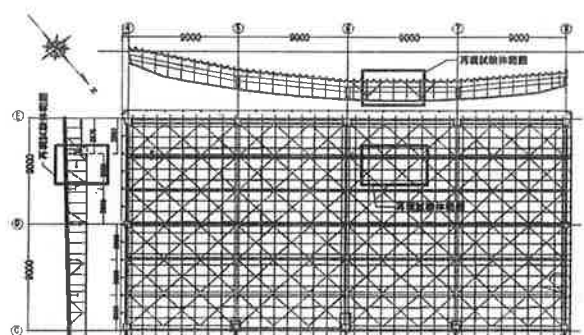


図9 再現試験体範囲

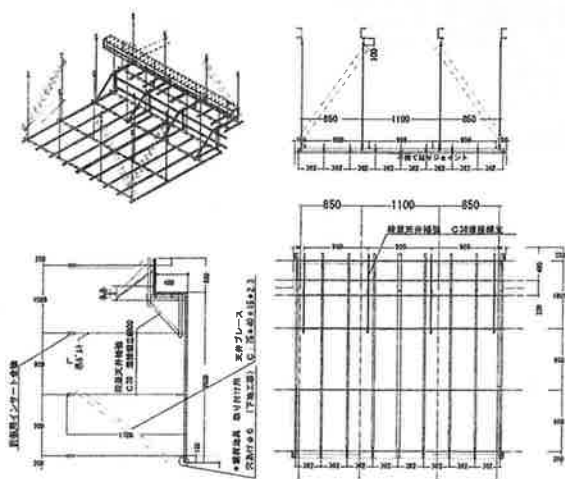


図10 試験体寸法

野縁の間隔は360mmとし、中央部にダブル野縁を用い、その他の野縁はシングル野縁としている。段差補強材と段差上部斜材は900mm間隔で4本設置されている。写真8,9に試験体正面および側面の写真を示す。天井材は、剛な鉄骨フレーム架台(ブレース付き)の上部に取り付けた鋼材(C-150×75mm)より吊りボルトで支持されている。また、段差上部斜材、段差部付近の吊りボルトは架台に取り付けた模擬梁(H-200×200mm)に接続している。なお、材料の経時的変化はないものとしている。

3.1.3 付加質量

試験体は段差部付近に限られているため、それより東側の模擬されていない部分の慣性力、つまり野縁に働く応力を再現する必要がある。そこで図11に示すように、模擬されていない天井材の質量(野縁1本当たり約60kg)を吊り材に介し、付加質量として野縁材端部に取り付けるものとする。

3.1.4 計測点

ひずみゲージ、変位センサー及び加速度センサーの配置を図12に示す。なお、ひずみの測定位置は5本の野縁材(吊りボルトで支持されるスパン中央位置)とした。

3.1.5 振動特性

矩形波加振(インパルス波入力)を行い、自由振動波形を計測した(図13)。試験体の固有周期は0.343s、減衰定数は

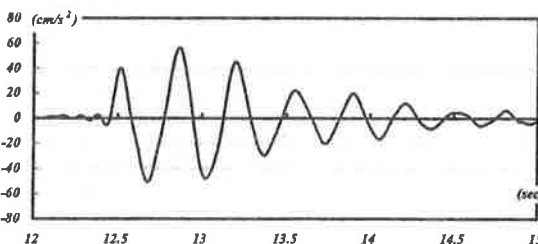
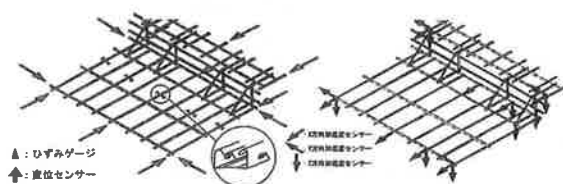
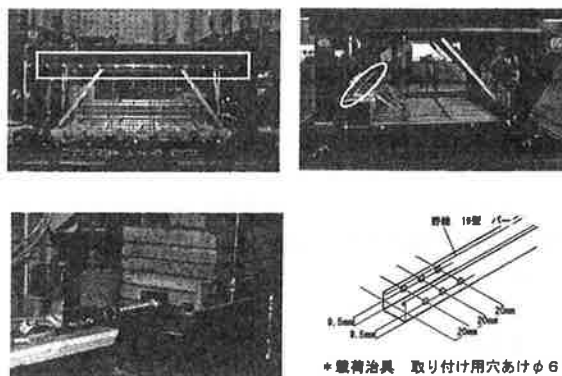


図13 自由振動波形

3.3%と求められた。

3.2 入力加振波

3.2.1 解析モデル

屋根面応答加速度（振動大実験における入力加速度）を求めするため、平面骨組による振動解析を行った。図14に解析モデルを示す。解析モデル位置は出発ロビー中央の⑥通り（図9参照）である。構造体の接合部分に節点を設定し、屋根部の大梁は40要素に分割し、その他の構造材は1要素とし、梁要素としてモデル化を行っている。

単位面積あたりの床質量を1tonとし、屋根質量は50kgとして、負担面積分の質量をそれぞれの節点に配置した。なお、建物基礎部分の並進、回転は固定とし、接合条件は剛接合とした。

3.2.2 振動モード

上記の解析モデルで求めた水平方向における1次および2次の固有振動モードを図15に示す。図に見える薄い灰色の影は元の位置を表している。1次モードは建物全体が水平方向に揺れ、2次モードは中心部に向かってくびれ、屋根部の大梁がしなるように揺れる。1次モードの固有周期は0.652s、2次モードの固有周期は0.316sで、図7（地表面加速度の応答スペクトル）の減衰2.0%を参照すると、応答値は1次が約400cm/s²、2次が約800cm/s²と2次のほうが2倍近く大きい、1次の有効質量比が2次モードの8倍程度あり、1次モードが卓越すると思われる。

3.2.3 屋根面応答波

図6に示した地表面加速度を入力とし図14に示した解析モデルを用いて地震応答解析を行い、屋根部における大梁の応答加速度を求めた。解析により求めた屋根部における大梁の両端部に発生する絶対加速度を、平均することにより試験体に入力する加速度とした。図16に試験体入力加振波を示す。入力加振波の最大加速度は659.6cm/s²であり、加速度は建物を通して3倍近く増幅している。

4. 実験結果

4.1 入力波形の確認

天井支持架台によって入力加速度が増幅していないことを確認するために、図16に入力加速度（目標波）と天井支持架台上部において計測した加速度の比較図を示す。図より屋根面入力加速度は目標加速度とよい対応を示していることがわかる。

4.2 試験体破壊状況

加振終了後の試験体の写真を写真10～写真12に示す。段差部分ではクリップが全て外れており、段差部分下側の天井面が面外（下方）に垂れている様子がうかがえる。野縁にはクリップが滑った跡が見られ、特に段差付近では顕著である。付加重量側のクリップは、現地で見られた変形と同様に野縁受けを掴むツメの部分が開いている。各部位の破損は被害の状況と類似しており、実際の釧路空港の天井落下現象をよく再現していると思われる。また、加振の様子を収めたビデオを観察したところ、段差部分のクリップが外れるまでは天井下部面が若干浮き上がる状態を確認できる。その後入力波が大きくなるにつれ、

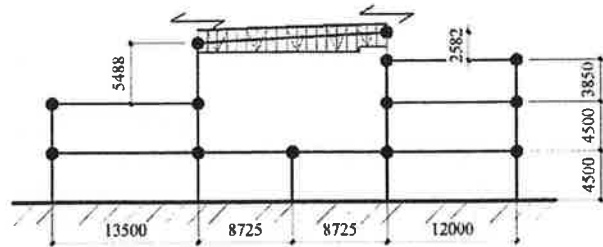


図14 解析モデル

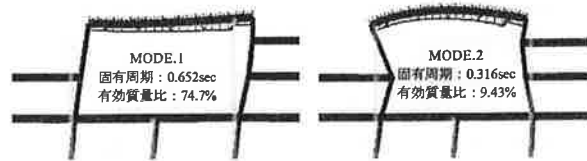


図15 振動モード

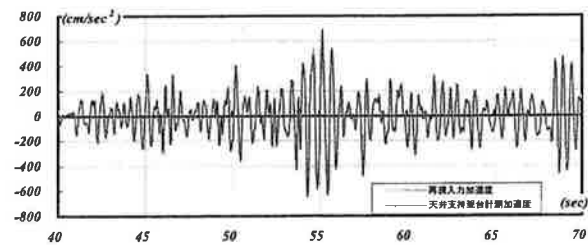


図16 入力加速度と架台計測加速度



写真10 天井面の垂れ



写真11 クリップが滑った跡



写真12 クリップのツメの開き

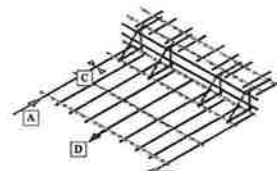


図17 計測結果参照点

段差部分のクリップは野縁を滑りだし、水平力と浮き上がり力を受け、端から順に弾き出されるように外れている。段差部分のクリップが外れることにより、試験体はさらに大きく揺れ、幅方向の端のチャンネルが加振方向に大きく撓み、その部分のクリップも外れた。以上から、クリップの挙動が天井の破壊性状に大きく関係することがわかる。

4.3 実験結果の考察

以下に、計測されたデータのうち試験体の破壊性状をよく表わしている計測結果を示す。各データの参照点は図17に示す。

4.3.1 下段天井面の水平相対変位

図 18 に A 点及び B 点の時刻歴水平相対変位を示す。水平相対変位は、加振開始後 t_2 (=75 秒付近) までは両計測点ともほぼ同様の動きをしている。しかし、 t_2 以降は A 点よりも B 点の変位の方が大きくなっている。これはクリップが多数外れることにより、下段天井面が面内に若干回転しながら変位するためと思われる。

4.3.2 野縁のひずみ

図 19 に C 点の時刻歴ひずみを示す。図中の t_1 (=45 秒付近) および t_2 でひずみの変動の中心が伸び側にドリフトしていることがわかる。これはクリップがはずれることにより、野

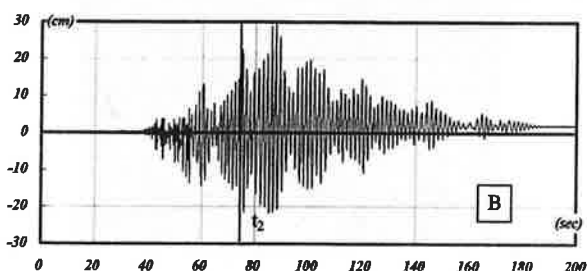
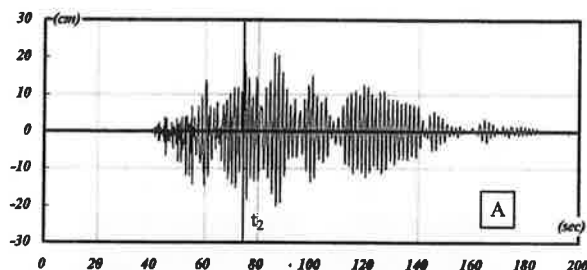


図 18 時刻歴水平相対変位

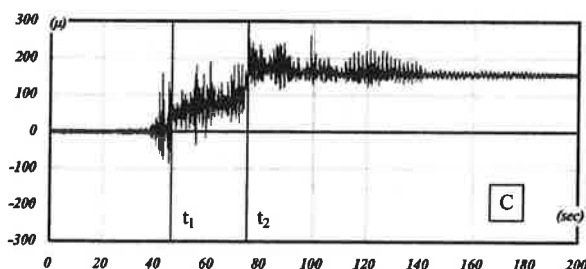


図 19 野縁のひずみ時刻歴

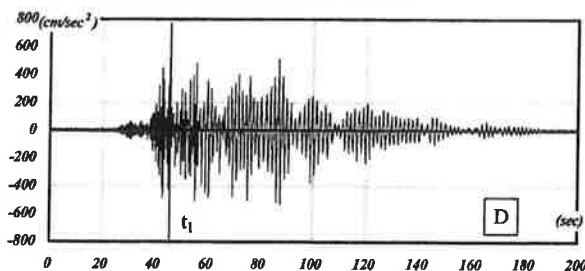


図 20 加振方向水平絶対加速度

縁が垂れ下がった結果発生したひずみと考えられる。 t_2 以降は横ばい状態になっており、下段と上段が完全に分離していると思われる。しかし、降伏ひずみが約 1400μ であることを考えると、野縁自体は比較的健全であると思われる。

4.3.3 下段天井面の水平加速度

図 20 に D 点の時刻歴水平絶対加速度を示す。時刻 t_1 までは、入力した加速度よりも大きな加速度が天井面に発生しているが、入力加速度が最大となる時点では、入力した加速度よりも小さな値となっている。これは、クリップが外れることにより天井面の周期が長くなったためと考えられる。

5. 数値解析モデルの評価

一般に、天井鋼製下地は、構成部材が構造用部材ではない華奢な断面から成る部材から構成されている。さらに、野縁と野縁受け、野縁受けと吊りボルト、吊りボルトと屋根の接合は独特の金物を用いて行われる(2.2 節参照)。この金物による接合は施工性の観点から簡便なものであり、明らかに力学上のピン接合や剛接合とは異なっている。以上のことから、通常の躯体では無視しうようなモデル化の違いが、その挙動に影響を及ぼすことは容易に想像し得る。ここでは、まず、このような

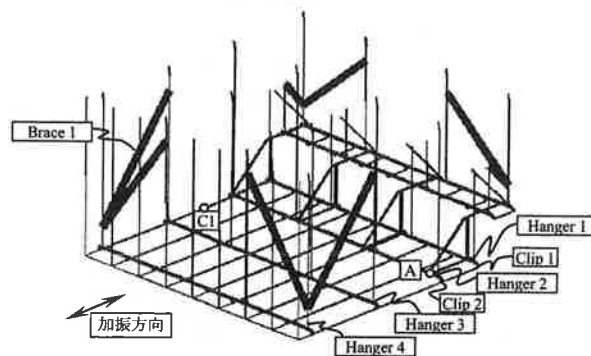


図 25 解析モデル

表 1 断面性能

部材	A(cm ²)	I _x (cm ⁴)	I _y (cm ⁴)	J(cm ⁴)
折板インサート金物	0.276	1.22×10^{-1}	3.31×10^{-4}	1.32×10^{-4}
吊りボルト	0.636	3.22×10^{-2}	3.22×10^{-2}	6.44×10^{-2}
ハンガー	0.276	1.22×10^{-1}	3.31×10^{-4}	1.32×10^{-4}
野縁受け・段差補強材	0.600	1.21	7.56×10^{-2}	2.93×10^{-3}
クリップ	0.138	6.08×10^{-2}	4.14×10^{-2} *注	1.66×10^{-4}
野縁	0.249	2.77×10^{-1}	9.70×10^{-2}	1.34×10^{-4}
ブレース	4.04	37.3	8.80	7.13×10^{-2}
段差上部斜材	0.370	-	-	-

*注：接触を考慮し 1000 倍に評価

表 2 Model A および仮想モデルによる固有値解析結果

モデル名	固有周期(sec)	有効質量比
Model A	0.171	98.7
Model 1	0.901	-
Model 2	0.423	-

軽微な部材および曖昧な接合条件から成る天井を数値解析する場合の問題点を明らかにするために、図 25 および表 1 に示すような解析モデル（以下、Model A）を用いて固有値解析を実施した。ここで、Model A は金物も含め梁要素にてモデル化しているが、すべての接合部を偏心のない剛接合としている。質量は天井の単位面積あたりの質量を 13kg/m^2 とし、野縁材の節点に負担面積分の集中質量を与えると同時に、付加質量（各 60kg ）を該当する節点に設定している。得られた加振方向の固有周期および有効質量比を表 2 に示す。本モードの有効質量比は 98% を超え、単一固有モードにて振動するであろうことが予想される。ただし、解析により得られた周期と 3.2.2 項で示した矩形波加振結果と比較すると、Model A による結果は実験結果の概ね 2 倍程度となっており、その 2 で示した床（屋根）応答スペクトルから考えても十分な精度でモデル化されているとは言い難い。この周期の差異が、従来耐震性能上の問題点と指摘されている接合部での「滑り」によるものとは考えづらい。また、振り子として考えた場合の固有周期は、吊り点～野縁間長を段差下部で 170cm 、段差上部で 130cm として計算すると、それぞれ 2.6 秒、 2.3 秒となる。先の実験結果はこれらの周期と比し非常に短い。この理由は、段差部近傍で複雑に組み立てられている部材により水平抵抗機構が形成されているためであり、そのことを検討するために、仮想のモデルによる固有値解析を実施した。設定したモデルは次の 2 種類である。

Model 1：段差上部斜材を無視したもの

Model 2：吊りボルトの軸剛性を無視したもの

Model 1 は、段差近傍部の架構形成に寄与が最も大きいと思われる斜材の有無の影響を、Model 2 は同様に寄与すると思われる吊りボルトの影響を大まかに把握するためのモデルである。表 2 に解析結果を示す。斜材の影響は大きいことは明らかであるが、吊りボルトの剛性もまた全体の固有周期に影響を及ぼすことが解る。吊りボルトは両端部を金物を介して接合されており、この剛性評価が重要となることがこの結果から推測することができる。

6. 部分モデルによる偏心の影響の把握

前章での検討により、段差部近傍に形成される架構の剛性が今回の天井の挙動に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。そこで、ここでは段差近傍部の架構の中で支持点（屋根）～金物～吊りボルト～ハンガー～野縁受けまでを幾何学上忠実にモデル化し、この棒状の構造が軸方向力を受ける場合の挙動について検討した。

具体的な解析モデルを図 26 に示す。すべて梁要素を用いており、吊りボルト部分は 20 分割している。なお、上下両端部を単純支持とし、すべての接合条件は剛接合としている。

図 27 に軸方向力と軸方向変位関係を示す。図中には、比較のために偏心を考慮しない場合の結果も併せ示してある。偏心のない場合には圧縮時に明確な座屈点が観測され、それ以外の変位段階では線形に振舞う。これに対して、偏心を忠実にモデル化した場合の結果は全体として非線形性の強い曲線となって

いる。これは偏心部材の特徴であり、特に、初期剛性は偏心のない場合に比べ約 $1/1000$ 程度となっている。また、図 27 中の○で示した点は、材端の偏心を考慮した梁要素を用いるとともに、吊りボルト部分を 1 要素にて解析した結果である。この程度の変形領域であれば吊りボルト部の要素分割は不要であることが解る。したがって、以下の全体モデル解析では吊りボルト部分の分割は施していない。

7. 偏心の全体挙動への影響

6 章で示した吊りボルト両端部の偏心の全体挙動への影響を明らかにするために、この偏心を考慮した解析モデル（Model B）を用いて静的解析を行った。外力は質量に比例する水平力を作用させている。

解析結果を図 28 に示す。なお、図中には Model A による解析結果も併せ示してある。両者の結果を比較すると解るように、偏心を考慮することにより、初期剛性が低下する。ただし、水平剛性に寄与する吊りボルトの軸剛性の割合はそれほど多くないために、 $1/6$ 程度の剛性低下となっている。Model A の結果

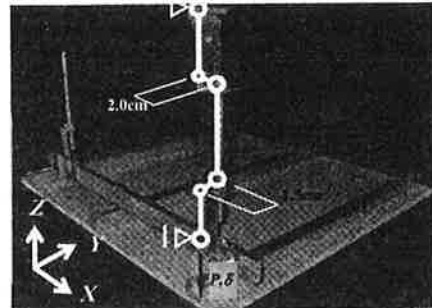


図 26 吊りボルト部に対する解析モデル

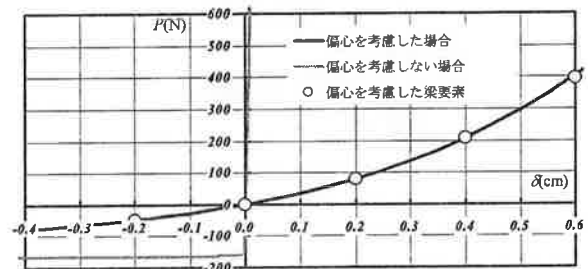


図 27 荷重変位関係（吊りボルト部）

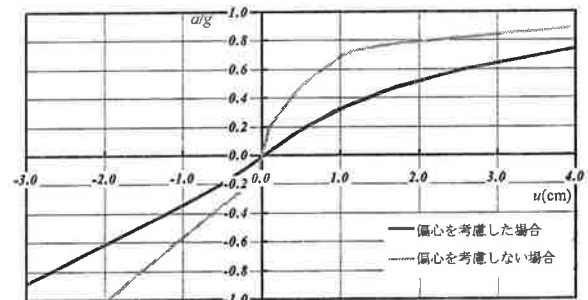
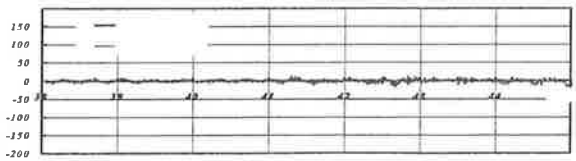
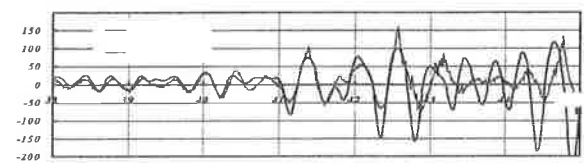
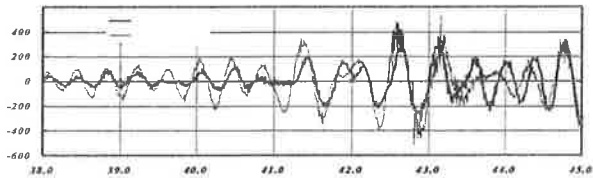
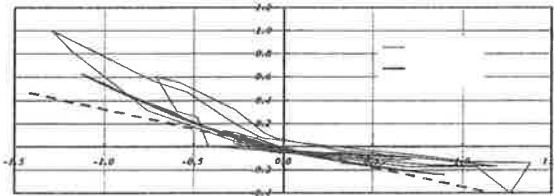
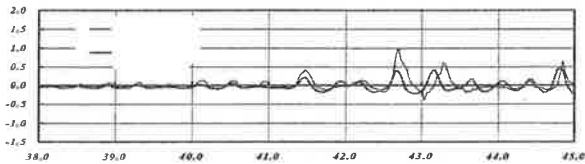
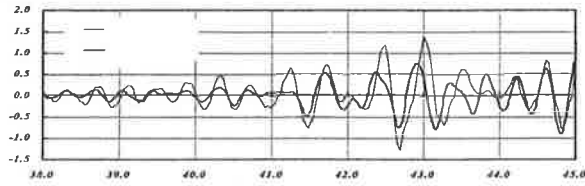


図 28 荷重変位関係（全体モデル）

においても変位レベルが大きくなると、金物+吊りボルト部分で座屈が生じるために剛性は急激に低下する。しかしながら、矩形波加振では小さな加速度入力としていることから、Model A における非線形領域にまで変位レベルが達しているとは思われない。そこで次に、Model B を用いて固有値解析を行った。得られた固有周期は 0.322sec であり、矩形波加振実験結果(0.343sec)とほぼ対応している。このことだけでモデル化の妥当



性を断定することは難しいが、少なくとも接合の偏心が重要な影響を及ぼしていることは間違いのないと思われる。

8. 動的解析の概要

動的解析のモデルは、7章で示した Model B を採用している。減衰定数については、単一モードがほとんど支配的と考えられることから剛性比例型を採用し、加振方向 1 次モードについて矩形波加振実験で得られた値 (3.3%) としている。外力条件はその 4 で示した質量に対して重力加速度を作用させた上で水平加速度を作用させている。入力加速度波形はその 3 で示した試験体を吊っている架台にて測定された加速度を入力している。また、計算対象時間は、本報では天井損傷の原因を検討することが目的であるので、クリップ脱落が確認されるまでの 45 秒間としている。

時間に対する数値積分として Newmark- β 法 ($\beta=1/4$) を採用し、時間刻みは 40 秒までを 2.5×10^{-3} sec, 40-45 秒間を 0.625×10^{-3} sec としている。収束計算には Newton-Raphson 法を用い、収束判定は不平衡力ベクトルと内力ベクトルのノルムの比が 10^{-12} となった段階としている。

9. 解析結果の妥当性検証

9.1 解析結果と実験結果の比較

次に解析結果について示す。まず、本解析結果の妥当性を検証するために実験で得られた計測結果との比較を行う。図.30 は、図 25 中の点 A における変位の比較を行ったものである。(a), (b)は、水平変位、鉛直変位の時刻歴であり、(c)は鉛直変位—水平変位関係である。動的な解析の場合実験結果に完全に一致することは難しいが、概ねその性状を捉えている。特に、鉛直変位—水平変位関係は実験結果と本解析結果はよく対応している。このことは、求めた固有モードおよび非線形領域での運動機構に関するモデル化が妥当であることを示している。図 31 は点 A における水平絶対加速度を比較したものである。ここでも解析結果は実験結果とほぼ対応していることが解る。

さらに、図 32 は、ひずみゲージにより測定した野縁(a)およびブレース(b)のひずみについて同様の比較を行ったものである。ただし、解析結果による野縁のひずみは軸力と曲げからゲージ添付位置でのひずみ値を計算している。図 32(a)から解るように、野縁のひずみに対する両者の結果はよく対応している。また、ブレースのひずみは元々の値が小さいために実験結果ではノイズが目立つものの、ブレースには有意な大きさのひずみが発生しないという点において実験結果と解析結果は対応している。このブレースの発生ひずみが小さいということは、この試験体において配置されたブレースは水平抵抗材としてほとんど機能していないことを意味している。以上により本解析結果はほぼ実験結果を再現しており、この結果を基に天井面に発生する応力、特に天井脱落の要因となるハンガーおよびクリップに生じる応力について検討することは十分可能であると判断される。



図 33(a) ハンガーの軸方向力時刻歴 1

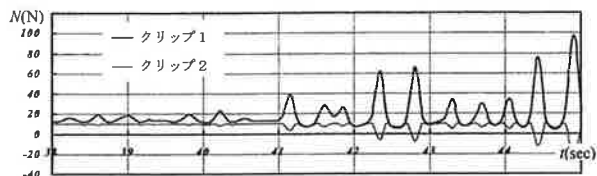


図 34 クリップの軸方向力時刻歴

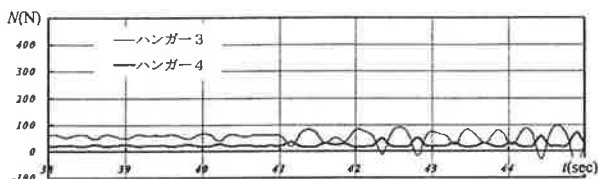


図 33(b) ハンガーの軸方向力時刻歴 2

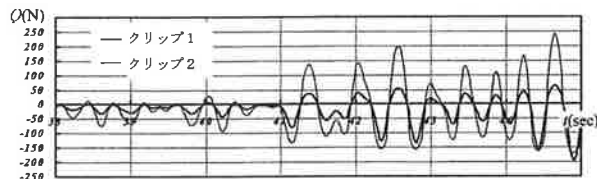


図 35 クリップのせん断力時刻歴

9. 2 ハンガーおよびクリップに作用する力

図 33 に各ハンガー(図 25 参照)に作用する軸方向力の変動を示す。段差部から離れたハンガー(Hanger3,4)の軸方向力の変動は小さいのに対して、段差近傍部のハンガーのそれは大きく変動する。これは、これに接続する吊りボルトが他の部材とともに水平抵抗機構を形成するためである。その変動幅はおおよそ +400~-100N であり、圧縮時の値の方が小さな値となっている。これは、7 章の吊りボルトの静的解析からも明らかであり、大きな元たわみが存在する座屈挙動をとるためである。したがって、吊りボルトは圧縮時に横変位を生じていると考えられる。実験中にも同様の現象が確認されている。

図 34, 35 にクリップの軸方向力、せん断力の変動を示す。ここでは、・クリップ部分の滑りを無視、・クリップの水平力伝達方向の曲げ剛性を 1000 倍としている。図より、軸方向力の

変動よりもせん断力の変動が大きくなっている。上記のハンガーに発生する力ならびにハンガーとクリップの各断面性能の差を考慮すると、クリップの損傷が先行することは明らかでありこのことは実験結果と整合的である。また、せん断力が限界値を超えた段階で滑りが発生することとなる。実験ではおおよそ 42 秒の時点で滑りが確認されていることから、図 35 より、その限界値としては 200N 程度と考えられる。

10. まとめ

本報告では、釧路空港ターミナルの天井落下に対して、再現実験を実施するとともに、数値解析による再現を試みた。両者とも実現象をよく捉えていることを確認した。今後、クリップ等の滑りを考慮した解析手法を開発し、天井落下の挙動をシミュレートする必要がある。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、釧路空港ターミナル関係の多くの方々にご貴重な情報提供と甚大なるご協力を頂きました。共同研究者として貴重な助言を賜りつつ解析を担当して頂いた東京工業大学大学院環境システム専攻元結正次郎助教授、ご協力頂いた学生の方々に感謝の意を表わします。

参考文献

- 1) 中本, 北川, 他 5 名 「釧路空港ターミナルビル天井材落下に関する研究」その 1~5, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造, (2004)

FULL SCALE SHAKING TABLE TEST OF THE CEILING DAMAGE AT KUSHIRO-AIRPORT BY 2003 TOKACHI-OKI EARTHQUAKE

Y.Nakamoto, Y.Nishina, S.Hakuto
and M.Toyoshima

The 2003 Tokachi-oki earthquake caused the fall of the ceiling at Kushiro Airport Terminal Building although the damage of structural members could not be observed. In order to investigate the cause of this damage, shaking table test was carried out on the full-scale test unit which simulated the critical portion of the ceiling of the building.

Dynamic analysis was also conducted to simulate the seismic behavior of the building by using the earthquake motion observed at the site. It was found that the seismic behavior obtained by shaking table test and dynamic analysis could simulate the damage of the ceiling, approximately. Several reasons caused the damage were also obtained.