

2003.10.14

2003 年十勝沖地震における空港ターミナルビル等の天井の被害に関する現地調査報告

国土交通省 国土技術政策総合研究所

独立行政法人 建築研究所

国土交通省国土技術政策総合研究所及び独立行政法人建築研究所では、平成 15 年 9 月 26 日午前 4 時 50 分頃に十勝沖を震源地とする気象庁マグニチュード(M_{jma})8.0 の地震(2003 年十勝沖地震) による、釧路地域における建築物の被害調査を実施した。ここでは、釧路市(震度 5 強) の空港ターミナルビル等の比較的広い天井面を覆う天井の落下の被害について、調査結果の概要を報告する。

なお、調査の実施に当たっては、釧路空港ビル株式会社、北海道建設部、北海道釧路支庁経済部建築指導課、釧路市住宅都市部、北海道立北方建築総合研究所、国土交通省航空局などのご協力を頂いた。

調査日及び調査箇所

平成 15 年 10 月 1 日(水)

釧路空港管制塔、空港ターミナルビル、スケートセンター(釧路市内)

調査者

国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部 石原直 研究官

独立行政法人建築研究所建築生産研究グループ 西山功 上席研究員

調査結果の概要

1. 空港ターミナルビル

(1) 構造概要等(主に図面による)

建設時期は平成 7 年 5 月～平成 8 年 6 月。

鉄骨(S)造 3 階建(建物高さは 19.6m)であり、建物中央部の南北 36m、東西 18m の部分が、吹抜けの出発ロビーとなっている。吹抜け部分は、南北方向 4 スパン、東西方向 2 スパンで、12 本の S 造角形断面柱が吹抜け部分を取り囲むように配置されており、南北方向ではラーメン構造、東西方向では 3 階より上の部分で逆 V 字状のブレース構造となっている。

吹抜け部分の屋根は、南北方向に緩やかに下に凸の形状であり、鋼製の折版屋根となっている。なお、東西方向が水勾配(東側が水下)となっている。

吹抜け部分の天井は、天井高さ 9,730mm(天井西側の約 2.5m 幅の部分では数十 cm 高い)の鋼製下地材を用いた在来工法¹による天井である。天井材はせっこうボード 9mm 厚 + ロックウール吸音板 12mm 厚となっている。吊りボルトは、0.9m × 1.1m グリッドで配

置されており、また、3.6m×4.4m グリッドで両方向に1対のブレース（C-75×40×15×2.3）が配置されている。なお、吊りボルト長さは、水勾配のため1.3mから1.8mの範囲となっている。

施工を行った建設会社の担当者より、「計算による固有周期は建物が0.6秒、天井が2.7秒²であり共振しない。しかし、地震時には大きな天井変位が予想されたので、吊りボルトに斜めの補剛材（ブレース）を設置して水平方向振動に対する剛性を高めた。ブレースの検討は、『非構造部材の耐震設計指針・同解説および耐震設計・施工要領（日本建築学会、1985年）』に従い、局部震度 $K_h=0.9$ とした。なお、天井の質量は 17kg/m^2 である。」との説明があった。

- 1 在来工法とは、吊り天井に用いる工法の一つである。下地材として鋼製（戸建て住宅などでは木製）の部材が用いられ、野縁、野縁受けをグリッド状に組んだ上で、直径9mm程度の吊りボルトで床や屋根の構造体から天井を吊る工法を指す。
- 2 説明された天井の周期は、振り子として計算した周期 $T=2\sqrt{L/g}$ （L/g）で、吊りボルトの長さLを1.8mとした場合である。実際には吊りボルト長さが1.3～1.8mであることや吊りボルトの曲げ剛性が寄与することにより、天井の周期はブレースがなくとも2.7秒より短かったと考えられる。なお、gは重力加速度を示す。

（2）地震直後の被害状況

吹抜け部分の天井 $650\text{m}^2(36\text{m}\times 18\text{m})$ の内、約1/2に当たる約 300m^2 の天井材及び野縁が落下した。西側で一段高くなった天井部分では落下は見られなかった。

（3）調査結果

調査時点では、余震による落下を防ぐため、天井は西側の一段高くなった天井部分を除き、吊りボルト及びブレースを残して、全て撤去されていた。また、撤去された天井材も含めて落下物はすべて処分済みであった。

落下しなかった西側で一段高くなった天井より、在来工法による天井であることを確認した。この点は、地震直後の写真などからも確認できた。吊りボルトの配置及び斜めの補剛材（ブレース）の配置については、実測はできなかったが、概ね図面どおりであることを確認した。

天井の南北の端部では、緩やかな局面状の天井部分から南北端部の梁下フランジに向かって天井が傾きのある平面（水平距離で2m程度）となり、吊りボルトの配置状況等より南側ではS造柱のフェイス位置で天井材が柱に接していたものと推測された。このことは、後日入手した地震直後の写真及び天井落下位置をまとめた図より確認している。なお、南端部で傾きのある平面をなす天井部分については、地震後には落下していなかったことも確認された。天井の東端部については、天井材が接合されていたと考えられる回り縁（幕板）及びS造柱の仕上材（塩ビ鋼板パネル）には部分的な変形が残っており、天井材が衝突した痕跡と考えられる。回り縁に隣接する噴出し口にも変形が見られたが、こちらにつ

いては、落下しなかった天井の撤去時に生じたものである可能性がある。また、回り縁（幕板）と出発ロビー東側のガラス壁面を支持する T 形断面の S 造柱との間には遠めで見た感じで 10cm 程度のクリアランスがあった。後日入手した写真より、比較的大きく S 造柱の仕上材に変形が残っている部分の天井材は地震直後に落下していたことを確認した。

天井の西端部で天井高さが一段高い部分の天井と S 造角形断面柱とは、直（じか）に接していてクリアランスは全くなかった。この取り合い部分では、天井材に局所的な軽微な損傷が見られた。天井高さが一段高い部分では、3.6m×4.4m グリッドで配置されたブレース以外にも補剛のためと思われるブレースが各所に配置されており、天井の水平方向振動に対する剛性が非常に高かったと考えられる。また、天井高さが急変する折上げ部分では、補強用振れ止めが多数設置されていた。

地震直後の写真より、天井高さが急変する接続位置の低い天井側（東側）において天井の落下が最も顕著であったことを確認した。

天井照明は天井材とは別の吊りボルトで支持されており、これらには損傷は見られなかった。

（４）まとめ

以上の調査結果より、天井落下の過程としては、次のように考えられる。

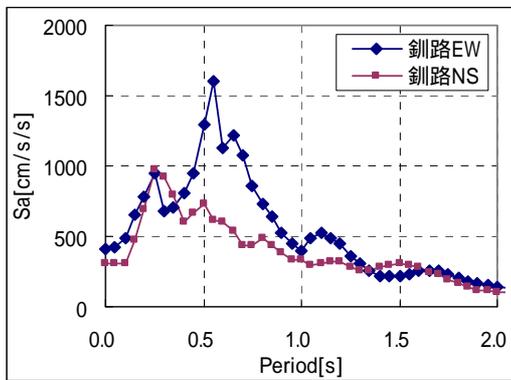
- 1) 耐震設計を行って天井の下地材には補強ブレースを設置した。そのため天井の固有周期が短くなり建物の固有周期と近くなった。その結果、地震時に共振現象を生じた。参考文献 1)によれば、吊りボルトの長さが 1.5m ないし 2.0m の在来工法による天井（せっこうボード+ロックウール吸音板）では、ブレースを設置することにより固有周期が 1.6~1.75 秒から 0.6~0.63 秒に変化しており、施工を行った建設会社の説明にあった建物の固有周期 0.6 秒とほぼ一致する。
- 2) 地盤の違い等により一概には言えないが、釧路市役所前の K-NET による強震記録及び釧路合同庁舎の建築研究所による強震記録（地表面）によると、周期 0.6 秒前後の東西方向の応答加速度が非常に大きかった可能性がある。
- 3) 1) の建物と天井の共振現象と 2) の地震動特性と建物の固有周期の関係により天井の揺れが大きくなったと考えられる。
- 4) 天井の揺れが大きくなると、ブレースによる補剛効果が低下し、天井はより大きく揺れる。例えば、野縁受けと野縁を接続するクリップは野縁のみぞをすべるように移動し、野縁受けは材軸の直交方向にたわむことにより、補剛効果が低下する。この現象は、参考文献 1)における天井の振動実験において実際に観察されている。また、天井がかなり大きく揺れたことは、天井の東端部での S 造柱の仕上材の部分的な損傷状況などから明らかである。
- 5) 一方、西端部で一段天井高さが高くなった天井部分では、西端部で柱に直に接しているほか、吊りボルトが短い上に多数の斜めの補剛材（ブレース）が設置されており、

水平方向振動に対する剛性が非常に高い。天井高さが急変している位置でも補強用振れ止め（補剛材）のために高さの異なる天井が互いに高い剛性で接続されている。このため、天井が大きく揺れた際に当該接続部分近傍に局所的な力が作用した。

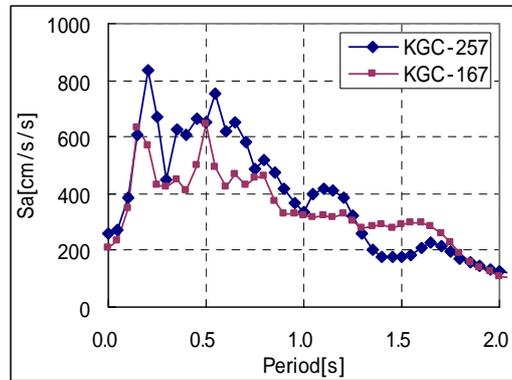
6) 5) の局所的な力により野縁受けと野縁との間（クリップ）で破壊が生じ、西側の天井高さ急変位置近傍を起点として天井落下が生じた。

【参考文献】

- 1) 西山ほか：芸予地震による体育館天井の落下被害の調査とその対策、日本建築学会技術報告集、第16号、pp.367-372



K-NET（鉋路市役所前）



建築研究所による観測（鉋路合同庁舎）

(凡例のEW、NSはそれぞれ東西、南北方向を、257、167はそれぞれ北から東回りに257°、167°の方向を表す。)

加速度応答スペクトル（ $h=0.05$ ）

吹抜け上部の天井が落下



外観



調査当日の屋根見上げ（仕上材を除去した後）

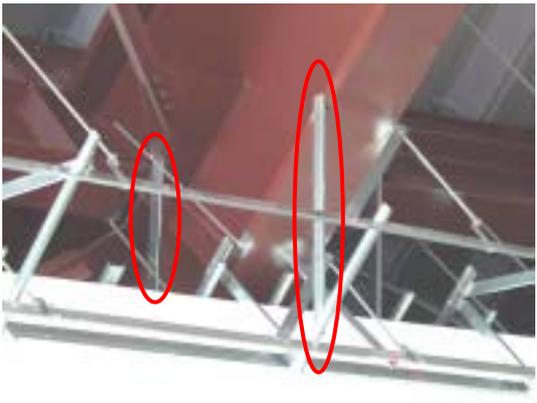


天井下地の構成（見本）



西側の折上げ部分

（南北方向には下に凸の曲面として設計されている。）



西側の折上げ部分の補剛材



西側の折上げ部分の補剛材



西側 天井と柱との取り付け部分



西側の照明（屋根面の小梁から吊り下げ）



東西方向には角形鋼管のブレース



東側 噴出し口破損

（地震時か、落下しなかった天井を地震後に除去した時か不明）



東側 噴出し口付近 見上げ



東側 噴出し口付近

幕板の接合：

S 造梁 - [溶接] - C チャンネル（鉛直方向の短い部材） - [クリップ] - 野縁 - [ビス] - 幕板 - [ビス] - 野縁 - （おそらく天井）



東側 噴出し口付近



東側 噴出し口付近



柱の仕上げにへこみ



東側 柱と天井との取り合い部分

吊りボルトと屋根面の梁との溶接部破断

(地震時か、落下しなかった天井を地震後に除去した時か不明)

(吊りボルト上部にインサートあり)



地震直後（調査当日の配布資料³より）



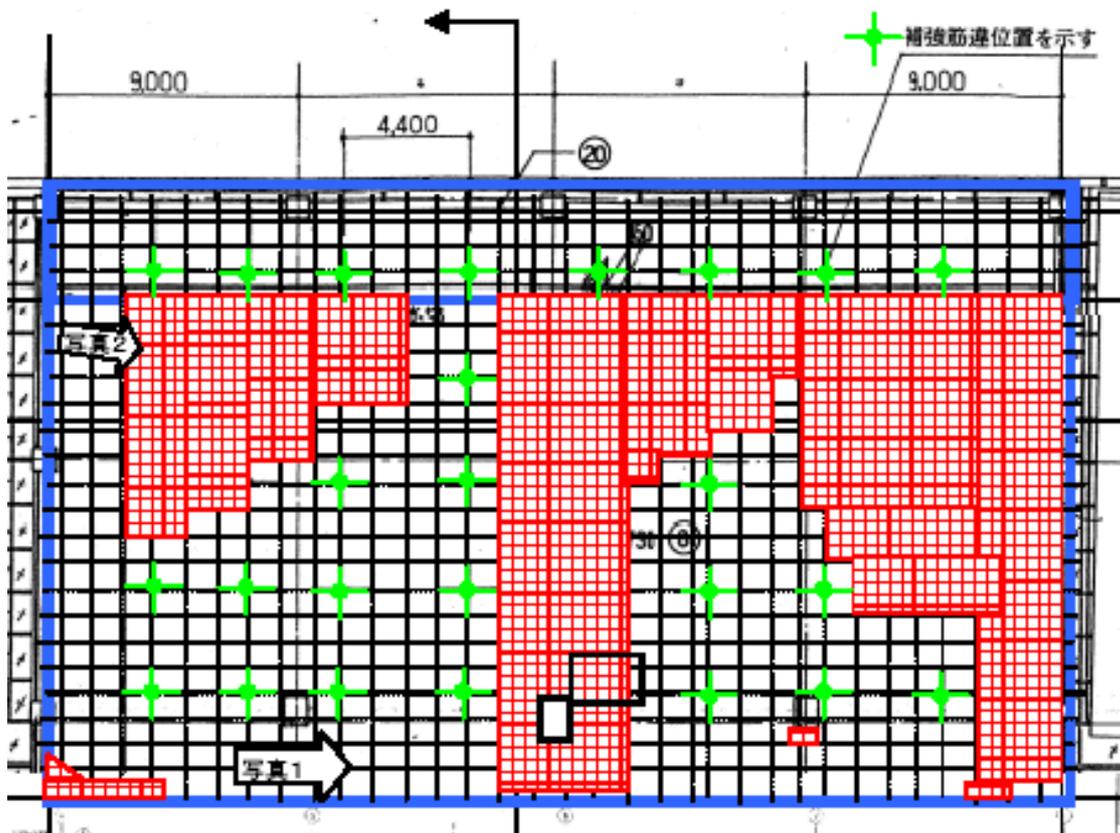
落下した天井



地震直後の西側の天井

（調査当日の配布資料³より）

3 釧路空港ビル株式会社提供



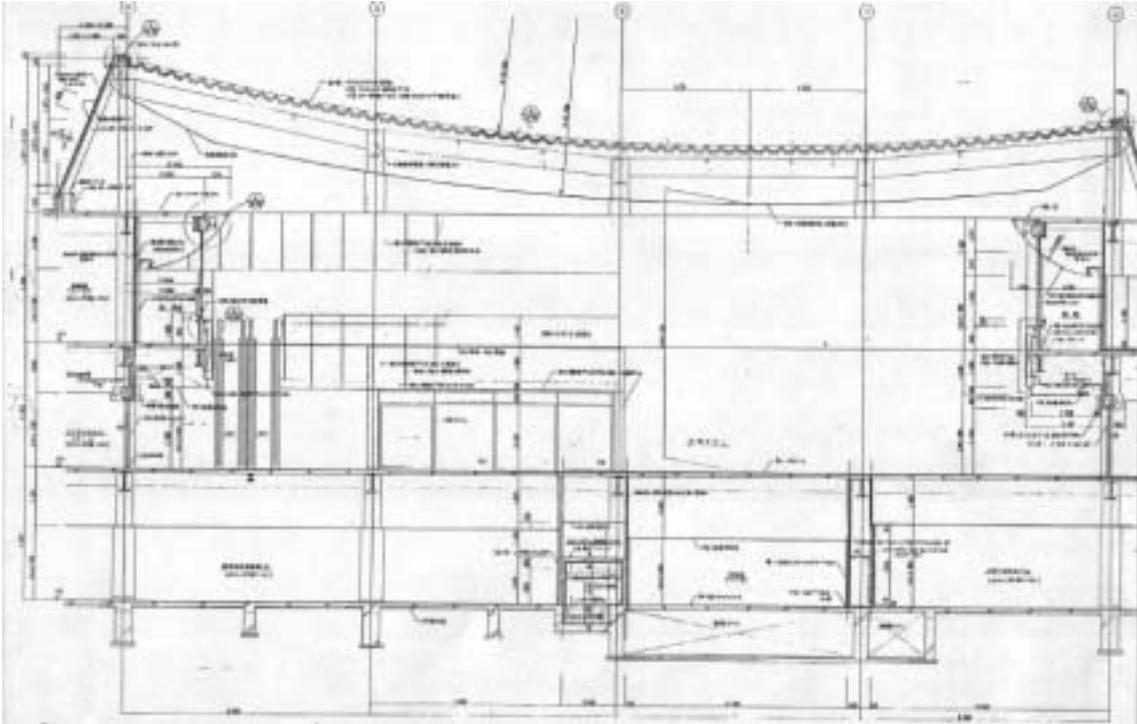
落下した天井の部分（赤色の網掛け部分。地震直後の写真を参考に作成。）
 （後日入手した資料³より）



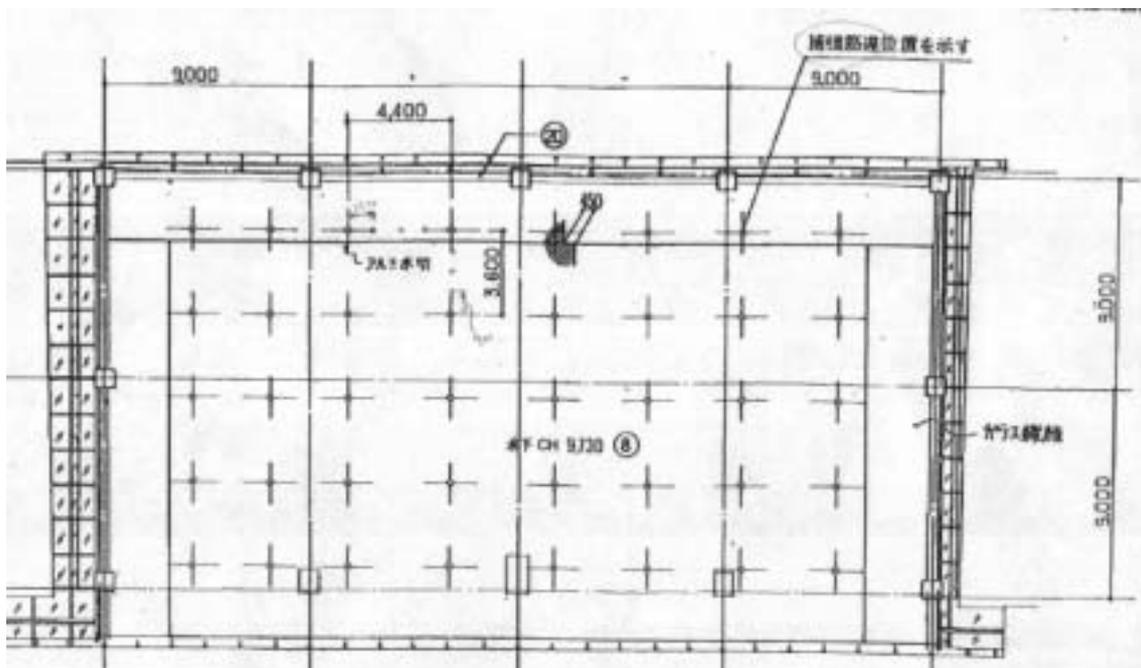
写真1（後日入手した資料³より）



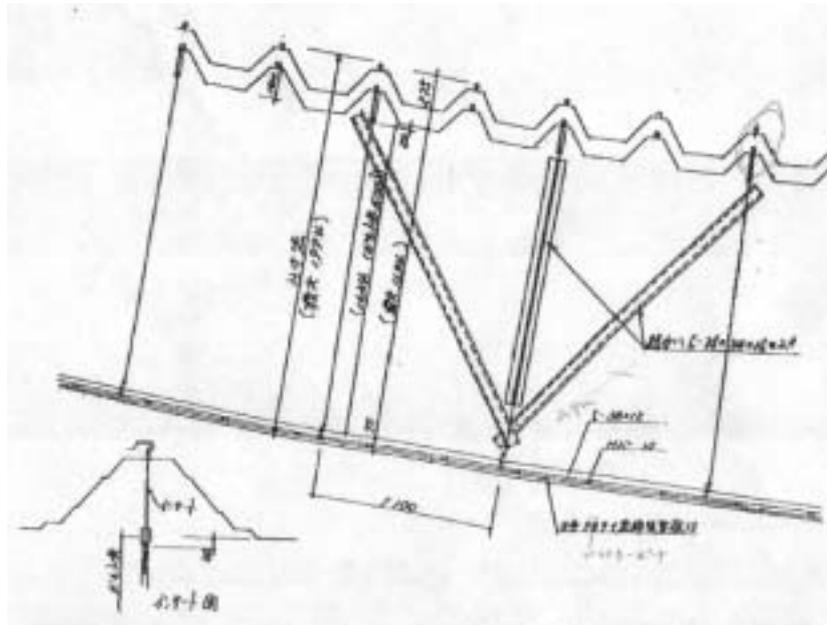
写真2（後日入手した資料³より）



南北方向断面図（調査当日の配布資料³より）



天井 補強筋違位置（調査当日の配布資料³より）



天井 補強筋違 詳細 (調査当日の配布資料 3より)

2. 釧路空港管制塔

(1) 構造概要等 (主に図面による)

平成8年に設計され、平成9年～10年に建設工事が行われた。竣工は平成10年11月30日である。

管制塔ビルは、RC造及びSRC造の混構造の低層部(3層)、低層部の中央上部に位置するSRC造の塔状の部分(2層、構造的には3層)及び最上部のS造のVFR室(管制室)よりなる、高さ29.55mの建築物(6階建)である。

<VFR室>

八角形の平面形状(対辺距離が床レベルで9.5m、屋根レベルで10.84m)である。八角形の各頂点位置にS柱(脚部はRC根巻き)が上部で外側に15度傾いて配置されており、軽量コンクリートの合成スラブ(デッキプレート丈を含めたスラブ全厚は100～150mm)の屋根をラーメン構造として支持している。VFR室部分の階高は4,050mmであり、局所震度1.0として耐震設計されている。なお、VFR室より下部のRC造あるいはSRC造部分は、重要度係数1.5とする耐震設計となっている。天井はJIS A 6517規格品による鋼製下地材を用いた在来工法であり、天井材はせっこうボード9mm厚+ロックウール吸音板12mm厚である。天井裏には50mm厚のグラスウールが敷き込まれている。吊りボルト長さは天井中央部では約800mmであり、天井周辺部では天井が傾斜して高くなっており、それに応じて吊りボルト長さが短くなっている。天井と周囲の構造体や窓との間には、過去に地震被害のあった他空港の経験を踏まえて50mmのクリアランスが設けられている。なお、天井中央には屋根上に通じる収納式アルミ製タラップがあり、タラップ周囲の枠材と天井との間にはクリアランスは設けられていない。

(2) 地震直後の被害状況

VFR室の天井全体(主に天井材及び野縁(一部、野縁受け))が落下した。

(3) 調査結果

地震直後のVFR室の損傷状況写真及び管制塔管理者からの説明より、地震直後に天井材は全て落下していたものと考えられる。落下した天井材は、管制塔ビル1階の車庫に保管されており、これより天井材はせっこうボード(ノギス計測によれば9.5mm厚)及びロックウール吸音板(12mm厚)であり、両者は接着剤とステーブルで留め付けられていた。また、落下物として軽量の照明器具も見られた。落下物には、一部野縁受け材が見られるものの、ほとんどは野縁と天井材であり、主として野縁受けと野縁との間のクリップが破壊したため天井材が落下したものと考えられる。また、野縁にはダブル野縁にネジが2列に配置されているものと1列のみのものが見られた。

VFR室部分は、比較的重量の大きい合成スラブの屋根をS造柱のラーメン構造で支える構造であるため、地震時にはかなり大きく揺れたものと考えられるが、壁面を構成するガ

ラスなどに目立った損傷は見られなかった。1本の柱の下部において化粧材の目地部に損傷が見られた。また、この柱と平面的に対称位置にある1本の柱の上部において金属製の回り縁にズレが生じていた。しかし、これらの損傷が地震時の揺れによるものか、天井落下時あるいは落下した天井の撤去時に生じたものかは、確定できない。

調査時点では管制業務に支障のないように、合成スラブの下面の耐火被覆材の落下を防ぐため、天井面全体に透明なビニールシートが張られていた。このため、ビニールシートの一部をカッターで切り、そこから天井裏の状況を観察した。

吊りボルトは約800mmの長さであり、八角形平面のため必ずしも正確にはグリッド状に配置されていないが、通常の在来工法同様、90cm程度のグリッドに相当する数の吊りボルトは配置されていた。吊りボルトには、斜めの補剛材（ブレース）は配置されていなかった。落下を免れた野縁受けや吊りボルトのハンガーに新たに木材を取り付け、その木材にビニールシートがステーブルで留め付けてあった。

天井と周囲の構造体との間には、クリアランスを50mmとっていたことが詳細図に示されていたが、天井材も野縁もないので実際の詳細を確認することはできなかった。なお、観察した範囲では、構造体に取り付けられている金物には天井との衝突の痕跡は見られなかった。

収納式アルミ製タラップ周囲の枠材と天井の野縁受け材とが隣接して設置されており、両者の間にはクリアランスは見られなかった。タラップ周囲に損傷は観察されなかった。管制塔管理者からの説明によれば、管制塔ビルのVFR室以外の損傷はほとんどなく、2階の事務室ではパソコンモニターの倒れ、デスク上の資料の崩れ程度であり、事務用のキャビネットなどの転倒もなかった。

（４）まとめ

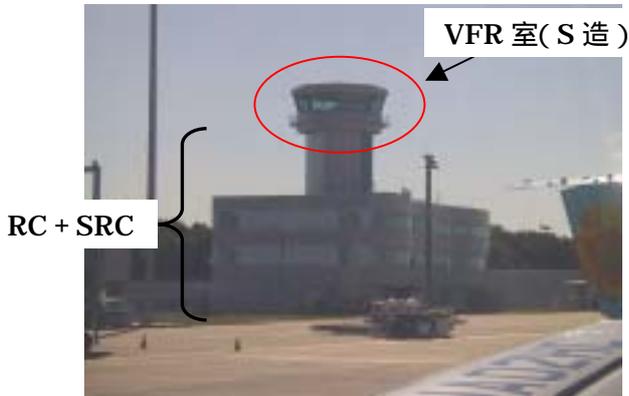
現時点では被害原因を特定することは困難であるが、VFR室部分の揺れが大きく、天井材が剛性の高い周囲の構造材あるいは収納式アルミ製タラップの枠材と衝突して落下した可能性が考えられる。

なお、これまでの地震被害経験によれば、体育館などの比較的天井面積の大きい在来工法による天井において落下が報告されており、この建物はその点では珍しいケースである。今後、次のような点について検討することが必要である。

構造計算図書（柱材の断面寸法や屋根重量）及び強震記録などを用いたVFR室の揺れの大きさに関する詳細な検討と推測

天井平面が異形であることによる野縁受けや野縁の配置状況

ダブル野縁やシングル野縁の使用区別



外観
 (耐火被覆の落下防止用のビニールを留めるため、木材を仮設している。)

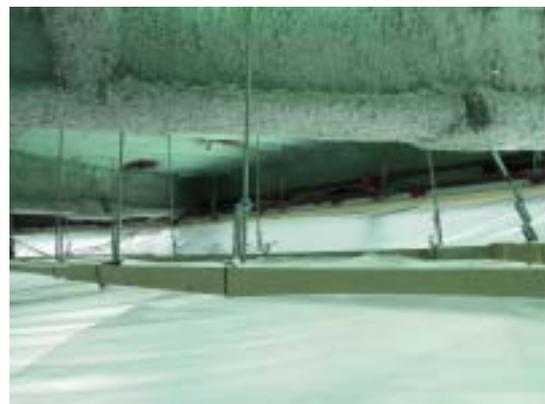


管制塔 天井見上げ



管制塔の天井

(耐火被覆の落下防止用のビニールを留めるため、通常の野縁受けの代わりに木材を使用している。)



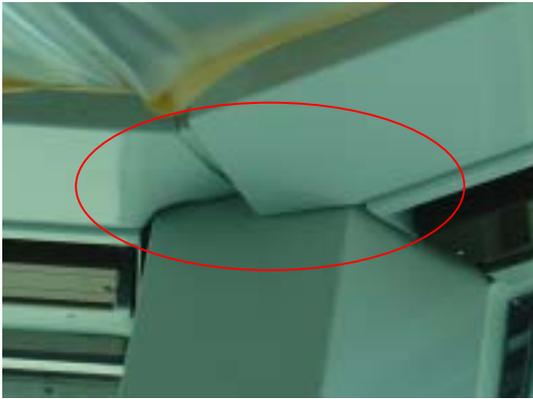
管制塔の天井



管制塔の柱の仕上げに傷あり



管制塔の柱脚部の化粧材の目地に損傷



柱頂部の天井のカバーのゆがみ



収納式アルミ製トラップ周囲



収納式アルミ製トラップ周囲



天井裏の周囲



保管されていた落下物



保管されていた落下物（照明）

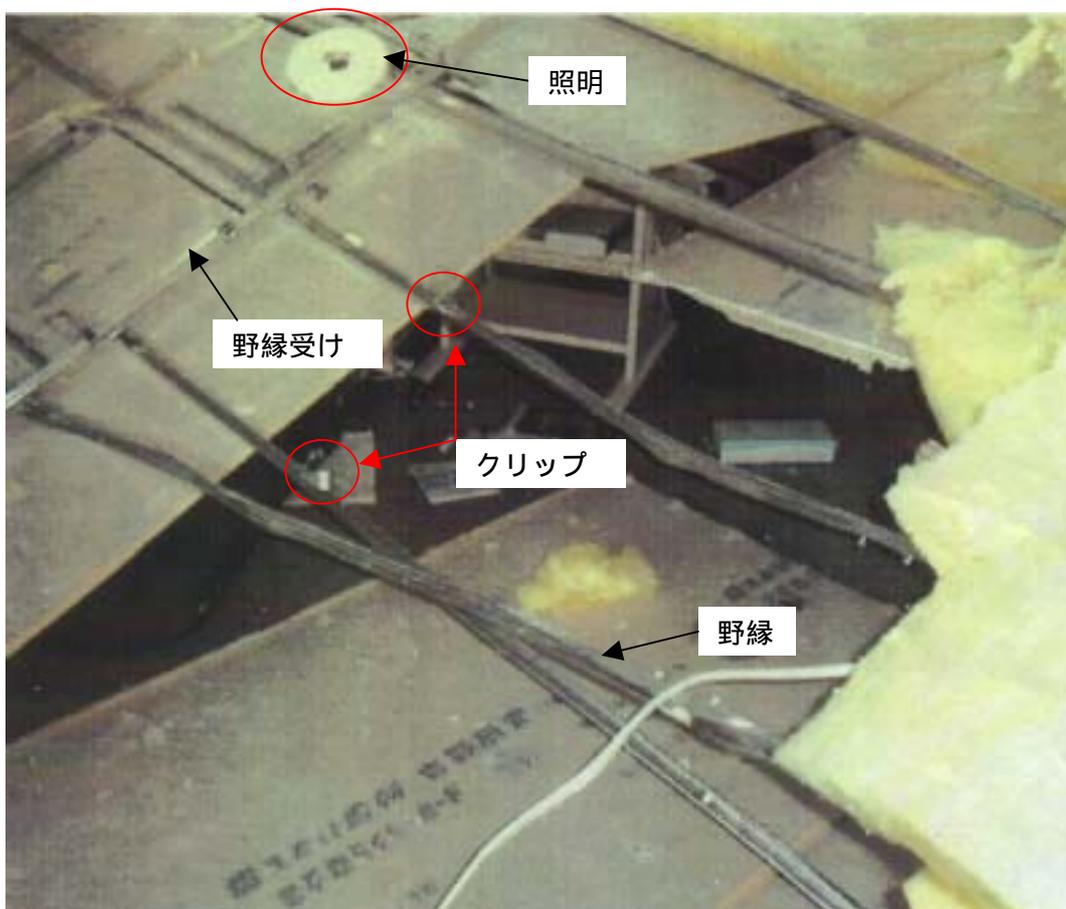


地震直後の天井（調査当日の配布資料 4より）



地震直後のVFR室（調査当日の配布資料 4より）

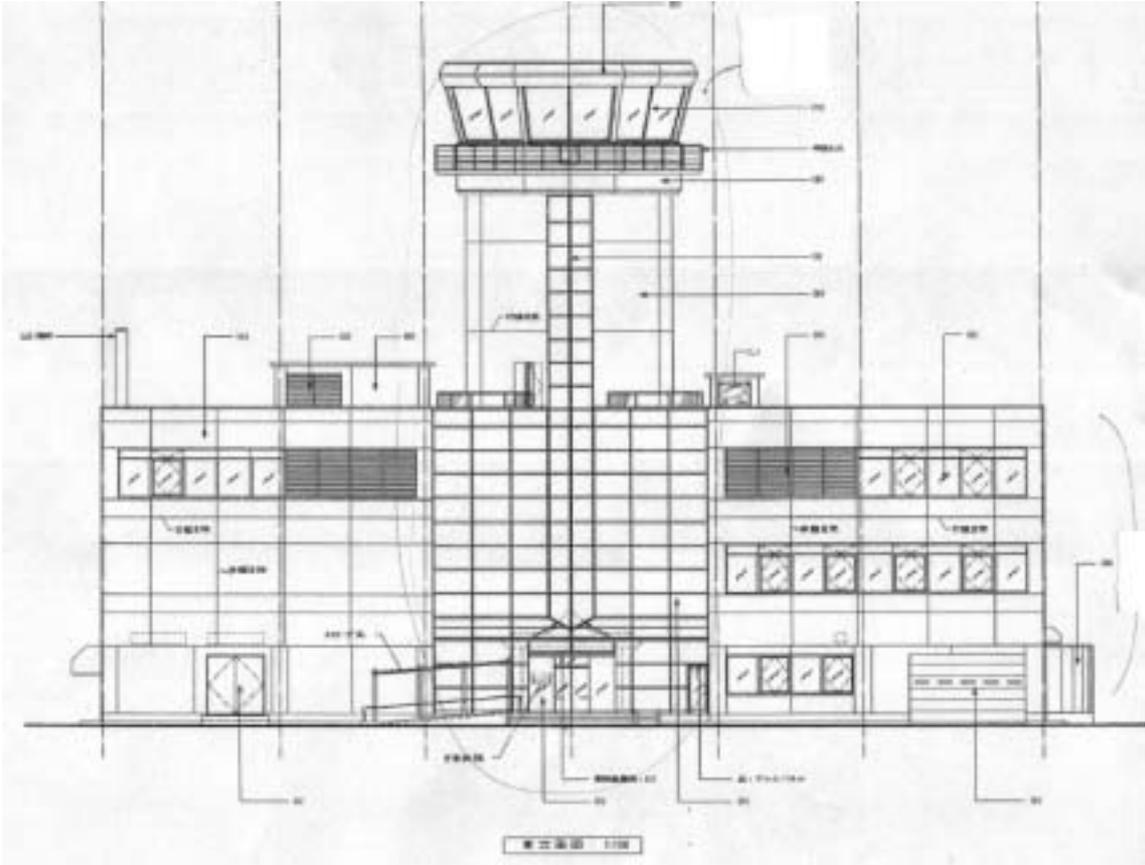
4 国土交通省航空局提供



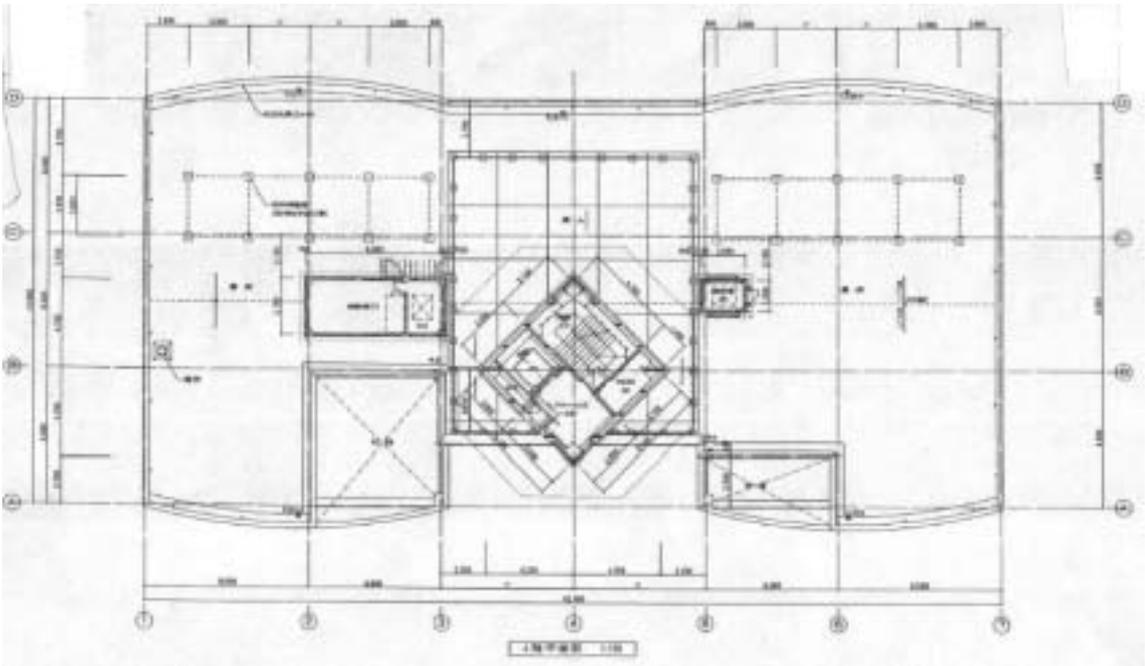
地震直後の落下した天井（調査当日の配布資料 4 より）



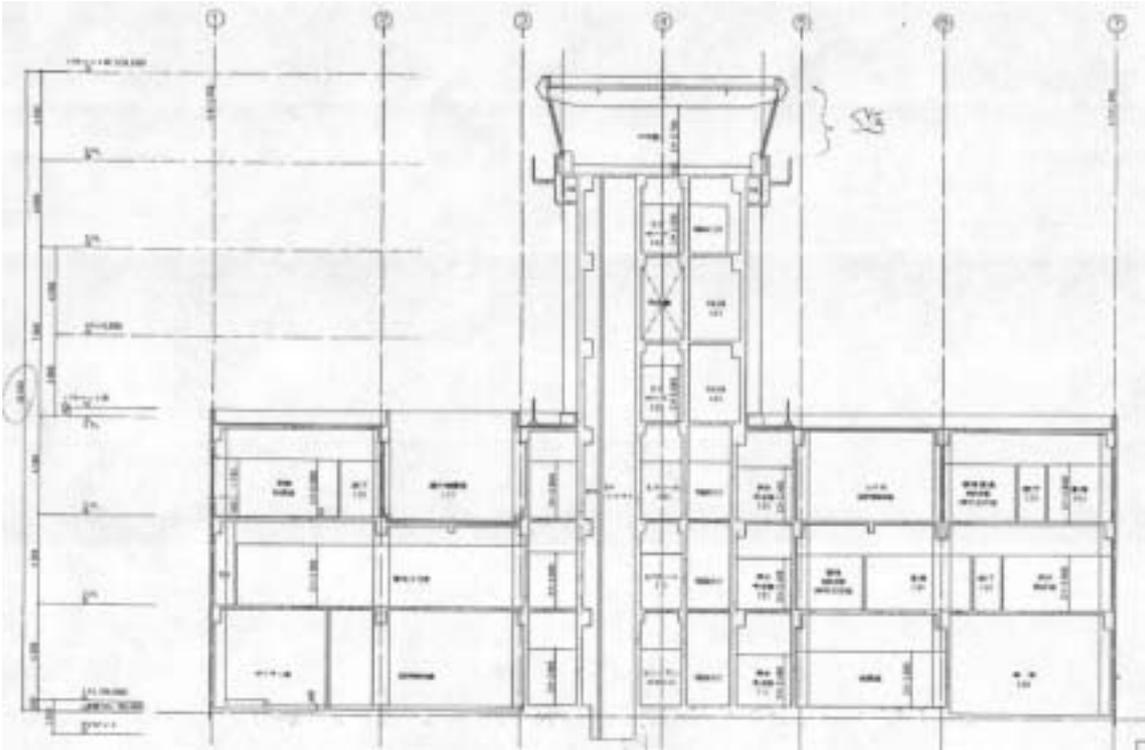
地震直後の落下した天井（後日入手した資料 4 より）



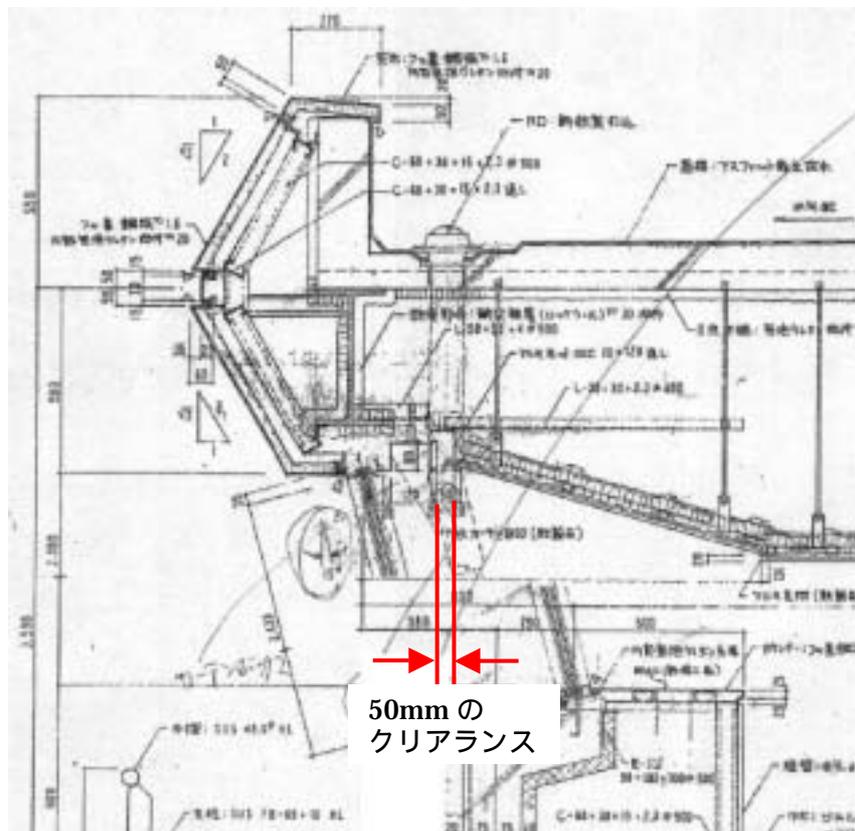
東立面図（調査当日の配布資料 4より）



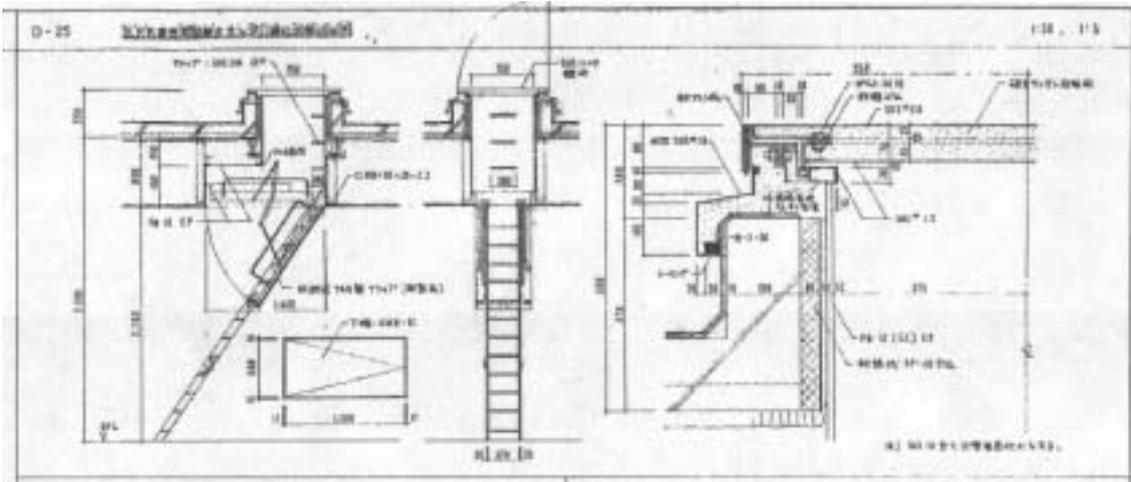
4階平面図（調査当日の配布資料 4より）



B 通り断面図 (調査当日の配布資料 4 より)



天井詳細 (調査当日の配布資料 4 より)



天井収納トラップ（調査当日の配布資料 4より）

3. スケートセンター

(1) 構造概要等

釧路市内にあるS造2階建の建築物である。

昭和46年12月25日にボーリング場として竣工し、昭和50年11月7日に増設及び大規模の模様替えによりスケートセンターに用途変更された。ボーリング場のときは1階が駐車場(ピロティ)で2階がボーリング場であり、現在は2階の床を撤去し、1階がスケートリンクで周囲の2階が観客席として利用されている。天井は68m×36mの大きさとなっている。

(2) 地震直後の被害状況

一部の天井が落下した。照明も1つ落下した。

(3) 調査結果

天井材は木毛セメント板であり、スケートセンターの入り口から見て、右手前側の一部の天井が落下していた。落下した天井には、野縁と野縁受けを接合するクリップも含まれていたとの説明があった。天井落下部分には、青色のシートと木材による押さえがビスで留め付けられていた。

落下していない天井部分には不陸が各所に見られた。これらの部分については、下より叩いて点検した上で、緩んでいる部分については補強がされていた。補強方法は、下より木材による押さえを当てて裏側の野縁に貫通する形でビス留めする方法が採られていた。このような補強箇所は、天井の数箇所で見られた。

スケートセンターの入り口から見て、右奥に天井裏の点検口があり、ここより天井裏を観察したところ、在来工法による天井であった。観察した範囲では吊りボルトには斜めの補剛材(ブレース)は設置されていなかった。野縁受け及び野縁や両者を接続するクリップなどは天井裏の断熱材のために十分に見ることはできなかった。部分的に鋼製の野縁の代わりに木材が使用されている部分やボーリング場時代のものと思われる天井材の上に木毛セメント板を重ねて張り付けた部分も見られた。

(4) まとめ

既存の天井に重ねて木毛セメント板を張り付けたと思われる部分もあることから、天井下地の強度に比べて天井材の重量が過大となった可能性がある。

落下しなかった天井については補強が行われているが、天井落下は主として野縁と野縁受けを接合するクリップの部分の破損により生じているものと考えられ、根本的な対策となっているとは考えにくい。そのため、緊急に点検が必要である。



天井落下部分（シート（青）と木材による押さえ）



天井裏



天井裏

調査結果のまとめ

平成 13 年 6 月 1 日付け国住指第 357 号により国土交通省住宅局建築指導課長より都道府県建築行政担当部長あてに通知された「芸予地震被害調査報告の送付について（技術的助言）」で述べられたもののほか、次のような特徴を有する天井にあっては、天井が大きく揺れた際に局所的な力が天井に作用し、天井材の脱落につながる可能性がある。

[特徴]段差のある部分が相互に接合され、かつ、一方の部分が構造骨組に比較的剛に取り付けられている天井

[局所的な力の作用する部分]段差のある部分の近傍

[特徴]タラップの枠材等の剛な部材が構造骨組に比較的剛に取り付けられ、かつ、十分な隙間もなく天井に囲まれるように当該部材が設けられている天井

[局所的な力の作用する部分] タラップの枠材等の剛な部材の近傍

上記 のような部分を含め、天井落下の起点となりうる部分での落下防止策の工夫が望まれる。なお、天井にブレースを設置して水平方向振動に対する剛性を高めた場合でも、天井が建物の振動に共振するとクリップのすべりなどが生じ変位が大きくなるので、天井周囲や柱周り等でのクリアランスの確保に当たっては、この点に注意する必要がある。

本報告は現時点までに早急に行ったものであり、必ずしも十分な技術的判断が行われていない部分もある。さらに現場から資料収集等が行われ、落下原因を特定するための詳細な検討をすることが必要である。

【謝辞】

本報告において、独立行政法人防災科学技術研究所により公開されている強震ネットワーク(K-NET)のデータを使用させて頂きました。関係各位に謝意を表します。