

10. 建築物の被害状況

10.1 建築物に関する被害の全体概要

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(Mjma)8.0の地震(2003年十勝沖地震)により、建築物にも被害を生じた。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を中心に建築物の被害について述べる。

10.2 調査の概要

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、被害状況の把握及び原因究明のための情報収集を目的として、平成15年10月1日(水)に釧路空港管制塔、空港ターミナルビル、スケートセンター(釧路市内)における天井の落下被害調査を、平成15年10月2日(木)に釧路市役所付近、A中学校、B邸、JR直別駅近辺における一般建築物の被害調査を実施した。

10.3 調査結果

10.3.1 天井の落下被害

(1) 空港ターミナルビル

(1-1) 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月である。

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/m²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 $T=2\pi\sqrt{L/g}$ 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。

(1-2) 地震直後の被害状況

吹抜け部分の天井 650m²(36m×18m)の内、約 1/2 に当たる約 300m²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。(写真 G10. 1、10. 1 及び 10. 2 参照)

(1-3) 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。

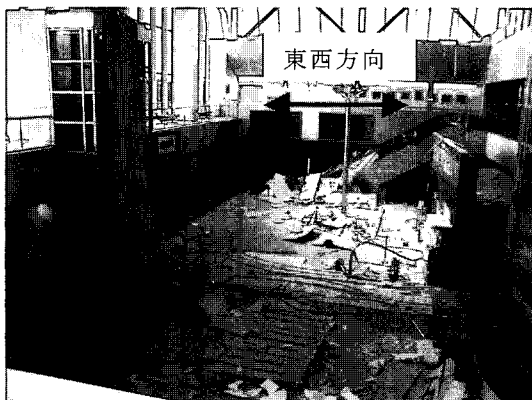


写真 10.1 落下した天井



写真 10.2 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



写真 10.3 外観

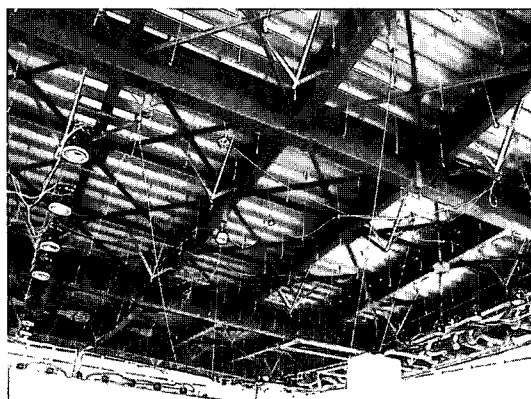


写真 10.4 調査当日の屋根見上げ
(仕上材を除去した後)

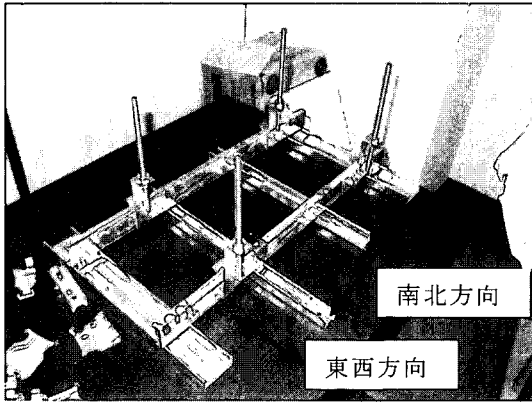


写真 10.5 天井下地の構成 (見本)

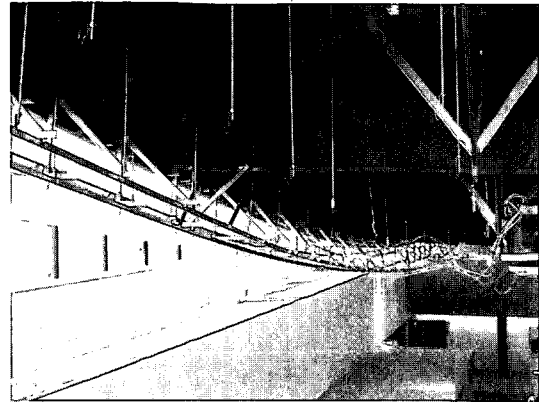


写真 10.6 西側の折上げ部分

(南北方向には下に凸の曲面として設計されている。)

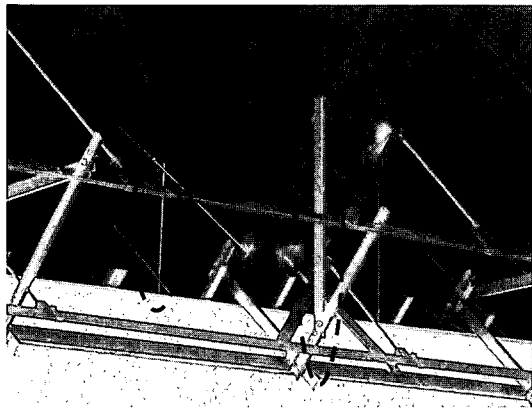


写真 10.7 西側の折上げ部分の補剛材

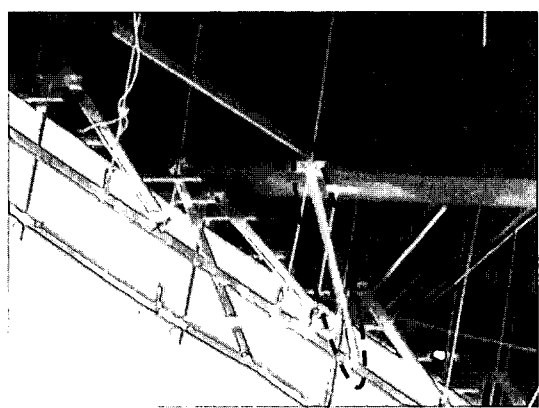


写真 10.8 西側の折上げ部分の補剛材

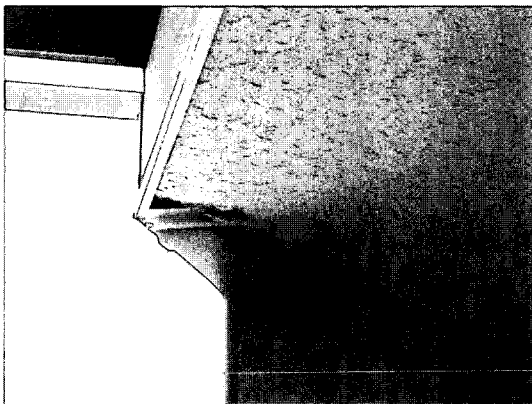


写真 10.9 西側

(天井と柱との取り合い部分)

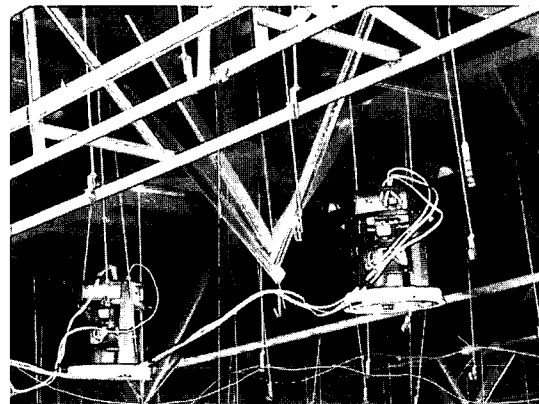


写真 10.10 西側の照明

(屋根面の小梁から吊り下げ)

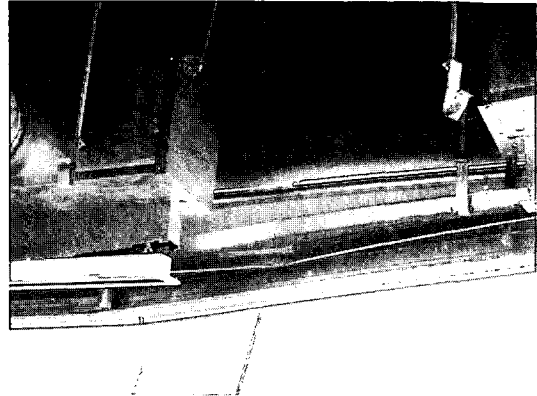


写真 10.11 東西方向には角形鋼管のブレース 写真 10.12 東側 噴出し口破損
 (地震時か、落下しなかった天井を地震後に除去した時か不明)

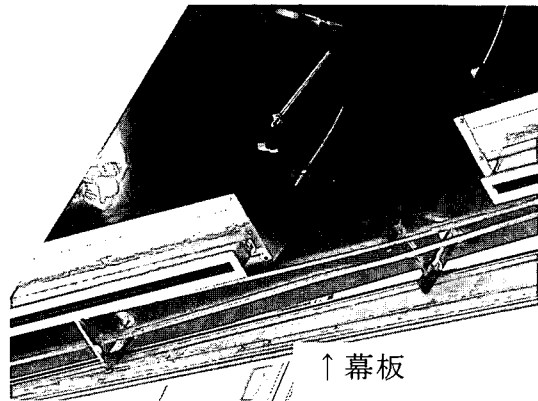
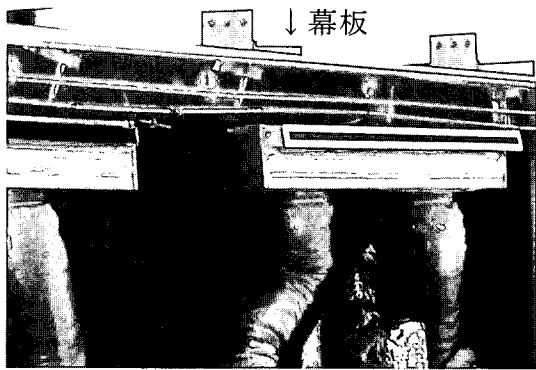


写真 10.13 東側 噴出し口付近 見上げ 写真 10.14 東側 噴出し口付近

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）

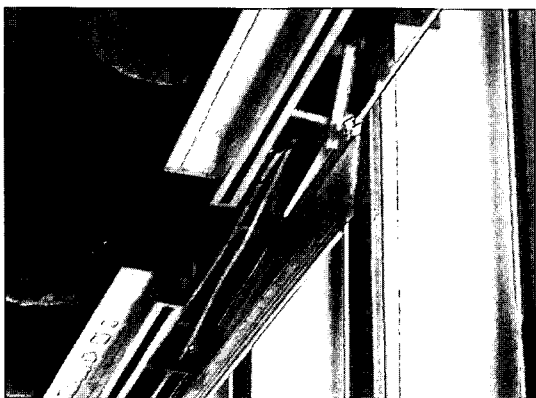


写真 10.15 東側 噴出し口付近 写真 10.16 東側 噴出し口付近

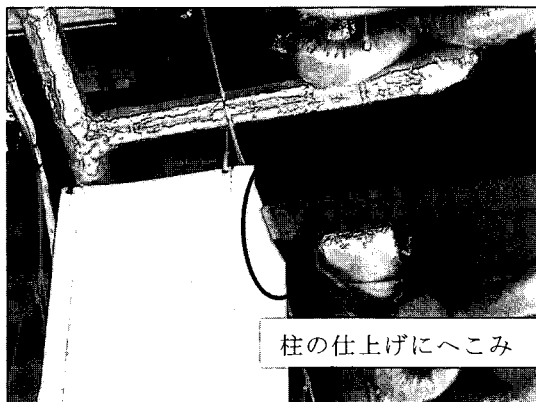


写真 10.17 東側 (柱と天井との取り合い部分)

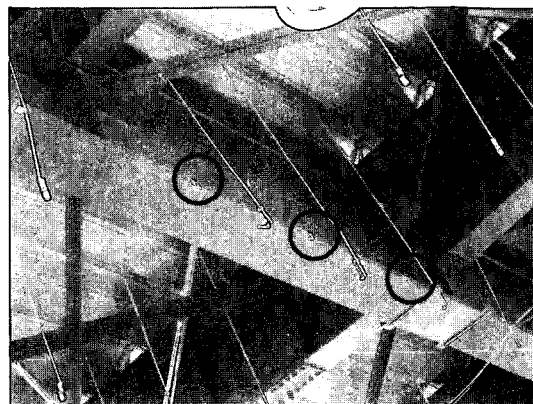


写真 10.18 吊りボルトと屋根面の梁との溶接部破断

(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)

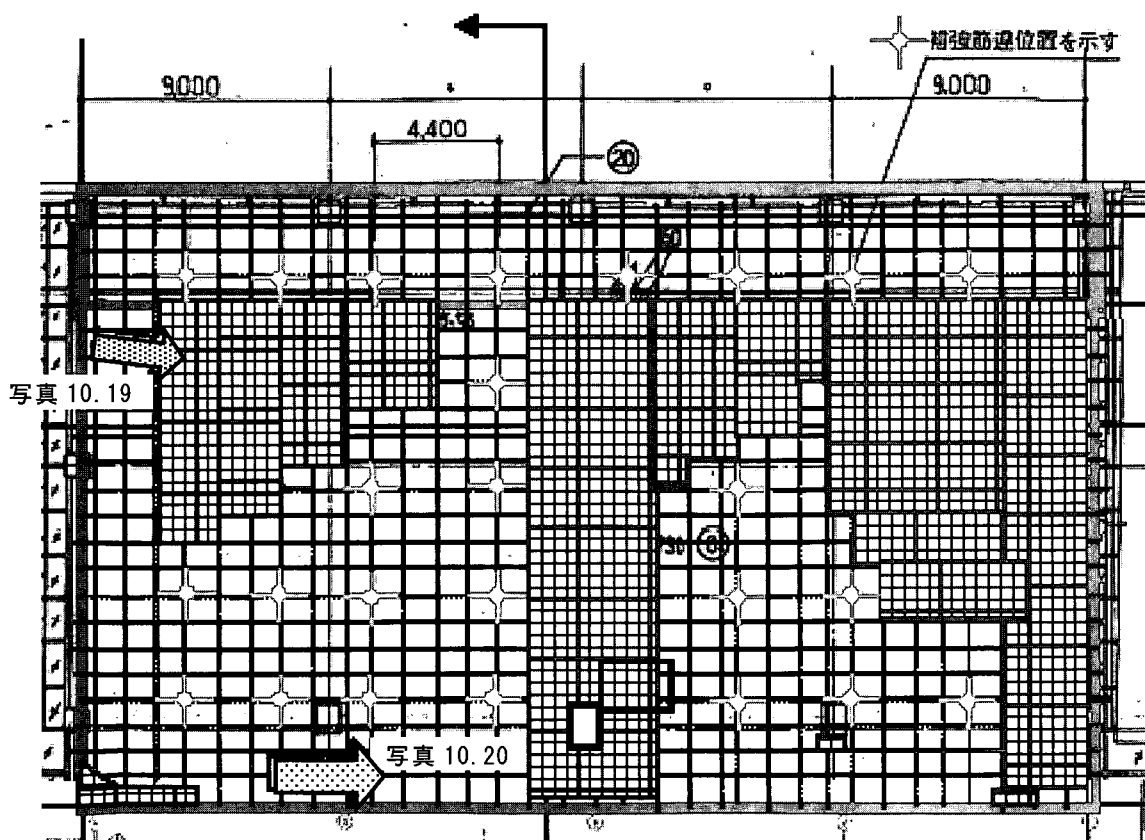


図 10.1 落下した天井の部分 (網掛け部分。地震直後の写真を参考に作成。)

(後日入手した資料^{*3}より)

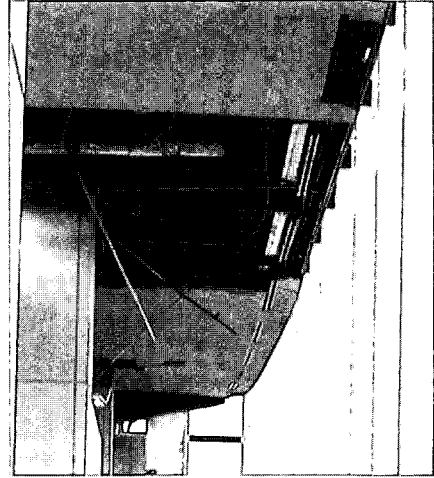
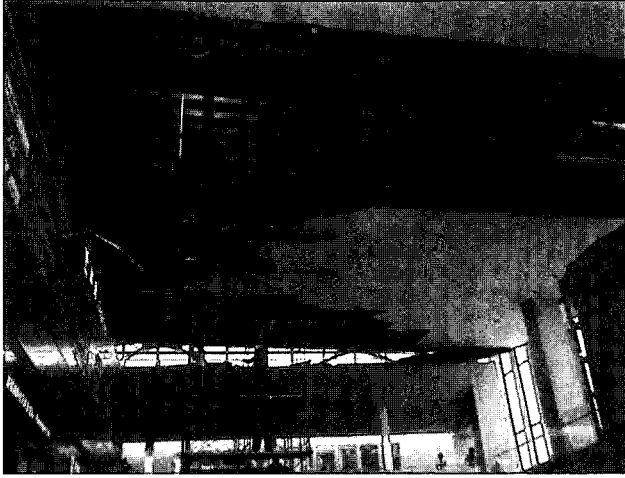


写真 10.19 (後日入手した資料^{※3}より)

写真 10.20(後日入手した資料^{※3}より)

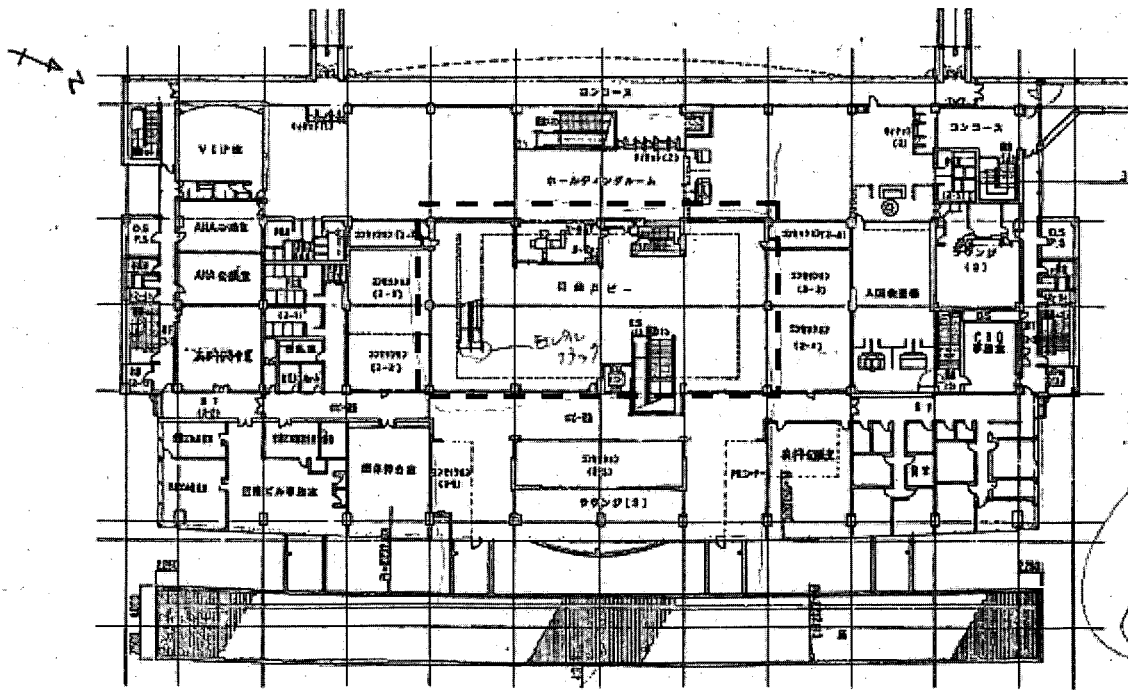


図 10.2 2階平面図 (調査当日の配布資料^{※3}より)

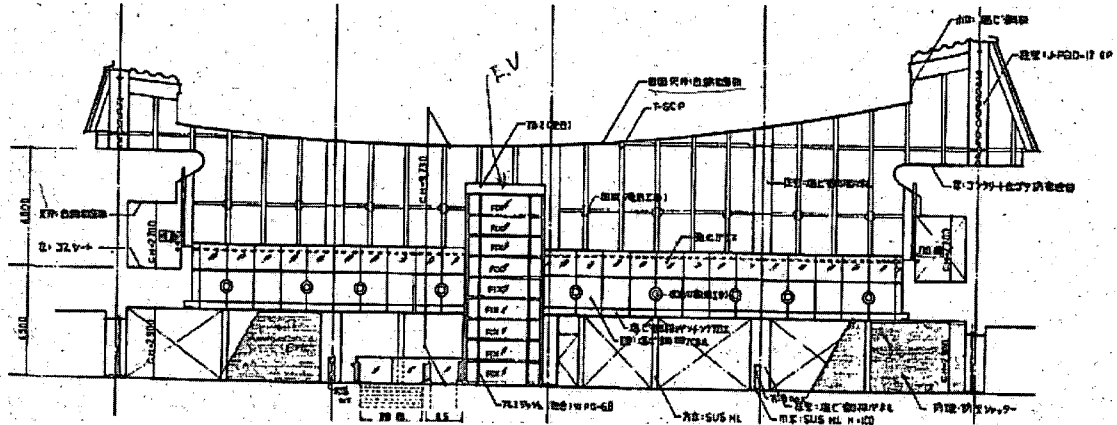


図 10.3 南北方向断面図（調査当日の配布資料※3より）

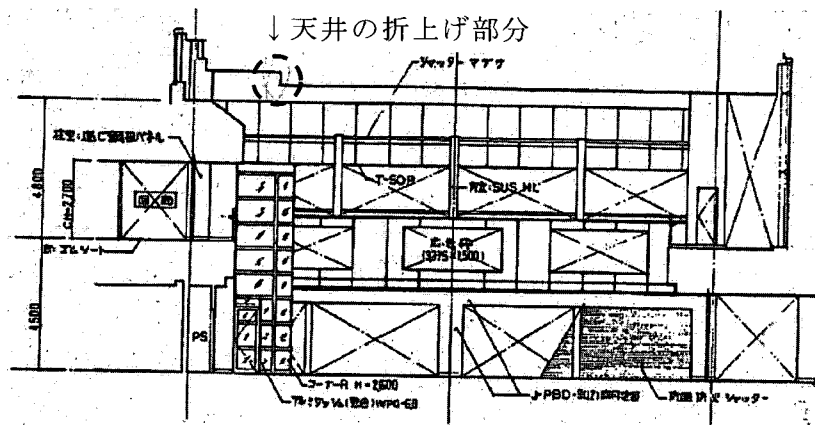


図 10.4 東西方向断面図（調査当日の配布資料※3より）

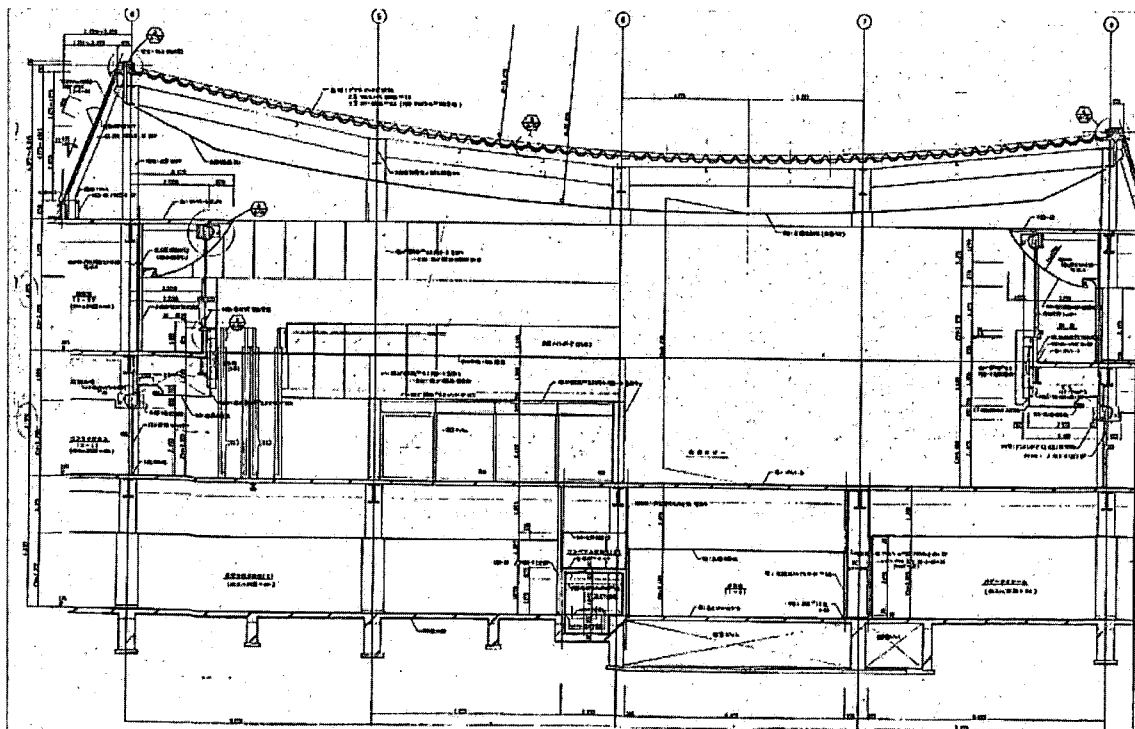


図 10.5 南北方向断面図（調査当日の配布資料※3より）

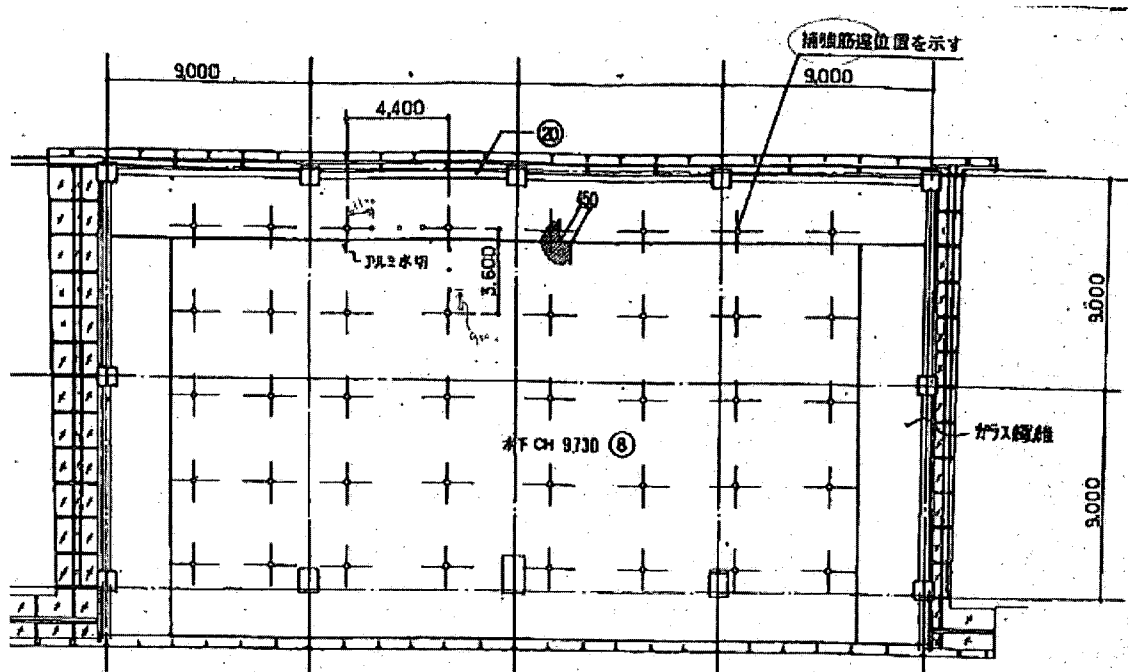


図 10.6 天井 補強筋違位置 (調査当日の配布資料^{※3}より)

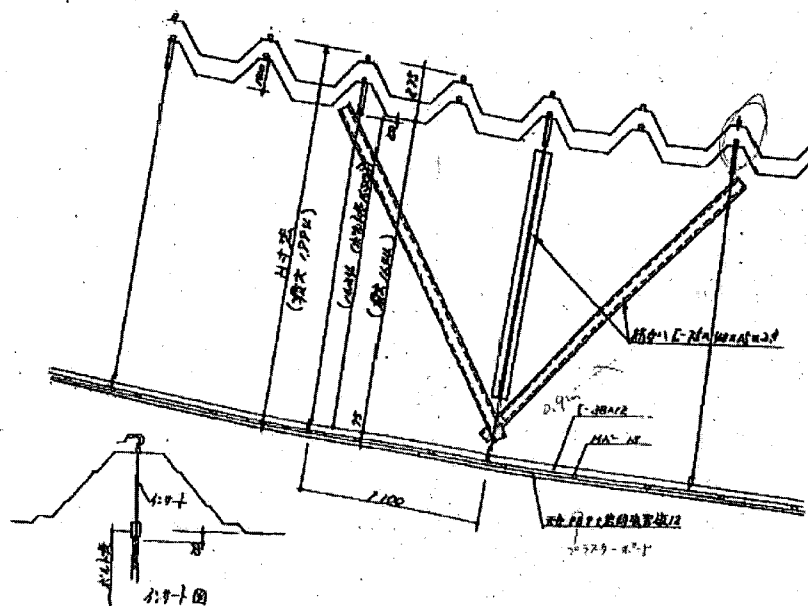


図 10.7 天井 補強筋違 詳細 (調査当日の配布資料^{※3}より)

(2) 釧路空港管制塔

(2-1) 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。

以下、VFR 室について述べる。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 4,050 mm 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、それに伴っ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。

(2-2) 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。(写真 G10.2、10.21、10.22 及び 10.23 参照)

(2-3) 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プ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プ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。

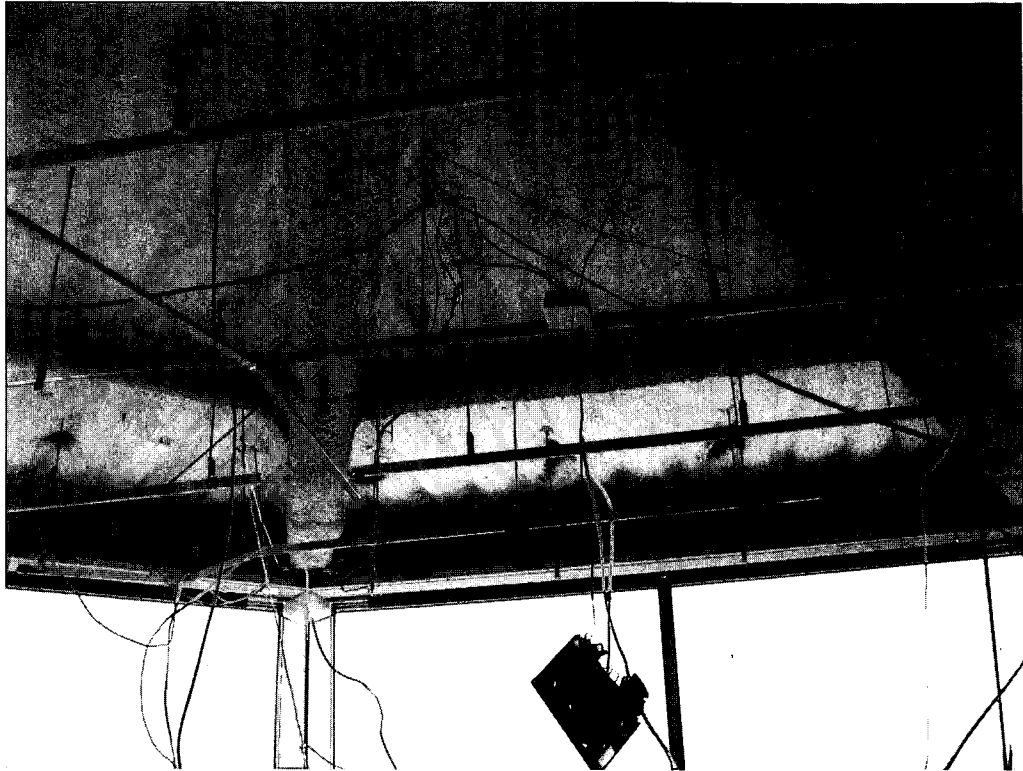


写真 10.21 地震直後の天井（調査当日の配布資料※4より）

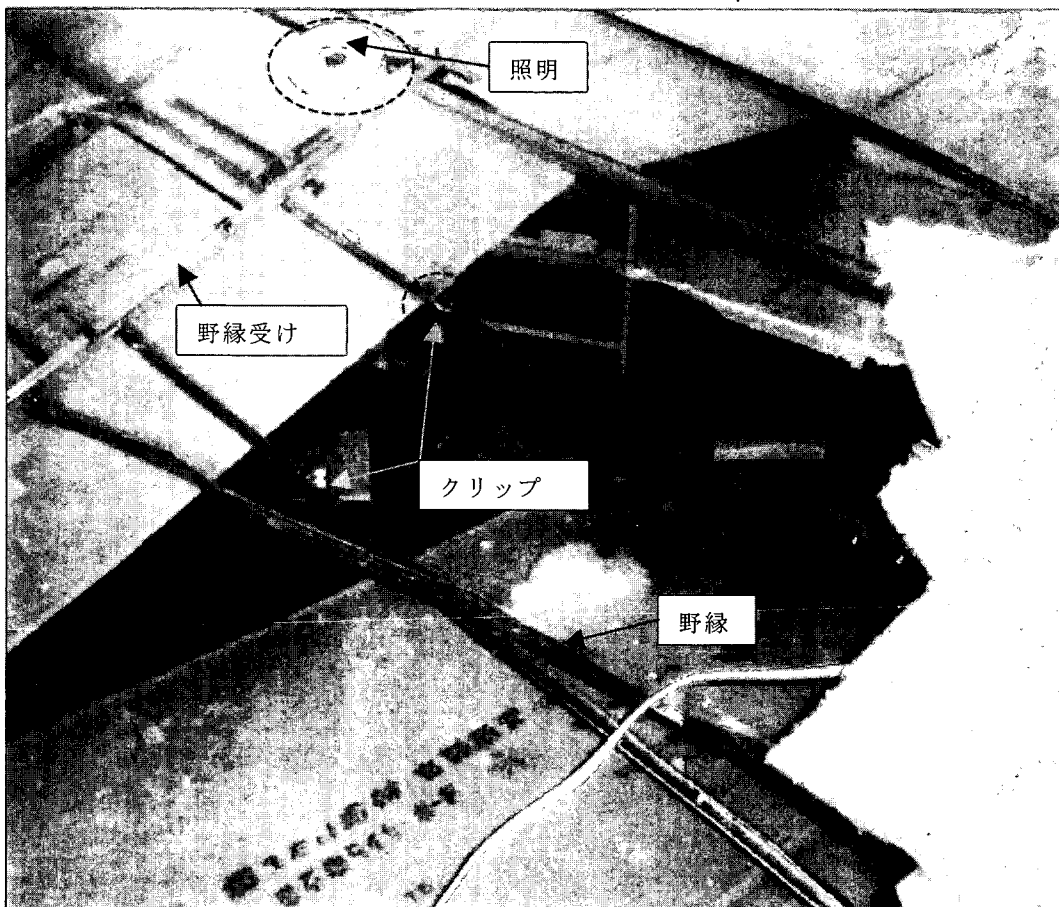


写真 10.22 地震直後の落下した天井（調査当日の配布資料※4より）

※4 国土交通省航空局提供

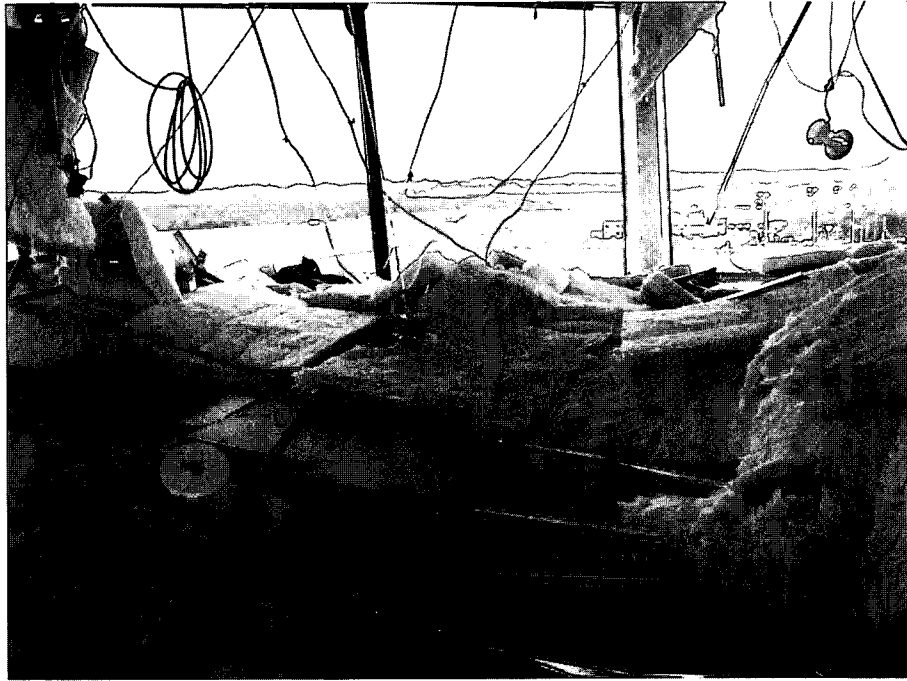


写真 10.23 地震直後の落下した天井（後日入手した資料^{※4}より）

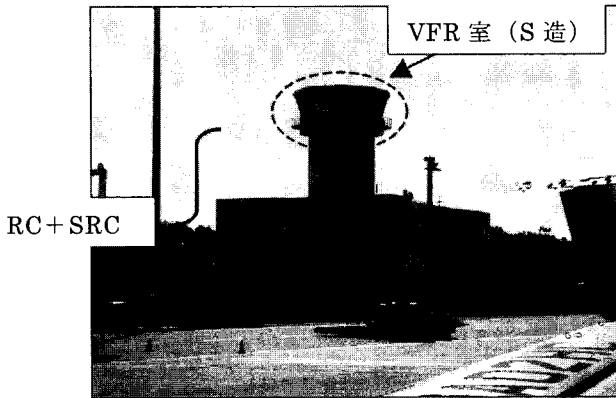


写真 10.24 外観

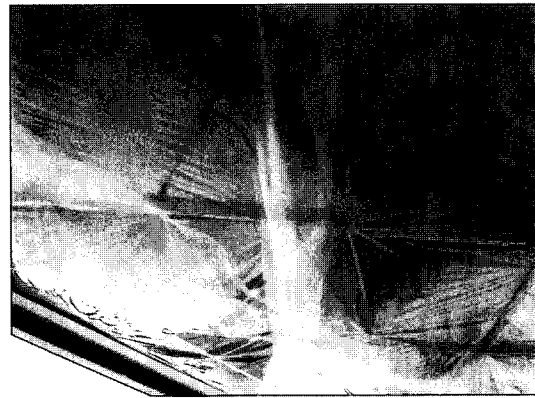


写真 10.25 管制塔 天井見上げ

（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。）



野縁受け (鋼製)

写真 10.26 管制塔の天井

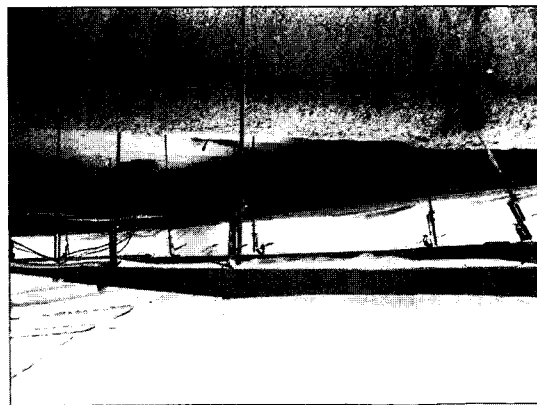


写真 10.27 管制塔の天井

（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。）

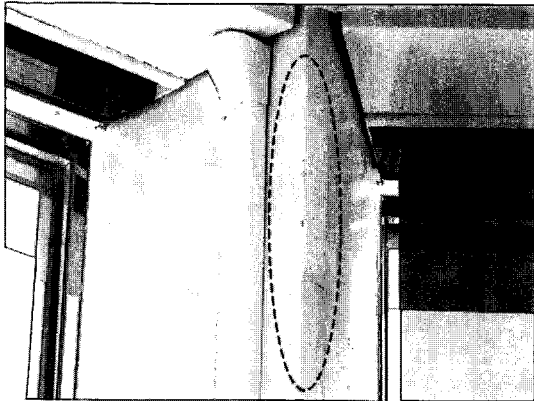


写真 10.28 管制塔の柱の仕上げに傷あり

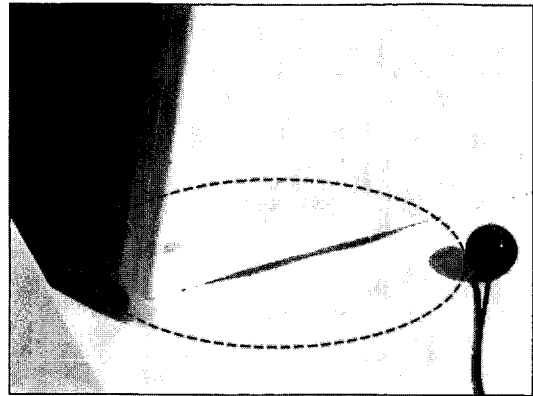


写真 10.29 管制塔の柱脚部の化粧材の目地に損傷

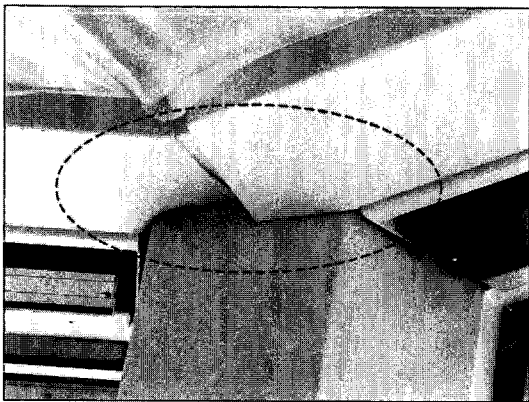


写真 10.30 柱頂部の天井のカバーのゆがみ

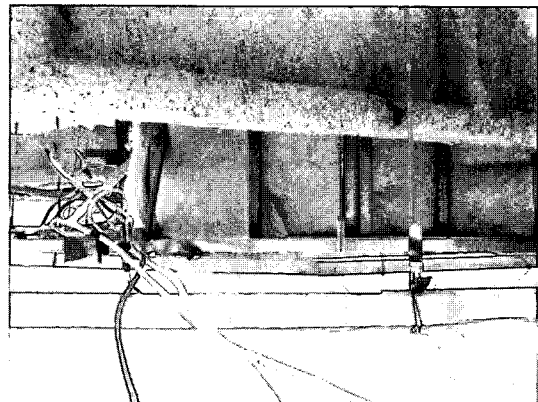


写真 10.31 収納式アルミ製タラップ

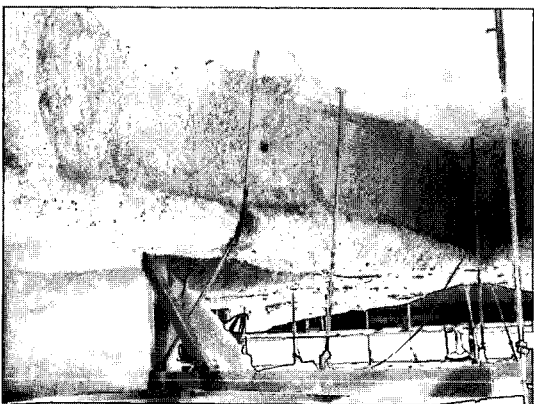


写真 10.32 収納式アルミ製タラップ周囲



写真 10.33 天井裏の周囲

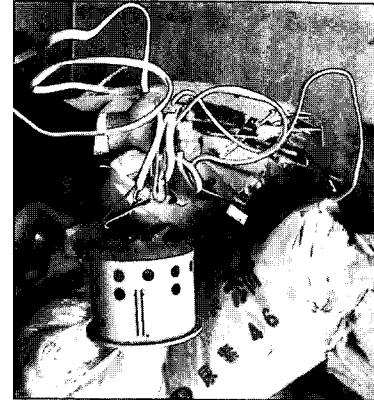
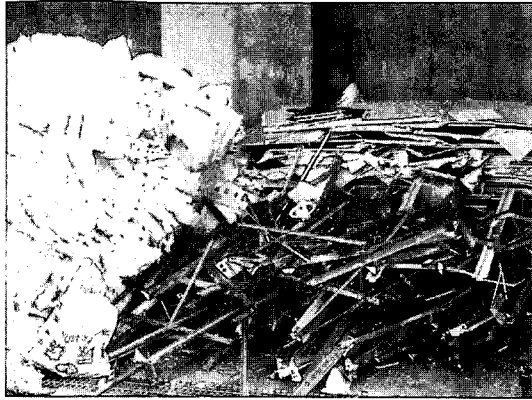


写真 10.34 保管されていた落下物

写真 10.35 保管されていた落下物（照明）

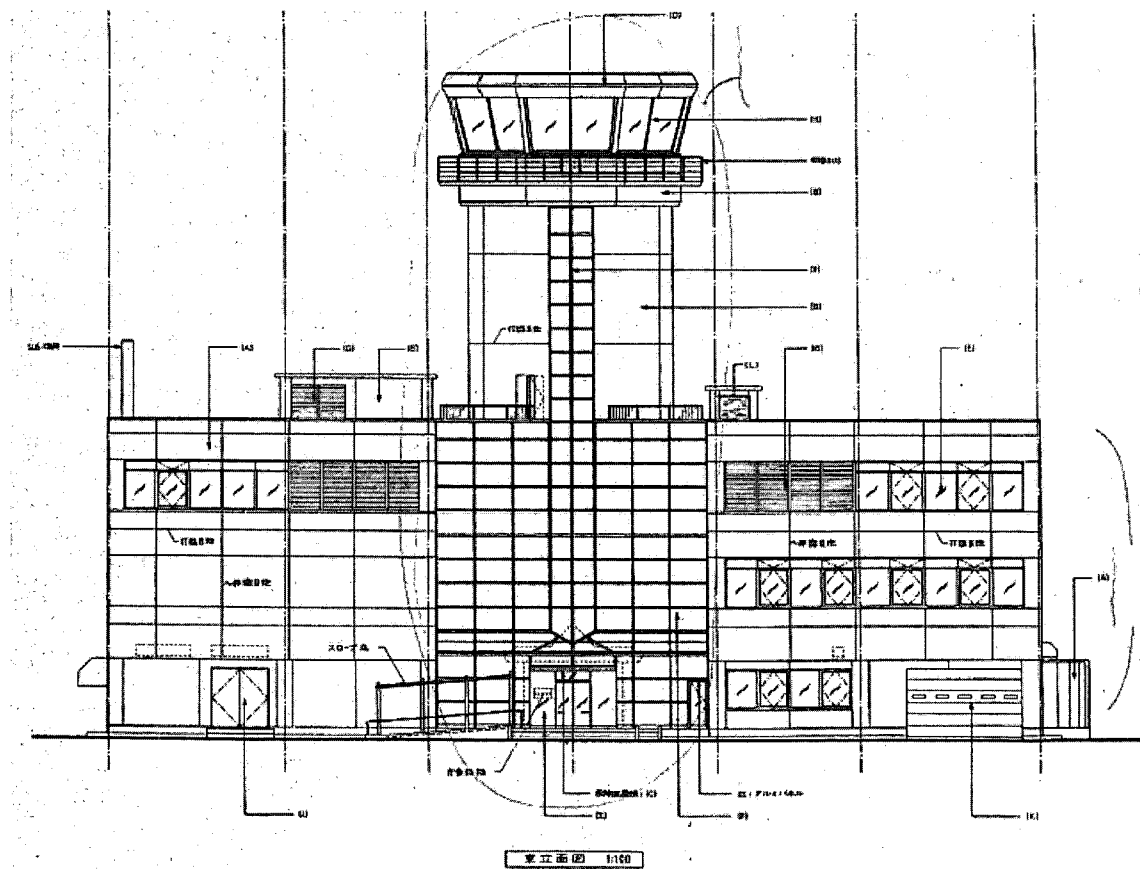


図 10.8 東立面図（調査当日の配布資料※4 より）

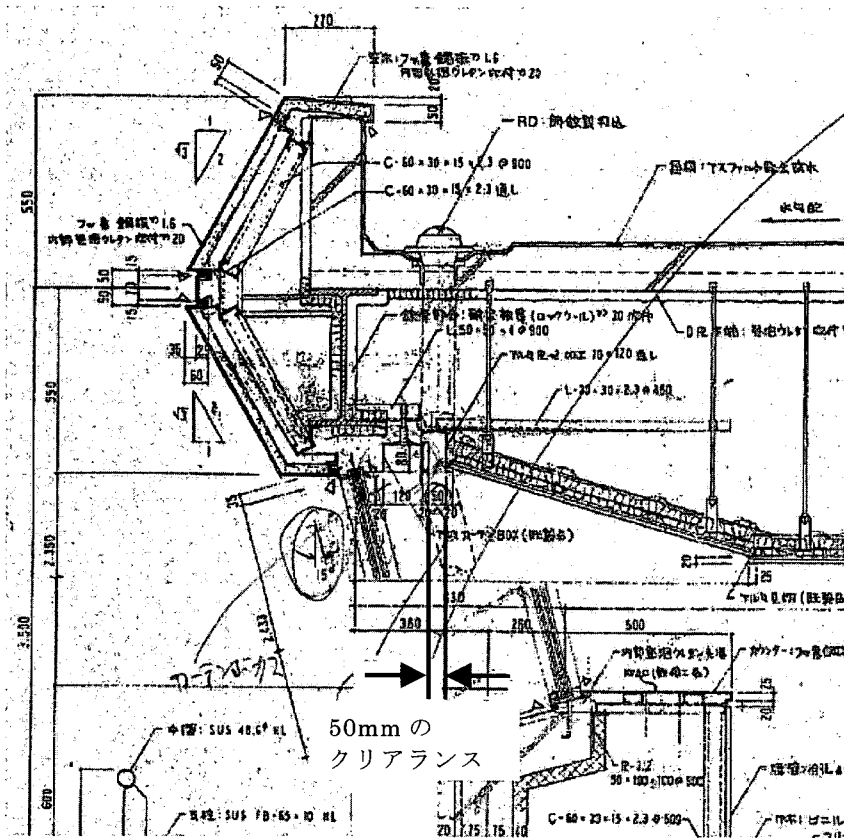


図 10.11 天井詳細 (調査当日の配布資料※4 より)

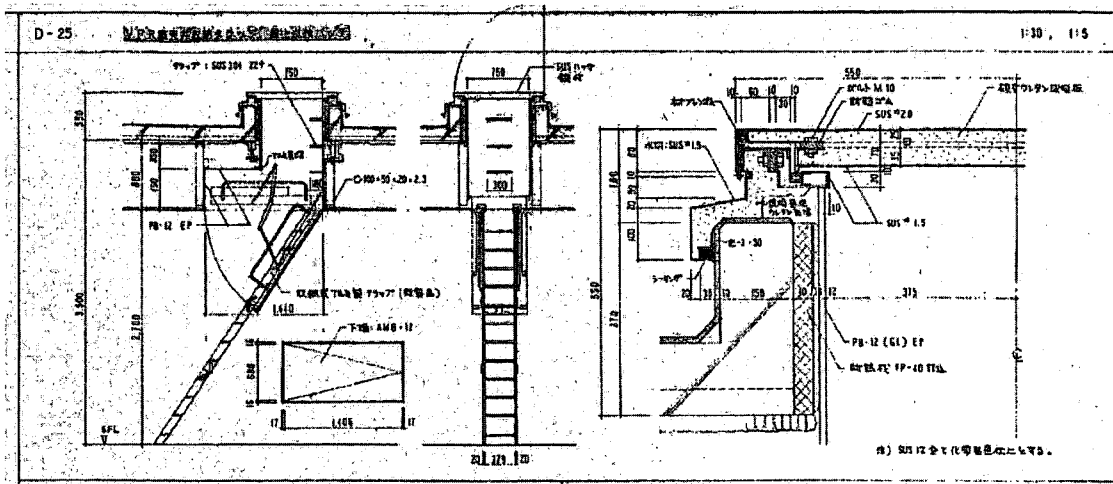


図 10.12 天井収納タラップ (調査当日の配布資料※4 より)

(3) スケートセンター

(3-1) 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様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。

(3-2) 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。

(3-3) 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、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。

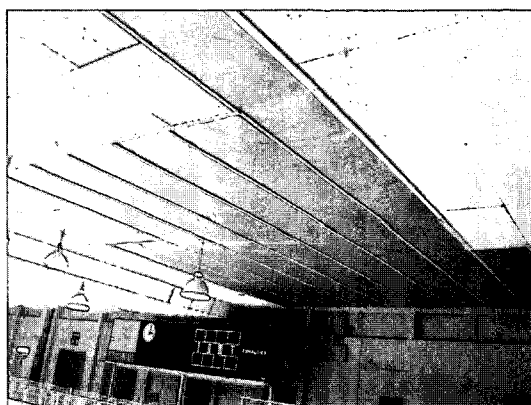


写真 10.36 天井落下部分（シートと木材による押さえ）



写真 10.37 天井裏

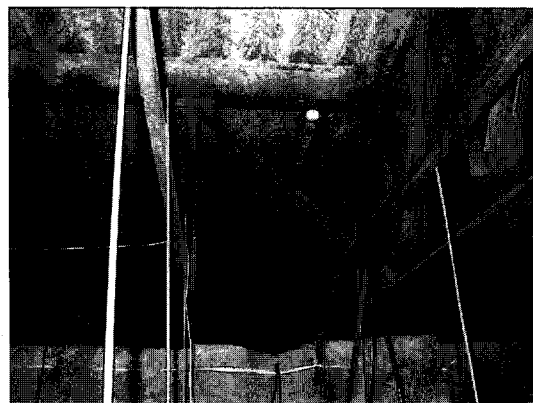


写真 10.38 天井裏

10.3.2 一般建築物等の被害

(1) 釧路市役所付近

釧路市役所の前庭の K-NET 強震計の設置状況を確認した。付近の建物には、地震による損傷はほとんど見られなかった。釧路市役所には外壁に部分的なひび割れが見られたが、今回の地震によるものかどうかは確認できなかった。釧路市役所の方より、庁舎5階では高さ 90cm のキャビネットを 2 段重ねにしたもののうち上のキャビネットが落下したほか、キャビネットが水平に 30cm 程度移動したとの話を伺った。なお、釧路市役所は、釧路川から約 300m に位置している。

その後、Cビル及びDビル（いずれも釧路川から約 100m）の各建物の周辺地盤の沈下状況を調査した。Cビルでは、敷地内の建物周囲の地盤沈下は最大で 30cm 程度であったが、建物周囲の歩道での沈下はそれほど大きくなかった。また、これらの建物に接する各方向の道路では、歩道に少々の凹凸が見られる程度で、沈下による被害はほとんどなかった。このあたりは釧路市の中心部で液状化が比較的激しい場所として案内されたところであり、市中心部での液状化はそれほど大きくなかったものと推察される。

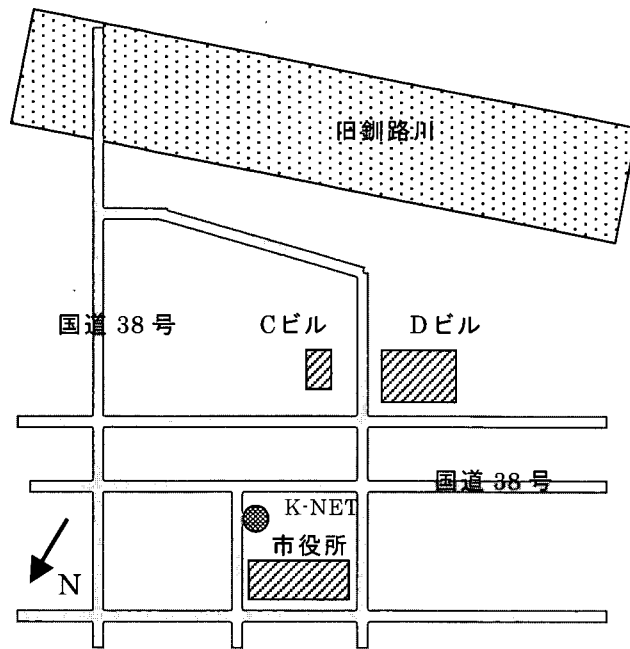


図 10.13 釧路市役所近辺

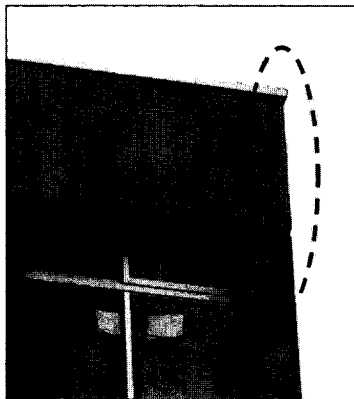


写真 10.39 釧路市役所 外壁のひび

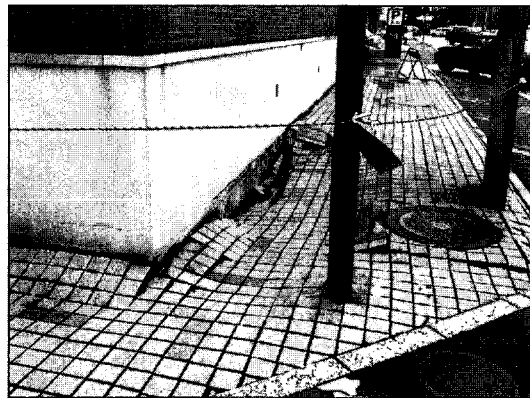


写真 10.40 Cビル周囲の沈下



写真 10.41 Cビル周囲の沈下



写真 10.42 Dビルの周囲

(2) A 中学校

昭和 27～29 年にかけて建設された RC 造 3 階建（一部、S 造）で、コ字型の平面を有する中学校である。コ字型の各ウイングに相当する部分を繋ぐ部分（5 スパン）の 3 階部分のみが S 造となっており、残りの部分は全て RC 造である。同行者らより、次の 2 点の説明があった。

- ・コ字型平面の内、南側のウイング部分と残りの L 字型部分との間はエキスパンションで構造的に分離されている。
- ・第一期工事として、北側のウイング部分及び南北ウイングを繋ぐ部分の 1 スパン部分のみが先行して建設され、残りの部分（4 スパン）が第二期工事として建設された。

被害状況は、第一期と第二期の接続部分の梁端部およびスラブ端部が大きく開いていた。これらの部分の鉄筋が破断したのか、抜けたのかなどは確認できなかった。現地調査の時点では、落階などへの応急措置として各種サポートにより第二期工事部分の端部が支持されていた。

南北ウイングを繋ぐ部分は、一端はエキスパンションであるのに対して、他端は第一期工事部分と打継ぎされており、両ウイングを繋ぐ部分が地震により東西方向に揺らされた結果、打継ぎ部分に大きな力が作用して破壊したと考えられる。

調査当日は、両ウイングを繋ぐ部分は 1 階から 3 階まですべて立ち入り禁止とされ、前述の応急措置としてのサポートによる補強の後、内部の荷物が搬出されていた。なお、本中学校は平成 16 年 3 月をもって統廃合のため使用が中止されることとなっている。

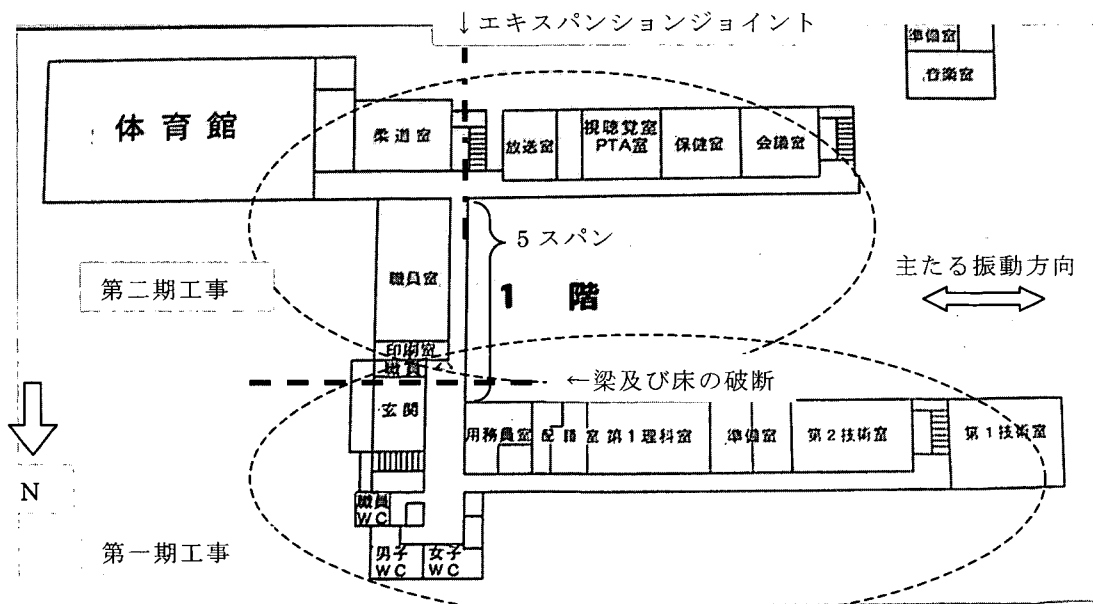


図 10.14 1 階平面図

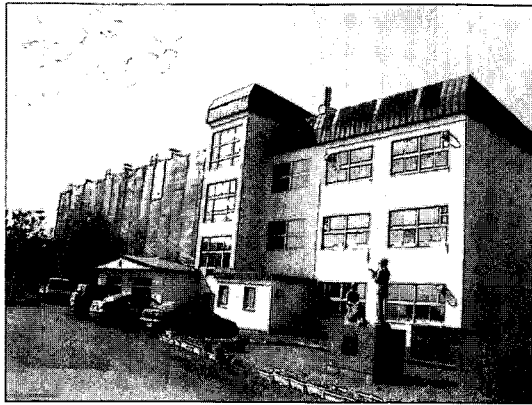


写真 10.43 外観



写真 10.44 鉄骨造部分（3階）

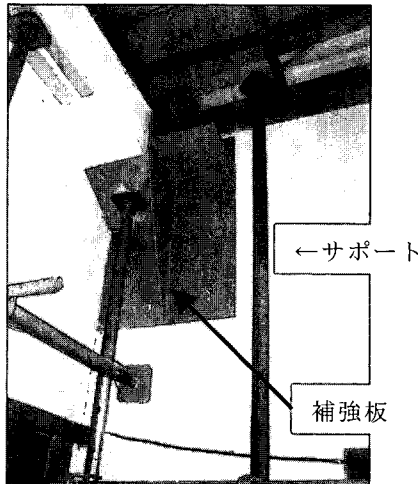


写真 10.45 梁及び床の破断部分(2階)

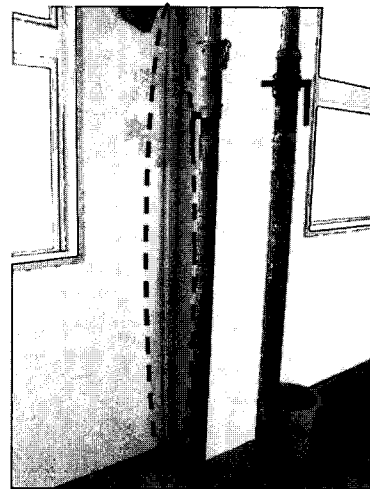


写真 10.46 柱と壁の打ち継ぎ部分の亀裂（2階）

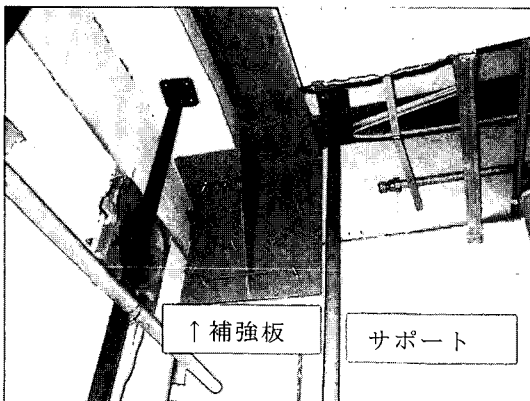


写真 10.47 梁及び床の破断部分（1階）

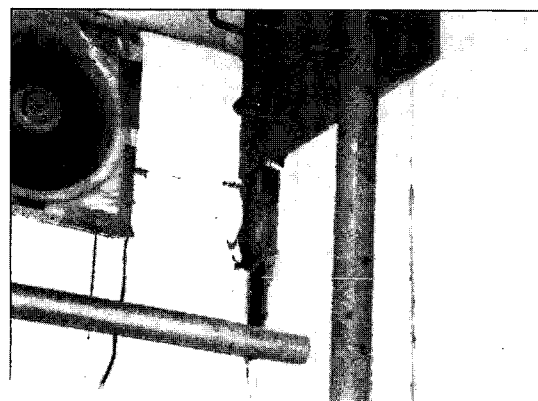


写真 10.48 梁及び床の破断部分（1階）

注) 補強板及びサポートは地震後に取り付けたものである。

(3) B 邸

武佐 2 丁目にある 2 階建ての在来木造住宅である。居住者から「過去に地震被害を受け、その際に建物自体がかなり周辺地盤に対して沈下し、また、建物上部構造も傾斜していた。今回の地震で沈下がさらに進んだ。」との説明があった。また、「敷地は、傾斜地の中の窪地に位置し、その部分に盛土して現在の住宅を建設した。」との説明もあった。

通常の木造住宅では地盤面より布基礎の上部まで 30cm 程度となっているが、この住宅ではサイディングの外壁が地盤面に接するほど下がっており、一般的な布基礎が設置されていたとすれば少なくとも 30cm 以上沈下したことになる。傾斜地の斜面下方の隣家も同様に布基礎が見えない状況であった。道路を隔てた住宅は最近新築されたものであり、そちらでは沈下などの損傷は見られなかった。なお、道路では今回の地震によりマンホールが少々浮き上がっていた。

建物内部に入り、床もかなり大きく不同沈下していることを確認した。

かなり大きな不同沈下より、住宅の上部構造だけでなく周辺地盤に隠れて見えない基礎にも破壊が生じている可能性が高いと推測される。



写真 10.49 外観
(右側に大きく傾いている)



写真 10.50 玄関付近
(基礎が確認できない)



写真 10.51 外壁の損傷
(沈下によると思われる)



写真 10.52 マンホールの浮き上がり
と道路のひび



写真 10.53 内部
(柱と壁に隙間)

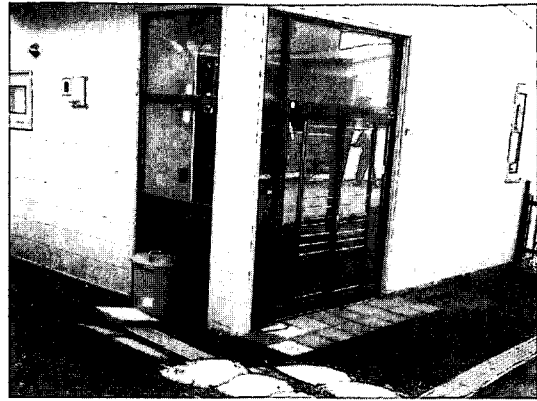


写真 10.54 斜面下方の隣家
(基礎が確認できない)

(4) JR 直別駅近辺

音別町直別は、釧路市内より車で約 1 時間の距離にある海に面したところである。JR 根室本線の JR 直別駅近辺で周辺の建物について調査を行った。JR 根室本線は現地付近で特急列車が脱線する等の被害を受け、不通となっていた。

直別の K-NET 強震計は、JR 直別駅の駅舎から 30m 程の距離にある北海道新聞直別販売所の向かいに設置されていた。強震計の周囲の柵は地盤の変状のため歪み、また、強震計の基礎も明らかに回転していた。

JR 直別駅近辺には、駅舎や簡易郵便局のほか、10 軒程度の住宅しかなかった。駅舎の他、簡易郵便局や住宅にも建物の傾斜やサッシのガラスの割れなどの被害が見られた。駅より海岸線と反対方向に 200m 程度離れると被害はほとんど見られない状況であった。

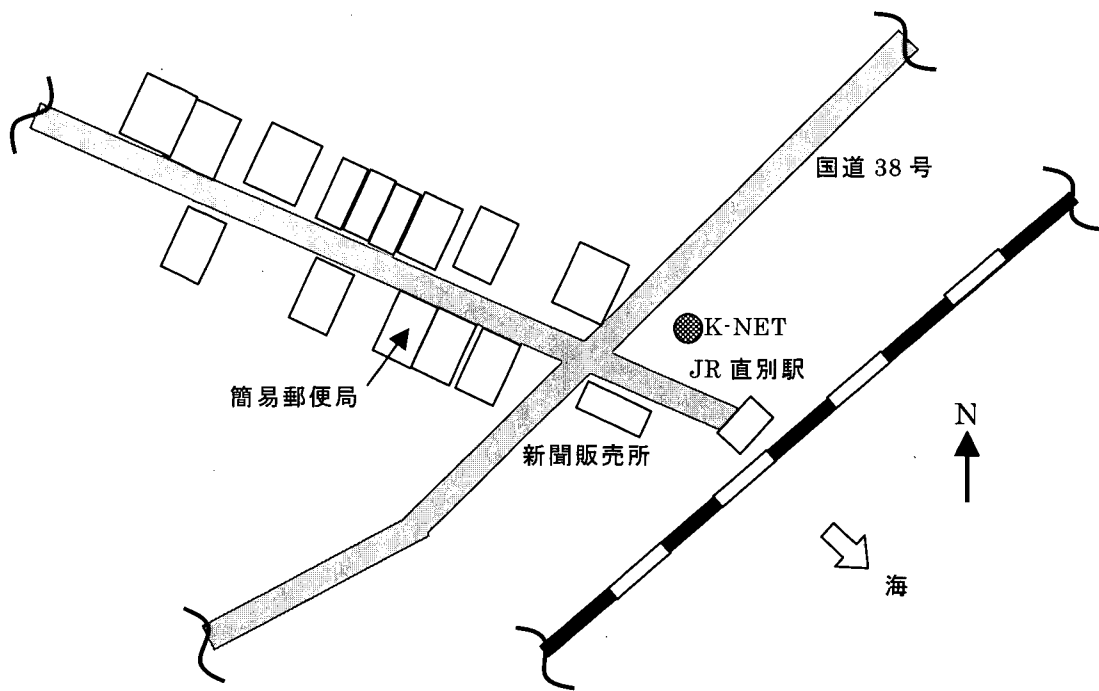


图 10.15 JR 直別駅近辺



写真 10.55 K-NET 強震計



写真 10.56 K-NET 強震計

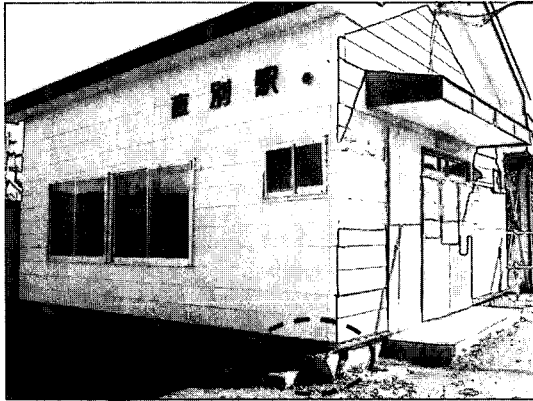


写真 10.57 直別駅舎 (基礎に割れ)

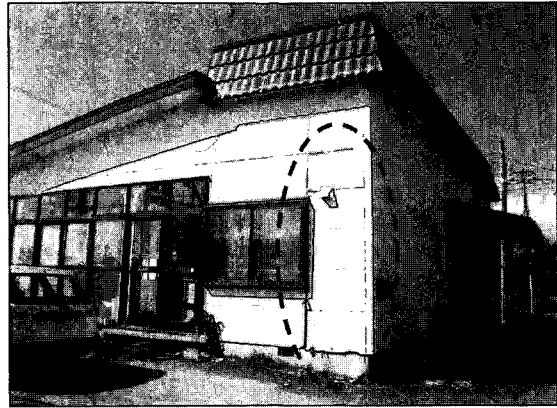


写真 10.58 新聞販売所(外壁に損傷)

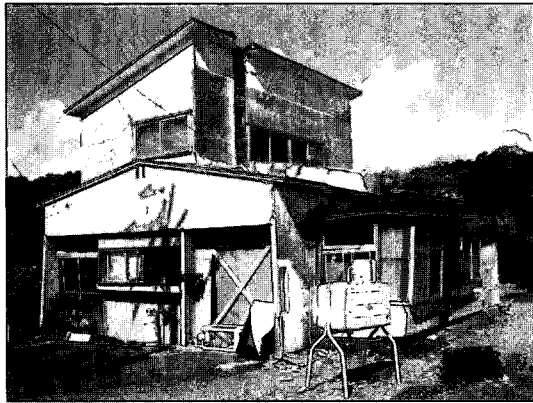


写真 10.59 駅近くの木造住宅(南側)

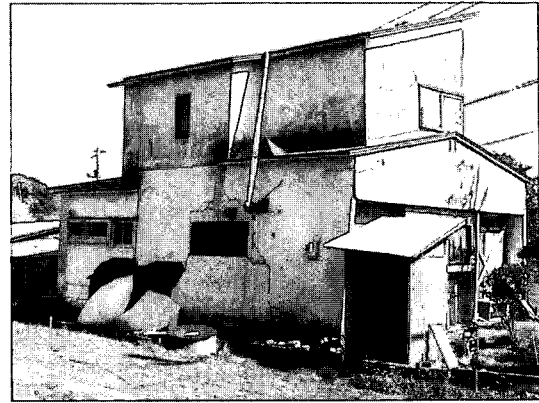


写真 10.60 駅近くの木造住宅(北側)

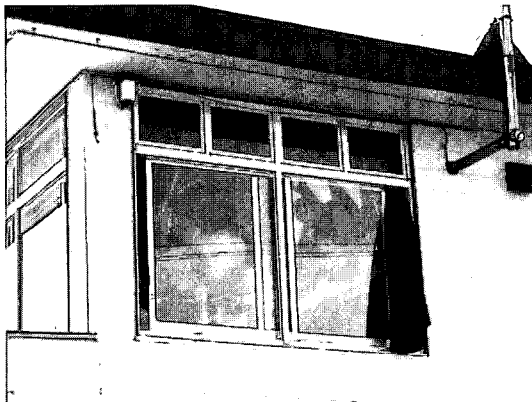


写真 10.61 駅近くの建築物
(2階の窓ガラス破損)

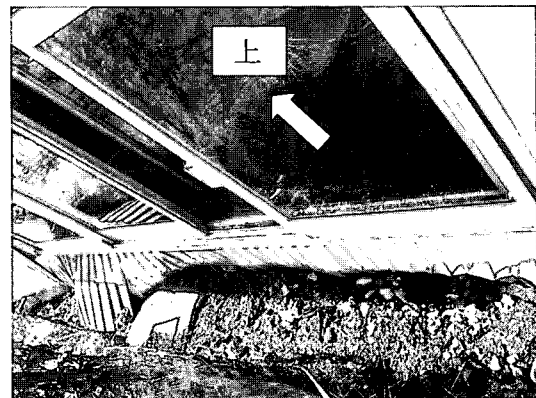


写真 10.62 駅近くの建築物
(沈下による外壁の損傷)



写真 10.63 簡易郵便局
(外壁にひび)

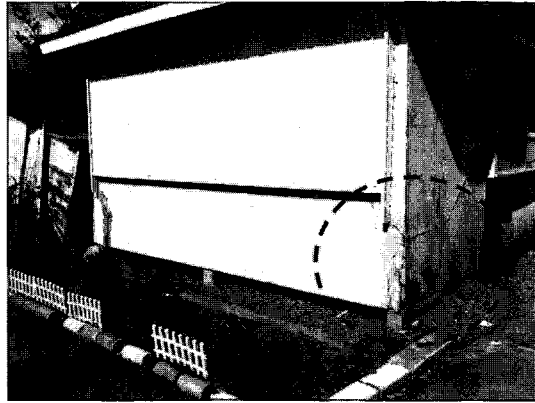


写真 10.64 駅近くの建築物
(外壁にひび)

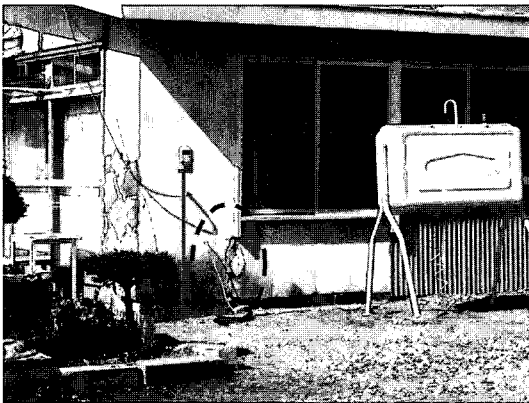


写真 10.65 駅近くの建築物
(外壁にひび)

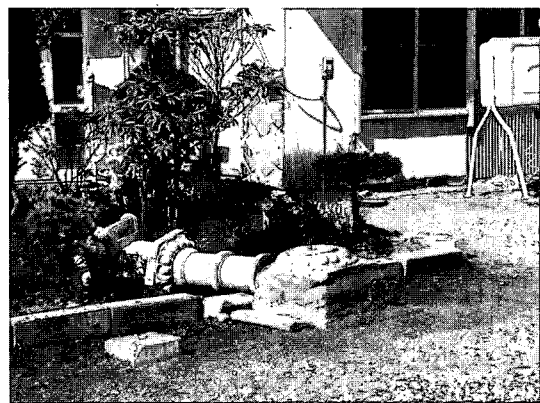


写真 10.66 倒れたままの灯籠



写真 10.67 駅近くの道路



写真 10.68 駅近くの道路

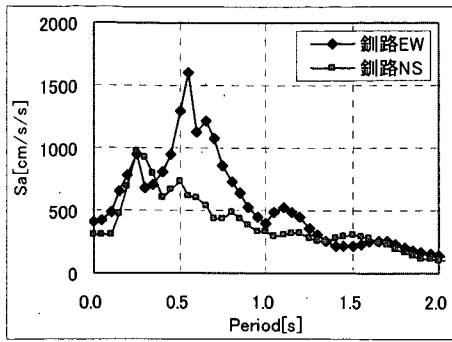
10.4 考察

今回の被害で特徴的であった天井の落下について、考察を加えることとする。

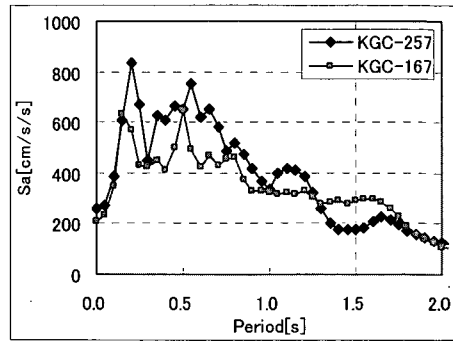
10.4.1 空港ターミナルビル

10.3.1(1)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担当者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や地震による入力エネルギーが非常に大きかった可能性がある。(図10.16及び10.17参照)
- 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(写真10.69参照)。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。



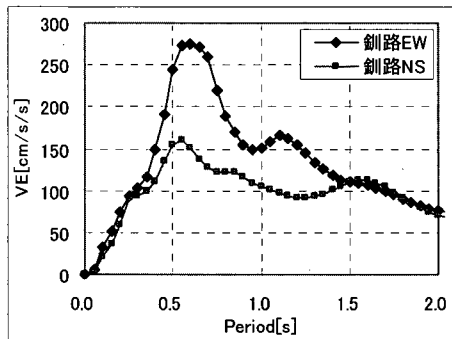
(a) 釧路市役所



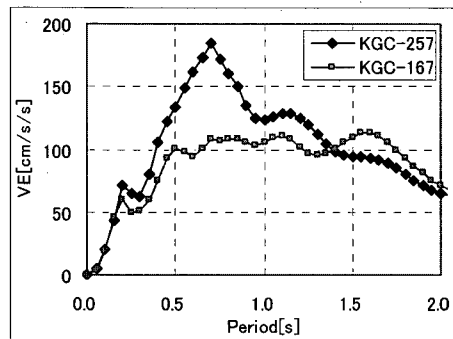
(b) 釧路合同庁舎

(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。)

図 10.16 加速度応答スペクトル ($h=0.05$)



(a) 釧路市役所



(b) 釧路合同庁舎

(継続時間 120 秒。凡例は図 10.16 に同じ。)

図 10.17 エネルギースペクトル²⁾ ($h=0.10$)

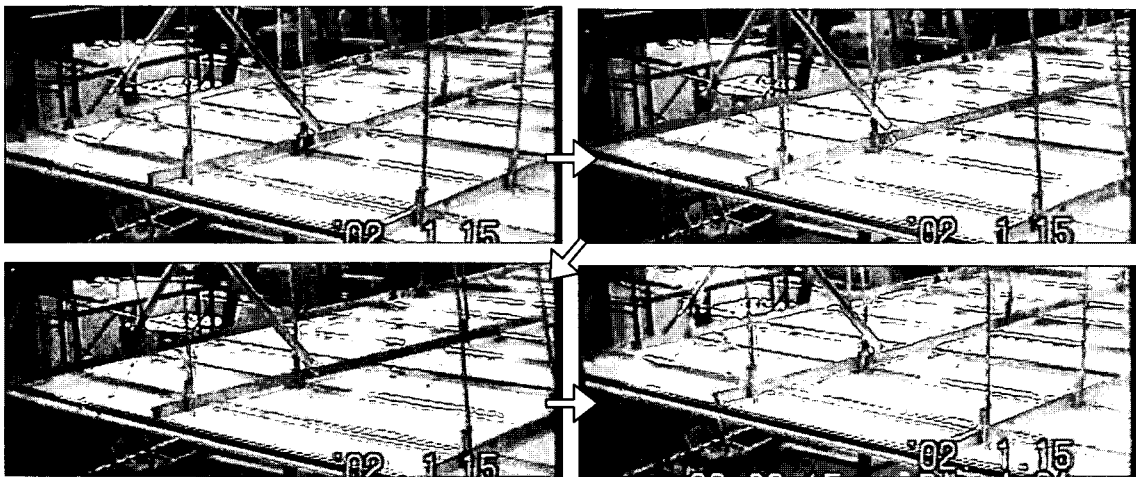


写真 10.69 振動実験¹⁾

10.4.2 釧路空港管制塔

10.3.1(2)の調査結果からは、現時点では被害原因を特定することは困難であるが、最上階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^{例えば}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最上階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

10.4.3 スケートセンター

10.3.1(3)の調査結果より、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。

10.5 まとめ

平成15年十勝沖地震における建築物の被害調査を行い、特徴的であった天井落下の被害について考察を加えた。地震時の天井落下被害に関しては、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から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）」で述べられた内容や参考文献1)による報告内容に加えて、表10.1に示す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、天井の脱落につながる可能性があると考えられる。表10.1中の①②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。

表 10.1 天井の特徴と力の作用する部分

| | 特徴 | 局所的な力の作用する部分 |
|---|--|------------------|
| ① | 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 | 段差のある部分の近傍 |
| ② | 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 | タラップの枠材等の剛な部材の近傍 |

なお、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。さらに資料収集等を行い、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。

参考文献

- 1) 西山功、伊藤弘、西田和生、梁一承：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
- 2) 秋山宏：エネルギーの釣合に基づく建築物の耐震設計、技報堂出版、1999. 11