

地震により脆性破断した鉄骨ブレースの破面

毛 呂 眞*・小 山 信 次**

Brittle fracture surface of steel bracing caused by seismic force

Makoto MORO and Shinji KOYAMA

Abstract

The Far-Off-Sanriku Earthquake with the magnitude 7.5 in JMA scale occurred 21:19 on December 28, 1994. It gave great damage to many steel structures in Hachinohe region. Rapture of some bracing members made of L-shape steel was found. Their fracture surface was examined by means of scanning electron microscopy. The tensile testing was carried out to examine the deformation behavior of same materials.

Brittle fracture surface was observed. It seems that brittle fracture was affected by large impact load of earthquake, low temperature and the existence of a circular notch.

1. はじめに

1994年の年の瀬、12月28日21時19分に青森県八戸の東方沖約200kmのごく浅い海底でマグニチュード7.5の地震が発生した。気象庁の震度階は八戸市でVIの烈震、青森、盛岡、むつでVの強震と発表された。後に1994年三陸はるか沖地震と命名された。地震被害によるショックのさめやらぬ正月明け1月7日7時37分ごろ八戸の東方沖約80kmの海底でマグニチュード6.9の最大級の余震が発生した。八戸と盛岡が震度Vと発表された。本震での被害をさらに大きくし、新たな被害も発生した。地域によっては本震より激しい揺れとなった。

八戸市内の市立小・中学校63校を対象に行った鉄骨造体育館の被害調査によると、約4割でブレースの座屈および破断等の構造被害が認められた。倒壊と大破は無かったが、中破および小破の被害は15棟にのぼった。この被害の中で1981年施行の新耐震設計法によるものは5棟であり、その主な被害はL形鋼の垂直ブレース

の座屈被害である。その中で、市立東中学校ではL形鋼の垂直ブレースの座屈被害と同時に破断被害を受けた。その破断面の一つが脆性破断面であった。この脆性破断被害について建築学会の地震被害報告書等について過去の日本の被害事例を調べたが被害事例は調べた限りでは見出せなかった。建築の鉄骨構造物については地震外力に対して脆性破断は検討の埒外と考えられている破壊形式であり、生じてはいけない破壊形式である。その原因を探るため、この断面について鋼材の破面を走査型電子顕微鏡で観察(SEM観察)し、破壊の様相を調べ、鋼材から切り出した試験片を用いて引張り試験を行い、ブレースの機械的性質を調べた。その結果から衝撃による脆性破断の可能性が高いと推定された。本論は、この調査結果について報告する。なお、このような断面はL形鋼ブレースではこの体育館の1破断面だけが確認されている。その他、母材で脆性破断したものが丸鋼ブレースで2,3確認されている¹⁾。

平成7年10月16日受理

* 建築工学科・助教授

** エネルギー工学科・助教授

2. 八戸市立東中学校校体育館の構造概要と被害

当校は市の西方の蒼前丘陵性台地上に位置す



写真-1 市立東中学校校体育館東面全景

る新興住宅地，八戸市湊高台にある。被害を受けた体育館の構造概要は梁間30m×桁行22m，梁間山形ラーメン，桁行軸組筋違，柱フルウェブH形鋼であり，1989年に竣工したもので有る。写真-1に東側全景を示す。

被害は，2階桁行筋違（各側3構面・1L-75×75×6）が本震後に座屈が確認され，その後余震時に2階東側の3構面で交差部及び端部のボルト穴欠損部破断，その後仕上壁を取り除いた調査で，1階筋違全てに座屈が確認された。1箇所基礎部分根巻コンクリートが破砕し柱のベースが露出した。写真-2，3に破断及び座屈している状況を示す。この破断したブレースの内の1破断面が写真-4に示す脆性破断面となっていた。以外の破断箇所は写真-8に示すような延性破断面であった。



写真-2 ブレースの破断状況

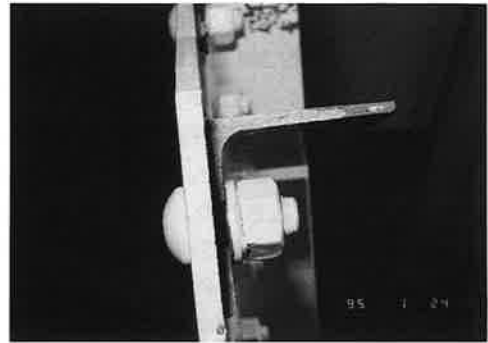


写真-4 脆性破断したブレースの破断状況



写真-3 ブレースの座屈状況

3. 破面のSEM観察およびブレース材の引張試験

破断したブレースを補修工事のさい，回収し，破面観察等の試験を行った。回収したのは脆性破断した1つの部材と延性破断した2つの部材である。写真-5が脆性破断部材，写真-6が延性破断部材の破断状況で有る。破面観察は巨視的，微視的観察を実施したが，予め，酸化物を除去するために10%塩酸アルコールにて数秒間酸洗し，顕微鏡資料を切り出した。図1にブレース

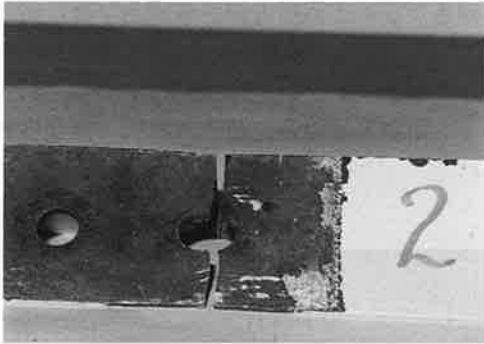


写真-5 脆性破断部材の破断状況

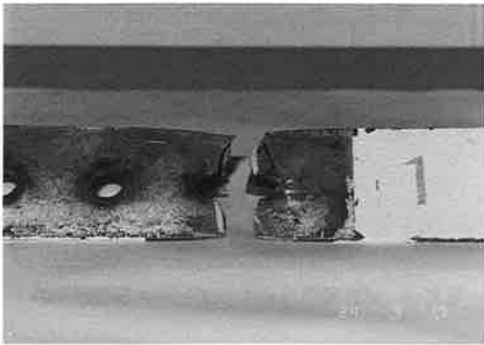


写真-6 延性破断部材の破断状況

スの断面形状，寸法を示した。また，正常な箇所から図2に示す形状，寸法に試験片を切り出し，98kNのネジ式引張試験機を用い，変位速度5mm/min.で引張り試験を行った。

3.1 破面のSEM観察

3.1.1 巨視的観察

脆性破断面も延性破断面もいずれも破断は，

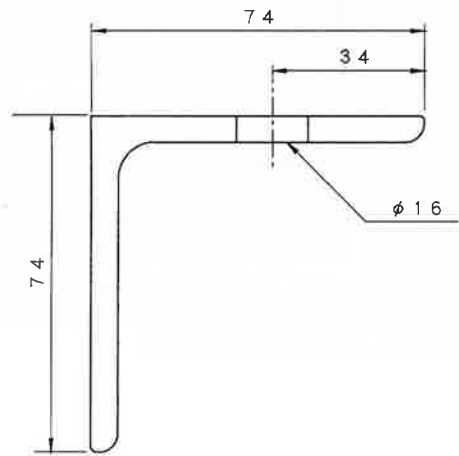


図1 試料断面概略寸法

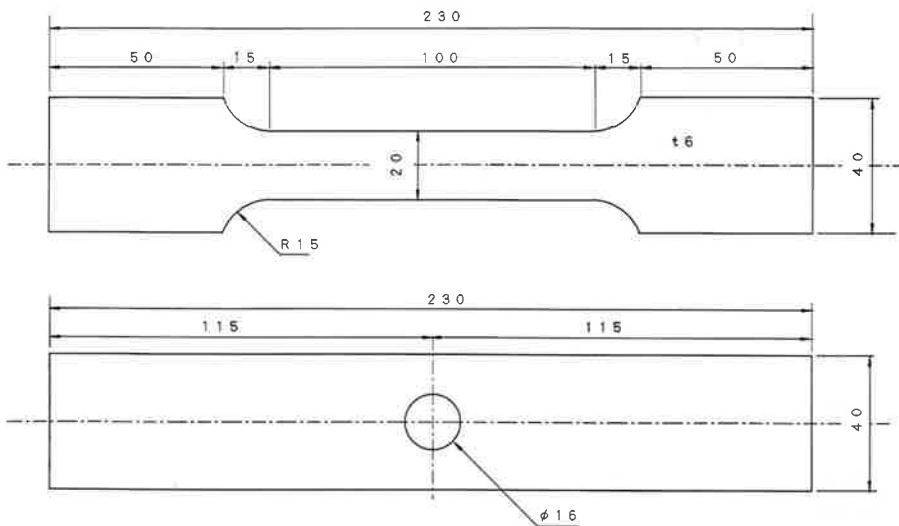


図2 引張り試験片の形状寸法

- (a). 平滑試験片
- (b). 切り欠き試験片

構造部材と接合するためのボルト穴から生じており、破断の様相は、プレースの軸方向と垂直な破面を有するものと傾いた破面を有するものであった。

写真-7 に示す脆性的破断面は、ボルト穴から

広がるプレースの軸方向と垂直で平滑な領域と、写真では黒ずんで見える45°傾く最終破断面の領域からなっている。破面上の条痕の方向から判断すると破壊の起点は円孔と推察される。

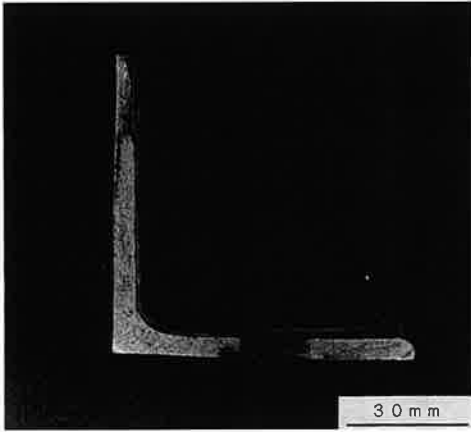


写真-7 脆性的破断面を有するプレースの破断写真

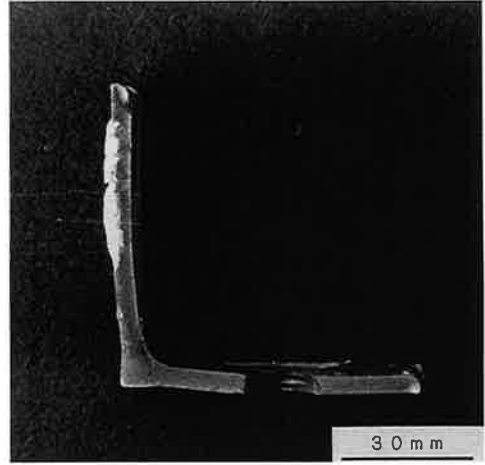


写真-8 延性的破断面を有するプレースの破断写真

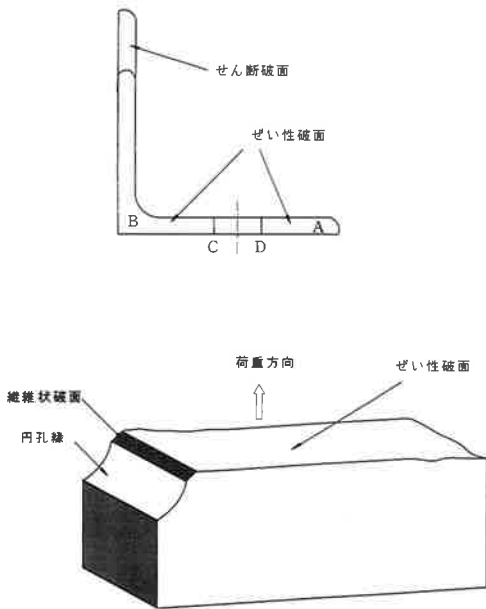


図3 破面の模式図

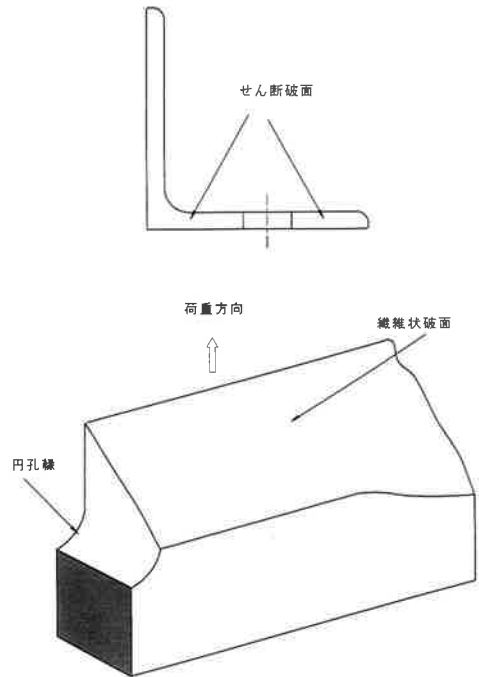


図4 破面の模式図

円孔の円周面には圧痕が見られないことから、地震の最終振幅時にき裂が進展し破断したと思われる。図3にこの破面の模式図を示した。

写真-8はプレースの軸方向と傾いた破面を有することをよく示している。破面は、最大せん断応力方向であり、延性破面である。円孔の円周面にはかなりの圧痕が存在し、円孔はかなり変形していることから軸方向以外の荷重が複雑に作用したと思われる。図4にこの破面の模

式図を示した。

3.1.2 微視的破面観察

(1) 脆性破断面 写真-9は、写真-7の円孔近傍の低倍率SEM写真である。写真右端は円孔近傍であるが、軸50 μ m程度の軸方向とは傾いた破面が存在する。この領域の拡大写真を写真-10に示した。厚さ方向と45°をなすき裂が多数存在する。このことから、かなり複雑な荷重が作用したことが推察される。また、この写真をさらに拡大した写真-11においては、破面は繊維状破面であり、多数のディンプルが観察される。また、き裂と同方向に引き伸ばされたディンプルも存在する。写真-12は写真-7の平滑なA領域(図3のA領域)の写真であるが、典型的な脆性破断であり、リバーパターンが観察される。写真-13はB領域の破面写真であるが、A領域

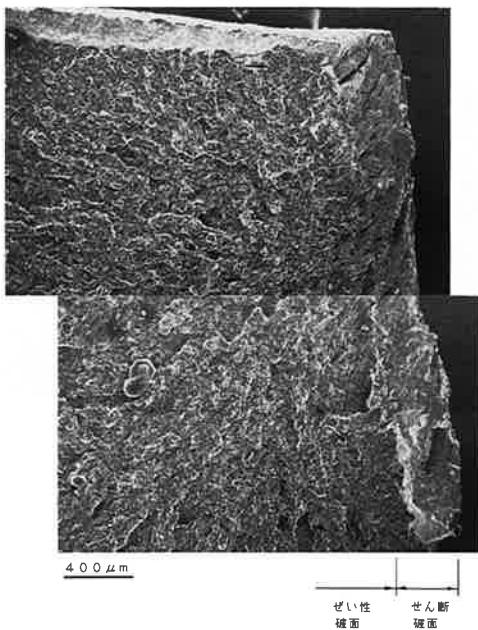


写真-9 円孔近傍のSEM写真

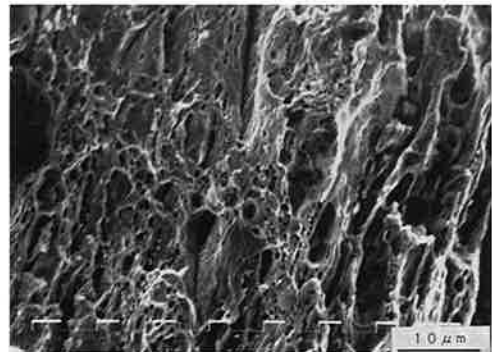


写真-11 引き伸ばされたディンプル

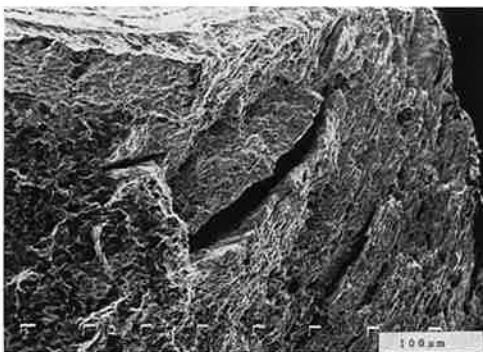


写真-10 写真-7の拡大写真

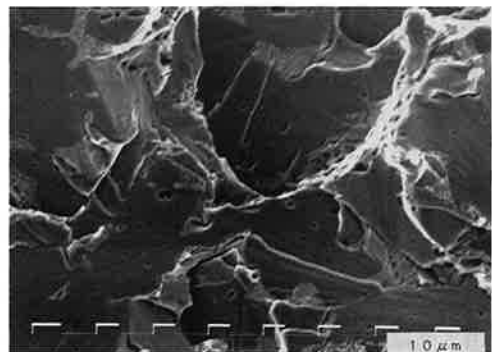


写真-12 A領域のぜい性破面

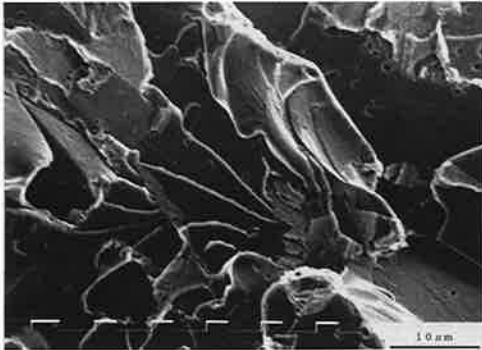


写真-13 B領域のぜい性破面

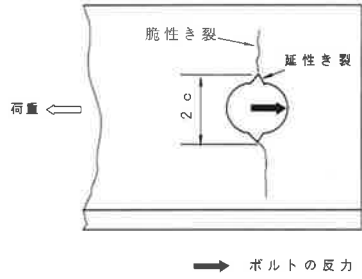


図5 き裂進展の模式図

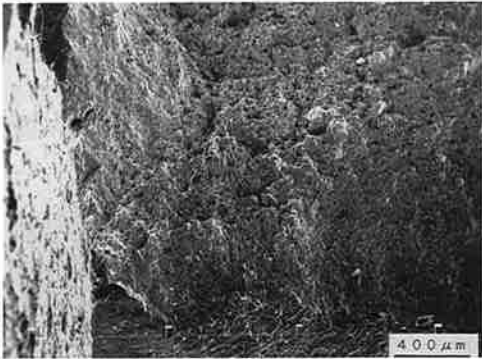


写真-14 延性破壊を生じたブレースの円孔近傍

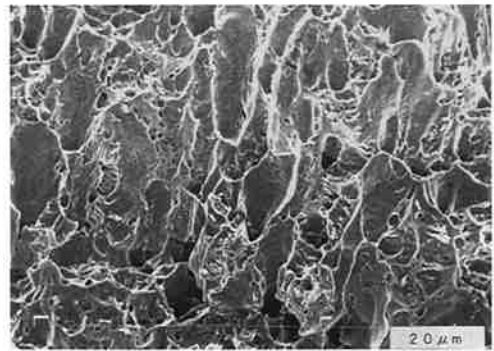


写真-15 引き伸ばされたディンプル

と同様、脆性破面であり、写真-12と比較するとリバーパターンもより明確となっており、き裂がより高速に進展したことが推察される。

以上の観察から、荷重はブレースの軸方向ばかりでなく、厚さ方向にも作用したことが判断でき、この荷重により、C,D部から延性き裂が発生しこのき裂長さが約 $50\mu\text{m}$ に達した後、脆性破壊に遷移し、き裂は高速に伝播したものである。図-5にこのき裂進展の模式図を示す。

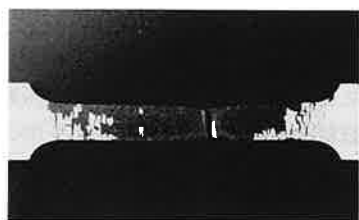
(2) 延性破断面 写真-14は写真-8のブレースの軸方向と傾いた破面を示す材料の円孔近傍の破面である。破面全体が最大せん断応力方向であることから予想されるように、写真-15では引き伸ばされたディンプルが存在する典型的な延性破面である。脆性破面は観察されず、破

面全体にわたり同様な様相を示していた。

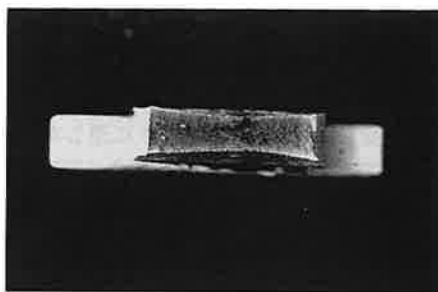
3.2 ブレース材の引張試験

破損したブレースの正常部分から切り出し、試験片に加工し、引張り試験を行った。図-6は、図2(a)の試験片の応力-ひずみ曲線である。脆性破断を示したブレースも、延性破断を示したブレースもほぼ同様な応力-ひずみ曲線であった。引張り強さ $\sigma_u=566\text{MPa}$ 、伸び $\phi=32\%$ が得られた。応力-ひずみ曲線の形状、引張り強さ σ_u 、伸び ϕ は一般的な構造用材料のものと同様結果である。図-7は、図2(b)の直径16mmの円孔を中央に有する試験片の応力-ひずみ曲線であるが、応力の計算には円孔のない断面の面積を用い、ひずみの計算は掴み部の間隔で計算した。明瞭な降伏点は表れず、切り欠

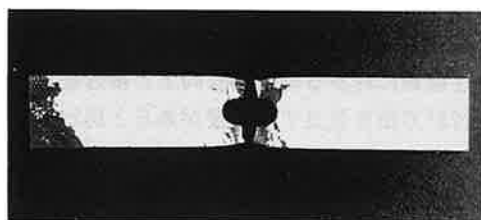
地震により脆性破断した鉄骨ブレースの破面



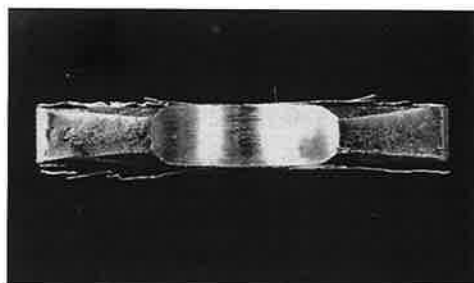
(a)



(a)



(b)



(b)

写真-16 引張り試験片の破断写真
(a). 平滑試験片
(b). 切り欠き試験片

写真-17 引張り試験片の破断面
(a). 平滑試験片
(b). 切り欠き試験片

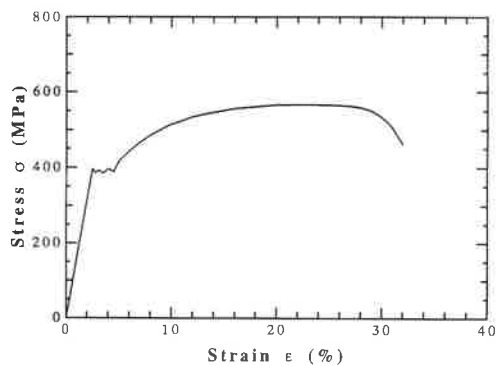


図6 応力-ひずみ曲線 平滑試験片

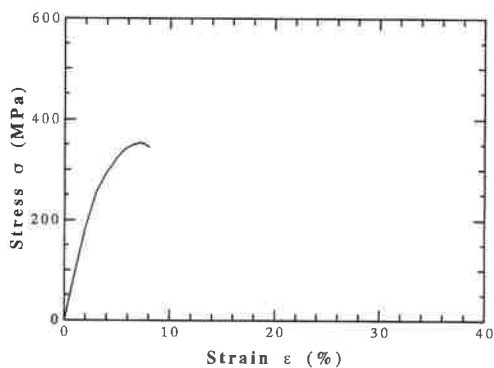


図7 応力-ひずみ曲線 切り欠き試験片

きの存在により、かなり伸びが小さい。

写真-16, 17 に破断試験片の写真を示した。両者とも巨視的破面はせん断型であり、延性破壊を生じている。

この引張り試験より得られた応力-ひずみ曲線の結果から、切り欠きの存在によってかなり

伸びが減少するが、破面は延性破面である。これらのことから、両形式の破断を生じた材料は材質的には一般構造用鋼のものと同一延性材料と考えて良い。

3.3 考察

脆性破断を示したブレースは最初、円孔縁に発生した延性き裂がある大きさに達した後、脆性破壊に遷移した。この破壊様式が遷移した原因を考察する場合、環境は、冬期間であるため低温、荷重は衝撃的であることを考慮する必要がある。破断被害を生じさせた余震のおきたのは厳寒期の1月7日早朝である。

両形式の破壊が生じた原因について考えると、ブレースは延性材料でありながら、低温、衝撃荷重の環境下に加え、切り欠きの存在は脆性破壊を生じやすい条件下にあったことは実験の結果から判断される。一方のブレースが延性破壊を生じていることを考えると、衝撃荷重の大きさ、作用方向が異なることから破壊様式が相違したと考えられる。

4. ま と め

地震により破断したブレースの破面観察とこれらの鋼材から切り出した試験片を用いて引張り試験を行った結果、最初、円孔縁に発生した延性き裂がある大きさに達した後、ぜい性破壊に遷移したことが解った。また、脆性破壊を生じたものは、室温での引張り試験では、延性的な性質を示し破断する。脆性破壊を生じた主な原因は、低温の環境下と衝撃荷重、切り欠きの存在が影響したと考えられるので、ブレースの脆性破壊に対する材質的な向上と接合部分の取り付け方法を改良する必要があると思われる。

参 考 文 献

- 1) 三陸はるか沖地震災害調査委員会編：1994年三陸はるか沖地震災害調査報告書，三陸はるか沖地震災害調査委員会（委員長：村上孝一八戸工業大学長），1995.7