

## **EFFECTOS EN LAS ESTRUCTURAS**

Gerardo Aguilar Ramos

Jorge Aguirre González

**Jorge Arturo Ávila Rodríguez**

Eduardo Botero Jaramillo

David Murià Vila



## **DAÑOS EN EDIFICIOS DE LA UNIVERSIDAD TOHOKU Y FUERA DE SENDAI, Y EN VIADUCTOS**

SISMO DE JAPÓN, 11-marzo-2011



## Antecedentes

Macrosismo de Japón\* del 11 de marzo de 2011, con:



Magnitud, Mw= 9.0



**-Daños extraordinariamente importantes debido a los efectos del tsunami subsecuente**

**-Daños relativamente escasos debido a los efectos mismos del sismo**

\* En la costa Este de la Península Oshika, Tohoku, a 130 km de la ciudad de Sendai, a unos 500 km al norte de Tokio



## Principales observaciones

- Dominan los daños, por mucho, de los efectos del tsunami.
- Los edificios con mayores daños (principalmente en columnas y, en varias ocasiones, en vigas de acoplamiento) por efectos del sismo, fueron **construcciones NO recientes**, a base de marcos de concreto reforzado rigidizados con muros y/o contraventeos metálicos.
- Dominan los edificios de acero estructural.

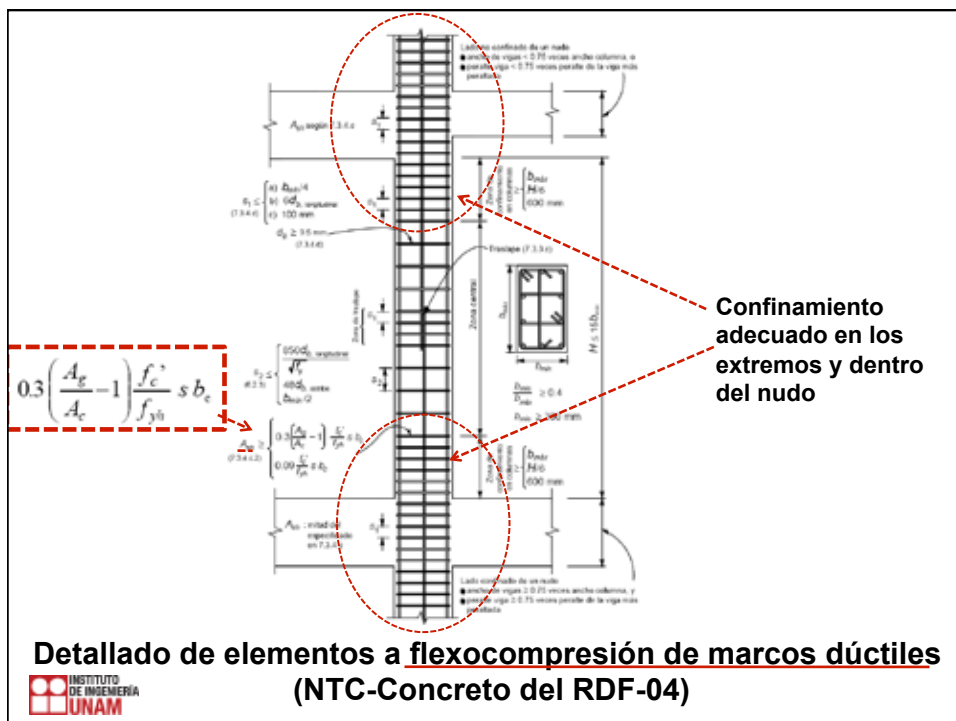
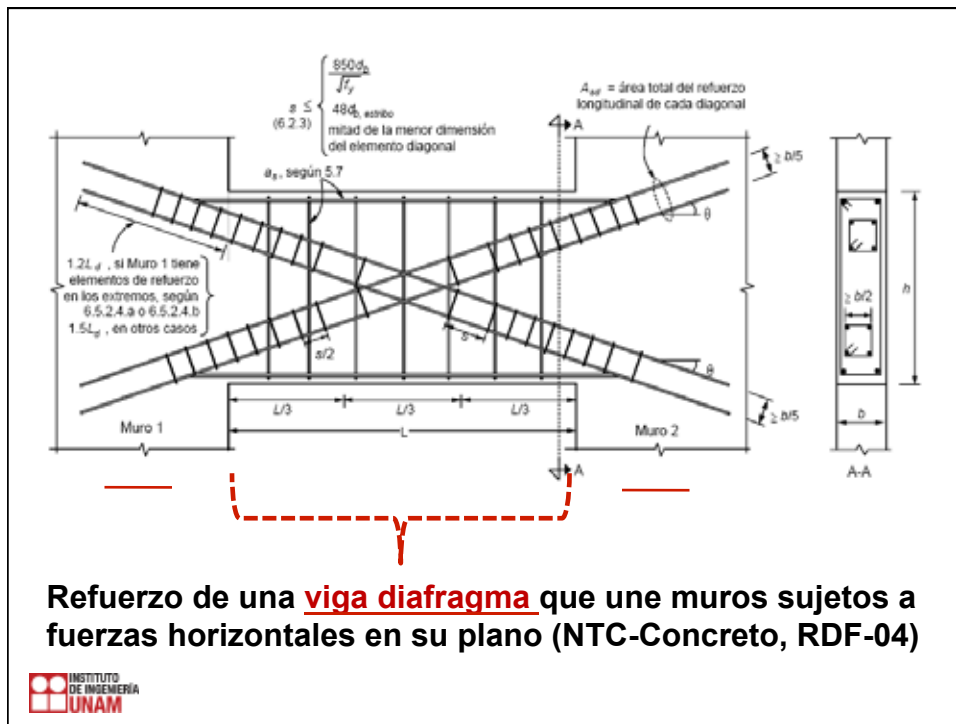


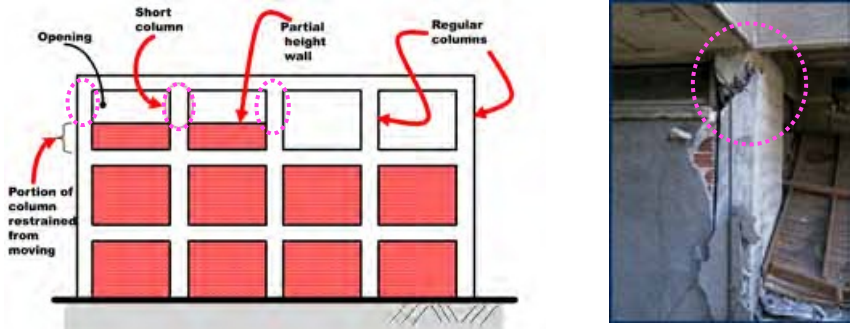
### **DAÑOS IMPORTANTES EN COLUMNAS**

(muchos por problemas de columna corta y sin confinamiento suficiente en los extremos)

- Varios daños por:
  - irregularidades en planta y elevación
  - mala unión de elementos no-estructurales (muros divisorios de mampostería, plafones, libreros, etc)
- Pocos daños estructurales inducidos por
  - problemas recurrentes de licuación de arenas, debido a la modificación favorable del criterio de diseño de las cimentaciones de los nuevos edificios, a raíz de las experiencias de sismos intensos anteriores.
- No problemas aparentes de torsiones excesivas en planta
- No daños por golpeteo entre edificios (siempre holguras suficientes)
- No daños en volados
- No daños en escaleras de servicio ..... Muchas bardas caídas



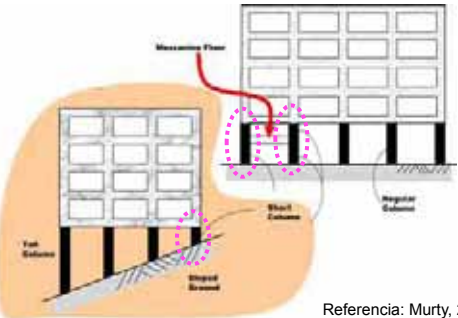





Problemas típicos de columna corta

↓

Falla frágil de cortante



Referencia: Murty, 2005

 INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM

**A) EDIFICIOS DEL CAMPUS  
UNIVERSIDAD TOHOKU EN  
SENDAI**

## A.1) Edificio Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura

### Características

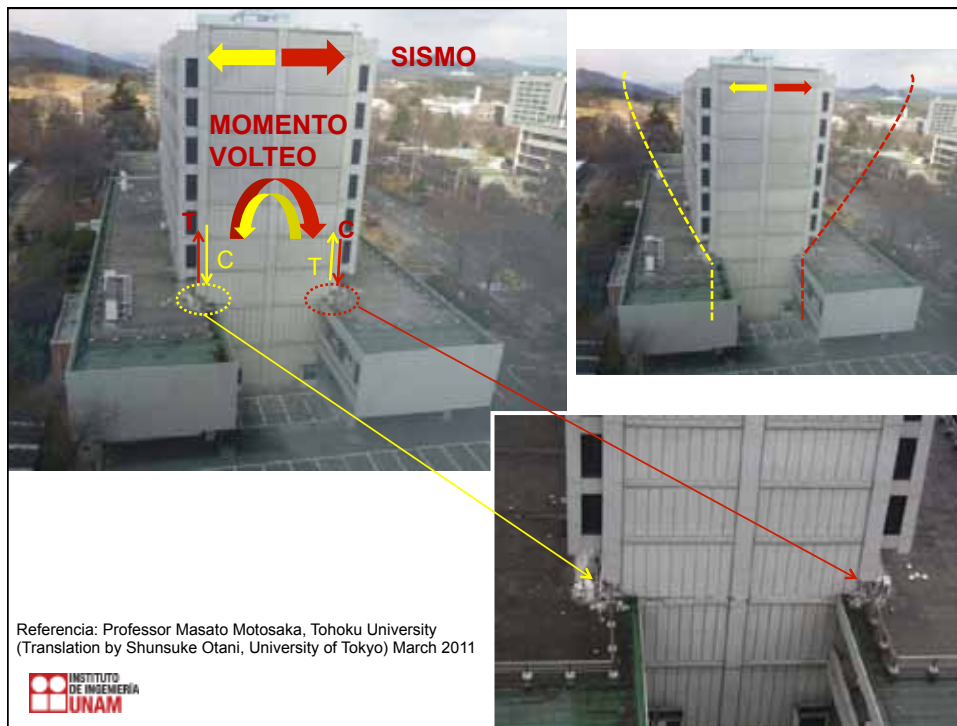
- Torre de 9 niveles, planta rectangular, ligada a ambos lados (a lo largo de dirección longitudinal) de pequeños cuerpos de 2 niveles
- Estructuración en la dirección transversal a base de marcos de concreto reforzado y muros en los ejes cabeceros; en la dirección longitudinal tiene marcos rigidizados con diagonales de acero (colocadas en un refuerzo anterior)

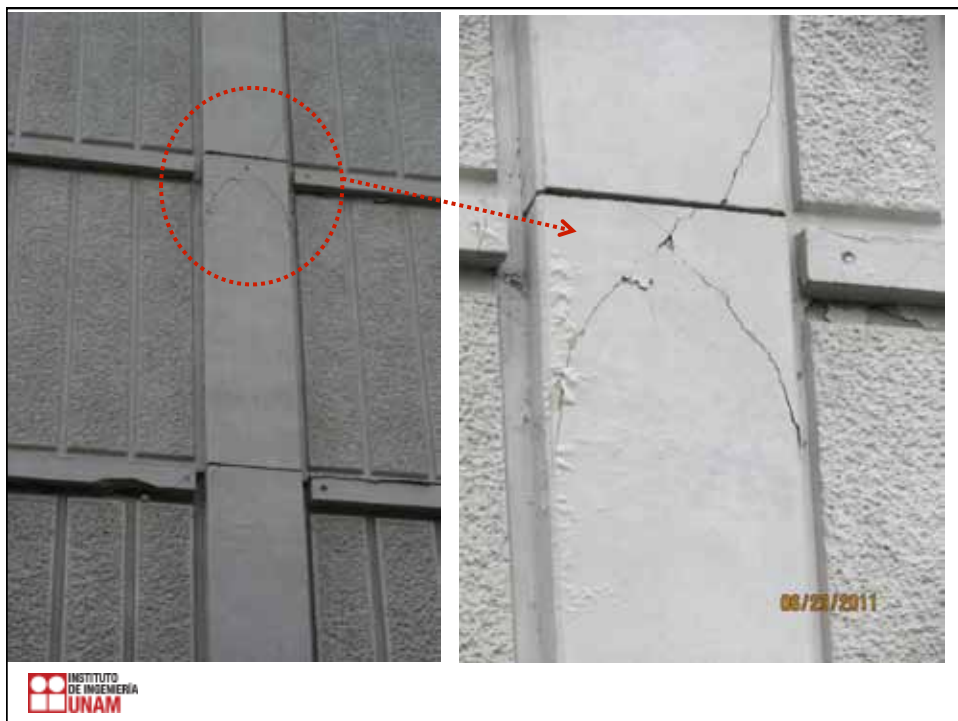
### Comportamiento sismorresistente

- El extremo inferior de las columnas de esquina del tercer entpiso en la torre, en la unión con los dos cuerpos pequeños, presentó daño severo debido a las fuerzas axiales elevadas generadas por el momento de volteo en la dirección transversal.
- Ante la presencia del daño anterior en dichas columnas, seguramente se aceleró la vibración del cabeceo de la torre
- La exposición del acero de refuerzo longitudinal en la base de las columnas dañadas hizo ver que ya habían sido reforzadas anteriormente por algún sismo previo
- Daño importante en los muros de ambos ejes cabeceros de la torre, principalmente en uno de ellos (lado Este)

- **Máxima aceleración absoluta registrada en el 9o. nivel (azotea) superior a la medida de 1.04 g del sismo Miyagi-ken Okide de 1978**















## A.2) Edificio nuevo de Ingeniería Civil

### Características

- 13 niveles de planta rectangular tipo
- Estructuración a base de marcos de acero estructural con columnas tipo tubo encamisadas con concreto reforzado
- Equipado con amortiguadores en todos los entrepisos y ambas direcciones

➤ **Máxima aceleración absoluta registrada en la azotea = 1 g**

### Comportamiento sismorresistente

- Estructura principal sin daños, sólo daños ligeros en elementos no-estructurales
- Sin evidencias de problemas de licuación de arenas a su alrededor, sin afectar su desempeño estructural, solamente banquetas
- Algunos daños no-estructurales (caída de libreros y estantes, principalmente)



## 制振用オイルダンパー Oil Damper

**製品概要**

この製品の用途は、170t 制振機まで作り立っています。制振機とは、建物に設置されるカーを絶縁する減振機構。40 個のオイルダンパーを取り付け、地震や強風による揺れを小さく抑える構造です。

**オイルダンパーの特徴**

オイルダンパーは、減振機構(ダンパー)の内の一つです。オイルダンパーは、建物や設備を揺らすことにより生じる上部と下部の相対変位を利用し、減振エネルギーを発生させるカーに設置し、減振するものです。

**オイルダンパーの標準品 (1階~10階)**

**オイルダンパーの仕様**

**仕様**

●型式	SD1000MA-200
●最大減衰力	1400kN
●引ひねり耐力	1200kN
●引ひねり変位	1.5kmm
●引ひねり速度	0.150mm/s
●標準寸法	φ119

●引ひねり速度 (17~19階 変位1mm)

**動作原理**

オイルダンパーの基本設計は、摩擦を利用した構造で、油の粘性を利用した減衰機構により、上部の相対変位(オイルダンパー)は減衰力となります。

オイルダンパーは、鋼板とシリコン樹脂を有し、一次減衰までは引ひねり耐力に達し、引ひねり耐力により減衰力が増大するまで(10)の減衰、引ひねり耐力に達し、それ以上の減衰には、シリコン樹脂が弾性を発揮し、減衰力の増大を抑制し、地震や強風による揺れを抑制する効果があります。

**制振用オイルダンパーの構造**





### **A.3) Edificio pequeño adjunto al edificio nuevo de Ingeniería Civil**

#### **Características**

- 2 niveles de planta rectangular
- Estructuración ligera de marcos de acero estructural

#### **Comportamiento sismorresistente**

- Estructura principal con daños severos por problemas de talud, en etapa de demolición





#### **A.4) Edificio del Laboratorio de Investigación de Ingeniería**

##### **Características**

- 8 niveles de planta rectangular tipo
- Estructuración a base de marcos de concreto reforzado y muros de concreto en los ejes transversales cabeceros acoplados con vigas perforadas por instalaciones

##### **Comportamiento sismorresistente**

- Daños importantes por tensión diagonal en las vigas de acoplamiento de los muros de los ejes cortos cabeceros, inducidos por los agujeros de instalaciones





## A.5) Edificio adjunto al Laboratorio de Investigación de Ingeniería

### Características

- 2 niveles de planta rectangular tipo
- Estructuración a base de marcos de concreto reforzado
- Recubrimientos de concreto excesivos y acero liso de refuerzo transversal en las columnas dañadas de PB, pero a una separación razonable

### Comportamiento sismorresistente

- Estructura principal con daños importantes en las columnas de planta baja, debido a problemas de tensión diagonal







## A.6) Edificio Laboratorio de Química Aplicada, Ingeniería Química, Ingeniería Biomolecular

### Características

- 2 niveles de planta rectangular tipo
- Estructuración a base de marcos de concreto reforzado y muros ciegos de concreto en los ejes transversales cabeceros
- Recubrimiento de concreto excesivo y acero de refuerzo transversal en las columnas dañadas de PB a una separación razonable

### Comportamiento sismorresistente

- Estructura principal con daños importantes en las columnas de planta baja, debido a problemas de tensión diagonal, por efectos del sismo en la dirección longitudinal del edificio



✓ Refuerzo en proceso, con fibras de carbono en las columnas dañadas en PB





## A.7) Otro edificio

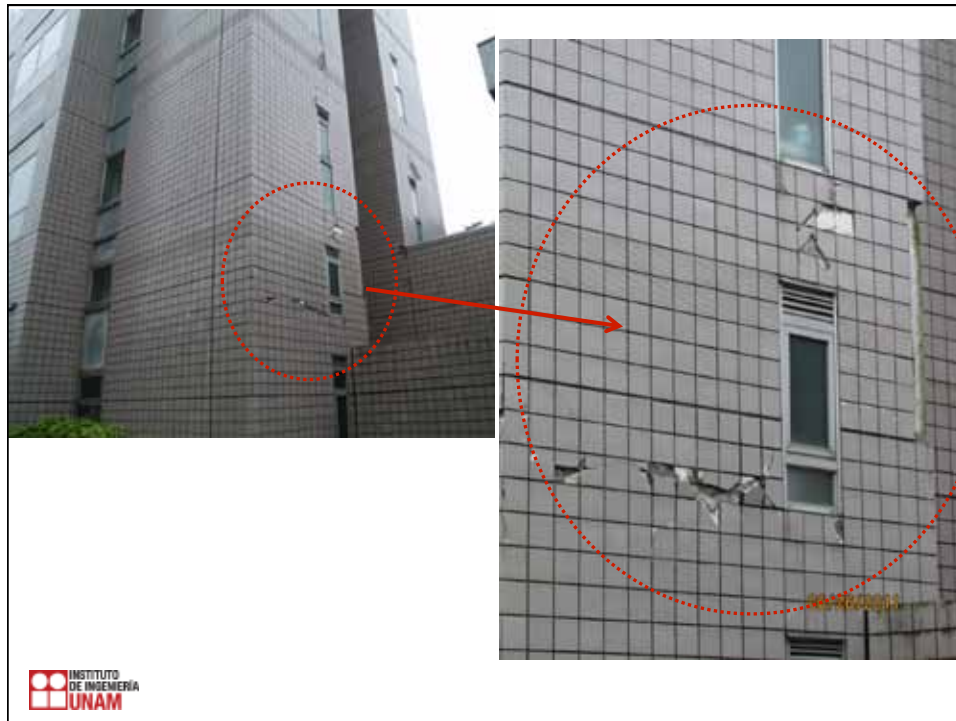
### Características

- 8 niveles de planta rectangular tipo
- Estructuración a base de marcos de concreto reforzado y muros acoplados de concreto en los ejes transversales cabeceros
- Recubrimiento de todas las fachadas a base de un mosaico frágil

### Comportamiento sismorresistente

- Daños menores visibles en las vigas de acoplamiento de los ejes cabeceros cortos, con muchos de los mosaicos agrietados





## A.9) Dos edificios “chaparros” de iguales características, pero uno aislado y el otro convencional

### Características

- Dos edificios prácticamente iguales de 3 niveles de planta rectangular tipo, casi cuadrada
- Estructuración a base de muros con ventanas en ambas direcciones
- Uno de los edificios está apoyado sobre aisladores sísmicos a base de placas de neopreno; el otro edificio tiene una cimentación convencional

### Comportamiento sismorresistente

- Sólo daños ligeros, poco visibles, en los muros del edificio sin aisladores





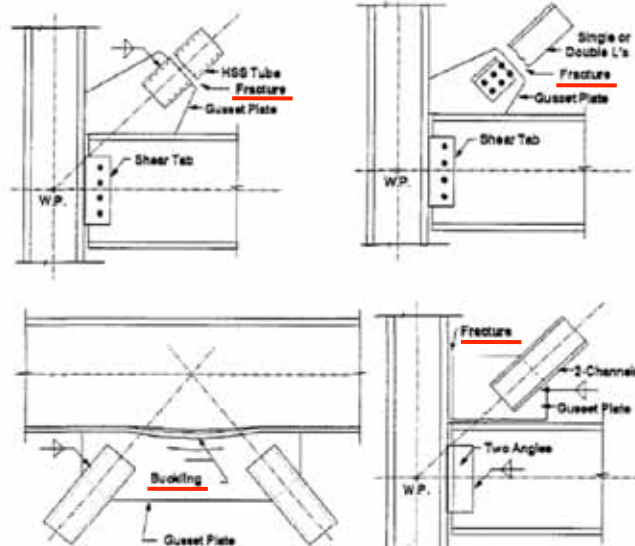




## B) EDIFICIOS DE ACERO ESTRUCTURAL, FUERA DE SENDAI



Referencia: Dr Shunsuke Otani, Professor Emeritus, University of Tokyo, March 2011



Fallas tipo observadas en los extremos de contaventeos metálicos, a raíz de sismos



Referencia: Abolhassan Astaneh-Asl, 1998

## B.1) Edificio de acero con marcos de flexión rigidizados con contraventeos\*

### Características

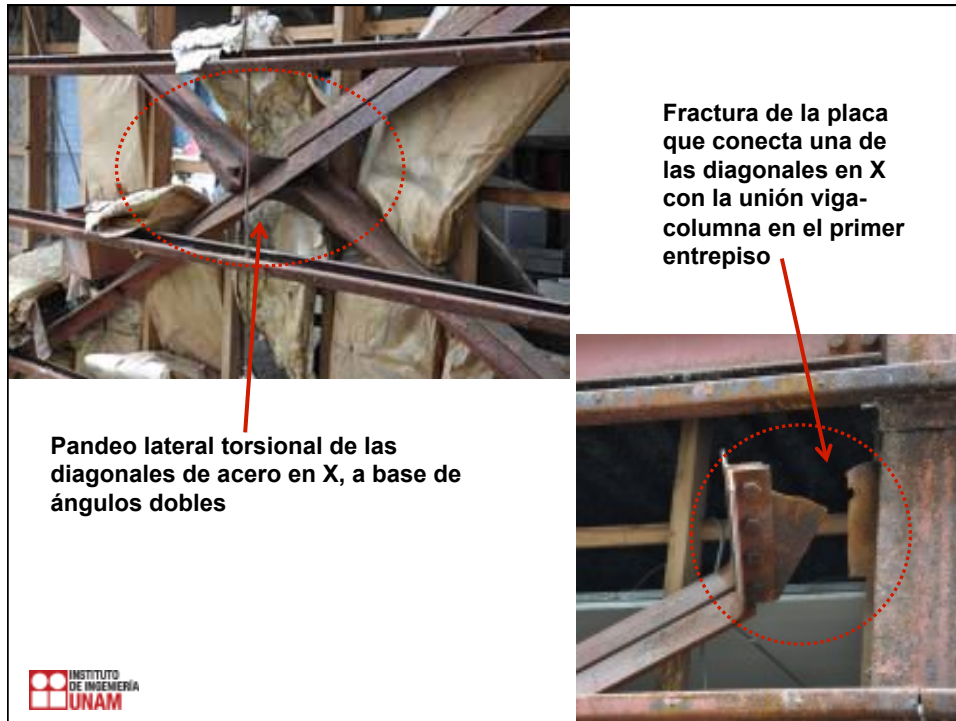
- Edificio (oficinas) de 3 niveles de marcos rígidos de flexión de acero estructural
- Marcos de una cruja en la dirección EW y marcos de 8 cruja contraventeadas (en X) en la NS
- Diseño en los 70's.

### Comportamiento sismorresistente

- Muchas fracturas en la placa de unión de las conexiones de las diagonales con el marco rígido
- Fluencia en la zona tipo panel de la conexión de los marcos de flexión de la dirección de la dirección EW
- Pandeo lateral torsional de todos los contraventeos del primer entepiso por utilizar perfiles de pared delgada

\*Área de Oroshimachi





## B.2) Edificio de concreto para estacionamiento rigidizado con contraventeos metálicos

### Características

- Edificio de 2 niveles para estacionamiento a base de marcos de acero rigidizados con contraventeos en ambas direcciones
- Diseño original de las diagonales para evitar su pandeo ante los efectos de algún sismo

### Comportamiento sismorresistente

- Concentración de deformaciones plásticas en las placas de unión de las diagonales con los marcos de la dirección corta
- Problemas de inclinación en la cimentación de algunos ejes interiores, debido al pandeo local de dichas placas de unión



### **B.3) Edificio de acero para estacionamiento rigidizado con contaventeos metálicos**

#### **Características**

- Diseño hecho en 1991, sin colocar atiesadores para prevenir el movimiento fuera de su plano de las placas de unión (gusset plates)

#### **Comportamiento sismorresistente**

- Fractura en todas las placas de unión (Gusset plates) de los extremos superiores de los ejes de la dirección EW
- Daño principal en la dirección NS debido al pandeo local del extremo superior de las placas de unión



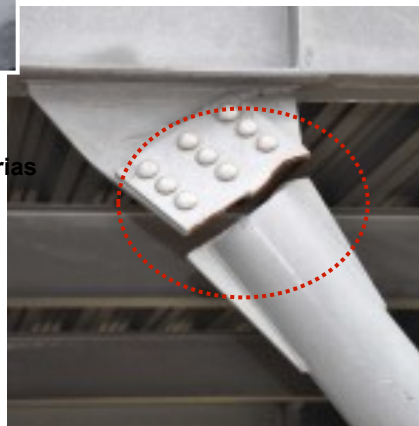
**Edificio de estacionamiento rigidizado con contraventeos metálicos**



**Fractura de las placas de apoyo de ambos extremos en la dirección EW**



**Fractura tipo de la placa de apoyo de varias diagonales**



## C) OTROS DAÑOS DE EDIFICIOS DE CONCRETO REFORZADO, FUERA DE SENDAI



Referencia: Dr. Shunsuke Otani, University of Tokyo, March 2011

### C.1) Edificio 1 (escuela: educación especial)

#### Características

- Es uno de 3 cuerpos (edificios) de una escuela localizada en loma
- Estructuras de concreto reforzado de 4 niveles con 3 crujías en la dir. larga y 1 crujía en la corta, con muros cabeceros
- Diseño de 1974, con vigas y pretiles (formando trabes de gran peralte) en el eje longitudinal de la fachada norte, reduciendo la altura deformable de las columnas

**Nota:** el Reglamento vigente desde 1971 requería que las columnas (en ambos extremos) tuvieran estribos @ 10 cm y @15 cm en la parte media, para prevenir fallas frágiles por cortante, después de lo observado en el sismo Tokachi-oki de 1968.

#### Comportamiento sismorresistente

- Fallas tipo de cortante por efectos de columna corta de los lados norte y sur



✓ Suficiente (adecuado) refuerzo transversal, en general, pero fuerzas del sismo muy grandes









## C.2) Edificio 2 (escuela: educación normal)

### Comportamiento sismorresistente

- Fachada posterior (lado norte) con prétil y vigas de mayor altura
- ➔ **mayores daños por efectos de columna corta**



- Fachada principal (sur) con vigas sin prétil



➔ **daño ligero en columnas**



**Prétil sin refuerzo**



**Tipos de daños en la fachada posterior por efectos del mal detallado de las vigas “spandrel” (sección compuesta de la viga + prétil) y “trabajo” de muros no-estructurales**





## C.4) Otros edificios



### Edificio principal del Municipio de la ciudad de Takahagi



Falla de cortante por efectos de columna corta



### Edificio de oficinas del Municipio de la ciudad de Kasama



Falla de cortante por efectos de columna corta



## D) VIADUCTOS (líneas vitales)



Referencia: Dr. Yoshikazu Takahashi, Associate Professor Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University (Translated by S. Otani, University of Tokyo), March 2011

### Viaducto #1 Shinkansen de Nakasone

(de 103 m de largo, a 456 km de Tokyo )

#### Antecedentes

Diseño según “Shinkansen Network Structural Design Standards (specifically for the Tohoku, Joetsu and Narita Lines), **1972**” and “Structural Design Standards for Reinforced Concrete, Unreinforced Concrete and Prestressed Concrete Structures, **1970**.”

#### Comportamiento sismorresistente

Daños severos en el extremo superior de las pilas con cabezales  
(sin daños en la cimentación)



Falta de confinamiento para evitar  
la falla del núcleo del concreto

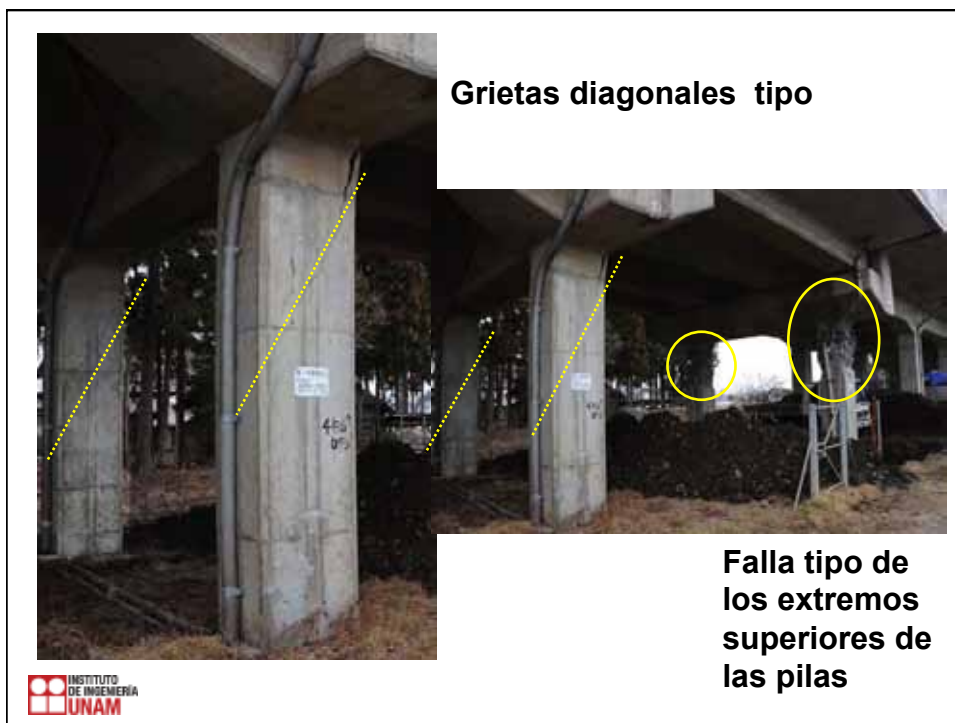


Pérdida de capacidad de carga gravitacional



Modos de falla de cortante y de flexión









## Observaciones

- ✓ Dada la magnitud del sismo ( $M_w = 9.0$ ), los daños estructurales observados fueron mucho menores de los que se podrían haber esperado
- ✓ Sin embargo, entre otros aspectos y según el comportamiento estructural observado, las columnas de concreto (en edificios altos y “chaparros”, y en viaductos), con diseños antes de 1980, son las que presentaron la mayor parte de los daños, dominando los modos de falla de cortante por efectos de columna corta