

10. RESPECTO AL PROCEDIMIENTO DE INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN

Con base en los casos de 17 edificaciones de escuelas de 4 niveles, en los que se aplicó el procedimiento simplificado de tercer nivel, se compararon los resultados de éste con los resultados de la aplicación de los procedimientos de primer, segundo y tercer nivel de la norma, pudiéndose hacer los siguientes comentarios.

En la Figura Apéndice I.4.10 se presenta la comparación de los resultados de aplicar los procedimientos a cuatro de las 17 edificaciones. También, en la Tabla Apéndice I.4.1 se presentan los resultados de la evaluación para los dos primeros niveles de los cuatro niveles para los 17 edificios, y en la Figura Apéndice I.4.11 se muestra la relación que guardan los resultados, para estos casos, entre la aplicación del procedimiento de tercer nivel y el simplificado de tercer nivel.

De lo que se presenta en las figuras y tablas, se puede comentar respecto a la aplicabilidad del procedimiento simplificado de tercer nivel, los siguientes conceptos. Lo que se presenta en las figuras y tablas anteriores es el valor del índice de comportamiento estructural ante sismo I_{s1} , por lo que I_{s1} representa el del procedimiento de primer nivel, I_{s2} el del procedimiento de segundo nivel, I_{s3} el del procedimiento del tercer nivel y I_{s3D} el del procedimiento simplificado de tercer nivel.

(1) Como se aprecia en la Tabla Apéndice I.4.1, la relación entre los índices I_{s1}/I_{s3} presenta una dispersión entre los valores 0.5 y 0.9, el valor del índice para el procedimiento del primer nivel resulta aproximadamente 1/1.5 veces el valor del índice para el procedimiento de tercer nivel. Esta diferencia puede atribuirse al hecho de que para el procedimiento de primer nivel se ignora la capacidad de comportamiento dúctil de la estructura.

(2) De igual manera se compara la relación I_{s2}/I_{s3} , reportando valores cercanos a la unidad, presentando una dispersión entre 0.7 y 1.3. Esta dispersión puede atribuirse al hecho de que para el procedimiento de segundo nivel se considera la resistencia de las trabes infinitamente alta, provocando por lo tanto una subvaloración de la capacidad dúctil de las mismas.

(3) Comparativamente con las relaciones I_{s1}/I_{s3} y I_{s2}/I_{s3} , la relación I_{s3D}/I_{s3} resulta cercana a la unidad, con menor dispersión en los resultados. Lo que es un índice de la aplicabilidad de este procedimiento simplificado de tercer nivel.

Sin embargo, dentro de la relación I_{s3D}/I_{s3} también se observan valores que superan y son inferiores ampliamente a la unidad, constituyéndose en algunos casos del lado de la inseguridad, por lo que aún existe el problema de poder definir de una manera precisa cuáles son éstos y aplicar directamente el procedimiento de tercer nivel. Generalmente, el valor de I_{s3D} será superior al de I_{s3} , pero como se aprecia en la Figura Apéndice I.4.11 4 de los 34 casos superan la relación $I_{s3D} = 1.25I_{s3}$.

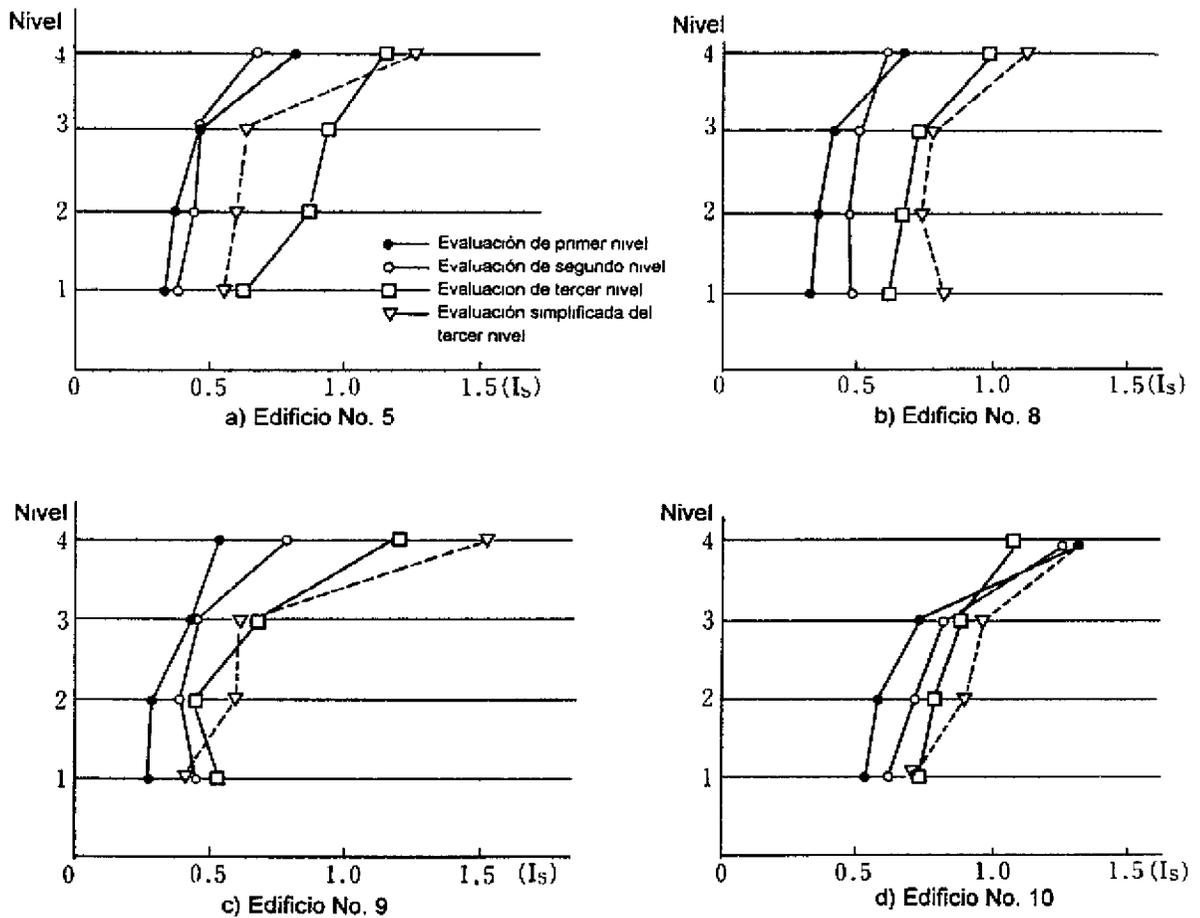


Figura Apéndice I.4.10 Comparación de los valores de I_s por las evaluaciones de cada nivel y por la evaluación simplificada del tercer nivel en caso de edificios de cuatro niveles de escuelas

Referencias

1. Hirosawa M., et al.; Aplicación del método simplificado del procedimiento de tercer nivel en edificios de escuelas de concreto reforzado. Prevención de Desastres en Edificios, julio 1988.

Tabla Apéndice I.4.1 Comparación de los resultados de las evaluaciones de cada nivel y evaluación simplificada del tercer nivel (I_{51} , I_{52D}) realizadas en los primeros dos pisos de edificios de cuatro pisos de escuelas

Nº. de Escuela	1	2	3	4	5	7	8	9	10	13	14	15	17	19	20	21	22	Min ~Max	Promedio	Desviación estándar
I_{53}	2F	0.40	0.52	0.38	0.53	0.86	0.46	0.68	0.42	0.50	0.88	0.47	0.79	0.46	0.47	0.29	0.44	0.29 -0.88		
	1F	0.47	0.53	0.38	0.52	0.62	0.39	0.62	0.49	0.48	0.57	0.54	0.71	0.49	0.49	0.32	0.49	0.32 -0.71		
I_{52D}	2F	0.44	0.53	0.45	0.67	0.61	0.48	0.75	0.60	0.50	0.78	0.49	0.89	0.52	0.47	0.30	0.42	0.30 -0.89		
	1F	0.48	0.47	0.50	0.53	0.57	0.49	0.83	0.48	0.53	0.58	0.51	0.69	0.55	0.52	0.42	0.49	0.42 -0.83		
I_{51}	2F	0.38	0.31	0.30	0.40	0.38	0.35	0.36	0.26	0.29	0.45	0.27	0.56	0.48	0.37	0.31	0.27	0.44 (0.44)	0.71	0.17
	1F	0.40	0.28	0.35	0.40	0.33	0.33	0.34	0.25	0.28	0.42	0.28	0.52	0.33	0.34	0.30	0.20	0.51 (-0.92)	0.67	0.12
I_{52}	2F	0.50	0.46	0.45	0.58	0.44	0.49	0.48	0.37	0.34	0.85	0.43	0.71	0.69	0.47	0.41	0.53	0.51 (-1.83)	1.02	0.30
	1F	0.55	0.53	0.50	0.50	0.40	0.44	0.50	0.42	0.40	0.66	0.49	0.61	0.63	0.41	0.37	0.51	0.65 (-1.61)	1.00	0.23
I_{52D}	2F	1.10	1.01	1.19	1.27	0.71	1.04	1.10	1.44	1.00	0.89	1.04	1.13	1.14	1.00	1.04	0.95	0.71 -1.44	1.06	0.15
	1F	1.02	0.88	1.31	1.03	0.92	1.26	1.33	0.98	1.11	1.03	0.95	0.98	1.11	1.06	1.06	1.00	0.88 -1.48	1.09	0.16

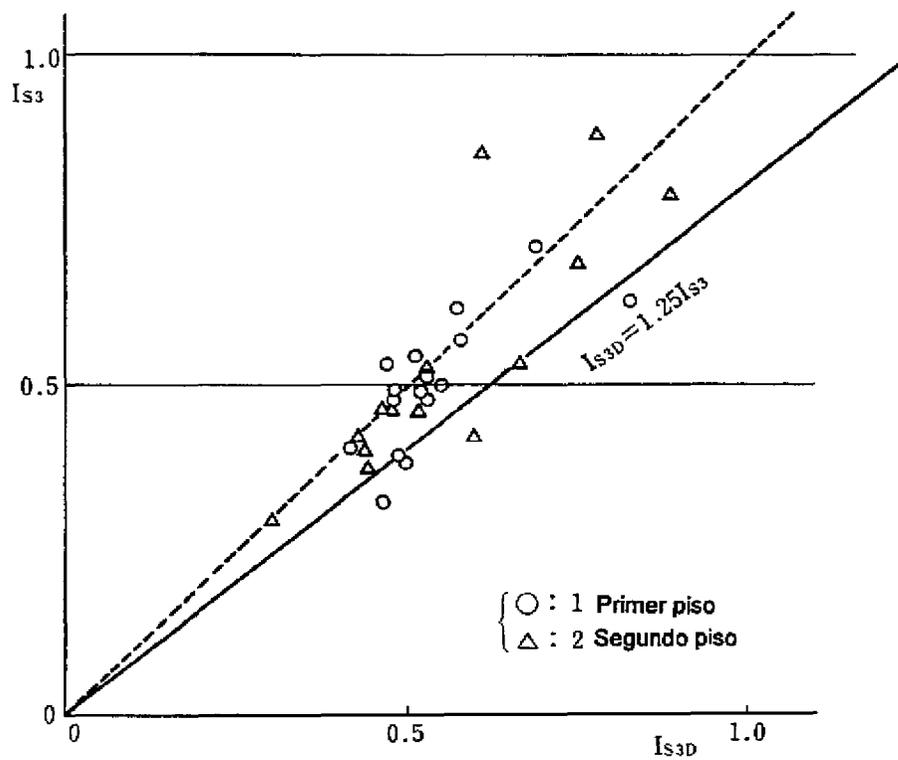


Figura Apéndice I.4.11 Comparación de los índices de resistencia (denominado como I_{s3} en la evaluación del tercer nivel y I_{s3D} en la evaluación simplificada del tercer nivel) en caso de los primeros dos pisos de edificios de cuatro pisos de escuela existente.

AI-5 INFORMACIÓN DE REFERENCIA PARA LA EVALUACIÓN RELACIONADA CON EL COMPORTAMIENTO DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES, ENTRE OTROS ASPECTOS

1. EJEMPLO DE CÁLCULO DEL ÍNDICE DE COMPORTAMIENTO ANTE SISMO DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES I_N

1.1 Descripción del edificio de ejemplo

Para explicar concretamente el procedimiento de determinación del índice de comportamiento de elementos no estructurales ante sismo, se considera un modelo de tres niveles con muros exteriores, representando la fachada sur de un edificio habitacional de la ciudad de Hachinohe.

Este edificio, durante el sismo de Tokachi-Oki de 1968, sufrió daño importante en parte de su estructura. También en el tercer nivel de la fachada sur, se desprendió el mortero de la vecindad de 36 de las 68 ventanas, y de 4 de los 48 cortinas.

En la Figura Apéndice I.5.1.1 se muestra la fachada sur de este edificio. Con el fin de simplificar el procedimiento de cálculo se obtuvo el modelo para análisis de dicho marco y se muestra en la Figura Apéndice I.5.1.2. Respecto a la numeración de elementos que se presenta en la figura, se explicará en el inciso 2.

Los claros entre columnas y los espacios donde se ubican los muros son de 5-0.5 m y 4.5-0.5 m (0.5m representa la dimensión de la columna), una representación gráfica de estas dimensiones se muestra en la Figura Apéndice I.5.1.3.

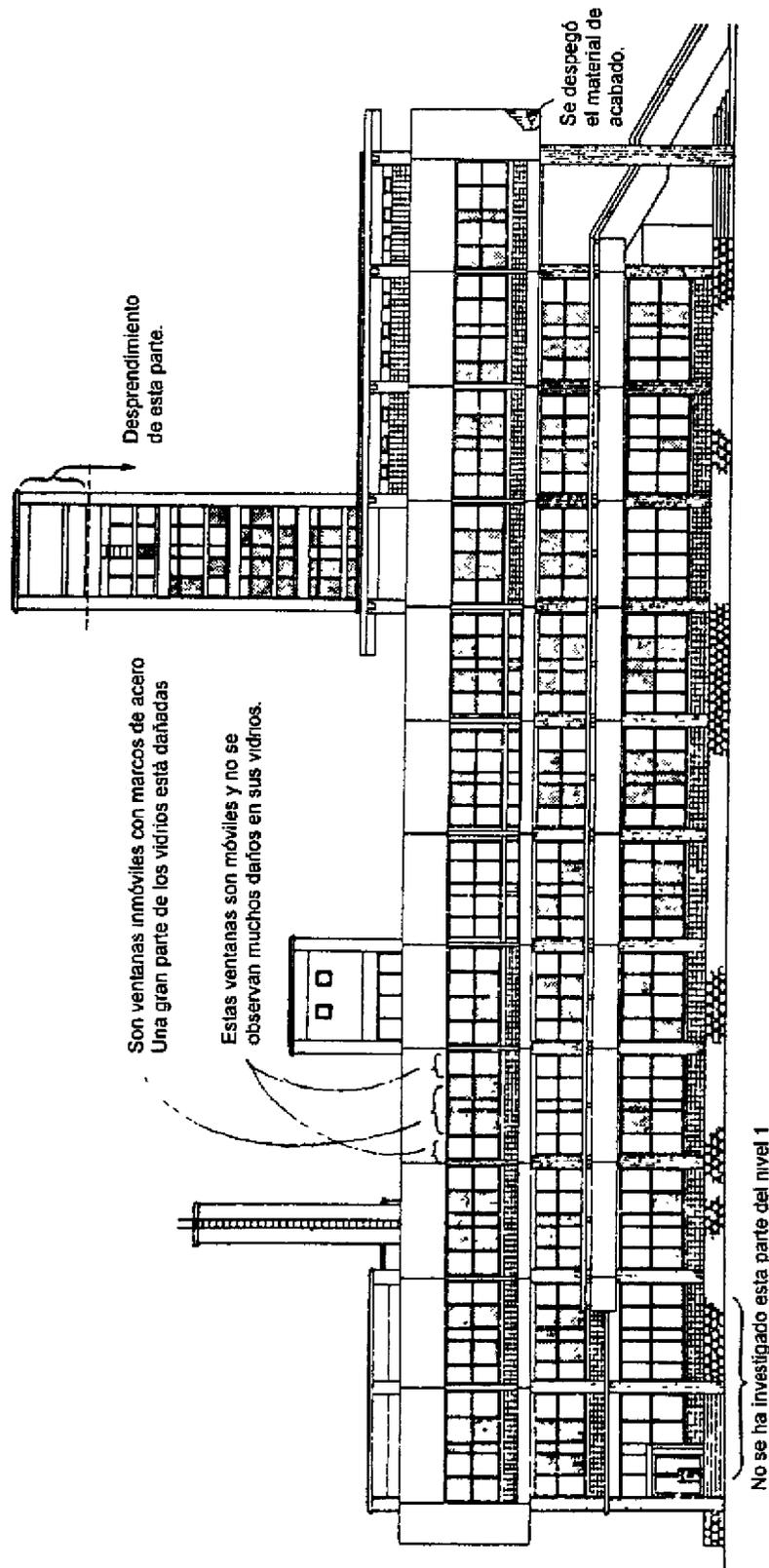


Figura Apéndice I.5.1.1 Vista de la fachada sur y del daño en vidrios de ventanas (las zonas de ventanas achuradas, representan vidrios dañados)
(información tomada de la Ref (3))

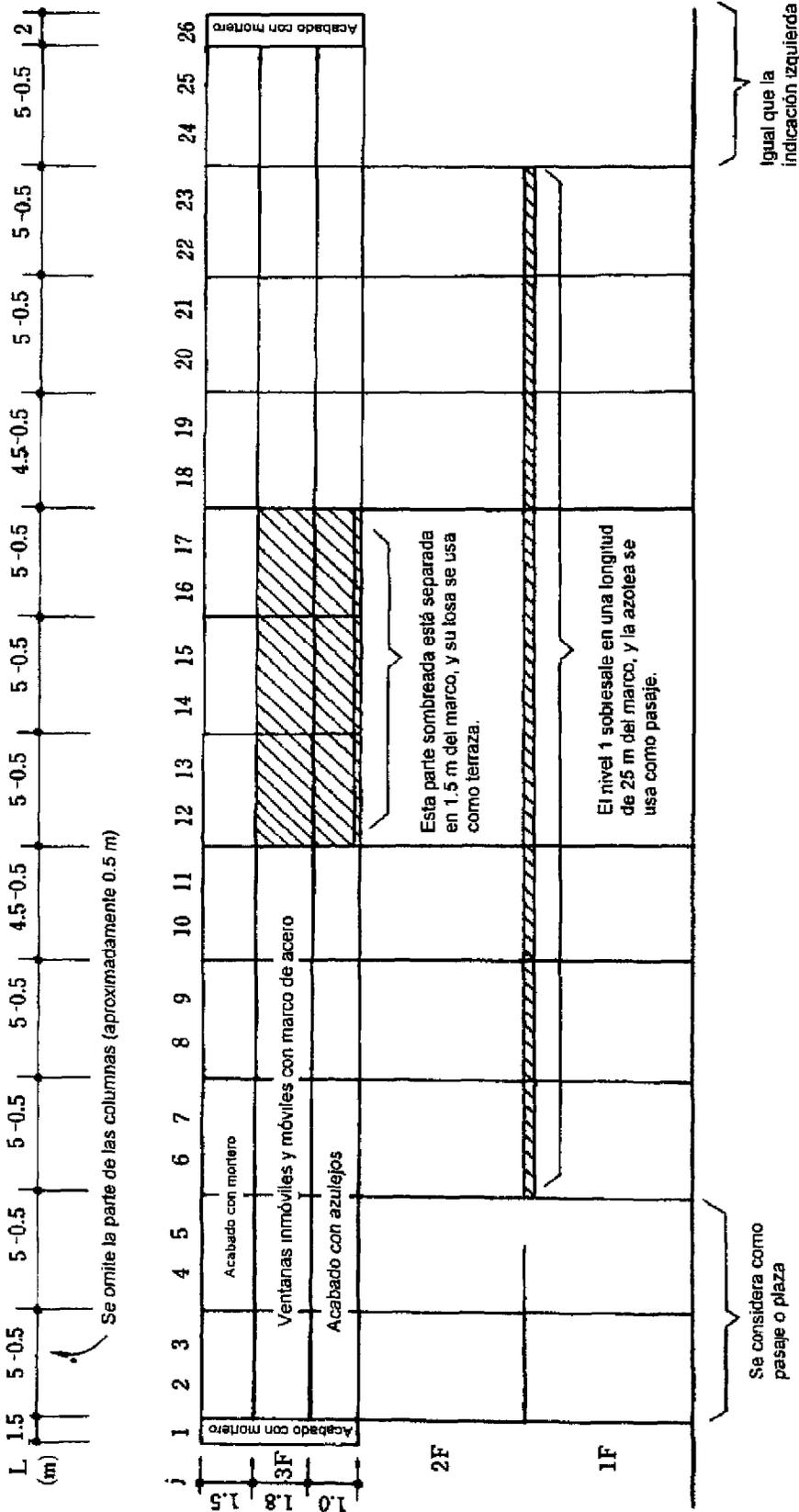


Figura Apéndice I.5.1.2 Plano de las condiciones de elementos no estructurales de la fachada sur

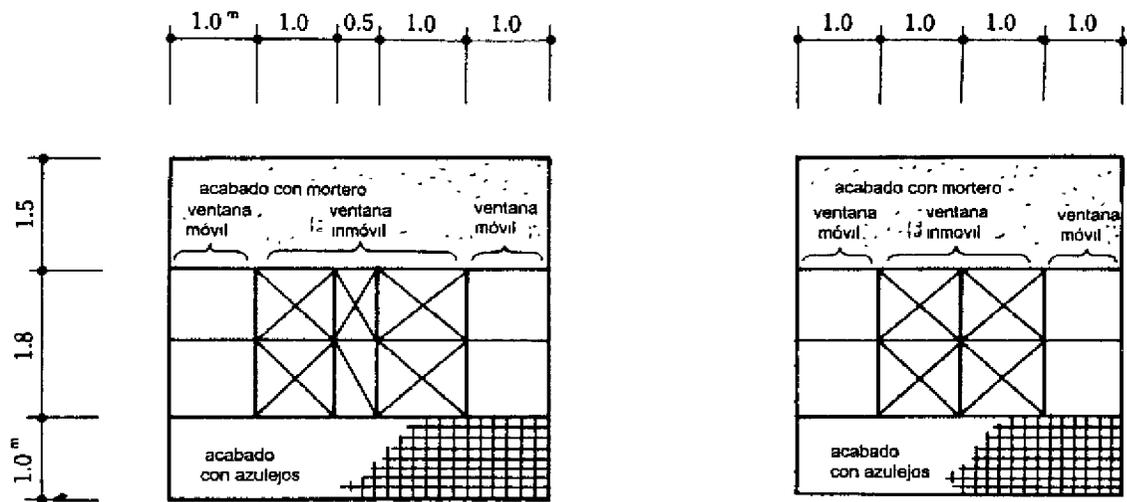


Figura Apéndice I.5.1.3 Composición del muro

1.2 Clasificación y diversificación hacia elementos individuales

Pensando en la facilidad de cálculo, se hará una clasificación y diversificación de elementos individuales como se muestra en la Figura Apéndice I.5.1.2, proporcionándoles un número distintivo (j).

En $j = 1$ y 26, el muro tiene mortero en toda su superficie

En los planos de los muros se cuenta con sistemas de ventanas y cortinas fijas y removibles, habiendo para este ejemplo desde la 2 hasta la 25. (para identificar a cualquiera de este grupo de elementos no estructurales se recomienda consultar la Figura Apéndice I.5.1.3).

En el caso de este tipo de elementos no estructurales con configuración de columnas en vez de panel, se simplifica el procedimiento al ignorarlos.

1.3 Respecto al índice B del procedimiento de estructuración

El nivel de capacidad de deformación de la estructura en cuestión (g_s), para el procedimiento de primer nivel resulta igual a II y se muestra en la Tabla 14, para el procedimiento de segundo nivel resulta igual a 3 y se presenta en la Tabla 19.

El procedimiento estructural que reporta en el mayor valor del índice B del procedimiento estructural, según el procedimiento de primer nivel (usando sistemas de ventanería fijos), acepta un nivel de capacidad de deformación $g_s=I$, como se indica en la Tabla 15. Según el procedimiento de segundo nivel, se debe considerar cada uno de los elementos componentes y se determinara con base en la Tabla 20, como se indica enseguida.

para $j = 1, 26$, todos están fijados con mortero por lo que $g_N = 2$.

para $j = 2, 4, 6, 8, 10, 18, 20, 22, 24$, son ventanales inamovibles fijados con mortero, usando además mosaico, por lo que $g_N = 1$.

para $j = 3, 5, 7, 9, 11, 19, 21, 23, 25$, son ventanales móviles fijados con mortero, usando además mosaico, por lo que $g_N = 2$.

para $j = 12$ a 17, debido a la presencia de huecos y a que parcialmente tiene mosaico adheridos, se deberá pensar parcialmente como sigue:

para $j = 12, 14, 16$, debido a que tiene cortinas inamovibles, $g_N = 1$

para $j = 13, 15, 17$, debido a que tiene mosaico, $g_N = 2$

(finalmente para $j = 12$ al 17, se ignoró la parte donde existe mortero.)

Con base en lo anterior, el valor del índice de capacidad a deformación de los elementos no-estructurales $f = 1.0$, dado que, como se muestra en la Tabla 13, $g_s = II$ y $g_N = I$.

Por otro lado considerando el procedimiento de segundo nivel, y conforme lo presentado en la Tabla 18, se puede mostrar lo siguiente.

Para aquellas partes del edificio donde dominan las cortinas inamovibles, se tendrá $g_s = 3$ y $g_N = 2$, por lo que $f = 0.9$.

Para aquellas partes del edificio donde domina mortero y mosaico, $g_s = 3$, $g_N = 2$, por lo que $f = 0.8$.

Después, el índice de comportamiento real t , conforme al procedimiento de primer nivel y dado que no tiene históricamente problemas la edificación, conforme se indica en la Tabla 16, se acepta $t = 1.0$.

También, de considerar la Tabla 21, en la que se presentan los resultados de la evaluación empleando el procedimiento de segundo nivel, resulta lo siguiente. Este edificio fue construido en 1960, si se considera que el sismo que le ocasionó daño es el de Tokachi-Oki de 1968, se conoce que el edificio tenía una edad de 8 años, por lo que $g_V = 2$. Debido a que no se tiene conocimiento de problemas en la historia del edificio, se tiene $g_H = 2$. Por lo tanto el índice de comportamiento real $t = 0.3$.

Con base en los cálculos anteriores, el índice de procedimiento estructural B será.

Cuando se usa el procedimiento de primer nivel, conforme la expresión (28)

$$B = f + (1 - f) t = 1.0 + (1 - 1.0) \times 1.0 = 1.0$$

Para el procedimiento de segundo nivel, respecto al sistema de acabados inamovibles, se determinará conforme la expresión (30)

$$B = f + (1 - f) t = 0.9 + (1 - 0.9) \times 0.3 = 0.93$$

Cuando se considera que el material de acabado es mortero o mosaico, el valor del índice B también se podrá determinar conforme la expresión (30).

$$B = f + (1 - f) t = 0.8 + (1 - 0.8) \times 0.3 = 0.86$$

1.4 Respecto al índice de superficie o área

La altura para cada uno de los procedimientos constructivos se considerará conforme se presenta en las Figuras Apéndice I.5.1.2 y I.5.1.3. Por lo tanto, si W se determina con base en la expresión (31), finalmente las expresiones podrán quedar como se indica:

$j = 1, 26$, existencia de mortero en la cara del muro

$$h = 4.3 \text{ m} \quad W = 0.5 + 0.5 \frac{4.3}{3.5} = 1.11$$

$j = 2$ a 25 , parcialmente con mortero en cara del muro

$$h = 1.5 \text{ m} \quad W = 0.5 + 0.5 \frac{1.5}{3.5} = 0.71$$

$j = 2$ a 25 , con elementos de fachada móviles o no

$$h = 1.8 \text{ m} \quad W = 0.5 + 0.5 \frac{1.8}{3.5} = 0.76$$

$j = 12$ a 17 , con mosaico en la cara del muro

$$h = 1.8 \text{ m} \quad W = 0.5 + 0.5 \frac{1.0}{3.5} = 0.64$$

1.5 Respecto al índice de grado de efecto o impacto H

Considerando la Figura Apéndice I.5.1.2, el valor del índice de impacto H para el procedimiento de primer nivel (tomando en cuenta las condiciones que controlan el entorno del inmueble), se determina el valor de $H = 1.0$ conforme se indica en la Tabla 17.

La determinación del valor del índice H para el procedimiento de segundo nivel, nuevamente considerando a la Figura Apéndice I.5.1.2, y calculando de las Tablas 22 y 23 los índices ambiental e y de control c, se obtienen los resultados presentados en la Figura Apéndice I.5.1.4. Principalmente, para j entre 12 y 17, debido a la presencia de barandales que garantizan que la caída de objetos no ira hasta el primer nivel, se observa que los valores del índice de control son particularmente menores que las otras zonas del edificio. Finalmente, el valor del índice e será 0.7 para cualquier zona, y el valor del índice c variará entre 1.0 y 0.5. Por lo tanto, el valor del índice de impacto H, con base en la expresión (32) y los valores de $e = 0.7$ y $c = 1.0$, se tiene $H = \sum ec = 0.7 \times 1.0 = 0.7$; para $e = 0.7$ y $c = 0.5$, se tiene $H = 0.35$.

j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
e	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
c	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Figura Apéndice I.5.1.4 Índice de ambiente e, e índice de restricción c

1.6 Cálculo del índice de comportamiento ante sismo de elementos no estructurales I_N , con base en el procedimiento de primer nivel

Debido a que ya se determinaron en el inciso 3 el valor del índice $B = 0.1$, y en el inciso 5 el valor de $H = 1.0$, considerando estos valores en la expresión (27) se puede determinar el valor del índice I_N .

$$I_N = 1 - B \cdot H = 1.0 \times 1.0 = 0$$

Debido a que en este edificio se emplearon cortineros de acero inamovibles que han presentado gran cantidad de daño en sismos anteriores, según el procedimiento de primer nivel el valor del índice $I_N = 0$. Por lo que deberá procederse a usar el procedimiento de segundo nivel.

1.7 Cálculo del índice de comportamiento ante sismo de elementos no estructurales I_N , con base en el procedimiento de segundo nivel

Para el procedimiento de segundo nivel, se empleará también la expresión (27) y todos los valores de los índices determinados en los incisos 1 al 5. Sin embargo, por facilidad se presenta todo el procedimiento de calculo en la Tabla I.5.1.1. Con base en lo indicado en la Tabla, $\Sigma BWHL = 23.68$, $\Sigma L = 56.5$, por lo que el valor del índice I_N será,

$$I_N = 1 - \frac{\Sigma BWHL}{\Sigma L} = 1 - \frac{23.68}{56.5} = 1 - 0.42 = 0.58$$

**Tabla Apéndice I.5.1.1 Tabla de cálculo para la evaluación del segundo nivel
(datos comunes: $g_s = 3$, $t = 0.3$)**

j	Estructura que tiene el máx. Valor de B (determinada con el signo 0)	g_N	f	B	h	W	e	c	H	L	BHWL	Notas
1	Acabado con mortero	2	0.8	0.86	4.3	1.11	0.7	1.0	0.7	1.5	1.00	
2	a b d	1	0.9	0.93	1.8	0.76	0.7	1.0	0.7	2.5	1.24	
3	a c d	2	0.8	0.86	1.5	0.71	0.7	1.0	0.7	2.0	0.85	
4	a b d	1	0.9	0.93	1.8	0.76	0.7	1.0	0.7	2.5	1.24	
5	a c d	2	0.8	0.86	1.5	0.71	0.7	1.0	0.7	2.0	0.85	
6	a b d	1	0.9	0.93	1.8	0.76	0.7	1.0	0.7	2.5	1.24	
7	a c d	2	0.8	0.86	1.5	0.71	0.7	1.0	0.7	2.0	0.85	
8	a b d	1	0.9	0.93	1.8	0.76	0.7	1.0	0.7	2.5	1.24	
9	a c d	2	0.8	0.86	1.5	0.71	0.7	1.0	0.7	2.0	0.85	
10	a b d	1	0.9	0.93	1.8	0.76	0.7	1.0	0.7	2.0	0.99	
11	a c d	2	0.8	0.86	1.5	0.71	0.7	1.0	0.7	2.0	0.85	
12	b d	1	0.9	0.93	1.8	0.76	0.7	0.5	0.35	2.5	0.62	NO SE CONSIDERA LA PARTE DE ACABADOS CON MORTERO
13	c d	2	0.8	0.86	1.0	0.64	0.7	0.5	0.35	2.0	0.39	
14	b d	1	0.9	0.93	1.8	0.76	0.7	0.5	0.35	2.5	0.62	
15	c d	2	0.8	0.86	1.0	0.64	0.7	0.5	0.35	2.0	0.39	
16	b d	1	0.9	0.93	1.8	0.76	0.7	0.5	0.35	2.5	0.62	
17	c d	2	0.8	0.86	1.0	0.64	0.7	0.5	0.35	2.0	0.39	
18	a b d	1	0.9	0.93	1.8	0.76	0.7	1.0	0.7	2.0	0.99	
19	a c d	2	0.8	0.86	1.5	0.71	0.7	1.0	0.7	2.0	0.85	
20	a b d	1	0.9	0.93	1.8	0.76	0.7	1.0	0.7	2.5	1.24	
21	a c d	2	0.8	0.86	1.5	0.71	0.7	1.0	0.7	2.0	0.85	
22	a b d	1	0.9	0.93	1.8	0.76	0.7	1.0	0.7	2.5	1.24	
23	a c d	2	0.8	0.86	1.5	0.71	0.7	1.0	0.7	2.0	0.85	
24	a b d	1	0.9	0.93	1.8	0.76	0.7	1.0	0.7	2.5	1.24	
25	a b d	2	0.8	0.86	1.5	0.71	0.7	1.0	0.7	2.0	0.85	
26	acabado con mortero	2	0.8	0.86	4.3	1.11	0.7	1.0	0.7	2.0	1.34	
N o t a s	a)mortero b)ventana inmóvil c)ventana móvil d)azulejos									$\Sigma' =$ 56.5	$\Sigma =$ 23.68	

Nota. En esta Tabla se han llenado todos los espacios en blanco. Sin embargo, los valores iguales se pueden omitir

Este valor de $I_N = 0.58$, tiene la finalidad de representar las características de comportamiento ante sismo de los elementos no-estructurales, sin embargo hay que reconocer que resulta una labor difícil el hacer esa determinación o evaluación, por lo que se recomienda determinar el nivel de estas características con base en la consulta conjunta de un croquis de condición de daño como el mostrado en este caso en la Figura Apéndice I.5.1.1

Referencias

1. Instituto de Arquitectos del Japón; Proyecto de edificios de escuelas (en japonés), 1971.
2. Instituto de Arquitectos del Japón; Tecnología para edificios de escuelas (en japonés), 1954.
3. Instituto de Arquitectos del Japón; Reporte de la inspección de daños del sismo de Tokachi-oki de 1968, (en japonés), 1968.
4. Instituto de Arquitectos del Japón; Carga sísmica y características de comportamiento ante sismo de estructuras de edificios (en japonés), 1977.
5. Umemura H.; Diseño sísmico dinámico de edificios de concreto reforzado, (en japonés), Editorial Shihoudo 1973.
6. Instituto de Arquitectos del Japón; Informe del grupo de investigación de daños del sismo de Tokachi-oki de 1968, (en japonés), Septiembre 1971.

2. MÉTODO DE EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ANTE SISMO DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

Introducción

En el capítulo 4 de la “Norma de Evaluación ante Sismo de Edificios Existentes de Concreto Reforzado”, se presenta el método para revisar la seguridad ante sismo de los elementos no estructurales, sobre todo los muros exteriores, usando el índice de capacidad ante sismo de los elementos no estructurales, I_n .

El método que se presenta en este Apéndice es para revisar la capacidad ante sismo de los elementos no estructurales como los elementos que componen los muros exteriores y objetos adicionales instalados en edificios con respecto a su fuerza de inercia y su deformación, y para evaluar su capacidad considerando el resultado de investigación sobre su estado de deterioro por intemperismo. Una de las características de este método es que se usan los índices C y F, que son índices para la evaluación ante sismo de la estructura, al calcular la fuerza de inercia que se aplica a los elementos no estructurales y deformación que se presentan los elementos no estructurales durante un sismo. Este es un método comparativamente sencillo.

Sin embargo, este método se presenta en el Apéndice para que se usen como referencia para la evaluación ante sismo de los elementos no estructurales, ya que sólo describe la metodología básica y requiere las consideraciones adecuadas de cada investigador.

Este método es el resumen de la parte relacionada con estructuras de concreto reforzado de la “Investigación sobre los métodos de evaluación ante sismo de edificios existentes (por la municipalidad de la ciudad de Kawasaki)” que se ha entregado a la Asociación Japonesa de Prevención de Desastres en Edificios.

2.1 General

La posibilidad de la caída de los elementos no estructurales que componen los muros exteriores o las instalaciones en los muros exteriores o en la azotea (denominados como elementos no estructurales) se evalúa considerando la resistencia de los mismos o la relación de su capacidad de deformación y la respuesta dinámica.

Comentarios

Aunque existe un método para obtener separadamente los valores de la capacidad ante sismo, I_s o I_n , para la estructura y para los elementos no estructurales, no se ha desarrollado un método para relacionar estos valores y evaluar la capacidad ante sismo de los elementos no estructurales. Por lo tanto, en esta sección se evalúa la capacidad ante sismo de los elementos no estructurales considerando la respuesta dinámica de la estructura (capacidad ante sismo de la estructura) de acuerdo con el siguiente proceso básico.

(1) Revisión de la posibilidad de caída por la fuerza de inercia.

Respuesta de aceleración de la estructura (se considera la relación con la capacidad ante sismo de la misma).



Amplificación parcial de la respuesta (se considera la amplificación de la respuesta de los elementos no estructurales).



Fuerza de inercia aplicada a los elementos no estructurales.



Capacidad ante sismo de los elementos no estructurales (capacidad del elemento no estructural y de su anclaje).



Evaluación de la posibilidad de la falla y caída.

(2) Revisión de la posibilidad de la falla por deformación.

Respuesta de deformación de la estructura (se considera la relación con la capacidad ante sismo de la misma).



Deformación aplicada a los elementos no estructurales (se considera el método de instalación o la estructura de anclaje).



Capacidad de deformación de los elementos no estructurales.



Evaluación de la posibilidad de la falla y caída.

En este método, para considerar la relación con el comportamiento sísmico de la estructura al estimar la respuesta de aceleración o la de deformación, se usa el resultado de evaluación ante sismo de la estructura. Por lo tanto, se debe considerar qué nivel se ha usado para la evaluación de la estructura. Al aplicar este método, se recomienda usar el resultado de la evaluación de segundo nivel o tercer nivel.

Cuando la capacidad ante sismo de la estructura resultó ser insuficiente y se necesita reforzar ante sismo, no es práctico usar el resultado de la evaluación antes del refuerzo para revisar la capacidad ante sismo de los elementos no estructurales. En este caso, es mejor revisarla suponiendo el estado de la estructura después del refuerzo.

2.2 Revisión de la capacidad de elementos no estructurales

Se revisa la posibilidad de caída por la fuerza de inercia o la posibilidad de falla por la deformación de los siguientes elementos no estructurales.

(1) Elementos no estructurales ante fuerzas de inercia

Parapetos, barandales de concreto reforzado, paneles prefabricadas, muros de bloques de concreto, chimenea en la azotea, tanques elevados, torres de anuncios, torres de refrigeración, equipo de aire acondicionado, anuncios instalados en el muro, máquinas expendedoras y tuberías

(2) Elementos no estructurales para ser revisados por deformación

Ventanas de vidrio, muros de bloque de vidrio, muros de bloques de concreto, paneles prefabricados, paneles prefabricadas de concreto, muros acabados con azulejos, con piedras, con cerámicas, con morteros, muros de paneles, muros de concreto reforzado sin acabados, puertas exteriores y tuberías

Comentarios

En este método de evaluación, se clasifican los elementos no estructurales como aquellos sensibles a la fuerza de inercia y a la deformación relativas de la estructura. Se evalúa el nivel de peligro considerando sólo la capacidad ante la fuerza de inercia o la deformación aplicada. Generalmente, para las instalaciones adicionales a la estructura, el efecto de la fuerza de inercia domina, y para los elementos no estructurales como los materiales exteriores el efecto de la deformación aplicada domina.

Sin embargo, en la realidad, la mayoría de los elementos no estructurales están sometidos a fuerzas de inercia y deformación simultáneamente durante un sismo, y será más adecuado evaluar su capacidad considerando la combinación de estos dos efectos. Por lo tanto, para los elementos sensibles a estos dos efectos, por ejemplo, paneles prefabricados pesados en el muro exterior y muros de bloques de concreto, se recomienda revisar ante la fuerza de inercia y la deformación aplicada.

2.3 Método de revisión de la posibilidad de caída debido a la fuerza de inercia

(1) Fuerza de inercia aplicada a los elementos no estructurales

(a) Cálculo de la fuerza de inercia

La fuerza de inercia, F_N , que se aplica a los elementos estructurales en el nivel i durante un sismo se calcula con la ecuación (Apéndice I.5.2.1).

$$F_N = \beta_H \cdot k_{iR} \cdot W_N \quad (\text{Apéndice I.5.2.1})$$

En donde β_H es el coeficiente de amplificación de la respuesta de los elementos no estructurales, en caso de usar un procedimiento de cálculo específico se usarán los valores presentados en la Tabla Apéndice I.5.2.1. El parámetro k_{iR} , que es el coeficiente de cortante del nivel i en donde están los elementos no estructurales, se calcula con la ecuación (Apéndice I.5.2.2) de la siguiente sección. W_N es el peso propio de los elementos no estructurales.

(b) Cálculo del coeficiente de cortante de la estructura

El coeficiente de cortante del nivel i de la estructura se calcula con la ecuación (Apéndice I.5.2.2).

$$k_{iR} = C_i \cdot H_i \cdot \sum_{j=1}^n W_j / \left(\sum_{j=1}^n H_j \cdot W_j \right) \quad (\text{Apéndice I.5.2.2})$$

En donde C_i es el índice de resistencia C del nivel i que se ha obtenido en la evaluación de la estructura. H y W son la altura y peso propio de la estructura respectivamente. Los subíndices i y j están de acuerdo con la Figura Apéndice 1.

Tabla Apéndice 1.5.2.1 Valor de β_H

Forma	Plano			Barra		
	Se conecta toda la superficie	Se conectan sus bordes	Se conecta uno de sus bordes	Se conecta a lo largo del elemento	Se conectan dos extremos	Se conecta un extremo
Elementos no estructurales con alta rigidez	1.0	1.0	1.5	1.0	1.0	1.5
Otros tipos de elementos no estructurales	1.0	1.5	2.0	1.0	1.5	2.0

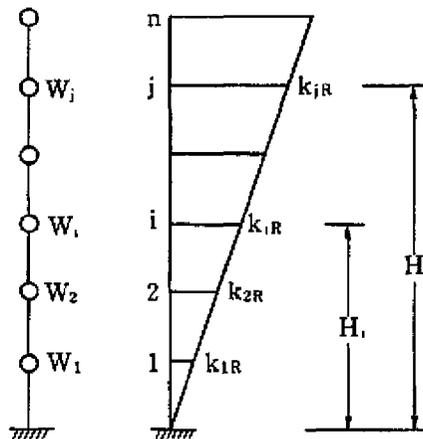


Figura Apéndice 1.5.2.1 Definición de H_i , H_j , W_i y W_j

Cuando la estructura tiene suficiente resistencia, es decir, cuando el índice F de la estructura es menor que 1 y el índice de resistencia I_s es mayor que el índice de evaluación ante sismo I_{so} , se puede reducir el valor de k_{iR} multiplicando la ecuación Apéndice (2) por el valor de (I_{so}/I_s) .

(c) El valor del índice de resistencia C_i

C_i de la ecuación Apéndice (2) se calcula como sigue:

⊙ Cuando el valor de E_o de la estructura se calcula con:

$$E_o = (n + 1)/(n + i) \{(C_w + \alpha_i \cdot C_c)F_w\}, C_i \text{ es igual a } (C_w + \alpha_i \cdot C_c) \text{ del nivel } i.$$

② Cuando el valor de E_o de la estructura se calcula con:

$$E_o = (n + 1) / (n + i) \{ (C_{sc} + \alpha_2 \cdot C_w + \alpha_3 \cdot C_c) F_{sc} \}, C_i \text{ es igual a } \\ (C_s + \alpha_2 \cdot C_w + \alpha_3 \cdot C_c) \text{ del nivel } i.$$

③ Cuando el valor de E_o de la estructura se calcula con:

$$E_o = (n + 1) / (n + i) \{ \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + E_3^2} \}, C_i \text{ es igual a } (C_1 + \alpha_2 \cdot C_2 + \alpha_3 \cdot C_3) \text{ del nivel } i.$$

Comentarios

La fuerza de inercia, F_N , que se aplica a los elementos no estructurales durante un sismo se calcula con la ecuación (Apéndice I.5.2.1) multiplicando el peso propio del elemento no estructural por el coeficiente de cortante. El coeficiente de cortante se calcula multiplicando el coeficiente de respuesta de la losa del nivel i , k_{Ri} , por la amplificación del elemento no estructural, β_H , que es el valor propuesto en la referencia 1.

El coeficiente de respuesta de la losa del nivel i , k_{Ri} , se calcula con la ecuación (Apéndice I.5.2.2) Esta ecuación supone una distribución triangular inversa de la respuesta sísmica de la estructura como muestra la Figura Apéndice I.5.2.1, y se considera como el valor máximo de la respuesta que se obtiene como sigue considerando la relación con la resistencia del nivel i .

Sea el coeficiente de cortante de la losa del nivel i (losa del techo del nivel i) en donde están instalados los elementos no estructurales, k_i , el coeficiente de cortante de la losa del nivel j que es un nivel superior, k_j , se escribe como sigue usando la notación de la Figura Apéndice I.5.2.1.

$$k_j = k_i \cdot (H_i / H_j) \quad (\text{Apéndice I.5.2.a})$$

y la fuerza cortante del nivel i , Q_i , es:

$$Q_i = \sum_{j=1}^n K_j \cdot W_j = \sum_{j=1}^n K_i \cdot (H_j/H_i) \cdot W_j = (k_i/H_i) \sum_{j=1}^n H_j \cdot W_j \quad (\text{Apéndice I.5.2.b})$$

Por otro lado, sea la resistencia del nivel i de la estructura, Q_{ui} :

$$Q_{ui} = C_i \cdot \sum_{j=1}^n W_j \quad (\text{Apéndice I.5.2.c})$$

Iguando las ecuaciones (I.5.2.b) y (I.5.2.c), se determina el coeficiente de cortante de la losa, k_i , cuando el cortante del nivel i coincide con la resistencia del mismo nivel como:

$$k_i = C_i \cdot H_i / \left(\sum_{j=1}^n W_j / \sum_{j=1}^n C_j \cdot W_j \right) \quad (\text{Apéndice I.5.2.d})$$

La ecuación (Apéndice I.5.2.2) es igual que la ecuación anterior. Pero se usa el símbolo k_{R} en lugar de k_i de la ecuación anterior.

Como se puede observar en la ecuación (Apéndice I.5.2.c), el C_i es un coeficiente que representa la resistencia. En caso de estructuras de concreto reforzado, es similar al índice de resistencia, C , en la evaluación ante sismo. Por lo tanto, se permite usar el resultado de la evaluación para el valor de C_i de la ecuación (Apéndice I.5.2.2).

Además, como se ha explicado anteriormente, C_i se considera como el valor máximo de la respuesta. Cuando la resistencia es muy grande y la respuesta no alcanza hasta C_i , se puede reducir el valor de k_{R} en la ecuación (Apéndice I.5.2.2). En realidad es difícil expresar la cantidad de reducción en una ecuación simple, pero se empleó un método simplificado de reducción usando la proporción del índice de evaluación ante sismo, I_{so} , y el índice de resistencia I_s .

(2) Resistencia de los elementos no estructurales

La resistencia de los elementos no estructurales, T_N , es el valor mínimo de la carga lateral, P , aplicada en el centro de gravedad de los elementos no estructurales, asociada a la falla en la conexión de los elementos no estructurales y la estructura o en los elementos no estructurales.

Comentarios

No se puede expresar la resistencia de los elementos no estructurales en una forma general, ya que la forma y el método de conexión de los elementos no estructurales varían. Por lo tanto, se calcula la resistencia considerando las condiciones individuales de cada elemento no estructural, o se usa la resistencia obtenida de los resultados de pruebas.

Es necesario considerar el deterioro del material al calcular la resistencia, ya que la resistencia de un elemento no estructural o la resistencia de su conexión varía mucho dependiendo del nivel de deterioro. Sin embargo, hasta ahora, no se ha desarrollado un método para considerar el deterioro en el cálculo de resistencia.

En este método, se considera el estado de deterioro, que se ha investigado separadamente, en la última etapa de evaluación.

(3) Rango de capacidad ante la fuerza de inercia

Se clasifica el rango de capacidad de los elementos no estructurales ante la fuerza de inercia usando F_N que se ha calculado con la ecuación (Apéndice I.5.2.1) y T_N .

Rango de capacidad (a): $F_N < T_N$ (Cuando la capacidad es mayor que la fuerza de inercia)

Rango de capacidad (b): $F_N \geq T_N$ (Cuando la fuerza de inercia es mayor que la capacidad)

2.4 Método de revisión de la posibilidad de falla por la deformación aplicada

(1) Distorsión aplicada a los elementos no estructurales

En general, la distorsión aplicada a los elementos no estructurales, R_N , es igual a la distorsión relativa máxima, R_{resp} , del nivel considerado de la estructura durante un sismo.

$$R_N = R_{resp} \quad (\text{Apéndice I.5.2.3})$$

Si no se obtiene la distorsión relativa máxima, R_{resp} , por análisis dinámico, se puede calcular usando la ecuación (Apéndice I.5.B.4).

$$R_{resp} = R_u \times (I_{so}/I_{si}) \quad (\text{Apéndice I.5.2.4})$$

en donde R_u es el valor obtenido de la Tabla Apéndice I.5.2.2 usando el índice máximo de ductilidad, F_{max} , del nivel considerado, que se ha usado en la evaluación ante sismo de la estructura.

Tabla Apéndice I.5.2.2 Relación $F_{max} - R_u$

Índice de ductilidad F_{max}	0.8	1.0	1.27	1.6	2.0	2.6	3.2
Deformación límite R_u	1/500	1/250	1/500	1/115	1/80	1/50	1/30

(Se puede interpolar para valores intermedios.)

En general, para el índice máximo de ductilidad, F_{max} , se toma el valor máximo del grupo de la evaluación ante sismo. Sin embargo, si el grupo que define el índice de E_o es diferente del grupo que define F_{max} , se puede tomar el valor de F del primer grupo en lugar de F_{max} .

Comentarios

Cuando una estructura se deforma durante un sismo, los elementos no estructurales instalados estarán sometidos a la deformación transmitida. La distorsión de los elementos no estructurales, R_N , generalmente varía dependiendo de tipo de elemento no estructural y del método de conexión, y no se puede definir una expresión o valor general. Pero suponiendo que no existe una deformación por deslizamiento en la conexión, se puede considerar que R_N es igual a la distorsión de la respuesta sísmica de la estructura, R_{resp} . Con esta razón, en este método se usa la ecuación; $R_N = R_{resp}$.

Generalmente, la distorsión de la respuesta sísmica de una estructura, R_{resp} , se puede estimar por un análisis dinámico. También, en la evaluación ante sismo de una estructura, se define la distorsión máxima, R_u , desde el punto de vista de la capacidad de deformación de los marcos. Por lo tanto, en este método, se puede calcular la distorsión de la respuesta de la

estructura, R_{resp} , con la ecuación (Apéndice I.5.2.4) considerando el resultado de evaluación ante sismo de la estructura y el índice de evaluación, sin recurrir al análisis dinámico.

En la evaluación ante sismo, la capacidad ante sismo de una estructura se expresa como:

$$I_s = \{(n+1)/(n+i)\} E_o \cdot S_D \cdot T$$

y el índice básico, E_o , se expresa como:

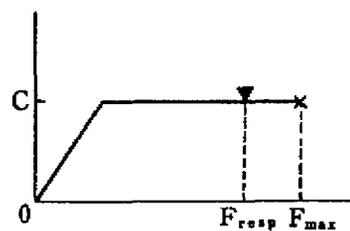
$$E_o = C \times F \text{ (en donde } C: \text{ índice de resistencia y } F: \text{ índice de ductilidad)}$$

Para simplificar el problema, se supone que $(n+1)/(n+i) = 1$, $S_D = 1$ y $T = 1$. En consecuencia, I_s es igual a E_o , y $I_s = C \times F$.

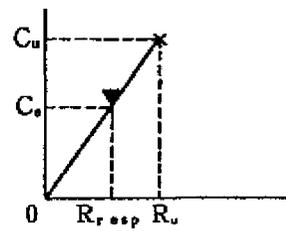
Si una estructura tiene la capacidad ante sismo que se presenta en la Figura Apéndice I.5.2.2(a), su índice de resistencia es C y su índice máximo de ductilidad es F_{max} , I_s se expresa como sigue:

$$I_s = C \times F_{max}$$

(Apéndice I.5.2.e)



(a) Respuesta elasto-plástico



(b) Respuesta elástica

Figura Apéndice I.5.2.2 Relación de la capacidad ante sismo y respuesta sísmica (diagrama conceptual en la evaluación ante sismo)

Si la respuesta sísmica de esta estructura está en el punto ▼ de la figura y la energía necesaria para que se presente la deformación hasta este punto es igual al índice de evaluación, I_{so} , I_{so} se expresa como:

$$I_{so} = C \times F_{resp}$$

(Apéndice I 5.2.f)

Con las ecuaciones (Apéndice I.5.2.a) y (Apéndice I.5.2.b) se obtiene:

$$F_{resp} = F_{max} \times (I_{so}/I_s)$$

(Apéndice I.5.2.g)

En la evaluación ante sismo, se supone que el valor de F se expresa como sigue usando la ductilidad, μ :

$$F = k\sqrt{2\mu - 1} \quad (\text{Apéndice I.5.2.h})$$

Y la ductilidad generalmente se expresa como $\mu = k'R$ en donde R es la distorsión relativa. Sustituyendo ésta en la ecuación (Apéndice I.5.2.h) y en la ecuación (Apéndice I.5.2.g):

$$k\sqrt{2k'R_{resp} - 1} = (k\sqrt{2k'R_u - 1}) \quad (I_{so}/I_s)$$

Despejando R_{resp} , se obtiene:

$$R_{resp} = R_u(I_{so}/I_s)^2 + \{1 - (I_{so}/I_s)^2\} / 2k' \quad (\text{Apéndice I.5.2.i})$$

La ecuación (Apéndice I.5.2.4) es la ecuación simplificada de la anterior. Para la simplificación, se supone que (I_{so}/I_s) es menor que 1 y k' es entre 200 a 250. La ecuación (Apéndice I.5.2.4) es más conservadora que la ecuación (Apéndice I.5.2.i).

En el caso de que la estructura tenga la resistencia suficiente y esté en el intervalo elástico como la Figura Apéndice I.5.2.2(b), R_{resp} se expresa como:

$$R_{resp} = R \times (C_e/C_u) \quad (\text{Apéndice I.5.2.j})$$

Para este tipo de estructuras, en la evaluación ante sismo, se puede suponer que $I_s = C_u$ y $I_{so} = C_e$. Por lo tanto, se puede estimar la distorsión relativa con la ecuación (Apéndice I.5.2.4) que es la ecuación simplificada de la ecuación (Apéndice I.5.2.j).

Así se puede calcular la distorsión relativa de la estructura durante un sismo usando la ecuación (Apéndice I.5.2.4). Pero la distorsión límite, R_u , de la ecuación (Apéndice I.5.2.4) no se calcula directamente en el proceso de evaluación ante sismo. Sin embargo, en la evaluación ante sismo de edificios de concreto reforzado, se supone que el índice de ductilidad, F , es igual a $k\sqrt{2\mu - 1}$ como se ha explicado anteriormente, y el valor de F correspondiente a $\mu = 1$ es 1.27 y la distorsión relativa correspondiente a $F = 1$ es $R \cong 1/250$ como se ha explicado en el Código de Evaluación ante Sismo. Con esta suposición, se estima R_u de la ecuación (Apéndice I.5.2.4) usando el valor de F obtenido de la evaluación ante sismo. La Tabla Apéndice I.5.2.2 muestra la relación de R y F , y ayuda a obtener R_u de la ecuación (Apéndice I.5.2.4) usando F_{max} de la evaluación ante sismo.

(2) Relación entre la distorsión aplicada y el mecanismo de falla

El nivel de falla de los elementos no estructurales, asociado a la deformación aplicada, R_N , calculada con la ecuación (Apéndice I.5.2.3), debe ser del mismo orden que se presenta en la Tabla Apéndice I.5.2.3.

Tabla Apéndice I.5.2.3 Relación de R_N e intervalo de estado de daño

R_N	Estructuras en estudio						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1/500	(b)						
1/250	(b)						
1/150	(b)						
1/115	(b)						
1/80	(c)						
1/50	(c)						
1/30	(c)						

Los estados correspondientes a los niveles de falla en la Tabla Apéndice I.5.2.3 son como siguen:

Nivel de falla (a): Casi no se presenta daño.

Nivel de falla (b): Posiblemente se presentan agrietamientos o desprendimiento ligero de materiales.

Nivel de falla (c): Hay posibilidad de caída de objeto y reducción de función importante del elemento no estructural.

(1): ventanas de vidrio (instaladas con hule endurecido)

(2): muro de bloque de vidrio, muro de bloque de concreto

(3): paneles prefabricados (con varillas en la conexión), paneles prefabricados de concreto

(4): acabado de azulejos, piedras, cerámicas y morteros

(5): muro de paneles (paneles prefabricados de concreto, marcos de acero) paneles prefabricados (con ensambles)

(6): muro de concreto reforzado sin acabado (con pintura a pulverización)

(7): puertas exteriores, ventanas de vidrios (con sello elástico)

Comentarios

El estado de falla que se presentará en un elemento no estructural sometido a la deformación se expresa usando la relación entre el nivel de falla y la distorsión aplicada como se muestra en la Tabla Apéndice I.5.2.3. Esta gráfica se ha obtenido con los daños presentados en el sismo de la costa de Miyagi en 1978 y los resultados de estudios recientes.

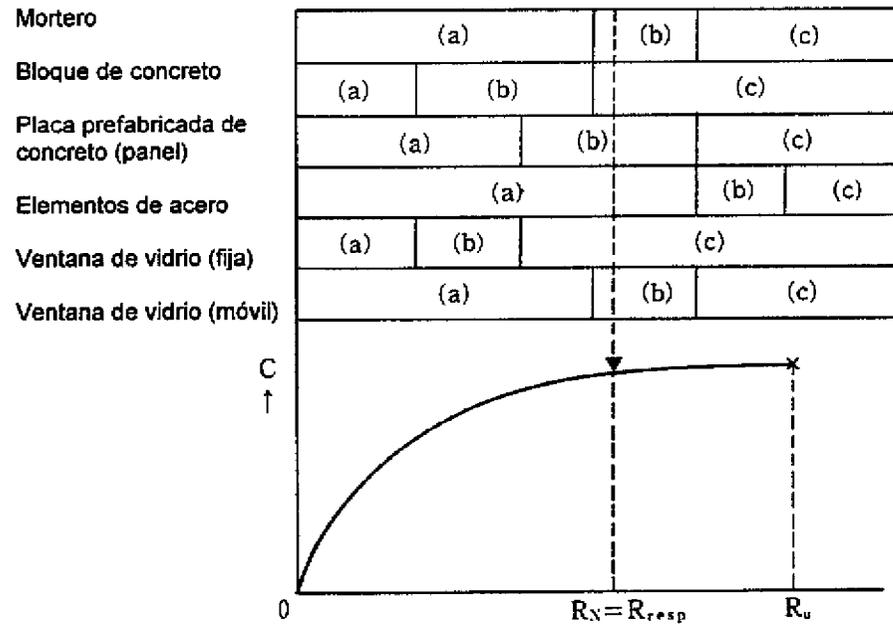


Figura Apéndice I.5.2.3 Relación de niveles de daño de los elementos no estructurales y la distorsión de entrepiso (diagrama conceptual)

Se necesita evaluar la posibilidad de falla y el nivel de falla por la deformación aplicada considerando el estado de deterioro de los elementos no estructurales como en el caso de la evaluación ante la fuerza de inercia, ya que éstos varían dependiendo del estado de deterioro.

2.5 Clasificación por el estado de deterioro de los elementos no estructurales

El nivel de deterioro de los elementos no estructurales se clasifica como sigue usando la Tabla Apéndice I.5.2.4 y los resultados de investigación visual.

Nivel de deterioro (A): no se presenta deterioro.

Nivel de deterioro (B): se presenta deterioro.

Nivel de deterioro (C): El deterioro es notable.

Objetivo de investigación

- (1): Ventanas de vidrio (instaladas con hule endurecido)
- (2): Muro de bloque de vidrio, muro de bloque de concreto
- (3): Paneles prefabricados (con varillas en la conexión), paneles prefabricados de concreto
- (4): Acabado de azulejos, piedras, cerámicas y morteros
- (5): Muro de paneles (paneles prefabricados de concreto, marcos de acero), paneles prefabricados (con ensambles), paneles flexibles, marcos móviles de metal
- (6): Muro de concreto reforzado sin acabado (con pintura a pulverización)
- (7): Puertas exteriores, ventanas de vidrios (con sello elástico)

Tabla Apéndice I.5.2.4 Clasificación de nivel de deterioro de elementos no estructurales

Nivel del deterioro	Elementos en estudio	Característica del deterioro
(A)	(1) ~ (7)	No se observa deterioro
(B)	(1)	Se observa corrosión del marco de acero o endurecimiento de los materiales de relleno
	(2)	Se observa daño, agrietamiento o deformación fuera del plano en los elementos. Se observa daño, agrietamiento o en la junta
	(3)	Se observa daño, agrietamiento o manchas de agua de color herrumboso en los elementos
	(4)	Se observa daño, agrietamiento o desprendimiento en los elementos. Se observa daño, agrietamiento, manchas de agua de color herrumboso en los elementos
	(5)	Se observa daño, deformación o manchas de agua de color herrumboso en los elementos
	(6)	Se observa daño (descubrimiento de barras oxidadas), desprendimiento (se agrieta alrededor de las barras y se despega el material) o agrietamiento en los elementos
	(7)	Se observa daño alrededor del marco de puerta o no se puede abrir o cerrar la puerta
(C)	(1) ~ (7)	Se observan los fenómenos anteriores

Comentarios

La Tabla Apéndice I.5.2.4 es una clasificación para ser usada en la investigación en sitio del estado de deterioro de los elementos no estructurales sometidos a la deformación como muros exteriores. También se puede usar esta tabla para los elementos no estructurales sometidos a la fuerza de inercia.

En este caso, como los de evaluación de parapetos, barandales de concreto y chimenea en azotea, se clasifican en el muro de concreto reforzado sin acabado, muro acabado con mortero o paneles prefabricados dependiendo de su material de acabado para usar la Tabla Apéndice I.5.2.4. Para tanques elevados, torres de anuncios, torres de refrigeración, equipos de aire acondicionado, anuncios instalados en el muro, máquina expendedoras ancladas, se investiga de acuerdo con los materiales que componen el elemento, pernos y deformación y corrosión de metales, y se evalúa con esta tabla.

2.6 Evaluación final

(1) La posibilidad de caída de los elementos no estructurales debido a la fuerza de inercia se evalúa usando la resistencia y el nivel de deterioro como se muestra en la Tabla Apéndice I.5.2.5.

Tabla Apéndice I.5.2.5 Evaluación del peligro de caída de elementos no estructurales.

Nivel de resistencia ante fuerza de inercia	Nivel de deterioro		
	(A)	(B)	(C)
(a)	[I]	[II]	[III]
(b)	[III]	[III]	[III]

(2) La posibilidad de falla de los elementos no estructurales debido a la deformación aplicada se evalúa usando el nivel de estado de falla y el nivel de deterioro como se muestra en la Tabla Apéndice I.5.2.6.

Tabla Apéndice I.5.2.6 Evaluación del peligro de falla de elementos no estructurales

Nivel de falla por la deformación aplicada	Nivel de deterioro		
	(A)	(B)	(C)
(a)	[I]	[I]	[III]
(b)	[I]	[II]	[III]
(c)	[III]	[III]	[III]

(3) Las medidas necesarias correspondientes a los resultados de evaluación de las Tablas Apéndice I.5.2.5 y Apéndice I.5.2.6 se presentan en la Tabla Apéndice I.5.2.7.

Tabla Apéndice I.5.2.7 Recomendación de medidas basadas de la evaluación

Resultado de evaluación por la Tabla Apéndice I.5.B.5 ó I.5.B.6	Existencia de objeto de protección	Medidas necesarias
[I]		No se necesita tomar medidas.
[II]	Sí	Se necesita reparación adecuada de la parte deteriorada
	No	Se necesita reparar la parte deteriorada cuanto antes. En caso de que sea posible deteriorar más, es necesario reparar la parte o elemento total.
[III]	Sí	Se necesita reparar inmediatamente la parte deteriorada o el elemento total, o cambiar o demoler la parte.
	No	Se necesita reparar inmediatamente la parte deteriorada o el elemento total o cambiar o demoler la parte. También se necesita una medida inmediata (instalación de un objeto de protección ante caída o restricción de entrada a la zona de peligro, etc).

Nota La zona de peligro se determina como se muestra la figura en los comentarios.

Comentarios

Es difícil evaluar cuantitativamente y adecuadamente la posibilidad de falla y caída de los elementos no estructurales. En este método, se trata de evaluar cuantitativamente dentro de lo posible basándose en los daños presentados en sismos pasados y en los resultados de estudios existentes. Se trata de ser conservador. Sin embargo, existen varios tipos de elementos no estructurales, y la estimación y evaluación no están basados en un criterio general sino requieren de consideraciones ingenieriles y empíricas dependiendo de la situación.

Para definir la zona de peligro de caída de objetos durante un sismo (curso de caída), tampoco existe información útil en este momento. Por lo tanto, se usa la definición del posible curso de caída por el momento como se presenta en la siguiente figura.

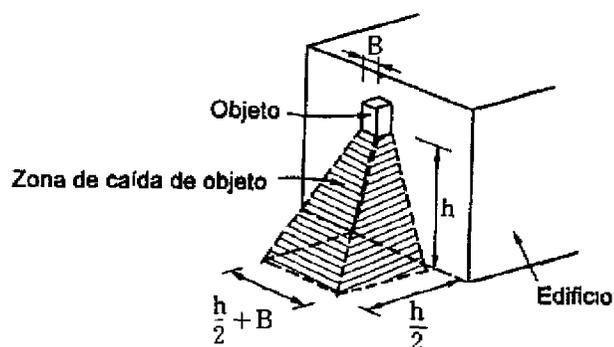


Figura Apéndice I.5.2.4 Definición de la zona de peligro de caída de objetos

2.7 Procedimiento para evaluar la capacidad ante sismo

El procedimiento para evaluar la capacidad ante sismo de los elementos no estructurales es como sigue:

(1) Se decide cuál revisión es necesaria: ante caída por la fuerza de inercia o ante falla por la deformación aplicada en los elementos no estructurales. (véase 2.2)

(2) Si el elemento no estructural en estudio requiere revisión ante la fuerza de inercia, se calcula la fuerza de inercia aplicada al elemento no estructural, F_N , con la ecuación indicada en el (Apéndice I.5.2.1).

Luego, se calcula la resistencia del elemento no estructural y la del conexión, y se obtiene la fuerza externa asociada a la resistencia y equivalente a la fuerza de inercia, T_N .

Se compara F_N y T_N , y se evalúa el nivel de capacidad del elemento no estructural ante la fuerza de inercia. (véase 2.3(3))

(3) Si el elemento no estructural en estudio requiere revisión ante la deformación aplicada, se estima la distorsión límite de la estructura, R_u , con la Tabla Apéndice I 5.2.2, usando el índice de ductilidad, F , de la evaluación ante sismo de la estructura.

Luego, se sustituye R_u en la ecuación (Apéndice I.5.2.4) y se calcula la distorsión relativa de la estructura, R_{resp} , y se determina la distorsión aplicada al elemento no estructural, R_N , con la ecuación (Apéndice I.5.2.3).

Finalmente, usando el R_N obtenido, se evalúa el nivel de estado de falla del elemento no estructural por la deformación aplicada con la Tabla Apéndice I.5.2.3.

(4) Con base en la observación, se investiga el estado de deterioro del elemento no estructural (se usa la Tabla Apéndice I.5.2.4)

(5) Cuando se revisa ante fuerza de inercia, se evalúa la posibilidad de caída según la Tabla Apéndice I.5.2.5 usando el nivel de capacidad del elemento no estructural obtenido en

(2.2) y el nivel de estado de deterioro obtenido en (2.4), y de acuerdo con este resultado, se toman medidas adecuadas descritas en la Tabla Apéndice I.5.2.7.

De manera similar, cuando se revisa ante la deformación aplicada, se evalúa la posibilidad de falla por la Tabla Apéndice I.5.2.6 usando el nivel de estado de falla obtenido en (2.3) y el nivel de estado de deterioro obtenido en (2.4), y de acuerdo con este resultado, se toman medidas adecuadas descritas en la Tabla Apéndice I.5.2.7.

2.8 Ejemplo de aplicación

(1) Ejemplo de cálculo de la fuerza de inercia F_N

La fuerza de inercia, F_N , se calcula como sigue usando las ecuaciones (Apéndice I.5.2.4) y (Apéndice I.5.2.2). Se explica el procedimiento tomando como ejemplo un barandal de concreto mostrado en la Figura Apéndice I.5.2.5.

$$F_N = \beta_H \cdot k_{IR} \cdot W_N$$

β_H se toma como 1.5, porque el barandal tiene la forma de placa con sólo un borde fijo y es un elemento rígido

El peso propio por unidad de longitud del elemento no estructural, W_H , es:

$$W_H = 0.15 \times 1.2 \times 1.0 \times 2.4 = 0.43 \text{ t/m}$$

k_{IR} se calcula con la ecuación (Apéndice I.5.2.2) como:

$$k_{IR} = C_i H_i (\sum W_j / \sum H_j \cdot W_i)$$

Si este barandal está en la losa del nivel 4 de un edificio de 4 niveles (nivel del techo del segundo piso) como la figura, se toman $i = 3$ y $n = 4$ para la ecuación (Apéndice I.5.2.2). Véase la Tabla Apéndice I.5.2.1

Para ejemplificar el uso de la ecuación (Apéndice I.5.2.2), se supone que el índice de resistencia del nivel 3 de este edificio es $C_3 = 0.6$, $H_3 = 9.0$ m ya que las alturas entrepisos son iguales a 3 m como la Figura y el peso propio de cada nivel es $W_j = 50$ t. Con esta suposición, se obtiene:

$$k_{IR} = 0.6 \times 9.0 \left\{ (50 + 50) / (9.0 \times 50 + 12.0 \times 50) \right\} = 0.51$$

En consecuencia, F_N es:

$$F_N = 1.5 \times 0.51 \times 0.43 = 0.33 \text{ t/m}$$

Es decir, la fuerza de inercia es igual a 0.33 ton por unidad de longitud en la dirección horizontal.

Así, se obtiene la fuerza de inercia.

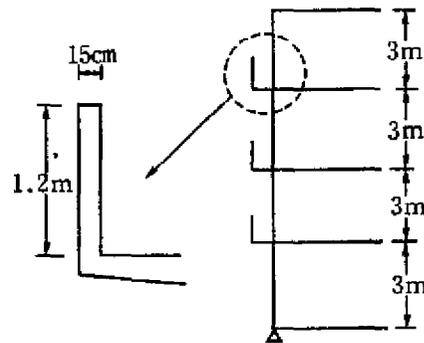


Figura Apéndice I.5.2.5

(2) Ejemplo de cálculo de la resistencia de los elementos no estructurales

Se calculan las resistencias de la conexión de un elemento no estructural con la estructura y del elemento no estructural. Estas resistencias se calculan suponiendo el estado último. Luego se calcula la fuerza horizontal, T_N , correspondiente a la resistencia obtenida.

Usando el ejemplo anterior de un barandal de concreto, el procedimiento de cálculo es como sigue:

Se supone que el barandal de concreto está reforzado como se muestra en la Figura Apéndice I.5.2.6. Con las barras verticales, el barandal resiste la fuerza de inercia como una columna en voladizo. El momento resistente en la parte inferior del barandal es:

$$M = 0.9a_i \cdot \sigma_y \cdot d = 0.9 \times 4 \times 0.71 \times 3.0 \times 0.11 = 0.84 \text{ ton/m}$$

Si la posición de aplicación de la fuerza de inercia está en la mitad de la altura del barandal, es decir $h = 0.6 \text{ m}$, la fuerza horizontal, T_N , necesaria para provocar el momento anterior en la parte inferior del barandal es:

$$T_N = 0.84/0.6 = 1.4 \text{ ton/m}$$

Así se obtiene la resistencia de los elementos no estructurales.

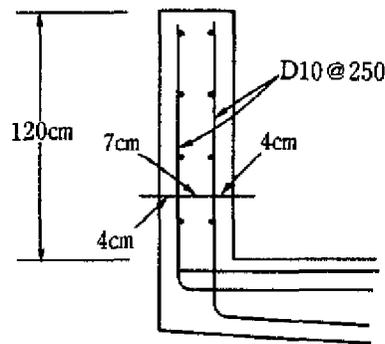


Figura Apéndice I.5.2.6

(3) Ejemplo de cálculo de la distorsión aplicada, R_N

La distorsión aplicada a los elementos no estructurales, R_N , se determina usando el resultado de evaluación ante sismo de la estructura. Los datos necesarios para la determinación de R_N son: índice de resistencia de la estructura I_{st} , índice de evaluación I_{so} y en el caso de edificio de concreto reforzado, índice máximo de ductilidad (índice de ductilidad del grupo que proporciona el máximo valor de F), F_{max} .

Usando estos datos, R_N se obtiene como sigue. Si para un edificio de concreto reforzado $I_{st} = 0.74$, $I_{so} = 0.60$ y $F_{max} = 2.0$, primero se obtiene la distorsión límite de la estructura, R_u , con la Tabla Apéndice I.5.2.2 como $R_u = 1/80$.

De este valor, R_N se obtiene como:

$$R_N = R_{resp} = R_u(I_{so}/I_{st}) = (1/80)(0.60/0.74) = 1/99$$

(4) Estado de falla por la deformación aplicada a los elementos no estructurales

El nivel de estado de falla por deformación aplicada a los elementos no estructurales se estima usando la Tabla Apéndice I.5.2.3 y R_N .

Por ejemplo, si el elemento no estructural del ejemplo anterior, sometido a la distorsión de 1/99, es una ventana de vidrio en un edificio de concreto reforzado, el nivel de estado de falla estimado con la Tabla Apéndice I.5.2.3 resulta ser "el nivel (c)".

(5) Evaluación del nivel de estado de deterioro

Los niveles de deterioro para todos los elementos no estructurales se evalúan usualmente de acuerdo con los criterios de la Tabla Apéndice I.5.2.4. Es difícil definir un método detallado de investigación y evaluación de los niveles de deterioro para todos los tipos de elementos no estructurales. Por lo tanto, la evaluación se realiza con la decisión de cada investigador como:

Cuando casi no se observa deterioro → nivel (A)

Cuando se observa un poco de deterioro → nivel (B)

Cuando se observa un deterioro notable → nivel (C)

A veces no se puede investigar sólo usualmente el estado de deterioro de la conexión. En este caso, dejando el nivel de estado de deterioro como “indeterminado”, primero se evalúa “el nivel de capacidad” y “el nivel de estado de falla”, y si es necesario, se realiza una investigación detallada (por ejemplo, desmontando parcialmente el elemento no estructural) para evaluar el nivel de deterioro.

(6) Evaluación final

Usando “el nivel de capacidad”, “el nivel de estado de falla” y “el nivel de estado de deterioro”, finalmente se evalúa el peligro de los elementos no estructurales de acuerdo con la Tabla Apéndice I.5.2.5 ó la Tabla Apéndice I.5.2.6.

Dependiendo del resultado de la evaluación final, se toman medidas adecuadas descritas en la Tabla Apéndice I.5.2.7.

Referencias

1. Asociación Japonesa de Arquitectura e Ingeniería: “Código y Comentarios de Diseño ante Sismo de los Elementos no Estructurales” y “Manual de Diseño y Construcción ante Sismo”