

Influence of seismic isolation system on bridge responses

Influencia del sistema de aislación sísmica en la respuesta de los puentes

Kaoutar Zellat^{1*}, Tahar Kadri*

* University of Mostaganem, Mostaganem. ALGERIA

Fecha de Recepción: 04/06/2014

Fecha de Aceptación: 17/04/2015

PAG 210-214

Abstract

The purpose of an isolation system is to provide an additional means of energy dissipation, thereby reducing the transmitted acceleration into the superstructure. In order to demonstrate the effectiveness of seismic isolation and understand the behavior of seismically isolated bridges a three-span continuous deck bridge made of reinforced concrete is considered. The bridge is modeled as a discrete model and the relative displacements of the isolation bearing are crucial from the design point of view of isolation system and separation joints at the abutment level. The systems presented here are passive control systems and the results of some important experimental tests are also included. The results show that the base shear in the piers is significantly reduced for the isolated system as compared to the non isolated system in the both directions of the bridge. This indicates that the isolation systems are effective in reducing the earthquake response of the bridge.

Keywords: Base isolation, bridge, seismic technologies

Resumen

El objetivo de un sistema de aislación sísmica es proporcionar medios adicionales de disipación de la energía, reduciendo así la aceleración transmitida hacia una superestructura. Con la finalidad de demostrar la efectividad de la aislación sísmica y comprender el comportamiento de los puentes con aislación sísmica, se consideró un puente de tablero continuo de tres tramos construidos en hormigón armado. Se modeló el puente como un modelo discreto y los desplazamientos relativos del aislador sísmico son cruciales desde el punto de vista del sistema de aislación y juntas de separación a nivel del estribo. Aquí, se presentan los sistemas de control pasivo incluyendo los resultados de algunos importantes ensayos experimentales.

Palabras clave: Aislación de base, puente, tecnologías sísmicas

1. Introducción

Durante las últimas dos décadas, se han estado usando sistemas de aislación sísmica para mejorar el comportamiento sísmico de los puentes y reducir el grado de daño al absorber una cantidad significativa de la energía inducida por un sismo y transmitida a la estructura. La Figura 1 muestra un puente típico de tablero continuo de multi-tramos con aisladores en el que se han usado aparatos especiales de aislación en lugar de los sistemas de apoyo convencionales.

Estos apoyos protegen la subestructura restringiendo la transmisión de la aceleración horizontal y disipando la energía sísmica a través de la amortiguación. Durante las dos últimas décadas, se han realizado esfuerzos considerables para desarrollar mejores procedimientos de diseño de aisladores sísmicos para los nuevos puentes y directrices o

guías para la modificación de los puentes existentes. La conveniencia de un arreglo específico y el tipo de sistema de aislación dependerá de diversos factores incluyendo el vano, número de tramos continuos, sismicidad de la región, frecuencias de vibración de los componentes relativamente severos del sismo, mantenimiento y reemplazo de los sistemas.

Se presenta un estudio comparativo de los puentes sísmicamente aislados contra la excitación sísmica. El estudio trata brevemente las características dinámicas de los aparatos para aislación de base, haciendo énfasis en la variación del tiempo para el corte de la base y desplazamiento de los apoyos a fin de comprender el comportamiento de los puentes sísmicamente aislados mediante una comparación entre los puentes aislados y no aislados.

¹ Corresponding author:

Estudiante de Doctorado, Laboratorio de Materiales y Procedimientos
Constructivos del Departamento de Ingeniería Civil, Mostaganem, Algeria
E-mail: kouky88@hotmail.fr



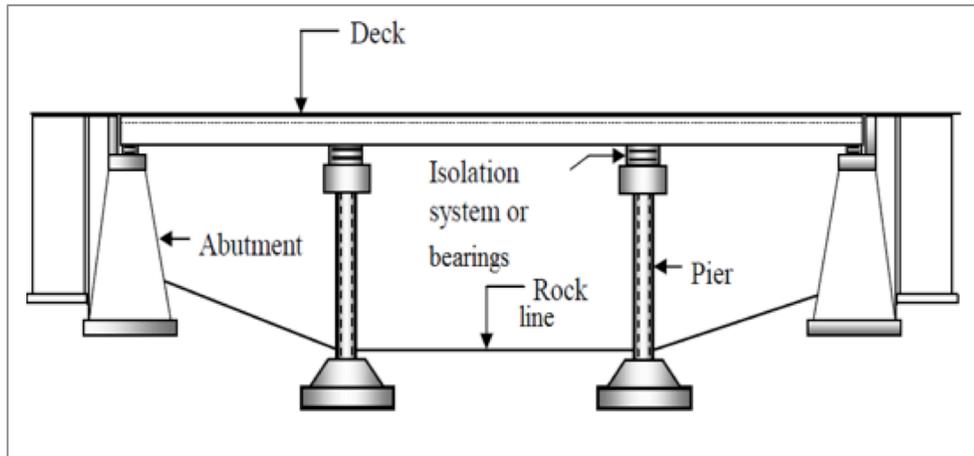


Figura 1. Puente con aislamiento sísmico

2. Ecuación de movimiento en términos de energía

La Ecuación de movimiento para una estructura sísmicamente aislada, en términos de desplazamientos, está dada como en (1):

$$M \ddot{x}(t) + C \dot{x}(t) + Kx(t) = -Mr \ddot{x}_g(t) \quad (1)$$

Donde M es la matriz de la masa, C es la matriz de la constante de amortiguación y K es la matriz de rigidez. La integración respecto del movimiento de la Ecuación (1) que representa el movimiento en términos de la resistencia, nos entrega la ecuación del equilibrio dinámico en términos de la energía entregada, de la siguiente manera:

$$\int_0^t [dx(t)]^T M \dot{x}(t) + \int_0^t [dx(t)]^T C \dot{x}(t) + \int_0^t [dx(t)]^T Kx(t) = -\int_0^t [dx(t)]^T Mr \ddot{x}_g(t) \quad (2)$$

$$E_K(t) + E_D(t) + E_S(t) + E_H(t) = E_1(t)$$

Donde:

$E_1(t)$ = energía cedida por el sismo.

$E_K(t)$ = energía cinética.

$E_D(t)$ = energía disipada por la amortiguación estructural.

$E_S(t)$ = energía potencial almacenada.

$E_H(t)$ = energía disipada por el comportamiento histerético de la amortiguación del aislador

3 Comportamiento del sistema de aislamiento con núcleo de plomo (LRB)

El sistema de aislamiento elastomérico con núcleo de plomo (LRB) está conformado por un conjunto de láminas de elastómero y de acero alternadas, unidas unas con otras alrededor de un centro de plomo, inserto en el centro de las láminas. El cilindro de plomo central controla los desplazamientos laterales de la estructura y absorbe una parte de la energía sísmica. El elastómero del centro de plomo le confiere a este dispositivo un comportamiento histerético importante. Este comportamiento histerético se representa en la aproximación bilineal ilustrada por la Figura 2.

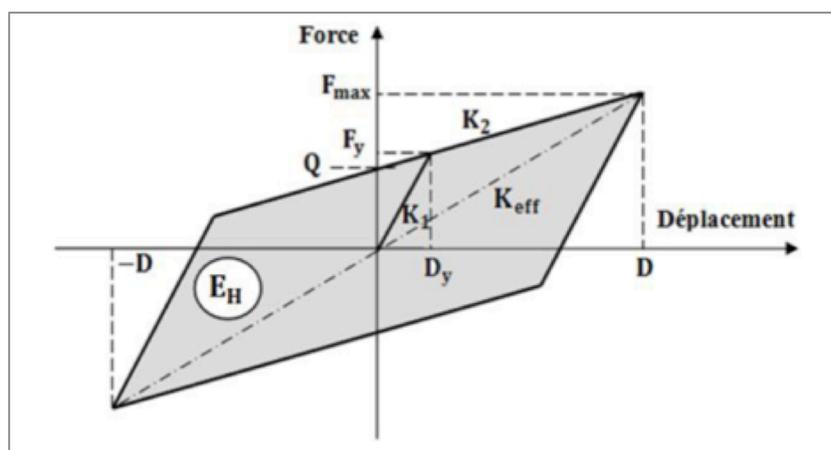


Figura 2. Aproximación bilineal de un comportamiento de la ley histerética expresada en fuerza-desplazamiento



SPANISH VERSION.....

Los parámetros de la aproximación bilineal que expresan el comportamiento de la ley de histerética son:

D_y : El desplazamiento de fluencia con:

$$D_y = Q / (K_1 - K_2) \quad (3)$$

D : El desplazamiento de diseño del aislador elastomérico con centro de plomo (LRB)

E_H : La energía disipada por el ciclo correspondiente al desplazamiento de diseño, igual al área total del ciclo de histéresis, que es dada por la siguiente fórmula:

$$E_H = 4Q(D - K_y) \quad (4)$$

F_y : La fuerza de fluencia en una carga monótona

Q : La fuerza, correspondiente al desplazamiento nulo durante un ciclo de carga, representa además la resistencia característica y la fuerza de fluencia de la barra de plomo para el LRB,

$$Q = F_y - K_2 D_y \quad (5)$$

F_{max} : La fuerza de cortante máxima correspondiente al desplazamiento de diseño D

K_1 : La rigidez elástica para una carga monótona también iguala a la rigidez de descarga en un ciclo de carga, con:

$$K_1 = F_y / - D_y \quad (6)$$

K_2 : La rigidez post elástica, donde:

$$K_2 = (F_{max} - F_y) / (D - D_y) \quad (7)$$

K_{eff} : La rigidez efectiva del LRB, que está dada por la siguiente Ecuación:

$$K_{eff} = K_2 + \frac{Q}{D} \quad D \geq D_y \quad (8)$$

β_{eff} : El factor de amortiguación efectiva del sistema de aislación sísmica de base, que se expresa como:

$$\beta_{eff} = \frac{4Q (D - D_y)}{2\pi K_{eff} D^2} \quad (9)$$

4. Descripción del puente con aislación sísmica y la excitación sísmica

Con el fin de demostrar la efectividad de la aislación sísmica, se consideró un puente de tablero continuo de tres tramos construidos en hormigón armado. Las propiedades del tablero del puente y de las pilas se encuentran en la Tabla 1.

Estas propiedades corresponden al puente estudiado por Wang et al. (1998) usando un sistema de aisladores deslizantes. Como se muestra en la Figura 3, el puente se modeló como un modelo discreto. El periodo de tiempo fundamental de las pilas es de 0.1 seg. aproximadamente y el periodo de tiempo correspondiente del puente sin aislación resultó ser de 0.5 seg., en ambas direcciones longitudinal y transversal. La amortiguación en el tablero y pilas se considera como el 5% del crítico en todos los modos de vibración. Además, el número de elementos considerados en el tablero y pilas del puente es de 10 y 5, respectivamente. Las respuestas de interés para el sistema del puente en consideración (en ambas direcciones longitudinal y transversal) son el corte de base en las pilas y el desplazamiento relativo de los aisladores elastoméricos en los estribos. El corte de base en la pila es directamente proporcional a las fuerzas ejercidas en el sistema del puente debido al movimiento telúrico. Por otra parte, los desplazamientos relativos de los apoyos del aislador sísmico son cruciales desde el punto de vista del diseño del sistema de aislación y de las juntas de separación a nivel del estribo.

Tabla 1. Propiedades del tablero y pilas del puente

Propiedades	Tablero	Pilas
Área transversal (m^2)	3.57	4.09
Momento de inercia como (m^4)	2.08	0.64
Módulos de elasticidad de Young (m^2)	20.67×10^9	20.67×10^9
Densidad de la masa (kg/m^3)	2.4×10^3	2.4×10^3
Largo/altura (m)	$3 \times 30 = 90$	8

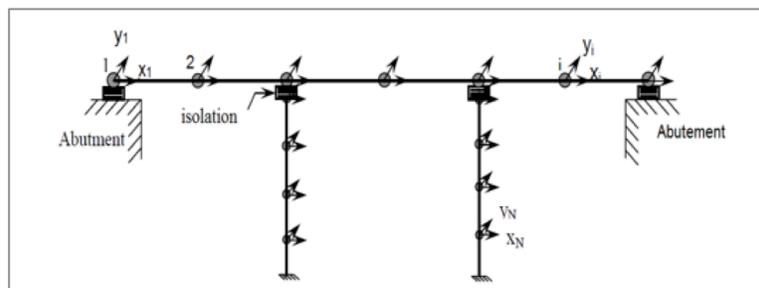


Figura 3. Modelación matemática de los puentes con aislación sísmica



5 Resultados y discusión

Las Figuras 4a, 4b y 4c muestran la variación en el tiempo del corte de base en la pila y el desplazamiento relativo de los aisladores sísmicos del puente usando los sistemas de aislación LRB, N-Z y FPS. El sistema LRB está diseñado para proporcionar un periodo de aislación de 2 seg (basado en condiciones de tablero y pilas rígidos) y un coeficiente de amortiguamiento del 10%. El periodo de aislación para los sistemas N-Z y FPS es considerado como de 2.5 seg. La resistencia a fluencia del sistema N-Z se considera como un 5% del peso del tablero y el coeficiente de fricción del sistema FPS se considera como un 0.05. El

sistema se sometió al movimiento telúrico sucedido en Kobe el año 1995, en las direcciones longitudinal y transversal. El corte de base en las pilas se redujo significativamente (alrededor del 80 al 90%) para el sistema con aislación en comparación con el sistema sin aislación, en ambas direcciones del puente. Esto indica que los sistemas de aislación son bastante efectivos para reducir la respuesta telúrica del sistema del puente. El pico de desplazamiento máximo del aislador es de 32.87; 27.65 y 31.50 para los sistemas LRB, N-Z y FPS, respectivamente en la dirección longitudinal del puente.

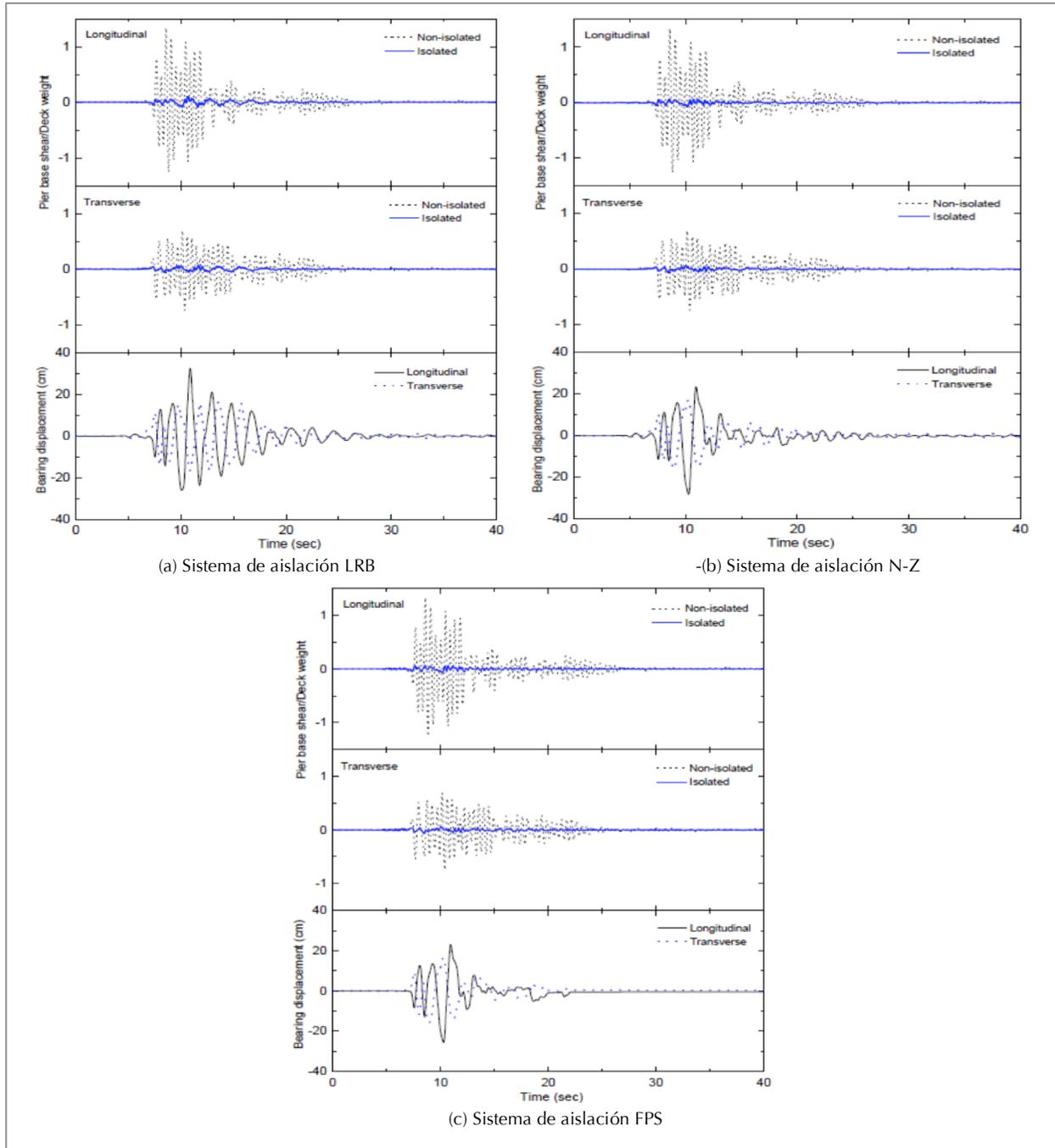


Figura 4. Variación en el tiempo del corte de base y desplazamiento del apoyo del puente con aislación del tipo FPS, durante el sismo de Kobe, 1995



6. Conclusiones

Este estudio arroja cierta luz sobre las recientes y más económicas técnicas para proteger los puentes contra diversos daños o colapso provocados por las fuerzas sísmicas y para la evaluación de la efectividad del aislador sísmico en la construcción de puentes, que nos lleva a las siguientes conclusiones:

- Los daños producidos en los puentes durante los grandes sismos han ayudado a los ingenieros a comprender su comportamiento sísmico y a identificar las diversas patologías y sus causas.
- El diseñador debe comprender la forma en que se comportarán las diferentes formas estructurales en un sismo real y detallar la estructura teniendo estos aspectos en consideración.
- Las nuevas tecnologías, especialmente los aisladores sísmicos para puentes, ofrecen alternativas atractivas que permitirán realizar ciertas economías a corto y largo plazo; además, esta disciplina está supervisada por códigos y normas.
- La protección sísmica es especialmente compleja: se debe tener en consideración un gran número de factores y su tratamiento debe ser muy acucioso; los cambios como tales, intentan ser aún más eficientes para preservar la vida humana.
- Investigaciones sobre la efectividad de la aislación sísmica para los puentes sesgados u oblicuos y puentes curvos en plano y elevación.
- A pesar de las condiciones favorables y del progreso de las investigaciones realizadas durante los últimos años, la cantidad de nuevas tecnologías asísmicas en el ámbito de los puentes aún es restringida.
- Por último, aún existen factores naturales al azar, en consecuencia, es imposible lograr una seguridad total.

7. Referencias

- Chi-Heng Chiang, Jumbo (2008)**, *Application of Functional Bearing System to the Seismic Retrofit of Bridge. Fourth US-Taiwan Bridge Engineering Workshop*
- Federal Emergency Federal Agency, FEMA 274 (1997)**, " *Seismic Isolation and Energy Dissipation* ", *Nehrp Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Chapter 09, Washington DC.*
- Hu Wenying (2008)**, *Analysis of Effectiveness of Bridges with Partial Isolation, Master of science, Civil and Environmental Engineering Department, UTAH STATE university, Logan, Utah.*
- Kappos, A.J (ed). (2002)**, *Dynamic Loading and Design of Structures, New Fetter Lane, London.*
- Kunde M.C. and Jangid R.S. (2003)**, *Seismic behavior of isolated bridges: A-state-of-the-art review. Electronic Journal of Structural Engineering. 3 pp.140-170*
- Mitoulis S.A. and Tegos I.A. (2010)**, *Reduction of seismic actions in bridges by developing the pounding interaction between the deck and appropriately reformed abutments. Innovative Techniques for Reducing Seismic Impact EE, 21C.*
- Moehle J.P. and Eberhard M.O. (2000)**, *Earthquake Damage to Bridges, Boca Raton: CRC Press.*

