

ارزیابی آئین نامه زلزله کالیفرنیا برای بالشتکهای ارتجاعی اصطکاکی مستعمل در نیروگاههای اتمی

سیدعلیرضاهر تضوی
امور نیروگاههای اتمی
سازمان انرژی اتمی ایران

تحقیقاتی بر روی تغییر مکان سازه‌های صلبی، که بر روی بالشتک‌های ارتجاعی اصطکاکی قرار گرفته‌اند، صورت گرفته است. این تحقیقات بر روی بالشتک‌هایی با ضریب اصطکاک‌های متفاوت بوده و اثر حرکات شش زمین لرزه بزرگی که در آمریکا اتفاق افتاده است بر آنان اعمال گشته است. این زمین لرزه‌ها بر اساس ماکزیم سرعت خطی زمین لرزه، از ۱ الی ۲۵ اینچ در ثانیه نرمال گشته‌اند. با استفاده از تئوری میرایی معادل*، حداقل تغییر مکان درخواستی توسط آئین‌نامه کالیفرنیا تخمین زده شده است. نتیجه حاصل این بوده که اگر چه تغییر مکان درخواستی آئین‌نامه محافظه‌کارانه می‌باشد، ولی ضریب اطمینان بالای را منظور نمی‌دارد.

مقدمه

نشان داده‌اند که این مقوله را بطور موثر انجام می‌دهند. بعلاوه وجود اصطکاک در این سیستم‌ها به عنوان یک فیوز کار می‌کند، بطوریکه تا زمانیکه شدت شتاب وارده از حد معینی بالاتر نرفته باشد سازه به صورت صلب عمل می‌کند ولی بعد از آن حد معین سیستم شروع به عمل می‌نماید. لذا وجود این فیوز، مانع تکان‌های ناخواسته سازه بر اثر زلزله‌های کوچک و بادهای شدید خواهد بود که در سیستم‌های غیر اصطکاکی این یک مسئله می‌باشد. مسئله اصلی سیستم‌های اصطکاکی عدم وجود یک عامل بازگرداننده سازه به حالت اول بعد از وقوع زلزله می‌باشد. لذا محققین را به این واداشته

بالشتک‌های مقاوم در برابر زلزله، سازه‌ها را در برابر زلزله محافظت می‌نمایند. این عمل بدین صورت انجام می‌پذیرد که سازه در مقابل حرکت قوی زلزله با تعبیه یک رابط انعطاف‌پذیر بین زمین و پایه سازه از ناحیه پاسخ شدید به ناحیه پاسخ ضعیف انتقال می‌یابد. بر خلاف روش‌های شناخته شده که سازه را با استفاده از قاب‌های خمشی، دیوارهای برشی بتن آرمه و بادبند در برابر زلزله مقاوم می‌نمایند، با استفاده از این روش از ابتدای برخورد نیروهای چند جهته زلزله به تراز پایه، آن را مهار می‌کند. بالشتک‌های کاملاً "اصطکاکی

*Equivalent Damping

س.ع. مرتضوی. ارزیابی آئین نامه زلزله کالیفرنیا برای بالشتک های ارتجاعی.

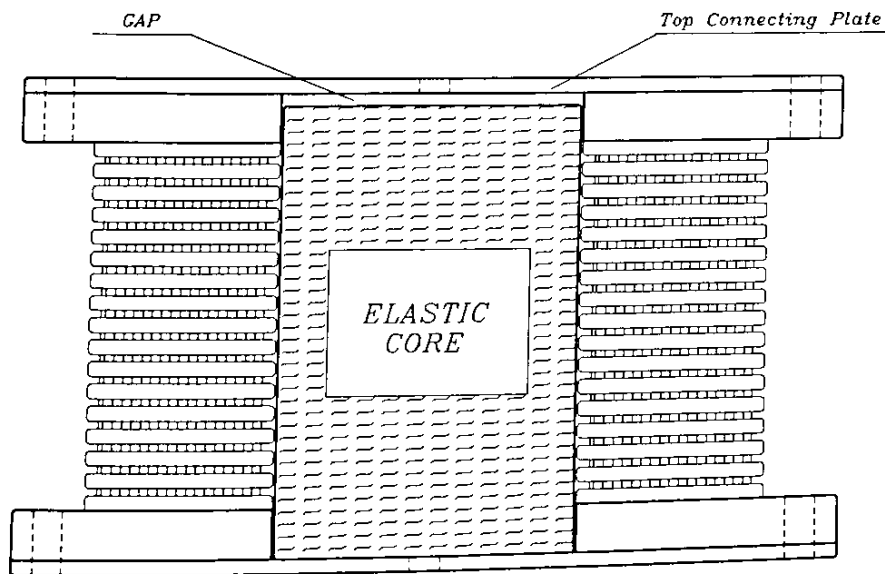
فراوانی در مورد عملکرد این بالشتک انجام یافته است که نشانگر عملکرد عالی و موثر این سیستم می باشد (۱۱-۷). در زیر تعدادی از برتری های این سیستم نسبت به دیگر سیستم های موجود ملاحظه می گردد .

۱- این سیستم ها به فرکانس ورودی ارتعاش اصلی حساس نمی باشند . بنابراین مسائل مربوط به تشدید و زمان تناوب بلند زمین لرزه مطرح نمی شود .

۲- بخاطر اینکه در این سیستم مرکز صلبیت و مرکز ثقل بر روی هم در تراز پایه قرار می گیرد سازه های نامنظم نیز می توانند از این سیستم بهره مند گردند .

است که سیستم جدیدی ارائه داده که این فقدان را جبران نمایند. یکی از این سیستم های جدید سیستم بالشتکی ارتجاعی اصطکاکی :
(Resilient Friction Base Isolator)

یا R-FBI می باشد. این بالشتک از تعدادی صفحات فولادی که بر روی هم قرار دارند تشکیل شده است . این صفحات از یک طرف با تفلون (Polytetrafluoroethylene) پوشانیده شده و از طرف دیگر صیقل داده می شوند . در وسط این صفحات یک استوانه الاستیک وجود دارد که از نئوپرین (Neoprene) و فولاد ساخته شده است که کنترل کننده تغییر مکان و توزیع نیروهای جانبی زلزله بین صفحات می باشد که در شکل ۱ نشان داده شده است (۶-۱) . مطالعات تئوریک و تجربی



شکل ۱- بالشتک ارتجاعی اصطکاکی .

تعیین نمایند و مطالعات زیبایی در مورد اثرات فاکتورهای مثل مرکز وقوع زلزله، راه عبور، نوع خاک و غیره بر روی این طیف‌ها وجود دارد علاوه بر آن زمین‌لرزه بر حسب طیف بازتاب کمک به ایجاد طیف‌هایی می‌کند که می‌تواند تاریخچه‌ای برای محل مورد نظر باشد و می‌تواند برای تحلیل (analyses) دینامیکی سازه مورد استفاده قرار گیرد. زمانیکه طیف‌های متعارف با فاکتور ZNS تهیه گردید می‌توان با آن قابلیت کد آئین‌نامه کالیفرنیا را برای سیستم‌های ارتجاعی اصطکاکی ارزیابی نمود. بخاطر اینکه سیستم‌های بالشتکی عمدتاً " زمان تناوب اصلی بالاتر از ۱ ثانیه دارند و سرعت طیفی در آن محدوده تقریباً ثابت می‌باشد می‌توان به سهولت فاکتور ZNS را با سرعت طیفی کد دارای ۵ درصد میرایی می‌باشد، نشان داد که این مطلب در قسمت روش بررسی توضیح داده شده است.

در این مقاله بر اساس کد SEAONC :

(Structural Engineers Association of Northern California) و میرایی متعادل می‌توان تغییر مکان درخواستی کد را بر اساس حداکثر سرعت خطی برای محل‌های مختلف نوشت. تغییر مکان تراز پایه ساختمان‌های صلبی کد بر روی سیستم بالشتکی ارتجاعی اصطکاکی R-FBI قرار گرفته‌اند. برای اصطکاک‌های متفاوت و سرعت‌های خطی نرمال شده شش زمین‌لرزه بزرگ آمریکا ارزیابی شده است. مقایسه نشان می‌دهد اگرچه کد SEAONC هنوز تغییر مکان بالاتری را پیش‌بینی می‌نماید ولی به‌رحال ضریب اطمینان بالایی را منظور نمی‌دارد.

روش بررسی

حداقل تغییر مکان مجاز برای سیستم‌های بالشتکی طبق کد SEAONC بوسیله رابطه زیر محاسبه

۳- اصطکاک در این سیستم بعنوان یک فیوز بکار برده می‌شود که مانع تغییر مکان و حرکت سازه بر اثر زلزله‌های خفیف یا باد‌های شدید می‌شود.

۴- در این سیستم عامل بازگرداننده سازه به حالت اول یک استوانه مرتجع (elastic) است که نیروی عمودی یا وزن سازه بر آن وارد نمی‌شود و وزن سازه بر روی صفحات فلزی که صلبیت بیشتری دارند وارد می‌آید. لذا این باعث می‌شود که مسائل مربوط به خزش (creep) بر اثر وزن و همچنین تغییر مکان سیستم کاهش، و پایداری آن افزایش یابد.

۵- قابلیت ارتجاعی این سیستم باعث می‌شود که اثر فرکانس‌های بالا، که در سیستم‌هایی کد فقط اصطکاکی می‌باشند مشاهده گردیده، کاهش یابد.

۶- آزمایشات متعدد نشان داده است که قابلیت این نوع سیستم برای دفع و میرایی انرژی زلزله زیاد است و منحنی (Hysteresis Loop) پایداری دارد.

بالشتک‌های مرتجع اصطکاکی پتانسیل‌های زیادی برای استفاده در مصارف گوناگون دارند. لذا روش طراحی باید ارائه گردد که بالشتکها را برای مصارف گوناگون طراحی نماید، که با دسترسی به طیف بازتاب طرح محل مورد نظر این امر سهولت می‌یابد. آئین‌نامه زلزله کالیفرنیا (۱۹) قدرت زلزله را بر حسب فاکتور ZNS ارائه می‌کند، ولی این کد (code) عمدتاً " برای بالشتک‌های ارتجاعی نوشته شده است. بنابراین قبل از استفاده این کد برای سیستم‌های اصطکاکی باید دید که این کد تا چه حد برای این نوع سیستم‌ها جوابگو می‌باشد، عمدتاً " رسم بر این بوده است که زلزله‌خیزی محل سازه را با استفاده از طیف بازتاب (Elastic Design Spectra)

س.ع. مرتضوی. ارزیابی آئین‌نامه زلزله کالیفرنیا برای بالشتک‌های ارتجاعی.

$$S_v(T_e, 5\%) = A_v V \quad (5)$$

می‌شود:

که V حداکثر سرعت زمینی زلزله و A_v فاکتور شدت دهنده سرعت برای ۵ درصد میرایی می‌باشد. بنابراین

$$ZNS = \frac{1}{20\pi} A_v V \quad (6)$$

بخاطر اینکه حداکثر سرعت زمینی زلزله، اثرات شدت زلزله و شرایط خاک و نزدیکی به خطوط گسل را در بردارد. لذا انتظار می‌رود که A_v تقریباً ثابت باشد.

محققین زیادی فاکتور شدت دهنده سرعت را تخمین زده‌اند. محرز (۲۰) برای ۴ نوع خاک متفاوت این فاکتور را بین ۱/۹۰ برای نواحی سنگین‌آذرین تا ۲/۱۹ برای نواحی شنی با عمق ۲۳۰ فوت که زیر آن سنگی باشد تخمین زده است که حد متوسط آنها معادل ۲/۰۷ می‌شود. در اینجا بر اساس مطالعات انجام یافته (۲۱) و کد ATC 3 (۲۲) فاکتور فوق ۲/۰۵ انتخاب شده است که با بهره‌گیری از مقدار فوق، تاثیرات خاکپای متفاوت ناچیز می‌باشد.

زمان تناوب اصلی موثر، T_e : برای اینکه رابطه (۱) را منطبق با سیستم‌های بالشتکی ارتجاعی بکنیم بایستی زمان تناوب اصلی موثر T_e و ضریب بازتاب سازه را تعریف نمائیم. اگر سازه ایزوله شده را سازه‌ای صلب فرض نمائیم که زمین‌لرزه‌ای بر آن اعمال گشته است می‌توان کل نیروی افقی وارد بر آن F را به صورت زیر نوشت:

$$F = \mu W + K \delta = K_e \delta \quad (7)$$

که μ ضریب اصطکاک، w وزن کل سازه، δ حداکثر تغییر مکان و K و K_e به ترتیب سختی ارتجاعی (elastic lateral stiffness) و سختی موثرافقی (effective lateral stiffness)

$$\delta = \frac{10ZNS}{B} T_e \quad (1)$$

که ZNS زلزله‌خیزی محل و T_e زمان تناوب اصلی موثر و B ضریب بازتاب سازه که نشانگر انرژی جذب شده توسط سیستم می‌باشد. در قسمت‌های بعدی روابطی ارائه می‌شود که ZNS ، T_e ، B و δ را بر اساس پارامترهای اساسی و شدت زلزله ورودی نشان می‌دهد.

محاسبه ZNS : کمیت ZNS در خود اثرات شدت زلزله و نزدیکی به خطوط گسل و شرایط خاک را دارا می‌باشد. Z فاکتور زلزله‌خیزی محل و N که مقدار آن از ۱ تا ۱/۵ متغیر می‌باشد نشانگر نزدیکی به خطوط گسل و S که مقدار آن از ۱ تا ۲/۷ می‌باشد نشانگر نوع خاک است. با استفاده از رابطه ۱ می‌توان ZNS را به صورت زیر نوشت:

$$ZNS = \frac{B}{20\pi} \Omega_e \delta \quad (2)$$

که Ω_e فرکانس دورانی موثر سیستم می‌باشد. کد مزبور فاکتور B را برای ۵ درصد میرایی برابر ۱ قرار می‌دهد و همچنین δ را برای ۵ درصد میرایی می‌توان توسط سرعت طیفی نوشت:

$$\Omega_e \delta = S_v(T_e, 5\%) \quad (3)$$

بنابراین

$$ZNS = \frac{1}{20\pi} S_v(T_e, 5\%) \quad (4)$$

که $S_v(T_e, 5\%)$ نشانگر طیف سرعت با ۵ درصد میرایی برای محل مورد نظر می‌باشد. زمان تناوب اصلی برای سیستم‌های بالشتکی معمولاً بالای ۱ ثانیه می‌باشد که در این محدوده $S_v(T_e, 5\%)$ تقریباً ثابت می‌باشد و می‌تواند توسط رابطه زیر عنوان گردد:

لذا نسبت میرائی متعادل ξ_e را فقط تقریبی می‌توان نوشت. رابطه زیر کل انرژی تلف شده بوسیله سیستم در زمان یک سیکل کامل، را نشان می‌دهد:

$$E = (4\mu W + 2\pi\xi F_r) \delta \quad (11)$$

که ξ میرائی متعادل قسمت ارتجاعی سیستم و F_r قسمتی از نیروی برشی افقی است که توسط عنصر مرتجع ایجاد می‌گردد. نسبت میرائی معادل سیستم را می‌توان بصورت زیر نشان داد:

$$\xi_e = \frac{E}{2\pi K_e \delta^2} \quad (12)$$

و تمامی نیروی برشی بالشتک F را می‌توان با رابطه زیر نشان داد:

$$F = CW = \mu W + F_r = K_e \delta \quad (13)$$

با قرار دادن رابطه (11) و (13) در رابطه (12) می‌توان نوشت:

$$\xi_e = \xi + \left(\frac{2}{\pi} - \xi \right) \frac{\mu}{C} \quad (14)$$

که کمیت μ/C نسبت نیروی اصطکاکی به نیروی برشی می‌باشد با قرار دادن ξ_e از رابطه (14) در روابط (10) می‌توان نوشت.

$$B = a_1 + b_1 \frac{\mu}{C} \quad (15)$$

که a_1 و b_1 توسط فرمول‌های زیر تعریف می‌شوند:

$$a_1 = 0.8 + 4\xi \quad ;$$

$$b_1 = \frac{8}{\pi} - 4\xi$$

$$1.0 \leq B \leq 1.2, \quad \text{برای}$$

$$a_1 = 0.857 + 3.43\xi \quad ; \quad (16)$$

$$b_1 = 3.43 \left(\frac{2}{\pi} - \xi \right)$$

$$1.2 \leq B \leq 1.44 \quad \text{برای}$$

می‌باشند. با استفاده از رابطه (7) می‌توان ضریب زلزله C را با رابطه زیر نشان داد:

$$C = \frac{F}{W} = \mu + \frac{\Omega^2 \delta}{g} = \frac{\Omega_e^2 \delta}{g} \quad (8)$$

که Ω فرکانس دورانی قسمت ارتجاعی سیستم می‌باشد و با استفاده از رابطه (8) می‌توان زمان تناوب موثر را بصورت زیر نوشت:

$$T_e = \sqrt{1 - \frac{\mu}{C}} T \quad (9)$$

که T زمان تناوب اصلی قسمت ارتجاعی سیستم و T_e زمان تناوب اصلی موثر سیستم می‌باشد. قابل ذکر می‌باشد که ضریب اصطکاک تابعی از فشار و سرعت لغزش است اما اثرات آنها بر روی T_e به علت رابطه رادیکالی کم می‌باشد.

ضریب بازتاب سازه، B : اثرات میرائی در سیستم‌های بالشتکی درکد SEAONC توسط فاکتور B تعریف می‌شود و جدولی ارائه می‌دهد که در آن تغییرات B را با متغیر ξ_e که میرائی معادل نامیده می‌شود نشان می‌دهد:

$$1.0 \leq B = 0.8 + 4\xi_e \leq 1.2$$

$$5\% \leq \xi_e \leq 10\% \quad \text{برای}$$

$$1.2 \leq B = 0.857 + 3.43 \xi_e \leq 1.44 \quad (10)$$

$$10\% \leq \xi_e \leq 17\% \quad \text{برای}$$

$$1.44 \leq B = 1.1 + 2\xi_e \leq 1.9$$

$$17\% \leq \xi_e \leq 40\% \quad \text{برای}$$

$$1.9 \leq B = 1.5 + \xi_e \leq 2.0$$

$$40\% \leq \xi_e \leq 50\% \quad \text{برای}$$

قابلیت زیاد میرائی بالشتک‌های ارتجاعی اصطکاکی یکی از جذاب‌ترین خواص آنها می‌باشد و با اینکه میرائی بالا می‌باشد ولی کنتیک (kinetic) است.

س.ع. مرتضوی. ارزیابی آئین نامه زلزله کالیفرنیا برای بالشتک های ارتجاعی.

که

$$y = \frac{40\pi^2}{\mu g T} ZNS = \frac{2\pi}{\mu g T} A_1 V \quad (20)$$

و با در نظر گرفتن اینکه B نباید از ۲ تجاوز کند، زمانیکه مقدار محاسباتی B از رابطه (۱۵) از ۲ بزرگتر بود مقدار B باید مساوی ۲ قرار داده شود. در این صورت با استفاده از رابطه (۱۸) می توان نوشت:

$$\left(\frac{\mu}{C}\right)^2 + \left(\frac{2}{y}\right)^2 \left(\frac{\mu}{C}\right) - \left(\frac{2}{y}\right)^2 = 0 \quad (21)$$

بنابراین با استفاده از رابطه (۱۹) و (۲۱) می توان μ/C را محاسبه و سپس با استفاده از رابطه (۱۷) تغییر مکان تعیین شده توسط δ را محاسبه نمود.

بررسی یافته ها

توسط حل معادلات غیر خطی تحرکی سیستم، تغییر مکان تراز پایه سازه صلبی که بر روی بالشتک های ارتجاعی اصطکاکی نصب گردیده محاسبه شده است. این محاسبات برای زمان تناوب اصلی عنصر مرتجع ۴ و ۵ ثانیه و ضریب اصطکاک ۰/۱۰ و ۰/۱۶ انجام یافته است. شش زلزله مهیب آمریکا که حداکثر سرعت خطی آنان بین ۱ تا ۲۵ اینچ در ثانیه نرمال گشته نیروی محرکه این تحلیل دینامیکی را تشکیل می دهد. نتایج حاصل از این محاسبات در شکل های ۲ تا ۵ ملاحظه می گردد. همانطور که در جدول ۱ ملاحظه می شود این زمین لرزه ها دارای شرایط متفاوت می باشند. شدت زلزله از ۶ تا ۸/۱ ریشتر است و شرایط خاکی از خاک نرم مکزیکو سیتی (Mexico City) تا زمین سنگی سد پاکویما (Pacoima Dam) متغیر می باشد. فاصله مرکز زلزله (epicentral distance) بین ۶ کیلومتر برای پارکفیلد (Parkfield) تا ۴۰۰ کیلومتر برای مکزیکوسیتی می باشد.

$$a_1 = 1.1 + 2\xi ;$$

$$b_1 = \frac{4}{\pi} - 2\xi$$

$$1.44 \leq B \leq 1.9 \quad \text{برای}$$

$$a_1 = 1.5 + \xi ;$$

$$b_1 = \frac{2}{\pi} - \xi$$

برای

$$1.9 \leq B \leq 2.0$$

و بر طبق کد SEAONC حداکثر مقدار B برابر ۲ می باشد.

تغییر مکان تعیین شده توسط δ : با جایگزین کردن B و T_e از رابطه (۱۵) و (۹) در رابطه (۱) می توان تغییر مکان درخواستی، برای سیستم های بالشتکی ارتجاعی اصطکاکی را بصورت زیر نوشت:

$$\delta = \frac{10\sqrt{1-\frac{\mu}{C}}}{a_1 + b_1\frac{\mu}{C}} (ZNS)T \quad (17)$$

برای محاسبه δ اول باید μ/C را محاسبه نمائیم. با استفاده از رابطه (۷) می توان نشان داد:

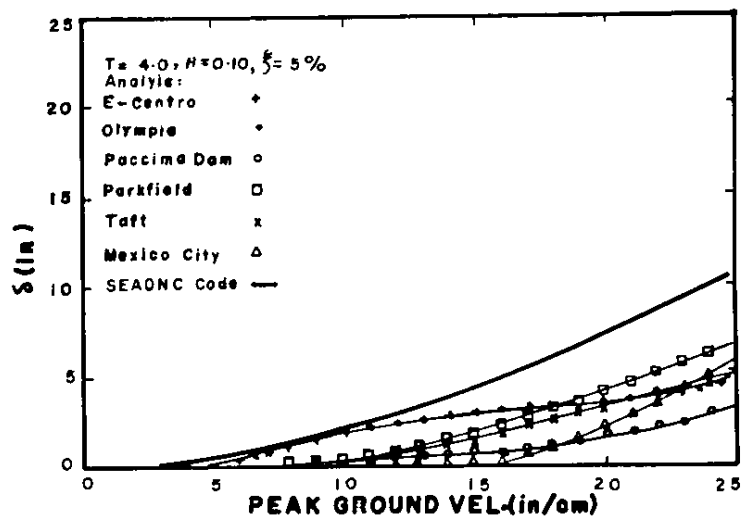
$$\delta = \frac{\mu g T^2}{4\pi^2} \left[\frac{1-\frac{\mu}{C}}{\frac{\mu}{C}} \right] \quad (18)$$

با مساوی قرار دادن رابطه (۱۸) و (۱۷)

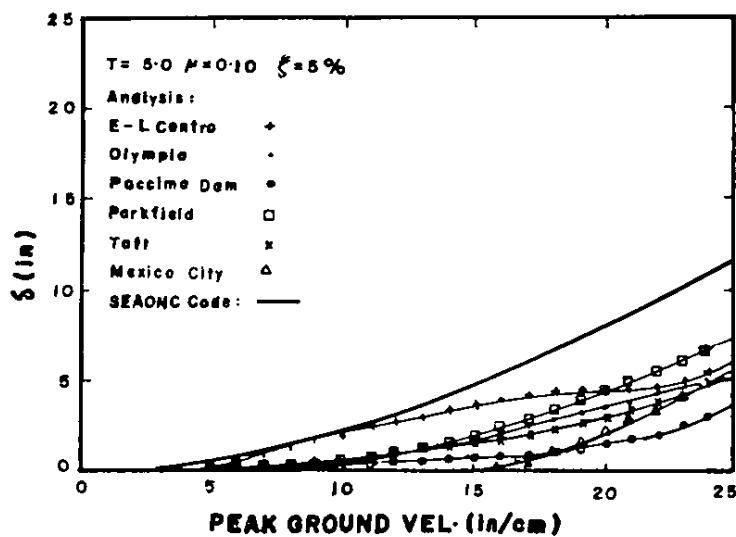
$$\left(\frac{\mu}{C}\right)^3 + \left[\left(\frac{y}{b_1}\right)^2 + \frac{2a_1}{b_1} - 1 \right] \quad (19)$$

$$\left(\frac{\mu}{C}\right)^2 + \left[\left(\frac{a_1}{b_1}\right)^2 - \frac{2a_1}{b_1} \right]$$

$$\left(\frac{\mu}{C}\right) - \left(\frac{a_1}{b_1}\right)^2 = 0$$

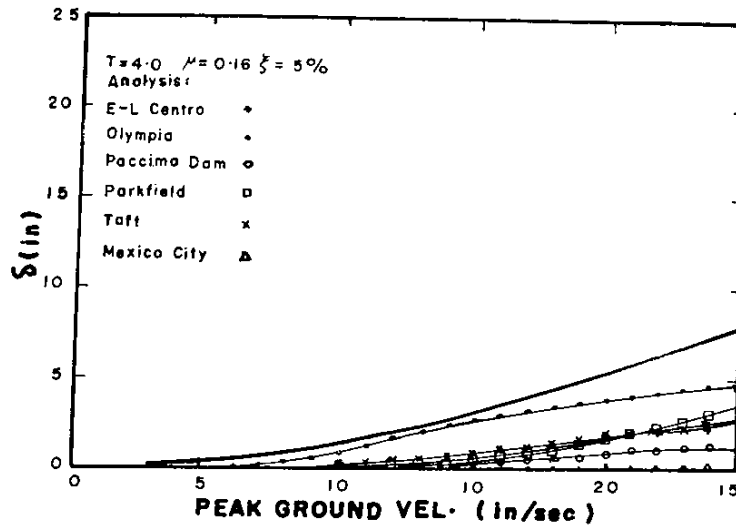


شکل ۲- منحنی تغییر مکان بالشتک با حداکثر سرعت خطی زمین (برای $T=4.0$ و $\mu=0.10$).

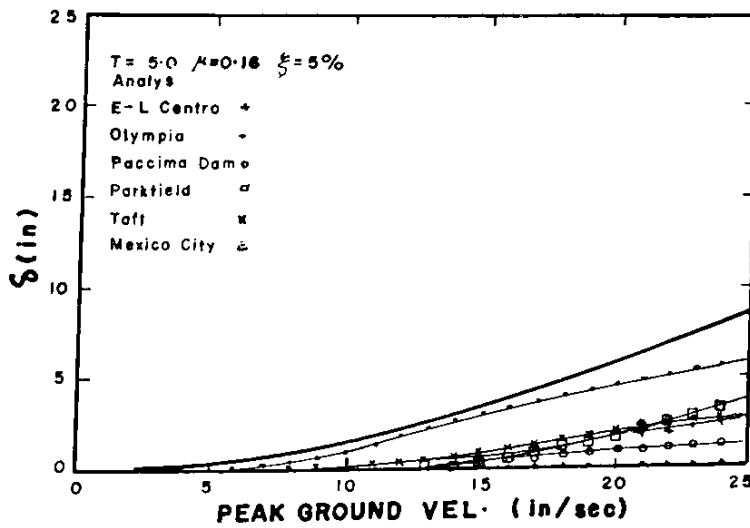


شکل ۳- منحنی تغییر مکان بالشتک با حداکثر سرعت خطی زمین (برای $T=5.0$ و $\mu=0.10$).

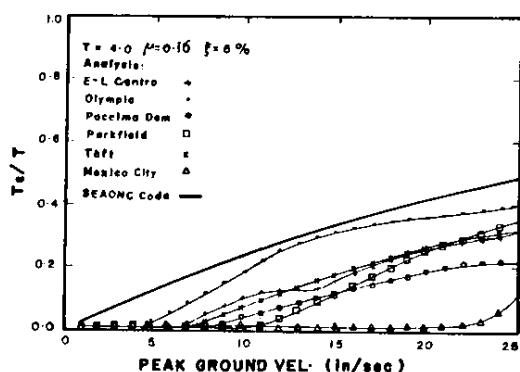
س.ع. مرتضوی. ارزیابی آئین‌نامه زلزله کالیفرنیا برای بالشتک‌های ارتجاعی.



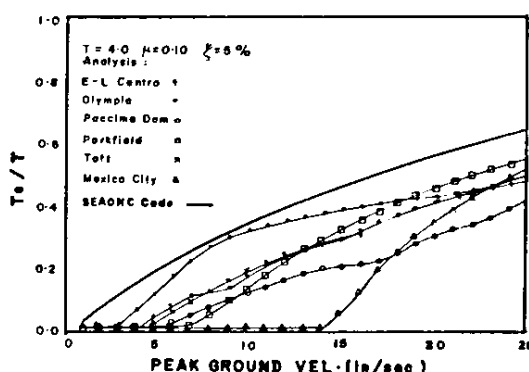
شکل ۴- منحنی تغییر مکان بالشتک با حداکثر سرعت خطی زمین (برای $T=4.0$ و $\mu=0.16$).



شکل ۵- منحنی تغییر مکان بالشتک با حداکثر سرعت خطی زمین (برای $T=5.0$ و $\mu=0.16$).



شکل ۷- منحنی تغییرات T_e/T با حداکثر سرعت خطی زمین (برای $T=4.0$ و $\mu=0.16$).



شکل ۸- منحنی تغییر مکان بالشتک با حداکثر سرعت خطی زمین (برای $T=4.0$ و $\mu=0.10$).

شکل‌های ۶ و ۷ ملاحظه می‌شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به شکل‌های ۲ تا ۵، تغییر مکان دیکته شده توسط کد SEAONC بزرگتر از مقدار اصلی محاسبه شده بخصوص برای زمین لرزه‌های بزرگ می‌باشد ولی بطور کلی ضریب اطمینان معقولی در نظر گرفته نشده است. شکل‌های ۶ و ۷ نشان می‌دهند که مقدار زمان تناوب اصلی موثر سیستم T_e تابعی از شدت زلزله می‌باشد و با افزایش شدت زلزله آن نیز افزایش می‌یابد ولی رابطه، معکوس با ضریب اصطکاک دارد که این امر قابل پیش‌بینی بوده زیرا با افزایش ضریب اصطکاک از حرکت سازه کاسته می‌شود و در نتیجه مقدار T_e کاهش می‌یابد.

بار دیگر با استفاده از فرمول منته‌جه شده از کد SEAONC با در دست داشتن T و مقدار پارامتر γ توسط رابطه (۲۰) محاسبه گردیده و با استفاده از این مقدار و روابط (۱۹) یا (۲۰) μ/C را محاسبه می‌کنیم و بعد با استفاده از رابطه (۱۷) مقدار تغییر مکان تعیین شده توسط کد ۵ را بدست می‌آوریم. منحنی‌های تغییر مکان محاسبه شده توسط کد نیز در شکل‌های ۲ تا ۵ با شرایط مختلف ملاحظه می‌گردد.

برای اینکه ایدهای از مقدار زمان تناوب اصلی موثر T_e به زمان تناوب اصلی T داشته باشیم در محاسبات بالا مقدار T_e/T را نیز بدست می‌آوریم که در شکل‌های ۶ و ۷ ملاحظه می‌گردد. بار دیگر با استفاده از روابط SEAONC، T_e/T را از رابطه (۹) بدست می‌آوریم که نتایج حاصل از آن نیز در

References

1. A.S. Ikonou, The Alexisimon: An Application to Building Structure, Proc. 2nd U.S. Nat. Conf. Earthquake Eng. Stanford University (1979).

2. J.M. Kelly and K.E. Bencke, "A Friction Damped Base Isolation System with Fail-Safe Characteristics", *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, 11, 35 (1983).
3. M.S. Chalhoub and J.M. Kelly, "Earthquake Simulator Evaluation of A Combined Sliding Bearing and Tension Controlled Rubber Bearing Isolation System", *Seism. Shock Vib. Isolation*, ASME 181, 59 (1989).
4. M.S. Caspe and A.M. Reinhorn, "The Earthquake Barrier, A Solution for Adding Ductility to Otherwise Brittle Buildings", *Proc. ATC-17 Seminar, Base Isolation and passive Energy Dissipation*, San Francisco, CA, 331 (1986).
5. N. Mostaghel and M. Khodaverdian, "Dynamics of Resilient Friction Base Isolator (R-FBI)", *Earthquake Eng. Struct. Dyn.* 15, 379 (1987).
6. K. Kitozawa, A. Ikeda and S. Kawamura, "Study on a Base Isolation System", *Proc. 8th World Conf. Earthquake eng. San Francisco, CA*, 991 (1984).
7. J.M. Kelly, "Aseismic Base Isolation: Review and Bibliography", *Soil Dyn. Earthquake Eng.* 5, 202 (1986).
8. N. Mostaghel, M. Hejazi and J. Tanbakuchi, "Response of Sliding Structures to Harmonic Support Motion", *Earthquake Eng. Struct. Dyn.* 11, 355 (1983).
9. N. Mostaghel and J. Tanbakuchi, "Response of Sliding Structures to Earthquake Support Motion", *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, 11, 729 (1983).
10. S.H. Crandall, S.S. Lee and J.H. Williams Jr., "Accumulated Slip of Friction Controlled Mass Excited by Earthquake Motions", *J. Appl. Mech.*, ASME 41, 1094 (1974).
11. A.R. Mortazavi, N. Mostaghel and J.M. Kelly, "Design Procedures for R-FBI Bearings", *Report No. UTEC 88-031* (1988).
12. N. Mostaghel and A.R. Mortazavi, "Code Versus Analysis Design Displacement for R-FBI System", *ASME, PVP-Vol. 181 Seismic, Shock, and Vibration Isolation*, 79-87 (1989).
13. Lin Su, G. Ahmadi and I.G. Tadjbakhsh, "A Comparative Study of Performance of Various Base Isolation Systems, Part I: Shear Beam Structures", *Earthquake Eng. Struct. Dyn.* 18, 11 (1989).
14. M.C. Constantinou, J. Caccese and H.G. Harris, "Frictional Characteristics of Teflon-Steel Interfaces Under Dynamic Conditions", *Earthquake Eng. Struct. Dyn.* 15, 751 (1987).
15. A. Mokha, N.C. Constantinou and A.M. Reinhorn, "Sliding Isolated structures: Experimental and Mathematical Modeling", *Seism. Shock Vib. Isolation ASME 181*, 101 (1989).
16. M.Q. Rasheeduzzafar, A.S. Arya and B. Chandra, "Seismic Response of Masonry Building with Sliding Substructures", *J. Struct. Eng. ASCE* 112, 2001 (1986).
17. C.A. Kircher and B. Lashkari, "Statistical Evaluation of Non-linear Response of Seismic

- Isolation Systems", Vol. I, Jack R. Benjamin & Associates, JBA 109-070, June (1989).
18. N. Mostaghel and A.R. Mortazavi, "An Assessment of SEAONC Draft Code for Resilient Sliding Isolators", Earthquake Eng. Struct. Dyn., 20, 523 (1991).
 19. Tentative Seismic Isolation Design Requirements, Base Isolation Subcommittee of Seismological Committee, Structural Engineers Association of Northern California (SEAONC), Sept. (1986).
 20. B. Mohraz, "A Study of Earthquake Response for Different Geological Conditions", Bull, Seism. Soc. Am. 66, 915 (1976).
 21. A.R. Mortazavi, Design and Dimensioning of R-FBI Bearing, Ph.D. Dissertation, University of Utah, June (1990).
 22. ATC 3-06, Applied Technology Council, Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings, NBS 510, NSF 78-8, Washington, D.C., June (1978).

AN ASSESSMENT OF SEAONC DRAFT CODE FOR RESILIENT SLIDING ISOLATORS IN NUCLEAR POWER PLANTS

A.R. Mortazavi

Nuclear Power Plant Division
Atomic Energy Organization of Iran

Abstract

The displacement responses of rigid structures supported on resilient sliding isolation systems with various frictions to six different ground motions normalized to ground velocity levels from 1 to 25 inches per Second are evaluated. Through the application of an equivalent damping procedure, the minimum required displacement capacities as dictated by the SEAONC draft code are also estimated. It is concluded that, even though the code displacement requirement is on the conservative side, the displacement capacity requirement is not excessive.

