ارائه مدل مکانیکی جامع برای رفتار لرزه‌ای مخازن استوانه‌ای بتنی انعطاف‌پذیر

مخازن ذخیرهٔ مایعات از جمله سازه های حیاتی و پر اهمیت در جوامع امروزی می‌باشند. آن‌ها همچنین نقش مهمی در امور امداد رسانی پس از زلزله ایفا می‌کنند. آسیب دیدگی مخازن پس از وقوع زلزله علاوه بر زیان اقتصادی ممکن است قطع آب، آتش سوزی های کنترل نشده، نشت مواد شیمیایی آلوده کننده وسمی را به همراه داشته باشد. به خاطر طراحی نامناسب این مخازن، زیان های قابل توجهی در زلزله های گذشته رخ داده است. بنا بر این، با توجه به اهمیت قابل توجه این مخازن اطمینان از عملکرد رضایت بخش آنها طی زمین لرزه های قوی ضروری است. مخازن بتنی دارای ابعاد متفاوتی از نظر ضخامت و وزن دیواره، نسبت به مخازن فولادی می باشند. بنابراین انتظار می‌رود این مخازن از نظر فرکانس طبیعی و صلبیت مشابه مخازن فولادی عمل نکرده و با توجه به انعطاف‌پذیری کمتر نسبت به مخازن فولادی رفتار ویژه‌ای داشته باشند. در قسمت اول این رساله، یک روش تحلیلی برای برآورد پاسخ لرزه‌ای مخازن استوانه‌ای بتنی تحت تحریک افقی زلزله با در نظر گرفتن انعطاف‌پذیری دیواره مخزن که تا سطح خاصی از مایع پر شده‌اند، ارائه می‌شود. با حل معادله لاپلاس حاکم بر رفتار سیال درون مخزن، دو مولفه ضربه‌ای ونوسانی به‌دست می-آید. حل مساله سیستم مایع-پوسته برای به‌دست آوردن فشار ضربه‌ای به‌روش المان محدود و ریلی-ریتز انجام می‌گیرد. در تحلیل ارتعاشی پوسته در حرکت افقی زلزله اثر مدهای محیطی نوع $\mathrm{Cos}\ n\theta$ و پوسته مخزن به‌صورت نازک در نظر گرفته شده است. با استفاده از مولفه نوسانی جریان، می‌توان فشار نوسانی و حداکثر ارتفاع موج نوسانی را به‌دست آورد. نتایج این تحلیل با سایر تحقیقات موجود مقایسه گردید و صحت روابط تحلیلی پیشنهادی به اثبات رسید. سپس با استفاده از روابط تحلیلی پیشنهادی، یک مدل مکانیکی با در نظر گرفتن انعطاف‌پذیری جداره مخزن برای مخازن استوانه‌ای بتنی تحت تحریک افقی زلزله ارائه شد و نتایج این مدل مکانیکی و دقت جواب حاصل از آن با نتایج تحلیلی پیشنهادی و آیین-نامه ACI 350.3-06 مقایسه شد که موید عملکرد صحیح و دقت قابل قبول این مدل مکانیکی پیشنهادی می‌باشد. در انتها این نتیجه حاصل می‌شود که جوابهای آیین‌نامه ACI 350.3-06 با روش تحلیلی پیشنهادی، تفاوت زیادی دارد که علت آن در نظر نگرفتن صحیح انعطاف‌پذیری جداره توسط این آیین‌نامه می‌باشد. در ضمن در مدل مکانیکی پیشنهادی اثر میزان پرشدگی و همچنین اثر جرم دیواره در نظر گرفته شده است. همچنین نشان داده می‌شود که آیین‌نامه ACI 350.3-06 اثر جرم دیواره را به‌خوبی در نظر نمی‌گیرد.

در قسمت دوم این رساله، رفتارلرزه‌ای مخازن استوانه‌ای بتنی تحت تحریک قائم زلزله با توجه به تحقیقات اندک موجود در این زمینه، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در ابتدا معادله لاپلاس حاکم بر رفتار مایع درون مخزن حل شده و مولفه ضربه‌ای حاصل از این ارتعاش به‌دست می‌آید. با استفاده از این مولفه می‌توان فشار ضربه‌ای ناشی از ارتعاش قائم را با کمک حل سیستم مایع-پوسته به‌روش ریلی-ریتز به‌دست آورد. نتایج حاصل از این روابط با سایر تحقیقات موجود مقایسه شده و صحت این روش تحلیلی به اثبات می‌رسد. سپس با کمک این روش تحلیلی یک مدل مکانیکی با توجه به متقارن محوری بودن مساله، ارائه می‌گردد که در این مدل اثر میزان پر شدگی لحاظ شده است. سپس، نتایج حاصل از مدل مکانیکی پیشنهادی و دقت جواب آن با نتایج تحلیلی پیشنهادی و آیین‌نامه ACI 350.3-06 مقایسه می‌شود که موید عملکرد صحیح و دقت قابل قبول این مدل مکانیکی پیشنهادی نسبت به آیین‌نامه مذکور می‌باشد. در انتها یک تابع تخمینی فشار ضربه‌ای با توجه به مدل مکانیکی پیشنهادی، برای تحریک قائم زلزله ارائه می‌شود که این تابع تا شباهت بسیار زیادی با فشار ضربه‌ای واقعی دارد.

کلمات کلیدی: اندرکنش مایع-سازه، فشار ضربه‌ای، فشار نوسانی، مخازن استوانه‌ای بتنی، روش ریلی-ریتز، مدل مکانیکی.

A Mechanical Model for Cylindrical Flexible Concrete Tanks Undergoing Lateral Excitation

In this research, a mechanical model is developed for evaluating the seismic response of flexible concrete cylindrical tanks under horizontal ground motion. For obtaining the parameters of the liquid-shell interaction of this model, a semi-analytical approach is employed using the Rayleigh–Ritz method. In the developed analytical approach, the

vibration modes of a deformable open top-clamped bottom shell are considered. The shell is assumed to be thin and the first-approximation theory is applied. Based on the analytical approach, a simple yet sufficiently accurate mechanical model, in which effects of the liquid and the tank wall considered separately, is proposed for tanks completely or partially filled with liquid. Parameters of this model are illustrated in charts easy to use for design purposes. In this model, only the first circumferential and vertical modes are considered. Also, the time history of sloshing wave height and its maximum are obtained. Finally, the base shear and the overturning moment, calculated by the analytical method and proposed mechanical model, are compared with those suggested by ACI 350.3-06. The results demonstrate that the proposed mechanical model is very successful in predicting the base shear and overturning moment, but ACI 350.3-06 overestimates or underestimates the responses case by case. Therefore, this model can be utilized with confidence for estimation of the design seismic loads of concrete cylindrical tanks.

Keywords

Concrete cylindrical tank, liquid-shell interaction,Rayleigh–Ritz method, seismic design, mechanical model.