

Development of Seismic Fragility Functions for Typical Highway Bridges in Iran

Akbar Vasseghi

Associate Professor, Structural Engineering Research Center
vasseghi@iiees.ac.ir

Aram Soroushian,

Mohammad Khanmohammadi, Arash Taghinia

Fragility functions were developed for typical highway bridges in Iran. The decks of such bridges are integrally connected to bridge bents. The recent experimental studies carried out on typical Iranian multi-column bents indicated major damage at the cap beam-column joint under cyclic loading, Figure (1).

Tests results also demonstrated that the exterior joints were more vulnerable than interior joints. In this study, the nonlinear behavior of the exterior and interior joints was modeled with zero length rotational springs with backbone curves and the Ibarra-Krawinkler Pinching (IKP) model, Figure (2).

The parameters for the backbone curves and the IKP model were proposed based on the experimental data. The analytical models simulating the test specimens were verified with experimental results as shown in Figure (3).

Seismic demand of the cap beam-column joints was considered as an engineering demand parameter (EDP) for development of fragility functions. Three main types of bridge deck including concrete slab-girder, simple slab, and void slab with various configurations relevant to number of span, construction date, column shape and abutment types were analyzed using OpenSees software. Nonlinear incremental dynamic analyses were performed for the development of the fragility functions assuming a probabilistic log-normal distribution. Fragility parameters (λ : mean, ξ : dispersion) were evaluated at four damage levels for each type of bridges. The fragility parameters for each bridge type are listed in Tables (1-3). Type of bridge in these tables is labeled based on number of spans (2, 3, 4), construction date (A: old, B: New), column section (C: circle, O: oval), and abutment type (D: diaphragm, S: seat).

Keywords: Fragility function, Cap beam-column joint, Exterior and interior joints, Backbone curve, Incremental dynamic analysis

توسعه توابع شکنندگی پلهای بزرگراهی رایج در ایران

اکبر واسعی

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه vasseghi@iiees.ac.ir

آرام سروشیان، محمد خان محمدی، آرش تاقینا

در این پژوهش، توابع شکنندگی پلهای بزرگراهی کشور با سیستم سازه‌های عرشه یکپارچه با زیرسازه توسعه داده شده است. آزمایش‌های دهه اخیر انجام شده در ایران بر روی پایه بتنی چند ستونی پلها (مربوط به دهه‌های ۷۰ و ۸۰) آسیبهای عمده‌ای را در محل اتصال تیر سرستون به ستون در برابر تحریک جانبی به دلیل تسلیح نامناسب ناحیه اتصال نشان دادند، شکل (۱). این آزمایش‌ها همچنین نشان دادند که اتصالات خارجی، نسبت به اتصالات داخلی آسیب پذیرترند. مدلسازی رفتار غیرخطی اتصالات داخلی و خارجی با فنرهای غیرخطی دورانی به طول صفر و منحنی رفتار چرخه‌ای مطابق شکل (۲) انجام شد و نتایج مدل تحلیلی نمونه‌های آزمایشگاهی با نتایج آزمایش‌ها راستی‌آزمایی شد، شکل (۳).

برای توسعه توابع شکنندگی پلهای یکپارچه میزان تقاضای لرزهای اتصال تیر سرستون به ستون به عنوان پارامتر نیاز لرزهای در نظر گرفته شد. سه تیپ اصلی از این پلها با سیستم عرشه تیر و دال، دال مجوف و دال ساده با مشخصات متنوعی از جمله تعداد دهانه، قدمت پل، شکل مقطع ستون و نوع کوله (شامل ۷۲ تیپ فرعی)، در نرم‌افزار OpenSees مدلسازی و تحلیل شدند. تعداد ۱۰۰ زلزله کم عمق و دور از گسل به منظور تحلیل دینامیکی غیر خطی فزاینده (Incremental Dynamic Analysis, IDA) انتخاب و توابع شکنندگی اعضا و سیستم پل به روش تحلیلی توسعه داده شدند. منحنی‌های شکنندگی اعضا و سیستم پل در چهار سطح خرابی با فرض توزیع احتمالاتی لوگ نرمال توسعه داده شدند. پارامترهای توابع شکنندگی (میانگین: λ و انحراف معیار: ξ) سیستم پلها با عرشه تیر و دال بتنی، دال ساده بتنی، و دال مجوف بتنی به ترتیب در جداول (۱ تا ۳) ارائه شده است. ردیف دوم این جداول تیپ پل را بر مبنای تعداد دهانه (۲، ۳، ۴)، قدمت پل (A: قدیمی، B: جدید)، شکل مقطع ستون (C: دایره‌ای، O: لوبیایی) و نوع کوله (D: یکپارچه، S: نشیمن) مشخص می‌کند.

واژه‌های کلیدی: توابع شکنندگی، اتصال تیر سرستون به ستون، اتصال خارجی و داخلی، تحلیل دینامیکی فزاینده

Table 1: Fragility parameters for concrete slab and girder bridge

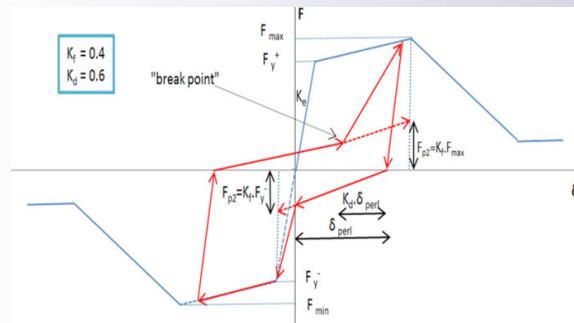
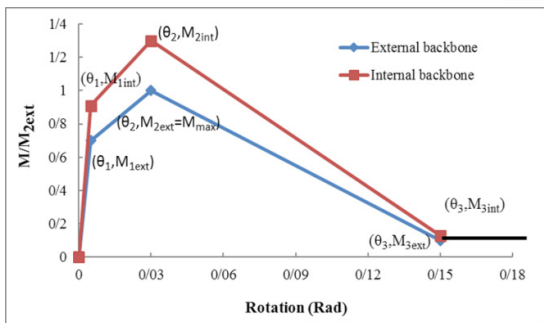
Average Dispersion	State of Damage								Bridge type	Number of Span
	Complete		Extensive		Moderate		Slight			
ξ^*	ξ	λ	ξ	λ	ξ	λ	ξ	λ		
0.78	0.78	1.17	0.78	0.85	0.78	0.55	0.78	0.25	2ACD	2
0.8	0.79	1.5	0.79	1.2	0.79	0.85	0.84	0.44	2BCD	
0.84	0.85	1.5	0.79	1.02	0.85	0.88	0.85	0.54	2AOD	
0.78	0.78	0.76	0.78	0.57	0.78	0.38	0.78	0.19	2ACS	
0.83	0.80	1.3	0.80	0.98	0.85	0.77	0.85	0.53	2BOS	
0.85	0.85	1.27	0.85	0.95	0.85	0.74	0.85	0.46	2AOS	
0.80	0.80	0.98	0.80	0.77	0.80	0.56	0.80	0.24	2BCS	
0.72	0.70	2.8	0.70	1.90	0.7	0.95	0.80	0.69	2BOD	
0.99	0.99	0.73	0.99	0.53	0.99	0.33	0.99	0.15	3ACD	3
0.98	0.98	0.96	0.98	0.72	0.98	0.50	0.98	0.18	3BCD	
0.82	0.80	0.83	0.80	0.65	0.8	0.47	0.87	0.23	3AOD	
0.89	0.87	0.56	0.87	0.43	0.9	0.30	0.90	0.15	3ACS	
0.83	0.82	0.66	0.82	0.53	0.82	0.40	0.87	0.23	3BOS	
0.85	0.84	0.63	0.84	0.49	0.84	0.36	0.87	0.18	3AOS	
0.87	0.87	0.58	0.87	0.46	0.87	0.34	0.87	0.23	3BCS	
0.89	0.89	0.94	0.89	0.73	0.89	0.53	0.89	0.26	3BOD	
0.83	0.83	0.43	0.83	0.32	0.83	0.23	0.83	0.15	4ACD	4
0.84	0.83	0.46	0.83	0.39	0.83	0.29	0.87	0.17	4BCD	
0.91	0.95	0.80	0.95	0.66	0.92	0.45	0.83	0.26	4AOD	
0.83	0.83	0.41	0.83	0.31	0.83	0.21	0.83	0.13	4ACS	
0.83	0.88	0.88	0.8	0.70	0.80	0.55	0.85	0.29	4BOS	
0.91	0.91	0.71	0.91	0.61	0.91	0.44	0.91	0.27	4AOS	
0.72	0.72	0.44	0.72	0.37	0.72	0.30	0.72	0.22	4BCS	
0.82	0.82	1.35	0.82	1.13	0.82	0.90	0.82	0.50	4BOD	



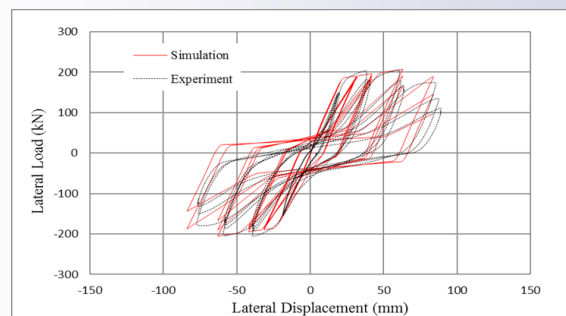
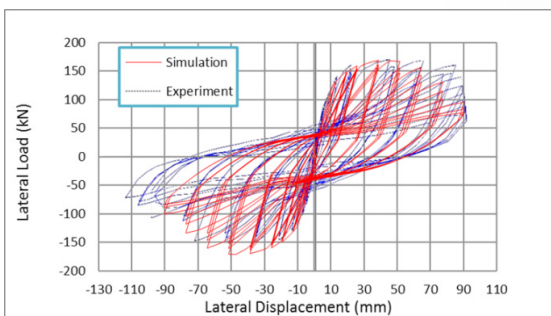
شکل (1): خسارت وارد به اتصالات در آزمایش‌های داخل کشور

Table 2: Fragility parameters for concrete slab bridge

Average Dispersion	State of Damage								Bridge type	Number of Span
	Complete		Extensive		Moderate		Slight			
ξ^*	ξ	λ	ξ	λ	ξ	λ	ξ	λ		
1.04	0.88	1.68	0.95	1.05	1.13	0.52	1.20	0.18	2sACD	2
1.09	0.92	2.30	1.00	1.77	1.15	1.05	1.30	0.19	2sBCD	
0.74	0.68	1.90	0.68	1.25	0.68	0.92	0.89	0.50	2sAOD	
0.75	0.69	0.43	0.69	0.29	0.69	0.17	0.92	0.10	2sACS	
0.99	1.05	1.15	1.10	0.78	0.90	0.58	0.90	0.34	2sBOS	
1.02	1.01	1.15	1.10	0.78	1.00	0.53	0.95	0.27	2sAOS	
0.74	0.69	0.56	0.69	0.43	0.69	0.28	0.86	0.11	2sBCS	
0.82	0.82	1.99	0.82	1.60	0.82	1.20	0.82	0.90	2sBOD	
0.99	0.83	1.16	0.85	0.73	1.15	0.36	1.15	0.13	3sACD	3
1.08	0.95	1.50	1.06	1.10	1.08	0.70	1.24	0.14	3sBCD	
0.83	0.8	1.25	0.80	0.90	0.83	0.66	0.90	0.25	3sAOD	
0.73	0.67	0.49	0.67	0.33	0.67	0.20	0.92	0.11	3sACS	
0.74	0.75	1.05	0.75	0.78	0.75	0.55	0.70	0.28	3sBOS	
0.89	0.87	0.93	0.87	0.72	0.90	0.49	0.95	0.25	3sAOS	
0.71	0.59	0.62	0.59	0.48	0.59	0.31	0.84	0.13	3sBCS	
1.19	1.19	2.50	1.19	1.70	1.19	1.05	1.19	0.42	3sBOD	
0.84	0.76	1.00	0.76	0.67	0.85	0.38	0.97	0.18	4sACD	4
0.84	0.77	1.3	0.77	1.00	0.84	0.65	0.96	0.20	4sBCD	
0.83	0.80	1.25	0.80	0.90	0.83	0.66	0.90	0.25	4sAOD	
0.80	0.74	0.52	0.74	0.34	0.74	0.20	0.98	0.11	4sACS	
0.60	0.60	1.16	0.60	0.93	0.60	0.69	0.60	0.41	4sBOS	
0.83	0.85	1.10	0.85	0.83	0.83	0.59	0.80	0.30	4sAOS	
0.74	0.71	0.66	0.71	0.51	0.71	0.34	0.84	0.14	4sBCS	
0.90	0.90	2.29	0.90	1.58	0.90	0.93	0.90	0.37	4sBOD	



شکل (۲): مدل رفتاری اتصالات تیرستون به ستون



شکل (۳): صحت‌سنجی مدل تحلیلی

Table 3: Fragility parameters for concrete void slab bridge

Average Dispersion	State of Damage								Bridge type	Number of Span
	Complete		Extensive		Moderate		Slight			
	ξ	λ	ξ	λ	ξ	λ	ξ	λ		
ξ^*										
0.80	0.73	1.20	0.73	0.85	0.79	0.52	0.96	0.30	2vACD	2
0.79	0.69	1.49	0.69	1.19	0.8	0.79	0.99	0.31	2vBCD	
0.89	0.80	1.35	0.80	1.10	0.95	0.75	0.99	0.39	2vAOD	
0.73	0.69	0.39	0.69	0.26	0.69	0.16	0.82	0.10	2vACS	
0.83	0.85	1.12	0.85	0.90	0.80	0.65	0.80	0.39	2vBOS	
0.83	0.85	1.07	0.85	0.85	0.80	0.60	0.80	0.35	2vAOS	
0.74	0.70	0.51	0.70	0.39	0.70	0.26	0.87	0.11	2vBCS	
0.88	0.88	1.70	0.88	1.20	0.88	1.00	0.88	0.50	2vBOD	
0.97	0.80	0.84	0.82	0.53	1.13	0.35	1.13	0.14	3vACD	3
0.88	0.87	1.05	0.87	0.80	0.87	0.52	1.1	0.17	3vBCD	
0.83	0.80	1.25	0.80	0.90	0.87	0.63	0.85	0.26	3vAOD	
0.75	0.68	0.43	0.68	0.28	0.68	0.17	0.95	0.10	3vACS	
0.66	0.66	0.98	0.66	0.78	0.66	0.56	0.66	0.32	3vBOS	
0.86	0.86	0.98	0.86	0.76	0.86	0.53	0.86	0.28	3vAOS	
0.72	0.64	0.54	0.64	0.41	0.64	0.27	0.95	0.10	3vBCS	
0.93	0.93	1.50	0.93	1.20	0.93	0.82	0.93	0.54	3vBOD	
0.75	0.67	0.80	0.67	0.56	0.74	0.34	0.91	0.19	4vACD	4
0.71	0.65	0.99	0.65	0.78	0.70	0.52	0.89	0.20	4vBCD	
0.77	0.72	0.82	0.72	0.67	0.80	0.50	0.85	0.28	4vAOD	
0.71	0.68	0.45	0.68	0.30	0.68	0.18	0.80	0.12	4vACS	
0.71	1.09	0.69	0.89	0.69	0.80	0.61	0.80	0.39	4vBOS	
0.81	0.80	0.96	0.80	0.73	0.80	0.53	0.80	0.31	4vAOS	
0.72	0.67	0.59	0.67	0.45	0.67	0.30	0.87	0.13	4vBCS	
0.86	0.86	0.94	0.86	0.80	0.86	0.65	0.87	0.48	4vBOD	