

Performance Based Seismic Design

- Design for the achievement of specified results rather than adherence to prescribed means.
- Key elements of the implementation of PBSD:
 - definition of seismic design actions for multiple design levels
 - formats that are closely related to the structural and non-structural damage, that the PBSD framework specifically aims to control

Performance Based Seismic Design

NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM

NCHRP SYNTHESIS 440

Performance-Based Seismic Bridge Design

A Synthesis of Highway Practice

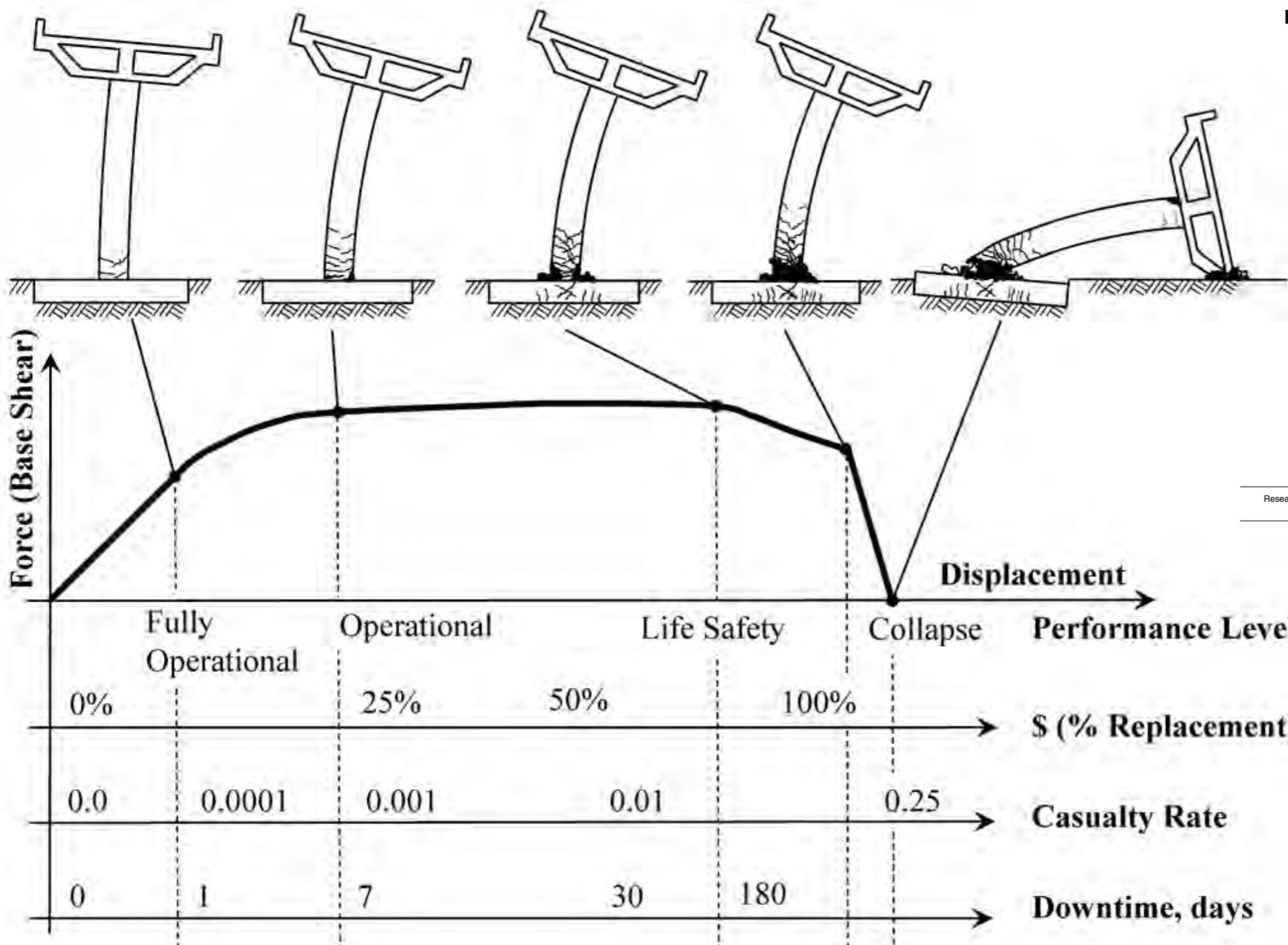
CONSULTANTS
M. Lee Marsh
and
Stuart J. Stringer
Berger/ABAM
Federal Way, Washington

SUBSCRIBER CATEGORIES
Bridges and Other Structures • Highways

Research Sponsored by the American Association of State Highway and Transportation Officials
in Cooperation with the Federal Highway Administration

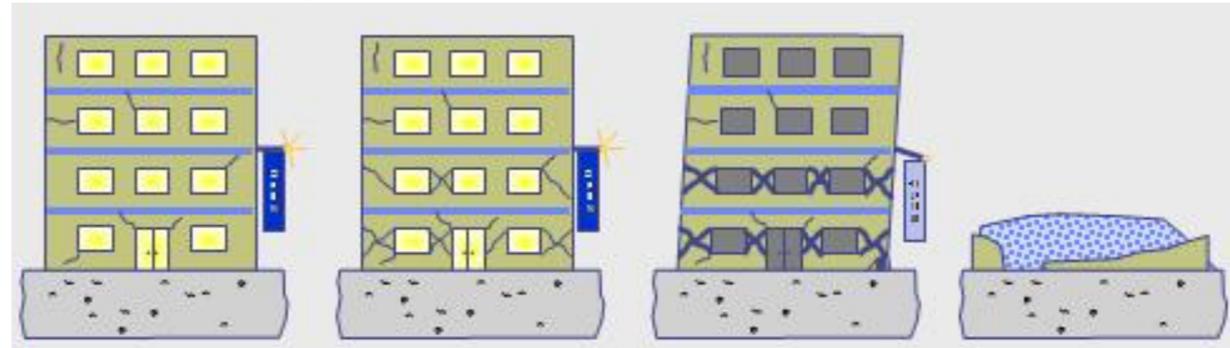
TRANSPORTATION RESEARCH BOARD

WASHINGTON, D.C.
2013
www.TRB.org



Earthquake Performance Level

OL	Operational Limit
IO	Immediate Occupancy
LS	Life Safety
CP	Collapse Prevention



Structural Performance Level

Earthquake Hazard Level		Structural Performance Level			
		OL	IO	LS	CP
Earthquake Hazard Level	Frequent $P_{EY} = 50\%/50 \text{ year}$	●			
	Occasional $P_{EY} = 20\%/50 \text{ year}$	●	●		
	Rare $P_{EY} = 10\%/50 \text{ year}$	●	●	●	
	Very Rare $P_{EY} = 2\%/50 \text{ year}$		●	●	●

Ordinary Buildings
 Essential Buildings
 Hazardous Buildings

PBD in Italy

- Stati Limite Ultimi (SLU)
- Stato limite di salvaguardia della vita (SLV)
- Stato limite di prevenzione del collasso (SLC)
- Stati Limite Esercizio (SLE)
 - Stato Limite di operatività (SLO)
 - Stato limite di danno (SLD)

https://it.wikipedia.org/wiki/Stato_limite

Italian code NTC18 - T_R

- Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella Tab. 3.2.I.

Tab. 3.2.I – Probabilità di superamento P_{VR} in funzione dello stato limite considerato

Stati Limite	P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R si ricava il periodo di ritorno T_R del sisma utilizzando la relazione:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} = - \frac{C_U V_N}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Italian code NTC18 - V_R e V_N

- Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto V_N per il coefficiente d'uso C_U :

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Italian code NTC18 - Classe d'uso

2.4.2. CLASSI D'USO

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Italian code NTC18 - Azioni

CLASSIFICAZIONE DELLE AZIONI SECONDO LA VARIAZIONE DELLA LORO INTENSITÀ NEL TEMPO

- a) **permanenti (G)**: azioni che agiscono durante tutta la vita nominale di progetto della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è molto lenta e di modesta entità
- b) **variabili(Q)**: azioni che agiscono con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel corso della vita nominale della struttura
 - sovraccarichi;
 - azioni del vento;
 - azioni della neve;
 - azioni della temperatura.
- c) **eccezionali (A)**: azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura;
 - incendi;
 - esplosioni;
 - urti ed impatti;
- d) **sismiche(E)**: azioni derivanti dai terremoti.

Italian building code (NTC08/18)

● Seismic classification

<http://www.protezionecivile.gov.it/attivita-rischi/rischio-sismico/attivita/classificazione-sismica>

● Seismic hazard

<http://esse1.mi.ingv.it>

● NTC08 Seismic code (§ 2.*; 3.2; 7.*)

<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2008/02/04/08A00368/sg>

● NTC18 Seismic code (§ 2.*; 3.2; 7.*)

<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/gu/2018/02/20/42/so/8/sg/pdf>

<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2019/02/11/19A00855/sg>

Fragility function

- A mathematical function that expresses the **probability that some undesirable event occurs** (typically that an asset reaches or exceeds some clearly defined limit state) as a function of some measure of environmental excitation (typically a measure of acceleration, deformation, or force in an earthquake).
- Represents the **cumulative distribution function** of the capacity of an asset to resist an undesirable limit state

From: Porter, K., 2017. A Beginner's Guide to Fragility, Vulnerability, and Risk.
University of Colorado Boulder, 103 pp.,
<http://www.sparisk.com/pubs/Porter-beginners-guide.pdf>

Fragility and capacity

- **Capacity** is measured in terms of the degree of environment excitation at which the asset exceeds the undesirable limit state.
- For example, a fragility function could express the uncertain level of shaking that a building can tolerate before it collapses.
- The chance that it collapses at a given level of shaking is the same as the probability that its strength is less than that level of shaking:

$$\text{Fragility} = P(\text{Seismic demand} \geq \text{Capacity} | \text{IM})$$

for a given level of ground motion intensity (IM)

Common form

- $F_d(x)$ = a fragility function for damage state d evaluated at x

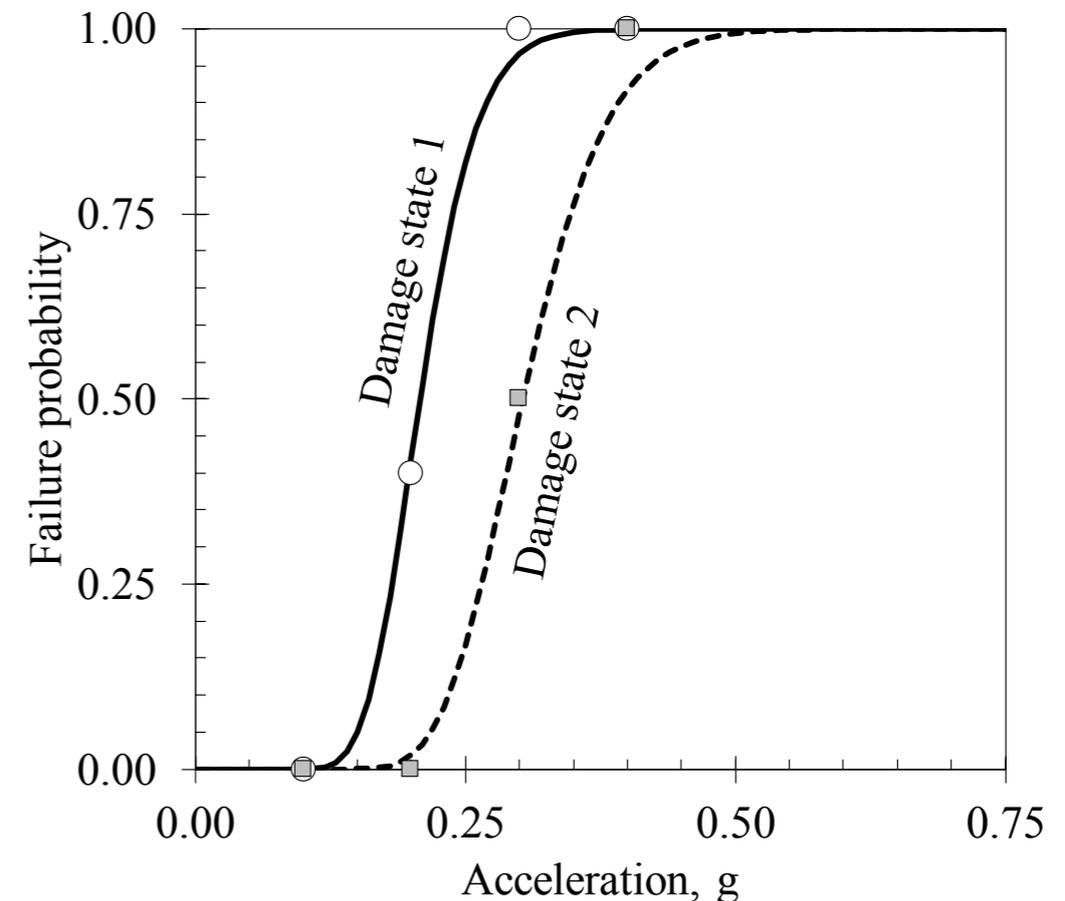
$$F_d(x) = P \left[D \geq d \mid X = x \right]$$
$$d \in \{1, 2, \dots, N_D\}$$

- $P[A|B]$ = probability that A is true given that B is true
- D = uncertain damage state of a particular component. It can take on a value in $\{0, 1, \dots, n_D\}$, where $D = 0$ denotes the undamaged state, $D = 1$ denotes the 1st damage state, etc.; d = a particular value of D , i.e., with no uncertainty; N_D = number of possible damage states
- X = uncertain excitation, e.g., peak zero-period acceleration at the base of the asset in question. Here excitation is called demand parameter (DP); x = a particular value of X , i.e., with no uncertainty

Common form

- $F_d(x)$ = a fragility function for damage state d evaluated at x

$$F_d(x) = \Phi \left(\frac{\ln(x / \theta_d)}{\beta_d} \right)$$

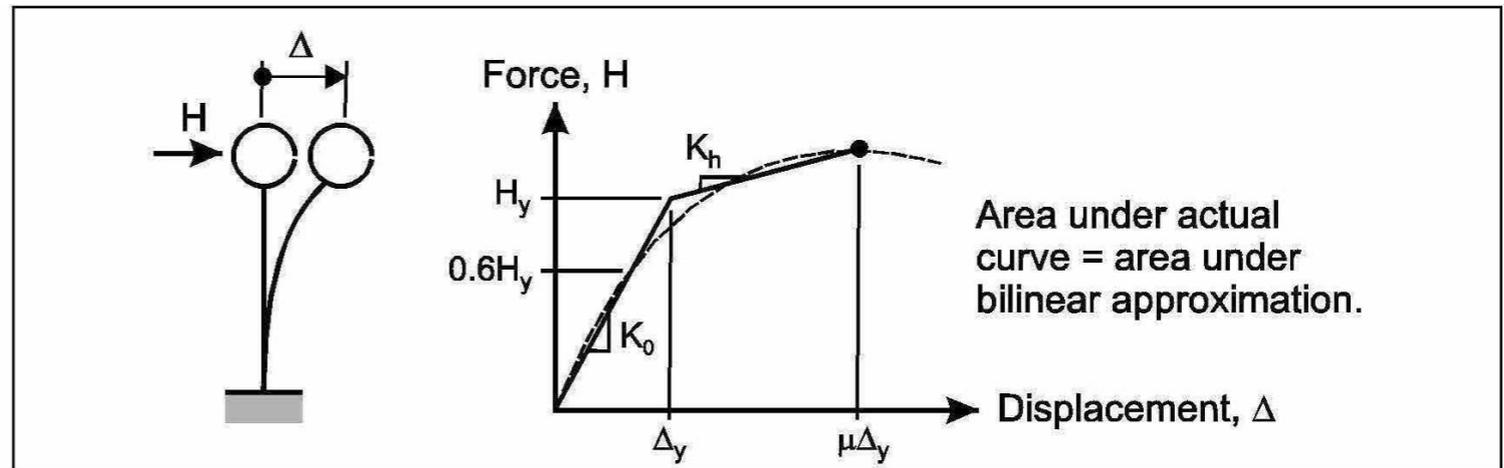
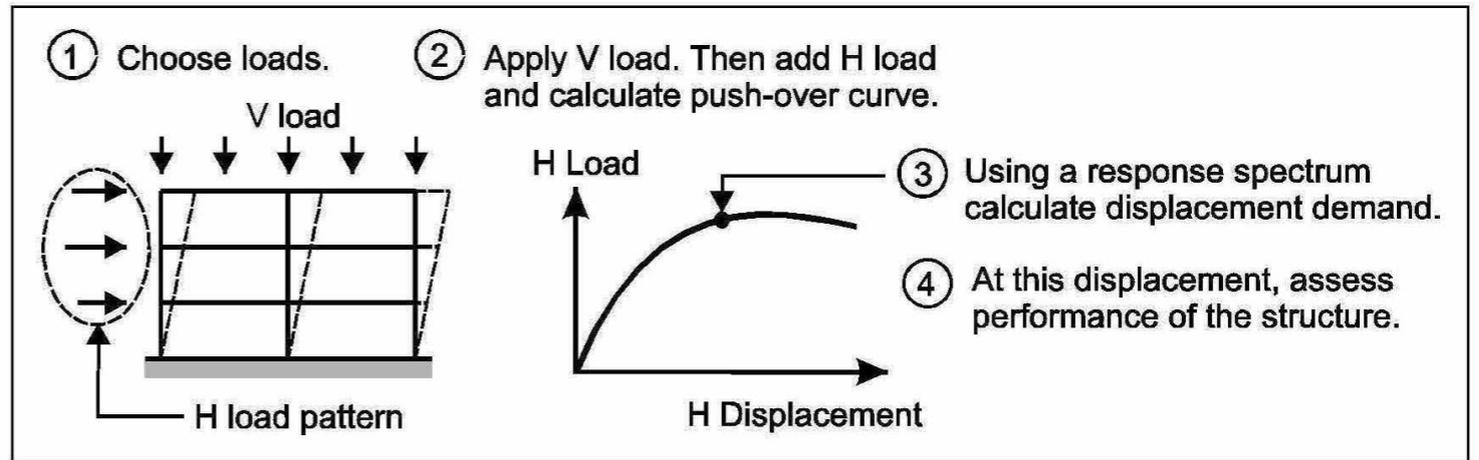
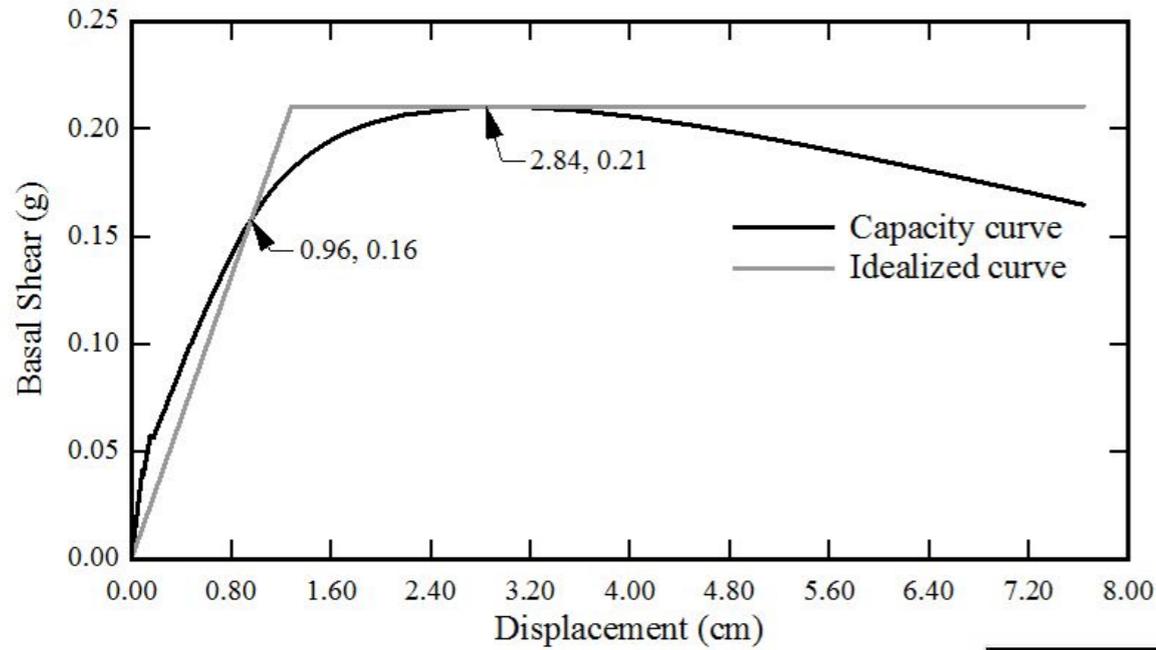


- $\Phi(s)$ = standard normal cumulative distribution function (often called the Gaussian) evaluated at s
- θ_d = median capacity of the asset to resist damage state d measured in the same units as X
- β_d = the standard deviation of the natural logarithm of the capacity of the asset to resist damage

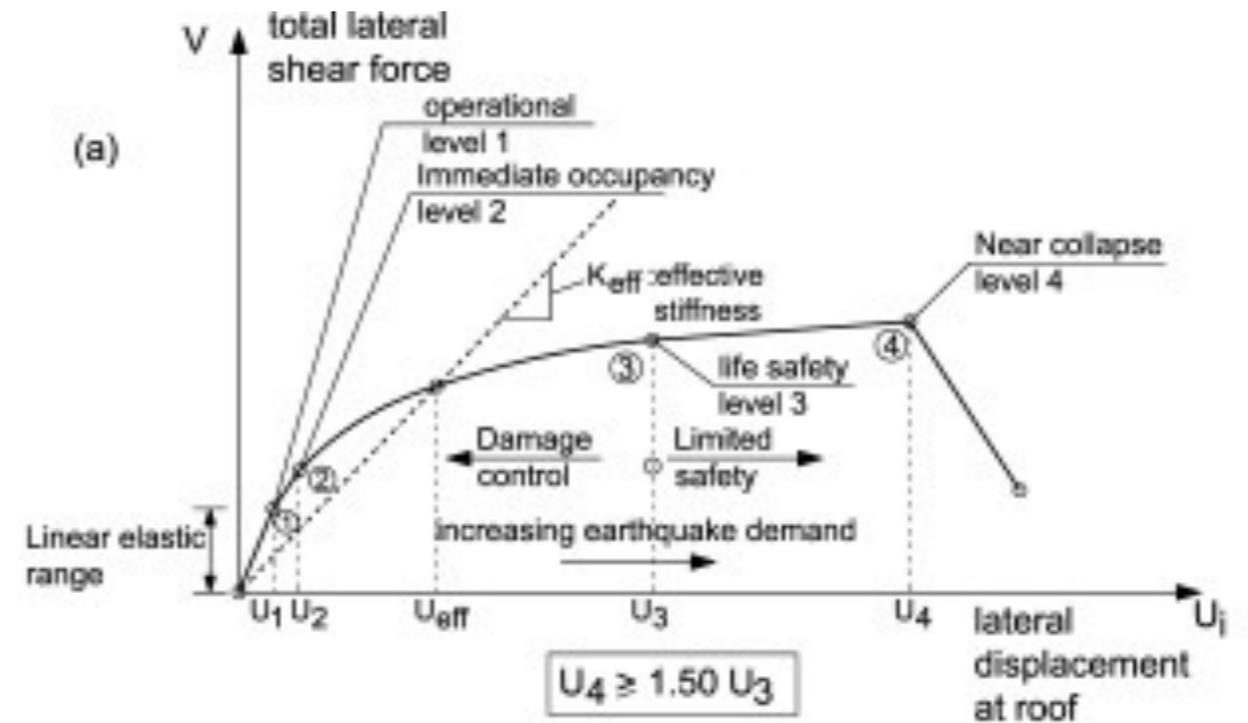
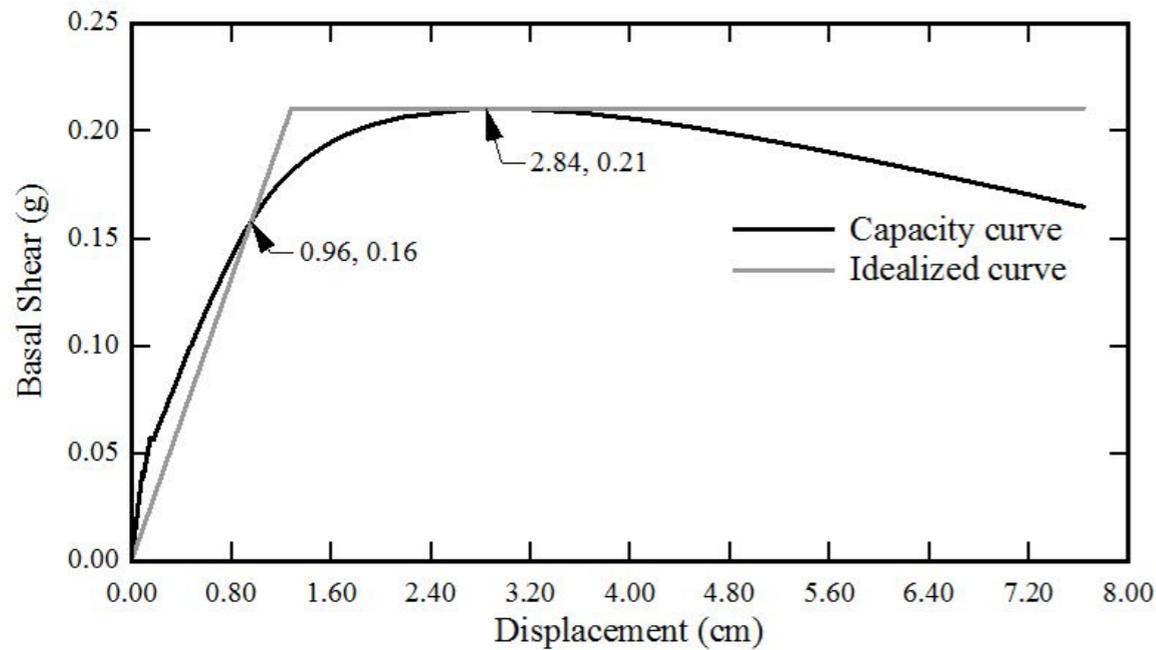
General classes of fragility functions

- **Empirical.** An empirical fragility function is one that is created by fitting a function to approximate observational data from the laboratory or the real world.
- **Analytical.** An analytical fragility function is one derived for an asset or class of assets by creating and analyzing a structural model of the asset class.
- **Expert opinion or judgment-based.** An expert opinion fragility function is one created by polling one or more people who have experience with the asset class in question, where the experts guess or judge failure probability as a function of environmental excitation.

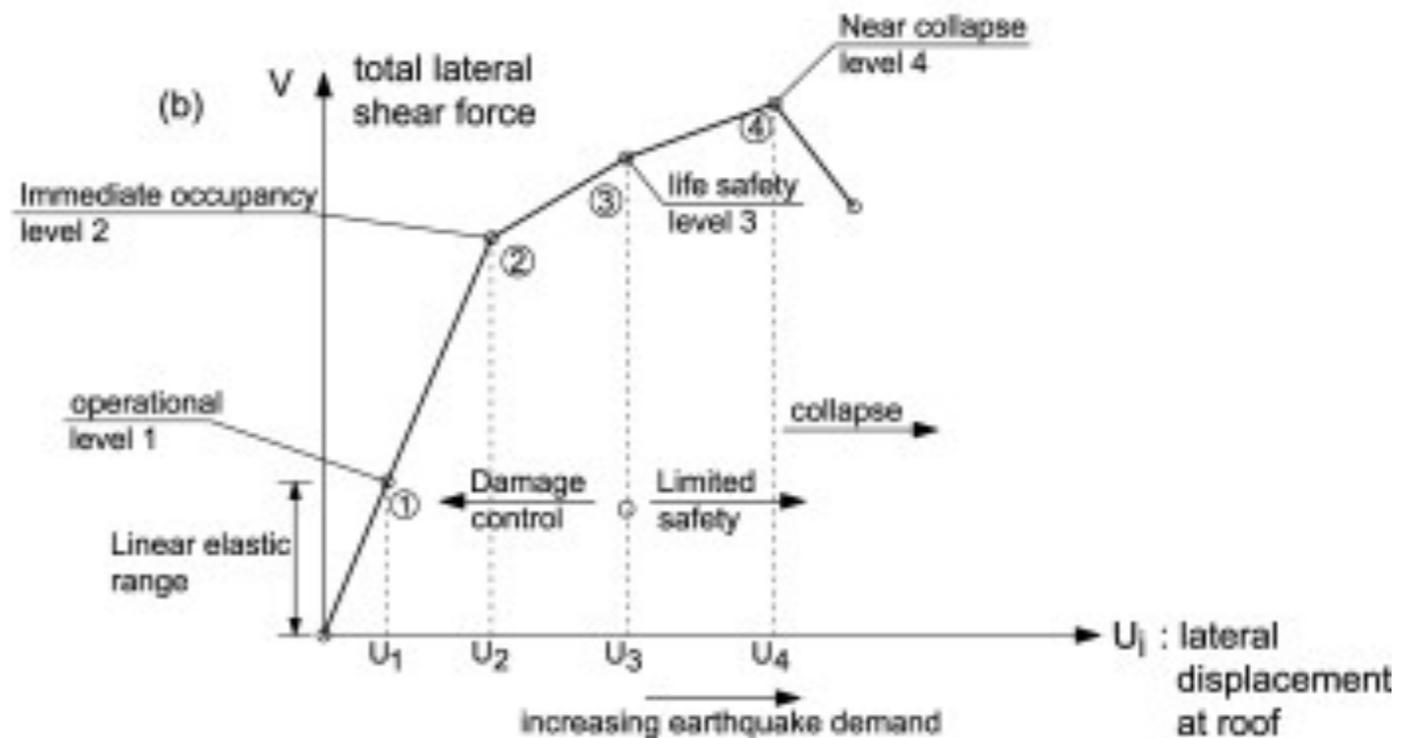
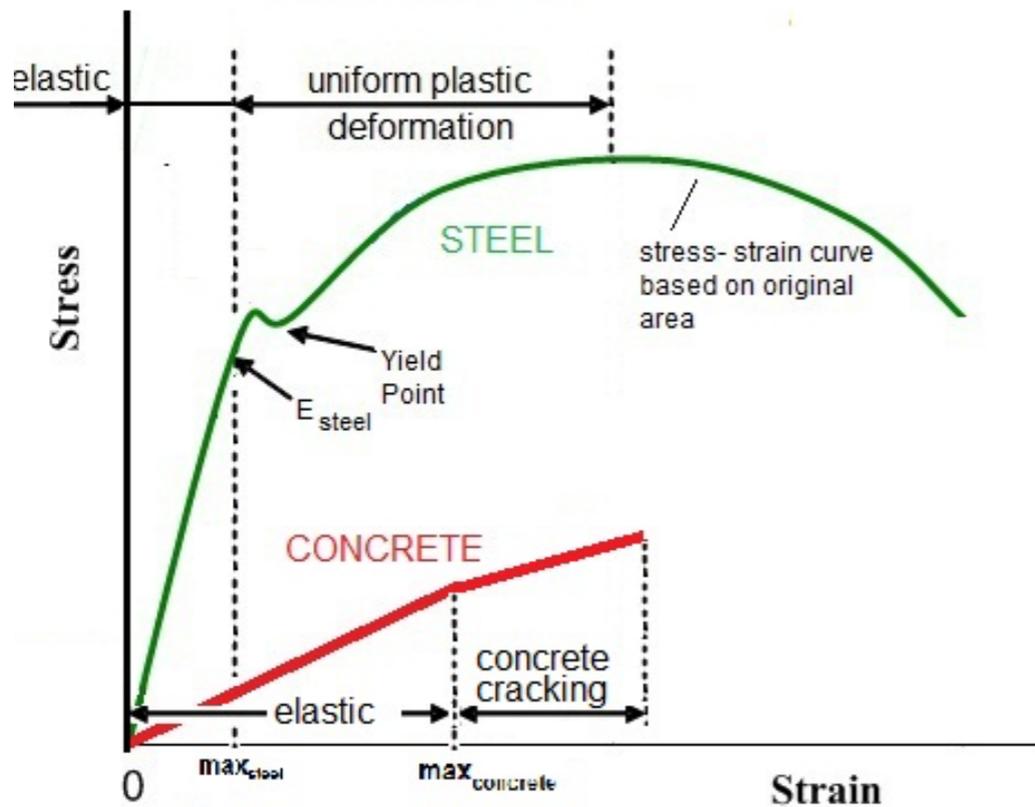
Pushover curve



Pushover curve



Stress-strain diagram for steel and concrete



Capacity spectrum

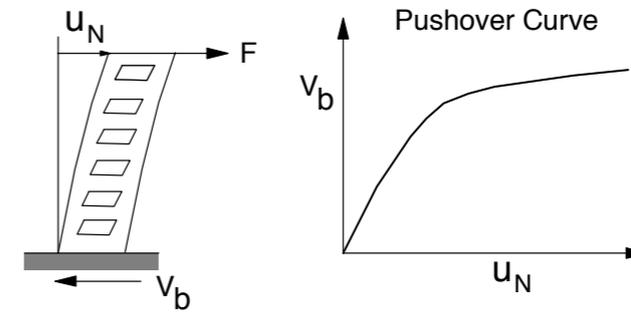
Capacity spectrum method:

(a) development of pushover curve

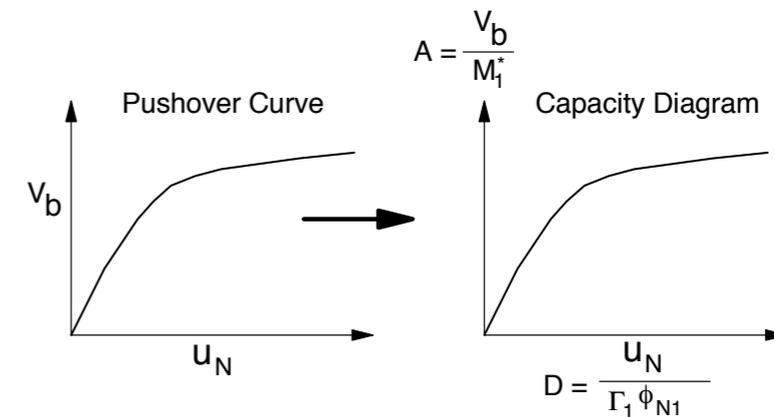
(b) conversion of pushover curve to capacity diagram

(c) conversion of elastic response spectrum from standard format to A-D format

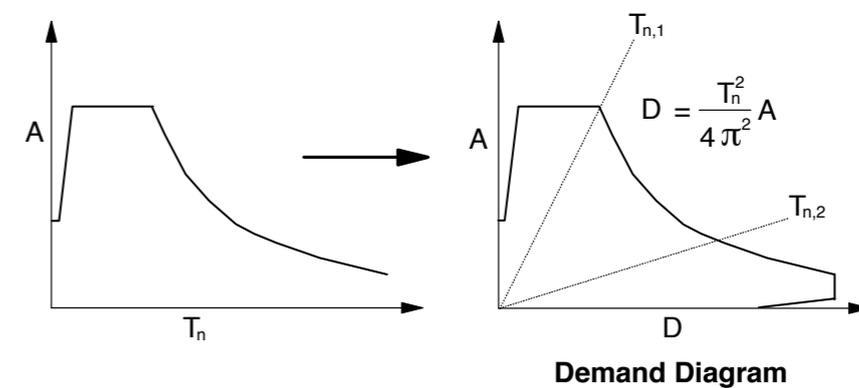
(d) determination of displacement demand.



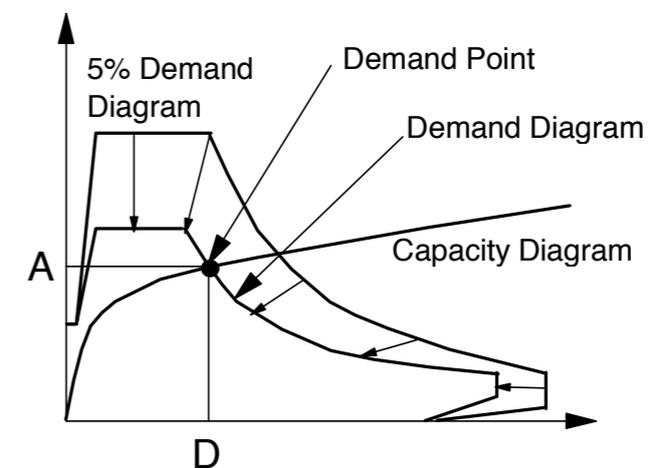
(a)



(b)

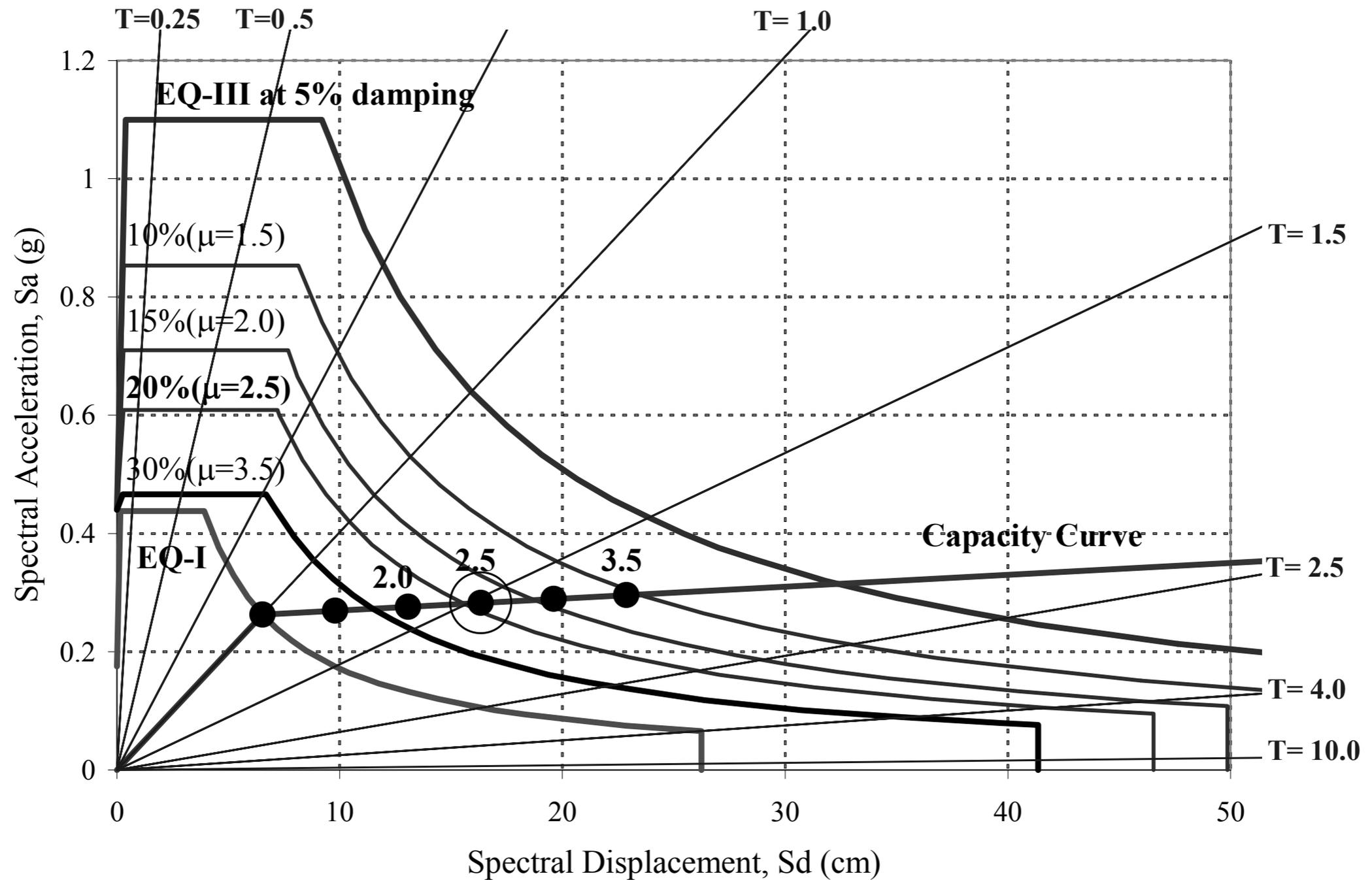


(c)

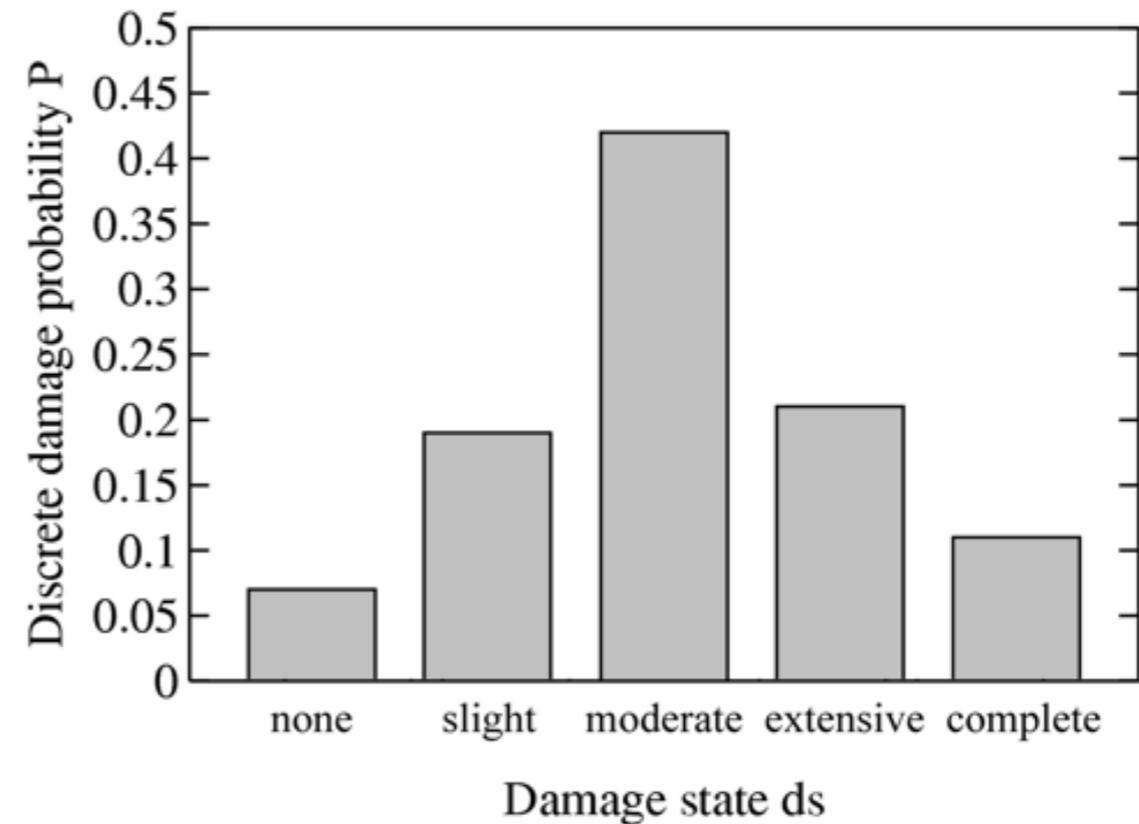
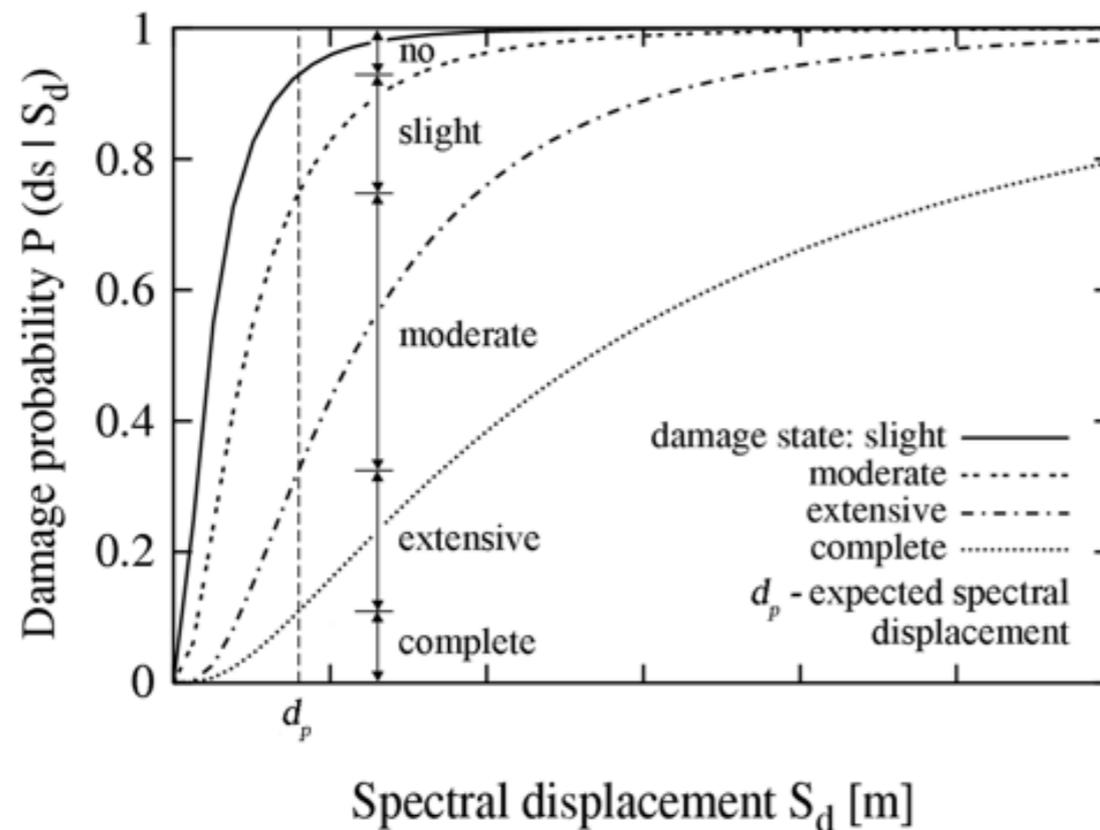
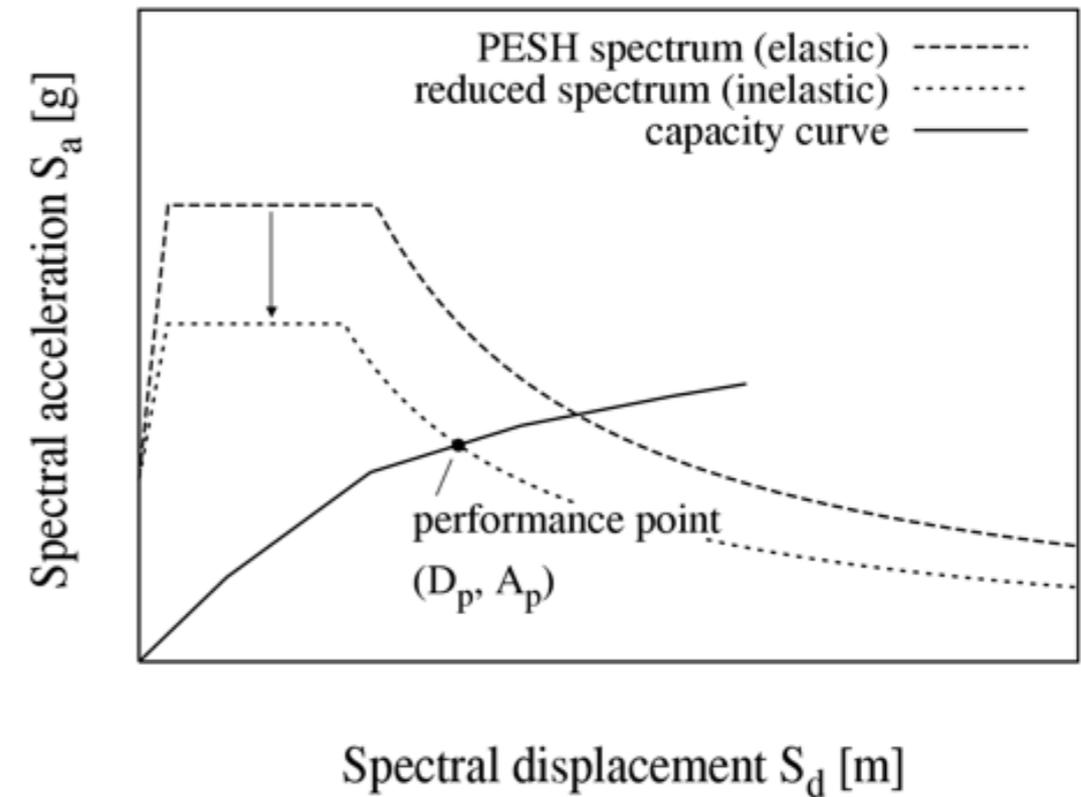
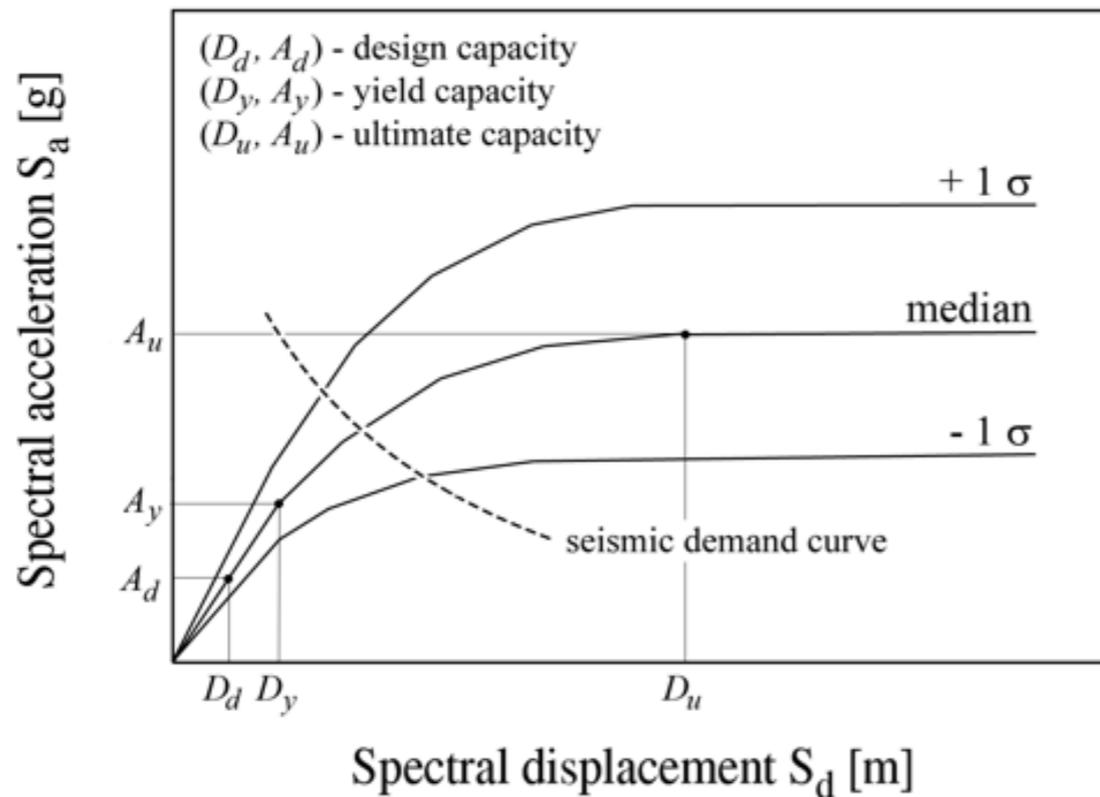


(d)

Capacity Spectrum Method



Demand and Capacity



Damageability

- Damageability is also measured in terms of the degree of the undesirable outcome, called loss, in terms of repair costs, life-safety impacts, and loss of functionality (money, deaths, and downtime), or in terms of environmental degradation, quality of life, historical value, and other measures.
- When loss is depicted as a function of environmental excitation, the function can be called a vulnerability function.

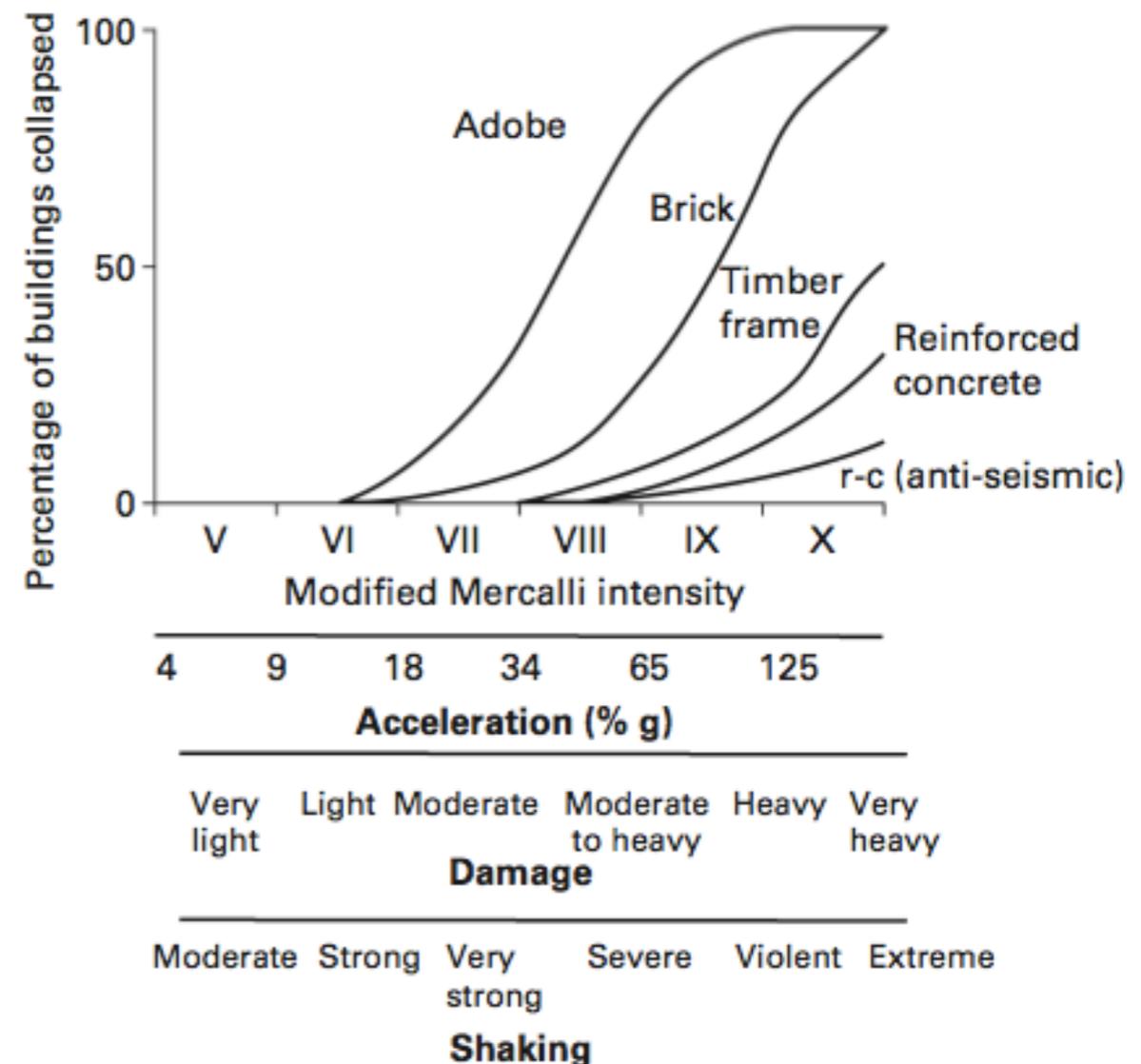
Vulnerability

- A seismic vulnerability function relates uncertain loss to a measure of seismic excitation, such as spectral acceleration response at some damping ratio and period. A seismic vulnerability function usually applies to a particular asset class.
- Vulnerability is not fragility. Vulnerability measures loss, fragility measures probability.
- Vulnerability functions are referred to many ways: damage functions, loss functions, vulnerability curves, and probably others.

Loss and vulnerability

- When loss is depicted as a function of environmental excitation, the function can be called a vulnerability function.

- A seismic vulnerability function relates uncertain loss to a measure of seismic excitation, such as spectral acceleration response at some damping ratio and period. A seismic vulnerability function usually applies to a particular asset class.



Cost

