

CS-96

RC 建造物の損傷期待値算定システムの構築

武蔵工業大学 学生会員 岩本 篤

同上 正会員 吉川 弘道

1. はじめに

性能照査型耐震設計を行う手法として、構造物が供用期間において遭遇するであろう想定地震動強度を設定し、構造物の物理的応答量を推定する評価法が考えられる。

そこで、本論は確率的損傷評価手法による地震時の構造物性能評価に関する一連の解析システムの提案を行なうとともに、解析例を示す。ここでは、建設地点の地震ハザード曲線と対象 RC 建造物の地震荷重に対する Damage Index Curve から構造物の年間損傷期待値と供用期間内の n 年損傷期待値の算定が可能となる。すなわち、想定地震動強度、構造物の静的・動的特性、および性能照査法の 3 者を合理的に組合せる性能照査型耐震設計を目指すものである。

2. 解析概要

本論における損傷期待値算定に関する解析システムは、建設地点の設定および対象となる RC 建造物の選定から始まる。前者では周辺域の歴史地震および活断層データから地震ハザード曲線が作成され(図1, Aルーチン)、後者では対象 RC 建造物の Damage Index Curve を設定するとともに、加速度応答スペクトルあるいは非線形動的応答解析から塑性応答変位が算定される(図1, Bルーチン)。最終的には両者の出力から地盤最大加速度(Peak Ground Acceleration, 以下 P.G.A.)をパラメータとする年間損傷期待値密度を求められ、別途設定された供用期間(例えば、60~100 年程度)の損傷期待値が算定される。

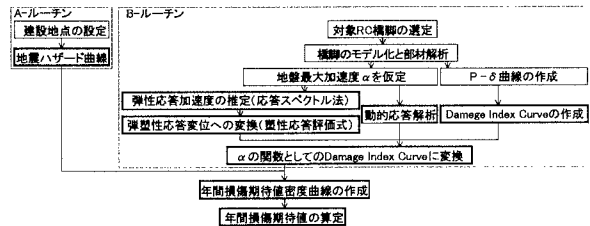


図1 本解析のフローチャート

3. 地震ハザード曲線

本システムにおいては、必ずしも厳密ではないが、歴史地震データによる曲線をタイプ1地震動、活断層データによる曲線をタイプ2地震動の地震ハザード曲線として扱う。今回は、建設地点を神戸市と定め、地震ハザード曲線として神戸市庁舎附近を対象としたもの¹⁾を用いるものとし、図2に提示した。

4. Damage Index Curve

まず、解析モデルとして、兵庫県南部地震で被害を受けた橋脚Aを選定し、タイプ1・タイプ2別に設定された加速度応答スペクトル²⁾を用い、固有周期 $T_f=0.66$ (sec) の場合の加速度応答倍率を求めた。加速度応答倍率が求まれば、図1にしたがって任意の P.G.A. α に対する塑性応答変位 δ_{resp} を算定することができる。

次に実地震動記録を用いて非線形動的応答解析を行い、本システムによる計算値との比較を行った。地震波は、タイプ2地震動とされる兵庫県南部地震の神戸海洋気象台観測波南北・東西成分(JMA-KOBE NS・EW)の2波を用い、タイプ1地震動として Taft-NS・EW 成分、EL-Centro NS・EW 成分、および Hachinohe-NS 成分の5波を使用した。解析は、各地震動の最大入力加速度(ここでは P.G.A.として取り扱う)を 0~800Gal まで 100Gal 刻みに増加させ、それぞれに対する橋脚の最大応答変位を求めた(図3)。同図より、橋脚Aが終局を迎える P.G.A.以下では、応答塑性率 μ について計算値と動的応答解析結果がほぼ一致することが確認できた。

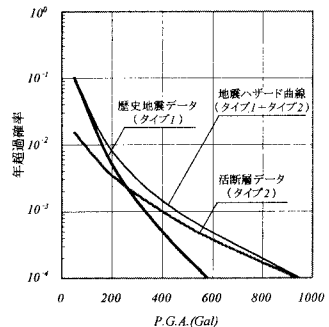


図2 地震ハザード曲線

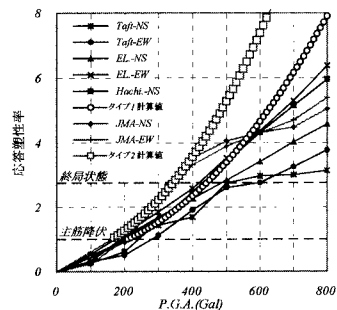


図3 本計算値と動的応答解析結果

キーワード: 性能照査型設計, 地震ハザード曲線, Damage Index, 損傷期待値

連絡先: 〒158-0087 東京都世田谷区玉堤1-28-1 武蔵工業大学 工学部 土木工学科
TEL 03-3703-3111 FAX 03-5707-1165

さらに、式(1)のような Damage Index³⁾を定義することから、最大塑性応答変形に応じた損傷状態を客観的に表すことができる。

$$D(\delta_{resp}) = \left(\frac{\delta_{resp} - \delta_y}{\delta_u - \delta_y} \right)^\gamma \quad \gamma: \text{進展係数} \quad (1)$$

従って、 $\delta_{resp} < \delta_y \rightarrow D(\delta_{resp}) = 0$ (無損傷)、また $\delta_{resp} > \delta_u \rightarrow D(\delta_{resp}) = 1$ (完全崩壊)となる。図4に各解析結果による Damage Index Curve を示す。

ここでは、次式のような Damage Index Curve の近似式 $D(\alpha)$ を導入した。

$$D(\alpha) = \int_0^\alpha \frac{1}{\sqrt{2\pi}\zeta\alpha} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln\alpha - \ln\alpha_0}{\zeta}\right)^2\right\} d\alpha \quad \alpha_0, \zeta: \text{形状パラメータ} \quad (2)$$

5. 損傷期待値算定

地震ハザード曲線より得られる任意の P.G.A. α についての年超過確率 $p_A(\alpha)$ は、次式より発生確率 $p_A(\alpha)$ に変換することができる。

$$p_A(\alpha) = -\frac{d}{d\alpha} P_A(\alpha) \quad (3)$$

このときの条件付き Damage Index を $D(\alpha)$ とすると、ある α が発生し対象構造物に与える損傷量の期待値、すなわち年間損傷期待値の地震動強度に関する密度 (年間損傷期待値密度 $ed(\alpha)$) および年間損傷期待値 ED は以下ようになる。

$$ed(\alpha) = D(\alpha) \cdot p_A(\alpha) \quad (4)$$

$$ED = \int_0^{+\infty} ed(\alpha) d\alpha = \int_0^{+\infty} D(\alpha) \cdot p_A(\alpha) d\alpha \quad (5)$$

さらに、対象構造物の供用期間 n 年に対する n 年損傷期待値 ED_n は線形的に次式で与えるものとする (定常ポアソン過程の成立)。

$$ED_n = ED \times n \quad (6)$$

以上のような Damage Index Curve $D(\alpha)$ をもとに、P.G.A.として $\alpha = 0 \sim 800 \text{ Gal}$ の範囲を想定し、橋脚 A のタイプ 1、タイプ 2 地震動に対する、年間損傷期待値密度曲線 $ed(\alpha)$ 、および n 年損傷期待値 ED_n を算定し、これらを図5、6に示した。

さらに、文献[4]にて設計された標準的な T 型 RC 橋脚 (以下、標準橋脚) を取り上げ、同種の解析を行い併記した。橋脚の諸元および解析結果を表1に示す。

6. まとめ

本研究は、性能照査型設計法の前準備となる確率論的損傷評価手法による解析システムを提案するとともに、RC 橋脚を対象とした解析例を提示したものである。これは採用した地震動別の地震危険度 (地震ハザード曲線) および両橋脚の耐震性能 (Damage Index curve)、両者の影響を反映するものと考えられ、式(4)、(5)で与えられる年間損傷期待値の定量的な有用性を示唆するものと考えられる。これは、兵庫県南部地震で被害を受けた橋脚Aの損傷期待値が、標準橋脚よりも大きく上回っていた (約4.5倍) ことから確認できる。また本システムは、性能基準 (performance level) における、崩壊や大損傷 (例えば、near collapse state, survival limit state) を対象とするものである。ここでは、一般社会に対する '性能レベル' と構造設計者が取り扱う '工学的指標値、塑性変形量、およびこれらの安全値、(発生確率など) とをどのように合理的/客観的に結び付けるかがもっとも大きな問題である。

参考文献:

- 1) 亀田弘幸・石川裕・奥村俊彦・中島正人：確率論的想定地震の概念と応用，土木学会論文集 No.577，1997.10
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，1996.12
- 3) Comité Euro-International Du Béton：RC Frames under Earthquake Loading，1996，Thomas Telford
- 4) 日本道路協会，「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様」の準用に関する参考資料，1995

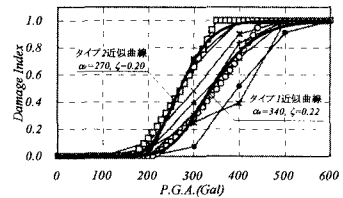


図4 本計算値と動的応答解析結果

表1 橋脚諸元および解析結果

橋脚モデル	橋脚A	標準橋脚
建設地点	神戸市庁舎付近	
橋脚等価重量 W	8.62 MN	14.4 MN
降伏変位 δ_y	3.39 cm	3.08 cm
終局変位 δ_u	9.35 cm	15.8 cm
降伏点周期 T	0.66 sec	0.60 sec
ED ($\times 10^{-4}$)	タイプ1	13
	タイプ2	23
	タイプ1+タイプ2	36
		0.87
		7.3
		8.1

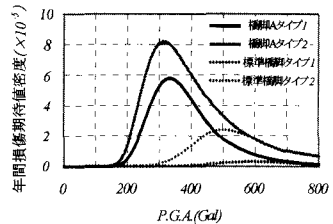


図5 年間損傷期待値密度曲線

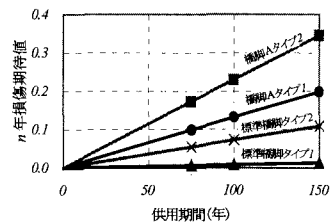


図6 供用期間— n 年損傷期待値関係