

鉄道ラーメン高架橋を対象とした EFM 法による地震損失評価

東急建設(株) 正会員 ○前田 欣昌
東急建設(株) 正会員 野口 聡
東京都市大学 正会員 吉川 弘道

1. はじめに

本稿は、地震リスク評価方法の要素技術として、鉄道 RC ラーメン高架橋のような高次不静定構造物を対象に、損傷フラグを導入することにより、震損傷構造解析結果から損失額をシステム的かつ定量的に算出する方法 (EFM 法: Event & Flag Matrix 法) について研究したものである (図-1)。

2. 地震損傷構造解析

鉄道ラーメン高架橋は高次不静定構造物であるため、地震規模に応じて、損傷箇所と損傷程度が段階的に変化してゆく。この段階的な損傷の変化を損傷イベントと定義し、本稿では、柱や梁などの RC 部材の損傷イベントを、図-2 に示す Y (降伏), M (最大荷重), N (終局) に設定し、イベント間 は同一の損傷レベルにあるものと定義した。

損傷イベントの発生状況を予測する手法としては、非線形 2 次元平面骨組によるプッシュオーバー解析を用いた。このような構造解析により、構造物の非線形荷重変形特性 (P-δ 曲線) と各部材の損傷イベントが発生する順序 (これを構造損傷イベントと定義) を把握することが可能となる。

3. EFM 法

EFM 法は、プッシュオーバー解析により得られた損傷イベントの発生過程をもとに、合理的に地震損失額を算出することを目的として、数量化理論第 I 類の理論の枠組みを準用した。すなわち、図-3 に示すように、構造物の部位種別および損傷部材をアイテム、部材損傷レベルをカテゴリーとし、構造損傷イベントという現象に対する反応特性として損傷フラグを表-1 に示すような Event & Flag Matrix として算定/格納した。

ここで、反応特性としての損傷フラグは、式(1)のように定義され、損傷部材の損傷レベルに応じた補修数量および補修費をデータベース化しておけば、対象とする現象 (構造損傷イベント n) における補修費 EC_n は、式(2)によ

$$\delta^n_{(i,j,k)} = 1 : \text{構造損傷イベント } n \text{ 時の}$$

$$\text{部位種別 } i \text{ の損傷部材 } j \text{ が}$$

$$\text{損傷レベル } k \text{ に反応したとき}$$

$$0 : \text{非該当}$$

$$EC^n = \sum_{i=1}^{i_{\max}} \sum_{j=1}^{j_{\max}} \sum_{k=1}^4 (\delta^n_{(i,j,k)} \cdot C_{(i,j,k)})$$

$$C_{(i,j,k)} = \sum_{m=1}^{m_{\max(ijk)}} (Q_{m(i,j,k)} \cdot P_{m(i,j,k)})$$

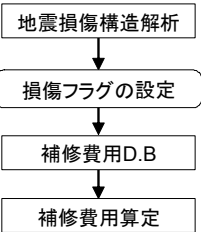


図-1 EFM 法

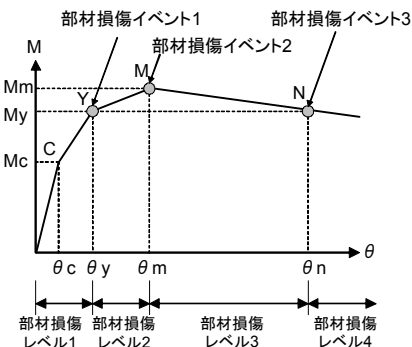


図-2 部材損傷イベント

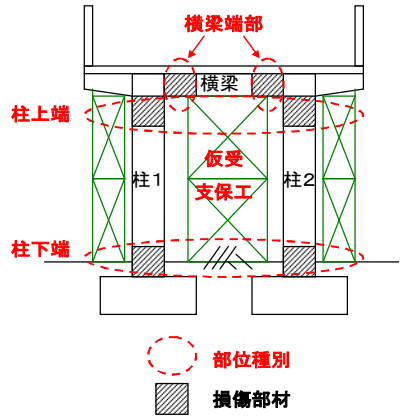


図-3 部位種別と部材種別

表-1 Event & Flag Matrix

部位	i	1			2			...			構造物の 補修費用
部材	j	1	2	...	1	2	...	1	2	...	
部材損傷レベル	k	1	2	...	1	2	...	1	2	...	
構造損傷 イベント	0										EC ₀
	1										EC ₁
	2										EC ₂
	...										...
	n										EC _n
補修数量	Q _{m(i,j,k)}										
	C _{m(i,j,k)}										

キーワード 地震リスク, EFM 法, 地震損失評価, 鉄道ラーメン高架橋

連絡先 〒150-8340 東京都渋谷区渋谷 1-16-14 東急建設(株) 土木技術部 土木構造・材料G TEL 03-5466-5280

て合理的に求めることができる。ここで、 $C_{(i,j,k)}$ が部位種別 i の損傷部材 j が損傷レベル k に該当した時に必要な補修費用のデータベースであり、損傷レベルに応じた補修工種 $m_{(i,j,k)}$ の補修数量 $Q_{m(i,j,k)}$ およびその工種の単価 $P_{m(i,j,k)}$ から式(3)によって算出することができる。

EFM 法は、プッシュオーバー解析から得られる不静定構造物の逐次損傷過程を損傷フラグ (δ 変数) にて格納し、損傷イベントに基づく補修数量を Q マトリクス、補修単価を P マトリクスにより記録するものであり、いずれもコンピューター上にて整然とシステムチックに処理できる。

4. 検討事例

検討事例 として、図-4 に示す鉄道標準平成 4 年制定に準拠した RC ラーメン高架橋の線路直角方向モデルを採用した。

解析モデルとしては、柱と梁は材端ばねを有する $M-\theta$ モデルとし、本モデルを用いてプッシュオーバー解析を行い、地震損傷イベントを同定するとともに、構造物の荷重変形曲線を求めた。

得られた荷重変形曲線を図-5 に示す。プッシュオーバー解析では、ラーメン高架橋を構成する柱、梁等の部材に損傷イベントが発生するごとに構造損傷イベントとして付番される。図中の番号は、このようにして発生した構造損傷イベントの数を示している。

表-2 は、各構造損傷イベントに対応する各部材の損傷レベル状態と直接損失額を示したものである。図-5 の番号と表-2 の構造損傷イベントの番号が対応しており、部材の損傷順序と損傷時の応答変位を知ることができる。これによると、先ず梁端部が損傷レベル 2 となり、続いて柱の損傷レベルが上昇し、最終的に柱頭および柱脚部が損傷レベル 4 に達し終局となった。なお、各部材番号は図-4 の骨組図に示した。

対象構造物の損失額について、構造物の塑性率 d_r/d_y を横軸にとって整理した結果を図-6 に示す。塑性率が約 2.5 において損失額が急激に上昇しているが、これは梁部材が損傷レベル 3 となり、軌道や防水等の高価な補修が発生しているためである。このように、EFM 法の活用により、構造物の段階的な損傷状況に対応した直接損失の増加を再現できることが分かる。

5. まとめ

- ・ 本稿は、RC ラーメン高架橋のような高次不静定構造物を対象に、プッシュオーバー解析による地震構造損傷解析と、損傷フラグ (δ 変数) の導入により、任意の地震規模に対する地震損失をシステム的かつ定量的に算出するモデルEFM法を提案した。
- ・ 本手法は地震リスク評価の要素技術として活用され、これまで別々に検討されていた構造解析と損失額算出作業(積算)を合理的に結合することが可能となり、同一ルーティンで処理できるため、地震リスク評価を行う上で望ましい形であると考える。

参考文献

・ (財) 鉄道総合技術研究所 鉄道構造物等設計標準・同解説 (耐震設計), 1999.10
・ 吉川弘道 鉄道 RC ラーメン高架橋の EFM 法による地震損失評価と地震リスク解析 コンクリート工学論文集 2009.1 第 20 巻第 1 号

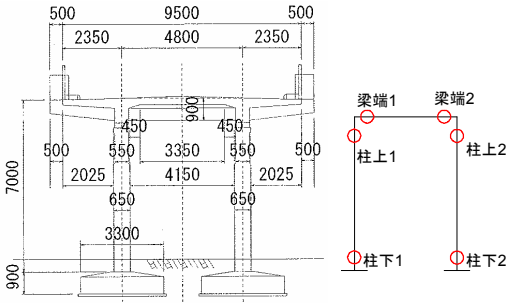


図-4 対象構造物と骨組図

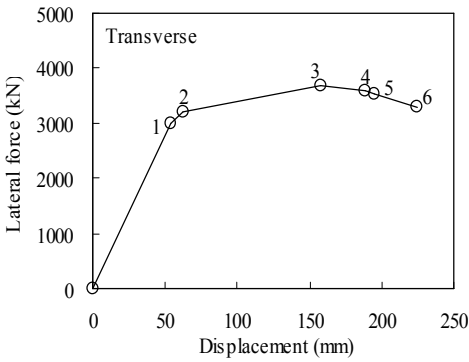


図-5 荷重変位と構造損傷イベント

表-2 シミュレーション結果

部位種別		柱下端				柱上端				横梁				応答 変位 δresp (mm)	直接 損失額 ECn (万円)
損傷部材		柱下1,2				柱上1,2				梁端1,2					
部材損傷レベルj		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
イベント n 構造損傷	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	54	99
	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	63	147
	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	158	3051
	4	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	189	3092
	5	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	195	4253
	6	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	225	4374

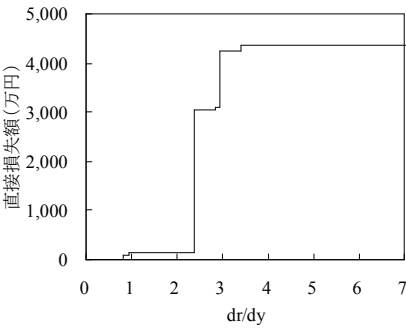


図-6 直接損失算定結果