

1. はじめに

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震では、津波・液状化等の被害が甚大であったが、地震動継続時間が非常に長い(3分程度)という特徴ももっていた。また発生が予想される東海・東南海・南海地震では、想定震源域が広く、連動して起こる可能性もあるため、その継続時間は非常に長いとされている。

しかし、現行の地震被害予測は、主に最大振幅に大きく依存する計測震度を基に行われており、継続時間の影響があまり考慮されていない。つまり、計測震度による地震被害予測は、被害を過小評価する危険性がある。

一方で、地震動継続時間には様々な定義がある。そこで、本研究では定義を変え継続時間を計算した結果と、RC橋脚を解析対象とした地震応答解析結果より、継続時間と損傷の関係にどのような差異が生じるのかについて考察する。これにより、地震動継続時間を考慮した地震被害予測の一助とし、予測精度の向上に寄与すると考えられる。

2. 検討した継続時間の概要

本研究で検討した地震動継続時間の定義は、全て地震波形から定義されるものである。表1に示す、地震記録の振幅が「あるレベル」を最初に超える時間と最後に超える時間の時間長とする定義から閾値の設定を変えた継続時間 D50 および D10、速度地震動を用いた継続時間 D30、地震動パワーの累積値が 5%~95%とする継続時間 D90、地震応答による構造物への繰り返し作用の影響を考慮した継続時間 Dd、および Dd をもとにし地震動の特性をよりよく示すように実効加速度を用いた継続時間 De の計 6 種を取り上げた¹⁾。

表 1 検討した継続時間の定義

表記	着目点	閾値
D10	最大加速度	10%
D50	加速度	50gal
D30	最大速度	30%
D90	加速度, 累積パワー	90% (5%~95%)
Dd	最大加速度, 累積パワー	最大加速度
De	実効加速度, 累積パワー	実効加速度

3. 地震応答解析

3.1 解析対象

表2に示すように、試設計された支間長 30m の単柱形式 RC 橋脚²⁾ (道路橋) について橋脚高さを変化させた 3 ケース、および既存構造物であるラーメン形式 RC 橋脚 (鉄道橋) について 1 層と 2 層の 2 ケースを解析対象とし、橋軸直角方向について解析を行った。

表 2 解析対象構造物の概要

形式	橋脚高さ (m)	層数
単柱	15	/
	20	
	25	
ラーメン	10	一層
	11.1	二層

3.2 解析方法

設計諸元に従い、材料非線形性を考慮した平面骨組モデルによるプッシュオーバー解析を行い、得られた荷重 - 変位関係を復元力特性とする等価 1 自由度系モデルを用いて、弾塑性地震応答解析を行った。復元力モデルにはテトラリニア型のスケルトンカーブによる最大点指向型のモデルを用い、その履歴挙動は Takeda モデルに準じている。運動方程式は増分型とし、数値解法は Newmark の β 法 ($\beta = 1/4$) を用い、減衰はレイリー減衰 (減衰定数 $h = 0.02$) とした。

3.3 入力地震動

入力地震波形として、防災科学技術研究所 K-net のほか、旧運輸省港湾技術研究所、旧建設省土木技術研究所、気象庁等により観測された、国内の実測波形 86 成分の加速度波形 (水平 1 方向) を用いた。

解析にあたっては、振幅調整を行い、計測震度 5.0 から 7.0 まで 0.1 刻みで入力地震動波形を作成した。

4. 解析結果および考察

構造物の損傷を表す最大変位に関する指標としての応答塑性率と、地震動のエネルギーを構造物がどれだけ吸収したのかを表す指標である履歴吸収エネルギーの、地震動入力終了時の値 (累積エネルギー) について着目した。また、継続時間が構造物の損傷に与える影響を調べるため、破壊時直前震度の最小震度における全 86 成分の 2 つの指標を調べた。

応答塑性率および累積エネルギーそれぞれとの継続時間との関係を表した結果例を図 1~図 4 に示す。図中にある直線は、応答塑性率の中央値を境に分けたグループにおける近似直線である。橋脚高さおよび構造形式により、決定係数が若干の差異はあったものの傾向としては同様であった。これらの近似直線の決定係数の平均値を図 5 および図 6 に示す。

4.1 応答塑性率と継続時間の関係

D10, D50 および D30 は、一定値を閾値とするため、地震動における、構造物の変位に影響を与える部分を含むような時間とすることができず、決定係数が平均 0.46 となり、相関が弱くなったと考えられる。D90, Dd および De は、地震動全パワーより計算することで

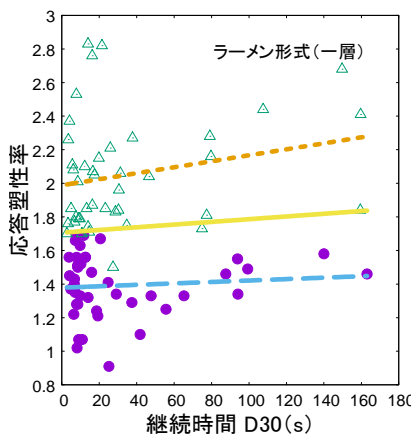


図 1 応答塑性率と継続時間 D30

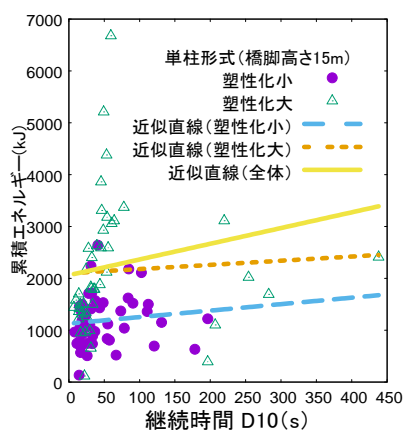


図 3 累積エネルギーと継続時間 D10

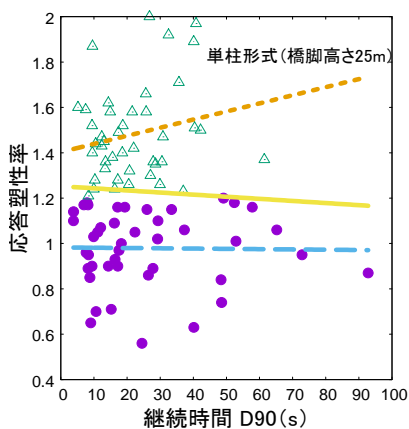


図 2 応答塑性率と継続時間 D90

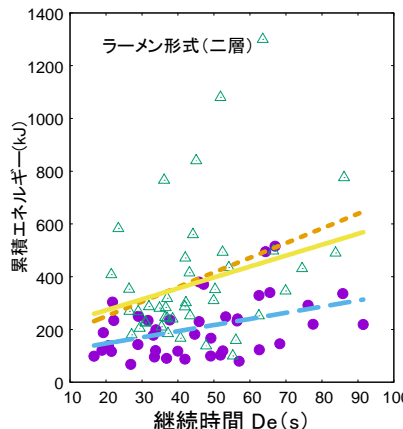


図 4 累積エネルギーと継続時間 De

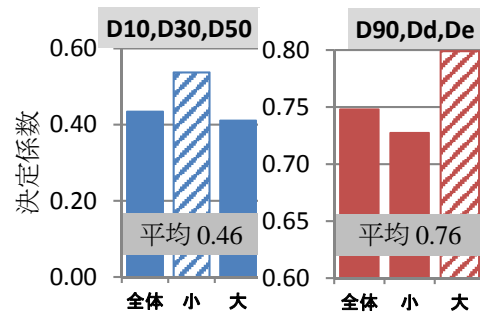


図 5 グループ別塑性化別の決定係数

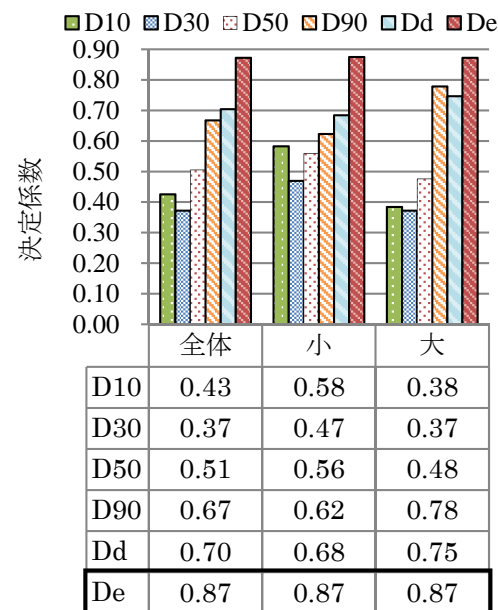


図 6 塑性化別の決定係数

決定係数が平均 0.76 と良好な相関を示したと思われる、これらの継続時間では、地震が与える構造物の損傷への影響を、継続時間として考慮することが可能であると言える。さらに、De は応答塑性率、橋脚高さおよび構造形式によらず、0.87 の良好な決定係数を得た。これは計測震度の算出に用いられる実効加速度により継続時間を定めたことが関係すると考えられる。

また、応答塑性率の大小のグループ毎にみると、前者では塑性化の小さいグループについて、後者では塑性化の大きいグループについて、比較的相関がよいことから、前者には規模の小さい地震、後者には規模の大きい地震にそれぞれ対応することがわかる。

一方で、近似直線の傾きが負である、つまり継続時間が短くとも応答塑性率が大きくなるというケースもあった。これは、地震動および構造物相互の周期特性によって引き起こされる共振に伴い、塑性化が進行したことが原因と考えられる。

4.2 累積エネルギーと継続時間

累積エネルギーに関する決定係数は応答塑性率とほぼ同じ値であったが、近似直線の傾きは全て正であった。つまり、累積エネルギーは応答塑性率と同様な継続時間との関係を持つが、継続時間が長いほど吸収エネルギーが大きくなるということである。

さらに、応答塑性率は大きく継続時間も長い累積エネルギーが小さい、または応答塑性率は小さく継続時間も短い累積エネルギーが大きいケースが見られた。これも応答塑性率同様、地震および構造物相互の周期特性の影響と考えられる。

5. おわりに

本稿では、6 種類の地震動継続時間と応答塑性率および累積エネルギーとの関係より、継続時間と RC 橋脚の損傷との関係について考察した。結論として、一定値を閾値とするより、全パワーを考慮する定義と応答塑性率および累積エネルギーとの相関が良好であり、中でも実効加速度を用いるとより良好であることが分かった。これより、地震被害予測への継続時間 De の導入を提案する。

今後の研究として、地震動と構造物相互の周期特性を考慮した地震動継続時間の在り方について考える。

参考文献

- [1] 神山真: 3.11 巨大地震—Duration 再考—, 強震継続時間が長い地震動に対する土木構造物の耐震性評価シンポジウム講演概要集, pp 3-14, 2012.
- [2] 正木智弘: 繰り返し载荷による耐力低下が RC 橋脚の地震時挙動に及ぼす影響, 名古屋工業大学修士論文, 2011.