

複数の地震動を受ける構造物の残存耐力評価方法に関する研究

(株) ジェイアール総研エンジニアリング (元 (公財) 鉄道総合技術研究所) 正会員 ○西村 隆義
(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 室野 剛隆

1. はじめに

2011 年の東北地方太平洋沖地震では、仙台においてマグニチュード7クラスの余震が発生し、これによる構造物の損傷も報告されている¹⁾。このように、構造物が巨大地震の影響を受ける場合には、再び大きな地震動を受ける可能性があるため、構造物を設計する際には複数の地震動に対しても安全性を確保することが重要である。しかし現状では最大の地震動のみを考慮した設計体系となっている。そこで本研究では、地震動を受けた後に構造物が保有している残存耐力を評価する指標として耐震性能残存率を導入し、試算により導入した指標が構造物の残存耐力を適切に評価できるかどうかを検証した。また、構造物の残存耐力の評価には、最大耐力点以降の評価が重要となるが、最大耐力点以降は地震動の繰返しの影響が大きいことが分かっている。そこで、試算には著者の一人が提案している繰返しによる耐力低下モデル²⁾を改良して用いており、その改良点についても本稿で示した。

2. 耐震性能残存率 R の考え方

耐震性能残存率 R の考え方を図1に示す。耐震性能残存率 R は、「健全な構造物が1波で終局に至る時の加速度 (PGA_1)」と「1波目で損傷を受けた構造物が、その後2波目の地震を受けた際に終局に至る時の加速度 (PGA_2)」の比で定義したものであり、以下の式(1)の形で示すことができる。

$$R = \frac{PGA_2}{PGA_1} \quad \dots \dots \quad (1)$$

PGA_1 は、1波の地震動の最大加速度を調整して徐々に大きくしたものを構造物モデルに入力し、1波で構造物が終局限界に達する時の加速度に相当する。 PGA_2 は、ある地震動1波に引き続いて2波目の地震動の最大加速度を徐々に大きくして入力し、構造物が終局限界に達する時の加速度に相当する。

残存率 R は、ある1波により損傷した場合に、それが次の地震に対して影響があるかどうかを終局状態に対して照査したものであり、 R が1以下の場合、1波目で受けた損傷により、2波目に対する限界加速度が小さくなっていることを示す。

3. 解析条件と繰返しによる耐力低下を考慮した履歴モデル

2. で示した耐震性能残存率 R の試算を実施した。解析は、1自由度系の動的解析により実施した。解析条件は、降伏震度 0.3、塑性率は最大耐力に対しては 3.0、終局限界に対しては 4.5 とした。減衰定数は 5% とした。降伏周期 (T_{eq}) は 1.0s, 0.6s の 2 ケースを実施した。履歴モデルは、繰返しによる耐力低下を考慮したトリリニアモデルを用いた。これを用いたのは、地震動の繰返しが最大耐力点以降の挙動に強く影響を与えるため、複数の地震動に対して残存耐力を考えるためには、これを適切に評価する必要があるからである。基本的な考え方を図2に示す。参考文献2)にはバイリニアモデルの場合が示されているが、履歴法則はトリリニアモデルでも同様である。なお、剛性低下係数 χ_1 および χ_2 はそれぞれ 0.0, 0.2 とした。

なお入力地震動は、耐震標準³⁾に示される L2 地震動(G3 地盤)のスペクトルⅠ (以下 spcⅠ) とスペクトルⅡ (以下

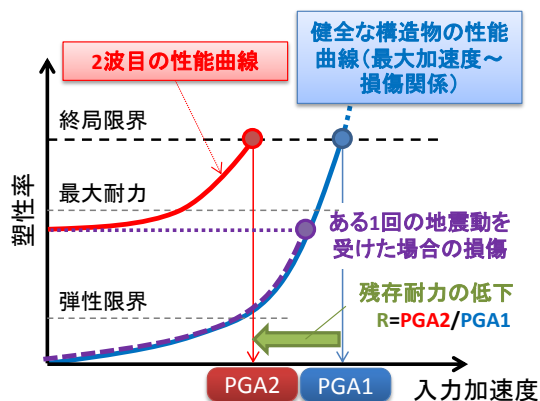


図1 耐震性能残存率 R の概念

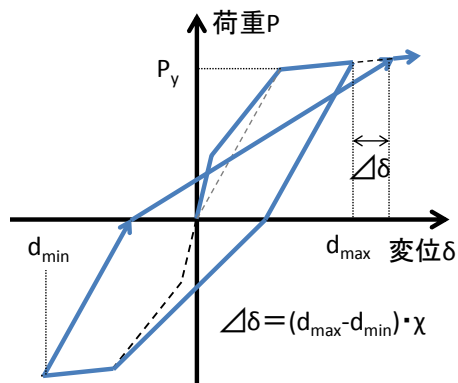


図2 繰返しによる耐力低下の考え方

キーワード 耐震設計法, 残存耐力, 耐震性能残存率, 耐力低下モデル

連絡先 〒185-0034 東京都国分寺市光町 2-8-38 (株)ジェイアール総研エンジニアリング

TEL042-501-2603

spcⅡ)の2種類とした。これらの地震動は、継続時間に大きな違いがあり、spcⅠは長く、spcⅡは短い。

4. 解析結果

最大加速度～損傷関係と耐震性能残存率 R の試算結果を図3

(左: spcⅠ入力, 右: spcⅡ入力)

に示す。まず、 $T_{eq}=1.0s$ (図3①)

の spcⅠの結果をみると、健全な状態の構造物が1波で終局限界を超える(PGA_1)のは1094galである。次に1波目が PGA_1 より小さい場合に、2波目を受けたケースを3パターン示している。このうち、1波目が300gal(損傷は弾性範囲)と、700gal(損傷は降伏以降)のパターンでは、2波目の加速度が大きくなると健全な構造物の最大加速度～損傷関係

に漸近し、終局限界に達する加速度はほとんど変わらない。したがって、1波目の加速度を受けても残存耐力は低下していないことがわかる($R \approx 1$)。一方、1波目が1000gal(損傷は最大耐力以降)では、2波目の加速度が888galとなると、終局限界を超過する(PGA_2)。これらの値から R を算出すると0.812となり残存耐力が低下しているのわかる。spcⅡの結果でも、1波目が900gal(損傷は最大耐力以降)では R が0.869となり残存耐力の低下が確認できた。このように R は残存耐力の評価が可能であり、損傷に応じて R が低下していく傾向も確認できる。特に1波目で最大耐力を超過すると、 R が大きく低下している。この結果は、最大耐力点以降の応答が、地震動の繰返しの影響を受けていることを示唆するものであり、実際の応答とも整合していると考えられる。また地震動の違いにより R の値が異なっており、地震動の長さが R に影響を与えていることが考えられる。

$T_{eq}=0.6s$ (図3②)の spcⅠの結果をみると、 PGA_1 と PGA_2 に違いがみられなかった。なお、1波目が600gal(損傷は最大耐力以降)における R は1を超えている。これは、1波目の損傷で構造物が長周期化し、応答が小さくなった影響も考えられる。一方、spcⅡの結果では、1波目が1000gal(損傷は最大耐力以降)の場合に加えて、500gal(損傷は降伏以降)でも終局限界に達する加速度が低下している。このように、 R は地震動や降伏周期の違いによって、値が異なることがわかる。

5. おわりに

本研究では、地震動を受けた後に構造物が保有している残存耐力を評価する指標として耐震性能残存率 R を導入し、これに対する試算を実施した。その結果、①耐震性能残存率 R を用いることで構造物の残存耐力を評価可能であること、②1波目の地震動で最大耐力を超過するような損傷を受けた場合には残存耐力が低下しやすいこと、③残存耐力の評価には地震動の繰返しの影響を考慮する必要があることが明らかとなった。今後は、この指標を用いて、複数の地震動の影響を考慮した耐震設計法に関しても検討を行う予定である。

参考文献

1)東日本旅客鉄道株式会社ホームページ <http://www.jreast.co.jp/pdf/restore02.pdf>、2)野上雄太、室野剛隆、佐藤勉：繰返しによる耐力低下を考慮したRC部材の履歴モデルの開発、鉄道総研報告、Vol.22, No.3, 2008.3、3)(公財)鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)、丸善、2012.9。

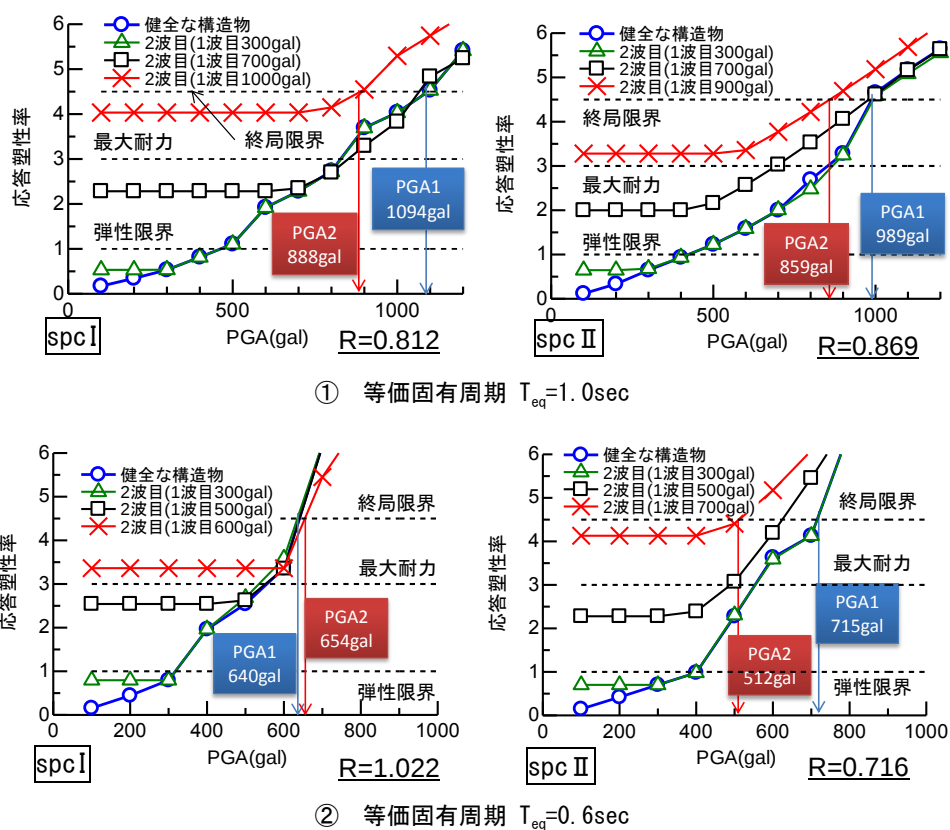


図3 最大加速度～損傷関係と耐震性能残存率 R の試算結果(左: spcⅠ, 右: spcⅡ)