

## PC ラーメン橋の大規模地震時における応答変位照査法に関する一考察

NEXCO 西日本コンサルタンツ(株) 正会員○松田 宏 フェロー会員 坂手 道明 正会員 吉田 直弘  
東日本高速道路(株) 正会員 塩畑 英俊

### 1. はじめに

設計要領二集<sup>1)</sup>によるラーメン橋の大規模地震時の応答変位照査は、図-1に示すプッシュオーバー解析を用いて、いずれか1箇所の塑性ヒンジが耐震性能2の限界状態(以下、限界状態と略す)に達した時の慣性力作用位置の変位から橋全体系の許容変位を算出し、動的解析による応答値と比較して、橋全体系の安全性を判定することとしている。しなしながら、動的解析時における塑性ヒンジのいずれかが限界回転角に達した状態での加速度応答分布は概ね図-2に示すとおりであり、図-1で示されるような一様の震度分布とはならない。さらに、桁の鉛直振動により橋脚上端部に加わる曲げモーメントが位相の違いで抑制効果となる場合がある。ラーメン橋のような不静定構造は、単柱式橋脚と異なり、地震荷重の作用は複雑であり、一様の震度を作用させるプッシュオーバー解析の結果は、動的解析と大きく異なると考えられる。本検討では、動的解析とプッシュオーバー解析の結果を比較するとともに、動的解析により橋が限界状態に達した時の変位を算出し、プッシュオーバー解析により算出された限界状態の変位と比較検証を行った。

### 2. プッシュオーバー解析と動的解析による応答の比較

図-3に検討対象橋梁を示す。プッシュオーバー解析は、左右非対称構造のため、正負2方向で解析を行った。動的解析の入力波形は道示のII-II-1波形を用いた。比較結果を図-4、図-5に示す。

図-4は、P2橋脚下端塑性ヒンジが最大応答回転角に達した時点のP2橋脚の動的応答震度分布(応答加速度/重量加速度の絶対値)を示したものである。図-2と同様に、動的解析では柱中間部の作用震度は両端より小さくなっている。さらに、図-2に示すように上下端で応答加速度の作用方向が反転している。仕事量(作用震度[荷重]×変位)で表すと、プッシュオーバー解析は、動的解析時と異なり、常に同方向に荷重が作用するため、仕事量は動的解析より大きくなる。動的解析より増えた仕事量の殆どは塑性ヒンジで吸収されるため、プッシュオーバーによる塑性ヒンジの応答は動的解析より大きくなる傾向にある。

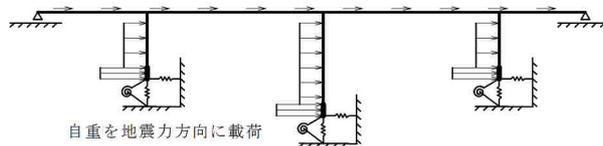


図-1 プッシュオーバー解析の概念図



図-2 動的解析による応答加速度分布の一例  
(1つの塑性ヒンジが限界状態到達時)

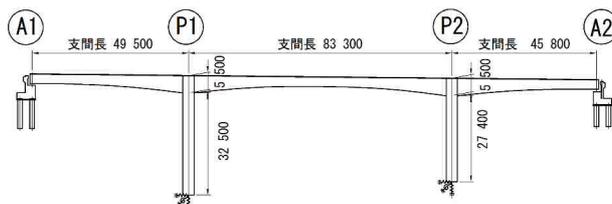


図-3 検討対象橋梁

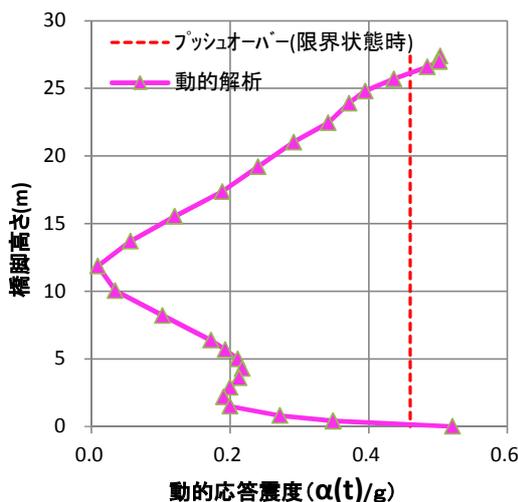


図-4 P2橋脚の動的応答震度分布

キーワード 大規模地震時, PC ラーメン橋, 限界状態, 応答変位の照査, プッシュオーバー解析, 動的解析  
連絡先 〒336-0017 埼玉県さいたま市南区南浦和 2-25-1 NEXCO 西日本コンサルタンツ(株) 東京支店 TEL 048-711-4810

図-5 は、プッシュオーバー解析と動的解析との塑性ヒンジの応答回転角と桁の応答変位との相関を比較したものである。プッシュオーバー解析では、塑性ヒンジが降伏に至った後、部材剛性が低下し、一気に限界回転角に達するが、動的解析では部材剛性の他、履歴減衰エネルギー、慣性力の正負交番による影響も含まれ、見かけの剛性はプッシュオーバー解析時より高く、降伏後の挙動に大きな差異が生じている。

結論として、プッシュオーバー解析では、①荷重作用が動的解析より上下塑性ヒンジ間で過大に評価される、②塑性ヒンジ降伏後の剛性が動的解析時より低めに評価される、ことがわかった。これらが原因で、プッシュオーバー解析による限界状態の変位は動的解析と比べて小さい値となることが推測される。

**3. 動的解析による限界変位とプッシュオーバー解析結果との比較**

本検討では、動的解析の入力波形を漸増し、塑性ヒンジのいずれか 1 箇所が最初に限界回転角に達する際の上部構造慣性力作用位置での変位を算出し、プッシュオーバー解析結果との比較を行った。

図-6 は、プッシュオーバー解析による作用震度と上部構造慣性力作用位置の水平変位の関係を示したものである。

図-7 は、動的解析による上部構造慣性力作用位置（桁）の動的応答震度と水平変位の関係を示したものである。( ) 内の値は、道示 V 耐震設計編の標準波形に対する倍率である。その倍率が 1.7 の時点で 1 箇所の塑性ヒンジ (P2 橋脚下端) が限界回転角に達した。また、入力加速度の増加率（入力波形の倍率）に比べ、桁の動的応答震度の増加率が小さいことがわかった。これは、各塑性ヒンジの応答塑性率は増加する一方、履歴減衰効果により、桁に作用する慣性力の増加率が低減されているためと考えられる。

プッシュオーバー解析による上部構造慣性力作用位置での限界変位は 39cm である。これに対して、動的解析による限界変位は 73cm となり、1.9 倍に増加した。この要因として、プッシュオーバー解析では一様の水平震度  $k_h$  を乗じて算出される慣性力を作用させていること、動的解析では慣性力の正負交番による影響と履歴減衰効果があること、などが考えられる。

**4. まとめ**

本検討対象の PC ラーメン橋において、プッシュオーバー解析は、荷重の作用方法が実態と異なり、また、慣性力の正負交番载荷の影響、履歴減衰の効果などを考慮できないため、この手法による限界状態の変位は過小に評価される可能性がある。また、本検討対象において、動的解析による限界状態の変位は、プッシュオーバー解析より 1.9 倍大きくなることを確認した。よって、本検討で提案された動的解析による限界変位の算出方法を使用することにより、適切な耐震設計を行うことができると推察される。

**参考文献**

- 1)東・中・西日本高速道路(株)：設計要領第二集橋梁建設編，平成 28 年 9 月

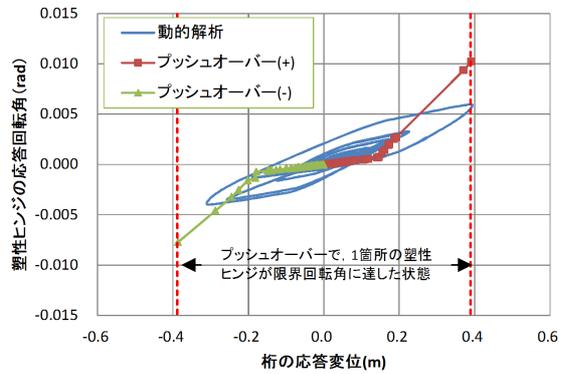


図-5 塑性ヒンジの応答回転角と桁の応答変位の関係

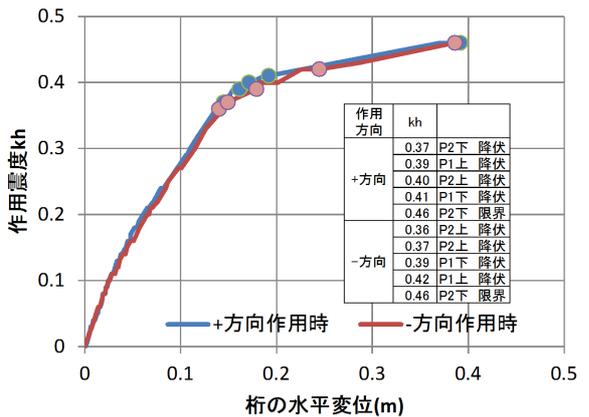


図-6 作用震度-桁の水平変位関係 (プッシュオーバー解析)

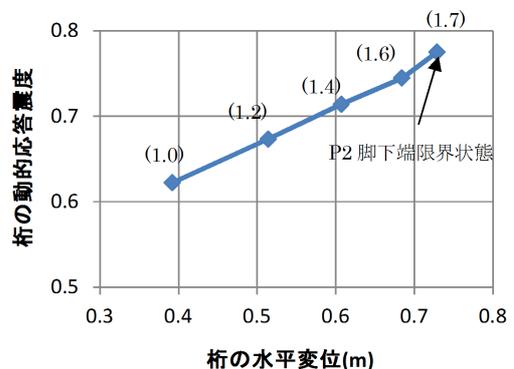


図-7 桁の動的応答震度-水平変位関係 (動的解析)