

乗換えこ線橋等の耐震設計法の考え方について

東日本旅客鉄道(株) 建設工事事部 正会員 金子 育代
東日本旅客鉄道(株) 建設工事事部 正会員 栗原 啓之

1. はじめに

従来、当社における乗換えこ線橋等の耐震設計は、修正震度法により設計水平震度を定め設計荷重としていた。一方、近年、「鉄道構造物等設計標準 耐震設計」¹⁾（以下「鉄道耐震標準」という）が制定され、乗換えこ線橋等についてもこれを適用することとしている。これにより、より詳細な設計が行えるようになった反面、設計に費やされる手間や時間に関しては、従前より増加したように見受けられる。また、乗換えこ線橋等は、設置箇所が線路上空であるという性質を持つものの、列車を直接支持する構造物と規模や重要性を比較すると、同じ性能を求める事に対しては再考の余地があると考えられる。

そこで今回、乗換えこ線橋橋脚を対象に、解析を行い今後の耐震設計法について検討したので、ここに報告する。

2. 概要

「鉄道耐震標準」をもとに、諸元を変えた各ケースについて非線形スペクトル法により応答値の算定を行い、L1地震動（構造物の耐用期間内に数回発生する確率を有する地震動）、L2地震動（構造物の設計耐用期間内に発生する確率は低いが非常に強い地震動）に対し照査を行った。L2地震動に対する照査について、乗換えこ線橋等は、地震時に構造物全体系が崩壊しなければよいと考え、求める構造物の耐震性能は耐震性能、部材の損傷レベルは3でよいとした。

そして、照査結果をもとに「鉄道耐震標準」の耐震性能を満足する所要降伏震度を求め、降伏震度（以下「Khy」とする）-構造物の等価固有周期（以下「Teq」とする）関係に表した簡易所要降伏震度スペクトルを提案した。

3. 解析モデル

乗換えこ線橋橋脚を想定し、円形鋼管部材の1柱1杭構造について、静的非線形解析を行った。

構造物のモデル化は、線材モデルとし、部材のモデル化は、部材断面の曲げモーメントと曲率の関係をを用いたトリリニアモデルとした。杭については、今回の検討の対象外であり簡便のため線形モデルとしている。（図1参照のこと。）

諸元について、橋脚高さは、3.5m、5m、7m、鋼管径は、558.8mm～1016.0mm、鋼管厚は、9mm～22mmの範囲でそれぞれを組み合わせた。軸力は、標準的な乗換えこ線橋橋脚に作用する軸力程度を想定し、軸力比 N/N_y （全断面降伏軸力に対する作用軸力の比）を一律0.09とした。これら諸元の組み合わせは、実構造物を想定することの他に、「鉄道耐震標準」に示されている骨格（トリリニア）の適用範囲である細長比パラメータ、径厚比パラメータ R_t 、軸力比パラメータ N'/N_y の範囲内となるよう行っている。地盤は、G0～G7を種～種に区分し、それぞれの代表地盤として、G2、G3、G4、G7を設定した。

ここで、「鉄道耐震標準」による鋼部材のトリリニアモデルにおいてN点は、「局部座屈が進展し、鉛直方向の変形が急激に増加する点」としているが、乗換えこ線橋橋脚は鉄道橋橋脚と比べ軸力が小さい事、又、列車荷重を受けていな

い為鉛直変位の制限を緩和出来る事から、部材の一部に亀裂が発生するといわれる「最外縁ひずみが降伏ひずみに達した時点の曲げモーメントを維持する最大変形点」（N'点とする）と設定した。（図2参照のこと。）

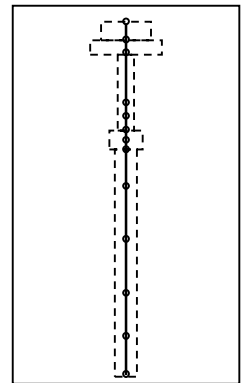


図1 構造物のモデル化

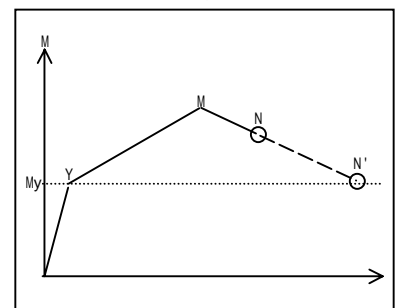


図2 部材のモデル化

キーワード 乗換えこ線橋、耐震設計、簡易所要降伏震度スペクトル

連絡先 〒151-8578 東京都渋谷区代々木2-2-2 TEL03-5334-1288

4. 結果

地盤毎の解析，照査結果を K_{hy} - T_{eq} 関係にして図 4~7 に示す．図中凡例のうち” ”は，L2 地震動に対して耐震性能（損傷レベル 3）を満足したもので，つまり構造物全体系のじん性率（以下” μ_a ”という）が応答塑性率（以下” μ_d ”という）を上回ったものを示す．ここで， μ_a は，解析により得られた部材終局時の柱頭部における水平変位量を部材降伏時の同水平変位量で除した値としている． μ_a は，「鉄道耐震標準」の所要降伏震度スペクトルにより， K_{hy} と T_{eq} から塑性率 μ を求めたものである．”x”は，L1 地震動に対して耐震性能（損傷レベル 1）満足しなかったもので，つまり解析により得られた降伏震度が所要降伏震度を下回ったものを示す．点線は，L1 地震動に対する所要降伏震度の値である．

今回解析を行った範囲では， $T_{eq}=0.6 \sim 1.05$ において，L2 地震動に対する照査を満足しないものはなかった．照査の割合（ μ_d/μ_a ）をみても，やや安全側の傾向にある．これは，3. で述べた N 点を緩和したところによる効果大きい．比較の為，緩和しないものの結果を図 3 に示すが，等価固有周期が 1 秒以下において，降伏震度を相当大きくとらないと耐震性能を満足出来ないことになる．

結果をもとに，今回提案するスペクトルラインを図中に太実線で示す．上述により，このラインは，L1 地震動に対する所要降伏震度と同値となる．なお，スペクトルラインは，出来る限り T_{eq} 軸に対して水平に設定した．これは，設計の途中段階において，降伏震度が変更されることによる手戻りを可能な限り回避するためである．

スペクトルラインを利用した設計のおおよその流れとしては，該当する地盤の簡易所要降伏震度スペクトルにより，設計水平震度を設定し，線形解析により求まる断面力を用いて耐震性能の照査を行うこととなる．よって，複雑な解析を行わずとも，震度法と同様の簡易な手法で，L1，L2 地震動に対し要求する耐震性能を満足する設計が行えることになる．

5. まとめ

今回、乗換えこ線橋を想定した円形鋼管の 1 柱 1 杭構造について，解析を行い、簡易的な耐震設計法を提案した．

部材性能モデルの N 点を緩和した場合，等価固有周期 $T_{eq}=0.6 \sim 1.05$ では，L1 地震動に対する所要降伏震度を確保すれば，L2 地震動に対しても耐震性能を満足することを確認した．

簡易所要降伏震度スペクトルを用いることにより，より簡易な手法で耐震設計が可能となる．

6. おわりに

今後，乗換えこ線橋にみられる地中梁を省略した門型形式やコンクリート充填鋼管部材についても，同様の検討をしていく予定である．

参考文献

- 1) 「鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計）」鉄道総合研究所，2) 「鋼構造新技術小委員会最終報告書」土木学会，3) 「乗換えこ線橋の手引」東日本旅客鉄道株式会社

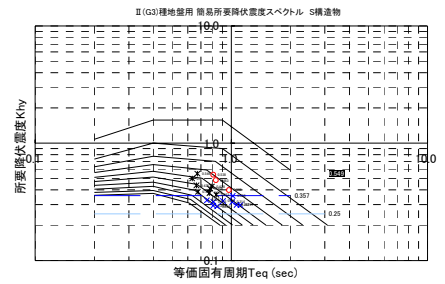


図 3 簡易所要降伏震度スペクトル Ⅱ種地盤 (Mn=0.95Mm)

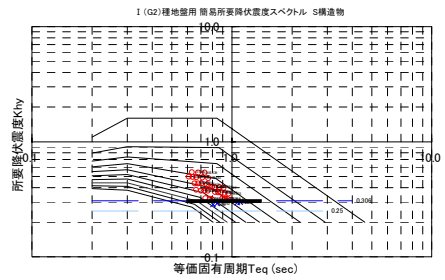


図 4 簡易所要降伏震度スペクトル Ⅰ種地盤

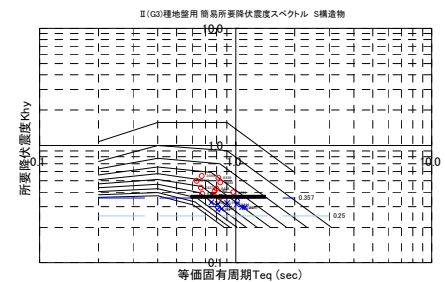


図 5 簡易所要降伏震度スペクトル Ⅲ種地盤

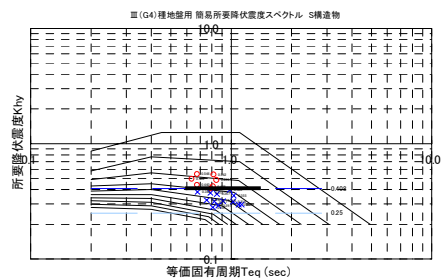


図 6 簡易所要降伏震度スペクトル Ⅳ種地盤

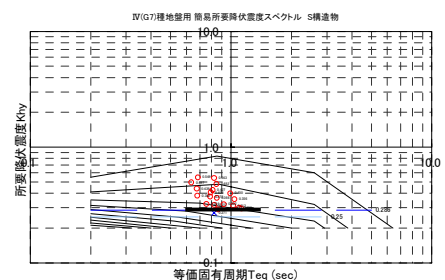


図 7 簡易所要降伏震度スペクトル Ⅳ種地盤