

盛土中橋脚の耐震性能評価法の提案

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○田上 和也
 (財)鉄道総合技術研究所 正会員 坂井 公俊
 (財)鉄道総合技術研究所 正会員 室野 剛隆

1. はじめに

盛土中に橋脚が建設されている場合、盛土と橋脚という振動特性の異なる系がお互いに作用を及ぼし合うと予想されるが、その挙動に関しては未解明な部分が数多く残されている。そこで本研究では、盛土と橋脚の地震時相互作用を解明することを目的として、盛土中に直接基礎を有する橋脚模型に対して振動台実験を実施し、地震時において盛土の存在が橋脚にどのような影響を与えるのかを確認する。また、その結果に基づいた耐震性評価方法を提案する。

2. 盛土－橋脚系の相互作用

実験ケースを図1に示す。Case1は橋脚単体を、Case2は安定度の低い盛土中橋脚（橋脚の耐力（降伏震度）が盛土の耐力より相対的に高い）を、Case3は安定度の高い盛土中橋脚（橋脚の耐力が盛土の耐力より相対的に低い）を想定した実験¹⁾である。

図2に各加振終了後の橋脚上端残留変位を示す。図によると、Case2の安定度の低い盛土中橋脚は、200gal程度の加振から急激に変位が大きくなっている。目視と盛土中の加速度記録から盛土の崩壊が当該加速度で発生していることを確認しており、橋脚が盛土の変形によって片方向に累積的に変形させられたものと考えられる。Case3の安定度の高い盛土中橋脚は、盛土が崩壊せず自立している間はCase1の橋脚単体に比べ変形が抑制されている。しかしながら、1000gal加振で盛土に明瞭な滑り線が発生し、盛土の滑動により変形が急増している。つまり、盛土が安定（静止）している間は橋脚にとって抵抗要素として働き、安定を失う（滑動）と抵抗要素のほかに作用要素としての効果が働くと考えられる。

図3に橋脚上端振動変位と橋脚上端応答加速度の関係を示す。ここで応答加速度と変位の符号は、橋脚が盛土法肩方向（橋脚が盛土を押し込む方向）へ応答する方向を正としている。図によると、同一変位における橋脚の応答加速度は、Case1よりCase2, 3の順に大きくなっている。これは前述したとおり、Case2, 3では盛土が抵抗要素として働き、橋脚の安定度が増したため橋脚に大きな応答加速度が生じたものと考えられる。応答加速度が各ケースで頭打ちになっているが、これは直接基礎底面の地盤が支持降伏し、浮き上がりを開始したためである。浮き上がりの限界加速度が異なるのは、橋脚前背面盛土が抵抗要素として働き、浮き上りに対する抵抗が大きくなったためだと考えられる。

Case1の応答加速度は正負ほぼ均等になっているが、Case2, 3の応答

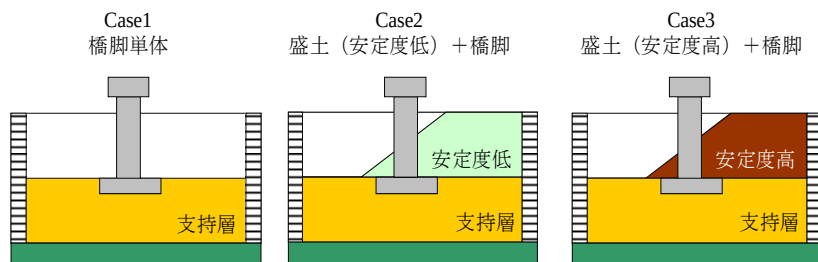
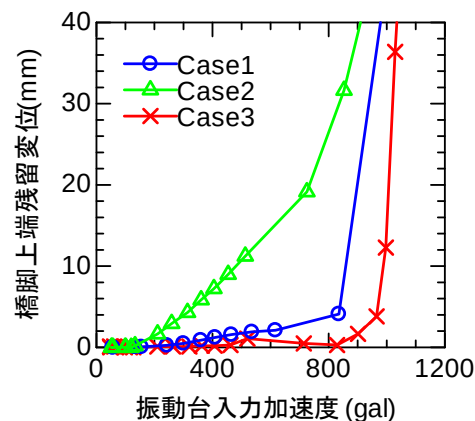
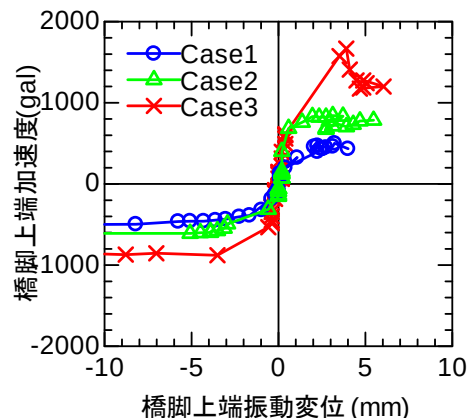


図1 実験ケース

図2 振動台入力加速度
－橋脚上端残留変位関係図3 橋脚上端振動変位
－橋脚上端応答加速度関係

キーワード 盛土中橋脚, 耐震性能評価, 応答変位法, 相互作用, 振動台実験

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (財) 鉄道総合技術研究所 TEL042-573-7394

加速度は、盛土法肩方向へ応答する方が盛土法尻方向へ応答する場合に比べ、大きくなっている。また Case2, 3 の変位も盛土法肩方向へ応答する場合の方が盛土法尻方向へ応答する場合に比べ、抑制されている。これらは、橋脚背面盛土が橋脚の水平方向の変形に対して抵抗要素として働いたためと考えられる。

以上より盛土－橋脚系の相互作用としては、図 4 に示すような抵抗、作用の両者の効果があることがわかった。

【抵抗効果】①橋脚前背面盛土の押え抵抗および水平抵抗効果

【作用効果】②盛土の振動変位による作用効果

③盛土の滑動変位による作用効果

上記①の橋脚前背面盛土の押え抵抗は、それぞれ橋脚が左右にロッキングする場合に発現される。また橋脚前背面盛土の水平抵抗は、橋脚が左右方向に変形する場合に発現されるが、一般に盛土の安定を考えると、橋脚前面盛土の水平抵抗はそれほど期待できない。また、②の盛土の振動変位は、盛土高さが高い場合など、盛土本体の振動変位が大きい場合に考慮するべきであるが、通常規模の盛土の振動変位は、それほど大きいとは考えられないため、設計上無視できると考えられる。③は盛土が円弧滑りを起こした場合に盛土の滑動変位により、片方向に累積的に作用する強制変位効果である。

3. 耐震性能評価法の提案

2 章で述べた盛土－橋脚系の相互作用の効果を踏まえて、図 5 に示す設計解析モデルを提案する。これは従来の直接基礎の橋脚モデルに、橋脚背面盛土の水平抵抗、橋脚前背面盛土の押え抵抗、さらに盛土が安定性を失う場合には、滑動変位による作用を考慮したものである。本モデルを用いた簡易な耐震性能照査の手順を図 6 に示す。具体的には、図 5 に示す盛土の抵抗効果を考慮して、従来の設計と同様の手続きで、地震時における橋脚の応答値を算定する。これとは別に、盛土の安定計算により盛土の降伏震度 K_{hy} を算定し、最大加速度 PGA との比較により盛土の安定度を検討する。盛土が安定な場合 ($K_{hy} > PGA$) は、先に算定した橋脚の応答値をそのまま用いて耐震性能照査を行う。一方、盛土が不安定な場合 ($K_{hy} < PGA$) は、盛土の滑動変位量をニューマーク法によって算定し、得られた盛土の滑動変位量を応答変位法により橋脚に作用させる。それによって算定される橋脚の応答値を用いて耐震性能照査を実施する。この提案手法による設計の流れは、鉄道の設計基準²⁾で採用されている一般的な耐震性能照査の手順(非線形応答スペクトル法+応答変位法)とほぼ同様であり、設計実務的にも十分な精度と手間盛土中に建設された橋脚の耐震性能照査が可能になる。

4. まとめ

盛土－橋脚系の振動実験を行い、盛土と橋脚の相対的な強度の大小関係により、盛土は作用にも抵抗にも成り得ることを明らかにした。また実験結果に基づき、盛土－橋脚系の相互作用の特性を反映させた耐震性能評価法の提案を行った。なお参考文献 3) では、提案手法を用いた試算を行い、ここで提案した手法を用いることで、盛土の存在が橋脚にとって作用・抵抗の両要素と成り得るという実験結果によって得られた知見を再現可能であることを確認した。また参考文献 4) では、本手法を用いて耐震性能評価を行うのに必要な慣性力と盛土滑動変位の組合せ方法について検討した。

参考文献 1) 飯島, 坂井, 室野, 田上: 盛土－橋梁系の地震時挙動把握を目的とした動的振動実験, 第 45 回地盤工学研究発表会, 2010. 2) 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, 丸善出版, 1999. 3) 和仁, 今村, 田上, 坂井, 室野: 盛土中に建設された橋梁の耐震設計法の試算, 土木学会第 65 回年次学術講演会, 2010. 4) 坂井, 室野: 盛土中に建設された橋梁の耐震設計で考慮すべき地震作用の組み合わせ, 第 45 回地盤工学研究発表会, 2010.

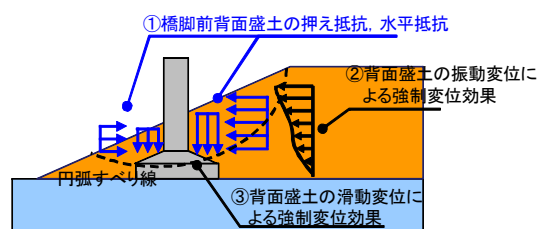


図 4 盛土－橋脚系の相互作用概念図

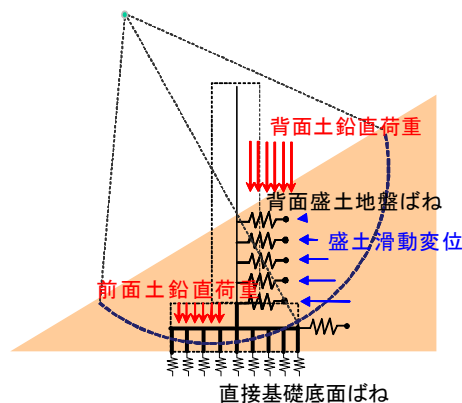


図 5 設計解析モデル

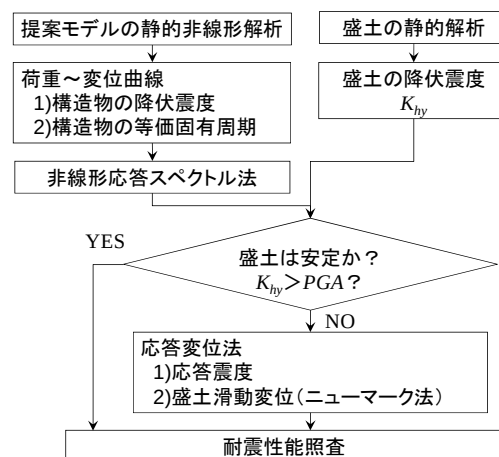


図 6 耐震性能評価フロー