

地震後の鉄道車両走行に伴う構造物沈下量評価のための基礎的検討

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○松本 星斗 坂井 公俊 豊岡 亮洋

1. はじめに

鉄道構造物の地震時復旧性について、鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計）¹⁾においては構造物の損傷位置や損傷程度に基づいた評価がなされている。一方、鉄道の地震時復旧性をより細分化する場合には、地震によって駅間で停止した車両が地震後に最寄り駅まで徐行で走行可能であるか、という性能を設定することも考えられる。車両走行の可否には水平・鉛直方向の変位や折れ角が関係する。しかしながら、地震に伴う鉄道構造物の損傷程度と地震後の車両走行安全性の関係については、十分な検討が実施されていない。そこで本検討では地震後の車両走行に伴う鉛直変位に着目し、RC柱を対象とした静的載荷試験を実施して構造物の損傷程度と車両走行に伴う構造物沈下量の間を整理した。また、実験結果を解析により再現できれば、他の構造物においても実験を行うことなく鉛直変位を推定できる可能性がある。そこで、簡易なモデルを用いて解析的に鉛直変位を推定する手法についても検討を行った。

2. 静的載荷試験に基づく鉛直変位の把握

2.1 実験概要

橋脚を模擬した模型試験体を作成し、線路直角方向に3回繰り返して漸増正負交番載荷(0.25 δ_y ~12 δ_y)を行った。試験体一般図ならびに荷重・変位の測定位置を図1に示す。各目標変位における繰り返し載荷終了後、複線の片側を列車が走行する際の荷重を載荷し、このときの鉛直変位を測定した。列車荷重はEA荷重の片線載荷を想定し、まず鉛直荷重を載荷したあと、偏心モーメントに相当する水平荷重を負方向に載荷し、除荷してから正方向に載荷した。

2.2 実験結果

実験により得られた水平荷重-水平変位関係を図2に、水平変位-鉛直変位関係を図3に示す。図2には、材料試験に基づく静的非線形解析の結果も併記する。実験結果は概ね静的非線形解析の荷重-変位関係に従っている。

列車荷重により生じた鉛直変位を図4に示す。列車荷重載荷前の残留変位と列車荷重載荷位置の関係は図5の通りである。図4を見ると、ケース2ではケース1と比較して大きな鉛直変位が生じている他、最大応答塑性率が大きいほど鉛直変位が大きくなる傾向にあることが読み取れる。ただし、列車荷重による鉛直変位は最大でも0.6mm程度であり、図3に示した地震作用に伴う鉛直変位と比較して微小であった。

3. 簡易なモデルを用いた鉛直変位の再現解析

載荷試験では、列車荷重を鉛直成分と水平成分に分けて載荷している。そこで、列車荷重の鉛直成分による鉛直変位と水平成分による鉛直変位をそれぞれ簡易なモデルで算定することにより、実験結果の再現を試みる。

キーワード 正負交番載荷, 沈下量, 残留変位, 地震時復旧性, 列車荷重, 運転規制

連絡先 〒185-0034 東京都国分寺市光町2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7336

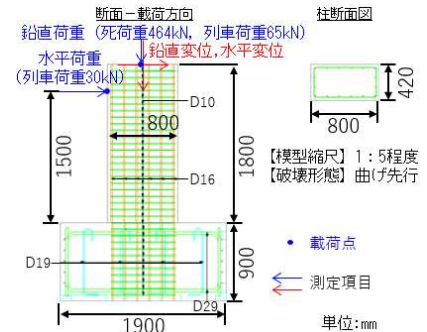


図1 試験体一般図と測定位置

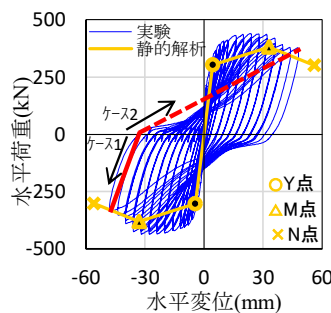


図2 水平荷重-水平変位

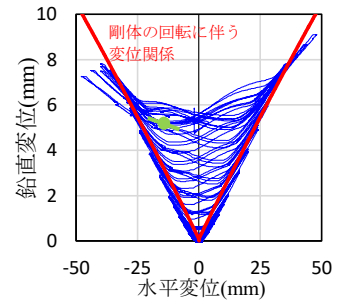


図3 水平変位-鉛直変位

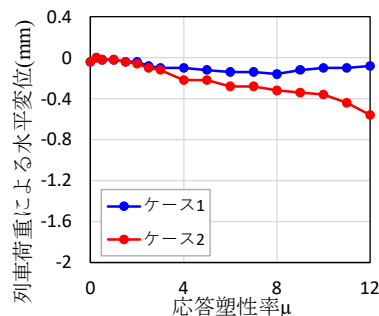


図4 列車荷重による鉛直変位

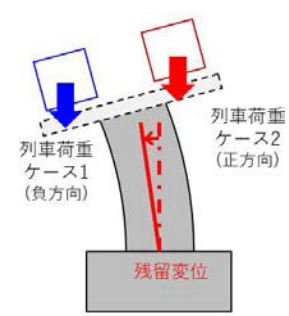


図5 列車荷重の位置関係

3. 1 列車荷重の鉛直成分による鉛直変位の算定

実験結果から試験体の鉛直剛性を推定し、列車荷重の鉛直成分が作用した時の鉛直変位量を算定した。このとき、各繰り返し载荷において荷重が0となる点と荷重が負方向に最大となる点の割線剛性（応答塑性率 $\mu=12$ の例：図2赤線）を試験体の水平剛性 EI とし、初期剛性からの水平剛性の低下をヤング率 E の低減により表現し、対応する鉛直剛性 EA および鉛直変位を推定した。断面二次モーメント I、断面積 A は载荷中一定と仮定した。負方向の水平剛性を用いるのは、鉛直荷重の载荷により僅かではあるが変位が残留している方向（負方向）に更に変位が生じるためである。以上の考え方にに基づき算定した鉛直変位と実験結果の比較を図6に示す。このように、解析結果は実験結果を概ね再現できていることが分かる。

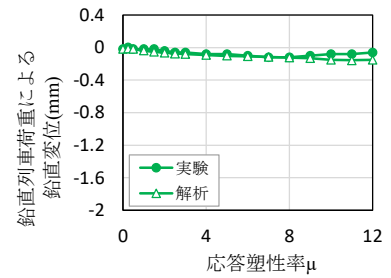


図6 鉛直列車荷重による鉛直変位

3. 2 列車荷重の水平成分による鉛直変位の算定

本試験体は比較的 a/d が小さく、偏心列車荷重を再現する水平载荷時には、図7のようによく体の剛体的な回転挙動が生じると考えられる。実際、この挙動を仮定し水平変位—鉛直変位関係を図3に赤線で示すが、最大変位を更新する区間では剛体回転を仮定した挙動が生じている。そこで、列車荷重载荷時の水平変位を求め、図3の赤線の関係に基づいて鉛直変位を算定する。水平変位を求める際の水平剛性は、各繰り返し载荷において、荷重が0となる点と荷重が最大となる点の割線剛性（応答塑性率 $\mu=12$ の例を図2にケース1を赤色実線、ケース2を破線で示す）とした。

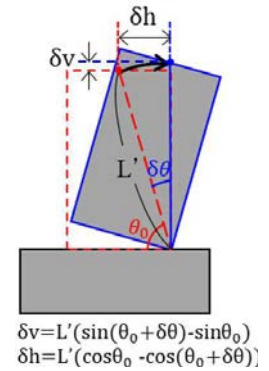


図7 剛体の回転

以上の方法による鉛直変位の算定結果を図8に示す。ケース2で生じる鉛直変位の絶対量はケース1と比較して大きいですが、これは図2に示すように、ケース2の载荷方向の水平剛性がケース1に比べて小さく、ケース1より大きな水平変位が生じるためである。

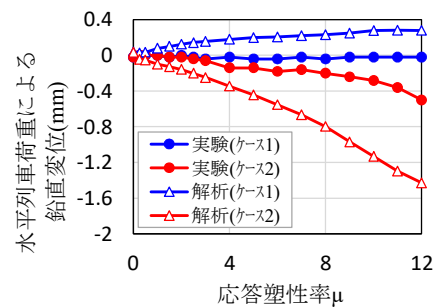


図8 水平列車荷重による鉛直変位

解析結果は、実験結果と比べて浮き上がり(ケース1)、沈み込み(ケース2)とも変位量が大きい評価となった。これは、実験における列車荷重载荷時の水平変位—鉛直変位関係（図3緑線）を、簡易的に赤線の関係として近似したためである。

上記で求めた列車荷重の鉛直成分・水平成分に伴う鉛直変位の足し合わせにより算定した鉛直変位を実験結果と比較したものを図9に示す。解析結果は実験結果より大きな変位が生じており、簡易なモデルによって列車荷重による鉛直変位を安全側に評価できている。

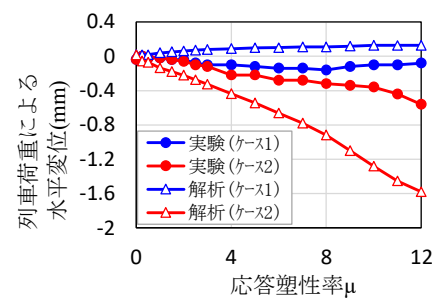


図9 列車荷重による鉛直変位

より厳密な評価を行うには、図8に示した列車荷重の水平成分による鉛直変位の算定精度を向上するために、水平変位—鉛直変位関係のモデル化方法を検討することが有効であると考えられる。

4. まとめと今後の予定

構造物の損傷程度と車両走行安全性の関係を調べるための载荷試験を行った。载荷試験の結果、地震後の車両走行に伴う橋脚の鉛直変位は、地震時の鉛直変位と比較して微小であることが確認された。また、簡易なモデルを用いて地震後の車両走行による鉛直変位を算定することで、実験結果を安全側に再現できることを確認した。

今回の検討は橋脚く体の変形による鉛直変位のみを対象としているが、地震時には基礎の沈み込みによる鉛直沈下の発生も懸念されるため、今後はこの影響も考慮した検討を行う必要がある。

参考文献 1) (公財) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計），丸善出版，2012。