

橋台における地震時土圧と慣性力、変位に関する一考察

東日本旅客鉄道 正会員 ○石橋 誠司, 阿部 慶太, 野本 将太
正会員 佐々木 愛, 滝沢 聡

1. はじめに

鉄道において、地震時に橋台が滑動および傾斜し背面盛土に沈下が発生した場合、列車の走行安全性に影響を及ぼすことから、橋台の耐震性能を評価し、適切な耐震対策を実施することが重要である。その際、耐震性能評価において重要な作用力である地震時土圧を適切に考慮することが必要である。

本稿では、橋台における地震時土圧の発現機構を確認するため、傾斜実験および重力場の模型振動台実験を行い、橋台の地震時土圧と慣性力、変位の関係性について検討した。

2. 実験概要

(1) 模型概要

実験に用いた橋台模型は首都圏にある高さ 8.0m 程度の橋長 25m 程度の鋼桁を支える重力式橋台を想定し、香川の相似則¹⁾に従い縮尺が 1/10 となるように製作した。図-1 に模型概要及び計測機器の配置、図-2 に計測値の正負符号の定義を示す。前面、背面および基礎地盤は $D_r=80\%$ のけい砂 6 号で作成した。背面地盤表面にはスチールグリッド (1.0kN/m^2) を用いて上載荷重を作用させた。橋桁に関しては、実物の桁慣性力相当の質量を橋台模型(鉄・アルミ製、475kg)の天端に重錘を設置することで模擬した。重量桁の場合は橋長 20m 相当の RC 桁を模擬して 200kg の重錘を設置し、軽量桁の場合は重錘を設置しないものとした。

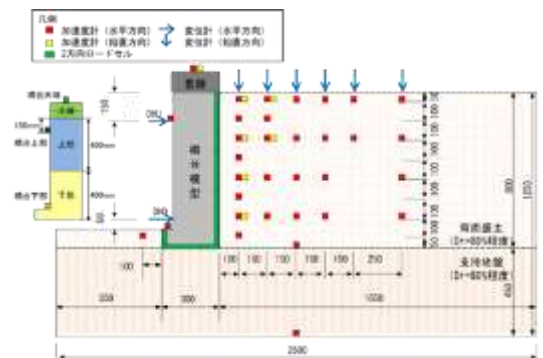


図-1 模型概要・計測器配置 (単位:mm)

(2) 傾斜実験

静的に慣性力を作用させた場合の橋台に作用する地震時土圧を確認するため傾斜実験を行った。傾斜の増減速度を約 $1^\circ/\text{min}$ とし、傾斜角を 1 度ずつ増加することと、0 度の状態に戻すことを繰り返すステップ載荷を行った。その際、載荷後と除荷後に 3 分間の傾斜角の保持を行った。なお、橋台模型天端に重量桁を設置した。

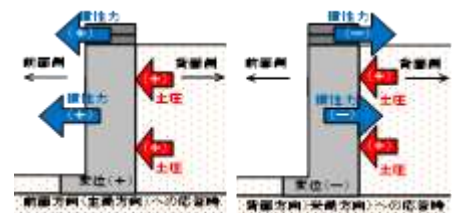


図-2 計測項目の正負の符号の定義

(3) 模型振動台実験

振動台実験は、加振波形に振幅 50gal, 100gal の正弦波 (5Hz, 10 波), 鉄道構造物の耐震設計²⁾で用いられる L1 地震動 (最大加速度 150gal, G2 地盤相当), および L2 地震動スペクトル I (最大加速度 800gal, G2 地盤相当) を相似則¹⁾に従って時間軸圧縮したものを用いて実施した。

3. 実験結果

(1) 水平震度と橋台上部の残留水平変位の関係

図-3 に水平震度と橋台上部の残留水平変位の関係を示す。傾斜実験では傾斜角度が 13° から 14° , 水平震度 0.23 程度の際に橋台模型が大きく変位し、背面地盤にすべり面が発生した。また模型振動台実験では、軽量桁、重量桁の場合ともに、正弦波、L1 地震動加振時に橋台模型はほとんど変位せず、L2 地震動スペクトル I 加振時には橋台模型が主働方向に軽量桁 11.2mm, 重量桁 25.5mm の残留変位が発生したが、背面地盤にすべり面は発生しなかった。

(2) 橋台に作用する水平土圧合力と慣性力

水平土圧合力は、橋台模型の背面に設置した 2 方向ロードセルの計測値の水平成分の合計を橋台の奥行き幅 980mm に換算して算出した。慣性力は図-1 に示す橋台天端、上部、および下部に設置した加速度計の数値に、各加速度計に対応する橋台の質量を乗じて求めた。また、橋台に作用する慣性力と水平土圧合

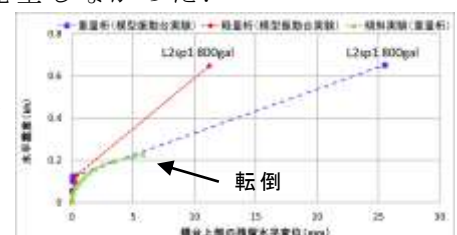


図-3 水平震度と残留水平変位の関係

キーワード：橋台、地震時土圧、慣性力

連絡先：東京都渋谷区代々木 2-2-6JR 新宿ビル 4 階 東日本旅客鉄道(株) 構造技術センター TEL. 03-6276-1251 Fax. 03-5371-3524

力の和を全水平力と定義した。

傾斜実験では水平土圧合力は、傾斜角度をゼロに戻すと橋台躯体が受働側に変位し受働土圧が発生する。一方、水平震度が増加するにつれて、橋台躯体が転倒するまで、主働土圧合力が増加する挙動が確認できた³⁾。

模型振動台実験での重量桁、軽量桁の正弦波加振では、水平土圧合力と慣性力の波形が逆位相を示し、全水平力が主働方向に作用した場合に水平土圧合力が小さくなる傾向が見られた³⁾。また、L1地震動加振およびL2地震動スペクトルI加振(図-4)でも、正弦波加振時ほどではないが、慣性力と水平土圧合力の波形に位相差が確認され、主働方向に作用する全水平力が最大の時に水平主働土圧合力が小さくなる傾向が見られた。

(3) 全作用モーメントと回転角、全水平力と水平変位の関係

慣性力が主働方向に作用した場合における全作用モーメントと橋台の回転角の関係を図-5、全水平力と橋台の水平変位の関係を図-6に示す。

同じ回転角での全作用モーメントは、重量桁でのL2地震動スペクトルI 800gal加振(以下、重量桁と称す)が傾斜実験および軽量桁でのL2地震動スペクトルI 800gal加振(以下、軽量桁と称す)に比べ大きい傾向が見られた。また、同じ水平変位での全水平力は、重量桁が傾斜実験より全体的に大きく、軽量桁に比べ若干ではあるが大きい傾向を示した。

(4) 水平土圧の比率の比較

図-7に水平土圧によるモーメントの比率と橋台の回転角の関係、図-8に水平土圧合力の比率と橋台の水平変位の関係を示す。水平土圧によるモーメントの比率は、全作用モーメントにおける水平土圧によるモーメントが占める割合、水平土圧合力の比率は、全水平力における水平土圧合力が占める割合を示す。

水平土圧によるモーメントの比率は、全体的に重量桁が傾斜実験および軽量桁に比べ小さく、慣性力によるモーメントが支配的である傾向が見られた。また、水平土圧合力の比率は橋台の水平変位が大きくなる前は重量桁が傾斜実験および軽量桁に比べ小さい傾向が見られたが、変位が大きくなった後はあまり差が見られなかった。

4. まとめ

本稿では、橋台に作用する地震時土圧の発現機構を確認することを目的に、高さ0.8mの重力式橋台模型を用いた傾斜実験と模型振動台実験の結果を報告した。その結果、重量桁が傾斜実験と軽量桁に比べて全作用モーメントおよび全水平力が大きく、水平土圧によるモーメントの比率および水平土圧合力の比率が小さいことを確認した。

今後は、構造諸元の異なる橋台に対して、地震時主働土圧の動的発現特性について検討する所存である。

謝辞： 模型実験の計画、結果の整理を行う上で公益財団法人鉄道総合研究所基礎・土構造研究室各位にご助言を頂きました。ここに記して感謝の意を申し上げます。

参考文献

- 1) 香川崇章：土構造物の模型振動実験における相似則，土木学会論文報告集，No.275，pp.69-77，1978。
- 2) 国土交通省監修，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，2012。
- 3) 石橋ら：橋台における地震時土圧と慣性力に関する一考察，第53回地盤工学研究発表会，2018。

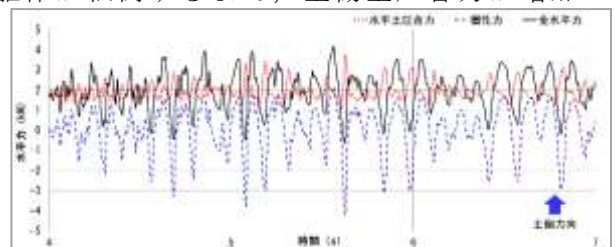


図-4 水平土圧合力・慣性力・全水平力の時刻歴波形(軽量桁 L2地震動スペクトルI)

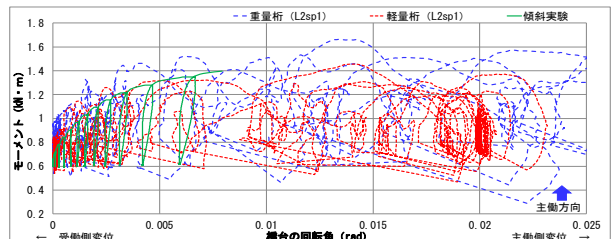


図-5 全作用モーメントと回転角の関係

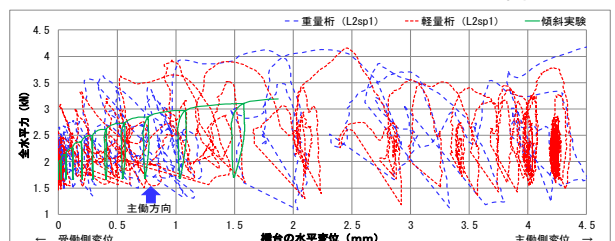


図-6 全水平力と水平変位の関係

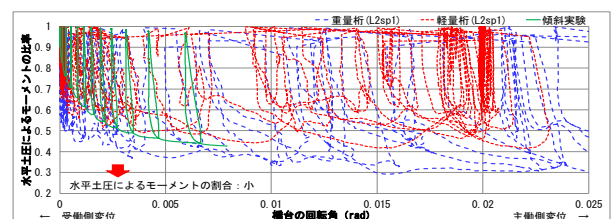


図-7 水平土圧によるモーメントの比率と回転角の関係

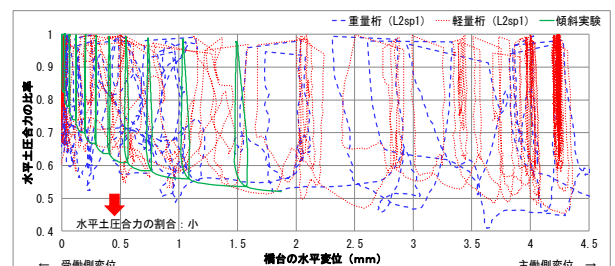


図-8 水平土圧合力の比率と水平変位の関係