

傾斜滑動面による無筋コンクリート橋脚の転倒限界向上方法の実験的検討

東日本旅客鉄道（株）JR 東日本研究開発センター 正会員 ○ 伊藤 隼人 フェロー会員 小林 薫
 東日本旅客鉄道（株）東京工事事務所 正会員 平林 雅也
 ジェイアール東日本コンサルタンツ（株） 正会員 山下 修史

1. はじめに

無筋コンクリート橋脚（以下、無筋橋脚）について、基礎の耐震性能が要求性能を満足していない場合、大規模地震時の崩壊形態として、図-1に示すような水平方向慣性力による転倒が考えられる。対策として、フーチング拡幅が考えられるが、施工条件的に厳しい場合もあり、施工可能であっても、工期が長くなり、工事費も高くなることが想定される。上記の崩壊形態を防ぐ方法として、新たに、橋脚く体の設定した箇所に傾斜滑動面を形成する方法を考えた。

図-2に、傾斜滑動面を有する橋脚を示す。ここで、傾斜滑動面より上のく体を上部構造、傾斜滑動面より下のく体を下部構造と呼ぶ。大規模地震作用時に、基礎の浮き上がりが生じる前に、下部構造に対して上部構造が滑動し、地震の水平方向慣性力を逃がす。最終的には、上部構造に作用する重力および地震の微動によって復元する。

今回、無筋橋脚を模擬した一体型の試験体およびV字の傾斜滑動面を設けた試験体を製作し、水平振動台による加振試験を実施し、転倒限界性能（試験体が転倒しない最大加振加速度）向上の確認をしたので報告する。

2. 滑動開始時の物理的条件

傾斜滑動面を有する橋脚の上部構造が、下部構造に対して滑動を開始する際の物理的条件について考える。滑動開始時の水平力および加速度は、図-3に示すよう斜面上に静止している物体の重心位置に水平力Fを作用させ、物体を斜面に沿って押し上げる状況によって表現できる。滑動開始時の水平力を式(1)に、滑動開始時の加速度を式(2)に示す。式(2)のように、滑動開始する加速度（以降、滑動開始加速度）は、静止摩擦係数 μ と滑動面の角度 θ によって表すことができる。これにより、大規模地震作用時に基礎の浮き上がりが生じる前に、上部構造が滑動するよう μ と θ を制御することで、橋脚く体の地震動エネルギー吸収が制御可能となり、転倒限界向上に寄与できると考えた。

3. 試験概要

3. 1 試験体諸元

加振試験の実施状況を写真-1、写真-2に、試験体寸法を表-2に示す。無筋橋脚を模擬した一体型をType1、滑動面角度 7.3° をType2、滑動面角度 2.1° をType3とした。また、滑動面にはステンレス板を設置し、その間に静電気除去スプレーを塗布した厚さ1mmのテフロンシートを挟み込むことで、静止摩擦係数を0.127程度に調整した。これは、式(3)に示すWestのキーワード 無筋コンクリート橋脚、傾斜滑動面、静止摩擦係数

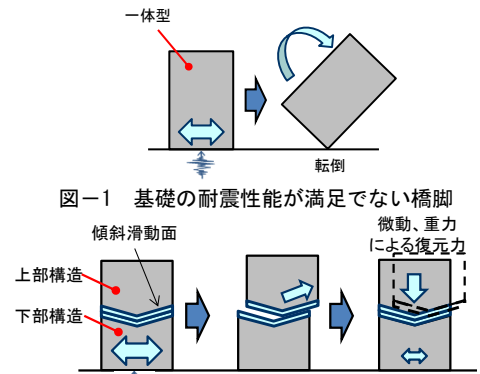


図-1 基礎の耐震性能が満足でない橋脚

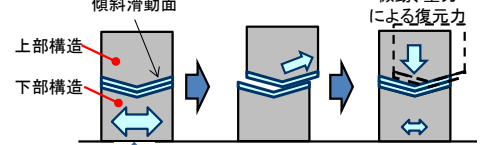


図-2 傾斜滑動面を有する橋脚

$$F = W \frac{\sin\theta + \mu \cos\theta}{\cos\theta - \mu \sin\theta} = W \frac{\mu + \tan\theta}{1 - \mu \tan\theta} \quad (1)$$

$$a = \frac{\mu + \tan\theta}{1 - \mu \tan\theta} g \quad (2)$$

ここに、

F : 水平力 θ : 斜面の角度
 W : 荷重 a : 加速度
 μ : 静止摩擦係数 f : 摩擦力
 g : 重力加速度

図-3 滑動開始時の物理的条件

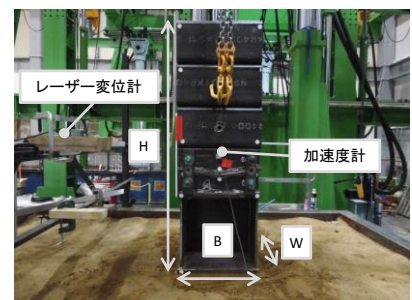


写真-1 試験実施状況（一体型）

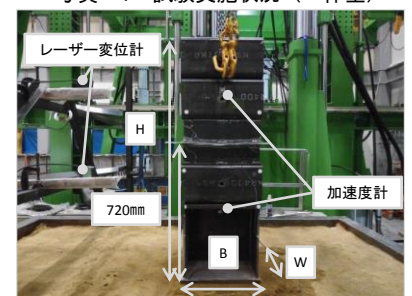


写真-2 試験実施状況（傾斜滑動面有）

連絡先 〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町 2-479 JR 東日本研究開発センターフロンティアサービス研究所 TEL048-651-2552

式から推定される上部構造・下部構造が一体としてロッキングを開始する加速度より、式(2)より求められる滑動開始加速度を小さくするためである。

$$a = (B/H) \times g \quad (3)$$

3. 2 試験方法

水平振動台上に設置した模擬土地盤上に試験体を配置し、動的加振試験を実施した。加振条件として鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)²⁾に記載されている Spec II G0,G2,G3,G5 地盤適合波の加速度振幅を調整し、加振試験に用いた。模擬土地盤については、転倒試験の都度、地盤をスコップにより掘り返し攪拌したうえで、コンパクターで締め固めた。

測定項目としては、振動台の加速度および試験体の重心位置(上下のく体それぞれの重心位置)の加速度と重心高さ位置の変位を測定した。振動台の加振加速度の最大値は、転倒した場合と転倒しなかった場合で50gal程度の差となるように繰り返し試験を実施した。また、Type2,Type3 においては、上部構造が転落した場合を転倒と判断した。

4. 試験結果

図-4 に Type1 の転倒時の最小振動台加振加速度を、図-5(a) に Type2, 図-5(b) に Type3 の無転倒時の最大振動台加振加速度を示す。Type1,2,3 とともに、地震波種別により、転倒のための加振加速度の最大値が異なることがわかる。これは、地震波種別により、含まれる周波数成分が異なることにより、試験体の揺れやすさに影響するためと考えられる。

また、式(3)から推定される上部構造・下部構造が一体としてロッキングを開始する加速度に着目すると、Type1,2,3 の全てのケースにおいて、地震波のようなランダム波でも、West の式より求まる加速度以上で転倒することが確認できる。図-6 に、Type1 の転倒最小加速度と Type2,Type3 の無転倒最大加速度の比を示す。いずれの場合も傾斜滑動面を設けたことにより転倒限界性能が 1.2~1.9 倍程度向上した。

5. まとめ

以下に知見を示す。

- (1) 本実験の範囲内において、ロッキング開始加速度より滑動開始加速度を小さくなるよう静止摩擦係数 μ と滑動面の角度 θ を設定した傾斜滑動面を設けると、一体型の場合と比較し、転倒限界性能が、1.2 倍~1.9 倍程度向上することを確認した。

参考文献

- 1) 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, 丸善, 2012.

表-2 試験体寸法

試験体 Type		幅B (mm)	高さH (mm)	奥行W (mm)	B/H	質量 (kg)	滑動面 角度 (°)	滑動面 静止摩擦係数 (SUS-PTFE)
Type-1	—	400	1200	400	1/3	257	—	—
Type-2	上部構造 下部構造	400	500 700	400	4/5 4/7	105.2 151.8	7.3	0.127
Type-3	上部構造 下部構造	400	500 700	400	4/5 4/7	105.2 151.8	2.1	

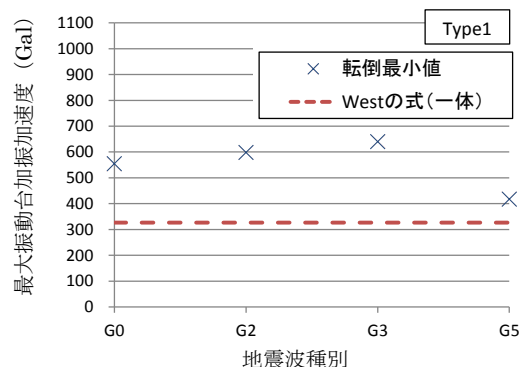


図-4 転倒時の最小振動台加振加速度 (Type1)

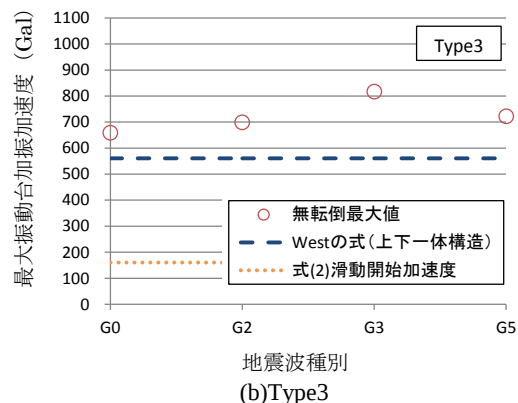
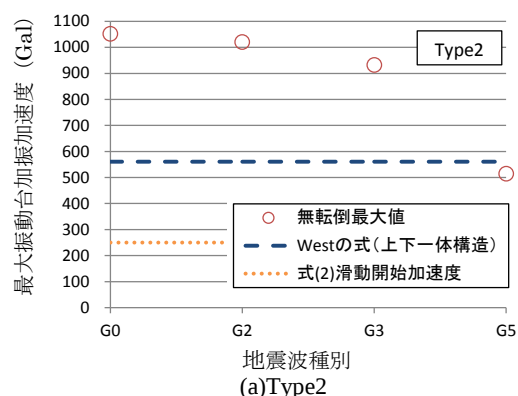


図-5 無転倒時の最大振動台加振加速度

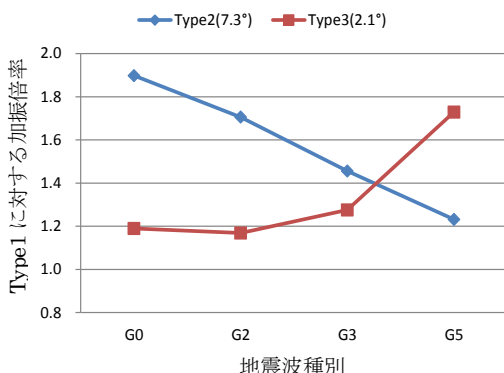


図-6 転倒限界性能の向上の比較