

直接基礎橋脚模型を対象とした繰返し偏心荷重載荷実験（その1）

鉄道総合技術研究所 （正）○黒木 悠輔，西岡 英俊，佐名川 太亮

1. はじめに

台風や豪雨による出水により河川鉄道橋が洗掘され橋脚傾斜等の被害を受けた場合，当該橋脚を使用してその後の列車運行を安全に行うことが可能か，あるいは改築や大規模補修を必要とするのかの判断が必要となる．しかし，傾斜橋脚に対して列車の繰返し荷重が作用した場合の地盤の変形特性についての知見は少なく，橋脚基礎の底面地盤における支持力や変形に対してはこれまで経験的に安全側の応急復旧対策を選定し実施していた．

傾斜した橋脚に対して繰返し荷重が作用した場合の地盤の支持力や変形の特性が適切に評価できれば，被災後の応急復旧対策を適切に選択でき，早期の運転再開につながる可能性があることから，今回筆者らは，傾斜に起因した荷重の偏心を考慮した模型実験を行い，その支持力や変形特性について確認したので報告する．

2. 橋脚傾斜が支持力に与える数値計算上の影響

数値計算における支持力は Terzaghi 式¹⁾により算出される．図1に示すように橋脚が傾斜した場合，橋脚死荷重や列車荷重が基礎の回転中心に対して偏心して作用する為，それに伴うモーメントが発生することになる．既往の研究²⁾より，橋脚死荷重や列車荷重が偏心して作用したとしても大きな支持力低下は発生しないことが示されている．具体的には高さ 4m 程度の橋脚において傾斜の影響を確認した場合，50/1000rad(約 2.8 度) 傾斜した場合でも，傾斜のない場合と比較して，死荷重と列車荷重を考慮した場合でも約 12% 程度の支持力低下に留まっていることがわかっている．

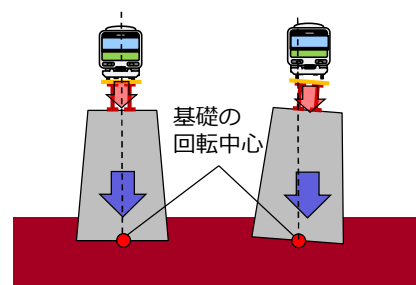


図1 橋脚傾斜による荷重の回転中心からの偏心

3. 偏心荷重を受ける橋脚模型実験

上記の通り，数値計算上は橋脚傾斜が支持力に与える影響が大きくないことがわかっているが，列車通過時の繰返し荷重の影響については明らかではないため，それらを確認するための模型実験を実施した．

3. 1 実験装置概要

使用した実験装置の概略図を図2に示す．内寸法で長さ 990mm，幅 400mm，高さ 490mm の土槽に東北砂砂6号を用いて相対密度 $Dr = 60\%$ の地盤を構築し，そこに幅 390mm，長さ 200mm，厚さ 30mm，重量 17.96kg の基礎模型を設置した．なお，要素試験から確認した地盤材料の諸元は表1の通りであり，基礎模型には図2の平面図に示すように荷重計，変位計，ギャップセンサーを設置した．

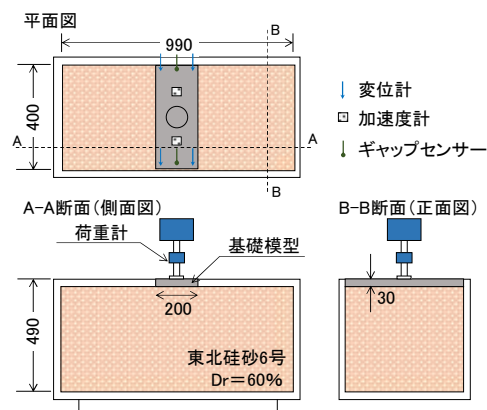


図2 載荷実験模型概要図

表1 地盤材料諸元

地盤材料	土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	密度(g/cm ³) (最小/最大)	間隙水圧 (最小/最大)
東北砂砂6号	2.651	1.399/1.695	0.564/0.8895

3. 2 実験概要

載荷実験は，単調載荷と繰返し載荷の2パターンを実施し，それぞれに対して荷重載荷位置を図3のように0から 4/B まで4パターン変更することで橋脚の傾斜による荷重の偏心考慮したケースを設定した．載荷のイメージ図を図4に示す．単調載荷試験は荷重 1kN を2分間で載荷し，その後この荷重状態を5分間放置する載荷ステップを繰返して実施し，5分間の変位が大きくなった時点で載荷速度 0.1mm/分の変位制御に切り替えて変位量が 20mm となるまで実施した．また，繰返

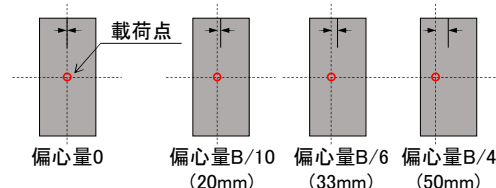


図3 基礎模型に対する載荷位置の偏心

キーワード：直接基礎，沈下，支持力，偏心，繰返し荷重

連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所 TEL：042-573-7261

し載荷試験は、橋脚死荷重相当として初期荷重を 4kN で、また列車荷重相当として繰返し振幅を 2kN 及び 4kN で設定し、載荷周波数 1Hz で繰返し載荷を行った。

3. 3 単調載荷試験

単調載荷試験での荷重変位関係を図 5 に示す。図からわかる通り、偏心量が 0, B/10, B/6 の 3 ケースについては荷重変位曲線に大きな相違が見られず、偏心に起因した極限支持力の低下もそれほど大きくない。しかし、偏心量が B/4 の場合については極限支持力が大きく低下していることが見て取れる。これは、偏心量が大きくなったことにより基礎の浮き上がりが発生し、基礎底面の有効面積が大きく低下したことによるものと考えられ、今回の模型実験からは、基礎底面の浮き上がりが発生しない程度の偏心量であれば、作用荷重の偏心による極限支持力の低下は限定的であると推察される。また、理論値である Terzaghi の全般せん断破壊に対する支持力(図中破線)と実験結果を比較すると、偏心量が小さい範囲では実験結果は理論値に対して十分安全側であり、偏心量が大きい B/4 の場合は理論値を精度よく再現していることがわかる。

3. 4 繰返し載荷試験

図 6 に初期荷重を 4kN、繰返し振幅を 2kN とした載荷試験の結果を示す。 $\phi = 40^\circ$ として計算した全般せん断破壊に対する設計支持力に対し、最も条件の厳しい偏心量 B/4 の場合でも 10.7kN / 6kN $\div$ 1.8 程度の安全率を保有しており、繰返し載荷による底面地盤の破壊は見られないことがわかる。一方、図 7 に初期荷重を 4kN、繰返し振幅を 4kN とした載荷試験の結果を示す。この場合、偏心量 B/4 での繰返し載荷では全般せん断破壊に対する設計支持力に対して作用荷重は 10.7kN / 8kN $\div$ 1.3 程度の安全率となっているが、底面地盤が進行的に破壊に至っている。以上より、底面の浮き上がりが発生しない範囲の偏心量で支持力余裕が十分に有る場合は地盤が破壊に至らないものと推察され、具体的には繰返し荷重に対して 1.8 倍以上の支持力余裕があれば、地盤が破壊に至らないと考えられる。今回の実験から、現在の鉄道構造物等設計標準で規定されている直接基礎の照査指標である「短期支持性能に対して荷重に対する安全率 2 以上かつ偏心量 B/4 以下とすること」³⁾とした指標の妥当性が改めて確認された。

4. おわりに

本論文では、偏心を考慮した繰返し荷重についての模型実験の概要と結果について述べた。本論文が被災した河川鉄道橋りょうの早期運転再開への参考になれば幸いである。今後も、河川鉄道橋りょうの防災・減災や被災後の早期運転再開に向けた研究に取り組んでいく所存である。謝辞 本研究は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。

参考文献

- 1) Terzaghi, K: Theoretical Soil Mechanics, pp120-130, John Wiley & Sons, New York, 1943
- 2) 黒木他: 洗掘を受けた直接基礎橋脚の支持力評価に関する模型実験, 第 52 回地盤工学研究発表会, 2017 (投稿中)
- 3) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物設計標準・同解説 (基礎構造物), 平成 24 年 1 月, pp161

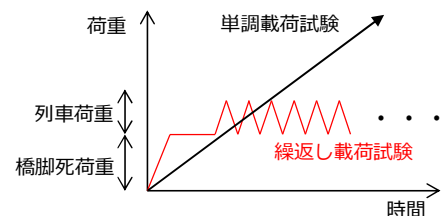


図 4 載荷パターンのイメージ

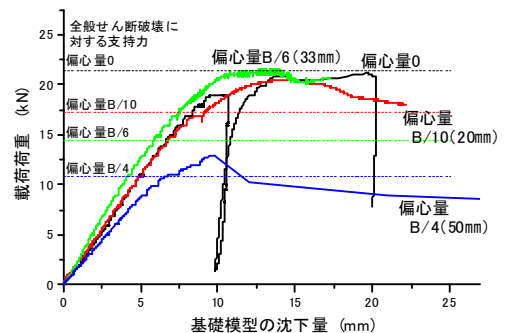


図 5 単調載荷における荷重変位曲線

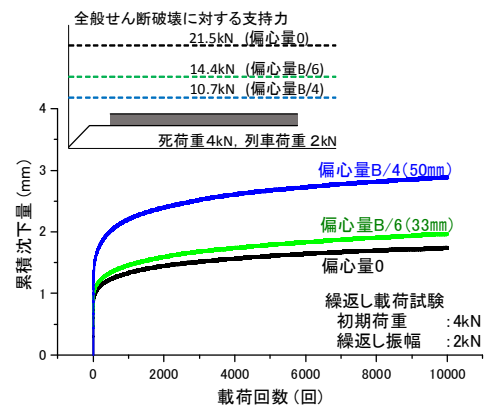


図 6 繰返し載荷試験結果
(初期荷重 4kN, 繰返し振幅 2kN)

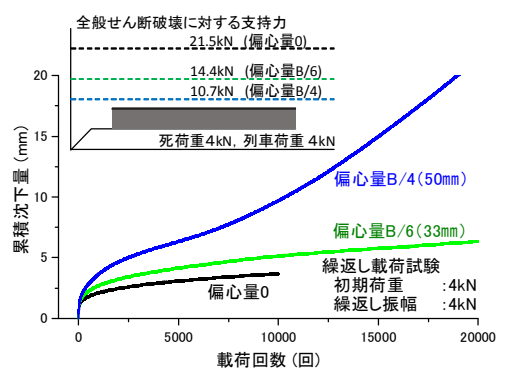


図 7 繰返し載荷試験結果
(初期荷重 4kN, 繰返し振幅 4kN)