

列車走行を想定した直接基礎模型の鉛直載荷実験

直接基礎 繰返し 列車荷重

(株) 複合技術研究所

正会員 鈴木 聡

(財) 鉄道総合技術研究所

国際会員

西岡英俊

西村昌宏

神田政幸

1. はじめに

建設当時の構造物諸元の記録がない既設構造物基礎の残存耐力や耐震性の評価を行うためには、従来、列車運行の停止を伴う大掛かりな載荷試験や掘削調査が必要であった。一方、定性的には既設構造物基礎の残存耐力と数十キロの重錘や列車荷重レベルでの変形挙動には相関があることは知られている。本研究では既設構造物基礎の支持力推定手法の開発を目的として、列車通過時の基礎構造物の基礎的な挙動を把握するために直接基礎模型に静的鉛直荷重および動的鉛直繰返し荷重を与える載荷試験を実施し、静的載荷時と動的繰返し載荷時の沈下特性の違いを比較した。

2. 実験の概要

載荷試験では、鉄道総研で開発した「基礎構造物の動・静的載荷試験装置」¹⁾を用いた。土槽寸法は、大きさ 2.0m × 2.0m、深さ 3.0m である。直接基礎模型は接地部が 500 × 500mm で、底面を 25 分割したロードセルボックスに底面土圧を計測できるように 2 方向門型ロードセルを配置している。地盤には珪砂 6 号 ($\rho_s = 2.644 \text{ g/cm}^3, e_{\max} = 0.922, e_{\min} = 0.565$) を用い、相対密度 $D_r = 90\%$ の地盤を層厚 0.1m ごとにシングルホッパーで作製した後に突固めを実施して所定の模型地盤を作製した (図 1)。

本研究における全実施ケースとその荷重レベルを表 1 に示す。死荷重は、事前に実施した静的単調載荷試験での極限支持力 $240\text{kN}^{2)}$ の 60% である 144kN を最大荷重として 4 つの荷重レベル (36kN , 72kN , 108kN , 144kN) とした。それぞれの荷重レベルで列車荷重を $0\text{kN} \sim 24\text{kN}$ で漸増させて載荷を行っている。例として表 1 のうち Case45-06 の波形パターンを図 2 に示す。Case45-06 の載荷パターンは、死荷重 108kN と列車荷重 14.4kN を静的載荷と列車走行時の衝撃荷重に相当する正弦波の動的繰返し載荷からなる。正弦波の動的繰返し載荷の荷重レベルと周波数は 1・2 波目で $1\text{Hz } 122.4\text{kN} \pm 8.64\text{kN}$, 3・4 波目で $2\text{Hz } 122.4\text{kN} \pm 10.8\text{kN}$, 5・6 波目で $4\text{Hz } 122.4\text{kN} \pm 12.86\text{kN}$ とし、1 波につき 10 回の動的繰返し載荷を実施した。荷重振幅は列車荷重に衝撃係数 (周波数 $1\text{Hz} : \times 1.2$, $2\text{Hz} : \times 1.5$, $4\text{Hz} : \times 1.8$) を乗じた荷重である。

3. 実験結果

図 3 に鉛直荷重と沈下量の関係を示す。静的単調載荷時の鉛直荷重と沈下量の関係は、沈下量 35mm で極限支持力 240kN に達し、その後沈下量 60mm 程度で 150kN (残留強度) まで荷重低下している²⁾。一方、動的繰返し載荷時の鉛直荷重と沈下量の関係は、最大荷

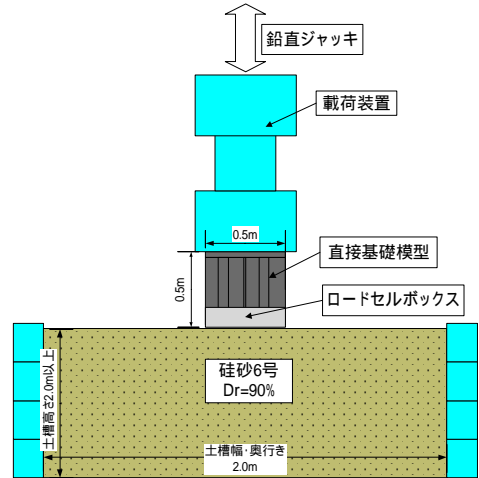


図 1 実験装置概略図

表 1 全ケースの荷重レベル

ケース	死荷重 (kN)	列車荷重 (kN)	正弦波の鉛直荷重振幅(kN)		
			1・2波 1Hz10波	3・4波 2Hz10波	5・6波 4Hz10波
			列車荷重 × 衝撃係数		
			× 1.2	× 1.5	× 1.8
15-00	36	0	0	0	0
15-01	36	2.4	2.88	3.6	4.32
15-03	36	7.2	8.64	10.8	12.96
15-06	36	14.4	17.28	21.6	25.92
30-00	72	0	0	0	0
30-01	72	2.4	2.88	3.6	4.32
30-03	72	7.2	8.64	10.8	12.96
30-04	72	9.6	11.52	14.4	17.28
30-05	72	12	14.4	18	21.6
30-06	72	14.4	17.28	21.6	25.92
30-08	72	19.2	23.04	28.8	34.56
45-00	108	0	0	0	0
45-03	108	7.2	8.64	10.8	12.96
45-05	108	12	14.4	18	21.6
45-06	108	14.4	17.28	21.6	25.92
45-08	108	19.2	23.04	28.8	34.56
60-00	144	0	0	0	0
60-03	144	7.2	8.64	10.8	12.96
60-06	144	14.4	17.28	21.6	25.92
60-09	144	21.6	25.92	32.4	38.88
60-10	144	24	28.8	36	43.2

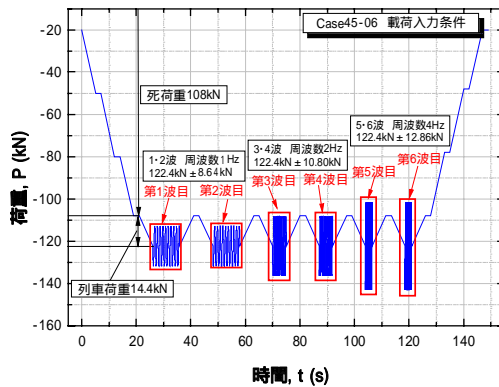


図 2 載荷パターンの例 (Case45-06)

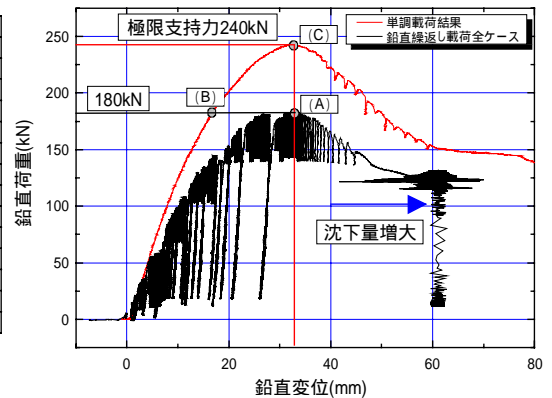


図 3 鉛直荷重と沈下量の関係

重 180kN となる荷重レベルの動的繰返し载荷で、ピーク値に達し、40mm を超えて荷重が低下しながら急激に沈下している。動的繰返し载荷ではピーク荷重は 25% 低下しているが、ピーク荷重を發揮する沈下量は同一であることがわかる。

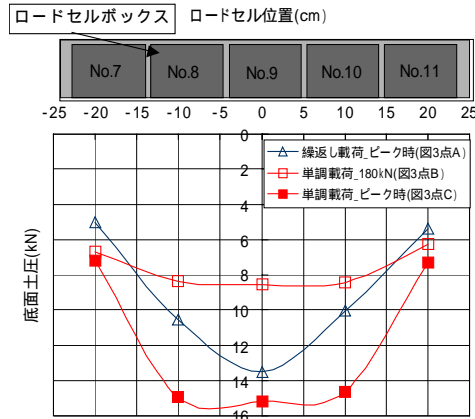


図4 底面土圧分布

は同一であることがわかる。

図4に動的繰返し载荷でのピーク荷重時(図3中の点A)の底面土圧分布に対して、静的単調载荷での同一荷重時(図3中の点B)および同一変位時(=ピーク荷重時、図3中の点C)での底面土圧分布を示す。動的繰返し载荷時の底面土圧分布は三角形分布に対して、静的単調载荷のそれは台形分布となっている。また、繰返し载荷(点A)と単調载荷(点C)のピーク荷重時のフーチング中心の底面土圧の差は全体の鉛直荷重と沈下量の関係の差に比べて小さくなっている。

図5には列車荷重レベルが同一で死荷重レベルが異なる4つのケースの鉛直荷重と沈下量の関係を示す。同一の列車荷重に対しても、死荷重レベルが大きいほど、累積沈下量が大きくなる。また、図6に示す全ケースの最大鉛直荷重と繰返し载荷中の累積沈下量の関係から、累積沈下量は死荷重レベルが大きいほど大きくなる。

全ケースの载荷パターンにおいて、死荷重载荷時の割線剛性(载荷時剛性)と死荷重除荷時割線剛性(除荷時剛性)を死荷重レベルに対して図7に示した。なお、各死荷重レベルで列車荷重無しの载荷ケースを実施しており、载荷時剛性もいわゆる履歴荷重内の再载荷剛性に相当する。死荷重レベルに応じて载荷時剛性は低下するものの、除荷時剛性は低下していないことがわかる。

4. まとめ

直接基礎模型に列車通過時を想定した動的繰返し荷重を与える载荷実験を実施し以下の4点について確認した。

列車荷重の繰返しによる全体的な荷重変位関係は、静的な単調载荷時の荷重変位関係と比較して、最大荷重が約3割低下するものの、最大荷重を發揮する沈下量は同程度である。

フーチング底面土圧は、単調载荷時は台形分布であるが、列車荷重による繰返し载荷時では三角形分布となる。

列車荷重の繰返しに対する累積沈下量は、全体的な荷重レベルごとに大きくなる。

荷重レベルが大きくなるほど、载荷時剛性は低下するのに対して、除荷時剛性はほとんど変化しない。

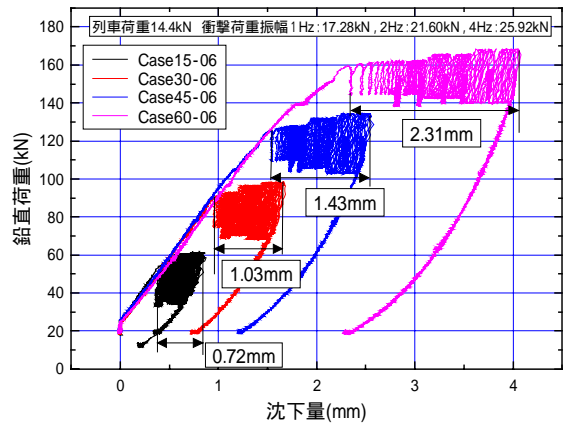


図5 鉛直荷重と沈下量の関係(死荷重の違い)

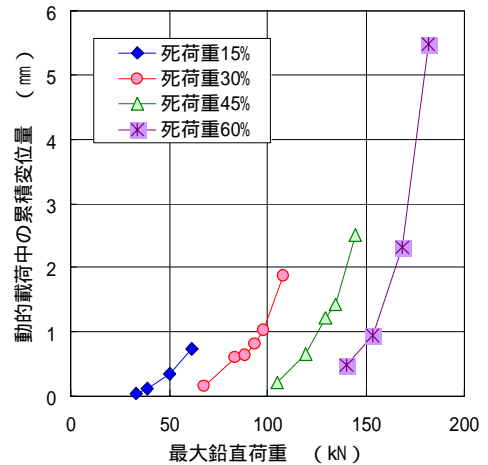


図6 最大鉛直荷重と累積変位量の関係

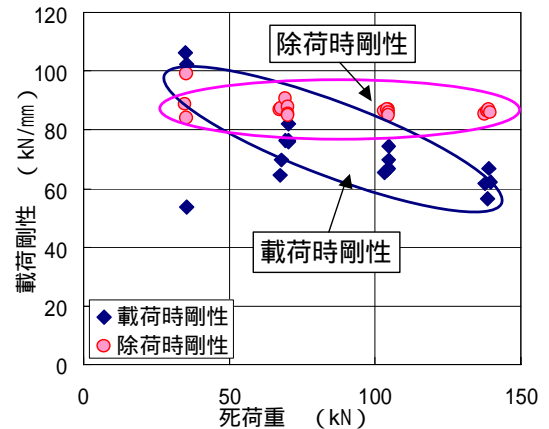


図7 死荷重レベルと载荷剛性の関係

参考文献

- 1) 神田政幸, 西岡英俊, 山畑栄, 高橋一人, 甲斐輝雅: 鉛直力・水平力・モーメントおよび鉛直変位・水平変位・回転角による载荷制御可能な基礎構造物の载荷試験装置の開発, 第40回地盤工学研究発表会(函館), pp.1461-1462, 2005.7.
- 2) 千葉佳敬, 鈴木聡, 太田剛弘, 神田政幸, 西岡英俊: 砂地盤中の直接基礎・シートパイル基礎の鉛直繰返し载荷実験, 土木学会, 第62回年次学術講演会 pp.505-506, 2007.10.