

(183) 模型ケーソン基礎の振動試験（実験結果）

(財) 鉄道総合技術研究所 羽矢 洋
同 上 久楽 博
同 上 棚村史郎
同 上 西村昭彦

1. 目的

鉄道においては構造物の上部工設計に限界状態設計法が導入されており、基礎構造物についてもそれに対応した設計手法を検討する必要がある。筆者らは平成2～3年度において、模型ケーソン基礎に対し弾性域から大変位領域までの静的繰返し水平載荷試験を実施し、実験結果と解析結果については既に報告した^{1) 2)}。

しかし、地震は動的荷重であり、その結果を設計に適用するにはその動的効果を確認する必要がある。そこで、振動台上に静的な試験と同じ模型を設置して振動実験を行い、動的外力と動的変位の関係、動的支持力性状等に関して検討を行った。ここでは振動試験結果について紹介する。

2. 試験地盤の作成およびその試験結果

2.1 試験地盤

試験地盤は振動台土槽（幅2m×奥行き10m）に砂質土（成田砂）を用い、作製した。輾圧には重さ650kgの振動ローラを使用、3往復の輾圧により、順次地盤を立ち上げた。なお、一層当たりの撒き出し厚さは30cm、仕上がり厚さは25cmとし、試験地盤の厚さは2.5mに作製した。

2.2 試験地盤に対する各種試験

(1) 平板載荷試験

作製した地盤に対して平板載荷試験を2箇所で行った。その結果より地盤の変形係数 E_0 は263kgf/cm²程度であった。また、換算N値では11程度の値となる。

(2) オランダ式2重管コーン貫入試験

試験地盤に対しオランダ式2重管コーン貫入試験を実施した。試験は振動実験の前後で行ったが、深さ方向の強度のばらつきはみられるものの、実験前後における地盤強度の変化はほとんどなかった。なお、換算N値は概ね平板載荷試験結果と同程度となる。

(3) 室内土質試験

室内土質試験の試料は深さ30cmの位置で各試験地盤につき1箇所、深さ方向に2箇所から採取した。サンプリングはシンウォールサンプラーを用い、不攪乱試料として採取した。試験の結果を表1に示す。

表1 室内土質試験結果

試験項目	平均値
細粒分(74 μ m以下)	14.5
最大粒径 mm	2.0
均等係数 U_c	16.2
土粒子の比重 G_s	2.76
含水比 w_n %	20.7
湿潤密度 ρ_t g/cm ³	1.73
間隙比 e	0.93
飽和度 S_r	61.5
粘着力 C kgf/cm ²	0.15
せん断抵抗角 ϕ 度	33.8

3. ケーソン基礎の振動試験

3.1 模型ケーソン基礎概要および試験の種類

ケーソン基礎模型は加振方向と直角をなす抵抗面の幅は60cm、加振方向の側面幅が70cm、の矩形断面を有し、根入れ長120cmとした。本体は加振に伴うケーソンの変形を無視できる剛性を確保するために厚さ20～

30mmの鋼板を用い作製した。ケーソンの前面と背面および底面には2方向ロードセルを取り付けた受圧板を配置し、受圧板に作用する法線方向の地盤反力と接線方向のせん断地盤反力を検出できる構造とした。なお、前、背面は各々10枚の受圧板を、底面には6枚の受圧板を配置している。模型概要を図1に示す。

模型の設置にはケーソン頂部に据えたジャッキによる圧入と、内部の地盤の掘削とを交互に繰り返しながら周辺地盤を乱さないよう所定の深さまで埋設し、その後、底面受圧板を固定配置した。

試験は、上載荷重を変化させ表2に示すような4ケースの振動試験を実施した。

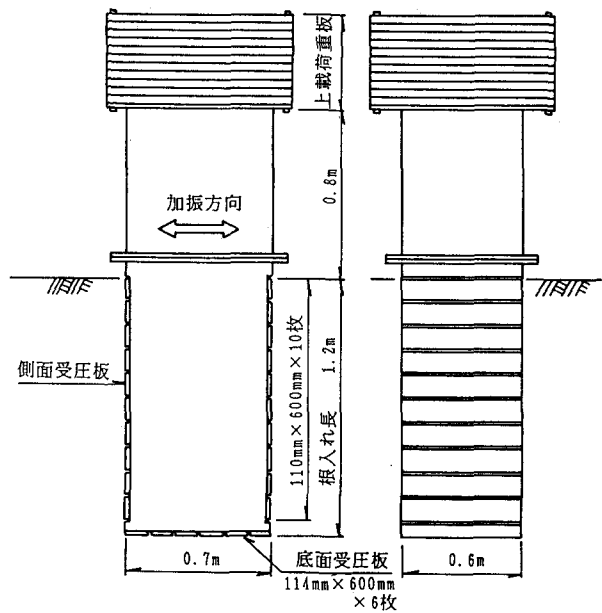


図1 模型ケーソン基礎概要

表2 振動試験の種類

ケース名	基礎の大きさ (cm)	加 振 方 法	模型総重量 (tf)	重心位置 (cm) (地表から)
DS-1	60×70×120	正弦波加振 10, 50, 100, 200, 300gal 上載荷重…一定3段	2.77	35
DS-2			3.73	56
DS-3			4.68	72
DS-4		5.0Hz一定スイープ試験	3.73	56

3.2 加振方法

加振方法は次のとおりとした。

(1) 共振試験

共振試験は振幅が小さい範囲での模型の共振振動数を把握するためのものであり、水平変位量が微小変位量に納まる加速度で加振した。加振様式は正弦波加振で入力加速度は10 gal一定、加振振動数は1 Hz～20Hzで行った。なお、入力加速度の制御は盛土振動台に取り付けた加速度計で行った。

(2) 応答性状確認試験

この試験は振動数一定の状態、加振加速度を増加させていき、そのときの応答を記録した後、次に、先より低い振動数に固定し同様の試験を繰り返す方法をとった。入力加速度段階は次のとおりとした。

加速度段階 : 10, 50, 100, 200, 300 gal

4. 模型ケーソン基礎の振動試験結果

4.1 共振試験結果

共振試験の結果得られた共振曲線の例を図2に示す。なお、この図の上段の図は共振曲線であり、下段の図は位相を表している。この共振曲線は10gal 一定加振で得られたものである。この図から、明瞭な共振点が確認でき、そのときの模型天端での応答倍率は18倍程度となっている。共振曲線から読み取った共振振動

数をみると、この最も重い試験ケース（DS-3）で 9.8Hz となっている。最も軽量の試験ケース（DS-1）では 14.2Hz と理論上、模型総重量が小さくなると固有振動数が上昇する傾向がはっきり現れている。

4.2 応答性状確認試験結果

(1) 入力加速度の大きさと応答値の関係

振動台の加振振動数を一定にし、加速度を次第に増加させたときの応答加速度の変化を図 3 に表す。このケース DS-2 の結果では、初め 11Hz 一定で加振加速度を増加させていき応答性状を確認した後、次に加振振動数を 7Hz 一定で同様に応答性状確認試験を実施し、続いて 5Hz 一定、3Hz 一定と加振振動数を変化させ、各々の振動数での応答性状の確認を行った。実験結果から、入力に対する天端応答の増幅率は入力加速度の増加とともに低下する傾向にあり、天端応答値の一定値への収束傾向がみられることがわかる。このことは他のケースについても同様の傾向としてみられた。このような一定値への収束性状については、前年度実施した模型ケーソン基礎の静的載荷試験の結果においても確認できたことであるが、この理由として地盤性状が非線形性を有していること、基礎の応答が地盤の発揮する抵抗モーメントによって決定されると考えられること等が挙げられる。

(2) 履歴ループ性状

図 4 にケース DS-3 の結果を示す。この図は加振振動数 6.0Hz 一定で応答性状確認試験を行った結果である。図の縦軸は模型天端位置での応答加速度を、横軸には模型天端と地盤面の相対変位を表しており、各々のループは各入力加速度において基礎の振動が定常状態になったときの 1 ループを表している。この図から、変位量が大きくなると応答加速度の増加傾向が低下し、非線形性が現れてくることがわかる。

また、比較のために前年度実施した静的載荷試験結果を図 5 に示す。この図は総重量 4.7tonf の模型に対する試験結果で、水平載荷力とケーソン天端水平変位の関係で表した。両者を比較すると、これらの履歴ループは比較的によく似た形状を呈していることがわかる。

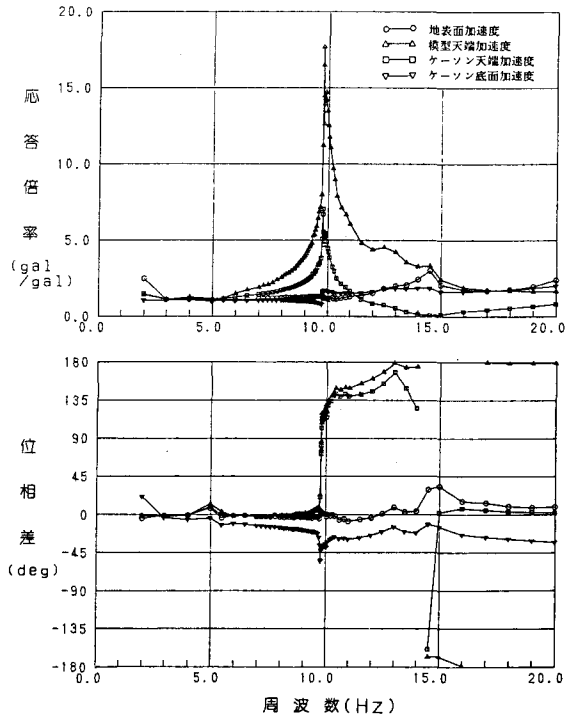


図 2 共振試験結果（DS-3）

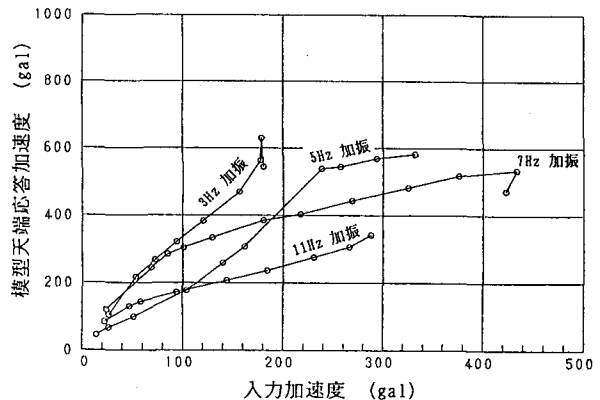


図 3 入力加速度と天端応答加速度の関係（DS-2）

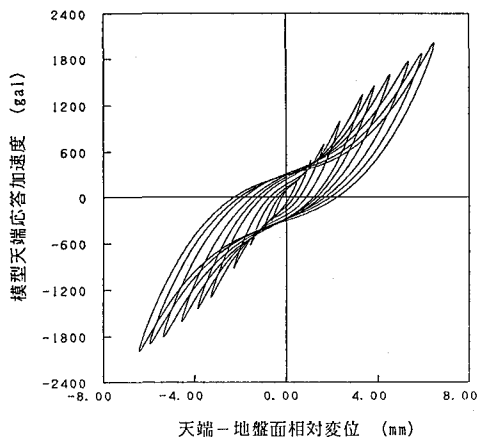


図4 履歴ループ形状 (DS-3)

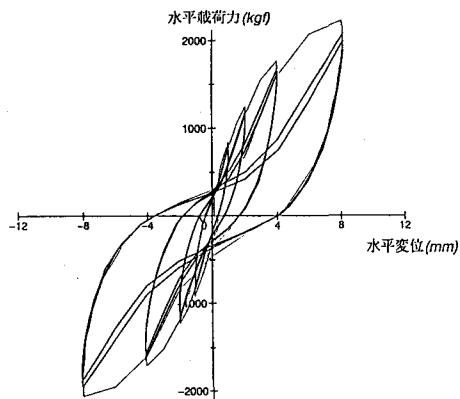


図5 静的繰返し载荷試験結果
(模型総重量 4.70tf)

4.3 振動モード

図6にDS-3の3.0Hz加振における振動モード図を示す。

入力加速度が小さい範囲では模型の振動は地表面振動と同位相に振動するモードとなるが、入力加速度を増加していくのに伴い不動の点が模型基礎下端に現れてくる。その結果、模型基礎下端と上端は逆位相の振動となる。

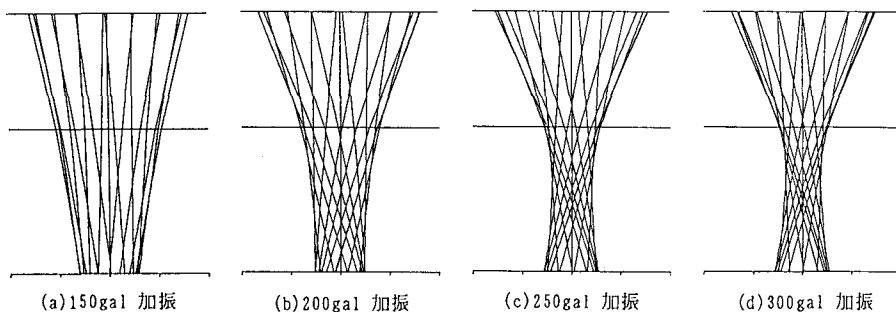


図6 振動モード図 (DS-3: 3.0Hz一定加振)

5. まとめ

以上、ケーソン基礎模型の振動試験の結果から次のようなことがわかった。

- ① 模型の固有振動数は模型総重量によって異なり、理論どおり模型総重量が大きくなると固有振動数が低下する傾向がはっきり現れた。
- ② 天端の加速度応答倍率の増幅率は振動台の加振加速度が大きくなると低下し、応答加速度の値は一定値に近づく傾向を示す。これは、静的载荷試験結果と類似の性質である。
- ③ 履歴ループは静的試験とよく似た傾向にあり、ある変位になると応答加速度の増加傾向が低下し、非線形性が現れてくることがわかった。

参考文献

- 1) 羽矢, 西村, 棚村: 模型ケーソン基礎の大変位水平载荷試験, 第27回土質工学研究発表会, 1992. 6)
- 2) 久楽, 棚村, 羽矢, 西村: 模型ケーソン基礎の大変位水平载荷試験 (その2, 3), 第28回土質工学研究発表会, 1993. 6