

鋼管矢板井筒基礎の動特性に関する実験的研究

AN EXPERIMENTAL STUDY ON DYNAMIC CHARACTERISTICS OF STEEL PIPE PILED WELL FOUNDATIONS

烏野 清* 麻生稔彦** 北川正一*** 堤 一**** 森川孝義*****

By Kiyoshi UNO, Toshihiko ASO, Shoichi KITAGAWA,
Hajime TSUTSUMI, and Takayoshi MORIKAWA

The static mechanical properties of a steel pipe piled well foundation have been studied in the past, with few studies about its dynamic characteristics. Then this study aims to clarify the dynamic characteristics of steel pipe piled well foundations by shaking table test and FEM calculation. A small model test was carried out to confirm the basic characteristics and the modeling method of a foundation and soil by FEM. It became clear through test results and the calculations, that a steel pipe piled well foundation vibrated at its first natural frequency of the ground force. It is also verified that the numerical analysis must use the soil-foundation interaction model.

1. まえがき

鋼管矢板井筒基礎はパイプ状の継手を有する鋼管矢板を現場で円形、矩形、小判形等の任意閉鎖形状に組み合わせて打設した後、継手内にモルタルを注入し、井筒頭部を鉄筋コンクリートで結合することにより一体化を図り、所定の水平抵抗、鉛直支持力が得られるようにした基礎構造物である。この形式は長尺鋼管矢板の製作が容易であり、大水深で軟弱地盤が厚い所でも施工が可能であると共に、仮締切兼用としても用いられることから、近年、長大橋や大型構造物の基礎として数多く施工されている。

鋼管矢板井筒基礎を設計する場合には全体を1本のはりとして仮定し、井筒部の前面および底面には水平ばね、鉛直ばねおよびせん断ばねが介在する、いわゆる弾性床土上の有限長ばりとして取り扱う方法が採用されている^{1)・2)}。この解析モデルは簡単であり取扱いが容易であるが、最近の比較的大きな断面を持つ基礎においては井筒基礎のせん断変形や、内部土の抵抗力等が問題となっている。また、耐震的にはこの解析モデルの頭部に上部工の慣性力を静的に作用させ安定性の検討が行われている。一方、動的応答の検証として用いられているモデルは、井筒全体を数個の質点に離散化した多質点系のモデルであるが、内部土の付加質量とし

-
- * 工博 九州共立大学教授 工学部土木工学科 (〒807 北九州市八幡西区自由ヶ丘1-8)
 - ** 工博 九州大学助手 工学部土木工学科 (〒812 福岡市東区箱崎6-10-1)
 - *** 理修 九州大学助手 工学部土木工学科 (〒812 福岡市東区箱崎6-10-1)
 - **** 工博 九州大学教授 工学部土木工学科 (〒812 福岡市東区箱崎6-10-1)
 - ***** 工修 鋼管杭協会 川崎製鉄(株) (〒100 東京都千代田区内幸町2-2-3)

ての取扱いや、実際に内部土の剛性や慣性力が基礎本体にどの程度影響しているか等、十分に解明されていない点も多い。

鋼管矢板井筒基礎特有の構造特性は継手によって各鋼管矢板が一体化され、一つの構造体を形成していることである。したがって、地震時に大きく変形する場合、継手部分に滑りが生じ、全体系としての井筒の挙動と井筒を形成する個々の鋼管矢板の挙動とが異なり、その力学的挙動はいっそう複雑なものとなる。動的挙動に関してはいくつかの動的試験が実施されているものの^{3)・4)} まだ不明な点も多く、耐震設計を行う上での問題点が十分解決されているとはいえない。

そこで、本研究では鋼管矢板井筒基礎の動特性を把握するために、模型を用いて様々な条件において振動実験を行った。加振方法としては振動台による下部加振と、小型加振機による上部加振の2通りを行った。これらの加振時に内部土が慣性力としてどの程度作用しているかを明らかにするために、模型の内・外壁における土圧を測定した。次に地盤をばねおよびダッシュポットに置換するPENZIENモデルと、模型-地盤系の相互作用を考慮できるFLUSHモデルの2種類により解析を行った。これらの解析結果と実験値との比較からモデル化に関する検討を行った。

2. 実験概要

実験に用いた井筒模型を図-1に示す。地盤-構造系の実験では相似則が重要な問題となる。当初、鋼管模型を用いる予定であったが、模型本体と模型地盤の固有振動数が近くなり実験結果の考察が難しくなることから、固有振動数が模型地盤より小さい塩化ビニールの模型を用いることとした。本実験より解析モデルが構築されれば実際の鋼管矢板井筒基礎の動的応答計算が可能となり、相似則の問題は解決されるものと考えている。

模型は外径60mmの塩化ビニールパイプを矩形状に組み、各パイプを外径18mmの塩化ビニールの継手によって結合している。実際の構造では継手部にモルタルが充填されるが、今回の模型では継手内部にはシリコンシーラントを充填して結合し、模型の変形と共に継手部分がある程度上下方向

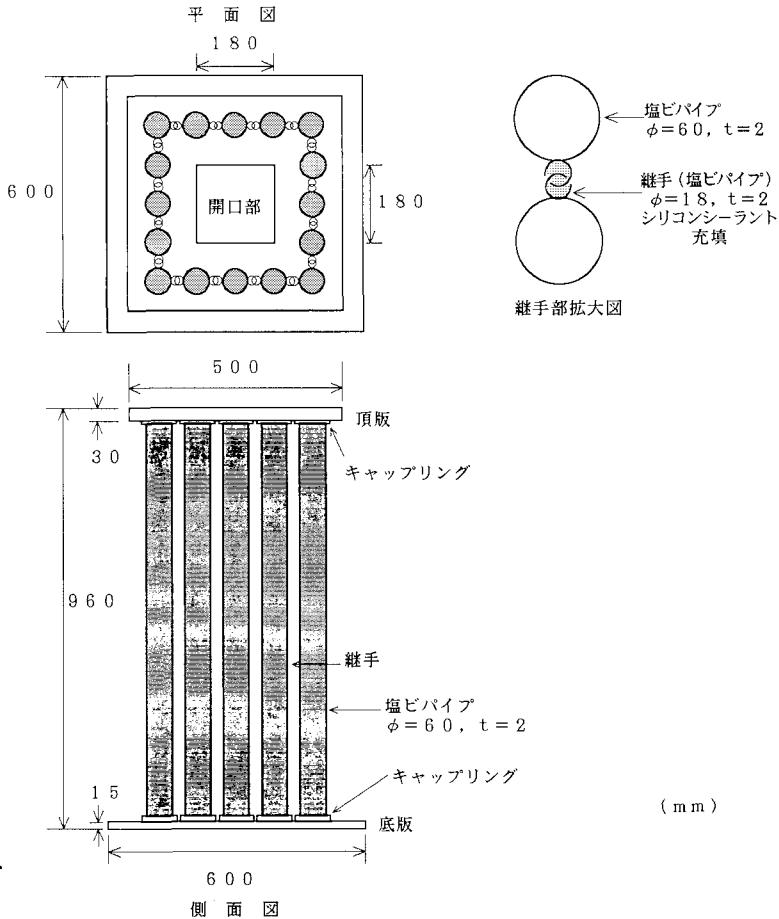


図-1 模型概要

に滑ることができるようにした。頂版および底版は鋼製とし、これらの版とキャップリングはボルトを用いて結合し、キャップリングと杭は接着剤により結合された構造となっている。

今回の実験では模型本体の剛性および動特性を明らかにする実験（CASE I、以下、気中実験とする）と、模型－地盤系の動特性を求める実験（CASE II）の2通りを実施した。両CASEとも模型底版は振動台に固定された状態となっている。また、模型地盤は締め固めの状態で振動特性が異なることから、模型地盤の固有振動数25Hzにおいて入力100galで約5分間締め固めた後に実験を行った。内部土がある場合にも締め固めを行ない、沈下した量だけの砂を補給している。

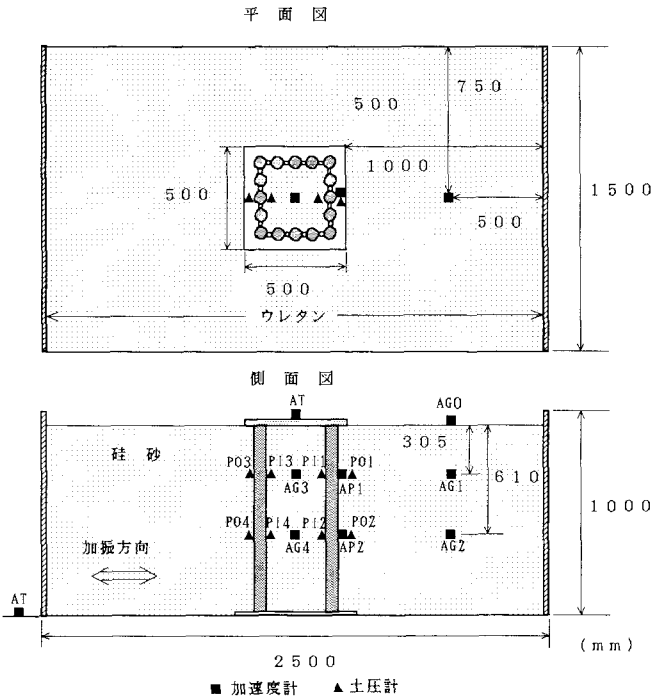
本研究では鋼管井筒全体が地盤中にある場合を想定していることから、模型の頂版以外は全て地中に埋設して実験を行っている。模型内部土の動的挙動を知るために内部土の有る場合と無い場合、加振方法による違いを明確にするため、振動台加振の場合と模型天端を小型加振機で加振する場合について実験を行った。表－1に各組み合わせのケースを示す。図－2は模型を砂箱に設置したCASE II-3における加速度計、土圧

表－1 実験ケース

気 中 実 験	実験 CASE	内部土	加振位置
	CASE I-1	無	下
	CASE I-2	無	上
	CASE I-3	有	下
	CASE I-4	有	上

模 型 － 地 盤 実 験	実験 CASE	内部土	加振位置
	CASE II-1	無	下
	CASE II-2	無	上
	CASE II-3	有	下
	CASE II-4	有	上

下：振動台加振、上：加振機加振



図－2 加速度、土圧測点

計の測定位置を示したものである。砂箱は長さ2.5m、深さ1m、奥行1.5mで、振動方向の壁面には厚さ2cmのウレタン膜を設置し、波動の反射による影響をできるだけ小さくすることにした。また、実験には平均粒径1.0mmの乾燥珪砂を用いた。使用した土圧計（東京測器製、CLS-1KAS、最大容量500gf/cm²）は、珪砂の粒径および模型寸法が小さいことから受圧面積1cm²のものを用いた。また、加速度はひずみ式加速度計（共和電業製、AS-2C、最大容量2 G）を用いて測定した。入力加速度計（AB）は加速度が小さいことから、サーボ加速度計（明石製作所製、V401β、最大容量3G）を使用した。

3. 実験結果

3.1 共振曲線

図-3にCASE I-1、CASE I-2における模型天端（測点AT）の応答加速度の共振曲線を示す。模型本体の振動特性を示すCASE I-1では入力加速度が大きくなるにつれて、模型の固有振動数が低下している。この時の振動モードは入力加速度の大きさに関係なく、ほとんど同じであったことから、この固有振動数の低下は模型の継手効率の変化に起因するものと考えられる。これは振動振幅の増大により、模型継手に充填したシリコンシーラントの変形量も大きくなり、この材料の非線形性が現れたものと考えられる。模型天端を小型加振機で加振したCASE I-2における共振曲線を見ると、CASE I-1に比べて応答加速度が大きいにもかかわらず

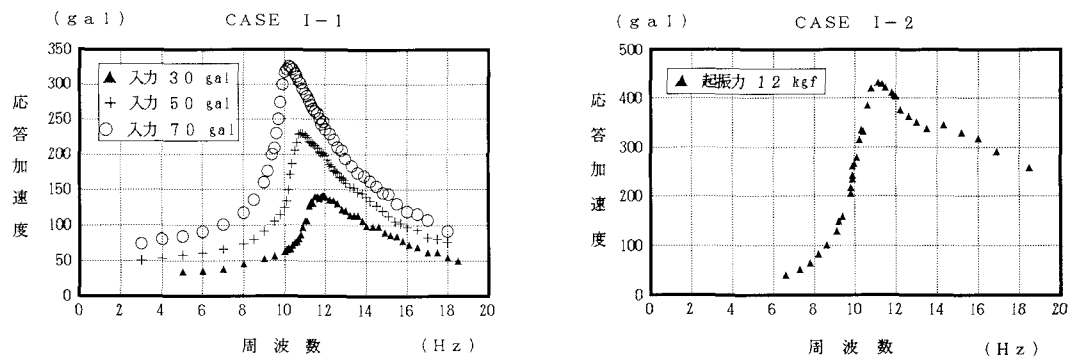


図-3 CASE I-1、CASE I-2 共振曲線

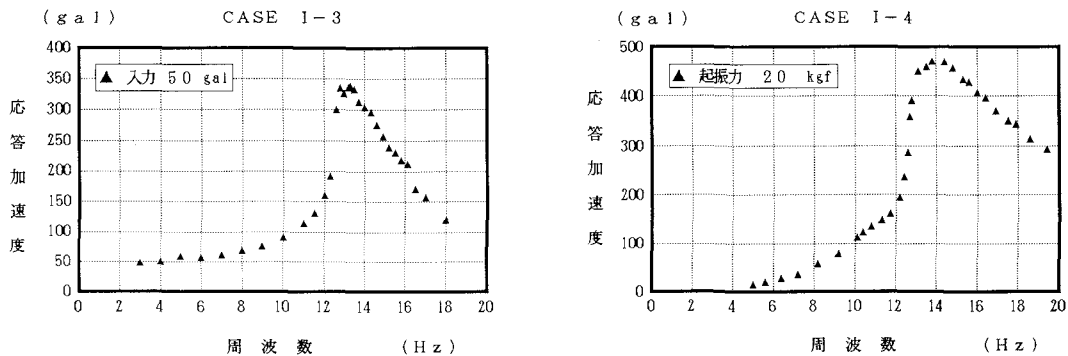


図-4 CASE I-3、CASE I-4 共振曲線

固有振動数は高くなっている。また、この固有振動数より大きい振動数領域において応答加速度の低下する割合がCASE I-1に比べて小さい。しかし、共振点における変位モードは両CASEともほぼ同じであった。

図-4はCASE I-3およびCASE I-4における模型天端の共振曲線である。ここで、CASE I-4においては加振機と同じ重量だけ頂版重量を減らすことにより、CASE I-3と模型頭部の重量が等しくなるようにしている。これらのCASEでは内部土により振動質量が増加したにも関わらず、固有振動数が図-3に比べて高くなっている。そこで、模型内部に土がある場合の変位モードを無い場合と比較してみると、井筒の深さ方向の変形量が小さくなっており、振動モードが多少変化していた。内部土による振動質量の増加は固有振動数を低下させる要因であるのに対し、逆に固有振動数が高くなるということは、模型の剛性、つまり継手効率が大きくなったと考えられる。継手部分の充填材として比較的変形し易いシリコンシーラントを使用したため、内部土の土圧によって模型井筒部が広がり、継手部のかみ合わせが強くなっているものと予想される。

CASE II-1、CASE II-2における共振曲線を図-5に示す。模型内部に土の無い状態で振動台を加振したCASE II-1では、入力加速度の大きさによって模型地盤の非線形性が現れ、固有振動数が多少低下している。しかし、模型の卓越している振動数は模型地盤の固有振動数と一致している。このことより模型が地盤の固有振動数によって強制振動されていると判断できる。ここで、模型天端の応答加速度が地盤表層よりかなり大きくなっているのは、重量の大きい鋼製頂板が地表上に出ているためと思われる。一方、上部を加振したCASE II-2においては先のCASE II-1と全く異なった共振曲線となっており、模型本体の共振点が32Hzおよび

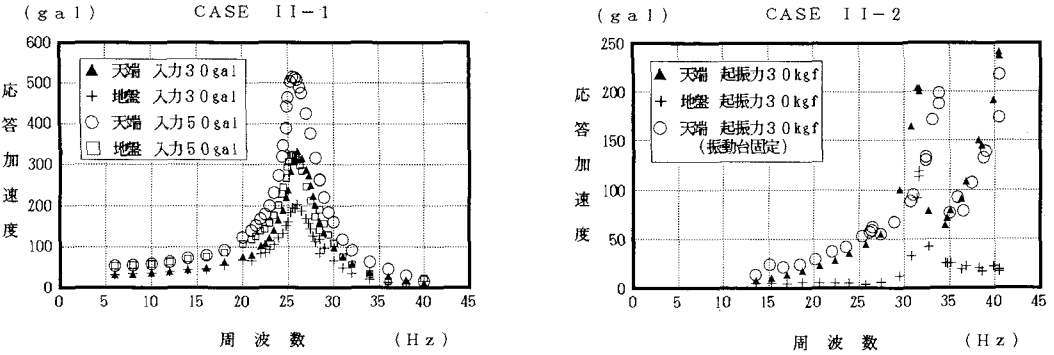


図-5 CASE II-1、CASE II-2 共振曲線

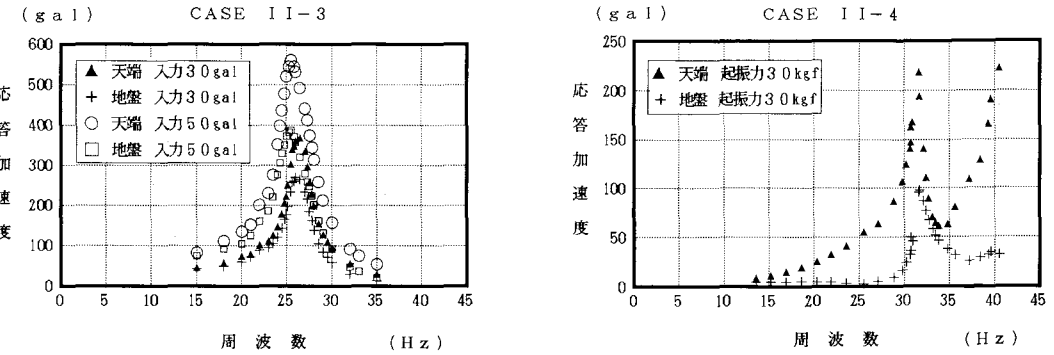


図-6 CASE II-3、CASE II-4 共振曲線

40Hzより少し高いところに現れている。本実験では起振機の性能上40Hz以上の加振はできなかったが、他の条件が同一であることから、共振曲線の形状の違いは加振方法の違いによって生じたものと考えることができる。この内、32Hz付近のピークは振動台テーブルの固有振動数であり、振動台をH型鋼の柱に固定した場合にこのピークが高い周波数に移ること、および振動台テーブルと模型地盤とが全く同じ応答をしていることから確認された。したがって、CASE 11-2における模型の固有振動数は40Hzより少し高いところにあるものと予想され、CASE 11-1の場合と大きく異なる。そこで、模型本体に対する減衰自由振動試験を実施したが、減衰が大きく明確な波形が得られなかったため、固有振動数の確認はできなかった。また、変位モードもCASE 11-1とCASE 11-2では大きく異なっている。CASE 11-1では地盤の固有振動数で模型が強制振動させられることから模型全体が模型地盤と同じ振動をしており、深さ方向の変形もかなり生じている。一方、CASE 11-4では模型の振動に対して周囲の模型地盤が強く抵抗するため、拘束圧の低い上部のみが振動するモードとなっている。以上の結果より模型－地盤系を振動台で加振した場合と模型本体を加振した場合とは、全く振動特性が異なっていることがわかる。つまり、振動台を加振した場合には、模型は地盤の固有振動数によって強制振動させられているのに対し、起振機による加振の場合には、模型の剛性と地盤ばねの関係で決まる固有振動数で振動していると考えられる。

模型内部に砂を詰めたCASE 11-3、CASE 11-4では図－6の共振曲線に示すように、CASE 11-1、CASE 11-2と同様の傾向がみられた。

3.2 井筒に作用する土圧

CASE 11-1、CASE 11-3において模型の内・外壁に作用する土圧の検討を行った。

CASE 11-3において、内部土の深さ方向で求められた応答加速度より計算した最大慣性力と、井筒内壁に作用する最大土圧とを比較すると表－2となる。ここで、慣性力は次式により求めた。

$$P_a = \frac{w}{g} L \alpha \quad (1)$$

ここで、 P_a ：慣性力 (gf/cm²)、 w ：単位体積重量 (1.55gf/cm³)、 g ：重力加速度、
 L ：模型内部幅 (28.8cm)、 α ：模型地盤加速度

表－2 慣性力と土圧の比較

位置	入力30gal				入力50gal			
	内部土 加速度	慣性力 A	土 圧 B	B/A	内部土 加速度	慣性力 A	土 圧 B	B/A
P I 1	271	12.36	4.73	0.38	386	17.60	9.12	0.52
P I 2	170	7.75	1.28	0.17	240	10.94	2.70	0.25

(gf/cm²)

表－2より、模型内部土慣性力の約50％以内が内壁に土圧として作用していると考えられる。この割合は模型の下部にいくほど小さくなっている。

図－7に模型内部土の絶対加速度と模型内壁に作用する土圧の応答時刻歴の例を示す。この図より模型内部土の加速度と土圧は位相が異なり、この位相差により内部土の慣性力が完全には模型に作用していないと考えられる。一方、CASE 1-3においては加速度と土圧の位相差はなく、内壁に作用する土圧はほぼ慣性力に等しくなっており、模型を地盤に埋め込んだ場合にのみこの位相差が生じていた。

図－8はCASE 11-1とCASE 11-3の場合の土圧分布を示したものである。図中の最大加速度と土圧の最大値の発生時刻は異なっている。各CASE毎に応答加速度と土圧の値が異なるため、この図では地表面における応答加速度が同一となるように換算している。図－8より模型内部土による土圧によって模型外壁の土圧が増加していることがわかり、本実験ではCASE 11-3の外壁に作用する土圧はおおむねCASE 11-1の外壁土圧と

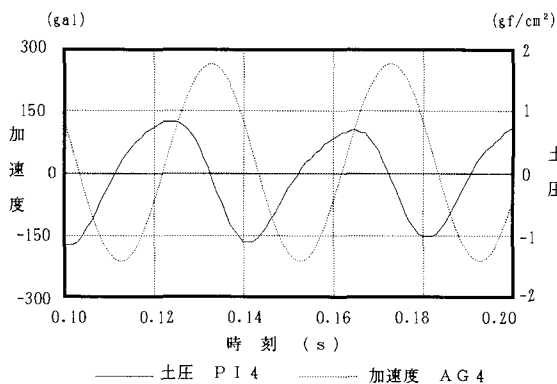


図-7 土圧と加速度時刻歴

CASE II-3の内壁土圧の和となっている。しかし、これらは模型と模型地盤との剛性比や、模型寸法等によっても異なるものと考えられ、今後の実験による検討が必要であろう。

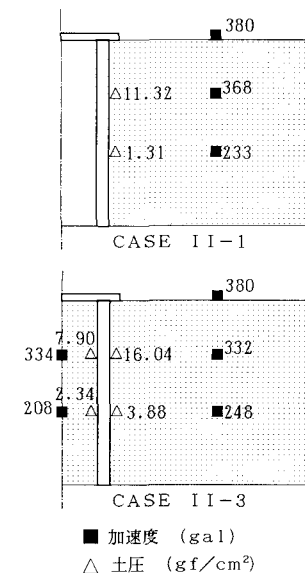


図-8 土圧、加速度分布

4. 解析モデル

従来、鋼管矢板井筒基礎の耐震設計において参考とされる動的解析では、多質点系の解析モデルが用いられている。この場合、外部土は道路橋示方書や鋼管矢板基礎設計指針などに従い、地盤ばねとして取り扱われている。本研究では鋼管矢板井筒基礎の動的な挙動を解析する場合に、このばね-質点系のモデルが適切か否かについて検討するため、基礎-地盤系の相互作用が解析できるモデルを作成し、実験結果との比較・検討を行うことにした。

井筒基礎を図-9に示すようにモデル化し、モデル相互の比較・検討を行った。

MODEL-1 模型本体を数個の質点に置き換えた多質点系のモデルであり、模型本体を断面剛性および断面積の等価な1本のはりに置換し、頂部の節点に頂版の質量を与えている。本実験で模型がせん断振動に近いことが明かとなったが、従来の解析モデルとの比較のために本モデルを用いることとした。

MODEL-2 MODEL-1と同様に多質点系モデルであるが、井筒をラーメンと同様に考え、頂板の断面諸元を有する要素と井筒部断面剛性の1/2の断面剛性を持つ井筒部からなるモデルである。

MODEL-3 模型と地盤の相互作用が考慮できるFLUSHのモデルであり、模型本体の解析モデルはMODEL-2と同様である。

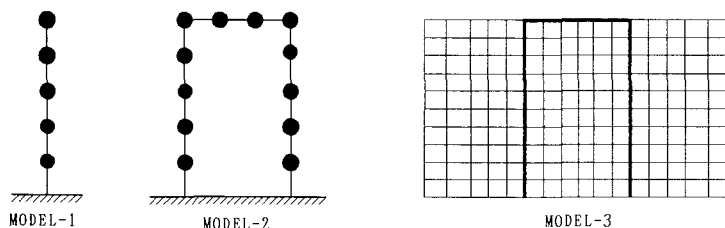


図-9 解析モデル

なお、各モデルの曲げ剛性は鋼管矢板基礎設計指針に示されている次式より定めた。

$$E_s I_v = E_s \left(\sum_{i=1}^n I_{o,i} + \mu \sum_{i=1}^n A_{o,i} y_i^2 \right) \quad (2)$$

ここで、 E_s ：鋼管矢板の弾性係数、 I_v ：鋼管矢板基礎の井筒部の断面 2 次モーメント、
 $I_{o,i}$ ： i 番目の鋼管矢板の断面 2 次モーメント、 $A_{o,i}$ ： i 番目の鋼管矢板の純断面積、
 y_i ： i 番目の鋼管矢板の図心から井筒部の中立軸までの距離、
 n ：鋼管矢板井筒基礎を構成する鋼管矢板の本数、 μ ：継手効率

5. 解析結果

5.1 気中実験

模型製作の途中段階で杭間に継手を挿入しない状態（継手効率 $\mu=0$ ）で、模型の減衰自由振動実験を行った結果、模型の固有振動数は 7.25Hz であった。そこで、MODEL-1～MODEL-3 について $\mu=0$ および $\mu=0.5$ とした場合の各モデルの固有振動数を求めると表-3 となる。MODEL-2 および MODEL-3 は実験値にほぼ対応しているが、MODEL-1 は実験に比べかなり小さな値を示している。MODEL-1 では 1 本のはりに置換することから、曲げ振動系となり固有振動数が低下しているものと考えられる。実験に用いた模型は高さが低く、曲げ変形の生じにくい構造であることから、MODEL-2、MODEL-3 の方が実験値をよく捉えていると考えられる。したがって、基礎の高さ H 、幅を B とした時 H/B が大きくなるほど、MODEL-2 の振動数は MODEL-1 の値に近づくものと予想される。表-3 中の MODEL-3 は地盤の無い状態、つまり MODEL-2 のみを FLUSH で解析したことを示している。この場合、MODEL-2 に比べて多少固有振動数が低くなる傾向が見られる。

次に、CASE 1-1 および CASE 1-3 の実験から得られた模型の固有振動数に一致する、各モデルの継手効率を表-4 に示す。CASE 1-1 では入力加速度が大きくなるにつれて振動振幅が増大し、その結果継手効率が低下して固有振動数が小さくなることを図-3 において示した。表中の CASE 1-1 はこの継手効率がどの程度低下したかを検討したものである。MODEL-2 および MODEL-3 とも入力加速度が 30gal から 70gal になると、継手効率が約 65% 程度に低下している。入力加速度 50gal でモデル相互の比較を行うと MODEL-1 は MODEL-2 に比べて継手効率が 4 倍程度大きい。この継手効率の違いは模型剛性を 3.5 倍に高めたことに相当している。また、FLUSH モデルである MODEL-3 の継手効率は多質点モデル MODEL-2 に比べて約 1.4 倍程度となっている。

表-3 模型本体の固有振動数

継手効率 μ	固有振動数 (Hz)			
	実験値	MODEL-1	MODEL-2	MODEL-3
0	7.25	3.4	6.99	6.35
0.5	—	11.8	18.01	15.14

表-4 継手効率

	入力 (gal)	実験値 (Hz)	継手効率 μ		
			MODEL-1	MODEL-2	MODEL-3
CASE1-1	30	11.9	—	0.135	0.200
	50	10.9	0.420	0.106	0.150
	70	10.2	—	0.087	0.130
CASE1-3	50	13.3	1.000	0.460	0.260

内部土がある場合の CASE 1-3 では、MODEL-1 および MODEL-2 に対して内部土の全質量を付加質量として各節点に均等に付加している。MODEL-3 では FLUSH におけるソリッド要素として内部土が考慮されることから、付加質量は付加していない。

表-4 の CASE 1-3 においては、3 モデルともに継手効率を大きくしなければ実験値と対応しない結果となった。特に MODEL-1 においては継手効率を $\mu=1.0$ まで高めないと実験値と一致しない。MODEL-3 で求めた継手

効率 $\mu=0.26$ を用いてMODEL-2の付加質量を計算したところ、付加質量として全内部土質量の30%程度を用いると実験値と一致した。MODEL-3の解析法は模型と内部土の相互作用を考慮していることから、いま、模型剛性が正しいとすれば多質点系モデルでの解析を行う場合、模型内部土質量の3割程度を付加質量として考慮すればよいものと思われる。しかし、実際の鋼管矢板井筒基礎においては井筒部の直径、高さでこの値も異なってくることも予想され、今後、模型の寸法効果等に関する検討が必要であろう。

5.2 基礎－地盤系

実際の地震は基礎地盤から構造物を振動させることから、これに対応する模型実験のCASE II-1、CASE II-3に対して、FLUSHの擬似3次元モデルによる井筒基礎－地盤系の振動解析を行った。模型および模型地盤の応答特性は、モデルの基盤にホワイトノイズを入力した時のそれぞれのフーリエスペクトルから求めた。解析において継手効率は表－4に示す0.260を用いている。実験に先立って模型地盤のせん断弾性波速度を板たたき法で求めたところ、 $V_s=90\text{m/s}$ であった。しかし、実験では入力加速度の大きさにより模型地盤の固有振動数が変化していたことから、地盤の非線形性が現れていたものと考えられる。そこで、模型地盤のせん断弾性係数がひずみに依存するものとして解析した結果、初期せん断弾性係数を $V_s=116\text{m/s}$ で計算した場合に実験値とはほぼ一致した。表－5にこの結果を示す。表よりFLUSHの擬似3次元モデルで解析すれば模型が地盤の固有振動数で強制振動されている現象を捉えることができる。次に、実際の鋼管矢板井筒基礎に比べて今回の実験に使用した模型剛性は地盤の剛性に対して小さいと考えられることから、模型剛性を100倍とし同様の解析を行ったところ、表－5と同様の結果が得られた。したがって、かなり大きな剛性を持つ井筒基礎でも地盤により強制振動させられることが予想される。

5.3 模型－地盤ばね系

一般に鋼管矢板井筒基礎の動特性を検証する場合、MODEL-1に地盤ばねを付加したモデル系で解析することが多い。この場合には地盤をばねとしてのみ評価することから、今回の模型実験の中で模型天端を小型加振機で加振したCASE II-2、CASE II-4に対応すると考えられる。そこで鋼管矢板基礎設計指針より井筒外壁に作用する地盤ばねを求め、MODEL-1およびMODEL-2の各質点に付加して解析した。

模型地盤中の模型は外部砂の拘束力により剛性が高くなっていると考えられるが、模型地盤中の模型剛性がどの程度かは判断ができない。そこで、模型の継手効率は表－4の値を用い、せん断弾性波速度 V_s を100m/sとした時の解析結果を表－6に示す。模型が模型地盤中で振動する場合、内部土および外部土も模型

表－5 模型－地盤系における固有振動数

砂地盤 弾性波速度 V_s (m/s)	解 析	入 力 (gal)	解 析 値 (Hz)				実 験 値 (Hz)			
			CASE II-1		CASE II-3		CASE II-1		CASE II-3	
			模型	地盤	模型	地盤	模型	地盤	模型	地盤
116	非線形	30	25.9	25.9	—	—	25.5	25.5	25.0	25.0
116	非線形	50	24.9	24.9	24.9	24.9	26.0	26.0	26.0	26.0

表－6 模型－地盤ばね系における固有振動数

	内部土 評価率	継手効率		外部土付加せず		全内部土と同量の* 外部土を付加	
		MODEL-1	MODEL-2	MODEL-1	MODEL-2	MODEL-1	MODEL-2
CASE II-2	0%	0.420	0.106	56.95	59.26	43.71	47.47
CASE II-4	30%	1.000	0.460	59.69	58.54	51.21	48.07
	100%	1.000	0.460	53.42	50.64	46.86	43.17

* : CASE II-2、CASE II-4ともに同量 (Hz)

と一体となって振動する。そのため模型と共に振動する地盤の質量を付加質量として考慮する必要がある。内部土が存在するCASE II-4では、内部土質量の30%および100%が付加されるものとして、それぞれ計算した。また、外部土の付加質量としては全く考慮しない場合と、全内部土と同質量を考慮する場合について解析を行った。

表-6のCASE II-2において各モデルの固有振動数を比較してみると、MODEL-1に比べてMODEL-2の値は付加質量の有無に関わらず大きくなっている。一方、CASE II-4では逆の傾向が現れている。これは模型の固有振動数におよぼす付加質量と継手効率の影響が変位モードの異なるMODEL-1とMODEL-2とでは違っているためと考えられる。表-6によれば内部土および同量の外部土を付加質量として考慮すれば、かなり実験値に近い固有振動数が得られた。本実験では模型頂板重量が150kgfと大きく、付加質量が固有振動数におよぼす影響は断面の大きい実際の鋼管矢板井筒基礎に比べて小さいものと予想され、固有振動数の一致より付加質量を求めることは難しいと考えられる。

この多質点系解析モデルでは、実験で得られたCASE II-1とCASE II-3の現象を把握することができなかった。しかし、実際の井筒基礎では杭長が長く断面が大きいこと、地盤と基礎剛性が異なること等から、実際の鋼管矢板井筒基礎における地震時の挙動を実測し、解析的な検討も含めて今後研究していく必要がある。

6. 結論

鋼管矢板井筒基礎の動的模型実験および解析結果より以下に示す結論が得られた。

- (1) 多質点系モデルにおける内部土の付加質量をFLUSHモデルの解析結果より検討したところ、内部土の30%程度用いると実験値に一致した。したがって、多質点モデルで解析を行う場合、内部土の慣性力をすべて考慮する必要はないと思われるが、実際には井筒の径、高さ等の形状で異なると推測されるので、今後の検討が必要である。
- (2) 模型-地盤系実験において、振動台加振では模型内部土の有無に関わらず、模型は模型地盤の固有振動数によって強制振動されている。一方、起振機で模型天端を加振した場合、模型の固有振動数は40Hzより少し高いところに現れ、振動台で加振したときの共振曲線とは全く異なっていた。これより鋼管矢板井筒基礎の地震応答特性を検討する場合には、地盤の固有振動数による影響を明らかにする必要がある。
- (3) 実験と解析結果より、模型-地盤モデルでのFLUSHの解析は模型-地盤系実験における下部加振の現象をよく捉えており、模型-地盤ばねモデルは上部加振実験の結果にはほぼ対応していた。実際の地震応答に対応する実験条件は模型-地盤実験の下部加振であることから、鋼管矢板井筒基礎の地震応答解析では模型-地盤系モデルで解析するほうが望ましい。

最後に本論文は鋼管杭協会と九州大学との共同研究をまとめたものであることを付記する。

<参考文献>

- 1) 矢板式基礎研究委員会、矢板式基礎の設計と施工指針、1972
- 2) 日本道路協会、鋼管矢板基礎設計指針・同解説、1984
- 3) 蛭川 他、現場実験からみた鋼管矢板井筒基礎の変形特性-小見川橋P₂橋脚の静的・動的載荷試験-、川崎製鉄技報 Vol.4 No.4、1972
- 4) 手塚 他、鋼管矢板井筒基礎の水平載荷試験-首都高速 旧江戸川橋梁-(上)(下)、橋梁と基礎、1978

(1992年9月21日受付)