

鋼管矢板井筒を用いた橋脚の載荷試験

齋藤 二郎
芳賀 孝成
上野 孝之

概 要

重量構造物の基礎として、井筒基礎、ケーソン基礎のかわりに鋼管矢板井筒基礎が用いられるようになってきた。この基礎形式で、支持力および地震時の水平抵抗がケーソン基礎に劣らないことが多方面で模型実験によって確かめられている。しかし、この鋼管矢板井筒基礎の有効性を確かめるには、最終的には実物の基礎における支持力機構を明らかにすることが重要である。そこで、本報文は、橋梁下部構造として、鋼管矢板井筒基礎工法によって施工された二つの橋脚の、静的載荷試験、ならびに振動試験の方法および試験結果について述べ、さらに試験方法と、試験によって明らかにされた鋼管矢板井筒基礎の有効性と問題点について述べたものである。結果として、多少の問題はあるが、鋼管矢板井筒基礎はケーソン等鉄筋コンクリート造の基礎に比べて剛性、振動特性において劣るものではないことが確かめられた。

1. まえがき

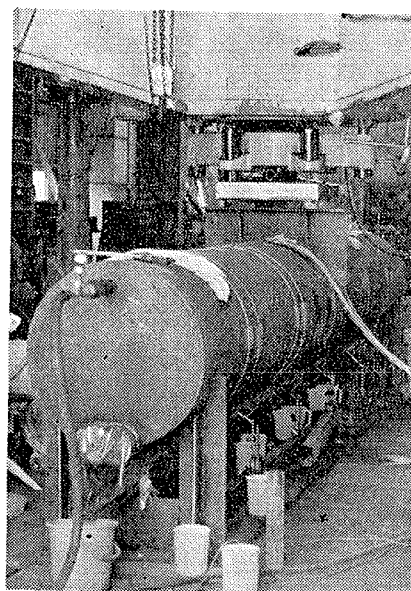
クイ基礎などでは鉛直支持力や地震時の水平抵抗が不足する場合、あるいは、軟弱地盤とか水上工事において、クイ打ち、開削等に不安のある場合にはケーソン基礎が適している。しかし、この基礎は、施工法においていくつかの問題点を持っている。すなわち、人力掘削による施工能率の低下、周辺地盤および既設構造物に与える沈下の影響、ガス中毒、潜函病、その他の事故、深さに対する施工限界等が挙げられる。以上の問題の解決策の1つとして、基礎の施工の機械化が要求されており、この要求に応じたものとして近年になって鋼管矢板井筒工法が考えられ、橋梁基礎として採用されるようになった。

ここで、鋼管矢板井筒基礎というのは、継手を持った鋼管矢板を連続的に円形、長方形、あるいは小判形等の閉鎖状に打ち込んだものであり、継手によって全部の鋼管が一体となって井筒の機能が発揮されるようにしたものである。また必要に応じて井筒内部の土を掘削して補強を施し、基礎の剛性を高めるなりさらに鋼管矢板を仮締切に兼用するような工法も考えられる。

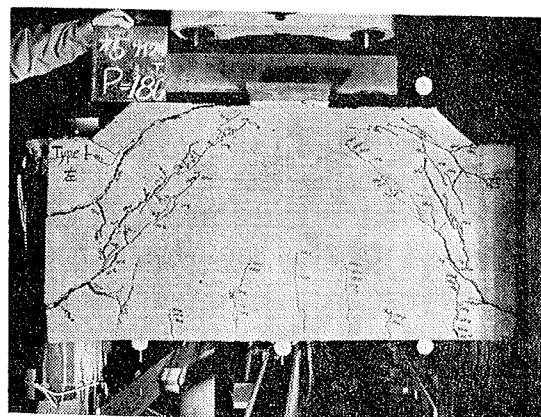
この鋼管矢板井筒基礎の実用化に際しては次のような問題点を解決する必要がある。すなわち

- ・井筒基礎の剛性、振動性状
- ・矢板間の継手効率
- ・フーチングと矢板の接合方法
- ・遮水効果
- ・鋼管矢板と填充コンクリートとの一体性

これらの問題点を解決するために、これまで種々の模型実験、例えば水平抵抗についての静的ならびに振



写真一 水密性実験



写真二 フーチングと矢板接合部の強度試験

動実験、遮水効果を検討するための水密性実験（写真

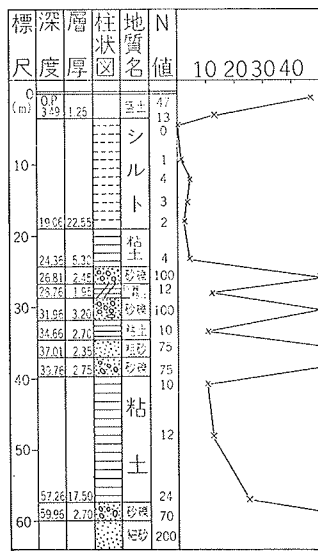
一1) フーチングと矢板接合部の強度試験(写真一2)等が行われてきた。このような基礎実験から、鋼管矢板井筒基礎の有効性がある程度認められ、この基礎工法による橋脚基礎が施行されるに到った。そこで実際の鋼管矢板井筒基礎の剛性、振動性状を把握するために、これまで2ヶ所で静的ならびに動的な現場載荷試験が実施されてきたのでその試験方法と試験結果について述べる。

2. 現場載荷試験例 その1

2.1. 概要

載荷試験の実施された橋脚は、大阪市の某埋立地に施工されたものである。土質条件は図一1の土質柱状図に示すように、

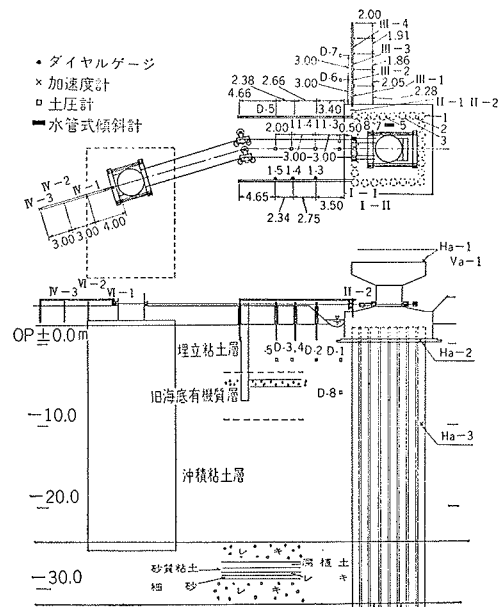
上部から埋立土、沖積粘土層、上部洪積砂層、洪積粘土層および下部洪積砂層の5層に大別される。ここで施工された鋼管矢板井筒基礎は、直径914mmの鋼管28本を矩形に連続して下部洪積砂層まで打設したものである。この橋脚において、静的水平載荷試験ならびに自由振動試験を行なった。写真一3に載荷試験の全景を示す。



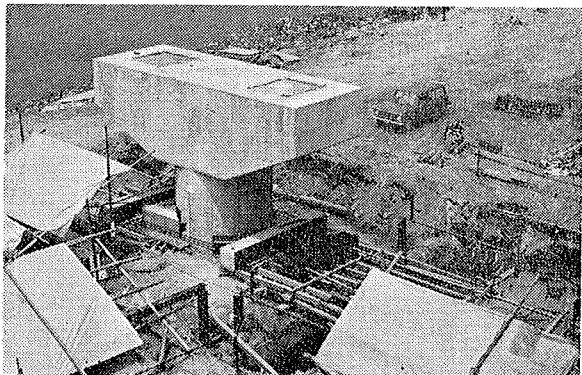
図一1 土質柱状図

ッキ2台を使用し、既設の道路橋の橋脚をアンカーとして反力を取り、ストランドケーブルによって試験橋脚に加力した。

2.2.2. 計測方法 鋼管矢板井筒天端および周辺地盤の表面変位はダイヤルゲージによって測定した。測定要領は、L形鋼を数本地盤に打込み、これにI形鋼の梁を渡して一端を固定し、中間および他端は自由とし、L形鋼のクイとI形鋼の梁との相対変位量を測定するものである。また水管式傾斜計により、フーチング天端の回転角を測定した。橋脚が変位することにより、地盤内の土圧が変化することが考えられるので、土中土圧計により井筒周辺地盤内の土圧分布を測定した。井筒を構成している各鋼管矢板のヒズミ分布はワイヤストレンゲージ、およびロゼットゲージで測定した。なお、計測位置は図一2に示している。



図一2 計測位置図



写真一3 載荷試験全景

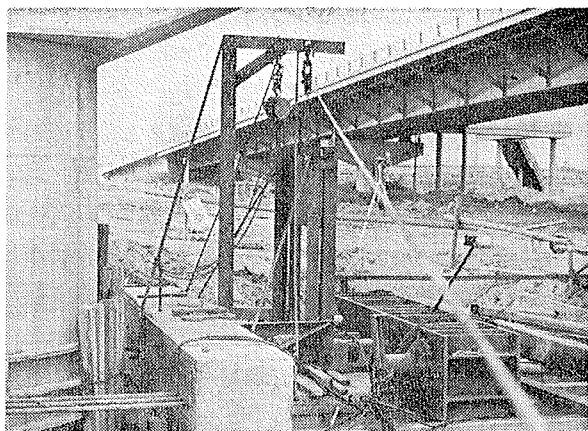
2.2. 静的載荷試験

2.2.1. 載荷方法 載荷は、一方向多サイクル緩速載荷および急速載荷とした。また載荷サイクルは3回とし、最大荷重は300 tとした。加力は200 tの油圧ジャ

2.3. 振動試験

2.3.1. 起振方法 静的水平載荷試験の場合と同様にして所定の荷重まで加力した後、ストランドケーブルと加力装置の接続部を瞬間的に切断して橋脚に自由振動を与えた。切断装置は写真一4に示すようなもので、接続部に鋳鉄製の治具を取付け、鉄板をガイドに沿って落下させて治具を切断するものである。切断時の載荷重は40, 50, 60, 80, 100 tとした。

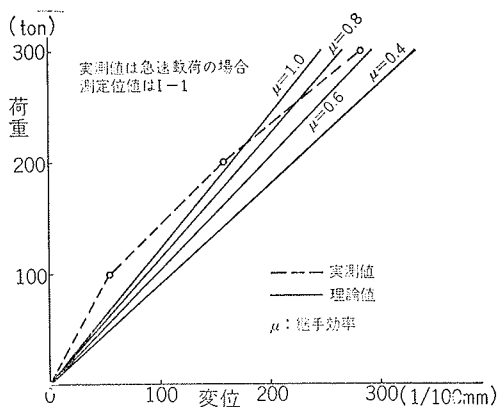
2.3.2. 計測方法 振動時の鋼管のヒズミはオシロレコーダーで記録した。また加速度計により、垂直および水平方向の加速度をデータレコーダーに集録した。最大荷重時の周辺地盤およびフーチング天端の変位量の測定は、静的載荷試験の場合と同様である。



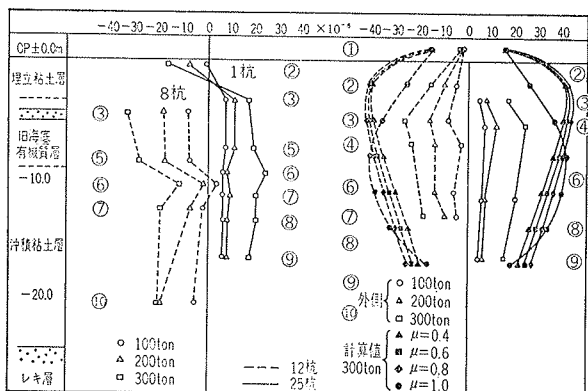
写真—4 切断装置

2.4. 試験結果と考察

図—3 はフーチング天端変位と荷重の関係について実測値と理論値を比較したものである。理論値は、無限長梁に対する式を用いて計算した。この図から、鋼管矢板井筒の剛性は、かなり高く、剛体に近いことが考えられる。また変位量が大きくなると、実測値は理論値における継手効率 μ の小さい値に近づき剛性が低下しているように見えるが、これは変位が大きくなると実際の横方向地盤反力係数が小さくなるためと思われる。図—4 は鋼管矢板のヒズミ分布を示したものであ

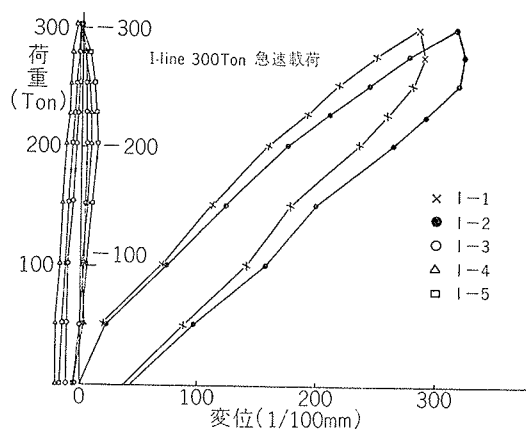


図—3 荷重フーチング天端変位曲線

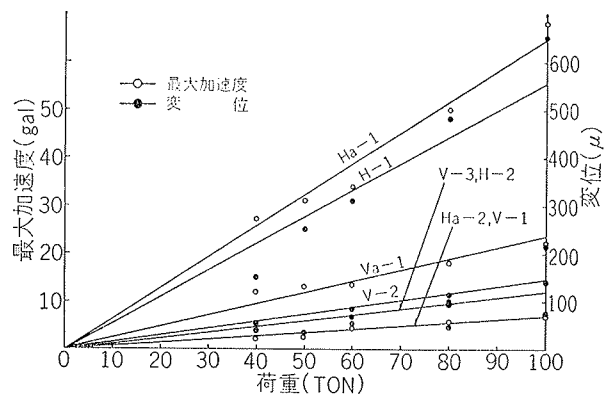


図—4 鋼管矢板ヒズミ分布

るが、これも理論値に比べて実測値が小さく、鋼管矢板井筒の剛性が高いことを示している。また鋼管矢板天端近くでヒズミが零近くになっている。これはフーチングと鋼管矢板との接合部が塑性ヒンジ状態になっているためと思われる。フーチング天端の傾斜角は300ton、載荷時で約 $1'40''$ であった。表—1 は、振動試験の各測点における水平および鉛直方向の加速度、変位をまとめたものであるが、鋼管矢板天端とフーチング天端で、変位は等しいが、加速度および周期が異っている。このことから、接合部が弱点となって、両者が別々の動きをしているのではないかということが考えられる。



図—5 地盤および橋脚の荷重—変位履歴曲線



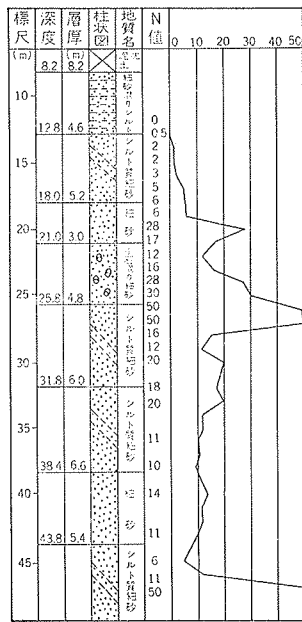
図—6 橋脚加速度測定一覧表

3. 現場載荷試験例 その2

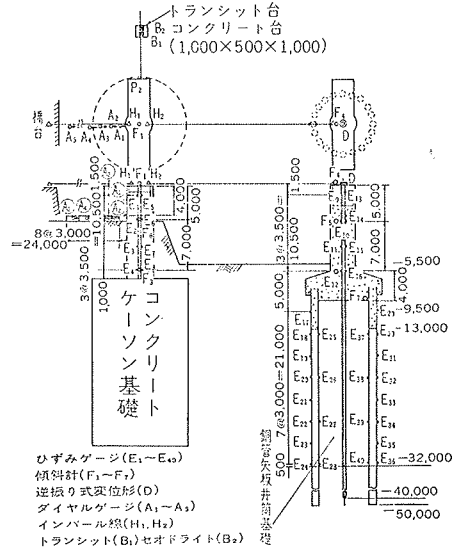
3.1. 概要

利根川下流にかかる本橋梁の12基の橋脚のうち1基が鋼管矢板井筒基礎工法によって施工された。この鋼管矢板井筒基礎が採用された理由は、まず地盤条件によるものである。すなわち、土質柱状図(図—6)に示すように、軟弱層が深いため、ケーソンでは工事費と工期に問題があること、また鉛直および水平耐力はケーソン等と同程度のものが期待できるということである。

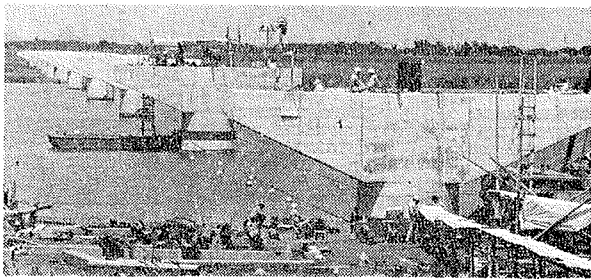
この基礎は、水上で施工され、井筒は円形に連続して打込まれた20本の鋼管矢板から構成されている。鋼管矢板の直径は1016 mm長さは50mである。この鋼管矢板井筒基礎による橋脚に対して静的な水平載荷試験、強制振動試験を実施した。写真一5は載荷試験の全景を示し、流水中にあるのが試験橋脚である。



図一7 土質柱状図



図一8 計測位置図



写真一5 載荷試験全景

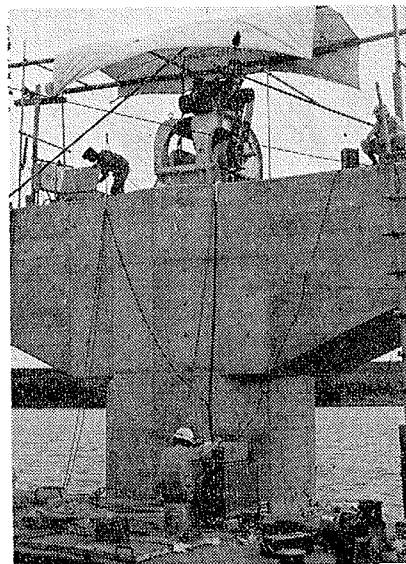
3.2. 静的載荷試験

3.2.1. 載荷方法 載荷方法は一方向緩速載荷とし、荷重段階は4サイクルとした。また第3、第4サイクルでは除荷途中で繰返し急速載荷を行った。載荷時間は、各載荷重に対する変位がほぼ零になった時、次の荷重に移るものとした。ニューマチックケーソン基礎による橋脚を反力として、加力はPCストランドケーブルとジャッキによって行った。ジャッキは150TON センターホール型を2台使用した。

3.2.2. 計測方法 計測は鋼管矢板井筒基礎橋脚 (P₁橋脚) と、ケーソン基礎橋脚 (P₂橋脚) についてそれぞれ行った。P₁橋脚の変位は逆振り式たわみ計、インバールワイヤー、セオドライトで測定し、P₂橋脚の変位はインバールワイヤー、ダイヤルゲージ、トランシットで測定した。鋼管矢板井筒の各鋼管のヒズミはワイヤストレンゲージによって計測した。また、傾斜計 (差動トランス型およびカーンソン型) によって P₁、P₂ 両橋脚の天端と柱部および P₁ 橋脚のフーチングの傾斜角の測定を行った。なお、各測定器の設置位置を図一7に示す。

3.3. 振動試験

3.3.1. 起振方法 P₁ 橋脚の天端に設置した40 t型起振機によって、橋脚に強制振動を与えた。起振力は0~40 tの範囲で、回転数を5~10rpmごと増減させた。振動試験の状況は写真一6で示している。また PARエアガンによって人工地震を起し、鋼管矢板井筒および周辺地盤の振動特性を記録した。このエアガンは水中に設置し、圧搾空気を急激に解放させることによって振動を発生させるものでこの振動が水中を伝播して構造物および地盤に強制振動を与える。

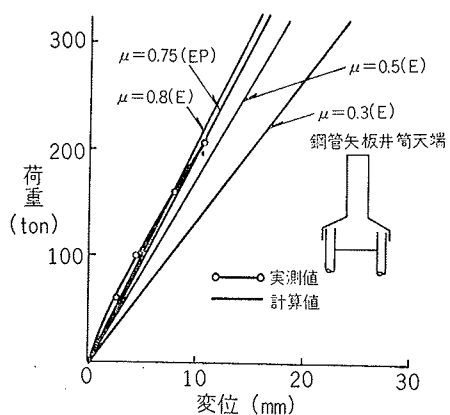


写真一6 振動試験状況

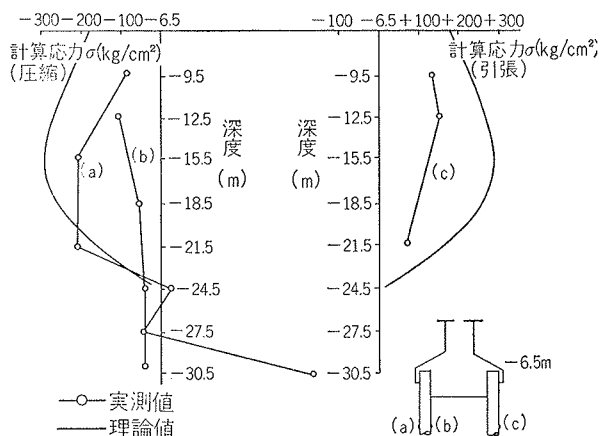
3.3.2. 計測方法 P₁、P₂ 両橋脚に表面型加速度計、埋設型加速度計を設置した。また、河床地盤中には埋設型の加速度計を設置し、地盤の振動特性を電磁オンログラフで記録した。それぞれの計測位置は図一7に示している。

3.4. 試験結果と考察

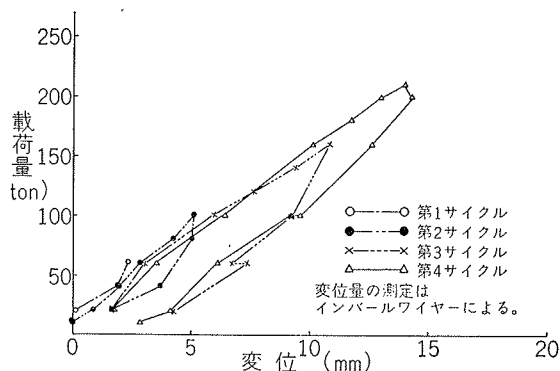
図一8はインバールワイヤーによるP₁橋脚の荷重～変位曲線であり、弾塑性設計法に基づいて行った理論曲線と対比させている。このグラフによると、継手効率 $\mu=0.75$ とした計算値と実測値がかなりよく対応している。また図一10はP₁橋脚の荷重～変位の履歴曲線を示したものであり、このヒステリシスから地盤も弾性挙動をしていることが予想される。図一9は鋼管矢板の応力分布を示しているが、計算応力と実測応力との相対的傾向はほぼ合致している。また実測値から鋼管矢板とフーチング接合部に塑性ヒンジが発生していることが考えられる。橋脚の傾斜角測定値から鋼管矢板はほぼ直線的な弾性挙動をしていると考えられる。P₁, P₂橋脚の天端の傾斜角は、水平荷重210tに対してそれぞれ $(4\sim9)\times 10^{-5}$, $(31\sim34)\times 10^{-5}$ ラジアンであった。振動試験については、図一11にその代表的なものだけを示したが、ここには明瞭な共振点が表われている。起振力が大きくなると減衰定数が大きくなるということから、減衰定数からみれば、鋼管矢板井筒基礎上の構造物は、耐震性ということでは有利であると考えられる。



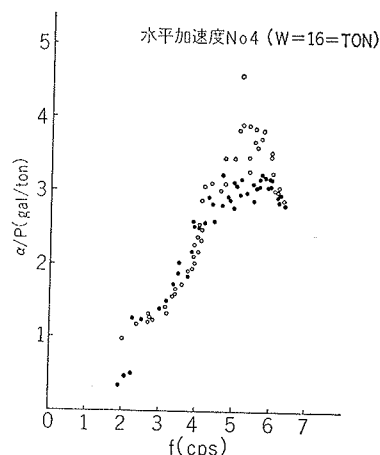
図一9 荷重—井筒天端変位曲線



図一10 鋼管矢板の応力分布



図一11 荷重—変位履歴曲線



図一12 共振曲線

4. あとがき

本報告で述べた二つの載荷実験から得られた結果は次のようなものである。

設計荷重に近い荷重範囲内では井筒天端変位の実測値は比較的小さい。したがって、理論計算において実測変位に等しく変位させるためには、鋼管矢板の継手効率は0.8~1.0の値をとらなくてはならない。このことから鋼管井筒の水平抵抗はケーソンと比較してほとんど変りないものと考えられる。

しかし、鋼管に生じた応力は、鋼管材料の許容応力に比して極めて小さい。また、フーチングと鋼管矢板の接合部の応力は零に近いと推定され、ここに塑性ヒンジが生ずるのではないかと考えられ、この点を改良する必要がある。振動試験の結果からは、減衰定数はケーソン基礎などよりも大きい。これを耐震性の見地から考えると鋼管矢板井筒基礎が有利であるといえるであろう。

なお、変位の測定には各種あるが、載荷試験では最も重要であり、測定方法には十分な検討をする必要がある。

参考文献

鋼管矢板井筒工法：川崎製鉄