

鋼管矢板井筒増設によるケーソン基礎の耐震補強効果 - 二次元骨組解析手法の検討 -

鋼管杭協会 正会員 ○河野謙治 原田典佳
楨野 健 桑嶋 健

長岡技術科学大学	正会員	磯部公一
京都大学	正会員	木村 亮
海洋河川技術研究所	正会員	松田英一

1. はじめに

河川内橋梁の既設ケーソン基礎を補強対象とした、鋼管矢板基礎増設工法の有効性を検証すべく、静的・動的遠心模型実験^{1), 2)}とその解析³⁾、実構造物を対象とした三次元弾塑性有限要素解析⁴⁾を実施してきた。本稿では、実務レベルでの設計手法の確立を目指し検討を進めてきた二次元骨組解析手法の概要を説明するとともに、三次元弾塑性有限要素解析の結果と比較することで、本解析手法の妥当性について検証した。

2. 解析対象

解析対象は、図-1 に示すように、主に砂質土で構成されている地盤に建設された長径 10.5 m、短径 5.5 m、深さ 15 m の小判形の既設ケーソン基礎である。基礎周辺の洗掘によるケーソン基礎の水平耐力不足が懸念されたために道示に基づく耐震照査を実施した結果、設計水平震度に対する基礎前面地盤の塑性率が 60 % に達する（道示におけるケーソン基礎の降伏の定義）と判明した。そこで、径 800 mm、長さ 15 m の鋼管矢板を 38 本使用した、鋼管矢板基礎増設工法による耐震補強を検討した。

一連の研究では、既設ケーソン基礎と鋼管矢板基礎を結合する頂版の構造として、従来の剛結構造に加え、経済的な施工法として半固定構造^{1)~4)}を検討していることから、本稿でも半固定構造の有効性を検討した。

以上の検討対象に対し、既に実施している三次元弾塑性有限要素解析による検討結果と二次元骨組解析による解析結果とを比較することで、二次元骨組解析手法の実務設計への適用性を検証した。

3. 二次元骨組解析の概要

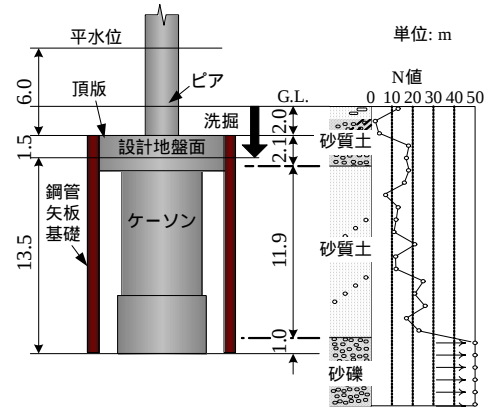
ケーソン基礎および鋼管矢板基礎とも、道示によると安定計算モデルはいずれも柱状体基礎とされている。一方、鋼管矢板基礎増設構造は、既設ケーソン基礎と鋼管矢板基礎の複合基礎となり解析はより複雑となるが、設計実務上の簡便さを考慮して二次元骨組解析（プッシュオーバー解析）を基本とした。

長径	短径
B	D

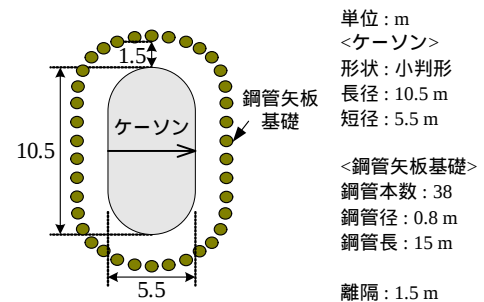
検討した二次元骨組モデルを図-2 に示す。ケーソンおよび鋼管矢板を梁、地盤および継手をバネとして二次元モデル化した、梁～バネモデルである。

二次元骨組モデル化にあたっては、既設ケーソン基礎は道示に準拠し 1 本の梁要素（表-1）とするが、鋼管矢板基礎は鉄道構造物等設計標準を参考に、鋼管矢板を梁要素（表-2(a)）とそれらを結合する継手バネ要素（表-2(b)）とした。

ここで、三次元と同様にケーソンおよび鋼管矢板を介する頂版のモデルとして、剛結構造（Type-A）および半固定構造（Type-B）を設定した。前者は、ケーソンおよび鋼管矢板を剛な梁によって結合（剛結）させており、頂版により鋼管矢板に軸力・水平力・曲げモーメントを伝達させる構造である。一方、後者は、ケーソンおよび鋼管矢板の間を間詰コンクリートで充填、これをバネとして水平力のみ伝達させる構造としたものである。これら選択した



(a) 補強検討事例と土質柱状図



(b) 基礎平面図

図-1 解析対象

表-1 ケーソンの諸元

長径	短径	長さ	ヤング率	断面二次 モーメント	曲げ剛性	ポアソン比
B	D	L_c	E_c	I_c	EI_c	ν_c
[m]	[m]	[m]	[kN/m ²]	[m ⁴]	[kN・m ²]	-
10.5	5.5	15.0	2.5x10 ⁷	99.3	2.5x10 ⁹	0.17

表-2 鋼管矢板基礎の諸元

(a) 本管

鋼管径	肉厚	鋼管長	降伏応力	全塑性 モーメント	ヤング率	断面積	曲げ剛性
ϕ	t	L_p	σ_y	M_p	E_p	A	EI_p
[m]	[mm]	[m]	[MPa]	[kN-m]	[kN/m ²]	[m ²]	[kN-m ²]
0.8	9.0	15.0	235.0	960.0	2.0x10 ⁸	0.022	1.6x10 ⁹

(b) 継手

鉛直方向 せん断剛性	鉛直方向 せん断耐力	接線方向 剛性	接線方向 圧縮耐力	接線方向 引張耐力
K_z	q_z	K_t	q_{tc}	q_{tt}
[kN/m ²]	[kN/m]	[kN/m ²]	[kN/m]	[kN/m]
1.2x10 ⁶	200	5.0x10 ⁶	5000	280

頂版結合構造に対応する結合モデルにより、既設ケーソン基礎および鋼管矢板基礎を結合させるものとした。

また、ケーソン基礎の地盤抵抗要素は、道示によると、前面水平・側面水平・前背面回転・側面回転・底面鉛直および底面せん断の6つあり、それぞれ弾塑性型のバネモデルとされている。しかし、既設ケーソン基礎が鋼管矢板に囲まれた部分については地盤抵抗が期待できないとして、前者4つのバネ要素は考慮しないものとした。

一方、鋼管矢板基礎の地盤抵抗要素は、前面水平・側面水平・前背面鉛直・側面鉛直・底面鉛直および底面せん断の6つあり、それぞれ弾塑性型のバネモデルとされている。ここで、鋼管矢板基礎は平面骨組モデル化するため、前面（本解析対象では6本分）に位置する鋼管矢板の梁要素には前面水平と前面鉛直、中間（2本分）の鋼管矢板には側面水平と側面鉛直、背面（6本分）の鋼管矢板には背面鉛直のバネ要素を配置するものとした。また、鋼管矢板同士は、継手鉛直方向せん断および接線方向のバネ要素で連結させるものとした。なお、既設ケーソン基礎と鋼管矢板基礎の間の内部土抵抗要素（地盤の弾性バネ）を考慮した。

4. 三次元および二次元解析のフィッティング

図-1の実構造物に対する三次元弾塑性有限要素解析結果を対象に、二次元骨組解析を実施した。本解析では、頂版の結合状態による補強効果への影響の再現性も確認するため、ケーソン単体、井筒単体、Type-A（剛結）およびType-B（半固定）の4ケースを実施した。

図-3に、三次元および二次元の各ケースの荷重～変位関係を示す。両解析結果は、初期剛性から降伏点近傍までは特によく一致し、降伏点以降は二次元の方が変位が大きくなる傾向にある。これは、二次元骨組解析を設計実務で用いる上で安全側の評価となる。また、図-4に鋼管矢板（前面）に発生する断面力分布（最大荷重時）を示す。二次元解析は、絶対的に三次元解析の値より大きめに断面力が算定されており、これからも安全側の設計が可能と考えられる。なお、Type-B（半固定）は、鋼管矢板の曲げ抵抗のみで補強効果を発揮していることから、低空頭施工において支持力確認が不要になる合理的な補強構造と言える。

5. まとめ

三次元および二次元解析の比較により、本工法の挙動を工夫を凝らした地盤バネや継手バネを導入した特別な二次元骨組解析で概ね再現できることを確認できた。また、ケーソンと鋼管矢板の結合を必ずしも剛結にせずとも、半固定構造（間詰コンクリートなど）とすることで補強効果が得られることも確認、更なるコスト縮減に寄与できる可能性を見出した。

参考文献 1) 磯部ら：土木学会論文集 C, Vol.62, No.1, pp.191-200, 2006. 2) 磯部ら：第50回地盤工学シンポジウム, pp.327-332, 2005. 3) 磯部ら：第59回土木学会学術講演会講演概要集, 第 部門, pp. 913-914, 2004. 4) 磯部ら：第40回地盤工学会研究発表会講演集, pp.1507-1508, 2005. 5) Zhang, F. et al.: Soils and Foundations, Vol.40, No.5, pp.1-17, 2000.

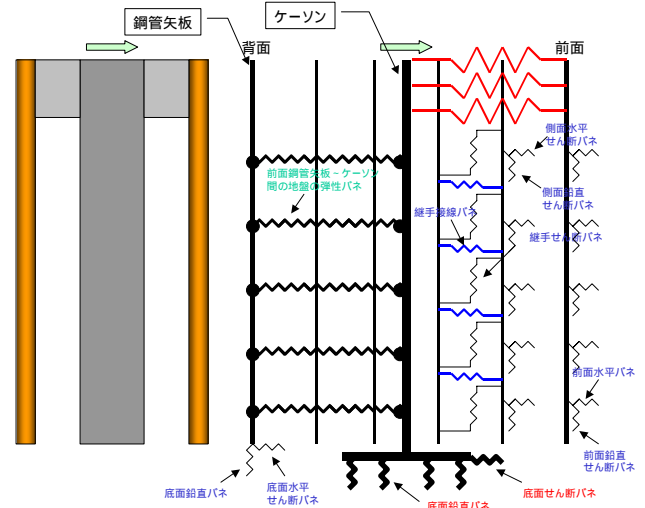


図-2 二次元骨組モデル (Type-B)

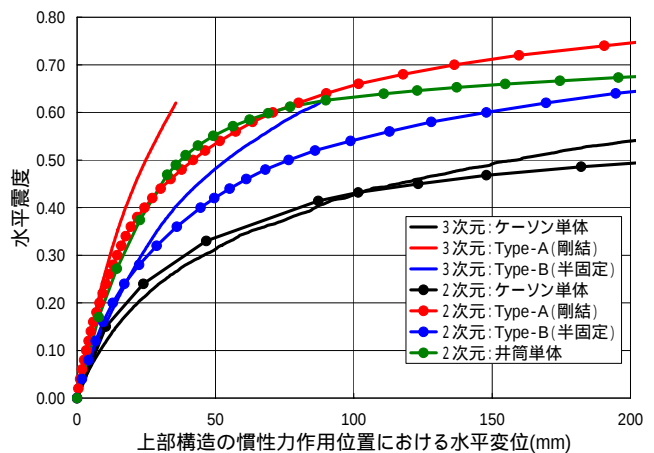


図-3 荷重～変位関係

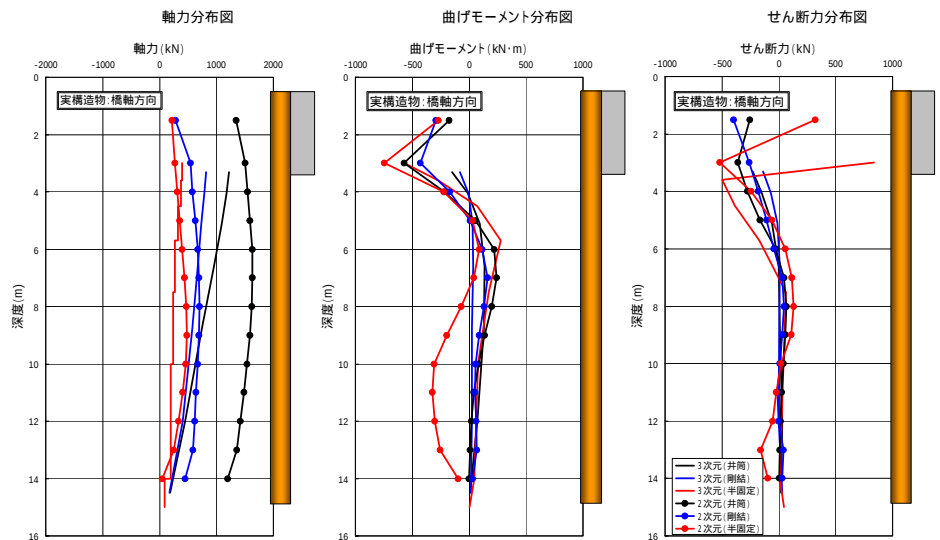


図-4 断面力分布図 (前面鋼管矢板)