

鋼管矢板井筒増設によるケーソン基礎の耐震補強効果—支持形式による影響—

京都大学大学院	学生会員	〇磯部公一
京都大学大学院	正会員	木村 亮
名古屋工業大学	正会員	張 鋒
鋼管杭協会	正会員	榎野 健 桑嶋 健

1. はじめに

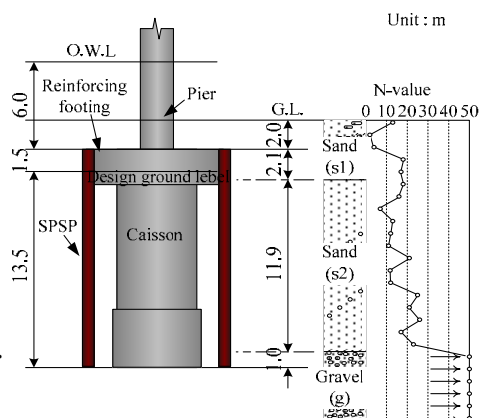
河川内橋梁ケーソン基礎を補強対象とした鋼管矢板基礎増設工法の実用性を検証すべく、これまで静的遠心模型実験¹⁾とその解析²⁾を行ってきた。本稿では、実際に本補強工法の適用が検討されている事例に対し実施した三次元弾塑性有限要素解析の結果について報告する。その中で、より経済的な補強工法として提案された頂版部分の半固定構造ならびに従来の剛結合構造において、鋼管矢板の支持形式、すなわち鋼管矢板の根入れ長さが補強効果に及ぼす影響について検討した。

2. 解析対象

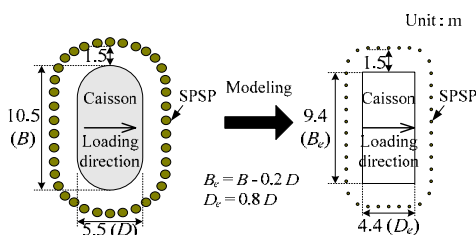
解析対象は、図-1に示すように、主に砂質土で構成されている地盤条件の箇所に建設された長径 10.5 m、短径 5.5 m、深さ 15 m の小判形の道路橋ケーソン基礎である。基礎周辺の洗掘によるケーソン基礎の水平耐力不足が懸念されたために、道示に基づく耐震照査が実施された結果、設計水平震度に対する基礎前面の地盤の塑性率が 60 %に達する（道示におけるケーソン基礎の降伏の定義）と判明した。そこで、径 800 mm、長さ 15 m（支持層まで根入れ）の鋼管矢板を 38 本使用した鋼管矢板基礎増設工法による耐震補強が検討されている。本稿では、鋼管矢板の根入れ長さによる影響を検討するため、長さ 10 m、5 m の場合も解析を実施している。

3. 解析条件

解析を行うにあたり、簡単のために、ケーソンのモデル化は道路橋示方書で示される基礎の有効載荷幅を考慮し、小判形の基礎を矩形に置換した（図-1(b)参照）。鋼管矢板基礎とケーソンの離隔を 1.5 m で一定とし、ケーソン基礎の断面二次モーメントが実際と等価になるように、ケーソンのヤング率を設定した（表-1参照）。一方、補強部材となる鋼管矢板基礎はバイリニア型の梁要素で、継手の接線方向の抵抗、ならびに鉛直方向のせん断抵抗をバイリニア型のばね要素でモデル化した（図-2参照）。解析で用いたバネ定数を表-2(b)に示す。鋼管矢板基礎も矩形でモデル化したケーソンとの離隔を 1.5 m に保つようにモデル化するため、実際の曲げ剛性と等価となる様に鋼管矢板本管のヤング率を 2.3×10^8 kPa に設定し、道示により全塑性モーメントを算出した（表-2(a)参照）。ここでは、鋼管矢板基礎増設工法の補強メカニズムを把握することを主目的としているため、鋼管に体積を持たない梁



(a) 補強検討事例と土質柱状図



(b) 基礎平面図とモデル化について

図-1 解析対象

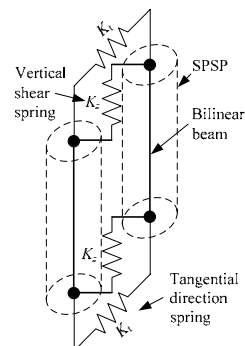


図-2 鋼管矢板のモデル化

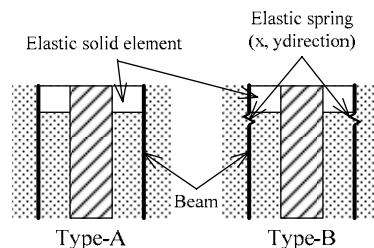


図-3 頂版結合構造のモデル化

キーワード 耐震補強, 鋼管矢板基礎, ケーソン基礎, 三次元弾塑性 FEM, 支持形式

連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院 工学研究科 都市社会工学専攻 TEL 06-753-5961

要素でモデル化している。よって、鋼管先端が支持地盤に点で接し、先端位置で鋼管および鋼管内部の土が有限の面積で接していることを表現できていない。

また、本解析の検討項目である鋼管矢板長の差異が及ぼす補強効果・メカニズムへの影響について、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、これまでの著者らの研究により経済的な施工法として提案している半固定構造に対しても検討した。モデル化の概略図を図-3に示す。剛結合（Type-A）では、全深度方向に梁要素でモデル化された鋼管矢板と頂版をモデル化した立体有限要素は節点を共有した形でモデル化している。一方、半固定構造（Type-B）では剛結合モデルを基本としているものの、頂版直下に位置する梁要素を各方向（x, y方向）に抵抗する弾性ばね要素に置換することで、頂版より鋼管矢板基礎へ伝達される力をせん断力のみとなるようにした³⁾（剛結の場合では軸力、せん断力、曲げモーメント）。これにより、半固定結合ではせん断力（水平力）のみを伝達させるように理想的にモデル化している。

地盤は、非関連流れ則の完全弾塑性体として修正型Drucker-Pragerモデル⁴⁾を用いた。詳細は文献4)に譲るが、排水状態の砂質土では破壊基準に到達後、せん断力が破壊基準上でほぼ一定に保たれるという特徴を表現するために、破壊基準に到達した要素のヤング率を拘束圧とは関係のない、限りなく小さな値に再設定し、塑性ひずみは流れ則に従うものとした。本解析で用いた土質パラメータを表-3に示す。

4. 解析結果と考察

鋼管矢板長を支持層まで根入れさせる15 mを基本とし、10 m、5 mと徐々に短くした場合の補強効果（補強後の支持力／補強前の支持力）への影響を検討した。図-2に鋼管矢板長と補強効果の関係を示す。図中の補強効果は、最大水平荷重載荷時（11.6 MN）の補強効果を用いる。

この図より、Type-Aでは鋼管矢板長が短くなるにつれ補強効果が小さくなるが、Type-Bではさほど長さによる影響は受けず、5 mのケースでも15 mの場合とほぼ同じ補強効果（約2.0）が得られた。これは、Type-Aでの水平支持力増加の要因と考えられる鋼管矢板の摩擦抵抗が鋼管矢板長に影響を受け、長くなるほど抵抗が大きくなるためであり、鋼管矢板の摩擦抵抗がほとんどないType-Bとの間に顕著に現われた結果といえる。

5. まとめ

鋼管矢板基礎増設工法における鋼管矢板長の補強効果・メカニズムに及ぼす影響について検討した結果、半固定構造は鋼管矢板の支持形式に影響を受けにくい構造であり、補強対象によっては従来構造よりも合理的・経済的に補強できる可能性を示した。

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59回土木学会学術講演会講演概要集, 第III部門, pp.913-914, 2004. 3) 磯部ら：第40回地盤工学会研究発表会講演集, pp.1507-1508, 2005. 4) Zhang, F. et al.: Soils and Foundations, Vol.40, No.5, pp.1-17, 2000.

表-1 ケーソンの諸元

	Major axis	Minor axis	Length	Young's modulus	Poisson's ratio	Geometric moment of inertia	Flexural rigidity
	B	D	L_c	E_c	ν_c	I_c	EI_c
	[m]	[m]	[m]	[kN/m ²]	-	[m ⁴]	[kN-m ²]
Prototype	10.5	5.5	15.0	2.5×10^7	0.17	99.3	2.5×10^9
Model	9.4	4.4	15.0	3.7×10^7	0.17	66.7	

表-2 鋼管矢板基礎の諸元

(a) 本管

	Diameter	Thickness	Length	Yield strength	Young's modulus	Sectional area	Flexural rigidity
	ϕ	t	L_p	σ_y	E_p	A	EI_p
	[m]	[mm]	[m]	[MPa]	[kN/m ²]	[m ²]	[kN-m ²]
Prototype	0.8	9.0	15.0	235.0	2.0×10^8	0.022	1.6×10^9
Model	0.8	9.0	15.0	235.0	2.3×10^8	0.022	

(b) 継手

	Shear stiffness	Shear strength	Tangential direction stiffness	Tangential direction compressive strength	Tangential direction tensile strength
	K_c	q_c	K_t	q_c	q_t
	[kN/m ²]	[kN/m]	[kN/m ²]	[kN/m]	[kN/m]
Prototype & model	1.2×10^6	200	5.0×10^6	5000	280

表-3 土質パラメータ

	Thickness	Density	Young's modulus	Inertia friction angle	Cohesion	Poisson's ratio
	H	ρ	E	ϕ	c	ν
	[m]	[g/cm ³]	[kN/m ²]	[°]	[kPa]	-
Sand (s1)	0.6	1.8	9.0×10^4	30.0	0.0	0.33
Sand (s2)	11.9	1.8	9.5×10^4	30.0	0.0	0.33
Gravel (g)	4.5	2.0	2.8×10^5	40.0	0.0	0.33

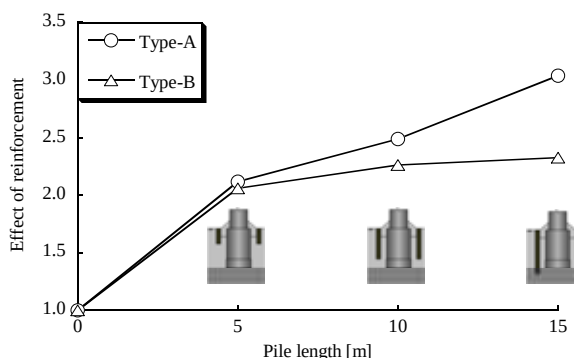


図-4 鋼管矢板長による補強効果への影響