

非軸対称外力を考慮した Ring-Beam で補強された 鋼管矢板井筒基礎構造の数値解析について

澤 田 知 之*・松 岡 健 一**・能 町 純 雄***

On Numerical Analysis for Asymmetrical External Load of Steel Pile-Well Foundation Structure Stiffened by Ring-Beam

Tomoyuki SAWADA, Kenichi G. MATSUOKA and Sumio G. NOMACHI

Abstract

In this study, We discuss the resistant effect of the spring rigidity of the pile joints and the flexial rigidity of the reinforced ring beam which is located at the top of the pile structure, on the external concentrated load or the earthquake forces.

The numerical calculations are performed for several examples of the spring rigidity of the pile joint, and the flexial rigidity of the reinforced ring beam.

1. ま え が き

現在、室蘭港に架橋予定の白鳥大橋（中央径間 270 m の吊橋）の主塔基礎の施工には、海中の基礎設置個所に、鋼管矢板で仮締切りし、中に中詰を詰め大規模な人工島を築島し、その後中心部を掘削することにより基礎を施工する方法がとられているが¹⁾、この構造は頂部に剛なフーチングのようなものを持たず、また、施工期間も長くなることから、船舶の衝突などの集中力や、地震など非軸対称外力に対する、仮設構造物としての安全性の検討も重要となっている。この種の構造物は今後も施工が予想されるが、頂部の剛性によっては局所的な変形や、継手部の剛性の評価に問題があり、より詳しい検討が必要と考えられる。

本論文は、このような点に着目し、円形に配置され、頂板コンクリートをもたない鋼管矢板井筒基礎構造の解析を行ない、継手剛性が、特に頂部補強リングビームの効果について検討を加えるものである。

2. 解 析 概 要

著者らは、すでに、鋼管矢板を St. Venant のねじりを考慮したはり要素で継手の力の伝達を 3 方向のバネで評価して定式化を行ない、種々の条件のもとで個々の矢板および全体としての構造の力学的挙動を明らかにして来たが²⁾、ここでは、一つの例として図-1 に示すように、鋼管の一部が、一様地盤中に埋め込まれ矢板頂部をはりで補強した場合について考える。基本微分差分方程式の誘導、および境界条件についての詳細は文献 3) に記載済みであるので省略するが、矢板頂部の補強ばりは、鋼管矢板構造断面方向の曲げと軸力のみを考慮するものとする。補強ばりの断面 2 次モーメントおよび断面積を I_b 、 A_b として、補強ばりと鋼管は点で継ながれ半径方向の力のみ伝達するものとする。したがって補強ばりを折線で近似し、節点でのつり合い式をフーリエ定和分変換すると次のように示される。

* 土木工学科 助教授

** 室蘭工業大学 教授

*** 日本大学生産工学部 教授

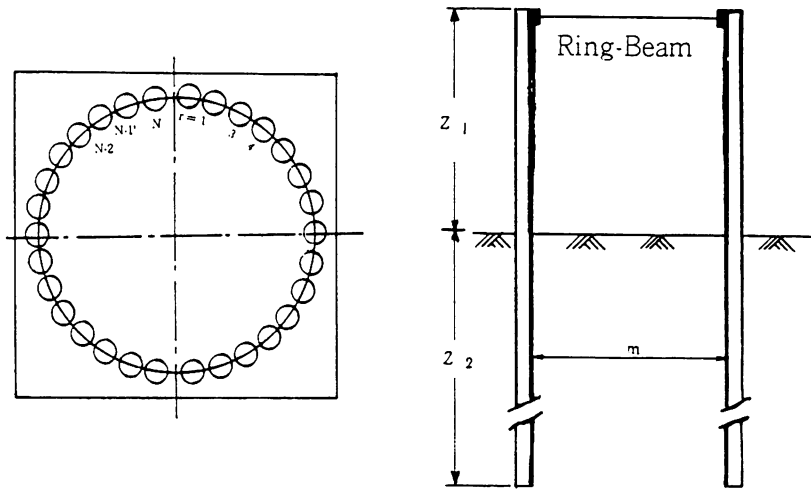


図1 一般図

$$(6-D_i)S_i[\phi_r] + \frac{6}{\lambda} \cos \alpha \cdot S_i P_i[u_{br}] - \frac{3}{\lambda} \sin \alpha (4-D_i)S_i[v_{br}] = 0 \quad (1)$$

$$-\frac{6I_b}{A_b \lambda} \sin \alpha (4-D_i)S_i[\phi_r] - \left(1 + \frac{12I_b}{A_b \lambda^2}\right) \sin \alpha \cdot S_i R_i[u_{br}] + \left\{D_i \cos^2 \alpha + \frac{12I_b}{A_b \lambda^2} (4-D_i) \sin^2 \alpha\right\} S_i[v_{br}] = 0 \quad (2)$$

$$-\frac{12EI_b}{\lambda^2} \cdot S_i \cos \alpha \cdot S_i[\phi_r] - \left\{\frac{12EI_b}{\lambda^3} D_i \cos^2 \alpha + \frac{EA_b}{\lambda} \sin^2 \alpha (4-D_i)\right\} \times R_i[u_{br}] + \left(\frac{12EI_b}{\lambda^3} + \frac{EA_b}{\lambda}\right) S_i \cdot \sin^2 \alpha \cdot S_i[v_{br}] + R_i[N_r^0] = R_i[N_r] \quad (3)$$

ここで、 λ : 節点間の長さ、 u_{br} , v_{br} , ϕ_r : 補強ばりの半径方向、接線方向変位およびたわみ角、

N_r^0 : r 節点に作用する集中外力、

N_r : 鋼管に作用する半径方向力、

$$D_i = 2(1 - \cos \frac{i\pi}{n}), \quad S_i = \sin \frac{i\pi}{n},$$

$$S_i[f_r] = \sum_{r=1}^n f_r \sin \frac{i\pi r}{n}, \quad R_i[f_r] = \sum_{r=1}^n f_r \cos \frac{i\pi r}{n}.$$

であり、さらに、 $u_{br} = u_r(0)$ であるから式(1)(2)から $S_i[\phi_r]$ と $S_i[v_{br}]$ を求め(3)に代入して N_r を $R_i[u_{br}]$ と外力で与えることができる。よって、矢板頂部 ($z_1 = 0$)、地盤面 ($z_1 = l_1$, $z_2 = 0$) および矢板先端部 ($z_2 = l_2$) での境界条件より、境界未知量が決定され、解析することができる。

3. 数値解析例及び考察

今、計算例として、白鳥大橋主塔基礎部仮締切人工島鋼管矢板構造の概略を図-2に示す。補強ばりの剛性を継手のバネ定数は、 $K_t = 10 K_n$ とし、(a)

$K_n = 100.0 \text{ kg/cm}^2$ として K_s を変化、(b) $K_s = 0$ として K_n を変化させた場合について、補強ばりの剛性は

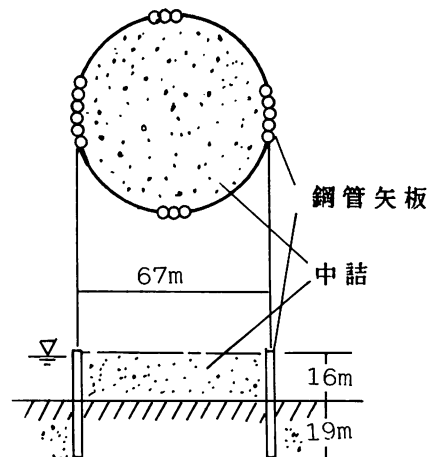


図2 解析モデル

次の二ケースとした。

Case ① $A_b = 729.6 \text{ cm}^2$ $I_b = 1.147 \times 10^6 \text{ cm}^4$

Case ② $A_b = 10^{11} \text{ cm}^2$ $I_b = 10^6 \text{ cm}^4$

ここで K_n , K_t , K_s は各々、継手の x, y, z 方向のバネ定数である。

解析結果を図 3 ～ に示す。

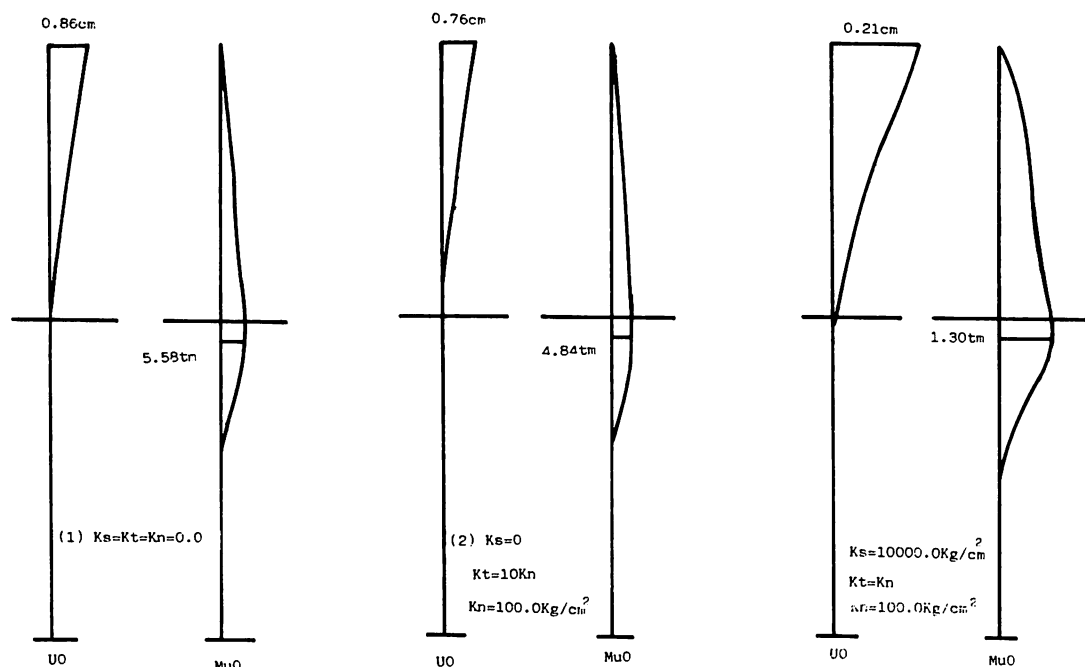


図 3 中心鋼管の変位と曲げモーメント分布

図-3 は中心鋼管の変位分布 (u_0) と曲げモーメント分布 (M_{u0}) を示したものである。各々(a)(b)(c)の順に

(a) $K_n = K_t = K_s = 0$ (単杭の場合)

(b) $K_n = 100 \text{ kg/cm}^2$, $K_t = 10 K_n$, $K_s = 0$

(c) $K_n = 100 \text{ kg/cm}^2$, $K_t = 10 K_n$, $K_s = 10000 \text{ kg/cm}^2$

であり、Case ①の補強リングビームを取り付けた場合のものである。リングビームを取り付けると取り付けない場合³⁾に比べて変位、モーメントともに小さな値となり非常に大きな効果があると考えられる。図-

次に、一方向等分布が作用する場合、すなわち地震によって築島の中詰めが慣性力として鋼管に作用する場合を考え、図-5 のように一方向の力が周方向に cosine 分布で軸方向には等分布する場合を考える。(水平震度 0.1 とする。)

図-6 および 7 に中心の鋼管の変位および曲げモーメントの軸方向の分布を継手のバネ定数の 3 種類の組み合わせについて各々、補強リングビームの無い場合と有る場合について示した。

図-8 ～ 11 には、やはり各ケースに対して継手のバネ定数を変化させた結果を示した。このような外力に対しては補強リングビームがない場合(図-6)は、変位、曲げモーメントとも非常に大きく、大変形の範囲になり、

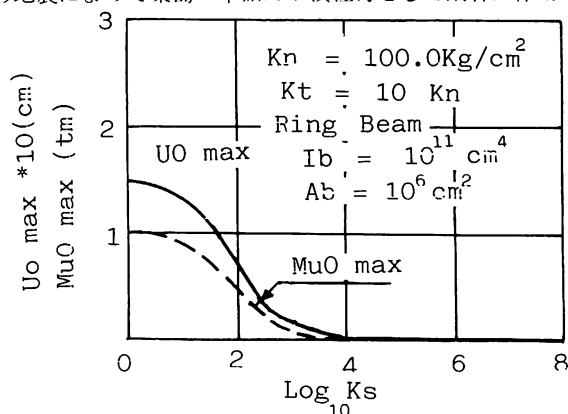


図 4 バネ定数と変位および曲げモーメントの関係

このような解析は実際的ではないが比較の意味で示した。

またリングビームがある場合(図-7)でも、軸方向バネ(K_s)がない時は、変位、曲げモーメントとも大きく、リングビームの無い場合と比べそれ程減少していないが、軸方向バネがあることにより、変位応力とも非常に減少しており、変位では $\frac{1}{100}$ 、曲げモーメントでも $\frac{1}{5}$ 程度になっている。

以上のことから、このような非軸対称外力

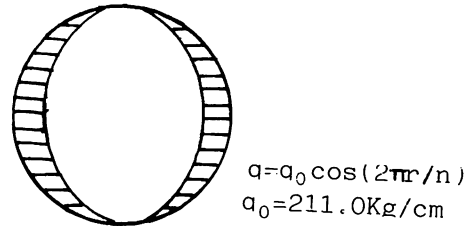


図5 一方向分布力

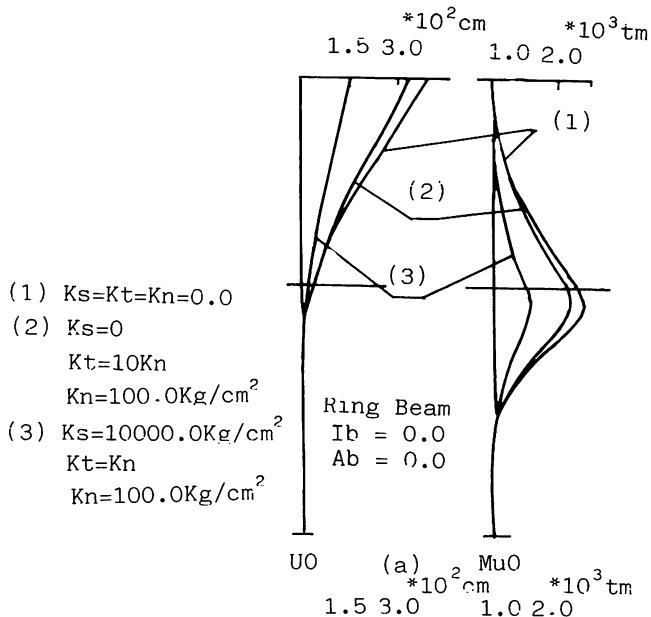


図6 中心鋼管の変位と曲げモーメント
(補強リングビームの無い場合)

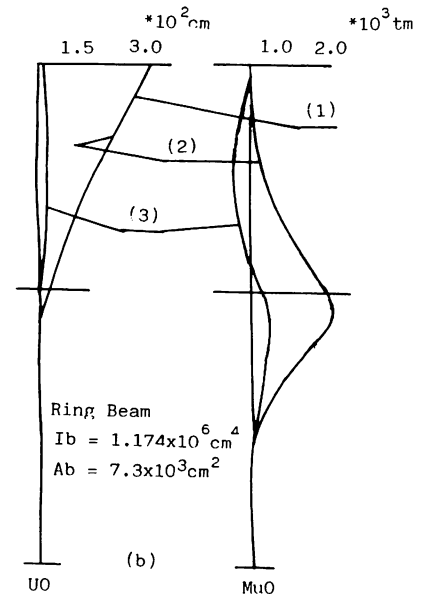


図7 中心鋼管の変位と曲げモーメント分布
(case ①の補強リングビームの場合)

に対しては、補強リングビームとともに軸方向継手の剛性の影響が大きいことを示しているが、このことは、図-8~11により一層明らかである。すなわち、リングビームの存在とともに、軸方向の継手バネの効果が大きいことが示されている。

まとめると以下のように表わされる。

- 集中外力に対しては、個々の鋼管の変位、曲げモーメントの均等化のために、リングビームの補強は非常に効果がある。
- 地震力のような一方向分布力に対しては、リングビームでの補強にはあまり効果はなく、軸方向継手バネ剛性の影響が大きい。

今後、さらに鋼管矢板井筒の構造規模を変え、動的な解析を行なう予定である。

尚、本論文の作成に当たり、室蘭工業大学助教授岸徳光氏および、北海道開発局土木試験所構造研究室室長吉田紘一氏からの有益な御助言御意見に深く感謝の意を表わすものです。

また、数値計算に用いたデータは、北海道開発局室蘭開発建設部室蘭道路事務所からいただいたことを付記し、関係各位に厚く感謝致します。

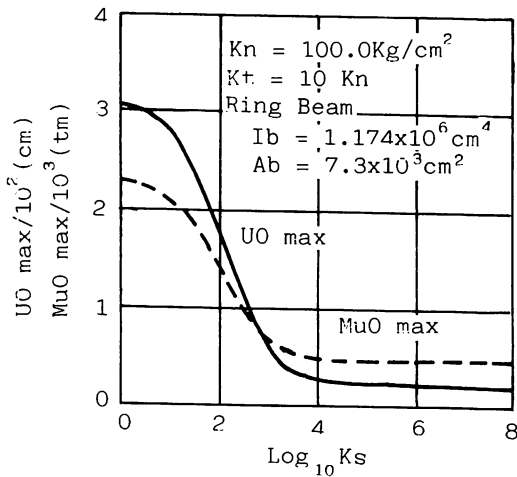


図8 バネ定数と変位および曲げモーメントの関係
(case ①の補強リングビームの場合； K_s の影響)

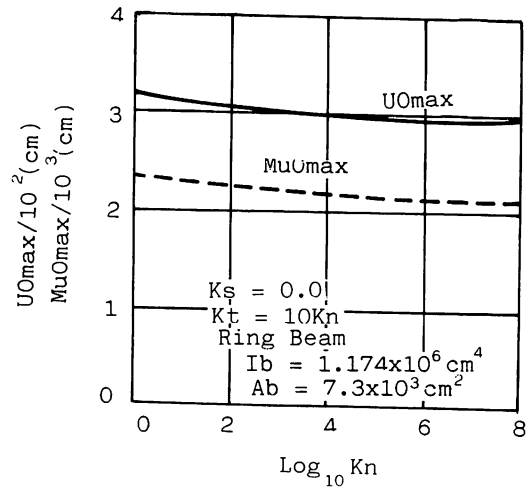


図9 バネ定数と変位および曲げモーメントの関係
(case ①の補強リングビームの場合； K_n の影響)

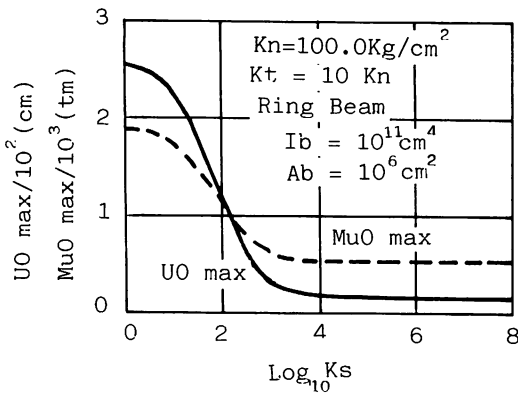


図10 バネ定数と変位および曲げモーメントの関係
(case ②の補強リングビームの場合； K_s の影響)

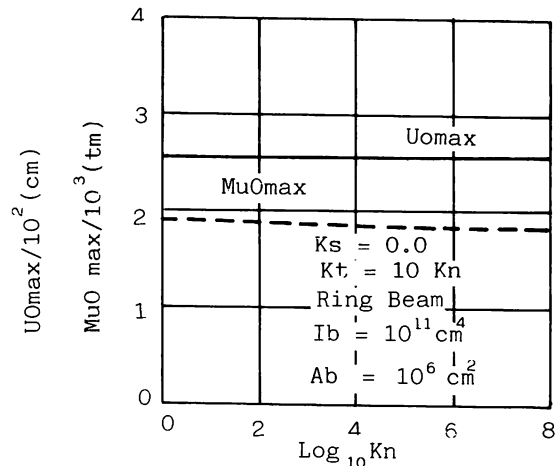


図11 バネ定数と変位および曲げモーメントの関係
(case ②の補強リングビームの場合； K_n の影響)

参考文献

- 1) 土木学会北海道支部：白鳥大橋下部構造に関する技術検討委員会報告書，1986-3
- 2) 澤田知之，能町純雄：Ring-Beam で補強された軸対称荷重を受ける鋼管 Well 構造の継手係数について，苫小牧高専紀要，第13号，pp.95-106，1978
- 3) 澤田知之，松岡健一，能町純雄：継手がバネ結合された鋼管矢板構造の応力解析について，苫小牧高専紀要第23号，1988
- 4) 澤田知之，二宮正明，松岡健一，能町純雄：フーリエ定積分変換を用いた鋼管矢板円筒形構造物の解析，構造工学論文集，Vol.34 A，pp.9-18，3月，1988

(昭和62年11月30日受理)

