

大阪工業大学

正員 岡村宏一

東洋技研コンサルタント

正員 島田 功

東洋技研コンサルタント

正員 祖川義雄

1. まえがき

均質な弾性体中に埋め込まれた円柱の問題を解析することは、数多くの興味深い問題（たとえば、地盤中の杭、合成樹脂板のスタッドジベル、ロックボルトなど）の力学的挙動を知るための基本的な資料となるものと思われる。ただ、この種の問題をより現実的に解析するには、円柱と、それが埋め込まれる材料向の分離（剝離、すべりなど）を考慮に入れる必要がある。このような観点から、半無限体に埋め込まれた円柱が頭部に等分布水平荷重を受ける問題については、すでに報告している。¹⁾ 本文では、円柱頭部が固定された問題について解析した結果を報告する。

2. 解析法の概要

半無限体中に剛性の異なる物体を内蔵する問題は、部分的な剛度変化領域を有する三次元体として取扱うことができ、剛度が変化する物体の表面部に（剝離領域）仮定の力を作用させた均質な半無限弾性体（母体）の問題と等価である。²⁾ 図-1 のような円柱について、このような力を円筒座標系で示すと次のようになる。

$$F_{ri} = \frac{G - G_0}{G} \delta r_i \quad F_{zi} = \frac{G - G_0}{G} T z_i \quad F_{\theta i} = \frac{G - G_0}{G} T r_{\theta i}$$

ここで、 G, G_0 はせん断弾性定数である。 ——— (1)

また、本問題の場合には式-(2)に示すような拘束条件を円柱頭部に与えるため、円柱頭部には図-1に示すような調整力； $(F_{rR}, F_{zR}, F_{\theta R})$ を作用させることになる。

$$\delta y = \delta z = 0 \quad \text{————— (2)}$$

これらの力は Mindlin 解の積分によって与えられるが、式-(1)に示すように、それらは埋め込まれた円柱との接触面の応力と表わされ、その分布を厳密に求めることは困難である。（円柱頭部に作用させる調整力についても同様である。）そこで、この分布力を図-1に示すような矩形小領域で等分布する力の集合として与えると、Mindlin 解を矩形積分した解を基本にして、各領域の仮定の力、および調整力を未知量とした連立方程式が得られる。つぎに、剝離現象は円柱背面での ϵr がある引張限界値を越えると、これほど背面を通じて伝達していた力が切れて再配分されるとともに、以後の荷重による力の伝達がないものとして解析される。したがって、荷重の増加に伴って剝離領域が進展する状態を逐次追跡することになる。ところで、この剝離は、先にも触れたように、背面での材料分離であり、図-1

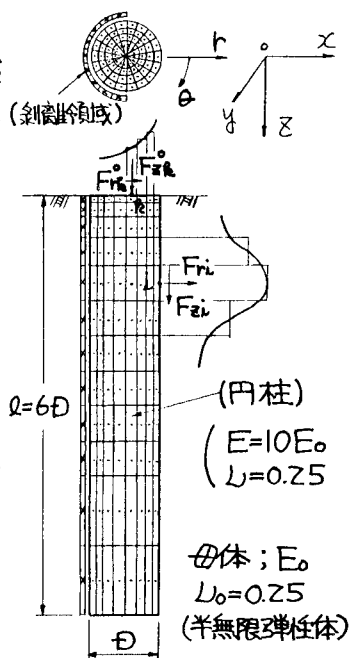


図-1 解析モデル

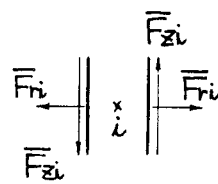


図-2

- 〈参考文献〉 1) 岡村・島田・祖川；半無限体に埋め込まれた円柱の水平抵抗について，土木学会東西支部年講，1981
 2) 岡村・島田；不均質三次元体の数値解法に関する考察，第30回土木学会年講，1975
 3) 岡村・島田；弾塑性，または不均質弾性を有する三次元体の一般数値解法，土木学会論文報告集，1973

に示すような、ある有限な厚さを持つ薄層を背面の母体に設け、その領域に力を伝達しない条件を与えた。さて、このような条件として、この薄層に応力の伝達が事となる応力-歪マトリックスを与え剛度変化の問題として取扱うこともできるが、³⁾ そのはん雑さを避けるため、本解析では、その薄層の両面に図-2 に示すような対称の力を作用させ、薄層面での伝達応力を零にする条件 $\bar{F}_i = 6i$ とした。この力 $\bar{F}_i$ は前述の仮定の力、および調整力と同様、有限な矩形内で等分布する力の集合として与え、それらを未知量として連立方程式を解くことにより決定される。

3. 解析結果

解析モデル、および円柱頭部・側面の分割を図-1 に示した。なお、これらの分割面に作用する力の分布の近似的な表現による解の精度については十分検討し、良好な収束解が得られることを確かめている。図-3 は荷重の増加に伴う割離の進展状態の一部を示したものである。ここに、 S^* ・ S は割離が始まる段階、および割離発生後に円柱頭部の各分割面に作用する x 方向のせん断応力の平均強度である。図-4 にその分布を示した。

図-3 の割離段階 D では、割離を考慮しない場合と比較して分布状態が異なる。また、応力が同縁部に向かって集中する傾向が見られる。しかし、割離を考慮しない場合の平均強度 S^* の値は、弾性床上の梁の近似値と大差ない。図-5 に円柱頭部の荷重-変位曲線を示し、頭部が拘束されない結果も併記した。図-6 に割離段階 D における円柱前面の直応力 $6r$ の梁と方向の分布を示した。

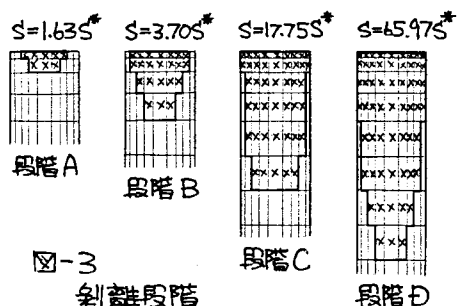


図-3 割離段階

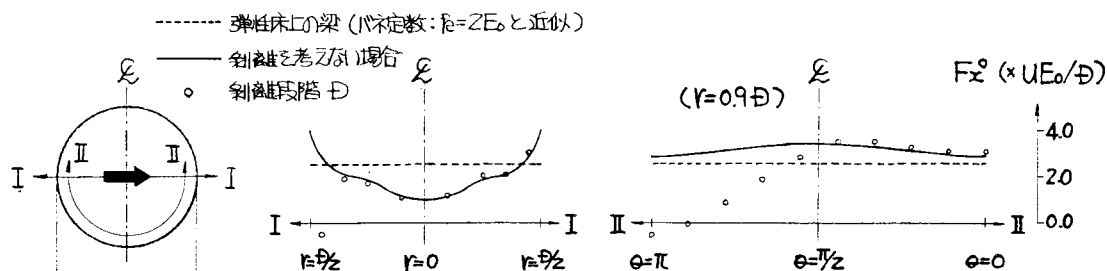


図-4 x 方向せん断応力の分布

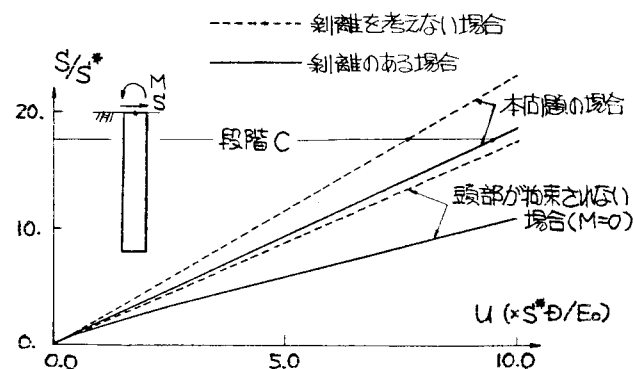


図-5 円柱頭部の荷重-変位曲線

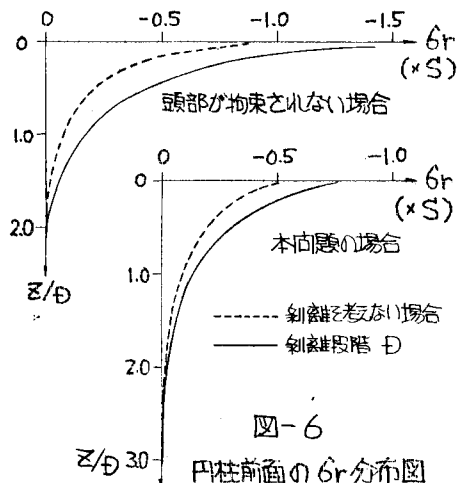


図-6

円柱前面の $6r$ 分布図