

III-246

FEMによるドレーン圧密解析における二次元・三次元の比較

(株)大林組技術研究所 正会員 小日向 隆
同 上 正会員 西林 清茂
同 上 正会員 細谷 芳巳

1. まえがき 無限地盤に盛土を行なった場合の側方変形を含む二次元圧密変形解析については、従来からFEM解析が一般に実施されている。しかし、圧密促進のためにドレーンを打設した圧密変形解析となると、ドレーン圧密が軸対称の放射流れとなるために、厳密には三次元解析に依らざるを得ない。ところが、このような三次元解析においても円柱ドレーンの放射流れを幾何学的にどう近似するかは不明である。また膨大な計算時間と労力を考えると、二次元平面ひずみ問題として簡単に解析できれば有益であるが、現在その手法も確立されたものは見受けられない。

そこで、三次元ドレーン圧密問題を二次元平面ひずみ問題としてFEM解析する場合のいくつかの手法について数値解析し、知見を得たので以下に報告する。

2. 解析条件 解析に用いたプログラムは総合地盤解析システムSIGNASである。解析対称地盤の土性および荷重条件を表-1に示す。FEMに用いる土性値への変換は、 $E=(1+\nu)/m_v(1-2\nu)$ 、 $k=c_v \cdot m_v \cdot \gamma_w$ を用いた。なお、ドレーンは粘土と同じ圧縮性を持つものとし、透水性のみ異なる地盤とした。

FEM	Barron
$E=25.1 \text{ t/m}^2$	$e=2.4-0.8 \log P$
$\nu=0.33$	$C_v=0.0036 \text{ m}^2/\text{day}$
$k=9.4 \times 10^{-5} \text{ m/day}$	$m_v=0.0261 \text{ m}^2/\text{t}$
初期応力	$P_0=1.0 \text{ t/m}^2$
載荷重	$\Delta p=3.6 \text{ t/m}^2$

表-1 対象地盤

3. ドレーン圧密解析（軸対称問題） 土中の間げき水がドレーンに向う半径方向求心流れのみを考え、鉛直方向の流れを無視した軸対称問題としてFEM解析を行い、Barronの解と比較した。結果を図-1に示す。ドレーン圧密の解としては、図表によるBarronの近似解が一般的であるが、同じBarronの差分解に比べると、圧密初期において遅れる傾向にある。FEMによる解はBarronの差分解に比べ若干圧密が速い傾向が見られるものの両者はよく一致している。

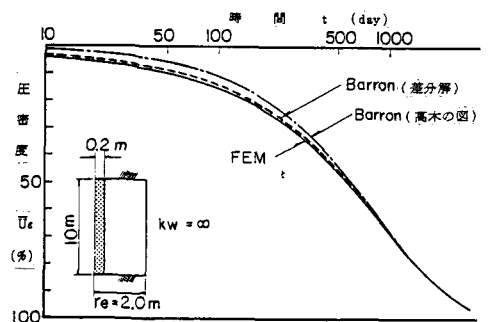


図-1 時間～圧密度（軸対象問題）

4. ドレーン圧密解析（二次元、三次元問題） ドレーン圧密を三次元で解析する場合は、円形のドレーンを多角形で表現することになる。この際、最も考えやすいのは正方形であるが、換算方法としては、ドレーンの排水能力を考えて面積を等しくする場合と、ドレーンの集水能力を考えて周長を等しくする場合が考えられる。（表-2）

図-2は直径40cmのドレーンを一辺 $a_w=35.4\text{cm}$ （等面積）、 $a_w=31.4\text{cm}$ （等周長）として三次元解析を行なった結果を、先の軸対称解析結果と比較したものである。三次元解析の場合はいずれも圧密の後期において速くなる傾向が見られ

水の流れ	放射流れ	三次元流れ	二次元流れ
解析条件	軸対称解析	三次元解析	二次元解析（平面ひずみ問題）
ドレーン形状			
ドレーン断面積 A_d	1,256 cm^2	1,253 cm^2	986 cm^2
全断面積 A	40,115 cm^2	40,000 cm^2	20,000 cm^2
面積比 A_d/A	0.031	0.031	0.025
排水距離	93cm	—	80cm
粘土透水係数	$9.4 \times 10^{-5} \text{ m/day}$	$9.4 \times 10^{-5} \text{ m/day}$	$9.4 \times 10^{-5} \text{ m/day}$
			$2.57 \times 10^{-5} \text{ m/day}$
			$3.47 \times 10^{-5} \text{ m/day}$
			$3.77 \times 10^{-5} \text{ m/day}$

表-2 解析条件

るが、3つの結果に大きな差は見られない。ただ、周長を等しくした場合のほうが近似性は高いようである。

三次元解析は次元の増加、要素数の増加によって計算時間が二次元に比べ莫大になる。そこで、ドレーンの放射流れによる圧密を等価な圧密速度を持つ二次元平面ひずみ問題として近似解が得られれば極めて有用である。

軸対称問題を二次元平面ひずみ問題として考える時、円柱ドレーンは壁状ドレーンに置き換えることになるが、この場合ドレーン幅 L の決め方として、直径 d に等しくする場合、 A_d/A (A_d :ドレーン断面積、 A :全断面積) を等しくする場合、排水距離を等しくする場合が考えられる。(表-2) 図-3は以上の3条件のもとに二次元平面ひずみ問題として解析した結果である。いずれも水平方向の透水係数は、放射流れによる圧密と水平一次元流れによる圧密が圧密度50%で一致するように定めた。ドレーンの幅 L を直径 d と等しくすると、ドレーンの断面積が円柱に比べて大きくなり、排水能力を過大に評価するため圧密速度は軸対称解析より速くなる。一方、 A_d/A を軸対称解析に等しくした場合は、圧密初期において近似性はよいが、後期において遅れる傾向にある。これに対して、排水距離を等しくした場合は逆に圧密後期において近似性がよいことがわかる。

5. 台形盛土による圧密変形解析 以上の結果を踏まえ、ドレーンの打設された地盤上に盛土した場合の圧密変形解析を行なった。解析対称としたモデル地盤を図-4に示す。ここでは、三次元解析において直径40cmの円柱ドレーンを一辺31.4cmの正方形ドレーン（等周長）とし、二次元解析ではドレーンの幅を14cmにとり（等排水距離）、これよりドレーン打設域の粘土の水平方向透水係数は 3.47×10^{-5} m/day とした。解析結果を図-5に示す。図-3と同様に圧密初期は二次元解析の方が若干圧密速度は速いが、圧密後期においては地表面沈下量、側方変位量とも両者はよく一致しており、二次元平面ひずみ問題として解析しても十分対応性のよい結果が得られることがわかる。なお、今回の計算では三次元解析は二次元解析の19倍のcpu timeを要した。

6. まとめ 今回行なった一連の解析により、円柱ドレーンへの放射流れを近似的に壁状ドレーンへの水平流れと置き換えて二次元平面問題として十分解析可能であることがわかった。またドレーン幅の決め方は、圧密初期に重点を置く場合は A_d/A 、後期に重点を置く場合は排水距離が軸対称解析と等しくなるようにすることが目安になると考える。

〈参考文献〉 1) 西林他：圧密沈下解析手法に関する研究（その1）大林組技術研究所報NQ31、1985

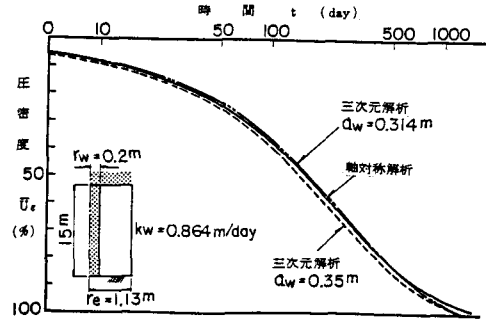


図-2 時間～圧密度（三次元解析）

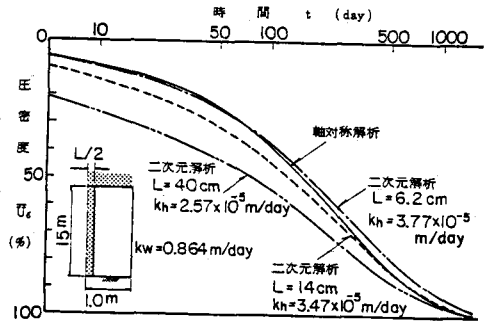


図-3 時間～圧密度（二次元解析）

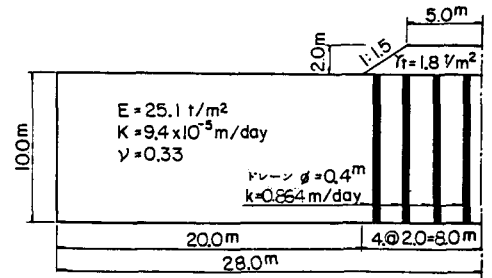


図-4 解析モデル

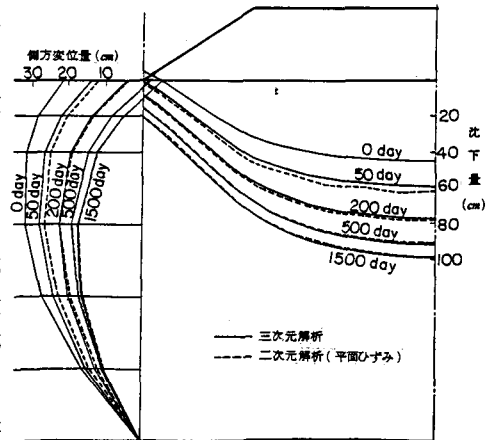


図-5 沈下量・側方変位量