

FEM 解析における 軸対称モデルと3次元モデルの比較検討

解析技術部 鈴木 崇史

1. はじめに

軸対称とは、図-1に示すような解析モデルが対称軸を中心に回転方向に同一モデル・同一荷重の場合に、3次元解析と同様の結果が得られる解析手法である。本検証では実際に軸対称モデルと3次元モデルで解析を行い、比較検証を行った。

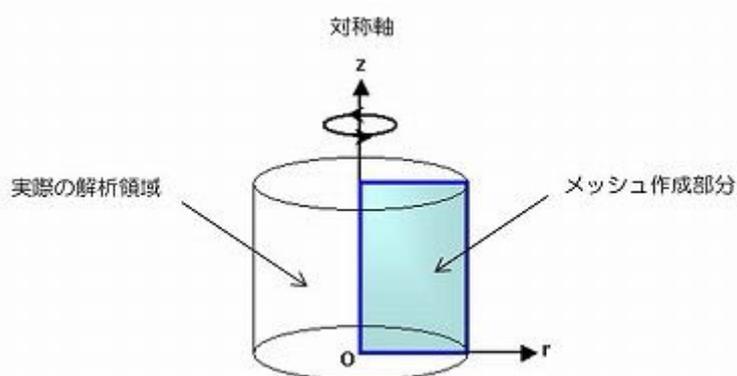


図-1 軸対称イメージ

2. 解析条件

2.1 解析モデル

解析モデルを図-2-1, 2-2に示す。掘削範囲は幅6m、深さ10mとして半断面（3次元は1/4断面）をモデル化した。また、地盤は単一層モデルとした。

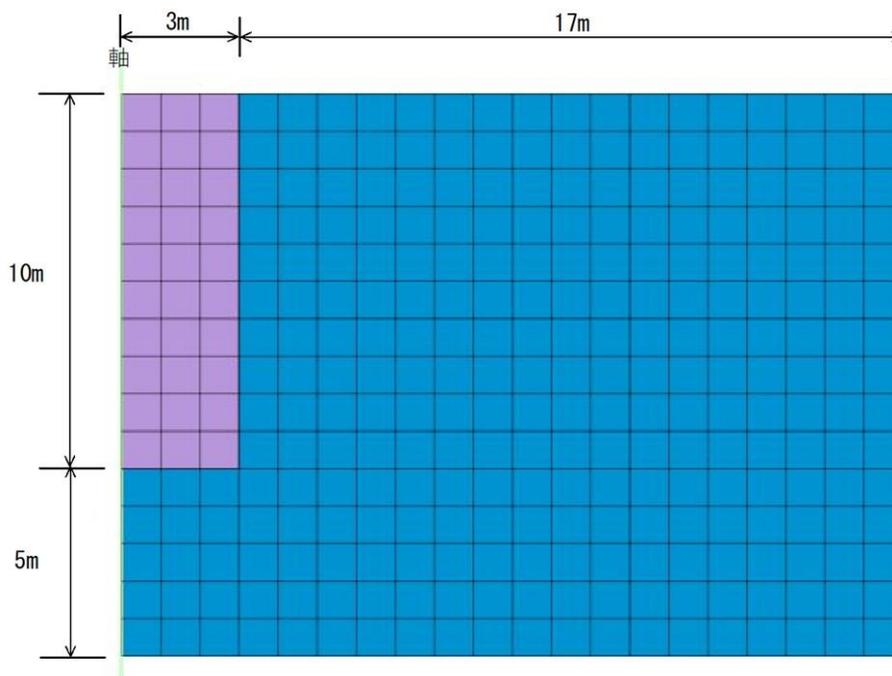
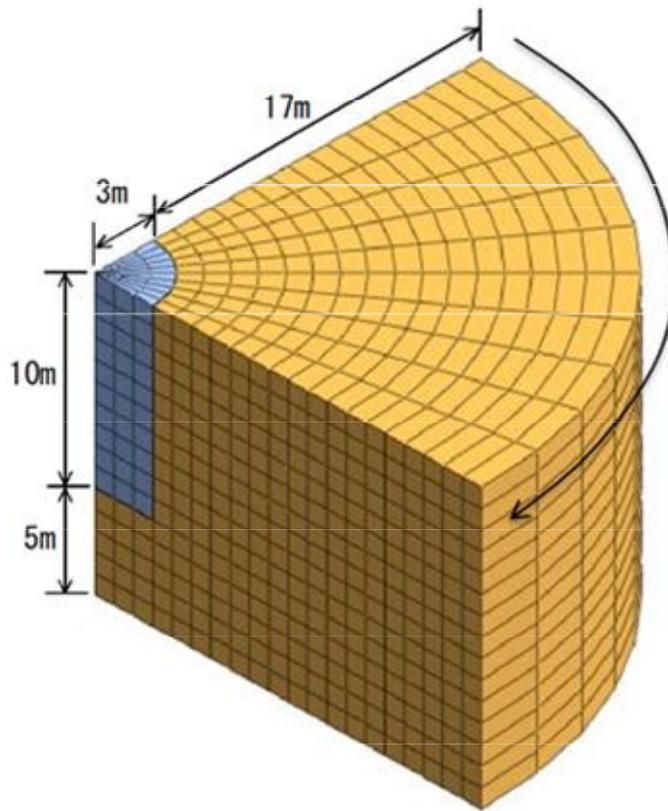


図-2-1 軸対称モデル



90° を 5 分割, 10 分割,
20 分割のモデルで比較
(図は 10 分割モデル)

図-2-2 3次元モデル

2.2 地盤条件

地盤物性値を表-2 に示す.

表-2 地盤物性値

単位体積重量	弾性係数	ポアソン比
γ (kN/m ³)	E (kN/m ²)	ν
18.0	10000	0.30

3. 3次元解析の分割数による比較

図-3-1 に示す軸対称モデルで掘削解析を行い、図-3-2～3-4 に示す分割数の異なる3次元解析との比較を行った。

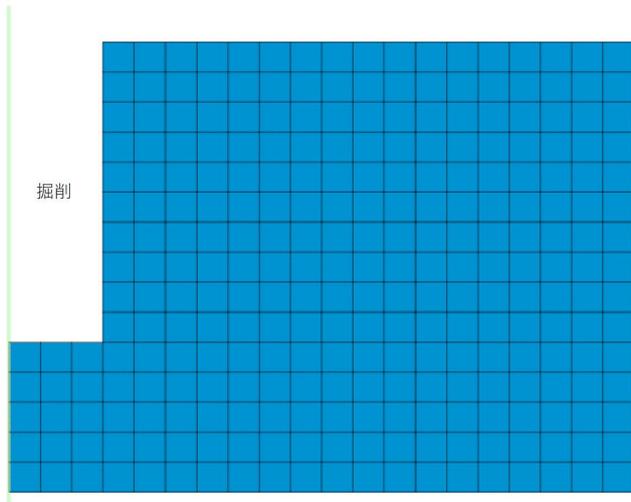


図-3-1 軸対称モデル

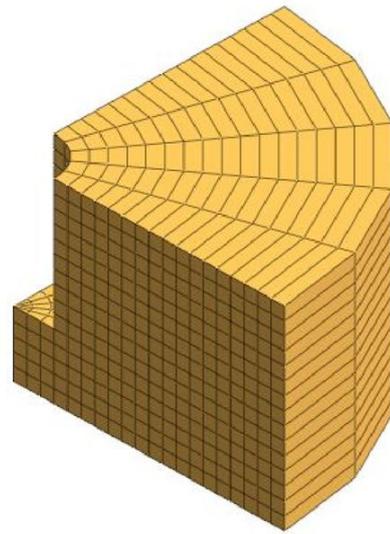


図-3-2 3次元モデル（5分割）

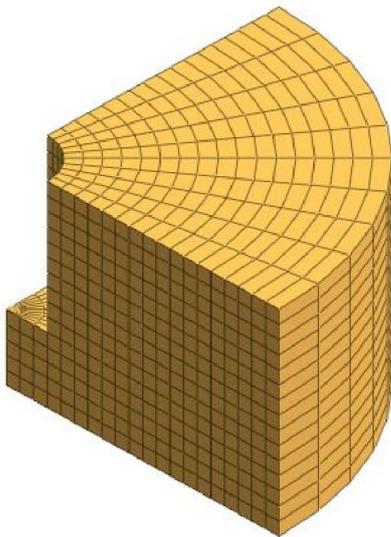


図-3-3 3次元モデル（10分割）

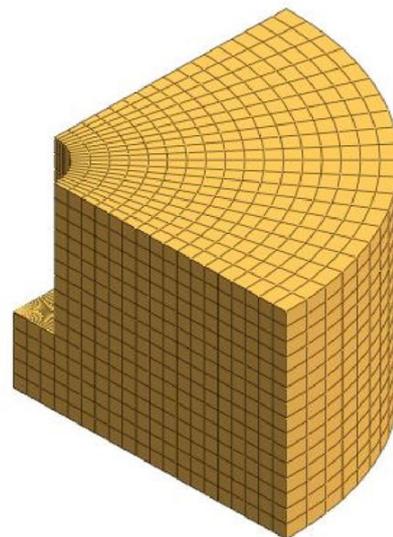


図-3-4 3次元モデル（20分割）

次頁より各解析ケースの解析結果を示す。

3.1 軸対称解析

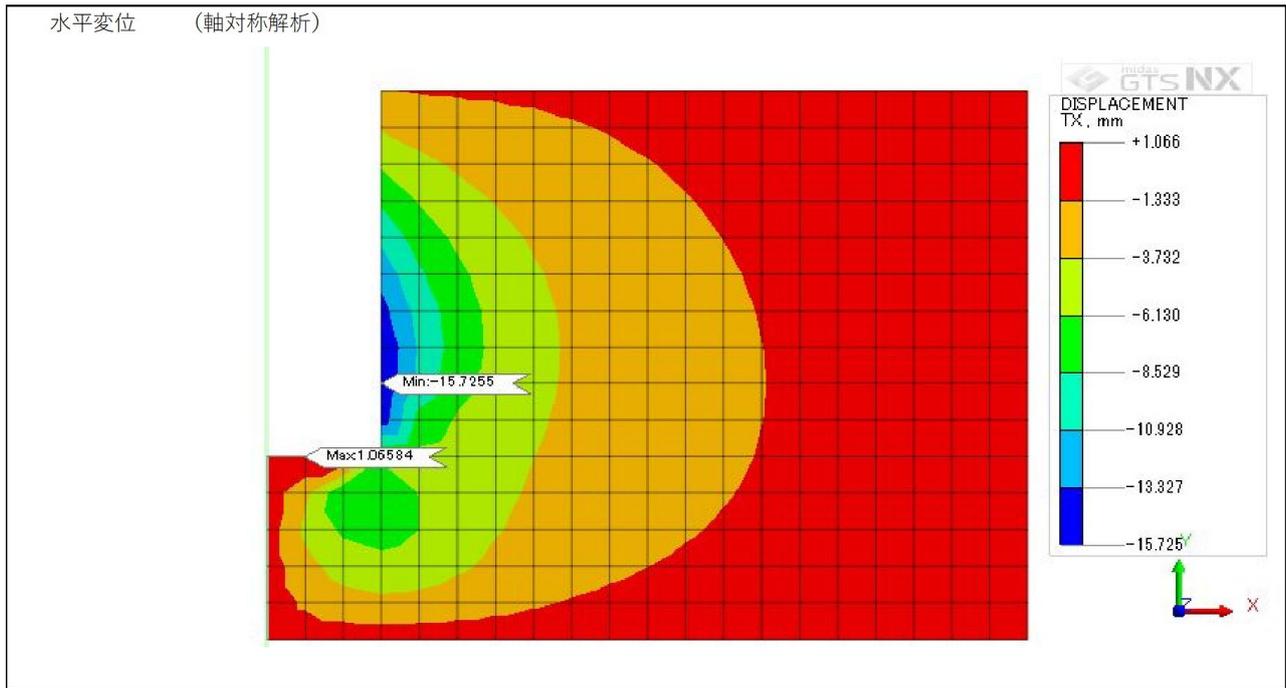


図-3-5-1 軸対称解析 水平変位コンター図

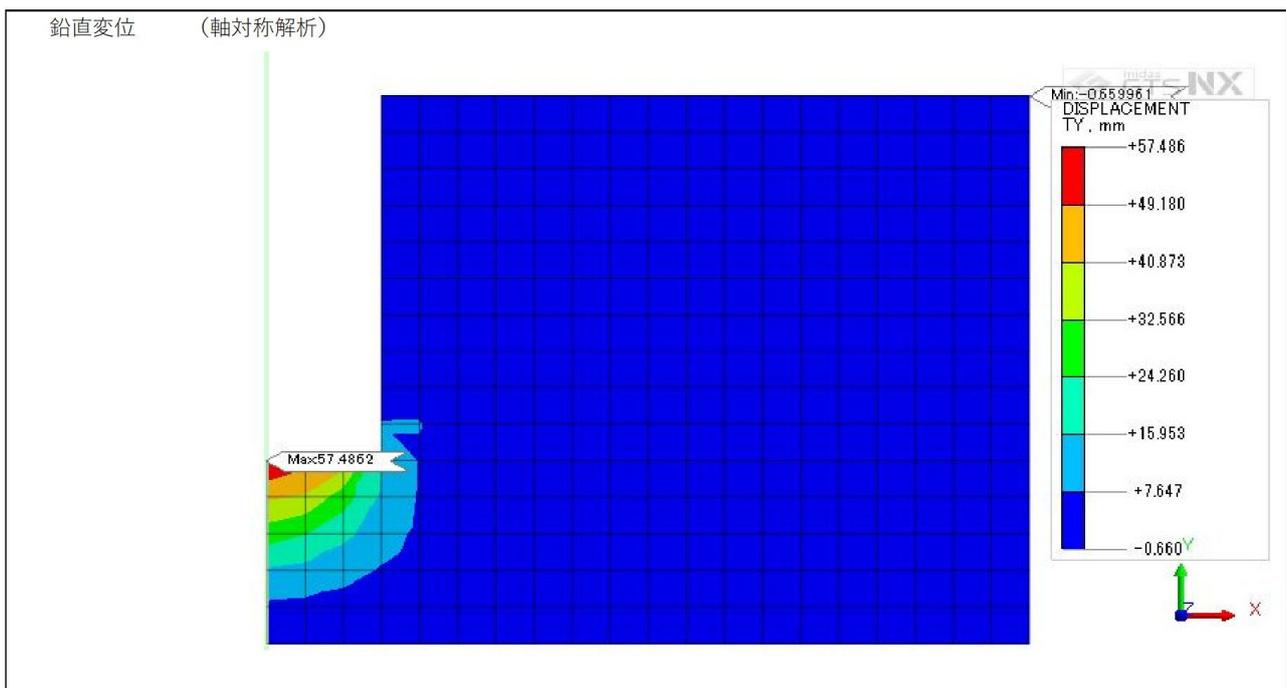


図-3-5-2 軸対称解析 鉛直変位コンター図

3.2 3次元解析（5分割モデル）

水平変位 （3次元解析-5分割）

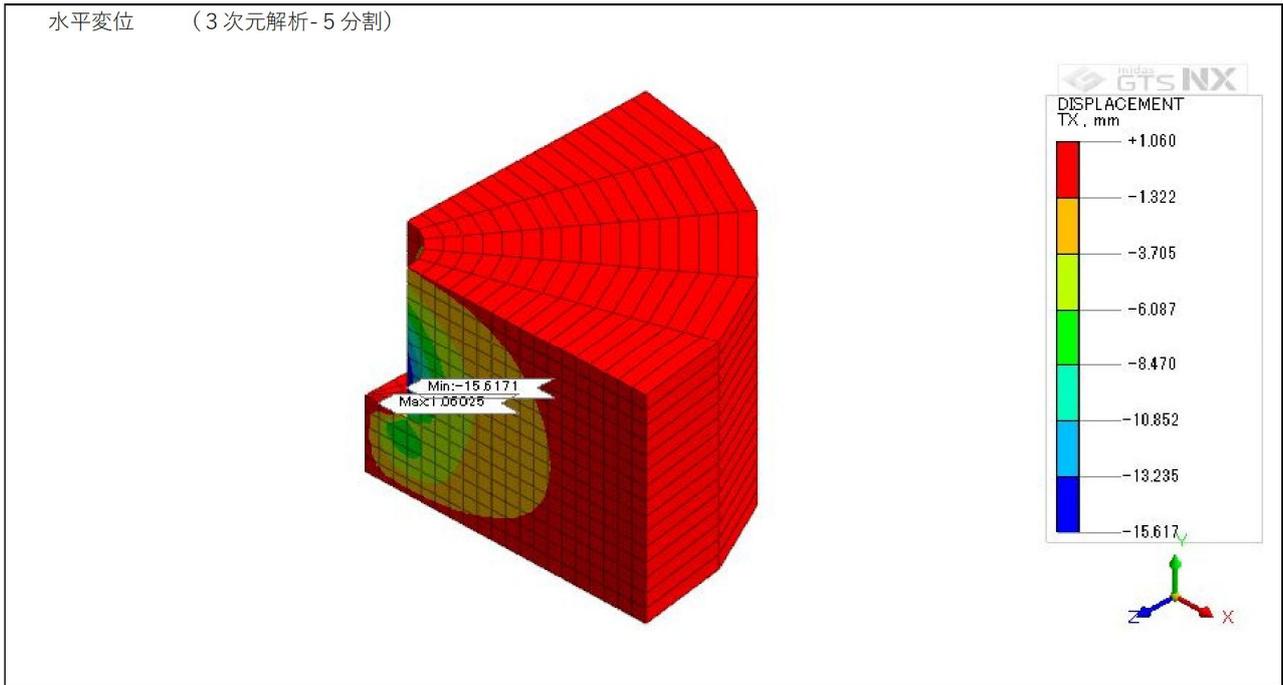


図-3-6-1 5分割モデル 水平変位コンター図

鉛直変位 （3次元解析-5分割）

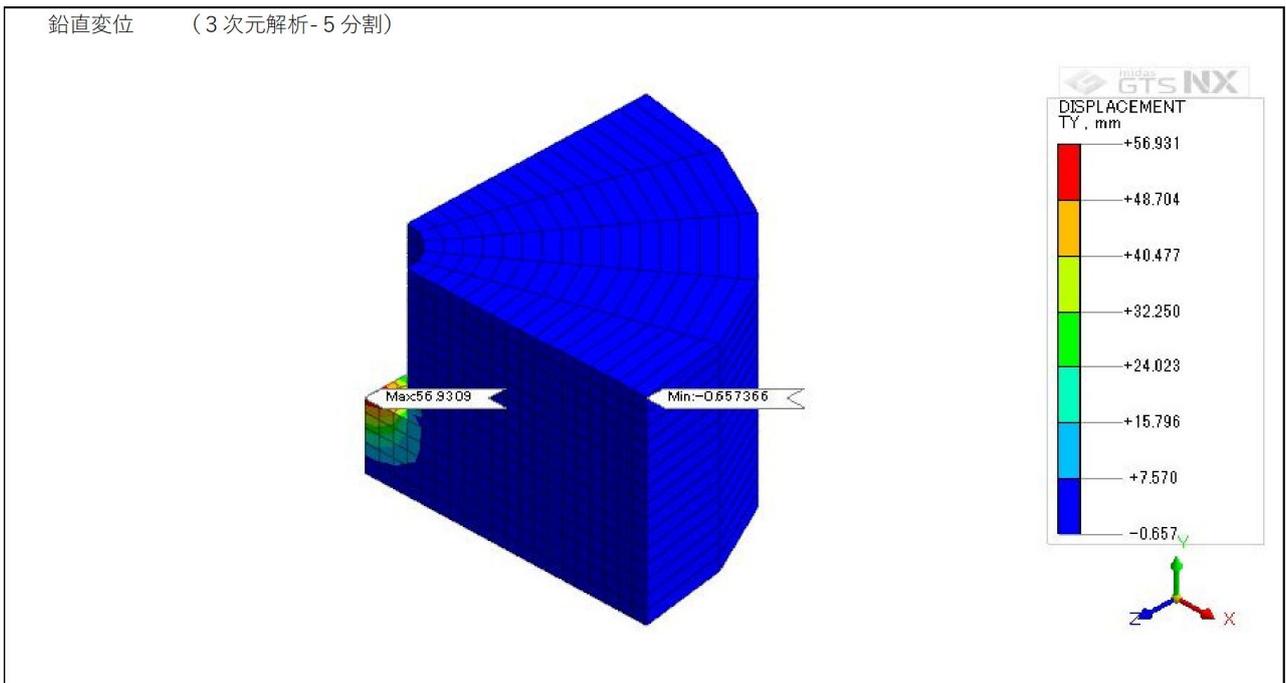


図-3-6-2 5分割モデル 鉛直変位コンター図

3.3 3次元解析（10分割モデル）

水平変位 （3次元解析-10分割）

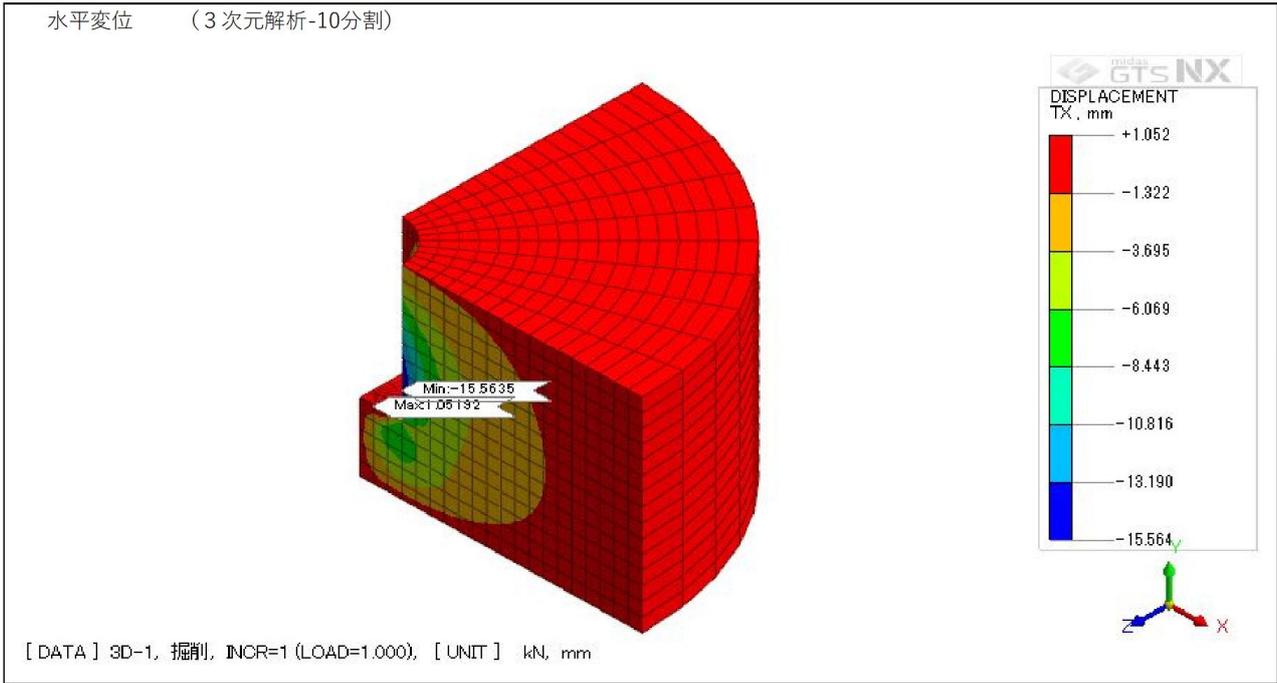


図-3-7-1 10分割モデル 水平変位コンター図

鉛直変位 （3次元解析-10分割）

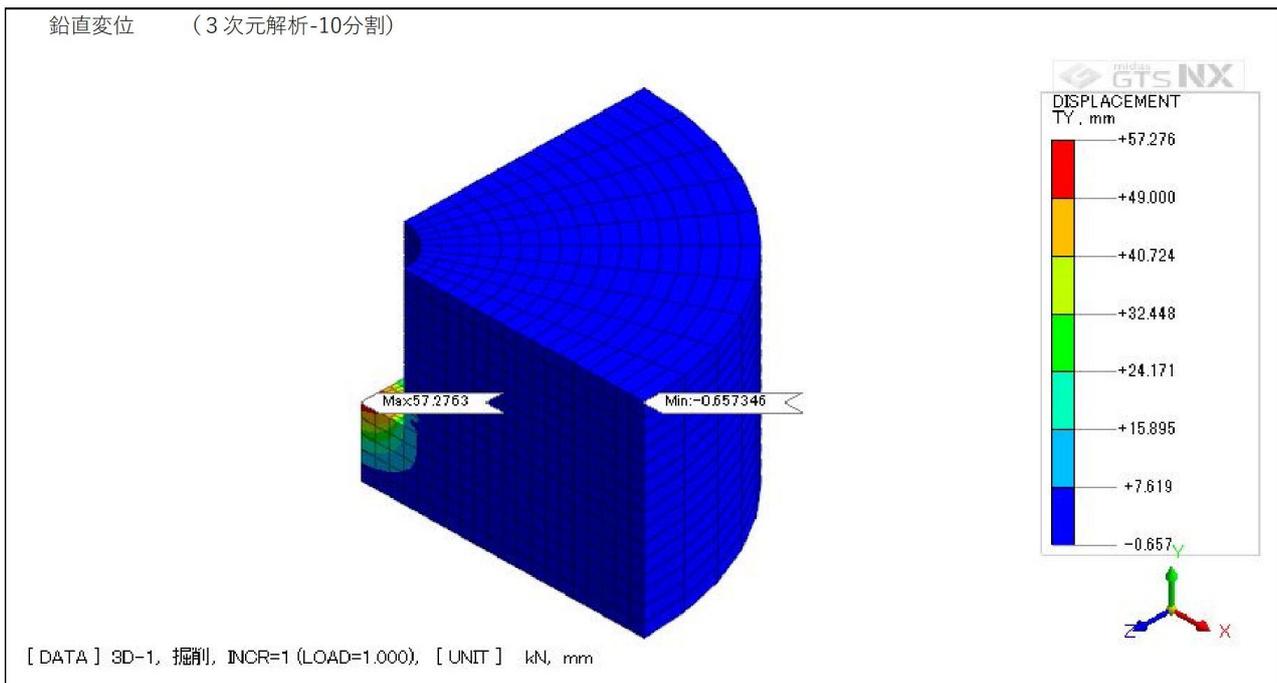


図-3-7-2 10分割モデル 鉛直変位コンター図

3.4 3次元解析（20分割モデル）

水平変位 （3次元解析-20分割）

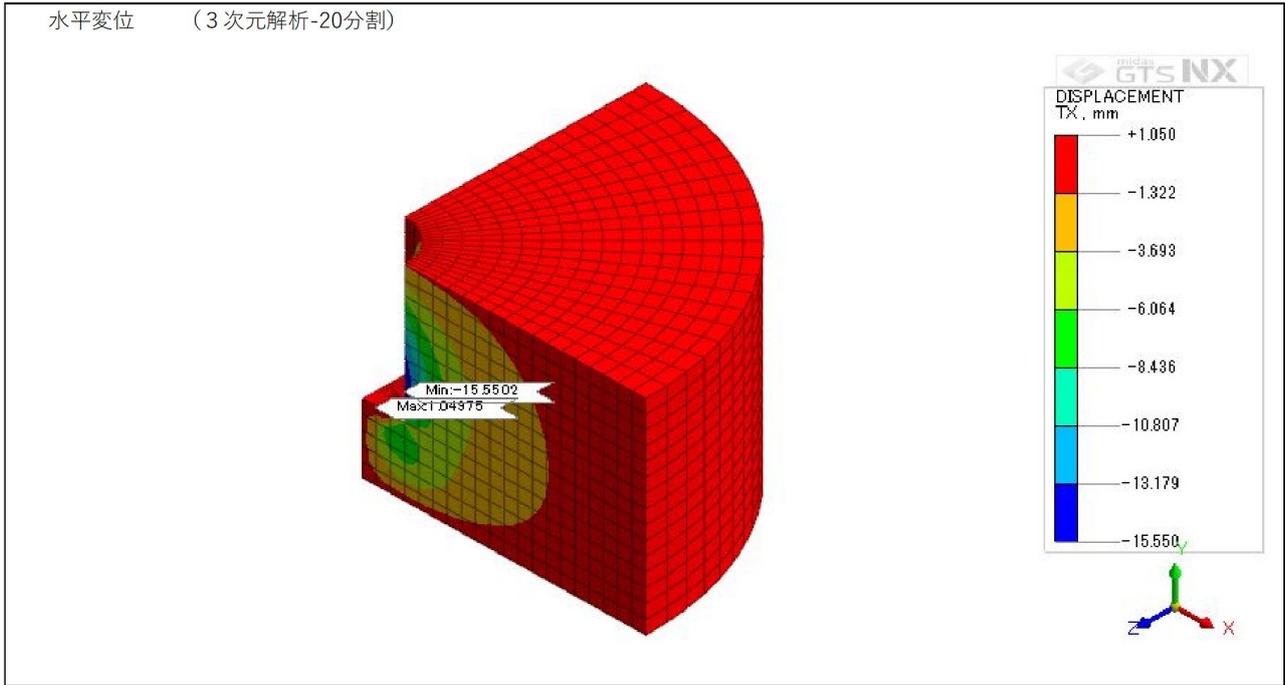


図-3-8-1 20分割モデル 水平変位コンター図

鉛直変位 （3次元解析-20分割）

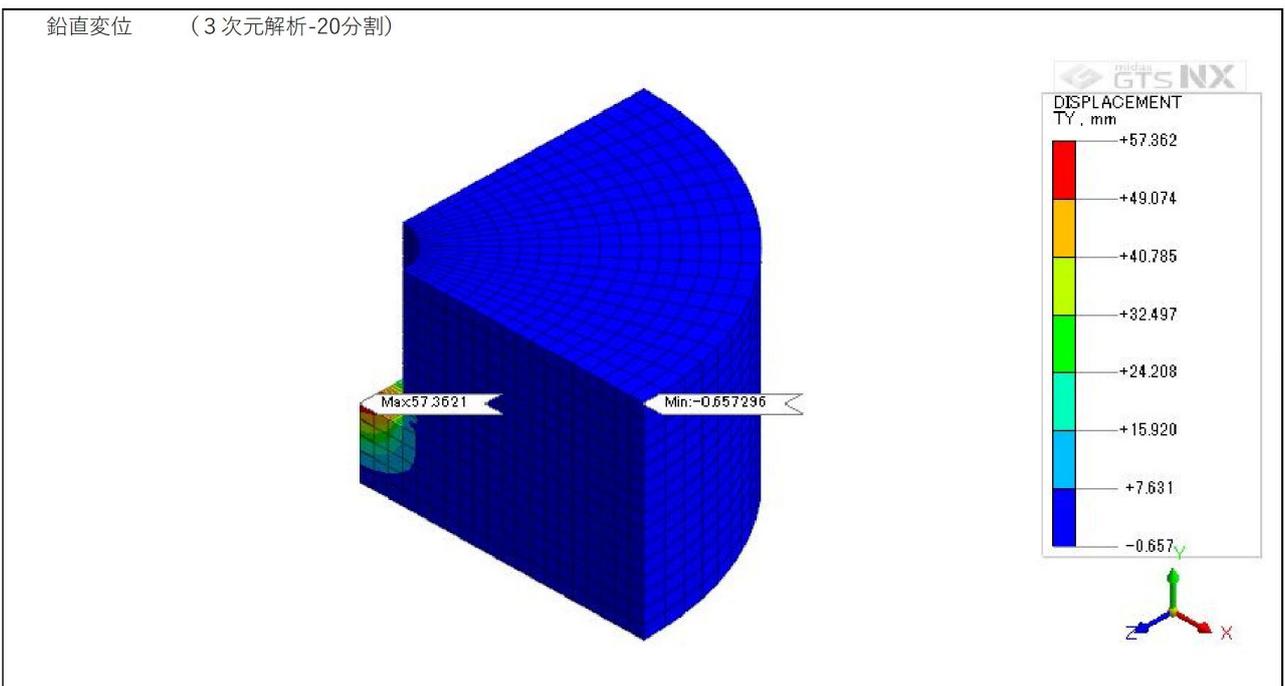


図-3-8-2 20分割モデル 鉛直変位コンター図

3.5 解析結果比較

表-3 に各ケースの最大変位量を示す。

表-3 最大変位量

発生変位比較		最大変位 (mm)	
		水平	鉛直
軸対称解析		15.725	57.486
3次元解析	5分割	15.617	56.931
	10分割	15.564	57.276
	20分割	15.550	57.362

軸対称解析と3次元解析の比較では概ね同じ結果であるが、3次元解析の方が変位量が小さい結果となった。3次元モデルの分割数については大きな違いはないが、水平変位は分割数が粗い方が軸対称解析の結果に近く、鉛直変位は分割数が細かい方が軸対称解析の結果に近づいている。

4. 荷重条件による比較

荷重条件による比較検討を行った。なお3次元モデルは分割数による違いがあまり無かったことから、10分割モデルのみとの比較とした。

4.1 分布荷重による比較

図-4-1-1 に示す範囲に分布荷重を設定した解析を実行する。

本解析で使用した midasGTSNX は軸対称解析用の分布荷重を設定出来るのでその機能を利用した。

3次元解析では図-4-1-2 に示す範囲に分布荷重を設定した。

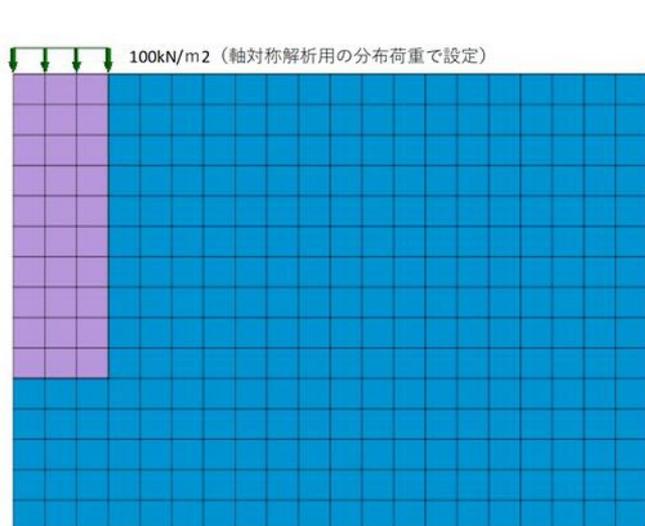


図-4-1-1 軸対称

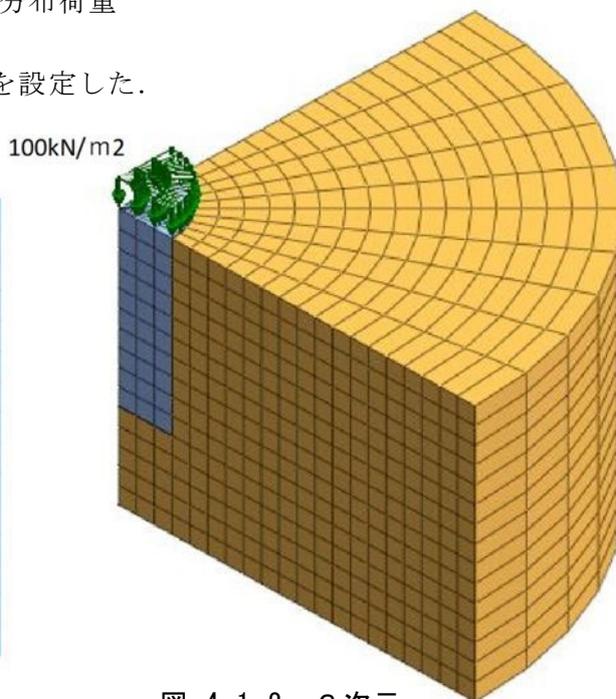


図-4-1-2 3次元

図-4-1-3 と図-4-1-4 に解析結果を示す。
最大鉛直変位はほぼ一致していることがわかる。

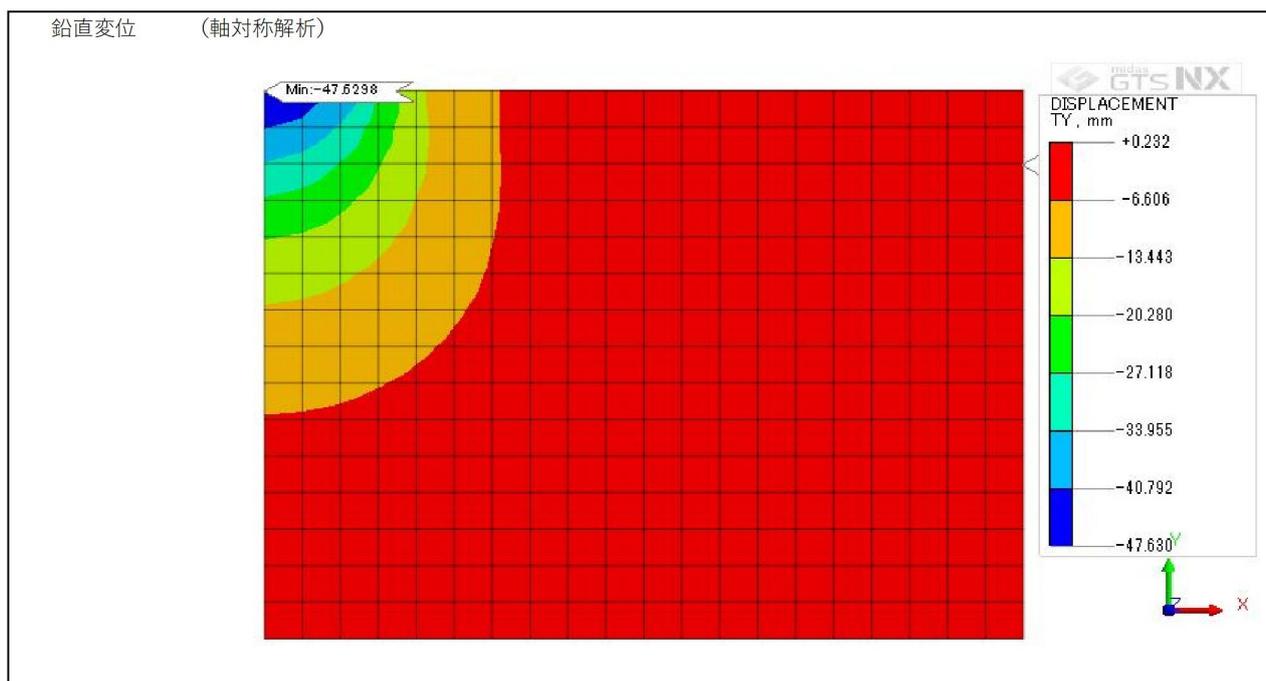


図-4-1-3 軸対称解析 鉛直変位コンター図

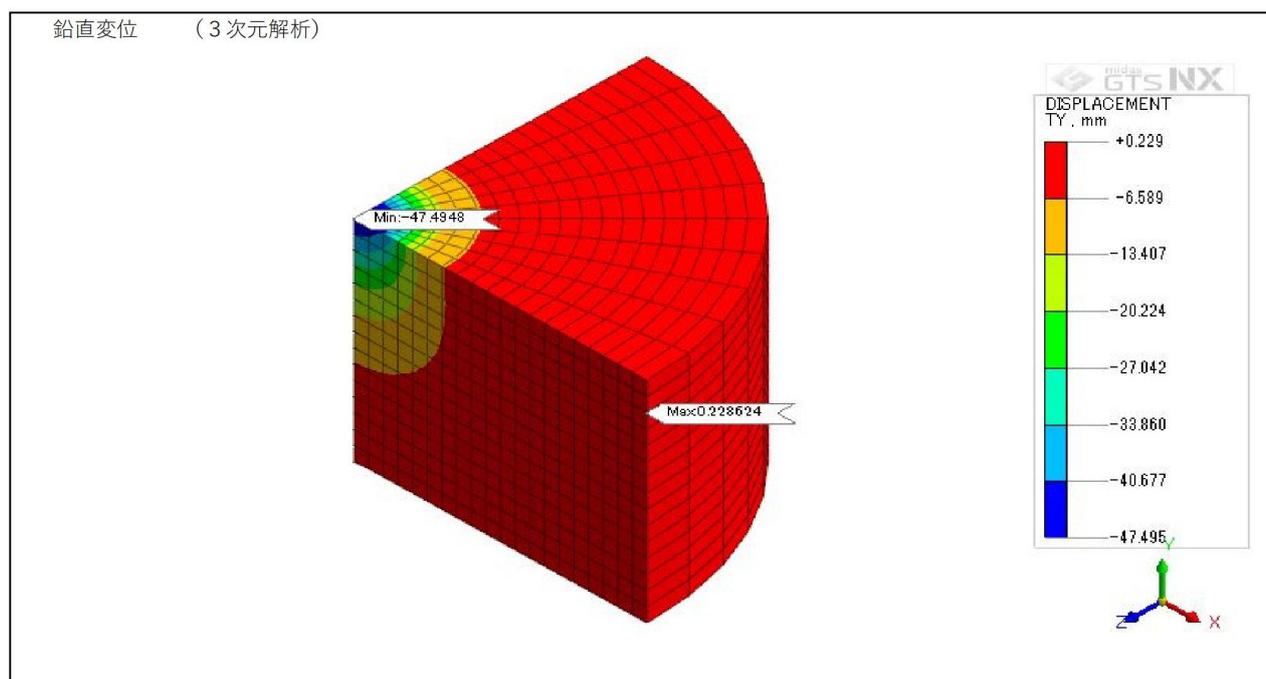


図-4-1-4 3次元解析 鉛直変位コンター図

4.2 集中荷重による比較

図-4-2-1 に示す位置に集中荷重を設定した解析を実行する。

集中荷重は円周方向全体にかかるので3次元解析では図-4-2-2 に示すように設定する。

集中荷重は分布荷重のような軸対称解析用の設定はないので、実際の軸対称解析では図-4-2-3 に示すように円周方向全体の荷重値を考慮する必要がある。

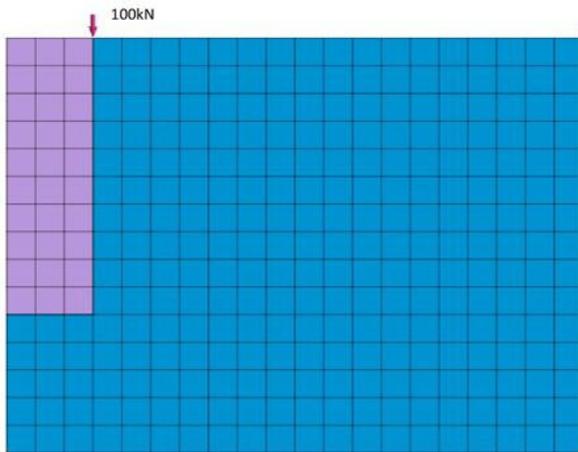


図-4-2-1 集中荷重の位置

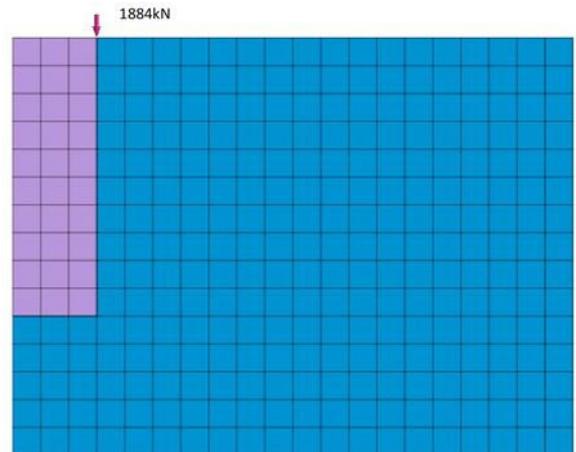
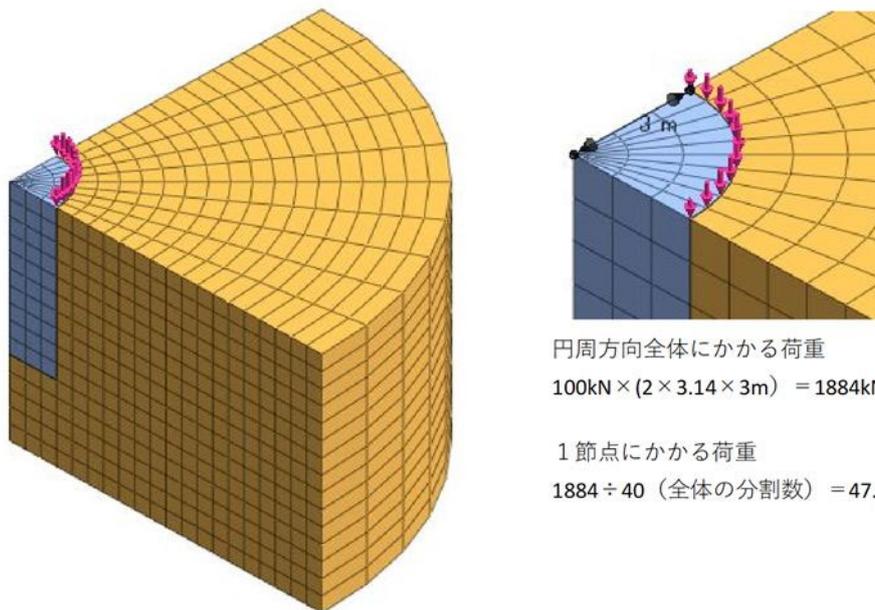


図-4-2-3 軸対称解析での荷重設定



円周方向全体にかかる荷重

$$100\text{kN} \times (2 \times 3.14 \times 3\text{m}) = 1884\text{kN}$$

1 節点にかかる荷重

$$1884 \div 40 \text{ (全体の分割数)} = 47.1\text{kN}$$

図-4-2-2 3次元解析での集中荷重

図-4-2-4 と図-4-2-5 に解析結果を示す。

最大鉛直変位はほぼ一致していることがわかる。

今回使用した midasGTSNX は分布荷重では軸対称解析用の荷重を用いたので換算する必要がなかったが、集中荷重は軸対称解析用の荷重がないため円周方向を考慮した荷重値となるように注意する必要がある。

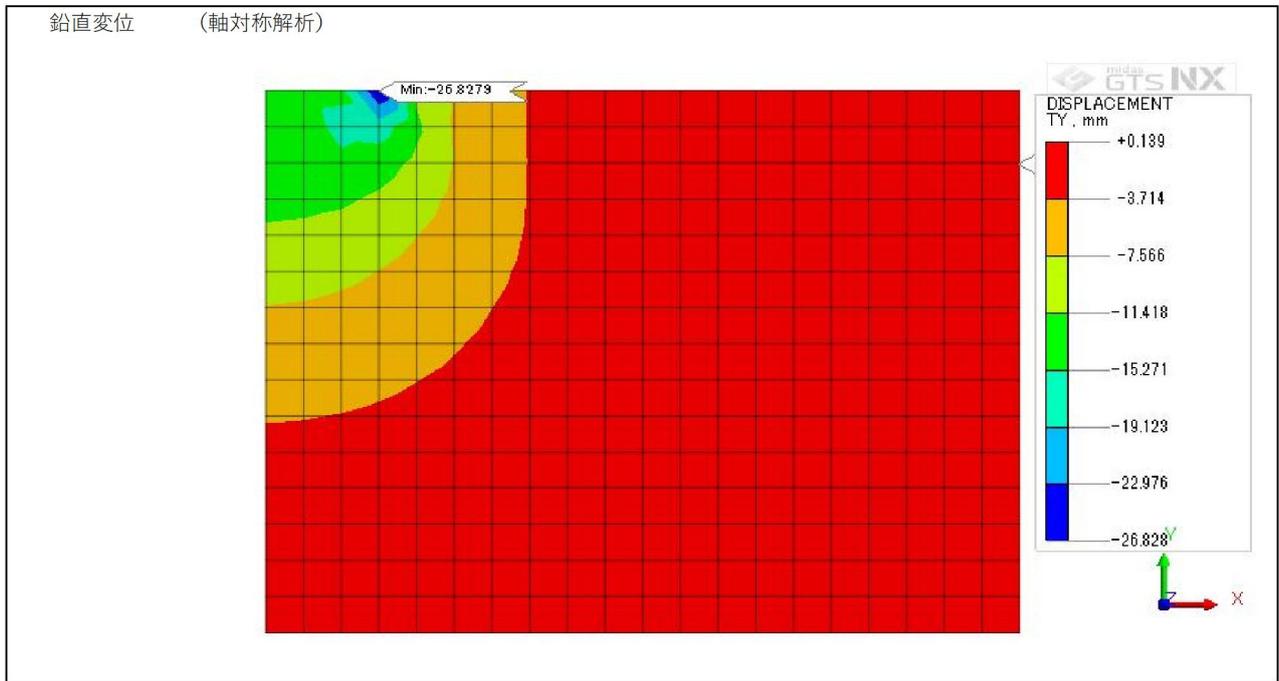


図-4-2-4 軸対称解析 鉛直変位コンター図

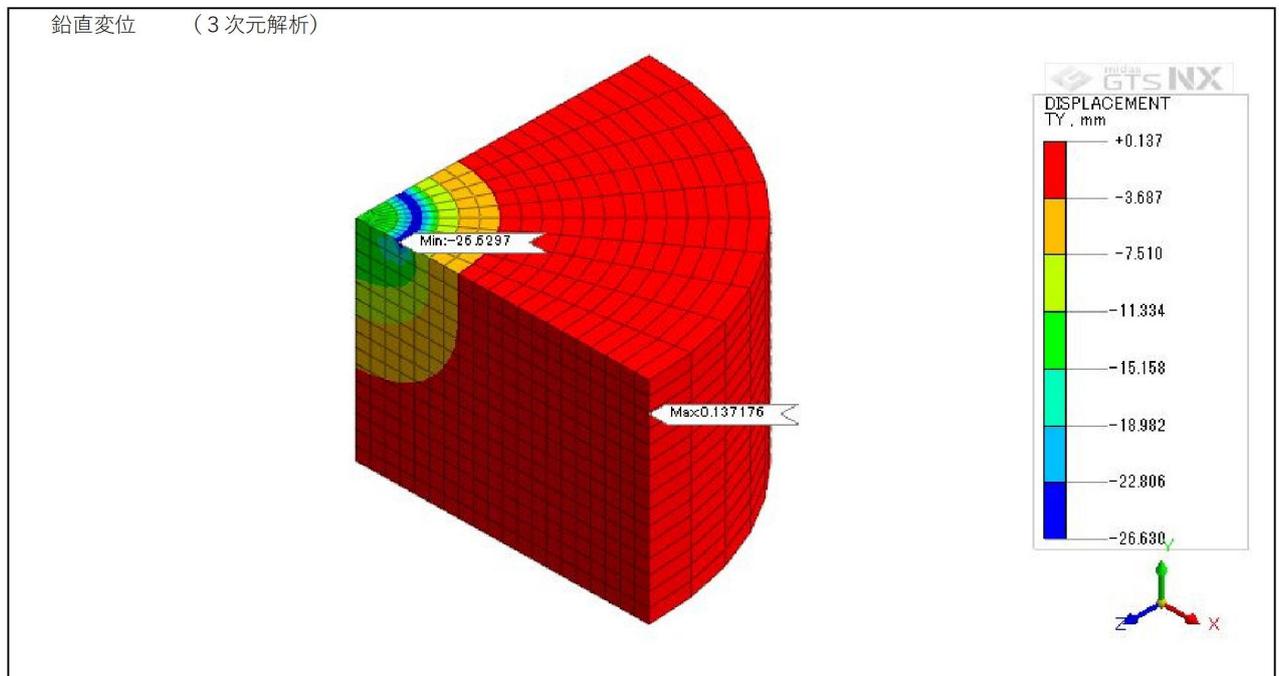


図-4-2-5 3次元解析 鉛直変位コンター図

5. 梁要素を用いた解析

本研究では図-1 に示す手順に従って、鉄道ラーメン高架橋の地震損傷評価と地震リスク解析を軸対称解析に梁要素を設定したケースについて比較検討を行った。

図-5-1-1 に示すように掘削面に梁要素を設定した。

梁要素は円周長を考慮した断面とした。

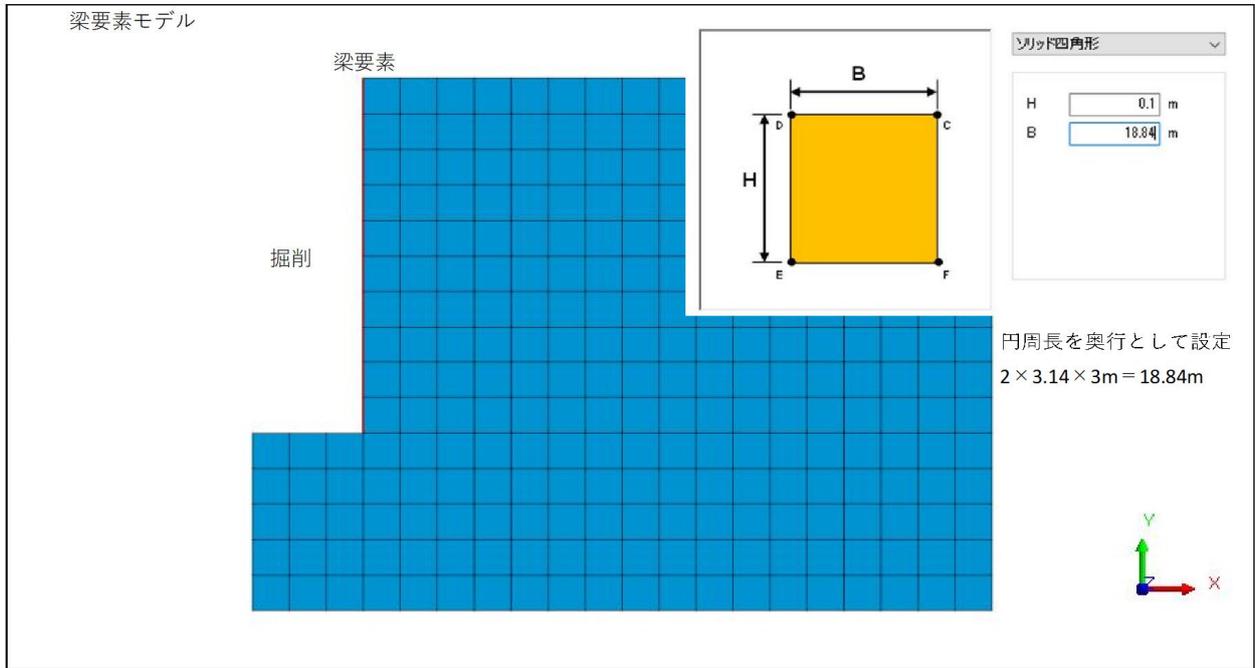


図-5-1-1 梁要素を用いた解析

図-5-1-2 に解析結果を示す。

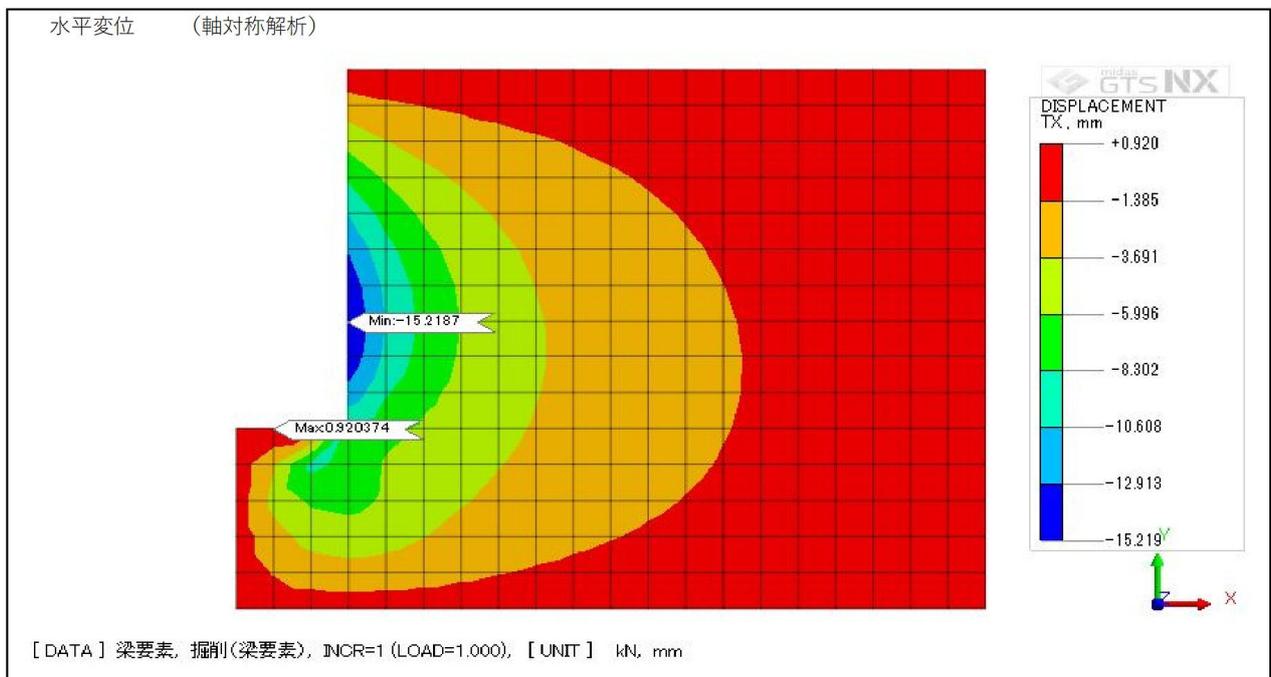


図-5-1-2 軸対称解析 水平変位コンター図

梁要素を設定した軸対称解析は、3次元解析で板要素を設定したケースを想定している。
図-5-2-1 に板要素を設定した3次元解析モデルを示す。
板要素の厚さは梁要素の剛性と同じになるように0.1mとした。

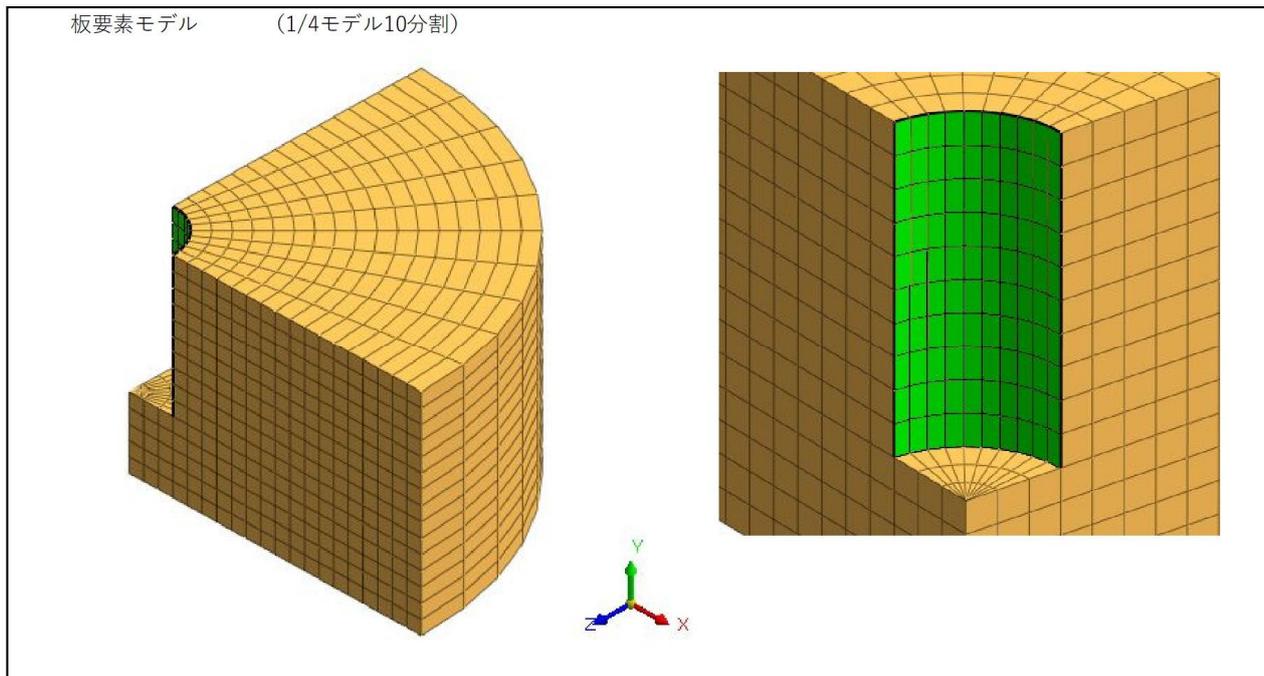


図-5-2-1 板要素を設定した3次元解析

図-5-2-2 に板要素を用いた3次元解析結果を示す。
図-5-1-2 の結果と比較すると全く異なる結果となっている。

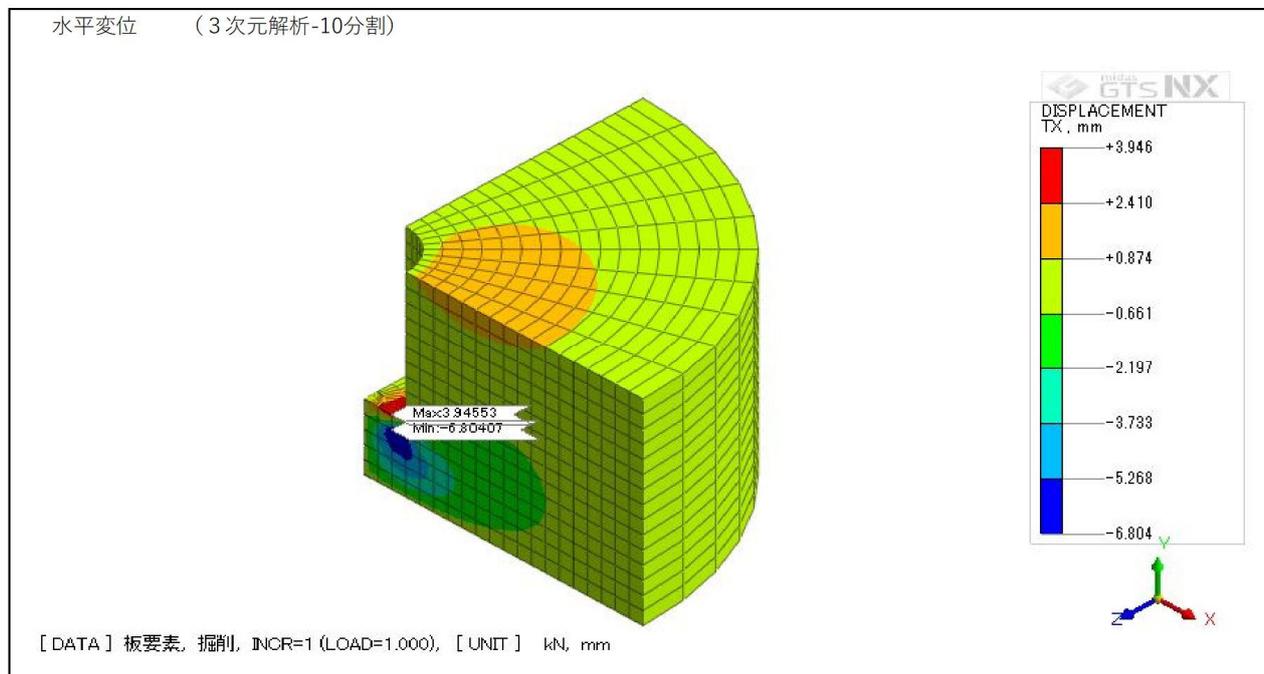


図-5-2-2 3次元解析 水平変位コンター図

梁要素を用いた軸対称解析と板要素を用いた3次元解析の結果が全く違っていったことから、3次元解析でも図-5-3-1に示すように梁要素を設定して計算を行った。
 梁要素1本あたりの剛性は円周長と本数から板要素と同じになるように設定した。

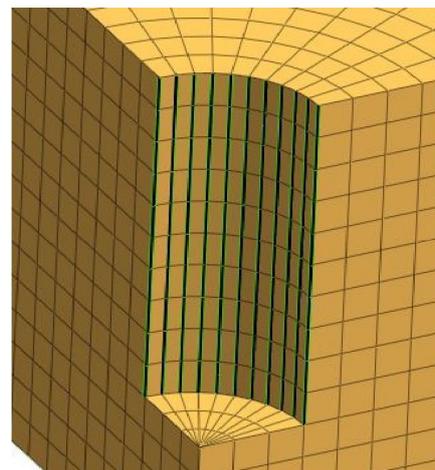


図-5-3-1 梁要素を設定した3次元解析

図-5-3-2に梁要素を用いた3次元解析の結果を示す。この結果も軸対称解析とは一致しなかった。

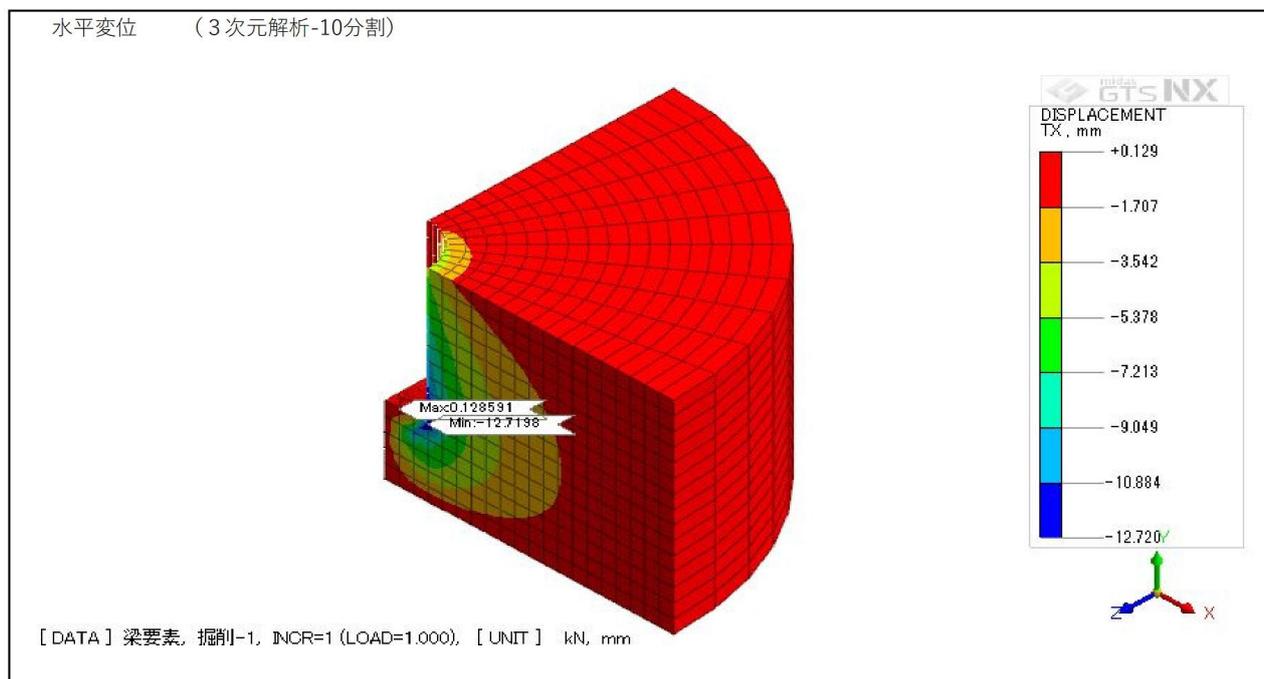


図-5-3-2 3次元解析 水平変位コンター図

軸対称解析と3次元解析の結果が一致しない原因として、軸対称解析での梁要素の剛性の設定に問題があるのではないかと考えられる。そこで図-5-4-1に示すように円筒形の断面で軸対称解析を行った。

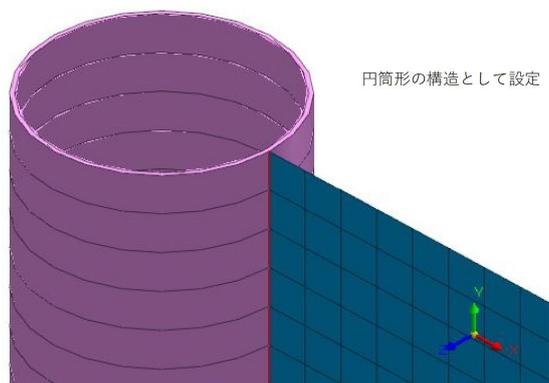


図-5-4-1 円筒形の形状を梁要素に設定

図-5-4-2 に円筒形状を考慮した梁要素での軸対称解析の結果を示す。

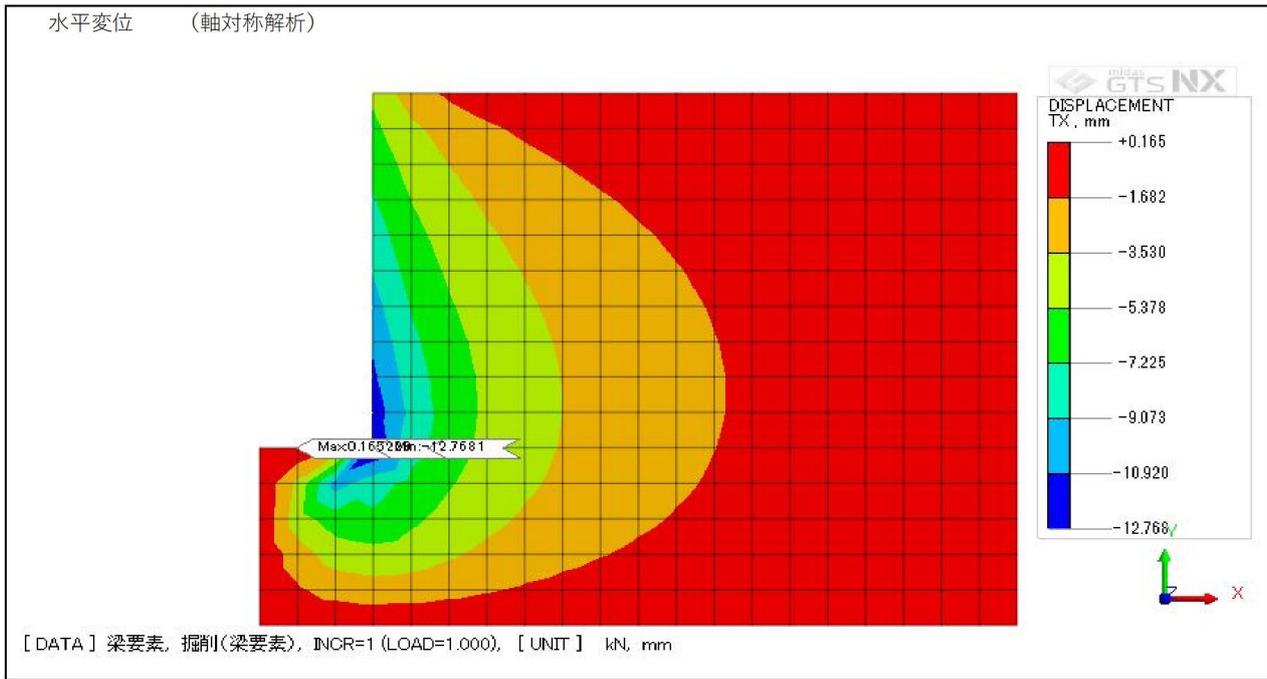


図-5-4-2 軸対称解析 水平変位コンター図

最大水平変位は軸対称解析（円筒形状）が 12.766mm，3次元解析（梁要素）12.720mm となり，水平変位の分布形状も近いものとなった。

板要素を用いた3次元解析と同条件となる軸対称解析を行うためには，軸対称解析用の梁要素を用いなければならないと考えられる．本検討で用いた解析ソフトでは軸対称解析用の梁要素は使用できないため，図-5-5-1 に示すような梁要素相当の厚さの平面要素を用いて解析を行った。

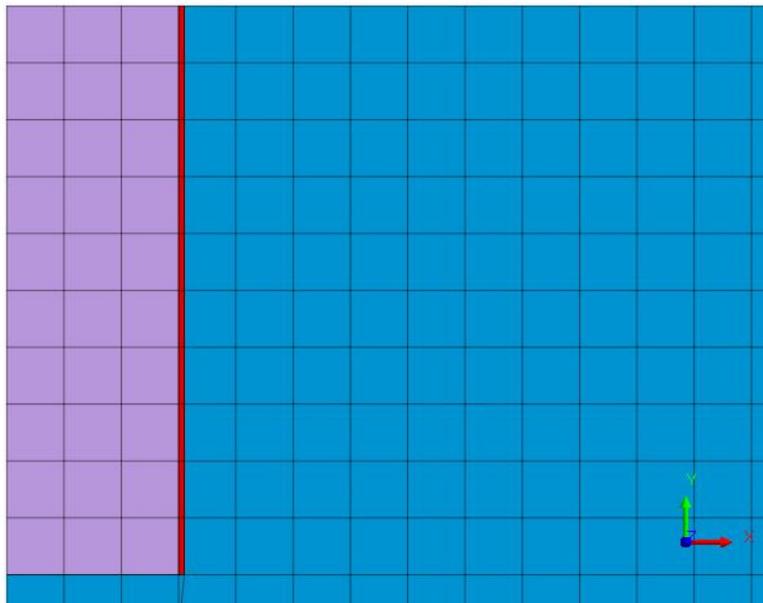


図-5-5-1 梁要素相当の薄い平面要素でモデル化

図-5-5-2 に解析結果を示す。

変位の最大値は少し異なるが、変位の傾向としては板要素を用いた解析と近い結果が得られた。

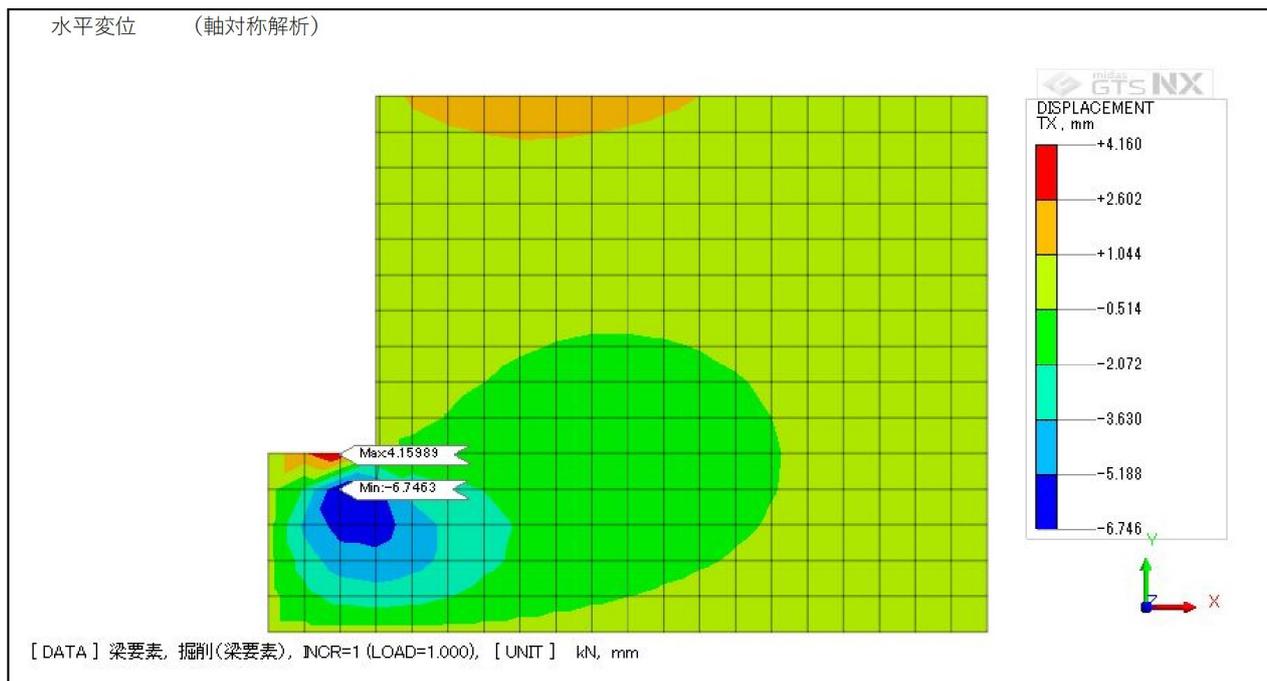


図-5-5-2 軸対称解析 水平変位コンター図

6. まとめ

本検討ではまず単純な掘削ケースでの軸対称解析と3次元解析の比較で非常に近い結果が得られることが確認出来た。このとき3次元解析の円周方向のメッシュ分割数について大きな差がないことを確認した。

また、解析ソフト側で軸対称解析用に設定された荷重を用いる場合は問題ないが、集中荷重のように設定がない荷重の場合は、正確に換算した値を用いることが重要である。

構造部材を用いる際も同様に軸対称解析で用いる場合、想定した構造形状として正確に計算が行われているのかを確認する必要がある。